

令和 6（2024）年度トラフグ伊勢・三河湾系群の資源評価

水産研究・教育機構

水産資源研究所 水産資源研究センター（片町太輔・真鍋明弘・澤山周平）

参画機関：静岡県水産・海洋技術研究所、愛知県水産試験場漁業生産研究所、三重県水産研究所、全国豊かな海づくり推進協会

要 約

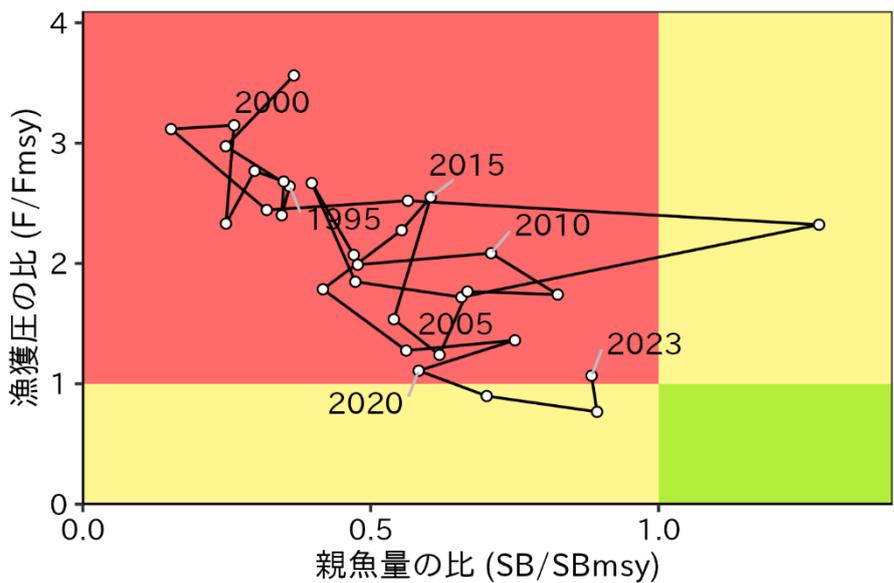
本系群の資源量を、0 歳および 1 歳の資源量指標値をチューニング指標としたコホート解析により推定した。資源量は 1993 年漁期以降、概ね 6～7 年周期で増減を繰り返しており、2023 年漁期は 357 トンと推定された。親魚量は 1993～2002 年漁期には 13～31 トンで推移していたが、2002 年漁期以降は増加傾向にあり、2023 年漁期は 74 トンと推定された。天然由来の加入尾数は 1999 年漁期に 112 万尾、2001 年漁期に 121 万尾と高い値を示したが、2009 年漁期以降は概ね 20 万尾以下で推移しており、2023 年漁期は 119,675 尾と推定された。

本種は栽培対象種であり、本系群では 2023 年漁期に 63 万尾の人工種苗が放流された。2023 年漁期の 0 歳魚漁獲物における人工種苗放流魚の混入率は 19%、放流魚の漁獲加入までの生残率を示す添加効率は 0.04 と推定された。

令和 4 年 11 月に開催された研究機関会議での再生産関係に関する検討に基づき、本系群については、成長や生残に関する特性に基づく生物学的管理基準値を、最大持続生産量 MSY を実現する漁獲圧の代替値（Fmsy proxy）とし、過去の加入状況を考慮して目標管理基準値案を提案する 1B ルールの漁獲管理規則を適用する。Fmsy proxy となる生物学的管理基準値に 15%SPR に相当する漁獲圧を用いて推定された最大持続生産量の代替値（MSY proxy）は 60 トン、MSY を実現する親魚量の代替値（SBmsy proxy）は 84 トンである。この基準に従うと、本系群の 2023 年漁期の親魚量は MSY を実現する水準を下回る。また、本系群に対する 2023 年漁期の漁獲圧は MSY を実現する水準を上回る。親魚量の動向は直近 5 年間（2019～2023 年漁期）の推移から「増加」と判断される。

本系群では、管理基準値や将来予測など、資源管理方針に関する検討会の議論をふまえて作成される項目については管理基準値等に関する研究機関会議において提案された値を暫定的に示した。

要 約 図 表



MSY の代替値、親魚量の水準と動向、および ABC	
MSY を実現する親魚量の代替値	84 トン
2023 年漁期の親魚量の水準	MSY を実現する水準を下回る
2023 年漁期の漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を上回る
2023 年漁期の親魚量の動向	増加
最大持続生産量 (MSY) の代替値	60 トン
2025 年漁期の ABC	-
コメント: ・ABC は、本系群の漁獲管理規則が「資源管理方針に関する検討会」で取り纏められ、「水産政策審議会」を経て定められた後に算定される。	

近年の資源量、漁獲量、漁獲圧、および漁獲割合					
漁期年	資源量 (トン)	親魚量 (トン)	漁獲量 (トン)	F/Fmsy	漁獲割合 (%)
2019	179	63	66	1.36	34
2020	174	49	58	1.10	33
2021	199	59	50	0.89	25
2022	275	75	62	0.76	23
2023	357	74	116	1.07	33
2024	368	112	98	1.00	27
2025	368	188	-	-	-

・2024、2025年漁期の値は将来予測に基づく平均値である。

1. データセット

本件資源評価に使用したデータセットは以下のとおり

データセット	基礎情報、関係調査等
年齢別・漁期年別 漁獲尾数	漁場別漁獲状況調査(周年、静岡県、愛知県、三重県) 生物情報収集調査(周年、静岡県、愛知県、三重県) ・主要市場での魚体測定 漁業種類別月別全長組成調査(周年、静岡県、愛知県、三重県) ・0歳から3+歳に相当する混合正規分布の当てはめによる年齢別漁獲尾数の推定
資源量指数 0歳天然魚資源量 指標値* 1歳魚資源量指標 値*	新規加入量調査(5~7月、三重県) ・サーフネットを用いた着底魚調査の曳網あたり天然稚魚採集尾数 漁場別漁獲状況調査(10月~翌年2月、静岡県、愛知県、三重県) ・ふぐはえ縄漁業による努力量 生物情報収集調査(10月~翌年2月、静岡県、愛知県、三重県) ・ふぐはえ縄漁業による1歳魚漁獲尾数
人工種苗放流尾 数、標識放流魚漁 獲尾数等	栽培漁業用種苗等の生産・入手・放流実績(水産庁増殖推進部、国立 研究開発法人水産研究・教育機構、公益社団法人全国豊かな海づくり 推進協会)(1993~2022) 生物情報収集調査(静岡県、愛知県、三重県) 資源増大技術開発事業報告書一回帰型回遊性種-(トラフグ)(佐賀 県ほか 2006)
自然死亡係数 (M)	年当たり $M=0.25$ を仮定(田中 1960)

*はコホート解析におけるチューニング指数である。

本系群の漁期は4月~翌年3月であり、年齢の起算日は4月1日としている。

2. 生態

(1) 分布・回遊

トラフグ伊勢・三河湾系群は紀伊半島東岸から駿河湾沿岸域を主な生息海域とし(図2-1)、標識放流調査の結果等(安井・濱田 1996)から、他の海域の資源とは独立した一つの系群と考えられている(伊藤 1997)。近年、本系群の生息海域の外側東方に位置する東京湾周辺海域において本種の漁獲の増加がみられている(櫻井ほか 2013、高草木 2020)。

(2) 年齢・成長

体サイズは1歳で全長26 cm、体重0.4 kg、2歳で全長40 cm、体重1.4 kg、3歳で全長48 cm、体重2.9 kgに達する(図2-2)。寿命は10年以上と考えられている。

(3) 成熟・産卵

産卵期は4～5月と考えられ、成熟年齢は雄で2歳、雌で3歳である(三重県ほか 1998)。伊勢湾口部の産卵場で漁獲されるトラフグ成熟親魚は性比が著しく雄に偏るが、これは雌が産卵後速やかに産卵場から離れるのに対して、雄は繁殖期を通して長く産卵場にとどまるという本種の産卵生態によるものと考えられる(藤田 1996)。産卵場としては底質の粒径が2 mm以上の礫混じりの粗砂を選択的に利用しており、このような条件を備えた産卵場として、三重県安乗岬の沖合および愛知県渥美半島の外海に位置する通称「出山」の周辺水域が知られている(神谷ほか 1992、中島 2001、白木谷ほか 2002)。卵は直径1.2～1.4 mmの球形で乳白色不透明の沈性粘着卵である。海底の表面に産み付けられ、孵化までには7～12日間を要する。

(4) 仔稚魚

全長約3 mmでふ化した仔魚は、潮流により伊勢湾内および三河湾内に輸送され、全長10 mm前後にまで成長すると湾中央部から奥部に広がる砂浜海岸の砕波帯に着底する(中島ほか 2008、津本 2013)。干潟域や河口域で全長60 mm前後に達した稚魚は伊勢湾内および三河湾内の水深10 m以浅の砂底域へと移動し、以後、各湾全域に分散すると推察される。

(5) 被捕食関係

食性は、仔魚後期までは専ら動物プランクトン、稚魚期は端脚類、十脚類、多毛類、昆虫類を捕食する(津本 2013)。未成魚期はイワシ類、その他の幼魚や甲殻類を、成魚期は甲殻類や魚類を好んで捕食する(落合・田中 1986)。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

本系群は、1975年頃から漁業対象となった比較的新しい資源であり、1989年漁期に漁獲量が400トンを超え、これを契機として水産資源としての重要性が高まった(船越 1990)。本系群を対象とした漁業には、ふぐはえ縄漁業(静岡県、愛知県、三重県)、小型機船底びき網漁業(愛知県、三重県)およびまき網漁業(三重県)がある(図3-1、3-2)。小型機船底びき網漁業の操業海域は、伊勢湾、三河湾および渥美半島外海の3海域に大別される。

4～5月に産まれた0歳魚は、その年の秋季には全長25 cm、体重0.3 kg程度に成長して伊勢湾および三河湾で操業する愛知県および三重県の小型機船底びき網漁業により漁獲される。0歳の冬季以降には渥美半島の外海で操業する愛知県の小型機船底びき網漁業により漁獲されるようになる。その後、1歳の秋季には全長35 cm、体重1.0 kg程度に成長して伊勢湾口沖を中心とした遠州灘から熊野灘にかけての海域で静岡県、愛知県および三重県のふぐはえ縄漁業の漁獲対象となる。

小型機船底びき網漁業については、資源回復計画の対象となった2002年度から25 cm以下の小型魚を再放流するという資源管理措置が導入されるとともに、伊勢湾および三河湾の操業海域においては2002年度より、渥美半島外海の操業海域においては2007年度より水揚げ制限が実施された。資源回復計画は2011年度で終了したが、同計画で実施されてき

た管理措置は、2012年度以降も新たな枠組みである愛知県および三重県海区漁業調整委員会指示や、伊勢湾・三河湾小型機船底びき網漁業対象種資源回復計画のもとで継続して実施されている。

ふぐはえ縄漁業については静岡県、愛知県および三重県における操業秩序の維持と資源管理を目的とした資源管理協定があり、操業期間（10月～翌年2月末）、漁法（松葉漁具、灯火の制限）、魚体（700g未満採捕制限）等の制限措置が実施されている。近年は解禁当初の漁獲努力量を重点的に抑制し、5ヶ月間の漁期を通じた水揚げの安定化並びに漁獲金額の最大化に向けた操業スタイルの転換が進められている。

三重県安乗岬の沖合では4～5月の産卵期に、産卵場へ集群する成熟親魚が、少量ながらまき網漁業により漁獲されていた。しかし、2006年漁期以降は成熟親魚のまき網による漁獲は自主規制されている。

(2) 漁獲量の推移

本系群の漁獲量は、1993年漁期は302トンであったが、2002年漁期には560トンに増加した（図3-1、3-2、表3-1）。その後、2021年漁期の50トンまで減少傾向であったが、2022年漁期以降、増加しており、2023年漁期の漁獲量は116トンであった。

2023年漁期の漁獲量の漁業種類別の内訳は、小型機船底びき網漁業（伊勢湾・三河湾）が20.4トン（17.6%）、小型機船底びき網漁業（渥美外海）が12.6トン（10.9%）、ふぐはえ縄漁業が83.1トン（71.5%）であった（補足表2-7）。

(3) 漁獲物の年齢組成

年齢別漁獲尾数を図3-3、3-4、補足表2-3～2-6に示す。2023年漁期の年齢組成は、0歳魚が31.0%（3.57万尾）、1歳魚が53.9%（6.19万尾）、2歳魚が9.0%（1.04万尾）、3+歳魚が6.0%（0.69万尾）であった。過去の漁獲尾数は、0歳魚および1歳魚の漁獲が全漁獲尾数の7～9割を占め、2001年漁期以前では多くの年で0歳魚が5割程度の個体数を占めていたが、資源回復計画が開始された2002年漁期以降は0歳魚の漁獲が減少し、1歳魚の漁獲が中心となった。2023年漁期は0歳魚および1歳魚の漁獲尾数が大幅に増加した。

2023年漁期における漁業種類別の漁獲尾数の年齢組成は、小型機船底びき網漁業（伊勢湾・三河湾）では0歳魚が72%（2.6万尾）、1歳魚が18%（0.6万尾）、2歳魚が9%（0.3万尾）、3+歳魚が1%（0.1万尾）であった（補足表2-8）。小型機船底びき網漁業（渥美外海）では、0歳魚が58%（1万尾）、1歳魚が25%（0.4万尾）、2歳魚が13%（0.2万尾）、3+歳魚が4%（0.1万尾）であった。ふぐはえ縄漁業では1歳魚が83%（5.1万尾）、2歳魚が8%（0.5万尾）、3+歳魚が9%（0.6万尾）であった。なお、2006年漁期以降、ふぐはえ縄漁業では0歳魚は漁獲されていない。

(4) 漁獲努力量

資源回復計画の対象であった小型機船底びき網漁業について、三重県および愛知県における漁期年別の延べ操業隻数、0歳魚の漁獲尾数、漁獲量およびCPUE（漁獲量/隻・日）を表3-2～3-4に示す。三重県における小型機船底びき網漁業の延べ操業隻数は2001年漁期には1,121隻・日であったが、資源回復計画がスタートした2002年漁期以降は漸減し、

2007年漁期以降は500隻・日以下に抑制されている（表3-2）。2023年漁期の延べ操業隻数は162隻・日であった。また、三重県の当該漁業における0歳魚漁獲量は、2001年漁期には9トンであったが、資源回復計画の実施に伴い急減し、2002年漁期以降は2トン未満に減少している。

愛知県豊浜漁港における小型機船底びき網漁業の延べ操業隻数等を表3-3に示す。延べ操業隻数は1994年漁期の11,008隻・日から減少傾向にあり、2023年漁期は3,776隻・日となった。当該漁業の0歳魚CPUEは1997、1999、2001年漁期にそれぞれ3.1、6.7、3.7kg/隻・日と高い値を示したが、2002年漁期以降は0.3～2.1kg/隻・日の間を増減しており、2023年漁期は1.9kg/隻・日となった。

愛知県渥美外海における小型機船底びき網漁業の延べ操業隻数等を表3-4に示す。延べ操業隻数は1995年漁期の712隻・日から2008年漁期の1,350隻・日にかけて増加したが、2009年漁期以降は1,116～1,341隻・日の間を増減しており、2023年漁期は1,232隻・日であった。当該漁業の0歳魚CPUEは1999年漁期の47.2kg/隻・日を最大に、2010年漁期以降は0.2～3.0kg/隻・日の間を増減しており、2023年漁期は2.7kg/隻・日となった。

東海3県を合計したふぐはえ縄漁業の延べ操業隻数は、2000年漁期の12,074隻・日をピークとして減少傾向にあり、2011年漁期以降は4,000隻・日以下で推移している（表3-5）。近年は、漁獲量の減少並びに魚価安傾向を勘案して、漁業者による自主的な努力量の抑制がさらに進められており、2023年漁期の延べ操業隻数は1,578隻・日であった。

4. 資源の状況

(1) 資源評価の方法

資源尾数は、0～2歳魚および3歳魚以上（プラスグループ）の年齢別漁獲尾数をもとに、資源量指標値によるチューニングを行ったコホート解析（チューニングVPA）により計算した（補足資料1、2）。1993～2023年漁期の年齢別漁獲尾数を用い、誕生日を4月、年当たりの自然死亡係数（M）を0.25と仮定して、Popeの近似式により年齢別資源尾数を推定した。Mは寿命を10歳として田中（1960）の手法を用いて推定した。さらに、年齢別資源尾数に年齢別平均体重を乗じて年齢別資源量を求め、それらを合計することにより資源量とした。チューニングには、2004年漁期以降のサーフネット調査による1曳網あたりのトラフグ天然稚魚採集尾数を標準化したCPUEを、0歳天然魚資源量指標値として用いた（Nishijima et al. 2023）。また、1995年漁期以降のふぐはえ縄漁業の月別延べ操業隻数および1歳魚月別漁獲尾数からDeLury法により推定した1歳魚初期資源尾数を1歳魚資源量指標値として用いた（Nishijima et al. 2019）。資源量指標値の求め方の詳細については補足資料3に示した。

(2) 資源量指標値の推移

コホート解析のチューニングに利用した0歳天然魚資源量指標値および1歳魚資源量指標値を図4-1、4-2、補足表2-2に示す。加入量の指標となる0歳天然魚資源量指標値は2006年漁期の152.4を最大、2020年漁期の4.9を最低として増減を繰り返している。令和4（2021）年度評価（FRA-SA2022-AC-74）において、2021および2022年漁期の0歳天然魚資源量指標値は6.8および6.2であり、指標値が得られている20年間（2004～2023年漁期）におい

て順に 3 番目および 2 番目に低い値であったが（真鍋ほか 2023）、本年度評価において 2024 年漁期の調査結果を含めて標準化することにより、それぞれ 8.5 および 10.1 と上方修正された。また、2024 年漁期の 0 歳天然魚資源量指標値は 11.1 と推定された。

1 歳魚資源量指標値は、2002 年漁期の 529,909 を最大、1996 年漁期の 17,935 を最小として増減を繰り返しており、2023 年漁期は 119,422 であった（図 4-2、補足表 2-2）。なお、1 歳魚資源量指標値の算出に伴って得られる 1 歳魚に対するふぐはえ縄漁業の漁具能率は、2000 年漁期の 0.000191 を最低として 2021 年漁期の 0.000397 まで上昇したが、2023 年漁期は 0.000368 と推定された（図 4-3）。

(3) 資源量と漁獲圧の推移

チューニング VPA により推定した資源量を図 4-4、表 4-1、補足表 2-3～2-6 に示す。資源量は 1993 年漁期以降、概ね 6～7 漁期年周期で増減を繰り返しているが、増加時のピークの資源量は、856 トン（2002 年漁期）、448 トン（2007 年漁期）、305 トン（2014 年漁期）のように、近年になるにつれて減少する傾向がみられる。2020 年漁期は過去 2 番目に低い 174 トンと推定されたが、2021 年漁期以降は増加に転じ、2023 年漁期は 357 トンとなった。

本系群は雄が 2 歳、雌が 3 歳から成熟するが、実際の産卵量への寄与という点を考慮し、3 歳以上の資源量を親魚量として算出した。親魚量は 1993～2002 年漁期までは 13～31 トンで推移したが、2001 年級群が卓越年級群であったことに伴って 2004 年漁期には 107 トンに達した（図 4-5、表 4-1）。2005 年漁期以降は増減を繰り返しながらも増加傾向にあり、2023 年漁期の親魚量は 74 トンと推定された。

本系群では自然死亡係数（M）を 0.25 と仮定している。感度分析として M を 0.15 および 0.35 に変化させた場合の 2023 年漁期の資源量、親魚量および加入量（0 歳魚資源尾数）を推定した（図 4-6）。その結果、M を大きくするといずれの推定値も増加した。

漁獲割合は 1993 年漁期の 68% をピークとして、それ以降減少傾向にあり、2023 年漁期は 33% であった（図 4-4、表 4-1）。

年齢別漁獲係数（F）の推移を図 4-7、補足表 2-3～2-6 に示す。0 歳魚に対する F は 1990 年代には 0.5 を超える高い値であった。資源回復計画がスタートした 2002 年漁期以降では 2017 年漁期を除き 0.2～0.3 程度の低い値で安定しており、2023 年漁期の 0 歳魚に対する F は 0.32 と推定された。1 歳魚および 2 歳魚以上に対する F は、1993 年漁期以降、減少傾向にあり、2023 年漁期は 1 歳魚の F が 0.58、2 歳魚および 3+ 歳魚の F が 0.36 であった。2023 年漁期の 0～3+ 歳魚の F の単純平均（F2023）は 0.41 と推定された。

(4) 種苗放流と加入量

本系群の加入動態は不安定であり、資源の安定的な維持・造成を目的として、1980 年代から人工種苗放流が実施され、1993 年漁期以降においては 18.7 万～78.7 万尾が放流されてきた（図 4-8、表 4-2）。2023 年漁期の放流尾数は 62.6 万尾であり、混入率は 18.7%、添加効率は 0.04% と推定された（補足資料 4）。放流尾数と添加効率に基づき算定した 0 歳放流資源尾数を、0 歳魚資源尾数全体から減ずることで、0 歳天然魚資源尾数が計算される。なお、2023 年漁期は上記の放流尾数以外にも自主放流が行われている。

0歳魚資源尾数は、1999年漁期の114.4万尾、2001年漁期の123.8万尾といった高い値を含めて1993年漁期以降概ね5～6年周期で増減しており、2023年漁期は14.7万尾であった（図4-9、表4-1）。天然由来の0歳魚資源尾数も、1999年漁期の112.3万尾、2001年漁期の120.7万尾といった高い値を含めて1993年漁期以降概ね5～6年周期で増減しており、2023年漁期は12.0万尾と推定された。人工種苗由来の0歳魚資源尾数は1993年漁期以降、安定して推移しており、2023年漁期は2.7万尾と推定された。

放流魚の添加効率は、1993年漁期以降、概ね0.04～0.06で安定して推移しているが、放流魚の混入率は、天然魚の加入の多寡に応じて2～42%の範囲で大きく変動している（図4-10、4-11、表4-2）。

(5) 加入量当たり漁獲量（YPR）、加入量当たり親魚量（SPR）および現状の漁獲圧

選択率の影響を考慮して漁獲圧を比較するため、加入量あたり親魚量（SPR）を基準に、漁獲が無かった場合との比較を行った。図4-12と表4-1に、漁獲が無かったと仮定した場合のSPRに対する、漁獲があった場合のSPRの割合（%SPR）の推移を示す。%SPRは漁獲圧が低いほど大きな値となる。1993～2012年漁期の%SPRは0.5～5.3%と極めて低く算出されたが、2010年代後半以降は増加傾向にあり、2023年漁期は13.7%となった。

様々な生物学的管理基準（漁獲係数）とFmsy proxyの関係を図4-13に示す。Fmsy proxyの%SPRはFmaxと同等の15.2%であり、F0.1よりも高い値となっている。一方、現状の漁獲圧である直近3年間（2021～2023年漁期）の平均F値（F2021-2023）の%SPRは17.5%となり、Fmsy proxyの%SPRを上回っている。ここで、F2021-2023は、Fmsy proxyの推定時に用いた選択率、年齢別平均体重および成熟割合の下で、%SPRが17.5%となる漁獲係数である。

(6) 加入量の見積もり

本系群における天然由来の加入尾数の推移を図4-14に示す。令和4年11月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」において、本系群の将来予測では再生産関係に基づいた加入量予測を行わず、2009～2020年漁期の天然由来の加入尾数に対して当てはめた対数正規分布に基づく加入量予測を行うこととなった（真鍋ほか2022、補足表8-1）。

(7) 現在の環境下においてMSYを実現する水準の代替値

現在（2009～2020年漁期）の環境下における最大持続生産量（MSY）の代替値（MSY proxy）は60トン、MSYを実現する親魚量の代替値（SBmsy proxy）は84トンとなっている（補足表8-2）。

(8) 資源の水準・動向および漁獲圧の水準

MSYを実現する親魚量の代替値（SBmsy proxy）と、MSYを実現する漁獲圧の代替値（Fmsy proxy）を基準にした神戸プロットを図4-15に示す。2023年漁期の親魚量はSBmsy proxyを下回り、SBmsy proxyの0.88倍となっている（補足表8-3）。また、2023年漁期の漁獲圧はFmsy proxyを上回り、Fmsy proxyの1.07倍となっている。なお、神戸プロットに示した漁獲圧の比（F/Fmsy proxy）とは、各漁期年のFの選択率の下で、Fmsy proxyの%SPR

を与える F 値と、各漁期年の F 値との比である。親魚量の動向は、直近 5 年間（2019～2023 年漁期）の推移から増加と判断される。

5. 資源評価のまとめ

2023 年漁期の資源量は 357 トンと推定され、2021 年漁期以降、増加傾向である。全年齢を平均した漁獲圧は、1993 年漁期以降、減少傾向である。親魚量は 2000 年代後半以降、増加傾向であり、2023 年漁期は 74 トンと推定された。

6. その他

伊勢湾・三河湾小型機船底びき網漁業対象種資源回復計画の対象となった小型機船底びき網漁業では、2002 年漁期から 25 cm 以下の小型魚を再放流するという資源管理措置が導入されたことにより（水産庁 2002）、当該漁業による 0 歳魚の漁獲量は、それまでと比較して大幅に抑制され（表 3-2、3-3）、小型魚の保護が図られた。

本系群は不定期に発生する卓越年級群の影響により資源が大きく変動するが、少ない親魚量からでも卓越年級群が発生しており（図 6-1）、本系群の再生産成功には海洋環境が影響していることが示唆されている（青木ほか 2016）。また、2009 年漁期以降の再生産成功率は低い水準で推移しており（図 4-5）、今後も海洋環境要因や生物学的要因の解明に向けた科学的知見の集積が必要である。

なお、各県からの情報提供によれば、2021 年漁期の 10 月から 12 月にかけてトラフグ漁場にサバフグ類（クロサバフグ・シロサバフグ）が多く出現し、ふぐはえ縄漁の縄が切られるという事象が多発した。そのため、ふぐはえ縄漁の出漁数が減少し、漁獲量の減少などにつながったと推察される。

7. 引用文献

- 青木一弘・児玉真史・黒木洋明・鈴木重則・津本欣吾・岡田 誠・久野正博・横山文彬・加藤毅士 (2016) トラフグ伊勢・三河湾系群の再生産に関わる海洋環境変動. 水産海洋研究, **80**, 20-26.
- 藤田矢郎 (1996) トラフグの生物学. さいばい, 日本栽培漁業協会, **79**, 15-18.
- 船越茂雄 (1990) 平成元年の太平洋岸におけるトラフグの特異豊漁現象について - 遠州灘から伊勢湾口を中心として -. 水産海洋研究, **54**, 322-323.
- 伊藤正木 (1997) 移動と回遊からみた系群. 「トラフグの漁業と資源管理」多部田修編, 恒星社厚生閣, 東京, 41-52.
- 神谷直明・辻ヶ堂諦・岡田一宏 (1992) 伊勢湾口部安乗沖におけるトラフグ産卵場. 栽培漁業技術開発研究, **20**, 109-115.
- 真鍋明弘・平井慈恵・片町太輔・澤山周平・青木一弘 (2023) 令和 4 (2022) 年度トラフグ伊勢・三河湾系群の資源評価. FRA-SA2022-AC-74, 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, 56 pp. https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2023/06/details_2022_74.pdf
- 三重県・愛知県・静岡県 (1998) トラフグ資源管理推進指針. 太平洋中区資源管理推進指針, トラフグ, 太平洋中区資源管理型漁業推進協議会, 1-20.
- 中島博司 (2001) 伊勢湾口部トラフグ産卵場の規模と産着卵の分布について. 三重水技セ

- 研報, **9**, 1-8.
- 中島博司・津本欣吾・沖 大樹 (2008) 伊勢湾の砂浜海岸砕波帯に出現したトラフグ稚魚について. 水産増殖, **56**, 221-229.
- Nishijima S., S. Suzuki, M. Ichinokawa, and H. Okamura. (2019) Integrated multi-timescale modeling untangles anthropogenic, environmental, and biological effects on catchability. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **76**, 2045-2056.
- Nishijima S., S. Suzuki, R. Fukuta, and M. Okada. (2023) Modeling pulse dynamics of juvenile fish enables the short-term forecasting of population dynamics in Japanese pufferfish: A latent variable approach and hindcasting. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **80**, 1017-1031.
- 落合 明・田中 克 (1986) トラフグ, カラス. 「新版魚類学 (下)」, 恒星社厚生閣, 東京, 1024-1026.
- 佐賀県・山口県・三重県・愛知県・静岡県・秋田県 (2006) 平成 17 年度資源増大技術開発事業報告書 回帰性回遊性種 (トラフグ).
- 櫻井 繁・一色竜也・鈴木重則 (2013) 神奈川県におけるトラフグ水揚量と種苗放流の関係. 神水セ研報, **6**, 9-15.
- 白木谷卓哉・田中健二・岩田靖宏・家田喜一・石川雅章 (2002) 伊勢湾口部におけるトラフグの産卵場および産卵時期. 愛知水試研報, **9**, 27-31.
- 水産庁 (2022) 伊勢湾・三河湾小型機船底びき網漁業対象種資源回復計画. https://www.jfa.maff.go.jp/j/suisin/s_keikaku/pdf/isewan_mikawawan_kosoko.pdf (最終アクセス日 2023/07/11)
- 高草木将人 (2020) 千葉県沿岸におけるトラフグの漁獲状況と放流効果調査について. 東京湾の漁業と環境, **11**, 25.
- 田中昌一 (1960) 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海水研報, **28**, 1-200.
- 津本欣吾 (2013) 伊勢湾西部砂浜海岸に出現したトラフグ稚魚の食性. 黒潮の資源海洋研究, **14**, 105-108.
- 安井 港・濱田貴史 (1996) 遠州灘・駿河湾海域におけるトラフグの標識放流結果からみた移動. 静岡水試研報, **31**, 1-6.

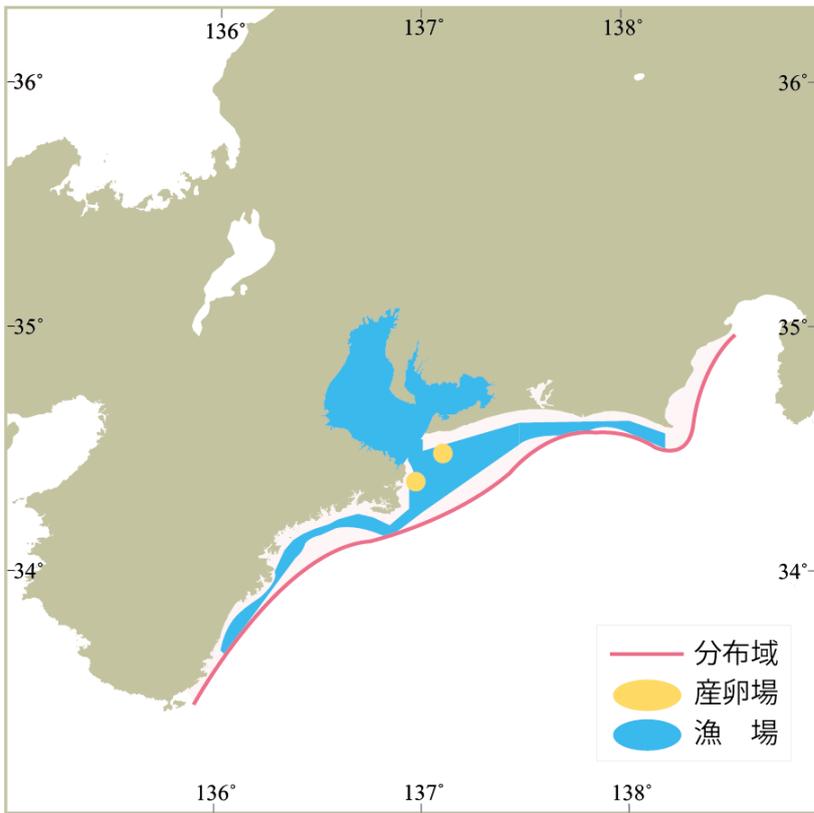


図 2-1. 分布域と主産卵場の模式図

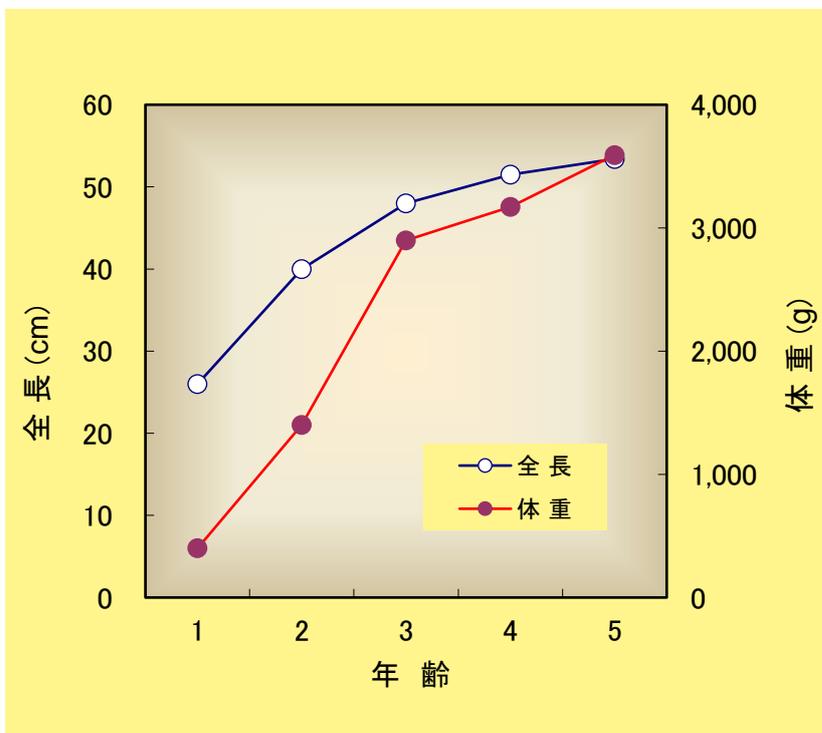


図 2-2. 年齢と成長 (4月時点)

