

## 昭和基地周辺に生息する生物の生体内金属分析

三島昌夫\*・山県 登\*・鳥居鉄也\*\*

### Concentrations of Trace Metals in Tissues of Several Animals around Syowa Station

Masao MISHIMA\*, Noboru YAMAGATA\* and Tetsuya TORII\*\*

**Abstract:** Concentrations of trace metals in lung, kidney and liver of Weddell seal, Adélie penguin and snow petrel living around the Syowa Station, Antarctica were determined by atomic absorption methods using flame or flameless system.

The results of analysis revealed that the concentration levels of copper, iron, zinc, cadmium and lead in the kidneys of Adélie penguin were ranging 6.5~12.4, 188~255, 26~43, <0.005~0.002 and 0.01~0.03  $\mu\text{g}$  per gram dry tissue, respectively. Copper and cadmium were found most concentrated in the kidneys of snow petrels among the animals examined. Concentration ratios of pairs of metals in lungs of animals showed wide ranges both among animals and between right and left lungs except in the case of Weddell seal in which the ratios were exceedingly similar in the both lungs, Mg/Fe being about 0.1, Zn/Fe 0.02~0.03, Pb/Cu 0.01~0.02, and Pb/Zn about 0.004.

**要旨:** 南極昭和基地周辺に生息するウェッデルアザラン, アデリーペンギンおよびユキドリの臓器(肺, 腎臓および肝臓)中に含まれる微量金属を原子吸光法によって測定した。

分析結果の一例として, アデリーペンギンの腎臓に含まれる銅, 鉄, 亜鉛, カドミウムおよび鉛の濃度はそれぞれ 6.5~12.4, 188~255, 26~43, <0.005~0.002 および 0.01~0.03  $\mu\text{g/g}$ -乾燥重量当たりの範囲であった。銅とカドミウムは測定対象生物のうち, 特にユキドリの腎臓に最も濃縮されていた。生物の肺に含まれる金属相互間濃度比は左右の肺で, 両者の比は広く分散していた。しかし, ウェッデルアザランの場合は, 両者間の金属濃度比が極めて類似し, Mg/Fe ~0.1, Zn/Fe 0.02~0.03, Pb/Cu 0.01~0.02 および Pb/Zn ~0.004 であった。

## 1. 緒 言

昭和基地周辺に生息する生物のうち, ウェッデルアザラン, アデリーペンギンおよびユキドリの三種を対象として, これらの臓器内に含まれる数種の金属について測定した。しかし

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

\*\* 千葉工業大学. Chiba Institute of Technology, Tudanuma 2-17-1, Narashino 275.

試料数が少なく、また生物を捕獲した地域およびその周辺の堆積物、氷、水および生物の食糧などについての試料採取を行わなかったことから、各種の解析および考察ができなかった。しかし、このような測定例は過去の文献にみられないところから、一資料としてここに報告することとした。

## 2. 測定対象

測定対象とした生物は、昭和基地周辺に生息している生物と限定したのち、ウェッデルアザラシ (Weddell seal), アデリーペンギン (Adélie penguin) およびユキドリ (snow petrel) の臓器とした。

測定対象とした臓器は、ウェッデルアザラシについては、血液、十二指腸、食道、気道など 10 項目、アデリーペンギンについては、脂肪、心臓、ひ臓など 7 項目、ユキドリについては、背骨、胸骨、脂肪、胆のうなど 11 項目について行った。しかし、本報告ではこれらの臓器のうち三種の生物に共通な臓器のデータについてのみ示した。

## 3. 試薬および装置

### 3.1. 標準試薬の調製

標準金属試薬はすべて  $100 \mu\text{g-metal/ml-H}_2\text{O}$  の濃度に調製し、これを原液として、使用にあたって必要濃度に応じて水で希釈した。また、原子吸光分析を行うにあたって、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  $\text{CdCl}_2 \cdot 2\frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$  203.11 mg を水 100 ml に溶解し、これを塩酸 (1+99) で 1 l にしたものを原液とした。

