



管理目標を見据えた我が国の  
新しい資源評価と管理

# MSY 基準にもとづく 日本資源の現状と 合意形成にむけて

市野川 桃子

**Reviewing current status of Japanese  
fisheries stocks based on MSY reference  
points toward setting management objectives**

**Momoko Ichinokawa**

いちのかわ ももこ：水産研究・教育機構中央水産研究所

日本の水産資源は将来どうあるべきなのか？本稿では、資源量推定がなされている日本の主要な水産資源で MSY 管理基準値を推定した研究例を紹介する。それを通じて、日本の主要な水産資源の現状を概観し、今後の目指すべき管理目標について議論する。

## 1. 日本の資源状態はどのくらい悪いのか？または良いのか？

目標を決め、それを見据えた資源管理をおこなう上でまず重要なことは、現状を正しく認識することである。現在が非常に良い状態にあるのであれば、将来の目標は「現状維持」で良いだろう。しかし、現状が非常に悪いという認識があるのであれば、現状を悪くしている原因を取り除き、「理想的な目標」に向かう努力が必要である。

### 1-1 水産白書の中の日本

では日本の水産資源の現状はどのようになっているのだろうか？まず、日本の水産の動向や水産に関する施策がとりまとめられている水産庁発行の「水産白書」を見てみよう。そこには、1965 年から 2016 年までの日本国内における漁業生産量のグラフがある（図 1a）。国内の漁業・養殖業の生産量は 1970 から 1980 年代がピークで、それ以降は右肩下がりになっている。この図は多くの学会発表やメディア上で、日本の「水産業の衰退」の象徴としてよく引用されている。

しかし、日本の「水産資源そのもの」の正しい現状認識を得るのに、図 1 は十分な情報だろうか？漁獲量は、海の中の資源量が少なければ少ないほど平均的に少なくなるものではあるが、資源量が同じ場合でも、漁獲にかかる労力（漁獲に対する強度・漁獲圧）が少なくなれば漁獲量は少なくなる。そのため、漁獲量の減少が資源量の減少の結果とは限らない。水産資源の量がどのような状態になっているかを知るには、もっと詳しい情報が必要である（ヒルボーン・ヒルボーン 2015<sup>[1]</sup>, Pauly *et al.* 2013<sup>[2]</sup>）。

そこでさらに水産白書をめくると今度は図 1b のような情報が見つかる。これは水産研究・教育

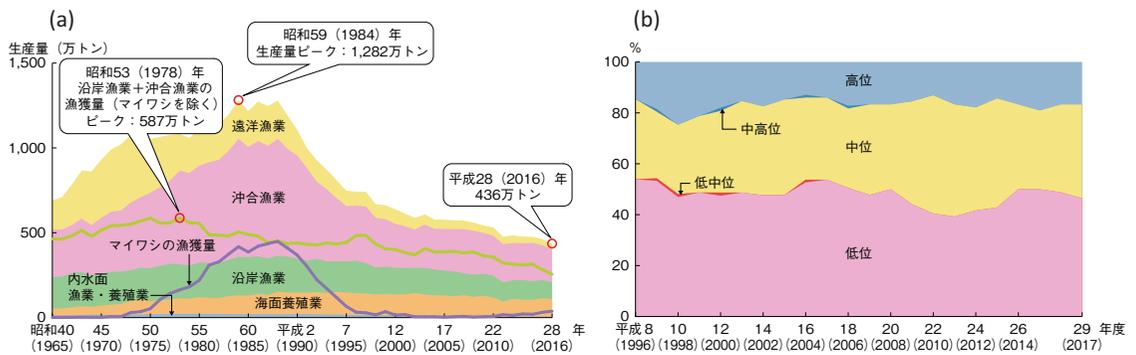


図1 平成29年度水産白書 (<http://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/>)より転載。(a) 我が国の漁業・養殖業の生産量の推移 (図II-2-1)。(b) 我が国周辺の資源水準の状況と推移 (資源評価対象魚種, 50 魚種 84 系群) (図II-1-1)。