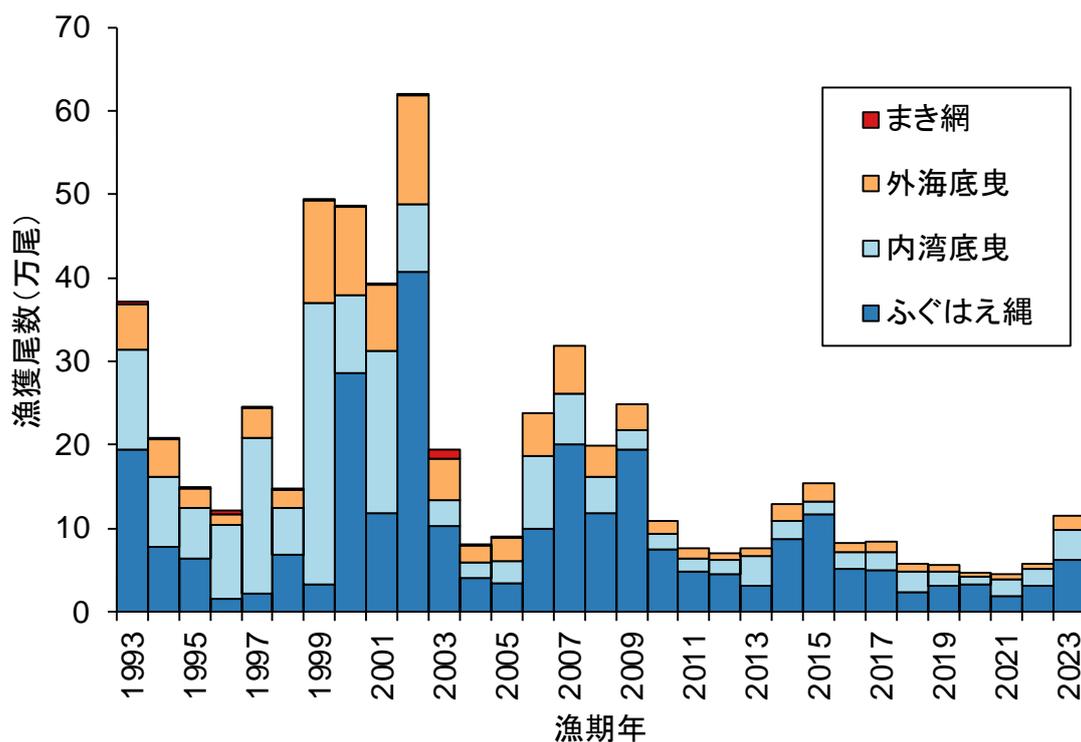


図 3-1. 漁業種類別漁獲尾数の推移

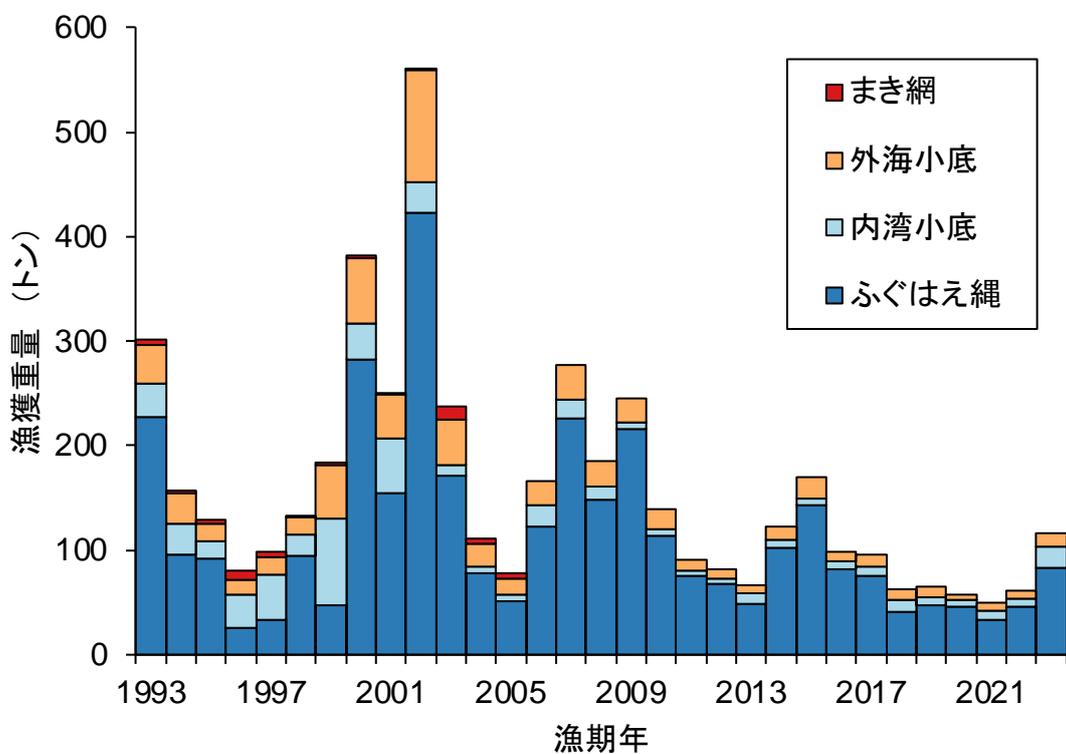


図 3-2. 漁業種類別漁獲量の推移

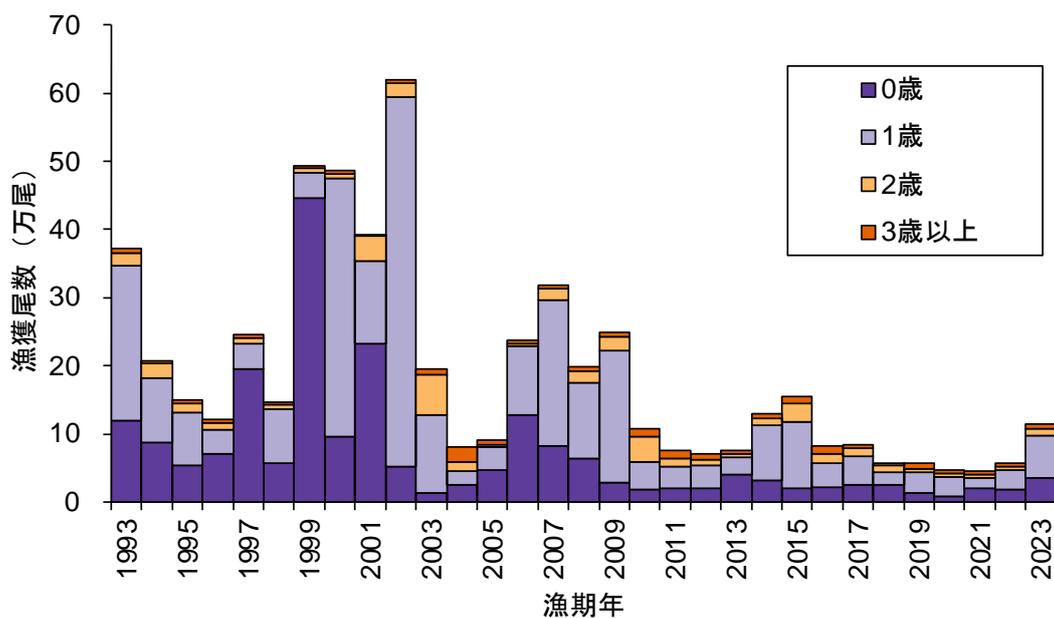


図 3-3. 年齢別漁獲尾数の推移

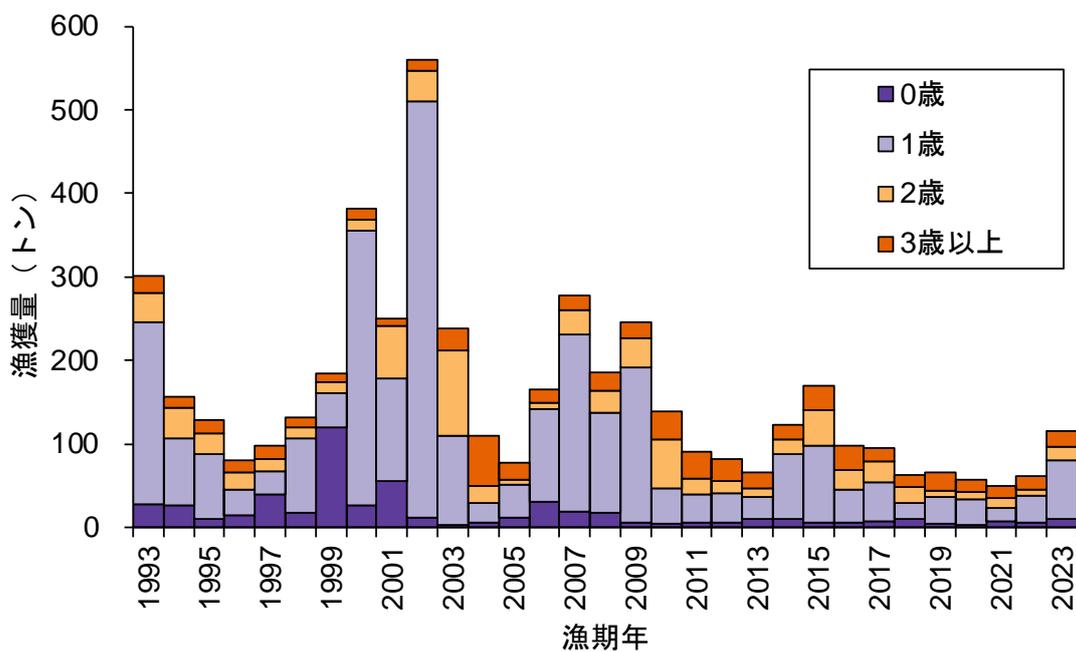


図 3-4. 年齢別漁獲量の推移

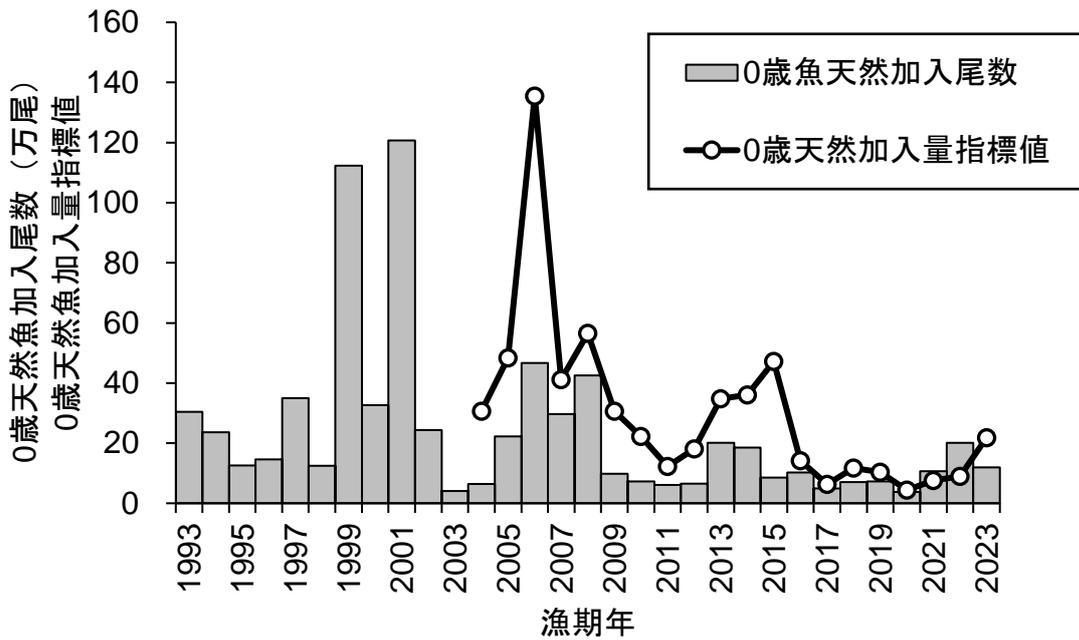


図 4-1. 0 歳天然魚資源尾数（灰色）と 0 歳天然魚資源量指標値の推移（黒実線）

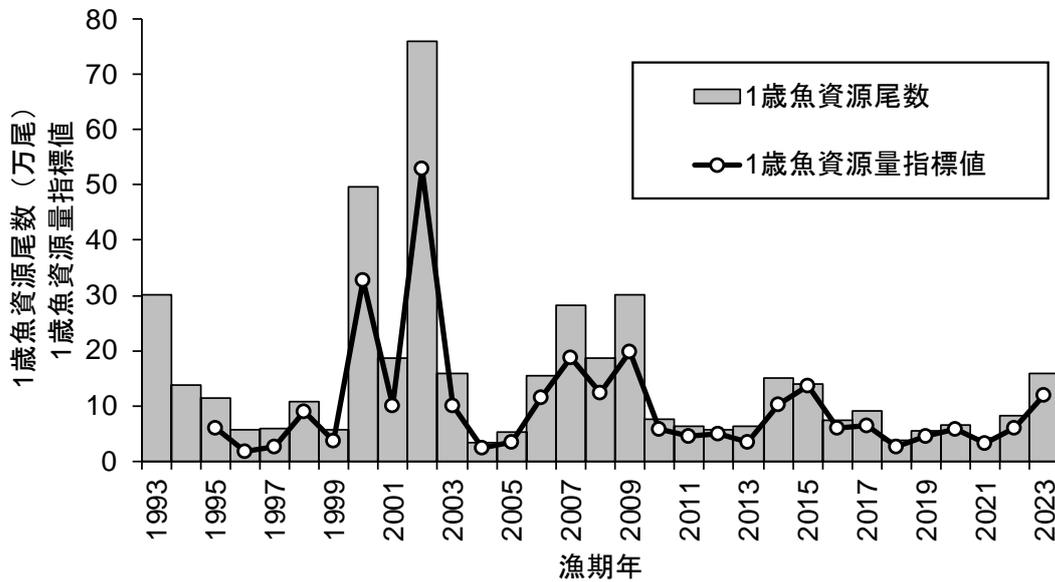


図 4-2. 1 歳魚資源尾数と 1 歳魚資源量指標値の推移

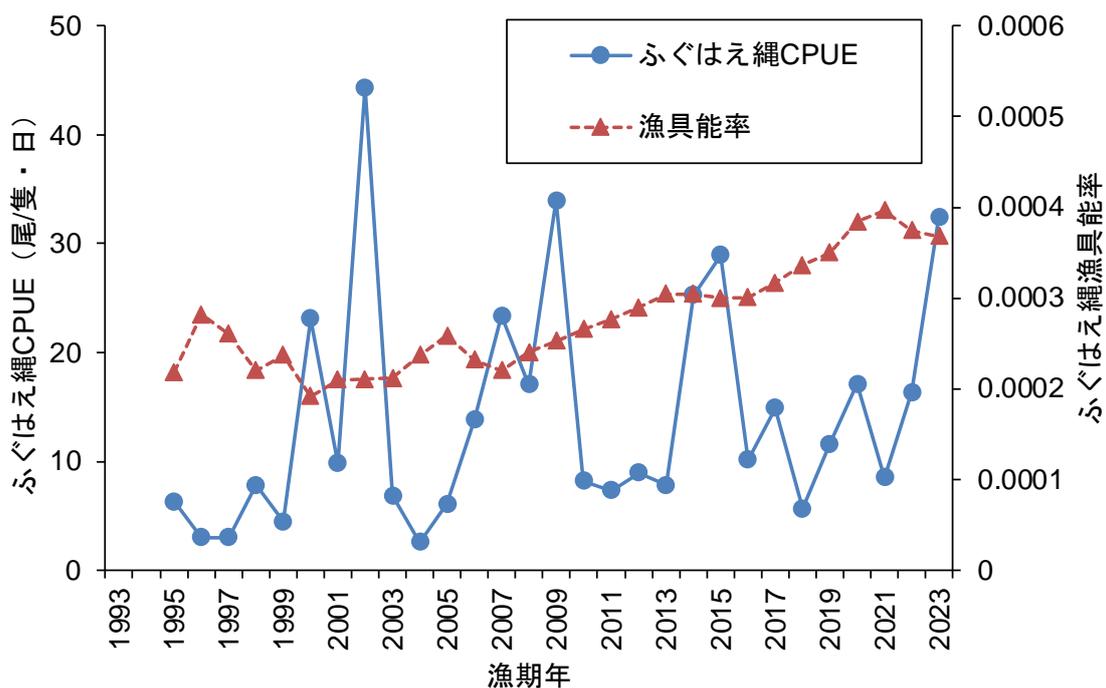


図 4.3. ふぐはえ縄漁業の 1 歳魚に対する CPUE と漁具能率の推移 (1995～2023 年漁期)

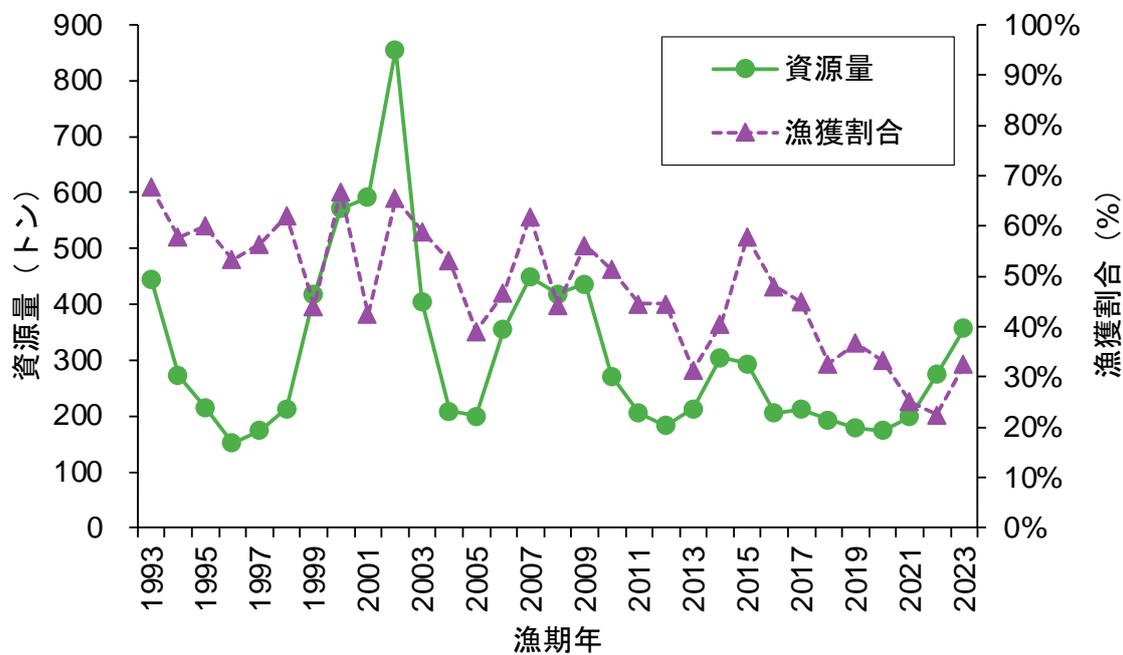


図 4.4. 資源量および漁獲割合の推移

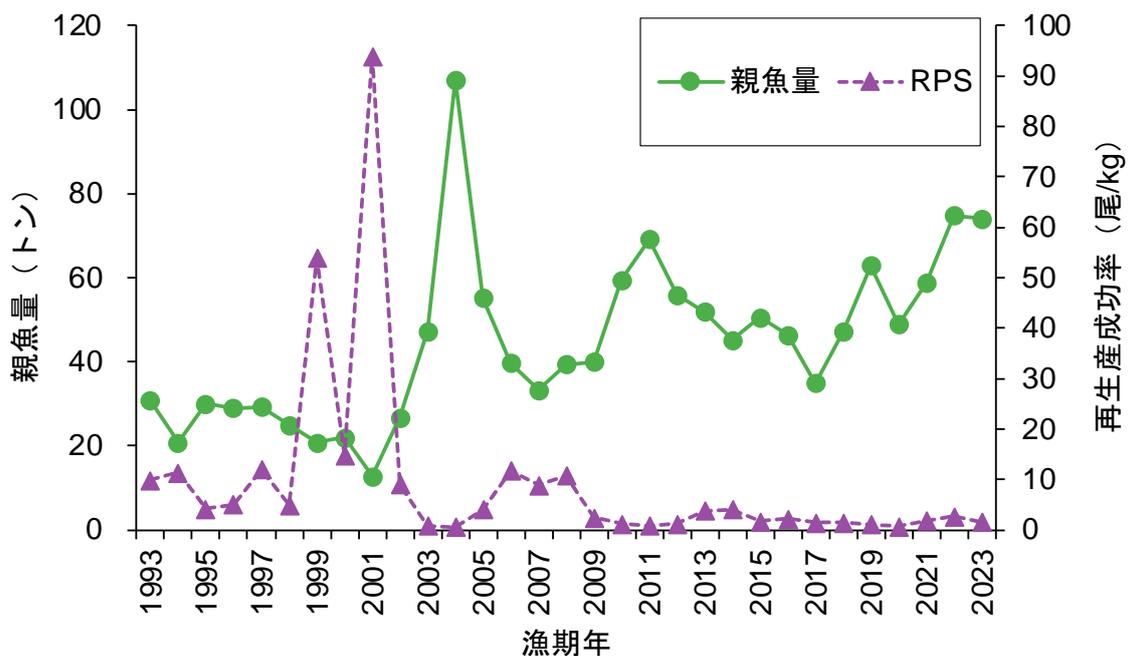


図 4-5. 親魚量および再生産成功率 (RPS) の推移

RPS=天然魚加入尾数 (4月時点) /親魚量 (天然+放流、4月時点)。

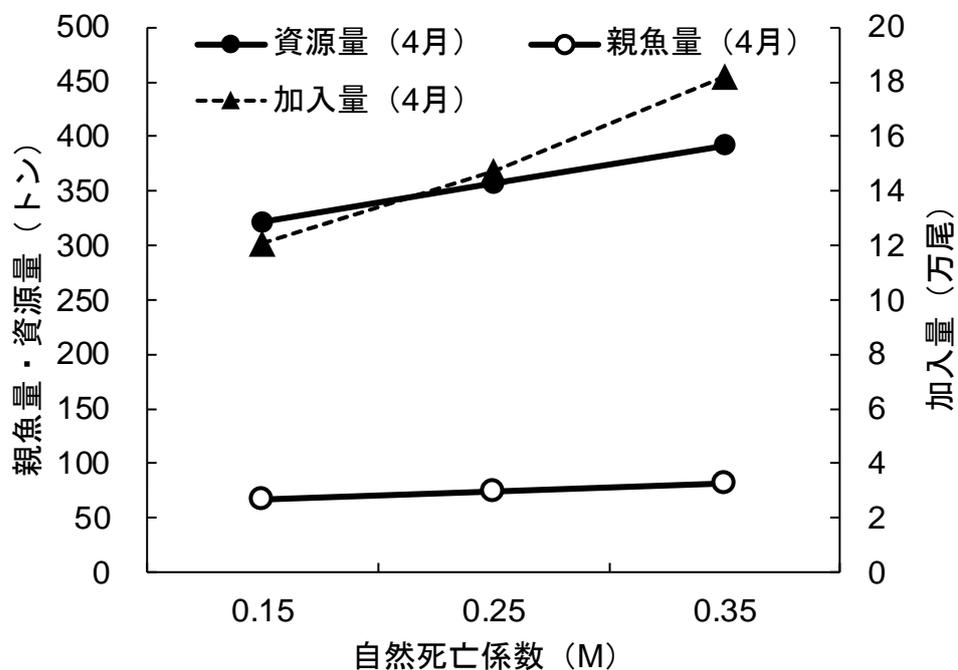


図 4-6. 自然死亡係数 (M) と 2023 年漁期の資源量、親魚量および加入量の関係
本評価では M=0.25 を用いた。

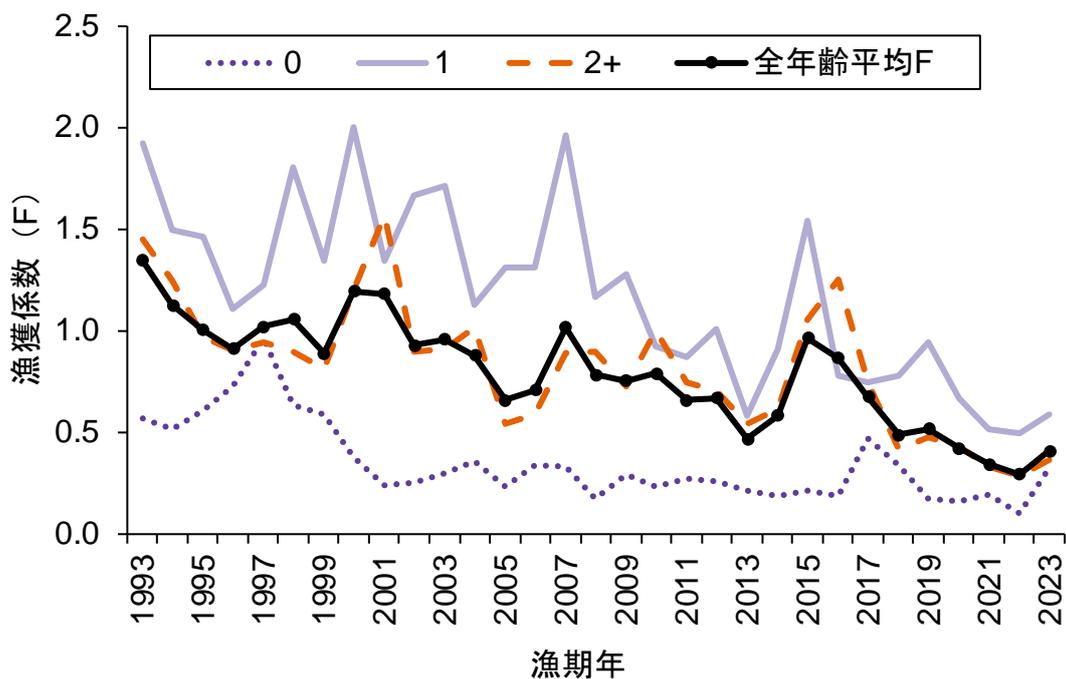


図 4-7. 年齢別漁獲係数の推移

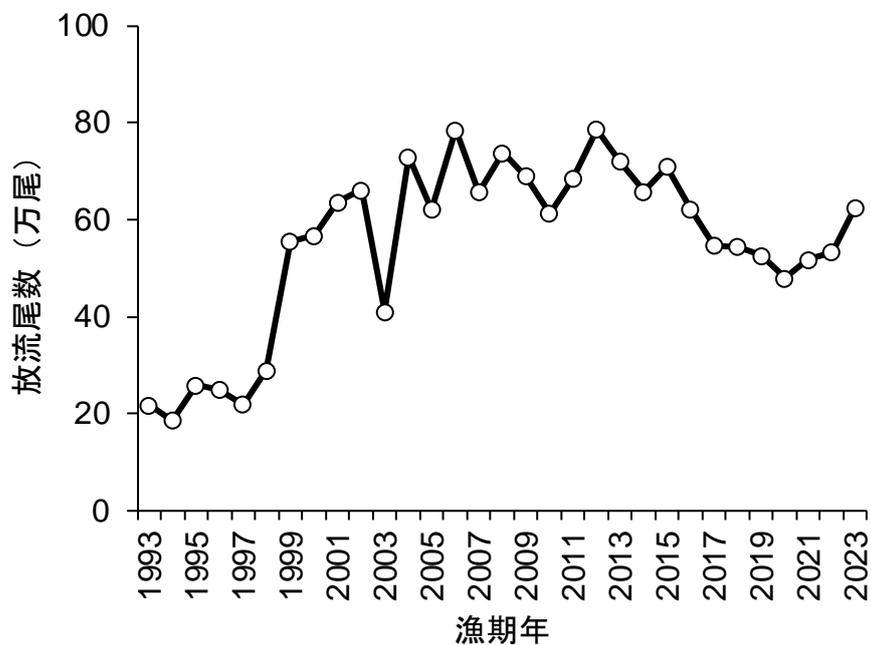


図 4-8. 人工種苗の放流尾数の推移

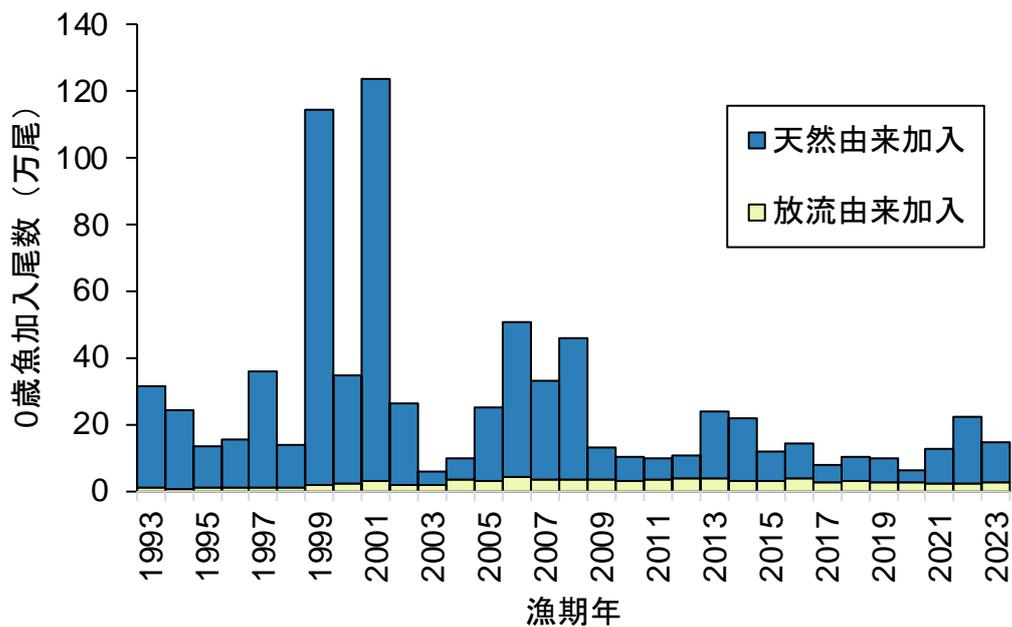


図 4-9. 0 歳魚資源尾数における天然由来加入尾数と放流由来加入尾数の内訳

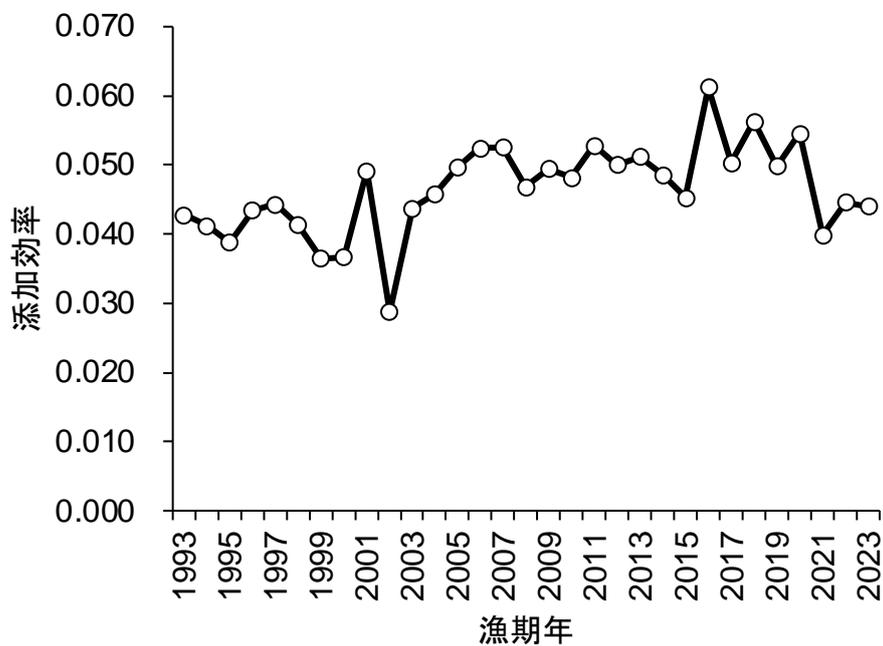


図 4-10. 人工種苗の添加効率の推移

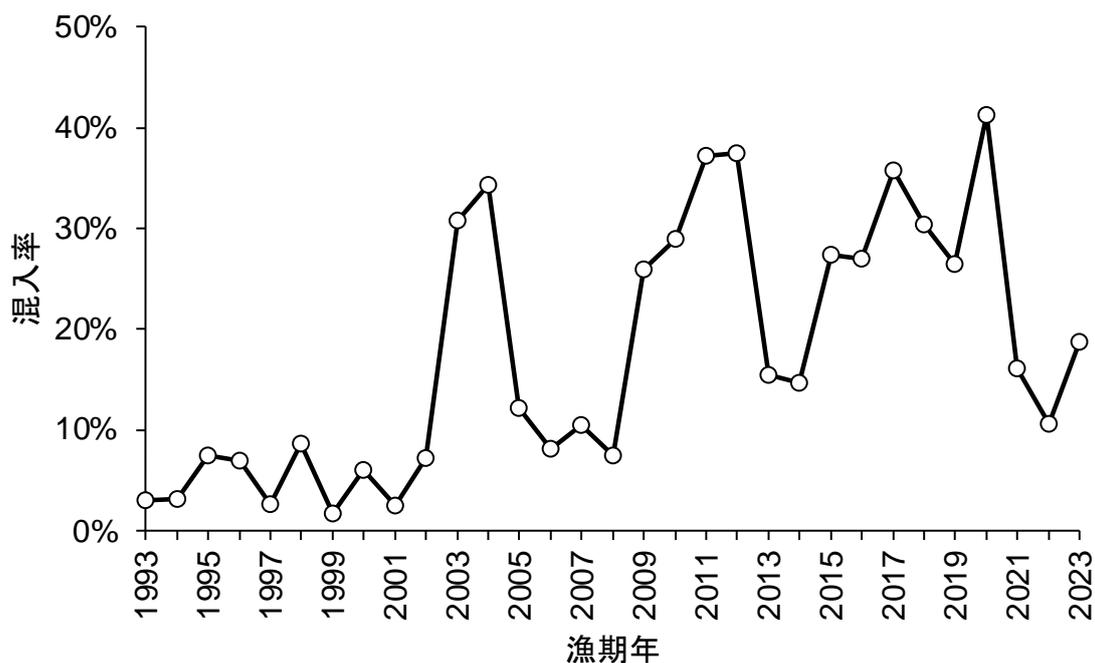


図 4-11. 人工種苗の 0 歳魚漁獲尾数における混入率の推移

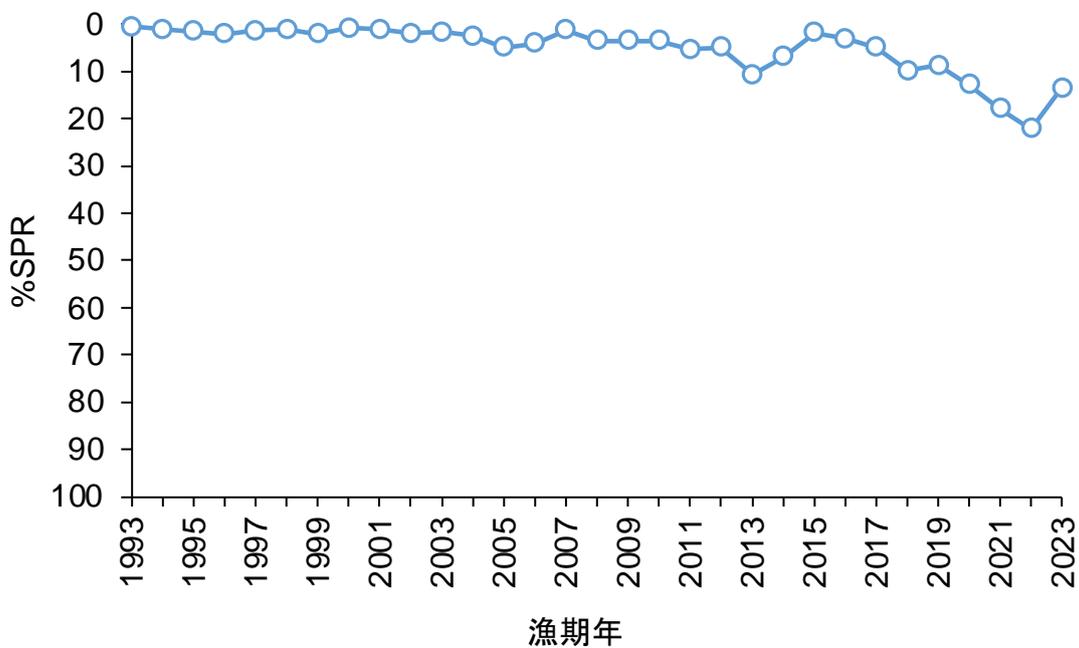


図 4-12. %SPR 値の推移

%SPR は漁獲がない時の SPR に対する漁獲があるときの SPR の比率を示し、F が高い（低い）と %SPR は小さく（大きく）なる。

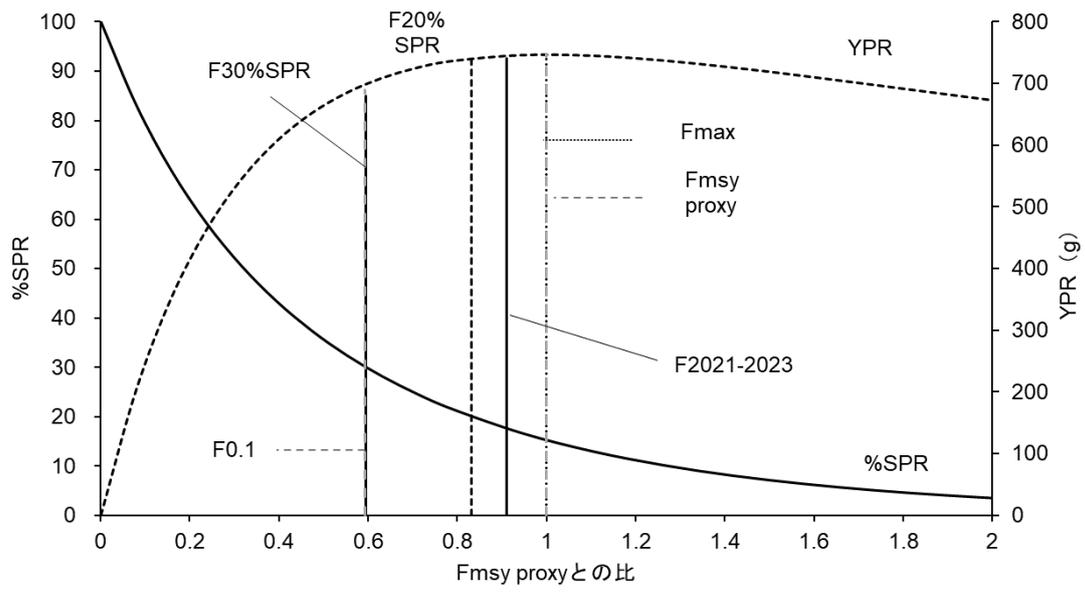


図 4-13. Fmsy proxy に対する YPR と%SPR の関係

Fmsy の代替値 (Fmsy proxy) は F15%SPR であり、Fmax に相当する。

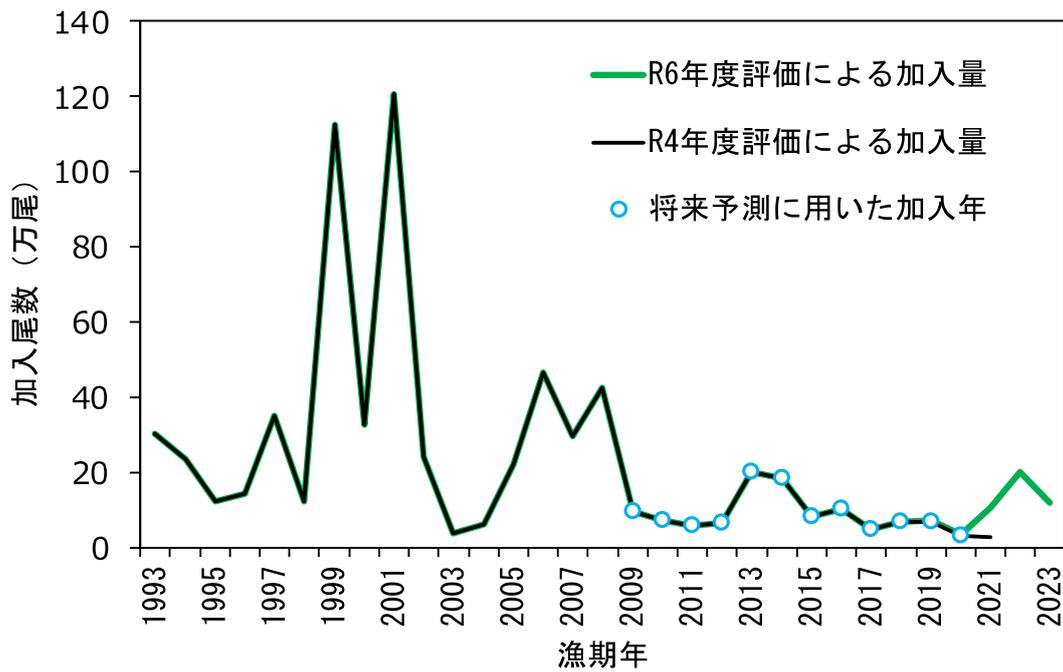


図 4-14. 将来予測に用いる加入量の推移

令和 4 (2022) 年度トラフグ伊勢・三河湾系群の資源評価 (真鍋ほか 2022) における天然由来加入尾数を用いて将来の加入を仮定する。青丸は将来予測における加入予測で参照する年、黒細線は令和 4 (2022) 年度資源評価における加入量、緑太線は本年度評価における加入量を示す。

