

## 北海道東部沿岸に生息するゼニガタアザ ラシ (*Phoca vitulina stejnegeri*) の 重金属濃度について

中野 益男<sup>1</sup>, 宿野部 猛<sup>1</sup>, 福島 道広<sup>1</sup>

小林 進介<sup>1</sup>, 根岸 孝<sup>1</sup>

(受理: 1991年11月30日)

### Heavy Metals in Kuril Seal (*Phoca vitulina stejnegeri*) from the East Coast of Hokkaido

Masuo NAKANO<sup>1</sup>, Takeshi SHUKUNOBE<sup>1</sup>, Michihiro FUKUSHIMA<sup>1</sup>,  
Shinsuke KOBAYASHI<sup>1</sup>, Takashi NEGISHI<sup>1</sup>

#### 要 約

わが国では、1950年から1970年代にかけて多くの公害病が発生し、大きな社会問題となった。海洋生態系において一度環境中に放出された重金属は、食物連鎖により、より高次の生物によって濃縮される。日本では生物中の重金属、とくに大型の哺乳類動物に関する報告はあまりされていない。そこで本研究では、北海道東部沿岸に生息するゼニガタアザラシ (*Phoca vitulina stejnegeri*) の肝臓、腎臓および筋肉における重金属 (Cd, Cu, Fe, Hg, Mn, Zn) について分析を行い、その濃度を明らかにした。有害元素であるCdとHgは、それぞれ腎臓、肝臓でもっとも高く、筋肉でいずれも低い値を示した。CdおよびHgの濃度はバックグランド値に近く、人間活動による影響は少ないと考えられる。必須元素であるCu, Fe, MnおよびZnはすべて肝臓で高く、筋肉で低い値を示す傾向にあった。各重金属濃度と年齢との相関関係を調べた結果、すべての組織でCdおよびHgの濃度が年齢と有意な相関関係にあった。元素間では肝臓中でHgとCuとの間に有意な相関関係が認められた。

キーワード : ゼニガタアザラシ, 重金属, Hg, Cd, Cu

<sup>1</sup> 帯広畜産大学生物資源化学科

<sup>1</sup> Department of Bioresource Chemistry, Obihiro University of Agriculture and Veterinary Medicine, Obihiro Hokkaido 080, Japan.

## 緒 言

わが国では、1950年代前半から1970年代にかけて重金属汚染や大気汚染による公害病が発生し、大きな社会問題となった。なかでも水俣病やイタイイタイ病などの原因となった水銀(Hg)およびカドミウム(Cd)などの重金属は、一度体内に取り込まれると体外に排出されにくく、催奇形性や中毒症状を起こすなど、生体に対する毒性がきわめて強いことが知られている。このような状況から昭和42年公害対策基本法が制定され、重金属の大気や排水中の濃度および使用などに厳しい規制値が設けられた。しかし、わが国の沿岸海水は、埋め立てや産業排水のためにかなり重金属に汚染されており<sup>(1)</sup>、未だに様々な問題を抱えている。このような重金属は一度環境中に放出されると食物連鎖により、たとえば、海水・ヘドロからプランクトンへ、プランクトンから魚介類へと次第に高濃度に濃縮され、最終的にそれらの生物を捕食して生活する哺乳類動物(ヒトやイルカ、アザラシ)の体内に蓄積される。

北海道東部沿岸では、多くの鰮脚類(アザラシ、トド、オットセイ)や鯨類(クジラ、イルカ)を見ることができる。その中でもゼニガタアザラシ(*Phoca vitulina stejnegeri*)は、カムチャツカ半島から千島列島および北海道東部沿岸にかけて岩礁地帯に生息し、岩礁上で繁殖を行なう唯一のアザラシである。このアザラシは、ほぼ1年中岩礁地帯およびその周辺の浅海域を生活の場としており、主に流水期にだけ姿を見せるゴマフアザラシ(*P. largha*)、クラカケアザラシ(*P. fasciata*)、ワモンアザラシ(*P. hispida*)およびアゴヒゲアザラシ(*Erignathus barbatus*)とは生態的に大きく異なっている。また、ゴマフアザラシなどは北半球に広く生息しており、海洋生態系中の重金属について欧米諸国で盛んに研究が行なわれてきた<sup>(2-4)</sup>。しかし、ゼニガタアザラシに関する研究はごくわずかであり、体内にどの程度の重金属が蓄積されているのかほとんどわからなかった。本研究では、根室半島納沙布岬周辺(Fig. 1)から集められたゼニガタアザラシの肝臓、腎臓および筋肉中に蓄積されたCd, Cu, Fe, HgおよびZnの濃度を明らかにし、各組織の重金属濃度と年齢との関係および元素間の濃度の関係について考察を行った。

