

令和 2（2020）年度 漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針

令和 2 年 4 月 14 日

国立研究開発法人 水産研究・教育機構

I. 緒言

国連海洋法条約と我が国資源管理

海洋法に関する国際連合条約(国連海洋法条約)の第 61 条では, 排他的経済水域 (EEZ) 内の生物資源の保全について, 1) 沿岸国は, 自国の EEZ における生物資源の漁獲可能量を決定する¹, 2) 沿岸国は, 利用可能な最良の科学的証拠を考慮した適切な保全・管理措置を通じて, EEZ における生物資源が過度の漁獲によって脅かされないように保証する², 3) それと同時に, 上記の保全・管理措置は, (沿岸漁業における経済的必要性及び発展途上国への特別な配慮などを含む) 環境・経済要因による制約並びに漁業形態や系群間の関係を勘案し, かつ, (地域的規模に関わらず) 最低限必要なものとして国際的に広く推奨されている基準を考慮した上で, 最大持続生産量 (Maximum Sustainable Yield, MSY) を実現することのできる水準に漁獲対象種の資源量を維持または回復することとする³, と規定している。

国連海洋法条約を批准している我が国も, それに則って自国の海洋生物資源の管理・保全に努める必要がある。そのため, 水産基本法第 2 節第 13 条においても, 「国は, 排他的経済水域等における水産資源の適切な保存及び管理を図るため, 最大持続生産量を実現することができる水準に水産資源を維持し又は回復させることを旨として, 漁獲量及び漁獲努力量の管理その他必要な施策を講ずるものとする」と規定されている。

本基本規則では, 上記の国連海洋法条約や水産基本法で規定されている「適切な管理措置」に適い, 対象生物資源の生物学的特徴を考慮した生物学的許容漁獲量 (Allowable Biological Catch, ABC) を算定する漁獲管理規則 (Harvest Control Rule, HCR) の定義を述べるものとする。緒言では, MSY とリスク管理・順応的管理の考え方を定義し, そ

¹ The coastal State shall determine the allowable catch of the living resources in its exclusive economic zone.

² The coastal State, taking into account the best scientific evidence available to it, shall ensure through proper conservation and management measures that the maintenance of the living resources in the exclusive economic zone is not endangered by over-exploitation. (As appropriate, the coastal State and competent international organizations, whether subregional, regional or global, shall cooperate to this end.)

³ Such measures shall also be designed to maintain or restore populations of harvested species at levels which can produce the maximum sustainable yield, as qualified by relevant environmental and economic factors, including the economic needs of coastal fishing communities and the special requirements of developing States, and taking into account fishing patterns, the interdependence of stocks and any generally recommended international minimum standards, whether subregional, regional or global.

れに基づいた漁獲管理規則を第 II 節以降で規定する。

MSY (Maximum Sustainable Yield : 最大持続生産量)

MSY は、一般に、持続的に可能な最大の漁獲量と定義される。古典的な MSY は、余剰生産量モデル (田中 1998) に基づき、自然増加率の半分の漁獲率で漁獲し続ければ、初期資源量の半分の資源量に維持され、永続的に最大の漁獲量が得られる、というものである。しかし、古典的な MSY は、不確実性の影響を無視していること、環境影響に大きな影響を受ける魚種では一定の漁獲量を維持できるわけではないこと、経済的な観点の軽視、推定の困難さ、といった点で批判された (Larkin 1977)。そのような批判を受けて、MSY に対する解釈や実際の管理に適用する方法論が大きく発展し、様々な不確実性や MSY に影響を与える要因を考慮した上で MSY の概念を実際の管理に生かすことができるようになってきた (田中 1991, Mace 2001, Punt and Smith 2001)。我が国においても、初期に批判された古典的な MSY の概念に縛られることなく、現在および将来の自然条件下で生じる複雑性や不確実性を考慮した上で、長期間⁴にわたって持続可能な最大の平均漁獲量を MSY と定義する。

リスクに基づく ABC 算定と順応的管理

水産資源データの収集やそれに基づく資源評価は、一般に大きな不確実性を有する。そのため、決定論的なモデルに基づく点推定だけに依存すると、資源管理を誤り、望ましい結果が得られなくなる危険がある。そこで本規則では、確率論的な資源量の将来予測モデルに基づくリスクの評価を重視する。そのため、統計学的手法やシミュレーション手法を使用し、データサンプリング、パラメータ推定、管理実行に伴う不確実性と環境変動の影響を考慮した評価に基づいて持続的な漁獲が可能と考えられる管理規則を選択し (Punt et al. 2016)、その管理規則から算出されるものを ABC とする。

