

## 昭和基地周辺に生息する生物の生体内金属分析 (第2報)

唐 沢 栄\*・三島昌夫\*\*

### Concentration of Trace Metals in Tissue of Several Animals Living around Syowa Station, Antarctica

Sakae KARASAWA\* and Masao MISHIMA\*\*

**Abstract:** Concentrations of trace metals in the pectoral of Adélie penguin and south polar skua living around Syowa Station, Antarctica were determined by atomic absorption spectrometry using flame or graphite furnace atomizer system.

The results of analysis revealed that the concentration levels of cadmium, copper, iron, manganese, lead and zinc in the pectoral of Adélie penguin were ranging 0.003-0.021, 2.3-3.5, 192-199, 0.18-0.53, 0.014-0.053 and 10-30  $\mu\text{g-metal/g-dry}$  tissue, respectively.

**要旨:** 南極昭和基地周辺に生息するアデリーペンギンおよびトウゾクカモメの臓器(肝臓および胸筋)中に含有する微量金属を、フレイムまたはグラファイトファーネスアトマイザーを用いた原子吸光法によって定量した。

分析結果の1例として、アデリーペンギンの胸筋に含有するカドミウム、銅、鉄、マンガン、鉛および亜鉛の濃度は、それぞれ 0.003~0.021, 2.3~3.5, 192~199, 0.18~0.53, 0.014~0.053 および 10~30  $\mu\text{g-metal/g}$ -乾燥重量当たりの範囲であった。

## 1. 緒 言

昭和基地周辺に生息する生物のうち、アデリーペンギン (*Adélie penguin, Pygoscelis adélie*) およびオオトウゾクカモメ (*South polar skua, Catharacta maccormicki*) を対象として、これらの臓器に含有する数種の金属について定量分析をおこなった。試料数が少ないうえ、アデリーペンギンや南極オオトウゾクカモメの餌となるオキアミ (*Euphausia superba*) などの生物群の採集は実施できなかった。したがって食物連鎖を含む生態系の、生体内金属の動態に関する解析は、本報告ではされていない。しかしこれに類した測定例は、過去の報告にあまりみられないことから、1 資料として前報 (三島他, 1977) に引きつづきここに報告することとした。

\* 横浜市衛生研究所。Yokohama City Institute of Health, Takigashira, Isogo-ku, Yokohama 213.

\*\* 国立公衆衛生院。The Institute of Public Health, 6-1, Shirokanedai 4-chome, Minato-ku, Tokyo 108.

## 2. 実 験

## 2.1. 試 料

測定対象としたアデリーペンギンおよび南極オオトウゾクカモメ (以下トウゾクカモメと略) の捕獲地点および日時を表1に示した. また表には捕獲した生物の体重等についても示した.

測定対象とした臓器は, アデリーペンギンについては, 肝臓, 肺, 胸筋および心臓の4項目, トウゾクカモメについては胸筋のみとした. しかし, 本報告ではこれら臓器のうち両者に共通な胸筋について解析を試みた.

測定対象とした微量元素は, カドミウム, 銅, 鉄, 鉛, マンガンおよび亜鉛の6元素とした.

表1 試料の個票  
Table 1. Data on examined individuals of samples.

Species	Sample No.	Date	Capturing area	Sex	Rostrum (mm)	Tarsus (mm)	Wing (mm)	Tail (mm)	Weight (g)
Adélie penguin	1	Nov. 11. '74	Ongulkalven	Male	32	47	164	96	1733
"	2	Dec. 31. '74	"	Male	32	25	220	145	3406
"	3	Feb. 28. '75	"	Female	32	38	202	88	1667
"	4	"	"	Female	34	30	210	134	3422
South polar skua	1	Jan. 28. '75	East Ongul Island	Female	47	67	416	150	1288
"	2	Feb. 13. '75	"	Male	49	66	391	141	1209
"	3	Feb. 23. '75	"	Female	49	55	400	150	1469

## 2.2. 試薬および装置

## 2.2.1. 標準試薬の調製

標準金属溶液は, すべて  $100 \mu\text{g-metal/ml-H}_2\text{O}$  の濃度に調製し, これを標準原液とした. 標準原液を使用するにあたっては, 純水で必要濃度に希釈して用いた. またこの標準金属溶液は, 定量分析をおこなうにあたって, 分析装置の最適条件の検討, 検量線の作成ならびに妨害イオンの検討等の試薬として用いた.

