

令和 3（2021）年度サワラ瀬戸内海系群の資源評価

水産研究・教育機構 水産資源研究所 水産資源研究センター

参画機関：和歌山県水産試験場、大阪府立環境農林水産総合研究所水産研究部水産技術センター、兵庫県立農林水産技術総合センター水産技術センター、岡山県農林水産総合センター水産研究所、広島県立総合技術研究所水産海洋技術センター、山口県水産研究センター内海研究部、徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課、香川県水産試験場、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、福岡県水産海洋技術センター豊前海研究所、大分県農林水産研究指導センター水産研究部、全国豊かな海づくり推進協会

要 約

本系群の資源量について、資源量指標値を考慮したチューニング VPA により計算した。本系群の資源量は、1987 年の 15,718 トンから急激に減少し、1998 年に最低値の 688 トンとなった。その後、増加傾向に転じ、2020 年は 10,020 トンであった。漁獲量も同様の傾向で推移し、2020 年は 2,746 トンであった。資源水準は中位で、直近 5 年間の資源量の推移から動向は増加と判断した。Blimit として、高い再生産成功率（以下、「RPS」という）の時に高い加入量が期待できる親魚量 3,682 トンを設定した。2020 年の親魚量 6,316 トンはこれを上回っているため、ABC 算定のための基本規則 1-1) - (1) を用いた。Fcurrent (2020 年の F) での漁獲が継続された場合、2022 年以降、資源量および親魚量は増加傾向であると推定されるため、Fcurrent を管理基準として、ABC を算定した。本種は栽培対象種であり、2020 年は 8.4 万尾の人工種苗が放流され、放流魚の混入率は 0.4%、添加効率は 0.09 と推定された。

管理基準	Target/ Limit	2022 年 ABC (トン)	漁獲割合 (%)	F 値 (現状の F 値から の増減%)
Fcurrent	Target	2,758	22	0.44 (-20%)
	Limit	3,252	25	0.55 (±0%)

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、安定的な資源の回復が期待される漁獲量である。Limit は管理基準の下で許容される最大レベルの漁獲量である。Ftarget=αFlimit とし、係数 α には標準値の 0.8 を用いた。また、F 値（漁獲係数）は全年齢の平均、漁獲割合は ABC/資源量とした。

年	資源量 (トン)	親魚量 (トン)	漁獲量 (トン)	F 値	漁獲割合 (%)
2017	6,136	3,631	2,220	0.74	36
2018	7,287	3,676	2,038	0.91	28
2019	9,621	4,863	2,398	0.80	25
2020	10,020	6,316	2,746	0.55	27
2021	11,269	6,973	3,177	0.55	28
2022	12,805	7,379	—	—	—

2021 年、2022 年の値は将来予測に基づく。

水準：中位 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	漁業・養殖業生産統計年報(農林水産省) 月別灘別漁法別の漁獲量および漁獲尾数(水産庁) 月別灘別漁法別尾叉長組成調査(和歌山～愛媛(7)府県) 尾叉長一年齢測定調査(大阪府、香川県、愛媛県)
漁獲努力量	操業隻日数調査(水産庁)
自然死亡係数(M)	年当たり M=0.3 を仮定 0 歳魚は 9 月加入として、M=0.1 を仮定
放流魚混入率	放流魚混入率調査(全国豊かな海づくり推進協会、和歌山～愛媛(7)府県)
種苗放流尾数	栽培漁業種苗生産、入手・放流実績(全国豊かな海づくり推進協会)

灘区分と調査地を図 1 に示す。

1. まえがき

サワラは瀬戸内海における重要魚種のひとつである。1968 年から 2～3 年でローラー巻きを用いた網揚げの機械化が普及するとともに(中込 1971)、流し網の隻数が増加し、0 歳を対象とする秋漁も普通に行われるようになった。1985 年頃からナイロンテグスの導入により羅網効率が向上し(上田 1990、中村 1991、中村 2010b)、細かい網目による小型魚の漁獲が進み(永井ほか 1996)、1986 年に播磨灘で、はなつぎ網が復活した(永井・武田 1993)。このような漁獲圧の増加により、1970 年代後半から漁獲量の増加が続いたが、資源量、漁獲量ともに 1980 年代後半から急減した。1998 年に播磨灘と備讃瀬戸における秋漁の自主休漁と瀬戸内海東部海域における種苗放流が始まり、2002～2011 年度に資源回復計画を実施して、種苗放流とともに、流し網の目合い制限と休漁期設定を柱とする漁獲努力量削減を行った(永井 2003、小林 2003)。これらの措置は、2012 年度以降も新たな枠組みである資源管理指針・計画の下、継続して実施されてきたが(図 2)、種苗放流は 2020 年度で

終了した。

2. 生態

(1) 分布・回遊

3～4月に紀伊水道外域～紀伊水道および豊後水道～伊予灘から播磨灘～安芸灘に親魚が産卵回遊する(図3)。備讃瀬戸西部へは東西から来遊する(中込 1971)。燧灘へは東部からの群も一部移動する(竹森ほか 2005a)。5月の主産卵場は燧灘から備讃瀬戸で、6月は安芸灘に移る(岸田 1988、1989)。秋季に両水道域から外海に越冬回遊する。

(2) 年齢・成長

寿命は6～8歳で、雌が長寿である(岸田ほか 1985)。1980年代に比べると近年の成長は速くなっている(岸田ほか 1985、安部 1993、中村・上田 1993、辻野・安部 1996、横川 1996、香川県 1999、竹森・山田 2003、竹森ほか 2005b、中村 2010a)。本系群における雌雄別の年齢(t)と尾叉長 FL_t (mm)の von Bertalanffy 成長式(岸田ほか 1985、竹森・山田 2003)、体重 W (g)と尾叉長 FL (mm)の関係式(岸田ほか 1985)を以下に示す。

年齢-尾叉長関係式

$$\text{雄} : FL_t = 804 \left(1 - \exp(-0.908(t - 0.105)) \right) \quad (1981 \sim 1983 \text{ 年})$$

$$\text{雌} : FL_t = 1011 \left(1 - \exp(-0.518(t + 0.222)) \right) \quad (1981 \sim 1983 \text{ 年})$$

$$\text{雌雄} : FL_t = 1182.8 \left(1 - \exp(-0.540(t + 0.147)) \right) \quad (2001 \text{ 年})$$

体重-尾叉長関係式

$$\text{雌雄} : W = 1.504 \times 10^{-5} FL^{2.943} \quad (5 \sim 6 \text{ 月})$$

$$\text{雌雄} : W = 5.686 \times 10^{-5} FL^{2.676} \quad (8 \sim \text{翌} 1 \text{ 月})$$

年齢-尾叉長関係式および体重-尾叉長関係式から求めた5月時点の年齢別の尾叉長および体重を図4に示す。同一年齢の平均体重の増加は、資源量が減少した1990年代後半に顕著で、2000年以降、減少傾向となっている(図5)。0歳の体重と資源尾数には負の相関がある(Nakajima et al. 2013)。

(3) 成熟・産卵

成熟率は竹森(2006)を参考に0歳は0%、1歳は50%、2歳以上は100%とした(図6)。産卵期は5～6月で、播磨灘、備讃瀬戸、燧灘よりやや遅れて安芸灘で始まる(岸田・会田 1989、篠原 1993)。東部の主産卵場は播磨灘の鹿ノ瀬、室津ノ瀬、備讃瀬戸の中瀬で、西部は燧灘西側一帯の瀬に形成される(瀬戸内海水産開発協議会 1972)。多回産卵を行う。放流1歳魚の成熟度は天然魚と差が認められない(山崎・藤本 2006)。産卵水深は5～10mまたは以深、卵は表層に浮上し、分布水温は14.6～22.7℃である(岸田 1988)。

(4) 被捕食関係

発育初期にはカタクチイワシ等の稚魚を捕食し(Shoji et al. 1997)、成長するとカタクチ

イワシ、イカナゴ等魚類を主食とする。捕食者の情報はない。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

春季に瀬戸内海中央部へ来遊する1歳以上が、秋季に瀬戸内海中央部から紀伊水道と豊後水道へ移動する0歳以上が漁獲される。流し網による漁獲が最も多く、2020年は漁獲量の61%を占めた。ひき縄およびはえ縄による漁獲は13%を占め、はなつぎ網やさわら船引き網などのその他の漁法による漁獲は9%を占めた。両水道ではひき縄等の釣りが主体で、ひき縄とはえ縄は、同一漁船が出漁日の魚群分布状況に応じて漁具を随時選択して操業している。外国漁船による漁獲はない。

(2) 漁獲量の推移

瀬戸内海区の漁獲量は、1968～1976年は約1,000～2,000トン、1977～1984年は約3,000～4,000トンで推移した(図7、表1、2)。1985～1987年は6,000トン前後の最多となったが、1988年から急減して1998年には199トンの最低値となった。その後は増加傾向で、2020年は2,746トンであった。瀬戸内海区と隣接水域の漁獲量の推移を表2に示す。

(3) 漁獲努力量

流し網の出漁隻日数は2007～2015年は増加傾向であったが、2016年以降減少傾向である。ひき縄・はえ縄は変動しながら減少傾向にある(図8)。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

1987年以降の漁獲量、尾叉長組成、尾叉長一年齢関係に基づいて、暦年の年齢別漁獲尾数を集計し、主要漁業の流し網、ひき縄およびはえ縄の出漁隻日数あたり漁獲尾数を指標とするチューニングVPAにより資源尾数を推定した(補足資料1、2)。

(2) 資源量指標値の推移

出漁隻日数あたりの漁獲尾数は、流し網では、2007年以降、上昇傾向で、2019年以降、著しく上昇した。ひき縄・はえ縄では、2007年以降、上昇傾向である(図9)。両漁業で瀬戸内海における漁獲量の概ね90%以上を占めていたことから、これらの資源量指標値を上述したVPAのチューニングに用いた(補足資料2)。

(3) 漁獲物の年齢組成

資源水準の高かった1980年代は3歳以上の割合も多かったが、1990年代にその割合は低下した(上田1990、岸田1990、武田1996、河野ほか1997、補足資料3)。2000年以降の主体は1、2歳であるが、2013年以降、3歳が、2015年以降、4歳もやや多くなった。0歳の漁獲尾数は1994年までは30万尾を超えていたが、その後は低水準となっている(図10、補足資料3)。

(4) 資源量と漁獲割合の推移

資源量は1987年の15,718トンから急激に減少し、1998年に最低値の688トンとなった。その後は増加傾向に転じ、2020年は10,020トンであった。(図11、表3、補足資料3)。漁獲割合は、1987年の38%から1996年の54%まで上昇傾向であったが、1997年から急激に低下し、1999年に23%となった。2000年から上昇に転じ、2004年に47%となった後、2005年以降は低下傾向で、2020年は27%であった。Mの値を0.3に対して0.4または0.2に変更した場合、資源量と親魚量は11~13%、加入尾数は15~19%の差を示した(図12~14)。

(5) 再生産関係

放流魚の混入率に基づいて加入尾数を天然魚と放流魚に分離して再生産関係を検討した。親魚量は年齢別資源量に年齢別成熟率を乗じて合算して算出した。親魚量は、1987年の10,813トンから1998年の443トンまで減少し、1999年以降は増加傾向で、2020年は6,316トンであった(図15、表3、補足資料3)。天然加入尾数は、1988年の434万尾から1998年の9万尾まで減少し、1999年以降は増加傾向で、2020年は172万尾であった(表3)。RPSは1987年以降、0.14~0.94尾/kgの間で変動し、2020年は0.27尾/kgであった(図15、表3)。

(6) Blimitの設定

高いRPSの時に高い天然加入尾数が期待できる親魚量をBlimitとした。資源計算した1987年から推定誤差が大きい2020年を除く2019年までについて、RPSの上位10%であるRPS_{high}(0.80尾/kg)と加入尾数の上位10%であるR_{high}(295万尾)の交点から、親魚量3,682トンをBlimitとした(図16)。2020年の親魚量6,316トンはBlimitを上回っていた。

(7) 資源の水準・動向

資源水準は資源量を指標とし、1987~2020年の最高と最低の間を3等分して10,708トン以上を高位、5,698トン以上10,708トン未満を中位、5,698トン未満を低位とした(図11)。2020年の資源量は10,020トンと推定されたため、中位と判断した。動向は最近5年(2016~2020年)の資源量の推移から増加と判断した。

(8) 今後の加入量の見積もり

今後の加入尾数は、直近年を除く過去(1987~2019年)のRPSの中央値(0.40尾/kg)と親魚量の積によって推定した。その結果、加入尾数は、2021年以降、増加すると推定された(補足資料2、4、図22)。2021年以降は種苗放流の予定がないため、放流由来の加入はなしとした。

(9) 生物学的管理基準(漁獲係数)と現状の漁獲圧の関係

3歳のFは1987年から2010年まで上昇傾向で、特に1990年、1995年、1996年に大きく上昇した。その後、低下傾向である(図17)。2歳のFは1987年から変動しながら2003年まで上昇傾向であったが、その後、低下傾向である。1歳のFは1987年から変動しつつ

も 2008 年まで上昇傾向であったが、その後、低下傾向である。0 歳の F は 1987 年から 1994 年まで上昇傾向であったが、1995 年に大きく低下し、その後横ばいで推移している。一方、資源量と F には明確な関係は認められない(図 18)。2020 年の全年齢の F の平均値($F_{current}$)は 0.55 で、2016~2020 年の年齢別平均体重により計算した経験的な資源管理基準である $F_{30\%SPR}$ (0.69) および F_{max} (1.29) より低かった(図 19)。

