

平成 28 (2016) 年度トラフグ伊勢・三河湾系群の資源評価

責任担当水研：中央水産研究所（鈴木重則、山本敏博、黒木洋明、市野川桃子）

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 1993～1998 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 860 トンとピークに達した。しかし、その後は再び急減し 2006～2009 年漁期は 300～400 トンで推移した。2010 年漁期からは低位水準が続き、2011～2013 年漁期の資源量は 200 トンを割り込んだ。2014 年漁期からは 200 トン以上に回復し、2015 年漁期の資源量は 269 トンとなった。2015 年漁期の資源水準は過去最大となった 860 トンの 1/3 以下であり低位、最近 5 年間の資源量の推移から、資源動向は増加と判断した。

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する。毎年の加入尾数は数万尾から百万尾の範囲で大きく変動し、親魚量との再生産関係は不明瞭である。本種は栽培漁業対象系群で 1980 年代から大規模な人工種苗放流が行われている。2015 年漁期の放流尾数は 71 万尾、放流魚の混入率は 46%、添加効率は 0.044 であった。

2017 年漁期 ABC の算定については規則 1-3)-(3)を用い、Flimit を F20%SPR ($\beta=1$) とし、最近 5 年間における平均的な加入（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 58 トンを ABC の上限値 (ABClimit) とした。

管理基準	Target/ Limit	F 値	漁獲割合 (%)	2017 年漁期 ABC (トン)	Blimit=—
					親魚量 5 年後 (トン)
F20%SPR	Target	0.27	27	48	225
	Limit	0.34	32	58	180

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、F 値は各年齢の単純平均値、Fcurrent は 2013～2015 年漁期の F の平均値、漁獲割合は 2017 年漁期 ABC/資源量 (2017 年 10 月時点) である。2016 年漁期の親魚量 82 トン。

漁期年	資源量 (トン)	親魚量 (トン)	漁獲量 (トン)	F 値	漁獲割合 (%)
2012	144	67	82	0.66	56
2013	156	56	67	0.46	43
2014	251	62	123	0.56	49
2015	269	89	170	0.89	63
2016	160	82	—	—	—

漁期年は4月～翌年3月である。

2016年漁期の資源量および親魚量は予測値である。

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：増加

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・年別漁獲尾数	月別漁業種類別漁獲量調査(静岡県、愛知県、三重県) 月別全長組成調査(静岡県、愛知県、三重県) ・市場測定 全長一年齢分解(静岡県、愛知県、三重県) ・市場測定
資源量指数 ・1歳魚資源量指数 ・0歳魚資源量指数	ふぐはえ縄漁業努力量調査(10月～翌年2月、静岡県、愛知県、三重県)* 小型機船底びき網漁業漁獲尾数調査(11月～翌年3月、愛知県)
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、水研、(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) (三重県、愛知県、静岡県ほか 2006)
自然死亡係数(M)	年当たり $M=0.25$ を仮定 ※2013年度評価より 0.4 から 0.25 へ修正

*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）。寿命は6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2mm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及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1.2～1.4mm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3mmでふ化した仔魚は、潮流により伊勢湾内及び三河湾内に輸送され、全長10mm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）。碎波帯において全長30mm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60mm前後に達した稚魚は、伊勢湾内及び三河湾内の水

深 10m 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）及びまき網漁業（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、三河湾及び渥美半島外海の 3 海域に大別される。

4～5 月に産まれた 0 歳魚は、その年の秋季には伊勢湾及び三河湾で操業する愛知県及び三重県の小型機船底びき網により漁獲される（図 4）。0 歳の冬季以降には渥美半島外海で操業する愛知県の小型機船底びき網で漁獲されるようになる。その後、1 歳の秋季には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、愛知県及び三重県のふぐはえ縄漁業の漁獲対象となる（図 5）。

小型機船底びき網漁業、ふぐはえ縄漁業、まき網漁業による年齢別漁獲尾数、漁獲量を図 6～9 に示す。

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 25cm 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、伊勢湾及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（700g 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繁殖期に、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 10）。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。2003 年級群及び 2004 年級群の加入が少なかったため、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 年級群の加入がやや回復傾向を示すとともに 2006 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。2011～2013 年漁期には 100 トンを下回る不漁が

続いたが、2014年漁期から増加に転じ、2015年漁期の漁獲量は170トンとなった。

(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、三重県伊勢湾漁業協同組合有滝支所の2001～2015年漁期における延べ操業隻日、漁獲量及びCPUE（漁獲量/操業隻日）を表1に示す。当該漁業の延べ操業隻日（昼間操業と夜間操業の合計）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、翌年の2002年漁期以降は2トン以下に減少している。なお、2015年漁期における当該漁業の延べ操業隻日は291隻日、漁獲量は0.4トンであった。

ふぐはえ縄漁業の漁獲努力量（延べ出漁隻日）は、2000年漁期の12千隻日をピークに減少傾向が続いている（表2）。特に近年の魚価安傾向を反映して、2011年漁期以降は4千隻日を下回っており、2015年漁期の漁獲努力量は2,993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歳魚及び3歳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）。データとして1993～2015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。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及び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。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（Fave2013-2015）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

本系群の資源量指標値の候補となる漁獲尾数、資源尾数、努力量の推移を表2に示す。本系群は主に小型機船底びき網漁業及びふぐはえ縄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①0歳魚の漁獲尾数を指標として、翌年の1歳魚の漁獲尾数を予測している。

ふぐはえ縄漁業はトラフグを選択的に漁獲し、その出漁動向はトラフグ消費需要の増減及び魚価の変動等の社会経済的要因にも強く影響を受ける。また、着業船の数が減少するに従って好漁場を利用できる着業船の割合が高まること、漁期末には他の漁業種類へ転向する着業船が増加することなどから、CPUE（釣獲尾数/隻日）が資源豊度を直接反映していない。ふぐはえ縄漁業の県別CPUEの平均値及び範囲は、②静岡県で8.8（2.7～19.6）、③愛知県で25.0（4.3～88.1）、④三重県で37.1（6.7～124.3）であり、いずれの県の値も大きな年変動を示した。また、静岡県のCPUEは愛知県の1/3、三重県の1/4程度と低かった。こ

れは主要港から主漁場までの距離が静岡県では近く、愛知県及び三重県では遠いことから、静岡県では出漁日数が多く、愛知県及び三重県では出漁日数を控える傾向にあるためである。

2015年漁期におけるふぐはえ縄漁業CPUEの特徴として、例年ではCPUEの低下する漁期後半（1～2月）においても高い値を維持していたことが挙げられる。この背景として、2015～2016年にかけての冬季気温が平年に比べて高かったことにより、ふぐはえ縄漁業の主漁場である伊勢湾口沖の沿岸海水温も例年よりも2～4℃高く推移したことが影響したと考えられる。その結果、トラフグの活性が高く釣獲されやすい状態が長く続いたこと及び、沿岸海水温の低下に伴うトラフグの沖合への移動が抑制され、主漁場と重なる沿岸域にとどまる個体が多かったことなどが高いCPUEにつながったと推測されるが、この原因については調査が必要である。

一方、昨年度からはDeLury法により推定した1歳魚資源量指数をVPAのチューニングに利用している。2015年漁期の1歳魚資源量指数（122,927 2014年級群に対応）は、2010年漁期以降では最も高い値となったが、1995年漁期からの21年間においては、ほぼ平均的な値であった（補足資料2）。本指数が、対応する年級群の大きさを反映しているとすれば、2009年級群以降に豊度の高い年級群は発生していないと推察される。

(3) 漁獲物の年齢組成

漁期年別の漁獲物の年齢組成を図 10、補足表 2-1、2-2 に示す。2015 年漁期の年齢組成は、0 歳魚が約 2 万尾（13%）、1 歳魚が約 10 万尾（63%）、2 歳魚が約 2.7 万尾（17%）、3 歳魚以上が約 1 万尾（7%）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、2006 年漁期に限って 0 歳魚の漁獲尾数が 10 万尾を超えたが、それ以外の漁期年では 0 歳魚の漁獲尾数は 10 万尾以下に抑えられている。

(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 11、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 860 トンとピークに達した。しかし、その後は再び急減し 2006～2009 年漁期は 300～400 トンで推移した。2010 年漁期からは低位水準が続き、2011～2013 年漁期の資源量は 200 トンを割り込んだ。2014 年漁期からは 200 トン以上に回復し、2015 年漁期の資源量は 269 トンとなった。漁獲割合は変動しながらも経年的に減少する傾向にある（図 12）。2015 年漁期の漁獲割合は 63%と推定された。

