

令和 5（2023）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（真鍋明弘・平井慈恵・片町太輔・
澤山周平・青木一弘）

参画機関：千葉県水産総合研究センター、神奈川県水産技術センター、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

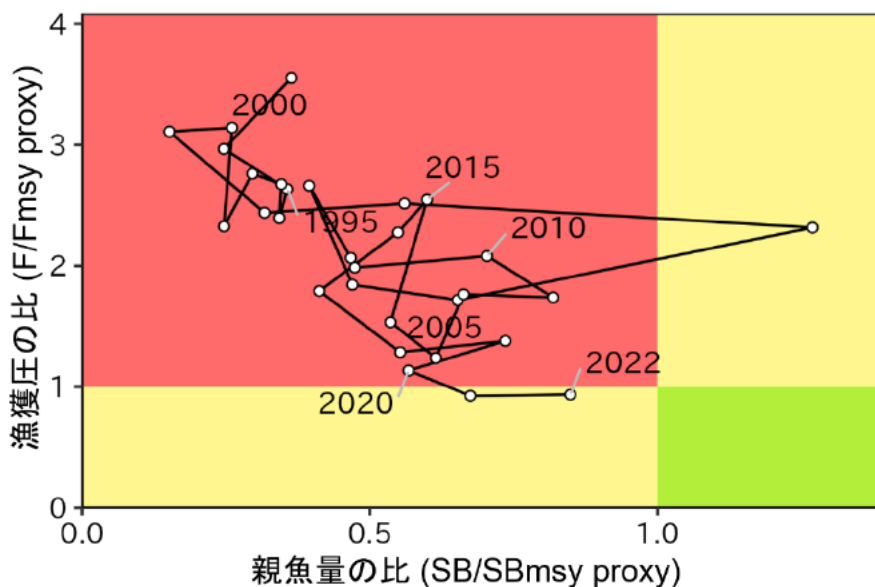
本系群の資源量を 0 歳および 1 歳の資源量指標値をチューニング指標としたコホート解析により推定した。4 月時点での資源量は 1993 年漁期の 446 トンから 1996 年漁期には 152 トンへ減少し、2002 年漁期に 856 トンへと増加した後に増減しつつ、2016 年漁期の 205 トン以降は 171～220 トンの間を推移している。2022 年漁期は 220 トンと推定された。親魚量は 1993～2002 年漁期は 13～31 トンの間を推移していたが、2003 年漁期より増加し 2004 年漁期には 107 トンに達した。2005 年漁期以降は 33～69 トンを推移していたが、2022 年漁期の親魚量は過去 2 番目に多い 72 トンと推定された。天然由来の加入尾数は 1999 年漁期に 112.3 万尾、2001 年漁期に 120.7 万尾であったが、2015 年漁期以降は 4 万～11 万尾の間を推移し、2022 年漁期は 50,194 尾と推定された。

本種は栽培対象種であり、本系群では 2022 年漁期に 45.2 万尾の人工種苗が放流された。2022 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 32.1%、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、本系群での令和 5 年度資源評価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 を実現する水準の漁獲圧 (Fmsy) の代替値とし、これまでの加入状況を考慮して目標管理基準値案を提案する 1B ルールの管理規則を適用する。将来の加入予測においては、過去の加入状況から、再生産成功率が低下した 2009～2020 年漁期の加入尾数を参照する。Fmsy の代替値である生物学的管理基準値に 15%SPR を用いて推定された最大持続生産量の代替値 (MSY proxy、60 トン) を実現できる水準の親魚量の代替値 (SBmsy proxy) は 84 トンである。この基準に従うと、本系群の 2022 年漁期の親魚量は MSY proxy を実現する水準を下回る。また、本系群に対する 2022 年漁期の漁獲圧は MSY proxy を実現する水準の漁獲圧 (Fmsy proxy) を下回る。親魚量の動向は直近 5 年間 (2018～2022 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 を実現する水準の親魚量(代替値)	84トン
2022 年漁期の親魚量の水準	MSY を実現する水準の代替値を下回る
2022 年漁期の漁獲圧の水準	MSY を実現する水準の代替値を下回る
2022 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
2024 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。 ・近年の加入量は過去の加入量の推移から期待される平均値を継続して下回っているが、近年の漁獲圧は低下しており、親魚量は増加傾向を示している。	

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 (%)
2018	191	47	63	1.29	33
2019	177	62	66	1.38	37
2020	171	48	58	1.14	34
2021	195	57	50	0.93	26
2022	220	72	62	0.94	28
2023	223	78	62	1.00	28
2024	225	110	-	-	-

・ 2023、2024 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)(1993~2021) 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~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26cm、体重0.4kg、2歳で全長40cm、体重1.4kg、3歳で全長48cm、体重2.9kg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月とみられ、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碎波帯に着底する(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年度から当該漁業で漁獲される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、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、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、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自主管理協定があり、操業期間の制限（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）。2005年漁期に78トンへ減少した後、2006～2009年漁期にかけて200トン前後を推移した。しかし、2010年漁期以降は200トン以下が続き、2011～2013年漁期にかけて100トン未満が続いた後、2014年漁期に123トン、2015年漁期に170トンとやや増加したものの、以降は100トン未満の漁獲が続き、2021年漁期は1993年漁期以降で最も少ない50トンとなったが、2022年漁期は62トンとなった。

2022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8.0トン（12.9%）、小型機船底びき網漁業（渥美外海）が7.7トン（12.5%）、ふぐはえ縄漁業は46.1トン（74.6%）であった。ふぐはえ縄漁業の漁獲量割合は、2021年漁期（66.2%）と比べて増加した（補足表2-7）。

（3）漁獲物の年齢組成

漁期年別の漁獲物の年齢組成を図3-3、3-4、補足表2-3、2-4、2-5、2-6に示す。2022年漁期の漁獲尾数の年齢組成は、0歳魚が33.0%（1.88万尾）、1歳魚が50.1%（2.85万尾）、2歳魚が7.5%（0.43万尾）、3+歳魚が9.4%（0.54万尾）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0歳魚が6割を超える年もあったが、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。

2022年漁期の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87.0%（1.68万尾）、1歳魚が8.5%（0.16万尾）、2歳魚が4.3%（0.08万尾）、3+歳魚が0.3%（0.005万尾）であった。小型機船底びき網漁業（渥美外海）では、0歳魚が32.6%（0.20万尾）、1歳魚が39.2%（0.24万尾）、2歳魚が13.9%（0.08万尾）、3+歳魚が14.3%（0.08万尾）であった。ふぐはえ縄漁業では1歳魚が77.7%（2.45万尾）、2歳魚が8.2%（0.26万尾）、3+歳魚が14.1%（0.44万尾）であった（補足表2-8）。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)。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。2022年漁期の三重県における小型機船底びき網漁業の延べ操業隻数、漁獲量、および漁獲尾数は集計ができなかったため、代替値として2019～2021年漁期の平均値(101 隻・日、0.1トン、292尾)を用いた。

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を表3-3に示す。努力量は1994年漁期の11,008 隻・日から減少傾向にあり、2022年漁期は3,840 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、3.7 kg/隻・日と高い値を示したが、以降は0.3～2.1 kg/隻・日の間を増減し、2020年漁期は0.8 kg/隻・日、2021年漁期は1.5 kg/隻・日、2022年漁期は1.4 kg/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と0歳魚CPUEを表3-4に示す。努力量は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、以降は1,116～1,341 隻・日の間を増減している。2022年漁期の延べ操業隻数は1,276 隻・日であった。当該漁業の0歳魚CPUEは1999年漁期の47.2 kg/隻・日を最大に、2010年漁期以降は0.2～3.0 kg/隻・日の間を増減しており、2022年漁期は0.6 kg/隻・日と1995年漁期以降で3番目に低い値となった。

東海3県におけるふぐはえ縄漁業の漁獲努力量(延べ操業隻数)は、2000年漁期の12,074 隻・日をピークとして徐々に削減される傾向にあり、2011年漁期以降は4,000 隻・日以下で推移している(表3-5)。近年における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、2016年漁期の2,956 隻・日から2021年漁期の1,250 隻・日まで減少したが、2022年漁期の延べ操業隻数は前年比19%増の1,492 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歳魚、1歳魚、2歳魚および3歳魚以上をプラスグループとした年齢別漁獲尾数をもとに、資源量指標値を考慮したチューニングコホート解析により計算した(補足資料1、2)。データとして1993～2022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、各年齢の資源量の合計を総資源量とした。チューニングコホート解析に用いる資源量指標値には2004年漁期以降のサーフネット調査の曳網あたり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)。CPUEの標準化手法については補足資料3に記載した。

(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 154.8 を最大、2020 年漁期の 4.9 を最低として 2004～2011 年漁期、および 2011～2017 年漁期にかけて増減を繰り返したが、2017～2022 年漁期以降は低い値で推移した。令和 4（2021）年度トラフグ伊勢・三河湾系群の資源評価（FRA-SA2022-AC-74）によれば、2021 および 2022 年漁期の指標値は 6.8 および 6.2 であり、指標値が得られている 19 年間（2004～2022 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）、2023 年漁期の調査結果を含めた標準化によりそれぞれ 8.92、11.1 と上方修正された。また、2023 年漁期の指標値は 30.32 と推定された。

1 歳魚資源量指標値は、2002 年漁期の 530,454 を最大、1996 年漁期の 17,900 を最小として 1995～2004 年漁期、2004～2013 年漁期、2013～2018 年漁期にかけて増減を繰り返し、2018 年漁期以降は 20,000～60,000 の間を推移した。2022 年漁期の 1 歳魚資源量指標値（2021 年級群に対応）は 60,000 であり、指標値が得られている 27 年間（1995～2022 年漁期）の平均値（97,900）の約 6 割程度ではあるが、2018 年漁期以降最高の値となった。なお、指標値の算出で得られる 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 0.000405 まで上昇したが、2022 年漁期は 0.000382 と推定された（図 4-3）。

(3) 資源量と漁獲圧の推移

資源量指標値を考慮したコホート解析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。

漁期年の開始月である 4 月時点の資源量は 1993 年漁期から 1996 年漁期にかけて 446 トンから 152 トンへ減少したが、1997 年漁期から増加に転じ 2002 年漁期には 856 トンとピークに達した。しかしながら、2004 年漁期以降は、2006～2009 年漁期（355～448 トン）と 2014 年漁期（305 トン）を除き、300 トンに満たなかった。また資源量は概ね 6～7 漁期年ごとに増加と減少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ている。2020 年漁期は過去 2 番目に低い 171 トンと推定されたが、2021 年漁期は 195 トン、2022 年漁期は 220 トンと推定され 2 年連続で微増となった（表 4-1）。

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 100 トンを上回る 107 トンに達した。2005 年漁期以降は 33～69 トンの範囲で増減を繰り返し、2022 年漁期の親魚量は 72 トンと推定された（図 4-5、表 4-1）。

本評価では自然死亡係数（M）を 0.25 と仮定している。感度分析として M を 0.5 倍（M=0.125）、1.5 倍（M=0.375）、2 倍（M=0.5）に変化させた場合の 2022 年漁期の資源量、親魚量、加入量（0 歳魚資源尾数）を推定した（図 4-6）。M を大きくするといずれの値も増加し、M が 0.125 変化すると、資源量は 5～6%程度、親魚量は 11～13%程度、加入量は 17～23%程度変化した。

漁獲割合は1993年漁期の68%をピークとして、それ以降2007年漁期までは39～67%の間を変動していたが、2008年漁期以降は変動しながらも減少する傾向にある(図4-4)。特に2018年漁期以降は40%以下に抑制されており、2022年漁期の漁獲割合は28.0%であった(表4-1)。

年齢別漁獲係数(F)の推移を図4-7、補足表2-3、2-4、2-5、2-6に示す。0歳魚に対する漁獲係数は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、2022年漁期は0.34と推定された。1歳魚および2歳魚以上に対する漁獲係数は、低下傾向にあり、2022年漁期は1歳魚が0.50、2歳魚および3+歳魚が0.30であった。2022年漁期の0～3+歳魚のFの単純平均(F2022)は0.36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(図4-8)、本資源評価期間においては18.7万～78.7万尾が放流されてきた(表4-2)。2022年漁期の放流尾数は45.2万尾であり、混入率は32.1%、添加効率は0.04と推定された(補足資料4)。これに基づき、算定した0歳放流資源尾数を減算することで、0歳天然資源尾数が計算される。なお、本系群における加入量は、天然由来加入尾数、人工種苗由来加入尾数ともに漁期年開始時の4月1日まで自然死亡係数を用いて逆算した結果の数値として算出した。なお、2022年漁期は上記以外にも自主放流が行われている。

0歳魚資源尾数である総加入量は、1999年漁期の114.4万尾、2001年漁期の123.8万尾以降は減少傾向を示し、2003年漁期に5.9万尾となった。その後は2006年漁期の50.8万尾まで増加したのち再び減少し、2022年漁期は7.4万尾であった。総加入量のうち、天然由来の加入は1999年漁期に112.3万尾、2001年漁期に120.7万尾と極めて高く推定されたが、以降は5～6年周期で増減している。2017年漁期以降は低迷し、2020年漁期は3.6万尾と過去最低だったが、2021年漁期に10.7万尾と増加し、2022年漁期は5.0万尾と推定された。人工種苗由来の加入尾数は安定しており、2004年漁期以降は2万～4万尾の間を推移している。2022年漁期は2.4万尾と推定された(表4-1、図4-9)。

放流魚の添加効率は、2003年漁期以降ではおおよそ0.04～0.06で推移しており、放流魚の混入率は天然魚の加入量の多寡によって2～42%の範囲で大きく変動した(図4-10、4-11)。

(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、その漁獲圧が無かった場合との比較を行った。図4-12と表4-1に年ごと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年漁期は0.5～5.3%と極めて低く算出されたが、2017年漁期より増加傾向にあり、2022年漁期は16.8%となった。

現状の漁獲圧として、直近3年間(2020～2022年漁期)の平均F値から%SPRを算出すると15.2%となった。

生物学的管理基準(漁獲係数)と現状の漁獲圧の関係を図4-13に示す。ここで、現状の

漁獲圧 (F2020-2022) は、選択率に令和 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の代替値 MSY proxy を実現する F (Fmsy proxy) の推定に用いた値 (真鍋ほか 2022) を使用し、%SPR が 2020~2022 年漁期の平均 F から得られる値 (15.2%) となる値として算出した。また、年齢別平均体重および成熟割合についても Fmsy proxy 算出時の値を使用した。Fmsy proxy の %SPR は 15.2% であり、現状の漁獲圧 (F2020-2022) とほぼ等しい値であった。

(6) 加入量の見積もり

本系群における天然由来加入尾数の推移を図 4-14 に示す。上述の「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、直近年 (2021 年漁期) を除いた 2009 年漁期以降の天然当歳魚の加入データ (2009~2020 年漁期) に対して対数正規分布をあてはめ、その分布に基づいて加入が期待されると仮定した (真鍋ほか 2022)。なお本系群では、サーフネット調査の曳網あたりトラフグ天然稚魚採集尾数を Nishijima et al. (2023) のモデルを用いて標準化した CPUE を、0 歳天然魚資源量指標値として用いている。

(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) を実現する親魚量 (SBmsy proxy) および MSY proxy として、上記の「管理基準値等に関する研究機関会議」で推定された値 (真鍋ほか 2022) を補足表 8-2 に示す。

(8) 資源の水準・動向および漁獲圧の水準

MSY の代替値を実現する親魚量と漁獲圧を基準にした神戸プロットを図 4-15 に示す。本系群における 2022 年漁期の親魚量は MSY を実現する親魚量の代替値 (SBmsy proxy) を下回り、2022 年漁期の親魚量は SBmsy proxy の 0.89 倍である。また、2022 年漁期の漁獲圧は MSY を実現する漁獲圧 (Fmsy proxy) を下回っており、2022 年漁期の漁獲圧は Fmsy proxy の 0.94 倍である。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 の漁獲圧を与える F を %SPR 換算して求めた値と、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 (2018~2022 年漁期) の推移から増加と判断される。親魚量は 2004 年漁期を除き SBmsy proxy を下回っているが、2020 年漁期以降、漁獲圧が低下しており、増加に転じている。

5. 資源評価のまとめ

2022 年漁期の資源量は 220 トンと推定され、近年では 2015 年漁期の 294 トンに次ぐ値となった。漁獲圧は、1 歳魚以上に対する F が減少傾向にある一方、2022 年漁期の 0 歳魚に対する F が過去 3 年 (2019~2021 年漁期) と比べて高く推定されたことに留意する必要がある。親魚量は 2017 年漁期以降概ね増加傾向であり、2022 年漁期は 72 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年漁期から当該漁業で漁獲される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（水産庁 2002）。資源回復計画が推進されたことにより、2002年漁期以降の当該漁業による0歳魚の漁獲量は、それまでと比較して大幅に抑制され、小型魚の保護が図られた（表 3-2、3-3）。

本系群は不定期に発生する卓越年級群の影響により大きな資源変動を示し、少ない親魚量からでも時として卓越年級群が発生している（図 6-1）。その背景として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）が、現状の資源評価手法では海洋環境の影響を直接的には反映できないことから、今後も海洋環境要因、生物学的要因の解明に向けた科学的知見の集積を進め、これらの影響を考慮した資源評価手法の検討を進める必要がある。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）、当時の環境変動や事業者数の変動といった漁業形態の変遷などを考慮したうえで、現状の資源状態について検討する必要がある。

なお、各県からの情報提供によれば、2021年漁期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も推察されるため、FやCPUEの挙動の変化には注意が必要である。

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. 三重県水産技術センター研究報告, **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**(6), 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. 神水セ研究報告, 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. 愛知県水産試験場研究報告, 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.

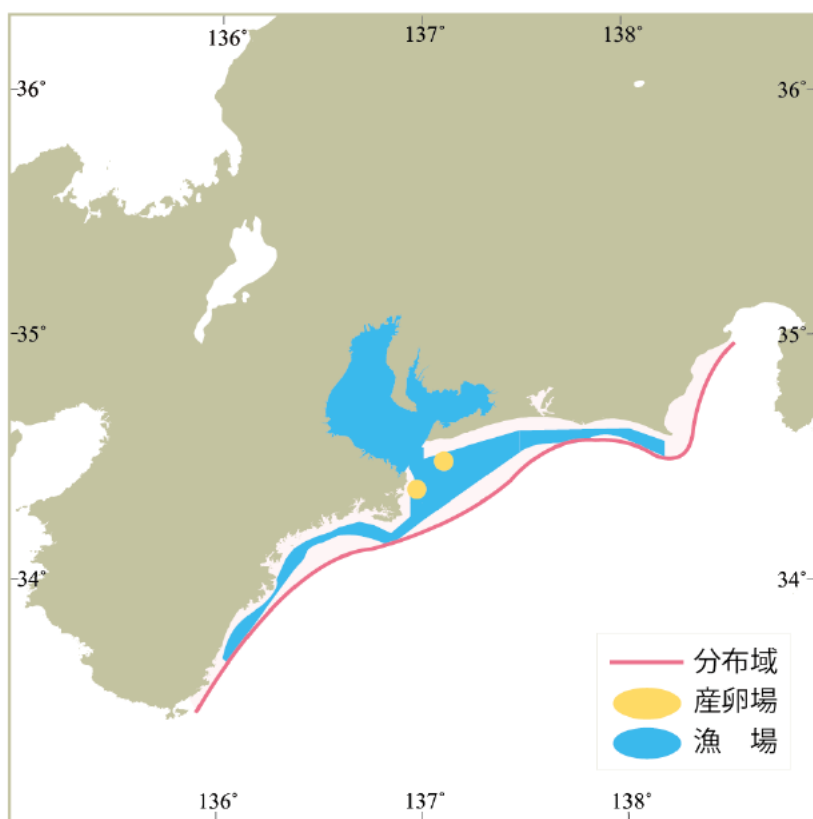


図 2-1. 分布域と主産卵場の模式図

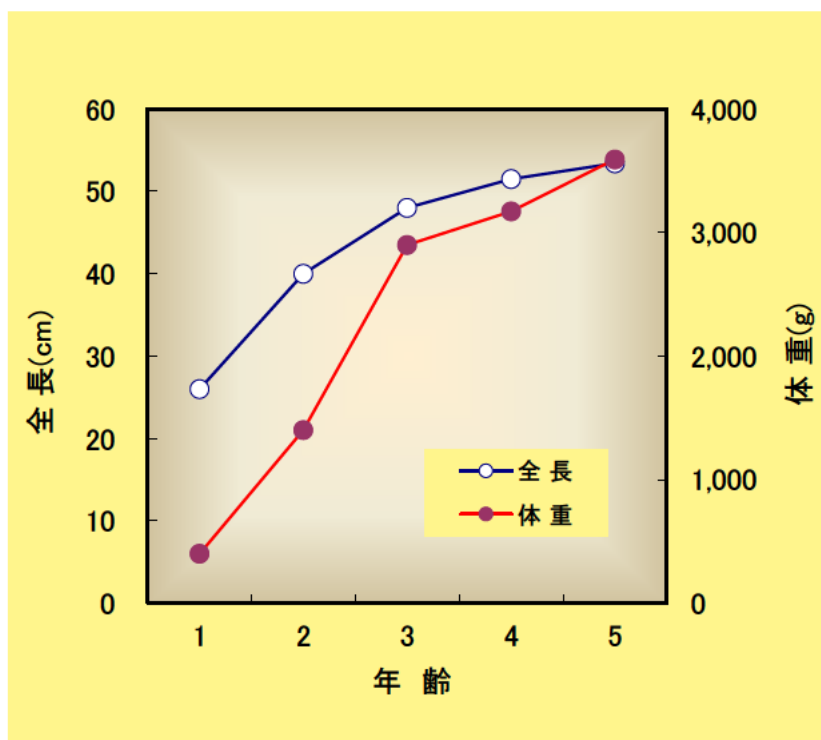


図 2-2. 年齢と成長 (4月時点)

