

## 室蘭工業大学紀要 第50号 全1冊

その他（別言語等） のタイトル	Memoirs of the Murooran Institute of Technology vol.50
journal or publication title	Memoirs of the Murooran Institute of Technology
volume	50
year	2000-11-30
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/2812">http://hdl.handle.net/10258/2812</a>

**MEMOIRS**  
of  
THE MURORAN  
INSTITUTE OF  
TECHNOLOGY

MURORAN INSTITU  
INSTITUTE OF TEC  
OF TECHNOLOGY  
TECHNOLOGY MU  
MURORAN INSTITU  
INSTITUTE OF TEC  
OF TECHNOLOGY  
TECHNOLOGY MU  
MURORAN INSTITU  
INSTITUTE OF TEC  
OF TECHNOLOGY  
TECHNOLOGY MU

室蘭工業大学  
**紀 要**

第50号 平成12年11月

MURORAN HOKKAIDO  
JAPAN





目 次

依頼論文

特 集：「産業におけるソフトコンピューティングに関する国際会議'99」発表論文選集

Training of the Freehand Curve Identifier FSCI Using a Fuzzy Neural Network .....	佐賀 聡人, 森 さおり, 山口 徹	1
Approximate Optimization Algorithms in Markov Random Field Model Based on Statistical-Mechanical Techniques.....	田中 和之, 前田 純治	9
Surrogate Analysis of Japanese Vowels.....	徳田 功, 宮野 尚哉, 合原 一幸	17
Intelligent Control Using Soft Computing.....	土手 康彦	23
Fault Diagnosis from Nonlinear Time Series Using Time Delay Neural Network .....	シャイク ムハマド シャフィク, アクメトフ ダウレン, 土手 康彦	31
Building Maps of Workspace for Autonomous Mobile Robots Using Self-Creating and Organizing Neural Network.....	堀 勝博, 橋本 幸男	39
Segmentation of Natural Images Using Fuzzy Region-Growing Algorithm .....	前田 純治, ソンニ ノヴィアント, 佐賀 聡人, 鈴木 幸司	47

高圧下における一次元白金錯体の絶縁体—金属—絶縁体転移と電子スペクトル .....	武田 圭生, 城谷 一民, 薬師 久弥	55
Isotope Dilution Mass Spectrometry of Nickel in Some Ultra Pure Reagents and Seawater .....	中村 精次, 朝日 秀定	61
人為源空中塵の屋久杉への影響.....	中村 精次, 朝日 秀定	65
逐次検定による逐次抜取検査と累積和管理図.....	渡辺 治夫, 小幡 英二, 向井田健一	71
レーザー照射による抗菌性酸化チタン材の簡易作成と海洋汚損生物付着防除への応用 .....	島津 昌光, 高橋 直斗, 神谷 裕幸, 田中 壽晃, 相馬 英明, 菊池慎太郎	83
憲法における戦争責任・「戦後責任」の法理—憲法試論として—.....	長 利一	91
フッサールの数理哲学 (3) —拡張不可能性：ヒルベルトとの比較—.....	二宮公太郎	101
環境税の理論と国際的動向.....	菅野 光公	111
Die Lyrik des älteren Goethe und der „Gandavyuha-Gedanke“ .....	大村 英繁, ベルント クラウゼン	125
Samskara in Goethes Faust.....	大村 英繁, ベルント クラウゼン	133
動詞類と名詞類の区別の普遍性について—ハワイ語における品詞分類への適用—.....	塩谷 亨	141
Mr Noon and “The Captain’s Doll” —Lawrence as a Comic Novelist—.....	寺田 昭夫	149
副動詞構文の対格形主語.....	橋本 邦彦	157
文書データベース検索支援のためのtf.idf法による要約文の自動抽出法の提案.....	蓮井 洋志	167
CORBAを用いた3階層クライアント/サーバ方式によるデータベースシステムについて .....	越野 克弥, 畑中 雅彦, 川原 徳代, 大岩 高雄	175



# Training of the Freehand Curve Identifier FSCI Using a Fuzzy Neural Network

Sato SAGA\*, Saori MORI\* and Toru YAMAGUCHI\*

(Accepted 31 August 2000)

This paper demonstrates effectiveness of training of Fuzzy Spline Curve Identifier (FSCI) using a fuzzy neural network. FSCI was proposed as a primitive curve identification system designed to establish a general-purpose freehand interface for computer aided drawing (CAD) systems. It succeeded in distinguishing a freehand drawing into seven kinds of primitive curves which are indispensable for use in CAD. The key was the introduction of a fuzzy reasoning which embodied a strategy to try to find the simplest primitive curves in drawing. A trainable version of FSCI was then proposed, by introducing a structured fuzzy neural network, in order that it would acquire learning ability to adapt itself to individual drawing manner. This paper sets up some experiment on FSCI and demonstrates the effectiveness of the training by evaluating curve class recognition rates. Furthermore, through some considerations on a concrete example of the training, it shows that the introduced fuzzy neural network is informative for us to analyze users' drawing manner and also the identification characteristics of FSCI.

Keywords: Freehand Drawing, Pattern Recognition, Human Interface, Fuzzy System, Neural Network

---

## 1 INTRODUCTION

Usual CAD entities are drawn as combinations of seven classes of primitive curves: line, circle, circular arc, ellipse, elliptic arc, closed free curve and open free curve. Accordingly, a general-purpose curve identifier should be required to have a capability to classify a freehand drawing into the seven kinds of primitive curves. However, the shape of a freehand drawing is not enough information to determine curve classes due to the inclusion relations among the primitive curve classes shown in Figure 1: line is a kind of circular arc, circular arc is a kind of elliptic arc, and so on.

The Fuzzy Spline Curve Identifier (FSCI)<sup>(1),(3)</sup> has overcome the difficulty by utilizing user's drawing manner as well as the curve shape. FSCI was designed to tend to classify roughly drawn curves as simple primitive curves, but carefully drawn curves as complex ones.

This implies that a user can intend to draw a rather simple curve by drawing roughly but a rather complex curve by drawing carefully. Experimental results in (4) and (5) showed that the strategy was effective for expert users. However, since the strategy was realized as a fuzzy reasoning with a fixed fuzzy rule set, new users needed quite a little drawing practice to master the characteristics of FSCI. A trainable FSCI was then proposed to adapt itself to each user's characteristics and reduce new user's burden in practice<sup>(6)</sup>. This was actualized by replacing the fixed fuzzy reasoning in the original FSCI with a common feedforward 3-layer neural network. The learning of neural network carried plasticity into FSCI to improve the curve class recognition rates for the experienced but non-expert users. However, it lost FSCI the explicit representation of the original strategy. In (7), a new version of trainable FSCI was finally proposed by introducing a structured fuzzy neural network into the original FSCI in order that it would acquire learning ability while it would

---

\* Department of Computer Science and Systems Engineering

preserve the original strategy; and its fundamental function was confirmed.

This paper sets up some experiment on FSCI proposed in (7) and demonstrates the effectiveness of the training by evaluating curve class recognition rates. Then, through some considerations on a concrete example of the training, it shows that the introduced fuzzy neural network is informative for us to analyze both users' drawing manner and the identification characteristics of FSCI.

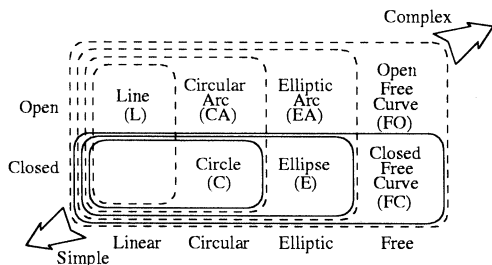


Fig. 1. Inclusion relations among primitive curve classes.

## 2 OUTLINE OF TRAINABLE FSCI

First of all, this section gives the outline of the trainable version of FSCI proposed in (7).

Given a freehand curve drawn by a user, FSCI performs a sort of fuzzy reasoning to try to identify it as one of the seven kinds of primitive curves, and outputs a fuzzy primitive curve. The fuzzy primitive curve is concretely composed of seven membership grades (which are  $\mu(L)$ ,  $\mu(C)$ ,  $\mu(CA)$ ,  $\mu(E)$ ,  $\mu(EA)$ ,  $\mu(FC)$  and  $\mu(FO)$ ) and seven sets of curve shape parameters which are associated with the seven primitive curve classes. It can be also regarded as seven different classes of primitive curve candidates ordered according to the grades.

The introduction of the fuzzy reasoning is essential for FSCI to tell the difference among the seven curve classes. The shape of a freehand curve is not enough information to determine the curve classes because of the inclusion relations shown in Figure 1: strictly speaking, all freehand curves should be categorized into open free curve as long as only the shape is taken into account.

In order to overcome the problem, FSCI utilizes the drawing manner as well as the curve shape. So far as the membership grades are concerned, the schematic process of FSCI is illustrated as shown in Figure 2. First, FSCI performs *fuzzy spline interpolation* and models a freehand curve as a *fuzzy spline curve* which involves vagueness (associated with roughness in drawing) in their positional information. Secondly, it performs *possibility evaluation*, where it estimates linearity, circularity, ellipticity and closedness<sup>\*2</sup> of the fuzzy spline curve taking account of the vagueness, and outputs four possibility values:  $p^{Linear}$ ,  $p^{Circular}$ ,  $p^{Elliptic}$  and  $p^{Closed}$ .

<sup>\*2</sup>We use a term "closedness" to express the degree to which the fuzzy spline curve is closed.

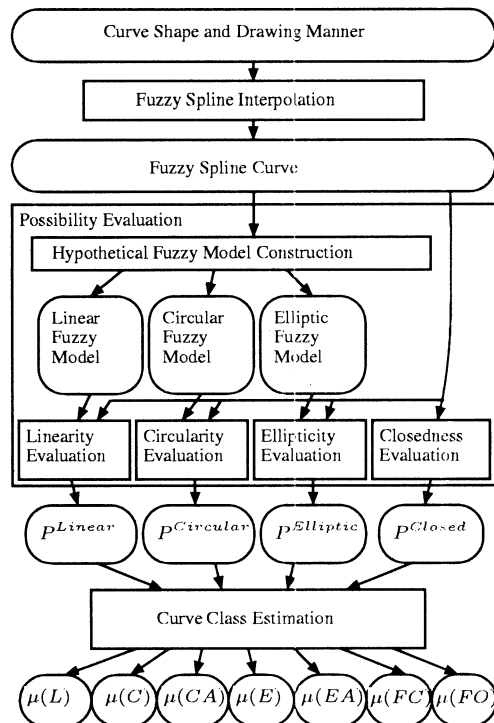


Fig. 2. Schematic process flow by FSCI.

Thirdly, it performs *curve class estimation*, a sort of fuzzy reasoning, where it tries to find the simplest possible primitive curves based on the four possibility values, and outputs seven membership grades:  $\mu(L)$ ,  $\mu(C)$ ,  $\mu(CA)$ ,  $\mu(E)$ ,  $\mu(EA)$ ,  $\mu(FC)$  and  $\mu(FO)$ .

Because even a simple primitive curve can be possibly found in the fuzzy spline curve when it is vague enough, a user is now given a way to let FSCI identify a simple primitive curve. This implies that a user can intend to draw a rather simple curve by drawing roughly but rather complex curve by drawing carefully (see Figure 3).

In the trainable version of FSCI, the curve class estimation process is realized as a fuzzy neural network so that it may be trained and, as a result, FSCI may adapt itself to user's drawing manner.

### 2.1 Fuzzy Spline Interpolation

A drawn curve is given to the system as a sequence of a certain number of sampled points  $p_k$  and time stamps  $t_k$ . However, the sampled points are not always considered to have accurate positional information exactly reflecting the intention of the drawer. In general, the more roughly a curve is drawn, the more vague its positional information will be. From this observation, each sampled point  $p_k$  is replaced by a conical fuzzy point model  $\tilde{p}_k = \langle p_k, r_{p_k} \rangle$  shown in Figure 4 (a), where the fuzziness  $r_{p_k}$  is generated according to the roughness in drawing. In FSCI, the value of  $r_{p_k}$  is simply set as  $r_{p_k} = Q \times a_{p_k}$ , where  $a_{p_k}$  is the acceleration at  $p_k$  and  $Q$  is a constant value. Then, the fuzzy spline curve that interpolates to the fuzzy points  $\tilde{p}_k$  is generated by the method proposed in (1) and (2). The fuzzy spline curve

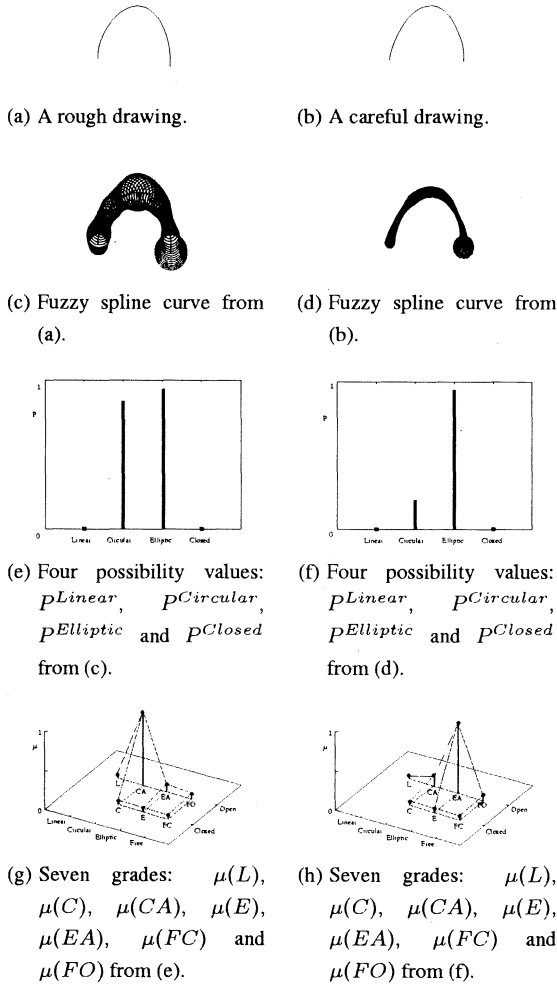


Fig. 3. Examples of identification by FSCI.

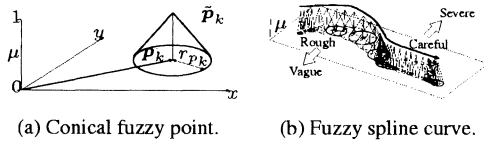


Fig. 4. Fuzzy spline interpolation.

is defined as an extension of an ordinary spline curve and illustrated as a locus of a fuzzy point which travels while changing its vagueness according to the roughness in drawing, as shown in Figure 4 (b). It is utilized as a fuzzy model of the drawing which may involves vagueness.

## 2.2 Possibility Evaluation<sup>(1),(3)</sup>

First, FSCI constructs three hypothetical fuzzy models: the linear fuzzy model, the circular fuzzy model and the elliptic fuzzy model. They are obtained as fuzzy Bézier curves<sup>\*3</sup> whose parameters are adjusted so that they fit the given fuzzy spline curve as well as possible.

\*3 A fuzzy Bézier curve is defined as a special case of the fuzzy spline curve.

Secondly, each hypothetical fuzzy model is compared with the original fuzzy spline curve and its validity is evaluated by a possibility value:  $p^{Linear}$ ,  $p^{Circular}$  or  $p^{Elliptic}$  based on the possibility measure<sup>(9)</sup>. In other words, the degrees of linearity, circularity and ellipticity of the drawn curve are evaluated by  $p^{Linear}$ ,  $p^{Circular}$  and  $p^{Elliptic}$  respectively. Thirdly, the accordance between the fuzzy end points of the fuzzy spline curve is checked and the closedness is evaluated by another possibility value  $p^{Closed}$ .

Now, it must be noted that three of the possibility values obtained in this process are always in a fixed order. Namely,  $p^{Linear}$  is always less than or equal to  $p^{Circular}$ , and  $p^{Circular}$  is always less than or equal to  $p^{Elliptic}$ , as shown in Figure 3 (e) and (f). This is because of the inclusion relations among the primitive curve classes.

## 2.3 Curve Class Estimation

Due to the fixed order among the three possibility values, it is inconclusive to determine the curve class by simply comparing them. In addition, the closedness should be taken into account for FSCI to distinguish between closed primitive curves and open primitive curves (for example, between circle and circular arc). Therefore, FSCI performs the curve class estimation process that is embodied as a fuzzy neural network shown in Figure 5; and calculates the seven membership grades:  $\mu(L)$ ,  $\mu(C)$ ,  $\mu(CA)$ ,  $\mu(E)$ ,  $\mu(EA)$ ,  $\mu(FC)$  and  $\mu(FO)$  from the four possibility values:  $p^{Linear}$ ,  $p^{Circular}$ ,  $p^{Elliptic}$  and  $p^{Closed}$ . In the fuzzy neural network, each min-unit performs min operation that outputs the minimum value. On the other hand, both  $T_s$ -units and  $F_s$ -units are sigmoid units each of which has a function  $S(x) = 1/(1 + e^{-x})$ , and the  $i^{\text{th}}$  sigmoid unit outputs  $S(w_i P_i + \theta_i)$ , where  $P_i (\in \{ p^{Linear}, p^{Circular}, p^{Elliptic}, p^{Closed} \})$  is the input to the unit,  $w_i$  is the weight factor to the input, and  $\theta_i$  is the bias term.

Let us see how this fuzzy neural network plays a role of fuzzy reasoning that tries to find the simplest possible curve class. Let us set  $w_{T_s} (= 6.6)$  and  $\theta_{T_s} (= -3.3)$  to  $w_i$  and  $\theta_i$  respectively for all  $T_s$ -units as shown in Figure 6 (a); and set  $w_{F_s} (= -6.6)$  and  $\theta_{F_s} (= 3.3)$ , for all  $F_s$ -units as shown in Figure 6 (b). Then, with this setting, each  $T_s$ -unit acts as a fuzzy proposition "P is  $T_s$ ," where  $T_s$  is *fuzzy true* shown in Figure 6 (c); and each  $F_s$ -unit acts as a fuzzy proposition "P is  $F_s$ ," where  $F_s$  is *fuzzy false* shown in Figure 6 (d). Considering that the min-unit can be regarded as a logical operator *and*, the fuzzy neural network can be translated into the fuzzy rule set which consists of the seven expressions shown in Figure 7, where  $\wedge$  denotes the logical multiplication or the min-operator and the fuzzy truth values shown as membership functions are  $T_s$  or  $F_s$  respectively. Because the fuzzy rules regarding rather complex curve classes are severer than the ones regarding rather simple curve classes, it is now understood that the the fuzzy neural network embodies the fuzzy reasoning that tries to find



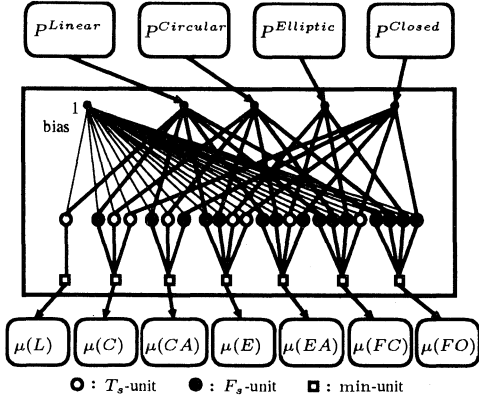


Fig. 5. Curve class estimation by a fuzzy neural network.

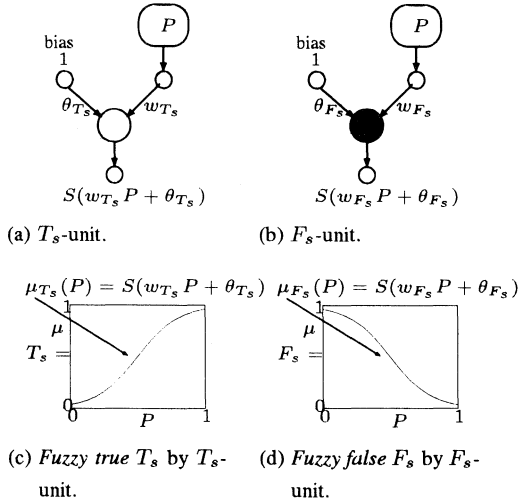


Fig. 6. Linguistic truth value by a sigmoid unit.

the simplest possible curve class.

The structure of the fuzzy neural network lets FSCI preserve the basic strategy: “Try to find the simplest possible primitive curves.” On the other hand, the learning ability of the neural network makes FSCI trainable, as we discuss in the following section.

### 3 TRAINING OF FSCI

Given drawings and drawer’s intentions about curve classes, the parameters  $w_i$  and  $\theta_i$  of the fuzzy neural network presented in Figure 5 are adjusted so as to adapt FSCI’s identification results to the drawer’s intentions as much as possible. The inputs to the neural network:  $pLinear$ ,  $pCircular$ ,  $pElliptic$  and  $pClosed$  are calculated from each of the given drawings by the possibility evaluation process following the fuzzy spline interpolation process shown in Figure 2. On the other hand, the desired outputs from the neural network:  $\mu(L)$ ,  $\mu(C)$ ,  $\mu(CA)$ ,  $\mu(E)$ ,  $\mu(EA)$ ,  $\mu(FC)$  and  $\mu(FO)$  are directly set based on the drawer’s intention. (For example, when the drawer’s intention is  $CA$ , we set 1 to  $\mu(CA)$  and 0 to all other grades.) Therefore, the commonly used back-propagation learning algorithm can be simply applied to

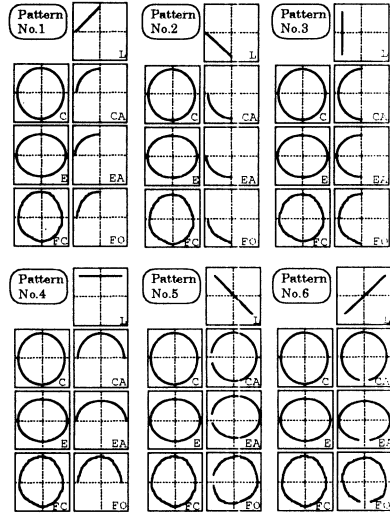


Fig. 8. Presented patterns.

train the network.

## 4 EXPERIMENTAL RESULTS OF TRAINING

This section demonstrates the effectiveness of the training of FSCI by evaluating curve class recognition rates, and then examines a concrete example of training in order to show how the fuzzy rule set is adjusted.

### 4.1 Experimental Conditions

For the experiment, we gathered 840 drawing samples from each of six different users (named A, B, C, D, E and F). Each user was presented with the six kinds of patterns (each of which have seven curve shapes and their corresponding curve classes) shown in Figure 8 in turn; and requested to draw primitive curves similar to the ones in the patterns intending to let FSCI recognize the indicated curve classes. A set of presentation consisted of the six patterns of small size and the ones of large size (that is 12 patterns in total) and ten sets were presented to each user. Out of the ten sets of presentation (that is 840 drawing samples) to each user, seven sets (that is 588 drawing samples) were used for training and the other three sets (that is 252 drawing samples) were used for testing. Because the fuzzy neural network has the explicit representation as a fuzzy rule set, all the training could start with the meaningful initial setting shown in Figure 7.

### 4.2 Improvement of Curve Class Recognition Rates by Training

Table 1 shows the curve class recognition rates by FSCI with the initial fuzzy rule set in Figure 7 and ones by FSCI with fuzzy rule sets obtained after the training. In the table, the column labeled “1<sup>st</sup> Candidate” shows the recognition rates regarding the curve classes given the highest grades; “1<sup>st</sup>-2<sup>nd</sup> Candidates,” the first and second highest grades; and “1<sup>st</sup>-3<sup>rd</sup> Candidates,” the first through third highest grades. Although we evaluated the curve class recognition rates using the testing samples

$$\begin{aligned}
 \mu(L) &= (P^{Linear} \text{ is } \square) \\
 \mu(C) &= (P^{Linear} \text{ is } \square) \wedge (P^{Circular} \text{ is } \square) \wedge (P^{Closed} \text{ is } \square) \\
 \mu(CA) &= (P^{Linear} \text{ is } \square) \wedge (P^{Circular} \text{ is } \square) \wedge (P^{Closed} \text{ is } \square) \\
 \mu(E) &= (P^{Linear} \text{ is } \square) \wedge (P^{Circular} \text{ is } \square) \wedge (P^{Elliptic} \text{ is } \square) \wedge (P^{Closed} \text{ is } \square) \\
 \mu(EA) &= (P^{Linear} \text{ is } \square) \wedge (P^{Circular} \text{ is } \square) \wedge (P^{Elliptic} \text{ is } \square) \wedge (P^{Closed} \text{ is } \square) \\
 \mu(FC) &= (P^{Linear} \text{ is } \square) \wedge (P^{Circular} \text{ is } \square) \wedge (P^{Elliptic} \text{ is } \square) \wedge (P^{Closed} \text{ is } \square) \\
 \mu(FO) &= (P^{Linear} \text{ is } \square) \wedge (P^{Circular} \text{ is } \square) \wedge (P^{Elliptic} \text{ is } \square) \wedge (P^{Closed} \text{ is } \square)
 \end{aligned}$$

Fig. 7. Initial fuzzy rule set.

Table 1. Curve class recognition rates.

User	Fuzzy Rule Set	Recognition Rates(%)		
		1 <sup>st</sup> Candidate	1 <sup>st</sup> 2 <sup>nd</sup> Candidates	1 <sup>st</sup> 3 <sup>rd</sup> Candidates
A	Initial	78.869	91.369	94.345
	Trained	80.932	92.560	95.238
B	Initial	78.869	92.262	96.429
	Trained	79.762	92.857	96.726
C	Initial	62.500	80.060	88.095
	Trained	68.155	86.012	92.857
D	Initial	76.786	94.048	97.917
	Trained	83.613	95.536	99.405
E	Initial	91.071	98.512	100.000
	Trained	93.451	99.405	99.702
F	Initial	70.833	87.500	94.048
	Trained	72.024	91.071	96.429

(without using the samples used for training), the results, from all of the six users, demonstrates the improvement of the curve class recognition rates after the training.

#### 4.3 Considerations on a Concrete Example of Training

Let us look at the case of the user D in detail. Figure 9 shows the fuzzy rule set obtained after the training for the user D. Table 2 shows the curve class recognition map by the trained fuzzy rule set, comparing it with the one by the initial fuzzy rule set.

Now, Figure 9 tells us how the fuzzy rule set was adjusted so that it would adapt FSCI to the drawing manner of the user D. When we pay attention to the propositions with  $P^{Closed}$  for free curves (that is  $FC$  and  $FO$ ), the *fuzzy true* got milder than the initial *fuzzy true*  $T_s$  while the *fuzzy false* got severer than the initial *fuzzy false*  $F_s$ . This implies that FSCI was trained so that the user D would easily close free curves. Indeed, it was difficult for the user D to get  $FC$  when  $FC$  was his intention as shown in Table 2 (a). However, it was improved after the training as shown in Table 2 (b). The drawing samples labeled (a) or (b) in Figure 10 are concrete examples in the case.

On the other hand, when we regard the propositions with  $P^{Circular}$  in Figure 9, we find that the *fuzzy true*'s got severer but the *fuzzy false*'s got milder after the training. This means that the fuzzy rule set was adjusted to get severer to  $C$  and  $CA$ ; and, as a result, it came to tend to recognize  $E$  or  $EA$  rather than  $C$  or  $CA$ . This tendency obtained after the training considerably improved the curve class recognition rates for  $E$  and  $EA$  as shown in Table 2, although the tendency slightly disimproved the ones for  $C$ . The drawing samples labeled (c) or (d)

Table 2. Curve class recognition maps for user D.

(a) By initial fuzzy rule set. (b) By trained fuzzy rule set.

Intentional Curve Class		Recognized Results (Number of Drawings)				
		L	CA	EA	FO	
L		48	0	0	0	
			C	E	FC	
			0	0	0	
C		0	0	0	0	
			C	E	FC	
			46	2	0	
CA		5	34	1	1	
			C	E	FC	
			6	1	0	
EA		0	0	0	0	
			C	E	FC	
			15	29	4	
FO		0	13	24	7	
			C	E	FC	
			1	3	0	
FC		0	0	0	8	
			C	E	FC	
			4	3	33	
FO		0	3	1	44	
			C	E	FC	
			0	0	0	

in Figure 10 are the cases improved by this effect; (e) or (f), the cases disimproved.

It will be noticed from these examples that the curve class estimation process realized as the fuzzy neural network tells us what was difficult for a specific user to deal with and how the fuzzy rules were adjusted to relieve the difficulties; and this will not only help a user to change one's drawing manner, but will also give us hints for further improvement in the algorithms of FSCI.

## 5 CONCLUSIONS

This paper gave an outline of a trainable version of FSCI, in which a fuzzy neural network was embedded as the curve class estimation process. Then, experimental results, from six different users, demonstrated that the training of fuzzy neural network improved FSCI in terms of curve class recognition rates. Furthermore, through some considerations on a concrete example of the training, we showed that the fuzzy neural network (which has an explicit expression as a fuzzy rule set) is informative for us to analyze both users' drawing manner and the identification characteristics of FSCI. This is expected

$$\begin{aligned} \mu(L) &= (P^{Linear} \text{ is } \square) \\ \mu(C) &= (P^{Linear} \text{ is } \square) \wedge (P^{Circular} \text{ is } \square) \wedge (P^{Closed} \text{ is } \square) \\ \mu(CA) &= (P^{Linear} \text{ is } \square) \wedge (P^{Circular} \text{ is } \square) \wedge (P^{Closed} \text{ is } \square) \\ \mu(E) &= (P^{Linear} \text{ is } \square) \wedge (P^{Circular} \text{ is } \square) \wedge (P^{Elliptic} \text{ is } \square) \wedge (P^{Closed} \text{ is } \square) \\ \mu(EA) &= (P^{Linear} \text{ is } \square) \wedge (P^{Circular} \text{ is } \square) \wedge (P^{Elliptic} \text{ is } \square) \wedge (P^{Closed} \text{ is } \square) \\ \mu(FC) &= (P^{Linear} \text{ is } \square) \wedge (P^{Circular} \text{ is } \square) \wedge (P^{Elliptic} \text{ is } \square) \wedge (P^{Closed} \text{ is } \square) \\ \mu(FO) &= (P^{Linear} \text{ is } \square) \wedge (P^{Circular} \text{ is } \square) \wedge (P^{Elliptic} \text{ is } \square) \wedge (P^{Closed} \text{ is } \square) \end{aligned}$$

Fig. 9. Trained fuzzy rule set for the user D.

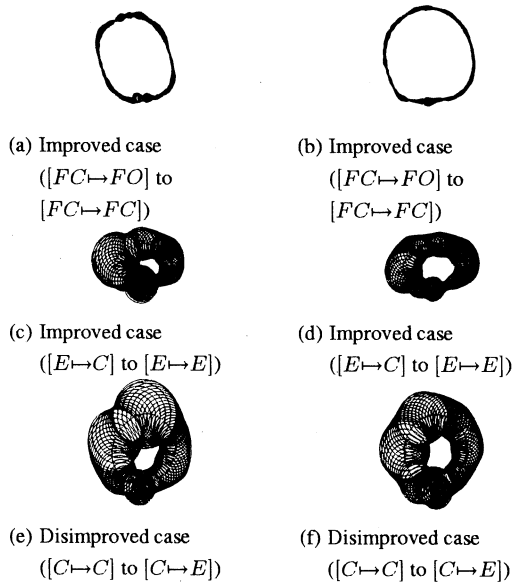


Fig. 10. Drawing samples shown as fuzzy spline curves.

to be helpful for further improvement in FSCI.

REFERENCES

(1) Saga, S. and Makino, H., Fuzzy Spline Interpolation and Its Application to On-Line Freehand Curve Identifica-

tion, Proc. of 2<sup>nd</sup> IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems, San Francisco, USA (1993), pp. 1183-1190.

(2) Saga, S., Makino, H. and Sasaki, J., A Method for Modeling Freehand Curves — the Fuzzy Spline Interpolation —, IEICE Trans. (in Japanese), Vol.J77-D-II, 8 (1994), pp. 1610-1619.

(3) Saga, S., Makino, H. and Sasaki, J., The Fuzzy Spline Curve Identifier, IEICE Trans. (in Japanese), Vol.J77-D-II, 8 (1994), pp. 1620-1629.

(4) Saga, S. and Sasaki, J., A Freehand CAD Drawing Interface Based on the Fuzzy Spline Curve Identifier, IPSJ Trans. (in Japanese), Vol.36, 2 (1995), pp. 338-350.

(5) Saga, S., A Freehand Interface for Computer Aided Drawing Systems Based on the Fuzzy Spline Curve Identifier, Proc. of 1995 IEEE Int. Conf. on Systems, Man and Cybernetics, Vancouver, Canada (1995), pp. 2754-2759.

(6) Saga, S. and Seino, N., Trainable Fuzzy Spline Curve Identifier Using a Neural Network, Proc. of International Workshop on Soft Computing in Industry '96, Muroran, Japan (1996), pp. 41-46.

(7) Saga, S. and Mori, S., Trainable Freehand Curve Identifier with a Fuzzy Neural Network, Proc. of 5<sup>th</sup> European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing, Aachen, Germany (1997), pp. 127-131.

(8) Farin, G., Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design: A Practical Guide, Academic Press, New York (1998).

(9) Zadeh, L. A., Fuzzy Sets As a Basis for a Theory of Possibility, Fuzzy Sets and Systems, Vol.1, 1 (1978), pp. 3-28.



ファジィニューラルネットワークを用いた手書き曲線同定法 FSCI の学習最適化

佐賀 聡人\*, 森 さおり\*, 山口 徹\*

概要

本論文は、ファジィニューラルネットワークを用いたファジィスプライン曲線同定法 (FSCI) 学習最適化法の効果を実証的に示す。FSCI は CAD システムの汎用的手書きインタフェースを確立すること目的とするプリミティブ曲線同定システムとして提案された。これは、手書き曲線を、CAD に不可欠な 7 種類のプリミティブ曲線のいずれかとして識別し分類することを可能にした。その鍵となったのは描画曲線の中から最も単純なプリミティブ曲線を見出そうとする戦略を実現するファジィ推論の導入であった。その後、FSCI にユーザ個人毎の描画動作の違いに適応する学習能力を付加することを目的として、構造化ファジィニューラルネットワークを導入した最適化可能な FSCI が提案された。本論文ではこの FSCI に対する実験を行い、その曲線クラスの認識率を評価することにより学習最適化の効果を実証的に示す。さらに、学習最適化の具体的な結果例についての考察を通して、ファジィニューラルネットワークの導入がユーザの描画動作の解析はもとより FSCI の同定特性を解析するためにも有益な情報をもたらすことを示す。

キーワード：手書き描画、パターン認識、ヒューマンインタフェース、ファジィシステム、ニューラルネットワーク

\* 情報工学科

---



# Approximate Optimization Algorithms in Markov Random Field Model Based on Statistical-Mechanical Techniques

Kazuyuki TANAKA\* and Junji MAEDA\*\*

(Accepted 31 August 2000)

An image restoration can be often formulated as an energy minimization problem. When an energy function is expressed by using the hamiltonian of a classical spin system only with finite range interactions, the probabilistic model, which is described in the form of Gibbs distribution for the energy function, can be regarded as a Markov random field (MRF) model. Some approximate optimization algorithms for the energy minimization problem were proposed in the standpoint of statistical-mechanics. In this paper, the approximate optimization algorithms are summarized and are applied to the image restoration for natural image.

Keywords: Soft Computing, Probabilistic Computing, Knowledge Information Processing, Statistical Method, Bayes Statistics, Gibbs Distribution, Markov Random Fields, Mean-Field Theory, Image Restoration

---

## 1 INTRODUCTION

Recently, many authors have shown an interest in image restoration using the Markov random field (MRF) model, in which the configuration of a lattice site is dependent only on the configurations of the nearest neighbours<sup>(1),(2),(3)</sup>. The MRF model, can be regarded as one of classical spin systems with finite range interactions and non-uniform external fields on a finite square lattice. The MRF model can be regarded as a classical spin system in statistical mechanics. The authors have proposed a new method for systematically constructing the energy function<sup>(4)</sup>, which is based on constrained optimization. In the image restoration, the constraints are introduced as *a priori* information on the original image. By introducing a Lagrange multiplier for each of the constraints, the image restoration is reduced to an energy minimization problem<sup>(4),(5),(6)</sup>. In Ref. (7), we described a classical spin system, which is applicable to

gray-level image restoration.

In the search for an optimal solution of MRF model, many authors applied the iterated conditional modes (ICM) algorithm<sup>(8)</sup>. Though the ICM algorithm is simple algorithm and can erase noise when the noise is in an isolated site, it is difficult to avoid the local minimum and then it cannot erase noise when two or more successive sites are affected by the noise. to the search of the minimum-energy configuration. In order to avoid the local minimum, the cluster type Monte Carlo simulation<sup>(9)</sup>, and the cluster type mean field approximation<sup>(10)</sup> are also applied to the optimization of the MRF model. In the statistical mechanics, we have some important fluctuation effects to avoid the local minimum. One of them is thermal effect. In order to adopt the thermal fluctuation effect as annealing procedure, we introduce a temperature in the form of Gibbs distribution. Geiger and Girosi<sup>(11)</sup>, and Zhang<sup>(12),(13)</sup> proposed a deterministic algorithm, which is based on the mean-field approximation. On the other hand, we have general methodology of construction of high-level effective-field approximation in statistical mechanics, which is called cluster variation method

---

\* Department of Computer and Mathematical Sciences, Graduate School of Information Sciences, Tohoku University

\*\*Department of Computer Science and Systems Engineering



(CVM)<sup>(14)</sup>. We gave a simple example of its application to the MRF model<sup>(15)</sup>. Moreover, in the standpoint of the CVM, we proposed the methodology in the extension of the ICM to the cluster type algorithm, which is called the cluster zero-temperature process (CZTP) and is obtained as the zero-temperature limit in the optimization algorithm of the CVM<sup>(16)</sup>.

In this paper, we clarify the mathematical structure of the ICM, the CZTP and MFA algorithms and compare them with each others in some numerical experiments for natural images. In Sec. 2, we explain the energy function and the probability distribution constructed by means of the mathematical framework of Ref.(7). In Sec. 3, we summarize some approximate optimization algorithms for the energy function. In Secs. 4 and 5, we give some numerical experiments and some concluding remarks, respectively.

## 2 ENERGY FUNCTION OF IMAGE RESTORATION

In this section, we give the energy function of image restoration for natural images with the aid of the mathematical framework in Ref.(7).

We consider a digital image with  $q$  grades on a  $M \times N$  finite square lattice

$$\mathbf{L} \equiv \left\{ (i, j) \mid i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, N \right\},$$

with the periodic boundary condition. We express the configurations of an original and a degraded images by  $\mathbf{x} \equiv \{x_{i,j} \mid (i, j) \in \mathbf{L}\}$  and  $\mathbf{y} \equiv \{y_{i,j} \mid (i, j) \in \mathbf{L}\}$ , respectively. The variable  $x_{i,j}$  on a pixel  $(i, j)$  takes a value from  $\Lambda \equiv \{0, 1, 2, \dots, q-1\}$ . For the degradation process, we assume that a degraded image  $\mathbf{y}$  is obtained from the original image  $\mathbf{x}$  by changing the state of each pixel to another state by the same probability  $p$ , independently of the other pixel. The conditional probability for a degraded image  $\mathbf{y}$  when the original image is  $\mathbf{x}$ ,  $P_{y|x}(\mathbf{y}|\mathbf{x})$ , is given by

$$\begin{aligned} P_{y|x}(\mathbf{y}|\mathbf{x}) & \equiv \prod_{(i,j) \in \mathbf{L}} \left( p^{1-\delta(x_{i,j}, y_{i,j})} (1-qp+p)^{\delta(x_{i,j}, y_{i,j})} \right) \\ & = \frac{\exp\left(-\frac{1}{T_p} d(\mathbf{x}, \mathbf{y})\right)}{\sum_{\mathbf{y} \in \Lambda^{MN}} \exp\left(-\frac{1}{T_p} d(\mathbf{x}, \mathbf{y})\right)}, \dots \dots \dots (1) \end{aligned}$$

where

$$d(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \equiv \sum_{(i,j) \in \mathbf{L}} \left( 1 - \delta(x_{i,j}, y_{i,j}) \right), \dots (2)$$

and

$$T_p \equiv \frac{1}{\ln\left(\frac{1-qp+p}{p}\right)}. \dots \dots \dots (3)$$

In the present paper, we treat only the case in which  $T_p$  is positive such that  $p < 1/q$ .

In Ref.(7), it is assumed that we know the following quantities for the true original image  $\tilde{\mathbf{x}}$ :

$$\sigma_2(\tilde{\mathbf{x}}) \equiv \sum_{(i,j) \in \mathbf{L}} \left( 2 - \delta(\tilde{x}_{i,j}, \tilde{x}_{i+1,j}) - \delta(\tilde{x}_{i,j}, \tilde{x}_{i,j+1}) \right), \dots (4)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{2,n}(\tilde{\mathbf{x}}) & \equiv \sum_{(i,j) \in \mathbf{L}} \left( \delta(|\tilde{x}_{i,j} - \tilde{x}_{i+1,j}|, n) \right. \\ & \quad \left. + \delta(|\tilde{x}_{i,j} - \tilde{x}_{i,j+1}|, n) \right), \\ & \quad (n = 1, 2, \dots, k-1). \dots (5) \end{aligned}$$

The image restoration in natural images is formulated as the following conditional optimization problem:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{x}} & = \arg \min_{\mathbf{x} \in \Lambda^{MN}} \left\{ d(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \mid \sigma_2(\mathbf{x}) = \sigma_2(\tilde{\mathbf{x}}), \right. \\ & \quad \left. \sigma_{2,n}(\mathbf{x}) = \sigma_{2,n}(\tilde{\mathbf{x}}) \ (n = 1, 2, \dots, k-1) \right\} \\ & \quad \dots \dots \dots (6) \end{aligned}$$

In order to ensure the constrained conditions  $\sigma_2(\mathbf{x}) = \sigma_2(\tilde{\mathbf{x}})$  and  $\sigma_{2,1}(\mathbf{x}) = \sigma_{2,1}(\tilde{\mathbf{x}})$ , we introduce the Lagrange multipliers  $J_k$  and  $J_k - J_n$  ( $n = 1, 2, \dots, K-1$ ). The conditional optimization (6) can be reduced to the following energy minimization problem:

$$\mathbf{x}(J_1, J_2, \dots, J_k) = \arg \min_{\mathbf{x} \in \Lambda^{MN}} H(\mathbf{x}), \dots \dots \dots (7)$$

where

$$\begin{aligned} H(\mathbf{x}) & \equiv d(\mathbf{x}, \mathbf{y}) \\ & \quad + J_k \sigma_2(\mathbf{x}) + \sum_{n=1}^{k-1} (J_n - J_k) \sigma_{2,n}(\mathbf{x}). \\ & \quad \dots \dots \dots (8) \end{aligned}$$

Here the notation  $\arg \min_x f(x)$  means any minimizer of a function  $f(x)$ . The optimal parameters  $\hat{J}_n$  ( $n = 1, 2, \dots, k$ ) should be determined so as to satisfy the following constraints:

$$\sigma_2(\mathbf{x}(\hat{J}_1, \hat{J}_2, \dots, \hat{J}_k)) = \sigma_2(\tilde{\mathbf{x}}), \dots \dots \dots (9)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{2,n}(\mathbf{x}(\hat{J}_1, \hat{J}_2, \dots, \hat{J}_k)) & = \sigma_{2,n}(\tilde{\mathbf{x}}), \\ & \quad (n = 1, 2, \dots, k-1). \dots (10) \end{aligned}$$

The restored image obtained by using Eqs. (7)-(10) is denoted by  $\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{x}(\hat{J}_1, \hat{J}_2, \dots, \hat{J}_k)$ . The energy minimization problem (7) is equivalent to the following probability maximization problem:

$$\mathbf{x}(J_1, J_2, \dots, J_k) = \arg \min_{\mathbf{x} \in \Lambda^{MN}} H(\mathbf{x}), \dots \dots \dots (11)$$

where

$$\rho(\mathbf{x}) \equiv \frac{\exp\left(-\frac{1}{T}H(\mathbf{x})\right)}{\sum_{\mathbf{x} \in \Lambda^{MN}} \exp\left(-\frac{1}{T}H(\mathbf{x})\right)},$$

( $T > 0$ ),  $\dots\dots\dots$  (12)

and  $T$  is a temperature. The probabilistic model described by the probability distribution (12) with Eq.(8) can be regarded as the MRF model.

### 3 APPROXIMATE OPTIMIZATION ALGORITHMS

In this section, we give three approximate optimization algorithms for the energy minimization problem (7), such that ICM<sup>(8)</sup>, CZTP<sup>(16)</sup> and MFA<sup>(11)</sup>. Both the ICM and the CZTP are iterative algorithms at zero temperature and the MFA is one at a finite temperature. The approximate minimum-energy configuration obtained by means of an annealing procedure is closer to the true minimum-energy configuration than by means of the ICM.

First we explain the iterative algorithm at zero temperature. The optimization problem (7) can be reduced to the following iterative equation:

$$\begin{aligned} & x_{i,j}(J_1, J_2, \dots, J_k) \\ &= \arg \min_{x_{i,j} \in \Lambda} H\left(x_{i,j} \mid x_{i',j'} = x_{i',j'}(J_1, J_2, \dots, J_k), \right. \\ & \quad \left. (i', j') \in \mathbf{L} \setminus (i, j)\right), \dots\dots\dots (13) \end{aligned}$$

From the iterative equation, we can construct the ICM algorithm<sup>(8)</sup>, which is the simplest algorithms for the optimization (7). Morita and the present author extend it to the cluster version ICM algorithm, which is constructed from the following iterative equation:

$$\begin{aligned} & \mathbf{x}_{\mathbf{c}}(J_1, J_2, \dots, J_k) \\ &= \arg \min_{\mathbf{x}_{\mathbf{c}} \in \Lambda^{|\mathbf{c}|}} H\left(\mathbf{x}_{\mathbf{c}} \mid x_{i',j'} = x_{i',j'}(J_1, J_2, \dots, J_k), \right. \\ & \quad \left. (i', j') \in \mathbf{L} \setminus \mathbf{c}\right), \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

where

$$\mathbf{x}_{\mathbf{c}} \equiv \left\{ x_{i,j} \mid (i, j) \in \mathbf{c} \right\},$$

$$\mathbf{x}_{\mathbf{c}}(J_1, J_2, \dots, J_k) \equiv \left\{ x_{i,j}(J_1, J_2, \dots, J_k) \mid (i, j) \in \mathbf{c} \right\}.$$

Morita and the present author called it CZTP<sup>(16)</sup>. Here  $\mathbf{c}$  is a set of pixels, and the square CZTP can be constructed by setting  $\mathbf{c} = \{(i, j), (i+1, j), (i+1, j+1), (i, j+1)\}$ .

Second, we explain the MFA algorithm which is the most familiar deterministic annealing algorithm for the optimization (7). The annealing algorithm is able to avoid local minima. In order to adopt the MFA algorithm for the search of minimum-energy configuration  $\mathbf{x}(J_1, J_2, \dots, J_k)$ , we introduce the one-body marginal probability distributions:

$$\rho_{i,j}(n) \equiv \sum_{\mathbf{x} \in \Lambda^{MN}} \rho(\mathbf{x}) \delta(x_{i,j}, n),$$

( $n \in \Lambda, (i, j) \in \mathbf{L}$ ).  $\dots\dots\dots$  (15)

In the mean-field approximation, the probability distribution  $\rho(\mathbf{x})$  is approximately expressed as

$$\rho(\mathbf{x}) \simeq \prod_{(i,j) \in \mathbf{L}} \rho_{i,j}(x_{i,j}). \dots\dots\dots (16)$$

By substituting Eq.(16) into the free energy

$$\mathcal{F}[\rho] \equiv \sum_{\mathbf{x}} \rho(\mathbf{x}) \left( H(\mathbf{x}) + T \ln(\rho(\mathbf{x})) \right),$$

$\dots\dots\dots$  (17)

and by taking the first variation of the free energy  $\mathcal{F}[\{\rho_{i,j}\}]$  with respect to  $\rho_{i,j}(n)$ , the deterministic mean-field equations for the set of one-body marginal distribution functions

$$\left\{ \rho_{i,j}(n) \mid (i, j) \in \mathbf{L}, n \in \Lambda \right\}$$

are obtained as follows [3]:

$$x_{i,j}(J_1, J_2, \dots, J_k) = \arg \max_{n \in \Lambda} \rho_{i,j}(n), \dots\dots (18)$$

where

$$\rho_{i,j}(n) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{T}H_{i,j}(n)\right)}{\sum_{m \in \Lambda} \exp\left(-\frac{1}{T}H_{i,j}(m)\right)},$$

$\dots\dots\dots$  (19)

$$H_{i,j}(n) = -\delta(n, y_{i,j})$$

$$\begin{aligned} & + \sum_{(i',j') \in \mathbf{c}_{i,j}} \sum_{m=1}^{k-1} J_m (\rho_{i',j'}(n+m) + \rho_{i',j'}(n-m)) \\ & + J_k \sum_{(i',j') \in \mathbf{c}_{i,j}} \sum_{m=k}^{q-1} (\rho_{i',j'}(n+m) + \rho_{i',j'}(n-m)), \end{aligned}$$

$\dots\dots\dots$  (20)

$$\mathbf{c}_{i,j} = \left\{ (i+1, j), (i-1, j), (i, j+1), (i, j-1) \right\}.$$

$\dots\dots\dots$  (21)

By solving Eqs.(18)-(21) at a sufficiently small positive value of  $T$  by using the annealing procedure, we obtain the approximate optimal solution of Eq.(7).

### 4 NUMERICAL EXPERIMENTS

In this section, we give some numerical experiments for the original image  $\tilde{\mathbf{x}} = \{\tilde{x}_{i,j}\}$  given in Fig.1. The degradation process is subject to the probability given in Eq.(1). Here, we set  $(q-1)p = 0.1, 0.3$  and  $0.5$  where  $q = 8$ . The degraded images  $\mathbf{y}$  obtained from the original image  $\tilde{\mathbf{x}}$  in Fig.1 are given in Fig.2. The quantities

$$\bar{\sigma}_{2,n}(\tilde{\mathbf{x}}) \equiv \frac{1}{2MN} \sigma_{2,n}(\tilde{\mathbf{x}}) \quad (n = 0, 1, \dots, q-1),$$

are shown in Table 1 where  $\sigma_{2,0}(\tilde{\mathbf{x}}) \equiv 1 - \sigma_2(\tilde{\mathbf{x}})$ . We see that the quantities  $\sigma_{2,0}(\tilde{\mathbf{x}})$  and  $\sigma_{2,1}(\tilde{\mathbf{x}})$  are especially important in images with 8 grades. In the energy function (8), we set  $k = 2$ . In Table 2, we give the values of optimal parameters  $\hat{J}_1$  and  $\hat{J}_2$ , and of quantities

$$\bar{d}(\hat{\mathbf{x}}, \tilde{\mathbf{x}}) \equiv \frac{1}{MN} d(\hat{\mathbf{x}}, \tilde{\mathbf{x}}),$$

$$\bar{\sigma}_2(\hat{\mathbf{x}}) \equiv \frac{1}{2MN} \sigma_2(\hat{\mathbf{x}}),$$

and

$$\bar{\sigma}_{2,1}(\hat{\mathbf{x}}) \equiv \frac{1}{2MN} \sigma_{2,1}(\hat{\mathbf{x}}),$$

in the restored image  $\hat{\mathbf{x}}$ , which is obtained by using the ICM, the CZTP and the MFA. The obtained restored images  $\hat{\mathbf{x}}$  are shown in Figs.3, 4 and 5. In the CZTP, we set

$$\mathbf{c} \equiv \left\{ (i, j), (i+1, j), (i+1, j+1), (i, j+1) \right\}.$$

## 5 CONCLUDING REMARKS

In this paper, we summarize some approximate optimization algorithms based on the statistical-mechanical techniques for the energy minimization problem formulated for the image restoration in Ref.(7). In some numerical experiments, we show that the algorithms are applicable to the image restoration of natural image. We remark that the ICM algorithm can erase when the noise is in an isolated pixel, but it cannot erase when two or more successive pixels are affected by the noise. On the other hand, the MFA and the CZTP algorithms can deal with this problem. However the MFA need a large memory. If we apply it to the image restoration of gray-level image with 256 grades, we have to treat a  $256 \times 256 \times 256$  dimensions for the one-body marginal probability distribution  $\rho_{i,j}(n)$ . The ICM and CZTP algorithms do not need so many memory because most of the data stored are in integer. The present author are still studying the problem of finding a computer algorithm giving the same results in much shorter time and in much smaller memory.

## ACKNOWLEDGEMENT

The author is thankful to Professor T. Morita of Department of Computer Science, Nihon University in Japan, and Professor T. Horiguchi of Graduate School of Information Sciences, Tohoku University in Japan for some valuable advises on the manuscript. This work was partly supported by the Grants-In-Aid (No. 10480079 and No. 10780159) for Scientific Research from the Ministry of Education, Science, Sports and Culture of Japan. The author was a visiting researcher, visiting Professor D. M. Titterton of the Department of Statistics, University of Glasgow in UK, as an abroad-researcher of the Ministry of Education, Science, Sports and Culture of Japan, during the period from March, 1997 to February, 1998. The author is grateful to Professor D. M. Titterton, hospitality and some comments on this work.

## REFERENCES

- (1) R. Chellappa and A. Jain (eds), *Markov Random Fields: Theory and Applications*, Academic Press, New York, 1993.
- (2) H. Derin, H. Elliott, R. Cristi and D. Geman, "Bayes smoothing algorithms for segmentation of binary images modeled by Markov random fields," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol.6, pp.707-720, 1984.
- (3) K. Tanaka, "Statistical-mechanical method in image restoration," *BUTSURI*, vol.54, no.1, pp.25-33, Jan. 1999 (in Japanese).
- (4) T. Morita and K. Tanaka, "Determination of parameters in an image recovery of statistical-mechanical means," *Physica A*, vol.223, pp.244-262, 1996.
- (5) K. Tanaka, M. Ichioka and T. Morita, "Statistical-mechanical iterative method in image restoration," *Trans. Inst. Electron. Inf. Commun. Eng. A*, vol.J80-A, pp.280-286, 1997 (in Japanese).
- (6) K. Tanaka, M. Ichioka and T. Morita, "Statistical-mechanical algorithm in MRF model based on variational principle," *Proceedings of 13th International Conference on Pattern Recognition*, vol.II, Track B: Pattern Recognition and Signal Analysis, Vienna, pp.381-388, 1996 (IEEE Computer Society Press).
- (7) K. Tanaka and T. Morita, "Statistical-mechanical iterative algorithm for image restoration of a gray level image," *Trans. Inst. Electron. Inf. Commun. Eng. A*, vol.J80-A, pp.1033-1037, 1997 (in Japanese).
- (8) J. Besag, "On the statistical analysis of dirty picture (with discussion)," *J. Royal Statistical Society Ser. B*, vol.48, pp.259-302, 1986.
- (9) W. Qian and D. M. Titterton, "Stochastic relaxations and EM algorithms for Markov random fields," *J. Statist. Comput. Simul.*, vol.40, pp.55-69, 1991.
- (10) C.-h. Wu and P.C.Doersch, "Cluster expansions for the deterministic computation of Bayesian estimators based on Markov random fields," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intel.*, vol.17, pp.275, 1995.
- (11) D. Geiger and F. Girosi, "Parallel and deterministic algorithms from MRF's: surface reconstruction," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol.13, pp.401-412, 1991.
- (12) J. Zhang, "The mean field theory in EM procedures for Markov random fields," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol.40, pp.2570-2583, 1992.
- (13) J. Zhang, "The application of the Gibbs-Bogoliubov-Feynman inequality in mean field calculations for Markov random fields," *IEEE Trans. Image Processing*, vol.5, pp.1208-1214, 1996.
- (14) T. Morita, "General structure of the distribution functions for the Heisenberg model and the Ising model," *J. Math. Phys.*, vol.13, pp.115-123, 1972.
- (15) K. Tanaka and T. Morita, "Cluster variation method and image restoration problem," *Physics Letters A*, vol.203, pp.122-128, 1995.
- (16) T. Morita and K. Tanaka, "Cluster ZTP in the recovery of an image," *Pattern Recognition Letters*, vol.18, pp.1479-1493, 1997.

Table 1. Value of quantity  $\bar{\sigma}_{2,n}(\tilde{\mathbf{x}})$  for the true original image  $\tilde{\mathbf{x}}$  given in Fig. 1.

$n$	$\bar{\sigma}_{2,n}(\tilde{\mathbf{x}})$	$n$	$\bar{\sigma}_{2,n}(\tilde{\mathbf{x}})$
0	0.7224	4	0.0039
1	0.2351	5	0.0031
2	0.0204	6	0.0033
3	0.0067	7	0.0051


 Fig. 1. Original image  $\tilde{\mathbf{x}}$  ( $q = 8, M = N = 64$ ).

 Table 2. Value of optimal parameter  $\hat{J}_1$  and  $\hat{J}_2$ , and values of quantities  $\bar{d}(\hat{\mathbf{x}}, \tilde{\mathbf{x}})$ ,  $\bar{\sigma}_2(\hat{\mathbf{x}})$  and  $\bar{\sigma}_{2,1}(\hat{\mathbf{x}})$  in the restored image  $\hat{\mathbf{x}}$ , which is obtained by using the ICM, the CZTP and the MFA. (a)  $(q-1)p = 0.1$ . (b)  $(q-1)p = 0.3$ . (c)  $(q-1)p = 0.5$ .

(a)

	$\hat{J}_1$	$\hat{J}_2$	$\bar{d}(\hat{\mathbf{x}}, \tilde{\mathbf{x}})$	$\bar{\sigma}_2(\hat{\mathbf{x}})$	$\bar{\sigma}_{2,1}(\hat{\mathbf{x}})$
ICM	0.2500	0.5015	0.0427	0.2782	0.2385
CZTP	0.2500	0.5600	0.0420	0.2750	0.2395
MFA	0.2541	0.4511	0.0374	0.2772	0.2295
$\hat{\mathbf{x}} = \tilde{\mathbf{x}}$			0	0.2764	0.2390

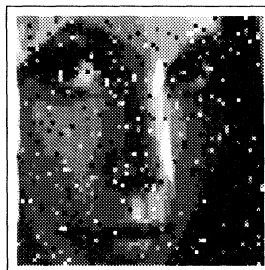
(b)

	$\hat{J}_1$	$\hat{J}_2$	$\bar{d}(\hat{\mathbf{x}}, \tilde{\mathbf{x}})$	$\bar{\sigma}_2(\hat{\mathbf{x}})$	$\bar{\sigma}_{2,1}(\hat{\mathbf{x}})$
ICM	0.2533	0.8800	0.1211	0.2769	0.2361
CZTP	0.2500	0.6200	0.1187	0.2815	0.2356
MFA	0.2695	0.7631	0.1055	0.2734	0.2394
$\hat{\mathbf{x}} = \tilde{\mathbf{x}}$			0	0.2764	0.2390

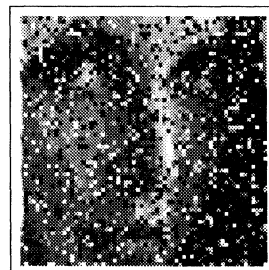
(c)

	$\hat{J}_1$	$\hat{J}_2$	$\bar{d}(\hat{\mathbf{x}}, \tilde{\mathbf{x}})$	$\bar{\sigma}_2(\hat{\mathbf{x}})$	$\bar{\sigma}_{2,1}(\hat{\mathbf{x}})$
ICM	0.4611	1.4611	0.2793	0.2763	0.2416
CZTP	0.2599	0.8899	0.2327	0.2632	0.2354
MFA	0.2785	0.7701	0.2210	0.2752	0.2394
$\hat{\mathbf{x}} = \tilde{\mathbf{x}}$			0	0.2764	0.2390

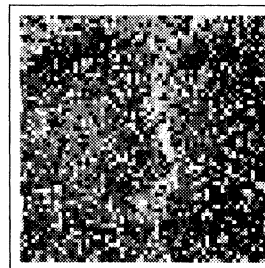
(a)



(b)



(c)


 Fig. 2. Degraded images ( $q = 8, M = N = 64$ ). (a)  $(q-1)\bar{p} = 0.1$  ( $\bar{d}(\tilde{\mathbf{x}}, \mathbf{y}) \simeq 0.0947$ ). (b)  $(q-1)\bar{p} = 0.3$  ( $\bar{d}(\tilde{\mathbf{x}}, \mathbf{y}) \simeq 0.2937$ ). (c)  $(q-1)\bar{p} = 0.5$  ( $\bar{d}(\tilde{\mathbf{x}}, \mathbf{y}) \simeq 0.4968$ ).

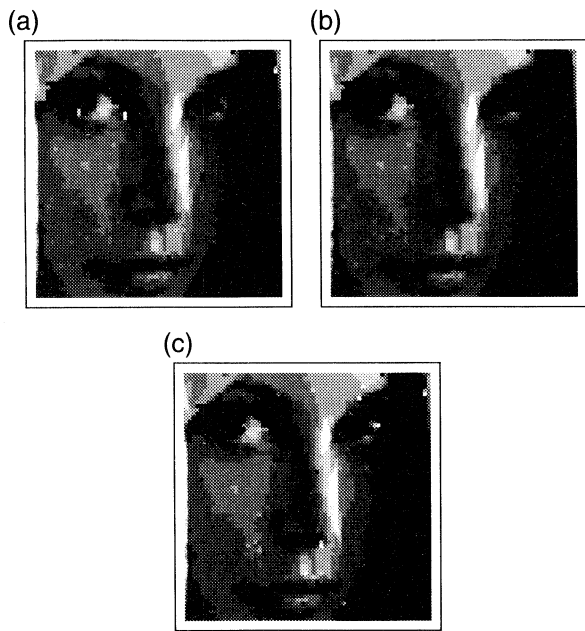


Fig. 3. Restored images  $\hat{x}$  obtained from the degraded image  $y$  given in Fig. 2a. (a) ICM. (b) CZTP. (c) MFA.

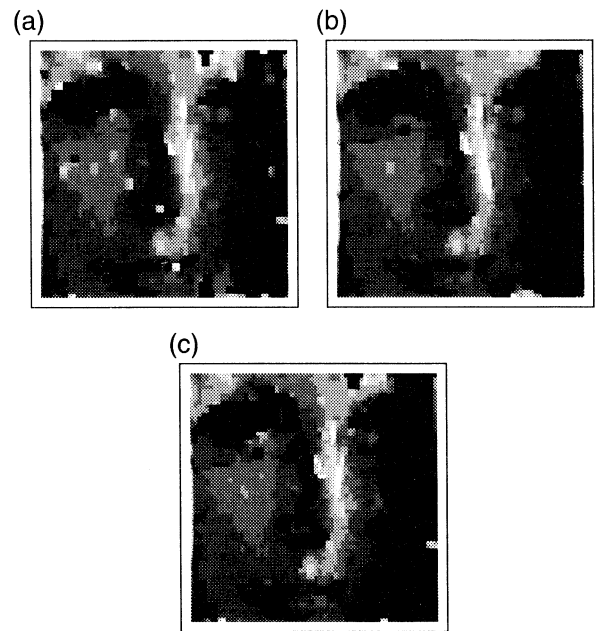


Fig. 5. Restored images  $\hat{x}$  obtained from the degraded image  $y$  given in Fig. 2c. (a) ICM. (b) CZTP. (c) MFA.

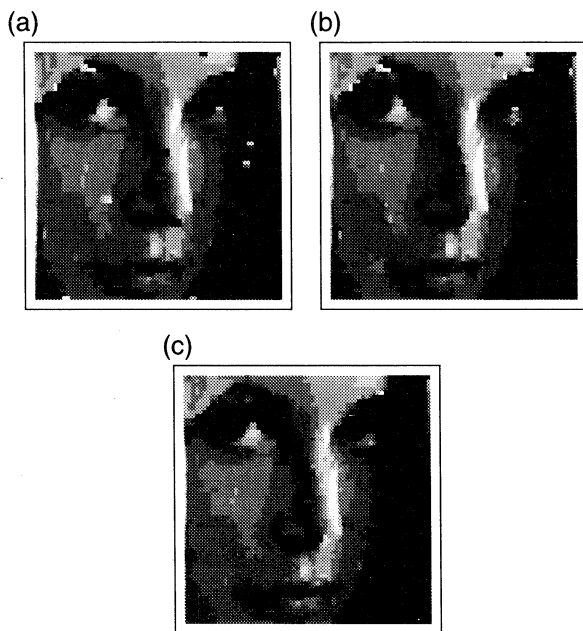


Fig. 4. Restored images  $\hat{x}$  obtained from the degraded image  $y$  given in Fig. 2b. (a) ICM. (b) CZTP. (c) MFA.

統計力学的手法にもとづくマルコフ確率場モデルにおける近似最適化アルゴリズム

田中 和之\*, 前田 純治\*\*

概要

濃淡画像の画像修復をエネルギー最小化問題として定式化し、そのエネルギー関数からギブス分布として確率モデルを定義した場合、この確率モデルは統計力学においては古典スピン系と見なすことができ、画像処理においてはマルコフ確率場モデルと呼ばれている。本論文では統計力学的手法をもとにしたいくつかのエネルギー最小化アルゴリズムすなわち最適化アルゴリズムについて概説し、画質の改善にどのように結びつくかについて理論的に比較検討する。

キーワード：ソフトコンピューティング、確率コンピューティング、知識情報処理、統計的手法、ベイズ統計、ギブス分布、マルコフ確率場、平均場理論、画像修復

\*東北大学大学院情報科学研究科情報基礎科学専攻、\*\*情報工学科

---





# Surrogate Analysis of Japanese Vowels

Isao TOKUDA\*, Takaya MIYANO\*\* and Kazuyuki AIHARA\*\*\*

(Accepted 31 August 2000)

Nonlinear deterministic dynamical structure of the normal phonation of Japanese vowels is studied by the method of surrogate. The surrogate analysis exploits Wayland translation error and nonlinear deterministic predictability as the discriminating statistics. The results imply that the vowel signals have strong nonlinear dynamical characteristics that can not be detected by conventional linear dynamical systems analyses of speech.

Keywords: Nonlinear Dynamics, Vowels, Pitch-To-Pitch Variation, Surrogate Analysis

---

## 1 Introduction

In the studies of human speech, linear dynamical systems analyses such as the power spectrum analysis and the linear predictive coding modeling are the most popular and standard methodologies (1, 2, 3). This is because the acoustical characteristics of human speech is mainly due to the resonances of the vocal-tract, which forms the basic spectral structure of the speech signals. Although the linear dynamical systems analyses have been widely applied to speech, human speech is, strictly speaking, nonlinear dynamical phenomena which involve nonlinear aerodynamic, biomechanical, physiological, and acoustic factors. Some of the important characteristics of speech may not be detected only by linear dynamical systems analyses. For a deeper understanding of speech, nonlinear dynamical sys-

tems analyses might be indispensable. In fact, there are a variety of recent studies of analyzing nonlinear dynamics such as chaotic dynamics in human speech (4)-(10).

The aim of the present paper is to re-examine the efficiency of linear dynamical systems analyses of speech and to consider the limitation of characterizing the speech only by the linear statistical quantities. Our approach is based upon surrogate test of speech. The surrogate test (11, 12, 13) is a kind of statistical hypothesis testing which is to detect nonlinear dynamical structure in a time series data. The results imply that in the normal phonation of Japanese vowels there seem to exist some important nonlinear dynamical characteristics that can not be detected by the conventional linear dynamical systems analyses of speech.

## 2 Speech Data

For our analysis, speech signals of 5 Japanese vowels /a/, /i/, /u/, /e/, and /o/ recorded from 5 subjects are exploited. The subject group is com-

---

\* Department of Computer Science and Systems Engineering

\*\* Department of Intelligent Machine and System Engineering, Hirosaki University

\*\*\*Department of Mathematical Engineering and Information Physics, University of Tokyo

posed of 3 male speakers (mau, mms, mmy) and 2 female speakers (fsu, fyn) with no evidence for any laryngeal pathology. The speech data are in the standard ATR (Advanced Telecommunications Research Institute International, [www.ctr.atr.co.jp](http://www.ctr.atr.co.jp)) database. The speech signal is low-pass filtered with a cut-off frequency of 8 kHz and digitized with a sampling rate of 20 kHz and with 16 bit resolution. For the analysis of speech, the initial transient phase and the final decay phase are removed from each data and the stationary part of the data is extracted.

Fig. 1 (a) shows speech signal  $\{x_t : t = 1, 2, \dots, N_{data}\}$  ( $N_{data} = 2048$ ) of vowel /a/ recorded from a male speaker mau.

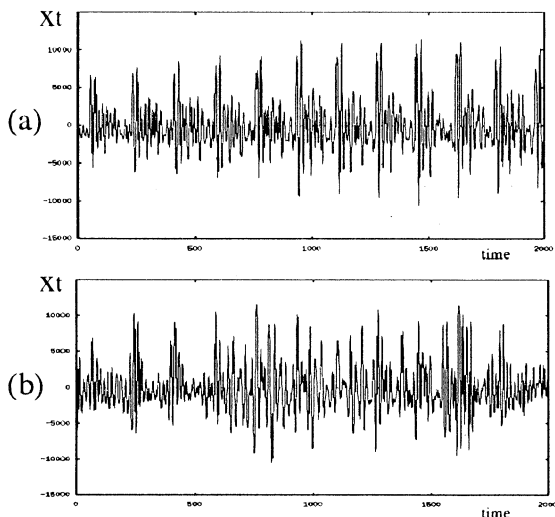


Fig. 1. (a): Original speech signal of a vowel /a/ and (b): its iterative surrogate.

The vowels are known to have irregularity in the pitch-to-pitch variation<sup>(14)</sup> and they are indispensable for the speech signals to be perceived as natural human sound<sup>(15)</sup>. Although considerable amount of works has been devoted for the analysis and synthesis of natural pitch-to-pitch variation, no satisfactory understanding of its statistical property has been obtained yet. There might be some nonlinear dynamical structure underlying the pitch-to-pitch irregularity and such nonlinear dynamics in the vowel signals is investigated in the subsequent sections.

### 3 Surrogate Analyses

#### 3.1 Iterative Surrogate Algorithm

Let us study the nonlinear dynamics of speech by the surrogate test<sup>(11, 12, 13)</sup>. The surrogate test is a kind of statistical hypothesis testing. First, we set a null hypothesis  $H_0$  that the speech signal is generated from some non-deterministic dynamical process. Then, we artificially create many sets of

surrogate data which agree with the null hypothesis. By computing a discriminating statistic  $T$  of the original and surrogate data and by observing the difference between the original and surrogate statistics, we can test the null hypothesis  $H_0$ .

The surrogate test has the property of “constrained-realization,”<sup>(12)</sup> which is to randomize the original data by strictly preserving some of the original statistical properties. It has been empirically known that the surrogate test is effective for statistical hypothesis testing when *non-pivotal* discriminating statistic  $T$  is utilized.

For the nonlinearity test of speech, we consider the following null hypothesis,

$H_0$ : “The speech signal  $\{x_t\}$  is generated from a linear *Gaussian* process

$$x_t = a_0 + \sum_{k=1}^q a_k x_{t-k} + e_t,$$

where  $e_t$  represents *Gaussian* noise.”

We consider this null hypothesis, because this is the standard hypothesis when linear dynamical systems analysis is applied to speech<sup>(3)</sup>.

For the null hypothesis  $H_0$ , the surrogate data is generated by the Schreiber-Schmitz iterative algorithm<sup>(13)</sup>. The iterative algorithm generates surrogate data which exactly preserves the amplitude distribution and approximately preserves the power spectrum of the original data.

Fig. 1 (b) shows an iterative surrogate signal generated from the speech signal of the vowel /a/ of Fig. 1 (a). Although the waveform structures of the original and surrogate data seem to be rather different from each other, they have exactly the same amplitude distribution and approximately the same power spectrum (see Fig. 2).

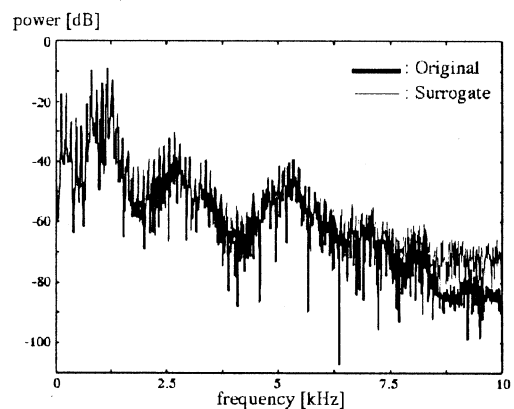


Fig. 2. Power spectra of the original speech signal of the vowel /a/ (bold line) and its iterative surrogate (thin line).

### 3.2 Wayland Translation Error

By computing a discriminating statistic  $T$  of the original data and the surrogate data set, we can test the null hypothesis  $H_0$ . If the  $T$ -value of the original data is far from the distribution of the  $T$ -values of the surrogate data set, we can reject the null hypothesis  $H_0$ . As the discriminating statistic  $T$ , Wayland translation error and nonlinear deterministic prediction error are exploited.

As the first discriminating statistic  $T$ , Wayland translation error is computed as follows<sup>(16)</sup>. First, we reconstruct the geometric structure of the speech data in a delay-coordinate space<sup>(17, 18)</sup>:

$$\mathbf{x}(t) = (x_t, x_{t-\tau}, \dots, x_{t-(d-1)\tau})^T, \quad (1)$$

where  $T$  denotes transposition and  $d$  and  $\tau$  stand for the reconstruction dimension and the time lag, respectively. Then, the Wayland algorithm assumes that the reconstructed data trajectory  $\{\mathbf{x}(t) : t = 1 + (d-1)\tau, \dots, N_{data}\}$  is generated from a continuous map  $f : R^d \rightarrow R^d$  as  $\mathbf{x}(t+1) = f(\mathbf{x}(t))$  and hence ‘‘nearby’’ data points, e.g.,  $\mathbf{x}(t)$  and  $\mathbf{x}(s)$ , are mapped to nearby  $T$ -step future points, e.g.,  $\mathbf{x}(t+T)$  and  $\mathbf{x}(s+T)$ . With respect to the assumed determinism, the translation error,  $e_{trans}$ , can be calculated as follows.

First, for a fixed data point  $\mathbf{x}(t_0)$ , we find its  $k$ -nearest neighbors as  $\mathbf{x}(t_1), \dots, \mathbf{x}(t_k)$ . With respect to the translation horizon  $T$ , the translation vectors are computed as  $\mathbf{v}_j = \mathbf{x}(t_j + T) - \mathbf{x}(t_j)$  for  $j = 0, \dots, k$ . Then the translation error is calculated as

$$e_{trans} = \frac{1}{k+1} \sum_j \frac{\|\mathbf{v}_j - \langle \mathbf{v} \rangle\|^2}{\|\langle \mathbf{v} \rangle\|^2}, \quad (2)$$

with  $\langle \mathbf{v} \rangle = \frac{1}{k+1} \sum_j \mathbf{v}_j$ .

Fig. 3 shows the result of the Wayland analysis applied to vowel /a/ (subject: mau). Translation error curves of the original speech data and 39 sets of its surrogate data are drawn with a solid line with circles and solid lines with no circle, respectively. The translation error,  $e_{trans}$ , is averaged over 20 sets of 300-randomly chosen translation centers  $\mathbf{x}(t_0)$ , other parameters are set as  $\tau = 10$ ,  $k = 4$ ,  $T = 10$ , and the reconstruction dimension is varied as  $d = 1, \dots, 15$ .

Clear difference between the original speech data and its surrogate data is discernible in the figure, where the original data exhibits relatively lower error level than the surrogate data.

In Table 1, rejection level  $\alpha$  is summarized for 5 Japanese vowels (/a/, /i/, /u/, /e/, /o/) and for 5 subject speakers (mau, mms, mmy, fsu, fyn). The rejection level  $\alpha$  means that  $T$ -value of the original data is out of  $100(1 - \alpha)\%$  confidence range of the surrogate distribution and hence the null hypothesis  $H_0$  can be rejected with the  $\alpha$ -level. For all 5 vowels and for all 5 subjects, the null hypothesis  $H_0$  is rejected with the level of  $\alpha = 0.05$ . This is in general

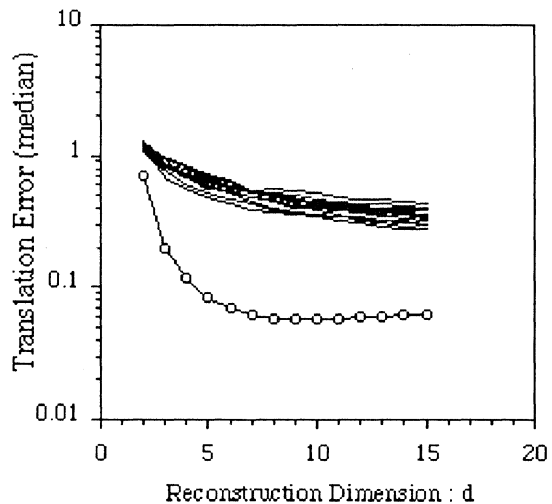


Fig. 3. Result of the Wayland analysis of vowel /a/ (subject: mau). Translation error curves of the original data and 39 sets of its surrogates are drawn with a solid line with circles and solid lines with no circle, respectively.

a strong rejection level for statistical test and the results seem to be independent of the vowels and the subjects. Therefore the results imply that the vowels are not generated from a simple linear Gaussian process. There might be some nonlinear dynamics underlying the irregular structure of the vowels and such nonlinear characteristics have been destroyed by the surrogate shuffling.

### 3.3 Nonlinear Prediction Error

As another discriminating statistic  $T$ , we compute nonlinear deterministic prediction error as follows.

First, we divide the time series  $\{x_t : t = 1, \dots, N_{data}\}$  into first and second halves. From the first data, a nonlinear predictor  $\tilde{f} : R^d \rightarrow R^d$  which approximates the data dynamics as  $\mathbf{x}(t+1) \approx \tilde{f}(\mathbf{x}(t))$  is constructed. For the predictor, the local optimal linear-association map<sup>(19)</sup> is exploited with the embedding condition of  $(d, \tau) = (6, 2)$ . Then, for the latter data, nonlinear prediction is carried out. Forecasting procedure is that, for a give initial state,  $\mathbf{x}(t)$ , the  $s$ -step further state  $\mathbf{x}(t+s)$  is predicted as  $\tilde{f}^s(\mathbf{x}(t))$  using the  $s$ -iterate of the predictor  $\tilde{f}$ . For each  $s$ -prediction step, accuracy of the predictions is evaluated with the correlation coefficient  $r_s$  between the actual and prediction data.

The results of the nonlinear prediction of vowel /a/ (subject: mau) is shown in Fig. 4. Prediction curves of the original speech data and 39 sets of its surrogate data are drawn with a solid line with squares and dotted lines with no square, respectively. We clearly see that the original data exhibits better nonlinear predictability than the surrogate data.

In Table 1, rejection level  $\alpha$  is summarized for 5 Japanese vowels and for 5 subject speakers. The prediction step is fixed at  $s = 2$ . For vowel /o/ from female subjects, relatively high rejection level  $\alpha$  was computed. This might be caused by strong constriction of the vocal tract shape that dissipates nonlinear dynamics of the vocal folds and produces relatively simple harmonic speech sound. For such a harmonic signal, detection of nonlinear dynamics becomes difficult. For other vowels except for female vowel /o/, the null-hypothesis  $H_0$  is rejected with the strong level of  $\alpha = 0.05$  (for few samples,  $\alpha = 0.1$ ). Hence the results imply that nonlinear deterministic predictability of the vowels is destroyed by the surrogate shuffling.

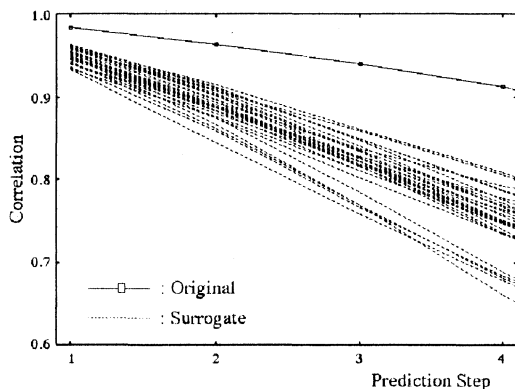


Fig. 4. Results of the nonlinear deterministic prediction of vowel /a/ (subject: mau). Prediction curves of the original speech data and 39 sets of its surrogates are drawn with a solid line with squares and dotted lines with no square, respectively.

Table 1.

Rejection level  $\alpha$  of the surrogate test of 5 Japanese vowels (/a/, /i/, /u/, /e/, /o/) from 5 subject speakers (mau, mms, mmy, fsu, fyn). As the discriminating statistic  $T$ , Wayland translation error  $e_{trans}$  and nonlinear prediction error  $r_2$  were exploited.

	$T$	/a/	/i/	/u/	/e/	/o/
mau	$e_{trans}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	$r_2$	0.05	0.05	0.10	0.05	0.05
mms	$e_{trans}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	$r_2$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
mmy	$e_{trans}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	$r_2$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.10
fsu	$e_{trans}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	$r_2$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.20
fyn	$e_{trans}$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
	$r_2$	0.05	0.05	0.05	0.05	0.40

## 4 Conclusions and Discussions

Nonlinear dynamical structure of the normal phonation of Japanese vowels has been tested by the method of surrogate. For a null hypothesis that the speech signal is generated from a linear *Gaussian* process, surrogate data is generated by the Schreiber-Schmitz iterative algorithm. As a discriminating statistic  $T$ , Wayland translation error and nonlinear deterministic prediction error are exploited. The surrogate analysis has shown that the null-hypothesis was rejected for almost all vowel signals with a level of  $\alpha = 0.05$ . The results seem to be independent of the vowels, male or female subjects, and the nonlinear discriminating statistics. This implies that there definitely exist some important nonlinear dynamical characteristics that has been destroyed by the surrogate data shuffling in the vowel signals. Nonlinear dynamical characteristics may provide us with useful information on speech signals such as individual speaker's character, speaker's emotional condition, and the laryngeal condition.

## REFERENCES

- (1) J.L. Flanagan, *Speech analysis, Synthesis, and Perception* (Springer, New York, 1960)
- (2) D. H. Klatt & L. C. Klatt, *J. Acoust. Soc. Amer.* **87-2** (1990) 820
- (3) B. S. Atal & S. L. Hanauer, *J. Acoust. Soc. Amer.* **50** (1971) 637
- (4) I.R. Titze *et al.*, in *Vocal Fold Physiology*, I.R. Titze ed. (Singular, San Diego, 1993), 143
- (5) W. Mende *et al.*, *Phys. Lett. A* **145** (1990) 418
- (6) S.S. Narayanan & A.A. Alwan, *J. Acoust. Soc. Am.* **97-4** (1995) 2511
- (7) M. Sato *et al.*, *Proc. IJCNN* **1** (1990) 581
- (8) I. Tokuda *et al.*, *Int. J. Bif. Chaos*, **6-1** (1996) 149
- (9) T. Ikeguchi & K. Aihara, *J. Int. Fuzzy Sys.*, **5-1** (1997) 33
- (10) T. Miyano, *Proc. 4th Int. Conf. Soft Computing* (1996) 634
- (11) J. Theiler *et al.*, *Physica D* **58** (1992) 77
- (12) J. Theiler & D. Prichard, *Physica D* **94** (1996) 221
- (13) T. Schreiber & A. Schmitz, *Phys. Rev. Lett.* **77-4** (1996) 635
- (14) L. Dolanský & P. Tjernlund, *IEEE Trans. AU* **16** (1968) 51
- (15) T. Ifukube *et al.*, *J. Acoust. Soc. Jpn.* **47-12** (1991) 903
- (16) R. Wayland *et al.*, *Phys. Rev. Lett.* **70-5** (1993) 580
- (17) F. Takens, *Lecture Notes in Math.* (Springer, Berlin) **898** (1981) 366
- (18) T. Sauer *et al.*, *J. Stat. Phys.* **65-3** (1991) 579
- (19) J. Jimenéz *et al.*, *Phys. Rev. A* **45** (1992) 3553

日本語母音のサロゲート解析  
徳田 功<sup>\*</sup>, 宮野 尚哉<sup>\*\*</sup>, 合原 一幸<sup>\*\*\*</sup>  
概要

日本語母音の正常発声音の決定論的非線形力学構造を Wayland のベクトル並進性と非線形予測誤差を検定量とするサロゲート法に基づいて解析する。解析結果から、日本語母音には強い非線形力学構造が存在し、そのような非線形力学特性はパワースペクトル解析や線形予測符号化法などの従来型の音声信号処理の手法では特徴付けることが難しいことが示唆された。

キーワード：非線形ダイナミクス, 母音, ピッチ揺らぎ, サロゲート法

\*情報工学科, \*\*弘前大学理工学部知能機械システム工学科, \*\*\*東京大学工学部計数工学科

---

Surrogate Analysis of Japanese Vowels

Isao Tokuda<sup>\*</sup>, Takaya Miyano<sup>\*\*</sup>, and Kazuyuki Aihara<sup>\*\*\*</sup>

Nonlinear deterministic dynamical structure of the normal phonation of Japanese vowels is studied by the method of surrogate. The surrogate analysis exploits Wayland translation error and nonlinear deterministic predictability as the discriminating statistics. The results imply that the vowel signals have strong nonlinear dynamical characteristics that can not be detected by conventional linear dynamical systems analyses of speech.

Keywords: Nonlinear Dynamics, Vowels, Pitch-To-Pitch Variation, Surrogate Analysis

\* Department of Computer Science and Systems Engineering

\*\* Department of Intelligent Machine and System Engineering, Hirosaki University

\*\*\* Department of Mathematical Engineering and Information Physics, University of Tokyo

---



# Intelligent Control Using Soft Computing

Yasuhiko DOTE\*

(Accepted 31 August 2000)

Firstly, intelligent control (diagnosis by system identification) for a small-scaled system using computational intelligence (soft computing and numerical processing) is described. A novel fuzzy neural network with general parameter learning is developed, which needs remarkably less computational time resulting in realizing real time fault detection of an automobile transmission gear with a DSP-integrated RISC processor. Then, for a large-scaled and complex system, contemporary intelligent control using extended soft computing is proposed. Extended soft computing (ESC) which is the fusion/combination of fuzzy, neuro, genetic and chaotic computings and immune network theory in order to explain, what they call, complex systems and cognitive and reactive AIs is introduced. Then, contemporary intelligent system concept is discussed while the ESC is promising to realize it. Finally, a decision making robot with multi-agents (immune networks), fuzzy inference and reinforcement learning is described, as an example. It is confirmed that the ESC plays an important role in constructing intelligent robots.

