

## 2019年に実施された中西部太平洋カツオ資源評価での取り組みと資源評価結果の概要

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 水産研究・教育機構 公開日: 2025-07-28 キーワード: 作成者: 清藤, 秀理, 大橋, 慎平, 青木, 良徳, 藤岡, 紘, 田中, 文也, 青木, 暁子, 南, 浩史, 木下, 順二 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2014925">https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2014925</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



## 2019年に実施された中西部太平洋カツオ資源評価での取り組みと資源評価結果の概要

かつお・まぐろ資源部

清藤秀理・大橋慎平・青木良徳・藤岡 紘

田中文也・青木暁子・南 浩史

木下順二（現中央水資源研究センター・資源評価グループ）



### はじめに

「ななつの海から」第15号では、中西部太平洋での資源評価の仕組みとともにカツオ資源評価の精度向上に向けた取り組みについて紹介しました（清藤他、2018）。2019年には3年ぶりに中西部太平洋のカツオ資源評価が実施され、その対応のために2019年8月にポンペイ（ミクロネシア連邦）で開催された中西部太平洋まぐろ類委員会（WCPFC）の第15回科学委員会には、かつおグループから4名の研究者が出席しました。資源評価セッションには、国際水研の研究者が主となって執筆した作業文書7編、太平洋共同体（SPC）の研究者と共同で1編の作業文書を提出しました。提出文書は、①カツオ資源評価に適した海域区分の提案（Kiyofuji et al. 2019a）、②熱帯・亜熱帯・日本近海におけるカツオ成熟様式の相違（Ohashi et al. 2019）、③成熟パラメータを変更した際の資源量推定値への影響分析（Aoki et al. 2019a）、④日本の竿釣データに基づいた標準化CPUEの推定（Kinoshita et al. 2019）、⑤日本の沿岸域カツオ漁獲量データの整備（Fujioka and Kiyofuji 2019）、⑥日本が整備してきたカツオ体長・体重データ（1953-2017）の概要（Kiyofuji et al. 2019b）、⑦日本による調査を含めた標識放流再捕データの更新（Vincent et al. 2019a）、⑧熱帯域における漁獲が日本近海の漁獲に与える影響評価について（Aoki et al. 2019b）でした。2019年の資源評価で日本が中心的に関わった主要な点は、海域区分の提案と成熟体長の再検討でした。

本号では、2019年に実施された中西部太平洋カツオ資源評価の結果について、資源評価に使われているモ

デルであるMultifan-CLの概要とともに著者等が特に貢献した海域区分の変更と成熟体長の再検討の2点を中心に概説します。最後に2022年に予定されている資源評価に向けた今後の取り組みについて簡単に触れることにします。

### Multifan-CLの概要

資源評価モデルの構成は、魚の年齢を考慮するとより複雑なモデルになり、必要な情報も増えます（図1）。中西部太平洋で適用されている資源評価モデルは、The Pacific Community（SPC）が開発したMultifan-CLと呼ばれる統合型モデルの一つです（<https://oceanfish.spc.int/en/ofpsection/sam/research/271-multifan-cl>、SPC Oceanic Fisheries Programme、2020年2月20日）。

Multifan-CLは体長組成データに基づき、モデル内部で年齢別漁獲量を推定することから、体長データに基づいた統合型モデルとも呼ばれています（Fournier et al., 1998）。Multifan-CLのベースは齢構成情報を用いた資源解析作業の一連の段階を一つの数式に繋ぎ合わせ、最尤法という数理的手法を用いて最適解を推定するもので、入力した各パラメータの重要度も一定のルールに則って数理的に決定する等随所に洗練された手法が取り入れられています（図2）。パラメータの尤もらしさを測る尤度は、漁獲量、体長・体重、標識データについて算出し、これらのデータとモデル出力が同時に尤も当てはまりが良くなるようなパラメータを探索的に推定します。年齢別漁獲量を推定してから入力データとするVPA（Virtual Population Analysis）と異なる点は、漁業データを直接モ

