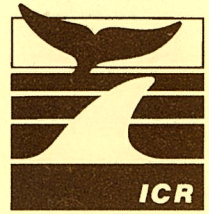


鯨 研 叢 書 No. 8



漁獲努力量とCPUE－捕鯨をめぐるって

田 中 昌 一

財団法人 日本鯨類研究所

財団法人 日本鯨類研究所

漁獲努力量とCPUE－捕鯨をめぐる

田中昌一（日本鯨類研究所）

要 約

単位努力量当り漁獲量（CPUE）が資源の豊度を反映しているということは、毎日海に出掛けている漁師にとっては、体験的な認識であったろう。過剰漁獲による資源枯渇を数量的に研究し始めた科学者は、CPUEの変動から資源変動を追跡し、乱獲の理論や最適漁業の概念を作り上げてきた。漁獲のモデルから努力量と資源量や漁獲量との間、あるいは死亡率との間の数量関係が導かれた。

捕鯨業についても、他の漁業と同様に、CPUEが1930年代には利用されていた。鯨資源は一般魚類より漁獲の影響を受けやすいので、資源の動向を追跡することは大切である。第二次世界大戦後国際捕鯨委員会（IWC）が設立され、本格的資源評価が始まった。南氷洋のシロナガスクジラやナガスクジラのCPUEが、捕鯨船の性能向上にもかかわらず減少していることが大きな問題となった。IWCの中で捕獲割当量削減をめぐる意見がまとまらないことから、南氷洋捕鯨非出漁国の資源解析の専門家からなる3人委員会が1960年に設置され、資源評価が行われた。この活動はFAOに引き継がれて1960年代の終わり頃まで続けられた。資源解析はCPUEのデータを中心に進められた。努力量としては延操業日数（CDW）が用いられた。当時広く用いられていた各種の資源解析の手法が利用された。動態モデルによって計算した資源の動向を、実際のCPUEの動向に当てはめることによって資源量や繁殖力などの動態特性値を推定する方法も用いられた。CPUEの解析に当って捕鯨船の性能や天候の影響の補正が試みられた。ナガスクジラの資源の減少に伴う主対象鯨種のイワシクジラへの転換も問題になった。

1970年代半ば頃から努力の単位はCDWより延操業時間（CHW）の方が良いとの意見が出された。1980年頃には探索時間（CSW）を用いるべきであると主張され、捕鯨船操業の実態の調査も進められた。多鯨種操業の問題に対応して、操業時間配分の考え方から、主対象種以外の捕獲鯨の処理時間を操業時間から差引くという方法も考えられた。捕獲鯨の処理のため、捕獲が多いほど探索時間が短くなり、CSWを用いても偏りの入り得ることが指摘された。

CPUEの偏りは一般の漁業でも深刻な問題であり、ICESやFAOでもしばしば取上げられた。特にむれを作る魚種では、CPUEが資源量に比例しないことが問題とされた。努力量を用いないcohort解析法により資源量を推定し、その動向とCPUEの動向を比較してみると、一般に漁具能率 q は資源量が増大すると減少することが示された。CPUEはむしろ資源量の平方根に比例すると考えたほうが良い。このような傾向があると、余剰生産量モデルで、不安定な平衡点が現れ、資源絶滅の恐れが出てくるが、この経過をCPUEだけでは十分に追跡できない。

1980年代に入りIWCの科学委員会（SC）の中で反捕鯨勢力が力を増してくると、CPUEやこれを用いた資源評価への批判が強まってきた。CPUEが資源量を表さないことを示すデータや理論が次々と提出され、あるいはその克服法が提案された。 q が時間や場所で変動している時は、CPUEと資源量の間比例関係が成り立たなくなる。資源量推定の方法は次第に目視調査による直接推定へと移って行き、南氷洋をはじめ、北太平洋、北大西洋でも大規模な調査が実施され、良い結果が得られるようになった。商業捕鯨のモラトリアムに関連して、鯨資源の包括的評価（CA）の作業が始まったが、その中で1987年にCPUE検討の作業部会が開かれた。この会合ではCPUEを否定はしなかったが、不十分な点の改善の厳しい要求も出され、悲観的雰囲気であった。CAの中で管理方式改訂の研究も進められたが、そこでは利用すべきデータが漁獲量と目視による資源絶対量の推定値と定められた。改訂された管理方式では、かなり苛酷な条件のもとでも安全な管理のことが示され、CPUEへの要求度は一層低下することとなった。近年では、目視調査の偏りが新たな問題となっている。

謝 辞

東京水産大学教授北原武博士、(財)日本鯨類研究所理事長大隅清治博士には、ご多忙中にもかかわらず、この報文全体のご校閲をたまわり、多くの有益な批判や助言をいただいた。ここに深く感謝申し上げます。

目 次

略号説明	4	
はしがき	5	
1. CPUEの概念	5	
1-1. 獲り過ぎとCPUE	5	
1-2. 努力量とCPUEの理論	7	
1-3. 資源量指数と有効努力	9	
2. 捕鯨業でのCPUEの利用	10	
2-1. 1隻当り捕獲数から延操業日数(CDW)当り捕獲数へ(戦前の議論)	10	
2-2. IWCでの初期のCPUE論議	10	
2-3. 3人委員会での論議	11	
2-4. 3人委員会の最終報告	13	
2-5. 4人委員会報告とFAOの協力	15	
3. CDWからCSWへ	18	
3-1. CHWの登場	18	
3-2. 修正DeLury法からBALEENまで	20	
3-3. 操業形態の分析とCSWの採用	23	
3-4. 努力量をめぐるいろいろな問題	25	
(1) 総努力grossCDWと純努力netCDW	(2) 複数種捕鯨の場合の努力の取扱い	
(3) 一般線形モデル(GLM)による天候等の補正		
(4) 資源の分布が偏っている場合のCPUE		
4. 漁業の中でのCPUEの議論	27	
4-1. CPUEの偏りの要因	27	
4-2. cohort解析の結果との比較	30	
4-3. むれを作る魚種のCPUEモデル	31	
4-4. むれを作る魚種の資源管理	33	
5. IWCのCPUEとの決別	35	
5-1. CPUEに対する批判	35	
(1) 1980年頃の議論	(2) 日別の捕獲と努力の逆相関	(3) 漁具能率 q の変動の影響
5-2. 鯨類の目視調査による資源量推定	39	
(1) 南ミンククジラの目視調査(IDCR/SOWER)		
(2) 南ミンククジラの捕獲調査(JARPA)		
5-3. CPUEと包括的評価	41	
(1) CPUE作業部会(1987)	(2) 改訂管理方式の開発とCPUE	
(3) 作業部会以後のCPUE論議		
むすびにかえて	47	
註;文献	48	

略号説明

- ACD (Acceptable catcher day) 努力の単位、NCDに捕獲のなかった日のうちBeaufort階級4以下の日を加えたもの
- ASDIC (Anti-Submarine Detection Investigation Committeeに由来する用語) アスデック、鯨探知機
- BALEEN ひげ鯨資源解析用プログラム
- BIWS (International Bureau for Whaling Statistics) 国際捕鯨統計局
- BWU (Blue whale unit) 捕獲限度量を与えるシロナガスクジラ単位 (註2)
- CA (Comprehensive Assessment) IWCで行っている鯨資源の包括的評価
- CDW (Catcher's day's work) 努力の単位、捕鯨船延操業日数
- CHPOP ひげ鯨資源解析用プログラム
- CHW (Catcher's hour's work) 努力の単位、捕鯨船延操業時間
- COMP (Composite series) 豊度の指数、Schweder (1994) による
- CPUE (Catch per unit effort) 単位努力量当り漁獲量
- CSW (Catcher's searching-hour's work) 努力の単位、捕鯨船延探索時間
- CV (Coefficient of variation) 変動係数
- FAO (Food and Agriculture Organization) 国連食糧農業機関
- GLM (Generalized linear model) 一般線形モデル
- ICES (International Council for the Exploration of the Sea) 国際海洋開発協議会
- IDCR (International Decade of Cetacean Research) IWC国際鯨類研究10年計画
- IWC (International Whaling Commission) 国際捕鯨委員会
- JARPA 日本の南氷洋ミンククジラ捕獲調査
- MSY (Maximum sustainable yield) 最大持続生産量
- NCD (Net catcher day) 努力の単位、net CDW、CDWから捕獲のなかった日数を差引いたもの
- RY (Replacement yield) 翌年までの資源増加量、平衡状態にない一般の場合で資源量を変化させずに漁獲できる量
- SC (Scientific Committee of IWC) IWC科学委員会
- SOWER (Southern Ocean Whale and Ecosystem Research) IWC南大洋鯨類生態系調査計画
- SY (Sustainable yield) 持続生産量
- VPA (Virtual population analysis) コホート解析法と呼ばれることもある

漁獲努力量とCPUE - 捕鯨をめぐる

田中昌一 (日本鯨類研究所)

はしがき

単位努力量当り漁獲量 (catch per unit effort, CPUE) は、資源量の相対的指数として現在でも広く応用されているが、その正当性については多くの議論がある。これらの議論を通じてCPUEあるいは努力量という概念自身がいろいろと改良され、あるいは否定されてきた。これらの歴史的過程を追うことは、CPUEを正しく理解し、その上に立って正当に活用するのに益するところが多いと考えられる。CPUEに関する議論はきわめて多く、その全体を紹介することは非常に難しい。ここでは、漁業全般についての議論の概要を示すとともに、捕鯨業について、CPUEに対する考え方の変遷を追跡してみたい。

1. CPUEの概念

1-1. 獲り過ぎとCPUE

資源学上の一つ概念としてCPUEを学んだ者からみると、総漁獲量の情報が基本であって、CPUEは資源解析のための処理された情報と考えるだろう。しかしもっとナイーブに考えると、1日の航海でとれる量とか、1回の揚網で得られる量こそが、毎日海で漁業に従事している個々の漁民にとって、最も直接的に魚の豊度を示す尺度である。総漁獲量の方がむしろ、何らかの組織を通して集められた多くのデータを集計しなければ得られない情報である。

過剰の漁獲によって資源が枯渇する恐れのあることは、古くから人々によって認識されており、資源維持のために人間の行為を規制するという考え方は、1000年以上の昔から実行されていた (田中, 1973)。近年になって (1883) この考え方に反論したのが Huxley のドクトリンで、彼は海の魚はとり尽せないとして、漁業に対する規制を廃止することを主張した。その10年後 (1893) 英国議会の下院特別委員会は、カレイ類の北海での1隻当り漁獲量が減少し、魚体が小型化していることを認めた。当時漁場は次第に遠くなっていたが、総漁獲量はむしろ増加していた。Petersen は1894年に獲り過ぎを戒めて、枯渇した資源を回復させ、その資源の生産量に見合った漁獲を続けるならば、より大きな利益が永久的に得られると主張した。(Graham, 1956)。資源の枯渇が漁業者の

直感できるCPUEによって認識されていたことに注目すべきである。

Russell (1931) はいわゆるRussellの方程式を提示した論文として有名であるが、彼はこの中で資源量の変化を測定する問題を論じている。トロール漁業で豊度の指標として航海1日当り漁獲量が広く用いられているが、英国では操業100時間当り水揚げ量が用いられるようになったという。この値は資源量の相対指数として意味があるとしている。なお理論的には漁獲量であるべきだが、実際には水揚げ量しか把握できないことから、一応区別している。

Kyleは操業地点の選び方、従事している漁船数、船の大きさや性能、目的魚種の差等によってCPUEは変化するので、CPUEで乱獲かどうかを決めることに大きな疑問を呈している。これに対してRussellはCPUEが正しいための条件として、(1) サンプリングが時空的に適当であること、(2) 長期的比較のためには漁獲性能が変化しないこと、(3) 市場の需要に変化のないこと、の3点をあげながら、豊度の尺度としてのCPUEの意義を強調した。彼はKyleに対する反論の中で、CPUEは漁期初めの資源量を与えるものではなく、残された資源量のそれぞれの時点での指数であって、ある期間中のCPUEは漁獲の影響を受けつつある資源のその期間中の平均的豊度を与えると説明する。Kyleは生産力の指数として総漁獲量の方が良いとして、もし漁獲の量や質が継続的に減少しているようであれば、生産力に対して漁獲の強さが大き過ぎると言えると主張する。しかしRussellは海中に残された資源量を知るためには、漁獲力の情報が絶対に必要だとし、一定の条件が満たされるならば、CPUEを用いることができると反論している。

Russell (1939) は北東大西洋のいくつかの資源について、乱獲の事例を示している。漁業が資源に重大な影響を与えることを、まず体長組成の違いによって示した。Barents海のplaice雌の漁獲の強化される前の体長組成は、成熟サイズの40cm以上が圧倒的に多かったが、強い漁獲圧を受けている北海では40cm以下の未成熟魚が大半であった。

北海のhaddockは第1次大戦後1919年頃には10cwt (hundredweight 50.8kg) 以上の航海1日当り漁獲量を示したが、1935年頃には、2cwt程度の値にまで落ちてしまった。この減少傾向の上に短期変動の波が見られたが、これは優勢年級の発生に対応していた。サイズ組成でみると、銘柄小が大戦前50%、1922~29年70%であったものが、1936~37年には90%を越えた。漁獲量は1910~13年に12万トン、戦後3年間19万トン、1927~29年13万トン、1930~36年9万トンと減少した。漁獲の強さを強化したのに漁獲量は減少した。これが乱獲現象である。

アイスランド水域のトロール漁業でみると、1920~37年の間に努力量は3倍くらいになり、この間漁具の改良もあったが、haddockやplaiceのCPUEは著しく減少し、漁獲量も1930年頃から顕著な減少を示した。乱獲現象が明瞭に示されている。一方codのCPUEはこの間維持され、漁獲量は相当に増大した。自然的要因で豊度が増加したと考えられている。

Hjort, Jahn and Ottestad (1933) は、北海のplaiceを例に上げて、操業1日当り水揚げの変動とサイズ組成の変化を調べ、強度の漁獲が総漁獲を減らすことを示し、最適漁獲を考えた。彼らはイースト菌や人口の増加によく適合するロジスティック増殖曲線を鯨資源に適用して、増殖量が最大になる水準にまで資源を減少させると、最大の捕獲が永続的に得られることを示した。しかし実際の資源では最大の増殖量がいくらであるか不明のため、1隻当りの捕獲数の変化を取り上げる。

スペイン、ポルトガル沖の捕鯨は1921年から1927年までの7年間しか続かなかった。ここでは総捕獲数は1925年に最大となったが、1隻当りの捕獲は1923年に最大を記録してから急減している。総捕獲が増加を続けたのは、努力量の増加によるもので、限られた資源は過大な捕獲によってたちまちとり尽されてしまった。彼らは1隻当り捕獲は漁場の生産性の良い指標であるとしているが、ここで言う生産性が厳密に何を意味しているかは明らかでない。またこれが資源量の相対指数であるとも述べていない。漁獲のモデルに基づく厳密な意味でのCPUEというよりは、より感覚的な表現のように思われる。1隻当りの捕獲が、総捕獲より早い段階で最大になった点に注目しているが、これが正しく資源量の相対指数であるならば、Russell (1939) にあるアイスランド水域のトロールの例のように、単調減少になっているはずである。

1-2. 努力量とCPUEの理論

Baranov (1918) の論文は極めて先駆的であったが、ロシア語で書かれていたために、欧米諸国にはあまり知られていなかった。1930年代になると、ICESの中でも注目され、論文にも引用されているが、彼のモデルは1950年代になってBeverton等によって改良されるまで (Beverton, 1953)、ほとんどそのまま適用されてきた (例えば田中, 1954; 山中, 1954)。Baranovは漁獲係数と漁獲量の関係を求め、ある自然死亡に対して、漁獲量が最大になる漁獲係数のあることを示した。Baranovは死亡のモデルを微分方程式として設定する際に、年齢組成の形に注目している。年齢別の尾数 n の対数が年齢に対して直線的に減少することに基づいて、その直線の傾斜から瞬間率としての全死亡を与えた。瞬間率であるから、漁獲死亡と自然死亡が存在する時は、全死亡は簡単にそれぞれの死亡に分解できる。死亡した総数のうちの死亡原因別の割合はそれぞれの瞬間率の比に比例する。

彼は漁獲死亡をモデル化するにあたって、トロール漁業の漁獲モデルを考えた。このモデルはその後も、基本的にはほぼそのまま現在まで適用されている (田中, 1985)。しかしこの論文のなかで、努力当り漁獲量については触れていない。なおBaranov (1925) は北海のカレイ漁業について、豊度の指数として1日当り漁獲量を用いている。

ある面積 S の海底に魚が均等に分布しており、また移動しないものとする。トロール網の1回の曳網でカバーされる面積を s とし、この面積は相互に重ならないとする。カ

バーされた総面積の S に対する比が漁獲強度の一つの尺度となる。Baranovはこれを幾何学的漁獲強度と呼んだ。 s 中の魚の実際に漁獲される効率を g とする（原著では f を用いている、巻末註1）。 T 日間の総幾何学的漁獲強度を U とすると、1日の漁獲強度は gU/T である。このような漁獲が T 日間続いた時の漁獲強度は

$$1 - \{1 - gU/T\}^T \quad (1.1)$$

となる。 T を無限に大きくした極限では、この値は $(1 - e^{-gU})$ となる。ここで自然死亡はないものとしているが、自然死亡のある時も全死亡について類似の式が得られる。

(1.1) 式とまったく同じ式を田内 (1936) も示している。そして単位努力当り漁獲量がストック量の目安になるかどうかについて、多少の疑問があるとしている。その理由は流網1統が1漁期中に総数 N のストックから kN だけを漁獲したとすると、 n 統の総漁獲は

$$\{1 - (1 - k)^n\} N \quad (1.2)$$

これを n で割るとCPUEは k の3次以上の項を無視して $kN \{1 - (n-1)k/2\}$ となる。漁獲努力が多いほどCPUEは kN より小さくなる。

Baranovは幾何学的漁獲強度の考え方によって、年間の漁獲強度の推定を試みている。オッターボード間の距離は20m、曳網速度3ノットとして、1時間につき0.034平方マイルをカバーする。北海全体では6平方マイルにつき1航海で、1航海の操業日数は3~4日、1日の曳網時間は20時間程度である。漁具効率を1とすると、漁獲強度は0.4程度になる。この考え方は、掃海面積法に相当する。この推定値は漂流ビンのトロール漁業による回収率、標識カレイの再捕率から求めた漁獲強度と類似した値になった。

CPUEと資源豊度の関係を理論的に論じたのはRicker (1940, 1944) である。Baranovの式 $(1 - e^{-gU})$ を m と書くと、これは漁獲死亡のみが作用している時の1漁期間 (1年間) の漁獲率となる。漁獲努力 (Baranovの U) が f_1 および f_2 であった2漁期について漁獲率を比較すると

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{\ln(1 - m_2)}{\ln(1 - m_1)} \quad (1.3)$$

となる。 m の変化は f の変化よりゆるやかになる。 $-\ln(1 - m) = gU \equiv p$ は漁期単位の瞬間漁獲率になっており、この値はその漁期中の努力量に比例する。初期資源量を N とすると、漁獲量 C は

$$C = mN = (1 - e^{-gU}) N \quad (1.4)$$

したがって、努力当たり漁獲量は

$$C/U = (1 - e^{-gU}) / U \cdot N = (1 - e^{-gU}) / (gU) \cdot gN \doteq gN \quad (1.5)$$