Keywords: Computational Intelligence, Soft Computing, Intelligent Control, Fuzzy System, Neural Network, Immune Network

---

## 1 INTRODUCTION

Soft computing is proposed by Dr. L.A.Zadeh<sup>(1)(2)(3)</sup> to construct new generation AI (machine intelligence quotient) and to solve nonlinear and mathematically un-modelled systems problems (tractability). It is the fusion or combination of fuzzy, neuro and evolutional (genetic algorithm) computings. The advantages of soft computing (computational intelligence) for control and diagnosis of systems are

1. Nonlinear and complicated problems, problems for which mathematical models are difficult to

obtain.

2. Human knowledge (recognition, understanding, learning, inference and other human intelligence) can be introduced. Therefore intelligent systems such as autonomous (self-organizing controllers), self-tuning systems and automated designed systems can be constructed.

Now, only the combination of fuzzy systems and neural networks are considered. It has been proved that any nonlinear mappings obtained by neural networks can be approximated, to any accuracy, by fuzzy systems using Stone-Weierstrass's approximation theory<sup>(4)</sup>. From the application point of view, each approach has some advantages. Since a neural

---

\*Department of Computer Science and Systems Engineering

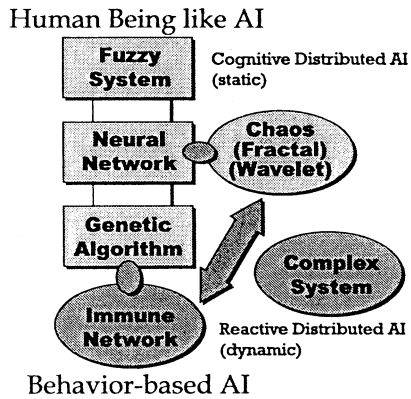


Fig. 1. Soft computing in AI

network has learning capabilities, it is easy to design automatically controllers.

On the other hand, for fine-tuning, in using neural networks, it is difficult, since it is difficult to explain logically the cause and the result in the input-output relationships. Due to these difficulties, a novel local based function neural network with a general parameter learning algorithm was developed<sup>(5)</sup>. It is experimentally applied to fault detection of automobile transmission gears by nonlinear system identification in Section 2.

Then, in Section 3 by adding chaos computing and immune network theory, extended soft computing (ESC) is defined for explaining, what they call, complex systems and cognitive and reactive AIs as shown in Fig.1. In Section 4, contemporary intelligent control for a large-scaled and complex system is considered from the view point of bioinformatics and cognitive and reactive distributed AIs while the ESC is promising to realize it. Especially, cognitive and reactive distributed artificial AIs are discussed.

In Section 5, control of an intelligent agent robot is described. Robots can behave more intellectually in a group even though each robot has a little intelligence, since they can interact in cooperation with each other. The following methods using soft computing to construct intelligent multi agent robot systems have been reported.

1. Immune networks, fuzzy inference and GA (reactive distributed AI, IFAR)<sup>(6)(7)</sup>
2. Neural networks and evolutionary computing (reactive and cognitive distributed AI)(perception and motion are non separable, IFAR)<sup>(8)</sup>
3. Fuzzy associate memories, chaos computings and evolutionary computings (cognitive distributed AI)(each agent has intelligence in this case, IFAR)<sup>(9)</sup>
4. Fuzzy inference and random parameter search method (reactive distributed AI, MAIR)<sup>(10)(11)</sup>

An artificial decision making robot behaving as interactions(fuzzy inferences) among antibodies in an artificial immune network with perceptions of antigens is described. It is confirmed that the ESC is promising to realize intelligent agent robots like this.

## 2 REAL TIME FAULT DIAGNOSIS

### 2.1 Nonlinear Model Identification

A necessary basis for any diagnostics approach is a reliable and accurate model of the operational process. Therefore, fault detection/diagnostics procedures typically consist of the following two steps:

1. Off-line determination of the model structure and its parameters under normal operation conditions.
2. On-line determination of operational faults by using the identified model.

We use the GP-approach for both of the above steps. The nonlinear time-series model is first expressed as:

$$x(n) = F[x(n-1), \dots, x(n-N)] + \eta(n) \quad (1)$$

where  $F[\cdot]$  is a nonlinear function and  $\eta(n)$  represents the modeling error.

In the identification stage, the general parameter ( $\beta$ ) expectation and variance are indicators of the current accuracy of the normal process model. In the diagnostics stage, the mentioned values are indicators of process normality. The GP-based model identification procedure is described below

1. Model initialization:

$$\begin{aligned} \hat{w}_i(0) &= 0; & \beta(0) &= 0 \\ E\{\beta\} &= 0; & D_\beta &= 0 \end{aligned}$$

2. Sample  $x(k), k \in [1, N]$
3. Calculate the one-step-ahead predictive GP-RBFN output  $\hat{x}(k+1)$
4. Sample  $x(k+1)$
5. Adapt  $\beta$  with the algorithm<sup>(5)</sup>
6. Compute general parameter's expectation  $E\{\beta(k)\}$  and variance  $D_\beta(k)$
7. Determine expectation's and variance's possible stability:

$$\begin{aligned} \Delta E\{\beta\} &= |E\{\beta(k+1)\} - E\{\beta(k)\}| < \delta_1 \\ \Delta D_\beta &= |D_\beta(k+1) - D_\beta(k)| < \delta_2 \end{aligned}$$

where,  $\delta_1, \delta_2$  are appropriate threshold levels.

8. If stability is achieved in Step 7, then go to Step 10, else continue.
9.  $k = k + 1$ , go to Step 3.



10.  $\hat{w}_i = E\{\beta(k)\}$
11.  $k = k + 1$
12. Calculate the new GP-RBFN output.
13. Sample  $x(k + 1)$
14. Accuracy justification:

$$\begin{aligned}\epsilon(k + 1) &= x(k + 1) - \hat{x}(k + 1) \\ D_\epsilon(k + 1) &= \frac{k}{k + 1}D_\epsilon(k) + \frac{k}{k + 1}\epsilon^2(k + 1)\end{aligned}$$

15. If  $D_\epsilon < \delta_\epsilon = \text{const} > 0$ , then go to Step 18, else continue.
16. Individual adaptation of RBFN weights.
17. Go to Step 11.
18. Memorizing of the new weight values  
 $\hat{w}_{i0} = \hat{w}_i(k)$ .
19. Zeroing of the general parameter value  $\beta = 0$ .

## 2.2 Process Abnormality Detection

After identifying the model structure and its parameters of the plant for normal operation conditions, the fault detection problem can be solved using the following procedure:  $\eta$

1. Initialization:

$$\begin{aligned}\hat{w}_i(0) &= \hat{w}_{i0} = \text{const} \\ \beta(0) &= 0; E\{\beta\} = 0; D_\beta = 0\end{aligned}$$

2. Sample  $x(k), k \in [1, N]$ .
3. Calculate GP-RBFN output.
4. Sample  $x(k + 1)$ .
5. Adapt  $\beta$  with the algorithm<sup>(2)</sup>.
6. Estimate the general parameter expectation  $E\{\beta(k)\}$  and variance  $D_\beta(k)$ .
7. Justification of operation normality:  $|E\{\beta(k)\}| < \Delta_1, D_\beta(k) < \Delta_2$ , where  $\Delta_1, \Delta_2 = \text{const} > 0$  are predetermined threshold values.
8. If the conditions of Step 7 are not satisfied, then fault is detected, else continue.
9.  $k = k + 1$ , go to Step 3.

## 2.3 Fault Detection Experiment

We consider a fault detection problem of automobile transmission gears by means of acoustic data modeling. The input data was collected using a sound level meter. First, the normal model was identified by the conventional RBFN and then by the new GP-RBFN (fuzzy neural network). Both networks were trained off-line. Fig. 3 illustrates the approximation errors of the RBFN and GP-RBFN after an equal number of training steps. It is seen from these plots that the prediction error is significantly lower and more consistent with the GP-RBFN. This is due to the considerably faster learning rate of the GP-RBFN.

During the on-line fault detection stage, the regular weights of the GP-RBFN were fixed, while the scalar general parameter was adapted. In Fig. 4, illustrative results are shown, where the general parameter expectation value allows to easily recognize an abnormal condition in the automobile transmission system. This experiment was carried out using the following parameters (Fig. 2): the number of delay elements was 10, the number of Gaussian functions was 7, and the width of each Gaussian function from the center was 0.2.

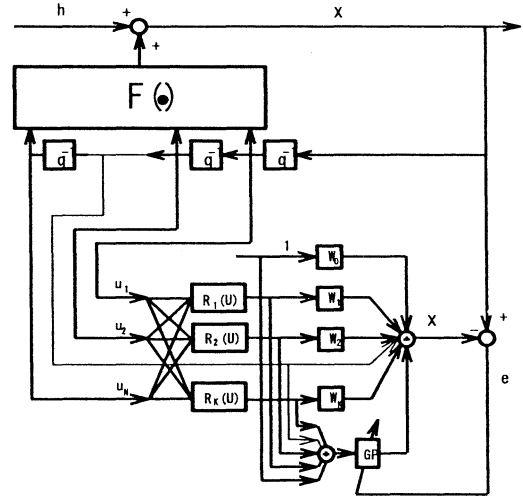


Fig. 2. Nonlinear time series identification system

## 3 EXTENDED SOFT COMPUTING

Soft computing is proposed by Dr. L.A.Zadeh<sup>(1)(2)(3)</sup> to construct new generation AI (machine intelligence quotient) and to solve nonlinear and mathematically unmodelled systems problems (tractability) especially for cognitive artificial intelligence by adding chaos computing and immune network theory.

Extended soft computing is defined for explaining, what they call, complex systems, cognitive and

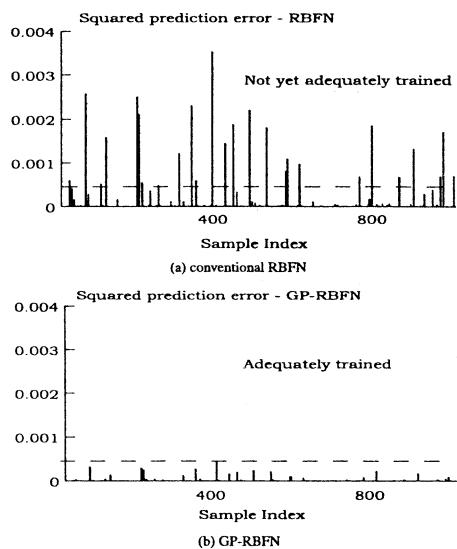


Fig. 3. Prediction with RBFN

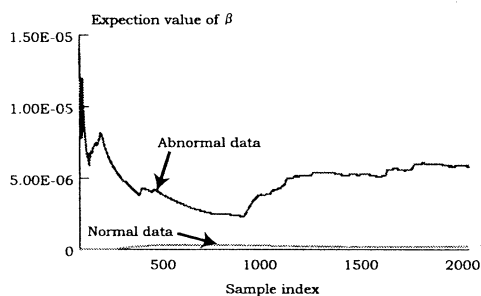


Fig. 4. Fault detection with general parameter

reactive AIs. Immune networks are promising approaches to construct reactive artificial intelligence and as illustrated in Fig.1. Industrial and commercial applications of NN/FS/GA/Chaos in 1990s is discussed in <sup>(12)(13)</sup>.

### 3.1 Reactive Distributed AI

Reactivity is a behavior-based model of activity, as opposed to the symbol manipulation model used in planning. This leads to the notion of cognitive cost, i.e., the complexity of the over architecture needed to achieve a task.

Cognitive agents support a complex architecture which means that their cognitive cost is high. Cognitive agents have internal representation of the world which must be in adequation with the world itself. The process of relating the internal representation and the world is considered as a complex task.

On the other hand, reactive agents are simple, easy to understand and do not support internal representation of the world. Thus, their cognitive cost is low, and tend to what is called cognitive economy, the property of being able to perform even complex actions with simple architectures. Because of their

complexity, cognitive agents are often considered as self-sufficient: they can work alone or with a few other agents.

On the contrary, reactive agents need companionship. They can not work isolated and they usually achieve their tasks in groups. Reactive agents can not work isolated and they usually achieve their tasks in groups. Reactive agents do not take past events into account, and can not foresee the future. Their action is based on what happens now, how they sense distinguish situations in the world, on the way they recognize world indexes and react accordingly.

Thus, reactive agents cannot plan ahead what they will do. But, what can be considered as a weakness is one of their strengths because they do not have to revise their world model when perturbations change the world in an unexpected way. Robustness and fault tolerance are two of the main properties of reactive agent systems. A group of reactive agents can complete tasks even when one of them breaks down. The loss of one agent does not prohibit the completion of the whole task, because allocation of roles is achieved locally by perception of the environmental needs. Thus, reactive agent systems are considered as very flexible and adaptive <sup>(14)</sup>.

## 4 CONTEMPORARY INTELLIGENT SYSTEMS

This section introduces contemporary intelligent systems using the extended soft computing described in the previous section and bioinformatic knowledge.

It is interactive among human beings, environment and artificial intelligence. The relations among each method of the extended soft computing are important rather than the methods themselves. It should be self-organized emergent intelligence rather than embed by a designer. It is emergent, self-organized and reflective in each granularity level like bioinformatic processing. Learning should be embedded by situated cognition and situated action. Perception and motion are not separable<sup>(15)(16)</sup>. This is illustrated in Fig.5.

To explain this, bioinformatic cybernetic is compared with conventional cybernetics in Table 1.

Table 1. Comparison of conventional and bioinformatic cybernetics

Conventional cybernetic	Bioinformatic
Explicit (Object & observation are separated)	Implicit (perception & motion are not separated)
Homeostasis (stability)	Diversity
Topdown	Bottomup
Close system (feedback)	Open (feedforward)
Deterministic	Emergent
Optimization (product)	Adaptive learning
	Evolution (process)

Learning is achieved as shown in Fig.6 and Fig7. Human beings is sometimes in intelligent systems<sup>(17)</sup>. Kansei information processing is now popular in Japan.

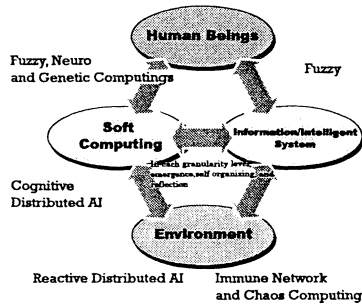


Fig. 5. Contemporary intelligent system concept

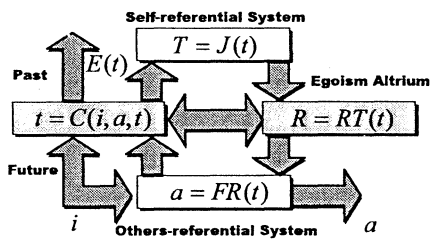


Fig. 6. Bi-referential model

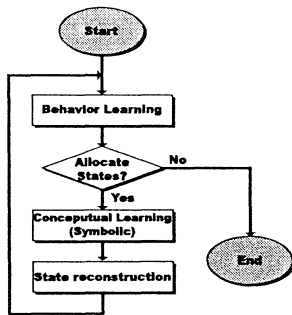


Fig. 7. Learning algorithm

### 5 DECISION MAKING ROBOT WITH MULTI-AGENTS (ANTIBODY) AND PERCEPTION (ANTIGENS) IN IMMUNE NETWORK USING FUZZY INFERENCE AND REINFORCEMENT LEARNING<sup>(18)</sup>

'immunoid' by interactions among antibodies in artificial immune networks is considered. In this simulated environment, there are following three  $k$

An artificial decision making robot inds of objects: 1)predator 2) obstacles 3) food. It is assumed that prespecified quantity of initial energy is given to the immunoid at the beginning of each simulation. For quantitative evaluation, the following assumptions are made.

1. If the immunoid moves, it consumes energy  $E_m$ .
2. If the immunoid is captured by a predator, it consumes energy  $E_p$ .
3. If the immunoid collides with an obstacle, it losses energy  $E_o$ .
4. If the immunoid picks up food once, it obtains energy  $E_I$ .

The predators attack the immunoid if they detect the immunoid within the prespecified detectable range. Therefore, in order to survive as long as possible, the immunoid must select a competence module (antibody) suitable for the current situation(antigen). The immunoid equipped with external and internal detectors. External detectors can sense eight directions as shown in Fig.8.

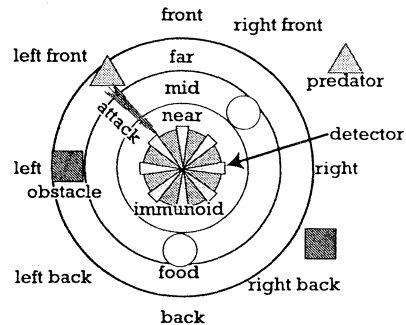


Fig. 8. Simulated environment

Each can detect the distance to the objects by three degrees, near, mid and far. The internal detector senses the current energy level. The immunoid moves in his eight directions.

The detected current situation and prepared competence modules work as antigens and antibodies, respectively. To make a imunoido (antibody) select a suitable antibody against the current antigen. It is highly important how the antibodies are described. Moreover, it is noticed that the immunological arbitration mechanism selects an antibody in bottom up manner by communicating among the antibodies. To realize the above requirements, the description of antibodies are defined as follows. The identity of a specific antibody is generally determined by the structure of its paratope and idiotope.

As shown in this Fig. 9, a pair of precondition action to paratope, the number of disallowed antibodies and the degree of disallowance to idiotope

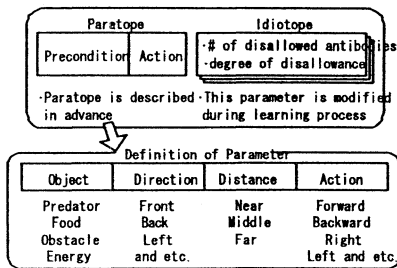


Fig. 9. Depicts the representation of antibodies.

are respectively assigned. In addition, the structure of paratope is divided into four portions: objects, direction, distance, and action.

For adequate selection of antibodies, one state variable called concentration is assigned to each antibody. The selection of antibodies is simply carried out in a winner-take all fashion. Namely, only one antibody is allowed to activate and act its corresponding its action to the world if its concentration surpasses the prespecified threshold. The concentration of the antibody is influenced by the stimulation and suppression from other antibodies, the stimulation from antigen, and the dissipation factor (i.e. natural death). The concentration of  $i$ -th antibody, which is denoted by  $a_i$ , is calculated by eq(2).  $\alpha$  and  $\beta$  are the rate of interaction among antigens and antibodies.

$$\frac{dA_i(t)}{dt} = \left( \alpha \frac{\sum_{j=1}^N m_{ji} a_j(t)}{\sum_{j=1}^N m_{ji}} - \alpha \frac{\sum_{k=1}^N m_{ik} a_k(t)}{\sum_{k=1}^N m_{ik}} + \beta m_i - k_i \right) a_i(t) \quad (2)$$

$$a_i(t+1) = \frac{1}{1 + \exp(0.5 - A_i(t))} \dots \dots \dots (3)$$

where  $N$  is the number of antibodies, and  $m_i$  denotes matching ratio between antibody  $i$  and antigen,  $m_{ij}$ , that denotes degree of disallowance of antibody  $j$  for anti-body  $i$ . The first and second terms of right hand sidedenote the stimulation and suppression from other antibodies, respectively. The third term represents the stimulation from antigen, and the forth term the natural death.

**Simulation results:**

100 simulations are carried out with # of predators: 5, # of obstacles:5, # of foods: 10, and # of antibodies:91.

**Average life time:**

- A. Immunoid's random walk: 313.14
- B. Without interactions among antibodies: 564.86
- C. With interactions among antibodies: 621.46

Table 2. # of collides against predators and obstacles and obtaining foods:

	predators	obstacles	foods
A	19.91	1.84	0.54
B	9.04	5.92	4.27
C	7.84	5.23	5.02

This approach is promising for decision making in autonomous mobile robots (one of multi-agent robots). However, two disadvantages exist. One is how to cope with environment changes, and the other is how to design agents. It is required in the future to devise some real time reinforcement learning.

**6 CONCLUSIONS**

This paper proposes a comtemporany intelligent multi-agent robot using extended soft computing.

**ACKNOWLEDGEMENT**

The authors are grateful to the JIEE Emerging Technology Survey Committee for discussing actively on comtemporany intelligent systems. Special appreciation is extended to Professor A. Ishiguro, Nagoya University, Japan for giving ideas to construct and simulate this system.

**REFERENCES**

- (1) L. A. Zadeh, "Fuzzy Logic and Soft computing", Plenary Speaker, Proc. Of the IEEE Int. Workshop on Neuro Fuzzy Control, Muroan Japan, Mar.22-23, 1993.
- (2) L. A. Zadeh, "The Role of Soft Computing and Fuzzy Logic in the Conception, Design, Development of Intelligent Systems ", Plenary Speaker, Proc. of the Int. Workshop on Soft Computing Industry, Muroan Japan, Apr.27-28, 1996.
- (3) L. A. Zadeh, "From Computing with Numbers to Computing with words - from Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions", Plenary Speaker, Proc. of the IEEE Int. Workshop on Soft Computing in Industry, Muroan, Japan, June 16-18, 1999.
- (4) L. X. Wang, "Fuzzy Systems are Universal Approximations", Proc. of the IEEE Fuzzy Systems, San Francisco U.S.A.,1992.
- (5) D. F. Akhmetov, Y. Dote, Y. Suzuki and S. Saga, "General Parameter Radial Basis Function Based Adaptive Fuzzy Systems" Journal of Fuzzy Systems (JSFS), Nov.1998.
- (6) A. Ishiguro, T. Kondo, Y. Watanabe and Y. Uchikawa, "An Immunological Approach to Behavior Control of Autonomous Mobile Robots-

- Construction of Immune network Through Learning", Proc. of the IWSCI, Muroran, Japan, April 27-28, 1996
- (7) T. Nohara and H. Takahashi, "Automated Transportation Control System of AGV (Automated Guided Vehicle) Using Artificial Immune Network—Application to Container Terminal", Journal of High Speed Signal Processing Application, Vol.3, No.1, 2000.(in Japanese)
- (8) H. Nakamura, A. Ishiguro, Y. Uchikawa and R. Pfeifer, "Exploiting Embodiment to Solve Some of the Hard Classification Problems: Proc. of the Int. Workshop on Signal Processing Applications & Technology, Nagoya, Japan, Oct.1998.
- (9) N. Kohata, T. Yamaguchi, M. Takahide, T. Baba and H. Hashimoto, "Dynamic Formation on MobileAgents and Its Evolutionary Parallel Computation", Proc. of the IEEE SMC, Tokyo, Japan, Oct.13-15,1999
- (10) K. Hirasawa, J. Misawa and J. Hu, "A Learning Method for Dynamics of Multi-Agent System with Mutual Interaction Based on Fuzzy Inference", Trans. On SICE, Vol35, No.11, 1999(In Japanese)
- (11) S. Suzuki, T. Kamano and T. Anno, "Cooperative Multi-Agent Robot for Catching One Target Object", bit, Vol.32, No.4, April Japanese)
- (12) H. Takagi, "Industrial and Commercial Applications of NN/FS/GA/Chaos in 1990s" Proc. of the IEEE Int. Workshop on Soft Computing in Industry, Muroran, Japan, Apr. 27-28, 1996.
- (13) Y. Dote and R. G. Hoft: Chapter 8, Intelligent Control: Power Electronic Systems, Oxford University, 1998.(with Dr.L.A.Zadeh's foreword)
- (14) G. M. P. O'Hare and N. R. Jennings: Reactive Distributed Artificial Intelligence, Jhon Wiley & Sons Inc. U.S.A. ,1996
- (15) T. Sawaragi, "Post Intelligent Control: Perspectives on on Bioinformatic Control Systems", Proc. of the JIEE meeting on Intelligent Control, Keio University Japan, Sept. 1998.
- (16) M. Sasaki: Affordance, Iwanami Shoten Japan, Oct. 1995 (in Japanese)
- (17) H. Takagi: Tutorial, "Interactive Evolutionary Computation", The IEEE SMC, San Diego U.S.A., Oct. 1998.
- (18) T. Nakane: Decision Making Using Immune Networks, M.S. [Thesis, Muroran Institute of Technology, March 2000 (in Japanese)

## ソフトコンピューティングによる知的制御

土手 康彦\*

## 概要

最初に、コンピュータショナルインテリジェンスを用いた小規模システム対する知的制御について記す。ジェネラルパラメータ法によるファジィニューラルネットワークを開発し、計算時間が著しく減少、リアルタイムでの自動車のトランスミッションギアの故障検出を実現している。次に、大規模で複雑なシステムに対しては、拡張されたソフトコンピューティング (ESC) を使った現代の知的制御を提案している。現代の知的制御システムの概念が議論される一方で、ESCが将来有望であることは間違いない。最後に例として、マルチエージェントの意思決定ロボットやそのファジィ推論、強化学習について記している。

キーワード：コンピュータショナルインテリジェンス、ソフトコンピューティング、知的制御、ファジィシステム、ニューラルネットワーク、免疫ネットワーク

\* 情報工学科



# Fault Diagnosis from Nonlinear Time Series Using Time Delay Neural Network

M.Shafique SHAIKH\*, Daouren AKHMETOV\* and Yasuhiko DOTE\*

(Accepted 31 August 2000)

A fault diagnosis scheme for nonlinear time series recorded in normal and abnormal conditions is proposed. The fault is first detected from regression lines plotted for the raw time series. Model for the normal time series is estimated using a Finite Impulse Response (FIR) neural network. The trained network is then used for inverse filtering of abnormal time series. The fault is further confirmed/analyzed using the regression lines of the predicted normal and inverse-filtered abnormal conditions time series.

The proposed scheme is tested with a fault diagnosis problem using acoustic data obtained from moving parts of an automobile.

Keywords: Fault diagnosis, linear regression, neural network.

---

## 1 INTRODUCTION

In many scientific, economic, and engineering applications there arises the problem of system identification and modeling of nonlinear time series. Once the model is made it can be used either for prediction, fault diagnosis, pattern recognition, or pattern classification.

The information about a dynamic process is often only partial and incomplete. In many real-world problems, data are masked by noise and some dynamic processes are described by chaotic time series in which the data seem to be random without apparent periodicity<sup>(1)</sup>. The Neural Network (NN), being able to acquire knowledge by a learning process and store in massively parallel/distributed synaptic weights, can solve complex problems that are intractable. The NNs are successfully used in fields like modeling, time series analysis, pattern recognition, signal processing, and control.

A kind of neural network, that has short-term

memory in the form of *tapped delay lines*, known as time delay neural network (TDNN) has been used in speech processing<sup>(2, 3)</sup>. A class of TDNN, that uses *finite-duration impulse response* (FIR) filters in its synaptic connections between the layers, known as FIR network has been used in time series prediction<sup>(4, 5)</sup>. System identification is also performed using general parameter (GP) neural networks<sup>(6, 7)</sup>.

In this paper a fault diagnosis scheme for nonlinear time series data is proposed. The fault is detected from regression lines of the raw and filtered time series where FIR network is used for modeling and inverse filtering of the time series. The proposed scheme is applied to a fault diagnosis problem using acoustic data obtained in normal and abnormal conditions from moving parts of an automobile.

The paper is organized as follows: Details of linear regression modeling are given in Section 2. Section 3 introduces neural networks and its type FIR network used in this study. Section 4 elaborates the scheme of fault diagnosis using FIR network and its application to acoustic data recorded from mov-

---

\* Division of Computer Science and Systems Engineering

ing parts of an automobile. Section 5 concludes the paper after discussing the results and future work. Finally, Section 6 summarizes the whole study.

**2 LINEAR REGRESSION MODEL**

In many problems two or more variables are inherently related, and it is necessary to explore the nature of this relationship. *Regression analysis* is a statistical technique for modeling and investigating the relationship between two or more variables. In the case of *simple linear regression* a single regressor or predictor  $x$  and a dependent or response variable  $y$  is considered. Supposing true relationship between  $y$  and  $x$  as a straight line and that the observation  $y$  at each level of  $x$  is a random variable, the observation  $y$  can be described by the model

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon \dots \dots \dots (1)$$

where intercept  $\beta_0$  and the slope  $\beta_1$  are unknown regression coefficients, and  $\epsilon$  is a random error with mean zero and variance  $\sigma^2$ . The criterion for estimating the regression coefficients is called as *method of least squares*. The fitted or estimated regression line or trend from <sup>(8)</sup> is therefore

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x \dots \dots \dots (2)$$

where  $\hat{\beta}_0 = \bar{y} - \hat{\beta}_1 \bar{x}$ ,  $\hat{\beta}_1 = [\sum_{i=1}^n y_i(x_i - \bar{x})^2] / [\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2]$ ,  $\hat{y}$  is the estimated linear regression line values,  $\bar{y} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n y_i$ , and  $\bar{x} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n x_i$ .

**3 NEURAL NETWORKS APPROACH**

Neural networks are typically used in pattern recognition, where a collection of features (such as an image) is presented to the network, and the task is to assign the input feature to one or more classes. Another typical use for NN is (nonlinear) regression, where the task is to find a smooth interpolation between points. The time series modeling involves processing of patterns that evolve over time, i.e. the appropriate response at a particular point in time depends not only on the current value of the observable but also on the past.

The main advantage of the neural network is that it enables us to approximate or reconstruct any nonlinear continuous function  $F(\cdot)$ , therefore such a model is more general and flexible. A general view of a neural network is given in Fig. 1. Many researchers <sup>(9, 10)</sup> have used NN for time series prediction. In all these cases, temporal information is presented spatially to the network by a time-lagged vector (also called tapped delay line).

**3.1 Time Delay Neural Network**

The neural network having tapped delay lines placed between the input and hidden layers of a neural network is generally known as a time delay neural

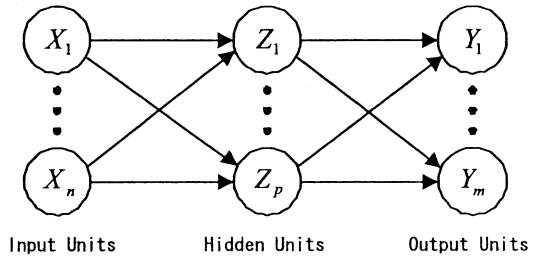


Fig. 1. A typical neural network with one hidden layer.

network (TDNN). The TDNN maintains a history of its  $n$  most recent values, and these values are available to the next layer. A typical connection between input and hidden layers of a TDNN is shown in Fig. 2, where  $u_i$  and  $h_j$  are the  $i$ th and  $j$ th neurons of input and hidden layers respectively, and  $d_n$  shows the  $n$ th times delayed input data. For the latest input in time the delay tag is not shown in Fig. 2. Separate weights are used for each delay line. The TDNNs have been used in speech recognition <sup>(2, 3)</sup>.

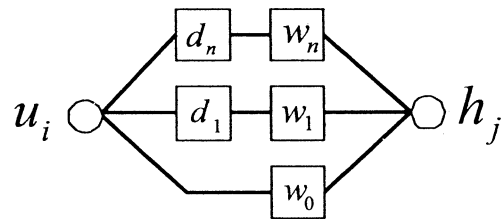


Fig. 2. A typical synaptic connection between input and hidden layers of a TDNN.

**3.2 FIR Network**

In case of TDNNs the combination of unit delay elements and associated weights may be viewed as a *finite-duration impulse response (FIR)* filter. The networks having such filters are called as FIR networks. In this section training procedure <sup>(4)</sup> of FIR network is described.

In order to understand clearly, a single neuron extracted from the  $l$ th layer of an  $L$ -layer static feed-forward neural network is represented in the Fig. 3. The output of the neuron,  $x_j^{l+1}$ , is taken as a sigmoid function of the weighted sum of its inputs:

$$x_j^{l+1} = f \left( \sum_i w_{i,j}^l x_i^l \right) \dots \dots \dots (3)$$

where  $x_i^l$  and  $w_{i,j}^l$  are inputs and weights of the neuron, respectively.

A modification of the basic neuron can be accomplished by replacing each static synaptic weight by a FIR linear filter as shown in Fig. 4. By FIR



we mean that for an input excitation of finite duration, the output of the filter will also be of finite duration. The most basic FIR filter can be modeled with a tapped delay line as illustrated in Fig. 5. For this filter, the output  $y(k)$  corresponds to a weighted sum of the past delayed values of the input:

$$y(k) = \sum_{n=0}^T w(n)x(k-n) \dots \dots \dots (4)$$

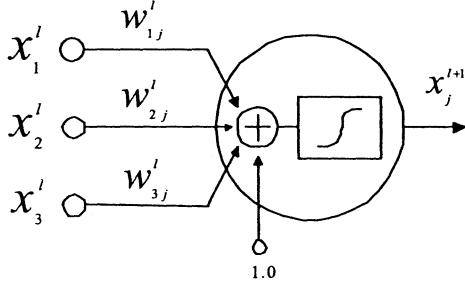


Fig. 3. Static neuron model (feedforward path).

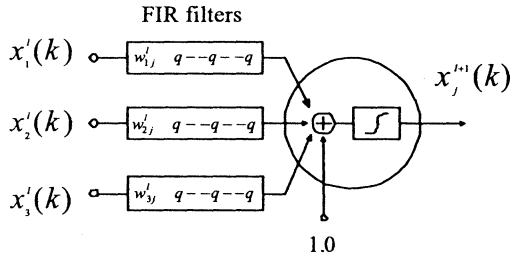


Fig. 4. FIR neuron model (feedforward path).

It may be noted that this corresponds to the *moving average* component of a simple auto-regressive moving average (ARMA) model <sup>(10)</sup>.

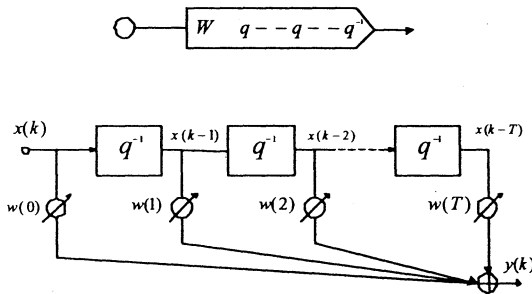


Fig. 5. FIR filter model.

The weight vector for the synaptic filter connecting neuron  $i$  to neuron  $j$  in layer  $l$  is denoted by  $w_{i,j}^l = [w_{i,j}^l(0), w_{i,j}^l(1), \dots, w_{i,j}^l(T^l)]$ . Similarly the vector of delayed inputs along the synaptic filter is  $x_i^l(k) = [x_i(k), x_i(k-1), \dots, x_i(k-T^l)]$ . Hence

the operation of the filter can be expressed as dot product  $w_{i,j}^l \cdot x_i^l(k)$ . The feedforward response of the FIR network can be written as,

$$x_j^{l+1}(k) = f \left( \sum_i w_{i,j}^l x_i^l(k) \right) \dots \dots \dots (5)$$

where  $x_j^{l+1}(k)$  is the output of a neuron in layer  $l$  at time  $k$  taken as the sigmoid function of the sum of all filter outputs that feed the neuron. Comparing Equations (1) and (3) it may be observed that the scalars are replaced by vectors. As contrast to standard error backpropagation <sup>(11)</sup> used in static feedforward neural networks, *temporal backpropagation* is used in FIR networks. The feedback path of selected static and FIR neurons are shown in Figs. 6 and 7, respectively. The final algorithm of temporal backpropagation can be summarized as:

$$w_{ij}^l(k+1) = w_{ij}^l(k) - \eta \sigma_j^{l+1}(k) \cdot x_i^l(k) \dots (6)$$

$$\sigma_j^l(k) = \begin{cases} -2e_j(k) f'(s_j^L(k)) & l = L \\ f'(s_j^L(k)) \cdot \sum_m \delta_m^{l+1}(k) \cdot w_{jm}^l & 1 \leq l \leq L-1 \end{cases}$$

where  $e_j(k)$  is the error at an output node,  $f'()$  is the derivative of the sigmoid function, and  $\delta_m^l(k) \equiv [\delta_m^l(k), \delta_m^l(k+1), \dots, \delta_m^l(k+T^{l-1})]$  is a vector of propagated gradient terms. It may be noticed that these equations are seen as the vector generalization of the familiar backpropagation algorithm. Complete derivation of the above algorithm is given in <sup>(4, 12)</sup>.

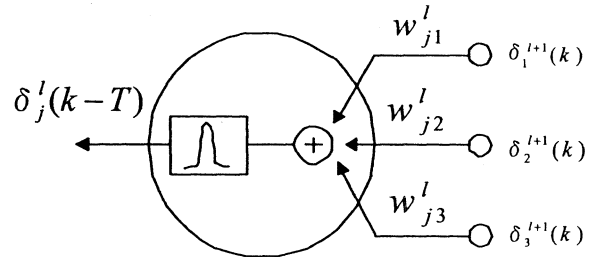


Fig. 6. A static neuron model (feedback path).

#### 4 FAULT DIAGNOSIS SCHEME

A fault diagnosis scheme <sup>(13)</sup> using nonlinear time series is proposed in which the fault is first detected using regression lines of the raw time series recorded in normal and abnormal conditions. Both of the time series are then normalized for the range -1 to +1. The normalized normal condition data are used to train a FIR network. The trained network is

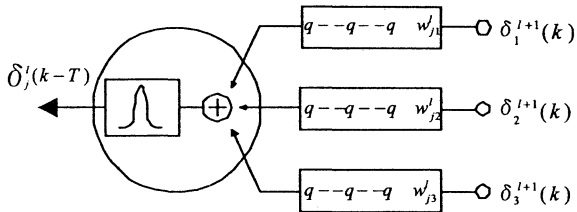


Fig. 7. A FIR neuron model (feedback path).

then used for inverse filtering the abnormal condition data. The regression lines plotted for predicted normal condition data and inverse-filtered abnormal condition data are used to further diagnose the fault.

The proposed scheme is tested with a fault diagnosis problem using acoustic data recorded from moving parts of an automobile.

**4.1 Fault Diagnosis Scheme applied to Acoustic Data**

The proposed scheme is applied to a fault diagnosis problem using normal and abnormal conditions acoustic data recorded from moving parts of an automobile. Regression lines of the raw data plotted using the least square method described in section 2 are shown in Fig. 8. The difference in the amplitude and behavior of these lines clearly indicate the existence of a fault.

Before model estimation, the two time series are passed through a moving average filter, of window size 3, to remove the noise without losing the peaks. Initial 100 values of raw and filtered normal and abnormal conditions data are shown in Figs. 9 and 10, respectively. Both of the filtered time series are then normalized for -1 to +1, as shown in Figs. 11 and 12, respectively.

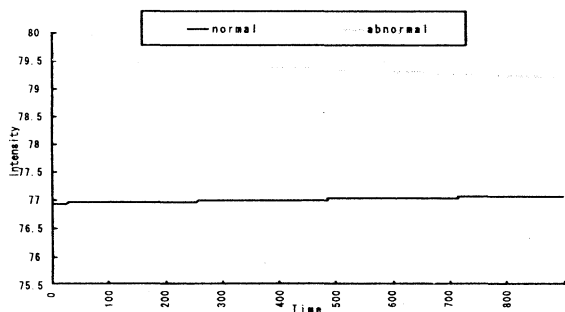


Fig. 8. Regression lines of the raw time series.

In this study the FIR network is used to estimate the model for normal condition data reason being its short-term dynamic memories available in the form of FIR filters. While using FIR networks selection of number of layers and taps per layer is quite critical. After performing several simulations the best network structure is selected when the mean

squared error (MSE) is low and prediction is good after 10,000 epochs of training.

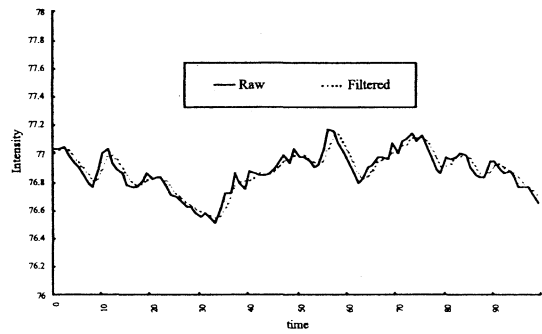


Fig. 9. Initial 100 values of raw and filtered normal condition data.

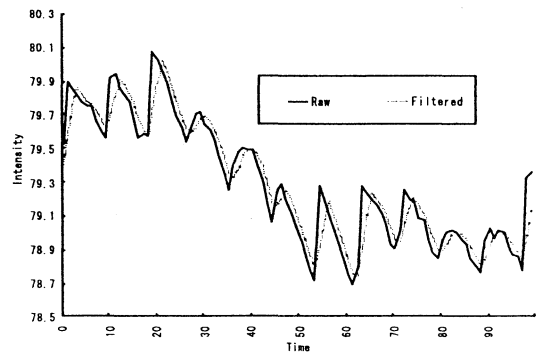


Fig. 10. Initial 100 values of raw and filtered abnormal condition data.

The selected set of layers/taps for the normal condition data modeling is given in Table 1. The MSE after 10,000 epochs of training at different set of taps are shown in Fig. 13 where hidden node taps are set to 3. The FIR network with the best set of layer/taps is then trained for up to 30,000 epochs. Initial 900 points of normal condition data are used for training and the next 100 data are used for validation. The input and predicted output of a trained network for normal condition data are shown in Fig. 14. It can be noticed from this figure that the predicted data follow the training data but for the validation data set the error becomes high but it follows the pattern. Good learning for the training data set is of prime importance in the proposed scheme. The trained network is then used to predict the normal condition data. The trained network is also used to inverse-filter the abnormal condition data. The inverse-filtered abnormal condition data are shown in Fig. 15. The regression lines are plotted for predicted normal and inverse-filtered abnormal conditions data as shown in Fig. 16. A significant difference in the two lines confirms the existence of the fault that is first detected from the observation of the regression lines for the raw time series (see Fig.

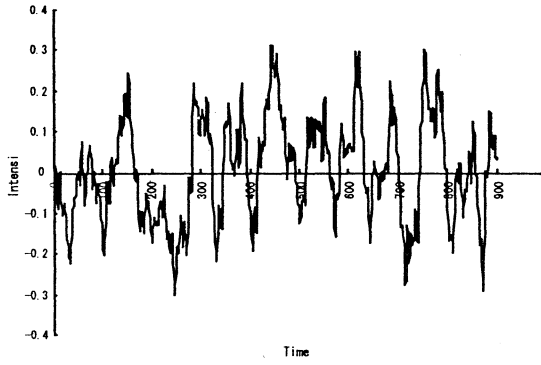


Fig. 11. . The normalized normal condition data.

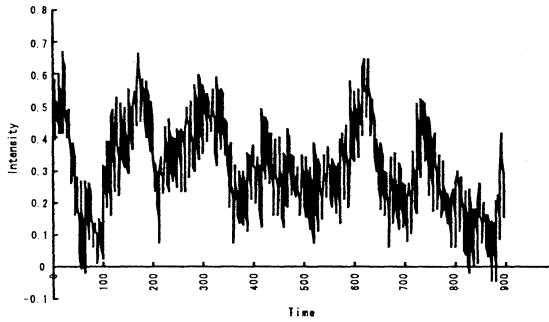


Fig. 12. The normalized abnormal condition data.

8). The fault is more clearly visible in Fig. 16, so it can be said that the sensitivity of the fault detection using regression lines increases by the use of FIR network.

Table 1. FIR Network structure for acoustic normal condition data

Network Parameters	Value
Layers	2
Input Node	1
Input Taps	10/node
Hidden Nodes	30
Hidden Taps	3/node
Output Node	1
Epochs	30,000
MSE	0.000113998

### 5 CONCLUSION

A fault diagnosis scheme is proposed where the fault is first detected from the regression lines of the raw time series. The fault is then confirmed and analyzed from the regression lines of the predicted normal and inverse-filtered abnormal conditions time series. The process of inverse filtering the abnormal condition data, through the FIR network

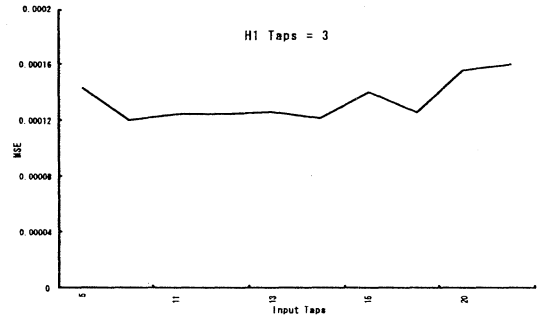


Fig. 13. MSE after 10,000 epochs training of normal condition data.

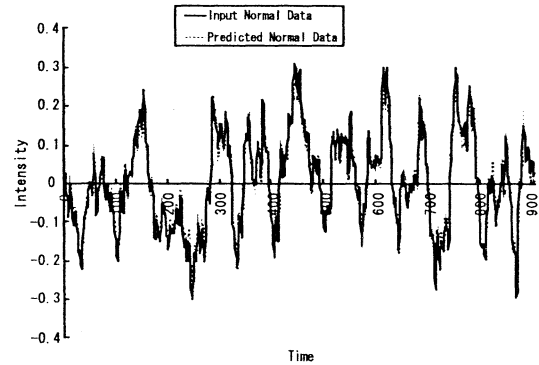


Fig. 14. Input and predicted output of the network trained with normalized normal condition data.

trained for normal condition data, is adopted in order to make sure that the two available time series are different from each other. It provides more detailed information about fault.

The selected set of layers and taps for the FIR network is good for only this application. To estimate model for any other time series new simulations would be needed. Window size 3 for the moving average pre-filter is selected randomly. A bigger window size would result in better filtering hence better modeling.

### 6 SUMMARY

In this paper a fault diagnosis scheme for nonlinear data set recorded in normal and abnormal conditions is proposed. The fault is first detected from regression lines, plotted using least square method, for the raw time series. Model for the normal time series is then estimated using a FIR network. The trained network is used for predicting the normal condition data and inverse filtering the abnormal condition data. The fault is further confirmed/analyzed using the linear regression lines of the predicted normal and inverse-filtered abnormal conditions time series.

The proposed scheme is successfully applied to a fault diagnosis problem using acoustic time series

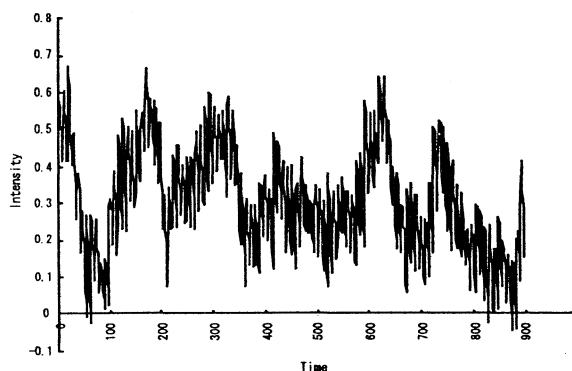


Fig. 15. Inverse-filtered abnormal condition data.

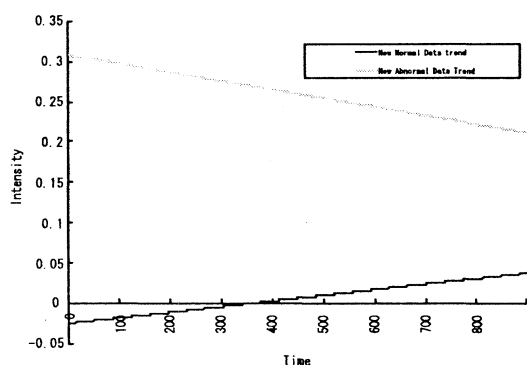


Fig. 16. Linear regression lines of the predicted normal and inverse-filtered abnormal conditions data.

obtained from moving parts of an automobile.

## REFERENCES

- (1) A. Cichocki, R. Unbehauen, Neural Networks for Optimization and Signal Processing, pp. 449, John Wiley & Sons, New York, 1993.
- (2) K. J. Lang, and G. E. Hinton, "The development of the time-delay neural network architecture for speech recognition," Technical Report CMU-CS-88-152, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, PA.
- (3) A. Waibel, T. Hanazawa, G. Hinton, K. Shikano, and K. J. Lang, "Phoneme Recognition Using Time-Delay Neural Networks," IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 37, No. 8, 1989.
- (4) E. Wan, "Time Series Prediction by Using a Connectionist Network with Internal Delay Lines," Time Series Prediction: Forecasting the Future and Understanding the Past (A. S. Weigend and N. A. Gershenfeld, eds), Addison Wesley, Reading MA, 1993.
- (5) W. Saad, Danil V. Prokhorov, and D. C. Wunsch, II, "Comparative Study of Stock Trend Prediction Using Time Delay, Recurrent and Probabilistic Neural Networks," IEEE Transactions on Neural Networks, vol. 9, No. 6, November 1998.

- (6) D. Akhmetov, Y. Dote, and M. S. Shaikh, "System Identification By The General Parameter Neural Networks With fuzzy Self-Organization," 11th IFAC Symposium on System Identification SYSID'97, 8-11 July, Fukuoka, Japan, 1997.
- (7) Y. Dote, Akhmetov D., and M. S. Shaikh, "Control and Diagnosis for Power Electronics Systems using Soft Computing," Proc. of the 2nd Asian Contr of Conference (ASCC'97), Seoul, Korea, Vol. 3, 491-494, 1997.
- (8) D. C. Montgomery and G. C. Runger, Applied Statistics and Probability for Engineers, pp. 474-477, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1994.
- (9) A. S. Weigend, B. A. Huberman, and D. E. Rumerlhart, "Predicting the Future: A Connectionists Approach," International Journal of Neural Systems, Vol. 1, No. 3, pp. 193-209, 1990.
- (10) L. Ljung, System Identification: Theory for the Users, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1987.
- (11) D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, and R. J. Williams, "Learning Internal Representations by Error Propagation," in Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition, Vol. I: foundations, edited by D. E. Rumelhart and J. L. McClelland, MIT Press, Cambridge, MA. 1986a.
- (12) S. Haykin, Neural Networks: A Comprehensive foundation, 2/e, Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, 1999.
- (13) M. Shafique Shaikh, Nonlinear Time Series Analysis Using Time Delay Neural Network, Master of Engineering dissertation, Muroran Institute of Technology, Muroran, Japan, 1999.

非線形時系列データを使用した遅延時間ニューラルネットワークによる故障診断

シャイク ムハマド シャフィク\*, アクメトフ ダウレン\*, 土手 康彦\*

概要

記録された正常・異常の非線形時系列データに対する故障診断技術に関する提案である。故障はまず、生データから線形回帰傾向によって検知した。時系列のモデルはFinite Impulse Response (FIR)ニューラルネットワークで構成されている。学習されたネットワークは、その後異常時系列データの逆フィルタとして使用している。故障は更に、予測した正常時系列データと逆フィルタをかけた異常時系列データを使用し、線形回帰傾向を用いて分析した。その応用として、実際に自動車トランスミッションギアの傷の検出を行った研究について記してある。

キーワード：故障診断、線形回帰傾向、ニューラルネットワーク

\* 情報工学科

---



# Building Maps of Workspace for Autonomous Mobile Robots Using Self-Creating and Organizing Neural Network

Katsuhiro HORI\* and Yukio HASHIMOTO\*\*

(Accepted 31 August 2000)

This paper presents a method of building maps of the unknown workspace for autonomous mobile robots using self-creating and organizing neural network. By this method, the topological maps which roughly express the workspace can be self-organized from the relative distance data between robots and walls in the workspace only using ultrasonic distance sensors. However, when the shape of the workspace is complicated, an unsuitable map with dead nodes or dead links may be generated. In this paper, in order to cope with this problem, we propose a new building maps algorithm which consists of two learning stages.

Keywords: Autonomous Mobile Robot, Workspace Recognition, Building Map, Self-Creating and Organizing Neural Network

---

## 1 INTRODUCTION

For the unknown workspace recognition, the method of building maps of workspace for autonomous mobile robots using self-organizing neural network is proposed<sup>(1)(2)(3)</sup>. By this method, the topological maps of the workspace can be self-organized from the relative distance data between robots and walls in the workspace. The relative distance data are collected only using ultrasonic distance sensors.

This method uses self-organizing neural networks called self-organizing feature map<sup>(4)</sup> or self-creating and organizing neural network<sup>(5)</sup> to learn maps of workspace. The inputs of the neural networks are the relative distance data between robot and wall at many places of the workspace. After a sufficient learning, a topological map of the workspace can be built on the self-organizing layer of these neural networks. The topological map consists of nodes and links. The nodes on the map are the representative positions of the workspace and the links on

the map are the relations of the representative positions. Thus, the topological map can roughly express the workspace.

However, when the shape of the workspace is complicated, some dead nodes and dead links may be generated on the maps. In this paper, in order to cope with this problem, we consider the problem of the workspace maps generated by the method, and we propose a new building maps algorithm which consists of two learning stages: the nodes learning and the links learning.

## 2 CONDITIONS OF ROBOTS AND WORKSPACE

In this study, the following three conditions are assumed about the workspace and the autonomous mobile robot. (1) The workspace is a closed space with obstacles. (2) The robot has no information about the workspace beforehand. (3) The robot has two or more ultrasonic distance sensors arranged in the uniform direction as in Fig. 1.

---

\*Department of Computer Science and Systems Engineering

\*\*Department of Electrical and Electronic Engineering

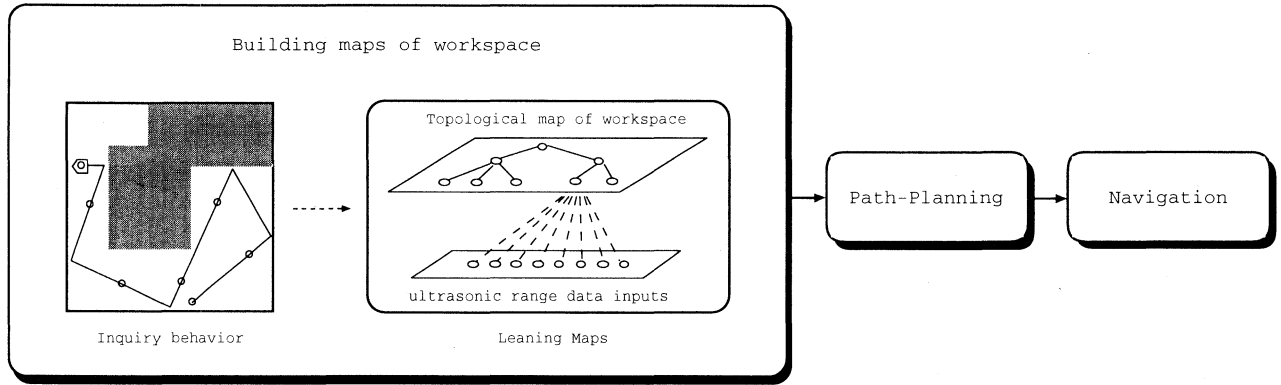


Fig. 2. Behavior procedure of autonomous mobile robot.

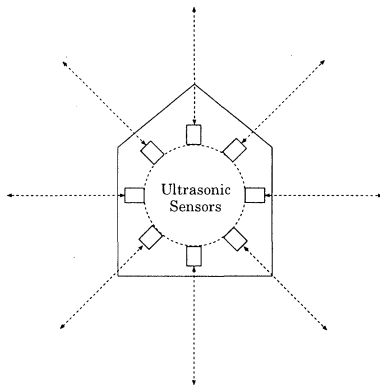


Fig. 1. Autonomous mobile robot.

And it is specified that this autonomous mobile robot behaves in the following procedure shown in Fig. 2.

At the first step, the robot behaves in inquiry in the unknown workspace, and collects the relative distance data between the robot and the wall at many places in the workspace for every fixed distance moving. This inquiry behavior consists of the combination of the straight-line moving and the random direction conversion carried out when the distance value from the wall becomes smaller than a fixed value. By inputting the collected relative distance data to a self-creating and organizing neural network and computing the learning algorithm described in the following chapter, a topological map which consists of nodes and links of the workspace can be generated on the self-organizing layer of the network. At the second step, the robot work out path-planning between the given destination with its present position using the map. At the third step, the given task (that is, moving to the destination) is achieved by moving along the planned path.

In this paper, we mainly discuss the first step: building maps of workspace.

### 3 SELF-CREATING AND ORGANIZING NEURAL NETWORK (SCONN)

#### 3.1 NETWORK STRUCTURE

In order to implement the maps of the workspace, we use the self-creating and organizing neural network (SCONN) with the structure shown in Fig. 3.

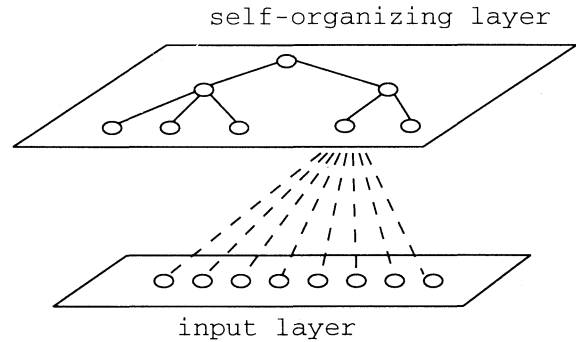


Fig. 3. The network structure of self-creating and organizing network (SCONN).

This SCONN consists of two layers. One layer is an input layer and another is a self-organizing layer.

Each neuron on the input layer and on the self-organizing layer has joined mutually. The learning of this network is carried out based on the competitive learning algorithm. Therefore, a neuron on the self-organizing layer which has the weight vector with the minimum distance from the input vector is selected as the winner neuron. At the initial state, there is only one neuron on the self-organizing layer. And the neurons on the network is self-created and organized, according to the change of the feature of input vectors, and then the topological map with a tree structure is generated on the self-organizing layer. Since the neurons on the



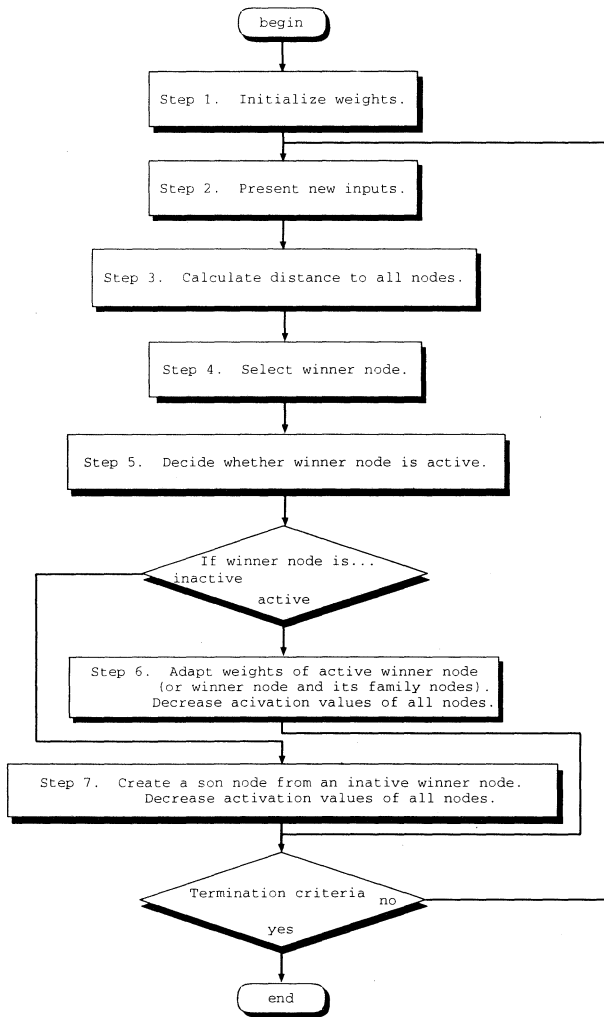


Fig. 4. A block diagram of the learning algorithm for the SCONN.

self-organizing layer express the nodes on the topological map, 'neuron' and 'node' are equivalent. Therefore, we describe uniformly 'neuron' as 'node' after this.

**3.2 LEARNING ALGORITHM**

Fig. 4 shows a block diagram of the learning algorithm for the SCONN, and the detailed steps of the learning algorithm are as follows:

At the first step, there is only one node on the self-organizing layer with small random weight at the primitive stage and its activation level is set large enough to respond to any input stimuli. At the second step, new input vector is presented randomly or sequentially. At the third step, distances  $d_j$  between the input and each output node  $j$  are calculated using (1).

$$d_j^2 = \sum_{i=1}^N \{x_i(t) - w_{ij}(t)\}^2 \dots \dots \dots (1)$$

where  $x_i(t)$  is the input to node  $i$  at time  $t$  and  $N$  is the demension of the input and  $w_{ij}(t)$  is the weight from

input node  $i$  to output node  $j$  at time  $t$ . At the fourth step, an output node with the minimum distance is selected as the winner node. At the fifth step, it is decided using (2) whether the winner node is active or inactive.

$$y_{wj} = \begin{cases} \text{is active,} & \text{if } d_{wj} < \theta(t) \\ \text{is inactive,} & \text{otherwise} \end{cases} \dots \dots (2)$$

where  $y_{wj}$  is the output of the winner node,  $d_{wj}$  is the distance between the inputs and the winner node, and  $\theta(t)$  is an activation level that is sufficiently wide at a primitive stage and decreases with time. In this study, we use (3) as the activation level.

$$\theta(t) = c_1 \exp(-c_2 t) + c_3 \dots \dots \dots (3)$$

where  $c_1, c_2, c_3$  are constant. At the sixth step, the weights of an active winner node is adapted using (4).

$$w_{i,wj}(t+1) = w_{i,wj}(t) + \alpha(t) \{x_i(t) - w_{i,wj}(t)\} \dots (4)$$

where  $w_{i,wj}(t)$  are the weights from the inputs to an active winner node and  $\alpha(t)$  is the gain term that can be constant or decrease with time. At the seventh step, a son node is created from a mother node (an inactive winner node) using (5) and (6). and the son node is linked the mother node.

$$sj = sj + 1 \dots \dots \dots (5)$$

$$w_{i,sj}(t+1) = w_{i,sj}(t) + \beta(t) \{x_i(t) - w_{i,wj}(t)\} \dots \dots (6)$$

where  $sj$  is the current number of total output nodes,  $w_{i,sj}(t)$  are the weights from the inputs to a son node created from a mother node, and  $\beta(t)$  is the resemblance factor that varies from 0 to 1.

In this algorithm, there can be three criteria to stop the program. Those criteria are iterations  $t$ , number of output nodes  $sj$  and activation level  $\theta(t)$ .

**4 BUILDING MAPS OF WORKSPACE USING SCONN**

There are some problems on the maps of workspace built using directly the above-mentioned learning algorithm of SCONN. In this section, through a simulation case study, we consider the problems and propose a new improved learning algorithm.

**4.1 SIMULATION CASE STUDY**

We use the workspace shown in Fig. 5 as the unknown workspace in this simulation case study. The robot behaves in inquiry in the unknown workspace and measures the relative distance data from walls as shown in Fig. 6, and then the topological map of the workspace is built by the learning algorithm of SCONN.



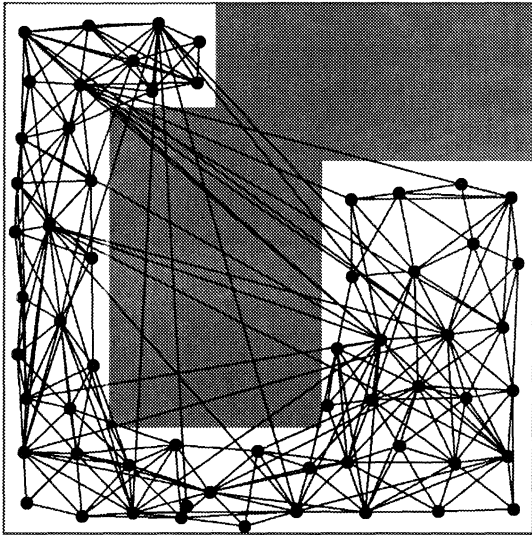


Fig. 8. The map with graph structure.

ning of learning becomes a dead link in many cases. The basic function of the SCONN is generating representative nodes from input vectors and determining weights of the representative nodes. As the weights is not stabilized at the initial learning stage, the links which is generated at the time will extend by movement of the nodes and tend to grow into the links over an obstacle of the workspace as shown in Fig. 9.

### 4.3 IMPROVED LEARNING ALGORITHM

Based on the above-mentioned consideration, we propose a new improved algorithm as follows. In this algorithm, at the beginning of leaning, only determination of representative nodes of the workspace (so-called vector quantization) is carried out. That is, at the first leaning stage, the movement of the representative nodes can converge and the rough division of the workspace can be done. And after this, at the second leaning stage, we generate the links on the map in the same way of the above-mentioned method. A Block diagram of this new improved learning algorithm is shown in Fig. 10.

Fig. 11 shows a simulation result by this new improved learning algorithm. And Fig. 12 shows a simulation result with the limitation of number of links which one node has. It is confirmed by Fig. 12 that the dead links can be completely eliminated with the limitation of the number of links.

## 5 CONCLUSIONS

In this paper, it is confirmed that there are two problems on the topological maps built using directly self-creating and organizing neural network, when the shape of the workspace is complicated. In order to cope with

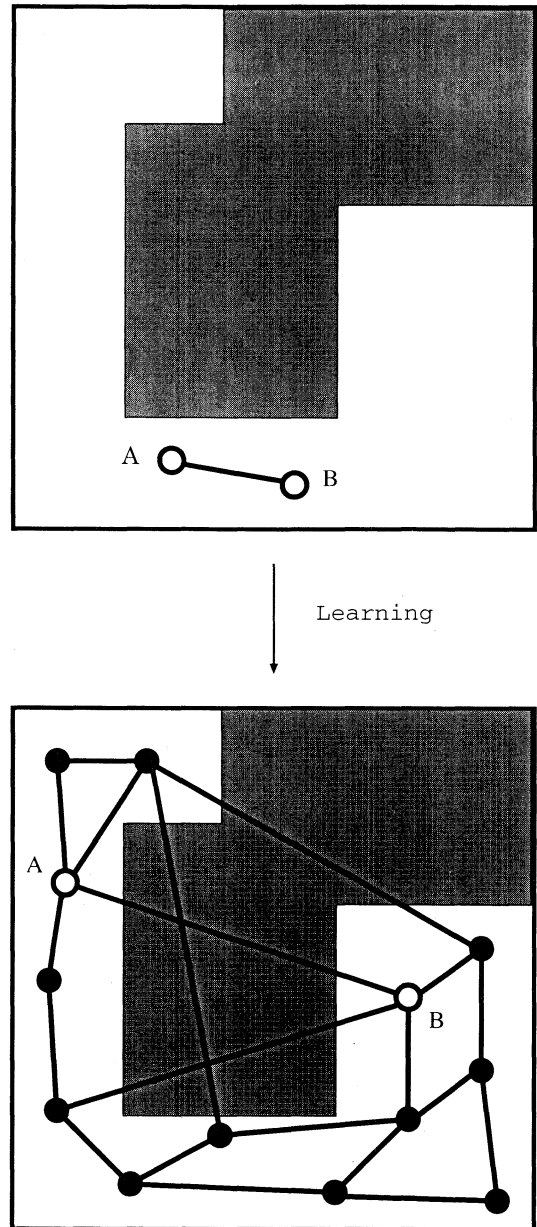


Fig. 9. A generation factor of a dead link.

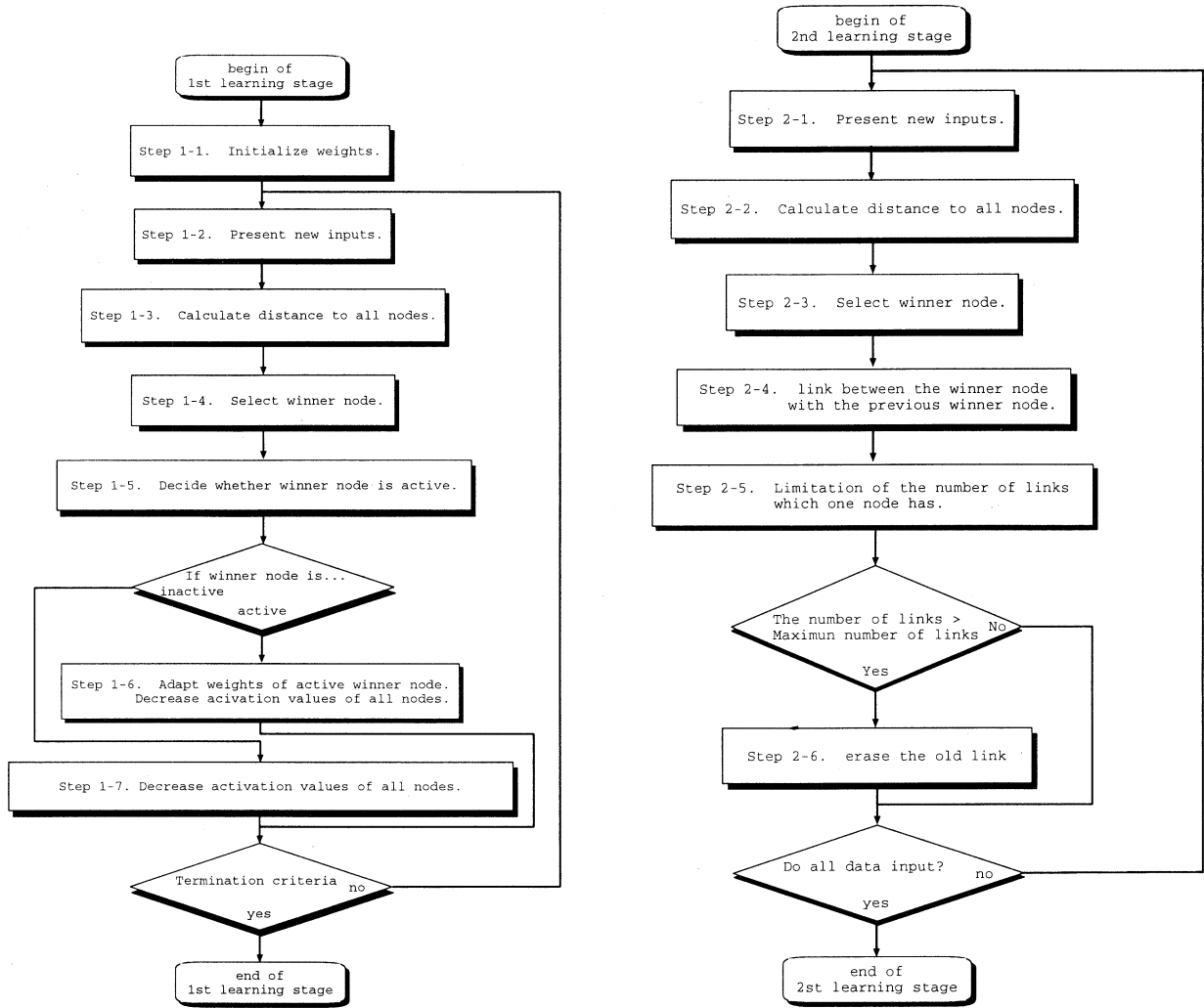


Fig. 10. A block diagram of the improved learning algorithm.

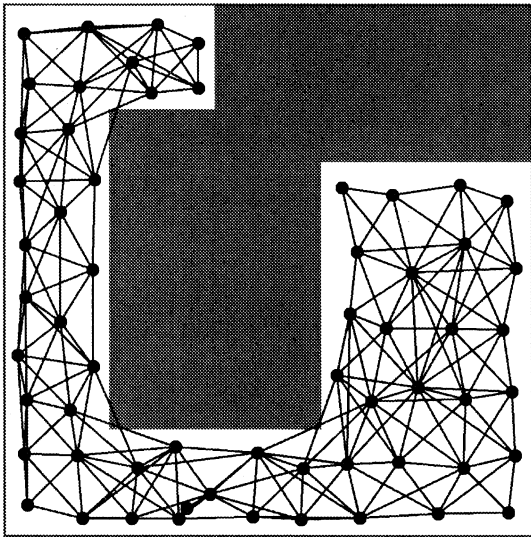


Fig. 11. The map generated by the improved learning algorithm.

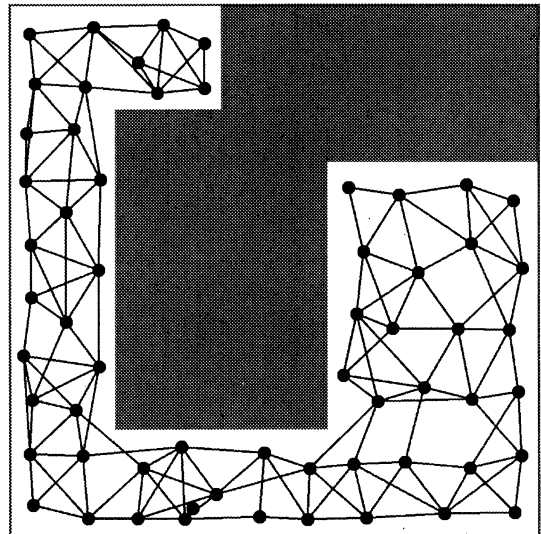


Fig. 12. The map generated by the improved learning algorithm with the limitation of the number of links which one node has.

these problems, we propose a new learning algorithm divided into the two learning stages. At the first stage, only representative nodes are learned, and at the second stage, links between the nodes are generated. As a result, the proper maps are built in these two stages. This algorithm was tested by the simulation for an autonomous mobile robot with eight ultrasonic distance sensors, and it was demonstrated that the algorithm is useful for the purpose.

#### REFERENCES

- (1) A.Kurz: Building Maps on a Learned Classification of Ultrasonic Range Data, Proc. IFAC Intelligent Autonomous Vehicles, Southampton, UK, 191/196, 1993.
- (2) T.Ohisi, K.Furuta and S.Kondo: Workspace Recognition and Navigation of Autonomous Mobile Robot Using Self-Creating and Organizing Neural Network: Trans. of the Society of Instrument and Control Engineers, 33-3, 203/208, 1997(in Japanese).
- (3) S.Takahashi, K.Hori, and Y.Hashimoto: Workspace Map Generation for Autonomous Mobile Robot Using the Self-Creating and Organizing Neural Network: Proc. of 16th Annual Conference of Robotics Society of Japan, 293/294, 1998(in Japanese).
- (4) T.Kohonen: Self-Organization and Associative Memory, Springer-Verlag, 1984.
- (5) Doo-II Choi and Sang-Hui Park: Self-Creating and Organizing Neural Networks, IEEE Trans. Neural Networks, 5-4, 561/575, 1994.

---

自己生成・自己組織化ニューラルネットワークを用いた  
自律移動ロボットの作業環境マップの自動生成

堀 勝博\*、橋本 幸男\*\*

#### 概要

本論文では、自律移動ロボットの未知作業環境認識のための、作業環境マップの自動生成手法について論ずる。本手法では、自己生成・自己組織化ニューラルネットワークによる自己組織化学習を行うことにより、超音波センサにより得られるロボットと障害物間の相対的な距離情報のみから、作業環境を大まかに表した位相マップを自己組織的に獲得可能である。しかし、作業環境の形状によっては、到達不可能なデッドリンクやデッドノードを持つ不適切なマップが生成される場合がある。本報告では、その問題点に対処した、新しいマップ自動生成アルゴリズムを提案する。

キーワード: 自律移動ロボット、作業環境認識、マップ生成、自己生成・自己組織化ニューラルネットワーク

\* 情報工学科、\*\* 電気電子工学科



# Segmentation of Natural Images Using Fuzzy Region-Growing Algorithm

Junji MAEDA\*, Sonny NOVIANTO\*, Sato SAGA\* and Yukinori SUZUKI\*

(Accepted 31 August 2000)

We present a new method that integrates intensity features and a local fractal-dimension feature into a region growing algorithm for the segmentation of natural images. A fuzzy rule is used to integrate different types of features into a segmentation algorithm. In the proposed algorithm, intensity features are used to produce an accurate segmentation, while the fractal-dimension feature is used to yield a rough segmentation in a natural image. The effective combination of the different features provides the segmented results similar to the ones by a human visual system. Experimental results demonstrates the capabilities of the proposed method to execute the segmentation of natural images using the fuzzy region-growing algorithm.

Keywords: Image Segmentation, Region-Growing Algorithm, Fuzzy Rules, Local Fractal Dimension, Natural Images

---

## 1 INTRODUCTION

The purpose of this paper is to segment natural images with different precision. For a natural image containing houses and trees, we execute an accurate segmentation for a part of the houses and a rough segmentation for a part of the trees. We would like to regard the part of trees including many branches and leaves as the same region as much as possible, while keeping high-precise segmentation at the part of the houses.

It is known that the fractal dimension (FD) of the image is a powerful measure for natural images, since it has been shown that the FD has a strong correlation with human judgement of surface roughness<sup>(1)</sup>. Although several results of segmentation based on the FD have been reported, the FD alone does not perform a good segmentation because of the low resolution of the FD in natural images<sup>(2),(3)</sup>.

Proposed in this paper is a new segmentation algorithm that integrates intensity features and a FD feature into a

fuzzy region-growing algorithm in segmenting natural images. In the proposed method, the intensity features are used to produce an accurate segmentation at the part of non-texture regions such as the houses, while the FD feature is used to yield a rough segmentation at the part of texture regions such as the trees. The low resolution of the FD becomes advantageous in performing a rough segmentation. In this paper we use a blanket method to estimate the local FD<sup>(4),(5),(6)</sup>. Furthermore, we have estimated an optimum number of the blanket suitable for the local estimation of the FD. We have used a fuzzy set theory in order to integrate different types of features into a region growing algorithm<sup>(7),(8)</sup>.

The paper is organized as follows. The second section provides the background on estimating the FD and discusses an optimal estimation of the local FD. Section 3 introduces new fuzzy rules to integrate the different features based on the region growing algorithm. In section 4, we present some results of computer simulations that demonstrate the capabilities of the proposed segmentation algorithm in segmenting natural images. Finally, conclusions are made.

---

\* Department of Computer Science and Systems Engineering

## 2 ESTIMATION OF LOCAL FRACTAL DIMENSION

In the blanket method, an upper and lower blanket are grown from the image surface<sup>(4)</sup>. If  $\epsilon$  is the number of the blanket, and  $u_\epsilon$  and  $b_\epsilon$  are the upper and lower blanket surfaces at position  $(i, j)$ , then the surface area of the blanket is calculated as follows:

$$A(\epsilon) = \frac{\sum \sum (u_\epsilon(i, j) - b_\epsilon(i, j))}{2\epsilon} \dots\dots\dots (1)$$

On the other hand, the area of a fractal surface behaves like<sup>(9)</sup>

$$A(\epsilon) = F\epsilon^{2-D} \dots\dots\dots (2)$$

where  $F$  is a constant and  $D$  is the FD of the image. Therefore, the FD can be estimated from the slope of the straight line if  $A(\epsilon)$  versus  $\epsilon$  is plotted on a log-log scale. However, the actual plot is not a straight line but a nonlinear curve especially for the small local area or window. Therefore, the value of the estimated FD will change according to the maximum number of the blanket to be used in the estimation. Since it is desirable to use the local area as small as possible for the purpose of image segmentation, it is necessary to decide the optimum number of the blanket for a small window.

We have evaluated the behavior of the local FD when we change the number of the blanket in calculating the FD for several sizes of window. We have used the window of the following sizes:  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ ,  $7 \times 7$ , and  $9 \times 9$ . For a certain size of a window, we estimate each local FD for a fixed number of the blanket by calculating the average of 200 samples taken from a texture image. We have evaluated the sum of the difference (SOD) between the global FD (GFD) and the local FD (LFD) for the several sizes of the window as a function of  $\epsilon$ :

$$SOD(\epsilon) = \sum_{i=1}^4 |GFD(\epsilon) - LFD_i(\epsilon)| \dots\dots (3)$$

where  $i$  corresponds to the four sizes of the window and global FD means the use of  $256 \times 256$  window. Figure 1 shows the examples of the estimated LFD and GFD for a certain texture image that demonstrate the variation of the estimated value of FD for four sizes of local windows when we change the maximum number of the blanket ( $\epsilon$ ). Figure 2 represents the minimum values of the sum of the difference (SOD) between the global FD and the local FD when we change the maximum number of the blanket for 40 kinds of texture images from Brodatz album<sup>(10)</sup>. This figure shows that the number of the blanket between 30 and 58 demonstrates a minimum variation from the global FD in estimating the local FD. Thus we use 44 as the optimum number of the blanket to calculate the local FD in our algorithm.

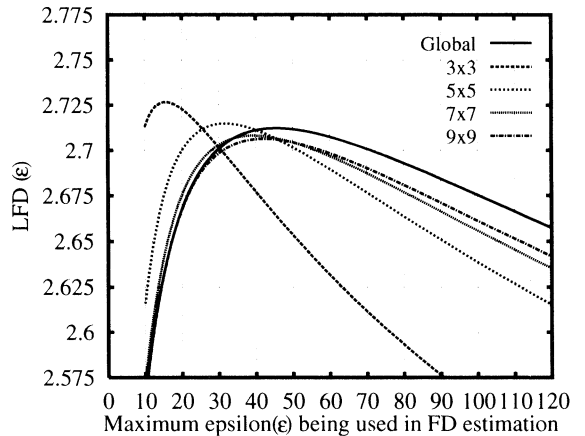


Fig. 1. The sum of the difference between the global and local fractal dimensions.

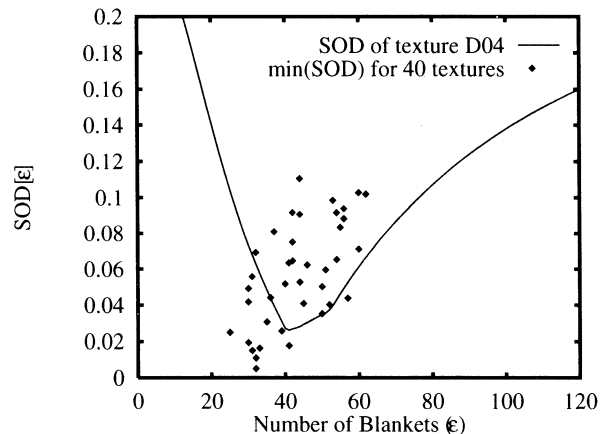


Fig. 2. The sum of the difference between the global and local fractal dimensions.

## 3 FUZZY REGION-GROWING ALGORITHM

The segmentation procedure in the present investigation is the fuzzy region-growing algorithm that is based on a fuzzy rule. Our final objective is to split an original image  $I$  into a number of homogeneous but disjoint regions  $R_j$ :

$$I = \bigcup_{j=1}^n R_j, \quad R_j \cap R_k = \emptyset \quad j \neq k \dots\dots (4)$$

The region growing is essentially a grouping procedure that groups pixels or subregions into larger regions in which the homogeneity criterion holds. Starting from a single pixel, a segmented region is created by merging the neighboring pixels or the adjacent regions around a



current pixel. The operations are repeatedly performed until there is no pixel that does not belong to a certain region.

Since our strategy in segmenting natural images is an effective combination of an accurate segmentation by the intensity features and a rough segmentation by the FD feature, it is inevitable to employ a technique of information integration. We adopt fuzzy rules to integrate the different features. We use the following criteria where each fuzzy rule has a corresponding membership function. The intensity features are the intensity difference and the intensity gradient.

In the proposed fuzzy rules, we set a stronger merging rule for the fuzzy set from the FD feature than the one from the intensity features in order to achieve a rough segmentation, that is to create a large region, at the part of the trees. Since the local FD provides broad edges around the true strong edges, however, we employ the boundary edge<sup>(5),(11)</sup> as the intensity gradient to protect the unnecessary growth of regions around the true edges at the part of the houses.

[Rule 1] The first intensity feature is the difference between the average intensity value  $g_{ave}(R_k)$  of a region  $R_k$  and the intensity value of a pixel  $g(i, j)$  under investigation:

$$\text{DIFFERENCE} = |g_{ave}(R_k) - g(i, j)| \dots (5)$$

The corresponding fuzzy rule for fuzzy set SMALL is

R1: IF DIFFERENCE IS SMALL THEN PROBABLY MERGE (PM) ELSE PROBABLY NOT\_MERGE (PNM).

[Rule 2] The edge information in the region growing algorithm plays an important role. A new pixel may be merged into a region if the gradient between the pixel and the adjacent neighboring region is low. If the gradient is high, the pixel will not be merged. The second intensity feature is the GRADIENT, or the value of boundary edge between the pixel and its adjacent region. We employ the boundary Sobel operator<sup>(5)</sup> to calculate the gradient and to achieve an accurate segmentation at the part of the houses. The fuzzy rule for fuzzy set LOW becomes

R2: IF GRADIENT IS LOW THEN PROBABLY MERGE (PM) ELSE PROBABLY NOT\_MERGE (PNM).

[Rule 3] We incorporate the FD feature that is similar to DIFFERENCE in Rule 1. The difference here is taken between the average LFD value  $D_{ave}(R_k)$  of a region  $R_k$  and the LFD value  $D(i, j)$  of a pixel under investigation:

$$\text{DIMENSION} = |D_{ave}(R_k) - D(i, j)| \dots (6)$$

The corresponding fuzzy rule for fuzzy set SMALL2 is the following one that is a stronger merging rule than

Rule1 and Rule2, because the role of the FD feature should be emphasized in the proposed algorithm.

R3: IF DIMENSION IS SMALL THEN MERGE (M) ELSE NOT\_MERGE (NM).

[Rule 4] The smaller regions, especially regions that consist of one or two pixels, have to be avoided in the region growing algorithm, since it is preferable to remain few large regions instead of many small regions. Thus a fourth rule is the fuzzy set TINY that has the following simple rule:

R4: IF SIZE IS TINY THEN MERGE (M).

Figure 3 shows the four membership functions corresponding to each fuzzy rule. After the fuzzification by the above four rules, min-max inference takes place using the fuzzy sets shown in Fig. 4. Then the conventional centroid defuzzification method is applied. A pixel is really merged when the homogeneity criterion is satisfied to an extent of 50 % after defuzzification.

The final procedure is the merging of two regions that is not a fuzzy rule but a crisp rule after the grouping procedure by the fuzzy inference. Two regions  $R_j$  and  $R_k$  are recursively merged if

$$|g_{ave}(R_j) - g_{ave}(R_k)| \leq T \dots \dots \dots (7)$$

is satisfied, where  $T$  is a predetermined threshold.

