

平成 30（2018）年度マサバ太平洋系群の資源評価

責任担当水研：中央水産研究所（由上龍嗣、西嶋翔太、井須小羊子、渡邊千夏子、上村泰洋、古市 生）

参画機関：北海道区水産研究所、東北区水産研究所、北海道立総合研究機構釧路水産試験場・函館水産試験場、地方独立行政法人青森県産業技術センター水産総合研究所、岩手県水産技術センター、宮城県水産技術総合センター、福島県水産海洋研究センター、茨城県水産試験場、千葉県水産総合研究センター、東京都島しょ農林水産総合センター、神奈川県水産技術センター、静岡県水産技術研究所、愛知県水産試験場漁業生産研究所、三重県水産研究所、和歌山県水産試験場、徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課、高知県水産試験場、愛媛県農林水産研究所水産研究センター、大分県農林水産研究指導センター水産研究部、宮崎県水産試験場

要 約

本系群の資源量について、資源量指標値を考慮したコホート解析により計算した。資源量は、1970年代は300万トン以上の高い水準にあったが、1980年代に200万トン以下に、1990年代に100万トン以下にさらに減少し、2001年には15万トンまで落ち込んだ。2004年の高い加入量によって資源量は70万トンを超え、その後も比較的高い加入量と漁獲圧の低下によって、2000年代初めの最低水準を脱して増加し、2013年の極めて高い加入量によって、2013年は305万トンとなった。その後、2016年の極めて高い加入量によってさらに増加し、2017年は509万トンと推定された。親魚量は、2000年代初めまでの10万トンを下回る最低水準を脱して、2012年には29.2万トンに増加し、その後も増加傾向を示し、2017年は90.6万トンと推定された。

過去の再生産関係によれば、親魚量45万トン以上で再生産成功率が比較的安定していたことから、**Blimit**を親魚量45万トンと設定した。本系群の加入量の増加と一定水準以上の維持を図るためには、**Blimit**以上に維持させることが望ましい。2017年の親魚量は**Blimit**を上回っていることから、資源水準は中位、最近5年間（2013～2017年）の親魚量の推移から動向は増加と判断した。

再生産関係が得られており、親魚量は**Blimit**を上回っていることから、親魚量を**Blimit**以上に維持することを管理目標として、ABC算定のための基本規則の1-1)-(1)を適用した。2019年漁期のABCを、親魚量の増大（F40%SPR）、現状の漁獲圧の維持（Fcurrent）および親魚量の維持（Fmed）の漁獲シナリオに基づいて算定した。

漁獲シナリオ (管理基準)	Target/ Limit	2019年 漁期 ABC (千トン)	漁獲 割合 (%)	F 値 (現状の F 値からの 増減%)	2024年の 親魚量 (千トン) (80%区間)	確率評価 (%)	
						2024年に 2017年 親魚量を 維持	2024年に Blimitを 維持
親魚量の増大* (F40%SPR)	Target	659	9	0.22 (-42%)	1,851 (1,192~2,796)	100	100
	Limit	796	11	0.28 (-27%)	1,574 (971~2,405)	95	100
現状の漁獲圧 の維持* (Fcurrent)	Target	859	12	0.30 (-20%)	1,464 (882~2,268)	89	100
	Limit	1,027	15	0.38 (±0%)	1,215 (695~1,919)	68	100
親魚量の維持* (Fmed)	Target	879	12	0.31 (-18%)	1,431 (855~2,216)	87	100
	Limit	1,049	15	0.39 (+3%)	1,185 (673~1,868)	63	100
<p>コメント</p> <ul style="list-style-type: none"> ・本系群のABC算定には規則1-1)-(1)を用いた。 ・本系群は毎年の再生産成功率の変動が大きいため将来予測の不確実性が大きい。 ・外国漁船による漁獲を考慮しているが、漁獲物の内容について十分な情報が得られていないため、多くの仮定を置いた資源評価となっており、資源量推定値等の不確実性が大きい。このため、安全を見込んだシナリオが選択されることが望ましく、早急に外国漁船の適正な管理にも取り組むべきである。 ・海洋生物資源の保存及び管理に関する基本計画第3に記載されている本系群の中期的管理方針では、「近年の海洋環境が当該資源の増大に不適な状態にあると認められないことから、資源を維持若しくは増大することを基本方向として管理を行うものとし、資源管理計画に基づく取組の推進を図るものとする。なお、本資源は北西太平洋公海において外国漁船によっても採捕されていることから、平成27年7月に設立された北太平洋漁業委員会(NPFC)等を通じて、外国漁船の適切な管理に向けた一層の取組を推進する。」とされており、親魚量の維持シナリオから得られる漁獲係数以下の漁獲係数であれば、資源を維持または増大させることができると考えられる。同方針に対応するシナリオには*を付した。 							

Limitは、各漁獲シナリオの下で許容される最大レベルのF値による漁獲量、Targetは、資源変動の可能性や誤差に起因する評価の不確実性を考慮し、各漁獲シナリオの下でより安定的な資源の増大または維持が期待されるF値による漁獲量である。Ftarget = α Flimitとし、係数αには標準値0.8を用いた。2019年漁期は2019年7月～2020年6月である。Fcurrentは2015～2017年のFの平均値、漁獲割合は2019年漁期漁獲量/資源量、F値は各年齢の平均値である。漁獲シナリオにある「親魚量の維持」は中長期的に安定する親魚量の維持を図る漁獲シナリオであり、Fmedを適用した。Fmedは1970～2016年の再生産成功率の中央値(RPSmed: 7.5尾/kg)に対応するFとした。2017年の親魚量は906千トン。

漁期年	資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	漁獲量 (千トン)	F 値	漁獲割合
2014	3,141	417	302	0.28	10%
2015	2,966	600	453	0.27	15%
2016	3,897	1,071	480	0.29	12%
2017	5,091	906	538	0.59	11%
2018	6,805	1,078	716	0.38	11%
2019	7,058	1,698	—	—	—

漁期年 (7 月～翌年 6 月) での値である。2018、2019 年漁期の値は、将来予測に基づいた値である。

	指標	水準	設定理由
Bban	未設定		
Blimit	親魚量	この値以下では加入量の年変動が大きくなる水準 (45 万トン)	過去の再生産関係から、この値以下では加入量の年変動が大きく、加入量の水準も低い
2017 年漁期	親魚量	45 万トン以上 (91 万トン)	

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通り

データセット	基礎情報、関連調査等
年齢別・漁期年別漁獲尾数	主要港水揚げ量 (北海道～宮崎 (17) 道県、JAFIC、北部まき網組合) 月別体長組成 (水研、北海道～宮崎 (17) 道県、JAFIC) : 市場測定 月別体長・体重・年齢・成熟データ (水研、北海道～宮崎 (17) 道県、JAFIC) : 市場測定、漁獲試験 月別漁業種別マサバ・ゴマサバ混獲比率 (水研、北海道～宮崎 (17) 道県) : 水揚げ情報、標本港混獲率、市場測定標本混獲率、漁獲試験
資源量指数 ・加入量指標値 ・親魚量指標値 ・産卵量	冬春季常磐海域まき網漁況に基づく未成魚越冬群指数 (茨城県) 道東～三陸海域流し網調査 CPUE (北海道) : 流し網 移行域幼稚魚調査 (5・6 月、水研) : 中層トロール 北西太平洋北上期浮魚類資源調査 (5～7 月、水研) : 中層トロール* 北西太平洋秋季浮魚類資源調査 (9・10 月、水研) : 中層トロール* 伊豆諸島海域たもすくい漁業 CPUE (神奈川県、静岡県) * 卵稚仔調査 (水研、青森～宮崎 (18) 都府県) : ノルパックネット*
自然死亡係数 (M)	年あたり $M=0.4$ を仮定 (本間ほか 1987)
漁獲努力量指数	北部太平洋まき網有効努力量 (JAFIC、漁場別漁獲状況調査)

*はコホート解析におけるチューニング指数である。各調査の概要は補足資料 4 を参照。

1. まえがき

マサバ太平洋系群は、1970年代には年間100万トン前後の漁獲量があった主要浮魚資源である。1980年代以降減少し、1990年には年間漁獲量が約3万トンまで減少した。資源が低い水準となった1990～2000年代は、数年おきに卓越して加入量水準の高い年級群が発生する一方で、著しく低い年級群も見られるなど、加入量の年変動が大きかった。1992年および1996年に少ない親魚量（SSB）から極めて高い再生産成功率（RPS）によって加入量水準の高い年級群が発生したが、これらは未成魚段階から多獲され、資源の回復にはつながらなかった。その後、加入量水準の高い2004年級群が発生し、2003年から実施された資源回復計画に基づく操業管理の効果もあって親魚量が増加し、資源量、親魚量ともに1990年代～2000年代初めの最低水準を脱した。さらに、加入量水準が極めて高い2013年級群が発生し、2015年以降の親魚量は資源の回復措置をとる閾値であるBlimit（親魚量45万トンに設定）を上回っている。

本評価は7月～翌年6月の漁期年単位で行い、漁獲量等は漁期年で集計した値、資源量等は漁期年当初（7月）の値を用いる。漁獲統計では、多くの場合、マサバはゴマサバと合わせてさば類として計上されているため、本評価では標本港での両種の水揚げ比率や銘柄組成、市場での抽出標本の混獲率等を集計し、マサバの漁獲量を推定した。

2. 生態

(1) 分布・回遊

マサバ太平洋系群は、我が国太平洋南部沿岸から千島列島沖合に分布する（図1）。資源高水準期には、ロシア漁船の操業や調査船調査結果などから、幼魚、成魚とも東経170度を超えて分布したと考えられている。1990～2000年代の低水準の資源では、稚魚は黒潮続流による移送によって東経170度付近まで分布するが（西田ほか2001）、成魚は索餌回遊範囲が縮小して、加入量水準の高い年級群以外は東経150度以東ではほとんど見られない。最近では後述の道東海域における漁場形成に見られるように、資源の増加に伴って成魚の索餌回遊範囲が北東へ拡大しており、夏秋季の成魚の分布は、調査船調査結果から千島列島東方沖の北緯47度、東経166度付近まで達している。

成魚は主に春季（3～6月）に伊豆諸島海域などで産卵したのち北上し、夏～秋季には三陸～北海道沖へ索餌回遊する（目黒ほか2002、図1）。稚魚は春季に本邦太平洋南岸から黒潮続流域、黒潮一親潮移行域に広く分布し、黒潮続流域～移行域のものは夏季には千島列島沖の亜寒帯域に北上し、秋冬季には未成魚となって北海道～三陸海域の沿岸あるいは沖合を南下し、主に房総～常磐海域、一部は三陸海域で越冬する（川崎1968、飯塚1974、西田ほか2001、川端ほか2006）。未成魚と成魚の一部は紀伊水道や豊後水道および瀬戸内海へ回遊する。主産卵場である伊豆諸島海域には明らかに黒潮上流に由来する稚魚が出現すること（小泉1992）、産卵場は本邦太平洋南岸から東北海域まで連続していること（黒田1992）などから、我が国太平洋側に分布するマサバは同一系群と考えられる。

(2) 年齢・成長

マサバの成長は、加入量水準および海洋環境の影響を受けて変化することが知られている（Watanabe and Yatsu 2004）。成長に雌雄差は見られない。寿命は、漁獲物の年齢構成か

らみて7・8歳程度と推定され、最大11歳の記録がある(飯塚2002)。近年の漁獲物における6歳以上の出現は少ない。2017年漁獲物の年齢別平均体長(尾叉長)、平均体重を、成長の遅れが見られていなかった2011~2014年のそれぞれの平均値と併せて図2に示す。2017年の平均体重は、2011~2014年の平均値と比べて低く、特に4歳魚(極めて高い加入量である2013年級群)はかなり低い値を示しており、図2に併せて示した1970年代の資源高水準期よりも低い。これらの要因としては資源量の増加に伴う密度効果が考えられるが、資源高水準期よりも低成長となっていることから、経験水温の低下、餌料環境の悪化等も考えられるが明らかにはなっておらず、資源量が急増しているマイワシ太平洋系群との餌の競合等の関係も含めて検討を進めている。

(3) 成熟・産卵

1尾の雌は産卵期間に数回の産卵を行い、1回の産卵数は5万~9万粒である(加藤・渡邊2002)。年齢別成熟割合は成長の変化の影響を強く受けて変化することが知られている(Watanabe and Yatsu 2006)。産卵場は伊豆諸島海域を中心に、紀南、室戸岬、足摺崎周辺など本邦太平洋南岸沿岸各地に形成され、東北海域でも産卵がみられる。産卵期は1~6月である。主産卵場である伊豆諸島海域における産卵盛期は3・4月であるが、2000年代は産卵期が遅い傾向にある若齢親魚の割合が高いために、5・6月の産卵も相対的に高くなっていった(渡邊2010)。近年は産卵量の分布から、3・4月が産卵盛期とみられる。年代別の年齢別成熟割合は図3の通り。2013年級群の成長が資源高水準期よりも遅くなっているために、2015年の2歳魚(2013年級群)の成熟割合はかなり低くなっていると想定され、2014年級群以降の成長も2013年級群と同程度となっていることから、2015年以降の年齢別成熟割合は資源量高水準期の値を用いた(図3)。

(4) 被捕食関係

仔魚期にはカイアシ類の卵とノープリウス、稚魚期には小型カイアシ類、夜光虫、尾虫類、サルパなどの小型動物プランクトンを捕食する(加藤・渡邊2002)。幼魚と成魚の食性は海域や生活年周期により異なるが、魚類(カタクチイワシ、ハダカイワシ類など)、甲殻類(オキアミ類、カイアシ類など)、サルパ類が中心である。三陸海域ではツノナシオキアミ、カタクチイワシが主要な餌生物である。

資源水準が高かった1980年代までは、ネズミザメ、ヨシキリザメ、シマガツオ、ビンナガ、およびカツオなどの大型魚類(川崎1965、長沢1999)やミンククジラによる被食が見られた(Kasamatsu and Tanaka 1992)。資源が低水準となった1990年代ではミンククジラによる被食は確認されなかったが(Tamura et al. 1998)、2000~2015年の北西太平洋におけるヒゲクジラ類の餌生物調査によると、2012年以降は胃内容物におけるカタクチイワシの出現が減少する一方、さば類及びマイワシの出現が増加してきており、特にイワシクジラでは主要餌が2000年代前半のカタクチイワシから2000年代後半にはさば類及びマイワシへと切り替わり(Tamura et al. 2016)、2010年以降もさば類が主要な餌の一つとなっている(Konishi et al. 2016)。北西太平洋におけるさば類の分布量がヒゲクジラ類の捕食対象となるまで増加したと考えられる。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

主要漁業は、まき網、定置網、たもすくいおよび棒受網である。大中型まき網は、主に常磐～三陸北部海域で9月～翌年2月を中心にほぼ周年操業する。資源水準が高かった1980年代以前に主要漁場となっていた道東海域では、資源の減少した1990～2000年代は漁場がほとんど形成されなかったが、2012年以降は漁場が形成されている。中型まき網は千葉県以西の太平洋沿岸各地で周年操業する。定置網は、太平洋沿岸各地で行われ、三陸沿岸での漁獲が多い。たもすくいおよび棒受網（火光利用さば漁業）は、伊豆諸島海域を主漁場とし、1～6月に越冬、産卵で集群する親魚群（2歳以上）を主な対象とする。その他、各地で釣りなどでも漁獲される。

(2) 漁獲量の推移

本系群の我が国の漁獲は、1951年に津軽・八戸沖漁場が釣りにより開発され、1954年に本格化した（宮沢1994）。その後1958年に伊豆諸島海域の銭洲漁場などが開発され、1975年には同海域でたもすくい漁業が開始された。1964年にまき網漁業が参入したことによって漁獲量は急激に増加し、1964年の23万トンから1978年には121万トンに達した（図4、表1）。1979年以降漁獲量は減少し、1990、1991年は3万トン程度まで落ち込んだ。1992～2003年は5万～40万トンで変動が大きかったが、2004～2008年は、2004年の高い加入量によって18万～25万トンと比較的安定して推移した。その後、2009～2012年は漁獲努力量の低下やゴマサバの混獲割合の上昇、漁場形成の変化などによって10万～13万トンとやや減少したが、2013年の高い加入量によって2014年は28.2万トンに増加し、2016年は33.0万トン、2017年は33.1万トンと横ばい傾向を示している。ロシアは1966～1988年にかけて本系群を漁獲し、1972～1979年のピーク時の漁獲量は12万～24万トンであった（図4、表1）。近年、中国およびロシアが北西太平洋公海およびロシア200海里水域内でさば類を漁獲しており、北太平洋漁業委員会（NPFC）に2014年以降の漁獲量の報告がある（水産庁水産政策審議会第82回資源管理分科会配付資料（2017年4月）：<http://www.jfa.maff.go.jp/j/council/seisaku/kanri/attach/pdf/170406-8.pdf>、およびNPFC資料：<https://www.npfc.int/summary-footprint-chub-mackerel-fisheries>）。この漁獲量にはマサバとゴマサバが含まれているため、それぞれの比率は、北部太平洋まき網漁業のそれぞれの年の7～12月の漁獲物のマサバとゴマサバの比率に等しいと仮定し、中国およびロシアのマサバの漁獲量を推定した（図4、表1）。その結果、マサバの割合は2014年が79%、2015年が91%、2016年が98%、2017年が99%と推定された。また、NPFCへの報告は暦年集計であるが、漁船の動向から主漁期は7月～11月と考えられるため（補足資料5）、暦年の値をそのまま漁期年としても問題ないと判断した。

