

## 第二期南極海鯨類捕獲調査計画（JARPA II）－南極海生態系のモニタリングと鯨類資源の新たな管理目標の開発－

日本国政府

### 要約

南極海鯨類捕獲調査（JARPA）は国際捕鯨取締条約第八條の下で 1987/88 年から 2004/05 年まで実施された。IWC 科学委員会は 1997 年に中間レビューを実施した。また、2005 年 1 月に日本主催で世界各国の科学者の参加を得てレビューが行われた。

JARPA から、南極海のクロミンククジラの自然死亡係数や性成熟年齢等の生物学的特性値やそれらの年変化が推定され、資源管理に用いる特性値の幅をせばめることができると予想された。また、この調査海域には 2 つのクロミンククジラ系群の存在が明白にされ、また南極海のクロミンククジラが北半球のミンククジラと別種であることが明らかにされた。さらに、重金属や PCB などの汚染物質の体内蓄積は極めて少ないことが明らかになるなど、所期の目的に沿った多くの成果が得られ、クロミンククジラ資源の合理的な管理に大きく貢献するものと考えられる。2005 年 1 月に実施したレビュー会合では、主要な餌生物であるオキアミを巡るヒゲクジラ間の競争を示唆する一貫した結果が得られていることに合意した。また、得られた結果は、南極生態系におけるヒゲクジラの動態を理解するために、また資源量と資源構造の将来予測を行うためには、種間関係（生態系）を考慮する必要のあることを明確に示していることに合意した。

これらの検討結果に基づき、日本政府は、致死のおよび非致死的手法による総合的な第 II 期 JARPA（JARPA II）を 2005/06 年から開始する。この調査は、最初の 2 年間（2005/06 年と 2006/07 年）はフィジビリティー調査として実施し、拡大海域における目視調査と採集数の増加と対象鯨種の増加による採集方法の実行可能性と妥当性を検討する。また大型鯨の捕獲方法、解剖及び生物調査などに関する実行性を確かめる。

本格調査は 3 年目の 2007/08 年から実施する。この調査は次の目的で実施される長期調査である。1) 南極海生態系のモニタリング、2) 鯨種間競争のモデリングと将来の管理目的の開発、3) 系群構造の時空間的变化の解明、4) 南極海のクロミンククジラの管理方式の改良である。JARPA II は、ナンキョクオキアミ (*Euphausia superba*) を共通して利用するクロミンククジラ、ザトウクジラ及びナガスクジラと他のオキアミ捕食者を対象とする。JARPA II 本格調査における致死の調査としての年間標本数は、850 頭±10%のクロミンククジラ（東インド洋系群と西部南太平洋系群）と 50 頭のザトウクジラ（D系群とE系群）及び 50 頭のナガスクジラ（インド洋系群と太平洋系群）である。フィジビリティー調査では、クロミンククジラを年間最大 850 頭±10%を採集する。また、ナガスクジラについては、フィジビリティー調査期間中は年間最大 10 頭を捕獲する。ザトウクジラについては、フィジビリティー調査期間中は捕獲を行わない。

JARPA II における調査方法は、基本的に JARPA と同様であるが、いくつかの改良を行って実施する。この調査計画には、卵巣などの内臓や耳垢栓、胃などの調査で要求される情報の収集のための致死の調査とともに、目視調査やバイオブシー採集、餌生物の音響調査や海洋学的な情報の収集など非致死調査が含まれている。

包括的なレビューは JARPA II が開始されて 6 年後に行われる。また、航海報告は毎年 IWC/SC に報告される。

## 目 次

I. 緒言	4
II. 調査の背景	5
1. JARPA 結果の要約	5
2. 地球規模での環境変化	7
3. クロミンククジラ資源の管理方式の改善の必要性	7
III. 調査の必要性と調査目的	8
1. 調査の必要性	8
2. 調査目的	9
1) 鯨類を中心とする南極海生態系のモニタリング	9
i) 鯨類の資源動向及び生物学的特性値のモニタリング	9
ii) オキアミ資源と鯨類の摂餌生態のモニタリング	9
iii) 環境汚染物質が鯨類に与える影響のモニタリング	10
iv) 鯨類生息環境のモニタリング	10
2) 鯨種間競合モデルと将来の管理目標の設定	10
i) 鯨種間競合モデルの構築	10
ii) 鯨類生態系修復を含む新たな管理目標の設定	10
3) 系群構造の時空間的変動の解明	11
4) クロミンククジラ資源の管理方式の改善	11
IV. 調査の方法	11
1. 調査海域	11
2. 調査期間	12
3. 調査対象鯨種	12
4. 調査の方法と調査項目	12
・目視調査の方法	13
・捕獲の方法	13
1) 鯨類を中心とする南極海生態系のモニタリング	13
i) 鯨類の資源動向及び生物学的特性値のモニタリング	13
ii) オキアミ資源と鯨類の摂餌生態のモニタリング	13
iii) 環境汚染物質が鯨類に与える影響のモニタリング (Appendix 4)	14
iv) 鯨類生息環境のモニタリング	14
2) 鯨種間競合モデルと将来の管理目標の設定	14
i) 鯨種間競合モデルの構築	14
・モデルの概念	14
ii) 鯨類生態系修復を含む新たな管理目標の設定	15
3) 系群構造の時空間的変動の解明	16
4) クロミンククジラ資源の管理方式の改善	16
・MSYR の推定	16

・クロミンククジラの管理海区の再設定.....	16
・種間関係によって生ずる影響の取り込み.....	16
V. サンプルサイズ .....	16
1. クロミンククジラ .....	16
2. ザトウクジラ .....	17
3. ナガスクジラ .....	17
VI. フィジビリティ調査 .....	18
1. フィジビリティ調査の必要性と目的.....	18
2. 調査期間 .....	18
3. 調査の方法 .....	18
4. サンプルサイズ .....	18
VII. 資源への影響 .....	18
VIII. 調査船、調査組織、外国からの参加.....	19
1. 調査船.....	19
2. 調査研究機関 .....	19
3. 外国人科学者の参加 .....	19
IX. 致命的調査の必要性 .....	19
X. 既存データの利用について .....	19
商業捕鯨データ .....	19
第 I 期の JARPA データ .....	19
X. その他 .....	19
1. 鯨類標本の処理 .....	19
2. IWC 科学小委員会への報告.....	20
3. 捕殺方法.....	20
XI. 文献.....	20
Appendix 1 JARPA 調査海域におけるヒゲクジラ類の組成 (松岡耕二、袴田高志、西脇茂利)	
Appendix 2 南極海のクロミンククジラに何が起こったのか? -JARPA 結果の解釈- (藤瀬良弘、畑中寛、大隅清治)	
Appendix 3 南氷洋索餌域におけるヒゲクジラの系群構造の時空間変化 (L.A.Pastene、上田真久)	
Appendix 4 南極海と北西太平洋における鯨類及び海洋生態系の環境汚染モニタリング (安永玄太、藤瀬良弘)	
Appendix 5 南極海生態系におけるオキアミ捕食者の資源変動に関する仮説 (畑中寛)	
Appendix 6 成熟雌中の妊娠個体の割合、見かけの妊娠率及び性成熟年齢の変化の検出に必要な標本数 (坂東武治、袴田高志、銭谷亮子、藤瀬良弘、田中栄次、加藤秀弘)	
Appendix 7 クロミンククジラにおける脂皮厚変化のモニタリングを目的とした必要標本数 (小西健志、袴田隆志、田村力)	
Appendix 8 遺伝的標識再捕による資源量のトレンドのモニタリングに必要な標本数 (上田真久)	
Appendix 9 第 II 期南極海鯨類捕獲調査 (JARPA II) における捕獲の資源への影響 (袴田高志)	

## I. 緒言

IWC は 1982 年に科学的知識が不足していることを理由にして商業捕鯨モラトリアムを採択した。日本政府はこれに異議申し立てをしていたが、1985 年にそれを撤回した。このことにより、1986/87 年漁期をもって南極海ではすべての商業捕鯨が停止し、現在に至っている。

科学的な不確実性を解決し、持続的な捕鯨の再開のための道を確認するものとするために、日本は国際捕鯨取締条約第Ⅷ条の下で南極海のクロミンククジラの生物学的特性値解明を主目的とする捕獲調査(JARPA)を開始した (GOJ, 1987)。この計画は、1987/88 年に開始され、フィジビリティ調査 2 年を含む 18 年にわたる長期調査であり、世界におけるクジラの宝庫である南極海で全ての商業捕鯨が停止する中で鯨類の資源管理のために有益な一連の時系列情報をもたらす唯一の総合的調査計画であった。

この調査から得られた成果については、1997 年に IWC 科学委員会により中間レビューが行われ、JARPA の成果はクロミンククジラ資源の管理の改善に貢献する可能性のあることが合意された。

また 2005 年 1 月に日本主催で世界各国の科学者の参加を得てレビューが行われた。JARPA から、南極海のクロミンククジラの自然死亡係数や性成熟年齢等の生物学的特性値やそれらの年変化が推定され、資源管理に用いる特性値の幅をせばめることができると予想された。また、この調査海域には 2 つのクロミンククジラ系群の存在が明白にされ、また南極海のクロミンククジラが北半球のミンククジラと別種であることが明らかにされた。さらに、重金属や PCB などの汚染物質の体内蓄積は極めて少ないことが明らかになるなど、所期の目的に沿った多くの成果が得られ、クロミンククジラ資源の合理的な管理に大きく貢献するものと考えられる。

折しも、地球温暖化を始めとする全球的な大規模気候変化が南極海においても顕在化しており、鯨類資源へのこれらの変化の影響を把握するために南極海生態系のモニタリングが必要となっている。

また、JARPA の非致命的調査により、シロナガスクジラの発見は相変わらず少ないのに対して、かつて乱獲によって減少したザトウクジラやナガスクジラの急激な回復が示唆され、これまで大型ヒゲクジラ類の乱獲による資源低下に乗じて資源量を大きく拡大したと見られるクロミンククジラ資源に停滞の兆しが見られている。これらのことは、現在南極海におけるヒゲクジラ類のバランスが再度大きく変容し始めたことを示唆している。

このように、南極海生態系が大きく変化しつつある中で、日本政府は第 I 期の JARPA による成果を土台として、2005/06 年より第 II 期の致死のおよび非致死的手法による総合的調査 (JARPA II) を開始する。この調査は、2 年間のフィジビリティ調査を経て 3 年目(2007/08 年)から本格調査として実施する。この調査は南極海生態系の中でナンキョクオキアミ (*Euphausia superba*) を共通して利用するクロミンククジラ、ザトウクジラ及びナガスクジラ、カニクイアザラシや他の生物種を対象とした長期にわたる調査になるものと予想される。JARPA II はこれらの鯨類や鰭脚類、あるいは海鳥類とそれを取り巻く環境要因の量的、質的变化をモニターし、得られたデータを利用して鯨種間競合モデルを構築することであり、また生態系を踏まえた新しい鯨類資源管理方策の樹立に資することを目的としている。

例えば、南極海のシロナガスクジラは当初 20 万頭にも及んでおり、商業捕鯨の最初の捕獲対象となったが、乱獲によって資源が大きく減少し、1964 年には捕獲禁止の処置が執られている。しかし、40 年を経ても未だそのシロナガスクジラ資源は 2,000 頭以下と回復が大幅に遅れている (Branch *et al.*, 2004)。他方、ザトウクジラとナガスクジラも乱獲によって資源が減少し、同様に捕獲禁止の処置が執られたが、近年回復がめざましく、特にザトウクジラでは、南極海 IV 区においてはクロミンククジラと同等数の発見に至っている (Ishikawa *et al.*, 2004)。将来の管理目標として、このような商業捕鯨開始初期のようなシロナガスクジラやナガスクジラが卓越する生態系に回復させるための管理方策も検討すべきであろう。

また、IWC 科学委員会の努力で 1992 年に改訂管理方式(RMP)は完成したが (IWC, 1993)、商業捕鯨モラトリアムに対して異議申し立てを行っているノルウェーによる捕鯨操業を除けば、完

成以後 12 年を経ても一度も実施には至っていない。RMP のいくつかの側面で改良が求められている。なぜなら 12 年間の間に RMP の現行の公式が実行段階で殆ど機能しないことが明らかになったからである。JARPA II では RMP に用いる重要なパラメタである資源増加率 (MSYR) を推定し、また系群情報に基づいて管理海区の再設定を行うことにより RMP の改善を図る。

ノルウェー政府は魚類資源の管理との関連で海産哺乳類資源の水準を人為的にコントロールする生態系管理に踏み切ろうとしている (Ministry of Fisheries, 2004)。また、米国政府は、ベーリング海やアラスカ湾において海産哺乳類の餌の確保をも考慮に入れた漁業管理を実施している (North Pacific Fishery Management Council, 2003)。日本も北太平洋における鯨類捕獲調査 (JARPN II) において Multi-Species Management に積極的に取り組んでおり、魚類の資源管理に鯨類の捕獲調査を通じて得られる情報を考慮したものを加えた精度の高い管理の策定に取り組んでいる。

特に、地球上で最大の鯨類資源を擁する南極海においては、IWC として将来に向けて、鯨類の保護と持続的利用並びに南極海の鯨類を含む海洋生態系の修復を目指した複数鯨種の一括管理を確立して行く必要がある。日本がこれから実施しようとしている JARPA II はこれらに大きく貢献しよう。

## II. 調査の背景

### 1. JARPA 結果の要約

我が国は 1987 年から南極海鯨類捕獲調査 (JARPA) を開始した。この直前まで商業捕獲が行われていたのはクロミンククジラのみとなっていたが、IWC 科学委員会では、1980 年代に捕獲枠算出に使用していた生物学的特性値の不確実性に批判が集中していた。このため、この捕獲調査の第 1 の目的は「資源管理に必要な自然死亡係数を始めとする生物学的特性値の推定」におかれ、加えて、各種鯨類の現存量を把握するとともに、ヒゲクジラ類の代表として最も資源量の多いミンククジラの食性を調べる「南極海生態系における鯨類の役割の解明」を第 2 の目的とした。この調査計画は、IV 区と V 区を調査海域とし、18 年 (フィジビリティ調査 2 年を含む) にわたって 300 頭±10% の捕獲枠で両海区を交互に実施する計画であった (GOJ, 1987)。

その後、IWC 科学委員会は改訂管理方式の開発に注力し、1992 年にそれを完成させた。この管理方式では、資源量推定値と系群構造がキーフアクターとなる。そして、それまで用いられていた自然死亡率に代って、MSY レベルでの資源増加率 (MSYR) が重要なパラメタとなった。また、地球温暖化やオゾンホールなどの環境変化が世界的な関心事となり、IWC においても鯨類への影響に関心をもたれるようになった。このような変化を踏まえ、日本は 1995 年より「ミンククジラ系群構造の解明」と「環境変化の鯨類への影響」の二つの目的を加え、III 区東と VI 区西も調査海域に加えて 100 頭±10% の捕獲を追加し、以降、400 頭±10% で調査を継続し、2005 年 3 月に JARPA が終了した。

JARPA によって多くの成果が得られているが、1997 年に IWC 科学委員会により中間レビューが行われ、以下のような評価を受けた (IWC, 1998)。

i. JARPA はまだ調査期間の半ばにあるけれども、調査海域におけるある種の生物学的特性値 (例えば性成熟年齢の直接測定) の理解に関して、すでに大きな貢献をしている。

ii. 「南極海の生態系に果たすクロミンククジラの役割の解明」という調査目的の下で、JARPA は調査海域におけるクロミンククジラの資源状態についての理解を増加させるに必要な生理状態に関する資料を集めてきた。これらの資料は「オキアミの余剰」説に関連する種々の仮説を検証するのに役立つであろう。

iii. 「鯨類に及ぼす環境変化の影響の解明」の調査目的の下では、クロミンククジラの生物学的特性値が環境変化に関連してどのように変化するかについての知見は、いまだにかなり不確かである。それ故に、物理的、生物的海洋学とクロミンククジラと餌の分布との関係とを統合する、中規模な海域における研究 (メソスケールサーベイ) を発展させるべく努力する必要がある。

また、次のような評価を受けた；

‘JARPA 計画の結果は RMP の下での資源管理に直接必要としないが、次の方法でクロミンククジラの資源管理を改善する可能性を有する。(1) RMP の適用模擬試験 (IST) において考えられるシナリオの数を減らす。(2) 将来の RMP の適用模擬試験において新たなシナリオを発展させる (例えば、系群構造の季節要素)。

‘JARPA 資料の解析結果はクロミンククジラの捕獲枠を、資源減少の危険を増大させずに、現在の RMP の適用模擬試験で計算されるよりも増加させるであろう。’

また、IWC 科学委員会では、第 I 期 JARPA の完了を受けて 2005 年の年次総会以降に成果のレビューを行うこととしている。日本政府はこれに先立ち、第 II 期調査の計画案策定に資するため、2005 年 1 月に JARPA レビュー会合を開催し、成果のレビューを行った。得られた成果は以下のように要約される。

生物学的特性値の推定では、まず、年齢の査定率の向上や系群を反映した年齢組成データの収集、並びにこれら生物学的情報と目視情報の同時収集を進めて、クロミンククジラ資源が比較的安定に推移していることが示されている。また、クロミンククジラの自然死亡係数については、当初から予定されていた田中の方法(Tanaka, 1990)と ADAPT-VPA による解析が行われ、前者では 0.05/年(Tanaka *et al.*, 2005)、後者では 0.05~0.08/年 (Kitakado *et al.*, 2005; Mori and Butterworth, 2005) と推定された。性成熟年齢については、1940 年代の年級群の性成熟年齢が 11~12 歳であったものが 1970 年代末の年級群では 8 歳にまで若齢化したという結果が得られている(Kato, 1987, Cooke *et al.*, 1997, Thomson *et al.*, 1999)。このことはクロミンククジラ資源が急激に増加してきたメカニズム解明の重要な手がかりとなろう。

「生態系における鯨類の役割の解明」では、胃内容物重量と鯨の体重を直接測定し、クロミンククジラの胃内容物の定量的分析を行い、クロミンククジラ 1 頭が 1 日当たり消費するオキアミ量は、200~300kg (体重の 3~5%) で、IV 区の年間消費量は、174 万トンから 193 万トンと推定され、IV 区のオキアミのラフな推定資源量のおよそ 30%に相当することが示唆された(Tamura *et al.*, 2005)。また、1980 年代以降におけるクロミンククジラ性成熟年齢における若齢化の停止(Zenitani *et al.*, 2005)、肉体成熟年齢の高齢化、脂皮厚の減少が報告されている(Ohsumi *et al.*, 1997; Konishi *et al.*, 2005)。また、豪州沿岸の調査や JARPA 調査により、ザトウクジラが急激に増加していることが確認された。IV 区の系群の資源量は 2 万頭に達しようとしており、間もなく初期資源のレベルに戻ると推定されている(Johnston and Butterworth, 2005)。また JARPA の目視調査から、ナガスクジラは 9 千頭程度 (III 区東+IV 区) に達しており、さらに両種の分布域が南に拡大していることが報告され、鯨種間の競合が強く示唆された(Appendices 1 and 2)。さらに本年の JARPA レビュー会合においても JARPA からの成果は単一の餌であるオキアミを巡る鯨種間の競合を矛盾なく説明するという事で意見の一致をみた。

環境の変化による鯨類への影響では、鯨体内の重金属や PCB 等の汚染物質の濃度が全球的な汚染の指標となることが示唆され、また北半球のミンククジラに比較して汚染物質の蓄積が極めて低濃度であり、また、汚染濃度の近年における低下傾向が明らかとなった(Fujise *et al.*, 1997; Yasunaga *et al.*, 2005)。

クロミンククジラの系群構造については、mtDNA の解析の結果を毎年 IWC の科学委員会に報告している。委員会は、現段階では予備的な結果であり、最終結果は異なった解析の結果によってより強固なものとなるだろうと報告に記載している。さらに、異なるグルーピングや分析方法を用いた追加解析を強く支持している (IWC, 2003)。

系群の同定の疑問に答える最も効果的な方法は遺伝学および非遺伝学的な多くの異なる方法で得られた結果を検討する必要があることが認識されている(Donovan, 1991; Perrin, 2001; Rugh *et al.*, 2003)。

これに答えて、JARPA の系群構造の研究は、遺伝学や非遺伝学の生物学的なマーカーや詳細なグルーピングを用いて発展させた。このアプローチを使って 1987/88 年から 2003/04 年の JARPA のサンプルの解析を行い、その結果は JARPA レビュー会合に報告されている(Pastene *et al.*, 2005a)。

異なるアプローチからの結果は、同様なパターンを示し、JARPA 海域に2つの系群が存在するという仮説と一致した。おそらく、これらの系群は東部インド洋と西部南太平洋の繁殖場と関係している。管理目的で両系群の境界を用いる場合は 165°E が提案された。二つの系群の名称として、東部インド洋系群 (Eastern Indian Ocean Stock, I-Stock) と西部南太平洋系群 (Western South Pacific Ocean Stock, P-Stock) が提案され、系群構造は IWC 従来のIV区とV区の境界とは一致しないことが記録された。

## 2. 地球規模での環境変化

近年、洪水の頻発、氷河の退縮、海水温の上昇、珊瑚礁の白化等、地球温暖化に起因する現象が世界各地で発生している。北極域では氷の溶け出しによりホッキョクグマを始めとして多くの海洋生物への影響が懸念されている (Hassol, 2004)。また、南極海においても気温や海水温が上昇し、2002年にはラルセン棚氷が大崩壊した。特に、南極半島では冬季平均気温が約5°Cも上昇し、ペンギンの種の交代が起こっている (Croxall *et al.*, 2004)。

さらに、海水温の上昇により、大西洋南西部においてはナンキョクオキアミの資源量が1970年代から80%も減少したと報告されている (Atkinson *et al.*, 2004)。JARPAの調査対象海域である南極海IV区およびV区においては、海水温の上昇とオキアミの減少は明確でないが、近い将来にこのような現象が南極海全体に波及する可能性がある。

このような地球温暖化等の大規模環境変化は、南極海においてはオキアミの生産に大きな影響を及ぼし、鯨類の環境収容力を変化させたり、オキアミ捕食者の行動や生態を変化させる可能性がある。

また、このような地球規模での環境変化の影響は、南極海のみならず全世界の海洋におよぶことから、南極海など極域を含むグローバルな海洋生態系調査を推進し、海洋生態系に与える影響とその将来予測に関して情報の収集と研究を推進していく必要がある。

さらに、地球温暖化に加えて、水銀やPCBなどの環境汚染物質も地球規模で拡散していくことから、全地球的な規模でのモニタリングが重要である。有機塩素化合物や重金属のような残留性の高い環境汚染物質は、ひとたび大気などを経由して環境中に放出されると地球規模で広く拡散していく。この地球規模の汚染を的確に把握し、将来予測するためには、これら汚染物質がどのような時空間的挙動をしていくのかを明らかにする必要がある。この直接的な方法としては、媒体となる大気や海水の汚染レベルをモニタリングすることが重要となるが、一般にこれら環境中の汚染物質のレベルは非常に低い。また、それらの媒体を経由してある種の汚染物質は、生物圏で食物連鎖を経由して、高次の生物に高濃縮されることから、これらの汚染物質の生物への影響を調べるためには、高次の生物自身における汚染物質の蓄積特性とその生体影響を調べる必要がある。

## 3. クロミンクジラ資源の管理方式の改善の必要性

IWC 科学委員会は1992年に商業捕鯨の管理のために改訂管理方式 (RMP) を完成させた (IWC, 1993)。しかし、ノルウェーによる意義申し立ての下での捕鯨を除けば、未だその適用による捕鯨の開始には至っていない。さらに、この方式は余りにも鯨類資源への安全性に配慮したために資源の十分な利用にほど遠く、かつ系群構造仮説、チューニングレベル、MSYR等については生物学的根拠が薄弱であるために低い捕獲枠をもたらす仮定値を用いている。これら仮定値の違いによって大きく捕獲枠が変わるなどの欠点が認められ、北太平洋ミンクジラの事例では合意にいたっていない (IWC, 2004)。従って、そのようなパラメタの不確実性を減らすことが重要である。

IWCにおいては未だ検討されていないが、世界の各地で複数種一括管理の必要性が認識され、米国やノルウェーでは一部実施に移されているが (North Pacific Fishery Management Council, 2002; Ministry of Fisheries, 2004)、多くのヒゲクジラ類が南極海生態系において共通してナンキョクオキアミを利用しており、上述したようにJARPAの結果は、卓越した餌生物であるオキアミ

を巡ったヒゲクジラ類の競合と一致している。それゆえに、IWC としてもまたメンバー国としても、複数鯨種の一括管理方式の開発に取り組む必要がある。

### Ⅲ. 調査の必要性和調査目的

#### 1. 調査の必要性

南極海における大型鯨類コミュニティは歴史的に大きく変化してきたが、近年は乱獲からの資源回復とともに大きく変化しつつあると考えられる。加えて、鯨類資源に影響する可能性のある顕著な地球規模での環境変化が起こっている。

このため、南極海に生活する鯨類の生物学的特性値や資源量の変化と同様に長期間にわたって環境条件の変化を組織的（システマティック）にモニターする必要がある。また、かつ、長期的に把握し、鯨類がどの様にこれら人間活動に起因した温暖化や生態系構造の変化に対応し、適応して行くのかをモニターし、必要に応じて鯨類資源量のコントロールを含めて、科学的根拠に基づき総合的に管理していく必要がある。

特に、シロナガスクジラは資源が低減してから 40 年以上経過しているにも拘らず、増加傾向はみられるものの極めて低水準にあり、すでにニッチェの大部分をミンククジラや他の近年増加傾向にある他鯨種に占有されている可能性があり、そのような人為的なアンバランスを修復するためには、人為的な操作も含めた全ての可能性を検討すべきである。

すでに述べたように、第 I 期の JARPA は、クロミンククジラの性成熟年齢の若齢化の停止、脂皮厚の減少傾向とともに、クロミンククジラ資源の増加が停止していることを明らかにした。他方、ザトウクジラやナガスクジラの資源が急激に増加し、IV区においてはザトウのバイオマスがミンクのその数倍に達するなど種間のバランスが変化し（Ishikawa *et al.*, 2004; Appendices 1 and 2）、南極海での海洋生態系が変容し始めており、クロミンククジラのみならず、ザトウクジラやナガスクジラをも含めた調査を実施して、これらの変化を解析する必要がある。他方、地球温暖化が南極海においても顕在化しており、その上記鯨種への影響も早急に解析しておく必要がある。

今後の管理方式として開発された RMP は、環境収容力の 2 倍あるいは 2 分の 1 の変化の下でも機能するとされているが、単一種の管理をベースにしたものである。RMP は、それに用いられている様々なパラメタの不確実性が大きいと、鯨資源利用を過度に保守的なものとしている。もし、より良い多鯨種モデルが開発され RMP に取り込むことができれば RMP の改善を図ることができよう。また、一つの鯨種の捕獲は他鯨種の回復にプラスの影響を与えることが考えられるが、RMP はそのようなプロセスを含んでいない。

生態系が大きく変容する状況においては、現行の RMP は基本的に単一種管理モデルであるので、複数鯨種の合理的な利用を行うためにより良い管理方法を持つ必要がある。

このため、a) 鯨類とその生息環境の様々な要素（資源頭数、性成熟年齢等の生物学的特性値、オキアミ資源量、海洋環境等）をモニタリングし、b) これまでの JARPA データに基づき、また将来のモニタリングを通していろいろな仮説を検証しながら「鯨種間競合モデル」を構築し、c) これによって将来の管理目標を確立して行く必要がある。例えば、選択的な捕獲を通して、シロナガスクジラやナガスクジラの卓越した初期の状態までシロナガスクジラやナガスクジラの回復を促進させ、それらを持続的に利用するという管理目標はある一鯨種の捕獲が他に与える影響を研究するモデルによって考察することができるだろう。

このようなモデルを構築するためには、クロミンククジラのみならず、ザトウクジラ及びナガスクジラも捕獲調査の対象とすることが必須であり、これら鯨種のモニタリングによって得られるデータを用いて、また他のオキアミ捕食者に関する CCAMLR 等からのデータも利用しつつ、鯨種間のオキアミを巡る競合に焦点を当てた生態系モデルを作る必要がある。



南極海生態系を構成する主要な鯨種の系群構造に関する情報は、資源量推定値とそのトレンドのより良い解釈、生物学的特性値の推定のために重要であり、管理方式の適用のためにも重要である。系群構造の情報量はシロナガスクジラ、ナガスクジラ、ザトウクジラ及びクロミンククジラで異なっている。

ナガスクジラやシロナガスクジラの系群構造に関する情報は非常に少ない。利用できる情報は商業捕鯨時に行われた標識再捕に基づくものしかない。現在のこれらの系群構造を理解し、過去に仮定された構造からどのように変化したかを研究するためには、遺伝データを含む新しい情報の収集が必要である、シロナガスクジラとナガスクジラの両種は、大きな資源量の変化をしており、系群構造は時間の経過とともに変化していることが予想される（例えば、資源間の地理的な境界線の変化など）。

JARPA の結果として、南極海における系群構想に関する多く情報がクロミンククジラとザトウクジラについて利用可能になった(Pastene *et al.* 2005a; Pastene *et al.*, 2005b)。しかしながら、上述したように時間に伴う資源量の変化はこれらに観察されており、資源量のそのような変化はこれらの種の分布や境界線に影響する可能性がある。系群構造におけるこれらの変化を研究するために、資源状態とそのトレンドのモニタリングが必要である。これは管理の目的のためにも重要である。例えば、資源ごとの捕獲枠は、資源への悪い影響を与えないように資源の境界を移動させて調整されなければならないだろう。

商業捕鯨の管理方式として IWC は RMP を採択したが、ノルウェーによる意義申し立ての下での事例を除けば、その適用には到っていない。RMP 導入への懸念を解消し、またその欠点を改善するためには、MSYR についての推定値を得ることが必要である。また、現在経度 10 度の幅で小海区が設定されているが、系群構造に基づいて小海区を適切に再設定することが最低限必要である。また、鯨種間の競合により環境収容力が低下している時には現行の RMP は捕獲枠をゼロと算出する欠陥がある。これは競合に起因する資源量の減少を捕獲による減少と現行の RMP が間違っ

## 2. 調査目的

本調査の目的は、以下の4つに集約される。なお、当初の2年間はフィジビリティ調査となるが、これについては第VI章で述べる。

### 1) 鯨類を中心とする南極海生態系のモニタリング

すでに述べたように、南極海生態系は大きく変化しつつあるが、調査対象海域における様々な環境条件、餌生物密度と資源量、クロミンククジラ、ザトウクジラ、及びナガスクジラの3種の大型ヒゲクジラ類の資源量と生物学的特性値の経年的な変化を追跡する。これによって得られるデータは、南極海生態系の変化を示す指標となり、これらを観測し、記録することには大きな意味があり、鯨類が環境変化や生態系構造の変化に対し、どのように応答し適応して行くのかを把握することにより、資源の利用や管理を適切に実施することが可能となる。同時に、これらのデータは第2の目的である「鯨種間競合モデル」に必要であり、モデルの構築や稼働に用いる。

#### i) 鯨類の資源動向及び生物学的特性値のモニタリング

目視調査による資源量の変化や、採集調査による加入率や自然死亡率、妊娠率、性成熟年齢など生物学的特性値の経年変化を追跡する。

#### ii) オキアミ資源と鯨類の摂餌生態のモニタリング

摂餌量の年変化と脂皮厚の経年変化を追跡する。可能であればメソスケールサーベイを実施し、餌生物の分布や資源量を調査し、鯨類を取り巻く生物的環境の変化を追跡する。

### iii) 環境汚染物質が鯨類に与える影響のモニタリング

汚染物質は地球規模で時空間的挙動をし、生物圏で食物連鎖を経由して高濃縮する。鯨類など高次捕食者を調べることによって、高次捕食者の汚染物質の蓄積特性とその毒性影響を明らかにし、併せて、地球規模での汚染の動向を的確に把握し、将来予測する。

汚染物質の影響を殆ど受けていない海域の生物は、野生生物におけるコントロールとして重要であり (IWC, 1999)、南極海ではこの情報を収集する。また、既に実施している北西太平洋での JARPN II 調査と連携し、鯨類における汚染物質の挙動を比較生物学的な手法を用いて明らかにする。また、同時に両海域の環境試料 (大気・海水) や鯨類の餌生物も同時に分析を行い、これら汚染物質の海洋生態系における挙動や地球規模での動態の解明に向けて検討していく。また、北大西洋ミンククジラに関する結果が利用できれば、それとの比較も行う。併せて、これら汚染物質の生体影響について疫学的、病理学的、毒性学的な手法を用いて検討する。具体的には以下の目的で調査研究を進める。

- ・南極海及び北西太平洋の鯨類における汚染物質の蓄積とその生物過程での変化の解明
- ・南極海及び北西太平洋の海洋生態系における汚染物質の挙動の解明
- ・汚染物質が鯨類へ与える生体影響の解明

### iv) 鯨類生息環境のモニタリング

水温、塩分、氷等の鯨類を取り巻く海洋・気象環境の変化をモニターする。このようなモニタリングは、第2の調査目的の生態系モデルや第4の調査目的のミンククジラの資源管理などに関係して、環境変化をいち早く把握することを可能にする。

## 2) 鯨種間競合モデルと将来の管理目標の設定

### i) 鯨種間競合モデルの構築

本調査で対象とする海域では、鯨種間の競合が起こっていることが強く示唆されており、鯨類資源の持続的利用のためには、競合に関わる仮説や資源の増減のメカニズムを明らかにし、競合している鯨種の動態を具現するモデルの構築が必要である。

「オキアミ余剰仮説」や「性成熟年齢低下による資源増加のプロセス」といった仮説を検証し、それらを組み込んだ鯨種間競合モデルを構築する。モデルの内容についてはIV-4-2)項に記述している。

### ii) 鯨類生態系修復を含む新たな管理目標の設定

鯨類コミュニティが変化する前提の下では、単一種型の管理では、鯨類を含む生態系全体をモニターし、回復のための方策を取る上で限界があり、コミュニティ全体、あるいは少なくとも主要鯨種を網羅した管理目標や管理方策が必要となる。以下に述べる様々な検討を行い、IWC科学委員会による将来の仕事に貢献する。

- ・将来の管理目標の設定  
管理目標としては、現状の維持、すなわち現在の鯨種間バランスを保つこと、経済的価値の最も高い鯨種間のバランス回復ないしは近づけること、あるいはシロナガスクジラやナガスクジラの回復を促進することなど、様々な管理目標が考えられるが、それらの利害得失、実現可能性等を検討する。
- ・いくつかの管理目標における種別余剰生産量 (捕獲可能量) の推定  
適切と思われるいくつかの異なる管理目標の下での種別余剰生産量 (捕獲可能量) を推定し、利害得失を検討する。
- ・複数鯨種一括管理への貢献  
選定された管理目標に到達するための管理のあり方、あるいはその管理目標を維持するための管理方策等を検討する。

### 3) 系群構造の時空間的変動の解明

Appendix 3 に示したように、南極海においてナガスクジラとシロナガスクジラの現在の系群構造に関して十分な情報がない。ほとんどの利用可能な情報は、商業捕鯨時代のものであり、非遺伝的な情報に基づいている（例えば、捕獲の分布と標識再捕データ）。これらの情報から、IWC の管理海区間の境界線はおそらく、シロナガスクジラについては正しい（Donovan, 1991, Mackintosh, 1942）。ナガスクジラに関しては、過去に得られた情報は、海盆に基づいた構造が示唆されている。これらの種は資源量に深刻な変化を経験しており、現在の資源構造は過去のそれと一致しない可能性がある。この調査の目的は、現在の資源構造を調査し、過去に示唆されていたそれと比較することである。

Appendix 3 に示したように、ザトウクジラおよびクロミンククジラについては、南極海における系群構造のより多くの情報が摂餌域について今利用可能となった（Pastene *et al.* 2005a; Pastene *et al.*, 2005b）。これらの種もまた長年にわたって資源量の変化を経験しており、それゆえ系群構造の時間的な変化が予想される。この調査の目的は、時間的（経年的）な資源境界のシフトや両系群が混合している水域における混合率の変化について研究することである。

さらに、クロミンククジラについては、東インド洋系群(Pastene *et al.*, 2005a)の西側の境界が不明確なままに残されており、将来調査海域を西へ拡大する機会があれば、この系群の西側の境界を確定することも調査の目的となる。

### 4) クロミンククジラ資源の管理方式の改善

JARPA II の調査目的は最終的に鯨類資源の管理方策の改善につながっていく。すなわち、第1の目的からは、より適切な管理のための生物学的特性値（例えば、MSYR）が得られ、第3の目的からは管理海区設定のための情報が得られる。第2の目的からは将来の管理方策としての複数種一括管理の検討が可能となる。

1993年に合意された南極海のクロミンククジラへのRMPの適用では、MSYRとして成熟雌の1%という極めて非現実的な値が用いられた。また、系群情報が欠けていたために、経度10度幅の小海区が設定されるなど、いくつかの不備が含まれている。このため、以下のような改善に努める。

