総 説

21 世紀の水産資源管理

田 中 昌 一*

(2001 年 3 月 23 日受付, 2001 年 6 月 27 日受理)

東京大学名誉教授・東京水産大学名誉教授

Fisheries management in the 21st century

SYOITI TANAKA*

Institute of Cetacean Research, Chuo, Tokyo 104-0055, Japan

During the last 100 years, fish population dynamics have explained the phenomenon of overfishing and have been used to determine optimum fishing such as MSY. Results from studies have been applied to fisheries management of various kinds of fish stocks. In the latter half of the 20th century, progress in computer techniques have enabled new theories of dynamics and techniques of data analyses to be developed. Various practical targets and criteria for fisheries management have been proposed. Nevertheless, most of the fish stocks in the world are at risk of overfishing. Researches of fish stocks often failed to provide decisive answers, and uncertainties in the fish stocks themselves and methodology for assessment remain. Fisheries are expected to become a larger food source in the new century, when the global population will reach 10 billion. Novel fisheries management as well as fishing techniques in the 21st century are required. Management procedures utilizing a feedback system should be practised, and key data for resolving uncertainties should be acquired.

キーワード：資源管理，動態モデル，資源評価，フィードバック管理，ベイズ統計

21 世紀は漁業にとって特別の意味のある時代だと思う。21 世紀の半ばには世界の人口が 100 億に達するという予想がある。しかし陸上での食料生産に限界があることから、海洋からの食料供給に大きな期待が寄せられている。しかし現実には世界的に水産資源の過剰漁獲がひろがっており、さらに生産を増強できるようには見えない。従来の漁業の概念にとどまっている限り、このことは誤りではない。それにもかかわらず、実際に海洋の潜在的生物生産量は庞大である。この生物生産を人類の福祉のために最大限かつ持続的に利用することが、水産関係者に課せられた責任である。今後何十年か経た後、21 世紀の当初に水産関係者は何をしていたのかと問われることがないように、今我々は努力しなければならない。

1. 20 世紀の資源管理

1.1 考え方

水産資源学は 19 世紀末に顕在化してきた資源枯渇の原因をさぐり、合理的漁業のあり方を示すことを目指して始まった。したがって約 100 年の歴史がある。20 世紀の資源学は、いろいろなモデルで漁業の強さと漁獲量の関係を記述しようと試みた。

個体群の成長に関する論議は古く 18 世紀終りの Malthus の人口論に始まるが、19 世紀に入って Verhulst が Malthus に反論する形でロジスティック曲線を導いた。20 世紀に入り Pearl¹⁾はこの増殖曲線が人口以外に、ショウジョウバエや酵母菌などの増殖に広く適用できることを見出した。Hjort *et al.*²⁾や Graham³⁾は S 字状の個体群の増殖理論を漁業に応用し、資源を増殖量が最大になる水準に維持すれば最大の漁獲量が持続的に得られることを主張した。Schaefer⁴⁾はこのモデ

* Tel : 81-3-3536-6521. Fax : 81-3-3536-6522

ルをキハダマグロの漁獲統計に適用して、持続可能な最大の漁獲量 (MSY) や漁獲率を推定した。このモデルは余剰生産モデルと呼ばれている。ロジスティックモデルでは資源が環境容量の半分に減少した時に MSY が得られるが、この水準を 0.5 以外の場合に拡張したのが Pella & Tomlinson⁵⁾ のモデルである。

資源は漁獲のない状態では、個体の成長、死亡および若齢魚の加入によって増減する。⁶⁾ 余剰生産モデルは、これら 3 つの要素の総合された効果を論じたものである。一定の加入量を得られるという条件のもとで、成長、生残を考慮したモデルは Baranov⁷⁾ の先駆的論文に始まり、理論は 1960 年頃に完成された。^{8,9)} ここでも漁業のあり方と漁獲量の関係が論じられ、加入量当たりの漁獲量が最大になる漁獲係数 F 、あるいは漁獲開始年令 t_e の存在が示された。この関係を図で示すものとして、 F と t_e の 2 次元の平面上に等漁獲量曲線を表示する方法が提案された。¹⁰⁾

