

ミナミマグロ

(Southern Bluefin Tuna, *Thunnus maccoyii*)



最近の動き

みなまぐろ保存委員会 (CCSBT) は第 27 回年次会合 (2020 年 10 月) において、2021 年漁期の TAC を 17,647 トンとすることに合意した。この TAC は 2021~2023 年漁期に対して、管理方式 (事前に定められた方式により、漁獲データ等の資源指標から TAC を自動的に計算する漁獲制御ルール。詳細は後述。) による計算結果から科学委員会が勧告したものである。TAC 算定に用いられた管理方式は、2019 年に科学委員会での開発が完了し、従前の管理方式に代わり 2020 年より運用が開始された新しい管理方式である。現在の親魚資源量は最大持続生産量 (MSY) を産出する資源水準以下であるものの、管理方式を用いた管理によって資源状態には継続的な改善が見られており、管理目標に向けて順調に回復していると思われる。2019 年の報告総漁獲量は 16,844 トンで、主にはえ縄及びまき網漁業によるものであった。

利用・用途

ほぼ全てが日本での刺身や寿司用途に用いられている。

漁業の概要

公海域では主に日本、台湾、韓国が漁獲し、沿岸域ではオーストラリア、ニュージーランド、インドネシア、南アフリカが漁獲している (図 1)。現在用いられている漁法は、主にはえ縄とまき網である。はえ縄漁業は 3 歳以上の小~大型魚を漁

獲している。まき網漁業は畜養用種苗を得るためにオーストラリアのみが行っており、2~4 歳を中心とした小型魚を漁獲している。現在の主な漁場は、はえ縄では南アフリカ沖、インド洋南東海域、ミナミマグロの産卵場であるインドネシア南沖海域、タスマニア島周辺海域及びニュージーランド周辺海域であり、まき網ではオーストラリア大湾である (図 2)。

ミナミマグロ漁業の歴史は、1920 年代にオーストラリアが東部沿岸で行っていた小規模なひき縄漁まで遡る (Hobsbawn *et al.* 2020)。本格的な商業漁業は、1950 年代初期、インドネシア近海の産卵場での日本船によるはえ縄操業により始まった (新宮 1970)。日本船の漁獲量は 1961 年には最高の 77,900 トンに達した。その後、日本のはえ縄船は肉質の良い魚を求めて索餌域である西風皮流域 (南緯 35~45 度の海域) へと漁場

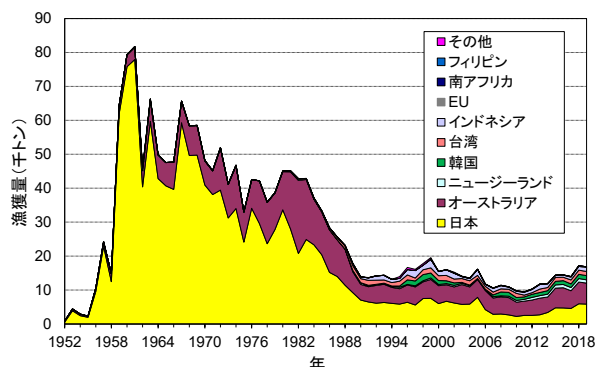


図 1. ミナミマグロの漁獲量の推移 (CCSBT 2020b)

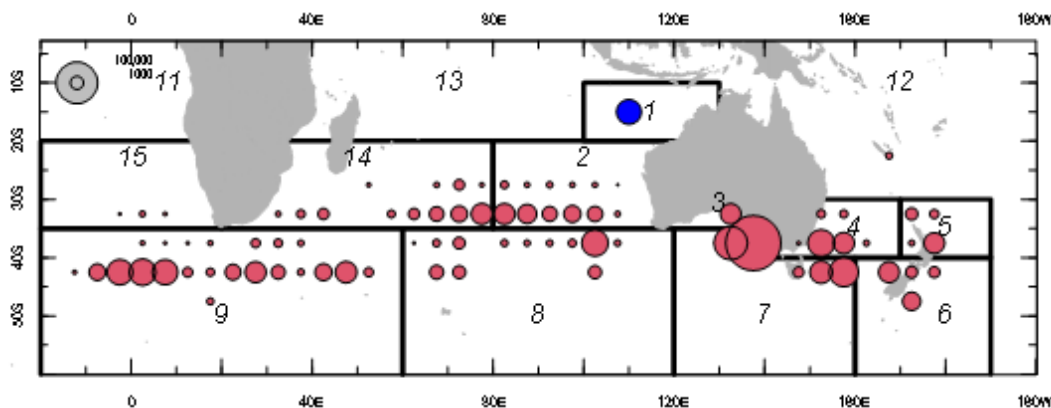


図 2. ミナミマグロの緯経度 5 度区画別の漁獲尾数

2019 年暫定値。1~15 は CCSBT 統計海区。1 海区の青丸はインドネシアによる位置不明の漁獲尾数。CCSBT 事務局から配布されたデータを基に作図。

を移し、1971年からは資源保護のため、産卵場及び小型魚が多獲される海域での操業を自粛している(新宮 1978)。これら自粛の影響もあり、日本のえ縄船の漁獲量は1961年以降漸減し、1985年には約20,000トンまで減少した。ニュージーランド、台湾、インドネシアによるえ縄漁業は1980年代から、韓国のはえ縄漁業は1990年代から始まり、1999年にはそれらの漁獲量は合計で6,000トン近くまで達したが、その後は2,000~5,000トンの間で推移している(CCSBT 2020b)。え縄漁業全体の漁獲量は、TACによって1989~2005年は8,000~14,000トンの間で維持されたが、2007年漁期以降にTACを削減したことで減少し、2011年までは約5,000~7,000トンで推移した。2012年からは資源状態の改善によるTACの増加にともない、え縄漁業の漁獲量は徐々に増加している。一方、当初は缶詰用だったオーストラリアの漁獲は、主要漁法が釣りからまき網へと移り変わるとともに漁獲量が次第に増加し、1982年には21,500トンに達したが、その後、自主規制及び産業の衰退により減少した。しかし、1990年代半ばより畜養技術の発達にともない、種苗を得るためまき網による漁獲が再び増加し、近年は約5,000~6,000トン程度で推移している。種苗は生簀で約3~6か月間畜養された後、ほぼ全量の年間6,000~10,000トン程度が日本へ輸出されている。

ミナミマグロの国際的な管理は、1982年に日本、オーストラリア及びニュージーランドにより組織された三国間会議で始まった(西田 1994)。1985年からは科学者会合での議論をもとに各国の漁獲割当量が決められることになり、1989年にはこれら三国のそれまでの漁獲実績を下回る漁獲枠が設定された。その後、三国間会議を公式化する形で1994年にCCSBTが設立された。現在のCCSBTメンバーは、日本、オーストラリア、ニュージーランド、韓国、台湾、インドネシア、EU、南アフリカである(ただし、台湾及びEUは拡大委員会に加盟)。フィリピンは2004年から協力的非加盟国として委員会に受け入れられてきたが、2015年以降、年次会合への参加がないこと、2016年からは国別年次報告書の提出もないことから、現在は協力的非加盟国と認められていない(CCSBT 2018)。