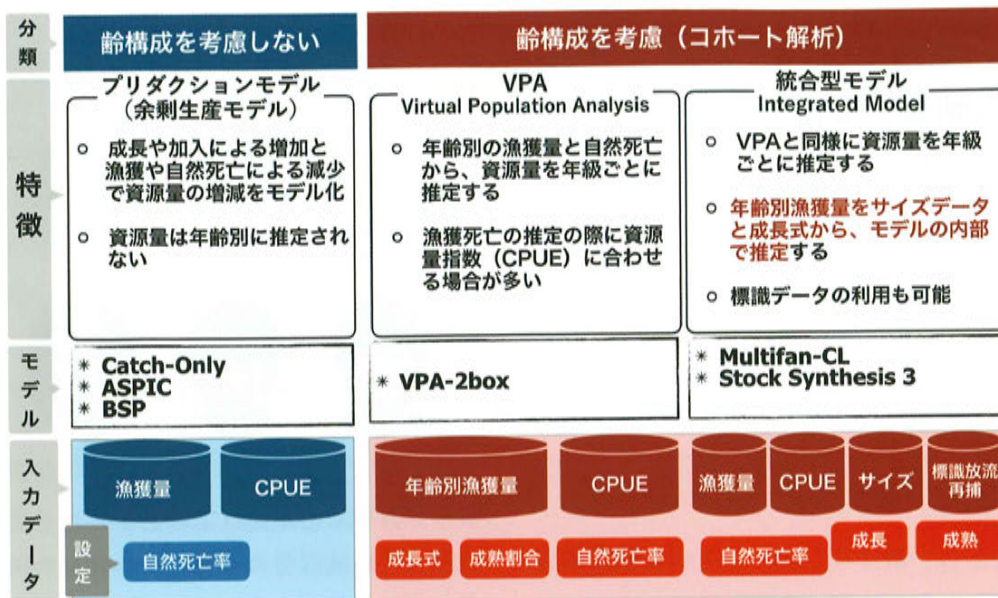


図1. 資源評価モデルの分類、特徴、入力データの概要。

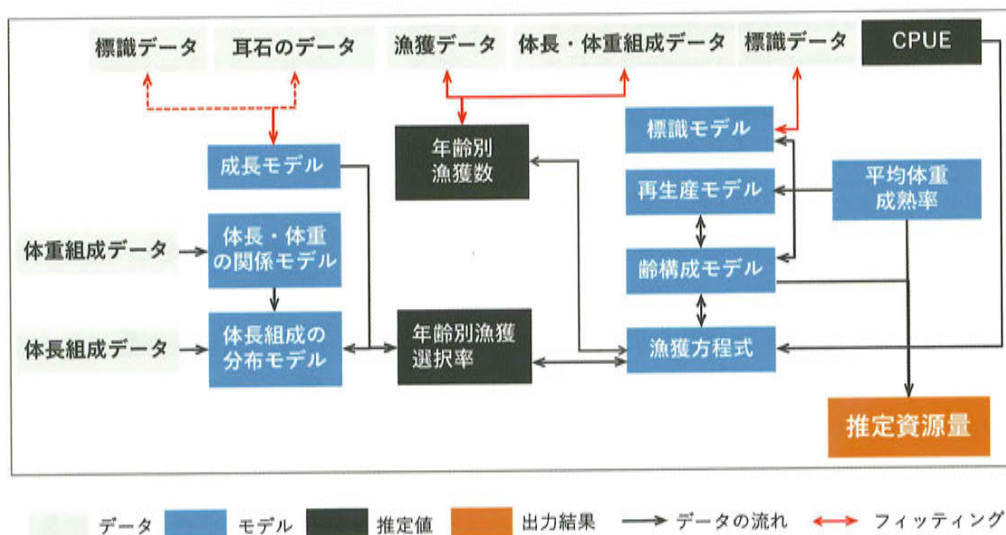


図2. Multifan-CLの模式図。

モデルに入力し、必要な計算は全て一つのモデル内で行うことで、モデルの仮定や誤差などを統一性のある取り扱いが可能となることです。また、VPAでは自然死亡率や成長式など外部から与えますが、これらのパラメータもMultifan-CLのモデル内部で推定可能です。ただし、推定するパラメータ数が数百から数千になることに加え、モデルの構造が非常に複雑なため、データやモデルの仮定を変更した場合、どの様なプロセスを経て最終的な結果が変化したのかが判りづらいという問題があります。したがって、入力データや対象資源の生物学的な仮定を反映したモデル設定などについて、モデルを実行する前に慎重な検討が必要です。

Multifan-CLの大きな特徴は、標識放流再捕データを入力し、対象種の季節回遊を考慮できることにあり、このモデルの一つの売りになっています。このためには明示的に空間構造（海域）を定義する必要があります。カツオは成長とともに広範囲を移動するため、時期・海域・漁法によって漁獲されるサイズが異なることが明らかになっています。このため、明示的に時空間構造を定義することで成長しながら移動するカツオの回遊経路を適切に反映した形で季節や海域を定義でき、漁業データや標識放流データが十分にあれば、Multifan-CLは、それらを用いてモデル内で実際のカツオの成長と回遊を上手く再現することができること

が期待されます。Punt (2019) は、資源評価を実施する前の“暫定的な最善の措置 (tentative best practice)”として、対象とする資源の分布、移動、成長、成熟といった生物情報を考慮した“概念モデル (conceptual model)”の検討から始めることを提唱しています。次章で紹介するカツオの資源評価に適用する海域区分は、様々な情報を考慮して検討した“概念モデル”を構築した結果になります。

### 2019年の中西部太平洋カツオ資源評価に採用された海域区分

中西部太平洋のカツオ資源評価に採用されてきた海域区分は、2005年以降に実施された4回の資源評価で3度変更されましたが、その根拠は必ずしもカツオの生物学的な特徴を反映していませんでした。これは、区分された海域に属する国や操業する漁業の管理とSPCが実施した標識放流調査に重きを置いたことによります。しかし、体長をベースにしたMultifan-CLでは、上述したように定義された海域に出現する対象種のサイズ組成、あるいは年齢構成が重要になります。

2016年の資源評価では、日本から今回検討した海域区分の元となる区分を提案しましたが (Kiyofuji and Ochi 2016)、生物学的に十分に裏付けられていないと判断され、感度解析の一つとして考慮されるに留まりました。カツオ竿釣船が漁獲した1操業毎のカツオの平均体重の空間分布の特徴に基づいた海域区分は、2018年の科学委員会でも報告しました (清藤他、2018)。更に2019年の資源評価に向け、平均体重組成だけでなく、漁業の歴史的な変遷、仔魚の水平分布や成熟様式の空間的な相違、移動と水温分布を加え、総合的に検討した海域区分を作成し報告書に纏めました (Kiyofuji et al. 2019a)。この提案は、2019年4月に開催された資源評価事前会合で議論されました。特に日本近海に出現する体長組成はモードが一つとなり、いくつかのモードが確認された2016年に比べてさらに特徴づけられたと判断され、資源評価に採用されることになりました。その際に考慮した項目 (漁場分布、体重組成、産卵場、成熟様式、移動、水温分布) を図3とともに以下に概説します。