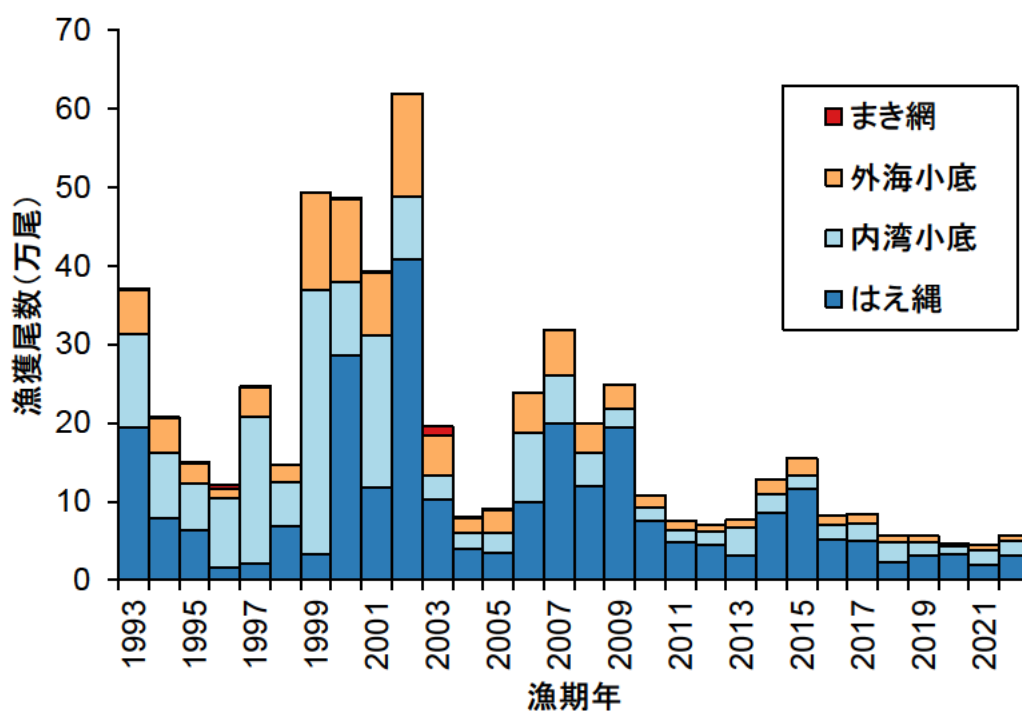


図 3-1. 漁業種類別漁獲尾数の推移

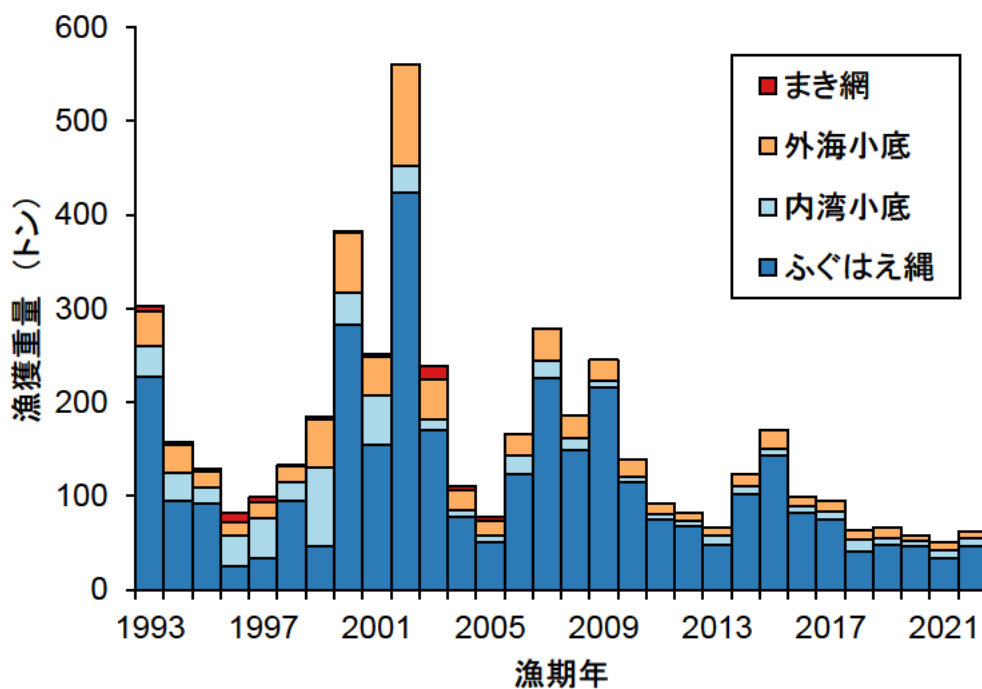


図 3-2. 漁業種類別漁獲量の推移

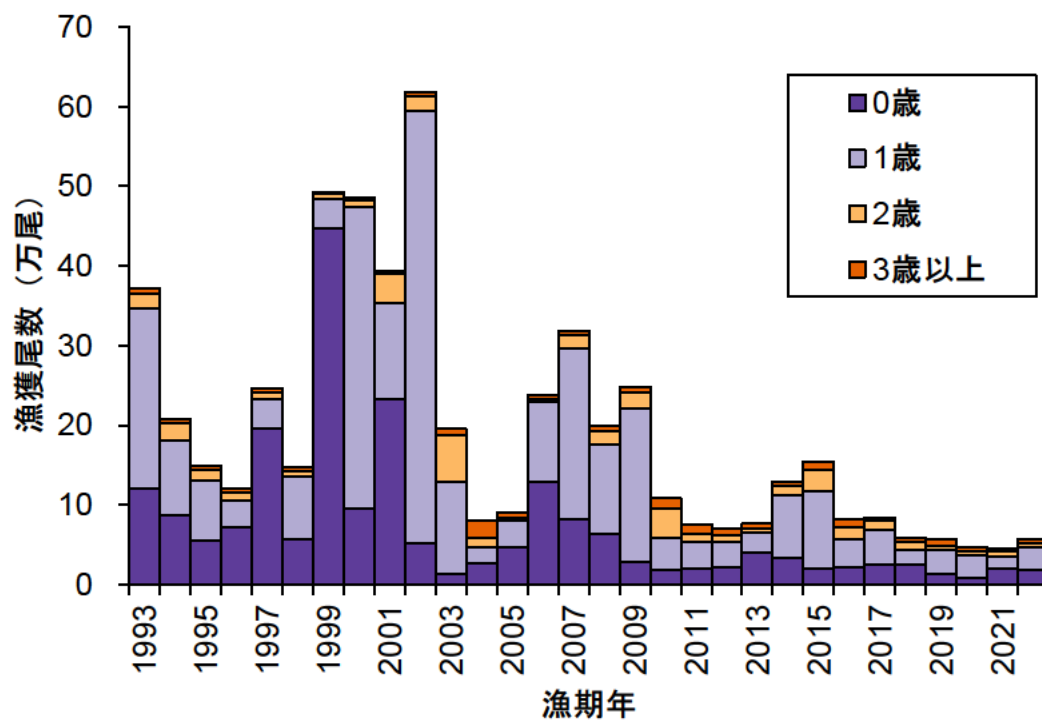


図 3-3. 年齢別漁獲尾数の推移

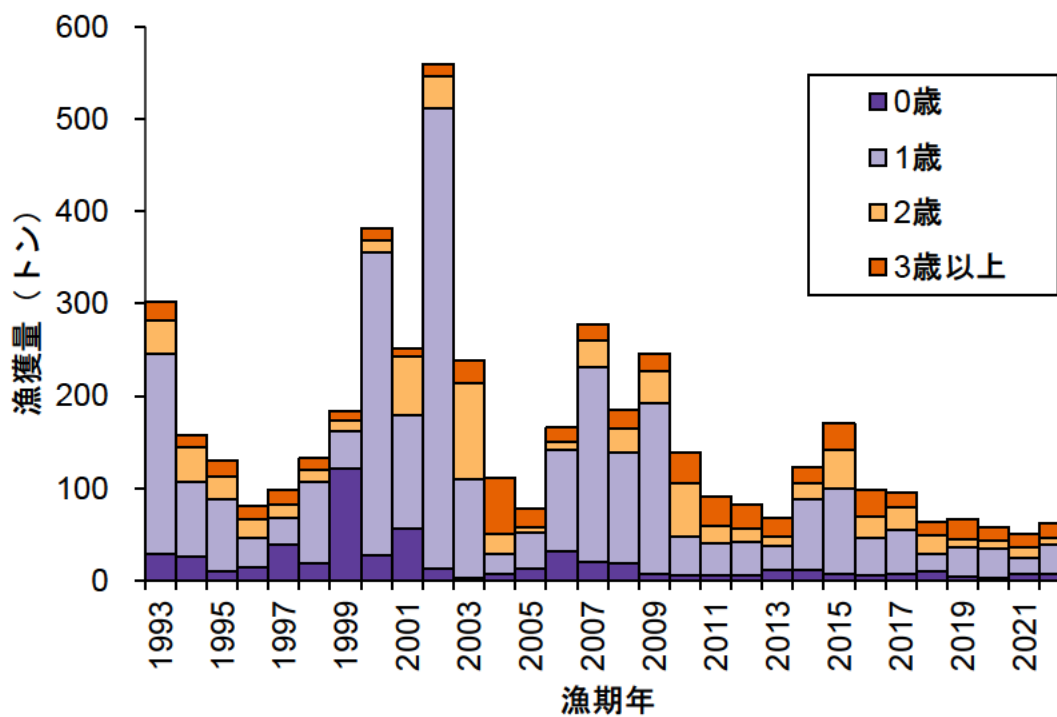


図 3-4. 年齢別漁獲量の推移

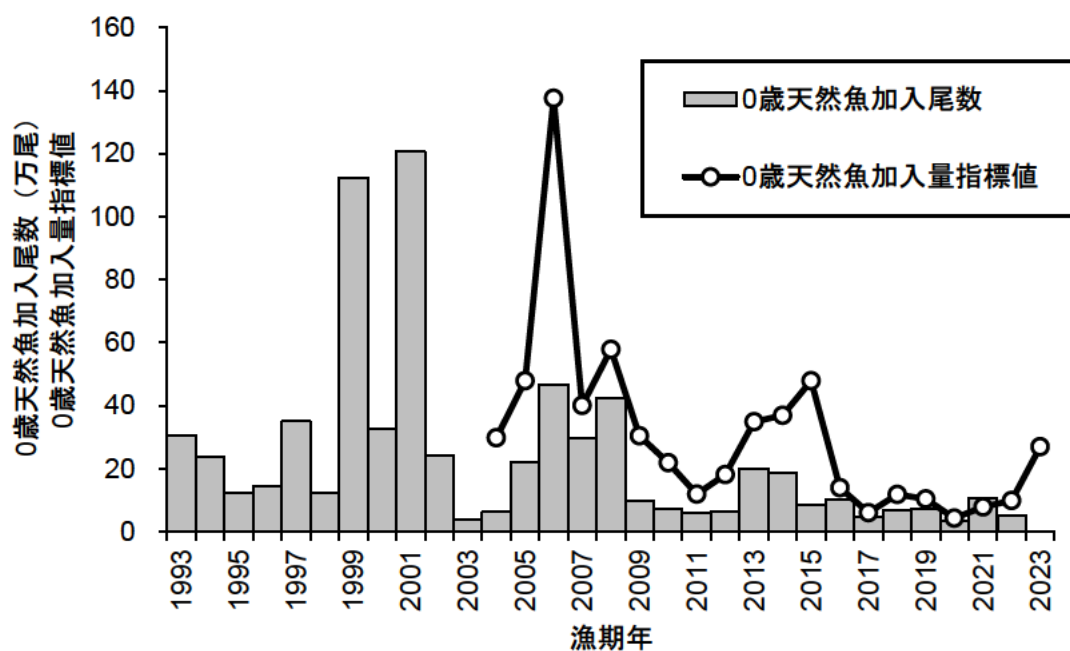


図 4-1. 資源量指標値を考慮したコホート解析により推定した 0 歳天然魚資源尾数 (灰色) と 0 歳天然魚資源量指標値の経年推移 (黒実線)

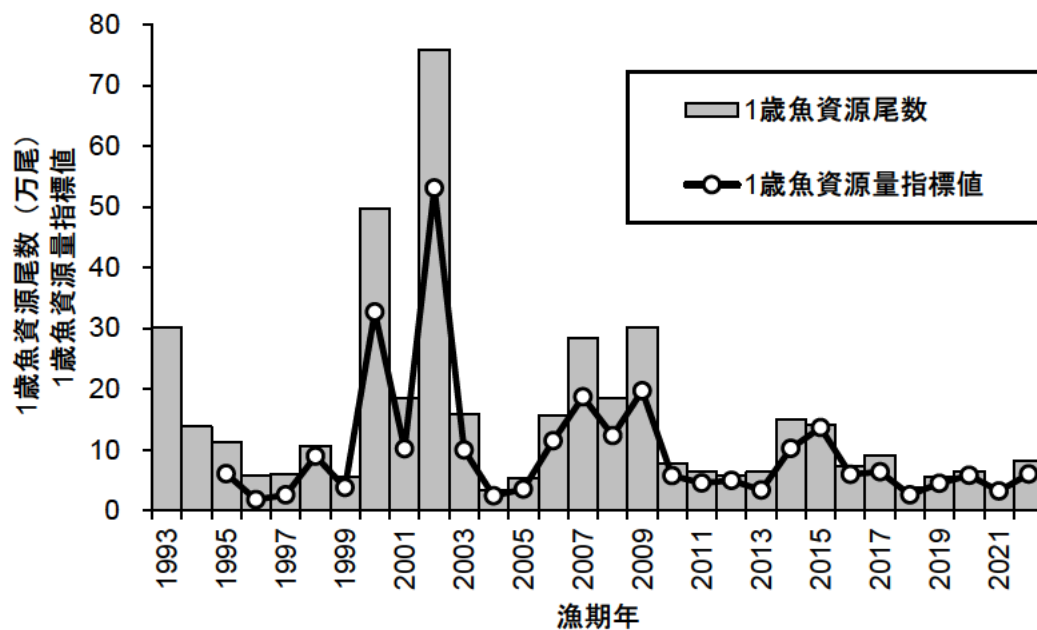


図 4-2. 資源量指標値を考慮したコホート解析により推定した 1 歳魚資源尾数と 1 歳魚資源量指標値の経年推移

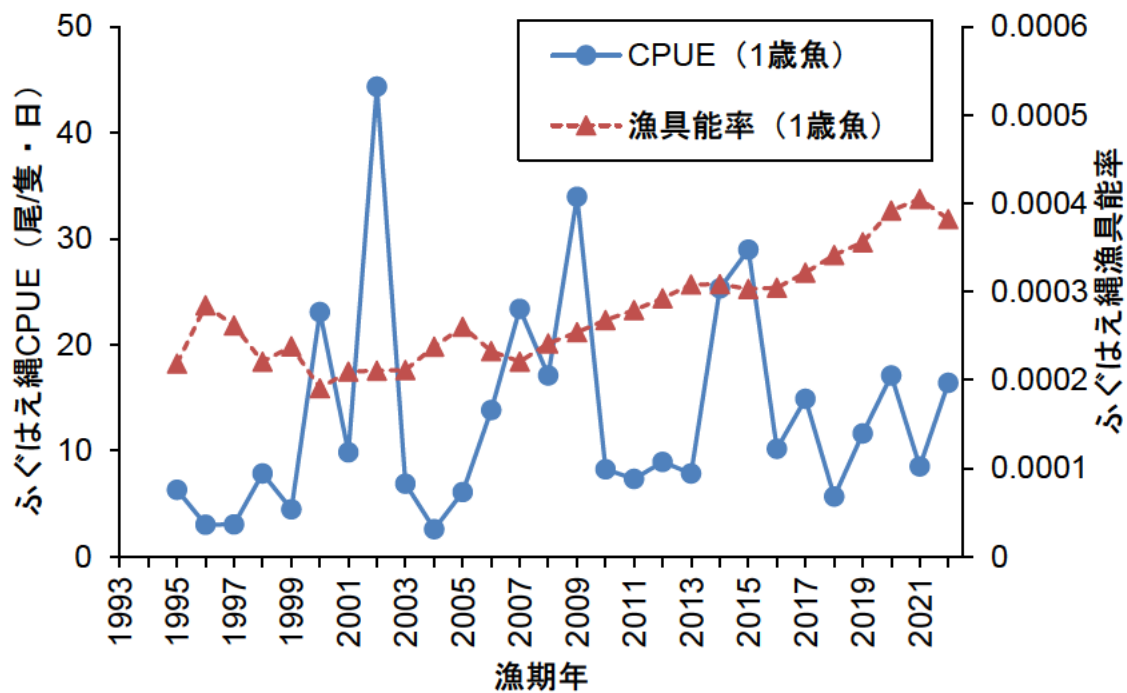


図 4-3. ふぐはえ縄漁業の 1 歳魚に対する CPUE および漁具能率 (1995～2022 年漁期)