CCSBTでは設立以降、2000年代半ばまで約15,000トンのTACを維持してきたが、資源状態の悪化を受け、2007年漁期から2011年漁期にかけて約9,500トン(日本は約2,500トン)にまでTACを削減した(CCSBT 2006、2009)。その後、これらの漁獲圧削減や加入増加等の効果により資源状態の好転が見られ、2012~2014年漁期より段階的にTACを増枠し、2015~2017年漁期のTACは毎年14,647トン(日本は4,737トン)、2018~2020年漁期並びに2021~2023年漁期のTACは毎年17,647トン(2021年漁期、日本は6,197.4トン)で合意された(CCSBT 2013c、2014、2015、2016、2020c; 2021~2023年漁期についての詳細は後述)。なお、2019年の報告総漁獲量は16,844トンであった(CCSBT 2020b)。

生物学的特性

【分布・回遊】

ミナミマグロの産卵場は、インド洋東部のインドネシア南岸とオーストラリア北西岸で囲まれた扇形水域(東経100~125度、南緯10~20度)のみで仔稚魚が採集されていることから、

この海域にあると考えられている(西川ほか 1985)(図3)。また、形態的(岩井ほか 1965、新宮・藁科 1965)及び遺伝的(Grewe *et al.* 1997)に地理的変異が見られないため、単一系群とされている。幼魚はオーストラリア西岸沖を南下したのち、オーストラリア南岸沖を東へ移動すると考えられているが(Caton 1994、西田 1994)、一部の若齢魚は南アフリカ沖でも見られる(Farley *et al.* 2007)。標識放流調査により、オーストラリア南岸の若齢魚はインド洋中部や南アフリカ沖に季節回遊することがわかっている(Takahashi *et al.* 2004、Patterson *et al.* 2018)。その後、成長にともない次第に南緯35~45度の西風皮流域全体に広く分布、回遊するようになる(新宮 1978、Caton 1994)。ただし、東太平洋で見られることは稀である。

【成長・成熟】

ミナミマグロは体長(尾叉長)200cm、体重150kgに達する(新宮 1978)。漁獲個体の最大報告体長は210cmで、寿命は少なくとも25歳以上と考えられる。耳石の年齢査定から得られている最高齢は45歳である。成熟開始体長は約150cm(年齢は約8歳に対応)であるが、産卵魚の多くは15~25歳魚が占める(Farley *et al.* 2007)。産卵期は9月から翌年4月までの約半年間に及ぶ(Farley and Davis 1998)。1回の産卵数は体重1kg当たり5.7万粒で、産卵雌個体はほぼ毎日産卵する。ポップアップアーカイバルタグを用いた標識放流調査の結果から、本種の成熟魚は必ずしも毎年産卵するわけではないと考えられている(Evans *et al.* 2012)。現在、CCSBT科学委員会の資源評価では、8歳、12歳、16歳でそれぞれ5%、50%、95%の個体が成熟しているというS字状の成熟曲線を仮定して解析を行っている(CCSBT 2013a、2013b、Hillary *et al.* 2013)。

成長式は耳石の年齢査定、漁獲物の体長頻度データ、標識放流調査の結果を統合して推定されている。ミナミマグロには、若齢魚から成魚への移行期に成長過程の変化が見られるため(Hearn and Polacheck 2003)、CCSBT科学委員会では、von Bertalanffyモデルに移行期の成長変化を考慮した成長式が用いられている(CCSBT 2011a)。また、若齢期の成長が1970年代以前に比べて1980年代以降に早くなったと考えられており(Hearn and Polacheck 2003)、成長式は1950~2000年代の10年ごとの年級群に対して推定されている。体長と体重の関係はいくつか推定されているが、科学委員会では日本のはえ縄漁獲物に対して、以下の式から体重を求めている(体長と体重の単位はそれぞれcmとkgである)。

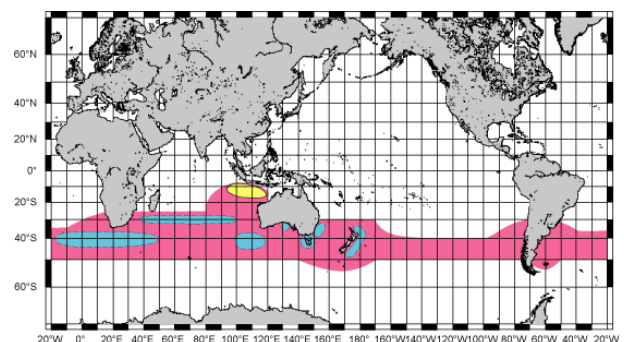


図3. ミナミマグロの分布(赤)、漁場(青)、産卵場(黄)

130 cm 未満の魚 体重 = $0.0000313088 \times \text{体長}^{2.9058}$
 130 cm 以上の魚 体重 = $1.15 \times 0.000002942 \times \text{体長}^{3.3438}$
 こうして得られた年齢別の体長と体重の関係を図 4 及び表 1 に示した。

【捕食・被食関係】

胃内容物分析から、オーストラリア沿岸域に分布する若齢のミナミマグロは主に魚類を (Itoh *et al.* 2011)、外洋域に広く分布する体長約 90 cm 以上のミナミマグロは、主に頭足類と魚類を捕食していること (Young *et al.* 1997、Itoh and Sakai 2016) がわかっている。本種の捕食者は、他のマグロ類と同様、カジキ・マグロ類、サメ類、海産哺乳類であると考えられている。

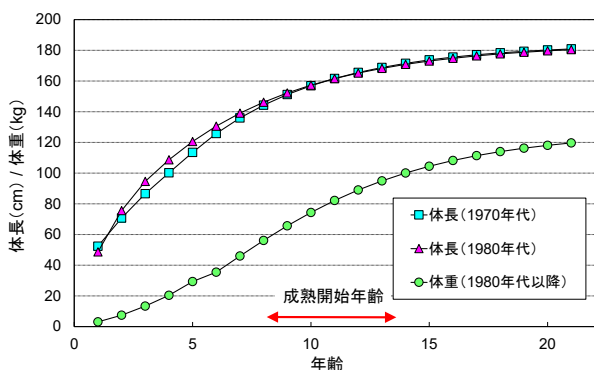


図 4. CCSBT で用いられているミナミマグロの成長曲線
 体長 (尾叉長) に関しては、比較のため、1970 年代と 1980 年代生まれの年級群に対応する成長曲線のみを示した。1970 年代以前、1980 年代以降に対応する体長の曲線はそれぞれ 1970 年代、1980 年代のものとはほぼ同様のカーブを描く。体長の曲線は Eveson (2011) の式を基に、体重の曲線は本文の式を基にそれぞれ作図。