となり、厳密には初期資源量を示してはいない。この点はRussell (1931)、田内 (1936) も指摘している。正しくは漁期中の平均資源量に対応している。

1-3. 資源量指数と有効努力

努力量の理論に関連した重要な発展は、資源量指数あるいは有効努力の概念の導入である (Gulland, 1955)。Baranov (1918) は漁獲のモデルを適用する条件として、魚群が均等に分布していることをあげ、またRussell (1931) はCPUEが正しいための条件の一つとして、サンプリングが時空的に適当であることをあげている。またRicker (1940) も、努力が魚群の分布する海域全体に均一に拡がっていることを前提としている。実際の漁業では漁業者は魚群の分布の密な所を求めて努力を投下しようとする。市場の需要が変化すると、より有利な魚種を求めて漁場も変化する。Russellは条件の一つに需要の変化しないこともあげている。漁場選択の影響は時に極めて顕著である。

Gulland (1955) はある海域での魚群の平均密度のその魚種の全分布域での平均密度に対する比をconcentration (集中度) と呼んでいる。集中度の異なる海域への努力の配分が年によって違っていると、総漁獲を総努力で割ったCPUEは、資源量の変化とは無関係な変動を示す。

以西の底魚漁業ではタイ類の1曳網当り漁獲量が1920年から1930年頃までの間に1/10以下にまで減少した。漁獲によってタイ類資源が著しく減少したことは事実だろう。しかし木部崎 (1956) は漁場の移動による面の大きいことを主張している。レンコダイの主要分布域は東海大陸棚縁辺部であるが、底魚漁業の主漁場はグチ類などの多い大陸沿岸寄りに移動した。そのためCPUEは見掛け上著しく低下してしまった。山東半島沖の漁場でも、コウライエビ資源の開発が始まると、シログチ濃密域での努力が低下し、全体的にCPUEが著しく低下した。コウライエビの資源が減少すると、シログチのCPUEは回復してきた。

このような影響を取り除くのが資源量指数の考え方である。Baranov (1918) の底曳網のモデルで考えると、1回の曳網の漁獲量は、その場所での魚群の密度に比例する。ある細分された漁区を考え、その中での魚群の分布に濃淡があっても、それがランダムな変動とみなせるような場合、その漁区の中では集中度は一定と考えられ、そこでのCPUEはその漁区の魚群密度を表していると言える。とすると、漁区ごとのCPUEにその漁区の面積を掛け、その魚種の分布域全体の漁区について加え合わせると、その資源全体の量の相対指数が得られる。(Gulland, 1955)。資源量指数をその漁場の全面積で割ったものが資源密度指数である。CPUEが資源密度を表すという考え方を裏返して、総漁獲量を資源密度で割ったものは、ある種の努力量を表している。これは、努力量の分布

の偏りを補正した有効努力量である。

田中（1957）は以西底曳網で漁獲されるレンコダイのCPUEに見られる最大8倍に達する大きな季節変動が資源量指数によってほとんど除かれることを示した。CPUEの季節変化は、季節による努力の分布の違いによるものである。

2. 捕鯨業でのCPUEの利用

2-1. 1隻当り捕獲数から延操業日数(CDW)当り捕獲数へ(戦前の議論)

大隅（1969）によると、捕鯨業で初めてCPUEを用いたのはHjort *et al.*（1932）である。彼らはノルウエー船団の南氷洋での詳細な操業報告をまとめ $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ 海区ごと月ごとのシロナガスクジラとナガスクジラの捕獲/隻を表にした。Hjort, Jahn and Ottestad（1933）は捕獲の影響を見る時、船団ごと、あるいは全船団の総捕獲を見るより早い段階で捕鯨に対する資源の反応を見ることができるとして、捕獲/隻がよいとしている。

この考え方に基づいてノルウエー船団のCPUEを計算したが、翌年の1931/32の漁期からは、努力量として捕鯨船の延操業日数（CDW）を用いている（Hjort *et al.*, 1933）。捕鯨船によって操業日数が異なっているため、隻数よりCDWの方がよりよく捕獲圧を表す。CDWは1980年頃まで使われることになる。天候や氷の状態のデータも利用できるが、捕獲/CDWに影響するのは鯨の資源量が重要で、他の要素は副次的と考えられている。

全鯨種の総捕獲数をシロナガスクジラ単位（BWU巻末註2）で表した時、BWU/CDWおよび油生産量/CDWは漁場の生産性の最良の指標であるとしている。各船団毎の指標は、同様な年変動の傾向を示すが、古い船団ではそのレベルが低い。したがって、同一船団の年々の値を比較する方が安全である。南氷洋の海区によって指標のレベルが異なっており、古い漁場のI区で最低である。捕獲鯨の中でのナガスクジラの割合は古い漁場で高いが、これはシロナガスクジラ資源が減ったためである。

Hjort *et al.*（1934）は1933/34漁期までの4年間のCPUEの傾向を見ている。この間、BWU/CDWはむしろ増加した。ただし漁場が変わったことに注意する必要があり、また1932/33漁期以降のレベルの上昇は、母船性能の向上によると考えられる。この年以降油脂価格の下落に対応して、ノルウエーと英国の協定により捕獲が制限されたが、そのために古い母船は処分され、最も装備の良い船が残った。

2-2. IWCでの初期のCPUE論議

戦後1946年に国際捕鯨取締条約が作成され1948年に発効し、国際捕鯨委員会（IWC）が設立された。1949年の第1回年次会合で科学委員会（SC）が設置され、1951年の第3回から日本も条約に加盟して参加した。SCの設立とともに資源評価の議論が始まった。ザトウクジラの捕獲割当量が問題になり、シロナガスクジラ資源の動向についても検討

された。

当時すでにシロナガスクジラ資源の減少が憂慮されていた。資源減少の証拠として、以下のような情報があげられている。捕獲数の減少、シロナガスクジラとナガスクジラの合計捕獲数の中でのシロナガスクジラの割合の低下、CDW当り捕獲数の減少、平均体長（平均年齢に対応する）の低下、小型未成熟鯨の増加。これらはいずれも一般に資源減少の兆候とされるものであるが、その中の一項目としてCPUEも参照されている。（IWC, 1953）。

1954年SC会合報告にはⅡ区からⅤ区でのシロナガスクジラのC/CDWが1929/30～1938/39および1945/46～1951/52について与えられている。この間C/CDWはかなり顕著に減少している。この減少がSCで議論された。戦後、船型が大型化し、性能が向上しているため、長期的比較には適さない。資源が減少したことは間違いないが、その程度は明らかでない。1929～34年に比べて、1952/53のCPUEは1/4にも下がっており、この間捕鯨船の性能が向上していることを考えると、実際の減少はもっと激しいはずである。なお母船式捕鯨でCPUEに影響する要因としては、砲手の技能、船の大きさ、馬力数、母船能力と捕鯨船の数の比、天候、その他をあげている。シロナガスクジラの1～2月のC/CDWが長期の比較には最善の尺度であるとしている。（IWC, 1954）。

1955年以降、CPUEはSC報告の話題にはなっていない。当時のSCでの大きな課題は、ナガスクジラ資源の問題であった。耳垢栓や卵巣などによって年齢査定が行われ、捕獲鯨の年齢組成から死亡率が求められた。死亡率が高すぎて、資源が安定できないと懸念された。サンクチュアリー開放直後の全死亡率は10%であったが、古い漁場のⅡ～Ⅳ区では22%にもなっていた。この頃SCは捕獲枠15,500BWUを削減すべきことを勧告していたが、1,000BWUの削減もなかなか実現しなかった。（IWC, 1955～1957）。これらの議論を記録したSC報告の中には、CPUEという言葉はほとんど出てこない。

2-3. 3人委員会での論議

1960年5月のSC特別会合の報告には、再び努力量の問題が登場する（IWC, 1960）。1959/60漁期の母船の平均漁場滞在日数は99日に達し、過去3年の平均の69日に比べて大幅に増加したが、捕獲は1958/59の15,235BWUより1.8%ふえただけだった。シロナガスクジラのC/CDWは低下し、ナガスクジラのC/CDWも、捕鯨船の性能向上にもかかわらず減少傾向を示した。その外の兆候も資源減少を示しており、捕獲量の相当の削減なしには資源状態はさらに悪くなると述べている。SC報告は最後に繰り返して、シロナガスクジラ、ナガスクジラ、ザトウクジラの大幅な捕獲制限強化を勧告した。

このSCに引き続いて開かれた6月のIWC年次会合で、英国代表はノルウェーとオランダの脱退に対する憂慮を表明していくつかの提案を行なったが、その中でSCの資源状態に対する懸念に関連して、3人の科学者による小委員会の設置を提案した（IWC, 1961）。

この委員会は南氷洋非出漁国の資源解析の専門家からなり、南氷洋鯨資源に対して独自の評価を行い、IWCによる適切な保護策検討の科学的根拠を提供するとされた。Allen (N. Z.)、Chapman (USA)、Holt (FAO) の3人が指名された。IWCはこの会合で決議を採択し、5項目の3人委員会の任務を定めた。この中で、利用できるデータのレビューや、解析方法の研究などと並んで、現行の努力の測定および標準化法についてレビューし、その改善を提案することをあげている (IWC, 1961)。

3人委員会は、1961年4月ローマのFAO本部でSC特別委員会の作業部会と合同で会合を持ち、これからの研究の方向を検討した (IWC, 1962)。解析の基本的資料である努力量の測定に関しては、CPUEを利用可能な資源豊度の指数としてその重要性を強調した。そしてCDWは捕獲に要する時間を考慮することによって改良可能、性能向上の補正の方法を知ることが重要、天候の影響についての国別の研究も活用、などを確認した。議論の全体は、大隅 (1969) の中に再録されているが、その要点をあげると以下のようになる。

まず漁獲努力に関連した言葉の定義が与えられている。努力量は漁場滞在日数 (gross CDW) から捕獲のない日を除いた操業日数 (net CDW) とする。捕獲には探索、捕獲、浮鯨など全ての作業を含む。国際捕鯨統計局 (BIWS) は捕鯨船数×漁期中の日数としてCDWを求めているが、探索、捕獲の実時間も考慮した方が良いと考える。時間のロスの要因としては、天候、給油、修理、捕獲停止、特別任務従事、調査活動が考えられる。これらは、漁期ごとに比率が一定の場合と変動する場合があります。変動の内容としてはランダムな場合と傾向的变化の場合がある。特別任務や一部の天候はランダムであるが、給油、天候、捕獲停止は減少、修理、調査は増加傾向にあると考えられる。これには捕鯨船の大型化、ディーゼル化が関係しており、性能の向上によって一日の操業時間は長くなると思われる。捕鯨船の性能は同一年内の船間でも、また年の間でも変動する。砲手・乗組員の技術、船型、馬力、速力など、砲、銛などの機器・資材、航海機器や操業方法の差なども関係する。近年の鯨致死時間の短縮は、探索時間の増加につながる。

以上の諸要因を全て取り上げると作業量が膨大になってしまうので、船団を母船の特徴、捕鯨船等の特徴と隻数によって分類して等級をつけ、船団全体の捕鯨従事日数を日数とする。捕鯨船のトン数、馬力、速度などを性能の指標として検討する。漁獲なしの日を操業日数から除き、さらに性能の指標として選定された特徴によってこれを補正して、新しい努力の尺度とする。一方ログブックを調べて、捕鯨船の操業の実態を分析してみる。天候要因に関して研究が必要であり、いくつかの船団を選んで、風速、視程のデータを集め、捕獲への影響を2、3年かけて分析する。

この会合では、資源評価のためのデータの取扱い方も議論されている。資源を評価するには、自然死亡、漁獲死亡、再生産関係の推定が必要である。利用するデータは各年の年齢組成と努力量である。BIWS統計から可能な限り性能の傾向を取り除き、標準努力

を求めてCPUEを出し、これに年齢一体長相関表によって計算した年齢組成を適用して毎年の年齢別資源量指数を求める。全死亡係数 Z と努力量 E の相関から漁獲死亡係数 F と自然死亡係数 M を分離する外、標識放流の結果も利用する。成熟雌資源量の指数と加入量の指数の比較から再生産関係を知ることができる。

2-4. 3人委員会の最終報告

3人委員会の最終報告は、他の関連文書とともに1963年7月の15回IWC年次会合に提出され、これを出版することが決まった。また3人委員会の作業は英国のGullandを加えて1964年の16回IWCまで続けることとなった (IWC, 1964)。3人委員会の報告はIWCの14th Reportに印刷公表されている (Chapman *et al.*, 1964)。

3人委員会の資源評価の結論は、報告書冒頭の勧告のなかにまとめられている。シロナガスクジラ、IV、V区のザトウクジラは絶滅の危機にある。ナガスクジラも著しく減少して、MSYの水準以下である。したがって、次のことを勧告する。(1) シロナガスクジラとザトウクジラは相当期間禁漁とする。(2) ナガスクジラの捕獲限度は、7,000頭以下にする。(3) BWUを廃止し、種別に捕獲枠を定める。(4) 全ての南鯨参加国のデータを集めて、資源解析を継続する。BWU方式については、第2回の中間報告を引用して再録し、次のように警告している。BWUは行政的にやりやすく、また弾力的操業を可能にするが、鯨資源全体としてのMSYの実現はできず、個別資源の乱獲をもたらす。

3人委員会が用いた資源評価の方法は、標識放流法の他に、年齢組成の解析、CPUEの減少を利用するDeLury法、余剰生産を求めるSchaefer法である。ナガスクジラの場合を例としてCPUEの用い方を説明する。努力としてはCDWおよびトン数補正をしたCDWを用いている。なお標識放流のデータ解析でも一部努力量を用いているが、ここでは割愛する。

年齢組成の解析は、年齢別のCPUEのデータを用いる。全死亡係数は

$$Z = \ln \{ (t+1 \text{ 年の } 5 \text{ 歳以上の CPUE}) / (t \text{ 年の } 4 \text{ 歳以上の CPUE}) \} \quad (2.1)$$

として計算する。自然死亡係数 M は捕獲の影響の少なかった時代の年齢組成からHeinckeの方法で計算している。

$$e^{-M} = \frac{n+1 \text{ 歳以上の割合}}{n \text{ 歳以上の割合}} \quad (2.2)$$

この式で n を 5 歳、6 歳、7 歳とし、それぞれの場合の M の平均をとる。1957/58～1960/61の間の各海区、各月等の年当りの Z の平均はCDWを用いた場合0.380であった。一方1931/32の Z は雌雄の平均が0.05であった。これを M とみなすと F は0.33となる。この4年間の平均捕獲数は26,082頭であったので、0.33で割って、資源量は79,000頭となる。

トン数補正をした努力を用いたときは71,000頭となる。5歳以上のCPUEと4年後の4歳のCPUEを比較して加入率 r も推定できる。

DeLuryの方法は年別の全海区でのCPUEに適用する。CPUEは戦後増加したが、1955/56頃を頂点として減少に向った。普通のDeLury法では漁獲以外の減少要因はないとするが、ここでは加入、自然死亡も無視できない。加入、自然死亡ともに資源量に比例するとして、1955/56を基準にして、これに毎年の資源量に加入率 r を掛けた加入量を加え、自然死亡率 M を掛けた自然死亡量を差し引いて、1961/62年の資源量を出す式を導く(3-2参照)。各年の資源量を基準年の資源量に対する比で表し、これに各年のCPUEを代入する。 r と M は別に推定した値を入れる。こうすると未知数は1955/56年の資源量だけとなって式が解ける。この値から1957/58~1960/61の平均資源量を計算する。CDWを用いた時133,000頭、トン数補正を行なうと105,000頭となり、 F の値からの推定値より高い値となった。

Schaeferの方法では、資源が比較的安定していた1950/51~1956/57を基準にとり、この年の資源量を3段階に仮定して、5年毎の各期間のCPUEから換算した資源変動量と平均捕獲量から余剰生産(SY)を計算している。1956/57以降捕獲量が余剰生産を上回り、1961/62には資源は著しく減少してしまった。この状態で余剰量が資源量に比例するとし、その比例定数 $r-M$ を2段階に仮定して各年のSYを計算し、さらにMSYの水準に回復するのに要する最低の年数を求めている。少なくとも4年から7年はかかると計算された。

Gulland and Kesteven (1964) は、最終報告のAppendix 2で天候の影響を分析している。強風や視程の悪い時の捕鯨操業への影響は時に極めて大きい。ノルウエー、日本、オランダ、英国から提供された毎日の風力と視程および種別の捕獲データを分析した。視程を3段階、風力をBeaufort階級にしたがって11段階に分け、同一の天候条件の日の操業1日当りの捕獲を計算した。視程良・普通、風力3~4を標準とし、各天候条件の時のCPUEを標準の条件下の値に対する比として表し比較した。漁期前半と後半の傾向は全く同様であった。船団間で、また年間でもそれぞれの傾向は類似していた。天候によるランダムな影響は重大ではない。大型の捕鯨船は荒天下でも操業できる点が問題であるが、実際のデータでは、影響は見られない。視程と風力階級の組合せごとに天候の補正係数を求めることができる。実際にノルウエーと英国の船団について、年別の努力の補正係数を求めてみたが、2つの系列間で相関は低かった(最終報告, Appendix 3)。

天候の影響でCPUEに誤差が生じたと見られる例をHolt and Gulland (1965) が4人委員会の報告の補遺のなかに示している。1963/64の捕獲は3人委員会の予想より8%高かった。この年の捕獲の半分はII区であげられたが、この海区では異例の好天に恵まれ、1962/63漁期とほぼ同じCPUEを達成できた。一方天候条件が例年並だった他の海区では、25%あるいはそれ以上の減少となった。

捕鯨船の性能についても検討した（最終報告, Appendix 4）。データはノルウエー母船のものである。努力量としては日長、風力、視程で補正した値を用いた。各船のCPUEの馬力あるいはトン数への回帰を分析した。馬力よりトン数の方が相関が高かった。性能はトン数に比例すると言って良い。

3人委員会の報告中の努力量測定の検討の内容は、Holt and Gulland (1964) にかなりくわしく紹介されている。

2-5. 4人委員会報告とFAOの協力

Gullandを加えた4人委員会の報告は1964年6月に提出された (Chapman *et al.*, 1965)。この報告では、1963/64漁期のデータを加えて解析が行われた。結果は3人委員会の報告と同様であった。ナガスクジラのトン数補正されたC/CDWはさらに減少し、前年比19%減の0.96となり、資源状態の悪化が明らかとなった。

4人委員会の作業が終わった時、この種の解析を1965年以降も継続することが要望され、FAOは協力を了承していた (IWC, 1965)。しかし、1964年のIWCでSCの勧告の線での捕獲制限が合意できなかったため、FAOとしてはこれ以上資源の評価に責任を負うことはできないとしてきた (IWC, 1967)。ただし解析そのものは継続されるべきであるとして、BIWSの協力を得てFAOのGulland、Holt、Boeremaの3人が1964/65漁期以降も計算を続けることとなった (FAO, 1966)。

