

キハダ 東部太平洋

(Yellowfin Tuna, *Thunnus albacares*)



最近の動き

2016 年の総漁獲量は 24.2 万トン（予備集計）で前年の 93% であった。資源評価は 2017 年に全米熱帯まぐろ類委員会（IATTC）事務局により行われた。MSY は 27.4 万トンと推定され、2016 年の漁獲量より大きい。2017 年当初の産卵資源量は MSY レベルより小さい（ $SB_{2017}/SB_{MSY}=0.86$ ）。2014～2016 年の平均漁獲努力は、ほぼ MSY レベル（ $F_{2014-2016}/F_{MSY}=0.97$ 、 $F_{multiplier}=1.03$ ）と推定された。 SB/SB_{MSY} 、 F/F_{MSY} が暫定目標管理基準値（Interim Target Reference Point）であるので、2017 年当初の本資源は乱獲状態であり、本資源への近年 3 か年の漁獲努力は、ほぼ適正レベルであったといえる。まき網漁業の拡大が資源悪化の要因であるとの認識の下、IATTC 事務局は、まき網漁業の禁漁期間拡大を勧告した。IATTC は、この勧告を元に議論を行い、2017 年 7 月に開催された第 92 回会合において、2017 年から 2019 年については、（ア）平成 29 年（2017 年）～平成 32 年（2020 年）におけるまき網漁業の禁漁期間を拡大（62 日⇒72 日、一部漁法に設定されていた漁獲上限は廃止）、（イ）平成 30 年（2018 年）～平成 32 年（2020 年）においてまき網漁業で使用可能な集魚装置（FADs）の数を大型まき網漁船で 450 個に制限、（ウ）はえ縄漁業の国別メバチ漁獲枠の維持（我が国漁獲枠は 32,372 トン：キハダの漁獲量にも影響をもたらすと考えられる）とする保存管理措置が採択された。

利用・用途

はえ縄の漁獲物は生鮮（刺身）、まき網の漁獲物は缶詰をはじめとする加工品として主に利用される。

漁業の概要

IATTC が管理する東部太平洋は、南北緯度 50 度未満、西経 150 度以東と南北アメリカ大陸の海岸線に囲まれた海域である（図 1）。1960 年頃までは竿釣り为主要な漁業であったが、その後、まき網に転換された。近年の漁獲は大部分がまき網（94%、2012～2016 年）によるものであり、残りがはえ縄（4%）と竿釣り（1% 未満）である。漁獲量は 1970 年代半ばと 1990 年にピークがみられる（図 2）。1983 年の漁獲量の急激な落ち込みは、海況の変化に起

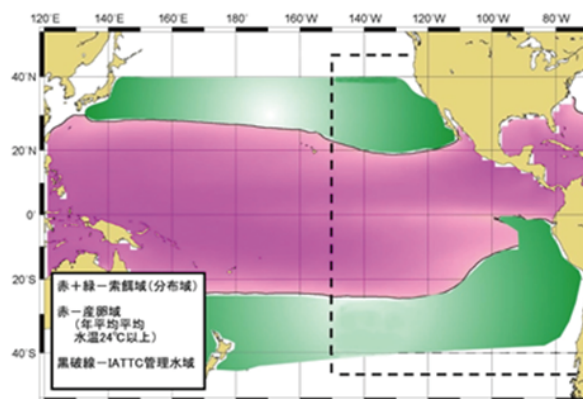


図 1. 太平洋におけるキハダの分布域
赤色と緑色を合わせた海域が索餌域（分布域）、赤色が産卵域（年平均表面水温 24℃以上）。

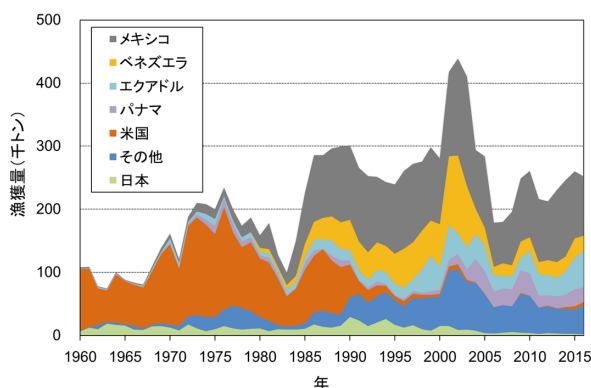
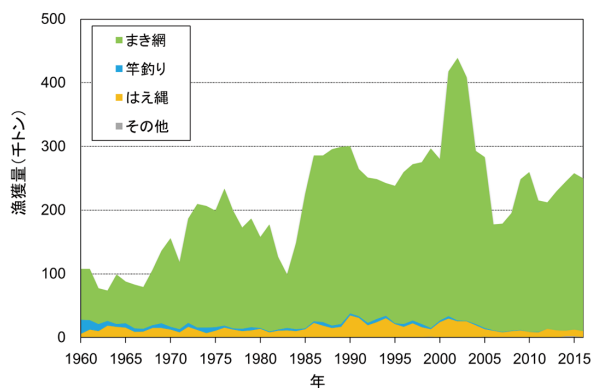


図 2. 東部太平洋におけるキハダの漁法別漁獲量（上図）、国別漁獲量（下図）

因する漁船数の減少によるもので、中西部太平洋での操業に切り替える船もあった。1990 年から 1995 年頃の漁獲減少は、いくつかの保護運動の影響で、いくつかの付キハダ魚群を狙う操業が減少したことによる。2001 ～ 2003 年に漁獲量は 40 万トンを超えたが、好調な加入による資源量増大が要因である。2016 年の漁獲量は 24.2 万トン（予備集計）で前年の 93% であった（IATTC 2017）。

まき網漁業について、当初は米国船が多かったが、1970 年代の終わり頃からメキシコ、ベネズエラ船が増加するとともに米国船が減少し、1990 年代に入ると、エクアドルやバヌアツ船が増加した。伝統的にいるか付き操業と素群れ操業が行われてきたが、1990 年代に入ると集魚装置（FADs）を使用した操業が発達した。それぞれの操業で、主として漁獲される魚のサイズが異なり、素群れ操業は尾叉長 60 ～ 100 cm、いるか付き操業は尾叉長 90 ～ 150 cm、FADs 操業は尾叉長 50 cm 程度である。また、主たる操業位置も異なり、素群れ操業は南北アメリカ大陸の沿岸部に多く、いるか付き操業は北緯側、FADs 操業は南緯側で多くみられる（図 3）。最近 5 年では、まき網漁獲量のおおよそ 47% をメキシコが占め、エクアドル、ベネズエラ及びパナマの 3 か国で 38% 程度を占める（図 2、付表 1）。我が国のまき網船は 1970 年代初頭に操業していたが、それ以降は出漁していない。まき網による海上でのキハダの平均投棄率（2012 ～ 2016 年）は、総漁獲量の 0.2% と推定された。まき網船の隻数は 1961 年から 2007 年の間に 125 隻から 227 隻に増加し、それに伴い魚艀容量は 3.2 万 m³ から 22.5 万 m³ に増加した。2016 年には 249 隻、26.1 万 m³ と過去最高値を記録した。2013 年以降、連続して隻数と魚艀容量が共に増加している。まき網総操業数は 2016 年に 32,798 操業を記録したが、昨年の過去最高値 33,084 操業よりは減少した（IATTC 2017）。

はえ縄漁業について、我が国漁船は 1952 年のマッカーサーライン撤廃以降、急速に漁場を拡大し、1960 年には中央アメリカ沿岸に達した（Suzuki *et al.* 1978）。その後も南北両半球の温帯域に操業域を広げ、1960 年代に地理的に最も広く操業が行われた。当初は缶詰等の加工品原料としてキハダとビンナガを漁獲していたが、1970 年代半ばには、刺身需要の増加と冷凍設備の改善によってメバチへと主たる対象魚種を変更した。2000 年以降、南北アメリカ沿岸域への出漁が減少し、現在は、赤道を挟んだ南北 15 度の範囲が主な漁場となっている（図 3）。日本の漁獲量は 1986 ～ 1995 年にかけて 2.0 万トン程度であったが、2002 年以降は 1 万トンを切り、2016 年は 1,832 トン（予備集計）であった。台湾船は 1960 年代から出漁しているがビンナガを主対象としており、近年のキハダの漁獲は年 1,000 トン前後である。韓国船は 1970 年代半ばから操業があり、2005 年以降は年 1,000 トン前後である。中国船は 2016 年に 2,398 トンを記録し、2015 年以降、日本の漁獲量を超え、東部太平洋で最もキハダを漁獲する、はえ縄漁業国である。エクアドルのはえ縄漁獲量も多く、2008 年から 2013 年までは 2,000 トン前後を漁獲していたが、最近年は 200 トン程度である。はえ縄船の漁獲サイズは、主として尾叉長 100 cm 以上である。