年齢別漁獲係数の推移を図 13、補足表 2-1、2-2 に示す。なお、3 歳魚以上の漁獲係数は 2 歳魚と等しいと仮定した。ほぼ全ての漁期年で 1 歳魚に対する漁獲係数が最も高く、0 歳魚に対する漁獲係数が最も低かった。2 歳魚及び 3 歳魚以上に対する漁獲係数は、0 歳魚と 1 歳魚の中間的な値で変動した。1993～2015 年漁期の 23 年間の平均値は 0 歳魚では 0.38、1 歳魚では 1.34、2 歳魚及び 3 歳魚以上では 0.90 であった。漁獲係数は変動しながらも減少する傾向にあるが、依然として高い値で推移している。

自然死亡係数（M）は 2013 年度評価より年当たり 0.25 を仮定している。M を 0.10、0.40 及び 0.55 に変化させた場合の資源量を図 14 に示す。1993～2015 年漁期の 23 年間における

資源量の $M=0.25$ に対する比の平均は、 $M=0.10$ では 0.92 倍、 $M=0.40$ では 1.11 倍、 $M=0.55$ では 1.27 倍となった。また、2015 年漁期の資源量は $M=0.25$ の 269 トンに対して、 $M=0.10$ では 265 トン (0.99 倍)、 $M=0.40$ では 274 トン (1.02 倍)、 $M=0.55$ では 283 トン (1.05 倍) と推定された。自然死亡係数 (M) の変化が直近年(2015 年漁期)の資源量推定結果に与える影響は小さかった。

2015 年度評価よりコホート解析による資源量の推定に、本種系群に対する近年の漁獲努力量の変化を考慮するため、1 歳魚資源量指数によるチューニングを加えた。チューニングの有無による資源量の推定結果を比較すると、チューニングを行わない場合の 2015 年漁期の資源量は 426 トンとなり、チューニングを行った場合と比較して 1.6 倍大きく推定された (図 15)。前述の通り 2015 年漁期の漁獲量増加の背景には、ふぐはえ縄漁業に好適な海洋環境が続いたことが影響したと推察されており、通常の漁期年よりも漁獲割合が高まった可能性が強い。資源量指標値の推定から副次的に求まる漁具能率については、特に近年において高い値で推移していることから、操業の効率が向上していると考えられる (図 16)。以上から、2015 年漁期の資源量は漁獲量の増加ほど大きく増加していないと結論される。

(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。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 (補足表 3-1)。

親魚量 (天然+放流) と加入尾数 (10 月の 0 歳魚資源尾数) との関係を図 17 に示す。過去 23 年間に於いて親魚量は 29~175 トン、加入尾数は 6~112 万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、2009~2015 年級群の加入尾数は、資源量が推定されている過去 23 年間の加入尾数の平均値 (28 万尾) よりも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 18 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及び三河湾内へ輸送され、全長 10mm 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碎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) 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 23 年間に於いて最大となった 2002 年漁期の 860 トンを基準に、0～860 トンを三等分し、上位から高位、中位、低位とした。2015 年漁期の資源量は 269 トンと推定され、低位の水準に区分された（図 11）。また、動向は最近 5 年間（2011～2015 年漁期）の資源量の推移から増加と判断した。

(8) 資源と漁獲の関係

図 19 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 及び SPR を示す。F を変化させた場合の YPR は、漁獲係数が 0.35 で 670g/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の平均値（ $F_{ave1993-2001}$ ）における SPR は 2.0%であり、加入資源の管理並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（2002～2015 年漁期）の年齢別漁獲係数等により計算された YPR 及び SPR を図 19 右に示す。YPR 及び SPR を資源回復計画導入以前の値と比較すると、YPR は 505g/尾から 648g/尾へと 28%増加、SPR は 2.0%から 4.8%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（ $F_{ave2002-2015}=0.76$ ）でも YPR が最大となる漁獲係数（ $F_{max}=0.39$ ）を超過していることから成長乱獲状態にあると判断される。

(9) 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 2001 年漁期以降では 0.05 程度で推移し、年間 3 万尾前後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 3）。放流魚の混入率は天然魚の加入量の多少によって 2～46%の範囲で大きく変動していた。2015 年漁期の放流魚の混入率は 46%、添加効率は 0.044 と推定された。近年の混入率は変動しながらも高い状態が続いている一方で、近年の再生産成功率（RPS）は低い状態が続いている。このため、天然魚の加入状態が好転し資源量が回復するまでは、現在の種苗放流を継続する必要がある。

5. 2017 年 ABC の算定

(1) 資源評価のまとめ

2015 年漁期の資源量は 269 トンと推定されたことから、資源の水準は低位、動向は増加と判断した。2009 年級群以降の加入尾数は、過去 23 年間の平均値よりも少ない状態が続いている。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

本系群では、資源量は推定されているが再生産関係は不明瞭である。本年度は資源水準を

低位、動向を増加と判断したことから、ABC 算定規則 1-3)-(3)を適用して、以下の式により 2017 年漁期 ABC を算定した。

$$Flimit = F20\%SPR \times \beta^2$$

$$Ftarget = Flimit \times \alpha$$

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保障されていることから $\beta^2=1$ とした。 α は安全率であり、標準値の0.8 を用いた。

5 年後（2021 年漁期）の親魚量を 100 トン以上に回復させることを管理目標とした場合の 2017 年漁期 ABC を算定した。将来予測における加入量は、最近 5 年間（2011～2015 年漁期）の平均的な加入が続くと仮定した。

ABC 管理基準の下での親魚量は、いずれの F 値でも 2017 年漁期には 70 トンまで減少するが、その後は増加に転じ 2021 年漁期には Ftarget では 225 トン、Flimit では 180 トンに回復すると予測された（図 20）。

管理基準	Target/ Limit	F 値	漁獲割合 (%)	2017 年漁期 ABC (トン)
F20%SPR	Target	0.27	27	48
	Limit	0.34	32	58

- ・ 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。Ftarget= α Flimit 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 2017 年漁期 ABC/資源量（2017 年 10 月時点）である。

(3) ABC の評価

図 20 及び下表に ABCtarget（ $0.8F20\%SPR = 0.27$ 、 $0.41F_{current}$ に相当）、ABClimit（ $F20\%SPR = 0.34$ 、 $0.54F_{current}$ に相当）及び Fcurrent（ $F_{ave2013-2015} = 0.64$ 、 $F7\%SPR$ に相当）で管理した場合の親魚量、資源量及び漁獲量の動向予測を示す。5 年後となる 2021 年漁期の親魚量は、ABCtarget では 225 トン、ABClimit では 180 トンと推定され、従来から採用している管理基準（F20%SPR）により親魚量は回復すると予測された。

管理基準	ABC	F 値 (F _{current} との比較)	%SPR	親魚量 (トン)						
				2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
親魚量の回復 0.8F20%SPR	Target	0.27(0.41)	27	89	82	70	92	154	199	225
親魚量の回復 F20%SPR	Limit	0.34(0.54)	20	89	82	70	85	132	163	180
漁獲圧の維持 F _{current}		0.64(1.00)	7	89	82	70	59	68	72	73

管理基準	ABC	F 値 (F _{current} との比較)	%SPR	資源量 (トン)						
				2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
親魚量の回復 0.8F20%SPR	Target	0.27(0.41)	27	269	160	178	239	300	339	362
親魚量の回復 F20%SPR	Limit	0.34(0.54)	20	269	160	178	227	272	300	315
漁獲圧の維持 F _{current}		0.64(1.00)	7	269	160	178	182	190	193	194

管理基準	ABC	F 値 (F _{current} との比較)	%SPR	漁獲量 (トン)						
				2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
親魚量の回復 0.8F20%SPR	Target	0.27(0.41)	27	170	78	48	65	80	91	97
親魚量の回復 F20%SPR	Limit	0.34(0.54)	20	170	78	58	74	88	97	101
漁獲圧の維持 F _{current}		0.64(1.00)	7	170	78	91	93	97	98	99

(4) ABC の再評価

データの更新により再評価された資源量及び ABC の値を以下の表に示す。過去の漁獲尾数について見直し一部修正を加えた。2015 年 4 月から 2016 年 3 月までの年齢別漁獲尾数のデータを新たに加えて再計算した。2014 年度より資源量指数によるチューニングを加えた。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
2015年漁期の年齢別漁獲尾数	2015年漁期までの年齢別資源尾数、漁獲係数
資源量指数 ・1歳魚資源量指数	1995～2015年漁期のふぐはえ縄漁業努力量（静岡県、愛知県、三重県）

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)
2015年漁期 (当初)	F20%SPR	0.35	128	41	35	
2015年漁期 (2015年再評価)	F20%SPR	0.34	123	39	32	
2015年漁期 (2016年再評価)	F20%SPR	0.34	269	92	76	170
2016年漁期 (当初)	F20%SPR	0.34	126	40	33	
2016年漁期 (2016年再評価)	F20%SPR	0.34	160	48	40	

