

## 南氷洋ミンククジラの保護・管理・合理的利用をめざした食性・回遊・繁殖生態解明の試み: 環境汚染物質をトレーサーとした化学生態学的アプローチ

Ecochemical approach using persistent environmental contaminants as tracers to understand the feeding, migratory and reproductive characteristics of southern minke whale aimed at their conservation, management and reasonable whaling

代表研究者	愛媛大学農学部教授 Prof., Fac. of Agriculture, Ehime Univ. Ryo TATEKAWA	立川 涼
協同研究者	徳島大学医学部教授 Prof., Sch. of Med., Tokushima Univ. Shiro SAITO	斉藤 史郎
	東京大学農学部助教授 Assoc. Prof., Fac. of Agriculture, Univ. of Tokyo Motono YAMAZAKI	山崎 素直
	愛媛大学農学部助教授 Assoc. Prof., Fac. of Agriculture, Ehime Univ. Shinsuke TANABE	田辺 信介
	愛媛大学農学部教務補佐員 Res. Assoc., Fac. of Agriculture, Ehime Univ. Katsuhisa HONDA	本田 克久

The southern minke whale, *Balaenoptera acutorostrata*, has been of great concern as a last target species of Antarctic commercial whaling under the international controversy in connection with conservation and exploitation of their resources. Due to such a situation, large number of reports regarding their ecology and biology are available at present. However, there is not much comprehensive information and consensus among scientists about some important biological parameters of this species. Hence, the outlook for elucidating them is rather bleak as far as using a common approach. The present study is a new attempt using persistent environmental contaminants such as heavy metals (Hg, Cd etc.) and organochlorines (PCBs and *p, p'*-DDE) as chemical tracers to evaluate several biological and physiological aspects of this species. During the course of this study, the following results were obtained.

1) As a preliminary study using heavy metals as tracers, their distribution in the organs and tissues were examined. In general, the residue levels of heavy metals were found to be high in liver and kidney. However, in view of their whole body burdens, muscle revealed greater quantity of residues due to a larger proportion of this tissue in the body weight.

2) Taking account of the above observations, age trends of heavy metals were surveyed. Unlike the essential elements such as Mn, Zn, Cu which revealed no variation of residue levels with age, the toxic heavy metals such as Cd and Hg showed considerable increase in concentrations until 10 years old and then gradual decrease. This is a specific pattern seen only in the minke whale, but not in other marine mammals, suggesting the accelerating uptake of Cd and Hg

through feeding due to the increase of krill biomass resulting from a marked decrease of other baleen whale resources by the commercial whaling.

3) According to a mathematical model based on the mercury residues to interpret the historical change in feeding rate of krill by minke whale, it was estimated that the present animals are feeding them about 50% more in quantities than previous ones 30 years ago. This implies that the artificial disturbance of ecosystems like uncontrolled whaling cause changes not only to structure and population of biosphere but also to enhance the accumulation and effects of toxic chemicals in some animals by means of increasing their food consumption.

4) Above concern regarding increasing intake of toxicants was found in the residues of Cd which showed high concentration and unusual age-dependent accumulation like decreasing levels in aged animals. In order to understand the specific accumulation and possible toxic effects of Cd, the present status of this metal in liver and kidney was examined using gel-permeation method. Interestingly, larger proportion of Cd in renal cortex contained metallothionein. The particular status variation of Cd as well as Zn with this protein were suggested in the alternate process of starvation and feeding. Furthermore, the present status of Cd in kidney is changeable over its residue level of  $0.4 \mu\text{mol/g}$  on wet weight basis due to the decreasing potency to form Cd-metallothionein. These observations provide an useful information to resolve the kidney lesion caused by Cd exposure.

5) Beside heavy metals, persistent organochlorines were also detected in wide range of age classes in the southern minke whale. The linear increasing trend of PCB and DDE concentrations with age was observed in male animals. In contrast, female animals over 8 years old revealed low residue levels of these contaminants. This fact indicates that the lactational transfer of persistent organochlorines from mother to newborn calf start from this age and hence the female animals are likely to reach the sexual maturity around 7 years old when taking account of a gestation period of 10 months. The present observation strongly supports a previous hypothesis that the age of sexual maturity of southern minke whale has been gradually decreasing since 1940 and presently keeping a steady state about 7 years old. Moreover, it was also estimated that the female animals cease reproduction around 40 years old since their organochlorine residue levels start to increase after this age. These informations on reproduction are key factors to estimate the minke whale resources and hence expected to be useful for the conservation and management of these animals.