表 1. ミナミマグロの年齢別の体長と体重の関係

年齢	体長 (cm)				体重 (kg)
	1960	1970	1980	1990	1970
0					
1	57.4	52.3	48.7	50.0	3.1
2	74.5	70.7	75.5	80.1	7.4
3	89.3	86.5	94.6	97.9	13.3
4	102.2	100.2	108.7	111.0	20.4
5	114.1	113.5	120.6	122.0	29.3
6	124.4	125.7	130.6	131.3	35.5
7	133.2	135.9	139.1	139.2	45.9
8	140.8	144.3	146.2	145.8	56.1
9	147.4	151.2	152.2	151.4	65.7
10	153.0	156.9	157.3	156.1	74.3
11	157.9	161.7	161.6	160.1	82.1
12	162.0	165.6	165.2	163.4	89.0
13	165.6	168.8	168.2	166.2	94.9
14	168.7	171.5	170.8	168.6	100.1
15	171.4	173.7	173.0	170.6	104.5
16	173.7	175.6	174.8	172.3	108.2
17	175.7	177.1	176.4	173.8	111.3
18	177.4	178.3	177.7	175.0	114.0
19	178.8	179.4	178.8	176.0	116.2
20	180.1	180.2	179.7	176.9	118.1
21	181.2	180.9	180.5	177.6	119.7

体長の各年代の数値はそれぞれの年代に生まれた年級群の成長に対応する。1950 年代及び 2000 年代の成長は 1960 年代と 1990 年代のものにそれぞれ等しいと仮定している。

資源状態

【資源評価】

ミナミマグロの資源状態は CCSBT 科学委員会により評価されている。2011 年以降、CCSBT では管理方式 (後述) による資源管理を継続しており、管理方式を運用するためのメタルルールプロセス (後述) の中で、CPUE 等の漁業指標及び科学調査から得られた情報により資源状態を毎年検討すること、数理モデルを用いた詳細な資源評価を 3 年ごとに実施することを定めている。3 年間の間隔は、本種が長寿命・長い世代時間という生活史特性を持つことから、親魚資源が急激に変動することはあまり考えられないことに基づいている。科学委員会における資源評価は、管理方式を運用する上で、資源状態に問題が生じていないかを継続的に監視する役割が大きい。

科学委員会では、管理方式の開発・性能評価のために独自に開発したオペレーティングモデル (Operating Model: OM) を資源評価のための数理モデルとして用いている。このモデルは単一系群を仮定した年齢構造モデルであり、漁法別漁獲量、はえ縄 CPUE (図 5)、漁獲物の体長・年齢組成、航空目視調査による加入指数及び遺伝子標識調査による標識再捕数 (図 6: 後述)、近縁遺伝子標識再捕 (Close-Kin Mark-Recapture: CKMR) による親子ペア数 (後述) 等の観測データ及び成長式等の生物情報から、漁獲死亡率、加入量、資源量等を推定する統合型資源評価モデルである (「2. 漁業資源の変動と資源評価について」を参照)。資源評価を行う際は、資源に関わる不確実性をより適切に把握するために、再生産関係や自然死亡率といった、結果に不確実性をもたらすいくつかの重要な要因には複数の

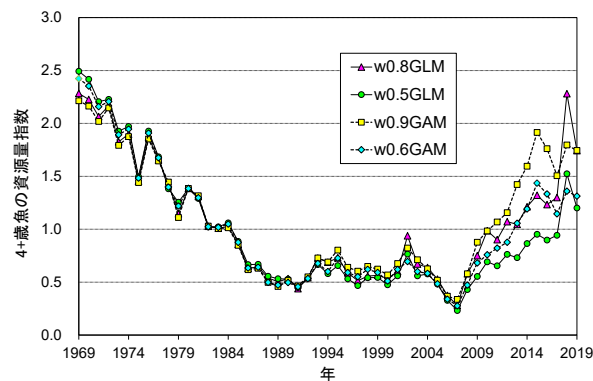


図 5. 日本のはえ縄漁業の CPUE データに基づくミナミマグロの 4+歳魚の資源量指数

CPUE データにはミナミマグロをターゲットする“コア船団”のものが使用されており、CPUE は資源量指数の形にするため、資源の年変動を取り出すための標準化が行われた後、ミナミマグロの分布面積によって重み付けされている。w0.9、w0.8、w0.6 及び w0.5 の表記は、過去に操業があったが、現在は操業が行われていない海域のそれぞれ 90%、80%、60%、50% に現在もミナミマグロが分布しているという仮説に基づくことを表す。GLM と GAM の表記は、標準化の統計手法がそれぞれ一般化線形モデル、一般化加法モデルに基づくことを示す。オペレーティングモデルによる従来の資源評価では w0.8GLM と w0.5GLM (Itoh and Takahashi 2020) が用いられてきたが、2020 年の資源評価では新たに w0.9GAM 及び w0.6GAM (CCSBT 2020a、Hoyle 2020) が用いられた。管理方式 (ケープタウン方式) による 2020 年の TAC 算定には従来の w0.8GLM と w0.5GLM の平均が用いられた。

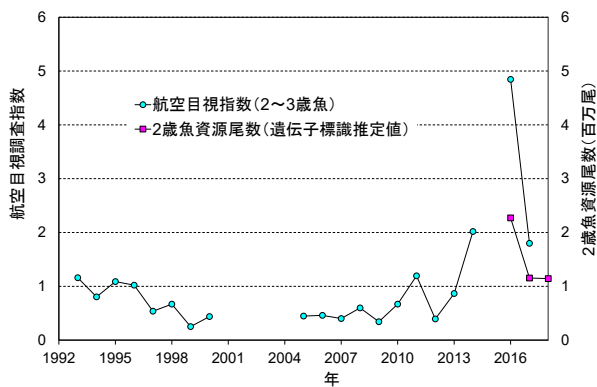


図 6. 航空目視調査によるミナミマグロの加入量指数及び遺伝子標識調査による 2 歳魚資源尾数推定値

目視調査データには加入量の年変動を取り出すための標準化処理が施されており、指数は飛行した単位海里当たりの資源量（2～3 歳魚）を平均値に対する相対値にして表されている。2001～2004 年、2015 年及び 2018 年以降は目視調査が行われていない。遺伝子標識調査は 2016 年より開始され、得られた標識再捕データから加入量指標として 2 歳魚資源尾数が推定される。遺伝子標識調査からの情報はオペレーティングモデルによる資源評価では標識再捕データののままの形で、管理方式（ケープタウン方式）の TAC 算定では推定された 2 歳魚資源尾数値の形でそれぞれ使われている。Eveson and Farley (2017) 及び Preece *et al.* (2020) のデータを基に作図。

仮説を置き、それぞれの仮説に基づいた解析結果を蓋然性で重み付けて 1 つにまとめ、これをベースケースとして評価している。科学委員会では CKMR データの OM への取り込みにとともに、体長に依存した繁殖力及び産卵場での滞在期間から算出する産卵ポテンシャルに基づいた「総再生産出力（Total Reproductive Output : TRO）」という概念を OM へ導入し、これを親魚資源量（Spawning Stock Biomass : SSB）として示している。TRO による親魚資源量は産卵場で繁殖活動する親魚資源全体の繁殖力を表す指数になっており、資源量の絶対値を示すものではないことに留意する必要がある。なお、資源評価の際には、この新たな概念での親魚資源量と併せて、以前の定義での親魚資源量（10 歳以上の資源量 : B10+）も過去の結果との比較のために提示するようにしている（図 7）。