2015年漁期および2016年漁期の資源量およびABCは、2015年評価および当初評価に比べていずれも上方修正された。これは2014年級群の加入量が当初の見積もりよりも多かったことが主因である。また、2015年漁期の漁獲量は2016年再評価のABCと比較して約2倍と大きかった。2015年漁期の漁獲量増加の背景には、ふぐはえ縄漁業に好適な海洋環境が続いたことが影響したと推察され、通常の漁期年よりも漁獲割合が高まった可能性が強い。

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25cm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。そこで、漁獲努力量（F）および種苗放流尾数の調整を2017年漁期から組み合わせて実施した場合に、5年後の2021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4）。その結果、5年後の漁獲量は、F=0.5とした時に増減幅が最大となり、放流尾数を増加させることによる漁獲量の増加効果が大きかった。なお、漁獲努力量を本評価で提案するABClimit（F20%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。放流尾数が50万尾以下の条件では、漁獲係数を調整することのみでは5年後の漁獲量を100トン以上の水準に維持することは難しいと考えられた。一方、5年後の資源量は、放流尾数の調整よりも漁獲係数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ABClimit（F20%SPR）

または ABCtarget (0.8F20%SPR) とした場合には、5年後の資源量が 200 トン以下の水準に落ち込む危険性は低いと考えられた。トラフグ食材の安定的な供給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維持することが、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、天然魚の加入状態が好転し資源量が回復するまでは、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(1), 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(2), 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, pp.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(2), 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 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(2), 221-229.
- 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, pp.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.
- 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

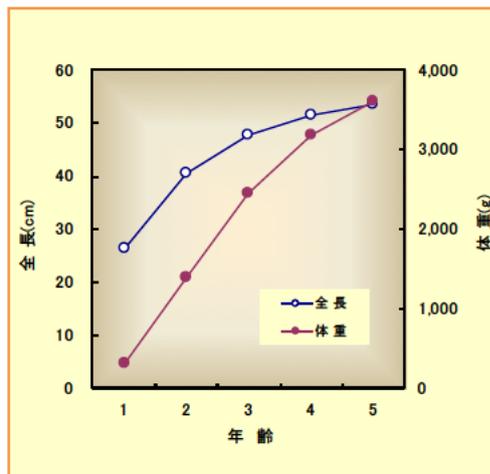


図2. 年齢と成長

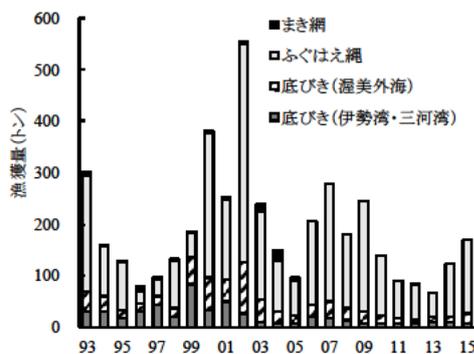
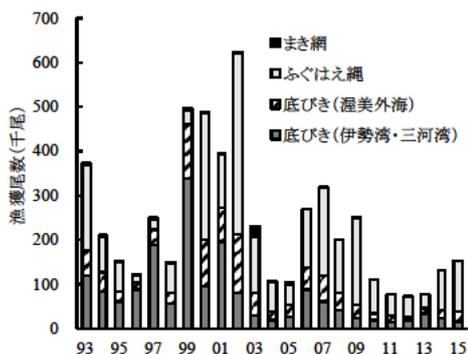


図3. 漁業種類別漁獲尾数(左)及び漁獲量(右)の推移

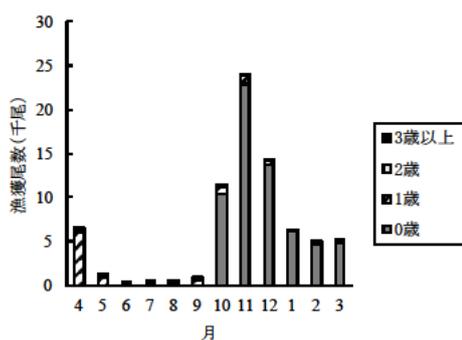


図4. 小型機船底びき網漁業(伊勢湾・三河湾)による月別年齢別漁獲尾数の推移(1993~2015年漁期の平均値で示す)

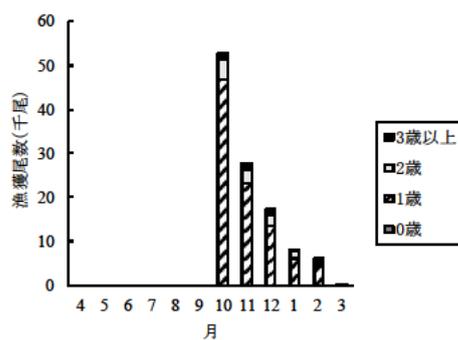


図5. ふぐはえ縄漁業による月別年齢別漁獲尾数の推移(1993~2015年漁期の平均値で示す)

