

平成27（2015）年度サワラ瀬戸内海系群の資源評価

責任担当水研：瀬戸内海区水産研究所（石田 実、片町太輔）

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

要 約

本系群の資源量について、資源量指標値を考慮したコホート解析により計算した。瀬戸内海とその周辺を回遊する本系群の資源は、1980年代から乱獲により減少したが、1998年頃を底に回復しつつある。資源量は1987年の16,000トンから大きく減少して1998年は704トンの最低となった後次第に増加し、2014年は5,453トンとなった。漁獲量も同様の傾向で推移し、2014年は2,030トンに達した。資源水準は低位で、直近5年間の資源尾数と資源量の推移から動向は増加と判断した。資源が増加したのは、加入量水準の高かった2010年級群と2012年級群が成長したことが大きな要因であると考えられる。ただし、これらの年級群の残存数の減少により2014年の資源量は前年よりやや少なくなっており、2013年級群および2014年級群の加入量水準が少ない場合、増加傾向が継続しない可能性がある。2014年の親魚量（B）は3,839トンで資源の回復措置をとる閾値（Blimit）を下回っているため、ABC算定のための基本規則1-1)-(2)を用い、再生産関係の中央値に相当する漁獲係数（Fmed）をB/Blimitで引き下げたFrecによりABCを算定した。本種は栽培対象種であり、2014年の有効放流尾数は7.5万尾で、放流魚の混入率は1.1%、添加効率は0.11と推定された。

管理基準	Limit/Target	F値	漁獲割合 (%)	2016年ABC (トン)
Frec	Limit	0.94	31	1,388
	Target	0.75	27	1,213

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。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、より安定的な資源の回復が期待される漁獲量である。Ftarget=αFlimitとし、係数αには標準値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)	漁獲量 (トン)	F値	漁獲割合
2013	5,686	1,775	1.30	31%
2014	5,453	2,030	0.95	37%
2015	4,678	—	—	—

水準：低位 動向：増加

本件資源評価に使用したデータセットは以下のとおり

データセット	基礎情報、関係調査等
年齢別・年別漁獲尾数	漁業・養殖業生産統計年報（農林水産省） 月別、灘別、漁法別水揚量 月別体長組成調査（和歌山～大分（11）府県） 体長-体重調査、体長-年齢測定調査（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
種苗放流魚混入率	放流魚混入率調査（水研セ、和歌山～愛媛（7）府県）
種苗放流尾数	2014年は75千尾（水研セ及び大阪、岡山等（6）府県）

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最も重要な魚種のひとつである。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で秋漁の自主休漁が始まり、平成14（2002）～23（2011）年度に実施した資源回復計画では、種苗を放流するとともに、流し刺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、平成24（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いる（図2）。

2. 生態

(1) 分布・回遊

3～4月に紀伊水道外域～紀伊水道、及び豊後水道～伊予灘より播磨灘～安芸灘に親魚が産卵回遊する。備讃瀬戸西部へは東西から来遊する（林ほか 1919、中込 1971）。燧灘へは東部からの群も一部移動する（竹森ほか 2005）。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（図3、4）。

(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、中村 2010a）（図5）。同一年齢の魚体の大型化は資源量が減少した1990年代後半以降顕著となっている（図6、表5）。

(3) 成熟・産卵

近年の成熟率は竹森（2006）を参考に0歳魚0%、1歳魚50%、2歳魚以上100%とした（図7）。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。雌の成熟の目安は生殖腺熟度指数（=生殖腺重量（g）/尾叉長（mm）³・10⁷）が4以上とした

(篠原 1991)。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。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

春季に内海へ来遊する1~2歳魚以上を、秋季に内海から紀伊水道と豊後水道域に移動する0歳魚以上を漁獲する。流し刺網での漁獲が最も多く、2014年は漁獲量の69%を占め、ひき縄およびはえ縄での漁獲は10%であった。そのほかの漁法として、はなつぎ網でも漁獲する。なお、両水道ではひき縄等の釣りが主体である。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1975年までは1千~2千トン、1976~1984年は3千~4千トンで推移した。1985~1987年は6千トン前後の最多となったが、1988年から急減して1998年には2百トンを下回った。その後やや増加して2002以降1千トンを超え、2014年は2,030トンに達した(図8、表1、2)。

(3) 漁獲努力量

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(中込 1971)とともに流し刺網の隻数が増加し、0歳魚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)。1998年から播磨灘と備讃瀬戸で漁業者が秋漁を自主休漁するとともに瀬戸内海東部海域で種苗放流が開始され、2002年4月から資源回復計画に基づく流し刺網の目合制限と休漁期設定を主体とする規制を開始し、同計画が2012年3月に終了した後も同様の規制を実施している(図2)。春季の流し刺網の操業日数は、香川県ではほぼ一定で推移し、兵庫県と岡山県では2011年まで減少した後に増加した。愛媛、徳島、山口、広島各県は減少傾向にある(図9)。秋季の流し刺網漁は概ね減少傾向で(図10)、兵庫県のはなつぎ網は2010年まで減少した後に増加傾向、広島県の中着網は減少傾向にある(図11)。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

1987年以降の漁獲量、体長組成、体長-年齢関係に基づいて暦年の年齢別漁獲尾数を集計し、主要漁業の流し刺網、はえ縄およびひき縄の操業隻日数当たり漁獲尾数を指標とするチューニングVPA(コホート解析)により資源尾数を推定した(補足資料2(1)~(3))。

(2) 資源量指標値の推移

操業隻日数当たり漁獲尾数は、流し刺網では2010年以降増加傾向を示し、ひき縄・はえ縄では2007年以降概ね増加傾向にある(図12)。両漁業で瀬戸内海における漁獲量の約80%を占めていることから、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))。

(3) 漁獲物の年齢組成

資源水準の高かった1980年代は3、4歳魚が主体であった(上田 1990、岸田 1990)。1990年代は3歳魚以上の割合が低下し(武田 1996、河野ほか 1997)、漁獲がやや回復した2002年から現在に至るまで少ない状態が続いている。2000年以降の主体は1、2歳魚である。0歳魚の漁獲尾数は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13、表3、4)。

(4) 資源量と漁獲割合の推移

1987年に16,000トンを超えていた資源量は大きく減少し、1998年は704トンと最低となった。その後、2003年まで増加、2004~2007年は3,000トン前後で伸び悩んだが、2008年から再び増加し、2014年は前年よりやや減少して5,453トンとなった。近年の漁獲割合は30%台で推移しており、2014年は37%であった(図14、表7)。

自然死亡係数(M)の値を変更した場合、資源量、親魚量、加入量推定値の動向に大きな違いはなかった。M=0.3に対してM=0.4または0.2として求めた値は、資源量と親魚量で10~27%、加入量で10~46%の差を示した(図15~17)。

(5) 再生産関係

コホート解析により計算した0歳魚資源尾数から放流種苗に由来する0歳魚尾数(表9、補足資料2(6))を差し引いて天然由来の0歳魚資源尾数である加入量を求めた(表12)。1998年まで親魚量、加入量ともに減少、1999~2002年は増加、2003~2007年はほぼ横ばいとなった。親魚量は2008年以降増加し、2014年は3,839トンとなった。加入量は2008~2012年は百万尾を挟んで1年ごとに増減し、2012年の加入量は21年振りの高水準となった。2013年はやや減少したものの百万尾を超え、2014年は91万尾であった(図18、19、表12)。親魚量と加入量の間には正の相関関係が見られる(図18)。親魚量当たり加入量である再生産成功率(RPS)の経年変化を見ると0.17尾/kgの最低となった1996年まで低下傾向をたどり、2002年にかけて上昇し、最高の1.12尾/kgとなった。2003~2007年は0.5尾/kgを下回る低い年が続き、2008年に0.80尾/kgの高い値となった後2013年まで1年ごとに増減したが、2014年は減少して0.23尾/kgの低い値であった(図20、表12)。

(6) Blimitの設定

親魚量と0歳魚の漁獲物平均体重を見ると、親魚量4,000トンを超えるとほぼ一定で、下回ると成長が速くなることが認められる(図21)。また、加入量と0歳魚の漁獲物平均体重にも、加入量2百万尾を境に同様の関係が見られる(図22)。これまで再生産関係において親魚量4,000トン未満では加入量2百万尾を上回ったことがなく(図18)、また、加入量と成長

の関係から、加入量2百万尾未満では瀬戸内海の生産力を十分利用しておらず、良好な加入が期待できないと考えられる。これらのことから、4,000トン資源の回復措置をとる閾値としてのBlimitとした。2014年の親魚量3,839トンはBlimitを下回っている。また、加入量水準の高かった2012年級群の残存量の減少により2015年の親魚量は減少すると推定される。

(7) 資源の水準・動向

資源水準は資源量を指標とし、最高と最低の間を3等分して11,090トン以上を高位、11,090未満5,900トン以上を中位、5,900トン未満を低位とした。中位と低位の境界である資源量5,900トンにおける親魚量はBlimit4,000トンとほぼ一致すると考えられる。2014年の資源量は5,453トンであるので低位と判断した。動向は最近5年(2010~2014年)の資源尾数と資源量の推移から増加と判断した(図14、表6、7)。資源が増加したのは、加入量水準の高かった2010年級群と2012年級群が成長したことが大きな要因であると考えられる。これらの年級群の残存数の減少により2014年の資源量は前年よりやや少なくなっており、2013年級群および2014年級群の加入量水準が低い場合、増加傾向が継続しない可能性がある。