若齢魚の加入に関するモデルが取り上げられたのは、余剰生産モデルや成長、生残モデルにくらべてずっと新しく、Ricker¹¹⁾ が最初である。底魚などでは、一般に資源への加入は親の量のかなり広い範囲で一定か、あるいは親の量とは無関係に変動していると考えられていた。したがって加入量当たり漁獲量が中心的関心事項であった。一方サケ・マス類は産卵のために沿岸に回帰して来たところで集中的に漁獲され、親魚は産卵後すべて死ぬ。このような条件のもとでは、次世代の資源を維持するためにはどれだけの親に産卵させればよいかが重要課題である。カナダ太平洋岸の最も重要な魚種はサケ・マス類であるが、このような環境の中で Ricker は親子の量的関係を示す再生産モデルを展開した。子の量が親の量を越える時は、その分が余剰生産となり、漁獲が許されるが、余剰量はある親の量のところで最大となる。親の量をこの水準に維持すれば、MSY が得られる。

1.2 モデルの資源評価への応用の例

国際捕鯨委員会 (IWC) は 1975 年に新管理方式 (NMP) を導入したが、¹²⁾ これは余剰生産モデルを根拠としている。毎年の捕獲限度量の決定方式を図 1 に示す。¹³⁾ 資源が MSY を与える水準よりも大きい時には、MSY の 9 割を限度量とする。資源が MSY 水準の 9 割より低くなった時は禁漁とする。この 2 つの段階の間は直線で結ばれている。MSY の 9 割を限度とするのは、MSY の推定値の誤差等に対する安全のためである。MSY の水準以下で限度量を著しく低く押さえているのは、資源の速やかな回復のためである。

図 2 は東シナ海、黄海の底魚について描いた等漁獲量曲線の例である。^{9,14)} この図にはその時点での漁獲量および努力当たり漁獲量の等量線が示されている。ほとんどの魚種で、漁獲開始年齢を引き上げると漁獲量、努

図 1 新管理方式 (NMP) の資源 3 分類と捕獲限度量。¹³⁾ PS, 保護資源; SMS, 維持管理資源; IMS, 初期管理資源; K, P_0 , 初期資源量。

図 2 東シナ海・黄海の重要底魚資源の漁獲量 (太線)、努力当たり漁獲量 (細線) の等量線図。¹⁴⁾ 小円は現在点、破線は漁獲量 2 割増の線、鎖線はある t_e に対して漁獲量が最大になる F 。

力当たり漁獲量が共に増大すると期待された。

1.3 最近の進歩

資源の動態に関する重要な論文が 1960 年前後に相次いで発表され、^{8,9,15)} 基本的理論はこれで完成されたといってもよからう。その後の研究は、主にデータ解析法の開発や資源管理の目標に関する論議に向けられた。資源の予測できない変動性、不確実性のもとでの資源管理のあり方も、いろいろな面から論議されている。変動性への対応戦略として、毎年の漁獲率を一定にする戦略、産卵親魚量を一定に保つ戦略などが提案され、その優劣が論じられている。予防原理 (precautionary principle) は、初め 1992 年リオデジャネイロの国連環境開発会議で出されたが、科学的根拠のないことを理由に予防措置を先に延ばしてはならないとしている。避けがたい不確実性に対する一つの重要な考え方である。

電算機の進歩はデータの解析法を飛躍的に発展させた。将来予測のためのシミュレーション、多数のパラメ

図3 一定の加入量の場合のMSYに対応する漁獲係数 F_{max} およびより控え目な $F_{0.1}$ 。¹⁷⁾ (a)原点付近での曲線の接線, (b) aの1/10の勾配の直線, (c) bに平行な接線。

ターの同時推定などが盛んに行なわれた。多くの環境要素や魚種間関係を考慮した複雑な生態系モデルも、データがある限り解析できる。またモデルの予測した結果と実際の結果の比較から、モデルの妥当性の評価もできる。

かつては資源管理の目標は物的生産を最大にするMSY,あるいは経済純生産を最大にするMEY¹⁶⁾であるとされていた。このことは現在でも間違いではないが、漁業の現場では、必要パラメーターの推定,あるいは資源状態や社会状態の将来予測がむずかしく、不確実性が高い。そのため、MSYは経済的に無駄が多いばかりでなく、これだけでは資源の乱獲を防げなくなって来た。経済的観点と共に、資源の評価や予測の信頼度を資源管理の方式の中に組み込む必要がある。そのような背景から、加入量一定の場合のMSYに対応する漁獲係数より低い $F_{0.1}$ が導入された(図3)。¹⁷⁾ また漁獲力が強くなり過ぎて、一定の加入が期待できない水準にまで資源を低下させる加入乱獲の恐れが高まり、未開発当時にくらべて加入量当たりの親魚産卵量がどのくらいまで下がっているかを示す%SPRがとりあげられた。図4は漁獲係数を横軸に、漁獲開始年齢を縦軸にとって、%SPRの等量線を示したものである。^{17,18)} この値を30%以下には下げないなどの基準が提案されている。¹⁷⁾