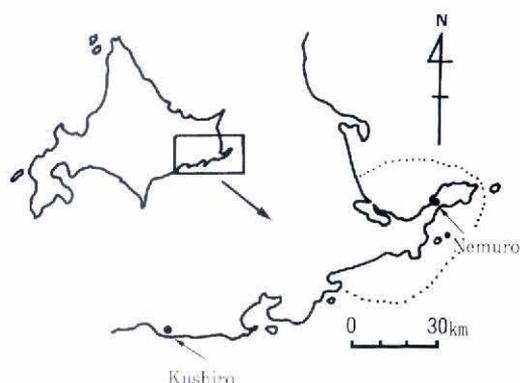


Fig. 1. Origin of samples in the East Coast of Hokkaido (Dotted line indicate sampling area)

## 材料および方法

### 1. 材 料

1983年9月から12月にかけて、根室半島周辺の海域に設置された秋サケ定置網内で溺死したゼニガタアザラシから肝臓、腎臓および筋肉を採取した(Fig. 1)。採取した試料は、採取年月日、捕獲場所、種名、性別、妊娠の有無などを記録し、ポリエチレンの袋に入れ、 $-25^{\circ}\text{C}$ で冷凍保存した。また、年齢は、鈴木・山下<sup>(5)</sup>の結果から引用した。

### 2. 方 法

分析は、Cd, Cu, Fe, 総Hg(以下、Hg), MnおよびZnについて原子吸光法により行なった。試料は各組織をガラスシャーレに一定量を取り湿重量を測定した後、乾燥機中で乾燥した( $60^{\circ}\text{C}$ , 48時間)。デシケーター中で室温に放冷し、乾重量を測定後、試料を細かく粉砕した。この試料1gを100mlのビーカーにとり、硝酸-過塩素酸(4:1)を10mlずつ計40mlを適宜添加しながら、ホットプレート(約 $150^{\circ}\text{C}$ )上で分解した。分解終了後、硝酸と過塩素酸を蒸発乾固させ、1N塩素5mlを加えて再留水で50mlとし、これを試料溶液とした。重金属の抽出および測定は、Ronald等の方法<sup>(6)</sup>、公害分析指針<sup>(7)</sup>およびJISハンドブック<sup>(8)</sup>に従い、直接法(Cu・Mn・Fe・Zn)、DDTC-MIBK法(Cd)および還元気化原子吸光法(Hg)により行なった。結果はすべて湿重量1g当たりの濃度( $\mu\text{g/g}$ )で表した。測定は島津ダブルビームデジタル原子吸光/フレイム分光光度計(AA-650)、島津水銀還元気化装置(MVU-1A形)を使用した。

## 結 果

## 1. 肝臓、腎臓および筋肉に分布する重金属濃度

ゼニガタアザラシの肝臓、腎臓および筋肉から検出された各元素の濃度をTable 1に示す。

Cdは濃度は肝臓で平均 $2.02 \mu\text{g/g}$  (範囲ND~ $10.08 \mu\text{g/g}$ )、腎臓で同じく $5.25 \mu\text{g/g}$  (範囲ND~ $58.03 \mu\text{g/g}$ )、筋肉で $0.03 \mu\text{g/g}$  (範囲ND~ $0.08 \mu\text{g/g}$ )と腎臓でもっとも高く、筋肉で低い値であった。1例のみ17才の雌の腎臓からは $58.03 \mu\text{g/g}$ のCdが検出された。

CuおよびFe濃度は、各臓器中それぞれ $0.22\sim 33.03 \mu\text{g/g}$ 、 $89.18\sim 603.25 \mu\text{g/g}$ の範囲で検出され、2元素とも肝臓でもっとも高い値であった (Table

