TUMSAT-OACIS Repository - Tokyo

University of Marine Science and Technology

(東京海洋大学)

クロミンククジラの資源量推定法と最近の話題

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2018-08-13 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 北門, 利英 メールアドレス: 所属:
URL	https://oacis.repo.nii.ac.jp/records/1584

クロミンククジラの資源量推定法と最近の話題

北門利英（東京海洋大学海洋生物資源学科）

私が国際捕鯨委員会（International Whaling Commission, IWC）の科学委員会（Scientific Committee, SC）に参加するようになってかれこれ8年以上経ちますが、実は本稿の主題のクロミンククジラを観察したことはありません。そんな私ですが、ここではいかにして貴重な調査データに鯨類資源について語らせるか、そしてそのためにどのような努力が払われているかという観点から、南極海に生息するクロミンククジラの生息数の推定法や資源管理法について簡単に紹介させて頂きます。

1．南極海で実施されている調査

御存知のとおり、クロミンククジラは南半球に生息する鯨種で、南半球冬季に低緯度の繁殖海域で過ごし夏季には摂餌のために高緯度海域に回遊してきます。主な摂餌対象はナンキョクオキアミやコオリオキアミといったオキアミ属の生物で、これらの餌生物を限られた期間に大量に捕食することによって大きな体のエネルギー消費を支えています。ところで、繁殖域で観測やサンプリングを実施することは資源学的研究をするうえで大変重要なことなのですが、南半球の鯨類については繁殖域に関して未知な点が多いため、南極海に索餌回遊してきた時期を狙って調査を実施します。

さて、ひとえに南極海といえども広範囲にわたりますし、摂餌にやって来るクジラの数も膨大です。したがって、例えば資源量の推定をするにしても、１頭１頭を正確に数え上げるのは無理難題と言えるでしょう。そこで調査研究の方法として、「一部を調べて全体の様子を知る」、すなわちサンプリングというテクニックが利用されます。テレビ番組の視聴率調査では関東地方の場合には千数百万世帯のうちから600世帯だけを（系統的に）サンプリングすることで比較的精度の高い結果が保証されますが、それと似た考え方でトラックラインとよばれる航路付近の一部のエリアにおいて詳細な観測を実施することで、全体の様子を捉える方法が鯨類資源調査でも採用されています。

南極海に生息する鯨類資源の代表的な調査として、IWCが主導する国際鯨類調査（通称IDCR/SOWER）と、日本が独自に実施している南極海鯨類捕獲調査（The Japanese Whale Research Program under Special Permit in the Antarctic, JARPA）および第2期南極海鯨類捕獲調査（JARPAII）があります。IWCのIDCR/SOWER調査では主にミンククジラ他の大型鯨の分布や資源量に関する調査を主目的としました。1978/79からスタートした国際鯨類調査10カ年計画（International Decade of Cetacean Research, IDCR）は1996/97より開始した南大洋鯨類生態系調査（Southern Ocean Whale and Ecosystem Research, SOWER）に引き継がれて、IDCR/SOWER調査として南極海全体を１巡目（通称CPI; 1978/79 - 1983/84）と2巡目（CPII; 1985/86 - 1990/91、図1）はそれぞれ6年間で、そして3巡目（CPIII; 1991/92 - 2003/04）は12年かけて実施されました（Branch and Butterworth 2001, Matsuoka *et al*.2003, Branch 2006）。一方で、JARPA（1987/88 - 2004/2005）およびJARPAII（2005/2006 - 現在）は日本の真南に位置する海域を調査の対象とし、図2のように海域内の東西を1年おきに調査します。 JARPAでは東経130度を境に調査海域を分離しましたが、JARPAIIではその中間にオーバーラップするエリアを設けています。ところで、JARPAおよびJARPAIIがIDCR/SOWERと大きく異なる点は、IWCの科学的許可の下で捕獲調査を実施している点にあります。JARPAやJARPAIIのように海洋観測を伴う目視調査と捕獲調査を融合した守備範囲の広い調査を継続して実施することで、種毎の資源動態だけでなく種間関係や生態系に関する知見を包括的に得られるのです。