(10) 種苗放流効果

種苗放流は 1999 年に播磨灘で始まり、2002 年以降瀬戸内海の東西両海域で実施されている。2012 年以降は瀬戸内海海域栽培漁業推進協議会が共同種苗生産・放流を行っている。有効放流尾数(70 mm 以上の放流尾数+70 mm 未満の放流尾数/4、小畑ほか 2007、Obata et al. 2008)は 2002 年の 12 万尾から 2007 年の 29 万尾まで増加傾向であったが、2008 年以降、減少傾向で 2020 年は 8 万尾であった(表 4)。耳石のアリザリンコンプレクソン標識に基づく調査によって算出された灘毎の放流魚の 1 歳時の混入率を灘毎の漁獲量で加重平均して系群全体の混入率を推定した。0 歳時の値しか得られていない 2020 年は、0 歳時の混入率を用いた。2013 年を除いて放流魚全数に標識が施された。2013 年は標識率が 51%であったため、これに基づいて混入率を補正した。加入尾数に混入率を乗じて放流由来の加入尾数を求め、これを有効放流尾数で除して添加効率を算出した。放流魚の混入率は、2002 年の 1.8%から 2003 年の 14.7%まで上昇した後は低下傾向で、2020 年は 0.4%であった(表 4)。添加効率は、2002 年の 0.18 から 2003 年の 0.73 まで上昇した後は低下傾向で、2020 年は 0.09 であった(表 4)。種苗放流による放流魚の添加が環境収容力を超えると、放流魚は天然魚の成長を低下させ、資源量の観点から天然魚と置き換わると指摘されている(Nakajima et al. 2013)。

5. 2022 年 ABC の算定

(1) 資源評価のまとめ

資源水準は中位で、動向は過去 5 年の推移から増加と判断した。2022 年以降、資源量、親魚量、加入尾数は増加すると推定された(補足資料 4、図 20~22)。

(2) ABC の算定

2020 年の親魚量が B_{limit} を上回っているため、ABC 算定は ABC 算定のための基本規則 1-1) - (1) を適用し、以下の F を用いて 2022 年 ABC を算出した。

F_{limit} =基準値

$F_{target}=\alpha F_{limit}$

2020 年以降、資源量および親魚量は増加すると推定されたため、 $F_{current}$ を管理基準とした。その結果、2022 年の ABC_{limit} は 3,252 トン、 ABC_{target} は 2,758 トンとなった。2021 年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	2022年ABC (トン)	漁獲割合 (%)	F値 (現状のF値から の増減%)
Fcurrent	Target	2,758	22	0.44 (-20%)
	Limit	3,252	25	0.55 (±0%)

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、安定的な資源の回復が期待される漁獲量である。Limit は管理基準の下で許容される最大レベルの漁獲量である。Ftarget=αFlimit とし、係数 α には標準値の 0.8 を用いた。また、F 値（漁獲係数）は全年齢の平均、漁獲割合は 2022 年の ABC/資源量とした。

(3) ABC の評価

0.1Fcurrent~Fcurrent で漁獲を継続した場合の 2027 年までの漁獲量、資源量、親魚量の推定値を次の表に示す。Fcurrent を継続した場合、2027 年に資源量は 26,498 トンに増加し、親魚量は 15,534 トンに増加すると予測された。

漁獲量 (トン)									
管理基準	F	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0.1Fcurrent	0.06	2,746	3,177	431	734	1,088	1,625	2,400	3,569
0.2Fcurrent	0.11	2,746	3,177	833	1,356	1,936	2,798	3,999	5,753
0.3Fcurrent	0.17	2,746	3,177	1,210	1,883	2,596	3,634	5,036	7,018
0.4Fcurrent	0.22	2,746	3,177	1,561	2,328	3,108	4,221	5,679	7,677
0.5Fcurrent	0.28	2,746	3,177	1,890	2,705	3,503	4,622	6,044	7,938
0.6Fcurrent	0.33	2,746	3,177	2,198	3,023	3,806	4,885	6,217	7,942
0.7Fcurrent	0.39	2,746	3,177	2,487	3,292	4,037	5,046	6,257	7,784
Ftarget=0.8Fcurrent	0.44	2,746	3,177	2,758	3,518	4,210	5,131	6,206	7,528
0.9Fcurrent	0.50	2,746	3,177	3,013	3,709	4,338	5,159	6,093	7,215
Flimit=Fcurrent	0.55	2,746	3,177	3,252	3,870	4,430	5,146	5,941	6,874

資源量 (トン)									
管理基準	F	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0.1Fcurrent	0.06	10,020	11,269	12,805	19,223	28,805	43,006	63,706	94,621
0.2Fcurrent	0.11	10,020	11,269	12,805	18,600	26,887	38,795	55,615	79,911
0.3Fcurrent	0.17	10,020	11,269	12,805	18,018	25,174	35,163	48,854	68,010
0.4Fcurrent	0.22	10,020	11,269	12,805	17,473	23,639	32,016	43,171	58,308
0.5Fcurrent	0.28	10,020	11,269	12,805	16,962	22,260	29,277	38,365	50,341
0.6Fcurrent	0.33	10,020	11,269	12,805	16,483	21,018	26,883	34,276	43,753
0.7Fcurrent	0.39	10,020	11,269	12,805	16,034	19,896	24,779	30,779	38,267
Ftarget=0.8Fcurrent	0.44	10,020	11,269	12,805	15,613	18,880	22,924	27,771	33,669
0.9Fcurrent	0.50	10,020	11,269	12,805	15,216	17,957	21,281	25,171	29,790
Flimit=Fcurrent	0.55	10,020	11,269	12,805	14,843	17,117	19,820	22,911	26,498

親魚量 (トン)									
管理基準	F	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
0.1Fcurrent	0.06	6,316	6,973	7,379	11,874	17,575	26,281	38,864	57,770
0.2Fcurrent	0.11	6,316	6,973	7,379	11,428	16,317	23,589	33,763	48,548
0.3Fcurrent	0.17	6,316	6,973	7,379	11,011	15,197	21,276	29,517	41,117
0.4Fcurrent	0.22	6,316	6,973	7,379	10,620	14,199	19,280	25,961	35,085
0.5Fcurrent	0.28	6,316	6,973	7,379	10,255	13,306	17,549	22,966	30,152
0.6Fcurrent	0.33	6,316	6,973	7,379	9,912	12,505	16,041	20,427	26,088
0.7Fcurrent	0.39	6,316	6,973	7,379	9,591	11,786	14,720	18,263	22,716
Ftarget=0.8Fcurrent	0.44	6,316	6,973	7,379	9,289	11,136	13,560	16,409	19,901
0.9Fcurrent	0.50	6,316	6,973	7,379	9,006	10,550	12,535	14,811	17,535
Flimit=Fcurrent	0.55	6,316	6,973	7,379	8,740	10,018	11,626	13,427	15,534

(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
2019 年漁獲量確定値	2019 年の漁獲量および年齢別漁獲尾数 2015 年以降の年齢別資源尾数、資源量、漁獲係数 将来の資源量および漁獲量の予測値、年齢別平均 体重値の仮定
2020 年漁獲量概数値 2020 年尾叉長組成	2020 年の漁獲量および年齢別漁獲尾数 2016 年以降の年齢別資源尾数、資源量、漁獲係数 将来の資源量および漁獲量の予測値、年齢別平均 体重値の仮定
2020 年放流魚混入率 2020 年種苗放流尾数	2020 年の添加効率

評価対象年 (当初・再評価)	管理基準	F 値	資源量 (トン)	ABClimit (トン)	ABCtarget (トン)	漁獲量 (トン) (実際の F 値)
2020 年(当初)	0.81Fcurrent	0.52	5,355	1,579	1,347	
2020 年(2020 年 再評価)	0.81Fcurrent	0.51	6,192	2,009	1,711	
2020 年(2021 年 再評価)	0.81Fcurrent	0.45	10,020	2,349	1,972	2,746 (0.55)
2021 年(当初)	0.85Fcurrent	0.54	5,471	1,571	1,337	
2021 年(2021 年 再評価)	0.85Fcurrent	0.47	11,269	2,831	2,393	

2020 年 ABC の管理基準 Fcurrent は F2018。また、F 値は ABClimit に対する値で、全年齢の平均値である。当初評価では 0 歳の M を 0.3 としたが、2020 年および 2021 年の再評価では 0 歳の加入月を 1 月から 9 月に変更し、0 歳の M を 0.1 とした（補足資料 2）。2020 年再評価では 2020 年の資源量と ABC が上方修正された。要因として、2018 年級の加入が当初の推定を上回っていたことが挙げられる。2021 年再評価では、2020 年および 2021 年の資源量および ABC が上方修正された。要因として、2021 年再評価では、2005 年以降の体重-尾叉長関係や年齢別漁獲尾数の算出方法が変更され、年齢別漁獲尾数、年齢別平均体重、年齢別資源尾数が修正されたことと 2019 年級の加入が当初の推定を上回ったことが挙げられる（補足資料 2、4、5）。

6. ABC 以外の管理方策の提言

2022 年以降、資源量および親魚量が増加すると推定された。一方で、漁獲物の年齢組成は 1、2 歳に偏っていたため、加入が少ない年が続くと資源量が急激に減少する可能性がある

る。資源量の減少を予防するためには、今後も1、2歳に偏った漁獲実態から、これらの年齢の個体を獲り残し、3歳以上の割合を上昇させていくことが望ましいと考えられる。

7. 引用文献

- 安部恒之 (1993) 大阪府における漁獲動向. 本州四国連絡架橋漁業影響調査報告 II 漁業生物班 B, 本州四国連絡架橋漁業影響調査委員会・日本水産資源保護協会, (61), 36-41.
- 香川県 (1999) さわら流し網. 平成10年度複合的資源管理型漁業促進対策事業報告書, 12-24.
- 岸田 達 (1988) 瀬戸内海中部海域におけるサワラの卵・仔魚の鉛直・水平分布. 日水誌, 54, 1-8.
- 岸田 達 (1989) 漁場の移動からみた瀬戸内海中西部域におけるサワラの分布と回遊. 南西水研報, (22), 13-27.
- 岸田 達 (1990) 瀬戸内海中西部域におけるサワラの成長と個体群密度の関係. 南西水研報, (23), 35-41.
- 岸田 達・会田勝美 (1989) 瀬戸内海中西部域におけるサワラの成熟と産卵. 日水誌, 55, 2065-2074.
- 岸田 達・上田和夫・高尾亀次 (1985) 瀬戸内海中西部におけるサワラの年齢と成長. 日水誌, 51, 529-537.
- 小林一彦 (2003) サワラ瀬戸内海系群資源回復計画について. 日本水産学会誌, 69, 109-114.
- 河野悌昌・花村幸生・西山雄峰・福田雅明 (1997) 瀬戸内海西部におけるサワラ資源の年齢組成の変化. 南西水研報, (30), 1-8.
- 永井達樹 (2003) サワラの資源状況と資源回復計画. 日本水産学会誌, 69, 99-103.
- 永井達樹・武田保幸 (1993) 漁獲量. 本州四国連絡架橋漁業影響調査報告 II 漁業生物班 B, 本州四国連絡架橋漁業影響調査委員会・社団法人日本水産資源保護協会, (61), 1-16.
- 永井達樹・武田保幸・中村行延・篠原基之・上田幸男・安部亨利・安部恒之 (1996) 瀬戸内海東部産サワラの資源動向. 南西水研報, (29), 19-26.
- Nakajima, K., S. Kitada, H. Yamazaki, H. Takemori, Y. Obata, A. Iwamoto and K. Hamasaki (2013) Ecological interactions between hatchery and wild fish: a case study based on the highly piscivorous Japanese Spanish mackerel. *Aquacult. Environ. Interact.*, 3, 231-243.
- 中込暢彦 (1971) サワラ資源の利用形態と漁業経営様式 (謄写印刷). 水産大学校, 下関, 44 pp.
- 中村行延 (1991) 五色町漁業協同組合鳥飼支所におけるサワラ流し網漁の漁獲動向について. 内海漁業研究会報, (23), 40-49.
- 中村行延 (2010a) 兵庫県瀬戸内海産サワラの年齢組成と成長の変化. 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告 [水産篇], (41), 59-64.
- 中村行延 (2010b) 水揚記録から見た播磨灘におけるさわら流し網漁の漁獲実態. 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告 [水産篇], (41), 65-68.
- 中村行延・上田幸男 (1993) 年齢と成長. 本州四国連絡架橋漁業影響調査報告 II 漁業生物班 B, 本州四国連絡架橋漁業影響調査委員会・日本水産資源保護協会, (61), 17-27.
- Obata, Y., H. Yamazaki, A. Iwamoto, K. Hamasaki and S. Kitada (2008) Evaluation of stocking

- effectiveness of the Japanese Spanish mackerel in the eastern Seto Inland Sea, Japan. *Rev. Fish. Sci.*, **16**, 235-242.
- 小畑泰弘・山崎英樹・竹森弘征・岩本明雄・浜崎活幸・北田修一 (2008) カタクチイワシシラスの資源重量から試算したサワラ人工種苗放流による 0 歳魚加入資源の上積み量. *日水誌*, **74**, 796-801.
- 瀬戸内海水産開発協議会 (1972) 「瀬戸内海の魚介類 Vol. 1」. 瀬戸内海水産開発協議会, 神戸, 72 pp.
- 篠原基之 (1993) 熟度指数の季節変化と年変化, 成熟率及びよう卵数. 本州四国連絡架橋漁業影響調査報告 II 漁業生物班 B, 本州四国連絡架橋漁業影響調査委員会・日本水産資源保護協会, (**61**), 124-141.
- Shoji, J., T. Kishida and M. Tanaka (1997) Piscivorous habits of Spanish Mackerel larvae in the Seto Inland Sea. *Fish. Sci.*, **63**, 388-392.
- 武田保幸 (1996) 紀伊水道産サワラの近年における漁獲低迷. *水産海洋研究*, **60**, 18-25.
- 竹森弘征 (2006) 瀬戸内海東部海域で漁獲されたサワラの成長と成熟. *香川水試研報*, (**7**), 1-11.
- 竹森弘征・坂本 久・植田 豊・山崎英樹・岩本明雄 (2005a) 瀬戸内海東部海域におけるサワラ標識放流結果-I. *栽培技研*, **32**, 25-34.
- 竹森弘征・坂本 久・植田豊・山崎英樹・岩本明雄 (2005b) 瀬戸内海東部海域におけるサワラ 0 歳魚の成長. *栽培技研*, **32**, 35-41.
- 竹森弘征・山田達夫 (2003) 瀬戸内海東部海域におけるサワラの資源水準と成長の関係. *香川水試研報*, (**4**), 1-9.
- 辻野耕實・安部恒之 (1996) 大阪府における漁獲動向. 本州四国連絡架橋漁業影響調査報告 I. 漁業生物班, 本州四国連絡架橋漁業影響調査委員会・日本水産資源保護協会, (**67**), 95-112.
- 上田幸男 (1990) 播磨灘産サワラの漁業生物学的研究(要旨). *内海漁業研究会報*, (**22**), 62.
- 和歌山県 (2009) 瀬戸内海海域サワラ. 平成 20 年度栽培漁業資源回復等対策事業報告書, 全国豊かな海づくり推進協会, 221-229.
- 山崎英樹・藤本 宏 (2006) 放流海域に回帰したサワラ人工 1 歳魚の性比と成熟状況. *栽培技研*, **34**, 7-12.
- 横川浩治 (1996) 瀬戸内海東部域におけるサワラの成長および肥満度. 本州四国連絡架橋漁業影響調査報告 I. 漁業生物班, 本州四国連絡架橋漁業影響調査委員会・日本水産資源保護協会, (**67**), 179-198.