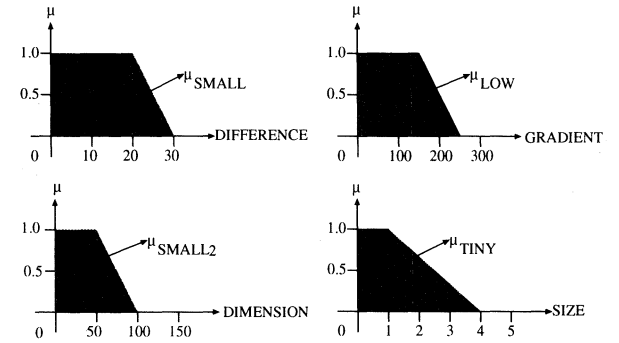


Fig. 3. The membership functions for four fuzzy rules.

## 4 EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION

To assess the performance of the proposed segmentation method, we have executed the simulated experiments using natural images. We have decided the values of the parameters in the segmentation algorithm empirically, and segmented results are represented by the boundaries

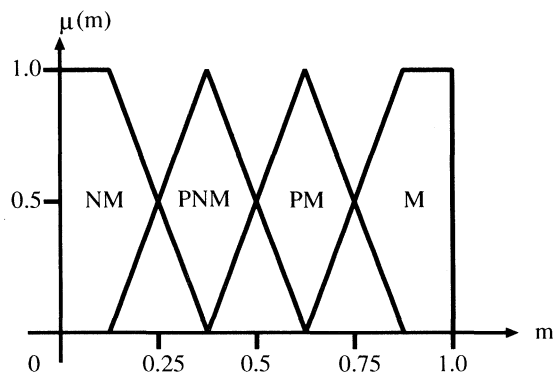


Fig. 4. The fuzzy sets used for inference.

of segmented regions. Figure 5(a) is an original natural image that has  $400 \times 400$  pixels and 256 gray levels and contains a part of a house and a part of trees. The estimated local FD map by using the blanket method with  $3 \times 3$  window and 44 blankets is shown in Fig. 5(b) (this image is shown after the linear transformation from 2.0~3.0 to 0~255). The estimated FD demonstrates nearly the same value at the part of the trees that is well suited for a rough segmentation in the proposed method.

We have performed the conventional segmentation method that uses only the intensity features and the proposed method that uses both the intensity and the fractal features. The conventional method is a region growing algorithm that uses the grouping procedure based on a crisp rule. The segmented images by the conventional algorithm and by the proposed algorithm are shown in Fig. 5(c) and 5(d), respectively. The result in Fig. 5(d) faithfully reflects the low accuracy of the local FD and provides a rough segmentation at the part of the trees while keeping an accurate segmentation at the part of the house. The portions of the trees in Fig. 5(d) are roughly regarded as the same region in comparison with the result in Fig. 5(c) in which the part of the tree yields a large number of small regions. The result by the proposed method coincides with one of the functions of the human visual system that considers a few trees including lots of branches and leaves as one region. The numbers of segmented region of the resultant images in Fig. 5(c) and 5(d) are 4478 and 101, respectively. The substantial reduction in the number of regions, together with the appearance of the segmented images, clearly indicates the effectiveness of the proposed algorithm in segmenting natural images.

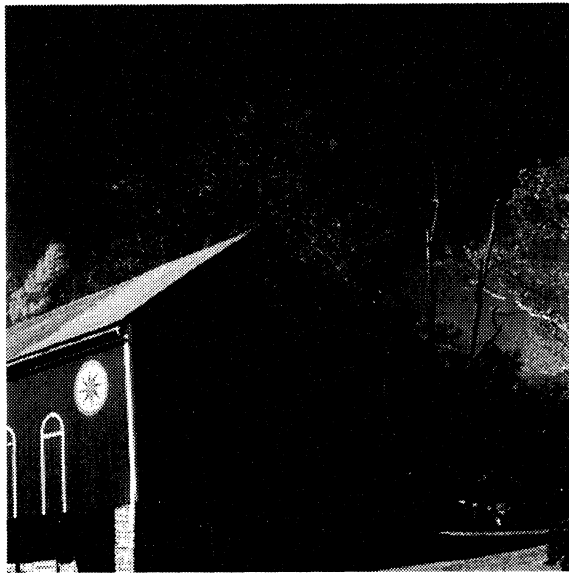
The results of the second experiment are shown in Fig. 6. Figure 6(a) is the second natural image and 6(b) is the estimated local FD. The segmented results by the conventional algorithm and by the proposed algorithm are shown in Fig. 6(c) (no. of regions: 2586) and 6(d) (no. of regions: 79), respectively. The result in Fig 6(d) also demonstrates a rough segmentation at the part of the trees and an accurate segmentation at the part of the house.

## 5 CONCLUSIONS

In this paper we have proposed a method for the segmentation of natural images that integrates the intensity features and the local FD feature into the fuzzy region-growing algorithm. We have estimated the optimum number of the blanket in calculating the local FD by the blanket method. We have investigated the fuzzy-rule based algorithm for integrating different features in the segmentation procedure. Experimental results demonstrates the capabilities of the proposed method to execute the segmentation of natural images with different precision, that is, a rough segmentation at texture regions and an accurate segmentation at non-texture regions simultaneously.

## REFERENCES

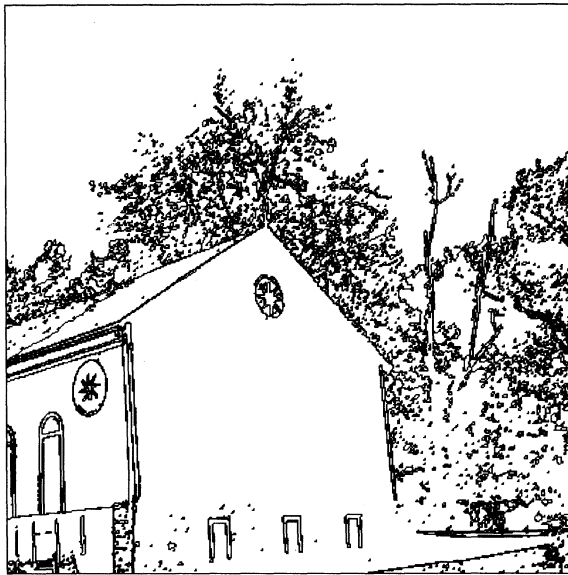
- (1) A. P. Pentland, Fractal-based description of natural scenes, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, **PAMI-6**(6), 661-674, (1984).
- (2) J. M. Keller, S. Chen, and R. Crownover, Texture description and segmentation through fractal geometry, *Comput. Vision, Graphics Image Process.*, **45**, 150-166, (1989).
- (3) J. M. Keller, and Y. B. Seo, Local fractal geometric features for image segmentation, *Int. J. Imaging Sys. Tech.*, **2**, 267-284 (1990).
- (4) S. Peleg, J. Naor, R. Hartly and D. Avnir, Multiple resolution texture analysis and classification, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, **PAMI-6**(4), 518-523 (1984).
- (5) J. Maeda, V. V. Anh, T. Ishizaka and Y. Suzuki, Integration of local fractal dimension and boundary edge in segmenting natural images, *Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. **I**, pp. 845-848 (1996).
- (6) V. V. Ahn, J. Maeda, T. Ishizaka, Y. Suzuki and Q. Tieng, Two-dimensional fractal segmentation of natural images, *Proc. Int. Conf. on Image Analysis and Processing*, vol. **I**, pp. 287-294 (1997).
- (7) S. G. Kong and B. Kosko, Image coding with fuzzy image segmentation, *Proc. IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems*, pp. 212-220 (1992).
- (8) A. Steudel and M. Glesner, Image coding with fuzzy region-growing segmentation, *Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing*, vol. **2**, pp. 955-958 (1996).
- (9) B. B. Mandelbrot, *The Fractal Geometry of Nature*, Freeman, San Francisco (1982).
- (10) P. Brodatz, *Texture: A Photographic Album of Artists and Designers*, Dover, New York (1966).
- (11) J. Maeda, T. Iizawa, T. Ishizaka, C. Ishikawa and Y. Suzuki, Segmentation of natural images using anisotropic diffusion and linking of boundary edges, *Pattern Recognition*, **31**(12), 1993-1999 (1998).



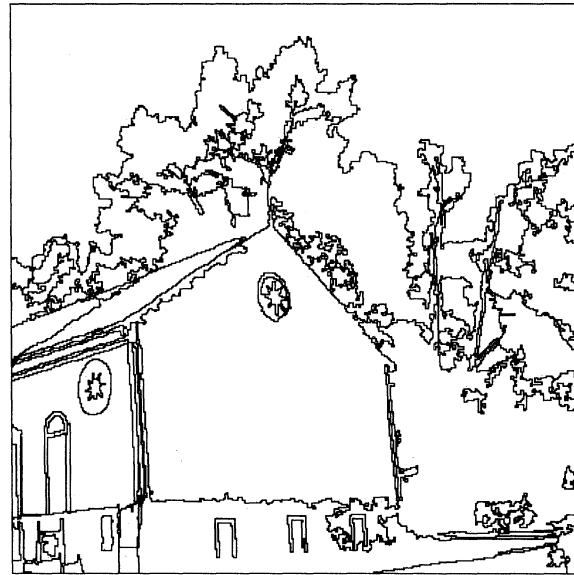
(a)



(b)



(c)

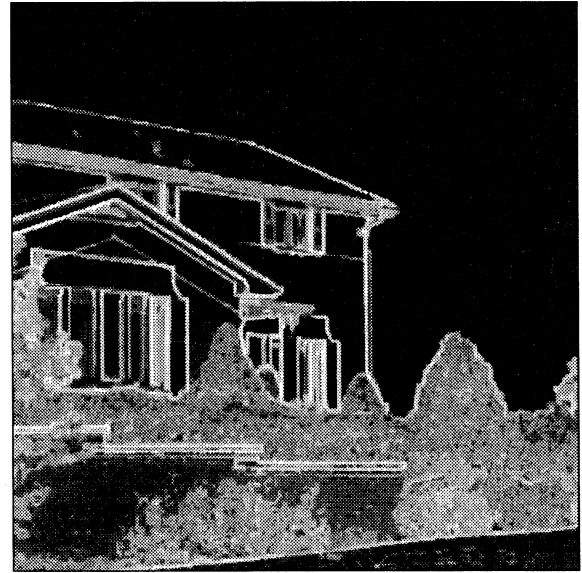


(d)

Fig. 5. Experimental results of segmentation for a natural image: (a) original image; (b) local FD map by using the blanket method; (c) segmented image by the conventional region growing algorithm; (d) segmented image by the proposed algorithm.



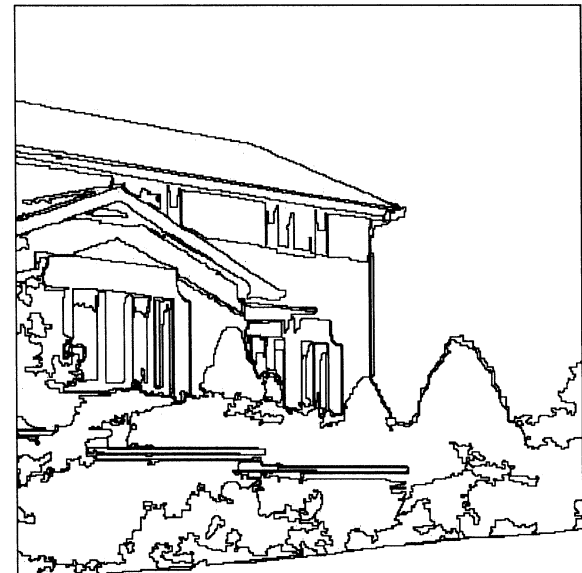
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 6. Experimental results of segmentation for a natural image: (a) original image; (b) local FD map by using the blanket method; (c) segmented image by the conventional region growing algorithm; (d) segmented image by the proposed algorithm.

ファジィ領域成長アルゴリズムを用いた自然画像の領域分割

前田 純治\*, ソンニ ノヴァイアント\*, 佐賀 聡人\*, 鈴木 幸司\*

概要

我々は、自然画像の領域分割を行うために、濃度階調値と局所的フラクタル次元を領域成長アルゴリズムへと統合する新しい手法を提示している。本手法では、異なるタイプの複数の特徴をひとつの領域分割アルゴリズムへと統合するためにファジィ推論が用いられる。提案手法においては、濃度階調値は自然画像中の精細な領域分割を行うために使用され、局所的フラクタル次元はおおまかな領域分割を実行するために用いられる。異なるタイプの特徴を効果的に組み合わせることにより、人間の視覚系と同様の領域分割結果を得ることが可能となる。実験結果より、ファジィ領域成長アルゴリズムを用いて自然画像の領域分割を実行する提案手法の有効性が検証された。

キーワード：画像の領域分割、領域成長アルゴリズム、ファジィ推論、局所的フラクタル次元、自然画像

\*情報工学科

---



# 高圧下における一次元白金錯体の絶縁体 —金属—絶縁体転移と電子スペクトル

武田 圭生\*<sup>1</sup>, 城谷 一民\*<sup>1</sup>, 薬師 久弥\*<sup>2</sup>

## Absorption Spectra and Insulator-to-Metal-to-Insulator Transitions of One-Dimensional Platinum Complex at High Pressures

Keiki TAKEDA, Ichimin SHIROTANI and Kyuya YAKUSHI

(原稿受付日 平成12年4月28日 論文受理日 平成12年8月31日)

### Abstract

Electrical resistivities and absorption spectra of one-dimensional bis(1,2-benzoquinone-dioximato)platinum(II), Pt(bqd)<sub>2</sub>, have been studied in detail at high pressures. The resistivity along the c-axis of a single crystal abruptly decreases with increasing pressure up to 0.9 GPa at room temperature. The pressure-induced insulator-to-metal-to-insulator(IMI) transitions in the complex have been found at around 0.8 and 0.9 GPa, respectively. The absorption spectra were measured with a diamond-anvil cell up to 3 GPa at room temperature. The absorption spectra of Pt(bqd)<sub>2</sub> markedly change at around the pressures which show the IMI transitions. The pressure-induced IMI transitions and the resistivity minimum arise from the change of the electronic states of Pt(bqd)<sub>2</sub> at high pressures.

Keywords: one-dimensional platinum complex, Electrical resistivity, Absorption spectra, Insulator-to-metal-to-insulator transition, High pressure

### 1 はじめに

白金—ベンゾキノンジオキシマート錯体 [Pt(bqd)<sub>2</sub>]は+2価の白金イオンに2分子の*o*-ベンゾキノンジオキシム[*o*-bqd]が配位した平面型の錯体分子で、白金が直線的に等価に配列した一次元構造を持つ。大気圧下におけるPt(bqd)<sub>2</sub>の電気抵抗率は針状軸方向で $3 \times 10^2 \Omega \text{cm}$ である<sup>(1)</sup>。また白金の5d<sub>z<sup>2</sup></sub>から6p<sub>z</sub>への遷移と帰属される吸収帯は8000cm<sup>-1</sup>に現れる<sup>(2)</sup>。これらの値は類似の白金—

ジオンジオキシマート錯体の中で最も低い。Pt(bqd)<sub>2</sub>は高真空下で化学変化することなしに昇華するので、蒸着膜を容易に作る事ができる。その薄膜の電子状態はすでに研究されている<sup>(3)</sup><sup>(4)</sup>。Pt(bqd)<sub>2</sub>薄膜のイオン化電位は4.96eVと、電子供与体としてよく知られたTTF薄膜(5.0eV)のそれよりもわずかに小さい<sup>(4)</sup>。石英基板上の配向性薄膜の電気抵抗率は $10^4 \Omega \text{cm}$ で、金属錯体の蒸着膜としては最も低い値を持っている<sup>(5)</sup>。

大気圧下におけるPt(bqd)<sub>2</sub>の単結晶のX線構造解析はすでに研究されている<sup>(6)</sup>。Pt(bqd)<sub>2</sub>の結晶構造は斜方晶系で、空間群はIbam、格子定数はa=20.68Å, b=9.743Å, c=6.346Å, V=1279Å<sup>3</sup>,

\*1 電気電子工学科

\*2 分子科学研究所

$Z=4$ である。図1 aに $\text{Pt}(\text{bqd})_2$ のab面の結晶構造を示す。 $\text{Pt}(\text{bqd})_2$ 分子は完全平面型の錯体で、分子はab面に平行に2次的に配列する。図1 bに $\text{Pt}(\text{bqd})_2$ のc軸方向の結晶構造を示す。 $\text{Pt}(\text{bqd})_2$ 分子は $90^\circ$ 回転しながら積み重なり、Ptの一次元鎖を作る。Pt-Pt間距離は $3.173 \text{ \AA}$ であり、金属-ジオキシマート錯体の中で最も短い。

$\text{Pt}(\text{bqd})_2$ の針状結晶の抵抗率は圧力とともに急激に減少し、 $1 \text{ GPa}$ 付近で金属化する。さらに加圧すると $1.7 \text{ GPa}$ 付近で抵抗極少に達し、その後抵抗は圧力とともに増大し、絶縁体化する<sup>(7)</sup>。このように $\text{Pt}(\text{bqd})_2$ は高圧下で絶縁体-金属-絶縁体転移のような特異な性質を示す。これらの機構を解明するため、軌道放射光を用いて高圧下の粉末X線回折を研究している<sup>(8)(9)</sup>。

高圧下における $\text{Pt}(\text{bqd})_2$ の可視領域の電子スペクトルはすでに調べられている<sup>(7)</sup>。中心金属であるPtの $5d_{2-6p_2}$ 遷移の吸収バンドは近赤外領域に現れる。我々はこの領域に注目し、高圧下における $\text{Pt}(\text{bqd})_2$ の電子スペクトルを詳細に研究した。本論文では高圧下における絶縁体-金属-絶縁体転移と電子スペクトルの関係を論ずる。

## 2 実験

$\text{Pt}(\text{bqd})_2$ はo-bqdの熱飽和エタノール溶液に $\text{K}_2\text{PtCl}_4$ の水溶液を混合し、攪拌して合成した<sup>(3)(4)</sup>。またジメチルホルムアミドまたはo-ジクロロベンゼンを用いて再結晶を繰り返し精製した。

高圧下における吸収スペクトルは顕微測光装置とダイヤモンドアンビル型高圧セルを組み合わせで測定した。図2に装置の模式図を示す。光源にはキセノンランプを使用した。ランプから出た光はミラーで上へ送られ、アパーチャを通して、対物レンズで集光され、試料を透過した光はオプティカルファイバで分光器へ送られる。この装置で可視領域を、さらに近赤外領域はFT-IR(Nicolet MAGNA-IR760)を使用して測定した<sup>(10)</sup>。

測定試料は高真空下(約 $2.0 \times 10^{-5} \text{ torr}$ )においてダイヤモンドアンビルの表面に蒸着した。蒸着源からアンビル面までの高さは約 $5 \text{ cm}$ とした。膜厚は約 $1000 \text{ \AA}$ である。

$\text{Pt}(\text{bqd})_2$ は再結晶法では多結晶体になり易く、大きな単結晶は得にくい。それ故、拡散法で $\text{Pt}(\text{bqd})_2$ の単結晶を育成した。o-bqdと $\text{K}_2\text{PtCl}_4$ の2つの物質が出会ったところで種結晶が生成さ

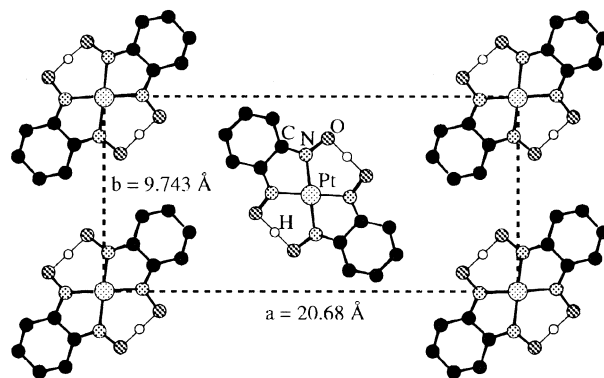


図1 a  $\text{Pt}(\text{bqd})_2$ の結晶構造(ab面)

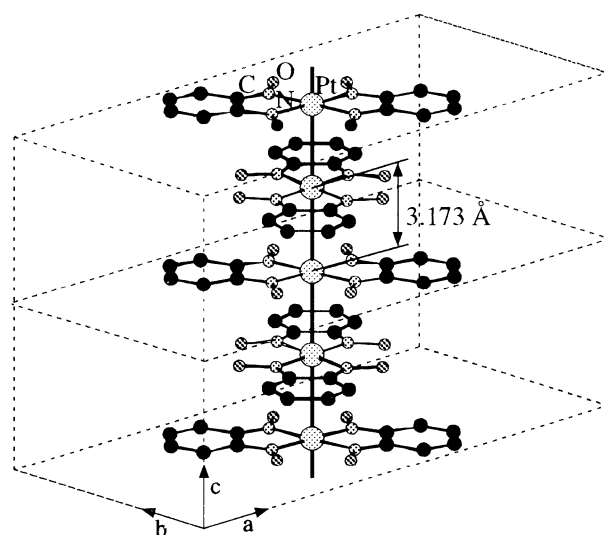


図1 b  $\text{Pt}(\text{bqd})_2$ の結晶構造(一次元鎖方向)

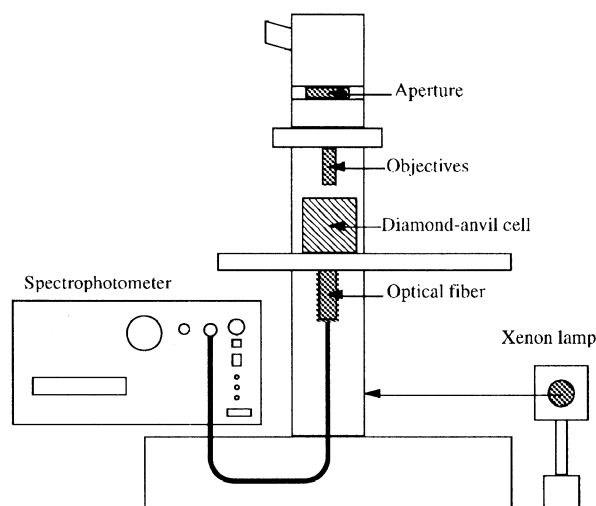


図2 高圧下における顕微測光システム



れ、それが成長して単結晶が育成される。暗室中で約1年間室温で放置し、ゆっくりと結晶成長させたので良質の単結晶が得られた。得られたPt(bqd)<sub>2</sub>の単結晶は黒色で、形状は短冊状であり、表面は鏡面のように光を反射する。単結晶は大きなもので4 × 0.2 × 0.025 mm程度である。

高圧下におけるPt(bqd)<sub>2</sub>の単結晶の電気抵抗率は多重極限装置を使用して測定した。多重極限装置とは温度、圧力、磁場を制御し、極低温、高圧、強磁場という極限環境下での物性測定を行うことができる装置である<sup>(11)</sup>。圧力発生には静水圧性の高いピストンシリンダー型高圧発生装置を用いている。高圧セル内の圧力は20ton油圧シリンダーをコントロールすることによって常に一定に保持することができる。圧力セルはタングステンカーバイド製ピストン、BeCuシリンダー、BeCu製台座、テフロンセル、タングステンカーバイド製ヘッド等から構成される。圧力媒体にはフロリナートを使用した。リード線にφ25 μmの金線を使用し、直流4端子電位差法で電気抵抗を測定した。

### 3 結果

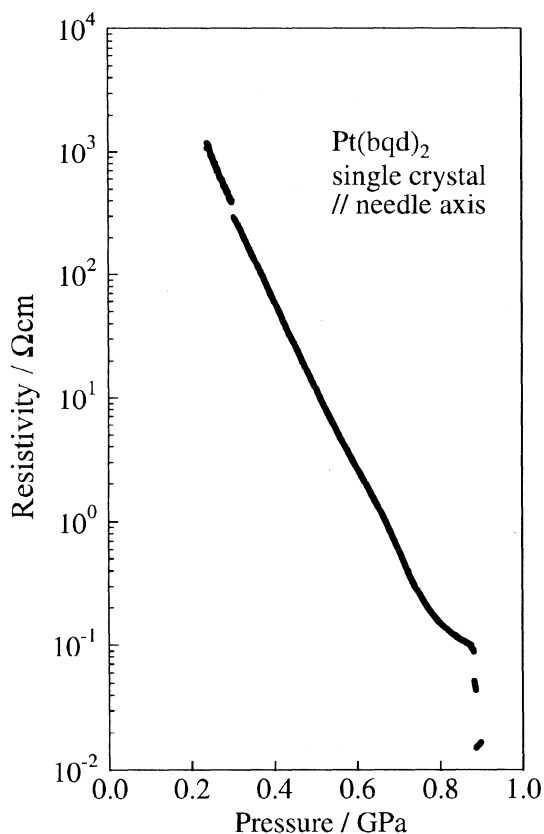


図3 高圧下におけるPt(bqd)<sub>2</sub>の電気抵抗率

多重極限装置を使用し、Pt(bqd)<sub>2</sub>単結晶の電気抵抗率の測定を行った。図3に直流4端子電位差法で測定したPt(bqd)<sub>2</sub>単結晶の電気抵抗率の圧力変化を示す。加圧とともに抵抗は急激に減少していくが0.7GPa付近から若干緩やかになり、0.9GPaで大きな変化が見出された。この前後で抵抗率は約10<sup>-1</sup>Ωcmから約10<sup>-2</sup>Ωcmへと1桁減少した。温度依存性の測定は飛びが起こる前の0.8GPa下と抵抗極小を示す0.9GPaで行った。図4に高圧下での電気抵抗率の温度依存性を示す。0.8GPaでは温度とともに抵抗率が増加するという金属的な振る舞いが、また0.9GPaでは半導体的な挙動が観測された<sup>(12)</sup>。

高圧下におけるPt(bqd)<sub>2</sub>の吸収スペクトルを図5に示す。大気圧下において8000 cm<sup>-1</sup>付近に現れる吸収帯はPtの5d<sub>z<sup>2</sup></sub>から6p<sub>z</sub>への遷移といわれているが<sup>(2)</sup>、6500 cm<sup>-1</sup>、5300 cm<sup>-1</sup>と4200 cm<sup>-1</sup>のバンドが、5d<sub>z<sup>2</sup></sub>から6p<sub>z</sub>への遷移の可能性が大きい。なぜなら加圧により8000cm<sup>-1</sup>付近の吸収帯はほとんど移動せず、6500 cm<sup>-1</sup>と5300 cm<sup>-1</sup>の吸収帯は長波長側へ大きくシフトしているからである。これらのシフトの大きさはそれぞれ-5300 cm<sup>-1</sup>/GPa、-5000 cm<sup>-1</sup>/GPaであった。単純に外挿すると1GPa付近で光学的エネルギーギャップは0になる。4200 cm<sup>-1</sup>付近の吸収帯は0.3GPaですでに3000 cm<sup>-1</sup>以下まで移動したものである。0.7GPaでは4000 cm<sup>-1</sup>以下の吸収強度が鋭く立ち上がっている。Pt(bqd)<sub>2</sub>は0.8GPa付近で金属化することから伝導吸収が起こったものと考えられる。3GPa下では吸収強度は波数の低下にともなっ

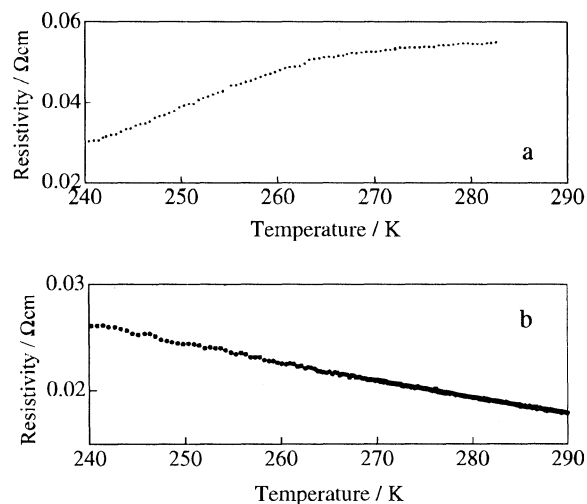


図4 aと4b 高圧下におけるPt(bqd)<sub>2</sub>の電気抵抗率の温度依存性(a:0.8GPa、b:0.9GPa)

て減少し、半導体的な挙動が見られている。1.2GPaでは15,000 cm<sup>-1</sup>付近に圧力誘起吸収帯が見出された。

#### 4 考察

白金-ジメチルグリオキシマート錯体 [Pt(dmgl)<sub>2</sub>]は、Pt(bqdl)<sub>2</sub>と同様高圧下で絶縁体-金属-絶縁体転移を示す<sup>(7)(10)</sup>。Pt(dmgl)<sub>2</sub>の電子スペクトルの圧力効果はすでに研究されている<sup>(10)</sup>。大気圧下においてPt(dmgl)<sub>2</sub>の5 d<sub>z<sup>2</sup></sub>から6p<sub>z</sub>への遷移の吸収帯は15,000 cm<sup>-1</sup>付近に現れる。加圧するとこの吸収帯は長波長側へ大きく移動する。シフトの大きさを見積もると-2300 cm<sup>-1</sup>となる。吸収端は12,000 cm<sup>-1</sup>付近にあるので遷移のエネルギーは5GPaで0になる。高圧下における電気抵抗率の温度変化から得られたエネルギーギャップの値もゼロになる。

Pt(bqdl)<sub>2</sub>の白金は図1の結晶構造に示されているように、配位子の4つの窒素原子により正方形型に囲まれている。配位子場の理論によれば白金の5重に縮退したd軌道はD<sub>4h</sub>の配位子場により、d<sub>x<sup>2</sup>-y<sup>2</sup></sub>, d<sub>yz</sub>とd<sub>zx</sub>(二重縮退), d<sub>z<sup>2</sup></sub>, d<sub>xy</sub>の4つのエネルギー準位に分裂する。白金の+2価は8個のd電子を持つので、d<sub>x<sup>2</sup>-y<sup>2</sup></sub>, d<sub>yz</sub>とd<sub>zx</sub>, d<sub>z<sup>2</sup></sub>はd電子によって満

たされている。Pt(bqdl)<sub>2</sub>の結晶は図1bに示したようにPtの一次元鎖を持つ。d<sub>z<sup>2</sup></sub>軌道は一次元鎖方向に分極しているため電子雲は重なり合い、価電子帯を形成してバンドは電子で満たされている。伝導帯はPtの6p<sub>z</sub>より成る。Pt(dmgl)<sub>2</sub>と同様に考えられる。

Pt(bqdl)<sub>2</sub>の5 d<sub>z<sup>2</sup></sub>から6p<sub>z</sub>への遷移の吸収帯は8,000 cm<sup>-1</sup>付近のバンドと考えられている<sup>(2)</sup>。しかしこの吸収帯は圧力効果をほとんど示さない。高圧下における粉末X線回折によるとPt(bqdl)<sub>2</sub>とPt(dmgl)<sub>2</sub>のa軸やb軸に比べて、c軸(一次元鎖方向)は縮みやすい<sup>(8)(9)(11)(13)</sup>。Pt(dmgl)<sub>2</sub>の5 d<sub>z<sup>2</sup></sub>から6p<sub>z</sub>への遷移のエネルギーは加圧により大きく減少する。これらのことからPt(bqdl)<sub>2</sub>の5 d<sub>z<sup>2</sup></sub>-6p<sub>z</sub>遷移の吸収帯は8,000 cm<sup>-1</sup>のバンドではなく、これより低いエネルギーの吸収帯であろう。これは大気圧下における電気抵抗率の温度依存性から見積もられるエネルギーギャップが、約0.3eVであることから支持される。加圧によりエネルギーギャップは劇的に減少して0.8 GPa 付近で価電子帯と伝導帯は接触し、金属化する。

Pt(dmgl)<sub>2</sub>分子のエネルギー準位は分子軌道法により計算されている<sup>(14)</sup>。このエネルギーダイアグラムを図6に示した。価電子帯の最も高い所にd<sub>z<sup>2</sup></sub>軌道よりなる9a<sub>g</sub>準位があり、すぐ下に3b<sub>3g</sub>(π<sub>4</sub>と

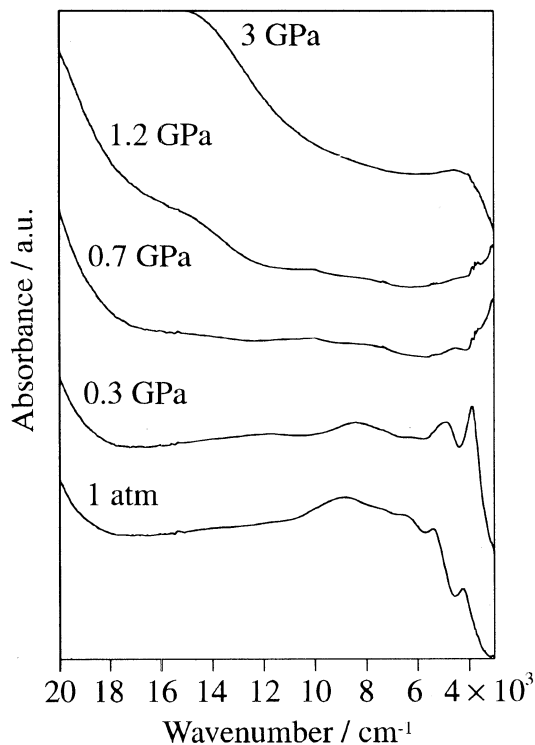


図5 高圧下におけるPt(bqdl)<sub>2</sub>の吸収スペクトル

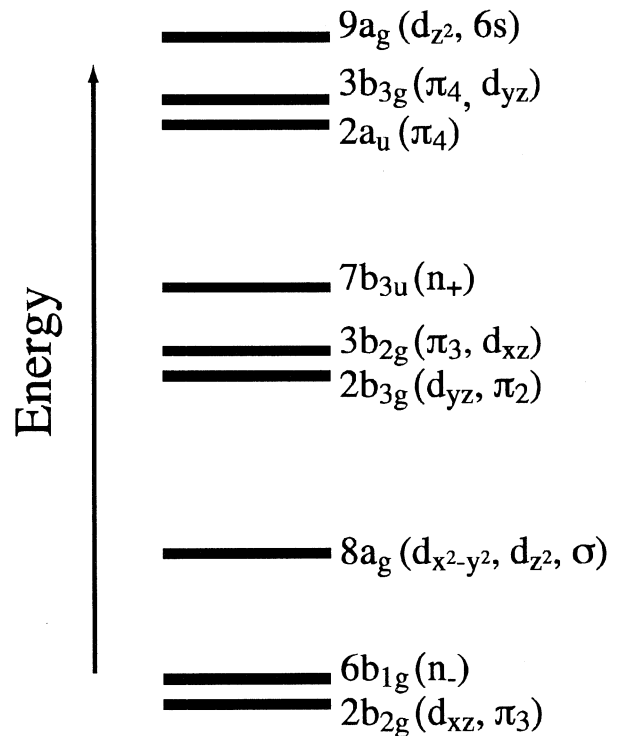


図6 Pt(dmgl)<sub>2</sub>分子のエネルギー準位

$d_{yz}$ )と $2a_u(\pi_4)$ と続く。 $d_{z^2}$ 軌道の電子雲は主に一次元鎖方向にのびているが、 $d_{yz}$ は分子面内(ab面内)方向にも広がっている。Pt(dmgl)<sub>2</sub>の高圧下のX線回折によれば、Pt(bqd)<sub>2</sub>と同様Ptの一次元鎖方向がもっとも縮やすい。しかしa,b軸ともに減少するので、Pt(dmgl)<sub>2</sub>分子間の相互作用は増大する。このため鎖間の隣接分子のCとO原子の間の距離は高圧下でかなり短くなっていることが見出されている<sup>(13)</sup>。Pt(bqd)<sub>2</sub>でも類似の現象が起こっている。それ故、高圧下ではPt(dmgl)<sub>2</sub>分子間の二次元的な相互作用はかなり大きくなっていると考えられる。それ故、高圧下では $3b_{3g}$ と $9a_g$ 準位が入れ替わり、価電子帯のトップが逆転する可能性がある。もしこのようなことになれば伝導帯を形成する $p_z$ バンドとの重なりは悪くなるので、加圧による抵抗率の増大や金属-絶縁体転移が起こりえる。Pt(bqd)<sub>2</sub>分子のエネルギー準位は計算されてはいないが、Pt(dmgl)<sub>2</sub>の電子状態と類似しているであろう。電気抵抗率の極小が現れる圧力付近からPt(bqd)<sub>2</sub>の電子状態が本質的に変化し、金属-絶縁体転移を引き起こしたと思われる。

## 5 まとめ

Pt(bqd)<sub>2</sub>単結晶の電気抵抗率は加圧とともに減少し、0.9GPa付近で約 $10^{-1}\Omega\text{cm}$ から約 $10^{-2}\Omega\text{cm}$ へと1桁減少する事を見出した。また0.8と0.9GPaにおいて電気抵抗率の温度依存性を研究し、0.8GPaでは金属的な振る舞いが、0.9GPaでは半導体的な挙動が観測された。電子スペクトルでは $8000\text{cm}^{-1}$ 、 $6500\text{cm}^{-1}$ 、 $5300\text{cm}^{-1}$ と $4200\text{cm}^{-1}$ に吸収帯が観測される。加圧により $8000\text{cm}^{-1}$ 付近の吸収帯はほとんど移動せず、 $6500\text{cm}^{-1}$ と $5300\text{cm}^{-1}$ の吸収帯は長波長側へ大きくシフトした。Ptの $5d_{z^2}$ から $6p_z$ への遷移は $8000\text{cm}^{-1}$ 付近の吸収帯と言われているが、加圧シフトの大きさから $6500\text{cm}^{-1}$ 、 $5300\text{cm}^{-1}$ と $4200\text{cm}^{-1}$ のバンドの可能性が大きい。0.7GPaでは赤外領域の吸収強度が増加し、3GPaでは吸収端が観測された。1.2GPaでは $15,000\text{cm}^{-1}$ 付近に圧力誘起吸収帯が見出された。

絶縁体-金属-絶縁体転移は高圧下における電子状態の本質的な変化に起因する。

## 文献

- (1) M.M. Belombe, J. Solid State Chem., 22 (1977), p151-156
- (2) J.W. Brill, M.M. Belombe and M. Novotny, J. Chem. Phys., 68(1978), p585-592
- (3) I. Shirotni, N. Minobe, Y. Ohtsuki, H. Yamochi and G. Saito, Chem. Phys. Lett., 147 (1988), p231-234
- (4) I. Shirotni, T. Kudo, N. Sato, H. Yamochi and G. Saito, J. Mater. Chem., 5(1995), p1357-1362
- (5) I. Shirotni, K. Takeda, F. Onuma and N. Sato, Mol. Cryst. Liq. Cryst., 285(1996), p119-124
- (6) M.M. Belombe, J. Solid State Chem., 27 (1979), p389-396
- (7) I. Shirotni, A. Kawamura, K. Suzuki, W. Utsumi and T. Yagi, Bull. Chem. Soc. Jpn., 64 (1991), p1607-1612
- (8) K. Takeda, I. Shirotni, J. Hayashi, T. Adachi and O. Shimomura, Rev. High Pressure Sci. Technol., 7(1998), p673-675
- (9) 城谷一民, 武田圭生, 豊田研究報告, 51(1998), p31-37
- (10) K. Takeda, I. Shirotni and K. Yakushi, Chem. Mater. 12(2000)p912-916
- (11) 関根ちひろ, 清水学志, 城谷一民, 巨海玄道, 室蘭工業大学紀要, 47号(1997), p73-81
- (12) K. Takeda, I. Shirotni, C. Sekine and K. Yakushi, J. Phys. : Condens. Matter, 12(2000) pL1-L6
- (13) M. Konno, T. Okamoto, and I. Shirotni, Acta Crystallogr., B45(1989), p142-147
- (14) S.D. Bella, M. Casarin, I. Fragala, G. Granozzi and T.J. Marks, Inorg. Chem., 27(1988), p3993-4002



# Isotope Dilution Mass Spectrometry of Nickel in Some Ultra Pure Reagents and Seawater

Seiji NAKAMURA\* and Hideyasu ASAHI\*\*

(Received 28 April 2000, Accepted 31 August 2000)

Isotope dilution surface ionization mass spectrometry has been successfully applied to the accurate determination of nickel in ultra pure reagents, ultra pure water and seawater. These reagents and water were purified by sub-boiling method. After spiked with a stable isotope of nickel  $^{61}\text{Ni}$ , the sample is heated to dryness and the residue obtained is dissolved in a mixture of a phosphoric acid and silica gel suspension. This solution is applied to the mass spectrometer equipped with a surface ionization device incorporating a rhenium single filament. On the basis of  $^{58}\text{Ni}/^{61}\text{Ni}$  ratio, the present method can determine ng amount of nickel with a relative error of 1%, the sensitivity limit of this determination for is about  $10^{-13}$  g.

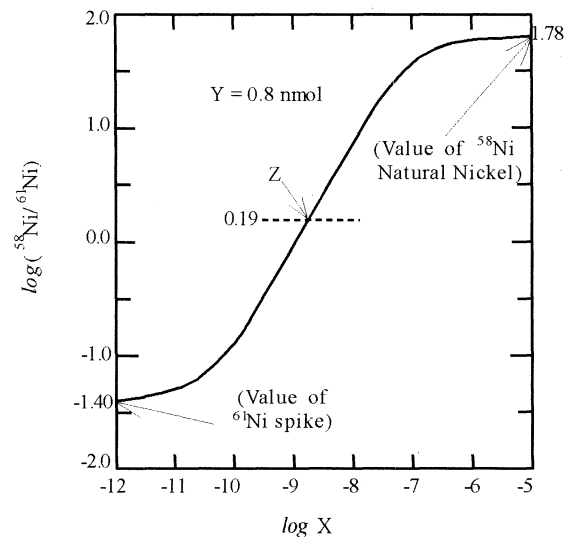
Keywords : Isotope Dilution Mass Spectrometry, Nickel, Ultra Pure Reagent, Ultra Pure Water; Seawater

## 1 Introduction

When nickel in a weighed amount of samples has reached isotopic equilibration with a known amount of a  $^{61}\text{Ni}$  enriched spike, a following relation holds for the molar amounts of the element and its isotopes;

$$\frac{{}^{58}\text{Ni}}{{}^{61}\text{Ni}} = \frac{{}^{58}\text{fNi-sample} \times X + {}^{58}\text{fNi-spike} \times Y}{{}^{61}\text{fNi-sample} \times X + {}^{61}\text{fNi-spike} \times Y} \dots (1)$$

where  $^{58}\text{Ni}$  and  $^{61}\text{Ni}$  represent the molar amounts of isotope  $^{58}\text{Ni}$  and  $^{61}\text{Ni}$  comprising nickel under measurement; X and Y are the molar amounts of the element in the sample and the added spike respectively, and also  ${}^{58}\text{fNi-sample}$  and  ${}^{61}\text{fNi-spike}$  are the isotopic abundance of the isotope  $^{58}\text{Ni}$  in the sample and  $^{61}\text{Ni}$  in the spike respectively. The amount



X: Measured amount of nickel in mol.

Figure 1 Isotope dilution curve

\*Past Staff of Technical Division

\*\*Department of Materials Science and Engineering

of X can be determined on the basis of  $^{58}\text{Ni}/^{61}\text{Ni}$  ratio, when the amount of Y is known. When a certain amount of Y is added to a sample, the resulting  $^{58}\text{Ni}/^{61}\text{Ni}$  ratio moves along the isotope dilution curve according to the amount of X as shown in Figure 1. Different amounts Y will make shift corresponding curves parallel horizontally to that in Figure 1. Therefore, sample preparations must be carefully performed to make the  $^{58}\text{Ni}/^{61}\text{Ni}$  ratio fall on close to the Z point in Figure 1, where the most accurate value of X is obtained<sup>1)</sup>. The lack of purity in the isotopic abundance of the  $^{61}\text{Ni}$  spike makes the tangent value of this isotope dilution curve smaller than those of cadmium, lead, silver, thallium, and so on. This means that unsuitable  $^{58}\text{Ni}/^{61}\text{Ni}$  ratios will give large error to the analytical results of nickel.

## 2 Experiments

### $^{61}\text{Ni}$ spike solution

A weighed amount of the  $^{61}\text{Ni}$  enriched nickel metal was dissolved in a dilute nitric acid solution and stored in a tightly stoppered Teflon bottle. The isotopic abundance of this nickel was determined and listed together with that of a commercial Four-9 nickel metal and that of the certified value by the Oak Ridge National Laboratory, Tenn., U.S.A. in Table 1. The molar concentration of this spike solution was standardized to a reference nickel solution, which had been prepared from the Four-9 metal, and is shown in Table 2.

### Mass Spectrometer

A Hitachi RMU-6 mass spectrometer detected an emitter current of  $10^{-19}\text{A}$  for the  $\text{Ni}^+$  mass

spectrum and measures the isotopic ratio with an accuracy of 0.1% in the coefficient of variation.

### Cleanliness class in laboratory

All chemical procedures were performed in a class 100 clean draft chamber and on class 100 clean benches set in a class 300 clean room.

### Sample preparation for mass spectrometry of nickel in ultra pure reagents

A weighed amount of  $^{61}\text{Ni}$  spike solution, usually 0.8 nmol as  $^{61}\text{Ni}$  was added to the addition of nitric acid, each 5 nmol of  $^{61}\text{Ni}$  spike was added as indicated in Table 4. After setting stood for several days to reach the isotopic equilibrium, the spike sample was neutralized to a pH value of 9. Nickel was extracted into 10ml of a 0.0013% dithizone chloroform solution. Then, the solution was rinsed several times with each 5.0 ml of purified water to remove the aqueous emulsion containing the major components of seawater. A 5.0 ml portion of 7 mol  $\text{kg}^{-1}$  nitric acid was added to the dithizone chloroform solution for the back extraction of the element. The acid solution was rinsed twice with 5.0 ml portions of chloroform solution. The acid solution was transferred to a Teflon beaker and 1.0 ml of nitric acid and 0.25 ml of perchloric acid were added. The contents were gently heated to dryness under a pure nitrogen atmosphere in an oven. Subsequently, 0.3 ml of nitric acid and 0.1 ml of perchloric acid were added to the residue and the contents were heated again to decompose completely the organic materials. The residue thus obtained was dissolved in the mixture of phosphoric acid and water suspension of silica gel.

Table 1 Determination of isotopic abundance of natural nickel and  $^{61}\text{Ni}$ -enriched spike.

Sample taken nmol	$^{58}\text{Ni}^+$ emitted	Isotopic abundance (%)				
		$^{58}\text{Ni}$	$^{60}\text{Ni}$	$^{61}\text{Ni}$	$^{62}\text{Ni}$	$^{64}\text{Ni}$
Natural Ni as $^{58}\text{Ni}$	$10^{-14}\text{A}$					
13.4	2.30	68.3	26.2	1.12	3.55	0.88
3.15	5.90	68.3	26.1	1.12	3.56	0.88
0.580	0.85	68.4	26.1	1.12	3.53	0.89
0.123	0.17	68.4	26.1	1.13	3.53	0.89
0.062	0.16	68.4	26.0	1.12	3.55	0.90
$^{61}\text{Ni}$ spike as $^{61}\text{Ni}$	$^{61}\text{Ni}^+$ emitted					
11.0	2.5	3.51	6.12	88.9	1.40	0.12
5.14	1.2	3.52	6.11	88.9	1.39	0.13
3.19	2.0	3.54	6.12	88.8	1.39	0.12
0.50	1.5	3.64	6.15	88.7	1.40	0.12
0.10	0.2	4.01	6.27	88.2	1.41	0.12
0.060	0.1	4.33	6.36	87.8	1.42	0.12
Certified value by ORNL		3.45	6.12	88.8	1.10	0.20

ORNL : Oak Ridge National Laboratory

Table 2 Standardization of a  $^{61}\text{Ni}$  spike solution to a standard solution prepared from four-9 natural meta

$^{61}\text{Ni}$ spike solution taken, g	Natural nickel added, $\mu\text{mol}$	$^{61}\text{Ni}$ emitted $10^{-14}\text{A}$	$\frac{^{58}\text{Ni}}{^{61}\text{Ni}}$	C.V.* %	Spike nickel found	
					$\mu\text{mol}$	$\mu\text{mol/g}$
0.7020	0.7002	0.6	0.5520	0.2	1.037	1.478
0.7465	2.517	1.5	1.739	0.1	1.103	1.477
0.7831	2.584	1.0	1.704	0.1	1.156	1.476
0.7515	6.237	1.3	4.06	0.1	1.090	1.477
					Ave 1.477	

\* Coefficient of variation as to  $^{58}\text{Ni}/^{61}\text{Ni}$ 

Table 3 Determination of nickel in reagents, water and seawater

Sample	Sample taken g	Spike added as total spike nmol	$\frac{^{58}\text{Ni}}{^{61}\text{Ni}}$	C.V.* %	Nickel found in sample		
					p mol	ng $\text{kg}^{-1}$	
A	$\text{HNO}_3$	45.15	0.7614	0.156	0.2	117	152
	$\text{HClO}_4$	31.01	0.7543	0.134	0.5	93.8	177
	HF	45.40	0.7601	0.143	0.4	103	133
	$\text{CHCl}_3$	71.92	0.7607	0.0583	0.7	18.5	15.2
	$\text{NH}_3\text{aq}$	42.25	0.7857	0.140	0.2	104	144
B	$\text{HNO}_3$	45.07	0.7779	0.0628	0.4	23.7	30.9
	$\text{HClO}_4$	74.70	0.7827	0.0770	0.3	37.0	29.1
	HF	48.60	0.8256	0.0647	0.6	27.1	32.8
	$\text{CHCl}_3$	83.97	0.7820	0.0490	0.5	9.36	6.54
	$\text{NH}_3\text{aq}$	50.56	0.7827	0.0742	0.5	34.3	39.7
	water	706.1	0.7909	0.102	0.5	62.4	5.18
Seawater	623.2	5.063	0.654	0.2	$4.11 \times 10^3$	385	
	620.6	5.032	0.652	0.2	$4.03 \times 10^3$	383	
	1239.5	5.203	1.208	0.1	$8.09 \times 10^3$	382	
	1240.3	5.109	1.227	0.1	$8.08 \times 10^3$	381	

A: Ultra pure grade, B: Purified by sub boiling distillation, \* Coefficient of variation as to  $^{58}\text{Ni}/^{61}\text{Ni}$ 

Table 4 Blank for a sample preparation,

Sample	Reagents used g	Ni contamination from each reagent ng	
Seawater	$\text{HNO}_3$	9.6	0.4
	$\text{NH}_3\text{aq}$	10.0	0.4
	$\text{HClO}_4$	0.4	0.01
	$\text{CHCl}_3$	45.0	0.3
	water	33.0	0.2
	room environments		0.06
Total		1.4	

### 3 Results and Discussion

#### Emission of $\text{Ni}^+$ ion beam current

As shown in Table 1, the use of silica gel and phosphoric acid permits 0.50 nmol of nickel to emit  $1.5 \times 10^{-14}\text{A}$  of  $^{61}\text{Ni}^+$  beam current for a long time and sometimes 0.025 nmol of nickel to do  $10^{-15}\text{A}$  of  $^{61}\text{Ni}^+$ . The mass spectrometer can detect  $10^{-19}\text{A}$  of ion beam current due to  $\text{Ni}^+$  mass spectrum, accordingly the present method can secure to measure

the presence of  $10^{-13}\sim 10^{-12}\text{g}$  of nickel on the ionization filament. As for Y in Equation(1), 0.8 nmol of the spike is enough for the present method.

#### Isotopic abundance of natural and spike nickel

In Table 1, the isotopic abundance measured by loading 11.0 nmol is used as substitute for  $^{58}\text{fNi}$ -spike and  $^{61}\text{fNi}$ -spike in Equation(1). They are in good accordance with those determined by the Oak Ridge National Laboratory, within the analytical error as shown in Table 1. However, measured isotopic abundance of the  $^{61}\text{Ni}$  spike has a certain variation with decreasing amount of loaded spike as shown in Table 2. The lesser the loaded amount, the smaller the isotopic abundance of  $^{61}\text{Ni}$ . This tendency tells us that the present method suffers contaminations amounting to  $0.06 \pm 0.02\text{ng}$  of nickel from laboratory environments. For  $^{58}\text{fNi}$  and  $^{61}\text{fNi}$ , 68.3 and 1.12 are substituted respectively.

#### Determination of nickel in reagents

The data in Table 3 show the applicability of the present method to the determination of nickel at the level of  $\text{ng}\cdot\text{kg}^{-1}$  concentration with an error of

1%, samples taken being lesser than  $10^{-2}$ g. Sub boiling distillation effectively works to decrease nickel contaminant from the 0.1 ppb level in commercial reagents to one third of those in purified ones.

#### Application to seawater samples

Dithizone chloroform extraction is used to develop the present method to the simultaneous determination method for silver, cadmium, copper, nickel, lead, zinc and thallium in seawater<sup>(1)</sup>. A sample solution is shown in Table 3. The spiked solution is heated to dryness under a nitrogen atmosphere in a Teflon oven. The residue is dissolved in a mixture solution of 65  $\mu$ l of 0.2% silica gel suspension aqueous solution and 5  $\mu$ l of 2.0% phosphoric acid solution for the mass spectrometry.

#### Sample preparation for mass spectrometry of nickel in seawater samples

Four aliquots of a seawater sample which had been kept at a pH value of 1 is prepared. Sample preparations require the use of several reagents and apparatus from which samples suffer contamination as listed in Table 4, i.e., 1.4 ng of nickel for seawater analysis. Amount of contaminant corresponds to 1% of measured values.

The isotope dilution mass spectrometry of nickel has following inherent advantages. All chemical manipulations are done on a weight basis and involve straight-forward stoichiometric

separations to determine amounts of nickel in samples and the  $^{61}\text{Ni}$  spike solution, and the mass spectrometric determinations involve only ratios but not absolute determinations of the isotopes. Furthermore, instrumental sensitivity and accuracy are essentially high, no instrumental corrections being necessary. Thus, the present method can detect  $10^{-12}$  ~  $10^{-13}$ g of nickel and measure pmol level of nickel with a relative error of 1%.

#### Acknowledgements

The authors would like to acknowledge the continuing guidance, considerable assistance and encouragement of honorary Professor Masayo MUROZUMI. And also, the authors were favored to have the assistance of Mr. Hiroyuki YOKOYAMA who contributed his sustained effort to the accomplishment of the experimental program.

#### References

- 1) M. Murozumi, Isotope Dilution Surface Ionization Mass Spectrometry of Trace Constituents in Natural Environments and in the Pacific Ocean, *Bunseki Kagaku*, 30, (1981), p19-p26.
- 2) R.T.Jamieson, G.D.L.Scheiner: "Electromagnetically Enriched Isotopes and Mass Spectrometry", M.L.Smith ed., (1956), Butterworths Scientific Pub., London, 169p.

---

### 超高純度試薬および海水中のニッケルの同位体希釈質量分析法

中村精次\* 朝日秀定\*\*

#### 概要

同位体希釈質量分析法は超純度試薬と超純度水および海水中のニッケルの正確な量の決定を可能にした。超純度の試薬や水はサブボイリング法によって精製した。安定同位体のニッケル $^{61}\text{Ni}$ スパイクを添加後、試料を蒸発乾固し、この得られた残滓をりん酸とシリカゲルけん濁液に溶解させた。この溶液をシングルレジウムフィラメントの質量計で分析した。本法による $^{61}\text{Ni}/^{60}\text{Ni}$ 比を基にして、相対誤差1%でngオーダーのニッケル量を検出でき、その検出限界は $10^{-13}$ gである。

キーワード：同位体希釈質量分析法、ニッケル、超高純度試薬、超高純度水、海水

\*元技術部、\*\*材料物性工学科



# 人為源空中塵の屋久杉への影響

中村 精次\*<sup>1</sup>, 朝日 秀定\*<sup>2</sup>

## Impacts of Anthropogenic Aero Sol to Yakushima Cryptomeria Japonica

Seiji NAKAMURA and Hideyasu ASAHI

(原稿受付日 平成12年4月28日 論文受理日 平成12年8月31日)

### Abstract

The purpose of present paper is to point out that the pollutants, which are caused by human work such as exhaust fumes from car and combustion of coal, emitted from their source spread as they are born by air current and have an effect on chemical background of natural environment in global scale by secular change of lead isotopic ratio and heavy metals. The analyzed sample of Cryptomeria Japonica at the age of 450 years was collected from Yaku-shima island which locate in the western ridge of the Pacific Ocean. All processes in chemical analysis were performed under the class 100 circumstances of NASA standard at worst. As a result, the concentration of the heavy metal such as Ag, Cu, Cd, Ni, Tl from heartwood to bark increased equal to or more than 10 times of that in heartwood. Moreover, as for the change of lead isotopic ratio, it became clear that the ration in heartwood approximately equaled to that of basement rocks of Yakushima island and that in the sapwood and bark approached to that of anthropogenic aero sol.

Keywords: Anthropogenic Aero Sol, Polution, Heavy Metals, Yakushima Cryptomeria, Isotope Dilution Mass Spectrometry

### 1 緒言

我々は既にグリーンランドや南極氷原中の鉛濃度の経年変化<sup>(1)</sup>および太平洋における鉛の深度分布<sup>(2)</sup>の測定結果より社会活動の発展が空中塵の増加をもたらし、遠隔地における鉛のバックグラウンド値を上昇させてきていることを明らかにした。また、陸地の生態系についても、北海道樽前山麓

の北海道大学苫小牧演習林でえた樹齢200年のカツラとアサダの樹幹の年輪層で、50~70年前から現在にかけて鉛濃度が顕著に増加していることを示した<sup>(3)</sup>。さらに同報告では、鉛同位体存在比は樹心部では基盤岩や土壌の値に近似しているものの、辺材部から外皮部に向かって得た試料の鉛同位体存在比は空中塵と似た値を示し、これらの値は日本の岩石・鉱物のそれとは違った値をであることを述べた。これらの事実は遠隔地の生態系が、自然源空中塵によるのみではなく、人為源の空中塵の影響を受けていることを示唆している。すな

\*1 元技術部

\*2 材料物性工学科

わち、石炭や自動車用ガソリンにアンチノック剤として添加されていた四アリキル鉛の燃焼生成物が空中塵として大気中に放出され、鉛汚染を引き起こしたと考えられる。

以上の事実をふまえ、本報では離島である屋久島に生育している屋久杉(以下古代杉と記載)に着目して、樹心部から外皮部におよぶ過去 350 年にわたる年輪層の各部分での次に示す重金属の分析結果を基に、人間の社会活動が生態系にも広範に重金属汚染もたらしていることを報告する。前報<sup>(3)</sup>との相違は屋久島が離島であり、古代杉は近年まで人為的な影響を直接受けなかったと考えられることと、同位体希釈表面電離質量分析法(以下IDSIMS と記載)を発展させた結果<sup>(4)(5)</sup>タリウム、銀、銅、カドミウム、鉛、ニッケルおよび亜鉛の超微量を量ることができるようになったことである。

## 2 実験

### 2.1 試料

屋久島は九州佐多岬の南方約 80km、トカラ火山列島弧の外洋側に位置し、直径 27km のほぼ円形の島である。地質的には西南日本外帯の四万十層群とこれを貫く新第三紀花崗岩とから構成されている。堆積岩(砂岩、頁岩)、花崗岩、土壌の各試料は地質学的視点より全島から採取された。古代杉試料は、上屋久宮林署管轄の「宮之浦岳国有林 27 林班い小班」の標高 950m 地点で伐採された。この小班は、西向き斜面の天然林で平均樹齢は 150 年、1ha 当りの材積は 350m<sup>3</sup> である。その地域の地質は花崗岩とその風化土壌である。

本研究で用いた古代杉試料は樹齢 450 年、樹幹直径は約 1m で、地上 2.5m 付近から厚さ約 12.5cm の円板状に切り出されたものである。この試料は現地で密封後、本学研究室において外皮を削除し、上下面からそれぞれ約 3cm 分を電動ノコギリで切断して除き、現地作業による汚染を受けていない部分を供試した。

### 2.2 実験室. 試薬. 純水. 用器具

クリーン実験室の清浄度は NASA 基準で Class・100、その中に設置された実質的に Class・0 レベルのクリーンベンチ 2 台とクリーンドラフト 1 台を用いて質量分析用の試料調製を行った。試薬および純水はサブボイリング蒸留して精製し、IDSIMS によって重金属濃度を検定してから使用した<sup>(6)(7)</sup>。

使用した容器は高純度石英製またはテフロン製のものを用いた。ノコギリやナイフ等は不銹鋼製で、日本製鋼所の援助により特別に製作した。用器具はアセトンで洗浄後、熱硝酸に 7 日間浸漬してから水洗いした後使用した。

### 2.3 質量分析用試料調製

#### 2.3.1 鉛同位体比測定用試料

岩石、土壌、古代杉の各試料とも前報の方法<sup>(3)(4)(5)</sup>にしたがって硝酸、過塩素酸、フッ化水素酸によってテフロンボンベを用いて加温・加圧分解した後、目的成分をジチゾン-クロロホルム法により抽出し調製した。

#### 2.3.2 IDSIMS用試料

試料を分解して得た透明溶液に <sup>203</sup>Tl, <sup>107</sup>Ag, <sup>116</sup>Cd, <sup>65</sup>Cu, <sup>306</sup>Pb, <sup>61</sup>Ni および <sup>68</sup>Zn からなる 7 成分混合スパイク溶液を加え抽出液を蒸発乾固した。乾固物をイオン化安定剤の 2%リン酸 10 μl と 0.015%シリカゲル懸濁液 110 μl の混合溶液に溶解し、その一部をレニウムフィラメントに塗布し質量分析に供した。スパイクの同位体存在比と濃度を Table 1 に示す。

### 2.4 質量分析

#### 2.4.1 測定装置

測定装置は日立 RMU-6 型(イオン軌道半径 20cm, イオン加速電圧 3.6kV, 偏向角 90°)を用い、イオン源をレニウムシングルフィラメント方式で使用した。

#### 2.4.2 鉛同位体存在比

鉛同位体のイオン電流・Pb<sup>+</sup>をエレクトロンマルチプライヤで増幅後、この電流値を基に接続されている電子計算機によって同位体存在比を求める。<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb, <sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb の計測は変動係数 0.2% 以内の精度で行なわれた。こうして得られた同位体存在比を N.B.S.の鉛同位体存在比用標準試料 SRM-981 で得た計測結果で正規化した<sup>(8)</sup>。

#### 2.4.3 金属のIDSIMS

前述(2.3.2)の試料調製法によって試料と添加したスパイクの間に同位体平衡が達成されると、た

Table 1 Isotopic abundance and concentration of a seven-fold-spike solution

Spike	Concentration nmol·g <sup>-1</sup>	Isotopic abundance	
<sup>203</sup> Tl	2.518	<sup>203</sup> Tl	0.9496
		<sup>205</sup> Tl	0.0503
<sup>107</sup> Ag	3.002	<sup>107</sup> Ag	0.9822
		<sup>109</sup> Ag	0.0178
<sup>65</sup> Cu	60.23	<sup>63</sup> Cu	0.0029
		<sup>65</sup> Cu	0.9970
<sup>16</sup> Cd	1.360	<sup>106</sup> Cd	0.0000
		<sup>108</sup> Cd	0.0000
		<sup>110</sup> Cd	0.0021
		<sup>111</sup> Cd	0.0024
		<sup>112</sup> Cd	0.0051
		<sup>113</sup> Cd	0.0034
		<sup>114</sup> Cd	0.0132
<sup>66</sup> Pb	7.648	<sup>204</sup> Pb	0.0000
		<sup>206</sup> Pb	0.9997
		<sup>207</sup> Pb	0.0001
		<sup>208</sup> Pb	0.0002
<sup>61</sup> Ni	19.65	<sup>58</sup> Ni	0.0359
		<sup>60</sup> Ni	0.0613
		<sup>61</sup> Ni	0.8876
		<sup>62</sup> Ni	0.0139
<sup>68</sup> Zn	28.92	<sup>64</sup> Zn	0.0032
		<sup>66</sup> Zn	0.0027
		<sup>67</sup> Zn	0.0013
		<sup>68</sup> Zn	0.9925
		<sup>70</sup> Zn	0.0003

たとえば鉛の場合には式(1)の関係が成立する。

$$\frac{{}^{208}\text{Pb}}{{}^{206}\text{Pb}} = \frac{X \times {}^{208}\text{f}_{\text{sample}} + Y \times {}^{208}\text{f}_{\text{spike}}} {X \times {}^{206}\text{f}_{\text{sample}} + Y \times {}^{206}\text{f}_{\text{spike}}} \quad \dots (1)$$

ここで、Xは供試料の鉛量(モル)、Yは<sup>206</sup>Pbスパイク添加量(モル)、<sup>208</sup>f<sub>sample</sub>と<sup>208</sup>f<sub>spike</sub>はそれぞれ試料と<sup>206</sup>Pbスパイクの<sup>208</sup>Pbの同位体存在比である。Yと4つのf値は実測によって既知数であるから、<sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pbを測定することにより、試料中の鉛量Xを求めることができる。

イオン源の温度を上昇させると、Tl<sup>+</sup>、Ag<sup>+</sup>、Cu<sup>+</sup>、Cd<sup>+</sup>、Pb<sup>+</sup>、Ni<sup>+</sup>、そしてZn<sup>+</sup>のイオン電流が逐次に発生する。したがって<sup>205</sup>Tl/<sup>203</sup>Tl、<sup>109</sup>Ag/<sup>107</sup>Ag、<sup>63</sup>Cu/<sup>65</sup>Cu、<sup>114</sup>Cd/<sup>116</sup>Cd、<sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb、<sup>58</sup>Ni/<sup>61</sup>Niならびに<sup>66</sup>Zn/<sup>68</sup>Znを計測することによって供試料中の各成分を測定できる。本法による各成分の検出限界は10<sup>-12</sup>～10<sup>-15</sup>gであるが、試料調製上で実験室環境や試薬源の汚染が10<sup>-11</sup>g程度あり、実効上の検出限界は10<sup>-11</sup>gである。

### 3 結果と考察

#### 3.1 結果

Table 2に四万十層群の砂岩と頁岩、それらを貫く花崗岩ならびに土壌の鉛同位体存在比を示す。Table 3に古代杉年輪層における鉛同位体存在比を、Table 4に銀、カドミウム、銅、タリウム、ニッケル、亜鉛と鉛の濃度分布を示した。

#### 3.2 考察

##### 3.2.1 岩石、土壌および空中塵の鉛同位体存在比

花崗岩、頁岩、土壌の鉛同位体存在比は岩石種内および種間のいずれでも相互に似た値を示しており、日本産方鉛鉱の値9(神岡鉛山産等一部を除く)に一致した<sup>(9)</sup>。しかし砂岩の鉛同位体存在比はこの傾向と異なり、種が異なると砂岩相互間の存在比にも差が認められた。

Figure 1は縦軸に<sup>208</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb比、横軸に<sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb比をとり、各種試料の鉛同位体存在比の散布状態を示したものである。岩石や土壌間に、またそれらから溶出した鉛の相互間に単純な混合作用(同位体交換反応を伴わない)が起った場合には、混合生成物中の鉛の同位体存在比はFigure 1中のABで代表されるような線上にあることになる。その主因はGeological Provinceによる差、すなわち岩石の年代差、地質の相違などにより鉛の同位体存在比に差が生じることによる。▲印で示した空中塵の鉛同位体存在比の散布状況は岩や土壌の鉛同位体存在比のそれを示すAB線の傾向とは明らかに相違している。

Table 2 Isotopic ratios of lead in rocks and soil from Yakushima island

Rock and I.D.No. by A. Iwamatsu	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{204}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	
Granite	3	0.8469	2.102	18.60
	6	0.8474	2.103	18.41
	11	0.8477	2.107	18.48
	12	0.8457	2.090	18.69
	31	0.8464	2.098	18.39
	32	0.8463	2.098	18.41
	33	0.8475	2.107	18.48
	34	0.8453	2.099	18.46
	36	0.8450	2.096	18.43
	37	0.8460	2.099	18.42
	Ave.	0.846	2.105	18.5
STD	0.001	0.005	0.1	
Shale	4	0.8437	2.104	18.64
	8	0.8465	2.105	18.61
	9	0.8467	2.081	18.64
	10	0.8474	2.105	18.47
	Ave.	0.846	2.100	18.5
STD	0.002	0.010	0.1	
Sand stone	1	0.8477	2.099	18.49
	2	0.8500	2.102	18.30
	7	0.8545	2.118	18.47
	38	0.8611	2.130	18.10
	39	0.8603	2.130	18.15
	Ave.	0.855	2.120	18.3
STD	0.008	0.010	0.2	
Soil	20	0.8477	2.099	18.55
	21	0.8473	2.083	18.17
	24	0.8464	2.091	18.37
	31	0.8466	2.103	18.45
	32	0.8475	2.101	18.41
	33	0.8459	2.099	18.46
	34	0.8456	2.089	18.32
	Ave.	0.847	2.095	18.4
STD	0.001	0.012	0.2	

Table 3 Yearly change of lead isotopic ratio in a cross section layer of Yakushima Cryptomeria trunk

Age	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	
Bark	10	0.8599	2.102
	20	0.8575	2.103
	30	0.8587	2.107
	50	0.8591	2.112
	60	0.8581	2.104
	80	0.8548	2.113
	100	0.8444	2.084
	130	0.8457	2.091
	170	0.8447	2.091
	210	0.8447	2.087
	300	0.8472	2.096
heart	350	0.8476	2.099

### 3.2.2 古代杉年輪層における鉛同位体存在比の分布

鉛同位体存在比が、年輪層により顕著に相違していることは Table 3 で明らかである。Figure 1 に◎で示した年輪層の鉛同位体存在比に付記した数字は年輪層の年令である。同図で◎の分布は AB 線の下を、年令にしたがって中央から左下へそして一転して右上へ移行している。しかも岩、土壌試料の鉛同位体存在比の散布傾向をす AB 線と、▲で示す大気塵中の鉛同位体存在比の散布点に囲まれた範囲(三角形ABC内)にあることがわかる。

### 3.2.3 年輪層における重金属の分布

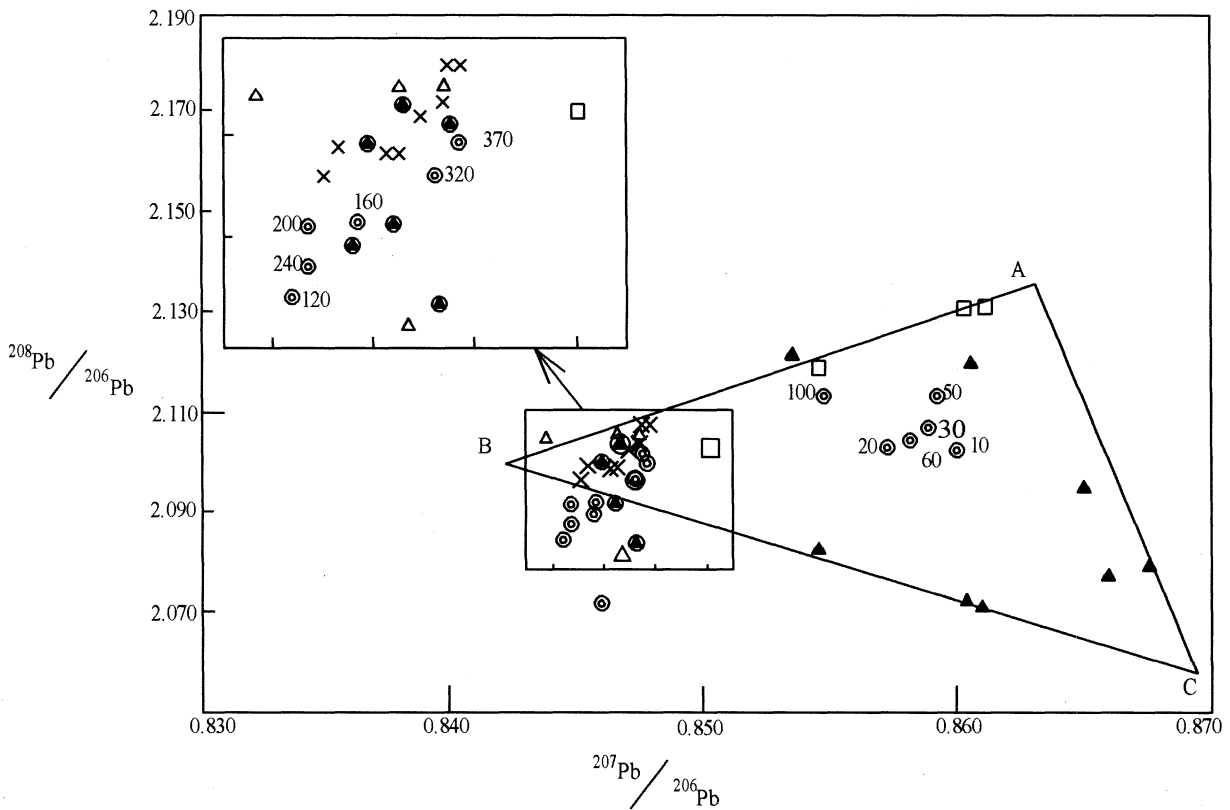
Table 4 に示すように年輪層の樹心部から辺材部さらに外皮にむかって鉛およびその他の重金属の濃度が高くなる。特に近年その傾向が著しい。

### 3.2.4 総合考察

過去 50 ~ 60 年に形成された古代杉年輪層で求められた鉛やその他重金属濃度の増加と Figure 1 に示した鉛同位体存在比の偏りの傾向とを併せ考えると、この増加や偏りは地質環境よりも空中塵による影響を受けていると結論できる。すなわち、320 年前には 1ha あたりの生態系中の鉛量は 3mg であったと評価されるが、10 年前には 110mg に達している。さらに、その他の重金属も数 10 倍の増加が観測された。この増加傾向も自然源空中

Table 4 Yearly changes of concentrations of some heavy metals in cross section layer of Yakushima Cryptomeria trunk in  $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$

Age	Pb	Ag	Cd	Cu	Tl	Ni	Zn	
Bark	10	114	4.25	43.2	2400	26.1	117	3640
	20	12.4	/	19.0	1070	8.31	158	1080
	30	32.5	2.28	18.2	777	9.96	120	745
	40	32.4	2.12	15.8	576	7.70	111	509
	50	59.9	2.38	35.8	751	16.8	100	896
	60	72.8	2.14	38.9	717	17.6	66.4	848
	100	17.5	1.15	1.61	160	8.07	38.6	48.5
	120	24.2	0.546	1.27	222	4.47	98.6	41.3
	160	18.2	0.539	0.580	190	2.32	24.5	30.1
	200	23.4	0.889	1.51	329	2.07	92.7	61.5
	240	7.13	1.21	2.63	555	2.17	43.7	130
	280	6.88	0.890	1.63	360	0.754	58.1	83.9
	320	3.19	0.353	0.889	286	1.45	26.0	49.2
Heart	370	4.70	0.662	0.912	456	1.63	74.8	72.9



◎ : Yakushima Cryptomeria Japonica with age of growth ring,

× : Granite, △ : Shale, □ : Sand stone, ⊙ : Soil, ▲ : Aerosol

Figure 1 Yearly change of lead isotopic composition in cross section layer of Yakushima Cryptomeria trunk.

塵より人為源空中塵によるものと考えられる。近年の鉛同位体存在比の偏りおよび重金属濃度の増加傾向は顕著に現れている。

#### 4 結語

急激な社会活動の発達が生態系に汚染をもたらしていることを示したが、この結果は日高山脈<sup>(3)</sup>での調査とも一致した。日高山脈と屋久島の岩石および堆積層の地質環境は異なる。そのため、日高山脈から得られた岩石、土壌試料の鉛同位体組成は一点で示されるが、屋久島の岩石、土壌の鉛同位体組成は二点で示される。したがって鉛同位体存在比の分布が日高山脈では直線的となり、屋久島では三角形になった。このことは、解析上支障にはならなかった。

本報は分析化学を基礎とした環境試料への応用例の一つである。これらの分析結果は超微量成分分析のためのクリーン実験室、サブボイリング蒸留による超純水、超高純度試薬の精製法および分析法などの整備・改良によって初めて可能となったものである。

最後に、本研究を行うにあたり終始適切なる御指導と多大なる御助言をいただいた室蘭工業大学室住正世名誉教授に心より感謝申しあげる。併せて実験および多方面わたり御協力を頂いた津谷直樹氏に感謝申しあげる。また、屋久島の岩石試料を御恵与下さった鹿児島大学理学部 岩松 暉教授ならびに古代杉試料を採取して頂いた、上屋久営林署の関係各位に心より謝意を表す。

#### 引用文献

(1) M. Murozumi, T. J. Chow, C. C. Patterson, *Chemical*

*Concentration of Pollutant Lead Aerosols, Terrestrial Dusts and Sea Salts in Greenland and Antarctic Snow Strata, Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 33, (1969), p1247.

(2) 室住正世, 中村精次, 海洋の動態, 恒星社, 厚生閣, (1985), p237-247.

(3) 室住正世, 中村精次, 吉田勝美, 空中塵の鉛の自然生態系に対する影響, 日化, No.9, (1982), p1479-1484.

(4) 室住正世, サブボイリング蒸留による超高純度試薬の精製法の研究, 文部省科学研究費補助金・一般研究 B (1981 ~ 1983) 報告書, 87p.

(5) 室住正世, 中村精次, 川原伸一郎, 同位体希釈表面電離質量分析法による標準物質中のタリウム, 銀, 銅, カドミウム, 鉛, ニッケル, 亜鉛の同時定量, 分析化学, Vol.36, No.7, (1987), p1-6.

(6) 室住正世, 中村精次, 横山裕之, 茶木一寿, 津谷直樹, 福田薫, 同位体希釈表面電離質量分析法による純水中の銀, カドミウム, 銅, ニッケル, 鉛, タリウム, 亜鉛の同時定量, 分析化学, Vol.35, No. 8, (1986), p759-765.

(7) 中村精次, 茶木一寿, 室住正世, サブボイリング蒸留による分析試薬の精製と精製物中の重金属の同位体希釈表面電離型質量分析法, 日化, No.5, (1988), p735-742.

(8) 山崎一雄, 室住正世, 中村精次, 湯浅光秋, 渡会素彦, 中国および日本の古代ガラスの鉛同位体比, 日化, No.6, (1980), p821-827.

(9) 山崎一雄, 室住正世, 中村精次, 日向 誠, 湯浅光秋, 日本産方鉛鉱および考古遺物中の鉛同位体比, 日化, No.8, (1978), p1112-1117.

(10) 中村精次, 福田薫, 室住正世, クリーン・ラボラトリー覚え書き, ぶんせき, No.9, (1985), p611-615.

# 逐次検定による逐次抜取検査と累積和管理図

渡辺 治夫\*<sup>1</sup>, 小幡 英二\*<sup>2</sup>, 向井田健一\*<sup>3</sup>

## Sequential Sampling Inspection and Cumulative Sum Chart Based on Sequential Analysis Procedure

Haruo WATANABE, Eiji OBATA and Ken-ichi MUKAIDA

(原稿受付日 平成12年4月28日 論文受理日 平成12年8月31日)

### Abstract

While 3-sigma control chart in quality-control procedure takes into account only type-I error, sequential sampling plan and cumulative-sum chart are derived from the sequential analysis, developed by Wald's criteria using likelihood-ratio and both the type-I error and the type-II error. The viewpoint of hypothesis-test procedure in rejecting defective lots is introduced into the investigation of the sequential sampling inspection and the CUSUM chart. V-mask is useful to detect the change of manufacturing process with smaller samples than the samples employed in the 3-sigma control chart.

Keywords: CUSUM chart, QC, Sequential sampling inspection.

