

令和元（2019）年度トラフグ伊勢・三河湾系群の資源評価

担当水研：中央水産研究所

参画機関：静岡県水産技術研究所、愛知県水産試験場漁業生産研究所、三重県水産研究所

要 約

本系群の資源量について、資源量指標値を考慮したコホート解析により計算した。資源量は 1993 年漁期から 1998 年漁期にかけて約 400 トンから 150 トン程度へ漸減したが、1999 年漁期から上昇に転じ 2002 年漁期には 812 トンとピークに達した。しかし、2004 年漁期以降は、2007～2009 年漁期に限っては 300 トンを超える中位水準で推移したが、それ以外の漁期年は 300 トンに満たない低位水準であった。資源水準は資源量が推定されている過去 26 年間に於いて最大となった 2002 年漁期の 812 トンを基準に、0～812 トンを三分し、上位から高位、中位、低位とした。2018 年漁期の資源量は 93 トンと推定され、低位の水準に区分された。動向は最近 5 年間（2014～2018 年漁期）の資源量の推移から減少と判断した。

本系群の資源量は、不定期に発生する卓越年級群の影響により大きく変動し、親魚量と加入量との再生産関係は不明瞭である。本種は栽培漁業対象種であり、本系群に対しては 1980 年代から大規模な人工種苗放流が行われている。2018 年漁期の放流尾数は 54 万尾、放流魚の混入率は 33%、添加効率は 0.050 であった。

本年度は資源水準を低位と判断したことから、親魚量を増加させることを管理目標として F20%SPR を適用した。本系群は栽培漁業の対象であり、大規模な種苗放流により一定量の加入が親魚量によらず保障されていること、提案する管理基準による漁獲圧削減によって親魚量の十分な回復が期待できることから係数 β_2 には 1.0 を用いた。ABC 算定規則 1-3)-(3)を適用して、最近 5 年間の加入尾数の平均値（種苗放流を含む）が続くと仮定した場合の動向予測で得られた漁獲量 33 トンを ABC の上限値（ABClimit）とした。

管理基準	Target / Limit	2020 年漁期 ABC (トン)	漁獲 割合 (%)	F 値 (現状の F 値から の増減%)
F20%SPR	Target	28	25	0.28 (－69%)
	Limit	33	30	0.35 (－61%)

Target は、資源変動の可能性やデータ誤差に起因する評価の不確実性を考慮し、管理基準の下でより安定的な資源の増大または維持が期待される F 値による漁獲量である。Limit は、管理基準の下で許容される最大レベルの F 値による漁獲量である。漁期年は 4 月～翌年 3 月、現状の F (F_{current}) は 2016～2018 年漁期の F の単純平均値であり、0.89 である。漁獲割合は 2020 年漁期 ABC／資源量 (2020 年 10 月時点)、F 値は各年齢の単純平均値である。

漁期年	資源量 (トン)	親魚量 (トン)	漁獲量 (トン)	F 値	漁獲割合 (%)
2015	252	83	182	1.00	72
2016	152	64	108	0.99	71
2017	126	36	95	0.93	76
2018	93	36	63	0.76	68
2019	102	33	60	0.89	58
2020	113	26	—	—	—

漁期年は 4 月～翌年 3 月である。

2019 年漁期および 2020 年漁期の値は将来予測に基づく予測値である。

F 値は各年齢の単純平均値、漁獲割合は各漁期年の漁獲量／資源量 (10 月時点) で示す。

水準：低位 動向：減少

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（静岡県、愛知県、三重県） 生物情報収集調査（静岡県、愛知県、三重県） ・主要市場での魚体測定 全長－年齢測定調査（静岡県、愛知県、三重県） ・試料購入による年齢査定
資源量指数 ・1歳魚資源量指数	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	栽培漁業種苗生産、入手・放流実績（水産庁、水産機構、（公社）全国豊かな海づくり推進協会） 資源増大技術開発事業報告書－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

*はコホート解析におけるチューニング指数である。

1. まえがき

トラフグ伊勢・三河湾系群は、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トンを超える豊漁となり、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）。2002年度に伊勢湾・三河湾小型機船底びき網漁業対象種資源回復計画が作成され、TAE（漁獲努力可能量）制度による管理が開始されたことに伴い、同年度に資源評価対象魚種系群に加えられた。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資源管理指針・計画のもとで継続して実施されている。

天然資源の加入量の不安定さを緩和するため、1980年代からトラフグ人工種苗が放流されている。取り組み開始当初の放流尾数は年間10万～40万尾程度であったが、1999年漁期以降は毎年50万～70万尾が放流適地である伊勢湾を中心に放流されている。トラフグ標識放流魚については、参画各県と国立研究開発法人水産研究・教育機構が連携して混入率、添加効率等を調査している。

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1）、標識放流実験の結果等（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）。

(2) 年齢・成長

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

(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砕波帯に着底する（中島ほか 2008）。砕波帯において全長 30 mm 前後に成長した稚魚は、生息域を干潟域や河口域へと移していく。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 以浅の海域へと生息場所を徐々に広げていくものと推察されている。

(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、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）。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資源管理指針・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、魚体（700 g 未満採捕制限）等の制限措置が実施されている。

三重県安乗岬の沖合では春季のトラフグ産卵期に、産卵場へ集群するトラフグ成熟親魚が、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漁獲は自主規制されている。

（2）漁獲量の推移

トラフグ伊勢・三河湾系群の漁獲量は、不定期に発生する卓越年級群の影響により大きな変動を示す（図 4）。1993 年漁期の漁獲量は約 300 トンであったが、2001 年級群が卓越年級群であったことに伴って、2002 年漁期の漁獲量は 500 トンを上回る豊漁となった。しかし、2003～2004 年級群の加入が非常に少なかったため、それらの年級群が漁獲の主体となった 2005 年漁期の漁獲量は 100 トンを下回った。その後、2005～2008 年級群が中規模で加入したため資源状態は好転し、2006～2009 年漁期には 200 トン前後の安定した漁獲が続いた。しかし、2010 年漁期以降は 100 トン前後の不漁が続き、2018 年漁期の漁獲量は 1993 年漁期以降で最低の 63 トンとなった。2018 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 11.4 トン（18%）、小型機船底びき網漁業（渥美外海）が 10.2 トン（16%）、ふぐはえ縄漁業が 41.4 トン（66%）であり、全体の 7 割弱がふぐはえ縄漁業によるものであった（補足表 2-3）。

（3）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日、0 歳魚漁獲量および CPUE（漁獲量/隻日）を表 1 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日は 2001 年漁期には 1,000 隻日を超えていたが、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。また、当該漁業における 0 歳魚漁獲量は、2001 年漁期には 8.7 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 トン以下に減少している。2018 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日は 192 隻日、0 歳魚漁獲量は 0.4 トンであった。

東海 3 県におけるふぐはえ縄漁業の漁獲努力量（延べ操業隻日）は、2000 年漁期の 12 千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 千隻日以下で推移している（表 2）。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、2018 年漁期の延べ操業隻日は 2,089 隻日であった。

4. 資源の状態

(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コホート解析により計算した（補足資料 1、2、3）。データとして 1993～2018 年漁期の年齢別漁獲尾数を用い、誕生月を 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。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資源量とした。資源量指標値には 1995 年漁期以降のふぐはえ縄漁業の月別延べ出漁隻日および 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用いた（Nishijima et al. 2019）。将来予測における各年齢の漁獲係数には、最近 3 年間の平均値（Fave2016-2018）を用いた。加入尾数は毎年一定と仮定して、最近 5 年間の 0 歳魚資源尾数の平均値を用いた。

(2) 資源量指標値の推移

VPA のチューニングに利用した 1 歳魚資源量指標値の推移を補足資料 2 に示す。2018 年漁期のふぐはえ縄漁業では、DeLury 法を適用する際に重要な条件となる漁期中における顕著な CPUE の減少傾向が認められず、従来のモデルから算出される資源量指標値は不確実性が極めて大きくなった（補足図 3-1）。そのため、資源量指標値の算出方法を見直し、DeLury 法における漁具能率を努力量の関数で表したモデルへ改良した（詳細は補足資料 3）。2018 年漁期の 1 歳魚資源量指標値（2017 年級群に対応）は 20,330 となり、1995 年漁期以降の 24 年間に於いて 2 番目に低い値であった。なお、資源量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 年漁期以降増加する傾向を示していることから、操業の効率が向上していると考えられる（図 5）。

本系群の 0 歳魚資源量指標値の候補となる小型機船底びき網漁業による 0 歳魚漁獲尾数、漁獲量、CPUE および碎波帯ネットによる天然稚魚採集数の推移を表 1 に示す。本系群の 0 歳魚は主に小型機船底びき網漁業により漁獲される。小型機船底びき網漁業は多種多様な魚介類を漁獲対象としておりトラフグの漁獲は選択的ではない。愛知県水産試験場漁業生産研究所では、渥美半島外海で操業する小型機船底びき網漁業による 0 歳魚の漁獲尾数を指標として翌年漁期の 1 歳魚の漁獲尾数を予測している。三重県水産研究所では、伊勢湾の鈴鹿市砂浜海岸の碎波帯においてトラフグ稚魚の出現について調べ、加入動向の予測を試みている（中島ほか 2008）。

(3) 漁獲物の年齢組成

漁期年別の漁獲物の年齢組成を図 4、補足表 2-1、2-2 に示す。2018 年漁期の年齢組成は、0 歳魚が 44%（25.6 千尾）、1 歳魚が 31%（17.9 千尾）、2 歳魚が 18%（10.1 千尾）、3+歳魚が 7%（4.0 千尾）であった。2018 年漁期の 1 歳魚漁獲尾数は過去 26 年間で最も少なく、また、2018 年級群の加入水準の指標となる 0 歳魚の漁獲尾数は過去 26 年間で 8 番目に少なかった。2018 年漁期の漁業種類別の年齢組成は、小型機船底びき網漁業（伊勢湾・三河湾）では 88%（21.2 千尾）が 0 歳魚、小型機船底びき網漁業（渥美外海）では 45%（4.4 千尾）が 0 歳魚、35%（3.5 千尾）が 1 歳魚、ふぐはえ縄漁業では 51%（11.8 千尾）が 1 歳

魚、36% (8.5 千尾) が 2 歳魚、13% (3.1 千尾) が 3+歳魚で占められていた (補足表 2-4)。

(4) 資源量と漁獲割合の推移

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 6、補足表 2-1、2-2 に示す。資源量は 1993～1998 年漁期にかけて約 400 トンから 150 トン程度へ漸減したが、1999 年漁期から上昇に転じ 2002 年漁期には 812 トンとピークに達した。しかし、2004 年漁期以降は、2007～2009 年漁期に限っては 300 トンを超える中位水準で推移したが、それ以外の漁期年においては 300 トンに満たない低位水準であった。2018 年漁期の資源量は 93 トンと推定された。

親魚量は 1993～2002 年漁期までは 40 トン前後で推移したが、2001 年級群が卓越年級群であったことに伴って 2003～2004 年漁期には 100 トンを上回った。2005 年漁期以降は 36～111 トンの範囲で増減を繰り返し、2018 年漁期の親魚量は 36 トンと推定された。

