



管理目標を見据えた我が国の
新しい資源評価と管理

管理戦略評価 (MSE) による不確実性の考慮

平松 一彦

Consideration of uncertainty using the
Management Strategy Evaluation (MSE)

Kazuhiko Hiramatsu

ひらまつ かずひこ：東京大学大気海洋研究所

資源評価に不確実性は付き物であり、適切な資源管理にはこの考慮が不可欠である。様々な不確実性の下でどのような資源管理が適切か、シミュレーションを用いて評価するのが管理戦略評価 (MSE) である。急速に適用が広がっている MSE の概要を紹介する。

1. はじめに

水産資源の評価は、漁業や調査から得られる年齢別漁獲尾数や資源量指標値といったデータを用いて行われるが、これらには大きな誤差が含まれる。また資源評価で使われる自然死亡係数や年齢といった生物学的特性値についても精度よく分かっていることは少ない。これらのデータやパラメータを用いた資源評価結果には大きな不確実性が存在する。さらにこの結果を用いて資源管理を行うには、将来の加入量変動といった不確実性も考慮する必要がある。理論的にはうまくいくはずの管理方法であっても、これら現実に存在する不確実性の下で管理がどの程度まともに機能するのか正直なところ分からない。

ではどうすればよいのか？データやモデル、資源評価結果、将来の加入変動等の様々な不確実性の下で適切な資源管理を行うために、近年、管理戦略評価 (MSE : Management Strategy Evaluation) が広く注目されてきている。「管理目標を見据えた資源評価と管理」を考えるに際しても、MSE は重要なポイントとなると思われる。本稿では MSE の基本的な考え方について紹介する。

2. MSE の考え方

現実の資源管理は図 1 に示すように、漁業や調査から毎年得られるデータを基に漁獲可能量 (TAC) が決められ、それをもとに漁獲が行われ、また翌年新たなデータが得られるという繰り返しの行われている。前述のようにこの時得られるデータは誤差を含んだものであるし、TAC 算定に使用されるモデルやパラメータは、実際の資源の挙動や値を反映していないことが想定される。従って、得られた TAC が適切なものである保証は

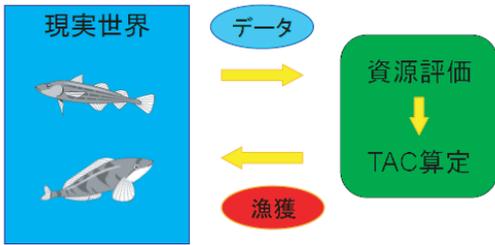


図1 現実の世界における資源評価と管理. 漁業や調査から得られたデータを基にTACが決まり、漁獲が行われる。これが毎年繰り返される。

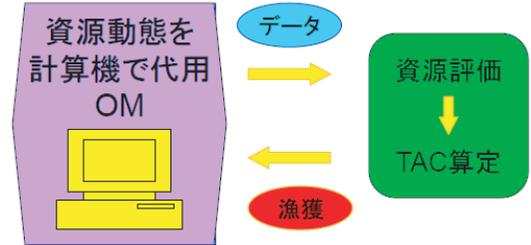


図2 シミュレーションの世界における資源評価と管理. 資源の動態はOMで記述され、そこから現実に得られるようなデータを取り出す。それを基にTACが算定され、OMの中で漁獲が行われる。

ない。しかし、何がどう適切でないのか知るすべは無いし、資源の動態が現在どうなっているのかも正確には知ることができない。

MSEでは、図1の左側の現実世界の挙動を計算機のシミュレーションで置き換える(図2)。具体的には、対象とする資源の動態モデルを作成し、そこから(仮想的な)漁獲データや調査データを取り出す。そしてそのデータを用いてTACを算定する。この値を左側の資源動態モデルに戻し、TACを基にした(仮想的な)漁獲を行い、また翌年のデータが得られる。これを繰り返す。シミュレーションであるので、資源状態がどうなっているのかを知ることができ、管理の成功・失敗を判断することができる。また何度でもこの操作を繰り返して検討することができる。左側の現実世界の代わりにモデルはオペレーティングモデル(OM: Operating Model)と呼ばれる。図2の右側のデータを入れ、それからTACが出てくるまでのプロセスは、管理方式または管理方策(MP: Management Procedure)、あるいは管理戦略(MS: Management Strategy)と呼ばれている^[1]。人により定義や呼び方は微妙に異なっている。