(3) 主要漁業の漁獲努力量

主要漁業である北部太平洋まき網漁業（北部まき網）の有効努力量は、加入量の高い年級群が主対象となると増加する特徴がみられ、1992年以降、1992、1996年の高い加入量による増加とその後の減少を繰り返しつつ減少傾向となり、2004年の高い加入量により再び増加したが、その後は減少傾向となった（図5）。2003年から開始された資源回復計画に基

づく操業管理により、2004年級群加入時の漁獲圧の増加は一定程度、抑えられたと推定されている (Ichinokawa et al. 2015、市野川ほか 2016)。この操業管理は現在も継続して実施されており、それにより 2000 年代後半も引き続き、1990 年代のような漁獲圧の過度な増大が抑えられていると考えられる。さらに、2011 年 3 月の東日本大震災の影響による常磐海域における操業自粛海域の設定や水揚港の受け入れ処理能力および関係産業の需要量の低下、また、経営の改善などを目的とした船団構成への変更や、従来の安価でも大量漁獲から良価で適量漁獲へという漁業者の意識の変化も、漁獲努力量の過度な増加の抑制に貢献していると考えられる。

本漁業の主対象となっている 0~3 歳魚の平均漁獲係数 (後述の資源解析による計算値) は、2003 年以前は有効努力量の年変化と同様に増減していた (図 5)。2004 年以降は、増減の動向はほぼ一致するものの、2003 年以前と比較して、漁獲係数が有効努力量の増加幅ほどは高くなるなくなっているが、これは操業管理による操業形態の変化やゴマサバの混獲割合の上昇などに起因するものと考えられる。また、2014 年以降は有効努力量が減少している一方で、漁獲係数が横ばいあるいは増加しているのは、外国漁船による漁獲量の増加の影響と考えられる。

4. 資源状態

(1) 資源評価の方法

1970~2017 年の年齢別資源量を、7 月~翌年 6 月を漁期とし、Pope (1972) の近似式を用いたチューニング VPA (コホート解析) により推定した (表 2、補足資料 1、2、3、7)。自然死亡係数 (M) は年当たり 0.4 とした (本間ほか 1987)。チューニング指数として親魚量および加入量の変化を反映すると考えられる 4 系列の指標値を用い、最近年 (2017 年) の漁獲係数 (ターミナル F) を探索的に求めた (補足表 2-1)。

(2) 資源量指標値の推移

太平洋側のサバ属産卵量は、1960 年代と 1970 年代中期にピークがみられ 1 千兆粒に達し、1980 年代後半以降は低い水準で推移していたが、最近では親魚量の増加に伴い増加している (図 6、卵稚仔データベース、Oozeki et al. 2007)。2005 年よりゴマサバと区別して推定されるようになったマサバ産卵量は、2005 年の 39 兆粒から 2007 年には 335 兆粒と大きく増加した。その後は増減を繰り返していたが、2017 年は 367 兆粒に増加し、2018 年 1~6 月は 601 兆粒と、1970 年代に見られた水準にまで増加した。図 7 に示す各種調査から得られる加入量の指標値は、2004、2007、2009、2013、2016 年に高い値がみられるなど加入量水準を反映しており、2018 年はほとんどの指標値で高い値を示した。図 8 に示す主要漁業である北部まき網の CPUE と資源量指数は、資源動向を反映し、1992、1996 年といった卓越年級群が発生した年とその翌年に高くなっていた。その後、加入量が高い 2004 年級群が漁獲加入した 2005 年以降、CPUE は高い水準を維持し、加入量が極めて高い 2013 年級群が漁獲加入した 2013 年以降はさらに増加傾向を示し、2017 年はかなり高い値となっている。

(3) 漁獲物の年齢組成

資源量が極めて低い水準となった 1990～2004 年は未成魚（0～1 歳魚）が漁獲の主体であり、漁獲物に占める 2 歳以上の割合は低かったが、加入量が高い 2004 年級群の漁獲加入後は 2～4 歳魚の割合も高くなっている（図 9、補足資料 7）。3- (3) の通り、2004 年以降、若齢魚への漁獲圧が低下して加入後の生残が良くなっているためと考えられる。極めて高い加入量である 2013 年級群の漁獲加入により、2014 年以降は 2013 年級群が占める割合が高くなっており、2017 年は 4 歳魚（2013 年級群）の割合が最も高かった。

(4) 資源量と漁獲割合の推移

資源量は 1970～1979 年は 300 万～500 万トン程度の高い水準にあったが、1979、1980 年の低い RPS による加入量の減少と高い漁獲圧によって 1980 年に 193 万トンに減少した（図 10、11、表 2、補足資料 7）。1981～1986 年は 146 万～182 万トンとおおむね横ばいで推移したが、1987 年以降、低い RPS による加入量の減少と高い漁獲圧によってさらに減少し、1990 年には 22 万トンとなった。1992、1996 年の高い加入量による資源量の増加と、高い漁獲圧による減少を繰り返し、2001 年に過去最低の 15 万トンに落ち込んだ。2004 年以降は 2004 年の高い加入量と漁獲圧の低下により増加し、2013 年の極めて高い加入量によって、2013 年は 305 万トンとなった。その後、2016 年の極めて高い加入量および 2017 年の高い加入量によってさらに増加し、2017 年は 509 万トンと推定され、1970 年以降で最も高い値となった。しかしながら、加入量の見積もりの不確実性が高い傾向にある 0・1 歳魚が近年の資源量に占める割合は、1970 年代と比較すると高く（図 10）、特に 2017 年の資源量に 0・1 歳魚（2017・2016 年級群）の占める割合がかなり高いことに留意する必要がある。

漁獲割合は 1986、1988 および 1989 年に 40%以上と高く、資源量を大きく減少させた（図 10、表 2、補足資料 7）。その後、1993 年に 56%と極めて高くなり、2001 年までは 33～51% の高い水準で推移し、2001 年の過去最低の資源量をもたらした。2002～2010 年までは 19～36%と比較的低い水準で推移し、2011 年 3 月の震災の影響の見られた 2011 年以降は 7～15%と低い水準で推移している。

若齢魚（0～2 歳魚）の F は 1992、1996 年級群が漁獲主対象となった年に特に高かったが、2010 年以降は低くなっている（図 12）。

親魚量は 1970～1980 年は 66 万～140 万トンと高い水準であったが、1979～1980 年の加入量の減少と高い漁獲圧によって 1981 年に 73.7 万トン、1982 年に 56.7 万トンに減少した（図 13、14、表 2）。1985 年までは 45 万トン以上で推移したが、1986 年以降、加入量の減少と高い漁獲圧によって減少し、1990 年に 10 万トン以下まで落ち込んだ。その後、おおむね 10 万トン以下の著しく低い水準で推移し、2002 年には過去最低の 4.4 万トンとなった。2004 年の高い加入量のため 2006 年に 29.6 万トンに増加し、その後は 2010 年にかけて減少したものの、2009 年以降の比較的高い加入量と漁獲圧の低下によって 2012 年には 29.2 万トンに増加し、その後も増加傾向を示し、2015 年には 60.0 万トンと後述の **Blimit** を上回った。2016 年は加入量が極めて高い 2013 年級群の成熟によってさらに増加して 107.1 万トンとなり、2017 年は 90.6 万トンであった。2013 年以降は、ふ化仔魚の生残率を高める一因となる 4 歳以上の経産高齢親魚（米田ほか 2013）の量も増加している（図 13）。

親魚量と F の関係を図 15 に示す。全体的な傾向は特に見いだせないが、上述のような 1979～1981 年の高い F に伴う親魚量の大きな減少や、1986～1989 年の高い F に伴う親魚量のさらなる減少、1996 年級群の加入後の 1997 年の極めて高い F によって親魚量は低水準のままであった様が見て取れる。近年は親魚量が増加しても F は低い値で推移している。

自然死亡係数 M に対する感度解析として、本評価での設定値 (0.4) に対して 0.3 と 0.5 にして直近 (2017) 年の資源量、親魚量、加入量を推定した (図 16)。資源量はそれぞれ 80% および 129%、親魚量は 93% および 108%、加入量は 71% および 145% となり、M の値が大きくなると、いずれの値も大きくなった。

(5) 再生産関係

親魚量が 45 万トン以上であった 1970～1985 年では、RPS は比較的安定しており、加入量は年変動があるもののほぼ 30 億尾以上の高い水準であった (図 11、13、14、表 2)。親魚量が 45 万トンを下回った 1986～2014 年では、RPS が著しく低い年 (1987～1989、1998、2006 年) が見られる一方で、著しく高い年 (1992、1996、2004、2013 年) も見られるなど、年々の変動幅が大きく、かつ親魚量が少ないために加入量の水準が大きく低下していた。

(6) Blimit の設定

前項の通り、親魚量が 45 万トンを下回った 1986 年以降、RPS の年変動が大きくなり、加入量水準が低下したことから、親魚量 45 万トンを資源の回復措置をとる閾値である Blimit とする (図 14)。2017 年の親魚量は 90.6 万トンと推定され、Blimit を上回っている。

(7) 資源水準・動向

資源水準は、1970 年以降の 48 年間の親魚量の推移から判断した。親魚量 45 万トン (Blimit) 以上を中位水準、それ未満は低位水準とし、親魚量の過去最高値と Blimit の中間値である親魚量 92.5 万トン以上を高位水準とした (図 13)。2017 年の親魚量は 90.6 万トンと推定されたことから、資源水準は中位と判断した。動向は過去 5 年間 (2013～2017 年) の親魚量の推移から増加と判断した。なお、昨年度評価では資源水準の高位と中位の境界を資源量で判断していたが、中位と低位の境界は親魚量で判断しているため判断基準を親魚量に揃えたほうが良いと考えられること、また、近年は未成魚主体に資源が増加している一方で、未成魚は漁獲の主体となっていないため (図 9、10)、親魚量で判断したほうが漁獲対象資源の水準を的確に評価できると考えられることから、今年度評価では高位と中位の境界を親魚量で判断した。

(8) 今後の加入量の見積もり

最近の複数の研究によって、加入量の多寡は主に卵～稚仔魚期の生残率によって決まることがわかってきており、産卵親魚の状態 (産卵経験、栄養状態、産卵前経験水温) による卵質の違いによる生残率の違い (米田ほか 2010、2013) や、稚仔魚期の経験環境による成長率の違いとそれによる生残率の違い (高橋ほか 2010、米田ほか 2013) が大きく影響していると考えられている。北上期幼魚の成長率と加入量とに高い相関がみられ、加入量の多い年は産卵盛期である 4 月ふ化個体の割合が高く、少ない年は低いという特性が見られ、

主に4月ふ化個体の生残率によって加入量が決定すると考えられる(Kamimura et al. 2015)。4月の産卵は、6に後述のように、5~6月に比べて親魚の組成や経験水温からみて良質卵となり、摂餌開始期がブルーミング時期と一致するなど仔稚魚の生残に有利であるが、その一方で、初期生残率に大きく影響するふ化後の経験環境の年変化は大きく、経験水温が産卵場水温と同様の18℃程度では成長率が低くなって変態が遅れ生残率は低くなり、速やかに黒潮付近の20℃程度の水温で移送されると成長率が高くなり、加入量も高くなること示唆されている(高橋ほか2010、Takahashi et al. 2012、米田ほか2013)。今後、このような環境と生物の特性とそれらの関係の統合的な解析によって、精度の高い加入量の見積もりが可能となることが期待される。

新規加入量の推定について、昨年度評価では2017年の北西太平洋秋季浮魚類資源調査において体長組成からでは0・1歳魚を速やかに判別することができなかつたため、同調査の0歳魚標準化CPUEを算出することができず、2017年の加入量をRPS中央値に2017年の予測親魚量に乗じた31.3億尾とした。しかし、今年度評価では2017年の加入量はチューニングVPAにより118.4億尾と推定され、大幅に上方修正された。本系群はRPSの年変動が大きいので、RPS中央値を用いて評価当年の加入量を推定すると、翌年以降のチューニングVPAから求められる加入量が推定値から外れる可能性が高く、調査で得られる直近の加入量指標値を考慮するべきと考えられる。そこで、2017年の同調査で得られたマサバの耳石を用いて年齢査定を行った結果、尾叉長21cm台が0歳魚と1歳魚の境界となっていたことが判明した。2018年の同調査において得られた体長組成も2017年同様に0・1歳魚相当の範囲で連続していたが、2017年の年齢査定結果に基づいて尾叉長21cm未満はすべて0歳魚、尾叉長21cm以上、22cm未満の半数は0歳魚と仮定し、速報値として2018年の同調査の0歳魚標準化CPUEを算出した。今年度評価では2018年の加入量は、チューニング指数として用いている2つの加入量指標値(北西太平洋北上期浮魚類資源調査による中層トロール0歳魚標準化CPUE、北西太平洋秋季浮魚類資源調査による中層トロール0歳魚標準化CPUE)および再生産関係から推定し、243億尾とした(補足資料2)。

2019年以降の加入量は、環境要因などによる予測は現時点では不可能であるため、1970~2017年の親魚量(SSB:千トン)と加入量(R:百万尾)の関係から推定される再生産関係(Hockey-stick型、 $SSB < 1,056 : R = 7.6 \times SSB$ 、 $SSB \geq 1,056 : R = 8,006$)に従うとした(図14)。なお、昨年度評価ではRPS中央値に予測親魚量に乗じた値とし、親魚量が過去最高値を超える場合には親魚量一定としていたが、今年度は統計的に求めた再生産関係を用いた(補足資料2)。

(9) 生物学的管理基準(漁獲係数)と現状の漁獲圧の関係

現状の漁獲圧($F_{current}$)は、外国漁船による漁獲量が急増した最近3年(2015~2017年)の平均とした。 $F_{current}$ の年齢別選択率(各年齢のFを最大の年齢別Fで除した値)を用いたYPR曲線とSPR曲線を図17に示す。 $F_{current}$ は後述の F_{med} よりもやや低いが、管理の閾値や F_{msy} の代替値に用いられる $F_{0.1}$ よりは高い。

5. 2019年ABCの算定

(1) 資源評価のまとめ

親魚量、資源量とも1990年代～2000年代初めの最低水準を脱して増加している。2017年の親魚量はBlimitを上回っていることから資源水準は中位、2013～2017年の親魚量の推移から資源動向は増加と判断される。加入量の増加と一定水準の維持を図ることから、Blimitを十分に上回る水準で維持させることが望ましい。現状の漁獲圧(Fcurrent)で漁獲を継続した場合、仮定した再生産関係のもとでは資源量は短期的には減少するものの、長期的には比較的高い水準を維持することが予測される。ただし、外国漁船による漁獲を考慮して資源評価を行っているが、漁獲物の内容について十分な情報が得られていないため多くの仮定を置いており、資源量推定値等の不確実性が大きいと考えられる。また、今後の外国漁船の努力量の変化は不明であるため、将来予測が大きく変わる可能性がある。このため、安全を見込んだシナリオが選択されることが望ましく、早急に外国漁船の適正な管理にも取り組むべきである。

(2) 漁獲シナリオに対応した漁獲量の算定

再生産関係が得られており、親魚量はBlimitを上回っていることから、親魚量をBlimit以上に維持することを管理目標として、ABC算定のための基本規則の1-1)-(1)を適用した。想定される再生産関係のもとでBlimit以上の親魚量水準の維持を図る漁獲シナリオとして、親魚量の増大(F40%SPR)、現状の漁獲圧の維持(Fcurrent)、親魚量の維持(Fmed)、およびこれらの予防的措置を講じたFを設定し、それぞれの漁獲シナリオに従って2019年のABCを算定した。Fmedは中長期的に安定する親魚量の維持を図る基準値であり、1970～2016年のRPS中央値(7.5尾/kg)に対応するFとした。2018年のFについてはFcurrent(2015～2017年平均)を仮定した。

これらのシナリオのもとで予測される2017～2024年の漁獲量、資源量、親魚量は下表のとおり(図18、表3、補足資料1、2)。将来予測に用いる年齢別平均体重は、2017年の年齢別平均体重が2011～2014年平均値よりも低い値を示し(図2)、直近の漁獲物から判断して今後もその傾向が継続すると予測されることから、今年度評価においては成長の低下が見られている2013年級群以降の平均値、つまり0歳魚は2013～2017年の平均値、1歳魚は2014～2017年の平均値、2歳魚は2015～2017年の平均値、3歳魚は2016、2017年の平均値、4歳魚は2017年の値を用いた(表4)。さらに、5歳魚および6歳以上の平均体重には、過去に観測された平均体重の最低値を用いた(表4)。将来予測に用いる年齢別成熟割合は、2018年以降の親魚量が高位水準を維持すると予測されることから、主に資源高水準期に用いられている値を用いた(図3、表4)。

なお、2016年の加入量が極めて高いため、漁獲量は、2016年級群が本格的に漁獲加入する2019年以降に増加し、加入量が極めて高い2018年級群により2021年までは高い値を維持するが、2022年以降は仮定した再生産関係による加入量の影響によりすべての漁獲シナリオで減少する(図18)。資源量は、加入量が極めて高い2018年級群により2018、2019年に一時的に増加するが、2020年以降はすべての漁獲シナリオで減少する(図18)。親魚量は、加入量が極めて高い2018年級群の成熟に伴い2021年にかけて増加傾向を示した後、2022年以降はすべての漁獲シナリオで減少する(図18)。