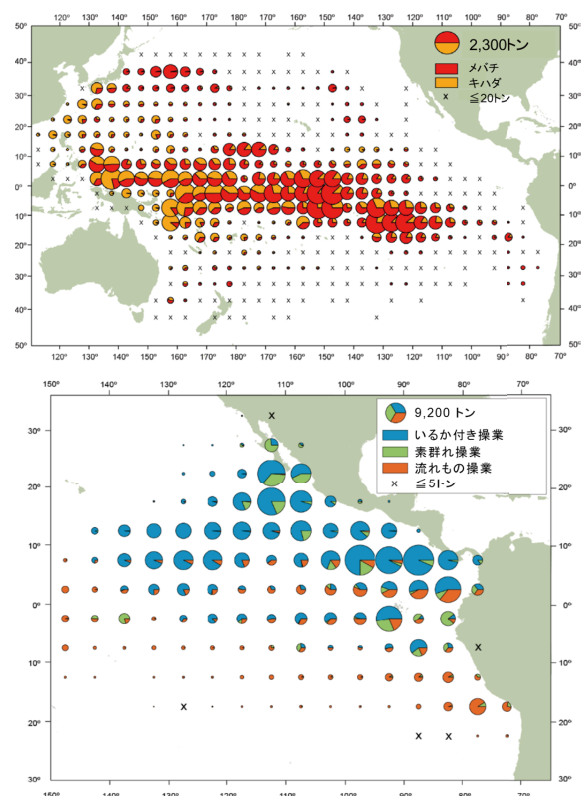


図 3. 太平洋における 2011 ～ 2015 年の漁場図（上：はえ縄、下：まき網）

上図：赤色がメバチ、橙色がキハダ；凡例の丸は 2,300 トン。下図：キハダの漁獲。青色がいるか付き操業、緑色が素群れ操業、橙色が流れもの操業；凡例の丸は 9,200 トン。

生物学的特性

キハダは、三大洋の熱帯域から温帯域にかけて広く分布する。若齢で小型のキハダは、似たような大きさのカツオやメバチと群れを作ることがあり、これらはもっぱら表層に分布する。成長するにつれて、キハダ単独の群れとなり、より水深の深い層にも分布するようになる。産卵は水温 24℃以上の水域で周年行われると考えて良いが、季節性もみられ、メキシコ南部から中央アメリカの沖合域において、少なくとも年に 2 回、産卵期があり、さらに沖合域では、1 年のうち少なくとも 7 か月間は産卵期であったとの報告がある（Knudsen 1977）。また、南緯側の熱帯域では主として 1 月から 6 月が産卵期であるとの報告がある（Shingu *et al.* 1974）。また、親魚の成熟状態と仔稚魚の出現場所にも海域による違いがみられる（Suzuki *et al.* 1978）。このような産卵期の違いは、東部太平洋内に複数の系群が存在する可能性を示唆する。放流点と再捕点のみが分かるタイプの標識による放流調査は、1950 年代より数多くの結果が報告され（例えば Fink and Bayliff 1970）、少数の長距離移動した例を除いて、多くの個体が、ある一定の範囲（数百キロ以内）で再捕され、東部太平洋と中西部太平洋間の移動例は少ないことが知られている（Suzuki *et al.* 1978、Wild 1994）。近年、熱帯域の北緯側で、移動経路が分かるタイプの標識による放流調査が行われたところ（Schaefer *et al.* 2014）、やは

り多くの個体が放流点の近くに留まり、長距離の移動個体は少ない傾向がみてとれた。これらは系群の存在を補強する証拠となり得る。また、近年、太平洋の各海域で得られたキハダの間に遺伝学的な差異が検出されている (Aguila *et al.* 2015、Grewe *et al.* 2015)。一方で、はえ縄やまき網の漁獲状況をみると、東部太平洋内では明瞭な漁獲の切れ目がないことがわかる (IATTC 2017)。このように系群あるいはもっと狭い範囲の個体群の存在についての異なる見解があるものの、2017 年の場合も含めて、東部太平洋のキハダの資源評価では、東部太平洋で 1 つの系群と見なし、中西部太平洋と西経 150 度で分離している。1 回当たりの産卵数 (Batch fecundity) は体長 120 cm で約 233 万粒とされ、1 度の産卵期に複数回産卵できるとされており (Schaefer 1998)、そのことは、蓄養のキハダでも確認されている (Niwa *et al.* 2003)。本種の寿命は、年齢査定の結果や成長が早いこと、漁獲物にあらわれる最大体長は 170 cm 程度 (5 歳) であることから、メバチより短く 7 ～ 10 年であろうと考えられている。本種の仔魚期の餌生物はカイアシ類、枝角類が主体である (Uotani *et al.* 1981)。稚魚の胃内容物には魚類が多く、次いで頭足類が出現し、カイアシ類はほとんどみられない (辻 1998)。成魚の胃内容物に関する知見は比較的豊富で (Matthews *et al.* 1977)、魚類を主に甲殻類、頭足類など幅広い生物を摂餌し、明確な嗜好性はないと思われる。仔魚期、稚魚期には多くの捕食者がいると思われるが情報は少ない。さらに遊泳力が付いた後は大型のかじき類、さめ類、歯鯨類等に外敵は限られてくるものと思われる。生物学的最小形は 50 cm 以下であるが、雌の 50% は 92 cm で成熟し、123.9 cm の雌 (39 kg、満 2 歳の終わりから 3 歳) では 90% が成熟している (Schaefer 1998)。

2017 年の資源評価では、自然死亡係数は、体長別の雌雄比に合致するように、四半期齢別、雌雄別に設定された。0 歳で四半期あたり 0.7、その後、雌雄は同様に 2 歳で 0.2 まで減少する。雄はその後、0.2 で一定で、雌は再び次第に高くなる (IATTC 1999、Maunder and Aires-da-Silva 2012、Minte-Vera *et al.* 2017)。成長式は、耳石日輪を用いて Richard の成長式で表した結果 (表 1；Wild 1986) を資源評価モデルの初期値として与えて、資源評価モデル内で成長式が再推定された。ただし、2017 年の資源評価では再推定せずに、2009 年の資源評価時で推定された成長パラメータが用いられた (Maunder and Aires-da-Silva 2009)。

自然死亡係数 (四半期齢)

雌：0.70, 0.60, 0.50, 0.44, 0.38, 0.32, 0.26, 0.20, 0.20, 0.21, 0.26, 0.32, 0.38, 0.42, 0.44, 0.46, 0.46, 0.47, 0.47, 0.47, 0.47, 0.47 (以降 0.48)

雄：0.70, 0.60, 0.50, 0.44, 0.38, 0.32, 0.26 (以降 0.20)

成長式

Wild (1986) : $L_t = 185.7 \times \{1 - (\exp(-0.761 \times (t - 1.853))) / 1.917\}^{1.917}$ (Lt: ある年齢 t での尾叉長 (cm)、t : 年齢)

表 1. 東部太平洋におけるキハダの年齢ごとの尾叉長 (cm) と体重 (kg) の関係 (Wild 1986)

年齢	尾叉長 (cm)	体重 (kg)
0	20.7	0.16
1	49.3	2.32
2	89.1	14.46
3	127.3	43.36
4	154.2	78.44
5	169.9	105.74
6	178.0	122.22
7	182.1	130.95
8	184.0	135.27
9	184.9	137.35
10	185.3	138.33

体長体重関係式

Wild (1986) : $W = 1.387 \times 10^{-5} \times L^{3.086}$ (L: 尾叉長 (cm)、W: 体重 (kg)、t: 年齢)

資源状態

最新の資源評価は IATTC 事務局により 2017 年に行われた。資源評価モデルは Stock Synthesis (SS) が用いられた (Minte-Vera *et al.* 2017)。資源量指数として、まき網の素群れ操業といるか付き操業のノミナル CPUE、北緯 15 度以南のはえ縄漁業の標準化 CPUE が用いられた (Maunder and Watters 2001、Hoyle and Maunder 2006)。

