

新 2 系ルールについての追加計算とその結果

資源評価高度化作業部会

(文責) 福井 眞・市野川桃子・平尾 章

はじめに

我が国の資源評価において、信頼できる年齢別漁獲尾数は得られないが、漁獲量と資源量指数が得られている資源（2 系資源）では、資源量推定を必要としない経験的な漁獲管理規則（2 系ルール）によって ABC の算定がなされている。「令和 3（2021）年度 漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（以降、令和 3 年基本指針）」では、プロダクションモデルをベースとした MSE において最もパフォーマンスが良かった漁獲管理規則（HCR）が一つだけ新 2 系ルールとして示されている（基本的漁獲管理規則、以下、基本ルール）。しかし、基本ルールの根拠となった解析（FRA2020-ABCWG01-01）においては、基本ルールと同程度のパフォーマンスを示す複数の HCR の候補も示されている。1 系資源では基本ルールと同等のパフォーマンスを持つ漁獲管理規則として様々な代替漁獲管理規則が提案されてきており、2 系資源についても、1 系資源と同様に、管理目的や得られている資源情報に応じて HCR の選択の余地があることが望ましい。

そこで本ドキュメントでは、基本ルールの選択の際に用いたものと同じ MSE シミュレーションを用い、基本ルールに準じるパフォーマンスを持つ他の HCR の探索をおこなった。特に以下の 3 つのケースにおいて基本ルールの代替となりうる HCR を検討した。

1. 目標水準 B_T を変更した場合：基本ルールは目標水準 B_T が 0.8、目標水準に対する限界水準の割合 P_L が 0.7、禁漁水準の割合 P_B が 0、チューニングパラメータ δ が (0.5, 0.4, 0.4) である。そのうち目標水準 B_T は全体のパフォーマンスを大きく決定する重要な係数であるため、本ドキュメントでは B_T を 0.4-0.75 まで 0.05 刻みで変更した場合のパフォーマンスの変化を調べ、より小さい B_T をとったときでも基本ルールと同様のパフォーマンスを示す HCR があるかを探索した。
2. 漁獲量・資源量指数の情報が 1 年遅れで利用できる場合：基本的な資源管理スケジュールでは、ABC 算定は資源評価前年までの漁獲量と資源量指数の情報に基づいて資源評価年の翌年の ABC を算定している。MSE シミュレーションもこれに準じて 2 年遅れの管理が仮定されている。しかし、資源によっては漁獲量と資源量指数の時系列情報が資源評価年まで得られ、翌年の ABC 算定に利用可能な場合がある。そこで、MSE シミュレーションにおいて時間遅れを 2 年でなく 1 年にした場合に最も良いパフォーマンスを示す HCR を探索した。時間遅れのパターンとして、a) 漁獲量と資源量指数の両方で 1 年遅れの情報が得られる場合と、b) 資源量指数のみが 1 年遅れで漁獲量については 2 年遅れになる場合の 2 パターンを検討した。
3. ABC の変動幅を一定以下にして漁獲量の大きな変化を緩和する場合：1 系資源においても漁獲量の変動を抑制するようなオプションが漁獲管理規則で提案されている。そこで、本ドキュメントにおいても漁獲量の変動幅に上限を設定するようなオプションを追加し、パフォーマンスを調べた。

シミュレーション手法とパフォーマンス指標

旧 2 系ルール（市野川ほか 2015）と新 2 系ルール（FRA2020-ABCWG01-01）の係数決定のために用いられた MSE とパフォーマンス指標をそのまま用いたので、詳細についてはこれらの文献を参照されたい。とくに、旧 2 系ルールと新 2 系ルールの性能比較には後述の First.two スコアならびに Bscore をパフォーマンス指標の軸とした比較を行っており、本解析もこれに倣った。基本的に、本ドキュメントの MSE で仮定される OM は、内的自然増加率 ($r=0.3, 0.5, 0.7$)、観測誤差 ($si=0.2, 0.4$)、プロセス誤差 ($sr=0.4, 0.4$) や資源の歴史的変化¹の組み合わせで 108 通りの OM (basecase シナリオと呼称する) を組み合わせたものである。それぞれの OM では、乱数を変えた 1000 回のシミュレーションを実施した。

候補となる HCR は上記で示した 1) 目標水準 B_T を変更した場合、2) 漁獲量・資源量指数の情報が 1 年遅れで利用できる場合、3) ABC の変動幅を一定以下にして漁獲量の大きな変化を緩和する場合のもので、これらの HCR について、2 系ルールで必要なチューニングパラメータ δ ($\delta_1, \delta_2, \delta_3$) の値を変えて MSE を実行し、後述の First.two スコアおよび Bscore が高いという意味でパフォーマンスの良い係数の組み合わせを選択した。FRA2020-ABCWG01-01 では、 $\delta_1 = 0.1, 0.2, \dots, 0.5$, $\delta_2 = 0.1, 0.2, \dots, 0.5$, $\delta_3 = 0.0, 0.1, 0.2, \dots, 1.0$ と 0.1 刻みでパラメータを変化させて探索していたが、ここでは $\delta_1 = 0.3, 0.4, 0.5$, $\delta_2 = 0.1, 0.2, \dots, 0.7$, $\delta_3 = 0.0, 0.1, 0.2, \dots, 1.0$ の範囲で探索した。 δ_1 の下限は 0.3 と FRA2020-ABCWG01-01 の下限より大きい値とした。経験的に δ_1 が小さいときに良いパフォーマンスが得られなかったことと、計算資源節約のためにこの探索範囲とした。