また、目標や限界となる資源管理の基準値についても、生物データ・時系列データの不足や資源評価の誤差等から、推定される基準値には不確実性が含まれることになる。したがって、我が国の資源管理における管理基準値 (資源量や漁獲係数の目標値、閾値のこと) は、基本的に 5 年ごとに見直し・更新を行うこととする (5 年毎に見直しを行うため、データの情報に応じて柔軟な変更を行うことができる)。しかし、この短期的な管理期間内であっても、管理方策実行に際して大きなリスクを伴うような新たな知見が得られるなど、当初の想定と異なる状況になり、管理基準値を変更したほうが良いと判断される想定外の事態が生じた場合には、これを適宜更新することとする。

⁴ 加入変動の不確実性を考慮したシミュレーションで MSY 推定する際には、基本的に、世代時間×20 年を用いた。

個々の資源の特徴の考慮

我が国の水産資源には、大気・海洋環境の変動に応じて資源量が大きく変動する資源が多いこと (Watanabe et al. 1995, 1996)、漁業の歴史が長く、食料消費の中における水産物に対する依存度が世界の中でも高いこと、漁業協同組合などによる自主的管理システムが存在することなどの特徴がある (Makino 2011)。また、資源評価の精度やデータの不足により、信頼性の高い最大持続生産量の推定が困難な資源もある。本漁獲管理規則は ABC 算定の基本規則を規定するものであるが、上記のような個々の資源の特徴等により基本規則では信頼性の高い ABC 算定に至らない場合は、適切な科学的説明と関係科学機関の合意のもとで、管理の目的に適う代替的な規則も各系群で使用できる。「適切な科学的説明」においては、客観性 (根拠となる数値の算定方法が客観的である)・再現性 (誰でも再現できる)・透明性 (なぜそのような規則を用いたのかを説明できる) を考慮することが必要である。

II. 我が国資源評価系群の種類

資源評価の概要

各系群に対する資源評価においては、対象種の生物学的な特徴を最大限に考慮するため、可能な限り年齢構成の情報を取り入れた個体群動態モデルにより資源量や管理基準値および再生産関係の推定を行う。資源量推定に用いる個体群動態モデルは、年齢構造を考慮したコホート解析 (Virtual Population Analysis, VPA) や統計的年齢別漁獲尾数解析 (Statistical Catch At Age, SCAA) などを優先的に使用し、年齢情報が利用可能でないときは、年齢構成を利用しない資源評価モデル (例えば, Quinn and Deriso 1999 の 2 章や 5 章) を使用する。各系群の特徴に応じて適切な資源評価モデルを用いることが推奨される。

VPA のように再生産関係に関するパラメータを資源評価モデル内で推定しない手法を用いる場合には、モデルから得られた加入量や親魚量の推定値を用いて個体群動態モデルの外側で再生産関係の推定を行う。

また、資源の相対的な変動傾向に対する情報を活用するため、資源量推定の際には漁獲量に加えて努力量情報を活用することが推奨される。漁業や調査において得られた漁獲量を単位努力量で割った単位努力量あたり漁獲量 (CPUE) を資源量の指標値として用いる場合、資源量指標値を偏らせる要因を排除して資源量の真の傾向に近づけるため、標準化を行う必要がある (Maunder and Punt 2004)。資源評価モデルによる推定結果が得られない場合もしくはその信頼性が低いと考えられる場合、資源量指標値の経年変化から資源状態の判断を行うこととする。資源量指標値が有効でないときは、漁獲量や漁獲物の生物情報の経年変化を資源量変動の判断材料とするが、短期的な暫定措置であり、速やかに有効な資源量指標値を取得するよう努めることが奨励される。

なお、資源量の絶対値や相対値を推定するのに十分な情報がない場合や、信頼できる

資源量指標値が得られていない場合でも、漁獲量や漁獲努力量の情報や調査データの収集に努め、資源の動向を継続的に監視すべきである。

資源評価は定期的になされるべきである（特に、資源量や漁獲割合などの基本情報に関しては、毎年推定することが推奨される）。また、従来知られていない新規な知見や手法を資源評価に適用する場合、学術雑誌を通して迅速に **peer-review** を受けることが奨励される。

我が国水産資源の分類（1系、2系、3系）

我が国の資源を利用可能な情報と資源量推定の方法の違いに従って、次の3つに分類し、分類群ごとに漁獲管理規則を規定する。

- 1系：漁獲量や努力量の情報を基本として個体群動態モデルによる資源量推定がなされており、再生産関係に仮定を置くことにより管理基準値と将来の絶対資源量や漁獲率の推定値がすべて利用可能な場合
- 2系：漁獲量や努力量などの情報は有効であるが、個体群動態モデルの当てはめが難しく、絶対資源量や漁獲率、管理基準値の推定値のいずれかが利用できない場合
- 3系：漁獲量の情報のみ有効で、努力量情報がないため資源量指標値が利用できず、生物情報と漁獲量の情報のみに依存せざるを得ない場合