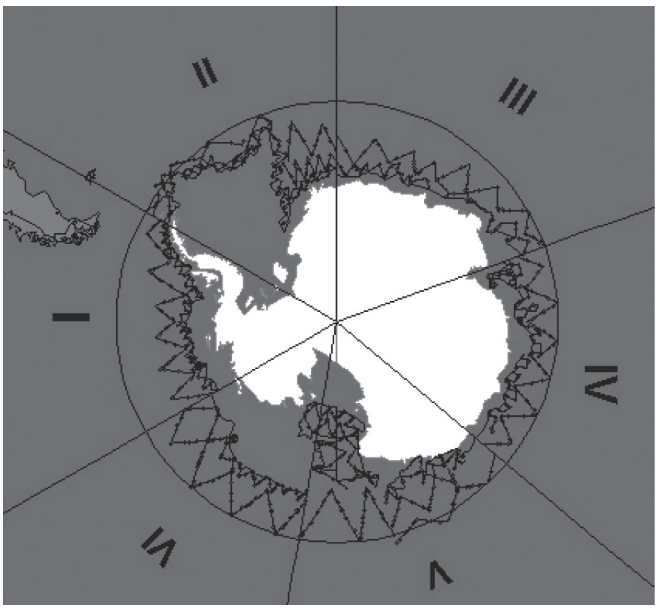


図１．IDCR/SOWER の CPII 調査におけるトラックライン。
（図中のローマ数字は IWC の管理海区をあわらす）

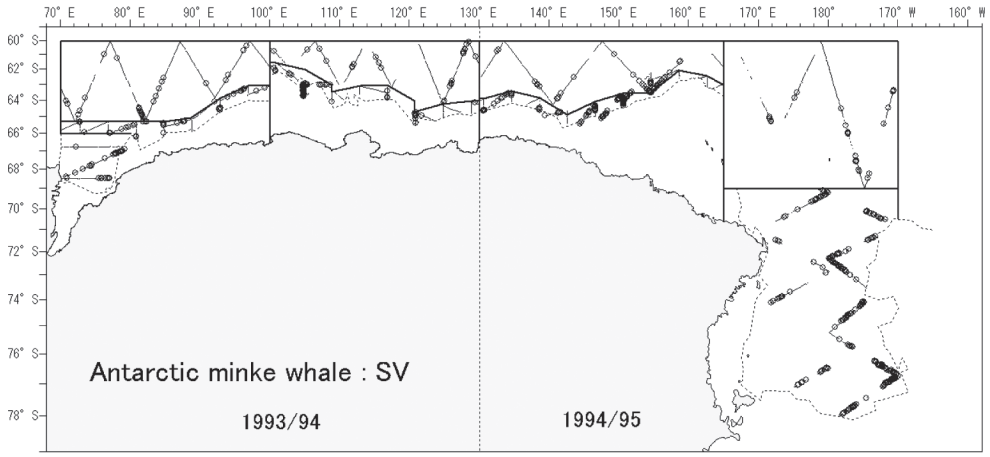


図２．JARPA 目視調査専門船のトラックラインと発見位置（Hakamada *et al*. 2006 より）

このような調査は、もちろん綿密かつ周到な準備と航海上の数々の苦難を通して実施され、そこから得られるデータは数理的な面から資源研究をしている研究者にとってはまさに宝の山であります。逆に、その分だけ解析は大変責任の重い仕事となります。以下では鯨類の資源量調査と推定法に焦点を絞っていきたいと思います。

２．鯨類資源量調査で利用されるライントランセクト法の基礎

鯨類の資源量調査ではライントランセクト調査とよばれる調査方法がよく利用されます。ところで、この調査では資源量推定のためのどのようなデータを取得するのでしょうか。図２は JARPA のトラックラインと発見位置の全体的な様子を表していますが、そこに示されたように予め綿密に設定されたトラックラインに沿って船から目視調査を行います。因みに IWC/SC で資源量推定値を合意させるための最初のステップがトラックラインの配置と調査要綱の承認を得ることなのです。

さて、この調査における発見の様子をもう少しマクロ的かつ概念的にみると図３のようになります。ここでは、トラックラインの周りにいるクジラの群を○印で表しています。トラックラインに近い群ほど発

見されやすいのですが、必ず発見できるわけではありません。そこで、トラックラインと群までの垂直距離を横距離とよび、発見関数 $g(x)$ とよばれる関数を通して横距離に応じた発見の確率的な様式を表現します。この発見関数は、観測された群までの横距離のデータを利用して推定されます。また、発見関数が推定されると仮想上の有効な探索幅、すなわち発見が可能 / 不可能となる仮想的な境界横距離が求められます。これを有効探索幅（ESW, Effective Strip Width）とよび、この有効探索幅（2μ）と走行距離（L）をかけあわせることで探索面積（$2\mu L$）が計算され、さらに発見群数（n）をその探索面積で割ることで群密度 $d=n/2\mu L$ が、また一定の海域面積（A）をかけることでそのエリア内の群数が $N=nA/2\mu L$ として求まります。また、発見のしやすさが群の大きさに依存しないと判断されるとき、発見された群サイズの平均値をかけることで資源個体数が計算されます。