標準銅溶液：純銅 (99.99%) 500 mg を硝酸 (1+1) 10 ml に溶解し、煮沸して窒素酸化物を除去したのち、水で 500 ml に希釈する。

標準鉄溶液：純鉄 (99.9%) 100 mg を硝酸 (1+3) 50 ml に溶解させ、十分に煮沸して窒素酸化物を除去したのち、水で 1 l に希釈したものを原液とした。

標準マグネシウム溶液：純マグネシウム金属 (99.99%) 100 mg を塩酸 (1+100) 100 ml に溶解し、水で 1 l に希釈したものを原液とした。

標準亜鉛溶液：純亜鉛 (99.9%) 100 mg をわずかに過剰の希塩酸に溶解し、水で 1 l に希釈したものを原液とした。

標準鉛溶液：十分に乾燥した硝酸鉛  $[\text{Pb}(\text{NO}_3)_2]$  159.9 mg を硝酸 (1+100) に溶解して

11 としたものを原液とした。

純水 (水と略記) : 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洗浄用に、さらに石英製二段蒸留装置により蒸留したものを分析用試薬として用いた。

塩酸、硝酸およびアンモニア : 有害金属測定用試薬を必要濃度に応じて水で希釈したものをを用いた。

### 3.2. 装 置

定量分析はすべて原子吸光光度法で行った。

凍結乾燥装置 : 三田村理化社製全自動真空凍結乾燥装置

低温灰化装置 : ヤマト科学社製プラズマチャンバー PC-103 型

原子吸光装置 : 島津製 AA-650 型を本体として、グラファイトファーネスアトマイザー GFA-2 型を付属させた。

## 4. 実験と結果

### 4.1. 測定条件

測定は元素により、フレイム法およびフレイムレス法によって行った。フレイムによる測定条件を表1に、またフレイムレスによる測定条件を表2に示した。フレイムレスによる測定を行うに際して、特に除蛋白が不完全な場合に生ずる妨害作用を考慮し、ランプ・モードによる測定を行い、ステップ・モードとの比較検討を行った。しかし、今回の試料調製法ならびに測定条件下では、その差に有意性は得られなかった。このことから表2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1 原子吸光法 (フレイム) における測定条件

Table 1. Analytical conditions in atomic absorption spectrometry (flame).

	Iron	Magnesium	Zinc
Wavelength (nm)	248.3	285.2	213.8
Lamp current (mA)	6	10	8
Slit width (mm)	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	6.7	6.0
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2 原子吸光法（フレイムレス）における測定条件  
 Table 2. Analytical conditions in atomic absorption spectrometry (flameless).

	Cadmium	Copper	Lead
Wavelength (nm)	228.8	324.8	217.0
Argon gas flow rate (l/min)	4.0	4.0	4.0
Argon gas pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	0.7	0.7	0.7
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

#### 4.2. 試料の前処理

図1は生体試料の分析方法を示したものである。試料約20~50gを凍結乾燥し、十分に乾燥したのち低温灰化装置を用いて試料を灰化する。灰化後、6N硝酸を加え、一夜放置したのち、徐々に加温して灰化試料を溶解した。溶解後濃縮操作を繰返し、さらに濃縮したのち水を加え、窒素酸化物を十分に除去したのち、水で一定量とした。水で一定量にする際、

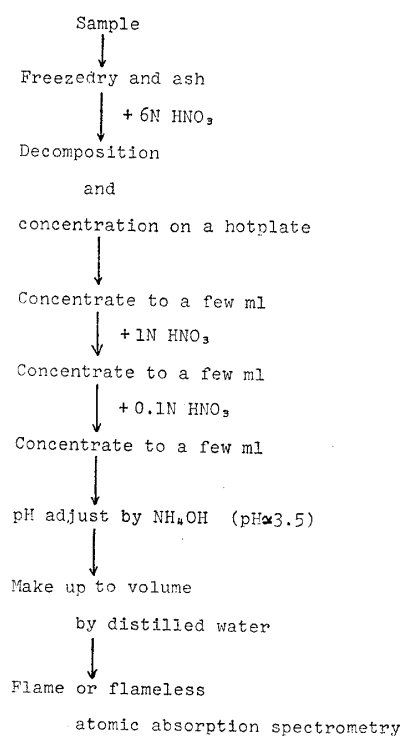


図1 分析法概要図  
 Fig. 1. Schematic diagram of analytical method.

