

SOWERの2周目（720,000頭：95%信頼区間510,000頭～1,010,000頭）、3周目（515,000頭：95%信頼区間360,000頭～730,000頭）が推定値として合意されたことがあげられる。

また、「POWER」の項目で紹介したとおり、北太平洋においてイワシクジラの資源量推定値（29,632頭：95%信頼区間18,576頭～47,267頭）が合意され、また、西経海域で採集された同種のバイオプシー標本からは、東経海域（日本の沖合）と同一系群であることが明らかになり、また、ニタリクジラでは、POWERデータを含めた北太平洋全体の資源量推定値は40,964頭（95%信頼区間25,138頭～66,754頭）と合意された一方で、西経海域のニタリクジラは東経海域とは別系群であることが明らかになるなど、イワシクジラの詳細評価やニタリクジラのRMP適用試験に貢献するなど国際捕鯨委員会科学委員会（IWC/SC）で大きな成果を上げ、本事業の目的が達成されてきた。

現在の新北西太平洋鯨類科学調査（NEWREP-NP）の目視専門船も本事業で運用されている。毎年IWC/SCでは、RMPガイドラインに沿って各国の目視調査計画が審査される。具体的には、各国が資源量推定を目的とした調査計画をIWC/SCに提出し、この計画が妥当なものである場合、「IWCオーバーサイト調査」として承認され、その結果から得られた資源量推定値等は、RMPにおける捕獲枠の計算に使用できるようになっている。このため、2010年以降、日本は毎年目視調査計画をIWC/SCに提出している。

松岡耕二（調査研究部）

#### 4-3-3. 混獲・市場調査

##### 1) 混獲鯨類のDNA登録

国際捕鯨委員会（IWC）では、ひげ鯨等の違法捕獲の存在根拠として我が国における捕獲禁止ひげ鯨等の流通が取り上げられ、混獲されたひげ鯨等の一部の流通が、これを助長しているとの指摘もなされていた。また、IWCにおける鯨類資源管理のための一つの情報としてひげ鯨等の混獲データが利用されることとなり、我が国のひげ鯨等の混獲の適正な管理が求められていた。

このような状況の中で、2000年に水産庁において、鯨類管理適正化検討会（座長：松田恵明鹿児島大学教授）が設置された。翌年の2001年3月の同検討会までの3回にわたる検討結果を受けて、混獲されるひげ鯨等について、合理的かつ透明性の高い利用の観点なども踏まえた一定の規制を行い、併せてひげ鯨等の密漁、密輸の誘発を防止する対策を講じることにより、ひげ鯨等の管理の適正化を図ることを目的として、同年4月に指定漁業の許可及び取締り等に関する省令の改正（指定漁業の許可及び取締り等に関する省令（農林水産省告示第五百六十三号））を行い、混獲鯨等の管理について一定の規則が設けられた。

##### 混獲鯨のDNA登録<sup>1</sup>手続き

上記の省令の改定に伴い、2001年7月1日より、定置網で偶発的に混獲<sup>2</sup>されたひげ鯨等<sup>3</sup>の取り扱いが一部変更され、定置網でこれらの鯨の混獲があった場合、DNA登録を行うことを必須条件として、以下に述べる所定の手続きの後に販売（無償配布・地元消費等の利用を含む）が可能となった<sup>4</sup>。なお、販売をしない場合でも、従来通り、焼却・埋却などの処分と水産庁への所定の報告が必要となっている。また、当研究所が水産庁からの指定を受けて、DNA登録機関となった。

- ①混獲報告書（A）の作成。
- ②DNA標本を採集して日本鯨類研究所に送付する。
- ③DNA標本の発送後、宅急便の発送伝票の控えを報告書（A）に張り付け、日本鯨類研究所にFAXする（FAXの送付と共に販売可能となる）。
- ④報告書（A）を市町村役場または都道府県庁に提出する（後日、水産庁に報告）。
- ⑤分析費用の振り込み。
- ⑥日本鯨類研究所が発給するDNA登録番号の受理。
- ⑦DNA登録番号が記載された報告書（B）を市町村役場または都道府県庁に提出する（後日、水産庁に報告）。

## これまでの混獲鯨DNA登録数

2001年7月から2017年10月末までの混獲頭数は、ミンククジラ：2,139頭、ザトウクジラ：65頭、ナガスクジラ：11頭、ツノシマクジラ：3頭、ニタリクジラ：1頭、カツオクジラ：1頭、コククジラ：4頭、セミクジラ：3頭、マッコウクジラ：2頭の計2,229頭となっている。

最も混獲が多いミンククジラでは、同種を構成する2つの系群（日本海を中心に分布するJ系群と太平洋側を中心に分布するO系群）の日本周辺における時空間的な分布様式が、混獲標本を用いた解析で解明されつつあり、同種の集団遺伝学あるいは系統分類学の解明に大きく寄与している。

また、混獲にはツノシマクジラやセミクジラ、コククジラなどの希少種も含まれ、遺伝標本としても貴重なものになっており、これらの標本を用いた海外の研究機関との共同研究も幅広く推進されている。

## 注

<sup>1</sup> DNA登録とは：人の場合60億個の塩基から構成される核DNAの中には、個人によって塩基の配列パターンや配列の長さが異なる場所（遺伝子座）が多く存在する。これらの場所はあたかも指紋のように個人ごとに異なる。

鯨類におけるDNA登録制度も基本的には同様の原理を利用する。DNA登録制度は人間における‘戸籍’に相当する。つまり、事前に個体ごとの情報（前述した指紋に相当するDNA情報、採集場所、採集年月日等）をDNAデータベースとして登録しておき、例えば、市場に流通する鯨製品のDNA情報を調べて戸籍と一致する個体があれば、その鯨製品がいつ、どこで捕獲されたかが明らかになる。

DNA登録のDNA情報には、(1) ミトコンドリアDNA制御領域の一部の変異を利用する「鯨種判定」、(2) 核DNAのマイクロサテライト領域の変異を利用する「個体識別」、および(3) Y遺伝子座の部分領域の有無を調べる「性判定」が含まれる。

<sup>2</sup> 定置網以外の漁具（巻き網、刺し網など）での混獲は対象とならない。

<sup>3</sup> 国際捕鯨委員会（IWC）が指定するひげ鯨類7種（セミクジラ、ナガスクジラ、イワシクジラ、ニタリクジラ、ツノシマクジラ、ミンククジラ、ザトウクジラ）と歯鯨類1種（マッコウクジラ）。

<sup>4</sup> 所定の手続きを経ずに所持・販売を行うと罰せられる。

及川宏之（調査研究部資源分類研究室）

## 2) 市場調査

当研究所が行っている市場調査は、近年の国際的な環境保護運動の高まりを背景として、国際的に漁業規制が強化されており、我が国としても規制と操業実態の整合性及び操業秩序の維持が強く求められていることから、

- 1) 違法に捕獲された鯨肉の国内流通の防止
- 2) 我が国において捕獲・混獲される鯨類の適正な管理
- 3) 商業捕鯨再開のための監視取締制度の確立
- 4) 我が国沿岸で混獲される鯨の系群等の情報の確立
- 5) 外国から輸入される鯨類の適切な管理

のため、日本国内に流通する鯨類製品のDNA分析による鯨種判定と個体識別を行うことを目的としている。

当研究所は1995年と1996年に当研究所の資金を使用して市場調査を独自に開始した。また、1999年からは水産庁からの委託事業（1999～2001年度：国際資源管理システム事業、2002～2003年度：公海漁業等適正管理委託事業、2004年度～現在：鯨類資源調査等対策委託事業—DNA検査—）として、継続して調査を行っている。表8に示したように、これまでに採集された標本は累計8,462に及ぶ膨大な数となっている。

現在、標本の収集、標本の写真撮影、DNA分析の前処理（DNA用標本の切り出しおよびDNA抽出作業）からDNA分

析による鯨種判定作業および個体識別作業は、全て当研究所によって行われている。

### 標本の収集方法

1995年から2001年までの期間は、1～3名の当研究所職員が沖縄を除く45都道府県の百貨店、量販店、スーパーストア、専門店、小売市場あるいは中央市場を網羅的に調査して、鯨製品の地域別の販売動向を調べた。この間の調査の情報を基に、2002年以降は鯨製品の流通量が豊富で多様性に富む14道府県にターゲットを絞り、毎年同じ店舗と時期に購入することによって、経年変化を把握することを目的として調査が行われている。2017年度の場合、6月から12月にわたり、2名の現地調査員が14道府県18市町の計234店舗で販売されている鯨肉、本皮類あるいは畝須類の計350標本が収集された。