6) In order to understand the population structure and migratory pattern of southern minke whale, organochlorine residues were determined in male animals collected from different whaling grounds of Areas IV ( $70^{\circ}\text{E}$ - $130^{\circ}\text{E}$ ), V ( $130^{\circ}\text{E}$ - $170^{\circ}\text{W}$ ) and VI ( $170^{\circ}\text{E}$ - $120^{\circ}\text{W}$ ) in the Antarctic Ocean. Consequently, significant higher values of DDE were observed in Area IV than in Area V and VI. This difference indicates that the population of southern minke whale consists of several groups with inherent migratory pattern. Further investigations also suggest the possible feeding and longer stay of immature animals in lower latitudes because younger minke whales have similar ratios of DDE/PCB concentrations to those of marine mammals inhabiting lower latitudes. These observations imply that the planless whaling in specific areas may impose a lot of time to recover the local population of minke whale.

7) On the other hand, minke whales from northern hemisphere (near Japan) were also analyzed and compared with southern ones regarding the residue levels of organochlorines. The concentrations of PCBs and DDE were apparently higher in northern minke whales than in southern ones and lower chlorinated members of PCBs were relatively enriched in latter animals. Such patterns reflect the difference in feeding habits between northern and southern minke whales as well as a fact that these chemicals were largely produced and widely used in northern hemisphere in comparison with southern one.

---

## 1. はじめに

南極海はオキアミを鍵種とする比較的単純な食物連鎖をもつことから、重金属や農薬など、化学

物質の生物濃縮現象やその生体(態)影響を理解しやすい。南極生態系の中でもミンククジラは食物連鎖の高位に位置し、かつ長寿命であることから

食物連鎖や年齢、雌雄による化学物質蓄積過程を研究する上で有用である。南極地方は人間活動の中心から遠いため、化学物質の環境動態は人間活動による変動が少なく、主として自然条件に支配された化学物質の大気、水での挙動、あるいは生態系を巡る動態を明らかにするのに最適の場である。しかも、南極地方はこれまで化学物質研究の中心であった北半球温帯域とは異なる自然条件をもち、地球汚染という視野の中でこれまで未開拓であった地域の化学物質の動態や影響についての情報が提供できる。また化学質の中でも、Hg, Cdといった重金属やPCB, DDTで代表される有機塩素化合物は地球上を広く汚染し、環境残留性が強く、多様な物理化学性や生体内安定性をもつため、地球化学的な自然現象や野生生物の生理・生態を解き明かす化学指標として活用できる。

ミンククジラは南氷洋最後の商業捕鯨対象種として注目を集め、資源の利用と保護をめぐる国際的な論争が続いてきたこともあり、その生態については膨大な研究成果の蓄積があるが、従来の研究手法では手がかりが得られにくい生物学上の難題も少なくない。ここでは、保存性化学物質によるミンククジラの汚染について報告するとともに、その残留濃度や組成を厳密に解析することにより、本種の繁殖生態、回遊行動、個体群の分布と構造などの生物過程について化学的な接近を試みたので併せて報告する。

## 2. 試料と方法

### 2.1 試料

南半球産ミンククジラは1984/85年及び1985/86年に南氷洋で捕獲した。1000頭を越える試料は脂皮、筋肉、骨、肝臓、腎臓など組織・器官部位別に採取し、 $-20^{\circ}\text{C}$ で冷凍保存した。対比のため、北半球産ミンククジラ10頭も供試した。

南半球産ミンククジラの年齢は、Lockyer (1984)の方法に従い耳垢の成長層を計数することにより査定した。本種の年齢査定は、加藤秀弘博士(財団法人日本鯨類研究所、現在遠洋水産研究所)によって行われ、体長・脂皮厚などの情報は、日本共同捕鯨株式会社より提供していただ

た。なお、北半球産ミンククジラは耳垢栓の成長層が形成されないため、年齢査定はできなかった。さらにミンククジラの餌であるオキアミは捕獲個体の胃から採取し、同じく $-20^{\circ}\text{C}$ で冷凍保存した。

### 2.2 化学分析

保存冷凍試料から研究目的に応じ、それぞれ適当数の組織試料を分析に供した。重金属は酸分解後、原子吸光光度法で測定した。メタロチオネインの分析には、肝臓と腎臓を用い、超遠心分離法により上清(細胞質)画分と残渣(核、リソゾームなど細胞小器官を含む)画分に画分し、上清画分についてはさらにゲルろ過法によりタンパク質画分を行い、高分子量(HM)、MT、低分子量画分の3画分を得た。残渣画分についてCd, Zn, Cuの濃度を原子吸光光度法により測定した。

