

令和元（2019）年度トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の 資源評価

担当水研：瀬戸内海区水産研究所

参画機関：秋田県水産振興センター、石川県水産総合センター、福井県水産試験場、京都府農林水産技術センター海洋センター、兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター、鳥取県水産試験場、島根県水産技術センター、山口県水産研究センター、福岡県水産海洋技術センター、佐賀県玄海水産振興センター、長崎県総合水産試験場、熊本県水産研究センター、鹿児島県水産技術開発センター、宮崎県水産試験場、大分県農林水産研究指導センター水産研究部、愛媛県農林水産研究所水産研究センター栽培資源研究所、広島県立総合技術研究所水産海洋技術センター、岡山県農林水産総合センター水産研究所、香川県水産試験場、徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課、和歌山県水産試験場

要 約

本系群の資源量について 2002～2018 年漁期の年齢別漁獲尾数を用いたコホート解析により計算した。資源量は 2006 年漁期の 1,008 トンから減少傾向で、2018 年漁期は 562 トンであった。下関唐戸魚市場（株）の内海産取扱量の推移から資源水準は低位と判断し、直近 5 年間の資源量の推移から動向は減少と判断した。2018 年漁期の親魚量は 302 トンであった。F_{current}（2015～2017 年漁期の F の平均）での漁獲と現状の種苗放流が継続された場合、資源量は減少し続けると予測される。本系群は資源量を 2027 年漁期に 840 トンに回復させることが 2017 年度トラフグ資源管理検討会議で了承されていることから、本目標を管理目標とし、ABC 算定のための基本規則の 1-3)-(3) (F_{limit} = (基準値か F_{current}) × β₂, F_{target} = F_{limit} × α) を適用し、2020 年漁期 ABC を算定した。本種は栽培対象種であり、2017 年漁期は 173 万尾の人工種苗が放流され、2018 年漁期の放流魚の混入率は 29%、添加効率は 0.019 と推定された。

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%)
0.59F _{current}	Target	69	16	0.21 (-53%)
	Limit	84	20	0.26 (-40%)

Target は資源変動の可能性やデータの誤差に起因する評価の不確実性を考慮し、より安定的な資源の回復が期待される漁獲量である。Limit は管理基準で許容される最大レベルの漁獲量である。F_{target} = αF_{limit} とし、係数 α には標準値 0.8 を用いた。現状の F (F_{current}) は 2015～2017 年漁期の平均値で、0.44 である。漁獲割合は 2020 年漁期の漁獲量/資源量、F 値は各年齢の平均値である。2020 年漁期は 2020 年 4 月～2021 年 3 月である。

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	740	305	233	0.48	31
2016	720	264	188	0.40	26
2017	687	304	218	0.44	32
2018	562	302	184	0.44	33
2019	455	245	150	0.44	33
2020	426	192	—	—	—

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・年別漁獲尾数	府県別漁獲量（秋田～和歌山（21）府県、（株）大水） 全長組成（水研、秋田県、石川県、山口県、福岡県、佐賀県、 長崎県、熊本県、大分県、愛媛県、広島県、兵庫県、香川県） 全長-体重関係（松村 2006） 年齢-全長関係（上田ほか 2010） 全長階級別雌雄割合（山口県、愛媛県、上田ほか 2010、広島 大学、資源量推定等高精度化推進事業、水研）
資源量指標	とらふぐはえ縄漁業漁獲成績報告書（水産庁） 下関唐戸魚市場取扱量（下関唐戸魚市場（株）、山口県） 山口県瀬戸内海側のはえ縄漁業の CPUE（中国四国農政局） 備後灘の定置網漁業の CPUE（標本漁協） 伊予灘・豊後水道のはえ縄漁業の CPUE（標本漁協） 備讃瀬戸の袋待網漁業の CPUE（標本漁協）
自然死亡係数（M）	年当たり $M = 0.25$ を仮定
漁獲努力量指標	とらふぐはえ縄漁業漁獲成績報告書（水産庁） 山口県瀬戸内海側のはえ縄漁業の努力量（中国四国農政局） 備後灘の定置網漁業の努力量（標本漁協） 伊予灘・豊後水道のはえ縄漁業の努力量（標本漁協） 備讃瀬戸の袋待網漁業の努力量（標本漁協）
放流魚の混入率	人工種苗放流尾数（栽培漁業・海面養殖用種苗の生産・入手・ 放流実績（全国）（1973～2018）） 0 歳の放流効果調査（長崎県、山口県、平成 18 年度栽培漁業資 源回復等対策事業報告書（2007）、種苗放流による資源造成支 援事業（広域種資源造成支援事業）（平成 23～25 年度）中間報 告書（2014））

1. まえがき

トラフグは、沿岸漁業の重要な対象種である。天然魚や人工種苗を用いた標識放流・再捕調査から本種は回帰性を示し、日本海、東シナ海では各産卵場由来の個体が混在し、漁獲対象となると考えられていることから（伊藤ほか 1998、佐藤ほか 1999、松村 2006）、資源評価単位としては同一系群とすることが望ましいと考えられた。本系群の主な漁場である日本海、東シナ海、瀬戸内海では、漁獲量の減少が続いていたため、2005 年度より九州・山口北西海域トラフグ資源回復計画（休漁期間の設定、隻数上限の設定、小型魚保護等）が実施されてきた。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いた資源管理措置は 2012 年度以降、新たな枠組みである資源管理指針・計画の下、継続して実施されている。さらに、2014 年度より本系群を対象としたトラフグ資源管理検討会議が開催され、資源量の回復目標の設定や資源管理の進め方についての協議がなされている。また、本種は栽培漁業の対象種で、本系群の分布海域では、1977 年漁期以降 45 万～294 万尾の人工種苗が毎年放流されている（水産庁・（独）水産総合研究センター・（社）全国豊かな海づくり推進協会 1973～2018、図 1）。

2. 生態

(1) 分布・回遊

本系群は日本海、東シナ海、黄海、瀬戸内海に分布する（図 2）。春に発生した仔稚魚は産卵場周辺を成育場とし、成長に伴って広域に移動する（日高ほか 1988、田北・Intong 1991）。日本海沿岸や九州北西岸の発生群は日本海、東シナ海、黄海へ移動し、瀬戸内海沿岸の発生群は豊後水道以南、紀伊水道以南、日本海、東シナ海、黄海へ移動する（佐藤ら 1996）。

(2) 年齢・成長

本系群における雌雄別の年齢（ t ）と全長 L_t （mm）の von Bertalanffy 成長式（上田ほか 2010）及び全長 L （cm）と体重 W （g）の関係式（松村 2006）を以下に示す。

年齢-全長関係式

$$\text{雄} : L_t = 534.3(1 - \exp(-0.648(t + 0.130)))$$

$$\text{雌} : L_t = 559.8(1 - \exp(-0.598(t + 0.144)))$$

全長-体重関係式

$$\text{雄} : W = 0.0395L^{2.82}$$

$$\text{雌} : W = 0.0530L^{2.74}$$

成長式及び全長-体重関係式から求めた 1 月時点の雌雄別年齢別の全長と体重を図 3 に示す。寿命は約 10 年と推定され、雌雄いずれも最大で全長 60 cm 以上となる大型種である（尾串 1987、岩政 1988）。

(3) 成熟・産卵

雄は 2 歳、雌は 3 歳で成熟する（図 4、岩政 1988）。本系群の主な産卵場は八郎潟周辺、七尾湾、若狭湾、福岡湾、有明海、八代海、関門海峡周辺、布刈瀬戸、備讃瀬戸とされ、朝鮮半島沿岸、中国沿岸にも存在するとされる（図 2、Kusakabe et al. 1962、日高ほか 1988、鈴木 2001、Katamachi et al. 2015）。産卵は 3 月下旬に九州南部から始まり、水温の上昇と

ともに北上し、瀬戸内海での産卵期は4～5月とされ、若狭湾、七尾湾では4～6月とされる（藤田 1962、伊藤・多部田 2000）。

（4）被捕食関係

仔魚後期までは動物性プランクトン、稚魚は底生性の小型甲殻類、未成魚はイワシ類やその他の幼魚、エビ・カニ類、成魚は魚類、エビ・カニ類を捕食する（松浦 1997）。

3. 漁業の状況

（1）漁業の概要

産卵場と特定もしくは推定されている八郎潟周辺、七尾湾、若狭湾、福岡湾、有明海、八代海、関門海峡周辺、布刈瀬戸、備讃瀬戸では、3～6月に2歳以上の成熟個体が定置網、釣、その他の網によって漁獲され、7～翌年1月に0歳が定置網、小型底びき網、釣、はえ縄によって漁獲される。日本海、東シナ海、豊後水道、紀伊水道では、12～翌年3月に0歳以上がはえ縄によって漁獲される（伊藤・多部田 2000）。

また、九州・山口北西海域での漁獲量は本系群全体の漁獲量の約5割を占め、はえ縄により9～翌年3月に主に0歳以上が漁獲される。瀬戸内海西部の漁獲量は瀬戸内海全体の漁獲量の約7割を占め、はえ縄等により周年0歳以上が漁獲される。瀬戸内海中央部の漁獲量は瀬戸内海全体の漁獲量の約2割を占め、定置網やその他の網の一つである袋待網によって4～6月に2歳以上の成熟個体と未成熟な1歳が漁獲され、定置網によって8～12月に0歳が漁獲される。

本種を主な漁獲対象とする日本海、東シナ海におけるはえ縄の操業は1965年以前には日本の沿岸域に限られていたが、1965年の日韓漁業協定以後、東シナ海、黄海へと漁場が拡大した。1977年以降は北朝鮮の200カイリ宣言によって北緯38度以北の海域に出漁ができなくなり、北緯38度以南の黄海、東シナ海、対馬海峡から山陰に至る海域が主漁場となった（ふぐ延縄漁業漁場図結果表 CATCH（漁獲量 山口県）1984、図5）。新日韓漁業協定（1999年）、新日中漁業協定（2000年）以降は我が国EEZ内が主漁場となっている。

（2）漁獲量の推移

本系群は各府県の調査で得られた2002年漁期以降の漁獲統計を把握している一方で、2002年漁期以前の長期間にわたる漁獲統計は存在しない。その代替指標として下関唐戸魚市場（株）における取扱量を用いた。下関唐戸魚市場（株）では1971年漁期から日本海、東シナ海産を外海産、瀬戸内海産を内海産として区別して取扱い、統計を整備している。なお、2005年漁期から三重県、愛知県、静岡県産も内海産に含まれる。取扱量は1971～1993年漁期に490～1,891トンで推移後、1994年漁期から急激に減少し、1996年漁期以降109～336トンと低水準で推移しており、2018年漁期は126トンであった（図6、表1）。

2002年漁期以降の漁獲量は2002年漁期の356トンから減少傾向で2018年漁期は184トンと推定された（図1、表2）。また、漁獲量の推移は海域によって異なり、日本海・東シナ海は横ばい、有明海は緩やかな減少傾向であったのに対し、瀬戸内海は著しい減少傾向であった（図7）。

(3) 漁獲努力量

九州・山口北西海域における漁獲努力量として九州・山口北西海域トラフグ資源回復計画、トラフグ広域資源管理方針に基づいて報告された関係 6 県（福岡県、広島県、熊本県、長崎県、佐賀県、山口県）の総針数を使用した。総針数は資源回復計画が開始された 2005 年漁期の 18 百万針から 2009 年漁期の 11 百万針に減少後、横ばいで推移し、2015 年漁期の 13 百万針からは減少傾向で、2018 年漁期は 10 百万針であった（図 8、表 3）。

瀬戸内海西部の山口県瀬戸内海側におけるふぐ類を対象としたはえ縄漁業の出漁日数は、中国四国農政局統計部の昭和 56 年～平成 18 年山口農林水産統計年報によれば、1995～2006 年のふぐ類漁獲量に占めるトラフグの割合が 61～99%であったことから、この海域のはえ縄漁業は主にトラフグを漁獲対象としていたと考えられる。漁獲努力量として当該海域の出漁日数を使用した。出漁日数は 1991 年に最大（15,170 日）となった後は減少傾向で、2006 年は 5,571 隻日であった（図 9、表 3）。また、伊予灘、豊後水道における標本漁協のはえ縄漁業の出漁隻数が 2005 年漁期（7～翌年 3 月）以降集計されている。出漁隻数は 2005 年漁期の 680 隻から 2014 年漁期の 157 隻まで減少傾向であったが、2015 年漁期に 307 隻に増加した後は横ばいで 2018 年漁期は 318 隻であった（図 10、表 3）。

瀬戸内海中央部の備後灘における標本漁協の 2 歳以上の成熟個体と未成熟な 1 歳を対象とした定置網の統数は 1976 年漁期の 58 ケ統から 1997 年漁期の 84 ケ統まで増加傾向であったが、その後は減少傾向で 2018 年漁期は 35 ケ統であった（図 11、表 3）。瀬戸内海中央部の備讃瀬戸における標本漁協の 2 歳以上の成熟個体と未成熟な 1 歳を対象とした袋待網の出漁隻数は 2002 年漁期の 698 隻から 2016 年漁期の 318 隻まで減少傾向であったが、その後は増加傾向で 2018 年漁期は 436 隻であった（図 12、表 3）。備後灘における標本漁協の 0 歳を対象とした定置網の統数は、1983～1998 年漁期は 66～78 ケ統の間で横ばいで推移したが、1999 年漁期以降は減少傾向で 2016 年漁期は 15 ケ統であった（図 13、表 3）。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

本系群の資源量は日本海、東シナ海、瀬戸内海における 0～3 歳と 4 歳以上をプラスグループとした 2002～2018 年漁期の年齢別漁獲尾数を用いたコホート解析（平松 2001）により推定した（補足資料 1、2、3）。自然死亡係数（M）は最高年齢を 10 歳として、田内・田中の方法（田中 1960）により求めた 0.25 を用いた。年齢の起算日は 4 月 1 日とした。

(2) 資源量指標値の推移

九州・山口北西海域における 0 歳以上を主対象としたはえ縄の単位努力量当たりの漁獲量（CPUE）（kg/千針）は 2005 年漁期の 5 kg/千針から上昇傾向で 2018 年漁期は 9 kg/千針であった（図 8、表 3）。また、当海域の資源量指標値の標準化を行った結果を補足資料 6 に示す。

山口県瀬戸内海側における 0 歳以上のふぐ類を対象としたはえ縄の CPUE（kg/出漁日数）は 1981 年の 19 kg/出漁日数から 1984 年の 49 kg/出漁日数に上昇した後に急激に低下し、1990 年に 7 kg/出漁日数となり、2006 年の 8 kg/出漁日数まで低位で推移し（図 9、表 3）、下関唐戸魚市場（株）の内海産の取扱量の推移と概ね一致した（図 6、表 1）。伊予灘、豊

後水道における標本漁協の0歳以上を対象としたはえ縄のCPUE (kg/出漁隻数) は2006年漁期の10 kg/出漁隻数から減少傾向で2018年漁期は4 kg/出漁隻数であった(図10、表3)。備後灘における標本漁協の2歳以上の成熟個体と未成熟の1歳を対象とした定置網のCPUE (kg/統数) は1976年漁期の51 kg/統数から1987年漁期の413 kg/統数に上昇した後に1990年漁期の91 kg/統数まで急激に低下し、1990年漁期以降も減少傾向で2018年漁期は5 kg/統数であった(図11、表3)。このCPUEの推移は下関唐戸魚市場の内海産の取扱量の推移と概ね一致した(図6、表1)。備讃瀬戸における標本漁協の2歳以上の成熟個体と未成熟の1歳を対象とした袋待網のCPUE (kg/出漁隻数) は1999年漁期の19 kg/出漁隻数から2008年漁期の69 kg/出漁隻数に上昇した後は減少傾向で2018年漁期は12 kg/出漁隻数であった(図12、表3)。備後灘における標本漁協の0歳魚を対象とした定置網のCPUE (kg/統数) は2～72 kg/統数の間で大きく変動し、2016年漁期は5 kg/統数であった(図13、表3)。

(3) 漁獲物の年齢組成

尾数換算で0～1歳が41～71%を占めて漁獲は未成魚に偏っているが、その割合は低下傾向にある(図14、補足資料3)。加えて、0～2歳の漁獲尾数が低下傾向であるのに対して、3歳以上の漁獲尾数の変化は少ない(図14、補足資料3)。漁獲物の年齢組成は海域により異なり、有明海、瀬戸内海では0歳が、日本海、東シナ海では1歳以上が漁獲の中心になっている(図15)。

(4) 資源量と漁獲割合の推移

本系群の資源量は2006年漁期の1,008トンから減少傾向で、2018年漁期は562トンであった(図16、表4)。漁獲割合は26～36% (平均32%) の間で横ばいで推移した(図16、表4)。感度分析としてMを0.1増加させた場合、2018年漁期の資源量は23%、親魚量は19%、加入量は30%増加し、Mを0.1減少させた場合、2018年漁期の資源量は16%、親魚量は14%、加入量は20%減少した(図17～19)。