2020 年の会合で科学委員会は、管理方式のメタルールプロセスに則り、OM を用いた詳細な資源評価を実施した。OM への変更として、2020 年の資源評価から遺伝子標識調査（後述）の標識再捕データが取り込まれた。また、従来の資源量指数に代わり、CPUE の時空間的なデータ特性に対してより柔軟な対応が可能となる統計手法を用いて作成された新たな資源量指数（図 5）が OM に使用された。資源評価の結果、現在の親魚資源量は依然として最大持続生産量（MSY）を産出する親魚資源量（ B_{MSY} ）以下の水準（ B_{MSY} の約 69%）にあるが、現在の漁獲死亡率は MSY を与える漁獲死亡率（ F_{MSY} ）以下の水準（ F_{MSY} の約 50%）であり、前回 2017 年の資源評価結果と比較して、漁業開始以前の親魚資源量に対する現資源量の割合が 2017 年に推定された約 13% から約 20% に増加したという資源状態の改善が見られた（CCSBT 2020b）（図 7 及び 8）。このことは親魚資源量が 20% とした従前の暫定回復目標をほぼ達成したことを示している。また資源評価結果からは、2009 年におけ

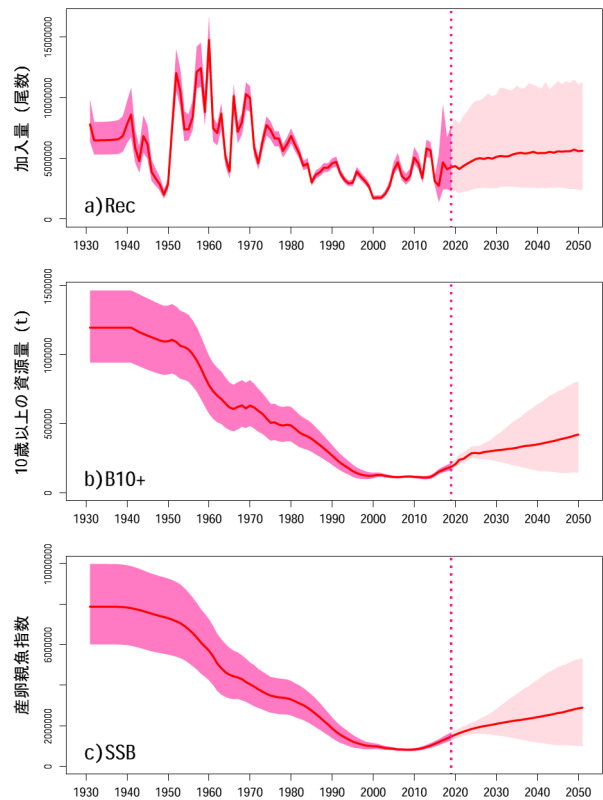


図 7. 2020 年に資源評価モデルにより推定されたミナミマグロの加入量（Rec：上段）、10 歳以上の親魚資源量（B10+：中段）及び親魚資源量（SSB：下段）

B10+は以前に用いられていた定義による親魚資源量、SSBは産卵ポテンシャルに基づく「総再生産出力（Total Reproductive Output : TRO）」による親魚資源量を表す。SSBは近縁親遺伝子標識再捕のデータを資源評価モデルに取り込んだことに関連して導入した親魚資源量の定義である（詳細は本文を参照）。太線は中央値、影部は 90% 確率区間を示す。縦の点線は 2019 年（資源の現状）を指す。2020 年からの将来部分は管理方式（ケープタウン方式）を用いて TAC 設定を続けた場合の予測である。CCSBT 科学委員会が 2020 年に実施した資源評価の結果を基に作図（CCSBT 2020b）。

る低水準以来、親魚資源量は年率 5% で回復してきており、管理方式を用いた回復計画は新たな管理目標に向けて順調に進んでいることが示唆された（管理目標については「管理方策」を参照）。OM による資源評価と併せて最新の各種漁業指標及び科学調査による加入量指標（ひき縄指数）等も精査され、指標によって近年の増減は異なるものの特に異状は認められなかった。

【資源評価等のためのデータ収集】

日本独自の活動

資源評価解析や資源管理においては、最新の漁業情報を迅速かつ詳細に収集することが求められる。日本は漁業データ即時収集プログラム（Real Time Monitoring Program : RTMP）と呼ばれるシステムによって、ミナミマグロ漁場で操業する自国はえ縄船から漁獲情報を収集している。RTMP では、漁船は毎日の正午位置・操業結果を、衛星通信 FAX を通じて水産庁へ報告する。これにより、航海終了後に提出される漁獲成績報告書を用いるよりも迅速なデータ収集が可能となっている。また、

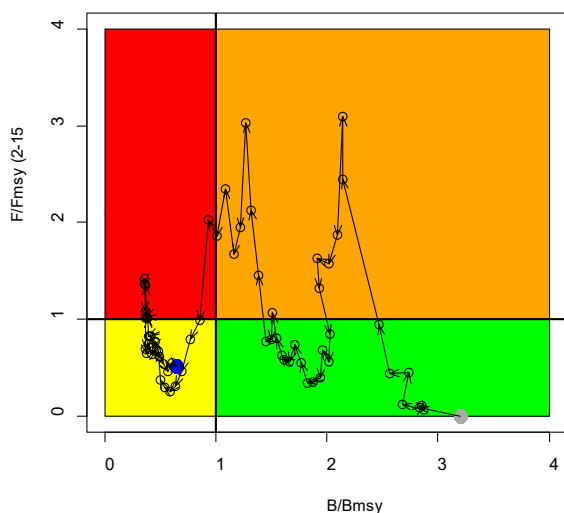


図 8. ミナミマグロ資源の神戸プロット：MSY を産出する資源量に対する各年の資源量の比 (B/Bmsy：横軸) 及び MSY 水準を与える漁獲死亡率に対する各年の漁獲死亡率の比 (F/Fmsy：縦軸) の経年変化

丸印は推定されたそれぞれの比の中央値を示し、矢印はそれらの推移を示す。灰色、青色の丸印はそれぞれ 1952 年時点、2019 年時点 (資源の現状) に対応している。横軸は資源枯渇の程度 (左に行くほど乱獲状態) を、縦軸は乱獲行為の程度 (上に行くほど乱獲行為が進行) をそれぞれ示し、パネルの色は資源崩壊の危険性と資源状態を緑 (危険性低、健全) から赤 (危険性高、乱獲状態) の 4 色で表している。CCSBT (2020b) のデータを基に作図。

RTMP では体長・体重・性別等の漁獲物の詳細情報 (体長データの収集率は 100%) が集められている。RTMP から得られる最新の漁獲データは CCSBT における資源評価・管理に不可欠なものであり、特に CPUE データは資源評価モデルによる解析と管理方式の運用において極めて重要な役割を果たしている。

この他、日本は一部の自国はえ縄船に調査員 (科学オブザーバー) を乗船させて、漁獲成績報告書や RTMP では把握できない操業の周辺情報や漁獲物測定データの収集、並びに生物標本の収集を行っている。これらはミナミマグロの資源解析・評価を支える基礎研究 (耳石による年齢査定、胃内容物による食性調査、安定同位体による食物網解析、筋肉サンプルによる DNA 解析等；例えば Itoh *et al.* 2011、Itoh and Sakai 2016) だけでなく、他のマグロ・カジキ類の資源評価 (他魚種の体長データ)、海鳥やサメ類等の混獲生物調査にも役立てられている。