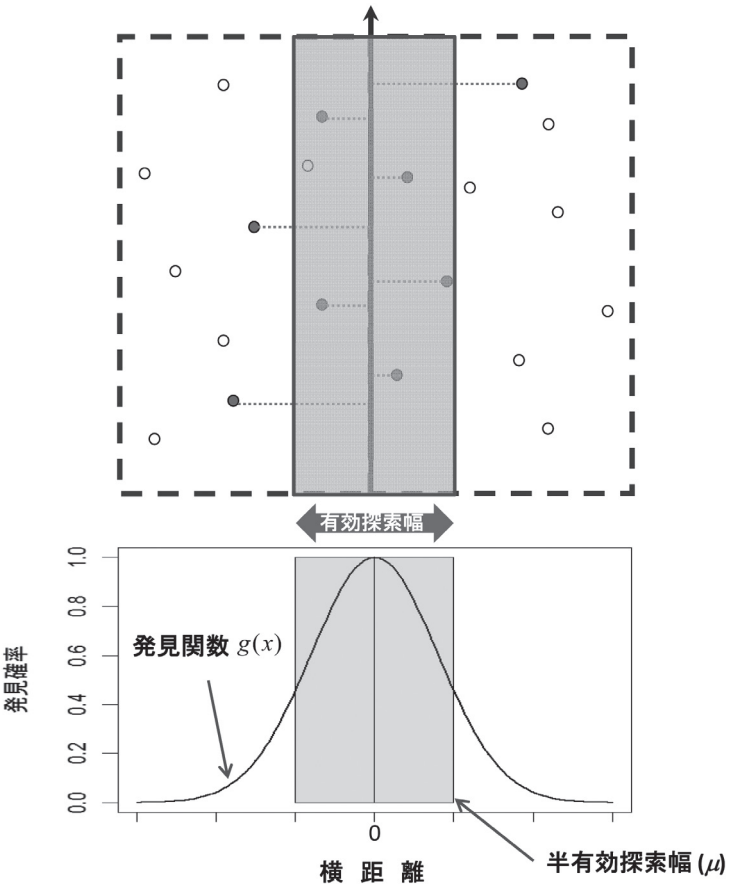


図３．トラックラインの周りのクジラの群と発見の状態
（●は発見された群で、○は発見できなかった群を表す）

このように述べますとラインとランセクト法の推定とは随分簡単だと思われるかもしれません。基本原理は上記に述べたとおり至ってシンプルなのですが、実際のクジラの調査では観測上および解析上の様々な工夫がなされます。例えば、先程も少し触れましたが、発見のしやすさは群の大きさに依存するかもしれません。大きな群ほど遠くにいても発見する可能性が高いかもしれません。また、観測時の天候も発見の可否に大きな影響を与える可能性がありますし、横距離が遠くなるほど横距離や群サイズの観測値に対する不確実性が問われるでしょう。このほか、イルカの場合には船に対する逃避行動もしばしば問題となります。これらの可能性を統計学的なモデルと解析を通して一つ一つ検証していかねばならないのです。

さらに、クジラの資源量推定における「最大の難関」といってよいのがクジラの潜水行動に伴う見逃しです。通常の野生生物の実験では、生物がトラックライン上にいて横距離の値がゼロのときに発見にミスはない、すなわち $g(0)=1$ と仮定できるのですが、クジラの場合には短時間の浮上中だけが発見のチャンスであり、潜水中に船が通過してしまう可能性があるため必ずしも $g(0)=1$ を仮定できなくなります。単純かつ大雑把な計算となりますが、仮に $g(0)=0.5$ が真ならば、有効探索幅は $g(0)=1$ のときの半分、資源量推定値はその２倍になります。逆に、$g(0)=0.5$ が真にも関わらず $g(0)=1$ として資源量推定を行うと、資源量を 50％も過小評価することになってしまいます。クロミンククジラ等のヒゲクジラの潜水時間は長くても５分程度であり、ハクジラと比較すると見逃しの率は多大ではありませんが、より正確な資源量推定には避けては通れない問題となります。

３．独立観察者実験と g(0) 推定法の開発の始まり

そこで IWC/SC では、いかに効率的かつ正確に g(0) に関する情報を集めるか、という問題に取り組み

ました。古くは併走実験や変速実験という工夫から始まり、潜水浮上を模したシミュレーション法なども実践されましたが、最近では独立観察者実験（ここでは略して IO 実験）とよばれる調査を通して g(0) を推定する方法が確立しつつあります。IWC の IDCR/SOWER 調査においても CPII 以降はこの IO 実験が利用されています。IO 実験にも幾つかの変形版がありますが、ここでは IWC/SC において最近最も主流となっているタイプの IO 実験と g(0) 推定法の概略について解説していきます。

IO 法では図 4 に示したように船に 3 つのプラットフォームを設置して調査が実施されます。プラットフォーム A では通常のクジラのライントランセクト同様にトップバレルに目視観察者が配置され、その下のプラットフォーム B では A とは完全に独立した目視観察が行われます。A において発見があった場合には当然 B には知らせませんが（逆も同様）、アッパーブリッジのプラットフォーム C に知らせます。C にも観察者がいるので、A あるいは B から連絡がない限りは C は A と B に対して独立した観察を実施することになります。一方で、A および B から発見の連絡が入った場合には、それらが同じクジラの群の発見なのか、そして同時あるいは遅れて発見されたものなのか等の判定を行います。このような観測を通して互いの見逃しに関する情報を収集することができ、g(0) の推定を行うことが可能となります。