(5) 再生産関係

放流された人工種苗(放流魚)の混入率に基づいて0歳資源尾数を天然魚と放流魚に分離し、再生産関係を検討した。親魚量は雄が2歳、雌が3歳から成熟することから3歳以上の資源量とした。親魚量と天然の加入尾数には緩やかな正の相関があるものの、親魚量が同程度であっても加入尾数は大きく変動し、明瞭な再生産関係は認められなかった(図20)。親魚量は2002年漁期の311トンから横ばいで推移し、2018年漁期は302トンであった(図21、表4)。再生産成功率は2006年漁期の1.0尾/kgから低下傾向で2018年漁期は0.3尾/kgであった(図21、表4)。

(6) Blimitの設定

本系群は再生産関係が明瞭ではなく、資源量が多かった頃の情報が得られていないため、Blimitを設定していない。

(7) 資源の水準・動向

下関唐戸魚市場（株）における本種の取扱量は長期の漁獲量指標かつ資源量指標の一つであるが、1999 年漁期以前の外海産には現在操業していない我が国 EEZ 外での漁獲物が含まれる（図 5、6）。1989～1993 年漁期の日本海西部、東シナ海、黄海におけるとらふぐはえ縄漁業漁獲成績報告に基づいて漁獲量を暫定水域を含む我が国 EEZ 内と EEZ 外で区分した結果、漁獲量のうち 63～78%は我が国 EEZ 内で漁獲されていた。しかし、1988 年漁期以前の情報はなことから資源の水準は下関唐戸魚市場（株）の内海産取扱量によって判断した。ただし、この取扱量は漁獲努力量が考慮されていないため、極端に多い 1984 年漁期と 1987 年漁期を除いた 0～最大値（709 トン）で 3 等分し、236 トン未満を低位、236～471 トンを中位、472 トン以上を高位とした。2018 年漁期の取扱量は 18 トンであったことから、資源水準は低位と判断した（図 22、表 1）。資源動向は直近 5 年の資源量の推移から減少と判断した（図 16、表 4）。

(8) 今後の加入量の見積もり

今後の天然の加入量（0 歳の資源量）は直近年を除く 5 年（2013～2017 年漁期）の再生産成功率の平均値と親魚量の積によって推定した。さらに、今後の放流由来の加入量は直近年を除く 5 年（2013～2017 年漁期）の放流尾数の平均値と添加効率の平均値の積によって推定した。その結果、加入量は 2018 年漁期の 17 トンから 2019 年漁期の 31 トンに増加するが、2021 年漁期の 21 トンに減少し、その後横ばいで推移すると予測された（補足資料 4）。

(9) 生物学的管理基準（漁獲係数）と現状の漁獲圧の関係

年齢別の漁獲係数（F）の経年変化を図 23 と補足資料 3 に示す。0 歳は 2002 年漁期から 2014 年漁期まで低下傾向であったが、2015 年漁期に上昇後横ばいで推移した。1～2 歳は 2002 年漁期以降低下傾向であった。3 歳以上は 2002 年漁期から上昇傾向であった。現状の F（2015～2017 年漁期の F の平均）は経験的に適正な基準値とされる $F_{30\%SPR}$ や F_{max} より高かった（図 24）。

(10) 種苗放流効果

本系群における人工種苗の放流尾数は 1977 年漁期の 55 万尾から 2011 年漁期の 294 万尾まで増加傾向であったが、放流魚の大型化や尾鰭の欠損防止を図った結果、2012 年漁期に 173 万尾に減少し、その後横ばいで推移し、2017 年漁期は 173 万尾であった（図 1、表 5）。放流魚の一部には、胸鰭切除、背部への焼印、アリザリン・コンプレクソンによる耳石染色などの標識が施され、天然魚と識別されている。また、本種の人工種苗は放流前的高密度飼育や餌不足が原因で噛み合い行動により尾鰭が欠損することがあるため（松村 2005）、尾鰭の欠損の有無も放流魚と天然魚の識別に用いられている。0 歳での放流魚の混入率は、各海域における 0 歳での混入率を海域毎の 0 歳漁獲尾数で加重平均して算出した。各海域における混入率の算出方法は以下のように異なる。有明海は調査した 0 歳の中から検出された放流魚の数を当該海域の 0 歳漁獲尾数で除して算出した。瀬戸内海西部は検出された 0 歳放流魚の数を漁獲物に占める調査した割合で除した回収尾数を当該海域の 0 歳

漁獲尾数で除して算出した。山口県瀬戸内海側は0歳の調査個体に占める放流魚の割合を標識率で除して算出した。その結果、混入率は2002年漁期の5%から2012年漁期まで2010年漁期の37%をピークに上昇傾向であった後、2013～2014年漁期は約30%で推移し、2015年漁期に12%まで急激に低下し、2016年漁期から上昇傾向で2018年漁期は29%と推定された（表5、表6）。0歳資源尾数に混入率を乗じて放流由来の0歳資源尾数を求め、0歳資源尾数を天然魚と放流魚に分離した結果、天然の0歳資源尾数は2002年漁期の54万尾から減少傾向で2018年漁期は9万尾と推定され、放流由来の0歳資源尾数は2002年漁期の3万尾から2010年漁期の14万尾まで増加傾向であったが、その後は減少傾向で2018年漁期は3万尾と推定された（図25、表5）。放流魚の漁獲加入までの生存率である添加効率は放流由来の0歳資源尾数を放流尾数で除して算出した。その結果、添加効率は2002年漁期の0.017から2004年漁期の0.072をピークに2012年漁期まで上昇傾向であったが、その後は低下傾向で2018年漁期は0.019と推定された（図26、表5）。各年齢のFの平均値と放流尾数を2020年漁期から変化させた場合に期待される2027年漁期の資源量を推定し、等量線図を作成した（補足資料2）。その結果、後述する行政的な管理目標である資源量840トンを経済放流のみで達成するには、放流尾数を425万尾増加させる必要があり、経済放流のみで行政的な管理目標を達成することは困難であることが示唆された（図27）。

5. 2020年ABCの算定

(1) 資源評価のまとめ

本系群の資源水準は低位で、資源動向は減少と判断された。後述のように、本系群は行政的に資源量の回復目標が策定されている。F_{current}（2015～2017年漁期のFの平均）での漁獲と現状の経済放流が継続された場合、資源量は減少し続けると推定され（図28、補足資料4）、目標達成は困難と考えられることから、漁獲圧の削減が必要である。

(2) ABCの算定

本系群は、再生産関係が明瞭ではなく、資源量が多かった頃の情報が得られていないため、再生産関係のプロットからB_{limit}を推定することはできなかった。そこで、行政的な管理目標をB_{limit}の代替として位置付けた。行政的な管理目標は2017年度資源管理検討会議で10年前後を目処に資源量を840トン（2017年度資源評価での2007～2016年度の平均資源量）程度まで回復させることである。ABCの算定は、ABC算定のための基本規則の1-3)-(3)（F_{limit} = （基準値か現状のF）× β₂、F_{target} = F_{limit} × α）を適用し、基準値はF_{current}（2015～2017年漁期のFの平均）とし、β₂はF_{limit}が2027年漁期の資源量が840トンを達成するFとなる0.59とした。その結果、ABC_{limit}は84トンとなった。また、F_{target}の安全率αは標準値0.8とし、ABC_{target}は69トンとなった。2019年漁期以降の将来予測の方法は補足資料2に記載した。

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%)
0.59F _{current}	Target	69	16	0.21 (-53%)
	Limit	84	20	0.26 (-40%)

Target は資源変動の可能性やデータの誤差に起因する評価の不確実性を考慮し、より安定的な資源の回復が期待される漁獲量である。Limit は管理基準で許容される最大レベルの漁獲量である。F_{target} = α F_{limit} とし、安全率 α には標準値 0.8 を用いた。現状の F (F_{current}) は 2015～2017 年漁期の平均値で、0.44 である。漁獲割合は 2020 年漁期の漁獲量/資源量、F 値は各年齢の平均値である。2020 年漁期は 2020 年 4 月～2021 年 3 月である。

(3) ABC の評価

現状の種苗放流が継続される条件の下、管理基準である F_{current} に各係数を乗じた場合の漁獲量、資源量および親魚量の将来予測を図 28、29、30 下表ならびに補足資料 4 に示す。

漁獲量 (トン)											
基準値	F	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0.1Fcurrent	0.04	184	150	16	22	30	40	52	67	86	110
0.2Fcurrent	0.09	184	150	31	40	54	69	86	108	134	165
0.3Fcurrent	0.13	184	150	46	56	73	90	109	131	157	187
0.4Fcurrent	0.18	184	150	59	70	88	105	122	142	165	190
Ftarget=0.47Fcurrent	0.21	184	150	69	80	97	112	127	145	164	184
0.5Fcurrent	0.22	184	150	72	83	99	114	128	145	163	181
Flimit=0.59Fcurrent	0.26	184	150	84	92	107	120	130	143	156	169
0.6Fcurrent	0.26	184	150	85	93	108	120	130	143	156	168
0.7Fcurrent	0.31	184	150	96	102	114	123	129	137	146	153
0.8Fcurrent	0.35	184	150	108	109	119	123	125	130	134	137
0.9Fcurrent	0.39	184	150	118	115	121	122	120	122	123	123
1.0Fcurrent	0.44	184	150	128	120	123	119	115	113	111	109

資源量 (トン)											
基準値	F	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0.1Fcurrent	0.04	562	455	426	587	771	1,017	1,326	1,704	2,181	2,782
0.2Fcurrent	0.09	562	455	426	565	715	909	1,143	1,418	1,749	2,151
0.3Fcurrent	0.13	562	455	426	543	664	814	989	1,184	1,411	1,675
0.4Fcurrent	0.18	562	455	426	523	617	731	858	993	1,145	1,314
Ftarget=0.47Fcurrent	0.21	562	455	426	508	584	674	772	873	982	1,101
0.5Fcurrent	0.22	562	455	426	504	574	657	746	836	934	1,039
Flimit=0.59Fcurrent	0.26	562	455	426	486	537	595	656	715	776	840
0.6Fcurrent	0.26	562	455	426	485	534	591	650	708	767	828
0.7Fcurrent	0.31	562	455	426	467	498	533	569	601	634	666
0.8Fcurrent	0.35	562	455	426	450	464	481	499	513	527	541
0.9Fcurrent	0.39	562	455	426	434	433	435	439	440	441	443
1.0Fcurrent	0.44	562	455	426	419	405	395	387	379	372	367

親魚量 (トン)											
基準値	F	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0.1Fcurrent	0.04	302	245	192	233	356	494	629	820	1,074	1,375
0.2Fcurrent	0.09	302	245	192	221	326	436	534	671	849	1,048
0.3Fcurrent	0.13	302	245	192	209	299	386	453	551	675	803
0.4Fcurrent	0.18	302	245	192	198	275	342	386	454	538	619
Ftarget=0.47Fcurrent	0.21	302	245	192	190	258	312	343	393	455	511
0.5Fcurrent	0.22	302	245	192	188	253	303	329	375	431	479
Flimit=0.59Fcurrent	0.26	302	245	192	178	234	271	284	315	352	380
0.6Fcurrent	0.26	302	245	192	178	233	269	281	311	347	374
0.7Fcurrent	0.31	302	245	192	168	214	239	241	259	280	293
0.8Fcurrent	0.35	302	245	192	160	198	213	206	216	228	231
0.9Fcurrent	0.39	302	245	192	151	183	190	177	180	186	184
1.0Fcurrent	0.44	302	245	192	144	169	169	152	151	152	147

Fcurrent を継続した場合、資源量は 2027 年漁期に 367 トンに減少すると予測された。Flimit である 0.59Fcurrent とすることで 2027 年漁期に回復目標（資源量 840 トン）を達成することが可能となる。将来予測の方法は補足資料 2 に記載した。

(4) ABC の再評価

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
2017 年漁期の漁獲量の確定値	2017 年漁期の漁獲量、年齢別漁獲尾数
2018 年漁期の推定漁獲量、全長組成	2002～2017 年漁期の資源量、漁獲係数、将来の資源量、漁獲量の予測値
2017 年の種苗放流尾数の確定値	将来の資源量、漁獲量の予測値

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)
2018 年漁期 (当初)	0.56F _{current}	0.27	476	97	80	
2018 年漁期 (2018 年再評価)	0.84F _{current}	0.37	633	178	149	
2018 年漁期 (2019 年再評価)	0.67F _{current}	0.29	562	133	110	184
2019 年漁期 (当初)	0.83F _{current}	0.37	622	161	134	
2019 年漁期 (2019 年再評価)	0.63F _{current}	0.28	455	105	86	

F 値は ABClimit に対する値で全年齢の平均値である。2019 年再評価では 2018 年漁期の資源量と ABC が下方修正された。要因として予測を下回る加入が継続していることが挙げられる。2019 年漁期の資源量と ABC も同様の理由から下方修正された。

6. ABC 以外の管理方策の提言

本系群は複数の産卵場および成育場を有し、それらを由来とする個体が日本海、東シナ海で混合して漁獲対象となった後、産卵回帰している可能性があることから、ABC 以外の管理方策として、それぞれの産卵場や成育場の保護が必要と考えられる。水産庁主催の資源管理のあり方検討会においては、本系群が個別事例として取り上げられ、2014 年度に資源管理の方向性が取りまとめられた。その中では、資源管理を効果的に進めるために漁獲の多くを占める未成魚の漁獲抑制に取り組むことに加えて、種苗放流においては資源管理との連携を図りながら十分な放流尾数を確保しつつ、放流効果の高い場所での集中的な放流、全長 70 mm 以上でかつ尾鰭の欠損のない種苗の放流など種苗放流の高度化を検討する必要があるとされた。天然および放流由来の加入量は減少傾向であることから、現在進められている未成魚の漁獲抑制と種苗放流の高度化の取り組みの更なる強化が求められる。一方で、3 歳以上の F は上昇傾向であることから、資源管理の効率化のためには未成魚の漁獲抑制と種苗放流の高度化だけでなく、成魚の漁獲抑制にも着手するべきだろう。

7. 引用文献

- 山口県 (1984) CATCH (漁獲量 山口県). ふぐ延縄漁業漁場図結果表, 山口県, 1-12.
- 藤田矢郎 (1962) 日本産主要フグ類の生活史と養殖に関する研究. 長崎水試論文集, 2, 1-121.
- 日高 健・高橋 実・伊藤正博 (1988) トラフグ資源生態に関する研究 I -福岡湾周辺における卵と幼稚魚の分布-. 福岡水試研報, 14, 1-11.
- 平松一彦 (2001) VPA (Virtual Population Analysis). 「平成 12 年度資源評価体制確立推進事業報告書 - 資源解析手法教科書 -」日本水産資源保護協会, 東京, 103-128.
- 伊藤正木・小嶋喜久雄・田川 勝 (1998) 若狭湾で実施した標識放流実験から推定したト

- ラフグ成魚の回遊. 日水誌, **64**, 435-439.
- 伊藤正木・多部田 修 (2000) 漁業協同組合へのアンケート調査結果から推定した日本周辺のトラフグの分布. 水産増殖, **48**, 17-24.
- 岩政陽夫 (1988) 黄海・東シナ海産トラフグの年齢と成長. 山口県外海水産試験場研究報告, **23**, 30-35.
- Katamachi, D., M. Ikeda and K. Uno (2015) Identification of spawning sites of the tiger puffer *Takifugu rubripes* in Nanao Bay, Japan, using DNA analysis. Fish. Sci., **81**, 485-494.
- Kusakabe, D., Y. Murakami and T. Onbe (1962) Fecundity and spawning of a puffer *Fugu rubripes* (T. et S.) in the central waters of the Inland Sea of Japan. J. Fac. Fish. Anim. Husb. Hiroshima Univ., **4**, 47-79.
- 松村靖治 (2005) 有明海におけるトラフグ人工種苗の当歳時における放流効果と最適放流方法. 日水誌, **71**, 805-814.
- 松村靖治 (2006) 有明海におけるトラフグ *Takifugu rubripes* の人工種苗の産卵回帰時の放流効果. 日水誌, **72**, 1029-1038.
- 松浦修平 (1997) 生物学的特性. 「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, 16-27.
- 尾串好隆 (1987) 黄海・東シナ海産トラフグの年齢と成長. 山口県外海水産試験場研究報告, **22**, 30-36.
- 佐藤良三・鈴木伸洋・柴田玲奈・山本正直 (1999) トラフグ *Takifugu rubripes* 親魚の瀬戸内海・布刈瀬戸の産卵場への回帰性. 日水誌, **65**, 689-694.
- 佐藤良三・東海 正・柴田玲奈・小川泰樹・阪地英男 (1996) 布刈瀬戸周辺海域からのトラフグ当歳魚の移動. 南西水研研報, **29**, 27-38.
- 鈴木伸洋 (2001) トラフグの産卵場形成要因の解明. 「中回遊型魚類の回帰性の解明と資源管理技術の開発 (プロジェクト研究成果シリーズ 369)」, 農林水産技術会議, 東京, 44-55.
- 田北 徹・Intong Sumonta (1991) 有明海におけるトラフグとシマフグの幼期の生態. 日水誌, **57**, 1883-1889.
- 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.
- 上田幸男・佐野二郎・内田秀和・天野千絵・松村靖治・片山貴士 (2010) 東シナ海, 日本海および瀬戸内海産トラフグの成長と Age-length key. 日水誌, **76**, 803-811.