(執筆者: 片町太輔、安田十也、河野悌昌、高橋正知)

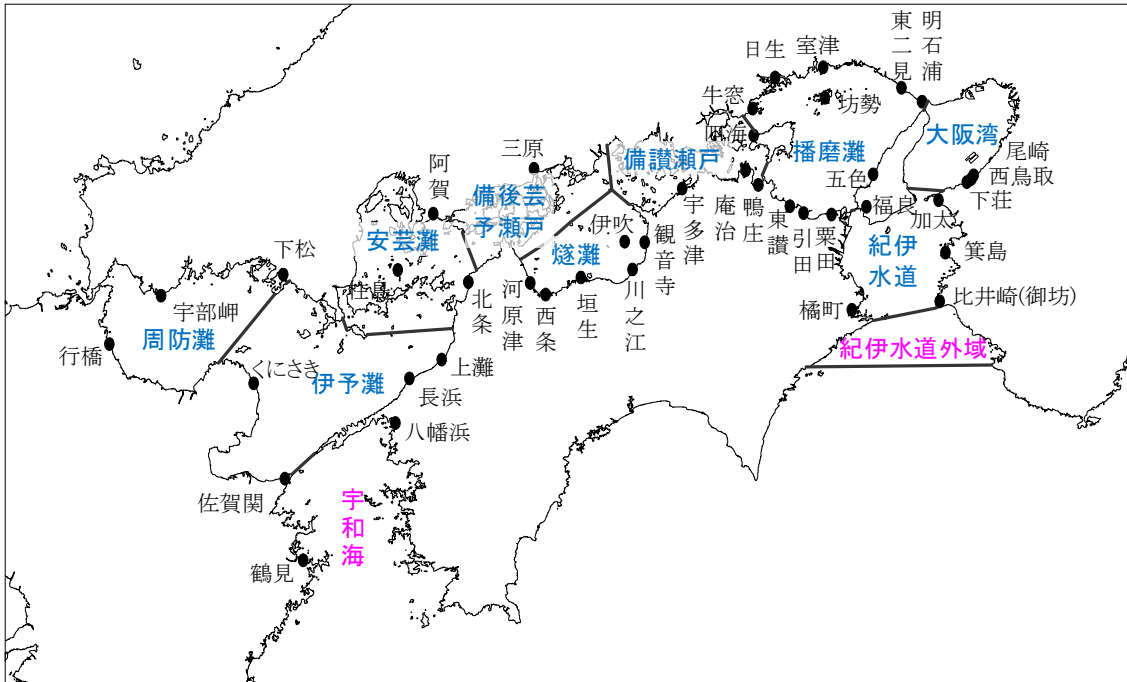


図1. 瀬戸内海の灘区分と調査地

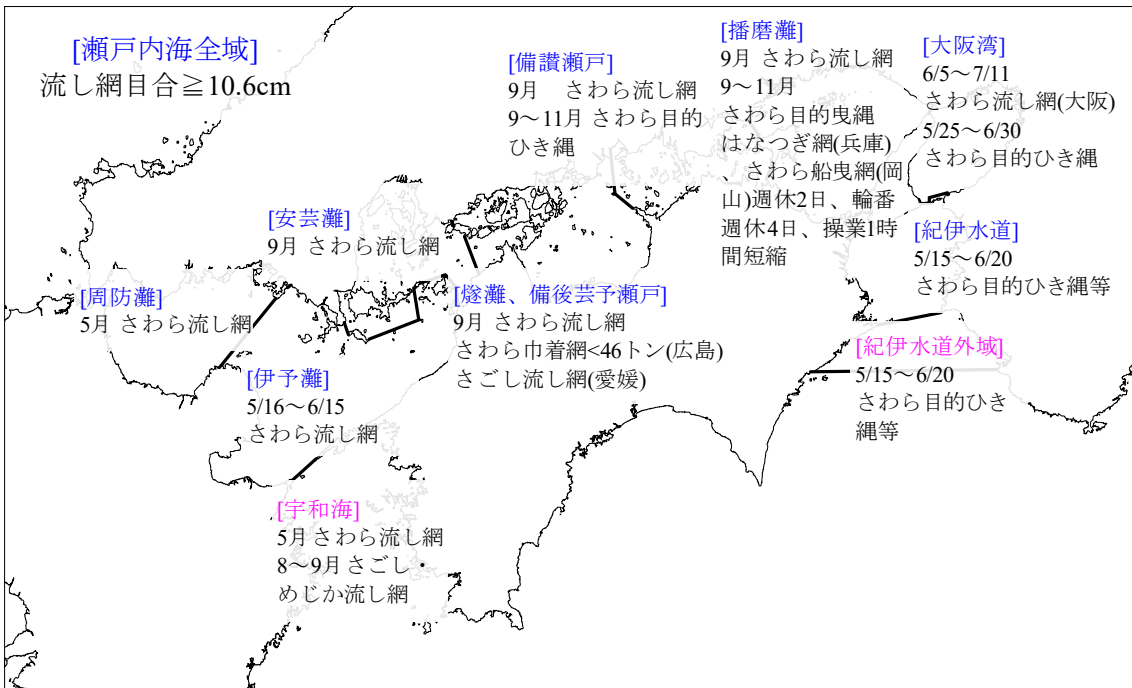


図2. 2020年度の漁獲努力量削減措置（目合い規制、休漁期等）



図3. 分布域

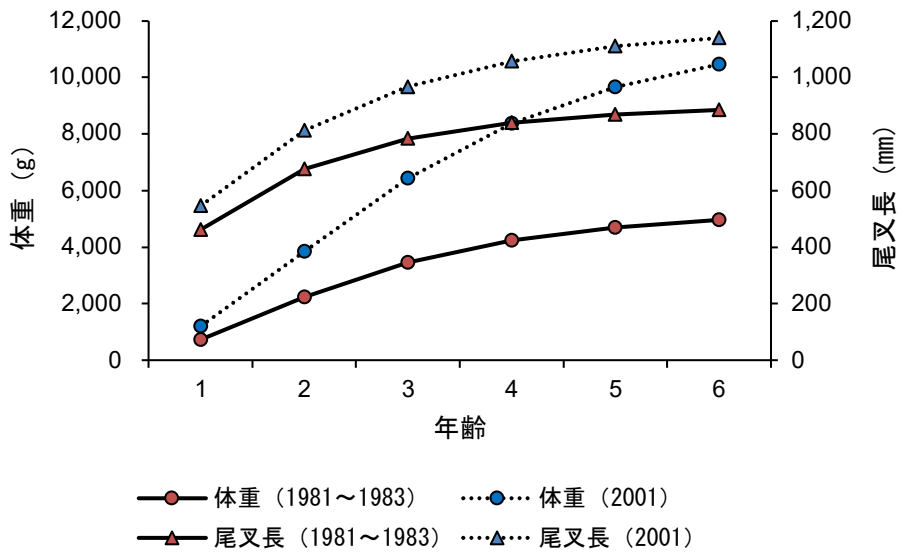


図4. 年齢と成長 (5月時点)

