

# 1980-82年および1984-86年に捕獲した南半球産ミンクク ジラの水銀蓄積の比較

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
著者	渡邊, 泉 山本, 義志 本田, 克久
巻/号	64巻1号
掲載ページ	p. 105-109
発行年月	1998年1月

1980-82年および1984-86年に捕獲した  
南半球産ミンククジラの水銀蓄積の比較渡邊 泉, 山本義志, 本田克久, 藤瀬良弘  
加藤秀弘, 田辺信介, 立川 涼

(1997年3月10日受付)

Comparison of Mercury Accumulation in Antarctic  
Minke Whale Collected in 1980-82 and 1984-86Izumi Watanabe,\*<sup>1</sup> Yoshiyuki Yamamoto,\*<sup>2</sup> Katsuhisa Honda,\*<sup>2</sup> Yoshihiro Fujise,\*<sup>3</sup>  
Hidehiro Kato,\*<sup>4</sup> Shinsuke Tanabe,\*<sup>1</sup> and Ryo Tatsukawa\*<sup>5</sup>

Mercury concentrations were determined in the liver of Antarctic minke whale (*Balaenoptera acutorostrata*) collected during 1980-82 and 1984-86, and compared in view of age-dependent accumulation. No significant sexual and geographical variations were observed, while higher mercury concentrations were found in the liver of Antarctic minke whales caught in the 1984-86 season rather than in 1980-82 by commercial whaling. Mercury concentration elevated with age until maturity and then revealed a steady state or slightly declined. However, the age showing maximum level of mercury was found to be older in 1984-86 than in 1980-82. This observation might be attributable to temporal changes in feeding amounts, resulting from disturbance of the Antarctic ecosystem such as uncontrolled management of whale resources in the past.

キーワード: 南半球産ミンククジラ, 水銀, 年齢蓄積, 経年変動

海産哺乳動物は、海洋生態系の最高次に位置し長寿命であることから、生物蓄積性の有害物質を高濃度に蓄積することが知られている。したがって、その体内蓄積量は生息海域の汚染を反映すると考えられ、海洋環境モニタリングの指標生物として注目を集め、研究がおこなわれてきた。<sup>1-5)</sup> なかでも水銀は強い毒性と生物蓄積性を示すため、多様な生物で調査・研究がおこなわれ、海産哺乳動物の場合も早くからその高濃度蓄積が指摘された。<sup>6-8)</sup> これまでの研究により、加齢に伴う体内濃度の上昇、解毒機構である脱メチル化や必須元素セレンとの関係、高濃度残留に伴う毒性発現など様々な成果が報告されてきたが、<sup>9-14)</sup> 未解決課題も多く、一層の調査・研究が求められている。

南半球産ミンククジラは、南氷洋の豊富なオキアミを主食とする高次捕食者で、水銀蓄積に関していえば、性成熟後やや濃度が低減し、通常直線的な濃度上昇を示す

他の鯨種と明らかに異なることが指摘されている。<sup>15)</sup> 1987年まで商業捕鯨が継続された南氷洋では、捕獲対象鯨種の個体数が減少したため、他のオキアミ捕食生物が卓越するなど、海洋生態系の構造に大きな変化が起きたと考えられている。<sup>16-18)</sup> 南氷洋に分布するミンククジラも、この影響を受けて摂餌量が増大したため、性成熟年齢の低下や成長の促進などが報告されている。<sup>18-22)</sup>

Honda *et al.*<sup>15)</sup> は、1980/81年に捕獲された南半球産ミンククジラの肝臓中水銀濃度の年齢変動に、上記の摂餌量の変化が関与していることを示唆した。そこで本研究では1980/81年の試料に加え、1981/82年、1984/85年および1985/86年試料の化学分析をおこない、加齢に伴う水銀蓄積パターンの経時変化と、その要因について考察した。

\*<sup>1</sup> 愛媛大学農学部生物環境保全学 (Department of Environment Conservation, Ehime University, Tarumi, Matsuyama 790, Japan).

\*<sup>2</sup> 愛媛大学農学部生物環境保全学, 現・三浦工業株式会社 (MIURA Co Ltd, Horie, Matsuyama 799-26, Japan).

\*<sup>3</sup> 日本鯨類研究所 (The Institute of Cetacean Research, Toyomi, Chuo, Tokyo 104, Japan).