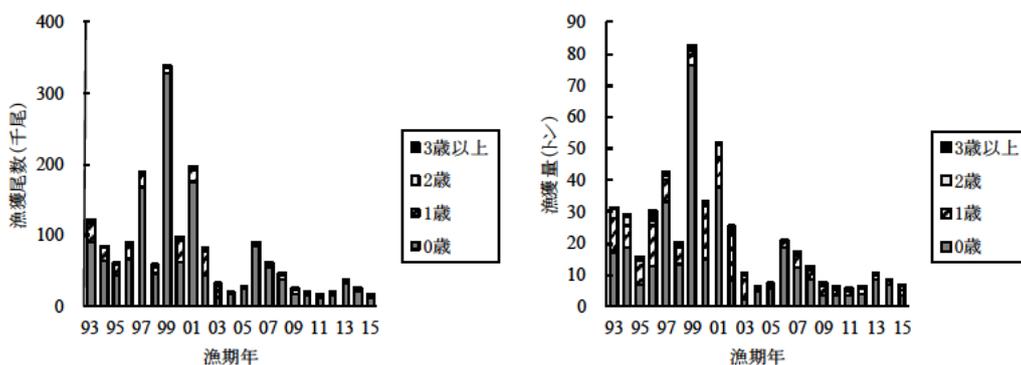


図 6. 小型機船底びき網漁業（伊勢湾・三河湾）による年齢別漁獲尾数（左）及び年齢別漁獲量（右）の推移

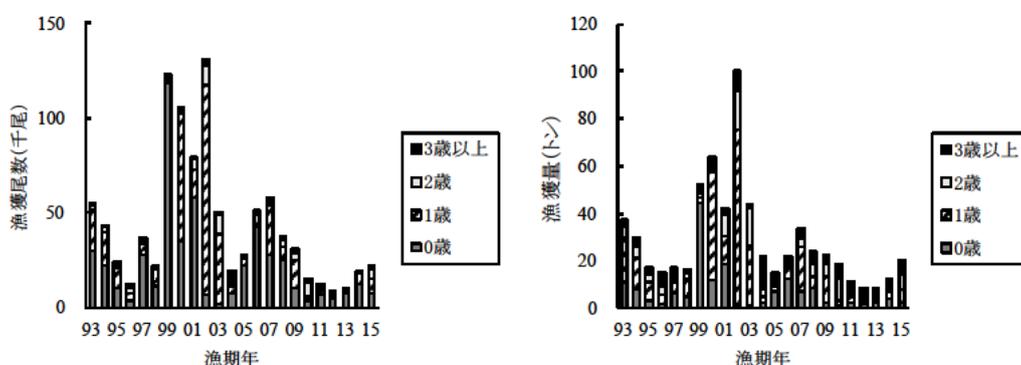


図 7. 小型機船底びき網漁業（渥美外海）による年齢別漁獲尾数（左）及び年齢別漁獲量（右）の推移

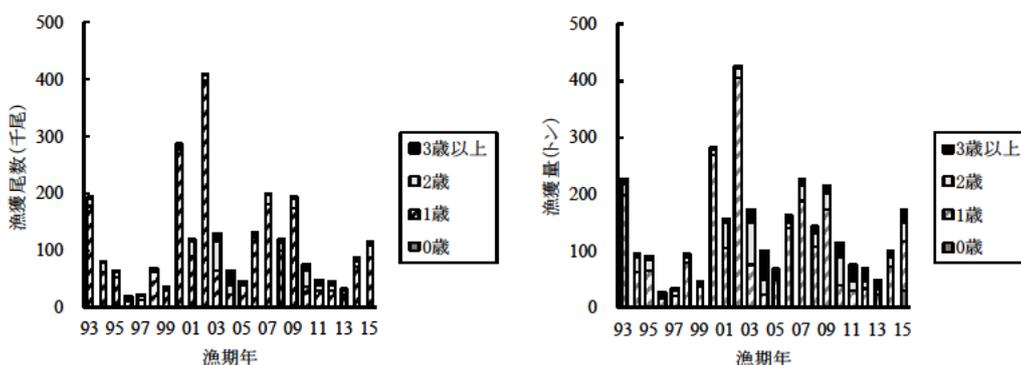


図 8. ふぐはえ縄漁業による年齢別漁獲尾数（左）及び年齢別漁獲量（右）の推移

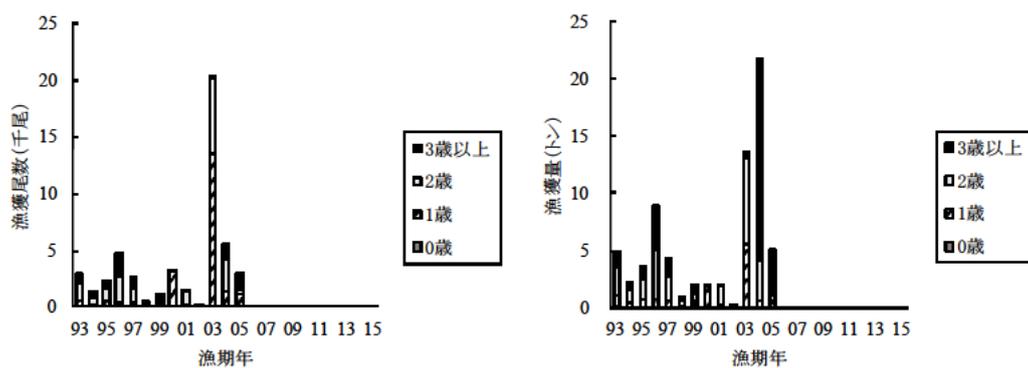


図9. まき網漁業による年齢別漁獲尾数（左）及び年齢別漁獲量（右）の推移
2006年漁期以降は産卵親魚の漁獲は自主規制されている。

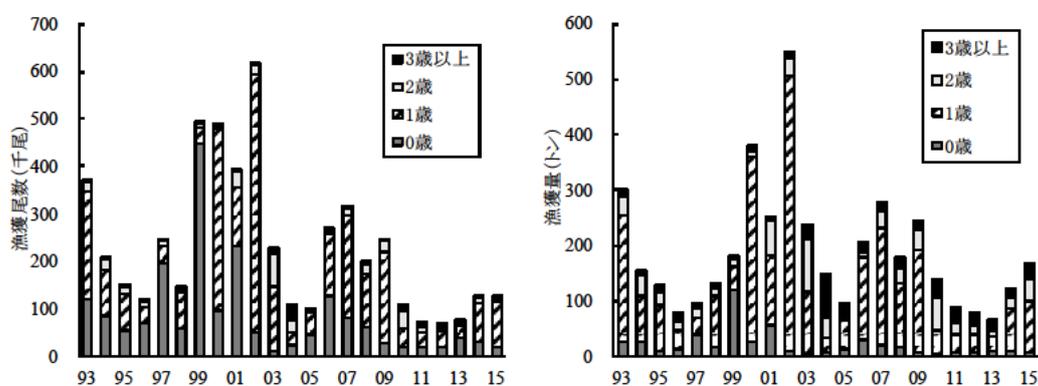


図10. 年齢別漁獲尾数（左）及び年齢別漁獲量（右）の推移

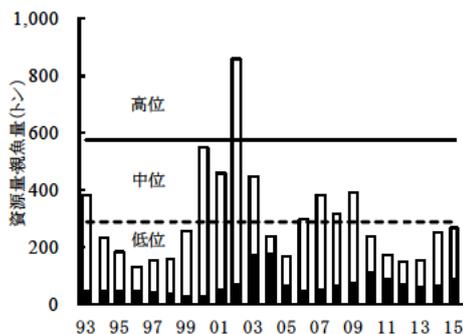


図11. 資源量及び親魚量の推移
資源量（□）は10月時点
親魚量（■）は4月時点

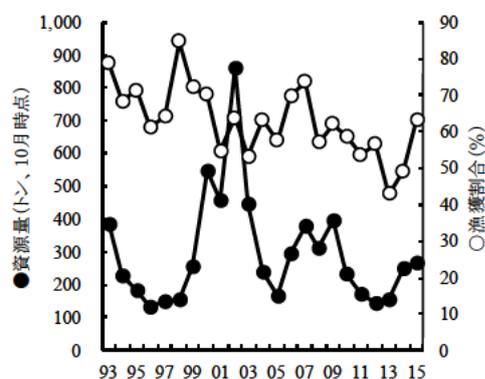


図12. 資源量と漁獲割合の推移

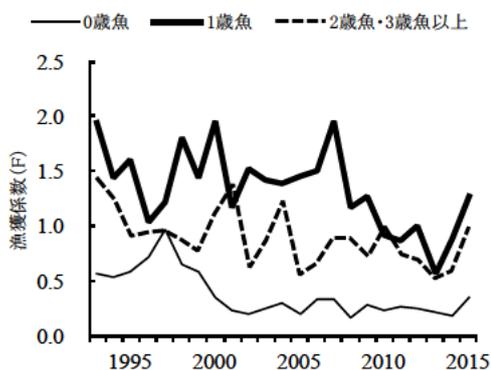


図 13. 年齢別漁獲係数

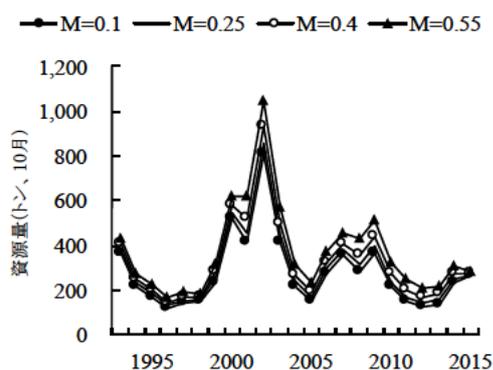


図 14. 異なる M の条件下における資源量本評価の仮定値は M=0.25。

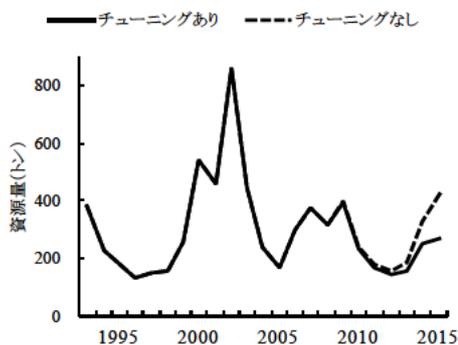


図 15. 資源量推定結果の比較

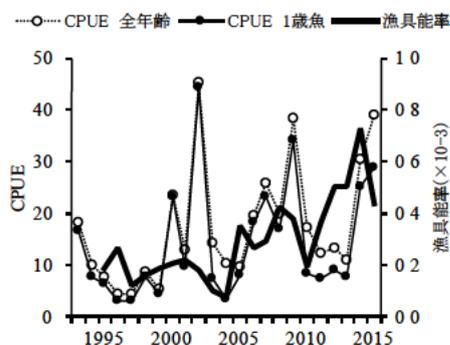


図 16. ふぐはえ縄漁業の CPUE および漁具能率

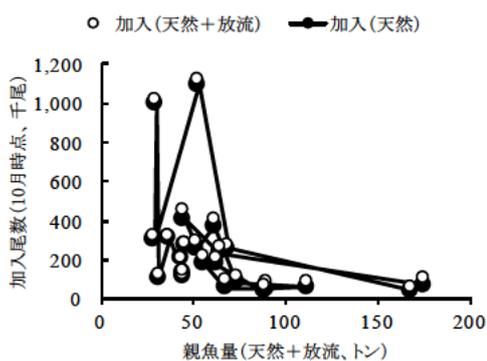


図 17. 再生産関係 (1993~2015 年漁期)