有機塩素化合物(PCBとDDE)の分析は常法に従い、アルカリ分解後適宜クリーンナップを行い、HR-GCまたはHR-GC-MSにより定量した。

## 3. 南極生態系における重金属の動態

### 3.1 蓄積特性

複雑な生理機能を営む組織・器官を持つ哺乳動物の重金属蓄積を理解するには、まず、金属の組織・器官分布の特性を明らかにし、目的に応じた組織・器官を選ぶ必要がある。また、生体内あるいは生態系における金属の動態を把握するには、金属の濃度だけでなく負荷量についても検討する必要がある。そこで、南半球産ミンククジラの組織・器官における金属の濃度と負荷量を求め、金属蓄積の組織・器官分布の特性について明らかにした。

一般に、成熟個体の重金属濃度は、肝臓と腎臓に高く、脂皮に低い傾向を示した。この傾向はCdで顕著であった。しかしながら、MnとZnは骨に、またCdは脾臓にも高濃度であり、元素ごとに組織ごとに特徴的分布が認められた。金属の体内総負荷量の大半は、体重の約50%を占める筋肉に存在したが、FeとCdは肝臓に、MnとZnではそれぞれ約40%と約60%が骨に存在した。以上のことにより、ミンククジラの重金属蓄

積を研究する場合、目的により組織・器官の選択基準は異なるが、重金属蓄積とその生体(態)影響を研究するには、一般には、金属を高濃度に蓄積する肝臓・腎臓と重金属負荷量割合の高い筋肉について分析する必要があることが分かった。

この結果を基に、筋肉・肝臓・腎臓の3組織を選び、重金属蓄積の加齢・雌雄・回遊及び生息域による変動について検討した。その結果、必須元素であるMn・Zn・Cuは、一般に、組織の恒常性により年齢やサイズで大きく変動することはなかった。しかしながら、筋肉と肝臓中のFe濃度は、肉体的成熟に達する15ないし20歳まで加齢に伴って急速に上昇した。特に、肝臓中Feが7000 ppm以上にも達することは、他の海産哺乳類には認められず、ミンククジラの種特異的濃縮と考えられる。

一方、毒性金属であるCdとHgの濃度は約10歳まで加齢とともに急増したが、その後の上昇は比較的小さく、肝臓と腎臓中Cd濃度では約20歳まで減少が認められた。こうしたCdとHgの加齢に伴う蓄積変動は、これまでの海産哺乳動物には認められていない。これは、商業捕鯨による大型ヒゲクジラ資源量の減少に伴いオキアミ余剰が生じ、結果としてミンククジラのオキアミ摂餌量が近年増大し、CdとHg蓄積が加速されたためと考えられる。

胎児の金属体内総量は母親のそれに比べて小さく、したがって妊娠・出産により母親の体内量が大きく変動することはなかった。しかしながら、いくつかの組織には雌雄差が認められた。筋肉中Fe・Zn、肝臓中Zn・Cu・Cd、腎臓中Znは雌に高く、一方、肝臓中Fe・Mnと腎臓中Mn・Cuは雌に低かった。しかし、この雌雄差は、ミンククジラの年齢や成長段階・雌の性状態の違いなどによりいくつかの特徴が認められた。例えば、筋肉中Fe濃度は全年齢を通じて雌に高かったが、肝臓中Fe濃度は性成熟(7歳)以後に限り雌に低かった。また、肝臓中Cd濃度の雌雄差も性成熟以後に現れ、しかも、その差は加齢とともに増大した。妊娠雌の肝臓中Cu濃度は非妊娠雌に比べて高く、胎児体長の増加とともに減少した。これは母

親のCu要求量が妊娠初期に増加し、その後、Cuは胎児に移行するためと考えられる。

さらに、腎臓ではCdとZnの関係に雌雄差が認められた。雄のZn濃度はCd濃度の増加と共にほぼ等モルで増加したが、雌の場合、そのZn濃度の増加は約2 molであり、Zn誘導が雌に大きいことが初めて明らかにできた。このことは、腎臓中Cdの存在形態が雌雄で異なることを予想させ、Cdによる毒性発現の機構を解明する上で有用である。