1)。腎臓および筋肉におけるCu濃度は、肝臓と比較して低く、また、Fe濃度の平均は、両組織ともほぼ同程度であった。

Hgの濃度は、平均値で肝臓がもっとも高く、最高 $13.88 \mu\text{g/g}$  (17才の雌)のHgが検出された (Table 1)。次いで腎臓で高く (平均 $1.35 \mu\text{g/g}$ )、筋肉で低い値であった (平均 $0.29 \mu\text{g/g}$ )。

Mnは、肝臓 (平均 $2.85 \mu\text{g/g}$ ) で高く、筋肉 (平均 $0.21 \mu\text{g/g}$ ) で低い値であった。

Znは肝臓 (平均 $36.91 \mu\text{g/g}$ )、腎臓 (平均 $34.21 \mu\text{g/g}$ )、筋肉 (平均 $22.73 \mu\text{g/g}$ ) と筋肉でやや低い値であるが、腎臓および肝臓の濃度はほぼ同程度であった (Table 1)。

Table 1 Concentration of heavy metals in the tissues of Kuril seal (*Phoca vitulina stejnegeri*)

Tissue	Heavy metals ( $\mu\text{g/g}$ wet weight)					
	Cd	Cu	Fe	Hg	Mn	Zn
Liver	ND <sup>1)</sup> –10.08 <sup>2)</sup>	6.68–33.03	143.09–603.25	0.44–13.88	1.47–5.33	27.33–56.04
	2.02 <sup>3)</sup>	14.78	314.99	3.17	2.85	36.91
	(n=29) <sup>4)</sup>	(n=29)	(n=28)	(n=22)	(n=29)	(n=29)
Kidney	ND–58.03	1.85–7.02	89.18–231.94	0.40–2.43	0.48–5.77	15.29–71.34
	5.25	4.05	132.95	1.35	1.34	34.21
	(n=39)	(n=38)	(n=38)	(n=22)	(n=39)	(n=39)
Muscle	ND–0.08	0.22–1.91	106.58–241.92	0.17–0.43	ND–0.72	4.56–62.76
	0.03	1.01	149.49	0.29	0.21	22.73
	(n=28)	(n=28)	(n=28)	(n=28)	(n=28)	(n=28)

1) Not detect

2) Range

3) Mean

4) Number of sample analyzed

## 2. 年齢による重金属濃度の変化

ゼニガタアザラシの加齢に伴う各組織の重金属濃度の変化を調べた。Table 2は重金属濃度と年齢との相関を示したものである。

各組織中におけるCd濃度と年齢との間に有意の相関関係が認められた (肝臓:  $r = 0.57 \cdot P < 0.01$ ; 腎臓:  $r = 0.61 \cdot P < 0.01$ ; 筋肉:  $r = 0.61 \cdot P < 0.01$ , Table 2)。CuおよびFe濃度と年齢との間に相関は認められなかった。肝臓におけるHg濃度と年齢との間に相関が認められた ( $r = 0.96 \cdot P < 0.01$ , Table 2)。腎臓および筋肉でも同様の傾向が認められた

(腎臓:  $r = 0.55 \cdot P < 0.01$ ; 筋肉:  $r = 0.48 \cdot P < 0.01$ , Table 2)。

## 3. 元素間の相関関係

重金属は特定元素に親和性のある生体成分と結合して、生体内に共存する元素間で複合体を形成し、臓器に対する重金属の毒性発現を抑制する。元素どうして濃度に相関が認められたのは肝臓のHg–Cuのみであった ( $r = 0.72 \cdot P < 0.01$ , Fig. 2)。筋肉におけるHg濃度には、これらの相関は認められなかった。