当時主捕獲対象はナガスクジラからイワシクジラに移りつつあり、分布域の差から漁場も変化し、努力が50°S以北の低緯度海域に集中するようになった (表2-1)。船団がどちらの鯨種を選ぶかによって鯨種別の捕獲を全努力で割ったCPUEは大きく変化する。補正をしないイワシクジラのC/CDWは1962/63~1965/66に急増し、逆にナガスクジラは急減した (表2-2)。この種の問題は、1-3の有効努力の節でもふれた。この影響を除くため、海域を経度と緯度によって層別 (Division) し、月別も考慮して、各層でのCPUEを単純に平均して資源量指数を計算する方法が良いとされた (FAO, 1966)。イワシクジラのCPUEが急増した1963/64と1964/65の間で、全体のCPUEと海区別月別のCPUEの平均を比較すると、表2-3のようになる。イワシクジラのCPUEはいずれも増加しているが、総努力で割ったものが2.8倍なのにくらべて、平均をとった方では2.0倍と、比較的緩やかになっている。

表 2-1 緯度別のCDWの分布割合 (%) (Chapman, 1971)

漁期/緯度	40~50°S	50~60°S	60~70°S	70~80°S
1962/63	22.3	45.3	32.3	0.1
1963/64	22.7	62.4	14.9	—
1964/65	38.3	52.2	9.5	—
1965/66	54.7	19.9	25.4	—
1966/67	44.4	15.0	39.1	1.5
1967/68	36.7	31.6	31.7	—
1968/69	47.4	28.1	24.5	—
1969/70	66.4	13.6	20.0	—

表 2-2 総捕獲数と補正をしないCDWあたり捕獲数 (Chapman, 1971)

漁 期	総捕獲数		捕獲数/CDW	
	ナガスクジラ	イワシクジラ	ナガスクジラ	イワシクジラ
1959/60	26,415	3,234	1.24	0.15
1960/61	27,374	4,310	1.14	0.18
1961/62	26,364	4,716	0.88	0.16
1962/63	18,636	5,482	0.83	0.24
1963/64	13,853	8,256	0.68	0.40
1964/65	7,303	19,845	0.42	1.13
1965/66	2,312	17,558	0.18	1.34
1966/67	2,882	12,350	0.24	1.05
1967/68	2,152	10,352	0.22	1.06
1968/69	3,014	5,770	0.36	0.69
1969/70	2,996	5,830	0.38	0.73

表 2-3 資源豊度の指数 (IWC, 1967)

漁 期	総捕獲/総努力		海域別漁期計CPUEの平均		海域別、月別CPUEの平均	
	ナガスクジラ	イワシクジラ	ナガスクジラ	イワシクジラ	ナガスクジラ	イワシクジラ
1963/64	0.68	0.40	0.62	0.36	0.61	0.37
1964/65	0.42	1.13	0.43	0.72	0.46	0.73
両年比	0.62	2.8	0.69	2.0	0.75	2.0

FAOグループ (1966) はCPUEが漁期中間の資源量の指数になっているという前提で、データの不十分な南のイワシクジラの資源量の推定を試みている。まず資源量の推定されているナガスクジラのCPUEとの比を用いて、イワシクジラの資源を推定する。1964/65の海域別漁期計のCPUEの平均は、ナガスクジラが0.43、イワシクジラは0.72であった。ナガスクジラの資源量を30,350としてCPUEの比で換算すると

$$30,350 \times (0.72/0.43) = 51,000$$

となる。CPUEの誤差を考慮して、まるめて50,000とし、1964/65のイワシクジラの漁獲量の半分を加えて1964年11月の資源量を60,000と見積る。このような計算が許されるにはナガスクジラとイワシクジラが混合して分布しており、発見、捕獲の可能性が同じという条件が必要である。このため、イワシクジラの主漁場で、ナガスクジラのほとんど獲れないⅡ区のDゾーン（40°-50°S）を除いて計算した。

一方ⅡW区については1963/64以前の捕獲が小さいため、DeLury法による直接推定が可能である（FAO, 1967）。1964/65の捕獲は大部分がこの海区であげられ、このCPUEは1965/66にかけて減少している。1年目の漁期中間の資源量を N 、2漁期の平均捕獲を C 、純加入率を $(r-M)$ 、2年目のCPUEの1年目のCPUEに対する比を h とすると

$$N - C + (r-M) N = hN \quad (2.3)$$

となる。ここで C 、 h に観測値を与え、 $(r-M)$ には別に推定されている0.1を適用すると、 N が求まる。この N に1年目の捕獲の1/2を加えて漁期はじめの資源量を計算する。1964/65、1965/66の両漁期にわたって操業のあった緯度ゾーン×月6組を用いると、CPUEが1.90から1.41に24%低下した。6組のうちCPUEの増加した1組を除くと、2.12から1.24へ42%減となった。これらの値を用いて N を計算すると、32,000と21,000という値が得られた。1964/65の捕獲6800の半分を加えて39,000~28,000がⅡW海区の資源量推定値となる。

4人委員会の報告（Chapman *et al.* 1965）はその第Ⅲ章で、南鯨参加3カ国（A, B, C）間でのCPUEの差について論じている。一般に船団間で差のあることは知られていたが、この差は捕鯨船のトン数の差や操業海域の差だけでは説明できない。船団を国別でまとめて、ナガスクジラのCPUEの年による変動傾向を調べたところ、国の間に明瞭な違いのあることがわかった（図2-1）。1956/57年頃までは、特に目立った傾向はなく、2.0前後であったが、その後まずCが直線的減少を示し、A、Bも1958/59以後減少に転じた。この傾向は1963/64まで続く。BとCの下り勾配はほぼ同様に、1963/64にはそれぞれ0.66、0.36にまで下がっていた。Aの減少は緩やかで、同じ年の値は1.30であった。同一漁場で同一時期に操業した船団について比較しても、このような国別の差を除くことはできなかった。1963/64までの傾向で見ると、Aは操業の効率を年々改善していったと思われるが、もしそうなら資源の減少を過小評価することになる。（FAO, 1968, 1970）。

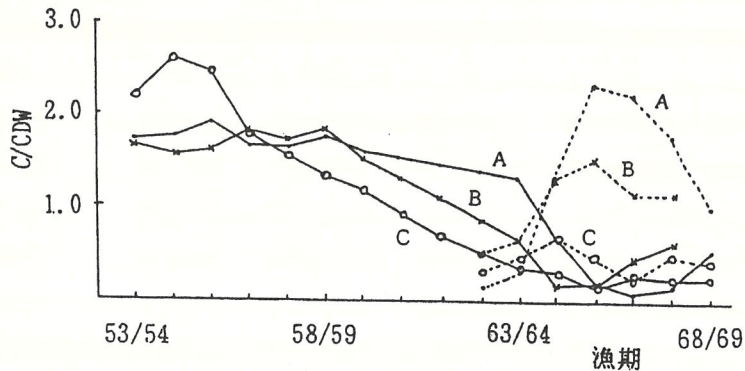


図2-1. 南氷洋ナガスクジラ国別C/CDWの比較。点線はイワシクジラのC/CDW

1964/65漁期からはイワシクジラのCPUEが急増し、ナガスクジラは急減した。この減少はとくにBとAで大きかった。イワシクジラの1965/66の値は、Aが2.32、Bが1.51、Cが0.44であった。一方この年のナガスクジラのCPUEは、Aが0.19、Bは0.18、Cは0.17で、ほとんど差がない。1966/67以降イワシクジラのCPUEが減少し、ナガスクジラのそれは回復の傾向を見せている。これらのCPUEの変化には、国による鯨種選択、そのための漁場の選択の結果がそのまま表れており、イワシクジラやナガスクジラの資源量の変動はほとんど反映されていないと言える。(FAO, 1970)。

3. CDWからCSWへ

3-1. CHWの登場

トン数補正のCDWが広く用いられ、また天候補正なども試みられたが、CDWに対する疑問、問題が解消されたわけではない。1970年3月の南のナガスクジラ評価の特別会で、次のように合意されている (IWC, 1971)。CPUEについてはさらに研究が必要であり、CPUEがどのような条件のもとでも正当な豊度の指数になっているとは言えないが、これは重要な情報を含んでおり、他のデータと合わせて検討すべきである。

1972年6月のSCでは、捕獲と努力のデータについての新しい研究の必要性が強調された (IWC, 1973)。鯨種選択の変化は測定が難しいが、この問題に対応する新しい方法の開発に最善の努力をするべきである。各国の研究グループは、天候、探索・追跡時間、各船の鯨種別発見数のデータを集め、解析を進めるとともに、航空機とかASDIC (鯨探機) などの補助機器の効果も研究すべきである。これらの研究によって、国間や船団間の性能の差を補正する標準的努力の尺度を明らかにすることをめざす。さらに1973年6月のSCでは、附表によって提出が義務づけられているデータを含めて、努力に関する次の諸データの提出を要請することが決められた (IWC, 1974)。各漁期ごとの各捕鯨船の

操業開始・終了日、漁場滞在日数、各操業日の探索、追跡、捕獲に費やした総時間、各捕鯨船の総トン数、ASDICの有無、航空機による毎日の探索距離。

この頃のCPUEに関する研究のいくつかを紹介しよう。Best (1973) は、Durban沖のマッコウクジラについて、1954~71年の間の航空機による目視の結果とCPUEを比較している。目視結果は大きく変動しているが、増減の傾向は見られない。一方トン数補正CDWでは1962年から急増している。ASDICの導入がこの増加をもたらしたと思われる。ASDICはひげ鯨にはあまり効果がないが、マッコウクジラの捕獲の効率は著しくよくなることが知られている。4~9月のC/CDWと、捕鯨船のASDIC装備率の間に直線的な関係のあることがわかった。ASDICの効果は大きく、全船に装備された1971年には効率が2.3倍にもなったと見積もられた。この関係を利用して、毎年の装備率からCPUEの補正を行ったところ、4~9月のC/CDWの増加傾向は全く見られなくなった。ナガスクジラの場合は、1950年代半ばと1970年頃の比較で目視結果で5%くらいにまで減少しているのに対して、CPUEは10%程度にしか下がっていない。一方イワシクジラは1970年頃にはDurban沖では捕鯨船からも、目視航空機からもほとんど発見できなくなった。

大隅・正木 (1974) は、捕獲枠が鯨種別に与えられている時には、努力量も鯨種別に出すことが望ましいが、これは極めて難しいことを認めている。ソ連船団は、南氷洋捕鯨でひげ鯨漁期中にマッコウクジラも捕獲しているので、ソ連船のCDWはナガスクジラやイワシクジラに適用できない。一方日本船団はひげ鯨のみを捕獲しているのでCPUEを計算できるが、ナガスクジラとイワシクジラの分離の問題は残る。同じ海区セクターで比較すると、ナガスクジラとイワシクジラのCPUEは逆の変化を示す。日本のミンククジラ専用船団では、1971/72以来努力量は時間単位で記録されているので (catcher's hour's work, CHW)、真の操業時間を知ることができる。探索、捕獲の実時間を考慮した方がよいことは、すでに1961年の3人委員会での議論の中で指摘されていたが (2-3)、実際に時間単位の努力が利用できるようになったのはこれが初めてである。

大隅 (1976) はCPUEを用いた南氷洋ミンククジラ資源の推定に関連して、努力量の問題を提起し、天候の影響と操業の時期を補正した操業時間を用いることを提唱している。なおソ連はミンククジラとマッコウクジラを混獲しているが、日本船団はミンククジラのみを捕獲しており、種間の選択の問題はない。日本船団では、削減された捕獲枠内でできるだけ多くの価値を生み出すため、毎日の操業を母船の処理能力に合わせてコントロールしており、操業中に捕獲停止となることがある。CDWではこのことが考慮されていない。

IV区についてCHWによるミンククジラの資源量推定を行なう。まず漁期間のCHWの天候 (風力) 補正を次のように行う。風力階級 i の時の補正係数を a_i 、各漁期中の各風力階級の日数を D_i とすると、補正係数は

$$w = \sum_i D_i a_i / \sum_i D_i \quad (3.1)$$

となる。CPUEは漁期半ばで高く、初漁期と終漁期に低い傾向がある。この影響を取り除くため、1971/72、1972/73の漁期の旬別のCPUEにもとづいて、旬ごとの補正係数 b_i を計算し、各旬ごとのCHW、 H_i で重みをつけて季節補正係数を

$$S = \sum_i H_i b_i / \sum_i H_i \quad (3.2)$$

によって求める。年別の補正されたCHWは次の式で与えられる。

$$X = (\text{CHW}) \cdot w \cdot S \quad (3.3)$$

1971/72漁期の資源量 N_0 をChapman (1974)のmodified DeLury法 (3-2 参照) で求め

$$N_{j+1} = (N_j - C_j) e^{-M} + N_0 M \quad (3.4)$$

によってその後の資源量を計算すると、表3-1のようになる。CDWによるCPUEは補正CHWにくらべて減少傾向が急なため、資源量推定値は低く見積られている。

大隅・山村 (1978) は南のイワシクジラにも同様な補正を試みているが、イワシクジラとナガスクジラとの選択の問題も加わり、条件がより複雑になる。

表 3-1 CHWおよびCDWを用いた時の資源量外挿結果の比較

漁 期	CPUE		捕獲数	資源頭数 (千)	
	補正CHW	CDW		CHW	CDW
1971/72	1.378	9.33	2,659	23.7	16.9
72/73	1.366	10.89	4,557	21.5	14.6
73/74	1.067	7.24	4,569	17.9	11.0
74/75	0.803	3.74	2,231	14.8	7.7
75/76				14.1	7.0

3-2. 修正DeLury法からBALEENまで

DeLury法を拡張して、自然死亡や加入のある場合へ適用する方法は3人委員会の報告の中で初めて使われているが、その後FAOグループによってもしばしば利用され、この流れをくむ考え方は1980年代にまで続く。その間具体的モデルはさまざまに修正されているが、CPUEのデータに依存している点は変わっていない。

3人委員会の用いたモデル (Chapman *et al.*, 1964) は、自然死亡はその年の資源量に比例し、加入量は加入群の生まれた年 (L 年前) の資源量に比例するというものである。式で表すと T 年の資源頭数は

$$N_T = N_0 + r \sum_{t=0}^{T-1} N_{t-L} - M \sum_{t=0}^{T-1} N_t - \sum_{t=0}^{T-1} C_t \quad (3.5)$$

となる。 t 年の $(CPUE)_t$ が得られているならば

$$N_t/N_0 = (CPUE)_t / (CPUE)_0 \quad (3.6)$$

とすると、未知数は N_0 のみとなり、計算できる。土井ほか (1970) はこの方法で南のナガスクジラ資源量を計算している。

FAOグループ (FAO, 1967) はこの式で加入量も N_t に比例するとして

$$N_{t+1} = N_t - C_t + (r-M)N_t \quad (3.7)$$

と置いている。CPUEの比から N_{t+1}/N_t を求め、 N_t を計算できる。なお純加入が漁期末の資源量に比例する場合は、 $(r-M)(N_t - C_t/2)$ となる (FAO, 1968)。この式で右端の純加入量の項を R と置くと N_t と R の関係が得られる。ここで別に推定されている R を代入すると、 N が負になるようなこともおこる。CPUEの誤差が大きいいため、この方法では一般に決定的なことは言えない (Chapman, 1971)。

鯨類の年級群の大きさは、成熟雌の数と妊娠率で左右され、資源への加入年齢が高いため実質的捕獲が始まってからしばらくの間は、捕獲の影響を受けていない年級群の加入が続く。南のイワシクジラでは加入年齢が15歳と高く、実質的捕獲は南氷洋母船捕鯨でイワシクジラの捕獲の急増した1960年代になってからである。したがって、1970年代の初めまでは、未利用で平衡状態にあった時代の年級が加入してくる。この平衡資源量を N_0 、自然死亡を M とすると、平衡時の加入量は自然死亡に等しく、 MN_0 で表される。この関係を利用したのが修正DeLury法である (Chapman, 1974)。捕鯨が始まった年を第1年とし、 i 年目のCPUE I_i が各漁期半ばの資源量を代表しているとして、第1年目以降は

$$\begin{aligned} I_1 &= q (N_0 - C_1/2) \\ I_2 &= q \{ (N_0 - C_1) (1-M) + MN_0 - C_2/2 \} \\ &= q \{ N_0 - C_1 (1-M) - C_2/2 \} \\ I_j &= q \{ N_0 - C_1 (1-M)^{j-1} - C_2 (1-M)^{j-2} - \dots - C_{j-1} (1-M) - C_j/2 \} \\ &= qN_0 - q \left\{ \sum_{i=1}^{j-1} C_i (1-M)^{j-i} + C_j/2 \right\} \end{aligned} \quad (3.8)$$

M が既知で、各年の I_j が得られていると、これの累積捕獲への回帰直線として N_0 と q が推定できる。回帰直線の x 軸との交点が N_0 となる。なお I としてCPUE以外の資源量指数、例えば目視データを用いることもできる。

Chapman (1974) はⅡ区からⅤ区までの海区別にこの方法を適用している。一方大

隅・福田 (1975b) は全域についての1964/65以降のCDWを用いて計算した。両者の結果は類似していた。各年当初の資源量 $N_t = I_t/q + C_t/2$ から

$$N_{t+1} = (N_t - C_t) (1 - M) + R_{t+1} \quad (3 \cdot 9)$$

として R_{t+1} を計算してみると、当然各年ともほぼ同じ値となる。この式を使って R_{t+1} の平均を適用して1961/62の資源を逆算することもできる。大隅・福田 (1975a) は北洋のイワシクジラの資源にもこの方法を適用した。資源量指数として日本船団のCPUEと探鯨船の目視記録を用いている。

Breiwick (1976) はChapmanの修正DeLury式と同様な式を用いて毎年の平均資源量を計算し、これと観測されたCPUEとの差を最小にするような N_0 と q を求めるという方法で、南のミンククジラの資源量の推定を行っている。ここでは捕獲が始まってからの経過年数が少ないために資源平衡時と同じ加入が続いていると仮定している。一方Breiwick (1977) は加入量は生まれた年の資源量に左右されるとして、大隅・福田 (1975b) と同じ式を用い

$$N_{t+1} = (N_t - C_t) e^{-M} + R_{t+1}, \quad R_{t+1} = rN_{t-t_r} \quad t_r: \text{加入年齢} \quad (3 \cdot 10)$$

とし、南のナガスクジラについて r の年変化をいろいろ仮定した。CPUE_t = $q(N_t - C_t/2)$ とおき、1955/56を第1年目として、毎年の期待漁獲量を計算し、これと実際との差の平方和を最小にするようにして N_0 と q を求めている。

Allen (1966) は X_t を努力量とし、 N_{t+1} 中での R_{t+1} の割合を W_{t+1} として

$$N_{t+1} = (N_t - C_t) e^{-M} / (1 - W_{t+1}), \quad \text{期待漁獲量 } C_t = (N_t - C_t/2) qX_t \quad (3 \cdot 11)$$

とおき、実際の漁獲と期待値の差の平方和が最小になるようにして初期資源と q を推定する方法を提案した。この方法はCHPOPとして鯨資源に適用された (Allen and Kirkwood, 1977)。ここで W_{t+1} は毎年の年齢組成から推定できる。