1.4 資源管理の行きづまり

FAOの漁業白書¹⁹⁾は、世界の漁業資源の35%はすでに乱獲状態にあり、25%も開発の限界に達していると推定している。未だ開発過程にある資源は40%に過ぎず、未開発の資源はもはや存在しないと見ている。世界的に過剰投資が進み、漁獲努力が過大である。資源学の弱さと経済法則がこのような事態を招いたのである。

日本は戦後米加に対して、資源が限度まで開発されて

図4 %SPRの等量線図。図中の t_m は成熟年齢を示す。¹⁷⁾

いる場合には、その資源の漁獲を自発的に抑止するということを決めた条約を結んだ。この条約の定めにもとづいて、米加はサケ・マス資源が満限まで利用されていることを示すデータを提示した。日本側でこのデータによって再生産曲線を推定してみると、MSYを与える親魚量以上を河川に遡上させているという結果になるものも出て来た。アラスカ Kodiak 島の Karluk 河のベニザケ²⁰⁾は5年周期の顕著な変動をしているので、親の遡上量、子の回帰量それぞれの5年の移動平均をとった上で両者を比較してみると、19世紀末から20世紀の前半の間が3つの期間に分けられ(図5)、それぞれの期間内でRicker型の再生産の関係が認められた。²¹⁾ しかしその生産性が段階的に低下しており、全期間を通じて親魚遡上量が過大であったことになった。議論は水掛け論となり、真実は不明である。

IWCの新管理方式(NMP)は資源学の理論にもとづいた科学的方式であるとされていたが、実際の運用では、いろいろと不都合なことが生じて来た。用いるデータや解析方法の差によって資源推定の結果が異なってくる。それぞれの結果をNMP方式に当てはめると(図1)、禁漁となる保護資源と評価されたり、資源量がMSYの水準より高い維持管理資源と評価されたりする。たとえば北太平洋のニタリクジラは、科学委員会により初めはまだ低開発の段階の初期管理資源と評価されていたが、これが維持管理資源となり、後にまた初期管理資源に戻されるというようなことが起った。どちらにしても捕獲限度量には差がなかったのが、実質的問題はなかったが、科学委員会への信頼感を損ねることになった。

北太平洋のマッコウクジラでは捕獲鯨の年齢組成の

図5 アラスカ Karluk 河ベニザケの産卵親魚数および回帰数の5年移動平均間の関係と当てはめられた Ricker 型再生産曲線。¹⁴⁾ 円内の数字は西暦年。

データが利用できないので、体長組成と成長曲線を用いて解析が行なわれた。²²⁾ その結果は、個体の年齢を査定して求めた成長曲線を用いると、楽観的結論が得られた。²³⁾ しかし、同一年齢でも成長のよい個体ほど若いうちから捕獲されるので、観測された成長曲線は成長を低く見積もっているとして、別の成長の速い曲線を適用すると、悲観的結論となった。²⁴⁾

科学委員会でこのような論争が続いた一方で IWC は、資源に関する情報不足で安全な資源管理はできないとして、1982年に商業捕鯨のモラトリウムを決定してしまった。マッコウクジラの研究も問題の決着がつかない段階で止まってしまった。

1960年頃の資源管理は、科学者の認める最良の推定値に10%程度の安全係数を見込んで適用するという考え方によっていた。NMPの捕獲限度量の決定方式(1.2参照)はまさにこの考え方に基づいている。近年資源に関する情報がより多く蓄積され、より進んだ新しい解析方法が展開されるようになると、皮肉にも科学者の合意できる最良の推定値がむしろ得られなくなった。マッコウクジラはこの例である。南アフリカのイセエビではCPUEの最近の低下が資源の低下によるのか、或いは漁具の飽和による能率の低下なのかによって、資源の評価結果が反対となった。²⁵⁾ ミナミマグロでも、近年の漁場縮小が、捕獲枠削減による漁業の側の適応と考えるか、資源の分布域の縮小によると考えるかによって、