標本は、調査員が現地で購入年月日、購入場所、販売方法、製品別分類、品名(商品の表示)、原産地の表記、鯨種の表記、価格、重量等を記録した後、直ちにクール便にて当研究所に送付される。

### 鯨種判定と個体識別

鯨種判定は、ミトコンドリアDNA制御領域の一部をPCR法により特異的に増幅し、その増幅断片の塩基配列をダイレクトシーケンス法で解読し、既知の鯨種の塩基配列と比較することにより実施する。

一方、個体識別は核DNAのマイクロサテライト領域の変異を利用している。マイクロサテライトDNAは、2～6塩基単位の配列が繰り返し配置されている短いDNA断片で、この繰り返し数の違いを利用して対象標本の遺伝子型を同定することができる。当研究所では、種によって最多で13種類のマイクロサテライトDNAマーカーの遺伝子型を同定し、DNA登録データベースに登録されている遺伝子型と照合している。

個体識別は2013年から行われ、北太平洋ミンククジラ、イワシクジラ、ニタリクジラに対して行われている。さらに、2017年からこれらの鯨種に加えて北大西洋ナガスクジラおよび北大西洋ミンククジラについても個体識別を行っている。

### DNA登録データベース

現在、当研究所のDNA登録データベースには、1994年から始まった北西太平洋ミンククジラ捕獲調査(JARPN)で捕獲したミンククジラ、2000年から始まった第2期北西太平洋鯨類捕獲調査(JARPNII)で捕獲したミンククジラ(沖合域および沿岸域調査)、ニタリクジラ、イワシクジラおよびマッコウクジラ、2017年から始まった新北西太平洋鯨類科学調査(NEWREP-NP)で捕獲したミンククジラ(沖合域および沿岸域調査)とイワシクジラ、2001年7月1日の省令改正後にDNA登録されて販売された定置網に混獲した大型ヒゲクジラ類、ならびに2009年以降に捕獲・輸入された北大西洋ナガスクジラ、および2015年以降に捕獲・輸入された北大西洋ミンククジラの遺伝情報が含まれている。

### 事業の成果

委託事業に移行してからは毎年年度末に水産庁長官あてに報告書を提出している。また、市場調査の概要は鯨研通信(藤瀬・後藤、2002)やIWC科学委員会へもボランティアベースで報告された(Goto *et al.*, 2000)。

近年における個体識別の結果では、分析に供した全ての標本がDNA登録データベースに登録された個体のいずれかに由来することが明らかとなっている。このことは、日本国内に流通する鯨製品は、合法的かつ適正に管理されていることを示唆している。また、個体識別の結果から、捕獲または混獲位置と購入地の地理的關係、同一個体由来の複数の

表8. 日鯨研が行っている市場調査における年別の標本採集数の推移

採集年	標本数
1995	163
1996	353
1999	279
2000	815
2001	913
2002	670
2003	615
2004	600
2005	351
2006	300
2007	320
2008	317
2009	298
2010	300
2011	300
2012	300
2013	200
2014	318
2015	350
2016	350
2017	350*
合計	8462

\* 2017年は9月から12月までの採集分。

鯨製品の流通の様相および保存期間を明らかにすることができるようになった。

## 引用文献

- 藤瀬良弘、後藤睦夫。2002。日本国内における鯨製品の流通の実態について—捕獲統計と市場調査から—。鯨研通信 415: 1-18.
- Goto, M. and Pastene, L.A. 2000. Results of molecular genetic analyses of whale products collected from the Japanese retail markets in 1996 and 1999/2000 surveys. Paper SC/52/SD7 presented to the IWC Scientific Committee, June 2000 (unpublished) . 21pp+Appendix 11pp .

後藤睦夫（調査研究部）

### 3) セーブ・ザ・マリンマンマール

自然保護運動の高まりとともに、世界の各地で鯨類等の海獣類の救出活動がなされているが、それぞれの国によって社会情勢が異なっており、それらを踏まえたそれぞれの対処法があるべきと考えられる。

以上の背景を踏まえて、水産庁は「セーブ・ザ・マリンマンマール（小型鯨類等救出）事業」を1992年度に5年計画で全国漁業協同組合連合会（全漁連）への補助事業として開始し、1996年度でこの事業が終了した。本事業は、湾内に迷い込み、座礁または混獲されたイルカ等の救出の実施及び救出方法に関する啓発普及を行うことを目的とし、当研究所は全漁連からの委託を受けて、この事業の后者の部分、即ち救出方法の啓発普及を担当した。そして、当研究所はこの委託目的を達成するために、検討委員会を設置し、検討委員会の審議を経て、①研修会の開催と、②指導普及資料の作成、を実施してきた。

検討委員会の委員には、関連する分野の学術経験者から次の5名が委嘱された。

石川 創（日本鯨類研究所主任研究員：当時以下同）

大隅清治（日本鯨類研究所理事長）

北 洋司（太地町立くじらの博物館館長）

鳥羽山照夫（鴨川シーワールド総支配人）

吉岡 基（三重大学生物資源学部助教授）

また、山村和夫（日本鯨類研究所参事）が事務局長を務め、水産庁、全漁連の本事業担当者が随時検討委員会会議に参加して、上記目的を遂行するための討議を重ねてきた。そして、検討委員会の諮問を受けて、当研究所はポスター等の種々の指導普及資料を作成し、各地の漁業協同組合等に配布するとともに、各地で本事業の啓蒙普及のための研修会を開催した。

検討委員会は、過去5年にわたって活動してきた上記の事業の中で、鯨類の座礁・混獲への対処方法について討議してきた内容を、吉岡委員が集約してマニュアルテキストとして原案を作成し、委員会の名で「座礁・混獲した鯨類への対処法」を刊行した。

後藤睦夫（調査研究部）

#### 4-3-4. 座礁調査

当研究所ではその前身である鯨類研究所時代の1986年から、日本沿岸における鯨類のストランディングレコードの収集を行ってきた。鯨類のストランディングとは、鯨類が海岸線から陸地側へ死んだ状態でたどい流れて岸に着く（漂着）現象や、生きた状態で乗り上げる（座礁）などして自力で本来の生息域に戻ることができなくなる現象を言う。当レコードでは死んだ状態で岸の近くに漂流するもの（漂流）、生きた状態で本来の生息域から離れて河川などに入り込む

現象（迷入）も広義にストランディング（Stranding）として扱っている。2頭以上が同時にストランディングする状態をマスストランディングという。座礁調査ではストランディングした個体の情報（ストランディングレコード）を収集している。このストランディングデータの収集目的は、ストランディングした個体の情報を収集、分析して海生哺乳類の回遊、来遊、分布といった知見を得ることである。得られた組織標本は、DNA分析による種判定をとおして、発見時にわからなかった種の判定や資源分類にも役立つ。食性の情報が得られるときもある。また、繁殖特性から種の繁殖状況を類推できる場合もある。そして、これらの情報を広く社会に公表し、主として鯨類の生物学的情報の広報、普及に努めることができる。収集された情報には希少種のものもあり、保護、保全、生態解明にも役に立つことが期待される。また、長期間収集することにより、経時変化を知る指標としての役割も求められている。生きた状態で座礁したりマスストランディングしたりした動物では、その原因を調べるために情報収集が必要である。

しかし、日本沿岸の長い海岸線を網羅して、これらの情報を簡単に収集することはできない。近年では、当研究所のストランディング情報に海生哺乳類（希少な鯨類の他、キタオットセイなどの鳍脚類やジュゴン、ラッコを含む）の情報も集積されているが、これまでに収集されたすべての情報は、広く一般の方々から寄せられた情報である。つまり、ストランディング情報の収集には皆様のご協力が欠かせないことが明らかである。そこで、当研究所では近隣の海岸などでストランディング動物を発見した際や、その他の新聞記事を見た際に、生死を問わずお知らせいただけるよう協力を募っている。提供された情報をデータとして登録公表するほか、これらの情報を元に日本近海の海生哺乳類の生態や海洋環境の変化の解明に役立てていきたい。情報の正確性や信頼性を高めるよう、新聞や雑誌の記事からストランディングの情報を収集する際には、その記事内容、新聞（雑誌）名、日付などの確認も欠かせない。種の同定をするなどしてデータ化する際、情報内容の精度に疑問がある場合には登録できない場合もあるためである。当然であるが、そのような疑問のある情報についても、記録は貴重な資料として保管させていただいている。

