

日本語による言語ヘッジの構築について

大倉 充*・野村 泰造**・塩野 充*・橋本 礼治*

*岡山理科大学工学部電子工学科

**(株)東芝

(1991年9月30日 受理)

1. ま え が き

我々の日常生活においては、正確な数値を必要としない場合、あるいは正確な数値で表すのが困難な場合が多々ある。最近になり、コンピュータによりこの種の問題（例えば、プライバシー安全、リスク解析等）を解決しようとしたとき、言語変数(linguistic variable)¹⁾の概念が導入され始めた。言語変数とは、数字ではなく、自然言語(natural language)、あるいは合成言語でのことばや文章を値として持つ変数のことである。言語変数を系統的に扱うための枠組は、ファジィ集合論²⁾により構築されている^{1),3)-5)}。

言語変数が値として持つ自然言語表現の集合を組み立てる上で最も重要なものは、基本語句(primary term)と言語ヘッジ(linguistic hedge)である⁶⁾。基本語句は基本となる概念であり、この概念から自然言語表現の集合の要素がすべて組み立てられる。また、言語ヘッジは基本語句を調節する役目を持つ。図1に言語変数の概略図(文献6より)を示す。これは、言語変数の対象としている量が火事のリスクの場合を示したものである。図中、*RISK OF FIRE*が言語変数、*LOW*, *MODERATE*, *HIGH*が基本語句、*VERY*, *QUITE*が言語ヘッジである。

言語ヘッジは、最初 L.A.Zadeh により提案され、ファジィ集合に対する演算子として具体的に定義された⁴⁾。また G.Lakoff により幾つかの定義が追加された⁷⁾。しかし当然のことながら、提案されている言語ヘッジのほとんどは英語であり(文献8では、日本語による言語ヘッジが多少示されている)、またそれらの日本語訳では区別がつかないという問題点がある。そのため本論文では、日本語による言語ヘッジの構築を試みた。また構築された言語ヘッジをファジィ推論システム⁹⁾に組み込み、その妥当性の確認を行った。本論文で作成したファジィ推論システムは、ソフトウェア上の冷暖房システムであり、例えば、“とても暑くて、少し部屋の人数が多い”といった入力に対し、具体的な部屋の設定温度が示されるものである。

2. 日本語による言語ヘッジ

言語ヘッジ(ファジィ修飾語とも呼ばれる⁸⁾)とは、あいまいな程度を表す単語(副詞等)

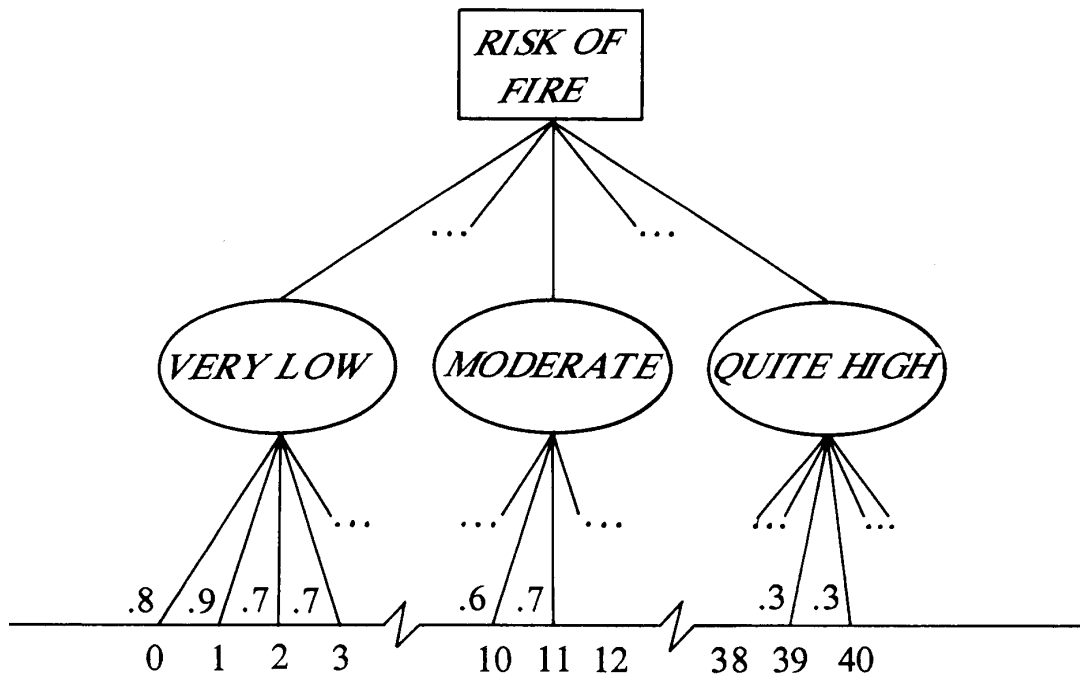


図1 言語変数の概略図

表1 Zadeh の提案した言語ヘッジの一部

slightly	sort of	rather	very	more or less	not	plus	minus
----------	---------	--------	------	--------------	-----	------	-------

で、グレード空間との対応（写像関係）が既知なもののことであり、それが修飾しているファジィ集合のグレードに対して演算を行い、その意味を変化させる働きを持つ。表1にZadehが提案した言語ヘッジの一部を示す。以下、本章では、言語ヘッジを表現するために必要となるファジィ集合に対する演算⁴⁾を示し、本論文で提案する日本語による言語ヘッジをそれらの演算子を用いて表す。なお本章で用いる記号 A, B, C は、各々ファジィ集合を表し、 μ_* はそのファジィ集合のグレードを表すこととする。