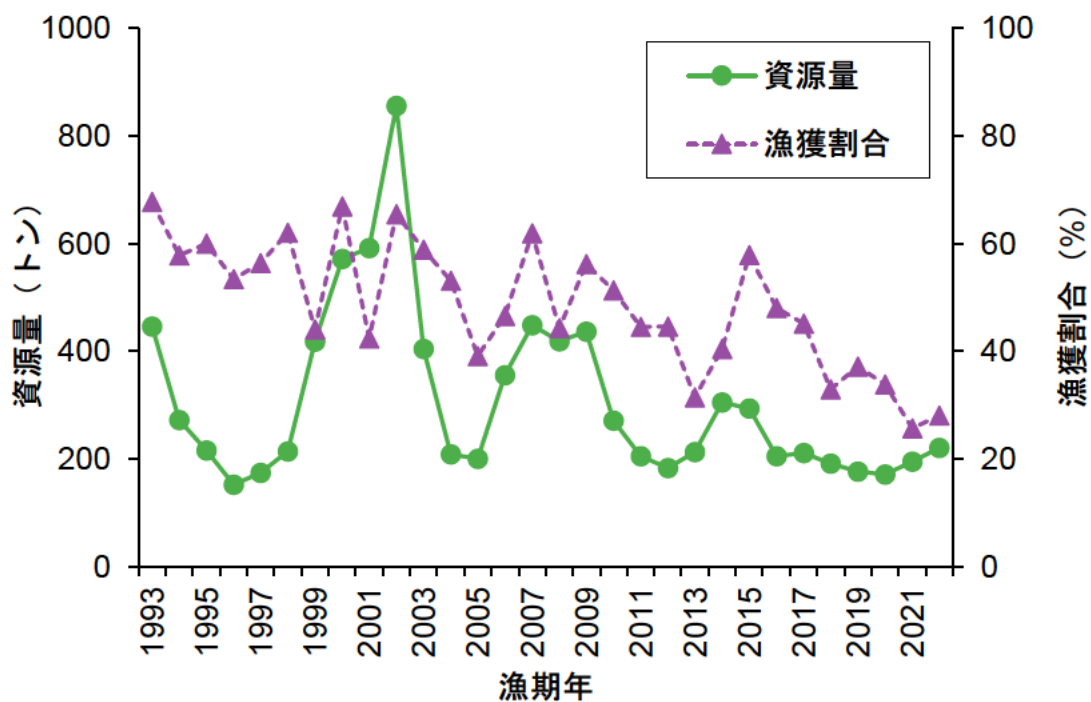


図 4-4. 資源量 (丸、緑実線) および漁獲割合 (三角、紫破線) の推移

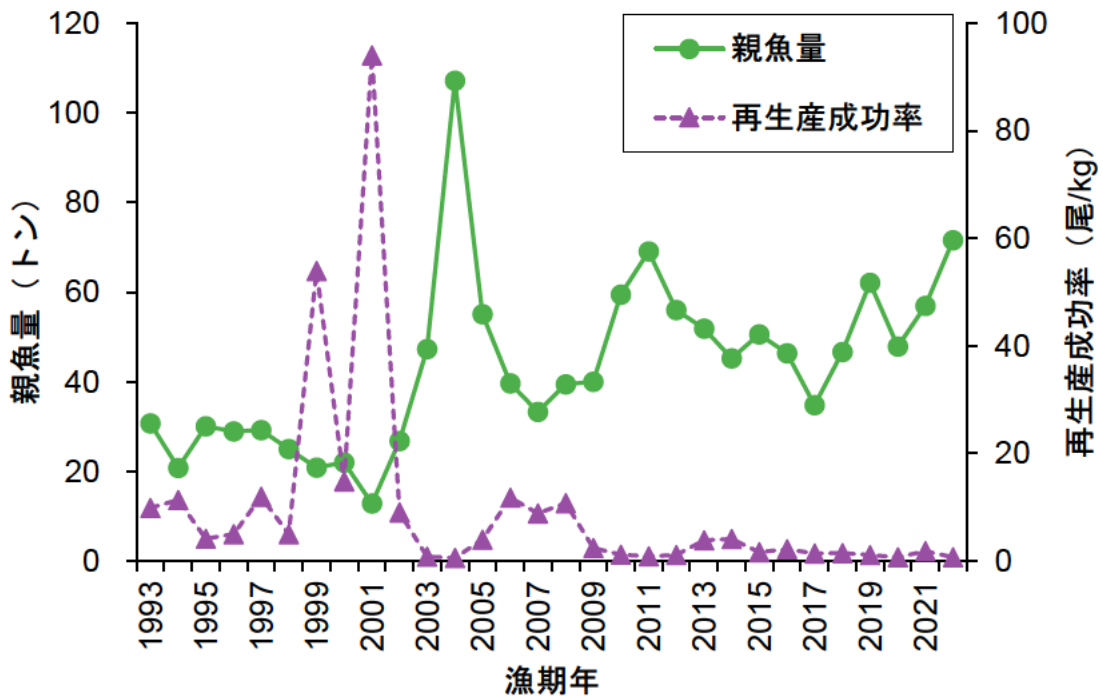


図 4-5. 親魚量および再生産成功率 (RPS) の推移

RPS=天然魚加入尾数 (4月時点) / 親魚量 (天然+放流、4月時点)。

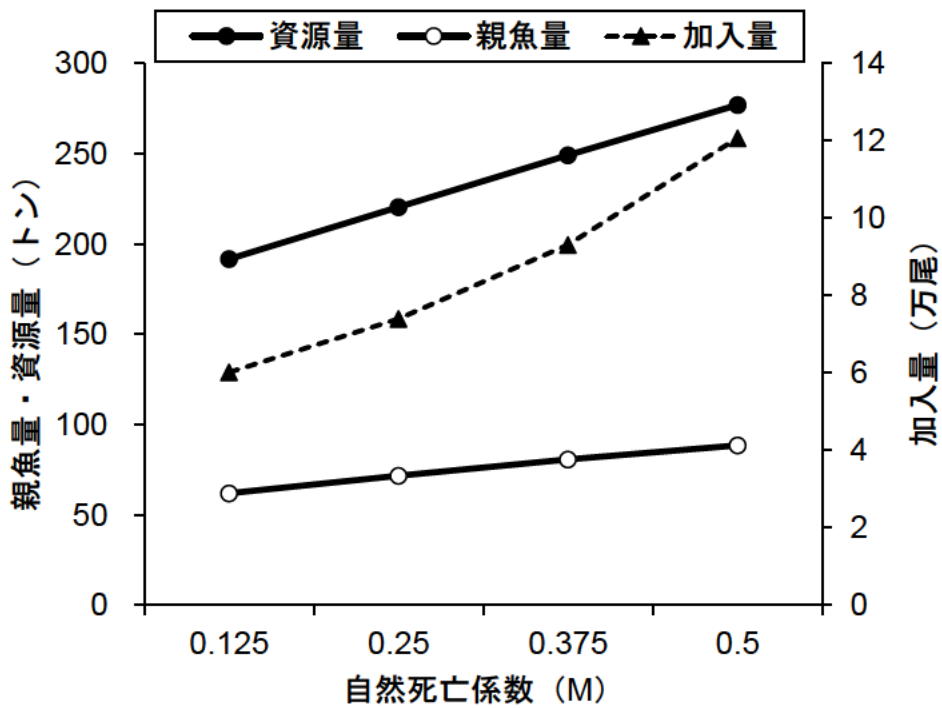


図 4-6. 自然死亡係数 (M) と 2022 年漁期の資源量、親魚量、加入量の関係
本評価では M=0.25 を用いた。

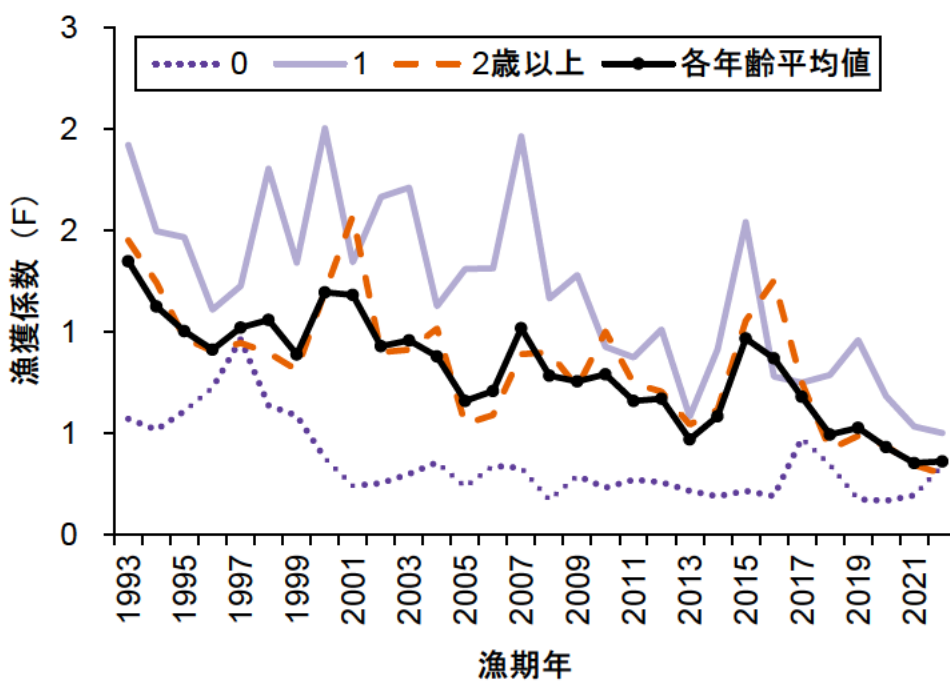


図 4-7. 年齢別漁獲係数

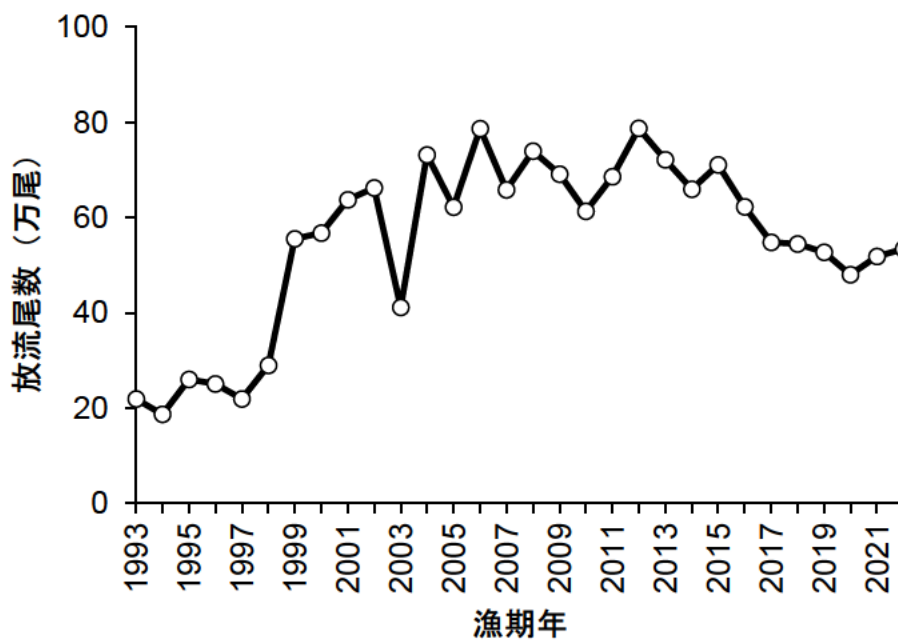


図 4-8. 人工種苗の放流尾数

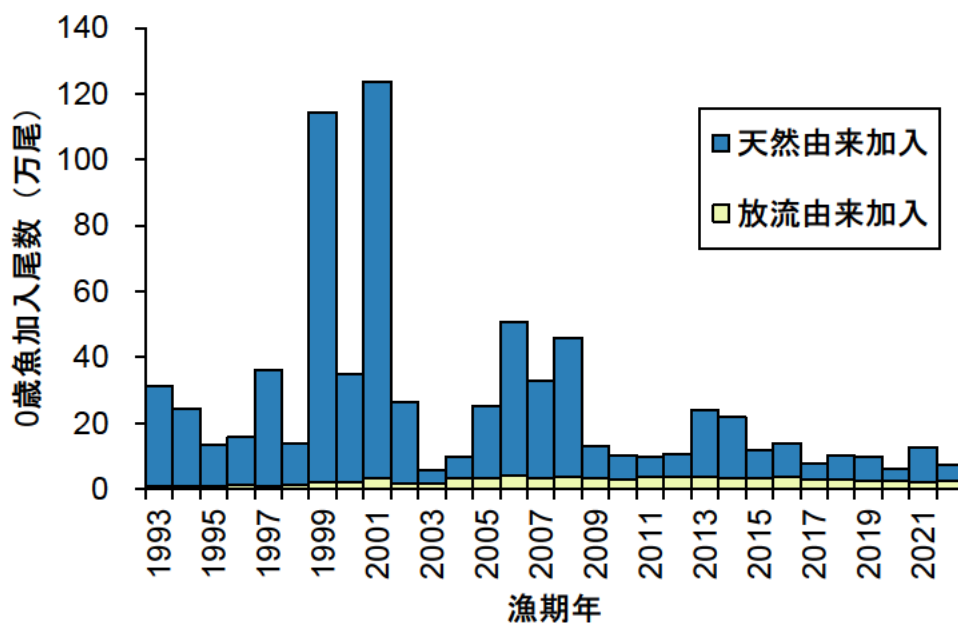


図 4-9. 0 歳魚資源尾数における天然由来加入尾数と放流由来加入尾数の内訳

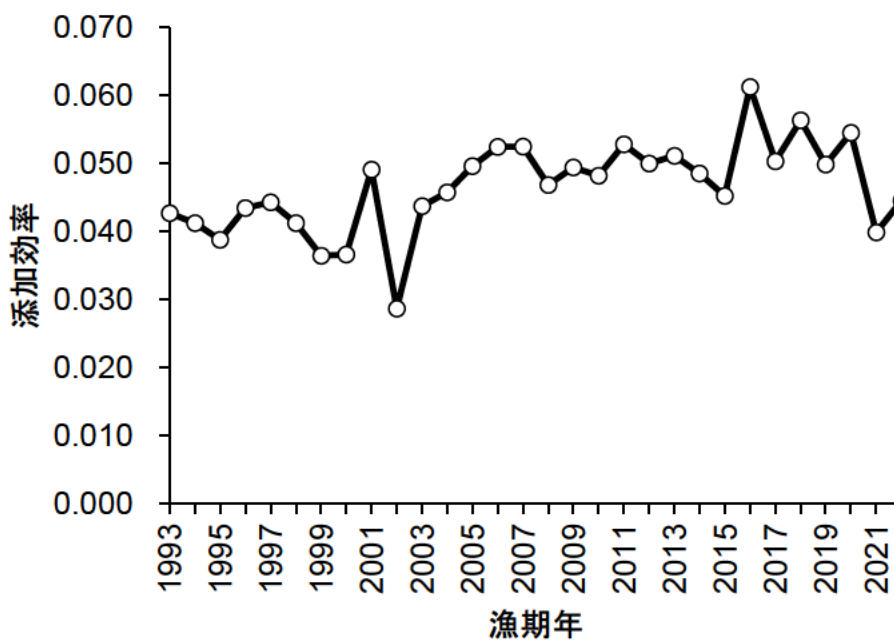


図 4-10. 人工種苗の添加効率

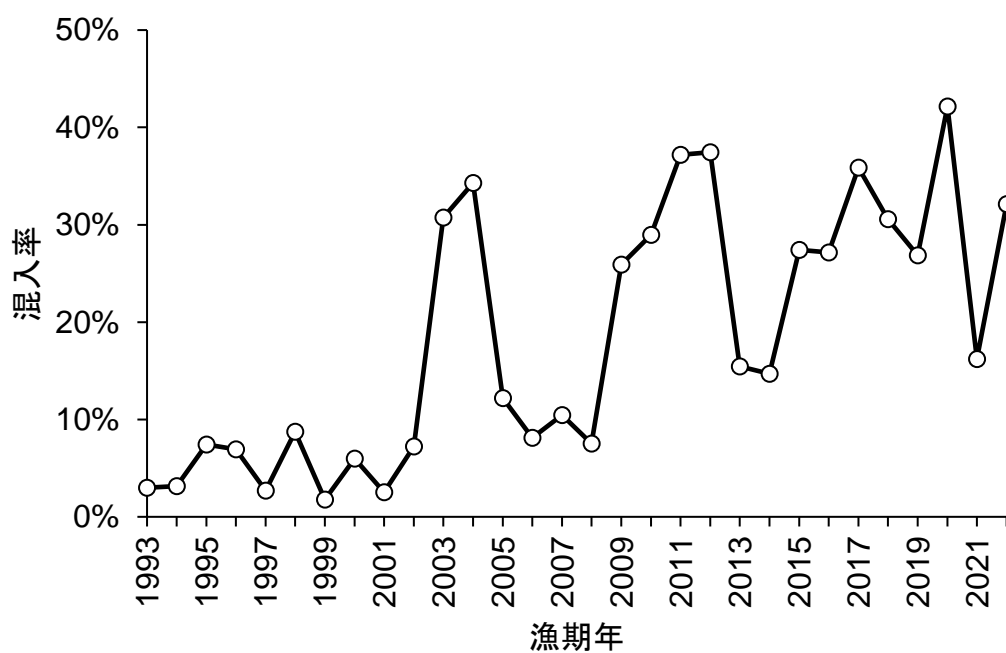


図 4-11. 人工種苗の0歳魚漁獲尾数における混入率

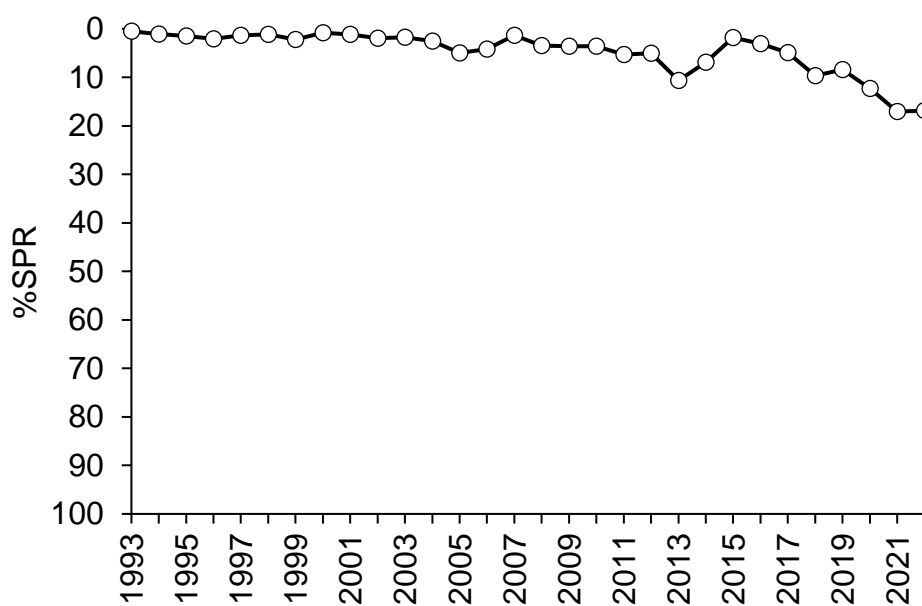


図 4-12. 各漁期年における%SPR 値の経年推移

%SPR は漁獲がない時の親魚量に対する漁獲があるときの親魚量の割合を示し、F が高い（低い）と%SPR は小さく（大きく）なる。

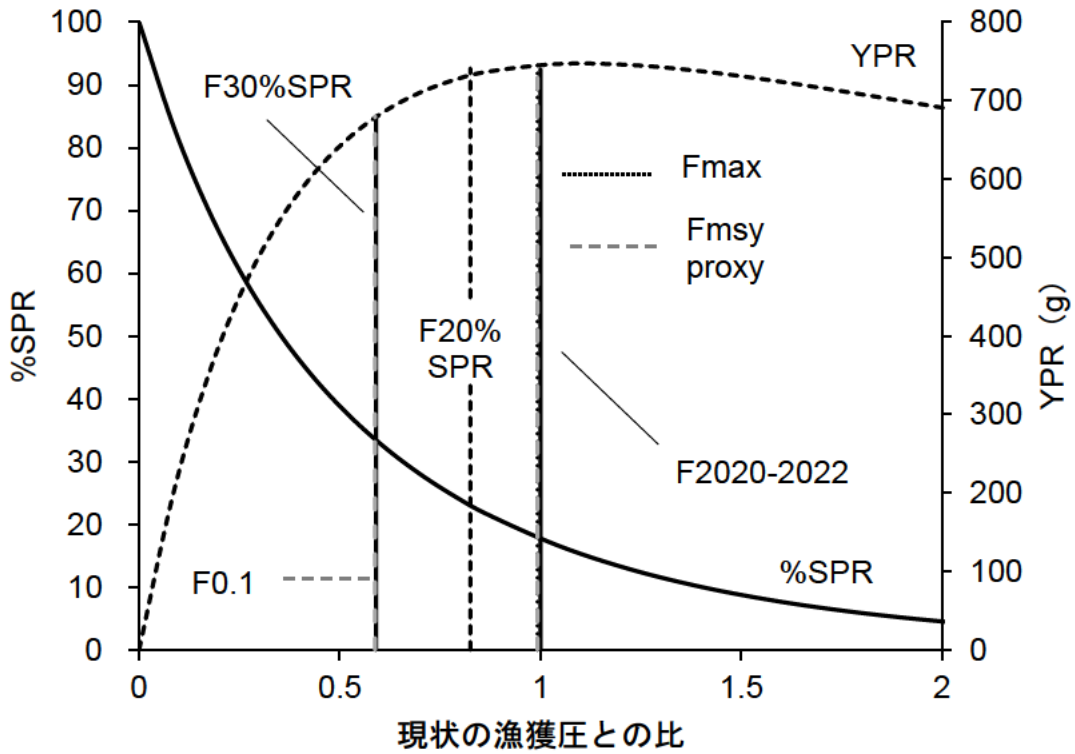


図 4-13. 生物学的管理基準（漁獲係数）と現状の漁獲圧の関係

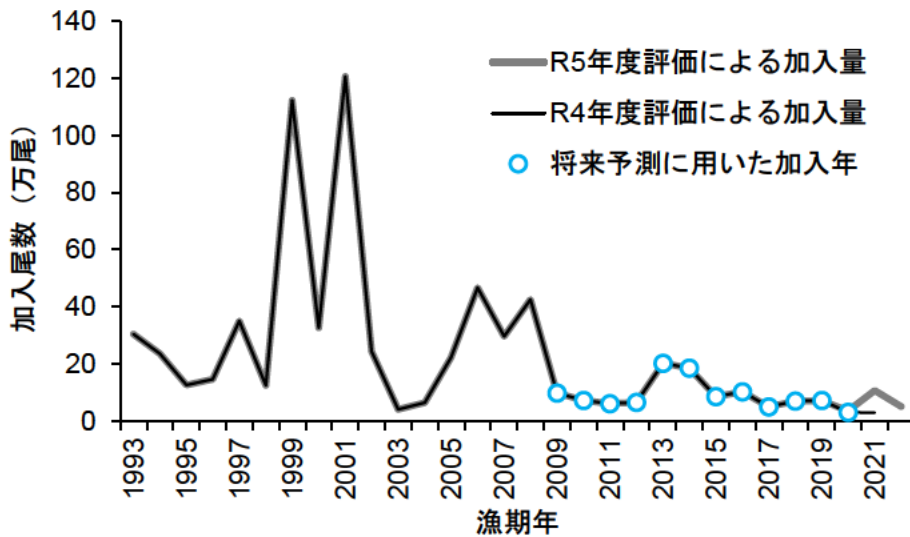


図 4-14. 将来予測に用いる加入量の推移

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、灰太線は本年度評価における加入量を示す。

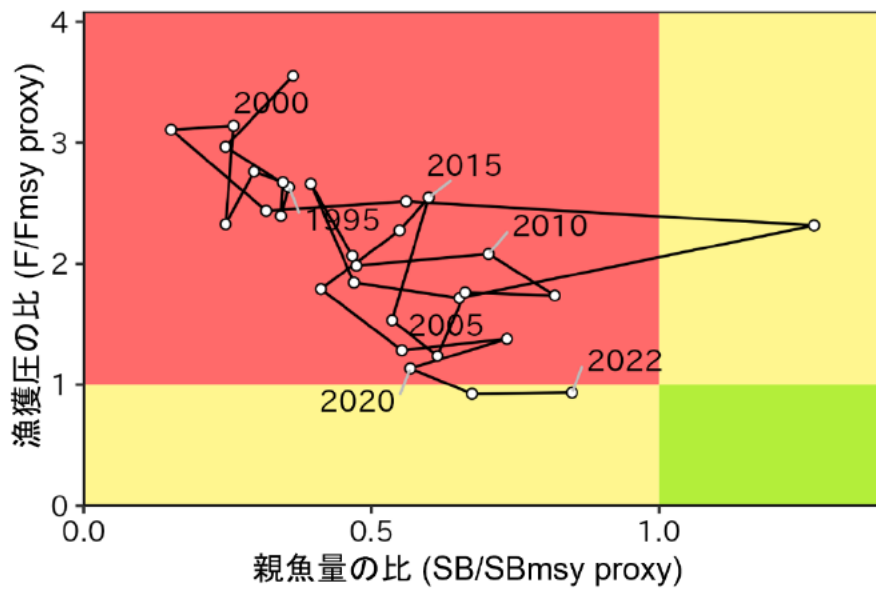


図 4-15. 神戸プロット

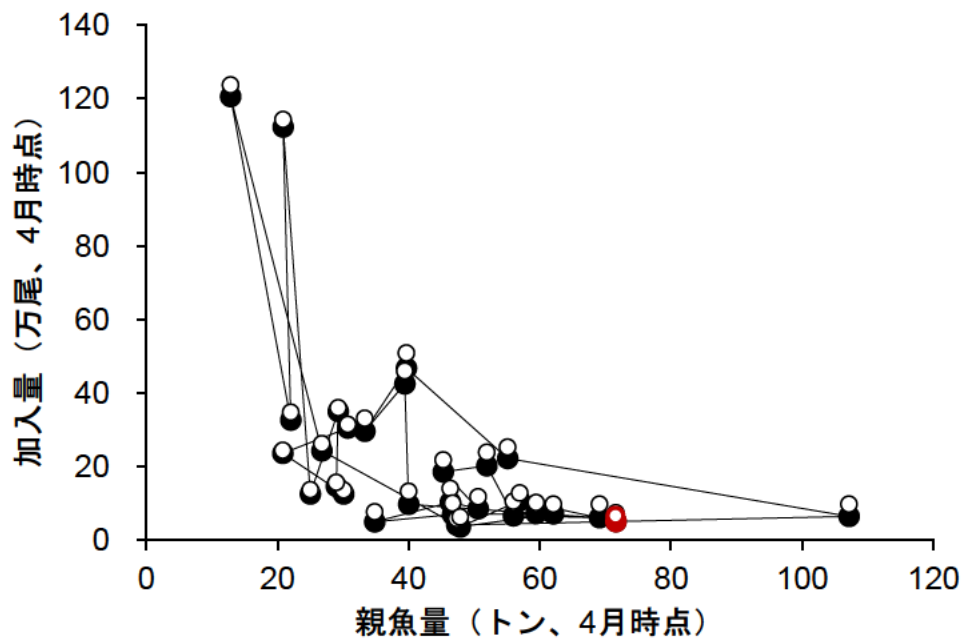


図 6-1. 親魚量と加入量の関係

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2022年漁期の関係を示し、黒実線は1993～2022年漁期の天然加入由来の関係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	6.8	39.6	15.5	61.8

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

*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

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

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	572	402	1,492
平均	2,996	1,291	976	5,392

※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	3.54
1994	157.2	272.0	20.8	236,193	7,696	243,890	58	1.1	2.95
1995	129.5	215.8	30.1	125,623	10,101	135,723	60	1.5	2.63
1996	81.1	152.0	29.0	145,960	10,885	156,845	53	2.1	2.39
1997	98.2	174.1	29.2	349,949	9,724	359,673	56	1.4	2.67
1998	132.6	213.7	25.0	125,025	11,960	136,985	62	1.2	2.78
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	3.13
2001	250.9	591.9	12.8	1,206,576	31,274	1,237,850	42	1.1	3.10
2002	560.1	855.7	26.8	243,243	19,001	262,244	65	1.9	2.43
2003	237.9	404.1	47.3	40,525	17,990	58,515	59	1.7	2.51
2004	110.6	208.4	107.1	64,104	33,463	97,567	53	2.5	2.30
2005	78.3	200.2	55.1	221,944	30,848	252,792	39	5.0	1.73
2006	165.6	355.4	39.7	467,247	41,243	508,490	47	4.2	1.85
2007	277.5	448.4	33.3	296,308	34,543	330,851	62	1.4	2.67
2008	185.3	418.3	39.4	425,050	34,636	459,686	44	3.5	2.05
2009	245.2	436.5	40.0	97,636	34,143	131,779	56	3.6	1.98
2010	139.0	271.0	59.4	72,471	29,548	102,019	51	3.6	2.07
2011	91.3	205.0	69.1	61,149	36,189	97,339	45	5.3	1.73
2012	81.6	183.0	56.0	65,672	39,319	104,991	45	5.0	1.75
2013	66.9	212.8	51.9	201,662	36,878	238,540	31	10.7	1.23
2014	123.2	304.8	45.3	185,584	31,994	217,578	40	6.9	1.53
2015	170.0	293.7	50.6	85,042	32,112	117,154	58	1.8	2.53
2016	98.5	205.0	46.4	102,283	38,115	140,398	48	3.1	2.28
2017	95.3	211.1	34.8	49,276	27,572	76,848	45	4.9	1.78
2018	63.0	191.4	46.7	69,647	30,660	100,307	33	9.7	1.29
2019	65.6	176.5	62.1	71,482	26,265	97,747	37	8.4	1.38
2020	57.9	171.1	47.9	35,919	26,171	62,090	34	12.3	1.13
2021	50.0	194.7	56.9	107,017	20,678	127,695	26	17.1	0.92
2022	61.8	220.4	71.6	50,194	23,768	73,962	28	16.8	0.94

※加入尾数：漁獲年開始時（4月）資源尾数。

表 4-2. 人工種苗の放流尾数、混入率と添加効率

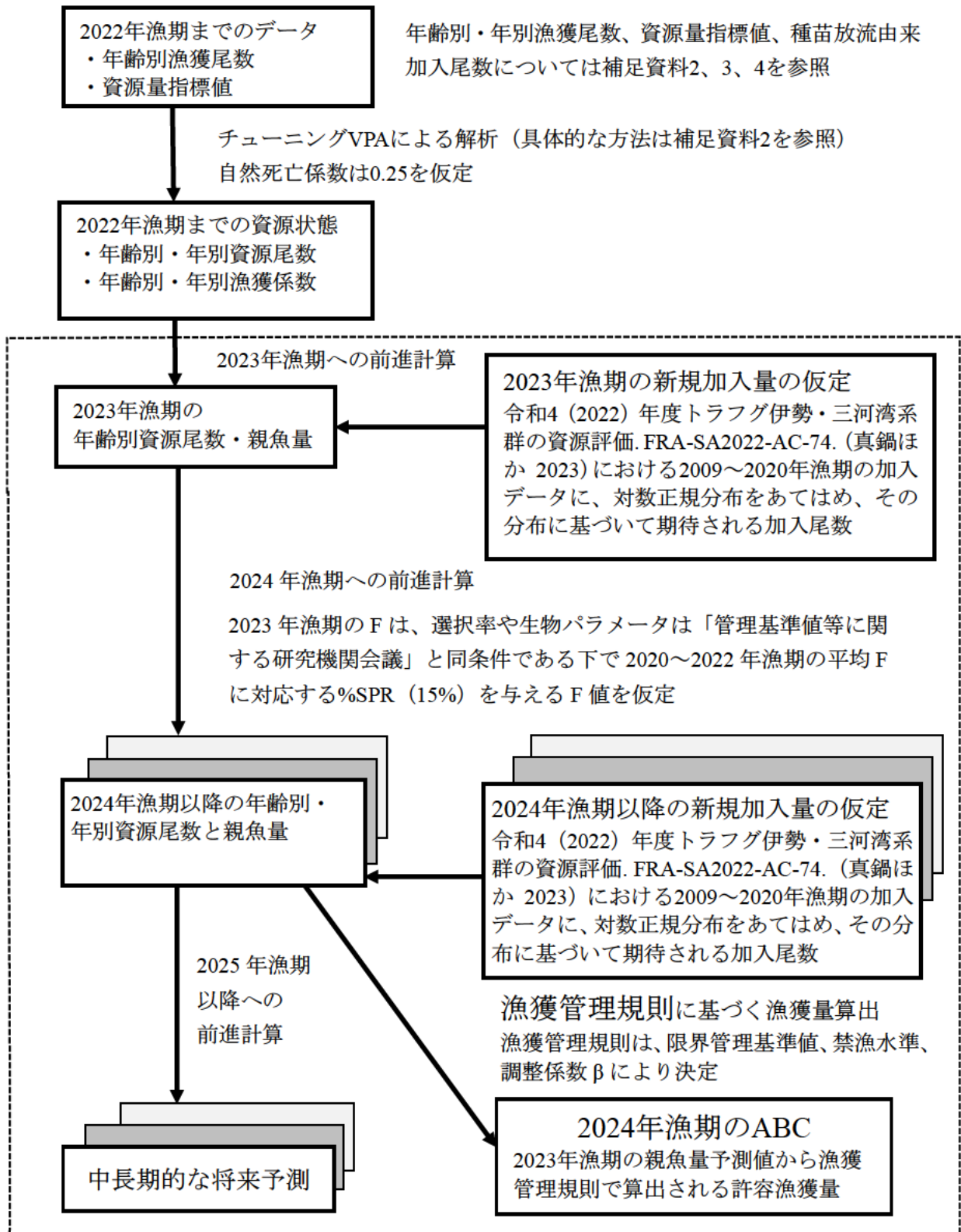
漁期年	放流尾数 (尾)	添加効率 (%) ※2	混入率 (%)
1993	218,913	0.043	3.0
1994	186,664	0.041	3.2
1995	260,280	0.039	7.4
1996	250,549	0.043	6.9
1997	219,480	0.044	2.7
1998	289,848	0.041	8.7
1999	555,284	0.036	1.8
2000	567,465	0.037	6.0
2001	637,042	0.049	2.5
2002	661,859	0.029	7.2
2003	411,206	0.044	30.7
2004	730,918	0.046	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	35.9
2018	544,300	0.056	30.6
2019	526,870	0.050	26.9
2020	480,080	0.055	42.2
2021	518,410	0.040	16.2
2022	452,410	0.045	32.1