(8) 資源と漁獲の関係

2歳魚以上のFは2000年前後から高くなったが、最近1~2年はやや低下した。1歳魚のFは2006年以降低下傾向にある。一方、0歳魚のFは概ね0.1未満の低めを維持している(図23、24、表8)。2014年の全年齢のFの平均値(Fcurrent)は0.95で、経験的な資源管理基準のF30%SPR、F0.1、Fmaxより高い(図25)。

(9) 種苗放流効果

種苗放流は1999年播磨灘で始まり、2002年以降瀬戸内海の東西両海域で実施している。2014年の種苗の有効放流尾数は75千尾、2002~2013年の平均は148千尾であった。近年の放流魚混入率は資源の増加にともなって低下傾向にあり、2008年以降は5%を下回り、2014年は1.1%であった。放流魚が資源に加入するまでの生残率である添加効率(補足資料2(6))の2014年の値は0.11、2002~2014年の平均は0.20であった(表9)。2007~2010年の放流魚混入率は備讃瀬戸以東の東部放流群の方が燧灘以西の西部放流群より高い(愛媛県 2008、和歌山県 2009、大阪府 2010、香川県 2011)。なお、種苗放流が天然魚の成長に大きな影響を及ぼすことは認められていない(小畑ほか 2008)。系群全体の年級群別、年齢別の放流魚混入率とその調査尾数を表10と11に、親魚量、天然由来の0歳魚尾数、RPSを表12に示す。

5. 2016年ABCの算定

(1) 資源評価のまとめ

資源水準は低位で、過去5年の動向から増加と判断した。ただし、現在の親魚量はBlimitを下回っており、2012年級群の残存数減少により、親魚量は2015年に、資源量は2014年に減少したと推定される。また、年齢組成が若齢に偏っているため加入量が少ない年が続くと資源水準が低下する可能性が高く、1990年代後半の資源量減少に伴い顕著となった魚体の大型化と早熟傾向は解消されていない。従って、少なくとも現状以上の資源管理措置を実施することが望ましい。

(2) ABCの算定

2014年の親魚量はBlimitを下回っていると推定されるので、「平成27年度ABC算定のための基本規則」1-1)-(2)を用いて2016年ABCを算定した。基準値はRPSの中央値の逆数から導いたFmedとした。RPSは直近年(2014年)を除く10年間(2004~2013年)を計算期間とし、RPSの中央値=0.43尾/kg、Fmed=0.98を求めた。この基準値をB/Blimit(0.96)で引き下げたFをFrec=Flimit=0.94とし、Flimitに安全率 α (標準値の0.8)を乗じてFtarget=0.75とした。これらのFと2016年における推定資源尾数と体重から、ABClimitを1,388トン、ABCtargetを1,213トンと算定した。

漁獲量、資源量等の予測方法と、その際の放流種苗の扱いは補足資料2に記述した。

管理基準	Limit/Target	F値	漁獲割合 (%)	2016年ABC (トン)
Frec	Limit	0.94	31	1,388
	Target	0.75	27	1,213

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。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、より安定的な資源の回復が期待される漁獲量である。Ftarget= α Flimitとし、係数 α には標準値0.8を用いた。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。

(3) ABCの評価

Frec、予防的措置の0.8Frec、Fcurrent \times 0~1.0で漁獲を継続した場合の2020年までの漁獲量と親魚量の推定値は次の通りとなった。なお、Fcurrentは2014年の値とし、RPSは直近年(2014年)を除く10年間(2004~2013年)の中央値が続くと仮定した。また、本系群では個体の成長が加入量によって変動するので、過去の両者の関係に基づいて各年齢における体重を年級群毎に推定した(補足資料2(5))。

		漁獲量 (トン)						
F 値	管理基準	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
0.00	禁漁	2,030	1,751	0	0	0	0	0
0.10	0.1Fcurrent	2,030	1,751	221	413	631	893	1,153
0.19	0.2Fcurrent	2,030	1,751	417	719	1,036	1,373	1,684
0.29	0.3Fcurrent	2,030	1,751	590	946	1,294	1,623	1,898
0.38	0.4Fcurrent	2,030	1,751	745	1,116	1,457	1,752	1,989
0.48	0.5Fcurrent	2,030	1,751	883	1,244	1,558	1,809	2,005
0.57	0.6Fcurrent	2,030	1,751	1,007	1,339	1,617	1,825	1,994
0.67	0.7Fcurrent	2,030	1,751	1,119	1,411	1,648	1,816	1,958
0.75	0.8Frec=0.79Fcurrent	2,030	1,751	1,213	1,462	1,661	1,794	1,911
0.76	0.8Fcurrent	2,030	1,751	1,220	1,465	1,661	1,792	1,908
0.86	0.9Fcurrent	2,030	1,751	1,311	1,505	1,662	1,759	1,849
0.94	Frec=0.99Fcurrent	2,030	1,751	1,388	1,533	1,655	1,725	1,792
0.95	Fcurrent	2,030	1,751	1,394	1,536	1,655	1,721	1,786
		資源量 (トン)						
0.00	禁漁	5,453	4,678	4,439	6,662	9,794	14,457	20,124
0.10	0.1Fcurrent	5,453	4,678	4,439	6,564	8,845	12,112	15,799
0.19	0.2Fcurrent	5,453	4,678	4,439	6,291	8,058	10,339	12,734
0.29	0.3Fcurrent	5,453	4,678	4,439	6,042	7,397	8,971	10,495
0.38	0.4Fcurrent	5,453	4,678	4,439	5,815	6,923	8,026	9,014
0.48	0.5Fcurrent	5,453	4,678	4,439	5,607	6,519	7,286	7,899
0.57	0.6Fcurrent	5,453	4,678	4,439	5,416	6,159	6,773	7,196
0.67	0.7Fcurrent	5,453	4,678	4,439	5,241	5,836	6,319	6,673
0.75	0.8Frec=0.79Fcurrent	5,453	4,678	4,439	5,090	5,564	5,942	6,231
0.76	0.8Fcurrent	5,453	4,678	4,439	5,080	5,545	5,916	6,201
0.86	0.9Fcurrent	5,453	4,678	4,439	4,931	5,283	5,557	5,774
0.94	Frec=0.99Fcurrent	5,453	4,678	4,439	4,805	5,064	5,259	5,420
0.95	Fcurrent	5,453	4,678	4,439	4,794	5,045	5,233	5,389

2013年の5,700トンから2016年に4,400トンに減少する資源量は、0.8Frecで漁獲すると2020年に6,200トン、FrecまたはFcurrentでは5,400トンになる。漁獲量も同様の傾向を示す。

また、0.8Frec、Frec、およびFcurrentで漁獲を継続した場合の将来5年間の資源量と親魚量を、RPSを2004～2013年の値から無作為抽出して、1,000回の繰り返し計算を行った(図26～28)。資源量は0.8Frecでやや増加、FrecとFcurrentで横ばいの可能性が高く、親魚量は0.8FrecではBlimitの4,000トンをはば回復、FrecとFcurrentでは回復しない可能性が高い結果となった。

(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
2013年漁獲量確定値	2013年の漁獲量及び年齢別・年別漁獲尾数 2009年以降の年齢別資源尾数、資源量、漁獲係数 将来の資源量及び漁獲量の予測値
2014年漁獲量速報値 2014年年齢組成	2014年の漁獲量及び年齢別・年別漁獲尾数 2010年以降の年齢別資源尾数、資源量、漁獲係数 将来の資源量及び漁獲量の予測値
2014年種苗放流魚混入率 2014年種苗放流尾数	2014年添加効率、放流魚の生残率 将来の資源量及び漁獲量の予測値

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)
2014年(当初)	Frec	0.62	5,820	1,710	1,453	
2014年(2014年再評価)	Frec	0.55	4,577	1,084	913	
2014年(2015年再評価)	Frec	0.94	5,453	2,020	1,751	2,030
2015年(当初)	Frec	0.55	4,355	1,086	917	
2015年(2015年再評価)	Frec	0.94	4,678	1,743	1,535	

F値はABClimitに対する値で、年齢平均である。

2014年再評価時にF値が小さくなったのは、2013年に親魚量が減少したためB/Blimitの値が小さくなり、FmedにB/Blimitを乗じたFrecが小さくなったためである。逆に、2015年再評価時に大きくなったのは2014年に親魚量が増加したためである。

2014年の資源量が2014年の再評価時に少なくなったのは、2013年までのチューニング指標である流し刺網CPUEの減少を反映して2013年のFが上方修正されたためである。逆に、2014年と2015年の資源量が2015年の再評価時に多くなったのは、2014年に流し刺網CPUEの増加を反映して2014年のFが下方修正されたためである。なお、2014年と2015年のABCが2015年の再評価時に大きく増加したのは資源量が増加したこととABCのFがより大きな値となったことの相乗効果による。

6. ABC以外の管理方策の提言

サワラ瀬戸内海系群の近年の資源量は、2002年度から2011年度まで実施されたサワラ瀬戸内海系群資源回復計画の目標である2000年の資源量を65%引き上げた値の2千5百トンを上回って推移しており、この計画の目標は達成されている。しかしながら、2014年の推定資源量5,453トンは計算期間中最多であった1987年の33%にとどまっている。また、資源減少に伴う魚体の大型化と早熟傾向は解消されていない。さらに、高齢になるまでに漁獲し尽くす結果、年齢組成が若齢に偏っているため、2、3年加入が少ない年が続くと資源水準が低下する可能性が高い。