\*<sup>4</sup> 遠洋水産研究所 (National Research Institute of Far Seas Fisheries, Orido, Shimizu 424, Japan).

\*<sup>5</sup> 愛媛大学農学部生物環境保全学, 現・高知大学 (Kochi University, Akebono, Kochi 780, Japan).

## 試料および実験方法

本研究に供試した雌雄ミンククジラ *Balaenoptera acutorostrata* の肝臓は, 1980/81年, 1981/82年, 1984/85年, 1985/86年の各漁期に南氷洋で商業捕鯨により捕獲された個体から採取した。

本研究は水銀蓄積の年齢変動を理解することが主目的であるが, 各漁期に捕獲された個体の年齢構成に偏りがあったため, 1980/81年漁期に採取された97検体と, 1981/82年漁期の20検体を一つのグループとし(本文および図表中では1980-82年として表記), 1984/85年漁期に採取された127検体に, 1984/85年の37検体を加えたものを別のグループとして扱い(以下1984-86年と表記), 水銀蓄積の年齢変動を比較した。なお, 1980-82年の試料は東経2~161度, 南緯61~71度の海域で, 1984-86年の試料は西経123度~東経107度, 南緯62~68度の海域で捕獲された。

水銀の分析法は Honda *et al.*<sup>2)</sup> に従った。ミンククジラ肝臓試料は精秤の後, 還流冷却管付ナス型フラスコ内で硫酸・硝酸・過マンガン酸カリウムにより湿式分解し, 定容後, 塩化第一スズによる還元気化-無炎原子吸光度法により定量した。

## 結果および考察

南半球産ミンククジラの水銀濃度を5~10歳ごとの範囲で平均し, 捕獲年・雌雄別に Table 1 に示した。1980-82年試料のメスの分析数は少なく, 年齢構成も8~10歳に限られるため, 水銀濃度の雌雄差の検討は困難であったが, 十分な試料数が揃っている1984-86年の検体では有意な雌雄差はみられなかった(オス: 平均  $72 \pm 34$  ng/g wet wt.  $n=68$ , メス: 平均  $62 \pm 31$  ng/g wet wt.  $n=73$ , Mann-Whitney U-test  $p>0.01$ )。

一般に生物体内の元素濃度は, 取り込み量と排泄量のバランスによって決まるが, 水銀は生物学的半減期が比較的長く蓄積性が高いため, そのレベルは長期の水銀摂取量を反映する, つまり生体内の水銀蓄積量は, 生息環境の濃度に影響されると考えてよい。数種の海産哺乳動物では, 同一種内でも水銀蓄積レベルに地域差のあることが報告されている。<sup>8,23-25)</sup> この原因としてはバックグラウンドレベルの大小や, 餌生物種の違いが考えられる。本報告で扱った南半球産ミンククジラは, 南緯61~71度, 東経2~西経120度の間の広範囲な海域で捕獲されているため, 類似の要因による変動が予想された。そこで, 年度別に捕獲海域の緯度・経度と水銀濃度との関係を検討したところ, 肝臓中水銀濃度に明確な地域差はみられなかった (Fig. 1)。南氷洋のミンククジラは豊富なオキアミ資源を摂餌しているが, オキアミ類の水銀濃

Table 1. Hepatic mercury concentrations (mean  $\pm$  S.D. and range on ng/g wet wt.) of Antarctic minke whale collected in 1980-82 and 1984-86

Age (year)	1980-82		1984-86	
	Male	Female	Male	Female
1-10	$54 \pm 20$	$57 \pm 18$	$61 \pm 25$	$53 \pm 29$
	21-116 (46)	27-88 (22)	30-121 (19)	15-129 (26)
11-15	$58 \pm 21$		$73 \pm 29$	$52 \pm 25$
	24-87 (10)		35-113 (10)	23-91 (8)
16-20	$51 \pm 26$		$75 \pm 38$	$75 \pm 31$
	23-121 (12)		30-163 (14)	40-160 (14)
21-25	$49 \pm 13$		$80 \pm 34$	$71 \pm 31$
	32-71 (8)		38-133 (8)	33-116 (8)
26-30	$55 \pm 18$		$87 \pm 40$	$63 \pm 25$
	31-92 (10)		53-176 (8)	25-100 (8)
31-40	$62 \pm 13$		$83 \pm 41$	$69 \pm 44$
	45-77 (8)		40-131 (6)	27-169 (9)
41-50	59		$70 \pm 42$	
	(1)		42-118 (3)	

( ): number of samples with detectable concentration.