(執筆者：片町太輔、石田 実、西嶋翔太)

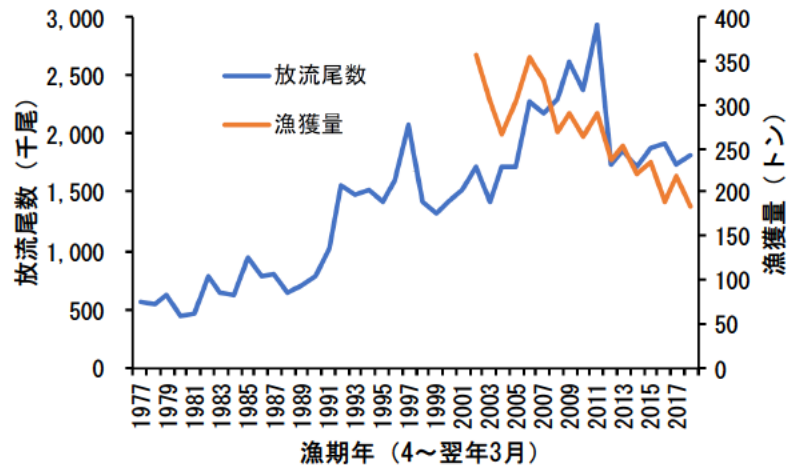


図1. 種苗放流尾数と漁獲量の推移 水産庁・(独)水産総合研究センター・(社)全国豊かな海づくり推進協会の昭和46～平成28年度栽培漁業・海面養殖用の生産・入手・放流実績(全国)資料に基づく。

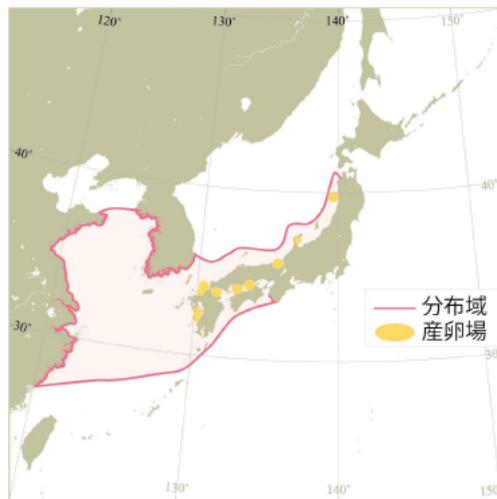


図2. 分布域と産卵場

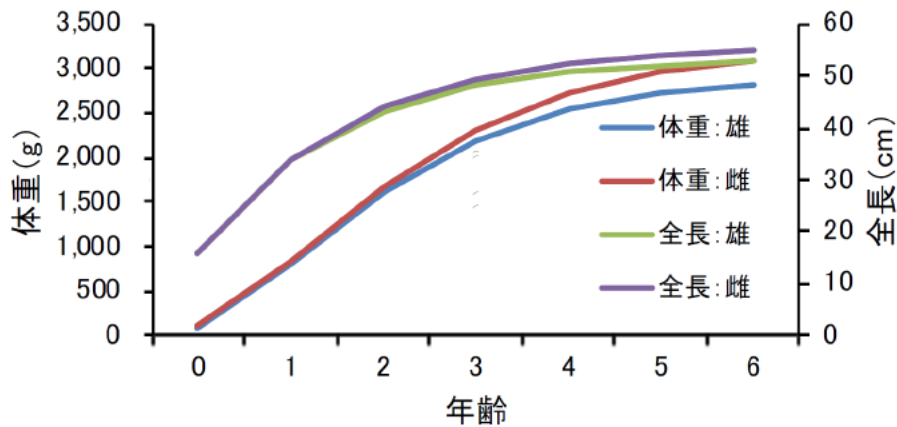


図3. 年齢と成長(1月時点)