漁獲割合は 1993～2000 年漁期には 70%前後の非常に高い値で推移した。2001 年漁期以降は変動しながらも減少する傾向にあったが、2015 年漁期以降再び高い値で推移している (図 7)。2018 年漁期の漁獲割合は 68%と高く、近年においても資源の半分以上を漁獲している状況にあることは憂慮すべきであり、早急に適切な漁獲割合への改善が必要である。

年齢別漁獲係数の推移を図 8、補足表 2-1、2-2 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が、資源回復計画がスタートした 2002 年漁期以降では 0.2 前後の低い値で安定していた。しかし、2017 年漁期以降は漁獲係数が高まる傾向にある。1 歳魚および 2 歳魚以上に対する漁獲係数は、変動しながらも低下する傾向にはあるが、近年においても依然として高い値で推移している。

本評価では自然死亡係数 (M) を 0.25 と仮定したが、M を 0.1、0.4、0.55 に変更した場合の 2018 年漁期の資源量、親魚量、加入量 (0 歳魚の資源尾数) を推定した (図 9)。M を大きくするといずれの値も増加し、M が 0.1 変化すると、資源量は 2%程度、親魚量は 8%前後、加入量は 21%前後変化した。

(5) 再生産関係

本種の成熟年齢は雄で 2 歳、雌で 3 歳であることから、成熟率を 2 歳で 50%、3 歳以上で 100%、雌雄比を 1 対 1 と仮定して親魚量を推定した (鈴木ほか 1996)。本系群に対しては毎年人工種苗が放流されていることから、合計加入尾数と放流魚加入尾数の差から天然魚のみの加入尾数を推定し再生産関係を検討した (図 10、補足表 4-1)。過去 26 年間において親魚量は 29～144 トン、加入尾数は 57 千～1,096 千尾の範囲で大きく変動しており、親魚量と加入尾数との間に明瞭な再生産関係を見いだすことはできない。なお、2009 年級群以降の加入尾数は連続して少ない状態が続いている。

(6) 再生産成功率と海洋環境との関係

再生産成功率の推移を図 11 に示す。本種の再生産成功率には親魚量よりも海洋環境の条件が強く影響を与えていると推察され、その背景として以下の知見が得られている。

本系群の初期生活史として、伊勢湾口部のトラフグ産卵場の海底付近でふ化した仔魚が潮流により伊勢湾内および三河湾内へ輸送され、全長 10 mm 前後にまで成長すると湾中央

部から湾奥部に位置する砂浜海岸の砕波帯へ着底するものと想定されており、加入量は産卵から着底までの生活史のごく初期の段階でほぼ確定することが示唆されている（鈴木ほか 2015）。また、仔魚の成長に伴う比重変化から、摂餌開始前の 0～5 日齢の仔魚は近底層に分布し、摂餌開始後の 6～12 日齢では近底層から中層に分布を広げ、14 日齢以降は浮遊仔魚として過ごすと考えられている（黒木ほか 2015）。さらに、外洋水あるいは混合水の伊勢湾への進入状況が浮遊期仔魚の伊勢湾内への移送に影響していることも解明されつつある（青木ほか 2016、岡田ほか 2015）。

(7) Blimit の設定

本系群は、少ない親魚量からでも時として卓越年級群が発生し、親魚量と加入量との間に明瞭な再生産関係を見いだすことはできない（図 10）。よって、既存の情報から Blimit を設定した場合には、誤った資源管理措置を導き出す可能性が高いと判断し、Blimit は設定しなかった。

(8) 資源の水準・動向

資源水準は資源量が推定されている過去 26 年間に於いて最大となった 2002 年漁期の 812 トンを基準に 0～812 トンを三等分し、上位から高位、中位、低位とした。2018 年漁期の資源量は 93 トンと推定され、低位の水準に区分された（図 6）。また、動向は最近 5 年間（2014～2018 年漁期）の資源量の推移から減少と判断した。

(9) 今後の加入量の見積もり

本系群は、少ない親魚量からでも時として卓越年級群が発生することなどから、再生産関係は不明瞭である（図 10）。よって、将来予測に用いる加入量には、近年における加入水準が一定して続く仮定を置くことが現実的であると判断した。具体的には 2014～2018 年漁期の 4 月時点の 0 歳魚資源尾数の平均値（121,906 尾）を今後の加入量と仮定した。なお、今後の加入量を見積る際の参照漁期年が 5 年間と短いことおよび、参照漁期年が毎年 1 年ずつシフトすることにより値は変動しやすい。

本系群に対しては大規模な人工種苗放流が行われていることから、今後の加入量を見積る際には、参画各県における放流事業の今後の動向にも注視し、放流規模等の変更が計画されている場合には、その情報を反映させる必要がある。

(10) 生物学的管理基準（漁獲係数）と現状の漁獲圧の関係

生物学的管理基準（漁獲係数）と現状の漁獲圧の関係を図 12 に示す。現状の漁獲係数（ $F_{\text{current}}=F_{\text{ave2016-2018}}$ ）は 0.89 であり、管理基準として提案する $F_{20\%SPR}$ （ $F=0.35$ ）および $0.8F_{20\%SPR}$ （ $F=0.28$ ）の 2 倍以上に相当する高い値であり、算定された ABC に則した漁獲努力量の削減が早急に必要である。

(11) 資源と漁獲の関係

図 13 左に資源回復計画が導入される以前（1993～2001 年漁期）の年齢別漁獲係数等により計算された YPR および SPR を示す。F を変化させた場合の YPR は、漁獲係数が 0.36

で 676 g/尾と最大となった。また、資源回復計画導入以前の漁獲係数（Fave1993-2001）における SPR は 1.9%であり、加入資源の管理ならびに親魚資源の管理の両観点から極めて強い漁獲圧が加えられていた。

資源回復計画による漁獲圧削減措置以降（2002～2018 年漁期）の年齢別漁獲係数等により計算された YPR および SPR を図 13 右に示す。YPR および SPR を資源回復計画導入以前の値と比較すると、YPR は 504 g/尾から 641 g/尾へと 27%増加、SPR は 1.9%から 4.5%へと改善されていた。しかし、資源回復計画以降の漁獲係数の平均値（Fave2002-2018=0.80）でも YPR が最大となる漁獲係数を大きく超えていることから成長乱獲状態にあると判断される。

（12）種苗放流効果

本系群の資源量は不定期に発生する卓越年級群の影響により大きく変動することから、加入量の不安定さを緩和するため、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。種苗放流の効果、すなわち、放流魚の添加効率は、放流技術が安定してきたと思われる 2003 年漁期以降ではおおよそ 0.04～0.05 で推移し、年間 3 万尾程度が天然魚と共に漁獲加入していると推察された（補足資料 4）。放流魚の混入率は天然魚の加入量の多寡によって 2～38%の範囲で大きく変動した。2018 年漁期の放流尾数は 54 万尾であり、混入率は 33%、添加効率は 0.050 と推定された。

5. 2020 年漁期 ABC の算定

（1）資源評価のまとめ

2018 年漁期の資源量は 93 トンと推定されたことから、資源の水準は低位、動向は減少と判断した。2009 年級群以降の連続した 10 年間は低い加入水準が続いている。よって、現状の漁獲圧で漁業を続けた場合には、近い将来に資源量が中位もしくは高位水準へと回復する可能性は低く、算定された ABC に則した漁獲努力量の削減が早急に必要である。

（2）ABC の算定

本年度は資源水準を低位と判断したことから、親魚量を増加させることを管理目標として F20%SPR を適用した。本系群は栽培漁業の対象であり、大規模な種苗放流により一定量の加入が親魚量によらず保障されていること、提案する管理基準による漁獲圧削減によって親魚量の十分な回復が期待できることから係数 β_2 には 1.0 を用いた。係数 α には標準値 0.8 を用い、ABC 算定規則 1-3)-(3)を適用して以下の式により 2020 年漁期の ABC を算定した。

$$Flimit = F20\%SPR \times \beta_2$$

$$Ftarget = Flimit \times \alpha$$

ABC 管理基準の下での親魚量は、いずれの F 値でも 2020 年漁期には 26 トンまで減少するが、その後は増加に転じ 2025 年漁期には Ftarget では 192 トン、Flimit では 153 トンに増加すると予測された（図 14 上）。

管理基準	Target / Limit	2020 年漁期 ABC (トン)	漁獲 割合 (%)	F 値 (現状の F 値から の増減%)
F20%SPR	Target	28	25	0.28 (－69%)
	Limit	33	30	0.35 (－61%)

- ・ Target は、資源変動の可能性やデータ誤差に起因する評価の不確実性を考慮し、管理基準の下でより安定的な資源の増大または維持が期待される F 値による漁獲量である。Limit は、管理基準の下で許容される最大レベルの F 値による漁獲量である。 $F_{\text{target}} = \alpha F_{\text{limit}}$ とし、係数 α には標準値 0.8 を用いた。
- ・ 漁期年は 4 月～翌年 3 月である。
- ・ F 値は各年齢の単純平均値、漁獲割合は 2020 年漁期 ABC／資源量 (2020 年 10 月時点) である。

(3) ABC の評価

図 14 および下表に F_{target} ($0.8F_{20\%SPR}$ 、 $0.31F_{current}$ に相当)、 F_{limit} ($F_{20\%SPR}$ 、 $0.39F_{current}$ に相当)、 $F_{30\%SPR}$ ($0.27F_{current}$ に相当)、 $0.8F_{30\%SPR}$ ($0.21F_{current}$ に相当)、および $F_{current}$ ($F_{ave2016-2018}$ 、 $F_{4.2\%SPR}$ に相当) で管理した場合の漁獲量、資源量および親魚量の動向予測を示す。5 年後となる 2025 年漁期の親魚量は、 F_{target} では 192 トン、 F_{limit} では 153 トンと推定され、従来から採用している管理基準 ($F_{20\%SPR}$) により親魚量は増加すると予測された。

管理基準	F 値	漁獲量 (トン)							
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
$0.8F_{30\%SPR}$	0.19	63	60	20	36	51	63	70	74
$F_{30\%SPR}$	0.24	63	60	24	42	58	70	76	80
$0.8F_{20\%SPR}$	0.28	63	60	28	46	63	74	80	83
$F_{20\%SPR}$	0.35	63	60	33	53	69	79	83	86
$F_{current}$	0.89	63	60	66	70	72	73	73	73
		資源量 (トン)							
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
$0.8F_{30\%SPR}$	0.19	93	102	113	190	262	316	349	369
$F_{30\%SPR}$	0.24	93	102	113	183	246	290	316	330
$0.8F_{20\%SPR}$	0.28	93	102	113	178	234	271	292	303
$F_{20\%SPR}$	0.35	93	102	113	170	215	242	256	263
$F_{current}$	0.89	93	102	113	119	122	123	123	123
		親魚量 (トン)							
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
$0.8F_{30\%SPR}$	0.19	36	33	26	66	136	197	235	258
$F_{30\%SPR}$	0.24	36	33	26	62	123	173	202	219
$0.8F_{20\%SPR}$	0.28	36	33	26	60	113	156	179	192
$F_{20\%SPR}$	0.35	36	33	26	55	98	129	145	153
$F_{current}$	0.89	36	33	26	29	32	33	33	34