標準カドミウム溶液: 塩化カドミウム ( $\text{CdCl}_2 \cdot 2\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$ ) 203.1 mg を純水 100 ml に溶解し, これを塩酸 (1+99) で 1 l にしたものを原液にする.

標準銅溶液: 粉末状純金属銅 (99.99%) 100 mg を硝酸 (1+1) 10 ml に溶解し, 煮沸して窒素酸化物を十分に除去したのち純水を用いて 100 ml に希釈する.

標準鉄溶液：窒素封入粉末状純金属鉄 (99.9%) 100 mg を硝酸 (1+49) に溶解した。この溶液を煮沸して窒素酸化物を十分に除去したのち、純水で 1 l に希釈したものを原液とした。

標準マンガン溶液：過マンガン酸カリウム ( $\text{KMnO}_4$ ) 287.6 mg を精秤し、純水 1 l に希釈する。

標準鉛溶液：120°C、24 時間乾燥した硝酸鉛 [ $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ] 159.9 mg を少量の硝酸 (1+99) で溶解したのち、純水で 1 l に希釈する。

標準亜鉛溶液：顆粒状純金属亜鉛 (99.9%) 100 mg を少量の塩酸 (1+1) で溶解したのち、純水で 1 l に希釈する。

純水：純水は水道水を銅製バーステッド型蒸留装置で蒸留したのち、混床式イオン交換樹脂塔を 2 回通過させたものを器具洗浄等の雑水として使用した。またさらに石英製二段蒸留装置を用いて蒸留したものを、標準溶液の希釈等分析用試薬として使用した。

塩酸、硝酸およびアンモニア：市販されている有害金属測定用試薬を、さらに非沸騰型蒸留装置を用いて蒸留したものを、必要濃度に応じて純水で希釈して使用した。

その他の試薬はすべて重金属分析用、JIS 特級または JIS 特級に相当するものを使用した。

## 2.2.2. 装 置

金属の定量分析は、すべて原子吸光分析法でおこなった。

真空凍結乾燥-低温灰化装置：柳本製全自動真空凍結乾燥-低温灰化装置 FDA-158 型

原子吸光装置：ジャーレルアッシュ製 AA-1 型を本体とし、これにフレイムレスアトマイザー FLA-20 型を付属させて使用した。

## 3. 分 析 方 法

### 3.1. 測定条件

測定は生体内に含有する元素の濃度により、フレイム法およびグラファイトファーネス法を用いておこなった。フレイム法による測定条件を表 2 に示した。またグラファイトファーネス法による場合の測定条件を、表 3 に示した。グラファイトファーネス法による定量分析をおこなうに際して、生体試料の前処理で特にたん白質の分解が不完全な場合に生ずる干渉作用を考慮して、ランプモードとステップモードの両者の定量分析値を比較検討した。その結果本実験による試料調製法ならびに測定条件では、その差に有意性は認められなかった。このことから表 3 に示した測定条件は、ステップモードを使用した場合のものである。

表2 原子吸光法 (フレイム) の測定条件

Table 2. Analytical conditions of atomic absorption spectrometry (flame).

	Iron	Manganese	Zinc
Wavelength (nm)	248.3	279.5	213.8
Lamp current (mA)	6	5	8
Slit width (nm)	0.18	0.18	0.18
Air pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	1.5	1.5	1.5
Air flow rate (l/min)	6.0	6.5	6.2
Acetylene pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0.4	0.4	0.4
Acetylene flow rate (l/min)	1.0	1.0	1.0

表3 原子吸光法 (黒鉛炉) の測定条件

Table 3. Analytical conditions of atomic absorption spectrometry (graphite furnace atomizer).