MSY は 27.4 万トンと推定され、2016 年の漁獲量より大きい。2017 年当初の産卵資源量は MSY レベルより小さい ($SB_{2017}/SB_{MSY}=0.86$)。2014 ～ 2016 年の平均漁獲努力は、ほぼ MSY レベル ($F_{2014-2016}/F_{MSY}=0.97$ 、 $F_{multiplier}=1.03$) と推定された (図 4)。 SB/SB_{MSY} 、 F/F_{MSY} は暫定目標管理基準値 (Interim Target Reference Point) であるので、2017 年当初の本資源は乱獲状態であり、本資源への近年 3 か年の漁獲努力は、ほぼ適正レベルであったといえる。ただし、この結果には不確実性 (親子関係・親魚の自然死亡係数・最高齢の体長で変化) があるので、場合によっては、漁獲努力が過剰と判断される。また、Spawning Biomass ratio (漁業がないと仮定した状態の産卵資源量を 1.0 としたときの、実際の産卵資源量の割合) は近年、減少傾向にあり、2017 年当初は MSY レベル (0.27) を下回り、0.23 (図 5) とされた。なお、暫定限界管理基準値 (Interim Limit Reference Point) は、 $0.28 \times SB_{MSY}$ 、 $2.42 \times F_{MSY}$ に該当する (図 4)。加入量は、レベルが異なる 3 つのレジーム (1975 ～ 1983 年の低い加入、1984 ～ 2002 年の高い加入、2003 ～ 2014 年の中間的加入) に区分され、2015 年と 2016 年の加入量は平均より大きく、近年ではかなり高いレベルにあるが、推定値の不確実性は大きい (図 6)。漁獲係数は、1 ～ 10 四半期齢 (0.25 ～ 2.5 歳) が最も低く、次いで 21 四半期齢 (5.25 歳) 以上、11 ～ 20 四半期齢 (2.75 ～ 5 歳) と続き、2003 年から 2006 年にかけて漁獲係数が高く推移し、一旦減少に転じたが、近年増加傾向にある (図 7)。各漁業の親魚資源量に与える影響は、まき網のいるか付き操業及びまき網の流れもの操業 (FADs

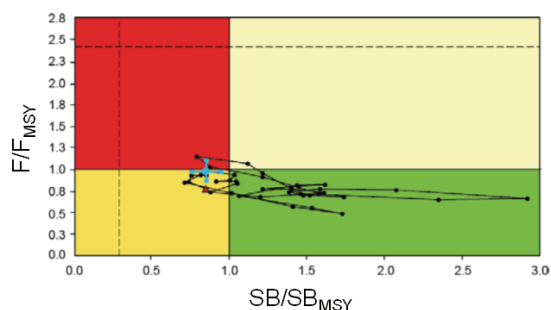


図 4. 東部太平洋におけるキハダの F/F_{MSY} と SB/SB_{MSY} の推移（水色丸は現状、バーは 95% 信頼区間）
破線は暫定限界管理基準値を示す。横軸の破線は、親子関係を想定（ステープネス 0.75）し、かつ漁業がないと仮定したときの産卵資源量の加入量の 50% を得るための産卵資源量で $0.28 \times SB_{MSY}$ に相当する。縦軸の破線は、そのときの漁業の強さで $2.42 \times F_{MSY}$ に相当する。

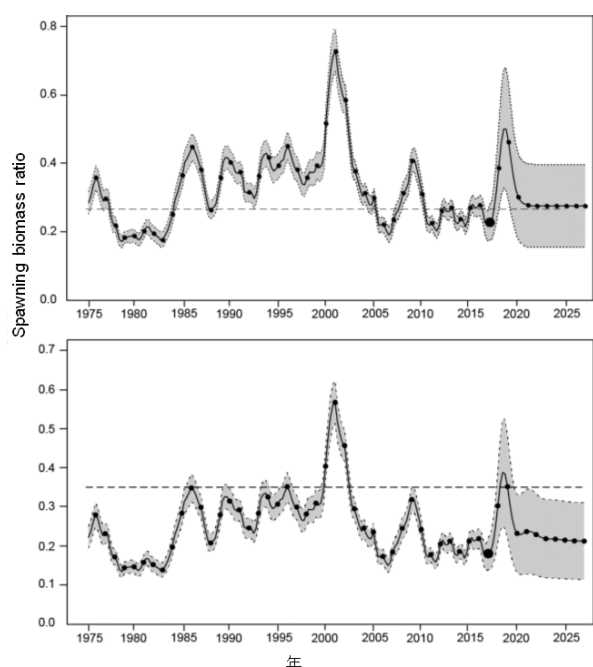


図 5. 東部太平洋におけるキハダの Spawning Biomass ratio の推移
上図はベースケース。下図は親子関係がある場合。破線は MSY を達成できる SBR で上図は 0.27、下図は 0.35。大きな黒丸が現状。2018 年以降は予測値。灰色は 95% 信頼限界。Spawning Biomass ratio は漁業がないと仮定した状態の産卵資源量を 1.0 としたときの、実際の産卵資源量の割合。

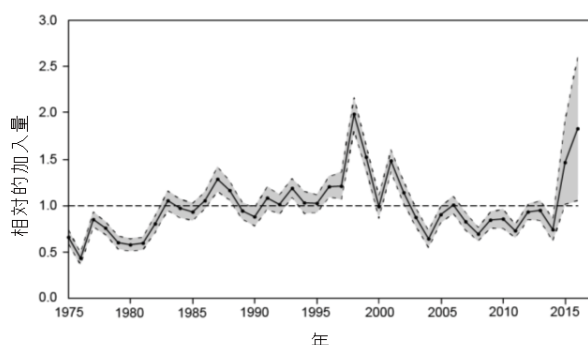


図 6. 東部太平洋におけるキハダの加入量
1975 年以降の平均加入量を 1 とした相対値の推移（破線は 95% 信頼限界）。

操業含む）が最も大きなインパクトを示し、素群れ操業がそれに続く。近年では、流れもの操業のインパクトが素群れ操業のインパクトよりも大きくなっている（図 8）。将来予測（2014～2016 年の平均的な漁獲の強さ、過去平均の加入量を仮定）を行うと、2027 年まで Spawning Biomass ratio は、不確実性が大きいものの、ほぼ MSY レベルになるとされた（図 5）。

キハダの $F_{multiplier}$ は上述のとおり 1.03、メバチの $F_{multiplier}$ は 1.15 とされた（Aires-da-Silva and Maunder 2017）が、まき網の魚艀容量（潜在的な努力量を示すと考えられている）は、2014～2016 年の平均と比べて、2017 年 4 月 9 日の時点で 6.7% 増加していたことを考慮するとキハダの近年の漁獲努力は過剰（ $F_{multiplier}$ は 0.97（ $=1.03/1.067$ ）、1.08（ $=1.15/1.067$ ）に調整）とみなされた。このため、現行のまき網の禁漁日数（62 日間）は、資源管理方策としては不十分であり、次式により 72 日の禁漁日数が必要と算出された。

禁漁日数 = $365 - F_{multiplier} \times (365 - \text{現状の禁漁日数}) / (\text{昨年末の魚艀容量} / \text{最近 3 年の平均魚艀容量})$

新禁漁日数 = $365 - 1.03 \times (365 - 62) / (1.067 / 1) = 72$

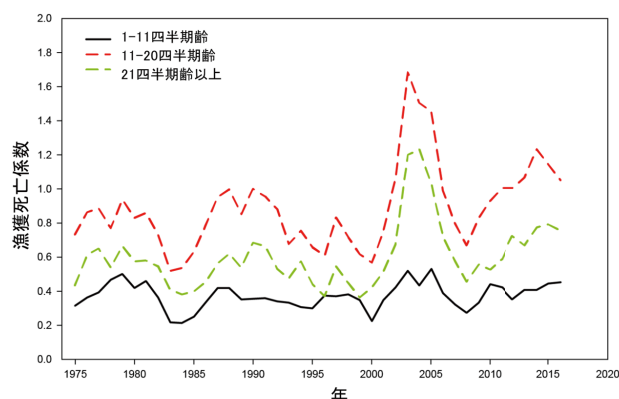


図 7. 東部太平洋におけるキハダの漁獲係数の推移
青：1～10 四半期齢、赤：11～20 四半期齢、緑：21 四半期齢以上。

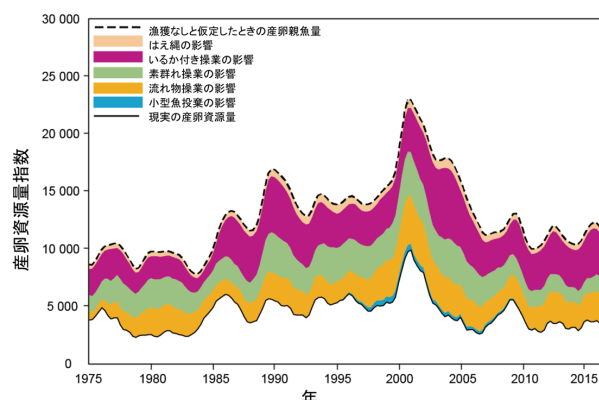


図 8. 東部太平洋におけるキハダの資源量と各漁業のインパクトの推移
黒実線が実際の資源量、黒破線は漁業がないと仮定したときの資源量。桃色、赤色、緑色、黄色、水色はそれぞれはえ縄、いるか付き操業、素群れ操業、流れもの操業（FADs 操業含む）、小型魚操業の影響を示す。