2.1 ファジィ集合に対する演算

- 1) 共通集合 $C = A \cap B$: $\mu_C = \mu_A \wedge \mu_B$
- 2) 和集合 $C = A \cup B$: $\mu_C = \mu_A \vee \mu_B$
- 3) 補集合 (否定) $C = \bar{A}(= \text{NOT}(A))$: $\mu_C = 1 - \mu_A$
- 4) べき乗 $C = A^r$: $\mu_C = \mu_A^r$
- 5) 明暗強化 $C = \text{INT}(A)$: $\mu_C = 2\mu_A^2$ ($0 \leq \mu_A \leq 0.5$)
 $1 - 2(1 - \mu_A^2)$ ($0.5 < \mu_A \leq 1$)
- 6) 正規化 $C = \text{NORM}(A)$: $\mu_C = \mu_A \mu_{Am}^{-1}$ (ただし、 μ_{Am} は最大値)

表2 副詞の意味上でのクラス分け

どちらかといえば	まあまあ	だいたい	まあ	ほんの少し
ほんのちょっと	ほんのいくぶん	おおむね	ほんのいくらか	
ほんのしょうしょう	ころなしか	かすかに		
すこし	ちょっと	いくぶんか	やや	しょうしょう
いくらか				わりと
だいふ	だいぶん	けっこう	じゅうぶん	なかなか
ことのほか				
とても	かなり	そうとう	たいへん	よほど
ずいぶん				
極めて	法外に	はなはだ	すごく	めちゃくちゃに
やたら	とてつもなく	ひどく	極度に	非常に
このうえなく				

$$7) \text{ 集中化} \quad C = \text{CON}(A) \quad : \mu_C = \mu_A^2$$

$$8) \text{ 拡大化} \quad C = \text{DIL}(A) \quad : \mu_C = \mu_A^{0.5}$$

2.2 提案する言語ヘッジ

本論文では、日本語による言語ヘッジを副詞の程度を表す単語に限定し、意味上でクラス分けを行った。その結果、表2に示す5つのクラスに分けることとした（厳密なクラス分けが可能かどうかは筆者らにもわからないが、本論文では、筆者らの主観に基づいてクラス分けを行っている）。

本論文で構築した日本語による言語ヘッジを以下に示す。これらはすべてファジィ集合に対する演算子を用いて表されている（基本となるファジィ集合はA）。なお、5つのクラスを代表する言葉は言語ヘッジを適用する場合によって異なると考えられるが、式自体は同じものを用いることになる。

$$(1) \text{ どちらかといえば } A = \text{DIL}[\text{INT}[\text{NORM}[A \cap \{\text{NOT}(A)\}^5]]] \quad (1)$$

$$(2) \text{ すこし } A = \text{INT}[\text{NORM}[A \cap \text{INT}[\text{NOT}(A)]]] \quad (2)$$

$$(3) \text{ だいふ } A = \text{INT}[\text{NORM}[\text{CON}(A) \cap \text{NOT}\{\text{CON}(A)\}]] \quad (3)$$

$$(4) \text{ とても } A = A^5 \quad (4)$$

$$(5) \text{ 極めて } A = A^{50} \quad (5)$$

3. ファジィ推論

ファジィ推論⁹⁾とは、いくつかのファジィ命題からある一つのファジィ命題を導き出す推論法であり、近似的推論とも呼ばれる。日頃我々の行う推論は、例えば表3に示すようなものであり、これを定式化したものがファジィ推論である。この推論の大きな特徴は、AとA'が必ずしも一致していなくても良いことである。図2に典型的なファジィ推論の推論プ

表3 推論の定式化

日頃我々の行う推論
もしトマトが赤ければ熟している このトマトはかなり赤い だからこのトマトはかなり熟している
定式化 (A, A', B, B' はファジィ概念)
規則 : If x is A then y is B
事実 : x is A'
結論 : y is B'

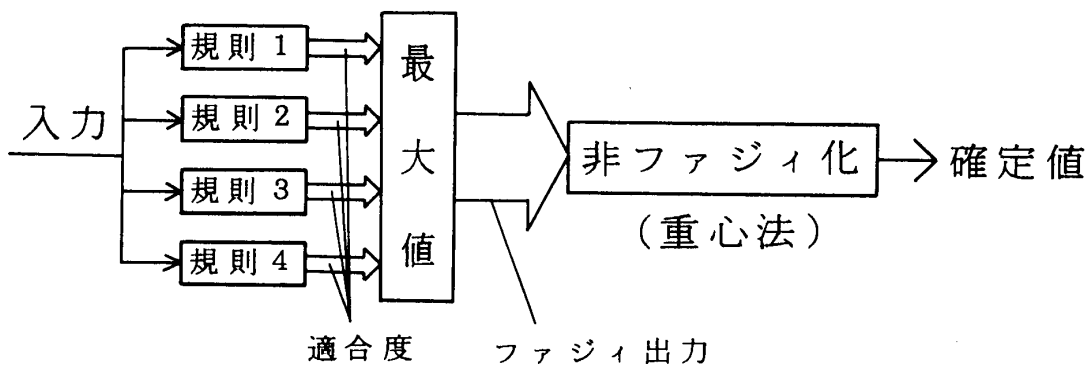


図2 ファジィ推論プロセス

プロセスを示す。推論プロセスは以下の3つの段階に分けることができる。

- (1) 与えられた入力に対する各規則の前件部の適合度を求める。
- (2) (1)で求めた適合度を基に各規則の推論結果を求める。
- (3) 各規則の推論結果を合成して最終的な推論結果を求め、確定値により具体的な応答を行う。