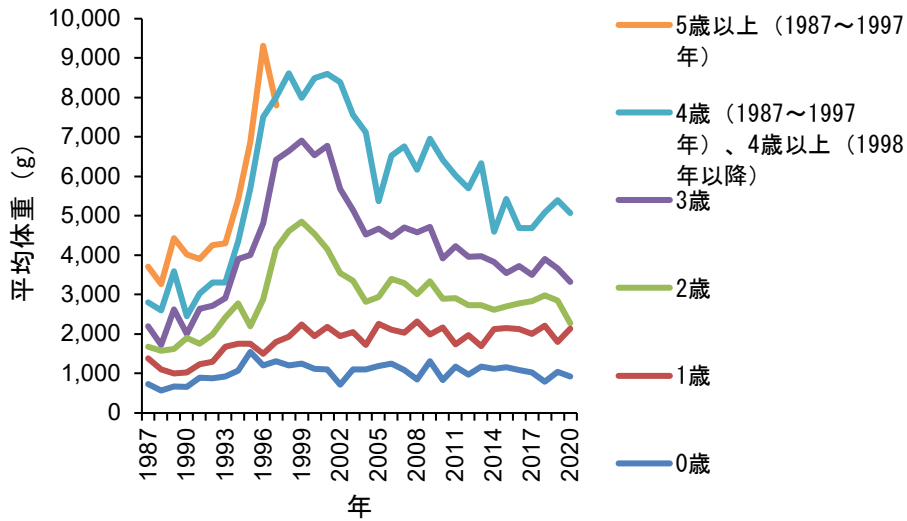


図5. 年齢別平均体重の推移

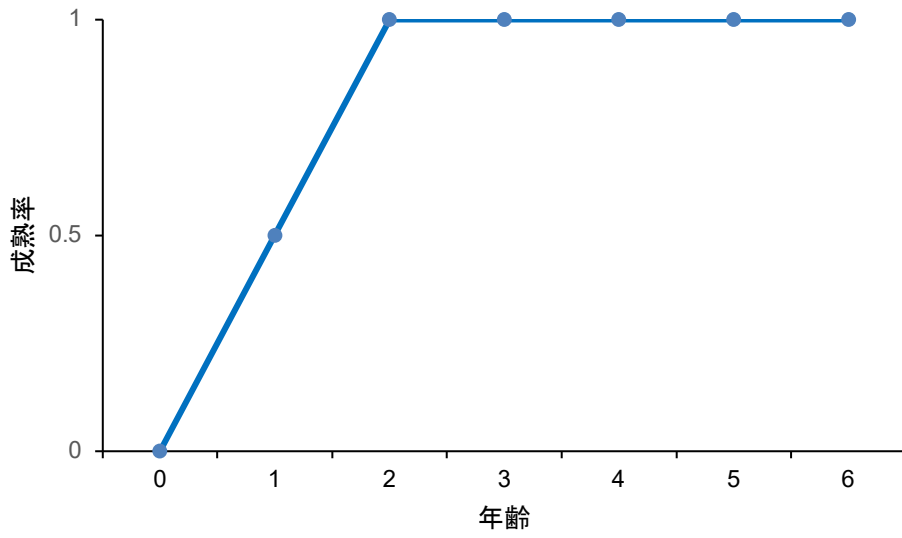


図 6. 年齢別成熟率

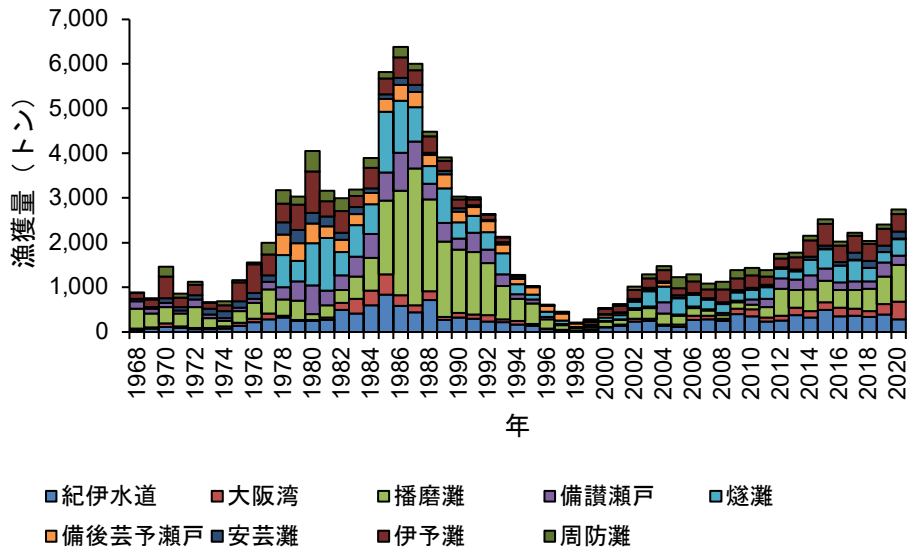


図 7. 年別灘別漁獲量の推移

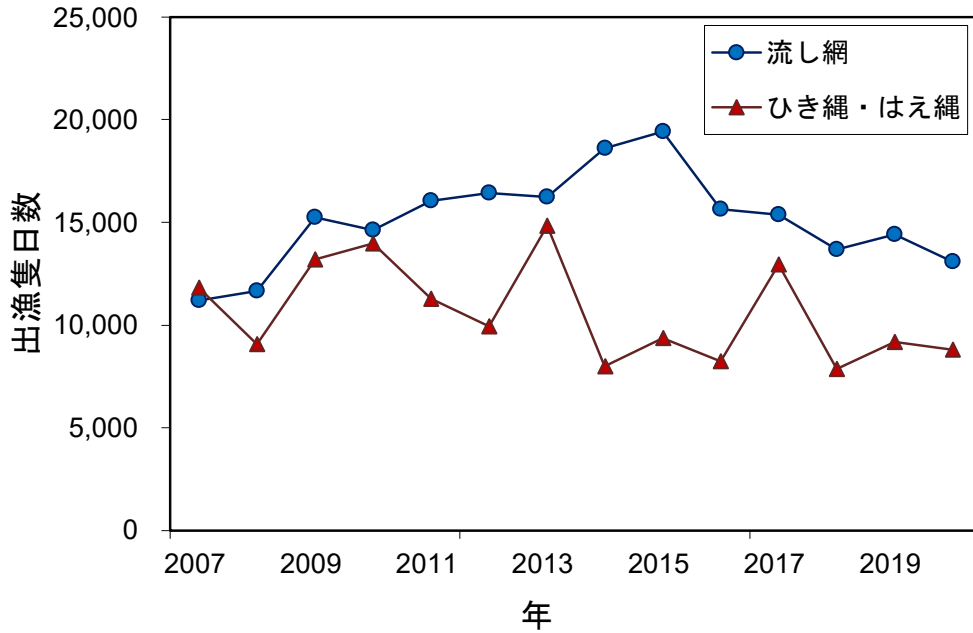


図 8. 流し網とひき縄・はえ縄の出漁隻日数の推移

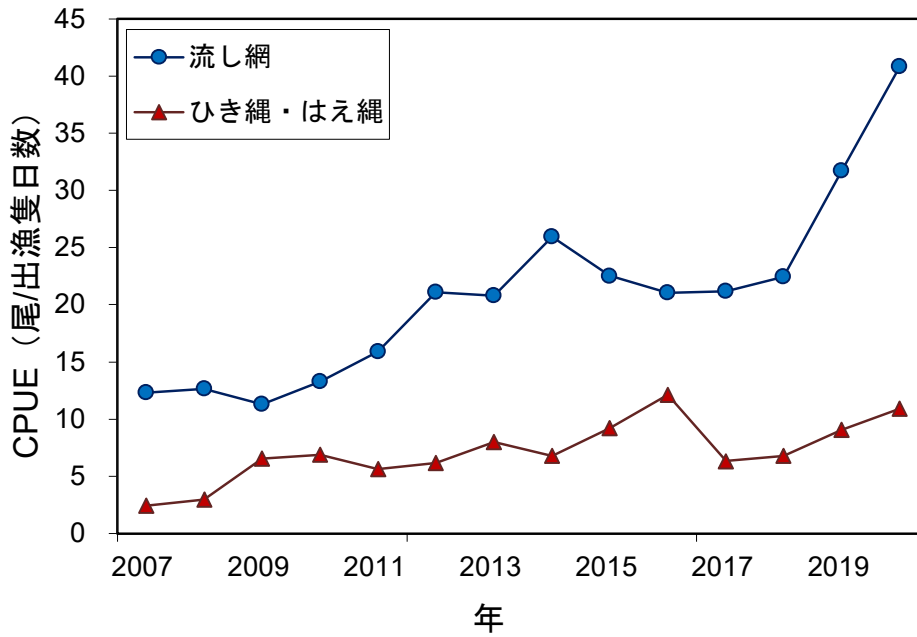


図 9. 流し網とひき縄・はえ縄の出漁隻日数あたりの漁獲尾数の推移

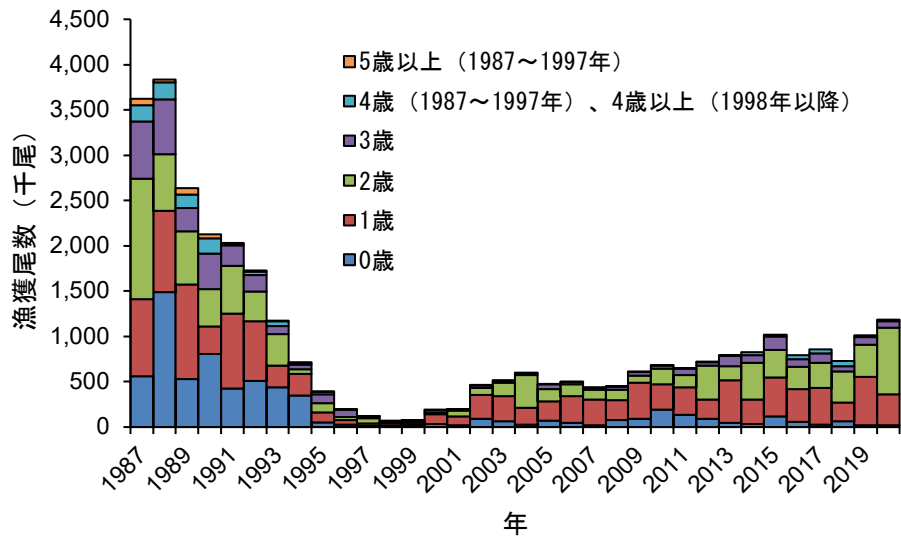


図 10. 年齢別漁獲尾数の推移

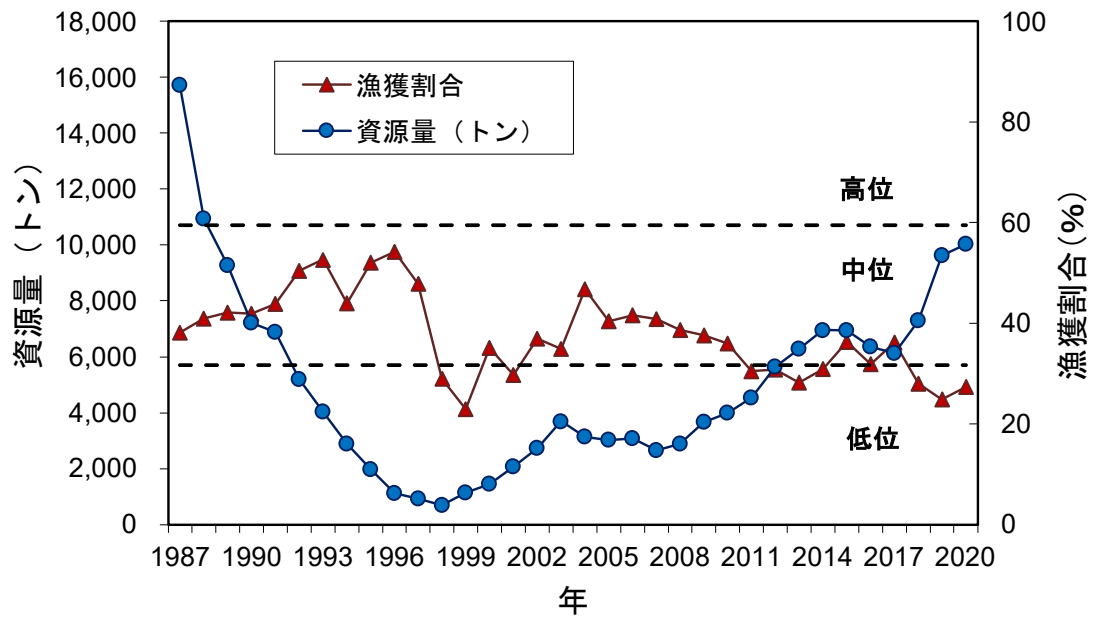


図 11. 資源量と漁獲割合の推移

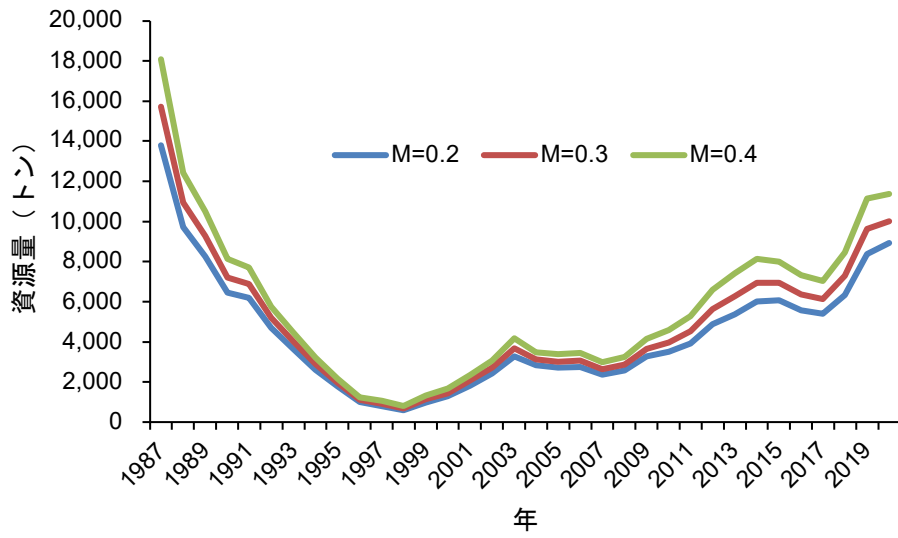


図 12. 資源量についての M の感度分析

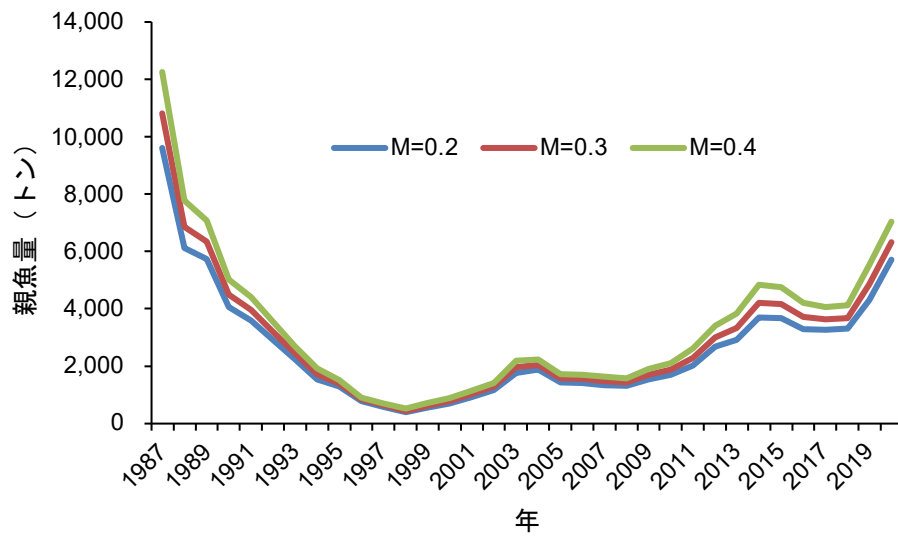


図 13. 親魚量についての M の感度分析

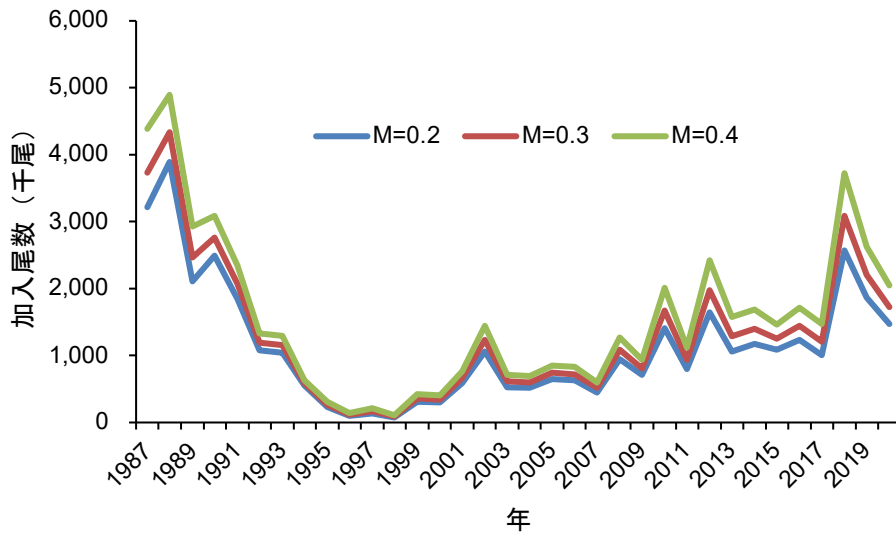


図 14. 加入尾数についての M の感度分析

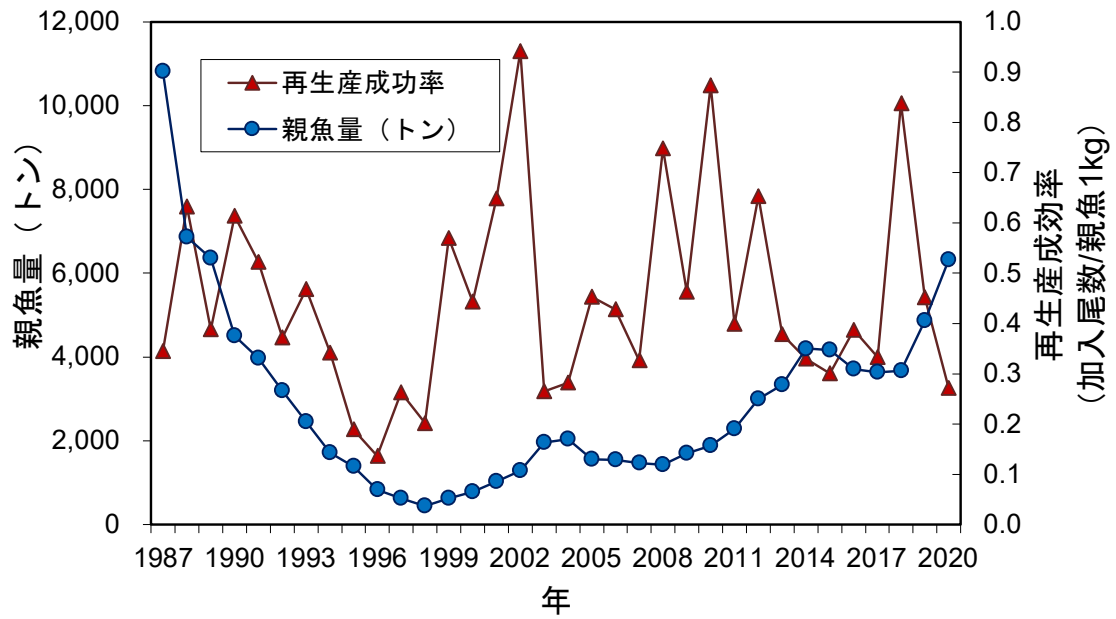


図 15. 親魚量と再生産成功率の推移

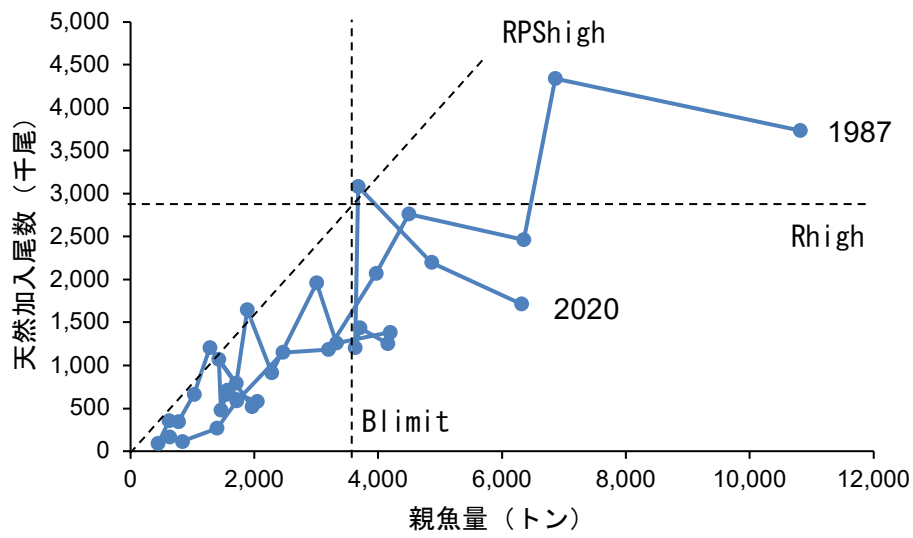


図 16. 再生産関係と Blimit

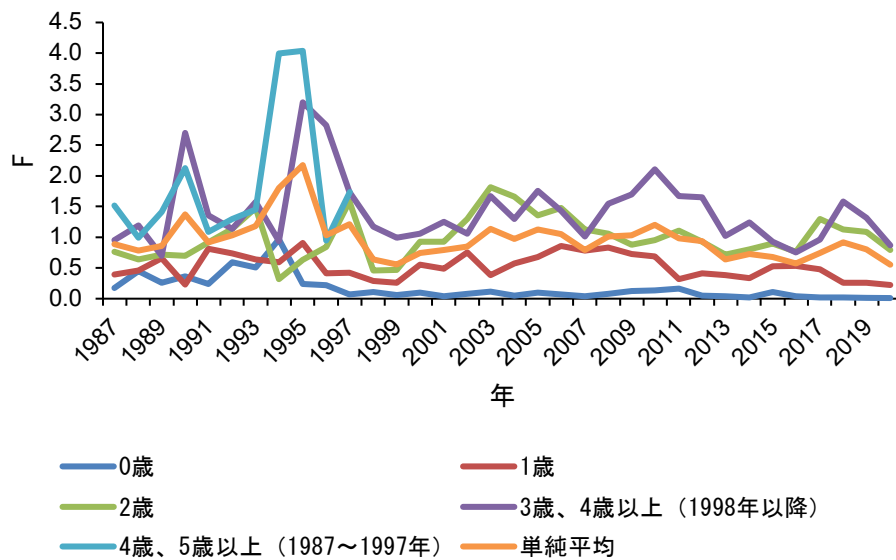


図 17. F の推移

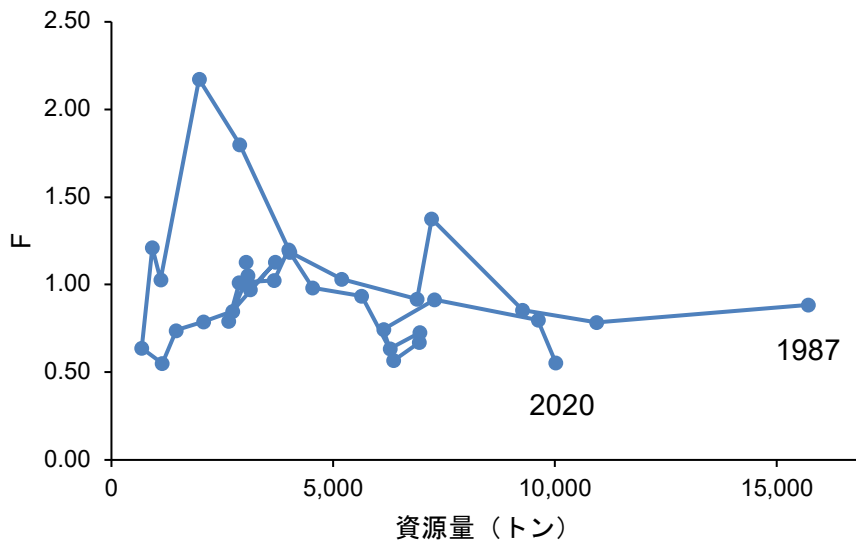


図 18. 資源量と F の関係 (F は年齢別の F の単純平均)

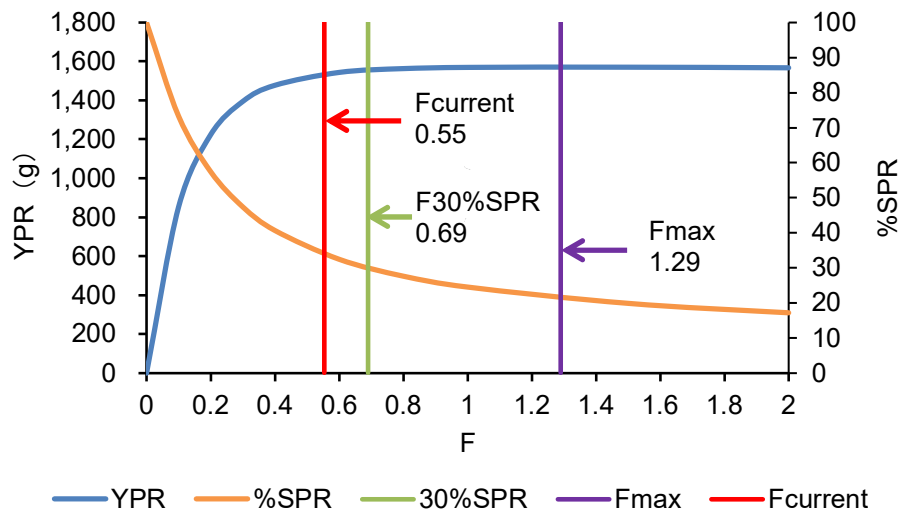


図 19. F と %SPR、YPR の関係

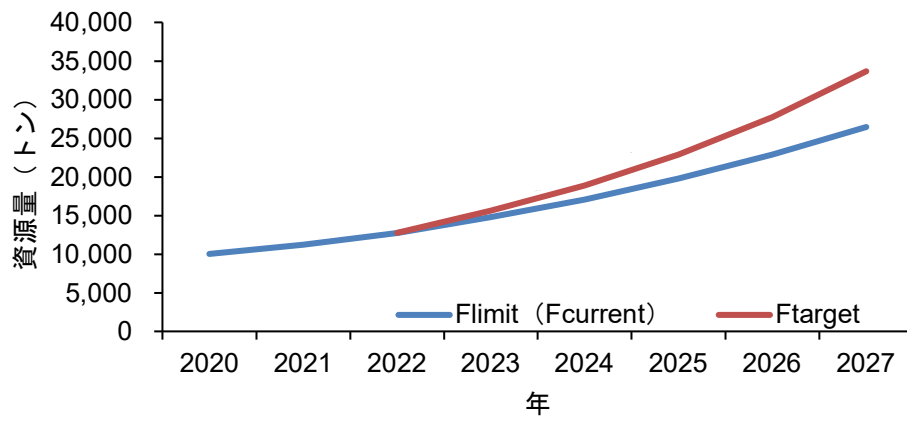


図 20. 資源量の将来予測

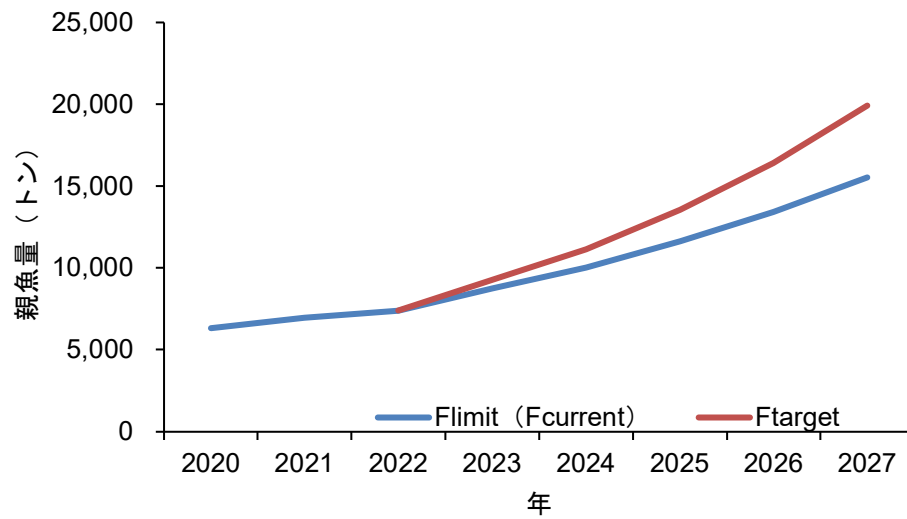


図 21. 親魚量の将来予測

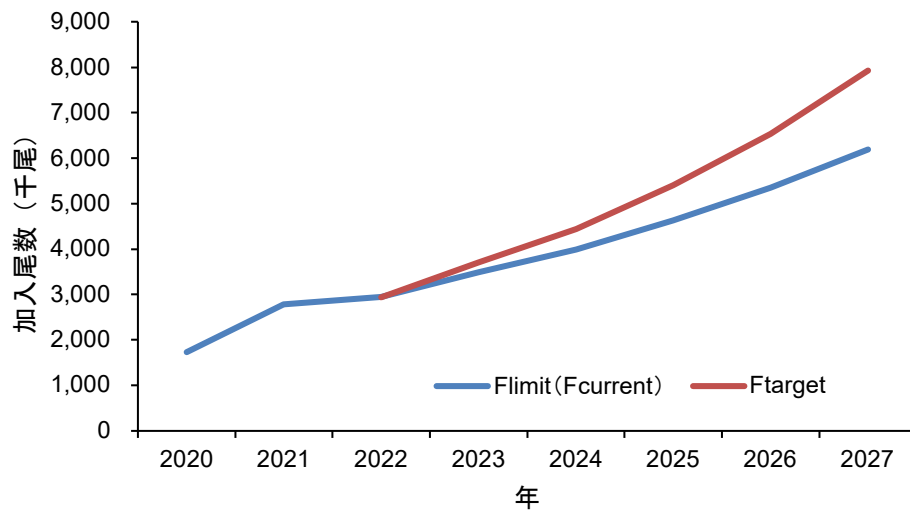


図 22. 加入尾数の将来予測

表 1. 瀬戸内海区の府県別漁獲量の推移 (トン)

年	和歌山	大阪	兵庫	岡山	広島	山口	徳島	香川	愛媛	福岡	大分	計
1965	39	24	432	133	106	45	46	409	245	0	54	1,533
1966	51	10	461	256	121	36	35	793	151	0	54	1,968
1967	58	20	288	76	60	70	25	364	176	0	61	1,198
1968	21	14	181	114	207	21	18	308	240	0	98	1,222
1969	28	11	134	74	147	31	32	202	196	0	136	991
1970	24	31	182	44	102	52	37	92	254	0	972	1,790
1971	33	15	211	31	252	65	37	110	319	12	169	1,254
1972	28	8	244	114	191	41	24	236	411	7	176	1,480
1973	29	8	154	41	389	24	23	113	469	3	101	1,354
1974	24	21	93	19	268	63	30	75	495	4	80	1,172
1975	55	11	283	13	424	31	47	143	526	22	167	1,722
1976	68	41	334	56	477	42	68	192	873	1	315	2,467
1977	62	41	605	102	479	106	115	201	847	6	457	3,021
1978	84	27	325	100	670	80	63	270	1,054	37	463	3,173
1979	40	13	367	149	746	109	64	332	784	20	400	3,024
1980	48	9	171	88	512	223	71	727	1,387	27	782	4,045