機構が水産庁からの委託事業「我が国周辺水域の漁業資源評価 (<http://abchan.fra.go.jp/>)」で実施した資源評価の結果に基づいて作成された図である。図1bも、多くの主要な水産資源が「低位」水準にある「悪い」現状を紹介するのに頻繁に引用されている。図1bは、資源評価によって推定された資源量や資源量指標値をもとにしているの、漁獲量だけの図1aよりも資源そのものの現状をより正確に反映していると考えられる。

しかしこれも、日本の水産資源の現状を客観的に把握し、それにもとづいて将来の目標を決め、それを達成するためにどのようにすれば良いか、まてを考えるためには十分な情報とは言えない。図1bは、資源量や資源量指標値にもとづいて現在の水準を高・中・低の3つの区分に分類しているが、それぞれの水準の境界がどのような基準によって定義されているのかが水産白書には書かれていない<sup>i)</sup>。さらに、低位水準の資源が多いのは獲りすぎのせいなのかどうかもわからない。

i) 実際には、それ以下では加入が極端に減ってしまうために資源管理を強化するための閾値 ( $B_{limit}$ ) が資源ごとに設定されており、低位と中位の境界として  $B_{limit}$  が利用されている。また、情報が少ないために  $B_{limit}$  が設定されていない資源については、資源量または資源量指標値の時系列を3分割したときの下3分の1の境界を低位と中位の境界としていることが多い。中位と上位の境界は、時系列を3分割したときのの上3分の1にあたる資源量または資源量指標値が用いられていることが多い。

## 1-2 世界基準から見た日本

そこで筆者らは、世界で一般的に用いられている基準を使って日本の主要な資源の状態を評価し直し、さらに、日本の状態を世界の他の地域と比較した (Ichinokawa *et al.* 2017<sup>[3]</sup>)。本稿では、この論文の結果の概要について解説する。

「世界で一般的に用いられている基準」とは、本特集号における重要なキーワードのひとつである最大持続生産量 (Maximum Sustainable Yield, MSY) である。Ichinokawa *et al.* <sup>[3]</sup> では、資源評価によって資源量が推定されている37の主要な系群 (日本の全漁獲量の約60%に相当) を対象に、再生産関係を仮定した確率的な将来予測などの手法を用いて MSY 管理基準値を計算した。ここで言う MSY 管理基準値とは、MSY を達成するときの親魚資源量 ( $B_{MSY}$ ) とそのときの漁獲率 (漁獲量 ÷ 資源量,  $U_{MSY}$ ) である。過去から現在に至るまでの資源量 ( $B$ ) や漁獲率 ( $U$ ) と MSY 管理基準値を比較することによって、過去または現在の資源量や漁獲率が MSY を達成する水準と比べてどのくらいの位置づけにあるかがわかる (図2)。一般に、MSY 管理基準値の推定は困難で、再生産関係などの仮定によって値が大きく変わってしまう問題がある。本研究では、さまざまな再生産関係をあてはめたときの MSY 管理基準値の頑健性を検討し、再生産関係の仮定によらないいくつかの一般的な結論を得た。

