総説

水産資源管理のためのシミュレーションに関する研究^{*1}

(平成5年度日本水産学会賞奨励賞受賞)

田中 栄次^{*2}

東京水産大学

ある漁業において何らかの水産資源学的に望ましくない状況が生じたとき、例えば、資源量がかなり下がってしまったり、小型魚ばかりの漁獲になったような場合、何らかの管理を実施する必要が生じる。この場合、より合理的な資源利用を実現するために、網目・漁船規模・隻数・漁獲量などの管理手段が実施される。

管理手段を実施する前に、どの管理手段を選択し、どの程度の水準で実施するのが望ましいかを量的に検討することは必要である。期待される規性実施後の状況を判断するための材料として、資源量や漁獲量、経営収支などの評価項目がある。こうした数値に関する予想結果のうち、目的にかなう手段とその水準を選択するという手順は、どの漁業でも基本的には共通であろう。コンピュータによるシミュレーションは、こうした場面、特に沿岸域において多く活用されてきた。それを用いれば、理論的にはとても解決できそうにない数式でも、数値的に解決できるからであり、可能性を示す点に価値がある。

1. 沿岸資源管理のためのシミュレーション

研究の背景 我が国ではさまざまな漁法によって、多様な生物資源が漁獲されているが、その利用は理想とはほど遠い状態である。例えば、成長が早く体長1 m以上体重10 kg以上にまで成長するヒラメでは、体長15 cm体重60 gの段階から大量に漁獲されている。魚類では体長が2倍になると体重は約8倍になることを考えれば、もう少し大きくしてから、漁獲すればよいものをと、漁業者を含め誰もが考えることである。

それができない根本的理由の一つは資源の「無主物」性にある。農業における稲穂と異なり、回遊する魚には、現状では、特定の人の所有権を示す根拠がない。漁獲した段階で初めて所有が確定するため、資源の先取り競争になる。この競争が無駄であることは、漁業者自身も知っている。

にもかかわらず、多くの場合一向に解消されないのは、漁業者間の経済的な利害関係に原因がある。例えば、ヒラメを漁獲する底曳網と刺網では、前者は小型魚を中心に、後者は大型の親ヒラメを中心に漁獲している。この場合、小型魚保護という管理案は、せっかく小型魚を保護しても、その生き残りが刺網漁業で漁獲され、利益は自分たちに回らないとして、底曳漁業者は反対する。一方、親を保護し子孫を増やそうという管理案は、その子孫は底曳漁業で漁獲されるので刺網漁業者は反対する。このような利害の不一致が原因で、合意形成ができず管理が実行されなかった例は数えきれない。

この例では、この二つの管理案を合体させ、両者に利益があるような管理案が提案できれば、有効な管理が実現したことであろう。この目的のためには、以前のような資源生物の成長・再生産などの情報からの漁獲量増加の見積りだけでなく、漁獲性能を用いて少なくとも漁業種類ごとの漁獲量の計算、さらには規制導入や漁獲量変動に基づく収入・費用の変化に至る経済効果まで計算しなければならない。

このように、一連の漁業生産過程を数量化するとすると、計算量も莫大になり、かつてのコンピュータの計算能力ではとても処理できなかった。近年のその処理能力の向上に伴い、まず底魚の資源管理のためのシミュレーションの研究がはじまり、その後栽培漁業資源や浮魚資源へと研究が進められるようになった。

モデル 利害得失の異なる漁撈体ごとの管理効果を計算するためには、まず漁撈体の類型化が不可欠である。それを区分するための要素として、主漁法、所属漁港、漁獲性能、目的魚種、専業兼、従事者数、経営体当たりの漁撈体数などが考えられる。¹⁻³⁾ どのように類型化していくかに関する一般的ルールはないが、実行可能と目される管理手段の効果の違いが類型ごとに現れるように区分することが重要である。例えば、網目規制の場合、所属漁港や漁法が同一でも目的魚種が漁船によって異なる

^{*1} Simulation Studies for Fishery Stock Management.^{*2} Eiji Tanaka (Tokyo University of Fisheries, Konan, Minato, Tokyo 108, Japan).