III. 我が国における資源管理の目標

我が国の資源管理においては、

- 1) 不確実性を最大限に考慮して、資源の再生産能力が著しく悪化しないような資源水準を保ち、
- 2) 中長期的⁵に得られる平均漁獲量を最大化すること、
- 3) 漁獲量の変動をできるだけ最小化すること

を全系群に共通の中長期的な目標とする。ここで、不確実性下における持続的利用の観点から、番号が小さいものの方が、優先順位が高いとする（1>2>3）。

これらの中長期的管理目標を達成するために、総資源量または親魚資源量の目標管理基準値（ B_{target} または SB_{target} ）と限界管理基準値（ B_{limit} または SB_{limit} ）、禁漁水準（ B_{ban} または SB_{ban} ）をそれぞれ一つ定める。ただし、複数の基準値・水準候補がある場合、その理由を付して、管理者に複数の案を提示することも可能とする。ここでは、親魚資源量を管理の基準値として使用した場合について述べる。

中長期的な漁獲量や親魚量を予測するためには親の量に対する加入尾数の関係をあらかず密度効果を仮定した再生産関係と、加入個体がどのように成長し死亡するかをあ

⁵ 本資料では、短期的を1～5年程度、短中期的を1～10年程度、中期的を10年～30年程度、中長期的を10年～100年程度、長期的を30年～100年程度と考えている。

らわす個体群動態モデルを決める必要がある。水産資源の再生産関係としては、ベバートン・ホルト（Beverton-Holt）型再生産曲線（BH）やリッカー（Ricker）型再生産曲線（RI）が広く使用されているが、親魚資源量の観測範囲から極端に大きく離れた範囲に SB_{msy} が出現する可能性があるため、増加率を安定して推定可能で極端な外挿を避けられるという利点を考慮してホッケースティック（Hockey-Stick）型再生産曲線（HS）の使用を基本とする（Ichinokawa et al. 2017）。適切と判断された場合は、BH、RI、またはそれらのモデルを平均したもの等の使用も可能である。

目標管理基準値の根拠となる MSY とそれから派生する親魚資源量 SB_{msy} 、漁獲係数 F_{msy} を推定する際には、現在および将来の自然条件下で生じる複雑性や不確実性を考慮するために、現在から将来にかけて生じる可能性のある範囲の親魚資源量と加入尾数から予測された再生産関係を用い、その不確実性を考慮して管理基準値を推定することとする。レジームシフトなど中長期的な環境変動の影響によってひとつの再生産関係による予測の信頼性が低いと考えられる場合には、考えられる不確実性を考慮し、予測精度を向上させるため、複数の再生産関係を使用して管理基準値を計算することも可能である。また、再生産関係が複数考えられ、それぞれの管理基準値が大きく異なる場合、不確実性に対する頑健性等の基準により、尤も合理的な再生産関係（複数の再生産関係やそれらのモデル平均も含む）を科学者間の合意によって選択する。

親魚資源量の目標管理基準値（ SB_{target} ）

SB_{target} としては、加入変動をはじめとする必要な不確実性を考慮した将来予測において、一定の漁獲係数で漁獲し続けたときに平均漁獲量が最大になる親魚資源量水準（ SB_{msy} ）を基本として使用する。そのときの最大平均漁獲量を MSY 、それに対応する漁獲係数を F_{msy} とする。

加入乱獲を回避するための親魚資源量の限界管理基準値（ SB_{limit} ）

SB_{limit} は、それ以下の水準で親魚資源量を維持した場合に、有意に低い持続生産量が得られ、潜在的な資源の生産力を十分に活用できないことを避けるための閾値である。加入変動をはじめとする必要な不確実性を考慮した将来予測において、一定の漁獲係数で漁獲し続けたときに、 MSY の 60% の漁獲量を生む親魚資源量を基本とする。

親魚資源量の禁漁水準（ SB_{ban} ）

SB_{ban} は、それ以下では資源の回復が極端に遅れる、あるいは回復しないと考えられるため、漁獲を 0 とすべき親魚資源水準である。加入変動をはじめとする必要な不確実性を考慮した将来予測において、一定の漁獲係数で漁獲し続けたときに、 MSY の 10% の漁獲量に対応する親魚資源量を基本とする。

管理基準値は、上記の基本的な定義を有する管理基準値を前提として、個々の系群の特徴に応じて、合理的な科学的説明と関係科学機関の合意のもとで MSY 管理基準値の代替値となりうる値を提案することもできる。たとえば、再生産関係のあてはまりが悪い場合、管理基準値が著しい外挿値となる場合、再生産関係に長期的な環境変動が影響している場合、再生産関係に明瞭な自己相関がみられる場合などが考えられる。