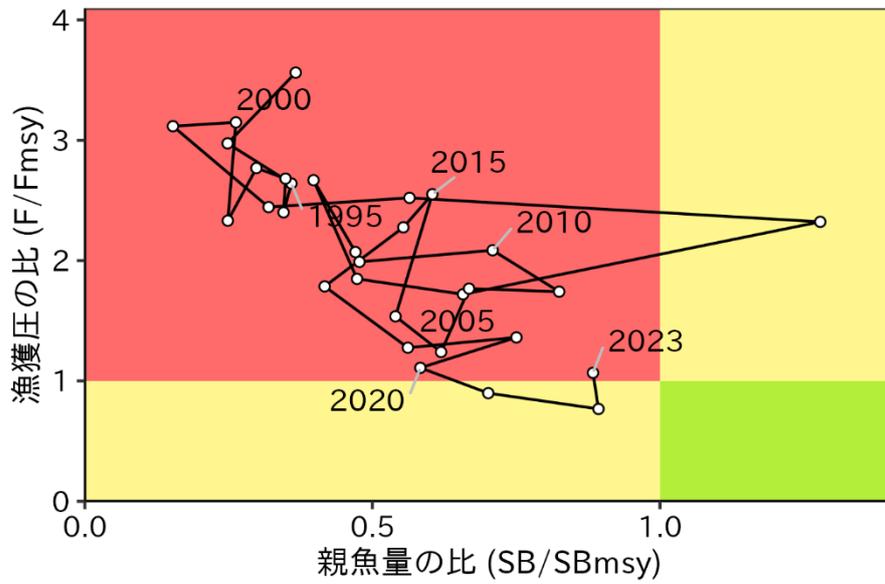


図 4-15. 最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量の代替値 (SBmsy proxy) と MSY を実現する漁獲圧の代替値 (Fmsy proxy) に対する過去の親魚量および漁獲圧の関係 (神戸プロット)

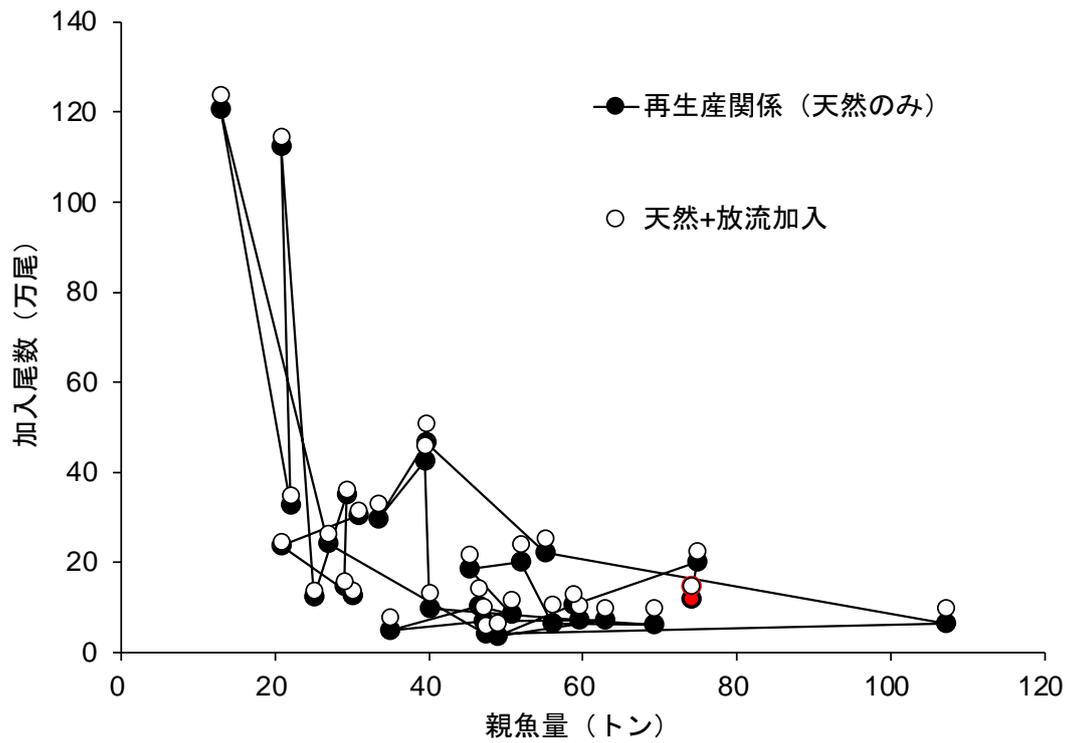


図 6-1. 親魚量と加入量の関係

黒点は天然加入のみの加入尾数、白抜き点は種苗放流由来を加えた加入尾数、赤点は2023年漁期の加入尾数を示し、黒実線は1993～2023年漁期の天然加入由来のプロットを年順に繋いだ線を示す。

表 3-1. 年別・県別漁獲量（トン）

漁期年	静岡県	愛知県	三重県	合 計
1993	67.0	145.0	89.8	301.9
1994	37.7	90.9	28.6	157.2
1995	27.5	67.3	34.7	129.5
1996	8.1	51.2	21.9	81.1
1997	10.3	64.9	22.9	98.2
1998	35.3	56.1	41.1	132.6
1999	19.4	133.7	31.0	184.1
2000	100.0	192.0	90.0	382.1
2001	61.3	138.5	51.1	250.9
2002	111.3	275.3	173.6	560.1
2003	55.3	111.2	71.4	237.9
2004	20.8	58.8	30.9	110.6
2005	14.5	39.3	24.6	78.3
2006	38.6	85.9	41.1	165.6
2007	67.8	136.7	73.0	277.5
2008	47.6	91.7	46.0	185.3
2009	60.4	111.8	73.0	245.2
2010	36.2	66.9	35.9	139.0
2011	15.5	49.3	26.6	91.3
2012	13.2	43.4	25.0	81.6
2013	10.5	37.9	18.5	66.9
2014	14.8	62.7	45.7	123.2
2015	24.7	87.6	57.7	170.0
2016	17.7	49.3	31.6	98.5
2017	14.6	57.7	23.0	95.3
2018	9.8	38.1	15.1	63.0
2019	6.9	40.9	17.8	65.6
2020	7.6	32.8	17.5	57.9
2021	3.8	31.9	14.3	50.0
2022	6.7	40.0	15.5	62.2
2023	9.3	71.9	35.0	116.1

表 3-2. 三重県における小型機船底びき網漁業の延べ操業隻数、0 歳魚の漁獲尾数、漁獲量および CPUE

漁期年	延べ操業隻数 (隻・日)	0 歳魚 漁獲尾数 (尾)	0 歳魚 漁獲量 (kg)	0 歳魚 CPUE (kg/隻・日)
1993	-	14,832	3,492	-
1994	-	7,631	2,583	-
1995	-	5,316	643	-
1996	-	6,310	2,109	-
1997	-	19,466	4,201	-
1998	-	8,276	2,823	-
1999	-	54,721	13,284	-
2000	-	8,238	2,414	-
2001	1,121	36,027	9,030	8.1
2002	605	3,680	1,119	1.8
2003	463	418	135	0.3
2004	733	2,971	741	1.0
2005	662	1,828	482	0.7
2006	880	5,957	1,508	1.7
2007	396	5,313	1,555	3.9
2008	488	3,108	934	1.9
2009	384	1,278	321	0.8
2010	166	588	154	0.9
2011	195	641	164	0.8
2012	246	1,066	248	1.0
2013	377	1,943	437	1.2
2014	331	1,686	471	1.4
2015	291	725	233	0.8
2016	253	1,046	386	1.5
2017	191	864	231	1.2
2018	192	1,042	347	1.8
2019	175	487	169	1.0
2020	83	150	51	0.6
2021	84	240	82	1.0
2022*	115	292	101	0.9
2023	162	633	239	1.5

*データ未集計のため 2019～2021 年漁期の平均値を代替値として利用。

表 3-3. 愛知県における小型機船底びき網漁業（豊浜漁港）の延べ操業隻数、0 歳魚の漁獲尾数、漁獲量および CPUE

漁期年	延べ操業隻数 (隻・日)	0 歳魚 漁獲尾数 (尾)	0 歳魚 漁獲量 (kg)	0 歳魚 CPUE (kg/隻・日)
1993	10,681	75,584	13,655	1.3
1994	11,008	57,028	16,111	1.5
1995	10,934	38,909	6,367	0.6
1996	9,953	61,010	10,922	1.1
1997	9,412	148,300	28,774	3.1
1998	10,160	36,648	10,766	1.1
1999	9,297	273,779	62,722	6.7
2000	8,185	52,484	12,942	1.6
2001	7,902	138,493	29,004	3.7
2002	7,880	40,973	9,204	1.2
2003	7,893	10,796	2,286	0.3
2004	7,653	14,710	3,621	0.5
2005	7,985	22,603	5,179	0.6
2006	7,960	79,663	17,063	2.1
2007	8,133	48,457	10,779	1.3
2008	7,288	34,666	8,001	1.1
2009	7,147	17,175	3,343	0.5
2010	6,696	14,545	3,521	0.5
2011	6,713	12,945	3,273	0.5
2012	6,400	14,771	4,069	0.6
2013	6,009	30,632	8,230	1.4
2014	5,831	18,578	6,292	1.1
2015	5,928	11,337	3,134	0.5
2016	5,844	14,614	3,509	0.6
2017	4,711	18,783	4,923	1.0
2018	4,461	20,111	7,821	1.8
2019	4,416	11,906	3,673	0.8
2020	3,743	7,541	2,987	0.8
2021	3,777	16,637	5,846	1.5
2022	3,840	16,486	5,293	1.4
2023	3,776	25,217	7,337	1.9

表 3-4. 愛知県における小型機船底びき網漁業（渥美外海）の延べ操業隻数、0 歳魚の漁獲尾数、漁獲量および CPUE

漁期年	延べ操業隻数 (隻・日)	0 歳魚 漁獲尾数 (尾)	0 歳魚 漁獲量 (kg)	0 歳魚 CPUE (kg/隻・日)
1993	-	29,879	11,190	-
1994	-	22,073	7,727	-
1995	712	10,301	3,237	4.5
1996	844	3,859	1,357	1.6
1997	938	28,319	6,241	6.7
1998	925	11,962	4,760	5.1
1999	948	118,141	44,746	47.2
2000	992	35,196	11,618	11.7
2001	1,067	57,847	18,458	17.3
2002	1,079	6,738	2,404	2.2
2003	1,102	2,105	637	0.6
2004	1,110	8,052	2,564	2.3
2005	1,078	22,209	6,793	6.3
2006	1,125	42,747	12,523	11.1
2007	1,289	27,945	7,485	5.8
2008	1,350	25,559	8,946	6.6
2009	1,242	10,677	2,557	2.1
2010	1,323	3,317	1,181	0.9
2011	1,260	6,706	2,361	1.9
2012	1,304	5,173	1,530	1.2
2013	1,261	7,865	2,291	1.8
2014	1,321	12,524	4,022	3.0
2015	1,279	7,837	2,784	2.2
2016	1,136	5,678	1,778	1.6
2017	1,139	5,915	1,876	1.6
2018	1,341	4,447	2,128	1.6
2019	1,286	1,325	593	0.5
2020	1,116	659	219	0.2
2021	1,230	2,806	1,188	1.0
2022	1,276	1,988	797	0.6
2023	1,232	9,815	3,329	2.7

表 3-5. ふぐはえ縄漁業の県別延べ操業隻数（隻・日）

漁期年	静岡県	愛知県	三重県※	合 計
1993	6,712	2,228	1,691	10,631
1994	4,455	1,858	1,411	7,724
1995	3,924	2,410	1,666	8,000
1996	1,707	1,168	750	3,625
1997	2,204	1,368	1,079	4,651
1998	4,917	1,529	1,349	7,795
1999	3,376	1,513	1,299	6,188
2000	7,835	2,476	1,763	12,074
2001	6,015	1,783	1,324	9,122
2002	6,202	1,512	1,271	8,985
2003	5,780	1,652	1,430	8,862
2004	3,411	1,625	1,184	6,220
2005	2,346	1,284	1,105	4,735
2006	4,036	1,488	1,124	6,648
2007	4,794	1,783	1,202	7,779
2008	3,545	1,347	1,051	5,943
2009	2,937	1,269	890	5,096
2010	2,615	1,047	688	4,350
2011	1,694	1,226	914	3,834
2012	1,589	981	759	3,329
2013	1,249	929	676	2,854
2014	1,126	963	750	2,839
2015	1,545	817	631	2,993
2016	1,483	817	656	2,956
2017	1,154	837	519	2,510
2018	1,004	643	442	2,089
2019	760	675	410	1,845
2020	518	531	401	1,450
2021	419	393	438	1,250
2022	518	574	402	1,492
2023	541	563	474	1,578
平均	2,914	1,267	960	5,141

※伊勢湾口地区ふぐ延縄連絡協議会所属船の操業隻日。

表 4-1. トラフグ伊勢・三河湾系群の資源解析結果

漁期年	漁獲量 (トン)	資源量 (トン)	親魚量 (トン)	加入尾数(尾)			漁獲 割合 (%)	% SPR	F/ Fmsy proxy
				天然魚	放流魚	全体			
1993	301.9	445.7	30.7	304,719	9,352	314,071	68	0.5	3.56
1994	157.2	272.0	20.8	236,193	7,696	243,890	58	1.1	2.97
1995	129.5	215.8	30.1	125,623	10,101	135,723	60	1.5	2.64
1996	81.1	152.0	29.0	145,960	10,885	156,845	53	2.1	2.40
1997	98.2	174.1	29.2	349,949	9,724	359,673	56	1.4	2.68
1998	132.6	213.7	25.0	125,025	11,960	136,985	62	1.2	2.77
1999	184.1	417.7	20.8	1,123,410	20,248	1,143,658	44	2.2	2.33
2000	382.1	571.3	22.0	326,562	20,786	347,349	67	0.8	3.15
2001	250.9	591.9	12.8	1,206,576	31,274	1,237,850	42	1.1	3.12
2002	560.1	855.7	26.8	243,243	19,001	262,244	66	1.9	2.44
2003	237.9	404.1	47.3	40,525	17,990	58,515	59	1.7	2.52
2004	110.6	208.4	107.1	64,104	33,463	97,567	53	2.5	2.32
2005	78.3	200.2	55.1	221,944	30,848	252,792	39	5.0	1.72
2006	165.6	355.4	39.7	467,247	41,243	508,491	47	4.2	1.85
2007	277.5	448.4	33.3	296,309	34,543	330,852	62	1.4	2.67
2008	185.3	418.3	39.4	425,051	34,636	459,687	44	3.5	2.07
2009	245.2	436.5	40.0	97,637	34,143	131,780	56	3.6	1.99
2010	139.0	271.0	59.4	72,473	29,548	102,021	51	3.6	2.09
2011	91.3	205.0	69.1	61,153	36,189	97,342	45	5.3	1.74
2012	81.6	183.0	56.0	65,682	39,319	105,001	45	5.0	1.77
2013	66.9	212.8	51.9	201,693	36,878	238,571	31	10.7	1.24
2014	123.2	304.8	45.3	185,628	31,994	217,623	40	6.9	1.54
2015	170.0	293.7	50.6	85,217	32,112	117,329	58	1.8	2.55
2016	98.5	205.4	46.4	102,749	38,115	140,864	48	3.1	2.28
2017	95.3	212.0	34.9	49,558	27,572	77,130	45	5.0	1.79
2018	63.0	192.8	47.1	70,220	30,660	100,880	33	9.8	1.28
2019	65.6	178.6	62.9	72,830	26,265	99,096	37	8.7	1.36
2020	57.9	174.4	48.9	37,331	26,171	63,502	33	12.9	1.11
2021	50.0	199.3	58.8	107,145	23,768	127,822	25	17.9	0.90
2022	62.2	275.0	74.8	201,056	23,768	224,824	23	22.2	0.77
2023	116.1	356.9	74.0	119,675	27,537	147,211	33	13.7	1.07

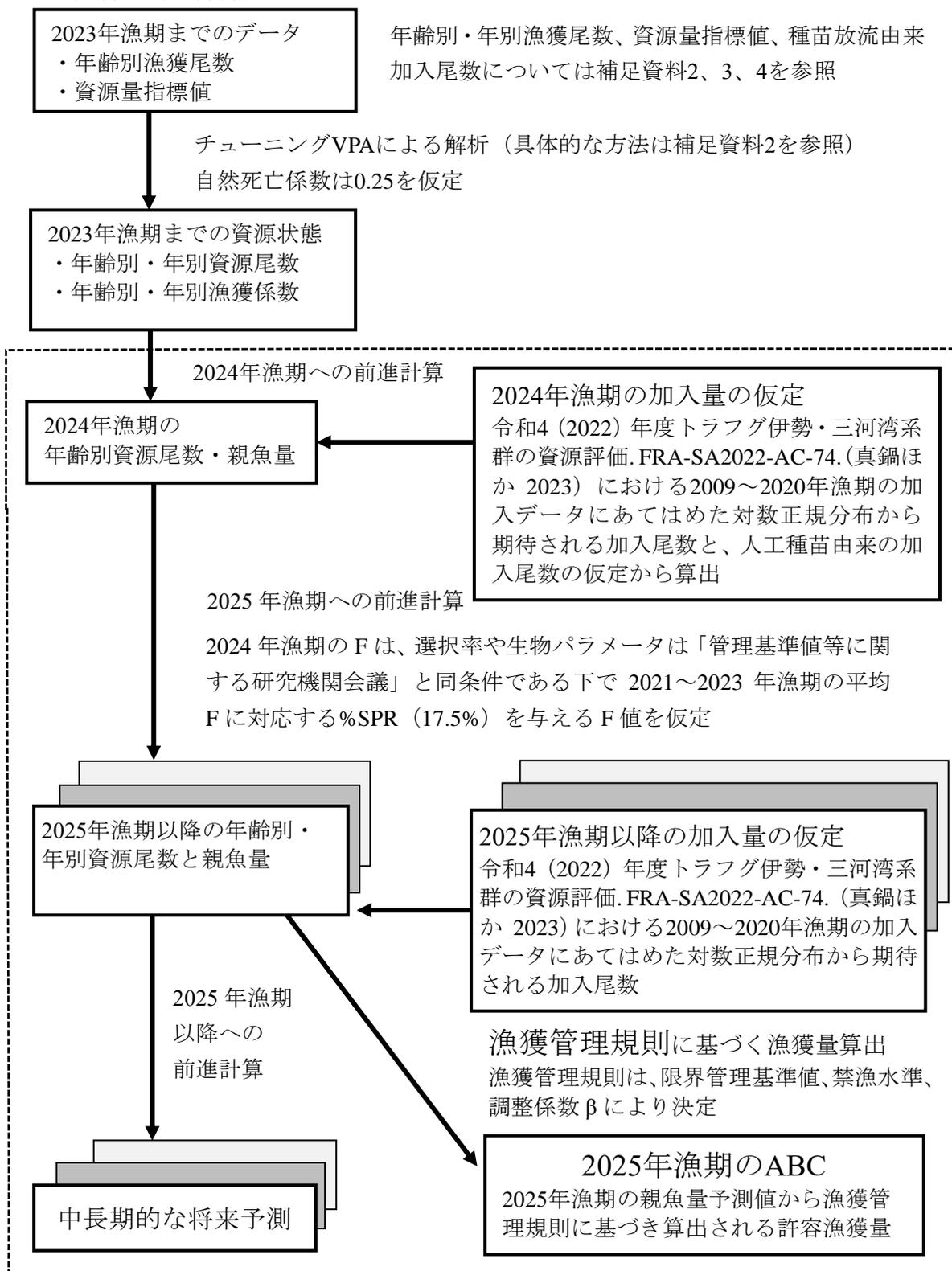
表 4-2. 人工種苗の放流尾数、混入率と添加効率

漁期年	放流尾数(尾)	添加効率 (%) ※2	混入率 (%)
1993	218,913	0.043	3.0
1994	186,664	0.041	3.2
1995	260,280	0.039	7.4
1996	250,549	0.043	6.9
1997	219,480	0.044	2.7
1998	289,848	0.041	8.7
1999	555,284	0.036	1.8
2000	567,465	0.037	6.0
2001	637,042	0.049	2.5
2002	661,859	0.029	7.2
2003	411,206	0.044	30.7
2004	730,918	0.046	34.3
2005	621,782	0.050	12.2
2006	786,150	0.052	8.1
2007	658,025	0.052	10.4
2008	739,190	0.047	7.5
2009	690,870	0.049	25.9
2010	613,000	0.048	29.0
2011	685,300	0.053	37.2
2012	786,600	0.050	37.4
2013	721,200	0.051	15.5
2014	659,186	0.049	14.7
2015	710,000	0.045	27.4
2016	622,200	0.061	27.1
2017	547,900	0.050	35.7
2018	544,300	0.056	30.4
2019	526,870	0.050	26.5
2020	480,080	0.055	41.2
2021	518,410	0.040	16.2
2022	533,410	0.045	10.6
2023	626,310※1	0.044	18.7

※1 自主放流を除く放流尾数。

※2 添加効率：放流加入尾数（4月時点）/放流尾数。放流尾数には自主的放流尾数も含む。

補足資料 1 資源評価の流れ



➤ 点線枠内は資源管理方針に関する検討会における管理基準値や漁獲管理規則等の議論をふまえて作成される。

(http://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/index.html#22-16)

補足資料 2 資源計算方法

年齢別資源尾数、資源量、親魚量および漁獲係数を、チューニング VPA により推定した。誕生月を 4 月、漁期年を 4 月～翌年 3 月として、0 歳～3+歳の各年齢について Pope の近似式 (Pope 1972) により資源尾数を推定した。自然死亡係数 M はトラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群と同じく寿命を 10 歳と仮定して、田内・田中の式 (田中 1960) により 0.25 とした (補足表 2-1)。雌雄比については 1:1、成熟については雄が 2 歳から成熟、雌が 3 歳から成熟することが知られているが、卵資源への寄与を考慮して雄雌共に 3 歳から 100%成熟すると仮定した。

チューニング指数には 0 歳天然魚資源量指標値と 1 歳魚資源量指標値を用いた (補足表 2-2)。0 歳天然魚資源量指標値として、2004～2024 年漁期の三重県白子海岸におけるサーフネット調査の 1 曳網あたりトラフグ天然稚魚採集尾数の標準化 CPUE を用いた (Nishijima et al. 2023)。1 歳魚資源量指標値として、1995～2023 年漁期のふぐはえ縄漁業による月別延べ操業隻数および月別 1 歳魚漁獲尾数から DeLury 法 (山川 2001) により推定した 1 歳魚初期資源尾数を用いた (Nishijima et al. 2019)。チューニングでは、0 歳天然魚資源尾数が 0 歳天然魚資源量指標値の変化と最も近くなるように最近年 0 歳魚の漁獲係数を変化させると同時に、1 歳魚資源尾数が 1 歳魚資源量指標値の変化と最も近くなるように最近年最高齢の漁獲係数 F を変化させることによりターミナル F を探索的に求めた。具体的な計算は以下のとおりである。

(1) 資源量の推定

0 歳魚および 1 歳魚の資源尾数は

$$N_{a,y} = N_{a+1,y+1}e^M + C_{a,y}e^{\frac{M}{2}}$$

2 歳魚の資源尾数は

$$N_{2,y} = C_{2,y} / (C_{3+,y} + C_{2,y}) N_{3+,y+1}e^M + C_{2,y}e^{\frac{M}{2}}$$

3+歳魚の資源尾数は

$$N_{3+,y} = N_{2,y}C_{3+,y} / C_{2,y}$$

により求めた。ここで、 $N_{a,y}$ は y 年漁期における a 歳魚の資源尾数、 $C_{a,y}$ は y 年漁期における a 歳魚の漁獲尾数であり、 a 歳、 y 年漁期の F は

$$F_{a,y} = -\ln(1 - C_{a,y}e^{M/2} / N_{a,y})$$

により求めた。

2 歳の漁獲係数については、3+歳の漁獲係数と等しいと仮定した。

$$F_{3+,y} = F_{2,y}$$

さらに、最近年（2023 年漁期）の 1 歳魚以上の選択率は直近 3 年間（2020～2022 年漁期）の選択率の平均値に等しいとし、

$$S_{a,2023} = (S_{a,2020} + S_{a,2021} + S_{a,2022})/3$$

とした。

最近年（2023 年漁期）の 0 歳および最高齢（3+歳）の漁獲係数（F0, 2023 および F3+, 2023）については、0 歳天然魚資源量指標値および 1 歳魚資源量指標値を用いて次式の負の対数尤度を最小化する値を探索的に求めた。

$$\log L = \sum_{y=2004}^{2023} \left[\frac{\{\log(I_{0,y}) - \log(q_0 \times (N_{0,y} - R_y))\}^2}{2\sigma_0^2} + \frac{1}{2} \times \log(2\pi\sigma_0^2) \right] + \sum_{y=1995}^{2023} \left[\frac{\{\log(I_{1,y}) - \log(q_1 \times N_{1,y})\}^2}{2\sigma_1^2} + \frac{1}{2} \times \log(2\pi\sigma_1^2) \right]$$

ここで、F0,2023 は 2023 年漁期の 0 歳の漁獲係数、F3+,2023 は 2023 年漁期の 3+歳の漁獲係数、I0, y は y 年漁期のサーフネット調査による 0 歳天然魚資源量指標値、N0, y はコホート解析により推定された y 年漁期の 0 歳魚資源尾数、q0 はチューニングパラメーター、Ry は y 年漁期の放流由来加入尾数（補足表 2-2）である。また、I1, y は DeLury 法により推定した y 年漁期の 1 歳魚初期資源尾数、q1 はチューニングパラメーター、N1, y はコホート解析により推定された y 年漁期の 1 歳魚資源尾数である。σ0、σ1 はそれぞれ 0 歳天然魚資源量指標値、1 歳魚初期資源尾数の観測誤差を表す標準偏差であり、個別に標準偏差を推定することにより各指標の重みづけを行った（Hashimoto et al. 2018）。

最近年（2023 年漁期）の資源尾数は、

$$N_{a,2023} = C_{a,2023} e^{M/2} / (1 - e^{-F_{a,2023}})$$

により求めた。

なお、資源量および親魚量計算に用いる年齢別平均体重は、漁獲情報より年別に、

$$W_{a,y} = \frac{C_{w,a,y}}{C_{a,y}}$$

により求めた。ここで Wa,y は y 年漁期における a 歳魚の平均体重、Ca,y は y 年漁期における a 歳魚の漁獲尾数、Cw,a,y は y 年漁期における a 歳魚の漁獲重量（kg）である。

y 年漁期における資源量 By および親魚量 SSB_y は以下の様に計算した。

$$B_y = \sum_{a=0}^{3+} N_{a,y} W_{a,y}$$

$$SSB_y = N_{3,y} W_{3,y}$$

(2) 資源評価モデルの診断

「令和 6 (2024) 年度 資源評価のモデル診断の手順と診断結果の提供指針 (FRA-SA2024-ABCWG02-03)」(水産研究・教育機構 2024) に従って、本系群の評価に用いたチューニング VPA の統計学的妥当性や仮定に対する頑健性について診断した。

推定した資源尾数と資源量指標値の関係と残差を補足図 2-1~2-4 に示した。0 歳天然魚資源量指標値については、近年、残差が大きくなる傾向が認められる。

レトロスペクティブ解析の結果を補足図 2-5 に示す。Mohn's rho は総じて小さく、資源推定結果は安定していると考えられるが、加入量ではデータが更新されることで上方修正される傾向がある。

推定された資源量、親魚量および加入量の不確実性をノンパラメトリックブートストラップ法により評価した(補足図 2-6~2-8)。計算は 1,000 回繰り返し、90%信頼区間を求めた。親魚量の信頼区間が比較的広いものとなっている。

Jitter 解析によりパラメータ推定の結果を評価したところ、最近年最高齢の漁獲係数(maxF)の推定において初期値を変更すると別の解へ収束する結果が得られたが、最近年 0 歳魚の漁獲係数については初期値を変更しても同じ解へ収束していた(補足図 2-9)。また、推定された対数尤度からは、本解析におけるパラメータ推定結果が最も高い対数尤度を有しており、推定結果は妥当と考えられる(補足図 2-10)。

Jackknife 法による各資源量指標値を除いた場合の資源評価推定結果を補足図 2-11 に、2023 年漁期の各年齢の漁獲係数を補足図 2-12 に示す。1 歳魚資源量指標値を除いた場合、1 歳魚以上の漁獲係数が大きく増加し、近年の加入量や親魚量などは低く推定されている。一方、1 歳魚資源量指標値を除いた場合には、近年の加入量や親魚量などは高く推定されている。

引用文献

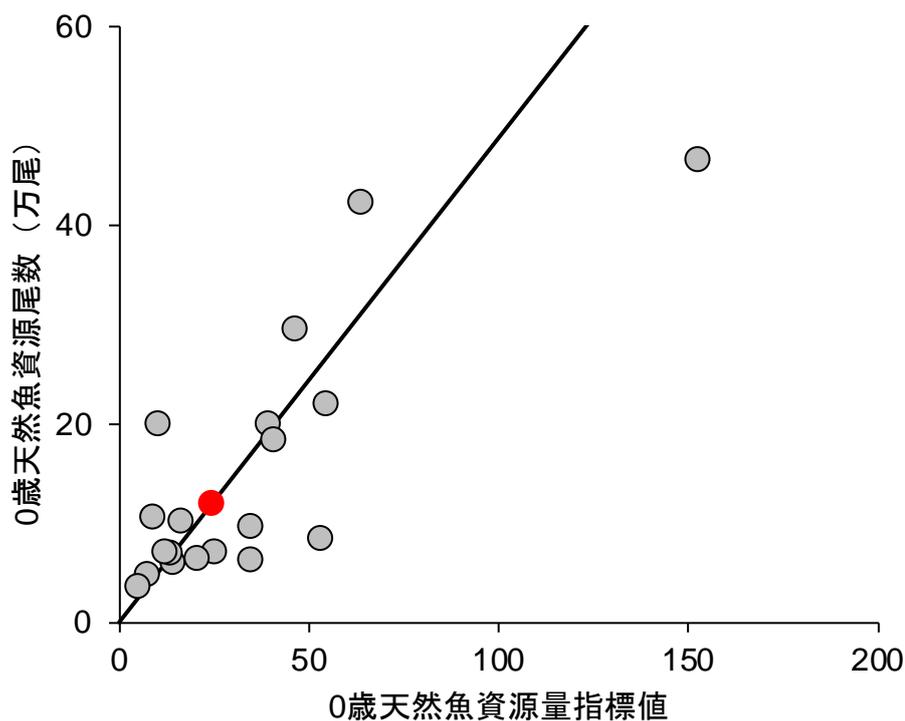
- Hashimoto, M., H. Okamura, M. Ichinokawa, K. Hiramatsu and T. Yamakawa (2018) Impacts of the nonlinear relationship between abundance and its index in a tuned virtual population analysis. *Fish. Sci.*, **84**, 335-347.
- Nishijima S., S. Suzuki, M. Ichinokawa and H. Okamura (2019) Integrated multi-timescale modeling untangles anthropogenic, environmental, and biological effects on catchability. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **76**, 2045-2056.
- Nishijima S., S. Suzuki, R. Fukuta, and M. Okada. (2023) Modeling pulse dynamics of juvenile fish enables the short-term forecasting of population dynamics in Japanese pufferfish: A latent variable approach and hindcasting. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **80**, 1017-1031.
- Pope, H.G. (1972) An investigation of the accuracy of virtual population using cohort analysis. *Res. Bull. Inst. Comm. Northw. Atlant. Fish.*, **9**, 65-74.
- 水産研究・教育機構 (2024) 令和 6 (2024) 年度資源評価におけるモデル診断の手順と診断

結果の提供指針. FRA-SA2024-ABCWG02-03, 水産研究・教育機構, 横浜, 1-13.
https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2024-ABCWG02-03.pdf (最終アクセス日
2024/06/21)

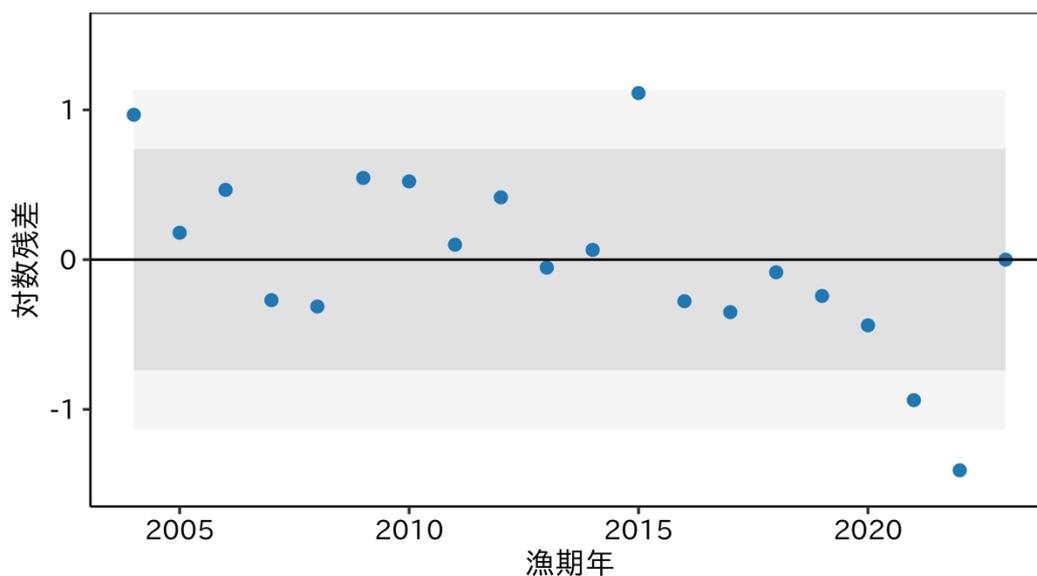
田中昌一 (1960) 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海水研報, **28**, 1-200.