### 1. はじめに

3シグマ管理図や抜取検査は1930年代にアメリカで発表され、その後1950年代には逐次抜取検査規格の制定に続いて累積和管理図が開発され、品質管理の発展に寄与してきた。これは尤度関数比と第1種と第2種の過誤の確率すなわち抜取検査という生産者危険と消費者危険を関連させてウォルド(Wald)が1945年に発表した逐次検定の判定ルールに基礎をおいている。

ここでは先ず逐次検定の基本となるウォルドの判定ルールを仮説の検定に関連させて検討し、ついでこれに基づく計数規準と計量規準の逐次抜取検査方式の概要および累積和管理図の簡単な基礎と実際を述べる。

### 2. 抜取検査

設計仕様にしたがって生産されるすべての製品を製品規格に厳密に一致させようといくら努力しても、全

く同一の品物だけを得るのは実現不可能である。例えば、箱入り洗剤の正味質量が必ずしも表示量と一致しないのは、容器と洗剤の質量や密度、その他にばらつきがあるためである。このような場合、母数(パラメタ)未知の母集団を想定し、完成品が仕様標準に適合しているか否か、すなわち合格品か否かを判定することになるが、それにはなんらかの形の検査が不可欠である。例えば箱入りの製品の集合を母集団とし、その中に存在する量自不足の箱を不良品とするなら不良個数特性が対象となる。母集団は一般に有限で、例えば特定充填装置の1直分の箱の全個数とか、取扱や輸送に都合のよいようにコンテナに詰めた箱の総個数などがある。このような層別により均質な母集団が得られると想定する。この検査対象の母集団をロット、バッチ、仕切りなどと呼んでいる。

不良を検出するために実施されるのが検査である。製品仕様に決められた具備条件のうちのどれかひとつでも欠けていれば不良品と判定される。品物が設計仕様に一致しているか否かは、ロットの全数を検査しなければ分からないが、一般に、1) 破壊検査が必要な場合、全数検査をすれば売るのがなくなる、2) 全

\*1 名誉教授、 \*2 応用化学科、  
\*3 材料物性工学科

数検査をするには熟練検査員が不足している、3) 検査の直接費が大きく、あるいは全数検査をすると生産に遅れを生ずる、4) 不良率が小さく、ロットサイズが大きくて不良品をすべて検出できない、などの場合には全数検査は現実的でない。したがって各ロット中の不良品をすべて除去しなくてもよい場合には、なんらかの形の抜取検査が導入される。各ロットを全数検査して不良品をすべて除去するという大変な作業をする代わりに、抜取検査によりサンプルから得られる情報に基づいてロットの可否を判定し悪いロットだけを除くようにする。このような考え方は受入検査に大変革をもたらすことになった。サンプルの抜取には抜取誤差の入る危険を伴うが、それをカバーするために生産者と消費者の両者が生産者危険と消費者危険の導入について同意しなければならない。このような目的を達成するための基準として各種の抜取検査規格が制定されている。

### 3. 生産者危険と消費者危険

計数規準1回抜検査を例にとると、不良率  $p$  のロットから抜き取った  $n$  個のサンプル1組中の不良個数  $r$  が合格判定個数  $c$  以下 ( $r \leq c$ ) のときにこのロットを合格と判定することになるから、 $r \leq c$  で不良率  $p$  のロットの合格確率  $L(p)$  は、サンプル  $n$  個中の不良個数  $r$  個の確率密度関数  $f(r)$  について、 $r=0, 1, 2, \dots, c$  となる確率を加え合わせ次式で表される。

$$L(p) = \sum_{r=0}^c f(r|p) \quad (2.1)$$

また  $r > c$  すなわち  $r \geq c+1$  のときこのロットは不合格になるから、不良率  $p$  のロットの不合格確率は次式で与えられる。

$$1 - L(p) = \sum_{r=c+1}^n f(r|p) \quad (2.2)$$

サンプル  $n$  個中の不良個数  $r$  は  $0 \sim n$  個間の値をとる確率変数で、その確率分布は  $n$  と  $p$  をパラメタとする2項確率関数にしたがい、さらに  $n$  が大で  $p$  が小なら  $np = m$  をパラメタとするポアソン分布に近似される。

抜取検査でロットの良否を判定するのは仮説の検定問題といえる。合格させたいロットの不良率(許容不良率)を  $p_0$  とすると、この場合の検定したい帰無仮説は  $H_0: p=p_0$ 、すなわち「ロットの不良率は  $p_0$  である」であり、これを対立仮説の  $H_1: p > p_0$  にたいし有意水準  $\alpha$  で判定することである。 $r \leq c$  で  $p=p_0$  のときロットを合格させる確率は  $L(p_0)$  で、(2.1)式より、

次式で与えられる。

$$L(p_0) = \sum_{r=0}^c f(r|p_0) \quad (2.3)$$

一方、 $r > c$  すなわち  $r \geq c+1$  となって  $p=p_0$  のように生産者側としては合格させたい良いロットなのに検査の結果誤って不合格としてしまう危険の確率は(2.2)式から  $1-L(p_0)=\alpha$  である。 $\alpha$  は第1種の過誤(あわて者の誤り)をおかす危険の確率で、抜取検査方式では一般に  $\alpha=0.05(=5\%)$  とし、これを生産者危険という。またロット不良率  $p$  が  $p_1(p_1 > p_0)$  で、消費者側としては本来合格させたくないような悪いロットであるにもかかわらず検査の結果  $H_0$  が採択されて合格させてしまう確率は  $L(p_1)=\beta$  だけある。これは第2種の過誤(ぼんやり者の誤り)をおかす危険の確率であり、抜取検査方式では一般に  $\beta=0.10(=10\%)$  にとり、 $\beta$  を消費者危険という。 $\alpha, \beta$  とも抜取検査方式に不可欠のものである。 $p \leq p_0$  の判定条件を満足するロットを良いロットとし、一方において判定条件を外れた  $p \geq p_1$  のロットを悪いロットとするという点で生産者側と消費者側が合意していることが抜取検査方式の前提である。 $p_0 < p < p_1$  のロットは中間品質ロットと呼ばれる。

### 4. 尤度比法による逐次検定

母集団からの  $n$  個のランダムサンプルの実測値を  $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  とし、変数  $x$  にたいする確率密度関数が母数  $\theta$  に依存し、 $f(x|\theta)$  で表されるとする。例えば、2項分布の母数は  $n, p$ 、ポアソン分布の母数は  $m$ 、正規分布  $N(\mu, \sigma^2)$  の確率密度関数は母平均  $\mu$  と母分散  $\sigma^2$  の複数の母数を有する。 $(x_1, x_2, \dots, x_n)$  は  $f(x|\theta)$  からのサンプルの値で互いに独立であれば、このサンプルにたいする同時確率密度関数は次式で与えられる。

$$f(x_1|\theta) f(x_2|\theta) \cdots f(x_n|\theta) = \prod_{i=1}^n f(x_i|\theta)$$

この関数を  $\theta$  の関数とみて  $q(\theta|x_1, x_2, \dots, x_n)$  で表し、与えられたサンプルの値  $x_1, x_2, \dots, x_n$  にたいする  $\theta$  の尤度関数と呼ぶ。

母数  $\theta$  が  $\theta_0$  のときの確率密度関数  $f(x_i|\theta_0)$  を  $f_0(x_i)$ 、 $\theta=\theta_1 > \theta_0$  のときの  $f(x_i|\theta_1)$  を  $f_1(x_i)$  で表すことにすれば、尤度関数の比(尤度比、確率比)  $\lambda$  は次式のようになる。

$$\lambda = \frac{q(\theta_1|x_1, x_2, \dots, x_n)}{q(\theta_0|x_1, x_2, \dots, x_n)} = \frac{f_1(x_1) \cdots f_1(x_n)}{f_0(x_1) \cdots f_0(x_n)} \quad (3.1)$$

1回ないし2回抜取検査方式では、母集団(工程、



ロット、バッチ) から抜き取られるサンプルの大きさ  $n$  個 (サンプルサイズ  $n$ ) と合格判定個数  $c$  をあらかじめ決めておいてロットの合否を判定するのにたいし、抜き取られるサンプルの大きさをあらかじめ固定しておかず、サンプル 1 個を抜き取る毎に検査し、それが良品か不良品かを調べていき、ある時点における累積不良品の到達個数をロットの合否判定に役立てようとする方式がある。この方式は逐次検定法 (逐次抜取検査) と呼ばれる。

第 1 種の過誤  $\alpha$  および検出力  $1-\beta$  による仮説の棄却域を最大にするような検定法に尤度比が用いられる。尤度比として  $\theta_1 > \theta_0$  のとき  $\lambda > 1$  なら、帰無仮説  $H_0: \theta = \theta_0$  の成立を疑うのが自然であるから、尤度比を仮説の検定に用いようとする考え方が生まれてくる。

逐次検定のためには (i) ロットの受入、(ii) ロットの廃棄、(iii) サンプルの継続、の判定ルールを決める必要がある。合否が判定された時点で検査は終了し、その時点までに取られたサンプルの個数がサンプルの大きさになる。これは明らかに確率変数で、この逐次抜取検定方式にウォルド (Wald, 1945) の基準<sup>(1)</sup>が用いられる。

抜取サンプルの大きさをあらかじめ固定せずにロットの合否を調べるのに仮説検定の尤度比法が用いられる。この場合の仮説は、

帰無仮説  $H_0$ : 母集団の確率分布は  $f(x | \theta_0) = f_0(x)$ , すなわち  $\theta = \theta_0$  である、

対立仮説  $H_1$ : 母集団の確率分布は  $f(x | \theta_1) = f_1(x)$ , すなわち  $\theta = \theta_1$  ( $\theta_1 > \theta_0$ ) である、

であり、 $H_0$  を  $H_1$  にたいし有意水準  $\alpha$  (第 1 種の過誤、生産者危険) で検定することになる。したがって帰無仮説  $H_0$  が真であるにもかかわらず誤って  $H_0$  を棄却し  $H_1$  を採択する危険は  $\alpha$  である。また、対立仮説  $H_1$  を採択する危険を  $\beta$  とする。 $\beta$  は第 2 種の過誤 (消費者危険、 $1-\beta$  は検出力) である。尤度比法による検定の手順を次に示す。

独立なサンプルを 1 個ずつ抜き取り、実測値列  $x_1, x_2, \dots$  を得る。各実測値を取る毎に次の三つの決定のうちどれか一つを選ぶ。すなわち第  $n$  番目のサンプル実測値 ( $n = 1, 2, \dots$ ) が得られた時点で、それまでの  $n$  個のデータについて (3.1) 式の尤度比  $\lambda$  (尤度関数の比) を求め、その都度  $H_0$  と  $H_1$  の採択、棄却もしくは保留の三つにつき検定すればよい。 $\lambda$  がある限界値より大きければ  $H_1$  を採択し、 $\lambda$  がある限界値より小さければ  $H_0$  を採択し、 $\lambda$  がその中間なら判定を保留してそのまま測定を継続し、 $\lambda$  が大きくなるかあるいは小さくなるか経過を追うようにする。

$\lambda$  にたいする限界値は、 $H_0$  が真で工程 (ロット) が正常であるにもかかわらず工程が異常であると誤って判断し  $H_1$  を採択する確率  $\alpha$  (第 1 種の過誤、生産者危険) と、工程 (ロット) が異常で  $H_1$  が成立している状態になっているにもかかわらず工程は正常であると誤って判断し  $H_0$  を採択する確率  $\beta$  (第 2 種の過誤、消費者危険) の両者を小さくするように選ぶ。これが逐次検定方式である。この場合の判定基準としてウォルドは、 $\alpha$  と  $\beta$  の値が通常実際に用いられている 5% とか 10% 程度の小さな値なら、次式が良い近似として用いられることを示した。

- 1)  $\lambda \leq \beta / (1-\alpha)$  なら、その時点で測定を止めて  $H_0$  を採択し、 $H_1$  を棄却する。
- 2)  $\lambda \geq (1-\beta) / \alpha$  なら、その時点で測定を止めて  $H_0$  を棄却し、 $H_1$  を採択する。
- 3)  $\beta / (1-\alpha) < \lambda < (1-\beta) / \alpha$  なら、さらに観測を継続し  $n+1$  番目のサンプルを取って測定する。

これが逐次検定にたいするウォルドの判定ルールである。逐次抜取検査方式は仮説成立の可否が抜取の各時点毎に決定され、その選択に消費者保護の観点を加味して数式化されたウォルドの判定ルールを適用するものであり、通常は抜取サンプル個数が 1 回ないし 2 回抜取検査よりも少ないので、破壊検査やロットの合否をできるだけ早く決めたいような場合に極めて都合のよい方式であり、計数もしくは計量規準の逐次抜取検査方式の設計から累積和管理図による管理にいたるまで広い範囲に應用されている。

## 5. 計数規準型逐次抜取検査方式 JIS Z 9009-1962

ロットサイズ  $N$  がサンプルサイズ  $n$  にくらべて極めて大きく  $N \gg n$  なら、不良率  $p$  の母集団 (ロット、バッチ、工程) から一定時間間隔毎にランダムにサンプル 1 個を抜き取り、それが良品であるか不良品であるかを記録していく。抜き取ったサンプル合計が  $n$  個に到達した時点においてサンプル  $n$  個中に含まれる不良品個数  $r$  は計数値の確率変数で、その分布は次式の 2 項確率関数に近似できる。

$$f(r | p) = \frac{n!}{r! (n-r)!} p^r (1-p)^{n-r} \quad (4.1)$$

$$r=0, 1, \dots, n$$

ロット不良率  $p=p_0$  のときの 2 項分布を  $f(r | p_0) = f_0(r)$ ,  $p=p_1$  のとき、 $f(r | p_1) = f_1(r)$  と表し  $p_1 > p_0$  とすると、このときの尤度関数  $q(p_0)$ ,  $q(p_1)$  は、それぞれ  $q(p_0) = f_0(r)$ ,  $q(p_1) = f_1(r)$  とおけるから、(3.1) 式にしたがって尤度比をとると、次式が得られる。

$$\lambda = q(p_1) / q(p_0) = f_1(r) / f_0(r) = \left(\frac{p_1(1-p_0)}{p_0(1-p_1)}\right)^r \left(\frac{1-p_1}{1-p_0}\right)^n \quad (4.2)$$

この場合の検定に関する仮説は、 $H_0$ :母集団(ロット)の母不良率は  $p=p_0$  で  $f_0(r)$  にしたがう、および  $H_1$ :母集団(ロット)の母不良率は  $p=p_1$  で  $f_1(r)$  にしたがう、である。ウォルドの判定ルールによれば、 $\lambda \leq \beta / (1-\alpha)$  なら  $H_0$  を採択し、 $\lambda \geq (1-\beta) / \alpha$  なら  $H_1$  を採択することになるから、はじめの条件から次式が得られる。

$$\left(\frac{p_1(1-p_0)}{p_0(1-p_1)}\right)^r \left(\frac{1-p_1}{1-p_0}\right)^n \leq \frac{\beta}{1-\alpha}$$

両辺の常用対数をとると次式が得られる。

$$r \log \frac{p_1(1-p_0)}{p_0(1-p_1)} + n \log \frac{1-p_1}{1-p_0} \leq \log \frac{\beta}{1-\alpha} \quad (4.3)$$

ここで上式を簡単にするために、

$$\log \frac{p_1(1-p_0)}{p_0(1-p_1)} = D, \quad \frac{1}{D} \log \frac{1-p_1}{1-p_0} = s \quad (4.4)$$

および  $(1/D) \log \{(1-\alpha)/\beta\} = h_0$  とおくと、仮説成立の条件は次のようになる。

$$r_c \leq -h_0 + s n \quad (4.5)$$

$H_0$  成立域 等号は合格判定限界線。

$p_1 > p_0$  であり、 $s$  は  $n$  の傾きで  $0 < s < 1$  で、 $h_0$  はこの直線の  $n=0$  軸の切片となることが知られる。

$\lambda$  の第2の条件についても同様に、

$$\left(\frac{p_1(1-p_0)}{p_0(1-p_1)}\right)^r \left(\frac{1-p_1}{1-p_0}\right)^n \geq \frac{1-\beta}{\alpha}$$

が得られるから、両辺の対数を取り、 $D' \log \{(1-\beta)/\alpha\} = h_1$  とおき、(4.4) 式と併せて次式が得られる。

$$r_d \geq h_1 + s n \quad (4.6)$$

$H_1$  成立域。 等号は不合格判定限界線。

(4.5), (4.6) 式は、グラフの横軸にサンプル測定個数(サンプルサイズ)  $n$  および縦軸にサンプル  $n$  個中の不良個数の累積和  $r$  をとれば、 $n=0$  軸の切片が  $-h_0$  および  $h_1$  で、それぞれ傾き  $s$  が正の2本の平行な直線が引け、これが判定限界線として図1のように与えられる。

サンプル  $n$  個中に見出される不良個数  $r$  をサンプル点  $(n, r_n)$ ,  $(n=1, 2, \dots)$  として図上にプロットした点を次々に線で結んで得られるランダムウォーク状系列が2直線に挟まれる帯状領域の中にある間は検査を継続し、判定限界線に到達したところで検査を終了する。 $r$  が  $r_c$  より小になりサンプル点が右下の限界線の下側域に入れば、測定を止めて  $H_0$  を採択し、

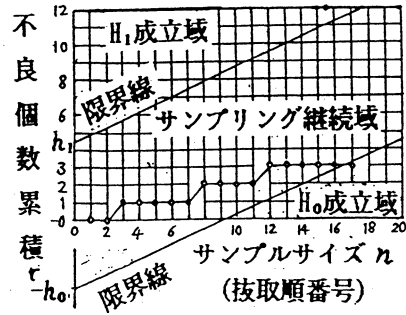


図1 計数規準型逐次抜取検査による合否判定。

を棄却してこのロットを合格と判定する。

また、サンプル点が  $r_d$  より大になって左上側の領域に入ったら測定を止めて  $H_0$  を棄却し  $H_1$  を採択してこのロットを不合格と判定する。図1では、不良個数が17個に達したときにロットは  $p=p_0$  で合格と判定される。合格判定限界値を表す(4.5)式の  $n$  に1, 2, ...を代入し小数点以下を切り捨てれば  $r_c$  (合格)の個数、また  $H_1$  成立域の判定限界線(4.6)式についても同様に、小数点以下を切り上げれば不合格個数  $r_d$  の値をあらかじめ求めておくことができる。

【例】 工程(母集団)からランダムサンプルを取って検査し発生不良品の個数を調べている。この工程の不良率は未知である。ここで生産者側が無帰仮説  $H_0: p=p_0=0.02$  を、対立仮説  $H_1: p=p_1=0.05$  にたいし、有意水準(第1種の過誤、生産者危険)  $\alpha=0.047$  および  $p=p_1$  にたいする第2種の過誤(消費者危険)の確率を  $\beta=0.248$  ( $p=p_1$  のときの検出力  $=1-\beta$ ) とするような逐次抜取検査方式を考えてみよう。

(4.4) 式および  $h_0, h_1$  の諸量を求める。

$$\begin{aligned} \log(p_1/p_0) &= \log(0.05/0.02) = 0.3979 \\ \log\{(1-p_0)/(1-p_1)\} &= \log(0.98/0.95) = 0.0135 = Ds \\ \log\{p_1(1-p_0)/p_0(1-p_1)\} &= \log(p_1/p_0) + \log\{(1-p_0)/(1-p_1)\} = 0.4114 = D \\ \log\{(1-\alpha)/\beta\} &= \log(0.953/0.248) = 0.5846 = Dh_0 \\ \log\{(1-\beta)/\alpha\} &= \log(0.752/0.047) = 1.2041 = Dh_1 \\ \therefore s &= 0.0135/0.4114 = 0.0328, \quad h_0 = 0.5846/0.4114 \\ &= 1.421, \quad h_1 = 1.2041/0.4114 = 2.927 \\ H_0 \text{ 成立域} \quad r_c &\leq -1.421 + 0.0328 n \\ H_1 \text{ 成立域} \quad r_d &\geq 2.927 + 0.0328 n \end{aligned}$$

$n$  に1, 2, ...の値を代入すると合格判定個数と不合格判定個数を次のようにあらかじめ求めておくことができ、とくにグラフに表さなくてもすませられる。

サンプル 番号、 $n$	0-3	4-32	33- 43	44- 63	64- 73	74- 93	94- 104	105- 124
$H_0$ 成立限界 個数 $r_c$	-	-	-	0	0	1	1	2
$H_1$ 成立限界 個数 $r_d$	-	4	5	5	6	6	7	7

6. 計量規準型逐次抜取検査方式 JIS Z 9010-1979

標準偏差既知で母平均未知の正規母集団（ロット、バッチ）から抜き取ったサンプルのデータ（実測値） $x$  は計量値の確率変数である。計量値にたいしても逐次検定法を適用することができる。JIS Z 9010 計量規準型逐次抜取検査は、標準偏差既知でロットの不良率を保証するのに用いられる。

実測値  $x$  は正規分布  $N(\mu, \sigma^2)$  にしたがう連続変数（確率変数）で、 $\sigma$  は既知であるが  $\mu$  は未知であるとする。逐次抜取により確率変数  $x$  の値を調べ、母集団について帰無仮説  $H_0$  : 工程は正常で工程平均は  $\mu = \mu_0$  の正規母集団である、を対立仮説  $H_1$  : 工程は異常で工程平均は  $\mu = \mu_1 > \mu_0$  の正規母集団に変化している、にたいし検定することを考える。それにはサンプリングの各時点までに得られる  $n$  個の実測値についてその都度尤度比を求め、ウォルドの判定ルールにより仮説を検定すればよい。検定の有意水準については、 $H_0$  が真で工程が安定しているにもかかわらず工程は変化したとして  $H_1$  を採択してしまう第1種の過誤を  $\alpha$  とし、また工程平均が  $\mu_1$  に変化して  $H_1$  が成立する状態になっているにもかかわらず工程は変化していないとして誤って  $H_0$  を採択し  $H_1$  を棄却する第2種の過誤の確率を  $\beta$  として選ぶ。この場合は  $\mu_1 > \mu_0$  なので片側検定となる。

$x$  の確率密度関数  $N(\mu, \sigma^2)$  は次式で与えられる。

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2} \left\{ \frac{x-\mu}{\sigma} \right\}^2\right)$$

$f(x | \mu_0) = f_0(x)$ ,  $f(x | \mu_1) = f_1(x)$  と表すことにすると、 $n$  個のサンプル実測値  $x_1, x_2, \dots, x_n$  にたいする尤度比  $\lambda$  は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \lambda &= \prod_{i=1}^n f_1(x_i) / \prod_{i=1}^n f_0(x_i) \\ &= \exp[-(2\sigma^2)^{-1} \{ \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_1)^2 - \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_0)^2 \}] \\ &= \exp\left(\frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma^2} \left\{ \sum x_i - \frac{(\mu_1 + \mu_0)n}{2} \right\}\right) \end{aligned} \quad (5.1)$$

ウォルドの判定ルールを適用すると、帰無仮説の成立について次式を得る。

$$\frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma^2} \left( \sum x_i - \frac{(\mu_1 + \mu_0)n}{2} \right) \leq \log_c \frac{\beta}{1-\alpha}$$

$$\therefore \sum x_i - \frac{(\mu_1 + \mu_0)n}{2} \leq -\frac{\sigma^2}{\mu_1 - \mu_0} \log_c \frac{1-\alpha}{\beta}$$

ここで上式を簡単に表すのに次のような記号を導入し (5.3) 式を得る。

$$\frac{\sigma^2}{\mu_1 - \mu_0} \log_c \frac{1-\alpha}{\beta} = h_0, \quad (\mu_1 + \mu_0)/2 = s \quad (5.2)$$

$$\therefore \sum x_i \leq -h_0 + s n \quad (5.3)$$

$H_0$  成立域。等号は合格限界線。

ついで、 $H_1$  の採択条件は  $\lambda \geq (1-\beta)/\alpha$  であるから、(5.1) 式より次式を得る。

$$\frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma^2} \left( \sum x_i - \frac{(\mu_1 + \mu_0)n}{2} \right) \geq \log_c \frac{1-\beta}{\alpha}$$

ここで次式の記号を導入し (5.5) 式を得る。

$$\frac{\sigma^2}{\mu_1 - \mu_0} \log_c \frac{1-\beta}{\alpha} = h_1 \quad (5.4)$$

$$\sum x_i \geq h_1 + s n \quad (5.5)$$

$H_1$  成立域。等号は不合格限界線。

グラフの縦軸に  $x$  の累積値  $\sum x_i$  をとり、横軸にサンプル採取順の番号として  $n$  をとれば、(5.3), (5.5) 式は  $n = 0$  軸の切片がそれぞれ  $h_1$  と  $-h_0$  で、ともに正の傾き  $s$  をもつ2本の平行な直線として表される。

$(n, \sum x)$  のプロット ( $n = 1, 2, \dots$ ) がこの両直線の間領域にある限りサンプルを取って測定を継続し、下方の判定限界線を横切ったら  $H_0$  を採択して観測を止め、上方の判定限界線を横切ったら  $H_0$  を棄却し  $H_1$  を採択して測定を止める。

【例】 従来法と新しい強化法の両法で作成した糸の引張り強さを調べたら、その差は次のようになった。

サンプル 番号 $n$	1	2	3	4	5	6	7	8	9
強度 差 $x_i$	7	5	8	-11	10	8	-9	6	-7

従来法の標準偏差は  $\sigma = 10$  である。強化法により平均の真の差が 10 以上増加したかどうかを逐次検定法により、有意水準  $\alpha = 0.05$ ,  $\beta = 0.10$  で検定してみよう。この場合、 $H_0 : \mu_0 = 0$ ,  $H_1 : \mu_1 = 10$  である。

(5.3), (5.5) 式中の  $s$ ,  $h_0$ ,  $h_1$  を (5.2), (5.4) 式から求める。

$$s = (\mu_1 + \mu_0)/2 = (10+0)/2 = 5$$

$$h_0 = \frac{\sigma^2}{\mu_1 - \mu_0} \log_c \frac{1-\alpha}{\beta} = 10 \log_c (0.95/0.10) = 22.51$$

$$h_1 = \frac{\sigma^2}{\mu_1 - \mu_0} \log_c \frac{1-\beta}{\alpha} = 10 \log_c (0.90/0.05) = 28.90$$

$$\therefore H_0 \text{ 成立域 } \sum x_i \leq -h_0 + s n = -22.51 + 5 n$$

$$H_1 \text{ 成立域 } \sum x_i \geq h_1 + s n = 28.90 + 5 n$$

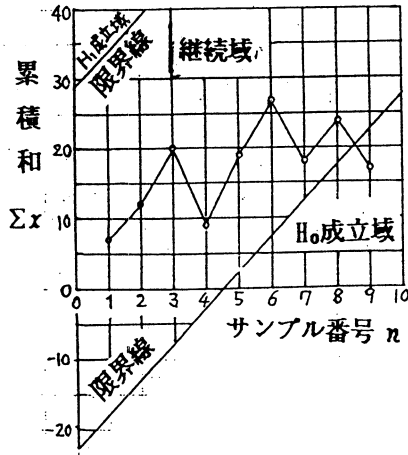


図2 計量規準型逐次抜取検査による合否判定。

以上の結果をまとめて次表に示す。

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$X_i$	7	5	8	-11	10	8	-9	6	-7
$\Sigma x_i$	7	12	20	9	19	27	18	24	17
$H_0$ 成立限界	-	-	-	-	2.49	7.49	12.49	17.49	22.49
$H_1$ 成立限界	33.90	38.90	43.90	48.90	53.90	58.90	63.90	68.90	73.90

前表の最終列のNo.9で、 $\Sigma x_i = 17$  はNo.9の3行下の判定限界値 22.49 より小さいから  $H_0$  が採択され、新強化法は強度の増加をもたらしたとはいえないと判定される。図2 はこれらの結果を図示したものである。

### 7. 累積和管理図 CUSUM, BS 5703

ウォルドの判定ルールの逐次検定法を管理図に応用して開発されたのが累積和管理図(Cumulative-sum Control Chart, CUSUM Chart)と呼ばれるもので、ユニークな特徴をもっており、ある時点までに取った一定数のサンプルだけを検定の対象として扱い、さらに過去および現在のすべてのデータを特殊な管理図上に表すようにしたものである。

#### 7.1 基礎理論<sup>(2)</sup>

正規母集団(ロット、バッチ、工程)から一定時間間隔をおいて1個ずつサンプルを取り、サンプルを取る都度品質特性値を測定し、これを  $x$  とする。 $x$  は連続変数で計量値であり正規分布  $N(\mu, \sigma^2)$  にしたがうものとする。いま、工程の母分散  $\sigma^2$  が既知のとき、未知の工程平均  $\mu$  を管理することを考える。工程の目標値を  $\mu_0$  とし、この工程にたいする帰無仮説を  $H_0: \mu$

$= \mu_0$ , その対立仮説を  $H_1: \mu = \mu_1 = \mu_0 + u\sigma$  ( $u > 0, \mu_1 > \mu_0$ ),  $H_1: \mu = \mu_1 = \mu_0 - u\sigma$  ( $u > 0, \mu_1 < \mu_0$ ) とする。 $\mu_1$  は不適切な工程平均である。ここで  $|\mu_1 - \mu_0| = u\sigma = \delta$  とおくと、 $\mu_1$  は  $\mu_0 \pm \delta$  のいずれか一方の値をとるので両側検定となる点を考慮し、 $H_0$  が真で工程は変化していないにもかかわらず工程が変化すると誤って  $H_0$  を棄却(否定)し  $H_1$  を採択してしまう第1種の過誤の確率、すなわち有意水準  $\alpha$  を  $\alpha/2$  に置き換えて考えることにする。工程が  $\mu_1$  に変化しているにもかかわらず変化していないとして  $H_0$  を採択し  $H_1$  を棄却する第2種の過誤の確率  $\beta$  はこれまでの通りとする。

1回に1個ずつ連続して抜き取ったサンプルの合計  $n$  個にたいする実測値  $x_i$  と目標値  $\mu_0$  との差を加え合わせた累積和を  $y_n$  で表すと、 $y_n$  は次式で定義されるランダム変数である。

$$y_n = \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_0) = \Sigma x_i - n\mu_0 \quad (6.1)$$

$x_i$  は  $N(\mu, \sigma^2)$  にしたがう正規確率変数で  $f(x_i | \mu_0, \sigma) = f_0(x_i)$ ,  $f(x_i | \mu_1, \sigma) = f_1(x_i)$  のように  $\mu$  の添字にしたがって  $f$  の添字を変えて表すと、 $n$  個の  $x_i$  についての尤度比  $\lambda$  は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} \lambda &= \frac{f_1(x_1) f_1(x_2) \cdots f_1(x_n)}{f_0(x_1) f_0(x_2) \cdots f_0(x_n)} \\ &= \frac{(\sigma\sqrt{2\pi})^{-n} \exp\{-\Sigma(x_i - \mu_1)^2 / (2\sigma^2)\}}{(\sigma\sqrt{2\pi})^{-n} \exp\{-\Sigma(x_i - \mu_0)^2 / (2\sigma^2)\}} \\ &= \exp\{-\{\Sigma(x_i - \mu_1)^2 - \Sigma(x_i - \mu_0)^2\} / (2\sigma^2)\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda &= \exp\{-2(\mu_1 - \mu_0) \Sigma\{x_i - (\mu_1 + \mu_0)/2\}\} \\ &= \exp\{-2(\mu_1 - \mu_0) \{\Sigma x_i - (\mu_1 + \mu_0)n/2\}\} \end{aligned}$$

であるから、これを用いて  $\lambda$  は次のようになる。

$$\lambda = \exp\left[\sigma^{-2}(\mu_1 - \mu_0) \{\Sigma x_i - (\mu_1 + \mu_0)n/2\}\right] \quad (6.1)$$

$$\lambda = \exp\left\{\frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma^2} \left\{y_n + n\mu_0 - \frac{n\mu_1}{2} - \frac{n\mu_0}{2}\right\}\right\}$$

$$\therefore \lambda = \exp\left\{\frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma^2} \left\{y_n - \frac{(\mu_1 - \mu_0)n}{2}\right\}\right\} \quad (6.2)$$

両側検定であるから  $\alpha$  を  $\alpha/2$  とみなしてウォルドの判定ルールを適用すると、 $\lambda \leq \beta / (1 - \alpha/2)$  なら  $H_0$  が成立し、 $\lambda \geq (1 - \beta) / (\alpha/2)$  なら  $H_0$  を棄却して  $H_1$  が成立するから、(6.2) 式の  $\lambda$  について、

$$\exp\left\{\frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma^2} \left\{y_n - \frac{(\mu_1 - \mu_0)n}{2}\right\}\right\} \leq \frac{\beta}{1 - \alpha/2} \quad H_0 \text{ 成立}$$

$$\exp\left\{\frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma^2} \left\{y_n - \frac{(\mu_1 - \mu_0)n}{2}\right\}\right\} \geq \frac{1 - \beta}{\alpha/2} \quad H_1 \text{ 成立}$$

両辺の自然対数をとって両仮説の成立域を求めると、

$$\frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma^2} \left\{ y_n - \frac{(\mu_1 - \mu_0)n}{2} \right\} \leq \log_c \frac{\beta}{1 - \alpha/2} \quad H_0 \text{ 成立}$$

$$\frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma^2} \left\{ y_n - \frac{(\mu_1 - \mu_0)n}{2} \right\} \geq \log_c \frac{1 - \beta}{\alpha/2} \quad H_1 \text{ 成立}$$

これより次の関係が得られる。

$$y_n \leq \frac{\sigma^2}{\mu_1 - \mu_0} \log_c \frac{\beta}{1 - \alpha/2} + \frac{(\mu_1 - \mu_0)n}{2} \quad (6.3)$$

$H_0$  成立域、等号は合格判定限界線。

$$y_n \geq \frac{\sigma^2}{\mu_1 - \mu_0} \log_c \frac{1 - \beta}{\alpha/2} + \frac{(\mu_1 - \mu_0)n}{2} \quad (6.4)$$

$H_1$  成立域、等号は不合格判定限界線。

グラフの縦軸に  $x$  の偏差累積和  $y_n$ 、横軸にサンプル番号(採取順番)  $n$  をとると、(6.3)、(6.4) 式による直線の傾きは  $(\mu_1 - \mu_0)$  の符号によってきまり、 $\mu_1 > \mu_0$  なら傾き  $(\mu_1 - \mu_0)/2 > 0$  で正の右上がりの2本1組の平行線を表し、 $H_1: \mu = \mu_1 < \mu_0$  なら傾き  $(\mu_1 - \mu_0)/2 < 0$  で負の右下がりの2本1組の平行線を表すから、これがそれぞれの仮説成立域の判定限界線となる。この様子を図3に示す。

この4本の判定限界線のうちで我々が必要とするのは(6.4)式による  $H_0$  不成立 ( $H_1$  および  $H_{-1}$  成立) の判定限界線を与える外側の2本だけである。その理由は、工程平均  $\mu$  の変化による異常発生の可能性すなわち  $H_1$  と  $H_{-1}$  の両者が成立するような状態だけを考慮していればよいからである。この場合の管理図は図4のようにV字型のものになる。これが累積和管理図と呼ばれるものである。

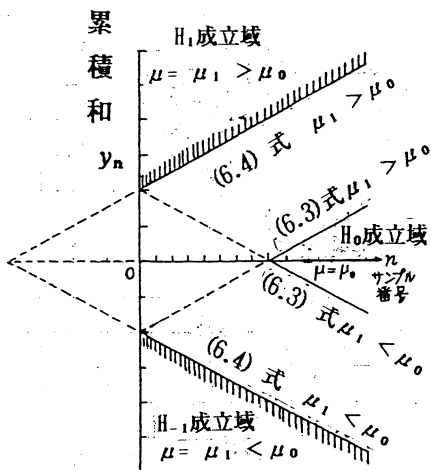


図3 累積和管理図における(6.3)、(6.4)式の仮説成立域。

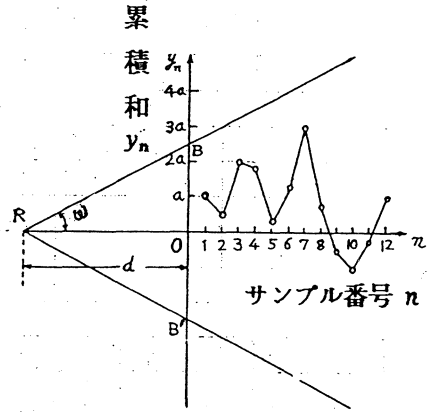


図4 累積和管理図例。

縦軸の目盛りのスケールを横軸の目盛りスケールの  $a$  倍にとれば、縦軸の  $y_n$  の1単位の目盛りの長さは横軸の  $n$  の1単位の目盛りの長さの  $a$  倍になる。図4の  $H_0$  不成立 ( $H_1$  成立) の判定限界線の傾きは、

$$OB/OR = \tan \omega = (\mu_1 - \mu_0)/2 a$$

$$OB = OB' = h = \frac{\sigma^2}{a(\mu_1 - \mu_0)} \log_c \frac{1 - \beta}{\alpha/2}$$

の関係があるから、 $OR = d$  は次のように求められる。

$$d = OR = OB \cot \omega = -\frac{2 \sigma^2}{(\mu_1 - \mu_0)^2} \log_c \frac{\alpha/2}{1 - \beta}$$

図4はサンプル番号  $n$  にたいし累積和  $y_n = \sum (x_i - \mu_0)$  の各時点における実測値をプロットして得られたもので、サンプル点  $(n, y_n)$ 、 $(n = 1, 2, \dots)$  を線で結んでいくとランダムウォーク状経路になる。この累積和管理図の作成手順を次に示す。

通常では  $\beta$  は小さいので、 $1 - \beta \approx 1$  とみなし、

$|\mu_1 - \mu_0| = u \sigma = \delta$  とおくと、

$$|OR| = d = -2 (\sigma/\delta)^2 \log_c (\alpha/2),$$

$$|\tan \omega| = \delta/2 a$$

となり、これが次に示すVマスクの諸元となる。

## 7.2 Vマスク<sup>(3)(4)</sup>

累積和  $y_n$  の出発点は任意に定めてよいから、V字型の累積和管理図での連続プロット点を素早く参照するには工夫を要する。しかしこれは簡単な方法で達成できる。図4の管理図に透明なシートをあて、重要な箇所としてまず中央部に引いた横軸上に参照点Aを決め、A点から  $d$  の距離にある頂点Rの位置を求め、頂点Rから角度  $\omega$  の2本の直線を写しとって引く。図5に示すように、管理限界線外側の  $H_0$  不成立域 (異常域) の部分に斜線を書き入れておく

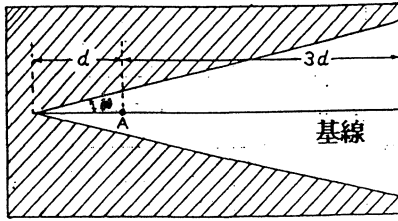


図5 累積和管理図のVマスク。

と便利である。こうして作られたのがVマスクと呼ばれるものである。マスク全体の長さは次に示す理由で  $4d$  程度が必要である。

**マスク全長を  $4d$  程度にとる理由：** 管理図にプロットしたサンプル測定点  $(n, y_n)$  を次々に線で結んでいって得られるランダムウォーク状経路図上のひとつの点にVマスクのA点を合わせ、かつマスクの基線が管理図の横軸 ( $n$  軸) に平行になるようにVマスクを重ねる。最終のプロット点 ( $N$  とする) が  $3d$  以上のところにくるようになったら、VマスクのA点を  $n = N - 3d$  程度のところの点まで戻し、その後は一度に1点ずつ右方へずらせていくようにする。 $N < 3d$  なら出発点の位置を  $n = 0$  のところに合わせる。

Vマスクのそれぞれの位置毎にその右方にあるプロット点の並び方を点検する。Vマスクの斜線域に点が1個以上入ったなら、工程がどこかの点でVマスクのパラメタの  $d$  と  $\theta$  を求めたもとの母集団の工程水準から外れて異常な状態になったことを示すと判定する。品質水準が変化していないのに変化したとして誤って判断する確率 (第1種の過誤、あわてものの誤り) は  $\alpha$  である。プロット点が斜線域に入るときのA点の位置を求め、次にVマスクを右方へずらす。これで先に隠れたプロット点が現れてくるようになることがあるが、そのときには、このプロット点が最初に隠れたときのA点の位置付近で異常が発生しはじめたことを示すものとなる。プロット点がVマスクの上半部に集まるのは工程水準の上昇に対応し、下半部に集まるのは工程水準の下降に対応することになる。工程水準が  $\mu = \mu_0$  のとき、プロット点は  $n$  軸の上下にランダムに散らばるはずであるが、図6に示すように、ある時点Pで工程水準が  $\mu = \mu_1$  に変化したとすると、P以降の点について

$$y_n = \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_0) = \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_1 + \mu_1 - \mu_0) \\ = \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_1) + n(\mu_1 - \mu_0)$$

となるが、 $\mu_1$  のまわりのランダム変動は  $\sum (x_i - \mu_1) = 0$

となって無視され、 $y_n = n(\mu_1 - \mu_0)$  となるから、 $\mu_1 > \mu_0$  でP時点で変化が始まったとすると、プロット点の時系列は  $(\mu_1 - \mu_0)$  の傾きを有する右上がりの直線とみなせるようになり、プロット点はこの直線のまわりにばらつくはずである。このとき、プロット点は図6のようになると考えられる。

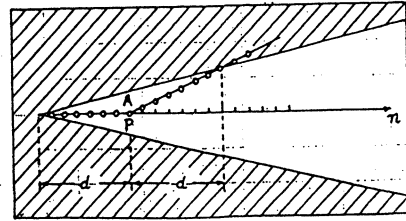


図6 累積和管理図。；工程水準変化の始まり。

管理限界線の傾きは(6.3), (6.4) 式に示したように  $(\mu_1 - \mu_0)/2$  であるから、参照点AをP点におくと、プロットが  $d$  になった時点で管理限界線の外に出るようになる。これは工程変化がマスクで検出されるまでに  $\delta = |\mu_1 - \mu_0|$  の大きさの変化の開始に伴って期待されるプロット点の数が  $d$  であり、 $d$  が変化に伴う連の平均長さにほぼ等しくなっていることを示す。

プロット点は  $d$  を中心にして変動するが、工程が最初に变化した点がA点から  $3d$  以上離れた距離のところから始まっているなら、この示唆を疑うようにすべきであると思われる。以上述べたような理由でマスクの全長を約  $4d$  にとるようにするのである。

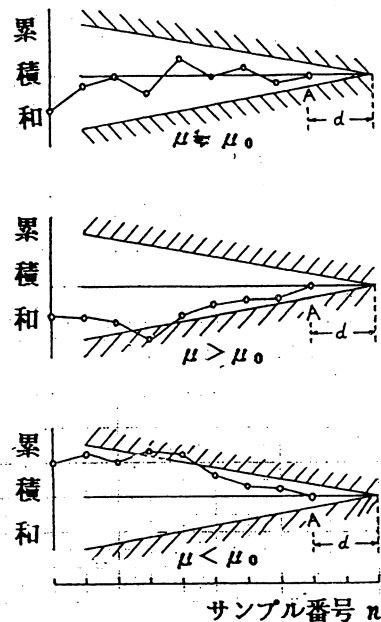


図7 累積和管理図におけるVマスクの  $180^\circ$  回転使用例とプロット点の傾向。

$\mu$  : 工程平均、 $\mu_0$  : 目標値。

**異常の判定：** 累積和管理図に新しい点を追加してプロットしていくと、明らかにトラブルが発生しているような場合等には、実際にはほんの僅かのプロット点を見るだけで異常発生の特徴が認められる。いずれにしてもプロット点がすべてマスクで隠れるようになるのは時間の問題である。

**使用方法：** 累積和管理図の解説文献中には図7に示すように、これまで述べた方法を逆にして、マスクを180度回転し、参照点Aを最終プロット点に合わせるようにしているものがある<sup>(4)</sup>。3d以内の距離にある先行プロット点がマスクに隠れたら、どこかの点で工程が異常になったと考える。これは以前のプロット点を見るか、または以降のプロット点を見るかの違いで、同じ結果が得られる。

**xの平均の使用：** これまでは各時点で1回に1個のサンプルを取って測定する場合だけについて述べてきたが、日常的な工程管理では一定時間間隔毎に毎回k個のサンプルを採取して $x_j$  ( $j = 1, 2, \dots, k$ )を求め、さらに各k個のサンプルの平均 $\bar{x}_j = \sum x_j / k$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ )を求めていることがある。この場合にはxの代わりにその平均 $\bar{x}$ を用い、さらに $\sigma(x)$ の代わりに $\sigma(\bar{x}) = \sigma(x) / \sqrt{k}$ を用いるようにすればよい。またこの場合のnは時系列のサンプル番号とすればよい。

**ARL (連の平均長さ)：** 工程水準が変化しても目標の水準に戻すために調整を加えるのがよいとは限らない。しかし、水準変化の発生時期と変化の程度を知るのが大切なことはいうまでもない。管理図で工程異常や水準の変化を検出するのに連が用いられる。

変化が $\sigma(\bar{x})$  (xの平均の標準偏差)の1/2ないし1倍程度の大きさであれば、工程水準変化の検出には、累積和管理図の方がシューハートの3シグマ管理図よりも有効である。先の例に示したように、サンプルの大きさkと検定有意水準 $\alpha$  (危険率、第1種の過誤、あわてものの誤り)を同一にした場合について $\Delta = u \sqrt{k} = \delta / (\sigma(x) / \sqrt{k})$ を変えた場合の両管理図のARL (Average run length, 連の平均長さ)を比較してみよう (§10 参照)。

検定の仮説は帰無仮説 $H_0 : \mu = \mu_0$ にたいし対立仮説 $H_1 : \mu = \mu_1 = \mu_0 + \delta = \mu_0 + u\sigma$ であるから、3シグマ管理図の片側検定のARLは、 $\{1 - F(3 - \Delta)\}^{-1}$ で与えられる。ただし{ }内は次式で与えられる。

$$1 - F(3 - \Delta) = P$$

$$= \int_{\mu_0 + 3\sigma/\sqrt{k}}^{\infty} \sqrt{\frac{k}{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{k(\bar{x} - \mu_0 - u\sigma)^2}{2\sigma^2}\right) d\bar{x}$$

また、累積和管理図では、3シグマにたいし $\alpha/2 = 0.00135$ として、 $d = -(2/\Delta^2) \log_e(\alpha/2) = 13.215/\Delta^2$ で与えられる。表1にその値を比較して示す。

表1 3シグマ法と累積和図法のARL

$\Delta$	ARL	
	3シグマ法	累積和図法
0.2	391	330
0.5	161	53
1.0	44	13
1.5	15	6
2.0	6	3

シューハートの3シグマ管理図の連の平均長さは、測定値1個にたいする誤差の確率に基づいているのにたいし、累積和管理図における連の平均長さは完全な逐次検定法によっている点に注意が必要である。

### 8. 累積和管理図例題

**【例題】** 家庭用洗剤16オンス缶の充填工程から一定時間毎に取った4個のサンプルの正味内容を測定した結果は表2のようになった。表2左のデータxは実測値wから16.2オンスを差引き、それを8倍した換算値である。

充填機運転中は常に調整して目標水準を維持するようにしているが、工程水準が0.0625=1/16オンス以上変化したときだけ係長に報告することになっている。この期間中にこのような調整が1回以上発生したことが分かっており、サンプル平均値の累積和管理図による発生時刻検出法を検討することになった。過去の経験から正味充填量の標準偏差は $\sigma(w) = 0.09375$ オンス、第1種の過誤の確率は $\alpha = 0.0027$ であることが知られている。

**(解)** 計算表を表2右に示す。

換算値xの標準偏差 $= \sigma(x) = 8\sigma(w) = 8 \times 0.09375 = 0.75$ で、帰無仮説 $H_0 : \mu_0 = 0$ であるから、任意のnにたいし、

$$y_n = \sum_{i=1}^n (x_i - \mu_0) = \sum_{i=1}^n x_i$$

である。サンプルの大きさは $k = 4$ であるから、換算値xの平均の標準偏差 $= \sigma(\bar{x}) = \sigma(x) / \sqrt{k} = 0.75 / \sqrt{4} = 0.375$ となり、報告限界値は $w - 16.2 > 0.0625$ で、 $\delta = 8(w - 16.2) = 8 \times 0.0625 = 0.5$ となるから、 $\Delta = \delta / (\sigma(x) / \sqrt{k}) = 0.5 / 0.375 = 1.33$ より $d = -(2/\Delta^2) \log_e(\alpha/2) = (2/1.33^2)(6.608) = 7.47$ が得られる。

表2 正味内容量の測定結果の換算と計算表。

換算値  $x = 8(w - 16.2)$ .

計算表

No. $n$	サンプル				和 $\Sigma x_j$	平均 $x_j$	累積和 $\Sigma x_i$
	1	2	3	4			
1	0	0	1	0	1	0.25	0.25
2	1	0	0	0	1	0.25	0.50
3	0	0	0	2	2	0.50	1.00
4	2	1	0	0	3	0.75	1.75
5	0	-1	-1	-1	-3	-0.75	1.00
6	0	-1	-2	-1	-4	-1.00	0.00
7	0	0	2	-1	1	0.25	0.25
8	0	-2	0	0	-2	-0.50	-0.25
9	0	-1	0	1	0	0.00	-0.25
10	-1	0	0	1	0	0.00	-0.25
11	-1	1	0	0	0	0.00	-0.25
12	0	2	0	-1	1	0.25	0.00
13	-1	0	0	0	-1	-0.25	-0.25
14	-2	0	0	0	-2	-0.50	-0.75
15	0	0	1	0	1	0.25	-0.50
16	1	0	1	1	3	0.75	0.25
17	2	-2	2	0	2	0.50	0.75
18	0	0	2	1	3	0.75	1.50
19	0	3	0	0	3	0.75	2.25
20	2	2	-1	0	3	0.75	3.00
21	-1	1	1	-1	0	0.00	3.00
22	-1	0	0	1	0	0.00	3.00
23	-1	0	0	0	-1	-0.25	2.75

$\sigma(w) = 0.09375$  オンス,  $\alpha = 0.0027$ .

縦軸  $y$  の 1 目盛り長さを横軸  $n$  の 1 目盛り長さの 2 倍にとり、 $a = 1/2$  として図 8 のように累積和管理図の目盛りを決める。管理限界線の傾きは  $\tan \theta = (\delta/a)/2 = 1/2$  となるから、これらを用いて V マスクを作成することができる。管理図上にデータをプロットし、それに V マスクを重ねて移動していくと、図示のように参照点 A を  $n = 14$  のプロット点に合わせた時に  $n = 20$  のプロット点が上方の斜線域に隠れるようになることが分かる。V マスクの A 点をさらに右方向に移動させても、それ以前のプロット点が隠れることはない。以上から、工程水準が換算値で 0.5 を越えるような大きな変化をもたらした増量調整は 14 番目の測定点の付近で行われたと結論される。実際にそのような調整が 15 番目のプロット点の時点で行われていた。また、これとは逆の減量調整が 21 番目のプロット点で行われたが、図 8 ではプロット点が少なく、これを検出するには至っていない。

このデータを用いた 3 シグマ管理図を図 9 に比較のために示してあるが、これでは異常はどこにも認められない。

$\alpha = 0.0027$  は 3 シグマ管理図における危険率 (有意水準) に合わせて選んだものである。経済的観点から、

例えば  $\alpha = 0.05$  に取ると、 $\log_e(\alpha/2) = \log_e(0.025) = -3.689$  となり、 $d = 4.17$  となって、先の 7.47 より小さくなる。これを V マスクの参照点 A にとって上述と同じ操作をすると、 $n = 11$  のプロット点に A 点を合わせたときに  $n = 20$  のプロット点が隠れ、 $n = 13$  のプロット点に A 点を合わせたときに  $n = 19$  のプロット点が隠れ、 $n = 14$  のプロット点に A 点を合わせたときに  $n = 18$  のプロット点が隠れる。これより先の点は隠れないから、 $n = 14$  の時点で調整が実施されたことが確認される。

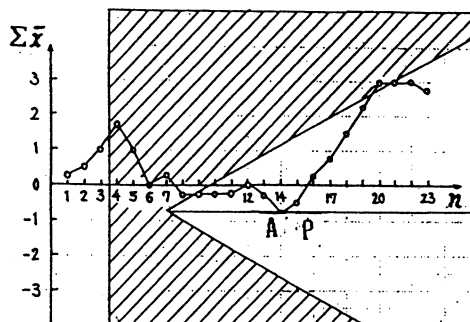


図 8 例題の累積和管理図。充填機の調整。

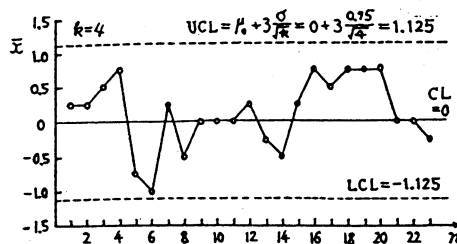


図 9 例題の 3 シグマ管理図。

### 9. 各種の累積和管理図

これまでは工程の標準偏差が既知で平均  $\mu$  が不明のときの累積和管理図について述べたが、逆に  $\mu$  が既知で標準偏差が不明のとき、サンプリングの都度観測される実測値  $x$  について、帰無仮説  $H_0: \sigma = \sigma_0$  を、対立仮説  $H_1: \sigma = \sigma_1$  にたいし逐次検定法を適用することができ、この場合の同時確率尤度関数は次式で与えられる。

$$q(\sigma | x_i) = \prod f(x_i)$$

$$= (\sigma\sqrt{2\pi})^{-n} \exp \left\{ -\frac{\sum (x_i - \mu)^2}{2\sigma^2} \right\}$$

$$q(\sigma_0 | x_i) = f_0(x_i), \quad q(\sigma_1 | x_i) = f_1(x_i)$$

と表すことにすると、尤度比  $\lambda$  は次式で与えられる。



$$\lambda = \prod_{i=1}^n f_1(x_i) / \prod_{i=1}^n f_0(x_i)$$

$$= \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_1}\right)^n \exp\left(\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\sigma_0^2} - \frac{1}{\sigma_1^2}\right)\sum (x_i - \mu)^2\right)$$

ウォルドの判定ルールによれば、 $\lambda \leq \beta / (1 - \alpha)$  なら  $H_0$  を採択し、 $\lambda \geq (1 - \beta) / \alpha$  なら  $H_1$  を採択するから、 $H_0$  採択域は次式で表される。

$$\left(\frac{\sigma_0}{\sigma_1}\right)^n \exp\left(\frac{1}{2}\left(\frac{1}{\sigma_0^2} - \frac{1}{\sigma_1^2}\right)\sum (x_i - \mu)^2\right) \leq \frac{\beta}{1 - \alpha}$$

$$n \log_e \frac{\sigma_0}{\sigma_1} + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sigma_0^2} - \frac{1}{\sigma_1^2}\right) \sum (x_i - \mu)^2 \leq \log_e \frac{\beta}{1 - \alpha}$$

$$\therefore \sum (x_i - \mu)^2 \leq \frac{2[\log_e(\beta / (1 - \alpha)) - n \log_e(\sigma_0 / \sigma_1)]}{(1 / \sigma_0^2) - (1 / \sigma_1^2)}$$

$H_0$  成立域、等号は判定限界線。

問題になるのは  $H_1$  成立限界であるが、 $H_1$  採択域は上式と同様に次式から求められる。

$$\sum (x_i - \mu)^2 \geq \frac{2[\log_e((1 - \beta) / \alpha) - n \log_e(\sigma_0 / \sigma_1)]}{(1 / \sigma_0^2) - (1 / \sigma_1^2)}$$

$H_1$  成立域、等号は判定限界線。

上式は  $\sum (x_i - \mu)^2$  対  $n$  のプロットが直線となり、その傾きは  $\{\log_e(\sigma_0 / \sigma_1)\} / \{(1 / \sigma_0^2) - (1 / \sigma_1^2)\}$  により与えられることを示している。 $H_1$  が  $\sigma_1 > \sigma_0$  のとき、直線の傾きは正で右上がりの上方管理限界線となる。また、 $H_1$  として  $\sigma_1 < \sigma_0$  をとると、直線の傾きは負で右下がりの下方管理限界線となる。

$\mu$  が不明でその推定値として  $\bar{x}$  を用いるときは、 $\sum (x_i - \mu)^2$  を  $\sum (x_i - \bar{x})^2$  に、および  $n$  を  $n - 1$  に置き換えることになる。

この他の  $n$  個の変数の累積和を用いる代表的な累積和管理図を表3にまとめて示す。

表3 代表的な累積和管理図の変数

管理図の種類	累積和 $i = 1 \sim n$
1 目標値 $\mu_0$ からの偏差	$\sum (x_i - \mu_0)$
2 期待値の絶対値からの偏差の絶対値	$\sum [  x_i - \bar{x}  - E( x_i - \bar{x} ) ]$
3 移動範囲	$\sum D_i, \quad D_i = x_j - x_{j-1}$ $j = 1 \sim k$
4 移動範囲絶対値とその期待値との差	$\sum [  D_i  - E( D_i ) ]$
5 範囲とその期待値との差	$\sum [ R_i - E(R_i) ]$

### 10. 連とARL

§6で触れた連の平均長さ (ARL, Average run

length) について補足する。管理図における「連(run)」とは中心線のいずれか一方の片側に連続して出現する実測値  $x$  のプロット点をいい、このプロット点の個数を「連の長さ」という。プロット点が中心線のいずれか一方の側に入ってからその側の管理限界線に到達して工程が異常と判定され、アクションをとらなければならないまでに要するプロット点の個数の平均を「連の平均長さ、略称ARL」という。プロット点が最初に管理限界線を突破するまでのARLについて考えてみよう。有意水準  $\alpha$ 、すなわち信頼度  $1 - \alpha$  では、点がいずれかの管理限界線の外にでる確率が  $\alpha/2$  であるから、最初の第1点が上下管理限界線  $\mu \pm u(\alpha/2)\sigma$  のどちらかの線に乗る確率は  $\Pr(1) = \alpha/2$  であり、第1点は限界線内にあつて(この確率は  $1 - \alpha/2$ )、第2点目で管理線外に飛び出すようになる確率は  $\Pr(2) = (1 - \alpha/2)(\alpha/2)$  である。

連続2点が限界線内にあつて(この確率は  $(1 - \alpha/2)^2$ ) 第3点目で初めて管理線外に飛び出すようになる確率は  $\Pr(3) = (1 - \alpha/2)^2(\alpha/2)$  であり、一般に第  $i$  番目の点が初めて外に飛び出すようになる確率は  $\Pr(i) = (1 - \alpha/2)^{i-1}(\alpha/2)$  の幾何分布となるから、点が初めて管理線外に飛び出すようになるまでの点の数の期待値  $E(n)$  は次式で与えられる。

$$E(n) = \sum_{i=1}^{\infty} i \Pr(i) = \sum_{i=1}^{\infty} i (1 - \alpha/2)^{i-1} (\alpha/2)$$

上式両辺に  $(1 - \alpha/2)$  を掛けて上式から差し引くと、

$$E(n) - (1 - \alpha/2)E(n) = (\alpha/2)E(n)$$

$$= (\alpha/2) \sum [i (1 - \alpha/2)^{i-1} - i (1 - \alpha/2)^i]$$

$$= (\alpha/2) \sum [(1 - \alpha/2)^{i-1}] = (\alpha/2) / \{1 - (1 - \alpha/2)\} = 1$$

$$\therefore \text{ARL} = E(n) = 1 / (\alpha/2) = 2/\alpha$$

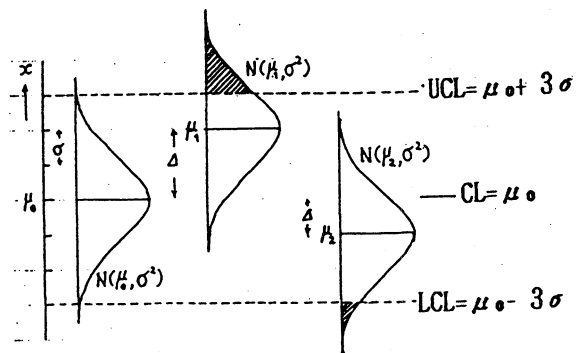


図10 3シグマ管理図において工程平均  $\mu = \mu_0$  の安定状態から  $\mu = \mu_1 = \mu_0 + 2\sigma$  または  $\mu = \mu_2 = \mu_0 - \sigma$  に変化したとき、プロット点がもとの管理限界をとびだす割合。

図 10 に示すように 3 シグマ管理図では  $u(\alpha/2) = 3$  であるから、 $\alpha = 0.0027$  より  $\alpha/2 = 0.00135$  となるから、工程が変化しないとき  $ARL = 1/0.00135 = 740$  である。工程が  $\mu_0 \pm 3\sigma$  の安定状態から工程平均が  $\mu_1 = \mu_0 + 2\sigma$  ( $\Delta = 2$  に相当) に突然変化した場合、 $K_e = 3 - 2 = 1$  でこれに相当する  $\varepsilon = \alpha/2 = 0.1587$  で  $ARL = 1/0.1587 = 6.3 \rightarrow 6$  となる。これが表 1 の  $\Delta = 2$  の行の値である。また、同様に工程平均が  $\mu_1 = \mu_0 + \sigma$  ( $\Delta = 1$  に相当) に突然変化した場合  $K_e = 3 - 1 = 2$  で、これに相当する  $\varepsilon = \alpha/2 = 0.2275$  で  $ARL = 1/0.2275 = 44$  となる。これが表 1 の  $\Delta = 1$

の行の値である。

## 11. おわりに

逐次抜取検査と累積和管理図は、母集団から 1 個ずつサンプルを取り、その累積和についてウォルドの判定ルールにより仮説を逐次検定しようとするもので、その歴史は 3 シグマ管理図より新しくあまり普及するに至っていないが、さまざまなユニークな点がある。とくに管理限界線を突破するまでの連の平均長さが 3 シグマ管理図より短いので、工程管理や工程の解析に威力を発揮しそうであり、今後の発展が期待される。

使用記号：

ARL	連の平均長さ	$N$	ロットの大きさ	$\Delta$	正規化統計量
$a$	グラフ目盛りスケール比	$N(\mu, \sigma^2)$	正規分布	$\delta$	母平均差
$c$	合格判定個数	$Pr()$	確率	$\varepsilon$	$N(0, 1)$ の外側確率
$d$	V マスクのパラメタ	$p$	母不良率	$\theta$	母数
$D$	定数、移動範囲	$r$	不良個数 (計数值)	$\lambda$	尤度比
$E()$	期待値	$r_c$	$H_0$ 成立限界個数	$\mu$	母平均
$f()$	確率密度関数	$r_d$	$H_1$ 成立限界個数	$\sigma$	母標準偏差
$H_0$	帰無仮説	$R$	範囲	$\omega$	角度
$H_1$	対立仮説	$s$	判定線方向係数	添字：	
$h_0$	定数、切片	$u$	正規化統計量	0	帰無仮説
$h_1$	定数、切片	$x$	変数 (計量値)	1	対立仮説
$K_e$	標準正規分布の $\varepsilon$ 点	$y$	累積和	$i, j$	番号
$k$	サンプル組数	$\alpha$	有意水準		
$q()$	尤度関数		第 1 種の過誤の確率		
$L(p)$	ロット合格確率		$H_0$ 棄却確率		
$m$	ポアソン分布母数	$\beta$	第 2 種の過誤の確率		
$n$	サンプルの大きさ		$H_1$ 採択確率		

参考文献：

- 1 石井、堀訳：ガットマン、ウィルクス、統計概論、培風館 (1968).
- 2 Belz, M.H.: Statistical methods for the process industries, Macmillan (1973).
- 3 van Dobben de Bruyn, C.S.: Cumulative tests, Charles Griffin (1968).
- 4 清水徹訳：品質管理のための累積和法、培風館 (1973).

# レーザー照射による抗菌性酸化チタン材の簡易作成と 海洋汚損生物付着防除への応用

島津 昌光\*<sup>1</sup>, 高橋 直斗\*<sup>1</sup>, 神谷 裕幸\*<sup>1</sup>, 田中 壽晃\*<sup>2</sup>, 相馬 英明\*<sup>2</sup>, 菊池慎太郎\*<sup>1</sup>

## Simple Preparation of Antimicrobial TiO<sub>2</sub> by Laser Irradiation and Its Application to Prevent the Adhesion of Marine Fouling Organisms

Masamitsu SHIMAZU, Naoto TAKAHASHI, Hiroyuki KAMIYA, Toshiaki TANAKA,  
Hideaki SOUMA and Shintaro KIKUCHI

(原稿受付日 平成12年 4月28日 論文受理日 平成12年 8月31日)

### Abstract

The titania containing TiO<sub>2</sub> as a major component was prepared simply by irradiating carbon dioxide laser on the surface of a titanium plate, and the growth on its surface of *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* or *Saccharomyces cerevisiae* was inhibited depending on energy densities of irradiated laser. Furthermore, the titania also showed antimicrobial activities against marine microbes after soaking the preparation into the sea water for several days. These results suggested that the antimicrobial titania would prevent the adhesion of marine fouling organisms on undersea-structures by the inhibition of the bacteriofilm formation, which is an early step of marine bio-adhesion.

Keywords: TiO<sub>2</sub>, Antimicrobial activity, Laser irradiation, Marine fouling Organism, Prevention of Adhesion

### 1 はじめに

近年、社会的な環境衛生意識の拡大に伴って、微生物(細菌類や真菌類の総称)の増殖を阻害する活性(静菌活性)や死滅させる活性(殺菌活性)などのいわゆる抗菌活性が注目されるようになり、多くの抗菌性薬剤や抗菌性材料も開発されつつある。

しかし抗生物質をはじめとする抗菌性薬剤の抗菌性発現機構は、標的微生物の代謝活性に依存しているために標的微生物が抗菌性薬剤分解活性を誘導して獲得するなど対薬剤抵抗性微生物すなわち耐性菌の出現頻度も高い。<sup>(1)</sup>

他方、有機錫化合物や亜酸化銅などの重金属化合物に代表される抗菌性材料の抗菌性発現機構は、標的微生物細胞の機械的(物理的)攻撃によるものであるために耐性菌はほとんど出現しない。しかし例えば有機錫化合物が効果的に抗菌性を発現するためには処理面から重金属化合物が流出することが必須であり、結果的に環境汚染をもたらすに至ったことは良く知られている通りである。<sup>(2)</sup> さらに亜酸化銅などある種の重金属は使用濃度によっては抗菌作用とは逆に微生物の増殖を促進する作用の現れることもあり(オリゴダイナミックアクション)、十分な抗菌活性を発現させるための取り扱いが繁雑であって簡便な実用に適しているとは言い難い。<sup>(3)</sup>

他方、TiO<sub>2</sub>やSrTiO<sub>3</sub>などの一群の金属は光によって励起されて酸化還元活性を獲得するため光半導体

\*1 応用化学科

\*2 (財)室蘭テクノセンター

と呼ばれる。すなわち本多・藤嶋効果<sup>(4)</sup>として知られるこのような効果は、光半導体にそのバンドギャップ以上のエネルギーを照射すると価電子帯の電子(e<sup>-</sup>)が伝導帯に励起され、同時に価電子帯に正孔(h<sup>+</sup>)が生じて、結果的に金属表面に電子-正孔対が形成されることに起因する。伝導帯に励起された電子は価電子帯の電子よりバンドギャップ分だけエネルギー準位が高いために還元力が高く、また価電子帯の正孔は伝導帯の空準位よりバンドギャップ分だけ電子親和力が高いので酸化力が高い。例えば通常の水中や水分子を含む空気中で TiO<sub>2</sub> にそのバンドギャップ(3.2eV)に相当する波長(380nm)より短い波長の光を照射すると、酸素分子が還元され(O<sub>2</sub>+e<sup>-</sup>=<sup>•</sup>O<sub>2</sub><sup>-</sup>)、また水分子が酸化されて(H<sub>2</sub>O+h<sup>+</sup>=<sup>•</sup>OH+H<sup>+</sup>)、<sup>•</sup>O<sub>2</sub><sup>-</sup>や<sup>•</sup>OHなどのラジカル分子種が生成する。

この時、光半導体表面に細菌などの微生物が付着しているなら、生成したラジカルは微生物の細胞膜に作用してその主成分であるリン脂質を過酸化脂質に変換する。<sup>(5)</sup>リン脂質の過酸化物は化学的に不安定であるので容易に開裂し、結果的に細胞膜が破れて細胞内容物の漏出がもたらされて微生物は死に至り、抗菌効果が発現すると考えられる。

以上からすれば、光半導体による抗菌性発現の機構は上述のような従来の重金属によるそれとは全く異なるものであり、従って前述の耐性菌の出現や環境汚染あるいはオリゴダイナミックアクションを懸念する必要もない。しかし従来はチタン材を焼成するなどの方法で酸化して光半導体としての特性を付与していたため均一で安定な光半導体を作成することが困難であり、従って光半導体である酸化チタンを抗菌性材料として応用しようとする試みも十分には行われていない状況にあった。

他方、ある種の海洋生物は孢子や卵子などの幼生を海中に放出して浮遊させ、その生育に適した環境の基盤に固着して生育することから付着生物と呼ばれる。中でもムラサキイガイやフジツボなどの幼生は、その表面構造が化学的に安定で機械的に硬い物質に固着する傾向があり、コンクリートや鉄鋼から成る人工構造物の海水水没部を絶好の固着基盤として構造物の機能低下や劣化促進を招くことから特に汚損生物と呼ばれる。

これら汚損生物の海中構造物への付着の機構は以下のようなプロセスを経ると考えられている。<sup>(3)</sup>すなわち(1)海洋構造物表面に海洋生物の生活残滓に由来するタンパク質や脂質あるいは糖類などの有機物が吸着して有機物薄膜が形成された後、(2)この薄膜に

含まれる有機物を栄養源として薄膜表面に海洋微生物が増殖し、バクテリオフィルムと呼ばれる微生物皮膜が形成され、さらに(3)バクテリオフィルムを栄養源として藻類やムラサキイガイなどの汚損生物の成体や幼生が着生し、生育する。

従って理論的には、これらのプロセスのいずれかをブロック(阻止)することによって汚損生物の付着を防止し得ることが期待される。特にバクテリオフィルムは経時的に厚さを増して汚損生物生育のために豊富な栄養源を供給するキー・ステップであることから、汚損生物付着防除にはバクテリオフィルム形成のブロックが最も有効であると考えられている。

このような観点から本研究においては、チタン材表面にレーザーを照射して簡便に抗菌性酸化チタン材を形成する方法を検討するとともに、そのような抗菌性材料を海洋汚損付着生物防除に適用することを試みたので以下に詳細を論述する。

## 2 実験材料及び方法

### 2.1 被検菌株と培養

試験材料の抗菌性を測定するための被検微生物として以下の菌株を用いた。すなわち枯草菌(*Bacillus subtilis* IA-233 株)あるいは大腸菌(*Escherichia coli* K-12 株)を常法<sup>(6)</sup>に従っていずれもLB培地(脱イオン水 1l 中、ポリペプトン:10g、酵母エキス:5g、塩化ナトリウム:10g 含む。pH7.5)で好氣的に培養し、それぞれグラム陽性分裂菌供試細胞あるいはグラム陰性分裂菌供試細胞とした。またサッカロミセス酵母(*Saccharomyces cerevisiae* DKD-5D 株)を同様に常法に従ってYPG培地(脱イオン水 1l 中、酵母エキス:10g、ポリペプトン:20g、グルコース:20g を含む。pH6.8)で好氣的に培養して真菌類供試細胞とした。

### 2.2 レーザー照射によるチタン板の表面処理

レーザー発振機の移動速度と出力を変化させて照射エネルギー密度を調整した炭酸ガスレーザーを市販チタン板(3mm(T)×250mm(W)×250mm(L))に照射して表面処理を行った。なお以下においてはのように表面処理したチタン材を試験チタン材あるいは抗菌性酸化チタン材と略記し、また未処理チタン板(市販チタン材)を対照チタン材あるいは非抗菌性チタン材と略記した。

### 2.3 試験材表面の分析

試験チタン材の表面分析は X 線回折装置を用いて

行った。測定は薄膜法を用い、ターゲット:Cu、測定範囲:20°～80°、サンプリング間隔:0.02deg、サンプリング速度:2.00deg/minとする条件で行った。

## 2.4 試験材の抗菌活性の測定

被検菌である枯草菌、大腸菌、あるいはサッカロミセス酵母を培養した後、それぞれの細胞を $10^2\sim 10^3$ 細胞/mlとなるように滅菌生理食塩水に懸濁して室温で1時間振盪して飢餓操作を行った。次いで予め乾熱滅菌した対照チタン材あるいは試験チタン材をエオジンガス滅菌シャーレ内に入れ、その表面に飢餓操作後の被検菌懸濁液 $50\mu l$ をマウントして室温で約1500ルクスの光を照射しながら静置した。所定の時間後に試験材表面にマウントした被検菌懸濁液を無菌チップで回収し、予め調整しておいたLB—寒天平板培地に塗抹接種し、さらに対照チタン材あるいは試験チタン材の表面を $50\mu l$ の滅菌生理食塩水で洗浄して洗液を先のLB—寒天平板培地に接種した。

その後、30°Cで一晩培養して出現するコロニーを計数して被検菌細胞数を推定し、次式から試験材の抗菌活性を被検菌の残存率として求めた。

$$\text{抗菌活性(被検菌残存率)} = \frac{\text{(チタン材と接触後に残存する被検菌細胞数)} / \text{対照実験における被検菌細胞数}}{x} \times 100$$

なお対照実験とは対照チタン材あるいは試験チタン材と接触させずに所定の時間光照射のみを行った系を言い、具体的には抗菌活性を有さないプラスチック板に被検菌懸濁液をマウントして光照射を行った。

## 2.5 海洋環境における試験材表面のバクテリオフィルム形成活性の測定

胆振管内豊浦町の沖合200m、水深20mの海中から取水した海水を同町海岸の施設屋内に設置した水槽(強化アクリル製、90cm(H)×120cm(W)×200cm(L))に供給し、<sup>(7)</sup>これに対照チタン材および試験チタン材を浸漬した。なお排水量を調整して水槽内海水の貯・排水を海洋の干潮及び満潮サイクルに同調させ、試験材の海水への浸漬—露出を自然海洋における海中構造物の浸水—露出環境に模した。対照チタン材及び試験チタン材へは約1000ルクスの光を照射し、また試験材の浸漬水深を約5cmに調整して海水による照射光の分散、反射及び吸収の量を最少とした。

所定の期間浸漬後、対照チタン材及び試験チタン

材を水槽から取り出して無菌人工海水で軽く洗浄して試験材表面に非特異的に付着あるいは堆積した海砂や塵を除去し、予め滅菌した濾紙片(ワットマン No.1 濾紙または同等品、5cm×10cm)でそれぞれのチタン材表面から微生物細胞を拭き取って回収した。濾紙片を滅菌人工海水に浸漬して室温で2時間振盪して微生物細胞を液相(人工海水)に移行させた後、上記と同様に液相の一部をLB—寒天平板培地に接種して出現するコロニー数から対照チタン材及び試験チタン材表面へ付着した微生物細胞数すなわちバクテリオフィルム形成活性を推定した。

## 3 実験結果と考察

### 3.1 酸化チタン薄膜の抗菌活性

微生物はその生化学的特性や細胞構造からカビや酵母などの真菌類と、細菌や放線菌などの分裂菌類とに大別されるが、前者の細胞外殻(表層)構造は後者に比較して著しく複雑であり、従って真菌類の抗菌性物質に対する応答は分裂菌類のそれとは全く異なる。

また細菌は、グラム染色法と呼ばれる鑑別染色に対する染色性の違いから大腸菌のようなグラム陰性菌と枯草菌に代表されるグラム陽性菌とに分類されるが、このような相違も分裂菌類の細胞表層構造の相違に起因する。すなわちグラム陽性菌の細胞表層は細胞壁とその内側の細胞膜の二層からのみ成る構造であるのに対し、大腸菌などのグラム陰性菌は細胞壁と細胞膜の間にペリプラズムと呼ばれる空隙を有する。細胞の機能・保護組織である細胞膜の外側にペリプラズムのような空隙=緩衝部位が存在するためグラム陰性菌はさまざまな機械的攻撃に強いとされており、またこの空隙は細胞内部への化学物質の取り込み(流入)に際して障壁部位として作用するため種々の抗菌性薬剤に対しても強い抵抗性を示すと考えられている。

従って、通常、これらの微生物はいずれも抗菌性物質の力価(抗菌性の強さ)を測定する際の指標微生物として用いられる。

これらの指標微生物に対する対照チタン材(無処理チタン板)及び試験チタン材(レーザー処理チタン材)の抗菌活性を表1に示した。高いエネルギー密度のレーザーを照射して表面処理した試験チタン材と大腸菌とを接触させると、残存する大腸菌数は減少する傾向にあり、レーザー照射によってチタン材が抗菌活性を獲得したことが示唆された。特に照射レーザーのエネルギー密度が $30\text{kJ}/\text{cm}^2$ を越えると、残存大腸菌数

表 1 試験チタン材の大腸菌に対する抗菌活性

コード	照射エネルギー密度 (kJ/cm <sup>2</sup> )	残存率 (%)
X-70	2	75
X-71	3	69
X-76	3	64
X-15	4.5	50
X-65	6	58
X-72	6	75
X-14	7.5	58
X-66	9	51
X-12	12.5	58
X-23	13.64	58
X-25	13.64	44
X-29	13.64	43
X-11	15	39
X-19	15	33
X-22	15	52
X-28	15	57
X-30	15	60
X-42	15	69
X-48	15	58
X-77	15	58
X-10	18.75	59
X-21	18.75	23
X-27	18.75	51
X-20	21.43	30
X-24	21.43	38
X-26	21.43	67
X-18	25	52
X-31	30	21
X-34	30	30
X-55	30	38
X-56	35	21
X-57	40	7
X-67	50	10
X-73	50	15
X-78	50	17
X-68	69.23	7
X-74	69.77	3
X-79	71.43	10
X-69	100	6
X-75	100	3
X-80	100	3
X-81	100	3

は有意に低下し、また残存率のバラツキも明らかに収束するなど、このエネルギー密度が抗菌活性発現の閾値であることが推定された。

他方、図 1 においてレーザー照射時の出力(W)を X 軸に、チタン材へのレーザー照射時間を発振機の移動速度の関数として Y 軸に、またその試験チタン材が発現する抗菌活性を大腸菌残存率(対照実験における菌数に対する試験チタン材との接触後に残存する菌数:単位%)として Z 軸にプロットした。

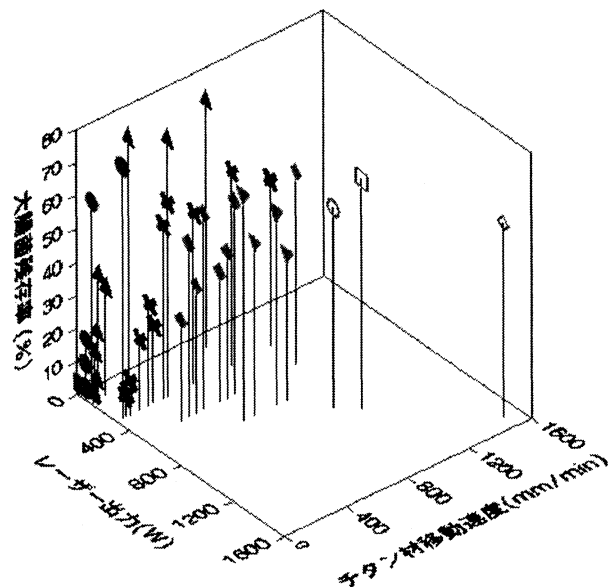


図1 試験チタン材の大腸菌に対する抗菌活性

抗菌活性は、試験チタン材と接触後に残存する細胞数を対照実験における細胞数で除した百分率で示した。レーザー出力(W)は■:30, ●:50, ▲:100, ×:300, ◆:500, ▼:700, ○:900, □:1000, ◇:1500 で示した。

同一のレーザー出力においては照射時間が長いチタン材ほど大腸菌残存率も低値であったが、この結果は抗菌活性が照射レーザー密度に依存するという上述の推定を支持するものである。さらに試験チタン材へのレーザー照射時間が同一の場合には抗菌活性に特別な差異は認められなかったが、この結果は試験チタン材が抗菌活性を獲得するためには照射レーザーのエネルギー密度に閾値があるとする上述の推定を補足するものである。

なお 500W 以上の高い出力のレーザーを長時間にわたって照射した試験チタン材においては均一で安定した抗菌活性が発現されなかったが、これは照射エネルギーが極めて高値であるためにチタン材表面が溶融することに起因すると推定された。

同様の方法でグラム陽性分裂菌類である枯草菌と真菌類であるサッカロミセス酵母を被検微生物として試験チタン材の抗菌活性について検討した結果を表 2 及び図 2、ならびに表 3 及び図 3 に示した。

表2 試験チタン材の枯草菌に対する抗菌活性

コード	照射エネルギー密度	残存率
	(kJ/cm <sup>2</sup> )	
X-70	2	68
X-71	3	64
X-76	3	59
X-65	6	62
X-72	6	66
X-25	13.64	52
X-42	15	43
X-48	15	52
X-20	21.43	41
X-24	21.43	33
X-26	21.43	35
X-73	50	25
X-78	50	37
X-79	71.43	21
X-69	100	14
X-75	100	12
X-81	100	8
X-80	100	7

に対して比較的抵抗性を示すことを考え併せると、グラム陽性菌(枯草菌)や真菌類(酵母)に対する抗菌性を発現させるための照射レーザーのエネルギー密度閾値は太腸菌よりも低値の約 15kJ/cm<sup>2</sup> であることが推定された。

表3 試験チタン材の酵母に対する抗菌活性

コード	照射エネルギー密度	残存率
	(kJ/cm <sup>2</sup> )	
X-70	2	75
X-71	3	54
X-65	6	25
X-72	6	62
X-25	13.64	48
X-19	15	31
X-20	21.43	26
X-24	21.43	23
X-55	30	31
X-74	69.77	20
X-69	100	14
X-75	100	14
X-81	100	12
X-80	100	8

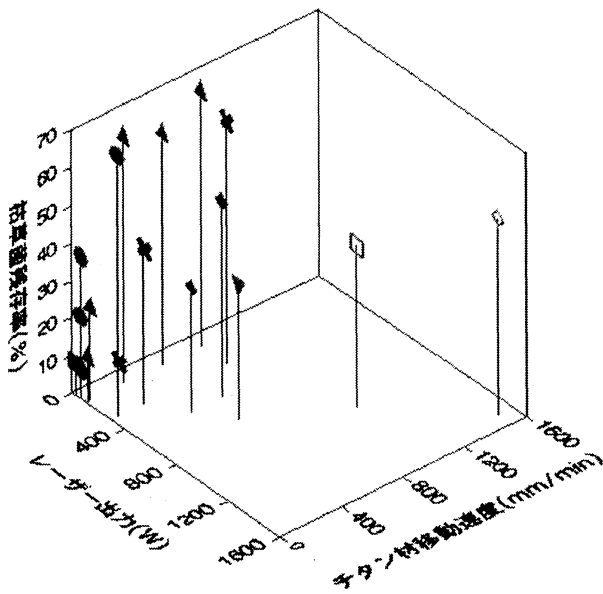


図2 試験チタン材の枯草菌に対する抗菌活性  
抗菌活性は図1と同様に表示した。

いずれの微生物の場合も大腸菌の場合と同様の結果を示したが、これらは試験チタン材の抗菌活性がチタン材表面へ照射するレーザーのエネルギー密度に依存するという上述の推定を強く支持するものである。

さらにこれらの結果と、グラム陰性分裂菌類である太腸菌がペリプラズム空隙を有するために抗菌性物質

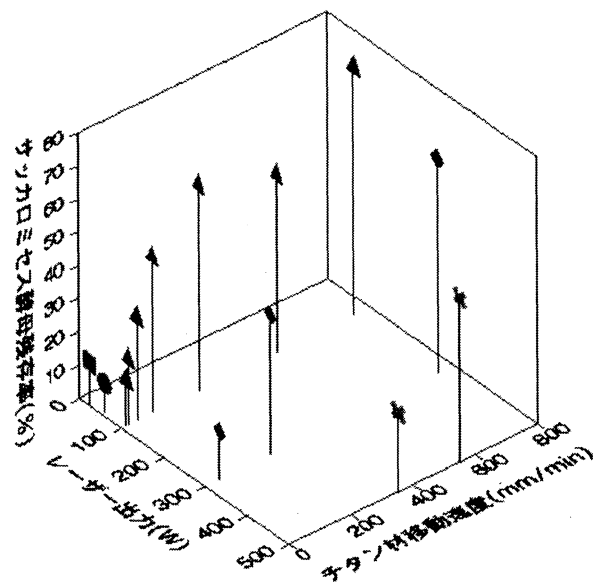


図3 試験チタン材の酵母に対する抗菌活性  
抗菌活性は図1と同様に表示した。

またいずれの被検微生物においてもエネルギー密度 100 kJ/cm<sup>2</sup> のレーザーを照射したテストピースにおいてはほぼ完全な抗菌活性が示された。

### 3.2 X線回折による抗菌性チタン材表面の分析

レーザー照射した試験チタン材表面をX線回折法によって検討したところ、抗菌性あるいは照射レーザーエネルギー密度にかかわらず試験チタン表面はTiO<sub>2</sub>を主成分とする酸化物であった(図4)。TiO<sub>2</sub>には

される。

以上から、レーザー照射によってチタン材表面にTiO<sub>2</sub>を主成分とする酸化チタン薄膜が形成され、またこのように形成されるTiO<sub>2</sub>薄膜においては照射レーザーのエネルギー密度によってルチル型あるいはアナタ

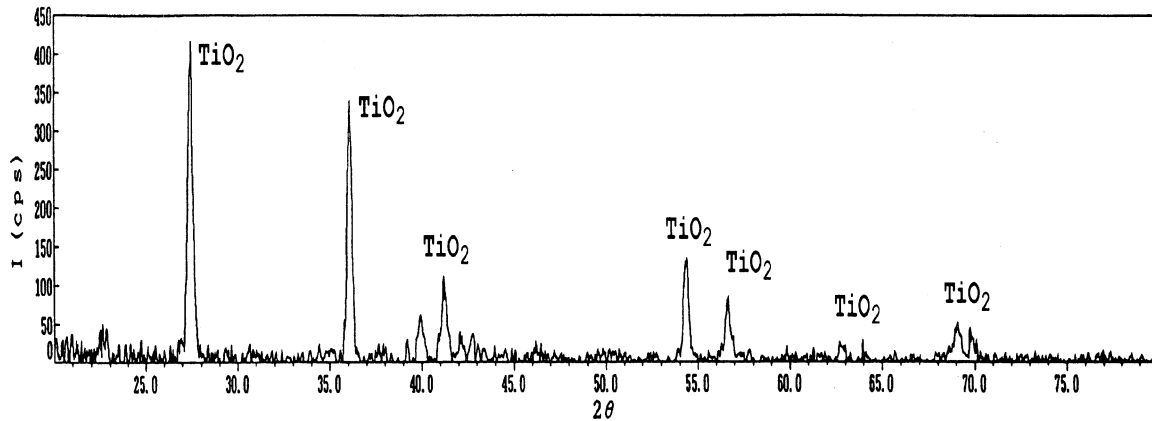


図4 X線回折による試験チタン材表面の分析

いくつかの結晶構造が存在し、その主な構造はルチル型及びアナターゼ型であるが(図5)、一般に前者(ルチル型、図5(b))に比較して後者(アナターゼ型、図5(a))においては励起される電子の酸化力が強く光半導体としての活性も高い。また、前述のよう

ーゼ型の存在比率が異なると推定される。従って、ある閾値(例えば30 kJ/cm<sup>2</sup>)以上のエネルギー密度のレーザー照射条件下においてはアナターゼ型優位の結晶構造となり、結果的に高い抗菌活性を発現すると推定される。

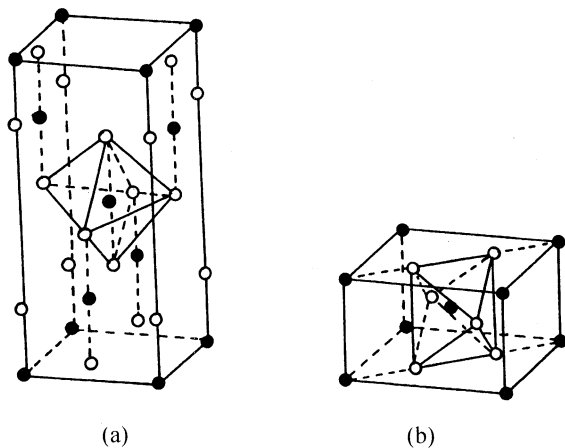


図5 酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)の代表的結晶構造

(a) アナターゼ型、(b) ルチル型

いずれにおいても ○:チタニウム原子

および●:酸素原子を示す。

に光半導体の抗菌活性は光によって励起された電子の酸化力に由来するラジカル分子種による微生物細胞膜開裂に起因することを考え併せるなら、アナターゼ型がルチル型よりも高い抗菌活性を発現すると推定

### 3.3 抗菌活性を有する酸化チタンによるバクテリアフィルム形成阻害

以上のように、特定のエネルギー条件下においてはレーザー照射によって高い抗菌活性を有する酸化チタン(TiO<sub>2</sub>)薄膜を簡便に作成し得ることが明らかとなったが、このような抗菌活性が自然環境下において広範な種の微生物群に対して発現されるなら抗菌性酸化チタン材の応用範囲は著しく拡大すると期待される。

例えばこのような酸化チタン薄膜が自然海洋環境において海洋微生物群に対しても抗菌性を発現するなら、前述のバクテリアフィルムの形成をも阻止することが期待され、結果的に抗菌性酸化チタン材を海洋構造物へ適用することによる海洋汚損生物付着をも防除し得ることが期待される。

以上の観点から、海洋あるいは疑似海洋環境下における抗菌性酸化チタン材表面のバクテリアフィルム形成について検討した。すなわち照射エネルギー密度を調整して、ほぼ100%の高抗菌活性を発現する酸化チタン薄膜を表面に有する2種類の酸化チタン材(表1におけるコードX-69及びX-75:以下、それぞれ



プレート I 及びプレート II と略記)ならびに対照であるレーザー未処理のチタン材(対照チタン材:以下、プレート III と略記)を陸上に設置した水槽中に取水した海洋海水に浸漬した。なおプレート-I および-II にはそれぞれ  $100 \text{ kJ/cm}^2$  のエネルギー密度のレーザーを照射したが、表 1 から誘導される抗菌率(抗菌率 =  $100 - \text{残存率}$ )として、大腸菌に対して前者は 94% の抗菌率を、また後者は 97% といずれもほぼ 100% の抗菌率を発現した。

所定の時間浸漬した後、「実験材料及び方法」の項に記載の方法に従ってプレート表面の微生物細胞を測定し、その細胞数からバクテリアフィルム形成を推定した。

その結果を図 6 に示した。図においては、前述のように海洋の干・満潮に同調させて浸漬-露出を繰り返しながら被検プレートを水槽中に静置した日数を横軸にプロットし、またそれぞれの静置日数後にプロット表面に検出される海洋微生物細胞数を縦軸にプロットした。

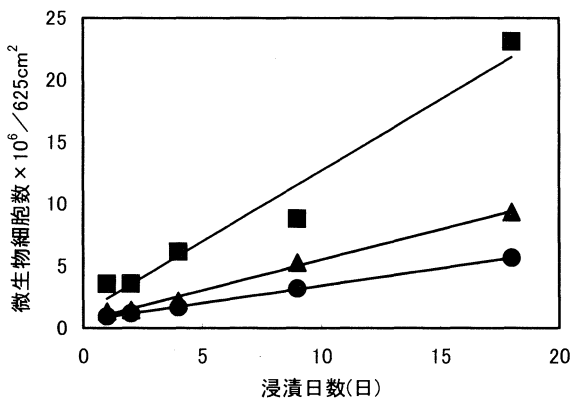


図6 対照チタン材あるいは抗菌性チタン材表面の海洋微生物数  
●及び▲: 抗菌性チタン材(プレート-I 及び-II)  
■: 対照チタン材(プレート-III)

対照チタン材表面( $625\text{cm}^2$ )においては、静置 1 日を経過した後から有意量の海洋微生物細胞が検出され( $3.6 \times 10^6$  細胞)、またその細胞数は静置日数の経過とともに直線的に増加して 18 日経過後には  $23.1 \times 10^6$  に達した。

他方、大腸菌や枯草菌あるいは酵母に対して高い抗菌活性を発現するプレート II においては、海水中に静置 1 日後には対照チタン材(プレート-III)に検出される細胞数の 30% の海洋微生物細胞( $1.3 \times 10^6$  細胞/ $625\text{cm}^2$ )が検出されたのみであり、また静置日数の経過とともに被検細胞数も直線的に増加はするもの

の、18 日間の静置日数を経ても検出細胞数は  $9.3 \times 10^6$  にとどまった。

さらにこの傾向はプレート-I において著しく、静置 1 日後に検出される細胞数はわずかに  $0.9 \times 10^6 / 625\text{cm}^2$  であり、また 18 日間の静置後にも  $5.6 \times 10^6 / 625\text{cm}^2$  の細胞が検出されるのみであった。なお大腸菌などの一般微生物に対して同等に高い抗菌活性を発現するプレート-Iおよび-II のそれぞれの表面に検出される海洋微生物細胞数に若干の差異のあることの理由は不明である。

前述のように、対照であるプレート-III および試験チタン材であるプレート-I 及び-II のいずれも、滅菌人工海水で洗浄後に海洋微生物細胞数を測定したので、検出される細胞は単なる堆積等の非特異的形態でプレート表面に存在するものではなく、特異的にプレート表面に付着していると考えられる。従って検出細胞数はバクテリアフィルム形成能に比例することが示唆され、そのような観点からすればプレート-I および-II はいずれも高いバクテリアフィルム形成阻止活性を有することが推定された。

さらに非抗菌性チタン材(対照チタン材またはプレート-III)あるいは抗菌性酸化チタン材(試験チタン材またはプレート-I 及び-II)表面に付着する海洋微生物細胞数はいずれも直線的に増加し、試験終了時(浸漬 18 日)には前者において  $20 \times 10^6$  以上の微生物が存在し、後者においては  $5 \sim 9 \times 10^6$  の微生物が存在した。その後も浸漬海水中で海洋微生物がプレート表面において同様の付着および増殖速度で増加すると仮定するならば、6 ヶ月後に非抗菌性チタン材に存在する微生物細胞数は  $20 \times 10^{16}$  に達し、他方、抗菌性酸化チタン材に存在する微生物細胞数は  $5 \sim 9 \times 10^{10}$  にとどまると外挿的に算出される。(8)

比較的大型の海洋微生物は  $10^{15}$  の細胞数で平均  $1 \sim 1.5\text{g}$  の湿重量であるので、これに基づくならば浸漬 6 カ月後の非抗菌性チタン材(プレート-III)には湿重量  $200 \sim 300\text{g}$  に相当する微生物細胞が存在し、また抗菌性酸化チタン材には  $50 \sim 60 \mu\text{g}$  の微生物細胞が存在するのみと推定される。さらに、一般的に微生物細胞において炭素あるいは窒素はそれぞれ微生物細胞の湿重量の約 50% あるいは約 14% を占めるといわれており、これに従うならば 6 カ月間海水に浸漬した後の非抗菌性チタン材には  $100 \sim 150\text{g}$  の炭素と  $30 \sim 40\text{g}$  の窒素が存在すると推定されるが、これらはいずれも炭素源および窒素源として海洋藻類や海洋無脊椎動物などの大型汚損生物の生育を十分に支持し得

る栄養量である。<sup>(9)</sup> 他方、6 カ月間浸漬した後の抗菌性酸化チタン材(プレート-I 及び-II)にはわずかに数十  $\mu\text{g}$  の炭素および窒素が存在するのみであり、大型海洋生物の生育を支持する栄養源量としては明らか不十分である。

すなわちバクテリアフィルム形成の程度から推定される抗菌性酸化チタン材の汚損生物付着阻害は、この金属の海水浸漬期間が長いほど明瞭に発現されることが期待され、このような観点からも海洋構造物への汚損生物付着防除の目的で抗菌性酸化チタン材を適用することの有効性が強く示唆された。しかし他方、酸化チタンの抗菌活性は、この金属が光半導体としての特性を示す条件下(すなわち光照射下にラジカル分子種を生成する条件下)においてのみ認められる。従って酸化チタン材(アナターゼ型  $\text{TiO}_2$ )によってバクテリアフィルムの形成を阻止し、汚損生物の付着を防除するためには十分な量の光照射を行うことが必須であり、水の分子による照射光の吸収や分散がもたらされるような深水部の構造物や光量が不十分な構造物内壁などへ抗菌性酸化チタン材を適用する場合には十分なバクテリアフィルム形成阻害効果の発現に困難を伴うことも予想される。

もとより以上に述べたような結果がただちに海洋汚損生物の付着の防除と結び付くものではないが、抗菌性材料の新たな利用に関する数少ない例のひとつとして興味深いものと考えられる。

## 文献

- (1) 三橋進 編, 薬剤感受性測定法, 講談社サイエンティフィック (1980), p1-21.
- (2) 日本水産学会 編, 海洋の生態系と微生物, 恒星社厚生閣 (1993), P50-84.
- (3) 梶原武, 海洋生物の付着機構, 恒星社厚生閣 (1991), P128-152.
- (4) A. Fujishima and K. Honda, Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode, *Nature*, **238**(1972), p37-38.
- (5) P-C. Maness, S. Smolinski, D. M. Blake, Z. Huang, E.J. Wolfrum and W.A. Jacoby, Bactericidal Activity of Photocatalytic  $\text{TiO}_2$  Reaction: toward an Understanding of Its Killing Mechanism, *Appl. Environ. Microbiol.*, **65**(1999), p4094-4098.
- (6) S. Kikuchi, J. Shibayama, H. Yasui, I. Yamamoto and M. Sato, Production of  $\alpha$ -Amylase by an Immobilized Thermophilic Bacillus Strain under Nitrate Respiration, *Biosci. Biotech. & Biochem.*, **57** (1993), p845-846.
- (7) 菊池慎太郎, 大嶋尚士, 大島由子, 中村忠司, 館脇正和, 食品衛生学雑誌, **B3** (1992), p223-230.
- (8) E. ジャウエツ, 微生物学[上], 廣川書店, (1990),

p93-119.