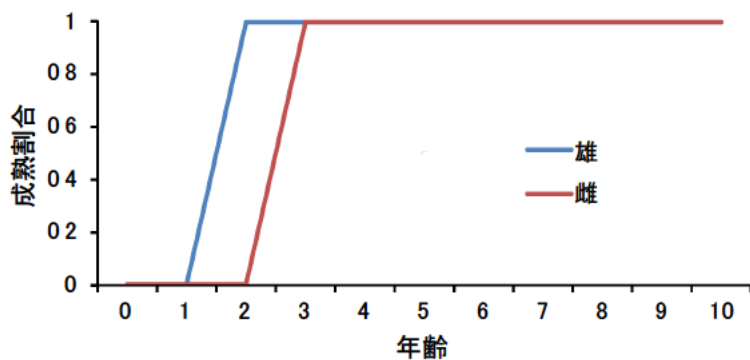


図 4. 年齢と成熟

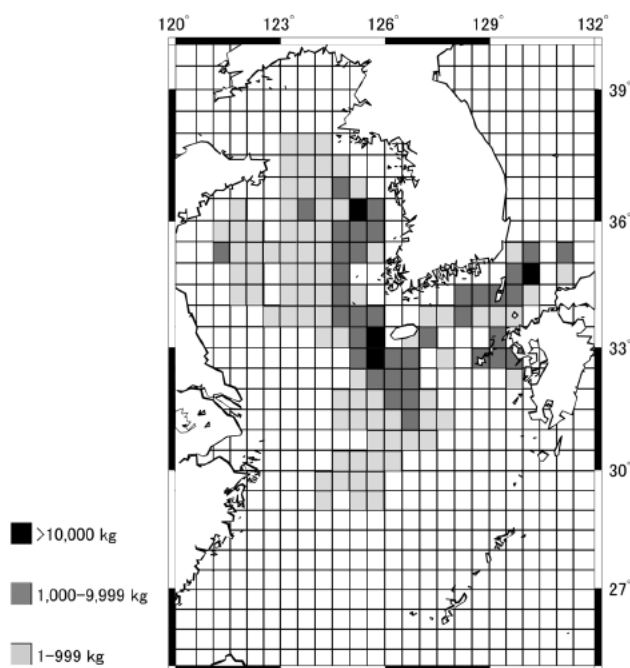


図 5. 1984 年の山口県ふぐはえ縄の漁区別漁獲量

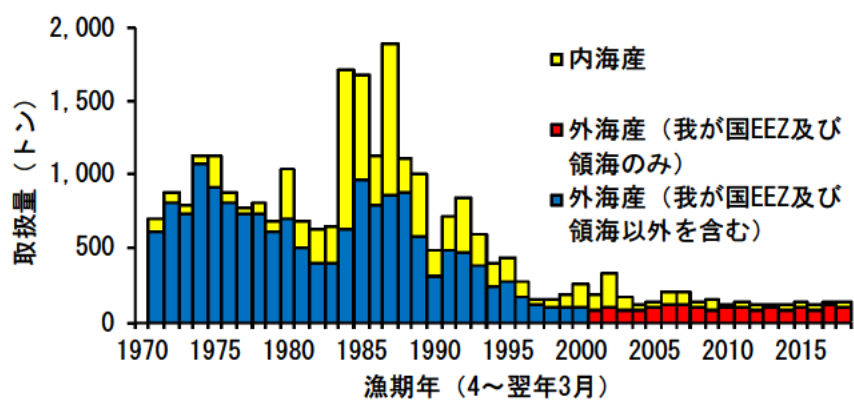


図 6. 下関唐戸魚市場の取扱量の推移

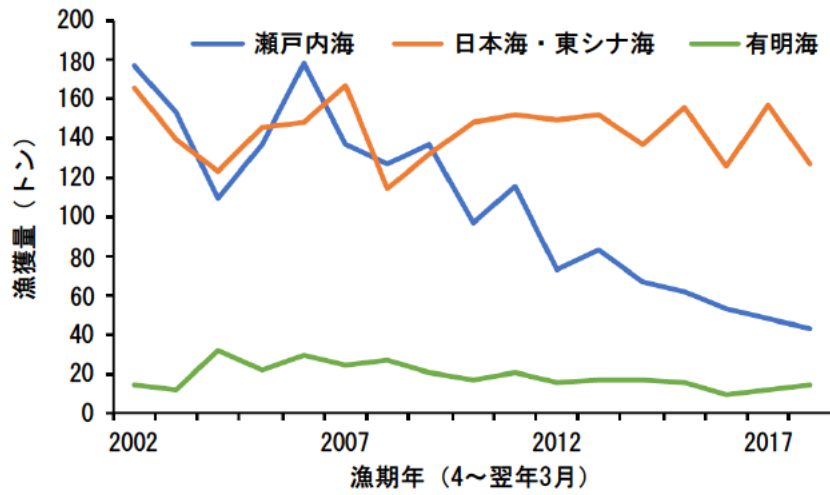


図7. 海域別の漁獲量の推移

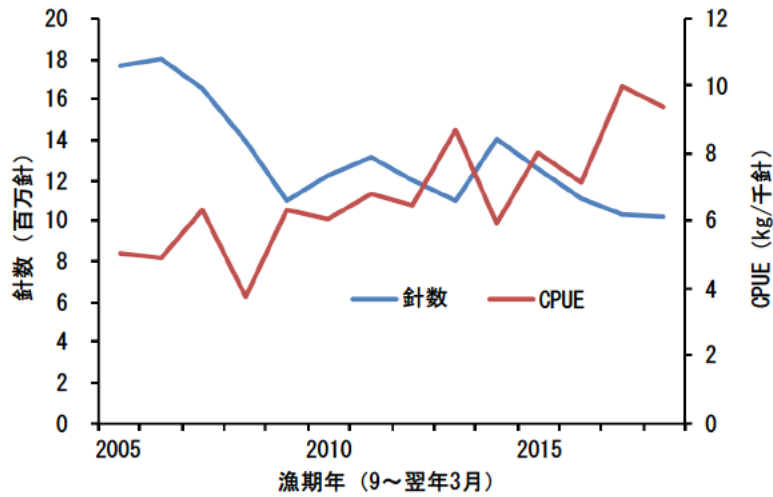


図8. 九州・山口北西海域の0歳以上を対象としたはえ縄の努力量とCPUEの推移

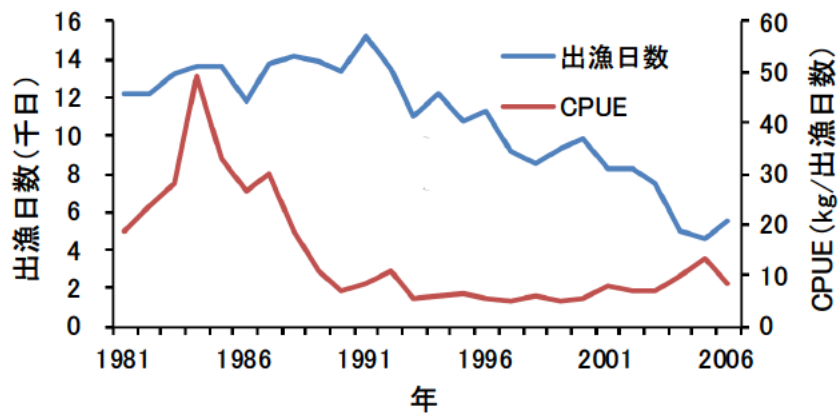


図9. 山口県瀬戸内海側のはえ縄の努力量とCPUEの推移

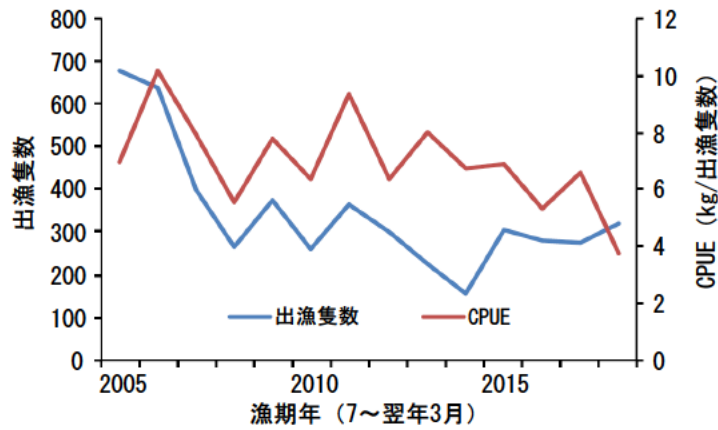


図 10. 伊予灘・豊後水道における標本 漁協の 0 歳以上を対象としたはえ縄の努力量と CPUE の推移。

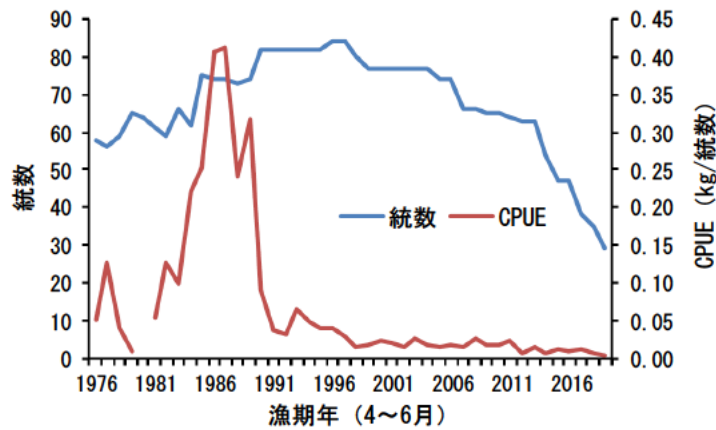


図 11. 備後灘における標本漁協の 2 歳以上の成熟個体と未成熟な 1 歳を対象とした定置網の努力量と CPUE の推移

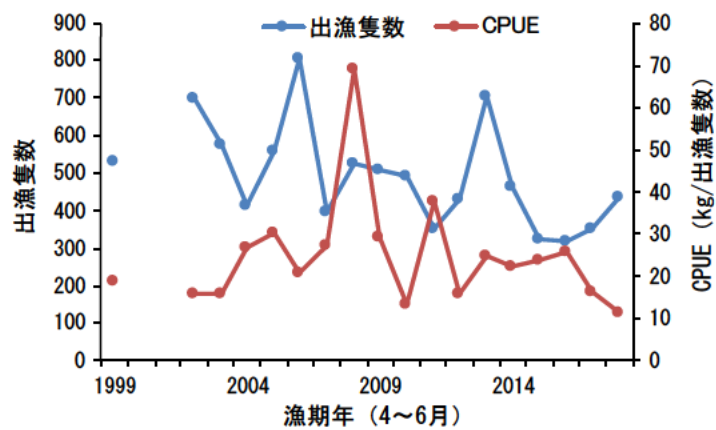


図 12. 備讃瀬戸における標本漁協の 2 歳以上の成熟個体と未成熟な 1 歳を対象とした袋待網の努力量と CPUE の推移

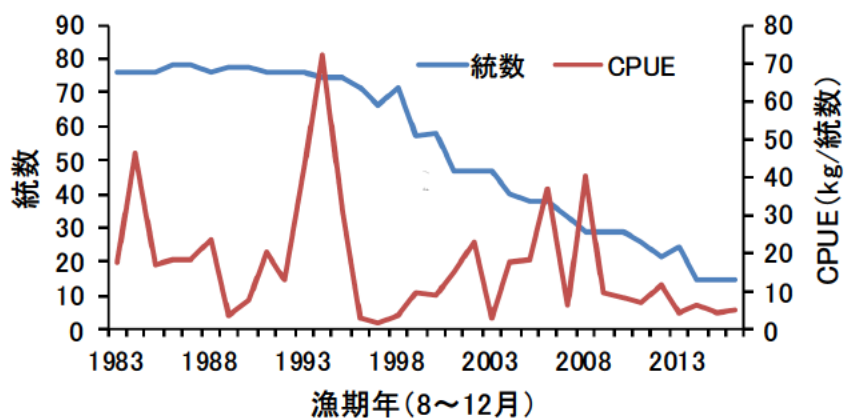


図 13. 備後灘における標本漁協の0歳を対象とした定置網の努力量とCPUEの推移

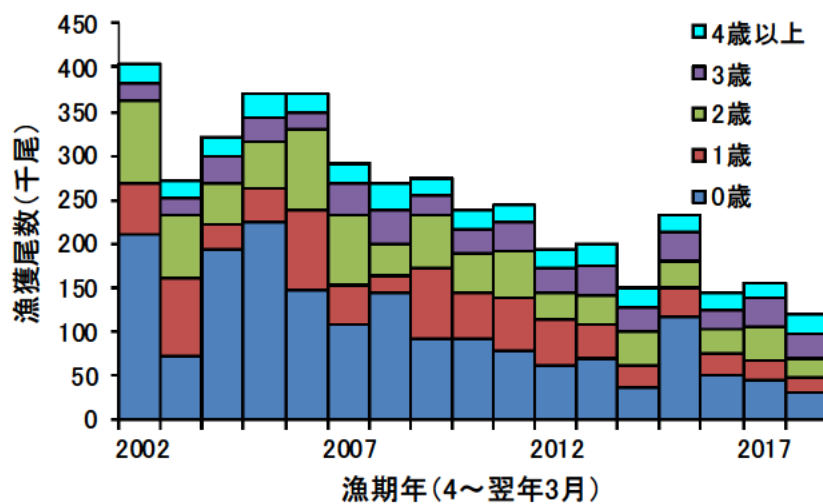


図 14. 年齢別漁獲尾数の推移

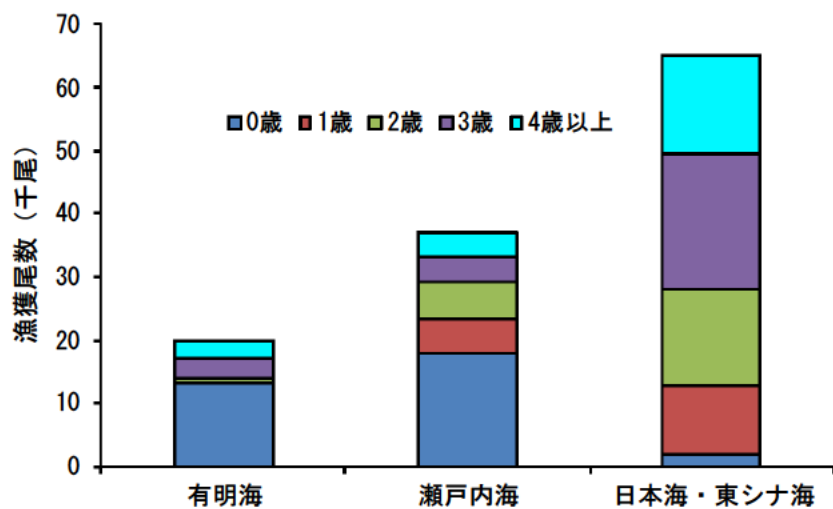


図 15. 2018年漁期の海域別年齢別漁獲尾数

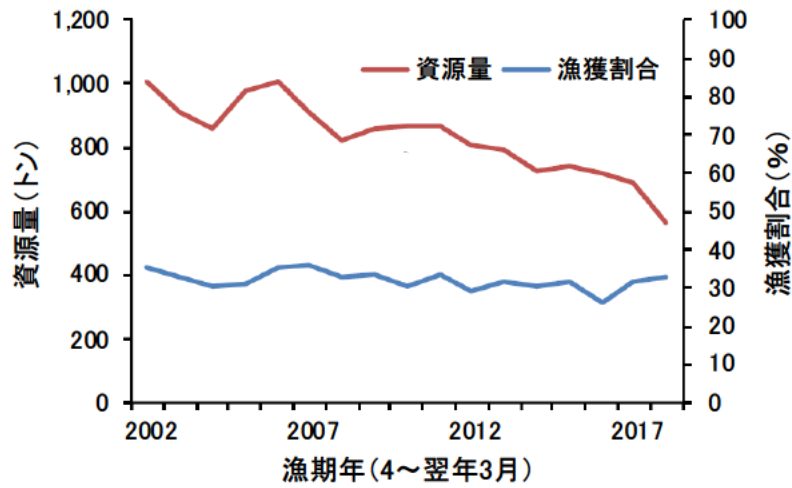


図 16. 資源量と漁獲割合の推移

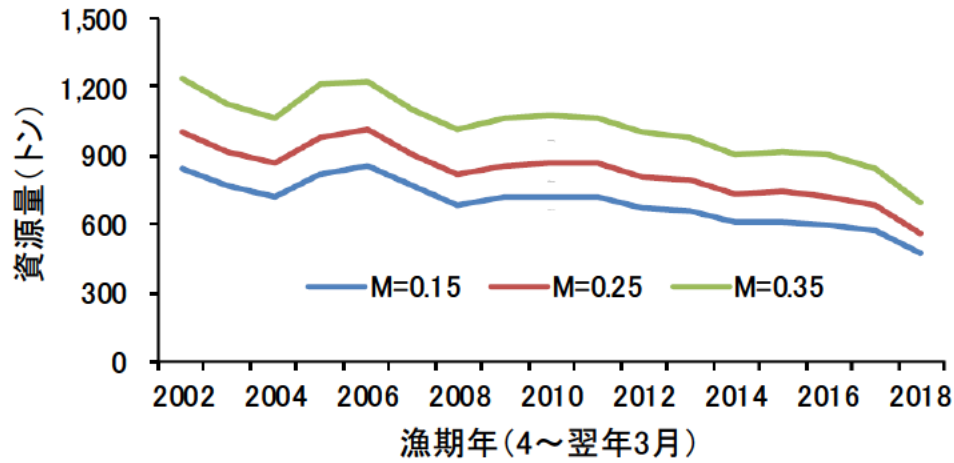


図 17. 資源量についての M の感度分析

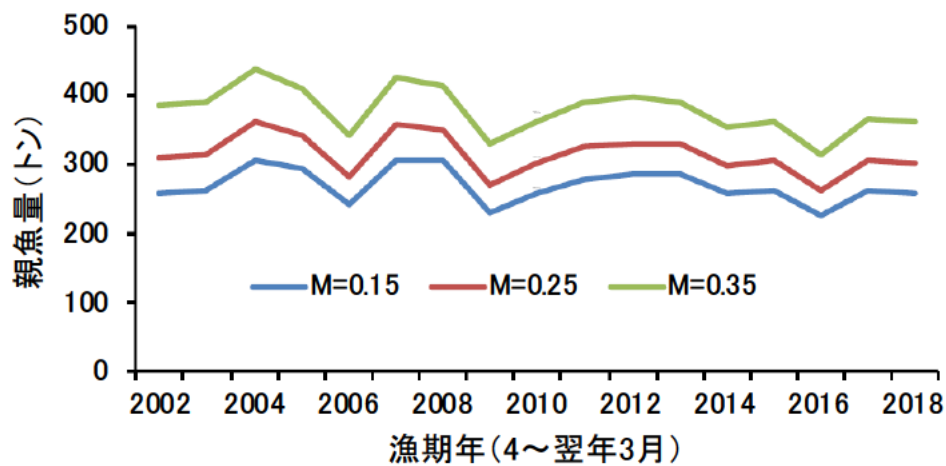


図 18. 親魚量についての M の感度分析

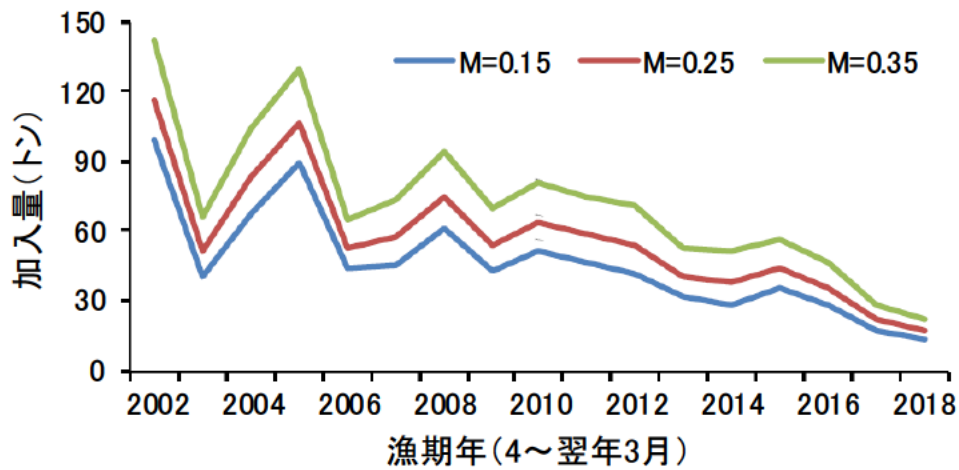


図 19. 加入量についての M の感度分析

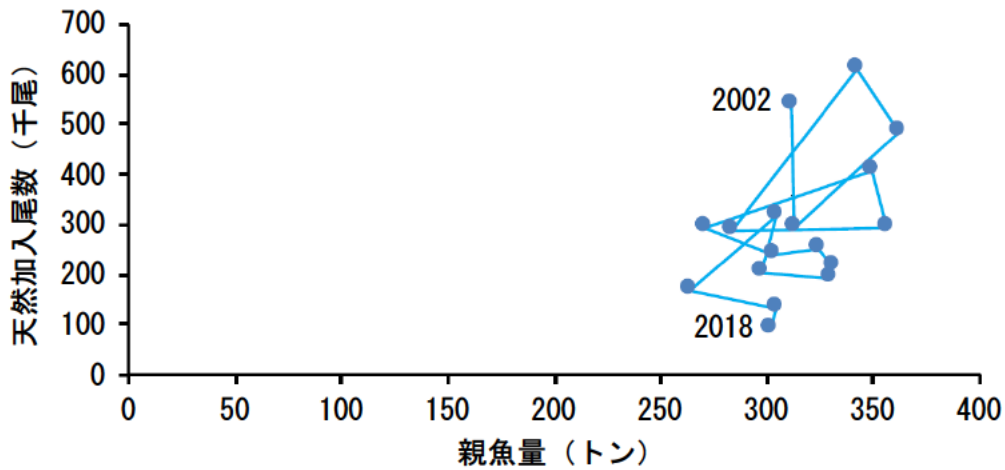


図 20. 再生産関係

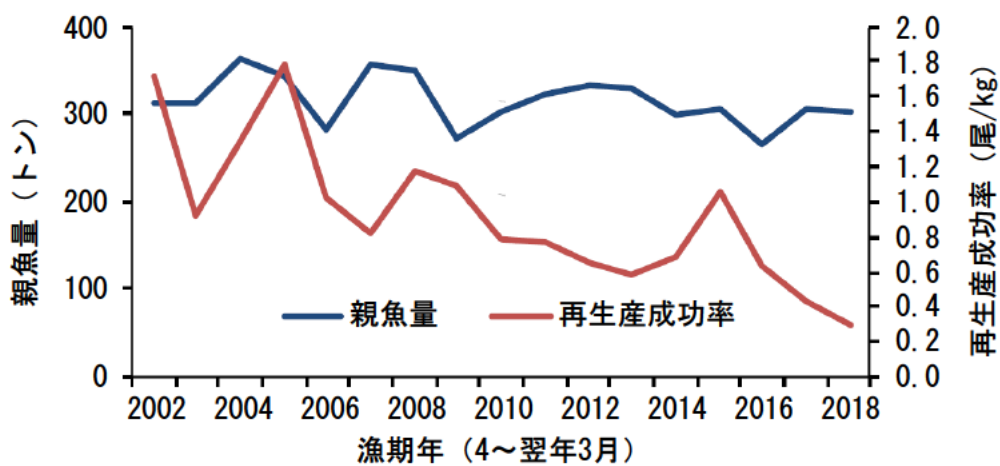


図 21. 親魚量と再生産成功率の推移

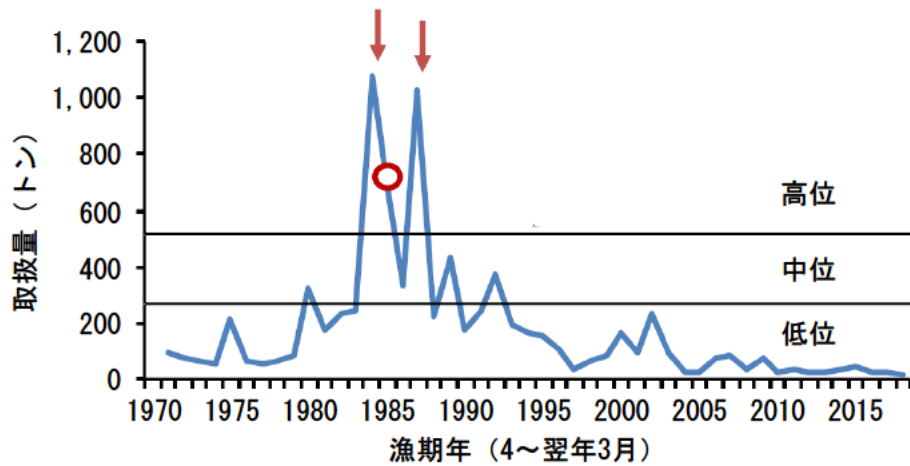


図 22. 下関唐戸魚市場の内海産取扱量の推移 資源水準の評価には矢印で示した 2 年を除外し、赤丸 (709 トン) を最大値とした。

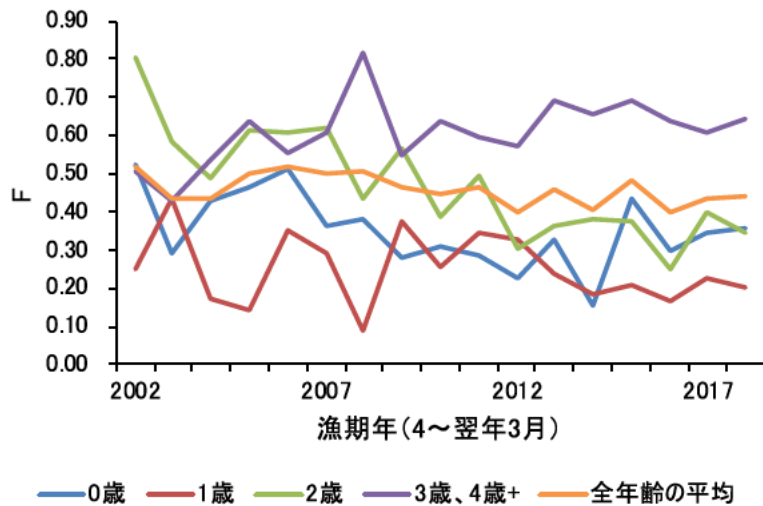


図 23. 年齢別 F の推移

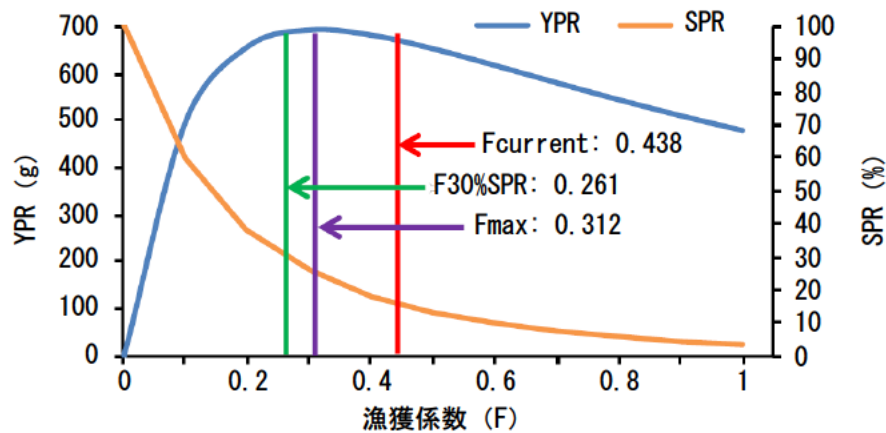


図 24. F と YPR、SPR の関係

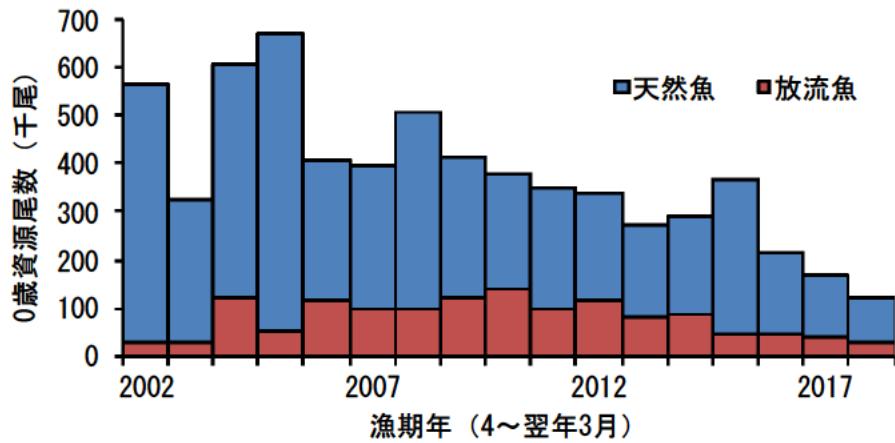


図 25. 0 歳資源尾数の天然魚と放流魚の内訳

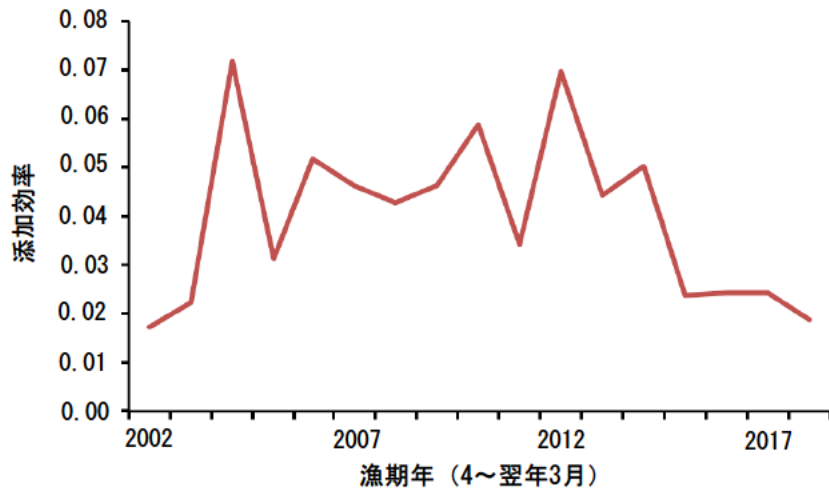


図 26. 添加効率の推移

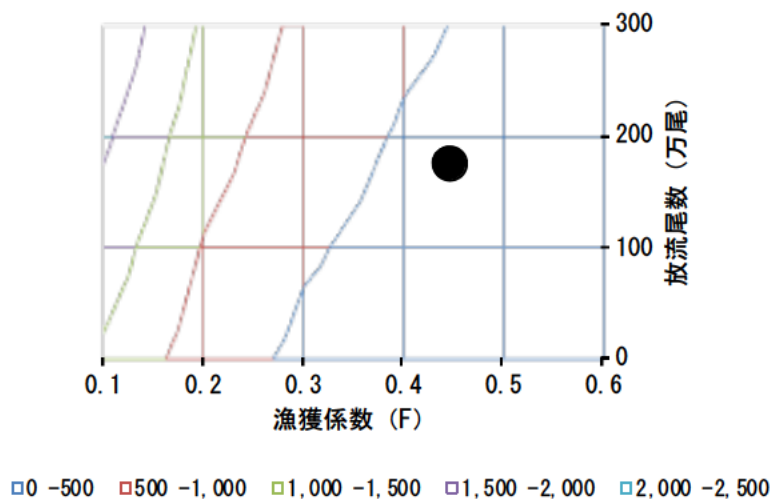


図 27. 2027 年漁期の資源量 (トン) の等量線図 黒丸は現状の F と放流尾数。

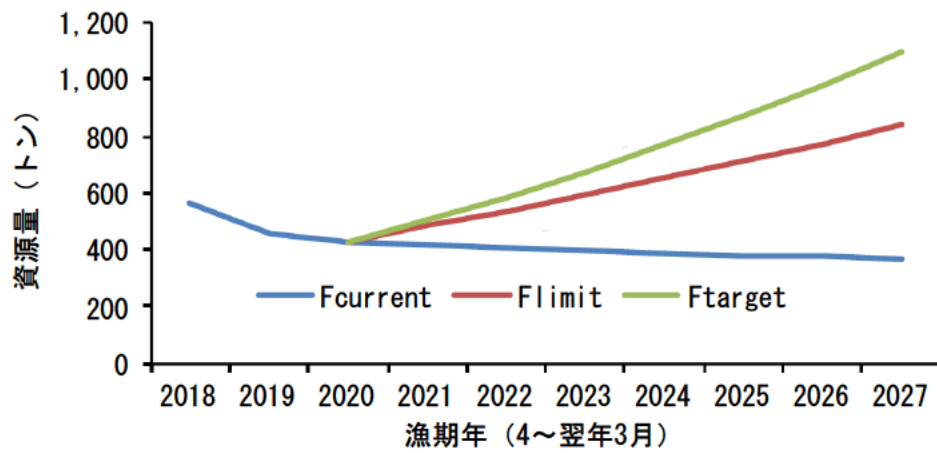


図 28. 各条件下での資源量の将来予測

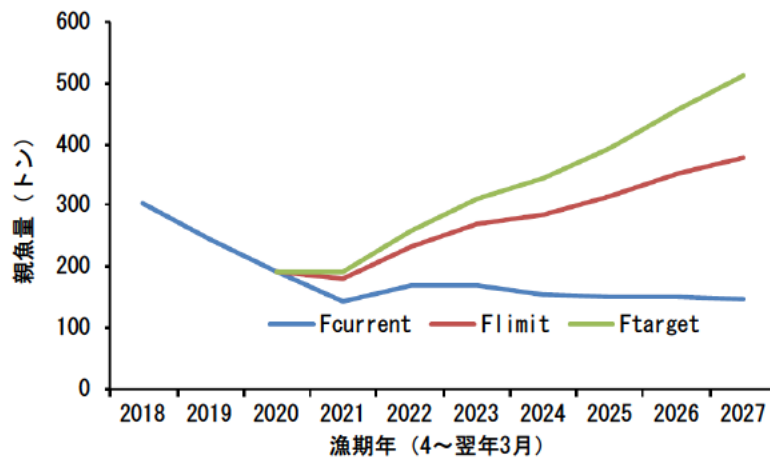


図 29. 各条件下での親魚量の将来予測

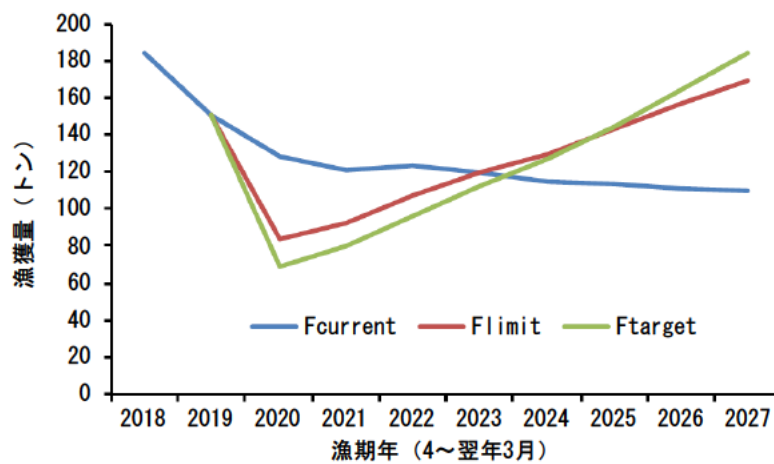


図 30. 各条件下での漁獲量の将来予測

表 1. 下関唐戸魚市場の取扱量の推移（トン）

漁期年	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
外海産	615	809	736	1,068	909	810	730	745	611	707
内海産	90	74	63	57	218	69	51	66	82	325
合計	704	883	799	1,125	1,127	879	781	811	693	1,032

漁期年	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990
外海産	513	397	395	637	973	786	865	881	577	315
内海産	172	229	247	1,079	709	336	1,025	225	428	176
合計	684	626	642	1,716	1,681	1,123	1,891	1,106	1,005	490

漁期年	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
外海産	485	471	392	234	279	164	114	95	103	94
内海産	244	369	198	168	152	105	35	65	85	165
合計	729	840	590	402	430	269	148	160	188	258

漁期年	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
外海産	87	101	73	83	100	122	124	91	81	100
内海産	92	234	95	27	29	75	89	38	70	25
合計	179	336	168	111	129	197	212	129	151	125

漁期年	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
外海産	92	86	98	78	93	82	112	108
内海産	35	23	26	36	43	30	26	18
合計	127	109	124	114	136	112	138	126

漁期年（4～翌年3月）集計。

表 2. 府県別および有明海 0 歳魚の漁獲量の推移（トン）

漁期年	秋田	石川	福井	京都	鳥取	島根	山口 日本海	福岡
2002	*0	6	8	7	4	2	56	59
2003	6	5	5	3	3	1	32	52
2004	4	7	0	3	3	1	43	50
2005	4	6	0	1	3	4	51	51
2006	5	8	4	1	2	1	40	58
2007	6	6	5	2	3	1	44	65
2008	7	5	9	4	3	2	38	27
2009	6	4	1	2	3	4	34	49
2010	6	4	4	2	3	5	33	64
2011	6	7	9	3	4	4	35	60
2012	6	8	5	2	3	3	39	59
2013	6	6	6	2	2	4	48	56
2014	7	9	9	2	1	3	24	71
2015	6	4	5	2	1	4	42	75
2016	5	6	6	2	2	3	34	54
2017	5	5	5	3	1	4	49	66
2018	5	5	6	2	1	5	51	36

*2003年1～3月のみ。

表 2. 府県別および有明海 0 歳魚の漁獲量の推移（トン）（続き）

漁期年	佐賀	長崎	熊本	**有明海 0歳魚	鹿児島	宮崎	大分	愛媛
2002	10	16	3	10	4	8	41	20
2003	13	18	5	8	1	7	36	22
2004	7	10	4	28	0	2	19	21
2005	9	24	3	16	0	4	22	19
2006	12	19	5	21	0	12	43	24
2007	9	27	10	12	1	8	28	22
2008	3	22	9	11	1	2	13	20
2009	9	23	8	10	1	4	33	29
2010	14	21	7	5	1	5	22	25
2011	9	21	10	6	1	4	25	22
2012	6	21	7	4	1	2	17	21
2013	7	19	6	6	1	3	20	12
2014	3	19	5	3	1	3	14	14
2015	5	16	7	9	1	2	15	14
2016	2	14	7	3	1	1	9	12
2017	4	16	8	3	1	1	11	13
2018	3	19	8	2	0	***1	10	***12

**福岡県、長崎県、佐賀県の漁獲量の合算。

***概数値。

表 2. 府県別および有明海 0 歳魚の漁獲量の推移（トン）（続き）

漁期年	山口 瀬戸内海	広島	岡山	兵庫 瀬戸内海	香川	徳島	和歌山	計