度に地域差は認められていない。<sup>26)</sup> このことは, 本研究で南半球産ミンククジラの水銀濃度に, 地理的変動がみられなかったことを支持している。

多くの海産哺乳動物において, 水銀は加齢に伴い直線的な濃度上昇を示すことが知られている。<sup>27-31)</sup> 本研究で分析した1980-82年と1984-86年捕獲の南半球産ミンククジラは, それぞれ, 約10歳および約20歳まで水銀濃度の上昇がみられるが, それ以降は定常状態, あるいは, やや低減する傾向を示した (Fig. 2)。

また, 1980-82年と1984-86年のグループでは, 水銀の濃度レベルが異なり, 後者の最高濃度は前者に比べ明らかな高値を示した。性成熟に達した8歳以上の個体の水銀濃度は1984-86年の方が1980-82年よりも有意に高濃度であった (1980-82年:  $58 \pm 20$  ng/g wet wt., 1984-86年:  $73 \pm 33$  ng/g wet wt., Mann-Whitney U-test,  $p<0.01$ )。捕獲年が異なる二グループ間の濃度差には二つの要因が関与していると考えられる。一つは, 各グループの試料がそれぞれ異なった個体群から得られたという地理的変動であり, もう一つは時間的な濃度上昇が起こっている可能性である。ここで, 地理的変

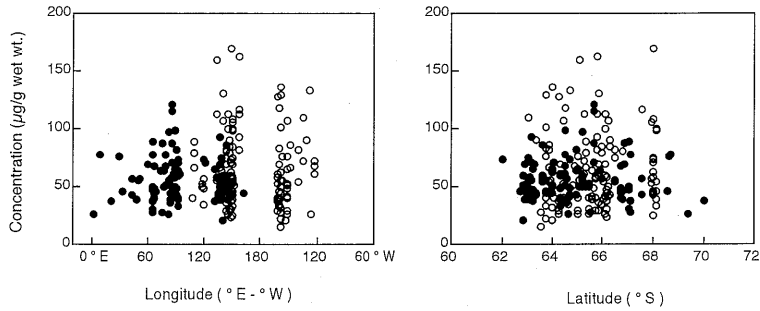


Fig. 1. Relationship between hepatic mercury concentration and sampling location (latitude and longitude) of Antarctic minke whale collected in 1980-82 (●) and 1984-86 (○)

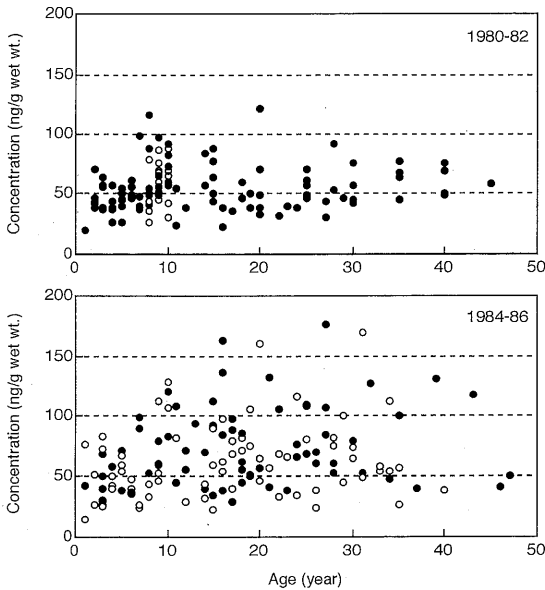


Fig. 2. Age-trend of hepatic mercury concentrations of Antarctic minke whale collected in 1980-82 and 1984-86 (●: male, ○: female)

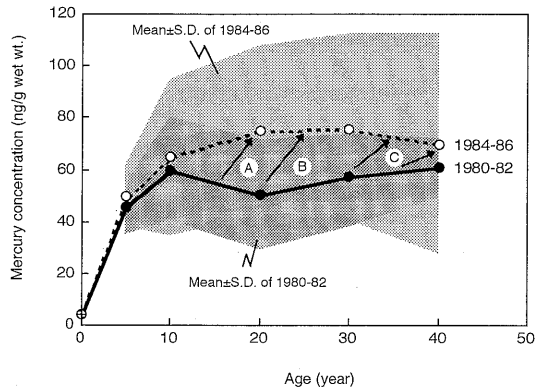


Fig. 3. Schematic age-trend of hepatic mercury concentrations of Antarctic minke whale collected in 1980-82 (● and solid line) and 1984-86 (○ and broken line)