資源保護を目的とするパフォーマンス指標として、それぞれの OM で実施した 1000 回のシミュレーションにおいて資源管理の最後の 10 年で平均資源が極端に少なくなる ($0.5B_{msy}$ 以下)、または、最終年で 0 になる確率を 20% 以下に抑えられる OM の割合を Bscore² とした。漁獲量を目的とするパフォーマンス指標としては資源管理期間の平均漁獲量が MSY の 20% を上回る OM の割合 (Cscore³ と呼称) を考えた (市野川ほか 2015)。さらに、漁獲量変動が 40% を下回るシナリオの割合 (AAVscore⁴ と呼称) も考慮した (FRA2020-ABCWG01-01)。これらの条件をすべて満たす OM の割合を Total score, Bscore と Cscore の 2 つを同時に満たすものを First.two⁵ スコアとした。旧 2 系ルールは First.two スコアをもとに選択され、新 2 系の基本ルールは Total score をもとに選択されたものである。First.two, Bscore, Cscore は市野川ほか (2015) から示されてきたパフォーマンス指標で、Total score と AAVscore は新 2 系ルールの検討の際に FRA2020-ABCWG01-01 で新たに示されたパフォーマンス指標である。

¹ $K=10000$ としたときの資源評価開始時の資源量 (S) が 7500 ($1.5B_{msy}$), 5000 ($1B_{msy}$), 2500 ($0.5B_{msy}$) と、資源管理開始前年の資源量 (E) が 7500 ($1.5B_{msy}$), 5000 ($1B_{msy}$), 2500 ($0.5B_{msy}$) を総当たりで組み合わせた 9 通り

² 市野川ほか (2015) では RB、SA2020-ABCWG01-01 では $\Pr(B < 0.2B_{msy}) < 0.2$ (ただし $\Pr(B < 0.2B_{msy}) < 0.2$ は誤植で正しくは $\Pr(B < 0.5B_{msy}) < 0.2$) と表記

³ 市野川ほか (2015) では RC、SA2020-ABCWG01-01 では $\Pr(C > 0.2MSY)$ と表記

⁴ SA2020-ABCWG01-01 では $\Pr(AAV < 0.4)$ と表記

⁵ 市野川ほか (2015) では TC、SA2020-ABCWG01-01 では First two と表記

これらの指標に追加して、真の F_{msy} で漁獲した場合の資源量・漁獲量に対して、HCR のもとで漁獲したときに得られる資源量・漁獲量の比を計算し、これを資源管理期間内で平均し、さらに basecase シナリオにおいて中央値をとったものを Bratio, Cratio とした (FRA2020-ABCWG01-01) . さらに、資源管理期間における漁獲量変動についても、真の F_{msy} で漁獲した場合の比を取り basecase シナリオの数 108 で除した値 AAVratio, MSE シミュレーションにおける資源管理期間で資源量がゼロになる平均割合 zeroB, 資源管理導入初年度の漁獲量を前年の漁獲量で割った値の平均値 (ABCimpact) も示した. 結果では、それぞれの管理方策において First.two と Bscore について、旧 2 系や新 2 系の基本ルールのパフォーマンスとの相対的な比較を重視し、First.two や Bscore が同点になる複数の係数セットが得られた場合には Bratio が大きく、zeroB が小さい HCR の結果を特に示した.

代替的な漁獲管理規則を検討するにあたり、限界水準に対する割合 P_L は 0.7, 禁漁水準の割合 P_B は 0 で固定した. また、過去の漁獲量の参照年も $n=5$ で固定した.

また、市野川ほか(2015)のシミュレーションでは資源管理開始前に 20 年漁獲したあとに、30 年間の資源管理期間を設定しており、本ドキュメントも同じ設定を用いた. 2 系資源の漁獲管理規則は資源量推定に要するデータが得られない場合に適用される過渡的な漁獲管理規則という位置づけであるため、30 年という管理期間が設定されている. ただし、より長期の管理期間を想定した場合には、上記のパフォーマンス指標や最適な HCR も変わる可能性がある. そのため、感度分析として、資源管理期間を 50 年とした場合について、上記 3 つのケースそれぞれで提案された HCR でシミュレーションを実施し、パフォーマンス指標や最適な HCR がどの程度変化するかも確認した.

1. B_T を変更した場合

B_T を 0.4 から 0.75 まで 0.05 刻みで変化させたときの Bscore と Cscore, また、Bratio と Cratio のトードオフプロットを図 1 に示す. 基本ルールは、 B_T をより小さくした HCR に比べて、資源保護 (Bratio, Bscore) の点で高いパフォーマンスを示す一方、漁獲 (Cscore, Cratio) については低い値となった. これは、検討した様々な HCR の中から旧 2 系ルールで達成されたスコア

(First.two=0.713, Bscore=0.769, Cscore=0.843, 図の灰色の縦横線) よりも良いパフォーマンスを示すもの、という基準で基本ルールを選択したためである.

図 1 より、旧 2 系ルールよりも右上に位置する HCR はほかにも複数あることがわかる. 特に、 $B_T=0.7$ の中には Bscore が旧 2 系ルールよりも良く、Cscore をデフォルトより大きい HCR がいくつか見られた. そこで、 $B_T=0.7$ の中で Bscore が最も高いもののうち上位 3 つのパフォーマンスを表 1 に示した. これら 3 つの HCR は Bscore, Cscore は同点だが、その中でも 0.4-0.7-1.0 ($B_T=0.7$, 0.4-0.7-1.0) は Bratio が最も高かった. $B_T=0.7$ (0.4-0.7-1.0) はデフォルト 2 系ルールよりも Bscore の点で劣るが、Cscore は若干大きく、Cratio については基本ルールの 0.307 から 0.334 と大きく改善した. ただし、 $B_T=0.7$ (0.4-0.7-1.0) は Bscore で基本ルールに劣ることから、基本ルールよりも資源枯渇のリスクが若干高くなる懸念がある.