そして、広く一般の方々からストランディング情報を提供していただくため、当研究所はストランディングデータの収集目的で集める個人情報の取り扱いを厳密に管理している。情報収集の目的は明確に定められており、それはストランディングした海生哺乳類の情報を収集、分析して回遊、来遊、または分布といった知見を得る学術研究目的で収集することであるので、個人情報については当該データのデータ登録のお礼及び疑問があった場合の連絡にのみしか用いない。その取り扱いには、法令及び行政機関が定めたガイドラインを遵守し、情報の紛失、破壊、改ざん及び漏えいに対する予防措置を講じている。さらに、学術成果の発表、公表に際しては、個人を特定できる名前や住所の内容は掲載していない。

近年のストランディング調査結果については、当研究所HP上にて、年別のデータ及び傾向を公表するに留まるが、それらを元として、コククジラなど一部鯨類について国際捕鯨委員会に報告も行っている。

一方で座礁したクジラ組織試料を学術利用する際には法的規則もある。大型鯨類及びスナメリについては「指定漁業の許可及び取り締まりに関する省令」及び「水産資源保護法」に基づいて、農林水産大臣に報告する必要がある。また、その他の鯨類については、水産庁長官通知「指定漁業の許可及び取り締まり等に関する省令の一部を改正する省令の施行に伴う鯨類（いるか等小型鯨類を含む）の捕獲・混獲等の取扱いについて」に基づいて、水産庁資源管理部長に届出をする必要がある。これらのストランディングしたクジラの利用、処理（座礁鯨の利用、処理）については、水産庁の「鯨類座礁対処マニュアル」を参照されたい（水産庁、2012）。また、定置網による混獲については、漁業対象の漁具で漁獲対象とされている魚に混じって漁獲されたものであり、この記録では取り扱っていない。定置網による大型鯨類（ヒゲクジラ類及びマッコウクジラ）の混獲については、別途「定置網に混獲されたひげ鯨等の取り扱いの手引き」を参照されたい。

以上、広く一般の方々のご協力の上に執り行っているストランディング調査を説明した。座礁、漂着、漂流、迷入したすべてのクジラについて記録を収集するのは難しいかもしれない。だが、一部の情報からも生態や海洋環境の変化などの解明を試みることで異なる生息環境にある海生哺乳類を知りえるきっかけになることを望む。

## 参考文献

吉岡 基. 1988. ストランディングレコード中間集計. 鯨研通信 372: 5-7.

石川 創. 1995. ストランディングレコードから見た日本沿岸の鯨類の生態 (I). 鯨研通信387: 1-7.

石川 創. 1995. ストランディングレコードから見た日本沿岸の鯨類の生態 (II). 鯨研通信388: 6-10.

水産庁. 2012. 鯨類座礁対処マニュアル (平成24年度改訂版). <http://www.jfa.maff.go.jp/j/whale/pdf/manyuaru2012kaisei.pdf>.

茂越敏弘 (調査研究部採集調査研究室)

中井和佳 (調査研究部採集調査研究室)

#### 4-3-5. 輸入鯨肉の個体識別調査

ミンククジラ製品のノルウェーからの輸入は、農林水産省が一義的かつ実質的な責任を有しており、国際条約（国際捕鯨取締条約及びワシントン条約など）上、また科学的にも問題がないことから、農林水産大臣のレベルでノルウェーからの輸入を実施するとの決定を行っていた。しかしながら貿易の再開にあたっては国際的に注目を集めることから、水産庁としては、ノルウェー漁業省との協議を通じて透明性及び信頼性のある貿易の枠組みを構築し、その後、関係する省庁（外務省、経済産業省及び厚生労働省）と協議し、これらの関係省庁とともに官邸に報告する必要があるとした。

以上を鑑み、2001年と2002年の2回にわたって、ノルウェー鯨製品の輸入に関する日諾協議（水産庁、共同船舶、民間業者に加えて、当研究所からも村上、藤瀬、後藤の3名が参加）が開始された。

#### 個体識別の問題点

個体識別に有用なDNA領域（核DNAのマイクロサテライト遺伝子座）は鯨種によって異なっている。ミンククジラの場合、クロミンククジラと北半球に生息するミンククジラは別種であり、北半球でも北太平洋と北大西洋のミンククジラはそれぞれ亜種として分類されつつある。したがって、クロミンククジラ、北太平洋ミンククジラ、北大西洋ミンククジラでは、それぞれ個体識別に用いる遺伝子座が異なっている。ここでそれぞれのミンククジラにおける個体識別に有用な遺伝子座の選び方は多型性（個体によって数値が異なる）があるかどうかであり単型（どの個体でも同じ数値）の場合、個体識別には用いることができない。一つの遺伝子座（GT310）を例にとると、北大西洋では多型を示すが北太平洋では単型を示すことになり、この遺伝子座は個体識別のためには北大西洋産ミンククジラのみで有用になる。

これまで当研究所が行っている北太平洋産ミンククジラとノルウェーが行っている北大西洋産ミンククジラの個体識別で用いられている遺伝子座の種類の違いは、上記のようにそれぞれのミンククジラで多型的か単型的かという違いだけである。したがって、日本で北大西洋産ミンククジラの個体識別を行う場合は、ノルウェーで用いられている遺伝子座と実験手順に基づいて行えば、実験上の問題はない。ただし、個体識別に用いるマイクロサテライト遺伝子座のデータの読み取りは、研究室間で異なる可能性がある。そこでこれを解決するために標準標本（同一個体）を用いて研究室間でのデータの読み取りの標準化を図る必要がある。

#### 標準化

2002年に、日本とノルウェーのDNA分析の標準化を図るため、ノルウェーから送付されたDNA分析用組織50検体のうち、1997年の10検体と1998年の10検体の計20検体を用いてマイクロサテライト（10遺伝子座）分析を行った。マイクロサテライト分析で使用する遺伝子座、PCRの条件等、すべてノルウェーで行っている分析方法に従った。

その結果、マイクロサテライト分析ではすべての遺伝子座で日諾間のスコアは同じか一定の規則性を持っていたことから、分析方法の標準化ができたと考えられた。

なお、アイスランド-日本間の個体識別の標準化については、すでにノルウェー-アイスランド間で標準化が終了していることから、日本-ノルウェー間の標準化で代替することとなった。

#### 輸入鯨肉の現状

以上の標準化作業を経て、実際にノルウェー（北大西洋産ミンククジラ）とアイスランド（北大西洋産ナガスクジラ）

からの輸入が2008年度から開始された。初年度は試験運用の色彩が強く、実際にDNA標本の採集時に同一個体から、異なる個体として採集された事例が発生するなど、混乱がみられたが、現在ではノルウェー／アイスランド共にそれぞれの国で作成されたDNA登録と当研究所における解析結果で不一致となるケースが無くなっている。表9に年別国別輸入頭数を示すが、2017年までにノルウェーとアイスランドから輸入された個体はそれぞれ、272個体と584個体となっている。

2015年から2017年までは毎年、鯨肉貿易に関する日・ノルウェー・アイスランド3か国協議（日本側からは農林水産省、外務省、経済産業省、厚生労働省の行政官と当研究所の研究者が参加）が行われている。DNA登録に関しては、現在、日本で実施している輸入時の全頭DNA分析に関して、2017年度にノルウェー・アイスランドで輸出時に実施されたDNA分析の結果との不一致が生じなければ、2018年度以降、分析をランダムサンプリング（輸入頭数の5%）によって行うことに3か国が合意した。実際に2017年度に不一致が生じなかったことから2018年からこれに移行することになる。

表9. ノルウェーとアイスランドからの年別輸入頭数。個体識別用のDNA標本は一個体から一標本採取される

報告年	ノルウェー ミンククジラ	アイスランド ナガスクジラ
2008	5	16
2009		
2010		131
2011		143
2012	1	6
2013	10	
2014		
2015		134
2016	120	154
2017	136	
合計	272	584

後藤睦夫（調査研究部）

#### 4-3-6. 研究

##### 1) 調査法

現在、当研究所で実施されている新南極海鯨類科学調査（NEWREP-A）や新北西太平洋鯨類科学調査（NEWREP-NP）などの捕獲調査は、あらかじめ調査海域にランダムに設定された調査コース上を目視しながら航走し、捕獲対象鯨が発見された場合には、この鯨群に接近して、鯨種と頭数を確認したのちに、群れの頭数に応じて乱数表を引き、選択された個体を追尾、捕獲するというランダムサンプリングによる捕獲調査法を採用しているが、これは南極海で開発された目視調査手法を捕獲調査に応用したものである。