2002	39	10	16	***2	15	15	4	356
2003	39	10	9	10	11	5	1	304
2004	22	12	3	6	16	1	0	265
2005	33	11	12	7	20	3	0	304
2006	49	9	10	10	17	2	1	355
2007	33	4	7	15	13	3	1	328
2008	17	8	10	8	45	1	1	268
2009	26	5	6	12	18	3	1	289
2010	19	6	6	4	7	1	0	262
2011	20	6	9	9	17	1	1	289
2012	18	3	2	2	7	0	0	238
2013	16	4	6	4	17	0	0	251
2014	14	2	2	2	11	0	0	220
2015	12	2	2	2	8	0	0	233
2016	12	2	2	2	9	0	0	188
2017	11	2	1	2	7	0	0	218
2018	8	***2	***1	***2	5	***0	0	***184

***概数値。

表 3. 海域別漁法別の努力量と CPUE の推移

漁期年	九州・山口北西海域 ¹		山口県瀬戸内海側 ²		伊予灘・豊後水道 ³	
	はえ縄		はえ縄		はえ縄	
	針数	CPUE (kg/千針)	出漁 日数	CPUE (kg/出漁日数)	出漁 隻数	CPUE (kg/出漁隻数)
1981			12,214	19		
1982			12,241	24		
1983			13,187	28		
1984			13,571	49		
1985			13,687	33		
1986			11,806	27		
1987			13,800	30		
1988			14,151	19		
1989			13,911	11		
1990			13,374	7		
1991			15,170	9		
1992			13,542	11		
1993			10,970	5		
1994			12,172	6		
1995			10,727	7		
1996			11,279	5		
1997			9,141	5		
1998			8,494	6		
1999			9,319	5		
2000			9,827	6		
2001			8,229	8		
2002			8,234	7		
2003			7,505	7		
2004			5,039	10		
2005	17,647,521	5	4,597	13	680	7
2006	18,063,367	5	5,571	8	636	10
2007	16,554,741	6			399	8
2008	13,972,456	4			265	6
2009	10,988,266	6			373	8
2010	12,257,017	6			258	6
2011	13,167,825	7			365	9
2012	11,975,289	6			300	6
2013	11,037,943	9			227	8
2014	14,036,369	6			157	7
2015	12,618,270	8			307	7
2016	11,164,212	7			279	5
2017	10,362,745	10			277	7
2018	10,183,029	9			318	4

¹漁期は9～翌年3月、1歳以上を対象。²漁期は1～12月、0歳以上を対象。³漁期は7～翌年3月、0歳以上を対象。

表 3. 海域別漁法別の努力量と CPUE の推移（続き）

漁期年	備後灘 ⁴		備讃瀬戸 ⁴		備後灘 ⁵	
	定置網		袋待網		定置網	
	統数	CPUE (kg/統数)	出漁 隻数	CPUE (kg/出漁隻数)	統数	CPUE (kg/統数)
1976	58	51				
1977	56	128				
1978	59	40				
1979	65	8				
1980	64	—				
1981	61	54				
1982	59	127				
1983	66	99			76	18
1984	62	221			76	46
1985	75	251			76	17
1986	74	408			78	18
1987	74	413			78	18
1988	73	241			76	23
1989	74	318			77	4
1990	82	91			77	8
1991	82	37			76	20
1992	82	33			76	13
1993	82	65			76	43
1994	82	49			74	72
1995	82	39			74	31
1996	84	40			71	3
1997	84	29			66	2
1998	80	15			71	4
1999	77	19	531	19	57	10
2000	77	23			58	9
2001	77	21			47	15
2002	77	15	698	16	47	23
2003	77	26	578	16	47	3
2004	77	18	412	27	40	18
2005	74	14	558	30	38	18
2006	74	17	806	21	38	37
2007	66	16	398	27	33	6
2008	66	27	525	69	29	40
2009	65	18	510	29	29	10
2010	65	17	493	13	29	8
2011	64	23	354	37	26	7
2012	63	6	431	16	21	12
2013	63	13	706	25	24	4
2014	54	7	462	22	15	7
2015	47	13	322	24	15	5
2016	47	10	318	26	15	5
2017	38	12	354	16		
2018	35	5	436	12		

⁴漁期は4～6月、2歳以上の成熟個体と未成熟の1歳を対象。⁵漁期は8～12月、0歳を対象。

表 4. トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海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)	0歳資源 尾数 (尾)	漁獲割合 (%)	再生産成功率 (尾/kg)
2002	356	1,004	311	566,075	35	1.7
2003	304	914	314	323,339	33	0.9
2004	265	862	363	607,789	31	1.3
2005	304	981	343	666,324	31	1.8
2006	355	1,008	283	405,657	35	1.0
2007	328	909	357	393,597	36	0.8
2008	268	819	350	507,857	33	1.2
2009	289	858	271	415,728	34	1.1
2010	262	864	303	378,252	30	0.8
2011	289	864	324	350,116	33	0.8
2012	238	808	331	336,587	29	0.7
2013	251	793	330	272,255	32	0.6
2014	220	729	298	290,412	30	0.7
2015	233	740	305	365,210	31	1.1
2016	188	720	264	214,178	26	0.6
2017	218	687	304	170,952	32	0.4
2018	*18	562	302	120,010	33	0.3

*概数値。

表 5. 種苗放流尾数、0 歳資源尾数、混入率、添加効率の推移

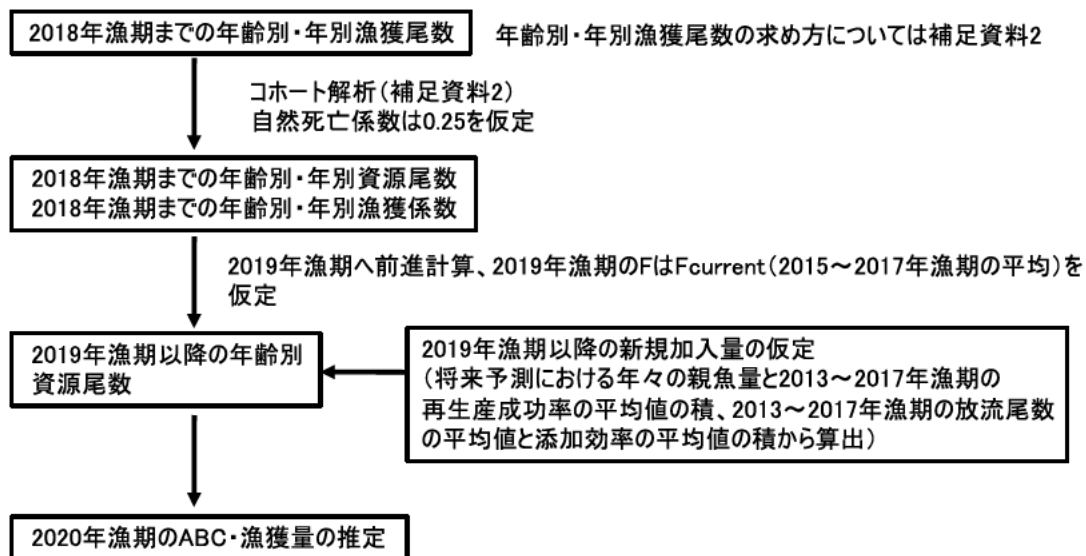
漁期年	種苗放流尾数 (千尾)	0歳資源尾数 (尾)		混入率 (%)	添加効率
		天然魚	放流魚		
2002	1,720	536,115	29,961	5.3	0.017
2003	1,412	291,528	31,812	9.8	0.023
2004	1,722	484,576	123,213	20.3	0.072
2005	1,717	612,880	53,444	8.0	0.031
2006	2,268	288,565	117,092	28.9	0.052
2007	2,171	293,714	99,883	25.4	0.046
2008	2,291	409,873	97,984	19.3	0.043
2009	2,605	295,640	120,088	28.9	0.046
2010	2,375	239,632	138,619	36.6	0.058
2011	2,940	249,534	100,582	28.7	0.034
2012	1,729	218,243	118,344	35.6	0.069
2013	1,852	190,490	81,765	30.0	0.044
2014	1,721	204,664	85,748	29.6	0.050
2015	1,877	320,213	44,997	12.2	0.024
2016	1,907	168,041	46,137	21.3	0.024
2017	1,728	129,982	40,970	24.2	0.024
2018	*1,817	87,968	32,042	28.5	0.019