ファジィ推論の結論を求める方法は幾つか提案されているが、本論文では、ファジィ制御等によく用いられている E.H.Mamdani によって提案されたファジィ推論法¹⁰⁾を採用した。以下、2入力1出力（前件部が2つの命題）の場合について説明を行う。表4にファジィ推論形式を示す。表中、 $A_i, B_i, C_i (i = 1, 2, \dots, n)$, A', B', C' はファジィ集合を表す。表4は、各規則に対して、 A_i, B_i に近似的な“x is A' and y is B'”が与えられたとき、

$$C' = (A' \text{ and } B') \circ (A_i \text{ and } B_i \Rightarrow C_i) \quad (6)$$

によって“z is C'”を推論するものである。ここでは、条件付き命題“If x is A_i and y is B_i , then z is C_i ”を単に“ $A_i \text{ and } B_i \Rightarrow C_i$ ”と書いている。E.H.Mamdani の方法では、ファジィ条件は、

表4 ファジィ推論形式

規則 1	: x is A ₁ and y is B ₁ THEN z is C ₁
規則 2	: x is A ₂ and y is B ₂ THEN z is C ₂
...	
規則 n	: x is A _n and y is B _n THEN z is C _n
事実	: x is A' and y is B'
結論	: z is C'

$$\begin{aligned}\mu_{A_i \text{ and } B_i \Rightarrow C_i}(u, v, w) &= \mu_{A_i \text{ and } B_i}(u, v) \rightarrow \mu_{C_i}(w) \\ &= \{\mu_{A_i}(u) \wedge \mu_{B_i}(v)\} \wedge \mu_{C_i}(w)\end{aligned}\quad (7)$$

と定義され、 $\mu_{C'}(w)$ は以下に示す式で求められる(図3参照(i = 1, 2))。

$$\begin{aligned}\mu_{C'}(w) &= \bigvee_{u,v} [\mu_{A' \text{ and } B'}(u, v) \wedge \mu_{A_i \text{ and } B_i \Rightarrow C_i}(u, v, w)] \\ &= \bigvee_{u,v} [\mu_{A'}(u) \wedge \mu_{B'}(v) \wedge \{\mu_{A_i}(u) \wedge \mu_{B_i}(v) \wedge \mu_{C_i}(w)\}] \\ &= \bigvee_{u,v} [\{\mu_{A'}(u) \wedge \mu_{A_i}(u)\} \wedge \{\mu_{B'}(v) \wedge \mu_{B_i}(v)\} \wedge \mu_{C_i}(w)] \\ &= \bigvee_{u,v} [a_i \wedge b_i \wedge \mu_{C_i}(w)]\end{aligned}\quad (8)$$

ここで a_i は、ファジィ集合 A と A', b_i はファジィ集合 B と B' との交わりの高さであり、A と A' または B と B' がどの程度適しているかという“適合度”であると解釈される。

図2における“非ファジィ化”とは、得られたファジィ集合を確定値に変換する操作のことである。ファジィ推論の最終的な結果は、非ファジィ化によって具体的な応答が成される。非ファジィ化も様々な方法が提案されているが、本論文では、最もよく使用されている重心法⁹⁾を用いた。重心法による確定値 g は、次式で与えられる。

$$g = \frac{\sum_{i=1}^n \mu(u_i) \times u_i}{\sum_{i=1}^n \mu(u_i)} \quad (9)$$

ここで、 u_i はファジィ集合の要素であり、 n は要素数を表す。また $\mu(u_i)$ は、 u_i に対するグレード (grade of membership) を表している。

4. 冷暖房ファジィ推論システムによる言語ヘッジの評価

本論文では、冷暖房ファジィ推論システムをパソコン上 (PC9800シリーズ) に C 言語で作成し、構築した言語ヘッジの妥当性を確認した。本システムは、使用者が例えば、“とても暑くて、少し部屋の人数が多い”といった入力をした場合に、適当な部屋の設定温度を出力するものである。