この南極海の日視調査の特徴は、当時の国際捕鯨委員会（IWC）科学委員会における第一級の数理・統計研究者および生物学研究者が一丸となって机上の理論をフィールド調査に応用し、不明な点があれば実験を繰り返してその対処方法をフィードバックしてきたことであった。1970年代には、クロミンククジラの資源動態モデルと単位努力量あたりの漁獲量（CPUE）を利用した絶対量の推定が試みられたが信頼度は低く、また当時は各国捕鯨船団による目視調査や標識調査も行われていたがいずれも計画的なものではなくデータとして不十分であった。

このためIWC内では、新しい理論と調査手法を取り入れた国際ベースの調査によって、偏りのない目視データ収集を要望する声が強まり、同資源を対象にIWCが独自に主導する国際鯨類調査10ヶ年計画（International Decade of Cetacean Research）が開始された。当時は標識調査と目視調査を併用した計画で、むしろ標識調査に重みがあった。1978/79年度から1983/84年度の間には南極海全周の調査を完了した。しかしながら、予想以上に少ない標識回収と標識の脱落率推定の困難さによって、調査の重点は次第に目視調査へと移行していった。1984/85年度に目視調査方法自体を検討する大規模な実験航海を経て、1985/86年からは本格的な目視調査に移行した。このほかに、自然標識撮影実験やバイオプシー実験などの非致死的調査も導入された。これら目視調査方法の検討や実験の詳細は、大隅や笠松・岸野らによって詳細に報告されている。

1987/88年度から開始された第1期南極海鯨類捕獲調査（JARPA）では、この目視調査の理論・調査海域の層化や実施体制・記録方法、さらには商業捕鯨の技術を取り込み、クロミンククジラを対象としたランダムサンプリングによる目視調査と捕獲調査の調査法が確立されていった。特に、捕獲調査に関しては、鯨体の外部形態計測や体重計測、鯨体からのサンプル採取や胃

内容物の処理など一貫した実施体制と記録方法等が確立されてきた。また、捕獲調査と並行して、非致命的調査としてシロナガスクジラやザトウクジラなどを対象とした自然標識実験やバイオプシー実験が導入され、その後、餌環境調査としてオキアミ類の資源量推定を目的とした計量科学魚探やネットサンプリングが導入され、総合的な生態系調査の方法が確立されてきた。

1994年から開始された北西太平洋ミンククジラ捕獲調査（JARPN）では、この南極海の調査法を北西太平洋に応用したが、南極海と比較して鯨群の遭遇率が低かったこと、捕獲対象種であったミンククジラの噴気が見えないことなどをフィードバックして調査法に改良を重ねて現在の方法が確立されていった。

また、第2期北西太平洋鯨類捕獲調査（JARPNII）ではニタリクジラ、イワシクジラ、マッコウクジラ、第2期南極海鯨類捕獲調査（JARPAII）ではナガスクジラが捕獲対象種として追加されたが、その都度、調査法を改良しつつ対応を行ってきた。また、自然標識やバイオプシー実験、さらに衛星標識装着実験についても改良がくわえられ、徐々に成果が出てきている。捕獲調査の方法や詳細は、大隅や加藤・藤瀬らによって詳細に報告されている。

## 引用文献

- 笠松不二男, 1990. 鯨類目視調査の実態と南半球産ミンククジラへの適用. 鯨類資源の研究と管理. 桜本和美・加藤秀弘・田中昌一編集. 恒星社厚生閣. 東京. 132-144.
- 岸野洋久, 1990. ライントランセクト・サンプリングによる鯨類のモニタリング. 鯨類資源の研究と管理. 桜本和美・加藤秀弘・田中昌一編集. 恒星社厚生閣. 東京. 117-131.
- 加藤秀弘, 1998. ミンククジラの性成熟年齢若齢化が意味するもの. 海洋と生物116 (Vol.20 No.3). 生物研究社. 東京. 197-208.

松岡耕二（調査研究部）

## 2) 資源量

調査・研究活動の一環として、鯨類捕獲調査の下で実施される目視調査で得られたデータに基づき、調査海域内における鯨類の個体数を推定している。鯨類などの生物資源を持続的に利用するためには、資源の個体数を調べる必要がある。この資源の個体数のことを資源量という。継続して資源量を調べることにより、資源量の増減傾向を知ることができる。資源量やその動向は、資源が利用可能かといったことを判断するというような資源評価に有力な情報となる。また、資源量推定値は、生物学的特性値や鯨類による摂餌量の推定にも用いられる。また、統計的捕獲時年齢解析（SCAA）などの資源動態モデルや生態系モデルの入力データとして用いられる。

では、資源量推定方法について大雑把に説明する。まず、目視調査について簡単に述べる。南極海や、北西太平洋といった広い海域を限られた調査期間内に調査するのは不可能なので、対象となる調査海域を定め、事前に調査海域内に調査ラインを無作為に設計する。調査時に、調査ラインに沿って調査船が進み、船上から調査員が探鯨を行う。このような調査方法をライントランセクト法と言い、鯨類捕獲調査で行われる目視調査は全てこの方法で行われている。目視調査で得られた鯨群の発見や調査船の探索についてのデータを用いて資源量推定を行うが、方法を簡単に説明する。最初に、調査できた範囲内における個体数を推定するが、その際に、観察者から遠くにあるほど鯨群は見つけにくいことも考慮し、遠くにいたため見逃した分の鯨の数も推定して加算している。調査できた範囲内の個体数を調査海域全体に引き延ばすことによって、調査海域内にいる鯨の資源量を推定できる。

南極海鯨類捕獲調査（JARPA）及び第2期南極海鯨類捕獲調査（JARPAII）の目視データに基づき、1989/90～2008/09年のクロミンククジラ、ザトウクジラ、ナガスクジラ、シロナガスクジラ、ミナミセミクジラ、マッコウクジラ、ミナミトックリクジラの資源量は、年増加率が得られた。クロミンククジラの資源動向は、有意な増加も減少も見られず概ね安定していた。シロナガスクジラ、ザトウクジラ、ナガスクジラ、ミナミセミクジラの資源量は上記期間で増加しているが、VI区西のザトウクジラ、III区東+IV区のナガスクジラ、IV区のミナミセミクジラを除き増加傾向は有意である。IDCR/SOWERとJARPA/JARPAIIとの間でIV区とV区のクロミンククジラとザトウクジラの資源量推定には良い一致が見られた。IV区とV区でミナミトックリクジラでは有意な増加傾向がみられた。鯨類の組成が徐々に変わっていたが、特にIV区で著しかった。IV区でザトウクジラの空間的分布と時間的な鯨類組成の変化がみられたが、これはV区では見られていない。

第2期北西太平洋鯨類捕獲調査（JARPNII）の調査データに基づき、ミンククジラ、ニタリクジラ、イワシクジラ、ナガスクジラ、シロナガスクジラ、ザトウクジラ、セミクジラ、マッコウクジラの調査海域内の早い時期（5～6月）および遅い時期（7～9月）の資源量が得られた。ただし、北西太平洋において、JARPNIIの調査海域は資源全体のごく一部であることから、得られた推定値については、資源全体の数ではなく、調査域に調査時に分布していた個体数である。これらの推定値はそれ自身だけでは資源評価には使えないが、調査海域内における鯨類による餌消費量の算出、調査海域内における生態系モデルの入力データとしては使える。資源全体の資源量を知るには、調査域外の資源量推定値の情報も考慮に入れたいといけぬ。また、JARPNIIのデータに基づき増減傾向を調べるのも、JARPNIIの調査域が資源の一部であるがゆえに一筋縄ではいかない。それらの解析は今後作業が進められる予定である。

今後の課題であるが、新南極海鯨類科学調査（NEWREP-A）及び、新北西太平洋鯨類科学調査（NEWREP-NP）では、独立観察者方式での目視調査を行っており、正面発見確率（観察者の正面にいる鯨群を見逃さずに発見する確率のことで、鯨群の場合潜水するので、見逃す可能性がある。以下 $g(0)$ と書く）推定を行うことが可能である。従来の資源量推定では、正面にあるのに見逃された鯨群はカウントされなかったが、 $g(0)$ を考慮するとそうした見逃した鯨群の数も含めた資源量を推定できる。また、今後捕獲枠の算出に使える資源量推定値を得るためには、年度間の鯨群の分布の変動によって生じる分散をも考慮に入れる必要がある。このような分散を追加分散あるいは過程誤差という。こうした分散の推定はNEWREP-A、NEWREP-NPの調査目標を達成するためには必要である。その他、上記の従来法では行えない、水温、水深などの環境変数を考慮した密度推定や、未調査域への外挿を行うことができる空間解析があり、従来法ではうまくいかない場合での資源量推定が期待される。また、遺伝情報や自然標識などのデータを用いた標識再捕法などの手法もあり、上記の従来法で得られた資源量推定値と比較検討することで、資源量推定値の根拠を固めることができるかもしれない。