動に関しては、先に述べた検討により捕獲海域がミンククジラの水銀蓄積に及ぼす影響はないことが示唆され、餌生物であるオキアミの濃度変動がその結果を裏付けている。そのため、1980-82年と1984-86年の濃度差は経時的な変動を示していることが考えられた。

1980-82年と1984-86年捕獲の南半球産ミンククジラで認められた水銀蓄積レベルの変動の詳細を理解するため、5歳前後は6~7歳、10歳前後は8~12歳、20歳は16~25歳、30歳は26~35歳、40歳は36~最高年齢の平均濃度を用いて、年齢蓄積パターンを概念的に図化した (Fig. 3)。ここで、出生直後のデータは胎児の濃度 (n=1) を用いている。なお、図中の矢印 A, B, C は 1980-82 年当時、各年齢であった個体が約 4 年

後の 1984-86 年に相応の水銀を蓄積したと仮定した場合の濃度変化を示している。

Fig. 2 および Fig. 3 でみられる 1984-86 年個体の相対的な水銀高濃度蓄積は、1980~86 年の間に南半球産ミンククジラの水銀暴露量が増大したことを示唆している。この原因として、当時まで続けられた商業捕鯨による大型鯨類の乱獲により、南極生態系が攪乱されオキアミが余剰となった結果、南半球産ミンククジラの摂餌量が増大し、水銀の取り込み量が増えたと解釈することができるが、さらに究明のための検討が必要であろう。また、餌生物であるオキアミの水銀濃度が上昇したという可能性も考えられる。Szefer *et al.* は 1989 年<sup>32)</sup> および 1985-86 年<sup>33)</sup> に採取した南極海産魚類の水銀濃度を比較し、差が認められなかったことを報告している。オキアミを鍵種とする単純な南極海生態系において、魚類の水銀濃度に経時的な変化がみられなかったことは、オキアミの水銀濃度もほとんど変化しなかったことを暗示している。

また, 10歳までの水銀濃度上昇は1980-82年に比べて1984-86年の方が若干大きいこと (Fig. 3における0-10歳までの実線と破線の比較), 20歳以後の水銀濃度上昇率が高齢ほど小さい (Fig. 3における矢印A, B, Cの傾きの比較) といった傾向は, 高齢個体よりも, 若齢個体に経時的な摂餌量増大の影響があらわれやすいことを示唆している。Honda *et al.*<sup>15)</sup>は, 南半球産ミンククジラの高齢個体でみられた濃度減少を, 摂餌量の年齢変動で説明した。つまり, 若齢個体は摂餌量が多いのに対し, 高齢個体ほどその量が少ないことがこの現象の原因であろうと指摘している。さらに, 南氷洋生態系の攪乱によるミンククジラのオキアミ摂餌量の増大も, 若齢個体と高齢個体の水銀暴露量の差を拡げ, 若齢個体間の濃度差に影響を及ぼしたと推察している。

ところで, 1980-82年に比べ1984-86年の個体は水銀濃度の範囲が広いが, 低濃度レベルでは両者の間に差がみられなかった (Fig. 2)。このことは, 1980-82年に比べ1984-86年の方が, 摂餌量の増大した個体を多数含むことを示唆しているが, 一方で依然として1980-82年と変わらぬ摂餌量をもつ個体が存在することも暗示している。

#### ま と め

1980/81・1981/82年, 1984/85・1985/86年の商業捕鯨時に採取された南半球産ミンククジラ肝臓中の水銀分析をおこない, その年齢蓄積変動を検討した。ミンククジラの水銀濃度は1980年代の前半約4年間で増大したことが明らかとなった。この濃度上昇の一因として, 南半球産ミンククジラの摂餌量増大が関与しているものと考えられた。