この方法で不確実性への対応をどのようにするか? OMから取り出すデータは実際にありそうな誤差やバイアスを含むデータとする(観測誤差の考慮)。また、OMにおける資源動態は決定論的なモデルからの確率変動を含むものとする(プロセス誤差)。加入量の確率変動がこれに相当する。

さらに、資源評価では自然死亡係数 M を $0.4/\text{年}$ と仮定しているが、あまり根拠はなく、 0.3 や 0.5 の可能性もあるとする。この時、OMとして例えば M がそれぞれ 0.3 、 0.4 、 0.5 のモデルを作り、管理のシミュレーションを行う。MSの方では真の M の値は知らずに、 0.4 として扱いTACを算定する。OMにおける M の値が 0.4 の時はうまく管理できたが、 0.3 や 0.5 では管理が失敗したということになれば、 M の値に頑健ではない管理ということになる。 M についての推定精度を上げるか、 M の値に頑健な別の管理方法を考えるべきである。このように、想定される様々な不確実性を考慮したOMを作成し、それを用いてシミュレーションを行い、不確実性に対して頑健なMSを探すことになる。

OMは実際の資源の状態や動態(資源水準や過去からの変動)に沿ったものであることが望ましく、何らかの資源評価モデルを用いて作られることが多い。このため従来の資源評価と混同されがちであるが、目的とするところはあくまでもシミュレーションのための道具である。また、シミュレーション自体も様々な不確実性を考慮した将来予測と同一視されることもある。しかし、通常の将来予測では現時点で推定された管理基準値(例えば最大持続生産量を与える漁獲係数 F_{msy})に基づいて漁獲を行っていった結果を見るのに対し、MSEでは毎年のデータを基に管理基準値の値が更新される点が異なる。さらに通常行われてい

る将来予測ではその結果に基づいて TAC が決まることが多いため、TAC の値に直接影響すると思われる予測の条件設定（不確実性の範囲等）について合意が難しくなることがある。一方、MSE ではあくまでも管理方法のテストが主眼であり、シミュレーションで直接 TAC が決まるわけではない。このため、OM の条件設定も比較的合意がとりやすい。

OM によって管理の成功・失敗の判断が可能と述べたが、そのためには何らかの基準が必要である。まず管理目標を定め、それが実現されるかどうかで判断する。管理目標としてよく使われるのが、①資源が健全であること、②漁獲量が多いこと、③漁獲量が安定していることの3種類である。これらの管理目標を測る指標（performance statistics）として、例えば①管理開始後の最低資源量や平均資源量、②管理開始後の平均漁獲量、③管理開始後の漁獲量の変動の絶対値の和、といったものが使われる。またこれ以外に、親魚量が〇〇年までに××年の水準まで回復といった管理目標が使われることもある。指標の選択はさほど容易ではない。例えば、②の平均漁獲量として管理開始後の全期間の平均値をとると、低水準であった資源では数年間禁漁してから漁獲するといった管理戦略が平均漁獲量を最も大きくする可能性が高い。しかしこれは漁業者からは受け入れがたい選択肢であろう。これを防ぐには、管理開始後5年間の平均漁獲量といった指標値も見えていく必要がある。またこれらの管理目標の間にはトレードオフがあるため、何を重要視するかといった合意も必要となってくる。

MSE はおおよそ以下のようなステップで行われる。

- 1) 管理目標とそれを示す指標の決定。
- 2) 考慮すべき不確実性の選択と OM の作成。
- 3) OM の条件設定 (conditioning) とシミュレーションの仕様の決定。
- 4) OM を用いた管理戦略候補のシミュレーションによるテスト。
- 5) 指標を検討し最適な管理戦略を選択。

従って MSE の実施にあたっては、まず管理目標を決定する必要がある。MSE を行う中で必然的に管理目標を明確にしかつ定量的に表現することが求められ、また関係者（ステークホルダー）の合意が必要となる。しかしながら現実問題としては、様々なバックグラウンドを持つ関係者間で管理目標に合意するのはなかなか大変であろう。