ことがあり、場合によっては網目サイズによる類型化が必要となる。

資源管理の効果を類型ごとに計算するためには、まず漁獲係数と類型ごとの努力量を量的に関係づける必要がある。問題の単純化のため、利用する魚種は1種で、年齢構成も考えず、魚価も一定の場合を考える。 k ($=1, 2, \dots, n$) 番目の類型の年間漁獲量、漁獲係数、漁獲金額、および年間平均資源量を Y_k, F_k, L_k, P で示す。 P は F_T の関数と考えることができるので、 $P(F_T)$ で示すとこれらは次式で表せる。

$$L_k = p Y_k \quad (1)$$

$$Y_k = F_k P(F_T) \quad (2)$$

$$F_T = \Sigma F_k \quad (3)$$

ここで、 p は魚価 (円/kg)、 F_k は類型別の漁獲係数 (年当たり) を示す。利用する魚種が多い場合には、魚種ごとの L_k を合計すれば合計の L_k が計算でき、また年齢についても同様に処理できる。漁獲係数と努力量との関係は漁場の問題を除けば

$$F_k = q X_k \quad (4)$$

$$X_k = f_k H_k D_k B_k \quad (5)$$

ここで、 q, f_k, H_k, D_k, B_k はそれぞれ、漁具能率 (1 操業当たり)、相対漁獲性能、操業回数 (1 操業日当たり)、操業日数 (1 漁撈体当たり)、漁撈体数を示す。

(3)~(5) 式を使えば、漁撈体数の規制による F_T の値は、 B_k の値を操作することによって計算できる。さらにその後の $P(F_T)$ の値も、プロダクション・モデル⁹⁾でも **Beverton-Holt** の式⁹⁾でも計算できる。馬力規制については、馬力階層別に類型化しておけば、ある馬力階層以上の漁船を別の類型に移すことによって、一応の計算が可能となる。馬力規制については、シミュレーションによって性能の変化を推定する研究も行われている。⁶⁾ 漁期限は月別の D_k や X_k に変更することにより、夜間操業の禁止などの操業時間の規制は X_k に変更することにより、また網目規制は漁獲開始年齢を変更することによって計算できよう。漁獲量規制はオリンピック方式による実施にならざるをえず、したがって規制水準に達した段階で操業を打ち切るという方法で計算すればよい。

漁場規制の効果計算については、特定海域の操業を禁止した場合、その海域で操業していた漁船がその後どのように操業海域を変更するかという問題がある。他の漁場への努力量の配分方法には、その海域で操業していた漁船の努力量を他海域での過去の操業比率で配分する方法と、自由競争を前提に、漁場豊度の高い漁場から順に利用されていくというルールに従って再配分する方法⁷⁾がある。いずれの場合も、漁場をあらかじめ区画分けしておき、類型ごとの努力量の配分と資源の分布を求めておく必要がある。

支出 C_k は固定費用と変動費用からなる。漁業利益が漁獲金額の1割以下である場合もあるので、支出についても細かい計算を簡略化するわけにはいかない。年固定費用 c_{1k} は償却費、漁船費、漁具費、諸設備費、事務費、保険料、負債利子、賃借料、その他の合計である。変動費用 c_{2k} は、出漁日数比例費用 (燃油費、餌代、支払い労賃、見積り家族労賃など)、漁獲金額比例費用 (販売手数料や支払い労賃など)、漁獲量比例費用 (氷代、箱代など) に細分できる。

$$C_k = c_{1k} + c_{2k} \quad (6)$$

$$c_{2k} = \gamma_1 D_k + \gamma_2 L_k + \gamma_3 Y_k \quad (7)$$

によって与えられる。ここで、 γ_i ($i=1, 2, 3$) は係数を示す。規制導入後の経費削減効果は c_{1k} や c_{2k} の変化によって表現される。漁船馬力や漁具などの規制では、償却費、漁船費、漁具費などが変化することに注意する必要がある。こうした細かな計算の積み上げによるシミュレーションを通して、初めて類型ごとの漁獲量や費用が計算される。このシミュレーションは、使い方を工夫すればいろいろな管理効果計算に利用できる。⁸⁾