1 N アンモニア水によって pH $\approx$ 3.5 に調整した. このようにして得た溶液を, 生体中重金属分析用試料原液とした.

#### 4.3. 結果と考察

表 3, 4 および 5 は, それぞれの生物の金属定量分析結果を示したものである. 表 4 (アデリーペンギン) および表 5 (ユキドリ) については, 最高, 最低, 平均値および標準偏差を示したが, 表 3 (ウェッデルアザラン) は 1 例の分析であるため表示していない. また, ここに示した測定値は, 三種の生物に共通な臓器である肺および腎臓についてのみ記載したが, 測定例数の比較的多いユキドリについては, 肝臓の測定結果を付記した. また, アデリーペンギンについては, 左右の肺を合一したものとして, ウェッデルアザランおよびユキドリは, 左右の肺についてそれぞれの結果を示した. 水中および陸上で生息するアザランおよび

表 3 ウェッデルアザランの臓器中の微量金属濃度

Table 3. Tissue concentrations of trace metals in a Weddell seal ( $\mu\text{g/g}$  dry tissue).

Metal	Lung		Kidney
	1	2	
Copper	1.50	3.71	5.66
Iron	366	410	143
Magnesium	42.9	62.4	104.8
Zinc	7.8	11.9	32.2
Cadmium	0.0038	0.0028	2.4999
Lead	0.029	0.044	0.033

表 4 アデリーペンギンの臓器中の微量金属濃度

Table 4. Tissue concentrations of trace metals in Adélie penguins ( $\mu\text{g/g}$  dry tissue).

Metal	Lung					Kidney	
	Range		Mean	S. D.	Number of samples	1	2
	Minimum	Maximum					
Copper	1.59	9.10	4.76	3.22	4	6.55	12.42
Iron	76	503	344	190	4	255	188
Magnesium	71.2	294.5	158.0	96.2	4	400.8	202.4
Zinc	10.4	30.5	17.2	9.08	4	43.7	26.3
Cadmium	0.008	0.0019	0.0013	0.0007	2	<0.005	0.002
Lead	0.007	0.024	0.015	0.009	4	0.032	0.015

表5 ユキドリの臓器中の微量金属濃度

Table 5. Tissue concentrations of trace metals in snow petrels ( $\mu\text{g/g}$  dry tissue).

Metal	Tissue	Lung		Kidney			
		1	2	Range		Mean	S. D.
				Minimum	Maximum		
Copper		28.95	1.11	5.58	1340.00	358.15	559.74
Iron		328	333	18	294	184	112
Magnesium		118.7	161.1	180.1	328.1	240.5	69.3
Zinc		40.7	17.7	58.8	307.6	145.1	102.4
Cadmium		0.0464	0.2531	0.1098	0.4249	0.2534	0.1162
Lead		<0.06	0.091	0.461	1.353	0.906	0.319

Metal	Tissue	Kidney	Liver				
		Number of samples	Range		Mean	S. D.	Number of samples
			Minimum	Maximum			
Copper		5	4.94	100.27	31.47	30.77	8
Iron		5	93	393	303	102	8
Magnesium		5	70.1	180.8	142.5	38.5	8
Zinc		5	10.6	65.9	46.2	18.0	8
Cadmium		5	0.0006	0.1044	0.0563	0.0325	8
Lead		5	0.029	0.808	0.277	0.230	8