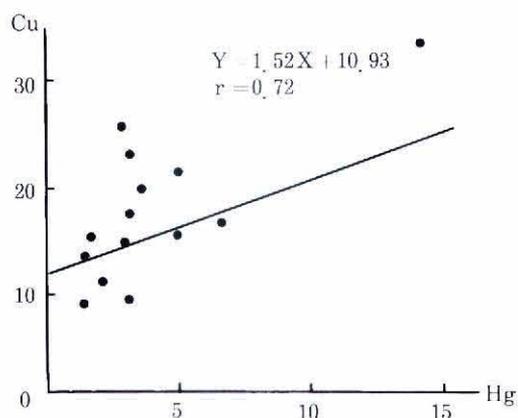


Fig. 2. Relationship between the concentrations of Hg and Cu in Kuril seal liver

### 考 察

環境汚染質としてのCdやHg等は大气、河川水、土壌および海水などの環境中にも存在し、とくに海洋生態系では、海水—プランクトン—魚介類—海産哺乳動物という食物連鎖により高濃度に濃縮される。その毒性については、イタイイタイ病や水俣病に象徴されるように生体に対してきわめて有害であることが知られている<sup>9)</sup>。CdおよびHgは哺乳動物の臓器、とくに肝

Table 2 Relationship between heavy metal concentration and age in the tissue of Kuril seal

	Cd	Cu	Fe	Hg	Mn	Zn
Liver	0.57**	0.27	0.23	0.96**	-0.02	0.35
Kidney	0.61**	-0.25	-0.10	0.54*	-0.09	0.14
Muscle	0.61**	-0.30	0.07	0.48*	-0.09	0.26

\*: P<0.05

\*\* : P<0.01

臓や腎臓といった体内において重要な役割を果たしている器官に多く蓄積されるが、本研究においても同様の傾向を示した(Table 1およびTable 2, Fig. 3)。また、CdおよびHgは、アザラシをはじめとするアシカ・オットセイなどの鳍脚類、クジラ・イルカなどの鯨類、海鳥など、プランクトンや魚介類、イカ・タコなどの頭足類を餌とする生物に多くみられる(Table 3)。なかでも大西洋に生息するハイロアザラシはHgを99.70  $\mu\text{g/g}$ も蓄積している個体が報告されている<sup>10)</sup>。過去、大西洋沿岸の国々では、種子消毒剤としてアルキル水銀が使用され、深刻な環境汚染を招いた経緯もあり、Hgがいまだに環境中を循環していることを示唆している。

また、蓄積される重金属濃度はその動物の食性と密接な関係にある。中岡ら<sup>11)</sup>は、ゼニガタアザラシの胃

Table 3 Concentration of Cd and Hg in marine mammals and sea birds species

Species	Cd		Hg		References
	Kidney	Liver	Kidney	Liver	
<b>Seals</b>					
Ringed seal ( <i>Phoca hispida</i> )	1.19	0.17	2.07	11.90	Pertilla et al. (1986) <sup>(10)</sup>
Gray seal ( <i>Haliochoerus grypus</i> )	0.63	0.04	9.50	99.70	"
Harbour seal ( <i>P. largha</i> )	7.88	3.30	0.26	3.11	Tohyama et al. (1986) <sup>(13)</sup>
Kuril seal ( <i>P. vitulina stejnegeri</i> )	11.50	4.18	0.37	2.26	Tatukawa et al. (1986) <sup>(11)</sup>
Steller sea lion ( <i>Eynetopias jubatus</i> )	20.92*	2.59*	-	-	Hamanaka et al. (1982) <sup>(14)</sup>
California sea lion ( <i>Zalophus californianus</i> )	-	-	6.96	74.10	Buhler et al. (1975) <sup>(15)</sup>
<b>Dolphin</b>					
Striped dolphin ( <i>Stenella coeruleoalba</i> )	24.80	6.26	8.71	205.00	Honda et al. (1983) <sup>(16)</sup>
<b>Seabirds</b>					
Tufted puffin ( <i>Lunda cirrhata</i> )	61.27*	16.42*	-	-	Hamnaka and Koshiro (1980a) <sup>(17)</sup>
Thick-billed murre ( <i>Uria lomvia</i> )	59.16*	12.99*	-	-	"