サワラの生態に配慮した管理を考えると、近年5%を下回って推移している資源尾数全体に占める3歳魚以上の割合が10%程度までに増加し、現状より魚体の小型化と晩熟が認められることを本格回復の指標とすることが望ましい。そのためには、特に若齢魚に対して現状以上の漁獲規制を実施・継続し、資源量をより増加させることが必要である。

種苗放流と漁獲圧調整の組合せによる5年後2020年の資源量と漁獲量の推定結果を図29に示す。この結果によれば、Fを10%増加させた場合の資源量の減少を補うために必要な放流尾数は51万尾、漁獲量を補うためには34万尾と計算される。一方、放流を実施せずに漁獲規制によって現状継続と同じ資源量を実現するためにはFの4%削減が、漁獲量実現には8%削減が必要となる。

7. 引用文献

安部恒之(1993) 大阪府における漁獲動向。「瀬戸内海東部域における回遊性魚類の資源生態調査－サワラの資源生態調査－」(林小八編), 本州四国連絡架橋漁業影響調査報告, 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), 36-40.
愛媛県(2008) 瀬戸内海海域サワラ. 平成19年度栽培漁業資源回復等対策事業報告書, 社団法人

- 人全国豊かな海づくり推進協会, 191-197.
- 林満作・重田瑞穂・藍沢虎馬雄(1919) 鱈漁業調査第1報. 香川水試, 50pp.
- 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.
- 香川県(2011) 瀬戸内海海域サワラ. 栽培漁業資源回復等対策事業(平成～22年度)総括報告書, 社団法人全国豊かな海づくり推進協会, 331-375.
- 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. 日本水産学会誌, 54(1), 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. 日本水産学会誌, 55(12), 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. 日本水産学会誌, 51(4), 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(1), 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(1), 99-103.
- 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), 水産庁ほか, 1194-1225.
- 永井達樹・武田保幸(1993) 漁獲量. 「瀬戸内海東部域における回遊性魚類の資源生態調査－サワラの資源生態調査－」(林小八編). 本州四国連絡架橋漁業影響調査報告, 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. 南西水研報告, (29), 19-26.
- 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, 44pp.
- 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. 「瀬戸内海東部域における回遊性魚類の資源生態調査－サワラの資源生態調査－」(林小八編), 本州四国連絡架橋漁業影響調査報告, 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), 17-27.
- 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. 日本水産学会誌, 74(5), 796-801.
- 大阪府(2010) 瀬戸内海海域サワラ. 平成21年度栽培漁業資源回復等対策事業報告書, 社団法

- 人全国豊かな海づくり推進協会, 329-369.
- 瀬戸内海水産開発協議会(1972)「瀬戸内海の魚介類Vol. 1」. 72pp.
- 篠原基之(1991) 瀬戸内海東部におけるサワラの産卵と成熟について. 岡山水試報, (6), 28-34.
- 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. 「瀬戸内海東部域における回遊性魚類の資源生態調査-サワラの資源生態調査-」(林小八編), 本州四国連絡架橋漁業影響調査報告, 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), 124-141.
- Shoji, J., T. Kishida and M. Tanaka (1997) Piscivorous habits of Spanish Mackerel larvae in the Seto Inland Sea. Fish. Sci., 63(3), 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(1), 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(2005) 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(1), 35-41.
- 竹森弘征・坂本久・山崎英樹・岩本明雄(2005) 瀬戸内海東部海域におけるサワラ標識放流結果 - III. 当歳魚の資源尾数および再捕率について. 栽培技研, 33(1), 15-20.
- 竹森弘征・山田達夫(2001) 播磨灘におけるサワラの生態調査. 平成12年度瀬戸内海水産資源担当者会議議事要録, 90-105.
- 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. 「瀬戸内海東部域における回遊性魚類の資源生態調査-サワラの資源生態調査-」(林小八編). 本州四国連絡架橋漁業影響調査報告, 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, (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, 社団法人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(1), 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. 「瀬戸内海東部域における回遊性魚類の資源生態調査」, 本州四国連絡架橋漁業影響調査報告, 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, (67), 179-198.



図1. 瀬戸内海の灘区分と調査地



図2. 平成27年度の漁獲努力量削減措置 (目合い規制、休漁)



図3. サワラ瀬戸内海系群の分布

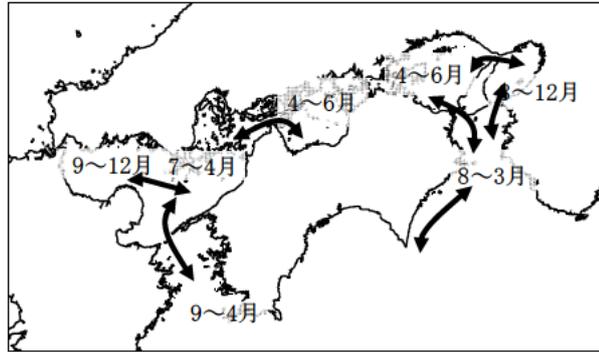


図4. 回遊と主漁期

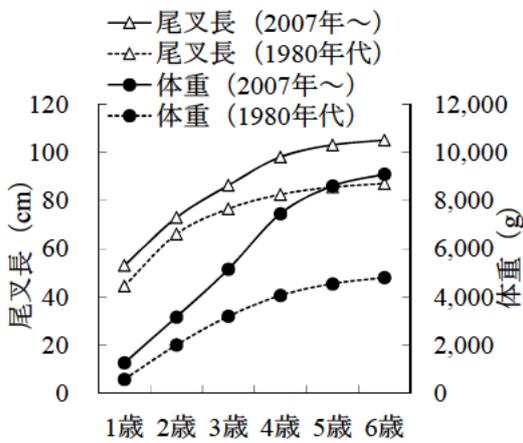


図5. 年齢と成長

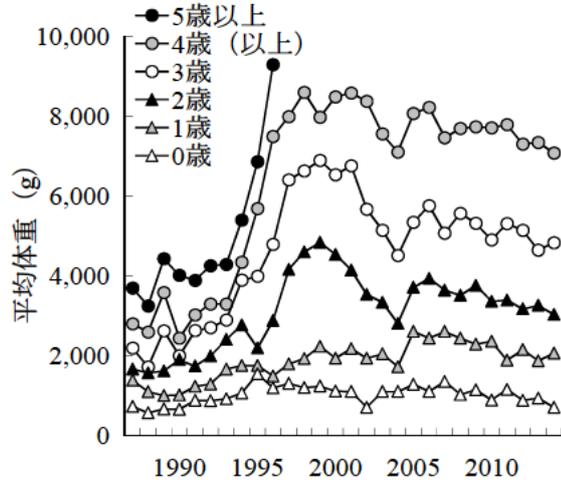


図6. 漁獲物の年齢別平均体重

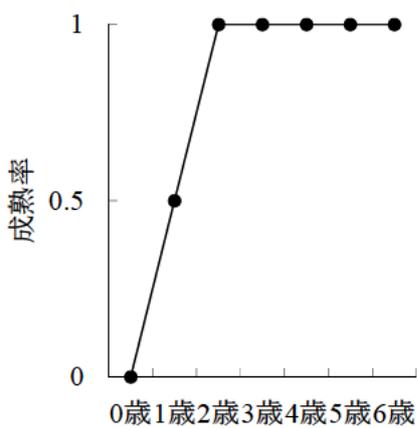


図7. 年齢別成熟率

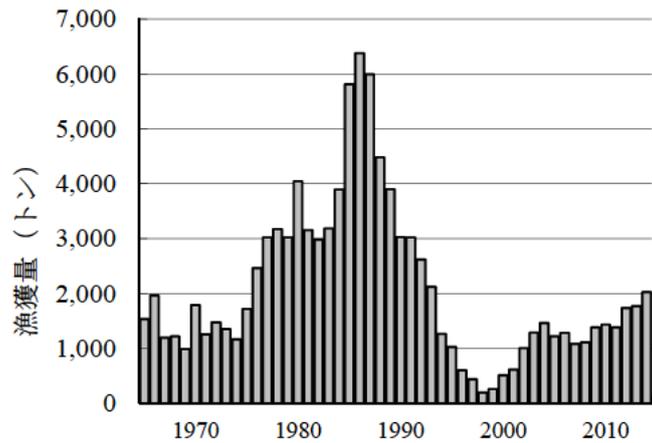


図8. 年別漁獲量
(漁業・養殖業生産統計年報)

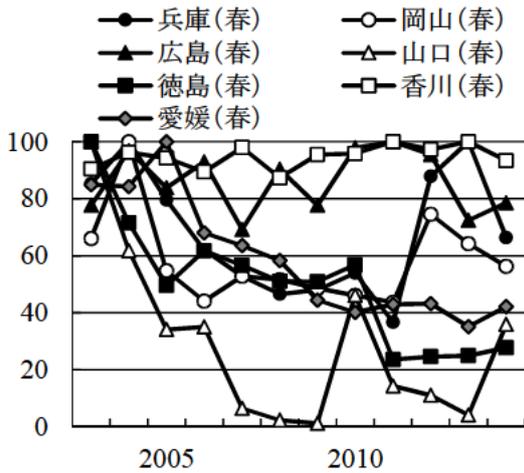


図9. サワラ流し刺網春漁の操業隻日数 (期間中最多を100とした)