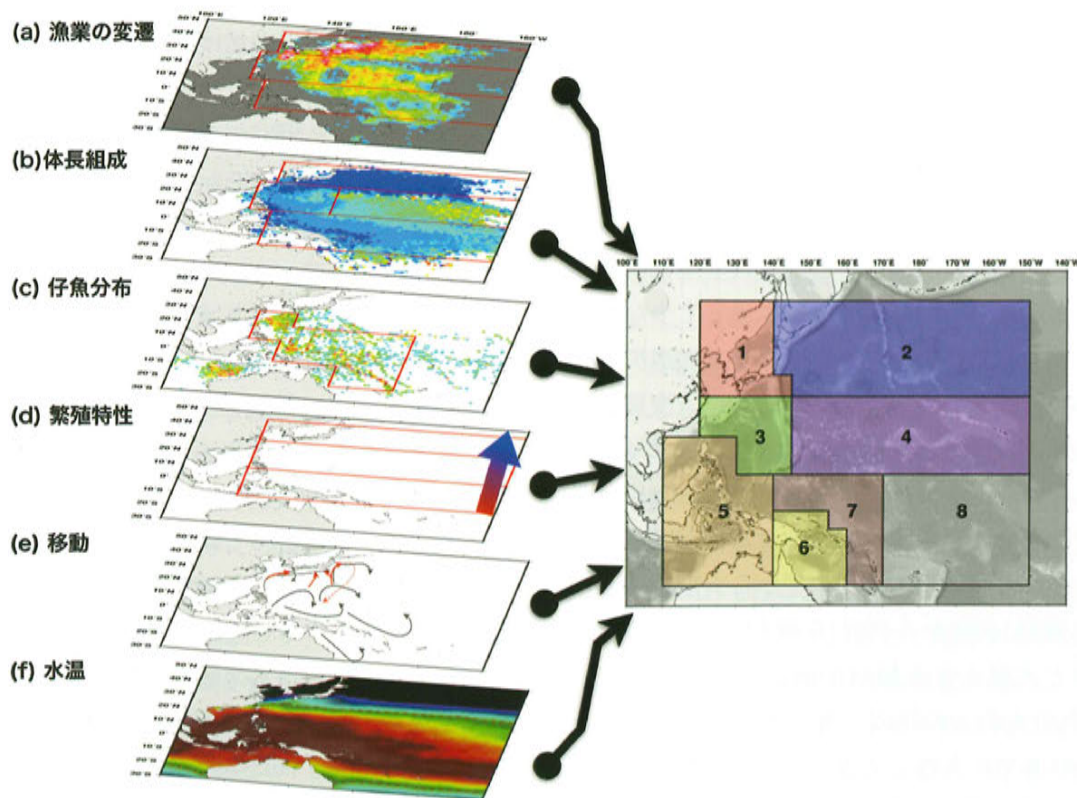


図3. (左) 海域区分で考慮した項目。(a) 漁業の変遷 (1960年代から現在まで)、(b) 体長組成 (Kiyofuji et al., 2019a)、(c) 仔魚分布 (Nishikawa et al., 1985)、(d) 繁殖特性 (Ohashi et al., 2019)、(e) 移動 (Fujino, 1972; Kiyofuji et al., 2019d)、(f) 水温分布。(右) 科学委員会に提案し、合意された資源評価に適用する海域区分。Kiyofuji et al. (2019a) を改変。

漁場分布：

中西部太平洋における漁場は、1960年代に日本の竿釣による漁場が日本近海から南方域へと拡大しました。1980年代に入ると各国まき網船による熱帯域漁場の開発が始まり、漁獲量は急激に増加しました。これ以降、竿釣り・まき網ともに漁具や操業機器の開発と改良を重ねた上、情報収集能力が向上しました。中西部太平洋における歴史的な漁場の変遷と現在の漁場分布から、海域は大まかにまき網船が主に操業する北緯10度以南の熱帯域、日本の近海竿釣り船が漁期始めに操業する亜熱帯域、日本の近海竿釣り船、近海まき網船、沿岸竿釣・ひき縄が操業する日本近海の3海域に区分できると考えました。ただし、これだけの情報だけでは亜熱帯域と日本近海との境界を明確に定義することはできませんでした。

漁獲物の体重組成と移動：

カツオ竿釣船が漁獲した1操業毎のカツオの平均体重の空間分布の特徴は、北緯30度以北には3kg以上のカツオは漁獲されず、二平(1996)が提唱した、大型のカツオは東北沖へ移動せず、小型のカツオのみが北上する“サイズスクリーニング現象”と一致する結果が得られました。2016年の資源評価に適用した海域区分では、南北を北緯20度で分けていましたが、北緯20度以北の海域には、小型個体だけでなく北緯20~30度の水域で漁獲された中・大型個体が混じることになります。しかし、この水域における中・大型個体の漁獲量は北緯30度以北の小型個体漁獲量に比して少なく、年変動も大きく各漁業の漁具選択性のサイズ選択率の推定に大きな影響を与えと予想されました。漁具選択性の推定結果は、資源量推定値に大きな影響を与える可能性があるため正確に推定する必要があるため、亜熱帯と日本近海の境界を北緯30度とするのが妥当と考えました。また、亜熱帯では、中型から大型個体(4~10kg)は東経140度から西経160度付近まで出現し、東の海域ほど大型となる傾向が確認できます。東経140度の東西でも若干の組成の違いが確認できると日本がこれまでに実施してきた標識放流調査海域も考慮に入れ、亜熱帯域を東経140度で東西に区分することが妥当と判断しました。