再生産曲線や個体群動態モデルの大幅な改定・変更がない限り、短期的な管理単位（基本的に 5 年間）の中で同じ管理基準値を使用し続けることとする。5 年経過時には情報の更新による再生産関係を再審査し、新たな管理基準値を使用するかどうかを決定する。大きな環境変化や情報の更新に対応するため、基本的に 5 年ごとに、この工程を繰り返すこととする。

個体群動態モデルで資源量が推定されていない系群で上記の定義による管理基準値が得られないような系群に対する SB_{msy} やその他の管理基準値の取り扱いについては後で述べる（IV.2 系資源の算定規則）。なお 3 系資源については可能な限り資源量指標値の取得に努めて 2 系へ移行することが望まれる。

IV. 漁獲管理規則

1 系資源の管理規則

上記 III で、管理基準値が決定されたもとで ABC を計算する漁獲管理規則を規定する。ABC は漁獲係数 F と資源量推定値から計算されるが、漁獲係数は資源水準に応じて次のように決定される（図 1）：

$$F_t = \begin{cases} 0 & \text{if } SB_t < SB_{ban} \\ \gamma(SB_t)F_{target} & \text{if } SB_{ban} \leq SB_t < SB_{limit} \\ F_{target} & \text{if } SB_t \geq SB_{limit} \end{cases}$$

ここで、 F_{target} は F_{msy} に不確実性の影響を考慮した安全係数 β ($0 < \beta \leq 1$) を掛けたもの ($F_{target} = \beta \times F_{msy}$)、 SB_t は t 年の親魚量 ($SB_t = \sum_a m_{t,a} w_{t,a} N_{t,a}$: $m_{t,a}$ は t 年 a 歳の成熟率、 $w_{t,a}$ は t 年 a 歳の平均体重量、 $N_{t,a}$ は t 年 a 歳の資源尾数) である。 $\gamma(SB_t)$ は、親魚量が限界値を下回った場合に回復を速めるために、親魚量に応じて変える調整係数で、

$$\gamma(SB_t) = \frac{SB_t - SB_{ban}}{SB_{limit} - SB_{ban}}$$

と定義する。管理開始年は有効なデータの最終年からの時間遅れを伴うので、加入変動を考慮した確率的な将来予測シミュレーションを行い、その期待値として ABC を算出する。

上記の漁獲管理規則は、我が国の 1 系資源の典型的な生物パラメータ等の情報に基づいたシミュレーションによって、頑健性が確認されている (Okamura and Ichinokawa in preparation)。また、同シミュレーションによって、 $\beta=0.8$ をとれば、米国で使用されている 40-10 管理規則（上記で $SB_{limit} = 0.4SB_0$, $SB_{ban} = 0.1SB_0$ (SB_0 は長期間漁獲がない

とした場合の平均親魚量) とした漁獲管理規則. Thorson et al. 2015) と長期的な性能が類似しており, 短期的な性能は 40-10 ルールに比して利点があること, 不確実性が高く, 低い水準 ($0.2B_{msy}$) にある資源を平均的に 10 年以内に回復させるためには, $\beta=0.8$ が望ましいことが示されている. しかし, 著しく資源状態が悪い場合や再生産関係のデータが不足している場合など, 資源・漁業の特徴がシミュレーションの典型的なパターンとは異なると考えられる場合には, 新たなシミュレーションを行ってより適切な β を検討することが推奨される.

さらに, 系群ごとの特徴を取り込むため, また, 短中期的な資源への影響を見るため, 系群ごとの資源評価結果に基づき確率的な将来予測を実行する. ABC 算定年以降の β を 0 から 1 の範囲で変更した場合に, 設定した年数 (たとえば, 10 年後) が経過した後親魚量が目標・限界管理基準, および禁漁水準を何パーセントの確率で上回っているか, またそのときの漁獲量がどのぐらいか, 一般的なシミュレーション結果で望ましいとされた値 ($\beta=0.8$) を用いた場合と管理方式の性能・リスクにどのぐらいの差があるか, といった情報から適切な β (または β の範囲) を決定し, 管理者への提案を行う. 短中期的将来予測においては, しかるべき根拠がある場合, 資源評価最終年から過去数年間 (たとえば, 5~10 年間) の加入の傾向や直近年の生物情報に重みをおいた仮定を将来予測にとりこんでシミュレーションを行い, 短中期的な加入状況や生物情報の不確実性を考慮することが推奨される. このように, 短中期的将来予測において, 管理基準値計算の際に用いた将来予測と異なる仮定が使用される場合には, そのような仮定を用いることについての合理性・頑健性が議論され, 科学者間での合意が得られるよう努力されるべきである.