シミュレーションで扱うべき不確実性の範囲については、何らかの根拠を基に定量的に扱えるものは良いが、研究者がある程度主観的に判断せざるを得ないこともある。このような場合、研究者間の合意に基づいて進める必要がある。また、標準的と考えられる不確実性に加え、比較的可能性は低いに影響が大きそうな不確実性を考慮した、頑健性テストと呼ばれるシミュレーションが行われることもある。さらに、シミュレーションで想定していなかった事態が生じた場合どのような対応をとるか（メタルールと呼ばれる）を、あらかじめ決めておくことも行われている。例えばミナミマグロの MSE では、加入量の確率変動やデータの観測誤差等に加え、主要な不確実性として、再生産関係(5種類)、自然死亡係数(16種類)、資源量指標値(4種類)が考慮され、さらに頑健性テストとして、加入の急減、漁獲効率の急増などが検討された。またメタルールも決められ、この発動の可否の判断のためのモニタリングも行っている^[2]。

図2の右側のMPあるいはMSは、モデルベースの方法と経験ベースの方法に大きく分かれる。前者はプロダクションモデルやVPA等を用いて資源評価を行い、例えばFmsyを推定し、それに基づいてTACを決めるという方法である。後者は資源量指標値が増加していればTACを増加、減少していれば減少といったように、資源評価は行わずTACを決める方法である。またモデルを使って得た数値を経験ベースの方法で修正する、あるいは両者の数値を合体させるといったハイブリッド型が使われることもある。実際のシミュレーションでは、図2の左側も右側も計算機の中で行われる。従って、推定に時間がかかる複雑な方法や

途中で人間の判断が必要になったりする方法では、現実問題としてシミュレーションが難しい。このためもあり、経験ベースの方法やモデルベースでも比較的簡単な方法が使われることが多いようである。

3. MSE の歴史と現状

MSE の基礎的な考え方は、国際捕鯨委員会 (IWC) の改訂管理方式 (RMP) 開発の中で発展してきた。その後、南アフリカや豪州・ニュージーランド等で実際の資源管理へ応用されるようになり、さらに不確実性の扱いに悩む多くの水産資源の管理で取り入れられてきた。この間、関連するシンポジウムなども行われ、例えば ICES ジャーナルでは 2 度にわたって MSE の特集号が刊行されている^[3,4]。現在では広く EU、北米、国際漁業委員会等で既に MSE によって合意された管理が行われていたり、MSE の適用が検討されていたりしている。この間、用語も変わり最近では MSE の呼び方が定着しつつある。

MSE に関する論文や文献も増えている。比較的新しいレビューとしては Punt *et al.*^[5] を挙げることができる。このレビューには 170 編近くが引用文献として挙げられているがこれは一部に過ぎず、またこのレビュー以降も多くの論文が出されている。

4. MSE との係わり

かつて水産研究所において資源評価に係わる中で、あまりにも分からないことが多いことに途方にくれていた。寿命も自然死亡率も根拠に乏しい値のみ、成長式は一応得られているが雌雄で違っているかもしれない、といったことが産業的に重要な魚種であっても普通にある。そんな中でどうやって資源評価し管理していけばよいのか。これが他の科学であれば実験で決着を付けることができるが、資源管理では特殊な場合を除き無理である。

そんな中で出会ったのが、Hilborn and Walters^[6] の中にあったオペレーティングモデルの考え方で

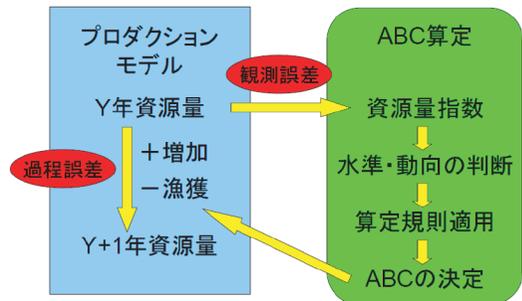


図3 平松^[7]で使用した簡単なOMとMS。OMでは過程誤差と観測誤差のみを考慮している。

ある。なるほどこのような方法であれば、計算機で資源評価や管理の実験をしてその信頼性を評価できるかもしれないと思った。それとほぼ同時期に、IWCのRMPがOMを用いた徹底的なシミュレーションによる検討により開発されたものであること知った。それまで最適な資源管理は最良の資源評価結果に基づいて行うのが当然と考えていたため、理論的には根拠の乏しい方法であってもシミュレーションで優れていればそれを実際に使うという発想は衝撃的であった。