仔魚の水平分布・成熟様式・移動・水温分布

西部太平洋における歴史的な仔魚の水平分布の特徴から、仔魚の出現頻度は熱帯域と亜熱帯域で高く、緩やかな季節性があることを確認できました。しかしながら、データの可視化だけでは海域を明確に区分する境界を定義することはできませんでした。また、カツオは水温18度以下には生息できないことが明らかになっていることから(Kiyofuji et al. 2019d)、カツオの分布の北限は従来の北緯50度から40度に、南限は南緯20度から30度に修正すべきであると考えられました。これは定義された各海域の面積の比率が資源量推定値に影響されるため、カツオが明らかに分布しない海域を除くのが良いと考えられます。

成熟様式については次章で詳しく説明しますが、産卵に寄与するポテンシャル(産卵時期、頻度など)は、最新の研究で熱帯域から温帯域にかけて小さくなる傾向があることが判りましたが、新しい海区設定は、この結果もよく説明出来ると考えられました。

以上から、図3に示す海域区分を資源評価に適用することを提案し、合意されました。熱帯域の区分については、日本のデータだけでは判断することができなかったため、従来通り、フィリピン・インドネシア海域、西部熱帯域、SPCが大規模標識放流を実施したサンゴ海を含めたパプアニューギニア海域、東部熱帯域の4海域となりました。

カツオ雌の成熟様式の海域による違い：

対象資源の再生産に関する情報(雌雄比、成熟体長、産卵時期・海域、繁殖力)は、産卵親魚量(Spawning Stock Biomass; SSB)を推定するために成長式と並んで基本かつ重要な生物学的な情報になります。特に生活史の中で初めて成熟する体長を可能な限り正確に推定することは、資源評価モデルで産卵親魚量をより正確に推定することにつながり、資源管理で必要となる生物学的管理基準値を精度良く推定するために必須となります。

2016年に実施された中西部太平洋のカツオ資源評価では、過去の断片的な知見に基づき、体長40cmで100%成熟するとの仮定に基づいた成熟率が設定されました。カツオの産卵域や時期については、受精後24時間

で孵化すると考えられる仔魚分布から類推され (Nishikawa et al. 1985)、産卵様式についてはメスの卵巣の組織学的な観察結果から類推されてきました (Asano 1971; Naganuma 1979)。最近の研究では、成熟個体の比率が50%に達する体長 (半数成熟体長) が、西部熱帯域では約50cm (Ashida et al. 2017)、東部太平洋では約47~56cm (Schaefer and Fuller 2019) と報告されています。これらの報告から、2016年に設定された半数成熟体長は過小であったと考えられます。

そこで、中西部太平洋の熱帯から温帯域におけるカツオ雌の再生産に関する情報を調査し、資源評価に適用する成熟パラメーターの妥当性を検討しました。この調査研究には、2つの異なるデータセットを使用しました。一つは、公庁船に依頼してきた1964~2017年に熱帯域・亜熱帯域・温帯域にて収集・蓄積された57,527個体の生殖腺から判別された雌雄のデータ、もう一つは2003~2016年までに熱帯域・亜熱帯域・温帯域にて主に漁業によって収集・蓄積された雌4,701個体の卵巣の成熟段階のデータになります。ここで、成熟様式を調べるための海域の区分は、熱帯域を南緯10度~北緯10度、亜熱帯域は北緯10~30度、温帯域を北緯30~45度としました。

中西部太平洋における雌雄比を調査したサイズのうち95%が尾叉長37~70cmの範囲にあり、雌雄比は概ね1:1でした。雌雄比が1:1であれば、性成熟と成長に係るエネルギー収支が雌雄で変わらないため、成長・成熟・産卵へのエネルギー配分に起因する自然死亡率に雌雄で差が無いことを示唆しています。これは、資源評価モデルで推定する産卵親魚量は、雌雄込みの資源動態を考慮すれば良いことも意味します。ただし、東部太平洋では雄の出現は大型個体に偏ること (Schaefer and Fuller, 2019)、本調査ではデータ数が少ない68cm以上の大型個体でも雄に偏る傾向を示していることから、大型個体でのサンプル数を増やした調査が今後必要と考えています。仮に雌雄に差が出た場合は、雌雄で異なる成長式を検討しなければなりません。