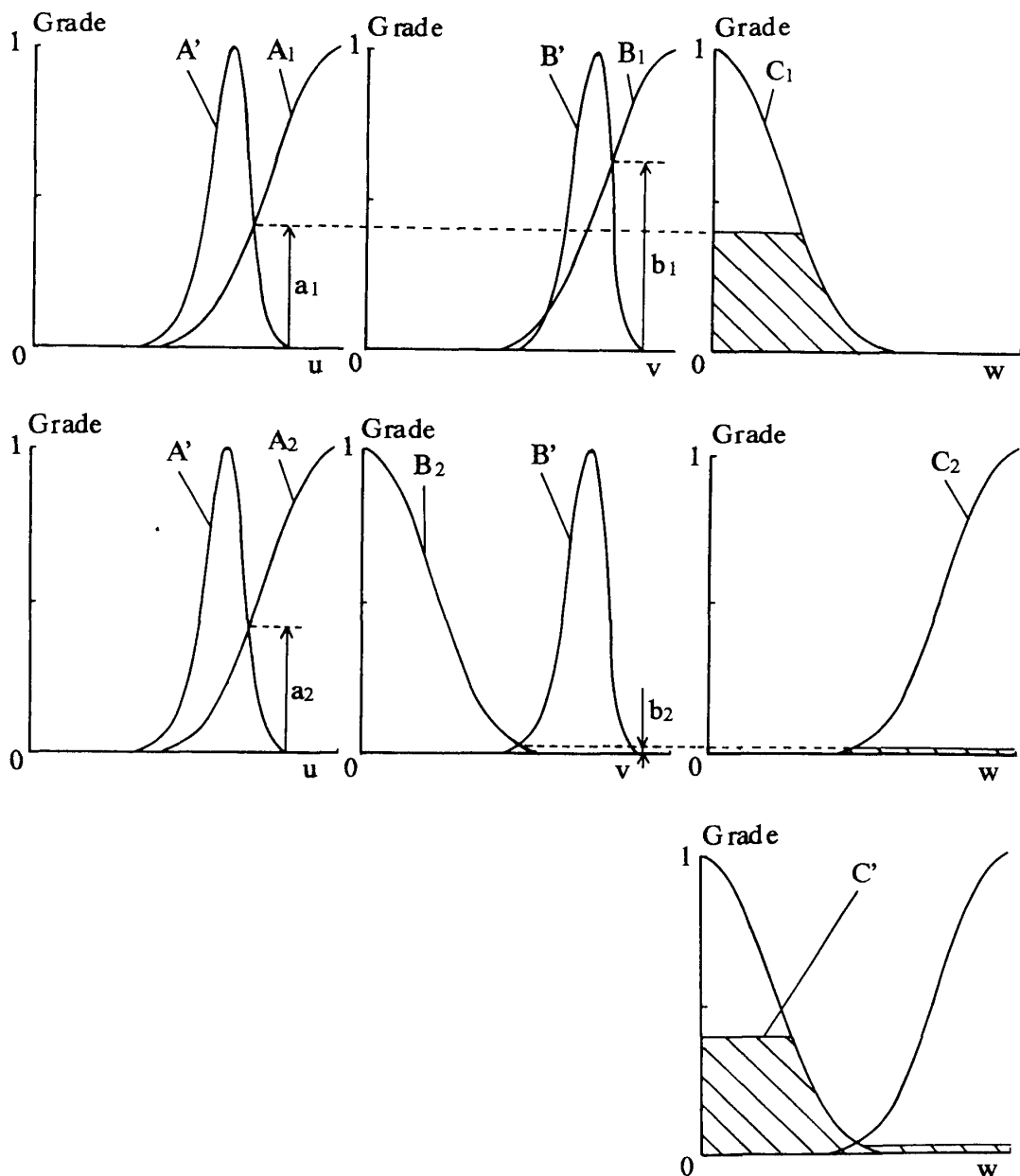


図3 2入力1出力のファジィ推論

4.1 言語ヘッジによるファジィ集合の設定

本論文では，“暑い”，“寒い”，“人数が多い”，“人数が少ない”，“暖めろ”，“冷やせ”の6つの基本となるファジィ集合（ファジィ語）を設定し，構築した言語ヘッジを作用させて，それぞれのメンバーシップ関数（membership function）を作成した。ここで“暖めろ”と“冷やせ”は動詞で，ファジィ集合としてふさわしくないと考えられるが，本論文では，暖めた状態（暖まっている）及び冷やした状態（冷えている）を示すファジィ集合をこのように表記することとする。以下，上述の6つのファジィ集合を表す式を示し，言語ヘッジを作用させて得られた全てのメンバーシップ関数を図5－7に示す。

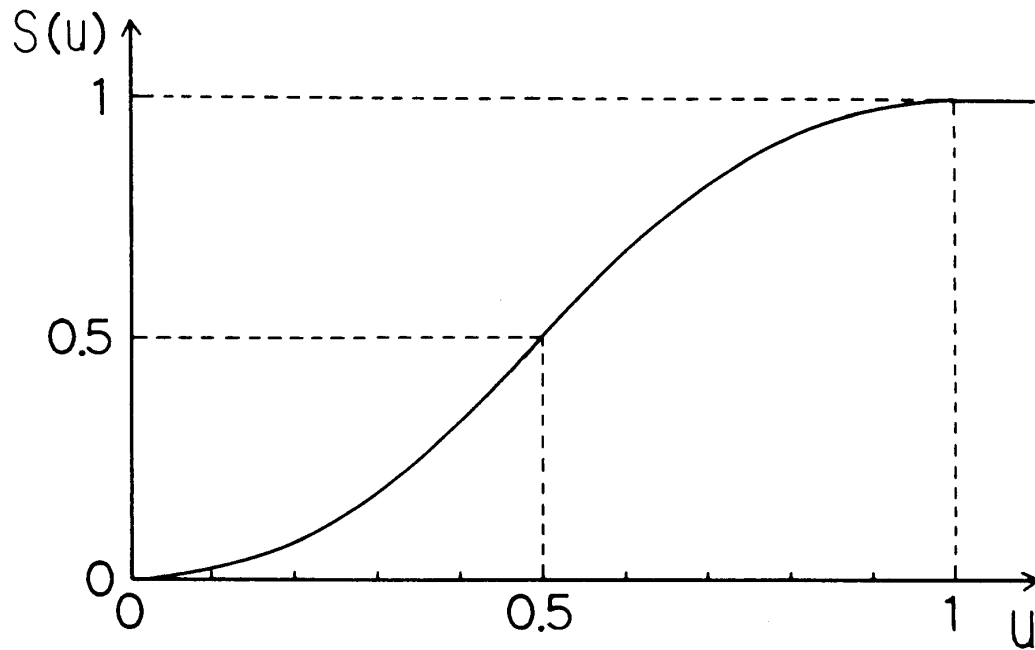


図4 S関数

$$\text{暑い} = \int_0^{40} S^5(t/40)/t \quad (10)$$

$$\text{寒い} = \{1 - \int_0^{40} S(t/40)\}^5/t \quad (11)$$

ここで、 t は体感温度（単位：℃）を表し、関数 S は次式で表される関数である（ S 関数と名付け、図4に示す）。

$$\begin{aligned} S(u) &= 0 && (u < 0) \\ &= 2u^2 && (0 \leq u \leq 0.5) \\ &= 1 - 2(1-u)^2 && (0.5 \leq u \leq 1) \\ &= 1 && (1 < u) \end{aligned} \quad (12)$$