*推定値。

表 6. 放流魚の海域別混入率と 0 歳魚漁獲尾数で加重平均した混入率の推移

漁期年	混入率 (%)				
	有明海	瀬戸内海西部	山口県瀬戸内海側	その他の海域	加重平均
2002	17.1	4.2	—	—	5.3
2003	11.3	11.6	—	—	9.8
2004	27.5	6.8	—	—	20.3
2005	17.2	0.3	—	—	8.0
2006	35.4	14.7	—	—	28.9
2007	40.0	9.9	—	—	25.4
2008	32.2	8.4	—	—	19.3
2009	37.4	9.1	—	—	28.9
2010	69.6	8.5	—	—	36.6
2011	58.9	2.6	—	—	28.7
2012	80.5	—	43.2	—	35.6
2013	43.7	—	100.0	—	30.0
2014	49.9	—	71.5	—	29.6
2015	15.8	—	25.6	—	12.2
2016	45.3	—	38.3	—	21.3
2017	41.8	—	25.1	—	24.2
2018	65.5	—	17.9	—	28.5

補足資料1 資源評価の流れ



補足資料 2 資源量の推定方法

(1) 年齢別漁獲尾数の算出

年齢別漁獲尾数は漁期年（4～翌年 3 月）で 2002 年漁期以降について算出した。能登半島以西の日本海、東シナ海における全長組成は山口県、福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県で得られた月別全長組成データを 4～7 月、8～11 月、12～翌年 3 月の 3 期で集計し、各期における各県の漁獲量を用いて加重平均した。標識再捕調査の結果、能登半島以北の日本海における個体群と能登半島以西の日本海、東シナ海、瀬戸内海における個体群の行き来は限定的と推定されていることから（伊藤 1998）、データが得られている 2009 年漁期以降は石川県と秋田県で得られた月別全長組成データを能登半島以西の日本海、東シナ海と同様な方法で集計した。瀬戸内海における全長組成は福岡県、大分県、愛媛県、山口県、広島県、兵庫県、香川県で得られた月別全長組成データを能登半島以西の日本海、東シナ海と同様な方法で集計した。得られた全長組成は①全長階級値別雌雄割合（補足資料 5）を用いて雌雄別全長組成に分解、②①の雌雄別全長組成を混合正規分布に分解し年齢組成に変換、③全長-体重関係式によって①の雌雄別全長組成を重量化、④漁獲量と③の比を用いて②の年齢組成を引き延すという手順によって年齢別漁獲尾数に変換した。ただし、有明海における 4～6 月の漁獲物は性比が雄に偏るため（松村 2006）、全てを雄とした。全長階級値別雌雄割合は 1979～2016 年漁期に日本海、東シナ海、瀬戸内海で漁獲された個体のデータ（4～7 月：7,800 個体、8～11 月：1,541 個体、12～翌年 3 月：2,894 個体）から作成した（補足資料 5）。また、成育場である有明海における 0 歳については 9～12 月の調査個体数を漁獲物に占める調査した割合で除す方法で 0 歳の漁獲尾数を算出した。

(2) コホート解析

解析年を漁期年、4 月を誕生日、 $M=0.25$ として、Pope の近似式により資源尾数を推定した。0 歳は 7 月加入とし、 M に 9/12 を乗じた。

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

$N_{a,y}$ は y 年漁期における a 歳の資源尾数で、 $C_{a,y}$ は y 年漁期における a 歳の漁獲尾数。

a 歳、 y 年漁期の F は、

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

で計算した。

雌雄それぞれの成長式（上田ほか 2010）では 6 歳以上で全長の差異が微細になることから、5 歳まで年齢分解し、4 歳以上をプラスグループとして 3 歳と 4 歳以上の F が等しいと仮定し、3 歳と 4 歳以上の資源尾数は以下の式で計算した。

$$N_{3,y} = \frac{C_{3,y}}{C_{4+,y} + C_{3,y}} N_{4+,y+1}e^M + C_{3,y}e^{\frac{M}{2}}$$

$$N_{4+,y} = \frac{C_{4+,y}}{C_{3,y}} N_{3,y}$$

最近年の資源尾数は、

$$N_{a,2018} = \frac{C_{a,2017}}{1 - e^{-F_{a,2018}}} e^{\frac{M}{2}}$$

で計算した。2018 年漁期の 0～3 歳の F は各年齢の過去 3 年間の平均とし、4 歳以上の F は 3 歳の F と等しくなるように探索的に求めた。

【SPR、YPR の解析】

SPR、YPR を以下の式で求めた。

$$SPR = \sum_{a=0}^{10} S_a f r_a W_a$$

$$S_{a+1} = S_a e^{(-F_a - M)} (S_0 = 1)$$

$$YPR = \sum_{a=0}^{10} \frac{F_a}{F_a + M} (1 - e^{(-F_a - M)}) S_a W_a$$

S_a は a 歳の残存率、 $f r_a$ は a 歳の成熟率、 W_a は a 歳の平均体重。

【将来予測】

各年齢の資源尾数は以下の式で求めた。

$$N_{0,y} = \sum_{a=3}^{4+} N_{a,y} f r_a W_a \times RPS + R_y \times A_y$$

$$N_{a,y} = N_{a-1,y-1} e^{-M} - C_{a-1,y-1} e^{-\frac{M}{2}} (a = 1 \sim 3)$$

$$N_{4+,y} = N_{3,y-1} e^{-M} - C_{3,y-1} e^{-\frac{M}{2}} + N_{4+,y-1} e^{-M} - C_{4+,y} e^{-\frac{M}{2}}$$

R_y は y 年漁期の有効放流尾数、 A_y は y 年漁期における添加効率。1 歳の資源尾数推定は M に 9/12 を乗じた。

各年齢の漁獲尾数は以下の式で求めた。

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

今後の天然の加入量は直近年を除く 5 年（2013～2017 年漁期）の再生産成功率の平均値（0.3 尾/kg）と親魚量の積によって推定した。さらに、今後の放流由来の加入量は直近年を除く 5 年（2013～2017 年漁期）の放流尾数の平均値（182 万尾）と添加効率の平均値（0.033）の積によって推定した。資源量を算出するために用いる年齢別平均体重は成長式（上田ほか 2010）および全長-体重関係式（松村 2006）から求められた月別雌雄別年齢別の体重を 4～7 月、8～11 月、12～翌年 3 月の各期で平均し、日本海・東シナ海、瀬戸内海、有明海の漁獲尾数で加重平均した値を用いた。4 歳以上は寿命とされる 10 歳までの平均体重を用いた。将来予測には 2013～2017 年漁期の各年齢の平均体重を用いた。

引用文献

- 伊藤正木 (1998) 標識放流効果から推定した秋田沖漁場のトラフグ成魚の移動・回遊. 日水誌, **64**, 645-649.
- 松村靖治 (2006) 有明海におけるトラフグ *Takifugu rubripes* の人工種苗の産卵回帰時の放流効果. 日水誌, **72**, 1029-1038.
- 上田幸男・佐野二郎・内田秀和・天野千絵・松村靖治・片山貴士 (2010) 東シナ海, 日本海および瀬戸内海産トラフグの成長と Age-length key. 日水誌, **76**, 803-811.

補足資料3 コホート解析結果の詳細

年齢別漁獲尾数 (尾)																	
漁期年	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳	210,011	74,296	193,035	224,761	147,700	109,220	145,921	91,996	91,690	79,303	61,749	68,920	38,213	116,674	49,767	45,138	32,761
1歳	59,568	86,077	28,342	37,777	91,256	44,824	16,749	79,440	52,320	59,600	53,382	41,216	23,935	34,524	26,849	23,431	16,168
2歳	92,869	72,093	48,076	53,134	89,383	77,811	36,579	61,895	43,617	53,993	29,046	32,842	38,473	29,337	25,390	37,574	21,053
3歳	19,890	20,440	29,247	27,820	20,747	37,922	39,193	22,098	29,656	32,262	28,792	32,159	28,295	32,064	23,436	31,747	28,357
4歳以上	22,025	17,282	22,602	26,764	20,423	19,714	29,861	17,954	20,082	19,529	21,770	25,318	21,605	20,863	19,482	17,206	21,571
計	404,364	270,188	321,302	370,256	369,508	289,490	268,302	273,382	237,366	244,687	194,740	200,454	150,521	233,461	144,925	155,096	119,909
年齢別漁獲係数																	
漁期年	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳	0.52	0.29	0.43	0.46	0.51	0.36	0.38	0.28	0.31	0.29	0.23	0.33	0.16	0.43	0.29	0.34	0.36
1歳	0.25	0.43	0.17	0.14	0.35	0.29	0.09	0.37	0.26	0.35	0.32	0.24	0.18	0.21	0.17	0.22	0.20
2歳	0.81	0.59	0.49	0.62	0.61	0.62	0.43	0.57	0.39	0.49	0.30	0.36	0.38	0.38	0.25	0.40	0.34
3歳	0.51	0.43	0.54	0.63	0.56	0.61	0.82	0.55	0.64	0.59	0.57	0.69	0.66	0.69	0.63	0.61	0.65
4歳以上	0.51	0.43	0.54	0.63	0.56	0.61	0.82	0.55	0.64	0.59	0.57	0.69	0.66	0.69	0.63	0.61	0.65
単純平均	0.52	0.43	0.43	0.50	0.52	0.50	0.51	0.46	0.44	0.46	0.40	0.46	0.41	0.48	0.40	0.44	0.44
年齢別資源尾数 (尾)																	
漁期年	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳	566,075	323,339	607,789	666,324	405,657	393,597	507,857	415,728	378,252	350,116	336,587	272,255	290,412	365,210	214,178	170,952	120,010
1歳	304,093	278,075	200,410	328,114	347,755	201,819	226,858	288,166	260,888	230,097	218,050	222,817	162,955	205,966	196,537	132,247	100,626
2歳	190,124	184,259	140,603	131,068	222,197	190,299	117,620	161,896	154,319	157,007	126,603	122,708	137,157	105,787	129,939	129,369	82,316
3歳	56,597	66,112	79,879	67,074	55,185	94,167	79,537	59,322	71,463	81,691	74,629	72,965	66,582	72,866	56,498	78,790	67,593
4歳以上	62,671	55,896	61,731	64,529	54,323	48,952	60,598	48,197	48,391	49,449	56,427	57,445	50,840	47,412	46,965	42,702	51,417
計	1,179,560	907,682	1,090,412	1,257,110	1,085,117	928,835	992,470	973,310	913,312	868,360	812,295	748,190	707,947	797,242	644,117	554,058	421,961

補足資料3 コホート解析結果の詳細(続き)

年齢別資源量 (トン)																	
漁期年	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳	116	51	82	106	52	57	75	54	63	58	54	40	37	44	35	22	17
1歳	267	240	182	308	292	181	205	261	241	210	207	215	163	209	202	135	101
2歳	309	310	235	224	380	314	190	272	257	271	217	208	231	183	219	225	141
3歳	128	150	182	153	124	213	173	131	161	180	166	161	149	165	126	179	152
4歳以上	184	164	181	189	159	144	177	141	142	144	166	169	149	140	138	125	151
計	1,004	914	862	981	1,008	909	819	858	864	864	808	793	729	740	720	687	562

年齢別親魚量 (トン)																	
漁期年	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1歳	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2歳	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3歳	128	150	182	153	124	213	173	131	161	180	166	161	149	165	126	179	152
4歳以上	184	164	181	189	159	144	177	141	142	144	166	169	149	140	138	125	151
計	311	314	363	343	283	357	350	271	303	324	331	330	298	305	264	304	302

年齢別平均体重 (g)																	
漁期年	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳	206	157	136	159	128	144	147	130	167	166	159	148	129	121	163	128	143
1歳	879	862	909	940	840	899	905	904	923	914	948	966	1,001	1,014	1,028	1,021	1,006
2歳	1,627	1,681	1,670	1,708	1,710	1,648	1,613	1,682	1,665	1,728	1,711	1,697	1,681	1,725	1,689	1,741	1,714
3歳	2,256	2,264	2,274	2,288	2,252	2,265	2,170	2,204	2,258	2,202	2,221	2,200	2,232	2,269	2,227	2,271	2,244
4歳以上	2,928	2,932	2,933	2,930	2,926	2,934	2,925	2,917	2,931	2,921	2,937	2,942	2,930	2,942	2,937	2,938	2,932

補足資料 4 将来予測の詳細

Ftarget

年齢別漁獲係数

漁期年	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0歳	0.36	0.36	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
1歳	0.20	0.20	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
2歳	0.34	0.34	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
3歳	0.65	0.65	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
4歳以上	0.65	0.65	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
単純平均	0.44	0.44	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21

年齢別資源尾数（尾）

漁期年	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0歳	120,010	226,131	190,700	189,127	235,120	271,732	292,221	326,614	368,542	405,970
1歳	100,626	69,451	130,935	133,143	132,044	164,156	189,718	204,023	228,036	257,309
2歳	82,316	64,099	44,241	92,689	94,252	93,474	116,206	134,301	144,428	161,426
3歳	67,593	45,529	35,453	29,286	61,357	62,392	61,877	76,924	88,903	95,606
4歳以上	51,417	48,624	38,468	42,377	41,083	58,726	69,434	75,278	87,254	100,987
計	421,961	453,834	439,797	486,622	563,856	650,480	729,456	817,141	917,162	1,021,298

年齢別資源量（トン）

漁期年	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0歳	17	31	26	26	32	37	40	45	51	56
1歳	101	70	132	134	133	165	191	205	229	259
2歳	141	109	76	158	161	160	198	229	246	276
3歳	152	102	79	66	137	140	139	172	199	214
4歳以上	151	143	113	124	121	173	204	221	256	297
計	562	455	426	508	584	674	772	873	982	1,101
親魚量	302	245	192	190	258	312	343	393	455	511

年齢別漁獲尾数（尾）

漁期年	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0歳	32,761	61,653	27,006	26,783	33,296	38,481	41,382	46,253	52,190	57,491
1歳	16,168	11,159	10,520	10,697	10,609	13,189	15,243	16,392	18,321	20,673
2歳	21,053	16,394	5,857	12,271	12,478	12,375	15,385	17,780	19,121	21,371
3歳	28,357	19,100	8,257	6,820	14,289	14,530	14,410	17,915	20,704	22,266
4歳以上	21,571	20,399	8,959	9,869	9,568	13,677	16,170	17,531	20,320	23,519
計	119,909	128,705	60,598	66,440	80,240	92,252	102,590	115,871	130,657	145,319

年齢別漁獲量（トン）

漁期年	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0歳	5	8	4	4	5	5	6	6	7	8
1歳	16	11	11	11	11	13	15	16	18	21
2歳	36	28	10	21	21	21	26	30	33	36
3歳	64	43	18	15	32	33	32	40	46	50
4歳以上	63	60	26	29	28	40	48	52	60	69
計	184	150	69	80	97	112	127	145	164	184

補足資料 4 将来予測の詳細（続き）

Flimit

年齢別漁獲係数

漁期年	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0歳	0.36	0.36	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
1歳	0.20	0.20	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
2歳	0.34	0.34	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
3歳	0.65	0.65	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
4歳以上	0.65	0.65	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38
単純平均	0.44	0.44	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26	0.26