山川 卓 (2001) DeLury 法. 「資源評価体制確立推進事業報告書—資源解析手法教科書—」

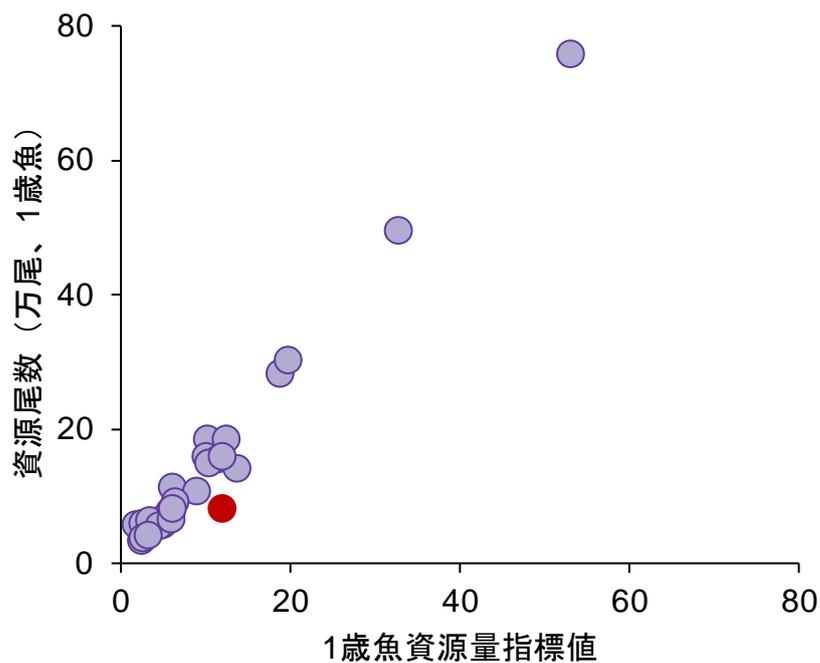
田中昌一・青木一郎・赤嶺達郎・一丸俊雄・岸田 達・高場 稔・田中栄次・福田雅
明・谷津明彦・由木雄一・和田時夫編, 日本水産資源保護協会, 東京, 73-90.



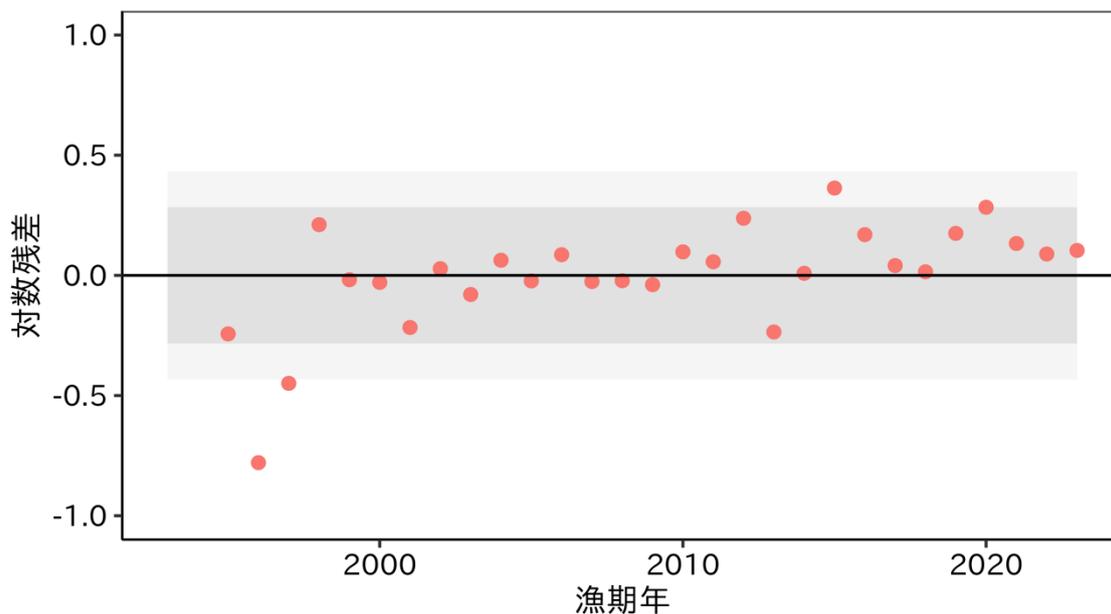
補足図 2-1. チューニング VPA により推定した 0 歳天然魚資源尾数（4 月時点）と 0 歳天然魚資源量指標値の関係
 図中の原点を通る直線の傾きはチューニングの際に算出されたパラメーター（ q_0 ）を表す。赤色は 2023 年漁期の値を示す。



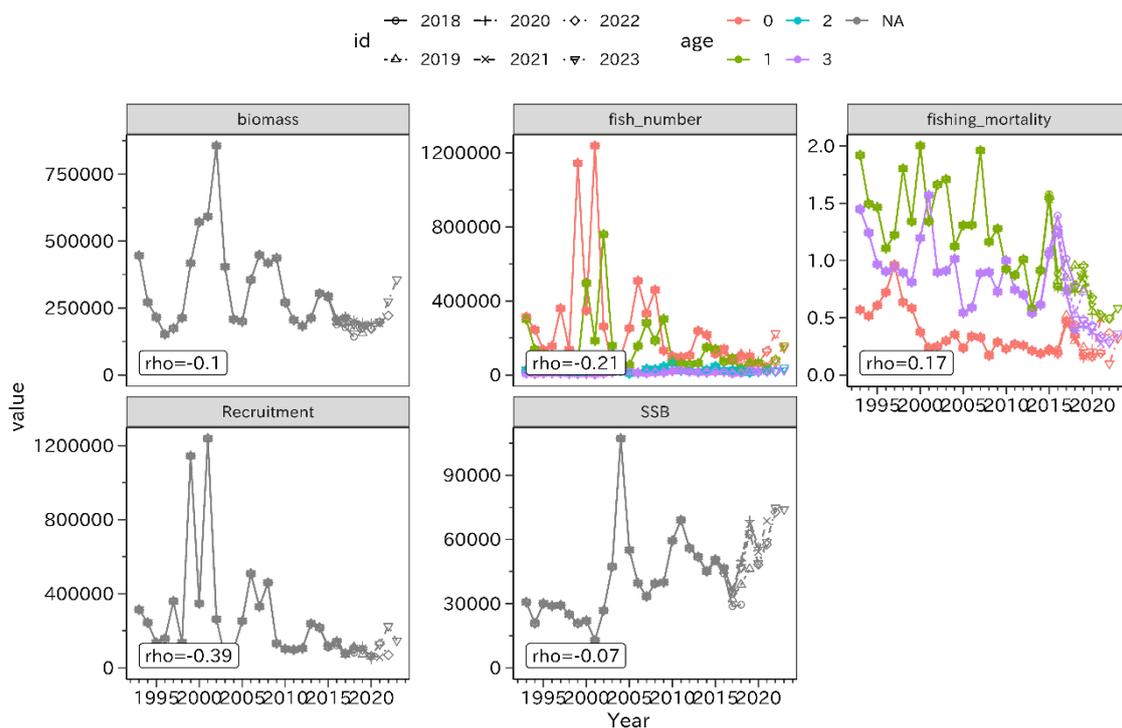
補足図 2-2. 0 歳天然魚資源量指標値の対数残差プロット（2004～2023 年漁期）



補足図 2-3. チューニング VPA により推定した 1 歳魚資源尾数と 1 歳魚資源量指標値の関係
赤色は 2023 年漁期の値を示す。

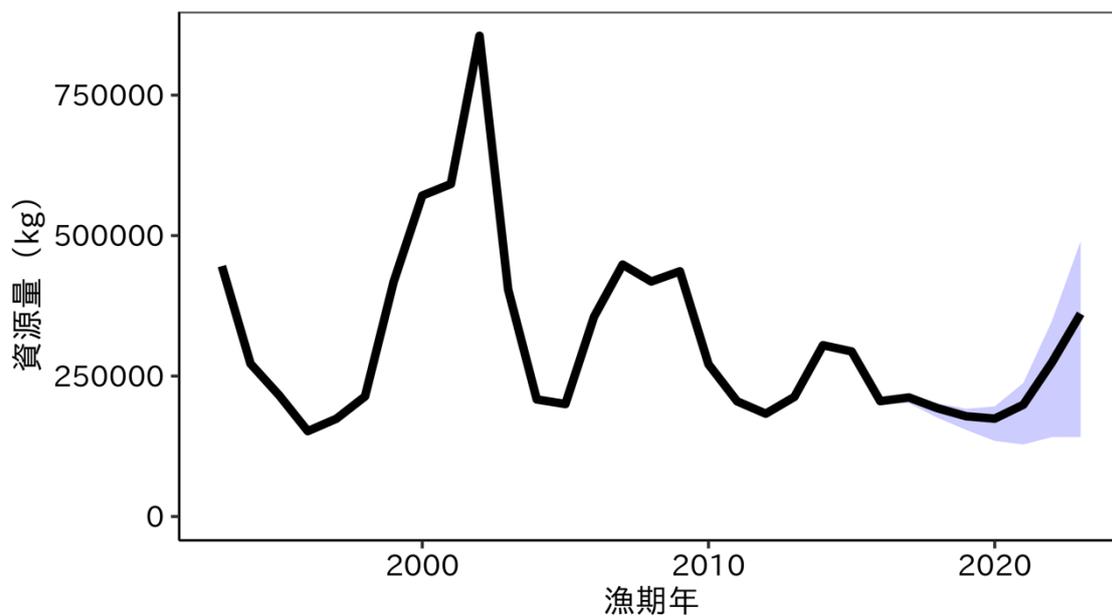


補足図 2-4. 1 歳魚資源量指標値の対数残差プロット (1995～2023 年漁期)



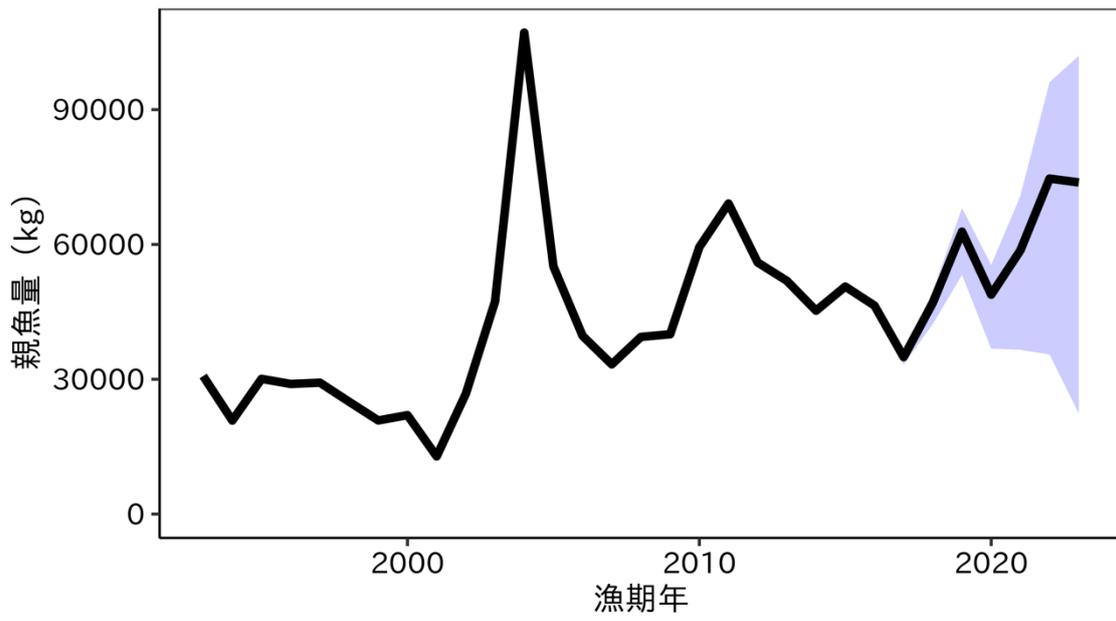
補足図 2-5. レトロスペクティブ解析

各色および線は 2023 年漁期より 2018 年漁期までの各最新年分のデータセット除いた場合の推定値を示す。

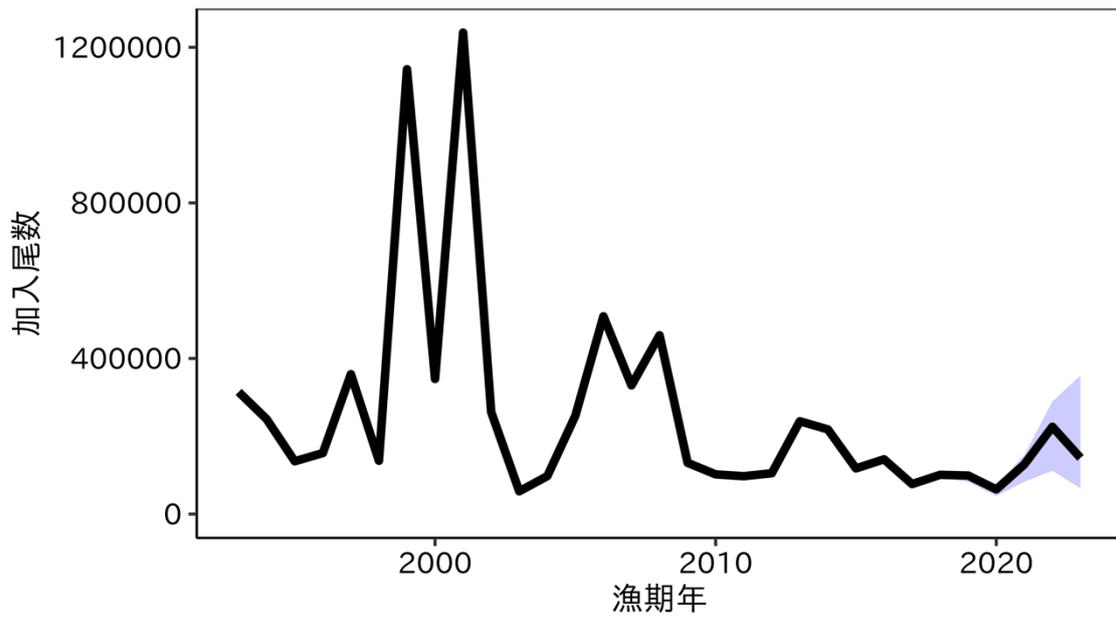


補足図 2-6. 資源量のノンパラメトリックブートストラップ解析結果

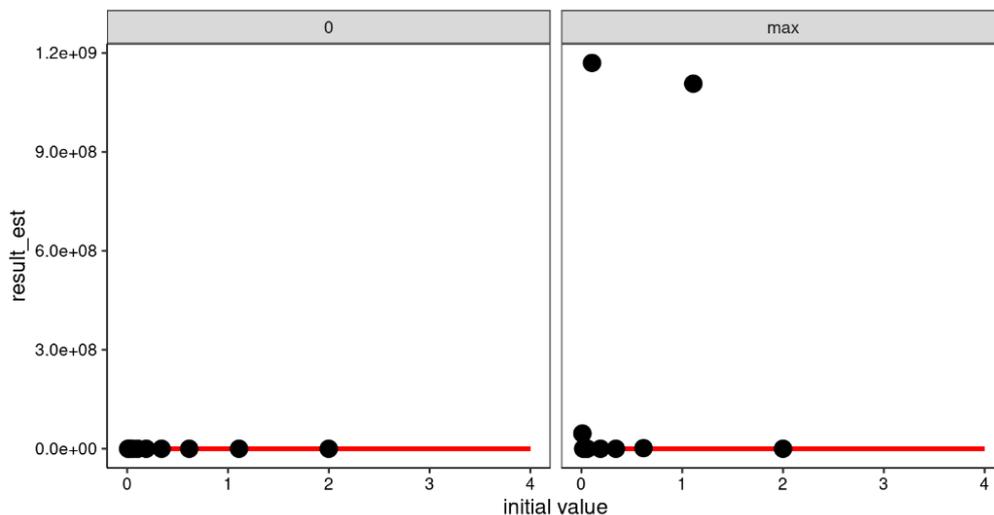
紫の網掛けは 90%信頼区間を示す。



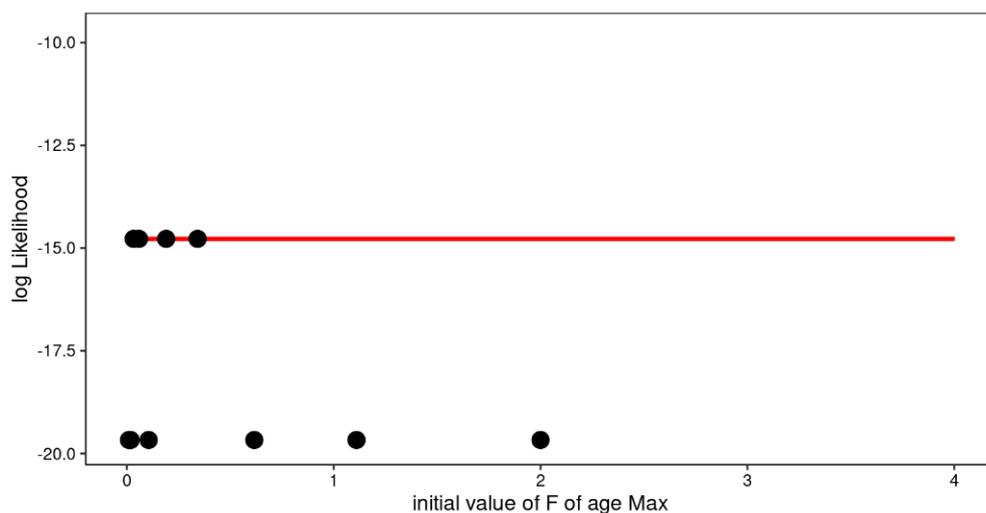
補足図 2-7. 親魚量のノンパラメトリックブートストラップ解析結果
 紫の網掛けは 90%信頼区間を示す。



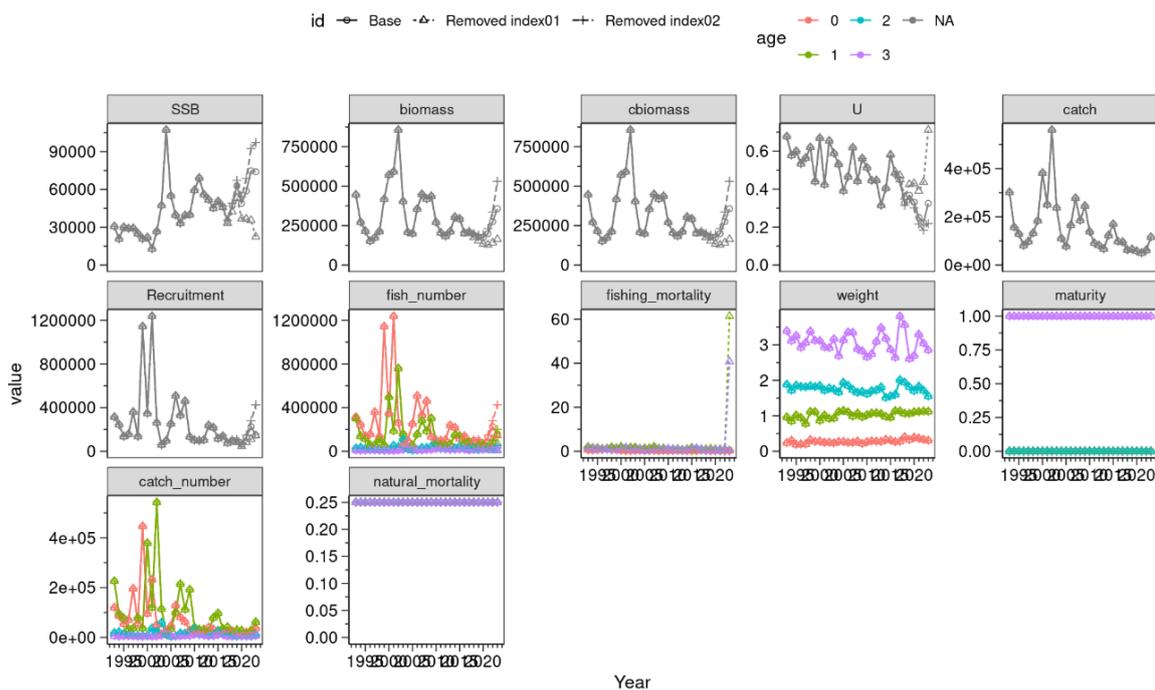
補足図 2-8. 加入量のノンパラメトリックブートストラップ解析結果
紫の網掛けは 90%信頼区間を示す。



補足図 2-9. Jitter 解析による 0 歳と最高齢の漁獲係数に関するパラメータ推定値の確認
赤線はデフォルトの初期値を用いたときのパラメータ推定値。

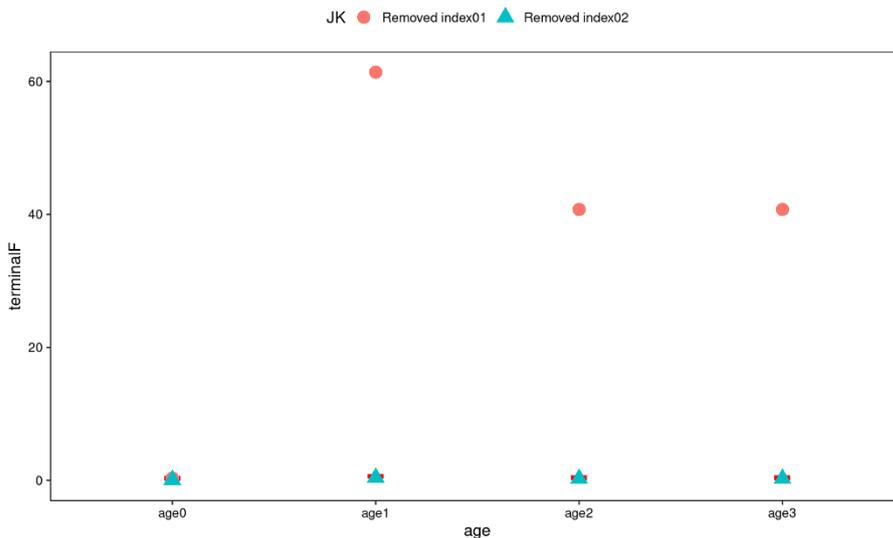


補足図 2-10. Jitter 解析による対数尤度の分布
赤線はデフォルトの初期値を用いたときの対数尤度。



補足図 2-11. ジャックナイフ法による推定結果

Base は本資源評価の結果、Removed index01 は 1 歳魚資源量指標値を除いた場合、Removed index02 は 0 歳魚資源量指標値を除いた場合を示す。



補足図 2-12. ジャックナイフ法によって推定された 2023 年漁期の各年齢の漁獲係数

Removed index01 は 1 歳魚資源量指標値を除いた場合、Removed index02 は 0 歳魚資源量指標値を除いた場合を示す。

補足表 2-1. コホート解析に用いた年齢別成熟率および年齢別自然死亡係数

年齢	0 歳	1 歳	2 歳	3+ 歳
成熟率	0	0	0	1
自然死亡係数 (1/年)	0.25	0.25	0.25	0.25

補足表 2-2. 資源量指標値、天然稚魚平均採集尾数、加入尾数

	1993	1994	1995	1996	1997	1998
0歳天然魚資源量指標値	—	—	—	—	—	—
天然稚魚平均採集尾数(尾)※1	—	—	—	—	—	—
天然由来加入尾数(尾)	304,719	236,193	125,623	145,960	349,949	125,025
放流由来加入尾数(尾)	9,352	7,696	10,101	10,885	9,724	11,960
1歳魚資源量指標値	—	—	60,355	17,935	25,707	89,755
	1999	2000	2001	2002	2003	2004
0歳天然魚資源量指標値	—	—	—	—	—	34.52
天然稚魚平均採集尾数(尾)	—	—	—	—	—	0.32
天然由来加入尾数(尾)	1,123,410	326,562	1,206,576	243,243	40,525	64,104
放流由来加入尾数(尾)	20,248	20,786	31,274	19,001	17,990	33,463
1歳魚資源量指標値	37,656	327,386	101,593	529,909	99,616	24,451
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
0歳天然魚資源量指標値	54.38	152.42	46.28	63.62	34.49	25.01
天然稚魚平均採集尾数(尾)	5.26	4.40	0.70	10.00	1.43	0.75
天然由来加入尾数(尾)	221,944	467,247	296,309	425,051	97,637	72,473
放流由来加入尾数(尾)	30,848	41,243	34,543	34,636	34,143	29,548
1歳魚資源量指標値	35,346	115,185	187,113	123,206	197,296	57,587
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0歳天然魚資源量指標値	13.83	20.38	39.14	40.55	53.05	15.93
天然稚魚平均採集尾数(尾)	0.40	3.46	2.25	5.50	2.33	2.14
天然由来加入尾数(尾)	61,153	65,682	201,693	185,628	85,217	102,749
放流由来加入尾数(尾)	36,189	39,319	36,878	31,994	32,112	38,115
1歳魚資源量指標値	45,386	49,850	33,921	102,788	137,205	59,367
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳天然魚資源量指標値	7.14	13.21	11.70	4.93	8.58	10.08
天然稚魚平均採集尾数(尾)	0.00	1.29	1.00	0.17	0.33	0.12
天然由来加入尾数(尾)	49,558	70,220	72,830	37,331	107,145	201,056
放流由来加入尾数(尾)	27,572	30,660	26,265	26,171	20,678	23,768
1歳魚資源量指標値	64,269	25,850	45,259	58,644	32,625	60,977
	2023	2024				
0歳天然魚資源量指標値	24.50	11.13				
天然稚魚平均採集尾数(尾)	1.86	0.12				
天然由来加入尾数(尾)	119,675					
放流由来加入尾数(尾)	27,537					
1歳魚資源量指標値	119,422					

※サーフネット調査による1日当たりの採集尾数が最多の調査日における1曳網あたりの天然稚魚採集尾数。

補足表 2-3. 資源解析結果 (1993～2000 年漁期)

年齢別漁獲尾数 (尾)								
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0歳	120,295	86,732	54,526	71,179	196,085	56,886	446,641	95,918
1歳	226,600	94,770	76,950	34,019	36,970	78,907	36,801	378,988
2歳	18,557	21,572	13,225	10,721	7,993	7,089	6,738	7,088
3歳以上	6,114	4,195	5,050	5,199	5,151	3,853	3,271	4,355
計	371,567	207,269	149,751	121,118	246,199	146,736	493,451	486,350

年齢別漁獲量 (kg)								
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0歳	28,337	26,421	10,247	14,388	39,216	18,349	120,752	26,974
1歳	217,870	80,642	78,181	32,037	28,709	88,105	40,870	328,463
2歳	34,920	37,088	24,599	19,494	14,464	13,052	12,231	13,077
3歳以上	20,745	13,059	16,458	15,212	15,768	13,046	10,210	13,556
計	301,872	157,211	129,484	81,131	98,158	132,552	184,063	382,070

年齢別漁獲係数								
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0歳	0.57	0.52	0.61	0.72	0.96	0.64	0.58	0.38
1歳	1.92	1.49	1.46	1.11	1.22	1.80	1.34	2.00
2歳	1.45	1.24	0.97	0.90	0.94	0.89	0.81	1.20
3歳以上	1.45	1.24	0.97	0.90	0.94	0.89	0.81	1.20
単純平均	1.35	1.12	1.00	0.91	1.02	1.06	0.89	1.19

年齢別資源尾数 (尾、4月)								
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0歳	314,071	243,890	135,723	156,845	359,673	136,985	1,143,658	347,349
1歳	300,903	138,438	113,400	57,582	59,336	107,069	56,482	496,523
2歳	27,483	34,370	24,182	20,408	14,824	13,585	13,750	11,512
3歳以上	9,055	6,684	9,233	9,896	9,552	7,384	6,674	7,073
計	651,512	423,382	282,539	244,733	443,384	265,023	1,220,565	862,456

年齢別資源量 (kg、4月)								
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0歳	73,982	74,296	25,506	31,704	71,933	44,186	309,196	97,681
1歳	289,310	117,801	115,214	54,227	46,077	119,549	62,727	430,328
2歳	51,717	59,091	44,979	37,109	26,824	25,012	24,957	21,238
3歳以上	30,723	20,807	30,093	28,956	29,242	24,999	20,834	22,015
計	445,733	271,995	215,792	151,996	174,077	213,746	417,714	571,263
親魚量	30,723	20,807	30,093	28,956	29,242	24,999	20,834	22,015

年齢別平均体重 (kg)								
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
0歳	0.236	0.305	0.188	0.202	0.200	0.323	0.270	0.281
1歳	0.961	0.851	1.016	0.942	0.777	1.117	1.111	0.867
2歳	1.882	1.719	1.860	1.818	1.810	1.841	1.815	1.845
3歳以上	3.393	3.113	3.259	2.926	3.061	3.386	3.122	3.112

補足表 2-4. 資源解析結果 (2001～2008 年漁期)

年齢別漁獲尾数 (尾)

漁期年	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0歳	232,367	51,391	13,319	25,733	46,654	128,367	81,715	63,333
1歳	121,116	542,806	114,825	20,149	34,307	100,358	214,413	112,558
2歳	36,503	19,792	59,093	12,602	3,166	4,404	16,988	16,198
3歳以上	3,057	4,796	7,878	22,392	6,504	4,639	5,173	7,144
計	393,044	618,785	195,115	80,877	90,631	237,767	318,290	199,233

年齢別漁獲量 (kg)

漁期年	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0歳	56,492	12,727	3,059	6,926	12,463	31,094	19,819	17,881
1歳	122,797	498,179	106,824	22,362	39,288	110,759	210,976	119,984
2歳	62,647	35,235	103,088	21,054	6,126	8,155	29,441	26,809
3歳以上	8,970	13,993	24,944	60,267	20,394	15,572	17,311	20,622
計	250,905	560,134	237,915	110,609	78,271	165,580	277,547	185,296

年齢別漁獲係数

漁期年	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0歳	0.24	0.25	0.30	0.36	0.23	0.34	0.33	0.17
1歳	1.34	1.66	1.71	1.12	1.31	1.31	1.96	1.16
2歳	1.57	0.90	0.91	1.01	0.54	0.59	0.89	0.90
3歳以上	1.57	0.90	0.91	1.01	0.54	0.59	0.89	0.90
単純平均	1.18	0.93	0.96	0.88	0.66	0.71	1.02	0.78

年齢別資源尾数 (尾、4月)

漁期年	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0歳	1,237,850	262,244	58,515	97,567	252,792	508,491	330,852	459,687
1歳	185,868	758,975	158,883	33,817	53,276	155,703	282,729	185,554
2歳	52,237	37,869	112,066	22,406	8,555	11,216	32,696	30,971
3歳以上	4,375	9,177	14,941	39,811	17,572	11,814	9,956	13,660
計	1,480,329	1,068,265	344,405	193,601	332,196	687,223	656,233	689,872

年齢別資源量 (kg、4月)

漁期年	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0歳	300,938	64,944	13,437	26,260	67,530	123,170	80,245	129,783
1歳	188,447	696,575	147,813	37,532	61,012	171,841	278,197	197,796
2歳	89,649	67,417	195,501	37,433	16,552	20,771	56,662	51,260
3歳以上	12,836	26,774	47,305	107,149	55,103	39,660	33,318	39,430
計	591,869	855,710	404,056	208,373	200,196	355,441	448,421	418,268
親魚量	12,836	26,774	47,305	107,149	55,103	39,660	33,318	39,430

年齢別平均体重 (kg)

漁期年	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0歳	0.243	0.248	0.230	0.269	0.267	0.242	0.243	0.282
1歳	1.014	0.918	0.930	1.110	1.145	1.104	0.984	1.066
2歳	1.716	1.780	1.745	1.671	1.935	1.852	1.733	1.655
3歳以上	2.934	2.917	3.166	2.691	3.136	3.357	3.346	2.886

補足表 2-5. 資源解析結果 (2009～2016 年漁期)

年齢別漁獲尾数 (尾)

漁期年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0歳	29,129	18,449	20,292	21,010	40,440	32,789	19,899	21,338
1歳	192,349	40,954	32,449	32,472	24,577	79,262	97,402	35,145
2歳	20,578	36,558	11,016	9,168	6,053	11,139	26,973	14,792
3歳以上	6,449	12,473	11,674	8,070	5,486	5,749	10,129	11,054
計	248,505	108,433	75,431	70,719	76,556	128,938	154,403	82,328

年齢別漁獲量 (kg)

漁期年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0歳	6,220	4,856	5,797	5,847	10,958	10,785	6,150	5,673
1歳	186,089	41,952	34,766	35,003	25,878	77,294	92,738	39,963
2歳	34,631	59,081	18,740	15,785	10,945	16,834	42,001	23,655
3歳以上	18,225	33,141	32,033	24,956	19,112	18,294	29,083	29,204
計	245,166	139,030	91,337	81,591	66,893	123,207	169,971	98,496

年齢別漁獲係数

漁期年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0歳	0.29	0.23	0.27	0.26	0.21	0.19	0.21	0.19
1歳	1.28	0.92	0.87	1.01	0.58	0.91	1.54	0.78
2歳	0.73	1.00	0.74	0.70	0.54	0.61	1.05	1.25
3歳以上	0.73	1.00	0.74	0.70	0.54	0.61	1.05	1.25
単純平均	0.75	0.79	0.66	0.67	0.47	0.58	0.96	0.87

年齢別資源尾数 (尾、4月)

漁期年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0歳	131,780	102,021	97,342	105,001	238,571	217,623	117,329	140,864
1歳	302,114	76,924	63,173	57,902	63,234	150,112	140,549	73,815
2歳	45,178	65,539	23,767	20,563	16,438	27,558	46,959	23,503
3歳以上	14,159	22,360	25,187	18,101	14,899	14,222	17,635	17,563
計	493,231	266,844	209,469	201,567	333,142	409,514	322,472	255,745

年齢別資源量 (kg、4月)

漁期年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0歳	28,141	26,851	27,810	29,220	64,645	71,580	36,263	37,451
1歳	292,281	78,798	67,684	62,416	66,582	146,385	133,819	83,935
2歳	76,032	105,918	40,432	35,406	29,723	41,648	73,122	37,586
3歳以上	40,013	59,414	69,110	55,976	51,904	45,260	50,633	46,404
計	436,467	270,982	205,036	183,018	212,854	304,873	293,837	205,376
親魚量	40,013	59,414	69,110	55,976	51,904	45,260	50,633	46,404

年齢別平均体重 (kg)

漁期年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0歳	0.214	0.263	0.286	0.278	0.271	0.329	0.309	0.266
1歳	0.967	1.024	1.071	1.078	1.053	0.975	0.952	1.137
2歳	1.683	1.616	1.701	1.722	1.808	1.511	1.557	1.599
3歳以上	2.826	2.657	2.744	3.092	3.484	3.182	2.871	2.642

補足表 2-6. 資源解析結果 (2017~2023 年漁期)

年齢別漁獲尾数 (尾)

漁期年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0歳	25,562	25,600	13,718	8,350	19,683	18,714	35,666
1歳	42,041	17,896	30,187	27,919	14,907	28,449	61,930
2歳	12,244	10,102	4,496	5,191	6,444	4,272	10,387
3歳以上	4,243	3,963	8,073	5,551	4,415	5,354	6,926
計	84,090	57,562	56,474	47,011	45,450	56,789	114,909

年齢別漁獲量 (kg)

漁期年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0歳	7,031	10,296	4,436	3,257	7,116	6,171	10,904
1歳	47,473	18,980	31,981	30,840	16,559	32,010	69,326
2歳	24,605	19,606	8,151	8,840	11,766	7,308	16,124
3歳以上	16,162	14,120	21,064	14,968	14,547	16,295	19,772
計	95,271	63,003	65,631	57,905	49,989	61,784	116,127