	Cadmium	Copper	Lead
Wavelength (nm)	228.8	324.8	217.0
Argon gas pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0.7	0.7	0.7
Argon gas flow rate (l/min)	4.0	4.0	4.0
Drying voltage (V)	0.6	0.6	0.6
Drying time (s)	30	30	30
Ashing voltage (V)	1.6	1.6	1.6
Ashing time (s)	15	15	15
Atomizing voltage (V)	4.5	6.3	4.5
Atomizing time (s)	3	5	3
Cooling time (s)	30	30	30

### 3.2. 生体試料の前処理

各臓器別にした試料 20~50 g を、恒量になるまで真空凍結乾燥したのち精秤する。乾燥した試料を低温灰化装置を用いて、出力 300 W、酸素流量 3 l/min、8 時間で灰化する。灰化後、6N 硝酸 5 ml を加え、一夜放置したのち徐々に加温して溶解した。溶解後、少量の純水を加え濃縮操作を繰り返したのち、純水で一定量とした。この場合 1N アンモニアによって pH $\approx$ 3.5 に調整した。このようにして得た溶液を、生体内金属分析用試料原液とした。前処理の系統図を図 1 に示した。

### 3.3. 分析方法

3.2. で生体試料を溶液とした試料に、25% クエン酸アンモニウム 10 ml および 40% 硫酸アンモニウム 10 ml を加えたのち、2N アンモニアで pH 8 に調整する。これを分液漏斗

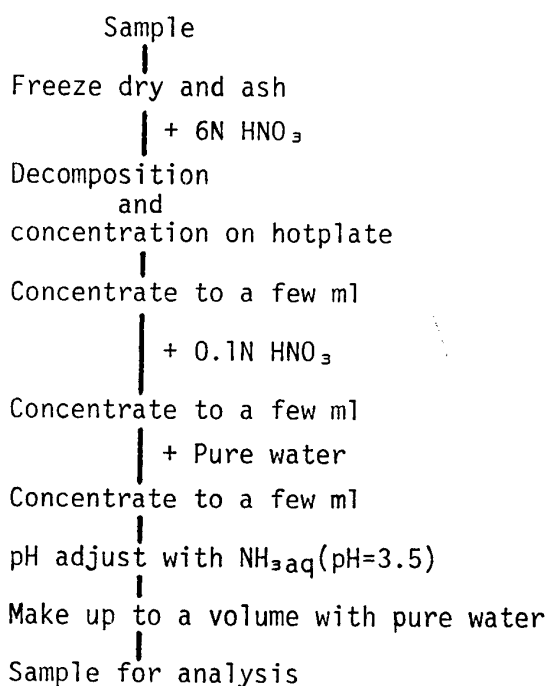


図 1 試料前処理法概要図

Fig. 1. Schematic diagram of pretreatment for sample.

に移し, 10% ジエチルジチオカルバミン酸ナトリウム 10 ml, メチルイソブチルケトン 10 ml を加えて 3 分間振とうし, しばらく放置して二相の分離を完全にしたのち, メチルイソブチルケトン相を定量に供する。なお, 定量目的元素の含有量が多い試料については, メチルイソブチルケトンで希釈して定量分析用試料とした。定量分析法の系統図を図 2 に示した。