- ・より良いクロミンククジラのMSYRを推定する。

- ・適切な管理海区を再設定する。

- ・種間関係によって生ずる影響の取り込み。例えば、他鯨種との競合によりクロミンククジラの環境収容力が低下した場合、クロミンククジラ資源量は減少した状態ではあっても環境収容力の満限に近い健全な状態にある。このような場合、現行のRMPでは資源は大きく減少したことになってゼロ捕獲枠となり、現実的に機能しなくなる。このような点の改善が必要である。

## IV. 調査の方法

### 1. 調査海域

JARPA は、南極海第IV区(70° ~130° E)およびV区 (130° E~170° W) で開始された。また、1995年からはIII区東(35° ~70° E)とVI区西(170° ~145° W)が追加された。これら経度幅180°の中で、クロミンククジラの系群構造についての研究が行われ、V区中央の経度線165° Eを境にその東西に異なる系群が存在することが解明された(Pastene *et al.*, 2005a)。西側の海域（特にIV区）では近年ザトウクジラが急激に増加して3.2万頭に達し、バイオマスではクロミンククジラを凌駕するに至っており、ナガスクジラについても急激な増加が見られ、資源頭数はIV区とIII区東で約9千頭程度と推定された(Appendix 1)。他方、クロミンククジラでは脂皮厚の有意な減少や性成熟年齢の若齢化の停止が見られ(Konishi *et al.*, 2005; Zenitani *et al.*, 2005)、鯨種間の競合が強く示唆される海域である。

他方、ロス海を中心とするV区東の海域は、クロミンククジラ西部南太平洋系群の分布する海域である。この系群の資源量は極めて大きい。そして、生物学的特性値の変化傾向の違いからみて、境界線の西側の海域とは鯨種間の競合の状態が異なっていると考えられる(Bando *et al.*, 2005)。両海域の間の比較研究は鯨種間の競合によって生ずる現象を理解する上で有用であろう。

従って、JARPA II では、JARPA と同様にⅢ区東、Ⅳ区、Ⅴ区及びⅥ区西を基本的な調査海域 ( $35^{\circ}$  E $\sim$  $145^{\circ}$  W) とし、1年目はクロミンククジラの東部インド洋系群を主調査対象とし、調査海域の西側 ( $35^{\circ}$  E $\sim$  $175^{\circ}$  E) の経度 140 度幅を調査し、2年目は南太平洋西部系群を主対象として調査海域の東側 ( $130^{\circ}$  E $\sim$  $145^{\circ}$  W) の経度 95 度幅を調査する。このように、調査は西側海域と東側海域で1年おきに実施される (図 1)。

なお、 $130^{\circ}$  E から  $175^{\circ}$  E の範囲はいずれの年もカバーされることになるが、これは以下の理由による。

クロミンククジラの東部インド洋系群 (I 系群) と西部南太平洋系群 (P 系群) が  $165^{\circ}$  E 附近にソフトバウンダリー (可動性のある境界) を持つことが、JARPA レビュー会合で報告されたことから、この構造や年変化および混合の状態を明らかにするために、 $130^{\circ}$  E から  $175^{\circ}$  E の範囲を毎年調査することにしたものである。すなわち、クロミンククジラは、第1年目は  $175^{\circ}$  E の西側で捕獲し、2年目は  $130^{\circ}$  E の東側で捕獲する。

ザトウクジラについては、 $130^{\circ}$  E が境界となり、西側のⅣ区に D 系群 (豪州西岸で繁殖)、東側のⅤ区に E 系群 (豪州東岸で繁殖) が分布する (IWC, 2001)。ナガスクジラについても  $130^{\circ}$  E の西側にインド洋系群、東側に太平洋系群が分布する。しかしながら、ザトウクジラの二つの系群は混合していることが標識再捕の結果から示された。ザトウクジラ D 系群は約 10 年後に初期資源のレベルに回復すると推定されている。他方、E 系群はまだ相対的に低いレベルにある (Johonston and Butterworth, 2005)。従って、両者を比較することにより、資源の動態に応じて生物学的特性値がどのように変化するかを理解するまたとない機会が得られる。

特にロス海については、可能であれば総合生態系調査 (メソスケールサーベイ) を実施する。

## 2. 調査期間

JARPA II は、2005/06 年シーズンより開始するが、最初の2シーズンはフィジビリティ調査とし、主として目視調査や捕獲の実行性や適切性などを検討する。

2007/08 年から本格調査を開始するが、調査期間は6年 (フィジビリティ調査2年を含む) を調査の区切りとする。この期間の終わりにレビューを行い、必要に応じて計画を修正する。

## 3. 調査対象鯨種

前述のように、クロミンククジラでは東インド洋系群と西武南太平洋系群を、ザトウクジラではD系群とE系群を、ナガスクジラではインド洋系群と太平洋系群を対象とする。目視調査では調査対象鯨種としてシロナガスクジラを加える。

二つの海域における3鯨種のサンプリングは、比較解析を通して資源動態や種間競合を研究する重要な機会をもたらす。Ⅳ区においては、クロミンククジラは競合によって減少を始め、ザトウクジラは初期資源の水準に近づいて回復が緩やかとなり、ナガスクジラは増加するといった状況が想定される。他方Ⅴ区においては、現在のところクロミンククジラへのマイナス影響はあまりなく、ザトウクジラの資源量もⅣ区と比較すると相対的に低い。従ってナガスクジラは増加を続けるという状況にあることが考えられる。このように、種間や海域間のクロスチェックが可能となり、鯨類資源の動態に迫る機会がもたらされ、鯨類資源の持続的利用のための適切な管理に貢献しよう。

## 4. 調査の方法と調査項目

調査目的全体に関わる目視調査と鯨類の捕獲方法については、以下のように計画しているが、フィジビリティ調査でそれらの実行性や適切性を試し、必要に応じて改善、変更する。

#### ・目視調査の方法

原則として、60° S以南を調査海域とし、6つのセクター（Ⅲ区東、Ⅳ区西、Ⅳ区東、Ⅴ区西、Ⅴ区東、Ⅵ区西）に分けて、原則として初年度は西側の4つのセクター（Ⅲ区東、Ⅳ区西、Ⅳ区東、Ⅴ区西）、次年度は東側の3つのセクター（Ⅴ区西、Ⅴ区東、Ⅵ区西）を調査し、以後毎年交互に調査する。調査に当っては、各セクターを南北2層に分け、目視専門船（2隻を予定）が目視調査を行う。目視調査の方法は、基本的に SOWER の方法を用いる。ここでは、鯨類に加えて、アザラシやペンギンについても記録する。

#### ・捕獲の方法

3隻の目視採集船を用い、クロミンククジラ分布密度の高い 62° S以南の海域から採集する。JARPA の目視データに基づくクロミンククジラの密度指数は、60° S から 62° S の緯度帯で低く、この緯度帯でのクロミンククジラの採集は大きな重要性のないことを示している。上記 IV-I で示したように、調査海域と層化は、1年目は 35° E~175° E の経度幅を調査し、2年目は 130° E~145° W を調査する。調査コースは、JARPA と同じくライントランゼクト法を用いて設定し、発見された鯨群から原則としてランダムサンプリングし、1群から最大2頭までのクロミンククジラを採集する。また、ザトウクジラ及びナガスクジラについてもクロミンククジラと基本的には同様な方法で採集を行う。

下記に調査目的毎の調査方法や解析方法を示す。

#### 1) 鯨類を中心とする南極海生態系のモニタリング

鯨類及びその生息環境のモニタリングでは、変化を可能な限り早く検出して、その要因の特定や資源への影響を予測し、適切な資源管理への方策が立てられるように情報を提供していくことに大きな意味がある。これまでの JARPA で収集された情報は、ミンククジラ資源の生物学的特性値の推定などを目的に収集されたが、これらのデータはモニタリングとしても有用な項目を含んでいる。

そこで、本計画では、これまでの JARPA で収集された情報との連続性を確保するために、以下の項目について継続的なモニタリングを実施する。

#### i) 鯨類の資源動向及び生物学的特性値のモニタリング

JARPA の結果から、調査海域に来遊するクロミンククジラの資源量は現在のところほぼ一定であるが、次節で述べるように、性成熟年齢の若齢化の停止や脂皮厚の減少などが報告されており、今後これが加入量や資源量にも影響する可能性がある。ここでは、目視調査による資源量のほか、VPA などの個体群動態モデルによる解析から加入や死亡といった特性値の推定を行って、クロミンククジラ資源の量的な変化を明らかにする。このことはまた、環境収容力の変化のモニタリングとしての意味を持つ。

本調査で捕獲した鯨体を用いて、鯨類の性成熟年齢、肉体成熟年齢、妊娠率、脂皮厚等の変化をモニターする。JARPA データの解析からクロミンククジラの性成熟年齢の若齢化が近年停止もしくは高齢化に向かう傾向が示唆されており、これら生物学的特性値の変化はミンククジラ資源の動向を掴む上で、キーファクターである。このため、再生産に直接関係する成熟雌個体に注目して、その性成熟年齢や妊娠率などの変化をモニタリングして、資源の質的な変化を明らかにする。

遺伝的多様性のモニタリングとして、mtDNA マーカーのハプロタイプ数と多様性およびマイクロサテライトマーカーの各遺伝子座の対立遺伝子数とヘテロ接合体率を変異性の指標として経年変化を調べる。これによって、遺伝的多様性の低下を検討し、また大まかな資源量変化の指標とする。

#### ii) オキアミ資源と鯨類の摂餌生態のモニタリング

JARPA と同様に直接捕獲による胃内容物の重量測定と採集を行う。利用している餌生物の種類を同定する他に、胃内容物とネット採集から得たオキアミの体長・成長段階の比較を行う。これ

により、クジラによる餌の種類やサイズ選択の程度を明らかにする。また、JARPA で実施した胃内容物重量の直接計量と基礎代謝量から算出する日間摂餌量の変化をモニターする。

JARPA で実施した肥満度、胴周、脂皮厚、摂餌量などの栄養状態の変化をモニターする。鯨類の栄養状態と海洋環境や餌生物情報と比較して、調査海域内での餌の Availability を評価する。

1997 年の JARPA の中間レビュー会合ではメソスケールでの生態系調査の必要性が指摘された (IWC, 1998)。2004/05 年 JARPA では、水産庁の調査船「開洋丸」が捕獲調査と連携して生態系調査を実施した。JARPA II においても、可能であれば、鯨類の摂餌環境をモニターし、2 から 3 年に 1 回の頻度で計量魚探を用いた低次生物の現存量調査を同時に実施する。

### iii) 環境汚染物質が鯨類に与える影響のモニタリング (APPENDIX 4)

南極域は、有機塩素化合物などの汚染物質の主たる放出源である北半球中緯度域から遠く離れた海域であり、これらの地球規模での汚染の終着点と考えられており、この海域でのモニタリングはグローバル汚染の将来を考える上で重要な海域である。また同時に汚染源に近い北太平洋での鯨類への生体影響を考える上で対照 (コントロール) 海域としても重要な意味をもっている。そこで、このモニタリングの下では次の点に注目してモニタリングを進める。

- ・南極海及び北西太平洋の鯨類における汚染物質の蓄積とその生物過程での変化の解明
- ・南極海及び北西太平洋の海洋生態系における汚染物質の挙動の解明
- ・汚染物質が鯨類へ与える生体影響の解明

この研究では、汚染地域としての北西太平洋及び非汚染地域としての南極海において、栄養段階の頂点にある鯨類とその餌生物、並びに大気・海水のような環境試料を含む海洋生態系における有機塩素化合物や重金属などの汚染物質の分布と挙動を明らかにし、これら汚染の将来予測に貢献する。また、併せて環境毒性学的研究や病理学モニタリングを行って、南極海では汚染物質が野生生物に与える生体影響のバックグラウンド値を、また北西太平洋では毒性影響の発現レベルに関する情報を収集する。また、可能であれば北大西洋ミンククジラについての情報とも比較する。

### iv) 鯨類生息環境のモニタリング

海洋・気象観測を実施するとともに、人工衛星情報を用いて、調査海域全体の海水、表層水温、海面高度やクロロフィル α 濃度などの環境モニタリングを行う。リアルタイムもしくは事後解析により、これらの物理化学環境が鯨類を始めとする海洋生物の分布に与える影響などを明らかにする。また、国際機関や海洋調査に関する国際プロジェクトへの積極的な協力を行う。

## 2) 鯨種間競合モデルと将来の管理目標の設定

### i) 鯨種間競合モデルの構築

南極海生態系におけるヒゲクジラ類コミュニティ (60° S 以南で、ナンキョクオキアミをもっぱら捕食するシロナガスクジラ、ナガスクジラ、ザトウクジラ及びクロミンククジラ) の資源変化に関する仮説を検証しつつ、その変化を再現するモデルを作ることを目指す。そのようなモデルをここでは「鯨種間競合モデル」と呼ぶ。このモデルの内容と関連する仮説 (Appendix 5) を述べる。

#### ・モデルの概念

南極海の 60° S 以南の海域は生物生産性が高く、豊富なナンキョクオキアミ (*Euphausia superba*) 資源が存在する。この海域はシロナガスクジラ、ナガスクジラ、ザトウクジラ、クロミンククジラのような大型鯨類の主要な索餌場となっている。これら鯨類の総環境収容力は利用可能なオキアミのバイオマスに依存している。

1904 年に南極海で捕鯨が開始される以前は全ての鯨類の資源は鯨種間のバランスを保ちながら満限状態にあった (1. 総環境収容力一定仮説)。

しかし、最も大型で鯨油の生産量の最も多いシロナガスクジラと比較的捕獲しやすいザトウクジラが最初に捕獲対象となり、その捕獲量は急速に増加し、やがて両種の資源は大きく減少した。

次いで、1930年代の半ばから主要な捕獲対象がナガスクジラに移り、この資源も大きく減少した。このように海洋生態系中の主要メンバーが減少したことにより、オキアミの大幅な余剰が起こった（2. オキアミ余剰仮説）。

小型で鯨油の生産量が少ないために利用されていなかったクロミンククジラは、この余剰となったオキアミを利用し、有り余る餌を摂取して性成熟年齢も若齢化し、急速にその資源を増大させた（2. オキアミ余剰仮説、3. 種別環境収容力変動仮説、）。

1963年にはザトウクジラが、1964年にはシロナガスクジラが相次いで禁漁となり、次いで1976年にはナガスクジラが禁漁となった。ザトウクジラとナガスクジラについては、性成熟年齢の低下が起こり、近年資源量の増加傾向が顕在化し、IV区においては現存するザトウクジラの生物量はクロミンククジラのそれを凌駕するまでに至っている（4. 性成熟年齢低下による資源増加仮説、5. 生態系内の優位種の仮説）。

この状態がさらに進むと、クロミンククジラ資源の減少が起こるであろう（6. 栄養不足による妊娠率低下仮説、7. 鯨種間競合仮説）。

他方、シロナガスクジラは1964年から禁漁となったが、その回復は遅々としており、これは乱獲によって数百頭のレベルにまで資源が極端に低下し、繁殖の機会が阻害されている可能性がある（8. 回復遅れの原因に関する仮説）。

他方、地球温暖化等の大規模な気候変動が南極海においても顕在化し、例えば、南極半島では冬季平均気温が5°Cも上昇している。また、海水温の上昇により餌生物（オキアミ）が大きく減少した可能性がある。このような変化はオキアミ資源の変動をもたらし、その結果としてヒゲクジラ類の資源も大きな影響を受けている（9. 環境変化が鯨類へ影響しているという仮説）。

今後は、ザトウクジラやナガスクジラ資源の増加に加えてシロナガスクジラ資源も回復のスピードを上げてくることが考えられるが(Branch *et al.*, 2004)、海域によってこのような変化に遅速の違いが生じつつ、ヒゲクジラ類コミュニティのバランスがさらに変化し続けて行くものと考えられる。

以上のような流れを再現するような「多鯨種バランスモデル」の構築を目指す。調査対象海域において各鯨種の資源量の変化やそれをもたらしたメカニズムを組み込み、今後それらがどう変化するかを予測し、各々の資源からの余剰生産量を推定し、また適切な管理目標を検討することにつながる。

南極海における生態系モデルとしてはMori and Butterworth (2004)がオキアミをめぐる鯨類のモデルを開発している。また、北大西洋では種間の競合を考慮したScenario C (Schweder *et al.*, 2000; Zhu *et al.*, 2004)やGadget (Begley, 2004; Olafsdottir and Begley, 2004)が開発途上にある。今後、これらのモデルの利害得失や南極生態系への適合性を慎重に検討し、選択を行う。

餌生物としてオキアミ1種、それを競争的に利用するヒゲクジラ類として4種を中核とするモデルからスタートすることとしている。これは生態系モデルとしてはシンプルなものではあるが、JARPA IIによって得られる資源量やそのトレンドを再現することができるものと予測している。将来的には、同じナンキョクオキアミを利用しているカニクイアザラシなどの鰭脚類やペンギンなどの海鳥類及び頭足類も生態系モデルの構成員として含めて、より現実を反映した生態系モデルを構築することも視野に入れる。

## ii) 鯨類生態系修復を含む新たな管理目標の設定

JARPA IIでは、鯨種間競合モデルがある程度開発され、またクロミンククジラ資源の管理方式の改善作業から得られた結果とモニタリングによって直接推定された知見とを比較検討しながら、シロナガスクジラの回復促進を含む新たな管理目標の設定を検討することになる。

すなわち、管理目標としては、シロナガスクジラやナガスクジラの回復を促進させる、総生産量を最大にする、経済的価値の高い鯨種からの生産を高めることなどが想定され、JARPA IIではそれらの利害得失を検討する。また、JARPA IIでは商業捕鯨が開始された場合のいろいろな鯨類

への影響を検討し、また上記管理目標に沿った捕獲のあり方についてもアドバイスを提供することになる。

### 3) 系群構造の時空間的変動の解明

鯨類に関するモニタリングのための調査で捕獲された標本から遺伝的および生物学的マーカーを採取あるいは観察する。バイオプシーサンプリングは、シロナガスクジラ、ナガスクジラ及びザトウクジラについて実施する。

mtDNA 制限領域のシーケンスと核 DNA のマイクロサテライト解析を行う。他の生物学的マーカーも解析する。

さらに、衛星標識発信機やデータロガー（TDR）の装着方法の開発を進め、実際に装着した個体の回遊ルートを追跡して、系群構造の解明に努力する。

このような解析により、ナガスクジラおよびシロナガスクジラの系群構造の解明を行う。また、クロミンククジラおよびザトウクジラについては系群境界の時空間的変化を追跡する。

### 4) クロミンククジラ資源の管理方式の改善

#### ・MSYRの推定

年齢データと資源量データから VPA を用いて経年的な加入量を推定する。得られた経年的な加入量に、Pella-Tomlinson 型の再生産モデルをフィットさせ、再生産モデルから MSYR の推定値を得る。

#### ・クロミンククジラの管理海区の再設定

第3の目的に関わる成果を用いて、東部インド洋系群および西部南太平洋系群の管理海区を再設定する。すなわち、西部南太平洋系群との混合が予想される海域（V区西セクター）において混合の程度や年による変化を明らかにし、小海区を設定する。他のセクターにおいては、小海区は10度区切りで設定されているが、これを廃止して、生物学的知見に合った小海区とすべきである。

#### ・種間関係によって生ずる影響の取り込み

第1及び第2の目的の下で明確にされた事象に基づいて RMP を改良する。すなわち、種間関係によって生じた事象、例えば環境収容力の低下による資源の減少が起こった場合、RMP が十分に機能するか否かを調べ、適切に捕獲枠を算出するよう改善策を検討する。

## V. サンプルサイズ

### 1. クロミンククジラ

まず、生物学的特性値のモニタリングに必要な標本数を検討した。特性値の推定値そのものの精度を求めるのではなく、推定値の変化を有意に検出するために必要な標本数を算出した。性成熟年齢、脂皮厚等の推定値の変化は、資源の増加率の変化や餌条件の変化を示すものであり、非常に重要である。そして、年々の変化ではなく、標本数のより少なくてすむ6年区切りでの変化（過去に観察された変化率、すなわち回帰式の傾き）を検出するのに必要な標本数を用いた。算出された必要標本数は以下の通り。

性成熟年齢： 商業捕鯨時には年0.2歳の率で若齢化したが、現在はほぼ一定の状態にある。今後変化が始まると考えられるが、0.2歳/年という高い変化率で変化が始まるとは考えにくく、より緩やかな変化率の期間を経ると考えられる。従って、0.1歳/年の変化率を検出できるレベルを選択すれば年間1,288頭となる（Appendix 6）。

妊娠率： クロミンククジラの妊娠率は高く90%以上を示しているが、変化が始まる初期段階の1.0~1.5%の変化率を検出するのに必要な標本数は663~1,617頭となる（Appendix 6）

脂皮厚： 同様に過去に見られた0.5mmの年変化を検出するのに必要な標本数は818~971頭となる（Appendix 7）



また、環境汚染のモニタリングにおいて、新たに開始する汚染の影響としての病理学的モニタリングを実施する際に必要なレベルの標本数としては、JARPA での予備的な観察結果を用いて自然界での鯨類で予測される有病率を 10%とすると、年間 864 頭程度の標本が必要となる (Appendix 4)。

クロミンククジラの 2 つの系群が混合する V 区西側 (VW 海区) における必要標本数を検討した (Appendix 3)。これまでの調査では 1996/97 年に他の年と異なった混合率が見られた。そして、これを有意に検出するための必要標本数は 300 頭と算出された。VW 海区におけるクロミンククジラの資源量はどの年においても調査海域全域での資源量のおよそ 3 分の 1 であるので、900 頭のサンプルサイズであれば、この海域では 300 頭程度の採集が期待され、必要なサンプルが確保されることになる。

さらに、資源量推定や行動様式の解明のために有用な方法として標識-再捕実験があり、近年は、バイオプシー標本の遺伝マーカーを使った実験が行われている。しかしながら、この場合非致死性的サンプリングであることから、努力の割には十分な標本数が得られないことや、外洋性のヒゲクジラではバイオプシー採集が困難であるため実際のところ、うまく実行できていない。これらの欠点を補うものとして近年注目されてきたのが、胎児と母親の標本の遺伝子型の比較から父親の遺伝子型が推定できることを利用して、捕獲した個体から父親を探し出し、これら父母の捕獲位置から系群構造や行動様式を明らかにしようとする試みが進められている (例えば、Skaug and Øien, 2004)。この方法では、単に資源量の推定や系群構造・行動様式の解明だけでなく、生活史や年齢の異なる個体またはグループの繁殖成功率の推定やヒゲクジラの社会構造の理解にも役立つと期待されている。ノルウェーによる事例では、3,301 頭の標本の中から 288 頭の胎児を持つ雌が出現し、DNA を解析した結果 5 頭の父親雄が見いだされた。これによって雄の資源量は 38,400 頭と推定されたが、その精度は低かった。これを JARPA II で対象とするミンククジラに応用する場合、6 年間 (3 シーズン) の標本をプールするとしても、最低限年間 800~1,000 頭程度の標本が必要である (Appendix 8)。

以上を要約すれば、最も少ない標本数としては 663 頭 (妊娠率) が算出されたが、その他のパラメタについては多くが 800~1,000 頭の範囲にあり、必要標本数の最小値としては 800 頭を超える頭数が望ましい。それゆえ、ミンククジラの標本数として 850 頭±10%を採用する。なお、10%の許容範囲は以下の理由による。すなわち、過去のデータの群れ密度に基づいて必要標本数が捕獲されるように調査定線を事前に設計するが、年による群れ密度の変化があり、そのために±10%の許容範囲を設けた。

## 2. ザトウクジラ

重要な生物学的特性値のモニタリングに必要な標本数を検討した。妊娠率、性成熟年齢等の推定値の変化は、資源の増加率の変化や餌条件の変化を示すものであり、非常に重要である。そして、年々の変化ではなく過去に観察された変化率 (すなわち回帰式の傾き) を検出するのに必要な標本数として算出した。

妊娠率と性成熟年齢 (Appendix 6) についての標本数の計算結果を要約すれば以下ようになる。なお、性成熟年齢の年変化についてはほとんどデータがなく、ここではナガスクジラの値で代用した。また、調査の見直しは 6 年区切りで実施されるので、6 年区切りでの標本数が望ましいが、標本数が大きくなるので、プレコーショナリーアプローチとして、12 年区切りで算出された必要標本数を用いた。

妊娠率： 過去に見られた 1.5~3%の年間変化率で 41~181 頭 (Appendix 6)

性成熟年齢： 0.1 歳の年変化率 (ナガスの例) で 131 頭 (Appendix 6)

これらの結果を考慮して、ここでは 50 頭を採用した。

## 3. ナガスクジラ

ザトウクジラと同様な考え方で算出した結果を要約すれば以下ようになる。

妊娠率： 過去に見られた 2～2.5% の変化率で 55～107 頭 (Appendix 6)

性成熟年齢： 0.1 歳の変化率で 131 頭 (Appendix 6)

また、遺伝子解析では、およそ 20～50 頭の標本が必要とされている (Hoelzel, 1991)。

このため、ザトウクジラと同じく 50 頭を採用した。

## VI. フィジビリティ調査

### 1. フィジビリティ調査の必要性と目的

前述したように、海域の拡大と標本数の増加及び新しい鯨種が調査対象に追加されている。フィジビリティ調査の目的は目視調査の方法や採集方法について実行可能性と妥当性を検討し、必要あれば改良することである。

南極海では、1963 年にザトウクジラが、1976 年にナガスクジラが捕獲禁止となり、調査母船日新丸や採集船の乗組員および調査員は、それら大型の両種の捕獲や解剖の経験が無い。このため本格調査に入る前に、捕獲方法や母船への引き上げ、解剖及び生物調査等について、その実行可能性を確認する必要がある。

また、可能であれば、オキアミや海洋環境に関する詳細な調査をフィジビリティ調査の中で実施する。

### 2. 調査期間

最初の 2 ヶ年(2005/06 年と 2006/07 年)を予定する。

### 3. 調査の方法

目視調査および標本採集の方法は、原則として IV-4 項で示したものと同様の方法で実施する。

### 4. サンプルサイズ

ミンククジラについては、V-1 項で述べたように、初年度から年間最大 850 頭±10%とする。これは拡大海域での目視調査方法や増加した標本数への標本採集方法の実行性や妥当性を検討するためである。

ナガスクジラについては、2 年間のフィジビリティ調査の期間中は年間最大 10 頭を採集する。大型鯨の捕獲、解剖及び生物調査等に関する実行可能性を確かめるためである。ナガスクジラについては最近の情報がほとんどなく、食性や性成熟状態についての予備的なデータを得る。

ザトウクジラについては、フィジビリティ調査期間中は捕獲を行わない。既存のデータや報告された知見の精査を行う。

## VII. 資源への影響

クロミンククジラについては、Hitter 法による資源動向から資源への悪影響は無いと判断される (Appendix 9)。

ザトウクジラについては両系群とも順調な回復が報告されている (Bannister and Hedley, 2001; Paterson, Paterson and Cato, 2001; Johnston and Butterworth, 2005)。Johnston and Butterworth (2005)の資源動態モデルを用い、50 頭捕獲した場合の資源への影響を調べた。両系群とも、年間 50 頭の捕獲は初期資源レベルへの回復にほとんど影響を及ぼさないという結果が得られた (Appendix 9)

ナガスクジラの資源量推定値 (Appendix 1) は分布域全体をカバーしたものではなく、それゆえ大幅な過少推定値である。計画された標本数は年間 50 頭であり、それぞれの系群に対しては 2 ヶ年で 50 頭すなわち年当たり 25 頭という捕獲頭数はその過少推定資源量の 1%以下であり、資源

への悪影響は無いと判断される。また、フィジビリティ調査の期間中はそれぞれの系群に対し毎年 10 頭であり、資源への影響はそれゆえ無視できるほど小さいだろう。

## VIII. 調査船、調査組織、外国からの参加

### 1. 調査船

鯨類調査船団は、目視調査に専従する調査船 2 隻（第二共新丸及び未定船）、採集を行う採集船 3 隻（第二勇新丸、勇新丸、第一京丸）及び調査母船 1 隻（日新丸）で構成する。また、可能であれば、より詳細な海洋及び餌環境を調査する他の船が参加する。

### 2. 調査研究機関

日本鯨類研究所 (ICR)

遠洋水産研究所 (NRIFSF) などの、独立行政法人水産総合研究センター (FRA) の研究所

その他の研究機関

### 3. 外国人科学者の参加

日本国政府が設定した資格要件を満たしていれば、外国人科学者の参加を歓迎する。資格要件は、JARPN II と同様である。

## IX. 致命的調査の必要性

1997 年 JARPA レビュー会合時に、致命的調査の必要性は議論している (IWC, 1998)。JARPA II においても、年齢に関わる特性値や胃内容物調査は必須であり、非致命的調査のみでは実施できない。特に JARPA の成果から、摂餌量、脂皮厚及び性成熟年齢等の変化は種間および種内競合を強く示唆していることが示された (Tamura and Konishi, 2005; Bando *et al.*, 2005; Zenitani and Kato, 2005; Konishi and Tamura, 2005; Fujise *et al.*, 2005)。このようなパラメータは南極海生態系のモニタリングのために不可欠であり、それ故に致命的調査が必要である。

## X. 既存データの利用について

### 商業捕鯨データ

ザトウクジラ、ナガスクジラ及びシロナガスクジラについては商業捕鯨データにより妊娠率、性成熟年齢などが推定されている (Appendix 6, Locker, 1979)。これらは重要な情報であり、JARPA II で得られるデータと比較される。

クロミンククジラについては、すでに第 I 期の JARPA データと比較されているが、過去から現在までを結ぶ重要な時系列データとなる。

### 第 I 期の JARPA データ

JARPA データはモニタリングの見地からみても高い価値をもっているが、JARPA II データ（環境データ及び生物学的データ）は、JARPA のそれと連続性を持って収集される。商業捕鯨データと同じく、重要な時系列データとなる。

## X. その他

### 1. 鯨類標本の処理

採集した鯨類標本は全て国際捕鯨取締条約第 VIII 条 第 2 項に則って処理される。採集したクジラ全てから組織標本を採取し、市場管理（個体識別）のため DNA データを登録する。

## 2. IWC 科学小委員会への報告

調査航海が終了した毎に、航海報告書を IWC 科学委員会並びに他の組織の年次会議等に提出する。2回のフィジビリティ調査については、完了した後に報告書を IWC 科学小委員会に提出する。また、本格調査に移行した後は、6年の調査期間の後に、包括的報告書を IWC 科学委員会に提出する。

## 3. 捕殺方法

クジラは全て爆発銃を用いて効率的かつすばやい捕殺を行う。この一次捕殺方法で瞬時に致死しない場合には、鯨種及び対象個体の状態によって大口徑のライフル銃もしくは爆発銃など適切な二次捕殺方法を選択する。

## XI. 文献

- Atkinson, A., Siegel, V., Pakhomov, E. and Rothery, P. 2004. Long-term decline in krill stock and increase in salps within the Southern Ocean. *Nature*, 432: 100-103.
- Bando, T., Zenitani, R., Fujise, Y. and Kato, H. 2005. Biological parameters of Antarctic minke whale based on materials collected by the JARPA survey in 1987/88 to 2003/04. Paper JA/J05/JR5 presented to the JARPA Review meeting, January 2005.
- Bannister, J. L. and Hedley, S. L. 2001. Southern hemisphere Group IV humpback whales: their status from recent aerial survey. *Mem. Qld. Mus.* 47(2):587-598.
- Begley, J. 2004. Gadget User Guide, available online from the Gadget web page, which is available from <http://www.hafro.is/gadget>.
- Branch, T.A., Matsuoka, K. and Miyashita, T. 2004. Evidence for increases in Antarctic blue whales based on Bayesian modelling. *Marine Mammal Science*, 20(4): 726-754.
- Cooke, J., Fujise, Y. and Kato, H. 1997. An analysis of maturity stage and transition phase data from minke whales collected during JARPA expedition in Area IV, 1987/88 through 1995/96. Paper SC/M97/22 presented to the meeting of the Intersessional Working Group to Review Data and Results from Special Permit Research on Minke Whales in the Antarctic, IWC Scientific Committee, May 1997 (unpublished). 16pp.
- Croxall, J.P., Trathan, P.N. and Murphy, E.J. 2002. Environmental change and Antarctic seabird populations. *Science*, 297: 1510-1514.
- Fujise, Y., Honda, K., Yamamoto, Y., Kato, H., Zenitani, R. and Tatsukawa, R. 1997. Changes of hepatic mercury accumulations of Southern minke whales in past fifteen years. Paper SC/M97/20 presented to the IWC Intersessional Working Group to Review Data and Results from Special Permit Research on Minke whales in the Antarctic, May 1997 (unpublished). 16pp.
- Fujise, Y., Hatanaka, H. and Ohsumi, S. 2005. What has happened to the Antarctic Minke Whale Stocks? - A interpretation of results from JARPA -. Paper JA/J05/JR17 presented to the JARPA Review meeting, January 2005.
- Donovan, G. 1991. A review of IWC stock boundaries. *Rep. int. Whal. Commn.* (Special Issue 13): 39-68.
- Government of Japan. 1987. The programme for research on the Southern Hemisphere minke whale and for preliminary research on the marine ecosystem in the Antarctic. Paper SC/39/O4 presented to the IWC Scientific Committee, June 1987 (unpublished). 60pp.
- Government of Japan. 1995. The 1995/96 research plan for the Japanese Whale Research Program under Special Permit in the Antarctic. Paper SC/47/SH3 presented to the IWC Scientific Committee, May 1995 (unpublished). 9pp.
- Hassol, S.J., 2004. “*Impacts of a Warming Arctic*” Cambridge University Press, Canada, 139pp.
- Hoelzel, A.R. (ed.). 1991. Genetic Ecology of Whales and Dolphins. *Rep. int. Whal. Commn.* (Special Issue 13). 311pp.

- International Whaling Commission 1993. Report of the Scientific Committee. *Rep. int. Whal. Commn* 43: 55-228.
- International Whaling Commission 1995. Chairman's Report of the Forty-Sixth Annual Meeting. *Rep. int. Whal. Commn* 45:15-52.
- International Whaling Commission. 1998. Report of the Intersessional Working Group to review data and results from special permit research on minke whales in the Antarctic, Tokyo, 12-16 May 1997. *Rep. int. Whal. Commn* 48: 377-412.
- International Whaling Commission. 1999. Report of the workshop on chemical pollution and cetaceans. *J. Cetacean Res. Manage.* (special issue) 1:1-42.
- International Whaling Commission 2001. Report of the Scientific Committee. *J. Cetacean Res. Manage.*, 3(Suppl.): 1-82.
- International Whaling Commission 2004. Report of the Scientific Committee. *J. Cetacean Res. Manage.*, 6(Suppl.): 1-411.
- Ishikawa, H., Otani, S., Kiwada, H., Isoda, T., Tohyama, D., Honjo, K., Hasegawa, A., Terao, T., Kushimoto, T., Ohshima, K., Sugiyama, K., Sasaki, T., Itoh, S., Takamatsu, T. and Yoshida, T. 2004. Cruise Report of the Japanese Whale Research Program under Special Permit in the Antarctic (JARPA) Area IV and Eastern Part of Area III in 2003/2004. Paper SC/56/O12 presented to the IWC Scientific Committee, June 2004 (unpublished). 18pp.
- Johnston, S.J. and Butterworth, D., 2005. Assessment of the west and east Australian breeding populations of southern Hemisphere humpback whales using a model that allows for mixing on the feeding grounds and taking account of the most recent abundance estimates from JARPA. Paper JA/J05/JR19 presented to the JARPA Review meeting, January 2005.
- Kato, H. 1987. Density dependent changes in growth parameters of southern minke whale. *Sci. Rep. Whales Res. Inst.*, 38: 47-73.
- Kitakado, T., Fujise, Y., Zenitani, R., Hakamada, T. and Kato, H. 2005. Estimation of natural mortality coefficients for Antarctic minke whales through VPA studies. Paper JA/J05/JR21 presented to the JARPA Review meeting, January 2005.
- Konishi, K. and Tamura, T. 2005. Yearly trend of blubber thickness in the Antarctic minke whale *Balaenoptera bonaerensis* in Areas IV and V. Paper JA/J05/JR9 presented to the JARPA Review meeting, January 2005.
- Lockyer, C. 1979. Changes in a growth parameter associated with exploitation of southern fin and sei whales. *Rep. Int. Whal. Commn* 29: 191-196.
- Mackintosh, N.A. 1942. The southern stocks of whalebone whales. *Discovery Rep.* 22:197-300
- Ministry of Fisheries, 2004 Report No. 27 to the Storting. Norway's policy on marine mammals.
- Mori, M and Butterworth, D.S. 2004. Consideration of multispecies interactions in the Antarctic: A preliminary model of the minke whale – blue whale – krill interaction. *Ecosystem Approaches to Fisheries in the Southern Benguela Afr. J. mar. Sci.* 26:245-259.
- Mori, M. and Butterworth, D.S. 2005. Progress on application of ADAPT-VPA to minke whales in Areas IV and V given updated information from IDCR/SOWER and JARPA surveys. Paper JA/J05/JR18 presented to the JARPA Review meeting, January 2005.
- Ohsumi, S., Fujise, Y., Ishikawa, H., Hakamada, T., Zenitani, R. and Matsuoka, K. 1997. The fattiness of the Antarctic minke whale and its yearly change. Paper SC/M97/18 presented to the IWC Intersessional Working Group to Review Data and Results from Special Permit Research on Minke whales in the Antarctic, May 1997 (unpublished). 21pp.
- Olafsdottir, E.I. and Begley, J. 2004. Grey seals in Gadget. NAMMCO SC/12/IN/8 1-25.
- Pastene, L.A., Goto M., Kanda, N., Bando, T., Zenitani, R., Hakamada, T., Otani, S. and Fujise, Y. 2005a. A new interpretation of the stock identity in the Antarctic minke whale (*Balaenoptera bonaerensis*) based on analyses of genetics and non-genetics markers. Paper JA/J05/JR3 presented to the JARPA Review meeting, January 2005.