本研究で得られた経時的な南半球産ミンククジラの水銀濃度上昇は, いわゆる人間活動由来の直接的な汚染に起因するのではなく, 過去の商業捕鯨による大型鯨類の乱獲, すなわち生態系の攪乱にその一因があると考えられた。つまり, 従来の公害型汚染による生物影響ではなく, 乱獲という生態系の攪乱が有害物質の蓄積動態を変化させ, 高等哺乳動物に予期せぬ影響を与えた, いわゆる新しいタイプの環境問題といえよう。

1987年の捕鯨モラトリアム以降, 南極生態系は新たな変化を続けていることが予想され, 水銀ばかりでなく蓄積性のある他の有害物質の濃度変動にも興味を持たれる。ミンククジラの資源管理と併せて, 有害物質のモニタリングの継続と毒性影響の検知が今後の課題であろう。

#### 謝 辞

本研究を行うにあたり, ミンククジラの年齢データな

ど生物学的情報を提供していただいた遠洋水産研究所の粕谷俊雄博士および試料の調整をお願いした同研究所の吉田英可博士に厚く御礼申し上げます。また, ミンククジラの試料採取に際し, 日本共同捕鯨株式会社および日新丸船団の乗組員に多大な御協力と御支援をいただいた。さらに, 第40次南氷洋捕鯨航海では日本鯨類研究所の中村正聡特別研究員に御協力と御助言を賜った。併せて厚く御礼申し上げます。

#### 文 献

- 1) A. V. Holden: Pollutants and seals. A review. *Mammal Rev.*, **8**, 53-66 (1978).
- 2) K. Honda, R. Tatsukawa, and T. Fujiyama: Distribution characteristics of heavy metals in the organs and tissues of striped dolphin, *Stenella coeruleoalba*. *Agric. Biol. Chem.*, **46**, 3011-3021 (1982).
- 3) R. Wagemann and D. C. G. Muir: Concentrations of heavy metals and organochlorines in marine mammals of northern waters: Overview and evaluation. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, **1279**, 1-96 (1984).
- 4) D. C. G. Muir, R. Wagemann, B. T. Hargrave, D. J. Thomas, D. B. Peakall, and R. J. Norstrom: Arctic marine ecosystem contamination. *Sci. Total Environ.*, **122**, 75-134 (1992).
- 5) S. Tanabe, H. Iwata, and R. Tatsukawa: Global contamination by persistent organochlorines and their ecotoxicological impact on marine mammals. *Sci. Total Environ.*, **154**, 163-177 (1994).
- 6) R. Anas: Mercury found in fur seals. *Commer. Fish. Rev.*, **32**, 3 (1970).
- 7) A. M. Jones, Y. Jones, and W. D. P. Stewart: Mercury in marine organisms of the Tay region. *Nature*, **238**, 164-165 (1972).
- 8) D. E. Gaskin, K. Ishida, and R. Frank: Mercury in harbour porpoise (*Phocoena phocoena*) from the bay of Fundy region. *Journal Fisheries Research Board of Canada*, **29**, 1644-1646 (1972).
- 9) C. Sanpera, R. Capelli, V. Minganti, and L. Jover: Total and organic mercury in north Atlantic fin whales. *Mar. Pollut. Bull.*, **26**, 135-139 (1993).
- 10) F. Palmisano, N. Cardellicchio, and P. G. Zamboni: Speciation of mercury in dolphin liver: A two-stage mechanism for the demethylation accumulation process and role of selenium. *Mar. Environ. Res.*, **40**, 109-121 (1995).
- 11) J. H. Koeman, W. H. M. Peeters, C. H. M. Koudstaal-Hol, P. S. Tjioe, and J. J. M. De Goeij: Mercury-selenium correlations in marine mammals. *Nature*, **245**, 385-386 (1973).
- 12) J. H. Koeman, W. S. M. v. d. Ven, J. J. M. d. Goeij, P. S. Tjioe, and J. L. v. Haaften: Mercury and selenium in marine mammals and birds. *Sci. Total Environ.*, **3**, 279-287 (1975).
- 13) A. J. Rawson, G. W. Patton, S. Hofmann, G. G. Pietra, and L. Johns: Liver abnormalities associated with chronic mercury accumulation in stranded Atlantic bottlenose dolphins. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **25**, 41-47 (1993).
- 14) C. Betti and M. Nigro: The comet assay for the evaluation of the genetic hazard of pollutants in cetaceans: preliminary results on the genotoxic effects of methyl-mercury on the bottle-nosed dolphin (*Tursiops truncatus*) lymphocytes in vitro. *Mar. Pollut. Bull.*, **32**, 545-548 (1996).