また、漁業とは独立の調査活動として、早期に毎年の加入状況を把握するため、オーストラリア南西岸においてミナミマグロの 1 歳魚を対象にしたひき縄調査を続けている (Itoh and Tsuda 2020a)。調査データからは 1996 年からの 23 年間に及ぶ 1 歳魚の加入量指数が作成され (Itoh and Tsuda 2020b)、加入状況の検討並びに資源評価モデルによる解析に活用されている。

CCSBT における活動

CCSBT の科学調査計画 (Scientific Research Program : SRP) に含まれる主な調査活動として、航空目視調査、近縁遺伝子標識再捕 (Close-Kin Mark-Recapture : CKMR) プロジェクト、遺伝子標識調査 (Gene Tagging : GT) がある。

航空目視調査はオーストラリアが SRP の一環としてオーストラリア大湾で実施してきたもので (Eveson and Farley 2017)、調査から得られる加入量指数 (対象は 2~3 歳魚：図 6) は加入状況の把握に用いられるとともに、従前の管理方式に必須の入力情報となっていた。しかし、オーストラリアから CCSBT への調査資金援助の要請が多額になり、2018 年調査のための予算は委員会での承認が得られず調査は休止された (CCSBT 2017)。その後も調査は休止されたままであり、事実上の調査終了と考えられる。

CKMR プロジェクトは、産卵場で漁獲された親魚とオーストラリア大湾で漁獲された若齢魚の親子関係を遺伝子型解析によって特定し、得られた親子ペア数 (Parent-Offspring Pairs : POP) の情報から標識再捕法に近い考え方をを用いて親魚資源量を推定する研究プロジェクトである。オーストラリアが 2006~2010 年の 5 年間のサンプリング計画に基づき実施を開始し、2015 年以降は SRP の下で継続されている (Bravington *et al.* 2013、2016)。CKMR は漁獲情報や CPUE データに依存せずに資源量を推定できることが大きな特徴である。現在、CKMR プロジェクトでは POP データだけでなく、兄弟姉妹関係のペア数 (Half-Sibling Pairs : HSP) のデータ収集も進められており、この情報からも POP データの解析と類似した方法で親魚資源量を推定する手法が考案されている (Bravington *et al.* 2017)。POP・HSP データは OM に取り込まれて資源評価に利用されているとともに (Hillary *et al.* 2012、2017)、新たな管理方式 (後述) に必須な入力情報になっている (Hillary *et al.* 2020a)。

GT は、航空目視調査による加入量指数の代替となる指標を得ることを目的として提案された調査で、標識再捕法を用いた資源量推定を行うために遺伝子型解析の個体識別を“標識”と見立てて標識再捕データを収集する (Preece *et al.* 2015)。データの収集は、オーストラリア大湾でミナミマグロの 2 歳魚を捕獲してその DNA サンプルを採取して放流し、翌年、オーストラリアのまき網漁業によって漁獲された 3 歳魚から同じく DNA サンプルを取って個体識別を行い、得られたデータから標識再捕法の考えに基づき 2 歳魚の資源尾数を推定する (図 6)。CCSBT では、2016~2018 年の 3 年間の試験調査で調査プロセス及び分析方法を開発したことから、2018 年以降も航空目視調査に代わり加入量指標を得るために調査が継続して実施されている (CCSBT 2020b)。GT から得られた標識再捕データは OM に取り込まれて資源評価に利用されており (Hillary *et al.* 2019)、推定された 2 歳魚資源尾数値は新たな管理方式 (後述) に必須な入力情報になっている (Hillary *et al.* 2020a)。

管理方策

【管理方式による資源管理】

ミナミマグロの資源管理は CCSBT の下で管理方式を用いて行われている。管理方式 (Management Procedure : MP) とは、CPUE 等の資源量指数や科学調査結果から、事前に定められたアルゴリズムにより TAC を自動的に計算する漁獲制御ルール (Harvest Control Rule : HCR) のことである (Kurota *et al.* 2010；「2. 漁業資源の変動と資源評価について」も参照)。管理方式

は、明確な数値目標の下、その時々資源の動向に応じて TAC を増減させるフィードバック制御によって資源崩壊を回避しつつ漁獲を継続させ、目標を達成する。このように資源の状況をモニタリングしながら、その状態変化に応じて方策を変えることによって管理失敗のリスクを低減する手法を「順応的管理 (Adaptive management)」と呼ぶ (Walters 1986、松田 2008)。目標達成度や不確実性に対する頑健性は、管理方式を開発する段階で、OM を使用して資源に関する様々な不確実性や将来シナリオを想定した膨大な数の予測シミュレーション (管理方式の性能評価) を行うことにより検討される。このような方法は「管理戦略評価 (Management Strategy Evaluation : MSE)」 (Punt *et al.* 2016) と呼ばれている。管理方式を用いた管理は、将来の資源状態に大きな不確実性がある状況でも資源を安全に管理するために非常に有効である。重要な点は、状態変化に応じた順応的な方策の変え方を予め定めているところにある。管理方式を採用していることは、TAC 決定の手続きそのものを事前に約束していることであり、管理方式によって決定された TAC には、それが仮に低い水準の TAC であったとしても従わなければならない。

CCSBT は、2011 年の年次会合において、科学委員会が開発した日本のはえ縄漁業の CPUE 指数 (図 5) 及び航空目視調査指数 (図 6) を入力情報とする管理方式の採用に合意し、ミナミマグロ資源での管理方式の運用を開始した (CCSBT 2011b、黒田ほか 2015、Hillary *et al.* 2016 も参照)。この管理方式は、採用が決定された年次会合の開催地であったインドネシアのバリ島にちなみ「バリ方式 (Bali Procedure)」と命名された。これにより CCSBT では、原則としてバリ方式を用いて 3 年ごとに TAC の計算を実施し、漁獲枠を決めることになった。ただし、バリ方式の開発時に想定していなかった「例外的状況」がミナミマグロ資源に生じた場合、そのままバリ方式の使用を続けることは資源へのリスクとなる場合があることから、運用にあたり、このような「例外的状況」の判断及びそれに対処するための行動のプロセスもメタルール (Meta-rules) として同時に定められた。管理方式による資源管理は、マグロの地域漁業管理機関では世界初となる画期的な試みである。

2011 年の導入以降、順調に運用されてきたバリ方式であったが、バリ方式に必須な入力データの 1 つである加入量指数を得るための航空目視調査が 2017 年を最後に休止されたため、CCSBT は GT による加入量指数を入力情報として加えた新たな管理方式を開発した。開発は 2018~2019 年に科学委員会で行われ、2019 年の年次会合において委員会が科学委員会からの提案を採択し、2020 年からの運用を決定した (CCSBT 2019b)。また、バリ方式と同様に新たな管理方式の運用においてもメタルールを定めた。新たな管理方式は、年次会合の開催地であった南アフリカのケープタウンにちなみ「ケープタウン方式 (Cape Town Procedure)」と命名された。ケープタウン方式は日本のはえ縄漁業の CPUE 指数 (図 5)、加入量指標として GT から得られる 2 歳魚資源尾数の推定値 (図 6) 及び CKMR の POP・HSP データを必須の入力情報として TAC を算定する (Hillary *et al.* 2020a)。TAC の算定はケープタウン方式を用いて従来と同様に 3 年ごとに実施される。