図 4．独立観察者実験で利用する鯨類目視専門船とトップバレルからの探索風景
（写真は国際水産資源研究所宮下富夫部長より）

この IO 実験の確立により、IWC/SC の科学者はこの実験から得られたデータによる g(0) および資源量の推定法の開発にも力を入れてきました。もともとこの分野はノルウェーの研究者達がかなり先駆的な仕事をしていました。特にオスロ大学の Schweder 教授らが北大西洋ミンククジラの資源量推定に対して導入したハザード確率というモデルは、g(0) 推定問題の進展に大きな功績を残したといえます（Schweder *et al*. 1997, Skaug *et al*. 2004）。

実は先ほど述べた IO 実験による観察は、ある意味においては独立とはなりません。なぜなら、発見しやすい状況にあるクジラの群はどのプラットフォームからも発見しやすく、したがって両者の発見は正の相関をもつことになります。そこで Schweder 教授らは、その相関を可能な限り排除するために、クジラの群が浮上している瞬間の発見が独立であるという構造をハザード確率モデルで表現しました。ここでいうモデルとは、実際の現象を数学的に表した式で、その中にパラメータを含みます。観測データを基にしたパラメータの統計的推測では、このパラメータの尤もらしさを表現する尤度関数を観測の確率性に応じて忠実に表現することから始まりますが、彼らのモデルおよび方法は、クジラの発見位置、トップバレル A と独立観察者 B の発見状態（A が最初に発見、B が最初に発見、そして A、B が同時に発見）、そして発見後のクジラの浮上発見過程を見事に表現したものであり（図 5）、その後の我々のモデリングの模範となりました。この方法の数学的記述はやや難解であり残念ながらここでは割愛しますが、観測や二重発見の誤差などを取り入れた更なるモデル構築の工夫やシミュレーションを駆使した誤差評価法等が総説論文 Schweder（1999）およびその翻訳（北門 2002）に述べられていますので興味ある方はご覧下さい。

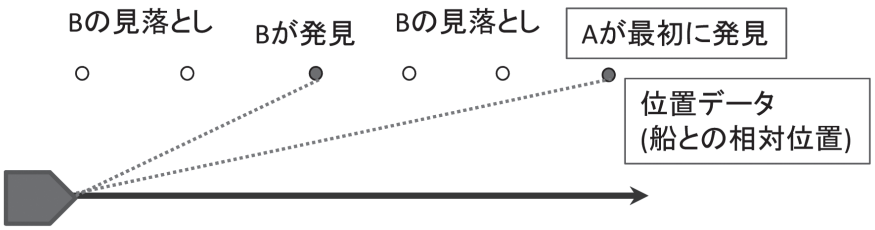


図５．船の移動によるクジラと船との相対位置の変化と発見・見落としの例

振り返れば 10 年ほど前になりますが、私とクジラとの関わりはこの IO 実験を基にした g(0) 推定から始まりました。特に、当時 Schweder 教授らの一連の論文をフォローしたことにより、当該分野のこれまでの流れや発展の可能性を意識しました。また当時は、南極海のクロミンククジラに対して g(0) 推定問題が大きくクローズアップされていた頃でした。そのきっかけとなったのは Branch and Butterworth (2001) による IDCR/SOWER の資源量推定結果で、彼らが提示した CPIII の合計推定値が CPII のそれと比較して半減と劇的に小さく、その是非や理由を巡って議論が始まりました。特に、Branch and Butterworth の推定値は g(0)=1 を仮定した標準的な方法から計算されたため、g(0) が CP 間で異なっていることが理由の一つではないかと考えられるようになりました。そしてこの頃から、遠洋水産研究所（現国際水産資源研究所）の岡村寛さんとのモデルの開発も始まりました。

４．２つの推定法によるクロミンククジラ資源量推定値 ― SPLINTR と OK ―

IDCR/SOWER の CPII と CPIII 調査では、先述の IO 方式による目視観察と、種と群サイズの正確な観測のための接近方式による目視を併用しました。これらのデータを上手に駆使して資源量推定値とその不確実性を提示するのが科学者としての役目となります。この大役に挑戦したのが、ドイツの Cooke 博士、豪州の Bravington 博士、そして日本の岡村ー北門組でした。

Bravington は開発当初 Big Beautiful Model と称した仮定の強いモデルを提案していましたが、徐々に群の位置とサイズの空間的な分布を捉える発展的な SPLINTR（SPatial LINe TRansect）モデルへと拡張し、さらに現在はハザード確率も取り入れたモデルを提案しています（Bravington and Hedley 2010, Bravington 2011）。

Cooke の方法はノルウェー同様に開発当初からハザード確率を基礎としていましたが、ノルウェー方式と異なり群の浮上の追跡を必要としない方法へと拡張され、さらに空間的な資源構造をも取り入れたものでした。しかしながら、方法の評価の途上で開発が断念されてしまいました。