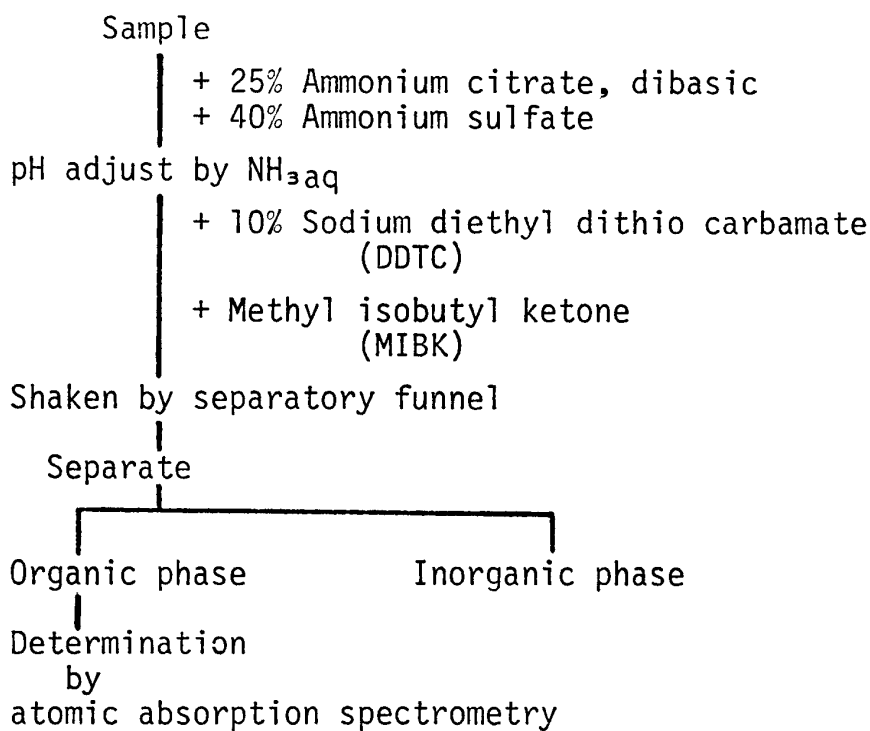


図 2 分析法概要図

Fig. 2. Schematic diagram of analytical method.

## 4. 結果と考察

表4および表5に、アデリーペンギンおよびトウゾクカモメの生体内金属定量分析結果を示した。表には最高値、最低値、平均値および標準偏差を示した。

表4 アデリーペンギン中の微量金属濃度  
Table 4. Trace metals concentration in Adélie penguin.

Tissue	Pectoral* n=4				Lung** n=4			
	Range		Mean	Standard deviation	Range		Mean	Standard deviation
	Minimum	Maximum			Minimum	Maximum		
Cadmium	0.003	0.021	0.012	0.010	0.0008	0.0019	0.0013	0.0007
Copper	2.3	3.5	2.77	0.525	1.59	9.10	4.76	3.22
Iron	192	199	196	3.1	76	503	344	190
Lead	0.014	0.053	0.016	0.002	0.007	0.024	0.015	0.009
Magnesium	—	—	—	—	71.2	294.5	158.0	96.2
Manganese	0.18	0.53	0.36	0.14	—	—	—	—
Zinc	10	30	16.5	9.14	10.4	30.5	17.2	9.08

\* Present authors, \*\* MISHIMA et al. (1977).

Unit;  $\mu\text{g/g-dry sample}$

表5 トウゾクカモメの胸筋中の微量金属濃度  
Table 5. Concentrations of trace metals in the pectoral of south polar skua.

	Minimum	Maximum	Mean	Standard deviation
Cadmium	0.029	0.051	0.04	0.01
Copper	5.7	5.9	5.8	0.10
Iron	87	131	110	22
Lead	0.08	0.23	0.13	0.08
Manganese	0.67	0.80	0.73	0.06
Zinc	16	19	17.3	1.5

n=4, Unit;  $\mu\text{g-metal/g-dry sample}$

図3は、体内変動の比較的大きい鉄濃度 (X 軸) に対する、他の金属濃度 (Y 軸) の分布を示したものである。ここに示した金属濃度は、アデリーペンギンおよびトウゾクカモメの両者に共通な試料である胸筋を対象とした。図中左側がトウゾクカモメを、右側にアデリーペンギンの金属濃度を示した。トウゾクカモメは、鉄濃度の上昇に伴い鉛は減少する傾向を示し、他の金属は濃度に変化は認められなかった。しかしアデリーペンギンの場合、マンガンを除き鉄濃度の上昇に伴い、他の金属濃度も上昇する傾向を得た。この現象はユキドリ (Snow petrel) の場合 (三島他, 1977) にも得られたことから、トウゾクカモメとユキドリには生理学の見地から、生体内金属の挙動に共通性の存在が推定される。また陸上および水中に居住性をもつアデリーペンギンは、陸上および空中生活圏をもつトウゾクカモメ等とは、生体内金属の挙動を異にする傾向を得た。