年齢別漁獲係数

漁期年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0歳	0.47	0.34	0.17	0.16	0.19	0.10	0.32
1歳	0.74	0.78	0.94	0.67	0.51	0.50	0.58
2歳	0.74	0.42	0.48	0.43	0.33	0.28	0.36
3歳以上	0.74	0.42	0.48	0.43	0.33	0.28	0.36
単純平均	0.67	0.49	0.52	0.42	0.34	0.29	0.41

年齢別資源尾数 (尾、4月)

漁期年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0歳	77,130	100,880	99,096	63,502	127,822	224,824	147,211
1歳	90,874	37,511	55,973	65,070	42,086	82,177	158,578
2歳	26,472	33,672	13,420	16,952	26,038	19,622	38,894
3歳以上	9,174	13,211	24,100	18,128	17,841	24,590	25,936
計	203,650	185,274	192,589	163,652	213,788	351,212	370,620

年齢別資源量 (kg、4月)

漁期年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0歳	21,216	40,574	32,043	24,766	46,213	74,140	45,008
1歳	102,616	39,783	59,299	71,878	46,751	92,464	177,516
2歳	53,197	65,350	24,332	28,868	47,543	33,562	60,379
3歳以上	34,942	47,067	62,878	48,883	58,779	74,839	74,039
計	211,971	192,773	178,551	174,395	199,287	275,005	356,942
親魚量	34,942	47,067	62,878	48,883	58,779	74,839	74,039

年齢別平均体重 (kg)

漁期年	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0歳	0.275	0.402	0.323	0.390	0.362	0.330	0.306
1歳	1.129	1.061	1.059	1.105	1.111	1.125	1.119
2歳	2.010	1.941	1.813	1.703	1.826	1.710	1.552
3歳以上	3.809	3.563	2.609	2.696	3.295	3.044	2.855

補足表 2-7. 漁期年別漁業種類別漁獲量 (kg)

漁期年	小型機船底びき網漁業 (伊勢湾・三河湾)					小型機船底びき網漁業 (渥美外海)				
	0歳	1歳	2歳	3+歳	合計 (kg)	0歳	1歳	2歳	3+歳	合計 (kg)
1993	17,147	11,458	3,028	522	32,155	11,190	18,688	4,237	3,331	37,446
1994	18,694	7,279	2,926	806	29,706	7,727	13,235	4,675	4,331	29,968
1995	7,010	7,932	390	779	16,111	3,237	7,584	3,438	3,301	17,560
1996	13,031	13,080	1,983	3,170	31,265	1,357	4,353	4,032	5,472	15,214
1997	32,975	7,837	976	1,276	43,065	6,241	4,526	2,175	4,235	17,177
1998	13,589	5,093	1,260	495	20,438	4,760	7,537	2,455	2,086	16,838
1999	76,006	5,201	1,388	500	83,096	44,746	2,157	1,518	3,599	52,020
2000	15,356	16,624	1,115	277	33,372	11,618	46,001	848	5,265	63,732
2001	38,034	9,173	3,887	249	51,342	18,458	12,207	9,352	2,402	42,419
2002	10,323	15,520	1,482	1,351	28,675	2,404	80,524	16,256	8,839	108,023
2003	2,421	6,425	1,143	71	10,061	637	25,775	15,454	1,663	43,529
2004	4,362	625	483	798	6,268	2,564	2,424	3,271	13,917	22,176
2005	5,661	1,009	109	165	6,944	6,793	2,764	656	4,797	15,010
2006	18,571	1,580	28	172	20,351	12,523	4,852	1,335	3,414	22,124
2007	12,334	4,005	444	766	17,548	7,485	18,482	3,440	4,338	33,746
2008	8,935	2,916	469	303	12,622	8,946	4,161	5,500	5,268	23,874
2009	3,664	3,012	51	97	6,824	2,557	10,903	5,324	3,988	22,771
2010	3,675	1,376	531	362	5,943	1,181	1,919	9,528	6,101	18,728
2011	3,436	1,075	881	79	5,472	2,361	2,347	1,683	4,559	10,951
2012	4,317	1,200	489	0	6,006	1,530	626	1,226	5,031	8,413
2013	8,667	1,123	313	222	10,325	2,291	208	788	5,137	8,424
2014	6,763	1,154	447	151	8,515	4,022	3,356	1,045	4,386	12,809
2015	3,366	2,123	913	386	6,788	2,784	4,863	6,246	6,510	20,403
2016	3,895	1,270	910	401	6,476	1,778	1,438	3,126	3,267	9,609
2017	5,155	1,104	1,680	249	8,187	1,876	2,066	3,426	4,117	11,486
2018	8,168	2,426	774	57	11,426	2,128	2,518	1,884	3,622	10,153
2019	3,842	2,849	489	111	7,291	593	4,127	2,316	3,467	10,503
2020	3,037	1,110	1,023	463	5,633	219	2,630	1,009	2,125	5,984
2021	5,928	1,736	841	727	9,232	1,188	2,591	1,427	2,476	7,683
2022	5,393	1,024	1,542	58	8,017	797	2,193	1,450	3,299	7,738
2023	7,576	7,440	4,254	1,138	20,408	3,329	3,718	3,281	2,322	12,649

漁期年	ふぐはえ縄漁業					まき網漁業				
	0歳	1歳	2歳	3+歳	合計 (kg)	0歳	1歳	2歳	3+歳	合計 (kg)
1993	0	187,724	25,470	14,109	227,302	0	0	2,186	2,783	4,969
1994	0	60,128	28,182	6,998	95,308	0	0	1,305	925	2,229
1995	0	62,664	19,754	9,707	92,126	0	0	1,017	2,670	3,687
1996	0	14,603	7,788	3,263	25,654	0	0	5,691	3,307	8,997
1997	0	16,346	11,001	6,280	33,626	0	0	313	3,978	4,290
1998	0	75,475	8,948	9,878	94,300	0	0	389	587	975
1999	0	33,511	8,479	4,882	46,872	0	0	845	1,230	2,075
2000	0	265,838	9,597	7,572	283,007	0	0	1,517	442	1,959
2001	0	101,417	47,958	5,806	155,181	0	0	1,450	513	1,963
2002	0	402,135	17,444	3,793	423,371	0	0	53	11	64
2003	0	74,624	73,417	22,743	170,784	0	0	13,074	468	13,542
2004	0	19,313	16,489	42,158	77,960	0	0	811	3,394	4,205
2005	9	35,515	4,284	11,362	51,170	0	0	1,077	4,070	5,147
2006	0	104,327	6,792	11,986	123,105	0	0	0	0	0
2007	0	188,489	25,557	12,207	226,253	0	0	0	0	0
2008	0	112,907	20,841	15,051	148,799	0	0	0	0	0
2009	0	172,174	29,256	14,141	215,571	0	0	0	0	0
2010	0	38,657	49,022	26,679	114,358	0	0	0	0	0
2011	0	31,343	16,176	27,395	74,914	0	0	0	0	0
2012	0	33,177	14,070	19,924	67,172	0	0	0	0	0
2013	0	24,548	9,844	13,753	48,145	0	0	0	0	0
2014	0	72,784	15,342	13,757	101,883	0	0	0	0	0
2015	0	85,752	34,842	22,187	142,781	0	0	0	0	0
2016	0	37,255	19,619	25,537	82,411	0	0	0	0	0
2017	0	44,303	19,499	11,796	75,598	0	0	0	0	0
2018	0	14,036	16,948	10,441	41,425	0	0	0	0	0
2019	0	25,004	5,347	17,486	47,837	0	0	0	0	0
2020	0	27,100	6,808	12,380	46,288	0	0	0	0	0
2021	0	12,231	9,498	11,344	33,074	0	0	0	0	0
2022	0	28,833	4,316	12,938	46,087	0	0	0	0	0
2023	0	58,168	8,589	16,312	83,070	0	0	0	0	0

補足表 2-8. 漁期年別漁業種類別漁獲尾数 (尾)

漁期年	小型機船底びき網漁業 (伊勢湾・三河湾)					小型機船底びき網漁業 (渥美外海)				
	0歳	1歳	2歳	3+歳	合計 (尾)	0歳	1歳	2歳	3+歳	合計 (尾)
1993	90,416	26,754	2,270	183	119,623	29,879	21,500	2,607	1,155	55,141
1994	64,659	16,860	1,979	255	83,753	22,073	17,205	3,072	1,502	43,852
1995	44,225	15,795	286	245	60,551	10,301	10,666	2,353	1,144	24,464
1996	67,320	19,045	980	1,027	88,373	3,859	4,024	2,432	1,993	12,308
1997	167,766	17,665	587	435	186,452	28,319	5,217	1,791	1,450	36,777
1998	44,924	9,803	771	149	55,648	11,962	8,075	1,523	724	22,284
1999	328,500	6,817	854	149	336,320	118,141	2,425	972	1,210	122,748
2000	60,722	32,746	639	107	94,215	35,196	67,546	466	1,990	105,198
2001	174,520	16,386	2,504	89	193,499	57,847	14,970	5,997	754	79,568
2002	44,653	33,766	840	506	79,765	6,738	110,635	10,585	3,228	131,186
2003	11,214	17,675	984	26	29,900	2,105	36,315	11,267	683	50,370
2004	17,681	882	324	358	19,244	8,052	3,119	2,337	5,931	19,439
2005	24,431	1,969	66	69	26,536	22,209	3,430	414	1,780	27,833
2006	85,620	1,782	16	68	87,486	42,747	6,742	796	963	51,248
2007	53,770	6,307	262	170	60,509	27,945	26,360	2,087	1,275	57,667
2008	37,774	4,560	298	88	42,720	25,559	6,497	3,784	1,792	37,632
2009	18,453	4,589	32	38	23,111	10,677	14,779	3,559	1,501	30,516
2010	15,133	2,496	308	119	18,056	3,317	2,678	7,202	2,259	15,456
2011	13,586	1,597	507	31	15,721	6,706	2,803	998	1,644	12,150
2012	15,837	1,794	288	0	17,920	5,173	914	750	1,553	8,390
2013	32,575	1,804	188	70	34,637	7,865	398	519	1,354	10,136
2014	20,264	2,076	312	66	22,719	12,524	5,380	658	1,102	19,665
2015	12,062	2,704	547	142	15,455	7,837	8,027	4,153	1,932	21,949
2016	15,660	2,755	613	136	19,164	5,678	2,344	2,214	968	11,203
2017	19,647	1,950	1,078	70	22,745	5,915	2,708	2,061	1,105	11,788
2018	21,153	2,614	351	18	24,136	4,447	3,453	1,227	846	9,974
2019	12,393	4,231	367	34	17,025	1,325	4,512	1,232	939	8,008
2020	7,691	1,714	530	206	10,141	659	2,571	594	562	4,386
2021	16,877	1,759	453	248	19,337	2,806	2,510	774	615	6,705
2022	16,778	1,632	832	54	19,296	1,988	2,391	846	873	6,097
2023	25,850	6,474	3,220	506	36,049	9,815	4,212	2,180	700	16,908

漁期年	ふぐはえ縄漁業					まき網漁業				
	0歳	1歳	2歳	3+歳	合計 (尾)	0歳	1歳	2歳	3+歳	合計 (尾)
1993	0	178,346	12,157	3,811	194,314	0	0	1,523	965	2,488
1994	0	60,705	15,612	2,117	78,434	0	0	909	321	1,230
1995	0	50,488	9,879	2,735	63,103	0	0	707	925	1,633
1996	0	10,950	3,639	914	15,503	0	0	3,670	1,264	4,934
1997	0	14,088	5,352	1,852	21,292	0	0	264	1,414	1,678
1998	0	61,029	4,524	2,776	68,330	0	0	271	204	475
1999	0	27,559	4,325	1,472	33,356	0	0	587	440	1,027
2000	0	278,696	4,859	2,077	285,632	0	0	1,125	181	1,306
2001	0	89,760	26,930	2,044	118,734	0	0	1,072	170	1,242
2002	0	398,405	8,325	1,059	407,788	0	0	42	3	46
2003	0	60,835	35,479	6,936	103,250	0	0	11,363	233	11,596
2004	0	16,148	9,271	14,980	40,399	0	0	671	1,124	1,794
2005	14	28,908	1,972	3,203	34,098	0	0	714	1,451	2,165
2006	0	91,834	3,592	3,608	99,033	0	0	0	0	0
2007	0	181,747	14,640	3,727	200,114	0	0	0	0	0
2008	0	101,501	12,116	5,264	118,881	0	0	0	0	0
2009	0	172,981	16,987	4,911	194,879	0	0	0	0	0
2010	0	35,779	29,048	10,095	74,921	0	0	0	0	0
2011	0	28,049	9,511	10,000	47,560	0	0	0	0	0
2012	0	29,763	8,129	6,517	44,409	0	0	0	0	0
2013	0	22,375	5,346	4,063	31,783	0	0	0	0	0
2014	0	71,805	10,168	4,580	86,554	0	0	0	0	0
2015	0	86,670	22,273	8,055	116,999	0	0	0	0	0
2016	0	30,047	11,965	9,949	51,961	0	0	0	0	0
2017	0	37,383	9,105	3,069	49,557	0	0	0	0	0
2018	0	11,829	8,523	3,099	23,452	0	0	0	0	0
2019	0	21,444	2,897	7,100	31,441	0	0	0	0	0
2020	0	23,634	4,067	4,783	32,484	0	0	0	0	0
2021	0	10,638	5,218	3,552	19,408	0	0	0	0	0
2022	0	24,456	2,594	4,427	31,478	0	0	0	0	0
2023	0	51,245	4,987	5,720	61,952	0	0	0	0	0

補足資料 3 資源量指標値の推定法

本系群では三重県鈴鹿市白子海岸に着底したトラフグ天然稚魚をサーフネットで採集する砕波帯調査が行われており、その 1 曳網あたりの採集個体数 (CPUE) の標準化を行い、0 歳魚資源量指標値として用いている。また、ふぐはえ縄漁業による努力量 (操業隻日数) および 1 歳魚漁獲尾数から、DeLury 法により 1 歳魚初期資源尾数を推定し、1 歳魚資源量指標値として用いている。本補足資料では 0 歳魚資源量指標値の標準化手法および 1 歳魚初期資源尾数の推定法の詳細について示す。

1. 1 歳魚資源量指標値の推定

本系群のチューニング VPA では、ふぐはえ縄漁業の漁獲・操業データから DeLury 法で得られた 1 歳魚の資源量指標値がチューニング指数として使用されている。この資源量指標値は、ふぐはえ縄漁業が行われる 10 月から翌年 2 月までの静岡県、愛知県および三重県を合計した月別 1 歳魚漁獲尾数と月別努力量のデータを使用して、以下の式 (山川 2001) から求められる：

$$\log\left(\frac{C_{y,m}}{E_{y,m}}\right) = \log(q_y I_y) - q_y \Phi_{y,m} - \mu_{y,m} + \varepsilon_{y,m} \quad (1)$$

ここで、 $C_{y,m}$ は y 年 m 月の漁獲尾数、 $E_{y,m}$ は y 年 m 月の努力量 (延べ出漁隻日) であり、左辺は単位努力量当たりの漁獲尾数 (catch per unit effort: CPUE) を表す。右辺における q_y 、 I_y はそれぞれ、 y 年における漁具能率と初期資源尾数を表し、推定されるパラメータである。 $\Phi_{y,m}$ 、 $\mu_{y,m}$ はそれぞれ、 y 年の漁期開始から m 月までの累積努力量と累積自然死亡係数であり、 $\varepsilon_{y,m}$ は残差である。漁獲は月の中間で起こると仮定し、累積努力量はその月の半分までを足し合わせたものを使用し、月当たりの自然死亡係数は資源評価で使用されている自然死亡係数 $M=0.25$ を 12 で除したものを使用した。

年ごとに $\log(C_{y,m}/E_{y,m}) + \mu_{y,m}$ を目的変数、累積努力量 $\Phi_{y,m}$ を説明変数とした単回帰分析を行うと、切片が $\log(q_y I_y)$ 、傾きが $-q_y$ であるので、ここからパラメータ q_y 、 I_y が求められる。しかし、この手法では各年の漁具能率が独立に推定されるため、漁具能率の年変動が激しくなる傾向にあった。特に、2020、2021 年漁期では漁具能率が負の値として推定された (補足図 3-1)。これは、2020、2021 年漁期の開始後の CPUE が低く、漁期中から CPUE が増加したため年別に漁具能率を推定する場合、回帰直線の傾きが正になることに起因すると考えられる (補足図 3-2)。

このように初期資源尾数の推定値の不確実性が非常に大きいことから、Nishijima et al. (2019) では各年の総努力量 (総出漁隻日) から漁具能率を予測する手法を検討した。本系群のふぐはえ縄漁業の総努力量と漁具能率には明確な負の関係が見られ、漁具能率を総努力量の関数とすることで、CPUE の予測精度が向上することが示されている (Nishijima et al. 2019)。漁具能率と努力量に相関関係がある理由としては、努力量の削減に伴い、漁獲能力の高い漁船が残ったことや、漁業に適した出漁日や漁場を選択することになったことが挙げられる。以下のような式で漁具能率を総努力量の関数で表した：

$$\log(q_y) = \alpha + \beta \log\left(\sum_m E_{y,m}\right) \quad (2)$$

ここで、 $\sum_m E_{y,m}$ は y 年の総努力量を表しており、パラメータ α, β が q_y の代わりに推定されるパラメータとなる。さらに、データの不確実性に対して頑健な推定値を得るため、最小二乗法（式 1 における $\sum_y \sum_m \varepsilon_{y,m}^2$ を最小化）だけでなく（努力量・最小二乗法モデル）、最小絶対値法（ $\sum_y \sum_m |\varepsilon_{y,m}|$ を最小化）を使用した場合（努力量・最小絶対値法モデル）も計算した。

解析の結果、年別モデルでは AICc が 80.5 であったのに対し、努力量・最小二乗法モデルでは AICc が 71.1、努力量・最小絶対値法モデルでは 56.0 であった。したがって、漁具能率を総努力量の関数とし、さらに最小絶対値法を使用することによって、CPUE の予測力が向上することが示唆された。努力量・最小二乗法、努力量・最小絶対値法のいずれの場合でも総努力量と漁具能率の負の関係が推定された（補足図 3-3）。努力量を考慮した場合に推定される漁具能率は、努力量の減少に伴って緩やかに上昇する傾向を示し、2018～2021 年漁期の値は年別モデルと努力量モデルで大きく異なっていた（補足図 3-1）。その結果、年別モデルと努力量モデルで推定される初期資源尾数は、2017 年漁期年までは、ほとんど変わらなかったが、2018 年漁期においては努力量モデルの方が著しく低く、2020 年漁期、2021 年漁期については年別モデルでは負の値になった（補足図 3-4）。

レトロスペクティブ解析を行ったところ、1 歳魚資源量指標値を用いることにより、資源量、資源尾数、漁獲係数および加入量の Mohn's rho が減少している（補足図 3-5、3-6）。

2. 0 歳天然魚資源量指標値の標準化

伊勢・三河湾系群のトラフグは初期生活史において、伊勢・三河湾沖湾口部の産卵場でふ化した仔魚が湾内へと輸送され、一時的に砂浜海岸の碎波帯を利用することが知られている。三重県水産研究所では 2004 年から、本系群の加入量の多寡を早期に把握するため、鈴鹿市白子海岸に着底したトラフグ天然稚魚の採集調査を行っている（中島ほか 2008）。当該調査では、5～7 月にかけて週あたり約 1 回の頻度で調査を行っており、調査日数については 1 年当たり平均 5.75 日（ $\pm 1.52SD$ ）、曳網回数については 1 日当たり平均 8.56 回（ $\pm 3.19SD$ ）となっている。1 曳網当たりの採集尾数（CPUE）は、稚魚の来遊に合わせて、ある時期にピークをもつパルス的な応答を示す（補足図 3-7）。しかし、毎年の調査日数は平均して 6 回程度であり、パルスが明確に観察されない年もある。また、2017 年は調査期間を通じた合計採集尾数がゼロであり、観測誤差も大きいと考えられる。コホート解析のチューニングは通常 CPUE の対数をとって解析するため、ある年の CPUE がゼロの場合はそのままではチューニングに使用できない。CPUE に微小値を足すことで対応可能ではあるが、微小値に結果が依存するため、可能な限り CPUE の標準化で対処することが望ましいと考えられる。

本補足資料では、0 歳天然魚資源量指標値について Nishijima et al. (2023) に従ったサーフネット調査 CPUE の標準化手法について記載する。Nishijima et al. (2023) では、データ数が限られた状況下において、加入変動や観測誤差の影響等を考慮するため、ランダム効果を積極的に用いたモデリングが開発された。このモデルでは、年変動の分散を推定し、ランダム効果として年効果を推定することで、調査期間を通じた合計採集尾数がゼロの年でも資源量指標値がゼロとなることを避けることが可能であり、統計的に最適な値が推定される。同様に、本年度の資源評価においてもパルスの形状を表すパラメータの年変動を

潜在変数として推定するモデルを検討し、情報量規準と交差検証によって予測性能を評価し、モデル選択を行った。次に、選ばれたモデルにより資源量指標値を算出し、コホート解析のチューニングにおける0歳天然魚資源量指標値として使用した。なお、本年度評価においては2024年漁期に行われた調査データまでを使用してCPUE標準化を行い2004～2024年漁期の0歳天然魚資源量指標値を推定したが、本年度の資源量の推定は2023年漁期までであるため、2024年漁期の0歳天然魚資源量指標値はチューニングには用いていない。

サーフネット調査に使用した袖網は2004～2005年は長さ5.0 m×高さ0.5 m、2006～2007年は長さ10.0 m×高さ1.0 m、2008年以降は長さ4.0 m×高さ1.0 mである(中島ほか 2008)。袖網のサイズの影響を考慮するため、(1) 袖網の面積で努力量を補正した場合、(2) 袖網の長さで努力量を補正した場合、(3) なにも補正しなかった場合、で対数尤度を比較したところ、(2) の場合が他の条件設定よりも対数尤度がやや高かったため、袖網の長さで努力量の補正を行った(補足表3-1)。2008年以降の網サイズにおける1回の曳網を単位努力量とし、2007年以前の努力量を補正した。2004～2024年までの21年間の調査におけるデータの総数(N)は121であった。

パルスにおける年 y 日付 t のCPUEの期待値の対数は以下の二次関数(ガウス関数)で表した:

$$r_{y,t} = -\exp(a_y) \times (t - b_y)^2 + c_y, \quad (3)$$

$$E(CPUE_{y,t}) = E(C_{y,t}/E_{y,t}) = \exp(r_{y,t}). \quad (4)$$

ここで、 a_y はパルスの幅(狭さ)を表すパラメータであり、指数関数を使用しているのは必然的に上に凸の形にするためである。 b_y はピークの時期を表しており、生物季節の変化を示すパラメータである。本解析では5月1日を $t=0$ とした。 c_y はピークの大きさを表すパラメータである。

採集尾数は0以上の整数値であり、分散が平均以上となる過分散の傾向が認められたため、負の二項分布を採用した。採集尾数の期待値 $\mu_{y,t}$ を努力量 $E_{y,t}$ とCPUEの期待値の積で表し($\mu_{y,t} = E_{y,t} \times \exp(p_{y,t})$)、分散は $\mu_{y,t} \times (1 + \varphi \times \mu_{y,t})$ となる。努力量の $E_{y,t}$ はオフセット項にあたり、 φ は過分散の程度を表すパラメータである。

パラメータ a_y , b_y , c_y の年変動のパターンは以下の5通りを想定した(c_y を例として示す)。これらは近年CPUEの標準化で開発されて幅広く適用されているVector Autoregressive Spatio-Temporal (VAST)モデルの年効果の推定に実装されているものである(Thorson and Barnett 2017, Thorson 2019)。

1. Fixed: 固定効果で推定
2. Constant: 年によらず共通 ($c_y = c$)
3. White noise: 年間で独立としてランダム効果で推定 ($c_y \sim \text{Normal}(0, \sigma_c^2)$)
4. AR(1): ある年と前年のパラメータ値に相関がある ($\text{cor}(c_y, c_{y-1}) = \rho_c$)
5. Random walk: ある年のパラメータが前年の値を期待値として、そこからランダムに変動する ($c_y \sim \text{Normal}(c_{y-1}, \sigma_c^2)$)

1 と 2 は固定効果で各年のパラメータを推定するが、3~5 はランダム効果を使用した潜在変数として各年のパラメータが推定される。ランダム効果を使用することで分散の制約を受けるので、極端な値が推定されにくくなり、調査期間を通した合計採集尾数がゼロの 2017 年漁期の指標値についても小さな正の値となることが期待される。本調査の対象は 0 歳の天然稚魚であり対象となる年級は重複しないが、環境の影響が前後の年で類似することも想定して、自己回帰モデルやランダムウォークモデルについても検討した。 a_y, b_y, c_y それぞれ 5 通りずつ、合計 125 通りのモデルを解析した。

パラメータ推定には `template model builder` (TMB) の R パッケージを用いた (Kristensen et al. 2016)。TMB はラプラス近似と自動微分に基づく高速計算による最尤推定を可能にするパッケージである。近年では、TMB を用いて潜在変数で水産資源の空間分布や資源状態を推定する試みが盛んに行われている (Nielsen and Berg 2014、Thorson and Barnett 2017、Okamura et al. 2018、Nishijima et al. 2021)。

指標値を算出するためのベストモデルの選択は以下の手順で行った。まず、半分近くのモデルはパラメータが収束していないか、推定誤差を計算するために必要なヘッセ行列が求められなかったため、それらを候補から除外した (53 個)。次に、推定に問題が見られなかったモデルのうち、AIC と BIC がそれぞれ最小のモデルを選んだ。最後に、AIC 最小と BIC 最小のモデルに対して 1 個抜き交差検証 (leave-one-out cross validation) を行った。予測精度の評価には、負の対数尤度を使用した (負の対数尤度が小さいほど予測精度が高い)。

その結果、AIC と BIC で選択されるモデルは大きく異なった (補足表 3-2)。AIC で選ばれた上位モデルは、すべてピークの大きさ (c_y) を固定効果で推定したモデルであった。その中でも、最も AIC が低かったのは、パルスの幅 (a_y) を一定として推定し、ピークの時期 (b_y) を独立に推定するモデルであった。

BIC 基準では、ピークの大きさ (c_y) を、ランダム効果を使用して潜在変数として推定したモデルが上位に選ばれており、その中でも BIC 最小モデルはパルスの狭さ (a_y) が独立に変化し、ピークの時期 (b_y) は一定とするモデルであった。

AIC 最小のモデルと BIC 最小のモデルを 1 個抜き交差検証で比較したところ、負の対数尤度の平均は BIC 最小モデルの方が小さかった (AIC 最小: $2.92 \pm 4.41SD$ 、BIC 最小: $2.36 \pm 2.05SD$)。これは、固定効果よりもランダム効果を使用してピークの大きさ (c_y) を推定するモデルの方が予測性能は優れていることを示している。そのため、BIC 最小のモデルであるパルスの幅 (a_y) が独立、ピークの時期 (b_y) が一定、ピークの大きさ (c_y) がランダムウォークで変化するモデルをベストモデルとして採用した。なお、2024 年度までのデータで選ばれたベストモデルは、2023 年度までのデータに対して同様の手法で選ばれたベストモデルと同じであり、モデル選択の結果はデータの更新に対して頑健であることが示された。

ベストモデルでは、ピークの時期は年によらず一定であり、6 月 7.4 日 ($\pm 1.0SD$) と推定された (補足図 3-8b)。推定されたピークより遅い時期に高い CPUE が観測された 2006 年漁期と 2015 年漁期はパルスの幅が広く推定された (補足図 3-7、3-8a)。パルスの幅はランダムに年変動する一方で、ピークの大きさは 2000 年代後半以降、減少傾向を示しているが、2021 年漁期以降は増加傾向となっている (補足図 3-8c)。

ベストモデルの診断結果を補足図 3-9 に示す。標準化残差の頻度分布が一様分布であるという帰無仮説をコルモゴロフスミルノフ検定で検証した結果、有意ではなかった ($P=0.66$ 、補足図 3-9a)。また、QQ プロットも理論上の予測線に載っており、逸脱は少なかった (補足図 3-9b)。標準化残差と予測された採集尾数の間には有意な関係はなかった ($P=0.434$ 、補足図 3-9c)。標準化残差と年の間にも有意な関係はなかった ($P=0.974$ 、補足図 3-9d)。標準化残差と日付の間には緩やかな正の相関があったが、有意ではなかった ($P=0.113$ 、補足図 3-9e)。シミュレーションで生成されたゼロデータの数の中央値 (50) は、観測値 (45) よりもやや高かったものの有意ではなく ($P=0.175$)、ゼロデータの過剰および過小といった問題は無いことが示唆された (補足図 3-9f)。

各年の資源量指標値は、2 次関数で表された CPUE の予測値を積分することで求めた。ガウス積分の公式を使うことにより、以下のように解析的に指標値を計算することができる：

$$I_y = \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-\exp(\hat{a}_y) \times (t - \hat{b}_y)^2 + \hat{c}_y\right] dt = \exp(\hat{c}_y) \times \sqrt{\frac{\pi}{\exp(\hat{a}_y)}}, \quad (5)$$

この値は CPUE の予測線と $y=0$ で囲まれた面積であり (補足図 3-1)、毎日一網曳いたときの合計採集尾数の期待値に相当する。日付 t の $-\infty$ から ∞ まで積分しているのは解析的に指標値を求めるためである、実際には、21 年間の調査期間の中でサンプリングの最も早い日 (5 月 14 日) と最も遅い日 (7 月 24 日) には予測 CPUE はほぼ 0 となっているため、この調査期間中の毎日の予測 CPUE から指標値を計算した場合でも結果はほとんど変わらない。また、この式から、ピークのタイミングを表す b_y は指標値に影響しないことが分かる。ランダム効果のバイアス補正を行ったうえで、指標値の期待値の計算を行った (Thorson and Kristensen 2016)。また、信頼区間は TMB に実装されているデルタ法により求めた。この標準化指標値の年トレンドについて、ノミナル CPUE の各年の最大値をとった場合 (ノミナル最大値) およびノミナル CPUE の各年の平均をとった場合 (ノミナル平均値) と比較した。

標準化した指標値 (0 歳天然魚資源量指標値) の年トレンドはノミナル平均値やノミナル最大値に比べて平滑化されたパターンを示した (補足図 3-11、補足表 3-3)。2006 年漁期はノミナルに比べて標準化指標値は高かったが、2008 年漁期と 2014 年漁期はノミナルに比べて標準化指標値は低かった。標準化指標値は、調査期間を通した合計採集尾数が 0 であった 2017 年漁期についても 7.14 と推定されたが、パラメータ推定値の信頼区間や指標値の変動係数は最も大きかった (補足図 3-9、3-10、補足表 3-3)。標準化指標値は 2020 年漁期に 4.93 と過去最低だったが、その後は増加傾向にあり、2024 年漁期は 11.13 と推定された。

本資源における 0 歳天然魚資源量指標値の標準化の効果について、1 年先の将来予測まで含めたレトロスペクティブ解析 (retrospective forecasting or hindcasting) (Brooks and Legault 2016) を行った。データを最近年から 1 年分ずつ削っていき、1 年先の予測値を求めた。予測バイアスは Mohn's rho によって評価した (Mohn 1999)：

$$\rho = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P \left(\frac{X_{2024-i}^R - X_{2024-i}}{X_{2024-i}} \right). \quad (6)$$

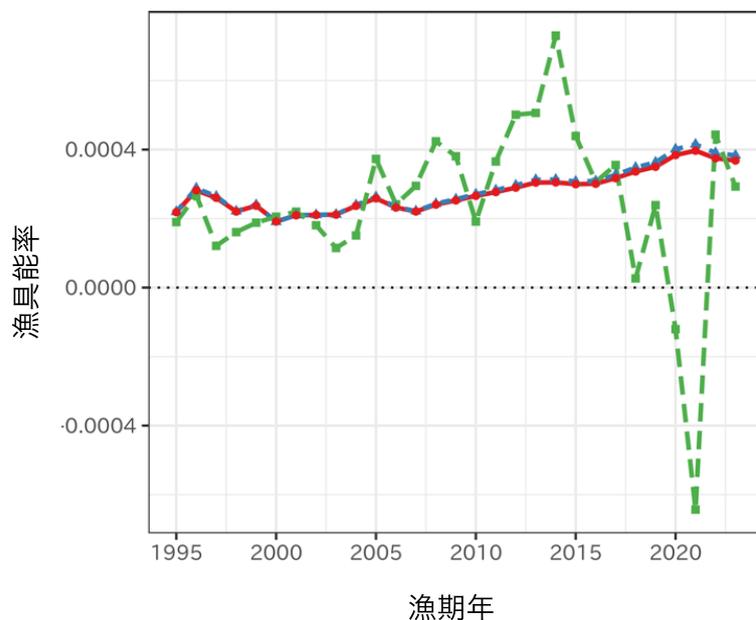
ここで、 X_{2024-i} はフルデータを使用したときの 2024- i 年漁期の推定値であり、 X_{2024-i}^R は直近 i 年分のデータを削って推定した結果から得られた 2024- i 年漁期の予測値である。ここでは最大で直近 10 年分のデータを除いた解析を行い、2023 年漁期までの結果を示した（補足図 3-11）。Mohn's rho は推定値または予測値のバイアスの程度を測る指標であり、正の時は過大評価、負の時は過小評価を表すため、この Mohn's rho により加入量、資源量、親魚量、平均漁獲死亡係数および漁獲量の予測バイアスを計算した。その結果、標準化指標値を使用したモデルの方が、ノミナル指標値を用いたモデルや 0 歳天然魚資源量指標値を使用しないモデルに比べて、資源量、親魚量および漁獲量の予測の頑健性が向上することが示された。

ノミナル最大値、ノミナル平均値および標準化指標値をチューニング VPA に使用した際の当てはまり結果について補足図 3-12 に示した。ノミナル最大値とノミナル平均値における残差には時系列的なトレンドは無かったが、当てはまりは悪かった（ノミナル最大値: $\sigma_0 = 0.92$ 、ノミナル平均値: $\sigma_0 = 0.94$ ）。一方、標準化指標値の残差には減少傾向が見られたものの（ $P = 0.01$ ）、ノミナル指標値と比べて当てはまりは大幅に良かった（ $\sigma_0 = 0.58$ ）。この原因として、ピークの大きさにランダムウォークを仮定することで標準化指標値が前年値との関係をもつことになり、残差に時間的なトレンドが生じやすくなったことが考えられる。

引用文献

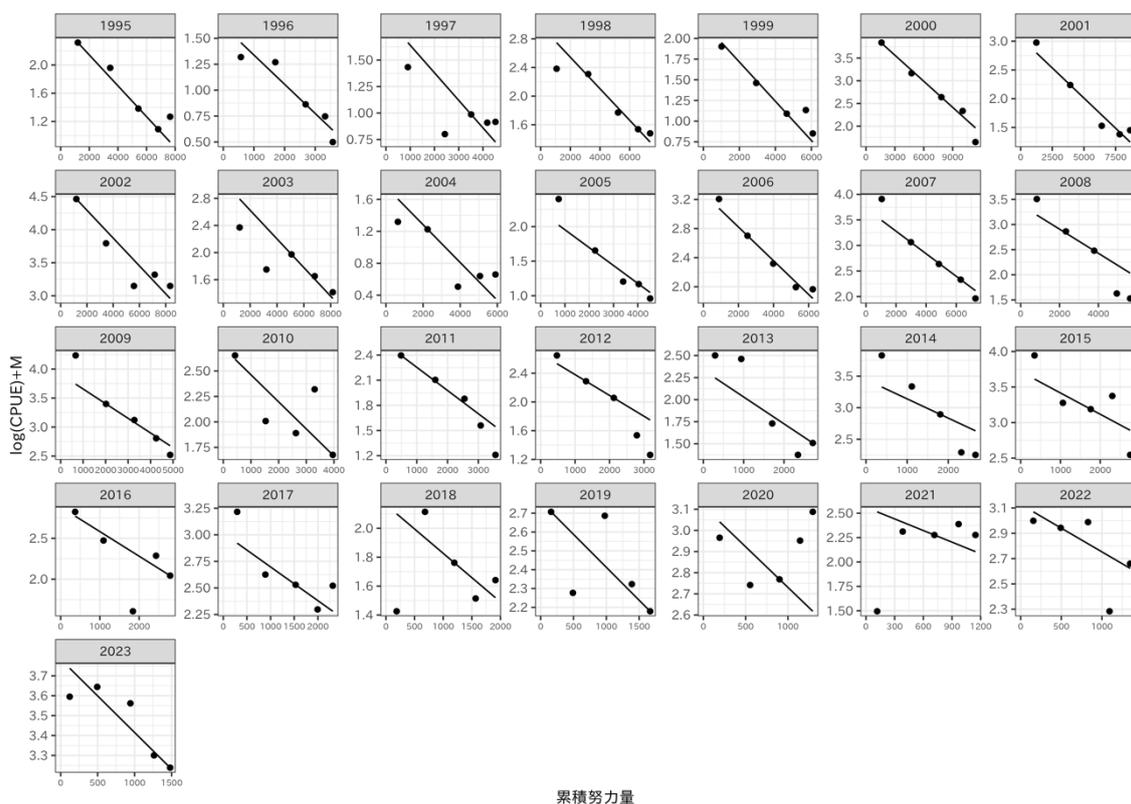
- Brooks, E. N., and C. M. Legault (2016) Retrospective forecasting — evaluating performance of stock projections for New England groundfish stocks. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **73**, 935-950.
- Kristensen, K., A. Nielsen, C. W. Berg, H. Skaug, and B. M. Bell (2016) TMB: Automatic differentiation and laplace approximation. *J. Stat. Softw.*, **70**, 1-21.
- 真鍋明弘・平井慈恵・片町太輔・西島翔太・澤山周平・青木一弘 (2022) 令和 4 (2022) 年度トラフグ伊勢・三河湾系群の管理基準値等に関する研究機関会議資料. FRA-SA2022-BRP17-01, 水産研究・教育機構, 横浜, 1-115. https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/20221028/FRA-SA2022-BRP17-01.pdf (最終アクセス日 2023/06/14)
- Mohn, R. (1999) The retrospective problem in sequential population analysis: An investigation using cod fishery and simulated data. *ICES J. Mar. Sci.*, **56**, 473-488.
- 中島博司・津本欣吾・沖 大樹 (2008) 伊勢湾の砂浜海岸砕波帯に出現したトラフグ稚魚について. *水産増殖*, **56**, 221-229.
- Nielsen, A., and C. W. Berg (2014) Estimation of time-varying selectivity in stock assessments using state-space models. *Fish. Res.*, **158**, 96-101.
- Nishijima, S., S. Suzuki, M. Ichinokawa, and H. Okamura (2019) Integrated multi-timescale modeling untangles anthropogenic, environmental, and biological effects on catchability *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **76**, 2045-2056.