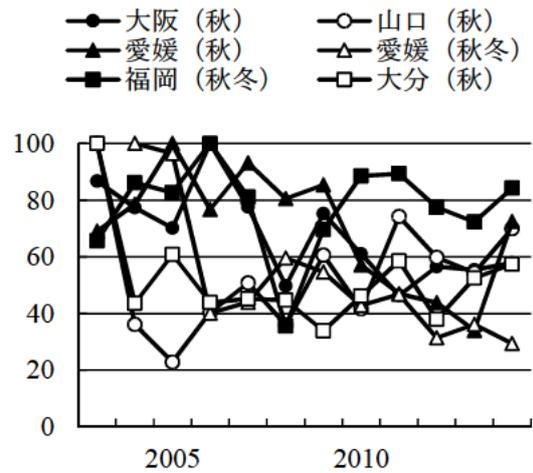


図10. サワラ流し刺網秋冬漁の操業隻日数 (期間中最多を100とした)

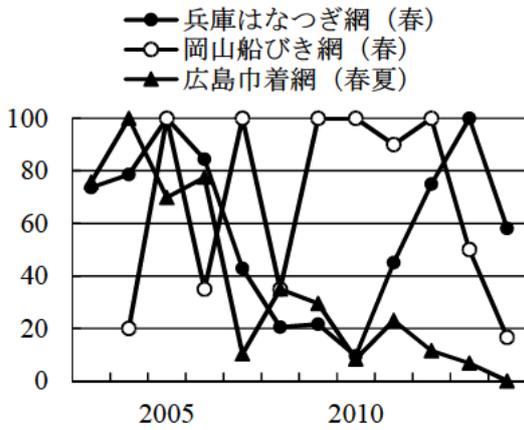


図11. サワラはなつぎ網、船びき網、巾着網の操業隻日数 (期間中最多を100とした)

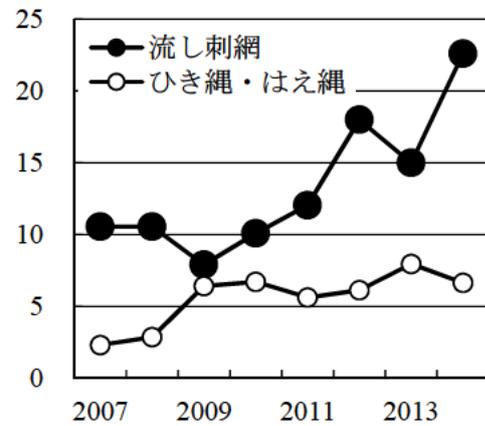


図12. サワラ流し刺網とひき縄・はえ縄の操業隻日数当たりの漁獲尾数 (流し刺網は2kg以上の尾数)

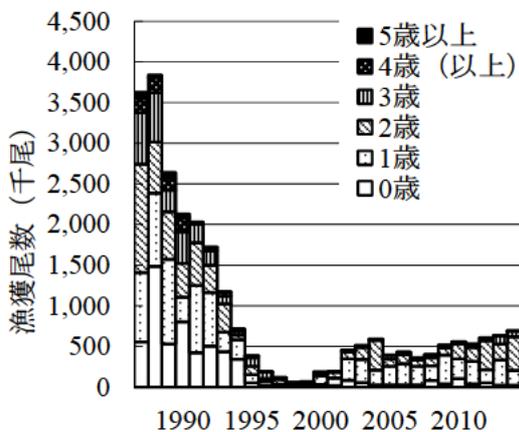


図13. 年齢別漁獲尾数

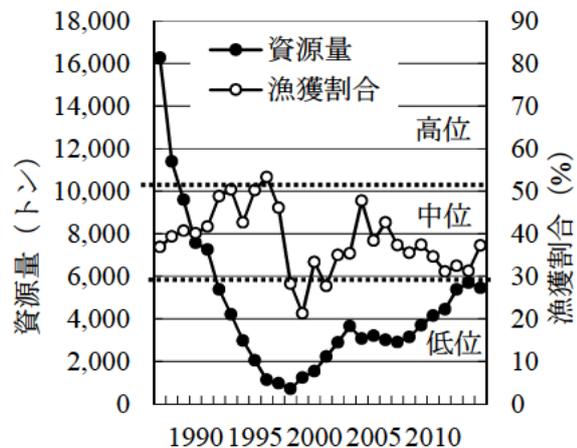


図14. 資源量と漁獲割合(重量比) 点線は資源水準高、中、低位の境界。

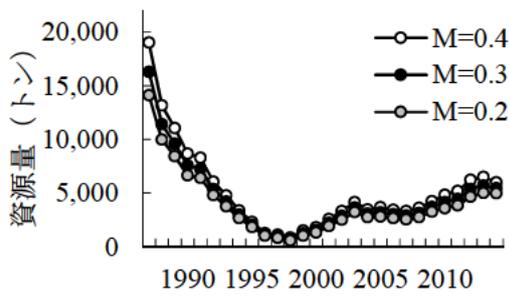


図15. 自然死亡係数 (M) と資源量推定値

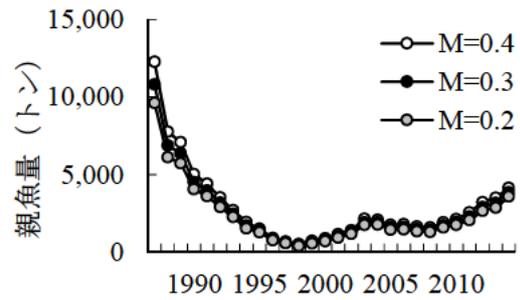


図16. 自然死亡係数 (M) と親魚量推定値

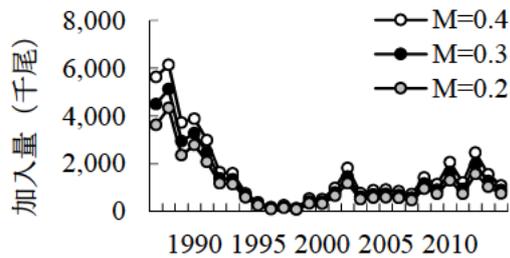


図17. 自然死亡係数 (M) と加入量推定値

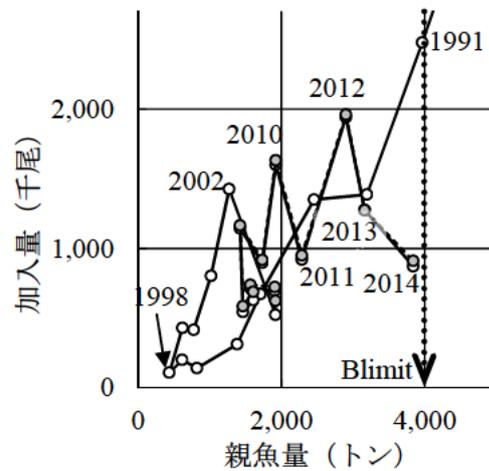
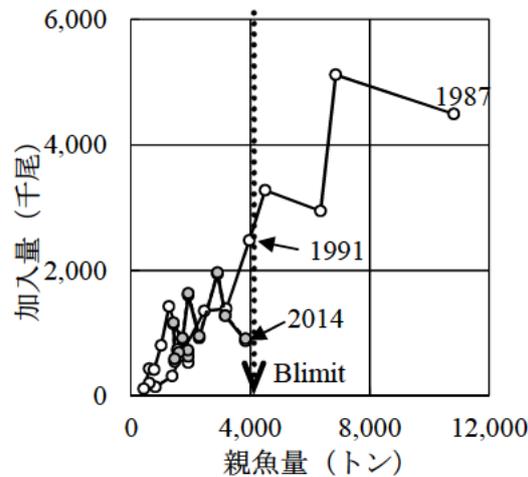


図18. 再生産関係、Blimit (天然由来:白丸、天然+放流由来:灰丸、右は近年を拡大)