1981	77	12	291	111	311	143	70	436	1,426	71	212	3,160
1982	125	35	571	108	340	164	79	361	807	64	331	2,985
1983	124	240	546	154	258	150	75	590	872	45	130	3,184
1984	174	116	854	274	240	190	208	593	893	37	314	3,893
1985	238	198	1,683	376	253	146	277	821	1,602	0	222	5,816
1986	223	106	1,877	535	348	215	232	1,077	1,479	0	286	6,378
1987	237	62	2,378	365	369	136	209	1,000	1,055	2	184	5,997
1988	300	41	1,666	271	275	118	338	684	647	10	135	4,485
1989	152	37	1,078	329	307	85	172	657	1,004	0	81	3,902
1990	135	39	994	224	268	74	227	464	538	0	66	3,029
1991	132	16	952	237	234	71	258	622	415	0	84	3,021
1992	65	114	780	153	238	11	217	482	530	0	33	2,623
1993	88	43	518	108	185	9	123	414	598	0	34	2,120
1994	57	54	345	71	115	4	122	215	275	0	13	1,271
1995	52	28	289	49	85	2	114	209	199	0	2	1,029
1996	30	19	140	29	87	1	23	110	162	0	2	603
1997	16	13	70	17	75	0	13	57	174	1	6	442
1998	15	3	33	6	65	0	12	20	44	0	1	199
1999	16	14	40	5	49	1	18	33	83	0	4	263
2000	36	12	105	7	41	2	55	38	185	0	31	512
2001	45	12	87	8	18	12	83	58	195	1	96	615
2002	78	46	172	23	32	79	153	72	231	2	120	1,008
2003	64	19	248	19	46	96	149	85	441	5	117	1,289
2004	54	19	183	76	60	78	79	308	454	7	147	1,465
2005	43	33	124	29	57	146	58	143	425	8	158	1,224
2006	47	67	187	15	40	139	162	127	383	8	108	1,283
2007	45	44	144	18	31	82	172	104	323	4	115	1,082
2008	47	24	85	20	48	82	159	141	312	12	183	1,113
2009	73	59	213	17	50	123	255	143	339	4	106	1,382
2010	58	41	218	22	48	116	228	233	293	3	176	1,436
2011	52	46	217	38	45	117	125	374	248	4	118	1,384
2012	62	58	338	102	37	73	134	568	292	3	73	1,740
2013	78	94	374	58	40	87	216	401	308	4	115	1,775
2014	72	91	329	85	47	106	199	571	504	4	140	2,148
2015	80	118	380	97	38	132	303	543	637	5	186	2,519
2016	54	114	355	74	44	128	212	384	438	5	219	2,027
2017	61	108	325	79	78	150	227	434	494	8	257	2,220
2018	54	81	328	94	96	133	227	431	411	7	176	2,038
2019	57	155	499	151	78	161	244	539	347	8	159	2,398
2020	61	327	725	144	128	154	143	456	388	8	212	2,746