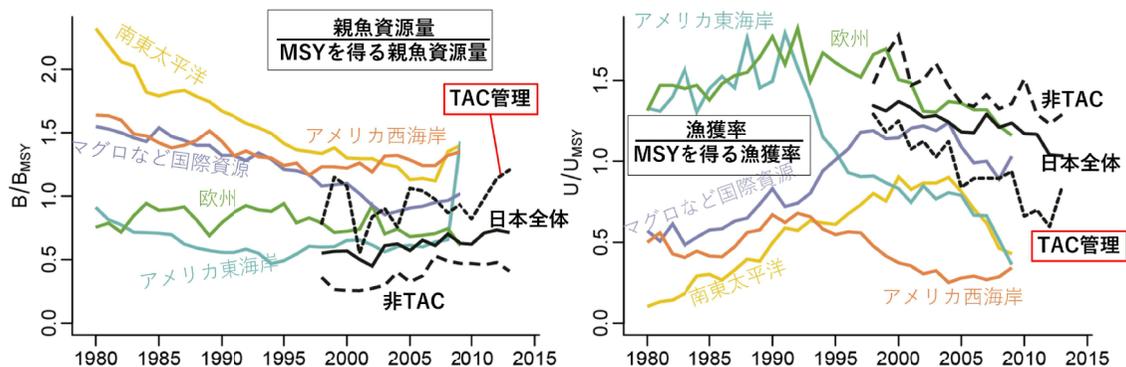


図2 MSYを用いた日本と世界の資源状態の比較。左：資源量推定値をMSYを達成するときの資源量で割った値 ( $B/B_{MSY}$ )。右：漁獲率 (漁獲量÷資源量) をMSYを達成するときの漁獲率で割った値 ( $U/U_{MSY}$ )。各地域の線は複数資源の中央値を示す。日本の結果はHockey-Stick型の再生産関係式を使った場合の結果。Ichinokawa *et al.* (2017) のFig. 5 を改変。

それは、

- ・最近年の資源量と漁獲圧：半数以上の資源で資源量は  $0.5B_{MSY}$  よりも少ない ( $0.5B_{MSY}$  は米国における乱獲状態 (overfished) の閾値)。また、やはり半数以上の資源で漁獲圧は  $U_{MSY}$  よりも大きい ( $U_{MSY}$  は米国における乱獲中 (overfishing) の閾値)。

- ・資源量と漁獲圧のトレンド：2000年初頭と比較すると資源量は微増、漁獲圧は減少傾向にあり、この傾向は統計的にも有意であった。特に、TAC対象資源の漁獲圧の減少傾向は、TAC非対象資源の減少傾向よりも有意に大きく、TAC管理によってたしかに漁獲圧が削減されていることが示された。

つまり、日本の水産資源の状態は、MSY水準と比較すると良くはない (資源量は少なく、漁獲率は高い) もの、漁獲圧が下がっていることで多少は改善されつつあるということである。また、日本と世界を比較すると、日本全体の状態は東大西洋 (欧州) とほぼ同じくらいの状態であった。

さらに、世界の他の地域の資源状態を見ると、それは「欧米」とひとくくりにまとめられるものでなく、地域によってさまざまであることがわかる (図2, Hilborn and Ovando 2014<sup>[4]</sup>)。たとえば、

漁業の歴史が長いアメリカ東海岸では1990年代半ばまでは欧州や今の日本と同じくらい資源量が少なく、漁獲率が高い状態にあった。しかし、アメリカで資源管理が強化された1990年代から漁獲率が大幅に減少している。一方で、アメリカの西海岸では、漁業の歴史が短いため、東海岸に比べて資源量が高く漁獲率が低い状態だったが、近年には漁獲率が徐々に増加している (Melnichuk *et al.* 2013<sup>[5]</sup>)。日本と同程度の資源状態にあり、やはり漁業の歴史が長い欧州では、近年の漁獲管理方式の変更 (Fernandes and Cook 2013<sup>[6]</sup>) やMSYベースの管理システムへの移行 (Mesnil 2012<sup>[7]</sup>) が2000年以降の漁獲率の減少に反映されているようである。

世界の水産資源の状態についてのグローバルな解析結果は、2009年以降、インパクトの高い科学論文雑誌で数多く発表されるようになってきた。そのきっかけを与えたのは、世界の資源評価結果を集積したRAM Legacy Database (Ricard *et al.* 2012<sup>[8]</sup>) と、そのデータベースを用い、漁業管理がきちんとなされている地域では資源が回復傾向にあることを示したWorm *et al.* (2009) <sup>[9]</sup> の論文である。Worm *et al.* (2009) <sup>[9]</sup> の論文の解析時にはデータベースに日本の資源評価結果が登録され