図4はアデリーペンギンの臓器に含有する金属濃度を示した。図には比較のため、アデリーペンギンの肺および腎臓に含有する微量金属濃度を併記した。図から明らかなように金属濃度範囲は、臓器による有意差は得られなかった。

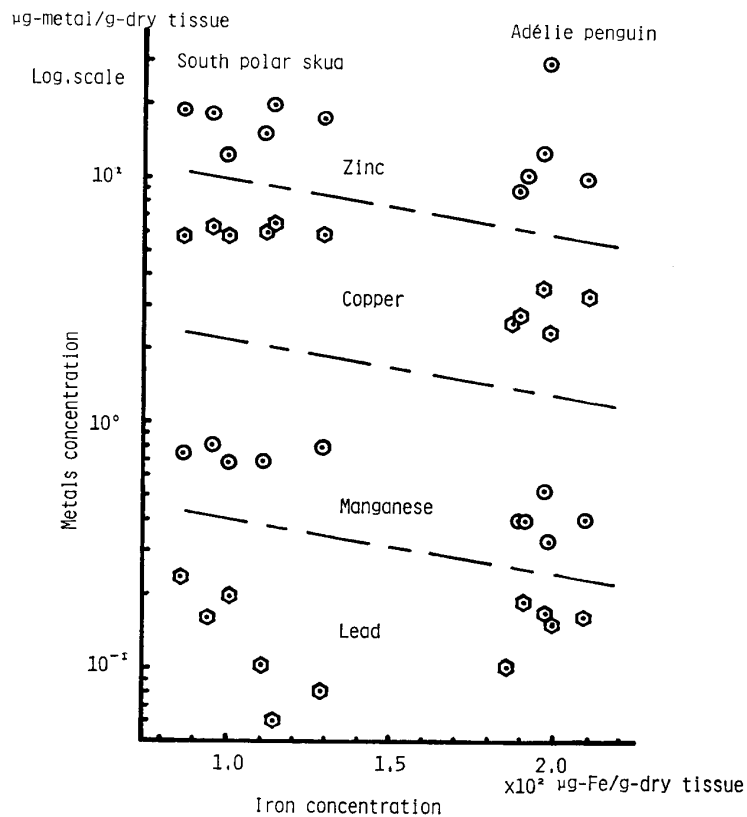


図3 アデリーペンギンおよびトウゾクカモメの胸筋中の鉄と他の金属との回帰  
 Fig. 3. Regression points between iron and other metals in pectoral of Adélie penguin and south polar skua.

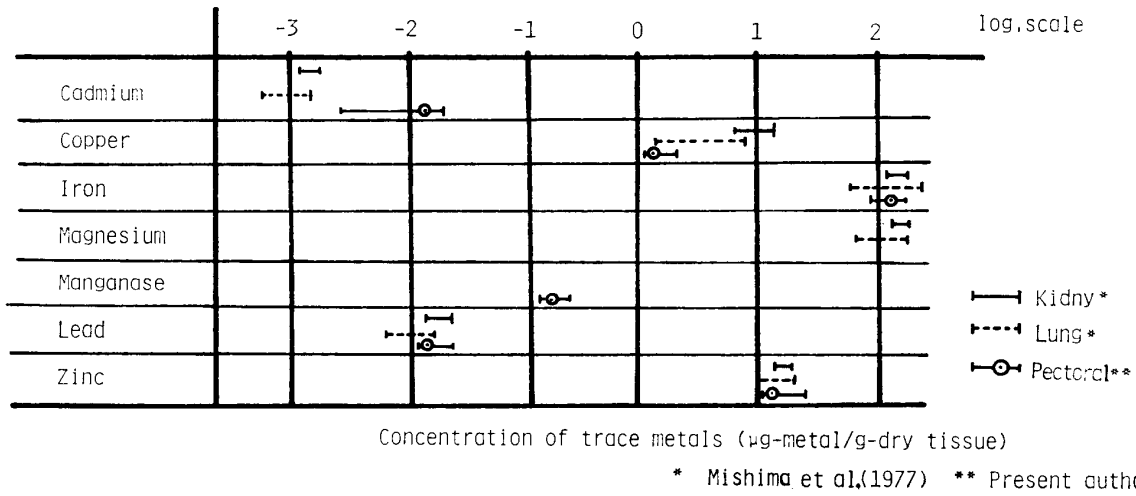


図4 アデリーペンギンの各種臓器に含有する微量金属濃度範囲  
 Fig. 4. The concentration range of trace metals in various organ of Adélie penguin.