次に卵巣の組織学的な観察結果に基づいた成熟段階の出現について調べた結果を図4に示します (Ohashi et al. 2019)。図4(a)は月別の成熟段階の頻

度を示し、青は未成熟、黄色は発達段階、赤は産卵可能な段階、緑は退行段階を示しています。ここで、成熟段階のうち発達・産卵可能・退行と判断された個体を産卵に寄与が期待できる、あるいは寄与してきた成熟個体と定義すると、亜熱帯域・熱帯域では1年中成熟した個体が出現していることが示唆されます。一方、温帯域では成熟個体の出現時期は、夏季(7、8月)のみに限定されていることが分かります。また、温帯域でのサイズ別の成熟個体の出現頻度も、亜熱帯・熱帯域と比較して少ない傾向を示しています (図4(b))。これらの情報に基づいて推定した半数成熟体長は、熱帯域で50.1cm、亜熱帯域で53.7cm、温帯域で約55.9cmとなり (図4(c))、高緯度になるに従い大きくなる傾向を示しました。この結果は東部太平洋とも類似した結果でしたが、東部太平洋では海域間の資源の交流がほとんど無く、各海域で資源が独立していると考えられており、海洋環境による影響が大きいことが示唆されています (Schaefer and Fuller, 2019)。西部太平洋では、カツオは亜熱帯域から日本近海へ移動し、日本近海から熱帯域へ移動することが最近の標識放流調査の再捕結果から明らかになっていること (Kiyofuji et al. 2019d)、熱帯域と日本近海との資源交流がある程度確認されています (Phillips et al. 2018)。これらの状況証拠から、西部太平洋では、東部太平洋のように海域ごとに資源が独立しているとは考えられません。むしろ季節的な水温の上昇とともに北上回遊し、到達した温帯域は水温が低い代り代謝が低くなり、成熟へのエネルギー配分に要する時間が長くなった結果、温帯域での半数成熟体長が大きくなったと考えるのが妥当でしょう。また、温帯域では少ない鉛直移動により餌を獲得できるため、遊泳深度が深い亜熱帯域と比較すると成長や脂質の蓄積が促進され、獲得するエネルギー量は大きくなると推測されます (Aoki et al. 2017)、温帯域まで北上した個体その後どこに分布・回遊し、どこで産卵するかは不明です。体がこのように、高度回遊性魚類の場合、生息域を変えない魚種とは異なり、水温や餌生物分布の条件により自由に移動することができます。卵巣の観察結果を生物・生態学的に解釈するためには、分布や回遊生態を良く吟味して考察することが必要でしょう。今後、移動・成長・成熟のエネルギー配分を考慮した手法に

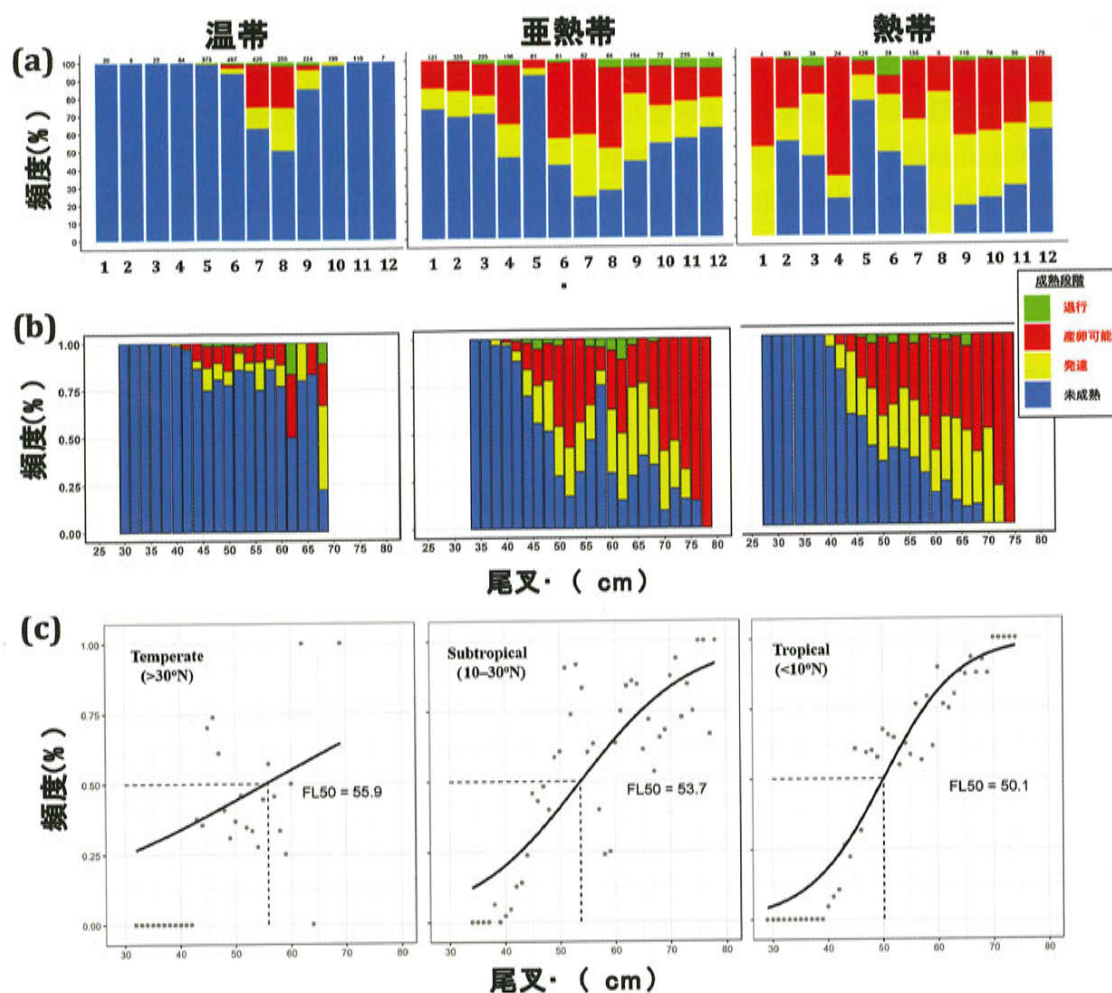


図4. 卵巣の組織学的観察から判断した成熟段階に基づいた月・海域ごとの出現頻度 (a)、サイズ別の出現 (b) と一般化線形モデル (GLM) によって推定された半数成熟体長 (c)。温帯期は産卵期を考慮して7～8月のみのデータを使用し、亜熱帯域はサンプル数が少ない5月を除いた。右：温帯域 (30° N - 45° N)、中央：亜熱帯域 (10 - 30° N)、左：熱帯域 (10° S - 10° N)。Ohashi et al. (2019) を改変。