### 3.2 海域及び回遊による変動

ミンククジラは南極海に広く分布し、しかも、集団ごとに回遊の時期や海域が異なる可能性もある。そこで捕獲時期と捕獲海域による重金属蓄積の差異について検討した結果、Mnは捕獲時期、Cdは生息海域による違いが認められた。肝臓中Mn濃度は脂皮厚の増加とともに減少した。Mnは脂質代謝と関係することから、南極海へ回遊した後の摂餌により、脂質代謝が大きく変化したためと考えられる。また、肝臓と腎臓中Cdはオーストラリア区のものに比べ、西太平洋区のものに高く、南極海での滞在期間、つまり摂餌量の違いによると考えられる。

### 3.3 南極生態系の変動とそのミンククジラへの影響

南極海は、海産哺乳類や海鳥が直接オキアミを捕食するといった比較的単純かつ短い食物連鎖をもつことから、重金属の生物濃縮も、海水→オキアミ→魚類・哺乳類・鳥類といった線形の食物連鎖によりほぼ実態を掴むことができる。そこで、ミンククジラを生態系の一員として捉え、重金属蓄積と生態系構造の関係について検討した。

海水中のHgは、まずプランクトンに濃縮され、その後、食物連鎖によって栄養段階の低位から高位の生物へと濃縮される。一方、Cdは食物連鎖による濃縮だけでは説明できず、ある種の動物プランクトンやイカに高濃度に蓄積されており、その蓄積は種特異的であった。したがって、Cdで高く、Hgで低いミンククジラの重金属蓄積の特徴は、栄養段階が低く、Cd濃度が高いオキアミを摂餌することによっている。これらのこと

より、南極海生態系における重金属の生物濃縮は、Cdで高く、Hgで低い特徴があるといえよう。

しかしながら、こうしたHgやCdの濃縮は、生態系構造の変化によって影響を受ける。商業捕鯨による大型ヒゲクジラの資源量の減少は、オキアミの余剰を生じ、このためヒゲクジラの生理・生態が変化したとされており、これと関係してミンククジラのHgやCd蓄積には近年の加速があると考えられる。そこで、Hg蓄積モデルより、ミンククジラのオキアミ摂餌量の歴史変化について検討した結果、最近10年間のミンククジラの摂餌量は、過去30年以前のものに比べ約1.5倍に増加したと推定された。このことは、環境中への重金属の放出がなくとも、生態系の人為的攪乱がミンククジラの生理・生態を変化させただけでなく、CdやHgの蓄積を増大させたことを示している。特にCdについては、高濃度に蓄積し、かつ加齢に伴って濃度が減少するなど異常蓄積が認められ、その毒性発現も懸念される。オキアミのCdなど重金属濃度に海域及び季節変化のあることを明らかにしたが、試料の制約から、この変化をミンククジラの取込みモデルに使用するまでには至らなかった。今後、適切な試料が入手できれば、餌分析を通じてこれまでの生態調査では解決しにくいミンククジラ集団の分布や回遊周期などにも接近できよう。

### 3.4 メタロチオネイン

最後に、異常蓄積が認められたCdについて、その存在形態をゲルろ過法により明らかにし、これまでの知見とも併せて、Cdの生体内動態と毒性影響について考察した。

腎皮質中Cdの68%とZnの47%が、10,5000×g上清に存在し、上清中Cdの85%とZnの53%がメタロチオネイン画分に存在した。このことは、腎皮質中のCdの大半がメタロチオネインと結合して存在することを意味する。また、メタロチオネイン画分ではCd濃度の増加に伴ってZn濃度が増加し、その増加率はほぼ4:3から3:4のモル比であったことから、CdとZnは腎臓メタロチオネインに対してほぼ等モルで結合するこ

とが分かった。

しかしながら、このCdに対するZnの増加率は脂皮厚の増加とともに減少し、同時に高分子画分のZn濃度の減少が認められた。これは、摂餌に伴ったCd取り込み量の増加により、Cd-メタロチオネインの合成が亢進し、Zn要求量が高まったためと考えられる。いずれにしても、絶食を伴った回遊によって、Cdの存在形態やZn量が変化することを初めて指摘するものであり、CdやZnの生体内挙動を考える上で新たな知見となった。

また、メタロチオネイン画分のCd濃度が約0.25 μmol/wet g (腎臓中Cd濃度、約0.4 μmol/wet g)を越えると、メタロチオネイン画分中のCdに対するZnの増加率が減少し、しかも、高分子画分にCdの増加が認められ、Cdの存在形態が変化することが分かった。このことは、Cd-メタロチオネインの合成能力が、限界に達し、それ以上では高分子蛋白と結合するCdが新たに出現することを示しており、Cd蓄積と腎障害発現との関連を考える上で有用な情報となった。