(4) ABC の再評価

データの更新により再評価された資源量および ABC の値を以下の表に示す。過去に遡及して修正した資源量指標値を用いて最新の方法により計算した。管理基準に変更はない。

昨年度評価以降追加 されたデータセット	修正・更新された数値
2018 年漁期年齢別漁獲尾数、漁獲量確定値	2018 年漁期漁獲尾数、漁獲量の確定
1995～2017 年漁期資源量指標値、2018 年漁期資源量指標値確定値	1995～2017 年漁期資源量指標値の修正、 2018 年漁期資源量指標値の確定

資源量指標値が修正されたため、最新の資源量指標値により再計算した値を掲載した。資源水準を判断する起点となる過去最大の資源量は 812 トンで変更はなかった。

従来の資源量指標値から推定された 2018 年漁期の資源量は、当初評価年度で 224 トン、2018 年度再評価で 223 トンであったが、新たな資源量指標値により再計算された資源量は、当初評価年度で 231 トン、2018 年度再評価で 198 トンとなった。

従来の資源量指標値から推定された 2019 年漁期の資源量は、当初評価年度で 221 トンであったが、新たな資源量指標値により再計算された資源量は、当初評価年度で 200 トンとなった。

評価対象年 (当初・再評価)	管理 基準	F 値	資源量 (トン)	ABClimit (トン)	ABCtarget (トン)	漁獲量 (トン) (実際の F 値)
2018 年漁期 (当初)	F20%SPR	0.34	231	76	63	
2018 年漁期 (2018 年度再評価)	F20%SPR	0.35	198	63	52	
2018 年漁期 (2019 年度再評価)	F20%SPR	0.35	93	29	19	63 (0.76)
2019 年漁期 (当初)	F20%SPR	0.35	200	64	53	
2019 年漁期 (2019 年度再評価)	F20%SPR	0.35	102	30	20	

2018 年漁期および 2019 年漁期の資源量および ABC は、2017 年度評価および 2018 年度評価の 40%程度に大きく下方修正された。2018 年漁期の漁獲尾数が確定し、1 歳魚漁獲尾数（2017 年級群）は過去 26 年間で最低、3+歳魚漁獲尾数は過去 26 年間で 4 番目に少なく、いずれも 2017 年度評価および 2018 年度評価で想定していた尾数の 1/2～1/3 にとどまった。そのため、対応する年級群の 2018 年漁期における資源量が大幅に下方修正された。

2019 年漁期の資源量については、本年度の再評価によりすべての年齢の資源量が下方修正された。とくに資源量の約半分を占める 1 歳魚（2018 年級群）の資源量が 101 トンから 47 トンへ大きく下方修正された影響が大きかった。下方修正に至った主因は次の通りであ

る。2018 年漁期の 1 歳魚漁獲尾数が非常に少ない値で確定したことに伴い、2017 年漁期の 0 歳魚に対する F 値が 0.20 から 0.50 へ上方修正された。関連して、2018 年漁期の 0 歳魚（2018 年級群）に対する F 値が 0.20 から 0.37 へ引き上げられた影響で、2018 年漁期の 0 歳魚資源尾数が当初評価の約 1/2 に下方修正された。その結果、1 年後となる 2019 年漁期における 1 歳魚資源尾数ならびに 1 歳魚資源量も大幅に下方修正された。

6. ABC 以外の管理方策の提言

水産庁が進めた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。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漁獲量は、それまでと比較して 1/10 以下にまで大幅に抑制され、小型魚の保護が図られた（表 1）。

本系群は栽培漁業の対象であることから漁獲管理と種苗放流の連携を図りながら、資源の持続的利用を効果的に推進していく必要がある（鈴木ほか 2017）。そこで、漁獲努力量および種苗放流尾数の調整を 2020 年漁期から組み合わせて実施した場合に、5 年後の 2025 年漁期に期待される漁獲量および資源量を試算した（補足資料 5）。その結果、2025 年漁期の漁獲量は、 $F=0.5$ としたときに増減幅が最大となり、種苗放流尾数を増減させることによる漁獲量への影響が大きかった。なお、漁獲努力量を本評価で提案する F_{limit} ($F_{20\%SPR}$) とした場合でも $F=0.5$ と遜色ない漁獲量の増加効果が得られると試算された。一方、5 年後の資源量は、種苗放流尾数の調整よりも漁獲努力量の調整に対して増減幅が大きかった。漁獲努力量を本評価で提案する F_{limit} ($F_{20\%SPR}=0.35$) または F_{target} ($0.8F_{20\%SPR}=0.28$) とした場合には、5 年後の資源量が 200 トン以下に落ち込む危険性は低いと考えられた。トラフグの安定的な漁獲を実現するためには、現在の種苗放流規模を維持することで漁業生産量の安定に努めると同時に、漁獲努力量を本評価で提案する適切な水準にまで削減することで資源量を増加させることが、現実的な管理方策の一案として検討に値すると考えられた。

本系群は不定期に発生する卓越年級群の影響により大きな資源変動を示すこと、少ない親魚量からでも時として卓越年級群が発生することなどから、再生産関係を利用した資源管理を目標とすることは難しい。しかし、現状の操業形態の下では 1 歳魚までの未成魚のうちに多くが漁獲されてしまい、親資源となるまで生き残る個体はごく僅かである。若齢群に突出した年齢構成の歪みが、再生産成功率の不確実性を増大させているとも見受けられる。低位水準にある本系群の資源状態を早急に回復させるためには、資源管理指針・計画の下で実施されている未成魚の獲り控えをさらに徹底するなどの堅実な資源管理に取り組む必要がある。加えて、再生産成功率が好転し親魚量および資源量が適切な水準へ回復するまでは、現在の種苗放流規模を維持することにより、加入量の不安定さを緩和する措置を継続する必要がある。

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.
- 黒木洋明・鈴木重則・青木一弘・児玉真史・津本欣吾・岡田 誠 (2015) 人工生産トラフグ仔魚の成長に伴う比重変化から推測される初期生態. 黒潮の資源海洋研究, **16**, 137-141.
- 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. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, (in press).
- 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.
- 岡田 誠・津本欣吾・黒木洋明・鈴木重則 (2015) 伊勢湾で採集されたトラフグ浮遊期仔魚. 黒潮の資源海洋研究, **16**, 143-148.
- 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).
- 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.
- 鈴木伸洋・岡田一宏・神谷直明 (1996) トラフグ生殖腺の性分化過程と性比. 南西海区水産研究所研究報告, **29**, 39-48.
- 鈴木重則・山内 悟・横山文彬・岡田誠 (2015) トラフグ伊勢・三河湾系群の生活史および資源変動の特徴. 黒潮の資源海洋研究, **16**, 131-135.
- 鈴木重則・吉田 彰・横山文彬・岡田 誠・山本敏博・黒木洋明・市野川桃子 (2017) 種苗放流と漁獲管理の連携による漁業生産の安定を目指した事例解析－トラフグ伊勢・三河湾系群をモデルとして－. 月刊海洋, **49**, 536-546.
- 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.

(執筆者：鈴木重則、山本敏博、澤山周平、市野川桃子、西嶋翔太)

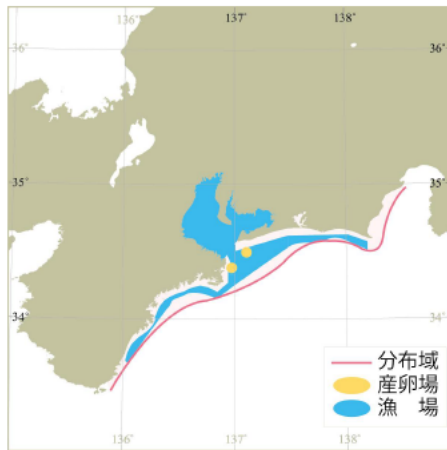


図 1. 分布域と主産卵場の模式図

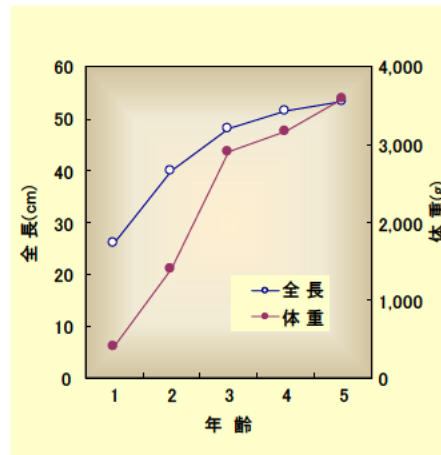


図 2. 年齢と成長

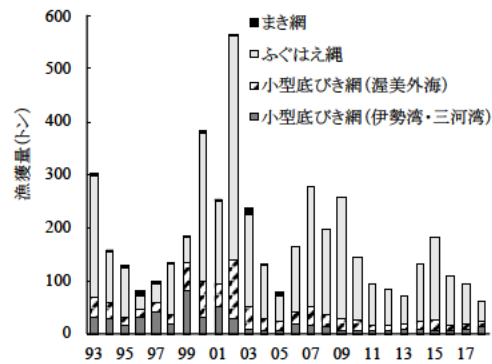
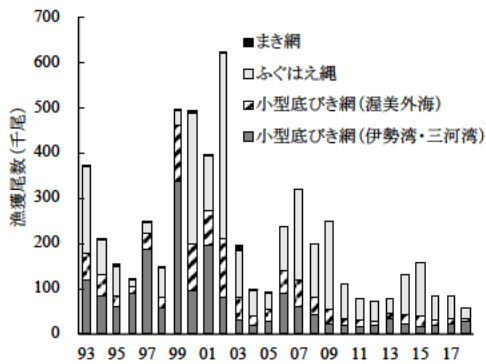


図 3. 漁業種類別漁獲尾数（左）および漁獲量（右）の推移

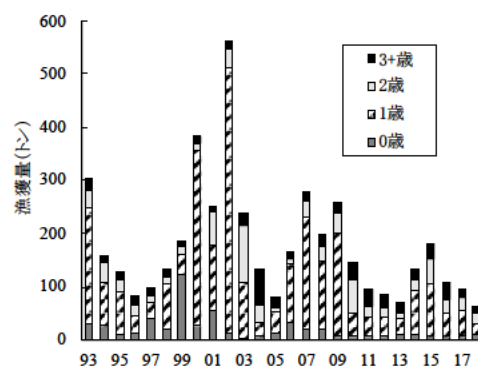
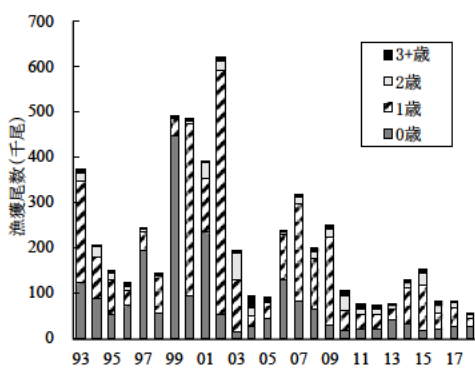