よる分析が必要と考えています (Aoki et al. 2020)。

### 成熟パラメータが資源量推定値に与える影響

前章では、海域による成熟様式の違いとその生態学的な解釈について概説しました。研究的にはここまでで十分ですが、資源評価の作業では得られた結果を資源評価モデルへ適用することを考えなくてはなりません。現在のMultifan-CLの設定では海域ごとに異なる成熟パラメータを設定できるような仕様にはなっていません。また、2019年の資源評価では様々な設定も変えるために、成熟パラメータのみを変更した場合、それが資源量の推定値へどの程度の影響があるのか判断できないだろうと予想されました。そこで、2016年の資源評価のreference caseを図5(a)に示した成熟パラメータのみを単純に変更した2通りのシナリオを検討

しました (Aoki et al. 2019)。その結果、推定された産卵親魚量は、2016年の結果に比べて約20%程度減少し (図5(b))、2016年の資源評価での推定値が過大であったことを示しました。当然の結果ではありますが、成熟年齢が遅いほど産卵親魚量のレベルは減少し、同時に漁業がないと仮定した場合の親魚量に対する比として示される減耗率も下がりました。しかしながら、親子関係が若干あるとする設定の中、どちらのシナリオでも加入量の違いは確認されませんでした。これは、モデルの加入の逸脱度に関する設定が関係していると考えられ、引き続き検討することになっています。事前会合での議論の結果、2019年の資源評価に採用された成熟パラメータは、カツオの分布の中心である熱帯域での値とし、不確実性のシナリオとして早い成長と遅い成長の場合を考慮することになりました。

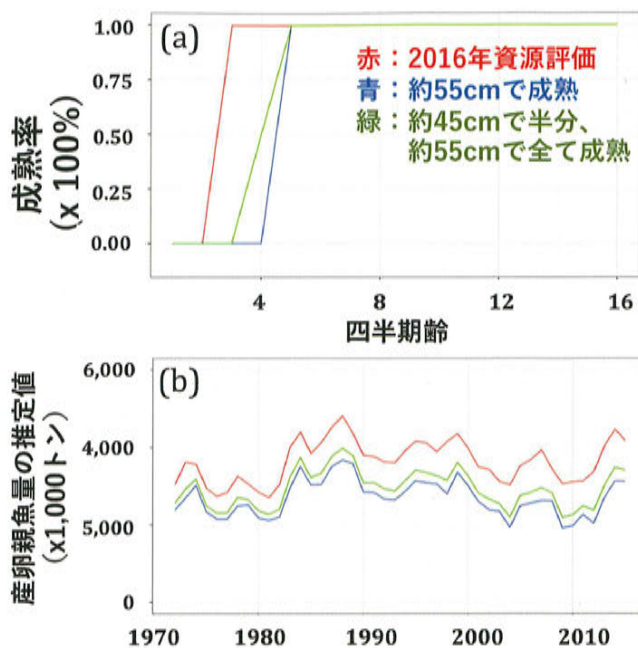


図5. (a) 四半期別の成熟率 (赤: 2016年資源評価、青: 約55cmで成熟、緑: 約45cmで半分、約55cmで全て成熟)。(b) 異なる成熟率の設定で推定した産卵親魚量 (色の凡例は(a)と同じ)。Aoki et al. (2019) を改変。

### 中西部太平洋カツオの資源状態

上述した海域区分での漁獲量、サイズ、CPUE、標識放流再捕データを再度整備し、再検討した成熟パラメータを入力した資源評価の結果を産卵親魚量、漁獲係数と減耗率について図6に示します。中西部太平洋におけるカツオの産卵親魚量は減少傾向を示し、最近年(2014~2018年)の産卵親魚量は過去最低値付近にあることが留意されました。また、推定された漁獲係数は成魚・未成魚ともに増加傾向を示し、2018年には最大に達しました。2018年の産卵親魚量の減耗率(推定された産卵親魚量/漁業が無いと仮定した場合の産卵親魚量)は約44%程度で、暫定的な目標管理基準値である50%を下回っていました。さらに補足すると、減耗率は2010年頃から10年以上、目標管理基準値を下回っていたこととなります。以上のことから、科学委員会は暫定的な目標管理基準値を達成するための適切な管理措置の導入を勧告しました。2019年12月のWCPFC第16回年次会合では、カツオの暫定目標管理基準値の見直しについて議論されましたが、合意には至らず、2020年の年次会合で再度議論することとなりました。