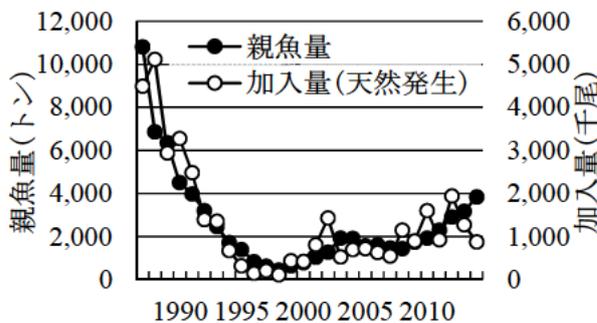


図19. 親魚量と加入量の推移

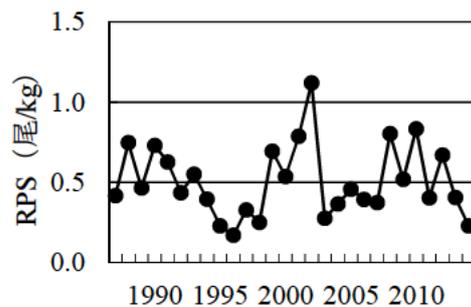


図20. 再生産成功率 (RPS) の推移

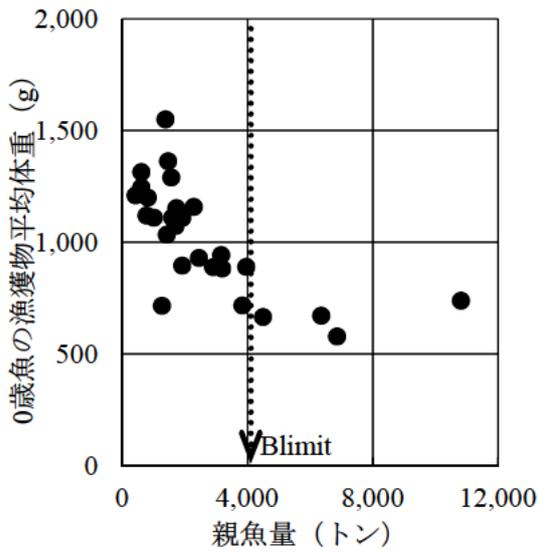


図21. 親魚量と0歳魚の漁獲物平均体重

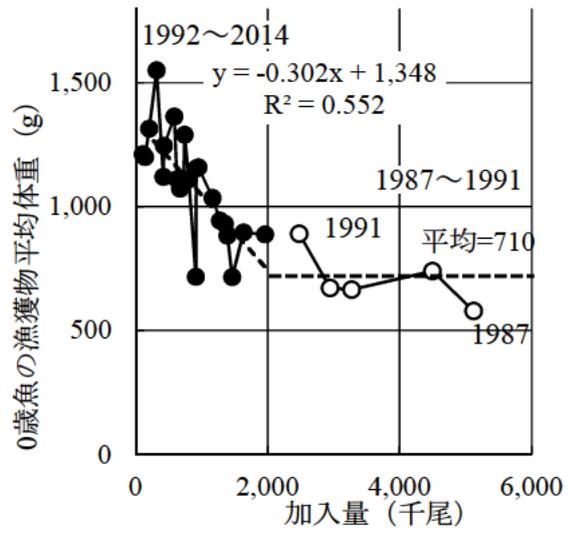


図22. 加入量と0歳魚の漁獲物平均体重

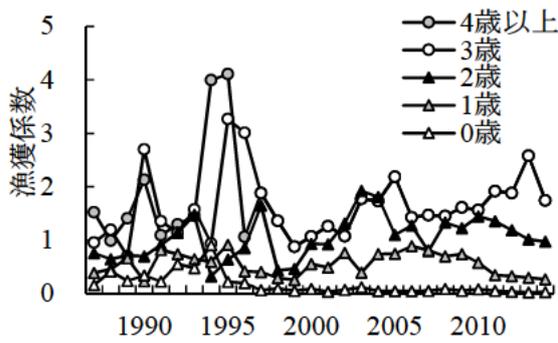


図23. 年齢別漁獲係数の推移

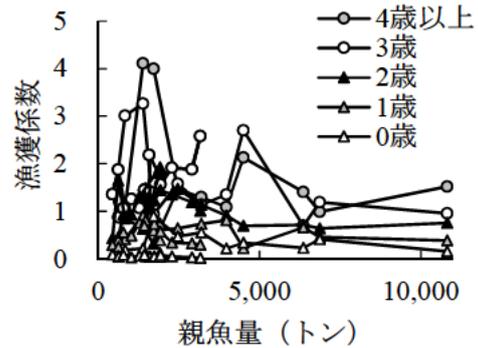


図24. 親魚量と漁獲係数の関係

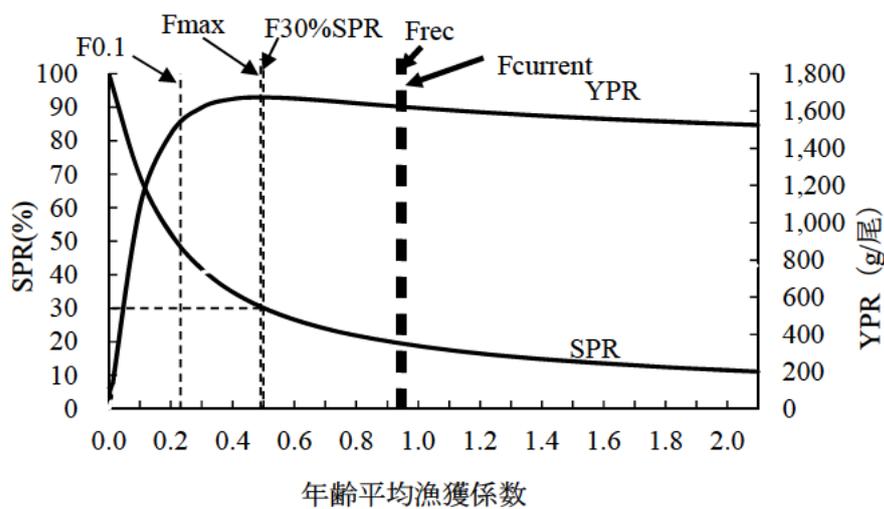


図25. 漁獲係数とSPR、YPR

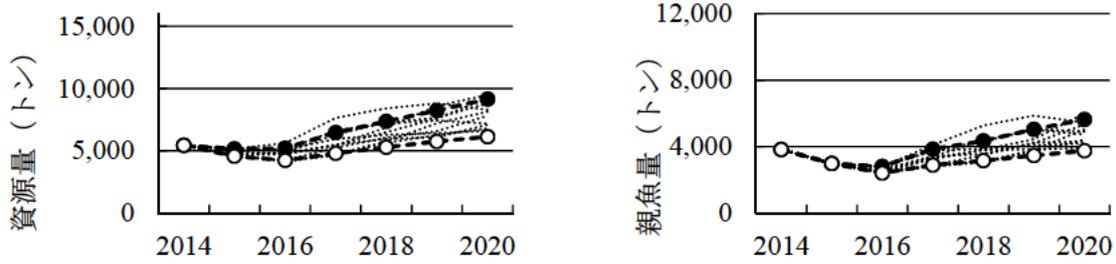


図26. 0.8Frecで漁獲した場合の資源量(左)と親魚量(右)の予測、1,000回試算の上位10%を黒丸、下位10%を白丸、10回の例を記号なし点線で示す。

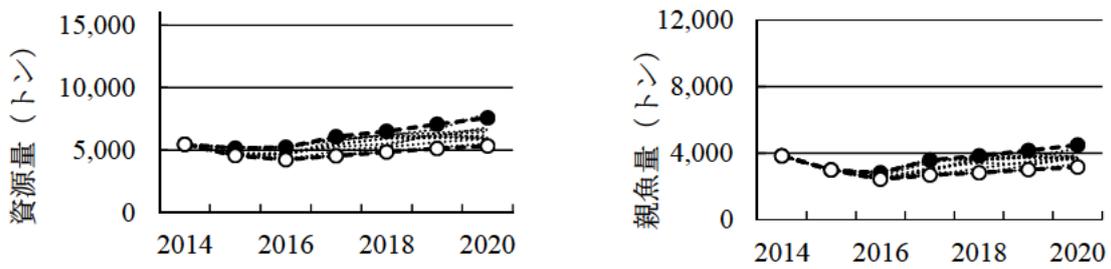


図27. Frecで漁獲した場合の資源量(左)と親魚量(右)の予測、1,000回試算の上位10%を黒丸、下位10%を白丸、10回の例を記号なし点線で示す。

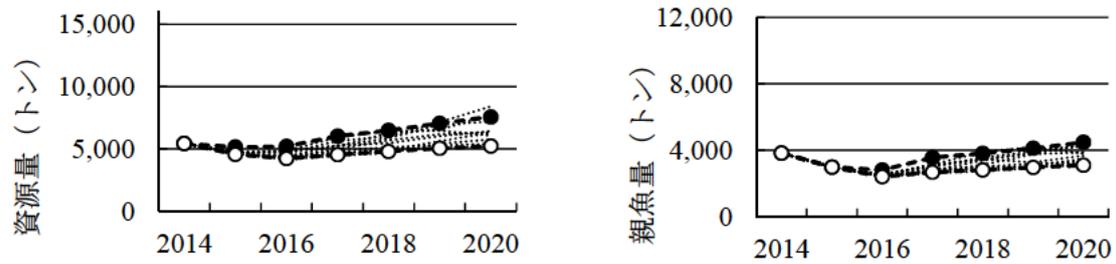


図28. Fcurrentで漁獲した場合の資源量(左)と親魚量(右)の予測、1,000回試算の上位10%を黒丸、下位10%を白丸、10回の例を記号なし点線で示す。

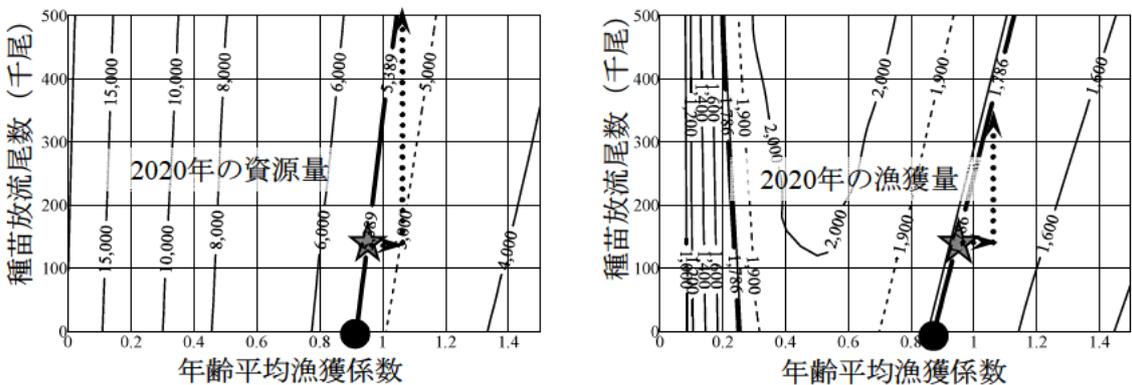


図29. 2016~2020年の漁獲係数、種苗放流尾数と2020年の推定資源量(左)と推定漁獲量(右)(いずれもトン) 星印は現状継続、上向き矢印は漁獲係数10%増加による資源量(左)と漁獲量(右)の減少を補うために必要な放流尾数、黒丸は放流を実施しない場合に現状継続と同じ資源量(左)と漁獲量(右)を実現するのに必要な漁獲係数を表す。