また, 上記漁獲管理規則より望ましい, または同程度のパフォーマンスを示す漁獲管理規則 (例えば F 一定や漁獲量一定, 取り残し量一定方策など) があれば, シミュレーション等による検討から得られる十分な科学的根拠と関係科学機関の合意のもとに, その採用も可能であるものとする.

原則として, 管理基準値と同様に, ABC 算定に用いる漁獲管理規則やパラメータ (β) は, 短期的な管理単位 (基本的に 5 年間) の中で一貫したものを使用すべきである. しかし, β を決める際に想定したシナリオから極端に外れるという十分な根拠が認められる状況においてはこの限りではない. どのような場合に漁獲管理規則の修正を検討するかについては付録 (管理期間内に管理基準値や漁獲管理規則を変更するためのガイドライン) で詳述する.

2 系資源の管理規則

2 系資源は, 漁獲量と資源量指標値 (CPUE) の時系列データから, 経験的な式を用いて ABC を計算するものである.

ABC は,

$$ABC = \alpha_t \bar{C}_t = \beta \times \exp [k_t (D_t - B_T)] \times \bar{C}_t$$

によって与えられる。 β は全体を調整する係数でデフォルト値は 1 とする。指数関数の中の係数 k_t は、

$$k_t = \begin{cases} \delta_1 & D_t > B_L \\ \delta_1 + \delta_2 \exp [\delta_3 \log (AAV_t^2 + 1)] \frac{B_L - D_t}{D_t - B_B} & B_B < D_t \leq B_L \\ \infty & D_t \leq B_B \end{cases}$$

である (図 2)。 \bar{C}_t は過去 5 年間の漁獲量の平均値、 D_t は現在 (t 年) の資源水準であり、過去の CPUE に累積正規分布

$$D_t = \int_{-\infty}^{CPUE_t} \phi \left[\frac{x - E(CPUE)}{SD(CPUE)} \right] dx$$

を適用することにより 0 から 1 までの間の値として計算される。ここで、 ϕ は標準正規分布を表し、 $E(CPUE)$ は CPUE の平均値、 $SD(CPUE)$ は CPUE の標準偏差である。 AAV_t は、 t 年までの CPUE から計算される資源量指標値の年変動の指標で、計算に使用される有効な CPUE の数を N (= 時系列の長さ-1-欠測値の数) とするとき、

$$AAV_t = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^t \frac{2|CPUE_u - CPUE_{u-1}|}{CPUE_u + CPUE_{u-1}}$$

となる。

B_T は資源量指標値の目標水準で CPUE を正規分布の累積曲線に変換して 0 から 1 の確率値にしたものである (これは、CPUE の誤差の影響を軽減するための平滑化の一種である)。 B_L は限界水準、 B_B は禁漁水準で、それぞれ目標水準の $100 \times P_L$ パーセント ($B_L = P_L \times B_T$)、 $100 \times P_B$ パーセント ($B_B = P_B \times B_T$) とする。 B_T の周辺では緩やかに資源量を目標水準に近づけるように ABC を設定し、 B_L を下回って低水準になった場合には、CPUE を目標水準に素早く近づけるように ABC を引き下げる (図 2)。

係数 δ_2 は資源が低水準であるときに資源を回復させるための調整係数である。また、CPUE の不確実性が大きいときはできるだけ資源を早く回復させるのが望ましいことから、係数 δ_3 によって CPUE の AAV が大きいときに資源の回復速度を大きくする。

市野川ら (2015) が用いた余剰生産量型の個体群動態モデルを使用したシミュレーションによって、本規則のパフォーマンスを評価したところ、資源保護と ABC の安定化において既存のルールよりも大幅な改善が見られた。資源保護、平均漁獲量の増大、漁獲量変動の最小化の管理目的のバランスによって性能を評価したところ、選ばれたパラメータの基準値は、 $B_T = 0.8$ 、 $P_L = 0.7$ ($B_L = 0.56$)、 $P_B = 0.0$ ($B_B = 0.0$)、 $(\delta_1, \delta_2, \delta_3) = (0.5, 0.4, 0.4)$ となった。

基本的なシミュレーションのシナリオに加えて、CPUE の観測誤差が大きい場合、hyperstability/hyperdepletion (Hashimoto et al. 2018) がある場合等の頑健性テストを行ったところ、2 系資源に対する管理規則は様々な不確実性に頑健であると考えられた。し

かしながら、基本的なシミュレーションシナリオの場合に比して不確実性が大きいときでも、資源保護の性能を基本的なシミュレーションの場合と同等にするためには、ABCの式中の β を0.9とすると良い。