種苗放流効果 種苗放流の効果判定は栽培漁業にとって重要課題であり、特に放流経費の受益者負担という問題にまで対処するための研究⁹⁾も行われている。モデルは上述のモデルを簡略化したもので、漁法ごとに回収量を計算するように工夫されている。

浮魚資源の管理 環境変動によって大きな資源量変動をする浮魚では、底魚と異なり、必ずしも物的生産量の増大が漁家の経営改善につながらない。したがって、底魚資源と異なった管理目標、例えば経済的浪費を省くための漁船の適度規模・隻数、適正漁期、操業の適正化などを設定する必要があり、そのためのシミュレーション・モデルが提案されている。¹⁰⁾ このうち漁船の適度規模・隻数シミュレーションは、長期的視点から経営的に安定な漁船の適度規模・隻数を試行錯誤的に算出するために開発された。計算式は上述のそれと原理的には同じで、漁場の変動を確率的に表現し、加入量変動についてはその範囲を設定して計算し、規模・隻数を試行錯誤的にいろいろ変え、その結果から判断するといった内容である。適正漁期シミュレーションは、魚価と漁獲量の関係式や需要などと漁期前の資源情報から、今漁期の適正な出漁日数・水揚げ量などを試算する。操業の適正化シミュレーションは、特定漁場への漁船集中を避け、総量が増加するように、限界生産の理論に基づき漁場への適正漁船配置を算出する。¹¹⁾

2. シミュレーションによる管理手段の性能の比較

推定精度と動態モデル 上記のシミュレーション研究では、規制手段だけに注目し、その手段や規制水準の程

度の違いに由来する効果の現れ方だけを扱っている。この意味では、従来から行われてきた研究と根本的な違いはない。

しかしながら管理効果の問題には、さらに推定手法と動態モデルの選択という2種の問題を含んでいる。資源解析で利用される漁獲量、年齢組成、成長などのデータの質には問題があることが多い。このようなデータを使って得たパラメータの推定値の精度が、その後の管理にどのような影響を及ぼすのか、またどのような資源動態モデルを用いて管理を進めるのが妥当であるかという側面からの詳細な研究¹²⁾は、一般的には十分ではない。推定値の精度と管理の性能との関係をシミュレーションによって比較した結果、場合によっては解析的な成長・生残モデルより単純なプロダクション・モデルの方が、管理を失敗する可能性が低く、望ましいこともある。¹³⁾この点について調べることは、安定した管理を実施していく上で必要である。

漁獲量や努力量など限られた情報だけを用いて、漁獲量や努力量の規制を通して管理する方法¹⁴⁻¹⁶⁾が提案されているが、この研究はこうした背景から生まれたものといえよう。もちろん、これらの方法による管理がうまく実施されるためには条件があり、管理の有効性やそれに必要なパラメータの精度については、理論的にまたは数値的に研究されている。

実際の資源管理を考えると、利用可能なデータの種類の実行可能と目される管理手段の種類によってモデルが限定され、その選択の余地がないことも多い。しかしながら、一方で推定値の精度という点からの検討も必要であろう。このシミュレーションを通じて得られる利点の一つに、感度の高いパラメータの抽出に役立つことが挙げられる。例えば捕鯨管理のシミュレーションでは、資源の地理的境界の情報が資源保護に重要であることが分かってきた。¹²⁾これは今後の調査に役立つ情報である。

また、管理効果をより向上させるための事前調査の精度の問題、管理導入直後の一時的な漁獲量の減少を回避するための段階的管理導入の方法などの研究^{17,18)}も進められている。

課題と展望 多様な管理手法、動態モデル、推定方法の組合せの中で、理想的な組合せはどのようなものであるかに関する研究は、今後の課題である。統計的モデル選択(AICなど)やベイズ統計を適用しながら、管理を進めていく方法がどのような効果をもつかなども、興味ある課題の一つである。