そこで、 $B_T=0.7$ (0.4-0.7-1.0) をとった場合に、108 通りの OM のうち基本ルールと比べてどの OM で特に Bscore が悪くなるかを、OM ごとに調べた (図 2) . これより、基本ルールでなく $B_T=0.7$ (0.4-0.7-1.0) をとった場合には、プロセス誤差が 0.4, 資源の歴史的変化が低位から中位

(S2500→E5000) または中位から中位 (S5000→E5000) の場合の OM で Bscore が 1 から 0 となった。一方で、プロセス誤差が 0.2 であったり、漁獲管理開始時の資源量が十分にあるような場合 (E7500) には、 $B_T=0.7$ の HCR を適用しても資源枯渇リスクは $B_T=0.8$ とほとんど変わらないことが示された。

また、 $B_T=0.65$ とした場合、Bscore は旧 2 系の 0.769 よりわずかに小さい 0.759 となる一方で、Cscore は旧 2 系の 0.843、デフォルト 2 系ルール of 0.880 よりも高いパフォーマンス (0.926～0.954) を示した。表 1 に示した HCR は Ffirst.two, Bscore は同点であるが、その中でも 0.4-0.7-1.0 ($B_T=0.65$, 0.4-0.7-1.0) は Bratio が最も高かった。この HCR の場合に、 $B_T=0.7$ と同様に 108 通りの OM のうち基本ルールと比べて、どの OM で特に Bscore が悪くなるかを図 2 に示した。資源の歴史的変化が低位となつてから資源管理が開始する場合の OM (E2500) に Bscore が 0 になるケースが多く出現し、プロセス誤差が 0.4 で資源の歴史的変化が中位となつてから資源管理が開始する場合の OM (E5000) でも Bscore が 0 になるケースが多くなった。一方、 $B_T=0.7$ の時と同様に、プロセス誤差が小さく、漁獲管理開始時の資源量が十分にあるような場合には、 $B_T=0.65$ の HCR を適用しても資源枯渇リスクは $B_T=0.8$ とほとんど変わらなかった。

さらに、参考として $B_T=0.6$ とした場合でも比較的 Bscore が良い HCR も表 1 に示したが、 B_T を 0.6 まで下げると Bscore が 0.667 まで落ち、旧 2 系ルールよりも資源保護の点で大きく劣る結果となった。それにより、管理開始直後の資源量が中位かつプロセス誤差が 0.4 である場合にも Bscore が 0 になるケースが多く出現し、さらに、プロセス誤差が 0.2 と小さい場合でも管理開始時点での資源が少ない場合で資源が極端に減ってしまうケースが出現した (図 2)。逆に言うと、プロセス誤差が 0.2 程度で近年の資源量が中位～高位 (つまり B_{msy} よりも大きい) であるようなケースでは $B_T=0.6$ をとつても資源の枯渇のリスクはほとんどないことが示された。しかし、資源量指数の相対的なトレンドや変動の大きさだけでは、現状の資源量が B_{msy} よりも多いかどうか、また、プロセス誤差が小さいかどうかという判断をすることは困難である (例えば図 3)。そのため、資源の状態を考慮して B_T が 0.8 よりも小さい HCR をとる場合には、資源量指数のトレンド以外の情報を用いた根拠をもとに、当該資源において管理失敗による資源枯渇のリスク増大の懸念が少ないことを示すことが必要である。

図 4 にて $B_T=0.7$ (0.4-0.7-1.0), $B_T=0.65$ (0.4-0.7-1.0), $B_T=0.6$ (0.3-0.7-1.0) と基本ルールの $B_T=0.8$ (0.5-0.4-0.4) の HCR を比較した。 $B_T=0.7$ では資源水準が BL より大幅に低くならない限りは基本ルールよりも漁獲量を変動させる係数 (漁獲量比 α_t) が高く (図 4(a)), $B_T=0.65$, 0.6 ではいずれの資源量水準でもデフォルトよりも漁獲量を変動させる係数が高いことが示された (図 4(b,c))。

2. 漁獲量・資源量指数の情報が翌年の ABC 算定に利用できる場合

本シミュレーションでは、漁獲量・資源量指数の時系列データが与えられた場合、時系列最終年の 2 年後の ABC を算出し、その ABC どおりに漁獲するという設定になっている (2 年遅れの管理実行)。2 系の ABC 計算は、資源水準が目標水準に近づくようなフィードバックがかかるようになっているため、管理実行までのタイムラグが短ければ、それだけ素早いフィードバックがかけられ、より高いパフォーマンスを発揮することが期待される。これは市野川ほか (2015) においても示されている。

そこで、管理の実行が2年遅れではなく1年遅れである場合のシミュレーションを実施し、そのときに最も良いパフォーマンスを示すHCRを表2a(漁獲量・資源量指数ともに1年のタイムラグ), b(資源量指数のみ1年のタイムラグ, 漁獲量のタイムラグは2年で, 漁獲量の平均期間は5年)に示した. 表2aでは目標水準 B_T と限界水準に対する割合 P_L ごとにFirst.twoスコアで良いパフォーマンスが得られたチューニングパラメータの各指標を示した. この場合, B_T が0.6(例えば $B_T=0.6$ (0.4-0.7-1.0))でも基本ルール of Bscoreを上回り, かつ, Cscoreは1, Cratioは0.422と, 資源保護と漁獲の両面でより良いパフォーマンスを示した. したがって, もし管理のタイムラグが2年ではなく1年であるような場合については, リスクの増加を懸念することなくこれらのHCRをとることができる. また, 資源量指数だけが1年遅れの情報を得られる場合(表2b), B_T が0.6では基本ルール of Bscoreを上回ることにはなかったが, B_T が0.65 (0.5-0.7-1.0)でBscoreを上回り, かつ, Cscoreは1, Cratioは0.422と, 資源保護と漁獲の両面でより良いパフォーマンスを示した. この場合でもリスクの増加を懸念することなくこれらのHCRをとることができる.