- Pastene, L.A., Goto, M., Kanda, N. and Nishiwaki, S. 2005b. Genetic analyses on stock identification in the Antarctic humpback and fin whales based on samples collected under the JARPA. Paper JA/J05/JR16 presented to the JARPA Review meeting, January 2005.
- Paterson, R.A, Paterson, P. and Cato, D.H. 2001. Status of humpback whales in east Australia at the end of the 20th century. *Mem. Qld. Mus.* 47(2):579-586.
- Perrin, W. 2001. Draft review of the utility of non-genetic data for differentiating stocks of whales. Paper SC/53/SD2 presented to the IWC Scientific Committee, July 2001 (unpublished).
- Rugh, D., DeMaster, D., Rooney, A., Breiwick, J., Shelden, K. and Moore, S. 2003. A review of bowhead whale (*Balaena mysticetus*) stock identity. *J. Cetacean Res. Manage* 5(3):267-279.
- Schweder, T., Hagen, G.S. and Hatlebakk, E. 2000. pp. 120-132. In: G.A. Vikingsson, and F.O. Kapel (eds.) *Direct and indirect effects of minke whale abundance on cod and herring fisheries: A scenario experiment for the Greater Barents Sea. [Minke whales, harp and hoodedseals: major predators in the North Atlantic ecosystem.]* NAMMCO SCIENTIFIC PUBLICATIONS 2:132pp.
- Skaug, H. and N. Øien. 2004. Genetic tagging of males in North Atlantic minke whales through comparison of mother and fetus DNA-profiles. Paper SC/56/SD3 presented to the IWC Scientific Committee, May 2004 (unpublished).
- Tamura, T. and Konishi, K. 2005. Feeding habits and prey consumption of Antarctic minke whales, *Balaenoptera bonaerensis* in Areas IV and V of the Antarctic Paper JA/J05/JR8 presented to the JARPA Review meeting, January 2005.
- Tanaka, E., Zenitani, R. and Fujise, Y. 2005. A point estimate of Natural Mortality Coefficient using JARPA data. Paper JA/J05/JR6 presented to the JARPA Review meeting, January 2005.
- Tanaka, S. 1990. Estimation of natural mortality coefficient of whales from the estimates of abundance and age composition data obtained from research catches. *Rep. int. Whal. Commn* 40:531-6.
- Thomson, R.B., Butterworth, D.S. and Karo, H. 1999. Has the age at transition of Southern Hemisphere minke whales declined over recent decreases? *Marine Mammal Science.* 15(3): 661-82.
- Yasunaga, G., Fujise, Y., Zenitani, R., Honda, K. and Kato, H. 2005. Yearly trend of trace element accumulation in liver of Antarctic minke whales, *Balaenoptera bonaerensis*. Paper JA/J05/JR13 presented to the JARPA Review meeting, January 2005.
- Zenitani, R. and Kato, H., 2005. Long- term trend of age at sexual maturity of Antarctic minke whales by counting transition phase in earplugs. Paper JA/J05/JR7 presented to the JARPA Review meeting, January 2005.
- Zhu, M., Schweder, T. and Hagen, G. 2004. Scenario-C: The cod predation model. NR-Note SAMBA/09/04. ([http://publications.nr.no/SAMBA\\_0904.pdf](http://publications.nr.no/SAMBA_0904.pdf))

# Appendix 1

## JARPA 調査海域におけるヒゲクジラ類の組成

松岡耕二、袴田高志、西脇茂利

(財) 日本鯨類研究所

Contact e-mail: matsuoka@cetacean.jp

### 概要

JARPA は広域かつ長期的な鯨類資源モニタリングを目的としてライントランセクト法に基づいた目視調査を実施している。調査は毎年南極海の夏季に実施され、1987/88 年から IWC 管理海区である第IV区 (70°E-130°E)と第V区(130°E-170°W)において交互に調査を行ってきた。目視調査の方法は、IWC/SOWER(国際捕鯨委員会/南大洋鯨類生態系調査:Southern Ocean Whale and Ecosystem Research) 調査に準拠した方法が一貫して採用されている。現在の調査海域は、南緯 60 度以南における南極海第III区東(35°E-70°E), 第IV区, 第V区及び第VI区西 (170°W -145°W) であり、本海域において発見される主要なヒゲクジラ類はクロミンククジラ、ザトウクジラ、ナガスクジラ、シロナガスクジラである。本報では JARPA の最新データを用いてパステネら(2005)のストック情報に基づいた各鯨種の資源量推定値を示した。

第IV区では 1997/98 年度からクロミンククジラとザトウクジラの優先種の交代が観測された。1989/90 年度ではクロミンククジラのバイオマス (382,000 tons)は、ザトウクジラ(128,000 tons)の約 3 倍であったが、15 年後にはザトウクジラのバイオマス (841,000 tons) は、クロミンククジラ(335,000 tons)の約 2.5 倍となっていた。さらに第IV区では、JARPA 前半(1989/90-1996/97)と後半(1997/98 -2003/04)の発見位置の比較を行ったところ、ザトウクジラとナガスクジラの分布域が南側へ拡大していることも観測された。現時点では、第IV区におけるクロミンククジラの資源量推定値は高位で安定しているが、ザトウクジラやナガスクジラの来遊量の増加によってクロミンククジラとの間に競合が起こっている可能性も十分に考えられた。いくつかの JARPA の生物学データからもこの競合仮説を支持する結果が示されている。今後とも南極海におけるヒゲクジラ類の来遊動向を把握し、資源管理を目的としたヒゲクジラ類資源のモニタリング調査の継続が強く望まれる。

### 1. JARPA 調査海域における主要発見鯨種の分布と資源量推定

JARPA は広域かつ長期的な鯨類資源モニタリングを目的とし、ライントランセクト法に基づいて調査が実施されている。調査は南極海の夏季に実施され、1987/88 年から毎年 IWC ヒゲクジラ管理海区である第IV区と第V区それぞれ交互に調査を行ってきた。目視調査の方法は、IWC/SOWER(国際捕鯨委員会/南大洋鯨類生態系調査:Southern Ocean Whale and Ecosystem Research) 調査に準拠した方法が一貫して採用されている。調査コースは調査海域を均一にカバーするようランダムに設定されており(図1)、調査中に発見した全ての鯨群について記録を行っている。目視調査は一定の海況下で実施されている(北部海域: 風速 20 ノット以下、南部海域: 風速 25 ノット以下)。現在の調査海域は、南緯 60 度以南における南極海第III区東(35°E-70°E), 第IV区(70°E-130°E), 第V区 (130°E-170°W)、第VI区西 (170°W -145°W) であり、本海域において発見される主要なヒゲクジラ類はクロミンククジラ(*Balaenoptera bonaerensis*)、ザトウクジラ(*Megaptera novaeangliae*)、ナガスクジラ (*Balaenoptera physalus*)、シロナガスクジラ(*Balaenoptera musculus intermedia*) である(Nishiwaki *et al*, 2003, Ishikawa *et al*, 2004)。本報では JARPA におけるクロミンククジラ資源量 (Hakamada *et al*, 2005)とザトウ、ナガスクジラ資源量 (Matsuoka *et al*, 2005)を用いてパステネら(2005)のストック情報に基づいた各鯨種の資源量推定値を示した。表 1 にクロミンククジラ (Eastern Indian Ocean Stock (I-stock) 及び Western South Pacific Stock (P-stock))、ザトウクジラ (Western Australian Stock (D-stock) 及び Eastern Australian Stock (E-stock))、ナガスクジラ (Indian

Ocean Stock (IO-stock) & Western South Pacific Stock (WP-stock) の系群別資源量推定値を示した。シロナガスクジラについては、発見数が少ないことから調査海域全体(35°E-145°W)の推定値を使用した。

### 1.1. クロミンククジラ (Antarctic minke whale)

同種は調査海域内に広く分布し、北部海域よりも南部海域により多くの個体が分布する。一般的に北部海域ではほとんどが1頭群であるが、南部海域では複数頭の群れが多くなり特にロス海やプリッツ湾付近では高密度海域を形成する場合が多い(図2)。最新の系群情報によると、クロミンククジラの系群は“Eastern Indian Ocean stock (I-stock:I系群)”と“Western South Pacific Stock (P-stock:P系群)”に分類される(Pastene *et al.*, 2005)。この系群情報に基づいて1995/96-2003/04年度までの年毎の各系群の資源量が推定されている(Hakamada *et al.*, 2005)。

#### *I-stock: 35°E-165°E (I系群)*

I系群の資源量推定は、調査海域が第Ⅲ区東に拡大された1995/96年度から2003/04年度まで行われている。表2および図3に調査海域における本系群の資源量推定値を示した(南緯60度以南, 35°E-165°E)。本系群の推定値は高位であり、有意な増加も減少も示していない。

#### *P-stock: 165°E-145°W (P系群)*

P系群の資源量は、上記のI系群同様、調査海域が第Ⅵ区西に拡大された1996/97-2002/03年度まで推定されている。表2および図3に調査海域における本系群の資源量推定値を示した(south of 60°S、165°E-145°W)。本系群の推定値は、I系群に比べ若干年変動が認められるものの高位であり、有意な増加も減少も示していない。

### 1.2. ザトウクジラ

#### *D-stock: 70°E-130°E (D系群)*

本系群は、第Ⅳ区において広く分布し、東経90度-120度の南北両海域において高密度海域が観測されている(図4)。同区におけるJARPA前半(1989/90-1996/97)と後半(1997/98-2003/04)の同種の発見位置を比較した結果、後半においてザトウクジラ分布域が南側と東側へ拡大していることも観測された(図5)。第Ⅳ区における同種の発見位置の平均緯度は、JARPA前半で60度30分、後半で62度30分であった(図6)。

南極海における同種の捕獲は1963年に禁止となった。Bannister (1994) は、西オーストラリア・Shark Bay 沖における1963年から1991年までの航空機による発見数の比較結果からその資源量を約3,000頭と推定した。1990年代後半における西オーストラリア沿岸の資源量は、航空機による目視調査から8,000-14,000頭(増加率は $10.2 \pm 4.6\%$ )と推定されている(Bannister and Hedley, 2001)。本系群は、南極海第Ⅳ区に回遊することが過去の標識調査などから知られており、近年のIWC/SOWER調査の解析では、南極海第Ⅳ区(ただし、東経80度から130度)における1998/99年度の資源量は17,300頭(CV=0.17)と推定されている(Matsuoka *et al.*, 2003)。JARPAでは、本格調査初年度の1989/90年度調査からは5,200頭と推定されたが、2003/04年度においては31,800頭(CV=0.11)と推定された(表3及び図7)。南極海における本系群の来遊量(南緯60度以南)の増加率は $16.2 \pm 6.4\%$ と推定されており、この高い増加率は、近年の同系群の南下によるものと考えられている(Matsuoka *et al.*, 2005)。最新の資源動態モデルによる解析結果からは、本系群は10年以内に初期資源のレベルまで回復するとの報告されている(Johnston and Butterworth, 2005)。

#### *E-stock: 130°E-170°W (E系群)*

本系群は、過去の標識調査などから第Ⅴ区に来遊することが知られており、ロス海以外に広く分布している。本海区の北部海域には、太平洋南極海嶺(Pacific Antarctic ridge)に沿って南極周極流南側境界(Antarctic Circumpolar Current-Southern Boundary)が存在し、本系群もこれに沿って分布している。本系群の資源量推定値は増加傾向にあるが年変動が大きい(表3)。本系群の資源量推定値については、東オーストラリア沿岸域および南極海第Ⅴ区における1990年代の資源量推定が報告されている。



東オーストラリア沿岸域における陸上からの目視調査では 1996 年の時点で 3,185 頭 (s.e.=208) (Brown *et al.*, 1997)。南極海第 V 区では 1991/92 年度に実施された IWC/IDCR 調査では 2,104 頭 (CV=0.52) (Brown and Butterworth, 1999)。JARPA における資源量推定値は、2000/01 年度及び 2002/03 年度の平均で 3,728 頭 (CV=0.15)であった。最新の資源動態モデルによる解析結果からは、本系群は D 系群よりも捕獲の影響が大きい、15-20 年以内には初期資源のレベルまで回復すると推定されている (Johnston and Butterworth, 2005)。

### 1.3. ナガスクジラ

本種の資源量推定値は、IWC/IDCR と JSV (Japanese Scouting Vessels: 商業捕鯨時代の日本の探鯨船データ: 図 8 参照)による解析によって、南極海全周 (南緯 30 度以南)で 18,000 頭 (CV=0.47)と推定されている (Butterworth *et al.*, 1994)。また、南極海全周 (南緯 60 度以南)では、IWC/IDCR -SOWER の解析結果から、1 巡目: 2,100 頭 (1978/79-1983/84, CV=0.36)、2 巡目: 2,100 頭 (1985/86 -1990/91, CV=0.45)、3 巡目: 5,500 頭 (1991/92-1997/98: 継続中、CV=0.53) と推定されている (Branch and Butterworth, 2001)。JARPA の全調査海域においては (南緯 60 度以南, 35°E -145°W) 15,000 頭 (CV=0.20) と推定されており、調査海域が拡大された 1995/96- 2002/03 年度の 8 年間では、年変動はあるものの有意な増加 (増加率: 14.2±1.9%) が観測されている (Matsuoka *et al.*, 2005)。

#### IO-stock: 35°E-130°E (IO 系群)

本系群 (IO-stock) は、第 III 区東および第 IV 区西に広く分布しているが第 IV 区よりも第 III 区東により発見が多い。第 IV 区のブリッツ湾においてもまれに発見されている (図 9)。JARPA 前半 (1989/90-1996/97) と後半 (1997/98-2003/04) を比較すると、後半において第 IV 区西における発見数が増加している (図 10)。本系群の資源量推定値に関する知見は、JARPA による資源量推定値以外は報告されていない。JARPA による資源量推定値 (南緯 60 度以南) は、2001/02 年度で 10,668 頭 (CV=0.255) 及び 2003/04 年度で 6,573 頭 (CV=0.256)、2 年度分の平均は 8,621 頭 (CV=0.19) が報告されている (表 4 及び図 11)。本系群の主要な分布域は南緯 60 度以北にあることから (Kasamatsu, 1993)、本系群の資源量推定値の年変動が大きくなっていると考えられている。JARPA の推定値 (2003/04 年度) と前出の JSV データ (1 月と 2 月) を組み合わせた南緯 40 度以南 (35° E-130E) の本系群の資源量は 31,000 頭 (CV=0.26) と推定されている (Matsuoka *et al.*, 2005)。

#### WP-stock : 130°E-145°W (WP 系群)

JARPA における本系群の資源量 (南緯 60 度以南、130°E-145°W) は、2000/01 年度で 5,876 頭 (CV=0.211)、2002/03 年度で 3,505 頭 (CV=0.287)、2 年度分の平均で 4,691 頭 (CV=0.17) と推定されている (表 4 及び図 11)。IO 系群同様に本系群の主要な分布域である南緯 40 度以南の資源量 (130° E-145° W) は、JARPA の推定値 (2002/03 年度) と前出の JSV データ (1 月と 2 月) を組み合わせ、16,000 頭 (CV=0.29) と推定された (Matsuoka *et al.*, 2005)。

### 1.4. シロナガスクジラ (35°E-145°W)

南半球における本種の初期資源量は、資源動態モデルによっておよそ 200,000 頭と推定されているが、20 世紀前半の大規模な乱獲の結果激減し 1964 年から捕獲禁止になっている。その後 40 年が経過したが、最新の IWC/IDCR-SOWER、JSV 及び JARPA データによる解析では 1996 年の時点において南極海全周で約 2,000 頭と推定されている (Branch *et al.*, 2004)。

JARPA 調査海域における本種の系群情報は無く、遭遇率も極めて低いが、調査海域内に広く分布している。第 III 区東及び第 V 区東では、恒常的に発見がある (図 13)。第 IV 区では JARPA 後半 (1997/98-2003/04) において発見数が増加している (図 14)。JARPA 調査海域における本種の資源量 (南緯 60 度以南, 35°E-145°W) は、1999/2000 + 2000/01 年度調査においては 900 頭 (CI: 500-1,600)、2001/02 + 2002/03 年度では 500 頭 (CI: 300-1,000) と推定されており (表 5)、調査海域内では 1,000 頭以下 (生物量は 8,000 トン以下) である。他の鯨種と同様、引き続き南極海において資源動向をモニタリングしていく必要がある。

## 2. 第IV区におけるクロミンククジラからザトウクジラへの鯨種交代

図 15 に第IV区に来遊するクロミンククジラ、ザトウクジラ、ナガスクジラ及びシロナガスクジラのバイオマス(トン)を示した。同区では 1997/98 年度からクロミンククジラとザトウクジラの鯨種交代が確認された。1989/90 年度ではクロミンククジラのバイオマスは(382,000 tons) ザトウクジラ(128,000 tons)の約 3 倍であったが、15 年後にはザトウクジラのバイオマス(841,000 tons)は、クロミンククジラ(335,000 tons)の約 2.5 倍となっていた。さらに第IV区では、JARPA 前半(1989/90-1996/97)と後半(1997/98 -2003/04)の発見位置の比較を行ったところ、ザトウクジラとナガスクジラの分布域が南側へ拡大していることも観測されている。現時点では、第IV区におけるクロミンククジラの資源量推定値は高位で安定しているが、ザトウクジラやナガスクジラの来遊量の増加によってクロミンククジラとの間に競合が起こっている可能性も十分に考えらる。また、クロミンククジラの脂皮厚の減少(Konishi and Tamura, 2005)や胃内容重量の減少(Tamura and Konishi, 2005)もこの競合仮説を支持する結果となっている。今後も南極海におけるヒゲクジラ類の来遊動向を把握し、資源管理を目的としたヒゲクジラ類資源のモニタリング調査の継続が強く望まれている。

## 3. 鯨類資源のモニタリング調査

南極海におけるミナミセキクジラ、ザトウクジラ、シロナガスクジラ、ナガスクジラ及びイワシクジラについては 1932、1963、1964、1976 及び 1978 年にそれぞれ捕獲禁止となっている。ミナミセキクジラについては 70 年以上、ザトウクジラとシロナガスクジラについては 40 年以上保護されている。近年、南アメリカ、南アフリカ及びオーストラリア東西沿岸などの繁殖海域では、ミナミセキクジラとザトウクジラの有意な増加が報告されている。その一方で外洋域を主要な繁殖海域としているシロナガス、ナガス、イワシクジラに関しては資源に関する情報が不足している。IWC が実施する IDCR-SOWER においては、広大な南極海全域を対象としているため、各管理海区を最低 6 年に 1 回、近年では 10 年以上かけて 1 回調査することどまっており、生態系を含めた鯨類資源のモニタリング調査という観点からは十分な情報とは言い難い。このような現状で JARPA は、15 年以上に渉って毎年第IV区とV区(1995/96 年度からは第III区東や第VI区西も含む)を交互に調査することによって詳細なデータを収集し続け、南極海における鯨類資源のモニタリングに多大な国際貢献を行っている。捕獲禁止後のヒゲクジラ類の資源動向を把握するには、現在の調査年数でも充分ではなく今後も南極海においてモニタリング調査を継続することが強く望まれている。

## 4. 参考文献

- Bannister, J. L., 1994. Continued increase in humpback whales off western Australia. *Rep. Int. Whal. Commn* 44: 309-310.
- Bannister, J. L. and Hedley, S. L. 2001. Southern hemisphere Group IV humpback whales: their status from recent aerial survey. *Mem. Qld. Mus.* 47(2):587-598.
- Branch, T. A., and Butterworth, D., S., 2001. Estimates of abundance south of 60°S for cetacean species sighted frequently on the 1978/79 to 1997/98 IWC/IDCR-SOWER sighting surveys. *J. Cetacean. Res. Manage.* 3(3):251-270.
- Branch, T.A., Matsuoka, K. and Miyashita, T., 2004. Evidence for increases in Antarctic blue whales based on bayesian modelling. *MARINE MAMMAL SCIENCE* 20 (4): 726-754.
- Brown, R. M. Field, M., S., Clarke, E., D., Butterworth, D. S. and Bryden, M., M., 1997. Estimates of abundance and rate of increase for east Australian humpback whales from the 1996 land-bases survey at Point Lookout, North Stradbroke Island, Queensland. Paper SC/49/SH35 submitted to the IWC Scientific Committee, May 1997 (unpublished). 15pp.
- Brown, R. M. and Butterworth, D. S., 1999. Estimates of abundance for Southern Hemisphere humpback and blue whales from the IWC/IDCR-SOWER sighting survey cruises. Paper SC/51/CAWS35 submitted to the IWC Scientific Committee, May 1999 (unpublished).
- Butterworth, D., S. Borchers, S., Chalis, J. B., Decker, De. and Kasamatsu, F., 1994. Estimates of abundance for southern hemisphere blue, fin, sei, humpback, sperm, killer and pilot whales from the 1978/79 to 1990/91 IWC/IDCR sighting survey cruise, with extrapolation to the area south of 30 S for the first five species based on Japanese scouting vessel data. Paper SC/46/SH24 submitted to the IWC Scientific Committee, 1994 (unpublished).129pp.

- Hakamada T., Matsuoka, K. and Nishiwaki, S., 2005. An update of Antarctic minke whales abundance estimate based on JARPA data including a comparison to IDCR/SOWER estimates. Paper JA/J05/PJR 4.
- Ishikawa, H., Otani, S., Kiwada, H., Isoda, T. Tohyama, D., Honjo, K., Hasegawa, A., Terao, T., Kushimoto, T., Ohshima, T., Sugiyama, K., Sasaki, T., Itoh, S., Takamatsu, T. and Yoshida, T., 2004. Cruise Report of the Japanese Whale Research Program under Special Permit in the Antarctic (JARPA) Area IV and Eastern Part of Area III in 2003/2004. Paper SC/56/O12 presented to the IWC Scientific Committee, (unpublished). 18pp.
- Johnston, S.J. and Butterworth, D., 2005. Assessment of the west and east Australian breeding populations of southern Hemisphere humpback whales using a model that allows for mixing on the feeding grounds and taking account of the most recent abundance estimates from JARPA. JA/J05/PJR19.
- Kasamatsu, F. 1993. Studies on distribution, migration and abundance of cetacean populations occurring in the Antarctic waters. PhD thesis, University of Tokyo (in Japanese).
- Konishi, K. and Tamura, T., 2005. Yearly trend of blubber thickness in the Antarctic minke whale in Areas IV and V. Paper JA/J05/PJR 9.
- Matsuoka, K., Hakamada, T., Murase, H. and Nishiwaki, S., 2003. Current distribution, abundance and density trend of humpback whales in the Antarctic Areas IV and V. Paper SC/55/SH10 submitted to the IWC Scientific Committee, 2003 (unpublished). 15pp.
- Matsuoka, K., Hakamada, T. and Nishiwaki, S., 2005. Distribution and abundance of humpback, fin and blue whales in the Antarctic Areas III, IV, V and VI. Paper JA/J05/PJR 10.
- Miyashita, T., Kato, H. and Kasuya, T., 1995. Worldwide Map of Cetacean Distribution based on Japanese Sighting Data (Volume 1).pp43-56.
- Nishiwaki, S., Tohyama, D., Mogoe, T., Murase, H., Yasunaga, G., Mori, M., Yoshida, T., Fukutome, K., Machida, S., Ogawa, R., Oka, R., Ito, S., Konagai, T., Isoda, T., Mori, Y, Iwayama, H. and Horii, N., 2003. Cruise report of the Japanese Whale Research Program under Special Permit in the Antarctic (JARPA) Area V and Western Part of Area VI in 2002/2003. Paper SC/55/O6 presented to the IWC Scientific Committee, (unpublished). 20pp.
- Nishiwaki, S., Ishikawa, H. and Fujise, Y., 2005. Review of general methodology and survey procedure under the JARPA. Paper JA/J05/PJR 1.
- Pastene, L., A., 2005a. A new interpretation of the stock identity in the Antarctic minke whale based on analyses of genetics and non-genetics markers. Paper JA/J05/PJR 3.
- Pastene, L., A., 2005b. Genetic analyses on stock identification in the Antarctic humpback and fin whales based on samples collected under the JARPA. Paper JA/J05/PJR 16.
- Tamura, T. and Konishi, K., 2005. Feeding habits and prey consumption of Antarctic minke whales, in JARPA research area. Paper JA//J05/PJR8.

表 1. JARPA-2002/03 及び 2003/04 年度のクロミンククジラ、ザトウクジラ、ナガスクジラ、シロナガスクジラの各系統群の資源量推定値(P)とバイオマス(南緯 60 度以南)。ザトウクジラとナガスクジラについては、年変動が大きいことから最近二年度分の平均値を用いた。g(0)は 1.0 と仮定した。バイオマスは各鯨種の平均体重をクロミンククジラ 7.0 トン、ザトウクジラ 26.5 トン、ナガスクジラ 48.0 トン、シロナガスクジラ 83.0 トンとして算出した。

Species	longitude	P	CV	Biomass(tons)	Ref.
Antarctic minke (Eastern Indian Ocean Stock)	35E-165E	128,695	(0.25)	900,865	1
Antarctic minke (Western South Pacific Stock)	165E-145W	95,116	(0.17)	665,812	1
Humpback (Western Australian Stock)	70E-130E	31,750	(0.11)	841,375	2
Humpback (Eastern Australian Stock)	130E-170W	2,735	(0.16)	72,478	2
Fin (Indian Ocean Stock)	35E-130E	6,573	(0.26)	315,504	2
Fin (Western South Pacific Stock)	130E-145W	3,505	(0.29)	168,240	2
Blue	35E-145W	545	(0.29)	45,235	2

Ref. 1: Hakamada *et al.*, 2005.

2: Matsuoka *et al.*, 2005.

表 2. JARPA-1995/96 から 2003/04 年度のクロミンククジラの各系統群の資源量推定値(P)とバイオマス(南緯 60 度以南) (Hakamada *et al.* 2005)。g(0)は 1 と仮定し、バイオマスは平均体重を 7.0 トンとして算出した。なお、I-stock の資源量推定値は、当年分と翌年度の 130E-165E 分の資源量推定値の合計である。

I-stock

Season	P	CV	Biomass
1995/96	82,975	0.165	580,825
1997/98	124,301	0.187	870,107
1999/2000	128,110	0.227	896,770
2001/02	228,349	0.142	1,598,444
2003/04	128,695	0.248	900,864

P-stock

Season	P	CV	Biomass
1996/97	156,323	0.267	1,094,261
1998/99	82,489	0.219	577,423
2000/01	179,417	0.197	1,255,919
2002/03	95,116	0.168	665,812
2004/05	-	-	-

表 3. JARPA-1989/90 から 2003/04 年度までのザトウクジラ D 系群ならびに E 系群の資源量推定値(P)とバイオマス(南緯 60 度以南)。バイオマスは平均体重を 26.5 トンとして算出した。

D-stock

Season	P	CV	Biomass
1989/90	5,230	0.301	138,605
1991/92	5,350	0.190	141,775
1993/94	2,740	0.154	72,615
1995/96	8,850	0.142	234,529
1997/98	10,874	0.166	288,168
1999/2000	16,211	0.146	429,588
2001/02	33,010	0.112	874,758
2003/04	31,750	0.114	841,382

E-stock

Season	P	CV	Biomass
1990/91	1,354	0.196	35,891
1992/93	3,837	0.633	101,675
1994/95	3,567	0.306	94,538
1996/97	1,543	0.281	40,897
1998/99	8,301	0.308	219,973
2000/01	4,720	0.217	125,068
2002/03	2,735	0.159	72,481
2004/05	-	-	-

表 4. JARPA-1989/90 から 2003/04 年度までのナガスクジラのインド洋系群(Indian Ocean stock)と西部南太平洋系群(Western South Pacific stock)の資源量推定値(P)とバイオマス(南緯 60 度以南)。バイオマスは平均体重を 48.0 トンとして算出した。

IO-stock				WP-stock			
Season	P	CV	Biomass	Season	P	CV	Biomass
1995/96	4,305	0.197	206,629	1996/97	1,714	0.252	82,258
1997/98	715	0.307	34,326	1998/99	4,850	0.354	232,779
1999/2000	4,478	0.221	214,929	2000/01	5,876	0.211	282,051
2001/02	10,668	0.255	512,052	2002/03	3,505	0.287	168,250
2003/04	6,573	0.256	315,512	2004/05	-	-	-

表 5. JARPA-1989/90 から 2003/04 年度までのシロナガスクジラの資源量推定値(P)とバイオマス(南緯 60 度以南)。バイオマスは平均体重を 83.0 トンとして算出した。

Blue Seasons	Area III E		Area IV		Area V		Area VI W		Total		
	P	CV	P	CV	P	CV	P	CV	P	CV	Biomass(ton)
1989/90 + 1990/91	-	-	65	0.48	205	1.01	-	-	270	0.78	22,410
1991/92+ 1992/93	-	-	17	1.08	231	0.67	-	-	248	0.63	20,584
1993/94+ 1994/95	-	-	64	0.62	275	0.64	-	-	339	0.53	28,137
1995/96+ 1996/97	293	0.43	6	0.94	7	0.75	58	0.45	364	0.35	30,212
1997/98+ 1998/99	248	0.49	153	0.61	221	2.07	0	-	622	0.78	51,626
1999/00+ 2000/01	352	0.59	218	0.40	294	0.49	0	-	864	0.31	71,712
2001/02+ 2002/03	80	0.62	295	0.44	142	0.53	28	0.94	545	0.29	45,235
2003/04+ 2004/05	540	0.34	92	0.72	-	-	-	-	-	-	-

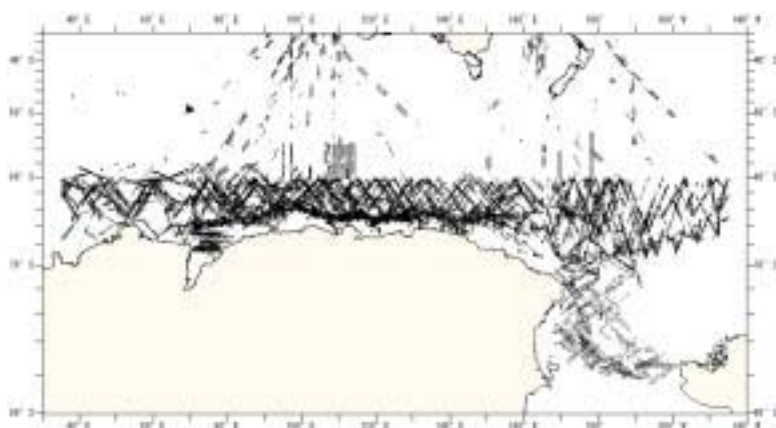


図 1. JARPA-1987/88 年度から 2003/04 年度の全探索努力量の分布(実線)。南極海への往復移動航海時に実施する中低緯度調査の結果も含む。

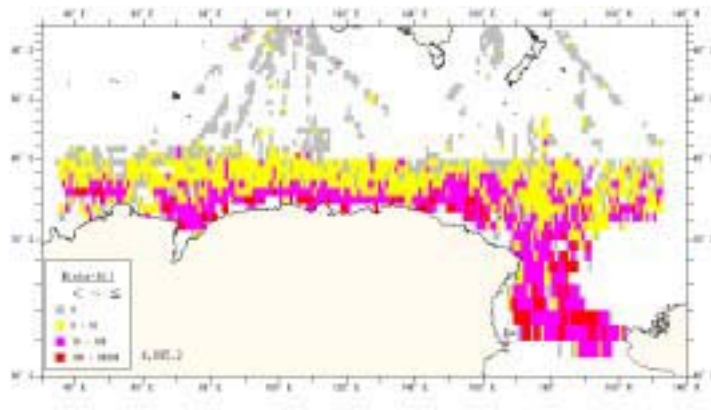


図 2. JARPA-1987/88 年度から 2003/04 年度までの緯経度 1 度グリッド毎のクロミンクジラの密度指数 (DI: 探索努力量 100 海里あたりの一次発見の頭数) 分布。

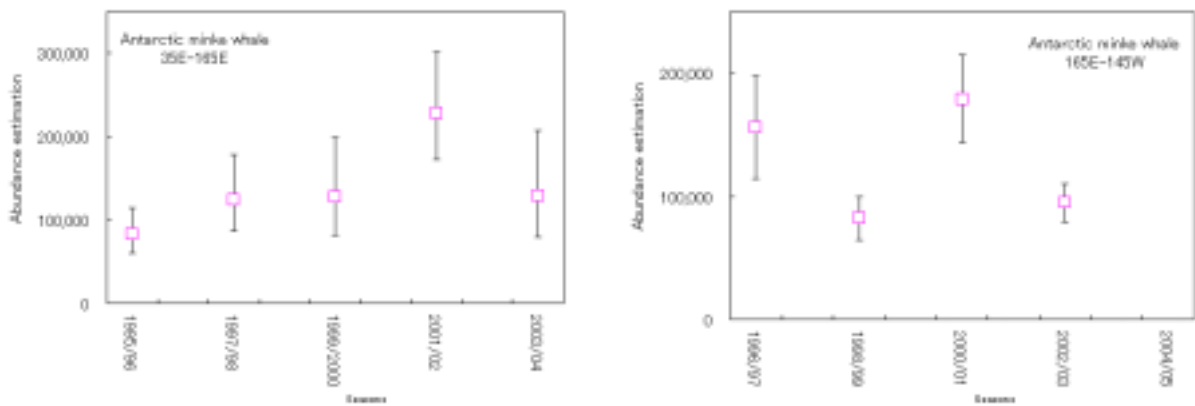


図 3. JARPA 調査海域におけるクロミンクジラの資源量推定値(南緯 60 度以南)。

左図:I-stock (35°E-165°E)、右図:P-stock (165°E-145°W)

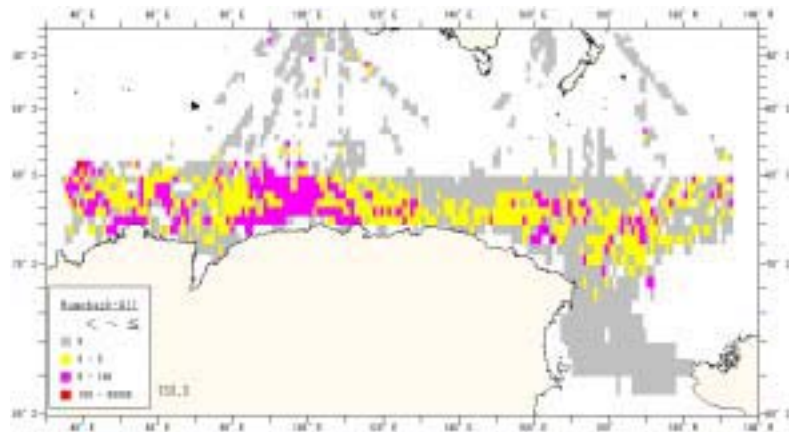


図 4. JARPA-1987/88 年度から 2003/04 年度における緯経度 1 度グリッド毎のザトウクジラの密度指数 (DI: 探索努力量 100 海里あたりの一次発見の頭数) 分布。

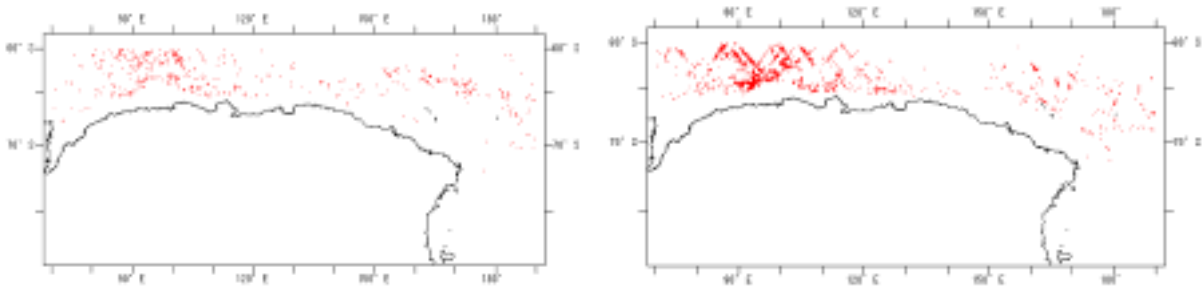


図 5. JARPA 前半(1989/90-1996/97/左図)と後半(1997/98-2003/04/右図)のザトウクジラ発見分布の比較(3隻の調査船による一次発見のみ)。発見数はIV区の東経90度から120度の間で増加している。