サワラ瀬戸内海系群-17-

表1. 瀬戸内海区のサワラの府県別漁獲量（トン、漁業養殖業生産統計年報）

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	70	91	339	85	40	106	199	571	384	4	141	2,030

表2. 瀬戸内海区及び紀伊水道外域、豊後水道のサワラの灘別漁獲量（トン）
 瀬戸内海漁業調整事務所集計値の割合を漁業養殖業生産統計年報に換算した。

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	254	154	1,281	53	189
2007	276	86	114	23	226	6	26	191	134	1,081	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	142	498	308	293	5	61	301	105	2,030	89	96

表3. サワラ瀬戸内海系群の年齢別漁獲尾数（千尾）

年	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳(以上)	5歳以上	計
1987	557	852	1,335	630	181	73	3,628
1988	1,485	899	630	607	184	33	3,839
1989	529	1,043	586	261	149	72	2,640
1990	804	302	416	390	170	47	2,129
1991	422	831	524	227	14	14	2,032
1992	505	660	332	177	42	8	1,725
1993	437	242	346	92	48	11	1,175
1994	344	241	54	46	17	13	716
1995	52	104	103	103	22	0	384
1996	21	54	30	82	2	0	189
1997	10	24	64	14	3	1	115
1998	8	30	13	8	2		61
1999	18	14	25	10	2		70
2000	29	111	22	20	4		186
2001	20	94	67	8	7		196
2002	86	265	81	21	3		455
2003	60	282	146	18	8		515
2004	26	185	363	15	3		592
2005	28	232	83	47	3		393
2006	26	264	112	24	4		430
2007	25	233	75	25	5		364
2008	83	177	101	35	5		402
2009	40	355	93	22	7		516
2010	106	242	185	23	4		560
2011	39	278	172	36	4		529
2012	54	160	352	38	4		608
2013	21	310	196	106	5		638
2014	21	185	414	69	6		694

表4. サワラ瀬戸内海系群の年齢別漁獲量（トン）

年	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳(以上)	5歳以上	計
1987	412	1,184	2,235	1,387	509	270	5,997
1988	860	992	996	1,050	480	108	4,485
1989	356	1,051	953	688	535	319	3,902
1990	536	309	795	784	417	188	3,029
1991	376	1,032	917	598	42	56	3,021
1992	446	858	664	481	140	33	2,623
1993	407	405	837	268	157	46	2,120
1994	369	424	151	181	76	70	1,271
1995	81	183	227	411	124	3	1,029
1996	25	82	85	394	15	2	603
1997	13	43	265	89	25	7	442
1998	10	59	59	56	16		199
1999	23	31	121	71	17		263
2000	33	216	100	134	30		512
2001	22	206	278	51	58		615
2002	61	515	287	122	23		1,008
2003	67	579	490	94	59		1,289
2004	28	320	1,024	69	23		1,465
2005	36	607	310	251	21		1,225
2006	29	646	443	136	29		1,283
2007	35	609	274	127	36		1,082
2008	86	435	357	197	39		1,113
2009	46	815	349	116	57		1,382
2010	95	575	623	111	33		1,436
2011	45	528	584	191	35		1,384
2012	48	346	1,121	193	32		1,740
2013	20	584	641	492	38		1,775
2014	15	383	1,260	332	39		2,030

表5. サワラ瀬戸内海系群の漁獲物の年齢別平均体重（グラム）

年	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳(以上)	5歳以上
1987	740	1,390	1,674	2,201	2,807	3,706
1988	579	1,103	1,580	1,730	2,604	3,260
1989	673	1,007	1,626	2,636	3,595	4,442
1990	666	1,024	1,910	2,010	2,452	4,024
1991	891	1,242	1,749	2,637	3,030	3,900
1992	883	1,300	1,999	2,711	3,307	4,264
1993	931	1,675	2,416	2,906	3,306	4,299
1994	1,073	1,761	2,776	3,901	4,350	5,410
1995	1,550	1,760	2,200	4,000	5,700	6,873
1996	1,200	1,500	2,886	4,800	7,500	9,300
1997	1,315	1,800	4,166	6,416	8,001	7,800
1998	1,211	1,940	4,611	6,639	8,608	
1999	1,246	2,241	4,845	6,902	7,986	
2000	1,121	1,945	4,542	6,543	8,499	
2001	1,110	2,184	4,152	6,770	8,591	
2002	716	1,945	3,545	5,680	8,382	
2003	1,110	2,053	3,348	5,151	7,564	
2004	1,110	1,730	2,820	4,520	7,114	
2005	1,291	2,618	3,720	5,353	8,083	
2006	1,111	2,447	3,946	5,769	8,229	
2007	1,364	2,614	3,646	5,080	7,471	
2008	1,035	2,449	3,518	5,576	7,703	
2009	1,154	2,296	3,769	5,326	7,747	
2010	896	2,370	3,372	4,911	7,719	
2011	1,159	1,901	3,403	5,318	7,802	
2012	889	2,158	3,181	5,150	7,309	
2013	944	1,883	3,269	4,654	7,352	
2014	717	2,077	3,041	4,842	7,085	

表6. サワラ瀬戸内海系群の年齢別資源尾数（千尾）

年	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳(以上)	5歳以上	計	3歳以上	0歳(9月1日)
1987	4,493	3,084	2,920	1,192	270	108	12,066	13%	3,734
1988	5,117	2,849	1,551	1,014	341	61	10,933	13%	4,338
1989	2,943	2,512	1,337	606	229	111	7,738	12%	2,463
1990	3,273	1,725	963	486	224	62	6,733	11%	2,760
1991	2,477	1,733	1,018	355	24	25	5,633	7%	2,071
1992	1,386	1,472	569	303	68	12	3,810	10%	1,186
1993	1,350	592	522	135	72	16	2,688	8%	1,149
1994	672	624	231	89	21	15	1,652	8%	585
1995	313	202	255	124	26	0	920	16%	262
1996	140	187	60	100	4	0	491	21%	116
1997	201	85	92	19	4	1	402	6%	166
1998	108	141	42	13	2		306	5%	89
1999	430	73	78	20	2		604	4%	354
2000	416	303	42	36	6		803	5%	343
2001	802	283	129	12	11		1,237	2%	658
2002	1,461	577	129	38	5		2,209	2%	1,205
2003	625	1,009	199	26	11		1,870	2%	518
2004	724	411	505	22	5		1,666	2%	595
2005	738	514	145	61	3		1,462	4%	607
2006	688	523	181	36	5		1,434	3%	566
2007	585	487	160	38	7		1,277	4%	482
2008	1,165	412	160	54	8		1,798	3%	962
2009	916	791	152	32	11		1,902	2%	754
2010	1,632	645	281	33	6		2,597	2%	1,347
2011	949	1,117	269	49	6		2,391	2%	781
2012	1,960	670	589	51	6		3,276	2%	1,438
2013	1,274	1,406	358	133	6		3,177	4%	785
2014	909	926	774	97	8		2,714	4%	505

表7. サワラ瀬戸内海系群の年齢別資源量（トン）と漁獲割合

年	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳(以上)	5歳以上	計	漁獲割合
1987	3,324	4,285	4,888	2,624	757	401	16,279	37%
1988	2,961	3,143	2,450	1,754	887	200	11,395	39%
1989	1,979	2,530	2,174	1,598	823	491	9,596	41%
1990	2,180	1,767	1,839	977	550	248	7,561	40%
1991	2,208	2,152	1,782	937	73	98	7,250	42%
1992	1,224	1,913	1,137	822	225	53	5,374	49%
1993	1,257	992	1,262	393	238	70	4,211	50%
1994	721	1,100	640	346	90	83	2,979	43%
1995	486	355	562	497	147	3	2,048	50%
1996	168	280	173	481	26	3	1,132	53%
1997	264	153	382	122	29	8	958	46%
1998	131	273	195	87	19		704	28%
1999	536	164	378	141	20		1,238	21%
2000	466	589	191	238	54		1,538	33%
2001	890	618	535	84	94		2,221	28%
2002	1,047	1,121	456	215	41		2,880	35%
2003	694	2,072	667	132	82		3,647	35%
2004	803	711	1,423	98	33		3,068	48%
2005	953	1,346	541	328	28		3,195	38%
2006	765	1,279	715	208	44		3,011	43%
2007	798	1,273	583	192	55		2,901	37%
2008	1,205	1,008	564	299	59		3,136	35%
2009	1,058	1,817	574	168	83		3,699	37%
2010	1,462	1,528	946	163	48		4,148	35%
2011	1,100	2,124	915	261	48		4,448	31%
2012	1,743	1,445	1,873	265	44		5,369	32%
2013	1,203	2,647	1,171	618	48		5,686	31%
2014	652	1,923	2,354	468	56		5,453	37%