ここで候補となった, 漁獲量・資源量指数ともに1年のタイムラグがある場合, 資源量指数のみ1年のタイムラグがある場合それぞれのHCRを, 基本ルールと比較した(図4(d,e)). 漁獲量・資源量指数ともに1年のタイムラグの場合ではいずれの資源量水準でもデフォルトよりも漁獲量を変動させる係数が高く(図4(d)), 資源量指数のみ1年のタイムラグの場合では資源水準が限界水準BLより大幅に低くならない限りは基本ルールよりも漁獲量を変動させる係数が高いことが示された(図4(e)).

3. ABCの変動幅を一定以下にして漁獲量の大きな変化を緩和する場合

基本ルール of HCR設定はそのままに($B_T=0.8, P_L=0.7, P_B=0.0$), ABCが前年の漁獲量の $(1 \pm \alpha) \times 100\%$ を超える(下回る)場合, ABCをその境界値である前年の漁獲量 $\times (1 \pm \alpha)$ で置き換えるという管理方策の性能を評価した. α は0.4から0.7まで0.05刻みでシミュレーションを行った.

表3にFirst.twoスコアで良いパフォーマンスが得られた各パラメータ設定とパフォーマンス指標の結果を示す. α が0.4~0.55においてはFirst.twoの最大値が0.796となった. 漁獲量の大きな変動を緩和するという目的に鑑みて, $\alpha=0.4$ とした上で, First.twoが最も高いものの中でBscoreが最大となるものは(0.3, 0.6, 0.3)であった. $\alpha=0.4, B_T=0.8$ (0.3, 0.6, 0.3) of HCRでは基本ルールよりも漁獲量(Cscore, Cratio)がわずかに少なくなるが, 資源の枯渇リスクはほぼ変わらず, 漁獲量変動幅を小さく抑えることができる.

基本ルール of HCRとABC変動幅を一定以下に抑える場合 of HCRを比較した(図4(e)). 漁獲量を増減させる係数は資源量水準が目標水準 B_T を超える, あるいは資源量水準が低いと基本ルールより低くなり, 限界水準 $B_L (=B_T \times P_L = 0.8 \times 0.7 = 0.56)$ の周辺で基本ルールより高くなることが示された. 2系資源のABC算定にあたって資源量水準が目標水準 B_T に早く近づくような計算方法となっているが, とりわけABCの変動を抑える場合には, 資源量水準が B_T 近辺にあると漁獲量を増減させる係数の変化が大きくならないように曲線の傾きが小さくなり, 資源量水準が低い場合は強い資源保護的なABCによって資源量水準を押し上げようと曲線の傾きが大きくなることで, 資源量水準をより早く B_T に近づけてABCの変動を小さくするHCRが選ばれているものと考えられる.

4. 資源管理期間を 50 年とした場合のパフォーマンス

上記で提案された HCR について、資源管理期間を 50 年とした場合のパフォーマンス指標を表 4 に示す。新 2 系ルールのもとでの HCR における First.two のスコアは、全ての HCR で旧 2 系ルールよりも高い値を示した。しかしながら、同じ新 2 系ルールで比較すると、30 年管理を想定した場合には $B_T=0.8$ で First.two が最大となる HCR が得られたが、50 年管理を想定した場合の First.two スコアは $B_T=0.65$ が最大になった。つまり、シミュレーションで想定する管理期間によって最適な HCR は異なってくることを示された。ただし、Bscore に着目すると $B_T=0.65, 0.6$ は旧 2 系ルールよりも低いパフォーマンスを示し、 $B_T=0.6$ では zeroB の値でも旧 2 系ルールより低いパフォーマンスとなった。そのため、旧ルールよりも資源保護的に良いルールという観点からは必ずしも $B_T=0.65$ が推奨されるわけではない。前述したように、本漁獲管理規則で 50 年という長期間の管理を実施するという仮定は現実的ではないものの、本漁獲管理規則を長期間にわたって適用する状況が生じた際には、それを想定したより長期間のシミュレーションから得られるパフォーマンス指標をもとに HCR を選択しなおすことが望ましい。

引用文献

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.

岡村 寛・市野川 桃子・上田祐司・亘 真吾・境 磨（2020）新 2 系ルールと新 3 系ルール. FRA-SA2020-ABCWG01-01.

表 1 B_T を 0.6,0.65,0.7 とした場合でパフォーマンスが良かった管理方策. 一番上は旧 2 系ルール, 上から 2 番目は新 2 系の基本ルールのパフォーマンス. 本文中で言及された HCR が灰色で塗られたセルに対応する.