図 4. 年齢別漁獲尾数（左）および年齢別漁獲量（右）の推移

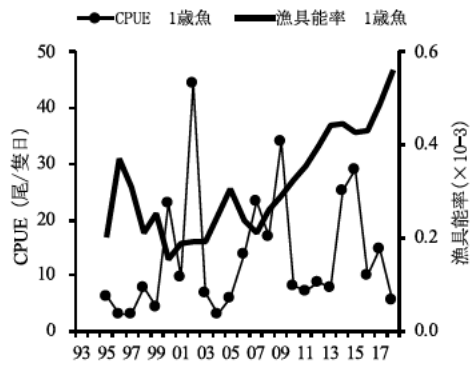


図 5. ふぐはえ縄漁業の 1 歳魚の CPUE および漁具能率

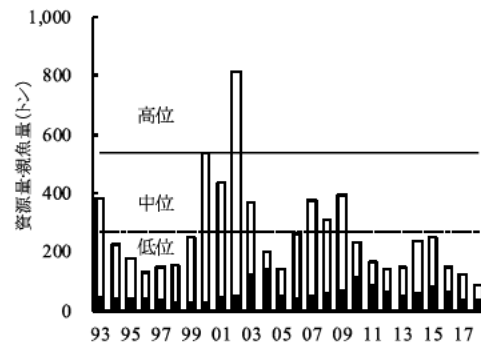


図 6. 資源量および親魚量の推移
資源量 (□) は 10 月時点。
親魚量 (■) は 4 月時点。

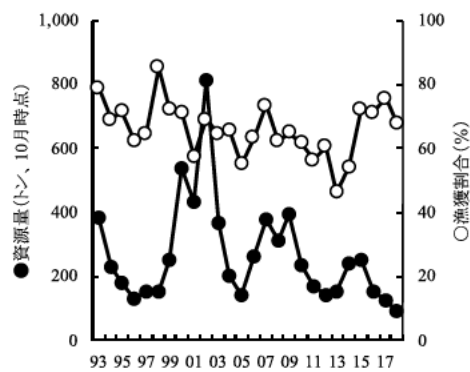


図 7. 資源量と漁獲割合の推移

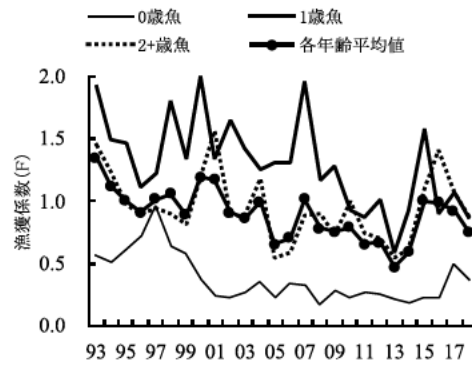


図 8. 年齢別漁獲係数

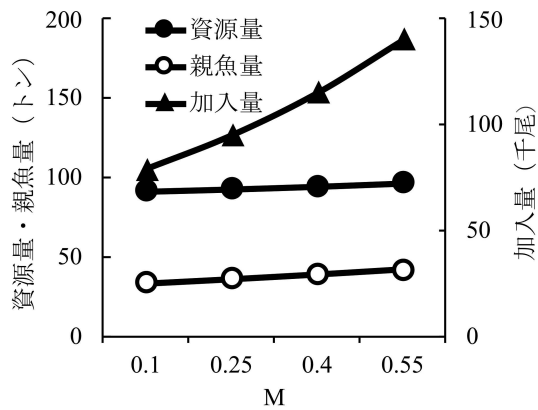


図 9. 自然死亡係数 (M) と 2018 年漁期の資源量、親魚量、加入量の関係
本評価では $M=0.25$ を用いた。

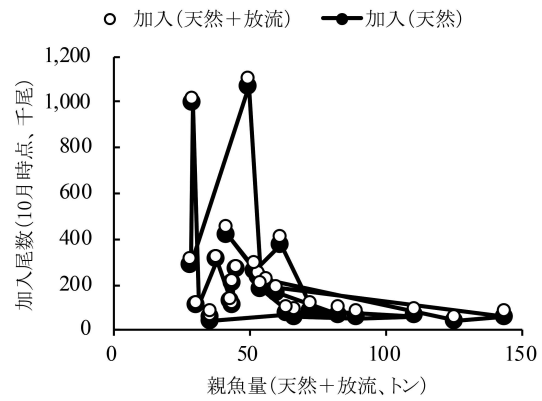


図 10. 再生産関係 (1993～2018 年漁期)

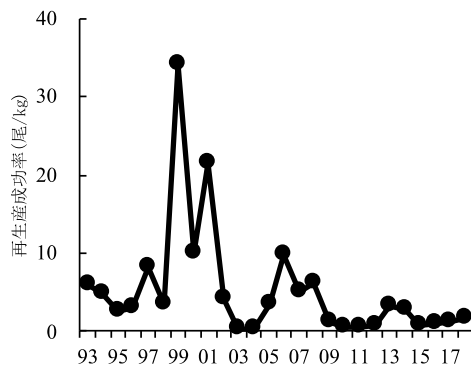


図 11. 再生産成功率 (RPS) の推移
 $RPS = \text{天然魚加入尾数} / \text{親魚量 (天然+放流)}$ 。

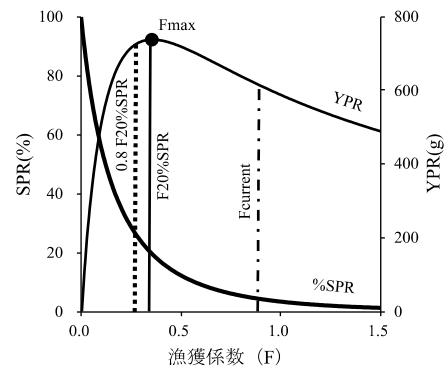


図 12. 生物学的管理基準 (漁獲係数) と現状の漁獲圧の関係

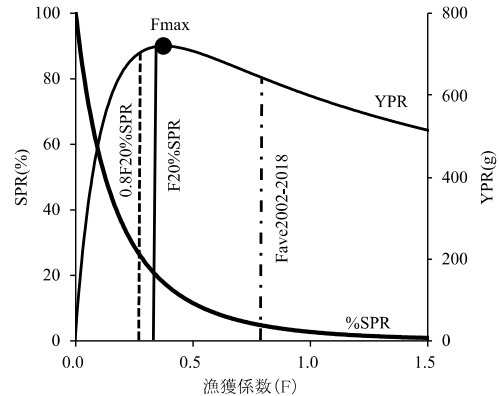
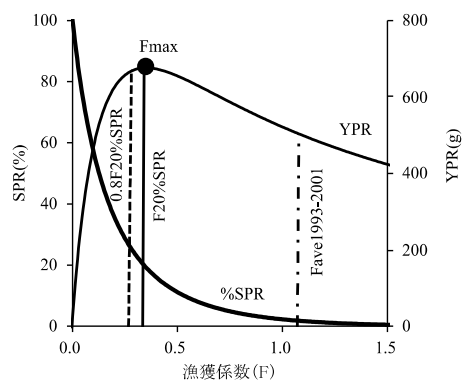