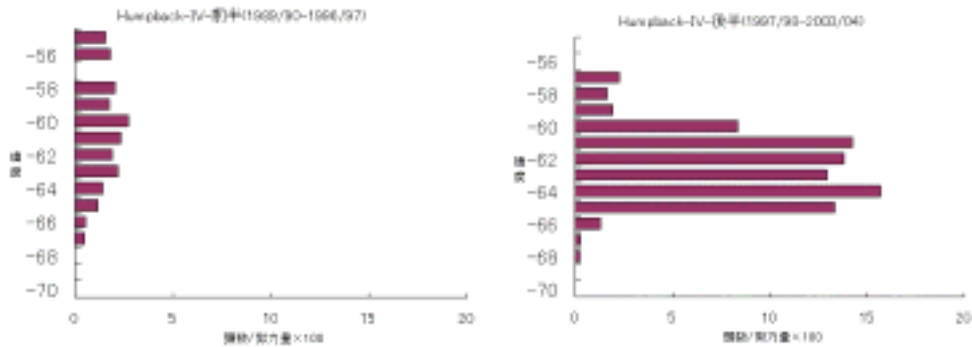


図 6. JARPA 前半(1989/90-1996/97/左図)と後半(1997/98-2003/04/右図)の、緯度帯(1度)ごとのザトウクジラ密度指数(DI: 探索努力量100海里あたりの一次発見の頭数)分布の比較。分布の平均緯度は前半では南緯60度-30分、後半では同62度-30分となる。

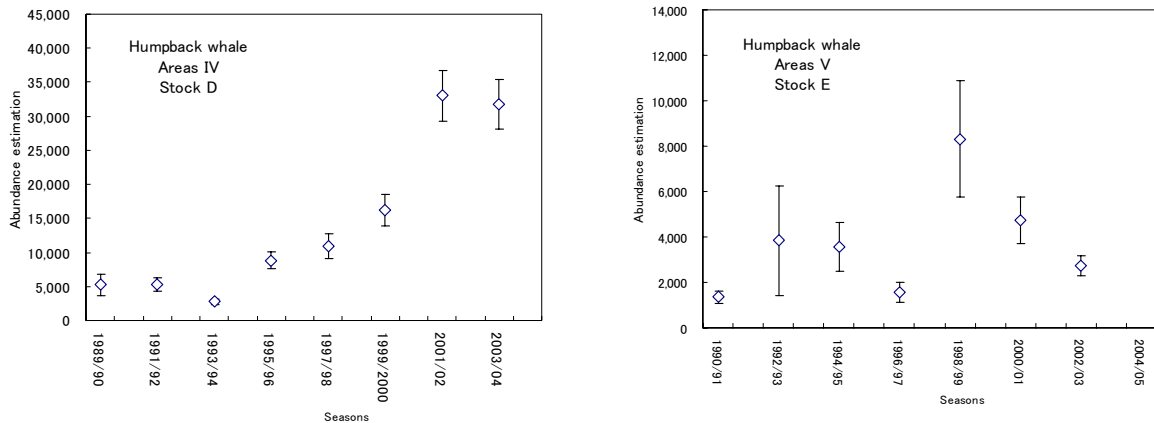


図 7. JARPA-1989/90年から2003/2004年までのJARPA調査結果(南緯60度以南)に基づくザトウクジラの資源量推定値。縦線は標準誤差の区間を示す。左図:D-stock、右図:E-stock

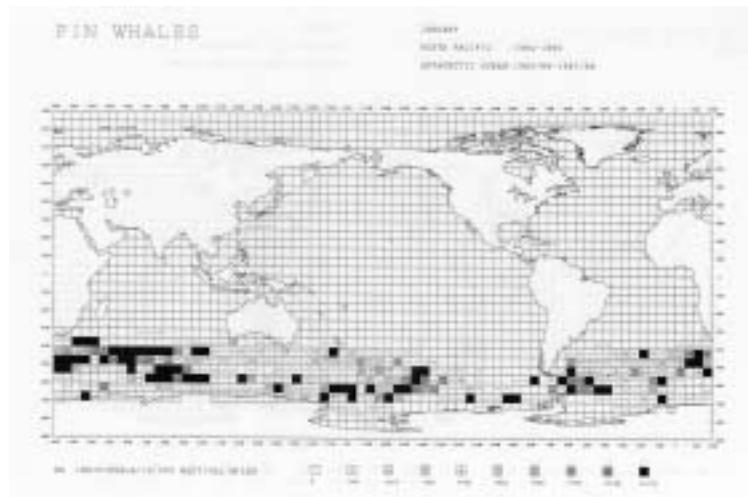


図 8. JSV (Japanese Scouting Vessel) データによる、1965/66 年度から 1987/88 年度までの緯経度 5 度グリッド毎の 1 月のナガスクジラ発見状況 (Miyashita *et al*, 1995)

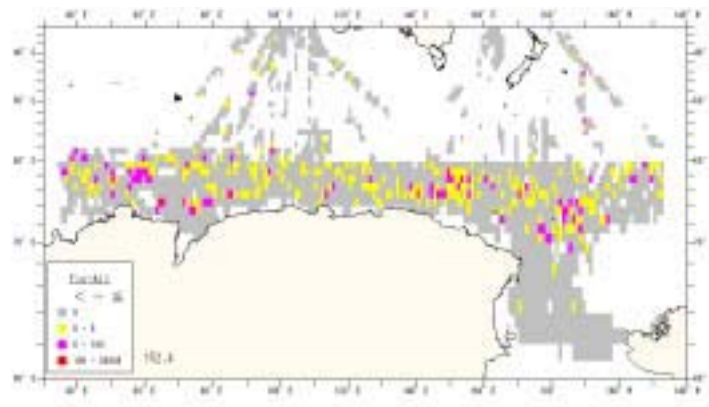


図 9. JARPA-1987/88 年度から 2003/04 年度における緯経度 1 度グリッド毎のナガスクジラの密度指数 (DI: 探索努力量 100 海里あたりの一次発見の頭数) 分布。

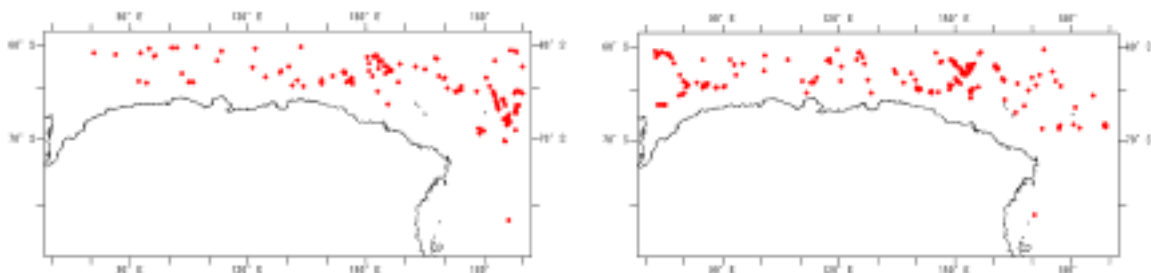


図 10. JARPA 前半 (1989/90-1996/97 / 左図) と後半 (1997/98-2003/04 / 右図) のナガスクジラ発見分布の比較 (3 隻の調査船による一次発見のみ)。IV 区における発見数は東経 70 度から 100 度の間で増加している。



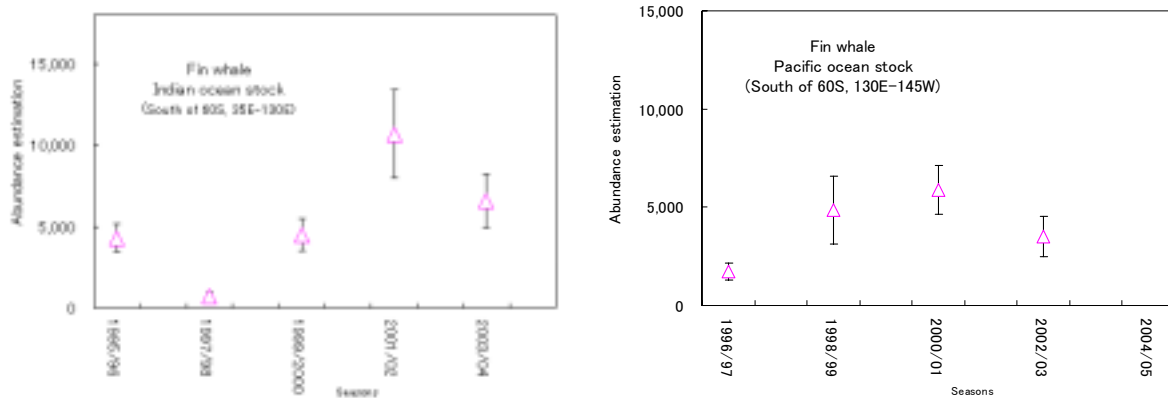


図 11. JARPA-1989/90 年から 2003/2004 年度までのナガスクジラの資源量推定値(南緯 60 度以南)。縦線は標準誤差の区間を示す。

左図: インド洋系群(35°E-130°E)、右図: 西部南太平洋系群(130°E-145°W)

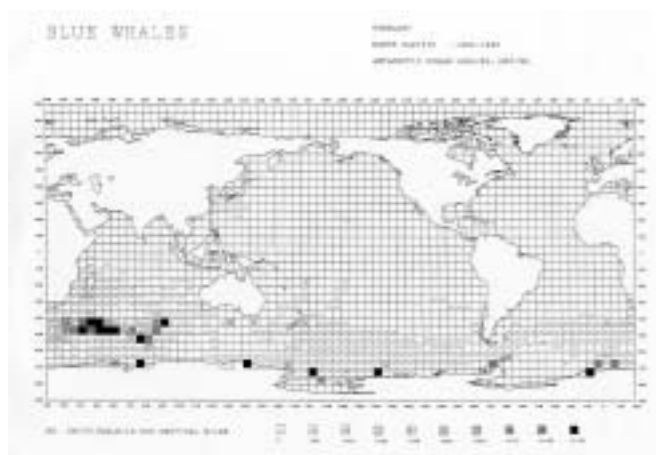


図 12. JSV(Japanese Scouting Vessel)データによる、1965/66 年度から 1987/88 年度までの緯経度 5 度グリッド毎の 2 月のシロナガスクジラ発見状況(Miyashita *et al*, 1995)。

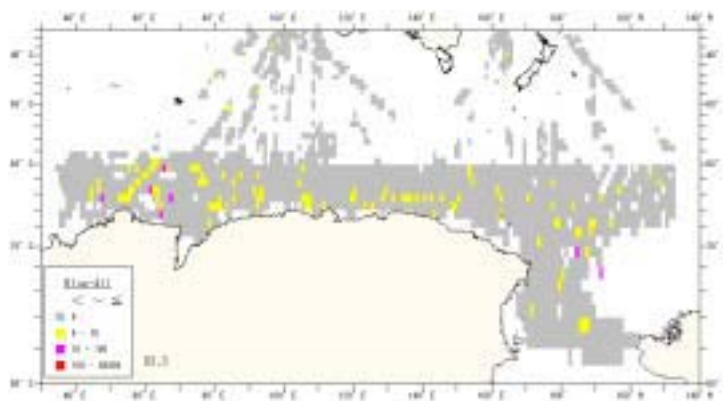


図 13. JARPA-1987/88 年度から 2003/04 年度における緯経度 1 度グリッド毎のシロナガスクジラの密度指数(DI: 探索努力量 100 海里あたりの一次発見の頭数)分布。

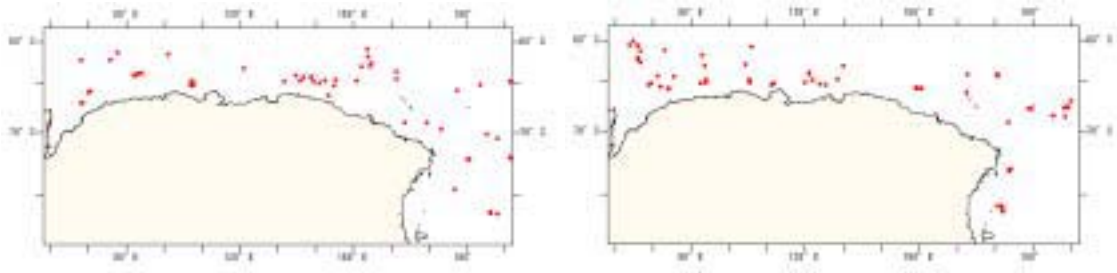


図 14. JARPA 前半(1989/90-1996/97/左図)と後半(1997/98-2003/04/右図)のシロナガスクジラ発見分布の比較(3隻の調査船による一次発見のみ)。第IV区において発見数が増加している。

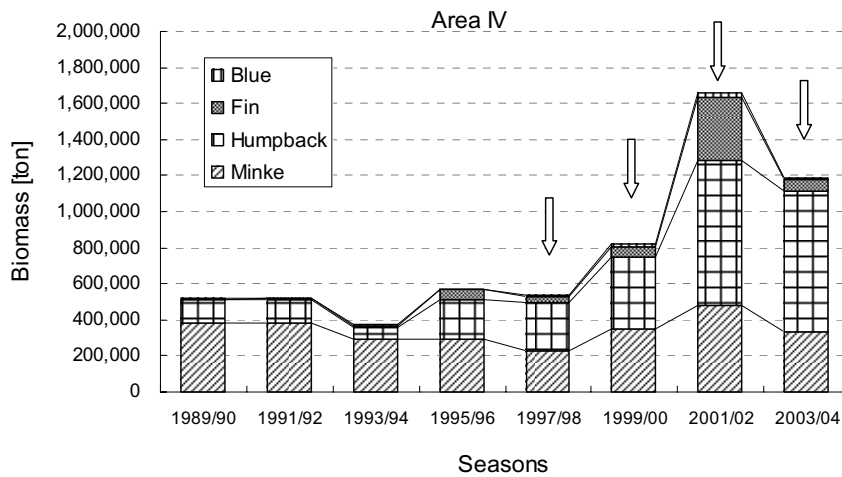


図 15. JARPA-1989/90年度から2003/04年度までの第IV区(南緯60度以南)に来遊するクロミンククジラ、ザトウクジラ、ナガスクジラ、シロナガスクジラのバイオマスの年度ごとの変遷。クロミンククジラの資源量推定値は Hakamada *et al.* (2005) による。1997/98年度以降、クロミンククジラからザトウクジラへの鯨種交代が認められた(矢印部分)。

## Appendix 2

### 南極海で何が起こったのか？

#### —南極海クロミンククジラ資源の変化について—

藤瀬良弘・畑中寛・大隅清治

財団法人日本鯨類研究所

#### ABSTRACT

商業捕鯨及び JARPA データを用いた南極海のクロミンククジラの性成熟年齢、成長曲線、脂皮厚、摂餌量、ADPT-VPA 解析、水銀蓄積などの研究結果から、クロミンククジラ資源の歴史的な変化について検討した。その結果、シロナガスクジラなど大型鯨類の捕獲によってクロミンククジラの摂餌環境が好転して、成長速度の加速化や性成熟年齢の低年齢化が起こったが、1970 年頃を境にして、徐々に摂餌環境が反転して、これらの特性値の変化が徐々に鈍くなり、1980 年から 1990 年頃には停止した。これを反映してクロミンククジラの脂皮厚や摂餌量の減少を示唆する胃内容物重量の減少、摂餌量の減少に起因する水銀の取込み量の減少などが観察されている。また 1990 年頃にはザトウクジラやナガスクジラなどが南極海索餌海域にまで広く分布するようになって、クロミンククジラの摂餌環境の更なる悪化の可能性が示唆された。

#### INTRODUCTION

南極海のクロミンククジラの資源量が経年的に大きく変化しており、その現象の理解と原因究明については、1970 年代後半から IWC/SC において長く議論されてきた。

当時、鯨類の資源管理に必要であった自然死亡率を含む生物学的特性値については、不確実性がありとして、合意に至らず、結果として捕獲枠の算出に大きな支障とあった。そこで、日本政府は「クロミンククジラの資源管理に必要な生物学的特性値の推定」を第一の柱とし、加えて、「南極海生態系での鯨類の役割の解明」を目的とした南極海鯨類捕獲調査を 1987/88 年から開始した。この計画は JARPA と呼称され、1994 年と 95 年に「環境変化が鯨類に与える影響の解明」並びに「クロミンククジラの系群構造解明」を調査目的に加えた。

この JARPA は、2004/05 年の調査をもって計画された 18 年間の調査を終了したが、この調査では、目的に即した調査・解析と同時に、多くの分野の研究が行われており、クロミンククジラ資源についても、その変動を示唆するいくつかの事象が観察され、その一部は IWC/SC などで報告されている。

本報では、クロミンククジラ資源の変化とこれを示唆するいくつかの報告を整理し、これらの資源に何が起きているのか、また、今後のどのように変化するのかについて検討した。

#### MATERIALS AND METHOD

ここでは、商業捕鯨及び JARPA の標本を用いた性成熟年齢と成長曲線の解析 (Kato, 1987 ; Zenitani *et al.*, 2005)、脂皮厚の解析 (Ohsumi *et al.*, 1997; Konishi *et al.*, 2005)、摂餌量推定 (Tamura *et al.*, 2005)、ADPT-VPA によるクロミンククジラの資源解析 (Butterworth *et al.*, 1999)、

水銀蓄積研究 (Honda *et al.*, 19xx; Fujise *et al.*, 1997; Yasunaga and Fujise, 2005) などの報告に基づき、南極海のクロミンククジラ資源が開発以降にどのように変化していったかについて検討した。

なお、性成熟年齢は、鯨類の耳垢栓の成長層に形成される変移相 (transition phase) に基づき推定された年齢を用いた。

## RESULTS AND DISCUSSION

### 1. 南極海における大型鯨類の Catch history と Biomass

南極海で商業捕鯨が開始されたのは 1904 年である。開発時は商業的価値の高かったシロナガスクジラや遊泳速度の遅いザトウクジラを中心として捕獲が行われたが、その後、ナガスクジラ、イワシクジラ、クロミンククジラへと商業捕鯨の対象鯨種が替わっていった (Fig. 1)。

#### シロナガスクジラ

シロナガスクジラの捕獲数は 1911/12 年漁期に 1,000 頭を超え、1928/29 年漁期には年間 10,000 頭を超え、1930/31 年漁期には最大捕獲数 29,410 頭を記録している。この捕獲数は 1939/40 年漁期まで 10,000 頭以上を維持し、第二次世界大戦で捕獲数が一時減少したが、1946/47 年漁期には 8,865 頭を記録し、その後減少した (Fig. 1)。シロナガスクジラの捕獲が禁止されたのは 1964 年である。シロナガスクジラの累積捕獲数は、331,644 頭である。また、バイオマスは、平均体重を 100 トンとすると、最大で年間 2,941,000 トン、平均で 518,144 トンが間引かれたことになる (Fig. 2)。

#### ナガスクジラ

ナガスクジラも開発初期から捕獲対象とされ、1929/30 年漁期にはナガスクジラの捕獲数は 10,000 頭を超え、また 1937/38 年漁期には 20,000 頭を超えて、シロナガスクジラの捕獲数を超えて、商業捕鯨の主要な鯨種となっている。その後、第二次世界大戦で一時捕獲が減少したが、捕鯨が再開された後に、同種の捕獲数も順調に回復し、1951/52 年漁期には再び 20,000 頭を超え、また 1963/64 年漁期まで 10,000 頭を超える捕獲数が続いている (Fig. 1)。最大の年間捕獲数は 1960/61 年漁期の 28,761 頭である。また、累積捕獲数は 691,890 頭となる。ナガスクジラの捕獲が禁止されたのは 1974 年である。これをバイオマスで計算すると、同種の平均体重を 55 トンとすると、最大で年間 1,581,855 トン、平均で年間 528,527 トンが間引かれたことになる (Fig. 2)。

#### イワシクジラ

イワシクジラは 1905/06 年から捕獲が記録されているが、主要な捕獲は 1957/58 年漁期からであり、この漁期以後、捕獲数は年間 2,000 頭を超えて、1974/75 年まで継続している (Fig. 1)。最大捕獲数は 1964/65 年の 20,380 頭で、1977/78 年までの累積捕獲数は 149,594 頭で、平均で年間 2,301 頭が捕獲された。バイオマスにすると、イワシクジラの平均体重を 19.5 トンとすると、これまでに累積で 2,917,083 トンが、また平均で年間 44,878 トンが間引かれたことになる (Fig. 2)。

#### クロミンククジラ

クロミンククジラは、1951/52 年から捕獲記録があるものの、本格的な捕獲は 1971/72 年漁期からであり、1972/73 年漁期以降、商業捕鯨の停止された 1986/87 年漁期まで年間およそ 5,000 頭が捕獲されている。それ以降、日本の科学許可の下で、1994/95 年まで年間 330 頭以下、2003/04 年まで年間 440 頭以下が捕獲されている (Fig. 1)。最大捕獲数は 1976/77 年の 7,900 頭で、商業捕鯨が停止した 1986/87 年漁期までの累積捕獲数は 97,610 頭で、平均で年間 2,677 頭が捕獲された (参考までに特別許可含めると、累積は 104,155 頭で、平均は 2,042 頭となる)。バイオマスにすると、クロミンククジラの平均体重を 7.4 トンとすると、商業捕鯨が停止した 1986/87 年漁期までに累積で 723,794 トンが、また平均で年間 21,288 トンが間引かれたことになる (参考までに特別許可含めると、累積は 770,821 トンで、平均は年間 15,114 トンとなる) (Fig. 2)。

## ザトウクジラ

ザトウクジラは、捕獲しやすいことから南極海での商業捕鯨が開始された 1904/05 年漁期から主要な捕獲対象種として捕獲され、1913/14 年漁期まで続いている。1911/12 年漁期には年間捕獲数が 8,000 頭を超えたが、1913/14 年漁期以降捕獲の対象は主にシロナガスクジラやナガスクジラに移行して徐々に捕獲数は減少し、捕獲数は、1916/17 年漁期以降 1000 頭以下となる。1935/36 年から 1940/41 年漁期と、1949/50 年から 1959/60 年漁期には 1,000 から 2,000 頭のザトウクジラが捕獲されたが、1963 年には捕獲禁止となっている (Fig. 1)。最大捕獲数は 1936/37 年の 4,477 頭で、累積捕獲数は 68,294 頭で、平均で年間 1,102 頭が捕獲された。バイオマスにすると、ザトウクジラの平均体重を 31 トンとすると、これまでに累積で 2,117,114 トンが、また平均で年間 33,605 トンが間引かれたことになる (Fig. 2)。

ナガスクジラは捕獲されていた 1970 年頃までは年間 200 万トンが間引かれていたことになり、その摂餌量は体重の 4% として計算すると、8 万トンが捕獲によって余剰となる。従って、シロナガスクジラやナガスクジラ、ザトウクジラなどが消費していたおよそ 200 万トンのオキアミ量が毎年余剰となっていた可能性がある。

## 2. 性成熟年齢

ここでは比較的情報の揃っているナガスクジラとクロミンククジラに着目する。

### ナガスクジラ

南極海におけるナガスクジラの性成熟年齢の変化を Fig. 3. に示した。捕獲は南極海で捕鯨が開始された 1904 年から 1975 年まで続いたが、性成熟年齢は 1920 年から 1930 年級頃から低下する傾向が認められ、これはデータのある 1957 年級頃まで認められている。

### クロミンククジラ

クロミンククジラの性成熟年齢の変化を Fig. 3. に示した。南極海でのクロミンククジラの本格的な捕獲は 1971/72 年漁期から始まるが、同種の性成熟年齢は捕獲が開始される前の 1932 年級頃から低下する傾向が認められている (Kato, 1987)。

また、商業捕鯨が一時停止された以降についても、JAPRA によって継続的な標本が得られており、Fig. 5 に示した (Zenitani and Kato, 2005)、この結果、性成熟年齢の低年齢化の現象は徐々に緩やかとなり、1970 年から 1980 年コホート頃には若齢化がほぼ停止し、雌では高齢化に向かう傾向が認められている。

## 3. 妊娠率

シロナガスクジラ、ナガスクジラ及びザトウクジラの妊娠率の経年変化を Fig. 6 に示す。これら 3 つの鯨種の妊娠率は、1930 年頃から振幅のしながら増加していく傾向が認められ、シロナガスクジラでは 1930 年から 1960 年頃、ナガスクジラも 1930 年頃から 1970 年頃、また、ザトウクジラも年変動が大きいものの、1930 年頃から 1960 年頃にかけて増加する傾向が認められている。

クロミンククジラはほぼ毎年繁殖に参加して、子供を生むことができると考えられており、南極海に來遊する個体から推定した妊娠率は一貫して高く、90% 以上を示すが、クロミンククジラでは性や性状態によって棲み分けしていることから、繁殖場で推定された 78% (Best, 1982) が最も妥当であると考えられており、経年的な変化については詳細な報告はない。

## 4. 成長曲線

商業捕鯨時に報告されたクロミンククジラの成長曲線を Fig. 6 に示す (Kato, 1987)。Kato (1987) は、商業捕鯨時の標本を用いて、クロミンククジラは 1940-49 年級群から 1970-79 年級群にかけて成長速度が速まり、より早く成長して、大型化していることを報告した。

JARPA サンプルを用いてこれ以降の年級群の成長曲線を比較したところ、1990年代の年級群 (cohort) では、1980年代の年級群よりも成長速度が低下し、成長曲線を描いたところ、1990年代のグループの方が小さい傾向が認められた (Fig.8)。

## 5. クロミンククジラ資源のVPA解析

VPAなどのコホート解析により、クロミンククジラ資源は1944年から1968年まで加入量が増加し、これ以降、加入量 (Recruitment) が減少し、これが1980年頃まで続き、その後減少が止まるといった変化を示すことが報告され、IWCにおいても、その現象の理由について長い間議論されてきた (Sakuramoto and Tanaka, 1986; Thomposon *et al.*, 1997; Butterworth *et al.*, 1999; Butterworth and Punt, 1999)。

## 6. 汚染物質の蓄積

本田 (1985)は、1980/81年漁期の商業捕鯨によって捕獲されたクロミンククジラの肝臓中の重金属を分析して、同種の肝臓中水銀濃度が年齢に伴って上昇せず、むしろ10歳以降は減少する傾向のあることを明らかにし、一般に鯨類など海産哺乳類で知られているような年齢蓄積性が認められないことを報告した。また、この原因として、環境中の水銀濃度が大きく変化していないことから、餌生物中の水銀濃度の変化で説明することが出来ず、むしろ摂餌量の増加に伴って水銀の取込量が増大した結果であろうと考察し、その要因として大型鯨類の資源減少に伴ってクロミンククジラの摂餌環境が好転したことを挙げている (Honda *et al.*, 1987)。

Watanabe *et al.* (1998) はさらにクロミンククジラの成長に伴う体重増加により、水銀濃度が見かけ上減少する影響を考慮するため、鯨体中に蓄積する水銀総量 (負荷量) を求め、シミュレーションからこの水銀蓄積年齢曲線にもっとも良くフィットする条件を検討した。ここでは、環境 (餌生物) 中の水銀濃度が大きく変化していないと仮定し、また水銀の生物学的半減期をスジイルカで求められた4.6年を用いて検討している。その結果、1980/81年時の年齢で、摂餌量が10歳までの個体で体重の15%で、10歳から30歳にかけて、15%から5%まで減少し、30歳以上では体重の5%と仮定した場合であったと報告した (Fig 10)。1980/81-81/82年漁期で得られた標本の分析で認められたことから、その30年前となる1950年頃からこのような摂餌環境が好転したものと推定される。

Fujise *et al.*(1997) は、JARPA サンプルを用いて、クロミンククジラの水銀蓄積の継続的なモニターを行い、先に示された水銀の取込量の増加が全年齢範囲にまで反映される過程を検討し、摂餌量とともに増加した水銀の取込みが全ての年齢範囲まで反映され、他の鯨類と同様に、クロミンククジラにおいても年齢に伴って水銀濃度が増加することが確認された (Fig. 11)。

また、この蓄積曲線を詳細に見ると、最近年 (2003/04年) の若年齢グループ (1から5歳の年齢グループ) において、水銀濃度がわずかながら減少している傾向が認められている (Fig. 12)。

## 7. 脂皮厚

Ohsumi *et al.* (1997)は、1971/72年から開始された商業捕鯨時のデータ及び1987/88年から1995/96年までのJARPAデータを用いて、脂皮厚の解析を行い、脂皮厚の減少が少なくとも1978年から認められることを報告した (Fig. 13)。

Konishi *et al.* (2005)は、1987/88年から2003/04年までのJARPAデータを用いて、脂皮厚の解析を行い、Ohsumi *et al.* (1997)が報告した脂皮厚の減少はその後にも継続していることを報告した (Fig. 14)。

## 8. クロミンククジラの胃内容物重量の変化

クロミンククジラの成熟個体の胃内容物重量にも変化が認められている (Fig. 15)。

## 9. 大型鯨類（ザトウクジラとナガスクジラ）との競合

近年、ザトウクジラなどの大型鯨類資源の回復が報告されており、南極海IV区やV区においてもザトウクジラやナガスクジラの来遊量が増加している (Fig. 16; Matsuoka *et al.*, 2005)。また、特に南極海IV区ではクロミンククジラの分布域までザトウクジラが分布域を拡大しており、これまで南緯 60 度以南の調査海域に広くクロミンククジラを発見したが、2003/04 年の調査ではクロミンククジラは、パックアイスの中にまで押しやられている傾向のあることが観察されている (Ishikawa *et al.*, 2004)。

ザトウクジラやナガスクジラは、これまで沖合にしかみられなかったが、近年はクロミンククジラの分布域とオーバーラップしており、索餌域での複数鯨種のオーバーラップは、特に南極海のような単純な構造の海洋生態系では、鍵種 (Key species) となるオキアミを巡った鯨種間の競合の可能性が示唆され、クロミンククジラが摂餌域での分布範囲を狭めたことは、摂餌環境が悪化した可能性を示唆している。

## 10. なにが南極海クロミンククジラの資源におこったか

これまでのことを要約すると、以下のように纏められる。

1940 年始め頃から 1970 年頃までの変化として以下の事象が挙げられる；

加入量の増加 (VPA)

成長速度の加速 (成長曲線)

性成熟年齢の若齢化 (耳垢栓成長層 TP)

水銀の取込み量の増加

1970 年頃から 1980 年頃までの変化としては、次の事象が挙げられる；

加入量の減少 (VPA)

性成熟年齢の若齢化の停止 (耳垢栓 TP)

水銀の一定量の取込

1980 年頃以後の変化

成長速度の減速化 (成長曲線)

脂皮厚の減少 (1980 年から現在まで)

胃内容物の減少 (1980 年代後半から現在まで)

水銀の取込み量の減少

これらのことを総合的に考えると、以下のような南極海でのクロミンククジラ資源の変化が起こった可能性が考えられる。

南極海においてシロナガスクジラなどの乱獲による資源枯渇によって少なくとも 1940 年代頃からクロミンククジラの摂餌環境が好転し、これを反映して成長速度が速まり、若くして成熟体長に達して性成熟を迎え、繁殖に参加する群れの増加によって次第に資源量を増大させていった。これは、ナガスクジラやザトウクジラなどの大型鯨類においても性成熟年齢の若齢化や妊娠率の増加など同じような摂餌環境の好転が示唆されることから、南極海においてオキアミの多量消費者である大型鯨類の減少による低密度化によって、摂餌環境が良くなったことが示唆される (Kato, 1987)。

1970年頃には環境収容力 (carrying capacity) の最大近くまで達して、消費者当たりの利用可能な餌生物 (オキアミ) 量が一定となり、これをうけてクロミンククジラの資源量も次第に平衡状態となり、この頃を境にして摂餌環境が徐々に鈍くなって成長速度や性成熟年齢の若齢化が緩やかとなった。1980年頃には、性成熟年齢の若齢化の停止や1990年代生まれでの成長速度の減少が現われたものと考えられた。また、このような摂餌環境の変化は脂皮厚にも現われており、少なくとも1978年頃以降、一貫してクロミンククジラの脂皮厚の減少が起こっている。また、1990年頃からは、南極海への来遊するザトウクジラやナガスクジラなどの大型鯨類も増加しており、これらの資源の回復が示唆されるとともに、南極海におけるクロミンククジラの摂餌環境は、さらに悪化している可能性が示唆される。

このような摂餌環境を変える他の要因としては、地球温暖化などの環境変化の可能性がある。南極海では温暖化により定着氷の融解が南極半島周辺海域で報告されており、氷上抱卵するペンギン資源の減少などが報告されている (Croxall *et al.*, 2002)。しかしながら、本報が対象とした南極海IV区やV区は、南極半島の反対側にあたり、これまでに大きな定着氷の変化は報告されていない。また、JARPAで行っている海洋観測データや人工衛星データに基づく、海洋環境の解析結果では、エルニーニョやラニーニャなどの海洋環境変動に呼応した年変動は認められるものの、一定の海洋環境の変化は認められていない (Watanabe *et al.*, 2005)。

クロミンククジラ資源は、オキアミを鍵とする南極生態系において、ザトウクジラなど他鯨種との競合関係や環境収容力の変化などによって、栄養状態の変化や生物学的特性値を変化させた可能性が高い。

クロミンククジラ資源を適切に管理し、持続的利用を図るためには、それら環境変化への応答を検出するとともに、生息環境について情報を収集して、総合的に管理していくことを目指す必要がある。

## 謝辞

水産総合研究センター遠洋水産研究所鯨類生態研究室加藤秀弘博士、日本鯨類研究所銭谷亮子女史から性成熟年齢情報提供を受けたここに感謝します。また、日本鯨類研究所松岡耕二氏、田村力博士、坂東武治氏、小西健二博士には関連するドキュメントの情報を提供受けたここに厚く感謝する。1987/88年から2003/04年のJARPA調査に参加した全乗組員と調査員の方々に敬意を表します。

## 引用文献

- Bando, T., Zenitani, R., Fujise, Y. and Kato, H. 2005. Biological parameters of Antarctic minke whale based on materials collected by the JARPA survey in 1987/88 to 2003/04. Paper JA/J05/PJR5 presented to the JARPA Review meeting, January 2005.
- Best, P.B. 1982. 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.
- Butterworth, D.S., Punt, A.E., Geromont, H.F., Kato, H. and Fujise, Y. 1999. Inferences on the dynamics of Southern Hemisphere minke whales from ADAPT analyses of catch-at-age information. *J. Cetacean Res. Manage.*, 1(1): 11-32
- Butterworth, D.S. and Punt, A.E. 1999. An initial examination of possible inferences concerning MSYR for Southern Hemisphere minke whales from recruitment trends estimated in catch-at-age analyses. *J. Cetacean Res. Manage.*, 1(1): 33-39.
- Croxall, J.P., Trathan, P.N. and Murphy, E.J. 2002. Environmental change and Antarctic seabird populations. *Science*, 297: 1510-1514.
- Fujise, Y., Honda, K., Yamamoto, Y., Kato, H., Zenitani, R. and Tatsukawa, R. 1997. Changes of hepatic mercury accumulations of Southern minke whales in past fifteen years. Paper SC/M97/20 presented to the IWC Intersessional Working Group to Review Data and Results from Special Permit Research on Minke whales in the Antarctic, May 1997 (unpublished). 16pp.



- Gambell, R. 1973. Some effects of exploitation on reproduction in whales. *J. Reprod. Fert., Suppl.* 19: 533-553.
- Honda, K. 1985. Kaisan-honyûrui no jûkinzoku no seibutsu nôshuku ni kansuru kenkyû (Study on bioaccumulations of heavy metals in marine mammals). Ph. D. thesis, Univ. Tokyo, 101p.
- Honda, K., Yamamoto, Y., Kato, H. and Tatsukawa, R. 1987. Heavy metal accumulations and their recent changes in southern minke whales *Balaenoptera acutorostrata*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 16:209-216.
- International Whaling Commission. 1989. Report of Scientific Committee. *Rep. int. Whal. Commn* 39:33-157.
- International Whaling Commission. 1990. Report of Scientific Committee. *Rep. int. Whal. Commn* 40:39-180.
- International Whaling Commission. 1991. Report of Scientific Committee. *Rep. int. Whal. Commn* 41:51-89.
- International Whaling Commission. 1992a. Report of Scientific Committee. *Rep. int. Whal. Commn* 42:51-86.
- International Whaling Commission. 1992b. Report of Scientific Committee. *Rep. int. Whal. Commn* 42:263-264.
- International Whaling Commission. 1995. Report of Scientific Committee. *Rep. int. Whal. Commn* 45:53-103.
- Ishikawa, H., Otani, S., Kiwada, H., Isoda, T., Tohyama, D., Honjo, K., Hasegawa, A., Terao, T., Kushimoto, T., Ohshima, K., Sugiyama, K., Sasaki, T., Itoh, S., Takamatsu, T. and Yoshida, T. 2004. Cruise Report of the Japanese Whale Research Program under Special Permit in the Antarctic (JARPA) Area IV and Eastern Part of Area III in 2003/2004. Paper SC/56/O12 presented to the IWC Scientific Committee, June 2004 (unpublished). 18pp.
- Kato, H. 1987. Density dependent changes in growth parameters of southern minke whale. *Sci. Rep. Whales Res. Inst.*, 38: 47-73.
- Konishi, K. and Tamura, T. 2005. Yearly trend of blubber thickness in the Antarctic minke whale *Balaenoptera bonaerensis* in Areas IV and V. Paper JA/J05/PJR9 presented to the JARPA Review meeting, January 2005.
- Lockyer, C. 1982. Investigation of the ear plug of the southern sei whale, *Balaenoptera borealis*, as a valid means of determining age. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, 36(1): 71-81.
- Matsuoka, K., Hakamada, T. and Nishiwaki, S. 2005. Distribution and abundance of humpback, fin and blue whales occurring in the Antarctic Areas III, IV, V and VIW (35°E-145°W). Paper JA/J05/PJR10 presented to the JARPA Review meeting, January 2005.
- Ohsumi, S., Fujise, Y., Ishikawa, H., Hakamada, T., Zenitani, R. and Matsuoka, K. 1997. The fattiness of the Antarctic minke whale and its yearly change. Paper SC/M97/18 presented to the IWC Intersessional Working Group to Review Data and Results from Special Permit Research on Minke whales in the Antarctic, May 1997 (unpublished). 21pp.
- Sakuramoto, K. and Tanaka, S. 1986. A simulation study on management of whale stocks considering feedback systems. Paper SC/38/O10 presented to the IWC Scientific Committee, May 1986.
- Tamura, T. and Konishi, K. 2005. Feeding habits and prey consumption of Antarctic minke whales, *Balaenoptera bonaerensis* in Areas IV and V of the Antarctic Paper JA/J05/PJR8 presented to the JARPA Review meeting, January 2005.
- Watanabe, I., Yamamoto, Y., Honda, K., Fujise, Y., Kato, H., Tanabe, S. & Tatsukawa, R. 1998. Comparison of mercury accumulation in Antarctic minke whale collected in 1980-82 and 1984-86. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 64:105-109.
- Watanabe, T., Yabuki, T., Suga, T., Hanawa, K., Matsuoka, K. and Kiwada, H. 2005. Results of oceanographic analyses conducted under JARPA and possible evidence of environmental changes. Paper JA/J05/PJR15 presented to the JARPA Review meeting, January 2005.