年齢別資源尾数（尾）

漁期年	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0歳	120,010	226,131	190,700	181,154	218,773	243,918	252,656	273,342	298,294	317,287
1歳	100,626	69,451	130,935	127,626	121,237	146,414	163,242	169,090	182,934	199,633
2歳	82,316	64,099	44,241	90,503	88,216	83,800	101,202	112,834	116,876	126,445
3歳	67,593	45,529	35,453	28,120	57,524	56,071	53,264	64,325	71,718	74,287
4歳以上	51,417	48,624	38,468	39,253	35,775	49,543	56,081	58,063	64,989	72,592
計	421,961	453,834	439,797	466,655	521,526	579,746	626,446	677,653	734,810	790,244

年齢別資源量（トン）

漁期年	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0歳	17	31	26	25	30	34	35	38	41	44
1歳	101	70	132	128	122	147	164	170	184	201
2歳	141	109	76	154	151	143	173	193	199	216
3歳	152	102	79	63	129	126	119	144	161	166
4歳以上	151	143	113	115	105	146	165	171	191	213
計	562	455	426	486	537	595	656	715	776	840
親魚量	302	245	192	178	234	271	284	315	352	380

年齢別漁獲尾数（尾）

漁期年	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0歳	32,761	61,653	33,072	31,417	37,941	42,302	43,817	47,405	51,732	55,026
1歳	16,168	11,159	12,996	12,668	12,034	14,533	16,203	16,784	18,158	19,815
2歳	21,053	16,394	7,179	14,685	14,314	13,597	16,421	18,308	18,964	20,517
3歳	28,357	19,100	9,955	7,896	16,152	15,744	14,956	18,062	20,138	20,859
4歳以上	21,571	20,399	10,801	11,022	10,045	13,911	15,747	16,303	18,248	20,383
計	119,909	128,705	74,004	77,687	90,486	100,087	107,144	116,862	127,240	136,600

年齢別漁獲量（トン）

漁期年	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0歳	5	8	5	4	5	6	6	7	7	8
1歳	16	11	13	13	12	15	16	17	18	20
2歳	36	28	12	25	24	23	28	31	32	35
3歳	64	43	22	18	36	35	33	40	45	47
4歳以上	63	60	32	32	30	41	46	48	54	60
計	184	150	84	92	107	120	130	143	156	169

補足資料 4 将来予測の詳細（続き）

Fcurrent

年齢別漁獲係数

漁期年	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0歳	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
1歳	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
2歳	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34
3歳	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
4歳以上	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65	0.65
単純平均	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44

年齢別資源尾数（尾）

漁期年	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0歳	120,010	226,131	190,700	157,649	174,830	175,082	163,581	162,889	163,360	160,010
1歳	100,626	69,451	130,935	110,420	91,283	101,231	101,377	94,717	94,317	94,589
2歳	82,316	64,099	44,241	83,406	70,338	58,147	64,484	64,577	60,335	60,080
3歳	67,593	45,529	35,453	24,469	46,132	38,904	32,161	35,666	35,717	33,371
4歳以上	51,417	48,624	38,468	30,202	22,337	27,974	27,325	24,304	24,502	24,604
計	421,961	453,834	439,797	406,147	404,919	401,338	388,928	382,154	378,232	372,655

年齢別資源量（トン）

漁期年	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0歳	17	31	26	22	24	24	23	22	23	22
1歳	101	70	132	111	92	102	102	95	95	95
2歳	141	109	76	142	120	99	110	110	103	103
3歳	152	102	79	55	103	87	72	80	80	75
4歳以上	151	143	113	89	66	82	80	71	72	72
計	562	455	426	419	405	395	387	379	372	367
親魚量	302	245	192	144	169	169	152	151	152	147

年齢別漁獲尾数（尾）

漁期年	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0歳	32,761	61,653	51,993	42,982	47,666	47,735	44,599	44,411	44,539	43,626
1歳	16,168	11,159	21,038	17,742	14,667	16,265	16,289	15,219	15,154	15,198
2歳	21,053	16,394	11,315	21,332	17,990	14,872	16,492	16,516	15,431	15,366
3歳	28,357	19,100	14,873	10,265	19,353	16,321	13,492	14,963	14,984	14,000
4歳以上	21,571	20,399	16,138	12,671	9,371	11,736	11,463	10,196	10,279	10,322
計	119,909	128,705	115,358	104,992	109,047	106,929	102,336	101,305	100,388	98,512

年齢別漁獲量（トン）

漁期年	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0歳	5	8	7	6	7	7	6	6	6	6
1歳	16	11	21	18	15	16	16	15	15	15
2歳	36	28	19	36	31	25	28	28	26	26
3歳	64	43	33	23	43	37	30	34	34	31
4歳以上	63	60	47	37	28	34	34	30	30	30
計	184	150	128	120	123	119	115	113	111	109

補足資料 5 全長階級別雌雄割合

全長 (mm)	4～7月		8～11月		12～翌年3月	
	雄	雌	雄	雌	雄	雌
100	—	—	0.00	1.00	—	—
110	—	—	0.58	0.42	—	—
120	—	—	0.63	0.38	—	—
130	—	—	0.43	0.57	1.00	0.00
140	—	—	0.48	0.52	—	—
150	—	—	0.38	0.62	—	—
160	—	—	0.44	0.56	0.67	0.33
170	—	—	0.53	0.47	0.60	0.40
180	—	—	0.45	0.55	0.44	0.56
190	0.75	0.25	0.44	0.56	0.61	0.39
200	0.50	0.50	0.52	0.48	0.51	0.49
210	0.50	0.50	0.48	0.52	0.48	0.53
220	0.47	0.53	0.48	0.52	0.59	0.41
230	0.40	0.60	0.64	0.36	0.52	0.48
240	0.45	0.55	0.50	0.50	0.45	0.55
250	0.35	0.65	0.47	0.53	0.53	0.47
260	0.36	0.64	0.38	0.63	0.61	0.39
270	0.40	0.60	0.50	0.50	0.41	0.59
280	0.56	0.44	0.20	0.80	0.42	0.58
290	0.53	0.47	0.38	0.63	0.40	0.60
300	0.40	0.60	0.47	0.53	1.00	0.00
310	0.56	0.44	0.57	0.43	0.38	0.63
320	0.29	0.71	0.45	0.55	0.44	0.56
330	0.50	0.50	0.52	0.48	0.41	0.59
340	0.53	0.47	0.61	0.39	0.61	0.39
350	0.59	0.41	0.54	0.46	0.60	0.40
360	0.68	0.32	0.42	0.58	0.52	0.48
370	0.72	0.28	0.44	0.56	0.55	0.45
380	0.74	0.26	0.41	0.59	0.54	0.46
390	0.82	0.18	0.50	0.50	0.54	0.46
400	0.85	0.15	0.61	0.39	0.54	0.46
410	0.81	0.19	0.70	0.30	0.53	0.47
420	0.82	0.18	0.55	0.45	0.50	0.50
430	0.82	0.18	0.57	0.43	0.49	0.51
440	0.80	0.20	0.65	0.35	0.40	0.60
450	0.77	0.23	0.33	0.67	0.37	0.63

補足資料 5 全長階級別雌雄割合（続き）

全長 (mm)	4～7月		8～11月		12～翌年3月	
	雄	雌	雄	雌	雄	雌
460	0.77	0.23	0.53	0.47	0.37	0.63
470	0.70	0.30	0.75	0.25	0.32	0.68
480	0.60	0.40	0.50	0.50	0.29	0.71
490	0.54	0.46	0.46	0.54	0.18	0.82
500	0.51	0.49	0.55	0.45	0.22	0.78
510	0.43	0.57	0.50	0.50	0.21	0.79
520	0.48	0.52	0.29	0.71	0.19	0.81
530	0.43	0.57	1.00	0.00	0.18	0.82
540	0.39	0.61	0.63	0.38	0.23	0.77
550	0.36	0.64	0.25	0.75	0.24	0.76
560	0.33	0.67	0.50	0.50	0.13	0.87
570	0.23	0.77	1.00	0.00	0.29	0.71
580	0.20	0.80	0.00	1.00	0.22	0.78
590	0.11	0.89	0.00	1.00	0.19	0.81
600	0.14	0.86	—	—	0.12	0.88
610	0.09	0.91	1.00	0.00	0.27	0.73
620	0.09	0.91	0.00	1.00	0.33	0.67
630	0.04	0.96	—	—	0.20	0.80
640	0.07	0.93	—	—	0.00	1.00
650	0.07	0.93	—	—	0.20	0.80
660	0.07	0.93	—	—	0.00	1.00
670	0.03	0.97	—	—	0.00	1.00
680	0.00	1.00	—	—	0.00	1.00
690	0.00	1.00	—	—	—	—
700	0.00	1.00	—	—	0.00	1.00
710	0.00	1.00	—	—	0.00	1.00
720	0.00	1.00	1.00	0.00	—	—
730	0.00	1.00	—	—	—	—
740	1.00	0.00	—	—	—	—
750	0.00	1.00	—	—	—	—
760	—	—	—	—	—	—
770	—	—	—	—	—	—
780	—	—	—	—	—	—
790	—	—	—	—	—	—
800	—	—	—	—	—	—

補足資料 6 Vector Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) モデルによる漁獲成績データの分析

九州・山口北西海域はえ縄漁業の漁獲成績報告書のデータを使用し、本系群の資源量指標値の標準化を行った。本データには月別銘柄別（大・中・小）の漁獲量と努力量（針数）が含まれており、利用可能な 2005～2017 年漁期までの、はえ縄漁業の漁期である 9～翌年 3 月のデータを使用した。各銘柄の体長と体重は小が体長 30.1 cm 以上 34.9 cm 以下、体重 625.1 g 以上 699 g 以下、中が 35.0 cm 以上 44.9 cm 以下、700 g 以上 1.49 kg 以下、大が 45.0 cm 以上、1.5 kg 以上で、それぞれ 0 歳、1～2 歳、3 歳以上に相当する。データの空間範囲は北緯 32.08～40.25 度、東経 128.6～134.8 度にまたがっていたが、北緯 36 度以北のデータはまばらで他のデータと地理的に離れていたため除いた（解析に使用したサンプル数は $N = 5,143$ ）。

標準化の解析には Vector Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) モデルを使用した (Thorson and Barnett 2017)。VAST は空間自己相関を考慮することで、相対密度の時空間変動の柔軟な取り扱いを可能にした CPUE 標準化の手法である。シミュレーションにより、従来の一般化線形モデルや一般化加法モデルを含む CPUE 標準化手法を比較した研究では、VAST は総合的なパフォーマンスが最も高かったという報告が得られている (Grüss et al. 2019)。VAST は漁獲率を遭遇確率と有漁漁獲率に分けて、以下の 2 つの線形予測子で表す：

$$p_1(i)$$

$$= \beta_1(c_i, t_i) + \sum_{f=1}^{n_{\omega 1}} L_{\omega 1}(c_i, f) \omega_1(s_i, f) + \sum_{f=1}^{n_{\varepsilon 1}} L_{\varepsilon 1}(c_i, f) \varepsilon_1(s_i, f, t_i) + \sum_{f=1}^{n_{\eta 1}} L_1(c_i, f) \eta_1(v_i, f) \\ + \sum_{p=1}^{n_p} \gamma_1(c_i, t_i, p) X(x_i, t_i, p) + \sum_{k=1}^{n_k} \lambda_1(k) Q(i, k)$$

$$p_2(i)$$

$$= \beta_2(c_i, t_i) + \sum_{f=1}^{n_{\omega 2}} L_{\omega 2}(c_i, f) \omega_2(s_i, f) + \sum_{f=1}^{n_{\varepsilon 2}} L_{\varepsilon 2}(c_i, f) \varepsilon_2(s_i, f, t_i) + \sum_{f=1}^{n_{\delta 2}} L_2(c_i, f) \eta_2(v_i, f) \\ + \sum_{p=1}^{n_p} \gamma_2(c_i, t_i, p) X(x_i, t_i, p) + \sum_{k=1}^{n_k} \lambda_2(k) Q(i, k)$$

右辺の第 1 項は各漁期年の効果を表し、第 2 項と第 3 項は空間と時空間のランダム効果をそれぞれ表している。第 4 項は漁具能率の過分散の要因となるランダム効果を表しており、第 5 項と第 6 項はそれぞれ密度と漁具能率に影響する固定効果を示している。

VAST では初めに、空間情報からクラスタリングの一種である k-平均法により空間分布を近似するノットを決め、ノットにおける相対密度の時空間変化をモデル化する。空間効果の確率密度関数は多変量正規分布 (MVN) を使って、

$$\omega_1(\cdot, f) \sim MVN(0, \mathbf{R}_1), \quad \omega_2(\cdot, f) \sim MVN(0, \mathbf{R}_2)$$

と表す。ここで、 $\mathbf{R}_1$ 、 $\mathbf{R}_2$ は Matérn 相関関数であり、

$$R_1(s_n, s_m) = \frac{1}{2^{\varphi-1}\Gamma(\varphi)} \times (\kappa_1 |d(s_n, s_m)H|)^{\varphi} \times K_{\nu}(\kappa_1 |d(s_n, s_m)H|),$$

$$R_2(s_n, s_m) = \frac{1}{2^{\varphi-1}\Gamma(\varphi)} \times (\kappa_2 |d(s_n, s_m)H|)^{\varphi} \times K_{\nu}(\kappa_2 |d(s_n, s_m)H|)$$

と表される。ここでは、 $\varphi = 1$ として推定しない。 Γ はガンマ関数。 K_{ν} は第2種の変形ベッセル関数、 κ_1 と κ_2 は非相関率、 $d(s_n, s_m)$ はノット間の距離、 H は地理的な異方性（方角によって相関の程度が異なること）を表す行列である。同様に、時空間効果の確率密度関数は、

$$\varepsilon_1(\cdot, f, t) \sim \begin{cases} MVN(0, R_1) & \text{if } t = 1 \\ MVN(\rho_{\varepsilon 1} \varepsilon_1(\cdot, f, t-1), R_1) & \text{if } t > 1 \end{cases}$$

$$\varepsilon_2(\cdot, f, t) \sim \begin{cases} MVN(0, R_2) & \text{if } t = 1 \\ MVN(\rho_{\varepsilon 2} \varepsilon_2(\cdot, f, t-1), R_2) & \text{if } t > 1 \end{cases}$$

与えられるが、本解析では漁期年で独立と仮定した（ $\rho_{\varepsilon 1} = \rho_{\varepsilon 2} = 0$ ）。上記モデルのパラメータは、最尤法によって推定されるが、多くのランダム効果を伴うため、高速な計算が必要であり、Template Model Builder (Kristensen et al. 2016) と呼ばれる高速最適化ソフトが使用される。

本解析では銘柄別に解析を行い、千針当たりの漁獲重量 (kg) を目的変数とした。Tweedie 分布を近似したポアソンリンク関数を使用し、予測有漁確率 ($r_1(i)$) と予測有漁漁獲量 ($r_2(i)$) を以下の式で表した (Thorson 2017) :

$$r_1(i) = 1 - \exp(-a_i \times \exp(p_1(i)))$$

$$r_2(i) = \frac{a_i \times \exp(p_1(i))}{r_1(i)} \times \exp(p_2(i))$$

a_i はオフセット項であり、今回の場合は針数を使用した。このリンク関数は二項分布を使用する通常のデルタ型のモデルとは異なり、遭遇確率の解析にも努力量の効果を含めることができる点や、遭遇確率と有漁漁獲率の2つのモデルを関係づけられる点で優れている (Thorson 2017)。本データを使用した解析では従来のデルタ型よりも AIC が低かったため、ポワソンリンク関数を使用した。また有漁漁獲率に関しては対数正規分布よりもガンマ分布の方が AIC が低かったため、ガンマ分布を使用した。漁獲量 B が観測される確率は以下で表され、周辺尤度が最大となるパラメータを推定した :

$$\Pr(b_i = B) = \begin{cases} 1 - r_1(i) & \text{if } B = 0 \\ r_1(i) \times g\{B|r_2(i), \sigma_m^2(c)\} & \text{if } B > 0 \end{cases}$$

今回の解析では、年効果は各漁期年で独立とみなし固定効果で推定した。ノットの数 は本データでの最大値となる 200 とした。漁具能率における過分散の要因となるランダム効果として漁期年・月・漁法（浮はえ縄もしくは底はえ縄）の交互作用を使用し、密度の要因と漁具能率の要因となる固定効果は使用しなかった。推定されたパラメータから、各年における各位置の相対密度を $d(x, c, t) = r_1^*(x, c, t) \times r_2^*(x, c, t)$ で計算し、各ノットの面積と相対密度に掛け合わせた値の合計を資源量指標値として算出した :