Breiwick (1977) や土井ほか (1970) は加入率 r について数値をいろいろ仮定して計算をしていた。これに対してAllen (1977) は加入量についてPella-Tomlinsonモデルを仮定し、密度従属的加入を導入した。動態モデルは次のようなものである。

$$N_{t+1} = (N_t - C_t) e^{-M} + N_{t-L} [1 - (N_{t-L}/N_0)^{n+1}] r_0 + M] \quad (3 \cdot 12)$$

L は初回出産年齢である。SCはこの式の係数を次のように与えている (IWC, 1977)。

$$r = 0.0567 [1 - (N/N_0)^{2.39}] + 0.06 \quad (3 \cdot 13)$$

このようにするとMSYの水準は $0.6N_0$ となり、その時の $r - M$ は4%となる。

Allen and Kirkwood (1978) はこのモデルを南のイワシクジラの場合に合わせて修正

し、加入年齢が雌の成熟年齢より高く、かつ捕獲開始前に成熟年齢が低下していた場合に適用した。このモデルで初期の資源量を与えると、各年の資源量が計算できる。計算資源量とCPUEの相関を求め、このモデルの適合性を検討している。

Allen and Kirkwood (1979) はさらにこのモデルを南のミンククジラにも適用できるように修正し、この計算プログラムをBALEENと呼んだ。南氷洋のⅣ区のCPUEおよび目視のデータから求めた資源量は4万頭となった。これを他海区の相対資源量指数で外挿し、全体の資源量が17万頭と計算された (IWC, 1980a)。CPUEの誤差法則がわかれば、CPUEの実測値と計算値の適合度から q と雌の初期資源量 N_0 の信頼限界を求めることもできる。なお1980年のⅣ区の資源量は5万頭前後と計算された (Grenfell and Beddington, 1981; Free and Grenfell, 1981)。

3-3. 操業形態の分析とCSWの採用

CPUEが広く利用されている一方で、これに対する批判、改良の試みも続けられている。1977年6月のSCの要請にもとづいて、大隅は同年11月の北マッコウクジラの特別会合に日本の沿岸および母船式の詳細な努力とCPUEのデータを提出した (大隅, 1980)。その中で捕鯨操業の内容を分析し、母船式、沿岸の双方について、操業の各段階の1日当りの平均時間を示した。ここで、探索は操業開始から鯨発見まで、追跡は発見から鉆命中まで、処理は命中から鯨体確保までの時間を表す。曳航は母船式では母船まで、沿岸では港までの曳航時間となる。

1977年のマッコウクジラ漁期について母船式の例で見ると、捕鯨船7隻の平均は表3-2のようになっている。1日当りの平均捕獲が2.03であるから1頭当りの探索時間は5.83時間となる。探索時間が実操業時間の大部分の84%を占めている。沿岸捕鯨では、漁場への往復時間が長くなり、探索時間の割合は小さくなる。1976、77年の漁期で探索、追跡、処理の中での割合を見ると、70%あまりの値になっている。探索時間は実操業時間の大半を占めてはいるが、その年、季節などによる変化が問題である。たとえば鯨の密度が高くなり捕獲数が多くなると、追跡、処理の時間が増し、探索時間は減少すると考えられる。

表3-2 母船式マッコウクジラ捕鯨の操業時間配分

	探索	追跡	処理	曳航	休息他	計
時 間	11.83	1.19	0.66	0.45	9.85	24.00
%	49.3	5.0	2.7	1.9	41.1	100

大隅はまた捕獲能力に影響するさまざまな要因についてデータを詳細に検討し、それ

ぞれ補正係数を求めている。トン数とCPUEの間の相関は高くない。複数の捕鯨船が協同して操業するためであろう。ASDICはマッコウクジラ追跡の際に効果があるとされるが、C/CDWへの影響は沿岸、母船式とも小さかった。天候の影響は顕著で、Beaufort階級が増すごとのCPUEは低下する。小型の捕鯨船は特に影響が大きい、600トン以上になると、船の大きさによる差はなくなるようだ。直接捕獲に従事しない探鯨船の努力をどう評価するかは問題だが、同一年内の船団間で探鯨船を含めたCPUEを比較したところ、探鯨船の有無でほとんど差がなく、探鯨船の努力をそのまま加えるのがよいと考えられた。母船式の漁場は長年の間に次第に南へ移動している。マッコウクジラの分布は偏っている、漁場でのCPUEは決して資源全体の量を代表しないという大きな問題もある(3-4.(4))。

1978年のSC会合に先立って同年5月に開かれたミンククジラの特別会合で、大隅(1979)は、南氷洋ミンククジラ資源解析に関連して、CDWの詳細な分析をしている。捕鯨の操業時間は探索(S)、追跡(C)、処理(H)、曳航(T)、休息(R)の各段階の時間から構成されている。従来用いられていたCDW、CHWは次のように定義できる。

$$CDW = T_s + T_c + T_h + T_t + T_r, \quad CHW = T_s + T_c + T_h + T_t \quad (3.14)$$

この中で、探索時間 T_s のみを取り出したのがCSW (Catcher's Searching-hour's Work)である。鯨の密度が高ければ1頭当りの探索時間は当然短くなる。したがって、C/CSWは密度に直接関連していると考えられる。

操業時間のくわしいデータのない時には、なんらかの方法でCSWの推定が試みられている。たとえば、南のイワシクジラあるいはニタリクジラについて、CHWから捕獲1頭につき1時間づつ差し引いてCPUEを計算している(IWC, 1979)。

Beddington (1979)は探索時間に関連して、C/CDWを漁獲のモデルから検討した。努力と漁獲の関係は普通 k を隻数、 T を時間として $C=qkTN$ と置く。 (C/kT) が N に比例する。ここでrandom encounterの場合の捕食-被捕食の関係に対比してみると、 k が捕食者の数、 T は探索時間 T_s となる。捕鯨の場合の T は、探索時間の外に、捕鯨に関係のない作業の従事時間 T_w と捕獲鯨を処理する時間 T_h を含んでいる。すなわち $T=T_s+T_w+T_h$ である。捕獲鯨1頭の処理時間を h とすると、 $T_h=h(C/k)$ となる。漁獲のモデルの T を T_s で置きかえると

$$(C/k) = qN(T - T_w) / (1 + qhN) = qN(CHW) / (1 + qhN) \quad (3.15)$$

の関係を得る。両辺をCHWで割るとCPUEの式となる。Beddingtonはマッコウクジラのようにむれをつくる鯨や種選択が問題になるひげ鯨の場合についても、より詳細なモデルを提案している。この式で注意すべきことは、CPUEが N に対して双曲線の形をしており、 N の変化に比例しないことである。C/CDWは初期資源からの減少をよりゆるやかに

に表現する。したがってDeLury法を適用すると、資源量を過大推定して、捕獲の影響を過小評価することになる (Holt, 1979; Fowler, 1980)。Rørvik (1980) は追跡や処理中にも探索が続けられる場合のあることを指摘した。このような時には、Tsは逆の偏りを生む。

3-4. 努力量をめぐるいろいろな問題

(1) 総努力 gross CDWと純努力 net CDW

複数種が捕獲対象になっている場合は、単純な捕獲モデルが適用できなくなる。この問題への対応として、net CDWが考えられた。全操業日数gross CDWから特定種の捕獲のなかった日を差し引いたものである。この考え方は理解できる面もあるが、捕獲は偶然現象であるから、たまたま発見できなかった日もあるわけで、この日の努力を無視することは問題である。このような観点からKirkwood (1979) は単位努力ごとの捕獲がPoisson分布をするとして、シミュレーションを行い、grossとnetのCDWを比較した。結果は表3-3のようになった。C/gCDWは減少の度合いを過大に見積ることになるが、一方C/nCDWは楽観的結果となる偏りのあることがわかる。

表3-3 grossCDWとnet CDWによるCPUEの比較

資源量 (%)	C/nCDW (%)	C/gCDW (%)
20,000 (100)	2.30 (100)	1.984 (100)
10,468 (52.3)	1.50 (65.2)	0.874 (44.0)
5,937 (29.7)	1.20 (52.2)	0.376 (19.0)

ノルウエーの沿岸捕鯨では、1975年以前は捕獲のデータのみで、操業日の記録はない。したがってnet CDWは得られるが、gross CDWが不明ということになる。捕獲物の大半はミンククジラであるため、種選択の問題はほとんどない (Rørvik and Christensen, 1981)。net CDWは前述のように資源について楽観的結果を与えるので、gross CDWの方が望ましい。そのため

$$\text{boat day} = (\text{その海区} \cdot \text{月に捕獲のあった船数}) \times (\text{捕獲のあった日数}) \quad (3 \cdot 16)$$

としてgross CDWを推定した。しかし近年の双方のデータの利用できる年について、boat dayとgross CDWを比較してみると、かなりの過大推定になっていた (Christensen, 1983)。Cooke (1984) は、1976年以降において、捕獲のない出漁日が70~75%にも達し、C/gCDWは普通0.5以下であるのに、C/nCDWはその定義から当然1以上であり、その差の大きいことを指摘している。彼は、1日当り捕獲数がPoisson分布をするならば、C/gCDWの期待値をzとおいた時、

$$E(C/nCDW) = z / (1 - \exp(-z)) \quad (3.17)$$

となることから、 $C/nCDW-1$ を用いることを提案している。この値は $z < 0.5$ の範囲ではかなりよく z に比例する。Rørvik *et al.* (1985) 等はこの式を使ってBarents海の1950年代以降のミンククジラ資源量変動を論じているが、説明できない変動をする例もあり、信頼できるRYの計算はできないとしている。

(2) 複数種捕鯨の場合の努力の取扱い

マッコウクジラは雌雄により大きさが異なり、性の選択は種間の選択と同じ問題を導入する。雌を捕獲するとそれを処理する時間だけ雄に対する努力は減少するが、作業時間の内容を考慮して、ある程度この問題に対処できる。雄のみのCPUEを考える時には、雌の処理に要した時間は無駄になった時間 T_w と考える。1日の探索時間を11.83時間、雌1頭の処理時間を1.20時間として、

$$CDW' = CDW - C(\text{♀}) \cdot 1.20/11.83 \quad (3.18)$$

とする (IWC, 1980b)。Kirkwood and Beddington (1979) は T_s を次のように置いている。

$$T_s = CDW \times (\text{昼間時間}) - C(\text{♂}) \times (T_C + T_H + T_T) - C(\text{♀}) \times (\text{♀処理時間}) \quad (3.19)$$

この考え方を単純に種間関係に適用することもできる。Tillman and Grenfell (1980) は西太平洋ニタリクジラの豊度推定に当って、ソ連のCDWを次のように修正している。

$$CDW' = CDW - (2.5/12) C_B - (3.3/12) C_S \quad (3.20)$$

ここで C_B はひげ鯨の捕獲数、 C_S はマッコウクジラの捕獲数である。山村・大隅 (1981) は同様な式を南のミンククジラに適用し、日本とソ連のCSWをそれぞれ計算した。なお作業時間は変化し得ることを問題点として指摘している。

(3) 一般線形モデル (GLM) による天候等の補正

南のミンククジラについて、大隅 (1979) はCSWにも風力、視程による天候補正をした。Beaufort階級ごと、および視程マイル階級ごとに補正係数を求め、毎日の風力と視程で生のCSWを補正した。さらに季節変化を除くために旬ごとの補正係数を求め、天候補正のCSWをさらに補正して、各年の修正CSWとした。嶋津 (1979;1980) は天候補正について、各月のCPUEの風力と視程との相関を分析し、回帰係数を求めた。回帰係数は有意であったが重相関係数はそれほど高くはなかった。Allen (1980a) は季節補正について、線形モデル

$$\log (C/CSW)_{ijk} = \text{平均} + \text{月}_i + \text{年}_j + \text{性}_k + \text{誤差}_{ijk} \quad (3 \cdot 21)$$

を提案した。このモデルで、旬ごとの値を月内での繰返しとして分散分析を行なったところ、月効果はⅣ区あるいはⅢ+Ⅳ区で大きいことが示された。このモデルでは、年効果がCPUEの年変動を表すことになる。嶋津とAllenのモデルを組み合わせ、年、月、緯度、性、風力、視程の効果を線形に組み合わせることもできる (Grenfell and Allen, 1981)。ただし彼らはC/CSWが0となる点を扱うため、これに1を加えて分析している。

Cooke and de la Mare (1983b) はこのやり方を批判している。CPUEが0.5の時

$$\exp (\log (1+CPUE)) \doteq \exp (CPUE) \quad (3 \cdot 22)$$

となるが、たとえばCPUEが2倍になっても $\exp (CPUE)$ は2乗にしかならず、対数変換はCPUEの変化を緩やかに見積もることになる。また対数をとることで各点の重みがゆがみ、少数の大きく外れた点に左右されることになる。

(4) 資源の分布が偏っている場合のCPUE

マッコウクジラは性や年齢によって分布が著しく偏っており、同一資源が分布していても漁場によってCPUEが同様の变化を示すとは限らない。Beddington and Cooke (1981) は北西太平洋資源からの漁獲物体長組成をコホート解析 (VPA) に準じた方法で解析する時、漁場を、日本とソ連、沿岸と母船式および緯度によって12のゾーンに分け、それぞれのデータを用いて、ゾーンごとの毎年の資源量を計算した。Cooke and de la Mare (1983a) はそのゾーン毎にCPUEを求め、体長組成から推定した資源量と比較した。北緯40°N以北では日、ソとも推定資源量はかなり顕著な減少を示しているが、CPUEにも同様な傾向が見られた。日本の沿岸では、CPUEは漸増の傾向を示しているが、資源量は低下している。40°N以南の母船式では、日、ソとも操業の期間は1970年以後の短期間であるが、両国とも両者の変動傾向は関連を示していない。CPUEは推定資源量にくらべて年変動が大きく、20年程度の長期のデータがないと、大まかな傾向の比較もできない。また母船式と沿岸でCPUEの変動傾向は異なっている。CPUEを用いる場合に慎重な取り扱いを要することがわかる。

4. 漁業の中でのCPUEの議論

4-1. CPUEの偏りの要因

捕鯨業の中で1960年代、1970年代を通じてCPUEが議論されてきたが、漁業一般についても、様々な面から議論されていた。これらの議論は、ICESのシンポジウム (ICES, 1964) や、FAOの中での作業部会報告 (FAO, 1976) に紹介されている。多くの面で捕鯨

の場合のCPUEの議論と共通する面があるが、また漁業の中で特に問題とされている事項もある。一つの特徴的な点は、努力当り漁獲量 C/f と資源量 N との間の基本仮定 $C/f=qN$ において、 q が変化し得ること、特に N に依存した変化が問題とされていることであろう。

FAOの作業部会は、CPUEの無批判な利用は危険だが、世界全体として資源をモニターするためのもっとも重要な情報であることを認めている。そのため作業部会では、CPUEの偏りに焦点をあてて検討した。 $F=qf$ の基本モデルの中の q が時間的、時代的に変化することが問題である。偏りの原因を、漁具・漁法の能率・性能、努力の時間単位、複数種問題、乗組員の技能の面から、具体的漁業について検討している。

底曳網では、曳網時間（面積）がよい指標になるが、漁獲物の処理等のため、好漁の日に努力の低下する傾向がある。むれを対象にする旋網類では、乗組員の技能、魚の行動、投棄魚なども関係してくる。資源の減少でむれのあり方がどう変化するかは大きな問題である。複数種が漁獲の対象になり得る時は、対象資源の量や市場価格が関係してくる。漁獲物中の割合が一定値以上の操業のみを考慮するなどの方法が考えられる。種内でのサイズ選択の問題もある。時間と空間で細分された統計が重要になる。乗組員の技能については、技術の進歩による分は補正が可能だが、乗組員の学習効果は補正がむずかしい。魚群発見技術、漁撈技術、通信設備の進歩は、技術変化の状況がくわしく知られていれば、補正の係数が得られる。生物学的側面も重要である。移動、回遊、資源構造、努力の資源分布域に対するカバーの割合等の情報が必要になる。体長のデータから投棄率の変化を知ることができる。

結論として、次のように述べている。偏りの補正ができればCPUEは信頼できるが、そのためには、科学者は漁業の実態をよく知っていなければならない。一般に能率は向上するから、CPUEは資源減少を過小に評価すると考えられる。偏りがあっても、その方向がわかれば、有用な結論を引き出すことができるかもしれない。むれを作る浮魚では偏りが起こりやすいので、音響調査など他のモニタリングの方法が必要になる。

Gulland (1964a) はICESの資源豊度の測定に関するシンポジウムで、豊度の指標としてのCPUEを、 q の変動の面から論じている。 q の変動の原因として、掃海面積などの漁具の作用する空間の大きさ（漁具の性能）、その空間中にある魚の捕獲される確率、操業の場に来遊する魚群の量が考えられる。また q の変動として、努力量にともなう変化、資源量にともなう変化が考えられる。周期的変動をしている時は、年漁獲／年努力は努力の季節的分布が異なっていると偏りを生じる。最盛期の値で代表させるのも一つの方法であるが、季節ごとの値の単純平均をとることもできる。長期的変化のうち、性能や技能の変化に関しては、個々の漁業について補正が考えられている。

努力量や資源量の変化にともなうCPUEの変化は見落とされやすいが、基本的に重要な問題を含んでいる。優良漁場が限られている時、その漁場で努力が飽和になれば、他の船は別の漁場を利用せざるをえない。もし詳細なデータがあれば、優良漁場のデータ

のみを用いることもできる。漁具間の干渉、漁船数が多いほど魚群発見確率が高いなどの問題もある。資源量に関係した要因には種々あるが、漁具の飽和もその一つである。1回の操業で船倉がいっぱいになるようだと、港と漁場間の往復がふえて、実操業時間が低下する。トロールなどで、資源豊度が高いと曳網時間が短くなることがある。複数種では、減少した種に対する実効的努力が低下し、CPUEの減少が過大になることもある。また、豊度の高い時期にのみ操業するようになれば、CPUEに減少がみられないということもある。

底曳漁業では、枯渇していた資源が戦争中の休漁の間に著しく回復することが広く認められており（木部崎, 1956など）、資源の乱獲による減少と漁業規制による回復の証拠とされている。ここで資源量の変化は普通CPUEで与えられるが、Gulland (1964b) はCPUEの偏りのため、資源の回復が誇張されていることを示した。北海のplaiceに対するイギリスのトロールの場合、総漁獲を総努力で割ったCPUEは1936～38年の平均にくらべて、漁業が再開された1945年の6月には18倍であった。同じ時期に各小海区のCPUEの平均でみると、9倍強であった。努力が豊度の高い海区に集中していたことがわかる。

1936～38年の年平均漁獲量は19.8万cwtであったが、当時の漁獲率が0.73であったとすると、資源量は27万cwtとなる。一方1945、1946年の総漁獲量は94万cwtで、戦前の資源量の3.5倍にもなる。1946年12月のCPUEは戦前の約2倍で、これが正しい資源量を表しているとし、またこの間資源の自然増加がなかったとすると、1945年6月の資源量は戦前の5.5倍であったことになる。実際には自然増加は0ではないであろうから、この倍率はもっと低いはずである。いずれにしてもCPUEで示される18倍とか9倍という値にはなり得ない。