岡村ー北門のモデルは 2 名の頭文字をとって OK 法として知られています。この方法も Cooke の方法同様に浮上の追跡をしないハザード確率モデルですが、ノルウェーの方法や Cooke の方法と異なり A、B、C のプラットフォームの発見について、プラットフォーム単独の発見や二重発見の区別だけなく、A → B の遅れ二重発見（A が発見した後に B が遅れて発見）や、C → A×B の遅れ二重発見（C が発見した後に A と B が同時に遅れて発見）など様々なタイプの二重発見を定義し、それに応じて確率モデルを構築する手の込んだ形となっています（詳しくは Okamura and Kitakado 2011）。さらに、開発を進める上で、ハザード確率の関数形、二重発見判定の基準、平均群サイズモデルなど多くの改良を重ねてきました。

Bravington の方法と OK 法で大きく異なる点が 2 つあります。一つはこの種のサンプリング理論を二分する考え方とも深く関係します。Bravington の方法では空間的位置における群の数やサイズについて確率性を考えますが、OK 法では空間のそれぞれの位置における群の数は固定される一方でトラックラインのデザインがクジラの分布に対してランダムであるという異なった確率性を考えます。どちらかが正しいというわけではなく、方法論の哲学や手続き上の問題なのですが、Bravington の方法では想定している空間

的な構造が正しく、またそれを推定するデータがそのモデルを充分に追随すれば精度よい推定が可能となる一方で、そうでなければ推定に偏りや大きな誤差を被ることになります。OK 法の場合には、デザインがクジラの分布に対して偏ったものでない限り不偏な推定が原理的には可能となります。

もう一つは大変細かい点ですが、Bravington のハザード確率の入れ方が「トラックライン上の発見は独立観察者間で独立」という前提の下でなされているのに対し、OK ではハザード確率の元々の趣旨のとおり「群が浮上してきたときの瞬間の発見が独立」と仮定している点で、後者が真であるときに前者を仮定してしまうと資源量推定値を過小評価することが知られています。

このように方法論に異なる背景をもつ 2 つの資源量推定方法ですが、実際に計算された資源量推定値もこれまで大きく異なってきました。例えば、昨年の IWC/SC にて提示された資源量推定値を表 1 に示していますが、ご覧になってお分かりのように、ほとんどの海区と調査時期において、SPLINTR の資源量推定値 が OK の値を大きく下回っています。SPLINTR にはトラックライン上の発見の独立性による過小推定の可能性がありますが、OK の方にも群サイズが小さいときに g(0) 推定を過小評価する（したがって資源量は過大推定する）可能性が指摘されています。したがって、資源量推定値にある程度の差が予想されたとしても、それだけではこの大きな差の説明がつきません。

また、前述の Branch and Butterworth（2001）のように、ここでも SPLINTR および OK のいずれにおいても CPIII 全海区の資源量推定値の合計は CPII のそれよりも随分小さな値となっています。
さて、この 2 つの意味での食い違いは果たして解決できるのでしょうか？

表 1．IDCR/SOWER 調査に基づくクロミンククジラの 2 つの資源量推定値の比較（IWC/SC Annex G より）
(a) 海域毎 CP 毎の資源量推定値の比較（括弧内は推定値の変動係数）

		Area I	Area II	Area III	Area IV	Area V	Area VI	TOTAL
CPII	OK	126,000	185,000	131,000	80,000	459,000	82,000	1,062,000
		(0.20)	(0.16)	(0.21)	(0.18)	(0.17)	(0.27)	(0.12)
	SPLINTR	82,000	118,000	68,000	47,000	254,000	43,000	612,000
		(0.23)	(0.23)	(0.51)	(0.18)	(0.14)	(0.25)	(0.13)
CPIII	OK	47,000	70,000	111,000	72,000	215,000	96,000	612,000
		(0.12)	(0.19)	(0.15)	(0.32)	(0.12)	(0.15)	(0.09)
	SPLINTR	42,000	56,000	70,000	36,000	152,000	66,000	421,000
		(0.16)	(0.16)	(0.12)	(0.23)	(0.13)	(0.17)	(0.09)

(b) 海域毎の資源量推定値の比（CPIII の推定値 /CPII の推定値で、括弧内は 95％信頼区間）

	Area I	Area II	Area III	Area IV	Area V	Area VI	Circumpolar
OK	0.37	0.38	0.85	0.90	0.47	1.18	0.58
	(0.23-0.58)	(0.23-0.62)	(0.51-1.41)	(0.44-1.85)	(0.31-0.71)	(0.64-2.16)	(0.43-0.78)
SPLINTR	0.51	0.47	1.02	0.77	0.60	1.55	0.69
	(0.29-0.88)	(0.27-0.81)	(0.37-2.85)	(0.43-1.36)	(0.41-0.87)	(0.86-2.80)	(0.51-0.94)