- Nishijima, S., H. Kubota, T. Kaga, S. Okamoto, H. Miyahara, and H. Okamura (2021) State-space modeling clarifies productivity regime shifts of Japanese flying squid. *Popul. Ecol.*, **63**, 27-240.
- Nishijima S., S. Suzuki, R. Fukuta, and M. Okada. (2023) Modeling pulse dynamics of juvenile fish enables the short-term forecasting of population dynamics in Japanese pufferfish: A latent variable approach and hindcasting. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **80**, 1017-1031.
- Okamura, H., Y. Yamashita, M. Ichinokawa, and S. Nishijima (2018) Comparison of the performance of age-structured models with few survey indices. *ICES J. Mar. Sci.*, **75**, 2016-2024.
- Thorson, J. T. (2019) Guidance for decisions using the Vector Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) package in stock, ecosystem, habitat and climate assessments. *Fish. Res.*, **210**, 143-161.
- Thorson, J. T., and L. A. K. Barnett (2017) Comparing estimates of abundance trends and distribution shifts using single- and multispecies models of fishes and biogenic habitat. *ICES J. Mar. Sci.* **74**, 1311-1321.
- Thorson, J. T., and K. Kristensen (2016) Implementing a generic method for bias correction in statistical models using random effects, with spatial and population dynamics examples. *Fish. Res.*, **175**, 66-74.
- 山川 卓 (2001) DeLury 法. 「資源評価体制確立推進事業報告書—資源解析手法教科書—」(田中昌一・青木一郎・赤嶺達郎・一丸俊雄・岸田 達・高場 稔・田中栄次・福田雅明・谷津明彦・由木雄一・和田時夫編). 社団法人日本水産資源保護協会, 東京, pp 73-90.



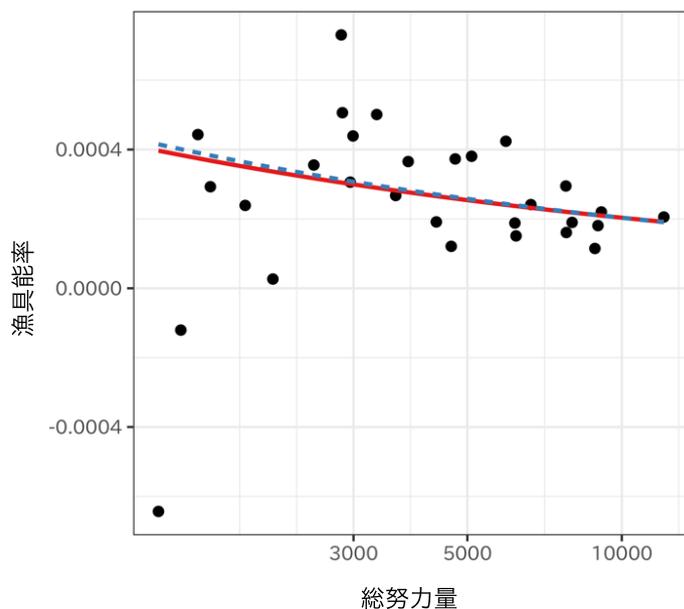
補足図 3-1. 漁具能率の推定値

赤線は努力量・最小絶対値法モデル、青破線は努力量・最小二乗法モデル、緑破線は年別モデルによる推定結果を示す。



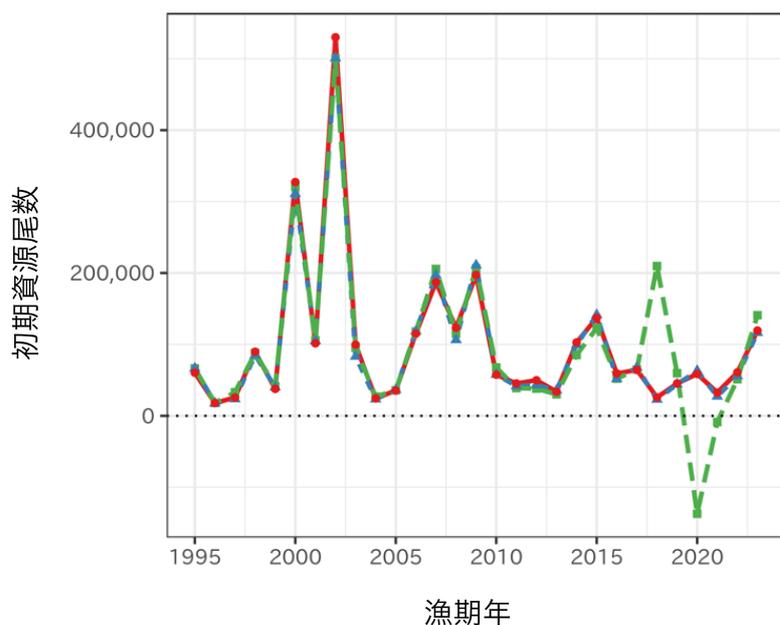
補足図 3-2. 各漁期年における各月の累積努力量と CPUE の関係

黒丸は観測値、実線は努力量・最小絶対値モデルによる予測結果を示す。



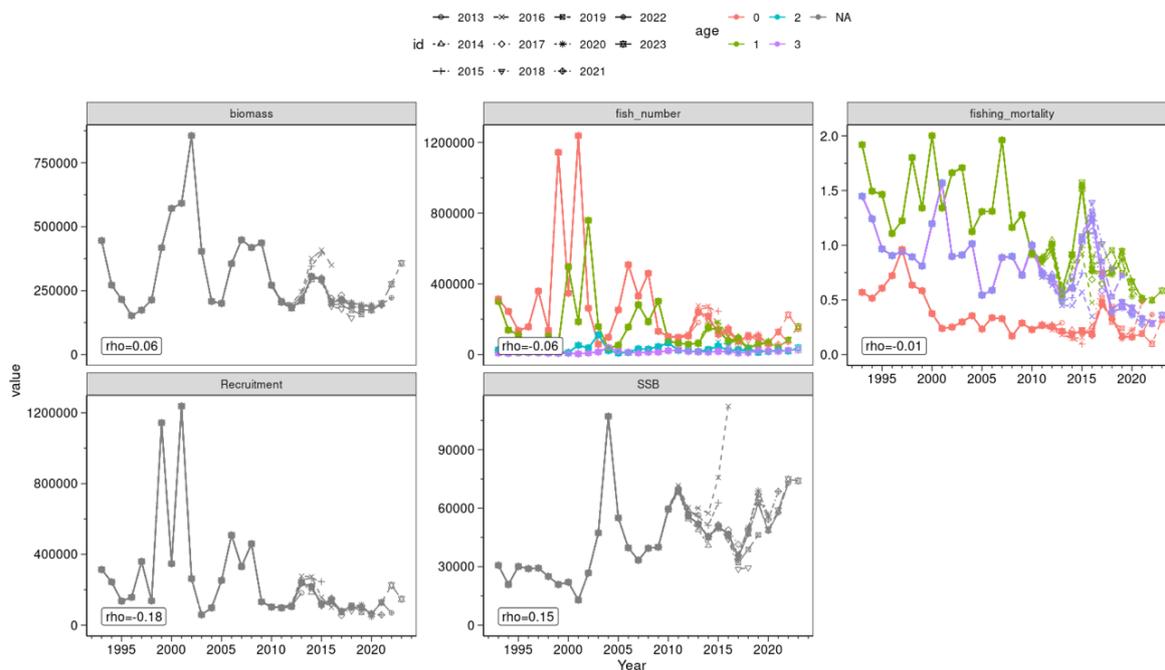
補足図 3-3. 総努力量と漁具能率の関係

赤線は努力量・最小絶対値法モデル、青破線は努力量・最小二乗法モデルの結果を示す。



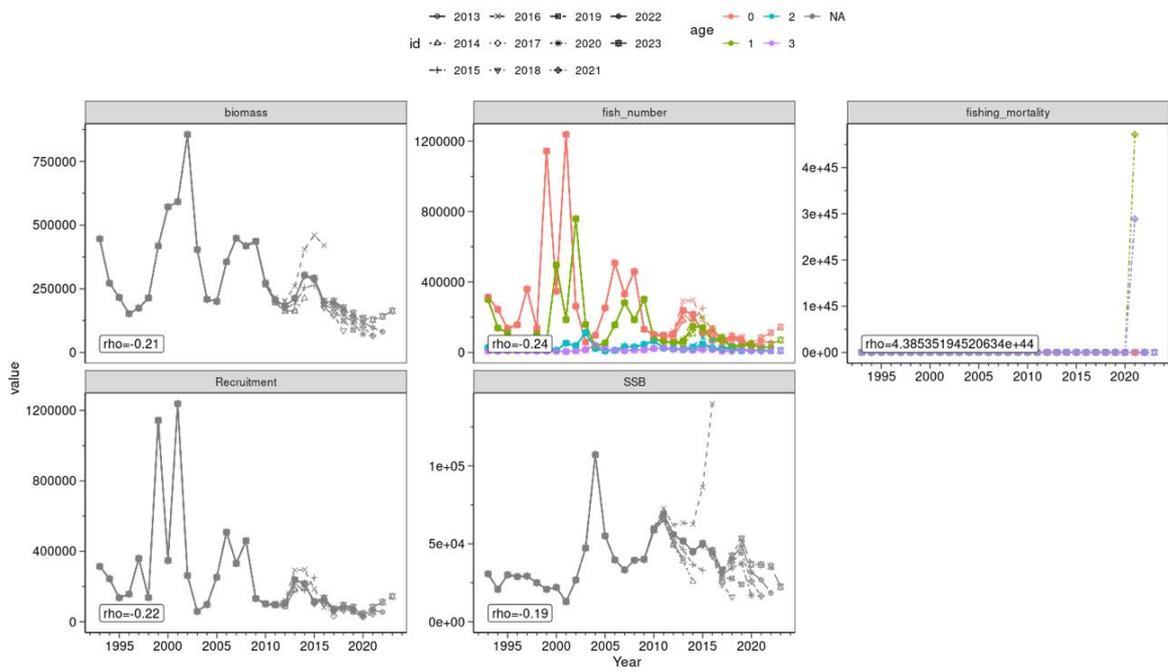
補足図 3-4. 1 歳魚初期資源尾数の推定値

赤線は努力量・最小絶対値法モデル、青破線は努力量・最小二乘法モデル、緑破線は年別モデルによる推定結果を示す。



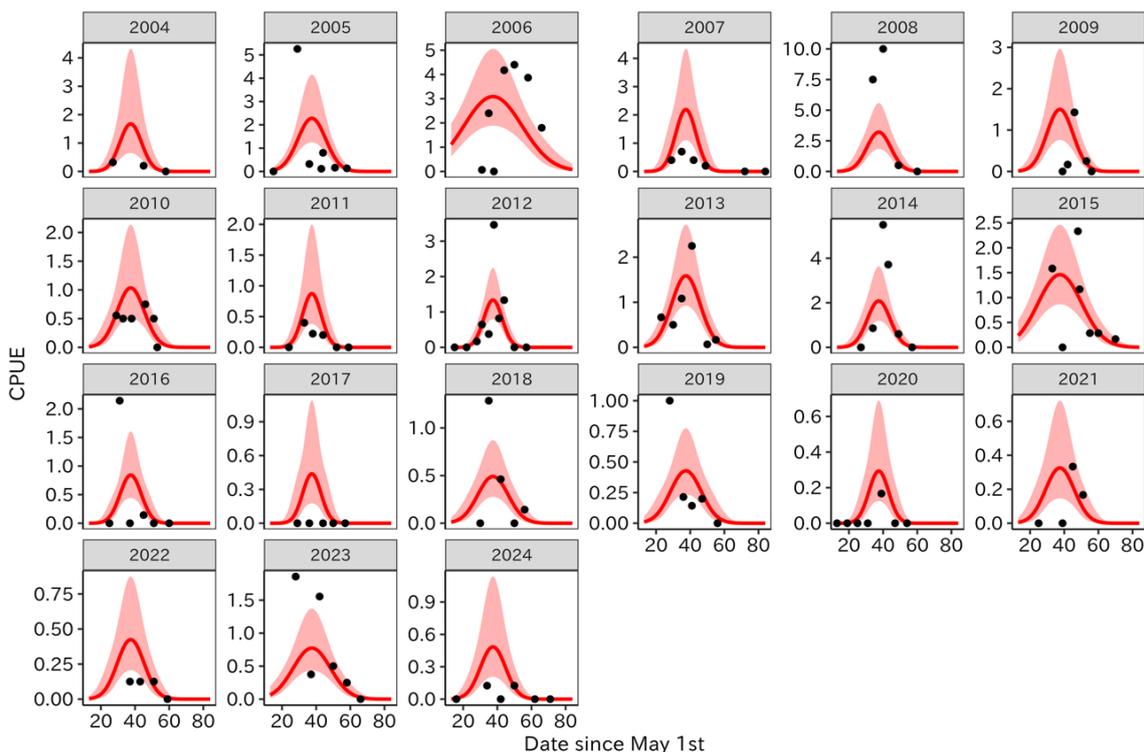
補足図 3-5. 1 歳魚資源量指標値を用いた場合のレトロスペクティブ解析結果

左上から資源量、年齢別資源尾数、年齢別漁獲係数、加入尾数、親魚量のレトロスペクティブ解析結果。図中の数字 rho は Mohn's rho を示す。

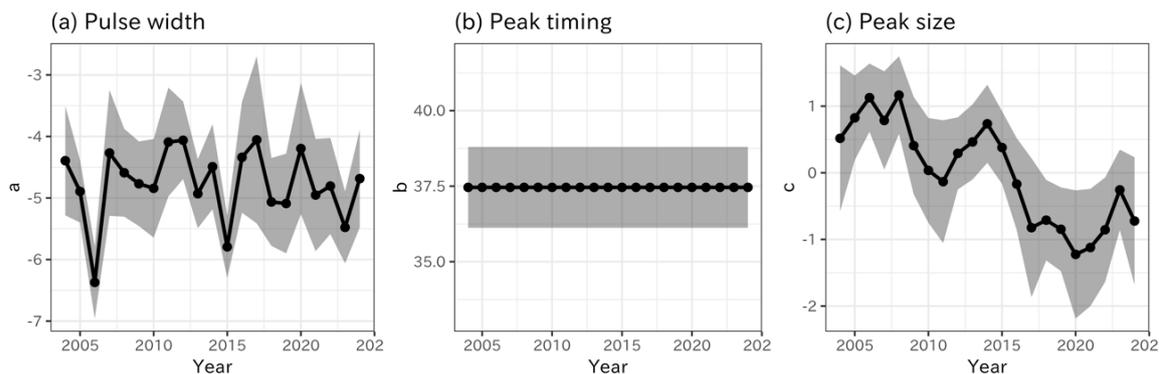


補足図 3-6. 1 歳魚資源量指標値を用いない場合のレトロスペクティブ解析結果

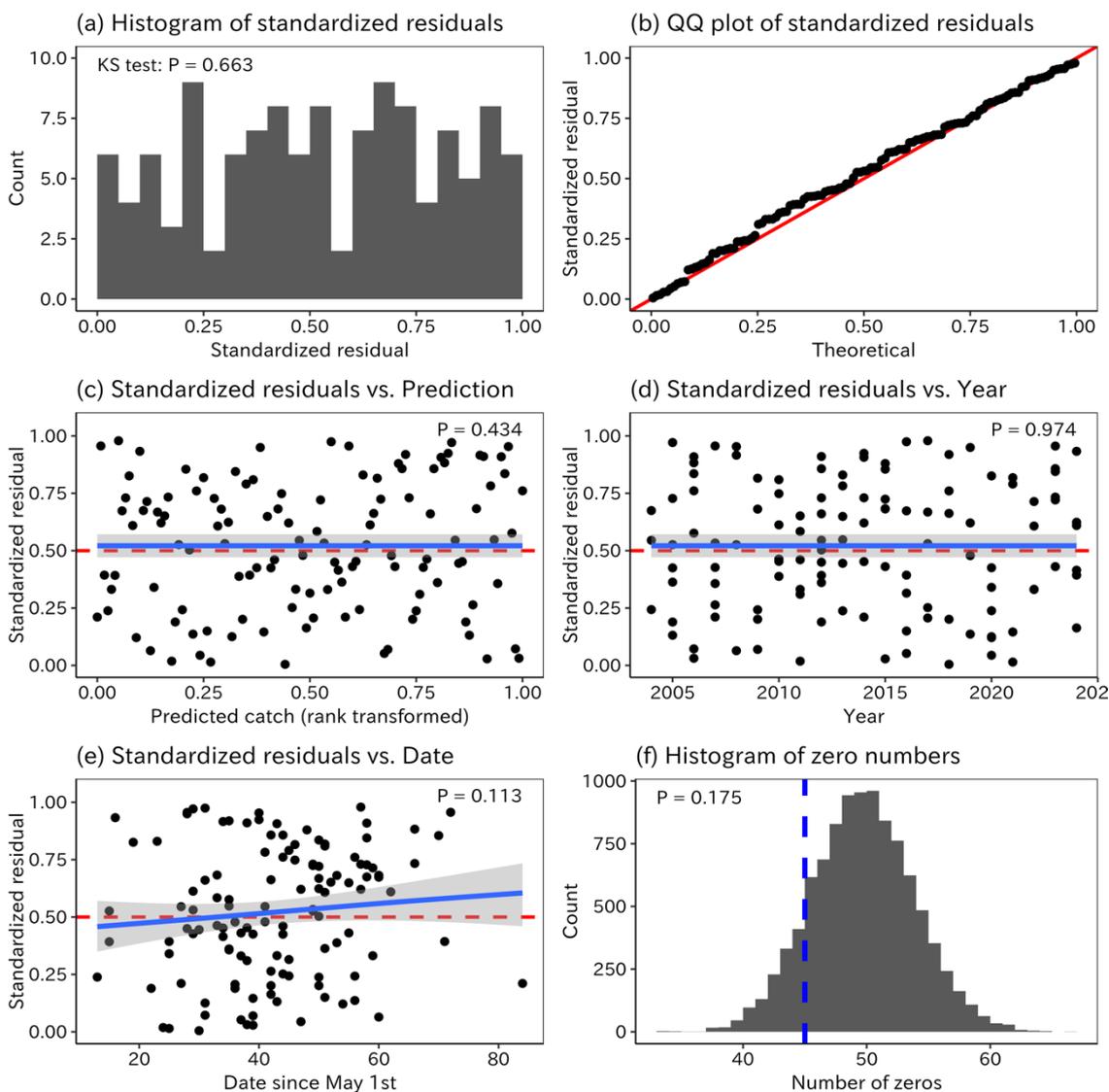
左上から資源量、年齢別資源尾数、年齢別漁獲係数、加入尾数、親魚量のレトロスペクティブ解析結果。図中の数字 rho は Mohn's rho を示す。



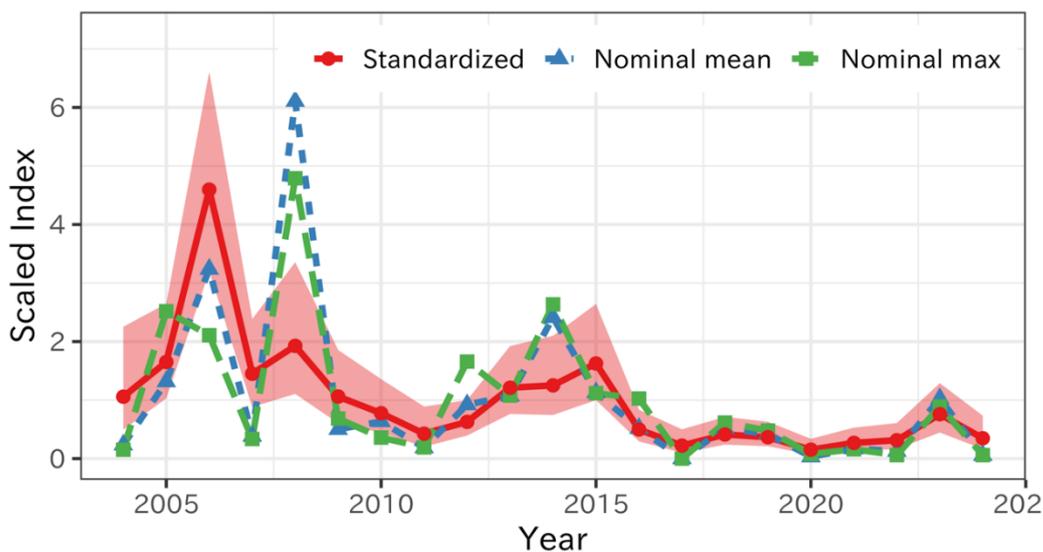
補足図 3-7. サーフネット調査 CPUE の観測値（黒点）と予測値（赤線）の推移（横軸は 5 月 1 日からの日数）
 赤の網掛け k は 80%信頼区間を表す。縦軸スケールは漁期年によって変化する。



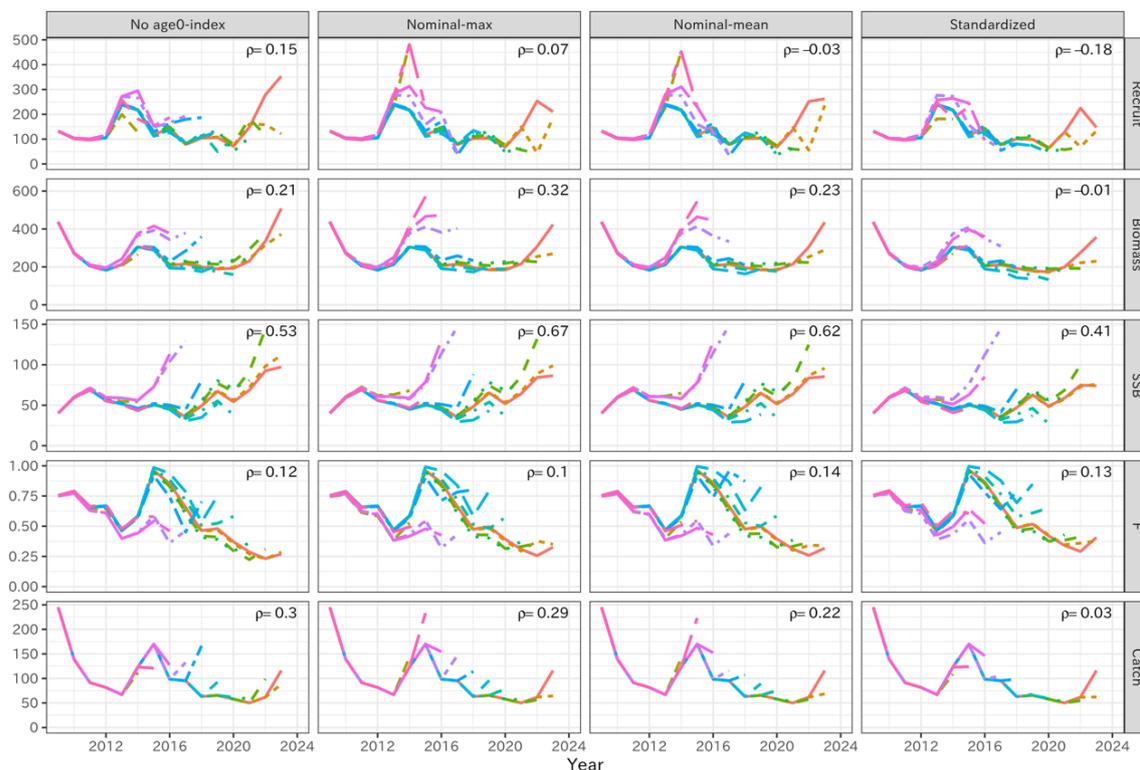
補足図 3-8. サーフネット調査 CPUE のベストモデルにおける (a) パルスの幅 (a_y)、(b) ピークのタイミング (b_y)、(c) ピークの大きさ (c_y) の推定値および 80%信頼区間（灰色の網掛け）



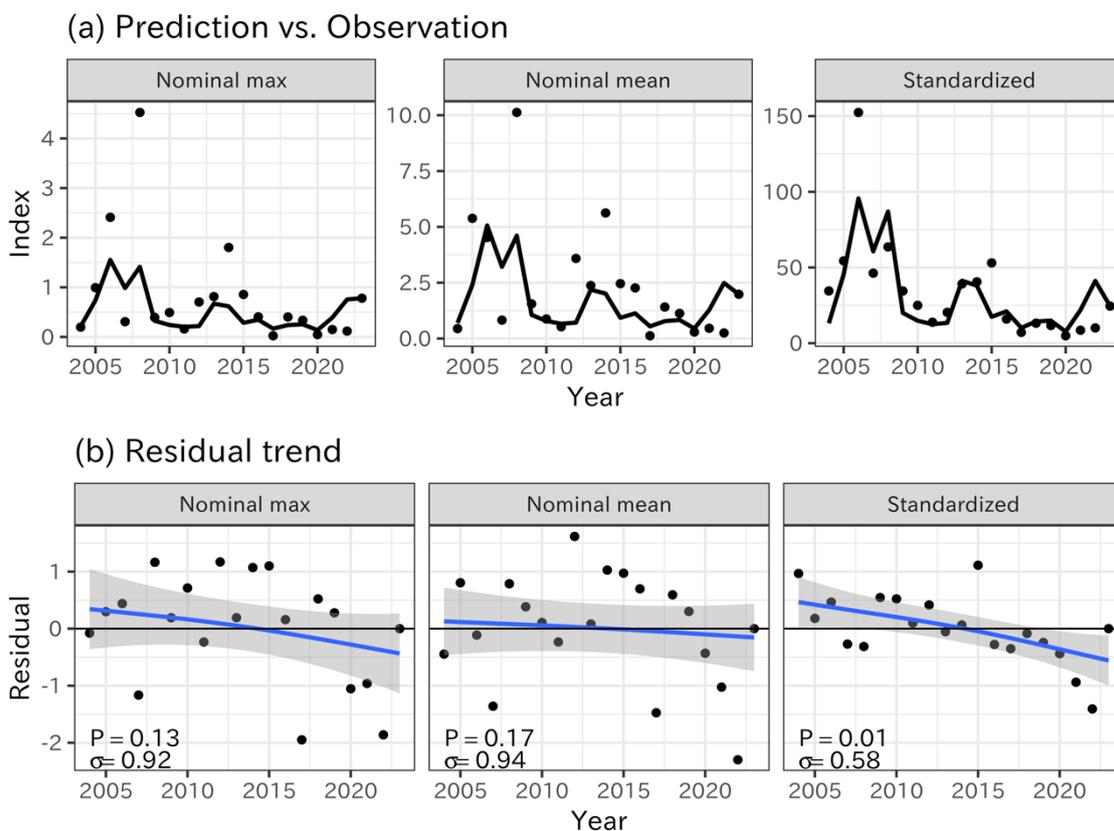
補足図 3-9. モデル診断の結果 (a) 標準化残差のヒストグラム、(b) 標準化残差の QQ プロット、(c) 標準化残差と (順位に変換した) 予測採集尾数の関係 (青線 : GAM による平滑化曲線、網掛け : 95%信頼区間)、(d) 標準化残差と年の関係 (青線 : GAM による平滑化曲線、網掛け : 95%信頼区間)、(e) 標準化残差と日付の関係 (青線 : GAM による平滑化曲線、網掛け : 95%信頼区間)、(f) ゼロデータの予測値のヒストグラムと観測値 (青破線)。(a) にはコルモゴロフスミルノフ検定による P 値を、(c-e) には GAM における説明変数の P 値を、(f) にはゼロデータの数が予測値よりも外れる確率を示した。



補足図 3-10. 0 歳天然魚標準化資源量指標値（赤実線）、ノミナル平均値（青点線）、ノミナル最大値（緑破線）の推移
赤の網掛けは 0 歳天然魚標準化資源量指標値の 80%信頼区間を表す。



補足図 3-11. VPA モデルにおいてレトロスペクティブ解析により 1 年先を将来予測した結果
図中の ρ は Mohn's rho の値を示す。



補足図 3-12. ノミナル最大値 (Nominal max)、ノミナル平均値 (Nominal mean)、標準化指標値 (Standardized) をチューニング VPA に使用した際の当てはまり結果

(a) 観測値 (点) とコホート解析で得られた予測値 (実線)、(b) 0 歳天然魚指標値の残差のトレンド (青線は GAM による平滑化曲線で影は 95%信頼区間を表す)、(b) の左下には GAM による残差の時間トレンドの P 値と残差の標準偏差を表す σ の値を示した。

補足表 3-1. 袖網サイズによる努力量補正の対数尤度

補正方法	(1) 面積	(2) 長さ	(3) 補正なし
対数尤度	590.3	589.6	590.3

補足表 3-2. AIC および BIC 基準で選択された上位 5 位までのモデル

Rank	Log-likelihood	Δ AIC or Δ BIC	Pattern of annual variation*		
			a_y	b_y	c_y
AIC					
1	-255.72	0.00	Const	WN	FE
2	-253.74	0.04	AR(1)	WN	FE
3	-256.22	0.99	WN	Const	FE
4	-255.24	1.04	Const	AR(1)	FE
5	-253.27	1.09	AR(1)	AR(1)	FE
BIC					
1**	-282.81	0.00	WN	Const	RW
2	-282.01	3.20	WN	Const	WN
3	-284.42	3.23	WN	RW	RW
4	-282.68	4.55	AR(1)	Const	RW
5	-282.81	4.80	WN	WN	RW

* FE: fixed effect (固定効果)、Const: constant (一定)、WN: white noise (独立)、AR(1): 1 次の自己相関、RW: random walk (前年の値が期待値)。

** 本年度評価における 0 歳魚資源量指標値の標準化に用いられたモデル。

補足表 3-3. 各漁期年のノミナル最大値、ノミナル平均値、標準化指標値およびその変動係数

Year	Nominal max (number/tow)	Nominal mean (number/tow)	Standardized (number)	CV
2004	0.32 (0.15)	0.17 (0.24)	34.52 (1.06)	0.58 (0.65)
2005	5.26 (2.52)	0.97 (1.32)	54.38 (1.65)	0.36 (0.38)
2006	4.40 (2.11)	2.39 (3.24)	152.42 (4.60)	0.30 (0.29)
2007	0.70 (0.34)	0.28 (0.38)	46.28 (1.45)	0.38 (0.40)
2008	10.00 (4.79)	4.50 (6.11)	63.62 (1.93)	0.40 (0.45)
2009	1.43 (0.68)	0.37 (0.50)	34.49 (1.06)	0.42 (0.46)
2010	0.75 (0.36)	0.47 (0.63)	25.01 (0.78)	0.41 (0.46)
2011	0.40 (0.19)	0.14 (0.19)	13.83 (0.43)	0.54 (0.63)
2012	3.46 (1.66)	0.68 (0.92)	20.38 (0.63)	0.32 (0.37)
2013	2.25 (1.08)	0.79 (1.07)	39.14 (1.21)	0.32 (0.37)
2014	5.50 (2.63)	1.78 (2.41)	40.55 (1.25)	0.36 (0.42)
2015	2.33 (1.12)	0.83 (1.13)	53.05 (1.63)	0.34 (0.39)
2016	2.14 (1.03)	0.38 (0.52)	15.93 (0.50)	0.36 (0.42)
2017	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	7.14 (0.22)	0.60 (0.70)
2018	1.29 (0.62)	0.38 (0.51)	13.21 (0.41)	0.38 (0.45)
2019	1.00 (0.48)	0.31 (0.42)	11.70 (0.37)	0.38 (0.44)
2020	0.17 (0.08)	0.02 (0.03)	4.93 (0.15)	0.58 (0.68)
2021	0.33 (0.16)	0.12 (0.17)	8.58 (0.27)	0.49 (0.57)
2022	0.12 (0.06)	0.09 (0.13)	10.08 (0.31)	0.48 (0.55)
2023	1.86 (0.89)	0.76 (1.03)	24.50 (0.76)	0.36 (0.43)
2024	0.12 (0.06)	0.04 (0.06)	11.13 (0.35)	0.55 (0.63)

※ カッコ内は平均が1となるように規準化したときの値である。ノミナル最大値とノミナル平均値の単位は一網当たりの採集尾数であるのに対し、標準化指数の単位は採集尾数であることに注意。

補足資料 4 種苗放流効果の計算方法

本系群の加入動態は不安定であり、資源の安定的な維持・造成を目的として、1980年代からトラフグ人工種苗が大規模に放流されている。放流種苗の混入率ならびに添加効率を推定するために、2000年漁期からはイラストマー標識、2005年漁期からはALC耳石標識、2007年漁期からは胸鰭切除標識が種苗に施されていた。なお、イラストマー標識および胸鰭切除標識は市場調査により、ALC耳石標識は漁獲物の買取および耳石のみを加工場や旅館から回収することにより確認していた。

添加効率については、放流海域を伊勢・三河湾、遠州灘～駿河湾および熊野灘の3海域に大別し、それぞれの海域について放流サイズと添加効率の関係式を標識放流群の調査結果から求めた。この関係式を適用することにより、無標識放流群を含めた全ての放流群について添加効率を計算した。

添加効率を計算する上で、まず放流海域別の平均添加効率を計算した結果、伊勢・三河湾では0.0702と高く、遠州灘～駿河湾では0.0414、熊野灘では0.0099と低く推定された。次に、放流群別に添加効率と、この放流海域別の平均添加効率との比を計算し、その比と放流時平均全長との関係を検討したところ、高い相関は認められなかったが、以下の関係式が得られた。

$$Y = 0.0181X - 0.1004 \quad (n=83)$$

X:放流時平均全長 (mm) Y: 添加効率比 (添加効率/放流海域別平均添加効率)

そのため、この関係式をもとに

$$K = G (0.0181X - 0.1004) \quad K: 添加効率$$

(G: 伊勢・三河湾: 0.0702、遠州灘～駿河湾: 0.0414、熊野灘: 0.0099)

とする推定式をたてた。

この推定式を適用して、各放流群の平均全長から添加効率を推定した後、無標識放流群(標識装着が不安定で先の計算対象から除外した一部の標識放流群を含む)を含む人工種苗放流尾数と添加効率の積から漁期年別に放流魚の加入尾数を集計した。さらに、この放流魚の加入尾数を漁獲加入する10月時点の0歳魚放流由来資源尾数とみなし、自然死亡係数によって4月時点での放流由来加入尾数(表4-1)を算出した。