図 13. 資源回復計画実施以前 (左、1993～2001 年漁期) および以降 (右、2002～2018 年漁期) の YPR と SPR

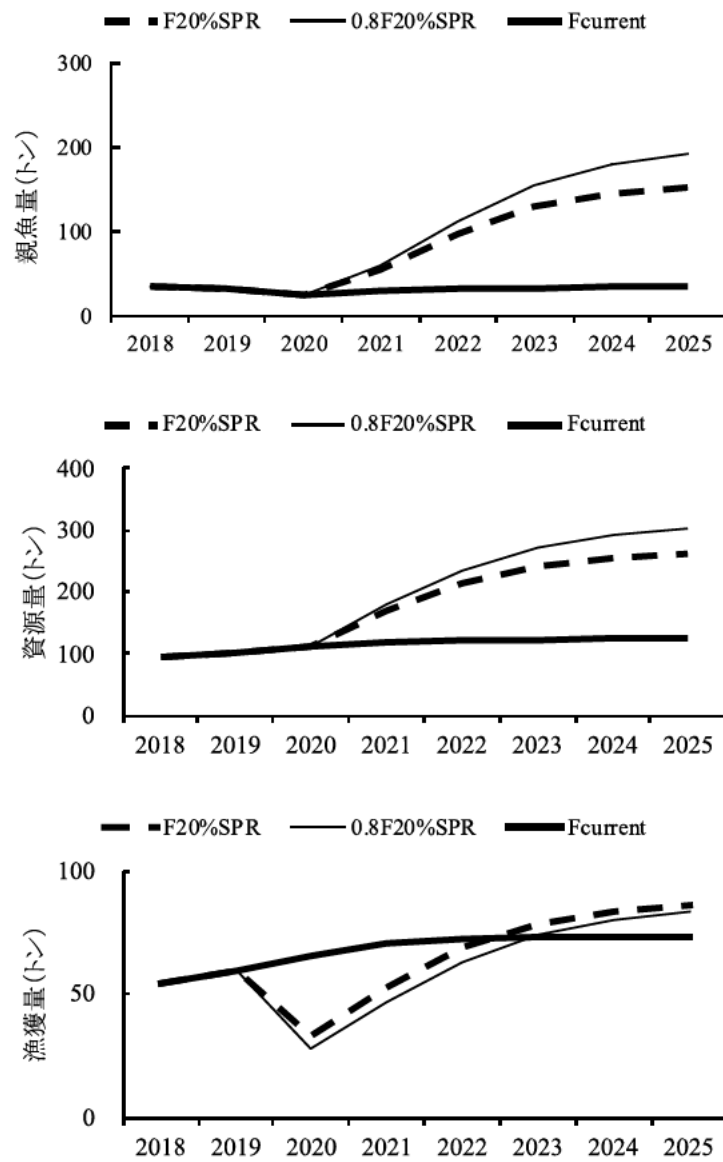


図 14. 異なる F の条件下における親魚量（上）、資源量（中）、漁獲量（下）の動向予測 加入量は 2014～2018 年漁期の 5 年間の平均値を仮定。

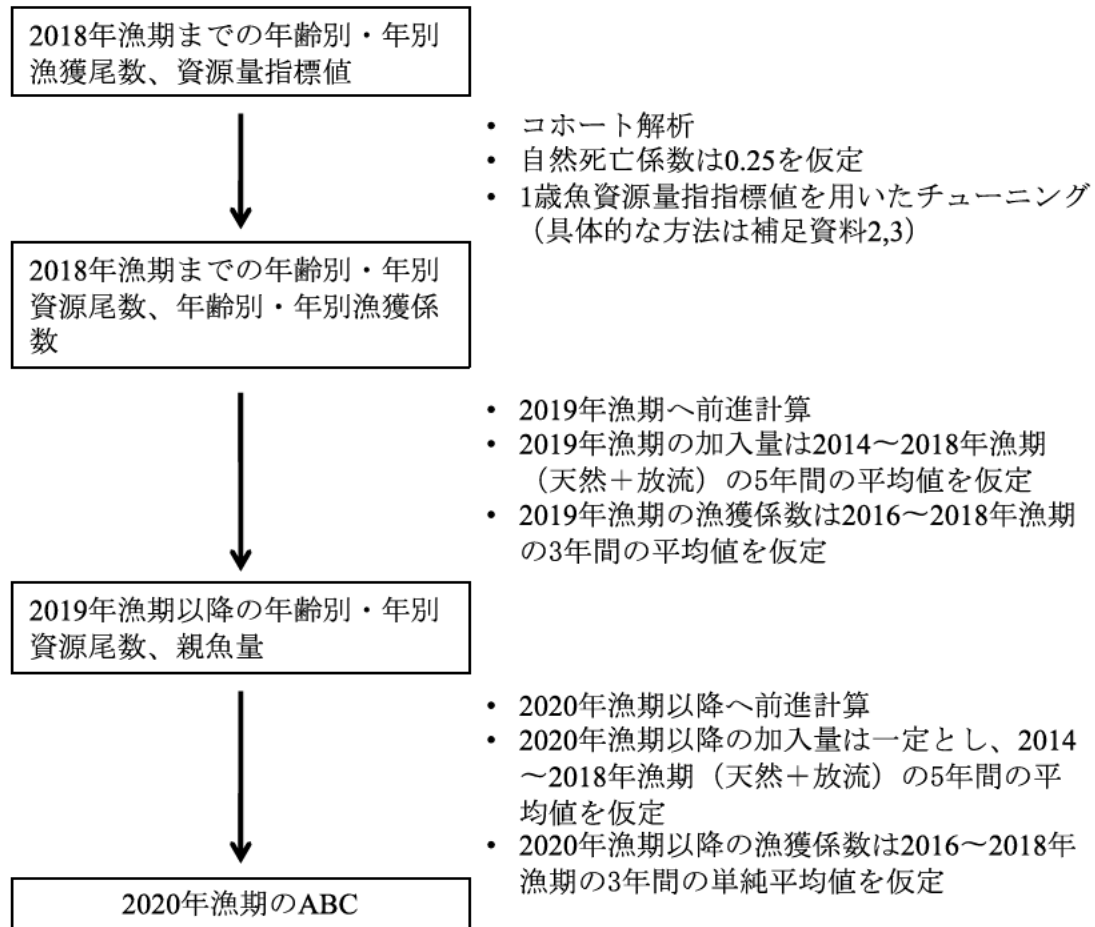
表 1. 小型機船底びき網漁業の操業隻日、0 歳魚漁獲尾数、0 歳魚漁獲重量、CPUE、および碎波帯ネットによる天然稚魚平均採集数

漁期年	小型機船底びき網漁業								碎波帯ネット
	三重県 有滝支所 (漁場：伊勢湾)				愛知県 豊浜漁協 (漁場：渥美外海)				天然稚魚 平均採集数
	操業隻日 (隻日)	0歳魚 漁獲尾数 (尾)	0歳魚 漁獲量 (kg)	CPUE (kg/隻日)	操業隻日 (隻日)	0歳魚 漁獲尾数 (尾)	0歳魚 漁獲量 (kg)	CPUE (kg/隻日)	
1993	—	14,832	3,492	—	—	29,879	11,190	—	
1994	—	7,631	2,583	—	—	22,073	7,727	—	
1995	—	5,316	643	—	712	10,301	3,237	4.5	
1996	—	6,310	2,109	—	844	3,859	1,357	1.6	
1997	—	19,466	4,201	—	938	28,319	6,241	6.7	
1998	—	8,276	2,823	—	925	11,962	4,760	5.1	
1999	—	54,721	13,284	—	948	118,141	44,746	47.2	
2000	—	8,238	2,414	—	992	35,196	11,618	11.7	
2001	1,121	36,027	8,692	7.8	1,067	57,847	18,458	17.3	
2002	605	3,680	1,052	1.7	1,079	6,738	862	0.8	
2003	463	418	135	0.3	1,102	2,105	637	0.6	
2004	733	2,971	727	1.0	1,110	8,052	2,564	2.3	0.4
2005	662	1,828	482	0.7	1,078	22,209	6,793	6.3	6.6
2006	880	5,957	1,524	1.7	1,125	42,747	12,523	11.1	11.0
2007	396	5,313	1,555	3.9	1,289	27,945	7,485	5.8	1.8
2008	488	3,108	934	1.9	1,350	25,559	8,946	6.6	10.0
2009	384	1,278	321	0.8	1,242	10,677	2,557	2.1	1.4
2010	166	588	155	0.9	1,323	3,317	1,181	0.9	0.8
2011	195	641	189	1.0	1,260	6,706	2,361	1.9	0.4
2012	232	1,066	279	1.2	1,304	5,173	1,530	1.2	3.5
2013	309	1,943	530	1.7	1,261	7,865	2,291	1.8	2.3
2014	331	1,686	544	1.6	1,321	12,524	4,022	3.0	5.7
2015	291	725	361	1.2	1,279	7,837	2,784	2.2	2.3
2016	253	1,046	543	2.1	1,136	5,678	1,778	1.6	2.1
2017	191	864	314	1.6	1,139	5,915	1,876	1.6	0.0
2018	192	1,042	364	1.9	1,341	4,447	2,128	1.6	1.3
2019									1.0

表 2. ふぐはえ縄漁業の県別操業隻日、漁獲尾数、CPUE

漁期年	ふ ぐ は え 縄 漁 業								
	静岡県			愛知県			三重県		
	操業隻日 (隻日)	漁獲尾数 (尾)	CPUE (尾/隻日)	操業隻日 (隻日)	漁獲尾数 (尾)	CPUE (尾/隻日)	操業隻日 (隻日)	漁獲尾数 (尾)	CPUE (尾/隻日)
1993	6,712	68,515	10.2	2,228	64,118	28.8	1,691	61,680	36.5
1994	4,455	38,299	8.6	1,858	23,918	12.9	1,411	16,153	11.5
1995	3,924	22,721	5.8	2,410	21,754	9.0	1,666	18,627	11.2
1996	1,707	4,637	2.7	1,168	5,198	4.5	750	5,669	7.6
1997	2,204	7,534	3.4	1,368	5,874	4.3	1,079	7,883	7.3
1998	4,917	28,051	5.7	1,529	15,581	10.2	1,349	24,698	18.3
1999	3,376	16,865	5.0	1,513	7,815	5.2	1,299	8,676	6.7
2000	7,835	109,842	14.0	2,476	95,929	38.7	1,763	79,860	45.3
2001	6,015	51,563	8.6	1,783	39,200	22.0	1,324	27,972	21.1
2002	6,202	116,627	18.8	1,512	133,171	88.1	1,271	157,990	124.3
2003	5,780	36,543	6.3	1,652	33,797	20.5	1,430	32,910	23.0
2004	3,411	26,132	7.7	1,625	15,617	9.6	1,184	12,909	10.9
2005	2,346	10,865	4.6	1,284	11,300	8.8	1,105	11,919	10.8
2006	4,036	33,139	8.2	1,488	34,951	23.5	1,124	30,943	27.5
2007	4,794	65,301	13.6	1,783	73,966	41.5	1,202	60,847	50.6
2008	3,545	39,571	11.2	1,347	40,445	30.0	1,051	38,866	37.0
2009	2,937	57,545	19.6	1,269	68,681	54.1	890	68,653	77.1
2010	2,615	24,106	9.2	1,047	25,949	24.8	688	24,866	36.1
2011	1,694	9,259	5.5	1,226	19,711	16.1	914	18,590	20.3
2012	1,589	7,779	4.9	981	18,442	18.8	759	18,188	24.0
2013	1,249	5,666	4.5	929	12,455	13.4	676	13,662	20.2
2014	1,126	11,929	10.6	963	33,464	34.7	750	41,161	54.9
2015	1,545	20,535	13.3	817	45,740	56.0	631	50,723	80.4
2016	1,483	11,543	7.8	817	18,316	22.4	656	22,102	33.7
2017	1,154	9,566	8.3	837	23,155	27.7	519	16,835	32.4
2018	1,004	5,453	5.4	643	8,415	13.1	442	9,584	21.7
平均	3,371	32,292	8.6	1,406	34,499	24.6	1,062	33,922	32.7

補足資料1 資源評価の流れ



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。誕生月を4月、漁期年を4月～翌年3月として、0歳～3+歳の各年齢についてPopeの近似式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歳として、田内・田中の式（田中1960）により0.25とした。本系群に対する近年の漁獲努力量の変化を考慮するため、ふぐはえ縄漁業の漁獲努力量および1歳魚漁獲尾数を用いて算出した資源量指標値によりチューニングを行った。チューニングの期間は全ての参画県のふぐはえ縄漁業の漁獲努力量データが揃っている1995～2018年漁期とした。なお、本年度は資源量指標値の算出方法を変更した。詳細は補足資料3に示した。

チューニングでは、1歳魚資源尾数が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、最近年の1歳魚の選択率に最近年最高齢のFを乗じて最近年の1歳魚の漁獲係数とした。最近年の2歳魚の漁獲係数は最高齢（3+歳魚）の値と等しいと仮定した。なお、最近年（2018年漁期）の選択率は2015～2017年漁期の3年間の選択率の平均値とした。

資源尾数から資源量および親魚量（SSB）への換算、ABC算定、将来予測における年齢別平均体重、成熟率、雌雄比には下表の値を用いた。

年齢 月※	0歳		1歳		2歳		3+歳	
	4月	10月	4月	10月	4月	10月	4月	10月
平均体重 (g)	-	164	355	1,030	1,427	1,638	2,868	2,889
成熟率 (%)	♂	0	0	0	0	100	100	100
	♀	0	0	0	0	0	100	100
雌雄比	-	-	-	-	1:1	1:1	1:1	1:1

※4月 誕生月、10月 漁獲加入月。

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

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

2歳魚の資源尾数は

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

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。

最近年最高齢の F は、次式を最小にする値を探索的に求めることにより決定した。

$$\sum_{y=1995}^{2018} \{\ln(DELURY_{1,y}) - \ln(qN_{1,y})\}^2$$

ここで、 $DELURY_{1,y}$ は、ふぐはえ縄漁業による月別延べ出漁隻日および月別 1 歳魚漁獲尾数から DeLury 法の努力量・最小絶対値法モデルにより推定した y 年漁期の 1 歳魚初期資源尾数である(Nishijima et al. 2019)。 $N_{1,y}$ は VPA により推定された y 年漁期の 1 歳魚資源尾数である (山川 2001)。

q は比例係数であり、チューニングに使用した漁期の年数を n として

$$\hat{q} = \exp\left(1/n \sum_{y=1995}^{2018} \ln(DELURY_{1,y}/N_{1,y})\right)$$