管理方策

IATTC 事務局からの勧告に基づき、2017 年以降の保存管理措置を決定するための議論が行われ、2017 年 7 月に開催された第 92 回会合において、2017 年から 2019 年については、(ア) 平成 29 年 (2017 年) ～平成 32 年 (2020 年) におけるまぐろ漁業の禁漁期間を拡大 (62 日⇒72 日、一部漁法に設定されていた漁獲上限は廃止)、(イ) 平成 30 年 (2018 年) ～平成 32 年 (2020 年) においてまぐろ漁業で使用可能な集魚装置 (FADs) の数を大型まぐろ漁船で 450 個に制限、(ウ) はえ縄漁業の国別メバチ漁獲枠設定の維持 (我が国漁獲枠は 32,372 トン) といった保存管理措置が採択された。なお、(ウ) の措置はキハダの漁獲量にも影響をもたらすと考えられる。

MSE (Management strategy evaluation) の検討状況

「3. まぐろ類の漁業と資源調査 (総説)」に MSE に関する一般的な説明があるので、参照のこと。なお、WCPFC では、MSE を漁獲戦略 (Harvest strategy) と呼ぶ (Scott *et al.* 2016a)。MSE の中身 (総説の図 11 と 12 および付表 1) は、いくらか複雑であるが、重要な部分は、そもそもの資源を管理する目標 (Management Objectives) を決め、その達成のために、たくさんの漁獲の方法 (漁獲制御ルール (HCR: Harvest Control Rules)) を考えだし、それらがどの程度、目標を達成出来るかをコンピュータシミュレーションで確かめるものである。目標達成の程度をみながら、試行錯誤して、もっとも適切な漁獲の方法を見つける方法である。漁獲の方法を考え出すことがプロセスの重要な部分なので、MSE の構築には漁業者の参加が欠かせない。

IATTC では、2014 年の第 87 回 IATTC 年次会合で、暫定的に管理基準値 (限界管理基準値と目標管理基準値) が合意された。2016 年 7 月の第 90 回 IATTC 年次会合で、漁獲制御 (決定) ルール (HCR) の大枠が合意された (IATTC 2016、IATTC Resolution C-16-02)。本資源の管理戦略の検討状況は、WCPFC での検討事例とあわせて、具体例とともに表 2 と図 9 に示した。

執筆者

かつお・まぐろユニット

熱帯まぐろサブユニット

国際水産資源研究所 かつお・まぐろ資源部

まぐろ漁業資源グループ

佐藤 圭介

参考文献

Aguila, R.D., Perez, S.K.L., Catacutan, B.J.N., Lopez, G.V., Barut, N.C., and Santos, M.D. 2015. Distinct yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) stocks detected in western and Central Pacific Ocean (WCPO) using DNA microsatellites. PLoS ONE, 10(9): e0138292. doi:10.1371/journal.pone.0138292.

<http://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0138292&type=printable> (2017 年 10 月)

Aires-da-Silva, A., and Maunder, M.N. 2017. Status of bigeye tuna in the eastern Pacific Ocean in 2016 and outlook for the future. 13 pp.
https://www.iattc.org/Meetings/Meetings2017/SAC-08/PDFs/Docs/_English/Docs/_English/SAC-08-04a_Bigeye-tuna-assessment-for-2016.pdf (2017 年 10 月)

Fink, B.D., and Bayliff, W.H. 1970. Migrations of yellowfin and skipjack tuna in the eastern Pacific Ocean as determined by tagging experiments, 1952-1964. Bull. I-ATTC, 15(1):1-227.
<https://www.iattc.org/PDFFiles2/Bulletins/Bulletin-Vol.15-No.1.pdf> (2017 年 10 月)

Grewe, P.M., Feutry, P., Hill, P.L., Gunasekera, R.M., Schaefer, K.M., Itano, D.G., Fuller, D.W., Foster, S.D., and Davies, C.R. 2015. Scientific Reports 5, Article number: 16916. doi:10.1038/srep16916.
<http://www.nature.com/articles/srep16916> (2017 年 10 月)

Hoyle, S.D., and Maunder, M.N. 2006. Standardization of yellowfin and bigeye CPUE data from Japanese longliners, 1975-2004. IATTC SAR-7-07.
<https://www.iattc.org/PDFFiles2/SAR-7-07-LL-CPUE-standardization.pdf> (2017 年 10 月)

IATTC. 1999. Annual report of the Inter-American Tropical Tuna Commission. 1997.
<https://www.iattc.org/PDFFiles2/AnnualReports/IATTC-Annual-Report-1997.pdf> (2017 年 10 月)

IATTC. 2016. Minutes of the meeting. 90th IATTC meeting. https://www.iattc.org/Meetings/Meetings2016/IATTC-90/PDFs/Docs/_English/IATTC-90-MINS_90th-Meeting-of-the-IATTC.pdf (2017 年 10 月)

IATTC. 2017. The fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean in 2016. Document SAC-08-03a. 51 pp.
https://www.iattc.org/Meetings/Meetings2017/SAC-08/PDFs/Docs/_English/SAC-08-03a_The-fishery-in-2016.pdf (2017 年 10 月)

IATTC Resolution C-16-02.
<https://www.iattc.org/PDFFiles2/Resolutions/C-16-02-Harvest-control-rules.pdf> (2017 年 10 月)

ICCAT. 2017. Report of the standing committee on research and statistics (SCRS) (Madrid, Spain, 25 September - 6 October, 2017). 472 pp.
http://www.iccat.es/Documents/Meetings/Docs/2017_SCRS_REP_ENG.pdf (2017 年 12 月)

Kirchner, C., Berger, A., Pilling, G., and Harley, S. 2014. Management strategies (objectives, indicators, reference points and harvest control rules): the equatorial skipjack purse seine fishery as an example. WCPFC-SC10-2014/MI-

WP-02. 8 pp.

<https://www.wcpfc.int/system/files/SC10-MI-WP-02%20Management%20Strategies%20SKJ%20PS%20example.pdf> (2017 年 10 月)

Knudsen, P.F. 1977. Spawning of yellowfin tuna and the discrimination of subpopulations. Bull. I-ATTC, 17(2): 117-169.

<https://www.iattc.org/PDFFiles2/Bulletins/Bulletin-Vol.17-No.2.pdf> (2017 年 10 月)

Matthews, F.D., Damkaer, D., Knapp, L., and Collette, B. 1977. Food of western North Atlantic tunas (*Thunnus*) and lancetfishes (*Alepisaurus*). NOAA Tech. Rep. NMFS, 706: 1-19.

Maunder, M.N. 2014. Management strategy evaluation (MSE) implementation in stock synthesis: Application to Pacific bluefin tuna. IATTC Stock Assessment Report, 15: 100-117.

<https://www.iattc.org/PDFFiles2/StockAssessmentReports/SAR15/7-Management-Strategy-Evaluation.pdf> (2017 年 10 月)

Maunder, M.N., and Aires-da-Silva, A. 2009. Status of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean in 2007 and outlook for the future. Document SAC-07-05b. 92 pp.

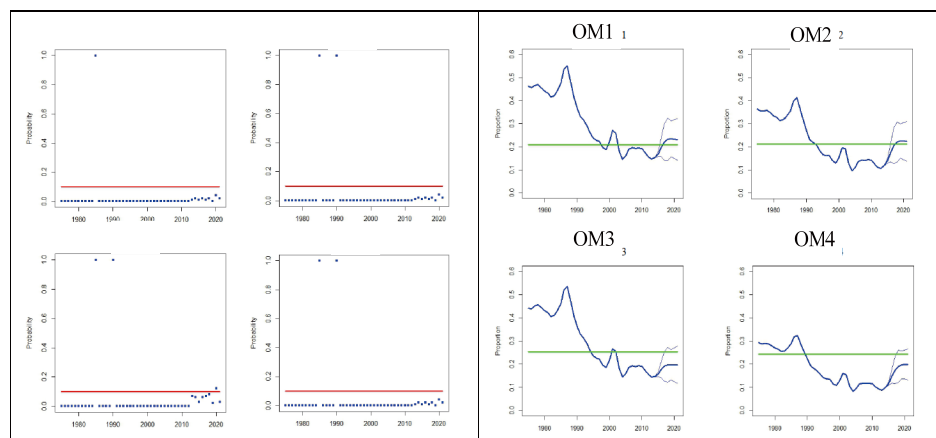
<https://www.iattc.org/PDFFiles2/StockAssessmentReports/SAR9/SAR9-YFT-ENG.pdf> (2017 年 10 月)