補足資料 5 管理基準値案と禁漁水準案等

令和 4 年 11 月に開催された管理基準値等に関する研究機関会議での再生産関係に関する検討に基づき、本系群では成長や生残に関する特性に基づく生物学的管理基準値を、最大持続生産量 MSY を実現する漁獲圧の代替値 (Fmsy proxy) とし、過去の加入状況を考慮して目標管理基準値を提案する 1B ルールの漁獲管理規則を適用する。

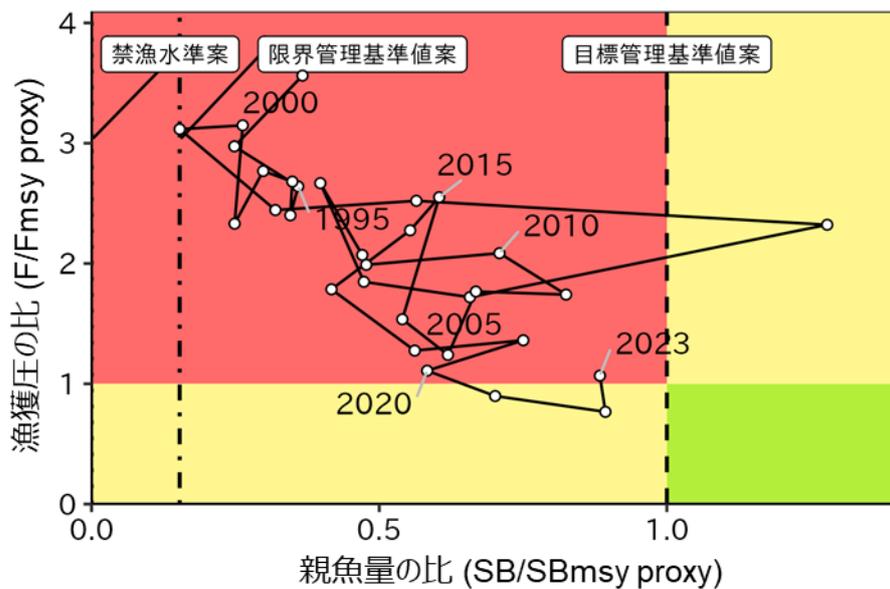
Fmsy の代替値となる生物学的管理基準値に 15%SPR に相当する漁獲圧を用いることにより (補足表 8-1)、本系群の最大持続生産量の代替値 (MSY proxy) は 60 トン、MSY を実現する親魚量の代替値 (SBmsy proxy) は 84 トンと算定されるとともに、この SBmsy proxy が本系群の目標管理基準値 (SBtarget) として提案されている (真鍋ほか 2022、補足表 8-2)。また、限界管理基準値 (SBlimit) には過去最低親魚量 (SBmin : 13 トン)、禁漁水準 (SBban) には 0 トンを用いることが提案されている。なお、MSY の推定に用いたパラメータの値は補足表 7-1 に示す。

目標管理基準値案と、Fmsy proxy を基準にした神戸プロットを補足図 5-1 に示す。チューニング VPA により得られた 2023 年漁期の親魚量 (SB2023 : 74 トン) は目標管理基準値案を下回るが、限界管理基準値案および禁漁水準案は上回る。本系群における 1993~2020 年漁期の漁獲圧は Fmsy proxy より高く、2023 年漁期も Fmsy proxy を上回っている (補足表 8-3)。

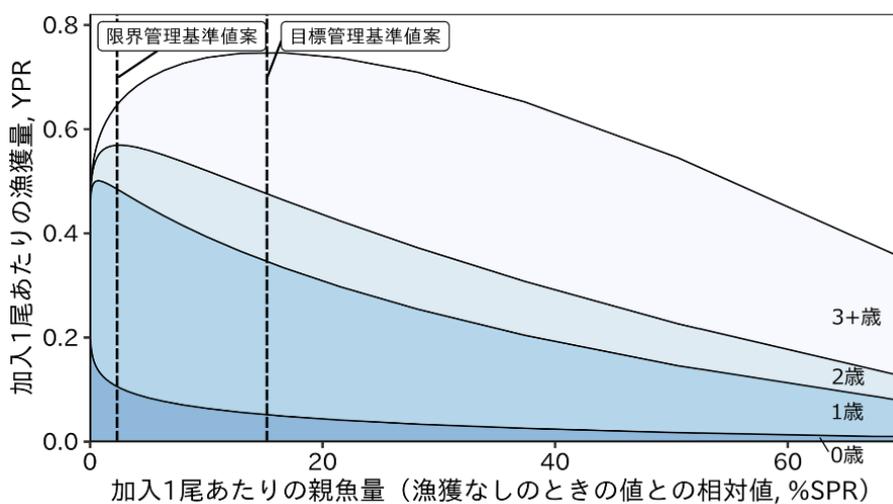
平衡状態における加入 1 尾あたりの親魚量 (SPR) の、漁獲がない場合に対する相対値 (%SPR) と加入 1 尾あたりの漁獲量 (YPR) の年齢別の関係を補足図 5-2 に示す。SBtarget に相当する %SPR 以下では 1 歳魚が漁獲の多くを占めるが、これ以上の %SPR においては 3 歳魚以上の比率が高くなっている。

引用文献

真鍋明弘・平井慈恵・片町太輔・西島翔太・澤山周平・青木一弘 (2022) 令和 4 (2022) 年度トラフグ伊勢・三河湾系群の管理基準値等に関する研究機関会議資料. FRA-SA2022-BRP17-01, 水産研究・教育機構, 横浜, 1-115. https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/20221028/FRA-SA2022-BRP17-01.pdf (last accessed July 14 2023)



補足図 5-1. 管理基準値案と親魚量・漁獲圧との関係 (神戸プロット)



補足図 5-2. 平衡状態における加入 1 尾あたりの親魚量の漁獲がない場合に対する相対値 (%SPR) と加入 1 尾あたりの漁獲量 (YPR) の年齢別の関係

補足資料 6 漁獲管理規則案に対応した将来予測

(1) 将来予測の設定

資源評価で推定した 2023 年漁期の資源量から、コホート解析の前進法を用いて 2024～2025 年漁期の将来予測計算を行った（補足資料 7）。将来予測における加入量は、令和 4（2022）年度トラフグ伊勢・三河湾系群の資源評価（FRA-SA2022-AC-74. 真鍋ほか 2023）において推定された 2009～2020 年漁期の天然由来加入尾数に対して当てはめた対数正規分布に基づき予測した。加入量の不確実性を考慮するため、1 万回の繰り返し計算を行った。

また本系群においては継続して種苗放流が行われているため、現状の放流が継続される場合として、2019～2023 年漁期の平均添加効率 0.05 と平均放流尾数 53.7 万尾を乗じた値（2.5 万尾）を人工種苗由来の加入尾数として毎年の加入量に加算した条件での予測も行った。

2024 年漁期の漁獲量は、予測される資源量と現状の漁獲圧（F2021-2023）から仮定した。現状の漁獲圧は、管理基準値案を算出した時と同じ選択率や生物パラメータ（平均体重等）の条件下で、2021～2023 年漁期の平均 F に対応する %SPR（17.5%）を与える F 値とした。なお、2024 年漁期については、すでに種苗放流が行われているため、加入量には人工種苗由来の加入尾数を加算した。

2025 年漁期以降の漁獲圧には、各年に予測される親魚量をもとに下記の漁獲管理規則案で定められる漁獲圧を用いた。

(2) 漁獲管理規則案

漁獲管理規則案は、目標管理基準値案以上に親魚量を維持・回復する達成確率を勘案して、親魚量に対応した漁獲圧（F）等を定めたものである。「令和 6（2024）年度 漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2024-ABCWG02-01. 水産研究・教育機構 2024）」では、親魚量が限界管理基準値案を下回った場合には禁漁水準案まで直線的に漁獲圧を削減するとともに、親魚量が限界管理基準値以上にある場合には $F_{msy proxy}$ に調整係数 β を乗じた値を漁獲圧の上限とするものを提示している。補足図 6-1 に真鍋ほか（2022）により提案された漁獲管理規則を示す。ここでは例として調整係数 β を 0.7 とした場合を示した。

(3) 2025 年漁期の予測値

漁獲管理規則に基づき試算された 2025 年漁期の平均漁獲量は、加入量として天然由来による加入のみを想定した場合、 β が 0.7 であれば 76 トン、 β が 1.0 であれば 102 トンであった（補足表 6-4a、8-4a、8-6）。現状の放流を想定した場合では、2025 年漁期の平均漁獲量は β が 0.7 であれば 77 トン、 β が 1.0 であれば 104 トンであった（補足表 6-4b、8-4b、8-6）。2025 年漁期に予測される親魚量は、いずれの繰り返し計算でも目標管理基準値案を上回り、どちらの加入量設定でも平均 188 トンと見込まれた。この親魚量は限界管理基準値案以上であるため、2025 年漁期の漁獲圧は $\beta \times F_{msy proxy}$ とした。

(4) 2026年漁期以降の予測

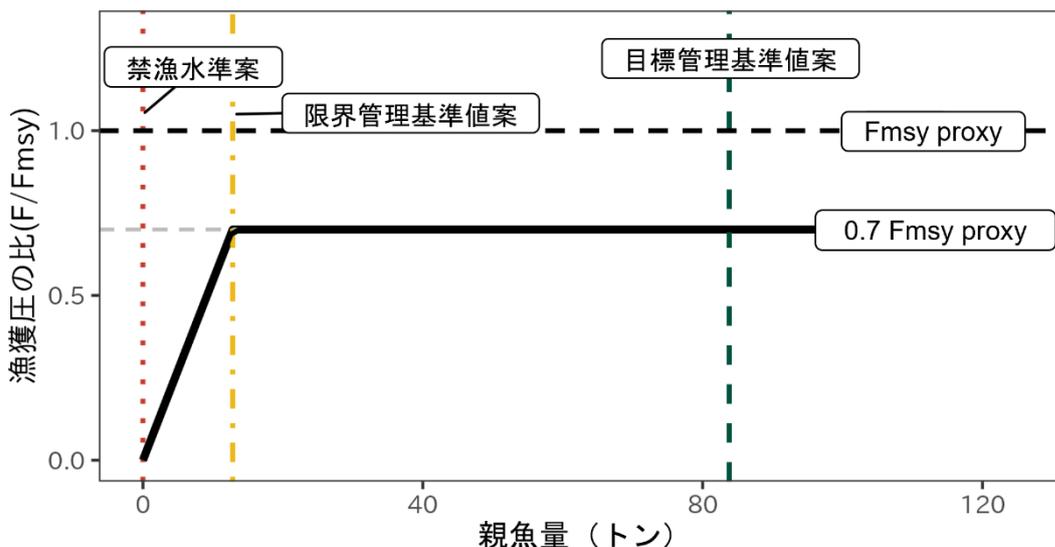
2026年漁期以降も含めた将来予測の結果を補足図 6-2、6-3 および補足表 6-1～6-4 に示す。2025年漁期以降の加入量として天然由来による加入のみを想定し、漁獲管理規則案に基づく管理を10年間継続した場合、2035年漁期の親魚量の予測値は β が0.7であれば137トン(90%予測区間は90～202トン)、 β が1.0であれば84トン(90%予測区間は53～127トン)である(補足図 6-2、補足表 6-1a、6-2a、6-3a、6-4a、8-5a)。2035年漁期に親魚量が目標管理基準値案を上回る確率は β が0.7以下において90%を上回る。限界管理基準値案を上回る確率はいずれの β においても100%である。現状の漁獲圧(F2021-2023)を継続した場合の予測値は β を0.9と1.0とした場合の間であり、2035年漁期の親魚量は96トン(90%予測区間は62～145トン)、目標管理基準値案を上回る確率は64%、限界管理基準値案を上回る確率は100%である。なお、 $\beta=0.97$ 以下であれば、2035年漁期に親魚量が目標管理基準値案を50%以上の確率で上回ると予測された。

同様に、現状の放流を想定した場合では、2035年漁期の親魚量の予測値は β が0.7であれば179トン(90%予測区間は132～244トン)、 β が1.0であれば109トン(90%予測区間は79～153トン)である(補足図 6-3、補足表 6-1b、6-2b、6-3b、6-4b、8-5b)。2035年漁期に親魚量が目標管理基準値案および限界管理基準値案を上回る確率は、いずれの β においても50%を上回る。現状の漁獲圧(F2021-2023)を継続した場合の2035年漁期の親魚量の予測値は126トン(90%予測区間は91～175トン)であり、目標管理基準値案を上回る確率は99%、限界管理基準値案を上回る確率は100%である。なお、現状の放流を想定した場合では、 $\beta=1.14$ 以下であれば、2035年漁期に親魚量が目標管理基準値案を50%以上の確率で上回ると予測された。

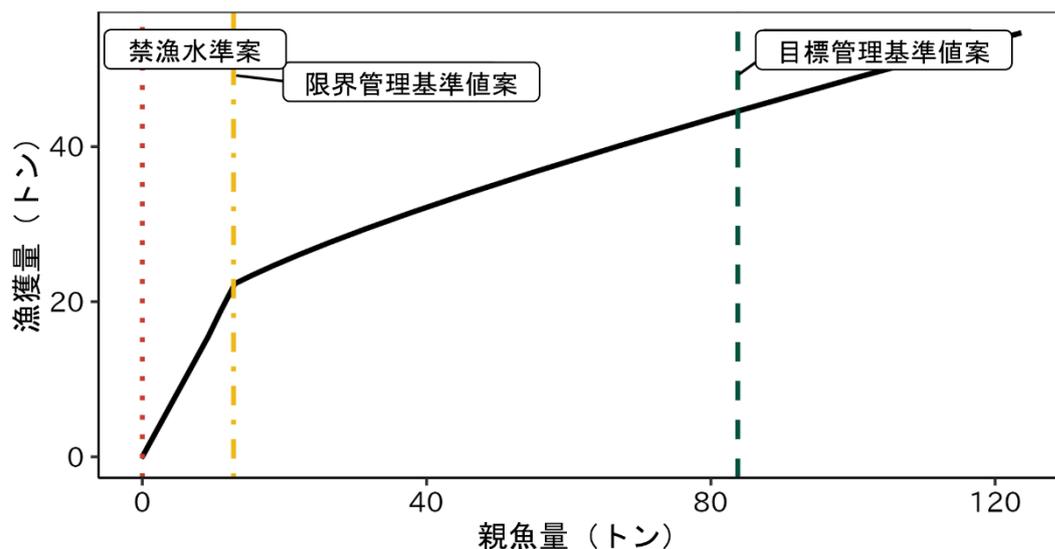
引用文献

- 真鍋明弘・平井慈恵・片町太輔・西島翔太・澤山周平・青木一弘(2022) 令和4(2022)年度トラフグ伊勢・三河湾系群の管理基準値等に関する研究機関会議資料. FRA-SA2022-BRP17-01, 水産研究・教育機構, 横浜, 1-115. https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/20221028/FRA-SA2022-BRP17-01.pdf (last accessed July 14 2023)
- 真鍋明弘・平井慈恵・片町太輔・澤山周平・青木一弘(2023) 令和4(2022)年度トラフグ伊勢・三河湾系群の資源評価. FRA-SA2022-AC-74, 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, 1-56. https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2023/06/details_2022_74.pdf (last accessed July 14 2023)
- 水産研究・教育機構(2024) 令和6(2024)年度漁獲管理規則およびABC算定のための基本指針. FRA-SA2024-ABCWG02-01, 水産研究・教育機構, 横浜, 23 pp. https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2023-ABCWG02-01.pdf (last accessed July 14 2024)

a) 縦軸を漁獲圧にした場合

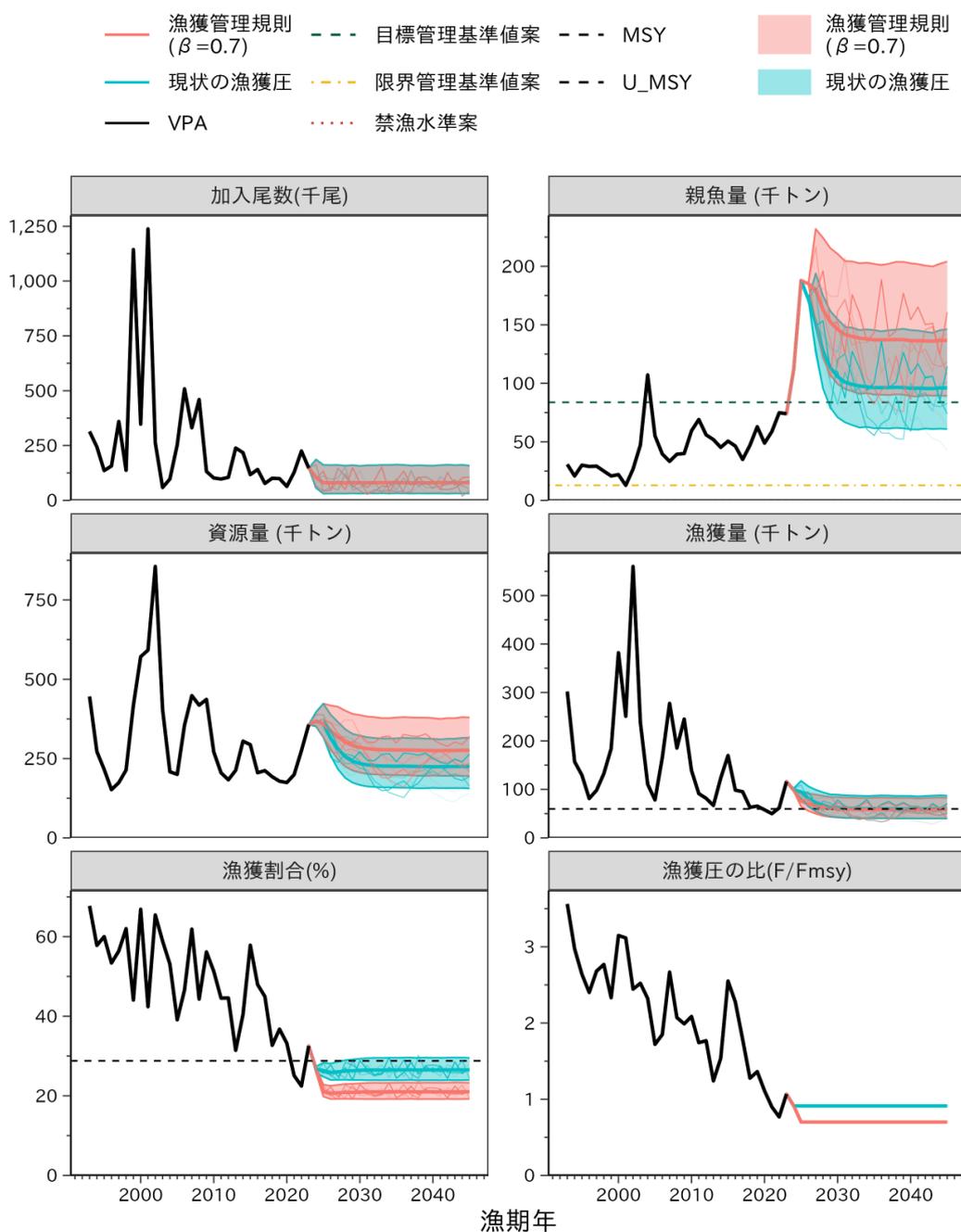


b) 縦軸を漁獲量にした場合



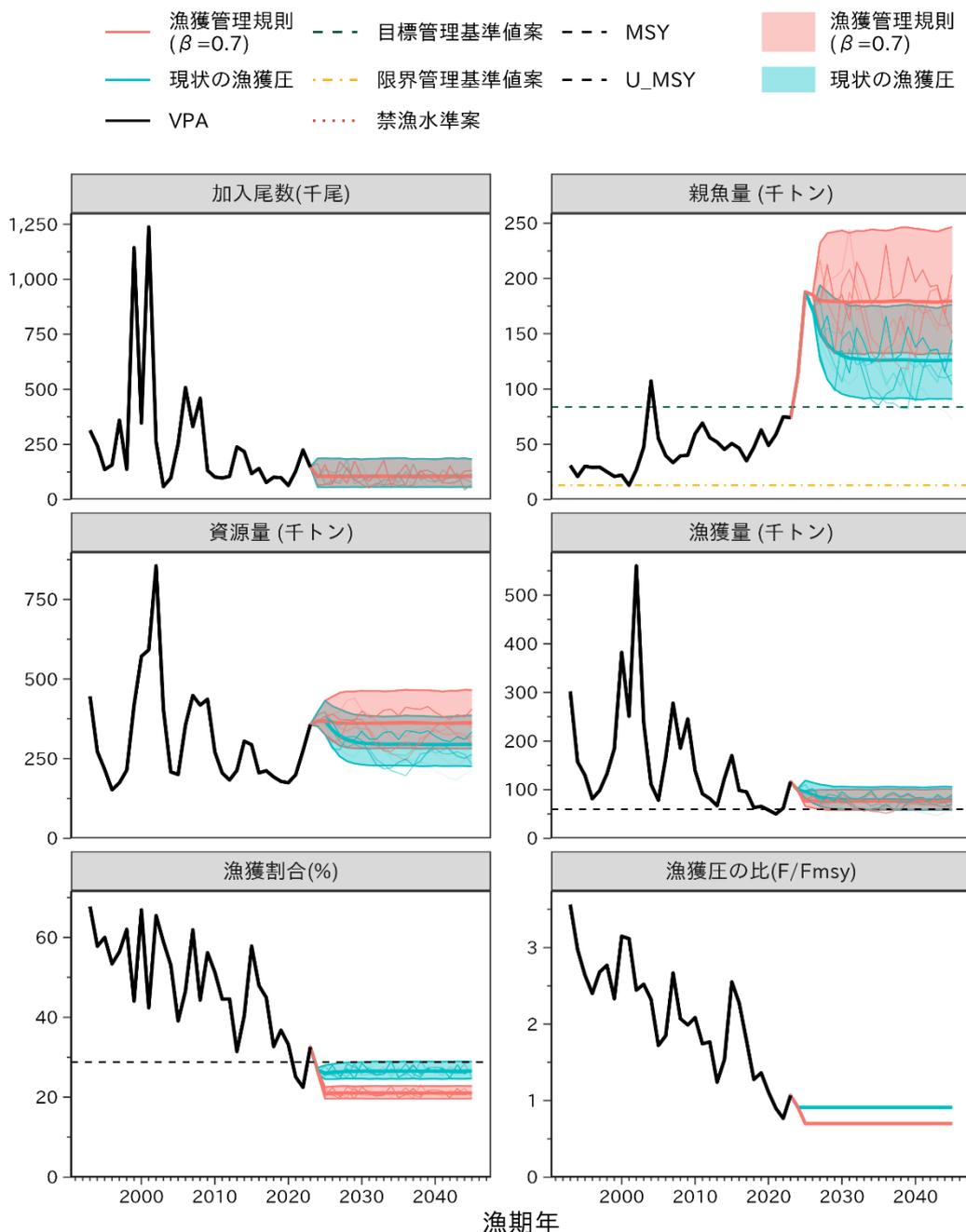
補足図 6-1. 漁獲管理規則案

目標管理基準値案 (SBtarget) は 2009~2020 年漁期の加入を参照し基づき算出した SBmsy proxy である。限界管理基準値案 (SBlimit) および禁漁水準案 (SBban) には、それぞれ標準値を用いている。調整係数 β には標準値である 0.7 を用いた。黒破線は Fmsy proxy、灰色破線は 0.7Fmsy proxy、黒太線は HCR、赤点線は禁漁水準案、黄一点鎖線は限界管理基準値案、緑破線は目標管理基準値案を示す。a) は縦軸を漁獲圧にした場合、b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。b) については、漁獲する年の年齢組成によって漁獲量は若干異なるが、ここでは平衡状態における平均的な年齢組成の場合の漁獲量を示した。



補足図 6-2. 将来の加入量として 2009～2020 年漁期の天然由来の加入に基づく加入のみを想定した場合の漁獲管理規則案を用いた場合（赤色）と現状の漁獲圧での将来予測（青色）

太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90%が含まれる 90%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄一点鎖線は限界管理基準値案、赤点線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} proxy を示し、漁獲量の図の破線は MSY proxy を示す。2024 年漁期の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2021-2023) により仮定し、2025 年漁期以降の漁獲は漁獲管理規則案（補足図 6-1）に従うものとした。調整係数 β には 0.7 を用いた。



補足図 6-3. 現状の放流を想定した場合の漁獲管理規則案を用いた場合（赤色）と現状の漁獲圧での将来予測（青色） 太実線は平均値、網掛けはシミュレーション結果の 90% が含まれる 90%予測区間、細線は 3 通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄一点鎖線は限界管理基準値案、赤点線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} proxy を示し、漁獲量の図の破線は MSY proxy を示す。2024 年漁期の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2021-2023) により仮定し、2025 年漁期以降の漁獲は漁獲管理規則案（補足図 6-1）に従うものとした。調整係数 β には 0.7 を用いた。現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は 2019~2023 年漁期平均の放流尾数と添加効率の積とした。

補足表 6-1. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率

a) 2009～2020 年漁期の天然由来の加入に基づく加入のみを想定した場合 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
1.0	100	100	100	100	97	76	60	51	47	45	44	42	
0.9			100	100	100	92	83	76	72	70	69	67	
0.8			100	100	100	99	96	92	91	89	89	88	
0.7			100	100	100	100	100	100	99	98	98	98	
0.6			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.5			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.4			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.3			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.2			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.1			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
現状の漁獲圧			100	100	100	100	91	80	73	70	67	66	64

b) 現状の放流を想定した場合 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
1.0	100	100	100	100	100	98	95	92	91	90	90	89	
0.9			100	100	100	100	100	100	99	99	99	99	
0.8			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.7			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.6			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.5			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.4			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.3			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.2			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.1			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
現状の漁獲圧			100	100	100	100	100	100	100	99	99	99	99

現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は 2019～2023 年漁期平均の放流尾数と添加効率の積とした。

補足表 6-2. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率

a) 2009～2020 年漁期の天然由来の加入に基づく加入のみを想定した場合 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.9			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

b) 現状の放流を想定した場合 (%)

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
0.9			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
現状の漁獲圧			100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は 2019～2023 年漁期平均の放流尾数と添加効率の積とした。

補足表 6-3. 将来の親魚量の平均値の推移

a) 2009～2020 年漁期の天然由来の加入に基づく加入のみを想定した場合（トン）

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
1.0	112	188	167	141	115	100	93	88	86	85	84	84	
0.9			173	153	129	115	108	103	101	100	99	98	
0.8			179	166	145	133	125	121	119	117	117	116	
0.7			185	180	163	152	146	142	140	139	138	137	
0.6			192	195	183	175	170	167	166	166	164	164	163
0.5			199	212	206	201	199	197	196	196	196	195	195
0.4			206	229	231	232	232	232	233	233	234	234	234
0.3			213	249	260	267	272	275	278	278	280	282	282
0.2			221	270	292	307	319	326	333	337	341	341	343
0.1			229	293	328	354	373	387	399	408	415	415	419
0.0			237	318	369	408	438	461	481	495	507	507	515
現状の漁獲圧			172	152	127	114	106	101	99	98	97	97	96

b) 現状の放流を想定した場合（トン）

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	
1.0	112	188	167	141	127	119	114	111	111	110	110	109	
0.9			173	153	142	136	133	130	130	129	129	128	
0.8			179	166	160	156	154	152	152	152	152	151	
0.7			185	180	180	179	179	178	179	179	179	179	179
0.6			192	195	202	206	208	209	211	211	212	213	213
0.5			199	212	227	236	243	246	250	250	252	253	253
0.4			206	229	255	271	283	290	296	296	300	303	304
0.3			213	249	286	312	330	342	352	352	359	363	366
0.2			221	270	322	359	386	405	420	420	430	438	443
0.1			229	293	362	413	451	479	502	502	519	532	540
0.0			237	318	406	475	528	569	602	602	628	648	663
現状の漁獲圧			172	152	140	134	130	128	127	127	127	126	126

現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は 2019～2023 年漁期平均の放流尾数と添加効率の積とした。

補足表 6-4. 将来の漁獲量の平均値の推移

a) 2009～2020 年漁期の天然由来の加入に基づく加入のみを想定した場合（トン）

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	合計	
1.0	98	102	85	75	68	64	62	61	61	60	60	60	760	
0.9		94	81	73	67	64	62	61	61	60	60	60	742	
0.8		85	76	70	65	63	61	60	60	60	60	60	719	
0.7		76	70	66	63	61	60	59	59	58	58	58	689	
0.6		67	63	62	60	58	58	57	57	56	56	56	650	
0.5		57	56	56	55	54	54	54	54	53	53	54	598	
0.4		46	47	48	48	49	49	49	49	49	49	49	532	
0.3		35	37	39	40	41	41	42	42	42	42	42	446	
0.2		24	26	29	30	31	31	32	32	33	33	33	334	
0.1		12	14	16	17	17	18	18	19	19	19	19	189	
0.0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
現状の漁獲圧			95	81	73	67	64	62	61	61	60	60	60	745

*合計は 2025～2035 年漁期の漁獲量の平均値の合計を示す。

b) 現状の放流を想定した場合（トン）

β	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	合計	
1	98	104	94	87	83	81	80	79	79	79	79	79	923	
0.9		95	89	84	82	80	79	79	79	79	79	79	903	
0.8		86	83	81	79	78	78	78	78	78	78	78	875	
0.7		77	77	76	76	76	76	76	76	76	76	76	839	
0.6		67	69	71	72	72	73	73	73	73	74	74	792	
0.5		57	61	64	66	67	68	69	69	69	70	70	730	
0.4		47	52	55	58	60	61	62	63	63	64	64	649	
0.3		36	41	45	48	50	52	53	54	55	55	55	544	
0.2		24	29	32	35	38	39	41	41	42	43	43	408	
0.1		12	15	18	20	21	22	23	24	24	25	25	230	
0.0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
現状の漁獲圧			96	89	85	82	80	80	79	79	79	79	79	905

*合計は 2025～2035 年漁期の漁獲量の平均値の合計を示す。

**現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は 2019～2023 年漁期平均の放流尾数と添加効率の積とした。

補足資料 7 将来予測の方法

将来予測は、「令和 6(2024)年度 漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針 (FRA-SA2024-ABCWG02-01. 水産研究・教育機構 2024a)」の 1B 系資源の管理規則に従い、令和 4 年 11 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」において最大持続生産量 MSY を実現する F の代替値 (Fmsy proxy) の推定に用いた将来の加入の仮定 (真鍋ほか 2023) と、補足表 7-1 に示した各種設定 (自然死亡係数、成熟率、年齢別平均体重、現状の漁獲圧) を使用して実施した。将来の加入については、参照した過去の加入尾数に対して当てはめた対数正規分布に基づいて予測した。

参照する過去の加入は、令和 4 (2022) 年度トラフグ伊勢・三河湾系群の資源評価 FRA-SA2022-AC-74 (真鍋ほか 2023) において推定された 2009~2020 年漁期の天然由来加入尾数とした。加入尾数、資源尾数および漁獲量などの予測計算には、「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (FRA-SA2023-ABCWG02-04. 水産研究・教育機構 2023b)」に基づき、統計ソフトウェア R (version 4.4.1) および計算パッケージ frasyr (コミット番号 cc2ca10) を用いた。

また本系群は栽培対象種であり種苗放流が継続的に行われている (表 4-2)。そのため、将来予測において種苗放流を考慮する場合には、人工種苗由来の加入尾数として 2019~2023 年漁期の平均放流尾数 (53.7 万尾) と平均添加効率 (0.05) の積である 2.5 万尾を、毎年の天然由来の加入量に加算して予測を行った。

将来予測における 1~2 歳魚の資源尾数は以下の式で求めた。

$$N_{a,y} = N_{a-1,y-1} \exp(-M_{a-1} - F_{a-1,y-1}) \quad (a = 1, 2) \quad (1)$$

3 歳魚以上のプラスグループの資源尾数は以下の式で求めた。

$$N_{3+,y} = N_{2,y-1} \exp(-M_{2,y-1} - F_{2,y-1}) + N_{3+,y-1} \exp(-M_{3+,y-1} - M_{3+,y-1}) \quad (2)$$

将来予測における漁獲圧 (F) は 1B 系資源の漁獲管理規則に従い、以下の式で求めた。

$$F_{a,y} = \begin{cases} 0 & \text{if } SB_t < SB_{ban} \\ \beta \gamma(SB_t) F_{msy \text{ proxy}} & \text{if } SB_{ban} \leq SB_t < SB_{limit} \\ \beta F_{msy \text{ proxy}} & \text{if } SB_t \geq SB_{limit} \end{cases} \quad (3)$$

$$\gamma(SB_y) = \frac{SB_y - SB_{ban}}{SB_{limit} - SB_{ban}} \quad (4)$$

ここで、SB_y は y 年の親魚量、Fmsy proxy および SB_t (SB_{target})、SB_{limit}、SB_{ban} はそれぞれ補足表 8-2 に案として示した基準値である。

また、各年齢の漁獲尾数は以下の式で求めた。

$$C_{a,y} = N_{a,y} \left(1 - \exp(-F_{a,y}) \right) \exp\left(-\frac{M_a}{2}\right) \quad (5)$$

将来予測における資源量および漁獲量は、予測した資源尾数または漁獲尾数に補足表 7-1 の平均体重を乗じて求め、親魚量は資源量に成熟割合を乗じて算出した。

引用文献

- 水産研究・教育機構 (2024a) 令和 6 (2024) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2024-ABCWG02-01, 水産研究・教育機構, 横浜, 23 pp. https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2024-ABCWG02-01.pdf (last accessed July 14 2024)
- 水産研究・教育機構 (2024b) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート. FRA-SA2024-ABCWG02-04, 水産研究・教育機構, 横浜, 14 pp. https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2024-ABCWG02-04.pdf (last accessed July 14 2024)
- 真鍋明弘・平井慈恵・片町太輔・西島翔太・澤山周平・青木一弘 (2022) 令和 4 (2022) 年度トラフグ伊勢・三河湾系群の管理基準値等に関する研究機関会議資料. FRA-SA2022-BRP17-01, 水産研究・教育機構, 横浜, 115 pp. https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/20221028/FRA-SA2022-BRP17-01.pdf (last accessed July 14 2023)
- 真鍋明弘・平井慈恵・片町太輔・澤山周平・青木一弘 (2023) 令和 4 (2022) 年度トラフグ伊勢・三河湾系群の資源評価. FRA-SA2022-AC-74, 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, 56 pp. https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2023/06/details_2022_74.pdf (last accessed July 14 2023)

補足表 7-1. 将来予測に用いた設定値

	選択率 (注 1)	Fmsy proxy (注 2)	現状の漁獲圧 (注 3)	平均体重 (g)	自然死亡 係数	成熟 割合
0 歳	0.287	0.182	0.166	350	0.25	0
1 歳	1.000	0.635	0.579	1,093	0.25	0
2 歳	0.554	0.351	0.320	1,858	0.25	0
3 歳以上	0.554	0.351	0.320	3,194	0.25	1

注 1：令和 4 年度研究機関会議で MSY を実現する水準の推定の際に使用した選択率。

注 2：令和 4 年度研究機関会議で推定された Fmsy の代替値。

注 3：上記の選択率の下で、今回の資源評価で推定された 2021～2023 年漁期の平均 F と同じ漁獲圧を与える F 値を %SPR 換算して算出した。この F 値は 2024 年漁期の漁獲量の仮定に使用した。

補足資料 8 各種パラメータと評価結果の概要

補足表 8-1. 生物学的管理基準値

生物学的管理基準	加入参照年 (漁期年)	加入分布	平均(尾)	S.D.
F15%SPR	2009～2020	対数正規分布	80,214	0.496

平均は参照年における加入尾数に対して対数正規分布を当てはめたときの平均値、S.D.は加入尾数の標準偏差である。

補足表 8-2. 管理基準値案と MSY

項目	値	説明
SBtarget 案	84 トン	目標管理基準値案。最大持続生産量 MSY を実現する親魚量の代替値 (SBmsy proxy)
SBlimit 案	13 トン	限界管理基準値案。過去最低親魚量 (SBmin)
SBban 案	0 トン	禁漁水準案
Fmsy proxy	最大持続生産量 MSY を実現する漁獲圧(漁獲係数 F) の代替値 (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳以上) = (0.18, 0.64, 0.35, 0.35)	
%SPR (Fmsy proxy)	15%	Fmsy proxy に対応する%SPR
MSY proxy	60 トン	最大持続生産量の代替値