$$\text{人数が多い} = \int_0^{20} S^5(n/20)/n \quad (13)$$

$$\text{人数が少ない} = \{1 - \int_0^{20} S(n/20)\}^5/n \quad (14)$$

ここで、 n は部屋にいる人数を表す。

$$\text{暖めろ} = \int_{10}^{30} S^5((o-10)/20)/o \quad (15)$$

$$\text{冷やせ} = \{1 - \int_{10}^{30} S((o-10)/20)\}^5/o \quad (16)$$

ここで、 o は設定温度（単位：℃）を表す。図7において、“ほんの少し”という言語ヘッ

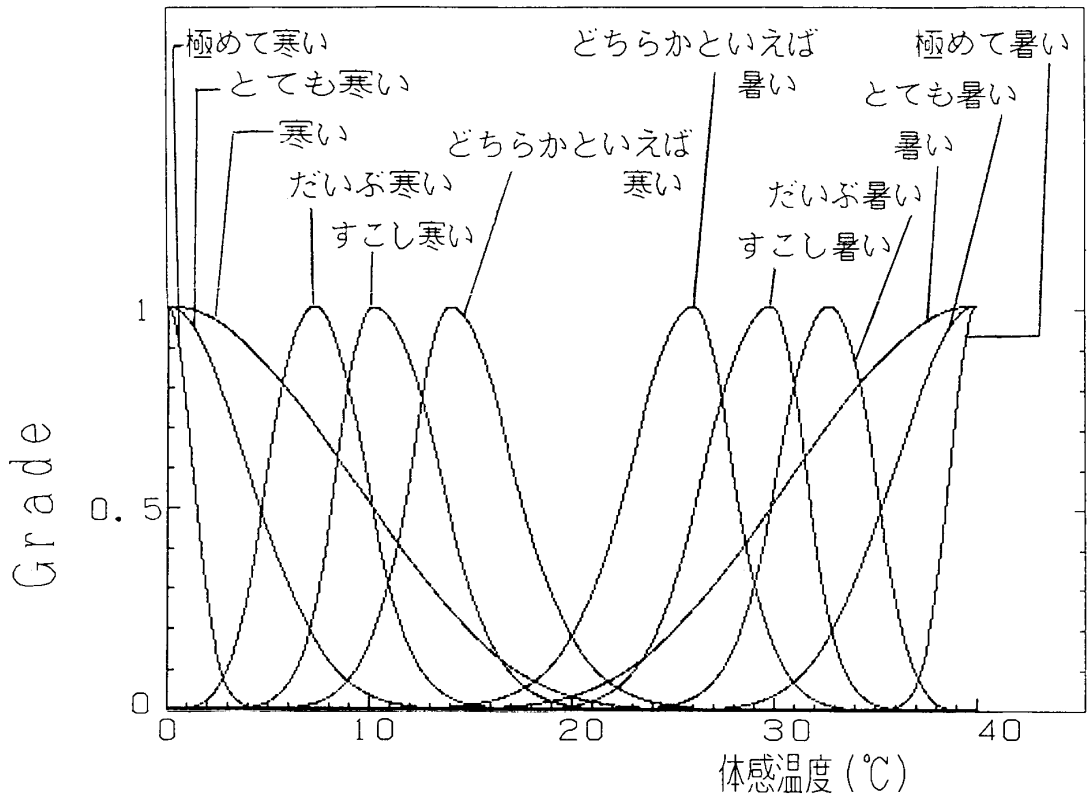


図5 「暑い」、「寒い」に対する言語ヘッジの効果

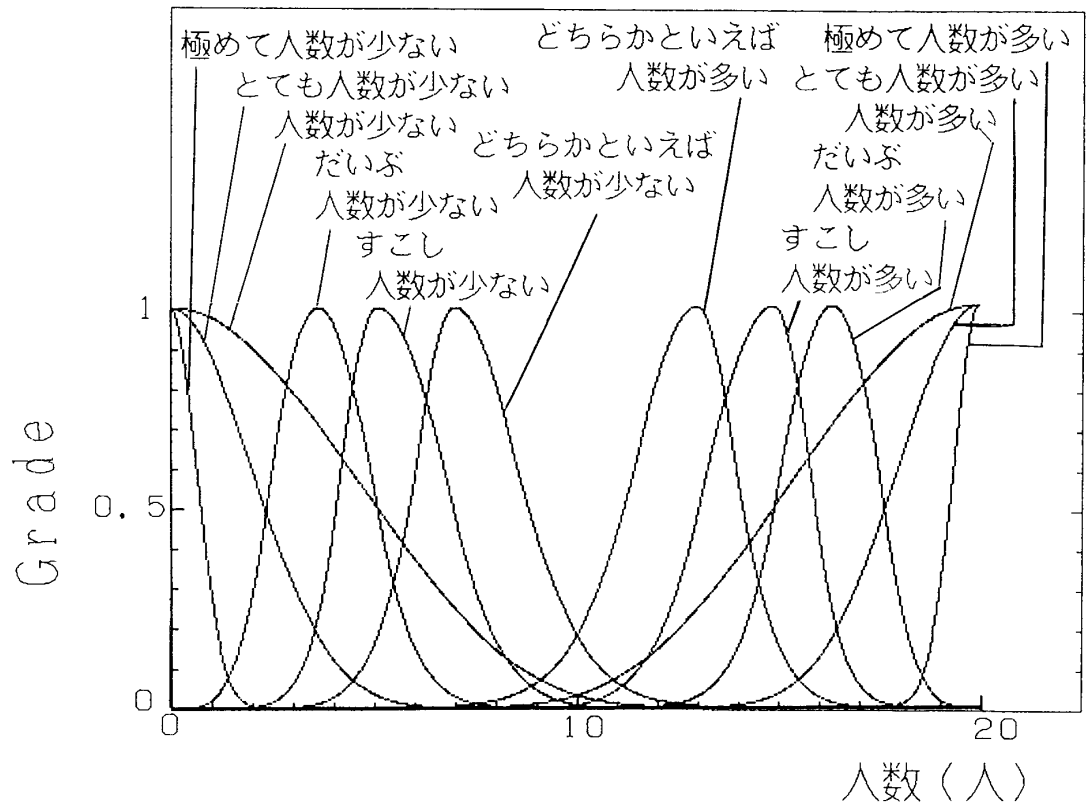


図6 「人数が多い」、「人数が少ない」に対する言語ヘッジの効果

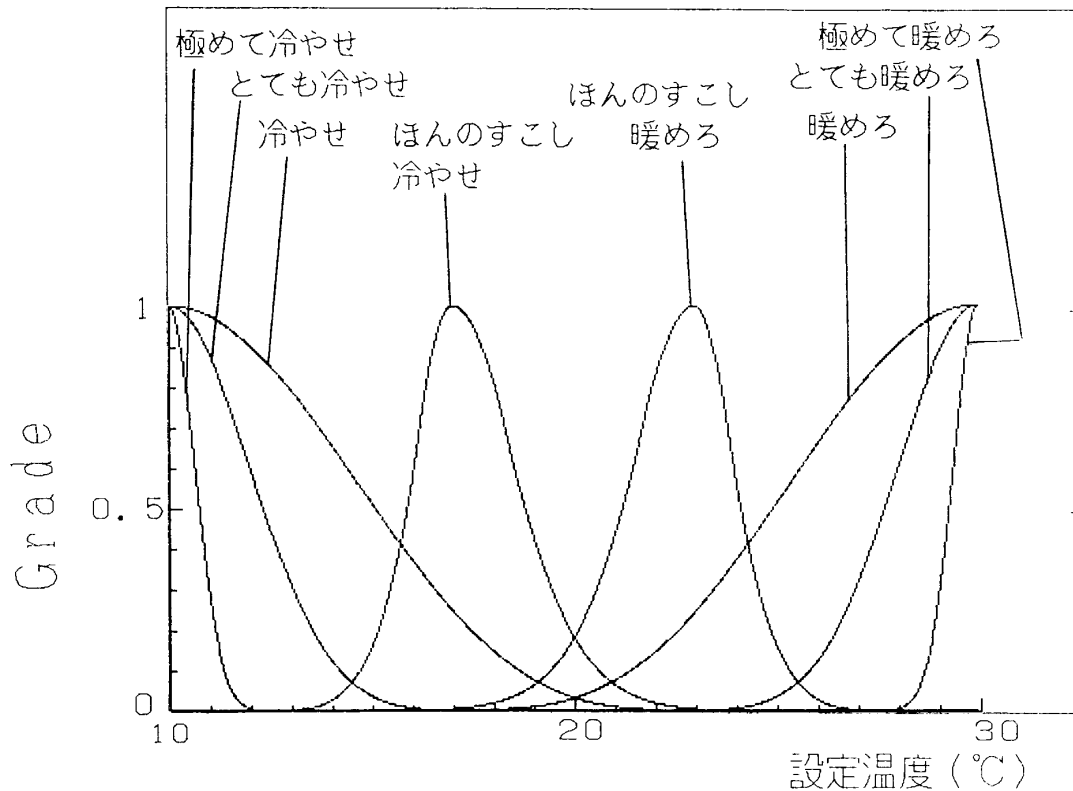


図7 「暖めろ」、「冷やせ」に対する言語ヘッジの効果