\*Dry weight

内容物から、このアザラシの食性とその出現頻度を明らかにした。それによると、ゼニガタアザラシは、ミズダコ、コマイ、カジカ、カレイなど主に沿岸部の中層から底層を活動とするタコや魚類を多く捕食し、なかでもミズダコは、胃内容物中の出現頻度が全体の86%を占めていた。北海道立衛生研究所等<sup>108</sup>の調査によると北海道沿岸のHgおよびCd含量はミズダコでH<sub>g</sub>: 0.031~0.048 μg/g、Cd: ND~0.030 μg/g、カジカでH<sub>g</sub>: 0.128~0.197 μg/gおよびマガレイでH<sub>g</sub>: 0.018~0.082 μg/g、Cd: 0.04~0.06 μg/gである。一般にCdは、タコやイカなどの頭足類によって高濃度に蓄積・濃縮されやすく、たとえばイカで81~86 μg/g (乾重量当たり)で、これを多く捕食しているクラカケアザラシの肝臓中のCd濃度が、0.31~1.11 μg/g (乾重量当たり)という報告がある<sup>109</sup>。これらの報告と比較するとゼニガタアザラシに蓄積された重金属濃度は低いレベルにあると考えられる。これは、もともと海水中に含まれる天然のCdおよびHgが生物濃縮によって蓄積されたものがほとんどで、その濃度はバックグランド値に近く、人為的上乗せはほとんどないと考えるのが一般的である<sup>110</sup>。しかし、ゼニガタアザラシが多く捕食しているミズダコおよび魚類の重金属濃度がかなり低いとはいえ、常にCdやHgといった重金属に曝露され続ければ、次第に体内の濃度が上昇していくことは明らかである。立川ら<sup>111</sup>は、このような観点から海産哺乳動物ではCdおよびHgは離乳後、固形食の摂取が始まるとともに蓄積量が急増するが、その後は体重増加など成長による物理的希釈により濃度は一定に保たれ、体重増加が停止後(おおよそ性成熟後)次第に上昇し、長寿命の生物ほど高濃度になることを示唆している。これに対してCu・Fe・Mn・Znは、必須元素として生体内におけるホメオスタシス(恒常性)によって体内の濃度が調節されることから、海洋汚染などの影響を受けにくく、生涯ほぼ一定の濃度を維持することがわかっている<sup>112</sup>。CuやZnは、イオウ(S)に対する親和力が強く、汚染元素のCdやHgと同じような挙動を示す。ゼニガタアザラシでは、肝臓におけるHgとCuが同様の傾向にあった(Fig. 3)。このような傾向は、哺乳動物全般でよく知られており、たとえば、他のアザラシなどの肝臓でHg: Se(セレン)のモル比が1:1であることがわかっている<sup>113</sup>。海産哺乳動物は、比較的高濃度のCdやHgを摂取・蓄積しているにもかかわらず、

中毒になることがほとんどないといわれている。これは生体防御機構におけるメタロチオネンによってCd・Hgの不活性化複合体がつくられるためであると考えられている。また、ゴマフアザラシは肝臓および腎臓におけるメタロチオネンの濃度とCdの濃度とは、正の相関関係にあることから、メタロチオネンが重金属の代謝に大きく関与していること、アザラシが重金属の曝露に対して、高水準の耐性を持っていることなどがこれまでの研究で示唆されてきた<sup>114</sup>。しかし、その詳しいメカニズムまではわかっておらず、今後の課題とされている。

これまでに多くの公害病を経験してきたわが国では、公害発生後有害物質に基準値や規制値を設け、公害防止に努めてきたにもかかわらず、繰り返しいくつかの公害病が多くの人々を苦しめる結果を招いた。欧米諸国でも同様にHgによる環境汚染を経験し、いまだに魚類やアザラシから高濃度のHgが検出されている。人為的かつ大量に放出された重金属は、海洋生態系がもっている複雑な食物連鎖の中を常に循環し続けており、われわれ人間に影響が及ぶ危険性をはらんでいる。現在、重金属は比較的容易にモニタリングできることから、工業地帯から排出される有害な重金属が環境に大量に放出されることは少なくなった。しかし、北海道などに多く見られるパルプ工場や製紙工場、鋳工業などが盛んで、常に重金属汚染の危険が潜在している地域では、厳しい監視の目と汚染防止の努力が必要である。