漁獲シナリオ (管理基準)		F値	漁獲量 (千トン、年漁期)							
			2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
親魚量の増大 (F40%SPR)	Target	0.22	538	716	659	741	899	664	633	566
	Limit	0.28	538	716	796	866	1,012	719	672	600
現状の漁獲圧の 維持 (Fcurrent)	Target	0.30	538	716	859	920	1,056	737	684	611
	Limit	0.38	538	716	1,027	1,054	1,153	771	704	634
親魚量の維持 (Fmed)	Target	0.31	538	716	879	937	1,069	742	687	615
	Limit	0.39	538	716	1,049	1,071	1,164	774	706	636
漁獲シナリオ (管理基準)		F値	資源量 (千トン、年漁期)							
			2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
親魚量の増大 (F40%SPR)	Target	0.22	5,091	6,805	7,058	6,441	5,824	5,088	4,840	4,570
	Limit	0.28	5,091	6,805	7,058	6,309	5,581	4,780	4,521	4,278
現状の漁獲圧の 維持 (Fcurrent)	Target	0.30	5,091	6,805	7,058	6,248	5,474	4,649	4,390	4,160
	Limit	0.38	5,091	6,805	7,058	6,085	5,197	4,329	4,081	3,891
親魚量の維持 (Fmed)	Target	0.31	5,091	6,805	7,058	6,228	5,440	4,608	4,350	4,125
	Limit	0.39	5,091	6,805	7,058	6,063	5,161	4,289	4,043	3,859
漁獲シナリオ (管理基準)		F値	親魚量 (千トン、年漁期)							
			2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
親魚量の増大 (F40%SPR)	Target	0.22	906	1,078	1,698	2,203	2,864	2,391	2,143	1,873
	Limit	0.28	906	1,078	1,698	2,094	2,644	2,096	1,837	1,594
現状の漁獲圧の 維持 (Fcurrent)	Target	0.30	906	1,078	1,698	2,045	2,547	1,971	1,712	1,482
	Limit	0.38	906	1,078	1,698	1,914	2,300	1,668	1,419	1,230
親魚量の維持 (Fmed)	Target	0.31	906	1,078	1,698	2,029	2,517	1,932	1,674	1,449
	Limit	0.39	906	1,078	1,698	1,896	2,268	1,630	1,384	1,200

Limit は、各漁獲シナリオの下で許容される最大レベルの F 値による漁獲量およびそれで達成される資源量、親魚量である。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、各漁獲シナリオの下でより安定的な資源の増大または維持が期待される F 値による漁獲量およびそれで達成される資源量、親魚量である。Ftarget = α Flimit とし、係数 α には標準値 0.8 を用いた。

(3) 2019 年漁期 ABC、加入量の不確実性を考慮した検討、シナリオの評価

前項で設定した漁獲シナリオについて管理効果を判断するために、加入量の不確実性を考慮した資源量、親魚量、漁獲量の将来予測のシミュレーションを行い、親魚量が 5 年後 (2024 年漁期当初) に 2017 年親魚量を維持する確率および Blimit を維持する確率を評価した (図 19)。シミュレーションの条件設定として、前述 4-(8) の Hockey-stick 型の再生産関係を用いて各年の予測親魚量から推定される加入量と、1970~2017 年の実績から無作為に抽出された残差から、2019 年以降の加入量を計算した。この際、決定論的な加入量の予測値と不確実性を含む加入量の平均値を一致させるための補正を行った。年齢別体重、成熟割合は前項と同じ値とした (表 4)。1,000 回のシミュレーションを行った結果、5 年後に Blimit を維持する確率はすべての漁獲シナリオで 100% であり、2017 年親魚量を維持する確率は F40%SPR の Limit で 100% であったが、Fcurrent の Limit で 68%、Fmed の Limit

で 63%とやや低い値となった。

漁獲シナリオ (管理基準)	Target/ Limit	2019年 漁期 ABC (千トン)	漁獲 割合 (%)	F 値 (現状の F 値からの 増減%)	2024年の 親魚量 (千トン) (80%区間)	確率評価 (%)	
						2024年に 2017年 親魚量を 維持	2024年に Blimitを 維持
親魚量の増大* (F40%SPR)	Target	659	9	0.22 (-42%)	1,851 (1,192~2,796)	100	100
	Limit	796	11	0.28 (-27%)	1,574 (971~2,405)	95	100
現状の漁獲圧 の維持* (Fcurrent)	Target	859	12	0.30 (-20%)	1,464 (882~2,268)	89	100
	Limit	1,027	15	0.38 (±0%)	1,215 (695~1,919)	68	100
親魚量の維持* (Fmed)	Target	879	12	0.31 (-18%)	1,431 (855~2,216)	87	100
	Limit	1,049	15	0.39 (+3%)	1,185 (673~1,868)	63	100

コメント

- ・本系群の ABC 算定には規則 1-1) - (1)を用いた。
- ・本系群は毎年の再生産成功率の変動が大きいいため将来予測の不確実性が大きい。
- ・外国漁船による漁獲を考慮しているが、漁獲物の内容について十分な情報が得られていないため、多くの仮定を置いた資源評価となっており、資源量推定値等の不確実性が大きい。このため、安全を見込んだシナリオが選択されることが望ましく、早急に外国漁船の適正な管理にも取り組むべきである。
- ・海洋生物資源の保存及び管理に関する基本計画第 3 に記載されている本系群の中期的管理方針では、「近年の海洋環境が当該資源の増大に不適な状態にあると認められないことから、資源を維持若しくは増大することを基本方向として管理を行うものとし、資源管理計画に基づく取組の推進を図るものとする。なお、本資源は北西太平洋公海において外国漁船によっても採捕されていることから、平成 27 年 7 月に設立された北太平洋漁業委員会 (NPFC) 等を通じて、外国漁船の適切な管理に向けた一層の取組を推進する。」とされており、親魚量の維持シナリオから得られる漁獲係数以下の漁獲係数であれば、資源を維持または増大させることができると考えられる。同方針に対応するシナリオには*を付した。

Limit は、各漁獲シナリオの下で許容される最大レベルの F 値による漁獲量、Target は、資源変動の可能性や誤差に起因する評価の不確実性を考慮し、各漁獲シナリオの下でより安定的な資源の増大または維持が期待される F 値による漁獲量である。Ftarget = α Flimit とし、係数 α には標準値 0.8 を用いた。2019 年漁期は 2019 年 7 月～2020 年 6 月である。Fcurrent は 2015～2017 年の F の平均値、漁獲割合は 2019 年漁期漁獲量/資源量、F 値は各年齢の平均値である。漁獲シナリオにある「親魚量の維持」は中長期的に安定する親魚量の維持を図る漁獲シナリオであり、Fmed を適用した。Fmed は 1970～2016 年の再生産成功率の中央値 (RPSmed: 7.5 尾/kg) に対応する F とした。2017 年の親魚量は 906 千トン。

(4) ABC の再評価

昨年度以降追加されたデータセット	修正・更新された数値
<ul style="list-style-type: none"> ・2017年漁期漁獲量、体長組成、体長-体重関係、年齢-体長関係 ・2017年秋季～2018年秋季における資源量指数 	<ul style="list-style-type: none"> ・2017年漁期年齢別漁獲尾数 ・資源計算の改訂により、資源尾数、資源量、親魚量、RPS、漁獲係数等

評価対象年 (当初・再評価)	管理基準	F 値	資源量 (千トン)	ABC limit (千トン)	ABC target (千トン)	漁獲量 (千トン) (実際の F 値)
2017年漁期 (当初)	Fmed	0.47	1,618	372*	310	
2017年漁期 (2017年再評価)	Fmed	0.38	2,518	353	292	
2017年漁期 (2018年再評価)	Fmed	0.39	5,091	531	440	538 (0.59)
2018年漁期 (当初)	Fmed	0.38	2,335	498*	417	
2018年漁期 (2018年再評価)	Fmed	0.39	6,805	733	608	

2017、2018年漁期とも、TAC設定の根拠となった管理基準について行った。*はTAC設定の根拠である。資源量、F値は漁期に対する値、漁獲量は2017年漁期の実績値である。

2017年漁期資源量は、2015～2017年の加入量が上方修正されたことにより、上方修正された。2017年漁期ABCは、資源量が上方修正されたことと、3歳以上のFの選択率が上昇したことにより上方修正となった。今年度評価において北西太平洋北上期浮魚類資源調査による中層トロール0歳魚標準化CPUEおよび北西太平洋秋季浮魚類資源調査による中層トロール0歳魚標準化CPUEと加入量の関係の非線形性を表す係数bの値(補足表2-1)が、昨年度より低く推定されたためにCPUEと加入量がより直線に近い関係となり、CPUEの値が比較的高かった2015～2017年の加入量が上方修正された。

2018年漁期資源量は、2015～2017年の加入量が上記理由により上方修正されたことに加え、調査で得られた加入量指数を考慮した2018年の加入量が、RPS中央値から予測していた加入量よりも大幅に高かったため、全体として大幅に上方修正となった。2018年漁期ABCは、0・1歳魚の漁獲割合が低いために、2017・2018年の加入量の上方修正の影響は少なかったが、2歳魚(2016年級群)の資源量が上方修正されたことと、3歳以上のFの選択率が上昇したことにより、全体として上方修正となった。

6. ABC以外の管理方策への提言

北太平洋漁業委員会(NPFC)に中国およびロシアから北西太平洋公海域およびロシア200海里水域におけるさば類漁獲量が報告されたことをうけて、これらの漁獲量を考慮した資源評価を行ったが、中国およびロシアの漁獲物の内容について十分な情報が得られていないため、様々な仮定を置いた上での資源評価となっている。資源評価の精度向上のために、漁獲量の値のみならず年齢組成等の情報が必要であり、これらについても報告されるように働きかける必要がある。

一方、北西太平洋における外国漁船による漁獲努力量を調査することを目的に、平成26年度から人工衛星夜間可視データを用いて外国漁船の動向を把握する取り組みを開始した(補足資料5)。この人工衛星夜間可視データ等からIUUを含めた外国漁船の漁獲量を推

定する報告もあるが (Oozeki et al. 2018)、資源計算に取り入れるには精度の高い漁獲量の値が必要であるため、現時点では IUU の漁獲量は考慮していない。引き続きこれらの漁獲量の情報収集に取り組む必要がある。

Kawai et al. (2002) は、1970 年代の高水準期には未成魚への漁獲圧は低く、同じような漁獲をしていれば 1990 年代に資源は回復したと論じた。平成 17 年度までの本報告書において、1993 年以降、若齢魚 (0、1 歳魚) の F が顕著に高くなったため (図 12)、未成魚段階での多獲は不合理であることを指摘し、生物学的にみた本系群の最適な漁獲開始年齢を検討し、全個体が成熟を開始する 3.5 歳が最適であるとの結論を得ている。渡邊ほか(2012) は、本系群の資源動態モデルを構築して漁期・漁場別の漁獲方策による資源管理効果を検討し、越冬場周辺における若齢魚の漁獲規制の効果が高いことを指摘している。近年は若齢魚への F が低くなっている (図 12)。資源の持続的利用のために、引き続き若齢魚に対する F の低減が望ましい。

最近の研究によって、産卵経験のある (複数回目の産卵期の) 親魚 (経産魚) の産む卵の方が、初回産卵 (初めての産卵期) のものよりも卵質が良く、ふ化仔魚の生残率が高いことが飼育実験の結果などからわかってきた (米田ほか 2013)。加えて、高齢経産魚の方が産卵場への南下回遊が早く (渡邊 2010)、産卵期には成熟 (産卵準備) が早く進み、早期 (3~4 月) に産卵する傾向が強い。4 月は高水準期の本系群が集中的に産卵する時期であり (渡邊 2010)、人為的影響の無い状態での系群本来の産卵盛期と言え、餌生物が多くなるブルーミング時期と一致し、カツオなどの暖水性捕食者の来遊もまだ少ない時期であることから稚仔魚の生育に適していると考えられる。高齢経産魚による好適期の良質の産卵は、年々の加入の環境変化への耐性を高める効果を持つと考えられ、加入量の増加と一定水準以上の維持を図るためには、この産卵を増加、維持させることが重要である。そのためには親魚の年齢 (未産・経産魚) 構成を考慮した資源評価、管理を行い、産卵経験のある高齢親魚量を確保する必要がある。

7. 引用文献

- 本間 操・佐藤祐二・宇佐美修造 (1987) コホート解析によるマサバ太平洋系群の資源量推定. 東海水研報, **121**, 1-11.
- Ichinokawa, M., H. Okamura, C. Watanabe, A. Kawabata and Y. Oozeki (2015) Effective time closures: Quantifying the conservation benefits of input control for the Pacific chub mackerel fishery. *Ecol. Appl.*, **25**, 1566-1584.
- 市野川桃子・岡村 寛 (2016) 一般化状態空間モデルで漁業動態を記述する-マサバ努力量管理効果の定量評価. 統計数理, **64**, 59-75.
- 飯塚景記 (1974) 東北海区におけるマサバ未成魚の生態-III. 八戸沖で越冬すると推定される魚群について. 東北水研研報, **33**, 37-49.
- 飯塚景記 (2002) 1960~70 年代におけるマサバ資源と漁場. 月刊海洋, **34**, 273-279.
- Kamimura, Y., M. Takahashi, N. Yamashita, C. Watanabe and A. Kawabata (2015) Larval and juvenile growth of chub mackerel *Scomber japonicus* in relation to recruitment in the western North Pacific. *Fish. Sci.*, **81**, 505-513.

- Kasamatsu, F., and S. Tanaka (1992) Annual changes in prey species of minke whales taken off Japan 1948-87. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **54**, 637-651.
- 加藤充宏・渡邊千夏子 (2002) マサバとゴマサバの成熟・産卵および食性. *月刊海洋*, **34**, 266-272.
- Kawai, H., A. Yatsu, C. Watanabe, T. Mitani, T. Katsukawa and H. Matsuda (2002) Recovery policy for chub mackerel stock using recruitment-per-spawning. *Fish. Sci.*, **68**, 963-971.
- 川端 淳・中神正康・巢山 哲・谷津明彦・高木香織・建田夕帆 (2006) 近年の広域名調査船調査から推定されるサバ、イワシ類の季節的分布回遊. 2006 年度水産海洋学会講演要旨集, 94.
- 川崎 健 (1965) カツオの生態と資源 (I). *水産研究叢書*, **8**, 148.
- 川崎 健 (1968) マサバ太平洋系群未成魚の生態について. *東海水研報*, **55**, 59-113.
- 小泉正行 (1992) 伊豆諸島海域で採集したサバ卵・仔稚魚・幼魚の一考察. *水産海洋研究*, **56**, 57-64.
- Konishi, K. T. Isoda and T. Tamura (2016) Decadal change of feeding ecology in sei, Bryde's and common minke whales in the offshore of the Western North Pacific. Paper SC/F16/JR23 submitted to the JARPNI Review Workshop, Tokyo, February 2016, 19pp.
- 黒田一紀 (1992) 日本の太平洋沿岸域におけるさば属魚類の産卵期、産卵場及び産卵量水準の動向. *水産海洋研究*, **56**, 65-72.
- 目黒清美・梨田一也・三谷卓美・西田 宏・川端 淳 (2002) マサバとゴマサバの分布と回遊-成魚. *月刊海洋*, **34**, 256-260.
- 宮沢公雄 (1994) マサバ資源の変動とさば漁業の変遷. *水産海洋研究*, **58**, 48-49.
- 長沢和也 (1999) 黒潮・親潮移行域における魚食性魚類の分布と生態. *月刊海洋*, **346**, 245-250.
- 西田 宏・川端 淳・目黒清美・梨田一也・三谷卓美 (2001) マサバとゴマサバの分布と回遊-幼魚. *水産海洋研究*, **65**, 201.
- Oozeki, Y., D. Inagake, T. Saito, M. Okazaki, I. Fusejima, M. Hotai, T. Watanabe, H. Sugisaki and M. Miyahara (2018) Reliable estimation of IUU fishing catch amounts in the northwestern Pacific adjacent to the Japanese EEZ: Potential for usage of satellite remote sensing images. *Marine Policy*, **88**, 64-74.
- Oozeki, Y., A. Takasuka, H. Kubota and M. Barange (2007) Characterizing spawning habitats of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*), Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*), and Pacific round herring (*Etrumeus teres*) in the northwestern Pacific. *CalCOFI Reports*, **48**, 191-203.
- Pope, J.G. (1972) An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *Int. Com. Northw. Atl. Fish. Bull.*, **9**, 65-74.
- Takahashi, M., A. Kawabata, C. Watanabe, M. Yoneda, D. Ambe and T. Okunishi (2012) Migratory behavior and recruitment process of the Pacific stock of chub mackerel *Scomber japonicus*. *PICES-2012 Program and Abstracts*, 111.
- 高橋正知・渡邊千夏子・川端 淳・西田 宏・安倍大介・奥西 武・山下紀生・森 賢・橋本 浩・池上直也・森 訓由・岡部 久・斉藤真美 (2010) 粒子追跡を用いたマサ

- バ太平洋系群当歳魚の産卵場からの輸送過程とその成長 (2004~2007 年). 2010 年度水産海洋学会大会講演要旨集, 71.
- Tamura, T., Y. Fujise and K. Shimazaki (1998) Diet of minke whales *Balaenoptera auctorostrata* in the Northwestern part of the North Pacific in summer, 1994 and 1995. *Fish. Sci.*, **64**, 71-76.
- Tamura, T., K. Konishi and T. Isoda (2016) Updated estimation of prey consumption by common minke, Bryde's and sei whales in the western North Pacific. Paper SC/F16/JR15 submitted to the JARPNII Review Workshop, Tokyo, February 2016, 58pp.
- 渡邊千夏子 (2010) マサバ太平洋系群の繁殖特性の変化とその個体群動態への影響. *水産海洋研究*, **74**, 46-50.
- 渡邊千夏子・須田真木・赤嶺達郎・川端 淳・西田 宏 (2012) 許容漁獲量の時空間的配分がマサバ太平洋系群の資源動態に与える影響. *日水誌*, **78**, 15-26.
- Watanabe, C. and A. Yatsu (2004) Effects of density-dependence and sea surface temperature on inter-annual variation in length-at-age of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in the Kuroshio-Oyashio area during 1970-1997. *Fish. Bull.*, **102**, 196-206.
- Watanabe, C. and A. Yatsu (2006) Long-term changes in maturity at age of chub mackerel (*Scomber japonicus*) in relation to population declines in the waters off northeastern Japan. *Fish. Res.*, **78**, 323-332.
- 米田道夫・北野 載・松山倫也・高橋正知・川端 淳・清水昭男 (2013) マサバの加入機構に関する実験アプローチ: 初期生態に及ぼす母性効果と水温影響. 2012 年度春季水産海洋シンポジウム (魚種交替のシンテシス-気候変動による海洋生態系・浮魚資源変動機構およびその科学的理解に基づく社会への貢献) 要旨集, 10.
- 米田道夫・北野 載・S. Selvaraj・入路光雄・川村耕平・松山倫也・清水昭男 (2010) マサバ2歳魚の卵サイズの変化が仔魚の成長と生残に及ぼす影響. 2010 年度水産海洋学会大会講演要旨集, 47.