ジは“どちらかといえば”というクラスに属し、この場合、“どちらかといえば暖めろ”というような言い方は不自然なため“ほんの少し暖めろ”としている。

4.2 冷暖房ファジィ推論システムの概要

冷暖房ファジィ推論システムを構成する上で必要となる規則及び補則 (IF-THEN 形式) を以下に示す。

- 規則 1：もし暑くて、部屋の人数が多ければ、冷やせ。
- 規則 2：もし暑くて、部屋の人数が少なければ、ほんのすこし冷やせ。
- 規則 3：もし寒くて、部屋の人数が多ければ、ほんのすこし暖めろ。
- 規則 4：もし寒くて、部屋の人数が少なければ、暖めろ。
- 補則 1：とても暑くて、とても部屋の人数が多ければ、かなり（とても）冷やせ。
- 補則 2：とても暑くて、極めて部屋の人数が多ければ、かなり冷やせ。
- 補則 3：極めて暑くて、とても部屋の人数が多ければ、極度に（極めて）冷やせ。
- 補則 4：極めて暑くて、極めて部屋の人数が多ければ、極度に冷やせ。
- 補則 5：とても寒くて、とても部屋の人数が少なければ、かなり暖めろ。
- 補則 6：とても寒くて、極めて部屋の人数が少なければ、かなり暖めろ。
- 補則 7：極めて寒くて、とても部屋の人数が少なければ、極度に暖めろ。