※1

※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、漁獲係数は、資源量指標値を考慮したコホート解析により推定した。誕生日を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の近似式により資源尾数を推定した（Pope 1972）。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）。

チューニング指数には0歳天然魚資源量指標値と1歳魚資源量指標値の2系列を用いた（補足表 2-2）。0歳天然魚資源量指標値として、2004～2023年漁期の三重県白子海岸におけるサーフネット調査の曳網あたりトラフグ天然稚魚採集数の標準化CPUEを用いた（Nishijima et al. 2023）。1歳魚資源量指標値として、1995～2021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、最もよく適合するターミナルFを探索的に求めた。ここで、最近年（2022年漁期）の年齢別選択率は2019～2021年漁期の3年間の選択率の平均値と等しいと仮定し、最近年の1歳魚漁獲係数は最近年最高齢の漁獲係数に最近年1歳魚の選択率を乗じて推定した。2歳魚の漁獲係数は最高齢（3+歳魚）の漁獲係数と等しいと仮定した。資源尾数から資源量および親魚量（SSB）への換算にもちいる年齢別平均体重としては、漁獲体重と漁獲尾数より算出した年別・年齢別平均体重（補足表 2-3～2-6）を与えた。なお、雌雄比については1:1、成熟率については雄が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え雄雌共に3歳から100%として計算した。

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

の漁獲尾数とし、 a 歳、 y 年漁期の F は

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

とした。

最近年（2022 年漁期）の 0 歳および最高齢（3+歳）の漁獲係数はチューニングによって求めた。0 歳天然魚資源量指標値および 1 歳魚資源量指標値を用いて次式の負の対数尤度を最小化する $F_{0,2022}$ および $F_{3+,2022}$ を探索的に求めることで推定した。

$$\log L = \sum_{y=2004}^{2022} \left[\frac{\{\log(I_{0,y}) - \log(q_0 \times (N_{0,y} - R_y))\}^2}{2\sigma_0^2} + \frac{1}{2} \times \log(2\pi\sigma_0^2) \right] + \sum_{y=1995}^{2022} \left[\frac{\{\log(I_{1,y}) - \log(q_1 \times N_{1,y})\}^2}{2\sigma_1^2} + \frac{1}{2} \times \log(2\pi\sigma_1^2) \right]$$

ここで、 $F_{0,2022}$ は 2022 年漁期の 0 歳の漁獲係数、 $F_{3+,2022}$ は 2022 年漁期の 3+歳の漁獲係数、 $I_{0,y}$ 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、 $N_{0,y}$ 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、 q_0 はチューニングパラメーター、 R_y は y 年漁期の放流由来加入尾数（補足表 2-2）である。また、 $I_{1,y}$ は DeLury 法により推定した y 年漁期の 1 歳魚初期資源尾数、 q_1 はチューニングパラメーター、 $N_{1,y}$ 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。 σ_0 、 σ_1 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）。

資源量指標値を考慮したコホート解析により推定した資源尾数および資源量指標値の関係を図 5、6、補足図 2-1、2-2、2-3、2-4 に示した。

上記探索の際、3 歳魚以上をプラスグループとして、

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

を仮定した。

さらに、1 歳魚以上の選択率は 2019～2021 年漁期の 3 年間の選択率の平均値に等しいとし、

$$S_{a,2022} = (S_{a,2019} + S_{a,2020} + S_{a,2021}) / 3$$

とした。

最近年の資源尾数は、

$$N_{a,2022} = C_{a,2022} e^{M/2} / (1 - e^{-F_{a,2021}})$$

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を漁獲情報より年別に計算し使用した。年別・年齢別平均体重は、

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

により求めた。ここで $W_{a,y}$ は y 年漁期における a 歳魚の平均個体重、 $C_{a,y}$ は y 年漁期における a 歳魚の漁獲尾数、 $C_{w,a,y}$ 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 B_y および親魚量 SSB_y の計算は以下の様に計算される。

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

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

(2) 資源量指標値についての診断

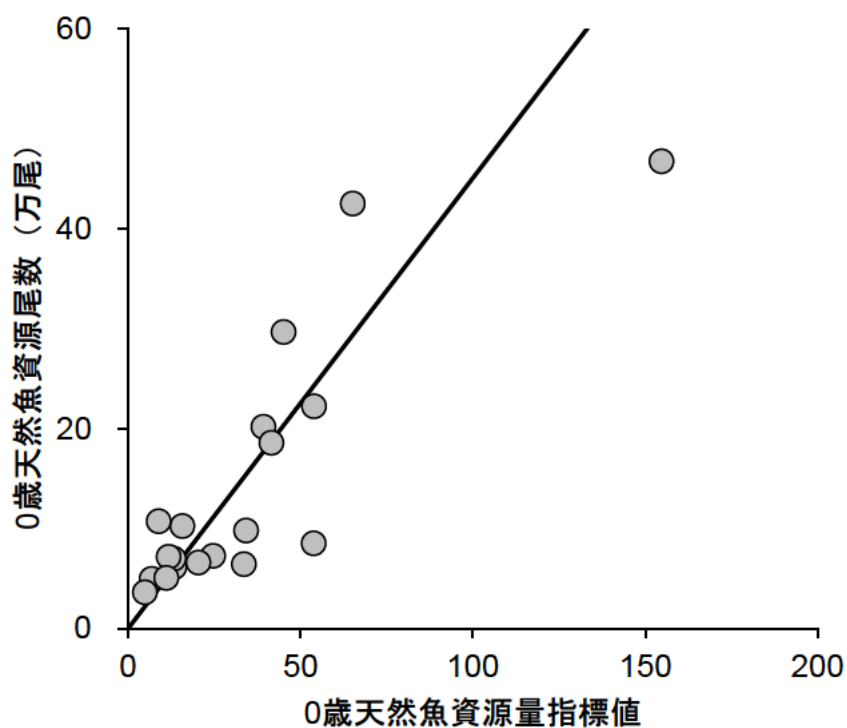
「令和 5 (2023) 年度 資源評価のモデル診断の手順と診断結果の提供指針 (FRA-SA2023-ABCWG02-03)」(水産研究・教育機構 2023) に従って、本系群の評価に用いたコホート解析の統計学的妥当性や仮定に対する頑健性について診断した。レトロスペクティブ解析の結果を補足図 2-5~2-8 に示す。加入量 (0 歳魚資源尾数) は 0 歳天然魚資源量指標値を使用することにより過大推定の傾向が改善された (補足図 2-5、2-6)。また、資源量も同様に 0 歳天然魚資源量指標値を使用することにより過大推定の傾向が改善された (補足図 2-7、2-8)。

推定された資源量、親魚量、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 2-9、2-10、2-11)。計算は 1,000 回繰り返し、90%信頼区間を求めた。

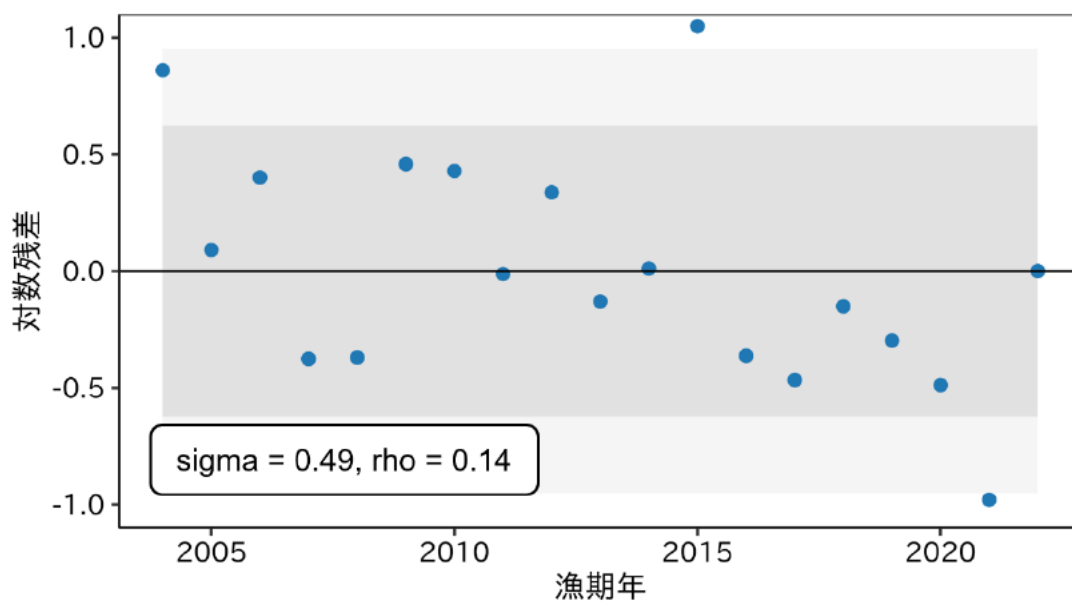
引用文献

- 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**(2), 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**(6), 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.
- 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.

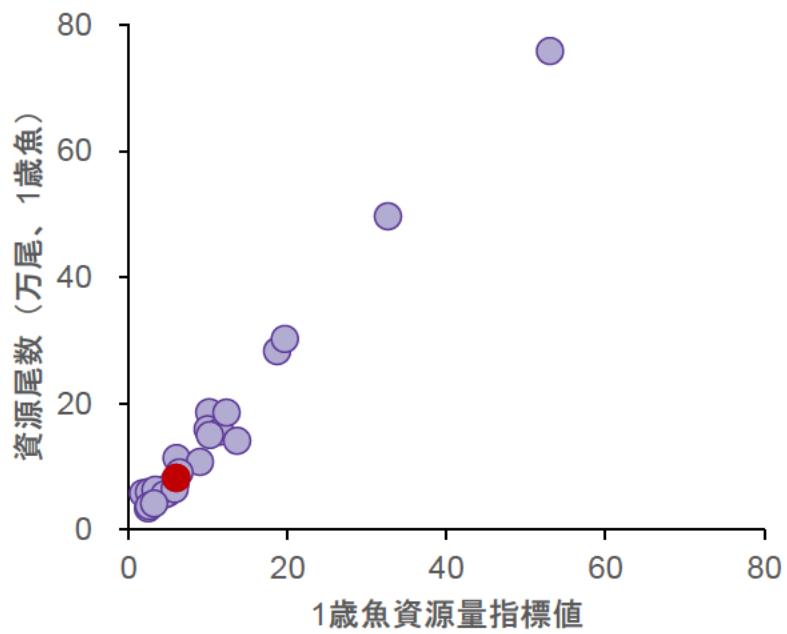
山川 卓 (2001) DeLury 法. 「資源評価体制確立推進事業報告書—資源解析手法教科書—」
田中昌一・青木一郎・赤嶺達郎・一丸俊雄・岸田達・高場稔・田中栄次・福田雅明・谷
津明彦・由木雄一・和田時夫編, 日本水産資源保護協会, 東京, 73-90.



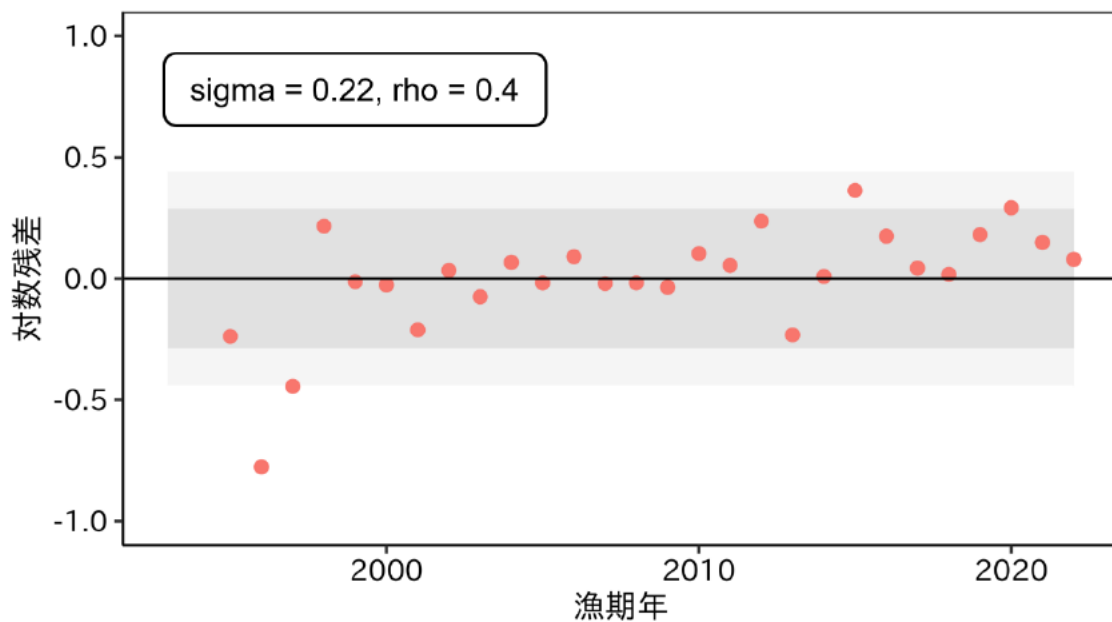
補足図 2-1. 資源量指標値を考慮したコホート解析により推定した 0 歳天然魚資源尾数（4 月時点）と 0 歳天然魚資源量指標値の関係
 図中の原点を通る直線の傾きはチューニングの際に算出されたパラメーター (q_0) を表す。



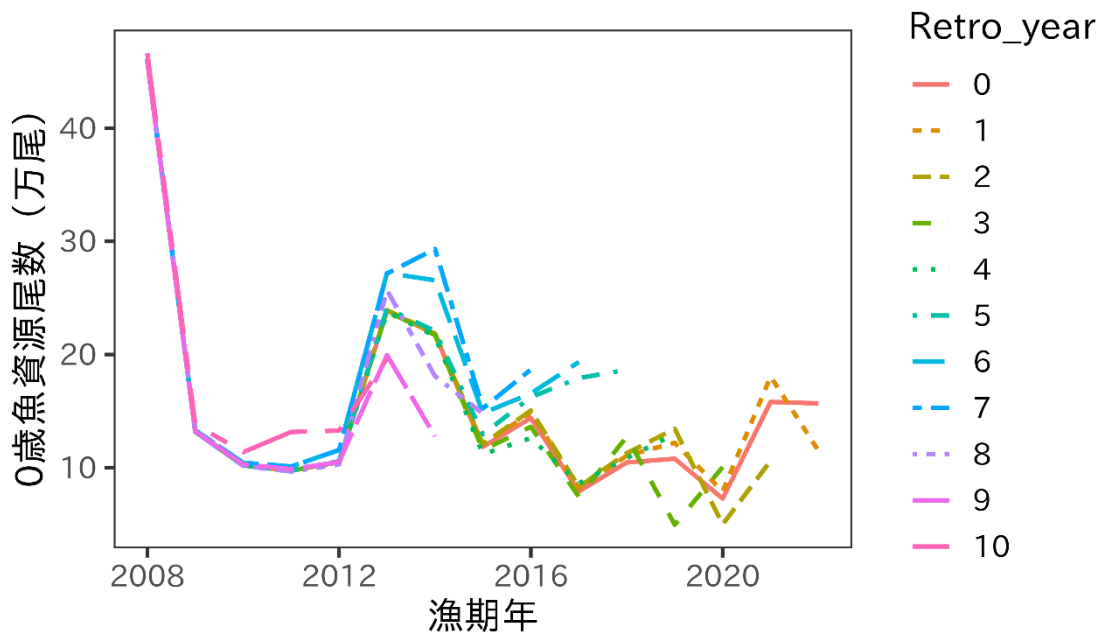
補足図 2-2. 0 歳天然魚資源量指標値の対数残差プロット（2004～2022 年漁期）



補足図 2-3. 資源量指標値を考慮したコホート解析により推定した 1 歳魚資源尾数と 1 歳魚資源量指標値の関係
赤色は 2022 年漁期の値を示す。

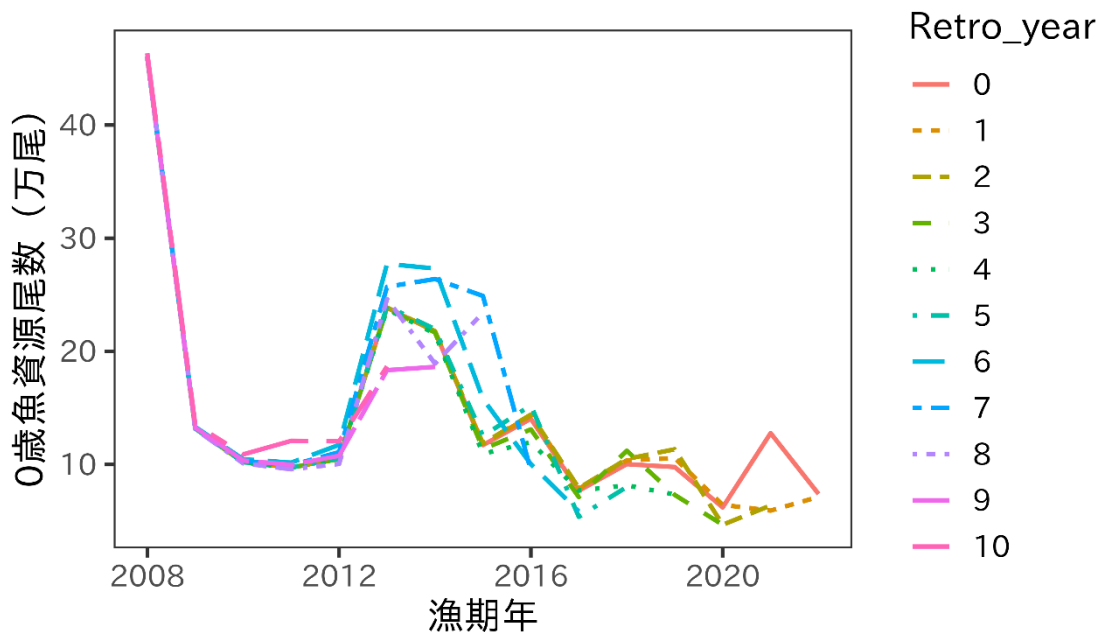


補足図 2-4. 1 歳魚資源量指標値の対数残差プロット (1995～2022 年漁期)



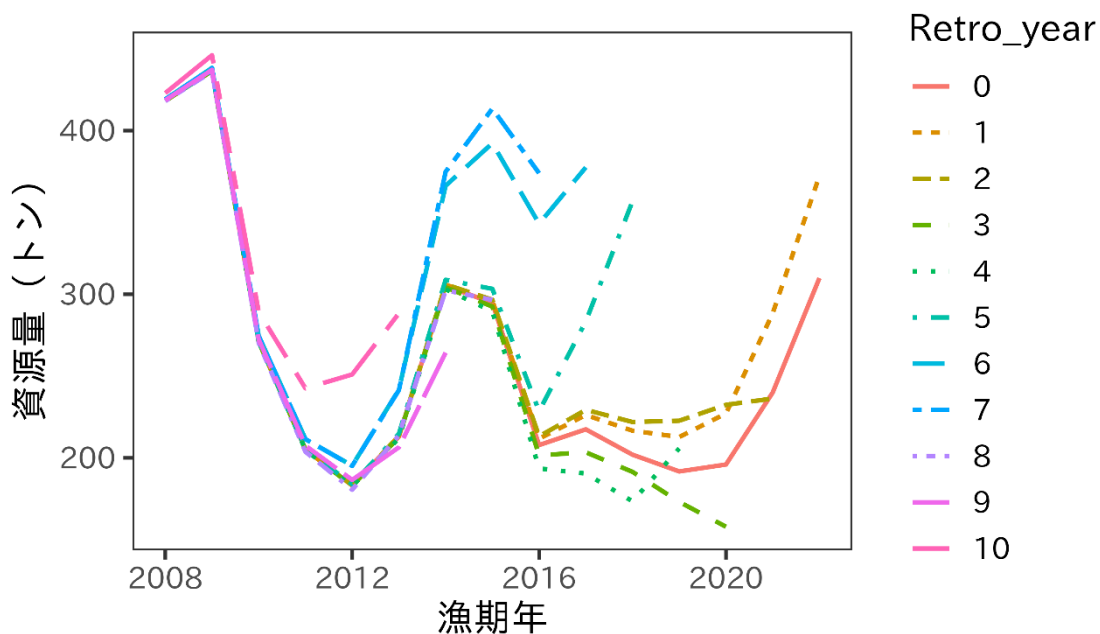
補足図 2-5. 加入量（0歳魚資源尾数）のレトロスペクティブ解析

0歳天然魚資源量指標値を使用しない1993～2022年漁期までのコホート解析による推定値を表した。各色および線は2023年漁期よりRetro_year年分のデータセットを除いた場合の推定値を示す。



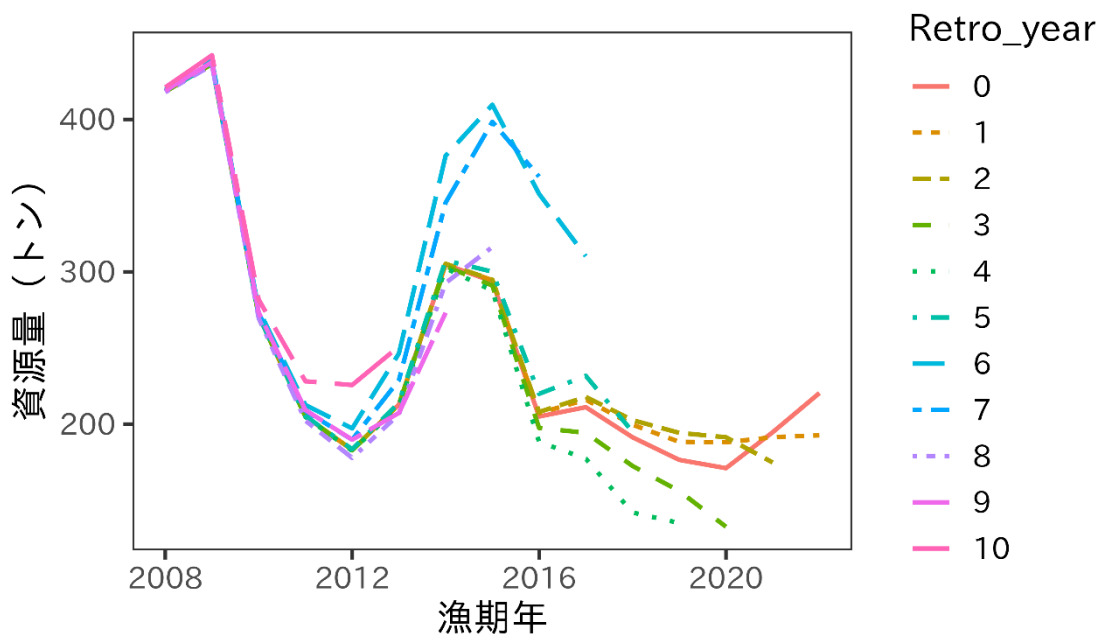
補足図 2-6. 加入量（0歳魚資源尾数）のレトロスペクティブ解析

0歳天然魚資源量指標値を考慮した1993～2022年漁期までのコホート解析による推定値を表した。各色および線は2023年漁期よりRetro_year年分のデータセットを除いた場合の推定値を示す。



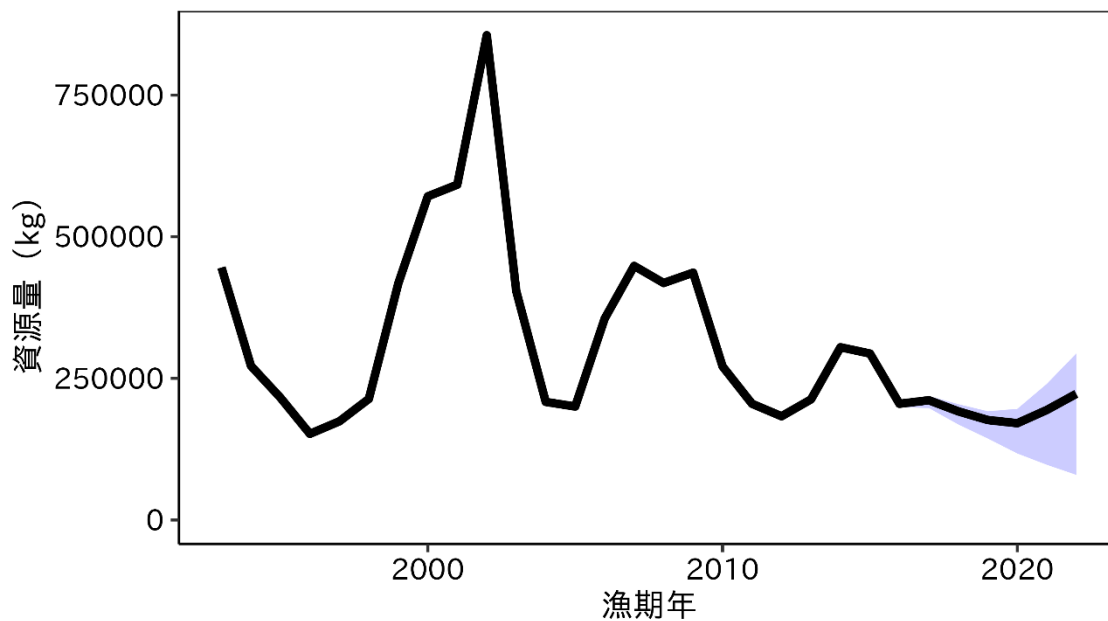
補足図 2-7. 資源量のレトロスペクティブ解析

0 歳天然魚資源量指標値を使用しない 1993～2022 年漁期までのコホート解析による推定値を表した。各色および線は 2023 年漁期より Retro_year 年分のデータセットを除いた場合の推定値を示す。