- (9) 梶原武, 海産付着生物と水産増養殖, 恒星社厚生閣 (1987), p1-39.

# 憲法における戦争責任・「戦後責任」の法理—憲法試論として—

長 利一\*1

## Rechtsprinzipien der Kriegsverantwortung und der "Nachkriegsverantwortung" in der Japanischen Verfassungen

Tosikazu CHO

(原稿受付日 平成12年4月28日 論文受理日 平成12年8月31日)

### Abstract

Unter der in dem vorliegenden Aufsatz zu behandelnden Kriegsverantwortung soll die sowohl rechtliche als auch politische Verantwortung verstanden werden, die nicht nur aus den generellen Kriegsverbrechen, sondern auch aus den Neuen Kriegsverbrechen, i.e. "crime against peace", "crime against humanity" geführt werden, und die zugleich für die Staatsentschädigung, die Personenkompensationen, die Bestrafung der kriegsverbrecher und die Schuldbekennnisse von Seiten des Staates grundlegend sind. Diese Verantwortung sollen der Kaiser "der Tenno", die Regierung und das Parlament auf sich nehmen. Die Kriegsschuldsfrage ist, auch als Frage der "Nachkriegsverantwortung" zu prüfen, wie sich mit den Kriegen in Vergangenheit und deren Kriegsverantwortungen nicht nur die Kriegsführerschaft und Kriegsgeneration unter der Meiji-Verfassung, sondern auch die Nachkriegsgenerationen, unter der jetzigen japanischen Verfassung konfrontieren sollen. Der vorliegende Aufsatz ist ein Versuch, durch die Rechtsprinzipien der beiden, älteren und neueren Verfassungen eine Rechts- und Verfassungslehre zu bilden, die der Kriegsverantwortung und der "Nachkriegsverantwortung" rechtliche Grundlagen geben soll.

Keywords: Kriegsverantwortung, Nachkriegsverantwortung, Kriegsverbrechen, Verfassungsrechtsprinzipien

### 1. はじめに

この国で80年代末から90年代にかけてナショナリスティックな心理が新たな思想的表現の形を取り始めた。歴史修正主義 (Revisionismus) 論争<sup>(1)</sup>がそれである。これは当の歴史学よりも歴史教育、哲学、思想、文芸評論の領域において活発な動きを見せているのが特徴である<sup>(2)</sup>。他方では、冷戦崩壊後、重しがとれたように強制連行や「従軍慰安婦」問題などの戦後補償裁判<sup>(3)</sup>が陸續として提起されてもいる。新旧ナショナリズムの活発な動きは、この過去の侵略戦争と、その過程における数々の戦争犯罪を国内の司法の場で裁こうとする、遅れてやってきた文字通りのジャッジ

メント (judgement)<sup>(4)</sup>の試みと無関係ではあるまい。おまけに99年にはこのナショナリスティックな流れは日の丸・君が代の法制化という政治的表現をとるようになった。本稿執筆の動機 (motivation) は、この国におけるナショナリズムをめぐる、とりわけ戦争責任をめぐる攻防を視野に入れつつ、この問題についての、アジアの戦争犯罪被害者から日本人への問いかけに応答しようというところに根ざすものである。

本稿で取り扱う戦争責任とは、通常の戦争犯罪のみならず、国際裁判で新設された戦争犯罪(「平和に対する罪」「人道に対する罪」)によって生ずる法的責任乃至政治的責任を言い、それは国家賠償、個人補償、戦争犯罪人の処罰、謝罪そして企業責任等の根拠づけとなるものである。このような戦争責任問題は、明治憲法下での戦争当事者の

\*1 共通講座

戦争責任だけでなく、日本国憲法下での戦後世代、いわゆる「戦争を知らない世代」が過去の侵略戦争と戦争責任にどう向き合うのかという「戦後責任」としても検討されなくてはならない。また、本稿はこうした戦争責任・「戦後責任」を、明治憲法と日本国憲法、新旧両憲法の基本原理によって基礎付けようとする法理論、憲法理論の試みでもある。

## 2. 新「押しつけ憲法」論と「戦後憲法学」 ——戦争責任をめぐる

### 2. 1 ネオ・ナショナリズム？

文芸評論家の加藤典洋はその論考の中で日本国憲法の成立起源について次のように述べている。<sup>(5)</sup> 以下はその要約である。米占領軍の「軍事的威力」を背景に GHQ によって押しつけられた日本国憲法は、日本国民が自主的に制定したものでないから、「わたし達によって作られたのではないのと同時に、わたし達でない作者に、作られていた」（傍点原文のまま）外来憲法である。ここに戦後日本の「ねじれ」「歪み」があり、かつ改憲派（保守派）と護憲派（革新派）の「人格分裂」の根元がある。それ故、憲法が「有名無実であり、一度としてまともに一国規模で考えられたことがなかったのは、その起源からいって当然のこと」で、これを一度国民投票の形で「火にかける」（「選び直し」の）戦後最後の時期にきている。「憲法がわたし達の手で選ばれていることが、その内容に優先する。」また憲法には、ダブル・バインドの概念が埋め込まれているともいう。すなわち、母親が子どもに、これからは自分で判断しなさいというような場合、母親のいいつけ——自主判断を実行するということは、母親のいいつけにそむくと同時に服従することでもある「二重拘束のディレンマの状況」にあるという。これと同じ状況は殊に憲法の平和条項に妥当する。「よりもよって、この憲法を尊重することは軍事的威力（米占領軍の「軍事的威力」のことと思われる一筆者）の産物を尊重することでもあるため、憲法を手がかりに平和について考えることだけがわたし達から奪われている」というのである。

右のような加藤典洋の「押しつけ憲法」論がこれまでのそれとどこが異なり、どう新しいかはさしあたり措くとして、ここで本稿の課題である戦争責任論にひきつけて加藤の主張に注意を傾けると、制憲過程において立法者意思の自主性が欠如している現憲法のもとでは（この自主性の欠如は今日に至るも基本的に治癒されていないと考えられている）、自主的な戦争責任の決着についても困難とみなされているのではないかと、ということである。すなわち、加藤によると、「押しつけ憲法」によって戦後に改憲派と護憲派の「人格分裂」が生じた

ために、謝罪と妄言の悪循環を断ちきれず、戦争責任の現実的な履行の不能状態を惹起せしめたという。戦後世代である論者のこのような「押しつけ憲法」の新しい論じ方（これをネオ・ナショナリズムの言説とみなすかどうかそれ自身がポレミッシュな問題に属する）を、憲法学がどのように受けとめるかは憲法「改正」と戦争責任問題という「二つの戦後」（第二次世界大戦後と冷戦後）にまたがる憲法問題の最難関のテストに関わるだけに、日本国憲法のレーゾン・デートルの根拠を問うような憲法上の基本課題ではないかと思われる。本稿は後者の課題を取り扱うものであるが、これとの関わりで、主要な「戦後憲法学」が日本国憲法（そしてその平和条項）の制憲過程、もしくはこれと改憲論との連関についてどう理解してきたかと予め一瞥しておく。

### 2. 2 「戦後憲法学」

#### 2. 2. 1 芦部憲法学の憲法制定権力理論<sup>(6)</sup>

日本国憲法が「押しつけ憲法」であること、換言すると憲法制定の自主性 (constitutional autonomy) への疑問が論者のいうように「みんな知っている」<sup>(7)</sup> というほど自明のものであるかどうか、芦部憲法学を渡ってみよう。

芦部によると、対連合国の関係では、ポツダム宣言の法的性格につき、ポ宣言は無条件降伏（敗戦国の戦勝国に対する一方的屈服）の文書であるより「一種の条約的性格」（国際法上の権利義務関係の設定により当事者双方を拘束する）を有していた——少なくとも米国側はそのような立場を取っていた——と解する。だとすると、日本の内政自己決定 (internal self-determination) 権はポ宣言受諾によりもともと制約を受けていたことになる。ポ宣言を自己の意思で受諾した以上、ポ宣言の諸条項を遵守すべき日本側の法的義務と同時に連合国側の権利も承認したことになる。それ故、憲法制定に対する連合国最高司令官の指示は、「国民ノ自由ニ表明スル意思」による決定と必ずしも矛盾するものではない。また国内的には、一般に憲法制定は外国の支配・圧力から自由であるわけではなく、殊に現代の憲法の国際化の中では制憲過程でのそうした影響が避けられないとした上で、確かに「占領という異常な環境の中で… 国民の憲法制定権力の発動による民定憲法とみなすことを困難にしている… それにもかかわらず、総合して考えれば、憲法制定過程に現われた事実（マッカーサーを中心とする GHQ の関与を指すものと思われる一筆者）と日本国民による憲法の確定という憲法前文との間には本質的な矛盾はない」（傍点原文のまま）とされる。その理由として芦部は、国民意識のなかにポ宣言の趣旨に沿った民間憲法草案が存在したこと、また、GHQ の政治的拘束の下ではあるが、法的には戦後、普通選挙

の下で選ばれた議会により憲法草案が完全に自由審議されたことなどを挙げ、憲法の自立性は存在したと結論付けるのである。

### 2. 2. 2 深瀬憲法学<sup>(8)</sup>

憲法の平和条項を中心に立法者意思の自立性の存否を検討する深瀬によると、戦争犯罪人として天皇処罰や天皇制廃止を要求する極東委員会内のソ連・豪などの強い意向にもかかわらず、米国は、天皇制を含む日本政府機構を利用する間接統治を採用する対日占領政策を決定した。このような政治的与件と、当時の日本政府の天皇制存続の至上命題との妥協の上に象徴天皇制と「抱き合わせ」の戦争放棄規定が成ったという。その際、1946年2月3日の所謂マッカーサー・ノート手交に先立つ、同年1月24日のマッカーサー・幣原会談と、そこでなされた幣原の天皇制擁護と戦争放棄提案が重視される。また、当時の国民の厭戦乃至反戦感情から憲法草案の戦争放棄条項に賛意を表明する大多数の国民世論の存在したことにも注意が払われている。ただ、当時のそうした国民感情は「混沌として受動的なもの」で「突き詰められ『論理』化された意識や判断に達していなかった」ので幣原提案がこれを論理化したものであるとする（幣原発案説）。これらの事情に鑑み、深瀬によると、憲法の平和条項は、マッカーサーの専断とばかりいえず、幣原の提言と、その背後にある日本「国民の意思」に基き、連合国の意思、米国政府の指示の枠内で成立したものと結論づけられるという。それ故、『マッカーサー憲法』の一元制定説はあまりにも単純で一面的な俗説であると批判される。

### 2. 2. 3 渡辺治『日本国憲法「改正」史』<sup>(9)</sup>

渡辺の上の著作を「戦後憲法学」の枠内に押し込めるのが妥当かどうかちゅう躇を感ずる。それというのも、渡辺は、憲法の「押しつけ」と改憲論の連関について前二者と全く異なる独自の論理構成と問題関心を示しているからである。先ず、渡辺は、改憲志向は押しつけを主たる要因としていたか、「そんなに自主独立の気概に満ち満ちていたか」（同書33頁）と問い、事實は占領終結後の吉田内閣を見ても改憲政策はなく（同政策は鳩山内閣になってから初めて見られる）、むしろ憲法を支配体制の枠組みのなかに組み込もうというものであった。したがって、「改憲政策と制憲過程をリンクさせて考えるのは必ずしも正しくない」といい、改憲政策の根拠は、制憲過程にではなく、それ以降（鳩山内閣以降）の政治的社会的過程のなかに求められなければならないとする。

### 2. 3 「押しつけ憲法」と戦争責任

制憲過程の中でどの要因を重視するかという視

点から見ると、2. 1は、憲法制定にとり「軍事的威力」を決定的な要因と見、制憲プロセスのなかからこれのみを取り出し、「押しつけ」だという結論を引き出すように見える。これに対し2. 2. 1と2. 2. 2は、敗戦と占領という「異常な環境」や「特異性」を視野に入れつつ、「それにもかかわらず」当時の国民意識や感情、日本政府の動向、とりわけ幣原首相の決断などを考慮に入れた総合的な判断を提示する（さしあたり「総合説」としておく）。2. 2. 2は憲法の平和条項を、制憲当時の政治的事情のみならず、制憲以前の戦争違法化の国際法の発展や国の内外の平和思想の歴史的結晶化と見、同時にヒロシマ・ナガサキの被爆という当時の最も直接的な内在的契機の規範論理化と位置づけるのである。2. 2. 1によると、制憲過程のみならず、制憲後、殊に占領終結後の「国民の憲法」としての憲法の定着過程も重視されている。2. 1は制憲過程のみに着目するため、改憲を争点に挙げた55年総選挙で改憲派が憲法改正に必要な3分の2の議席を獲得できなかった事実を無視しているように見える。これによって国民は憲法を「選び直し」たのであり、その意味で——すぐ後に述べる——憲法に対する国民の「黙示の合意」というより「明示の合意」を示したとよい。

また、2. 2. 1が、ポ宣言受諾時に天皇主権から国民主権への転換により明治憲法との断絶が生じたとする宮沢俊義の8月革命説に立ちつつ、力の法への転化（「事実の規範力」の承認）と国民の規範意識（「国民多数の黙示の合意」）の存在のみならず、憲法秩序成立の実質的要件として、憲法の内容価値（自由的法治国家と社会法治国家）の正当性（Legalität）を挙げているのは注目される<sup>(10)</sup>。これは、2. 1のいう「憲法がわたし達の手で選ばれていることが、その内容に優先する」という主張と際立った対照を見せている。

もっとも、憲法の平和条項の制憲過程についていうと、2. 2. 2のいうような国民の厭戦感情を補完的に論理化した幣原提案にかかる天皇制擁護と平和条項の「抱き合わせ」では、戦争責任を視野に入れた国民主権論に基く改憲論に対して有効な対処が難しい。戦争に対する国民の被害者意識からくる厭戦感情の消極性は制憲時の戦争責任意識の消極性と重なり合っており、それ故補完が必要なのはむしろ制憲後の戦争責任の積極的な規範論理化の方であろう。制憲時の象徴天皇制と平和条項の「抱き合わせ」よりも、制憲後の国民主権とこれに基づく天皇・政府の戦争責任決済とが結び合わさった、平和主義をはじめとする憲法体系の全体を貫通する法理の積極的な構築こそが求められている。

以上、念のために総括すると、2. 1は憲法の「押しつけ」に由来する改憲と護憲の「人格分裂」

を治癒するには国民の自主的改憲（憲法の「選び直し」）を必要とするという。2. 2. 1と2. 2. 2は制憲時の特殊事情を考慮しつつも、総合説に立って憲法の自立性を検証しようとする。2. 2. 3は改憲問題の視点から見て、「押しつけ」→改憲の理論枠組それ自体を疑うので、制憲過程（「押し付け」かどうか）の解明よりも、制憲後の政治的社会的の方が改憲の主たる要因と解する。一方で2. 1の説く「押しつけ」の自明性には疑問があるけれど、事実を法たらしめる国民の規範意識にはなお消極的なものがあり、殊に制憲時における立法者の戦争責任意識の消極性を指摘せざるを得ない。他方で制憲過程よりもむしろ制憲後の国民への憲法の定着過程に着目した場合、「押しつけ」と「改憲」の論理的連関を否認する2. 2. 3の見方からすると、「押しつけ」だからではなく国民への憲法定着をおそれたからこそ、このときにはじめて改憲派の改憲志向が生じたことになる。もしそうだとするならば、戦争責任決済の課題も、制憲後に国民に定着しはじめたところの日本国憲法の規範的要請（国民主権、人権保障によって担われるところの平和条項）に基づいて解決されるべき「戦後責任」の課題として、「改憲」によってではなく「護憲」によってはじめて果され得るのではなかろうか。

### 3. 東京裁判

#### 3. 1 東京裁判の意義

「(略) われらの俘虜を虐待せる者を含む一切の戦争犯罪人に対しては、嚴重なる処罰を加えらるべし」と規定するポツダム宣言第10項に基づいて東京に極東国際軍事裁判所が設置された（1946年1月19日のマッカーサーの命令に基づいて同裁判所が設置されたのが四六年五月、判決の言渡しは48年11月）。同裁判所条例（charter）七条には、通例の戦争犯罪のほか「平和に対する罪（crimes against peace）」、「人道に対する罪（crimes against humanity）などの国際法上画期的と評される戦争犯罪類型が設けられた。

19世紀を通じて第一次世界大戦までには戦争中に捕虜虐待などの戦争犯罪を自国内の軍事裁判で罰することはあっても、戦後になって新たに国際軍事裁判所を設けて、国家の組織機関の構成員たる個人を戦争犯罪人として裁くという方式は、ニュルンベルクの国際軍事裁判とともに「史上初めて」の試みといわれる<sup>(11)</sup>。ニュルンベルクと東京では、国際軍事裁判所条例に明文化されたこれらの戦争犯罪の刑事責任が敗戦国の戦争指導者に問われた。このように戦勝国による、敗戦国たる敵国に対する過酷な軍事的、政治的征服や復讐というのではなしに、裁判手続きを通じた法的正義の準則に基づく敗戦国の戦争犯罪人の処遇は、歴

史的にも、国際法上も画期的な意義が認められてよい。

他方、国内的には、戦時中、国民は治安維持法等の言論統制諸法により事実を知り得る状態になかったことから、東京裁判の審理が進むなかで、始めて戦争犯罪の実態が明るみに出され国民多数の知るところとなった。この意義も評価されるべきであろう。

#### 3. 2 裁判の争点と課題

##### 3. 2. 1 罪刑法定主義と、そのコロラリーとしての刑罰不遯及原則

行為時の法律で犯罪とされなかった行為は、その行為を理由に事後の立法により遯って処罰されてはならない。これは罪刑法定主義の法理・「法律無ければ犯罪無く、法律無ければ刑罰無し」と、そのコロラリーとしての事後立法（に基づく遯及効の）禁止原則から要請される。日独両国の行為は「勝者の法廷」によって罪刑法定主義に反して裁かれたという異議がある。予め犯罪として処罰されることを知らなかった行為に対する、事後の立法に基づく帰責には——したがって、犯意の存在についても疑問があるという。これに対し、「条例の作成は、ドイツ帝国を無条件降伏させた諸国による主権的な立法権の行使であった。戦勝国の側の恣意的な権力行使ではなく、それはその作成時における国際法の表現」であったとした上で、「彼らはみずから行っていることを知っていた。」行為がみずから署名した国際法に違反し違法行為であることを知っていたと反論される<sup>(12)</sup>。

しかしこの問題は「平和に対する罪」と「人道に対する罪」と同断に論ずることはできず、両者を分けて考える必要がある。「平和に対する罪」は、1928年の不戦条約を画期として、無差別戦争観から戦争の違法化への国際法の発展のなかで、第一次と第二次の両大戦間期にすでに国際慣習として成立していたという国際法学の主張は十分に承認し得る。満州「事変」後の日本は、リットン報告書を採択した連盟総会決議——侵略認定決議にもかかわらず、連盟を脱退した上、中国での軍事行動を拡大し続けた。確かに、不戦条約には罰則が備わってはいなかったけれど、少なくとも条約違反の違法な戦争であることを、連盟決議から知り得た筈である<sup>(13)</sup>。

一方、「人道に対する罪」については、これとはいささか趣を異にする。通例の戦争犯罪に該するという認識があっても、行為時に「人道に対する罪」がすでに存在し、これを犯すという認識があったかどうか検討を要する。ラートブルフによると<sup>(14)</sup>、もともと自然法とか理性法といった「超法律的な法が行為の時にすでに妥当していたのであるから」、これに反する違法行為を命ずるところの法は不法であり、「不法な法は法ではない」ことに

なる（自然法再生論）。したがってそこには法の遡及はないと説かれる。これに対し、ハンナ・アーレントによると<sup>(15)</sup>、「過去のすべて残虐行為とは性格を異にするアウシュヴィッツ」は「先例のない罪」であり、「人道に対する罪のみが新しい前例のないもの」であるという。罪刑法定主義は、立法者にすでに知られている行為に適用されるのでなければ意味がなく、「ジェノサイドのようなそれまで知られていなかった罪が突然出現したときは、正義そのものが新しい法律による裁きを要求する。」アーレントの主張は、「人類の敵（*hostis generis humani*）」であるような、前例のない、予め知られていなかった犯罪に限り、形式的に罪刑法定主義に反してもよい、遡及立法を承認してもよいというものである。

### 3. 2. 2 未解明の「人道に対する罪」

右のようにニュルンベルク裁判条例で設けられた「人道に対する罪」はナチス・ドイツによるユダヤ人のポグロムを念頭に置いた犯罪類型である事は明白とされ、それ故法の適用が罪刑法定主義に反するかどうか争いが生じた。しかし、東京裁判ではこれを争う依然に「人道に対する罪」そのものがどのような内容の犯罪であるのか具体的に裁判の場で明らかにされることがなかった。極東軍事裁判所条例第5条（c）は次のように規定する。

「犯行地の国内法違反たるか否かを問わず、本裁判所管轄地に属する犯罪の遂行として又はこれに関連して為されたる、戦前又は戦時中に行われた殺戮・殲滅・奴隷的虐使・追放其の他の非人道的行為、若は政治的又は人道的理由に基く迫害行為」

しかし、東京裁判の判決では、1937年の南京での虐殺事件を含めて、捕虜、一般住民の殺害、拷問その他の非人間的取り扱いなど多くの事例は「人道に対する罪」というカテゴリーの下にはなく、極東条例第5条（b）の「通例の戦争犯罪」（1907年ハーグ陸戦規則など）が適用された。そもそも検察の起訴状においても「通例の戦争犯罪及び人道に対する罪」とあり、「人道に対する罪」が独立の訴因として提起しておらず、「追求、審判されなかったといっても過言ではない。」<sup>(16)</sup>例えば、朝鮮人、中国人の強制連行・強制労働事件<sup>(17)</sup>については、東京裁判では、花岡事件に関連して証人喚問が行われたにすぎず、横浜軍事裁判所（BC級戦犯裁判）でも現場責任者が有罪判決を受けただけで、企業幹部や政府は責任を問われることがなかった。（「アジア不在の裁判」）。裁判で事件の徹底した調査、審理が行われなかったため、こうした強制連行・労働が「人道に対する罪」（とりわけ明文規定中の「奴隷的虐使」）に該当するかどうか、また「通例の戦争犯罪」（捕虜虐待、一般住

民殺害など）とどのように異なるのか十分に明らかにされないまま、事件糾明の課題は戦後補償裁判に引き継がれることとなった。この点、「人道に対する罪」が刑法の規定として継承され、戦後ドイツの国内裁判所でこれを適用した非ナチ化裁判（将官、親衛隊、財界、官僚、医師、裁判官などあらゆる分野に及んだ）とは対照的である。

## 4. 日本国憲法の下での戦争責任・「戦後責任」の課題

### 4. 1 戦争責任と「戦後責任」

憲法の下での「戦争責任」という言葉を用いる場合、次のような含意である。第一に、明治憲法の下で成立し得、または成立し得なかった戦前、戦中世代（1945年8月15日までに成年に達していた人）の戦争犯罪の法的政治的責任と、戦後になって日本国憲法の下で同じ世代の国民がこれを問い且つこれを決済しようとする場合をいう。第二に、そのような意味での戦争責任を戦後世代の国民（45年8月15日以後に成人に達したか、戦後生まれの人——「戦争を知らない世代」をも含めて）が問う場合をいう。この場合、戦争責任とは区別して「戦後責任」という言葉を使っておく。のみならず、第三に、第一と第二の意味での戦争責任が、戦争が終わって相当経年した戦後社会になっても国民の間になお十分に自覚されないまま解決の努力を懈怠してきた責任を含みこむものとして「戦後責任」という言葉が用いられることがある（戦後ドイツにおける「第二の罪」がこれに該る<sup>(18)</sup>。日本での「戦後責任」論の登場は70年代後半以降といわれる<sup>(19)</sup>）。

### 4. 2 罪刑法定主義——事後立法による遡及効の禁止原則の適用可否

前述したように、国際軍事裁判での戦争犯罪への国際法の適用に際し、罪刑法定主義の立場から争われた同じ疑問がここでも妥当するか。すなわち、明治憲法の下で成立し得なかった戦争犯罪の責任を戦後になって日本国憲法の下で問うという場合、過去に国内法上有責でなかった行為を事後の立法で、行為時に遡って有責となし得るかどうかという困難な問題がある。想定されるケースを分けて考えてみよう。先ず、旧法（明治憲法）の下で戦争犯罪が成立し得なかったケース（a）、次に旧法の下で戦争犯罪が成立し得たケース（b）。

（a）のケースにつき、新法（日本国憲法）の下であらためて責任を問わない場合（a'）と、問う場合（a''）。（b）のケースにつき、新法の下で責任を問わない場合（b'）、新法の下で責任を加重する場合（b''）。（b'）はちょっと考えにくい。事後立法禁止原則上問題となるのは（a''）（b''）である。ただここで注意を要するのは、憲法（および



憲法以下の法律体系)の下で問われるべき戦争犯罪の責任の種類には刑事責任に限らず、法的責任であっても民事法上の責任もあり、刑事罰や民事賠償を伴わない政治的責任もあり得る。(a")

(b")のケースで、罪刑法定主義の適用可否が争われるのは、個人に刑事罰が科される場合である。ただこの場合でも、ニュルンベルク裁判での国際法の適用に際し説かれた法理の国内法への妥当性を承認し得る。すなわち、これには、ラートブルフのようにもともと自然法の基礎づけの下での犯罪成立を前提に法の遡及を否定するか、H・アーレントのように遡及効にもかかわらず「人道に対する罪」に限り正義の要請によってこれを正当化するか、といった理論構成に違いがあるにせよ、このような法理論の国内法への適用は基本的に承認し得るのではないか。(もっとも、「戦後責任」を問う場面で、現在までのところ日本では戦争犯罪人の個人の刑事責任を問う裁判は殆ど問題になり得ていないので、裁判上の実益はまた別問題である)。個人に対する刑事罰でさえそうであるなら、まして事後立法に基づく遡及効禁止原則の趣旨は、より一般的に刑事法に限らず民事諸法や憲法にも及ぼし得るか。刑罰のように、国家権力によって個人に対し生命身体への強制や暴力を伴う強いサンクションが加えられるのと事情を異にする民事責任や憲法上の政治責任については罪刑法定主義の適用はないというべきである。実際、現在係争中の戦後補償裁判で問われているのは国や企業法人といった——個人ではなく——団体の民事責任であり、国家機関や国民といった集団単位で帰責の主体となっていることから(殊に政治権力を用いる為政者は自己の政治行動の結果に責任を負わねばならない——結果責任)、もともと事後立法禁止原則は問題にならない(もっとも政治責任一般ではなく、憲法に基づいて要請される政治責任が問題となるとき、問責の根拠となる事由が予め明文により法定されなくてはならないという法の一般原則はどの程度に満たされるべきであろうか)。

#### 4. 3 「謝罪と償い」の形——「誰の誰に対し、どのようにして」

右のように旧明治憲法の下で成立し得、又は成立し得なかった戦争犯罪(殊に「人道に対する罪」)の責任(刑事責任を含む)を戦後の日本国憲法の下であらためて問い得るとするならば、その問責手続きはおよそ以下のような形を取るようになる。

##### 4. 3. 1 政治的手続き

天皇・政府の戦争犯罪の政治責任を問う国民自身の主権的意思の表示(例えば国政選挙、地方選挙を通じて)があった場合、日本国憲法の国民主権と平和主義原則に基づき、政府は天皇の戦争責任と併せて、自身のそれについても謝罪声明と償いを行うことが要請される。この場合、政治責任

という事柄の性質上、必ずしも裁判手続きに適しない。

##### 4. 3. 2 司法的手続き

(a) 戦争犯罪により被害を受けた国の住民個人の、加害国たる日本政府、及び企業法人を相手取った民事法上の損害賠償裁判(事件により刑事責任も問題になり得る)。

(b) 旧被植民地国——現北朝鮮、大韓民国の住民個人(かつて日本国籍を有していた者)で、日本政府及び企業法人の戦争犯罪により被害を受けた者の、同政府、企業を相手どった民事法上の損害賠償裁判(事件により刑事裁判)。

(c) (b)と同様の戦争犯罪の被害者個人で、在日韓国朝鮮人の民事法上の損害賠償裁判(事件により刑事裁判)及び戦後補償裁判。

90年代に入って陸続と提起されている「戦後補償裁判」は主に(a)(b)の場合である(現在までのところ、50余りの提訴がある)。

(d) 自国の戦争犯罪に関連して肉体的精神的経済的被害を受けた日本国民たる個人の民事法上の損害賠償、並びに戦後補償裁判。同様に自国の戦争犯罪に関連して政治的、宗教的、民族的迫害を受けた日本国民たる犠牲者個人の民事上の損害賠償裁判(事件により刑事裁判)。因みに、極東条例5条(c)ではニュルンベルク条例のような、(自国民、外国人を問わない)「すべての一般住民に対する」の文言が欠落しているため、自国民に対する迫害行為の責任追及は東京裁判の管轄外であった<sup>(20-a)</sup>。同様に宗教的迫害の文言も欠落していることが指摘される。これらも「戦後責任」の課題に属する<sup>(20-b)</sup>。

## 5. 天皇の戦争責任

以下の行論で天皇の戦争責任という言葉は、国際法上、国内法上裁判手続きで確定され得る戦争犯罪の法的責任のみならず、必ずしも法的制裁が加えられるとは限らない政治責任を含めて(むしろこれを主とする)用いられている。

### 5. 1 国際法上の天皇の戦争責任

東京裁判では、ニュルンベルク裁判にくらべ、戦争犯罪容疑者の不起訴が多いのが特徴であるという。その筆頭に天皇が挙げられる。同裁判の過程で、天皇の国際法上の戦争責任については、GHQが対日占領政策(間接統治)を実施する上で、天皇制の存置を政治的に配慮したことから天皇の不起訴方針を固めたため、裁判で審理されることがなかった。ただし、天皇が無罪か有罪・有責かを法的に確定するのは司法手続きであるから、それが行われなかったところで無罪とも有罪とも決った訳ではない。事実はGHQの政策的配慮によ



り起訴されなかったというにすぎない。ここでは、  
 連合国中心というより——冷戦に規定された——  
 米国中心の裁判運営の偏りを見せている。このこ  
 とによって、この問題は、時と場を移して、国際  
 裁判から国内の法廷もしくは政治の場へと、天皇、  
 政府、国民の「戦後責任」の中心課題として引き  
 継がれたと考えられる。もっとも、仮りに東京裁  
 判で天皇が起訴されたとして、そのことで国民自  
 ら戦争責任の総体を決済しなければならないとい  
 う課題が解消するような性質のものでもない。

## 5. 2 明治憲法下の天皇の戦争責任

明治憲法の基本原理たる天皇主権は、「万世一  
 系ノ天皇」（同憲法第1条）、天皇の不可侵（同第  
 3条）、統治権の総覧者（同第3条）などの規定に  
 謳われている。天皇の戦争責任の有無の確定も、  
 こうした憲法の基本原理に基づいて構成されなく  
 てはならない。天皇主権に関する明治憲法の解釈  
 について、学説は神権主義的解釈と立憲主義的解  
 釈とが対立した。天皇は神聖不可侵であることか  
 ら、その統治権の総覧者としての行動についても  
 法的、政治的責任を一切負わないとする君主無答  
 責の法理（king can do no wrong）が導かれる。こ  
 の点では両説とも基本的に異なるわけではないけ  
 れど、後者の解釈によると、天皇が統治権を総覧  
 する際、「此ノ憲法ノ条規ニ依」（同第4条後段）  
 べきことを厳格に解することで、天皇の行動を  
 原則的に国務大臣の輔弼・副署（同第55条）にか  
 からせ、（明治憲法上内閣制度の明文規定はない）  
 行政府の対議会責任を承認しようとする。これに  
 対し、前者の解釈はこれを一切認めない立場をと  
 る。もっとも、立憲的解釈にあっても、憲法第4  
 条後段、第55条にもかかわらず、天皇が「国務  
 大臣の進言を嘉納せらるや否やは聖断に存する」  
 とし天皇の最終的な裁断を尊重するし、また、天  
 皇の統帥権（同第11条）については、立憲主義  
 政治の例外として、国務大臣の輔弼事項とせず、  
 行政府、議会の関与を受けることのない独立性を  
 承認する（統帥権の独立）。外見的立憲主義  
 （Sheinkonstitutionalismus）と評される所以で  
 ある。

上のような両解釈の立場の違いから、天皇の戦  
 争責任につき結論の違いが生じ得るか否か——殊  
 に立憲的解釈によると、天皇の戦争責任を導き得  
 るか。天皇の行動（統治権行使）一般については  
 輔弼・副署を通じて行政府の対議会責任を認める  
 ことで、立憲主義に忠実であろうとする立憲的解  
 釈にあっても、軍令の根幹たる天皇の統帥権に関  
 しては立憲主義の例外を承認する以上、国際法上  
 はともかく、明治憲法・国内法体系の下では天皇  
 の戦争責任を問責するには限界があるとせざるを  
 得ないのではなからうか<sup>(21)</sup>。もっとも、そのこ  
 から直ちに道義的責任までも問い得ないというこ

とにはならないし、また、後述するように、日本  
 国憲法の下での問責をも否認する訳のものではな  
 い。

なお、天皇の民刑事法上の罪責につき、司法手  
 続、判決を執行すべき国家機関の不備もさること  
 ながら、天皇が戦争犯罪の現場の行為者——直接  
 の命令権者たる軍司令官を含む実行犯——でない  
 ことから、法的責任（故意・過失）の挙証困難が  
 予想されるが、証拠文書等の歴史研究の進展に俟  
 つほかない。ちなみに、天皇の戦争責任の挙証困  
 難を緩和するため、民法上の使用者責任のアナロ  
 ジーを用いる議論がある<sup>(22)</sup>。しかし、世襲制と  
 いう血統（Blood）の事実に基づく——意思の自由  
 に基づかない——天皇制の組織・行動原理（万世  
 一系、神聖不可侵、君主無答責）を、近代市民法  
 の契約原則に基づく企業法人の組織・活動原理及  
 び、これの現代法的修正たる使用者責任の法理で  
 説明しようとするのは些か無理がある。蓋し、明  
 治憲法の shein たる所以は、そこに万世一系の、  
 神聖不可侵の天皇制が埋めこまれているところ  
 にあるからである。（もっとも、日本国憲法を前提に  
 するならば、この指摘の妥当性如何はまた別問題  
 である）。

## 5. 3 日本国憲法の下での天皇の戦争責任

国際法上の戦争犯罪のうち、東京裁判ではニュ  
 ルンベルク裁判と同様、「平和に対する罪」、通例  
 の戦争犯罪の刑事責任については罪刑法定主義の  
 援用が困難なこと、他方、「人道に対する罪」のそ  
 れに付いては、ニュルンベルク裁判と異なり、独  
 立の訴因として審理されることなく終わったこと  
 から、そもそも罪刑法定主義の適用問題そのもの  
 が議論にならなかったこと、その上、天皇自身が  
 不起訴・免責されたことは前述した。そこで、国  
 内法——日本国憲法の下での天皇の戦争責任の問  
 責の可否を検討してみよう。天皇の戦争責任のう  
 ち、司法手続を経て刑罰のサンクションが科され  
 る刑事責任については格別、その政治責任につい  
 ては、ことの性質上、罪責が予め法定されることが  
 厳格に要請される法的責任と異なり結果責任で  
 足りるから、戦後の日本国憲法の基本原理の下で  
 合法化せられた政治過程を経てあらためて問責す  
 ることは積極的に承認される。ここではそもそも  
 罪刑法定主義の適用を論ずる余地がない。

このように、日本国憲法の下で、政治責任とし  
 ての天皇の戦争責任を問責することが可能ならば、  
 次に問責の方法と天皇自身による戦争責任のとり  
 方（この両者は密接な関係にある）が問題になる。

### 5. 3. 1 問責の方法

政治責任としての戦争責任を問題とする以上、  
 その問責の方法は司法過程によるよりも政治過  
 程による方が適格的である。同時に、この政治過

程は天皇の戦争責任に関する憲法原理による法的構成への要請から基礎づけられなくてはならない。周知のように、日本国憲法の規定する象徴天皇制の下では、天皇は国政に関する機能を一切認められてはおらず、憲法の明示する国事行為に限って、内閣の助言と承認の下でのみ許されるにすぎない（同憲法第3条、第7条）。したがって、もし政治的に可能だとして天皇自身に戦争責任の謝罪表明をやらせるという方法の憲法判断は——これは裕仁の死去により現実には問題になり得ないが、明仁については、理論上は問題になり得る——、それが憲法の許容する国事行為の範囲内に該当するか否かに依存する。そのような天皇の行為は、仮に内閣の助言と承認の下で行われるにしても、政府の外交政策等の国政と緊密に結びついた形にならざるを得ないが故に、また、内閣による天皇の政治的利用のおそれなしとしないが故に、憲法の禁止する天皇の国政関与——其れは同時に国事行為の範囲外——該るのではあるまいか。凡そ儀礼的、形式的行為とはいいい難い、このような特に著しい政治性に着目するならば、かかる天皇の行為を所謂「公的行為—象徴行為」のカテゴリーに含め得る——筆者はこの説を支持しないが——かどうか疑問である。ではどうするか。憲法原理の要請するところから、「国民の総意」に基づくべき象徴天皇制は国民主権原理に優位することは許されず、同原理との調和の下でのみ存立し得る——天皇制と国民主権は原理的に矛盾緊張関係にあるが、憲法は両原理の調和を要請しているという規範認識を前提に。そうであるならば、憲法の国民主権原理に基づき、国民の主権者意思を代表して表明し得る国会（住民意思を代表する地方議会）の侵略戦争謝罪決議、及びその国会に連帯して政治責任を負う内閣の同謝罪声明（地方自治体の首長）のなかで併せて天皇の戦争責任を明記することが要請されよう。この国民主権の原理的要請は、同時にそれが国民、天皇、政府の戦争責任・「戦後責任」にかかわる限り、日本国憲法の平和主義の精神にも合致すると考えられる。

### 5. 3. 2 天皇自身による戦争責任のとり方

戦後の日本国憲法の下で天皇の戦争責任のとり方として、皇室典範（第四条天皇が崩じたときは、皇嗣が、直ちに即位する）を改正した上での、天皇自身の決断による生前退位説が論議されたことがある。果して、そのような政治的に重大な意義を持つところの天皇の専決ともいえるべき行動が、右に見た国会決議や政府声明もなしに憲法上可能なのだろうか。この問題も本人の死去によりもはや現実問題になり得ないが、天皇の象徴性の法的性格に関する憲法理論の上でなお異議なしとしないであろう。

宣言規定説によると<sup>(23)</sup>、日本国憲法の象徴天皇

制は、天皇が旧憲法時代にもともともっていた役割のうち、「神聖不可侵」・「統治権の総覧者」などの部分を廃止し、国の象徴たる役割（「国民の憧れの中心」——金森徳次郎）だけを残しこれを宣言したものと説かれる。新旧両憲法にわたる天皇の象徴機能の連続性を重視する。したがって、国事行為の解釈論の領域では、一定の歯止めをかけたつも「公的行為——象徴行為」の承認と結びつく。しかし「象徴行為」に対する規範的統制に必ずしも成功していない現状に鑑み、憲法規範で覆い尽くされない事実行為——倫理的、情緒的——非法的、非憲法的天皇制——を容認することは、国民主権とのバランス確保をますます難しくすることになる。このことは天皇の戦争責任問題の場面では、国民主権に限らず、平和主義・人権保障などの現憲法の基本原理との矛盾・乖離にまで及ぶ。固より、この説の趣旨から推して、「国の象徴」「国民統合の象徴」（「国民の憧れの中心」）たる天皇の役割のなかに、国際法上違法とされる侵略戦争の刑事責任、政治責任を担うべき役割まで含めて、宣言的に確認したものは考えにくい。蓋し、「国家の象徴的存在であることと、過去の政治的過誤のゆえに政治責任をになう主体であるということとは、両立しがたい」からである<sup>(24)</sup>。

これに対し創設規定説によると<sup>(25)</sup>、天皇主権から国民主権への主権原理の転換に伴い、明治憲法の神権天皇制と断絶した、日本国憲法に固有の象徴天皇制があらたに創設されたと説かれる。同説の趣旨からすると、新憲法に固有の象徴性の内容や法的地位は憲法の基本原理から導かれよう。しかるに、旧憲法時代の同一人物たる天皇が過去の戦争の責任を負ったままでは、新憲法の理念に相応しい象徴性の獲得は困難である。したがって、同説の立場からは、国民主権・平和主義・人権保障の理念の下で、天皇の戦争責任を承認する国会決議と、これに相応する政府声明という形で表明されるところの「国民の総意」に基づく天皇の生前退位——皇嗣の即位——といった政治手続・過程を経て、天皇の戦争責任が決済されなくてはならない。こうしてはじめて天皇制の生まれ変わり（新生——新たな象徴性の創出）が可能になる筈であった。同様に憲法原理から導かれる象徴天皇制解釈の論理的帰結として、——憲法体系外に超然とあった旧皇室典範と異なり——日本国憲法の下位法たる新皇室典範の第四条の規定も、国民の代表たる国会による改正が求められることになる。ところが現実には、過去の戦争の政治責任を負うべき同じ人物が新憲法の下で「国民統合の象徴」となり、責任を決済することなく死去した。このような認識を欠いたままで、憲法の基本原理に接合したあらたな象徴性の創出は可能だろうか。これまでの創出規定説は、憲法原理に適合的な天皇の象徴性を創出する上で、天皇の戦争責任未決済が障

害になってきたことの自覚が足りなかったのではなからうか。

脚註

- (1) ドイツでは「86年夏ごろから1年以上にわたって『歴史家論争』が起ったという」(栗屋、田中、広渡、三島、望田、山口『戦争責任・戦後責任』朝日新聞社、1994年、15頁、望田執筆分)。詳しくは、J・ハーバマス、E・ノルテ他、三島憲一他訳『過ぎ去ろうとしない過去—ナチズムとドイツ歴史家論争』人文書院、1995年。またそこでの三島の「解説—ドイツ歴史家論争の背景」も参照(同書241頁以下)。
- (2) 歴史教育の分野での藤岡信勝、西尾幹二らの「自由主義史観」をめぐる論争が代表例であるが、ほかに哲学、思想、文芸評論の分野では後述の加藤典洋と高橋哲也との『世界』(岩波書店)誌上での論争(後掲の基本文献の項を参照)。また、竹田青嗣、橋爪大三郎の『正義・論争・国家論』(径書房、1997)。さらには漫画家の小林よしのり『戦争論』(幻冬社、1998年)をめぐる論争や批判など(これについても『世界』1998年12月号の特集「新『国粹主義』の土壌—なぜ『戦争論』にひかれるのか」を参照)。いまやこの国の歴史修正主義論争は猖獗を極めつつあるかのように見える。
- (3) 戦後補償裁判の現状と争点を簡単にまとめたものとして、別稿「中国人強制連行・強制労働」(大田一男・鳥居喜代和編『北海道と憲法』法律文化社、2000年183—186頁所収)。
- (4) 高橋哲也『戦後責任論』(講談社、1999年)81頁以下。
- (5) 加藤典洋『敗戦後論』(講談社、1997年)5—93頁、同「チャールズ・ケーディスの思想」(同『可能性としての戦後以後』岩波書店、1999年235頁以下所収)。
- (6) 芦部信喜『憲法学Ⅰ 憲法総論』(有斐閣、1992年)140頁以下、同『憲法制定権力』(東京大学出版会、1983年)。
- (7) 前註(5)「チャールズ・ケーディスの思想」236頁。
- (8) 深瀬忠一『戦争放棄と平和的生存権』(岩波書店、1987年)113頁以下。
- (9) 渡辺治『日本国憲法「改正」史』(日本評論社、1987年)32頁以下。
- (10) 前註(6)芦部『憲法学Ⅰ』196—198頁。
- (11) 藤田久一『戦争犯罪とは何か』(岩波書店、1945年)72頁以下。
- (12) 同上90頁以下。
- (13) 同上93頁以下。
- (14) ラートブルフ「人道に対する犯罪をめぐる議論について」(ラートブルフ著作集第5巻『法における人間』東京大学出版会、1962年133頁以下所収)。
- (15) ハンナ・アーレント・大久保和郎訳『イエルサレムのアイヒマン』(みすず書房、1969年)196頁以下。
- (16) 前註(1)『戦争責任・戦後責任』86頁(栗屋憲太郎執筆分)。
- (17) 詳しくは、前註(3)『北海道と憲法』所収の拙稿

参照。

- (18) ラルフ・ジョルダーノ『第二の罪—ドイツ人であることの重荷』(白水社、1990年)。
- (19) 前註(1)『戦争責任・戦後責任』226頁(山口定執筆分)。なお、広渡によると、「戦後責任」とは「戦争への直接的関わりの有無を問わず、戦争を惹き起こした国家の国民として」①戦争責任の追及、②謝罪と補償、③戦争の防止のために何をなすべきか、自らふりかえり、考え行動する責任とした上で、「憲法9条を戦争の放棄と軍事力の不保持の意味において擁護することが、戦後責任の内容だ」という(広渡清吾「憲法と戦後責任」法律時報67巻6号、1995年、11—12頁)。
- (20 a—b) 前註(11)122—123頁。
- (21) 同趣旨樋口陽一「君主無答責と天皇」ジュリストNo993、1989年、99—100頁。これに対し、山内敏弘は明治憲法の下での天皇の戦争責任を問い得るとする(横田耕一、江橋崇編『象徴天皇制の構造』日本評論社、1990年、248—249頁所収)。
- (22) 米倉明「Z先生への手紙」『世界』(岩波書店)1989年2月号85頁。
- (23) 例えば、宮沢俊義『日本国憲法(コンメンタール)』55頁以下。
- (24) 奥平康弘「日本国憲法と『内なる天皇制』」『世界』1989年1月号129頁。
- (25) 例えば、景山日出弥「天皇の象徴性」芦部、池田、杉原編『演習憲法』青林書院新社、1973年55頁以下。

以上のほかに基本文献として次のものを参考にした。  
 ○細谷千博他編『国際シンポジウム東京裁判を問う』(講談社、1989年)、○大沼保昭『東京裁判から戦後責任の思想へ』(東信堂、1993年)、○日本弁護士連合会編『日本の戦後補償』(明石書店、1994年)、○加藤典洋・西谷修対談「世界戦争のトラウマと『日本人』」(『世界』1995年8月号)、○高橋哲也・徐京植対談「断絶の世紀、証言の時代」(『世界』1999年5月号—10月号)、○「白書・日本の戦争責任」(『世界』1994年2月号)、○カール・ヤスパース・橋本文夫訳『戦争の罪を問う』(平凡社、1998年)ほか。

**Legal Principles of War and Post-War Responsibility  
in the Japanese Constitutional Laws**

**Tosikazu CHO** \*

**Abstract**

Used terms in this paper, war and post-war responsibility must be understood as both legal (especially criminal) and political responsibility that is founded by general and new war crimes, "crime against peace", "crime against humanity" in the international law, on the other hand that gives a base to reparation between states, compensation to individuals and punishment of war criminals. At once, it is problem of post-war responsibility, too, that asks how not only generations under World War II, but also post-war generations under the constitutional law of Japan confront the past war responsibility. This paper tries to give legal and constitutional law theory to the argument of war and post-war responsibility through legal principles in the constitutional laws of Japan.

Keywords : war responsibility, post-war responsibility, war crimes ,legal (constitutional laws) principles

\*common subject division

---

# フッサールの数理哲学(3) — 拡張不可能性：ヒルベルトとの比較 —

二宮公太郎\*

## Husserls Philosophie der Mathematik (3) — Unerweiterbarkeit : Ein Vergleich mit Hilbert —

Kohtaroh NINOMIYA

(原稿受付日 平成12年4月28日 論文受理日 平成12年8月31日)

### Kurzfassung

Husserl erklärt deutlich in “Ideen” und “FTL”, daß die ‘Definitheit’ im Zusammenhang mit Hilberts ‘Axiom der Vollständigkeit’ steht. Diese Abhandlung untersucht die Bedeutung dieses Zusammenhang. Husserl nennt Hilberts Vollständigkeit ‘die absolute’ und seine eigene hingegen ‘die relative’. Er sagt, daß die letztere innerhalb der ersteren bewege. Was bedeutet das ?

Schlüsselwörter : Axiomensystem, Erweiterung, definite Mannigfaltigkeit, Hilbert, Modell, Phänomenologie

### 1. はじめに

フッサールの「多様体」論が含む「確定性」概念について、R.シュミットは三つの意味を区別している。第一に「拡張不可能性」、第二に「決定可能性」、第三に「意味論的完全性」である。

筆者は、本『紀要』前々号において、フッサールの考え方の内には、第三の「意味論的完全性」の概念は存在しないこと、この概念は第二の「決定可能性」の概念に還元されること、を明らかにした。

筆者はまた、本『紀要』前号において、フッサールが主張する、第一の「拡張不可能性」と第二の「決定可能性」との「同値」の問題を扱った。そして、フッサールは、特定の〈領域〉に場面を限った上で、公理

系のこれら二つの性質を考えていること〉、また、〈この場面の内では、これら両性質の「同値」は、容易に証示され得ること〉、を示した。

しかし、その際に現われてきた、ヒルベルトとの関係に関わる諸問題については、それらを示唆するに留まった。本稿は、この問題圏域について、フッサールの「拡張」理論を説明することの内で、考察することにした。

### 2. フッサールの著作から

公刊された著作の中で、フッサール自身が、ヒルベルトの名を挙げて、彼に言及している箇所を、まず見ておこう。

『イデーン』で、フッサールは、こう述べている。

\* 共通講座

渡辺二郎による訳を、そのまま引用しよう。

……… 確定性という概念が、D.ヒルベルトによって算術の基礎づけのために導入された「完全性の公理」と、近い関係にあることは、数学者になれば誰にでも、直ちに頷けるところであろう。(1)

降って『形式論理学と超越論的論理学』では、フッサールは、こう述べている。

私はここで“完全な(vollständig)公理系”という元々私のものではない表現を一般に用いたが、この表現は、ヒルベルトに由来するものである。〈私の諸研究を規定した哲学的-論理的な諸考量〉によって導かれることは無しに、彼もまた、(未公刊のままになっている私の諸探求からはもちろん全く独立に)完全性(Vollständigkeit)という彼の概念に到達した。すなわち、彼は、或る固有の“完全性の公理(Axiom der Vollständigkeit)”を通して一つの公理系を完成し(ergänzen)ようとする。上に[先の諸節において]為された諸分析が明らかにした言つてよいであろうことは、〈彼を数学的に導いた内奥の諸動機が、顕在的ではないにせよ、確定的多様体という概念を規定した諸動機と、本質的なものにおいて同じ方向を進んでいた〉ということである。(2)

### 3. バシュラールの解釈から

S.バシュラールは、

我々は、確定性の概念が、〈ヒルベルトによって算術の公理論へ導入された……完全性の公理という意味における完全性の概念〉とは、フッサールの確言とは反対に、全く異なっている、ということを見るだろう。(3)

と予告し、フッサールの理論(として彼女が解するもの)とヒルベルトの理論とを比較した後に、

確定的に述べて、ヒルベルトの完全性公理とフッサールの確定性概念との間には、フッサールによって肯定される繋がりには存在しない、ということができる。(4)

と断じている。

しかし、彼女の議論には、その前提からして、根本的に疑問が在る。彼女は、フッサールの「確定性」を、基本的には「決定可能性」——彼女の言葉では「統辞論的完全性」——と解した上で、これと、ヒルベルトの「完全性公理」——モデルの拡張不可

性——とを、比較している。比較しなければならないのは、フッサールの言う〈公理系の拡張不可能性〉と、ヒルベルトの考える〈モデルの拡張不可能性〉とを、である。

彼女が「完全性」概念を一般的な意味で定式化したもののうち、第二の定式を見よう。彼女が、フッサールの「確定性」概念を、これに該当するとした、その定式である。

2. 或る公理系は、当該の公理系の諸公理から導出され得ない表現を有つた或る一つの公理の付加が、それら[新旧合わせた]諸公理を矛盾的なものにする、そういう場合、「完全である」(………‘統辞論的に完全である’)と呼ばれ得る。(5)

これは、実は「拡張不可能性」の規定である。しかし、彼女は、なぜかこれを「決定可能性」にすり替えるのである。もつとも、或る一定の領域に限定した上でならば、しかも、フッサールが考える意味での「決定可能性」——それは、当の領域において方程式が解を有する、という程度のものである。——となれば、公理系の「拡張不可能性」は同値である。しかし、バシュラールが比較しているのは、一般的な意味での「決定可能性」と、ヒルベルトの「完全性公理」——モデルの拡張不可能性——とを、である。これら両者間の「含意関係の内に幾つかの破れが存在する」(6)のは、現代の数学基礎論から見れば、当然のことである。

フッサールがヒルベルトに言及するのは、公刊された著作に限らない。彼は、『草稿』(7)の内でもヒルベルトに言及していて、それどころか、そこでは、ヒルベルトの思想そのものや、自分の考え方とヒルベルトのそれとの間の関係にまで、或る程度立ち入って言及している。

「近い関係にある」ないし「本質的なものにおいて同じ方向を進んでいた」というフッサールの言葉について何かを判断するためには、『草稿』をこそ、我々は検討しなければならない。

### 4. 「完結公理」に関して

まず、二人に共通する点を見よう。「完結公理」の排除である。

ヒルベルトは、どう言うだろう。

「拡張」と「完全性」に関するヒルベルトの考え方に関しては、まさにそれをフッサール自身が簡潔にま

とめている箇所がある。ヒルベルトが第5回数学協会のために行なった講演に関する覚え書きである。

2) ところで、ひとは、或る与えられた公理系に添えて、〈完結する公理 (das abschließende Axiom)〉をそれに付け加えるという仕方、その公理系を完結しようと試みる。(他の諸客観と並んで) その公理系を満足する〔公理系に適応する〕如何なる新しい種類の客観  $\varepsilon$  も、存在すべきではない、と。しかしこのことは、一般に、通用するものではない。特に言えば、算術の公理系は、(ヒルベルトの列挙に従えば) アルキメデスの公理の除外を伴っては (或いは、無理数的なものに付随する諸公理なしでは)、完結されて (geschlossen) いない。<sup>(8)</sup>

文脈に即して「完結公理」を説明すれば、それは例えば、アルキメデスの公理——無理数を基礎付ける「存在命題」の一形式——を除外して算術の公理系を立てた上で、「有理数の領域を越えては、数は存在しないこととする」と宣言する、というような機能を果たすものである。「しかし、このような公理系は、数領域の全てを尽くしてはいない」と、ヒルベルトは言っている訳である。

この覚え書きのすぐ後を見よう。

3) アルキメデスの公理を付け加えるならば、算術の体系は完結されている。〈新しい客観  $\varepsilon$  の如何なる付加も、矛盾を導くだろう〉ということ、ひとは証示することができる。

ヒルベルトは言う、そして更に、諸々の無理数の存在を当の領域の内で証示することができ、それ故、無限の手続き行程を初めから前提する必要はない、と。<sup>(9)</sup>

これによれば、アルキメデスの公理を含む算術の公理系は、「完結公理」に頼ることなく、公理系の本性に従って既に、それが支配すべき数領域——実数領域——の全てを尽くしている、とヒルベルトは言っていることになる。

次に、フッサールの主張を見よう。「完結公理」に頼るべきではないという考え方は、フッサールに共通である。

…… 完結公理とは、〈これこれの諸公理を通して当の領域が規定され、しかも他の諸公理は妥当しない〉というものである。…… 完全性についてのこの概念は、非真正 (unecht) の完全性として、特記されるべきである。<sup>(10)</sup>

「完結公理」は、言わば規約的に付加される「公理」

である。その基底には、一定の形式の式は「この領域で解を有たない」と「決定」した上で、既に在る操作に関して「新しい操作法則を導入しない」こととする、といった考え方が在る。要するに、言わば人為的な仕方、拡張を禁ずる、という考え方である。

この「規約的」な性格を、フッサールは、こう表現する。

[非真性] と言うのはすなわち、この完全性は、何ら諸々の公理系において特殊に特徴的なものではない、ということである。なぜならば、如何なる公理系 …… をも、我々は、一つのこのような否定的な完結公理を通して、似て非ながら完全 (quasi vollständig) に為し得る、からであって、それ故にまた、この完全性は、ここでは我々にとって、全く何の役にも立たないことになる。<sup>(11)</sup>

続けて、フッサールは、こう断ずる。

我々が或る公理系を拡張するという場合の観点においては、我々は、自明のことながら、完結の諸公理 (Schließungsaxiome) を放棄する。…… 拡張という概念は、否定的な完結公理が〔他の諸公理と〕共に思いなされているのではない、ということを前提する。<sup>(12)</sup>

公理系の拡張不可能性を考える際には、あくまでも当の公理系に固有の本性に従って——先の引用中の表現を借りれば、当の「公理系において特殊に特徴的なもの」に即して——考えて行こう、とフッサールは言っているのである。

ところで、ここで注意すべきは、新しく付け加えることを「完結公理」が禁ずるものについて、ヒルベルトは〈客観〉の面から語り、フッサールは〈公理〉の面から語っている、ということである。このことは、——後述することを先取りして言えば——もともと〈拡張〉そのものに関して、ヒルベルトは「モデル」(領域) のレベルで考え、フッサールは領域を規定する〈公理系〉のレベルで考える、ということに由来する。両者が〈拡張〉そのものを考える際のアプローチの違いが、排除すべき「完結公理」を語る際にも、その表現を規定しているのである。

いずれにしても、両者にとって、人為的に拡張を終わらせるような「外的」な完結ではなく、公理系に内在する本性に従って、領域ないし公理系の拡張が不可能になる、そういう「内的」な完結の場面こそが、問題なのである。

## 5. フッサールの「拡張」理論

フッサールの確定性とヒルベルトの完全性とを比較するのに先立って、ここで我々は、フッサールの「拡張」に関する考え方を、それ自体として見ておこう。

### 5.1. 「想像的なるもの」

「想像的なるもの」という概念は、フッサールの「多様体」理論を導いた概念である。或る一定の数領域において、そこでの数概念によっては把握し得ない数が、数学における「想像的なるもの」である。その端的なものは「虚数」だが、フッサールの探求の構えからすれば、それは領域ごとに現われる。フッサールは、次の引用に見る通り、この概念を広く採っている。

当然ながら私はここで、“想像的”という表題を、可能な限り広く扱っている。これに従えば、負数も、実に分数・無理数やこれらに類するものさえも、想像的な数として妥当する。<sup>(13)</sup>

この「想像的なるもの」にフッサールが何故にこだわるのか、その問題意識がよく分かる記述を見よう。

諸客観の或る領域——そこにおいては、〈或る一定の公理系Aの内であり表わされる、結合と関係の諸形式〉が、諸客観の特殊な本性によって規定されている、そういう一つの領域——が、与えられているとする。この体系に基づいて、従って諸客観の特殊な本性に基づいて、一定の結合諸形式は、如何なる実在的な意味をも有たない。言い換えると、反意味的な結合諸形式が、存在する。<sup>(14)</sup>

我々は、最も単純な場面で考えよう。例えば〈自然数を定義し、四則演算と相等・大小の諸公理を含む、極く普通の公理系〉において、方程式  $a + x = c$  や  $c - a$  という操作は、 $a > c$  の場合には、意味を有たない。引用の内では、ことがらが結合形式の面から語られているが、それは、結合の所産という面から見られてもよい。 $c - a$  という形式は、操作そのものをも、また操作によって形成されるべき一つの「数」をも、ともに意味する。この「数」こそ、拡張された公理系の中で負数が定義される以前には、まさに、「想像的なるもの」なのである。

これに続く記述を見よう。

如何なる権利を以つて、反意味的なものが、計算の上で処理されて構わないのか？ それ故また、如何なる権利を以つて、反意味的なものが、演繹的な思惟の中で、あたかも「[意味なもの]」調和するものであるかの如くに、用立てられ得るのか？ 〈反意味的なものを以つて、規則に従って操作され得る〉ということ、また〈諸々の命題の内から反意味的なものが現われ出てきた場合に、得られていたそれら諸命題が正当なものである〉ということ、これらのことは、如何にして説明され得るのか？<sup>(15)</sup>

先の例を続ければ、拡張された整数の公理系の内では、負数の定義とともに、操作（演算）に付随する「操作法則」が、自然数  $a, b$  を基に、 $(-a) + (-b) = -(a + b)$ ,  $(-a) \times (-b) = a \times b$  等々として、付加されるだろう。そうすると、以前には「想像的なるもの」であった負数は、通常四則演算に従うようになり、しかも、それら演算は、以前の自然数のための諸操作と同じものである。

このようなことは、既に我々が慣れ切ってしまったことである。しかし、その際には、不条理なはずのものが、それを不条理として排斥した際に働いていた当の思考形式の内、あたかも条理に適用のものとして、通用するものとなる。まさにこのような事態こそが、その際に機能しているに違いない思考の概念的転換とともに、フッサールの関心事なのである。

### 5.2. 「拡張」の過程

フッサールは、この「想像的なるもの」を「通つて」、領域を拡張して行く。拡張を導く思考の筋道を、フッサールは、「想像的なるものを通る通路」(der Durchgang durch das Imaginare)<sup>(16)</sup>と名付ける。そして実は、拡張とは、「想像的なるもの」が、その幻影性を失い、現実性を獲得して行く、そういう一連の過程なのである。

公理系の拡張とは、領域の拡張に応じて新しい〈演算〉を付加する、というのではない。算術の公理系は、加減乗除の「結合」ないし「操作」そのものを表現する諸公理と、相等・大小の「関係」を表現する諸公理とを、初めから有っている。「想像的なるもの」は、このこと一般性と、領域を規定する数概念の限定性から、生じてくるのである。だから、公理系の拡張は、新しい客観を規定する「存在命題」と、操作を詳細に規定する「操作法則」とに、関わっている。



このことを前提した上で、自然数から整数ないし有理数への拡張の過程を、辿ってみよう。

フッサールには、特に 'Anzahl' という語を、'Zahl (数)' という語から 区別して用いることが、時として在る。この語によって〈自然数〉を意味させるのは、彼による用法の一つである。ここでは、この語を、仮に「数え数」と訳しておこう。

$3 + x = 5$  は、〈数え数〉によっては解を有し得ない。自然数の領域と公理系にとって、〈負数〉は「想像的なもの」である。負数を定義し、領域を〈整数〉へと拡張するとき、同時に、「数」の概念そのものが変質する。それは、「いくつ？」に答える語ではなくなる。

このことを先鋭化して、フッサールは、次のようにさえ記す。

我々が〈数え数〉ということで「いくつ？」という問いへの答えを理解するならば、諸数の系列は、〈「いくつ？」という概念の圏域の内において可能な、諸々の特殊なもの〉の完結した多様体である。……しかし、或る一定の操作諸結果は、「いくつ？」の概念に矛盾し、もし私がこれを定義すれば、私はまさに矛盾する諸数を定義したことになる。……しかしそれでもやはり私が定義するのであれば、私は不条理な諸概念を定義するのであり、またもし、これら不条理な諸概念が計算の上で許容されるべきであり、それらの不条理さにも拘わらず、それらを以つて思惟の内て操作するということが許容されるべきである、というのであれば、そのような諸操作の権利が、証示されなければならない。<sup>(17)</sup>

〈整数〉——さし当たって、〈正〉に限ってもよい——の領域にとって、分数は「想像的なもの」である。〈有理数〉領域への拡張とともに、数概念は、〈分割し得る量〉へと、変質を被る。

…… 諸々の分数が 実在的な意味を得るのは、〈数え数概念を保持したまま、分割し得るものとして諸単位を前提する〉ということによってではなく、〈数え数の領域をおよそ離れて、一つの新しい概念すなわち《分割し得る量》という概念を根底に置く〉ということによってである……<sup>(18)</sup>

拡張が諸々の領域を経て為されるにしても、このように、個々の領域が各々に個性を有しているということを、フッサールは強調する。「拡張」は、単に領

域が量的に広がるというだけではない。また、単に新しい公理が併置されるというのでもない。拡張は、その段階ごとに、「数」について概念的な区別を生ぜしめるのである。

〈実数〉への領域の拡張においても、事情は同様である。 $x \cdot x = 2$  を満足する数——〈無理数〉——は、有理数領域にとって「想像的なもの」である。

もつとも、無理数を含んだ実数一般に関するフッサールの態度は、或る意味で二義的である。彼は、無限個のもの「総体」を扱った論文草稿（「総体の理説について」<sup>(19)</sup>）において、カントールの集合論に関わっている。フッサールは、数の〈構成〉の仕方という観点においてのみカントールを評価していた、と見られるフシが在る。全ての有理数を構成する仕方は知られても、全ての無理数を——従って全ての実数を——構成する仕方を、我々は知らない。構成の仕方を部分的にしか知らない数の〈概念〉を、ポジティブに規定することが、はたしてできるだろうか？この意味では、実数領域の扱いには、それ以前の領域の扱いとの間に、フッサールは何らかの差異を置くはずである。この限りでは、直観主義に通づるものを、彼は有っている。しかし他面、多様体論においては、公理系が含む操作・関係の諸対象・諸項に関して、有理数領域と実数領域との間に、彼は何らの差異をも置いていないように見える。この問題圏域についての詳細は、筆者に能力と機会が在る限りで、別稿に譲るしかない。

さて、〈複素数〉への領域の拡張が、考察されるべく次に控えている。本『紀要』前号で示唆したように、この拡張をめぐるヒルベルトとフッサールとの関係は、一つの問題である。しかし、我々は、まず実数までのレベルで考察を進めよう。算術の公理系において実数モデルを最大とするヒルベルトの考え方が、我々の考察に一つの枠を与えるのだから。

## 6. フッサールとヒルベルトとの比較 —— 両者の「拡張」理論 ——

さて、いよいよ我々は、フッサールとヒルベルトとの考え方の相違する点を見て行こう。

フッサールの『草稿』の内には、フッサール自身がヒルベルトの名そのものを挙げて彼に言及している箇所が、いくつかに在る。フッサールとヒルベルトとの

関係に関する我々の検討は、それらから出発するべきであろう。

### 6.1. ヒルベルトの考え方

ヒルベルトの考え方に関する先のフッサールの覚え書きには、実は、「拡張」を巡るもつと本質的な記述が在る。

1) 或る公理系は、当の公理系が自ら支配する思惟諸客観を次のような仕方で規定する場合、完結されている(abgeschlossen) (私は、残念ながら、ヒルベルトの表現について、これ以上は憶えていない)。それは、——— 如何なる新しい(新しい種類の)客観も、〈この公理系が、いまや、その拡張された領域をも支配する(のに、矛盾が生じることなく、そうする)〉という具合には、補い加えられ得ない。——— という仕方で、である。<sup>(20)</sup>

ここで、ヒルベルトによって、「完結」——すなわち「完全性」——は公理系に関して言われ、「付加し得ない」という性質は「客観」に関して言われている、ということに注意しなければならない。

先の引用に在った算術の公理系に即して具体的に言えば、こうなる。——— アルキメデスの公理を含んだ算術の公理系にとって、例えば有理数モデルは、実数モデルへと拡張され得る。しかし実数モデルは「最大のモデル」であり、これを越えてモデルを拡張することはできない。ヒルベルト独自の「完全性の公理」が算術の公理系に付加されたもとのことこそ、〈実数モデルが、「完全性の公理」を満たす〉ということに他ならない。それはまた、〈算術の公理系が、実数領域を支配する公理系として、完全である〉というのと、同じことを意味する。

### 6.2. フッサール自身による比較

『草稿』の内には、フッサール自身が、自分とヒルベルトとを比較して、各々の「完全性」の性格を或る程度立ち入って規定している、極めて重要な箇所が、いくつか在る。

#### 6.2.1. 「本質的」と「本質外的」

まず、フッサールが、「本質的」という語と「本質外的」という語とを使って、ヒルベルトと自分とを対比している、大いに興味の惹かれる箇所を見よう。

……… 我々は今や容易に、ヒルベルト氏の意味における「完全な公理系」へと到る。これまでの意味における公理系を、私は「確定的」と呼んできた。私はそれを今度は、「本質外的(außerwesentlich)に完全な[公理系]」と呼ぼう。ヒルベルト的な意味における「完全な」に対する区別において、そうしよう。そして、こちらを私は、「本質的(wesentlich)に完全な[公理系]」と呼ぼう。この後者の概念は、——— 私は自分の目的のために「本質外的」ということによつて全てを導いてきたのだから、——— 私にとって隠されたままである。<sup>(21)</sup>

フッサールは、ヒルベルトの「完全」性を「本質的」と呼び、却つて自分の「確定」性を「本質外的」と呼ぶ。我々が、この「本質外的」ということで、フッサールの考える完全性を何か価値的に劣るようなものとして考えたとすれば、それは全くの見当外れである。

この引用の少し前を見よう。

……… いまや、二つの場合が可能である。一方では、〈確かに可能的な諸々の操作-被形成者は未だ開かれたままであるが、しかし他面、我々が定義した範囲では当の公理系は確定的である〉というふうに、まさにこういう具合に、我々が、或る一連の確立されたものを有つ、という場合。或いは他方では、如何なる操作-諸所産も——— 注意すれば、〈普遍的な諸原則および既に定義された特殊な諸原則と調和・両立する 可能的な 如何なる操作-諸所産も〉ということであり、従つてまた〈当の公理系の全体が同一的に保持されたもとの、その領域の全体にとつて〉ということである——— もはや開かれたままではない、という場合。こちら[後の方のもの]が、絶対的な 或いは〈本質的に完全な〉諸公理系の場合である。<sup>(22)</sup>

前者がフッサールのものである。例えば、負数を定義し終えた公理系において、操作の結果は、それが整数である限りで有意味である。しかし、この公理系において意味を有し得ないもの(例えば分数)は、未だ現われ得る。フッサールの考えている完全性は、あくまでも「我々が定義した範囲で」のみ確定的であるということなのである。

後者がヒルベルトのものである。言わば、最大に採られた公理系のもとの、操作結果の全てについて、それらが有意味であり妥当する、ということである。なお、この完全性についてフッサールが「絶対的」という語をも用いていることに、注意されたい。

この後者を、少し後でフッサールは、こう言い換えている。

それ故また、或る本質的に完全な操作体系とは、次のようなものである。すなわち、その操作体系が一般に根底に置くところの、関係と結合の諸形式に関して、如何なる可能性をも開かれたままにしておかない、そういう操作体系である。言い換えると、このような操作体系は、普遍のおよび特殊な諸法則によって、次のように定義されている。すなわち、あらゆる形式的におよそ可能な設定が既に言い当てられている、という具合にであり、或いは、より良くは、気ままな如何なる形式的設定も、操作による何らかの諸々の被形成者に関して、これまでの諸公理を傷つける（それら諸公理の、現実存在する領域全体への、一般的適用可能性において）こと無しには、もはや言い当てられ得ない、という具合にである。<sup>(23)</sup>

ここでフッサールは、「本質的に完全な」公理系の属性を、〈関係・結合が具体化される際の在り得る全ての場合について、当の公理系が、その詳細を余すところ無く予め規定している〉こと、という面から規定しているのである。

さて、フッサールが自らの「確定」性を「本質外的に完全」と呼ぶ際のその意味は、〈操作によって形成された結果が有意味であり公理系の内で妥当するのは、あくまでも「我々の定義した範囲で」である〉ということである、ということが分かった。この意味を、もう少し明確にして行こう。

### 6.2.2. 「絶対的」と「相対的」

フッサールは、別の箇所では、「相対的」ないし「制限されて」ということと、「絶対的」——この語は、先の引用中にも用いられていた——ということとで、自分とヒルベルトを対比している。

1) 公理系は、それによって意味を有する何れの命題も、その領域への制限の内決定されているという場合には、〈相対的に確定的〉である。公理系は、それによって意味を有する何れの命題も およそ一般に 決定されている、という場合には、〈絶対的に確定的〉である。

従って、〈絶対的に確定的な〉とは、ヒルベルト的な意味における〈完全な〉に等しい。<sup>(24)</sup>

「相対的」と「絶対的」との相違は、公理系が「領域」に言わば縛られているか否か、ということに関わる。ここでは、そのことが「決定可能」の面から語られている。

「相対的」に確定的という規定が、フッサール自身が考えている完全性の規定である。それは、一定の「領域への制限」が付されているという限りで、「相対的」なのである。

他方、ヒルベルトのものである「絶対的」に確定的とは、当の公理系の本性に従って「およそ一般に」決定可能という意味である。

これに続く記述は、「絶対的」ということを更に解説したものである。

2) ただ、当の領域の諸対象に対して、(既に与えられた諸公理を通して意味を受け取る) 如何なる公理も付け加えられ得ない、というだけではなくて、およそ一般に、如何なる公理も付け加えられ得ない、という場合[である]。<sup>(25)</sup>

ここでは、同じことが「拡張不可能」の面から語られているのである。

この相違を、フッサールは、これら二つの引用の少し後で、次のようにも言い換えている。

以上から、何れの公理系も、それは如何なる可能的な操作結果をも開かれたままにしておかないが、このことが、その諸定義の指標に従ってである、という場合には、〈制限されて完全(beschränkt komplett)〉であると言われる。公理系はまた、それが、およそ一般に如何なる可能的な操作結果も開かれたままではないという程度に広く定義を張り渡す、という場合には、〈絶対的に完全(absolut komplett)〉であると言われる。<sup>(26)</sup>

フッサールの完全性概念 —— 「制限されて完全」 —— に関しては、「諸定義の指標に従って」という条件が付せられている。この表現は、先に「本質外的完全性に関して言われていた「我々が定義した範囲内で」という表現に、呼応している。そして、この「定義」とは、公理系が一定の〈領域〉を画定することによって他ならないのである。

これに対して「絶対的に完全」な公理系は、初めから全ゆる領域を覆うほどに「広く定義を張り渡す」公理系である、ということになる。

さて、ここで我々には、フッサールに固有の「本質外的」という奇妙な言葉に修飾された「完全性」の意

味が分かる。それは、一定の領域に関わるという意味で「相対的」であり、その限りで一定の領域に「制限されて」いる、そういう「完全性」なのである。

### 6.3. 両者の連関

「完全性」についての二人の概念は、対比されるだけで、それらの内的連関は存在しない、ということになるのだろうか？ 仮にそうだとすれば、先の S.バシュラールの主張が、必ずしも彼女の言う意味と同じではないせよ、基本的には妥当する、ということになるだろう。しかし、両概念の緊密な連関を示す、短いが極めて注目すべき次の記述が在る。

さてそこで、本質的に完全な諸公理系——また、本質的に閉じられた[完結した](geschlossen)操作諸体系というふうにも、我々は言えるであろうか——が最も大きい領域を形成し、その内部で、最初の公理系が保持されつつも、本質外的な[諸公理]の拡張が、運動し得ることになる。<sup>(27)</sup>

「拡張」に関するヒルベルトとフッサールとの具体的な活きた関係が、フッサール自身によって、ここに明きらかにされている。フッサールの拡張理論は、言わば、ヒルベルト的な思考方法で限界付けられた枠の中で機能するのである。

ヒルベルトは、公理系を初めから最大に採る。いま我々の関心である算術に話を限れば、具体的には、実数領域を支配するものとして設定された公理系——アルキメデスの公理を含む——である。フッサールの考える「領域」は、ヒルベルトでは「モデル」として処理される。「拡張」や「拡張不可能」は、公理系のそれらではなく、「モデル」のそれらである。

フッサールは、ヒルベルトが「モデル」を以って考えたレベルにも、公理系を持ち込む。ヒルベルトにとって「モデル」だったもの——領域——は、フッサールにとっては、その各々が、各々に個性を有った数概念とともに、固有の公理系によって規定されているのである。フッサールは、恒に〈領域—公理系〉のセットで考える。拡張についても同様である。「拡張」や「拡張不可能」は、彼に固有の「相対的」な意味では、一定の領域を定義している当の公理系のそれらである。

要するに、ヒルベルトにとっての「モデル」の拡張は、フッサールにとって、領域の拡張に伴った〈公理系〉の拡張なのである。

このように、フッサールは、「相対的完全性」を通して為される自らの方法による公理系の拡張を、ヒルベルト的な完全性の内に、すなわち「絶対的完全性」の内に、はっきりと位置付けている。これだけを見ても、バシュラールのような解釈の方向を我々が採るべきでないことは、明らかであろう。

さらにまた、「近い関係にある」ないし「本質において同じ方向を進んでいた」というフッサールの言明は、もっと別の場面においても、重要な意味を有っている。

ヒルベルトにおいても、完全性公理を導入するのは、最大のモデル以外のモデルを排除するためである。算術の公理系は、実数領域を、言わば初めから狙っている。実際、実数を限定する公理系の中で、ヒルベルトの「完全性」とフッサールの「確定性」とは、一致した〈領域〉を見いだすのである。それどころか、ヒルベルトの算術の〈公理系〉は、それが一定の領域を規定するという意味でも、またそれが拡張し得ないという意味でも、フッサールの「確定的多様体」と、本質的に同じものなのである。

更に、ヒルベルトの「完全性公理」は、本質的には領域拡張の限界を指し示すものに他ならないから、その概念的な内容からすれば、フッサールの拡張理論にとっても必要なものである。〈拡張の止むところ〉——それは、フッサールの表現を用いれば、「最も低いスペチェス」に達したところ、である。——は、フッサールにも存在しなければならないのである。

このことが実際に意味を有ってくるのは、実数を越えて領域を〈複素数〉へと拡張する、という場面においてである。公理系が、そこではもはや拡張し得ないというのであれば、それは「変更」されなければならない。それが〈拡張〉され得るというのであれば、こんどは、複素数領域を規定する公理系が、「絶対的」な意味で〈拡張不可能〉な公理系であるのか否か、ということが問題となってくる。

この問題圏域を考えるためには、公理系の「変様」諸様態を考察すること、またフッサールに固有の「スペチェス」という概念を解明すること、が必要である。これらは、別稿に譲らざるを得ない。

## 7. おわりに

ヒルベルトは数学者である。現代数学の到達した最終段階を前提して数学理論を形成すること、従ってまた、アルキメデスの公理を含めて実数領域を定義する公理系を初めから設定することは、数学者として当然の態度である。

フッサールは哲学者である。数領域拡張の歴史に即して、各々の段階の概念的な意味を探っていくことこそが、彼にとっては、為さなければならないことである。その際、各々の段階に現われる「想像的なもの」に直面したときの思考の転換そのものが、フッサールにとって重要なのであり、更には、それが現実的なものに転化された際に、以前にはそれが「想像的なもの」であった元の思考形式の内でも、あたかも現実的なものであるかの如くに、それが通用することになる、そのことの意味が、フッサールにとっては重要なのである。

ヒルベルトの「完全性公理」は、理論全体の内部に占めるその〈資格〉からすれば、もともとはモデルに対する評価として〈メタ〉に属する言明を、公理系の内へ言わば埋め込んだものである。これに対してフッサールは、〈メタ〉を〈メタ〉として維持し、拡張を遂行する〈思惟〉の内に、これを確保するのである。更に言えば、このレベルにこそ、〈概念〉が働く場を、或いは、もつと言え、概念〈作用〉——従って、〈意識〉——が機能する場を、フッサールは見いだすのだろう。現象学が存立する場も、まさにここなのである。

(にのみや こうたろう・哲学)

注

1. 渡辺二郎訳『イデーニ I - II』(みすず書房)32頁  
Husserliana, Bd.3, S.168, Anm.1
2. Husserliana, Bd.17, S.100, Z.39-S.101, Z.11

[ ]内は二宮による補充(以下同様)。

なお、山口等訳『形式的論理学と超越論的論理学』(和広出版)124頁-125頁

3. Suzanne BACHELARD, *A Study of Husserl's Formal and Transcendental Logic*, 1968 (*La logique de Husserl: Etudes sur "Logique formelle et logique transcendentale"*, 1957), pp.58-59
4. *ibid.*, pp.62-63
5. *ibid.*, p.59
6. *ibid.*, p.63
7. L.エーライ編集の HUSSERLIANA 第12巻には、『算術の哲学』の後(S.340-S.500)に、出版に至らなかった数理哲学に関する10篇の論文が収められている。これを筆者は、本『紀要』前々号から『数理哲学草稿』(『草稿』と略)と呼び、考察の対象としている。
8. Husserliana, Bd.12, S.445, Z.7-Z.13
9. *ibid.*, Z.14-Z.19
10. *ibid.*, S.442, Z.4-Z.11
11. *ibid.*, Z.12-Z.17
12. *ibid.*, Z.17-Z.21
13. *ibid.*, S.432, Z.38-S.433, Z.1
14. *ibid.*, S.433, Z.11-Z.17
15. *ibid.*, Z.17-Z.22
16. *ibid.*, S.440, Z.6 & S.443, Z.35
17. *ibid.*, S.434, Z.30-S.435, Z.9
18. *ibid.*, S.436, Z.21-Z.26
19. *ibid.*, S.385-S.407
20. *ibid.*, S.445, Z.1-6
21. *ibid.*, S.455, Z.30-Z.37
22. *ibid.*, S.454, Z.33-S.455, Z.4
23. *ibid.*, S.455, Z.9-Z.18
24. *ibid.*, S.440, Z.9-Z.13
25. *ibid.*, Z.14-17
26. *ibid.*, S.444, Z.28-32
27. *ibid.*, S.455, Z.4-Z.8

Husserl's Philosophy of Mathematics (3)

—— Inextensibility : comparing with Hilbert ——

Kohtaroh NINOMIYA \*

Husserl declares in "Ideen" and "FTL" the relation of the 'definiteness' with Hilbert's 'axiom of completeness'. This treatise investigates the meaning of this

relation. Husserl calls Hilbert's completeness 'the absolute' and his own 'the relative'. He says that the latter moves in the former. What does it mean ?