管理目標：資源量を MSY レベルに維持する。

漁獲制御ルール (HCR)： F_{MSY} での漁獲（実際の MSE では、HCR は複数設定されるだろう）。

管理戦略評価 (MSE)：1975 年から 2012 年までのデータがあり、将来 9 年間（2013 年から 2021 年）の管理を行うとする。現実と同様に Management procedure の EM でも 3 年に一度、資源評価を行う。2013 年に資源評価を行ない、2012 年の資源状態が評価される、このときに算出された F_{MSY} での漁獲を 2014 年から 2016 年まで続ける。この試行では implementation error は想定していない。すなわち、 F_{MSY} での漁獲を過不足無く実現するように、努力量が投下される。また、この HCR 導入によって、努力量以外の漁業の様子が異なる（例えば、大型魚が多い漁場に、はえ縄漁場がシフトする。まき網の FAD 操業が制限されたが、その努力量が素群れ操業に転嫁）こともない。一方、process error は、将来の加入量は、過去の加入量の範囲でランダムに変動することで考慮された。この条件で、個体群・漁業動態により、2014 年の真の漁獲量、努力量、漁獲サイズおよび資源状況が算出される。このとき、model error として、従来、東部太平洋のメバチ資源評価結果に影響の大きいことが知られている steepness、成長式の最大体長および自然死亡係数の不確実性を考慮して、4 つの OM が作成された。4 種類の仮想現実を作成したことになる。2015 年に EM での資源評価はないが、この真のデータに観測誤差を考慮した 2014 年の疑似漁獲データ（漁獲成績報告書にあたる）が、それぞれの OM につき一つ、生成される。ふたたび 2015 年も同様に、HCR に沿った漁獲が行われ、真の漁獲・資源状況の算出および疑似漁獲データが生成される。これらの 2 年分のデータを過去のデータに加えて 2016 年に EM によって資源評価が行われる。なお、EM の steepness、成長式の最大体長および自然死亡係数の設定は、OM のうちのひとつと同じ（ほかの 3 つの OM とは異なる）とした。真の資源量を、資源評価で把握できない可能性があり、これが資源評価指標にどのように影響があるのかを考えることが出来る。EM で推定した 2015 年の F_{MSY} の漁獲の強さで、続く 3 年（2017 から 2019 年）漁獲を行うことになる。このようなシミュレーションを 9 年間続け、これを 1 シリーズとした。OM と HCR（ここでは一種類だが）の組み合わせにつき 100 シリーズのシミュレーションを行う。不確実性の部分（毎年の加入量が random な選択）があるので、各シリーズの結果は異なる。OM が 4 種類、HCR は 1 種類なので、総計 400 シリーズのシミュレーションを行ったことになる。成績評価指標 (Performance statistics)：OM と HCR（ここでは一種類だが）の組み合わせにつき、資源量の LRP（親子関係を想定（ステイプネス 0.75）したときの SB0 の加入量の 50% を得る産卵資源の量）を下回る割合、SB/SB_{F=0} が計算された。

結果：



左：OM ごとの資源量の LRP を下回る割合（青）の経年変化。赤実線は 10% のライン。ここでは 10% を限界管理基準値を下回ることを許容する程度（リスク）と一応の設定をしている。右：OM ごとの産卵資源量の SB/SB_{F=0} の経年変化（青）。緑は MSY レベル。それぞれの OM は steepness、成長式の最大体長および自然死亡係数の設定の組み合わせが異なる。EM（現実での資源評価に相当）は OM1（真の値に相当）と同じ設定。OM2 の場合は、EM が成長式の最大体長を真値より小さく仮定している。OM3 の場合は、EM が steepness を真値より大きく仮定。OM4 の場合は、EM が自然死亡係数を真値より大きく仮定。9 年間のシミュレーション期間のうち、OM3 の場合だけ、資源量の LRP が下回る割合が 10% を超えた。OM により depletion rate の推定が異なる。

結果の解釈：試行した HCR がひとつだけなので、実際の MSE の目的の一つである HCR の選択は出来ない。予備的な解析であるが、model error（仮定を誤る）が、資源評価に影響を及ぼし、HCR の選択に影響を及ぼす可能性が示唆している。

図 9. IATTC 事務局が試行した簡単なメバチの管理戦略例の抜粋 (Maunder *et al.* 2015)

- Maunder, M.N., and Aires-da-Silva, A. 2012. A review and evaluation of natural mortality for the assessment and management of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean. 41 pp.
<https://www.iattc.org/Meetings/Meetings2012/Oct/PDFs/YFT-Meeting/YFT-01-07-Review-of-natural-mortality-for-EPO-YFT.pdf> (2017 年 10 月)
- Maunder, M.N., and Deriso, R.B. 2016. Application of harvest control rules for tropical tunas in the eastern Pacific Ocean. Document SAC-07-07g. 6 pp.
https://www.iattc.org/Meetings/Meetings2016/SAC-07/PDFs/Docs/_English/SAC-07-07g_Reference-points-and-harvest-control-rule.pdf (2017 年 10 月)
- Maunder, M.N., Minte-Vera, C.V., Aires-da-Silva, A., and Valero, J.L. 2016. Current and future research on management strategy evaluation (MSE) for tunas and related species in the eastern Pacific Ocean. Document SAC-07-07h. 5 pp.
https://www.iattc.org/Meetings/Meetings2016/SAC-07/PDFs/Docs/_English/SAC-07-07h_Research-on-Management-Strategy-Evaluation.pdf (2017 年 10 月)
- Maunder, M.N., and Watters, G.M. 2001. Status of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean. Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Stock Assess. Rep., 1: 5-86.
https://www.iattc.org/PDFFiles2/StockAssessmentReports/SAR1/SAR1_yelllowfin_ENG.pdf (2017 年 10 月)
- Maunder, M.N., Zhu, J., and Aires-da-Silva, A. 2015. Preliminary management strategy evaluation to evaluate the IATTC interim reference points and proposed harvest control rule. Document SAC-06-10b. 12 pp.
<https://www.iattc.org/Meetings/Meetings2015/6SAC/PDFs/SAC-06-10b-Preliminary-MSE.pdf> (2017 年 10 月)
- Minte-Vera, C.V., Aires-da-Silva, A., and Maunder, M.N. 2017. Status of yellowfin tuna in the eastern Pacific Ocean in 2016 and outlook for the future. Document SAC-08-04b. 13 pp.
https://www.iattc.org/Meetings/Meetings2017/SAC-08/PDFs/Docs/_English/SAC-08-04b_Yellowfin-tuna-assessment-for-2016.pdf (2017 年 10 月)
- Nakatsuka, S. 2017. Management strategy evaluation in regional fisheries management organizations - How to promote robust fisheries management in international settings. Fish. Res., 187: 127-138.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0165783616304039> (2017 年 10 月)
- 中塚周哉. 2017. 地域漁業管理機関における MSE (管理戦略評価) の実施状況. ななつの海から, 13: 6-10.
- Nakatsuka, S., Ishida, Y., Fukuda, H., and Akita, T. 2017. A limit reference point to prevent recruitment overfishing of Pacific bluefin tuna. Marine Policy 78, 107-113.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308597X16304973> (2017 年 10 月)
- Niwa, Y., Nakazawa, A., Margulies, D., Scholey, V.P., Wexler, J.B., and Chow, S. 2003. Genetic monitoring for spawning ecology of captive yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) using mitochondrial DNA variation. Aquaculture, 218: 387-395.
- 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 Fish., 17: 303-334.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/faf.12104/epdf> (2017 年 10 月)
- Rademeyer, R.A., Plaganyi, E.E., and Butterworth, D.S. 2007. Tips and tricks in designing management procedures. ICES Journal of Marine Science, 64: 618-625.
- Schaefer, K.M. 1998. Reproductive biology of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the eastern Pacific Ocean. Bull. IATTC, 21(5): 205-272.
<https://www.iattc.org/PDFFiles2/Bulletins/IATTC-Bulletin-Vol-21-No-5.pdf> (2017 年 10 月)
- Schaefer, K.M., Fuller, D.W., and Aldana, G. 2014. Movements, behavior, and habitat utilization of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in waters surrounding the Revillagigedo Islands Archipelago Biosphere Reserve, Mexico. Fish. Oceanogr., 23(1): 65-82.
- Schaefer, K.M., Fuller, D., Hampton, J., Caillot, S., Leroy, B., and Itano, D. 2015. Movements, dispersion, and mixing of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) tagged and released in the equatorial Central Pacific Ocean, with conventional and archival tags. Fish. Res., 161: 336-335.
<https://www.iattc.org/Misc/IATTC-FADs-WG-Bibliography-PDFs/Schaefer-et-al-2015.pdf> (2017 年 10 月)
- Scott, R., Pilling, G., Brouwer, S., and Hampton, J. 2016b. Evaluation of candidate harvest control rules for the tropical skipjack purse seine fishery. WCPFC-SC12-2016/MI-WP-06. 32 pp.
<https://www.wcpfc.int/system/files/SC12-MI-WP-06%20Tropical%20PS%20HCR%20evaluation%20%28%29.pdf> (2017 年 10 月)
- Scott, R., Pilling, G.M., Hampton, J., Reid, C., and Davies, N. 2016a. Report of the Expert Consultation Workshop on Management Strategy Evaluation. WCPFC-SC12-2016/MI-WP-05. 21 pp.
<https://www.wcpfc.int/system/files/SC12-MI-WP-05%20MSE%20workshop%20report.pdf> (2017 年 10 月)
- Shingu, C., Tomlinson, P.K., and Petersen, C.K. 1974. A review of the Japanese longline fishery for tunas and billfishes in the eastern Pacific Ocean, 1967-1970. Bull. I-ATTC, 16(2): 65-230.