ペンギンと、これらとは生活を異にするユキドリについて、表3、4および5から比較検討すると、ユキドリの腎臓に含まれる金属濃度のうち、2、3の元素については高濃度を示す傾向を得た。腎臓中の微量金属濃度範囲を図2に示した。

図から明らかなように、ユキドリの銅と鉛は他の生物より高い濃度を示し、さらにウェッデルアザランのカドミウムを除いた場合、他の金属はほとんど同程度の濃度範囲であった。

このうち、ウェッデルアザランについて、腎臓中の微量金属を一般に知られている哺乳類の中の金属濃度と比較したものが表6である。

表から明らかなように、すべての金属が低い濃度を示し、特に鉛とカドミウムに関してはいずれも1/100低い値を示したことは興味がある。

また、これら三種生物の主食と考えられるオキアミ (*Euphausia superba*) の微量金属については、現在までに採取していないため正確なことは未知であるが、すでに報告されている甲殻類 (Crustacea) の微量金属を含めてまとめてみると表7のようになる。ただしここで示した甲殻類は、南極地域で捕獲されたものではない。さらにまた表7には海水中の金属濃度

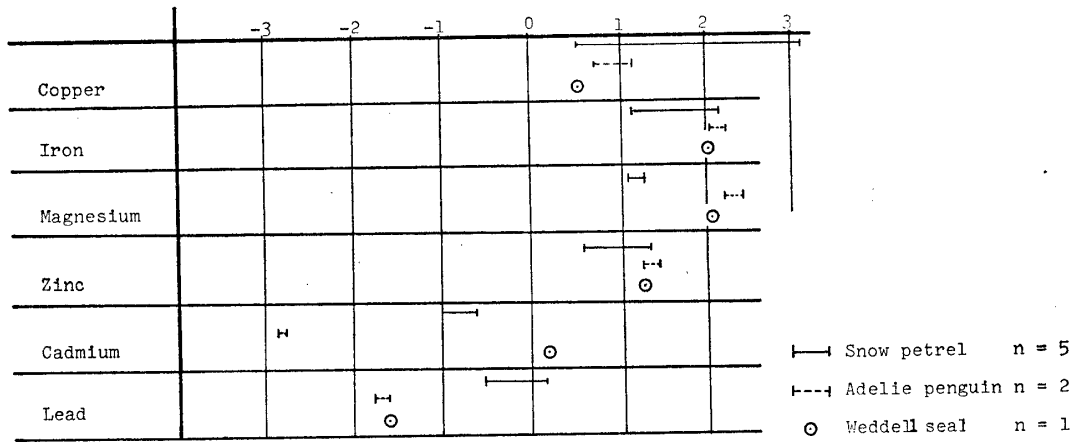


図 2 異なる生物の腎臓中に含まれる微量金属の濃度範囲 (log g/g-乾燥重量)

Fig. 2. The ranges of tissue concentrations of trace metals in the kidneys of different animals (log g/g dry tissue).