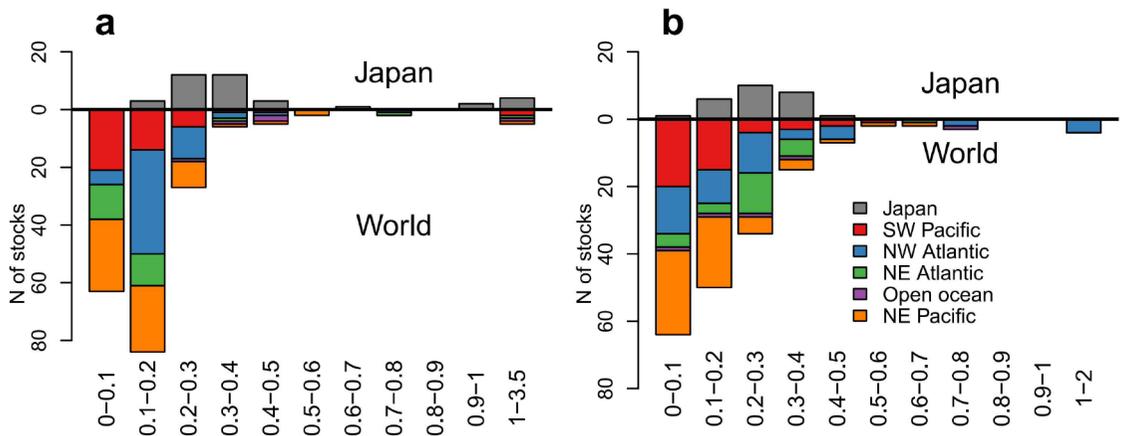


図3 自然死亡係数 (M) (左) とMSYを達成するときの漁獲率 ( $U_{MSY}$ ) (右) の日本 (上) と世界 (下) の比較. Ichinokawa *et al.* (2017) のFig. 6 を転載.

ておらず (アジア地域全体でも登録件数はゼロだった), Worm *et al.* (2009) [9] が示した「世界」に日本は含まれていなかった. しかし, 現在では, 「我が国周辺水域の漁業資源評価」の資源評価結果と Ichinokawa *et al.* (2017) で推定された MSY 管理基準値がこのデータベースに登録され, 世界で利用されている.

日本と世界を比較することでわかってきた日本の水産資源の特徴をもう一つ紹介しよう. 図3は, 今回解析対象にした日本の37系群で仮定されている自然死亡係数(M)と  $U_{MSY}$  を, RAM Legacy Database で登録されている世界の他の資源の値と比較したものである. 世界の資源の M は 0.1 から 0.2 の範囲が最も多い一方, 日本では 0.2 から 0.4 の範囲にある資源が多い (図 3a). M が大きいということは, 自然に死んだ分を埋め合わせる力が強い, つまり, 生産性がそれだけ高いことを示している. それに応じて,  $U_{MSY}$  も世界の他の地域に比べて日本のほうが高い (図 3b). これは, 日本がマサバやマイワシなど, 生産性の高い小型浮魚類を主に漁獲利用しているためと考えられる. しかし, さきに見たように, 日本の水産資源の高い生産性は現在, 有効利用できていない状況にあるのである.

## 2. 目標としての MSY

世界で利用されている MSY 管理基準値という客観的な尺度を用いて日本の資源を評価しなおすことで, 漁獲量のトレンドや水準判断による資源動向 (図 1) だけからは得られなかった様々な情報を得ることができた. まず, 日本が世界の中でどのような位置づけにあるかが比較できた (図 2). さらに, 資源量だけでなく, 漁獲率 (図 2 右) を  $U_{MSY}$  と比較することで, 現状の漁獲圧の多寡も評価することができた. その結果, 日本の主要な水産資源には, 平均的に, MSY を達成するときの漁獲圧よりも高い漁獲圧がかかっており, 資源量は MSY を達成するときの資源量よりも少ない状況にあることがわかった.