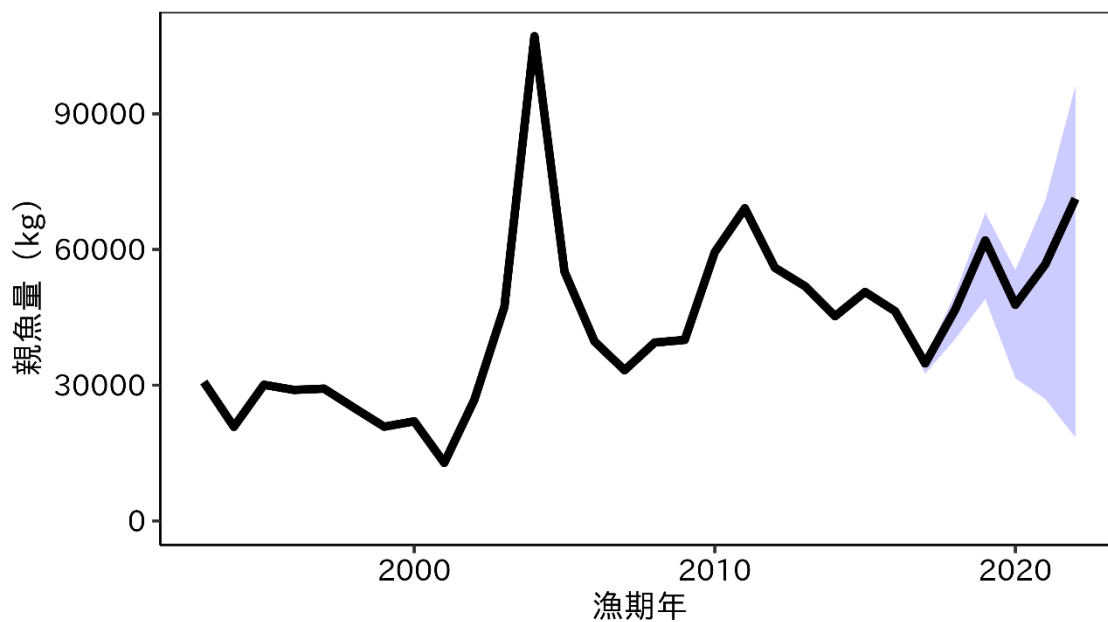


補足図 2-8. 資源量のレトロスペクティブ解析

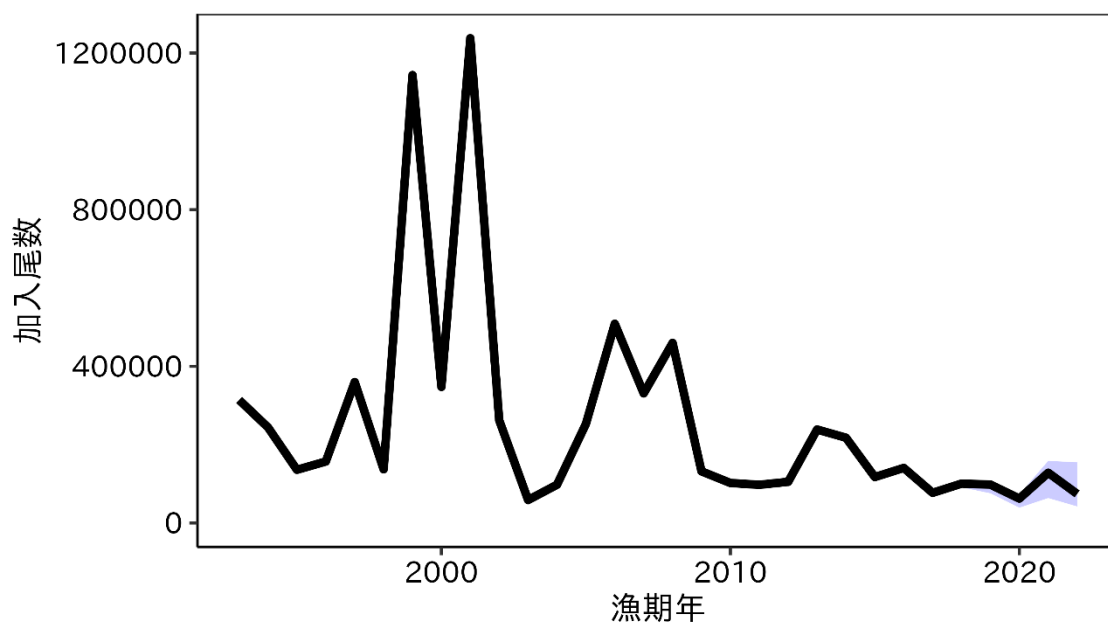
0 歳天然魚資源量指標値を考慮した 1993～2022 年漁期までのコホート解析による推定値を表した。各色および線は 2023 年漁期より Retro_year 年分のデータセットを除いた場合の推定値を示す。



補足図 2-9. 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
紫の影は 90%信頼区間を示す。



補足図 2-10. 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
紫の影は 90%信頼区間を示す。



補足図 2-11. 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
紫の影は 90%信頼区間を示す。

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. 各資源量指標値、サーフネット調査による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	—	—	60,400	17,900	25,700	89,800
	1999	2000	2001	2002	2003	2004
0歳天然魚資源量指標値	—	—	—	—	—	33.61
天然稚魚平均採集尾数（尾）	—	—	—	—	—	0.40
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	37,700	326,600	101,600	530,500	99,600	24,400
	2005	2006	2007	2008	2009	2010
0歳天然魚資源量指標値	53.92	154.80	45.16	65.15	34.27	24.69
天然稚魚平均採集尾数（尾）	6.60	11.00	1.80	10.00	1.40	0.80
天然由来加入尾数（尾）	221,944	467,247	296,308	425,050	97,636	72,471
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	35,400	115,100	187,100	123,200	196,800	57,600
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0歳天然魚資源量指標値	13.40	20.42	39.29	41.63	53.88	15.79
天然稚魚平均採集尾数（尾）	0.40	3.50	2.30	5.70	2.33	2.14
天然由来加入尾数（尾）	61,149	65,672	201,662	185,584	85,042	102,283
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	45,100	49,600	33,900	102,300	136,500	59,300
	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳天然魚資源量指標値	6.86	13.29	11.79	4.89	8.92	11.14
天然稚魚平均採集尾数（尾）	0.00	1.29	1.00	0.17	0.33	0.13
天然由来加入尾数（尾）	49,276	69,647	71,482	35,919	107,017	50,194
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	63,800	25,600	45,000	57,900	32,100	60,000
	2023					
0歳天然魚資源量指標値	30.32					
天然稚魚平均採集尾数（尾）	1.86					
天然由来加入尾数（尾）						
放流由来加入尾数（尾）						
1歳魚資源量指標値						

※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)

年齡別漁獲尾数 (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

年齡別漁獲量 (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

年齡別漁獲係数								
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

年齡別資源尾数 (尾)								
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

年齡別資源量 (kg)								
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

年齡別平均体重 (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)

年齡別漁獲尾数 (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

年齡別漁獲量 (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

年齡別漁獲係数								
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

年齡別資源尾数 (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	508,490	330,851	459,686
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	344,404	193,601	332,196	687,223	656,233	689,871

年齡別資源量 (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	129,782
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	33,317	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	33,317	39,430

年齡別平均体重 (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)

年齡別漁獲尾数 (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

年齡別漁獲量 (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

年齡別漁獲係数								
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

年齡別資源尾数 (尾、4月)								
漁期年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0歳	131,779	102,019	97,339	104,991	238,540	217,578	117,154	140,398
1歳	302,113	76,923	63,171	57,900	63,226	150,087	140,514	73,679
2歳	45,177	65,538	23,766	20,562	16,436	27,552	46,940	23,476
3歳以上	14,159	22,360	25,186	18,100	14,898	14,219	17,628	17,543
計	493,228	266,840	209,462	201,552	333,100	409,437	322,237	255,096

年齡別資源量 (kg、4月)								
漁期年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0歳	28,140	26,850	27,809	29,218	64,637	71,566	36,209	37,328
1歳	292,281	78,798	67,683	62,413	66,574	146,362	133,786	83,780
2歳	76,031	105,917	40,430	35,404	29,719	41,638	73,093	37,543
3歳以上	40,013	59,414	69,108	55,972	51,897	45,250	50,612	46,351
計	436,465	270,979	205,030	183,007	212,827	304,816	293,700	205,001
親魚量	40,013	59,414	69,108	55,972	51,897	45,250	50,612	46,351

年齡別平均体重 (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 (2017~2022 年漁期)

年齡別漁獲尾数 (尾)						
漁期年	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	25,562	25,600	13,718	8,350	19,683	18,766
1歳	42,041	17,896	30,187	27,919	14,907	28,478
2歳	12,244	10,102	4,496	5,191	6,444	4,272
3歳以上	4,243	3,963	8,073	5,551	4,415	5,354
計	84,090	57,562	56,474	47,011	45,450	56,870

年齡別漁獲量 (kg)						
漁期年	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	7,031	10,296	4,436	3,257	7,116	6,190
1歳	47,473	18,980	31,981	30,840	16,559	32,049
2歳	24,605	19,606	8,151	8,840	11,766	7,308
3歳以上	16,162	14,120	21,064	14,968	14,547	16,295
計	95,271	63,003	65,631	57,905	49,989	61,842

年齡別漁獲係数						
漁期年	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	0.47	0.34	0.17	0.17	0.19	0.34
1歳	0.75	0.78	0.96	0.68	0.53	0.50
2歳	0.75	0.42	0.49	0.44	0.34	0.30
3歳以上	0.75	0.42	0.49	0.44	0.34	0.30
単純平均	0.68	0.49	0.53	0.43	0.35	0.36

年齡別資源尾数 (尾、4月)						
漁期年	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	76,848	100,307	97,747	62,090	127,695	73,962
1歳	90,511	37,291	55,527	64,020	40,986	82,078
2歳	26,366	33,389	13,249	16,604	25,220	18,765
3歳以上	9,138	13,100	23,793	17,757	17,280	23,516
計	202,863	184,087	190,316	160,470	211,182	198,321

年齡別資源量 (kg、4月)						
漁期年	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	21,138	40,343	31,607	24,215	46,167	24,391
1歳	102,206	39,550	58,826	70,718	45,530	92,353
2歳	52,985	64,801	24,022	28,276	46,050	32,097
3歳以上	34,803	46,671	62,078	47,880	56,933	71,572
計	211,131	191,366	176,533	171,090	194,680	220,412
親魚量	34,803	46,671	62,078	47,880	56,933	71,572

年齡別平均体重 (kg)						
漁期年	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	0.275	0.402	0.323	0.390	0.362	0.330
1歳	1.129	1.061	1.059	1.105	1.111	1.125
2歳	2.010	1.941	1.813	1.703	1.826	1.710
3歳以上	3.809	3.563	2.609	2.696	3.295	3.044

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

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

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

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

補足資料 3 資源量指標値標準化の方法

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、値を 0 歳魚資源量指標値として用いている。また、本系群におけるふぐはえ縄努力量 (操業隻日数) およびふぐはえ縄によって漁獲される 1 歳魚漁獲尾数から、1 歳魚初期資源尾数を推定し、資源量指標値として用いている。本補足資料ではこれらの標準化手法および 1 歳魚初期資源尾数推定手法について示す。

1. ふぐはえ縄漁業 1 歳魚 CPUE を用いた 1 歳魚資源量指標値の標準化

本系群の資源評価におけるコホート解析では、ふぐはえ縄漁業の漁獲努力量データから DeLury 法で得られた 1 歳魚の資源量指標値が使用されている。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、愛知県及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、左辺は単位努力量あたりの漁獲尾数 (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、漁期中途から 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。

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）。努力量を使用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の場合、負の値になった（補足図3-4）。

補足表2-2に努力量・最小絶対値モデルを用いたDeLury法で得られた1歳魚資源量指標値を示す。1歳魚資源量指標値を使用したコホート解析と資源量指標値を使用しない場合とを比較すると、資源量指標値を用いた場合では2017～2022年漁期において資源量が増加した一方で、資源量指標値を用いない場合では資源量は減少した（補足図3-5）。

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た場合では用いない場合に比べて、資源量、資源尾数、漁獲係数および加入量のMohn's rhoが減少した（補足図3-6、3-7）。1歳魚資源量指標値を用いない場合は、2021年漁期および2022年漁期の漁獲係数の値が極めて高く推定されるほか、資源量や親魚量の推定にばらつきがみられたが、1歳魚資源量指標値を用いた結果では、資源量および親魚量におけるばらつきが低下したほか、漁獲係数の推定値もより安定した（補足図3-6）。ただし、親魚量については、1歳魚資源量指標値を用いた場合のMohn's rhoが0.18と、1歳魚資源量指標値を用いない場合（0.15）よりやや増加した。

2. 0歳魚資源量指標値の標準化（サーフネットCPUE）

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）。ここでトラフグ天然稚魚は碎波帯に來遊・滞在するため、当該調査では、5～7月にかけて週あたり約1回の頻度で平均5.75日/年（ $\pm 1.52SD$ ）、一日あたり平均8.56回（ $\pm 3.19SD$ ）の曳網を行った。曳網当たりの採集尾数（CPUE）は、稚魚の來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3-8）。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) の手法を用いた 0 歳魚調査 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。これに従い、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、選ばれたモデルの資源量指標値を算出し、統計的なモデル診断を行った。ここで選択されたモデルによる資源量指標値を、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、ここでは 2023 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 2004~2023 年漁期の加入量指数を推定したが、本年度の資源量の推定は 2022 年漁期までであるため、2023 年漁期の加入量指標値はチューニング計算には用いていない。

本資源量指標値の標準化では 2004~2023 年の調査データを使用した。調査に使用した袖網は 2004~2005 年は長さ 5.0m×高さ 0.5m、2006~2007 年は長さ 10.0m×高さ 1.0m、2008 年以降は長さ 4.0m×高さ 1.0m 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採集された場合、(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。2004~2023 年までの 20 年間の調査におけるデータの総数 (N) は 115 であった。

本系群の稚魚は碎波帯を一時的に利用することに加え、サーフネット調査によって採集可能な適正サイズの関係から、サーフネット調査の一網当たりの採集尾数 (CPUE) はパルス状のパターンを示す(補足図 3-1)。しかし、調査結果からではパルスが明確に観測できない年もある(2008~2010, 2015, 2019~2021 年漁期)。また、調査期間を通じた合計採集尾数がゼロの年もあり(2017 年漁期)、観測誤差も大きいと考えられ、適切なモデリングにより標準化する必要がある。そこでここでは、Nishijima et al. (2023) の手法に基づき、CPUE の標準化を行った。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。本調査の対象は当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 (51 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パルスの幅（ a_y ）とピークの大きさ（ c_y ）のいずれかを固定効果で推定したモデルが上位モデルに選ばれた。最も AIC が低かったのは、パルスの幅を固定効果で推定し、ピークの時期（ b_y ）が平均からランダムに変動し（ホワイトノイズ）、ピークの大きさを 1 次の自己回帰モデルで推定したモデルであった。

BIC 基準では、パルスの幅（ a_y ）とピークの大きさ（ 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、ピークの時期（ b_y ）は 2 番目と 5 番目のモデル以外は一定であった（補足表 3-2）。上位 5 つのモデルはピークの大きさ（ c_y ）がランダムウォークで変わるモデルであり、BIC 最小はパルスの狭さ（ a_y ）が独立に変化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: $3.22 \pm 5.08SD$, BIC 最小: $2.44 \pm 2.05SD$ ）。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。これらの結果に基づき、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わるモデルをベストモデルとして採用した。なお、2023 年度のデータで選ばれたベストモデルは、2022 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（ $\pm 1.1SD$ ）と推定された（補足図 3-9b）。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 3-8, 3-9a）。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 2014 年漁期から徐々に減少し、2020 年漁期を最低として 2023 年漁期まで増加するパターンを示した（補足図 3-9c）。

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）、毎日の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、20 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、採集数に基づく CPUE の各年の最大値をとった場合 (ノミナル最大値) および生データの 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 (補足図 3-3)。

標準化した資源量指数 (0 歳魚資源量指標値) の年トレンドはノミナル平均やノミナル最大に比べて平滑化されたパターンを示した (補足表 3-3, 補足図 3-10)。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、調査期間を通じた合計採集尾数が 0 であった 2017 年漁期についても 6.86 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 (補足表 3-3, 補足図 3-9, 3-10)。標準化指標値は 2020 年漁期に 4.89 と過去最低だったが、2021 年漁期に 8.92、2022 年漁期に 11.14 と推定され、2023 年漁期は採集個体数の増加に伴い 30.32 と推定された。なお 2022 年漁期の標準化指標値は令和 4 (2022) 年度トラフグ伊勢・三河湾系群の資源評価 (真鍋ほか 2023) において推定された値である 6.2 から上方修正されたが、これは採用したモデルにおいてピークの大きさにランダムウォークを選択しており、ここで 2023 年漁期のサーフネット調査でトラフグが多く捕獲されたことに起因する。

本資源における 0 歳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) :

$$\rho = \frac{1}{P} \sum_{i=1}^P \left(\frac{X_{2023-i}^R - X_{2023-i}}{X_{2023-i}} \right). \quad (7)$$

ここで、 X_{2023-i} はフルデータを使用したときの 2023- i 年漁期の推定値であり、 X_{2023-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 2023- 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、2022 年漁期までの結果を示した (補足図 3-12)。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。加入量、資源量、親魚量、平均漁獲死亡係数、漁獲量の予測バイアスを計算した。

本解析において、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 歳天然魚指標値を使用しない従来モデルに比べて、資源量や親魚量、漁獲量の予測の

頑健性が向上することが示された（補足図 3-11）。

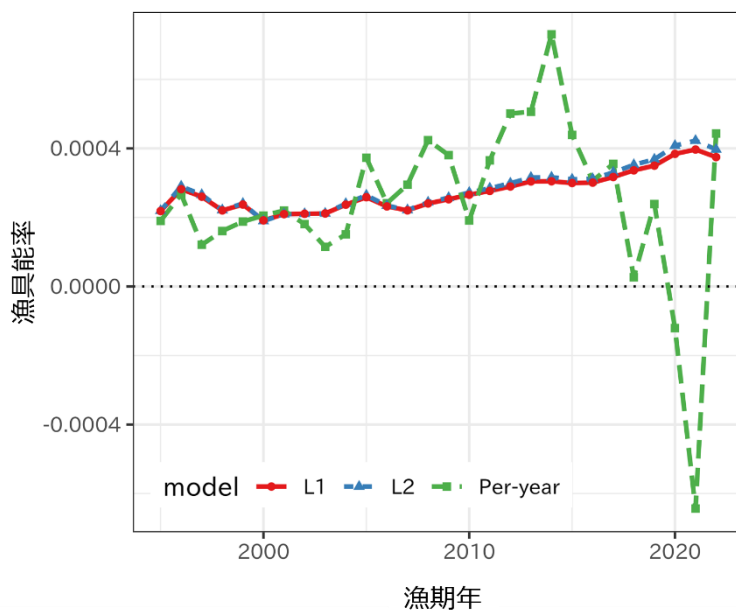
本標準化に用いたモデルの診断結果を補足図 3-13 に示す。標準化残差の頻度分布が一様分布であるという帰無仮説をコルモゴロフスミルノフ検定で検証した結果、有意ではなかった ($P=0.84$ 、補足図 3-13a)。また、QQ プロットも理論上の予測線に載っており、逸脱は少なかった（補足図 3-13b）。標準化残差と予測された採集尾数の間には有意な関係はなかった ($P=0.348$ 、補足図 3-13c)。標準化残差と年の間にも有意な関係はなかった ($P=0.846$ 、補足図 3-13d)。標準化残差と日付の間には緩やかな正の相関があったが、有意ではなかった ($P=0.043$ 、補足図 3-13e)。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 (45) は、観測値 (41) よりもやや高かったものの有意ではなく ($P=0.209$)、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 3-13f）。

ノミナル最大値、ノミナル平均値、標準化指標値をコホート解析に使用した際の当てはまり結果について補足図 3-13 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、指標値の当てはまりは悪かった（ノミナル最大値: $\sigma_0=0.84$ 、ノミナル平均値: $\sigma_0=0.81$ ）（補足図 3-14）。一方、標準化指標値の残差は徐々に減少するというトレンドが見られたもののその影響は有意ではなく ($P=0.03$)、ノミナル指標と比べて当てはまりは大幅に良かった ($\sigma_0=0.49$)。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間的な自己相関をもつことになり、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

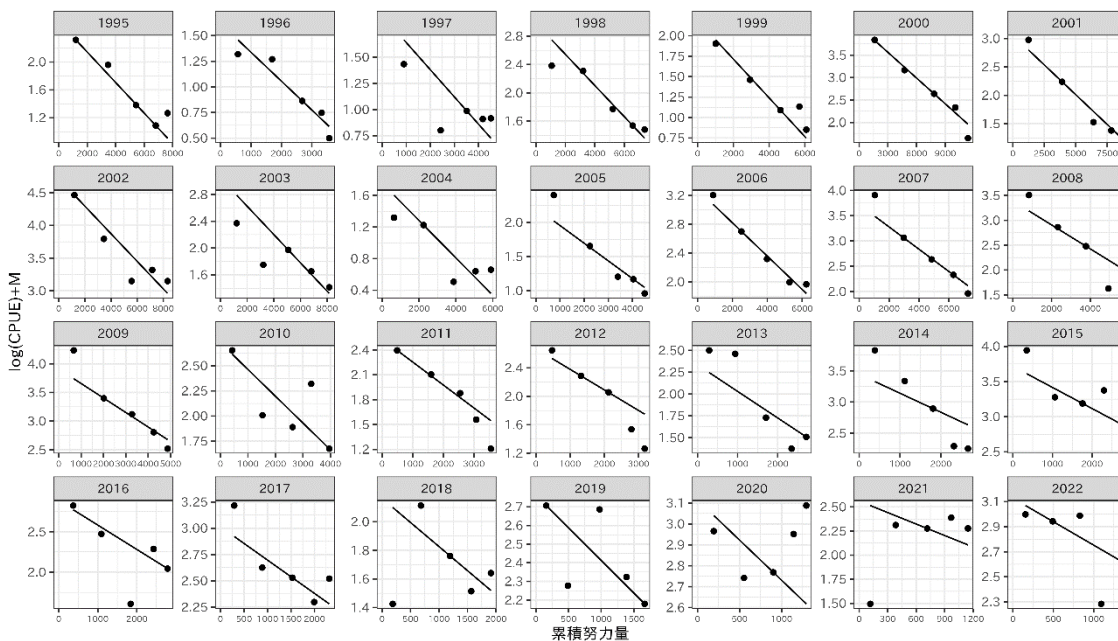
- Brooks, E. N., and C. M. Legault (2016) Retrospective forecasting — evaluating performance of stock projections for New England groundfish stocks. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **73**, 935-950.
- Kristensen, K., A. Nielsen, C. W. Berg, H. Skaug, and B. M. Bell (2016) TMB: Automatic differentiation and 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 (last accessed July 14 2023)
- 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**(6), 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.