により求めた。

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 2015～2017 年漁期の 3 年間の選択率の平均値に等しいとし、

$$S_{a,2018} = (S_{a,2015} + S_{a,2016} + S_{a,2017})/3$$

とした。

最近年 0 歳魚の F は、過去 2 年間 (2016～2017 年漁期) の漁獲係数の平均値に等しいと仮定して、

$$F_{0,2018} = (F_{0,2016} + F_{0,2017})/2$$

により求めた。

最近年の資源尾数は、

$$N_{a,2018} = C_{a,2018}e^{M/2} / (1 - e^{-F_{a,2018}})$$

により求めた。

チューニングには下表の資源量指標値を用いた。チューニング VPA で推定した 1 歳魚資源尾数と 1 歳魚資源量指数の関係を補足図 2-1 に示した。

漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001
1歳魚初期 資源尾数	－	－	62,368	17,312	25,705	88,483	37,962	315,881	103,782

漁期年	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1歳魚初期 資源尾数	568,049	99,362	30,739	33,921	113,738	184,871	122,689	195,966	50,019

漁期年	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1歳魚初期 資源尾数	39,992	41,950	31,332	90,718	120,438	45,750	54,289	20,330

(2) 将来予測

(1)で得られた各年齢の資源尾数をもとに将来予測を行った。各年齢の漁獲係数 F には、最近3年間（2016～2018年漁期）の平均値を仮定した。

0歳魚の資源尾数は、毎年一定の加入があると仮定して、最近5年間（2014～2018年漁期）の0歳魚資源尾数の平均値（4月時点、121,906尾 天然＋放流）とした。

$$N_{0,z} = 1/5 \sum_{y=2014}^{2018} N_{0,y}$$

1歳魚および2歳魚の資源尾数は以下の式により前進法で求めた。

$$N_{a,z} = N_{a-1,z-1}e^{-M} - C_{a-1,z-1}e^{-M/2} \quad (a=1,2)$$

3+歳魚の資源尾数は以下の式により前進法で求めた。

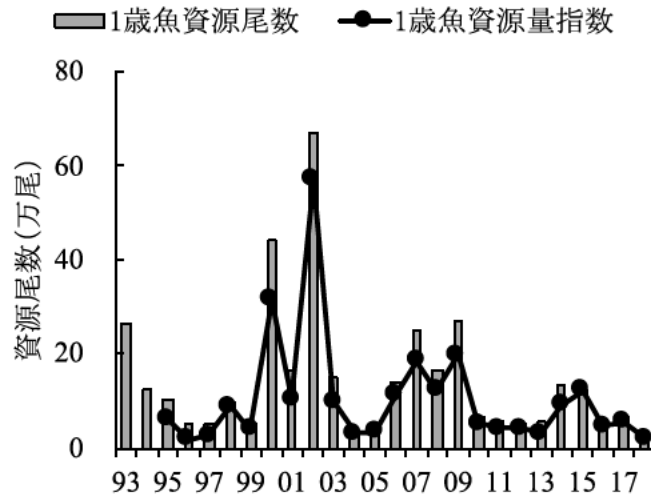
$$N_{3+,z} = N_{2,z-1}e^{-M} - C_{2,z-1}e^{-M/2} + N_{3+,z-1}e^{-M} - C_{3+,z-1}e^{-M/2}$$

各年齢の漁獲尾数は以下の式で求めた。

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

引用文献

- Nishijima S., S. Suzuki, M. Ichinokawa and H. Okamura (2019) Integrated multi-timescale modeling untangles anthropogenic, environmental, and biological effects on catchability. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, (in press).
- 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. チューニング VPA で推定した 1 歳魚資源尾数 (10 月時点) と 1 歳魚資源量指標値の関係

補足表 2-1. 資源解析結果 (1993~2005 年漁期)

年齡別漁獲尾數 (尾)													
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歲	120,295	86,732	54,526	71,179	196,085	56,886	446,641	95,918	232,367	51,391	13,319	25,733	46,654
1歲	226,600	94,770	76,950	34,019	36,970	78,907	36,801	378,988	121,116	542,806	114,825	24,142	34,307
2歲	18,557	21,572	13,225	10,721	7,993	7,089	6,738	7,088	36,503	19,792	59,093	19,589	3,166
3歲以上	6,114	4,195	5,050	5,199	5,151	3,853	3,271	4,355	3,057	4,796	7,878	25,672	6,504
計	371,567	207,269	149,751	121,118	246,199	146,736	493,451	486,350	393,044	618,785	195,115	95,136	90,631
年齡別漁獲量 (kg)													
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歲	28,337	26,421	10,247	14,388	39,216	18,349	120,752	26,974	56,492	12,727	3,059	6,926	12,463
1歲	217,870	80,642	78,181	32,037	28,709	88,105	40,870	328,463	122,797	498,179	106,824	26,792	39,288
2歲	34,920	37,088	24,599	19,494	14,464	13,052	12,231	13,077	62,647	35,235	103,088	31,455	6,126
3歲以上	20,745	13,059	16,458	15,212	15,768	13,046	10,210	13,556	8,970	13,993	24,944	67,421	20,394
計	301,872	157,211	129,484	81,131	98,158	132,552	184,063	382,070	250,905	560,134	237,915	132,595	78,27
年齡別漁獲係數													
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歲	0.57	0.52	0.61	0.72	0.96	0.64	0.58	0.37	0.24	0.24	0.27	0.36	0.23
1歲	1.92	1.49	1.46	1.11	1.22	1.80	1.34	2.00	1.33	1.65	1.43	1.25	1.31
2歲	1.45	1.24	0.97	0.90	0.94	0.89	0.81	1.20	1.56	0.88	0.88	1.19	0.54
3歲以上	1.45	1.24	0.97	0.90	0.94	0.89	0.81	1.20	1.56	0.88	0.88	1.19	0.54
單純平均	1.35	1.12	1.00	0.91	1.02	1.06	0.89	1.19	1.17	0.91	0.86	0.99	0.66
年齡別資源尾數 (尾、4月)													
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歲	314,071	243,890	135,724	156,848	359,678	136,995	1,143,812	347,883	1,241,728	278,001	64,324	97,566	252,790
1歲	300,903	138,439	113,401	57,583	59,338	107,073	56,490	496,642	186,284	761,995	171,155	38,341	53,275
2歲	27,483	34,370	24,182	20,409	14,824	13,586	13,753	11,518	52,330	38,193	114,418	31,963	8,555
3歲以上	9,055	6,684	9,233	9,897	9,552	7,385	6,675	7,077	4,383	9,256	15,254	41,887	17,572
計	651,513	423,382	282,540	244,736	443,392	265,040	1,220,731	863,120	1,484,724	1,087,446	365,151	209,758	332,193
年齡別資源尾數 (尾、10月)													
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歲	277,167	215,232	119,776	138,418	317,415	120,898	1,009,410	307,006	1,095,821	245,335	56,765	86,102	223,086
1歲	265,546	122,172	100,076	50,817	52,365	94,492	49,853	438,285	164,395	672,459	151,044	33,836	47,015
2歲	24,254	30,331	21,341	18,011	13,082	11,990	12,137	10,164	46,181	33,705	100,973	28,207	7,550
3歲以上	7,991	5,898	8,148	8,734	8,430	6,517	5,891	6,245	3,868	8,168	13,462	36,965	15,507
計	574,958	373,634	249,341	215,979	391,292	233,897	1,077,291	761,701	1,310,264	959,667	322,245	185,111	293,159
年齡別資源量 (Kg、4月)													
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歲	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1歲	106,824	49,147	40,259	20,443	21,066	38,012	20,055	176,314	66,133	270,518	60,762	13,612	18,913
2歲	39,207	49,032	34,498	29,115	21,148	19,382	19,620	16,431	74,653	54,486	163,227	45,598	12,205
3歲以上	26,162	19,310	26,675	28,592	27,597	21,335	19,286	20,446	12,662	26,741	44,071	121,015	50,767
計	172,193	117,489	101,432	78,149	69,811	78,730	58,961	213,192	153,448	351,744	268,060	180,225	81,885
年齡別資源量 (Kg、10月)													
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歲	45,559	35,378	19,688	22,752	52,174	19,872	165,920	50,463	180,123	40,326	9,331	14,153	36,669
1歲	273,640	125,896	103,126	52,366	53,962	97,372	51,372	451,645	169,406	692,956	155,648	34,868	48,449
2歲	39,722	49,676	34,951	29,497	21,426	19,637	19,878	16,647	75,633	55,201	165,371	46,197	12,365
3歲以上	22,923	16,919	23,373	25,052	24,181	18,694	16,898	17,915	11,095	23,430	38,615	106,033	44,482
計	381,844	227,869	181,138	129,667	151,742	155,575	254,068	536,670	436,257	811,914	368,964	201,251	141,965
年齡別親魚量 (Kg、4月)													
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歲	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1歲	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2歲	19,604	24,516	17,249	14,557	10,574	9,691	9,810	8,216	37,326	27,243	81,613	22,799	6,102
3歲以上	26,162	19,310	26,675	28,592	27,597	21,335	19,286	20,446	12,662	26,741	44,071	121,015	50,767
計	45,765	43,826	43,924	43,149	38,171	31,026	29,096	28,662	49,989	53,984	125,684	143,815	56,869
漁獲割合 (漁獲量/資源量 (10月))													
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歲	0.62	0.75	0.52	0.63	0.75	0.92	0.73	0.53	0.31	0.32	0.33	0.49	0.34
1歲	0.80	0.64	0.76	0.61	0.53	0.90	0.80	0.73	0.72	0.72	0.69	0.77	0.81
2歲	0.88	0.75	0.70	0.66	0.68	0.66	0.62	0.79	0.83	0.64	0.62	0.68	0.50
3歲以上	0.90	0.77	0.70	0.61	0.65	0.70	0.60	0.76	0.81	0.60	0.65	0.64	0.46
計	0.79	0.69	0.71	0.63	0.65	0.85	0.72	0.71	0.58	0.69	0.64	0.66	0.55
年齡別平均体重 (g、4月)													
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歲	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1歲	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355
2歲	1,427	1,427	1,427	1,427	1,427	1,427	1,427	1,427	1,427	1,427	1,427	1,427	1,427
3歲以上	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889
年齡別平均体重 (g、10月)													
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
0歲	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164
1歲	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030
2歲	1,638	1,638	1,638	1,638	1,638	1,638	1,638	1,638	1,638	1,638	1,638	1,638	1,638
3歲以上	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868

補足表 2-3. 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

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	23,743	26,890	49,312	99,946	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	121,603	21,783	16,305	159,691	0	0	0	0	0
2009	0	181,400	31,165	14,840	227,406	0	0	0	0	0
2010	0	40,939	51,389	28,386	120,715	0	0	0	0	0
2011	0	33,379	17,002	29,043	79,424	0	0	0	0	0
2012	0	35,682	15,021	21,343	72,046	0	0	0	0	0
2013	0	26,702	10,453	14,654	51,809	0	0	0	0	0
2014	0	77,864	16,847	14,708	109,419	0	0	0	0	0
2015	0	93,478	37,399	24,192	155,069	0	0	0	0	0
2016	0	42,259	21,149	28,762	92,170	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