Key words : axiom-system, extension, definite multiplicity, Hilbert, model, phenomenology

\* Common Subject Division

---

# 環境税の理論と国際的動向

菅野 光公\*

## Environmental Tax –The Theory and The International Trend

Koko KANNO

(原稿受付日 平成12年 4月28日 論文受理日 平成12年 8月31日)

### Abstract

Global warming issue is one of the biggest problems in the 21st century. Reducing the emission of the green house gases (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC, SF<sub>6</sub>) is the most important policy for the developed countries that should take non regret policy. The 38 countries (so called Annex I countries) have agreed that the total reduction of the GHGs in the average between 2008 to 2012 should be -5.2% comparing 1990 at the COP3 in Kyoto in 1997. Among the GHGs, CO<sub>2</sub> has 55% contribution in the world toward the global warming, so the reduction of CO<sub>2</sub> is the first priority for each country. In this paper I reviewed previous study and have created a new theory which is "the International Environmental Tax" in the chapter 5. After researching the trend of the Environmental Tax Policy in the world, I have proposed the new Environmental Tax Policy to reduce CO<sub>2</sub> and to protect the global warming.

Keywords : Environmental Tax, Global warming, Energy supply and demand,  
Renewable Energy, Sustainable development

---

### 1.はじめに

本論文は、学位論文として提出予定の「地球温暖化防止に向けた日本のエネルギー政策転換と環境税導入の研究」の後半部分を構成するもので、前半部分は2001年3月までに、学会誌に

投稿する予定である。

#### 1.1 COP3以後

1997年12月の「気候変動に関する国際連合枠組条約・第3回締約国会議(COP3)」において、締約国全体としては2008年から

---

\*1 国際交流室

2012年までの5年間を平均して、1990年比5.2%の地球温暖化ガス(CO<sub>2</sub>,CH<sub>4</sub>,N<sub>2</sub>O,HFC,PFC,SF<sub>6</sub>)を排出削減する目標が合意された(京都議定書)。この議定書は参加158か国のうち、55か国が議定書を批准(議定書を正式に締結)し、かつ附属書I締約国(38か国、表3参照)のCO<sub>2</sub>排出量合計のうち55%以上を占める(1990年ベース)国々が、議定書を正式に締結した日から90日後に効力を生ずるものと定められた。京都議定書が制定されてから2年半余り経過したが、今日(2000年8月)、まだ同議定書は発効しておらず、国際的な法的拘束力を持つものとはなっていない。

いっぽう、地球温暖化ガスの中で、最も温暖化寄与度の高い二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の排出動向を見ると、1996年度のCO<sub>2</sub>排出量世界合計が、1990年と比較して6.8%増加<sup>(1)</sup>している。日本の場合、1998年度のCO<sub>2</sub>排出量は1990年度比+5.4%である。98年度は経済活動が停滞したため、この程度の伸びであったが、96年度には+9.5%(90年度比)を示した(表1)。

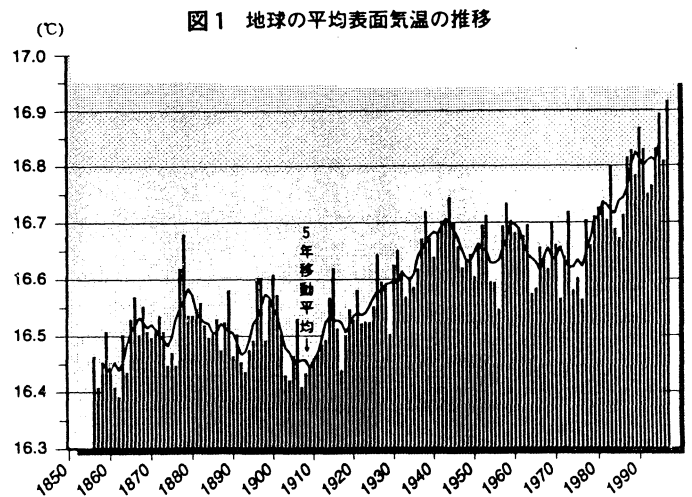
京都議定書の発効の遅れも一因となって、わが国における地球温暖化ガス排出削減のための抜本的な政策は、いまだに打ち出されておらず、このままでは地球温暖化は進むばかりと予想される。2010年頃までに間に合う具体策のひとつとして、環境税が提唱され、わが国でも議論が始まっているが、そこに一石を投じるために、本研究において独自の21世紀型国際環境税を提案する。あわせて、日本が地球環境問題解決のために世界に貢献し、国際世論をリードするための方策についても考察する。

## 1.2 地球温暖化の原因と結果に関する一考察

2000年3月24日、時事通信社の配信によれば、「アメリカの首都ワシントンの春を彩る桜の開花が、1970年頃に比べて一週間以上早まって来ており、この現象についてスミソニアン研究所が、CO<sub>2</sub>排出量の増加による地球温暖化が原因、と警告する報告書を公表した」ということだ。

19世紀から20世紀にかけて、地球の温暖化は年ごとに進行してきており、地表平均気温を見ると1990年代は、20世紀初頭より0.4度、70年代と比べても0.2度上昇している(図1)。こうした地球温暖化現象によって、気候変動や海面上昇が引き起こされ、地球環境に重大な変化が生じつつある。

地球温暖化の主因である大気中のCO<sub>2</sub>濃度変化は、19世紀初頭までの約1000年間ほぼ280ppmであったものが、以後上昇に転じ今日では360ppmに達している(図2)。



(出所) National Oceanic and Atmospheric Administration

表1 日本のエネルギー起源二酸化炭素排出量推移

年度	90	92	93	94	95	96	97	98	98/90
エネルギー起源CO <sub>2</sub> (対前年度比)	287.2	296.0 (1.2)	290.3 (▲1.9)	309.1 (6.5)	310.5 (0.4)	314.6 (1.3)	313.8 (▲0.2)	302.7 (▲3.5)	(5.4)
一人当たりCO <sub>2</sub>	2.32	2.38	2.33	2.47	2.47	2.50	2.49	2.39	(3.0)
(参考)人口(万人)	12,361	12,445	12,476	12,503	12,557	12,586	12,617	12,649	(2.3)

(注1) 排出総量の単位は「炭素換算百万トン」、一人当たり排出量の単位は「炭素換算トン」、( )内は対前年度比増減(%)  
(注2) 人口は、総務庁統計局による各年度10月1日現在の値。

(出所) 資源エネルギー庁



気温上昇も、CO<sub>2</sub>濃度上昇も、地球物理学者達が指摘する通り、いくつかの要因が複合したものであるが、人間活動、それもイギリスにおける産業革命以降の、先発工業化国の産業・経済活動によるCO<sub>2</sub>排出が大気中のCO<sub>2</sub>濃度上昇をもたらし、それが原因となって地球温暖化を引き起こしたとする考え方は、定説として信頼できる。

小宮山宏は「CO<sub>2</sub>などの温室効果は事実であり、その結果として温暖化は確実である。たしかに定量性にかんする不確実性はあるが、温暖化に科学的根拠はある。一方、温暖化を否定する科学的根拠はない。」<sup>(2)</sup>としている。

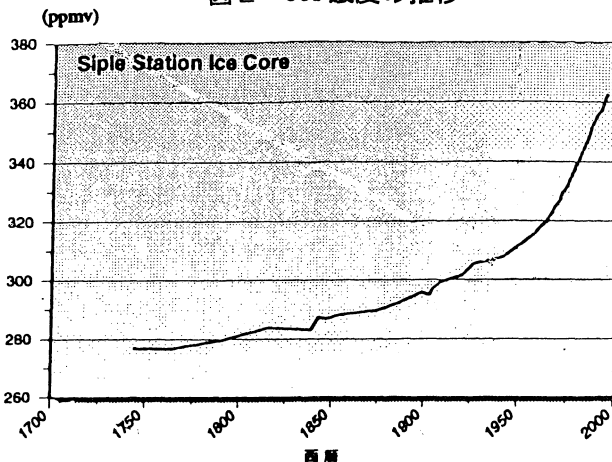
これに反して植田敦は「多くの研究者は、大気中のCO<sub>2</sub>濃度の増大が気温を上昇させるという。しかし、事実は逆である。(中略)大気中のCO<sub>2</sub>濃度の増加で温暖化するのではなく、気温(海面温度)の上昇でCO<sub>2</sub>濃度が増えるというべきである。」<sup>(3)</sup>と主張している。植田の論に従えば、気温上昇が原因でCO<sub>2</sub>濃度増加は結果だということになるが、この論理展開では、今から5000年前の地球が完新世の最高温度を記録していたにもかかわらず、CO<sub>2</sub>濃度が280ppm程度であったことが説明できない。(図3・図4)

近代資本主義生産方式は、市場における競争に勝利するために、生産コストの引き下げが至上命題となり、これは大量生産によって達成されて来た。大量生産は必然的に過剰生産をうみ、市場の暴力によって恐慌の洗礼を受けながらも、あくなき需要拡大(大量消費)努力と大量廃棄によって、生き永らえて来た。人間の生産・消費・廃棄活動が、地球の許容量範囲内に収まっていた間は、こうした諸矛盾(無理)は経済循環や戦争(不生産的浪費)などのメカニズムによって吸収されて来たかに見える。けれども、地球の限界をこえて許容量オーバーが明確な形で人類につきつけられた問題こそが、CO<sub>2</sub>など地球温暖化ガスの増大による、地球温暖化危機である。人類が経済活動によって引き起こした温暖化という環境悪化は、人類の手によって解決されなければならない。20世紀の一時期、命脈を保っていた社会主義体制も、地球温暖化の元凶としては、資本主義体制と同罪である。

人間活動によってもたらされた、地球のバランスを崩すような温暖化ガス排出は、人間自身が元にもどすべきで、そうしてこそ未来に責任を持つ環境倫理的態度であろう。そのための省エネルギー努力や、

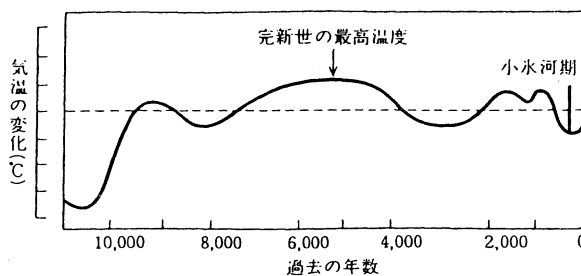
新エネルギー開発は万人の利益につながるものであり時代の如何にかかわらず有益である。にもかかわらず、植田のごとく「無意味な温暖化対策」<sup>(4)</sup>として、CO<sub>2</sub>排出削減努力を冷笑するかのような態度は慎しむべきである。

図2 CO<sub>2</sub>濃度の推移



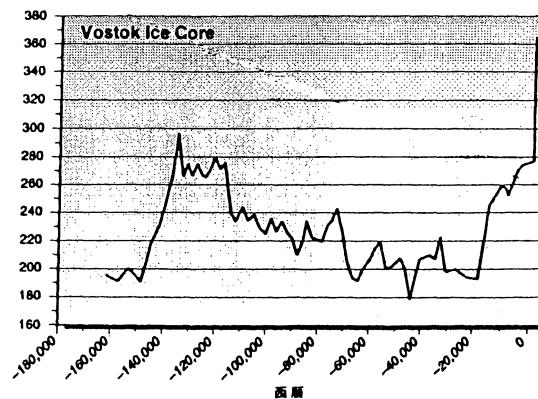
(出所) Physics Institute, University of Bern

図3 10000年前までの平均気温



(出所) Houghton et al. (1990) p. 202.

図4 CO<sub>2</sub>濃度の推移



(出所) Laboratoire de Glaciologie et de Geophysique de l'Environnement

## 2. 環境税の理論

### 2.1 国際公共財と国際環境税

大気は国際公共財である。大気中に含まれるCO<sub>2</sub>も、それが地球に適度な温室効果をもたらす濃度で安定している限りにおいて、国際公共財といえる。この適切な濃度をここでは、経験値に基づいて280ppmとして論を進める。大気中にCO<sub>2</sub>等の温室効果ガスがもし存在しなければ、15℃の現在の地表平均気温が、氷点下18℃となる。つまり、CO<sub>2</sub>等の温室効果<sup>(5)</sup>(プラス33℃)のおかげで、地球環境が形成されてきたのであり、280ppm程度のCO<sub>2</sub>は人類にとって必要なものだが、問題はそれを超えるCO<sub>2</sub>濃度である。

過剰なCO<sub>2</sub>は国際的大気汚染物質といえる。この汚染物質を国際協力によって除去し、そのためのコスト負担を公平な国際的ルールによって分担する合意が得られれば、地球温暖化問題解決の展望は開ける。しかしながら現実には、280ppm以上のCO<sub>2</sub>は国際的大気汚染物質だとする国際的合意も不十分で、過剰なCO<sub>2</sub>を除去する国際ルールも無い。国際公共財の汚染は、例えば国際環境税のようなシステムで除去し、防止する事が望ましい。けれども、世界の実情は、課税を国家の主権としていることから、本論文においてはひとまず問題を一国の国内税制に限定して考察して行く。環境税に関する議論は、当面国内税制の範疇に限定して行わざるを得ないが、問題がグローバルである以上、21世紀には国際的な税制をも視野に入れて検討していく必要がある。

### 2.2 応害原則

租税原則には、これまでの所、税を納める能力に応じて課税する応能原則と、公共財や公的サービスから受ける便益に応じて課税する応益原則とがあるとされて来た。応能税の代表例は所得税で、応益税のそれには自動車税やガソリン税がある。現在北欧諸国などで実施されている環境税(炭素税)は主として化石燃料に課税されているものであり、化石燃料中に含まれる炭素が燃焼してCO<sub>2</sub>となり、大気に放出されることに課税するものである。これはPPP(汚染者負担原則: Polluter Pays Principle)の考え方に基づくもので、環境への加害度に応じて課税されているが、筆者は、この「加害行為」を明示するために、PPPに基づく課税原則については**応害原則**という新たな呼称を用いることを提唱したい(表2)。

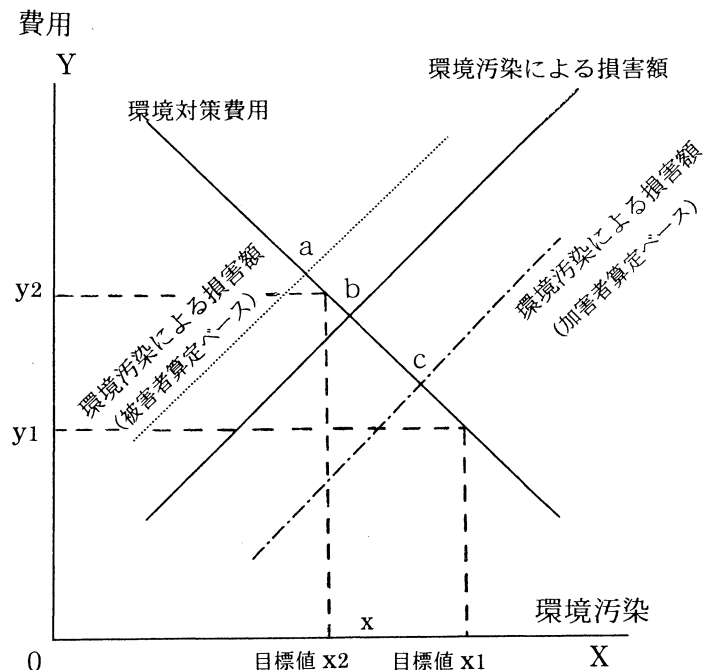
表2 租税原則

租税原則	考え方	代表例
応能原則	累進的負担	所得税
応益原則	受益者負担	ガソリン税
応害原則	汚染者負担 (加害者負担)	炭素税

### 2.3 環境税の基本理念としてのピグー的課税

前述した応害原則による、汚染者負担を税金として課すものが、ピグー的課税である。環境汚染物質の排出量に応じて、租税を課すことにより、生産者コストが上昇し製品価格が高くなる。消費者は価格高騰をきらって消費を抑制するから需要減少→生産量減少→汚染物質排出量減少という図式が期待できる。他方、生産量の減少をきらう生産者は、租税よりも安いコストで達成可能な公害対策を工夫し導入するから、ピグー的課税には環境対象投資促進へのインセンティブ効果がある。このことから、ピグー的課税には間接的規制効果があると言える。問題はピグー的課税額を具体的に決定するための定量化作業である。作業をするとしても、環境汚染問題の場合、被害者と加害者とでその「環境汚染損害額」の認定に差が生じる(図5. aとc)。

図5 環境汚染費用と環境対策費用の相関関係



因果関係が明らかで地域限定型の公害病の場合、第三者の裁定によって妥協点（図 5.b）を見出すことも可能かもしれないが、地球温暖化問題におけるCO<sub>2</sub>排出の具体的損害額算定作業を想定すると、この計算は不可能だといわざるを得ない。<sup>(6) (7)</sup>

そこで、b点を仮定する手法、言い換えるとある環境基準目標値（図 5. x）を設定して、この目標実現のため環境対策費用を算出する手法が実現性の高いものとして考案された。

2.4 ポーモル・オーツ税

環境税理論としてのポーモル・オーツ税理論は、目標管理型試行錯誤方式ということが出来る。先ず、科学的知見に基づき環境政策当局が、ある環境基準（図 5.x<sub>1</sub>）を設定する。この基準（目標値）を達成するための費用（図 5.y<sub>1</sub>）の近似値を想定して、そこから税額を算出する。課税を実施しながら環境基準の達成度を測定し、その達成状況に応じて、税額を上げ下げしながら最適課税レベルを見つけ出すとするもので、試行錯誤方式と呼ばれる所以はここにある。環境基準 x<sub>1</sub> が現実のものとなってみて、なお環境改善が必要と市民や政策当局が判断すれば、目標を x<sub>2</sub> へと引き上げれば良いのである。京都議定書で合意された各国の地球温暖ガス削減目標<sup>(8)</sup>（表 3）はポーモル・オーツ税導入にあたって、第一段階としての目標値とすることが出来るだろう。

表 3 COP3 付属書 I 締約国の地球温暖ガス削減目標<sup>(8)</sup>

削減率#	締 約 国
- 8 %	オーストリア、ベルギー、ブルガリア* チェコ*、デンマーク、エストニア* 欧州共同体、フィンランド、フランス ドイツ、ギリシャ、アイルランド、 イタリア、ラトビア*、リヒテンシュタイン、 リトアニア*、ルクセンブルグ、モナコ、 オランダ、ポルトガル、ルーマニア*、 スロバキア*、スロベニア*、スペイン、 スウェーデン、スイス、イギリス
- 7 %	アメリカ合衆国
- 6 %	日本、カナダ、ポーランド*、ハンガリー*
- 5 %	クロアチア*
0 %	ニュージーランド、ロシア連邦*、ウクライナ*
+ 1 %	ノルウェー
+ 8 %	オーストラリア
+10%	アイスランド

(注) \* : 市場経済への移行の過程にある国

# : プラスは増加を示す

(出所) 平成 10 年版環境白書、環境庁

3. 環境税、その国際的動向

3.1 グッズ減税・バズ課税

アメリカの環境学者ジョナサン・ラッシュェらにより提唱されたグッズ減税・バズ課税の理論によれば、グッズ (goods) に分類されるものには、労働・貯蓄・投資・事業などがあり、バズ(bads)は廃棄物・汚染・騒音などがあげられている。グッズとバズの例として示されているものの範疇にズレがあって分かりにくいので、エネルギー源を例に考察する。

地球環境保全の観点から一次エネルギーを見てみると、グッズには太陽光・太陽熱・風力・波力などがあり、バズには石炭・石油・天然ガス・原子力をあげることが出来る。

石炭・石油・天然ガスなどの化石燃料は、その燃焼にともなってCO<sub>2</sub>が排出されることから、バズとして課税される合理的根拠がある。原子力は地球温暖化防止の切り札<sup>(9)</sup>のごとく主張する向きがあるが、制御不能な事故のリスク、放射能汚染、放射性廃棄物処理問題、軍事転用リスクなどを、地球環境保全の立場から幅広く考察するとバズというべきであろう。

3.2 炭素税の導入

環境税（炭素税）は、1990 年からヨーロッパの 5 か国(フィンランド・デンマーク・オランダ・ノルウェー・スウェーデン)で順次導入された。いずれの国においても、化石燃料の燃焼により発生する CO<sub>2</sub> に課税され「炭素税」または「CO<sub>2</sub>税」と称された。フィンランドが一番早く、1989 年に策定した 1990 年国家予算案に炭素税を盛り込み、1990 年 1 月から実施した。翌月オランダがこれに続き、91 年にはノルウェーとスウェーデン、92 年デンマークと、北欧および周辺の 5 か国が相次いで実施に踏み切った。その後、若干の修正が加えられながら今日に至っている（表 4）。

3.3 炭素税導入 5 か国の実態

3.3.1 課税対象

各国とも、化石燃料を課税対象としているが、LPG など特定の石油製品や天然ガスに対して、炭素税としては非課税としている国もあり、一様ではない。石炭に対しては、すべての国がそろって課税している（表 5）。

表4 先進5か国の炭素税導入史

国名	炭素税導入経緯	
フィンランド	1989.9 1990.1  1994 1997	1990年国家予算案に炭素税導入 世界初の炭素税実施。「燃料税法」を改正して炭素税を導入、化石燃料全般が対象 炭素・エネルギー税に変更 現行炭素税
デンマーク	1986 1992 1993.1 1995~1996	石油価格急落時に、価格低下分に課税 炭素税導入。”Energy 2000”計画の目標達成手段 産業用燃料消費にも炭素税課税 グリーン税制改革により、産業界への課税方法が変更され、しだいに強化
オランダ	1988 1990.2 1992.7  1996	一般環境政策法により「一般燃料課徴金」創設 一般燃料課徴金の税率算定基準にCO <sub>2</sub> 要素を追加して炭素税導入 一般燃料課徴金を「燃料環境税」に変更。この時から税収は用途特定財源ではなく一般財源に繰り入れ 限定型炭素・エネルギー税導入。小規模消費者対象
ノルウェー	1991.1  1992.7	石油・ガスにCO <sub>2</sub> 税導入。従来のエネルギー税に加算。所得税減税をあわせて実施 石炭・コークスの一部にCO <sub>2</sub> 税課税
スウェーデン	1980年代後半 1991.1 1993  1997.7	高い所得税率の引き下げ合意にあわせ、環境税導入を検討 CO <sub>2</sub> 税導入 炭素税体系を見直して税率引き上げ。同時に産業用税率を家庭用の1/4に軽減 産業用税率を家庭用の1/2に変更

(出所) 「環境税」(1997年)東洋経済新報社 環境税研究会著  
「環境税および排出権取引に関する調査」(1997年)日本エネルギー経済研究所  
「環境庁資料」「OECD資料」等から作成

表5 炭素税導入5か国の実施状況

	課税対象	税率	課税目的	税収使途	軽減措置	非課税措置	その他
フィンランド	ガソリン、軽油、重油、石炭、天然ガス、ディーゼル油など化石燃料全般。	炭素税 141Mk/tC →260Mk/tC(6,500円/tC)(1997年から) 電力消費エネルギー 31Mk/MWh	CO <sub>2</sub> 排出量削減のためのインセンティブ効果 グリーン税制改革→所得税減税	基本的に一般財源 グリーン税制改革に伴い、所得税減税財源	(軽減税率) 廃炭-4.2Mk/MWh 天然ガス-0.071Mk/sm <sup>3</sup> (1997年末まで)	石油精製用燃料 発電用燃料 船舶・航空機燃料 (海外運航)	1997年、税制改正が行われた。 電力供給は、原子力20%、水力19%、泥炭8%、残りは化石燃料。
デンマーク	軽油、重油、ディーゼル油、LPG、石炭、残さ燃料など化石燃料全般。 電力消費	通常 100kr/tCO <sub>2</sub> (7,000円/tC) 産業部門における室内暖房 200Dkr →600Dkr (1996年)→(2000年)	CO <sub>2</sub> 排出量削減のためのインセンティブ効果	税収はすべて還元 ①省エネ投資のインセンティブ ②社会保障負担軽減 ③中小企業への補助金	産業部門 重工業→室内暖房の2~4%に軽減 軽工業→室内暖房の15~25%に軽減 行政当局と省エネ協定→さらに低い税率	発電用燃料 原材料としての石油 船舶・航空機燃料 (海外運航) ガソリン、天然ガス バイオ燃料	ガソリン→ガソリン税、天然ガス→天然ガス税、が課税されている。 電力供給は95%が石炭→電力輸出国→電力消費に課税
オランダ	ガソリン、軽油、重油、ディーゼル油、天然ガス、石炭、残さ燃料など化石燃料、およびエネルギー。	課税ベースは炭素とエネルギー50%ずつ 炭素 5.16DGL/tCO <sub>2</sub> (1,250円/tC) エネルギー 0.3906DGL/GJ	CO <sub>2</sub> 排出量削減のためのインセンティブ効果	1992年からすべて一般財源	天然ガスのうち、大量消費されるもの(1,000万m <sup>3</sup> /年)については58%の軽減税率	使用量が一定量未満の残さ燃料は非課税 (1998年末まで) 残さ燃料はエネルギー税分が非課税	1996年小口エネルギー消費者を対象とした「エネルギー規制税」を導入 電力供給は天然ガス50%、石油33%、石炭15%、原子力等2%。
ノルウェー	ガソリン、軽油、重油、ディーゼル油、天然ガス、石炭など化石燃料全般。	燃料毎に設定。 676Nkr/tC(12,800円/tC)~1,350Nkr/tC(25,600円/tC)	CO <sub>2</sub> 排出量削減のためのインセンティブ効果	一般財源	本土の税率は北海油田での税率に比べ50%の軽減税率となる。 バルブ、セメント、魚粉産業は50%の軽減税率。 漁船、船舶(国内)用燃料は軽減税率(実負担はない)。	原料として使用される石炭、石油 石油精製用燃料 船舶・航空機燃料 漁船用燃料(海外運航)	電力供給は95%が水力発電→電力消費は非課税。
スウェーデン	ガソリン、軽油、重油、ディーゼル油、LPG、天然ガス、石炭など化石燃料。	1993年以降毎年上昇 370Skr/tCO <sub>2</sub> (1996) (22,000円/tC)	CO <sub>2</sub> 排出量削減のためのインセンティブ効果	一般財源	産業部門は25%の軽減税率 →1997年から産業部門は2倍となる ただし、自動車、バス、トラックの燃料には軽減税率は適用されない。	製鉄過程で使用される石炭 鉄道機関車用燃料 船舶・航空機用燃料 (海外運航)	電力供給は49%が水力、46%が原子力。

(注) 1. 1 tC(炭素トン)=3.67tCO<sub>2</sub>=ガソリン1,555リットル。

2. Dkr=19円、MK=25円、DGL=66円、Nkr=19円、Skr=16円とする(1997年3月31日現在の換算レート)。

3. 税収使途における一般財源とは、歳入中立やグリーン税制改革の考え方の下で他の税の減税を行っている場合や、環境政策を含め一般的な政策の財源として用いている場合がある。

(出所) 環境庁。

フィンランド	LPG に課税せず
デンマーク	ガolin・天然ガスに課税せず
オランダ	LPG に課税せず
ノルウェー	LPG に課税せず
スウェーデン	化石燃料すべてに課税

### 3.3.2 税率

炭素1トン当たりの税率は、最も低いオランダが1,250円、最も高いデンマークで42,000円<sup>(11)</sup>と国ごとの開きが大きい(表5)。オランダの税率はガolin 1L 当たり1円程度、デンマークのそれを換算すると、暖房用燃料税1L 当たり28円になる<sup>(12)</sup>。

フィンランド	6500円/tc	約4円/golin 1L
デンマーク	42,000円/tc	約28円/golin 1L
オランダ	1250円/tc	約1円/golin 1L
ノルウェー	25,600円/tc	約17円/golin 1L
スウェーデン	22,000円/tc	約15円/golin 1L

### 3.3.3 軽減、非課税

国によって産業部門に対する軽減措置や、石油精製用燃料・発電用燃料・原料炭等に対する非課税措置が設けられている(表5)。

## 3.4 北欧以外の諸国の動向

### 3.4.1 欧州連合(EU)

EUでは、住民の高い環境意識<sup>(13)</sup>や、地域統合推進の流れに乗って早くから域内共通の環境税が検討されてきた。

1992年、EC委員会が「CO<sub>2</sub>・エネルギー税」を提案、これは石油への税率でみると1バレル当たり3ドルから10ドルへと段階的に引き上げていく<sup>(14)</sup>とする内容であった。この案にはイギリスが反対、スペイン等南欧諸国が条件付きを主張したため合意に至らず、1994年にベルギーが修正案を提出した。ベルギー案は同税の導入時期や方法について、EU各国の独自性を認めようというものだったが、政策の独自性を認め過ぎることはEUの理念に反するとの意見のため、ベルギー案も受け入れられなかった。

1995年、欧州委員会は「CO<sub>2</sub>・エネルギー税」の修正案を提出した。2000年における石油1バレル当たり10ドルとする目標税率は変更しないものの、そこに至るまでの途中経過は各国独自に決定してよいという内容であった。ただし、欧州委員会のCO<sub>2</sub>・エネルギー税の原則は税収中立であり、各国は新税による収入に等しい額

を、所得税等で減税せねばならない。つまり、欧州委員会の新税導入に対する考え方は、税収増大ではなく省エネ促進・CO<sub>2</sub>排出削減に向けた社会システム、ライフスタイルの変更を意図したものである。また、このCO<sub>2</sub>・エネルギー税の導入により、1990年CO<sub>2</sub>排出量の4%相当分が排出削減されると試算<sup>(15)</sup>されている。

議論の促進と合意形成のために、オランダで1996年、中核7か国<sup>(16)</sup>会議が開催され、CO<sub>2</sub>・エネルギー税導入に向けた討論が行われた。その結果、先ずEU内エネルギー課税について「エネルギー最低税率」を設定し、以後段階的に引き上げるという案で合意された。

1997年、欧州委員会は「エネルギー最低税率」を発表した。石油税の例では2000年時点で1バレル当たり3ドル程度とするもので、このレベルはガolin税について言えば、英独仏などEU12か国は既に課税済みであった。ギリシャ・ルクセンブルク・スペインの3か国にとっては、現行税率を引き上げることを迫られる最低税率案である。

EUにおける環境税導入に向けた論議は、次のような経過で行われた。

1992年	EC委員会「CO <sub>2</sub> ・エネルギー税」提案→否決
1994年	ベルギー、同上案を修正して提出→否決
1995年	欧州委員会、同上案を再修正して提出
1996年	オランダで中核7か国会議開催。「エネルギー最低税率」構想
1997年	欧州委員会「エネルギー最低税率」提案

EU加盟各国における、EUに対する基本姿勢の差異や当面の国益のちがいなど、環境税という政策ひとつをとっても、EU内合意形成は簡単ではない。加えて、EUにとっては経済的な国際競争を考える時、日本やアメリカの環境税に対する消極的姿勢が大きな懸念材料であり、EUのこの問題に対する苦悩のひとつは日米に起因するものであろう。

### 3.4.2 ドイツ

ドイツは、1990年代前半のコール政権時代、統一ドイツの経済発展を第一の政治課題としてきた。EUの諸政策には積極的な姿勢を示してきたものの、CO<sub>2</sub>・エネルギー税についてはドイツ単独では実施してこなかった。1998年ドイツ社会民主党(SPD)シュレーダー政権が環境

重視の緑の党と連立して誕生し、99年4月に環境税・エネルギー税の導入を所得税との税収中立方式によって断行した。自動車グリーン税制についても、下記の諸施策が実施されている。

- 乗用車
  - ・排ガス基準連動の排気量別課税
  - ・燃費の良い車は税額控除
  - ・電気自動車は自動車保有税半額
- トラック
  - ・重量比例課税
  - ・排ガス規制および騒音規制達成車は税率軽減

### 3.4.3 英・伊・仏

1999年6月、イギリス政府は「気候変動課徴金 (Climate Change Levy)」を立案、2000年3月から6月まで国民に公表して意見を集約後、2001年4月の施行を予定している。

イタリアでは、1999年1月にいったん炭素税を導入したが、その後の原油価格の上昇を受けて課税を中止。2000年中には課税が再開されるものと見られている。

フランスでも、2001年からの炭素税導入に向けて準備が進められている。

90年代初頭に、北欧諸国から始まった炭素税が、90年代終盤にドイツ・イギリス・イタリア・フランスで相次いで導入されつつあり、EUにあってはこの動向が主流流となってきている。21世紀初頭には、日本・アメリカ等先発工業化国全体にこのすう勢が広がるのが望まれる。先発工業化国はPPPを受け入れ、EUの潮流に合流していくべきである。

### 3.4.4 アメリカ

アメリカは、世界最大のエネルギー消費国であり、エネルギー低課税国である。

炭素税は課せられていないが、1993年BTU税<sup>(17)</sup>が検討された時に、オプションの一つとして炭素税構想も議論された。結局BUT税そのものも否決され、妥協案として、ガソリン税が1ガロン当たり4.3セント<sup>(18)</sup>引き上げられて決着した。アメリカでは、国民が石油（特にガソリン）税に対してきわめて敏感であり「ガソリン税を1ガロン当たり5セント引き上げると、大統領の政治生命に影響する」と言われるほどである。このBTU税をめぐる経過を少し見おきたい。

1993年に発足したクリントン政権にとって財政赤字の解消は、優先度の高い政治課題であった。その切り札として打ち出されたのがBTU税であり、この新税はもっぱら税収増加が主目的で、省エネルギーやCO<sub>2</sub>排出削減は副次的効果としてしか位置付けられていなかった。

1993年に発表されたBTU税率案は下記のとおりである。

**基本税率** 25.7セント／百万BTU<sup>(19)</sup>  
**石油付加税** 34.2セント／百万BTU

これを1994年から96年まで3段階に分けて3分の1ずつ導入する計画で、1997年度には、税収増222億ドル、CO<sub>2</sub>削減効果1.8%/年と試算されていた。

1993年5月に、僅差で下院を通過したものの上院でつまずき、最終的にはBTU税は否決され、ガソリン税の引上げに置き換えられて、1993年8月上下院で可決された。「BTU税導入の失敗は、税収確保を目的としたことにあり、もし、環境政策として炭素税という形で提案すれば成立したのではないか」という論調があったが筆者はこれに同意する。石油業界などの産業界はBTU税・炭素税のいずれに対しても強く反対するが、一般国民には「省エネとCO<sub>2</sub>排出削減のための環境税」という名目で提案される新税の方が受け入れ易いと考えられる<sup>(20)</sup>ので、行政当局が個々の国民やNGOなどを味方に付ける戦術をとっていけば、上院での結果が変わっていたかもしれない。ちなみに、米国EPA(環境保護局)の、地球温暖化ガス排出削減策に対する姿勢は「温室効果ガスの特定の排出水準が気候変動に与える速度と規模は、正確には知り得ないという不確実性の下で、米国は選択可能な政策を検討・評価する」というものである。<sup>(21)</sup>

### 3.4.5 日本

日本では、環境税導入のための議論は、具体的に法案作成や導入日程検討といった段階には至っていない。この遅れの主因は省庁間の不一致、すなわちセクショナリズムにあると考えられ、環境税については通産省の抵抗が大きい<sup>(22)</sup>。

いっぽう政府税制調査会では、検討の必要性は認識しているようだが<sup>(23)</sup>、踏み込んだ議論はまだ行われていない。

1999年運輸省と環境庁が「自動車諸税のグリ

ーン化」を提案した<sup>(24)</sup>。これは「グッズ減税・バツ課税」の考え方に基いたもので、我が国初の経済的措置による環境政策である。日本版グリーン税制案は、自動車税と自動車重量税について、2000年新燃費基準を達成している車を標準として現行税率とし、より燃費の良い車は減税、悪い車は増税するものである。1500cc級車の場合良燃費車<sup>(25)</sup>は年間8000円減税、悪燃費車<sup>(26)</sup>は年間8000円増税される。こうした誘導的かつ効果的な経済的手法に対して自動車業界や通産省・建設省が反対しているが、それでは反対勢力は、日本のCO<sub>2</sub>発生の23%<sup>(27)</sup>を占める自動車などの運輸部門における環境対策に、いったい代替案があるのだろうか。グリーン税制を日本に導入することは、環境税などの包括的な経済措置による環境対策へのステップとしてもきわめて重要であり、このすう勢を後戻りさせてはならないと考える。<sup>(28)</sup>

#### 4. 環境税に関する意識調査

民主主義社会にあつては、課税決定権は立法府に与えられている。EUのような国家連合体にしろ、単独国家にしろ、地方自治体にしろ、いずれも代議員で構成された議会で税は決定される。その議会は国民の意向をおおむね反映しているものと考えれば、環境税の導入の可否を左右するのは、つまるところ国民の意識である。

筆者は、室蘭工業大学の学生を対象に「環境税に関する意識調査」を実施し、学生達の認識推移を実証的に分析した。また、ほぼ同時期に北海道新聞社が「環境調和型社会と北海道」と題する世論調査<sup>(29)</sup>を行った。環境庁は、1996年に「環境にやさしい企業行動調査」<sup>(30)</sup>を実施しており、これらとも比較して考察する。

#### 4.1 室蘭工業大学生の環境税に対する意識調査

##### 4.1.1 調査方法

時期 第1回：1999年12月  
第2回：2000年2月

対象学生 「国際関係論」を受講した工学部学生106人  
および工学部博士前期課程学生7人

場所 授業を行った教室

#### アンケート項目 下記のとおり

##### 1999年12月

1. 「環境税」という用語の認知
2. 「環境税」の日本への導入是非
3. 石油税との税収中立の是非

##### 2000年2月

1. 「環境税」の日本への導入是非
2. 石油税との税収中立の是非
3. 講義による「環境税」への理解の深まり

アンケート調査を実施した2つの時期の中間(2000年1月)の授業で、90分間「地球温暖化の実態、CO<sub>2</sub>削減策、日本のエネルギー税の現状、環境税構想」について講義を行った。この時筆者は、多様な意見を学生に紹介し、判断材料の提供に資する講義となるよう努めた。

#### 4.1.2 調査結果

調査結果を表6に示す。

表6 環境税に関する意識調査

項目	実施時期	アンケート結果		
1. 環境税という用語	1999/12	知っている 51%	知らない 49%	
2. 環境税導入に	1999/12	賛成 40%	反対 8%	分らない 52%
	2000/02	賛成 75%	反対 15%	分らない 10%
3. 税収中立に <sup>(31)</sup>	1999/12	賛成 45%	反対 22%	分らない 33%
	2000/02	賛成 58%	反対 29%	分らない 13%
4. 講義により環境税への理解が	2000/02	深まった 変わらない		83% 1% どちらとも言えない 16%

#### 4.1.3 考察

##### (1) 「環境税」認知度

室蘭工業大学生の、「環境税」という用語の認知度を、講義でこのテーマに入る前に調査した。用語を知っていたものと知らなかったものが半々であったが、大学院だけで見ると8割の院生が知っていた。

##### (2) 環境税導入について

日本で環境税を導入することについて、

分からないと答えた者が講義前の52%から10%へと減少した。また、講義により環境税への理解が深まったと回答した者が83%あり、学生の認識を深めたことが実証された。環境税導入の賛否割合は、講義前も講義後も5:1である。

北海道新聞社調査の類似項目<sup>(32)</sup>で75.9%が「環境を守るためなら商品価格が上がっても我慢する」と答えている。

いっぽう、企業を対象にした環境庁の調査<sup>(33)</sup>では、炭素税導入賛成が32.5%、反対が39.3%である。

環境税など、環境保全のための経済的な負担については、個々人のレベルでは抵抗が少ないのに比して、企業には反対が多い。政策当局が環境税導入をはかる場合には、個人の声がより大きく反映するような世論形成努力に特段の意を注ぐことが不可欠である。

### (3) 税収中立について

室蘭工業大学生に対して、講義の中でガソリン税の現状について詳しく述べ「ガソリン税を1リットル当たり仮に10円減税しそれと引き換えに、同額の環境税を課す事の是非」を問うところ、29%の者が「反対」と回答した。同一設問への講義前の回答は22%が反対であった(表6)。なぜそう考えるのか、反対した数人の学生にモニターしたところ、次のような見解であった。

- ・ガソリン需要抑制のためには、税収中立ではなく値上げとなるような課税が必要。
- ・現政権の政策が根本的に変更されない限り、環境税として徴収されたものも、道路財源として使用される懸念が強いので、環境税は何かと引き換えるのではなく単独で導入されるべき。
- ・ガソリン税などの財源の行く先を、無駄な公共事業から環境対策事業へとシフトし、かつ増税した方が良い。

そもそも、炭素税の目的は化石燃料の需要抑制であり、モニターした数人の学生の意見が正論である。この意識調査では、ガソリン税と炭素税との税収中立に賛成する意見が多数であるが、課税目的を達成する立場から、多数意見ではなく少数の正論を尊重したい。

## 5. 「21世紀型国際環境税」の提案

### 5.1 国際環境税を国連に拠出

表7に、2000年の主要国別国連拠出金と95年CO<sub>2</sub>排出量(炭素換算)を示した。国連拠出金を排出炭素量で割ると各国の炭素1トン当たり国連拠出金が算出され、日本1.7ドル、アメリカ0.4ドル、世界平均0.4ドルという結果になる。国連への拠出金をCO<sub>2</sub>排出の視点から見ると、アメリカは世界平均程度しか拠出しておらず、日本やヨーロッパ各国は多額の拠出をしていることが分かる。

仮に、現行の炭素1トン当たり国連拠出金を固定し、翌年以降の拠出金を、各国のCO<sub>2</sub>排出量(炭素換算)に乗じて決定するのはどうだろう。CO<sub>2</sub>排出抑制に努力した国は拠出金が少なくて済み、CO<sub>2</sub>が増大した国はそれだけ負担が大きくなる仕組みである。但し、現行の拠出金分担率は、開発途上国に低く割当てられており<sup>(34)</sup>途上国が経済発展に伴って、CO<sub>2</sub>排出が増大したとしても、それはほぼGDP伸率と同程度であり、国連拠出金が途上国にとって極端な負担となるほどには増加しないと予測される。

表7 主要国国連拠出金とCO<sub>2</sub>排出量

国名	国連拠出金		CO <sub>2</sub> 排出量 (炭素換算) 百万t	炭素1トン当 国連拠出 金 US\$
	分担率%	分担額 百万US\$		
日本	20.573	521	313	1.7
アメリカ	25.000	634	1409	0.4
ドイツ	9.857	250	237	1.1
イギリス	5.092	129	153	0.8
フランス	6.545	166	98	1.7
イタリア	5.437	138	114	1.2
中国	0.995	25	830	0.03
世界計	100	2536	5886	0.4

(注) 分担率・分担額：2000年

CO<sub>2</sub>排出量：1995年

(出所) 国連拠出金：国連ホームページ

CO<sub>2</sub>排出量：エネルギー経済統計要覧(1998)  
エネルギー経済研究所

この考え方は、2.2で述べた応害原則を、国連拠出金に当てはめたものだが、国連版PPPと言うことが出来、かつ加盟国すべてが合意している現行の分担率に立脚しているものであり、各国の理解が得られ易いのではないだろうか。またこうして拠出された財源の理念に基づいて、国連環境エネルギー機関



(Environment and Energy Organization of the United Nations : EEO) を専門機関として国連に設立することが出来れば、緊張関係にある国際エネルギー機関 (IEA) と石油輸出国機構 (OPEC) の関係調整や、国際的エネルギー需給適正化・国際的省エネルギー推進・自然エネルギー普及に資するものとなろう。こうした活動は、とりも直さず CO<sub>2</sub> 排出削減と地球温暖化防止に直結するものである。

表7では、単純化して国連拠出金全額に、この国連版PPPを適用したが、より現実的には、拠出金の一部をこの計算方式で行う方法や、ポーモル・オート理論を加味するやり方も考えられる。

COP3 で合意された、地球温暖化ガス削減目標が達成できない国は、目標以上に達成した国から排出枠を購入(排出権取引)することが出来るが、本来的にはすべての国が目標を達成し、地球温暖化ガス排出量を絶対的に減らしていくことが望ましい。安易な排出権取引への依存を防止する方策のひとつとして、ここに提唱している国際環境税は効果的な手段となろう。

ここで、日本が CO<sub>2</sub> を 10%超過排出した場合を想定して、国際環境税額を試算してみる。

[仮定]日本の基準年 CO <sub>2</sub> 排出量	300 百万 t
日本の目標年 CO <sub>2</sub> 排出目標量	282 " (-6%)
日本の目標年 CO <sub>2</sub> 排出実績	312 " (+4%)
日本の超過排出量	30 " (10%超過)
日本の国連環境税額	30 百万 t × 0.4\$/t=12 百万\$

上の仮定のように、超過排出に対する課税単価を 0.4\$/t (表7の世界平均を採用)とおくと、3000 万 t 超過した場合 1200 万ドルの国際環境税額となる。こうした資金は、国連が地球環境対策費用として活用すべきである。この例のような国際環境税が合意され、システム化されれば、各国の地球温暖化ガス削減努力に、強いインセンティブとして作用するだろう。排出権取引システムは、あくまで経過措置と位置づけるべきであり、出来るだけ早く国際環境税のシステム設計に全世界が取り組むことを求めたい。それに向けた日本の主導的役割が期待される。

## 5.2 日本における環境税導入

### 5.2.1 国際的公約履行

我が国では COP3 が終了した後、1997 年 12 月 19 日に地球温暖化対策推進本部が内閣に設置された。年が明けて 1998 年 1 月 9 日、同推進本部は「省エネ法改正」「代替フロン等 3 ガス排出抑

制対策」「吸収源対策」などを柱とする総合推進対策を決定した。COP3 で我が国がコミットした 6%削減の内訳は以下のとおりである。

施 策	温暖化ガス増減
代替フロン等 3 ガス排出抑制	+2.0%
CO <sub>2</sub> 、N <sub>2</sub> O、メタン削減	-2.5%
吸収源(シンク)による削減	-3.7%
排出権取引、共同実施、クリーン開発メカニズム	-1.8%
合 計	-6.0%

施 策	温暖化ガス増減
エネルギー起源の CO <sub>2</sub> 排出抑制	-0.0%
メタン、亜酸化窒素等の排出抑制	-0.5%
革新的技術開発や国民各層における更なる努力	-2.0%
合 計	-2.5%

この施策目標達成の鍵のひとつがエネルギー政策であることから、政府は 1998 年 6 月 11 日「長期エネルギー需給見通し」を発表、エネルギー起源 CO<sub>2</sub> 排出量の 2010 年における目標値を 1990 年と同一レベルと定めた。

しかるに、1990 年から 1998 年までのエネルギー起源 CO<sub>2</sub> 排出をみると(表1)、90 年比で 98 年は +5.4% である。これは 97 年と 98 年の我が国の不況が反映したものと考えられ、96 年を見ると 90 年比の CO<sub>2</sub> 排出量は 9.5% 増となっている。仮に、日本経済が回復軌道に入り、抜本的な CO<sub>2</sub> 排出削減策を導入しなかったとすると、2010 年における日本の CO<sub>2</sub> 排出量は 43% 増になると予測される<sup>(35)</sup>。この予測値と、2010 年エネルギー起源の CO<sub>2</sub> 排出量を 90 年と同一レベルにするという上記施策による目標値のギャップを埋める具体策として、日本に環境税(炭素税)を導入して化石燃料の需要抑制をはかることは、緊急課題であり、直ちに着手することが求められる。

### 5.2.2 国内動向

1999 年 5 月、運輸政策審議会総合部会は「低燃費自動車の一層の普及促進策について」と題する答申を提出、自動車の燃費の善し悪しで自動車関係諸税に付加・軽減による差をつける、いわゆるグリーン税制を提案した。環境庁自動車環境税制研究会も同年 7 月の報告書で「(運輸政策審議会総合部会の)答申の方針と同様の考え方を採用する」<sup>(36)</sup>とした。

いっぽう、自動車業界や通産省・建設省はグリーン税制にこぞって反対し、1999 年 12 月に自民

党税制調査会会長<sup>(37)</sup>が記者会見で「グリーン化税制の見送り」<sup>(38)</sup>を表明、運輸省・環境庁案は宙に浮いたかっこうとなった。

政府税制調査会<sup>(39)</sup>では第41回総会(1999年)頃から環境税が議論されてきており、「2002年度にも本格検討に入る必要がある」としている。

もとより環境税(炭素税・グリーン税制)は、国民に省エネルギーを明確に訴えるメッセージを含んだものであることが望ましい。けれども前述したような政策当局の動向を踏まえれば、先ず第一歩としての導入を果たすために、自動車の燃費に基づくグリーン税制や、エネルギー税と炭素税とが税込中立となるような形での税体系とすることが現実的であろう。同時に、実効ある環境税へと発展させるために、世論形成に向けた環境NGOが果たすべき役割は大きい。環境教育の重要性と有効性については、改めて言うまでも無いだろう。地方自治体が先行して環境税を導入し、国を動かすことも可能だと考えられる。さらにEU諸国の例に見られる如く、環境重視の緑の党が日本の政治に具体的な影響を与えるような政治潮流の芽生えにも期待したい。

### 5.2.3 環境税と日本の外交

国際環境税構想は、日本の外交政策転換のためのキーファクターとなるものである。対米追随型外交からの脱却は、日本の真の独立のために必要であることは言うまでもないが、特に冷戦終結と地球環境問題深刻化と言う現下の国際情勢を考慮する時、緊急の課題である。CO<sub>2</sub>排出削減という政策課題は、日本とヨーロッパ諸国とが連携を深めることによって、アメリカを包囲する構造によってこそ、前進可能なものだと考えられる。21世紀型国際環境税の実現は、日本の外交政策課題でもある。

ヨーロッパ主要国に続いて日本でも環境税が導入された暁には、日欧の連携によってこの各国別環境税を国際環境税の萌芽形態と位置づけ、アメリカに対して政治的プレッシャーをかけることが出来るだろう。経済的にはアメリカからのCO<sub>2</sub>多消費型貿易品(鉄鋼、アルミ、紙等)の輸入に対して、日欧諸国が関税をかける対抗策も考えられる。この場合、関税は環境税相当額と同額が妥当と考えられるが、これには国内産業保護を目的とするものではなく、地球環境保護のためとの大義名分がある。仮にGATT(関税貿易一般協定)やWTO(世界貿易機関)で

アメリカが異議を唱えても、逆にアメリカに対して環境税導入を迫る契機にもなり得ると思われる。石油・石炭・LNGなど化石燃料輸出国が、「環境税は化石燃料の需要減少につながる」と反発しても、「環境税は資源の浪費と収奪を防止するものだ」と説得できるのではないだろうか。

福沢諭吉は、明治期の日本外交に対して「脱亜入欧」を唱えたが、21世紀における我が国の外交は「親米入亜連欧」<sup>(40)</sup>を旗印とすべきである。地球環境問題ほど、この旗印にふさわしいテーマは他に見当たらない、と筆者は考える。

### [注]

- (1) エネルギー経済統計要覧(1999年) 日本エネルギー経済研究所 P.207
- (2) 小宮山宏 「地球温暖化問題に答える」 (1995年) 東京大学出版会 P.21
- (3) 植田敦 「CO<sub>2</sub>温暖化脅威説は世紀の暴論」 年報第4号 (1999年) 環境経済・政策学会 P.230~P.232
- (4) 植田敦 「CO<sub>2</sub>温暖化脅威説は世紀の暴論」 年報第4号 (1999年) 環境経済・政策学会 P.239
- (5) 小宮山宏 「地球温暖化問題に答える」 (1995年) 東京大学出版会 P.16
- (6) (ピギー的な課税手法を実行するためには)「限界損害費用(もしくは限界削減費用)を数量的に把握せねばならない。今日、この種の情報入手に関し、かなり精度が上がったとはいえ、基本的に上述の諸費用を具体的に数量化するのには、まだ困難である。」 石弘光 「環境税とは何か」(1999年) 岩波新書 P.80
- (7) 「ピギー税実施のための必要情報量は、その実施が困難なくらい、依然として多大であるといわざるを得ない。」 植田和弘「環境経済学」(1996年) 岩波書店 P.120
- (8) 「平成10年版環境白書(総説)」(1998年) 環境庁 P.10
- (9) 原題は「先進国及び市場経済移行国の温室効果ガス削減目標」となっているが、本論文では「先進国」「温室効果ガス」との用語は使用せず、前者を「先発工業化国」、後者を「地球温暖化ガス」と表現している。「先進国」という表現では、先発工業化国の方が開発途上国よりも優れているかのようなニュアンスが強しい。「温室効果」ではCO<sub>2</sub>等の効果のみを強調することとなり、過剰なCO<sub>2</sub>等の存在が地球環境を害している側面が曖昧になると考えるからである。



## [参考文献]

- 石 弘光「環境税とは何か」(1999年)岩波新書
- 石 弘光編「環境税—実態としくみ—」(1997年)東洋経済新報社
- OECD・石 弘光監訳「環境と税制」(1994年)有斐閣
- 環境庁監修「地球温暖化対策と環境税」(1997年)ぎょうせい
- 佐和 隆光「地球温暖化を防ぐ」(1997年)岩波新書
- 宇沢 弘文「地球温暖化を考える」(1998年)岩波新書
- 三橋 規宏「ゼロエミッションと日本経済」(1998年)岩波新書
- 米本 昌平「地球環境問題とは何か」(1999年)岩波新書
- 石 弘之「地球環境報告」(1999年)岩波新書
- 宮本 憲一「環境経済学」(2000年)岩波書店
- 植田 和弘「環境経済学」(1999年)岩波書店
- 吉田 文和「環境と技術の経済学」(1980年)青木書店
- 富舘孝夫・木船久雄著「最新エネルギー経済入門」(1996年)東洋経済新報社
- 小宮山 宏「地球温暖化問題に答える」(1995年)東京大学出版会
- 阿部 寛治編「概説 地球環境問題」(1998年)東京大学出版会
- レスター・ブラウン、浜中裕徳監訳「地球白書 1999-2000」(1999年)ダイヤモンド社
- 環境庁編「環境白書(平成10年版・平成11年版)」
- 本間 正明「現代財政入門」(1999年)東洋経済新報社
- 環境経済・政策学会編「環境経済・政策学会(年報第4号)」(1999年)
- 日経エコロジー編「環境キーワード」(1999年)日経BP社
- 日本石油(株)編「石油便覧」(1994年)燃料油脂新聞社
- 日本エネルギー経済研究所編「エネルギー・経済統計要覧('97、'98、'99)」 省エネルギーセンター
- 「エネルギー経済」 1998.8, 1998.9, 1998.12, 1999.3, 1999.11, 2000.1 日本エネルギー経済研究所
- Shuichi Sunaga「環境立国をめざす環境税と税制改革案」(2000年)ホームページ
- Tadashi Mima「環境税について」(2000年)ホームページ
- 国際連合「国連加盟国と分担率」(2000年)ホームページ
- 通産省「地球環境とCOP3に関する疑問シリーズ」(1999年)ホームページ
- 松尾 直樹「COP3以降の気候変動問題に関する国際的枠組み」(1998年)日本エネルギー経済研究所
- 福澤 賢治「環境・資源制約面からみた超長期のエネルギー供給見通し」(1996年)日本エネルギー経済研究所
- 藤目 和哉「21世紀におけるエネルギー産業の課題」(1997年)日本エネルギー経済研究所
- 「忍び寄るエネルギー・環境危機のシナリオ分析」(1996年)日本エネルギー経済研究所
- 「環境税および排出権取引に関する調査」(1997年)日本エネルギー経済研究所
- 「新エネルギーの将来コストと導入量の見通し」(1998年)エネルギー総合推進委員会
- 「これからの暮らしとエネルギー」(1997年)資源エネルギー庁
- 「地球温暖化防止京都会議以降の日本の石油産業の経営環境変化と課題」(1998年)三菱総合研究所
- 「変貌する日本のエネルギー市場と新たな経営戦略」(1998年)三菱総合研究所
- 「石油事情資料」(1999年)石油情報センター
- 「北欧諸国の炭素税」(1995年)地球産業文化研究所
- 「産業構造審議会地球環境部会議事録」第6回(平成8年10月25日)～第11回(平成9年3月12日)通産省
- 「今後の地球温暖化防止対策のあり方について」平成9年11月18日 中央環境審議会
- 「平成11年度の税制改正に関する答申」平成10年12月16日 税制調査会
- 「地球温暖化問題への国内対策に関する関係審議会合同会議事録」第1回(平成9年8月27日)～第7回(同11年3月15日)
- 「地球温暖化対策に関する基本方針について(答申)」平成11年3月24日 中央環境審議会
- 「低燃費自動車の一層の普及促進策について(運輸省政策審議会、諮問第17号)」平成11年5月20日 運輸省
- 「自動車環境税制研究会報告書」平成11年7月 環境庁
- 「税制調査会第41回総会議事録」平成11年12月4日 税制調査会
- 「平成12年度の税制改正に関する答申」平成11年12月16日 税制調査会
- 「第13回基本問題小委員会」平成12年3月 税制調査会
- 「第17回基本問題小委員会」平成12年4月 税制調査会
- 「Implementation Strategies for Environmental Taxes」(1996) OECD
- 「Consumption Tax Trends」(1999)OECD
- 「APEC Energy Demand and Supply Outlook」(1998) Asia Pacific Energy Research Centre
- 「Green Tax Shift」(2000) Center for Economic Justice
- 「CSE's Tax News Update」(2000) Center for a Sustainable Economy
- 「The Energy Journal」(2000) IAEE
- 「Handbook of Energy & Economic Statistics in Japan」(1998) EDMC

# Die Lyrik des älteren Goethe und der „Gandavyuha-Gedanke“

Hideshige OMURA\* und Bernd CLAUSEN\*

(Received 28 April 2000, Accepted 31 August 2000)

It is the aim of this treatise to interpret Goethe's work not only from a germanistic point of view, but also under the study-results of Indian philosophy and Buddhism. The ancient Greek philosopher Plotin was influenced by Indian philosophy and Goethe himself who read Plotin's work „Enneades“ in his younger years seem to reflect in these Idias his later years, referring not only on Indian philosophy and Buddhism but to one of the centerpoints, the *Gandavyuha-philosophy*.

Keywords: Goethe, Gandavyuha, Plotin

---

## 1

Es ist die Absicht dieser Abhandlung vom Standpunkt Germanisten, der kein Spezialist für indische und buddhistische Philosophie ist, darzulegen, wie die Forschungsergebnisse zu Goethes später Lyrik aus der Perspektive der indischen buddhistischen Forschung her zu betrachten sind.

Die buddhistischen Rezeptionen Goethes und seiner Werke sind sehr zahlreich.<sup>1</sup> Hier soll aber vor allem Bruno Petzolds Abhandlung „Goethe und der Mahayana Buddhismus“ hervorgehoben werden, welche Anfang 1936 im „Jahrbuch für die Goethe-Gesellschaft/Kyoto“ veröffentlicht und 1982, im 14. Todesjahr ihres Verfassers, im Oktopus-Verlag in Wien veröffentlicht. Über den Gandavyuha-Gedanken schreibt der Autor dort, dass jedes Seiendes miteinander, sich nicht störend und unselbständig versöhnt sei und dass alle Erscheinungen in einer engen Beziehung zueinander stehen und zwar ungetrennt, jedoch vereinigt sind.<sup>2</sup> Als Petzolds Lebenswerk kann man seine Forschungen zur T'ien T'ai Philosophie bezeichnen. Mit über 600 Seiten stellt sein Buch „Quintessenz der T'ien T'ai (Tendai) Lehre“ daher das Hauptwerk der in Ergebnisse seiner Überlegungen

da, welches 1982 in Wien veröffentlicht wurde.

Goethes Interesse an chinesischer Lyrik zeigt vor allem Fukuda Hideo.<sup>3</sup> Dennoch wollen wir behaupten, dass Goethe keine direkte Beziehung zum Buddhismus besessen hat, sondern eine dritte Komponente zwischen ihm und dem Buddhismus gestanden hat. In seinem Aufsatz „Die Weltanschauung Goethes in seinen letzten Lebens-jahren“ schreibt Fukuda, dass Plotin und Leibnitz Einflüsse auf Goethes Weltanschauung ausgeübt hätten. Unklar<sup>4</sup> bleibt indes bei Fukuda, was für Einflüsse dies gewesen sind. Darüberhinaus bleibt der Autor die Erklärung schuldig, warum nicht wenige Germanisten und Buddhisten mit den buddhistischen Aspekten im Werk Goethes sympathisieren. Es wird im folgenden anhand der von Goethe selbst betrauten 60 bändigen Werkausgabe, genauer gesagt an „Gott und die Welt“ zu zeigen sein, wie sich der Standpunkt Goethes in der weltanschaulichen Lyrik spiegelt.

Die Frage, die sich in diesem Zusammenhang zuallererst stellt, lautet: Besteht die unübersehbare Gemeinsamkeit der Goetheschen Weltanschauung mit dem Buddhismus frei, quasi aus sich selbst heraus, d.h. frei von allen Dogmen oder der allgemeinen Literatur

---

\* Common Subject Division

lediglich in der Idee von Literatur als Weltliteratur? In diesem Gesichtspunkt vertreten wir die Ansicht, dass im Gesamtwerk Goethes die Einflüsse Plotins nicht zu leugnen sind, denn auch ein „Genie“ besteht nicht allein in der Einsamkeit seines Nachdenkens sondern steht unter dem Einfluss eines Außen, genauer gesagt, dem was er einmal rezipiert hat.

Goethe übersetzte Plotins „Enneades“ und sandte es im Jahr 1806 zu seinem Freund Zelter. Dabei handelt es sich um eine Übersetzung aus dem Lateinischen, welche Goethe auch unverändert in das *Makalien Archiv* seines Romans „Wilhelm Meisters Wanderjahre“ einfügte.<sup>5</sup>

*Wenn das Auge wie die Sonne wird, so kann man gleichfalls die Sonne sehen. Wenn die Seele schön ist, kann man auch die Schönheit sehen. Wer aber Gott und die Schönheit sehen will, muss vor allem gotthaft werden und mit dem Schönen spielen.*

(Enneades II, 5/6; aus dem jap.)

Auch in der Einleitung seiner „Farbenlehre“ findet sich derselbe Abschnitt des antiken Mystikers in Verse gebracht.<sup>6</sup>

*Wäre nicht das Auge sonnenhaft,  
Die Sonne könnt' es nie erblicken;  
Läg nicht in uns des Gottes eigne Kraft,  
Wie könnt' uns Göttliches entzücken?*

Die gleichen Verse sind auch in „Zahme Xenien“ eingesetzt.

*Ich studierte fleißig die verschiedenen Meinungen, und da ich oft genug hatte sagen hören, jeder Mensch habe am Ende doch seine eigene Religion, so kam mir nichts natürlicher vor, als daß ich mir auch meine eigene bilden könne, und dieses tat ich mit vieler Behaglichkeit. **Der neue Platonismus lag zum Grunde;** das Hermetische, Mystische, Kabbalistische gab auch seinen Beitrag her, und so erbaute ich mir eine Welt, die seltsam genug aussah.*

(WA 1. Abt, 27. Bd., S. 217; Hervorhebung von uns)

Das war eine Herausforderung mit aller Kraft gegen Newtons sub- und objektischen Dualismus. Noch schrieb Goethe in „Dichtung und Wahrheit“:

*Sie hatte schon insgeheim Wellings „Opus mago-cabbalisticum“ studiert, wobei sie jedoch, weil der Autor das Licht, was er mitteilt, sogleich wieder selbst verfinstert und aufhebt, sich nach einem Freunde umsah, der ihr in diesem Wechsel von Licht und Finsternis Gesellschaft leistete.*

(WA, 1. Abt., 27. Bd., S. 203)

und schrieb über das Werk selbst:

*Ich schaffte das Werk an, das, wie alle Schriften dieser Art, seinen Stammbaum in gerade Linie bis zur neuplatonischen Schule verfolgen konnte.*

## 2

In den genannten Beispielen kann man den Stellenwert der Philosophie Plotins als Mittler oder Medium zwischen der weltanschaulichen Lyrik der letzten Jahre Goethes und dem Mahayana-Buddhismus, genauer gesagt dem Gandavyuha-Gedanken mit Recht feststellen. Im Aufsatz „Gedankenaustausch zwischen Indien und dem Abendland, die zum Abendland ausgeströmten indischen Gedanken, Einflüsse des Neuplatonismus“ von Hajime Nakamura behauptet der Autor, dass Plotin völlig unverdächtig unter dem Einfluss indischer Gedanken gestanden habe und dies im Einverständnis mit der akademischen Welt.

*In Plotins Philosophie wurde nicht wie bei Platon die Metempsychose nicht nur geistlich sondern auch systematisch erwähnt (...) was er als Wahrheitssuchender predigte hat eine ausserordentliche Ähnlichkeit mit dem Gedanken der miteinander sich nicht störenden Unselbstständigkeit der Gandaryuha-Sutra.<sup>7</sup>*

Das ist eine von der gegenwärtigen Evolutionstheorie zu unterscheidende Weltanschauung d.h. alles bestehe in der Entwicklung, sozusagen *proudos* und sich darin gleichzeitig im Zurückkommen befindende, sozusagen *estropee*. Das Ergebnis ist die aus unserer Sicht fast traumatisch wirkende Weltanschauung, nämlich die des Evolutionismus, für den man auch die Fäulnis der gegenwärtigen Philosophie verantwortlich machen könnte.

Mit Hilfe des Neuplatonismus allerdings gewinnt man einen anderen Blickwinkel auf den gegenwärtigen Gedanken von Evolution oder Entwicklung, wenn man sich das innewohnende gegenseitige Prinzip vor Augen führt. Dieses betont nämlich gerade den doppelgleisigen Kurs gegenüber der einseitigen Denkform des Evolutionismus.<sup>8</sup>

Es liegt darin etwas gemeinsames mit der Denkweise in Goethes „Metamorphosen“: Sowohl Tiere als auch Pflanzen besitzen eine absolute Welt. Wenn ein Organ sich ausnehmend gut entwickelt, entartet ihr anderer Teil und umgekehrt. Lediglich die Verteilung innerhalb einer Welt verändert sich, eine Zugabe oder ein Abzug findet nicht statt.

Diese Ansicht von der Gesamtheit der Natur ist in der ganzen Naturanschauung Goethes verbreitet. Diese Naturanschauung wird für den Menschen selbst zu einer Denkweise, die das Vermögen und dessen Grenzen, die Freiheit und deren Regeln deutlich werden lässt und macht klar, wie die Kenntnisse aus der Naturforschung

aktiv auf die Weltanschauung Goethes wirkten.

Nakamura fährt in seinem Aufsatz fort:

*Jeder hat alles und zusammen mit allem ist er in der Welt; darin ist niemand völlig isoliert vom Ganzen (Enneades II, 2/1) oder um es mit Worten des Gandavyuha zu sagen, er verneint die Unabhängigkeit (jap. kakuryaku).<sup>9</sup>*

Kiyotaka Kimura zitiert das Daśa-bhūmīśvara des Gandavyuha-Sutra.

*Alle Buddhas! Ihr Bodhisattva sollt zehn Gegebenheiten (Dharma) lernen (...) wenn ihr wisst, eins d.h. alles, alles d.h. eins, Nicht-Sein d.h. sein, sein d.h. Nicht-Sein, Nicht-So-Sein d.h. So-Sein, wisst ihr die Natur d.h. Nicht-Natur, wisst warum es ist? Weil man in allen Gegebenheiten Maßregeln trifft.*

Und weist daraufhin, dass darin die Befreiung aus der Widerspruchsregel liegt. Der Einheitsgedanke von Eins und Alles oder Eins und Vieles findet sich auch bei Plotin wieder. Damit stimmt er mit Nakamuras Ansicht überein.

*Jedes Sein ist in der Tiefe und Breite klar bekannt. Das Licht läuft durchs Licht. Und zwar enthält jeder in sich selbst alles, gleichzeitig sieht einander alles. Also gibt es überall alles, alles ist alles, unendlicher Glanz. (...) Irgendein Sein herrscht über alles, aber es ist in jedes andere gespiegelt.*

Mit Recht, so Nakamura, kann man das mit dem Daśa-bhūmīśvara vergleichen.<sup>10</sup>

Diese der Philosophie Plotins durchaus entsprechende Erklärung, so die Ansicht Nakamuras, findet sich in der gesamten Gandavyuha wieder und ist sozusagen der Kerngedanke, denn alle Länder enthalten ein Land (...) So wird die im kleinsten Gegenstand des weitesten Landes verwirklichte Weisheit als auch die im weitesten Land das Kleinste verwirklichende Weisheit gepredigt. Die in jeder Pore alle Wohltat predigende Materie—Gott ist gepredigt und eine Pore enthält die ganze Welt oder in einer Pore sind alle Seen und strahlen unermessliches Licht aus.

Die Feststellung Nakamuras *Jedes Sein (sei) in jedem gespiegelt* erinnert darüberhinaus an das Gleichnis vom „Indra-Netz“. Dieser Gedanke, der sich in diesen Worten wiederfinden lässt, wird gemeinhin als die Quintessenz der Gandavyuha-Philosophie verstanden.

Die fast wundersame Ähnlichkeit zwischen dieser Idee und der Philosophie Plotins verblüfft und Nakamura schlussfolgert daher zu Recht, *es scheint, als habe die indische Philosophie Plotin beeinflusst!*<sup>11</sup>

Lesen wir dazu Goethes Gedicht :

AETIEPIRRHEMA

*So schauet mit bescheidnem Blick  
Der ewigen Weberin Meisterstück,  
Wie Ein Tritt tausend Fäden regt,  
Die Schifflein hinüber, herüber schießen,  
Die Fäden sich beegnend fließen,  
Ein Schlag tausend Verbindungen schlägt,  
Das hat sie nicht zusammengebettelt,  
Sie hat's von Ewigkeit angezettelt;  
Damit der ewige Meistermann  
Getrost den Einschlag werfen kann.*

(WA, I. Abt, 3. Bd., S. 92)

Der Physiker und Philosoph Fritjof Capra zitiert in seinem Buch „Das Tao der Physik“ die sogenannte „Bootstrap-Hypothese“ (die im übrigen auch von Kimura erwähnt wird) als *die Welt der mechanischen, sich nicht störenden Unselbständigkeit* und gibt sie als ein Beispiel für die Gedankenwelt des Gandavyuha an.

*Diese Philosophie hat sich in der modernen Physik gegen die mechanistische Weltanschauung ausgesprochen. Das Newton-Universum bestand aus einer Garnitur von Urstoff, dessen Elemente die nie weiter zu zerspaltende Gottesschöpfung waren.*

Die Vorstellung Newtons war beherrschend für die naturwissenschaftliche Theorie bis zu dem Augenblick, in dem die Bootstrap-Hypothese auftauchte, die die Welt als Versammlung etlicher Urstoffe nicht verstehen kann. Basis dieser neuen Weltanschauung ist die Vorstellung, dass das Universum als Gewebe (web) miteinander in einem Zusammenhang steht. In diesem Gewebe ist aber die Eigenschaft jedes Teilchen überhaupt nicht ursprünglich. Weil sie jedem Teilchen nachgibt, entscheidet die totale Harmonie die Wechselbeziehungen die Struktur des Gewebes. *Die moderne Physik hat sich niemals weder dieser Form der Naturbetrachtung genähert, noch ihre Philosophie mit orientalischen Gedanken abgestimmt*, so Capra.<sup>12</sup>

Über die Gandavyuha-Sutra schrieb der bereit oben erwähnte Bruno Petzold:

*Der dem gewöhnlichen Menschen geläufige Begriff des Neben- und Miteinander wird so im reinen Mahayana Buddhismus, wie in Goethes Weltanschauung ersetzt durch den Begriff des In- und Durcheinander, und das Höchste, das der gemeinen Erfahrung als aus Stücken zusammengesetzt erscheint, offenbart sich als eine vielfache, unendlich differenzierte Einheit.<sup>13</sup>*

Der gegenwärtig in Japan diskutierte Philosophie-Entwurf von Wataru Hiromatsu, den man vielleicht mit „Ereignis-Weltanschauung“ übersetzen könnte,<sup>14</sup> gewinnt besondere Bedeutung durch die zahlreichen Publikationen zur 250-Jahr Goethe-Gedenkfeiern, die

nicht nur Plotin und die Gandavyuha-Philosophie sondern auch die „Gesamtwelt Zusammenhänge“ wie sie in Hiromatsus Überlegungen vorkommen und die klassische Physik sowie den sub- und objektivistischen Dualismus zu überwinden strebte, ins Blickfeld rückten. Goethes Zeilen wirken da wie eine Antizipation des gegenwärtigen Diskurses:

ALLERDINGS  
Dem Physiker

„Ins Innere der Natur-  
O du Philister!-  
„Dringt kein erschaffener Geist.“  
Mich und Geschwister  
Mögt ihr an solches Wort  
Nur nicht erinnern:  
Wir denken: Ort für Ort  
Sind wir im Innern.  
„Glückselig!“ wem sie nur  
Die äußere Schale weist!“  
Das hör' ich sechzig Jahre wiederholen,  
Ich fluche drauf, aber verstoßen;  
Sage mir tausend tausendmale:  
Alles gibt sie reichlich und gern;  
Natur hat weder Kern  
Noch Schale  
Alles ist sie mit einem Male;  
Dich prüfe du nur allermeist,  
Ob du Kern oder Schale seist.

(WA I. Abt., 3. Bd., S. 105)

Man vergleiche dazu, was Goethe dazu in „Zahme Xenien“ schrieb:

Wo recht viele Widersprüche schwirren,  
Mag ich am liebsten wandern  
Niemand gönnt dem andern  
Wie lustig! – Das Recht zu irren.

(WA I. Abt., 3. Bd., S. 240)

3

Zur Lyrik des älteren Goethe zählt man gemeinhin die 23 Gedichte „Gott und die Welt“ und „Zahme Xenien“. Es ist aufschlussreich, was Goethe über das 1821 entstandene Gedicht „Eins und Alles“ in einem Brief an F.W. Riemer vom 28. Oktober 1821 schrieb:

Ich werde fast des Glaubens, daß es der Dichtkunst vielleicht gelingen könne, solche Geheimnisse gewissermaßen auszudrücken, die in Prosa gewöhnlich absurd erscheinen, weil sie sich nur in Widersprüchen ausdrücken lassen, welche Menschenverstand nicht einwollen.

(WA IV. Abt., 35. Bd., S. 158)

Es scheint, als hätte sich Goethe an der Befreiung aus der Widerspruchsregel in gewisser Weise gefreut wie seine oben zitierten Zeilen aus „Xenien“ vermuten lassen. Denn sowohl *Im Innern ist ein Universum auch* als auch *Gott, Gemüth und Welt* von 1813/14 und *Prooemion* (1827-30), die sämtlich in „Gott und die Welt“ zu finden sind, wohnt eine Form des feinsinnigen Humors inne, in welchem Goethe die Universumstheorie von Newton zu necken scheint.

PROOEMION

Im Namen dessen, der Sich selbst erschuf!  
Von Ewigkeit in schaffendem Beruf;  
In Seinem Namen, der den Glauben schafft,  
Vertrauen, Liebe, Tätigkeit und Kraft;  
In Jenes Namen, der, so oft genannt,  
Dem Wesen nach blieb immer unbekannt:

So weit das Ohr, so weit das Auge reicht,  
Du findest nur Bekanntes, das Ihm gleicht,  
Und deines Geistes höchster Feuerflug  
Hat schon im Gleichnis, hat am Bild genug;  
Es zieht dich an, es reißt dich heiter fort,  
Und wo du wanderst, schmückt sich Weg und Ort;  
Du zählst nicht mehr, berechnest keine Zeit,  
Und jeder Schritt ist Unermeßlichkeit.

Was wär's ein Gott, der nur von außen stieße,  
Im Kreis das All am Finger laufen ließe!  
Ihm ziemt's, die Welt im Innern zu bewegen,  
Natur in Sich, Sich in Natur zu hegen,  
So daß, was in Ihm lebt und webt und ist,  
Nie seine Kraft, nie seinen Geist vermißt.

Im Innern ist ein Universum auch;  
Daher der Völker löblicher Gebrauch,  
Daß jeglicher das Beste, was er kennt,  
Er Gott, ja seinen Gott benennt,  
Ihm Himmel und Erden übergibt,  
Ihn fürchtet und womöglich liebt.

(WA I. Abt., Bd. 3, S. 92)

Die vierte Strophe des „Prooemion“ und die 7. Strophe von „Gott, Gemüth und Welt“ haben ein und dieselbe Strophe; aber in der 9. und 10. Strophe von „Gott, Gemüth und Welt“ heisst es:

Willst du in's Unendliche schreiten,  
Geh nur im Endlichen nach allen Seiten.

Willst du dich am Ganzen erquicken,  
So mußt du das Ganze im Kleinsten erblicken.



*Unmöglich ist 's dem Tag zu zeigen,  
Der nur Verwornen spiegelt,  
Und jeder selbst sich fühlt als recht und eigen,  
Statt sich zu zügeln, nur am andern zügelt;  
Da ist 's den Lippen besser daß sie schweigen,  
Indeß der Geist sich fort und fort beflügelt.  
Aus Gestern wird nicht Heute; doch Äonen,  
Die werden wechselnd finden, werden thronen.*

(WA I. Abt., 3. Bd., S. 163)

Die zitierten Gedichte schildern höchst eindrucksvoll die Vergänglichkeit der Naturerscheinungen sowie des Menschenleben an sich, lassen sich jedoch tiefer ergünden, nimmt man Goethes Gedanken dazu, dass die vergänglichen Erscheinungen der ewig fortdauernden Bewegung sind. Diese Weltanschauung findet sich dann gebündelt in den Schlussworten des „Faust“:

*Alles Vergängliche  
Ist nur ein Gleichnis;  
Das Unzulängliche,  
Hier wird's Ereignis;  
Das Unbeschreibliche,  
Hier ist 's getan  
Das Ewig-Weibliche  
Zieht uns hinan.*

(WA I. Abt., 15. Bd., S. 337)

Über die hervorgehobenen Worte *Weltseele* und *Weltgeist* des Gedichtes „Eins und Alles“ gibt es viele Diskussionen. Vor dem Hintergrund der folgenden Aussagen Plotins allerdings gewinnen diese Fragen eine neue Perspektive, wenn er schreibt:

*Auf die Frage, ob es unter den Seelen einen Unterschied bezüglich des Herrschaftsvermögens gleich wie bei den Menschen gibt soll man antworten: Eine Seele (Universumsseele) ist nicht vom Ganzen getrennt, sie kann in jeder Welt sein. Aber die einzelne Seele ist in dem bereits seienden Körper unter den herrschenden Seelen (Universumsseelen) seiner Schwesterseele mit dem gleichen Los zugeteilt. Gleich wie einem Wohnort, wo die Schwesterseele sich jeweil für die einzelne Seele vorbereitet. Ferner sieht die Universumsseele den Intellekt als Ganzen an, aber die einzelne Seele nur ihren Intellekt. In diesem Punkte besteht der Unterschied zwischen der Universumsseele und der einzelnen Seele. Schliesslich ist der Intellekt vieles und zwar ein, eins und zwar vieles wegen seines unendlichen Charakters. Nämlich sie ist vieles unter dem sich viel verbreitenden Einem, im vollkommenden Klang miteinander und wirkt mit dem Ganzen gegen das, auch einen Teil. Der Teil wiederum nimmt die Wirkung als Teil an, das Ganze folgt darauf.*

(Enneades, IV, 3 6; aus dem jap.)

Shinichi Hoshino, der Verfasser von „Goethe und der Mahayana Buddhismus“ schrieb, dass das Gedicht „Eins und Alles“ ihm wie *die Ruhe im Nirvana* erscheint und fährt fort:

*Es gibt überhaupt nichts, was beziehungslos mit anderem, isoliert, fest und ewig dauernd ist. Alles wechselt miteinander, stellt Zusammenhänge her, endlos wechselnd. (...) Im Welt-Sein ist kein Ich, wie es in Goethes Gedicht „Grenzenlosen“ besungen ist. Wenn man ins Über-Sich-Selbst-Sein und in die Welt der Leerheit (oder das Vergängliche) eingehüllt ist, sinnt man darüber nach und wird da die echte Gestalt wiederentdecken.<sup>17</sup>*

Der indische buddhistische Philosoph Kazuyoshi Kino übersetzte die letzten Worte Buddhas im „Mahāparinibbāna-suttanta“:

*vaya-dammā saṅkharā, appamāhdena sampādethā*

in die Gegenwartssprache mit:

*Die Sinne (saṅkharā, die Willensgestaltungen) sind leicht vergänglich, seid darin, ohne zu übersehen.*

Alle bisherigen Versuche übersetzen die besagte Stelle ähnlich mit *alle Gestaltungen sind vergänglich, versäumt nicht, bemüht euch eifrig um die Übung*. Nakamura<sup>18</sup> übersetzt den fraglichen Passus, mit einer kleinen Veränderung am Schluss, *alle Erscheinungen sind vergänglich, versäumt nicht, vollendet die Übung*. Ilse-Lore Günsler<sup>19</sup> übersetzt, *Der Vernichtung unterworfen sind alle Gestaltungen, unermüdlich sollt ihr kämpfen*. Allerdings kann man dies wohl als Übersetzungsfehler werten.

Gegen all diese Übersetzungsversuche räumte Kino kritisch ein:

*Was für ein erbärmliches Bemühungsprinzip, Kastierungsprinzip ist das! Bis heute habe der Strom von Überzeugungs- und Bemühungsprinzip den Buddhismus bestimmt. Buddha sagte so etwas nicht! Man soll saṅkhārā (die Sinne) schätzen, als saṅkhārā an sich, leben überhaupt nicht das vijñānam (das Erkennen) beharren! Hier müssen wir das Banner des Buddhismus aufpflanzen.<sup>20</sup>*

Dieser Ansicht können wir uns nur anschließen. Die Denkweise stimmt auch mit dem „strömenden Gedanken“ im „Faust“ überein, worin Goethe die Anfangsworte der Genesis zu übersetzen versuchte mit,

*Am Anfang war der Sinn.*

(WA I. Abt., 14. Bd., S. 63)

(WA I. Abt., 2. Bd., S. 216)

Diese Zeilen erinnern darüberhinaus an Leibniz' Monadenlehre, für die sich übrigens auch Goethe interessierte, wenn davon gesprochen wird, dass jedes Teilchen der Materie den Pflanzen in einem üppig bewachsenen Garten ähnelt oder einem Teich mit Fischen. Der Zweig der Pflanze gleicht dann dem Glied eines Tieres und in jedem dort strömenden Tropfen lässt sich der Garten mit dem Teich wiederfinden. Da die „Monade“ im Leibnizschen Sinne der Widerschein des Universums ist, ist sie somit gleichzeitig ein Teil desselben. Wenn also die gegenwärtige Physik behauptet, das Ganze und sein Teil seien eine untrennbare Gesamtheit (da die Totalität des Universums alle Orte und Zeiten umfasst), dann könnte man vielleicht das Modell eines Hologramms zur Hilfe nehmen, um den Begriff der Leibnizschen Monade damit zu erklären.<sup>15</sup>

Als eines der widerspruchsvollsten Gedichte Goethes in diesem Zusammenhang ist wohl „Parabase“ hervorzuheben. Es ist 1820 als Motto dem „Erster Entwurf einer allgemeinen Anatomie ausgehend von der Osteologie“ beschrieben.

*Die religiöse Formulierung dieser Idee der Identität der Gegensätze oder Gleichheit der Kontraste finden wir in den Mahayana-sutras, vor allem im Prajñāpāramitā-hṛdaya-sūtra, dem ‚Sutra der Vollkommenheit der Weisheit des Herzens‘, das den berühmten Satz enthält: se chi shih k'ung, k'ung chi shih se oder ‚die Farbe ist identisch mit dem Leeren, das Leere ist identisch mit der Farbe‘ (wobei das Wort ‚Farbe‘ den Sinn von ‚Körperlichkeit‘ oder ‚Materie‘ hat).*

*Das Sanskritoriginal sagt: ‚rūpa ist identisch mit, śūnyatā ist identisch mit rūpa‘. Das bedeutet die Identität des ‚Phänomenalen und des Ontologischen‘ oder des ‚Relativen und des Absoluten‘, aber negativ formuliert, das das ‚Absolute‘ hier als das schlechthin ‚Leere‘ verstanden wird.*

*Ein positive Formulierung der Identität der Gegensätze geben das Saddharma-puṇḍarīka-sūtra und das Mahā-pārinirvāna-sūtra, auf denen die T'ien-t'ai-Schule beruht. Hier finden wir die Identifizierung von su-ti und chen-ti oder der ‚konventionellen Wahrheit‘ und der ‚absoluten Wahrheit‘ – von fan-nao und p'u-ti oder der ‚Leidenschaft‘ und der ‚Erleuchtung‘, - von sheng-szu und nieh-p'an oder von ‚Leben und Tod‘ und ‚Nirvāna‘, von ‚Zeitlichkeit‘ und ‚Ewigkeit‘. Und als ‚Leitmotiv‘, welches das ganze Sps durchzieht, haben wir das Prinzip des k'ai-ch'üan hsien-shih: ‚öffne das Zeitliche, und es erscheint das Wirkliche‘, nämlich die absolute Wahrheit, was uns wieder an Goethe erinnert.*

4

Unter diesem Blickwinkel betrachtet, wird auch der Sinn des Gedichtes „Eins und Alles“, welches Goethe in einem Brief als *Geheimnis* und als den *Menschen-verstand nicht einwollen* bezeichnete. Zusätzlich erinnert es an Enneades V, 8/3.