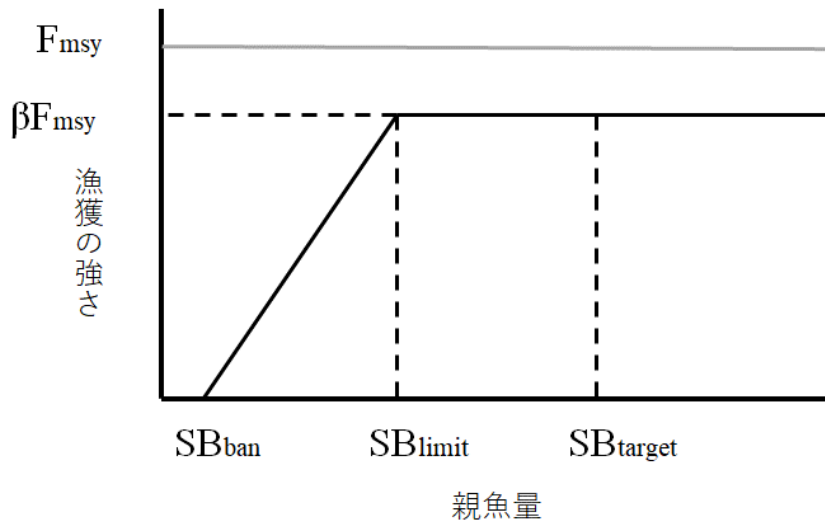


図 1. 1 系資源の漁獲管理規則の模式図.

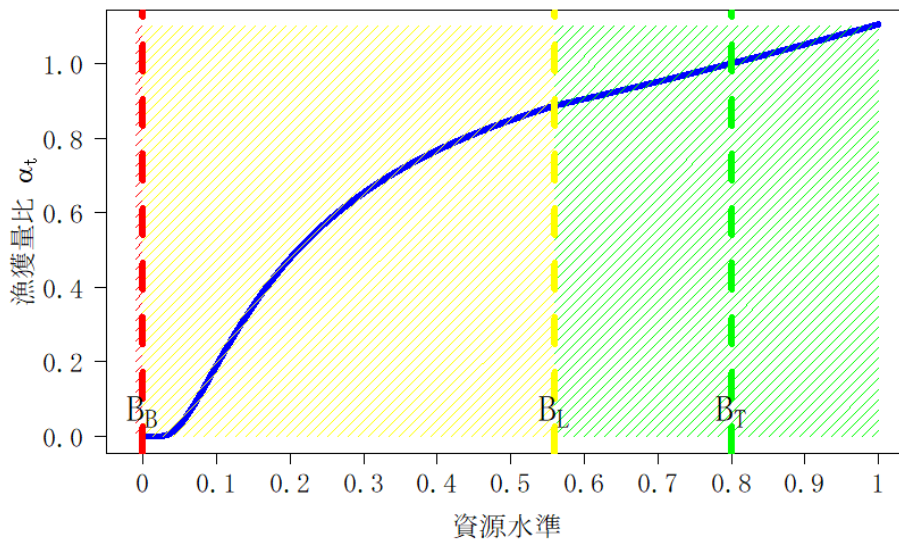


図 2. 2 系資源の漁獲管理規則の模式図

【引用文献】

- Hashimoto, M., Okamura, H., Ichinokawa, M., Hiramatsu, K., and Yamakawa, T. (2018) Impacts of the nonlinear relationship between abundance and its index in a tuned virtual population analysis. *Fisheries Science* 84:335–347.
- Ichinokawa, M., Okamura, H., and Kurota, H. (2017) The status of Japanese fisheries relative to fisheries around the world. *ICES Journal of Marine Science* 74: 1277–1287.
- 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. 日本水産学会誌, 81, 206-218.
- Larkin, P. (1977) An epitaph for the concept of maximum sustained yield. Transactions of the American Fisheries Society 106: 1–11.
- Mace, P. M. (2001) A new role for MSY in single-species and ecosystem approaches to fisheries stock assessment and management. Fish and Fisheries 2: 2–32.
- Makino, M. (2011) Fisheries Management in Japan. Springer.
- Maunder, M. N. and Punt, A. E. (2004) Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. Fisheries Research 70: 141–159.
- Punt, A. E. and Smith, A. D. M. (2001) The gospel of maximum sustainable yield in fisheries management: birth, crucifixion and reincarnation. In: Reynolds JD, Mace GM, Redford KH, Robinson JG, editors. Conservation of exploited species. Cambridge, UK: Cambridge University Press. p. 41–66.
- Punt, A.E., Butterworth, D.S., de Moor, C. L., De Oliveira, J. A. A. and Haddon, M. (2016) Management strategy evaluation: best practices. Fish and Fisheries 17: 303–334.
- Quinn and Deriso (1999) Quantitative Fish Dynamics. Oxford University Press.
- 田中昌一 (1991) 一つのモデル独立型鯨類資源管理方式の提案. 桜本和美・加藤秀弘・田中昌一編「鯨類資源の研究と管理」(恒星社厚生閣): 184–197.
- 田中昌一 (1998) 水産資源学総論. 恒星社厚生閣.
- Thorson, J. T., Jensen, O. P., and Hilborn, R. (2015) Probability of stochastic depletion: an easily interpreted diagnostic for stock assessment modelling and fisheries management. ICES Journal of Marine Science 72: 428–435.
- Watanabe, Y., Zenitani, H., and Kimura, R. (1995) Population decline off the Japanese sardine *Sardinops melanostictus* owing to recruitment failures. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 52: 1609–1616.
- Watanabe, Y., Zenitani, H., and Kimura, R. (1996) Offshore expansion of spawning of the Japanese sardine, *Sardinops melanostictus*, and its implication for egg and larval survival. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 53: 55–61.