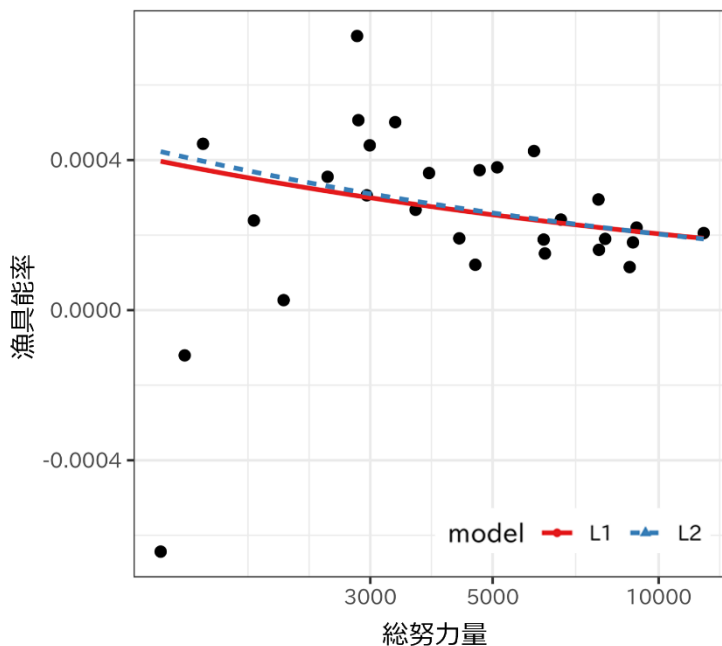


補足図 3-1. 漁具能率の推定値

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を表す。

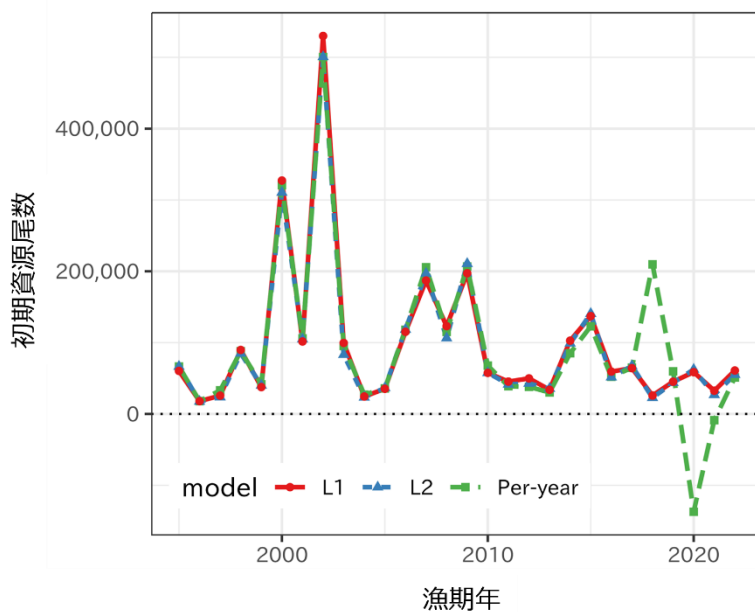


補足図 3-2. 各漁期年における各月の累積努力量と CPUE の関係. 観測値 (黒丸) と、努力量・最小絶対値モデルによる予測 (実線)



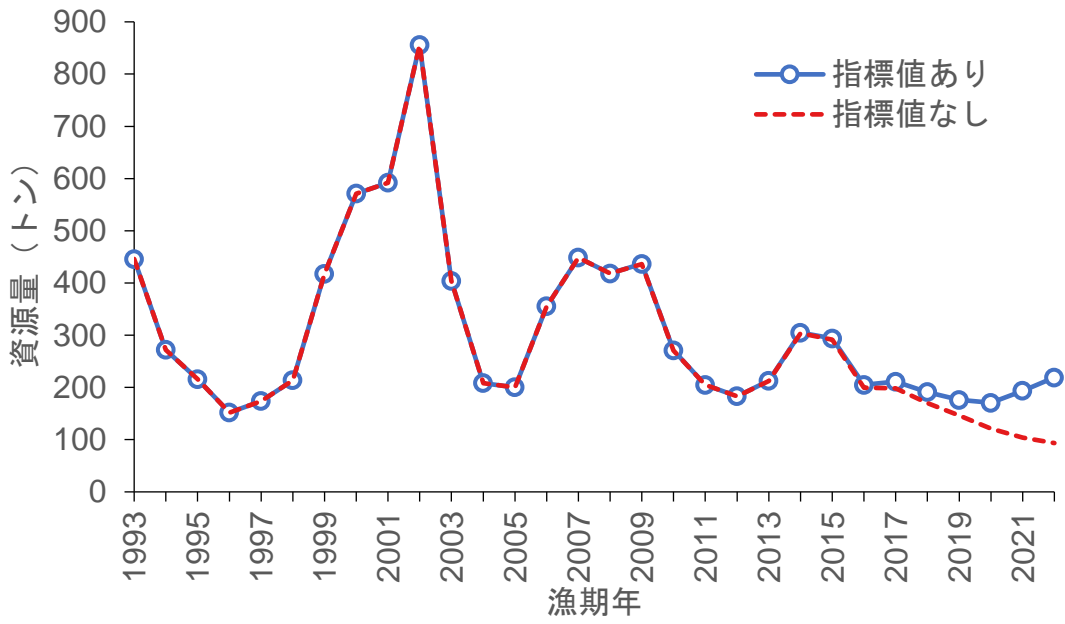
補足図 3-3. 総努力量と漁具能率の関係

赤線は努力量・最小絶対値法モデル、青破線は努力量・最小二乗法モデルを表す。

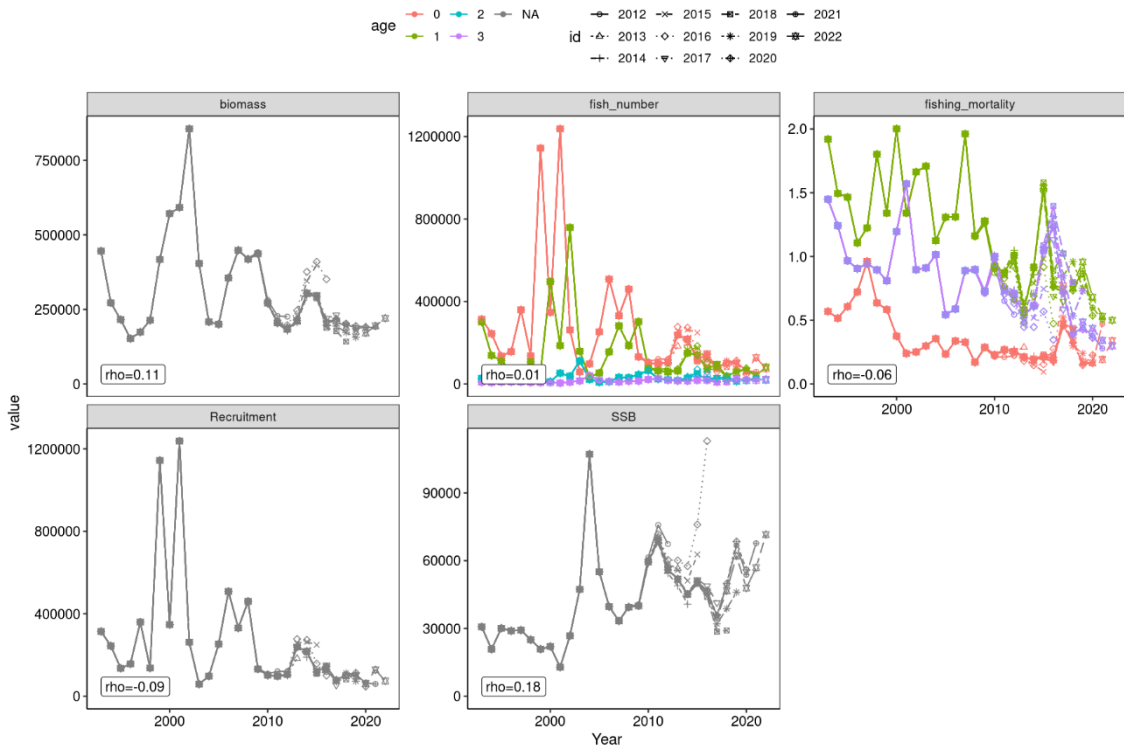


補足図 3-4. 1 歳魚初期資源尾数の推定値

赤線は努力量・最小絶対値法モデル、青破線は努力量・最小二乗法モデル、緑破線は年別モデルを表す。

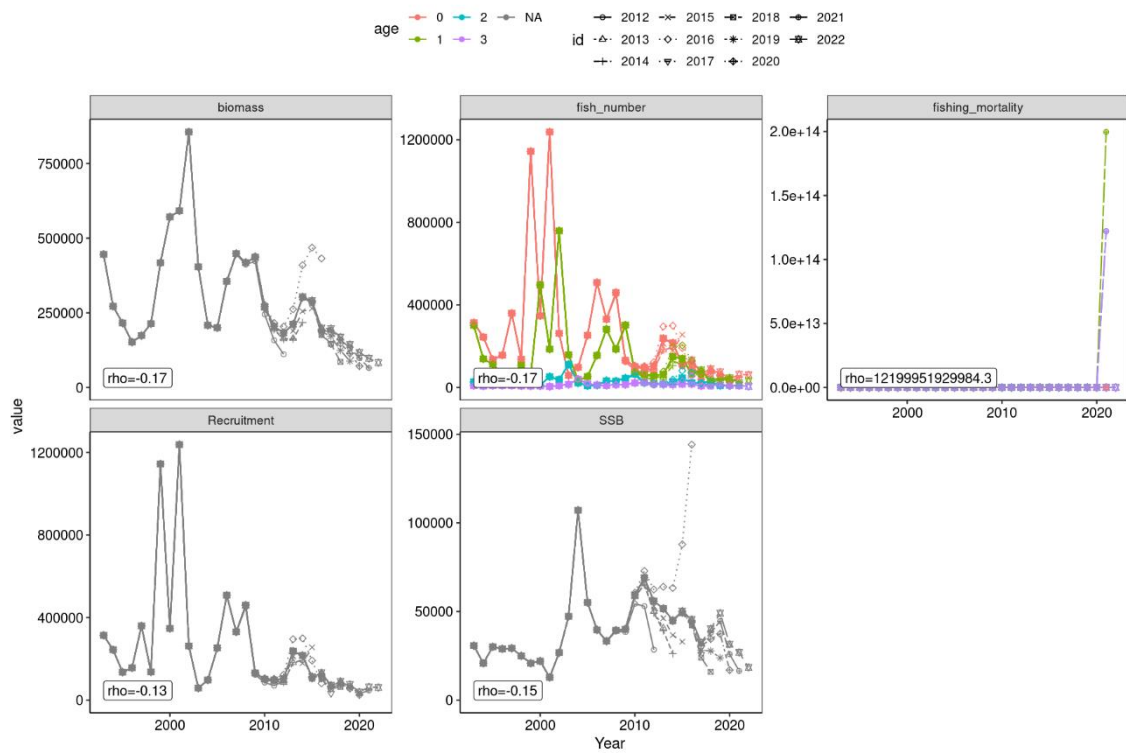


補足図 3-5. 1 歳魚資源量指標値を用いた場合と用いない場合の資源量の推移



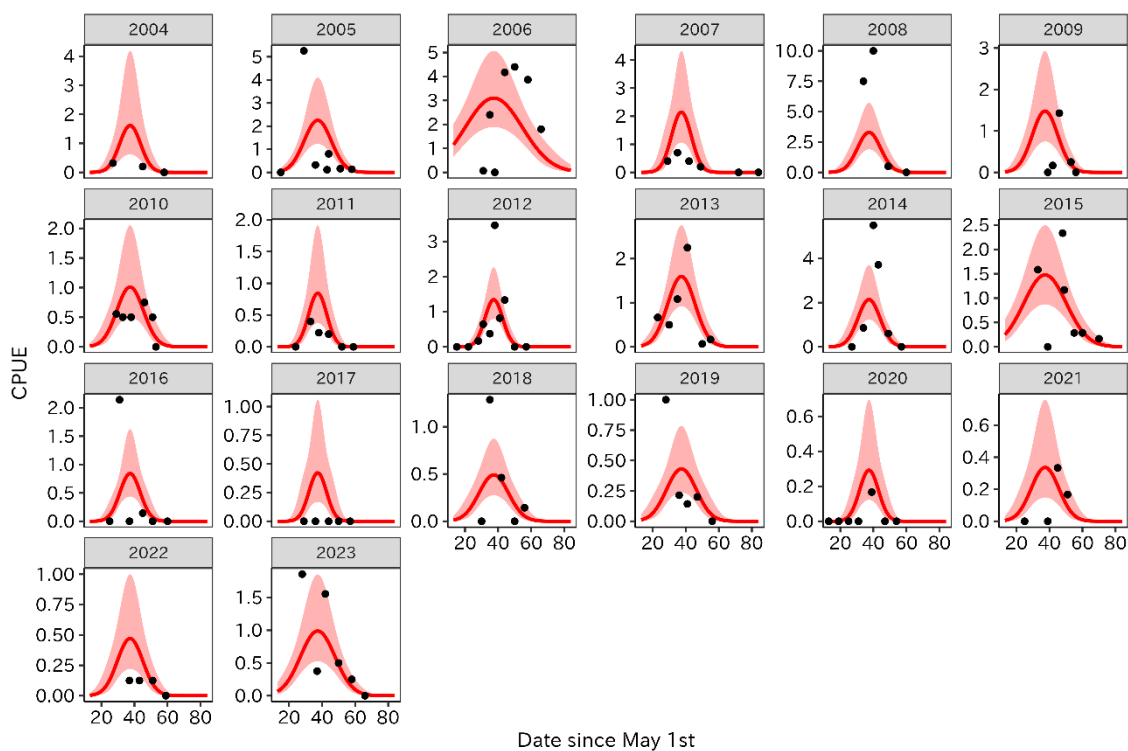
補足図 3-6. 1 歳魚資源量指標値を用いた場合レトロスペクティブ解析結果

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。

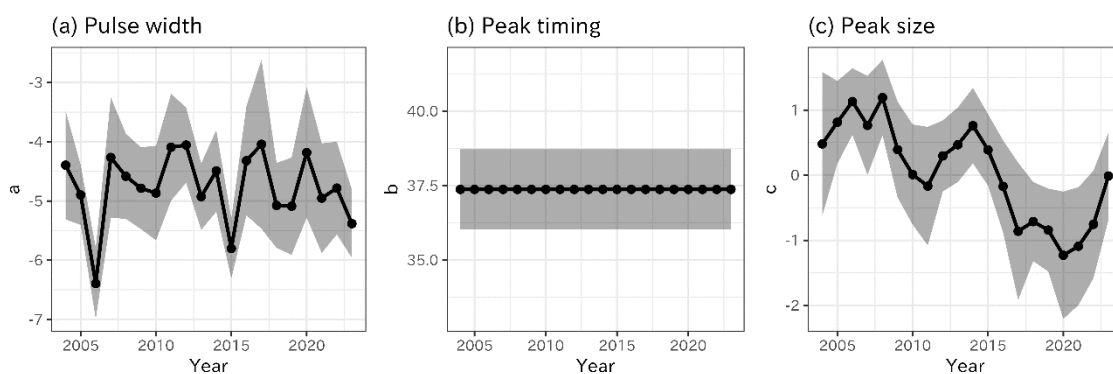


補足図 3-7. 1 歳魚資源量指標値を用いない場合レトロスペクティブ解析結果

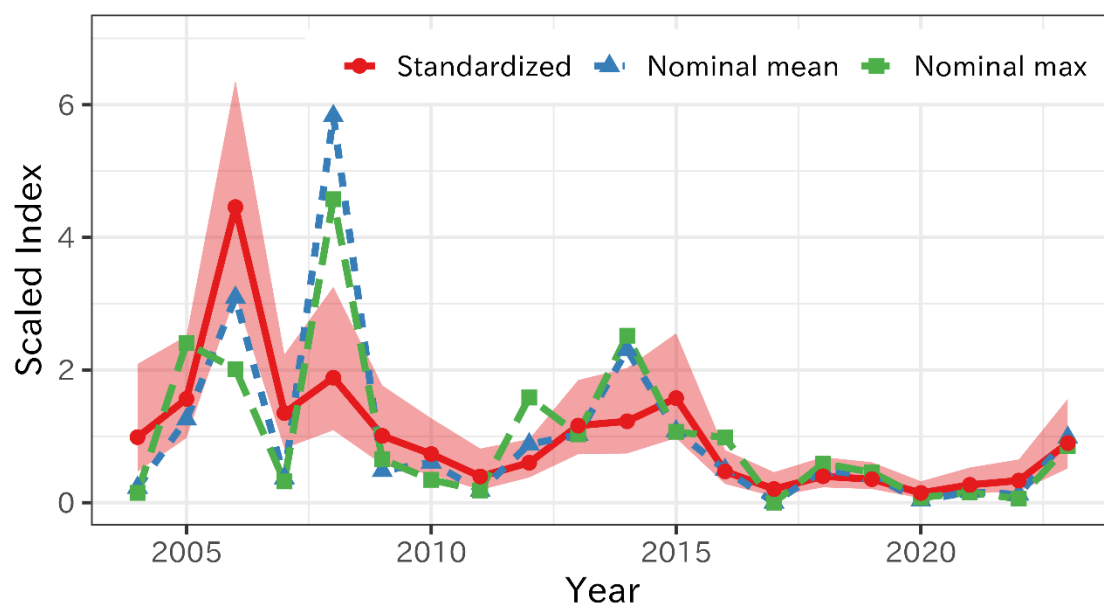
左上から資源量、年齢別資源尾数、年齢別漁獲係数、加入尾数、親魚量のレトロスペクティブ解析結果。図中の数字 rho は Mohn's rho を示す。



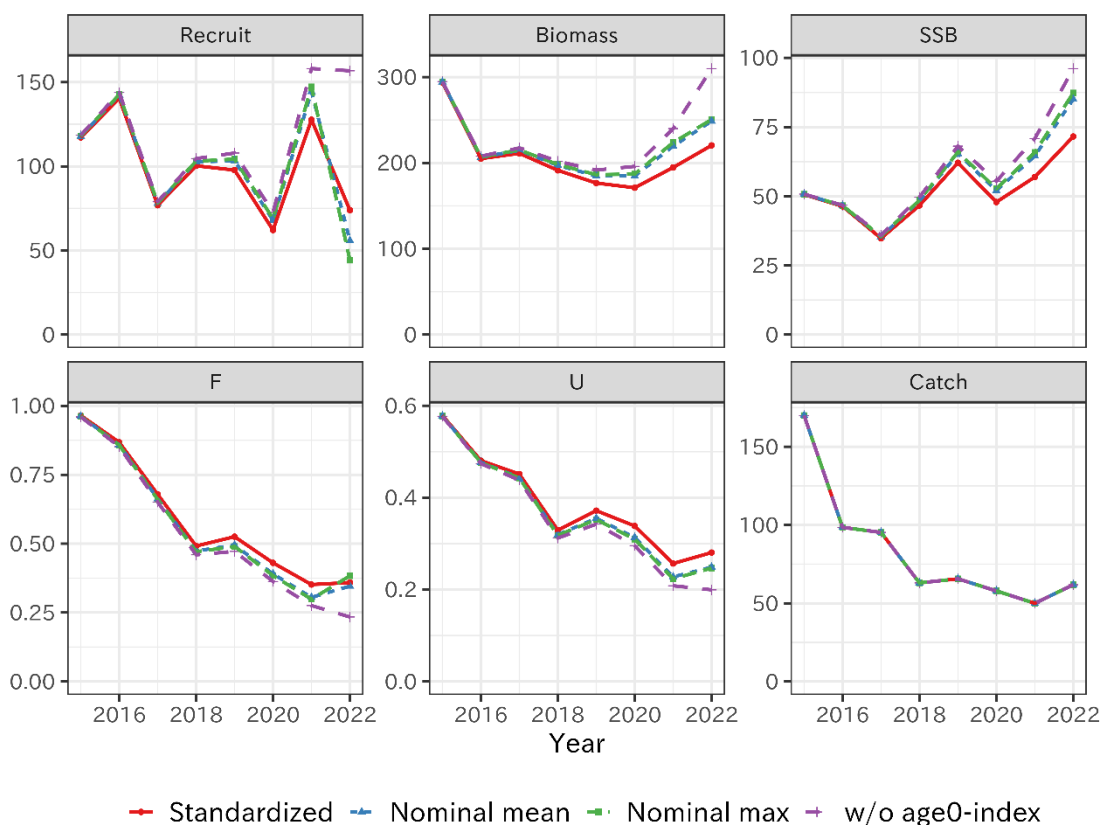
補足図 3-8. CPUE の観測地（黒点）と予測値（赤線）の漁期年別の経日推移（横軸は 5 月 1 日からの日数）
赤い影は 80%信頼区間を表す。縦軸スケールが漁期年によって変わる点に注意。



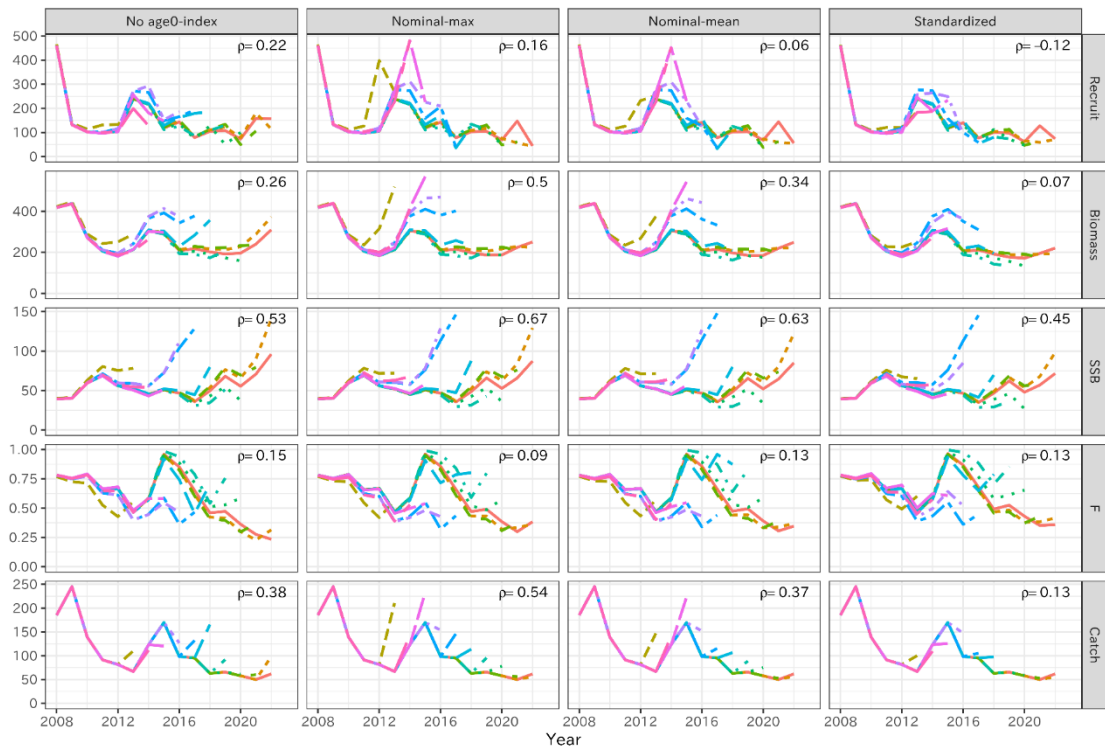
補足図 3-9. ベストモデルにおける (a) パルスの幅 (a_y)、(b) ピークのタイミング (b_y)、(c) ピークの大きさ (c_y) の推定値および 80%信頼区間