シナリオ	$\delta 1$	$\delta 2$	$\delta 3$	BT	PL	PB	Total	First.two	Bscore	Cscore	AAVscore	Bratio	Cratio	AAVratio	zeroB	ABC impact
旧 2 系	-	-	-	-	-	-	0.213	0.713	0.769	0.843	0.213	1.685	0.307	0.571	0.059	82.3
新 2 系デフォルト	0.5	0.4	0.4	0.8	0.7	0	0.815	0.815	0.833	0.880	1.000	1.758	0.307	0.244	0.036	67.4
BT=0.7	0.4	0.7	0.8	0.7	0.7	0	0.769	0.796	0.806	0.889	0.972	1.723	0.337	0.266	0.040	69.1
	0.4	0.7	0.9	0.7	0.7	0	0.769	0.796	0.806	0.889	0.972	1.726	0.335	0.268	0.039	68.9
	0.4	0.7	1	0.7	0.7	0	0.769	0.796	0.806	0.889	0.972	1.730	0.334	0.270	0.039	68.7
	0.4	0.7	0.9	0.65	0.7	0	0.759	0.759	0.759	0.926	1.000	1.648	0.374	0.251	0.052	73.4
BT=0.65	0.4	0.7	1	0.65	0.7	0	0.759	0.759	0.759	0.926	1.000	1.652	0.373	0.253	0.051	73.2
	0.5	0.7	0.4	0.65	0.7	0	0.759	0.759	0.759	0.954	1.000	1.639	0.381	0.259	0.053	73.6
	0.5	0.7	0.5	0.65	0.7	0	0.759	0.759	0.759	0.954	1.000	1.643	0.380	0.261	0.052	73.4
	0.3	0.7	0.8	0.6	0.7	0	0.667	0.667	0.667	0.944	1.000	1.526	0.409	0.221	0.072	79.0
BT=0.6	0.3	0.7	0.9	0.6	0.7	0	0.667	0.667	0.667	0.944	1.000	1.533	0.408	0.222	0.071	78.7
	0.3	0.7	1	0.6	0.7	0	0.667	0.667	0.667	0.944	1.000	1.540	0.407	0.224	0.070	78.5

表 2a 漁獲量・資源量指数の情報が翌年の ABC 算定に利用できる場合. 本文中で言及された HCR が灰色で塗られたセルに対応する.

$\delta 1$	$\delta 2$	$\delta 3$	BT	PL	PB	Total	First.two	Bscore	Cscore	AAVscore	Bratio	Cratio	AAVratio	zeroB	ABC impact
0.3	0.7	1	0.4	0.7	0	0.370	0.370	0.370	0.926	0.935	0.990	0.538	0.198	0.141	89.2
0.3	0.7	0.9	0.4	0.7	0	0.370	0.370	0.370	0.926	0.935	0.985	0.537	0.199	0.142	89.4
0.3	0.7	1	0.45	0.7	0	0.491	0.491	0.491	0.963	0.972	1.181	0.523	0.182	0.105	84.8
0.3	0.7	0.9	0.45	0.7	0	0.491	0.491	0.491	0.963	0.972	1.174	0.523	0.183	0.106	85.0
0.3	0.7	1	0.5	0.7	0	0.630	0.630	0.630	0.991	1.000	1.376	0.494	0.174	0.076	80.3
0.3	0.7	0.9	0.5	0.7	0	0.630	0.630	0.630	0.991	1.000	1.368	0.494	0.174	0.077	80.5
0.4	0.7	1	0.55	0.7	0	0.741	0.741	0.741	1.000	1.000	1.533	0.470	0.194	0.052	75.4
0.4	0.7	1	0.6	0.7	0	0.843	0.843	0.843	1.000	1.000	1.645	0.422	0.202	0.036	70.7
0.5	0.7	1	0.65	0.7	0	0.944	0.944	0.954	0.991	1.000	1.739	0.377	0.234	0.023	65.5
0.5	0.6	1	0.7	0.7	0	0.926	0.926	0.991	0.935	1.000	1.790	0.338	0.234	0.018	62.9
0.5	0.6	0.9	0.7	0.7	0	0.926	0.926	0.991	0.935	1.000	1.787	0.340	0.232	0.019	63.1
0.4	0.7	0.5	0.7	0.7	0	0.926	0.926	0.991	0.935	1.000	1.788	0.334	0.224	0.019	63.1
0.3	0.5	0.6	0.75	0.7	0	0.917	0.917	0.963	0.935	1.000	1.780	0.325	0.192	0.022	64.6
0.4	0.5	0.1	0.75	0.7	0	0.917	0.917	0.963	0.944	1.000	1.783	0.325	0.199	0.022	64.2
0.3	0.4	0	0.8	0.7	0	0.861	0.861	0.907	0.898	1.000	1.774	0.317	0.176	0.025	65.4
0.3	0.4	0.2	0.8	0.7	0	0.861	0.861	0.935	0.880	1.000	1.782	0.315	0.179	0.024	64.9

表 2b. 資源量指数のみ 1 年のタイムラグの場合.