Yasunaga, G., Fujise, Y., Zenitani, R., Honda, K. and Kato, H. 2005. Yearly trend of trace element accumulation in liver of Antarctic minke whales, *Balaenoptera bonaerensis*. Paper JA/J05/PJR13 presented to the JARPA Review meeting, January 2005.

Zenitani, R. and Kato, H., 2005. Long- term trend of age at sexual maturity of Antarctic minke whales by counting transition phase in earplugs. Paper JA/J05/PJR7 presented to the JARPA Review meeting, January 2005.

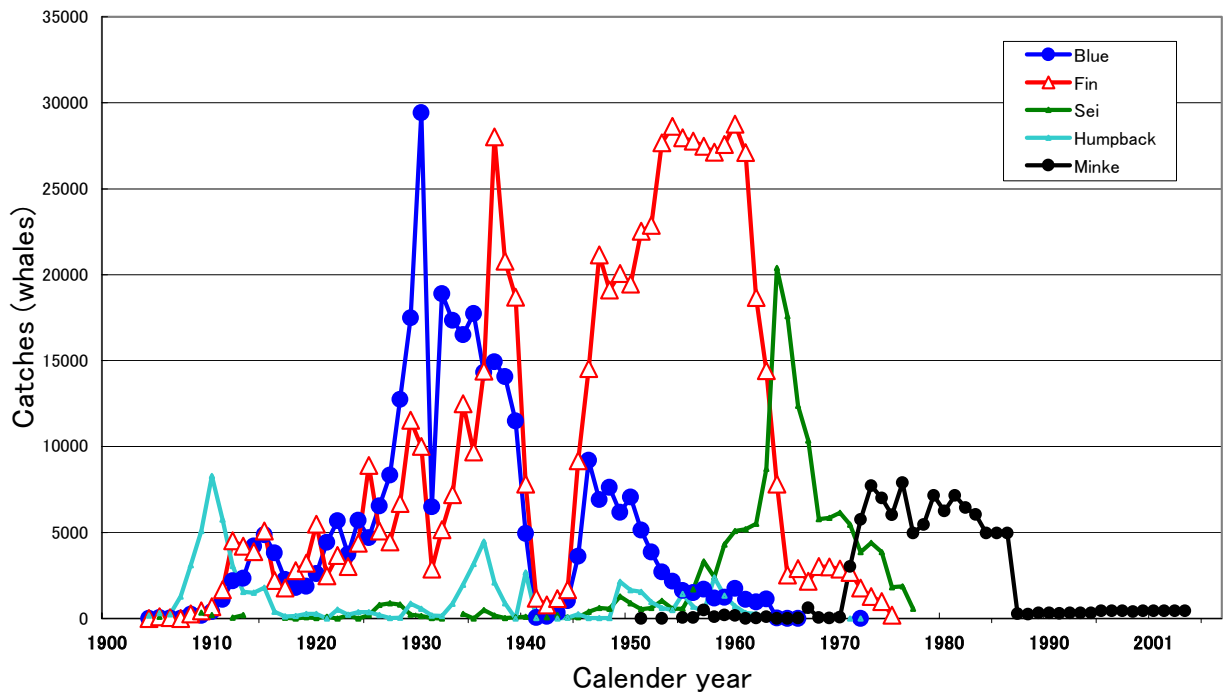


Fig. 1. Catch history of large sized baleen whales in the Antarctic since 1904.

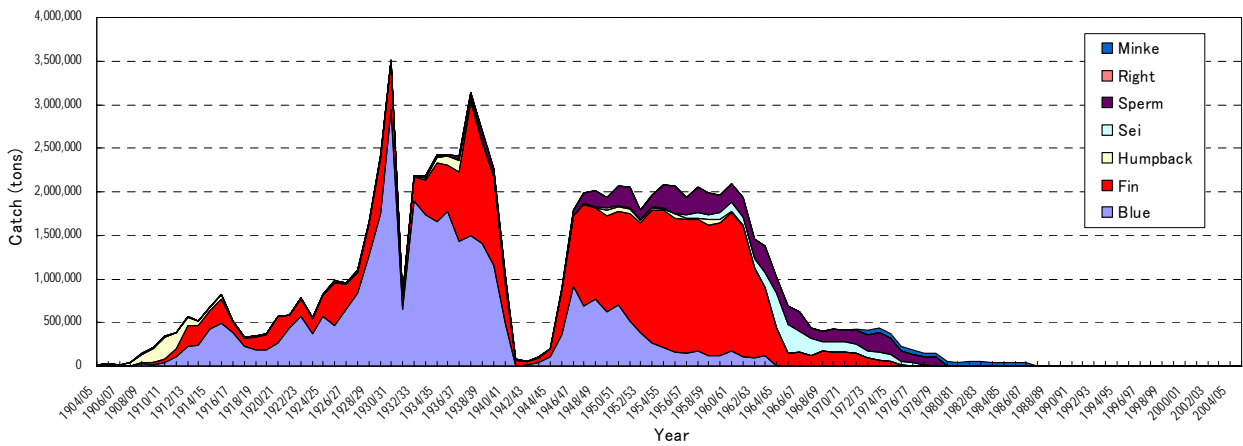


Fig. 2. Total biomass of harvested large sized baleen whales in the Antarctic since 1904.

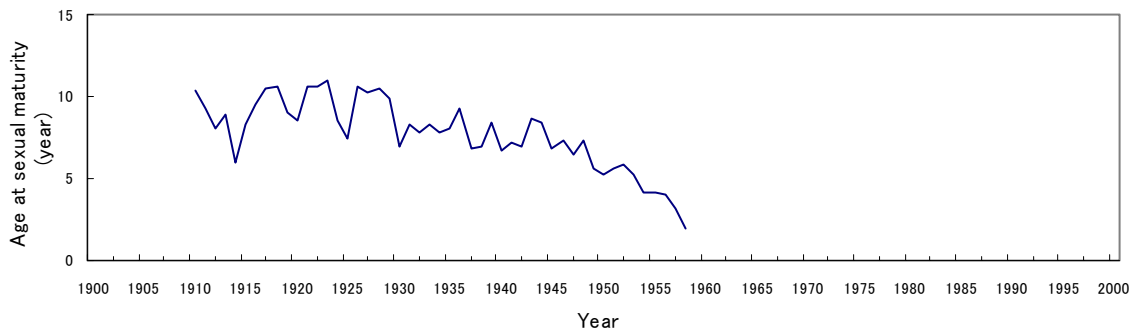


Fig. 3. Trend of age at sexual maturity of southern fin whales by cohort (Lockyer, 1982)

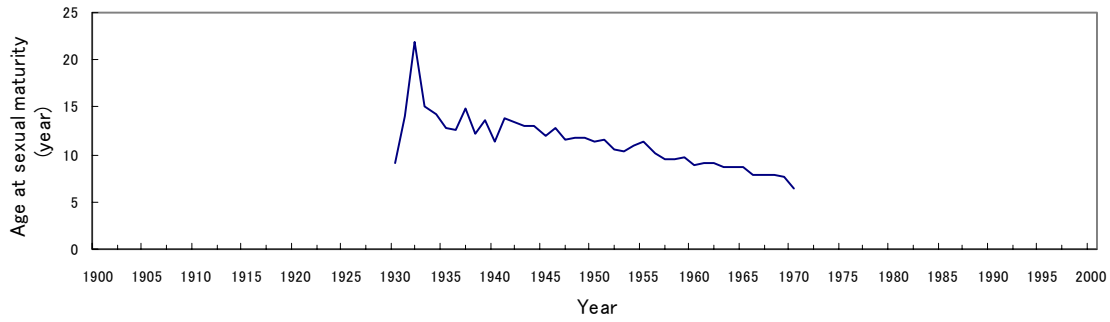


Fig. 4. Trend of age at sexual maturity of Antarctic minke whales by cohort (Kato, 1987)

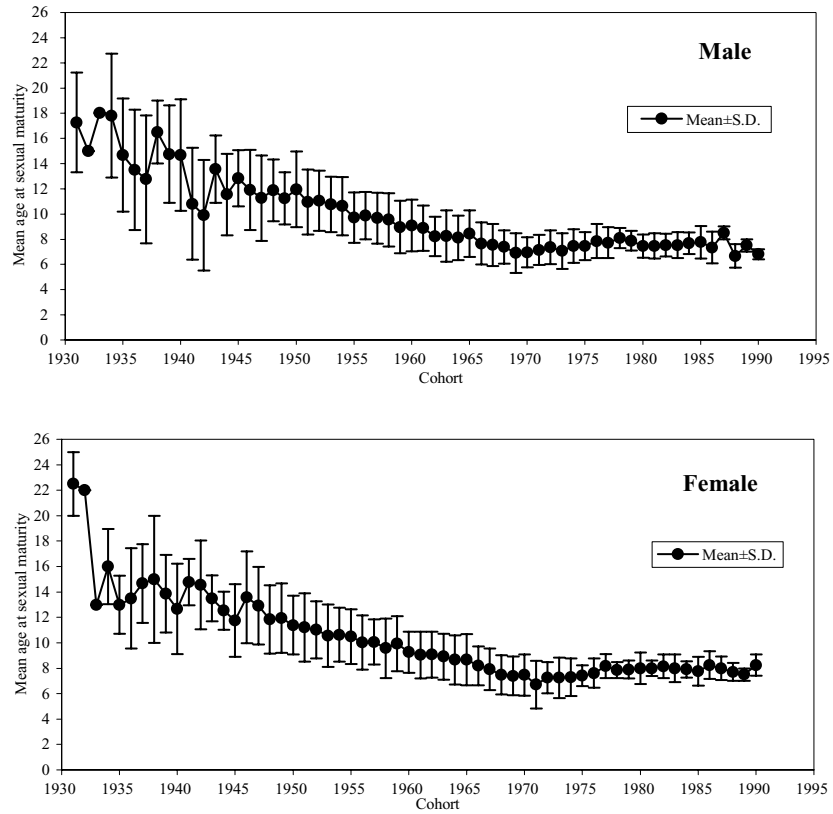


Fig. 5. Trend of age at sexual maturity of Antarctic minke whales by cohort (Zenitani and Kato, 2005)

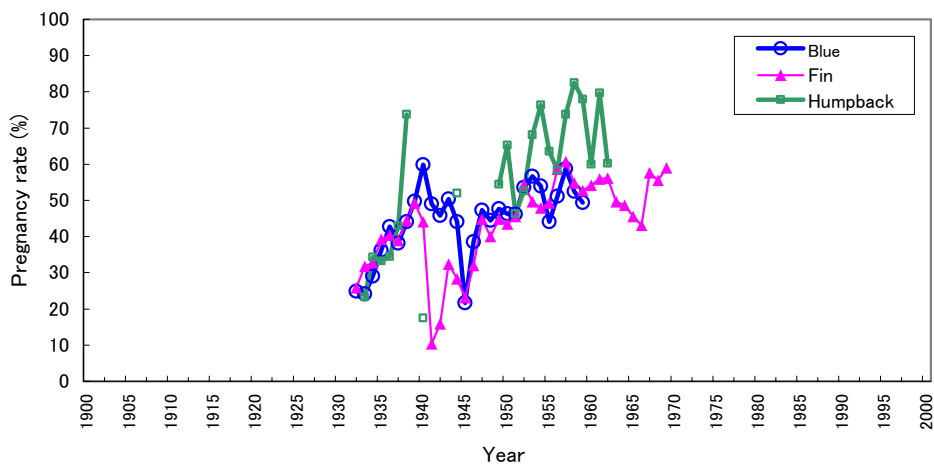


Fig. 6. Yearly changes of apparent pregnancy rate of blue, fin and humpback whales in the Antarctic (data from Lockyer (1982) and BIWS).

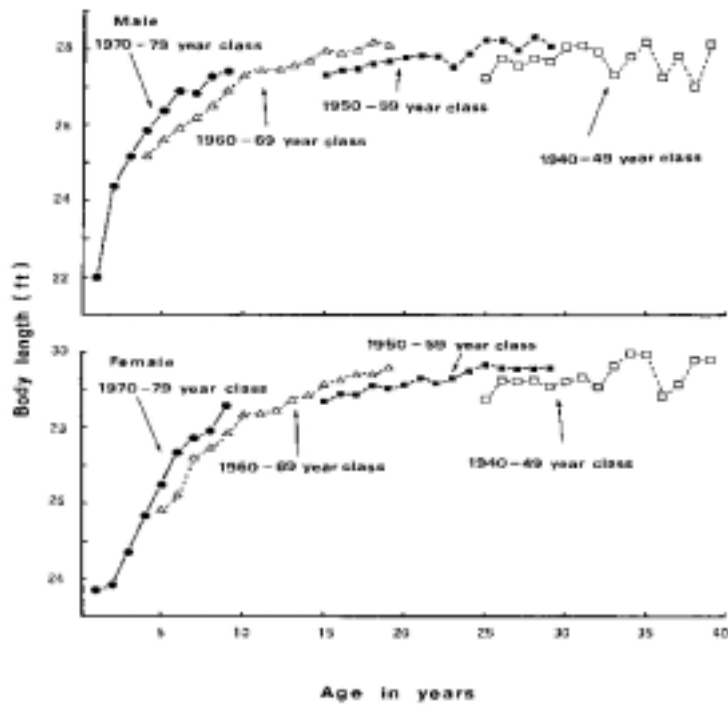


Fig. 7. Yearly changes of growth curve of Antarctic minke whales using samples from commercial whaling (Kato, 1987).

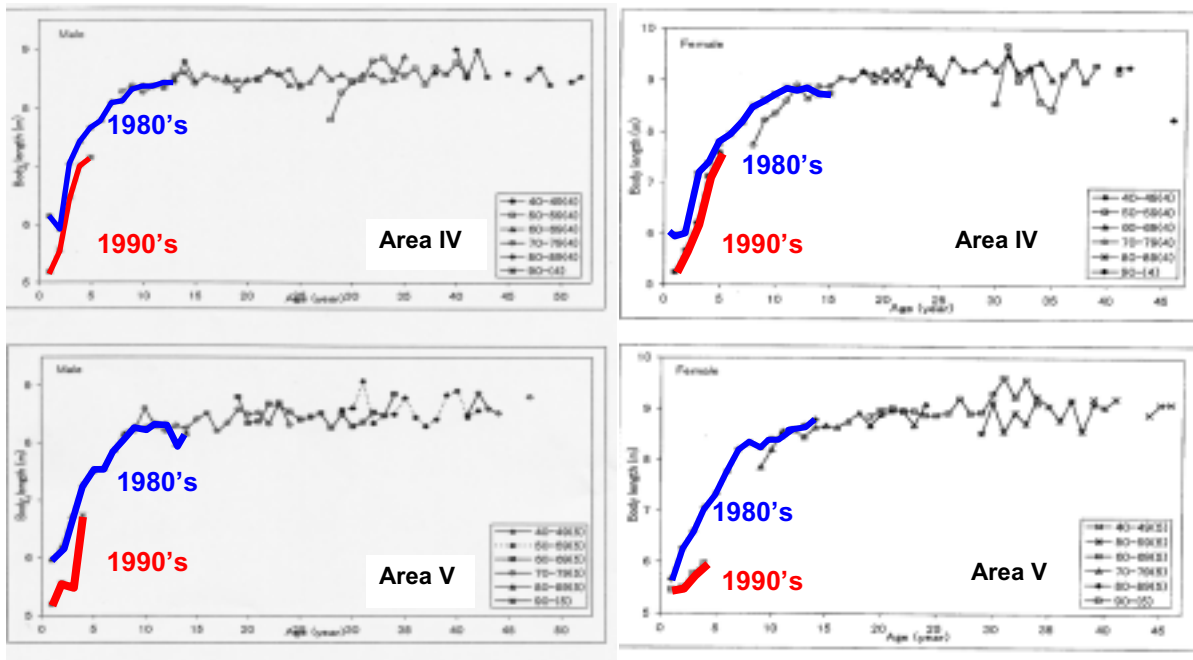


Fig. 8. Comparison of growth curve of body length in each cohort for Antarctic minke whales. Left column indicate male, and right female. Upper and lower figures indicate Area IV and Area V, respectively. Age data in this figure were used from Ms. Zenitani (unpublished data).

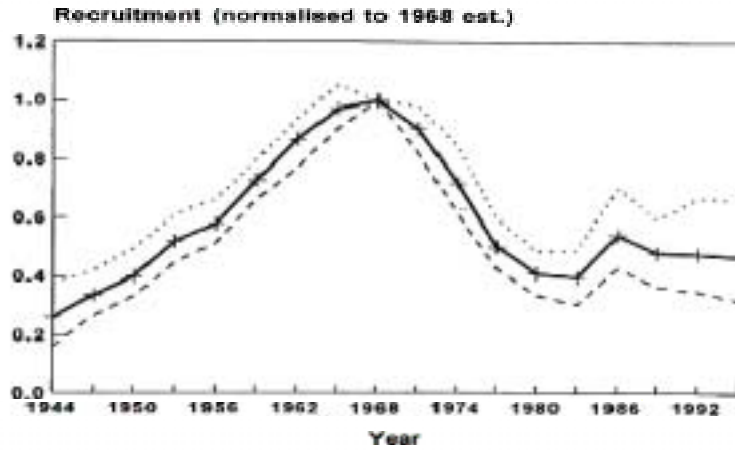


Fig. 9. Boot strap estimates of median (solid line), and 5%- and 95%-iles (dotted lines), for recruitment  $N_{y,2}$  (relative to its estimated 1968 level for the corresponding bootstrap replicate) for Area IV for the base-case estimator when M is fixed at its corresponding best estimate of  $0.057\text{yr}^{-1}$ . (Butterworth *et al.*, 1999)

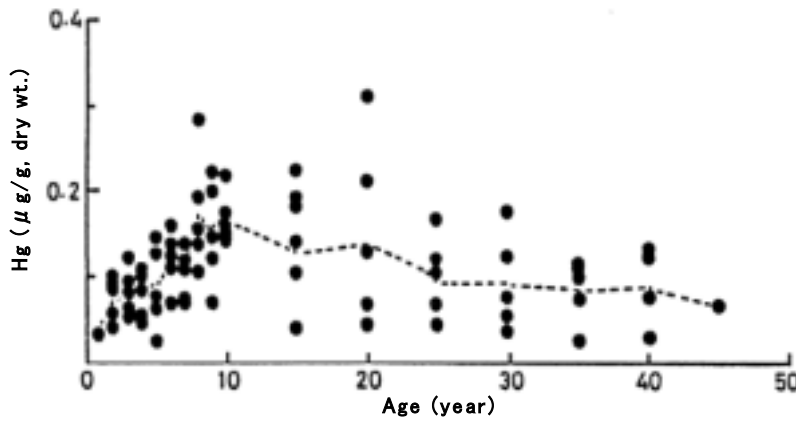


Fig. 10. Age trend of hepatic mercury concentrations ( $\mu\text{g/g}$ ) in Antarctic minke whales using samples from commercial whaling in 1980/81 season. (Honda *et al.*, 1987)

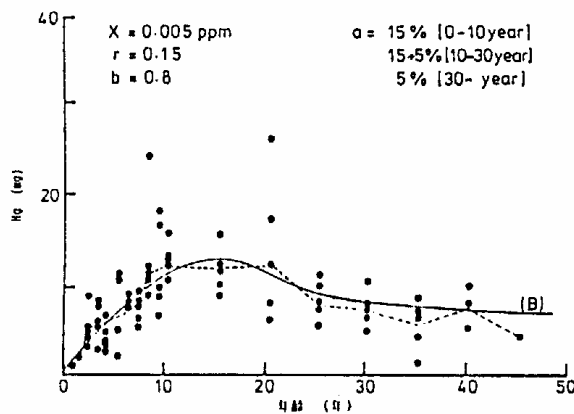


Fig. 11. Age trend of mercury load (mg) in the body of Antarctic minke whales, and accumulation curve obtained from the simulation of accumulation model (Honda, 1984).

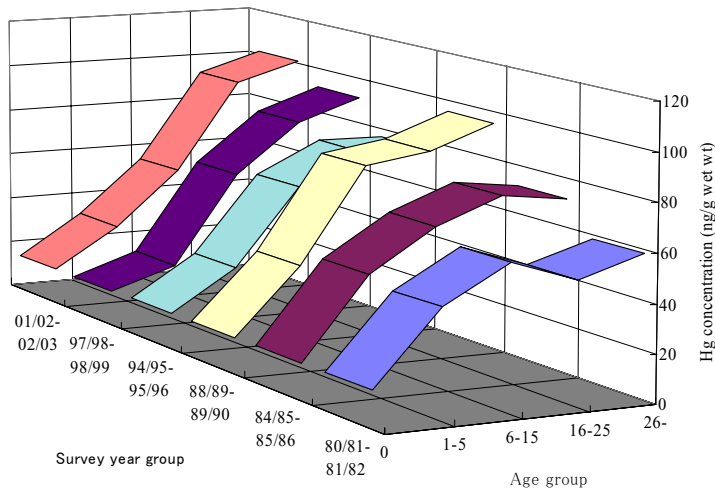


Fig. 12. Comparison of age trends of hepatic Hg concentrations (ng/g) of Antarctic minke whales during five survey year groups (1980/81+1981/82, 1984/85+1985/86, 1988/89+1989/90, 1994/95+1995/96, 1997/98+1998/99, 2001/02+2002/03).

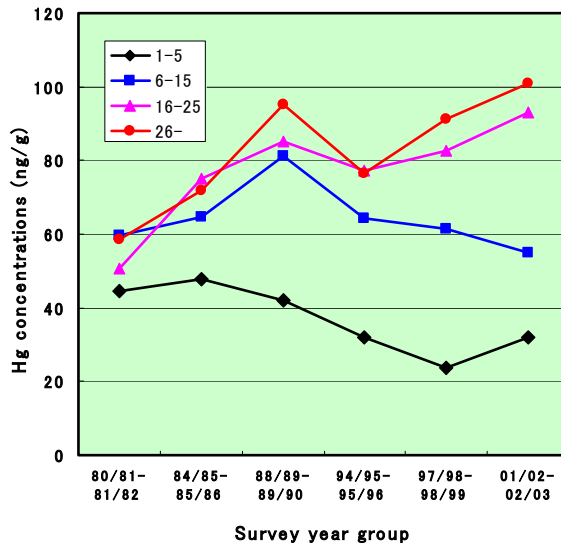


Fig. 13. Yearly changes of hepatic Hg concentrations (ng/g) in minke whales from four age groups (1-5, 6-15, 16-25, 26 or more).

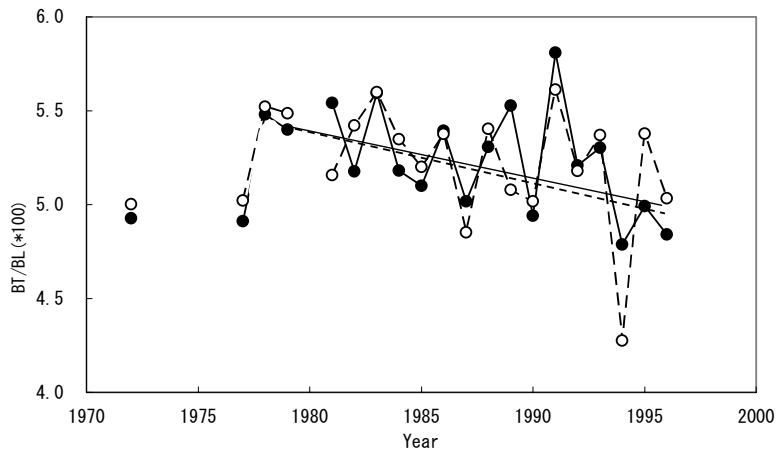


Fig. 14. Yearly changes in average fattiness index of blubber thickness in February (closed circle indicates males, open circle females). (Ohsumi *et al.*, 1997)

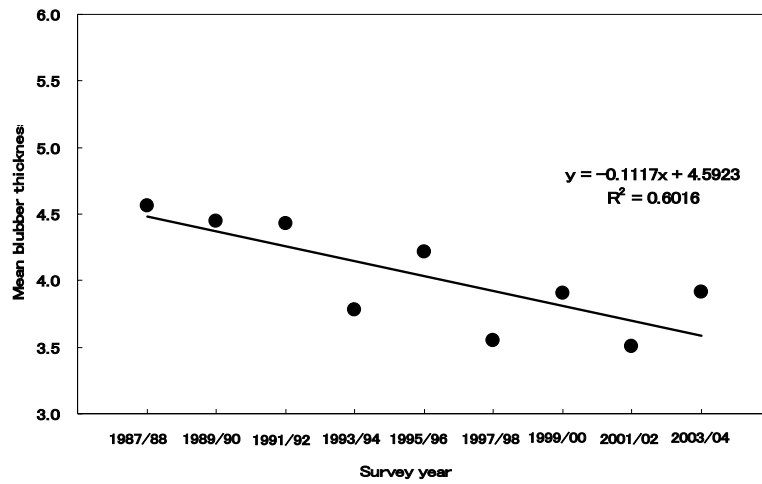


Fig. 15. Yearly changes in average blubber thickness of pregnant females in February (Konishi and Tamura, 2005).

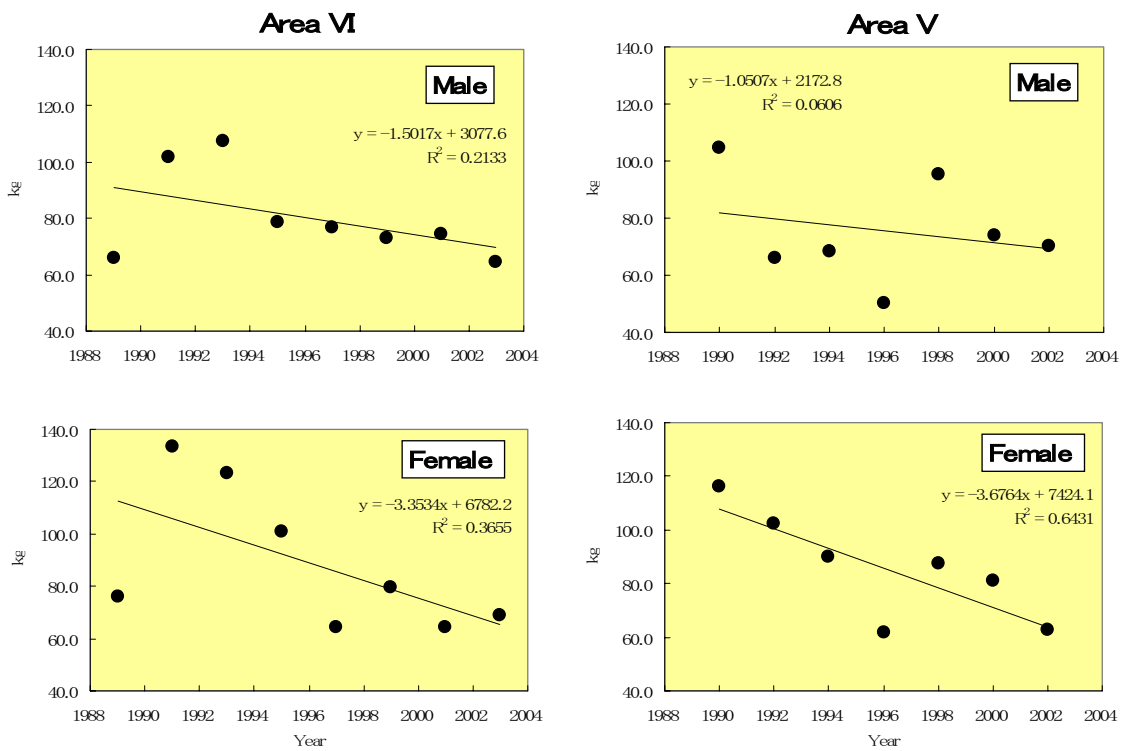


Fig. 16. Yearly changes of stomach contents (kg) of mature Antarctic minke whales in Area IV and V (Tamura and Konishi, 2005). Data used was from individuals collected from an area south of 63 degree S in January and February. The content weight was combined the first and second stomachs.



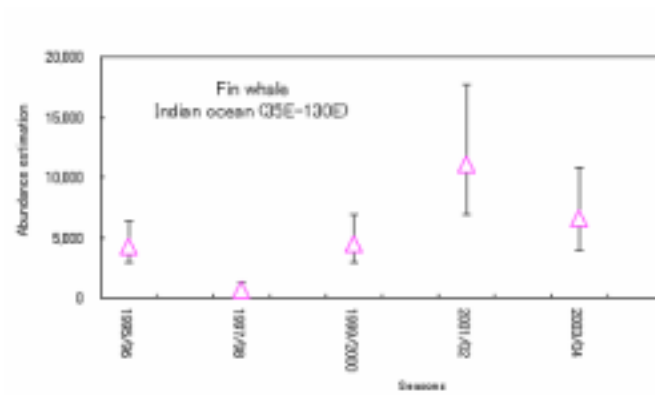
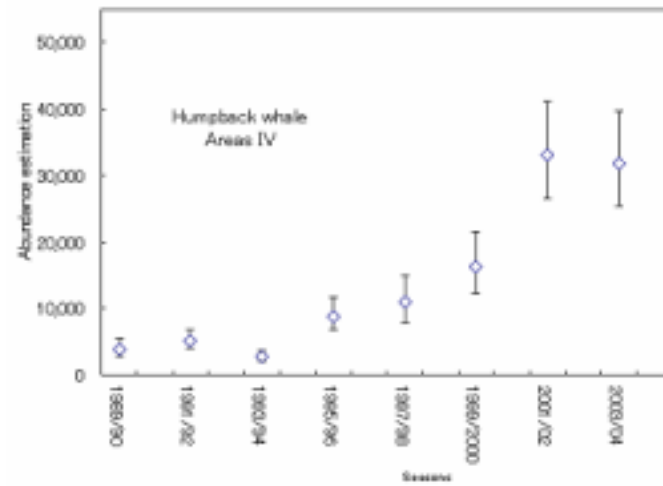


Fig. 17. Yearly changes of abundance estimates for humpback and fin whales in Antarctic Area IV (70E-130E). Upper figure shows humpback whales, lower figure fin whale (Matsuoka *et al.*, 2005)

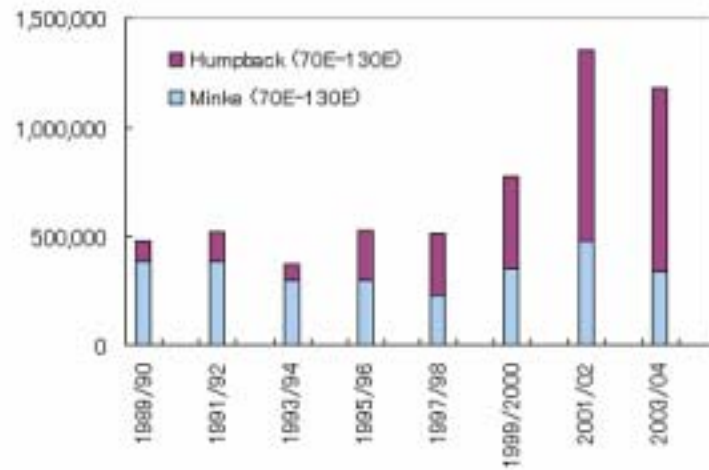


Fig. 18. Biomass of Humpback and Antarctic minke whales in Antarctic Area IV (70E-130E) using data from 1989/90 to 2003/04 JARPA (Matsuoka *et al.*, 2005).