では, それをふまえて, 日本の水産資源の将来の目標はどのようなところにおけば良いだろうか? Ichinokawa *et al.* (2017) をもとに, 現状を図 4 のように整理してみた. 現状は, ① 漁獲圧が高すぎて, 資源量も持続的に得られる漁獲量も減ってしまっている状況にある. したがって, 今後, 漁獲量の増産を目指すのであれば, ② 漁獲圧を下げた資源が回復してから漁獲する必要がある (ただし, 資源が回復するまでは漁獲量は少なくなる).

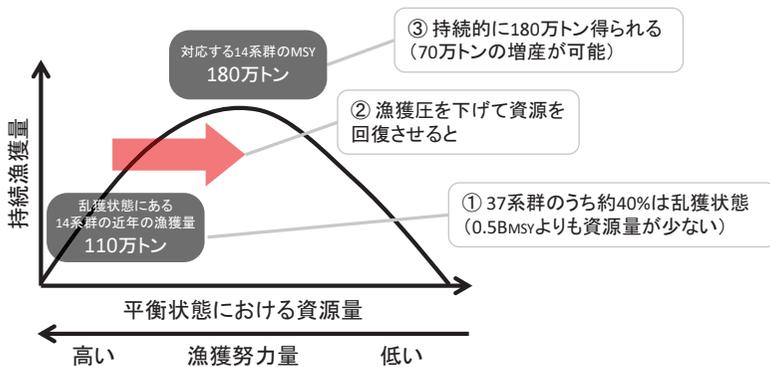


図4 MSYと日本の位置づけについての概念図。横軸は漁獲圧を一定にしたときの平衡状態における資源量で、漁獲圧が小さいほど平衡資源量は大きくなる。縦軸はそのときに得られる持続的な漁獲量。将来得られる持続漁獲やMSYのレベルは再生産関係の仮定によって大きく変わるが、ここでは最も保守的なホッケリー・スティック再生産関係式を用いた場合の推定結果をもとにした。

それによって、70万トン程度の増産が可能かもしれない。漁獲量の増産の程度は将来予測の中の様々な仮定に依存するものではあるが、どのような規模での増産が潜在的に可能なのか、また、そのためにどの程度漁獲圧を削減する必要があるのか、というビジョンを得るためにはこのような試算が重要である。Costello *et al.* (2016<sup>[10]</sup>)はRAM Legacy databaseを用いて日本を含む世界の水産資源で同様の試算をしており、この研究からも、日本の水産資源の潜在能力が非常に高いことが示されている。

### 3. 目標の合意形成にむけて

国連海洋法条約やTAC法で謳われている目標水準は漁獲量を最大にする $B_{MSY}$ となるが、漁獲量以外の管理目標も考慮したい場合には、 $B_{MSY}$ 以外の資源量が目標水準としてより合意しやすい場合もある。また、 $B_{MSY}$ を目標水準とする場合でも、目標を達成したときには漁獲量が最大化されるだけでなく、ほかにどのような変化が資源におこるのかを可視化することで合意形成が促進されることが期待される。

図5は、マアジ太平洋系群の資源評価結果（渡邊ら、2017<sup>[11]</sup>）をもとに、さまざまな漁獲圧のもとで達成される平衡状態における資源の状態を試算した結果である。細かい点は個々の資源の生活史パラメータなどに依存するが、以下のような傾向はどんな資源でも共通である。漁獲圧（漁獲

力量）が減少（図5c、黒線）するに従って、

- 平衡状態における親魚資源量（図5横軸）総資源量（図5a）は増加する。総資源量の増加は、魚の密度が高くなったり、分布域が拡大したりすることにより、漁獲効率の増加にも反映される；
- 高齢魚が全体の資源量や漁獲量に占める割合は増加する（図5ab）；
- 長期的な平均漁獲量（持続漁獲量）は $B_{MSY}$ まで増加し、その後減少する（図5b）；
- 大型魚が増えて高齢魚の資源量が増えることにより、漁獲量と資源量の変動係数（図5c、点線）は減少する。