- <https://www.iattc.org/PDFFiles2/Bulletins/Bulletin-Vol.16-No.2.pdf> (2017 年 10 月)
- Suzuki, Z., Tomlinson, P.K., and Honma, M. 1978. Population structure of Pacific yellowfin tuna. Bull. IATTC, 17(5): 277-441.
- <https://www.iattc.org/PDFFiles2/Bulletins/Bulletin-Vol.17-No.5.pdf> (2017 年 10 月)
- 辻 祥子 . 1998. 表中層トロールで採集したカツオ・マグロ型稚魚 3. 胃内容物の検討 . 平成 10 年度日本水産学会春季大会 発表要旨集 . 39 p.
- Uotani, I., Matsuzaki, K., Makino, Y., Noda, K., Inamura, O., and Horikawa, M. 1981. Food habits of larvae of tunas and their related species in the area northwest of Australia. Bull. Japan. Soc. Scientist Fish., 47(9): 1165-1172.
- Wild, A. 1986. Growth of yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean based on otolith increments. Bull. IATTC, 18(6): 421-482.
- <http://www.iattc.org/PDFFiles2/Bulletins/Bulletin-Vol.18-No.6.pdf> (2017 年 10 月)
- Wild, A. 1994. Review of the biology and fisheries for yellowfin tuna, *Thunnus albacares*, in the eastern Pacific Ocean. In Shomura, R.S., Majkowski, J. and Langi, S. (eds.), Interactions of Pacific tuna fisheries. Volume 2. Papers on biology and fisheries. FAO Fisheries Technical Paper 336 (2). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy. 52-107 pp.

キハダ（東部太平洋）の資源の現況（要約表）

資 源 水 準	中 位
資 源 動 向	横ばい
世 界 の 漁 獲 量 (最 近 5 年 間)	21.3 万～26.0 万トン 最近 (2016) 年 : 25.2 万トン 平均 : 24.0 万トン (2012 ～ 2016 年)
我 国 の 漁 獲 量 (最 近 5 年 間)	0.2 万～0.3 万トン 最近 (2016) 年 : 0.2 万トン 平均 : 0.3 万トン (2012 ～ 2016 年)
管 理 目 標	検討中
資 源 評 価 の 方 法	統合モデル (Stock Synthesis)
資 源 の 状 態	$SB_{2017}/SB_{MSY}=0.86$ $F_{2014-2016}/F_{MSY}=0.97$
管 理 措 置	<ul style="list-style-type: none"> ・平成 29 年 (2017 年) ～平成 32 年 (2020 年) におけるまき網漁業の禁漁期間を拡大 (62 日 ⇒ 72 日、一部漁法に設定されていた漁獲上限は廃止) ・平成 30 年 (2018 年) ～平成 32 年 (2020 年) においてまき網漁業で使用可能な集魚装置 (FADs) の数を大型まき網漁船で 450 個に制限 ・はえ縄漁業 : 国別メバチ漁獲枠の設定 (我が国漁獲枠は 32,372 トン : キハダの漁獲量にも影響をもたらすと考えられる)
管理機関・関係機関	IATTC
最新の資源評価年	2017 年
次回の資源評価年	2018 年

表 2. IATTC における MSE (Management Strategy Evaluation) に関する検討状況 (Maunder and Deriso 2016, Maunder et al. 2016)

要素	IATTC の検討状況	備考
管理目標 (Management Objectives)	検討中	<p>管理目標は、そもそもの魚類を管理する目的。改めて、明確に定義する。</p> <p>IATTC 条約 (Antigua 条約) の一般的な管理目標 (general management goal) に関する文章では、“maintain or restore the populations of harvested species at levels of abundance which can produce the maximum sustainable yield” となっているので、MSY レベル以上に資源を維持させることと考えられるが、MSE の枠組みでの合意はない。このような目標は、概念的 (conceptual) な目標と呼ばれる。この目標を、MSE の構成要素とするには、定量的可能な実地的な (operational) 目標に読み替える必要がある (Punt et al. 2016)。</p> <p>【具体例】</p> <p>概念的目標が「乱獲を防ぐ」であれば、実際の目標は「漁獲がないと仮定した場合の資源量レベルの 20% 以下になる確率を 20% 以下に維持する」などとなる。概念的目標が「最適な漁獲量を得る」であれば、実際の目標は、複数の組み合わせとすることで、「資源量に応じて、漁獲量を最大化する」+「漁業収益を最大化する」などとなる (Punt et al. 2016)。WCPFC の例では、次のような管理目標、Performance statistics および監視戦略の組み合わせなどが考えられている。</p> <p>生物学的な管理目標の例：管理目標「持続可能な資源量の周辺に維持する」、Performance statistics $SB/SB_{F=0} > 0.2$ となる確率」、監視戦略「Operating model (OM) の reference set で長期的に $SB/SB_{F=0} > 0.2$ となる確率」。</p> <p>経済的な管理目標の例：管理目標「適切なレベルの CPUE に維持する」、Performance statistics 「ある任意の適切な期間の予測 CPUE のばらつき具合」、監視戦略「実際に観測された CPUE が指定のレベルを上回る」。</p> <p>社会的な管理目標の例：管理目標「雇用機会の確保」、Performance statistics 「ある任意の海域での総漁獲量に対する、当該のメンバー国の漁獲の割合」、監視戦略「目標値に対する、漁業および水産加工業での実際の雇用者数」。</p> <p>HCR は、管理目標を実現させるために、資源が限界管理基準以下に陥るのを避け、目標管理基準値周辺に維持されるようにする資源管理方策 (Scott et al. 2016b)。資源の変動に応じて、事前に合意したルール (IF-THEN ルール) もし、ある資源状態の基準を下回れば、禁漁区、禁漁期や漁具・漁法の規制などで努力量を抑制するなど) で、管理方策を変更することも設定できる (Kirchner et al. 2014)。関係者間で協議し、政治的、経済的、社会的な要素を考慮した HCR の構築が必要である (Maunder and Deriso 2016, Maunder et al. 2016)。</p> <p>【具体例】 2016 年 7 月の第 90 回 IATTC 年次会合での合意内容は、つぎの通りである。</p> <p>① 最も厳しい管理を必要とする魚種については、例えば禁漁などの管理方策等の措置を、まき網漁業に対しては複数年固定できるものとし、漁獲の強さが、目標管理基準値 (F_{MSY}) 以上とならないように維持する。</p> <p>② 漁獲の強さが、限界管理基準値 (F_{LIMIT}; 親子関係を想定し、加入が初期資源加入量の 50% に減少する状態における産卵親魚量を維持する漁獲の強さ) を超過する確率が 10% 以上となる場合は、50% の確率で目標管理基準値 (F_{MSY}) 以下となるまで削減し、かつ限界管理基準値 (F_{LIMIT}) を超過する確率を 10% 以下となる措置を可能な限り早期に実施する。</p> <p>③ 産卵親魚量が、限界管理基準値 (S_{LIMIT}; 親子関係を想定し、加入が初期資源加入量の 50% に減少する状態における産卵親魚量) を下回る確率が 10% 以上となる場合は、50% 以上の確率で目標管理基準値 (S_{MSY}; MSY を達成する水準の産卵親魚量) まで回復させ、かつ限界管理基準値 (S_{LIMIT}) を下回る確率を 10% 以下とする措置を 2 世代以内と 5 年以内のどちらか、より長いほうの期間中に実施する。</p> <p>④ まき網以外の漁業に関する追加規制を事務局職員が勧告する際には、対象資源に与える相対的な影響も踏まえ、まき網漁業で採択された措置と可能な限り一貫性を持たせる。</p>
漁獲制御 (決定) ルール (HCR; Harvest Control Rules)	右記。具体例の通り、2016 年 7 月の第 90 回 IATTC 年次会合で漁獲制御 (決定) ルールの大枠が合意された (IATTC 2016, IATTC Resolution C-16-02)	