## 4. 南極生態系における有機塩素化合物の動態

### 4.1 蓄積特性

北半球産および南半球産の雄ミンククジラから検出されたPCBおよびDDEの残留濃度には明瞭な南北差が認められ、南半球産の個体に比べ北半球産のものは2桁程度高い値を示した。南北太平洋およびその隣接海域の海水および歯鯨類の調査結果では、北半球の汚染は南半球に比べ格段にすすんでおり、とくに北半球中緯度付近には、汚染の極大域の存在することが明らかにされている。また外洋生態系の汚染は、大気を媒体とした陸域から外洋への汚染物質の長距離輸送、表層海水への流入、プランクトン、魚介類、高等動物といった食物連鎖を通じた生物濃縮の過程を経て進行することも知られている。したがって、地球規模での生態系汚染の態様は、濃縮の出発点である大気や海水の汚染が決めると考えてよい。歯鯨類ばかりでなくミンククジラなどのヒゲ鯨類でも認められた汚染の南北差は、北半球先進諸国における活発な産業活動の影響に加え、南北半球間にお

ける大気や海水の交換が緩慢なため、そこでの汚染物質の使用がそのまま外洋に反映されていることを示しており、地球規模での化学物質の輸送様式が生態系汚染の態様にまで影響を及ぼす例として注目される。

ヒゲ鯨に関する既存の文献を整理し今回の調査結果と比較してみたところ、日本近海で捕獲した北半球産のミンククジラの残留濃度は、グリーンランド産のものとはほぼ同レベルであったが、局所的な汚染の影響があると思われるセントローレンス川近海の個体や地中海産の個体と比べると明らかに低い。また他のヒゲ鯨類（シロナガスクジラ、ナガスクジラ、ザトウクジラ、イワシクジラなど）と比較しても、局所汚染域を除けばその濃度は類似している。南半球産ヒゲ鯨類のDDE残留濃度も、種間の変動は小さい。なお、南半球産ヒゲ鯨類についてPCBを検出した報告はないと思われ、今回の南水洋産ミンククジラの実測値は汚染の態様を明らかにした最初の例であろう。

ところでPCBの残留組成を南北両半球産のミンククジラの間で比較したところ、南半球産のものは、検出された異性体・同族体の数が多いことに加え、置換塩素数の少ないPCB成分が相対的に富化していた。一般に有機塩素化合物は食物連鎖を経て動物体内に蓄積し、高次の生物ほど残留濃度は高くなることが知られている。またPCBの組成は、高次の生物ほど置換塩素数の多い成分の残留割合が増大する。ところで、ミンククジラは基本的にオキアミ食性であるが、同じヒゲ鯨類のシロナガスクジラやナガスクジラに比べると餌組成のなかに占める魚類の割合が高いといわれている。とくに北半球に分布しているミンククジラは、ホッケ、スケソウなどの魚類をかなり摂取することが指摘されている。一方、南半球のミンククジラは、シロナガスクジラなどの乱獲に伴う鯨資源の減少により、その生態学的地位を拡大した結果、オキアミ食性がさらに強くなったと考えられている。例えば、南水洋産ミンククジラの胃内容物は、すべてナンキョクオキアミであったという報告もある。以上の知見から考えると、南北ミンククジラで認められたPCB組成の差は、両者

の食性の違いが主因と思われる。

#### 4.2 生殖過程解明の試み

一般に、生物資源の有効な活用と生態系保全との調和を図るには、資源量の変動や推移の理解が欠かせない。この際、生殖にかかわる知見は重要な基礎情報となるが、ミンククジラの場合まだ解明されていない課題あるいは検証の必要な問題点がいくつか残されている。

ところで、今世紀初頭から始まった南水洋における鯨類の乱獲により、商用価値の高いヒゲ鯨の資源量が激減したことは周知のとおりである。一方で当時捕鯨の非対象種であり、オキアミ捕食上他のヒゲ鯨類と競合関係にあったミンククジラは、摂餌量が増大し栄養条件が高進したため性成熟年令の低下がすすみ、その結果資源量の大幅な拡大につながったと考えられている。すなわち、耳垢栓にみられる変移層の解析結果によると、ミンククジラの性成熟年令は1940年当時は12~13才であったが、1970年代初頭には7~8才前後にまで低下したことが指摘されている。しかし、現在本種の商業捕鯨が国際的な問題になっているだけに、この研究結果に対する反論も根強いものがあり、新たな科学的根拠の集積が求められている。そこで、PCBおよびDDEを指標にして、ミンククジラの性成熟年令の推定を試みた。