袴田高志（調査研究部資源数理研究室）

### 3) 系群構造

#### はじめに

大型ヒゲクジラ類の系統関係と系群構造を理解することに焦点を当てた研究は、当研究所の主要かつ最も生産的な研究課題の1つである。当研究所の遺伝学的研究は、東京大学海洋研究所の沼知健一教授と共同で1991/92年頃に開始された。当研究所は1994年に宮城県鮎川にある附属実験場に独自の遺伝実研究施設を立ち上げ、さらに2002年から東京の本館に第二の遺伝研究施設を増設した。残念ながら、2011年3月の東日本大震災による津波で鮎川附属実験場は閉鎖された。

当研究所の遺伝研究室では、長年にわたり最新かつ優れた実験および解析技術が開発・実践されてきた。現在、当研究室は大型ヒゲクジラ類の集団遺伝学を扱う分野において世界基準を満たす研究室とみなされている。

遺伝学的研究は、当研究所が行う致死性および非致死性調査の両調査から得られた、異なる鯨種に由来する多数の遺伝標本に基づいている。長年にわたり、多くの科学論文が国際会議に提出されており、この他にも多くの論文が査読付雑誌に掲載されている。これらの論文のいくつかは国内外の研究者との共同研究として作成されている。

ここでは、当研究所で行われた大型ヒゲクジラ類の系統学および系群構造に関する研究の概要を紹介する。

#### 種内の管理単位の定義

まず、対象種の中で管理単位を定義することが重要となる。関連する定義には、進化的に重要な単位（ESU）と管理単位（MU）の2つがある。

ESUは、独立した管理と保全のために高い優先度を持つ遺伝的に分化した集団である。ESUは時に亜種と同義と解釈される。元来のESUの定義には、生殖隔離（その結果としての遺伝的分化）と生態学的区別（独特の適応）という2つの要素があった。Moritzによれば、ESUは、i) ミトコンドリアDNA（mtDNA）における有意な遺伝的分化および相互的な単系統性、およびii) 核遺伝子座における対立遺伝子頻度の有意な相違を示す、とされている。

一方、MUは、対立遺伝子の系統関係に関わらず、対立遺伝子頻度の有意な相違によって定義される。水産学におい

て、MUは「系群：stock」の概念に対応している。種は、通常、漁獲や管理に対して互いに独立して反応する複数の系群から成る。遺伝的に区別されるほどの移住がほとんどない系群もまた、個体群動態学的に独立している。

当研究所では、最初のステップとしてESUを特定するために系統学的研究が行われており、おそらく好例は世界中のミンククジラの研究である。しかし、当研究所の主な目的は、各種の中のMUまたは系群の識別、系群の数および時空間的分布の解明である。

### 系群構造に関する情報の妥当性

管理を行う上では、生物学的特性値、資源量推定値および過去の捕獲の分布を適切に解釈するために、系群数の識別、およびそれらの時空間的分布の解明が基礎となる。国際捕鯨委員会（IWC）は、商業捕鯨期間中にいくつかの「管理区域」を定義したが、「管理区域」とMU（系群）（上記の遺伝的に定義されたもの）がどの程度一致しているかを調査することが重要である。

### 当研究所における系群構造の研究に用いられる一般的なアプローチ

遺伝情報は、当研究所で系群構造の研究に使用される主要なツールであるが、遺伝情報は、受胎日の違い、肉体的成熟個体の平均体長などの生物学的特性値、寄生虫や汚染物質などの形態学的・生態学的マーカーなどの情報と共に用いられる。中には、進化史的にごく最近分化した系群があり、それらの間の遺伝的差異を検出することは困難である。そのような場合には上記の複数の手法を取り入れたアプローチが必要となる。

### 遺伝マーカー

当研究所が導入した最初の遺伝マーカーは、mtDNAの全領域と制御領域（CR）における制限酵素断片長多型（RFLP）であった。このマーカーは、クロミンククジラ、北太平洋ミンククジラとニタリクジラの系群構造研究に用いられた。その後の研究は、mtDNA CRの塩基配列解読および核DNAのマイクロサテライトDNAの遺伝子型同定に基づいている。現在、これらの2つのマーカーは、北太平洋のミンククジラ、ニタリクジラ、イワシクジラ、セミクジラおよびマッコウクジラ、南極海のクロミンククジラ、ザトウクジラ、ナガスクジラ、およびミナミセミクジラの系群構造に関する研究に日常的に使用されている。

### ケーススタディと研究成果の概要

#### 系統発生

##### ミンククジラ

当研究所による遺伝学的分析は、世界中のミンククジラの系統関係と分類を明らかにすることに大きく貢献した。この分析には捕獲調査、過去の商業捕鯨、および座礁個体など、さまざまな由来の標本が用いられた。分析の結果、ミンククジラには2つの種、つまりクロミンククジラ（*Balaenoptera bonaerensis*）およびミンククジラ（*B. acutorostrata*）があり、後者は3つのESU（亜種）：北太平洋ミンククジラ、北大西洋ミンククジラ、および南半球に棲息する‘矮小型’ミンククジラ、から構成されていた。また、矮小型ミンククジラは、南半球で少なくとも2つに分離し、一方は南太平洋西部、もう一方は南大西洋西部にそれぞれ分布する。さらに、後者は北大西洋ミンククジラと遺伝的に近縁であった。これらの遺伝的結果は、世界中のミンククジラの形態計測および形態学の研究成果と一致していた。

##### セミクジラ

当研究所の研究者も参加して国際的な共同研究を行い、世界中のセミクジラの分類学的解明に寄与した。この研究には、過去の捕獲調査の標本だけでなく、バイオプシー標本も用いられた。現在、ミナミセミクジラ（*Eubalaena australis*）、北太平洋セミクジラ（*E. japonica*）、および北大西洋セミクジラ（*E. glacialis*）の3種が認められている。

##### 南半球シロナガスクジラ

当研究所の研究者も参加した国際的な共同研究により、南半球のシロナガスクジラの遺伝的関係を解明した。インド洋に棲息するピグミーシロナガスクジラ（*B. musculus brevicauda*）とトゥルーシロナガスクジラ（*B. m. intermedia*）の遺

伝的相違の程度は、インド洋ピグミーシロナガスクジラとチリのシロナガスクジラとの差異と同レベルであった。これらの結果により、チリのシロナガスクジラが南半球のシロナガスクジラとは異なる亜種であるという仮説が最近提案された。

## 系群構造

### クロミンククジラ

捕獲調査によって得られたクロミンククジラの標本を用いて、mtDNA RFLP、mtDNA CR塩基配列解読およびマイクロサテライトDNAに基づく遺伝学的分析が標本に対して行われている。最近の仮説は、南極のインド洋-太平洋海域（IWC管理海区のIII～VI海区）にクロミンククジラの2つの異なる系群由来の鯨が分布し、それらが移行域において時空間的に混合していることを示唆している。これらの系群は、インド洋東部と南太平洋の繁殖地と関連している可能性があるため、I-系群（インド洋系群）とP-系群（太平洋系群）と呼ばれている。オーストラリア大陸は、ザトウクジラの場合と同様に、冬の繁殖期間中にこの種の遺伝子流動に対する自然の障壁と考えられた。夏期の南極摂餌域への回遊の忠実性は、摂餌期間中に検出される遺伝的差異を検出することを可能にする。遺伝学手法とは別に、この仮説は、外部形態およびいくつかの生物学的特性値の分析によっても支持されている。

### 南極海ザトウクジラ

遺伝学的分析は、バイオプシー標本から得られたmtDNA CR塩基配列解読とマイクロサテライトDNAに基づいており、IWC管理海区III、IV、VおよびVI海区には異なる系群が分布することが示唆されている。また、オスの場合、経度方向の動きはメスよりも顕著である。

### 南極海ナガスクジラ

遺伝学的分析は、バイオプシー標本と捕獲調査による標本から得られたmtDNA CR塩基配列解読とマイクロサテライトDNAの遺伝子型に基づいて行われている。マイクロサテライトDNA分析は、IVとV海区に異なる系群が分布することを示唆し、クロミンククジラやザトウクジラに対して提唱されたことと同様に、オーストラリア大陸が冬の繁殖期間中にこの種の遺伝子流動に対する自然な障壁であるという見解を支持している。