$\delta 1$	$\delta 2$	$\delta 3$	BT	PL	PB	Total	First.two	Bscore	Cscore	AAVscore	Bratio	Cratio	AAVratio	zeroB	ABC impact
0.3	0.7	1	0.4	0.7	0	0.333	0.333	0.333	0.898	0.889	0.928	0.531	0.226	0.154	93.9
0.3	0.7	0.9	0.45	0.7	0	0.454	0.454	0.454	0.935	0.917	1.094	0.529	0.211	0.120	89.2
0.3	0.7	1	0.45	0.7	0	0.454	0.454	0.454	0.935	0.917	1.100	0.529	0.210	0.119	89.0
0.4	0.7	1	0.45	0.7	0	0.454	0.454	0.454	0.954	0.954	1.085	0.549	0.228	0.118	89.0
0.3	0.7	1	0.5	0.7	0	0.602	0.602	0.602	0.972	0.972	1.275	0.512	0.201	0.088	84.0
0.3	0.7	1	0.55	0.7	0	0.704	0.704	0.704	1.000	1.000	1.438	0.486	0.200	0.065	79.1
0.4	0.7	0.8	0.55	0.7	0	0.704	0.704	0.704	1.000	1.000	1.433	0.500	0.215	0.064	78.9
0.4	0.7	0.9	0.55	0.7	0	0.704	0.704	0.704	1.000	1.000	1.440	0.499	0.216	0.063	78.7
0.4	0.7	1	0.55	0.7	0	0.704	0.704	0.704	1.000	1.000	1.447	0.499	0.216	0.062	78.5
0.5	0.7	1	0.55	0.7	0	0.704	0.704	0.704	1.000	1.000	1.453	0.511	0.234	0.059	78.0
0.3	0.7	1	0.6	0.7	0	0.796	0.796	0.796	1.000	1.000	1.565	0.452	0.206	0.046	74.2
0.5	0.7	0.8	0.6	0.7	0	0.796	0.796	0.796	1.000	1.000	1.570	0.470	0.238	0.042	73.1
0.5	0.7	0.9	0.6	0.7	0	0.796	0.796	0.796	1.000	1.000	1.575	0.469	0.240	0.041	72.9
0.5	0.7	1	0.6	0.7	0	0.796	0.796	0.796	1.000	1.000	1.580	0.468	0.241	0.041	72.7
0.5	0.7	1	0.65	0.7	0	0.861	0.889	0.889	1.000	0.972	1.675	0.422	0.254	0.027	67.6
0.4	0.7	0.9	0.7	0.7	0	0.954	0.981	0.981	1.000	0.972	1.738	0.379	0.252	0.021	64.2
0.4	0.7	1	0.7	0.7	0	0.954	0.981	0.981	1.000	0.972	1.742	0.377	0.254	0.020	63.9
0.3	0.6	0.9	0.75	0.7	0	0.954	0.981	0.981	1.000	0.972	1.757	0.357	0.238	0.020	63.4
0.3	0.6	1	0.75	0.7	0	0.954	0.981	0.981	1.000	0.972	1.761	0.355	0.240	0.020	63.2
0.3	0.6	0.5	0.8	0.7	0	0.954	0.981	1.000	0.981	0.972	1.799	0.329	0.249	0.016	60.5
0.3	0.6	0.6	0.8	0.7	0	0.954	0.981	1.000	0.981	0.972	1.802	0.327	0.252	0.016	60.2

表 3 ABC の変動幅を一定以下にして漁獲量の大きな変化を緩和する場合. 本文中で言及された HCR が灰色で塗られたセルに対応する.

α	$\delta 1$	$\delta 2$	$\delta 3$	BT	PL	PB	Total	First.two	Bscore	Cscore	AAVscore	Bratio	Cratio	AAVratio	zeroB	ABC impact
0.4	0.3	0.6	0.3	0.8	0.7	0	0.796	0.796	0.806	0.880	1.000	1.743	0.307	0.180	0.041	65.6
0.4	0.4	0.5	0.5	0.8	0.7	0	0.796	0.796	0.806	0.880	1.000	1.742	0.307	0.185	0.041	66.0
0.45	0.4	0.5	0.3	0.8	0.7	0	0.796	0.796	0.806	0.880	1.000	1.750	0.303	0.193	0.039	66.5
0.5	0.3	0.5	0.7	0.8	0.7	0	0.796	0.796	0.806	0.880	1.000	1.751	0.302	0.192	0.039	67.2
0.5	0.5	0.4	0.3	0.8	0.7	0	0.796	0.796	0.806	0.880	1.000	1.749	0.304	0.202	0.039	67.6
0.55	0.4	0.4	0.9	0.8	0.7	0	0.796	0.796	0.806	0.880	1.000	1.749	0.304	0.201	0.039	68.1
0.55	0.5	0.4	0.1	0.8	0.7	0	0.796	0.796	0.806	0.880	1.000	1.750	0.303	0.206	0.039	68.0
0.55	0.5	0.4	0.2	0.8	0.7	0	0.796	0.796	0.806	0.880	1.000	1.753	0.302	0.207	0.039	67.8
0.6	0.5	0.4	0.1	0.8	0.7	0	0.806	0.806	0.815	0.880	1.000	1.755	0.300	0.211	0.038	68.0
0.65	0.3	0.5	0.7	0.8	0.7	0	0.796	0.796	0.833	0.861	1.000	1.772	0.290	0.211	0.036	67.2
0.7	0.3	0.5	0.6	0.8	0.7	0	0.796	0.796	0.833	0.861	1.000	1.773	0.288	0.214	0.036	67.5

表 4 資源管理期間を 50 年とした場合.

シナリオ	$\delta 1$	$\delta 2$	$\delta 3$	BT	PL	PB	Total	First.two	Bscore	Cscore	AAVscore	Bratio	Cratio	AAVratio	zeroB	ABC impact
旧ルール	-	-	-	-	-	-	0.093	0.417	0.769	0.435	0.093	1.876	0.215	0.642	0.078	82.3
新ルールデフォルト	0.5	0.4	0.4	0.8	0.7	0	0.519	0.519	0.787	0.565	1.000	1.907	0.235	0.230	0.050	67.4
BT=0.7	0.4	0.7	1	0.7	0.7	0	0.574	0.593	0.778	0.648	0.972	1.875	0.268	0.247	0.054	68.7
BT=0.65	0.4	0.7	1	0.65	0.7	0	0.694	0.694	0.722	0.815	1.000	1.797	0.310	0.229	0.071	73.2
BT=0.6	0.3	0.7	1	0.6	0.7	0	0.639	0.639	0.639	0.861	1.000	1.676	0.346	0.199	0.097	78.5
1年タイムラグa ※	0.4	0.7	1	0.6	0.7	0	0.769	0.769	0.787	0.935	1.000	1.782	0.366	0.187	0.051	70.7
1年タイムラグb ※	0.5	0.7	1	0.65	0.7	0	0.769	0.769	0.852	0.963	0.991	1.817	0.359	0.238	0.040	67.6
変動幅一定以下($\alpha=0.4$)	0.3	0.6	0.3	0.8	0.7	0	0.491	0.491	0.769	0.546	1.000	1.896	0.233	0.172	0.057	65.6
※1年タイムラグaはCPUE・漁獲量データともに1年のタイムラグ、1年タイムラグbはCPUEのみ1年のタイムラグ																