今後の調査研究として科学委員会では、①まき網漁

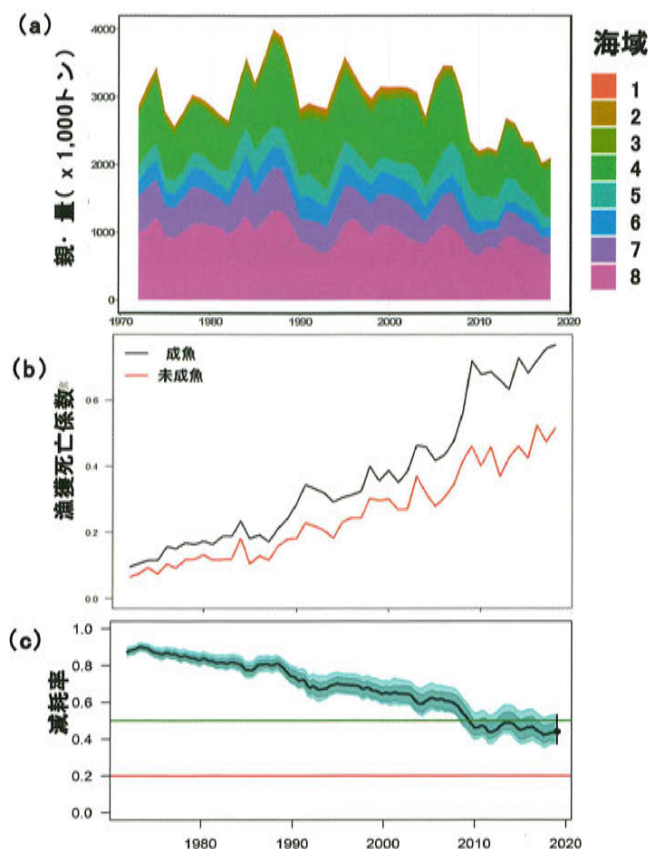


図6. 2019年中西部太平洋カツオ資源評価結果。(a) 推定された産卵資源量と (b) 漁獲係数、(c) 減耗率 (推定された産卵新魚量/漁業がないと仮定した場合の産卵新魚量)。赤線: 生物学的な限界管理基準値 (減耗率20%)、緑線: 暫定的な生物学的な目標管理基準値 (減耗率50%)。Vincent et al. (2019b) を改変。

業データとFADに取り付けられた音響装置から得られた情報に基づいた資源量指数を算出するための研究の継続、②漁業から独立した資源量を算出するための調査研究、③標識放流調査の継続、④成長のための調査研究の実施を勧告することで合意しました。

### まとめと今後の取り組み

2019年の資源評価では、中西部太平洋のカツオの生物・生態学的特徴や漁業構造を実態に即した形のモデル構成を構築したことと適切な生物学的情報を適用することで、2016年よりも精度が高い資源量の推定につながりました。その結果、科学委員会では産卵親魚量は歴史的最低水準にあることが留意され、漁獲圧も増加傾向を示しました。標識放流調査結果などにより、日本近海と熱帯域との資源の交流についてある程度示されてきています。また、温帯域での産卵規模は季節的であり、熱帯域に比べて小さい結果が示されていま

す。日本の沿岸・近海域における漁獲量の低迷は、一部の海外の研究者が主張する日本近海だけの問題だけでは説明できず、中西部太平洋全域における資源量の継続的な減少により、分布の縁辺である日本近海への来遊量の減少を招いた結果、漁獲量が低迷しているとの仮説が考えられます。この仮説をさらに頑健なものとするために、熱帯域・亜熱帯域から日本近海への移動を再現するための成長・成熟を考慮した回遊モデルの開発に取り組んでいます。

次回の資源評価は2022年に予定されています。2016年の資源評価時にも海域区分を提案しましたが、十分に議論する時間を持たず、感度解析に留まったことを考慮し、2019年に向けた取組では4月に開催される資源評価事前会合より前からSPCの研究者と議論を開始しました。対象とする資源の分布・移動・回遊生態を漁業との関連と合わせて良く検討することが大切であり、これらの議論を通して研究者が対象資源の特性を共有することは、モデルの設定や資源評価の結果を検討する際にとっても有益です。WCPFCでは3年ごとに実施される資源評価の間にデータの準備やモデルの仮定を議論する作業部会が開催されないことから、このような対応は今後も必要になると考えています。また、熱帯域、亜熱帯域で実施している標識放流調査と仔稚魚分布調査については、SPCや他国研究者とともに共同で継続する予定です。日本近海から熱帯域への移動を含めた中西部太平洋におけるカツオの移動・回遊の全体像をさらに具体的に記述し、中西部太平洋におけるカツオ資源量の推定精度の向上を目指すとともに資源変動メカニズムを明らかにすることを目標としています。このような取り組みが、日本近海と熱帯域での相反する漁獲量の変動メカニズムを説明する糸口を見つけられると期待し、近い将来、成果の一部を紹介できるように取り組めます。そのためにも、関係する業界や各県水産試験場担当研究者の方々さらなる協力の下で調査研究を推進したいと考えています。