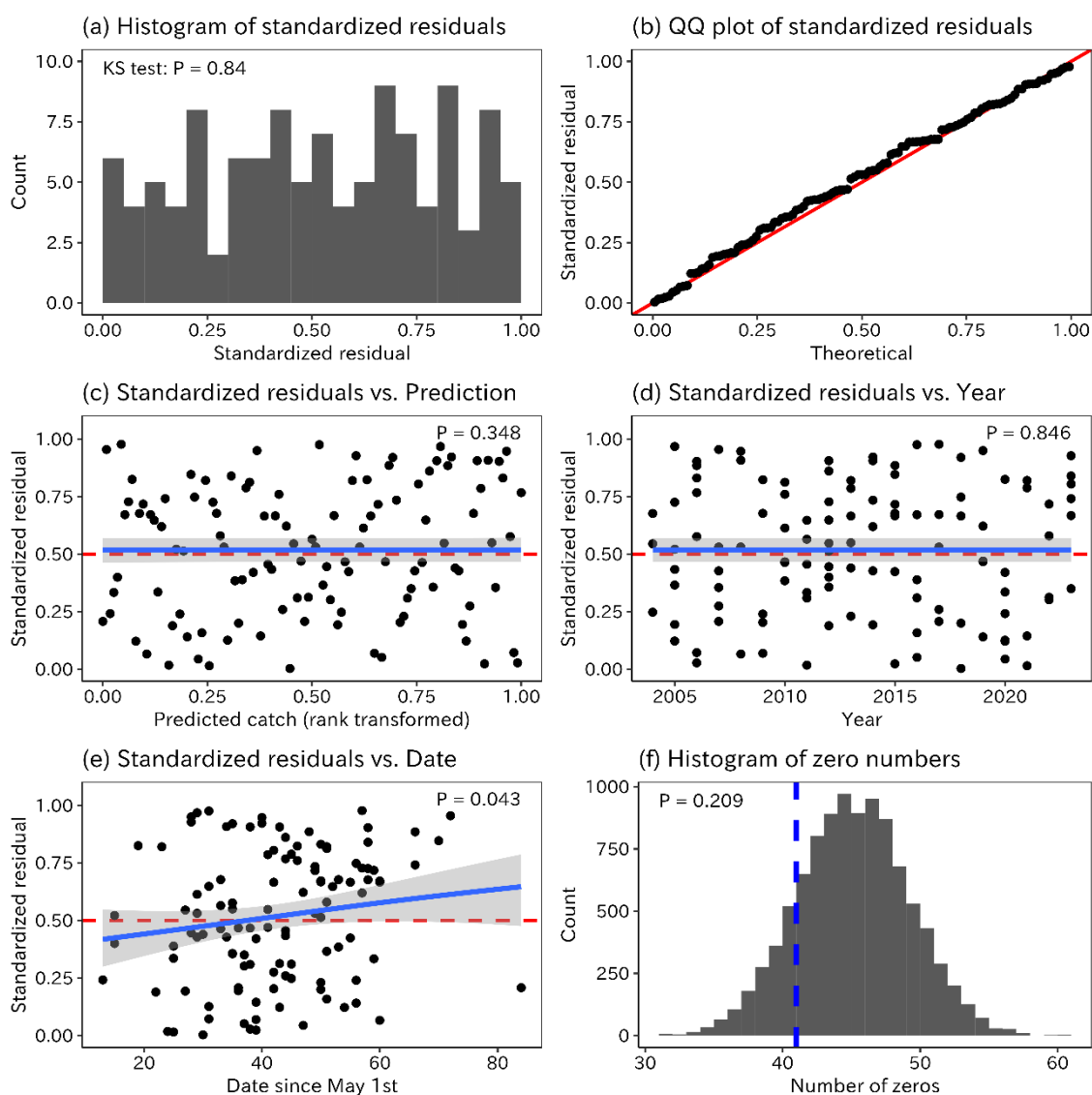
補足図 3-10. 0歳天然魚標準化指標値（赤実線）、ノミナル平均値（青点線）、ノミナル最大値（緑破線）の年トレンド
赤い影は標準化指標値の80%信頼区間を表す。



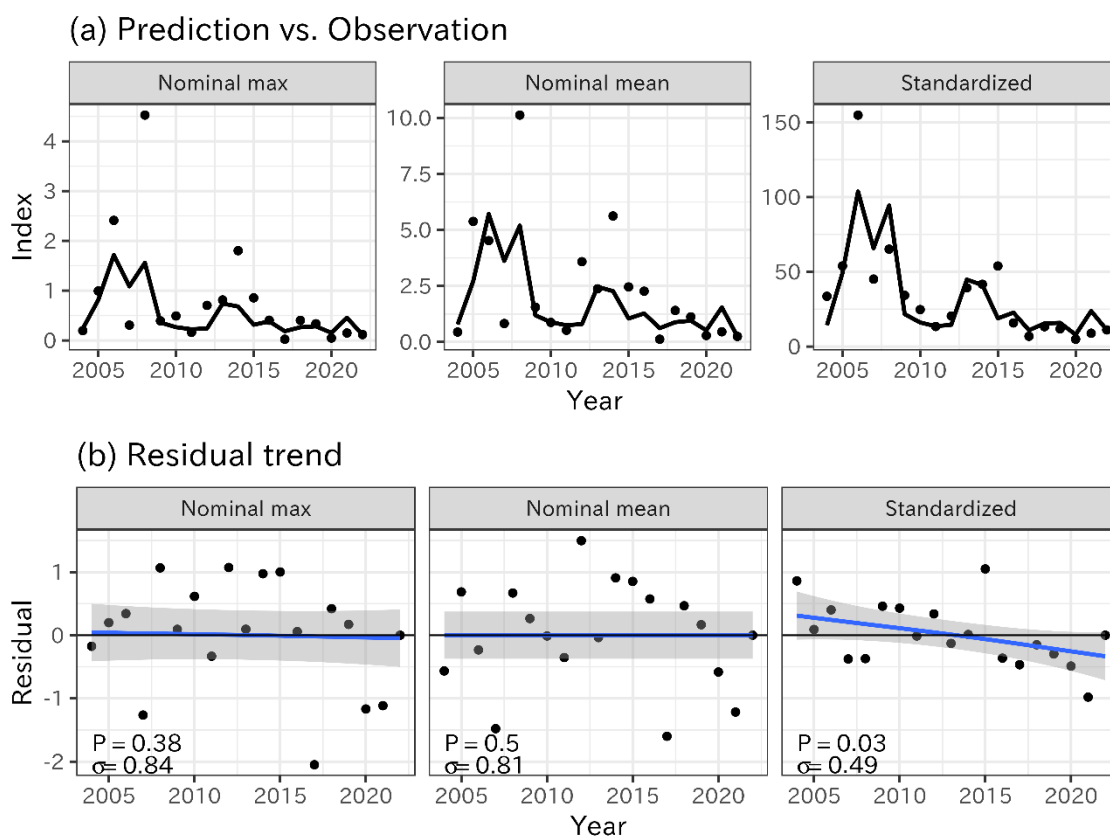
補足図 3-11. 0歳天然魚標準化指標値を使用した場合 (Standardized)、ノミナル平均値を使用した場合 (Nominal mean)、ノミナル最大値を使用した場合 (Nominal max)、0歳天然魚指標値を使用しない場合 (w/o age0-index) におけるコホート解析の加入量 (左上)、資源量 (中央上)、親魚量 (右上)、平均漁獲死亡係数 (左下)、漁獲割合 (中央下) の推定値と漁獲量の観測値 (右下)



補足図 3-12. 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および Mohn's rho



補足図 3-13. 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, 影: 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, 影: 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, 影: 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 3-14. ノミナル平均値 (Nominal mean)、ノミナル最大値 (Nominal max)、標準化指標値 (Standardized) へのコホート解析の当てはまり

(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	579.07	578.38	579.07

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	-249.91	0.00	AR(1)	WN	FE
2	-252.05	0.28	Const	WN	FE
3	-252.44	1.05	WN	Const	FE
4	-249.47	1.12	AR(1)	AR(1)	FE
5	-251.59	1.37	Const	AR(1)	FE
BIC					
1**	-277.33	0.00	WN	Const	RW
2	-276.65	3.39	WN	Const	WN
3	-281.84	4.27	RW	Const	RW
4	-277.23	4.55	AR(1)	Const	RW
5	-277.33	4.74	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 (0.22)	33.61 (0.99)	0.57 (0.64)
2005	5.26 (2.41)	0.97 (1.26)	53.92 (1.56)	0.36 (0.38)
2006	4.40 (2.01)	2.39 (3.09)	154.8 (4.46)	0.30 (0.28)
2007	0.70 (0.32)	0.28 (0.37)	45.16 (1.35)	0.38 (0.41)
2008	10.00(4.58)	4.50 (5.83)	65.15 (1.88)	0.40 (0.45)
2009	1.43 (0.65)	0.37 (0.48)	34.27 (1.01)	0.42 (0.46)
2010	0.75 (0.34)	0.47 (0.61)	24.69 (0.73)	0.40 (0.45)
2011	0.40 (0.18)	0.14 (0.18)	13.40 (0.39)	0.53 (0.62)
2012	3.46 (1.58)	0.68 (0.88)	20.42 (0.60)	0.32 (0.38)
2013	2.25 (1.03)	0.79 (1.02)	39.29 (1.16)	0.32 (0.38)
2014	5.50 (2.52)	1.78 (2.30)	41.63 (1.23)	0.35 (0.41)
2015	2.33 (1.07)	0.83 (1.08)	53.88 (1.58)	0.34 (0.39)
2016	2.14 (0.98)	0.38 (0.49)	15.79 (0.47)	0.36 (0.42)
2017	0.00 (0.00)	0.00 (0.00)	6.86 (0.20)	0.60 (0.70)
2018	1.29 (0.59)	0.38 (0.49)	13.29 (0.40)	0.39 (0.45)
2019	1.00 (0.46)	0.31 (0.40)	11.79 (0.35)	0.38 (0.45)
2020	0.17 (0.08)	0.02 (0.03)	4.89 (0.14)	0.59 (0.69)
2021	0.33 (0.15)	0.12 (0.16)	8.92 (0.27)	0.50 (0.57)
2022	0.12 (0.06)	0.09 (0.12)	11.14 (0.33)	0.49 (0.56)
2023	1.86 (0.85)	0.76 (0.98)	30.32 (0.90)	0.39 (0.46)

※ 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る。なお、イラストマー標識および胸鰭切除標識は市場調査法により、ALC耳石標識は漁獲物の買取調査および耳石のみを加工場や旅館から回収する方法により確認している。

添加効率の推定方法は、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、無標識放流群を含めた全ての放流群についてこの関係式を適用し添加効率を計算した。放流海域別の平均添加効率は、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。放流群別に添加効率と放流海域別の平均値との比を計算し、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)

これをもとに

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

(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。

前記の推定式を適用して過去の無標識放流群（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）の添加効率を推定し、人工種苗放流尾数と各放流群平均体長から漁期年別に放流魚の加入尾数を集計し、漁獲加入する10月時点の0歳魚放流由来資源尾数とし、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 を実現する水準の漁獲圧 (Fmsy) の代替値とし、これまでの加入状況を考慮して目標管理基準値を提案する 1B ルールの管理規則を適用する。

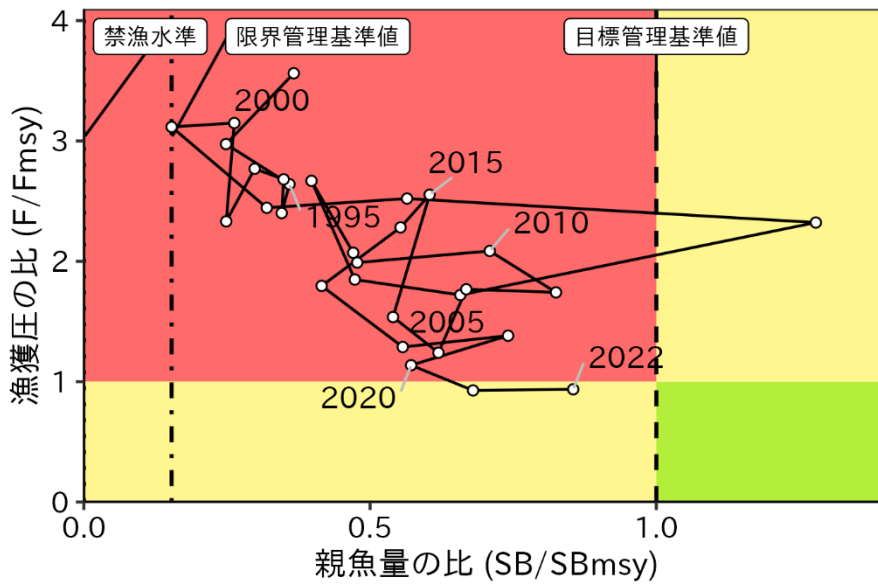
目標管理基準値 (SBtarget) には Fmsy の代替値である生物学的管理基準値に 15%SPR を用いて推定された最大持続生産量の代替値 (MSY proxy、60 トン) を実現できる水準の親魚量の代替値 (SBmsy proxy: 84 トン)、限界管理基準値 (SBlimit) には過去最低親魚量 (SBmin: 13 トン)、禁漁水準 (SBban) には 0 トンを用いることが提案されている (真鍋ほか 2022, 補足表 8-2)。この推定に用いたパラメータ値は補足表 3-1 および補足表 8-1 に示す。

目標管理基準値案と、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補足図 3-1 に示す。コホート解析により得られた 2022 年漁期の親魚量 (SB2022: 72 トン) は目標管理基準値案を下回り、限界管理基準値案および禁漁水準案を上回る。本系群における 1993~2020 年漁期の漁獲圧は Fmsy proxy より高く、2021 年漁期と 2022 年漁期は Fmsy proxy より低いと判断される (補足表 8-3)。

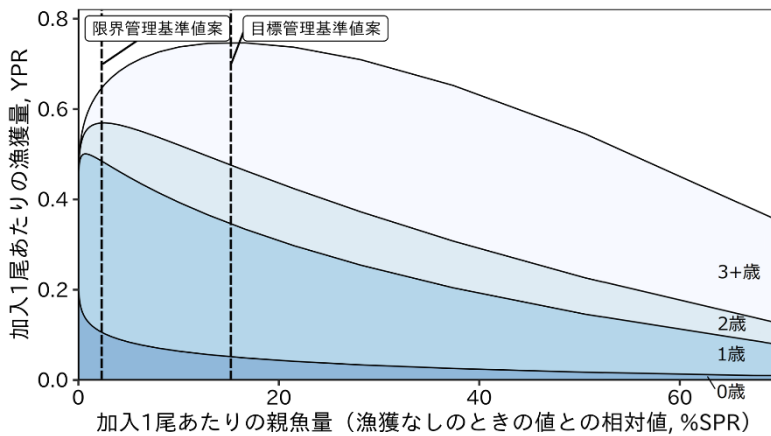
平衡状態における加入 1 尾あたりの親魚量の漁獲がない時の親魚量に対する相対値 (%SPR) と加入 1 尾あたりの漁獲量 (YPR) の年齢別の関係を補足図 5-2 に示す。%SPR が SBtarget に相当する %SPR 以下では 1 歳魚が漁獲の多くを占めるが、%SPR が増加し親魚量を獲り残すにつれて 3 歳以上の比率が高くなる傾向がみられる。SBmsy proxy を達成する %SPR 時においては 1 歳と 3 歳以上が主体となると推測された。

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)



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時の親魚量に対する相対値 (%SPR) と加入 1 尾あたりの漁獲量 (YPR) の年齢別の関係

補足表 5-1. 最大持続生産量の代替値 MSY proxy を実現する水準の推定に用いたパラメータ値

	選択率	Fmsy proxy	現状の漁獲圧 (F2018-2020)	平均体重 (g)	自然死亡係数	成熟割合
0 歳	0.287	0.182	0.231	350	0.25	0
1 歳	1.000	0.635	0.806	1,093	0.25	0
2 歳	0.554	0.351	0.446	1,858	0.25	0
3 歳以上	0.554	0.351	0.446	3,194	0.25	1

補足資料 6. 漁獲管理規則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 2022 年漁期の資源量から、コホート解析の前進法を用いて 2023～2053 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、天然由来加入尾数として令和 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対数正規分布をあてはめ、その分布に従って加入すると仮定した。加入量の不確実性として、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、「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. 真鍋ほか 2022）」にて提案された 2017～2021 年漁期の平均添加効率 0.05 と平均放流尾数 52.4 万尾を乗じた値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。

2023 年漁期の漁獲量は、予測される資源量と現状の漁獲圧（F2020-2022）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、%SPR が今年度評価における 2020～2022 年漁期の平均 F に対応する %SPR（15.2%）を与える F 値とした。2023 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 5（2023）年度 漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2023-ABCWG02-01. 水産研究・教育機構 2023）」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) 2024 年漁期の予測値

漁獲管理規則に基づき試算された 2024 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 を 0.7 とした場合には 48 トン、 β を 1.0 とした場合には 65 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には、2024 年漁期の平均漁獲量は β を 0.7 とした場合には 55 トン、 β を 1.0 とした場合には 74 トンであった（補足表 6-4b, 8-4b, 8-6）。2024 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、どちらの場合でも平均 111 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、2024 年漁期の漁獲圧は $\beta \times F_{msy}$ proxy として求めた。

(4) 2025 年漁期以降の予測

2025 年漁期以降も含めた将来予測の結果を補足図 4-2、4-3 および補足表 4-1～4-4 に示す。

漁獲管理規則案に基づく管理を 10 年間継続した場合、将来の加入量として 2009～2020 年漁期の加入量に基づいた加入を想定した場合（補足図 4-2、補足表 4-1a、4-2a、4-3a、4-4a）では 2034 年漁期の親魚量の予測値は β を 0.7 とした場合には 136 トン（90%予測区間は 89～201 トン）であり、 β を 1.0 とした場合には 83 トン（90%予測区間は 52～127 トン）である（補足表 8-5a）。予測値が目標管理基準値案を上回る確率は β が 0.9 以下で 50%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 50%を上回る。現状の漁獲圧（F2020-2022）を継続した場合の予測値は β を 1.0 とした場合とほぼ等しく、2034 年漁期の親魚量は 83 トン（90%予測区間は 52～127 トン）、目標管理基準値案を上回る確率は 42%、限界管理基準値案を上回る確率は 100%である。

同様に、現状の放流を想定した場合（補足図 4-3、補足表 4-1b、4-2b、4-3b、4-4b）では、2033 年漁期の親魚量の予測値は β を 0.7 とした場合には 179 トン（90%予測区間は 132～244 トン）であり、 β を 1.0 とした場合には 110 トン（90%予測区間は 79～153 トン）である（補足表 8-5b）。予測値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（F2020-2022）を継続した場合の 2034 年漁期の親魚量の予測値は 109 トン（90%予測区間は 79～153 トン）であり目標管理基準値案を上回る確率は 90%、限界管理基準値案を上回る確率は 100%である。

引用文献

水産研究・教育機構 (2023) 令和 5 (2023) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2023-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 2023)

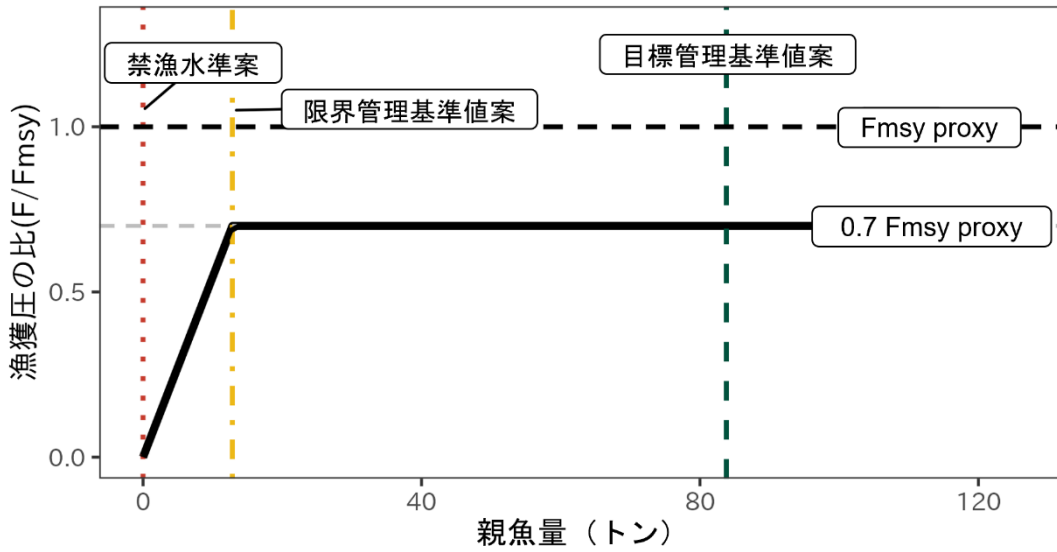
真鍋明弘・平井慈恵・片町太輔・西島翔太・澤山周平・青木一弘 (2022) 令和 4 (2022) 年度トラフグ伊勢・三河湾系群の管理基準値等に関する研究機関会議資料. FRA-SA2022-BRP17-01, 水産研究・教育機構, 横浜, 1-115.

https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/20221028/FRA-SA2022-BRP17-01.pdf (last accessed July 14 2023)

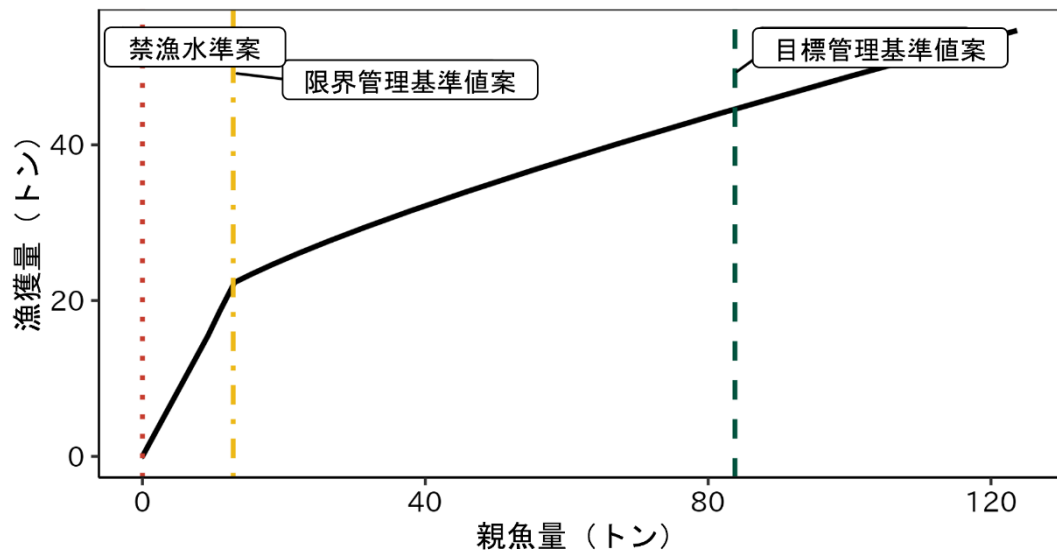
真鍋明弘・平井慈恵・片町太輔・澤山周平・青木一弘 (2023) 令和 4 (2022) 年度トラフグ伊勢・三河湾系群の資源評価. FRA-SA2022-AC-74, 水産庁・水産研究・教育機構, 東京, 1-56.