付録. 管理期間内に管理基準値や漁獲管理規則を変更するためのガイドライン

基本的に、管理基準値を含めた漁獲管理規則は5年間修正せず、5年後にデータを更新して評価した結果、修正する必要があるれば修正することとする。これは、管理基準値を頻繁に変更することによりABCが過度に変動することを避けるためである。しかし、管理開始後に管理基準値および漁獲管理規則の策定時に想定しなかった事態が生じ、あらかじめ合意された漁獲管理規則から計算されるABCでは生物資源・漁業の持続性を危険にさらす可能性が大きいと考えられる場合、5年間の期間を待たずに、新しい情報を再調査し、管理基準値と漁獲管理規則を再設定することを可能とする。このプロセスは、(1) 想定外の事態が生じたかどうかの判断、と (2) 想定外の事態が生じた場合の対策、から成る。

(1) 想定外の事態が生じたかどうかの判断

- ・加入尾数やその変動の大きさが想定以上に大きい（小さい）年が続くことによって、または、データの更新や資源評価手法の大きな変更によって、将来予測が「当初の想定と異なる」ことが確認された場合
 - ・将来予測が「当初の想定と異なる」場合については、特に以下のような確率に注目する
- ① 短期的に資源量が限界水準や禁漁水準を下回るリスク（例：5年間の管理期間内に、予測親魚資源量が SB_{limit} , SB_{ban} を下回る確率が想定外に高くなった、など）
 - ② 中長期的に目標水準に資源を維持できる確率（例：10年後に SB_{target} に到達する確率が当初の予測よりも大幅に低く・高くなったなど）
- ・大きな情報の更新が行われ、早急な対策を講じる必要があると考えられる場合（例：自然災害、国際交渉等）

(2) 想定外の事態が生じた場合の対策

- ・管理基準値の再計算が必要かどうかを検討する
- ・ β の変更によって対処できる問題かを検討する
- ・新たな管理基準値や変更された β によって、新たに生じた想定外の事態を考慮した不確実性のもとでも十分に安全な漁獲が行えると考えられる場合、5年間の管理期間内であっても漁獲管理規則の変更を提案することができる。特に、資源の減少が高い確率で起こり得て、何らかの対策が必要である可能性が高い場合、積極的な提言を行うことが望ましい
- ・漁獲管理規則によってABCの大幅な増減が想定される場合においては、ABCの変動をできる限り最小化するような努力を行うことが望ましい（例：ABCが2倍になるとしても増加分の上限は20%とする、（リスクが小さいのであれば）ABCが半減するとし

でも 20%減に抑えるなど)

・ 5 年間の管理期間内に管理基準値, β の変更が提案され変更されたとしても, 5 年間の見直しは通常通り行うこととする

用語集

【資源評価・管理全般】

CPUE：シーピーユーイー． Catch Per Unit Effort（単位努力量あたり漁獲量）の略．資源量指標値（資源量の高低に関する情報）として用いられる．

MSY：エムエスワイ． Maximum Sustainable Yield（最大持続生産量）のこと．持続的に獲り続けることが可能な最大の（平均）漁獲量．

神戸プロット（神戸チャート）： SB_{msy} に対する親魚資源量の比を横軸に， F_{msy} に対する漁獲圧の比を縦軸にとった資源診断のための図．

MSE：エムエスイー． Management Strategy Evaluation（管理戦略評価）．徹底的なシミュレーションによって，不確実性のもとでもうまく管理目標を達成できるような管理戦略（漁獲方策）を選択するプロセスのこと．