## EINS UND ALLES

*Im Grenzenlosen sich zu finden,  
Wird gern der Einzelne verschwinden,  
Da löst sich aller Überdruß;  
Statt heißem Wünschen, wildem Wollen,  
Statt läst'gem Fordern, strengem Sollen,  
Sich aufzugeben ist Genuß.  
**Weltseele, komm, uns zu durchdringen!**  
Dann mit dem **Weltgeist** selbst zu ringen  
Wird unsere Kräfte Hochberuf.  
Teilnehmend führen gute Geister,  
Gelinde leitend, höchster Meister,  
Zu dem, der alles schafft und schuf.*

*Und umzuschaffen das Geschaffene,  
Damit sich's nicht zum Starren waffne,  
Wirkt ewiges lebendiges Tun.  
Und was nicht war, nun will es werden,  
Zu reinen Sonnen, farbigen Erden,  
In keinem Falle darf es ruhn.*

***Es soll sich regen, schaffend handeln,  
Erst sich gestalten, dann verwandeln;  
Nur scheinbar steht' Js Momente still.  
Das Ewige regt sich fort in allen:  
Denn alles muß in Nichts zerfallen,  
Wenn es im Sein beharren will.***

(WA I. Abt., 3. Bd., S. 81f; Hervorhebungen von uns)

Die hervorgehobenen Verse erinnern an das folgende Gedicht,

## DAUER IM WECHSEL

*Willst du nach den Früchten greifen,  
Eilig nimm dein Teil davon!  
Diese fangen an zu reifen,  
Und die andern keimen schon;  
Gleich mit jedem Regengusse  
Ändert sich dein holdes Tal,  
Ach, und in demselben Flusse  
Schwimmst du nicht zum zweitenmal.*

(WA I. Abt., 3. Bd., S. 79)

sowie an das folgende:

## HEUT UND EWIG

Ziehen wir abermals die Ausführungen Nakamuras zu Rate, so behauptet auch Plotin (und gleichzeitig im Widerschein des Gandavyuha-Gedanken), *die Welt der Sinne hat Gutes, solange es in der zu fühlenden Welt möglich ist; fühlte stark Gutes der zu fühlenden Dinge.*<sup>21</sup> Oder nach Goethes „Maximen und Reflektionen“:

*Der Sinn trägt nicht, das Urteil trägt!*

(WA I. Abt., 42. Bd., S. 259)

Denn das Urteil, wie Hegel sagte, *ist die ursprüngliche Teilung des ursprünglich Einen.*<sup>22</sup>

#### Anmerkungen

<sup>1</sup>vgl. Naoji Kimura, *Faust im Osten und Westen* – Symposium Deutschland-Japan-Korea, in: Takeo Asizu (Hrsg.) *Die buddhistische Faust-Rezeption*, Tokyo 1993 (Dogakusha) S. 56-72. Hauptsächlich ist dort die Rede vom indisch -buddhistischen Gelehrten Masaharu Kakisaki und dem Germanisten Kinji Kimura. Zur Zeit sind die privaten Stifter des Goethe Museums in Tokyo Tadashi Kogawa und Shinichi Hoshino, Tokyo 1984 (Shinjusha); vgl. auch Eiho Onuma, *Goethe und der Mahayana-Buddhismus*, in: Japanese Association for comparative Philosophy, No.12, 1989

<sup>2</sup>ibid., vgl.S.318

<sup>3</sup>ibid., Goethes Lyrik in seinen letzten Jahren und die Beziehung zur chinesischen Literatur .Tokyo (1977)

<sup>4</sup>ibid., *Goethes Weltanschauung und ihr Ausdruck.*

<sup>5</sup>J.W. 2. Goethe, Weimarer Ausgabe I. Abteilung, 2. Band, S. 279. Im folgenden wird folgendermaßen abgekürzt . WA, I. Abt., Bd., S. 279.

Die Textkritik findet sich in der Hamburger Ausgabe, 13. Bd., Anmerkungen S. 629 sowie 8.Bd., 426f. Als Sekundärliteratur zu diesem Themenbereich sei die Arbeit von Fr. Koch, *Goethe und Plotin*, Leipzig, 1925 sowie E. Grumach, *Goethe und die Antike*, Berlin, 1949 erwähnt.

<sup>6</sup>Zitiert nach der japanischen Übersetzung in: Muneaki Mizuchi, Yasuhiko Tanogashira, Plotins Gesammelte Werke 1. Bd., 1987 (Chuokoron)

<sup>7</sup>in: Hanjime Nakamura, *Ausgewählte Schriften*, 19. Bd., S. 323-325, 1998 (Shunjusha)

<sup>8</sup>siehe! Anmerkung 6, Michitaro Tanakas „Plotins geistliche Landschaft“, S. 11-43

<sup>9</sup>siehe! Anmerkung 7, S. 330-333

<sup>10</sup>Kiyotaka Kimura, *Die Lesungen der Gandavyuha-Sutra*, Tokyo, 1997 (NHK); vergl. S. 107 u. 160

<sup>11</sup>siehe. Anmerkung 7, S. 8

<sup>12</sup>ibid. zitiert nach der jap. Übersetzung, Tokyo 1997, S. 339/340

<sup>13</sup>ibid. vergl. Anmerkung 2, S.

<sup>14</sup>jap. Jiteki Sekaikan. Die einer Tradition liegt im Wort „Jiteki (kototeki), das als „Sache“ übersetzt werden kann. Entscheidend ist der nicht dingliche, nicht substantielle Aspekt dieses Entwurfs.

<sup>15</sup>Renée Bouvresse, *Leibnitz*, in: coll,Que-saus?,No.2868,1994; zitiert nach der jap. Übersetzung von Sumiko Hashimoto,1996 (Hakusuisha) S.86f

<sup>17</sup>Shinichi Hoshino, siehe Anmerkung 5, S. 143f

<sup>18</sup>Hajime Nakamura, *Buddhas letzte Reise*, 1980 (Iwanamishoten), S. 158

<sup>19</sup>Ilse-Lore Günsser, *Reden des Buddha*, Stgt. 1987 (Reclam), S. 79

<sup>20</sup>Kazuyoshi Kino, *Der Unterricht in der Prajnaparamita-hṛdya-Sutra*, Tokyo, 1987 (PHP)

<sup>21</sup>siehe! Anmerkung 18, S. 329

<sup>22</sup>G.W. Hegel, *Wissenschaft der Logik*, II. Bd., Hamburg 1984, S. 267

#### ゲーテ晩年の叙情詩と華嚴思想

大村英繁 ・ ベルント クラウゼン

印度哲学・仏教学を専攻していないゲルマニストがゲーテ生誕 250 年の今日、印度哲学・仏教学研究の成果の一隅から、ゲーテの文学作品をどのように受容しているかが本論の目的である。プロティノスがインド思想の影響を強く受けていることは、学会の常識である。ゲーテは青年時代からプロティノスに傾倒し、晩年に至って開花する。両者の共通項は大乗仏教の華嚴思想である。

キーワード：ゲーテ、プロティノス、華嚴思想

共通講座



# Saṃskāra in Goethes Faust

Hideshige OMURA und Bernd CLAUSEN\*

(Received 28 April 2000, Accepted 31 August 2000)

Saṃskāra is one of the most important terms in Indian Buddhism with a variety meanings. In Goethes „Faust“ one can find an adoption of the first words in the Gospel of St. John Starting with „In the beginning was the word“. (after M. Luther) Faust, however, gives a slightly different image of what he thinks might be a translation of the old Hebrew word dabār and says, „In the beginning was the act“ and later, „In the beginning was the mind“. This has been quite often discussed but most likely not from the viewpoint of saṃskāra. In other words, this thesis tries to understand the beginning of Faust as well as redemption in the very last act from the viewpoint of saṃskāra to put a new light on the contradiction of this redemption, not from Christian eschatology, but Indian philosophy.

Keywords: Faust, Goethe, Saṃskāra, Sinn

## 1

Martin Luther übersetzte die ersten Worte des Johannes-Evangelium mit

*Im Anfang war das Wort.*

Goethe übersetzte die gleiche Passage durch Faustens Mund mit *Im Anfang war die Tat*. Dass er in dieser berühmten Passage zuvor jedoch versuchte die Eingangsworte zu Johannes mit *Im Anfang war die Kraft* und dann *Im Anfang war der Sinn* (1224-1238) zu übertragen versuchte, diskutiert man dagegen selten. *Kraft* und *Sinn* bedeutet mit buddhistisch-sanskritischem Vokabular gesprochen *saṃskāra*, wörtlich übersetzt mit *Willensgestaltung* (od. *Willensgestaltungskraft*).

Der indisch-buddhistische Gelehrte Kazuyoshi Kino übersetzte die letzten Worte Buddhas im Mahā-parinibāna-suttanta,

*Vaya-dammā saṅkharā, appamādhena sampādetā,*

in die Gegenwartssprache mit:

*Die Sinne* (skr. saṃskārā, pl.) *sind leicht vergänglich, seid darin ohne zu übersehen.*

Überträgt man diese Worte einzeln, so bedeutet *vaya* so viel wie *vergänglich* oder die Beziehungen wechselnd und *damma* ließe sich mit *Eigenschaften* übersetzen.

*Saṅkharā*, eine vulgäre Form von Saṃskāra, ist eigentlich kein philosophischer Terminus im strengen Sinne. Sie bedeuten die Dinge, Grundstoffe und, die Willensgestaltungen von *fünf Gruppen* (d.i. der buddhistisch Terminus, skr. pañca skandhāḥ. Also Materie, Empfindung, Vorstellung, Willensgestaltung und Erkennen).

Kino trennt das Körperliche (Materie, Empfindung, Vorstellung) aus dem Geistigen (Willensgestaltung, Erkennen) heraus. Diese Klassifizierung von *fünf Gruppen* ist doch sehr fragwürdig, weil *fünf Gruppen* die Einheit des Objekts und Subjekts oder des Körperlichen und Geistigen, d.h. das ursprünglich Einen sind. Dies betont, wie der Sinn sein soll. Seine Warnung lässt sich vor allem in der Gegenwart hören, wo wir aufmerksam auf das, was das Erkennen sein soll. Kino übersetzt von daher Saṃskārā mit *die Sinne*. Die alt-

\* Common Subjects Division

chinesische Übertragung als *Tat* (gyo) ist damit *ganz und gar zunichte* vermutet der Autor, da sie alles gehen, leben, entstehen und existieren lässt und auch der Mensch nur ein Teil darunter ist. Dies ähnelt sehr dem Übersetzungs-versuch Faustens, *Im Anfang war die Kraft, der Sinn* oder schliesslich *die Tat*.

Die letzten Worte der oben zitierten Phrase kann man, wie Kino, mit *den Sinn festhalten* übersetzen. *Apamādena* bedeutet so viel wie vorsichtig und *sampādetha*, darin sein. Daher kann man folgendes für *apamādena sampādethā* vorschlagen, *Konzentriert Euch!* oder *Lasst nicht aus den Augen*.<sup>1</sup>

Bisher übersetzte man die Worte die gleiche Passage folgendermaßen:

*Alle Willensgestaltungen sind vergänglich, versäumt nicht und strebt nach den Übungen.*

Auch Hajime Nakamura verstand diesen Abschnitt so und schrieb mit einer kleinen Veränderung am Schluss des Zitats:

*Alle Ereignisse sind vergänglich, versäumt nicht, vollendet eure Übungen*.<sup>2</sup>

ebenso Ilse-Lore Günsler, obgleich im Tonfall etwas martialisch und möglicherweise auf einen Übersetzungsfehler zurückgehend,

*Der Vernichtung unterworfen sind alle Gestaltungen, unermüdlich sollt ihr kämpfen*.<sup>3</sup>

Kino protestiert daher zu Recht:

*Was für ein erbärmliches Bemühungsprinzip, Kasteiungsprinzip ist das! Bis heute habe der Strom von Überzeugungs- und Bemühungsprinzip den Buddhismus bestimmt. Buddha sagte so etwas nicht! Man soll saāskāra schätzen, saṃskāra an sich leben, überhaupt nicht bei dem Erkenntnis (skr.vijñānam) beharren! Hier müssen wir das Banner des Buddhismus aufpflanzen*.<sup>4</sup>

Diese Denkweise findet sich nun auch im gesamten Faust wieder, wenn dort von dem *strömenden Gedanken* gesprochen wird und wo Goethe, genauer gesagt Faust, die Worte des Johannes-Evangeliums, mit *Im Anfang war der Sinn* zu übersetzen versucht. Aber es ist die menschliche Natur, etwas zu erkennen und doch der Mensch kann nicht die absolute Wahrheit erkennen. Auch Wagner wird durch den Mund Faustens von Goethe getadelt.

*Wagner: Allein die Welt! Des Menschen Herz und Geist!  
Möcht jeglicher doch was davon erkennen.*

*Faust: Ja, was man davon erkennen heisst.* 1588

----

*Faust allein*

*Wie nur dem Kopf nicht alle Hoffnung schwindet,  
Der immerfort an schalem Zeuge klebt,  
Mit gier'ger Hand nach Schätzen grübt,  
Und froh ist, wenn er Regenwütmer findet!* 605

Das Erkennen oder die Erkenntnis, vijñānam (Erkennen jap. funbetsu) im genannten Sinne, verabscheut Kino. In unseren Dasein jedoch vernachlässigen den Sinn und leben das Leben in der Aufhäufung der Erkenntnissen, die wir doch **nur teilweise** haben können. Goethe ironisiert dieses Tun der Menschen durch den Mund Mephistos:

*Ich sehe nur, wie sich die Menschen plagen.  
Der kleine Gott der Welt bleibt stets von gleichem schlag,  
Ein wenig besser würd' er leben,  
Hättest du ihm nicht den Schein des Himmelslichts gegeben;  
Er nennt's Vernunft und braucht's allein,  
Nur tierischer als jedes Tier zu sein.* 286

Dies ist die Ursache dessen, die die Zivilisationskrankheiten zur Folge haben, an denen die Welt in der Gegenwart leidet. Dazu gehört nicht zuletzt der ökologische Aspekt, der mit dem gesagten in unmittelbarem Zusammenhang stehet. Die gegenwärtigen Generationen haben die Sonnenenergie, die seit fünf Milliarden Jahren auf die Erde eingestrahlt wurde, seit mehr als fünf-hundert Jahre konsumiert. Die Folgen des unproportionalen Energiekonsumus sind heutzutage für jederman klar erkennbar: Die Erwärmung des Grobus mit allen negativen Folgen, das Entstehen des Ozonloches, das zu den gleichen Problemen führt, und noch verstärkt. Die Erd- und Umweltverschmutzung, die zahllosen Atomkraftwerke und zwar Nuklearwaffen usw. werden zu einer Vernichtung der rezenten und zukünftigen Generation führen. Betrachten wir die Geschichte modernen Kataklysmen wie die Sklaverei, die unzählige Kriege, vor allem den ersten und zweiten Weltkrieg, müssen wir mit Erschütterung feststellen, dass diese Lebensgrundlage zur Zeit die schlimmsten Verbrechen übertreffen.

Der Anfang von „Faust I“ ist die Tragödie des echten ernstesten Wissenschaftlers, der zum **vollständige** Erkenntnisse nicht gelangt und verzweifelt. Auch Goethe zweifelte seit Beginn der Zeit der industriellen Revolution an deren Nützlichkeit und Utilitarismus und dagegen sympatisierte mit dem Sinn der hellenischen Kultur. In Goethes „Maximen und Reflexionen“ liest man:

*Der Sinn trägt nicht, das Urteil trägt!*<sup>5</sup>

Und im „Faust“

*Grau, teurer Freund, ist alle Theorie,  
Und grün des Lebens goldner Baum.* 2039

Denn *das Urteil*, wie Hegel sagte, *ist die ursprüngliche Teilung des ursprünglich Einen*.<sup>6</sup> In der Ehrfurcht vor dem ursprünglich Einen besteht der Ursprung unserer eigenen Religion, also hat jeder Mensch am Ende doch seine eigene religiöse Vorstellung als Grund von sams-kāra, sowohl Goethe wie auch die neuzeitlichen Naturwissenschaftler; Albert Einstein, Max Plank, Hideki Yukawa usw.

2

Das oben erwähnte *Bemühungsprinzip* oder *Kasteiungsprinzip* hängt sich an die Erklärungen im „Faust“ gleichsam an. Die japanischen Ausgaben des „Faust“ übersetzen die Worte des Herrn im „Prolog im Himmel“,

*Es irrt der Mensch, so lang er strebt.* 317

zumeist mit,

*Was vollendet der Mensch, so lang er sich unermüdlich bemüht.* (Rückübersetzung von uns)

Eigentlich sollte man so übertragen:

*Der Mensch macht die Fehler, solange er handelt.*

*Solang er strebt* bedeutet zum einen auch nicht *streben* im modernen Sinn des Wortes, sondern eigentlich nichts nachdem er streben soll, weil das Wort in dieser Form nach nichts strebt, denn der implizierte Infinitiv mit „zu“ bleibt aus. Dazu passt folgende Passage aus dem Faust:

*Wer immer strebend sich bemüht,  
Den können wir erlösen.* 11937

Das Bild von Faust als dem eines Strebenden ist hier schon abgeschlossen, auch wenn an dieser Stelle im dramatischen Zusammenhang noch unklar bleibt, nach was Faust strebt. Tsutomu Hasegawa fügt in seinen *Untersuchungen zu Faust unter dem Aspekt der Vergleichenden Literaturwissenschaft* erläuternd hinzu, dass das hebräische Wort *dabār* im Johannes-Evangelium eigentlich zwei Bedeutungen besitze, nämlich Wort und Tat; also Goethes Übersetzung *Im Anfang war die Tat* nicht vollends zu verwerfen ist. Er erklärt weiter:

*Wenn wir denken, dass die Unglücklichkeit in der Gegenwart, in dem die Tat nicht das bestätigte Wort und in den Überschwemmungen der Taten ohne Idee und Ordnung besteht, dann ist die Analyse von Logos und dabār eine Verpflichtung für Literaturwissenschaftler.*<sup>7</sup>

Aus seiner Analyse von Wort und Tat im Faust zog

er folgenden Schluss:

„Die Tat“ in seiner Rede im 4. Akt des Zweiten Teils „Die Tat ist alles“ (10188) ist wesentlich ganz etwas anderes als seine „Tat“ im Ersten Teil. Die kräftige Stimme, mit der Faust den ihm Untergeordneten den Befehl zur Arbeit für die Schöpfung des Staates erteilt, obgleich er von der Sorge erfüllt ist, das Gesicht zu verlieren, charakterisiert seinen neuen Begriff der „Tat“:

„Ergreift das Werkzeug, Schaufel rührt und Spaten  
Das Abgesteckte muß sogleich geraten.  
Auf strenges Ordnen, raschen Fleiß  
Erfolgt der allerschönste Preis;  
Daß sich das größte Werk vollende,  
Genügt ein Geist für tausend Hände“ 11510

*Was für eine fröhliche, herrliche und hoffnungsreiche Tat ist das doch! Das ist eine Tat, die von vortrefflicher Ordnung und schöner Kooperation der Menschen gestützt wird. Die aufbauende, kräftige Tat für das Volk, die Eigenwillen und Verwirrung von sich wirft, ist im Begriff, sich zu verwirklichen. Faust, der am Ende auf diese Weise die wahre Ruhe findet, hat nichts mehr zu bedauern.*

*Zum Augenblicke dürft' ich sagen:  
Verweile doch, du bist so schön!  
Es kann die Spur von meinen Erdetagen  
Nicht in Äonen untergehn. –  
Im Vorgefühl von solchem hohen Glück  
Genieß' ich jetzt den höchsten Augenblick.* 11587

*So könnte man sagen, daß das, was dieser ungewöhnliche Wahrheitssucher aller Gefahr (dem Vertrag mit dem Dämon) zum Trotz mit ganzem Einsatz gesucht hat, die harmonische Vereinigung von dabār und logos, die Verschmelzung von Tat und Wort ist.*<sup>8</sup>

Dieses zugegebenermaßen etwas zu lange Zitat ist eines dieser Muster von dem oben von Kino angesprochenen Bemühungs- oder Kasteiungsprinzip. Von unserer Perspektive aus betrachtet, können wir uns nur darüber wundern, dass solches Bemühen im Einklang mit der etablierten Germanistik steht.

3

In einem trockengelegten Küstengebiet stand der nunmehr hundertjährige Faust und stellte fest:

*Hier Kindheit, Mann und Greis sein tüchtig Jahr.  
Solch ein Gewimmel möcht' ich sehn,  
Auf freiem Grund mit freiem Volke stehn.  
Zum Augenblick dürft' ich sagen;  
Verweile doch, du bist schön!* 11582

Im Gegensatz zu dem zitierten Absatz steht die

folgende, zusammengefasste Episode: Der Mord an Baucis und Philemon, das Niederbrennen des Häuschens, des Lindenbaums und des Kapellchens und schliesslich die Trockenlegung der ganzen Gegend, tönt in Fausts Ohren wie die angeordnete Kultivierung des Landes. Aber in Wahrheit sind es die Vorbereitungen Mephistos, also das Schaufeln des Grabes für Faust. Obgleich dieser die Nachricht Mephistos des Todes der beiden Alten kritisch kommentiert (11370f), zeigt Faust doch nur Sorge, aber keine Reue über die Geschehnisse.

Das ist die Handlung des fünften Aktes des Zweiten Teils von „Faust“, den man möglicherweise leichter verstehen kann, wenn man ihn offener liest.

Sowohl der ältere Goethe als auch der ältere Faust hatten keinerlei Beziehung zum Liberalismus oder zur Demokratie. Goethe war Mitglied des an der Französischen Revolution keinerlei Anteil nehmenden deutschen Adels. Es versteht sich von daher fast von selbst, dass Goethe im „Faust“ dies nicht weiter thematisierte. Was die bösen Taten betrifft, so muss man feststellen, dass Faust in seinen hundert Lebensjahren nicht nur die oben erwähnten Missetaten beging, sondern er beteiligte sich auch an vier Morden in seinen engeren, persönlichen Beziehungen. Gretchens Mutter, Gretchens Bruder, ihr Kind und schliesslich Gretchen selbst sind Opfer Faustens im Ersten Teil. Im Zweiten Teil schliesslich dient Faust dem kleinen Herzogtum. Dazu kommt die Episode von Baucis und Philemon. Wenn Faust auch tatsächlich nicht von selbst getan hat, ist seine Sünde unvermeidlich.

Faustens Tun kann man auch unter einem autobiografischen Blickwinkel betrachten. Zwar nicht in solch extremer Weise, sondern stark abgeschwächt kann man Züge eines solchen Handelns auch in Goethes Leben erkennen. Goethe gab das Studium auf, besuchte jeden Abend „Auerbachs Keller“ in Leipzig und Straßburg, verbrachte die meiste Zeit im Theater, lernte unzählige Frauen kennen und liebte diese, vor allem aber eines Pfarrers Tochter, Friederike Brion (1762-1813). Trotzdem ihre Eltern eine Heirat stark wünschten, verließ Goethe sie grundlos und kehrte in seine Heimatstadt Frankfurt am Main zurück. Friederike Brion selbst aber, blieb Zeit ihres Lebens im Kloster. Kurz darauf wird er ein gefeierter Schriftsteller durch seine Veröffentlichung des „Werthers“ und der Geheimrat des Weimarer Herzogtums. Er veröffentlicht zahllose literarische Werke, schreibt auch viele Abhandlungen zur Naturwissenschaft und erwirbt, ebenso wie der Gelehrte zu Beginn des „Faust I“ einen Adelstitel. Sein manisch-depressiver Charakter spiegelt sich in der doppelten Gestalt Faustens. Wenn Mephisto, den man in diesem Fall eigentlich als die dunkle Gestalt in Faust selbst bezeichnen kann, über sich selbst sagt,

*Ich bin der Geist, der stets verneint.* 1239

so hört man daraus auch Faustens Stimme.

Was den Schluss der Tragödie betrifft so ist festzuhalten, dass man laut christlicher Eschatologie in der Lage sein muss, seine Sünde als eine solche zu erkennen, falls man aus dieser auch erlöst zu werden wünscht. Dies setzt gleichzeitig die Bereitschaft voraus, diese auch zu bereuen. Doch genau daran mangelt es bei Faust. Sowohl in der „Gretchen Tragödie“ als auch im Mord an Baucis und Philemon findet sich kein Gefühl der Reue auf Seiten Faustens. Er hat nur Sorge und zwar Sorge, sein Gesicht zu verlieren. Der merkwürdige Widerspruch, der sich damit zum Ende hin generiert ist der, dass Faust dennoch erlöst wird!

*Engel (schwebend in der höheren Atmosphäre, Faustens Unsterbliche tragend)*

*Der Geisterwelt vom Bösen:  
„Wer immer strebend sich bemüht,  
Den können wir erlösen“.  
Und hat an ihm die Liebe gar  
Von oben teilgenommen,  
Begegnet ihm die selige Schar  
Mit herzlichem Willkommen.*

11943

Einem Jahr vor seinem Tode schrieb Goethe den Schluss des „Faust II“, den er über 60 Jahre lang liegengelassen hatte. In seinen Gesprächen mit Eckermann findet sich eine Passage, in der die berühmte „Selbstanmerkung“ zur Erlösung Faustens macht. Die Stelle findet sich im Gespräch vom 6. Juni 1831.

*„In diesen Versen“, sagte er, „ist der Schlüssel zu Fausts Rettung enthalten. In Faust selber eine immer höhere und reinere Tätigkeit bis ans Ende, und von oben die ihm zu Hilfe kommende ewige Liebe. Es steht dieses mit unserer religiösen Vorstellung durchaus in Harmonie, nach welcher wir nicht bloß durch eigene Kraft selig werde, sondern durch die hinzukommende göttliche Gnade.*

*Übrigens werden Sie zugeben, daß der Schluß, wo es mit der geretteten Seele nach oben geht, sehr schwer zu machen war, und daß ich, bei so übersinnlichen, kaum zu ahnenden Dingen, mich sehr leicht im Vagen hätte verlieren können, wenn ich nicht meinen poetischen Intentionen, durch die scharf umrissenen christlich-kirchlichen Figuren und Vorstellungen, eine wohlthätig beschränkende Form und Festigkeit gegeben hätte.“*

*Den noch fehlenden vierten Akt vollendete Goethe darauf in den nächsten Wochen, so daß im August der ganze zweite Teil geheftet und vollkommen fertig dalag. Dieses Ziel wonach er so lange gestrebt, endlich erreicht zu haben, machte Goethe überaus glücklich. „Mein ferneres Leben“, sagte er, „kann ich nunmehr als ein reines Geschenk ansehen, und es ist jetzt im Grunde ganz einerlei, ob und was noch etwa tue.“*

Da Goethe in diesem Gespräch auch den Charakter



Faustens und sein eigenes Alter bemerkt, zitieren wir noch hierzu,

*„Wir redeten sodann über Faust, den das Erbteil seines Charakters, die Unzufriedenheit, auch im Alter nicht verlassen hat, und den, bei allen Schätzen der Welt, und in einem selbst geschaffenen neuen Reiche, ein paar Linden, eine Hütte und ein Glöckchen genießen, die nicht sein sind. Er ist darin (...) „Der Faust, wie er im fünften Akt erscheint“, sagte Goethe ferner, „soll nach meiner Intention gerade hundert Jahr alt sein, und ich bin nicht gewiß, ob es nicht etwa gut wäre, dieses irgendwo ausdrücklich zu bemerken.“*<sup>9</sup>

Was Goethes Anmerkung zu der Erlösung Faustens und unter dem Aspekt der religiösen Vorstellung nach klarmacht, ist, dass der hundertjährige Faust nicht etwa durch die strebende Bemühung litt, sondern unter dem Erbteil seines Charakters, unter der Unzufriedenheit, die er ja gleich zu Beginn der Tragödie im Studierzimmer formuliert hatte.

#### 4

Was die Frage nach der eigenen Kraft und der Schuld sowie das Moment der Erlösung betrifft, so bemerkt Sho Shibata dazu folgendes:

*Faust wird nicht durch eigene Kraft, sondern durchaus durch absolute andere Kraft erlöst. Faustens Erlösung ist gar keine Erlösung aus Schuld. Die Rettung aus Schuld setzt das Anerkennen der Schuld, d.h. die ernstliche Reue voraus. (...) Aber Goethe bejahte insgesamt Faustens Tätigkeiten. Er hat ihn aus der Dunkelheit, die aus dem Nicht-Anerkennen der Schuld als Schuld entsteht, durch ewige Liebeskraft, d.h. durch Gnade ohne Verdienst und ohne Anerkennen der Schuld direkt befreit.<sup>10</sup>*

In Japan gibt es eine Denkweise, die nicht den Täter als Person hasst, sondern seine Schuld. Die älteren Japaner erinnern sich dazu an die Worte des Buddhisten Shinran,

*Wenn schon die Guten hingeboren werden können (a), dann erst recht die Bösen! Trotzdem sagt man aber immer: Wenn schon die Bösen hingeboren werden können, dann erst recht die Guten. Diese Auffassung ist anscheinend auf den ersten Blick begründet. Sie widerspricht indessen der Bedeutung, welche der Anderen Kraft des Gelöbnisses (b) zukommt.*

*Denn wer durch seine eigene Kraft (c) das Gute leisten will, dem fehlt der Glaube, sich einzig und allein auf die Andere Kraft zu verlassen.<sup>11</sup>*

Da diese Worte von Shinran ihre spezifische japanische Bedeutung haben, ist es vonnöten den obigen Über-

setzungsvorschlag anmerkend zu ergänzen. Wir tun dies, indem wir hier die Fußnoten der Übersetzer des „Tan-Ni-Sho“ ergänzend zitieren.

#### a) Hingeburt ins Reine Land

*Hingeburt heißt: mit dem Glauben an das Geheimnis des Gelöbnisses von Amida-Buddha Nembutsu sagen und schon jetzt auf die Hingeburt ins Reine Land bereit sein (im Stand des Vergewissert sein), um nicht nach, sondern mit der Auflösung des leiblichen Daseins die Hingeburt dorthin zu vollziehen und Buddha zu werden*

*Hingeburt darf nicht mit Reinkarnation oder Wiedergeburt verwechselt werden. Sie ist das ein für allemal vollzogene Eintreten in den Bereich des „geburt- und todlosen, wahren Landes“. Überwunden werden soll beim Buddhismus nicht nur der Tod und das Sterben, sondern auch das Leben und die Geburt. Leben und Tod, Geburt und Sterben sind voneinander nicht zu trennen wie die beiden Seiten ein und desselben Papiers. Deshalb ist Jo-Do das wahre Land der Geburt- und Totlosigkeit. Hingeburt und Buddha-Werden sind beim Jodo-Buddhismus – zwar voneinander zu trennen, aber auch nicht ein und dasselbe. Hingeburt ist ein Prozeß und fängt in diesem Leben schon in dem Moment an, in dem der Glaube fest geworden ist. Buddha-Werden ist das Endziel auf dem Weg zur Hingeburt. Anders gesagt: Buddha-Werden ist endgültiger Vollzug der Hingeburt.*

#### b) skr.pranidhana, Gelöbniß

*Das Wort bedeutet so viel wie, Versprechen, sich wünschen, wollen, Gelöbniß ablegen usw. Wie es unter dem Stichwort Amida erläutert ist, wird gelehrt, daß Amida in ferner Vergangenheit dieses Gelöbniß ablegte, um die leidenden Lebewesen zur Errettung, zur Erweckung zu führen. Das Guan ist der Zentralbegriff des Jodo-Buddhismus und das 18. Guan ist das allerwichtigste. So heißt es Hon-Guan, also Grund-Gelöbniß oder Urgelöbniß. Es bilden sich je nach Zusammenhängen unterschiedliche Begriffe heraus: Sei-Gaun, versprechendes Gelöbniß; Hi-Guan, mitleidendes, trauerndes und barmherziges Gelöbniß; Chi-Guan, Weisheit-Gelöbniß; Dai-Guan, Großes Gelöbniß; Guan-Riki, die Kraft des Gelöbnisses; Guan-Sen, Gelöbniß-Schiff, welches das leidende Lebewesen über das Leidensmeer hinüber führt; Guan-Kai, das unendlich große Gelöbniß, das wie das Meer alles in sich aufnimmt, usw.*

#### c) Eigene Kraft – Andere Kraft, der Weg der Schweren Übung – der Weg der Leichten Übung; das Tor des Heiligen Weges – das Tor des Reinen Landes.

*„Weg“ und „Tor“ bedeuten hier ein und dasselbe, worauf und wodurch Erweckung (Satori) erlangt wird. Es handelt sich um die ursprünglich schon vom indi-*

schen Gelehrten Ryuju (Nagarjuna ca. 150-250) eingeführte, später vom chinesischen Gelehrten Doshaku (562-645) vollzogene Klassifikation der ganzen Lehre des Buddhismus.

Der Weg der Schweren Übung bedeutet den Weg durch eigene Kraft (Ji-Riki) nach der strengen Meditation und Übung die Erweckung zu erlangen, z.B. im Zen. Auf diesem Weg kann nur der Mächtige, Erkorene, in dem Sinne nur der Heilige, gehen; darum das Tor des Heiligen Weges,

Der Weg der Leichten Übung bedeutet demgegenüber den Weg, nicht das eigene Werk (Ji-Riki), sondern durch den Glauben an die Andere Kraft (Ta-Riki) Amidas und zwar durch das Sagen seines Namens (nembutsu) ins Reine Land (jodo) hineingeboren zu werden. Deshalb ist das Nembutsu-Sagen nicht „eigene Übung“ (Ta-Riki), sondern die absolute Kraft schlechthin. Sie nannte Mannsi Kiyohara (1863-1903), die „Absolute Tariki“. Diese Absolute Tariki heißt nach Shinran „die natürliche Spontaneität.“

Die beiden Wege werden oft veranschaulicht durch Bilder: auf dem Meer mit dem Schiff zu fahren.

Also, so scheint uns, kann man die Erlösung Faustens auch vom Standpunkt des japanischen Buddhismus motiviert her betrachten, genauer gesagt in der Jodo-Lehre, die Kraft des absoluten, anderen Urgelöbnis. Diese Denkweise, dass gerade ohne Verdienst oder Auflösung der Leiden durch die absolute Urgelöbnis-Kraft, nicht die Leiden auflöst, macht den Kern in der indischen Philosophie und Religion, einschliesslich des Mahayana-Buddhismus aus. Wie oben bereits gesagt wurde, das

*Es irrt der Mensch, so lang er strebt*

von Faust ist in Wahrheit,

*Es fehlt der Mensch, so lang er handelt.*

(Hervorhebungen von uns)

## 5

Auch in Indien findet sich ähnliches, ausgedrückt durch eine Sentenz, die besagt, wenn man handelt, dann bringe dies auch die guten Ergebnisse, doch mehr die schlechten.

Die Tat nennt man auf sanskrit *karman*, doch hat dieses Wort eine negative Konnotation. Das heilige Buch des Hinduismus, „Bhagavadgītā“, predigt die Leerheit des Menschen-Daseins, dass mit Zeit (Kāra), Todesgott und Schicksal gespielt wird und dass man sich einer bestimmten Tat hingibt, solange man als Mensch geboren ist und das vergängliche Leben lebt. Wenn man sich von allem Relativen freimacht und sich jedes Ding paritätisch betrachten kann, ist man in seiner Freiheit gar nicht zu beschränken; d.h. man geht den Erweckungs-

weg, mit anderen Worten, Gnade ohne Verdienst, wie das Bhagavadgītā immer wieder betont.

*Dein Interesse (aber) sei nur auf das Handeln gerichtet, niemals sollen dessen Früchte dein Handeln bestimmen, (aber) neige (auch) nicht zur Untätigkeit.*<sup>12</sup>

Eine immer höhere und reinere Tätigkeit hin zum Bösen und die Auflösung der Leiden durch Gnade ohne Verdienst usw. sind aber gerade die Themen des „Faust“.

Die letzten Worte des Buddha, *lebe den Sinn* (saṃskāra) als solchen begreifen, ist der Kern des Aspektes Tat, der auch im Bhagavadgītā immer wieder gepredigt wird.

Als der Held Arjuna, der mächtige Krieger im Heer seines Feindes seine Verwandten und seine verehrten Lehrer erblickt, ist er nicht mehr bereit zu kämpfen, aber auch nicht bereit zu überleben, um sie vielleicht sogar zu ermorden. Da sagt er zu seinem Freund Kṛṣṇa (in Wahrheit die Verkörperung der Götter des Hinduismus): ‚Ich kämpfe nicht! Wenn ich meine eigene soziale Pflicht tue, muss ich viele Menschen einschließlich meiner Verwandten und meiner Lehrer umbringen.‘ Daraufhin fragt er Kṛṣṇa was er tun solle, damit er diese Pflicht erfülle und gleichzeitig nicht in Sünde falle. Kṛṣṇa erwidert Arjuna ermutigend und verweist ihn mit folgenden Worten auf dessen *Erkenntnismäßigkeit*.

*Du betrauerst jene, die du nicht betrauern sollst. Und zwar redest du erkenntnismäßig. Wahre Weise betrauern aber nicht jene, deren Lebenszeit vergangen ist und deren Lebenszeit noch nicht vergangen ist. (...) Denn allem, was geboren wurde ist ja der Tod sicher, und sicher ist die Geburt dem, der tot ist. Deshalb sollst du nicht betrauern was unvermeidlich ist. (...) Deshalb steh auf, o Kuntis Sohn, entschlossen zum Kampf.*

*Glück und Land laß dir gleichgültig sein, dergleichen Gewinn oder Verlust, Sieg oder Niederlage. Dann sei gerüstet für den Kampf.*

*Nicht dadurch, dass er keine Handlungen mehr anfängt, erreicht der Mensch die Freiheit vom Handeln, und durch Entsagung allein nähert er sich der Vollkommenheit nicht.*

*Denn niemand bleibt auch einen Augenblick nur ohne Handlungen zu tun, wird doch ein jeder unfreiwillig veranlasst zu handeln durch die der Stoffnatur (Prakṛti) verdankten Grundzüge.*

*Wer dieses derart in Bewegung gesetzte Rad (cakra) in dieser Welt nicht weiterlaufen lässt, der lebt in Schuld, ergötzt sich mit den Sinnen; er lebt vergebens, Pṛthā-Sohn.*

*Andererseits, wenn ein Mensch sich am Selbst ergötzt und durch das Selbst zufriedengestellt wurde, und er im Selbst allein befriedigt weilt, dann gibt es für ihn nichts, was er tun müßte.*

*Für ihn besteht kein Zweck, der er durch die getane Tat erreichen müßte, und keiner für die Unterlassungen*

in dieser Welt. Und unter allen geschaffenen Dingen gibt es für nichts, was ihm abgäbe.

Ein Mensch, vom Ichgefühl verwirrt, glaubt von sich, ich bin der Täter, wo doch die Handlungen allesamt durch die Grundzüge der Stoffnatur (Prakṛti) geschehen.<sup>13</sup>

Gleich wie diese hinduistische Predigt handelt Faust bei Goethe durch das gesamte Stück hindurch. Nach der Erklärung der japanischen Übersetzer besteht das heilige *Bagavat* aus der materiellen, niederen und aus der rein geistlichen, hohen Stoffnatur, und es ist Gottes-Yoga, das diese beiden zusammenbindet. Nach diesem Denkmodell bricht dann *Maja* aus und die Erscheinungswelt wird sichtbar. Die Erscheinung durch *Maja* findet sich in Faust klar ausgedrückt.

Der spiegelt ab das menschliche Streben.  
Ihm sinne nach, und begreifst genauer:  
**Am farbigen Abglanz haben wir das Lebe.** 4728  
(Hervorhebung von uns)

Und weiter,

Alles Vergängliche  
Ist nur ein Gleichnis;  
Das Unzulägliche,  
Hier wird's Ereignis;  
Das Unbeschreibliche,  
Hier ist's getan;  
Das Ewig-Weibliche  
Zieht uns hinan. 211

Übrigens sollen, laut Katsuhiko Kamimura, in der indischen Religion und Philosophie alle Göttinnen, Prakṛti und auch *Maja* das weibliche Prinzip verkörpern; ebenso wie im „*Dao de jing*“ des Laozi. Dort heisst es im Anmerkungen sechs-ten Kapitel:

Die Göttin im Tal stirbt nicht.  
Sie ist genannt, das mystisch Weibliche.  
Das des Weiblichen: die Wurzel von Himmel und Erde  
Das Tor ist dauerhaft, wie wenn es für immer bestände.  
Und unerschöpflich, wie oft es auch gebraucht wird.

So oder so bleibt die Rolle von *samskāra* im menschlichen Leben undeutlich. Auch Faust ächzte gleichsam unter dieser Last.

Daß ich erkenne, was die Welt  
Im Innersten zusammenhält,  
Schau alle Wirkenskraft und Samen,  
Und tu nicht mehr in Worten kramen. 385

Aber je tiefer Faust nachdenkt, desto weiter entfernt er sich, entfernt *Es* sich. Goethe nannte dieses *Es* in den oben genannten Versen *unbeschreiblich* und Laozi sagte an gleicher Stelle im Kapitel 56:

Ein Wissender redet nicht;  
Ein Redender weiß nicht.

Wenn *Es* so ist, darf man dann handeln, was man nach *samskāra* oder *prakṛti* tun mag? Im „Prolog im Himmel“ sagt der Herr,

Ein guter Mensch in seinem dunklen Drange  
Ist sich des rechten Wegs bewußt. 329

Im Buddhismus heisst es,

Im Anfang war die große Gnade. (jap. daihi)

und bei Shinran kann man lesen,

Im Anfang war das Urgelöbnis. (jap. hongan)

<sup>1</sup> Kazuyosi Kino: *Hanyashingyo kogi*. Tokyo 1988 S.162-16 und *Hannya Singyo wo yomu*. Tokyo 1998, S.1147

<sup>2</sup> Hajime Nakamura: *Buddha saigo no tabi*. Tokyo 1989 S.158

<sup>3</sup> Ilse-Lore Günsler: *Reden des Buddha*. Stuttgart 1987S. 79

<sup>4</sup> siehe Anmerkung 1, *Hannya Shingyo Kogi*.. S.165

<sup>5</sup> Goethe Werke: Weimarer Ausgabe, 1Abt. Bd. 42, S.259

<sup>6</sup> G.F.Hegel: *Wissenschaft der Logik*.. Bd. II (F.Meiners/Herg.), Hamburg 1975 S, 267

<sup>7</sup> Tsutomu Hasegawa:Faust no hikakubungakuteki kenkyu josetsu Tokyo 1979 S. 75-97

<sup>8</sup> siehe Anmerkung 7, S. 77f

<sup>9</sup> J.P.Eckermann: *Gespräche mit Goethe*. Stuttgart 1994 S. 77f

<sup>10</sup> Sho Shibata: Faust wo yomu. Tokyo 1985 S. 410-411

<sup>11</sup> Tan-Ni-Sho, Die Gunst des Reinen Landes. übersetzt von Ryogi Okochi und Klaus Otto, Bern 1979 S.27, a) S. 153, b) S.142, c)15

<sup>12</sup> Bhagavadgītā, übersetzt von Richard Garbe, Leipzig 1921 S. 89

<sup>13</sup> Bhagavadgītā, übersetzt von Peter Schreiner, Zürich 1991 S, 59-

ゲーテ『ファウスト』におけるサンスカーラ

大村英繁 ベルント クラウゼン

概要

サンスカーラは仏教における重要な術語の一つであり、多義語である。中村・紀野訳『般若心経』では「意志」と訳されている。紀野一義は後にこれを「こころ」と訳し変えている。ゲーテは『ファウスト』において「初めに言葉ありき」を「初めに行為ありき」と翻訳したことはよく論議されるが、その際に「初めに心ありき」と訳そうとしたことはあまり論議されない。本論はゲーテの『ファウスト』を通してサンスカーラの一般的概念を明らかにしようとするものである。

キーワード：ゲーテ ファウスト サンスカーラ 心

共通講座

# 動詞類と名詞類の区別の普遍性について —ハワイ語における品詞分類への適用—

塩谷 亨<sup>\*1</sup>

## The Universality of the Noun / Verb Distinction —Application to the Word Classification in Hawaiian—

Toru SHIONOYA

(原稿受付日 平成12年4月28日 論文受理日 平成12年8月31日)

### Abstract

This article investigates two word classes, NOUN and VERB, as universal categories. While some linguists agree that two word classes, NOUN and VERB, are to be considered as universal, the universality of the distinction noun/verb is questioned by some linguists. For example, in Polynesian linguistics, some linguists propose a multifunctional word class which can be used as both noun and verb. A word in the multifunctional class belongs to neither NOUN nor VERB in itself, but its function is determined by the context. The purpose of this article is to show some evidence against the universality of the noun/verb distinction and to give some argument for proposing the multifunctional word class. In doing so, data from Hawaiian are examined.

Keywords: Hawaiian language, Language universals, Part of speech, Word class

## 1 はじめに

### 1.1 品詞分類の必要性

ある言語の単語を何らかの基準に従って分類したものは一般に品詞(part-of-speech)、或いは語類(word class)等と呼ばれる。ある言語の記述という作業、具体的には文法と辞書の編纂という作業を体系的に行うにはこのような品詞分類が不可欠な道具であることは言うまでもない。同様に、教育現場等で或言語の文法を教授する際にも品詞という単位は不可欠なものである。

ある特定言語の記述の道具という意味では、

<sup>\*1</sup> 共通講座

個々の言語の記述という目的のために効果的な品詞分類をそれぞれの研究者が独自に設定すれば良いわけであり、そこで設定された品詞分類が他の言語について設定された品詞分類と全く異なっても問題はない。例えば、一般的に品詞分類として用いられている名詞や動詞等のラベルの代わりに、単に語類I、語類II等のラベルを付して、他の言語の品詞と全く関係性を示さないような品詞分類でもよい訳である。

しかしながら、実際には、世界中の様々な言語、全く異なる地域の諸言語、或いは、歴史的に同じ系統を持つとされていない諸言語の記述の多くが同様に名詞や動詞など一般的に広く用いられている品詞分類を用いてなされている。これは、例え

ば名詞や動詞と言った品詞の特徴付けについて、異なる諸言語の間でもある程度の普遍性が見られるということを示唆している。とは言え、多くの場合、言語記述における品詞分類は基本的にその言語の独自の基準を立てて分類したものであるのが普通であり、たとえば名詞や動詞という同じレベルを用いていたとしても、必ずしも同じものを指しているという保証はない。

言語類型論や言語普遍性の研究に於いては複数の異なる言語を比較対照するわけであるが、その場合にも品詞分類という道具が不可欠である。この場合、個々の言語における個別的な分類を用いているのでは正しい比較対照が困難である。例えば、動詞という分類を用いて比較対照する場合には、それらが同じ基準により分類された動詞であることが必要である。従って、ある一つの特定の言語の効果的な記述のための品詞分類だけではなく、いろいろな言語に等しく適用できる普遍的な品詞分類というものが必要となる。

## 1.2 本稿の目的

本稿ではいろいろな言語に適用できる普遍的な品詞分類として言及されている動詞と名詞という二つの区別が普遍的なものであるのかについて、ハワイ語の分析に基づいて検討する。

品詞分類にはいろいろな立場があるが、本稿では次のような立場を取る。

- (1) 単なる文法記述の道具としての品詞分類ではなく、話者の心理的実在をより反映する品詞分類。
- (2) 単にある単語が文中でどのような機能を持っているかを示す品詞分類ではなく、一つの単語それ自体に内在する素性としての品詞分類。

このような立場から、動詞と名詞という区別の普遍性を論ずるに際しては、話者がそのような区分をある一つの単語それ自体に内在する素性として、認識しているかどうかという問題に対する一つの答えの提示を試みる。

又、本稿で品詞分類の対象とするのは、文法機能等の指標となる限られた数のいわゆる機能語ではなく内容語である。機能語は内容語の分類の基準として活用する。

## 2 名詞と動詞の普遍性

### 2.1 普遍的に適用できる品詞はどれか

機能語を除くいわゆる内容語の品詞分類としては、名詞、動詞、形容詞、副詞の4つが一般的である。この中で、形容詞と副詞という分類は普遍的には適用できないが、名詞と動詞に関しては普遍的に適用できるという立場が広くとられている。

例えば、形容詞にあたるものが全て統語論的、形態論的な基準から動詞の仲間に分類され、その結果残るのは普遍的には動詞と名詞だけという言語がある。ポリネシア語がその例であり、例えば、ハワイ語では、形容詞にあたるものは状態動詞によって表される。状態動詞は動詞と同様の位置に置かれ、動詞と同様に用いられる。副詞についても同様で、状態動詞の多くが副詞として用いられる。

mālie という単語は状態動詞に分類されるものだが、動詞として用いる場合は「穏やかだ」の意味で述語となることができ、形容詞的な用法では、「穏やかな」という意味で名詞を修飾し、また副詞的な用法では「穏やかに」の意味で動詞を修飾する事が出来る。

- (3) mālie iho la ke kai  
calm DIR DEM ART sea  
‘海が穏やかだ’ S:47
- (4) he mau lā mālie kekahi.  
PL day calm too  
‘穏やかな日もある’ K:102
- (5) ‘ōlelo mālie aku ‘o Iwa  
speak calmly DIR NC Iwa  
‘イヴァは穏やかに話した’ - S:31

このように、形容詞も副詞も動詞の下位グループである状態動詞によって表されるため、形容詞と副詞という語類は必要ないのである。

### 2.2 名詞・動詞という区別の普遍性

動詞と名詞という二つの語類を用いることにすると、新しい問題点が浮かび上がる。すなわち、名詞と動詞の両方に属する単語というものを認めるのかどうかということである。言い換えると、いつでも、名詞/動詞という明確な区別が適用できるのか、どちらとも判断しかねる場合はない

のかということである。

名詞／動詞の区分は普遍的ではないと指摘する言語学者の根拠は、言語によっては、動詞と名詞とをはっきりと区分できない場合があるということである。Martinetによれば、マダガスカル語には動詞にも名詞にもなる一連の単語があり、例えば、*fivoriana* という単語は場合によって“会合”又は“会合がある”のように訳さなければならない。<sup>(1)</sup>

これに対して、動詞／名詞の区分が普遍的だとする言語学者は、言語によって、動詞と名詞の間の文法的な違いの程度にこそ差があるものの、動詞／名詞の区分は普遍的に適用し得るはずだと主張する。<sup>(2)(3)</sup>この立場からすると、前述のマダガスカル語の例は、同音異義語として、或いは、一方の品詞からもう一方の品詞が派生したものとして分析されると思われる。

ポリネシア諸言語には、同じ形で名詞にも動詞にも用いられるという単語の数が著しく多い為、品詞分類においては、動詞／名詞の区分を越えて、動詞にも名詞にもなれる語類を、動詞や名詞とは独立して別に設けることがしばしば見られる。例えば、Pawleyによるサモア語の句構造の記述における品詞分類では、N類（およそ名詞類に相当）とV類（およそ動詞類に相当）の他にもう一つU類というのを設けてその中に、N類V類の両方の環境で用いられる単語を含めている。<sup>(4)</sup>

本稿で扱うポリネシア諸語の一つハワイ語の先行研究においても、名詞と動詞の両方として使える語類を設けたものがある。Elbert and Pukuiは名詞類と動詞類に加えて名-動詞類(Noun-Verb)という分類を設けているが、それは、名詞としても使うことが出来る動詞として定義されている。<sup>(5)</sup>明確に述べられてはいないが、元々動詞である語が名詞化して使われているという意味だと思われる。一方、Pukui and Elbertでは同じく名-動詞類(Noun-Verb)という分類を設けているが、定義の方は、名詞としても動詞としても使える語基のようになっており、名詞とも動詞とも明示されていない。<sup>(6)</sup>この後者の分析については後で吟味する。

### 3 ハワイ語における動詞／名詞区分の基準

#### 3.1 形態論的基準

品詞分類に用いられる基準の一つとして形態論的な基準がある。これは、基本的にはある単語が

どのような活用をするのかによって分類するものであり、同じタイプの活用をする単語が同じ語類にまとめられる。

ハワイ語に関しては、活用的なものはほとんど失われてしまったため、活用のタイプを基準に品詞分類をすることは不可能である。

活用のタイプによる分類の他に、形態論的な品詞分類の基準として、派生接辞を手がかりにした基準を用いることがある。通常、このような分類はある言語の単語の一部にしか適用できないため、これだけで言語全体の分類をすることは困難である。

#### 3.2 意味論的基準

品詞分類の二つめの基準として、意味論的な基準を見る。これは言語形式に関係なく意味によって分類するものなので、それぞれの言語の個別的特徴に関わりなく普遍的に適用することができる。今回は、杉浦のたてた意味論的な分類に基づく9つの語類を参考に、それを一部利用して、行為、状態、事物の三つに分類する。<sup>(7)</sup>杉浦は変化・状態という語類を設けたが、それを行為と状態の二つに分けた。ハワイ語の内容語のほとんどが(一部の限られた数の単語のグループを除き)この三つに分類できる。

行為を表す単語には、例えば‘olelo「話す」 holo「進行する」‘ai「食べる」等が含まれる。

状態を表す名詞には、例えば nani「美しい、美しさ」、maikai「良い、良さ」、malie「穏やかな」等が含まれる。

事物を表す名詞には、例えば noho「椅子」 kalo「タロ芋」 kanaka「人間」等が含まれる。

#### 3.3 統語論的基準

品詞分類に用いられる最後の基準として、統語論的基準がある。これは、ある単語が文中のどこに現れるか、又は、ある単語がどのような機能語と共起するかによって分類するものである。

この種の基準は、ポリネシア諸語では広く用いられている。動詞については時制・相マーカと共起するものとして規定し、名詞については限定詞と共起できるものとして規定することによって、効果的な分類をすることができる。

ハワイ語の動詞については、完了相又は未完了相のマーカと共起するものとして定義できる。

(6) Ua 'ai lākou a lawa.  
 PER eat they until enough  
 '彼らは十分食べた' P: 23

(7) E māmā 'awa ana lāua.  
 IMP prepare kava drink DEM they  
 '彼らはカヴァ飲料を用意している' S:247

例文6の'aiと例文7のmāmāは、それぞれ、完了相のマーカ-ua、未完了相のマーカ-eと共起しているの、どちらも動詞とみなされる。

名詞については、限定詞(冠詞ka、ke、nā、所有形、指示詞等)と共起する物として定義できる。

(8) i loko o ke kula  
 LOC inside of ART school  
 '学校の中で' H:42

(9) i kela makahiki  
 LOC that year  
 'あの年に' H: 43

例文8のkula例文9のmakahikiはそれぞれ、冠詞ke、指示詞kelaと共起しているの、名詞と見なされる。

このような基準でほとんどの内容語の分類が可能である。

#### 4 ハワイ語の名詞/動詞区分の曖昧性

##### 4.1 名詞類と動詞類の著しい重なり

前の節で動詞として分類された単語の非常に多くが、名詞としても用いられる。その際に、名詞化するための要素等はなくとも、そのままの形で名詞として用いることが出来る。

全ての単語を調べることは不可能であるが、状態を表す単語に関しては、その極めて多くが、名詞と動詞として頻繁に用いられる。状態名詞として用いることが出来る。例えばnani「美しい、美しさ」、ikaika「強い、強さ」は次のように用いられる。

(10) ua ikaika loa kona lele 'ana  
 PER strong very its fly GER  
 'その飛び方はとても力強い' K:118

(11) a pahu maila iā Umi, me ka ikaika  
 and push DIR ACC Umi with ART strong  
 'そして海を強く押した' S:145

(12) a ua nani maoli ka 'ilihonua  
 and PER beautiful really ART surface  
 'そして地表は本当に美しい' K:92

(13) helu 'ekahi o ka nani  
 No. 1 of ART beautiful  
 '美しさのナンバーワン' K :80

この他、maika'i「良い、良さ」、mālie「穏やか」、onaona「香しい、香しさ」も同様である。

又、行為を表す単語も名詞としても動詞としても広く使える。例えば'ōleloは名詞としては「話」、動詞としては「話す」となり、holoは動詞としては「進行する」名詞としては「進行」となる。

(14) 'O neia mau 'ōlelo āu  
 NC this PL speaking your  
 'あなたのこれらの話' S :59

(15) 'Ōlelo hou mai 'o Umi iā Iwa  
 speak again DIR NC Umi to Iwa  
 'ウミがまたイヴァに話した' S:31

(16) ua holo aku ke ali'i  
 PER proceed DIR ART chief  
 '首長が進んだ' P:22

(17) inā e ho'opa'a i ka holo  
 if IMP make fast ACC ART proceeding  
 'もし進みを早めたら' P 65

上記の例のうち、名詞として用いられている例は全て定冠詞と共に用いられている例であった。実際にはいろいろな限定詞と共起する。ハワイ語の限定詞には、冠詞の他に指示詞、所有形等がある。

(18) kou hea mau i ko māua inoa  
 your call always ACC our name  
 'あなたがいつも我々の名を呼ぶこと' F:106

例文16のhouは「呼ぶ、呼ぶこと」という意味で名詞としても動詞としても用いられる単語であるが、ここでは、名詞として、所有形ko māua「我々の」と共起している。

以上に挙げた例はいずれも動詞と名詞の意味が予測可能な場合であったが、予測可能でない場合も多くある。例えば、nohoは「座る」と「椅子」の二つの意味がある。確かに、関連深い意味であるが、このような例の多くでは、名詞の意味と動詞の意味が必ずしも体系的に対応せず、予測可能



と言えない場合が多い。従って、同音異義語とみなすのが適切であろうと思われる。

一方で、名詞が動詞として使われる明確な例はほとんど見られない。

## 4.2 曖昧性の解決策

### 4.2.1 同音異義語又は派生

このように動詞類と名詞類のどちらに属するかわからないような場合の解決策として、よく言及されるのが、同音異義語と派生である。

同音異義語としての分析では、例えば、holo という単語は「進行する」と「進行」という二つの同音異義語を持つ、のように分析される。しかしながら、極めて数が多く、しかも体系的に対応も見られるものも全て一緒に同音異義語として片づけることに、どれ程の意義があるかは疑問である。

派生の場合には、例えば、holo という単語の場合、元々「進行する」という動詞だったものから「進行」という名詞が派生した等のように分析される。しかしながら、多くの場合、どちらがどちらから派生したのか決定することは困難である。

### 4.2.2 Pukui and Elbert による分類

Pukui and Elbert は、動詞としても名詞としても用いられる単語を名-動詞類と呼んで、動詞類(動詞としてしか用いられない単語)と区別したが、その際に、名詞-動詞類を、動詞を名詞化する小辞 'ana の付加なしでも名詞として用いられる単語と定義している。<sup>(6)</sup>実は、この動名詞化小辞 'ana は、ハワイ語にも明確な動詞・名詞の区分があると主張するための有力な根拠となる可能性があるものの一つである。動名詞化小辞 'ana を動詞の後ろに置くことによって、その動詞を名詞化することができる。

- (19) ua lō'ihī ke ka'awale 'ana  
PER long ART be separated GER  
'離れ離れが長かった' S:137

例文19では「別れていること」という状態を表す名詞になっているが、行為を表す動詞(例 'ai 「食べる」)に 'ana が付加されると行為を表す名詞(例「食べること」)のようになる。従って、名詞として用いられている単語のうち、'ana が付加されているものを本来の動詞として分類することが可能であるように思われる。しかしながら、

この 'ana の付加は必須ではないのである。すなわち、一般に動詞を名詞として用いている例と思われ、'ana の付加が予期されるような場合でも、'ana が付加なしで名詞として用いられていることが多々ある。

- (20) 'o kāna waiwai nō ka lawelawe nā 'olua.  
NC his value INT ART serve for you  
'実際彼の価値はあなた方のために仕えること位だ' S:137

lawelawe は 'ana なしでは名詞として用いられない動詞とされているが、ここではなしで「仕えること」という名詞として用いられている。このように、'ana の付加は必須ではないことから、明確な動詞・名詞の区分の基準とはなり得ないのである。

更に、Elbert and Pukui によれば、'ana は名詞にも付加されることがあるとして、次のような例を示している。<sup>(9)</sup>

- (21) ka 'āina 'ana  
ART land GER  
'土地を与える事' G:80

'āina 通常は「土地」と言う意味の名詞であるが、このように 'ana を付加することによって、ここでは何らかの行為的な意味を添えられている。このほかの場合には 'āina が動詞として用いられる例は見られない。このように、通常専ら名詞として用いられる語に 'ana が付加された場合にどのような意味が付与されるのかについては、まだ分析途上であるが、'ana が場合によっては名詞にも付加されるという事実を考えると、動詞・名詞の区分の基準としての 'ana の適切性には疑問が生まれる。従って、このような規定によっては、名詞と動詞という区分も、或いは Pukui and Elbert の提示する動詞類と名詞-動詞類という区分も困難であると思われる。

## 4.3 語彙固有の情報としての名詞・動詞

前の二つの節において、統語論的な基準に従って動詞・名詞の区分をした場合にどのような不便があるかを示した。結局の所、統語論的な基準で規定されるのは、語彙の特性というよりも、やはり、文中の機能なのである。それに基づいて、動詞・名詞等と分類した場合、それは、果たして、

本当の意味での単語の分類なのかは疑問である。

また、ある一つの単語固有の情報として、動詞・名詞の区別は本当に必要であろうか。例えば、hele「行く」という単語固有の情報としては「行く」という行為を表す>ということが含まれていることは明白であるが、それと一緒に、<動詞である>といった情報も含まれている必要はあるのだろうか。これまでの例を見た限りでは、動詞・名詞という情報は文脈から来ているように思われる。

## 5 結び

### 5.1 意味論的基準による三つの語類

動詞・名詞という区分がそれぞれの個々の単語に素性として内在するとみなすべき十分な根拠はないように思われることから、本稿では、動詞・名詞という区分を越えた品詞分類として、意味論的な基準に基づいた類別を提案する。3.2節で示した分類に従って、行為を表す単語、状態を表す単語、事物を表す単語をそれぞれ、行為類、状態類、事物類の三つの語類に分類する。ハワイ語に関しては、この三つの分類によって、ほとんどの内容語は網羅できる。ただし、今回はより典型的な動詞名詞に的を絞ったため、時間、空間、数量等の単語を割愛している。

これら三つの語類は、いずれも、動詞とも名詞とも限定されていない。従って、動詞としても名詞としても用いることが出来るような、多機能な語類であり得る。実際、4.1節で見たように、行為類と状態類は、名詞としても動詞としても用いられる多機能の語類である。又、同様に、いわゆる名詞や動詞と呼ばれる物が全て一緒に分類されているとは限らない。行為類、状態類、事物類、全て名詞として用いられることが出来るものであり、行為類、状態類はどちらも動詞として用いることが出来るものである。

動詞・名詞の区別が個々の単語に内在していないとすると、動詞として用いられるのか、名詞として用いられるのかは、文脈によって決定されることになる。

行為類に属する単語については、文脈によって次のような図式のとおり、動詞や名詞としての意味を付与されると考えることができる。

- (22)時制・相+行為 => 行為をする (動詞)  
 (23)限定詞 +行為 => 行為 (名詞)

例えば、例14—15で示した'olelo及び例16—17で示したholoという単語はそれぞれ「話すという行為」、「進むという行為」という意味をもった単語であり、どちらも行為類に属する単語である。時制・相マーカーと共に起する時はそれぞれ「話す」、「進む」のように、「ある行為をする」という意味の動詞として用いられる。また、限定詞と共に起するときはそれぞれ、「話」、「進行」のように、行為名詞となる。同様に、状態類に属する単語については次のように図式化される。

- (24)時制・相 + 状態=>状態である (動詞)  
 (25)限定詞 + 状態=> 状態 (名詞)

例えば、例10—11で示したikaika及び例12—13で示したnaniという単語はそれぞれ「強いという状態」、「美しいという状態」という意味をもった単語であり、どちらも状態類に属する単語である。時制・相マーカーと共に起する時はそれぞれ「強い」、「美しい」のように、「ある状態である」という意味の動詞として用いられる。また、限定詞と共に起するときはそれぞれ、「強さ」、「美しさ」のように、状態名詞となる。

このように少なくともハワイ語のような言語では、動詞・名詞区分に固執して名詞、動詞と区分するよりも、意味論的な基準によって、機能的には多機能な分類をすることによって、より恣意的でない、より自然な品詞分類をすることができた。しかも、(22)—(25)に示したような形で、統語論的、或いは機能的な区分としての動詞・名詞にも体系的に対応させることが出来た。

このような分類は、少なくとも、ハワイ語のような、動詞と名詞の間の形態論的な差異が極めて少ない言語には特に有効と思われる。しかし、意味論的な基準は言語間の個別的な違いを越えて適用できるものであるので、他のタイプの言語にも適用できるものである。従って、普遍的な区分としては、動詞・名詞という区別ではなく、行為、状態、事物というような意味的区分を設けて、その後で、個別言語の様々な手法で動詞や名詞という機能を付与されるとする方が、より普遍性は高いと思われる。又、意味的な分類であれば、何らかの意味で、話者が認識していることは予想でき、その意味では話者の心理的実在をより反映していると思われる。

しかし名詞でしか用いられない語が多く存在することは事実である。従って、そのような語を名詞として分類し、名詞としても動詞としても用いることが出来る語を動詞と分類するような二分法は可能であると思われるが、果たして、そのような分類がどれほど効果的かは疑問である。

尚、今回の品詞分類では杉浦と同じく接辞付加による派生語は含めていない。<sup>(7)</sup>

## 5.2 今後の課題

これまで行為類と状態類が動詞と名詞の両方として用いられる例を見てきたが、事物類に関しては名詞として用いられている例しかみてこなかった。事物類が動詞として用いられる事はないのであろうか。名詞・動詞という区別がそれぞれの単語に内在しないとすれば、事物類が動詞として用いられるのを防ぐものは、少なくとも、文法的には、何も無いはずである。

希な例としてではあるが、Elbert and Pukui が名詞が完了相を表す時制・相マーカ―と共起する例を提示している。<sup>(8)</sup>

- (26)Ua keiki kākou na ke Akua.  
PER child we for ART God  
‘我々は神の子である’ B: Roma 8.16

例文26では、事物類の単語である keiki 「子供」に完了相を表すマーカ―ua と共起している。ここでは ua keiki は「子供である」という意味を表し、動詞的に用いられている。しかしながら、この明確な類例として認められるものは見当たらず、これだけで事物類も動詞として用いられ得るといふ結論を出すには不十分である。

まだ分析途中であるが、「彼は侍従です」のような名詞述語文に関して、事物類が時制・相マーカ―と共起している例として分析できるのではないかという可能性がある。

- (27)he kahu ‘o ia  
attendant he  
‘彼は侍従です’ P:2  
(28)he wahine ke kanaka mua loa  
woman ART human first  
‘最初の間人は女性だ’ M:4

この he が何であるかについては、不定冠詞、前置

詞、動詞等と様々な分析が示されているが、まだ、明確な答えは得られていない。一つの可能性として、この he を時制・相マーカ―とみなす分析も考えられる。ハワイ語には同じ he という形で現在時制（無時間時制、一般時制とも呼ばれる）を表す時制・相マーカ―があり、習慣・属性的な行為や状態を表す場合に動詞と共に使われる。

- (29)he inu kī au.  
PRE drink tea I  
‘私はお茶を飲む’ HP 58  
(30)He ne’e mālie aku a iloko o ka wai  
PRE move slowly DIR until inside of ART water  
‘ゆっくりと水の中まで移動する’  
N:11/7/1863:1

例文29—30はいずれも he+動詞が習慣・属性的な行為を表している例である。又、それが現れている文中の位置は例文27—28における he と同様である。従って、例文27—30は、少なくとも表面上は、同様の構造を持っているように見える。例文27—30の構造を一般化すると次のようになる。

- (31)he V/N (主語) (その他)

また、例文29—30で he+動詞が習慣・属性的な意味を表しているのと同様に、例文27—28の he+名詞も習慣・属性的な意味を持っているという点でも共通している。もし、例文27—28における he が一般時制の he と同一であるとすれば、事物類も行為類や状態類と同じく時制・相マーカ―he と共起できるということになる。例文26において、時制・相マーカ―が事物類と共起した場合には「～である」のような意味を表したが、例文27—28の he も同じく「～である」のような意味を表している。従って、事物類の表す意味について、(22)—(25)にならって一般化すると次のようになる。

- (32)時制・相 + 事物=>事物である (動詞)  
(33)限定詞 + 事物=>事物 (名詞)

しかしながら、名詞の前に付加される he の分析には更に複雑な未解決の問題が残っており、今後の研究成果を待ちたい。

## 文献

## 略号一覧

## 文法用語

ART:Article  
 ACC:Accusative  
 DEF:Definite  
 DEM:Demonstrative  
 DIR: Directional  
 GER:Gerund  
 IMP:Imperfective  
 INT:Intensifier  
 LOC:Locative  
 NC:Neutral case  
 PL:Plural  
 PER:Perfective  
 PRE:Present

## ハワイ語文献

B: *Baibala Hemolele* (ハワイ語版聖書), New York, American Bible Society, (1993).  
 F: Pukui, M. K. and L. C. S. Green, *Folktales of Hawaii*, Honolulu: Bishop Museum Press, (1995).  
 G: Elbert, S. H. and M. K. Pukui, *Hawaiian grammar*, Honolulu: University of Hawaii Press, (1979).  
 H: *Hawaiian Laws 1841-1842*, reprinted by Ted Adameck, (1994).  
 HP: *Hawaiian Phrase Book*, Tokyo: Tuttle, (1968).  
 K: Beckwith, M. W., *Kepelino's Traditions of Hawaii*, Bernice Bishop Museum Bulletin, 95, (1932).  
 M: Malo, D., *Ka moolelo Hawaii*, Kapiolani Community College, (1994).  
 N: *Ka Nupepa Kuokoa*, Honolulu. (新聞)  
 P: Makuina, M., *Ka moolelo Hawaii o Pakaa a me Ku-a-Pakaa*, Honolulu: Kalamakū Press, (1990).  
 S: Elbert, S. H., *Selection from Fornander's Hawaiian Antiquities and Folk-lore*, Honolulu; University of Hawaii Press, (1959).

## 謝辞

本研究で用いたデータの一部は文部省科学研究費補助金奨励研究(A) (課題番号 09710358) の援助により収集整理したものを活用した。又、室蘭認知科学研究会の各氏には貴重なご討論、ご指導を賜った。謝意を表したい。

- (1) Martinet, A., 言語の本質, 泉井久之助監修, 紀伊国屋書店, (1971).
- (2) Hopper, P. J. and S. A. Thompson, The discourse basis for lexical categories in universal grammar, *Language*, 60.4 (1984)p703-752.
- (3) Schachter, P., Parts-of-speech systems, In Shopen, T. (ed), *Language typology and syntactic description*, Vol. I, Cambridge: Cambridge University Press, (1985) p3-61.
- (4) Pawley, A. K., Samoan phrase structure, *Anthropological linguistics*, 8.8, (1966)p1-63.
- (5) Elbert, S. H. and M. K. Pukui, *Hawaiian grammar*, Honolulu: University of Hawaii Press. (1979)
- (6) Pukui, M. K. and S. H. Elbert, *Hawaiian dictionary*, 2nd. Edition, Honolulu: University of Hawaii Press. (1986)
- (7) 杉浦茂夫, 品詞分類の歴史と原理, こびあん書房, (1976).

# Mr Noon and “The Captain’s Doll” —Lawrence as a Comic Novelist—

Akio TERADA\*

(Received 28 April 2000, Accepted 31 August 2000)

Until the publication in 1984 of a fuller version of *Mr Noon*, it was a fixed reputation that D.H. Lawrence was a great novelist who constantly pursued the truth of life during his career as a writer. In fact, Lawrence described himself as a “religious, earnest, suffering man” as early as in 1914. But this unfinished novel *Mr Noon* is a richly comic novel and helps to modify that reputation. We have to realize another aspect of Lawrence. In this essay I would like to demonstrate that Lawrence also could have become a great comic novelist, considering *Mr Noon* and a novelle “The Captain’s Doll” which is full of comic scenes.

Keywords: Comedy, Situation, The Narrative Voice

---

## I

Though F.R. Leavis called Lawrence “one of the great masters of comedy”,<sup>(1)</sup> most critics of Lawrence have observed that the comedy is not on the whole his forte. He has been declared to be both humourless and monomaniac in pursuit of his peculiar certainties. Katherine Mansfield, for example, at the very end of the World War I, portrayed Lawrence in a letter to Ottilie Morrell:

Perhaps his whole trouble is that he has not a real sense of humour. He takes himself dreadfully seriously nowadays: I mean he sees himself as a symbolic figure—a prophet—the voice in the wilderness crying ‘woe’.<sup>(2)</sup>

Thus, deriving from a number of other sources, the notion that Lawrence has no sense of humour has been taken for granted. But on the other hand, we also know

---

\* Common Subject Division

that Lawrence, in his real life, was a genius of mimicry, charade and drama. His biographical records are full of the evidence. For instance, Jessie Chambers, in her book, recollected their younger days.

It was by now an established rule that Lawrence should come to tea on a Saturday, and when he entered the house he brought a holiday atmosphere with him. It was not merely that we were all nice with him, he knew how to make us nicer to one another. Even my eldest brother thawed when Lawrence was there. He brought a pack of cards, and taught us whist, and we played fast and furious, with the younger children crowding round to watch, and Lawrence excitedly scolding and correcting us. When he was in the mood he could be very funny, particularly when mimicking the members of the Christian Endeavour class repeating in turn ‘The servant of the Lord is like a well-

filled house...' <sup>(3)</sup>

Christmas was a wonderful time. There were parties at one house or another during the holidays, and always thrilling charades at our house, with Lawrence directing things, and father joining in the play like one of us. <sup>(4)</sup>

Lawrence entertained his friends with performances so funny that (David Garnet once said) they laughed 'until laughing was an agony'. <sup>(5)</sup>

Lawrence started his career as a writer who exclusively pursued the reality of human existence. He wanted his work to change the lives of his readers- how else could the novel be 'the one bright book of life?' <sup>(6)</sup>

What made Lawrence try to write comic writings then? There are some possible answers to this question. The more passionately Lawrence felt about his mission as a rescuer of the world, the more he was rejected. *The Rainbow* (1915) was suppressed by court on 13 November 1915. The publication of *Women in Love* (1920) was the source of much difficulty among the people around Lawrence. Neither *The Rainbow* nor *Women in Love* had sold well. He was full of complaints about his audience who paid scant attention or misread. He wanted to create a new reader. As early as in 1917 Lawrence had realized that 'It is necessary now for me to address a new public. You must see that. It is no use my writing in England for the English any more'. <sup>(7)</sup> These facts may have made the writer nervous about publisher, libraries and readers. Lawrence tried to avoid transgressing the same taboos as the early fiction. Thus, I think, Lawrence of the period 1920-22 was very careful to write the kind of books which were suitable for light casual reading and 'unexceptional' as far as the censor is concerned. <sup>(8)</sup> The 'unexceptional' novel was *The Lost Girl*, which started with lightness but eventually fell flat. Lawrence challenged again. In *Mr Noon* he used the same setting as the former; it is in Woodhouse which is obviously modelled on Eastwood, the author's birthplace, that the early scenes take place. Additionally Alvina Houghton, the heroine of *The Lost Girl*, makes a brief appearance in the chapter called 'Choir Correspondence'. This time it is the male protagonist Gilbert Noon who begins his pilgrimage, starting in England and finishing on the Continent. In a letter of November 1920 and others, Lawrence repeatedly called *Mr Noon* a comedy. <sup>(9)</sup> He also called "The Captain's Doll" 'a very funny long story'. <sup>(10)</sup> Indeed the most striking feature of these books

lies in their lightheartedness which readers of Lawrence rarely find in his other books, especially in his long novels.

## II

Now I have reached the point where I shall begin to discuss *Mr Noon* and "The Captain's Doll" in detail. Roughly speaking, Lawrence's comedies are generated partly by situation and partly by the narrative voice. First I will take up the examples of comic scenes produced from situation. In Chapter XI of *Mr Noon*, a young bankclerk Walter George appears to console his fiancée Emmie in her bedroom.

But Walter George slowly disengaged himself and stood up, whilst she gazed upward at him. His hair was beautifully brushed and parted at the side, and he looked down at her. Their looks indeed were locked. He silently laid the flowers at her side, and sank down on one knee beside the bed. But the bed was rather high, and if he kneeled right down he was below the emotional and dramatic level. So he could only sink down on one poised foot, like a worshipper making his deep reverence before the altar, in a Catholic church, and staying balanced low on one toe. It was rather a gymnastic feat. But then what did Walter George do his Sandow exercises for in the morning, if not to fit him for these perfect motions. <sup>(11)</sup>

Fanny, like a scientific school-teacher, polished her bedroom floors. The mat on which Childe Rolande [Walter George] was so springily poised on one foot slid back under the pressure of the same foot, so his face went floundering in the bed. And when, holding the side of the bed, he tried to rise on the same original foot, the mat again wasn't having any, so his head ducked down like an ass shaking flies off its ears. When at last he scrambled to his feet he was red in the face, and Emmie had turned and lifted the beautiful flowers between her hands. (N 85)

Here the cavalier Walter George is parodied with extremity of ridicule. These funny but absurd scenes begin to assume the characteristics of a farce or a slapstic rather than a comedy. Lawrence, at least one time, handled his characters in the same fashion. In the novella "The Captain's Doll", the hero Hepburn plays the role of a servant, a fool-like figure. Mrs. Hepburn

invites Hannele to the tea-party in order to get more information about her husband's love affairs and to find a solution. When Hepburn joins them, the farce reaches a climax.

"Ah, Countess Hannele-my wife has brought you along! Very nice, very nice! Let me take your wrap. Oh yes, certainly..."

"Have you rung for tea, dear?" asked Mrs. Hepburn.

"Er-yes. I said as soon as you came in they were to bring it."

"Yes-well. Won't you ring again, dear, and say for *three*."

"Yes-certainly. Certainly."<sup>(12)</sup>

"Alec, dear," said Mrs. Hepburn. "You won't forget to leave that message for me at Mrs. Rackham's. I'm so afraid it will be forgotten."

"No, dear, I won't forget. Er-would you like me to go round now?"

Hannele noticed how often he said 'er' when he was beginning to speak to his wife. But they were such good friends, the two of them.

"Why, if you would, dear, I should feel perfectly comfortable. But I don't want you to hurry one bit."

"Oh, I may as well go now."

And he went. Mrs. Hepburn detained her guest. (C 26)

The above quotation reminds me of one scene in Shakespeare's *1 Henry IV*. Prince Hal and Poins are teasing the tapster Francis at the Boar's Head Tavern in Eastcheap.

Fran. Anon, anon, sir. Look down into the Pomgarnet, Ralph.

Prince. Come hither, Francis.

Fran. My lord?

Prince. How long hast thou to serve, Francis?

Fran. Forsooth, five years, and as much as to-

Poins. [Within] Francis!

Fran. Anon, anon, sir. (II. iv. 38-44)<sup>(13)</sup>

Poins. [Within] Francis!

Fran. Anon, sir.

Prince. How old art thou, Francis?

Fran. Let me see-about Michaelmas next I shall be-

Poins. [Within] Francis!

Fran. Anon, sir. Pray stay a little, my lord.

(*Ibid.* 51-57)<sup>(14)</sup>

It is as if Hepburn's "Yes, certainly" echoes Francis' "Anon, sir". After Hepburn leaves the room, Mrs. Hepburn falls into her longwinded chatter, with a hearer Hannele who, taken aback, is just sitting, putting "her fingers to her ears to make sure they were not falling off." (C 27)

In *Mr Noon*, we can find another comic scene generated by situation at the very end of Part I. Emmie is in bed suffering from neuralgia of the stomach. Walter George is at her bedside, then comes the seducer Gilbert Noon inquiring after his spooning-mate. This awkward situation itself is the cause of the audience's laughter.

Emmie now gave way to resignation. Was she not the base of this obtuse angled triangle, this immortal trinity, this framework of the universe? It was not for her to break the three-cornered tension. Let fate have its way. If Gilbert had not given himself to vacancy the problem might seriously have concerned him: how to resolve an obtuse-angled triangle into a square of the same dimensions. But he was glotzing, if we may borrow the word. (N 92)

Lawrence had to rely upon the power of *Deus ex machina* to solve the seemingly eternal triangle relationships. The narrator screams, "Oh *Deus ex machina*, get up steam and come to our assistance,... So, *Deus ex machina*, come. Come, God in the Machine, Come!" (N 92) But his prayer is in vain. Without any convincing explanation, we are only told that "Emmie married Walter George, who reared prize cauliflowers, whilst she reared dear little Georgian children, and all went happy ever after." (N 93) Then the announcement of Part II is comically made by the employment of the nursery rhyme; "The cow in this vol. having jumped over the moon, in the next the dish, dear reader, shall run away with the spoon." (N 93) When he was in an ironical moment, Lawrence tended toward the nonsensical nursery rhymes, which were appropriate in such a comic text.<sup>(15)</sup>

I will cite another situation in "The Captain's Doll" which produces laughter among audience. On their return journey by bus, Hepburn and Hannele continue their debate on love. They have to cry or speak loudly because of the noisy swaying bus.

The car gave a great swerve, and she fell on the driver. Then she righted herself. It gave another swerve, and she fell on Alexander[Hepburn]: She righted herself

angrily. And now they ran straight on: and it seemed a little quieter. (C 81)

In spite of the graveness of the conversational subject, reader's response will not be so serious.

### III

I will proceed to the other type of comedy, the one produced by the narrative voice. Among the several humorous scenes in *Mr Noon*, Chapter VI, titled "The Sack" will be enough to evaluate the comic tone in the first half of the novel. The very first sentence of the chapter begins like this, using an idiomatic expression; "Meanwhile a pretty kettle of fish was preparing for Mr. Noon." (N 51) Gilbert Noon is summoned to appear in a meeting in camera of his Educational Committee. Mr. Bostock has accused him of getting his daughter Emmie "into trouble." (N 54) Gilbert can give no answer.

Gilbert suddenly felt like a baby that has fallen to the bottom of the sea and finds all the lobsters staring at him in the under-sea light. So they stared, like inquiring lobsters, and he felt like a baby, with his fresh face and pouting mouth....

The lobsters buzzed and nodded in the submarine glare. They no longer looked at Mr Noon, but studiously away from him. He sat looking rather wonder-stricken and stupid, with his pouting mouth a shade open...

"Quite!" said one of the lobsters distinctly and emphatically. Gilbert's eye strayed wonderingly to him.

"We are met here in camera, even without a clerk. If we can clear the matter up satisfactorily, nothing more shall be heard of it. We are prepared to forget all about it."

"Oh certainly, certainly," barked a couple of lobsters. (N 53-4)

The 'fish' turns out to be the 'lobsters' and the meeting is described as the 'bottom of the sea'. The narrator makes grand play with word-play, conjuring a consistent imagery.

As I have pointed out, the distinctive feature of *Mr Noon* is its lightheartedness; seriousness detract greatly from this humorous novel. This is true particularly of Part I. The opening chapter itself is rather similar to the earlier major work, using an omniscient narrator who is not obtrusive. In the following chapter, however, Lawrence suddenly begins to apostrophize,

addressing the readers. The 'dear reader' manner which was common in the 19th century is one of the devices employed here by Lawrence who did wish his new readers to participate in making fiction. Throughout Part I, the narrator address the reader directly only several times, and the 'reader' is always both 'dear' and 'gentle'. It is as if we are watching Lawrence enjoying himself in high spirit, addressing "gentle reader, you who sit in your comfortable home with this book on your knee." (N 86) Lawrence manipulates the characters as though he were a puppet master, though he is not thoroughly in control of the text as, for instance, when he asks "Don't you agree, dear reader?" (N 26) to establish the good relationship between narrator and reader. Why Lawrence was able to hold his distance seems very clear. As is widely known, the story of Part I is based on other people's experience, chiefly on George Neville, a close friend of Lawrence's youth. It seems to me that Lawrence could use their episodes to such extent that he amused himself to the full. But in Part II Gilbert Noon is not George Neville at all, and more importantly, the narrator is no longer a gentle narrator. Noon becomes Lawrence himself, thinly disguised, and so does the narrator, obviously irritated. The body of Part II consists of Lawrence's and Frieda's relationship between May and September 1912. Jeffrey Meyers observed that because Lawrence described his personal experience "directly instead of transmuting it into art, the novel offers many personal revelations."<sup>(16)</sup> It is regrettable that this autobiographical element changed the characters of the narrator. Now exists the conflict between narrator and narratee similar to Noon's conflict with Johanna. As the story goes on, the narrative voice becomes more and more violent, often with other nouns and adjectives; "rampageous reader, ferocious reader, surly, rabid reader, hell-cat of a reader, a tartar," "you sniffing mongrel bitch of a reader." (N 205) Besides a cross fire of abuses, the narrator tries to repel us, claiming his superiority over the text control; "Am I writing this book, or are you? (N 137), "If you don't want to read, turn on pages." (N 185) We feel as if Lawrence's face pass from amiability to sternness. Thus the comic tone of the novel becomes subdued. It may be that because Lawrence was dealing with extremely intimate personal experience, the strain of detachment from his characters was too much for him. Nonetheless, some funny scenes occur intermittently in Part II. Gilbert, for instance, like Gilbert in the 'lobster' scene in Part I, is again subjected to severe ridicule. The Baroness unexpectedly appear to blame him for making an elopement with her daughter Johanna. She begins



to harrange, with startled Gilbert.

Poor Gilbert, the dawn-rose going more and more bewildered in his eyes, his mouth coming apart, his face growing pale, seemed to shrink in his chair-and shrank and shrank, as if he would get down between the two legs of the pedestal desk, and there, like an abashed dog retreated in its kennel, bark uncertainly at the intruder....

Our young male finch shrank and shrank behind the pedestal desk, and said never a word, not one single word. When the Baroness said-Do you understand?-he only gazed at her in silence. (N 217-8)

After her mother leaves, Johanna mocks persistently his submissive attitude and goads him to madness. Thus self-mocking portrayal of the hero recurs between confrontation and reconciliation, which serves to make this novel most readable and lighthearted.

Now let us look at the comic scene produced by the narrative voice in "The Captain's Doll". In this novella, it is Mrs. Hepburn who is handled with extremity of ridicule. As soon as she makes her appearance on the stage, this drama begins to assume a farce. Indeed she is a heroine in a farce, wearing "a dress of thick knitted white silk, a large ermine scarf with the tails only at the ends and a black hat over which dripped a trail of green feathers of the osprey sort." (C 15) She wears "rather a lot of jewellery, and two bangles tinkled over her white kid gloves as she put her fingers to touch her hair, whilst she stood complacently and looked around." (C 15) She always laughs "her tinkling laugh." (C 16) In the middle of the story, Mrs. Hepburn falls dead out of her bedroom window of the hotel. Chapter VII begins as follows; "And then a dreadful thing happened; really a very dreadful thing." (C 39) Even the adjective 'dreadful' only serves to convey a comical tone. No reader is able to feel the sympathy for Mrs. Hepburn which should be felt in normal situation. Lawrence obviously expects us to accept her death as a proper treatment for a comedy. She exits from the stage with mockeries of the audience.

#### IV

There are some scenes in both works which are generated by the combination of the two sources of comedy. In Chapter XV of *Mr Noon*, the narrator describes Gilbert's and Johanna's second sexual encounter in the flat of Johanna's brother-in-law.

Johanna was hovering in the doorway of her room as he went down the passage. A bright, roused look was on her face. She lifted her eyelids with a strange flare of invitation, like a bird lifting its wings. And for the first time the passion broke like lightning out of Gilbert's blood: for the first time in his life. He went into her room with her and shut the door. The sultriness and lethargy of his soul had broken into a storm of desire for her, a storm which shook and swept him at varying intervals all his life long.