https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2023/06/details_2022_74.pdf (last accessed July 14 2023)

a) 縦軸を漁獲圧にした場合

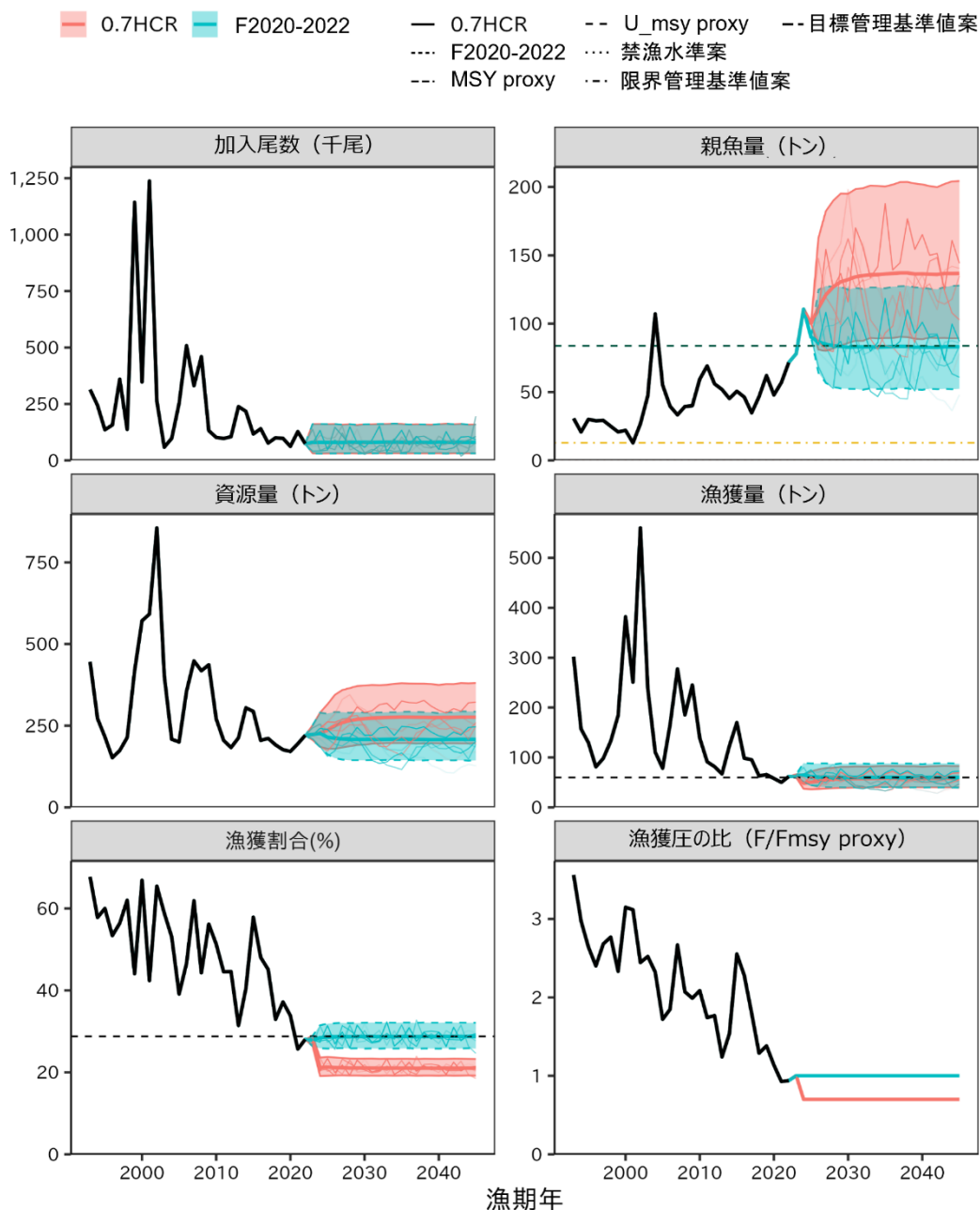


b) 縦軸を漁獲量にした場合



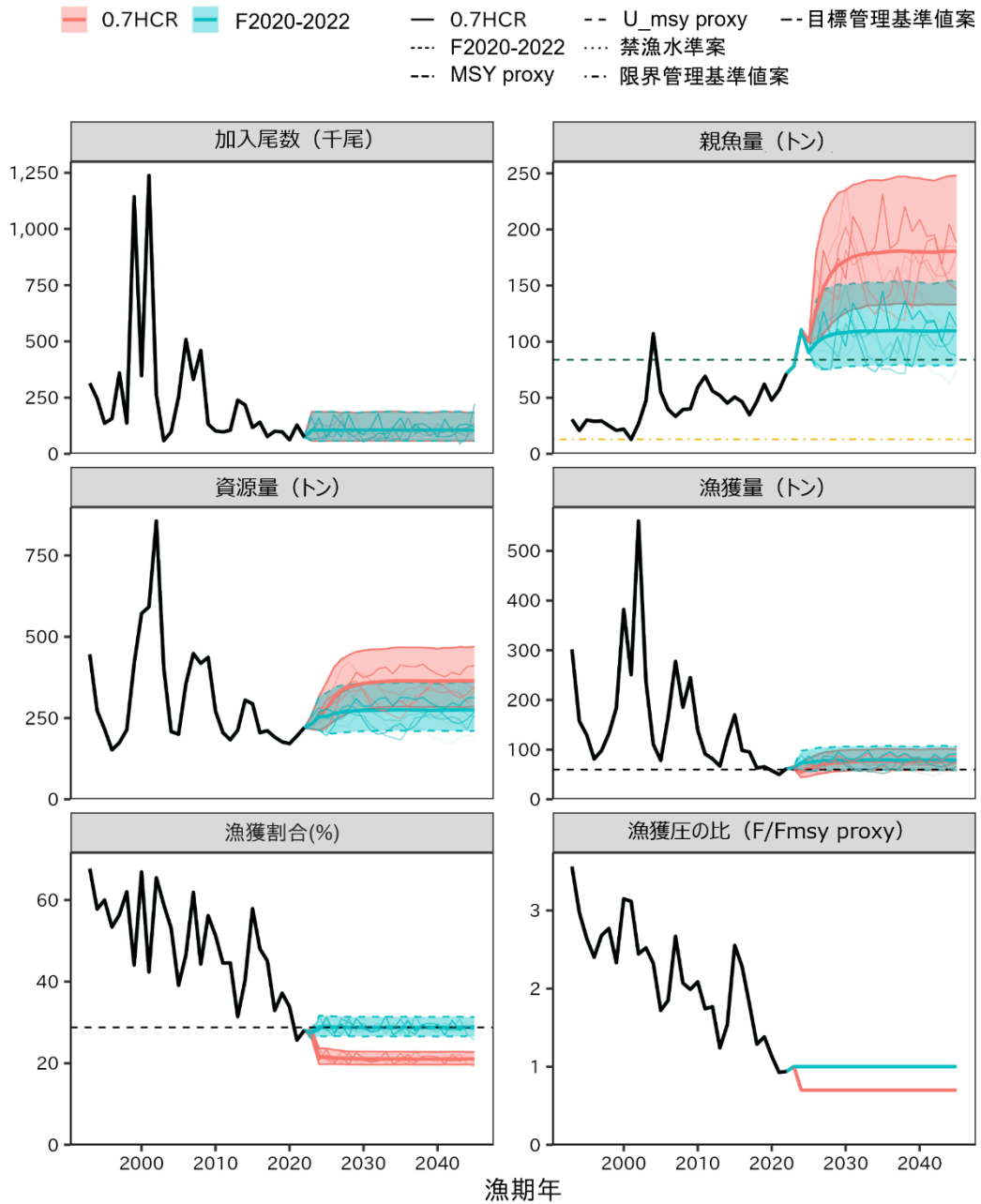
補足図 6-1. 漁獲管理規則案

目標管理基準値案 (SBtarget) は 2009～2020 年漁期の加入を参照しに基づき算出した 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、赤破線は禁漁水準案、黄破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。



(塗り:5-95%予測区間, 太い実線: 平均値, 細い実線: シミュレーションの1例)

補足図 6-2. 将来の加入量として 2009~2020 年漁期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、黄点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。2023 年漁期の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2020-2022) により仮定し、2024 年漁期以降の漁獲は漁獲管理規則案 (補足図 4-1) に従うものとした。調整係数 β には 0.7 を用いた。



(塗り:5-95%予測区間, 太い実線: 平均値, 細い実線: シミュレーションの1例)

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、黄点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。2023年漁期の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧 (F2020-2022) により仮定し、2024年漁期以降の漁獲は漁獲管理規則案（補足図 4-1）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 2017~2021 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年漁期の加入に基づく加入のみを想定した場合 (%)

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2044	2054
1.0	0	0	100	100	46	44	43	42	42	42	43	43	42	42	43
0.9	0	0	100	100	63	63	65	65	65	66	67	67	66	66	67
0.8	0	0	100	100	80	81	83	84	86	86	87	87	87	87	88
0.7	0	0	100	100	91	92	94	95	96	97	97	97	97	97	97
0.6	0	0	100	100	98	98	99	99	99	100	100	100	100	100	100
0.5	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2020-2022	0	0	100	100	46	44	43	42	41	42	42	42	41	41	42

b) 現状の放流を想定した場合 (%)

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2044	2054
1.0	0	0	100	100	79	83	86	87	89	89	90	90	90	90	90
0.9	0	0	100	100	93	96	97	98	99	99	99	99	99	99	99
0.8	0	0	100	100	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	0	0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2020-2022	0	0	100	100	79	83	85	87	88	89	89	90	90	89	90

現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は2017～2021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 年漁期の加入に基づく加入のみを想定した場合 (%)

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2044	2054
1.0	100	100	100	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	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2020 -2022	100	100	100	100	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	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2044	2054
1.0	100	100	100	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	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2020 -2022	100	100	100	100	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 2017～2021 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年漁期の加入に基づく加入のみを想定した場合（トン）

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2044	2054
1.0	72	78	111	90	87	85	84	84	83	83	83	83	83	83	83
0.9	72	78	111	93	94	96	96	97	97	97	98	98	98	98	98
0.8	72	78	111	97	103	108	111	112	113	114	115	115	115	115	115
0.7	72	78	111	100	111	121	127	131	132	134	135	136	136	137	137
0.6	72	78	111	104	121	136	146	152	155	158	160	161	161	163	163
0.5	72	78	111	108	132	153	167	177	182	187	189	191	192	195	195
0.4	72	78	111	111	143	173	192	206	214	221	225	229	230	235	235
0.3	72	78	111	115	156	194	221	240	252	263	269	274	277	285	285
0.2	72	78	111	120	169	218	254	280	298	313	323	330	335	349	350
0.1	72	78	111	124	184	246	292	327	352	373	388	400	408	433	434
0	72	78	111	128	200	277	336	382	417	447	469	486	499	543	547
F2020 -2022	72	78	111	90	87	85	84	83	83	83	83	83	83	83	83

b) 現状の放流を想定した場合（トン）

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2044	2054
1.0	72	78	111	90	99	104	106	108	108	109	110	110	110	110	110
0.9	72	78	111	93	108	117	122	125	126	128	128	129	129	129	129
0.8	72	78	111	97	117	132	140	145	147	150	151	151	152	152	152
0.7	72	78	111	100	128	148	160	168	172	176	177	179	179	180	180
0.6	72	78	111	104	139	167	184	195	202	207	210	212	212	215	215
0.5	72	78	111	108	151	188	211	227	237	244	248	252	253	257	257
0.4	72	78	111	111	165	211	243	264	278	289	295	300	303	310	310
0.3	72	78	111	115	180	238	279	308	327	342	352	360	364	376	376
0.2	72	78	111	120	196	268	321	359	386	407	422	433	440	461	462
0.1	72	78	111	124	213	302	369	419	456	486	507	524	535	571	573
0	72	78	111	128	232	341	424	490	540	581	612	637	655	717	722
F2020 -2022	72	78	111	90	99	104	106	108	108	109	109	109	109	110	110

現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は2017～2021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年漁期の加入に基づく加入のみを想定した場合（トン）

β	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2044	2054	合計
1.0	62	62	65	62	61	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	667
0.9	62	62	59	58	59	59	59	60	60	60	60	60	60	60	60	653
0.8	62	62	54	55	56	57	58	59	59	59	59	59	59	59	59	634
0.7	62	62	48	50	53	55	56	57	57	58	58	58	58	58	58	609
0.6	62	62	42	46	49	52	53	54	55	56	56	56	56	56	56	575
0.5	62	62	36	40	44	47	49	51	52	52	53	53	53	53	53	530
0.4	62	62	29	34	38	42	44	46	47	47	48	48	49	49	49	472
0.3	62	62	23	27	31	35	37	39	40	41	41	42	42	43	43	396
0.2	62	62	15	19	23	25	28	29	30	31	32	32	33	33	33	297
0.1	62	62	8	10	12	14	15	17	17	18	18	19	19	20	20	168
0	62	62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2020-2022	62	62	65	62	61	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	667

*合計は2024～2034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	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2044	2054	合計
1.0	62	63	74	74	76	77	78	79	79	79	79	79	79	79	79	853
0.9	62	63	68	70	74	76	77	78	78	79	79	79	79	79	79	835
0.8	62	63	61	66	70	74	75	77	77	78	78	78	78	78	78	812
0.7	62	63	55	61	66	70	73	74	75	76	76	76	77	77	77	779
0.6	62	63	48	55	61	66	69	71	72	73	73	74	74	74	74	736
0.5	62	63	41	48	55	60	64	66	68	69	69	70	70	71	70	680
0.4	62	63	34	41	48	53	57	59	61	62	63	64	64	65	65	605
0.3	62	63	26	32	39	44	48	50	52	53	54	55	55	56	56	508
0.2	62	63	18	23	28	32	36	38	40	41	42	42	43	44	44	381
0.1	62	63	9	12	15	18	20	22	23	24	24	25	25	26	26	216
0	62	63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2020-2022	62	63	74	74	76	77	78	79	79	79	79	79	79	79	79	853

*合計は2024～2034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2017～2019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 5 (2023) 年度 漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針 (FRA-SA2023-ABCWG02-01. 水産研究・教育機構 2023a)」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。将来予測における将来の加入の仮定は過去の加入を参照し、その加入尾数に対して対数正規分布をあてはめ、その分布に基づいた加入とする。

参照する過去の加入は上記研究機関会議時点における天然由来加入尾数として令和 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を用いる。加入尾数と資源尾数や漁獲量の予測計算には、「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 4.3.0) および計算パッケージ frasyr (コミット番号 91624e3) 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)。将来予測において種苗放流を考慮する場合は、将来の人工種苗由来の加入尾数として 2017～2021 年漁期の平均放流尾数 (52.4 万尾) と平均添加効率 (0.05) の積である 2.6 万尾を毎年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。

$$N_{a,y} = N_{a-1,y-1} \exp(-M_{a-1} - F_{a-1,y-1}) \quad (a = 1, 2) \quad (18)$$

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。

$$N_{3+,y} = N_{2,y-1} \exp(-M_{2,y-1} - F_{2,y-1}) + N_{3+,y-1} \exp(-M_{3+,y-1} - M_{3+,y-1}) \quad (19)$$

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。

$$F_{a,y} = \begin{cases} 0 & \text{if } SB_t < SB_{ban} \\ \beta \gamma(SB_t) F_{msy \text{ proxy}} & \text{if } SB_{ban} \leq SB_t < SB_{limit} \\ \beta F_{msy \text{ proxy}} & \text{if } SB_t \geq SB_{limit} \end{cases} \quad (20)$$

$$\gamma(SB_y) = \frac{SB_y - SB_{ban}}{SB_{limit} - SB_{ban}} \quad (21)$$

ここで、SB_y は y 年の親魚量、F_{msy} および SB_{target}、SB_{limit}、SB_{ban} はそれぞれ補足表 8-2 に案として示した親魚量の基準値である。

また、各年齢の漁獲尾数は以下の式で求めた。

$$C_{a,y} = N_{a,y} \left(1 - \exp(-F_{a,y})\right) \exp\left(-\frac{M_a}{2}\right) \quad (22)$$

将来予測における資源量および漁獲量は、ここで求め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、親魚量はこの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 (2023a) 令和 5 (2023) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2023-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 2023)
- 水産研究・教育機構 (2023b) 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, 横浜, 14 pp.
https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2023-ABCWG02-04.pdf (last accessed July 14 2023)
- 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	0.183	350	0.25	0
1 歳	1.000	0.635	0.636	1,093	0.25	0
2 歳	0.554	0.351	0.352	1,858	0.25	0
3 歳以上	0.554	0.351	0.352	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 2020～2022 年漁期の平均値の年齢別 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 2023 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. 生物学的管理基準のパラメータ推定値

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.
Fmax	2009～2020	対数正規分布	80214	0.496

平均は加入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. は加入量の標準偏差である。

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 の代替値 MSY proxy を実現する親魚量 (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		最大持続生産量の代替値 MSY proxy を実現する漁獲圧 (漁獲係数 F) (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 MSY proxy

補足表 8-3. 最新年の親魚量と漁獲圧

項目	値	説明
SB2022	72 トン	2022 年漁期の親魚量
F2022	2022 年漁期の漁獲圧（漁獲係数 F）（0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳以上） = (0.34, 0.50, 0.30, 0.30)	
U2022	28.0%	2022 年漁期の漁獲割合
%SPR (F2022)	16.8%	2022 年漁期の%SPR
%SPR (F2020-2022)	15.2%	現状(2022～2022 年)の漁獲圧に対応する%SPR
管理基準値案との比較		
SB2022/SBmsy proxy (SBtarget)	0.85	最大持続生産量の代替値を実現する親魚量（目標管理基準値案）に対する 2022 年漁期の親魚量の比
F2022/ Fmsy proxy	0.94	最大持続生産量の代替値を実現する漁獲圧に対する 2022 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 を実現する水準を下回る	
親魚量の動向	増加	

* 2022 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年漁期の加入に基づく加入のみを想定した場合

2024年漁期の親魚量（予測平均値）：111トン			
項目	2024年漁期の漁獲量（トン）	現状の漁獲圧に対する比 (F/F2020-2022)	2024年漁期の漁獲割合（%）
$\beta=1.0$	65	1.00	28.6
$\beta=0.9$	59	0.90	26.2
$\beta=0.8$	54	0.80	23.8
$\beta=0.7$	48	0.70	21.3
$\beta=0.6$	42	0.60	18.6
$\beta=0.5$	36	0.50	15.9
$\beta=0.4$	29	0.40	13.0
$\beta=0.3$	23	0.30	9.9
$\beta=0.2$	15	0.20	6.8
$\beta=0.1$	8	0.10	3.5
$\beta=0$	0	0.00	0.0
F2020-2022	65	1.00	28.6

b) 現状の放流を想定した場合

2024年漁期の親魚量（予測平均値）：111トン			
項目	2024年漁期の漁獲量（トン）	現状の漁獲圧に対する比 (F/F2020-2022)	2024年漁期の漁獲割合（%）
$\beta=1.0$	74	1.00	29.0
$\beta=0.9$	68	0.90	26.6
$\beta=0.8$	61	0.80	24.2
$\beta=0.7$	55	0.70	21.6
$\beta=0.6$	48	0.60	19.0
$\beta=0.5$	41	0.50	16.1
$\beta=0.4$	34	0.40	13.2
$\beta=0.3$	26	0.30	10.1
$\beta=0.2$	18	0.20	6.9
$\beta=0.1$	9	0.10	3.5
$\beta=0$	0	0.00	0.0
F2020-2022	74	1.00	29.0

現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は2017～2021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					
β	2034 年漁期の親魚量 (トン)	90%予測区間 (トン)	2034 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
$\beta=1.0$	83	52 - 127	42	100	100
$\beta=0.9$	98	62 - 147	66	100	100
$\beta=0.8$	115	74 - 172	87	100	100
$\beta=0.7$	136	89 - 201	97	100	100
$\beta=0.6$	161	107 - 236	100	100	100
$\beta=0.5$	192	129 - 277	100	100	100
$\beta=0.4$	230	157 - 328	100	100	100
$\beta=0.3$	277	191 - 390	100	100	100
$\beta=0.2$	335	234 - 467	100	100	100
$\beta=0.1$	408	289 - 561	100	100	100
$\beta=0$	499	358 - 679	100	100	100
F2020-2022	83	52 - 127	41	100	100

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					
β	2034 年漁期の親魚量 (トン)	90%予測区間 (トン)	2034 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
$\beta=1.0$	110	79 - 153	90	100	100
$\beta=0.9$	129	93 - 178	99	100	100
$\beta=0.8$	152	111 - 208	100	100	100
$\beta=0.7$	179	132 - 244	100	100	100
$\beta=0.6$	212	159 - 287	100	100	100
$\beta=0.5$	253	190 - 338	100	100	100
$\beta=0.4$	303	230 - 401	100	100	100
$\beta=0.3$	364	278 - 478	100	100	100
$\beta=0.2$	440	339 - 572	100	100	100
$\beta=0.1$	535	416 - 689	100	100	100
$\beta=0$	655	514 - 835	100	100	100
F2020-2022	109	79 - 153	90	100	100

現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は 2017～2021 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（ 親魚量が目標管理基準値案を上回る	予測平均親魚量（トン）		予測平均漁獲量（トン）		
			5年後	10年後	0年後	5年後	10年後
			2029年漁期	2034年漁期	2024年漁期	2029年漁期	2034年漁期
2009～2020年漁期の天然加入に基づいた加入のみ	1	42	84	83	65	60	60
	0.9	66	97	98	59	60	60
	0.8	87	112	115	54	59	59
	0.7	97	131	136	48	57	58
	0.6	100	152	161	42	54	56
	0.5	100	177	192	36	51	53
	F2020-2022	41	83	83	65	60	60
種苗放流*を考慮（52万尾を放流、添加効率0.05）	1	90	108	110	74	79	79
	0.9	99	125	129	68	78	79
	0.8	100	145	152	61	77	78
	0.7	100	168	179	55	74	77
	0.6	100	195	212	48	71	74
	0.5	100	227	253	41	66	70
F2020-2022	90	108	109	74	79	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 2024 年漁期の値と、5 年および 10 年管理を行った後の値（2029 年漁期および 2034 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、2017～2021 年漁期平均放流尾数（52.4 万尾）と平均添加効率（0.05）の積である 2.6 万尾とした。

補足資料 9 2022 年漁期までの砕波帯調査による 0 歳魚資源量指標値に基づいた資源解析結果

補足表 9-1. 2022 年漁期までの砕波帯調査による 0 歳魚資源量指標値に基づいた資源解析結果 (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	1.92	1.49	1.46	1.11	1.22	1.80	1.34	2.00

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 9-2. 2022 年漁期までの砕波帯調査による 0 歳魚資源量指標値に基づいた資源解析結果 (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	1.57	1.66	1.71	1.12	1.31	1.31	1.96	1.16

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	508,490	330,851	459,686
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	344,404	193,601	332,196	687,223	656,232	689,871

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	129,782
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	33,317	39,430
計	591,869	855,710	404,056	208,373	200,196	355,441	448,421	418,267
親魚量	12,836	26,774	47,305	107,149	55,103	39,660	33,317	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 9-3. 2022 年漁期までの砕波帯調査による 0 歳魚資源量指標値に基づいた資源解析結果 (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	1.28	1.00	0.87	1.01	0.58	0.91	1.54	1.25

年齢別資源尾数 (尾、4月)

漁期年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0歳	131,779	102,019	97,338	104,990	238,539	217,576	117,145	140,372
1歳	302,113	76,923	63,171	57,899	63,226	150,086	140,513	73,672
2歳	45,177	65,538	23,766	20,562	16,436	27,551	46,939	23,475
3歳以上	14,159	22,360	25,186	18,100	14,897	14,219	17,628	17,542
計	493,228	266,840	209,462	201,551	333,097	409,432	322,224	255,060

年齢別資源量 (kg、4月)

漁期年	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0歳	28,140	26,850	27,809	29,218	64,636	71,565	36,206	37,321
1歳	292,280	78,797	67,682	62,413	66,574	146,360	133,785	83,772
2歳	76,031	105,917	40,430	35,404	29,719	41,638	73,091	37,541
3歳以上	40,013	59,414	69,108	55,972	51,897	45,250	50,611	46,348
計	436,465	270,978	205,029	183,006	212,826	304,813	293,693	204,980
親魚量	40,013	59,414	69,108	55,972	51,897	45,250	50,611	46,348

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 9-4. 2022 年漁期までの砕波帯調査による 0 歳魚資源量指標値に基づいた資源解析結果 (2017~2022 年漁期)

年齢別漁獲尾数 (尾)

漁期年	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	25,562	25,600	13,718	8,350	19,683	18,766
1歳	42,041	17,896	30,187	27,919	14,907	28,478
2歳	12,244	10,102	4,496	5,191	6,444	4,272
3歳以上	4,243	3,963	8,073	5,551	4,415	5,354
計		57,562	56,474	47,011	45,450	56,870

年齢別漁獲量 (kg)

漁期年	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	7,031	10,296	4,436	3,257	7,116	6,190
1歳	47,473	18,980	31,981	30,840	16,559	32,049
2歳	24,605	19,606	8,151	8,840	11,766	7,308
3歳以上	16,162	14,120	21,064	14,968	14,547	16,295
計	95,271	63,003	65,631	57,905	49,989	61,842

年齢別漁獲係数

漁期年	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	0.47	0.34	0.17	0.17	0.19	0.52
1歳	0.75	0.79	0.96	0.68	0.53	0.50
2歳	0.75	0.42	0.49	0.44	0.34	0.30
3歳以上	0.75	0.42	0.49	0.44	0.34	0.30
単純平均	0.75	0.79	0.96	0.68	0.53	0.52

年齢別資源尾数 (尾、4月)

漁期年	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	76,832	100,275	97,672	62,011	127,467	52,137
1歳	90,491	37,279	55,502	63,961	40,925	81,901
2歳	26,360	33,373	13,239	16,585	25,175	18,717
3歳以上	9,136	13,094	23,776	17,736	17,249	23,456
計	202,819	184,021	190,189	160,293	210,816	176,212

年齢別資源量 (kg、4月)

漁期年	2017	2018	2019	2020	2021	2022
0歳	21,134	40,330	31,582	24,185	46,085	17,193
1歳	102,183	39,537	58,799	70,654	45,461	92,153
2歳	52,973	64,771	24,005	28,243	45,966	32,015
3歳以上	34,795	46,649	62,033	47,824	56,830	71,389
計	211,084	191,287	176,420	170,905	194,343	212,751
親魚量	34,795	46,649	62,033	47,824	56,830	71,389

年齢別平均体重 (kg)

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