### ミナミセミクジラ

南極海で行われている目視調査では、南緯60度以南の南極域III、IV、VおよびVI海区で同様の目視努力が払われるが、ミナミセミクジラの発見はIV海区に限定される。自然標識記録の一致は、夏のIV海区のクジラが南西オーストラリアの繁殖地と関連していることを示唆している。バイオプシー標本を用いた、マイクロサテライトDNAに基づく遺伝標識に関する研究により、i) IV海区内の特定の場所への移動の忠実性が強いこと、ii) オスとメスは、夏期に同様の割合でIV海区に移動する、iii) メスよりもオスの方が経度方向の動きの幅がわずかに広い、ことが明らかになった。

### 全世界のニタリクジラ

ニタリクジラの全世界を対象とした系群構造は、世界中の海域から採集された過去および近年の捕獲調査、過去の商業捕鯨バイオプシー標本を対象として、mtDNA RFLP、mtDNA CR塩基配列解読およびマイクロサテライトDNAの異なる遺伝子マーカーを用いて研究されている。結果は、異なる系群が北西太平洋、南東太平洋、南西太平洋および東インド洋に生息することを示した。mtDNA CR塩基配列解読に基づくより最近の研究は、ブラジルのニタリクジラは、ペルーおよびチリのニタリクジラと遺伝的に区別されることを示した。

### 北太平洋ニタリクジラ

北太平洋におけるこの種のRMP実施レビューを受けて、より詳細な遺伝的解析が北西太平洋ニタリクジラに対して行われた。mtDNA CR塩基配列解読とマイクロサテライトDNAに基づく遺伝学的分析は、この海域に2つの系群が分布し、それらが移行域において空間的に混合することを示した。これらの結果に基づいて、系群構造に関する2つの仮説がRMP実施レビューで使用されている。

### 北太平洋ミンククジラ

北西太平洋のミンククジラの系群構造に関する包括的な研究は、遺伝学（mtDNA CR RFLP、mtDNA CR塩基配列解読およびマイクロサテライトDNA）、外部形態、形態学、受胎日、生態学的マーカーに基づいて行われている。現在の仮

説は、日本列島周辺の海域に分布する2つの系群、つまり主に日本海に分布するJ系群、太平洋側とオホーツク海を中心に分布するO系群、が存在することである。両系群は、日本の太平洋側と北海道北部の沿岸部で時空間的に混在している。J系群は冬により出現頻度が高くなり、O系群は主に春と夏に高くなる傾向がある。以上は、北太平洋ミンククジラのRMP実施レビューの際に使用される3つの系群仮説の1つである。

#### 北太平洋イワシクジラ

北太平洋のイワシクジラについては、遺伝学（mtDNA CR塩基配列解読およびマイクロサテライトDNA）、標識-採捕、捕獲および目視記録の分布に基づいて系群構造に関する包括的な研究が行われている。結果は、イワシクジラの単一系群が北太平洋に分布していることを示唆している。これは、北太平洋におけるこの種のIWC科学委員会の詳細評価で用いられている2つの系群構造仮説の1つである。

#### 北太平洋セミクジラ

北太平洋セミクジラのmtDNA CR塩基配列解読による、異なる由来（バイオプシー、座礁、混獲、過去の捕獲）からの遺伝子標本に対する遺伝学的分析の結果は、西部および東部北太平洋に異なる系群が分布することを示唆しており、この結果はこの海域における目視や捕獲の分布記録のパターンと一致する。

ルイス・A・パステネ（研究主幹）

## 4) 生物学的特性値

生物学的特性値とは、自然死亡係数、性成熟年齢、妊娠率などの資源動態に関連する生物学的な値の総称である。これらの特性値の多くは環境条件や生息密度、他種との競合などにより変動することが知られており、例えば餌生物が豊富で好適な条件のもとではより速く成長し、性成熟年齢が若齢化するとともに妊娠率は上昇する。これらの特性値を推定することにより、資源の繁殖状態を把握することができるとともに、継続的にモニタリングを行うことで、資源状態の変化を検出することができる。生物学的特性値による資源動態の解析は、商業捕鯨時代から大型のヒゲクジラやマッコウクジラなどについて行われ、様々な知見が集積されており、現在においても鯨類資源管理における一般的な手法の一つとされている。

生物学的特性値は当研究所の設立当初から重要な研究対象とされており、1987/88年から2004/05年にかけて南極海において実施された南極海鯨類捕獲調査（JARPA）では、クロミンククジラの生物学的特性値（自然死亡率）の推定が主目的の一つであった。資源管理に適用する生物学的特性値は、系群毎に算出する必要があるが、遺伝等の各種解析により明らかとなった南極海に來遊するクロミンククジラの2つの系群について、自然死亡率や性成熟年齢/体長、肉体成熟年齢/体長、成長曲線、見かけの妊娠率、年間排卵率、胎児性比、一腹仔数など様々な特性値が推定され、2006年に開催されたJARPAレビュー会合において報告された。耳垢栓に形成される変移相の年級毎の解析からは、クロミンククジラの性成熟年齢が1940年代から1970年代にかけて低下し、その後は1990年代までほとんど変化がないことが明らかとなった。このことは、競合する大型鯨の減少により生息環境が好転した結果、成長速度が上昇したことを示すとともに、今後ザトウクジラやナガスクジラ等の競合種の増加により、クロミンククジラの性成熟年齢が再び上昇する可能性を示唆しており、今後のモニタリングの継続が重要であることを示している。

2005/06年から開始された第2期南極海鯨類捕獲調査（JARPAII）においても、性成熟年齢や妊娠率等の生物学的特性値のモニタリングが主目的の一つとして掲げられ、2013/14年までの調査期間中に得られた標本から多くの生物学的特性値が推定された。得られた成果は2014年に開催されたJARPAIIレビュー会合において報告され、クロミンククジラが約90%の高い妊娠率を維持していることや、耳垢栓変移相から算出される性成熟年齢には1990年代以降も変化が見られないこと、さらには統計的年齢別捕獲頭数解析（Statistical Catch at Age Analysis; SCAA）により系群毎、年齢毎に推定した自然死亡率などが示された。

2015/16年からは新たに新南極海鯨類科学調査（NEWREP-A）が開始されたが、生物学的特性値は引き続き重要な調査項目であり、SCAAにより加入率等の経年変化等を明らかにすることが調査目的の一つとされるとともに、クロミン

クジラの必要標本数は、性成熟年齢の変化の検出に必要な数として設定された。

北西太平洋においても、1994年から1999年にかけて行われた北西太平洋ミンククジラ捕獲調査（JARPNI）、2000年から2016年にかけて行われた第2期北西太平洋鯨類捕獲調査（JARPNI2）において、生物学的特性値は資源動態を把握するための重要な情報として調査と研究が行われてきた。北太平洋のミンククジラは、摂餌海域において性状態による棲み分けが発達しており、沿岸部には未成熟個体が卓越するのに対し、太平洋の沖合海域には成熟雄が卓越し、成熟雌の多くはさらに北上してオホーツク海やベーリング海に分布する。調査で得られた海域毎の性比や性成熟率を推定することにより、ミンククジラの回遊生態を明らかにする試みが行われた。また、日本近海のミンククジラにはオホーツク海-北太平洋系群（O系群）と日本海-黄海系群（J系群）が存在するが、両系群は繁殖期が異なり、胎児体長の季節分布から両系群を識別できるとともに、外部形態解析によっても、両系群の差を検出できることが明らかとなった。

これらの成果はJARPNIレビュー（2000年）やJARPNI2レビュー（2016）に加えて、IWC/SCにおける各種会合において、資源管理に有用な情報として報告された。

2017年から開始された新北西太平洋鯨類科学調査（NEWREP-NP）においても、南極海のクロミンククジラと同様に、イワシクジラとミンククジラについて、SCAAにより加入率等の経年変化を推定することが調査目的の一つとなっている。

当研究所設立以来30年にわたって収集されたクロミンククジラの生物学的特性値は、世界的にも例を見ない貴重な情報である。近年地球温暖化などによる海洋生態系の変化が報告されていることから、今後も調査を実施して生物学的特性値のモニタリングを継続することにより、生息環境の変動が鯨類資源に及ぼす影響を明らかにしていくことが望まれる。

坂東武治（調査研究部鯨類生物研究室）

## 5) 食性

鯨類の摂餌生態の解明を主目的として業務を行っている。簡単に言うと、鯨類が、どのような種類の餌生物を、いつ、どこで、どのくらい捕食しているのかを明らかにすることであり、調査した海域、時期、水温などの物理的な環境を含めて、鯨類の生活の一端を明らかにする総合的な解析を行なっている。