このような偏りを生じた原因として、Gullandは小海区（だいたい30マイル平方）の中での分布の不均一さを考えている。努力の少ない時には、漁船は最高の密度の点に集中する。そのためにその場所の密度が急速に低下する一方、増加した努力がより密度の低い点にも分散していき、見掛け上CPUEの著しい増加と急減が見られたと考えられる。

同じ資源を利用している2種の漁業がある時、それぞれのCPUEを比較することによって、漁業ごとのCPUEの特性を見ることができる。Østvedt (1964) はノルウエーのニシンについて刺網と巾着網のCPUEを比較した（図4-1）。刺網については隻数×日数×網数を、また巾着網では隻数を努力の単位とした。1947-60年の間で比較してみると、両者とも1948年に高くそれ以降漸減したが、1954年に再び上昇し、1957年まで漸減した後急減している。このように一般的傾向は類似しているが、巾着網の方が変動が大きく、1954～56年には刺網よりかなり高く、逆に1958年以降はかなり低い。高齢の大型魚は網の下をくぐって逃げるので、巾着網ではとりにくいと言われており、年令組成がCPUEに影響する。1954～56年には新規加入の小型魚が30～40%を占めていたが、1958年以降は、15%以下になってしまった。一方刺網は網目選択性が大型魚に偏っているため、1954～

56年にはCPUEが低めに出ていると考えられる。

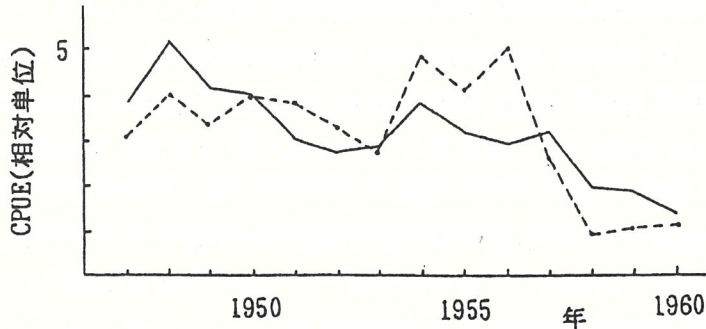


図4-1. ノルウェー・ニシンの刺網と巾着網のCPUEの比較。実線:刺網、破線:巾着網

4-2. cohort解析の結果との比較

1960年代になると、漁業技術の進歩が速く、長期的時系列としてのCPUEが利用しにくくなった。また国際的資源管理の中で、従来のCPUEの解析だけでは対応しきれない問題も出てきた。このような状況のもとで、努力量のデータを必要としないcohort解析法(VPA)の利用が急速に進んだ。年齢別の漁獲尾数のデータを用いるcohort解析法は、自然死亡の値と、最高年齢群および最近年の年齢ごとの漁獲係数 (terminal F) の値を必要とするが、北欧の底魚資源のように永年の研究の蓄積のあるところでは、自然死亡のおおよその情報は得られているであろう。また年齢範囲が広く、しかも強度の漁獲の加えられている資源では、terminal F の情報はそれほど重要でない。このような条件のもとでcohort解析法は重用された。この方法によって各年の F の値が計算されると、この F と別に得られている努力量 f を比較することによって、 $F=qf$ の仮定をテストし、あるいは q の変化の様子を知ることができる。

Garrod (1976) は北大西洋遠洋トロールについて、 F と f を比較している。北大西洋のいくつかのタラ資源について相関を求めたところ、相関は一般に低かった。 $q=F/f$ として求めた q は、漁業や漁場によって、年に対して傾向的变化を示さない場合と、顕著な上昇傾向を示す場合があった。 q が資源量と関連している可能性も示された。

q の資源量への依存性はむれを作る浮魚で強いと考えられているが (Paloheimo and Dickie, 1964)、Ulltang (1976) はノルウェーのニシン成魚について、巾着網のデータによるcohort解析法から得られた F と N を用いて、 q の N への依存性を調べた。なお、巾着網は大型の成魚に対して能率の低下することが知られているので、小型成魚の割合の著しく高かった1954~56年の3年を除く1951~60の7年分のデータを用いた。隻数×有漁日数を努力 f にとり、 N と C/f を比較したところ、相関は全く見られなかった。一方 q と N の自然対数の間には強い負の相関が認められた。真数になおすと $q=aN^{-1.375}$ という関

係が得られた。この関係を前提とすると、 $C/f=qN=aN^{-0.375}$ となり、 N の増加につれてCPUEが低下することになる。 -1.375 という値は信頼できないが、 q は N の増加につれて減少するものと考えられ、巾着網のCPUEは N の尺度としては不適當である。なお、同じ資源を利用する刺網では、 N とCPUEの比例関係が認められている。

MacCall (1976) はカリフォルニアマイワシの巾着網漁業について q と N の関係を検討している。漁業をめぐる条件の安定していたと思われる1937~44年について、 q の自然対数の2歳魚以上の資源尾数の対数への回帰は高度に有意で、 $q=aN^{-0.611}$ の関係が得られた。

浮魚での q の強い N への依存性は、プロダクションモデルでの努力量と平衡漁獲量の関係を、普通考えられている中高の形から著しく歪めてしまうため、資源管理上大きな問題を生じる。このことについては後述する (4-4)。

4-3. むれを作る魚種のCPUEモデル

CPUEの基本モデルでは1-2でも述べたように単位努力(掃海面積など)による漁獲率が一定で、CPUEは資源の密度に比例すると仮定している。このためには資源が一樣に分布しているか、少なくとも努力の分布が資源密度と独立であることが要求される。このような条件が満たされることは普通期待できないが、大きなスケールの偏りであれば、小海区ごとの統計によって補正することが可能である。しかし、魚がむれを作っており、そのむれを対象として操業の行われる旋網漁業などでは、むずかしい問題が生じる。魚のむれの作り方、漁業のそのむれの利用の仕方によって、漁獲量は変動する。Paloheimo and Dickie (1964) は捕食者の餌探索のモデルをもとにしてCPUEモデルを展開した。

空間を2次元で考え、むれをその中の円盤で表す。円盤内での魚の分布は一樣で、円盤の分布はランダムであるとする。円盤の大きさは変わり得る。群れ密度を λ とし、面積 A の漁場に出現するむれ数 m はPoisson分布をする。平均むれサイズを n 、個体の占有する面積を $b\pi$ とするとむれ半径は $r=(bn)^{1/2}$ となる。資源全体での個体の密度は $D=\lambda n$ である。資源密度が変化すると b が変わり、これにともなってむれ半径 r も変化するものとする。

魚群を探索している漁船が円盤にぶつかった時、一定割合でそのむれを発見する。発見むれの中の g (一定)だけの割合を実際に漁獲する。捕獲に要する時間 τ はむれの面積で表され、 $\tau=ar^2$ である。むれが大きいと捕獲時間が長くなり、それだけ探索時間が減少する。面積 A 中の平均むれ数は λA であるから、平均 $1/\lambda$ 中に1むれが分布することになる。 t' 時間中の探索面積は、船速を1として $2rt'$ であるから、1むれ発見に要する時間は、遭遇したむれを必ず発見するとして $2rt'=1/\lambda$ とおくと $t'=1/(2\lambda r)$ 、1むれを発見してこれを処理し終わるまでの時間は $1/(2\lambda r)+\tau$ 、したがって時間 t の間の総

処理数は

$$\frac{t}{1/(2\lambda r) + \tau} = \frac{2\lambda rt}{1+2\lambda r\tau} \quad (4.1)$$

となる。発見むれからの漁獲尾数 $C(t)$ は gn であるから

$$C(t) = \frac{gn2\lambda rt}{1+2\lambda r\tau} = \frac{2gDrt}{1+2Dr\tau/n} \quad (4.2)$$

むれ発見の確率が P である時は、上の式の λ あるいは D が P 倍になる。むれが Poisson 分布をするという仮定から $C(t)$ の分散も導ける。むれサイズが変化する時は $V(gn)$ 、 $Cov(gn, \tau)$ の要素も加わる。

式 (4.2) で $\tau = ar^2$ 、さらに $r^2 = bn$ とおくと

$$C(t) = \frac{2gDrt}{1+2Dr^3a/n} = \frac{2gDrt}{1+2Drab} \quad (4.3)$$

となる。密度 D を一定として r に対して $C(t)/t$ を描くと、 a/n を固定した場合、ある r の所に極大のある曲線が得られる。 r を大きくするという事は、むれサイズ n が一定であれば、むれ内の個体の密度を小さくすること、すなわち b を大きくすることになる。また a/n を固定するという事は、例えば n が 2 倍になった時、 b が $1/2$ になって r が一定に保たれた時でも、操業時間が 2 倍になることを意味している。このような条件のもとでは、 r が大きくなるとむれが発見されやすくなるが、むれ内密度が低下し、むれのうちの g だけを漁獲するための操業時間が長くなりすぎて、単位時間当りの漁獲は減少してしまう。この例では、 D の値が違って、 r の値によっては同じ $C(t)/t$ の得られることのあることがわかる。

(4.3) 式で、 ab を一定とおくと、 r または D に対して $C(t)/t$ は g/ab に漸近する単調増大曲線となる。ここでは $\tau = abn$ という関係から操業時間はむれの面積とは無関係で、むれサイズのみ比例するとおいていることになる。この例では $C(t)/t$ は D に対して増加はするが、比例関係は成り立たない。

このモデルで、底曳網の曳網時間にならって努力量として τ をとると、1 網で漁獲される量が gn であるから CPUE は $C/f = gn/\tau$ となる。 $\tau = abn$ であるから $C/f = g/(ab)$ となって D とは無関係である。従来のモデルにしたがって $C/f = q'D$ とおくと $q' = g/(abD)$ となって、 ab が一定ならば q' は資源量に反比例する。 b が資源量に反比例している時にのみ q' は一定となる。

(4.3) 式で $C/(tD) = q'$ とすると $q' = 2gr/(1+2Drab)$ となり、CPUE はむれのあり方に依存していることがわかる。むれのあり方が年齢によって変わる時は、 q' も年齢によ

て変わり得る。Dとむれのあり方に関する生物学的情報が重要になる。

旋網漁船は船団を組んで協力して操業を行うことがある。この場合むれ探索、発見はランダムでなくなり、また大きなむれを分け合って旋くというようなことも起り、単純なモデルでは対応できない。Allen (1980b;c) は捕鯨の場合について、同様の問題を検討しているが、魚群の場合と同じくむれを1つの単位として探索の問題を考え、むれを複数の船で捕獲する場合をモデルにしている。

4-4. むれを作る魚種の資源管理

一般の漁業では資源が減少するとCPUEも減少し、採算がとれなくなって努力の増加は止まり、ある資源レベルで安定すると考えられている(田中, 1985)。しかし4-3で述べたように、むれを作る浮魚などの場合、CPUEが資源量と無関係に一定になる場合も考えられる。このような時、自動的調整が働かず、資源を危機におとし入れる恐れがある。

この状態は、余剰生産モデルで説明できる。つまり逆補償作用(densapensation)のある場合と同様なことが起こる。横軸に資源量 P 、縦軸に余剰生産量 V あるいは漁獲量 Y をとる(図4-2)。漁獲率が一定の場合、漁獲量は資源量に比例するから $Y=FP$ となり、原点を通る直線で示される。ここで従来の仮定に従って $F=qf$ とすると、 $Y=qfP$ となる。 q は一定とする。普通余剰生産量は上に凸の曲線であると考えられるから、 V/P は $P=0$ で最大で、 qf がこの値より低い限り、 Y 直線と V 曲線の交点が1つあり、ここが平衡点となる。もしここで逆補償作用があると、 V 曲線で資源量があるレベル以下の部分に凹みができる(図4-3)。 Y 直線と V 曲線が2つの点で交わることがある。何等かの原因で資源が左方の交点以下に減少した時、同じ努力をかけ続けると Y が V を上回り、資源はやがて絶滅する。

ここでもし q が一定でないとすると、逆補償のない場合でも2つの交点の現われることがある(図4-4)。MacCall (1976) にならって $q=aP^{-b}$ とおき、 $b=0.5$ とすると $Y=afP^{0.5}$ となり、CPUE Y/f は $P^{0.5}$ に比例している。資源が半分になってもCPUEは7割にしか低下しない。

余剰生産モデルでは、しばしばロジスティックモデルが適用される。ここで q が一定であったとすると、 V を f に対して示した曲線も放物線となる。ある努力量 f_m の所で V が最大となりMSYが得られる。もし q が P に依存して変化する時はこの関係が変わり、ある f の所に2つの V の値が対応する閉鎖型の曲線が得られる(図4-5)(Clark, 1974; MacCall, 1976)。資源絶滅の危険がある。努力量を平衡状態でMSYを与える水準より低く規制していたとしても、異常海況によってある年級の加入が著しく低下したというようなことが起った時、資源が絶滅してしまうかも知れない。一定の努力の水準でこのようなことを防ごうとするなら、努力はかなり低く押さえておく必要が生じ、条件の

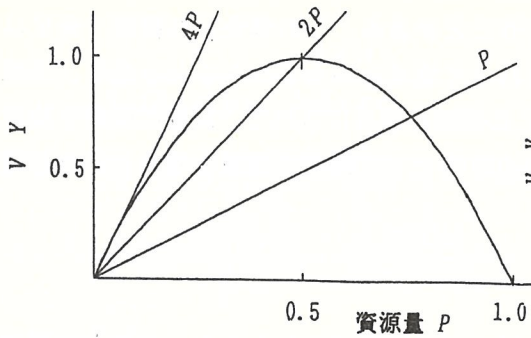


図4-2. ロジスティック・モデルでの
余剰生産量 V と、漁獲率一定の場合の
漁獲量 Y 。縦軸、横軸とも最大値を
1.0とする (図4-5まで同様)

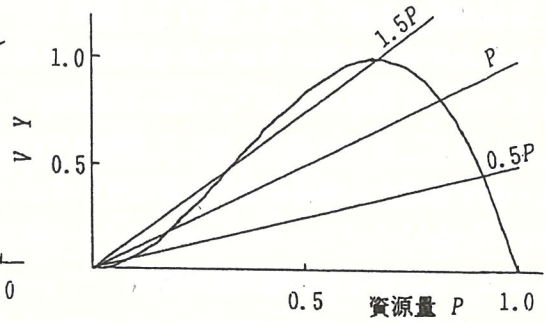


図4-3. 逆補償のある場合の余剰生産
量 V と漁獲率一定の場合の漁獲量 Y

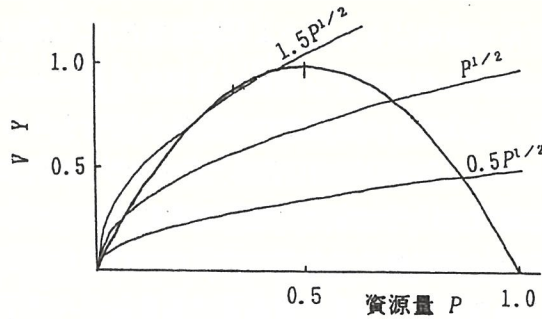


図4-4. ロジスティック・モデルの
余剰生産量 V と努力量一定で $q=P^{-1/2}$
の場合の漁獲量 Y

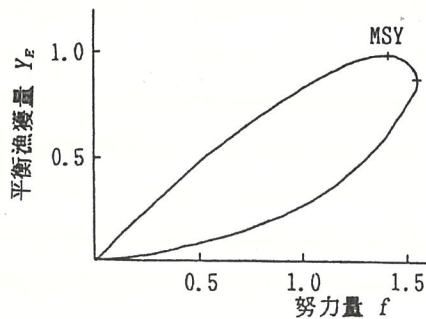


図4-5. $q=P^{-1/2}$ の時の努力量 f と
平衡漁獲量 Y_E の関係 (図4-4の
データによる)

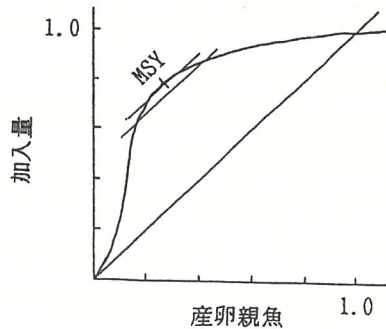


図4-6. 再生産曲線と努力量一定
で $q=1/P$ の場合の漁獲量。漁獲量は
余剰量に対応させて45°線から上に
示してある

悪くない時に、資源を十分に利用できないことになる。

Ulltang (1980) は、ノルウエーやアイスランドのニシン資源について、産卵親魚と加入量の関係をプロットし、親魚量の低い部分で逆補償の可能性のあることを見出した。彼は逆補償と、資源量に依存した q がともに作用した場合の資源変動について、いくつかのシミュレーションを行っている。 q については極端な場合として、 q が資源量に反比例する場合を想定している (図 4-6)。こうすると、ある努力量を与えた時、漁獲量は資源量に無関係に一定となり、CPUE は資源量によらず一定で、資源の枯渇は観測できない。再生産曲線上では、漁獲量は 45° 線 (置き換え直線) に平行な直線となり、安定平衡点と不安定平衡点ができる。資源が MSY の水準より高い安定平衡点にあったとしても、環境変動によって加入量が 2、3 年低くなると、資源が不安定平衡点より低い水準にまで落ちてしまうかもしれない。こうなった時、すみやかに努力量を厳しく削減しないと、資源は絶滅に向かって急速に進む。努力が MSY の水準に近い時は、2 つの平衡点の間隔がせまく、資源が絶滅に向う可能性が高い。資源を MSY の水準に保つという管理目標は危険だということになる。特に短寿命の浮魚では管理がむずかしく、CPUE に頼らないより直接的な試験漁獲、音響調査あるいは標識放流などを行うことが必要である。

5. IWC の CPUE との決別

5-1. CPUE に対する批判

(1) 1980 年頃の議論

1970 年代の後半になり、IWC の中で反捕鯨の勢力が力を増してくると、SC でもより厳密かつ正確な資源評価が要求されるようになり、CPUE への批判も高まってきた。反捕鯨派は、CPUE を否定はしなかったが、その問題点を指摘し、改善を要求した。特に CPUE の偏りが、一般に資源減少を過小評価し、過大な捕獲限度量を与える傾向のあることをあげて、その危険性を強調した。

Beddington (1979) と Holt (1979) は、鯨発見、捕獲のモデルから CPUE を論じた。鯨の発見には探索時間が関係しているが、発見、捕獲が少ないほど追跡や処理の時間が短くなり、探索時間が長くなる。したがって鯨発見の効率が高まり、1 日当り捕獲は資源量の減少を低く評価すると主張する (3-3)。Holt は CPUE に関連する諸要因をあげている。努力の補正にはトン数、馬力、速度のほか天候要因等が考えられているが、これらを発見効率や追跡時間、捕獲の成功率への影響という面から検討するのがよいとしている。これらの効果は、線形の場合も、非線形の場合もあり得る。さらに生物学的面では、マッコウクジラでも、ひげ鯨でも、資源減少につれて体長が小型化しており、そのため追跡処理時間が短縮したとすると、CPUE が過大推定となる。資源が減少すれば普通分布域が縮小し、分布の中心の密度はあまり低下しないと考えられている。漁場は