CCSBT はケープタウン方式の導入に合わせ、バリ方式のために定めた「2035 年までに 70%の確率で、漁業開始以前の親魚資源量の 20%水準まで資源を再建する」という暫定管理目標の達成を必要条件とした上で、さらに高い水準へ資源を回復させることに向けて、「2035 年までに 50%の確率で、漁業開始以前の親魚資源量の 30%水準まで資源を再建する」という新たな管理目標を定めた (CCSBT 2019b)。この目標水準は、漁業開始以前の親魚資源量に対する B_{MSY} の割合 (約 30% ; Hillary *et al.* 2020b) とほぼ同じ水準である。

バリ方式は、放流・投棄、遊漁、非協力的非加盟国 (以下、非加盟国) の漁獲、まき網漁業の超過漁獲、メンバーの未報告漁獲を含む「未考慮漁獲死亡 (Unaccounted Mortality : UAM)」と呼ばれる死亡量が開発時の予測シミュレーションにおいて考慮されずに性能が評価されていた。そこでバリ方式の運用では、資源保護のための措置として、科学委員会が推定した非加盟国の漁獲量 (306 トン) をバリ方式が算定した TAC から差し引いた残りをメンバーへ割り当てることで対処してきた。これに対してケープタウン方式は、非加盟国の漁獲及びまき網漁業の超過漁獲に関する UAM が予測シミュレーションにおいて考慮されて開発されたため、このような対処は不要となった。一方、放流・投棄、遊漁等による死亡量に関しては、2018 年漁期より各メンバーの割当量に計上することになっている (CCSBT 2014)。

【TAC の設定】

CCSBT は、2020 年の第 27 回年次会合において、科学委員会が勧告したケープタウン方式による算定結果を受けて、2021~2023 年漁期の毎年の TAC を前回の TAC と同値の 17,647 トンとすることに合意した (CCSBT 2020c)。

2021 年漁期の漁獲枠については、この TAC から調査用漁獲枠 6 トンを取り置いた残りがメンバーへ割り当てられた (CCSBT 2020c)。歴史的な配分割合をベースとして国別の事情を考慮した結果、割当量はそれぞれ日本 6,197.4 トン、オーストラリア 6,238.4 トン、ニュージーランド 1,102.5 トン、韓国 1,256.8 トン、台湾 1,256.8 トン、インドネシア 1,122.8 トン、EU 11 トン、南アフリカ 455.3 トンである。フィリピンは協力的非加盟国と認められなくなったため、割り当ては行われなかった。ケープタウン方式は非加盟国漁獲量を考慮して開発されているため、資源保護のための措置として TAC から推定値の 306 トンを差し引く必要がなくなったことで (前述)、日本への配分枠が 2018~2020 年の 6,117 トンから 6,197.4 トンに増加した。日本の割当量からはインドネシアに各年 21 トン、南アフリカに各年 27 トンが、2021~2023 年までの 3 年間限りの措置として移譲されている。

【漁獲管理】

日本は 2005 年まで、漁場ごとに漁獲開始日と上限漁獲枠を設定し、漁獲状況に応じて漁獲終了日を決定することで自国のはえ縄船の操業を管理してきたが、2006 年以降、漁獲枠の個別割当制度や、全ての漁獲個体への識別標識の装着制度等の導入により漁獲管理を強化した。また、CCSBT では、全てのメンバーのミナミマグロ漁業を対象とした監視取締措置として、

2008年10月より人工衛星を用いて漁船の位置をモニターする漁船位置監視システムを導入し、2010年1月からは漁獲から畜養、水揚げ、貿易までの全ての過程を書類及び識別標識を用いて監視する漁獲証明制度も開始した。2011年10月には、委員会で決定された保存管理措置の確実な実施を促進するCCSBT遵守計画が策定された。

2006年以来、オーストラリアのまき網漁業の漁獲管理において、漁獲量推定のために畜養生簀で行うサンプリング方法がバイアスを生じさせている懸念があり、それによって同国の漁獲量が過少報告されている可能性が指摘されている（CCSBT 2006）。これはUAMの要素の1つである。この指摘を受けて、オーストラリアは、水中ステレオビデオカメラを用いて活け込み原魚の魚体サイズの測定と尾数の計数を行うことで、より正確に漁獲量を推定する手法を開発・試験してきた（CCSBT 2012）。同手法による魚体サイズの測定精度は良好であることが確認されており、2019年の第24回科学委員会会合においても水中ステレオビデオカメラ導入が畜養生サンプリング方法の懸念を手段する唯一の直接的手法である旨が独立専門家から助言されたが（CCSBT 2019a）、計画の立案から10年以上が経っているにもかかわらず、オーストラリアはこの手法をいまだ商業畜養生簀へ導入していない。

執筆者

くろまぐろユニット

みなみまぐろサブユニット

水産資源研究所 水産資源研究センター

広域性資源部 まぐろ第1グループ

高橋 紀夫・伊藤 智幸

参考文献

- Bravington, M.V., Eveson, J.P., Grewe, P.M., and Davies, C. R. 2017. SBT close-kin mark-recapture with parent-offspring and half-sibling pairs: update on genotyping, kin-finding and model development. Paper submitted to the CCSBT Extended Scientific Committee Meeting. CCSBT-ESC/1708/12.
<https://www.ccsbt.org/en/past-meetings> (2020年11月01日)
- Bravington, M., Grewe, P., and Davies, C. 2013. Close-kin update. Paper submitted to the CCSBT Extended Scientific Committee Meeting. CCSBT-ESC/1309/BGD 03.
<https://www.ccsbt.org/en/past-meetings> (2020年11月01日)
- Bravington, M.V., Grewe, P.M., and Davies, C.R. 2016. Absolute abundance of southern bluefin tuna estimated by close-kin mark-recapture. *Nat. Commun.*, 7: 13162. Doi: 10.1038/ncomms13162
- Caton, A.E. (ed.). 1994. Review of aspects of southern bluefin tuna biology, population, and fisheries. *FAO, Fish. Tech. Pap.*, 336(2): 296-343.
- CCSBT. 2006. Report of the thirteenth annual meeting of the Commission, 10-13 October 2006 Miyazaki, Japan. CCSBT, Canberra, Australia. 135 pp.
<https://www.ccsbt.org/en/content/reports-past-meetings> (2020年11月01日)
- CCSBT. 2009. Report of the sixteenth annual meeting of the Commission, 20-23 October 2009 Jeju Island, Republic of Korea. CCSBT, Canberra, Australia. 111 pp.
<https://www.ccsbt.org/en/content/reports-past-meetings> (2020年11月01日)
- CCSBT. 2011a. Report of the sixteenth meeting of the Scientific Committee, 19-28 July 2011 Bali, Indonesia. CCSBT, Canberra, Australia. 118 pp.
<https://www.ccsbt.org/en/content/reports-past-meetings> (2019年11月01日)
- CCSBT. 2011b. Report of the eighteenth annual meeting of the Commission, 10-13 October 2011 Bali, Indonesia. CCSBT, Canberra, Australia. 118 pp.
<https://www.ccsbt.org/en/content/reports-past-meetings> (2019年11月01日)
- CCSBT. 2012. Report of the nineteenth annual meeting of the Commission, 1-4 October 2012 Takamatsu City, Japan. CCSBT, Canberra, Australia. 97 pp.
<https://www.ccsbt.org/en/content/reports-past-meetings> (2019年11月01日)
- CCSBT. 2013a. Report of the fourth operating model and management procedure technical meeting, 23-26 July 2013 Portland, Maine, USA. CCSBT, Canberra, Australia. 39 pp.
<https://www.ccsbt.org/en/content/reports-past-meetings> (2019年11月01日)
- CCSBT. 2013b. Report of the eighteenth meeting of the Scientific Committee, 2-7 September 2013 Canberra, Australia. CCSBT, Canberra, Australia. 104 pp.
<https://www.ccsbt.org/en/content/reports-past-meetings> (2019年11月01日)
- CCSBT. 2013c. Report of the twentieth annual meeting of the Commission, 14-17 October 2013 Adelaide, Australia. CCSBT, Canberra, Australia. 96 pp.
<https://www.ccsbt.org/en/content/reports-past-meetings> (2020年11月01日)
- CCSBT. 2014. Report of the twenty first annual meeting of the Commission, 13-16 October 2014 Auckland, New Zealand. CCSBT, Canberra, Australia. 94 pp.
<https://www.ccsbt.org/en/content/reports-past-meetings> (2020年11月01日)
- CCSBT. 2015. Report of the twenty second annual meeting of the Commission, 12-15 October 2015 Yeosu, South Korea. CCSBT, Canberra, Australia. 123 pp.
<https://www.ccsbt.org/en/content/reports-past-meetings> (2020年11月01日)
- CCSBT. 2016. Report of the twenty third annual meeting of the Commission, 13 October 2016. CCSBT, Canberra, Australia. 91 pp.
<https://www.ccsbt.org/en/content/reports-past-meetings>