補足表 2-4. 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

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	20,141	16,258	18,259	54,658	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

補足資料3 資源量指標値の算出

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をチューニングに使用している。この資源量指標値は、ふぐはえ縄漁業が行われる 10 月から翌年 2 月までの静岡県、愛知県および三重県のデータを合計した月別 1 歳魚漁獲尾数と月別努力量を使用して、以下の式(山川 2001)から求められる：

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

ここで、 $C_{y,m}$ は y 年 m 月の漁獲尾数、 $E_{y,m}$ は y 年 m 月の努力量（延べ出漁隻日）であり、左辺は単位努力量当たりの漁獲尾数（catch per unit effort: CPUE）を表す。右辺における q_y 、 I_y はそれぞれ、 y 年漁期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 年漁期の解禁月から 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 $M=0.25$ を 12 で除した値を仮定した。

漁期年ごとに $\log(C_{y,m}/E_{y,m}) + \mu_{y,m}$ 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、この手法では各漁期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、2018 年漁期では漁具能率がこれまでの漁期年よりも低く推定された（補足図 3-1a、年別 (Per_year) モデル）。これは、2018 年漁期では漁期中の CPUE の減少傾向を示す回帰係数の傾きが 0 に近かったためであり（補足図 3-1c）、決定係数 R^2 もこれまでの漁期年は 0.49～0.98 であったのに対し、2018 年漁期は 0.03 と非常に低かった。その結果、2018 年漁期の初期資源尾数の推定値の不確実性は、他の漁期年に比べて非常に大きくなった（補足図 3-1b、年別 (Per_year) モデル）。2018 年漁期の回帰係数の傾きが 0 に近かったのは、例年であれば突出して高い解禁月（10 月）の CPUE が中間的な値にとどまったためであった（補足図 3-1c）。漁期中における顕著な CPUE の減少傾向が認められないことから、DeLury 法を適用する条件が十分には満たされず、従来の年別モデルを用いて推定される資源量指標値の不確実性は極めて大きくなった。そのため、本年度の資源計算において従来の年別モデルにより算出した資源量指標値を VPA のチューニングに用いることは適切でないと考えた。そこで、漁期年別に漁具能率を推定するのではなく、すべての漁期年の総努力量（総出漁隻日）を用いて各漁期年の漁具能率を予測する手法の導入を検討した。ふぐはえ縄漁業では、出漁隻数が過剰となるなどの努力量の増大に伴い本来の漁具の性能が発揮しにくくなるため、総努力量と漁具能率は負の関係にある（Nishijima et al. 2019）。そこで、漁具能率を以下の総努力量の関数（Wilberg et al. 2010）で表し、この関数を(1)式に代入して CPUE の予測精度の向上を試みた。

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

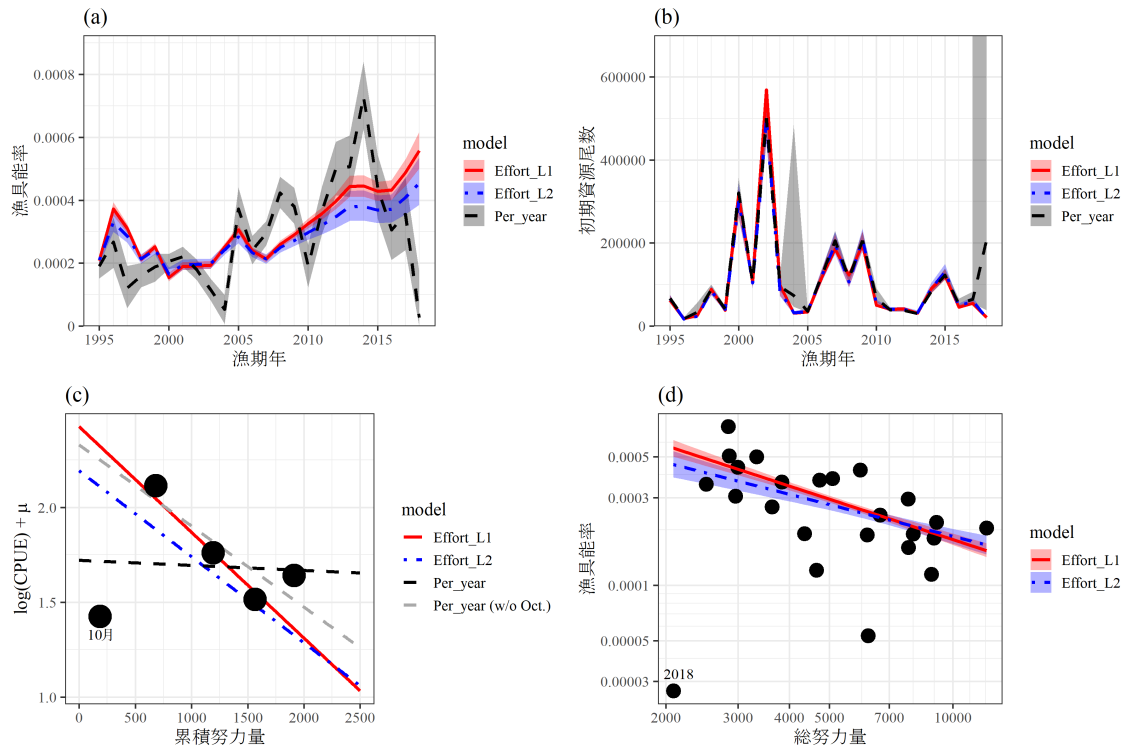
ここで、 $\sum_m E_{y,m}$ は y 年漁期の総努力量を表しており、パラメータ α 、 β が q_y の代わりに推

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）についても試算した。

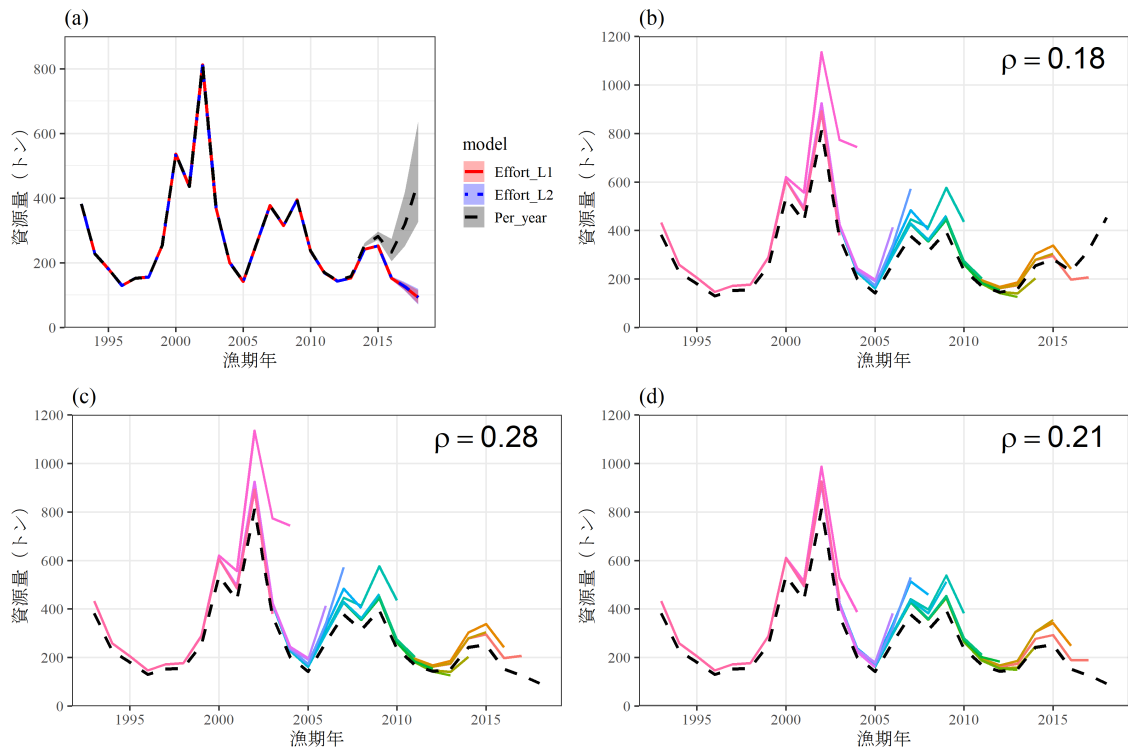
解析の結果、年別モデルでは AICc が 59.6 であったのに対し、努力量・最小二乗法モデルでは AICc が 54.7、努力量・最小絶対値法モデルでは 40.8 であった。したがって、漁具能率を総努力量の関数とし、さらに最小絶対値法を使用することによって、CPUE の予測力が向上することが示唆された。努力量・最小二乗法および努力量・最小絶対値法のいずれの場合でも総努力量と漁具能率の負の関係が推定されたが、最小絶対値法による傾き β （式 2）が最も鋭角であった（補足図 3-1d）。総努力量の関数とした場合に推定される漁具能率は、漁獲努力量の経年的な減少に伴って緩やかに向上する傾向を示し、2018 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 3-1a）。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 1995～2017 年漁期では差異が少なかったが、2018 年漁期については年別モデルでは努力量モデルの約 10 倍に相当する大きな値が算出された（補足図 3-1b、補足表 3-1）。なお、年別モデルを用いた場合でも 2018 年 10 月のデータを除き、2018 年 11 月から 2019 年 2 月のデータを用いて算出した場合には、努力量モデルから推定される初期資源尾数に近い値（24.0 千尾）が得られた（補足図 3-1c）。

それぞれのモデルにより得られた資源量指標値を使用してコホート解析により資源量を推定した結果、年別モデルに比べて、努力量モデルでは 2018 年漁期の推定値が低く抑えられ、漁獲量の経年トレンドとも良く合致していた（2018 年漁期の資源量は年別モデル：454 トン、努力量・最小二乗法モデル：94 トン、努力量・最小絶対値法モデル：93 トン）（補足図 3-2a）。2018 年漁期の資源量推定値の変動係数は年別モデルで最も大きく、努力量・最小絶対値法モデルで最も小さかった（年別モデル：28.5%、努力量・最小二乗法モデル：19.6%、努力量・最小絶対値法モデル：17.2%）。これは、努力量・最小絶対値法モデルから得られた資源量指標値の当てはまりが最も良いことを示している。レトロスペクティブ解析を行ったところ、年別モデルでは資源量をやや過大評価する傾向にあり、特に 2004 年漁期ではその傾向が顕著であった（補足図 3-2b）。努力量・最小二乗法モデルでは資源量を過大に評価する傾向がより大きかった（補足図 3-2c）。他方、努力量・最小絶対値法モデルでは、平均的には年別モデルよりも過大評価の傾向はやや大きかったが、2004 年漁期のバイアスは小さかった（補足図 3-2d）。年別モデルにおいて、2004 年漁期と 2018 年漁期はいずれも漁具能率の推定値は低く（補足図 3-1a）、初期資源尾数推定値の不確実性が大きかった（補足図 3-1b）。したがって、年別モデルを使用した場合、2004 年漁期と同様に、2018 年漁期の資源量推定値の不確実性が非常に高まると同時に大きくバイアスする可能性が高いことがわかった。2018 年漁期の資源量は、年別モデルでは 454 トン、努力量・最小絶対値法モデルでは 93 トンと推定され、両者の推定値は大きく異なり、また、資源の動向も対照的となった（補足図 3-2a）。近年の資源状態を判断する背景として、2018 年漁期の漁獲努力量に特異な変化は認められないにも関わらず、漁獲量が過去最低の 63 トンにとどまったこと（表 1、2）、2018 年漁期の資源量ならびに漁獲量の主体となる 2017 年級群の加入が極めて悪い水準にあったという天然稚魚採集調査の結果が得られていること（表 1）、近年における再生産成功率は低水準で推移しており、加入の好転を示唆する兆候は認められて