当然高密度域にできるから、CPUEには目立った低下が見られないかも知れない。CPUEが密度を正しく示していたとしても、全資源量を代表しているとは言えない。高緯度地方では、漁場や漁期の変化にともなう日長の差も問題である。鯨のむれの作り方、船間協力の影響も考慮しなければならない。さらに、まだ知られていない要因もあるだろう。そして、機器の発達した近年についてだけでなく、その前の時代についても追跡時間のデータを利用したほうがよいとしている。

(2) 日別の捕獲と努力の逆相関

前出のBeddington (1979)、Holt (1979) やFowler (1980) は C/CSW が資源密度に比例するという前提で、処理時間を含むCHWを努力として用いることによるCPUEの偏りを論じている(3-3)。しかしCSWを用いても処理時間の影響は残る。Zahl (1982) がこの問題を論じている。常識的には漁獲 C はCSWとともに増加すると思われるが、日本の南ミンククジラの操業で毎日の C とCSWを比較してみると、明瞭な逆相関が見られた。Beddingtonのモデルからも明らかなように、1日の操業時間(CHW)が一定であったとすると、処理時間は C に比例するので、CSWは C が大きいほど減少する。

一般にある漁期のCPUEは、その間の総漁獲を総努力で割って求める。すなわち

$$\begin{aligned} \text{CPUE} &= \sum C_i / \sum \text{CSW}_i = \sum [C_i / \text{CSW}_i \cdot \text{CSW}_i / \sum \text{CSW}_i] \\ &= \sum [\text{CPUE}_i \cdot \text{CSW}_i / \sum \text{CSW}_i] \end{aligned} \quad (5.1)$$

である。つまり日々の CPUE_i を日々の CSW_i を重みにして平均することになる。 C_i と CSW_i の間に逆相関があると、 CPUE_i の高い日ほど低い重みを加えることになり、負の偏りが生じる(田中, 2002)。

Zahlは、1日の捕獲がある量に達した後は操業中止となるいわゆるstop-catchの効果も加えて、日本の南鯨のミンククジラ操業を例にして、統計的に検討した。1頭当りの処理時間が0.75~1時間であるミンククジラ操業では、偏りの程度は漁期内の鯨の平均密度によってほとんど変化せず、相対的密度の指数としては有効である。しかし日によって海域の密度が変化する場合、高低の密度比が大きくなると、偏りは著しく大きくなる。CPUEが有効であるためには、平均密度が変化しても、高低の密度比は変化しない、つまり分布パターンは変化しないという条件が必要になる。

Zahl (1983) は、この偏りを取り除く方法を提案している。毎日の資源密度が知られているならば、密度によって日を層化し、それぞれの層についてCPUEを求め、層ごとのCPUEを平均して、その漁期全体のCPUEとする。日本の南ミンククジラの1972/73~1979/80のデータについて、日々のCPUEの値によって日数が等しくなるように2つの層に分け、それぞれの層ごとにCPUEを求め、これらの単純平均をその漁期全体のCPUEとした。この方法で計算したところ、層別をしなかった時よりCPUEは平均39%大きくな

った。層別しないときの相対的偏りを-25%とすると、2つの層に分けるだけで、ほとんど偏りを消すことができた。この数値例が代表的なものであるとは思われないが、 C とCSWの間に逆相関のある時に、層別の有効であることが期待できる。

(3) 漁具能率 q の変動の影響

一般の漁業の場合、VPAによって計算された資源の動向とCPUEの変化を比較することによって、CPUEと資源量の関係が検討されていた(4-2)。捕鯨の場合、 C/CSW が資源量に比例すると期待されているが、CPUEと比較できるような資料がないため、実証的な検討ができない。Cooke (1985) は、操業の実態を分析してモデルを設定し、理論的検討を行った。資源量を N 、努力量を F とすると、基本的前提は漁獲量 C の期待値が

$$E(C) = qFN \quad (5.2)$$

で表されるということである。日々の C の大きな変動は漁具能率 q が変化するためと考えることができる。 q が変動する時にこの関係がどうなるかをみる。 F_s を探索時間、 F_T を総操業時間として、1頭当りの処理時間を h とすると、

$$F_T = F_s + Ch \quad (5.3)$$

となる。 q が一定ならば

$$E(F_s) = C/(qN), \quad E(F_T) = C\{h + 1/(qN)\} \quad (5.4)$$

となり、 $F_T/F_s = 1 + qhN$ である。比推定の式により、近似的に

$$E(C/F_T) \cong qN/(1 + qhN) \quad (5.5)$$

とおける。前述のように、 C/F_T は N に比例しない(3-3)。

q の変化には規則的な変化もあり得るが、ここではランダムな変動を考える。変動の時間単位としては、 h に対して大きい場合と、 h より小さい場合の2つの極端な例を想定する。時間単位内では q は一定であるが、単位ごとに q はランダムに変動する。 q は $f(q)$ の頻度分布をもっている。時間単位の大きい場合、期待値は

$$E(C/F_T) = \int qN/(1 + qhN) \cdot f(q) dq \quad (5.6)$$

となる。この結果を

$$C/F_s = C/F_T / \{1 - h(C/F_T)\} \quad (5.7)$$

の関係によって C/F_s に換算する。上の式を q の値の重みつき積分と考えると、 q の高い所で探索以外の時間が長くなり、重みが小さくなる。

$f(q)$ を対数正規分布とおき、 v を標準正規変数、 \tilde{q} を中位数として、 $q = \tilde{q} \exp(\sigma v)$ とする。資源量を無次元量 $\tilde{q}hN$ で表し、CPUEの方も $CPUE \cdot h$ として無次元量にする。これら2つの量をそれぞれ対数を取って数値的に比較すると、ほとんど直線となる。直線の傾斜 p は q の変動 σ が0であれば1で、大きいほど小さい。この直線は、真数になおして

$$E(C/F_s) = (\tilde{q}hN)^p / h, \quad (0.1 < CPUE \cdot h < 10) \quad (5.8)$$

と表せる。 $\sigma = 0$ では $p = 1$ で、 N が $1/2$ になれば C/CSW も $1/2$ となる。 $\sigma = 2$ になると、 $p = 0.60$ となり C/CSW は34%しか減少しない。

時間単位が短い場合、これを T とする。 T が h より小さいので、2頭以上捕獲することはない。この期間中に1頭捕獲がある確率は、 T の間捕獲がない確率を1から引いて $1 - e^{-qTN}$ である。 q は各単位間で独立に変動しているとし、任意の時間単位中に捕獲のある確率を

$$E(C) = \int (1 - e^{-qTN}) \cdot f(q) dq \quad (5.9)$$

とする。時間単位内で q は一定であるから、 $F_s = C / (qN)$ として、 F_s の期待値は

$$E(F_s) = \int (1 - e^{-qTN}) / (qN) \cdot f(q) dq \quad (5.10)$$

$E(C/F_s) \doteq E(C) / E(F_s)$ とおける。 q が対数正規分布をするならば、 C/F_s と N との関係は両対数で示した時近似的に直線になり

$$E(C/F_s) \sim (\tilde{q}TN)^{p'} / T, \quad (0.1 < CPUE \cdot T < 10) \quad (5.11)$$

の関係が得られる。 p' の値は前出の p に近い。 T の時間単位は、著しく小さくならない限りあまり影響がないと言える。

q の変動性は、たとえば毎日の捕獲数の変動から見るができる。 q の変動がなければ、処理時間の制約があるため、Poisson分布の分散より小さくなるだろう。しかし一般に毎日の捕獲の変動はPoisson分布の分散より大きい。 q の変動性が考えられる。

捕鯨船によって q が変わる時、 i 船の値を q_i とおくと、船団内の各船の F_T は等しいとして、船団の総捕獲を総探索時間で割った平均CPUEは(5.4)から

$$CPUE = \frac{\sum C_i}{\sum (F_T - Ch)} = \frac{\sum q_i N / (1 + q_i h N)}{\sum 1 / (1 + q_i h N)} = \bar{q} N \quad (5.12)$$

となる。全船団としての平均 \bar{q} は、 N が小さければ q_i の算術平均となるが、 N が大きい時は調和平均となり、算術平均より小さい。

q の値はいろいろな要因によって変化する。Cookeは多くの例を指摘している。たと

えば氷縁付近でミンククジラの密度が高く、努力も集中する；技術の進歩で処理時間が短縮される；船速が上がると追尾時間が短くなる；逆に資源レベルが低くなると、発見した鯨をいつまでも追尾するようになり、追尾時間が長くなる；探鯨船の努力の取扱い方；開発当初のCPUEの増加のような学習効果；体長などによる分布域の差、これに起因するCPUE変化傾向の海域による差；など。

結論として、以下のようにまとめている。CPUEは資源量には比例せず、一般にその変化はより緩やかである。CPUEの変動はCVが0.2～0.4と大きく、資源の1/2あるいはそれ以上の変化も検出できないことがある。操業のパターンの変化は、資源変動以上にCPUEに大きく影響する。

5-2. 鯨類の目視調査による資源量推定

(1) 南ミンククジラの目視調査 (IDCR/SOWER)

CPUEの問題点がいろいろと指摘され、これを用いる従来の資源量推定法への信頼度が低下していく中で、捕獲割当量を勧告するためにSCの中で激しい議論が続いた。このような状況のもとで、日本が永年続けてきた探鯨船による目視調査の技術を用いて、当時の主要捕獲対象であった南半球ミンククジラの資源量を直接推定することを考え、日本側からSCへ提案し、これがIWCの国際鯨類調査10年計画 (IDCR) の一環として実施されることになった (笠松, 1991; 田中, 1998)。日本は2隻の捕鯨船を提供し、日本を含めた各国の科学者が乗船して、1978/79漁期から調査が始まった。南氷洋のミンククジラ資源は6つの管理海区に分けられているが、毎年その中の1つを選んで調査を行った。1983/84漁期で6つの海区の調査が一巡した。その後もIDCR調査は続けられ、1996/97からはSOWERと名を変えて現在まで続いている。2000/01漁期で3巡目が完了した。

この調査の基本は組織的に計画されたライントランセクト法による目視調査で、航路から一定の幅内の鯨の発見数と走航距離から鯨の密度を推定する (Hiby and Hammond, 1989; 岸野, 1991)。また南氷洋へのミンククジラの来遊盛期に、分布域を広くカバーするように調査時期と調査線が設定される。線の設定の仕方は次第に改良され、確率的サンプリング実現の努力がなされた。このようにすることによって、CPUEが有効であるための条件、すなわち資源の分布と努力の分布が独立であること、および資源全体をカバーすることが相当程度に満たされると期待された。また各船ごとの性能の問題については、有効探索幅は鯨発見位置の船の航路からのはずれ (横方向の距離) のデータによって、船ごと、海区、時期ごとに推定される。航走距離は実測されているので、船の性能、乗組員の技能の問題は除かれていると期待できる。CPUEの場合に問題となる捕獲鯨の処理時間に対応するものとして、発見むれへ接近して、鯨種、むれ内頭数を確認する作業があるが、これに要する時間は普通30分以内で、捕獲鯨の処理時間よりはるかに短い。また接近せず、一定スピードで航走を続ける通過方式も採用された。この方式では、む

れの大きさが過小に推定される可能性があるので、現場では両者が交互に実行される(笠松, 1991)。

以上のようにして、CPUEの問題点をほとんど除くことができる上に、IWCの主催のもとで各国の専門科学者が乗船して協同調査を行っていることから、SCでの評価は高く、1990年のSCで南氷洋ミンククジラ資源量76万頭という数字が合意された(IWC, 1991)。

(2) 南ミンククジラの捕獲調査 (JARPA)

1982年にIWCは商業捕鯨のモラトリアムを決定した。日本はこの決定に異議の申立てを行ったが、諸般の事情からこれを取下げ、南氷洋での捕鯨を1987/88漁期から停止した。しかしモラトリアムの理由とされた資源に関する情報の不十分さを補い、かつ生物学的情報を継続して入手するために、条約第8条にもとづくミンククジラ資源の捕獲調査(JARPAと俗称)を、標本採集船3隻と調査母船1隻によって開始した(田中, 1998)。この調査にはいくつかの目的が含まれているが、主要な調査項目として、年齢別の資源量の推定がある。ここでは、目視によって総資源頭数を推定し、確率的方法で捕獲された標本から年齢組成を求め、年齢別の資源頭数を計算する。

調査を開始してみると、得られる年齢組成が、商業捕鯨時代のそれと著しく異なっており、若齢小型の鯨が多く含まれていた。商業捕鯨時代の大型鯨への選択の影響のない代表的な標本が得られたと考えられた(岸野, 1991)。一方目視による資源推定量を計算してみると、IDCRによる推定値にくらべて半分程度の値となった。年次の差はあるにしても、鯨のような資源がこのような急激な変化をすることは考えられないので、大きな問題となった(Nishiwaki *et al.*, 1997)。

目視調査の場合の努力量は有効探索海域の面積であるが、これは考え方としてCSWに近い。しかし捕獲をとまなうので、鯨の処理時間を要する点が問題である。鯨の濃密域ではむれの発見が続き、発見むれから各1頭採集するというルールに従うと、処理に多くの時間を割かれて、船の実質的進行が著しくおくれる。そのため調査期間中に予定海域全体をカバーできなくなる恐れがある。そこで毎朝の調査開始点をあらかじめ決めておき、前日調査終了時にこの点まで到達できなかった時は、夜間に翌日の開始点まで航走することとされた。こうすると調査を予定通り進めることができるが、一方鯨の密度と有効探索面積が逆相関をもつことになり、過小推定の偏りがはいることになる(Zahl, 1982)。Burt and Borchers (1997) は毎日の密度観測値を単純平均する方法を試み、IDCRの結果に近い値を得た。

田中(2002)は1日の進出予定距離を長さの単位として、その中に長さ w の連続した高密度域が1つあるという1次元の簡単なモデルを考え、推定の偏りを検討した。低密度域での密度を b 、高密度域での密度を $b+h$ とし、それぞれの領域内では密度は一定とする。単位空間内の平均密度は $b+hw$ である。高密度域の左端の位置は単位空間の中でラン

ダムに分布している。調査船の進出速度は低密度域内では1であるが、高密度域では $v(<1)$ に低下する。ここでもし高密度域がなければ調査船は1日で単位空間内全域を調査できるが、濃密域があると、空間内の一部が未調査となる。実際に観測した距離を $l(0 < l < 1)$ とし、その間の発見頭数を n とする。有効探索幅は一定として無視すると、 n/l が密度を表す。

従来密度の計算法は、CPUEと同様に日々の値を合計して $\sum ni / \sum li$ としてきた。これに対してBurt and Borchersは総日数を M として $\sum (ni / li) / M$ を考えた。期待値で考えると、前者は $E(n) / E(l)$ に対応し、後者は $E(n/l)$ となる。真値に対する相対的偏りは w と v の値によって変化する。ここで v が1にくらべて非常に小さいと、1日のうちの早い時刻に高密度域にあたった時は、 n はふえるが l がのびない。逆におそい時刻にあたると、 l は大きい、高密度域をほとんど調査しない間に1日の終わりとなり n は小さい。このため n と l は逆の関係になり、 $E(n) / E(l)$ は過小推定となる。 $v=0.05$ では相対的偏りが-40%をこえる。逆に v が0.5以上では数%程度の正の偏りとなる。一方 $E(n/l)$ には w や v の値にかかわらず正の偏りがあり、 $v=0.05$ では5割に達する可能性がある。南氷洋調査(JARPA)のデータで見ると、 v の値はだいたい0.05~0.1の範囲にある。 $E(n/l)$ が $E(n) / E(l)$ の2倍程度になることは十分にあり得ることである。

目視の努力を強化し、処理時間に関連する偏りを除く目的で、1995/96の漁期から、3隻の目視採集船に加えて、目視専門船1隻が追加された。目視専門船の場合、条件はIDCR/SOWERの場合に近い。

採集船の目視データによる資源量推定の偏りを除く方法が検討されているが、偏りの入らない簡単な n/l の平均の仕方は見当らない。夜間航行をせずに予定の海域を完全に調査する方法として、発見むれすべてから1頭の標本を採集する方式を改めて、発見むれの一部を抽出するというやり方が考えられる(Schweder, 1998)。この場合、むれが大型であれば2頭以上を捕獲することによって必要標本個体数を確保する。SCでこの方式が提案されたので、調査の現場で一部試行を試みたが、むれの大きさの頻度分布やむれ密度が予測とは異なったため、調査が予定通り進行せず、採集標本個体数も計画からはずれ、実用性の上で問題が残った(Hakamada and Fujise, 2000)。

5-3. CPUEと包括的評価

(1) CPUE作業部会(1987)

1982年にIWCは商業捕鯨のモラトリウムを決めたが、その際4分の3の票を確保するために、モラトリウム見直しの条件が付け加えられた。すなわち遅くとも1990年までに、モラトリウムの資源への影響について包括的評価(comprehensive assessment, CA)を行い、モラトリウムの改訂について考慮することとされた。ここでCAが具体的に何を意味するかは明確ではなかったが、SCはそのような状態を放置するわけにもいかないの、

1984年の会合で独自に鯨の資源評価や管理方式の再検討を計画した (IWC, 1985)。翌年にはさらにSCとしてCAの中で行なうべきことを審議するためのSC特別会合を提案し (IWC, 1986)、これが認められて1986年4月にケンブリッジで会合がもたれた。この会合でCAを、管理目的と方式に照らして、資源の現状を徹底的に評価することと解釈して、資源評価の再検討、新しい情報の収集、資源管理方式の検討の3点を課題としてあげた (IWC, 1987)。

SCはケンブリッジでのCAの計画会議の決定を受けて、いくつかの具体的計画を提案したが、その中で方法論上の問題点として、系群の同定、資源量のセンサスと並んで、資源の動向の評価をあげた。ここでは当然CPUEなどの資源量の指数の時系列データが問題となる。資源量の指数は操業の実態と絡んでおり、資源の変化をつかむには操業状況の詳細なデータが必要であることが認識されていた。SCはCPUEの諸問題を検討するための作業部会を提案した。そこでは資源やその生産性の動向を推定するための、CPUEその他の豊度指数の利用について検討することとされた。その任務は、CPUEなどの指数と操業状況のデータの詳細な検討、鯨や捕鯨船の行動に関するいろいろな仮定のもとでの、生のあるいは補正したCPUEデータのシミュレーションによる研究、CPUEデータの検査、取捨選択の問題の検討などである。(IWC, 1987)。

CPUEの作業部会は1987年3月レイキャビクで開催された (IWC, 1988)。CPUEに関して一般的に論じる場合の基本的問題は、鯨漁場でCPUEと豊度の間に何らかの関係があるか、そしてこの関係を利用して資源全体の量の指数を得ることができるかということである。さらに後者の問題点には、各漁期の漁場のデータから全漁場の指数が得られるか、この指数から資源全体の豊度の指数が得られるかという2つの段階がある。過去にSCが直面した諸困難の中には、操業の状況や環境要因をあまり考慮していない、同一資源からの別のCPUEの系列間の不一致、計算された資源の変動傾向とよく適合しない、などの問題があった。