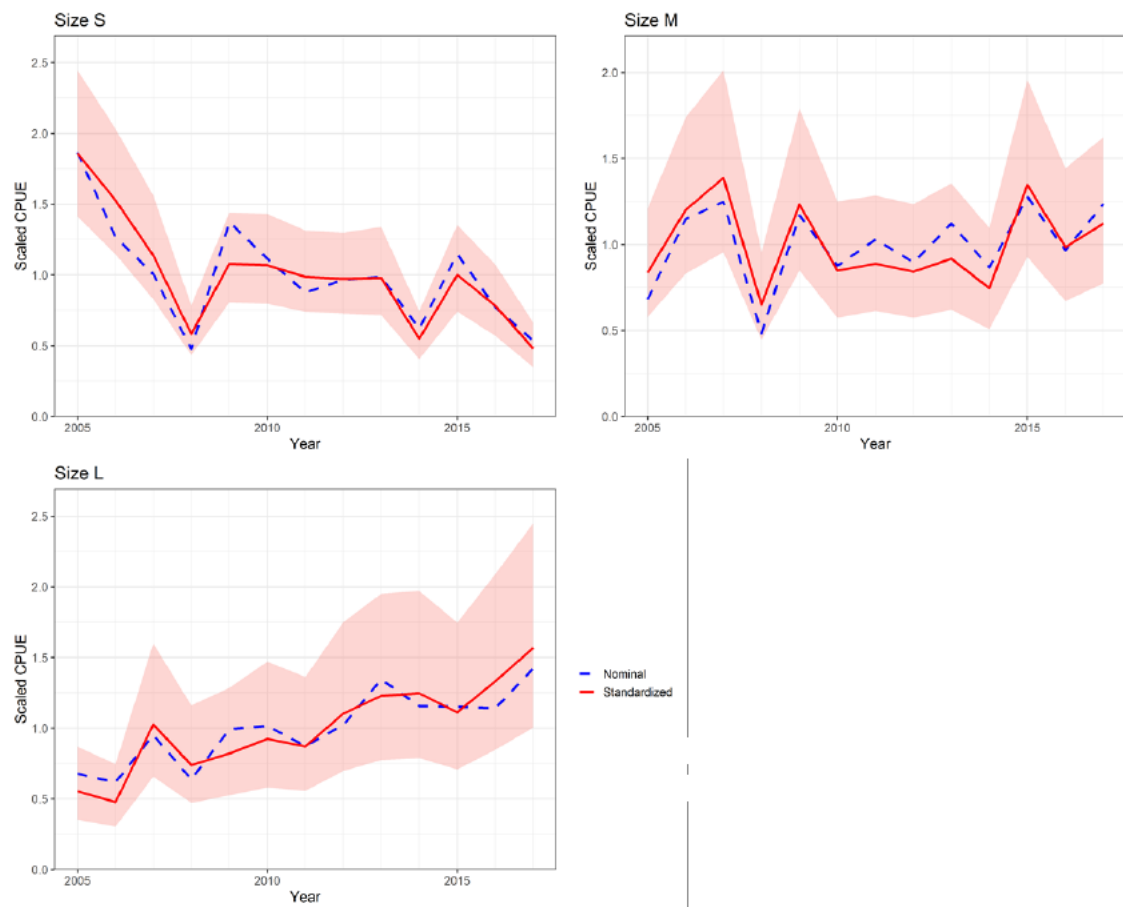
$$I(c, t, l) = \sum_{x=1}^{n_x} (a(x, l) \times d(x, c, t))$$

この際、ランダム効果の平均補正を行った (Thorson and Kristensen 2016)。VAST のモデル構造の詳細については、Thorson (2019) や GitHub (<https://github.com/James-Thorson-NOAA/VAST>) に詳しい。

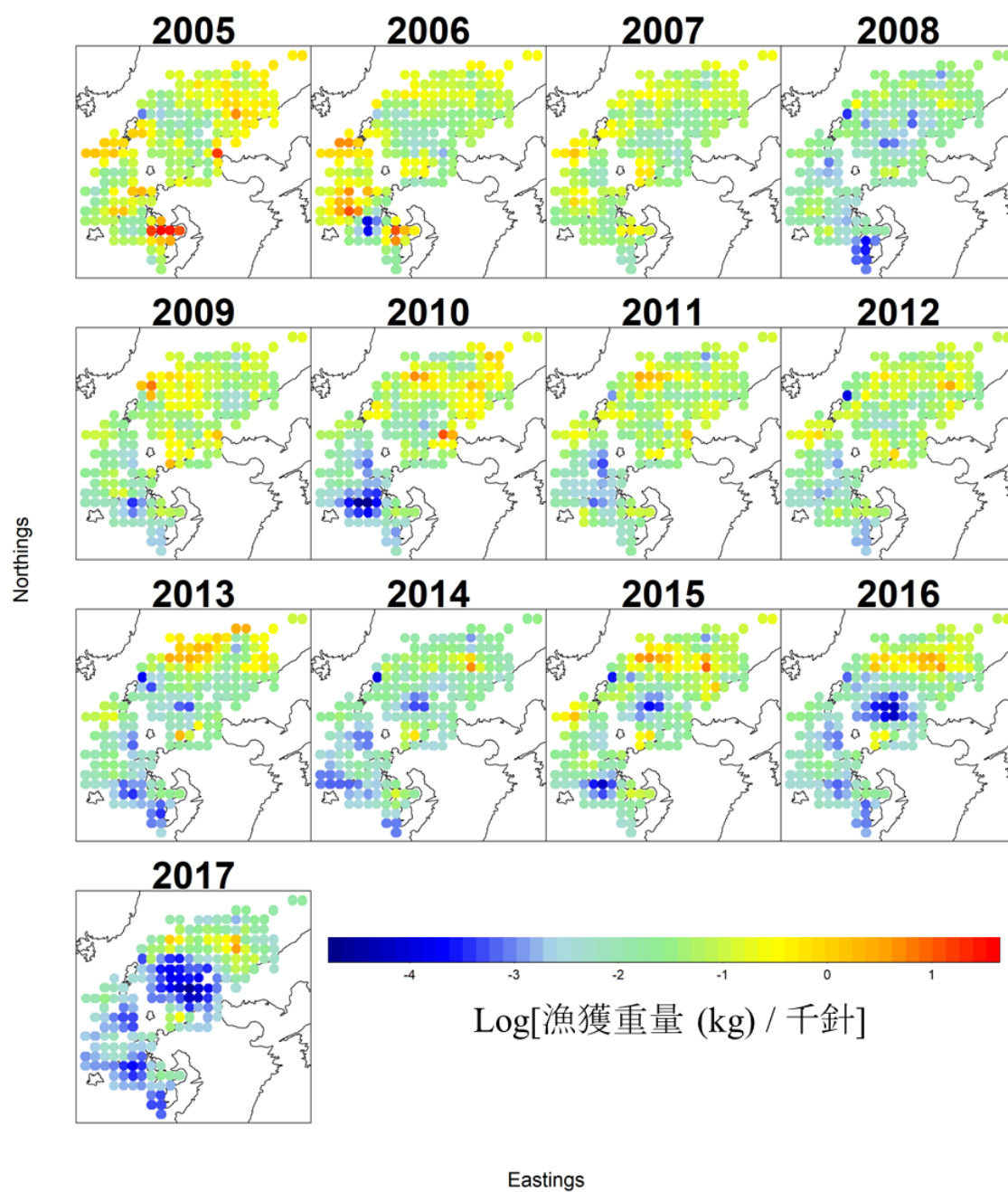
標準化された漁獲率は単純平均した場合と似た傾向を示したが、単純平均よりも凸凹が小さく、平滑化したようなパターンが見られた (補足図 6-1)。銘柄別でトレンドは大きく異なり、小は減少傾向を示したのに対し、中は明瞭な増減は見られず、大は増加傾向を示した (補足図 6-1)。また、指標値の推定値の変動係数は小で 14～17%、中で 19～20%、大で 23～24%と、小さい銘柄で不確実性が小さい傾向にあった。若齢魚の減少傾向はコホート解析による資源量推定の結果と合致している一方で、高齢魚の増加傾向の結果はコホート解析による結果と矛盾する。したがって、今後、本指標値をコホート解析に使用するにあたっては、資源量推定値と指標値の結果の乖離の原因や影響について精査する必要がある。各年の空間分布は、銘柄の小では長崎県をはじめとする九州沿岸の相対密度が大きく減少していた (補足図 6-2)。銘柄の中と大では、近年の山口県沖の北部海域での相対密度が増加し (補足図 6-3、6-4)、いずれの銘柄でも分布の中心が北上している傾向にあった。

引用文献

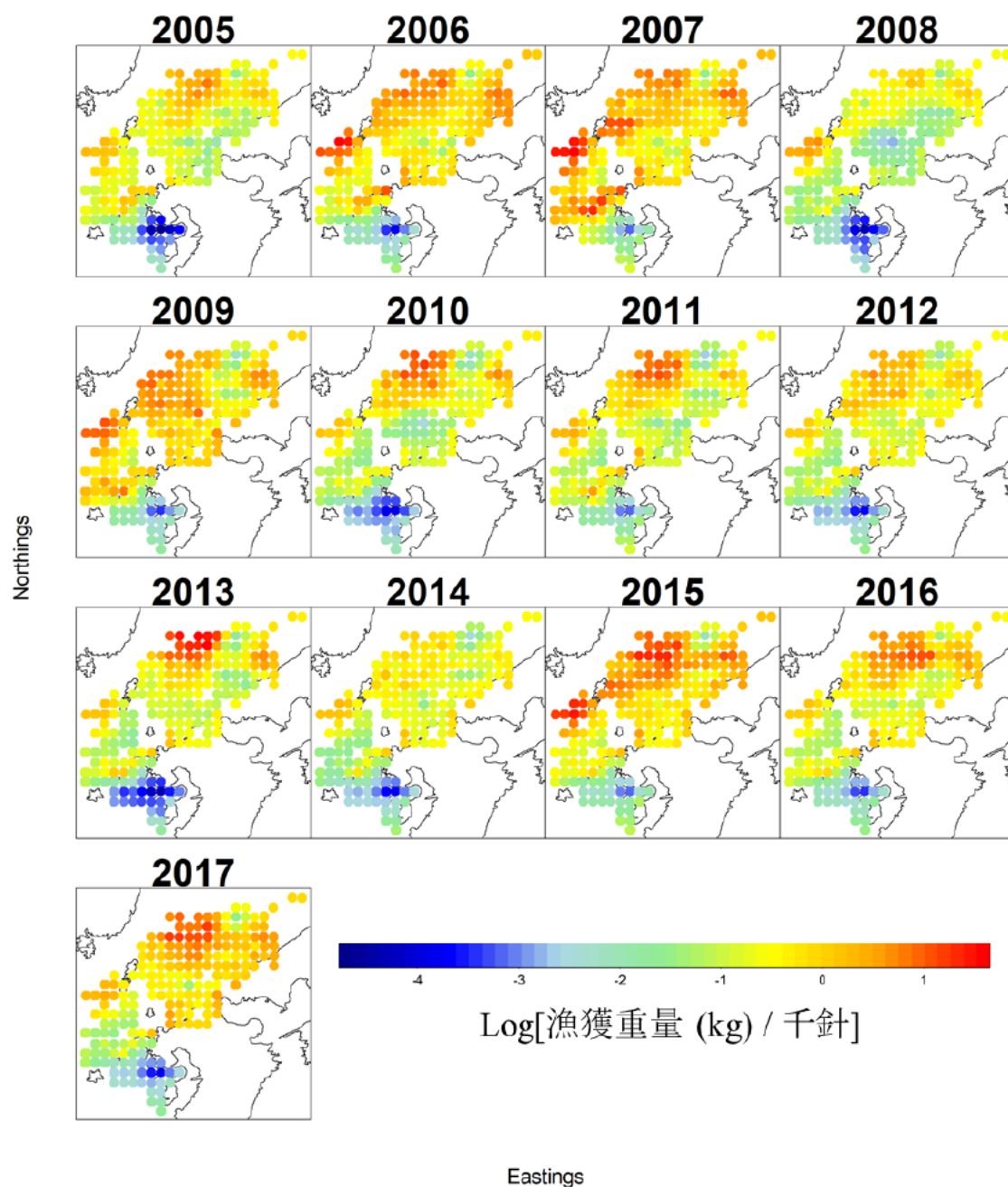
- Grüss, A., J. F. Walter III, E. A. Babcock, F. C. Forrestal, J. T. Thorson, M. V. Lauretta and M. J. Schirripac (2019) Evaluation of the impacts of different treatments of spatio-temporal variation in catch-per-unit-effort standardization models. *Fish. Res.*, **213**, 75-93.
- Kristensen, K., A. Nielsen, C. W. Berg, H. Skaug and B. M. Bell (2016) TMB: automatic differentiation and Laplace approximation. *J. Stat. Softw.*, **70**, 1-21.
- Thorson, J. T. (2017) Three problems with the conventional delta-model for biomass sampling data, and a computationally efficient alternative. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **75**, 1369-1382.
- 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.



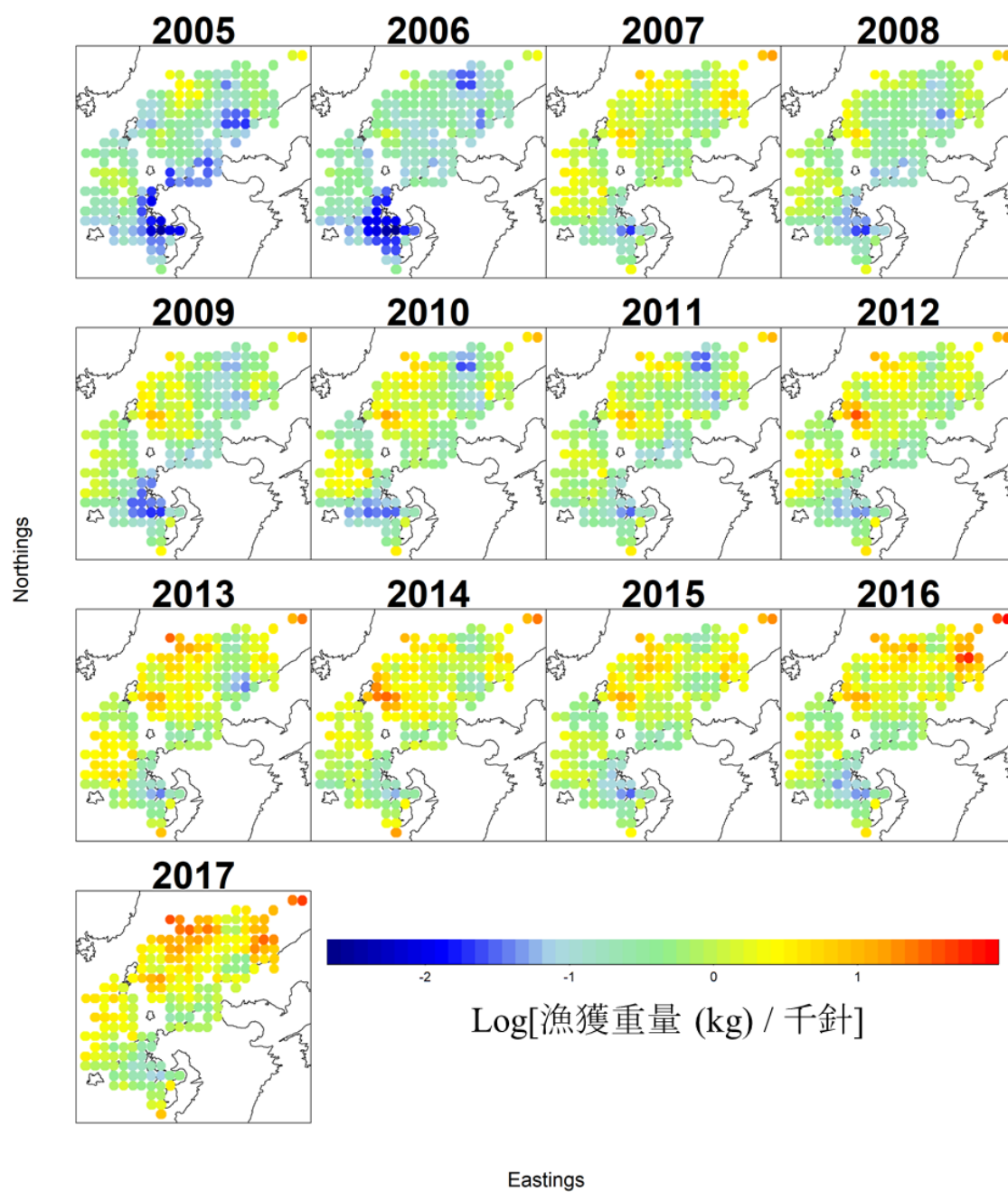
補足図 6-1. 各銘柄（左上：小、右上：中、左下：大）における、漁獲率の単純平均（青点線）と標準化した漁獲率（赤実線）の推移 漁獲率は平均が 1 となるように標準化しており、影はデルタ法で求めた 95%信頼区間を表す。



補足図 6-2. 銘柄小で推定された各年の相対密度の空間分布



補足図 6-3. 銘柄中で推定された各年の相対密度の空間分布



補足図 6-4. 銘柄大で推定された各年の相対密度の空間分布