資源が回復傾向にあるか、あるいは依然低迷していることになり、意見が別れている。²⁶⁾

2. 21世紀の資源管理

2.1 新しい方法論の導入

21世紀に入って、漁業の一層の発展が期待されながら、漁業管理をめぐる紛争が絶えず、全世界的な資源の乱獲状態に目立った改善はない。このような重要な時期にあって、水産資源学の果たし得る役割に限界が見えて来た。もちろん水産資源の調査研究と動態理論の発展の意義を否定するものではないが、昔風の、研究の成果をそのまま資源管理に適用するというようなオーソドックスな対応の仕方では、事態の進展は望めなくなった。発想の転換が要求されている。

部屋の温度を快適な値に保とうとする時、部屋の断熱効果を見積もり、外気の温度を予測して、必要発生熱量を精密に計算したとしても、室温は決して快適な値には保たれない。外気の温度の予測は極めてむずかしい。ここで空調技術の未熟さを嘆くのは的外れである。空調設備は、室温と快適温度の差を測って、冷暖房機器をON、OFFし、温度を調節している。計算は、空調をする空間の容量と、その地方の外気温度の水準を考慮して、必要にして十分な空調機の容量を決定するためにだけ要求される。資源管理も同じである。

2.2 フィードバックの応用

田中⁹⁾は資源管理に自動制御の考え方を導入すべきことを主張している。すなわち、まず現在の状況のもとでのよりよい資源状態の判断基準、例えば漁獲量とか魚体組成等を決定する。次に資源の現状を観測し、これをよりよい状態に変化させるには、どちらの方向に、さらにできれば、どの程度変化させる必要があるかを判断する。その判断に基づいて漁業を規制する。規制の効果はまた観測によって測定され、次の判断がなされ、規制措置が修正される。

この考え方を具体化した一つの簡単な方法を田中が提案している。²⁷⁾ t 年の資源量の観測値(努力当たり漁獲量などの相対値でよい) P_t が得られた時、来年の漁獲限度量を、目標資源量 P_U との差、および資源量の増減傾向によって調節する。例えば現在の資源量が目標水準より高ければ漁獲限度量をあげ、資源が減少していれば限度量を下げる。式は

$$(Y_{t+1} - Y_t) / Y_t = g(P_t - P_U) / P_U + h(P_t - P_{t-1}) / P_{t-1} \quad (1)$$

と表される。このような制御方式の性能は、フィードバックの強さを表す係数 g と h の値によって異なり、速やかに目標値に収束したり、振動したり発散したりする。資源量の観測値が、来年の限度量計算に間に合わないというような時間遅れがあると、この方式の性能は著しく

表 1 エゾシカの4段階管理²⁷⁾

措 置	措置の内容	適用する個体数水準
緊急減少措置	雌中心に大量捕獲 (3 年以内)	50%以上
漸減措置	雌鹿重点の捕獲	25~50%
漸増措置	雄鹿捕獲	5~25%
禁猟措置	禁猟	5%未満 豪雪年の翌年

悪くなる。

人間の開発の影響などでエゾシカがふえ過ぎて、森林被害等の悪い影響が出ているという。この個体群を管理するためにフィードバック管理が実行された(表1)。²⁸⁾ 現在個体数は12万頭程度と見積もられているが、個体数の目標値を現在数の1/4の3万頭と定め、6万頭以上を大発生水準とする。目標水準の1/5、6千頭を許容下限水準とする。このように分類した上で、それぞれの水準に応じた減少または増加の措置をとる。減少措置では雌鹿を主として間引き、漸増措置では雄鹿のみを捕獲する。個体数の増減は、目視調査ほかの諸データから判断する。このような措置を続けていけば、エゾシカの個体数は目標値の付近に維持されると期待される。この方式は式(1)右辺の第1項のみを考慮した方式である。