表8. サワラ瀬戸内海系群の年齢別F（漁獲係数）とM（自然死亡係数）

年	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳(以上)	5歳以上	平均
1987	0.16	0.39	0.76	0.95	1.52	1.52	0.88
1988	0.41	0.46	0.64	1.19	0.99	0.99	0.78
1989	0.23	0.66	0.71	0.69	1.41	1.41	0.85
1990	0.34	0.23	0.70	2.70	2.13	2.13	1.37
1991	0.22	0.81	0.91	1.35	1.09	1.09	0.91
1992	0.55	0.74	1.14	1.14	1.30	1.30	1.03
1993	0.47	0.64	1.47	1.58	1.45	1.45	1.18
1994	0.90	0.59	0.32	0.94	3.99	3.99	1.79
1995	0.22	0.91	0.63	3.26	4.11	4.11	2.21
1996	0.19	0.41	0.85	3.01	1.06	1.06	1.10
1997	0.06	0.40	1.64	1.88	1.88	1.88	1.29
1998	0.09	0.29	0.43	1.36	1.36		0.71
1999	0.05	0.25	0.47	0.88	0.88		0.50
2000	0.08	0.55	0.93	1.06	1.06		0.74
2001	0.03	0.49	0.92	1.26	1.26		0.79
2002	0.07	0.76	1.31	1.07	1.07		0.86
2003	0.12	0.39	1.92	1.77	1.77		1.20
2004	0.04	0.74	1.81	1.73	1.73		1.21
2005	0.05	0.74	1.10	2.18	2.18		1.25
2006	0.05	0.89	1.27	1.43	1.43		1.01
2007	0.05	0.81	0.79	1.47	1.47		0.92
2008	0.09	0.69	1.33	1.45	1.45		1.00
2009	0.05	0.74	1.22	1.61	1.61		1.05
2010	0.08	0.57	1.44	1.57	1.57		1.05
2011	0.05	0.34	1.35	1.91	1.91		1.11
2012	0.03	0.33	1.19	1.88	1.88		1.06
2013	0.02	0.30	1.01	2.58	2.58		1.30
2014	0.03	0.26	0.97	1.74	1.74		0.95
M	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	

表9. サワラ瀬戸内海系群の種苗放流尾数、混入率、添加効率 (=放流魚の生残率)

年	種苗放流尾数 (尾)				有効放流 尾数 (千尾)	9月1日の0歳 魚資源尾数 (千尾)	1歳時の 放流魚混 入率(%)	放流由来 0歳魚 (千尾)	添加効 率
	東部		西部						
	大型	小型	大型	小型					
2002	82,992	51,000	9,099	66,300	121	1,205	2.5	30	0.25
2003	83,493	94,000	15,689		123	518	16.1	83	0.68
2004	36,000		40,273	20,000	81	595	4.0	24	0.29
2005	113,419		42,086	3,000	156	607	3.2	19	0.12
2006	104,781		41,800		147	566	8.7	49	0.34
2007	216,532		53,468	80,000	290	482	7.0	34	0.12
2008	118,947		73,019	20,000	197	962	1.8	17	0.09
2009	163,248		67,088	41,000	241	754	2.2	17	0.07
2010	164,922	18,000	34,830		204	1,347	2.0	27	0.13
2011	126,525		7,690		134	781	3.2	25	0.19
2012	54,000	32,000	14,000		76	1,610	1.0	16	0.21
2013	60,000		18,000		78	1,045	0.0	0	0.00
2014	55,000	12,000	17,000		75	747	1.1	8	0.11
2002~2014年の平均					148		4.1		0.20

※ 有効放流尾数=大型放流尾数+小型放流尾数/4。
 ※ 1歳時の放流魚混入率のうち2014年は0歳魚の値で代用。

表10. サワラ瀬戸内海系群の年級群別、年齢別
放流魚混入率(%、灘別漁獲量で加重平均)

年級群	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚	4歳魚
2002	1.5	2.5	2.2	0.9	2.5
2003	10.3	16.1	11.0	2.1	0.0
2004	2.8	4.0	1.4	1.9	2.1
2005	3.1	3.2	3.0	6.7	16.0
2006	15.6	8.7	7.6	8.1	6.1
2007	28.6	7.0	5.1	1.9	4.0
2008	2.6	1.8	3.8	0.8	18.8
2009	3.4	2.2	3.8	1.7	0.0
2010	1.8	2.0	1.0	0.2	0.8
2011	5.0	3.2	2.1	0.0	
2012	0.7	1.0	0.0		
2013	0.4	0.0			
2014	1.1				

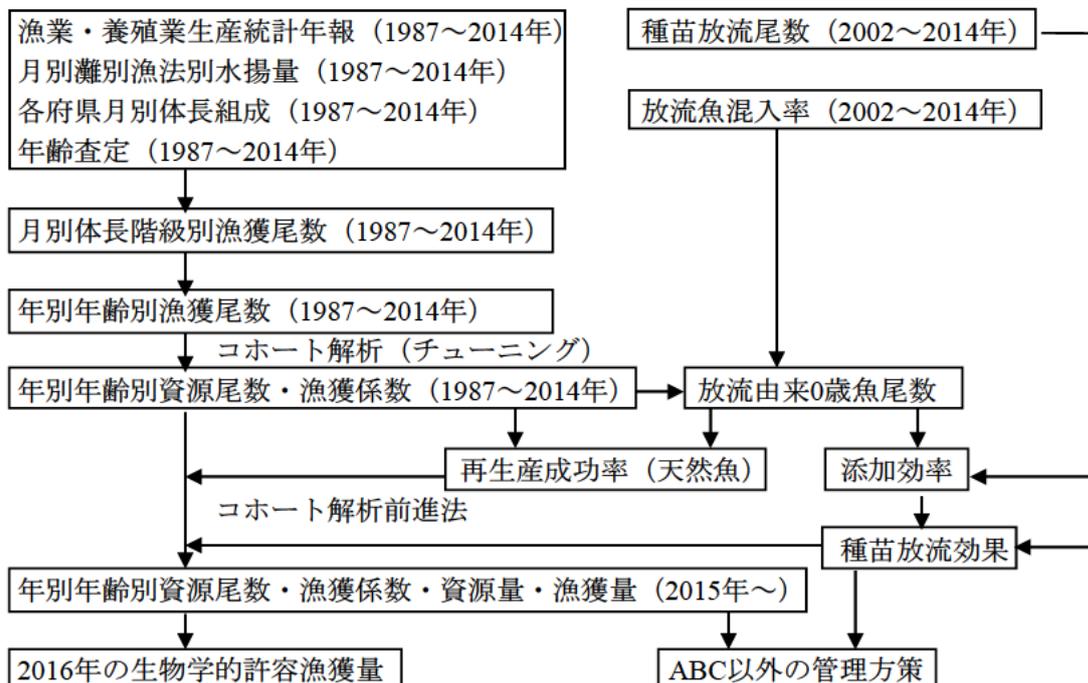
表11. サワラ瀬戸内海系群の年級群別、年齢別
放流魚混入率調査尾数(尾)

年級群	0歳魚	1歳魚	2歳魚	3歳魚	4歳魚
2002	324	361	58	197	79
2003	225	234	173	121	53
2004	33	728	261	117	55
2005	983	1,400	466	149	294
2006	2,815	1,528	472	260	48
2007	2,200	2,117	356	157	38
2008	3,331	1,805	912	408	15
2009	3,083	1,320	756	149	18
2010	5,622	1,279	1,108	379	69
2011	1,349	567	480	98	
2012	2,008	1,060	785		
2013	810	904			
2014	717				

表12. サワラ瀬戸内海系群の親魚量
と親魚量当たりの天然由来0歳
魚尾数 (=RPS、尾/kg)

年	親魚量 (トン)	天然由来0歳 尾数(千尾)	再生産 成功率
1987	10,813	4,493	0.42
1988	6,863	5,117	0.75
1989	6,351	2,943	0.46
1990	4,497	3,273	0.73
1991	3,966	2,477	0.62
1992	3,193	1,386	0.43
1993	2,458	1,350	0.55
1994	1,708	672	0.39
1995	1,385	313	0.23
1996	824	140	0.17
1997	617	201	0.33
1998	437	108	0.25
1999	621	430	0.69
2000	777	416	0.54
2001	1,021	802	0.79
2002	1,273	1,425	1.12
2003	1,917	524	0.27
2004	1,909	695	0.36
2005	1,570	714	0.46
2006	1,607	628	0.39
2007	1,466	544	0.37
2008	1,426	1,144	0.80
2009	1,733	896	0.52
2010	1,921	1,599	0.83
2011	2,286	919	0.40
2012	2,904	1,941	0.67
2013	3,160	1,274	0.40
2014	3,839	873	0.23

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水揚量を、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[和歌山等、徳島はえ縄等、兵庫ひき縄]

大阪湾[大阪サワラ流し刺網、兵庫ひき縄]

播磨灘[兵庫サワラ流し刺網、兵庫ひき縄、兵庫ヒラ流し刺網]、[兵庫はなつぎ網]、[岡山サワラ流し刺網、岡山サワラ船曳網]、[徳島サワラ流し刺網等]、[香川サワラ流し刺網]

備讃瀬戸[岡山サワラ流し刺網、岡山サワラひき釣]、[香川サワラ流し刺網]

燧灘[広島サワラ流し網、広島サゴシ巾着網]、[香川サワラ流し刺網]

燧灘・安芸灘[愛媛サワラ流し刺網、愛媛アジ・エソ流し刺網等]、[愛媛その他]

安芸灘[広島サワラ流し刺網、山口サワラ流し刺網]