その後、本格的にOMやMSEと係わることになったのは、2002年頃から始まったミナミマグロのMP開発作業である^[1]。ミナミマグロMPの開発作業からは途中で抜けることになったが、多くを学ぶことができ、それを利用して我が国のABC算定規則(2系)に関して簡単なMSEを行った^[7]。この検討で使用したOMとMSを図3に示す。OMはプロダクションモデルを基にし、過程誤差と観測誤差のみを考慮した簡単な構造となっている。前者は紆余曲折を経て2011年から実際にMSEによる管理が始まった^[2]。後者はその後国内の研究者により、より洗練されたMSEが行われ、実際のABC算定に使われるようになった^[8,9]。

ミナミマグロMP開発とABC算定規則(2系)の開発は非常に対照的であった(表1)。前者では多数の研究者が取り組み、行政や業界とのコミュニケーションにも努力がはらわれた。後者は少数

	ミナミマグロ MP	ABC 算定規則
対象魚種	ミナミマグロ固有	特定せず
開発関係者	多数の研究者+ステークホルダー	少数の研究者
不確実性	幅広い不確実性考慮	代表的なもの (特に検討当初)
開発コスト	人・金・時間とも膨大	安価

表1 ミナミマグロMP開発と2系のABC算定規則開発の比較.

の研究者の手によるものであり、関係者（ステークホルダー）との意見交換はほとんどなかったと思われる。両者で開発のコストも大きな違いがあり、ミナミマグロMP開発の規模で実施することは容易ではない（ただしこの比較に関しては、定量的な比較ではないので非科学的で無意味とのコメントがあったことを記録に残しておく）。

5. おわりに

MSE はここ十数年で大きな発展を遂げた。MSE を経て合意された管理戦略で実際に管理されている資源や、MSE の実施が計画されている資源も増えている。ミナミマグロMPのように、ステークホルダーの合意のもとに様々な不確実性を考慮したMSEを行い、さらにメタルールまで作成しておくことが適切な資源管理のために必要である。しかしこういった大規模なMSEの実施はそれにかかる人・金・時間のコスト面で困難なことも多いかもしれない。このような場合は限られた不確実性を考慮した小規模なMSEであっても何もしないよりは良いように思う。少なくとも、それを議論のたたき台とすることはできる。

いずれの場合にもMSEによるシミュレーションでどの範囲の不確実性まで考慮していたのかを明確にし、関係者がそれを十分に認識しておくことが重要である。そこに含まれていない事象が生じたり、新たな不確実性が重要と分かった場合、それを踏まえて改良していく必要がある。また想定外の事態が生じた場合にどのような対応をとるのかを、あらかじめ合意しておくことも重要である。水産資源の管理においては、残念ながら想定外の状況はしばしば生じる。

参考文献

- [1] 平松一彦 (2004) : CCSBTで開発中の管理方式 (Management Procedure) について. 水産資源管理談話会報, 34, 42-71.
- [2] 黒田啓行, 境 歴, 高橋紀夫, 伊藤智幸 (2015) : TACを算定する新しいアプローチ: ミナミマグロの管理方式の開発と運用. 水産海洋研究, 79, 297-307.
- [3] Payne AIL (Ed.) (1999) : Confronting uncertainty in the evaluation and implementation of fisheries-management systems. ICES Journal of Marine Science, 56: 795-1074.
- [4] Rice JC, Connolly PL (Ed.) (2007) : Fisheries management Strategies. ICES Journal of Marine Science, 64: 577-861.
- [5] Punt AE, Butterworth DS, de Moor CL, De Oliveira JAA, Haddon M (2016): Management strategy evaluation: best practices. Fish Fish, 17, 303-334.
- [6] Hilborn R, Walters CJ (1992) : Quantitative Fisheries Stock Assessment. Choice, Dynamics and Uncertainty. Chapman & Hall, New York, 570pp.
- [7] 平松一彦 (2004) : オペレーティングモデルを用いたABC算定ルールの検討. 日水誌, 70, 879-883.
- [8] Ohshimo S, Naya M (2014) : Management strategy evaluation of fisheries resources in data-poor situations using an operating model based on a production model. JARQ, 48, 237-244.
- [9] 市野川桃子, 岡村 寛, 黒田啓行, 由上龍嗣, 田中寛繁, 柴田泰宙, 大下誠二 (2015) : 管理目標の数値化による最適なABC算定規則の探索. 日水誌, 81, 206-218.