漁業の場でフィードバックを意識的に導入した例としては、ナミビアのヘイク漁業がある。²⁹⁾ 毎年定期的に調査が行なわれ、資源量が推定されているが、この推定値が正しく絶対量を表しているとする、現在の資源水準は環境容量 K の1/10にも下がっていることになる。しかしこれが相対的指数に過ぎないとすると、現在水準は $0.8K$ で、 MSY の水準より高いことになる。現在、このどちらがより正しいかを判断できない。このような状況のもとで、フィードバック管理がとられることになった。 t 年の捕獲限度量は次の式で計算される。

$$Y_t = Y_{t-1}(1 + \lambda_{st}) \quad (2)$$

ここで、 st は $t-4$ 年から t 年までの5年間の資源量推定値や $CPUE$ の平均的増減傾向、 λ は式(1)の h に相当する係数で、調整の強さを表す。シミュレーションの結果から $\lambda=3$ と置いた。この方式は式(1)で第2項のみを考慮した式に対応する。

2.3 ベイズ流の考え方

ベイズ統計は、ある分布の母数の変動法則が既知であるとして推定や検定を行なう方法である。たとえばミナミマグロの現在資源量が、ある値以下である確率がわかっていると考えるわけである。現実にはミナミマグロの資源量はある値であるはずだから、このような確率を考えるのは誤りであるとして、フィッシャー流の推計学では排除されていたが、最近実用的な応用の観点から見直されている。“ミナミマグロの資源量は1万トン以下と

図6 マイワシ小中羽と大羽(親魚)の漁獲係数に対して示した漁獲量(太線)、および大羽資源量(細線)の等量線図。¹⁴⁾

いうことはあり得ないし、200万トン以上いるとは期待できない”というような形で、取り上げられる。

田中^{14,30,31)}はマイワシの小中羽の漁獲が強すぎるのではないかと考え、小中羽に対する漁獲係数を横軸、大羽のそれを縦軸にとって漁獲量の等量線図を描いた。この場合、自然死亡の値が不明であるから、小中羽、大羽それぞれについて考えられる広い範囲のいろいろな値を用いて計算してみた。1例として、小中羽について $M_S=0.80$ 、大羽について $M_L=0.48$ と置いた場合を図6に示す。結果は当然自然死亡の値によって変わり、小中羽の漁獲を弱めて、大羽の漁獲を強めるというものから、小中羽、大羽とも漁獲を強めるというものまでにわたっていた。ここで、産卵親魚である大羽の資源量を現在の水準以下にしないという条件をつけると、管理措置をどうすべきかの結論が得られなくなる。ところが、総産卵量のデータから大羽資源量を推定して、自然死亡を見積もってみると、 M が $0.14 \sim 0.36$ と計算された。この範囲の大羽の自然死亡で等量線図を見ると、小中羽の漁獲を弱め、大羽の漁獲を強める措置によって、親魚量を減らさずに漁獲量を増加させることが可能と考えられた。

ベイズ流の考え方を意識的に取り入れたものとして、新管理方式(NMP)に代わるひげ鯨の改定管理方式(RMP)がある。^{13,32)} この方式では、繁殖力の強さ μ は $0 \sim 0.05$ 、現在資源量 P_T の初期資源量 P_0 に対する比 D は $0 \sim 1$ の間で一様に分布しているとする。この範囲に μ と D を配列して、これらの値と既知の捕獲統計を用いて、定められた動態式と限度量 CL の計算式で P_T と CL を計算する。一方 P_T の観測値 P_{obT} とその推定精度が与えられるので、 P_{obT} が P_T のまわりに対数正規分布をするとして、計算された P_T の尤度を求める。その時の CL に尤度で重みを付け、ある CL 以下の重みの和が

全体の41%になるようなCLを限度量として採択する。この方式の性能は、種々の条件のもとでシミュレーションによってテストされ、安全な管理のことができることが示されている。

ここで採択されたCLには真実の値の1つの推定値という意味はない。当面これを適用して捕鯨を実行しようという目安の数値に過ぎないことに注意すべきである。もし誤りがあれば、フィードバック系の作用によって修正される。ベイズ流の考え方とフィードバックの考え方が組み合わされている。

2.4 資源管理の考え方

以下で Butterworth の主張²⁵⁾を参考にしながら、どうやって問題にアプローチすべきかを考えてみよう。

まず、対象とする資源あるいは漁業について、あらゆる可能性を考える。例えば近年ミナミマグロ漁場は縮小傾向にあるが、これは資源水準低下による分布域の縮小が原因という仮説と、その対極となる資源の分布に変化はないが経営上の理由によるという仮説が立てられる。²⁶⁾この両極の間にいろいろな中間的モデルも考えられる。前者の仮説は最も悲観的結果を与え、後者がもっとも楽観的結果を与える。このことは将来の資源予測について可能な下限と上限を与えるという意味で注目すべきである。