要素	IATTC の検討状況	備考
	(続き)	
		⑤ 上記の漁獲制御（決定）ルールに加えて、事務局職員が、今後、さまざまな漁獲制御（決定）ルールを科学諮問小委員会に提案し、IATTC 委員会は恒久的な漁獲制御（決定）ルールを決定してゆく。
管理基準 (RP; Reference Points)	漁獲の強さ: F_{MSY} 資源量: S_{MSY}	管理基準値は、資源の大きさ、漁獲の強さを判断するための基準。TRP は、管理目標に照らして、望ましい資源の大きさ、もしくは漁獲の強さを示す。
目標管理基準値 (TRP; Target Reference Point)		【具体例】 左記の通り、2014 年 7 月の第 87 回 IATTC 年次会合で暫定 TRP として決定された。参考として、そのほかの例も示す。このリストであげた基準は、LRP としても用いられる場合がある。なお、成長乱獲は、漁獲圧が高く、十分に成長する前に（加入あたりの最大の生産をする前に）漁獲される状態。加入乱獲は、漁獲圧が高く、加入量の減少をもたらすほど親魚量が漁獲によって減少する状態。 漁獲の強さの TRP : ① F_{MSY} （平均的に B_{MSY} を達成する漁獲死亡係数（ F ）。魚の死亡を漁獲死亡と自然死亡に分けたときの、漁獲による死亡の割合）。この基準は、再生産関係と年齢別個体数（漁獲死亡と自然死亡の結果）の情報に基づいて求めるので、加入乱獲と成長乱獲を考慮できる。いっぽうで、加入変動や資源評価モデルの諸設定で変化しやすい）。 ② $F_{0.1}$ （加入量あたりの漁獲量と漁獲死亡係数の関係（YPR 曲線）の原点における傾きの 10% の傾きを持つ曲線部分に対応する F 。LRP の F_{MAX} の説明も参照のこと。YPR 曲線では、 F が小さいうちは、 F の増加に対する加入量あたりの漁獲量の増加スピードは大きい（傾きが大きい）が、やがて、 F が増加しても漁獲量が増加しにくくなり（傾きが段々小さくなる）、やがて、加入量あたりの漁獲量がほとんど変化しなくなる（傾きがゼロ）。 F_{MAX} はこのフラットになる部分にある。 F_{MAX} よりも資源に安全な方策が必要な場合（より漁獲圧を制限したい場合）は、曲線の傾きが、ゼロ（ F_{MAX} ）よりは大きく、原点での傾きよりは小さい部分に相当する F を選択する。その傾きが原点での傾きの 10% であることに合理的理由はないが、経験的に安全な基準であり、CPUE が大きく減少する可能性が低い F の基準と認識されている（Gabriel and Mace 1999）。 F_{MAX} と同様に、年齢別の死亡と魚体重の情報から求め、加入乱獲は考慮しない）。 ③ $F_{X\%SPR}$ （ $F_{X\%}$ とも表示する。漁獲が無いときの SSB/R（Spawning Stock Biomass per Recruit。加入量あたりの親魚資源量）を 100% としたときの SSB/R の $X\%$ を達成する F 。この基準は、自然死亡係数、年齢別体重、年齢別成熟割合および年齢別加入割合から求める。再生産曲線は利用しないものの、加入乱獲を考慮できる。成長乱獲は考慮しない）。 ④ F_{MED} （産卵資源量あたりの加入魚の 50% が生残することが期待される F 。複数年の親魚量/加入量の観測値を用いて、その中央値を求める。漁獲方程式（パラメータに F を含む）で、この中央値に相当する親魚量/加入量を説明する F を推定する。複数年の実態に基づいているので、漁業による親魚量の上下動の変化の確率が半々になり、加入乱獲を避けることが期待できる。成長乱獲は考慮しない）。
		資源量の TRP : ① XB_{MSY} 、 $XSSB_{MSY}$ （ MSY を達成するために必要な資源量または親魚資源量に関連する基準。 X が 1.0 ならば B_{MSY} 、 SSB_{MSY} 。加入乱獲と成長乱獲を考慮しているが、加入変動や資源評価モデルの諸設定で変化しやすい）。 ② XB_0 、 $XSB_{F=0}$ （処女資源および漁業がない場合に期待される産卵資源量に関連する基準。後者は LRP として採用されている。データが少なく、資源量の絶対値の推定が難しい場合に用いることができる。 B_0 の推定は難しい）。 ③ B_{MAX} （ F_{MAX} で得られる資源量。漁獲の強さの LRP の F_{MAX} を参照のこと。成長乱獲を考慮するが加入乱獲は考慮しない）。 ④ $B_{0.1}$ （ $F_{0.1}$ で得られる資源量。詳しくは、漁獲の強さの TRP の $F_{0.1}$ を参照のこと。成長乱獲を考慮できるが、加入乱獲は考慮しない）。

要素	IATTC の検討状況	備考
管理基準 (RP; Reference Points) 限界管理基準値 (LRP; Limit Reference Point)	漁獲の強さ：親子関係を想定（スティーブネス 0.75）したときの SB0 の加入量の 50% を得る漁獲の強さ。 資源量：親子関係を想定（スティーブネス 0.75）したときの SB0 の加入量の 50% を得る産卵資源量。	管理基準値は、資源の大きさ、漁獲の強さを判断するための基準。LRP は、管理目標に照らして、下回ることを避ける資源の大きさ、もしくは上回ることを避けるべき漁獲の強さを示す。持続的な資源の利用に必要な生物学的な限界点（資源量が回復不能あるいは回復がきわめて遅い状態にまで減少）を示すもので、「加入乱獲を避ける」ものとなる（Maunder <i>et al.</i> 2016）。ただし、IATTC の暫定 LRP が実際に「加入乱獲を防ぐ」に照らして適切であるかは検証されていない。簡単に検証できないのは、親魚が減ったことにより、親魚あたりの加入数が減少することを確かめる必要があるが、この確認は容易ではないと認識されている。 【具体例】 2014 年 7 月の第 87 回 IATTC 年次会合で暫定 LRP として決定。 参考に LRP の候補をあげる。なお、TRP の項でとりあげたものは、全て LRP として考慮しても良いが、その逆はない。成長乱獲と加入乱獲は TRP の項を参照のこと。 漁獲の強さの LRP： ① F_{MAX} （加入量あたりの漁獲量と漁獲死亡係数の関係（YPR 曲線）で、加入量あたりの漁獲量が最大のときの F 。実際の F がこの値より大きい場合は、成長乱獲が起きると判断する。この基準は年齢別の死亡と魚体重の情報からのみ求めているので、加入乱獲は考慮していない）。 ② $F_{SSB-Min}$ （将来の資源量（親魚量）が過去の歴史的な資源量（親魚量）の変動の下限を下回らないようにする F 。加入乱獲を考慮。参照したデータ期間に左右される。成長乱獲は考慮しない。資源にとって安全な基準ではない）。 ③ F_{loss} （将来の親魚量を過去の歴史的な親魚量の下限（ B_{loss} ）で維持できる F 。 B_{loss} に対応する加入量を再生産関係式から求め、その加入量のもとで B_{loss} となる F を推定する。加入乱獲を顧慮できる。再生産関係式が十分に把握されている必要がある。緩和策がない。成長乱獲は考慮しない。資源にとって安全な基準ではない）。 ④ F_{crash} （資源を崩壊させる可能性のある F の下限。再生産関係式から求める。資源にとって安全な基準ではない）。 ⑤ $F_{X_{95M}}$ （自然死亡係数に関連する F 。データが少ない資源に用いることが出来る。自然死亡係数の推定は、不確実な場合が多いことに留意。寿命が長い魚種には高すぎる F となりがちで、管理基準としては不向き）。 資源量の LRP： ① B_{YRO} 、 B_{XRMAX} （処女資源の加入量もしくは過去最大の加入量をもたらし資源量に関する基準。加入乱獲を考慮。歴史的な加入量に依存する）。 ② B_{loss} （過去の歴史的な資源量（親魚量）の下限。加入乱獲を考慮。成長乱獲を考慮しない。資源にとって安全な基準ではない）。 「3. まぐろ類の漁業と資源調査（総説）」の図 12 も参照のこと。MSE の核となる Performance test simulation は、全てコンピュータ上で行われ、種々の MP、OM（総説の図 12）の組み合わせがどの程度、管理目標を達成出来るか、不確実性に対して頑健かをシミュレーションで判断する枠組み（Scott <i>et al.</i> 2016a）。
Performance test simulation	事務局員による予備的な Performance test simulation が試行されている（Maunder 2014、Maunder <i>et al.</i> 2015）。	【具体例】 IATTC のメバチについて簡易の MSE が行われている。HCR「FMSY での漁獲」が、管理目標「資源量を MSY レベルに維持する」に合致するかを、Performance indicator（Performance statistics）を「暫定 LRP を下回る確率」として調べた。すると、FMSY レベルの漁獲を行えば、LRP を下回る確率は 10% 以下であることが分かった（図 9。Maunder 2014、Maunder <i>et al.</i> 2015）。平成 29 年度の国際資源の現況（中西部太平洋のキハダ、メバチ）も参照のこと。