ところで、鯨類の場合、授乳による有機塩素化合物の母子間移行量が極めて多いため、性成熟年令に達するとその蓄積濃度に顕著な雌雄差を生ずることが知られている。したがって、加齢に伴う有機塩素化合物の蓄積変動を厳密に解析し雌雄を対比すれば、少なくとも雌の成熟年齢を推定することができる。そこで、南水洋で捕獲したミンククジラについて年齢と有機塩素化合物の蓄積量との関係を調べてみたところ、雄の残留濃度は直線的に増大しているのに対し、雌は8才前後から減少傾向を示した(Fig. 1)。ミンククジラの妊娠期間がほぼ10ヵ月であることを考慮すると、有機塩素化合物を指標として見積もった本種の性成熟年令は7才前後ということになり、生物学的方法による推定年齢、すなわち性成熟年令が低下し、現在では7~8才が妥当であるとする指摘を支持

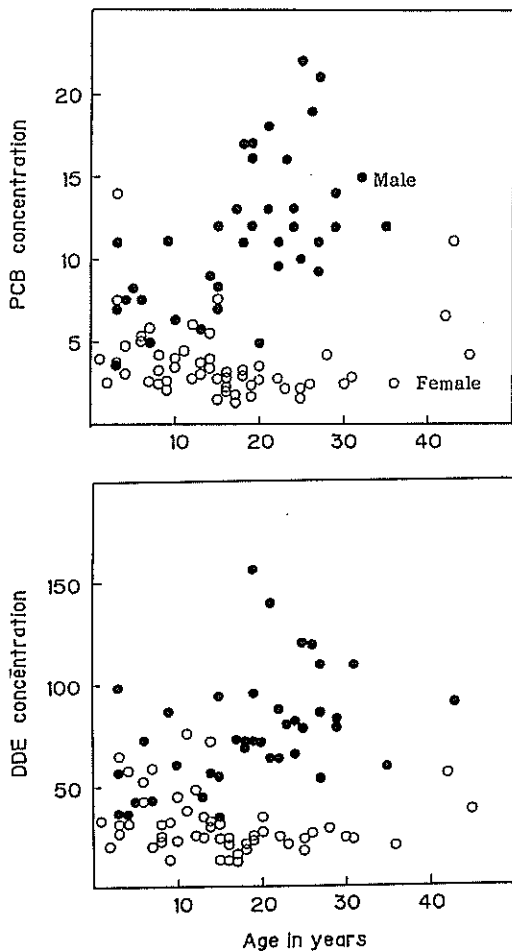


Fig. 1. Age trends of PCB and DDE concentrations (ng/g wet wt.) of Southern minke whales.

する結果が得られた。また同時に、ミンクジラの体長と有機塩素化合物の蓄積量との関係も調べてみたところ、8 m 前後の体長を境にして雌雄差が顕著になっており、このあたりが性成熟体長とするならば、これも生物学的手法を用いた先の研究結果(7.6~8.1 m)とよく一致している。

ところでミンクジラの寿命はおよそ45才と推定されているが、妊娠・出産を停止する年齢についてははっきりしていない。加齢に伴うPCBおよびDDE蓄積量の変化をみると(Fig. 1), 雌は40才を越える個体で明らかな高濃度分布が認められ、このあたりの年齢から授乳を通してのこれ

ら汚染物質の排泄がないこと、つまり妊娠・出産が行われていないことを示唆している。高齢での生殖活動の停止は、他の海生哺乳動物でも指摘されており、有機塩素化合物を指標にして推定されたものも多い。性成熟年齢とともに生殖活動を停止する年齢も資源量推定の重要な鍵となるため、ここで得られた結果はミンクジラの有効な利用と保護のための有力な基礎情報として活用できよう。

#### 4.3 回遊行動解明の試み

ミンクジラをはじめ南半球産ヒゲ鯨類の多くは、一般に大規模な回遊を行う。その様式は、低緯度海域で冬季繁殖活動を展開したあと、夏季には索餌のため高緯度海域に移動する。しかし、その回遊パターンは、成熟個体と未成熟個体で異なることが示唆されている。観察記録やエネルギー学的研究によると、未成熟個体は比較的長く低緯度海域にとどまり若干の摂餌行動を営むが、高緯度海域つまり南水洋の奥深くまでは回遊しないものと推察されている。そこで、有機塩素化合物の蓄積濃度を解析することにより、回遊行動の検証を試みた。