表 2. 瀬戸内海区、紀伊水道外域および豊後水道の灘別漁獲量の推移 (トン)

年	紀伊 水道	大阪 湾	播磨 灘	備讃 瀬戸	燧灘	備後芸 予瀬戸	安芸 灘	伊予 灘	周防 灘	瀬戸内 海計	紀伊水 道外域	豊後水 道
1968	31	45	434	173		*338	61	125	16	1,222	312	234
1969	68	26	317	105		*233	40	173	28	991	135	176
1970	115	75	361	97		*332	102	490	217	1,790	171	232
1971	83	38	294	66		*395	78	211	90	1,254	182	233
1972	59	26	465	173		*357	97	228	74	1,480	122	335
1973	63	20	226	74		*688	129	129	26	1,354	122	154
1974	75	45	120	62		*481	165	133	91	1,172	91	169
1975	140	64	262	75		*564	142	420	55	1,722	135	144
1976	211	87	354	92		*916	125	640	41	2,467	113	117
1977	282	132	530	178		*1,027	137	475	260	3,021	159	157
1978	315	46	359	274	722	465	268	418	306	3,173	173	327
1979	238	34	430	424	459	396	299	564	181	3,024	173	166
1980	241	31	121	649	944	440	238	926	455	4,045	144	267
1981	262	63	268	330	1,178	255	227	342	235	3,160	163	363
1982	492	157	282	325	536	263	159	488	283	2,985	112	124
1983	409	333	493	446	703	249	153	259	139	3,184	157	121
1984	600	323	738	535	660	251	110	451	225	3,893	196	119
1985	829	460	1,653	618	1,366	286	106	354	144	5,816	240	229
1986	581	229	2,354	848	1,162	346	159	463	235	6,378	154	202
1987	432	163	3,062	604	764	345	163	315	149	5,997	100	142
1988	707	196	2,062	348	394	248	61	361	108	4,485	80	107
1989	272	67	1,685	409	778	317	76	224	74	3,902	49	109
1990	316	114	1,410	247	367	240	70	199	67	3,029	156	73
1991	298	82	1,405	428	380	200	36	129	64	3,021	70	50
1992	224	151	1,155	313	389	241	32	113	5	2,623	61	42
1993	209	75	748	259	465	196	61	103	3	2,120	46	44
1994	167	69	500	112	218	120	46	41	0	1,271	46	34
1995	140	32	467	90	102	175	6	17	0	1,029	16	150
1996	54	20	209	56	114	124	3	23	0	603	128	15
1997	28	13	107	27	75	162	10	13	6	442	105	18
1998	25	3	51	8	20	75	6	10	0	199	113	103
1999	31	22	58	11	36	60	9	34	1	263	47	56
2000	96	21	113	15	75	65	12	115	2	512	46	244
2001	139	21	102	16	99	47	19	136	36	615	61	180
2002	232	63	201	34	141	37	38	185	79	1,008	67	351
2003	246	45	234	39	347	39	40	205	93	1,289	42	71
2004	131	26	250	259	352	76	41	251	79	1,465	45	65
2005	106	54	194	31	368	13	57	151	250	1,224	35	182
2006	268	98	162	41	262	10	32	257	154	1,283	53	189
2007	276	86	114	23	226	6	26	192	134	1,082	75	312
2008	238	51	82	50	196	11	37	287	160	1,113	43	250
2009	401	119	143	34	189	17	33	267	179	1,382	78	118
2010	343	161	107	118	202	12	42	271	179	1,436	61	275
2011	232	93	232	181	262	12	37	182	154	1,384	77	201
2012	253	110	592	238	217	12	26	196	96	1,740	90	261
2013	372	175	390	229	188	12	29	273	105	1,775	89	96
2014	318	140	492	308	356	6	67	357	104	2,148	200	172
2015	490	171	485	275	433	5	70	480	109	2,519	238	101
2016	352	191	395	161	380	5	76	366	99	2,027	305	177
2017	365	148	426	192	474	9	158	380	68	2,220	93	128
2018	333	130	499	166	305	3	152	383	66	2,038	99	42
2019	386	231	624	313	227	3	140	387	86	2,398	86	72
2020	276	401	816	212	365	14	162	391	109	2,746	191	64

* 燧灘と備後芸予瀬戸の合計。

表3. サワラ瀬戸内海系群の資源解析結果

年	漁獲量 (トン)	資源量 (トン)	親魚量 (トン)	加入尾数 (千尾)	漁獲割合 (%)	再生産成功率 (尾/kg)
1987	5,997	15,718	10,813	3,734	38	0.35
1988	4,485	10,945	6,863	4,338	41	0.63
1989	3,902	9,272	6,351	2,463	42	0.39
1990	3,029	7,219	4,497	2,760	42	0.61
1991	3,021	6,887	3,966	2,071	44	0.52
1992	2,623	5,197	3,193	1,186	50	0.37
1993	2,120	4,027	2,459	1,151	53	0.47
1994	1,271	2,891	1,711	585	44	0.34
1995	1,029	1,977	1,391	264	52	0.19
1996	603	1,112	834	114	54	0.14
1997	442	922	630	166	48	0.26
1998	199	688	443	89	29	0.20
1999	263	1,146	622	355	23	0.57
2000	512	1,459	778	345	35	0.44
2001	615	2,072	1,024	664	30	0.65
2002	1,008	2,730	1,283	1,230	37	0.94
2003	1,289	3,692	1,959	607	35	0.26
2004	1,465	3,133	2,044	598	47	0.28
2005	1,224	3,030	1,564	738	40	0.45
2006	1,283	3,082	1,544	719	42	0.43
2007	1,082	2,647	1,464	516	41	0.33
2008	1,113	2,880	1,428	1,087	39	0.75
2009	1,382	3,672	1,705	807	38	0.46
2010	1,436	3,989	1,883	1,670	36	0.87
2011	1,384	4,535	2,283	936	31	0.40
2012	1,740	5,639	3,002	1,975	31	0.65
2013	1,775	6,280	3,329	1,281	28	0.38
2014	2,148	6,952	4,197	1,397	31	0.33
2015	2,519	6,945	4,159	1,251	36	0.30
2016	2,027	6,365	3,706	1,445	32	0.39
2017	2,220	6,136	3,631	1,208	36	0.33
2018	2,038	7,287	3,676	3,080	28	0.84
2019	2,398	9,621	4,863	2,199	25	0.45
2020	2,746	10,020	6,316	1,723	27	0.27

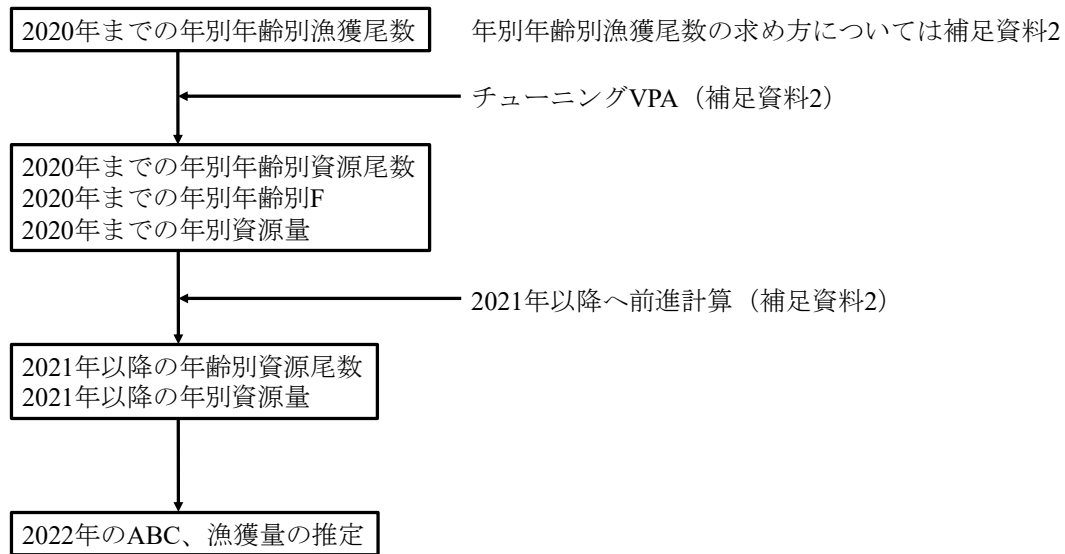
表 4. 種苗放流尾数、加入尾数、混入率、添加効率の推移

年	種苗放流尾数 (千尾)		有効放流尾数 (千尾)	加入尾数 (千尾)		混入率 (%)	添加効率
	大型	小型		天然	放流		
2002	92	117	121	1,208	22	1.8	0.18
2003	99	94	123	518	89	14.7	0.73
2004	76	20	81	577	20	3.4	0.25
2005	156	3	156	708	31	4.1	0.20
2006	147	0	147	661	58	8.1	0.40
2007	270	80	290	478	38	7.3	0.13
2008	192	20	197	1,068	19	1.8	0.10
2009	230	41	241	789	18	2.2	0.08
2010	200	18	204	1,644	26	1.6	0.13
2011	134	0	134	910	26	2.8	0.19
2012	68	32	76	1,960	15	0.8	0.20
2013	78	0	78	1,258	23	1.8	0.29
2014	72	12	75	1,385	13	0.9	0.17
2015	26	11	29	1,251	0	0.0	0.00
2016	70	0	70	1,436	9	0.6	0.13
2017	65	0	65	1,208	1	0.0	0.01
2018	70	0	70	3,080	0	0.0	0.00
2019	45	0	45	2,199	0	0.0	0.00
2020	75	9	77	1,716	7	0.4	0.09

有効放流尾数=大型放流尾数+小型放流尾数/4。

混入率は、2002～2019年は1歳時、2020年は0歳時の値。

補足資料 1 資源評価の流れ



補足資料 2 資源計算方法

(1) 年齢別漁獲尾数の推定

2004年以前の年齢別漁獲尾数は永井・片町(2009)の値を元に、漁業・養殖業生産統計年報と整合させた。より詳細な資料が入手可能な2005年以降は次の方法によった。

漁業・養殖業生産統計年報の漁獲量に一致するように、瀬戸内海漁業調整事務所が集計した月別灘別漁法別漁獲量を、府県別年別把握率を計算して引き延ばした。なお、灘と漁法は次の通り18に区分した。

紀伊水道(和歌山ひき縄等、徳島はえ縄等、兵庫ひき縄)

大阪湾(大阪さわら流し網、兵庫ひき縄)

播磨灘(兵庫さわら流し網、兵庫ひき縄、兵庫ひら流し網、兵庫はなつぎ網、岡山さわら流し網、岡山さわら船曳網、徳島さわら流し網等、香川さわら流し網)

備讃瀬戸(岡山さわら流し網、岡山さわらひき釣、香川さわら流し網)

燧灘(広島さわら流し網、広島さごし巾着網、香川さわら流し網)

燧灘・安芸灘(愛媛さわら流し網、愛媛あじ・えそ流し網等、愛媛その他)

安芸灘(広島さわら流し網、山口さわら流し網)

伊予灘(山口さわら流し網、愛媛さわら流し網、愛媛その他、大分さわら流し網)

周防灘(山口さわら流し網、福岡さわら流し網、大分さわら流し網)

月別灘別漁法別漁獲量と月別灘別尾叉長組成を1~6月、7~12月の2期で集計し、灘別漁獲量で加重平均して、2期の尾叉長組成を構築した。2期の尾叉長組成を岸田ほか(1985)を参考に、以下の体重 W (g)と尾叉長 FL (mm)の関係式で重量化し、2期の漁獲量との比で引き延ばし、2期の尾叉長階級別漁獲尾数を求めた。

$$W = 1.504 \times 10^{-5} FL^{2.943} \quad (1\sim 6 \text{ 月})$$

$$W = 5.686 \times 10^{-5} FL^{2.676} \quad (7\sim 12 \text{ 月})$$

耳石輪紋による年齢査定データに基づいて、2期のAge-length keyを毎年作成し、これらを用いて、2期の尾叉長階級別漁獲尾数から年齢別漁獲尾数へ変換した。4月を年齢の起算

月として、1～3月の年齢には1歳を加算した。2020年のAge-length keyを以下に示す。

尾叉長 (cm)	1～6月				7～12月				
	1歳	2歳	3歳	4歳+	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳+
30～40	1.00*	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
40～50	1.00	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50～60	0.50	0.50	0.00	0.00	0.80	0.20	0.00	0.00	0.00
60～70	0.11	0.87	0.02	0.00	0.00	0.88	0.12	0.00	0.00
70～80	0.10	0.57	0.32	0.00	0.00	0.48	0.52	0.00	0.00
80～90	0.00	0.21	0.45	0.33	0.00	0.00	0.92	0.08	0.00
90～100	0.00	0.00	0.05	0.95	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00
100～110	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00*
110～120	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00*
120～	0.00	0.00	0.00	1.00*	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00*

年齢は4月起算。

1～3月は年齢を1歳加算。

*データはなく、過去3年もしくは前後の期間のデータから推定。

(2) 年齢別漁獲物平均体重の計算

(1) で求められた年齢別漁獲量を年齢別漁獲尾数で除して年齢別漁獲物平均体重とした。

(3) VPAによる資源尾数等の推定 (チューニング前)

年別年齢別漁獲尾数に基づいてPope (1972)により年齢別資源尾数と漁獲係数を計算した。

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

1987～1997年は5歳以上を一括し、4歳と5歳以上の漁獲係数が等しいと仮定した。

$$N_{4,y} = N_{5+,y+1} \exp(M_4) \frac{C_{4,y}}{C_{4,y} + C_{5+,y}} + C_{4,y} \exp(M_4/2)$$

$$N_{5+,y} = N_{4,y} \frac{C_{5+,y}}{C_{4,y}}$$

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

$$F_{5+,y} = F_{4,y}$$

1998年以降は4歳以上を一括し、3歳と4歳以上の漁獲係数が等しいと仮定した。

$$N_{3,y} = N_{4+,y+1} \exp(M_3) \frac{C_{3,y}}{C_{3,y} + C_{4+,y}} + C_{3,y} \exp(M_3/2)$$