とくに、資源量が増えることで生じる漁獲効率の向上・高齢魚の割合の増加・漁獲量の安定性の増加は漁業経営やコストの面からも歓迎される変化であろう。目標水準の達成により、漁獲量だけではないさまざまなメリットが生じることをもっと考慮し、目標水準の合意形成の場で利用すべきである。

また、縦軸に持続漁獲量をプロットした図5bは収量曲線（yield curve）と呼ばれ、MSYの概念を説明するときこのようなお椀型の曲線が模式的に示される（例えば図4）。図5bはそれを実際の資源で推定したものであるが、注目すべきはこの収量曲線の頂上付近がかなり平坦になっており、 $B_{MSY}$ より少し親魚資源量が増えても減っても持続漁獲量がほとんど変わらないという点である。

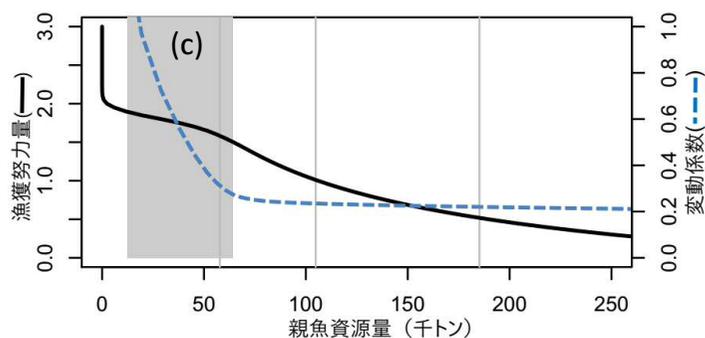
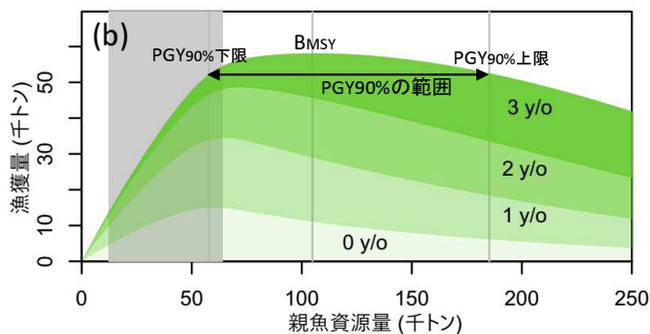
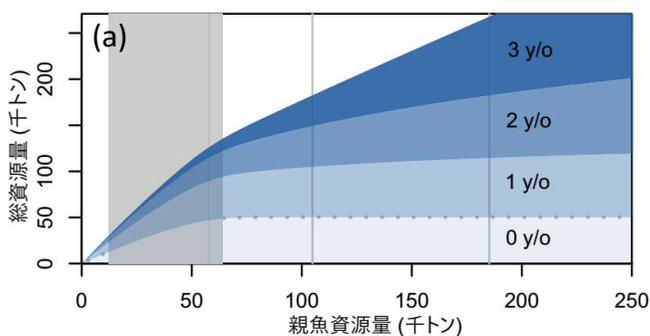


図5 漁獲圧を一定にした場合の平衡状態における平均親魚資源量(横軸)と、それに対応する平均総資源量(a)・平均漁獲量(b)・漁獲努力量と漁獲量の変動係数(c)。総資源量と漁獲量については年齢別の重量組成も示した。下図の左軸は現在の漁獲圧を1とした場合の相対的な漁獲努力量(黒線)、右軸は漁獲量の変動係数(点線)。マアジ太平洋系群の平成29年度資源評価結果(渡邊ら2017)をもとに試算(未発表)。灰色の領域は過去の資源評価で推定された親魚量の範囲。