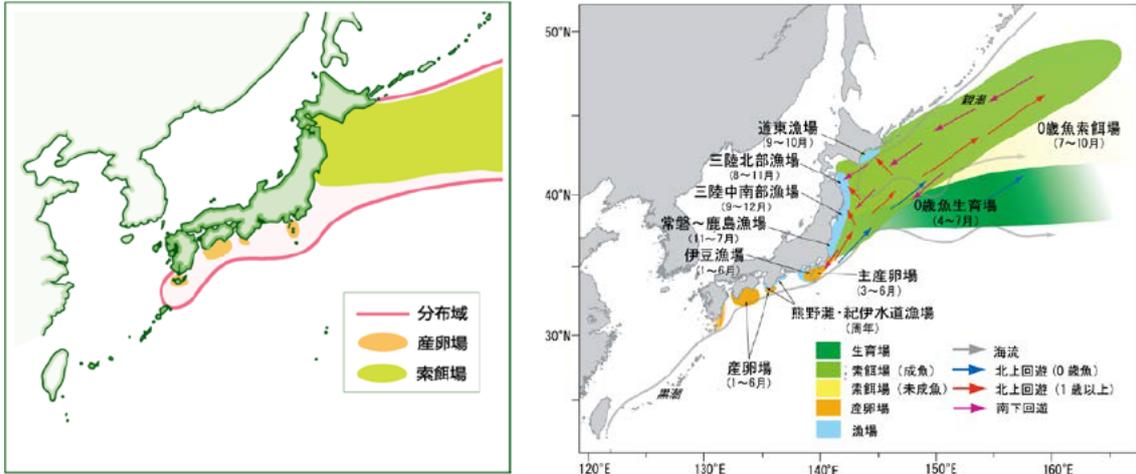


図1. 分布・回遊、生活史と漁場形成の模式図

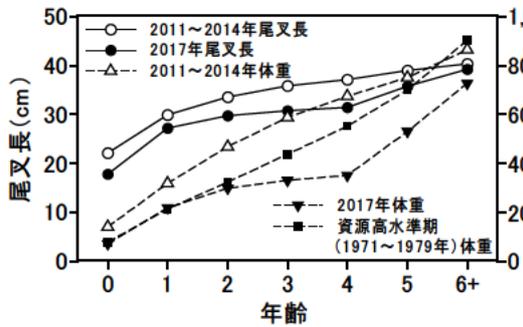


図2. 年齢と成長 (漁獲物の平均値)

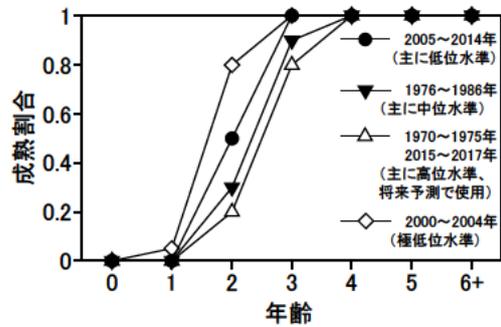


図3. 年齢と成熟割合

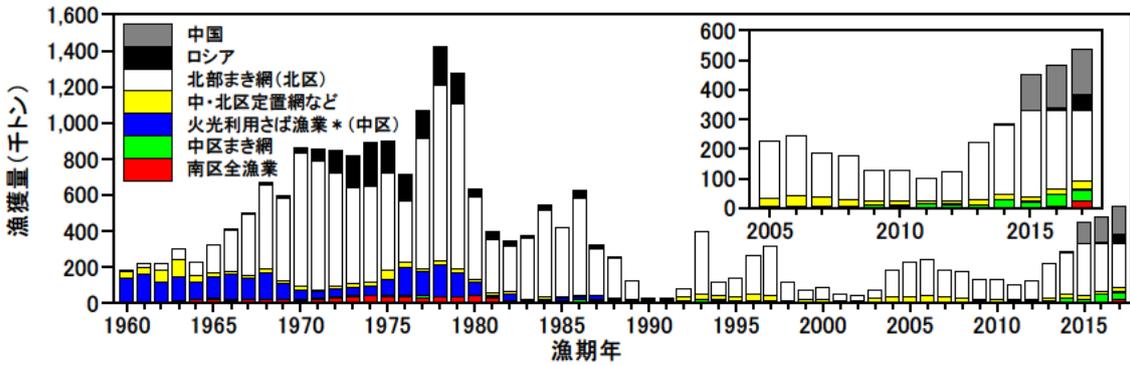


図4. 漁業種類別漁獲量の推移 *火光利用サバ漁業：たもすくい、棒受網。
2014年漁期以降の中国およびロシアの漁獲量は推定値。

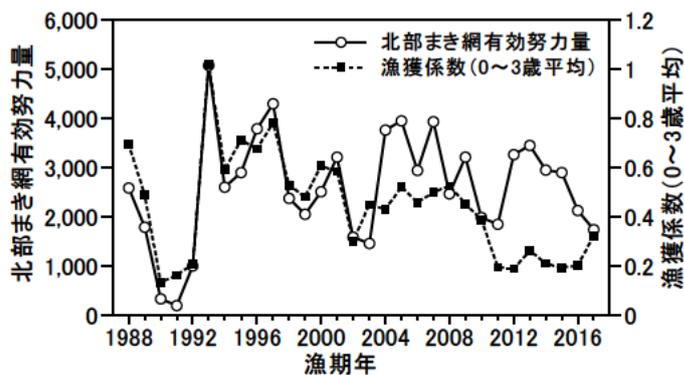


図5. 北部まき網漁業のさば類に対する有効努力量(左軸。JAFIC資料。補足資料4)と0~3歳魚の平均漁獲係数(右軸)

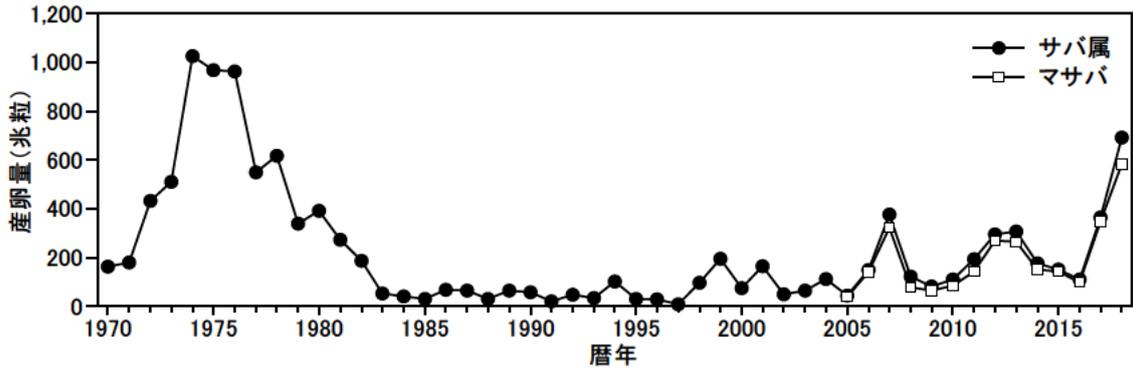


図 6. 本邦太平洋側におけるサバ属の産卵量 2005 年以降はマサバを分けて示した。2018 年は 1~6 月までの値。

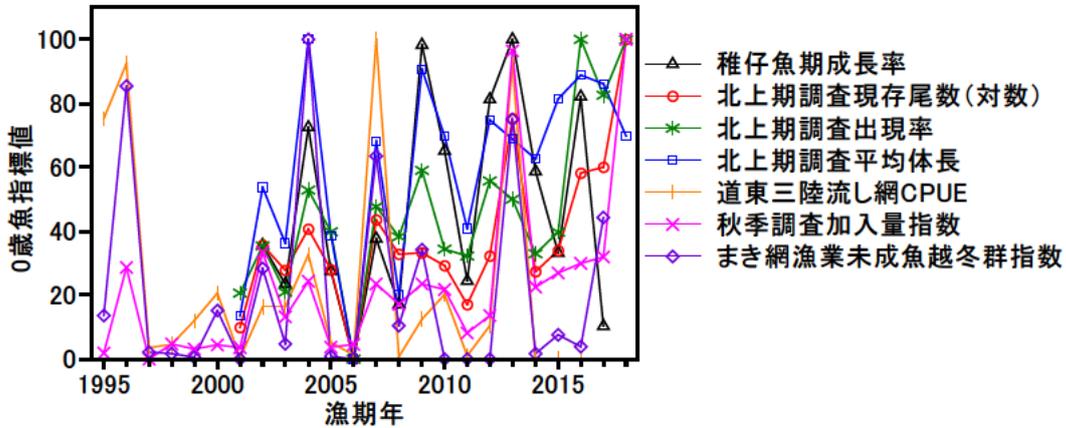


図 7. 各種調査(補足資料 4)による加入量の指標値の推移(指標値の最大値を 100、最小値を 0 とした場合の相対値)

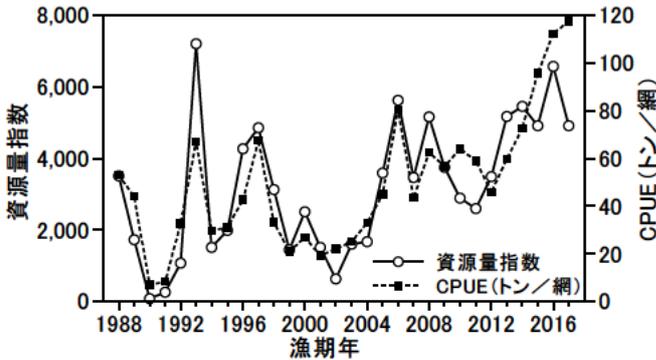


図 8. 北部太平洋まき網漁業のさば類 CPUE と資源量指数の推移 (JAFIC 資料。補足資料 4)

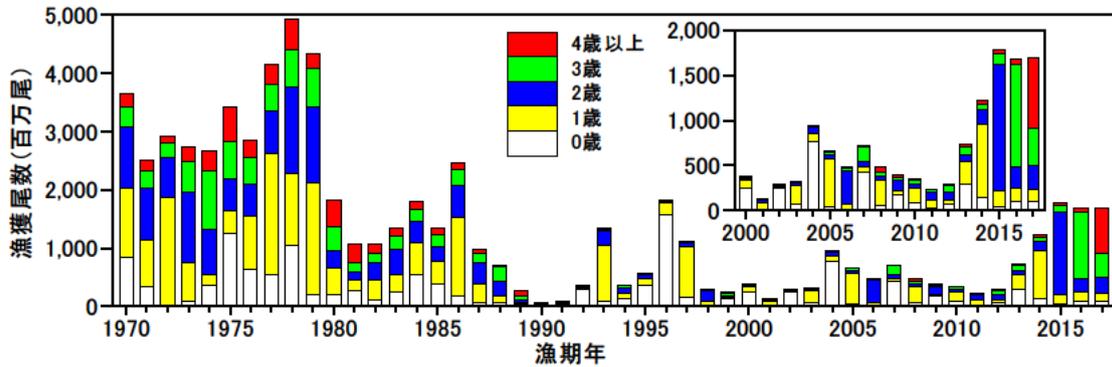


図 9. 年齢別漁獲尾数

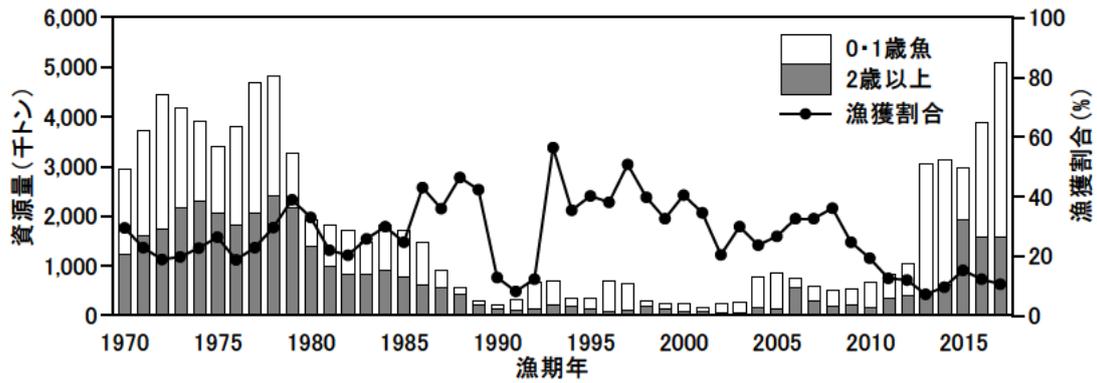


図10. 資源量と漁獲割合の推移 資源量の棒グラフは0・1歳魚と2歳以上に分けて図示。

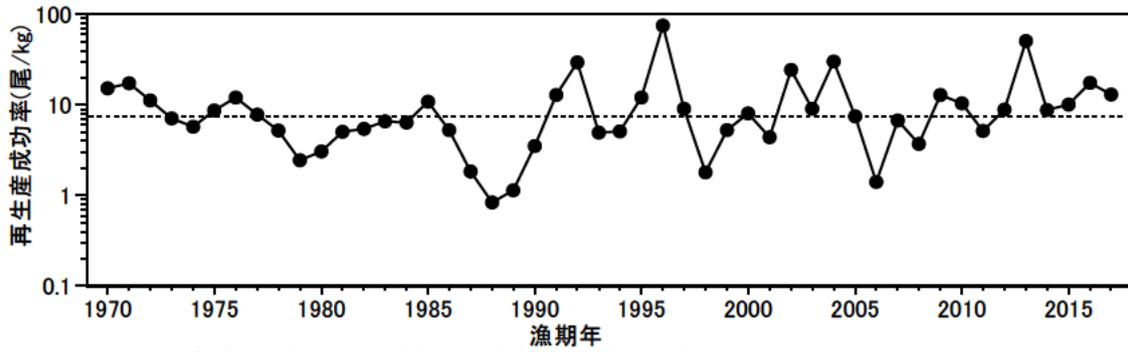


図11. 再生産成功率 (RPS) の推移 点線は中央値 (7.5 尾/kg)。

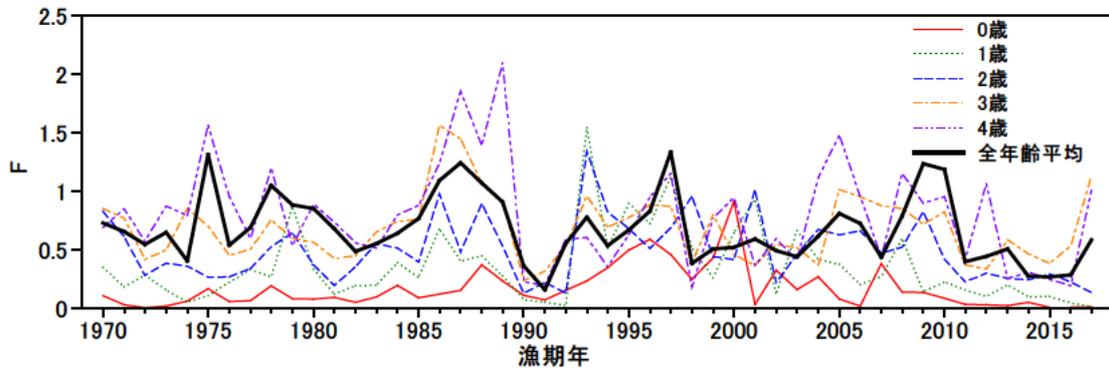


図12. 漁獲係数 F の推移

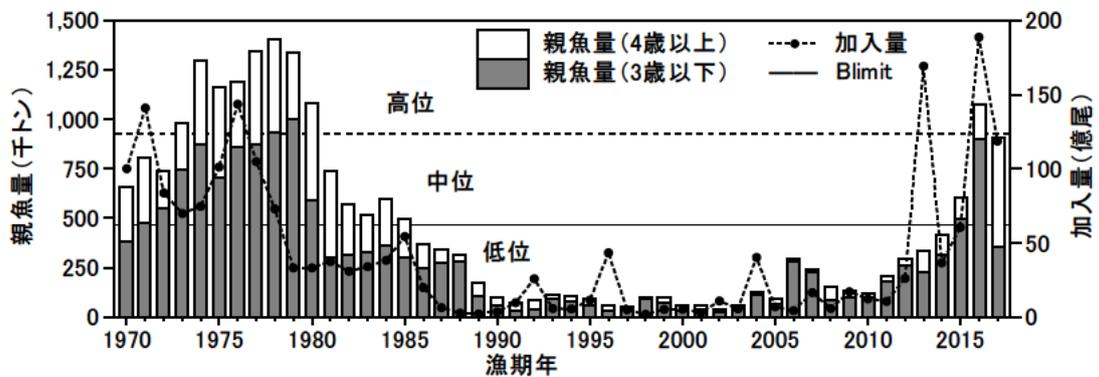


図13. 親魚量と加入量の推移 親魚量の棒グラフは3歳以下と4歳以上に分けて図示。点線は資源水準の高-中位区分、実線は中-低位区分 (=Blimit) を示す。

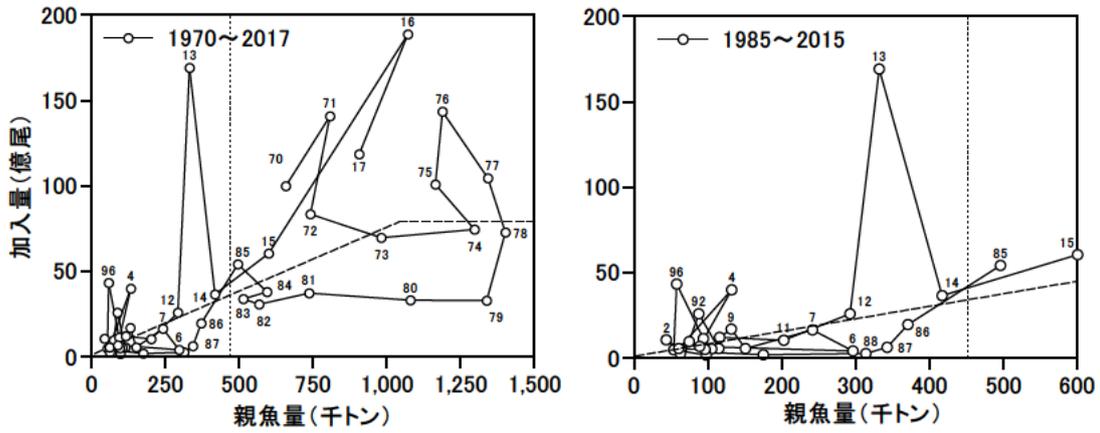


図 14. 親魚量と加入量の関係 点線は Blimit (親魚量 450 千トン)、破線は将来予測に用いた Hockey-stick 型の再生産関係をそれぞれ示す。