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

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

$$F_{4+y} = F_{3,y}$$

2020年のFと資源尾数は次の式で求めた。

$$F_{a,2020} = \frac{F_{a,2017} + F_{a,2018} + F_{a,2019}}{3}$$

$$N_{a,2020} = C_{a,2020} \frac{\exp(M_a/2)}{1 - \exp(-F_{a,2020})}$$

ここで、 $N_{a,y}$ はy年のa歳魚の資源尾数、 $C_{a,y}$ は同様に漁獲尾数、 $F_{a,y}$ は漁獲係数。 M_a はa歳魚の自然死亡係数で、田内・田中の方法(田中 1960)により、寿命を8年として $2.5/8 \approx 0.3$ より、年当たり 0.3 とした。ただし、0歳魚は9月加入とし、 M_a には $4/12$ を乗じた 0.1 を与えた。

(4) チューニングによる直近年の漁獲係数の推定

図9に示す流し網によるサワラの漁獲尾数/出漁隻日数とひき縄およびはえ縄によるサワラの漁獲尾数/出漁隻日数の2つの指標値を用いた。これらは各府県の情報に基づいて水産庁瀬戸内海漁業調整事務所が集計した値である。両指標を漁獲量で加重平均して以下の指標を用いた。

年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
指標	9.49	10.81	9.56	11.28	14.18	18.69	17.71	23.32	19.70	19.06	18.21	19.45	27.86	35.55

以下の目的関数が最小となる2020年の漁獲係数を探索的に求めた。各年齢の選択率は2017~2019年の平均と等しいと仮定した。

$$\sum_{y=2007}^{2020} \{ \ln(I_y) - \ln(qN_y) \}^2$$

ここで、 I_y はy年における指標、 q は比例定数を示す。

このチューニングにより2020年のFは次の通り下方修正された。

2020年のF	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳以上	平均
チューニング前	0.02	0.36	1.24	1.37	1.37	0.87
チューニング後	0.01	0.22	0.79	0.87	0.87	0.55

チューニングで求めた2020年の各年齢の漁獲係数により、2020年の資源尾数は修正され、それにともなって、2019年以前の資源尾数も修正された。

(5) SPR、YPRの計算

SPR、YPRは次の式で計算した。

$$SPR = \sum_{a=0}^8 S_a f_r a W_a$$

$$YPR = \sum_{a=0}^8 \{1 - \exp(-F_{a,y})\} \exp(-M_a/2) S_a W_a$$

$$S_0 = 1, S_{a+1} = S_a \exp(-F_a - M_a)$$

ここで、 S_a は a 歳における残存率、 $f_r a$ は a 歳における成熟割合、 W_a は a 歳における平均体重（2016～2020 年の平均値）を示す。

(6) 将来予測

将来の資源尾数と漁獲尾数は次の式で求めた。

$$N_{0,y} = \sum_{a=0}^{4+} N_a f_r a W_a \times RPS$$

$$N_{a,y} = N_{a-1,y-1} \exp(-F_{a-1,y-1} - M_a)$$

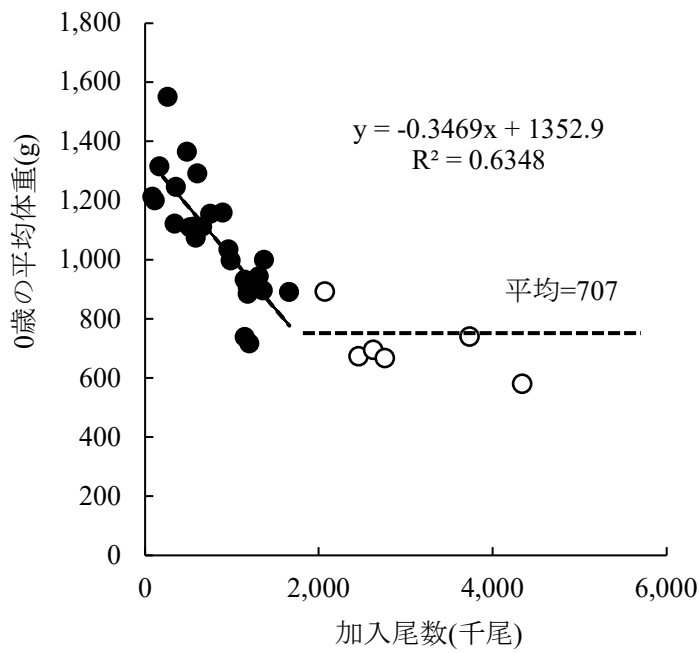
$$N_{4+,y} = N_{3,y-1} \exp(-F_{3,y-1} - M_3) + N_{4+,y-1} \exp(-F_{4+,y-1} - M_4)$$

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

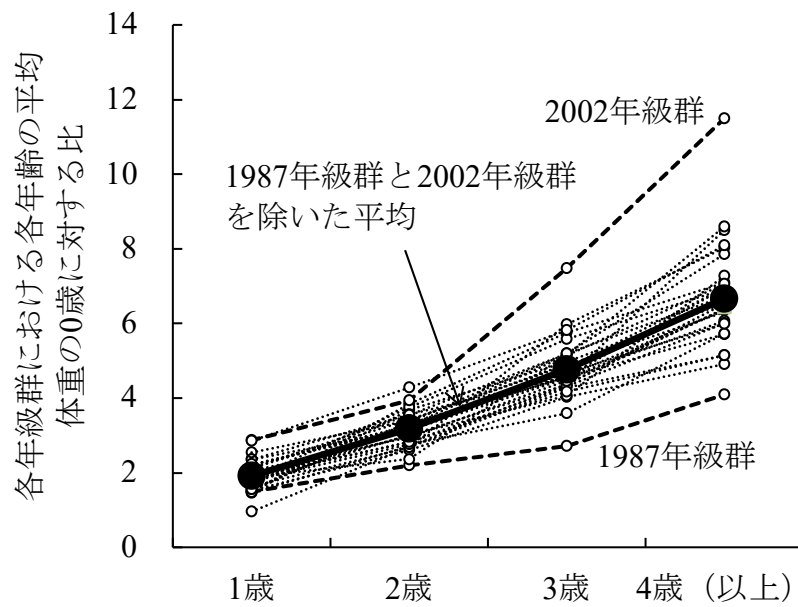
2021 年の各年齢の漁獲係数は 2020 年と等しいと仮定した。2021 年以降の漁獲係数は、各年齢の選択率が 2017～2019 年の平均と同一と仮定し、条件により変化させた。今後の加入尾数は直近年を除く過去（1987～2019 年）の RPS の中央値（0.40 尾/kg）と親魚量の積によって推定した。2021 年以降の年齢別平均体重は、直近 5 年（2016～2020 年）の平均値とした。昨年までは、加入尾数に応じて各年齢の平均体重を変化させてきたが、加入尾数と平均体重の関係は明瞭ではなく（補足図 2-1）、また、各年級群における 0 歳の平均体重に対するその他の年齢の平均体重との比は幅が大きいため（補足図 2-2）、こちらも明瞭な関係が見いだせないことから、今後の検討が必要だと判断し、本年度の計算には用いなかった。

(7) モデル診断結果

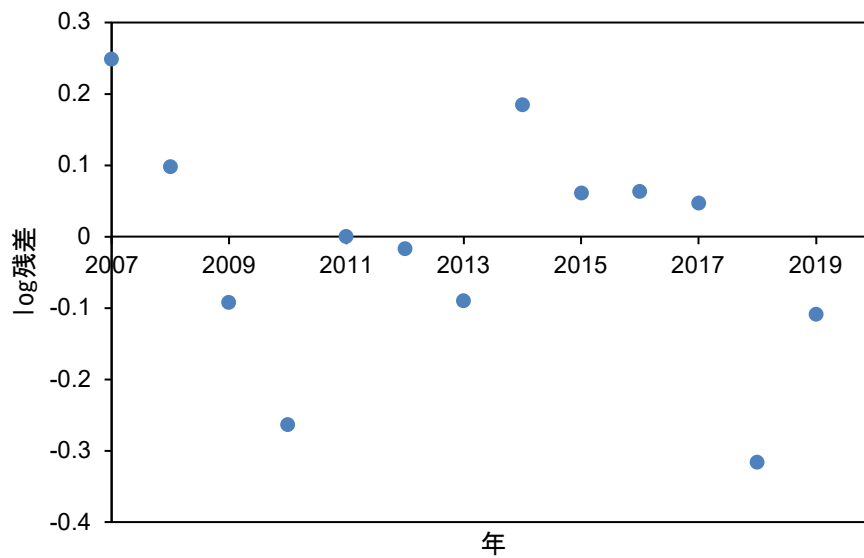
「資源評価のモデル診断手順と情報提供指針（令和 3 年度）FRA-SA2021-ABCWG02-03」に従って、本系群の評価に用いた VPA の統計学的妥当性や仮定に対する頑健性について診断した。チューニング VPA における残差を補足図 2-3 に示す。残差には特段の傾向は見られない。レトロスペクティブ解析では、データの追加・更新が行われることで、親魚量は下方修正、資源量、加入尾数、 F が上方修正される傾向があり、特に加入尾数で差異が大きい（補足図 2-4）。



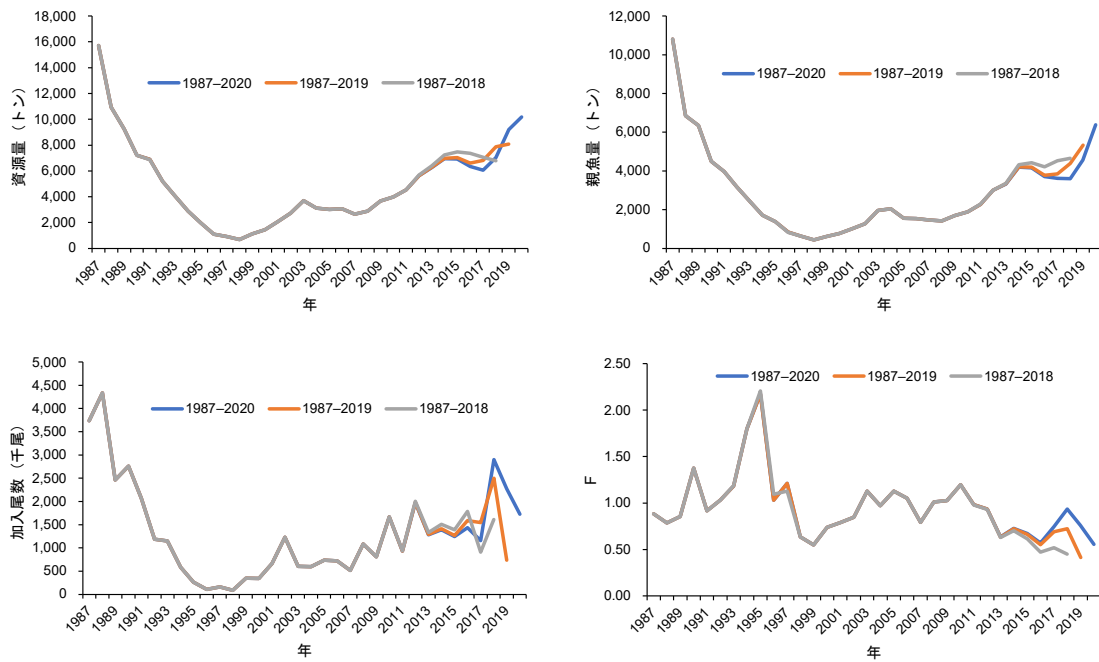
補足図 2-1. 加入尾数と 0 歳の平均体重（昨年度評価のデータ）



補足図 2-2. 1987～2017 年級群における各年齢の平均体重の 0 歳平均体重に対する比（昨年度評価のデータ）



補足図 2-3. チューニング VPA における残差プロット



補足図 2-4. 資源量、親魚量、加入尾数、F (全年齢の単純平均値) のレトロスペクティブ解析結果

引用文献

永井達樹・片町太輔 (2009) 平成 20 年サワラ瀬戸内海系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価 (第 3 分冊), 水産庁・水産総合研究センターほか, 1194-1225.

Pope, J. G. (1972) An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. ICNAF Res. Bull., (9), 65-74.

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

補足資料3 VPAの詳細

年齢別漁獲尾数(千尾)

年	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
0歳	557	1,485	529	804	422	505	437	344	52	21	10
1歳	852	899	1,043	302	831	660	242	241	104	54	24
2歳	1,335	630	586	416	524	332	346	54	103	30	64
3歳	630	607	261	390	227	177	92	46	103	82	14
4歳	181	184	149	170	14	42	48	17	22	2	3
5歳以上	73	33	72	47	14	8	11	13	0	0	1
計	3,628	3,839	2,640	2,129	2,032	1,725	1,175	716	384	189	115

年齢別漁獲量(トン)

年	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
0歳	412	860	356	536	376	446	407	369	81	25	13
1歳	1,184	992	1,051	309	1,032	858	405	424	183	82	43
2歳	2,235	996	953	795	917	664	837	151	227	85	265
3歳	1,387	1,050	688	784	598	481	268	181	411	394	89
4歳	509	480	535	417	42	140	157	76	124	15	25
5歳以上	270	108	319	188	56	33	46	70	3	2	7
計	5,997	4,485	3,902	3,029	3,021	2,623	2,120	1,271	1,029	603	442

年齢別F(漁獲係数)

年	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
0歳	0.17	0.45	0.26	0.37	0.24	0.59	0.51	0.96	0.23	0.22	0.06
1歳	0.39	0.46	0.66	0.23	0.81	0.74	0.64	0.59	0.91	0.41	0.42
2歳	0.76	0.64	0.71	0.70	0.91	1.14	1.47	0.32	0.63	0.84	1.58
3歳	0.95	1.19	0.69	2.70	1.35	1.14	1.58	0.94	3.20	2.84	1.78
4歳	1.52	0.99	1.41	2.13	1.09	1.30	1.45	3.99	4.04	0.95	1.78
5歳以上	1.52	0.99	1.41	2.13	1.09	1.30	1.45	3.99	4.04	0.95	1.78
単純平均	0.88	0.79	0.86	1.37	0.92	1.03	1.18	1.80	2.18	1.03	1.23

年齢別資源尾数(千尾)

年	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
0歳	3,734	4,338	2,463	2,760	2,071	1,186	1,151	585	264	114	166
1歳	3,084	2,849	2,512	1,725	1,733	1,472	593	626	202	189	83
2歳	2,920	1,551	1,337	963	1,018	569	522	231	257	60	93
3歳	1,192	1,014	606	486	355	303	135	89	124	101	19
4歳	270	341	229	224	24	68	72	21	26	4	4
5歳以上	108	61	111	62	25	12	16	15	0	0	1
計	11,307	10,154	7,258	6,220	5,226	3,610	2,489	1,567	873	468	366