普通探索は鯨の分布に対してランダムに行なわれるとして、CPUEと資源量の比例的な関係を仮定しているが、鯨はむれを作っており、ランダムには分布しておらず、探索の方法もランダムではない。漁業者は当然鯨の分布のむらを利用して操業する。したがってCPUEを解釈するためには、探索や捕獲の方法の詳細についての理解が必要である。以下のような事項が関係している。1) 探索域の決定、2) 探索の仕方、3) 発見鯨からの捕獲鯨の決定、4) 集中分布や行動に関係した要因、5) 環境要因。探索の仕方に関しては、平行か放射状かなどの探索の型、諸情報や条件による探索の型の変更、発見捕獲の経過の場所、時間その他の詳細な記録などの情報が必要である。鯨の分布に関連しては、資源豊度と分布の関連が問題になるので、鯨の行動の観察も必要である。

努力統計の取扱い方に関連しては、複数種への努力の配分の問題がある。漁期や海区によって層を分けるとか、主対象でない鯨種の捕獲にともなう処理時間を差引くという

方法もあるが、種の選択の基準は変化し得る。同一資源の同一漁場で、国別などの2種以上の統計が異なった動向を示しているような時は、違いの原因を明らかにする必要がある。古い時代のラフなデータと最近の詳細なデータを組み合わせて、長期の一貫した統計を作る必要も生じる。この場合努力の単位の換算が問題である。異常なデータをどう扱うかについても議論された。特に結果に大きく影響するような点がある時はその信頼度を検討する必要がある。種々の統計的検定法がある。

漁場での密度と、資源全体の密度との関係は、主に南氷洋のミンククジラを対象にして議論された。漁場は氷縁に沿った狭い範囲に形成される。経度で細分した海区ごとのCPUEから密度指数を計算する方法もあるが、これで十分とは言えない。重要な問題として、鯨が漁期中も管理海区内を回遊していて、回遊のパターンは年によって変化し得ることがある。氷縁の漁場でのCPUEからは、より北側の海域の状況はわからない。IDCRのデータなどから、漁場内の密度と全域での豊度の関係を知る方法もあるが、資源豊度が変わっても分布のパターンは変化しないという仮定が必要になる。資源が減少しても、漁場内の密度は変化しないかもしれない。

CPUEの解釈のためには操業の実態のデータが不可欠である。日本の南氷洋捕鯨について、情報が提供された。捕獲割当量と適正な漁期の長さから、基本的操業戦略が事前に決定される。漁期を短縮する経済的利益はないので、割当量から1日当りの平均捕獲数が決められる。移動のためのロスを少なくするように航跡を決め、たとえば船団は漁場を西から東へ順次移動する。BWUやオリンピック方式が、種別、海区別の割当となり、操業の仕方は大きく変わった。これらの詳細なデータは大いに役に立つが、しかしCPUEと豊度の関係に関してはなお多くの問題が残る。

この作業部会でCPUEに関連する多くの問題点が明らかにされ、CPUEを利用することが妥当であることが示されない限り、資源量やその動向を評価するための第一の方法として使用すべきでないという主張も出された。しかしいくつかの資源では、CPUEが唯一のデータであるから、このデータから最大限の情報を引き出す試みをするべきであり、指摘された問題点について検討し、努力と漁獲のデータからよりよい指数を引き出すのに必要な他の情報入手の努力もすべきであることが合意された。具体的には、CAの中でCPUEを使おうとするなら、その資源を利用している国から、操業の方法や戦略についての情報を入手してモデル化すること、また大小いろいろなスケールでの鯨の動きのCPUEへの影響を決定するのに役に立つモデルの開発も試みるべきである、と勧告している。

(2) 改訂管理方式の開発とCPUE

レイキャビクでのCPUE作業部会では、CPUEを否定はしなかったが、その使用について厳しい条件を課することとした。当時CPUEを利用した解析はいくつかの資源で進め

られていたが、個々の研究結果にSCとして合意することができず、資源評価の方法としては重要度を失っていった。一方、南氷洋でのIDCRによるミンク資源量推定がよい結果を生みつつあり、北大西洋では北欧各国が中心になり、国際協同の目視調査が実施され(NASS-87, Anon. 1987)、ミンククジラ資源量が直接推定されるようになった。北太平洋でも日本が目視調査を行い、ミンククジラそのほかの資源量を推定した。

CAの中でCPUEの問題が議論されている一方で、管理方式についてもCAのもとで開発の努力が続けられていた。管理方式の作業部会はレイキャビクでCPUEの作業部会に続いて開催され、今後の進め方が決められた。提案された4つの管理方式の優劣判定のための詳細なシミュレーションの明細が作成された。それぞれの方式で利用できるデータは捕獲統計のほかにCPUEデータおよび5年毎の目視等による資源量推定値とされた。MSYの率などを必要とするときは、上記のデータから推定することになる。その後さらに1つの方式が提案されたが、新方式の採択をめざして部会を繰り返し開催しながら、シミュレーションによるテストが精力的に進められた。各方式とも提案者によって改良が続けられ、CPUEの利用は次第に後退していった。CPUEのデータに対する信頼度が低下していく一方で、目視による絶対値のデータだけでも管理方式が十分に機能することが明らかになってきた。1991年にSCによって最終的に一つの方式が採用されたときには、各方式とも目視による絶対量の推定値のみを使っていた。

CPUEのデータなしでも資源が安全に管理できるということになれば、議論の多いCPUEについて頭を悩ます必要もなくなる。SCの中での資源評価に当って、CPUEは次第に利用されなくなった。たとえば南のミンククジラ資源の場合、母船式捕鯨についてはZahl (1984, 1985) のCPUE補正の試みもあったが、1985に提出された論文(嶋津, 1985)が最後のものとなり、またブラジルの沿岸捕鯨についても、1988年に提出された論文(Zahl, 1988)が最後となった。そして1990年のSC会合で、既存の南ミンククジラのCPUEデータは豊度の指数としては使えないという結論に達した(IWC, 1991)。

(3) 作業部会以後のCPUE論議

商業捕鯨のモラトリウム、改訂管理方式の開発などで、IWCとしては毎年の資源評価の必要性がなくなり、また目視調査が各地で実施されるようになると、SCの中でCPUEはあまり話題とならなくなった。北太平洋、北大西洋のミンククジラなど、いくつかの資源についてはCPUEを用いた解析結果が提出されていたが、それぞれに対して厳しい批判がなされ、CPUEの異常な値、モデルから計算された資源動向との不適合などが指摘された。このような状況のもとで、SCで合意の得られることはなく、したがって資源分類や捕獲停止の影響などについて新しい勧告の出されることもなかった(IWC, 1988)。

1988年以降、SCでの資源評価は主に目視調査にもとづいて行われていたが、ノルウェーは北大西洋のミンククジラについて、CPUEの解析も続け、SCの中でかなりホットな

議論がたたかわされた (IWC, 1991; Schweder, *et al.* 1991; Cooke and Holt, 1991など)。アイランドのナガスクジラやイワシクジラもCPUEについて論じられているが、その有効性には疑問も出されていて、研究の優先順位は低かった (IWC, 1993)。

Schwederは、1993年の京都会議にBarents海のミンククジラについて、新しいCPUEのモデルを用いた解析を提出した (Schweder, 1994)。彼はCPUEの作業部会で、CPUEのデータから最大限の情報を引き出すべきだと勧告されたことにもとづいて研究を行ったと述べている。彼のモデルは、鯨がパッチ状に分布し、捕鯨船はその濃密域を求めて操業しているという前提で組み立てられている。

各捕鯨船の性能が一定で、操業方法も変わらなかった期間を捕鯨船期 (boat period) と呼ぶ。その期間はさらに操業周期に分けられ、操業周期は捕獲期と探索期からなる。捕獲期は捕獲のある日が連続している期間である。探索期は2つの捕獲期の間のことで、その日数からBeaufort階級5以上の日数を差し引いたもので長さを表す。捕獲期と探索期は操業周期として繰返される。海区はBarents海を6区に分け、季節は春と夏に分ける。年を t 、海区を a 、季節を s 、捕鯨船期を b で示し、捕獲期内の日数を D 、その期中の捕獲数から最初の捕獲1頭を除いた値を X 、探索期の長さを T とする。 D が濃密域の大きさを表し、 X/D はその中での鯨の密度を表すものとする。 T は濃密域の分布密度に反比例すると考えられる。 θ を濃密域内の鯨の密度、 μ を濃密域の分布密度、 ρ を濃密域の面積とすると、Barents海内の鯨の数は $P = \theta \mu \rho$ である。

ある D の値の時の X の期待値は θD に比例すると仮定し、

$$E(X/D) = \exp(ub + ua + us + uas + \log(D) + \log(\theta t)) \quad (5 \cdot 13)$$

とする。 u は X に関連したパラメタである。この対数線形モデルを、固定された D のもとでの X がPoisson分布をすることとして最尤法で当てはめる。 $\log(\theta)$ の変化には、条件を付けない場合と、5、10および20年周期の振動をすることとして平滑化した場合も検討している。

D については、 $E(D)$ が濃密域の面積に比例すると仮定する。濃密域が大きいほど発見されやすいので、観測された D は大きさに対して偏った結果を与える。濃密域の発見確率が濃密域の半径 (面積の平方根) に比例するものとする、半径 r の観測値の分布は $f_{ob}(r) = rf(r)/E(R)$ である。ここで R は偏りのない分布の半径、 $f(r)$ は偏りのない半径の分布である。偏った分布の半径を R_{ob} で表すと、 $E(R_{ob}) = E(R^2)/E(R)$ 、 $E(1/R_{ob}) = 1/E(R)$ の関係から

$$E(R^2) = E(R_{ob})/E(1/R_{ob}) \quad (5 \cdot 14)$$

R^2 と D が比例関係にあるという仮定から、(5・14) にならって

$$A_{bas} = \Sigma (D_{bas})^{1/2} / \Sigma (1 / (D_{bas})^{1/2}) \quad (5 \cdot 15)$$

として濃密域の面積 A_{bas} が推定できる。その統計モデルを

$$E \{ \log (A_{bas}) \} = v_b + v_a + v_s + v_{as} + \log (\rho t) \quad (5 \cdot 16)$$

とおく。 $\log (\rho t)$ は最尤法で求める。

第3の要素、濃密域の分布密度は、探索期の長さ T から

$$E \{ \log (T) \} = w_b + w_a + w_s + w_{as} - \log (\mu t) \quad (5 \cdot 17)$$

とする。 T と μ は反比例の関係にあるから $\log (\mu t)$ の前に負の記号がつく。推定は最尤法による。

豊度の相対指数は、推定された θ 、 μ 、 ρ を掛け合わせたものである。この方法によって得られた指数をCOMP (composite series) と呼ぶことにする。シミュレーションによってCOMPをNCD (net CDW)、ACD (acceptable catcher day) による結果と比較する。ACDとは、捕獲のあった日および捕獲のない日でBeaufort階級4以下の日を合わせたものである。結果を比較してみると、ACDが最もあてはまりがよく、NCDは最低であった。濃密域の密度や面積の変動が大きい時には、NCDによる結果の精度はかなり落ちるが、ACDはよい結果を与えた。COMPはNCDよりはよいが、ACDにややおとる結果となった。

濃密域内の鯨の密度を知るには、COMPの $E(X/D)$ のモデルによる方がNCDよりはるかによい結果を与える。ミンククジラのパッチ状分布は餌生物の分布を反映していると思われるが、餌となるニシンもシシャモも長期的に大きな変動をしている。餌とミンククジラの関連を調べることは容易ではないが、餌の側の変化につれてミンククジラの濃密域の分布のあり方が変化しているとすると、濃密域変動の影響が大きいNCD法は不適といえる。

ACDによって1952年から1983年までの資源の変化を見ると、最終年には初年度の70%に減少したと推定された。またこの期間に1970年頃を山とする20年周期の変動のあることが認められたが、一方対数での直線的減少傾向は有意でなかった。資源はほぼ一定の水準の周りに変動していて、1983年はたまたま谷に当たっていたと考えられ、資源はこれから増加に転じると期待される。資源の周期変動の原因は次のように説明できる。Barents海での捕獲は戦後急増し、1950年代に資源レベルは低下したが、密度効果により加入が増し、1960年代に資源が増加した。その結果資源は1980年に向けて減少した。但しデータの得られている期間が30年余と短いために、将来もこの周期性が続くかどうかはわからない。

Cookeも1993年の京都会議に論文を提出した (Cooke, 1993)。彼はNCDを使っている

が、CPUEは全体として年1.6%で減少を示した。この外に6.8年と3.4年の周期変動も有意であった。1930にくらべて1993年の資源量は50%以下にまで下がっていると推定された。この論文に対してSchwederはNCDを使用したことによる偏り、および性能の向上の影響が十分に除かれていない可能性を指摘した (IWC, 1994)。

これらの解析が、CPUE作業部会で一部の人から表明された、CPUEと豊度の関係が明らかになった時にのみ資源評価の主な方法として利用できる、という基準に合っているかどうかの問題となった。Cookeはこの研究や彼等の以前の研究は、豊度との関係の問題の解決に向っての大きな前進であると述べた。SchwederはCPUE作業部会の悲観論に反対し、CPUEは資源モニタリングのための有用な方法であると主張し、Butterworthもこの考え方を支持した。(IWC, 1994)。

これらの主張にもかかわらず、CPUEの議論は以後SCの中にはほとんど現れなくなった。近年の資源評価に関連した議論は、目視調査による絶対量推定値の偏りの問題に移っている。たとえば日本の捕獲調査での資源量推定値がIDCRによる推定値より低いことが問題となった (田中, 2002)。また南氷洋ミンククジラのIDCR/SOWER調査で、3巡目の推定値が著しく減少したことを受けて、その原因の究明が続けられている (IWC, 2001)。

むすびにかえて

捕鯨問題でCPUEが話題になるたびに、いつも思い出されることがある。さる科学者から聞いた話であるが、ある船団長が“どんなCPUEの数値でも、科学者のご希望に沿って作ってあげます”と言ったというのである。船団長の真意は、CPUEの値などは、操業の仕方によって大きく変わり得るので、そのような数値によって、精密な資源解析をすることに対する基本的な疑問を投げ掛けたものであろう。それではCPUEなど忘れてしまった方が良いのだろうか。CPUEが使えないならばどうやって資源をモニターすればよいのだろうか。幸い捕鯨の場合、相当の経費の負担は避けられないが、目視調査が有効であった。浮魚などでは魚探調査が広く応用されている。しかしこのような方法の適用できない資源や漁業も多いし、これらの情報があれば、漁獲や努力の統計はもはや不要というものでもない。CPUEには偏りがあると言うなら、目視調査による絶対値の推定にも偏りがある。CPUEの偏りの方向あるいは性質がわかっているならば、それを十分承知の上で、少なくとも定性的にはこれを利用することができるはずだ。

魚群に直接接している漁業者的感覚で言えば、毎日毎日の漁獲は“海からの便り”であろう。精密な資源解析に利用するためには、慎重な対応が要求されるのは当然として、科学者も漁師的感覚で海の中を見る必要があるのではないか。科学者が漁獲統計を利用して資源について何らかの判断をしようとするならば、その漁業について精通していることが必要だという言葉が思い出される (FAO, 1976)。

註

- 註1. この報告で、数式等の記号は、差支えない限り原著者の用法によった。したがって、同じ量が別の文字で示されていることがある。例えば努力量には、 f 、 E 、 F などが用いられている。記号の意味はその都度説明してある。
- 註2. シロナガスクジラ単位BWU：鯨種を区別せずに捕獲限度量を与えるための単位。油の生産量を基準にして決められた。ナガスクジラ2頭、ザトウクジラ2.5頭、イワシクジラ6頭をもってシロナガスクジラ1頭に換算する。1971/72漁期まで続けられた。

文 献

- Allen, K. R. (1966): Some methods for estimating exploited populations. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 23(10):1553-1574.
- Allen, K. R. (1977): Changes in catch and population for sustained managed stocks below MSY level. *Rep. int. Whal. Commn*, 27:104-105.
- Allen, K. R. (1980a): Estimation of monthly standardising factors for Japanese fishing effort for minke whales in Areas III and IV, 1971/72-1978/79. *Rep. int. Whal. Commn*, 30:101.
- Allen, K. R. (1980b): The influence of schooling behavior on CPUE as an index of abundance. *Rep. int. Whal. Commn, Special Issue 2*:141-146.
- Allen, K. R. (1980c): Relation between catch per CDW and indices of abundance allowing for non-searching time and operation on schools. *Rep. int. Whal. Commn, Special Issue 2*:251-254.
- Allen, K. R. and Kirkwood, G. P. (1977): A simplified computer programme for the estimation of exploited population (CHPOP). *Rep. int. Whal. Commn*, 27:258-259.
- Allen, K. R. and Kirkwood, G. P. (1978): Simulation of Southern Hemisphere sei whale stocks. *Rep. int. Whal. Commn*, 28:151-157.
- Allen, K. R. and Kirkwood, G. P. (1979): Program to estimate baleen whale population sizes (BALEEN). *Rep. int. Whal. Commn*, 29:367-368.
- Anon. (1987): Report of the North Atlantic sighting survey planning meetings, Feb. 18-19 and Mar. 21-22 1987. Paper SC/39/O14 presented to the IWC Scientific Committee, June 1987, Bournemouth (unpublished), 18pp.