伊予灘[山口サワラ流し刺網、愛媛サワラ流し刺網]、[愛媛その他]、[大分サワラ流し刺網]

周防灘[山口サワラ流し刺網、福岡サワラ流し刺網、大分サワラ流し刺網]

・月別灘別漁法別水揚量と各府県による月別灘別漁法別体長組成から月別灘別漁法別の体長階級別漁獲尾数を求めた。体長組成が揃わなかった部分は前後月または隣接海域の値を

参考に推定した。体長（尾叉長）FL（cm）と体重w（kg）の関係は竹森（2006）の

$$\begin{aligned} \text{雄 } w &= 1.42 \times 10^{-5} \times \text{FL}^{2.865} & \text{雌 } w &= 1.20 \times 10^{-5} \times \text{FL}^{2.913} \\ w &= 1.31 \times 10^{-5} \times \text{FL}^{2.89} & & \text{とした。} \end{aligned}$$

- ・各灘及び漁法別の体長階級別漁獲尾数を瀬戸内海全域について月毎に集計した。
- ・香川、愛媛両県による年齢査定結果と五利江（2002）の最小二乗法による混合正規分布の分解から月別に求めた体長階級毎年齢組成（Age-length key）に基づいて、月別体長階級別漁獲尾数から月別年齢別漁獲尾数を計算した。なお、1998年までの5歳以上と1999年以降の4歳魚以上の尾数は極めて少ないので一括した。
- ・月別年齢別漁獲尾数を年毎に集計して、年別年齢別漁獲尾数とした。

(2) コホート解析による資源尾数等の推定（チューニング以前）

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。

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

1987～1998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。

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

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

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

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

1999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。

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

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

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

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

2014年のFと資源尾数は次の式で求めた。

$$F_{a,2014} = \frac{F_{a,2011} + F_{a,2012} + F_{a,2013}}{3}$$

$$N_{a,2014} = C_{a,2014} \frac{\exp(M/2)}{1 - \exp(-F_{a,2014})}$$

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は自然死亡係数で田内・田中の方法（田中 1960）により、寿命を8歳として $2.5/8 \approx 0.3$ より、年当たり0.3とした。

(3) チューニングによる直近年の漁獲係数の推定

指数として次の表と図12に示す二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。

指数	対象	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
①流し刺網の2kg以上のサワラの漁獲尾数/出漁隻日数	1歳魚以上の資源尾数	10.56	10.56	7.91	10.08	12.05	17.99	14.99	22.59
②ひき縄及びはえ縄のサワラの漁獲尾数/出漁隻日数	全年齢の資源尾数	2.32	2.86	6.41	6.70	5.62	6.12	7.96	6.63

両指数について、設定した目的関数を①の漁獲量1,324トンと②の漁獲量353トンの比で重みづけした和が最小になる2014年の漁獲係数を探索的に求めた。その際、①の流し刺網については瀬戸内海では目合いが10.6cm以上に規制されているため、安定して羅網すると考えられる1歳魚以上の尾数を対象とし、一方、②のひき縄とはえ縄では魚体の大きさの選択性が低いと推定されるので全年齢の合計尾数を対象とした。また、各年齢の選択率(=Fの年齢別相対比)は2011~2013年の平均と等しいと仮定した。

指数①の目的関数は次の式とした。

$$\sum_{y=2007}^{2014} \left\{ \ln(I_y) - \ln \left(q \sum_{a=1}^{4+} N_{a,y} \right) \right\}^2$$

ここで、 I_y は y 年における指数、 q は比例定数を示す。また、指数②は次の式とした。

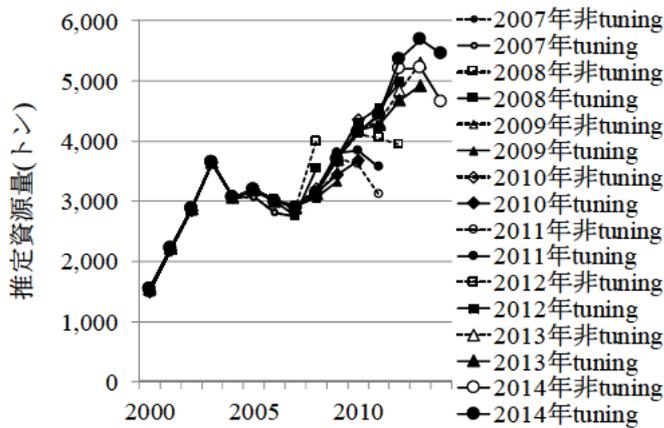
$$\sum_{y=2007}^{2014} \{ \ln(I_y) - \ln(qN_y) \}^2$$

このチューニングにより2014年のFは次の通り下方修正された。

2014年のF	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳以上	平均
チューニング前	0.04	0.33	1.20	2.15	2.15	1.08
チューニング後	0.03	0.26	0.97	1.74	1.74	0.95

チューニングで求めた2014年の各年齢の漁獲係数により、2014年の資源尾数は修正され、それともなって、2013年以前の資源尾数も修正された。

なお、2013年から2007年まで遡り、同様のチューニング操作を行って推定した資源量とチューニングせずに算出した資源量を補足図2-1に示す。いずれの年もチューニングを経て推定上記のチューニング処理により資源量等の推定精度が向上すると考えられる。



補足図2-1. 2007年以降のチューニングの有無による資源量推定値の変化

(4) SPR、YPRの計算

SPR、YPRは次の式で計算した。

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

$$YPR = \sum_{a=0}^8 \frac{F_a}{F_a + M} \{1 - \exp(-F_a - M)\} S_a W_a$$

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

ここで、 S_a はa歳における残存率、 f_a は同様に成熟割合、 W_a は同様に平均体重を示す。

(5) 将来予測

将来の資源尾数と漁獲尾数は次の式で求めた。

$$N_{0,y} = \sum_{a=0}^{4+} N_a f_a W_a \times RPS + \text{有効放流尾数} \times \text{放流魚生残率}$$

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

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

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

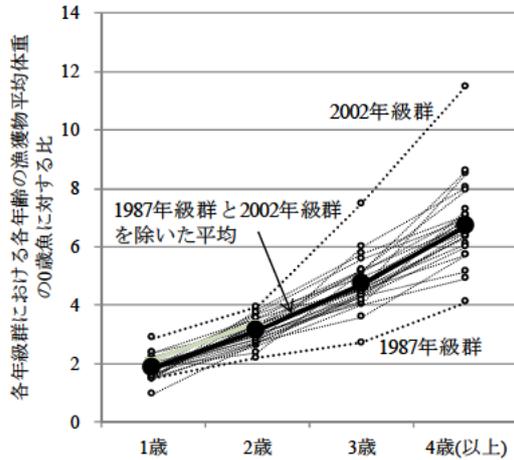
2015年の各年齢の漁獲係数は2014年と等しいと仮定した。2016年以降の漁獲係数は、各年齢の選択率が2011～2013年の平均と同一との仮定のもと、条件により変化させた。また、決定論的予測におけるRPSは2004～2013年の中央値(0.43尾/kg)、放流尾数は2002～2014年の平均(14万8千尾)、放流魚の生残率は2002～2014年における計算上の年初の0歳魚資源尾数を有効放流尾数で除した商の平均(0.24)とした。

ここで、過去の0歳魚の体重(W_0)と加入量の関係を見ると、加入量200万尾未満で右下がり、200万尾以上で横ばいであった(図22)。また、年級群毎に1歳魚以上の体重($W_1 \sim W_{4+}$)と W_0 の間に一定の関係が見られた(補足図2-2)。このため、 W_0 は過去における加入量200万尾未満の年の直線回帰式から推定し、下限を加入量200万尾以上の年の平均(710g)

とした。W₁~W₄₊は成長が極端に遅かった1978年級群と速かった2002年級群を除く過去の年級群におけるW₀とW₁~W₄₊の比から推定した。

$$W_{0,y} = -0.302N_{0,y}/1,000 + 1,348 \quad \text{ただし、} W_0 \geq 710$$

$$W_{1,y} = 1.82W_{0,y-1}, \quad W_{2,y} = 3.12W_{0,y-2}, \quad W_{3,y} = 4.71W_{0,y-3}, \quad W_{4+,y} = 6.72W_{0,y-4}$$



補足図2-2. 各年級群における各年齢の漁獲物平均体重の0歳魚に対する割合

(6) 放流由来0歳魚尾数と添加効率の計算

通年のMの0.3に9月以降の4か月が1年に占める割合を乗じて得た0.1をMとしてコホート解析により9月1日における資源尾数を推定した。各府県による耳石のアリザリンコンプレクソン標識調査結果に基づいて求めた灘毎の混入率を漁獲量で加重平均して系群全体の放流魚混入率を推定した。ただし、2013年は放流種苗に対する標識率が51%であったため、推定値を51%で除して混入率とした。9月1日の資源尾数に標識魚混入率を乗じて放流由来0歳魚尾数を求め、これを有効放流尾数で除して添加効率を計算した。なお、0歳魚の放流魚混入率は放流場所近くで実施した試験操業の値を含むこともあって不安定と考えられるので、0歳魚の値しか得られていない2014年を除いて1歳時の放流魚混入率を用いた。また、有効放流尾数における大型放流魚は7cm以上、小型は7cm未満とした。

引用文献

五利江重昭(2002) MS-Excelを用いた混合正規分布のパラメータ推定. 水産増殖, 50(2), 243-249.

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.