## Appendix 3

# 南氷洋索餌域におけるヒゲクジラの系群構造の時空間変化

ルイス.A.パステネ・上田真久

財団法人日本鯨類研究所

南氷洋生態系を構成するヒゲクジラ主要種の系群構造の情報は、資源量推定値やトレンドのよりよい解釈、生物学的特性値の推定、管理方式の実行のために重要である。

南氷洋に生息するヒゲクジラの系群構造については種によってその情報量が異なる。地理的な隔離障壁がない中では、海況や環境によって、とくに摂餌域における系群構造は時空間的に変化しているかもしれない。本稿では、主要鯨種における系群構造の現状を述べ、さらに必要な研究課題について明らかにする。

### 1 シロナガスクジラ

南氷洋におけるシロナガスクジラの系群構造については最近ほとんど情報がない。過去の標識-再捕記録によると、かなりの割合のクジラが毎年同じ海域に戻っていることが分かった (Brown, 1954)。さらに、過去の捕獲記録と新たな標識-再捕記録から、IWC によって定められた 6 海区はこの鯨種にとって有効のようであった (Brown, 1962 ; Mackintosh, 1965)。

南氷洋シロナガスクジラの系群構造の遺伝学的解析は皆無である。JARPA では、バイオブシー標本を採集してきたが、標本数が少なく、解析には至っていない。

JARPA2 では引き続き、IWC が定めた III 区、IV 区、V 区においてバイオブシー標本の採集に力を注ぎ、当時定められた海区の境界が今でも系群の境界に一致するかどうか明らかにする。遺伝解析は mtDNA 制限部位の塩基配列解析とマイクロサテライト DNA 解析の両方を行う。最初のステップとしては、それぞれの海区から 20-50 頭の標本を採集できることが望ましい (IWC, 1991)。

加えて、標識実験としてデータロガー (TDR) と衛星標識の開発にもできれば着手したい。

### 2 ナガスクジラ

南氷洋におけるナガスクジラの系群構造については最近ほとんど情報がない。シロナガスクジラ同様、過去に行われた標識-再捕実験では、かなりの割合のクジラが毎年同じ海域に戻っていることが分かった (Brown, 1954)。過去の非遺伝解析では、南氷洋の 6 海区はシロナガスやザトウクジラに有効であるが、ナガスクジラにはあまり有効でないとしている (Mackintosh 1965)。大西洋の南、インド洋の南、西南太平洋の南、東南太平洋の南の 4 海域からなる索餌域に境界があるようだ (Mackintosh 1965)。インド洋の南側は JARPA で調査している III 区東と IV 区、西南太平洋の南側は VI 区西側と V 区に一致する。

唯一、III 区東+IV 区と V 区西側の標本間に遺伝的差異があるかどうかを調べるために JARPA で採集したバイオブシーサンプルを用いた mtDNA 解析がある (Pastene, 2005b)。しかしながら、標本数が少なく (8 個体と 15 個体)、明確な結論を導くには至っていない。

新たな遺伝的データはナガスクジラの摂餌域における分離を検証するために重要である。JARPAII での生物学的特性値のモニタリングに必要なナガスクジラの標本数は年間 50 頭である。この標本と引き続き JARPAII でも採集するバイオブシー標本をあわせて、系群構造の解析に用いる。これらの標本を用いれば、インド洋系群と西南太平洋系群の比較が達成できる。遺伝的 (mtDNA、STR) および非遺伝的手法 (例えば、成熟個体の平均体長、モルフオメトリーや生態的マーカー) を用いる。IWC では遺伝学的研究のための標本数として 20-50 の範囲を勧めている

(IWC、1991)。しかしながら、この標本数はあくまでも一般的なもので、本来は遺伝的差異の程度によって異なる。

加えて、標識実験としてデータロガー (TDR)と衛星標識の開発にもできれば着手したい。

南氷洋のシロナガスクジラとナガスクジラは過去に大きな資源量の低下が起きたため、過去に推測された系群構造から変化していることが期待される。そのような構造の変化を明らかにすることは、正確な資源量推定値や生物学的特性値を得るために重要である。

### 3-クロミンククジラ

より良い資源管理のためのクロミンククジラ系群構造の解明が JARPA の一目的であった。遺伝的、非遺伝的手法を用いて詳細な系群解析が JARPA 標本を使って行われた (Pastene *et al.*, 2005a)。

日本政府主催による JARPA レビュー会議では、JARPA の調査海域には東部インド洋系群 (I) と西部南太平洋系群 (P) という 2 系群が分布しているとする仮説が妥当であるという同意があった。これらの系群は 165° を境界とする付近で混合しているらしい。会議では更なる解析として V 区西側 (東経 130-165°) における 2 系群の混合率を、北太平洋ミンククジラで用いられるような手法を使って (IWC、2003) 求めることが示唆された。

JARPAII では、混合域で I と P の 2 系群の混合様式を、特に年変動があるかどうかに着目して明らかにしていく。必要とする標本数は JARPA 標本をもとに以下に記すように求めた。

#### 3-1 方法

混合域における I 系群の混合率をベイズ法 (IWC、2003) と mtDNA ハプロタイプ頻度を用いて推定した。この方法では、ベースラインとなる系群 (すなわち I と P) は完全に純系と仮定し、混合域 (V 区西側) における I 系群と P 系群の混合率を求めた。この解析では、両系群のハプロタイプの割合には不確実性はないと仮定した。

#### 3-2 V 区西側における I 系群の割合 (MP) の年変化

この解析ではベースライン系群を以下のように設定した：

I 系群ベースライン：IV 区、全ての JARPA 標本 (n=2655)

P 系群ベースライン：V 区東側+VI 区西側、全ての JARPA 標本 (n=1637)

	MP	SD
90/91 (n=180) 173	0.6246	0.1253
92/93 (n=193) 192	0.4907	0.1513
94/95 (n=130) 129	0.6046	0.1708
96/97 (n=121) 119	0.2446	0.1576
98/99 (n=171) 170	0.6512	0.1363
00/01 (n=133) 131	0.4847	0.1713
02/03 (n=89) 89	0.4267	0.2193
All years (n=1,017) 1003	0.5320	0.0652

この表によると、1996/97 シーズンの MP が他のシーズンに比べて低い。

#### 3-3 1996/97 と AYC (全シーズン合計) の混合率の違いを検出するために必要な標本数

この解析では、1996/97 シーズンを除く全てのシーズンをあわせたものを AYC とし、V 区西側における I 系群と P 系群の混合率の代表値とした。そして、1996/97 標本を変量標本とした。必要標本数は AYC と変量標本の違いを検出できるものとして計算した。

この解析ではベースライン系群を以下のように設定した：

I系群ベースライン：IV区 (n=2655)

P系群ベースライン：V区東側+VI区西側-96/97 標本 (n=1335)

ベイズ法によって、混合域（V区西側）における標本数に対する精度が求められる。

V区西側における 96/97 標本の標本数を初めの n=121 から上昇させていき、96/97 の MP の信頼区間 (CI) が AYC のそれと重なり合わないところの標本数を求めた。

	1996/97						AYC		
	n	MP	Credibility Intervals	n1 (scaled upward)	MP	Credibility Intervals	n	MP	Credibility Intervals
VW (130-165°E)	121	0.2479	0.0130-0.5990	300	0.1975	0.0150-0.4430	896	0.5975	0.4630-0.7290

上図のように、必要標本数が 300 になると CI が重なり合わないことが分かった。従って、今回認められた程度の 96/97 と AYC の MP の違いであれば、この標本数で十分検出できる。

### 3-4 留意点

V区西側における標本採集は全域にわたってまんべんなく行うべきである（10° ごとに約 100 頭ずつ）。これによって、より詳細な解析が可能となる。JARPA 標本では 10° ごとの標本数は 48 頭だけであったために、より細かい経度ごとの詳細な解析ができなかった。

系群構造の変化のモニタリングは管理目的のために重要である。たとえば、系群ごとの捕獲枠は、系群の境界の変化に併せて決められるべきである（または混合率を考慮して）。さもなければ、かえって資源を危うくする可能性がある。

そのような変化がなぜ起こるかを生態的見地から解明することも重要である。

クロミンククジラとザトウクジラの分布域はIV区で重複している。クロミンククジラの系群構造が変化している一要因としては、IV区におけるザトウクジラ D 系群の資源量の安定的増加を反映しているかもしれない。

## 4-ザトウクジラ

IWC/SC による包括的評価の結果、南半球ザトウクジラの繁殖域、摂餌域、回遊経路が決められた（IWC、2000 の図 1）。JARPA のバイオプシー標本を用いて、南氷洋における摂餌域のザトウクジラ系群構造の有効性を検討した：系群 C（東経 35° -55°、n=34）、系群 D（東経 80° -110°、n=79）、系群 E（東経 130° -西経 170°、n=64）、系群 F（西経 170° -145°、n=36）。mtDNA ハプロタイプ頻度を用いた検定では、全ての組み合わせで有意差が見られた。JARPA 標本より、索餌域における系群 C、D、E、F の分離が支持された（Pastene *et al.* 2005 b）。

系群Dの資源量が安定増加を示していることが知られている（Bannister and Hedley, 2001）。これは、過去の標識再捕解析によって混合域と見られる東経 110-130° 海域における系群Dの混合率の変化を反映しているようである（Chittleborough, 1959; Dawbin, 1966）。

Table 2: Proportion of Stock D in sector 110-130°E, by JARPA survey.

Sector/Survey	Proportion of Stock D (standard deviation)
110-130°E (n=10, 93/94, 95/96)	0.6015 (0.1865)
110-130°E (n=11, 97/98, 99/00)	0.6640 (0.2166)
110-130°E (n=13, 01/02, 03/04)	0.7591 (0.1172)
110-130°E (n=34, total)	0.7422 (0.0999)

標本数の少なさにより標準偏差が大きいものの、混合率が年々増加しているのがわかる。これらの結果はこの系群が増加しているという目視調査の結果と一致する。

生物学的特性値のモニタリングのためにIV区で捕獲されるザトウクジラの標本数は年間 50 頭である。この標本とバイオプシー標本をあわせたもので、系群構造の年変化を明らかにしていく。特に重要なのは東経 110° -130° とその東側における D 系群の割合を調べることで、これによって D 系群の分布傾向が明らかにできる。遺伝的 (mtDNA、STR) および非遺伝的手法 (例えば、成熟個体の平均体長、モルフオメトリーや生態的マーカー) を用いて解析を行う。

## 引用文献

- Bannister, J.L. and Hedley, S.L. 2001. Southern Hemisphere Group IV humpback whales: their status from recent aerial survey. *Mem. Qld. Mus.* 47 (2): 587-598.
- Brown, S.G. 1954. Dispersal in blue and fin whales. *Discovery Reports*. Vol. XXVI: 355-384.
- Brown, S.G. 1962. The movement of fin and blue whales within the Antarctic zone. *Discovery Reports*. Vol XXXIII: 1-54.
- Chittleborough, R.G. 1959. Australian marking of humpback whales. *Norsk Hvalfangsttid* 48: 47-55.
- Dawbin, W.H. 1966. The seasonal migratory cycle of humpback whales. In Norris, K.S. (ed.). *Whales, dolphins and porpoises*. University of California Press, Berkeley. pp. 145-171.
- International Whaling Commission. 1991. Report of the workshop on the genetic analysis of cetacean populations. *Rep. int. Whal. Commn* (special issue 13): 3-21.
- International Whaling Commission. 2001. Report of the Scientific Committee. *J. Cetacean Res. Manage.*, 3 (Supl.): 1-82.
- International Whaling Commission. 2003. Report of the workshop on North Pacific common minke whale (*Balaenoptera acutorostrata*) Implementation Simulation Trials. *J. Cetacean Res. Manage.* 5 (Supl.): 455-488.
- Mackintosh, N.A. 1965. *The stocks of whales*. Fishing News (Books) Ltd., London. 232pp.
- Pastene, L.A., Goto M., Kanda, N., Bando, T., Zenitani, R., Hakamada, T., Otani, S. and Fujise, Y. 2005a. A new interpretation of the stock identity in the Antarctic minke whale based on analyses of genetics and non-genetics markers. Document JA/J05/JR3 presented to the JARPA Review Meeting, Tokyo 18-20 January (unpublished), 31pp.
- Pastene, L.A., Goto, M., Kanda, N. and Nishiwaki, S. 2005b. Genetic analyses on stock identification in the Antarctic humpback and fin whales based on samples collected under JARPA. Document JA/J05/JR16 presented to the JARPA Review Meeting, Tokyo 18-20 January (unpublished), 12pp.

## Appendix 4

# 南極海と北西太平洋における鯨類及び海洋生態系の環境汚染モニタリング

安永玄太・藤瀬良弘

財団法人日本鯨類研究所

### 1. 緒言

有機塩素化合物や重金属のような残留性の高い環境汚染物質は、ひとたび大気などを經由して環境中に放出されると地球規模で広く拡散していくことが知られている。この地球規模の汚染を把握し、将来予測するためには、これら汚染物質がどのような時空間的挙動をしていくのかを明らかにする必要がある。この直接的な方法としては、媒体となる大気や海水の汚染レベルをモニタリングすることが重要となるが、一般にこれら環境中の汚染物質のレベルは非常に低い。そこで鯨類のような海洋生態系の高次に位置する生物は、環境汚染物質レベル及びその影響のよい指標として用いられている。

地球規模の汚染モニタリングの重要性としては、北西太平洋は人工汚染物質の放出源である北半球中緯度域にあって、これら汚染物質の影響を直接受ける海域であるのに対して、南極海は人間活動の盛んな地域から最も遠くに離れており、このため環境に放出された汚染物質が最後にたどり着く、最終到達点と位置付けられる。ヒゲクジラ類体内の汚染物質濃度もこれを反映して、北半球で高く、南半球、特に南極海で低くなっている (Fig.1)。これら対照的な両海域での汚染物質の分布と挙動を明らかにすることは、地球規模でのこれら汚染物質の動態を知る上で有用な情報を得ることができるだろう。

汚染物質、特に有機塩素化合物が生物に与える影響は、主に生体内の免疫システムであることが知られているが、毒性学的な研究を行う場合においても、汚染を殆ど受けていない海域の生物は、野生生物におけるコントロールとして重要であり、南極海はまさにこれに合致する海域と言えよう。

本調査計画では、これらの観点を踏まえて、既に実施している北西太平洋での JARPN II 調査と連携し、鯨類における汚染物質の挙動をこれら両海域の調査を比較することで明らかにする。さらに、両海域の環境試料 (大気・海水) や鯨類の餌生物も同時に分析を行い、これら汚染物質の海洋生態系における挙動や地球規模での動態の解明に向けて検討していく。併せて、これら汚染物質の生体影響についても検討する。

### 2. 目的

本調査では、JARPA II の主目的の一つとして掲げた生態系モニタリングの一部として環境汚染モニタリングを実施する。実際には、以下の 3 つの目的の基、鯨類、餌生物及び環境試料中の包括的環境汚染物質モニタリング研究を進める。

- ・南極海及び北西太平洋の鯨類における汚染物質の蓄積とその生物過程での変化の解明
- ・南極海及び北西太平洋の海洋生態系における汚染物質の挙動の解明
- ・汚染物質が鯨類へ与える生体影響の解明

### 3. 方法

この研究では、汚染地域としての北西太平洋及び非汚染地域としての南極海において、栄養段階の頂点にある鯨類とその餌生物、並びに大気・海水のような環境試料を含む海洋生態系における有機塩素化合物や重金属などの汚染物質の分布と挙動を明らかにする。

#### 1) 有機塩素化合物

人工有機化合物として代表的な PCBs、DDTs、HCHs 等を対象とし、生態系を包括的にモニタリングするために、北西太平洋では JARPNI の下で、ヒゲクジラ 3 種（ミンククジラ、ニタリクジラ、イワシクジラ）とハクジラ 1 種（マッコウクジラ）及びその餌生物（主として魚類とオキアミ）と環境試料（大気・海水）が調査対象として分析する。また、南極海ではヒゲクジラ類 3 種（クロミンククジラ、ナガスクジラ、ザトウクジラ）及びその餌生物（主としてナンキョクオキアミ）と環境試料（大気・海水）を分析することとなっており、これらを併用する。鯨類の分析部位としては、高濃度蓄積部位（主に脂皮）と標的部位（主に肝臓など）を対象とする。また、新たな課題に応じて、分析対象や測定項目は適宜追加、修正する。

#### 2) 重金属

人為的な汚染物質として代表的な水銀、カドミウム、鉛等の重金属を対象とし、生態系を包括的にモニタリングするために、北西太平洋では JARPNI の下で、ヒゲクジラ 3 種（ミンククジラ、ニタリクジラ、イワシクジラ）とハクジラ 1 種（マッコウクジラ）及びその餌生物（主として魚類とオキアミ）と環境試料（大気・海水）が調査対象として分析する。また、南極海ではヒゲクジラ類 3 種（クロミンククジラ、ナガスクジラ、ザトウクジラ）及びその餌生物（主としてナンキョクオキアミ）と環境試料（大気・海水）を分析することとなっており、これらを併用する。鯨類の分析部位としては、肝臓や筋肉を対象とする。また、新たな課題に応じて、分析対象や測定項目は適宜追加、修正する。

#### 3) 汚染物質及びヒゲクジラ類の健康に関する研究

汚染物質の生体影響を明らかにするために、環境毒性学的及び病理学的な側面から研究する。

##### 3)-1. 環境毒性学的研究

有機塩素化合物は、主に鯨類の免疫システムに影響することが示唆されている。しかしながら、野生生物では十分な研究が少ない。そこで、次の点について基礎研究を進め、汚染物質の鯨類免疫システムへの影響を検討する。①環境汚染物質の影響の指標となるバイオマーカー（P450、チロイドホルモン、メタロチオネイン、ビタミン A 等）の特性研究、②汚染物質の感受性に関わる研究、③分子生物学的手法を用いた化学物質応答遺伝子に関する研究。

##### 3)-2. 病理学モニタリング

有機塩素化合物は、主に鯨類の免疫システムに悪影響を与えることから、免疫能力と関係が深いリンパ節の肥大及び化膿性炎症等について調査する。また、北西太平洋のミンククジラで認められている繁殖系組織の異常についても同様に調査する。さらには、有病状況や組織異常などの出現頻度を調査し、汚染物質の濃度レベルとの関係等について明らかにする。

### 4. 必要標本数

ここでは、広範な標本を必要とする病理学的モニタリングに関して、観察対象の出現率(%)から、必要な標本数を検討した。表 1 に、精度 (%) と調査対象となる影響の出現率 (%) から算出される必要標本数 (95%信頼区間) を示した。

クロミンククジラのような野生鯨類に関する病理学的な情報は極めて少ない。JARPA 調査での予備的な観察結果では、リンパ節の肥大、化膿性炎症、組織の変性などが観察され、その発現率は多くとも 10%程度であった。汚染物質濃度が同程度である時、世界中の野生鯨類の影響は、この範囲内であることが予想される。



40%の精度で、10%の出現率の影響を検出するためには、クロミンククジラを各セル 864 個体以上が必要となる。この精度 40%は、一般的な疫学調査で許容される下限の精度である（中村、2002）。本調査計画が予定しているミンククジラ 850 個体のサンプリングは、病理学的疫学的検査という点からは、必ずしも十分とは言えないが、汚染物質とその影響との関係性を評価する目的において、40%の精度で有病率を推定するために十分といえる。

## 5. 参考文献

IWC. 1999. Report of the workshop on chemical pollution and cetaceans. *J. Cetacean. Res. Mnage. (Special Issue 1)*:1-42.

中村好一. 2002. 基礎から学ぶ楽しい疫学. (株)医学書院. 東京. pp236.

表 1. 有病率の推定に必要な標本数。

精度	有病率(%)					
	5	10	15	20	25	30
40%	1825	864	544	384	288	224
30%	3244	1537	968	683	512	398
20%	7299	3457	2177	1537	1152	896
10%	29196	13830	8708	6147	4610	3585

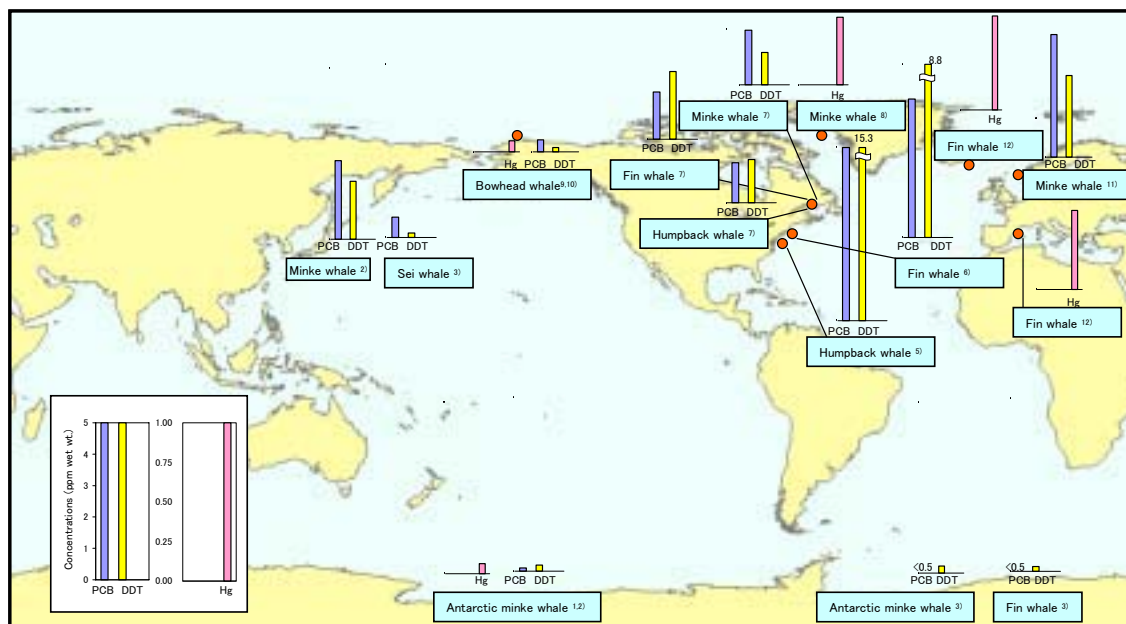


Fig. 1. PCB, DDT Levels in the Blubber and Hg Levels in the Liver of Baleen Whales.

1) Honda *et al.* (1987); 2) Aono *et al.* (1997); 3) Henry and Best (1983); 4) Tomita and Nishimura (1973); 5) Taruski *et al.* (1975); 6) Hobbs *et al.* (2001); 7) Gauthier *et al.* (1997); 8) Hansen *et al.* (1990); 9) O'Hara *et al.* (1999); 10) Krone *et al.* (1999); 11) Kleivane and Skaare (1998); 12) Sanpera *et al.* (1993)

## Appendix 5

# 南極海生態系におけるオキアミ捕食者の資源変動に関する仮説

畑中 寛

財団法人日本鯨類研究所

南極海生態系におけるヒゲクジラ類、鰭脚類およびペンギン類などオキアミ捕食者の資源変動に関し、以下の仮説を検討する。

### 1) 総環境収容力一定仮説

オキアミを主要な餌生物とするヒゲクジラ類4種（シロナガスクジラ、ナガスクジラ、ザトウクジラ及びクロミンククジラ）を合計した環境収容力は索餌場のオキアミバイオマスに依存しており、一定である。南極海で捕鯨が始まる以前の総資源量（重量）がこれに相当する。ただし、オキアミバイオマスの変化や鯨種組成の違いによって総環境収容力は変化する可能性がある。

### 2) オキアミ余剰仮説

捕獲による大型鯨類の減少により、それまで利用されていたオキアミが余剰となり、それを利用してミンクや鰭脚類、ペンギン等他のオキアミ捕食者が増加した。

### 3) 種別環境収容力変動仮説

ヒゲクジラ類総体としては一定ではあっても、種類別の環境収容力は変化する。シロナガスクジラ、ナガスクジラ及びザトウクジラの減少によるオキアミ余剰により、クロミンククジラの環境収容力は大幅に上昇した。1940年以前の資源量と近年における資源量は2つの環境収容力のレベルを示していると思われる（図2）。

### 4) 性成熟年齢低下による増加仮説

オキアミ余剰の状態になると個体の成長速度が速まり、性成熟の若齢化が起こる。このことにより資源全体に占める親の比率が高まり、加入量の増加をもたらす、資源の増加スピードが高まる。同時に、成熟雌の栄養の蓄積も高まることにより、胎児の発育や出産後の成長も順調となり、幼期の死亡率の減少につながる。このようなメカニズムは、鯨種間競合モデルにおける数量変動を表すための重要なプロセスとなる。クロミンククジラとナガスクジラでは成熟年齢の若齢化が観察されており、クロミンククジラでは現行 JARPA 調査によるデータが利用できるであろう。例えば、VPA 解析により親の数とそれによってもたらされた加入頭数が推定できるが、さらには妊娠率と比較しながら、資源の増加率の変化や幼期の生残率の変化が追跡できるであろう。

### 5) 生態系内の優位種の仮説

オキアミ余剰のときにだけ資源が増加できるということではなく、例えば、クロミンククジラが環境収容力の上限近くにあっても、生態系内でクロミンククジラよりも優位にあるザトウクジラはクロミンククジラを押しつけて増加することができる。逆に、劣位にあるクロミンククジラ

は他の鯨種を押しよけて増加することはできない。捕獲が開始される前の種間バランスを見ると、シロナガスクジラやナガスクジラ、ザトウクジラはこのような意味でクロミンククジラより優越しており、これらが多く存在する中では、その隙間のニッチェにクロミンククジラが入っているという仮説が立てられる。

#### 6) 栄養不足による妊娠率低下仮説

クロミンククジラでは脂皮厚の低下が観察されているが、このことは索餌期における十分な栄養蓄積ができなくなりつつあることを意味する。そのため、妊娠できる個体の割合が減少し、妊娠率の低下が起こる。資源の減少を再現する重要なプロセスとなろう。なお、性成熟年齢は年齢形質に現れる変異層によって示されるため、調査時点から10数年前の年級についてしか計れないが、脂皮厚や妊娠率は調査時点そのものの計測値であり、資源の質的な変化をリアルタイムで追跡できる重要な指標である。

#### 7) 鯨種間競合仮説

ザトウクジラやナガスクジラ（さらにはシロナガスクジラ）の増加が進行すると、やがてクロミンククジラ資源の減少が始まる。餌条件の悪化が引き起こす性成熟年齢の高齢化による加入量の減少、栄養蓄積の不足による妊娠率の低下という大きな二つの要因が資源減少のメカニズムとなろうが、これまでのJARPAによるデータと今後のモニタリングによって数式化し、モデルに組み込む。

#### 8) 回復遅れの原因に関する仮説

シロナガスクジラは乱獲によりあまりにも低レベルに陥ってしまったために、交尾の機会が制限され、資源増加の兆しは見られているものの順調な回復には至っていない。今後、回復が遅れたままかあるいは回復のスピードが速まるか、長期にわたるモニタリングが必要である。

#### 9) 環境変化が鯨類へ影響しているという仮説

地球温暖化等気候変動によりオキアミの生産量やバイオマスが変化する。そのためヒゲクジラ類の餌環境が変化し、成長率や加入率に影響する。影響は種によって異なる可能性がある。CCAMLR 等他機関による知見や調査海域におけるオキアミ資源密度のモニタリングで得られるデータを用いて数式化する。

## Appendix 6

# 成熟雌中の妊娠個体の割合、見かけの妊娠率及び性成熟年齢の変化の検出に必要な標本数

坂東武治 1)、袴田高志 1)、銭谷亮子 1)、藤瀬良弘 1)、田中栄次 2)、加藤秀弘 3)

1) *The Institute of Cetacean Research, 4-5 Toyomi-cho, Chuo-ku, Tokyo, 104-0055, Japan*

2) *Tokyo University of Marine Science and Technology, 4-5-7, Konan, Minato-ku, Tokyo, 108-8477, Japan*

3) *National Research Institute of Far Seas Fisheries 5-7-1 Orido, Shimizu, Shizuoka 424-8633, Japan*

ヒゲクジラ類の妊娠率や性成熟年齢は、鯨類自身の資源状態や、生態的競合の変化により変動すると考えられている (Gambell, 1973; Masaki, 1979; Lockyer, 1979, 1984)。JARPA2 では、鯨類の質的变化のモニタリングとして、これらの生物学的特性値の動向をモニタリングすることが、目的の一つにあげられている。

そこで、妊娠率及び性成熟年齢を指標として、クロミンククジラ、ザトウクジラ及びナガスクジラについて、経年変化の検出に必要な標本数の検討を行った。

妊娠率は本来年間妊娠率 (1頭の成熟雌が1年間に妊娠する確率) を用いる必要があるが、この値を直接推定することは困難であり、通常見かけの妊娠率 (捕獲した成熟雌中の妊娠雌個体の割合) が用いられる。見かけの妊娠率は棲み分けや採集時期によりバイアスが生じることがあるが、南極海のナガスクジラについては、過去に資源の密度依存的に変化したことが報告されており、ある程度、年間妊娠率の値を反映していると考えられている (Kato, 1991)。ザトウクジラについては過去に知見はないが、後述するようにナガスクジラと同時期に見かけの妊娠率の上昇傾向が見られており、ある程度年間妊娠率の変化を反映していると考えられる。このため、ナガスクジラ及びザトウクジラについては、妊娠率の指標として、見かけの妊娠率を用いた。

一方、クロミンククジラの見かけの妊娠率については、上述のバイアスが大きいことが知られている。成熟雌の南極海への回遊時期は性状態により異なり、繁殖場において早い時期に妊娠した個体は、より早く南極海に来遊することが報告されている (Kato and Miyashita, 1991)。また、南極海において過去に推定された見かけの妊娠率は 0.9 程度であり、この値は Best(1982)により報告された Durban における休止個体の割合から逆算した年間妊娠率 0.78 よりも過大であるとされている (Kato, 1991)。

このようにクロミンククジラにおける見かけの妊娠率は年間妊娠率を反映していない可能性があるが、しかしながら妊娠個体が卓越する南極海において、成熟雌中の妊娠個体の割合をモニタリングすることは、クロミンククジラの回遊生態や分布様式、資源動向等を把握する上で重要であり、ここでは検討項目に含めた。

### 1. 検討に用いた生物学的特性値

・妊娠個体の割合： 採集した成熟雌中の、妊娠個体の割合。次項の見かけの妊娠率と同じパラメーターであるが、上述のようにクロミンククジラの場合には見かけの妊娠率が年間妊娠率を反映していない可能性があるため、ここでは区別した。

・見かけの妊娠率： 採集した成熟雌中の、妊娠個体の割合。(ザトウクジラ、ナガスクジラ)

・性成熟年齢： 各年級毎の TP (Transition Phase ; 耳垢栓変移相) 値の平均値。(クロミンククジラ、ナガスクジラ)

## 2. 算出方法

今後 6 年間又は 12 年間の調査で得られる標本から推定される生物学的特性値について回帰直線を当てはめ、その傾き（年間変化率）が 0 と有意(5%レベル)に異なることを検出するために必要な標本数を算出した。算出法の詳細は付録参照。

得られる標本中の妊娠個体の割合及び見かけの妊娠率の初期値、年間変化率の範囲については、過去の知見に基づいて設定した。性成熟年齢の推定が可能な最新 6 (12) 年級の雌の標本数組成は 1999/00-2003/04 年（調査期間 6 年の場合）及び 1993/94-2003/04 年（同 12 年の場合）の JARPA において IV 区の 62S 以南の海域で採集されたクロミンククジラから算出した数値を用いた。TP 値の回帰直線からの残差の平均平方は、1987/88-2003/04 年の JARPA で IV 区から採集した雌のクロミンククジラ標本中の、1971 年級から 1990 年級について行った回帰分析により算出された値を用いた。

## 3. 妊娠個体の割合及び見かけの妊娠率の経年変化の検出に必要な標本数

### 3.1 過去に見られた妊娠個体の割合とその経年変化（クロミンククジラ）

南極海におけるクロミンククジラの見かけの妊娠率（妊娠個体の割合）については、Zenitani et al.(2001)により報告されており、1971/72-1986/87 年の日本の商業捕鯨及び 1989/90-2001/02 年の JARPA において IV 区及び V 区で採集されたクロミンククジラの見かけの妊娠率（妊娠個体の割合）は約 90%の高い値を維持しており、経年的に有意な変化は認められなかったことが報告されている。(Fig.1)。

### 3.2 過去に見られた見かけの妊娠率とその経年変化（ザトウクジラ、ナガスクジラ）

ザトウクジラ及びナガスクジラについては、1930 年から 1976 年までの IWS（国際捕鯨統計）をもとに、成熟雌（基準体長をもとに判定）及び妊娠雌の南氷洋における捕獲数を集計し、各年の見かけの妊娠率を算出した(Fig.2)。

ザトウクジラについては標本数が少ないためばらつきが大きいですが、経年的に増加傾向を示しており、1930 年代初めには約 30%であった見かけの妊娠率が、1960 年代初めには約 70%まで達している。この間の年間変化率を算出したところ、1933/34 年-1937/38 年間で 3.95%/年、1949/50 年-1962/63 年間で 1.30%/年であった。

ナガスクジラの見かけの妊娠率はザトウクジラと同様の変動傾向を示し、1930 年代に約 30%から 50%まで上昇し、戦後さらに上昇して 1950 年代後半に約 60%に達した後は、1970 年代まで約 60%の値を維持している。この間の年間変化率を算出したところ 1930/31 年-1939/40 年間で 2.46%/年、1946/47 年-1957/58 年間で 1.78%/年であった。

クロミンククジラの妊娠個体の割合及びザトウクジラ及びナガスクジラの見かけの妊娠率に関して得られた上記の知見から、必要標本数算出の際に用いる初期値及びその年間変化率として、以下の値を設定した。

- ・初期値（妊娠個体の割合）： 80%、90%
- ・初期値（見かけの妊娠率）： 30%、40%、50%、60%、70%
- ・年間変化率： 1.0%/年、1.5%/年、2.0%/年、2.5%/年、3.0%/年

### 3.3 必要な成熟雌の標本数

上記で設定した調査期間、妊娠個体の割合及び見かけの妊娠率の初期値、年間変化率に基づいて、付録に示した方法により算出した成熟雌の標本数を Table1 に示した。

### 3.4 成熟雌の標本数を確保するための引き延ばし係数

Table1 に示す成熟雌の標本数を確保するために必要な、未成熟個体及び雄個体も含めた全標本数を算出するためには、想定される採集標本中の性比及び成熟個体の割合に応じて引き延ばす必

要がある。Fig.3-1 から Fig.3-3 に 1989/90-2003/04 年の JARPA においてIV区及びV区の 62S 以南の海域で採集されたクロミンククジラ、商業捕鯨時代に南極海全域で採集されたザトウクジラ及びナガスクジラの性状態組成を示した。これらの性状態組成に基づいて、成熟雌標本数から全標本数への引き延ばし係数を求めると、それぞれクロミンククジラで 3.00、ザトウクジラで 2.91、ナガスクジラで 2.72 と算出された。

### 3.5 全必要標本数

#### 3.5.1 妊娠個体の割合の変化の検出に必要な標本数

Table1 の値に引き延ばし係数を乗じて求めた、未成熟や雄を含む全必要標本数を Table2 に示した。

上述のように、IV区及びV区において採集されたクロミンククジラ成熟雌中の妊娠個体の割合は約 90%であり、年間変化率については過去に経年変化が認められていない。従って、6年間の調査期間で-1.0%/year から-3.0%/year 程度の変化を検出するために必要な標本数は、以下のように算出された(Table 2)。

年間変化率-1.0%/year の場合	→	必要標本数	1617 個体
年間変化率-1.5%/year の場合	→	必要標本数	663 個体
年間変化率-2.0%/year の場合	→	必要標本数	348 個体
年間変化率-2.5%/year の場合	→	必要標本数	210 個体
年間変化率-3.0%/year の場合	→	必要標本数	138 個体

#### 3.5.2 見かけの妊娠率の変化の検出に必要な標本数

##### 3.5.2.1 ザトウクジラの必要標本数

上述したように過去に 30-70%の見かけの妊娠率及び 1.5-3.0%/年の年間変化率が観察されており、12年の調査期間で±1.5-3.0%/年程度の変化を検出するために必要な標本数は以下のように算出された(Table 3)。

見かけの妊娠率が 30%の場合	→	必要標本数	41-160 個体
見かけの妊娠率が 50%の場合	→	必要標本数	56-181 個体
見かけの妊娠率が 70%の場合	→	必要標本数	41-160 個体

##### 3.5.2.2 ナガスクジラの必要標本数

過去に 30-60%の見かけの妊娠率及び 2.0-2.5%/年程度の年間変化率が観察されており、12年の調査期間で±2.0-2.5%/年の変化を検出するために必要な標本数は以下のように算出された(Table 4)。

見かけの妊娠率が 30%の場合	→	必要標本数	55-107 個体
見かけの妊娠率が 50%の場合	→	必要標本数	69-99 個体
見かけの妊娠率が 60%の場合	→	必要標本数	63-99 個体

## 4. 性成熟年齢の変化の検出に必要な標本数

### 4.1 過去に見られた性成熟年齢とその経年変化

南氷洋ではクロミンククジラについて性成熟年齢の低下が観察されており、1945 年級から 1970 年級にかけて、年間変化率約 0.2 才/年で性成熟年齢が低下したことが報告されている (Fig.4) (Kato, 1987)。1970 年級以降は JARPA のデータから性成熟年齢が推定されているが、安定もしくは若干の上昇傾向が認められている (Zenitani and Kato, 2005)。

ナガスクジラでも同様に性成熟年齢の変化について研究が行われており、1920年代の年級では10-14才であったものが、1960年代の年級では6-10才程度まで性成熟年齢が低下しており、その間の変化率は約0.1才/年であったことが報告されている (Fig.5) (Lockyer, 1979)。

ザトウクジラについては、耳垢栓の年齢形質としての有用性が提唱された1950年代半ばには既に捕獲数が減少していたこともあり、性成熟年齢の変動に関する研究は現在まで行われていない。

南極海のクロミンククジラ及びナガスクジラについて観察されている上記の性成熟年齢変動から、必要標本数算出に用いる性成熟年齢の年間変化率として、以下の値を設定した。

- ・年間変化率 (性成熟年齢) : 0.05 歳/年、0.10 歳/年、0.15 歳/年、0.20 歳/年

#### 4.2 必要な対象年級群の標本数

2003/04年までのJARPAのIV区の個体のTPデータからは、1990年級までの性成熟年齢が推定されていることから、性成熟年齢の推定が可能な最新6(12)年級群の標本数組成として、1999/00-2003/04年(調査期間6年の場合)及び1993/94-2003/04年(同12年の場合)のJARPAにおいてIV区の62S以南の海域で採集されたクロミンククジラから算出した1985(1979)-1990年級の標本数組成を用いた。また、TP値の回帰直線からの残差の平均平方は、1987/88-2003/04年のJARPAでIV区において採集したクロミンククジラ標本中の、1971年級から1990年級についての回帰分析から算出された値を用いた。これらの値を用い算出した最新6(12)年級の必要標本数をTable 5に示した。

#### 4.3 全必要標本数算出のための、引き延ばし補正係数

Table4に示す年級群の雌の標本数を確保するために必要な全標本数を算出するためには、想定される性状態組成、TP値査定率及び最新6(12)年級群の占める割合に応じて引き延ばす必要がある。調査期間6年の場合の引き延ばし係数として、1999/2000-2003/04年のJARPAにおいてIV区の62°S以南の海域で採集されたクロミンククジラ中の性成熟年齢の推定が可能な最新6年級群の雌個体の割合から求めた引き延ばし係数25.7(Fig. 6-1)を用いた。同様に調査期間12年の場合の引き延ばし係数として、1993/94-2003/04年のJARPAにおいてIV区の62°S以南の海域で採集されたクロミンククジラ中の最新12年級群の雌個体の割合から求めた引き延ばし係数16.2(Fig. 6-2)を用いた。

#### 4.4 全必要標本数

Table3の値に引き延ばし係数を乗じて求めた、未成熟や雄を含む全必要標本数をTable 6に示した。

##### 4.4.1 クロミンククジラの必要標本数

クロミンククジラについて過去に観察された変化率は0.20才/年程度であり、最近の年級では変化は見られないか、やや上昇傾向が認められている。今後変化が生じる場合には、0.2才/年という大きい変化率で始まるとは考えにくく、より緩やかな変化率の期間を経ると考えられる。従って、6年間の調査期間で年間変化率0.10才/年程度の変化を検出するためには、必要な標本数は1288個体となる。

##### 4.4.2 ナガスクジラの必要標本数

ナガスクジラでは過去に0.1才/年程度の変化率が観察されており、この場合、12年間の調査期間で変化を検出するためには、131個体の標本が必要となる。

## 5. REFERENCE

Best, P. B. 1982. Seasonal abundance, feeding, reproduction, age and growth in minke whale off Durban (with incidental observations from the Antarctic). *Rep. Int. Whal. Commn* 32: 759-786.