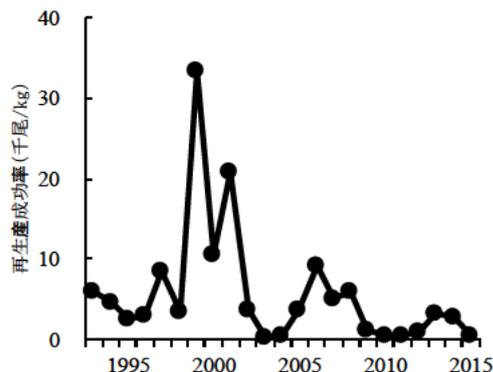


図 18. 再生産成功率 (RPS) の推移
RPS=天然魚加入尾数/親魚量 (天然+放流)。

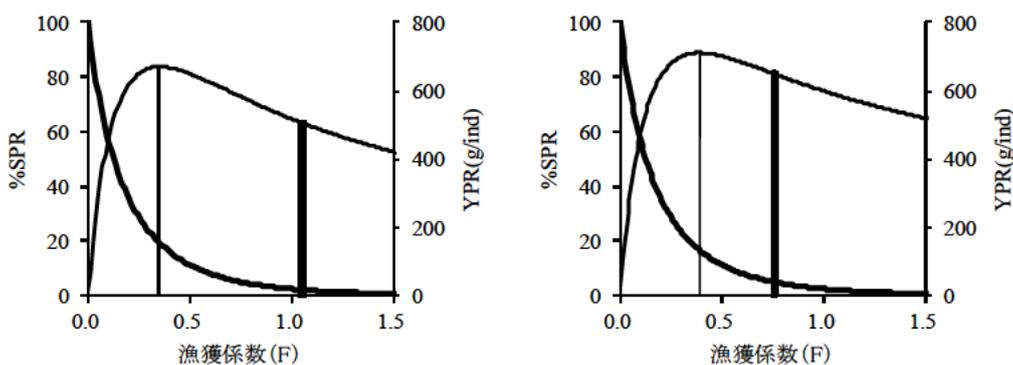


図 19. 資源回復計画実施以前（左、1993～2001 年漁期）及び以降（右、2002～2015 年漁期）の YPR と SPR

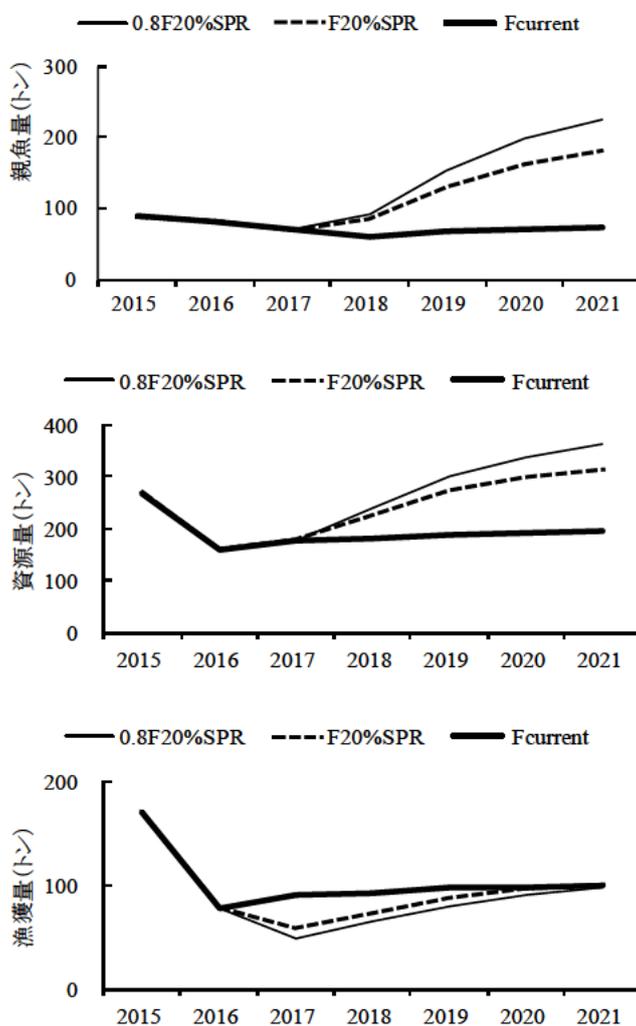


図 20. 異なる F の条件下における親魚量（上）、資源量（中）、漁獲量（下）の動向予測
 加入量は 2011～2015 年漁期の 5 年間の平均値を仮定。

表 1. 三重県伊勢湾漁業協同組合有滝支所における小型機船底びき網の操業隻日、0歳魚漁獲量および CPUE

漁期年	操業月	昼間操業			夜間操業			合 計		
		操業隻日 (隻日)	漁獲量 (kg)	CPUE (kg/隻日)	操業隻日 (隻日)	漁獲量 (kg)	CPUE (kg/隻日)	操業隻日 (隻日)	漁獲量 (kg)	CPUE (kg/隻日)
2001	10~ 翌年2月	522	6,744	12.92	599	1,948	3.25	1,121	8,692	7.75
2002	11~ 翌年1月	264	810	3.07	341	242	0.71	605	1,052	1.74
2003	11~ 翌年2月	200	88	0.44	263	47	0.18	463	135	0.29
2004	11~ 翌年3月	313	381	1.22	420	346	0.82	733	727	0.99
2005	10~ 翌年3月	322	397	1.23	340	85	0.25	662	482	0.73
2006	10~ 翌年3月	413	1,223	2.96	467	301	0.64	880	1,524	1.73
2007	10~ 翌年3月	160	300	1.88	236	1,255	5.32	396	1,555	3.93
2008	10~ 翌年3月	204	511	2.50	284	423	1.49	488	934	1.91
2009	10~ 翌年3月	130	137	1.05	254	184	0.72	384	321	0.84
2010	10~ 翌年3月	79	106	1.34	87	49	0.56	166	155	0.93
2011	10~ 翌年3月	86	108	1.26	109	81	0.74	195	189	0.97
2012	10~ 翌年3月	177	246	1.39	55	33	0.60	232	279	1.20
2013	10~ 翌年3月	221	424	1.92	88	106	1.20	309	530	1.72
2014	10~ 翌年4月	158	287	1.82	173	257	1.49	331	544	1.64
2015	10~ 翌年4月	199	277	1.39	92	84	0.91	291	361	1.24

表 2. 資源量指標値の候補となる漁獲尾数、初期資源量、努力量

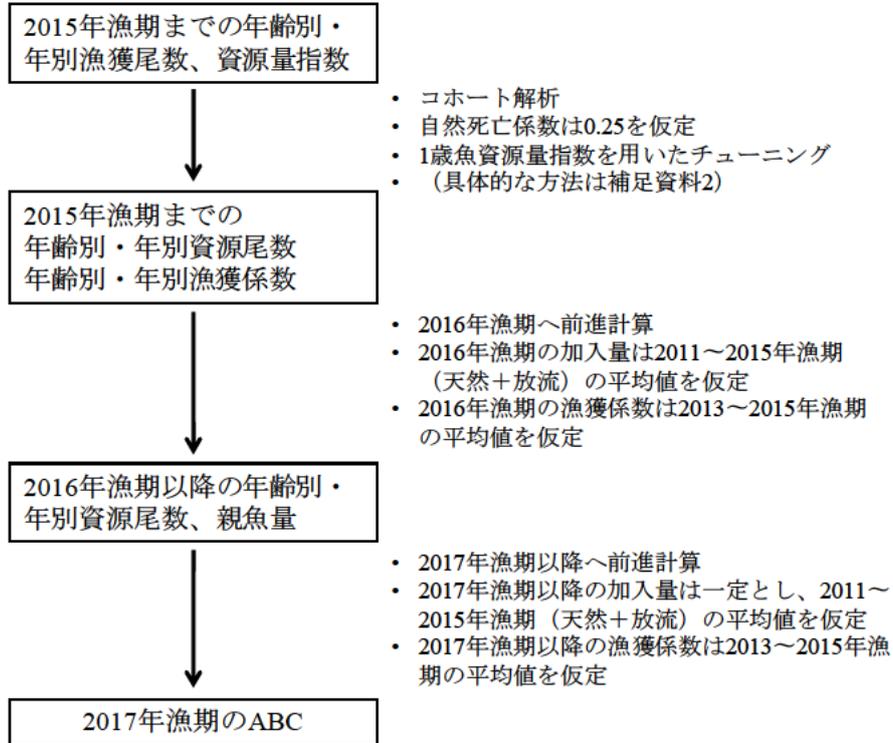
指標	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
単位	漁獲尾数 ^{*1} (千尾)	CPUE (尾/隻日)	CPUE (尾/隻日)	CPUE (尾/隻日)	CPUE (尾/隻日)	CPUE (尾/隻日)	CPUE (尾/隻日)
漁法	小底(外海)	はえ縄	はえ縄	はえ縄	はえ縄	はえ縄	はえ縄
対象年齢	0	1,2,3+	1,2,3+	1,2,3+	1	2,3+	1,2,3+
対象県	愛知県	静岡県	愛知県	三重県	全県	全県	全県
1993	29.9	10.2	28.8	-	-	-	-
1994	22.1	8.6	12.9	-	-	-	-
1995	10.3	5.8	9.0	11.2	6.3	1.6	7.9
1996	3.9	2.7	4.5	7.6	3.0	1.3	4.3
1997	28.3	3.4	4.3	7.3	3.0	1.5	4.6
1998	12.0	5.7	10.2	18.3	7.8	0.9	8.8
1999	118.1	5.0	5.2	6.7	4.5	0.9	5.4
2000	35.2	14.0	38.7	45.3	23.1	0.6	23.7
2001	57.8	8.6	22.0	21.1	9.8	3.2	13.0
2002	6.7	18.8	88.1	124.3	44.3	1.0	45.4
2003	2.1	6.3	20.5	40.2	7.4	7.0	14.4
2004	8.1	7.7	9.6	18.5	3.5	6.8	10.2
2005	22.2	4.2	8.8	21.9	8.2	1.4	9.6
2006	42.7	8.2	23.5	56.2	18.4	1.3	19.7
2007	27.9	13.6	41.5	50.6	23.4	2.4	25.7
2008	25.6	11.2	30.0	37.0	17.1	2.9	20.0
2009	10.7	19.6	54.1	77.1	33.9	4.3	38.2
2010	3.3	9.2	24.8	36.1	8.2	9.0	17.2
2011	6.7	5.5	16.1	20.3	7.3	5.1	12.4
2012	5.2	4.9	18.8	24.0	8.9	4.4	13.3
2013	7.9	4.5	13.4	20.2	7.8	3.3	11.1
2014	12.5	10.6	34.7	54.9	25.3	5.2	30.5
2015	7.8	13.3	56.0	80.4	29.0	10.1	39.1
平均	22.0	8.8	25.0	37.1	14.3	3.5	17.8