従来の定性的な食性研究で用いられてきた消化管内容物分析は、基本的に致死的手法によって捕獲した個体の胃や腸から内容物を取り出して、その構成（定性的情報）や量（定量的情報）を調べる方法である（図14）。古くから用いられてきた方法であるが、特に胃内容物分析は食性研究の基本である「何をどのくらい食べたのか」という観点を明らかにするには、正確性からもこれに勝る方法はない。餌生物種や量だけでなく、餌生物の体長も明らかにでき、また、個体の採集時刻の記録があれば、いつ摂餌したかもある程度は推定可能となる。消化管内容物を用いた食性解析には、胃だけでなく小腸や大腸内容物を採集して、顕微鏡を用いて消化物を観察する方法や、餌生物由来DNAを用いた方法がある。

近年の食性解析の分野で特に注目されてきている化学分析が、安定同位体分析である。安定同位体を用いた食性解析では、捕食者（ここでは海棲哺乳類）の体組織に含まれる炭素および窒素、さらには水素や酸素等の同位体比により栄



図14. 胃内容物の採集風景

養段階を求め、餌生物を推定する。また、様々な餌生物をどのくらいの割合で摂取しているか、ベイズ推定を用いて推定することができる。一般に鯨類では試料としてダートバイオプシーなどで得られた表皮を用いることが多い。表皮の場合は1か月程度前の食性を反映すると考えられているが、代謝速度の速い筋肉や肝臓は数日前から数十日前の食性を反映していると考えられ、それらを踏まえた分析結果の解釈が必要になる。ヒゲクジラ類のヒゲ板を調べることで、長期間の摂餌履歴や索餌回遊域の履歴を把握することも可能である。安定同位体分析の欠点は、餌生物の栄養段階が似ていると区別が非常に難しいことである。また捕食者の体内の脂皮や筋肉など各組織に餌生物の安定同位体比が反映されるにはある程度の時間が必要であり、その摂餌時期を正確に推定することは現在のところ困難である。

これらの食性情報から、摂餌量を推定することは鯨類の生態を解明するためだけではなく、他の生物との捕食、被食を巡る関係を調べる際や、漁業との関係を調べる時にも重要な課題となる。摂餌量推定には、大きく分けて胃内容物重量や充満度の経時変化から推定する方法と、エネルギー代謝などから推定する方法がある。エネルギー代謝などから推定する方式については、“uncertainty”（不確実性）の問題がある。これは摂餌量推定を行うにあたり、推定式に含まれる様々なパラメータに存在する不確実性をどのように取り込み、またその範囲をどのように減少させるのかというところに焦点が当たってきている。それを改善するためにモンテカルロシミュレーションを用いた摂餌量推定も行われ始めている。このように、今後は算出した摂餌量については、その精度と共に妥当性についても評価をする必要がある。

ここから算出された摂餌量は、エコパス・エコシムなどの生態系モデルのインプットパラメータとしても、使われている（Watari *et al.*, 2018）。

今後の鯨類の食性研究としては、短期的で断片的な摂餌履歴ではあるが確実な情報である胃内容物および糞分析と、長期的な摂餌履歴を反映する安定同位体比や脂肪酸組成などの化学分析を組み合わせることで摂餌生態を詳細に明らかにするとともに、データロガーや衛星標識を活用した生体エネルギーモデルのさらなる開発や、計量魚探などを用いた海洋環境情報を組み合わせることが重要になると考える。また生態系モデルにこれらの情報を取り込んで、海棲哺乳類の捕食が生態系に与える影響を明らかにしていくことが、鯨類の保全・管理だけでなく海洋生物資源全般の保全・管理の点からも更に重要になっていくに違いない。

## 参考文献

Watari S., Murase, H., Yonezaki, Y., Okazaki, M., Kiyofuji, H., Tamura, T., Hakamada, T., Kanaji, Y. and Kitakado, T. 2018. Ecosystem modeling in the western North Pacific using Ecopath, with a focus on small pelagic fishes. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* <https://doi.org/10.3354/meps12508>. 11pp.

田村 力（調査研究部）

## 6) 環境化学

鯨類を含む海洋生物は、生息環境の変化による直接的・間接的影響から免れることはできない。国際捕鯨委員会（IWC）では、気候変動など地球規模の環境変化に対して世界的な関心が高まったことを受けて、1993年の年次会合において科学委員会（IWC/SC）に対し「環境変化が鯨類に与える影響について調査すること」を勧告した。これを受けて1994年IWC/SC年次会合では、その対象とする環境変化を1) 温暖化、2) オゾン層破壊、3) 汚染、4) 漁業影響（直接、間接）、5) 騒音、6) その他の人間活動（観光、沿岸開発）の6つの課題を挙げ、1) 及び3) を最優先課題として特定した。

日本国政府も、この勧告に対応して、1995/96年度の南極海鯨類捕獲調査（JARPA: 1987/88～2004/05）から、調査目的に「鯨類における環境変動の影響を解明」が追加された。また、その継続調査である第2期南極海鯨類捕獲調査（JARPAII: 2005/06～2013/14）では、主目的の1項目として「環境汚染物質が鯨類に与える影響モニタリング」が含められた。環境汚染物質に関する課題は北西太平洋の調査においても同様に、第2期北西太平洋鯨類捕獲調査（JARPNI: 2000～2016）では、第二の主目的「鯨類及び海洋生態系における環境汚染物質のモニタリング」として、2017年から開始された新北西太平洋鯨類科学調査（NEWREP-NP: 2017～）では、第二の副次目的「鯨類における汚染物質の影響の検

証」として調査計画の主要なアイテムの一つとして取り扱われている。一方、北西太平洋ミンククジラ捕獲調査（JARPN: 1994～1999）及び新南極海鯨類科学調査（NEWREP-A: 2015/16～）の計画の中では直接的な目的としては扱われていないが、系群構造の解明あるいは栄養状態の指標として環境化学的手法が使われている。

当研究所では、上記研究計画に含まれる以前から捕獲調査で捕獲した鯨類に蓄積する有機塩素化合物や重金属など汚染物質のモニタリングを実施し、汚染物質の影響評価のみならず、摂餌により累積する汚染物質の性質を利用して摂餌生態研究や、生息海域の汚染物質濃度組成の違いを利用して系群構造研究など、資源管理に資する研究へ貢献してきた。また、環境化学的手法の研究分野では、各種バイオマーカーや眼の水晶体中のアスパラギン酸のラセミ比に基づいた年齢推定法についても取り組んできた。研究所設立以来、生態系研究の一部として行われてきた環境化学研究は、2011年に新たに「調査研究部環境化学研究室」として独立した研究室が立ち上げられた。設立当初の研究設備は、加熱気化水銀分析装置他、その前処理に必要な機器のみであったが、その後有機塩素化合物分析設備（鮎川実験場にあったため2011年の東日本大震災により流失した）、眼の水晶体タンパク質のラセミ比を用いた年齢を査定するためのタンパク質分析設備一式（UPLC1台、HPLC1台他）及び性ホルモン等バイオマーカーを測定するための自動ELISA分析装置を導入し、前述の課題に対応する体制を敷いている。当研究所で測定・検査できない研究項目については、共同研究（国立大学法人愛媛大学、国立研究開発法人国立環境研究所等）や依頼分析を通して対応している。

各々の調査計画は一定期間の調査が実施されると、その成果の報告と目的に対する達成度を評価するために、IWC科学委員会（IWC/SC）が選出した専門家による評価会合が開催される。以下に各調査の評価会合での報告概要とその評価について述べる。

JARPAは2004/05年シーズンをもって18年間の調査を終了し、2006年に最終評価会合が開催された。当研究所からは、JARPAで捕獲したクロミンククジラ及びその餌生物であるナンキョクオキアミに含まれる重金属類及び有機塩素化合物の蓄積動態と経年変化について3編の報告書を提出した。その一例にクロミンククジラの水銀濃度の経年変化に関する研究がある。鯨類は、年齢とともに肝臓中の水銀濃度が上昇することが知られているが、商業捕鯨終期（1980/81～1981/82）の南極海では、当時の極めて良好な餌環境を反映し、捕獲したクロミンククジラ若齢個体の肝臓中の水銀濃度の上昇が認められ、水銀濃度と年齢の関係がかく乱されていたことが報告されていた。しかしながらJARPAの調査期間（18年）に若齢個体の肝臓中水銀濃度は徐々に減少し、海棲哺乳類として典型的な年齢蓄積カーブを示すように変化したことを報告した。これら報告に対し、評価会合の専門家からは、この報告を歓迎するとともに、生態学的研究及び他の南極海の環境モニタリングにも寄与する可能性があるとして評価された。