- Gambell, R. 1973. Some effects of exploitation on reproduction in whales. *J. Reproduct. Fert., Suppl.* 19: 533-553.
- Kato, H. 1987. Density dependent changes in growth parameters of the southern minke whale. *Sci. Rep. Whales Res. Inst.* 38: 47-73.
- Kato, H. 1995. Migration strategy of southern minke whales to maintain high reproductive rate. In Blix, A. S., Walloe, L. and Ultang O. (Ed.) *Whales, seals, fish and man*. Elsevier Science: 465-480.
- Kato, H. and Miyashita, T. 1991. Migration strategy of southern minke whales in relation to reproductive cycle estimated from foetal length. *Rep. Int. Whal. Commn* 41: 363-369.
- Masaki, Y. 1979. Yearly change of the biological parameters for the Antarctic minke whale. *Rep. Int. Whal. Commn* 29: 375-395
- Lockyer, C. 1972. The age at sexual maturity of the southern fin whale (*Balaenoptera physalus*) using annual layer counts in the ear plug. *J. Cons. Int. Explor. Mer.* 34(2): 276-294.
- Lockyer, C. 1979. Changes in a growth parameter associated with exploitation of southern fin and sei whales. *Rep. Int. Whal. Commn* 29: 191-196.
- Lockyer, C. 1984. Review of baleen whale (Mysticeti) reproduction and implications for management. *Rep. Int. Whal. Commn (Special Issue 6)*: 27-50.
- Zenitani, R., Kato, H. and Fujise, Y. 2001. Year to year trends of some biological parameters of Antarctic minke whales from the viewpoint of population monitoring. Paper SC/53/IA13 presented to the IWC Scientific Committee, July 2001 (unpublished). 16pp.
- Zenitani, R. and Kato, H. 2005. Long-term trend of age at sexual maturity of Antarctic minke whales by counting transition phase in earplugs. Paper JA/J05/PJR7 presented to the JARPA Review meeting, Tokyo, Jan. 2005 (unpublished). 12pp.



Table 1. Sample size of mature females required for statistical examination of yearly trend.

Research period	Initial Rate(%)	Rate of change									
		+1%	-1%	+1.5%	-1.5%	+2%	-2%	+2.5%	-2.5%	+3%	-3%
6 years	30%	1060	944	462	438	256	259	162	175	111	131
	40%	1175	1118	519	507	291	292	186	192	130	138
	50%	1195	1195	534	534	303	303	197	197	139	139
	60%	1118	1175	507	519	292	291	192	186	138	130
	70%	944	1060	438	462	259	256	175	162	131	111
	80%	674	848	328	363	206	197	154	123	134	83
	90%	304	539	203	221	-	116	-	70	-	46
12 years	30%	126	99	55	50	31	35	20	39	14	-
	40%	136	122	61	58	35	36	23	26	17	23
	50%	135	135	62	62	36	36	25	25	19	19
	60%	122	136	58	61	36	35	26	23	23	17
	70%	99	126	50	55	35	31	39	20	-	14
	80%	63	104	43	44	-	24	-	15	-	10
	90%	-	71	-	29	-	15	-	9	-	6

Table 2. Total sample size of Antarctic minke whales required for statistical examination of yearly trend.

Research period	Initial Rate(%)	Rate of change									
		+1%	-1%	+1.5%	-1.5%	+2%	-2%	+2.5%	-2.5%	+3%	-3%
6 years	80%	2022	2544	984	1089	618	591	462	369	402	249
	90%	912	<b>1617</b>	609	<b>663</b>	-	<b>348</b>	-	<b>210</b>	-	<b>138</b>
12 years	80%	189	312	129	132	-	72	-	45	-	30
	90%	-	213	-	87	-	45	-	27	-	18

Table 3. Total sample size of humpback whales required for statistical examination of yearly trend .

Research period	Initial Rate(%)	Rate of change									
		+1%	-1%	+1.5%	-1.5%	+2%	-2%	+2.5%	-2.5%	+3%	-3%
6 years	30%	3083	2746	1344	1274	745	754	472	509	323	381
	40%	3417	3252	1510	1475	847	850	541	559	379	402
	50%	3475	3475	1553	1553	882	882	573	573	405	405
	60%	3252	3417	1475	1510	850	847	559	541	402	379
	70%	2746	3083	1274	1344	754	745	509	472	381	323
12 years	30%	367	288	<b>160</b>	<b>146</b>	91	102	59	114	<b>41</b>	-
	40%	396	355	<b>178</b>	<b>169</b>	102	105	67	76	<b>50</b>	<b>67</b>
	50%	393	393	<b>181</b>	<b>181</b>	105	105	73	73	<b>56</b>	<b>56</b>
	60%	355	396	<b>169</b>	<b>178</b>	105	102	76	67	<b>67</b>	<b>50</b>
	70%	288	367	<b>146</b>	<b>160</b>	102	91	114	59	-	<b>41</b>

Table 4. Total sample size of fin whales required for statistical examination of yearly trend.

Research period	Initial Rate(%)	Rate of change									
		+1%	-1%	+1.5%	-1.5%	+2%	-2%	+2.5%	-2.5%	+3%	-3%
6 years	30%	2887	2571	1259	1193	698	706	442	477	303	357
	40%	3200	3045	1414	1381	793	796	507	523	355	376
	50%	3255	3255	1455	1455	826	826	537	537	379	379
	60%	3045	3200	1381	1414	796	793	523	507	376	355
12 years	30%	344	270	150	137	<b>85</b>	<b>96</b>	<b>55</b>	<b>107</b>	39	-
	40%	371	333	167	158	<b>96</b>	<b>99</b>	<b>63</b>	<b>71</b>	47	63
	50%	368	368	169	169	<b>99</b>	<b>99</b>	<b>69</b>	<b>69</b>	52	52
	60%	333	371	158	167	<b>99</b>	<b>96</b>	<b>71</b>	<b>63</b>	63	47

Table 5. Sample size of female whales of recent 6(12) year classes required for statistical examination of yearly trend of ASM.

Research period	Rate of change			
	0.05/year	0.10/year	0.15/year	0.20/year
6 years	199	<b>50</b>	23	<b>13</b>
12 years	30	<b>8</b>	4	<b>2</b>

Table 6. Total sample size required for statistical examination of yearly trend of ASM.

Research period	Rate of change			
	0.05/year	0.10/year	0.15/year	0.20/year
6 years	5125	<b>1288</b>	594	<b>336</b>
12 years	488	<b>131</b>	66	<b>35</b>

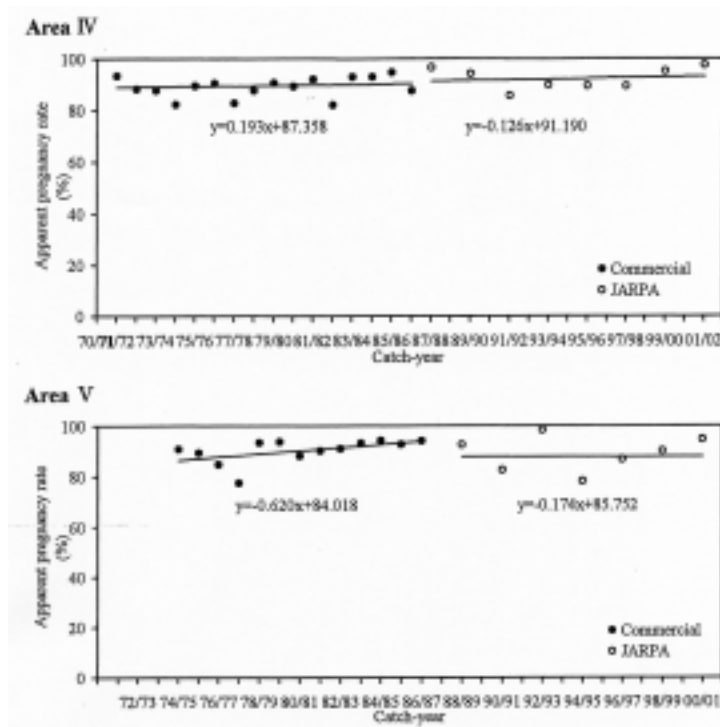


Fig. 1. PPF of Antarctic minke whales, caught during 1971/72-1986/87 by commercial whaling and 1987/88-2001/02 by JARPA surveys conducted in Areas IV and V (From Zenitani *et al.* (2001))

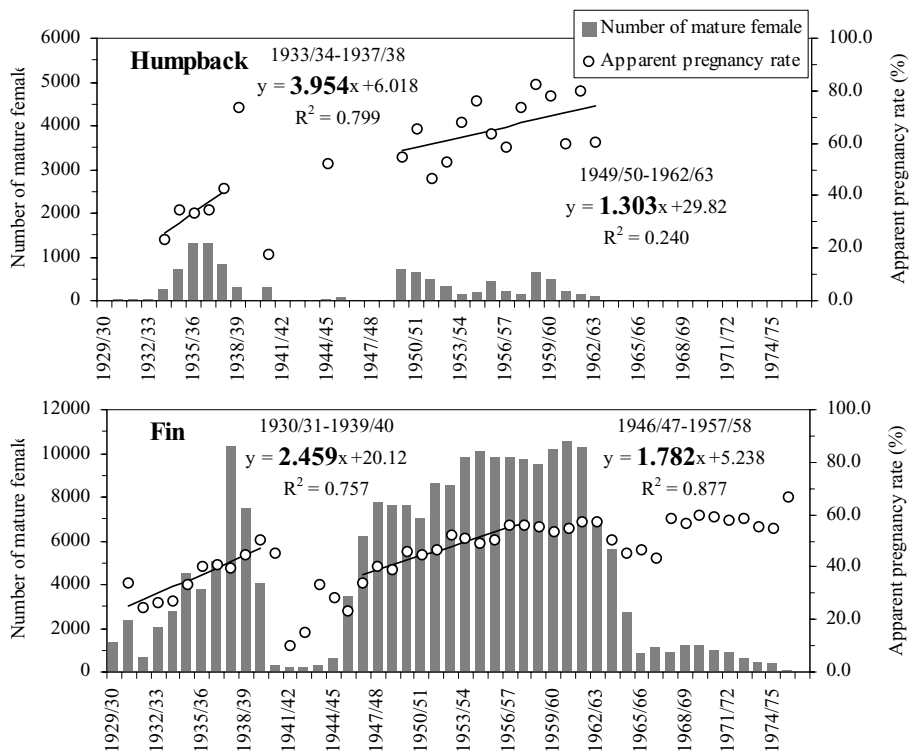


Fig. 2. APR of humpback and fin whales caught in Antarctic Ocean (Data extracted from International Whaling Statistics).

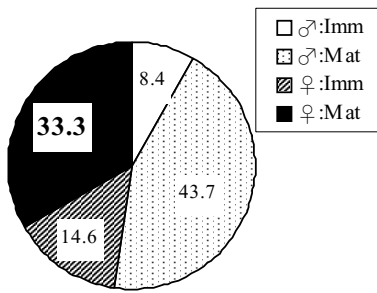


Fig. 3-1. Sexual and maturity composition of Antarctic minke whales taken by JARPA surveys in 1989/90-2003/04 in south of 62° S in Antarctic Areas IV and V.

**Correction coefficient**

$$=100/33.3 = \mathbf{3.00}$$

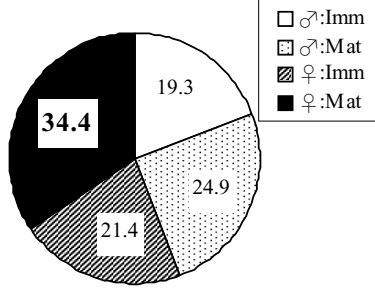


Fig. 3-2. Sexual and maturity composition of humpback whales taken by commercial whaling in 1930/31-1965/66 in Antarctic. (Data extracted from International Whaling Statistics)

**Correction coefficient**

$$=100/34.4 = \mathbf{2.91}$$

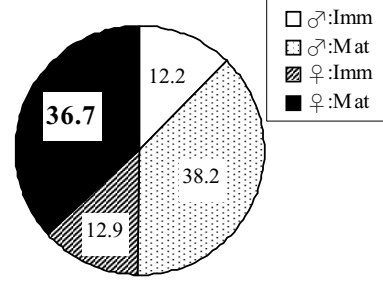
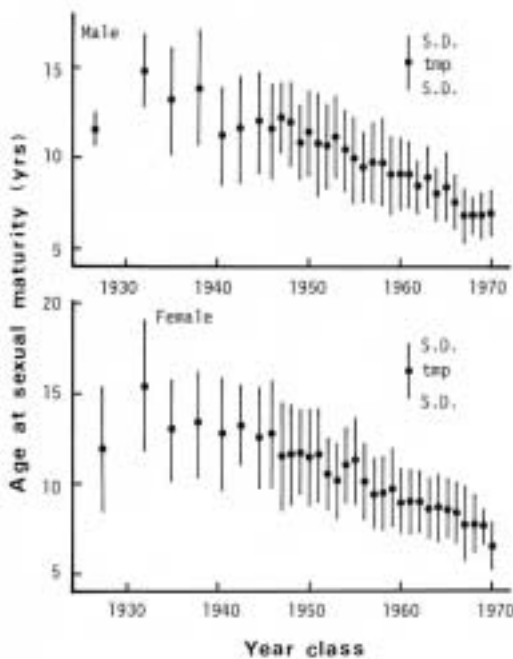


Fig. 3-3. Sexual and maturity composition of fin whales taken by commercial whaling in 1929/30-1975/76 in Antarctic. (Data extracted from International Whaling Statistics)

**Correction coefficient**

$$= 100/36.7 = \mathbf{2.72}$$



Regression line fitted to 1945-1970 year classes  
(Weight by sample size)

Male: Age at sexual maturity =  $22.15 - \mathbf{0.219t}$

Female: Age at sexual maturity =  $21.64 - \mathbf{0.206t}$

(From Kato (1987))

Fig. 4. Yearly trend of ASM in Antarctic minke whale (From Kato (1987)).

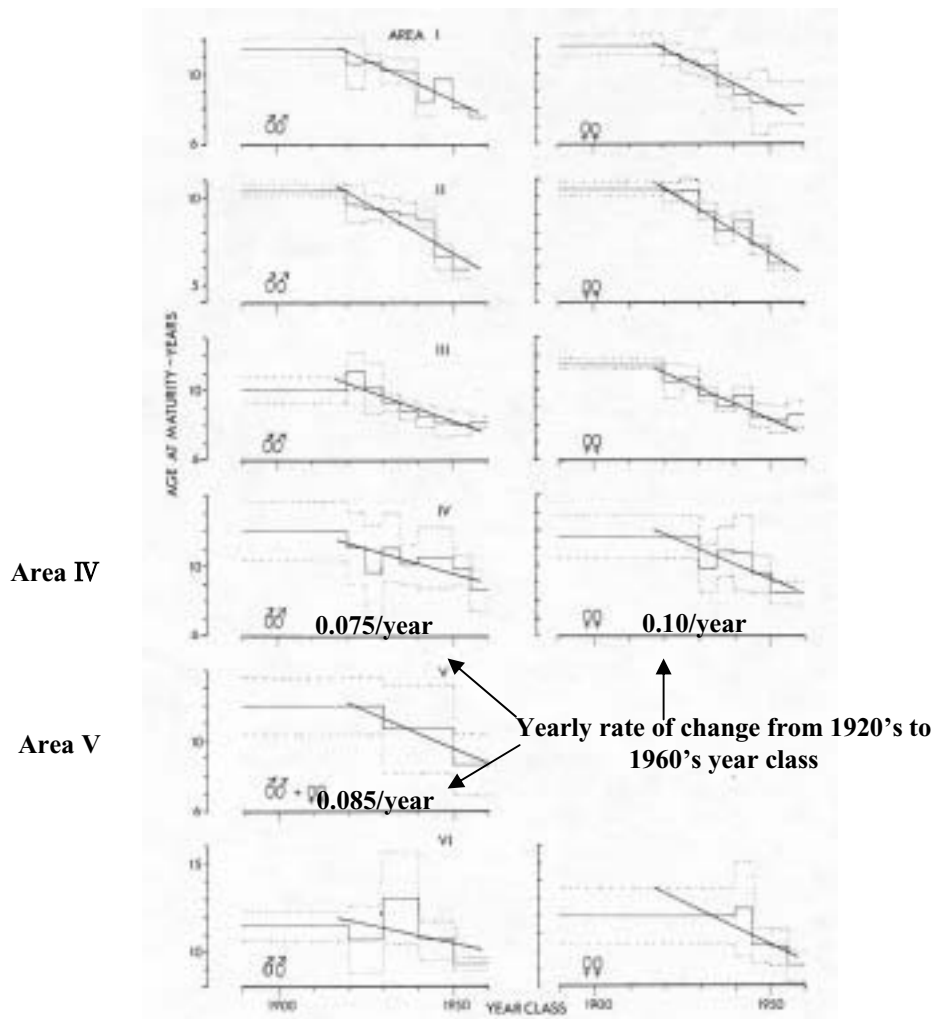


Fig. 5. Yearly trend of ASM in female fin whales (From Lockyer (1979)).

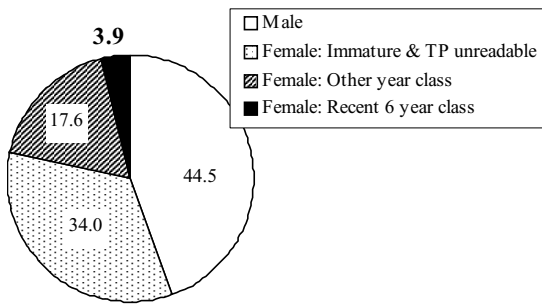


Fig. 6-1. Ratio of recent 6 year classes in the total whales sampled in south of 62° S in Area IV during 1999/2000-2003/04 JARPA surveys.

**Correction coefficient**  
 $=100/3.9=25.7$

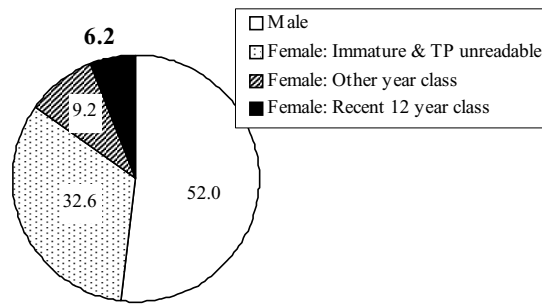


Fig. 6-2. Ratio of recent 12 year classes in the total whales sampled in south of 62° S in Area IV during 1993/94-2003/04 JARPA surveys.

**Correction coefficient**  
 $=100/6.2=16.2$

付録：

標本数算出方法

生物学的特性値が経年的に有意に変化するかどうかを 5%レベルで検出する（回帰直線の回帰係数が 5%レベルで有意である）ために最低限必要な標本数を求める。実際には捕獲標本の全個体を解析に供するわけではないので、全標本のうち、解析に用いる標本の割合に応じて引き伸ばす必要がある。

2年おきに採集された  $a$  年間（TP の場合は  $a$  年級間）の変数  $y$  の年変化率を求めるのに次の回帰式を考える。

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i \quad (i=1, \dots, m) \quad (1)$$

ここで、 $m$  は回帰式に用いるデータの数である。この時、回帰係数  $\beta_1$  の 95%信頼区間は、

$$\hat{\beta}_1 \pm t(0.025, m-2) \sqrt{\hat{V}(\hat{\beta}_1)} \quad (2)$$

で表せる。ここで、 $\hat{\beta}_1$  は  $\beta_1$  の推定値（言い換えると、検出したい年間の変化率のレベル）、 $\hat{V}(\hat{\beta}_1)$  は  $\hat{\beta}_1$  の分散の推定値、 $t(0.025, m-2)$  は自由度  $m-2$  の  $t$  分布の上側 2.5%点である。便宜上、 $m$  が十分大きければ、自由度  $m-2$  の  $t$  分布は正規分布で近似できるので、 $t(0.025, m-2) \doteq 1.96$  で計算する。 $\hat{V}(\hat{\beta}_1)$  は

$$\hat{V}(\hat{\beta}_1) = \frac{\hat{\sigma}^2}{\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{X})^2} \quad (3)$$

ここで、 $\hat{\sigma}^2$  は特性値の残差の平均平方、 $\bar{X}$  は  $x$  の標本平均である。ここから、TP の場合と、成熟雌中の妊娠雌の割合の場合とで、定式化が異なってくるので、それぞれの場合に分けて記述する。

<成熟雌中の妊娠雌の割合の場合>

妊娠雌の割合の場合は  $m=a/2$ 、 $x_i = 2i-1$  として計算する。また、妊娠雌の割合の推定値  $p_{x_i}$  の分散共分散行列は、

$$\mathbf{V} = \frac{1}{n} \mathbf{\Omega} = \frac{1}{n} \begin{bmatrix} p_1(1-p_1) & 0 & \Lambda & 0 \\ 0 & p_3(1-p_3) & \Lambda & 0 \\ \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda \\ 0 & 0 & \Lambda & p_{2m-1}(1-p_{2m-1}) \end{bmatrix} \quad (4)$$

である。一般化最小二乗推定値  $\hat{\beta}_1 > 0$  の場合、 $\hat{\beta}_1 - 1.96 \sqrt{\hat{V}(\hat{\beta}_1)} > 0$  であれば、 $\hat{\beta}_1$  は 0 と有意な差があることになるから、そのために必要な年間あたりの標本数 ( $=n$ ) は、(4)式から、

$$n > \left( \frac{1.96}{\hat{\beta}_1} \right)^2 c_{22} \quad (5)$$

と計算される。ここで  $c_{22}$  は行列  $[\mathbf{X}^t \mathbf{\Omega}^{-1} \mathbf{X}]^{-1}$  の第 2 行第 2 列の要素を示す。

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ \Lambda & \Lambda \\ 1 & x_m \end{bmatrix}$$

$\hat{\beta}_1 < 0$  の場合も、同様に不等式(5)が導出される。不等式 (5) から必要標本数が算出できる。

<TP の場合>

TP については、得られる標本の年級群ごとの組成が異なるため、(3)式の分母  $\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{X})^2$  の値は然るべき重み付けをして算出する必要がある。a=6 の場合は 1999/2000-2003/04 のIV区の 62° S以南で採集された雌標本から求めた 1985-1990 年級の年級ごとの組成について、a=12 の場合は同様に 1993/94-2003/04 の標本から求めた 1979-1990 年級の年級ごとの組成について、標本数の重み付けをした数値を用いた。重み付けの与え方を以下に示す。

j 年に捕獲された年級 k の標本数を  $n_{jk}$ 、j 年に捕獲された a 年級分の合計標本数を  $n_j$  と書くことにすると、(3) 式の分母は、

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^m (x_i - \bar{X})^2 &= \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^a n_{j,k} (x_k - \bar{X})^2 \\ &= \sum_{j=1}^b n_j \sum_{k=1}^a \left( \frac{n_{j,k}}{n_j} \right) (x_k - \bar{X})^2 \end{aligned}$$

ここで b は調査回数である。さらに、計算の便宜上、 $n_j$  (ある年の a 年級分の標本数) や  $n_{jk}/n_j$  (年級別標本数組成) が各調査年で同じと仮定すると、

$$\sum_{i=1}^m (x_i - \bar{X})^2 = bn \sum_{k=1}^a \left( \frac{n_k}{n} \right) (x_k - \bar{X})^2 \quad (6)$$

となる。この式の右辺を(3)式の分母に代入すると、

$$V(\hat{\beta}_1) = \frac{\hat{\sigma}^2}{bn \sum_{k=1}^a \left( \frac{n_k}{n} \right) (x_k - \bar{X})^2} \quad (3)''$$

この式から(5)式の導出と同様にして、

$$n > \left( \frac{1.96}{\hat{\beta}_1} \right)^2 \frac{\hat{\sigma}^2}{b \sum_{k=1}^a \left( \frac{n_k}{n} \right) (x_k - \bar{X})^2} \quad (7)$$

が得られる ( $b \sum_{k=1}^a \left( \frac{n_k}{n} \right) (x_k - \bar{X})^2$  は、a=6 の場合 7.7、a=12 の場合 51.1)。

TP の場合の  $\hat{\sigma}^2$  は、1987/88-2003/04 年までの JARPA において、IV区で採集された雌標本から算出した 1971-1990 年級 (性成熟年齢の変化ほとんど見られていない年級) について回帰分析を行い、算出された残差の平均平方 (1.00) を用いた。その値を(7)の右辺に代入すれば必要標本数が得られる。

他のパラメーターについても同様の考え方で必要標本数を算出できる。

## Appendix 7

# クロミンククジラにおける脂皮厚変化のモニタリングを目的とした必要標本数

小西健志・袴田隆志・田村力

財団法人日本鯨類研究所

JARPA によって IV 区で採集されたクロミンククジラのデータ（1987/88 年–2003/04 年）を用いて、今後 6 年で得られる脂皮厚の経年変化（直線回帰式）が有意（5%レベル）であるかどうかを検出するために必要な標本数を求めた（算出方法の詳細は Appendix 6 を参照）。尚、この算出は調査が 1 つの調査海域において、1 年おきで計 3 回実施される計画に基づいている。脂皮厚の変化は索餌海域での滞在日数に最も大きく影響を受けるため、最も脂皮が厚くなっている 2 月における必要標本数の算出を行った。1 年で減少する脂皮厚の変化は、JARPA において南緯 62 度以南で捕獲した成熟雄及び妊娠雌（泌乳無）のデータから 0.05cm とした（Fig.1, 2）。

この結果、6 年間（3 回の調査）で直線回帰式が有意である為に必要な成熟雄及び妊娠雌（泌乳無）の脂皮厚変化を追跡するための必要標本数は、2 月でそれぞれ 123 頭と 145 頭となった。また、調査全体の標本数（雌雄を含めた全数）は、補正係数すなわち、IV 区の最近 3 回分の JARPA において南緯 62 度以南で捕獲した、全捕獲数 / 2 月各成熟段階の捕獲数（Zenitani and Bando 未発表）を用いた結果、972 頭と 818 頭となった。



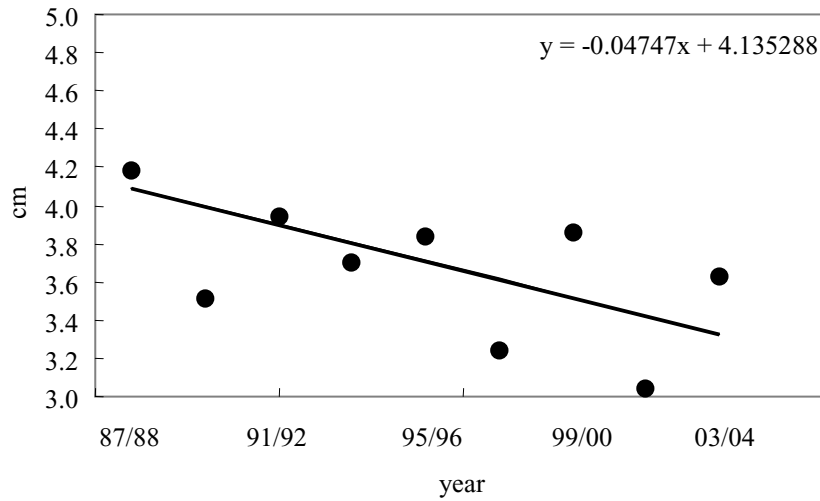


Fig. 1. Trend of blubber thickness of mature male in Area IV (southward of 62S) in February.

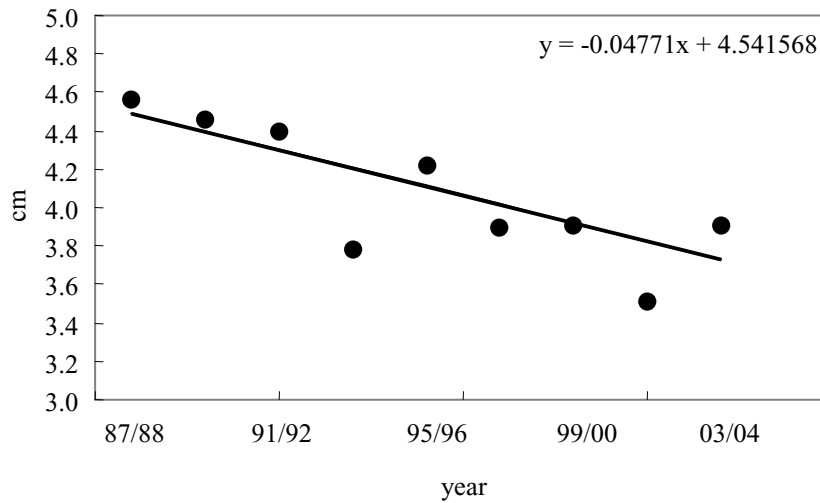


Fig. 2. Trend of blubber thickness of pregnant female in Area IV (southward of 62S) in February.

## Appendix 8

# 遺伝的標識再捕による資源量のトレンドのモニタリングに必要な標本数

上田真久

財団法人日本鯨類研究所

### 緒言

資源量推定や行動様式の解明のために鯨類研究では標識-再捕実験が行われてきた。近年では、その改良法としてバイオプシー標本とマイクロサテライトDNA解析などの遺伝解析を組み合わせたものの適用も見られる。しかし、バイオプシー標本では十分な数の標本数を得るのに多大な労力を必要とし、あまり実用的ではない。十分な標本数が得られる捕獲調査において、胎児と母親の遺伝子型と雄個体の遺伝子型の比較による父系解析の方が効果的であろう。雄標本の中から胎児の父親を探し、マッチングの数を再捕として Petersen 法などの標識-再捕解析に応用すれば、資源量の推定やそのトレンドのモニタリングができる (Skaug and Øien, 2004)。このような試みから、系群構造や行動様式の推定も同時にできると思われる。

本稿では、南極海のIV区とV区西側から採集するクロミンククジラを用いて上記のような実験を JARPAII において行う際に必要な標本数を計算した。

### 方法

#### 生物情報

将来の JARPAII 標本に含まれると予想される成熟雄個体および胎児の数は、JARPA の 8 シーズン分のデータの平均値から推測した (表 1)。ここで、胎児の数は妊娠雌の数と同じである。

#### 標識-再捕実験

この解析では、総成熟雄数を標識した個体数、総胎児数を標識後の採集標本、父系解析によりマッチングした父親-胎児の数を再捕数とする。従って、この方法では雄の資源量が推定される。Chapman (1951)による Petersen 標識-再捕法の改良式を用いて雄の資源量 (Nm)を推定した： $Nm = \{(M+1)(C+1) / (R+1)\} - 1$ 、分散は  $V(Nm) = (M+1)(C+1)(M-R)(C-R) / (R+1)(R+1)(R+2)$ である。

ここで、M は捕獲された総成熟雄数、C は総胎児数、R は父系解析によるマッチング数である。

これら 3つのパラメーターは、さらに表 1 の生物情報値に標本数 (S) を組み合わせ、 $M=0.462S$  と  $C=0.243S$  と変換した。R はマッチング率にもよるので、 $R=0.243S$  (マッチング率) となる。

1990/91 から 2002/03 までの JARPA の目視データをもとに推定されたこの海区におけるクロミンククジラの資源量の平均値は約 100,000 (102,292: 63,971 to 170,047)であった (Hakamada ら, 2005 ; 袴田高志、私信)。従って、表 1 にある総標本における雄個体の割合から、雄の資源量推定値は 50,000 弱と見積もられた。

## 結果と考察

表2は、必要標本数を400から1000、マッチング率を1.0%から2.5%としたときに与えられる雄の資源量推定値とCVを示している。予想通り、単年標本の方が3シーズン分(6年間の調査)を合わせた場合より低い推定値と大きいCVを示したので、これから先は後者のみを考える事とする。

生物情報(MとC)と雄の資源量推定値(約50,000)は、非常に多くのJARPAデータから計算されたものであるため、本稿で用いた全てのパラメーターの中でも最も信頼性の高いものと考えられる。この資源量推定値を得るために必要な標本数とマッチング率の組み合わせは、1%-1200、1.5%-1800、2%-2400、2.5%-3000である。別の言い方をすると、資源量が約50000の時、標本数が400-1000であれば、1%-2.5%のマッチング率が得られるはずということを示している。このマッチング率は他の報告と比較しても大体同じくらいである(例えば、Skaug and Øien, 2004)。ノルウェーにおいて、同様の方法を大西洋ミンククジラに適用している。3301頭の標本の中から288頭分の胎児情報を得て父系解析を行ったところ4例のマッチングがあり、統計学的な解析からノルウェーのDNAデータベース中にはそれら胎児の父親が5頭いると推定できた。

この手法において結果を左右する重要な要因の一つは、用いるマイクロサテライトDNAマーカーの数である。現在のところ、当所では最大10遺伝子座を使用してクロミンククジラの個体識別を行っている。これはノルウェーが使用しているのと同じ数である。しかし、より高い検出力を得るために、今後も新しいマーカーの開発を続けていく必要がある。同様に、母親と胎児の遺伝子型から推定される父親の遺伝子型は完全ではないため、父親の同定には尤度の導入などの考慮が必要である(Marshallら、1998)。さらに、雄の資源量が今回使用した推定値より大幅に大きければ、マーカーの数を増やしたとしても、全くマッチングの見られない可能性がある点も留意しておかなければならない。

## 結論

長期にわたる資源量のトレンドのモニタリングであることを考慮すると、計算される雄の資源量推定値の信頼度は高いに越したことはない。すなわち、低いCVで推定値が求められる必要がある。従って、年間800-1000頭の標本数が最適だと考えられる。

## 引用文献

- Chapman, D.G. (1951) Some properties of the hypergeometric distribution with applications to zoological sample censuses. *University of California Publications in Statistics* 1: 131-160.
- Hakamada, T., Matsuoka, K., and Nishiwaki, S. (2005) An update of Antarctic minke whales abundance estimate based on JARPA data including comparison to IDCR/SOWER estimates. JA/J04/PJR4
- Marshall, T.C., Slate, J., Kruuk L.E.B., and Pemberton, J.M. (1998) Statistical confidence for likelihood-based paternity inference in natural populations. *Molecular Ecology* 7: 639-655.
- Skaug, H. and N. Øien (2004) Genetic tagging of males in North Atlantic minke whales through comparison of mother and fetus DNA-profiles. SC/56/SD3

表 1 . Biological information of Antarctic minke whales from Area IV+V W obtained from JARPA surveys.

JARPA season	Biological information					
	Males			Females		
	MT	MMM	MMT	FT	PFF	PFT
89/90-90/91	48.9	89.7	43.9	51.1	64	32.7
91/92-92/93	56.3	83.9	47.2	43.7	62.4	27.3
93/94-94/95	68.4	83.2	56.9	31.6	44.2	14
95/96-96/97	56.7	81.5	46.2	43.3	61.1	26.5
97/98-98/99	58.8	77.4	45.5	41.2	36.5	15
99/00-00/01	56.4	80.3	45.3	43.6	57.1	24.9
01/02-02/03	46.7	80.6	37.6	53.3	62	33.1
Average	56	82.4	46.2	44	55.3	24.3

表 2. Sample sizes (S) and coefficient of variance (CV) for abundance estimates calculated from Petersen mark-recapture method modified by Chapman (1951) with different matching %. SD = standard deviation, and see text for other abbreviations (M, C, R, Nm).