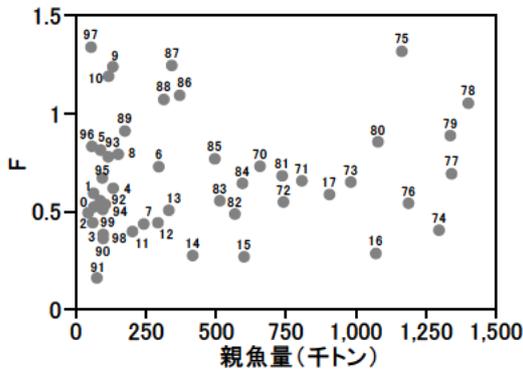


図 15. 親魚量と漁獲係数 F の関係

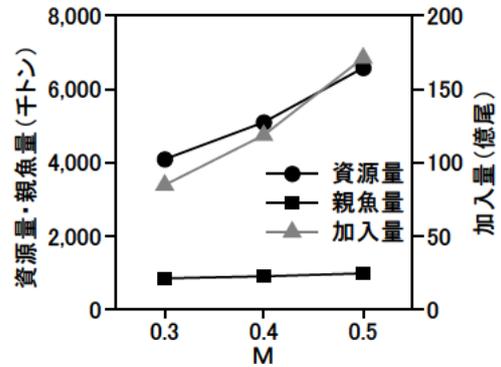


図 16. 自然死亡係数 (M) の違いによる 2017 年漁期の資源量、親魚量および加入量

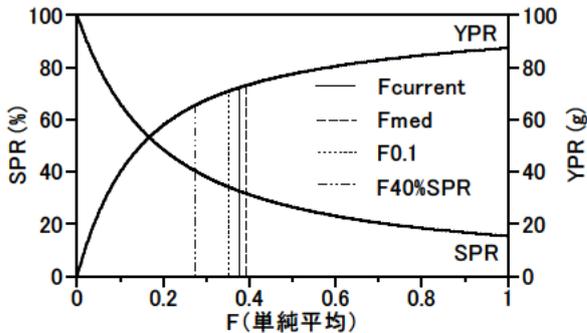


図 17. 漁獲係数 F と %SPR、YPR の関係

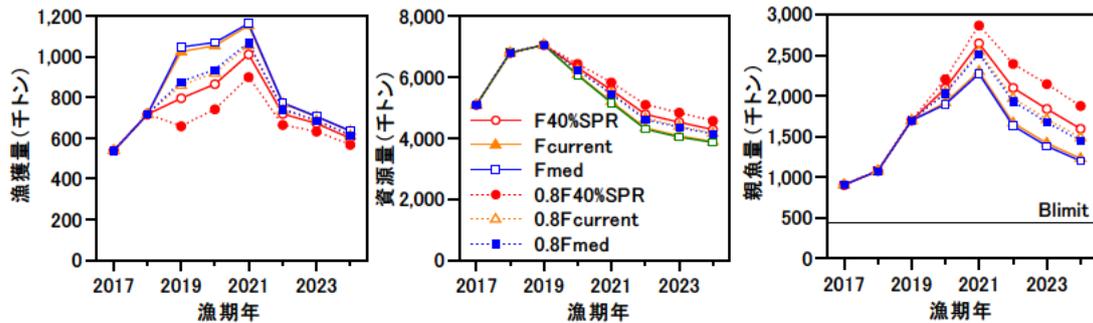


図 18. 各漁獲シナリオの F において予測される漁獲量、資源量および親魚量

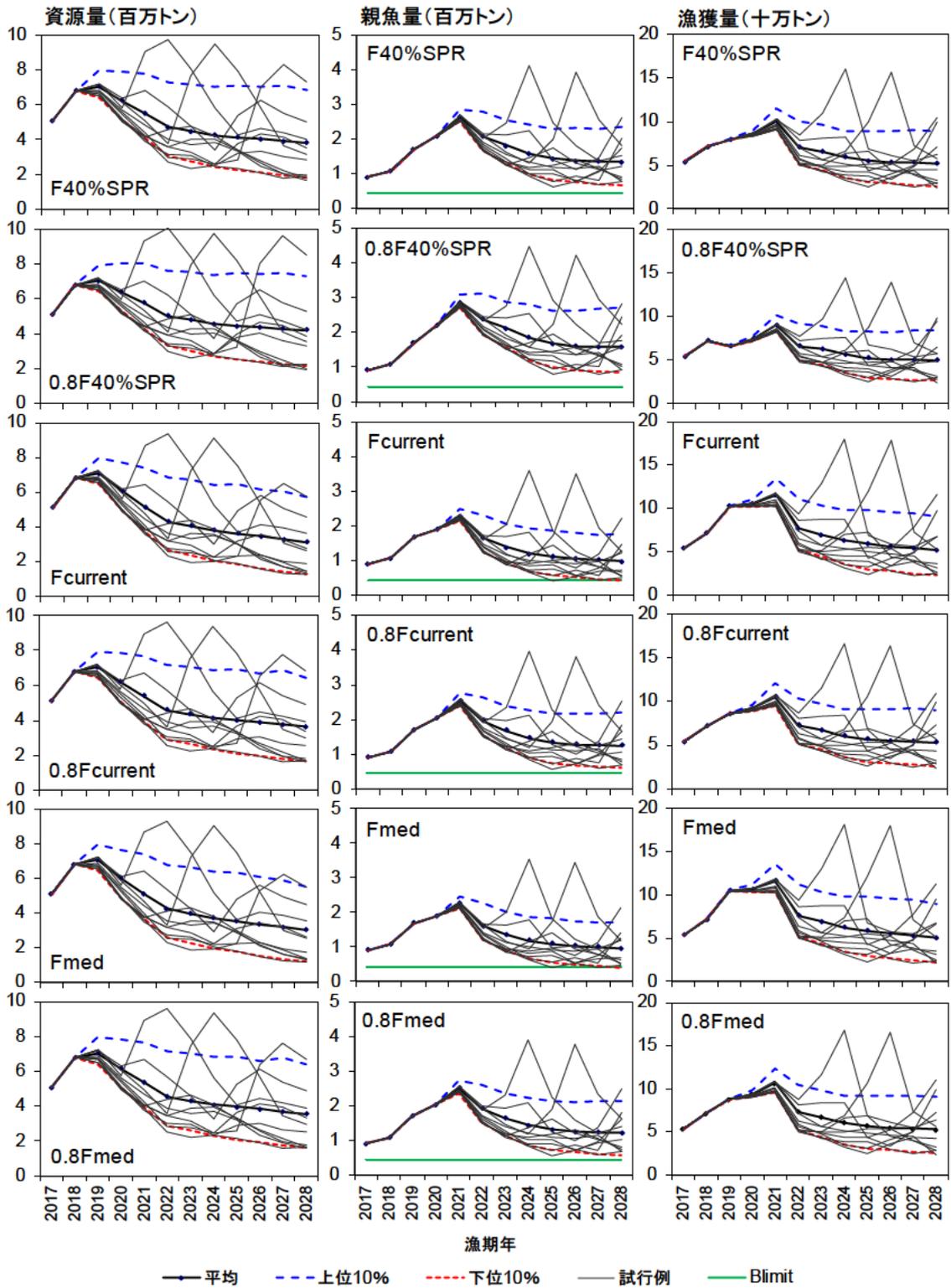


図 19. 各漁獲シナリオでの加入量の不確実性を考慮した資源量、親魚量および漁獲量の将来予測。1,000 回の試行による平均値と上下側 10% の値。灰細線は 1,000 回のうち任意の 10 回の試行を示す。

表 1. 漁業種類・海区別漁獲量 (トン)

漁期年 7月～ 翌年6月	合計	日本 合計	太平洋北・中区					南区 全漁業	
			ロシア	中国	北区 まき網	定置網 等	火光利用 サバ漁業*		中区 まき網
1970	865,471	833,471	32,000	-	733,494	25,319	52,415	4,072	18,171
1971	855,109	793,109	62,000	-	715,905	14,115	31,986	7,253	23,849
1972	845,177	722,572	122,604	-	626,753	12,463	47,507	7,414	28,435
1973	821,531	638,536	182,996	-	527,106	20,188	49,180	7,308	34,753
1974	889,406	649,406	240,000	-	529,706	24,345	47,244	4,535	43,577
1975	896,611	722,805	173,806	-	540,113	46,915	89,945	6,370	39,461
1976	715,078	570,435	144,643	-	345,519	29,261	154,132	5,468	36,055
1977	1,070,984	912,950	158,034	-	722,035	15,933	133,046	9,250	32,686
1978	1,427,837	1,207,487	220,350	-	974,295	17,734	177,393	3,942	34,123
1979	1,275,041	1,104,013	171,028	-	911,006	23,234	130,929	4,347	34,497
1980	637,015	589,399	47,616	-	454,159	15,900	73,075	3,342	42,924
1981	398,394	356,046	42,348	-	298,344	11,811	9,855	4,036	32,001
1982	347,229	317,275	29,954	-	254,320	10,854	35,196	6,325	10,580
1983	378,130	364,628	13,502	-	338,760	8,299	915	6,147	10,506
1984	542,636	513,119	29,517	-	479,173	13,738	4,723	5,473	10,011
1985	422,432	419,724	2,708	-	384,355	5,959	14,196	11,457	3,758
1986	626,925	585,023	41,902	-	540,716	6,263	16,253	12,343	9,448
1987	326,549	305,635	20,914	-	259,765	5,214	21,442	7,658	11,555
1988	258,616	250,914	7,703	-	223,576	5,053	7,095	9,851	5,338
1989	125,291	125,291	-	-	101,051	1,747	8,420	7,610	6,463
1990	27,767	27,767	-	-	7,886	3,615	2,088	6,784	7,395
1991	26,385	26,385	-	-	5,321	1,958	4,924	5,129	9,052
1992	81,493	81,493	-	-	46,727	20,165	2,505	4,766	7,329
1993	397,959	397,959	-	-	348,663	27,732	1,596	15,202	4,766
1994	117,336	117,336	-	-	76,263	23,039	1,757	12,011	4,267
1995	140,569	140,569	-	-	104,151	25,503	1,591	4,862	4,461
1996	269,122	269,122	-	-	217,419	35,861	43	3,655	12,145
1997	318,407	318,407	-	-	275,169	27,874	1,661	9,579	4,124
1998	114,796	114,796	-	-	99,789	10,079	436	3,052	1,440
1999	76,512	76,512	-	-	51,193	18,581	43	3,515	3,181
2000	91,192	91,192	-	-	72,102	15,236	0	2,275	1,579
2001	52,896	52,896	-	-	40,432	8,616	0	1,390	2,458
2002	46,745	46,745	-	-	35,753	8,492	44	1,476	979
2003	75,559	75,559	-	-	48,429	21,822	84	920	4,304
2004	181,144	181,144	-	-	143,135	29,665	189	6,257	1,898
2005	226,256	226,256	-	-	193,026	27,596	388	1,769	3,477
2006	245,091	245,091	-	-	202,515	35,291	2,950	2,492	1,842
2007	188,373	188,373	-	-	151,563	31,996	721	1,690	2,402
2008	176,360	176,360	-	-	144,864	25,159	1,065	2,701	2,571
2009	130,228	130,228	-	-	106,561	12,442	939	5,792	4,494
2010	127,877	127,877	-	-	103,747	14,642	2,540	4,127	2,821
2011	102,020	102,020	-	-	78,163	5,369	2,772	13,048	2,668
2012	125,645	125,645	-	-	102,865	7,611	2,105	9,020	4,044
2013	220,671	220,671	-	-	191,576	7,730	2,766	16,018	2,581
2014	301,802	282,318	36	19,449	233,560	23,936	2,939	17,620	4,263
2015	452,584	329,777	423	122,384	289,416	15,689	4,506	17,294	2,872
2016	479,964	330,051	9,101	140,812	262,463	39,720	1,605	18,130	8,133
2017	537,628	330,639	53,135	153,854	240,682	37,916	2,910	25,548	23,582

2014年以降のロシアおよび中国の漁獲量は推定値。

*火光利用サバ漁業：たもすくい、棒受網。

表 2. コホート計算結果

漁期年	漁獲量 (千トン)	資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	加入量 (百万尾)	漁獲割合 (%)	再生産成功率 (尾/kg)
1970	865	2,938	657	9,998	29	15.2
1971	855	3,737	807	14,084	23	17.5
1972	845	4,454	741	8,345	19	11.3
1973	822	4,171	981	6,958	20	7.1
1974	889	3,917	1,296	7,462	23	5.8
1975	897	3,391	1,164	10,095	26	8.7
1976	715	3,803	1,188	14,344	19	12.1
1977	1,071	4,699	1,341	10,460	23	7.8
1978	1,428	4,826	1,401	7,283	30	5.2
1979	1,275	3,276	1,337	3,291	39	2.5
1980	637	1,932	1,079	3,302	33	3.1
1981	398	1,810	737	3,725	22	5.1
1982	347	1,706	567	3,084	20	5.4
1983	378	1,464	514	3,397	26	6.6
1984	543	1,816	595	3,805	30	6.4
1985	422	1,713	496	5,410	25	10.9
1986	627	1,455	371	1,962	43	5.3
1987	327	909	343	630	36	1.8
1988	259	558	314	263	46	0.8
1989	125	295	175	199	42	1.1
1990	28	215	97	342	13	3.5
1991	26	320	74	965	8	13.0
1992	81	665	87	2,581	12	29.5
1993	398	705	114	565	56	4.9
1994	117	332	105	536	35	5.1
1995	141	350	94	1,126	40	12.0
1996	269	705	57	4,321	38	75.4
1997	318	628	54	489	51	9.1
1998	115	288	98	176	40	1.8
1999	77	235	96	504	33	5.3
2000	91	225	64	514	41	8.1
2001	53	153	63	276	35	4.4
2002	47	228	44	1,071	20	24.5
2003	76	252	60	545	30	9.0
2004	181	763	132	4,001	24	30.2
2005	226	849	89	666	27	7.5
2006	245	752	296	418	33	1.4
2007	188	578	241	1,634	33	6.8
2008	176	489	151	563	36	3.7
2009	130	527	131	1,691	25	12.9
2010	128	661	116	1,204	19	10.4
2011	102	812	202	1,045	13	5.2
2012	126	1,051	292	2,600	12	8.9
2013	221	3,046	332	16,911	7	51.0
2014	302	3,141	417	3,652	10	8.8
2015	453	2,966	600	6,045	15	10.1
2016	480	3,897	1,071	18,857	12	17.6
2017	538	5,091	906	11,842	11	13.1

表 3. 2018 年漁期以降の資源尾数等

2018 年漁期は $F_{current}$ (2015~2017 年漁期の平均) を仮定し、2019 年漁期以降は親魚量の増大 ($F_{40\%SPR}$)、現状の漁獲圧の維持 ($F_{current}$)、親魚量の維持 (F_{med}) およびそれぞれのシナリオの予防的措置を講じた F で漁獲した場合に予測される 2018~2024 年漁期の年齢別漁獲係数、資源尾数、資源量、漁獲尾数、漁獲量。