年齢別資源量、親魚量(トン)

年	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
0歳	2,763	2,510	1,656	1,839	1,845	1,047	1,072	628	409	136	218
1歳	4,285	3,143	2,530	1,767	2,152	1,914	993	1,103	356	283	149
2歳	4,888	2,450	2,174	1,839	1,782	1,137	1,262	641	565	174	387
3歳	2,624	1,754	1,598	977	937	822	393	346	498	486	124
4歳	757	887	823	550	73	225	238	90	147	28	35
5歳以上	401	200	491	248	98	53	70	83	3	3	9
計	15,718	10,945	9,272	7,219	6,887	5,197	4,027	2,891	1,977	1,112	922
親魚量	10,813	6,863	6,351	4,497	3,966	3,193	2,459	1,711	1,391	834	630

年齢別平均体重(g)

年	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
0歳	740	579	673	666	891	883	931	1,073	1,550	1,200	1,315
1歳	1,390	1,103	1,007	1,024	1,242	1,300	1,675	1,761	1,760	1,500	1,800
2歳	1,674	1,580	1,626	1,910	1,749	1,999	2,416	2,776	2,200	2,886	4,166
3歳	2,201	1,730	2,636	2,010	2,637	2,711	2,906	3,901	4,000	4,800	6,416
4歳	2,807	2,604	3,595	2,452	3,030	3,307	3,306	4,350	5,700	7,500	8,001
5歳以上	3,706	3,260	4,442	4,024	3,900	4,264	4,299	5,410	6,873	9,300	7,800

補足資料3 VPAの詳細(続き)

年齢別漁獲尾数(千尾)

年	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
0歳	8	18	29	20	86	60	26	66	41	17	76	88
1歳	30	14	111	94	265	282	185	218	300	286	219	403
2歳	13	25	22	67	81	146	363	131	130	111	117	73
3歳	8	10	20	8	21	18	15	53	26	18	31	38
4歳以上	2	2	4	7	3	8	3	4	7	5	8	6
計	61	70	186	196	455	515	592	471	503	436	450	608

年齢別漁獲量(トン)

年	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
0歳	10	23	33	22	61	67	28	79	51	18	65	116
1歳	59	31	216	206	515	579	320	491	633	581	508	800
2歳	59	121	100	278	287	490	1,024	387	441	365	352	244
3歳	56	71	134	51	122	94	69	245	115	85	141	178
4歳以上	16	17	30	58	23	59	23	23	44	32	47	44
計	199	263	512	615	1,008	1,289	1,465	1,224	1,283	1,082	1,113	1,382

年齢別F(漁獲係数)

年	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
0歳	0.10	0.06	0.09	0.03	0.08	0.11	0.05	0.10	0.06	0.04	0.08	0.12
1歳	0.29	0.25	0.55	0.49	0.75	0.38	0.57	0.67	0.86	0.78	0.83	0.72
2歳	0.46	0.46	0.93	0.92	1.30	1.81	1.66	1.36	1.48	1.13	1.06	0.88
3歳	1.17	0.99	1.06	1.25	1.05	1.67	1.29	1.76	1.43	1.01	1.55	1.70
4歳以上	1.17	0.99	1.06	1.25	1.05	1.67	1.29	1.76	1.43	1.01	1.55	1.70
単純平均	0.64	0.55	0.74	0.79	0.85	1.13	0.97	1.13	1.05	0.79	1.01	1.02

年齢別資源尾数(千尾)

年	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
0歳	89	355	345	664	1,230	607	598	738	719	516	1,087	807
1歳	141	73	303	284	582	1,032	492	516	606	612	451	911
2歳	40	78	42	129	129	203	521	205	195	190	208	145
3歳	14	19	36	12	38	26	25	74	39	33	46	54
4歳以上	3	4	6	11	5	11	5	6	10	9	11	9
計	288	529	733	1,101	1,985	1,879	1,641	1,540	1,570	1,360	1,802	1,926

年齢別資源量、親魚量(トン)

年	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
0歳	108	442	386	738	881	674	663	884	899	560	930	1,062
1歳	273	164	590	620	1,132	2,118	852	1,164	1,277	1,245	1,045	1,810
2歳	186	378	192	537	459	680	1,470	605	664	627	627	485
3歳	94	131	238	84	217	135	111	344	175	155	209	253
4歳以上	27	32	54	94	41	84	37	33	67	59	70	62
計	688	1,146	1,459	2,072	2,730	3,692	3,133	3,030	3,082	2,647	2,880	3,672
親魚量	443	622	778	1,024	1,283	1,959	2,044	1,564	1,544	1,464	1,428	1,705

年齢別平均体重(g)

年	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
0歳	1,211	1,246	1,121	1,110	716	1,110	1,110	1,198	1,250	1,085	856	1,316
1歳	1,940	2,241	1,945	2,184	1,945	2,053	1,730	2,254	2,109	2,034	2,319	1,986
2歳	4,611	4,845	4,542	4,152	3,545	3,348	2,820	2,945	3,399	3,295	3,018	3,332
3歳	6,639	6,902	6,543	6,770	5,680	5,151	4,520	4,671	4,459	4,707	4,584	4,721
4歳以上	8,608	7,986	8,499	8,591	8,382	7,564	7,114	5,371	6,529	6,762	6,169	6,948

補足資料3 VPAの詳細(続き)

年齢別漁獲尾数(千尾)

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0歳	191	132	91	45	29	115	54	21	62	17	18
1歳	275	304	207	466	274	434	362	408	209	539	341
2歳	174	139	375	156	407	301	250	279	337	351	734
3歳	34	65	41	117	79	148	81	100	62	87	77
4歳以上	6	3	10	6	37	21	44	51	55	16	16
計	680	644	723	791	826	1,019	791	859	725	1,010	1,185

年齢別漁獲量(トン)

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0歳	161	155	88	53	33	134	59	22	49	17	16
1歳	598	529	411	792	582	933	767	818	464	972	728
2歳	504	404	1,023	428	1,065	815	692	792	1,005	1,000	1,663
3歳	133	276	164	466	301	524	303	349	241	321	255
4歳以上	41	20	54	36	168	114	206	239	279	88	83
計	1,436	1,384	1,740	1,775	2,148	2,519	2,027	2,220	2,038	2,398	2,746

年齢別F(漁獲係数)

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0歳	0.13	0.16	0.05	0.04	0.02	0.10	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01
1歳	0.68	0.31	0.41	0.38	0.34	0.52	0.53	0.47	0.26	0.26	0.22
2歳	0.95	1.10	0.92	0.72	0.80	0.90	0.76	1.30	1.13	1.09	0.79
3歳	2.11	1.67	1.65	1.02	1.24	0.92	0.75	0.96	1.58	1.31	0.87
4歳以上	2.11	1.67	1.65	1.02	1.24	0.92	0.75	0.96	1.58	1.31	0.87
単純平均	1.20	0.98	0.93	0.64	0.73	0.67	0.57	0.74	0.91	0.80	0.55

年齢別資源尾数(千尾)

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0歳	1,670	936	1,975	1,281	1,397	1,251	1,445	1,208	3,080	2,199	1,723
1歳	646	1,329	721	1,701	1,116	1,237	1,023	1,256	1,073	2,728	1,974
2歳	328	242	723	355	859	591	543	446	579	615	1,557
3歳	45	94	59	213	129	286	179	187	90	139	153
4歳以上	8	5	14	10	60	40	96	96	80	26	33
計	2,698	2,605	3,492	3,561	3,561	3,405	3,285	3,194	4,903	5,707	5,441

年齢別資源量、親魚量(トン)

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0歳	1,405	1,096	1,923	1,506	1,570	1,457	1,574	1,246	2,423	2,298	1,595
1歳	1,403	2,312	1,428	2,890	2,370	2,659	2,169	2,518	2,377	4,921	4,218
2歳	953	703	1,975	972	2,245	1,598	1,505	1,267	1,728	1,753	3,530
3歳	175	396	235	846	493	1,012	665	656	353	510	511
4歳以上	54	29	78	66	275	220	452	449	407	140	167
計	3,989	4,535	5,639	6,280	6,952	6,945	6,365	6,136	7,287	9,621	10,020
親魚量	1,883	2,283	3,002	3,329	4,197	4,159	3,706	3,631	3,676	4,863	6,316

年齢別平均体重(g)

年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0歳	841	1,172	974	1,175	1,123	1,164	1,089	1,031	787	1,045	926
1歳	2,171	1,739	1,982	1,699	2,123	2,150	2,122	2,005	2,215	1,804	2,137
2歳	2,901	2,907	2,731	2,734	2,615	2,703	2,773	2,839	2,983	2,851	2,267
3歳	3,918	4,221	3,958	3,969	3,827	3,542	3,721	3,502	3,902	3,665	3,329
4歳以上	6,412	6,027	5,687	6,329	4,597	5,426	4,691	4,684	5,081	5,391	5,065

補足資料5 年齢別漁獲尾数の算出方法を変更したことによる数値の変化の詳細

2005年以降、補足資料2のように、年齢別漁獲尾数の算出方法を昨年度評価から変更した。変更に伴って、年齢別漁獲尾数、年齢別平均体重、年齢別資源尾数、年齢別資源量は大きく変更された。特に、漁獲尾数では、2005年、2011年、2013年、2015年の0歳、2015年の1歳、2012年の4歳以上、2014年の4歳以上が2倍以上に上方修正された。資源尾数および資源量では、2014年の4歳以上で2倍以上に上方修正された。

漁獲尾数 (千尾)

旧方式	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
0歳	28	26	25	83	40	106	39	54	21	23	16	49	12	34	9
1歳	232	264	233	177	355	242	278	160	310	194	250	225	254	154	432
2歳	83	112	75	101	93	185	172	352	196	440	455	297	335	336	268
3歳	47	24	25	35	22	23	36	38	106	72	99	59	85	93	110
4歳以上	3	4	5	5	7	4	4	4	5	6	25	46	43	31	21

新方式	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
0歳	66	41	17	76	88	191	132	91	45	29	115	54	21	62	17
1歳	218	300	286	219	403	275	304	207	466	274	434	362	408	209	539
2歳	131	130	111	117	73	174	139	375	156	407	301	250	279	337	351
3歳	53	26	18	31	38	34	65	41	117	79	148	81	100	62	87
4歳以上	4	7	5	8	6	6	3	10	6	37	21	44	51	55	16

平均体重 (g)

旧方式	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
0歳	1,291	1,111	1,364	1,035	1,154	896	1,159	889	944	737	908	999	996	695	1,042
1歳	2,618	2,447	2,614	2,449	2,296	2,370	1,901	2,158	1,883	2,082	2,106	2,312	2,210	2,223	2,096
2歳	3,720	3,946	3,646	3,518	3,769	3,372	3,403	3,181	3,269	3,040	3,073	3,156	3,093	3,185	3,137
3歳	5,353	5,769	5,080	5,576	5,326	4,911	5,318	5,150	4,654	4,843	4,343	4,414	4,285	4,457	4,300
4歳以上	8,083	8,229	7,471	7,703	7,747	7,719	7,802	7,309	7,352	7,039	5,966	5,605	5,655	5,959	6,002

新方式	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
0歳	1,198	1,250	1,085	856	1,316	841	1,172	974	1,175	1,123	1,164	1,089	1,031	787	1,045
1歳	2,254	2,109	2,034	2,319	1,986	2,171	1,739	1,982	1,699	2,123	2,150	2,122	2,005	2,215	1,804
2歳	2,945	3,399	3,295	3,018	3,332	2,901	2,907	2,731	2,734	2,615	2,703	2,773	2,839	2,983	2,851
3歳	4,671	4,459	4,707	4,584	4,721	3,918	4,221	3,958	3,969	3,827	3,542	3,721	3,502	3,902	3,665
4歳以上	5,371	6,529	6,762	6,169	6,948	6,412	6,027	5,687	6,329	4,597	5,426	4,691	4,684	5,081	5,391

資源尾数 (千尾)

旧方式	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
0歳	607	566	482	962	755	1,357	895	1,663	1,309	1,149	1,182	1,369	990	2,627	485
1歳	514	523	487	412	791	645	1,127	772	1,453	1,165	1,018	1,055	1,192	884	2,344
2歳	145	181	160	160	152	281	269	596	434	809	696	539	588	664	522
3歳	61	36	38	54	32	33	49	52	138	153	221	124	143	147	203
4歳以上	3	5	7	8	11	6	6	6	7	12	55	98	73	50	39

新方式	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
0歳	738	719	516	1,087	807	1,670	936	1,975	1,281	1,397	1,251	1,445	1,208	3,080	2,199
1歳	516	606	612	451	911	646	1,329	721	1,701	1,116	1,237	1,023	1,256	1,073	2,728
2歳	205	195	190	208	145	328	242	723	355	859	591	543	446	579	615
3歳	74	39	33	46	54	45	94	59	213	129	286	179	187	90	139
4歳以上	6	10	9	11	9	8	5	14	10	60	40	96	96	80	26

資源量 (トン)

旧方式	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
0歳	784	629	657	996	871	1,216	1,037	1,478	1,236	847	1,074	1,368	986	1,826	505
1歳	1,346	1,279	1,274	1,008	1,817	1,529	2,142	1,667	2,736	2,425	2,144	2,438	2,634	1,964	4,913
2歳	541	715	583	564	574	947	917	1,895	1,420	2,460	2,138	1,701	1,819	2,116	1,638
3歳	328	208	192	299	168	163	261	267	643	741	959	548	615	657	872
4歳以上	28	44	55	59	83	48	48	44	50	84	329	547	415	298	237

新方式	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
0歳	884	899	560	930	1,062	1,405	1,096	1,923	1,506	1,570	1,457	1,574	1,246	2,423	2,298
1歳	1,164	1,277	1,245	1,045	1,810	1,403	2,312	1,428	2,890	2,370	2,659	2,169	2,518	2,377	4,921
2歳	605	664	627	627	485	953	703	1,975	972	2,245	1,598	1,505	1,267	1,728	1,753
3歳	344	175	155	209	253	175	396	235	846	493	1,012	665	656	353	510
4歳以上	33	67	59	70	62	54	29	78	66	275	220	452	449	407	140