両極端を示すことは、その範囲の外の可能性を否定するという意味で重要であるが、両者の差が大きすぎれば、実用的には役に立たない。可能性の範囲を狭めなければならない。どちらの仮定が過去のいろいろなデータや調査結果とよく適合するか、あるいは適合しないかを調べて、仮説のもっともらしさを見積もる。捕鯨のRMPでは仮定の値から計算した現在資源量と調査結果を比較して、仮定のもっともらしさを判定する(2.3参照)。

ミナミマグロやナミビアのヘイクの例に見られるように、2つの対立した仮説の間で正否の決着がつかないということがしばしば起る。利害関係が係わっているような場合、それぞれのグループは自分達に都合のよい仮説を主張してゆずろうとしない。事が科学的真理に関することであるから、科学者としては多数決で決めるわけにはいかないし、足して2で割るような妥協もあり得ない。

事の正否は別にして、とにかく管理を実行してその結果を見よう、というような妥協ならあり得よう。どちらの主張も、失敗したら即資源が絶滅してしまうとか、漁業が崩壊してしまうというような危急な状態にあるのであれば、結果を注意深く見ながら、何等かの管理を実行に移すような妥協は前向きの姿勢である。もし間違っていたら、その間違いの内容に応じて修正すればよい。この場合には、当面の出発点として足して2で割るよ

うな妥協もあり得る。

科学的情報が十分になく、かなり抽象的段階で可能性を論じている場合、例えば個体群が縮小すれば一般に分布域は狭くなるというような原理や、企業家は常に利益が最大になるような方策をとるというような原理から可能性を考えると、その範囲は漠然と広がっていく。具体的データ無しに原理と原理をぶつけ合ったのでは、埒が明かない。可能性の範囲を狭めるようなデータを手に入れる努力が必要である。何がキーデータであるかの判断は時にむずかしいかも知れないが、なにかの手がかりがあるはずだ。データが得られたならば、これと矛盾する仮説は排除される。

マイワシ産卵量から親魚量を推定し自然死亡を見積もることによって、Mの可能な範囲が狭められ、一つの結論が得られた(2.3参照)。ひげ鯨の改定管理方式では、資源の繁殖力や初期資源量の可能な範囲が広くとてあるので、計算される捕獲限度量は0からかなり高い値まで広がっている。ここで現在の資源量を観測することによって、ある限度量が計算される(2.3参照)。この値はあくまでも一つの合理的妥協の値であって、実行に移した上で、その結果をフィードバックしなければならない。

このようなキーデータを得るためには、資源からサンプルをとる必要も生じよう。もしその資源が多少間引きを強めても絶滅の恐れが全くないものであれば、試験漁獲を実行するのにあまり問題はない。しかしもしその資源が相当に枯渇していて、これ以上の低下は避けたいという場合もある。そのような時でも、そのサンプルから決定的に重要な情報が得られ、資源の安全な管理を可能にしてくれるということであれば、ある程度の危険をおかすことも許されよう。資源はそれほど危険な状態ではないとしても、試験漁獲によって得られる情報があまり意味のないものであれば、試験漁獲の名を借りた商業漁業と非難されるかも知れない。試験漁獲はその効果と危険性をバランスにかけて、実行の可否を判断すべきである。

文 献

- 1) Pearl R. The growth of population. *Quart. Rev. Biol.* 1927; **2**: 532-548.
- 2) Hjort J, Jahn G, Ottestad P. The optimum catch. *Hvalradets Skrifter* 1933; **7**: 92-127.
- 3) Graham M. Modern theory of exploiting a fishery, and applications to North Sea trawling. *J. Cons. Int. Explor. Mer* 1935; **10**: 264-274.
- 4) Schaefer MB. A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull.* 1957; **2**: 247-268.
- 5) Pella JJ, Tomlinson PK. A generalized stock production model. *Inter-Am. Trop. Tuna Comm. Bull.* 1969; **13**: 421-496.