いないことなど（図 11）、年別モデルで推定された大きな資源量を支持する状況は見当たらなかった。以上の結果から総合的に判断し、本年度の資源評価には努力量・最小絶対値法モデルで得られた初期資源尾数を 1 歳魚の資源量指標値として用いることにした。



補足図 3-1. (a) 各モデル（赤実線：努力量・最小絶対値法モデル、青鎖線：努力量・最小二乗法モデル、黒破線：年別モデル）における漁具能率の推定値と 80%信頼区間 信頼区間は残差のリサンプリングを 1000 回繰り返したノンパラメトリックブートストラップに基づく（以下同様）。
 (b) 各モデルにおける初期資源尾数の推定値と 80%信頼区間
 (c) 2018 年漁期における各月の累積努力量と CPUE の関係 観測値（黒丸）と各モデルによる予測（灰破線：10 月を除いた年別モデル、他は a, b と同じ）。
 (d) 各モデル（赤実線：努力量・最小絶対値法モデル、青鎖線：努力量・最小絶対値法モデル、黒丸：年別モデル）で推定された漁具能率と総努力量の関係



補足図 3-2. (a) 各モデル（赤実線：努力量・最小絶対値法モデル、青鎖線：努力量・最小二乗法モデル、黒破線：年別モデル）で得られた資源量指標値を使用した場合の資源量の推定値と 80%信頼区間 信頼区間は残差のリサンプリングを 1000 回繰り返したノンパラメトリックブートストラップに基づく。
(b-d) 各モデル（b: 年別モデル、c: 努力量・最小二乗法モデル、d: 努力量・最小絶対値法モデル）で得られた資源量指標値を使用した場合の資源量推定値のレトロスペクティブ解析の結果。図中の右上に示した数値はレトロスペクティブバイアスの指標 Mohn's ρ である（Mohn 1999）。

補足表 3-1. 各モデルにより算出された 1 歳魚資源量指標値

漁期年	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
年別モデル	66,486	18,033	33,037	88,006	41,457	320,691	105,897	500,382
努力量・最小絶対値法モデル	62,368	17,312	25,705	88,483	37,962	315,881	103,782	568,049
努力量・最小二乗法モデル	66,359	16,946	23,324	84,853	40,132	299,680	103,833	499,100

漁期年	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
年別モデル	95,468	73,944	35,765	118,022	205,709	114,997	206,649	67,773
努力量・最小絶対値法モデル	99,362	30,739	33,921	113,738	184,871	122,689	195,966	50,019
努力量・最小二乗法モデル	83,170	31,757	36,022	118,425	197,125	106,067	208,373	56,031

漁期年	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
年別モデル	38,870	38,093	30,132	85,197	122,927	52,072	64,822	209,458
努力量・最小絶対値法モデル	39,992	41,950	31,332	90,718	120,438	45,750	54,289	20,330
努力量・最小二乗法モデル	40,060	40,558	32,829	91,598	130,349	47,948	60,777	19,777

引用文献

- Wilberg M.J., Thorson J.T., Linton B.C. and Berkson J. (2010) Incorporating time-varying catchability into population dynamic stock assessment models. *Rev. Fish. Sci.*, **18**, 7-24.
- Mohn, R. (1999) The retrospective problem in sequential population analysis: an investigation using cod fishery and simulated data. *ICES Journal of Marine Science*, **56**, 473-488.
- Nishijima S., S. Suzuki, M. Ichinokawa, and H. Okamura (2019) Integrated multi-timescale modeling untangles anthropogenic, environmental, and biological effects on catchability. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, (in press).
- 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.

補足資料 4 種苗放流効果の計算方法

本系群の資源量は、不定期に発生する卓越年級群の影響により大きく変動することから、加入量の不安定さを緩和するため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り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（補足表 4-1）。放流海域別の平均添加効率は、伊勢・三河湾では 0.0853 と高く、遠州灘～駿河湾では 0.0448、熊野灘では 0.0084 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。

$$Y = 0.0188X - 0.164 \quad (n=77)$$

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

$$K = G (0.0188X - 0.164) \quad K: \text{添加効率}$$

(G: 伊勢・三河湾: 0.0853、遠州灘～駿河湾: 0.0448、熊野灘: 0.0084)

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、さらに、漁期年別に放流魚の加入尾数を集計した（補足表 4-1）。

補足表 4-1. 漁期年別の親魚量、放流尾数、加入尾数、添加効率、混入率および RPS
(加入は 0 歳 10 月時点とした)

漁期年	親魚量 (トン)	放流尾数 (尾)	加入尾数 (尾) ^{※1}			添加効率 ^{※2}	放流魚 混入率 (%)	RPS ^{※3} (尾数/トン)
			天然魚	放流魚	合 計			
1993	45.8	218,913	268,803	8,364	277,167	0.038	3.0	5,874
1994	43.8	186,664	208,239	6,993	215,232	0.037	3.2	4,752
1995	43.9	260,280	110,656	9,121	119,776	0.035	7.6	2,519
1996	43.1	250,549	128,532	9,885	138,418	0.039	7.1	2,979
1997	38.2	219,480	308,599	8,816	317,415	0.040	2.8	8,085
1998	31.0	289,848	110,163	10,734	120,898	0.037	8.9	3,551
1999	29.1	555,284	991,288	18,123	1,009,410	0.033	1.8	34,070
2000	28.7	567,465	288,025	18,981	307,006	0.033	6.2	10,049
2001	50.0	637,042	1,067,788	28,033	1,095,821	0.044	2.6	21,361
2002	54.0	661,859	228,060	17,275	245,335	0.026	7.0	4,225
2003	125.7	411,206	40,582	16,183	56,765	0.039	28.5	323
2004	143.8	730,918	56,003	30,099	86,102	0.041	35.0	389
2005	56.9	621,782	195,414	27,672	223,086	0.045	12.4	3,436
2006	42.1	786,150	411,698	37,038	448,736	0.047	8.3	9,772
2007	52.1	658,025	261,227	30,731	291,958	0.047	10.5	5,016
2008	61.5	739,190	374,805	30,814	405,620	0.042	7.6	6,089
2009	73.1	690,870	85,692	30,552	116,244	0.044	26.3	1,172
2010	111.3	613,000	63,564	26,375	89,939	0.043	29.3	571
2011	89.6	685,300	53,269	32,482	85,751	0.047	37.9	595
2012	66.8	786,600	56,918	35,306	92,224	0.045	38.3	853
2013	54.4	721,200	176,097	33,060	209,157	0.046	15.8	3,236
2014	60.1	659,186	161,458	28,613	190,071	0.043	15.1	2,687
2015	82.7	710,000	66,941	28,826	95,767	0.041	30.1	809
2016	63.6	622,200	69,303	34,225	103,528	0.055	33.1	1,090
2017	36.2	547,900	40,290	24,644	64,934	0.045	38.0	1,112
2018	35.8	544,300	56,329	27,279	83,608	0.050	32.6	1,574

※1 加入尾数：漁獲開始時（10月）資源尾数

※2 放流魚添加効率：加入尾数／放流尾数

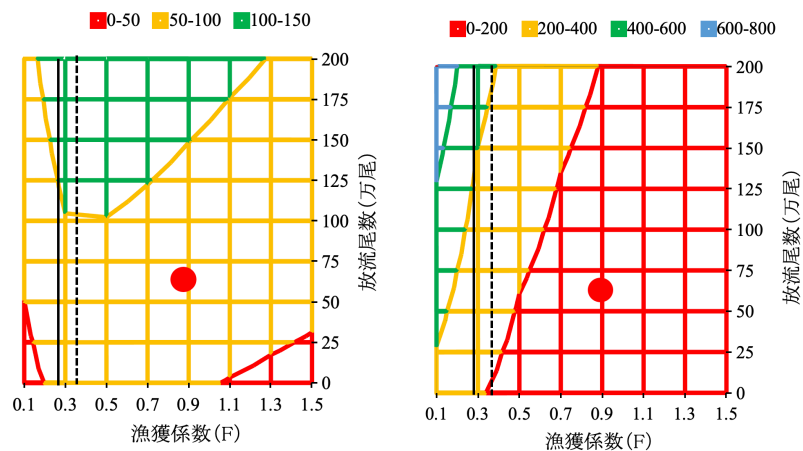
※3 RPS：天然魚加入尾数／親魚量（天然＋放流）

補足資料 5 漁獲係数および種苗放流による管理効果の比較

漁獲係数および種苗放流尾数の調整を 2020 年漁期から組み合わせて実施した場合に、5 年後の 2025 年漁期に期待される漁獲量および資源量を亘(2014)に準じて試算した。漁獲係数は 0.1～1.5 の範囲、放流尾数は 0～200 万尾の範囲で変化させた（補足図 5-1、補足表 5-1）。

引用文献

亘 真吾 (2014) 等量線図による種苗放流が資源に与える影響評価と表計算ソフトを用いた計算方法. 水産技術, 6, 129-137.



補足図 5-1. 2020～2025 年漁期にかけて漁獲係数と種苗放流尾数を変化させたときの 2025 年漁期の漁獲量（左）および資源量（右）の等量線図
図中の赤丸は近年の漁獲係数(Fave2016-2018)および放流尾数。
点線は F20%SPR、実線は 0.8F20%SPR。

補足表 5-1. 2020～2025 年漁期にかけて漁獲係数と種苗放流尾数を変化させたときの 2025 年漁期の漁獲量

漁獲係数 (F)	放流尾数 (万尾)									管理基準
	0	25	50	75	100	125	150	175	200	
0.10	39	44	50	55	61	67	72	78	83	0.8F20%SPR
0.28	61	70	79	88	97	106	115	124	133	
0.30	62	71	80	89	98	107	116	125	135	
0.35	63	72	82	91	100	109	119	128	137	F20%SPR
0.50	62	72	81	90	99	108	118	127	136	
0.70	58	67	75	84	92	101	109	118	127	Fcurrent
0.89	54	61	69	77	85	93	101	109	117	
0.90	53	61	69	77	85	93	101	108	116	
1.10	49	56	64	71	78	85	92	100	107	
1.30	45	52	59	65	72	79	86	92	99	
1.50	42	48	55	61	67	73	80	86	92	