*1 渥美半島外海で操業する愛知県の小型機船底びき網漁業による0歳魚の漁獲尾数。

指標	⑧	⑨	⑩	⑪	⑫
単位	初期資源量 ^{*2} (尾)	初期資源量 ^{*2} (尾)	初期資源量 ^{*2} (尾)	初期資源量 ^{*2} (尾)	努力量 (隻日)
漁法	はえ縄	はえ縄	はえ縄	はえ縄	はえ縄
対象年齢	1	2	2,3+	1,2,3+	1,2,3+
対象県	全県	全県	全県	全県	全県
1993	-	-	-	-	-
1994	-	-	-	-	-
1995	66,486	13,309	24,514	87,886	8,000
1996	18,033	9,988	28,155	31,563	3,625
1997	33,037	6,441	8,633	39,577	4,651
1998	88,006	7,707	16,942	102,464	7,795
1999	41,457	8,767	17,193	54,715	6,188
2000	320,691	8,373	24,945	330,583	12,074
2001	105,897	46,437	52,742	149,577	9,122
2002	500,382	-14,326	-10,859	521,290	8,985
2003	111,666	62,859	123,625	232,935	8,862
2004	58,381	-21,365	-30,055	-136,680	6,220
2005	48,851	-3,202	-6,176	65,672	4,735
2006	152,122	-27,904	-102,430	168,851	6,648
2007	205,709	17,191	24,193	228,621	7,779
2008	114,997	13,760	22,688	136,495	5,943
2009	206,649	28,018	44,626	240,443	5,096
2010	67,773	40,460	57,854	123,909	4,350
2011	38,870	-242,804	56,921	79,874	3,834
2012	38,093	20,671	-113,699	74,834	3,329
2013	30,132	19,840	1,287,792	54,810	2,854
2014	85,197	12,097	25,668	108,859	2,839
2015	122,927	-230,168	-351,901	202,528	2,993
平均	116,922	-10,660	57,208	138,038	5,996

*2 ふぐはえ縄漁業による月別延べ出漁隻日及び月別漁獲尾数からDeLury法により推定された初期資源尾数。

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。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。本種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及び1歳魚漁獲尾数を用いて算出した資源量指数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データが揃っている 1995～2015 年漁期とした。

チューニングでは、1歳魚資源尾数が資源量指数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0歳魚及び1歳魚の選択率に最近年最高齢の F を乗じて最近年の0歳魚及び1歳魚の漁獲係数とした。最近年の2歳の漁獲係数は最高齢（3+歳）の値と等しいと仮定した。なお、最近年（2015年漁期）の選択率は2012～2014年漁期の3年間の選択率の平均値とした。

具体的な計算は以下のとおりである。

(1) 資源量の推定

0歳魚及び1歳魚の資源尾数は

$$N_{a,y} = N_{a+1,y+1} \exp(M) + C_{a,y} \exp(M/2)$$

2歳魚の資源尾数は

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

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 年における a 歳魚の資源尾数、 $C_{a,y}$ は y 年における a 歳魚の漁獲尾数とし、 a 歳、 y 年の F は

$$F_{a,y} = -\ln \left(1 - \frac{C_{a,y} \exp(M/2)}{N_{a,y}} \right)$$

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。

$$\sum_{y=1995}^{2015} (\ln(DELURY_{1,y}) - \ln(qN_{1,y}))^2$$

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及び月別1歳魚漁獲尾数からDeLury法第2モデルにより推定された1歳魚初期資源尾数 ($DELURY_{1,y}$) である。 $N_{1,y}$ はVPAにより推定された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

$$\hat{q} = \exp\left(\frac{1}{n} \sum_{y=1995}^{2015} \ln(DELURY_{1,y} / N_{1,y})\right)$$

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、その選択率は2012~2014年漁期の3年間の選択率の平均値に等しいとし、

$$S_{a,2015} = 1/3(S_{a,2012} + S_{a,2013} + S_{a,2014})$$

とした。

最近年の資源尾数は、

$$N_{a,2015} = C_{a,2015} \exp(M/2) / (1 - \exp(-F_{a,2015}))$$

により求めた。

資源尾数から資源量への換算及び、親魚量 (SSB) の推定には下表の値を用いた。

年 齢 月*	0歳		1歳		2歳		3歳以上		
	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	100
	♀	0	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。

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 歳魚資源量指数を補足図 2-1.に示した。

漁期年	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
1歳魚初期 資源尾数	66,486	18,033	33,037	88,006	41,457	320,691	105,897	500,382	111,666	58,381	48,851

漁期年	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1歳魚初期 資源尾数	152,122	205,709	114,997	206,649	67,773	38,870	38,093	30,132	85,197	122,927

(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 年間の平均値 (2013~2015 年漁期、 $F_{ave3-yr}$) 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 (2011~2015 年漁期) の 0 歳魚資源尾数の平均値 (4 月、151,622 尾 天然+放流) とした。

$$N_{0,z} = 1/5 \sum_{y=2011}^{2015} N_{0,y} \quad (z = 2016 \sim 2021)$$

1 歳魚及び 2 歳魚の資源尾数は以下の式により前進法で求めた。

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

3+歳魚の資源尾数は以下の式により前進法で求めた。

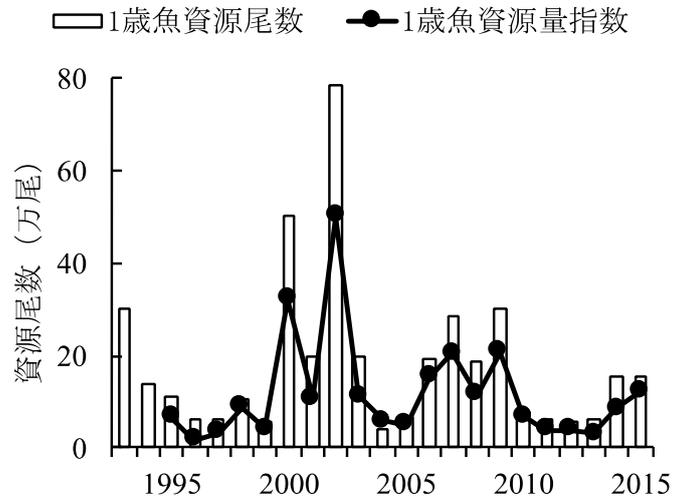
$$N_{3+,z} = N_{2,z-1} \exp(-M) - C_{2,z-1} \exp(-M/2) + N_{3+,z-1} \exp(-M) - C_{3+,z-1} \exp(-M/2)$$

各年齢の漁獲尾数は以下の式で求めた。

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

引用文献

- 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). 社団法人日本水産資源保護協会, 東京. pp 73-90.