また、管理の性能を比較するための統計量に関する研究も課題である。資源量や漁獲量の推移やその変動を表

現する統計量以外にも、必要な統計量があろう。動的MEYのように、最終的に同じ資源量に収束するとしても経済効果が異なる場合もあるからである。この点も今後さらに研究する必要がある。

水産資源管理のためのシミュレーションに関する研究は、裾野を広げつつあるが、多様な漁業・魚種への対応には及ばず、より多くの研究者の参加を必要としているのが現状である。

謝 辞

本研究を行うに当たり、東京水産大学学長田中昌一博士、同大学教授平山信夫博士、同大学元教授長谷川 彰博士には終始ご指導を賜り、東京大学教授松宮義晴博士には多大のご支援を賜った。ここに深く感謝の意を表する。ならびに多くの水産資源学の研究者のご指導、ご支援も戴き、日本水産資源保護協会の方々には平素から研究にご協力を戴いた。これらの方々に厚く御礼を申し上げます。

文 献

- 1) 田中栄次: 資源管理技術とソフトウェア。「資源管理型漁業」(平山信夫編)、成山堂書店、東京、1991、pp. 124-156.
- 2) E. Tanaka and S. Tanaka: Selection of target species and operating areas for coastal trawlers. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **55**, 221-229 (1989).
- 3) E. Tanaka, S. Tanaka, K. Hamauzu, and N. Honda: Relationship between operating area and horsepower of engines. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **55**, 231-235 (1989).
- 4) J. J. Pella and P. K. Tomlinson: A generalized stock production model. *Bull. Inter-Amer. Trop. Tuna Commun.*, **13**, 421-496 (1969).
- 5) R. J. H. Beverton and S. J. Holt: On the dynamics of the exploited fish populations. *Fish. Invest., Ser. II, U. K.*, **19**, 1957, 533 pp.
- 6) E. Tanaka, K. Matuda, and N. Hirayama: A simulation model of gear efficiencies of trawlers for flatfish. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **57**, 1019-1028 (1991).
- 7) E. Tanaka, S. Tanaka, and A. Hasegawa: Simulation of fishermen's selection of fishing areas for stock management. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **57**, 1417-1425 (1991).
- 8) 田中栄次: 「資源管理型漁業」の課題と展望。「漁業管理研究」(長谷川 彰監修)、成山堂書店、東京、1991、pp. 121-129.
- 9) 大河内裕之、北田修一: 放流効果評価モデル。栽培資源調査検討資料, **4**, 1-51 (1990).
- 10) 田中栄次: 浮魚漁業の管理にかかるシミュレーション・モデル。平成4年度地域性浮魚資源管理方式開発調査最終報告書、日本水産資源保護協会、東京、1993、pp. 12-35.
- 11) 静岡県・愛知県: 遠州灘域漁業管理適正化方式開発調査事業最終報告書。静岡県、愛知県、1987、pp. 1-90.
- 12) International Whaling Commission: Report of the sub-committee on management procedures. *Rep. int. Whal. Commn.*, **41**, 90-124C (1991).
- 13) 田中栄次: 水産資源の管理とモデル選択。水産資源解析と

¹³⁾ 田中栄次: 漁期前調査にもとづく資源管理。平成5年度日本水産学会秋期大会講演要旨集、10月、1993、p. 55.

¹⁴⁾ 田中栄次: 加入量調査にもとづく資源管理について。平成6年度日本水産学会春期大会講演要旨集、4月、1994、p. 201.

- 統計モデル (松宮義晴編). 恒星社厚生閣, 東京, 1993, pp. 82-89.
- 14) S. Tanaka: A theoretical consideration on the management of a stock-fishery system by catch quota and on its dynamics. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **46**, 1477-1482 (1980).
- 15) K. Sakuramoto and S. Tanaka: A simulation study on management of whale stocks considering feedback systems. *Rep. int. Whal. Commn, Special Issue*, **11**, 199-210 (1989).
- 16) E. Tanaka: A stock management system to approach the catch level to MSY. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **58**, 1-7 (1992).