これまでの研究により、南半球に分布する海生哺乳動物のDDE/PCB比には生息域によって違いがあり、南水洋を摂餌海域としているウエッデルアザラシやミンクジラの成熟個体は、低緯度海域の小型歯鯨に比べると小さい値を示すことが明らかにされている。これは、PCBに比べDDTによる海水の汚染が低緯度海域ほど進んでいることを反映している。したがってこのDDE/PCB比は、動物の摂餌海域を推定する指標として活用できる。そこで、ミンクジラの未成熟個体について化学分析を試みDDE/PCB比を求めたところ、低緯度域の小型歯鯨類に比べれば低い値を示したものの、ミンクジラ成熟個体やウエッデルアザラシより高い値が得られた。この結果は、ミンクジラの未成熟個体は、成熟個体に比べ低緯度海域での摂餌量が多いことを示しており、生物学的観察による推定、すなわちミンクジラは成長に伴って回遊パターンを変えることを検証することができた。

#### 4.4 個体群構造解明の試み

ミンククジラの資源量を推定する際、最も重要と思われる情報は個体群の構造であろう。国際捕鯨委員会 (IWC) は、南氷洋の捕鯨対象区を六つに分けてミンククジラの資源量を推定している (Area I: 60°-120°W, Area II: 0°-60°W, Area III: 0°-70°E, Area IV: 70°-130°E, Area V: 130°-170°E, Area VI: 170°-120°W)。この海区は、ミンククジラの分布や行動生態が充分理解されていないため、ザトウクジラなど当初捕鯨対象となっていたヒゲ鯨類の分布を参考にして作られたもので、便宜上この様式に従って今なお資源量の推定が行われている。したがってミンククジラの個体群構造の詳細を早急に明らかにし、現行の海区分けを科学的根拠に基づいて再検討することにより、本種の適切な保護・管理対策を構築することが望まれている。そこで本研究では、有機塩素化合物を指標にしてこの課題にも接近してみた。

本研究の対象としたミンククジラは、海区 IV (70°-130°E), V (130°E-170°W), VI (170°E-120°W) で捕獲したもので、出産・授乳などの生殖過程による蓄積量の変動を避けるため、化学分析には成熟雄 (15 才以上) を用いた。その結果 Fig. 2 に示すように、PCB 濃度には海区間の差は認められなかったが、DDE 濃度には明らかな違いが観察された。海区 IV のミンククジラの DDE 残留濃度には明らかな違いが観察された。海区 IV のミンククジラの DDE 残留濃度は他の海域に比べると有意に低く、また海区 V は統計的に有意な差ではなかったが、海区 VI より低値を示した。また、DDE/PCB 比にも三海区間で有意な差が認められた。

ところで、本研究に供したミンククジラの検体は、同一時期に捕獲されたものでなく、海区 VI から捕鯨が始まり順次西に向かって操業を続け最後に海区 IV で捕獲したものを含んでいる。したがって、捕獲時期の遅い検体ほど南氷洋で長く摂餌行動を営んでいたことになるため、脂皮が厚くなる傾向にある。こうした脂皮厚の増大は、汚染物質を希釈し蓄積濃度の低減を導く可能性がある。しかし本研究結果の場合、DDE の濃度は海区

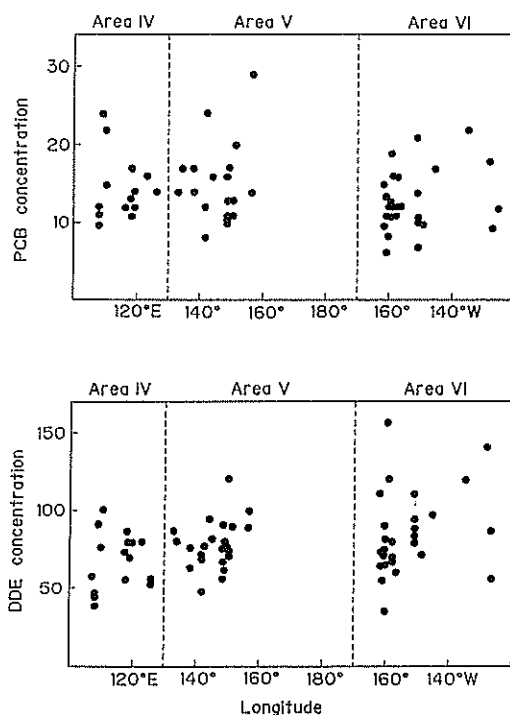


Fig. 2. Variations of PCB and DDE concentrations (ng/g wet wt.) in Southern minke whale from different locations.