補足表 8-3. 最新年の親魚量と漁獲圧

項目	値	説明
SB2023	74トン	2023 年漁期の親魚量
F2023	2023 年漁期の漁獲圧(漁獲係数 F) (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳以上) =(0.32, 0.58, 0.36, 0.36)	
U2023	32.5%	2023 年漁期の漁獲割合
%SPR (F2023)	13.7%	2023 年漁期の%SPR
%SPR (F2021-2023)	17.5%	現状(2021~2023 年)の漁獲圧に対応する%SPR
管理基準値案との比較		
SB2023/SBmsy proxy (SBtarget)	0.88	最大持続生産量を実現する親魚量の代替値(目標管理基準値案)に対する 2023 年漁期の親魚量の比
F2023/ Fmsy proxy	1.07	最大持続生産量を実現する漁獲圧の代替値に対する 2023 年漁期の漁獲圧の比*
親魚量の水準	MSY を実現する水準を下回る	
漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を上回る	
親魚量の動向	増加	

* 2023 年の選択率の下で Fmsy の漁獲圧を与える F を%SPR 換算して算出し求めた比率。

補足表 8-4. 予測漁獲量と予測親魚量

a) 2009～2020 年漁期の天然由来の加入に基づく加入のみを想定した場合

2025 年漁期の親魚量(予測平均値):188トン			
項目	2025 年漁期の漁獲量(トン)	現状の漁獲圧に対する比(F/F2021-2023)	2025 年漁期の漁獲割合(%)
$\beta=1.0$	102	1.10	28.5
$\beta=0.9$	94	0.99	26.1
$\beta=0.8$	85	0.88	23.7
$\beta=0.7$	76	0.77	21.2
$\beta=0.6$	67	0.66	18.5
$\beta=0.5$	57	0.55	15.8
$\beta=0.4$	46	0.44	12.9
$\beta=0.3$	35	0.33	9.9
$\beta=0.2$	24	0.22	6.7
$\beta=0.1$	12	0.11	3.4
$\beta=0.0$	0	0.00	0.0
F2021-2023	95	1.00	26.4

b) 現状の放流を想定した場合

2025 年漁期の親魚量(予測平均値):188トン			
項目	2025 年漁期の漁獲量(トン)	現状の漁獲圧に対する比(F/F2021-2023)	2025 年漁期の漁獲割合(%)
$\beta=1.0$	104	1.10	28.2
$\beta=0.9$	95	0.99	25.8
$\beta=0.8$	86	0.88	23.4
$\beta=0.7$	77	0.77	20.9
$\beta=0.6$	67	0.66	18.3
$\beta=0.5$	57	0.55	15.6
$\beta=0.4$	47	0.44	12.7
$\beta=0.3$	36	0.33	9.7
$\beta=0.2$	24	0.22	6.6
$\beta=0.1$	12	0.11	3.4
$\beta=0.0$	0	0.00	0.0
F2021-2023	96	1.00	26.1

現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は 2019～2023 年漁期平均の放流尾数と添加効率の積とした。

補足表 8-5. 異なる β を用いた将来予測結果

a) 2009～2020 年漁期の天然由来の加入に基づく加入のみを想定した場合

考慮している不確実性:加入量						
項目	2035 年漁期の 親魚量(トン)	90%信頼区間 (トン)	2035 年漁期に親魚量が以下の 管理基準値案を上回る確率(%)			
			SBtarget 案	SBlimit 案	SBban 案	
$\beta=1.0$	84	53 - 127	42	100	100	
$\beta=0.9$	98	63 - 148	67	100	100	
$\beta=0.8$	116	75 - 173	88	100	100	
$\beta=0.7$	137	90 - 202	98	100	100	
$\beta=0.6$	163	109 - 238	100	100	100	
$\beta=0.5$	195	132 - 280	100	100	100	
$\beta=0.4$	234	161 - 332	100	100	100	
$\beta=0.3$	282	196 - 396	100	100	100	
$\beta=0.2$	343	242 - 474	100	100	100	
$\beta=0.1$	419	300 - 572	100	100	100	
$\beta=0.0$	515	374 - 695	100	100	100	
F2021-2023	96	62 - 145	64	100	100	

補足表 8-5. (続き)

b) 現状の放流を想定した場合

考慮している不確実性:加入量						
項目	2035年漁期の親魚量(トン)	90%信頼区間(トン)	2035年漁期に親魚量が以下の管理基準値案を上回る確率(%)			
			SBtarget案	SBlimit案	SBban案	
$\beta=1.0$	109	79 - 153	89	100	100	
$\beta=0.9$	128	93 - 178	99	100	100	
$\beta=0.8$	151	111 - 208	100	100	100	
$\beta=0.7$	179	132 - 244	100	100	100	
$\beta=0.6$	213	159 - 287	100	100	100	
$\beta=0.5$	253	191 - 339	100	100	100	
$\beta=0.4$	304	231 - 402	100	100	100	
$\beta=0.3$	366	280 - 480	100	100	100	
$\beta=0.2$	443	342 - 575	100	100	100	
$\beta=0.1$	540	421 - 693	100	100	100	
$\beta=0.0$	663	522 - 843	100	100	100	
F2021-2023	126	91 - 175	99	100	100	

現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は 2019～2023 年平均の放流尾数と添加効率の積とした。

補足表 8-6. 将来予測における加入の想定を変化させた場合に予測される親魚量・漁獲量と親魚量が管理基準値案を上回る確率のまとめ

将来の加入の想定	β	10年後の目標達成確率(%)	予測平均親魚量(トン)		予測平均漁獲量(トン)		
		親魚量が管理基準値案を上回る	5年後	10年後	0年後	5年後	10年後
			2030年漁期	2035年漁期	2025年漁期	2030年漁期	2035年漁期
2009～2020年漁期の天然由来の加入水準	1.0	42	93	84	102	62	60
	0.9	67	108	98	94	62	60
	0.8	88	125	116	85	61	60
	0.7	98	146	137	76	60	58
	0.6	100	170	163	67	58	56
	0.5	100	199	195	57	54	54
	F2021-2023	64	106	96	95	62	60
種苗放流*を考慮(53.7万尾放流、添加効率0.05)	1.0	89	114	109	104	80	79
	0.9	99	133	128	95	79	79
	0.8	100	154	151	86	78	78
	0.7	100	179	179	77	76	76
	0.6	100	208	213	67	73	74
	0.5	100	243	253	57	68	70
	F2021-2023	99	130	126	96	80	79

漁獲管理規則案での調整係数βを0.5～1.0にて0.1刻みで変更した結果をまとめた。

漁獲管理規則案での漁獲管理を開始する初年度(0年後)の2025年漁期の値と、5年および10年管理を行った後の値(2030年漁期および2035年漁期)を示した。

*種苗放流を考慮する場合の人工種苗由来の加入尾数は、2019～2023年漁期平均放流尾数(53.7万尾)と平均添加効率(0.05)の積である2.5万尾とした。

補足資料 9 年齢分解に関する試算

トラフグ伊勢・三河湾系群の現行の資源評価（以下、現行評価）においては、3歳以上をプラスグループとした年齢分解により年齢別漁獲尾数（Catch-at-age）が計算されている。また、漁獲物の年齢分解についても、静岡県ではコホート切断法（Cohort slicing）が、愛知県では混合正規分布を当てはめる手法が、三重県では愛知県と同様の年齢組成を用いる手法が適用されている。そこで本補足資料では、すべての県で同一の手法により年齢分解を行うとともに、プラスグループを4歳以上に変更した場合の年齢別漁獲尾数などを試算した。

雌雄を混合した漁獲物の全長データに混合正規分布を当てはめることにより年齢分解を行った。混合正規分布としては平井ほか（2024）に従い、12個の正規分布を当てはめ、Microsoft ExcelのSolver機能を用いて、それぞれの平均、分散、豊度などを推定した後、4歳以上を集計しプラスグループとした。

補足図9-1に各県における月別・漁法別の測定尾数を示す。本系群については2006年漁期にまき網が自主禁漁となって以降、1歳以上を10月～翌年2月に漁獲するふぐはえ縄漁業、当歳魚を中心に漁獲する内湾底曳網漁業、春先の親魚を含め幅広い年齢を漁獲する外海底曳網漁業の3種類の漁法によって漁獲されている。これらの漁法の特性、漁獲対象、操業海域などの差異から、本試算では県別・漁法別に年齢分解を行った。

ふぐはえ縄漁業の年齢分解

ふぐはえ縄漁業は10月～翌年2月までを漁期としており、静岡県、愛知県、三重県によって行われている。本漁法については、各月の測定尾数が多いため（補足図9-1）、県別・月別に年齢分解を行うことにより、年齢別漁獲尾数および年齢別漁獲重量を試算した。ただし、静岡県では2012～2014年漁期、三重県では2012年漁期2月、2013年漁期2月、2020年漁期2月、2022年漁期12月～翌年2月の測定データが欠損しているため、これらについては、同時期における愛知県の年齢分解の結果を適用することにより年齢別漁獲尾数および年齢別漁獲重量を計算した。また、愛知県では2021年漁期1月の測定データが欠損しているため、これについては、同時期における静岡県の年齢分解の結果を適用することにより、年齢別漁獲尾数および年齢別漁獲重量を計算した。

各県の年齢別漁獲尾数および年齢別漁獲重量の試算結果を、それぞれ補足図9-2と9-3に示す。各県における漁獲尾数および漁獲重量の年齢構成は類似していることから、本試算によって得られた年齢別漁獲尾数および年齢別漁獲重量の妥当性は高いと考えられる。また、これらの試算結果を現行評価の結果と比較すると、試算結果の方が総漁獲尾数が低い値となっているが、これは4歳以上までを分解したことで、ふぐはえ縄漁業における高齢魚の漁獲動態が示されるようになったことにより、平均重量の重い高齢魚の漁獲割合が増加したためと考えられる。

底曳網漁業の年齢分解

外海底曳網漁業は愛知県により渥美外海において1年を通して行われている。本漁法の各月の測定尾数にはばらつきがあり、4～5月と、11月～翌年3月においては測定が多く行

われているのに対し、6～10月の測定尾数は少ない（補足図 9-1）。また、本漁法の測定尾数は、ふぐはえ縄漁業に比べて限定されているため、漁獲動向が類似していると考えられる月ごとに測定尾数を合算した上で、年齢分解を行うことにより年齢別漁獲尾数および年齢別漁獲重量を試算した。合算の方法としては、4～5月と1～3月をそれぞれ合算するとともに、6～12月については、伊勢湾における当歳魚の漁獲が解禁される10月で区切って合算する10月シナリオ（4～5、6～9、10～12月、翌年1～3月で合算）と、三河湾における解禁月である11月で区切って合算する11月シナリオ（4～5、6～10、11～12月、翌年1～3月で合算）を適用した。

内湾底曳網漁業は愛知県が通年、三重県が10月～翌年4月に行っている。愛知県における本漁法の測定尾数は11月から増加するが、外海底曳網漁業と同様に、ふぐはえ縄漁業に比べて測定尾数が制限されているため、合算方法としては外海底曳網漁業と同様の10月シナリオと11月シナリオを適用して年齢分解を行うことにより、年齢別漁獲尾数および年齢別漁獲重量を試算した。一方、三重県では本漁法の規模が愛知県に比べて小規模であり、かつ測定尾数が少ないことから、愛知県の年齢分解の結果を適用することにより年齢別漁獲尾数および年齢別漁獲重量を計算した。

外海底曳網漁業では、現行評価と比べて0歳魚の漁獲尾数および漁獲重量が少なく算出されるとともに、平均体重の重い高齢魚が算出されたため、総漁獲尾数は少なく推定された（補足図 9-4、9-5）。特に、2015年漁期および2016年漁期においては、0歳魚の漁獲尾数と漁獲重量が、現行評価に比べてかなり少なく推定されているが、これは限定的なサンプル尾数による可能性も考えられる一方で、ふぐはえ縄漁業の2016年漁期および2017年漁期における1歳魚漁獲尾数も現行評価と比べて低い値となっていることから、2015年級および2016年級の豊度が少なかったことによるものとも考えられる。年齢別漁獲重量では、2013年漁期を除く2012～2022年漁期の2歳以上の漁獲重量について、試算結果が現行評価の結果を上回った。

内湾底曳網漁業では、10月シナリオにおける0歳魚の割合が11月シナリオよりも概ね多いという試算結果が得られた（補足図 9-4、9-5）。これは10月に漁獲された漁獲物に対して、11月に解禁される三河湾の0歳魚を含めた体長組成を用いて年齢分解を行ったため、10月には本来は禁漁であるはずの三河湾0歳魚の漁獲があると仮定した可能性が影響したと考えられる。現行評価との比較では、2012～2014年漁期で現行評価よりも総漁獲尾数が多く算出されたのに対し、2015～2023年漁期では現行評価よりも総漁獲尾数が概ね少なく算出された（補足図 9-4）。

年齢別漁獲尾数、年齢別漁獲重量および年齢別平均体重

各漁法の結果を合算することにより、本系群の年齢別漁獲尾数、年齢別漁獲重量および年齢別平均体重を試算した。なお、外海底曳網漁業および内湾底曳網漁業については11月シナリオを用いた場合の結果を採用した。現行評価では3歳以上のプラスグループとして扱われていた高齢魚が3歳と4歳以上に分解されたため、本試算においては多くの高齢魚が漁獲されていたという結果が得られた（補足図 9-6、9-7）また、総漁獲尾数については、2012～2023年漁期の全てで本試算結果が、現行評価結果を下回った。これは、同じ漁獲量の下で平均体重の重い高齢魚の割合が増加したためと考えられる。

得られた年齢別漁獲重量を年齢別尾数で除すことによって年齢別平均体重を試算した（補足図 9-8）。0 歳と 1 歳の平均体重については、試算結果と現行評価の結果間で大きな差異は見られないことから、頑健な結果が得られていると考えられる。一方、2 歳の平均体重については、2015 年漁期を除き、試算結果の方が現行評価結果より低く算出された。これは、本試算においては 1 歳以下の一部も 2 歳に含んでしまっている可能性や、現行評価の年齢分解の手法（混合正規分布およびコホート切断法）では 3 歳以上の一部を 2 歳と判別している可能性が考えられる。また、本試算における 3 歳の平均体重は 2 kg 前後で安定しているのに対し、本試算における 4+歳の平均体重と現行評価における 3+歳の平均体重は 2.6~3.8kg の間を推移している。これらプラスグループの平均体重については、グループ内の年齢組成を反映するため、増減幅が大きいものとなっている。

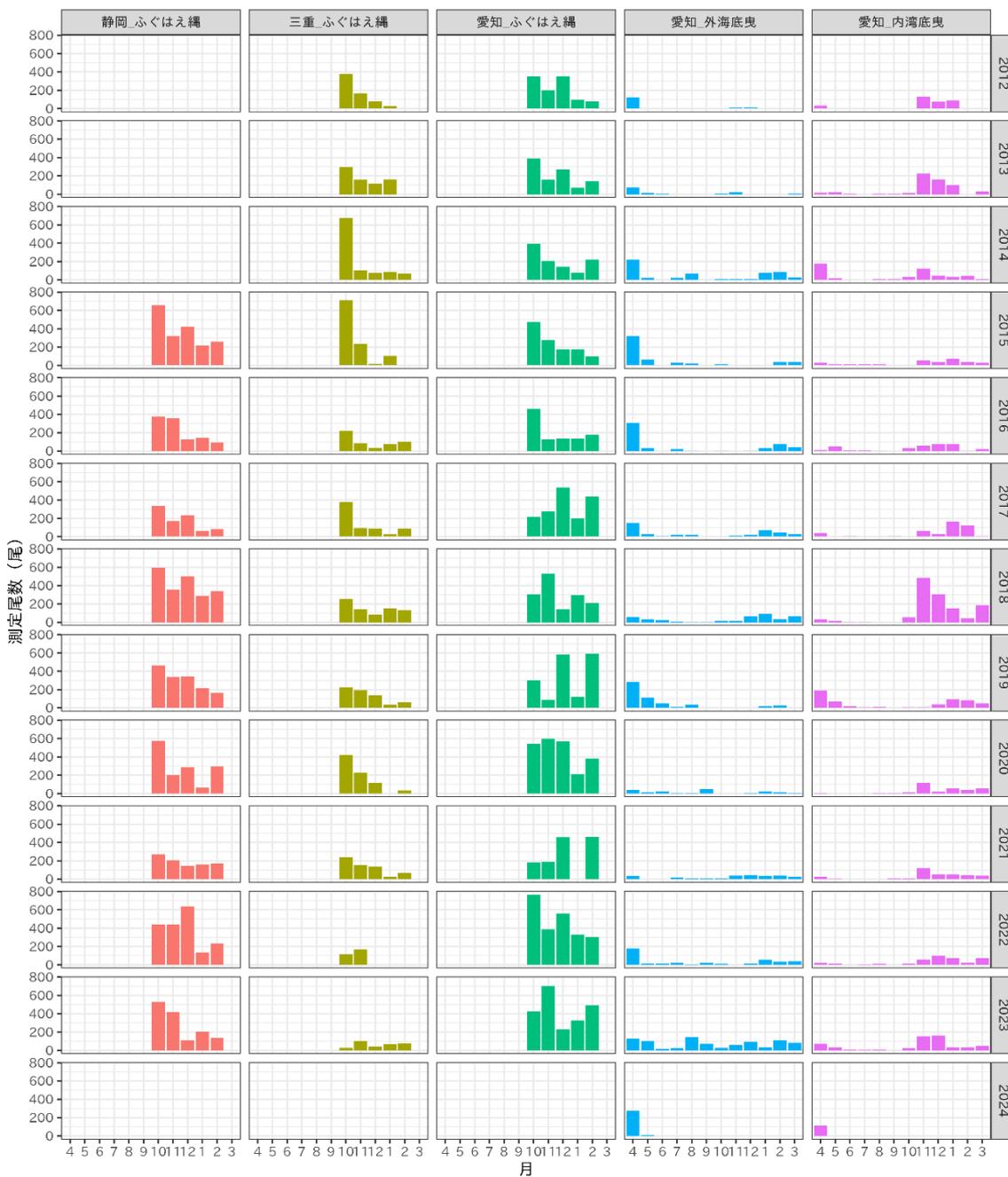
まとめ

トラフグ伊勢・三河湾系群について、混合正規分布を当てはめる同一の手法を用いて年齢分解を行うことにより年齢別漁獲尾数などを試算した。また、プラスグループについても、3 歳以上から 4 歳以上に変更した。その結果、総漁獲尾数は現行評価よりも本試算において低い値となっているが、これは本試算において、本系群がより高齢魚まで幅広く漁獲されていたという結果が得られたためである。

本系群では成熟を 3 歳以上としているため、3 歳以上をひとまとまりとして親魚量が算出されているが、本試算においては、親魚量が 3 歳および 4 歳以上へ分解された形で算出されるため、親魚の動態がより精度高く把握できる可能性がある。また、本試算では 2012 年漁期以降のデータのみを対象としているため、2011 年漁期以前のデータも対象とするとともに、年齢分解の手法についても引き続きの検討が必要と考えられる。

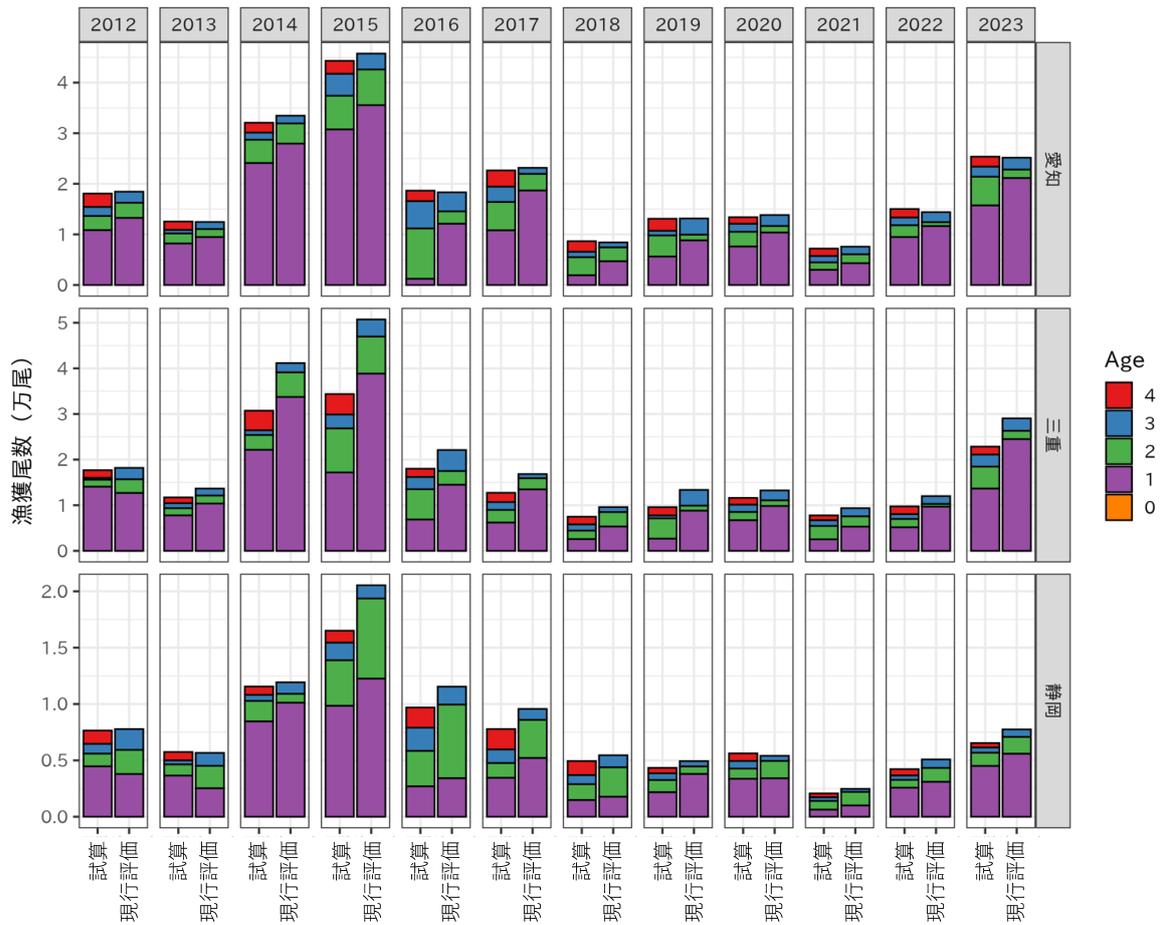
参考文献

平井慈恵・片町太輔・真鍋明弘 (2024) 令和 5 (2023) 年度トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の資源評価. FRA-SA2024-AC073. pp127.



補足図 9-1. 月別・県別・漁法別測定尾数

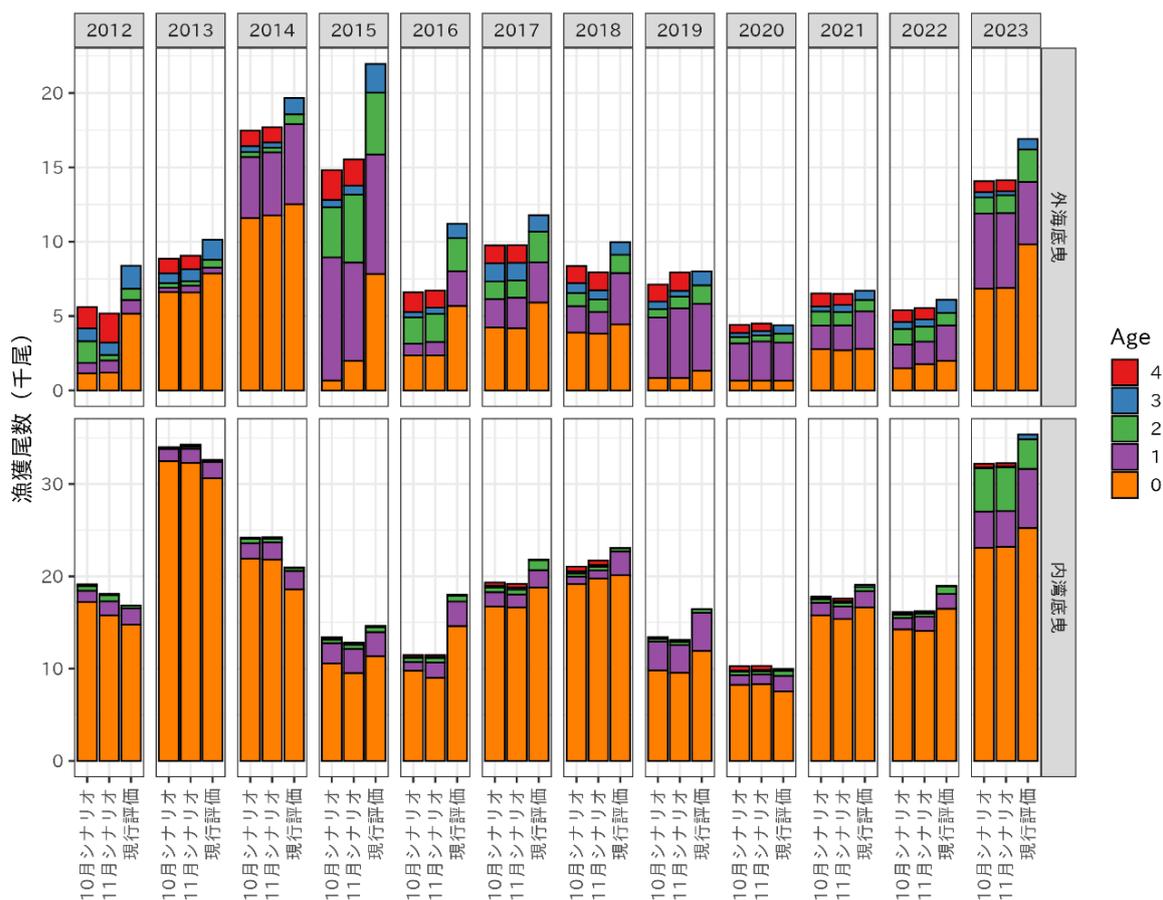
本補足資料で計算に用いていない、9月のふぐはえ縄試験操業による測定尾数を除く。



補足図 9-2. ふぐはえ縄漁業における年齢別漁獲尾数の試算結果と現行評価の結果



補足図 9-3. ふぐはえ縄漁業における年齢別漁獲重量の試算結果と現行評価の結果

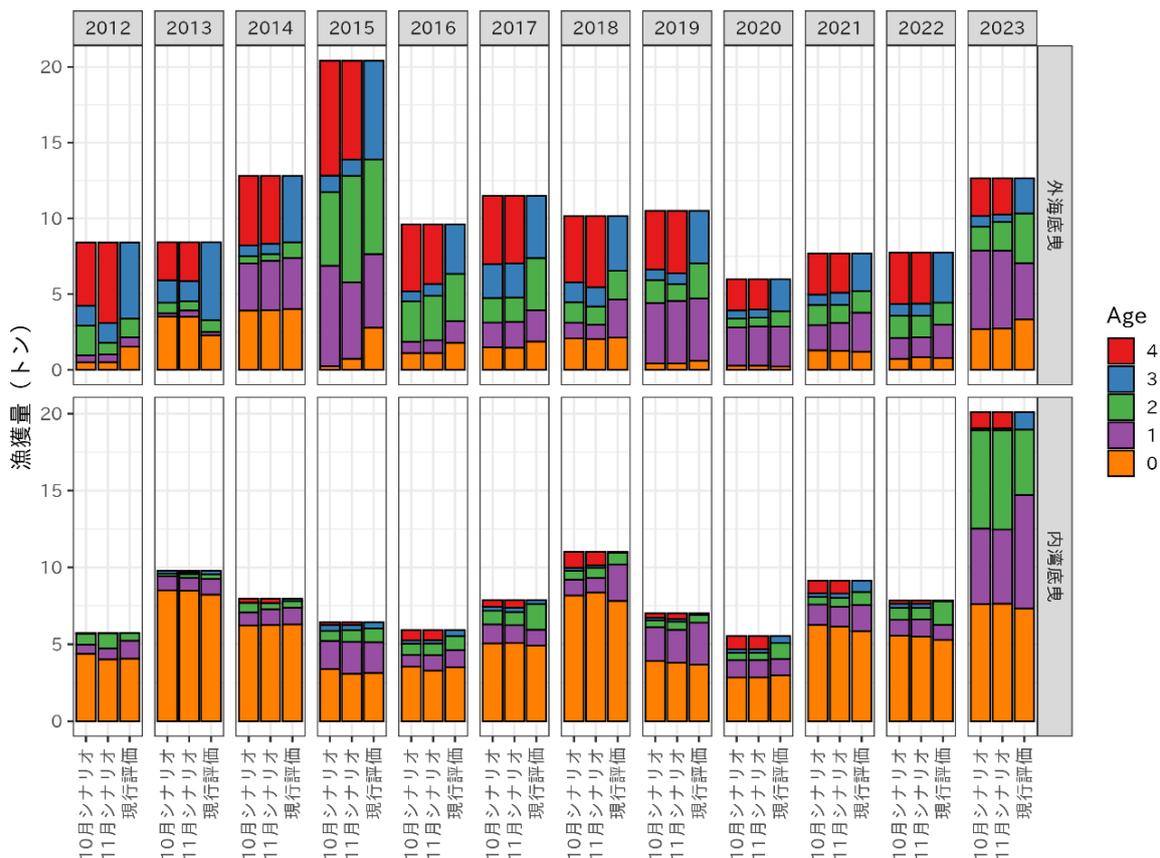


補足図 9-4. 外海底曳網漁業と内湾底曳網漁業における年齢別漁獲尾数の試算結果と現行評価の結果

10月シナリオ：測定データを4～5、6～9、10～12月、翌年1～3月で合算。

11月シナリオ：測定データを4～5、6～10、11～12月、翌年1～3月で合算。

底曳網WCAA現行との比較



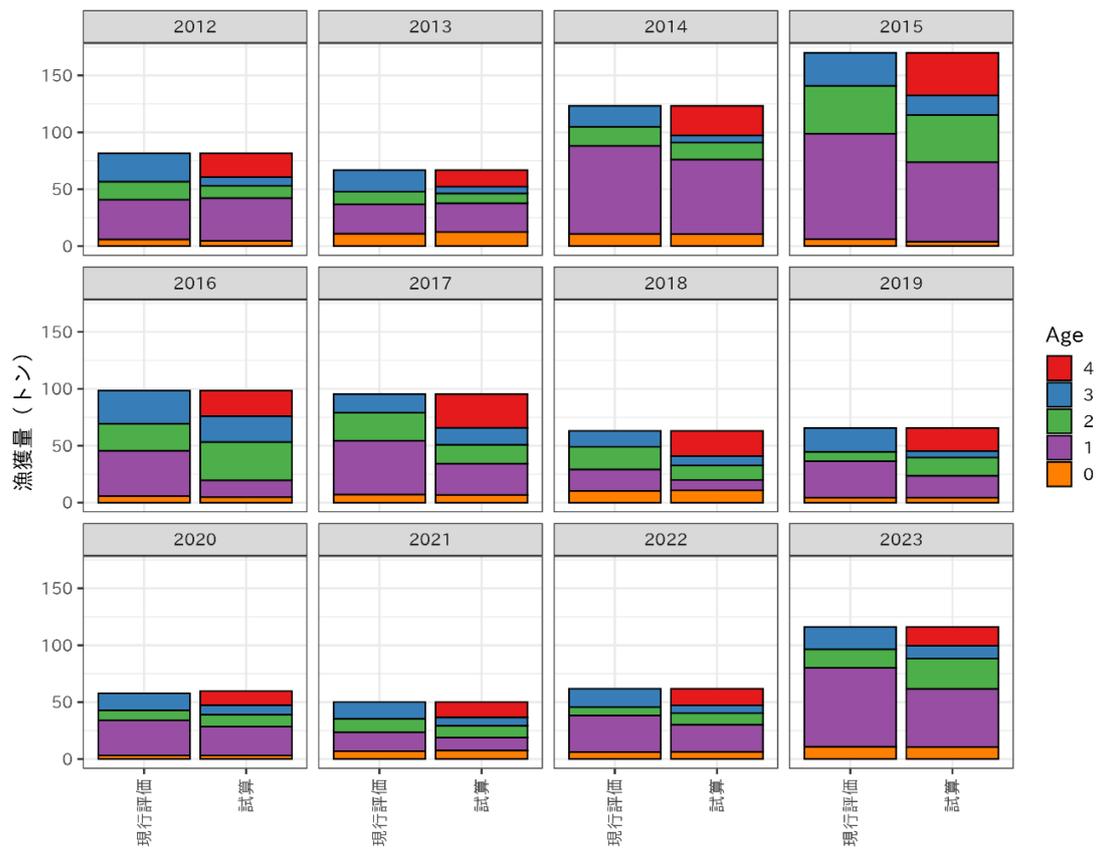
補足図 9-5. 外海底曳網漁業と内湾底曳網漁業における年齢別漁獲重量の試算結果と現行評価の結果

10月シナリオ：測定データを4～5、6～9、10～12月、翌年1～3月で合算。

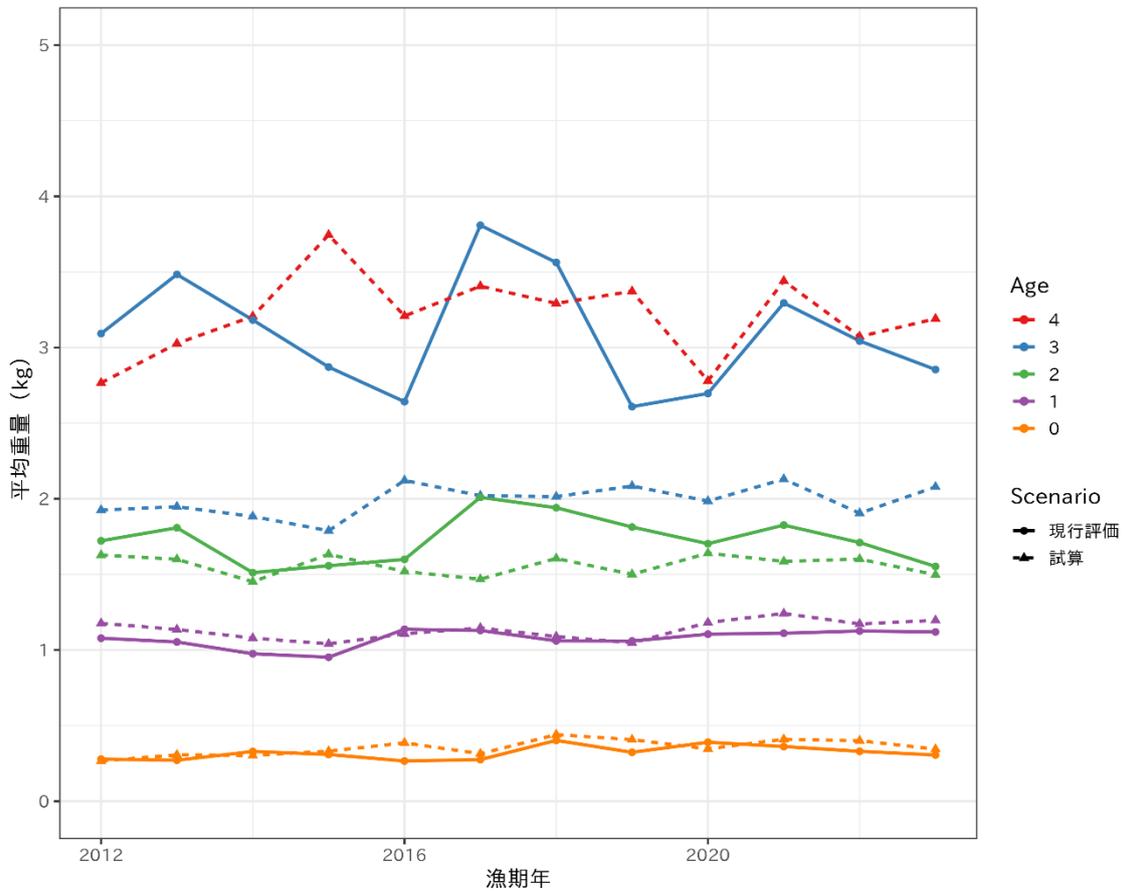
11月シナリオ：測定データを4～5、6～10、11～12月、翌年1～3月で合算。



補足図 9-6. 年齢別漁獲尾数の試算結果と現行評価の結果



補足図 9-7. 漁期年別・年齢別漁獲重量の試算結果と現行評価の結果



補足図 9-8. 年齢別平均体重の試算結果と現行評価の結果