5．ライントランセクト調査による資源量推定の難しさ

現在、南極海におけるクロミンククジラに対して合意されている資源量は、IDCR の 10 カ年計画が終了した段階で行われた 1990 年の包括的評価（Comprehensive Assessment, CA）による 761,000 頭という数字だけでした。この推定値は g(0)=1 の仮定で推定された値でタイムスタンプも 1982/83―1988/89 であり、手法も時代も随分古いものとなってしまいました。したがって、2000 年代に入ってからのクロミンククジラ資源量推定の議論は、この既存の唯一の資源量を改訂するためにも大変重要な意味合いを持つわけです。しかしながら、以降 10 年にも渡る開発と議論にも関わらず今もって結論には至ってはいません。

方法論の違いに目を向けると、先述のとおりそれぞれの方法の性質がかなり分かってきました。これに

は理論的な検討や実データを用いた診断の他、膨大なシナリオの下でのシミュレーション実験による検討の成果も無視できません。Bravington の SPLINTR も我々の OK 法もシミュレーションでは互いに良いパフォーマンスを示す傾向にありますから、先程述べたモデルや方法の背景の違いの他に、調査データのハンドリングや解釈の違いによる影響を詰めていくことでもっと差が縮まる可能性があると私は信じています。

これとは別に CP 間の資源量推定値の違いですが、こちらも議論を始めた当初と比べるとかなり大きな進展があるように思います。例えば、南極海全体の資源量ではなく表 1 に示されたように管理海区毎に比較すると、（持続的利用という観点から問題となるような）大きな違いがみられるのは、方法を問わず 3 つの管理海区に限られることが分かります。これらの海区では CP 間の差は、g(0) や平均群サイズの CP 間差を考慮するだけでは埋まらなかったことになりますが、それを認識したことで別の可能性にぐっと焦点を当てることができるようになりました。

例えば図 6 に示したように、調査のタイミングや年代の違いによっては氷縁際の氷の解け具合が異なる可能性があります。海水が凍結してできた氷をパックアイスといいますが、冬の時期にパックアイスが表面を覆っている海域はクジラの餌となるオキアミにとってよい摂餌場所となります。また、パックアイスが解け出すとオキアミの餌となる植物プランクトンの豊度が高まりオキアミの密度が一層高まります。パックアイスが覆っている、あるいは完全に解けていない海域は船による調査ができず、氷縁よりも南のクジラを発見できないことになります。もしこれが本当なら、推定された資源量は本来の資源量と比較して大きく過小評価してしまいます。昨今の温暖化だけが一因とは言えませんが、近年の調査ではこのような現象が起こっている可能性が多分に考えられます。またこれを裏付ける証拠の一つとして、航空機を用いた調査からも、かなりの個体数がパックアイス内にいることが明らかになってきています。したがって、もしこの「氷仮説」が事実だとすれば、最近の資源量推定値は本来の資源量を必ずしも反映していないことになります。

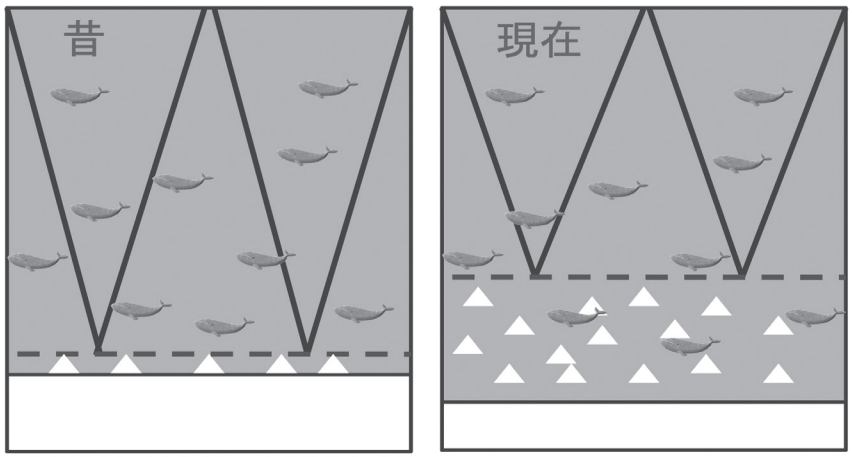


図 6．氷縁際のトラックラインの折り返しと氷の中のクジラのイメージ図。もしクジラが氷の中に入れば、ライントランセクト調査では発見できないため資源量の過小評価に繋がる