Single year sampling							Three seasons pooled						
S	M	C	R	Nm	SD	CV	S	M	C	R	Nm	SD	CV
1.0% matching													
400	184.8	97.2	1.0	9251	5285	0.571	1200	554.4	291.6	2.9	41498	18526	0.446
600	277.2	145.8	1.5	16614	8821	0.531	1800	831.6	437.4	4.4	67921	26651	0.392
800	369.6	194.4	1.9	24597	12243	0.498	2400	1108.8	583.2	5.8	94897	33607	0.354
1000	462.0	243.0	2.4	32935	15481	0.470	3000	1386.0	729.0	7.3	122135	39724	0.325
1.5% matching													
400	184.8	97.2	1.5	7422	3915	0.528	1200	554.4	291.6	4.4	30239	11810	0.391
600	277.2	145.8	2.2	12814	6159	0.481	1800	831.6	437.4	6.6	48275	16282	0.337
800	369.6	194.4	2.9	18491	8213	0.444	2400	1108.8	583.2	8.7	66510	20029	0.301
1000	462.0	243.0	3.6	24320	10088	0.415	3000	1386.0	729.0	10.9	84834	23294	0.275
2.0% matching													
400	184.8	97.2	1.9	6197	3049	0.492	1200	554.4	291.6	5.8	23786	8348	0.351
600	277.2	145.8	2.9	10428	4608	0.442	1800	831.6	437.4	8.7	37444	11228	0.300
800	369.6	194.4	3.9	14814	5989	0.404	2400	1108.8	583.2	11.7	51195	13621	0.266
1000	462.0	243.0	4.9	19278	7226	0.375	3000	1386.0	729.0	14.6	64987	15700	0.242
2.5% matching													
400	184.8	97.2	2.4	5318	2460	0.463	1200	554.4	291.6	7.3	19602	6292	0.321
600	277.2	145.8	3.6	8791	3611	0.411	1800	831.6	437.4	10.9	30582	8327	0.272
800	369.6	194.4	4.9	12357	4610	0.373	2400	1108.8	583.2	14.6	41613	10012	0.241
1000	462.0	243.0	6.1	15967	5495	0.344	3000	1386.0	729.0	18.2	52665	11475	0.218

## Appendix 9

# 第二期南極海鯨類捕獲調査 (JARPA II) における捕獲の資源への影響

袴田高志

財団法人日本鯨類研究所

### 緒言

JARPA II 計画での年間 850 頭 (雄 425 頭、雌 425 頭) のクロミンククジラの捕獲による I 系群と P 系群への影響について、それぞれ HITTER 法を用いて調べた。また、Johnston and Butterworth (2005) の資源動態モデルを用いて、年間 50 頭のザトウクジラの捕獲による D 系群 (70°E-130°E) 及び E 系群 (130°E-170°W) への影響についても調べた。

### 材料と方法

#### クロミンククジラ

系群構造についての知見に基づき、165°E の西側 (I 系群) と東側 (P 系群) にそれぞれ 1 つずつ系群があり、130°E-175°E に混合域があると仮定した。I 系群 (165°E の西側) と P 系群 (165°E の東側) におけるそれぞれの過去の捕獲頭数は表 2 に示した。捕獲は 1 年目に 35°E-175°E で実施され、2 年目に 130°E-145°W で実施される。3 年目以降はそれぞれの海域を隔年で交互に調査を行う。すなわち 130°E-175°E では毎年捕獲されることになる。そしてこの海域で両系群が混合することが想定されている。将来の捕獲個体の性比については、1:1 であることを仮定した。標準的な将来の捕獲頭数シナリオは次のようなものである。130°E-175°E での 1 年目と 2 年目との捕獲頭数にほとんど差がなく、混合率もほぼ同じであると仮定すると、調査における 1 年目の P 系群からの捕獲頭数と 2 年目の I 系群からの捕獲頭数には大きな差はない。例えば、130°E-175°E で毎年 284 頭 (=850/3 頭) 捕獲し、I 系群の混合率が 50% であると仮定すると、I 系群からは、1 年目に 708 頭、2 年目に 142 頭、P 系群から 1 年目に 142 頭、2 年目に 708 頭捕獲することになる。したがって、両系群から、2 年で 850 頭ずつ捕獲することになる。したがって、標準的なシナリオとして、2 年ごとに交互に I 系群と P 系群からそれぞれ 850 頭 (雄 425 頭、雌 425 頭) 捕獲すると仮定して、資源への影響を評価する。また、将来の捕獲頭数についての感度試験として、130°E-175°E がすべて I 系群である場合を計算する。130°E-145°W における V 区西 (130°E-165°E) の 1996/97-2002/03 年の JARPA 調査での資源量の割合が約 1/3 なので、I 系群からの捕獲頭数を、1 年目は 850 頭、2 年目は 284 頭 (雄 142 頭、雌 142 頭) と仮定できる。将来の捕獲頭数は各々のシナリオについて表 3 に示した。

資源量推定値については、2 つのシナリオを仮定した。1 つは、I 系群で 192,653 頭 (CV=0.192)、P 系群で 212,258 頭 (CV=0.152) という Branch and Butterworth (2001) に基づくシナリオである。もう 1 つは、I 系群で 228,349 頭 (CV=0.092)、P 系群で 95,116 頭 (CV=0.168) という、最新の JARPA の推定値に基づくシナリオである (Hakamada *et al.*, 2005)。また、 $g(0)=0.611$  (Okamura *et al.*, in press) も仮定した。HITTER 法を用いた過去の資源への影響の検討と同様、資源量が 90% 信頼区間の下限値である場合についても検討した。

## ザトウクジラ

Johnston and Butterworth (2005)の資源動態モデルを用いて、IV区、V区においてそれぞれ隔年で年間 50 頭捕獲した時の資源への影響を調べた。1年目にIV区から、2年目にV区からという形で交互に調査を行い、年間 50 頭を捕獲する。過去の捕獲頭数については、繁殖域におけるものを表 4 に、索餌域におけるものを表 5 に、将来の捕獲頭数については表 6 に示した。

用いた資源動態モデルは次のとおりである。繁殖域での資源動態は

$$N_{y+1}^{B,D} = N_y^{B,D} + r^D N_y^{B,D} \left\{ 1 - \left( \frac{N_y^{B,D}}{K^D} \right)^{2.39} \right\} - C_y^D \quad (1)$$

$$N_{y+1}^{B,E} = N_y^{B,E} + r^E N_y^{B,E} \left\{ 1 - \left( \frac{N_y^{B,E}}{K^E} \right)^{2.39} \right\} - C_y^E \quad (2)$$

ここで、 $N_y^{B,D}$ 、 $N_y^{B,E}$ は  $y$  年の初めにおける D 系群、E 系群それぞれの資源量、 $r^D$ 、 $r^E$ は D 系群、E 系群それぞれの内的増加率、 $K^D$ 、 $K^E$ は D 系群、E 系群それぞれの初期資源量、 $C_y^D$ 、 $C_y^E$ は  $y$  年の D 系群、E 系群それぞれからの捕獲頭数である。索餌域での資源動態は、IV区とV区のそれぞれにおいて、D 系群と E 系群が混合している可能性を考慮して、

$$N_y^{F,IV} = \alpha N_y^{B,D} + (1 - \beta) N_y^{B,E} \quad (3)$$

$$N_y^{F,V} = (1 - \alpha) N_y^{B,D} + \beta N_y^{B,E} \quad (4)$$

ここで、 $N_y^{F,IV}$ 、 $N_y^{F,V}$ は  $y$  年の初めにおけるIV区、V区それぞれの資源量、 $\alpha$ は D 系群の個体のうちIV区に回遊するものの割合、 $\beta$ は E 系群の個体のうちV区に回遊するものの割合である。なお、IV区、V区における捕獲は、それぞれの海区におけるその年度の D 系群、E 系群の資源量の比率に応じて配分する。

Johnston and Butterworth (2005)では、内的増加率、初期資源量推定のために用いた資源量の情報は Brown *et al.* (1997)の繁殖域での資源量の相対値と、繁殖域での CPUE データ (Chittleborough, 1965)、Matsuoka *et al.* (2005)の JARPA 資源量推定値、繁殖域での資源量推定値、Branch and Butterworth (2002)の IDCR/SOWER の資源量推定値、を用いた。このうち、IDCR/SOWER の資源量推定値は絶対資源量、JARPA 資源量推定値は相対資源量として扱い計算されている。それぞれの推定値は表 7-表 11 に示した。

Johnston and Butterworth (2005)では、上記の資源動態モデルを資源量情報と適合させることにより、 $r^D=0.122$ 、 $r^E=0.126$ 、 $K^D=16,879$ 、 $K^E=33,857$ 、 $\alpha=0.944$ 、 $\beta=0.671$  という推定値が得られた。本研究でもその値を用いている。

## 結果と議論

### クロミンククジラ

各場合について、1987/88年（商業捕鯨停止直後）、2005/06年（現在）、2011/12年（6回の調査後）について枯渇率（環境収容力に対する資源量の割合）を示した。参考までに30年後の枯渇率も示した。

表12にあるように、最良推定値と90%信頼区間の下限ともに、MSYR=1%の場合でさえ、2005/06年からJARPA IIで毎年850頭捕獲しても、資源は増加傾向を示している。また、P系群については、資源量が環境収容力に近いレベルを維持している。

表13に感度試験の結果を示した。表12同様、I系群にもP系群にも悪影響を与えていないことを示している。

したがって、将来の捕獲による、クロミンククジラ資源への悪影響はないと結論できる。

### ザトウクジラ

隔年で50頭、IV区とV区から捕獲する場合のD系群とE系群資源の枯渇率（=初期資源量に対する現在資源量の割合）をそれぞれ図1と図2に示した。比較のために1頭も捕獲しない場合の枯渇率も計算したが、両図が示すように、比較しても両者の間にほとんど差は見られなかった。したがって、捕獲による資源への悪影響はないと言える。

## 文献

- Bannister, J. L. and Hedley, S. L. 2001. Southern hemisphere Group IV humpback whales: their status from recent aerial survey. *Mem. Qld. Mus.* 47(2):587-598.
- Branch, T. A. and Butterworth, D. S. 2001. Southern Hemisphere minke whales: standardised abundance estimates from the 1978/79 to 1997/98 IDCR-SOWER surveys. *J. Cetacean Res. Manage.* 3:143-174.
- Branch, T. A. and Butterworth, D. S. 2002. Estimates of abundance south of 60°S for cetacean species sighted frequently on the 1978/79 to 1997/98 IWC/IDCR-SOWER sighting surveys. *J. Cet. Res. Manage.* 3(3):251-270
- Brown, M. R., Field, M. S., Clarke, E. D., Butterworth, D. S. and Bryden, M.M. 1997. Estimates of abundance and rate of increase for East Australian humpback whales from the 1996 Landbased survey at Point Lookout, North Stradbroke Island, Queensland. Document SC/49/SH35 submitted to the IWC Scientific Committee, 15pp.
- Chittleborough, R. G. 1965. Dynamics of two populations of the humpback whale, *Megaptera Novaeangliae* (Borowski). *Aust. J. Mar. Freshw. Res.* 16:33-128.
- Hakamada, T., Matsuoka, K. and Nishiwaki, S. 2005. An update of Antarctic minke whales abundance estimate based on JARPA data including comparison to IDCR/SOWER estimates. Document JA/J05/JR4 submitted to pre-JARPA review meeting January 2005 (unpublished).
- International Whaling Commission. 1996. Report of the Sub-Committee on Southern Hemisphere baleen whales, Annex E. *Rep. Int. Whal. Commn.* 46:117-138.
- Johnston, S. J. and Butterworth, D. S. 2005. Assessment of the west and east Australian breeding populations of Southern Hemisphere humpback whales using a model that allows for mixing on the feeding grounds and taking account of the most recent abundance estimates from JARPA. Document JA/J05/JR19 submitted to pre-JARPA review meeting January 2005 (unpublished).
- Matsuoka, K., Hakamada, T. and Nishiwaki, S. 2005. Distribution and abundance of humpback whales in the Antarctic Areas III E, IV, V and VI W (35°E-145°W) Document JA/J05/JR10 submitted to JARPA review meeting January 2005.

Okamura, H., Kitakado, T. and Mori, M. An improved method on line transect sampling in the Antarctic minke whales survey. (unpublished).

Pastene, L. A., Goto, M., Kanda, N., Bando, T., Zenitani, R., Hakamada, T., Otani, S. and Fujise, Y. 2005. A new interpretation of the stock identity in the Antarctic minke whale based on analyses of genetics and non-genetics markers. Document JA/J05/JR3 submitted to pre-JARPA review meeting January 2005 (unpublished).



表 1. この研究で用いたクロミンククジラの資源量推定値

調査	I系群	P系群
IWC-IDCR	192,653 (CV=0.162) 1987/88年	212,258 (CV=0.152) 1988/89年
JARPA	228,349 (CV=0.142) 2002/03年	95,116 (CV=0.168) 2002/03年

表 2. クロミンククジラの I 系群と P 系群におけるそれぞれの過去の性別捕獲頭数。  
2004/05JARPA 調査が完了していないので、2004/05年については、I系群、P系群それぞれから  
440頭取った場合を仮定した。

年度	I系群		P系群	
	雄	雌	雄	雌
1955	1	1	0	0
1956	0	0	0	0
1957	208	273	0	0
1958	18	24	0	0
1959	76	99	0	0
1960	33	39	31	43
1961	1	0	1	0
1962	9	10	0	0
1963	81	20	3	3
1964	2	3	0	0
1965	1	0	4	3
1966	7	2	1	4
1967	390	211	0	1
1968	108	39	2	2
1969	85	53	7	4
1970	120	82	0	0
1971	1222	1965	0	0
1972	2911	2780	0	0
1973	2161	3855	10	3
1974	1769	2622	0	0
1975	1620	2156	18	13
1976	2272	3669	0	0
1977	1117	2477	357	249
1978	1454	2660	73	52
1979	2228	2636	2	4
1980	1740	2969	336	591
1981	1383	2705	644	183
1982	1619	3357	287	489
1983	1466	2297	148	399
1984	944	2060	294	90
1985	805	1752	302	98
1986	692	1895	129	285
1987	154	119	0	0
1988	0	0	86	155
1989	185	144	0	0
1990	99	90	65	73
1991	165	123	0	0
1992	110	96	57	67
1993	200	130	0	0
1994	85	55	115	75
1995	273	167	0	0
1996	59	68	146	167
1997	279	159	0	0
1998	116	68	131	74
1999	233	206	0	0
2000	86	55	172	127
2001	201	239	0	0
2002	51	49	184	156
2003	200	240	0	0
2004	220	220	220	220

表3. 標準的なシナリオと感度試験用のシナリオにおける、I系群とP系群でのそれぞれの将来のクロミンククジラの性別捕獲頭数。

年度	I系群		P系群		年度	I系群		P系群	
	雄	雌	雄	雌		雄	雌	雄	雌
2005	425	425	0	0	2005	425	425	0	0
2006	0	0	425	425	2006	142	142	283	283
2007	425	425	0	0	2007	425	425	0	0
2008	0	0	425	425	2008	142	142	283	283
2009	425	425	0	0	2009	425	425	0	0
2010	0	0	425	425	2010	142	142	283	283
2011	425	425	0	0	2011	425	425	0	0
2012	0	0	425	425	2012	142	142	283	283
2013	425	425	0	0	2013	425	425	0	0
2014	0	0	425	425	2014	142	142	283	283
2015	425	425	0	0	2015	425	425	0	0
2016	0	0	425	425	2016	142	142	283	283
2017	425	425	0	0	2017	425	425	0	0
2018	0	0	425	425	2018	142	142	283	283
2019	425	425	0	0	2019	425	425	0	0
2020	0	0	425	425	2020	142	142	283	283
2021	425	425	0	0	2021	425	425	0	0
2022	0	0	425	425	2022	142	142	283	283
2023	425	425	0	0	2023	425	425	0	0
2024	0	0	425	425	2024	142	142	283	283
2025	425	425	0	0	2025	425	425	0	0
2026	0	0	425	425	2026	142	142	283	283
2027	425	425	0	0	2027	425	425	0	0
2028	0	0	425	425	2028	142	142	283	283
2029	425	425	0	0	2029	425	425	0	0
2030	0	0	425	425	2030	142	142	283	283
2031	425	425	0	0	2031	425	425	0	0
2032	0	0	425	425	2032	142	142	283	283
2033	425	425	0	0	2033	425	425	0	0
2034	0	0	425	425	2034	142	142	283	283

標準的なシナリオ

感度試験用シナリオ

表 4. ザトウクジラの索餌域（南緯 40 度以南）における過去の捕獲頭数

Year	Area IV	Area V	Year	Area IV	Area V
1904	0	0	1955	844	157
1905	0	0	1956	27	182
1906	0	0	1957	545	1,159
1907	0	0	1958	1,661	3,182
1908	217	0	1959	66	13,159
1909	118	0	1960	779	9,847
1910	83	0	1961	468	1,936
1911	0	0	1962	2,352	291
1912	0	0	1963	289	322
1913	0	0	1964	92	71
1914	0	0	1965	76	266
1915	0	0	1966	172	112
1916	0	0	1967	98	27
1917	0	0	1968	0	0
1918	0	0	1969	0	0
1919	0	0	1970	0	0
1920	0	0	1971	0	0
1921	0	0	1972	0	0
1922	0	0	1973	0	0
1923	0	0	1974	0	0
1924	0	0	1975	0	0
1925	0	0	1976	0	0
1926	0	0	1977	0	0
1927	0	0	1978	0	0
1928	11	0	1979	0	0
1929	0	0	1980	0	0
1930	0	0	1981	0	0
1931	159	0	1982	0	0
1932	82	0	1983	0	0
1933	593	0	1984	0	0
1934	1,340	0	1985	0	0
1935	938	4	1986	0	0
1936	1,435	0	1987	0	0
1937	832	0	1988	0	0
1938	835	24	1989	0	0
1939	0	0	1990	0	0
1940	0	0	1991	0	0
1941	0	0	1992	0	0
1942	0	0	1993	0	0
1943	0	0	1994	0	0
1944	0	0	1995	0	0
1945	0	0	1996	0	0
1946	0	0	1997	0	0
1947	1	0	1998	0	0
1948	11	74	1999	0	0
1949	725	1,308	2000	0	0
1950	1,208	998	2001	0	0
1951	958	487	2002	0	0
1952	224	723	2003	0	0
1953	310	1,121	2004	0	0
1954	379	2,615			

表 5. ザトウクジラの繁殖域（南緯 40 度以北）における捕獲頭数

Year	D系群	E系群	Year	D系群	E系群
1904	0	0	1955	1126	832
1905	0	0	1956	1119	1013
1906	0	0	1957	1120	1025
1907	0	0	1958	967	1023
1908	0	0	1959	737	1278
1909	0	0	1960	573	1341
1910	0	0	1961	587	981
1911	0	0	1962	548	209
1912	296	296	1963	87	0
1913	670.5	670.5	1964	1	0
1914	1968	0	1965	5	0
1915	1430	0	1966	28	0
1916	0	0	1967	12	0
1917	0	0	1968	0	0
1918	0	0	1969	0	0
1919	0	0	1970	0	0
1920	0	0	1971	0	0
1921	0	0	1972	0	0
1922	155	0	1973	0	0
1923	166	0	1974	0	0
1924	0	0	1975	0	0
1925	669	0	1976	0	0
1926	735	0	1977	0	0
1927	996	0	1978	0	0
1928	1033	0	1979	0	0
1929	0	0	1980	0	0
1930	0	78	1981	0	0
1931	0	110	1982	0	0
1932	0	18	1983	0	0
1933	0	44	1984	0	0
1934	0	52	1985	0	0
1935	0	57	1986	0	0
1936	3072	69	1987	0	0
1937	3242	55	1988	0	0
1938	917	75	1989	0	0
1939	0	80	1990	0	0
1940	0	107	1991	0	0
1941	0	86	1992	0	0
1942	0	71	1993	0	0
1943	0	90	1994	0	0
1944	0	88	1995	0	0
1945	0	107	1996	0	0
1946	0	110	1997	0	0
1947	2	101	1998	0	0
1948	4	92	1999	0	0
1949	193	141	2000	0	0
1950	388	79	2001	0	0
1951	1224	111	2002	0	0
1952	1187	721	2003	0	0
1953	1300	809	2004	0	0
1954	1320	898			

表 6. ザトウクジラの将来の捕獲頭数

Year	Area IV	Area V
2005	0	0
2006	0	0
2007	50	0
2008	0	50
2009	50	0
2010	0	50
2011	50	0
2012	0	50
2013	50	0
2014	0	50
2015	50	0
2016	0	50
2017	50	0
2018	0	50
2019	50	0
2020	0	50
2021	50	0
2022	0	50
2023	50	0
2024	0	50
2025	50	0
2026	0	50
2027	50	0
2028	0	50
2029	50	0
2030	0	50
2031	50	0
2032	0	50
2033	50	0
2034	0	50

表 7. ザトウクジラの D 系群 (IWC, 1996)、E 系群 (Brown *et al*, 1997) それぞれにおける相対資源量

年度	D 系群
1982	10.2
1986	16.7
1988	12.7
1991	23.6
1994	36.0
年度	E 系群
1981	381
1982	493
1986	1008
1987	879
1991	1533
1993	1807
1996	2872

表 8. オーストラリア西岸、東岸におけるザトウクジラの CPUE (Chittleborough, 1965)

年度	西岸 (D 系群)	東岸 (E 系群)
1950	0.475	
1951	0.424	
1952	0.347	
1953	0.353	0.972
1954	0.351	0.755
1955	0.244	0.779
1956	0.178	0.704
1957	0.146	0.714
1958	0.123	0.750
1959	0.090	0.740
1960	0.062	0.522
1961	0.055	0.230
1962	0.051	0.069

表 9. JARPA でのザトウクジラの資源量推定値 (Matsuoka *et al.*, 2005)

年度	Area IV
1989/90	3873
1991/92	5203
1993/94	2740
1995/96	8850
1997/98	10874
1999/2000	16211
2001/02	33010
2003/04	31750
年度	Area V
1990/91	767
1992/93	3837
1994/95	3567
1996/97	1543
1998/99	8301
2000/01	4720
2002/03	2735

表 10. D 系群、E 系群の繁殖域におけるザトウクジラ資源量推定値

系群	資源量推定値	年度	文献
D 系群	8000	1999	Bannister and Hedley (2001)
E 系群	3200	1996	Brown <i>et al.</i> (1997)

表 11. IWC/IDCR-SOWER の南緯 60° 以南におけるザトウクジラ資源量推定値

年度	何周目の周極調査	Area IV	Area V
1978/79	I	1039	-
1980/81	I	-	966
1985/86	II	-	568
1988/89	II	3375	-
1991/92	III	-	2066

表 12. I系群、P系群からそれぞれ隔年で850頭捕獲した場合のクロミンククジラ資源への影響

I系群

a. IWC/IDCRの資源量推定値を用いた場合

i) Hit 1987/88 total (1+) population of 315,245 (best estimate)

Statistic	MSYR (1+) (%)				
	1	2	3	4	5
K (1+)	386,992	373,212	362,490	354,130	347,580
Depletion - 1987	81.5%	84.5%	87.0%	89.0%	90.7%
Depletion - 2005	85.2%	91.6%	95.2%	97.1%	98.1%
Depletion - 2011	86.4%	93.2%	96.4%	97.9%	98.6%
Depletion - 2035	90.3%	96.6%	98.3%	98.9%	99.2%
RY - 2005	831	1,125	1,112	988	850
MSY (+1)	2,322	4,479	6,525	8,499	10,427

ii) Hit 1987/88 total (1+) population of 228,741(90% lower limit)

Statistic	MSYR (1+) (%)				
	1	2	3	4	5
K (1+)	301,953	288,992	278,628	270,336	263,684
Depletion - 1987	66.7%	67.0%	67.4%	67.8%	68.3%
Depletion - 2005	75.8%	82.4%	87.1%	90.3%	92.4%
Depletion - 2011	77.5%	85.3%	90.2%	93.0%	94.6%
Depletion - 2035	83.3%	92.5%	95.5%	96.6%	97.1%
RY - 2005	777	1,125	1,161	1,055	915
MSY (+1)	1,812	3,468	5,015	6,488	7,911



(表 12 続き)

b. JARPA の最近の資源量を用いた場合

i) Hit 2002/03 total (1+) population of 373,655 (best estimate)

Statistic	MSYR (1+) (%)				
	1	2	3	4	5
K (1+)	432,578	407,798	393,825	386,084	381,742
Depletion - 1987	76.8%	76.8%	77.2%	77.7%	78.4%
Depletion - 2005	84.0%	88.6%	91.8%	93.9%	95.2%
Depletion - 2011	85.3%	90.6%	93.8%	95.6%	96.6%
Depletion - 2035	89.6%	95.2%	97.0%	97.7%	98.0%
RY - 2005	848	1,123	1,099	971	834
MSY (+1)	2,595	4,894	7,089	9,266	11,452

ii) Hit 1990 total (1+) population of 278,082 (90% lower limit)

Statistic	MSYR (1+) (%)				
	1	2	3	4	5
K (1+)	339,807	315,157	300,402	291,880	286,997
Depletion - 1987	70.4%	69.8%	69.9%	70.3%	71.0%
Depletion - 2005	78.9%	84.3%	88.4%	91.3%	93.2%
Depletion - 2011	80.5%	87.0%	91.2%	93.7%	95.2%
Depletion - 2035	85.8%	93.3%	95.9%	96.9%	97.3%
RY - 2005	805	1,127	1,146	1,033	892
MSY (+1)	2,039	3,782	5,407	7,005	8,610

(表 12 続き)

P 系群

a. IDCR の資源量推定値を用いた場合

a) Hit 1988/89 total (1+) population of 347,324 (best estimate).

Statistic	MSYR (1+) (%)				
	1	2	3	4	5
K (1+)	351,999	351,079	350,363	349,802	349,361
Depletion - 1987	98.1%	98.1%	98.1%	98.1%	98.2%
Depletion - 2005	98.2%	98.6%	98.9%	99.1%	99.2%
Depletion - 2011	97.4%	97.9%	98.2%	98.3%	98.4%
Depletion - 2035	95.7%	96.7%	97.2%	97.5%	97.7%
RY - 2005	160	184	188	185	180
MSY (+1)	2,112	4,213	6,307	8,395	10,481

b) Hit 1988/89 total (1+) population of 255,322 (90% lower limit)

Statistic	MSYR (1+) (%)				
	1	2	3	4	5
K (1+)	260,005	259,089	258,373	257,812	257,370
Depletion - 1987	97.4%	97.4%	97.5%	97.5%	97.5%
Depletion - 2005	97.6%	98.2%	98.5%	98.7%	98.9%
Depletion - 2011	96.5%	97.1%	97.5%	97.7%	97.8%
Depletion - 2035	94.2%	95.5%	96.2%	96.6%	96.9%
RY - 2005	160	184	188	185	180
MSY (+1)	1,560	3,109	4,651	6,187	7,721

(表 12 続き)

b. JARPA の最近の資源量を用いた場合

a) Hit 2002/03 total (1+) population of 155,641 (best estimate).

Statistic	MSYR (1+) (%)				
	1	2	3	4	5
K (1+)	160,047	158,361	157,422	156,875	156,539
Depletion - 1987	95.8%	95.8%	95.8%	95.9%	95.9%
Depletion - 2005	96.1%	97.0%	97.5%	97.9%	98.1%
Depletion - 2011	94.3%	95.3%	95.9%	96.2%	96.4%
Depletion - 2035	90.4%	92.6%	93.8%	94.4%	94.9%
RY - 2005	159	184	188	185	181
MSY (+1)	960	1,900	2,834	3,765	4,696

b) Hit 2002/03 total (1+) population of 112,042 (90% lower limit)

Statistic	MSYR (1+) (%)				
	1	2	3	4	5
K (1+)	116,492	114,801	113,849	113,293	112,952
Depletion - 1987	94.2%	94.2%	94.2%	94.3%	94.3%
Depletion - 2005	94.6%	95.8%	96.6%	97.1%	97.4%
Depletion - 2011	92.1%	93.5%	94.3%	94.7%	95.0%
Depletion - 2035	86.6%	89.7%	91.3%	92.2%	92.9%
RY - 2005	158	184	189	186	181
MSY (+1)	699	1,378	2,049	2,719	3,389

表 13. 感度試験の結果（偶数年目に I 系群から 284 頭、P 系群から 566 頭クロミンククジラを捕獲した場合）

a. IWC/IDCR の資源量推定値を用いた場合

i) Hit 1987/88 total (1+) population of 315,245 (best estimate)

Statistic	MSYR (1+) (%)				
	1	2	3	4	5
K (1+)	386,992	373,212	362,490	354,130	347,580
Depletion - 1987	74.1%	74.6%	75.1%	75.7%	76.2%
Depletion - 2005	81.9%	87.3%	90.9%	93.2%	94.7%
Depletion - 2011	82.9%	89.1%	92.7%	94.7%	95.8%
Depletion - 2035	86.8%	93.6%	95.8%	96.7%	97.0%
RY - 2005	831	1,125	1,112	988	850
MSY (+1)	2,322	4,479	6,525	8,499	10,427

ii) Hit 1987/88 total (1+) population of 228,741(90% lower limit)

Statistic	MSYR (1+) (%)				
	1	2	3	4	5
K (1+)	301,953	288,992	278,628	270,336	263,684
Depletion - 1987	66.7%	67.0%	67.4%	67.8%	68.3%
Depletion - 2005	75.8%	82.4%	87.1%	90.3%	92.4%
Depletion - 2011	77.0%	84.9%	89.7%	92.5%	94.1%
Depletion - 2035	81.7%	91.1%	94.4%	95.5%	96.0%
RY - 2005	777	1,125	1,161	1,055	915
MSY (+1)	1,812	3,468	5,015	6,488	7,911

(表 13 続き)

b. JARPA の最新の資源量を用いた場合

i) Hit 2002/03 total (1+) population of 373,655 (best estimate)

Statistic	MSYR (1+) (%)				
	1	2	3	4	5
K (1+)	432,578	407,798	393,825	386,084	381,742
Depletion - 1987	76.8%	76.8%	77.2%	77.7%	78.4%
Depletion - 2005	84.0%	88.6%	91.8%	93.9%	95.2%
Depletion - 2011	85.0%	90.3%	93.4%	95.2%	96.2%
Depletion - 2035	88.5%	94.3%	96.2%	96.9%	97.3%
RY - 2005	848	1,123	1,099	971	834
MSY (+1)	2,595	4,894	7,089	9,266	11,452

ii) Hit 2002/03 total (1+) population of 278,082 (90% lower limit)

Statistic	MSYR (1+) (%)				
	1	2	3	4	5
K (1+)	339,807	315,157	300,402	291,880	286,997
Depletion - 1987	70.4%	69.8%	69.9%	70.3%	71.0%
Depletion - 2005	78.9%	84.3%	88.4%	91.3%	93.2%
Depletion - 2011	80.1%	86.5%	90.7%	93.2%	94.7%
Depletion - 2035	84.4%	92.1%	94.8%	95.9%	96.4%
RY - 2005	805	1,127	1,146	1,033	892
MSY (+1)	2,039	3,782	5,407	7,005	8,610

(表 13 続き)

P 系群

a. IWC/IDCR の資源量推定値を用いた場合

i) Hit 1987/88 total (1+) population of 315,245 (best estimate)

Statistic	MSYR (1+) (%)				
	1	2	3	4	5
K (1+)	351,999	351,079	350,363	349,802	349,361
Depletion - 1987	98.1%	98.1%	98.1%	98.1%	98.2%
Depletion - 2005	98.2%	98.6%	98.9%	99.1%	99.2%
Depletion - 2011	97.8%	98.3%	98.6%	98.7%	98.8%
Depletion - 2035	96.9%	97.8%	98.1%	98.4%	98.5%
RY - 2005	160	184	188	185	180
MSY (+1)	2,112	4,213	6,307	8,395	10,481

ii) Hit 1987/88 total (1+) population of 228,741(90% lower limit)

Statistic	MSYR (1+) (%)				
	1	2	3	4	5
K (1+)	260,005	259,089	258,373	257,812	257,370
Depletion - 1987	97.4%	97.4%	97.5%	97.5%	97.5%
Depletion - 2005	97.6%	98.2%	98.5%	98.7%	98.9%
Depletion - 2011	97.0%	97.7%	98.0%	98.2%	98.4%
Depletion - 2035	95.8%	96.9%	97.5%	97.8%	97.9%
RY - 2005	160	184	188	185	180
MSY (+1)	1,560	3,109	4,651	6,187	7,721

(表 13 続き)

b. JARPA の最新の資源量を用いた場合

a) Hit 2002/03 total (1+) population of 155,641 (best estimate).

Statistic	MSYR (1+) (%)				
	1	2	3	4	5
K (1+)	160,047	158,361	157,422	156,875	156,539
Depletion - 1987	95.8%	95.8%	95.8%	95.9%	95.9%
Depletion - 2005	96.1%	97.0%	97.5%	97.9%	98.1%
Depletion - 2011	95.1%	96.2%	96.8%	97.1%	97.3%
Depletion - 2035	93.1%	95.0%	95.8%	96.3%	96.6%
RY - 2005	159	184	188	185	181
MSY (+1)	960	1,900	2,834	3,765	4,696

b) Hit 2002/03 total (1+) population of 112,042 (90% lower limit)

Statistic	MSYR (1+) (%)				
	1	2	3	4	5
K (1+)	116,492	114,801	113,849	113,293	112,952
Depletion - 1987	94.2%	94.2%	94.2%	94.3%	94.3%
Depletion - 2005	94.6%	95.8%	96.6%	97.1%	97.4%
Depletion - 2011	93.3%	94.7%	95.5%	96.0%	96.2%
Depletion - 2035	90.4%	93.0%	94.2%	94.8%	95.3%
RY - 2005	158	184	189	186	181
MSY (+1)	699	1,378	2,049	2,719	3,389

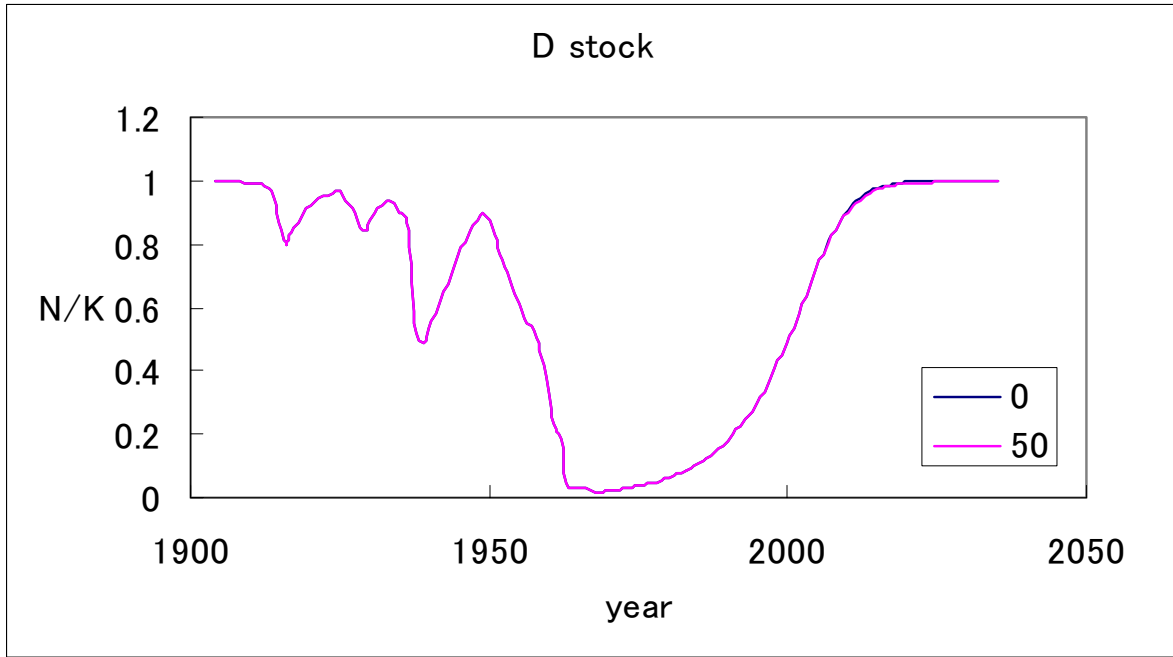


図1. 全く捕獲しない場合と年間50頭ずつ隔年でIV区とV区から捕獲した場合におけるD系群における初期資源量に対する資源量の割合

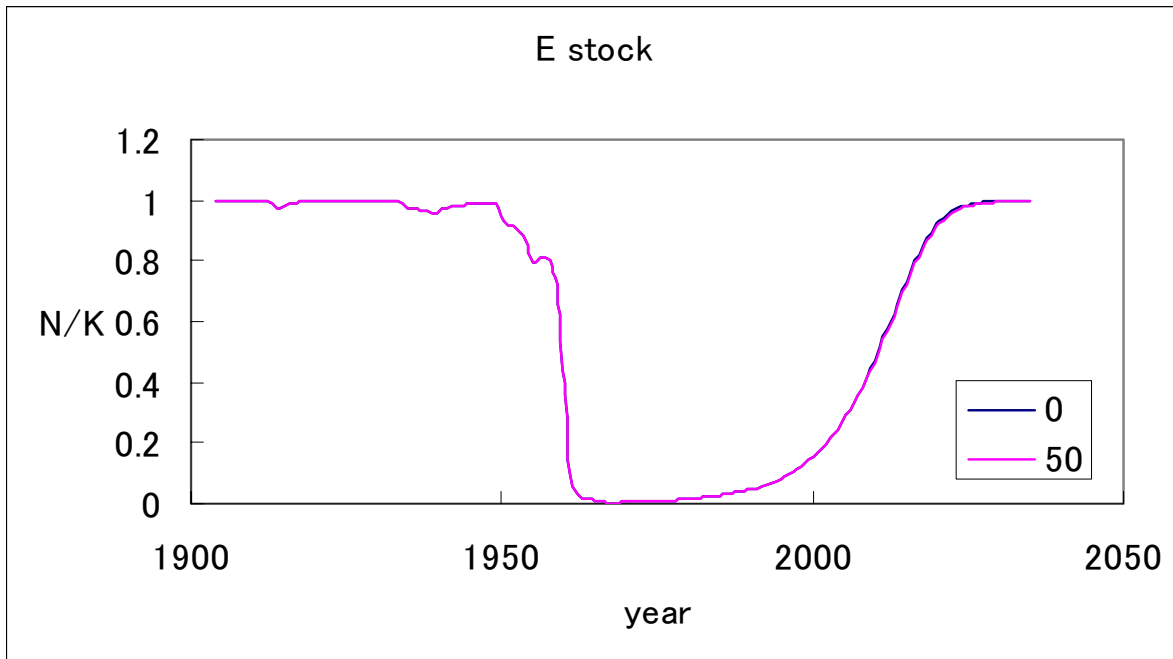


図2. 全く捕獲しない場合と年間50頭ずつ隔年でIV区とV区から捕獲した場合におけるE系群における初期資源量に対する資源量の割合