補足図 2-1. チューニング VPA で推定した 1 歳魚資源尾数と 1 歳魚資源量指数の関係 1 歳魚資源量指数は全ての参画県のデータが揃っている 1995～2015 年漁期について計算した。

補足表 2-1. 資源解析結果 (1993~2003 年漁期)

年齢別漁獲尾数 (尾)											
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
0歳	120,295	86,732	54,526	71,179	196,085	56,886	446,641	95,918	232,367	51,391	13,319
1歳	227,223	95,049	77,554	34,449	37,321	79,029	37,174	382,089	121,348	542,826	133,257
2歳	18,513	21,326	13,608	9,320	9,044	7,109	6,524	5,993	36,604	19,775	68,848
3歳以上	6,055	4,281	4,780	5,970	4,672	3,828	3,329	4,381	2,980	4,801	13,068
計	372,086	207,389	150,468	120,918	247,123	146,852	493,668	488,382	393,299	618,793	228,492
年齢別漁獲量 (kg)											
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
0歳	28,337	26,421	10,247	14,388	39,216	18,349	120,752	26,974	56,492	9,140	3,059
1歳	227,544	84,218	82,357	33,271	31,200	91,583	42,761	333,754	126,985	495,850	112,396
2歳	30,496	34,420	23,671	17,487	15,452	12,080	11,249	9,953	60,034	32,290	97,517
3歳以上	14,839	11,777	12,807	14,959	11,790	10,109	8,730	11,079	7,502	12,381	24,945
計	301,217	156,836	129,081	80,104	97,658	132,121	183,492	381,760	251,013	549,661	237,916
年齢別漁獲係数											
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
0歳	0.56	0.53	0.59	0.72	0.96	0.65	0.58	0.35	0.23	0.21	0.25
1歳	1.93	1.44	1.60	1.04	1.22	1.81	1.44	1.96	1.17	1.53	1.42
2歳	1.43	1.25	0.90	0.95	0.96	0.87	0.78	1.11	1.38	0.62	0.88
3歳以上	1.43	1.25	0.90	0.95	0.96	0.87	0.78	1.11	1.38	0.62	0.88
計	5.36	4.47	4.00	3.65	4.10	4.19	3.57	4.53	4.15	2.97	3.43
単純平均	1.34	1.12	1.00	0.91	1.03	1.05	0.89	1.13	1.04	0.74	0.86
年齢別資源尾数 (尾、4月)											
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
0歳	317,357	239,585	139,244	157,854	359,761	135,268	1,153,497	365,254	1,272,679	314,161	67,482
1歳	301,013	140,998	110,048	60,325	60,121	107,138	55,145	504,185	199,812	786,100	199,316
2歳	27,563	33,906	25,929	17,265	16,580	13,887	13,696	10,141	55,467	48,524	133,173
3歳以上	9,015	6,806	9,108	11,059	8,565	7,478	6,987	7,413	4,516	11,782	25,278
計	654,948	421,294	284,329	246,501	445,027	263,770	1,229,325	886,992	1,532,474	1,160,568	425,250
年齢別資源尾数 (尾、10月)											
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
0歳	280,067	211,433	122,883	139,305	317,488	119,374	1,017,957	322,335	1,123,135	277,246	59,553
1歳	265,643	124,430	97,117	53,236	53,057	94,549	48,666	444,942	176,334	693,731	175,896
2歳	24,324	29,922	22,882	15,236	14,632	12,255	12,086	8,949	48,950	42,823	117,525
3歳以上	7,956	6,006	8,038	9,759	7,559	6,599	6,166	6,542	3,985	10,397	22,308
計	577,989	371,791	250,919	217,537	392,735	232,776	1,084,875	782,768	1,352,404	1,024,197	375,281
年齢別資源量 (Kg、4月)											
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
0歳	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1歳	106,863	50,056	39,068	21,416	21,344	38,035	19,577	178,992	70,936	279,075	70,760
2歳	39,321	48,369	36,989	24,629	23,652	19,811	19,538	14,467	79,128	69,224	189,982
3歳以上	26,045	19,662	26,313	31,949	24,745	21,603	20,187	21,416	13,047	34,038	73,031
計	172,229	118,088	102,371	77,995	69,741	79,450	59,302	214,875	163,111	382,338	333,773
年齢別資源量 (Kg、10月)											
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
0歳	46,035	34,754	20,199	22,898	52,186	19,622	167,324	52,983	184,613	45,572	9,789
1歳	273,740	128,223	100,077	54,859	54,674	97,431	50,149	458,504	181,709	714,877	181,258
2歳	39,837	49,005	37,475	24,953	23,963	20,071	19,795	14,657	80,168	70,134	192,478
3歳以上	22,821	17,228	23,056	27,994	21,682	18,929	17,688	18,765	11,432	29,824	63,989
計	382,434	229,210	180,807	130,704	152,505	156,052	254,956	544,909	457,921	860,407	447,514
年齢別視魚量 (Kg、4月)											
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
0歳	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1歳	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2歳	19,661	24,185	18,495	12,315	11,826	9,905	9,769	7,234	39,564	34,612	94,991
3歳以上	26,045	19,662	26,313	31,949	24,745	21,603	20,187	21,416	13,047	34,038	73,031
計	45,706	43,847	44,808	44,264	36,571	31,509	29,956	28,650	52,611	68,650	168,022
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
0歳	0.62	0.76	0.51	0.63	0.75	0.94	0.72	0.51	0.31	0.20	0.31
1歳	0.83	0.66	0.82	0.61	0.57	0.94	0.85	0.73	0.70	0.69	0.62
2歳	0.77	0.70	0.63	0.70	0.64	0.60	0.57	0.68	0.75	0.46	0.51
3歳以上	0.65	0.68	0.56	0.53	0.54	0.53	0.49	0.59	0.66	0.42	0.39
単純平均	0.79	0.68	0.71	0.61	0.64	0.85	0.72	0.70	0.55	0.64	0.53
年齢別平均体重 (g、4月)											
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
0歳	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1歳	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355
2歳	1,427	1,427	1,427	1,427	1,427	1,427	1,427	1,427	1,427	1,427	1,427
3歳以上	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889
年齢別平均体重 (g、10月)											
漁期年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
0歳	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164
1歳	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030	1,030
2歳	1,638	1,638	1,638	1,638	1,638	1,638	1,638	1,638	1,638	1,638	1,638
3歳以上	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 2-2. 資源解析結果 (続き: 2004~2015 年漁期)