この他に、大回遊をおこなうクジラ特有の性質も CP 間の資源量推定に影響しているかも知れません。南極海ではクジラの回遊範囲全体を 1 年で調査することができず、そのため数年から 10 年のスパンで全体を調査しました。ところが、クジラは毎年同じところに同じ数だけ回遊してくるわけではありません。例えば、我々が現在行っている遺伝データと形態測定データを利用した系群解析では、III 区東から VI 区西に生息する 2 つの系群の混合の様子が年によって大きく変化する可能性を示しています。これは、分布回遊パターンが年によって大きく変化する可能性を示唆しています。IDCR/SOWER では IO 実験による比較可能な資源量推定値がそれぞれの海区で 2 つしかありませんから、たまたま CPII 調査時に多くクジラ

が回遊してきていたり、逆に CPIII 調査時に少なかったりすれば、その影響を容易に受けてしまうことになります。残念ながら IDCR/SOWER の資源量推定結果だけからはこの現象を説明することはできませんが、なお，実際の資源量推定では分布回遊の年変動に起因する資源量推定値の不確実性も併せて誤差評価を実施しています。

ところで 2012 年度の IWC/SC では、南極海クロミンククジラの資源量について少しでも理解が深まるよう、資源量推定値の方法間相違について詰めの議論を最終化し、資源量推定値を合意させる予定になっています。しかしながら、仮に 2 つの方法から導かれる推定値に大きな接近が見られたとしても、推定値が真の資源量を反映しているかどうかは注意を払うべきであることは既に述べたとおりです。IWC/SC では CP 間の資源量推定に対する解釈の準備も並行して進めてきました。先に述べた氷の仮説もその一つであり、さらに物理環境，餌環境そして他鯨種との相互作用に起因する分布の年変化も資源量推定結果を解釈する際には注意しなければなりません。現在みられているような CP 間の資源量推定値の違いが果たして真の資源量推定の姿を表しているのかどうか、表していないとしたらどのような解釈の下にどのような補正が可能であるか、そして将来求められるべき調査とは何か、現在これらについて国内および IWC/SC の場で科学的に議論を深めている段階にあります。

ところで繰り返しになりますが、IDCR/SOWER では比較可能な推定値が基本的には 2 つずつしか得られません。一方で、日本が独自に行っている JARPA および JARPAII は同じエリアを 1 年おきに調査しているため、クロミンククジラの資源量推定値がもつ特有の性質について氷の問題や分布回遊の切り口と併せてもっとあきらかにできる可能性を秘めています。 JARPA 調査では IO 実験が行われませんでしたので g(0) の年度間の違いには気を配る必要がありますが、JARPA および JARPAII 資源量推定値も最終化の段階にあり、IDCR/SOWER 資源量推定値の解釈に大きな貢献が期待されます。

6．資源量推定値と資源管理

水産資源の枯渇を招く主要な原因の多くはいわゆる「獲り過ぎ」に他ならないのですが、それではどうすれば「持続的かつ効率的な利用」、すなわち長期的に資源を枯渇させることなく、かつ安定して高い漁獲量（あるいは利益）を得られるでしょうか。よく利用される例ですが銀行に預けた預金を考えると、毎年利子で増えた分だけを使えば元金を減らさずにずっと利用できるでしょう。これとほぼ同様の考えが水産資源の管理でも成り立ちます。銀行預金と違い、利子分すなわち資源量の増加分は現在の資源量レベルに応じて異なりますが（例えば資源レベルが環境収容力という満限の状態に達すれば増加量はゼロとなり、また多くの鯨種では環境収容力の 60％程の資源レベルで最大の増加量を示す）、その増分だけ獲ることにすれば持続的に資源を利用することが可能となります。

ところが、鯨類の場合にはその元金（＝資源量）を知ることが決して簡単ではないことを既に述べてきました。また、増加率の推定も容易ではありません。加えて、資源変動のメカニズムも人間が想定しているほど単純ではなく、構造の複雑さに比して情報の不足やバイアス等が生じる可能性があり、そして種々の不確実性への対応が迫られます。いたずらに複雑な資源動態モデルを作成してもデータがそれに追随できなければ意味がなく、またモデルが複雑になればなるほどパラメータやモデルの不確実性が高まるという問題も潜在的に生じます。そこで、IWC/SC が開発した改訂管理方式（RMP）という方法は、「まずなるべく少ない情報でシンプルなモデルの同定を行う、それを基にあるルールに基づいて保守的な捕獲限度量の算定と捕獲枠の空間的配分の候補を提示する、そしてその捕獲枠と配分の安全性を多様なシナリオの下でのシミュレーションで検討し枯渇のリスクの高い捕獲法を排除する」というアプローチでした。また、この管理方式のシミュレーションでは、将来 100 年間のいずれの時点でも資源が枯渇の危機に瀕することないように厳しい基準が設けられ、更には 5 年毎に資源量などの情報が更新されること、そしてそれに基づいてパラメータと捕獲枠の更新もなされることが想定されており、極めて膨大ではあるが実際的な評価