管理基準値：資源管理において目標や目安となる基準値のこと． SB_{msy} や F_{msy} は管理基準値の一種である．

レジームシフト：海洋環境が数十年間隔で急激に変化する現象．

RPS：アールピーエス．加入尾数（Recruit）を親魚量（Spawning Biomass）で割ったもの．

SPR：エスピーアール．RPSの逆数で，加入一尾あたりの親魚量．

VPA：ブイピーエー． Virtual Population Analysis の略．我が国で広く使用される資源評価モデル．年齢別漁獲尾数から資源量や漁獲圧を推定することができる．

【再生産関係】

再生産関係：親魚量と加入尾数の関係．加入尾数は一般に平均値のまわりで大きく変動する．

ホッケースティック型再生産曲線：折れ線を利用した再生産関係を表す曲線．基本的に使用することが推奨されている曲線である．HSの記号を使用する．

ベバートン・ホルト型再生産曲線：ベバートンとホルトが考案した再生産曲線．BHの記号を使用する．

リッカー型再生産関係：リッカーが考案した再生産関係．RIの記号を使用する．

最小二乗法：再生産曲線を推定する際に広く使用される統計手法．

最小絶対値法：再生産関係を安定して推定することが可能な統計手法．

SD：Standard Deviation の頭文字．加入尾数・資源量等のばらつきの指標．

自己相関：今年の加入尾数が低い場合，来年も低い傾向が続くという程度を表す指標．

【資源量に関する管理基準値に関連したもの】

B：資源量（Biomass）を表す記号．Bは通常，総資源量を示すが，親魚量を示すことも

ある。ここでは、親魚量であることを明記する際、SB という記号を使うことにする。

SB : (産卵) 親魚量 (Spawning Biomass) を表す記号。

SB_{msy} : 期待される漁獲量が MSY となる親魚量。

SB_{min} : 資源評価で推定される親魚量の最小値。

SB_{max} : 資源評価で推定される親魚量の最大値。

目標管理基準値 (SB_{target}) : 目標となる親魚量。基本的に、SB_{msy} が使用される。

限界管理基準値 (SB_{limit}) : 回復措置をとるべき親魚量の閾値。基本的に、MSY の 60% をとる親魚量 (SB_{0.6msy}) が使用される。

禁漁水準 (SB_{ban}) : 漁獲を 0 とすべき親魚量の閾値である。基本的に、MSY の 10% をとる親魚量 (SB_{0.1msy}) が使用される。

SB₀ : エスビーゼロ。漁業がないときの親魚量。

【漁獲に関するもの】

ABC : エービーシー。Allowable (or Acceptable) Biological Catch (生物学的許容漁獲量) の略。HCR から計算される漁獲量。

HCR : エイチシーアール。Harvest Control Rule の頭文字。漁獲管理規則。親魚量に対応して許容できる漁獲圧 (漁獲係数 F 値) をどのように設定するかをあらかじめ定めたルール。

β : ベータ。HCR の中で、漁獲係数を調整するための安全係数。0 から 1 までの値をとる。シミュレーションによって、典型的な資源に対して、1 系の場合は $\beta=0.8$ が、2 系の場合は $\beta=1.0$ が望ましいと確認されている。

漁獲率 : 漁獲量を資源量で割ったもの。U という記号を使う。漁獲率と漁獲係数は関係しているが異なる数字となる。

漁獲係数 : 瞬間的漁獲率に対応し、漁獲の強さ (漁獲圧の大きさ) を示すもの。F という記号を使用する。

F_{current} : エフカレント。現在の漁獲圧。F は Fishing mortality rate から。

F_{msy} : エフエムエスワイ。MSY を与える漁獲圧 (漁獲係数)。F_{msy} で獲り続けられれば、親魚量が SB_{msy} の周辺で安定する。

U_{msy} : ユーエムエスワイ。MSY が得られる場合の漁獲率。

F_{target} : エフターゲット。平均的に SB_{target} を維持することが可能な漁獲圧。F_{target} = $\beta \times F_{msy}$ とする。

【一般用語】

リスク : 望ましくないことが起こる可能性 (確率) のこと。5 年後の SB が SB_{ban} を下回る確率が 10%、などがリスクの例。

シミュレーション : 現実に行っていることをコンピュータプログラムによって模倣し、

再現したもの。

将来予測：仮定した加入尾数の不確実性のもとで、HCR に従って漁獲して行った場合に、将来の資源量や漁獲量がどのようになるかをシミュレーションで評価すること。

不確実性：ある事柄が確実に起こるとは言えないこと。

将来予測：今後想定される加入尾数の変動や環境変動のもとで漁獲を継続していった場合に、将来の資源量や得られるであろう漁獲量を予測すること。