- 6) Russell ES. Some theoretical considerations on the 'over-fishing' problem. *J. Cons. Int. Explor. Mer* 1931; **6**: 3-20.
- 7) Baranov FI. 漁業における生物学的基礎の問題 (英訳文より笠原 晃, 深滝 弘訳), 漁業科学叢書 1951; **1**: 1-48.
- 8) Beverton RJH, Holt SJ. On the dynamics of exploited fish populations. *Fish. Invest. Ser. 2* 1957; **19**: 1-533.
- 9) 田中昌一. 水産生物の population dynamics と漁業資源管理. 東海水研研報 1960; **28**: 1-200.
- 10) Beverton RJH. Some observations on the principles of fishery regulation. *J. Cons. Int. Explor. Mer* 1953; **19**: 56-68.
- 11) Ricker WE. Stock and Recruitment. *J. Fish. Res. Board. Can.* 1954; **11**: 559-623.
- 12) International Whaling Commission. International Convention for the Regulation of Whaling 1946 Schedule (as amended by the Commission at its 27th Meeting, June 1975) Office of the Commission, London. 1975; 1-11.
- 13) 田中昌一. RMP について. 水産資源管理談話会報 1998; **19**: 3-16.
- 14) 田中昌一. 「水産資源学を語る」恒星社厚生閣, 東京. 2001; 31-45.
- 15) Ricker WE. Handbook of computations for biological statistics of fish populations. *Bull. Fish. Res. Board Can.* 1958; **119**: 1-300.
- 16) Gordon HS. An economic approach to the optimum utilization of fishery resources. *J. Fish. Res. Board Can.* 1953; **10**: 442-457.
- 17) 松宮義晴. 「水産資源管理概論」日本水産資源保護協会, 東京. 1996; 45-75.
- 18) 松宮義晴. 加入乱獲回避のための水産資源の管理各論. 水産海洋研究 1997; **61**: 168-178.
- 19) FAO 水産局. 「世界の漁業と養殖の現状」海外漁業協力財団, 東京. 1997; 1-59.
- 20) Rounsefell GA. Factors causing decline in sockeye salmon of Karluk River, Alaska. *Fish. Bull.* (Dublin) 1958; **58**: 83-169.
- 21) Tanaka S. Studies of the question of reproduction of salmon stocks. *Bull. Int. North Pac. Fish. Comm.* 1962; **10**: 123-128.
- 22) 白木原国雄. 体長組成データを用いたマッコウクジラの資源動態解析. 「鯨類資源の研究と管理」(桜本和美, 加藤秀弘, 田中昌一編) 恒星社厚生閣, 東京. 1991; 147-158.
- 23) Shirakihara K, Tanaka S. An alternative length-specific model and population assessment for the western North Pacific sperm whales. *Rep. Int. Whal. Commn* 1983; **33**: 287-294.
- 24) Beddington JR, Cooke JG, de la Mare WK. Estimation of western North Pacific sperm whale population using the length distribution of the catches. *Rep. Int. Whal. Commn* 1983; **33**: 747-749.
- 25) Butterworth DS. Taking stock: Science and fisheries management entering the new millenium. 「再評価: 新しいミレニアムに入る科学と漁業管理」(田中昌一, 立川賢一訳), 日本水産資源保護協会 2001; 1-24.
- 26) 遠洋水産研究所. ミナミマグロ実験漁獲調査. 平成 12 年度まぐろ資源調査研究経過報告 2001; 40-42.
- 27) Tanaka S. A theoretical consideration on the management of a stock-fishery system by catch quota and on its dynamical properties. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1980; **46**: 1477-1482.
- 28) 梶 光一. 北海道におけるシカ個体群の管理. 環境研究 1999; **114**, 78-85.
- 29) Geromont HF, De Oliveira JAA, Johnston SJ, Cunningham CL. Development and application of management procedures for fisheries in southern Africa. *ICES J. Mar. Sci.* 1999; **56**: 952-966.
- 30) 田中昌一. マイワシ資源利用の合理化についての一つの検討. 東海水研研報 1958; **21**: 1-13.
- 31) Tanaka S. Significance of egg and larval surveys in the studies of population dynamics of fish, In: J. H. S. Blaxter (ed) *The Early Life History of Fish*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1974; 151-157.
- 32) 田中昌一. 鯨資源の改定管理方式. 鯨研通信 1996; **391**: 1-6, **392**: 1-7.