- 15) K. Honda, Y. Yamamoto, H. Kato, and R. Tatsukawa: Heavy metal accumulations and their recent changes in southern Minke whales *Balaenoptera acutorostrata*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **16**, 209-216 (1987).
- 16) R. M. Laws: Seals and whales of the southern ocean. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, **279**, 81-96 (1977).
- 17) R. M. Laws: The significance of vertebrates in the Antarctic marine ecosystem, in "Adaptation within Antarctic Ecosystem, Proc. 3rd SCAR Symp on Antarctic Biology" (ed. by G. A. Llano), Smithsonian Institution, Washington, D.C., 1977, pp. 411-38.
- 18) H. Kato: Density dependent changes in growth parameters of southern minke whales. *Sci. Rep. Whales Res. Inst.*, **38**, 47-73 (1987).
- 19) P. B. Best: Seasonal abundance, feeding, reproduction age and growth in minke whales off Durban (with incidental observations from the Antarctic). *Rep. Int. Whal. Commn.*, **32**, 759-786 (1982).
- 20) H. Kato: Some considerations on the decline in age at sexual maturity of the Antarctic minke whale. *Rep. Int. Whal. Commn.*, **33**, 393-399 (1983).
- 21) H. Kato: Density dependent changes in age at sexual maturity and growth curve of the Southern minke whale. SC/37/Mi13, document submitted to the 37th Scientific Committee meeting of International Whaling Commission, pp. 18, (1985).
- 22) H. Kato: Further examination of the age at sexual maturity of the Antarctic minke whale as determined from ear-plug study. *Rep. Int. Whal. Commn.*, **35**, 273-277 (1985).
- 23) J. M. Andre, F. Ribeyre, and A. Boudou: Mercury contamination levels and distribution in tissues and organs of delphinids (*Stenella attenuata*) from the eastern tropical pacific, in relation to biological and ecological factors. *Mar. Environ. Res.*, **30**, 43-72 (1990).
- 24) R. Dietz, F. Riget, and P. Johansen: Lead, cadmium, mercury and selenium in Greenland marine animals. *Sci. Total Environ.*, **186**, 67-93 (1996).
- 25) R. Wagemann, S. Innes, and P. R. Richard: Overview and regional and temporal differences of heavy metals in Arctic whales and ringed seals in the Canadian Arctic. *Sci. Total Environ.*, **186**, 41-66 (1996).
- 26) Y. Yamamoto, K. Honda, and R. Tatsukawa: Heavy metal accumulation in Antarctic krill *Euphausia superba*. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.*, **1**, 198-204 (1987).
- 27) D. E. Gaskin, K. I. Stonefild, P. Suda, and R. Frank: Changes in mercury levels in harbor porpoises from the bay of Fundy, Canada, and adjacent waters during 1969-77. *Arch. Environm. Contam. Toxicol.*, **8**, 733-762 (1979).
- 28) K. Honda, R. Tatsukawa, K. Itano, N. Miyazaki, and T. Fujiyama: Heavy metal concentrations in muscle, liver, kidney tissue of striped dolphin, *Stenella coeruleoalda*, and their variations with body length, weight, age and sex. *Agric. Biol. Chem.*, **47**, 1219-1228 (1983).
- 29) K. Itano, S. Kawai, N. Miyazaki, R. Tatsukawa, and T. Fujiyama: Mercury and selenium levels in striped dolphins caught off the Pacific coast of Japan. *Agric. Biol. Chem.*, **48**, 1109-1116 (1984).
- 30) R. Eisler: Trace metal changes associated with age of marine vertebrates. *Biological Trace Element Research*, **6**, 165-180 (1984).
- 31) D. Bowles: An overview of the concentrations and effects of heavy metals in cetacean species. *A report submitted to the Scientific Committee of the International Whaling Commission*, May, 1-24 (1994).
- 32) P. Szefer, W. Czarnowski, J. Pempkowiak, and E. Holm: Mercury and major essential elements in seals, penguins, and other representative fauna of the Antarctic. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, **25**, 422-427 (1993).
- 33) K. Honda, Y. Yamamoto, and R. Tatsukawa: Distribution of heavy metals in Antarctic marine ecosystem. *Proc. NIPR Symp. Polar Biol.*, **1**, 184-197 (1987).