とくに、ある親魚資源量までは直線的に加入量が増加し、その後は加入量が一定となるホッケ-スティック型再生産曲線を仮定した場合には、この収量曲線の頂上付近が平らになる傾向が強いが、他の再生産曲線を仮定した場合でも、程度の差はあれこのような傾向が見られる。Hilborn (2010) [12] は、最大でないにしても「そこに良い漁獲 (Pretty Good Yield, PGY)」を持続的に得られる範囲を PGY と呼び、以下のことを示した。

- MSY の 80% の漁獲が得られる PGY の範囲はかなり広い(メタ解析の結果では漁業なしのときの資源量 ( $B_0$ ) の 20-50%)
- この範囲は個体群の生活史パラメータに対して比較的頑健である
- 多くの資源評価で「乱獲」の閾値として採用されている資源水準も PGY の範囲に含まれることが多い(つまり、乱獲状態と判断されるような状況でも、持続漁獲量の損失はほとんどない)

その上で、PGY を得られる範囲内で、その他の個体群動態の特徴（資源の変動や年齢組成）、漁業の状況（漁獲努力量）、生態系サービス等を考慮した目標水準を選択できることも指摘した。Hilborn (2010) [12] は PGY を MSY の 80% としたが、図 5b では（80% ではあまりに広すぎるので）MSY の 90% の範囲を PGY として示した。それでも、PGY90% の範囲は約 6 から 18 万トンとかなり広くなった。

では、PGY90% の下限・ $B_{MSY}$ ・PGY90% の上限で資源を維持するような管理をした場合、どの程度のパフォーマンスが得られるのだろうか？ また、資源を回復させずに最近年の親魚資源量（2 万トン）で資源を維持した場合はどうなるだろうか？ 図 6 にそれぞれの管理方策をとった場合のパフォーマンスを比較した。PGY90% の下限と上限・ $B_{MSY}$  を維持する管理方策では平均漁獲量がほとんど変わらない。一方で、資源量（漁獲効率）・漁獲や資源の安定性・努力量のパフォーマンスは大きく異なる。また、2015 年から漁獲圧を一定にして将来予測した場合には、長期的な平均漁獲量と短期的な平均漁獲量のあいだにトレードオフが生じる。しかし、この試算例のトレードオフは 3 年ではば解消され、5 年・10 年の平均漁獲量の順位は長期的な平均漁獲量の順位と変わらない。さまざまなパフォーマンス指標間のトレードオフの程度は個々の資源の特徴によって異なるため、このような図をそれぞれの資源において実際に作成して、管理方策・管理目標を検討することが重要である。

図 5・6 のように、複数の管理基準値間でパフォーマンスを比較し、トレードオフの構造を明確化できれば、目標水準に対する合意形成がより促進されることが期待できる。また、対象とした資源が資源管理によって将来どのように変わるかというビジョンも得やすくなるため、管理の実施に対する漁業者のモチベーションも喚起できるかもしれない。図 5・6 は単一種の個体群動態のみを数値化した。これに社会経済的尺度や複数種を考慮した場合の生態系的な視点を加えることも可

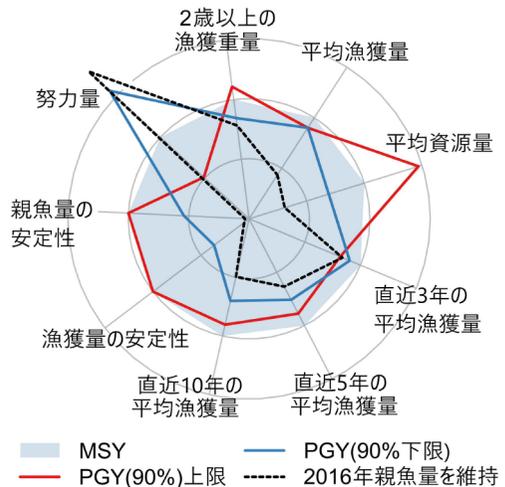


図 6  $B_{MSY}$ ・PGY90% の下限と上限・2015 年の親魚量に資源を維持したときに得られるパフォーマンスの比較。 $B_{MSY}$  におけるパフォーマンスを 1 として基準化した。直近 3・5・10 年の漁獲量以外の値は平衡状態における平均値。親魚量の安定性は、現行の  $B_{limit}$  (2 万 3 千トン) よりも親魚量が少なくなる年が何年に一度おこるか、漁獲量の安定性は平均漁獲量の半分以下の漁獲しか得られない年が何年に一度おこるかで定量化した。