表 3-1. $F_{40\%SPR}$ 、 $0.8F_{40\%SPR}$ の場合

年齢別漁獲係数 (F)		$F_{40\%SPR}$							$0.8F_{40\%SPR}$						
年齢\漁期年		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0歳		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1歳		0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
2歳		0.22	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16	0.22	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
3歳		0.68	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.68	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
4歳		0.48	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35	0.48	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
5歳		0.61	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.61	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
6歳以上		0.61	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.45	0.61	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
平均		0.38	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.38	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22

年齢別資源尾数 (百万尾)		$F_{40\%SPR}$							$0.8F_{40\%SPR}$						
年齢\漁期年		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0歳		24,302	8,006	8,006	8,006	8,006	8,006	8,006	24,302	8,006	8,006	8,006	8,006	8,006	8,006
1歳		7,863	16,167	5,337	5,337	5,337	5,337	5,337	7,863	16,167	5,343	5,343	5,343	5,343	5,343
2歳		8,304	5,005	10,437	3,445	3,445	3,445	3,445	8,304	5,005	10,516	3,475	3,475	3,475	3,475
3歳		1,515	4,480	2,864	5,971	1,971	1,971	1,971	1,515	4,480	2,956	6,210	2,052	2,052	2,052
4歳		163	512	1,823	1,165	2,429	802	802	163	512	2,014	1,329	2,792	923	923
5歳		327	68	241	859	549	1,145	378	327	68	259	1,019	672	1,412	467
6歳以上		42	134	87	141	429	420	672	42	134	95	166	556	576	933
計		42,516	34,372	28,793	24,923	22,166	21,125	20,610	42,516	34,372	29,187	25,546	22,895	21,786	21,197

年齢別資源量 (千トン)		$F_{40\%SPR}$							$0.8F_{40\%SPR}$						
年齢\漁期年		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0歳		2,292	755	755	755	755	755	755	2,292	755	755	755	755	755	755
1歳		1,588	3,266	1,078	1,078	1,078	1,078	1,078	1,588	3,266	1,079	1,079	1,079	1,079	1,079
2歳		2,188	1,319	2,750	908	908	908	908	2,188	1,319	2,771	916	916	916	916
3歳		479	1,417	905	1,888	623	623	623	479	1,417	935	1,964	649	649	649
4歳		57	179	636	407	848	280	280	57	179	703	464	974	322	322
5歳		173	36	128	455	291	606	200	173	36	137	539	356	747	247
6歳以上		27	87	56	91	277	271	434	27	87	61	107	359	372	602
計		6,805	7,058	6,309	5,581	4,780	4,521	4,278	6,805	7,058	6,441	5,824	5,088	4,840	4,570
親魚量		1,078	1,698	2,094	2,644	2,096	1,837	1,594	1,078	1,698	2,203	2,864	2,391	2,143	1,873

年齢別漁獲尾数 (百万尾)		$F_{40\%SPR}$							$0.8F_{40\%SPR}$						
年齢\漁期年		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0歳		150	36	36	36	36	36	36	150	29	29	29	29	29	29
1歳		324	489	161	161	161	161	161	324	393	130	130	130	130	130
2歳		1,327	600	1,252	413	413	413	413	1,327	488	1,025	339	339	339	339
3歳		615	1,442	922	1,921	634	634	634	615	1,208	797	1,674	553	553	553
4歳		51	124	443	283	590	195	195	51	103	405	267	561	185	185
5歳		122	20	71	253	162	337	111	122	17	64	250	165	347	115
6歳以上		16	39	25	41	126	124	198	16	33	23	41	136	141	229
計		2,605	2,751	2,910	3,110	2,124	1,901	1,749	2,605	2,270	2,472	2,730	1,913	1,724	1,580

年齢別漁獲量 (千トン)		$F_{40\%SPR}$							$0.8F_{40\%SPR}$						
年齢\漁期年		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0歳		14	3	3	3	3	3	3	14	3	3	3	3	3	3
1歳		65	99	33	33	33	33	33	65	79	26	26	26	26	26
2歳		350	158	330	109	109	109	109	350	129	270	89	89	89	89
3歳		194	456	291	608	201	201	201	194	382	252	529	175	175	175
4歳		18	43	155	99	206	68	68	18	36	141	93	196	65	65
5歳		65	11	38	134	86	178	59	65	9	34	132	87	183	61
6歳以上		10	25	16	27	82	80	128	10	21	15	26	88	91	148
計		716	796	866	1,012	719	672	600	716	659	741	899	664	633	566
漁獲割合		11%	11%	14%	18%	15%	15%	14%	11%	9%	12%	15%	13%	13%	12%

表 3-2. Fcurrent、0.8Fcurrent の場合

年齢別漁獲係数 (F)		Fcurrent							0.8Fcurrent						
年齢\漁期年		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0歳		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
1歳		0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
2歳		0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17	0.17
3歳		0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.68	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55	0.55
4歳		0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39
5歳		0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
6歳以上		0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.61	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
平均		0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.38	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30

年齢別資源尾数 (百万尾)		Fcurrent							0.8Fcurrent						
年齢\漁期年		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0歳		24,302	8,006	8,006	8,006	8,006	8,006	8,006	24,302	8,006	8,006	8,006	8,006	8,006	8,006
1歳		7,863	16,167	5,326	5,326	5,326	5,326	5,326	7,863	16,167	5,334	5,334	5,334	5,334	5,334
2歳		8,304	5,005	10,292	3,390	3,390	3,390	3,390	8,304	5,005	10,399	3,431	3,431	3,431	3,431
3歳		1,515	4,480	2,700	5,552	1,829	1,829	1,829	1,515	4,480	2,820	5,859	1,933	1,933	1,933
4歳		163	512	1,515	913	1,877	618	618	163	512	1,737	1,093	2,271	749	749
5歳		327	68	212	626	378	776	256	327	68	233	791	498	1,035	341
6歳以上		42	134	73	104	266	234	368	42	134	83	130	379	361	574
計		42,516	34,372	28,123	23,917	21,071	20,179	19,792	42,516	34,372	28,611	24,644	21,851	20,848	20,367

年齢別資源量 (千トン)		Fcurrent							0.8Fcurrent						
年齢\漁期年		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0歳		2,292	755	755	755	755	755	755	2,292	755	755	755	755	755	755
1歳		1,588	3,266	1,076	1,076	1,076	1,076	1,076	1,588	3,266	1,078	1,078	1,078	1,078	1,078
2歳		2,188	1,319	2,712	893	893	893	893	2,188	1,319	2,740	904	904	904	904
3歳		479	1,417	854	1,756	578	578	578	479	1,417	892	1,853	611	611	611
4歳		57	179	529	319	655	216	216	57	179	606	382	793	261	261
5歳		173	36	112	332	200	411	135	173	36	123	419	264	548	181
6歳以上		27	87	47	67	172	151	237	27	87	54	84	244	233	370
計		6,805	7,058	6,085	5,197	4,329	4,081	3,891	6,805	7,058	6,248	5,474	4,649	4,390	4,160
親魚量		1,078	1,698	1,914	2,300	1,668	1,419	1,230	1,078	1,698	2,045	2,547	1,971	1,712	1,482

年齢別漁獲尾数 (百万尾)		Fcurrent							0.8Fcurrent						
年齢\漁期年		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0歳		150	50	50	50	50	50	50	150	40	40	40	40	40	40
1歳		324	666	219	219	219	219	219	324	536	177	177	177	177	177
2歳		1,327	800	1,645	542	542	542	542	1,327	653	1,358	448	448	448	448
3歳		615	1,818	1,096	2,253	742	742	742	615	1,547	974	2,023	667	667	667
4歳		51	161	475	286	589	194	194	51	134	456	287	596	197	197
5歳		122	25	79	234	141	291	96	122	21	74	250	158	328	108
6歳以上		16	50	27	39	99	88	138	16	42	26	41	120	114	182
計		2,605	3,570	3,591	3,623	2,382	2,125	1,980	2,605	2,973	3,103	3,265	2,205	1,970	1,818

年齢別漁獲量 (千トン)		Fcurrent							0.8Fcurrent						
年齢\漁期年		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0歳		14	5	5	5	5	5	5	14	4	4	4	4	4	4
1歳		65	135	44	44	44	44	44	65	108	36	36	36	36	36
2歳		350	211	433	143	143	143	143	350	172	358	118	118	118	118
3歳		194	575	346	712	235	235	235	194	489	308	640	211	211	211
4歳		18	56	166	100	205	68	68	18	47	159	100	208	69	69
5歳		65	13	42	124	75	154	51	65	11	39	133	83	173	57
6歳以上		10	32	18	25	64	57	89	10	27	17	27	77	74	117
計		716	1,027	1,054	1,153	771	704	634	716	859	920	1,056	737	684	611
漁獲割合		11%	15%	17%	22%	18%	17%	16%	11%	12%	15%	19%	16%	16%	15%

表 3-3. Fmed、0.8Fmed の場合

年齢別漁獲係数 (F)		Fmed							0.8Fmed						
年齢\漁期年		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0歳		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
1歳		0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
2歳		0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.22	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18	0.18
3歳		0.68	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70	0.68	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
4歳		0.48	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.48	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
5歳		0.61	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.61	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
6歳以上		0.61	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.63	0.61	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
平均		0.38	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.39	0.38	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31

年齢別資源尾数 (百万尾)															
年齢\漁期年		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0歳		24,302	8,006	8,006	8,006	8,006	8,006	8,006	24,302	8,006	8,006	8,006	8,006	8,006	8,006
1歳		7,863	16,167	5,325	5,325	5,325	5,325	5,325	7,863	16,167	5,333	5,333	5,333	5,333	5,333
2歳		8,304	5,005	10,277	3,385	3,385	3,385	3,385	8,304	5,005	10,386	3,426	3,426	3,426	3,426
3歳		1,515	4,480	2,684	5,510	1,815	1,815	1,815	1,515	4,480	2,806	5,823	1,921	1,921	1,921
4歳		163	512	1,485	890	1,827	602	602	163	512	1,710	1,071	2,223	733	733
5歳		327	68	209	606	363	745	245	327	68	231	770	483	1,001	330
6歳以上		42	134	72	101	253	220	345	42	134	82	127	364	343	545
計		42,516	34,372	28,057	23,821	20,972	20,096	19,722	42,516	34,372	28,554	24,556	21,754	20,763	20,294

年齢別資源量 (千トン)															
年齢\漁期年		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0歳		2,292	755	755	755	755	755	755	2,292	755	755	755	755	755	755
1歳		1,588	3,266	1,076	1,076	1,076	1,076	1,076	1,588	3,266	1,077	1,077	1,077	1,077	1,077
2歳		2,188	1,319	2,708	892	892	892	892	2,188	1,319	2,737	903	903	903	903
3歳		479	1,417	849	1,742	574	574	574	479	1,417	887	1,841	607	607	607
4歳		57	179	518	310	637	210	210	57	179	597	374	776	256	256
5歳		173	36	111	321	192	394	130	173	36	122	408	255	530	175
6歳以上		27	87	47	65	163	142	223	27	87	53	82	235	222	352
計		6,805	7,058	6,063	5,161	4,289	4,043	3,859	6,805	7,058	6,228	5,440	4,608	4,350	4,125
親魚量		1,078	1,698	1,896	2,268	1,630	1,384	1,200	1,078	1,698	2,029	2,517	1,932	1,674	1,449

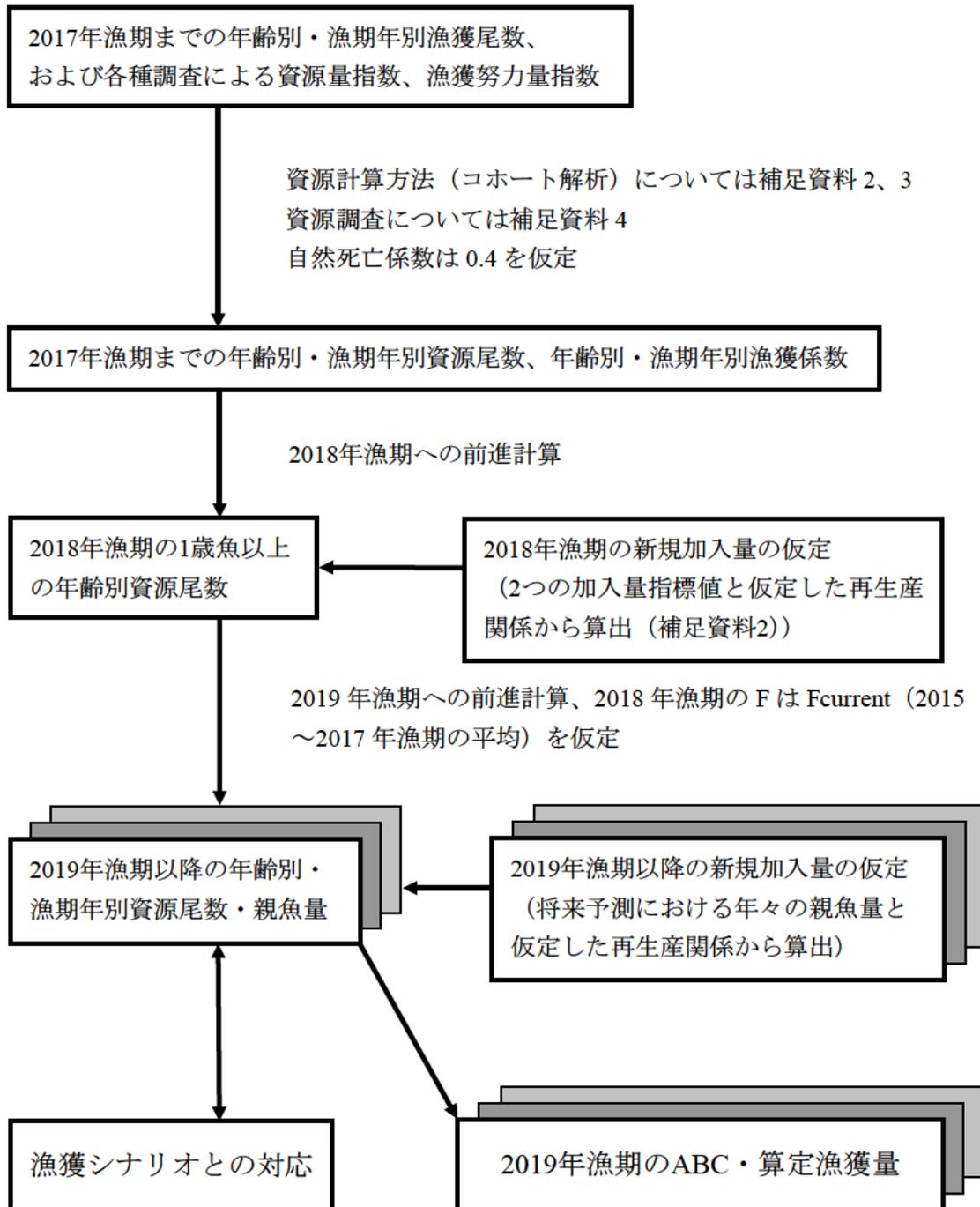
年齢別漁獲尾数 (百万尾)															
年齢\漁期年		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0歳		150	51	51	51	51	51	51	150	41	41	41	41	41	41
1歳		324	685	225	225	225	225	225	324	551	182	182	182	182	182
2歳		1,327	820	1,684	555	555	555	555	1,327	670	1,391	459	459	459	459
3歳		615	1,854	1,110	2,280	751	751	751	615	1,579	989	2,053	677	677	677
4歳		51	164	476	285	585	193	193	51	137	459	287	597	197	197
5歳		122	26	80	231	139	285	94	122	22	75	249	156	324	107
6歳以上		16	51	28	38	96	84	132	16	43	26	41	118	111	176
計		2,605	3,651	3,654	3,666	2,402	2,143	2,000	2,605	3,044	3,163	3,312	2,229	1,990	1,838

年齢別漁獲量 (千トン)															
年齢\漁期年		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
0歳		14	5	5	5	5	5	5	14	4	4	4	4	4	4
1歳		65	138	46	46	46	46	46	65	111	37	37	37	37	37
2歳		350	216	444	146	146	146	146	350	177	367	121	121	121	121
3歳		194	586	351	721	237	237	237	194	499	313	649	214	214	214
4歳		18	57	166	99	204	67	67	18	48	160	100	208	69	69
5歳		65	14	42	123	73	151	50	65	12	40	132	83	171	57
6歳以上		10	33	18	25	62	54	85	10	28	17	26	76	72	114
計		716	1,049	1,071	1,164	774	706	636	716	879	937	1,069	742	687	615
漁獲割合		11%	15%	18%	23%	18%	17%	16%	11%	12%	15%	20%	16%	16%	15%

表 4. ABC 算定および将来予測における各年齢の体重、成熟割合

項目\年齢	0歳	1歳	2歳	3歳	4歳	5歳	6歳以上
体重 (g)	94	202	264	316	349	529	645
成熟割合 (%)	0	0	20	80	100	100	100

補足資料1 資源評価の流れ



補足資料 2 資源計算方法

Pope (1972) の近似式を用いたコホート解析により年齢別資源尾数・重量、漁獲係数、漁獲量を推定した (補足資料 7)。7 月～翌年 6 月の漁期年単位とし、親魚は 6 月に産卵、子は 7 月に漁獲加入し、漁期の中央 (12 月) に漁獲されると仮定した。自然死亡係数 (M) は本間ほか (1987) に基づき 0.4/年とした。年齢別漁獲尾数は、宮崎県～北海道太平洋側における主要漁業および外国による漁獲物について求めた。2014 年以降の中国およびロシアの漁獲物の年齢組成は、中国およびロシア漁船が操業している海域に最も近い海域で操業している、太平洋北部まき網の 7～12 月の漁獲物の年齢組成と同じと仮定した。6 歳以上はまとめて 6+歳 (プラスグループ) とした。プラスグループの計算については平松 (1999) の方法を用いた。