#### 参考文献

- Aoki, Y., Kitagawa, T., Kiyofuji, H., Okamoto, S. and Kawamura, T. (2017) Change in energy intake and coast of transport by skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) during northward migration in the northwestern Pacific Ocean. *Deep-Sea Res. II.* 140: 83 - 93.
- Aoki, Y., Ohashi, S. and Kiyofuji, H. (2019) Evaluation of changes in model settings focusing on the maturity schedule in the reference case model of the 2016 skipjack stock assessment. WCPFC-SC15-2019/SA-WP-12.
- Aoki, Y., Jusup, M., Nieblas, A.-E., Bonhommeau, S., Kiyofuji, H. and Kitagawa, T. (2020) Early-life ontogenetic developments drive tuna ecology and evolution. *J. Mar. Sys.* 206. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2020.10330>
- Asano, M. and Tanaka, T. (1974) Studies on the maturation of the skipjack in the western Pacific Ocean-I. *Bull. Tohoku. Reg. Fish. Res. Lab.* 31, 153-161 (in Japanese with English abstract).
- Ashida, H., Tanabe, T. and Suzuki, N. (2017) Difference on reproductive trait of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* female between schools (free vs FAD school) in the tropical western and central Pacific Ocean. *Environ. Biol. Fish.* 100: 935 - 945.
- Fournier, D.A., Hampton, J. and Sibert, J.R. (1998) MULTIFAN-CL: a length-based, age-structured model for fisheries stock assessment, with application to South Pacific albacore, *Thunnus alalunga*. *Can. J. Fish. Aqua. Sci.* 55: 2105 - 2116.
- Fujioka, K. and Kiyofuji, H. (2019) Quarterly catch data of skipjack caught by coastal troll and coastal pole-and-line fisheries in the Japanese coastal waters. WCPFC-SC15-2019/SA-IP-11.
- Kiyofuji, H. and Ochi, D. (2016) Proposal of alternative spatial structure for skipjack stock assessment in the WCPO. WCPFC-SC12-2016/SA-IP-09.

- 清藤秀理、青木良徳、木下順二、田中文也、大橋慎平、藤岡紘、南浩史 (2018) 中西部太平洋カツオ資源評価 - その精度向上に向けて -。ななつの海から。15: 16-20. (<http://fsf.fra.affrc.go.jp/nanatsunoumi/nanaumi15.pdf>)
- Kiyofuji, H., Aoki, Y., Kinoshita, J., Ohashi, S. and Fujioka, K. (2019a) A conceptual model of skipjack tuna in the Western and Central Pacific Ocean (WCPO) for the spatial structure configuration. WCPFC-SC15-2019/SA-WP-11. 1-19.
- Kiyofuji, H., Ohashi, S., Kinoshita, J. and Aoki, Y. (2019b) Overview of historical skipjack length and weight data collected by the Japanese pole-and-line fisheries both of commercial and research vessel from 1953 to 2017. WCPFC-SC15-2019/SA-IP-11. 1-12.
- Kiyofuji, H., Ohashi, S., Aoki, Y., Masujima, M., Tanaka, F., Fujioka, K., Okazaki, H., Aoki, A., Satoh, K., Fayakun, S., riatna, A. and Taufik. M. (2019c) Overview of recent research cruises in the WCPO and Indonesian archipelagic water by the R/V Shumyo-Maru of NRIFSF. WCPFC-SC15-2019/EB-WP-05. 1-14.
- Kiyofuji, H., Aoki, Y., Kinoshita J., Okamoto, S., Masujima, M., Matsumoto, T., Fujioka, K., Ogata, R., Nakao, T., Sugimoto, N. and Kitagawa, T. (2019d) Northward migration dynamics of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) associated with the lower thermal limit in the western Pacific Ocean. *Prog. Oceanogr.* 175: 55-67.
- Naganuma, A. (1979) On spawning activities of skipjack tuna in the western Pacific Ocean. *Bull. Tohoku. Reg. Fish. Res. Lab.* 40, 1-13 (in Japanese with English abstract).
- 二平章 (1996) 潮境域におけるカツオ回遊群の行動生態および生理に関する研究. 東北区水産研究所研究報告. 58: 137 - 233.
- Nishikawa, Y., Honma, M., Ueyanagi, S. and Kikawa, S. (1985) Average distribution of larvae of oceanic species of Scombroid fishes, 1956 - 1981. *Far Seas. Fish. Res. Lab. S Ser.* 12: 1 - 99 (in Japanese with English abstract).
- Ohashi, S., Aoki, Y., Tanaka, F., Fujioka, K. Aoki, A. and Kiyofuji, H. (2019) Reproductive traits of female skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* in the western and central Pacific Ocean (WCPO). WCPFC-SC15-2019/SA-WP-10. 1-16.
- Phillips, J.S., Gupta, A.S., Senina, I., Sebille, E., Lange, M., Lehodey, P., Hampton, J. and Nicol, S. (2018) An individual-based model of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) movement in the tropical Pacific Ocean. *Prog. Oceanogr.* 164: 63-74.
- Punt, A.E. (2019) Spatial stock assessment methods: A viewpoint on current issue and assumptions. *Fish. Res.* 213: 132 - 143.
- Schaefer, K.M. and Fuller, D.W. (2019) Spatiotemporal variability in the reproductive dynamics of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the eastern Pacific Ocean. *Fish. Res.* 209: 1 - 13.
- Vincent, M.T., Aoki, Y., Kiyofuji, H., Hampton, J. and Pilling, G.M. (2019a) Background analyses for the 2019 stock assessment of skipjack tuna. WCPFC-SC15-2019/SA-IP-04.
- Vincent, M.T., Pilling, G.M. and Hampton, J. (2019b) Stock assessment of skipjack tuna in the western and central Pacific Ocean. WCPFC-SC15-2019/SA-WP-05-Rev2. 148pp.