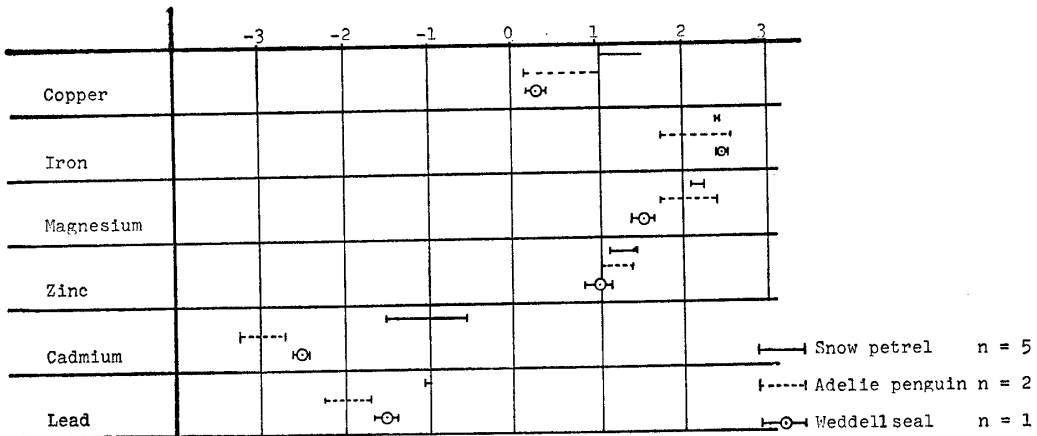


図 3 異なる生物の肺中に含まれる微量金属の濃度範囲 (log g/g-乾燥重量)

Fig. 3. The ranges of tissue concentrations of trace metals in the lungs of different animals (log g/g dry tissue).

表 6 一般哺乳類とウェッデルアザラシの腎臓の微量金属濃度の比較

Table 6. Comparison of trace metal concentrations in the kidneys of Weddell seal and general mammalia.

Element	Kidney ( $\mu\text{g/g}$ dry tissue)	
	Weddell seal*	General mammalia**
Copper	5.6	12
Iron	143	290
Magnesium	104	550
Zinc	32.2	210
Cadmium	2.5	130
Lead	0.03	4.5

\* Present authors, \*\* BOWEN (1966).

表7 海水とウェッデルアザラシ, アデリーペンギン, ユキドリの腎臓と甲殻類の微量金属濃度の比較

Table 7. Comparison of trace metal concentrations in crustacea, kidney of animals and sea water.

Element	Crustacea* μg/g dry tissue	Kidney** μg/g dry tissue			Sea water*** μg/l
		Weddell seal	Adélie penguin	Snow petrel	
Copper	50	5.6	12.4	358	0.9
Iron	20	143	188	184	3.4
Magnesium	2000	104	202	240	1.29 × 10 <sup>6</sup>
Zinc	200	32.2	26.3	145	5
Cadmium	0.15	2.5	0.002	0.25	0.11
Lead	0.3	0.03	0.015	0.90	0.03

\* VINOGRADOV (1953), \*\* Present authors, \*\*\* TUREKIAN (1969).

をも示した。以上示した表および図から考察すると、海水中の金属の多くはマグネシウムを除き甲殻類 (Crustacea) によって濃縮され、これを摂取した生物によってさらに生物濃縮される場合があることが分る (DHAR, 1973)。とくにユキドリによる鉛の濃縮は顕著である。

肺に含まれる微量金属について左右の肺を対象として、各生物におけるそれぞれの金属の比を求めた。その結果ウェッデルアザラシについては、Mg/Fe, Zn/Fe, Zn/Mg, Pb/Cu, Pb/Mg および Pb/Zn の値はそれぞれ 0.11~0.15, 2.1~2.9 × 10<sup>-2</sup>, 0.18~0.19, 1.9~1.1 × 10<sup>-2</sup>, 6.7~7.0 × 10<sup>-4</sup> および 3.7~3.6 × 10<sup>-3</sup> となり、左右の肺で金属濃度比に大きな差はみられず、左右ともに同程度の金属の含有を示した。しかし、ユキドリおよびアデリーペンギンについては、必ずしもこのような結果は得られず、左右の肺に含まれる金属濃度比は異なることを示した。

試料数の不足および、生物が摂取する食餌および環境、大気中の粒子状物質などの金属濃度に関する情報がほとんど得られていないので、測定結果に対する十分な考察は行えなかった。しかし、昭和基地周辺に生息するアデリーペンギン、ウェッデルアザラシおよびユキドリの生体内微量金属の測定例は、過去に報告されていないので、今後の研究に対する一資料となるであろう。

本研究を遂行するにあたり、弘前大学医学部公衆衛生学教室菅原和夫博士ならびに神奈川県衛生研究所綿貫知彦技官の両氏に多大なご協力を得た。ここに厚く感謝いたします。



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.
- 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.