能である。たとえば、魚の大きさ別の単価・努力量に対する雇人数・コストなどがわかれば漁獲量だけでなく漁獲金額や利益・雇人数などもパフォーマンス指標として定量化できる。また、対象資源を生態系の一部として考え、その機能を定量化することで生態系的な視点から資源管理の効果を評価することもできるだろう。

漁獲圧を変えることによって個体群動態がどのように変化するか、ということはモデルを使った様々なコンピュータシミュレーションに日々を費やしている科学者は当然熟知している (Hilborn 2010) [12] (それでも、実際に計算してみると想定していなかったような結果が得られることも多い)。しかし、漁業管理に携わる人や漁業者はそうでない (Hilborn 2010) [12]。ステークホルダーが十分な現状認識をもち、そのもとで合意形成をおこなっていくこと、そのために科学者がわかっていることをわかりやすくステークホルダーに伝えることが今後ますます重要になるだろう。

## 参考文献

- [ 1 ] ヒルボーン レイ, ヒルボーン ウルライク (2015). 『乱獲-漁業資源の今とこれから-』 (市野川桃子, 岡村 寛 訳), 東海大学出版部, 平塚.
- [ 2 ] Pauly D, Hilborn R, Branch TA (2013). Does catch reflect abundance? *Nature* 494, 303-306.
- [ 3 ] Ichinokawa M, Okamura H, Kurota H (2017). The status of Japanese fisheries relative to fisheries around the world. *ICES Journal of Marine Science* 74, 1277-1287.
- [ 4 ] Hilborn R, Ovando D (2014). Reflections on the success of traditional fisheries management. *ICES Journal of Marine Science* 71, 1040-1046.
- [ 5 ] Melnychuk MC, Banobi JA, Hilborn R (2013). Effects of management tactics on meeting conservation objectives for Western North American groundfish fisheries. *PLoS ONE* 8, e56684.
- [ 6 ] Fernandes PG and Cook RM (2013). Reversal of fish stock decline in the northeast Atlantic. *Current Biology* 23, 1432-1437.
- [ 7 ] Mesnil B (2012). The hesitant emergence of maximum sustainable yield (MSY) in fisheries policies in Europe. *Marine Policy* 36, 473-480.
- [ 8 ] Ricard D, Minto C, Jensen OP, Baum JK (2012). Examining the knowledge base and status of commercially exploited marine species with the RAM Legacy Stock Assessment Database. *Fish and Fisheries* 13, 380-398.
- [ 9 ] Worm B, Hilborn R, Baum JK, Branch TA, Collie JS, Costello C, Fogarty MJ, Fulton EA, Hutchings JA, Jennings S, Jensen OP, Lotze HK, Mace PM, McClanahan TR, Minto C, Palumbi SR, Parma AM, Ricard D, Rosenberg AA, Watson R, Zeller D (2009). Rebuilding global fisheries. *Science* 325, 578-85.
- [10] Costello C, Ovando D, Clavelle T, Strauss C, Hilborn R, Melnychuk M, Branch TA, Gaines SD, Szuwalski C, Cabrai R, Rader D, Leland A (2016). Global fishery futures under contrasting management regimes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 113, 5125-5129
- [11] 渡邊千夏子・亙 真吾・由上龍嗣・上村泰洋・古市生・赤嶺達郎 (2018). 平成 29 (2017) 年度マアジ太平洋系群の資源評価. 平成 29 年度我が国周辺水域の漁業資源評価, 91-123
- [12] Hilborn R (2010). Pretty Good Yield and exploited fishes. *Marine Policy* 34, 193-196.