付表 1. 東部太平洋におけるキハダの年別国別漁獲量（単位：トン）

国名／年	1950	1951	1952	1953	1954	1955	1956	1957	1958	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969
ペリウ																				
英領バミューダ諸島																				
カナダ																				
チリ										222	65		365	374		72	490	1,087	1,040	1,302
中国																		176	220	7
コロンビア										234	114		86	70	40	173	120	140	79	108
コスタリカ																				
英領ケイマン諸島																				
エクアドル										459	503	663	781	842	850	615	1,156	2,567	3,746	2,684
スペイン																				
グアテマラ																				
ホンジュラス																				
日本					209	427	967	5,854	4,927	3,437	5,934	12,500	10,211	18,973	16,968	15,614	9,066	8,892	14,400	15,045
韓国																				
メキシコ										1,629	2,311	1,489	1,190	1,234	1,648	1,320	2,045	1,877	4,000	6,202
ニカラグア																				
オランダ																				
パナマ											5		2,061	1,428	827					
ペルー										2,703	1,502		4,732	2,282	3,177	1,469				
仏領ポリネシア																				
セネガル																				
エルサルバドル																				
台湾															6	6	31	393	586	284
米国										52,914	97,534	93,114	57,909	49,185	75,912	68,098	64,957	65,277	83,953	110,031
ベネズエラ																				
バヌアツ																				
その他	101,974	84,376	88,577	63,523	63,519	63,897	80,298	73,946	67,336			960	906	319	592	898	6,022	364	1,052	2,392
合計	101,974	84,376	88,577	63,523	63,728	64,324	81,265	79,800	72,263	61,598	107,968	108,726	78,241	74,707	100,020	88,265	83,887	80,773	109,076	138,055

国名／年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
ペリウ																				
英領バミューダ諸島						1,596	2,635	3,399	2,195	1,601										
カナダ	4,230	3,126	6,382	6,581	7,757	3,482	3,551	4,296	2,275	262										
チリ									648	2	0	0	97	11	50	5	5	2	27	12
中国																				
コロンビア		155		136	150		66	10	19	0										
コスタリカ			1,561	1,371					4,154	3,588	1,941	2,632	122		63	0				
英領ケイマン諸島												3,111	3,947		2,702	2,785				
エクアドル	6,842	6,596	3,109	4,735	9,399	10,292	4,784	5,905	6,506	9,162	5,816	7,571	5,544	7,705	10,596	8,883	16,654	15,091	24,504	17,650
スペイン		695	3,449	5,916	6,231	5,250	6,338	5,118				6,651	934							
グアテマラ																				
ホンジュラス																				
日本	12,273	7,931	17,311	11,413	6,914	10,299	15,036	11,222	9,187	10,909	11,549	7,090	9,826	9,404	9,134	10,633	17,770	13,484	12,481	15,335
韓国									850	423	1,892	1,054	1,382	1,382	1,155	2,505	4,850	5,048	1,893	1,162
メキシコ	7,065	5,836	8,427	13,862	15,572	15,480	13,443	17,412	18,311	23,106	19,902	41,613	19,527	19,477	55,043	81,103	105,791	99,761	107,382	119,719
ニカラグア																				
オランダ																				
パナマ	2,873	1,577	2,800	4,951	7,401	13,016	12,670	12,888	9,184	7,338	4,784	7,202	8,487	2,444		10,887	9,073		7,406	10,606
ペルー	224	954	426	1,804	1,852	2,719	2,051	3,221	2,387	1,217	443			943					1,430	1,724
仏領ポリネシア																				
セネガル																				
エルサルバドル																				
台湾	370	645	846	284	276	191	176	298	151	141	36	156	81	60	56	58	120	107	54	526
米国	126,847	91,346	143,248	154,178	146,205	131,565	162,333	115,813	96,252	108,723	92,986	92,855	72,998	47,634	58,930	84,847	89,170	97,397	83,495	75,191
ベネズエラ									6,450	6,269	4,057	7,840	4,057	7,840	9,268	20,686	28,479	34,237	38,257	42,944
バヌアツ																				
その他	414	1,797	717	2,752	6,477	4,033	7,423	18,949	16,608	12,002	6,752	2,607	830	2,767	2,468	3,537	14,159	21,037	19,499	14,567
合計	161,138	120,658	188,276	210,491	208,234	199,864	234,378	199,366	173,980	187,124	158,862	178,510	127,534	99,680	149,465	225,939	286,071	286,164	296,428	299,436

国名／年	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
ペリウ												1,833	1,447	353	190	164	105	42	43	11	
英領バミューダ諸島																					
カナダ																					
チリ	2	40	14	82	118	43	32	57	78	41	77	66	15	73	86	110	79	76	74	47	
中国												942	1,457	2,739	798	682	246	224	469	629	
コロンビア			36	825	4,897	7,560	8,830	9,919	9,402	15,592	13,267	6,138	12,950	17,574	9,770						
コスタリカ			232	391	200	481	542	183	715	1,124	1,057	1,084	1,133	1,563	1,418	1,701	1,791	1,402	1,204	1,003	
英領ケイマン諸島																					
エクアドル	16,951	15,730	12,431	18,471	18,678	17,376	17,409	18,714	37,148	56,191	35,997	55,347	32,512	34,419	40,886	40,596	26,049	20,037	20,213	20,356	
スペイン									5,449	8,322	10,318	18,448	16,990	12,281	13,622	11,947	8,409	2,631	3,023	7,864	
グアテマラ											10								0		
ホンジュラス																3,244	4,924	2,944			
日本	29,255	23,721	15,296	20,339	25,983	17,042	12,631	16,218	10,048	7,186	15,265	14,808	8,513	9,125	7,338	3,966	2,968	4,582	5,383	4,268	
韓国	4,844	5,688	2,865	3,257	3,069	2,748	3,491	4,753	3,624	3,030	5,134	5,230	3,626	4,911	2,997	532	928	353	83	780	
メキシコ	118,364	117,011	120,283	104,081	101,403	109,685	122,825	124,516	109,736	116,291	104,233	134,032	153,819	173,640	93,356	112,720	70,135	65,993	85,279	100,505	
ニカラグア															43	4,856	4,239	3,965	4,404	6,713	
オランダ																					
パナマ	6,391	1,731	3,380	5,671	3,259	1,714	3,084	4,807	3,330	5,782	6,155	10,284	16,626	16,591	36,365	35,175	24,685	26,024	26,993	35,228	
ペルー				45	1,320	750	806	766					13	195	806	291	1,166	595	865	308	42
仏領ポリネシア																					
セネガル			57	39	214	198	253	307	388	206	1,052	846	278	462	767	530	971	814	651	941	
エルサルバドル																					
台湾	534	1,319	306	155	236	28	37	131	113	186	742	3,928	7,360	8,472	8,006	6,470					
米国	51,286	19,805	19,460	16,925	10,216	6,323	8,269	6,837	5,500	3,537	4,911	6,139	7,727	1,824	2,422	1,671	745	247	636		
ベネズエラ	47,490	45,345	44,336	43,522	41,500	47,804	62,846	57,881	61,425	55,443	67,672	108,974	123,264	96,914	39,094	28,684	13,286	20,097	17,692	25,298	
バヌアツ	22,208	29,687	27,406	24,936	25,729	22,220	10,549	20,701	17,342	16,476	8,252	10,742	7,792	10,033	7,542	51	164	152	175	244	
その他	4,197	5,625	5,419	7,591	4,350	4,005	8,322	7,020	5,012	11,076	13,617	32,266	31,149	29,182	35,353	26,353	19,735	32,507	30,101	42,588	
合計	301,522	265,970	252,514	251,486	243,546	239,364	260,616	272,056	275,909	298,091	280,657	417,981	439,319	410,068	293,845	283,722	178,982	180,414	196,632	249,151	