年齢別漁獲尾数 (尾)												
漁期年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0歳	25,733	46,654	128,367	81,715	63,333	29,129	18,449	20,292	21,010	40,440	32,789	19,899
1歳	26,993	45,353	131,054	214,413	112,558	192,349	40,954	32,449	32,472	24,577	79,262	97,402
2歳	23,438	3,017	5,171	16,988	16,198	20,578	36,558	11,016	9,168	6,053	11,139	26,973
3歳以上	31,835	7,711	5,349	5,173	7,144	6,449	12,473	11,674	8,070	5,486	5,749	10,129
計	108,000	102,735	269,941	318,290	199,233	248,505	108,433	75,431	70,719	76,556	128,938	154,403
年齢別漁獲量 (kg)												
漁期年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0歳	6,926	12,463	31,094	19,819	17,881	6,220	4,856	5,797	5,847	10,958	10,785	6,150
1歳	27,464	52,710	147,207	210,976	115,454	186,089	41,952	34,766	35,003	25,878	77,294	92,738
2歳	34,177	5,174	9,839	29,441	26,254	34,631	59,081	18,740	15,785	10,945	16,834	42,001
3歳以上	81,620	25,668	18,445	17,311	19,595	18,225	33,141	32,033	24,956	19,112	18,294	29,083
計	150,188	96,015	206,585	277,547	179,184	245,166	139,030	91,337	81,591	66,893	123,207	169,971
年齢別漁獲係数												
漁期年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0歳	0.29	0.20	0.34	0.33	0.17	0.29	0.23	0.27	0.25	0.21	0.17	0.35
1歳	1.38	1.46	1.51	1.96	1.16	1.28	0.92	0.87	1.00	0.57	0.88	1.27
2歳	1.22	0.56	0.66	0.89	0.90	0.73	1.00	0.74	0.70	0.53	0.59	0.97
3歳以上	1.22	0.56	0.66	0.89	0.90	0.73	1.00	0.74	0.70	0.53	0.59	0.97
計	4.12	2.78	3.17	4.07	3.13	3.02	3.15	2.62	2.64	1.84	2.24	3.55
単純平均	1.03	0.69	0.79	1.02	0.78	0.75	0.79	0.65	0.66	0.46	0.56	0.89
年齢別資源尾数 (尾、4月)												
漁期年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0歳	115,169	297,461	508,504	330,900	459,832	131,923	102,281	97,762	106,209	242,370	234,503	77,267
1歳	40,801	66,985	190,491	282,740	185,592	302,226	77,035	63,375	58,229	64,175	153,070	153,695
2歳	37,629	7,954	12,144	32,700	30,979	45,207	65,627	23,853	20,721	16,693	28,290	49,263
3歳以上	51,111	20,332	12,562	9,957	13,664	14,168	22,390	25,279	18,240	15,130	14,600	18,501
計	244,711	392,733	723,701	656,296	690,066	493,525	267,333	210,269	203,399	338,368	430,464	298,725
年齢別資源尾数 (尾、10月)												
漁期年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0歳	101,637	262,509	448,753	292,018	405,800	116,422	90,263	86,275	93,729	213,891	206,948	68,188
1歳	36,007	59,114	168,108	249,517	163,784	266,714	67,983	55,928	51,387	56,634	135,084	135,636
2歳	33,208	7,020	10,717	28,857	27,339	39,895	57,916	21,051	18,286	14,731	24,966	43,474
3歳以上	45,105	17,943	11,086	8,787	12,058	12,504	19,759	22,308	16,097	13,352	12,885	16,327
計	215,956	346,585	638,664	579,180	608,981	435,534	235,921	185,562	179,499	298,609	379,883	263,624
年齢別資源量 (Kg、4月)												
漁期年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0歳	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1歳	14,485	23,780	67,627	100,376	65,887	107,294	27,348	22,499	20,672	22,783	54,342	54,564
2歳	53,681	11,347	17,325	46,649	44,194	64,491	93,622	34,029	29,560	23,814	40,359	70,278
3歳以上	147,664	58,742	36,293	28,767	39,476	40,934	64,687	73,032	52,697	43,713	42,182	53,449
計	215,830	93,870	121,244	175,792	149,557	212,719	185,658	129,560	102,928	90,309	136,882	178,291
年齢別資源量 (Kg、10月)												
漁期年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0歳	16,706	43,149	73,763	48,000	66,702	19,137	14,837	14,181	15,407	35,158	34,017	11,208
1歳	37,104	60,916	173,232	257,123	168,777	274,844	70,055	57,633	52,954	58,360	139,202	139,770
2歳	54,386	11,497	17,552	47,262	44,775	65,338	94,852	34,476	29,948	24,126	40,889	71,201
3歳以上	129,383	51,469	31,799	25,205	34,588	35,866	56,678	63,990	46,172	38,301	36,959	46,832
計	237,579	167,031	296,346	377,590	314,842	395,185	236,423	170,281	144,481	155,945	251,066	269,011
年齢別視魚量 (Kg、4月)												
漁期年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0歳	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1歳	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2歳	26,841	5,674	8,662	23,324	22,097	32,246	46,811	17,014	14,780	11,907	20,179	35,139
3歳以上	147,664	58,742	36,293	28,767	39,476	40,934	64,687	73,032	52,697	43,713	42,182	53,449
計	174,505	64,415	44,955	52,091	61,573	73,180	111,498	90,047	67,476	55,620	62,361	88,588
漁獲割合 (漁獲量/資源量 (10月))												
漁期年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0歳	0.41	0.29	0.42	0.41	0.27	0.33	0.33	0.41	0.38	0.31	0.32	0.55
1歳	0.74	0.87	0.85	0.82	0.68	0.68	0.60	0.60	0.66	0.44	0.56	0.66
2歳	0.63	0.45	0.56	0.62	0.59	0.53	0.62	0.54	0.53	0.45	0.41	0.59
3歳以上	0.63	0.50	0.58	0.69	0.57	0.51	0.58	0.50	0.54	0.50	0.49	0.62
単純平均	0.63	0.57	0.70	0.74	0.57	0.62	0.59	0.54	0.56	0.43	0.49	0.63
年齢別平均体重 (g、4月)												
漁期年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0歳	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1歳	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355	355
2歳	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歳以上	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889	2,889
年齢別平均体重 (g、10月)												
漁期年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
0歳	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164	164
1歳	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歳	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歳以上	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868	2,868

補足資料3 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、2008年漁期からは胸鰭切除標識が種苗に施されている。なお、イラストマー標識及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及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～駿河湾及び熊野灘の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0.0907、遠州灘～駿河湾では0.0496、熊野灘では0.0083と推定された。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。

$$Y = 0.0159X + 0.0126 \quad (n=68)$$

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

$$K = G \quad (0.0159X + 0.0126)$$

(G: 伊勢・三河湾: 0.0907、遠州灘～駿河湾: 0.0496、熊野灘: 0.0083)

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 3-1）。

補足表 3-1. 漁期年別の親魚量、加入尾数、放流魚の添加効率、混入率および RPS
(加入は0歳10月とした)

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)
			合計	天然魚	放流魚			
1993	45.7	218,913	280,067	271,455	8,612	0.039	3.1	5,939
1994	43.8	186,664	211,433	204,211	7,222	0.039	3.4	4,657
1995	44.8	260,280	122,883	113,411	9,472	0.036	7.7	2,531
1996	44.3	250,549	139,305	129,040	10,265	0.041	7.4	2,915
1997	36.6	219,480	317,488	308,275	9,212	0.042	2.9	8,429
1998	31.5	289,848	119,374	108,365	11,008	0.038	9.2	3,439
1999	30.0	555,284	1,017,957	999,208	18,749	0.034	1.8	33,356
2000	28.6	567,465	322,335	302,040	20,295	0.036	6.3	10,543
2001	52.6	637,042	1,123,135	1,092,747	30,388	0.048	2.7	20,770
2002	68.7	661,859	277,246	257,771	19,475	0.029	7.0	3,755
2003	168.0	411,206	59,553	42,616	16,937	0.041	28.4	254
2004	174.5	730,918	101,637	68,842	32,794	0.045	32.3	395
2005	64.4	621,782	262,509	232,487	30,022	0.048	11.4	3,609
2006	45.0	786,150	448,753	409,656	39,097	0.050	8.7	9,113
2007	52.1	658,025	292,018	258,950	33,068	0.050	11.3	4,971
2008	61.6	739,190	405,800	372,004	33,796	0.046	8.3	6,042
2009	73.2	690,870	116,422	83,228	33,194	0.048	28.5	1,137
2010	111.5	613,000	90,263	61,584	28,678	0.047	31.8	552
2011	90.0	685,300	86,275	51,351	34,923	0.051	40.5	570
2012	67.5	786,600	93,729	55,196	38,533	0.049	41.1	818
2013	55.6	721,200	213,891	178,036	35,855	0.050	16.8	3,201
2014	62.4	659,186	206,948	175,889	31,059	0.047	15.0	2,820
2015	88.6	710,000	68,188	36,758	31,429	0.044	46.1	415

※1 加入尾数：漁獲開始時資源尾数。

※2 放流魚添加効率：加入尾数／放流尾数。

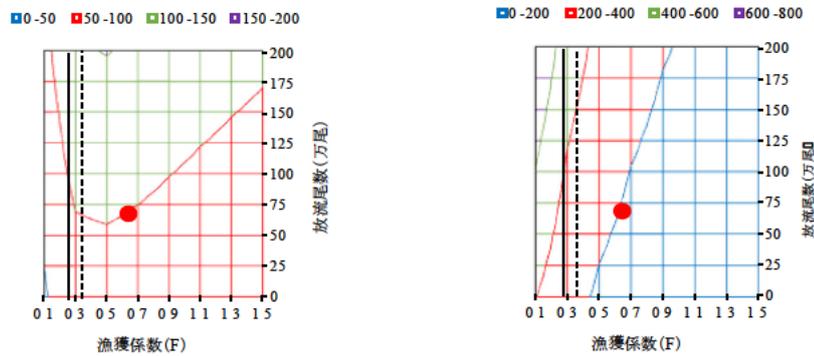
※3 RPS：天然魚加入尾数／親魚量（天然＋放流）。

補足資料 4 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 2017 年漁期から組み合わせて実施した場合に、5 年後の 2021 年漁期に期待される漁獲量および資源量を試算した。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 4-1、補足表 4-1)。

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(2), 129-137.



補足図 4-1. 2017～2021 年漁期にかけて漁獲係数と放流尾数を変化させたときの 2021 年漁期の漁獲量 (左) 及び資源量 (右) の等量線図 図中の赤丸は近年の F (Fave2013-2015) および放流尾数、点線は F20%SPR、実線は 0.8F20%SPR。

補足表 4-1. 2017～2021 年漁期にかけて漁獲係数と放流尾数を変化させたときの 2021 年漁期の漁獲量

漁獲係数 (F)	放流尾数 (万尾)									増減量 (トン/万尾)	備考
	0	25	50	75	100	125	150	175	200		
0.10	45	50	56	61	66	71	76	81	86	0.200	
0.27	74	83	91	100	108	117	125	134	142	0.339	0.8F20%SPR
0.30	76	85	93	102	111	119	128	137	146	0.347	
0.34	78	87	96	105	114	123	131	140	149	0.357	F20%SPR
0.50	79	88	97	106	115	124	133	142	152	0.364	
0.64	76	85	94	102	111	120	129	138	147	0.353	Fcurrent
0.70	74	83	92	100	109	117	126	135	143	0.346	
0.90	69	77	85	93	101	109	117	125	133	0.321	
1.10	64	71	79	86	94	101	108	116	123	0.298	
1.30	59	66	73	80	87	94	101	108	115	0.278	
1.50	56	62	69	75	82	88	95	101	108	0.260	