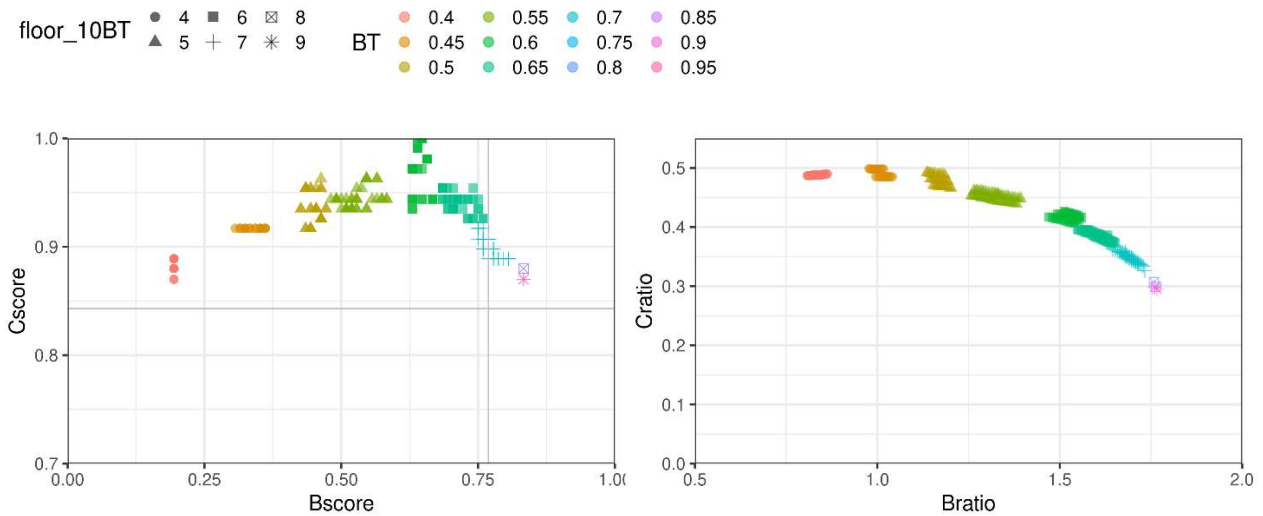


図 1. B_T を 0.4 から 0.75 まで変えた場合のトレードオフプロット。また、 $B_T=0.8, 0.85, 0.9$ の結果についても FRA-SA2020-ABCWG01-01 で得られている数値をもとにあわせてプロットした。左図の灰色の十字が旧 2 系ルールでの Bscore, Cscore を示している。floor_10BT は B_T の少数第 2 位を切り捨てて 10 倍した値。基本ルールは $B_T=0.8$ のプロット。スコア方式を用いた左図では $B_T=0.6$ のときに Cscore の極大をとるのに対し、basecase シナリオの平均・中央値を用いた右図では $B_T=0.45$ のときに Cratio の極大となる。これは、 $B_T < 0.6$ では、basecase シナリオの中の特定のシナリオで平均漁獲量が高くなる一方で、資源枯渇によりほぼ漁獲が得られないような OM が増えていることを示している。



図 2. $B_I=0.8, 0.7, 0.65, 0.6$ の HCR において 108 通りの OM のうち Bscore=0 となった OM に色付けしたもの。色の違いは、1000 回のシミュレーションのうち何割 (2-5 割) で資源が枯渇したかを示す (0-1 割は Bscore=1 となるためここでは示されていない)。