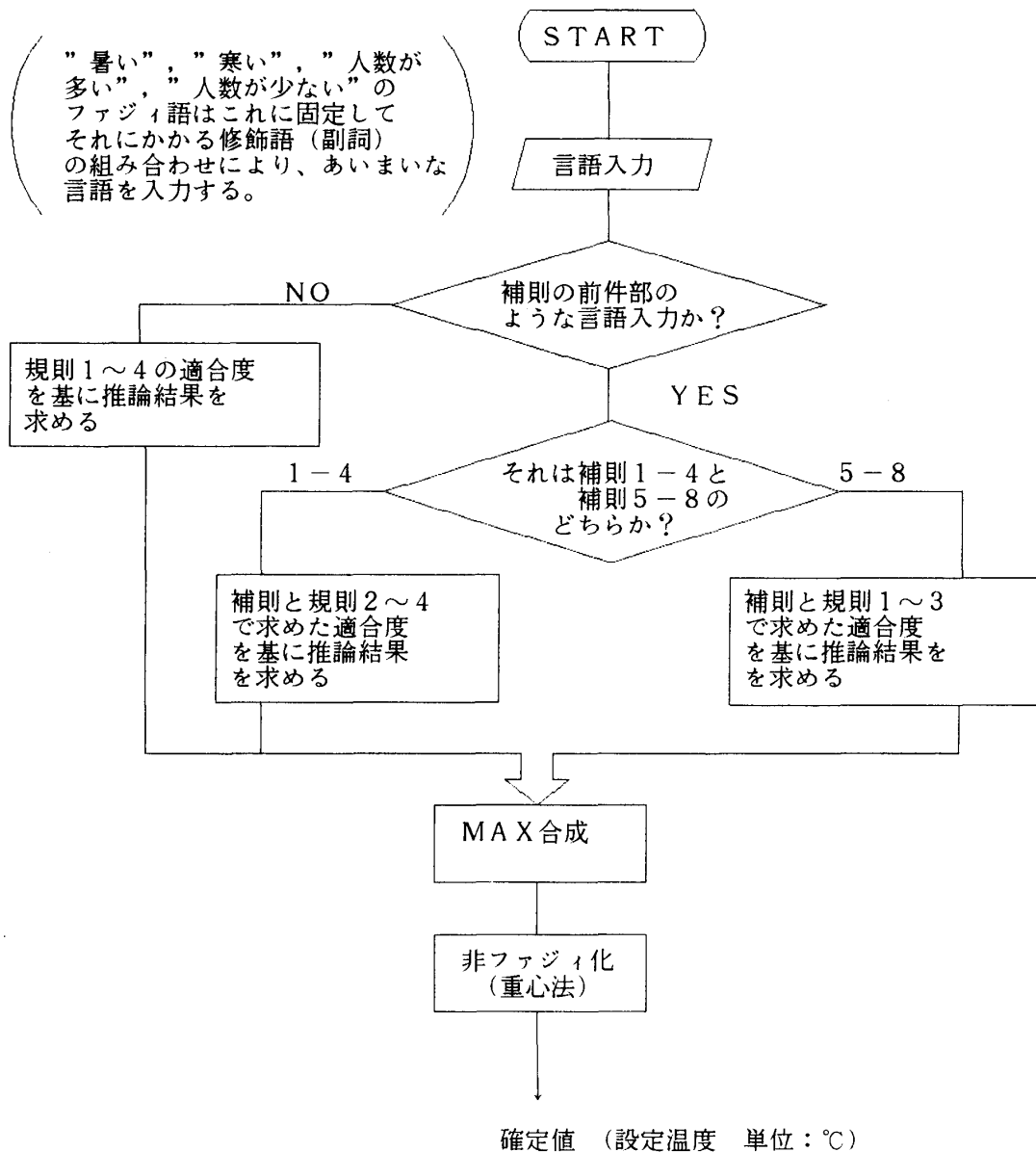


図8 冷暖房ファジィ推論プロセスのフローチャート

補則8：極めて寒くて、極めて部屋の人数が少なければ、極度に暖めろ。

ここで補則1-8は前件部が“とても”と“極めて”の言語ヘッジの場合に対して用いられる。これは、上述の言語ヘッジを伴った言語入力成された場合に、補則1-4で表される言語入力に対しては規則1を、そして補則5-8で表される言語入力に対しては規則4を用いると、適合度が適当でなくなり推論が行えないためである。そのため、補則1-4で表される言語入力に対してはその補則と規則2-4を、補則5-8で表される言語入力に対してはその補則と規則1-3で適合度を求めて推論を行う。また、補則以外の言語入力の場合は規則1-4で推論を行う。図8に冷暖房ファジィ推論プロセスのフローチャートを示す。この推論プロセスでは、入力の際に“すこし暑くて、やや人数が多い”, “ま

表5 作成した冷暖房ファジィ推論システムによる温度設定 (単位: °C)