Oh wonderful desire: violent, genuine desire! Oh magnificence of stormy, elemental desire, which is at once so elemental and so intensely individual! Oh storms of acute sex passion, which shatter the soul, and re-make it, as summer is made up out of the debacle of thunder! Oh cataclysm of fulminous desire in the soul: oh new uprising from the cataclysm. This is a trick of resurrection worth two.

The cyclone of actual desire-not mere titillation and functional gratification-or any other -tion-broke now for the first time upon Gilbert, and flung him down the wind. Not, dear moralist, to break him against the buttresses of some Christian cathedrals like a long-shotted shell. Heaven knows where it did not fling him. I'll tell you later on. (N 136-7)

No, gentle reader, please don't interrupt, I am not going to open the door of Johanna's room, not until Mr Noon opens it himself. I've been caught that way before. I have opened the door for you, and the moment you gave your first squeal in rushed the private detective you had kept in the background. Thank you, gentle reader, you can open your own doors. (N 137)

Soon after their consummation, the voice of the brother-in-law is heard, calling from the drawing-room that the dinner is ready.

And in two more minutes she appeared, bright, a little dazzled, and very handsome. Alfred still stood waiting in the doorway of the drawing-room; a small, correct figure with a white imperial.

"Where is Mr Noo-oon?" he asked, still singing.

"Mr Noo-oo-n!" sang Johanna in antiphony. And she led her cousin-in-law into the dining-room.

Critic, gentle reader, I shall not say a word

about Mr Noon's movements. Suffice that he walked in a dignified manner into the dining-room, wearing a neat bow tie, just as Julie was removing the soup plates. (N 137-8)

To cite an example from "The Captain's Doll", the following will be enough for this kind of comedy. Mrs. Hepburn is not only the person whom the narrator makes a mockery of. Hepburn is no exception. When Hepburn and Hannele climb up the glacier, he alone tries to conquer the summit in the third stage of the ascent. He comically struggles over the whole body of the glacier.

Then he tried throwing his coat down, and getting a foot-hold on that. Then he went quite quickly by bending down and getting a little frip with his fingers, and going ridiculously as *on four legs*. (italics mine, C 74)

Hannele is watching this ridiculous exhibition from below, calling him to come back, to the great joy of the mountaineers. Hepburn exactly reminds us of Chaplin, but by no means of Ahab in *Moby-Dick*.<sup>(17)</sup>

## V

It is obvious that Lawrence read the works of George Meredith in his early days. Jessie Chambers wrote that "we read Meredith, in poetry as well as prose-*Love in the valley* had a special significance for him."<sup>(18)</sup> Lawrence's reading list reveals that Meredith was one of his favorite authors and he had read *The Egoist* at least by 1927. The essay "Galsworthy", written in 1927, indicates knowledge of it.<sup>(19)</sup> The reason I referred to Meredith here is that we find some similarities between *The Egoist* and "The Captain's Doll". For instance, Sir Willoughby, the hero of *The Egoist*, is described by Mrs. Mountstuart that "You see he has a leg," or "Have you noticed that he has a leg?"<sup>(20)</sup> In "The Captain's Doll", Hannele becomes engaged to the Herr Regierungsrat, who seems to her as if "he had no legs, save to sit with. As if to stand on his feet and walk would not be natural to him." (C 51) On the other hand, Hannele tells her friend Mitchka about the model of the doll, saying "Has he really such beautiful legs?" (C 64) The 'leg' appears several times in both works. Probably Lawrence employed such expression in order to show male's attraction after the fashion of Meredith. Besides such tiny similarities, more importantly, I presume that Lawrence had this in common with Meredith, that the comedy occurs

when egoism of each person collides with one another. The collisions between the protagonists in *Mr Noon* and "The Captain's Doll" come from exactly their egoism in the effort to subdue the opponents. Lawrence believed that "it needs a sort of cataclysm to get out the old world into the new. It needs a painful shedding of an old skin." (N 290) Profound conviction is born only through battle.

So far I have picked up several scenes to demonstrate that the comic devices are effectively employed for the development of the themes, namely the struggle between sexes in *Mr Noon* and male domination over female in "The Captain's Doll". Lawrence was thus able to express his sense of humour which, though it had scarcely found its way into his writing, was one of the most striking of his qualities. It is no exaggeration that Lawrence could have become a great comic writer if he had wanted to, but he was, before anything else, more enthusiastic to be a social commentator or a moralist.

## Notes

- (1) F.R. Leavis, *D.H. Lawrence: Novelist* (Harmondsworth: Penguin, 1955), p. 13.
- (2) Paul Delany, *D.H. Lawrence's Nightmare: The Writer and His Circle in the Years of the Great War* (New York: Basic Books, 1978), p. 386.
- (3) E.T. [Jessie Chambers], *D.H. Lawrence: A Personal Record* (London: Frank Cass & Co. LTD, 1965), pp. 29-30.
- (4) *Ibid.*, p. 42.
- (5) Paul Eggert and John Worthen, eds., *Lawrence and Comedy* (Cambridge: Cambridge University Press, 1996), p. 24.
- (6) Edward D. McDonald, ed., *Phoenix: The Posthumous Papers of D.H. Lawrence* (London: Heinemann, 1967), p. 535.
- (7) James T. Boulton and Andrew Robertson, eds., *The Letters of D.H. Lawrence, Vol. III* (Cambridge: Cambridge University Press, 1984), p. 73.
- (8) *Ibid.*, p. 459.
- (9) *Ibid.*, p. 626.
- (10) Harry T. Moore, ed., *The Collected Letters of D.H. Lawrence. Vol. II* (London: Heinemann, 1965), p. 670.
- (11) D.H. Lawrence, *Mr Noon* (Cambridge: Cambridge University Press, 1984), pp. 84-5. All subsequent references to this novel will be indicated parenthetically in the text by the abbreviation N and page number.
- (12) D.H. Lawrence, *The Short Novels, Vol. I* (London: Heinemann, 1965), p. 25. All subsequent references to this novella will be indicated parenthetically in the text by the abbreviation C and page number.
- (13) William Shakespeare, "The First Part of Henry the Fourth," *The Riverside Shakespeare*, ed., Bakemore G. Evans, (Boston: Houghton Mifflin Company, 1974), p. 858.
- (14) *Ibid.*, pp. 858-9.
- (15) See *Mr Noon, op. cit.*, p. 185 and p. 205.
- (16) Geoffrey Meyers, "Lawrence's *Mr Noon*,"

*Modern Fiction Studies*, Vol. 31, No. 4 (1985), p. 712.

(17) See R.E. Pritchard, *D.H. Lawrence: Body of Darkness* (London: Hutchinson & Co., 1971), p. 142.

(18) E.T., *op. cit.*, p. 110.

(19) Edward D. McDonald, *op. cit.*, p. 540.

(20) George Meredith, *The Egoist*, (Penguin Books, 1968), p. 43.

---

『ミスター・ヌーン』 と「大尉の人形」  
—ロレンスとコメディ—

寺田 昭夫\*

概要

D. H. ロレンスは二十世紀最大の古典的文学者の一人としてその名声も今では固まっている。しかし、ユーモアやウィットがなく楽しく読めないというのが定評であった。だが、1984年これまで知られていなかった後半部分と合わせて『ミスター・ヌーン』がより完全な形で出版された。定評を覆すほどにユーモアにあふれた作品である。ロレンスの新たな側面に注目しなければならない。本稿はこの『ミスター・ヌーン』とコミックなシーンを多く含んだ中編「大尉の人形」を考察することによってロレンスのユーモアの特質を探ってみた。

キーワード：コメディ、状況、語り手

\*共通講座

---



## 副動詞構文の対格形主語

橋本 邦彦\*1

### The Accusative Subject in Converbial Constructions

Kunihiko HASHIMOTO

(原稿受付日 平成12年 4月28日 論文受理日 平成12年 8月31日)

#### Abstract

Converbial clauses combine with main clauses on the basis of a variety of semantic relationships. They are widely observed in many languages such as Japanese and Russian. Mongolian is another converbal type of language, using a number of suffixes added to verb stems to form nonfinite clauses. The suffixes divide into two groups, depending on whether they can take an accusative subject. The purpose of this paper is to clearly explicate the syntactic environments which allow the accusative subject to occur in them, investigating the following three syntactic combinations between the converbals and the main clauses: simplex subordination, coordination and complex subordination. This explication demonstrates to us that the converbals are not adverbial "clauses" as claimed in preceding works but are adverbial "phrases". The Mongolian converbal construction is not a complex sentence consisting of two clauses but a simplex one containing two subjects like the nominative and the accusative.

Keywords: Converbial, Subordination, Coordination, Accusative, Nominative

---

\*1 共通講座

## 1 問題の所在

副動詞節(converbal clauses)は、様々な意味関係で主節と結び付き複文を構成する副詞節(adverbial clauses)であると言われている(Haspelmath & König 1995)。モンゴル語も副動詞型の言語で、非定形の動詞語幹に副動詞接尾辞が接辞して副動詞節を形成する。この接尾辞は、副動詞節に対格形の主語をとり得るかどうかで、次の二つに分類できる。

- (1) a. [-Accusative]主語タイプ:  
-zh/-ch 'and', -aad<sup>4</sup> 'and then'<sup>1), 2)</sup>  
b. [+Accusative]主語タイプ:  
-tal<sup>4</sup> 'until', -val<sup>4</sup> / -bal<sup>4</sup> 'if, when'  
-xlaar<sup>4</sup> 'when, at the same time',  
-xad<sup>4</sup> 'when', -vch 'although, even though', -magts<sup>4</sup> 'as soon as', etc.
- (2) a. [Düü zurag zur-zh]  
younger brother:N picture- $\phi$  draw-ICD  
[bi radio sonos-loo].  
1SG:N radio- $\phi$  listen to-PST<sup>3)</sup>  
'My younger brother drew a picture and I listened to the radio.'  
b. \* [Düü-g zurag zur-zh][bi radio sonos-ACC loo].<sup>4)</sup>
- (3) a. [Tüüniig xashgir-tal][bügd 3SG:ACC shout-TML everybody:N tsoch-i-n ser-e-v]. <M:168><sup>5)</sup>  
get a shock-EP-ASS wake up-EP-PST  
'As she shouted, everybody woke up with a start.'  
b. \* [Ter xashgir-tal][bügd tsoch-i-n 3SG:N ser-e-v].

(1 a) タイプでは (2 a) の主格形主語はよいが (2 b) の対格形主語はだめである。対照的に、(1 b) タイプでは (3 a) の対格形主語はよいが (3 b) の主格形主語はだめである。

従来の記述的研究の多くは、対格形の主語の存在を指摘するだけにとどめている(Poppe 1951:112, Street 1963:134, Binnick 1979:97-100)。

対格形主語をめぐるのは、統語論、形態論、意味論の観点から、次の三つの問題を設定できる：

- 1) 統語上の問題：どのような統語的環境の下で対格形主語が出現できるのか。
- 2) 形態上の問題：なぜ、主語が他の格形（例えば属格形、具格形）でなく対格形なのか。
- 3) 意味上の問題：対格形主語にはどのような意味的特徴があるのか。

このうち、2) と 3) については、Mizuno(1992) 水野(1994/1995) で、格形式の選択基準とSilverstein の名詞句の階層を用いて綿密な考察が展開されている。しかし、最も根本的と思われる統語上の問題1) は、残念ながら、殆ど看過されてきた。

本稿の目的は、(1 a)、(1 b) 両方のタイプの副動詞節と主節の統語関係を追究しながら、対格形主語の出現を保証する統語的環境を突き止めることにある。第2節では単文としての従属関係が、第3節では等位関係が、第4節では複文としての従属関係が、それぞれ扱われる。第5節は結論である。

## 2 単文としての従属関係

ここでは(1 b) タイプの副動詞構文に焦点をあて、従属関係(subordination) の指し示すものの正体を明らかにする。

## 2. 1 主語の同一指示性

モンゴル語の副動詞構文は二つの形式をもつ。

- (4) a. 埋め込み型:  
[<sub>MC</sub> S<sub>M</sub> + [<sub>CC</sub> S<sub>C</sub> + P<sub>C</sub>] + P<sub>M</sub> ]  
b. 文頭型:  
[<sub>CC</sub> S<sub>C</sub> + P<sub>C</sub>] + [<sub>MC</sub> S<sub>M</sub> + P<sub>M</sub> ]  
# S<sub>M</sub> = 主節主語、P<sub>M</sub> = 主節述語、S<sub>C</sub> = 副動詞節主語、P<sub>C</sub> = 副動詞節述語、MC = 主節 CC = 副動詞節

主節主語と副動詞節主語が同一指示的である場合埋め込み型では、後者は必ず前者により束縛される照応的ゼロ代名詞(anaphoric pro, or a-pro) として具現する。

- (5) [<sub>MC</sub> Dorzh<sub>i</sub> [<sub>CC</sub> a-pro<sub>i</sub> xaarg-aar gar-a-Dorzh:N door-INS go out-nguut] avtobus ruu güj-v].  
EP-IMD bus towards run-PST

'Dorzh<sub>i</sub> ran towards the bus as soon as [he<sub>i</sub>] went out through the door.'

(5) の主節、副動詞節の主語は共にDorzh だが、頭在形は主節主語だけで、副動詞節主語には同一指標(index) で指定されたゼロ代名詞が現れている。

対格形主語は同一指示的な場合には出現しない。

- (6) \* [MC Dorzh<sub>i</sub> [CC Dorzh-ijg<sub>i</sub> /tüüniijg<sub>i</sub> -ACC 3SG:ACC  
xaarg-aar gar-a-nguut] avtobus ruu  
güj-v].

主節、副動詞節双方の主語が同一指示的でない場合は、どうだろうか。

- (7) a. [MC Bid<sub>i</sub> [CC bagsh-ijg<sub>i</sub> ir-e-xleer]  
1PL:N teacher-ACC come-EP-SUC  
ene üg-ijg asuu-tsgaa-laa]. <L:134>  
this word-ACC ask-CLC-PST  
'We asked about this word after the  
teacher came.'  
b. [CC Tedniijg<sub>i</sub> zugaal-zh yav-a-xad][Bat<sub>i</sub>  
3PL:ACC walk-ICD go-EP-TMP Bat:N  
ir-zh uulz-laa].  
come-ICD meet-PST  
'When they<sub>i</sub> were walking, Bat<sub>i</sub> came  
and met [them<sub>i</sub>].'

副動詞節主語が [+human] NP である場合には、(7 a) の埋め込み型でも (7 b) の文頭型でも対格形をとっている。<sup>6)</sup> 各々の主語を (8 a, b) のように主格形にすると、不適格な文になってしまう。

- (8) a. \* [MC Bid [CC bagsh ir-e-xleer][ene  
teacher:N  
üg-ijg asuu-tsgaa-laa].  
b. \* [CC Ted zugaal-zh yav-a-xad][MC Bat  
3SG:N  
ir-zh uulz-laa].

以上から、対格形が現れるための主語の同一指示性について、次の原則を立てることができる。

(9) 主語の同一指示性の原則(Subject Coreference Principle): 主節と副動詞節の主語が同一指示的である場合、副動詞節主語は主節主語に束縛

される照応的ゼロ代名詞で現れる。また、非同指指示的である場合、対格形で現れる(但し、[+human] NPに限る)。

## 2. 2 対格形を付与するもの

では、副動詞節主語に何か対格を付与するのだろうか。二つの候補を挙げることができる。第一の候補は、副動詞接尾辞の付加する動詞語幹である。たいていの言語では、定形節(finite clauses)の主語の位置に主格形NPが、直接目的語の位置に対格形NPが入る。

- (10) a. He/ \*Him is sleeping.  
b. I admire \*she/ her.  
<Webelhuth 1995:43>

Chomsky(1980:25)は(10 a, b)のNPの格形の分布を説明するのに、次の原則を提案した。

- (11) a. NPはVに統率されるとき、目的格(objective)である。  
b. NPは時制(tense)に統率されるとき、主格(nominative)である。

この原則はモンゴル語にも適用される。

- (12) Ter xün / \*xün-ijg \*bi/ nama:jg  
that person:N person-ACC 1SG:N 1SG:ACC  
tani-san.  
recognize-PF  
'That person recognized me.'

(12)のような単文では、主語の位置に対格形NPが現れてはならないし、直接目的語の位置に主格形NPが現れてはならない。

(11 a)のNPを統率するVは他動詞である。とすれば、対格形の主語をとる副動詞節の動詞も、他動詞に限定されるはずである。ところが、予測に反して、自動詞であっても対格形をとることができるのである。

- (13) [CC Nama:jg teatr-t och-i-xod]  
1SG:ACC theater-D/L go to-EP-TMP  
[MC билет duus-san baj-v].  
ticket:N sell out-PF be-PST  
'When I went to the theater, the tickets

had been sold out.'

- (14) \*Bi [ene delgüür-ijg] och-i-v.  
1SG:N this shop-ACC go to-EP-PST

(13) の och- 'to go to' は自動詞だが、副動詞節の中では対格形主語をとっている。この動詞は単文では、(14) の示す通り、対格形目的語をもつことができない。

対格形付与の第二の候補は、副動詞接尾辞である。(1b) タイプの接尾辞自体に、対格を付与する能力があると考えるのである。しかしながら、この考え方も、同じ接尾辞から成る副動詞節の主語に主格形をとるものと対格形をとるものがあり、支持できない。

- (15) a. [cc Bagsh-ijg ir-vel] [mc bi  
teacher-ACC come-CND 1SG:N  
uulz-a-na].  
meet-EP-PRS  
'If the teacher comes, I'll meet [him].'  
b. [cc Zhambal xed xeden tasag-t  
Zhambal:N many section-D/L  
och-i-zh üz-vel] [mc tol'  
go to-EP-ICD see-CND dictionary:N  
baj-san-güj].  
be-PF-not  
'Although Zhambal went to see many  
sections, there were no dictionaries.'

条件副動詞接尾辞-val<sup>4</sup> に導かれていても、(15a) の主語は対格形だが、(15b) は主格形である。

対格は副動詞を構成する特定の要素により付与されるのではなく、構文全体が関与しているのではないかという見通しを立てることができる。

### 2. 3 従属関係：副詞句としての副動詞節

モンゴル語には所有帰属関係を表す再帰所有接尾辞(reflexive possessive suffix, 以後RFLと略記)-aa<sup>4</sup>がある。RFLは、通常、主格形以外の名詞的要素に付いて、同一文/節中の主語に束縛される照応的要素(anaphor)である。

- (16) a. Bagsh<sub>i</sub> odoo ger-t-ee<sub>i</sub> xari-na.  
teacher:N now house-D/L-RFL return-PRS  
'The teacher<sub>i</sub> is going to his<sub>i</sub> house

now.'

- b. [Aav<sub>i</sub> tsaj-g-aa<sub>i</sub> uu-zh] [eezh<sub>i</sub>  
father:N tea-EP-RFL drink-ICD mother  
xool-oo<sub>i</sub> xij-lee].  
:N meal-RFL fix-PST  
'Father<sub>i</sub> drank his<sub>i</sub> tea and mother<sub>i</sub>  
fixed her<sub>i</sub> meal.'

(16a) の与位格形NPのRFLは同一文中の主語 bagsh 'teacher' により束縛されている。(16b) は等位文であるが、前半節、後半節のRFLはそれぞれの主語により束縛されている。

副動詞構文内でのRFLの分布の仕方に注目すると、興味深い事実を発見できる。

- (17) [mc Ta<sub>i</sub> [cc a-pro<sub>i</sub> edger-tl-ee<sub>i</sub> ]  
2SG:N recover-TML-RFL  
orn-oo-oo<sub>i</sub> büü bos-oo-roj!]  
bed-ABL-RFL PRH get up-OPT  
'Please don't get out of your bed until  
[you] recover!'

(17)は同一指示的な主語の埋め込み型副動詞構文である。RFLは副動詞接尾辞と主節述語内のNPに付いており、どちらも主節主語ta 'you' に束縛されている。

- (18) [mc Oyuutn- uud<sub>i</sub> [cc [ bagsh-ijg<sub>i</sub> ]-aa<sub>i</sub>  
student-PL:N teacher-ACC-RFL  
ir-e-xed] xicheel-ee<sub>i</sub> davt-a-zh  
come-EP-TMP lesson-RFL review-EP-ICD  
baj-v].  
be-PST  
'The student<sub>i</sub> were reviewing their<sub>i</sub>  
lessons when their<sub>i</sub> teacher<sub>i</sub> came.'

(18)は非同一指示的な主語の埋め込み型副動詞構文である。RFLは副動詞節の対格形主語と主節述語内の目的語NPにあるが共に主節主語に束縛されている。対格形主語 bagsh-ijg がこの束縛関係を阻止することはない。

- (19) [mc Bi<sub>i</sub> [cc Dorzh-ijg<sub>i</sub> exner-tej-g-ee<sub>i</sub>  
1SG:N Dorzh-ACC wife-CMT-EP-RFL  
ir-e-xed] xool-oo<sub>i</sub> id-e-zh baj-v].  
come-EP-TMP meal-RFL eat-EP-ICD be-PST  
'I was eating my meal when Dorzh<sub>i</sub> came



with his<sub>i</sub> wife.’

(19)では、副動詞節内と主節述語内のNPにRFLが接辞している。副動詞節内のRFLは対格形主語に束縛されるのに対し、主節述語内のRFLは対格形主語の存在を無視する形で主節主語bi ‘I’ により束縛されている。

(20) [cc [Xüü-g-ee<sub>i</sub> ]<sub>i</sub> mashin-aas buu-tal ]<sub>k</sub>  
 son-EP-RFL car-ABL get off-TML  
 [mc ex<sub>i</sub> n’<sub>i</sub> t<sub>k</sub> tevr-e-n  
 mother:N 3P embrace-EP-ASS  
 av-chee]. <M:168>  
 buy-PST  
 ‘As her<sub>i</sub> son<sub>i</sub> got off the car, his<sub>i</sub>  
 mother<sub>i</sub> embraced [him<sub>k</sub>].’

(20)は非同指指示的な文頭型副動詞構文である。対格形主語のRFLは主節主語ex ‘mother’ と同じ指標をもつ。このRFLは主節主語により束縛されるはずだが、文頭の位置では不可能である。

この問題への一つの解決策として、副動詞節は、元々、主節主語と主節述語の間の位置にあったと仮定してみる。この位置で副動詞節は主節主語にc統御されるので、副動詞接尾辞、対格形主語のRFLは両方とも正しく束縛される。その後、副動詞節は痕跡(trace)t<sub>k</sub>を残してそっくり文頭に移動する。移動後、t<sub>k</sub>は副動詞節に束縛されると同時に主節主語にも束縛され、<S<sub>M</sub>-t<sub>k</sub>-CC>のようなt<sub>k</sub>を介して、主節主語と副動詞節主語との間に束縛関係を保証する連鎖が形成されることになる。

以上から、副動詞節は一つの切り離すことのできない統語的なまとまりを構成していると同時に、主節主語に完全に従属していることがわかる。言い換えると、副動詞節は確かに自前の主語と述語動詞を備えて文の体裁はとっているものの、統語的には主節主語に支配された句(phrase)のステイタスしか与えられていないのである。

副動詞接尾辞の機能に、動詞を副詞に変換するカテゴリー変換(category shift)があると仮定しよう。

(21)カテゴリー変換規則(Rule of Category Shift)  
 [v V ] + -CONV. SUFFIX → [ADV [v V ]]

(21)により副動詞形動詞は副詞に変換され、副動詞節は副詞節ではなく、実は、副詞を主要部とした副詞句(adverbial phrases)であるということにな

る。この考え方に従うと、副動詞構文の統語構造は次のようになる。

(22) a. 埋め込み型:

[<sub>IP</sub> [<sub>NP</sub> S<sub>M</sub> ] [<sub>VP1</sub> [<sub>ADV</sub> [<sub>NP</sub> S<sub>c</sub> ] [<sub>ADV</sub> P<sub>c</sub> ] ] [<sub>VP2</sub> P<sub>M</sub> ] ]]

b. 文頭型:

[<sub>ADV</sub> [<sub>NP</sub> S<sub>c</sub> ] [<sub>ADV</sub> P<sub>c</sub> ] ] [<sub>IP</sub> [<sub>NP</sub> S<sub>M</sub> ] [<sub>VP</sub> P<sub>M</sub> ] ]]

(22a)では主節主語S<sub>M</sub>はVP<sub>1</sub>内のすべての要素をc統御できるから、この中に現れるRFLをみな束縛することができる。但し、S<sub>c</sub>に対格形主語のある場合、ADVはこれにc統御されるから、P<sub>c</sub>内のRFLはS<sub>M</sub>ではなくS<sub>c</sub>に束縛される。(22b)は、副詞句全体が主節主語の前へ移動した派生形と捉える。

主語の直後と文頭は、語彙的副詞の現れる典型的な位置である。

(23) a. Ter [<sub>ADV</sub> möd] ir-e-x-güj. <M:221>

3SG:N soon come-EP-NPS-not  
 ‘She won’t come soon.’

b. [<sub>ADV</sub> Oroj] bid Germaa-g-ijn-d  
 evening 1PL:N Germaa-EP-G-D/L  
 xür-lee.  
 get to-PST

‘In the evening we went to Germaa’s.’

語彙的副詞との統語上の位置の並行性も、副動詞節の副詞句としてのステイタスを支持している。

## 2. 4 まとめ

対格形主語は、文の主語(主節主語と呼んでいたもの)と非同指指示的な場合に、その文を構成する副詞句の中で生起する。従来、副動詞構文は主節と副動詞節から成る複文(complex sentences)と規定されてきたが、実際は、文的な特徴を備えた副詞句を内包した単文(simplex sentences)なのである。

単文の主語以外の行為者を対格形で表すものに、使役構文がある。

(24) [Aav [<sub>nama</sub>jg ijsh-ee tijsh-ee  
 father:N 1SG:ACC this way-RFL that way-  
 olon yav]-uul-san].  
 RFL many go-CST-PF

'Father made me go here and there many times.'

(24)のaav 'father' は文全体の行為者であり、主格形で実現している。一方、対格形namaig 'me' は、動詞語幹yav- 'to go' の指示する行為を直接行う行為者であり、対格形をとっている。モンゴル語では単文の中で二つの行為者を要求する時、一方が主格形をとれば他方は対格形をとる傾向があるように思われる。使役構文との行為者の格形の選択の並行現象も、副動詞構文の単文性を支持している。

### 3 等位関係

#### 3. 1 等位型接尾辞の意味特徴

Luvsanzhav et al. (1976)、小沢(1986)、橋本(1991)によると、-zh/-ch と-aad<sup>4</sup> には次のような意味の違いがある。

(25) -zh/-chと-aad<sup>4</sup> の意味特徴

- a. -zh/-ch: 一つの行為/事態の連続性か、異なる行為/事態の同時性を表示する。
- b. -aad<sup>4</sup>: 一つの行為/事態の継起性を表示する。

(25a, b) の論理的帰結として、-zh/-ch は同一の行為/事態の主語だけでなく、異なる行為/事態の主語をとれるのに対して、-aad<sup>4</sup> は同一の行為/事態の主語しかとれない。<sup>7)</sup>

- (26) a. [Bi xaaya Ulaanbaatar xot-ijn  
1SG:N sometimes Ulan Bator city-G  
nomijn san-d och-i-zh] [nom  
library-D/L go to-EP-ICD book-φ  
unsh-dag].  
read-HBT  
'I sometimes go to the Ulan Bator City Library and read a book [there].'
- b. [Egch xonin-d-oo yav-zh]  
elder sister:N sheep-D/L-RFL go-ICD  
[bi ger-t-ee üld-e-x-eer  
1SG:N house-D/L-RFL stay-EP-NPS-INS  
bol-loo].  
become-PST  
'My elder sister was to go to her sheep and I was to stay in my house.'

- (27) a. [Dorzh buudl-ijn tasalgaan-d-aa  
Dorzh:N hotel-G room-D/L-RFL  
or-ood] [nüür gar-aa ugaa-v].  
enter-PCD face hand-RFL wash-PST  
'Dorzh entered his room of the hotel and washed his face and hands.'
- b. \* [Dorzh buudl-ijn tasalgaan-d-aa or-ood][Bat nüür gar-aa ugaa-v].  
'Dorzh entered his room of the hotel and Bat washed his face and hands.'

-zh/-ch の場合、一連の行為を表す(26a) では一つの主語だけが現れる。同時的行為の(26b) では、二つの異なる主語をもてる。一方、-aad<sup>4</sup> の場合には、一般に、(27b) のような二つの主語の存在は許されない。

#### 3. 2 等位構造

意味の違いはあるものの、二つの接尾辞の導く副動詞構文の統語構造は同じである。その事実を確認するために、主語の分布の様子を観察しよう。

- (28) a. \* [Bi üdees xojsh nom-ijn delgüür-t  
1SG:N afternoon book-G store-D/L  
och-i-zh] [bi nom av-laa].  
go to-EP-ICD 1SG:N book-φ buy-PST  
'I went to the book store and I bought a book this afternoon.'
- b. \* [Davaa; Dorzh-toj uulz-aad][Davaa;  
Davaa:N Dorzh-CMT meet-PCD Davaa:N  
/ter; ix bayas-a-v].  
3SG:N very be glad-EP-PST  
'Davaa; met Dorzh and Davaa; / he;  
was very glad [at it].'

前半節と後半節双方に同一指示的な主語が顕在化している時には、(28a, b) の示すように、不適格な文となる。

- (29) a. [Bilig; surguuli-d ir-zh] [a-pro;  
Bilig:N school-D/L come-ICD  
mongol xel sur-san].  
Mongolia language-φ learn-PF  
'Bilig came to school and learned Mongolian.'

b. [a-pro; Surguuli-d ir-zh] [Bilig; mongol xel sur-san].

(30) a. [Ted; undaa uu-chix-aad] [a-pro; 3PL:N beverage- $\phi$  drink-CMP-PCD deer davxr-aas doosh-oo; above floor-ABL downward-RFL buu-v].

go down-PST  
'They drank up some beverages and went down from the above floor.'

b. [a-pro; Undaa uu-chix-aad][ted; deer davxr-aas doosh-oo; buu-v].

(29)、(30)のように、同一指示的主語の顕在形は前半節、後半節のどちらに現れてもよい。

(28)–(30)の分布は、次の原則により説明できる。

(31)主語の差押えの原則(Subject Suspension

Principle): 同一指示的なNPが相互にc統御し合う統語関係にある場合、その顕在形はどちらか一方のNPの下にあればよい。残りのNPの下には、照応的ゼロ代名詞(a-pro)が現れる。<sup>8)</sup>

(31)に従えば、-zh/-ch、-aad<sup>4</sup>型の副動詞構文の前半節主語NP<sub>1</sub>と後半節主語NP<sub>2</sub>とは相互c統御関係にあるということになる。相互c統御を許すということは、-zh/-ch、-aad<sup>4</sup>型の副動詞構文が等位構造をもつことを示唆している。

### 3. 3 まとめ

(1a)タイプの副動詞構文は、テンスやアスペクトの点では前半節の後半節への依存関係が見られるものの、その他の点では両節の統語関係は全く対等である。このような等位関係にある場合、非同一指示的な主語の出現できる環境での副動詞接尾辞の導く節の主語は、主格形であって、対格形ではないのである。

### 4 複文としての従属関係

条件副動詞接尾辞-val<sup>4</sup> / -bal<sup>4</sup>と譲歩副動詞接尾辞-vchは、本来、(32)、(33)に見るように、副動詞節に対格形主語をとることができる。

(32) [cc Aav-ijg ir-vel] [mc chi nadad father-ACC come-CND 2SG:N 1SG:D/L xel-eerej].

tell-OPT  
'If father comes, you tell [it] to me.'

(33) [cc Chama:jg yav-a-vch][mc bajdal 2SG:ACC go-EP-CNS situation:N

öörch-ö-gd-ö-x-güj]. <M:114>  
change-EP-PSV-EP-NPS-not  
'Even if you go, the situation won't be changed.'

ところが、これらの接尾辞から派生した假定形のbolと譲歩形のbolovchの導く節の主語は、対格形と主格形の間で揺れを見せている。

(34) a. [cc Tani:jg kino üz-e-x-güj 2SG:ACC movie- $\phi$  see-EP-NPS-not

bol][mc bi bas üz-e-x-güj].  
CND 1SG:N also see-EP-NPS-not  
'If you don't see the movie, I won't see [it], either.'

b. [cc Xerev ter xün darg-ijg-aa if that person:N boss-ACC-RFL xündetg-e-deg baj-san bol][mc bi respect-EP-HBT be-PF CND 1SG:N ter xün-tej mendl-e-x baj-san].  
that person-CMT greet-EP-NPS be-PF  
'If that man had a habit to respect his boss, I would have greeted that man.'

(35) a. [cc Ax-ijg xot-o-d elder brother-ACC city-EP-D/L ir-sen bolovch] [mc bi uulz-a-zh come-PF although 1SG:N meet-EP-ICD chad-san-güj]. <L:109>  
can-PF-not

'Although [my] elder brother came to the city, I couldn't meet [him].'

b. [cc Bagsh nama:jg duud-san teacher:N 1SG:ACC call-PF bolovch][mc bi angi-d-aa although 1SG:N classroom-D/L-RFL suu-saar baj-v].  
sit-CNT be-PST

'Although the teacher called me, I remained sitting in my classroom.'

(34)は条件のbolの例だが、(34a)では対格形主語が、(34b)では主格形主語が現れている。同様に(35)の譲歩のbolovchの例でも、(35a)では対格形主語が、(35b)では主格形主語が登場している。

格形の揺れを見せる副動詞構文には、二つの共通特徴がある。第一の特徴は、bolもbolovchも動詞語幹から形態的に独立していることである。第二の特徴は、副動詞節の動詞が非過去形-xや完了形-san<sup>4</sup>などのアスペクト形であるということである。この二つの特徴は、モンゴル語の接続詞一般においても認められる。

- (36) a. [Najz nar maan' xüs-sen uchraas]  
friend PL:N IPLP hope-PF because  
[bi üdeshleg deer duul-a-x-  
1SG:N evening meeting in sing-EP-NPS  
aar bol-lool].  
INS become-PST  
'Because my friends hoped for [it], I was to sing in the evening meeting.'
- b. [Bi tüünd xel-seer atal] [ter  
1SG:N 3SG:D/L say-CNT though 3SG:N  
yav-chix-san]. <M:200>  
go-CMP-PF  
'Although I warned him, he left.'

(36a)は理由を導くuchraas 'because'、(36b)は譲歩節を導くatal 'though'の例である。両節とも主格形主語とアスペクト形動詞をもっている。同様の特徴を示す接続詞として、boloxoor 'because', bolood 'because', uchir 'because'など、主に、理由の意味を表すものを挙げることができよう。

bol, bolovchの主語が対格形と主格形の間で揺れるのは、派生の出所と考えられる接尾辞-bol, -vchの主節への依存志向と、独立した接続詞へと文法化した後の主節からの独立志向との狭間にあるからと捉えることができる。統語的には副詞節として主節との間で従属関係を結ぶ複文であるのに、なお副詞句としての単文の一構成単位であった頃の名残を引きずっているのである。

もっとも、この種の揺れが統語的要因ばかりでなく、意味的要因も関係しているのではないかと思われる事例も散見できる。

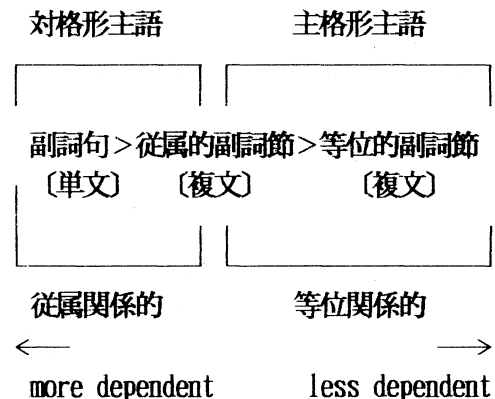
- (37) [cc Bagsh(-ijg) ir-vel] [mc bi  
teacher:N(-ACC) come-CND 1SG:N  
uulz-a-na]. <M:89>  
meet-EP-PRS  
'If the teacher comes, I'll meet [him].'

(37)の副動詞節の主語は対格形であっても主格形であってもよい。このことは、条件節、譲歩節が意味的に従属関係よりも等位関係を表示しているかもしれないという推測を生む。これについては、ここではこれ以上言及しない。<sup>9)</sup>

## 5 結論

モンゴル語の副動詞構文は、主語の格形の選択と相関する依存関係の階層が存在している。

- (38)副動詞構文の依存関係と主語の格形の選択を表す階層:



副詞句は(1b)タイプの接尾辞により形成され、単文の構成単位としてふるまうほどに依存性・従属性が高い。等位節は(1a)タイプにより形成され、テンス、アスペクトを有する節と統語上等価の節として独立性の高い構成単位である。

階層の中間に位置する従属節は、bol, bolovchなどの文法化した接続詞に導かれ、従属関係と等位関係の重なり合う節を形成する。主節への依存性が高くなればなるほど、対格形の主語が現れ易くなり、逆に、独立性が高くなるほど、主格形の主語が現れる。主語の格形の選択と句や節の依存性の度合いは離接的(discrete)にはなく、漸増的(gradual)に働いている。

副動詞構文における対格形主語の出現の統語的環境は、それが現れる句や節の文全体への依存性と密接に関連していることがわかった。従来、「副動詞節」と呼ばれてきた構成単位は、実は、副動詞派生

型の副詞句であり、句から節へ移行していく段階で主語の格形も対格から主格へ推移していくのである。

## 注

- 1) -zh/-ch の交替形で-g, -v, -rで終わる語幹の後では-ch が、それ以外の子音や母音で終わる語幹の後では-zh が用いられる。
- 2) 接尾辞の右肩の数字は、母音調和に従って選ばれる交替形の数を示す。例えば、-aad<sup>4</sup> : -aad, -ood, -eed, -ööd.
- 3) 語句訳語(gloss) の省略記号の対応表は、次の通りである。ABL:Ablative, ACC:Accusative, ASS:Associative, CLC:Collective, CMP:Completive, CMT:Comitative, CND:Conditional, CNS:Concessive, CNT:Continuative, CST:Causative, D/L:Dative/Locative, BP:Emphatic Element, G:Genitive, HBT:Habitual, ICD:Imperfective Coordinative, IMD:Immediate, IMPF:Imperfective, INS:Instrumental, N:Nominative, NPS:Nonpast, OPT:Optative, PCD:Perfective Coordinative, PF:Perfective, PL:Plural, PRH:Prohibitive, PRS:Present, PST:Past, PSV:Passive, RFL:Reflexive Possessive, SUC:Successive, TML:Terminative, TMP:Temporal,  $\phi$ :Zero Case, 1SG:First Person Singular, 2SG:Second Person Singular, 3SG:Third Person Singular, 1PL:First Person Plural, 3PL:Third Person Plural, 3P:Third Person Possessive
- 4) \* は非文法的であることを示す。
- 5) データの引用文献の省略記号の対応表は、次の通りである。但し、無印のデータは個人の文献カードによる。  
L: Luvsanzhav, Choj (ed.) 1976. Mongol Xel Surax Bichig. Ulaanbaatar.  
M: Kullmann, R. and D. Tserenpil. 1996. Mongolian Grammar. Hong Kong: Jencso Ltd.
- 6) [-human]NPの時には、対格形ではなくゼロ格形で実現する。  
i. [<sub>mc</sub> Bi [<sub>cc</sub> nar mand-a-xlaar] 1SG:N sun-  $\phi$  rise-BP-SUC mord-no].  
mount-PRS

'I'll mount [a horse] after the sun rises.'

6) ii. \* [<sub>mc</sub> Bi [<sub>cc</sub> nar-ijg mand-a-xlaar sun-ACC

mord-no].

7) -aad<sup>4</sup> の前後の節に異なる主語の現れる場合がある。

i. [Galt tereg-nij xuvaar' öölchl-ö- train-G division:N change-BP-gd-ööd] [bid önöödör yav-a-x-aar PSV-PCD 1PL:N today go-BP-NPS-INS bol-loo].

become-PST

'Since the train schedule was changed, we were to leave today.'

前半節は受け身文であり、英訳にあるように、後半節の行為の理由を表している。

8) 「c 統御」は、Reinhart(1983)によると、次のように定義される。

i.  $\alpha$  が  $\beta$  を c 統御するのは、

a.  $\alpha$  が支配するすべての枝分かれ節点が  $\beta$  も支配し、

b.  $\alpha$  が  $\beta$  を支配せず、 $\beta$  も  $\alpha$  を支配しない、場合である。

9) Foley and van Valin(1984), Haspelmath(1995) は、節関係には等位関係(Coordination)、従属関係(Subordination)の他に、それらの中間に位置づけられる等位従属関係(Cosubordination)の存在することを指摘している。条件節、譲歩節の揺れが、第三の節関係に起因するかどうかは、今後の研究課題である。

## 参考文献

- Binnick, Robert I. (1979) Modern Mongolian: Transformational Syntax. Toronto: Toronto University Press.
- Chomsky, Noam. (1980) "On Binding." Linguistic Inquiry 11, ppl-46.
- Foley, William A. & Robert D. van Valin Jr. (1984) Functional Syntax and Universal Grammar. Cambridge: Cambridge University Press.
- 橋本邦彦. (1991) 「複文の構造と副動詞節の主語」 LBXICON 21, pp177-191.
- Haspelmath, Martin. (1995) "The Converb as a

- Cross-linguistically Valid Category," in  
Haspelmath, M. & E. König(eds.) *Converbs  
in Cross-Linguistic Perspective Structure  
and Meaning of Adverbial Verb Forms.*  
Berlin: Mouton de Gruyter, pp1-55.
- Luvsanzhav, Choj (ed.)(1976) *Mongol Xel Surax  
Bichig.* Ulaanbaatar.
- Mizuno, Masanori.(1992) "Accusative Subjects  
in Khalkha Mongolian," Handout at Inter-  
national Conference of Mongolist in Ulan  
Bator in August, 1992.
- 水野正規.(1994/1995) 「現代モンゴル語の従属節  
主語における格選択」東京大学言語論集 14,  
pp667-680.
- 小沢重男.(1986) 増補モンゴル語四週間. 東京: 大  
学書林.
- Poppe, Nikolaus.(1951) *Khalkha-Mongolische  
Grammatik.* Wiesbaden: Franz Steiner  
Verlag.
- Reinhart, Tanya.(1983) *Anaphora and Semantic  
Interpretation.* London: Croom Helm.
- Street, John C.(1963) *Khalkha Structure.*  
Bloomington: Indiana University.
- Webelhuth, Gert. (ed.)(1995) *Government and  
Binding Theory and the Minimalist  
Program.* Oxford: Blackwell.

# 文書データベース検索支援のためのtf.idf法による 要約文の自動抽出法の提案

蓮井 洋志<sup>\*1</sup>

## The System for Automatic Extraction of Abstract by tf.idf Method to Assist in Searching the Document Database

Hiroshi HASUI

(原稿受付日 平成12年4月28日 論文受理日 平成12年8月31日)

### Abstract

I have studied the tf.idf method as the automatic extraction of abstract in order to assist in retrieving the document database. I defined sentence importance as the sum of the word importance of tf.idf value, and the system extracted the several sentences which are the most important. In this paper, I propose the extended tf.idf method in order to get more comprehending abstract. It is the method which adds three ideas to the tf.idf method, the case weight, the eliminataion of demonstrative words and the conjunctions, and the decision of the region for the extraction. Result of the experiment shows that the abstract of the extended method is more comprehensible than one of the tf.idf method.

Keywords: tf.idf method, retrieval system, extraction of abstract, case weight, query keyword

### 1 はじめに

ワードプロセッサやパーソナルコンピュータなどの電子機器の普及によって、現代社会には膨大な量の電子化文書のコレクションが存在する。文書データベースシステムはこれらの文書コレクションを管理して、欲しい情報をそれらから得るためのシステムである。大規模な文書データベースシステムでは、欲しい文を取り出すのに、すべての文書を読むこと

は不可能に近い。そこで、必要な文書を取り出すためにキーワードによる分類、検索という技術が開発されてきた。しかし、分類や検索を利用して結果として得られる文書の数が多く、人手でそれらの中から欲しい文書を選ぶのには大変な手間がかかる。文書を選び出す時には、要約文があると便利である。要約文を見れば本文の内容を読まなくても欲しい文書が分かる。学术论文のデータベースは著者が用意するが、他の多くのデータベースには要約文が存在しない。

<sup>\*1</sup> 情報工学科

著者はこれまでに文書データベースシステムにおける検索支援のために、要約文を自動的に抽出する tf.idf 法 [1] を提案した。文の重要度を文中の単語の tf.idf 値 [2, 3] の合計であると定義し、重要度の大きい文を抽出する。本論文では、よりわかりやすい要約文を作るために、tf.idf 法に対して以下の3つの工夫をした方式を提案する。

- (1) 格助詞の主辞である単語の重要度には重みを加える。(格の重みづけ)
- (2) 指示語、接続詞などを除去する。(指示語、接続詞の除去)
- (3) 文書中の重要な部分を特定し、その部分だけを要約する。(要約部分の限定)

本研究では tf.idf 法とそれを拡張した手法の精度を評価するために、拡張法を実現した ExtraSummary と呼ぶ要約文抽出システムを開発した。朝日新聞の「社説」[4]を集めた文書コレクションを活用して、文書データベースを作った。その検索システムに ExtraSummary を組み込んだ。検索システムおよび ExtraSummary はインターネットのホームページ上で CGI を利用して作成した。

本論文では、2章では tf.idf 法について、3章ではそれを拡張した方法について述べる。次に、4章で ExtraSummary の構成について述べる。5章ではこのシステムが抽出した要約文の精度および検索支援効果の評価実験とその結果について考察する。7章で内容をまとめる。

## 2 tf.idf 法による要約文の抽出

### 2.1 要約文抽出法

要約文の作成方法には抽出法と生成法がある。生成法は次のような手順をとる。まず、自然言語解析の結果から文の意味情報を取りだし、冗長な文や文節を取り除くことで要約文を生成する。意味情報を取りだすために、形態素解析、統語解析、意味解析、文脈解析などが必要である。これら4つの自然言語解析は不正確さが故に実用的でない。また、これらの解析には辞書が必要であるが原文の中の語が未登録の場合は処理できない。

これに対して、抽出法は、まず出現する単語の統計量あるいは接続詞、助詞などの単語の言語的手がかりを利用して文の重要度を決定する。抽出法は、形態素解析だけを利用する。現在、最新の形態素解析システムの精度は95%前後である。この数値は信頼に足るものである。

## 2.2 tf.idf 法

### 2.2.1 文の重要度

tf.idf 法における文の重要度は、文を構成する単語の重要度の和である。要約文抽出システムは対象とした文書内の文の重要度の大きいものからユーザが指定した数だけ抽出する。以下に文の重要度を表す式を示す。文を構成する単語の数を  $n$  とし、各々の単語に番号をつけた。  $Word_i$  は文の中の  $i$  番目の単語の重要度を表す。

$$Sentence = \sum_{i=1}^n Word_i \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

$Word_i \leq 0$  であるために、多くの単語を含む程、文の重要度がより大きいということを示している。短い文は情報量が少ないために、要約文として抽出されても前後の文脈から、意味が理解できない場合が多い。長い文を選ぶことで、理解しやすい要約文を作る狙いがある。

### 2.2.2 単語の重要度

単語の重要度は tf.idf 式で定める。tf.idf 式は文書データベースにおける語の重要度を表す。対象としている文書内での単語の出現回数を  $tf$ 、文書データベース内においてその語を含む文書の個数を  $df$  とする。 $df$  を文書データベースに登録された文書数で割った値に対して、負の対数をとったものを  $idf$  とする。この時の対数は  $e$  を底とする。 $tf$  と  $idf$  を掛け合わせた数が tf.idf 式の出力である。

重要度は名詞だけに与える。日本語の文書は、話題を主に名詞で表現する。助詞や助動詞などは、直接的にしか話題に関連しない。

単語の重要度  $Word_i$  を以下のように定義する。

$$Word_i = \begin{cases} tf \times idf & (\text{for Noun}) \\ QueryKeyword_i & (\text{for Keyword}) \\ 0 & (\text{Otherwise}) \end{cases}$$

$$QueryKeyword_i = MaxTermFrequency \times \log_e AllDocumentNumber$$

$$tf = TermFrequency$$

$$idf = -\log_e \left( \frac{DocumentFrequency}{AllDocumentFrequency} \right)$$

**TermFrequency:** 対象とする文書中の  $i$  番目の単語の出現回数のこと

**DocumentFrequency:** 文書データベースの内単語が出現した文書数のこと



**AllDocumentFrequency:** 文書データベースに登録されたすべての文書数のこと

**QueryKeyword:** データベース検索時にユーザが指定した単語のこと

**MaxTermFrequency:** 対象とする文書中で一番頻出した単語の出現回数のこと

文書データベースで多くの文書に出現する名詞のidfは小さい。また、少数の文書にしか現れない名詞はidfは大きい。つまり、文書データベースの中で少数の文書にしか現れない名詞の重要度が大きい。文書データベース検索システムでは検索結果から欲しい文書を選択する必要がある。検索を支援するためには、要約文が他の文書と異なった部分を示していることが大切である。そのために、少数の文書にしか現れない名詞が重要だとされるtf.idf式を利用した。

検索で指定されたキーワードはユーザの興味を端的に表している。要約文の中には興味のある情報についての詳しい記述が必要である。キーワードを含んだ文を多く抽出するために、キーワードの重要度は、その文書の最大の出現回数と、総文書数に対して底 $e$ で対数をとった値の積で、同一文書中の他の単語の重要度より大きい値である計算になる。

本論文では、この方法で単語の重要度を計算する方法を原法と呼ぶ。

### 3 tf.idf法の拡張

原法で抽出される要約文は、一般に直接話題を表した文が少ない。精度の向上のために、これから述べる3つの改良を加えた。これらの改良を加えた方法を拡張法と呼ぶ。

#### 3.1 格の重みづけ

拡張法は原法と単語の重要度の与え方が違う。単語の重要度を格の種類によって重みを加えた。このことを格の重みづけとよぶ。以下に、重みづけを行なった場合の単語の重要度の計算式を示す。

$$\begin{aligned} \text{Word}_i &= \begin{cases} tf \times idf \times \\ \text{CaseWeight} \\ \text{(for Noun)} \\ \text{QueryKeyword}_i \times \\ \text{CaseWeight} \\ \text{(for Keyword)} \\ 0 \text{ (Otherwise)} \end{cases} \\ \text{QueryKeyword}_i &= \text{MaxTermFrequency} \times \\ &\quad \log_e \text{AllDocumentNumber} \\ \text{CaseWeight} &= (1.0 + CF \times PN) \\ PN &= \text{PhraseNumber} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} CF &= \frac{\text{CaseFrequency}}{\text{AllCaseFrequency}} \\ tf &= \text{TermFrequency} \\ idf &= -\log_e \left( \frac{\text{DocumentFrequency}}{\text{AllDocumentFrequency}} \right) \end{aligned}$$

**CaseWeight:** 格の重み

**PhraseNumber:** その単語が含まれる文の中の文節数

**CaseFrequency:** 文書データベース中の文書のタイトルに含まれる単語の格の数

**AllCaseFrequency:** 文書データベース中のすべての格の数

名詞は接続する助詞の種類によって、その名詞の文の中での役割がわかる。特に、格助詞を含んだ文節は文の意味を決定するうえで重要な役割を持っている。接続する助詞によって名詞が文の話題に関連する度合が異なる。重要な単語が話題となる文は重要である。

拡張法の単語の重要度は、原法の単語の重要度を $1.0 + CF \times PN$ 倍した値である。CFは単語が構成する文節の助詞の格の重みで、データベース内の文書の格の総文節数に対する、タイトルの中の単語を含む文節の格の割合である。各々の格に対して、データベース内の文書からCFを統計的に定める。

PNは文節数を表す。文節を隣接する自立語連鎖と付属語連鎖を結合した文字列と定める。自立語連鎖とは自立語の連続した単語列で、付属語連鎖とは付属語の連続した列である。文節数PNが大きい文は多くの情報を持っているために重要である。

#### 3.2 格の重みCFの計測

朝日新聞「社説」4926件を対象としてCF値の計測を行なった。これらの「社説」は1985年から1988年にかけて朝日新聞に掲載されたものである。

格助詞が提示助詞「は」と「も」と連結した文節は別の格とみなした。例えば、「に」と「には」は別とした。また、格助詞が後続しない「その他」という文節も一つの格とみなした。

表1に計測したCFを示す。全体的に見て、「とは」、「には」などの提示助詞「は」がついた助詞の重要度が大きい。これは、「は」は話題を提示する助詞であるためだ。その他には、「が」、「を」などを含んだ文のCFが大きい。これは、文書を構成する上で、要となる主格、目的格を表すからだ。

また、格助詞を含まない文節は、CFは0.04で「は」や「が」の半分くらいである。「まで」や「から」と比較すると、かえって格助詞を含まない文節のCFの方が大きい。先行する単語が主題に関連している度合は助詞によって異なる。

表 1: 「社説」データベースにおける CF

格	CF	格	CF
とは	0.10	には	0.08
では	0.06	からは	0.04
までは	0.01	へは	0.00
と	0.06	に	0.06
が	0.07	は	0.07
で	0.05	も	0.03
を	0.07	から	0.04
まで	0.02	へ	0.12
とも	0.04	にも	0.05
でも	0.05	からも	0.04
までも	0.00	へも	0.00
その他	0.04		

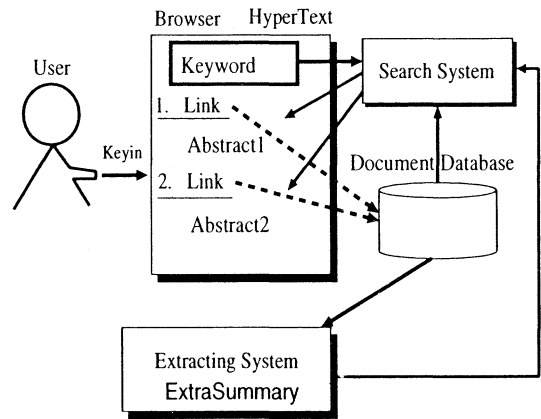


図 1: 検索システムの構成

### 3.3 指示語、接続詞の除去

拡張法は、要約文として抽出した文から指示語、接続詞を除去する。指示語は隣接した文に先行詞がある場合が多い。また、接続詞は隣接した文の間の関係を表す場合が多い。抽出法によって作られた要約文は文書中の文の数より要約した文の数の方が少ないから、抽出した文と隣接した文が要約文の中にない場合が大半である。その結果、取り出された要約文は、指示語の先行詞がわからないし、接続詞による文間の関係が理解できない。指示語、接続詞はない方が理解しやすい。

### 3.4 要約部分の決定

拡張法は、文書の最初 10 文と最後 10 文の部分だけを抽出対象とする。もし、12 文目の文が重要度が大きくても抽出されない。説明文は、一般に話題が 1 つの文書は、序文、本文、結論で構成されている。内容を提示する問題提起があり、その問題に対する議論があり、最後には内容をまとめ、意見を述べる結論がある。要約文はこの中の問題提起と結論を明確に伝えればよい。

## 4 文書データベース検索システム

### 4.1 検索システムの構成

本研究では、要約文抽出システムをサブシステムとする文書データベース検索システムを開発した。その検索システムの構成を図 1 に示す。この文書データベースは朝日新聞「社説」4926 件を保持する。このシステムはインターネットホームページブラウザと検索システムと要約文抽出システムからなる。検索システムはブラウザの CGI として動き、UNIX 上で Perl 言語をもとに実現した。要約文は ExtraSummary に

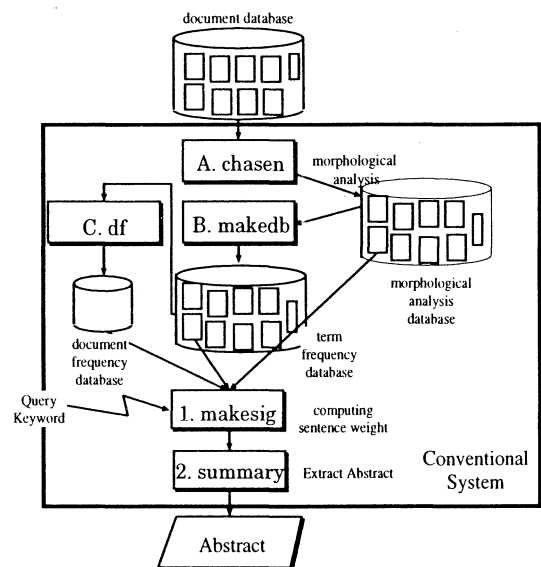


図 2: 原法のシステム構成

よって、あらかじめ抽出し、要約文データベースに登録する。

検索処理の流れでは、まず、ユーザがブラウザに検索キーワードを入力する。ブラウザはそのキーワードを検索システムに伝える。検索システムはキーワードが含まれる文書を取り出し、ExtraSummary が要約文を抽出する。要約文の長さは 4 文とした。付録 A にその例を示す。検索結果の文書における検索キーワードの tf.idf 値を計算し、大きいものから順位づけする。その順番に従ってブラウザで表示する。

### 4.2 要約文抽出システムの実現

#### (1) 原法 (Conventional System)

原法の構成を図 2 に示す。

原法に必要な処理プログラムは次の 3 つである。

A. chasen[5]<sup>1</sup> (形態素解析システム)

B. makedb (tfデータベースを作る)

C. df (dfデータベースを作る)

1. makesig (文の重要度の計算)

2. summary (重要度の大きい文の抽出)

原法で要約文を作るために必要なデータは次の2つである。

- Query Keyword (検索キーワード)
- document database (文書データベース)

処理途中で必要になるデータは、次の3つである。

- tfデータベース
- dfデータベース
- 形態素解析データベース

文書データベースの各々の文書をA.で形態素解析する。その結果を用いて、単語とその出現回数に対応づけたtfデータベースを作る。これは、B.が行なう。そのtfデータベースを利用してC.が値を数える。その結果をdfデータベースに保存する。1.がtf.idf値、形態素解析の結果から文の重要度を計算する。最後に2.がその結果から重要度の大きい文を抽出し、それを文書の先頭から順番に並べたものを要約文として出力する。

プログラムA, B, Cは、検索前に起動し、dfデータベース、形態素解析データベース、tfデータベースを作っておく。検索の要求があると、検索システムは、要約文を作る段階で1., 2.が抽出処理をする。本手法は名詞のみに重要度を与える。本システムでは、A.で使用された品詞体系の中の普通名詞、サ変名詞、固有名詞、未定義語を名詞とみなす。

## (2) 拡張法 (ExtraSummary)

拡張法のシステム構成を図3に示す。

原法に加えて、処理プログラムとしてはD. case, 処理途中で必要となるデータとしてはcase tableを追加する。D.は格の重みを計測し、case tableに登録する。

拡張法は、データとしては文書のタイトルと、処理プログラムのcaseを持つ。文書データベースからcaseによって、格の重みを表すcase tableを作成

<sup>1</sup> 奈良先端科学技術大学松本研究室で開発されたフリーウェア

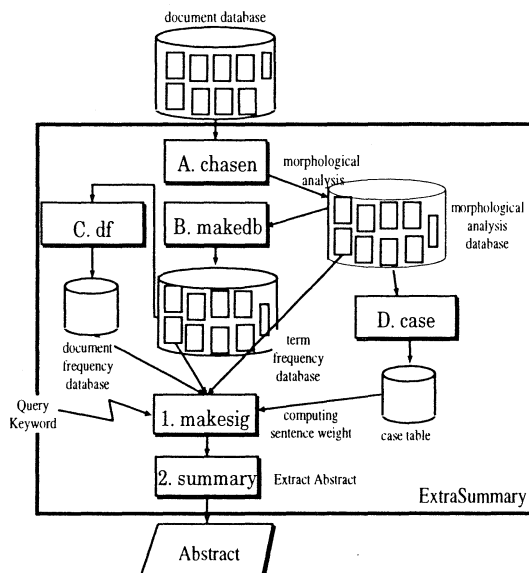


図3: ExtraSummaryのシステム構成

する。拡張法のmakesigはそれを用いて単語の重要度を計算する。

拡張法では、検索の前に、原法の処理に加えてcase tableも作る。

## 5 評価実験

### 5.1 評価基準

このシステムで抽出した要約文の読みやすさ、あるいは原文の内容に対する忠実さを評価した。評価に用いた基準は次の6つである。なお、要約文を評価する被験者は3人である。

#### (1) 要約文の内容が把握できるか (読みやすさ)

- a. 話題が掴める
- b. 話の流れが掴める
- c. 何の話題か第1文目から理解できる
- d. 結論があり、文章の終りであることが理解できる

#### (2) 原文に忠実か (原文に対する忠実さ)

- a. 原文の問題提起と同じか
- b. 原文の結論と同じか

(1)の4項目は、要約文の内容の理解しやすさをはかる。(1) b., d. は要約文の話の流れや文脈の理解

表 2: 要約文の精度

抽出法の種類	(1)				(2)	
	a.	b.	c.	d.	a.	b.
被験者 1						
拡張法	15	13	9	15	5	3
原法	15	13	8	14	6	1
被験者 2						
拡張法	13	13	9	15	8	5
原法	14	11	10	13	10	10
被験者 3						
拡張法	15	14	10	14	6	6
原法	14	7	10	9	6	2
合計						
拡張法	43	40	28	44	19	14
原法	43	31	28	36	22	13

しやすさを判定する。理解しやすい要約文を作るには文脈が理解できなければいけない。

(2) の 2 項目は要約文が原文の内容を反映している度合を評価する。朝日新聞の「社説」は問題提起、議論、結論で構成される。この中で、原文と要約文の問題提起と結論の内容が一致すれば、原文の内容を忠実に表している。

### 5.2 評価結果

朝日新聞の「社説」4926 件をもとにした文書データベースにおいて、15 個の文書に対して原法、拡張法の 2 種類で要約した。この 15 個の文書は「関西国際空港」をキーワードとして検索された文書である。

これら 2 種類の要約文に対して 3 人の被験者が精度を評価した。結果を表 2 に示す。

全般として、読みやすいが、原文に対する忠実度は低い。文脈に関わる (1) b. d. は拡張法が原法より低い結果がでた。つまり、拡張法は原法と比較して文脈のとりやすい要約文を抽出する。

### 5.3 検索支援の効果

次に、拡張法を利用して作った要約文がユーザの欲しい文書の選択を支援する効果について評価する。20 個の文書が検索結果となる 5 種類のキーワードを用意する。これらのキーワードで検索した結果、得られる文書群の中から 1 つの文書をユーザに提示する。その後、検索結果となった 20 個の要約文を被験者に見せ、被験者が最初に見た文書がどの要約文と対応しているか判断させる。

これは、ユーザがキーワードで検索した結果、得

表 3: 検索結果の正解文書数

	正解文書数	正解率 (%)
被験者 1	5	100
被験者 2	5	100
被験者 3	5	100

られた 20 個の要約文の中から 1 つ欲しい文書を選び出す状態をシミュレーションしている。選択に成功した文書数を表 3 に示す。結果は 3 人とも正解率が 100% であった。明らかに検索支援の効果がある。

## 6 考察

要約文抽出法の中には、単語の重要度を用いる方法 [6], [7] と、助詞、接続詞などの修辞表現を利用する方法 [8] の 2 種類がある。単語の重要度を利用した方法は、普通、単語の重要度を利用して文の重要度を定義し、その重要度を利用して要約文を抽出する。文献 [6] は文の重要度の変化量から文章をセグメントに分割し、セグメントごとに重要度の大きい文を抽出する。これは、文章の話題の区切り目で出現する単語が変化することに着目した方法である。複数の話題を含む文の要約に向いている。それに対して、後者 [8] の抽出法は、文と文の関係、段落と段落の関係を接続詞、助詞から、主題を表していると推測できる文を抽出する。

tf.idf 法は前者のタイプに属する。重要度は名詞のみに与え、tf.idf 式によって計算する。重要度が大きい文は tf.idf 値の大きい名詞を多く含む。tf.idf 値の大きな名詞は少数の文書にしか出現しないために、絞り込みやすい検索キーワードである。要約文の中から、ユーザが再検索に有効である検索キーワードを見つけることもできる。

英語では、要約文抽出法として tf.idf 法 [9] が発表されている。英語は単語の間にスペースがある。しかし、日本語は膠着語であるために単語の分割から行なわなくてはならない。原法、拡張法の両方とも名詞だけに重要語を与えたが、英語の tf.idf 法はテーブルに登録された前置詞など付属語の単語以外の語に重要度を与えている。これは、英語の単語の大半が多品詞語で、単語の品詞を特定する技術が完全でないためである。原法、拡張法の両方とも形態素解析をするために、完全ではないが品詞は特定できる。

## 7 まとめ

本稿では、文書データベースの検索を支援するための要約文抽出法として、tf.idf法について説明し、それを拡張した方法を提案した。そして、それらを実現した要約文抽出システムを開発し、それを評価した結果について述べた。その結果、以下の2点が明確になった。

- 拡張法は原法より文脈のとりやすい要約文ができた。
- 拡張法は文書の検索を支援する効果がある。

拡張法では「社説」の最初の10文と最後の10文を要約の対象とした。これは、文書の問題を最初に述べ、最後には内容をまとめた文を記述することを利用している。しかし、文章の記述方法は一つではない。「社説」以外の文書の要約では、文書の要約部分を変更する必要がある。今後、文書の中の重要部分を自動的に特定する方法を考えることで、より良い要約文を作る方策を考える。

### A 要約文の例 A.1 原文：

【'85.4.14 朝刊 5頁 (全1539字)】

毎年四百万人を超す日本人が海外へ旅行する。南極、北極、エベレストへも行く。ところが辺地でもないのに、外国人が極めて入りにくいのがアルバニアだ。「純粋マルクス・レーニン主義」の旗のもと、資本主義や修正主義という外からの風を入れまいと、突っぱりぬいて四十年になる。

体制のちがいを超えた国際交流や経済協力が世界の常識になっている今、こういう国が存在し続けていることは一種の奇跡とも思える。地中海に面したバルカン半島の一角。九州の四分の三ほどの国土に、二百七十余万の人口。このふしぎな国を支配してきた労働党のホッジャ第一書記が十一日死去した。その死によって、アルバニアにも必ず変化が起こるだろう。しかし鎖国から開放への道は必ずしも容易ではあるまい。

ホッジャ政権の四十年は、三つの修正主義（ユーゴスラビア、ソ連、中国）、米ソ中の三大国との闘争だった。

第二次大戦末期、ナチス占領下のアルバニアで、ホッジャ氏は隣国ユーゴのチトーひきいる共産ゲリ

ラに助けられて、祖国を解放する。しかし、チトーが自主・民族路線を打ち出すと、ホッジャ氏は一九四八年、ソ連とともにこれを修正主義と非難して決別する。続いて六〇年代に中ソが対立すると、毛沢東とともにクレムリンを修正主義と断罪する。その中国が七〇年代に米国と接近すると、これも修正主義に転落したと、手を切った。ではホッジャ氏の純粋社会主義とは何なのか。七六年制定の憲法はいう。

「プロレタリアートの独裁」。「自力による建設」。「土地から工場、銀行、ラジオ、映画までの国有化」。「外国の経済・金融会社、修正主義・資本主義独占家でない国家と共同する企業を認めず、彼らからの借金を禁ずる」。「税金を支払うことはない」。「教育と医療は無償」。「いかなる宗教も認めない。無神論の宣伝を支持する」。

自給自足をめざしても、この小さな途上国では限界がある。自転車も十分に出回らず、トラクターの役目は人海戦術でまかなう。そのために「生めよ殖やせよ」と人口増加をはかった結果、食糧難があらわれ、生活水準は改善しない。「美しい山河、みじめな服装」と西側からの旅人はいう。

しかしモノの乏しさより、もっと重大なのは「言論・報道・集会・結社の自由」がないことだろう。憲法五三条はこれを保障しているが、「社会主義秩序に反して行使してはならない」。さる八一年、ホッジャ氏の盟友シェーフ首相が「自殺」したが、あとで「処刑」と分かる。党首脳でさえ言論・思想の自由は、命と引きかえなのである。

右であれ左であれ、長い独裁下の国民は、あきらめから慣れに変わり、抑圧が抑圧と感じられなくなる。ましてホッジャ氏は去っても、労働党の一党支配がすぐに揺らごうとは思えない。むしろ危機感から、国内外での引きしめが一時的には強まるかもしれない。ソ連共産党からの弔電を突っ返したとの報道は、それを予感させる。

しかし一方で、中国と衝突した七〇年代後半から、イタリア、ユーゴ、東欧圏などと貿易を広げ始めたのも事実なのだ。八一年にわが日本と国交を結んだのも、そうした微妙な変化の上にある。八三年には中国とさえ貿易協定を結んだ。

ほんらいアルバニアは国連の一員で、米ソなどを除く約百カ国と外交関係をもつ。それなのに鎖国状態を続けるほうが変則なのだ。その結果が明らかになってきた今、開国という新しい挑戦を始めるべきときではないか。

### A.2 要約文：

「純粋マルクス・レーニン主義」の旗のもと、資

本主義や修正主義という外からの風を入れまいと、突っぱりぬいて四十年になる。支配してきた労働党のホッジャ第一書記が十一日死去した。ホッジャ政権の四十年は、三つの修正主義（ユーゴスラビア、ソ連、中国）、米ソ中の三大国との闘争だった。ましてホッジャ氏は去っても、労働党の一党支配がすぐに揺らごうとは思えない。

#### 参考文献

- [1] 蓮井洋志, 魚住超, 小野功一. 検索要求語を利用した tf.idf 法による要約文抽出. 情報処理学会第 57 回全国大会講演論文集 (1998), pp 3/245-246.
- [2] 大森信行, 岡村潤, 森辰則, 中川裕志. tf.idf 法を用いた関連マニュアル群のハイパーテキスト化. 情報処理学会自然言語処理研究会, No. 16(1997).
- [3] 長尾真, 佐藤理史, 黒橋禎夫, 角田達彦. 自然言語処理. 岩波ソフトウェア科学 15. 岩波書店(1996).
- [4] 朝日新聞. 朝日新聞:天声人語・社説:1985-1991. Electric Book. 日外アソシエーツ (1992).
- [5] 松本裕治, 北内啓, 山下達雄, 平野善隆, 今一修, 今村友明. 日本語形態素解析システム「茶せん」version1.5 使用説明書. (1997).
- [6] 任福継, 定永靖史. 統計情報と文書構造特徴に基づく重要文の自動抽出. 情報処理学会自然言語処理研究報告, Vol. 98, No. 48(1998), pp 71-78.
- [7] 平尾努, 木谷強. 単語の重要度に基づくテキストの要約. 情報処理研究会データベースシステム・情報基礎研究報告, Vol. 98, No. 34(1998), pp 41-47.
- [8] S. Miike, E. Itoh, K. Ono, and K. Sumita. A full-text retrieval system with a dynamic abstract generation. *SIGIR '94. Proceedings of the Seventeenth Annual International ACM-SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval*, (1994), pp 152-61.
- [9] Zechner, K. Fast Generation of Abstracts from General Domain Text Corpora by Extracting Relevant Sentences. *Proc. COLING-96*, (1996), pp. 986-989.

# CORBAを用いた3階層クライアント/サーバ方式による データベースシステムについて

越野 克弥\*1, 畑中 雅彦\*1, 川原 徳代\*2, 大岩 高雄\*2

## DateBase System by Three-tier Client/Server System with CORBA

Katsumi KOSHINO, Masahiko HATANAKA, Noriyo KAWAHARA and Takao OHIWA

(原稿受付日 平成12年4月28日 論文受理日 平成12年8月31日)

### Abstract

Recently various database servers which can be utilized and managed using by web browsing tools are required. Since these servers are going to be connected each other through network, it becomes important how to keep their extensibility and easiness of maintenance. We have studied a system construction method based on the distributed object architecture, Java and CORBA, in considering of its extensibility. In this paper, we report some results of our prototype of three-layers client/server style database system implemented by Java applet and JavaIDL.

Keywords: CORBA, ORB, CGI, HTTP, Applet

## 1 はじめに

企業内の各種情報システムは、多くの場合データベースを中心にして構築されることが多くなってきている<sup>(1)</sup>。

比較的小規模なシステムを構築する場合には、システム構築の容易さや見通しの良さから、2階層クライアント/サーバ方式を採用することがあ

る。しかし、この方式はシステムの拡張性、保守性が低いという問題を抱えており、規模の大きなネットワークを構築する場合には適していない。このことから、最近ではこれらの問題を解決することができる CGI (Common Gateway Interface)<sup>(2)</sup>を用いた3階層クライアント/サーバ方式が活用されるようになってきている。しかし、CGIを用いたデータベースへのアクセスは、非常にアクセス効率が悪く、また WWW (World Wide Web)サーバを必ず中継しなければならないので WWWサーバにも大きな負荷がかかるという問題がある。

\*1 室蘭工業大学

\*2 北海道エニコム(株)

### 3.2 CORBA の特徴

CORBA とは、ORB (Object Request Broker) という分散オブジェクト通信機能を実装した、ソフトウェアの共通仕様を定めたものである。

ORB の主な役割として、ネットワーク上の CORBA によって協調できるクライアントとサーバの所在の管理を行っていることが挙げられる。このことにより、プログラムはオブジェクトの所在を意識しないアプリケーションの作成が可能となる。

もう一つの大きな特徴としては、異種言語、異種 OS 上で動作するオブジェクト同士の通信が可能であることが挙げられる。これは CORBA で協調するオブジェクトを作成する際、IDL (Interface Definition Language) というインターフェース記述言語を用いてオブジェクトのインターフェースを記述するので、言語や OS の差異はそのインターフェース部分で吸収することができるためである。

なお、これらの CORBA の特徴については、以前の論文で報告済みであるので詳しい説明等はそちらに譲る<sup>(6)(7)</sup>。

### 3.3 本システムの機能

今回試作したシステムは、3 階層クライアント/サーバ方式を用いたデータベースシステムの一例として、計算機情報の管理システムの構築を行った。データベースには、本研究室で所有する計算機の一覧と、計算機の詳細情報が登録されている。クライアントはクライアントアプリケーション上からデータベース内の情報の検索、更新を行う。

### 3.4 本システムの構成要素

この節では Java で作成したアプリケーションがクライアント層、中間層においてそれぞれどのように動作しているかを説明していく。

#### 3.4.1 クライアント層

本システムでは、クライアントアプリケーションを Java のアプレットとして配布する方法をとっている。アプレットとは、WEB ページの一部として実行される形式の Java のアプリケーションである<sup>(8)</sup>。アプレットの本体は WWW サーバ上に

あり、必要に応じてクライアントがダウンロードするので、クライアントは常に最新のアプリケーションを使うことができ、またクライアントプログラム入手の手間も省くこともできる。アプレットは現行のほとんどのブラウザ上で実行することができるので、前節で CGI を用いたシステムの特徴として述べた「クライアントは特別なアプリケーションを必要としない」という利点は本システムでも有効であると言える。

#### 3.4.2 中間層

中間層では、複数のオブジェクト (以降、サーバオブジェクトと呼ぶ) があらかじめデータベースとのコネクションを張り、クライアントからの要求の待ち受け状態となっている。クライアントからの要求に応じてデータベースとの通信を始め、クライアントのアプレットが破棄されると、再び待ち受け状態となる。サーバオブジェクトは常にデータベースとのコネクションを張った状態にあるので、クライアントの要求のたびにコネクションを張り直す必要が無い。また、Java のオブジェクトはすべてスレッドとして生成されるのでシステムのリソースの消費を最低限に抑えることができる。スレッドとはプロセスを細分化したもので、プロセスよりも高速に動作するものである<sup>(9)</sup>。

### 3.5 追加機能

今回試作するシステムでは、データベースへのアクセス機能の他に、以前より我々の研究室で実験を進めてきた<sup>(10)</sup>、クライアントの自動識別機能も設けた。これは、アクセスしてきたクライアントをサーバ側で判断し、将来クライアントの表示特性に整合するように情報を整形して、送信する機能を付加するためである。

以前の実験では、HTTP ヘッダを解析する Proxy サーバを作成し、クライアントがその Proxy サーバを通過することによってクライアントの識別を行っていた。しかしこの方法では、全てのクライアントに Proxy を通過する設定を行わなければならないという問題があった。

そこで今回のシステムでは、クライアント側の設定を必要としない方法として、CGI によって環境変数を取得するプログラムを呼び出すシステム



を作成し、クライアントの識別を行った（以降、この CGI が動作する WWW サーバを識別情報取得サーバと呼ぶ）。呼び出されるプログラムは、perl を用いて作成した。

この追加機能部分については CGI による実装を行ったが、これは、本論文の主題である「3階層クライアント/サーバ方式によるデータベースシステムの構築」という部分には直接関係しない部分であり、CGI は環境変数を取得するプログラムを呼び出す手法として一番容易な方法だと考えたためである。

環境変数とは、CGI が実行されたときにブラウザや HTTP サーバから CGI に渡される変数のことであり、クライアントを識別することが可能な情報も含まれている<sup>(11)</sup>。

今回のシステムではクライアントにアプレットを用いているので、アプレット内で、クライアントにダウンロードされた後、自動的に識別情報取得サーバへアクセスするようにプログラミングしておけば、クライアント側での設定必要とすること無く識別情報の取得が行える。

今回の実験で識別情報として取得した情報は、IP、ホスト名である。

## 4 構成

### 4.1 開発環境

本システムの実装には Java 言語を使用し、開発環境には JDK(Java Developer Kit) のバージョン 1.2 を使用した。また CORBA 開発環境には、JDK1.2 で提供されている JavaIDL を使用した<sup>(12)</sup>。

### 4.2 システムの構成

今回作成したシステムの構成を図 4 に示す。また、このシステム内で使用したソフトウェア、計算機の OS を表 1 に示す。Linux のクライアントについては、Java1.2 が動作する WWW ブラウザの正式なリリースが無いので、アプレットを読み込むためのアプリケーションであるアプレットビューア<sup>(13)</sup>を使っている。

図 4 に示した本システムの動作の流れを以下に示す。

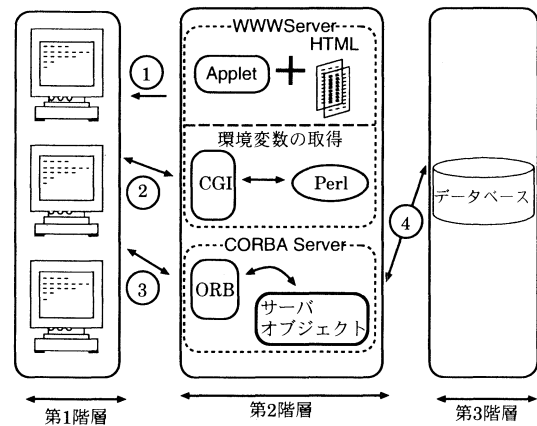


図 4: 今回作成したシステム

表1: 使用ソフトウェアと使用OS

	OS	アプレット実行ソフト
クライアント層	Windows98	Internet Explorer4.0
	Linux 2.2.14	アプレットビューア
	OS	WWWサーバ
中間層	Linux 2.2.14	Apache 1.3.12
	OS	データベース
サーバ層	Linux 2.2.10	PostgreSQL 6.3.1

1. クライアントは、WWW サーバから HTML ファイルとアプレットのダウンロードを行う。
2. ダウンロードされたアプレットは、識別情報取得サーバへアクセスし、IP とホスト名を取得する。
3. サーバオブジェクトへアクセスする。
4. 中間層では、計算機の一覧表をデータベースから取得しクライアントに返す。クライアント側では、識別情報が記されているウィンドウが表示され、その後、計算機一覧表が表示される。

一覧表の表示後は、一覧表より詳細を知りたい計算機、情報を変更したい計算機を選び、中間層へ要求を出す。中間層はその要求を SQL 文に直しデータベースへアクセスを行い結果をクライアントに返す。クライアントのアプレットが破棄された時点で接続が切断され、サーバオブジェクトは再び待機状態に入る。

## 参考文献

- (1) 好川 哲人, イントラネットとは何か?, Open-Design, CQ 出版社, No16(1996), p4-15
- (2) 佐々木望, 太田晶宏, 藤崎真美, 新・HTML and CGI 入門, エーアイ出版, (1997), p206
- (3) 松野良蔵, Java+CORBA 分散オブジェクトシステム構築, 翔泳社, (1999), p170-180
- (4) Robert Orfali, Dan Harkey (並河英二 訳), Java and CORBA C/S プログラミング, 日経 BP 社, (1997), p197-199
- (5) 渡辺操, 畑中雅彦, 田島和典, 青木貴, WWW における Java Applet の性能評価実験, 平成 10 年度室蘭工業大学紀要, (1998), p78-80
- (6) 越野克弥, 今野竜太, 畑中雅彦, 斉川宏明, 大岩高雄, CORBA 分散オブジェクト環境について (1), 平成 10 年度開発技術研究会, (1998), p15-16
- (7) 今野竜太, 越野克弥, 畑中雅彦, 斉川宏明, 大岩高雄, CORBA 分散オブジェクト環境について (2), 平成 10 年度開発技術研究会, (1998), p17-18
- (8) 有賀妙子, 竹岡尚三, Java プログラミング徹底マスター, ソフトバンク, (1998), p10
- (9) 学研編集部, 情報処理基本用語辞典, 学研, (1998), p136
- (10) 石井和幸, WWW クライアント自動評定のための情報取得法の検討, 平成 11 年度卒業論文, (1999), p21-25
- (11) 佐々木望, 太田晶宏, 藤崎真美, 新・HTML and CGI 入門, エーアイ出版, (1997), p190
- (12) Geoffery Lewis, Steven Barber, Ellen Siegel (日本ユニシス分散オブジェクト研究会訳), JavaIDL プログラミング, カットシステム, (1998), p1
- (13) 有賀妙子, 竹岡尚三, Java プログラミング徹底マスター, ソフトバンク, (1998), p5

CONTENTS

Invited Papers

Special Issue : International Workshop on Soft Computing in Industry '99 (IWSCI '99)

Training of the Freehand Curve Identifier FSCI Using a Fuzzy Neural Network ..... Sato SAGA, Saori MORI and Toru YAMAGUCHI	1
Approximate Optimization Algorithms in Markov Random Field Model Based on Statistical-Mechanical Techniques..... Kazuyuki TANAKA and Junji MAEDA	9
Surrogate Analysis of Japanese Vowels... Isao TOKUDA, Takaya MIYANO and Kazuyuki AIHARA	17
Intelligent Control Using Soft Computing..... Yasuhiko DOTE	23
Fault Diagnosis from Nonlinear Time Series Using Time Delay Neural Network .....M.Shafique SHAIKH, Daouren AKHMETOV and Yasuhiko DOTE	31
Building Maps of Workspace for Autonomous Mobile Robots Using Self-Creating and Organizing Neural Network.....Katsuhiro HORI and Yukio HASHIMOTO	39
Segmentation of Natural Images Using Fuzzy Region-Growing Algorithm .....Junji MAEDA, Sonny NOVIANTO, Sato SAGA and Yukinori SUZUKI	47

## Papers

Absorption Spectra and Insulator-to-Metal-to-Insulator Transitions of One-Dimensional Platinum Complex at High Pressures·····	Keiki TAKEDA, Ichimin SHIROTANI and Kyuya YAKUSHI	55
Isotope Dilution Mass Spectrometry of Nickel in Some Ultra Pure Reagents and Seawater ·····	Seiji NAKAMURA and Hideyasu ASAHI	61
Impacts of Anthropogenic Aero Sol to Yakushima Cryptomeria Japonica ·····	Seiji NAKAMURA and Hideyasu ASAHI	65
Sequential Sampling Inspection and Cumulative Sum Chart Based on Sequential Analysis Procedure·····	Haruo WATANABE, Eiji OBATA and Ken-ichi MUKAIDA	71
Simple Preparation of Antimicrobial TiO <sub>2</sub> by Laser Irradiation and Its Application to Prevent the Adhesion of Marine Fouling Organisms ·····	Masamitsu SHIMAZU, Naoto TAKAHASHI, Hiroyuki KAMIYA, Toshiaki TANAKA, Hideaki SOUMA and Shintaro KIKUCHI	83
Rechtsprinzipien der Kriegsverantwortung und der "Nachkriegsverantwortung" in der Japanischen Verfassungen·····	Tosikazu CHO	91
Husserls Philosophie der Mathematik (3) —Unerweiterbarkeit : Ein Vergleich mit Hilbert— ·····	Kohtaroh NINOMIYA	101
Environmental Tax —The Theory and The International Trend—·····	Koko KANNO	111
Die Lyrik des älteren Goethe und der „Gandavyuha-Gedanke“ ·····	Hideshige OMURA und Bernd CLAUSEN	125
Samskāra in Goethes Faust·····	Hideshige OMURA und Bernd CLAUSEN	133
The Universality of the Noun / Verb Distinction —Application to the Word Classification in Hawaiian—·····	Toru SHIONOYA	141
Mr Noon and "The Captain's Doll" —Lawrence as a Comic Novelist—·····	Akio TERADA	149
The Accusative Subject in Converbial Constructions·····	Kunihiko HASHIMOTO	157
The System for Automatic Extraction of Abstract by tf.idf Method to Assist in Searching the Document Database·····	Hiroshi HASUI	167
DateBase System by Three-tier Client/Server System with CORBA ·····	Katsumi KOSHINO, Masahiko HATANAKA, Noriyo KAWAHARA and Takao OHIWA	175

図 書 館 委 員

委員長	附 属 図 書 館 長	教 授	松 岡 健 一
委 員	建 設 シ ス テ ム 工 学 科	助 教 授	田 村 亨
〃	機 械 シ ス テ ム 工 学 科	〃	相 津 佳 永
〃	情 報 工 学 科	〃	金 木 則 明
〃	電 気 電 子 工 学 科	〃	鈴 木 好 夫
〃	材 料 物 性 工 学 科	教 授	保 志 賢 介
〃	応 用 化 学 科	〃	富 士 川 計 吉
〃	共 通 講 座	助 教 授	亀 田 正 人
〃	情 報 メ デ ィ ア 教 育 セ ン タ ー	〃	倉 重 龍 一 郎
〃	国 際 交 流 室	〃	菅 野 光 公

平成12年11月30日 印 刷 (非売品)  
平成12年11月30日 発 行

編 集 室 蘭 工 業 大 学  
発 行 行  
〒050-8585 室蘭市水元町27-1

印 刷 (株)不二プリント印刷所  
室蘭市輪西町2丁目1番11号  
TEL (0143) 44-5301

表紙デザイン 目黒泰道