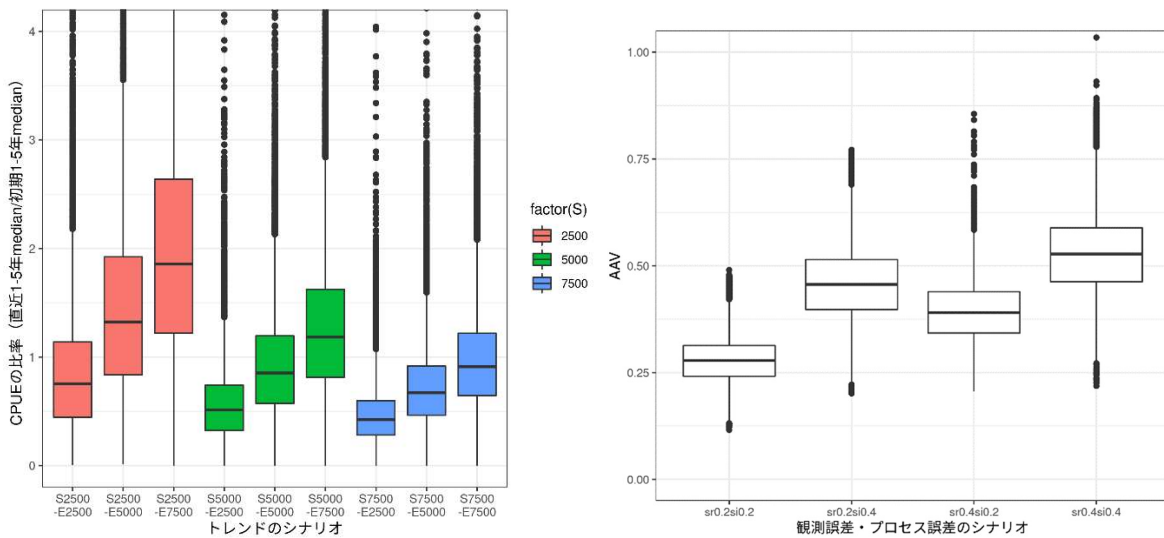


図 3. basecase シナリオで資源管理開始時に観察された資源量指数の相対比（直近 5 年の CPUE の中央値/1-5 年目の CPUE の中央値）と AAV. 資源量指数の相対比については資源のトレンド別に、AAV については誤差のシナリオ別に示した. この結果から、資源量指数の相対的な傾向や変動の大きさからだけでは、対象とする資源が basecase シナリオのどこに属する可能性が高いかを高い精度で判別することが難しいことがわかる.

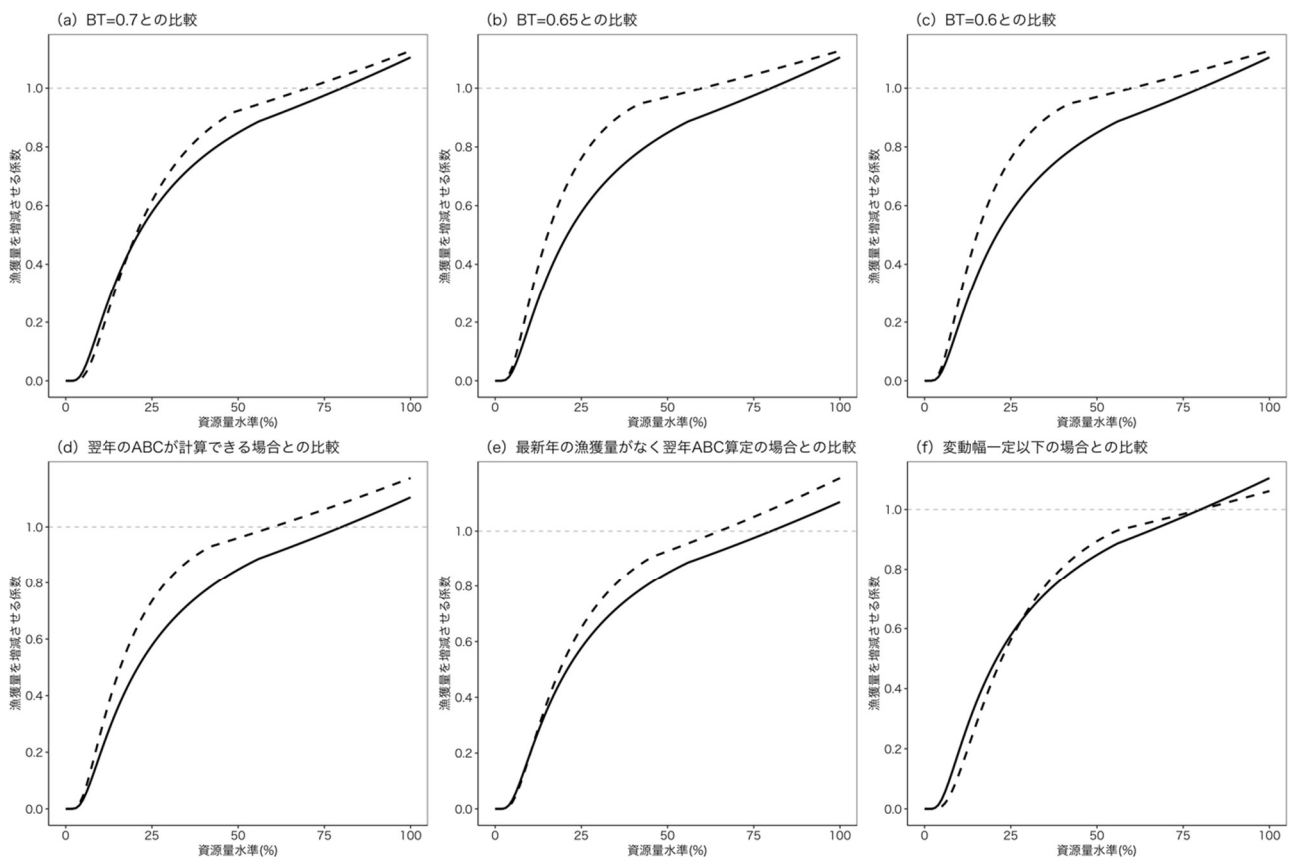


図 4. 本ドキュメントで言及された HCR. 実線は基本ルール $B_T=0.8(0.5-0.4-0.4)$ の HCR, 破線がそれ

ぞれの HCR. 縦軸が漁獲量を増減させる係数（漁獲量比 α_t ），横軸が資源量水準（%）を表す. それぞれ破線で示される HCR の係数は (a) $B_T=0.7$ (0.4-0.7-1.0), (b) $B_T=0.65$ (0.4-0.7-1.0), (c) $B_T=0.6$ (0.3-0.7-1.0), (d) $B_T=0.6$ (0.4-0.7-1.0), (e) $B_T=0.65$ (0.5-0.7-1.0), (f) $B_T=0.8$ (0.3, 0.6, 0.3) である.