		人数が多い					人数が少ない				
		どちらか といえは	すこし	だいふ	とても	極めて	どちらか といえは	すこし	だいふ	とても	極めて
暑	どちらか といえは	15.9	15.2	15.0	15.0	15.0	18.7	19.2	19.4	19.4	19.4
	すこし	14.7	14.0	13.8	13.8	13.8	17.5	17.8	18.0	18.0	18.0
	だいふ	14.3	13.7	13.4	13.4	13.4	17.0	17.5	17.6	17.6	17.6
い	とても	14.2	13.7	13.4	11.6	11.6	17.0	17.4	17.5	17.5	17.5
	極めて	14.2	13.6	13.3	10.6	10.5	17.0	17.4	17.5	17.5	17.5
寒	どちらか といえは	21.3	20.8	20.6	20.6	20.6	24.0	24.7	24.9	24.9	25.0
	すこし	22.5	22.2	22.0	22.0	22.0	25.3	25.9	26.1	26.1	26.1
	だいふ	22.9	22.5	22.4	22.4	22.4	25.7	26.3	26.6	28.4	28.4
い	とても	23.0	22.5	22.5	22.5	22.5	25.7	26.3	26.6	28.4	28.4
	極めて	23.0	22.6	22.5	22.5	22.5	25.8	26.3	26.6	29.3	29.4

あまあ寒くて、とても人数が少ない”など，“暑い”，“寒い”，“人数が多い”，“人数が少ない”に対して言語ヘッジを付加したあいまいな文章を入力する。そして，ある言語ヘッジを用いた場合，その言語ヘッジの所属するクラスを代表する言語ヘッジを表す式が使用される。そのため本システムでは，クラスに所属する言葉であればどれを用いても応答が得られる。

4.3 ファジィ推論結果と評価

本論文で作成した冷暖房ファジィ推論システムの応答結果を表5に示す。上述したようにクラスに所属する言語ヘッジであれば，それらを組み合わせた入力に対して，ここで示したのと同じ結果が得られる。設定温度は上がるべきところは上がっており，下がるべきところは下がっているため矛盾は生じていないと思われ，人間の主観に沿った結果が得られていると考えられる。この結果より，構築した言語ヘッジは最適と言えないにしても少なくとも妥当性のあるものと思われる。しかしながら，かなり多くの補則を必要とすることを考えると改善の必要性があり，採用したファジィ推論法 (E.H.Mamdani の方法) の検討を含め今後の課題と考えている。なお，本システムの応答結果自体は現実の温度設定に比べると，高すぎる或は低すぎる結果になっている。これは体感温度という1つの条件のみから温度設定を行っているためであり，種々の条件を考慮しメンバーシップ関数を全体的に左右にずらすことによって，現実の設定温度に近づくとと思われる。

5. む す び

本論文では，日本語による言語ヘッジの構築を試み，その評価のために冷暖房ファジィ

推論システムをパソコン上に作成した。本システムの応答結果より、構築した言語ヘッジの妥当性が確認された。しかしながら4.3で述べたように課題も残されており、更に検討の必要性がある。また本論文では冷暖房システムの作成を行ったのであるが、言語ヘッジの導入が可能なシステムは数多くあると思われ、他のシステムへの導入も考えている。

参考文献

- 1) L. A. Zadeh : "The Concept of a Linguistic Variable and its Application to Approximate Reasoning", Information Sciences, Vol. 8, No. 3, pp. 199—249 (1975) (Part I), Vol. 8, No. 4, pp. 301—357 (1975) (Part II), Vol. 9, No. 1, pp. 43—80 (1975) (Part III).
- 2) L. A. Zadeh : "Fuzzy Sets", Information and Control, Vol. 8, pp. 338—353 (1965).
- 3) L. A. Zadeh : "Quantitative Fuzzy Semantics", Information Sciences, Vol. 3, No. 2, pp. 159—176 (1971).
- 4) L. A. Zadeh : "A Fuzzy-Set-Theoretic Interpretation of Linguistic Hedges", J. of Cybernetics, Vol. 2, No. 3, pp. 4—34 (1972).
- 5) L. A. Zadeh : "Fuzzy Languages and Their Relation to Human and Machine Intelligence", Proceedings of the Int. Conf. on Man and Computer, Bordeaux, Published by Karger, pp. 130—165 (1972).
- 6) K. J. Schmucker : "Fuzzy Set, Natural Language Computations and Risk Analysis", W. H. Freeman and Company (鬼沢武久訳, 啓学出版, 平2).
- 7) G. Lakoff : "HEADGES : A Study in Meaning Criteria and the Logic of Fuzzy Concept", J. of Philos. Logic, Vol. 2, pp. 458—503 (1973).
- 8) 馬野元秀, 江澤義典, 井本博之 : "ファジィ集合の日本語による言語近似", 情処学第39回全大, 2L—5, pp. 57—58 (1989).
- 9) 水本雅晴 : "基礎としてのファジィ理論", Computer Today, No. 25, pp. 11—16 (1988—05).
- 10) E. H. Mamdani : "Application of Fuzzy Algorithms for Control of a Simple Dynamics Plant", Proceedings of IEE 121 (12), pp. 1585—1588 (1974).

On Construction of Japanese Linguistic Hedges

Mitsuru OHKURA*, Taizo NOMURA**, Mitsuru SHIONO*
and Reiji HASHIMOTO*

**Department of Electronic Engineering,*

Okayama University of Science

1-1 Ridai-cho, Okayama City, Okayama, 700, Japan

***Toshiba Corp.*

(Received September 30, 1991)

Linguistic hedges are very important to construct the sets of natural language expression which are the linguistic variable's values. We construct Japanese linguistic hedges and evaluate those hedges. They are incorporated into the air conditional fuzzy inference system. The method of fuzzy inference is E. H. Mamdani's method. The inputs to the system are not numerals, but the words of natural language. The system has been able to respond with no inconsistencies to any input.