- (2020年11月01日)
CCSBT. 2017. Report of the twenty fourth annual meeting of the Commission, 12 October 2017. CCSBT, Yogyakarta, Indonesia. 91 pp.
<https://www.ccsbt.org/en/content/reports-past-meetings>
(2020年11月01日)
- CCSBT. 2018. Report of the twenty fifth annual meeting of the Commission, 18 October 2018. CCSBT, Canberra, Australia. 94 pp.
<https://www.ccsbt.org/en/content/reports-past-meetings>
(2020年11月01日)
- CCSBT. 2019a. Report of the twenty fourth meeting of the Scientific Committee, 7 September 2019. CCSBT, Cape Town, South Africa. 121 pp.
<https://www.ccsbt.org/en/content/reports-past-meetings>
(2019年11月01日)
- CCSBT. 2019b. Report of the twenty fifth annual meeting of the Commission, 17 October 2019. CCSBT, Cape Town, South Africa. 103 pp.
<https://www.ccsbt.org/en/content/reports-past-meetings>
(2020年11月01日)
- CCSBT. 2020a. Report of the eleventh Operating Model and Management Procedure Technical Meeting, 15-19, 22 and 24 June 2020. CCSBT, Online. 39 pp.
<https://www.ccsbt.org/en/content/reports-past-meetings>
(2020年11月01日)
- CCSBT. 2020b. Report of the twenty fifth meeting of the Scientific Committee, 7 September 2020. CCSBT, Online. 142 pp.
<https://www.ccsbt.org/en/content/reports-past-meetings>
(2020年11月01日)
- CCSBT. 2020c. Report of the twenty seventh annual meeting of the Commission, 16 October 2020. CCSBT, Online. 101 pp.
<https://www.ccsbt.org/en/content/reports-past-meetings>
(2020年11月01日)
- Evans, K., Patterson, T.A., Reid, H., and Harley, S.J. 2012. Reproductive Schedules in Southern Bluefin Tuna: Are Current Assumptions Appropriate? PLoS ONE, 7(4): e34550. Doi: 10.1371/journal.pone.0034550
- Eveson, P. 2011. Updated growth estimates for the 1990s and 2000s, and new age-length cut-points for the operating model and management procedures. Paper submitted to the CCSBT Extended Scientific Committee Meeting. CCSBT-ESC/1107/9.
<https://www.ccsbt.org/en/past-meetings> (2020年11月01日)
- Eveson, P., and Farley, J. 2017. The aerial survey index of abundance: 2017 updated results. Paper submitted to the CCSBT Extended Scientific Committee Meeting. CCSBT-ESC/1708/06.
<https://www.ccsbt.org/en/past-meetings> (2020年11月01日)
- Farley, J.H., and Davis, T.L.O. 1998. Reproductive dynamics of southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii*. Fish. Bull., 96: 223-236.
- Farley, J.H., Davis, T.L.O., Gunn, J.S., Clear, N.P., and Preece, A.L. 2007. Demographic patterns of southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii*, as inferred from direct age data. Fish. Res., 83: 151-161.
- Grewe, P.M., Elliott, N.G., Innes, B.H., and Ward, R.D. 1997. Genetic population structure of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*). Mar. Biol., 127(4): 555-561.
- Hearn, W.S., and Polacheck, T. 2003. Estimating long-term growth-rate changes of southern bluefin tuna (*Thunnus maccoyii*) from two periods of tag-return data. Fish. Bull., 101: 58-74.
- Hillary, R., Preece, A., and Davies, C. 2013. Updates to the CCSBT Operating Model including new data sources, data weighting and re-sampling of the grid. Paper submitted to the CCSBT Extended Scientific Committee Meeting. CCSBT-ESC/1309/15.
<https://www.ccsbt.org/en/past-meetings> (2020年11月01日)
- Hillary, R., Preece, A., and Davies, C. 2017. Updates required for new data sources and reconditioning of the CCSBT OM. Paper submitted to the CCSBT Operating Model and Management Procedure Technical Meeting. CCSBT-OMMP/1706/04.
<https://www.ccsbt.org/en/past-meetings> (2020年11月01日)
- Hillary, R., Preece, A., and Davies, C. 2019. Changes to SBT OM conditioning code. Paper submitted to the CCSBT Operating Model and Management Procedure Technical Meeting. CCSBT-OMMP/1906/04).
<https://www.ccsbt.org/en/past-meetings> (2020年11月01日)
- Hillary, R., Preece, A., and Davies, C. 2020a. Running the Cape Town Procedure for 2020. Paper submitted to the CCSBT Extended Scientific Committee Meeting. CCSBT-ESC/2008/BGD06 (*Previously* CCSBT-OMMP/2006/08).
<https://www.ccsbt.org/en/past-meetings> (2020年11月01日)
- Hillary, R., Preece, A., Davies, C., Bravington, M., Eveson, J.P., and Basson, M. 2012. Initial exploration of options for inclusion of the close-kin data into the SBT operating model. Paper submitted to the CCSBT Extended Scientific Committee Meeting. CCSBT-ESC/1208/21.
<https://www.ccsbt.org/en/past-meetings> (2020年11月01日)
- Hillary, R.M., Preece, A., Davies, C.R., Kurota, H., Sakai, O., Itoh, T., Parma, A.M., Butterworth, D.S., Ianelli, J., and Branch, T.A. 2016. A scientific alternative to moratoria for rebuilding depleted international tuna stocks. Fish. Fish., 17: 469-482.
- Hillary, R.M., Preece, A.L., Davies, C.R., Takahashi, N., and Itoh, T. 2020b. The assessment of stock status in 2020. Paper