VI から海区 IV に向けて低下したものの PCB は別のパターンを示しており、脂皮厚の差が有機塩素化合物の蓄積量に有意な影響を及ぼしたとは考えにくい。以上のことから判断すると、本研究に供したミンククジラは、DDT 暴露条件の異なる個体群を含んでいる可能性が高い。

有機塩素系殺虫剤 DDT の生産と使用は、1970 年代以来先進工業国を中心に規制されてきたが、低緯度地域の開発途上国では、依然としてこの種の薬剤を利用している国が少なくない。また、ミンククジラの捕獲海域に近オーストラリアでも DDT の使用が続いており、こうした現状は、中・低緯度ばかりでなく、南氷洋における汚染分布も不均質とし、残留濃度に海域差を生む要因となるように思われる。したがって本研究で観察された結果、つまり DDE の濃度に海域差が認められるという事実は、ミンククジラの回遊や摂餌行動が不規則で広い範囲に及ぶものでなく、独立した個



体群が存在しそれぞれは固有な行動を営んでいることを示唆している。このことは、特定の場所でミンククジラの資源を乱獲すると、その海域の個体数が回復するのに予想外の時間がかかることを示唆している。

#### 4.5 まとめ

南氷洋最後の商業捕鯨対象種として注目を集めたミンククジラの生態については膨大な研究成果があるが、従来の研究手法では手がかりが得られにくい生物学上の難題も少なくない。そこで本研究では、有機塩素化合物 (PCB と DDE) を化学指標として用いた新しい接近法により、本種の生殖過程、回遊行動、個体群構造などの未解決課題にとりくみ、以下のような知見を得た。

まず、南氷洋で捕獲したミンククジラについて PCB および DDE の年齢変動を調べたところ、雄の残留濃度は加齢とともに増大したが、雌は 8 才以降減少傾向を示した。一般に海生哺乳類の雌は、授乳により多量の有機塩素化合物を排泄するため、性成熟年齢に達するとその蓄積量に明瞭な雌雄差が認められる。この点に着目して、ミンククジラの性成熟年齢を推定したところ 7 才前後と見積もられ、この年齢は生物学的方法を用いた予測結果、すなわちミンククジラの性成熟年齢は 1940 年以降低下し、現在では 6-7 才が妥当であるという仮説を支持している。さらに、ミンククジラの雌は、40 才を越えると残留濃度が高くなり、授乳による有機塩素化合物の排泄が低減するためと考えられた。このことにより、本種の繁殖

停止年齢は 40 才前後と見積もられた。

ところで、南氷洋の捕鯨指定海区 IV, V および VI で捕獲した成熟雄の DDE 濃度は、海区 IV から VI に向けて上昇する傾向を示した。DDT の使用は、一部の開発途上国で今なお続いており、海域汚染の現状は均質でないことが予想される。したがって、ここで認められた残留濃度の違いは、各海区のミンククジラ個体群が固有な回遊ルートをもつことを暗示しており、資源の保護・管理上考慮されねばならない事象と思われる。ところで、南半球に生息する海生哺乳類の DDE/PCB 比は低緯度の個体に比べ南氷洋産のものは低い値を示す。そこで、ミンククジラの DDE/PCB 比を計算したところ、成熟個体に比べ未成熟個体で高い値が得られ、両者の回遊・摂餌行動は成長とともに変化し、若い個体ほど暖水域で捕食・回遊する期間が長いものと推察された。さらに、北半球 (日本近海産) と南半球 (南氷洋産) のミンククジラについて、有機塩素化合物の残留濃度を調べたところ、両者の間には顕著な差がみられ、北半球におけるこの種の物質の活発な利用に加え、南北個体群の食性の違いもこうした現象に関与しているものと考えられた。

有機塩素化合物を化学指標とした新しい研究手法により、ミンククジラの未解決課題に有効な手がかりを提示することができた。今後さらに検討を重ね、確度や精度の向上がはかれれば、本研究手法は鯨類ばかりでなく広く野生生物の保護・管理に活用できよう。