トウゾクカモメについても同様の図を作成し、臓器別の金属濃度範囲について検討したが、有意差は得られなかった。

また食物連鎖の観点から、トウゾクカモメがアデリーペンギンより上位と考えられる。しかし食物連鎖による金属の動態をみると、有意差は得られなかった。

なお、昭和基地周辺に生息する生物の主食と考えられる、オキアミ (*Euphausia superba*) に含有する微量金属濃度に関する報告はみあたらない。さらに昭和基地周辺のオキアミは未だ採取、分析されていないため、正確な内容は未知であるが、すでに報告されている甲殻類 (*Crustacea*) の微量金属濃度を含めてまとめたものが表6である。なお表に示した甲殻類は、

表6 アデリーペンギンの臓器と海水および甲殻類の微量金属濃度の比較  
 Table 6. Comparison of trace metals concentration in *Crustacea*, internal organs of penguin and sea water.

Element	Crustacea* (µg/g-dry tissue)	Lung**      Kidney**      Pectoral***			Sea water**** (µg/l)
		(µg/g-dry tissue)			
Cadmium	0.15	0.0013	0.002	0.0015	0.03
Copper	50	4.7	12.4	2.7	0.9
Iron	20	344	188	196	3.4
Magnesium	2000	158	202	—	1.29×10 <sup>6</sup>
Manganase	0.2	—	—	0.42	0.08
Lead	0.3	0.015	0.015	0.015	0.03
Zinc	200	17.2	26.3	12	5

\* VINOGRADOV (1953), \*\* MISHIMA et al. (1977), \*\*\* Present authors, \*\*\*\* TUREKIAN (1969).



南極地域で捕獲されたものではない。さらに表には、海水中の金属濃度および前報で報告した結果を併記した。

以上示してきた表などから、前報で得た結果と同様に、海水中に存在する金属の多くは甲殻類によって濃縮され、これを摂取する生物によってさらに生物濃縮される傾向を持つ元素（鉄、マンガンなど）の存在を認めた (DHAR, 1973)。

試料数の不足および同系統の報告がみあたらないこと、さらに生物が摂取する食餌、生息するための環境条件とそれに伴う試料、情報等の欠損から測定結果に対する十分な解析ができなかった。しかし、昭和基地周辺に生息するアデリーペンギンおよびトウゾクカモメの生体内金属の定量分析としては、前報に引き続き希少な例であることから、今後の研究に対する1資料となるであろう。

本報告を終わるにあたり、横浜市立野毛山動物園堀浩氏、横浜市立衛生研究所木川寛氏、神奈川県衛生研究所綿貫知彦氏ならびに国立公衆衛生院山県登氏および石渡淑子氏の各位には、多大なご協力をいただいた。ここに深く感謝の意を表します。

#### 文 献

- BOWEN, H. J. M. (1966): Trace Elements in Biochemistry. London, Academic Press, 70 p.  
DHAR, Sanat K. (1973): Metal Ions in Biological Systems. New York, Plenum Press, 161 p.  
三島昌夫・山県 登・鳥居鉄也 (1977): 昭和基地周辺に生息する生物の生体内金属分析. 南極資料, 58, 145-153.  
TUREKIAN, K. K. (1969): The oceans, streams and atmosphere. Handbook of Geochemistry 1, Berlin, Springer, 297-323.  
VINOGRADOV, A. P. (1953): The Elementary Chemical Composition of Marine Organisms. New Haven, Yale Univ., 48 p.

(1980年10月13日受理, 1981年1月26日改訂稿受理)