年齢別年別資源尾数を (1～3) 式により計算した。

$$N_{a,y} = N_{a+1,y+1} \exp(M) + C_{a,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad \text{※} a \leq 4 \text{ の場合} \quad (1)$$

$$N_{5,y} = \frac{C_{5,y}}{C_{5,y} + C_{6+,y}} N_{6+,y} \exp(M) + C_{5,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (2)$$

$$N_{6+,y} = \frac{C_{6+,y}}{C_{5,y} + C_{6+,y}} N_{6+,y} \exp(M) + C_{6+,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (3)$$

ここで $N_{a,y}$ は y 年における a 歳魚の資源尾数、 $C_{a,y}$ は y 年 a 歳魚の漁獲尾数である。最近年 (2017 年) の年齢別資源尾数は最近年の漁獲係数 $F_{a,2017}$ (ターミナル F) を用いて (4) 式より計算した。

$$N_{a,2017} = \frac{C_{a,2017} \exp\left(\frac{M}{2}\right)}{1 - \exp(-F_{a,2017})} \quad (4)$$

ターミナル F 以外の漁獲係数 F は (5) 式によった。

$$F_{a,y} = -\ln \left\{ 1 - \frac{C_{a,y}}{N_{a,y}} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \right\} \quad (5)$$

$F_{a,y}$ は y 年における a 歳魚の漁獲係数である。プラスグループの F は全ての年で最高齢-1 歳の F と等しいとした (平松 1999、(6) 式)。

$$F_{6+,y} = F_{5,y} \quad (6)$$

最近年の 0～5 歳の F ($F_{0,2017} \sim F_{5,2017}$) をチューニングによって探索的に求めた。チューニングには、加入量および親魚量を反映すると考える 4 系列の指標値 (補足表 2-1) を用いた。ターミナル F の推定値を安定化させるために、リッジ VPA (Okamura et al. 2017) をコホート解析に適用した。これは (7) 式で表されるように負の対数尤度にペナルティ項を

加えた関数を最小化することでターミナル F を求める手法である。

$$\text{最小} \quad \sum_{k=1}^4 \sum_y \left[\frac{\ln(2\pi\sigma_k^2)}{2} + \frac{\{\ln(I_{k,y}) - \ln(q_k X_{k,y}^{b_k})\}^2}{2\sigma_k^2} \right] + \lambda \sum_{a=0}^5 F_{a,2017}^2 \quad (7)$$

λ はリッジ回帰におけるペナルティの大きさを表し、0 から 1 の間の値をとる。 σ_k^2 は指標 k の分散を、 $I_{k,y}$ は指標 k の y 年の値をそれぞれ表す。 q_k は指標 k の比例定数であり、 $X_{k,y}$ はコホート解析から計算される y 年における指標 k の対象（加入量、親魚量）の値であり、 b_k は指標値と VPA の推定値の関係における非線形性を表す係数である。加入量の指標である、北西太平洋北上期浮魚類資源調査の中層トロール 0 歳魚標準化 CPUE（以下、北上期標準化 CPUE）（ $k=1$ ）と北西太平洋秋季浮魚類資源調査の中層トロール 0 歳魚標準化 CPUE（秋季標準化 CPUE）（ $k=2$ ）については、非線形性（ $b_k \neq 1$ ）と観察誤差が等しいこと（ $\sigma_1^2 = \sigma_2^2$ ）を仮定し、 b_k 、 q_k および σ_k^2 はそれぞれ以下の（8~10）式で推定した。

$$b_k = \frac{\text{Cov}[\ln(I_k), \ln(X_k)]}{V[\ln(X_k)]} \quad k=1, 2 \quad (8)$$

$$q_k = \exp \left\{ \frac{1}{n_k} \sum_y \ln \left(\frac{I_{k,y}}{X_y^{b_k}} \right) \right\} \quad (9)$$

$$\sigma_1^2 = \sigma_2^2 = \frac{1}{\sum_{k=1}^2 n_k} \sum_{k=1}^2 \sum_y \{\ln(I_{k,y}) - \ln(q_k X_{k,y}^{b_k})\}^2 \quad (10)$$

ここで、 V と Cov はそれぞれ分散と共分散であり、 n_k は指標 k でチューニングに使用した年数を表す。たもすくい標準化 CPUE（ $k=3$ ）と産卵量（ $k=4$ ）については、親魚量とおおよそ比例関係を示したため、 $b_k = 1$ に固定し、 q_k は式（9）で、 σ_k^2 は以下の式で推定した：

$$\sigma_k^2 = \frac{1}{n_k} \sum_y \{\ln(I_{k,y}) - \ln(q_k X_{k,y}^{b_k})\}^2 \quad k=3, 4 \quad (11)$$

各指標の推定された σ_k 、 q_k および b_k の値を補足表 2-1 に示す。リッジペナルティについては、最高齢を除く 0 歳から 5 歳までの漁獲係数 F の平均値の過去 7 年間のレトロスペクティブバイアス（Mohn's ρ 、Mohn 1999）が最小となる値（ $\lambda = 0.68$ ）を使用した。

資源尾数の予測は、本文 4-（8）の通り加入量を仮定し、5-（2）の通り各漁獲シナリオに対応した F を設定し、（12）式によって計算した。

$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \exp(-F_{a,y} - M) \quad \text{※} a \leq 4 \text{ の場合} \quad (12a)$$

$$N_{6+,y+1} = (N_5 + N_{6+}) \exp(-F_{5,y} - M) \quad (12b)$$

漁獲尾数は (13) 式によった。

$$C_{a,y} = N_{a,y} \exp\left(-\frac{M}{2}\right) \{1 - \exp(-F_{a,y})\} \quad (13)$$

これらに年齢別の平均体重 (表 4) を乗じて資源量、漁獲量 (ABC) を得た。

昨年度までは将来予測における加入量を RPS 中央値に予測親魚量に乗じた値とし、親魚量が過去最高値 (140 万トン) を超える場合には親魚量一定、つまり折れ点が過去最高親魚量となる Hockey-stick 型に基づいて予測していたが、昨年度評価では 2023 年までのすべてのシナリオの将来予測において親魚量が過去最高値を超えることはなかった。しかし、今年度評価では 2019 年には親魚量が過去最高値を超える予測となったため、加入量の設定について再検討する必要があると判断した。その結果、今年度評価では 1970 年から 2017 年までの親魚量と加入量に Hockey-stick 型の再生産関係を最小二乗法により当てはめることが妥当と判断し (図 14)、その結果に基づいて加入量の将来予測を行った。

また、評価当年 (2018 年) の加入量の予測については、再生産関係からの予測値を、ベイズの定理を利用し、調査で得られる直近の加入量指標値の結果で更新した値を以下のように求めた。まず、推定された Hockey-stick 型の再生産関係と 2018 年の親魚量から、2018 年の加入量 (R_{2018}) の事前分布を設定した：

$$\ln(R_{2018}) \sim \text{Normal}(\ln(\hat{R}_0), \hat{\sigma}_0^2) \quad (14)$$

ただし、 $\hat{R}_0 = 80.1$ 億尾、 $\hat{\sigma}_0^2 = 0.88^2$ である。さらに、チューニング指数として用いている 2 つの加入量指標 (北上期標準化 CPUE、秋季標準化 CPUE) の 2018 年の指標値の尤度は以下の式で与えられる：

$$\ln(I_{k,2018}) \sim \text{Normal}\left(\ln(\hat{q}_k R_{2018}^{\hat{b}_k}), \hat{\sigma}_k^2\right) \quad k = 1, 2 \quad (15)$$

この式の値は補足表 2-1 の通りである。このとき、事後確率を最大にする 2018 年の加入量予測値は、以下の式の重みづけ平均で与えられる (Gelman et al. 1995)。

$$\ln(\hat{R}_{2018}) = \frac{\hat{w}_0 \ln(\hat{R}_0) + \hat{w}_1 \ln(\hat{R}_1) + \hat{w}_2 \ln(\hat{R}_2)}{\hat{w}_0 + \hat{w}_1 + \hat{w}_2} \quad (16)$$

ただし、 \hat{w}_k は事前分布 ($k=0$) と各データの重み ($k=1,2$) を表しており、 $\hat{w}_k = 1/\hat{\sigma}_k^2$ である ($\hat{w}_0 = 1.20$, $\hat{w}_1 = \hat{w}_2 = 1.28$)。 \hat{R}_k ($k=1,2$) は各指標値から求められる 2018 年加入量の予測値であり、 $\hat{R}_k = (I_{k,2018}/\hat{q})^{\frac{1}{\hat{b}_k}}$ で与えられる (北上期標準化 CPUE では 376.9 億尾、秋季標準化 CPUE では 511.5 億尾)。式 (16) から、重みづけ幾何平均 $\hat{R}_{2018} = 243.0$ 億尾を求め、2018 年の加入量の予測値とした。このような再生産関係も考慮した資源量推定が可能なモデルとして、状態空間資源評価モデルによる試算を行った (補足資料 6)。

引用文献

Gelman, A., J. B. Carlin, H. S. Stern and D. B. Rubin (1995) Bayesian Data Analysis, Chapman & Hall/CRC.

平松一彦 (1999) VPA の入門と実際. 水産資源管理談話会報, **20**, 9-28.

本間 操・佐藤祐二・宇佐美修造 (1987) コホート解析によるマサバ太平洋系群の資源量推定. 東海水研報, **121**, 1-11.

Mohn, R. (1999) The retrospective problem in sequential population analysis: an investigation using cod fishery and simulated data. ICES J. Mar. Sci., **56**: 473-488.

Okamura, H., Y. Yamashita and M. Ichinokawa (2017) Ridge virtual population analysis to reduce the instability of fishing mortalities in the terminal year. ICES J. Mar. Sci., **74**. 2427-2436.

Pope, J. G. (1972) An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. Res. Bull. int. comm. Northw. Atlant. Fish., **9**, 65-74.

補足表 2-1. チューニングに用いた指標値とパラメータ推定値

指標値	①	①'	②	②'	③	③'	④
対象	N ₀		N ₀		SSB		SSB
2002	3.0	6.1					
2003	31.7	15.5			5.5	8.2	
2004	172.9	213.1			4.5	5.7	
2005	20.8	13.2	23.6	16.8	3.3	3.5	
2006	0.3	0.6	0.8	2.1	25.5	33.2	
2007	296.3	129.0	10.0	6.5	86.6	108.1	334.9
2008	53.3	20.5	9.7	7.3	48.2	30.6	81.7
2009	43.5	19.8	60.7	42.4	57.2	44.5	75.0
2010	26.3	22.4	16.9	16.3	54.5	47.2	164.3
2011	5.4	2.4	4.5	3.0	116.2	87.7	145.5
2012	58.6	36.9	18.2	20.8	120.5	80.3	271.7
2013	2073.9	1744.3	1419.4	1339.6	131.9	119.8	264.3
2014	20.1	13.2	95.1	67.4	110.9	114.5	152.4
2015	49.0	203.6	169.0	197.8	120.3	120.4	145.7
2016	889.4	961.5	1339.5	1311.8	172.5	183.1	102.8
2017	736.6	736.5	645.0	371.3	82.7	100.3	367.4
2018	3259.9	3487.6	6141.0	4849.5	142.1	159.9	600.7
q	2.39E-04		1.73E-04		0.19		0.53
b	1.57		1.58		1.00*		1.00*
σ	0.91		0.91		0.73		0.67

① 北西太平洋北上期浮魚類資源調査による中層トロール0歳魚 CPUE (尾/網/60分)

② 北西太平洋秋季浮魚類資源調査による中層トロール0歳魚 CPUE (尾/網/60分)

③ 伊豆諸島海域たもすくい漁業 CPUE (kg/人/時)

④ 海区 I~IV (太平洋全域) の産卵量 (兆粒)

①②③は標準化 (補足資料 3) を行い、標準化後の値 (①' ②' ③') をチューニング指数に用いた。

* b = 1 に固定

補足資料3 CPUE 標準化の手法

北西太平洋北上期浮魚類資源調査による中層トロール0歳魚CPUE(以下、北上期CPUE)、北西太平洋秋季浮魚類調査による中層トロール0歳魚CPUE(以下、秋季CPUE)、伊豆諸島海域たもすくい漁業CPUE(以下、たもすくいCPUE)の3つの資源量指標値の標準化を行った。最初の2つは加入量の指標値であり、たもすくいCPUEは親魚量の指標値である。なお、チューニングにはこれらの指標値のほかに産卵量も用いているが、産卵調査は決められたデザインに基づいて実施されており、環境要因や地理的要因によって採集効率に変化することは考えにくい。そのため、産卵量の標準化は行わなかった。以下では、(1)北上期CPUEおよび秋季CPUEの標準化、(2)たもすくいCPUEの標準化の2つに分けて説明する。

(1) 北上期CPUEおよび秋季CPUEの標準化

北太平洋北上期浮魚類資源調査と北太平洋秋季浮魚類資源調査における中層トロール0歳魚CPUE(尾/時)のデータを用いたCPUEの標準化を行った。両調査はともに2001年から開始されているが、解析にはおおよその調査範囲が一致している2002~2018年(北上期CPUE)および2005~2018年(秋季CPUE)の期間を使用した。また、北上期CPUEについては、解析対象の期間を通じて有漁データのない西経175度以東、北緯32.5度以南、北緯45度以北のデータを以降の解析から除いた。秋季CPUEについても同様に、解析対象期間において有漁データのない東経175度以東、北緯35.0度以南、北緯50.0度以北のデータを解析から除外した。

このデータにおけるCPUEは0以上の連続値であるためdelta-GLM(Lo et al. 1992)を適用した。これは、有漁となる確率を予測するモデルと、有漁となる場合のCPUEを予測するモデルの2つを別々に解析する手法である。前者のモデルの誤差分布には二項分布を使用し(logitリンク)、後者にはガンマ分布(logリンク)を用いた。

CPUEを予測する説明変数として、北上期CPUEでは、年(カテゴリカル変数)・海区(カテゴリカル変数)・年と海区の交互作用・調査時の表面海水温(連続変数)・表面海水温の2乗項・調査時の水深50mの水温・水深50mの水温の二乗項・表面海水温と水深50mの水温の交互作用を使用した。秋季CPUEでは、年(カテゴリカル変数)・海区(カテゴリカル変数)・年と海区の交互作用・調査時の表面海水温(連続変数)・表面海水温の二乗項・調査時の水深30mの水温・水深30mの水温の二乗項・表面海水温と水深30mの水温の交互作用を使用した。海区の設定にはGLM-tree(Ichinokawa and Brodziak 2010)を適用した。これは、統計的な予測力が高くなるように海区分けを順々に行う手法である。今回は調査範囲を2.5度グリッドに分け、二項分布モデルとガンマ分布モデルにおける海区が共通すると仮定し、BICが最小になるまで海区分けを行った。二項分布モデル、ガンマ分布モデルのそれぞれにおいて各変数の有無を変えた総当たりのモデル選択を行い、BICが最小となるものをベストモデルとして採用した。

解析の結果、北上期CPUEの有漁確率を予測する変数としては年・海区・表面海水温・表面海水温の二乗項が選ばれ、有漁時のCPUEを予測する変数としては年と海区のみが選択された。海区は4区に分かれた。秋季CPUEの有漁確率を予測する変数としては年と海区と水深30mの水温・水深30mの水温の二乗項が選ばれ、有漁時のCPUEを予測する変

数としては年と海区が選択された。海区は4区に分かれた。

ベストモデルの推定結果から資源量指数を算出した。まず、各年・各海区・各海水温・水深30mの各水温（秋季のみ）のCPUEの予測値を求めた。連続変数である海水温および水深30mの水温に関しては、データの最小値と最大値の範囲を細かく分割した値について、予測CPUEを計算した。次に、各年・各海区におけるCPUEの予測値を平均した。最後に、各海区の面積で重みづけ平均した予測CPUEを年ごとに算出し、資源量指標値とした。標準化CPUEはノミナル（単純平均）CPUEをおおむね似た傾向を示した（補足図3-1）。北上期標準化CPUEでは、2018年が最も高く、次いで2013年の値が高かった。秋季標準化CPUEにおいても、2018年が最も高く、次いで2013年と2016年と同程度に高かった。

(2) たもすくいCPUEの標準化

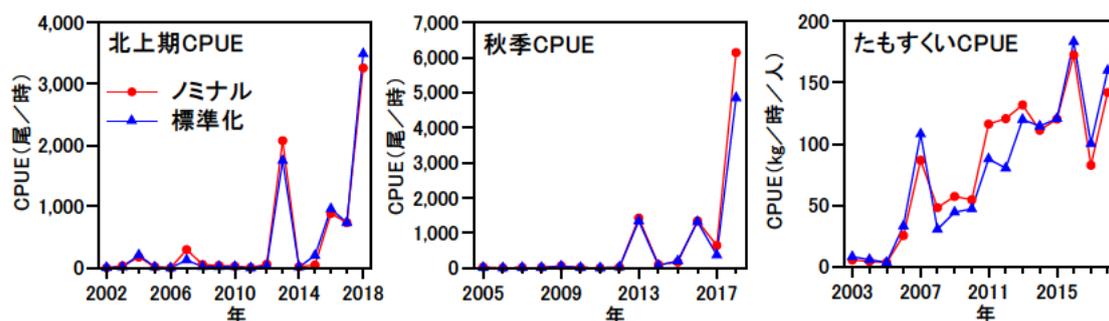
昨年度に使用した神奈川県のともすくい漁業のデータ（2003～2018年）に加え、静岡県（2014～2018年）のデータも使用した。たもすくいCPUE（kg/時間/人）のデータも0以上の連続値であるため、delta-GLM（Lo et al. 1992）を適用した。上と同様に、誤差分布には二項分布（logitリンク）とガンマ分布（logリンク）を使用した。利用可能な2003～2018年の期間における、本系群の産卵期である1～6月のデータを使用した。

CPUEを予測する説明変数として、年（カテゴリカル変数）・海区（カテゴリカル変数）・操業時の表面海水温（連続変数）・表面海水温の二乗項・月（カテゴリカル変数）・船（カテゴリカル変数）・県（カテゴリカル変数）を使用した。海区はデータに記録されているカテゴリと緯度経度情報に基づき7区に分けたものを使用した。二項分布モデル、ガンマ分布モデルそれぞれについて、各変数の有無を変えた総当たりのモデル選択を行い、BICが最小となるものをベストモデルとして採用した。その結果、有漁確率を予測する変数としては年・海区・月・表面海水温が選ばれ、有漁時のCPUEを予測する変数としては年・海区・月・表面海水温・船が選択された。

各変数のすべての組み合わせにおいて予測CPUEを算出し、年ごとに予測CPUEを平均した値を資源量指標値とした。連続変数である海水温に関しては、最小値と最大値を細かく分割し、そのときの予測値を求めた。標準化CPUEは2013年以降で比較的高い値を示し、増加傾向が明らかになった（補足図3-1）。

引用文献

- Ichinokawa, M. and J. Brodziak (2010) Using adaptive area stratification to standardize catch rates with application to North Pacific swordfish (*Xiphias gladius*). Fish. Res., **106**, 249-260.
- Lo, N. C. H., L. D. Jacobson and J. L. Squire (1992) Indices of relative abundance from fish spotter data based on delta-lognormal models. Can. J. Fish. Aquat. Sci., **49**, 2515-2526.