## 参考文献

- (1) 近藤次郎:「環境科学読本」, 東洋経済新報社, 1984, 72.
- (2) D.E. GASKIN, R.E. FRANK, M. HOIDRINT, K. ISHIDA, C. J. WALTON and M. SMITH: Mercury, DDT and PCB in Harbour Seal (*Phoca vitulina*) from the Bay of Fundy and Gulf Maine., **30** (3), 475~475 (1973).
- (3) H.E. DRESCHER, U. HARMS and E. HUSCHENBETH: Organochlorines and Heavy Metals in the Harbour Seal *Phoca vitulina* from the German North Sea Coast., *Marine Biology*, **40**, 99~106 (1977).
- (4) A.V. HOLDEN: The Accumulation of Oceanic Contaminants in Marine Mammals., *Rapp.*

- P. -v. Reun. Cons. int. Explor. Mer.,  
169, 353~361 (1979).
- (5) 鈴木正嗣, 山下忠幸: ゼニガタアザラシの性成熟と発育段階区分, 「ゼニガタアザラシの生態保護」, 東海大学出版会, 1986, 179~195.
- (6) K. RONALD, R. J. FRANK, R. FRANK and H. E. BRAUN: Pollutants in Harp Seals (*Phoca groenlandica*), II, Heavy Metals and Selenium, The Science of the Total Environment, 38, 153~166 (1984).
- (7) 公害分析指針: 食品編1-a, 共立出版, 1972, 1~27.
- (8) JISハンドブック: 公害関係, K 0102, 1985, 877~879.
- (9) 不破敬一郎: 「生体と重金属」, 講談社サイエンスフィク, 1981.
- (10) M. PERRILA, O. STENMAN, H. PYYSALO and K. WICKSTOROM: Heavy Metals and Organochlorine Compounds in Seals in the Gulf of Finland, Marine environmental Research, 18, 43~59 (1986).
- (11) 立川 涼, 田辺信介, 河野公栄, 本田克久: 北海道東部沿岸で捕獲されたアザラシ類の重金属および有機塩素化合物, 「ゼニガタアザラシの生態と保護」, 東海大学出版, 1986, 103~125.
- (12) 中岡利泰, 浜中恒寧, 和田 一雄, 棚橋恵子: ゼニガタアザラシとゴマフアザラシの食性, 「ゼニガタアザラシの生態と保護」, 1986, 103~125.
- (13) C. TOHYAMA, S. HIMENO, C. WATANABE, T. SUZUKI and M. MORITA: The Relationship of the Increased Levels of Metallothionein with Heavy Metal Levels in the Tissue of the Harbor Seal (*Phoca vitulina*), Ecotoxicology and Environmental Safety, 12, 85~94 (1986).
- (14) T. HAMANAKA, T. ITOO, and S. MISHIMA: Age - Related Change and Distribution of Cadmium and Zinc Concentrations in the Steller Sea Lion (*Eumetopias jubata*) from the Coast of Hokkaido, Japan., Marine Pollution Bulletin, 13 (2), 57~61 (1982).
- (15) D. R. BUHLER, R. R. CLAEYS and B. R. MATE: Heavy metal and Chlorinated Hydrocarbon Residues in California Sea Lions (*Zalophus californianus californianus*), Journal of Fisheries Research Board Canada, 32 (12), 2391~2396 (1975).
- (16) 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 (12), 3011~3021 (1982).
- (17) 浜中恒寧, 小城春雄: ニホン海洋学会春季大会講演会要旨集, 1980, 156~157.
- (18) 北海道衛生研究所: 北海道栄養食糧学会誌, 20, 68 (1974).
- (19) T. HAMANAKA, H. KATO and T. TSUJITA: Cadmium and Zinc in Ribbon seal, *Histiophoca Fasciata*, in the Okhotsk Sea., Res. Inst. N. Pac. Fish., Hokkaido Univ., 547~561 (1977).
- (20) J. H. KOEMAN, W. H. M. PEETERS, C. H. M. KOUDESTAAL-HOL, P. S. TJIJIE and J. J. M. GOEIJ: Mercury and Selenium Correlations in Marine Mammals, Nature, 245, 385~386 (1973).
- (21) 鈴木継美: 微量元素の生態学と疫学, 「微量元素と生体」, 秀潤社, 1987, 21~31.
- Res. Bull. Obihiro Univ., 1, 17 (1992):437~442