がなされています。

ところで、先程の「なるべく少ない情報」とは何か？実は、それはクジラの過去の捕獲頭数のデータと資源量推定値（あるいはその時系列）だけなのです。いかに資源量推定値が重要な役割を果たすかがこれで分かるかと思いますし、そのような理由により合意に至るまでに相当な議論がなされるのも当然のことといえます。この資源量と捕獲頭数の情報を基に、環境収容力などの資源動態に関するパラメータが推定されますが、この際にIWC/SCでは敢えて資源量推定値に過剰な信頼をおかないようにパラメータに不利な事前分布を仮定し、保守的な捕獲限度量が算出されるような安全弁を設置しています。さらに捕獲限度量を空間的に配分する方法で管理を継続した場合のパフォーマンスがシミュレーションで評価されます。特に系群構造というクジラ個体群の繁殖単位に対する仮説や増加率に関するパラメータについてのシナリオを相当数設けて捕獲のシミュレーションを行い、（正確な表現ではありませんが）妥当と考えられるシナリオの下では枯渇するような捕獲の仕方を許さないよう安全策が講じられています。いかに万全を期した管理方策がIWC/SCの下で実施されているかお分かりかり頂けるかと思います。今後、南極海クロミンククジラの資源量推定値に関して確固たる結論が出た暁には、捕獲枠の算定が改めてなされることでしょう。

7．終わりに

ここでは限られた紙面を利用して主にクロミンククジラの資源量推定について簡単に紹介させて頂きました。最後はやや駆け足になったかもしれません。実は、現実の資源量推定や管理ではここで御紹介した以上に複雑で手の込んだ解析や計算を実施しています。クロミンククジラに限らず野生生物の管理では失敗が許されないため、必然的に綿密な計算の下で予防的なアプローチがとられます。そのような厳しい場であるからこそ、データに基づいた客観的で精密な推測と適切な不確実性の評価が重要となりますが、これからもデータに真の資源の姿を語らせることができるよう、研究を進めていければと思っています。

参考文献

Branch, T.A. 2006. Abundance estimates for Antarctic minke whales from three completed circumpolar sets of surveys, 1978/79 to 2003/04. Paper SC/58/IA18 presented to the IWC Scientific Committee, May 2006, St. Kitts (unpublished). 28pp.

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.

Bravington, M.V. and Hedley, S. 2010. Antarctic minke whale abundance from the SPLINTR model: some 'reference' dataset results and 'preferred' estimates from the second and third circumpolar IDCR/SOWER surveys. Paper SC/62/IA12 presented to the IWC Scientific Committee, June 2010, Agadir, Morocco (unpublished). 15pp plus revised.

Bravington, M.V. 2011. A hybrid spatial-and-hazard-prob model for SOWER minke data. Paper SC/63/IA15 presented to the IWC Scientific Committee, May 2011, Tromsø, Norway (unpublished): 5pp.

Hakamada, T., Matsuoka, K. and Nishiwaki, S. 2006. An update of Antarctic minke whales abundance estimate based on JARPA data. Paper SC/D06/J6 presented to the JARPA Review Meeting, December 2006 (unpublished). 34pp + Addendum 2pp.

北門利英 . 2002. ミンククジラに学ぶライントランセクト法の難しさ．海産哺乳類の調査と評価（白木原国雄、岡村寛、笠松不二男監訳）．鯨研叢書 :112-133.（Schweder, T. 1999 の翻訳）

松岡耕二 . 2002. 南極海におけるクロミンククジラアセスメント航海の変遷と概要 . 鯨類資源の持続的利用は可能か －鯨類資源研究の最前線－（加藤秀弘、大隅清治編）．生物研究社 : 118-123.

Matsuoka. K., Ensor. P., Hakamada. T., Shimada. H., Nishiwaki. S., Kasamatsu, F. and Kato, H. 2003. Overview of minke whale sightings surveys conducted on IWC/IDCR and SOWER Antarctic cruises from 1978/79 to 2000/01. *J. Cetacean Res. Manage*. 5:173-201.

Okamura, H. and Kitakado, T. 2011. Abundance estimates for Antarctic minke whales using the OK method. Paper SC/63/IA15 presented to the IWC Scientific Committee, May 2011, Tromsø, Norway (unpublished): 5pp.

Schweder, T. 1999. Line transecting with difficulties; lessons from surveying minke whales. In *Marine Mammal Survey and Assessment Methods* (Garner, G.W., Amstrup, S.C., Laake. J.L., Manly. B.F., J, McDonald, L.L. and Robertson, D.G. eds). Balkema: 149-166.

Schweder, T., Skaug, H.J., Dimakos, X.K., Langaas, M., and Oien, N. 1997. Abundance of northeastern Atlantic minke whales, estimates for 1989 and 1995. *Rep. int. Whal. Commn* 47: 453-483.

Skaug, H.J., Oien, N., Schweder, T., and Bothun, G.. 2004. Abundance of minke whales (*Balaenoptera acutorostrata*) in the Northeast Atlantic: variability in time and space. *Can. J. Fish. Aquat. Sci*. 61: 870-886.