- Baranov, F. I. (1918): 漁業における生物学的基礎の問題. (笠原・深滝訳) 水産庁, 漁業科学叢書, 1, 48pp. (1951).
- Baranov, F. I. (1925): 漁業の動態の問題. (笠原・深滝訳) 水産庁, 漁業科学叢書, 2, 1-7. (1952).
- Beddington, J. R. (1979): On some problems of estimating population abundance from catch data. *Rep. int. Whal. Commn*, 29:149-154.
- Beddington, J. R. and Cooke, J. G. (1981): Development of an assessment technique for male sperm whales based on the use of length data from the catches, with special reference to the North-west Pacific stock. *Rep. int. Whal. Commn*, 31: 747-760.
- Best, P. B. (1973): Status of whale stocks off South Africa, 1971. *Rep. int. Whal. Commn*, 23:115-126.
- Beverton, R. J. H. (1953): Some observations on the principles of fishery regulation. *J. Cons. int. Explor. Mer*, 19(1):56-68.
- Breiwick, J. M. (1976): Population estimation of Antarctic minke whales based on Japanese catch and effort data. *Rep. int. Whal. Commn*, 26(2), *Rep. Pap. Scien. Commnt.* 1975:287-296.
- Breiwick, J. M. (1977): Analysis of the Antarctic fin whale stock in Area I. *Rep. int. Whal. Commn*, 27:124-127.
- Burt, M. L. and Borchers, D. L. (1997): Minke whale abundance estimated from the 1991/92 and 1992/93 JARPA sighting surveys. Paper SC/M97/23 presented to the IWC Scientific Committee, May 1997, Tokyo (unpublished), 16pp.
- Chapman, D. G. (1971): Analysis of 1969/70 catch and effort data for Antarctic baleen whale stocks. *Rep. int. Whal. Commn*, 21:67-75.
- Chapman, D. G. (1974): Estimation of population size and sustainable yield of sei whales in the Antarctic. *Rep. int. Whal. Commn*, 24:82-90.
- Chapman, D. G., Allen, K. R. and Holt, S. J. (1964): Special Committee of Three Scientists, Final Report. *Rep. int. Whal. Commn*, 14:39-92.
- Chapman, D. G., Allen, K. R., Gulland, J. A. and Holt, S. J. (1965): Report of the Committee of Four Scientists. *Rep. int. Whal. Commn*, 15:47-60.
- Christensen, I. (1983): Catch per unit of effort in the Norwegian minke whale fishery, 1952-1981, and the sex composition of catches in recent years. *Rep. int. Whal. Commn*, 33:353-356.
- Clark, C. W. (1974): Possible effects of schooling on the dynamics of exploited fish populations. *J. Cons. int. Explor, Mer*, 36(1):7-14.
- Cooke, J. G. (1984): The relationship between the net catcher day and the gross catcher

- day as a unit of effort, with reference to the Norwegian minke whale fishery. *Rep. int. Whal. Commn*, 34:288-290.
- Cooke, J. G. (1985): On the relationship between catch per unit effort and whale abundance. *Rep. int. Whal. Commn*, 35:511-519.
- Cooke, J. G. (1993): Further analyses of minke whale CPUE in the Northeast Atlantic, with estimates of yield rate. Paper SC/45/NA7 presented to the IWC Scientific Committee, April 1993, Kyoto (unpublished), 18pp.
- Cooke, J. G. and de la Mare, W. K. (1983a): An analysis of the trends in catch per unit effort for the North-west Pacific sperm whale with reference to the length structure of the catches. *Rep. int. Whal. Commn*, 33:269-274.
- Cooke, J. G. and de la Mare, W. K. (1983b): The analysis of Southern Hemisphere minke whale catch and effort data. *Rep. int. Whal. Commn*, 33:347-351.
- Cooke, J. G. and Holt, S. J. (1991): Regression analysis of greater Barents Sea CPUE data by area and month, 1951-83. *Rep. int. Whal. Commn*, 41:154-157.
- Doi, T., Ohsumi, S., Nasu, K. and Shimadzu, Y. (1970): Advanced assessment of the fin whale stock in the Antarctic. *Rep. int. Whal. Commn*, 20:60-87.
- FAO (1966): Report on the effects on the whale stocks of pelagic operations in the Antarctic during the 1964/65 season, and on the present status of those stocks. *Rep. int. Whal. Commn*, 16:25-43.
- FAO (1967): Report on the effects on the whale stocks of pelagic operations in the Antarctic during the 1965/66 season, and on the present status of those stocks. *Rep. int. Whal. Commn*, 17:47-69.
- FAO (1968): Report on the effects on the whale stocks of pelagic operations in the Antarctic during the 1966/67 season, and on the present status of those stocks. *Rep. int. Whal. Commn*, 18:23-47.
- FAO (1970): Report on the effects on the whale stocks of pelagic operations in the Antarctic during the 1968/69 season, and on the present status of those stocks. *Rep. int. Whal. Commn*, 20:21-32.
- FAO (1976): Monitoring of fish stock abundance: The use of catch and effort data. A report of the ACMRR Working Party on Fishing Effort and Monitoring of Fish Stock Abundance, *Fish. Tech. Paper*, 155:1-19.
- Fowler, C. W. (1980): A rationale for modifying effort by catch, using the sperm whale of the North Pacific as an example. *Rep. int. Whal. Commn, Special Issue 2*: 99-102.
- Free, C. A. and Grenfell, B. T. (1981): Notes on the interpretation of assessments of minke whale populations using the computer program BALEEN. *Rep. int. Whal. Commn*,

31:116-118.

- Garrod, D. J. (1976): Catch per unit effort in long range North Atlantic demersal fisheries, and its use in conjunction with cohort analysis. *Fish. Tech. Paper*, 155:37-50.
- Graham, M. (1956): Concepts of conservation. Paper A/CONF. 10/L. 2 presented at the International Technical Conference for Conservation of Living Resources of the Sea, FAO, Rome, 1-13.
- Grenfell, B. T. and Allen, K. R. (1981): Calculation of standardized catch rates within areas. *Rep. int. Whal. Commn*, 31:115.
- Grenfell, B. T. and Beddington, J. R. (1981): A new population model and assessment technique based on proportional maturity and recruitment with application to the minke whales of the Southern Hemisphere. *Rep. int. Whal. Commn*, 31:233-239.
- Gulland, J. A. (1955): Estimation of growth and mortality in commercial fish populations. *Fish. Invest. Ser. II*, 18(9):1-46.
- Gulland, J. A. (1964a): Catch per unit effort as a measure of abundance. *Rapp. P. -v. Réun, Cons. int. Explor. Mer*, 155:8-14.
- Gulland, J. A. (1964b): The reliability of the catch per unit effort as a measure of abundance in North Sea trawl fisheries. *Rapp. P. -v. Réun, Cons. int. Explor. Mer*, 155: 99-102.
- Gulland, J. A. and Kesteven, G. L. (1964): The effect of weather on catches of whales. *Rep. int. Whal. Commn*, 14:87-90.
- Hakamada, T. and Fujise, Y. (2000): Report of an experiment on alternative sampling methodology performed during the 1999/2000 JARPA survey. Paper SC/52/O19 presented to the IWC Scientific Committee, June 2000, Adelaide (unpublished), 6pp.
- Hiby, A. R. and Hammond, P. S. (1989): Survey techniques for estimating abundance of cetaceans. *Rep. int. Whal. Commn, Special Issue* 11:47-80.
- Hjort, J., Jahn, G. and Ottestad, P. (1933): The optimum catch. *Hvalrådets Skrifter*, 7:92-127.
- Hjort, J., Lie, J. and Ruud, J. T. (1932): Norwegian pelagic whaling in the Antarctic I. *Hvalrådets Skrifter*, 3:1-48.
- Hjort, J., Lie, J. and Ruud, J. T. (1933): Norwegian pelagic whaling in the Antarctic II. *Hvalrådets Skrifter*, 7:128-159.
- Hjort, J., Lie, J. and Ruud, J. T. (1934): Pelagic whaling in the Antarctic IV. *Hvalrådets Skrifter*, 9:1-38.
- Holt, S. J. (1979): A simple model of pelagic whaling. *Rep. int. Whal. Commn*, 29:155-157.
- Holt, S. J. and Gulland, J. A. (1964): Measures of abundance of Antarctic whale stocks.

- Rapp. P. -v. Réun, Cons. int. Explor. Mer*, 155:147-151.
- Holt, S. J. and Gulland, J. A. (1965): Supplementary note to the Report of the Committee of Four Scientists. *Rep. int. Whal. Commn*, 15:60.
- ICES (1964): Contributions to Symposium 1963, On the measurement of abundance of fish stocks (Gulland ed.). *Rapp. P. -v. Réun, Cons. int. Explor. Mer*, 155:217pp.
- IWC (1953): Scientific Subcommittees' report. 5th Meeting, Doc. II with Appdx:9pp.
- IWC (1954): Report of the special Scientific Subcommittee. 6th Meeting, Doc. II :9pp. Doc. III :8pp.
- IWC (1955): Report of Scientific Sub-Committee. *Rep. int. Whal. Commn*, 6:17-24.
- IWC (1956): Report of Scientific Sub-Committee. *Rep. int. Whal. Commn*, 7:20-26.
- IWC (1957): Report of Scientific Sub-Committee. *Rep. int. Whal. Commn*, 8:20-27.
- IWC (1960): Report of ad hoc Scientific Committee of 1960. *Rep. int. Whal. Commn*, 11:23-29.
- IWC (1961): Report. *Rep. int. Whal. Commn*, 12:3-10; Chairman's report of the twelfth meeting. 12:14-22.
- IWC (1962): Meeting of the special ad hoc Scientific Committee. *Rep. int. Whal. Commn*, 13:38-54. (Measurement of fishing effort. 13:45-48).
- IWC (1964): Chairman's report of the fourteenth meeting. *Rep. int. Whal. Commn*, 14:14-23; Report of the Scientific Committee. 14:23-32; Report of the Committee of Three Scientists on the special scientific investigation of the Antarctic whale stocks. 14:32-35.
- IWC (1965): Report of Scientific Committee. *Rep. int. Whal. Commn*, 15:26-46.
- IWC (1967): Report of IWC/FAO joint working party on whale stock assessment held from 26th January to 2nd February, 1966 in Seattle. *Rep. int. Whal. Commn*, 17:27-47.
- IWC (1971): Report of the special meeting on Antarctic fin whale stock assessment. *Rep. int. Whal. Commn*, 21:34-39.
- IWC (1973): Sub-Committee on research needs. *Rep. int. Whal. Commn*, 23:89-94.
- IWC (1974): Additional information on effort data requested in conjunction with the data already listed in Schedule Item 16. *Rep. int. Whal. Commn*, 24:78.
- IWC (1977): Sei whales. *Rep. int. Whal. Commn*, 27:39-41.
- IWC (1979): Report of the sub-committee on sei and Brydes whales. *Rep. int. Whal. Commn*, 29:55-60; Report of the sub-committee on sperm whales. 29:65-74.
- IWC (1980a): Report of the sub-committee on minke whales. *Rep. int. Whal. Commn*, 30:96-103.
- IWC (1980b): Report of the special meeting on North Pacific sperm whale assessments.

- Rep. int. Whal. Commn, Special Issue 2:1-10.*
- IWC (1985): Scientific aspects of management. *Rep. int. Whal. Commn*, 35:35-38.
- IWC (1986): Future activities of the Commission. *Rep. int. Whal. Commn*, 36:34-37.
- IWC (1987): Planning of the comprehensive assessment. *Rep. int. Whal. Commn*, 37:31-36;
Report of the special meeting of the Scientific Committee on planning for a comprehensive assessment of whale stocks. 37:147-157.
- IWC (1988): Whale stocks, status and advice. *Rep. int. Whal. Commn*, 38:41-48; Comprehensive assessment workshop on catch per unit effort (CPUE). 38:157-162.
- IWC (1991): Comprehensive assessment—Priority stocks. *Rep. int. Whal. Commn*, 41:57-70.
- IWC (1993): Fin whales. *Rep. int. Whal. Commn*, 43:119-120; Sei whales. 43:120.
- IWC (1994): Comprehensive assessment—Other stocks. *Rep. int. Whal. Commn*, 44:53-54.
- IWC (2001): Comprehensive assessment of whale stocks—In-depth assessments. *J. Cetacean Res. Manage.* 3 (Supple.):26-32.
- 笠松不二男 (1991) : 鯨類目視調査の実態と南半球産ミンククジラへの適用. (桜本・加藤・田中編) 鯨類資源の研究と管理, 恒星社厚生閣, 東京, 132-144.
- 木部崎 修 (1956) : 漁獲努力に関連して. *水産科学*, 6 (2):6-11.
- Kirkwood, G. P. (1979): The net catcher day as a measure of effort. *Rep. int. Whal. Commn*, 29:163-165.
- Kirkwood, G. P. and Beddington, J. R. (1979): Calculation of effort and CPUE. *Rep. int. Whal. Commn*, 29:72.
- 岸野洋久 (1991) : ライトランセクト・サンプリングによる鯨類のモニタリング. (桜本・加藤・田中編) 鯨類資源の研究と管理, 恒星社厚生閣, 東京, 117-131.
- MacCall, A. D. (1976): Density dependence of catchability coefficient in the California Pacific sardine, *Sardinops sagax caerulea*, purse seine fishery. *Rep. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest.* 18:136-148.
- Nishiwaki, S., Matsuoka, K., Kawasaki, M., Kishino, H. and Kasamatsu, F. (1997): Review of the sighting survey in the JARPA. Paper SC/M97/1 presented to the IWC Scientific Committee, May 1997, Tokyo (unpublished), 42pp.
- 大隅清治 (1969) : 捕鯨における漁獲努力量と資源量指数. 遠洋水産研究所, 32pp.
- Ohsumi, S. (1976): An attempt to standardize fishing effort as applied to the stock assessment of the minke whale in the Antarctic Area IV. *Rep. int. Whal. Commn*, 26(2), *Rep. Pap. Scien. Commnt.* 1975:404-408.
- Ohsumi, S. (1979): Population assessment of the Antarctic minke whale. *Rep. int. Whal. Commn*, 29:407-420.
- Ohsumi, S. (1980): Criticism on Japanese fishing effort for sperm whales in the North

- Pacific. *Rep. int. Whal. Commn, Special Issue 2*:19-30.
- Ohsumi, S. and Fukuda, Y. (1975a): A review on population estimates for the North Pacific sei whales. *Rep. int. Whal. Commn*, 25:95-101.
- Ohsumi, S. and Fukuda, Y. (1975b): On the estimations of exploitable population size and replacement yield for the Antarctic sei whale by use of catch and effort data. *Rep. int. Whal. Commn*, 25:102-105.
- Ohsumi, S. and Masaki, Y. (1974): Status of whale stocks in the Antarctic, 1972/73. *Rep. int. Whal. Commn*, 24:102-113.
- Ohsumi, S. and Yamamura, K. (1978): Catcher's hour's work and its correction as a measure of fishing effort for sei whales in the Antarctic. *Rep. int. Whal. Commn*, 28:459-467.
- Østvedt, O. J. (1964): Comparison between catch per unit effort in the Norwegian gill-net and purse-seine fishery for herring. *Rapp. P. -v. Réun, Cons. int. Explor. Mer*, 155:90-93.
- Paloheimo, J. E. and Dickie, L. M. (1964): Abundance and fishing success. *Rapp. P. -v. Réun, Cons. int. Explor. Mer*, 155:152-163.
- Ricker, W. E. (1940): Relation of "catch per unit effort" to abundance and rate of exploitation. *J. Fish. Res. Bd. Canada*, 5(1):43-70.
- Ricker, W. E. (1944): Further notes on fishing mortality and effort. *Copeia*, 1944 (1):23-44.
- Rørvik, C. J. (1980): Biases in a time budget model for modern whaling. *Rep. int. Whal. Commn, Special Issue 2*:159-160.
- Rørvik, C. J. and Christensen, I. (1981): Considerations of factors affecting catch per unit effort in the Norwegian minke whale fishery. *Rep. int. Whal. Commn*, 31:271-278.
- Rørvik, C. J., Øien, N., Øritsland, T. and Christensen, I. (1985): Revised assessment of the Northeast Atlantic stock of minke whales. *Rep. int. Whal. Commn*, 35:251-259.
- Russell, E. S. (1931): Some theoretical considerations on the "overfishing" problem. *J. Cons. int. Explor. Mer*, 6(1):3-20.
- Russell, E. S. (1939): An elementary treatment of the overfishing problem. *Rapp. P. -v. Réun, Cons. int. Explor. Mer*, 110:5-14.
- Schweder, T. (1998): A proposed modification for the JARPA sighting and sampling protocol. *Rep. int. Whal. Commn*, 48:298.
- Schweder, T., Ulltang, Ø. and Volden, R. (1991): A review of the Norwegian catch and effort in Northeast Atlantic minke whaling from 1952 to 1983. *Rep. int. Whal. Commn*, 41:401-415.
- Schweder, T. and Volden, R. (1994): Relative abundance series for minke whales in the Barents Sea, 1952 to 1983. *Rep. int. Whal. Commn*, 44:323-332.

- Shimadzu, Y. (1979): The effect of meteorological factors on the catch of the minke whale in the Antarctic. *Rep. int. Whal. Commn*, 29:447-449.
- Shimadzu, Y. (1980): Basis of fishing effort for minke whaling in the Antarctic. *Rep. int. Whal. Commn*, 30:425-433.
- Shimadzu, Y. (1985): An analysis of catch effort data from Japanese Antarctic minke whaling, 1971/72-1982/83. Paper SC/37/Mi11 presented to the IWC Scientific Committee, May 1985, Bournemouth (unpublished), 17pp.
- 田中昌一 (1954) : 漁獲努力量制限の効果について. 日本水産誌, 20(7):599-603.
- 田中昌一 (1957) : 資源量の相対指数と有効漁獲努力量. 東海水研報, 17:1-13.
- 田中昌一 (1973) : 展望—水産資源学の歴史と将来. (田中昌一編) 水産資源論, 東大出版会, 東京, 1-5.
- 田中昌一 (1985) : 水産資源学総論. 恒星社厚生閣, 東京, 381pp.
- 田中昌一 (1998) : 鯨の資源, その利用と管理の過去と現在. (山本・真道編) 世界の漁業, 第一編 世界レベルの漁業動向, 海外漁業協力財団, 海漁協(資)156:311-336.
- Tanaka, S. (2002): Bias in density estimates by line transect survey where sighting effort is reduced in high-density areas. *J. Cetacean Res. Manage.* に投稿中. (SC/51/CAWS12を改訂したもの).
- 田内森三郎 (1936) : 魚群体. 植物及動物, 4(5):155-160.
- Tillman, M. F. and Grenfell, B. (1980): Estimates of abundance for the western North Pacific stock of Bryde's whales. *Rep. int. Whal. Commn*, 30:369-373.
- Ulltang, Ø. (1976): Catch per unit of effort in the Norwegian purse seine fishery for Atlanto-Scandian (Norwegian spring spawning) herring. *FAO Fish. Tech. Paper*, 155:91-101.
- Ulltang, Ø. (1980): Factors affecting the reaction of pelagic fish stocks to exploitation and requiring a new approach to assessment and management. *Rapp. P. -v. Réun, Cons. int. Explor. Mer*, 177:489-504.
- Yamamura, K. and Ohsumi, S. (1981): Comparison of the yearly changes in CPUE for minke whales in the Antarctic based on Japanese and Soviet effort data. *Rep. int. Whal. Commn*, 31:327-332.
- 山中一郎 (1954) : 体長制限の効果について (I). 日本水産年報, 1:119-126.
- Zahl, S. (1982): Bias of the CPUE using search time as effort measure. *Rep. int. Whal. Commn*, 32:809-813.
- Zahl, S. (1983): Correcting the bias of the CPUE due to a varying whale density. *Rep. int. Whal. Commn*, 33:307-308.
- Zahl, S. (1984): Adjustments to the CPUE for Antarctic minke whaling. *Rep. int. Whal.*

Commn, 34:275-279.

Zahl, S. (1985): Revised model for adjustment of Antarctic Japanese minke whale data 1973-1982. *Rep. int. Whal. Commn*, 35:223-226.

Zahl, S. (1988): Analysis of Brazilian minke whale data from 1966-1985. Paper SC/40/Mi5 presented to the IWC Scientific Committee, May 1988, San Diego (unpublished), 6pp.

漁獲努力量とCPUE - 捕鯨をめぐる

鯨研叢書 No.8

2002年6月20日発行

著者 田中昌一
財団法人 日本鯨類研究所 顧問

発行者 財団法人 日本鯨類研究所
〒104-0055
東京都中央区豊海町4-5 豊海振興ビル5F
電話 03-3536-6521

印刷 株式会社 連合印刷センター
〒160-0008
東京都新宿区三栄町18 連合ビル3F
電話 03-3225-1241