- submitted to the CCSBT Extended Scientific Committee Meeting. CCSBT-ESC/2008/12 (Rev. 2).
<https://www.ccsbt.org/en/past-meetings> (2020年11月01日)
- Hobsbawn, P.I., Patterson, H.M., and Blake, S.A.P. 2020. Australia's 2018-19 southern bluefin tuna fishing season. Paper submitted to the CCSBT Extended Scientific Committee Meeting. CCSBT-ESC/2008/ SBT Fisheries - Australia.
<https://www.ccsbt.org/en/past-meetings> (2020年11月01日)
- Hoyle, S. 2020. Exploratory analyses for primary CCSBT CPUE index. Paper submitted to the CCSBT Operating Model and Management Procedure Technical Meeting. CCSBT-OMMP/2006/15.
<https://www.ccsbt.org/en/past-meetings> (2020年11月01日)
- Itoh, T., Kemps, H., and Totterdell, J. 2011. Diet of young southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* in the southwestern coastal waters of Australia in summer. Fish. Sci., 77: 337-344.
- Itoh, T., and Sakai, O. 2016. Open-ocean foraging ecology of southern bluefin tuna *Thunnus maccoyii* based on stomach contents. Mar. Ecol. Prog. Ser., 555: 203-219.
- Itoh, T., and Takahashi, N. 2020. Update of the core vessel data and CPUE for southern bluefin tuna in 2020. Paper submitted to the CCSBT Extended Scientific Committee Meeting. CCSBT-ESC/2008/BGD02 (Previously CCSBT-OMMP/2006/11).
<https://www.ccsbt.org/en/past-meetings> (2020年11月01日)
- Itoh, T., and Tsuda, Y. 2020a. Report of the piston-line trolling monitoring survey for the age-1 southern bluefin tuna recruitment index in 2019/2020. Paper submitted to the CCSBT Extended Scientific Committee Meeting. CCSBT-ESC/2008/19.
<https://www.ccsbt.org/en/past-meetings> (2020年11月01日)
- Itoh, T., and Tsuda, Y. 2020b. Trolling indices for age-1 southern bluefin tuna: update of the piston line index and the grid type trolling index. Paper submitted to the CCSBT Extended Scientific Committee Meeting. CCSBT-ESC/2008/20.
<https://www.ccsbt.org/en/past-meetings> (2020年11月01日)
- 岩井 保・中村 泉・松原喜代松. 1965. マグロ類の分類学的研究. 京都大学みさき臨海研究所特別報告, 2: 1-51.
- Kurota, H., Hiramatsu, K., Takahashi, N., Shono, H., Itoh, T., and Tsuji, S. 2010. Developing a management procedure robust to uncertainty for Southern bluefin tuna: a somewhat frustrating struggle to bridge the gap between ideals and reality. Popul. Ecol., 52: 359-372.
- 黒田啓行・境 磨・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(4): 297-307.
- 松田裕之. 2008. 生態リスク学入門—予防的順応的管理. 共立出版, 東京. 213 pp.
- 西田 勤. 1994. ミナミマグロ資源について. 月刊 海洋, 291: 579-584.
- 西川康夫・本間 操・上柳昭治・木川昭二. 1985. 遠洋性サバ型魚類稚仔の平均分布, 1956—1981年. 遠洋水産研究所Sシリーズ 12. 遠洋水産研究所, 静岡. 99 pp.
- Patterson, T.A., Eveson, J.P., Hartog, J.R., Evans, K., Cooper, S., Lansdell, M., Hobday, A.J., and Davie, C.R. 2018. Migration dynamics of juvenile southern bluefin tuna. Sci. Rep., 8: 14553.
- Preece, A.L., Eveson, J.P., Bradford, R., Clear, N., Aulich, J., Lansdell, M., Grewe, P.M., Cooper, S., and Hartog, J. 2020. Report on the SBT gene-tagging program 2020. Paper submitted to the CCSBT Extended Scientific Committee Meeting. CCSBT-ESC/2008/06.
<https://www.ccsbt.org/en/past-meetings> (2020年11月01日)
- Preece, A., Eveson, P., Davies, C., Grewe, P., Hillary, R., and Bravington, M. 2015. Report on gene-tagging design study. Paper submitted to the CCSBT Extended Scientific Committee Meeting. CCSBT-ESC/1509/18.
<https://www.ccsbt.org/en/past-meetings> (2020年11月01日)
- Punt, A.E., Butterworth, D.S., de Moor, C.L., De Oliveira, J.A.A., and Haddon, M. 2016. Management strategy evaluation: best practice. Fish and Fisheries, 17: 303-334.
- 新宮千臣. 1970. ミナミマグロの分布と回遊に関する研究. 遠洋水産報告, 3: 57-113.
- 新宮千臣. 1978. ミナミマグロの生態と資源. 水産研究叢書 31. 日本水産資源保護協会, 東京. 85 pp.
- 新宮千臣・藁科侑生. 1965. ミナミマグロ *Thunnus maccoyii* (CASTELNAU)の研究—I, ミナミマグロの外部形態の比較. 南海区水産報告, 22: 85-93.
- Takahashi, N., Tsuji, S., and Kurota, H. 2004. Review of the current CCSBT Tagging Program and potential improvements. Paper submitted to the CCSBT Extended Scientific Committee Meeting. CCSBT-ESC/0409/36.
<https://www.ccsbt.org/en/past-meetings> (2020年11月01日)
- Walters, C.J. 1986. Adaptive Management of Renewable Resources. MacMillan Pub. Co, New York, USA. 374 pp.
- Young, J.W., Lamb, T.D., Le, D., Bradford, R.W., and Whitelaw, A.W. 1997. Feeding ecology and interannual variations in diet of southern bluefin tuna, *Thunnus maccoyii*, in relation to coastal and oceanic waters off eastern Tasmania, Australia. Environ. Biol. Fishes., 50: 275-291.

ミナミマグロの資源の現況（要約表）

資源水準	低位
資源動向	増加
世界の漁獲量 (最近5年間)	13,946～17,148 トン 最近(2019)年:16,844 トン 平均:15,349 トン(2015～2019年)
我が国の漁獲量 (最近5年間)	4,567～5,945 トン 最近(2018)年:5,851 トン 平均:5,166 トン(2015～2019年)
管理目標	初期親魚資源量の30%水準(ほぼ B_{MSY} 水準と同じ)を2035年までに50%の確率で達成する。ただし、従前の暫定目標である2035年までに20%水準を70%の確率で達成することも必要。
資源評価の方法	漁法別漁獲量、はえ縄CPUE、年齢・体長組成データ、航空目視調査による加入量指数、近縁遺伝子標識再捕による遺伝データ、遺伝子標識調査による標識再捕データ等、複数の情報をCCSBTが独自に開発した統合型資源評価モデルによって評価
資源の状態	初期親魚資源量の20% 10歳以上の資源量は184,272～231,681 トン
管理措置	TACの設定:2021～2023年漁期のTACは毎年17,647 トン(日本6,197 トン) 漁獲証明制度
管理機関・関係機関	CCSBT、ICCAT、IOTC、WCPFC
最近の資源評価年	2020年
次回の資源評価年	2023年