このJARPAの継続研究であるJARPAII（2005/2006～2013/14）については、2014年にIWC/SC主催の中間評価会合が開催された。当研究所からは、クロミンククジラ及びナガスクジラの水銀及び有機塩素化合物の蓄積量の経年変化及び健康影響に関する3編及びクロミンククジラの水晶体を用いた年齢推定法に関する1編を報告した。これらヒゲクジラ類2種の汚染物質の体内蓄積濃度は他の地域と比較して極めて低濃度であることを報告し、これらの個体群への健康影響の可能性は非常に低いことを報告した。評価会合の専門家パネルは、これに同意し、南極海における環境汚染物質の研究は、鯨類への影響という観点からは他海域に較べて汚染物質に関する研究は優先順位が低いとの見解を示した。

2000年から始まったJARPNIIでは、「鯨類及び海洋生態系における環境汚染物質のモニタリング」が主目的の一つに加わった（対象鯨種は、ミンククジラ、ニタリクジラ、イワシクジラ及びマッコウクジラ）。計画の中では、この目的を達成するために、①鯨類における汚染物質（水銀及び有機塩素化合物等）蓄積パターンの解明、②食物連鎖による汚染物質の生物蓄積過程の解明及び、③化学的汚染物質と鯨類の健康の関係の検証の3つの課題を掲げた。2016年にはIWC/SC主催で専門家パネルによる最終レビュー会議が開催され、北西太平洋における鯨類の水銀蓄積レベルには変化がないこと、PCBや有機塩素系農薬等は、世界的に使用が禁止された1970年代以降、海洋環境中のレベルも減少傾向を示してきたが、2000年以降定常状態となっていることを報告した。また、これら水銀や有機塩素化合物の蓄積レベルが対象鯨種の健康に影響を与えるものではないと報告した。専門家は、健康影響がないことについて合意したが、ヒゲクジラの体内に蓄積している水銀や有機塩素化合物の解析については、年齢などで変動することから、年齢や栄養段階に関する情報等を取り込んだ再解析を勧告した。現在それらの解析を進めており、2019年のIWC/SCに結果を報告する予定である。

2017年から開始した新計画NEWREP-NPの中では、環境化学的研究課題は副次的目的の2番目「鯨類に関する汚染物

質影響の検討」として取り上げられている。この課題は、以下の3つの調査研究アイテムから成る：①栄養状態や年齢を考慮した有機汚染化合物の潜在的な影響評価、②有機汚染物質の感受性及び応答の種差に関する研究及び③新規汚染物質の潜在的影響の検討である。課題①は、汚染物質が鯨類に及ぼす影響について、生理学的・生物学的交絡要因を考慮し包括的な評価を目指している。課題②については、愛媛大学との共同研究により、生物学分野で近年盛んに用いられている新しい技術であるオミックス (omics) 解析が適用され始めた。オミックス解析とは、生物の体の中にある分子全体を網羅的に解析する手法であり、細胞内の扱う対象の違いによりそれぞれ、トランスクリプトーム解析 (遺伝子発現)、プロテオーム解析 (タンパク質) およびメタボローム解析 (代謝物) と呼ぶ。この技術を用いることによって、鯨種あるいは動物種間のある種の汚染物質への脆弱性を明らかにすることができるのみならず、生息環境に存在する様々な化学物質の累積的影響評価へ貢献することが期待されている。

このように、当研究所では設立から一貫して、鯨類体内に含まれる有機塩素化合物や重金属などの汚染物質のモニタリング研究を継続してきたが、近年はそれら物質の影響が顕在化する前の段階での潜在的な影響評価に軸足が移ってきている。さらに、水晶体アスパラギン酸ラセミ比を用いた年齢推定法や、性ホルモンを用いた繁殖学的研究など、鯨類体内の化学物質の測定を通して鯨類の生態学的・生物学的情報へ寄与する研究にも取り組んでいる。捕獲対象種の汚染物質の影響評価が一段落した今後は、資源管理に有用な環境化学的アプローチを用いた研究の重要性が高まると考えている。

安永玄太 (調査研究部環境化学研究室)

## 7) 社会・経済／法学

社会経済研究室および法学研究室は1997年に当研究所の組織改変により新たに誕生した情報・文化部の下に新設され、社会経済研究室1名、法学研究室1名で創室された。研究室としては新設であったが、捕鯨を特に社会・文化・経済的観点から検討するために、関連事業は1989年から行われていた (表10)。

なお、各研究成果はIWC本会議対策等の基礎資料として用いられ、一部がIWCに会議文書として提出され、また、一部が一般向けに出版された。

室別の個別プロジェクト概略について以下に記す。

### 法学研究室

- 鯨類に関わる国際機関の組織・活動の調査 (1997)
- IWCの改訂管理制度における監視・取締制度 (1997～2000)
- 資源管理をめぐる紛争処理メカニズム (1999～2001)
- 日本の鯨類捕獲調査の法的正当性 (2000)
- IWCの改訂管理制度 (2001～2006)
- 鯨類資源管理のための国際的枠組みの再検討 (2002～2011)
- 国際法における予防原則の事例研究 (2003～2004)
- ワシントン条約「海からの持込み」規定の適用に関する法的検討 (2004～2008)
- 生命倫理及び環境倫理の観点から捕鯨を評価する研究 (2005)
- 鯨類捕獲調査船及び捕鯨船の海上航行の安全確保に関する研究 (2007～2011)

### 社会経済研究室

- カリブ諸国に関する地域研究 (1997)
- IWC締約国の他の国際機関への加盟状況 (1997)
- 沿岸小型捕鯨共同体調査 (1997)
- 亜極カナダ西部ジェームス湾クリー族の女性における伝統的知識と技術の伝承について (1997)

食物アレルギーにおける鯨肉の役割（1997～2017）  
 FAO 漁業と食糧安全保障（1998～1999）  
 国際捕鯨委員会加盟国に関する地域研究（1998）  
 鯨食文化圏に関する地域研究（1999～2017）  
 周極地域におけるエスニシティとアンデンティティに関する研究（1999～2001）  
 経済協力開発機構（OECD）持続的漁業の社会経済的インディケータ（2000～2001）  
 資源利用紛争に関する研究（2000～2001）  
 先住民による水産資源の分配と商業流通に関する研究（2002～2003）  
 開発と先住民に関する研究（2005～2006）  
 国際法、生命倫理及び環境倫理の観点から捕鯨を評価する研究（2006～2017）  
 先住民生存捕鯨に関する研究（2007～2008）  
 鯨肉の消費に関する研究（2007～2008）

表10. 関連事業一覧

1989年9月11日～13日	「ゼロ捕獲の社会経済的影響（日本沿岸小型捕鯨を含む）に関する調査研究会議」（東京）
1991年1月29日～31日	第1回捕鯨問題国際検討会（1991年から2002年まで開催）： IWC活動に関する法学的考察（東京）
1992年1月21日～23日	第2回捕鯨問題国際検討会： 生存のための海産生物の利用のシンポジウム（和歌山）
1993年1月18日～2月17日	第3回捕鯨問題国際検討会： 捕鯨問題セミナー・シリーズ（東京） 1) 1月18日 IWC改訂管理方式（RMP）による鯨類管理 2) 1月29日 アイスランドの調査捕鯨及びNAMMCOの科学委員会 3) 2月10日 鯨の知能と行動、人道的捕殺と野生生物の管理 4) 2月17日 持続的資源の利用と日本の小型捕鯨
1994年2月9日～10日	第4回捕鯨問題国際検討会： 地域文化と野生動物（東京）
1995年2月24日	第5回捕鯨問題国際検討会： 太地ラウンドテーブル討論会：野生生物（特に鯨類）の持続的利用と国際レジーム（和歌山）
1996年1月7日～9日	第6回捕鯨問題国際検討会： 国際捕鯨取締条約に基づくIWC活動の法学的考察：南半球鯨類聖域関連事項の検討（東京）
1997年3月19日～21日	第8回捕鯨問題国際検討会： IWC地域捕鯨作業会議（宮城） IWCと共催
1997年8月22日～24日	第7回捕鯨問題国際検討会： 地域捕鯨対策会議（東京）
1998年3月9日～10日	第9回捕鯨問題国際検討会： 広報活動専門家会議（東京）
1999年4月6日～8日	第10回捕鯨問題国際検討会： 海洋生物資源管理と貿易等の課題に関する円卓会議（東京）
2000年5月25日～26日	第11回捕鯨問題国際検討会： 鯨類資源の持続的利用を図ることを目的とした広報活動検討会合（東京）
2002年3月18日～19日	第12回捕鯨問題国際検討会： 第54回IWC年次会合事前シンポジウム（東京）

大曲佳世（調査研究部）