補足図 3-1. 北上期 CPUE (左)、秋季 CPUE (中央) およびたもすくい CPUE (右) の経年変化 (赤丸：ノミナル、青三角：標準化)

補足資料 4 各種調査・資料の概要

1) 移行域幼稚魚調査

中央水研・北水研により 1995 年に予備調査、1996 年開始。5～6 月に小型浮魚類幼稚魚の生育場である黒潮統流域～黒潮一親潮移行域で中層トロールによる漁獲試験を実施。幼稚魚の分布状況を把握するとともに、得られる幼稚魚標本の耳石輪紋解析により、主産卵期である 4 月ふ化個体の稚仔魚期の成長率を推定する (図 7)。

2) 北西太平洋北上期浮魚類資源調査

東北水研・中央水研により 2000 年に予備調査、2001 年開始。サンマ資源量直接推定調査 (東北水研) と北上期浮魚類資源調査 (中央水研・東北水研) の 2 つの調査からなる。北上期のサンマ等小型浮魚類を対象に、5～7 月に本邦沿岸から西経域 (165°W) に至る移行域～親潮域で複数の調査船で中層トロール漁獲試験を実施。0 歳魚 CPUE が加入量の指標となる (補足表 2-1)。マサバの主な分布域である親潮～移行域 (169°E 以西、SST12～21°C) における 0 歳魚推定現存尾数、出現率 (採集のあった調査点の割合)、体長組成を推定するとともに、採集標本を用いて 1) と同様に稚仔魚期の成長率を推定する (図 7)。

3) 道東～三陸海域流し網調査

釧路水試により 1994 年開始。道東～三陸海域で 6～10 月にかけて行われる 4 つの調査からなる。小型浮魚類を対象に流し網漁獲試験を実施。0 歳魚～成魚の分布状況を把握するとともに、CPUE が資源量の指標となる (図 7)。

4) 北西太平洋秋季浮魚類資源調査

東北水研により 1984 年に漁業資源評価システム高度化調査として開始。8～11 月に道東～三陸～常磐海域で浮魚類を対象に流し網漁獲試験を実施。その後調査期間を 9～10 月に集約。東北海区浮魚類分布調査として継続。2001 年から漁具を中層トロールに変更、計量魚探機も使用し、調査対象を小型浮魚類に集約。2005 年から調査海域を千島列島東方沖まで拡大。2008 年から中央水研が北西太平洋秋季浮魚類資源調査として引き継ぎ実施。漁場外の沖合域における主に 0 歳魚の分布状況を把握し、0 歳魚 CPUE が加入量の指標となる

(補足表 2-1)。0 歳魚有漁獲点の割合（出現率）も加入量の指標となり流し網と中層トロールの漁獲試験を並行実施した 2001、2002 年の結果から両試験の各調査点でのさば類 0 歳魚の漁獲の有無の差異は小さいと判断され、出現率を基にした調査年限を通じた加入量指数を算出した（図 7）。年による試験点配置の違いの影響を小さくするため、地理的に 5 海域、水塊的に親潮系、暖流系に区分し、計 10 区分における出現率を求めた。年による欠測区分では有意な正相関の他区分の出現率の平均を充てた。各区分出現率×係数（重み付け）の総和を加入量指数とし、指数が加入量（平成 29 年度資源評価における 1984～2013 年の推定値（生涯漁獲が進んでおり推定値の不確実性が小さいと判断））の年変化に合うように係数を調整した。この係数を用いて、新規の調査で得られた 10 区分の出現率から加入量指数を求めた。

5) 冬春季常磐海域まき網漁況調査（未成魚越冬群指数）

茨城水試により実施され、年明け後の冬春季に未成魚（尾叉長 25 cm 未満）がまき網漁獲物（標本）の 50%（尾数比）を超えている期間の、越冬場（35°～37°N、142°E 以西のまき網漁場（房総～常磐南部海域））における緯度・経度 10 分目毎のまき網 1 日 1 投網平均漁獲量の総和を未成魚越冬群指数と定義して算出している（図 7）。漁獲量にはゴマサバも含まれるが、漁獲物調査の結果、越冬期に当該海域に分布するさば類未成魚のうち、マサバの割合は 80～100%であることから、指数はマサバの加入量水準の指標値となると判断される。しかし、2014 年以降は越冬場で 0 歳魚がほとんど漁獲されなくなったため、指数が低く出る傾向にある。

6) 北部まき網漁業の有効努力量、資源量指数

漁業情報サービスセンター（JAFIC）により、北部まき網漁業のさば類を対象とした操業情報から算出される。主な対象はマサバと考えられるが、漁業情報サービスセンターの調査結果から時期による変化も大きく、ゴマサバの割合が高かった年代もあるなど、本評価での指標値としての使用にあたっては精査が必要である。CPUE：漁獲量／努力量（投網回数）（図 8）。資源量指数：海区（漁場の形成された緯度経度 30 分単位のメッシュ）あたりの平均 CPUE の全海区合計（図 8）。有効努力量：漁獲量／平均密度指数（図 5）。平均密度指数：資源量指数／海区数。

7) 卵稚仔調査

太平洋側の関係各機関による共同調査。改良ノルパックネット（メッシュ 335 μm）採集で浮魚類の卵の分布量を把握。マサバとゴマサバの卵の種査定が可能になり、2005 年から種別に産卵量が算出されている（図 6、補足表 2-1）。

8) たもすくい漁業の CPUE

神奈川県水産技術センター（2003 年以降）および静岡県水産技術研究所（2014 年以降）により収集される、産卵場である伊豆諸島周辺海域でマサバを主対象に操業するたもすくい標本漁船の操業記録から 1 人 1 時間当たり漁獲量として算出される。産卵場における成魚の分布密度の指標となり、親魚量の指数となる（補足表 2-1）。

補足資料5 北西太平洋における外国漁船の漁獲動向について

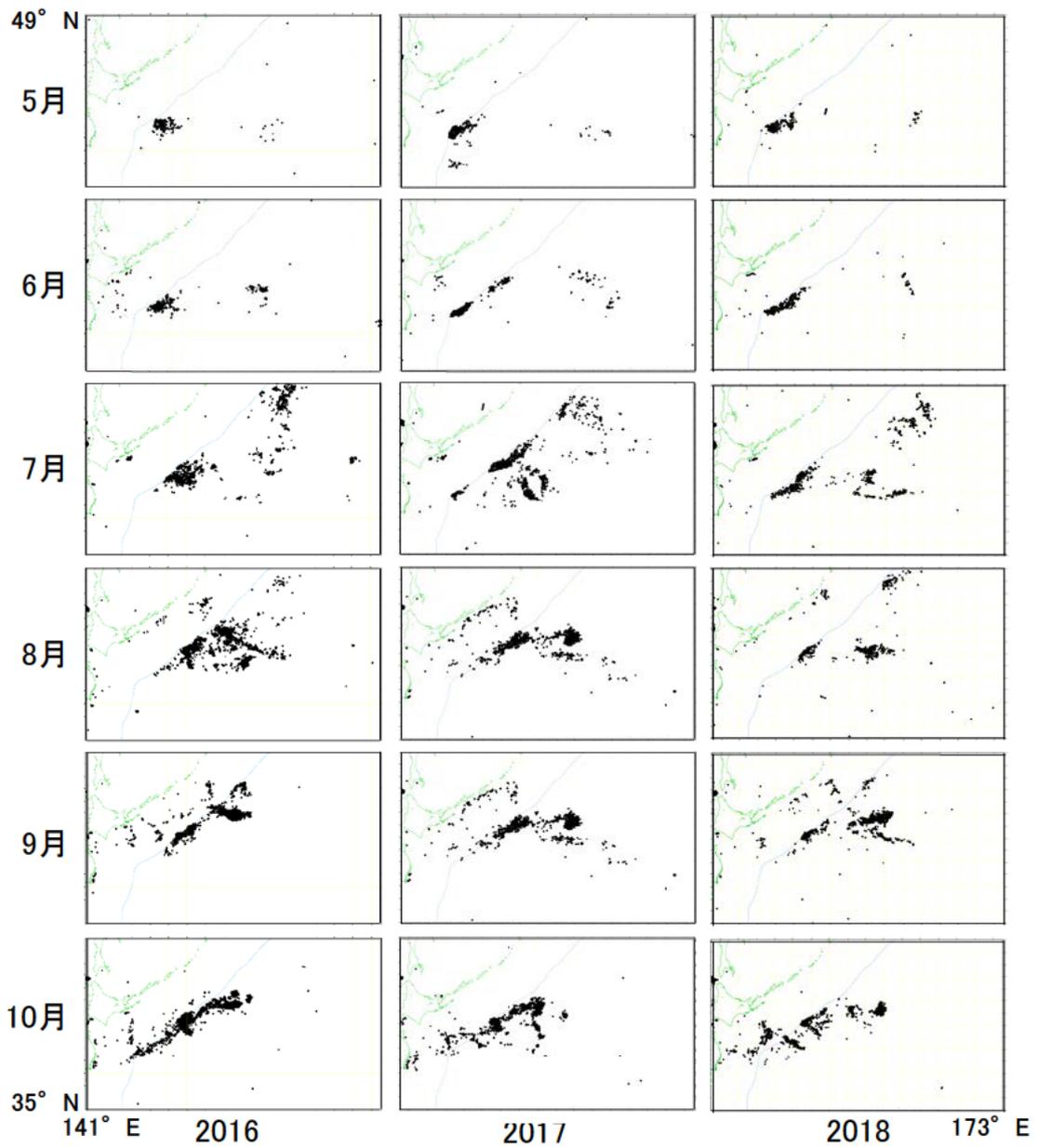
2000年以降、台湾を中心とした外国漁船によるサンマの漁獲割合が増加している。さらに、2012年には中国がサンマ漁業に参入しており、今後も外国漁船の隻数が増加する可能性があることから、その漁獲動向の把握がサンマ資源を適切に評価する上で重要な課題の一つとなっている。一方、2014年以降、中国が北西太平洋公海域でさば類を漁獲しており、サンマと同様にその漁獲動向の把握が重要な課題となっている。

以上の状況を踏まえ、平成26年度から、人工衛星夜間可視データを用いて外国漁船の動向を把握する取組みを開始した。具体的には、米国の地球観測衛星（Suomi NPP）の夜間可視データ（Miller et al. 2012）から、灯火を用いている船舶を光点として抽出し、さらに、輝度レベル、EEZ境界線、表面水温などの条件により漁獲対象種を判別して、時期別の操業海域の特定と操業隻数を計数することを目的としている。当初はサンマを漁獲対象とする漁船の抽出が目的であったが、さば類を漁獲対象とする漁船の抽出にもこの手法は有用である。

さば類を漁獲対象とする外国漁船の識別手法や計数方法については一定の成果が得られ、外国漁船による漁獲量を推定する報告もあるが（Oozeki et al. 2018）、技術的な問題は依然として残っていることから、ここでは操業点の抽出例として2016年～2018年の5月～10月の夜間可視データから抽出した灯火を用いた漁船（サンマ漁船やいか釣り漁船を含む）の分布を補足図5-1に示す。毎年、5月頃からEEZ境界線近くの公海で操業する外国漁船が出現し、7月以降に増加していることが推測される。これらの中には、さば類を漁獲対象とする中国の虎網や灯光敷網漁船などが含まれていることが現場における視認情報から確認されている。今後、これらの外国漁船を、同じく北西太平洋で操業するサンマ漁船やいか釣り漁船他と判別し、計数することで外国漁船の操業実態や漁獲動向を把握することが可能になると期待される。

引用文献

- Miller, S. D., S. P. Mills, C. D. Elvidge, D. T. Lindsey, T. F. Lee and J. D. Hawkins (2012) Suomi satellite brings to light a unique frontier of nighttime environmental sensing capabilities. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **109**, 15706-15711.
- Oozeki, Y., D. Inagake, T. Saito, M. Okazaki, I. Fusejima, M. Hotai, T. Watanabe, H. Sugisaki and M. Miyahara (2018) Reliable estimation of IUU fishing catch amounts in the northwestern Pacific adjacent to the Japanese EEZ: Potential for usage of satellite remote sensing images. *Marine Policy*, **88**, 64-74.



補足図 5-1. 春季から夏季の北西太平洋においてNPP衛星夜間可視データから抽出された操業点の月別全点プロット（2016年～2018年の5月～10月） 青線はEEZ境界線を示す。

補足資料 6 状態空間資源評価モデルの予備的検討

マサバ太平洋系群の資源評価の資源計算にはこれまで VPA が使用されてきた。しかし、極端な卓越年級群の発生や、外国漁船による漁獲量の増加による不確実性の増大などで、VPA によって安定した資源評価を行うことが難しくなっている。また、親魚量の増大により、平均的な加入量に密度効果が見られてきており、再生産関係の推定が重要な課題のひとつと考えられる (Ichinokawa et al. 2017)。安定した資源評価を実現することを目的として、チューニング VPA と同じデータを利用した統計的資源評価モデルのひとつである状態空間資源評価モデル (SAM: State-space stock Assessment Model; Nielsen and Berg 2014) の導入の検討を開始したので、ここに予備的な検討結果を報告する。

y 年 a 歳の個体数 ($N_{a,y}$) は、次の式で書かれるものとする。

$$\begin{aligned}\log(N_{0,y}) &= \log(\alpha SSB_y) - \log(1 + \beta SSB_y) + \eta_{0,y}, \\ \log(N_{a,y}) &= \log(N_{a-1,y-1}) - F_{a-1,y-1} - M_{a-1,y-1} + \eta_{a,y}, \quad 1 \leq a < A \\ \log(N_{A+,y}) &= \log(N_{A-1,y-1} e^{-F_{A-1,y-1} - M_{A-1,y-1}} + N_{A+,y-1} e^{-F_{A+,y-1} - M_{A+,y-1}}) + \eta_{A+,y}\end{aligned}$$

ここで、 $\eta_{0,y} \sim N(0, \omega_R^2)$ 、 $\eta_{a,y} \sim N(0, \omega_{S,a}^2)$ ($a > 0$)、 SSB_y は y 年の親魚量である。再生産関係として Beverton-Holt 型を仮定した (Hilborn and Walters 1992)。

漁獲係数は、ランダムウォークに従うと仮定した。

$$\log(F_y) = \log(F_{y-1}) + \xi_y$$

ここで、 $F_y = (F_{1,y}, \dots, F_{A+,y})^T$ 、 $\xi_y \sim MVN(0, \Sigma)$ で、 Σ は多変量正規分布 (MVN) の分散共分散行列である。 Σ の対角成分は σ_a^2 とし、非対角成分は $\rho^{|a-a'|} \sigma_a \sigma_{a'}$ ($a \neq a'$) とする。 $\rho^{|a-a'|}$ は年齢 a と a' の漁獲係数の相関に該当し、年齢とともに相関が減少するという仮定をおいた。さらに、VPA と同様に、 $F_{A+,y} = F_{A-1,y}$ という仮定をおいた。

観測モデルとして、年齢別漁獲尾数には、

$$\log(C_{a,y}) = \log\left(\frac{F_{a,y}}{F_{a,y} + M_{a,y}} (1 - \exp(-F_{a,y} - M_{a,y})) N_{a,y}\right) + \varepsilon_{a,y}$$

というモデルを仮定し、加入量指標値 ($r=1, 2$) に対しては、

$$\log(I_{r,y}) = \log(q_r N_{0,y}^{b_r}) + \eta_{r,y}$$

親魚量指標値 ($s=1, 2$) に対しては、

$$\log(I_{s,y}) = \log(q_s SSB_y^{b_s}) + \eta_{s,y}$$

とした。ここで、 $\varepsilon_{a,y} \sim N(0, \tau_a^2)$ 、 $\eta_{r,y} \sim N(0, \nu_r^2)$ 、 $\eta_{s,y} \sim N(0, \phi_s^2)$ であり、 q_r 、 q_s は漁具能率である。VPA の場合と同様に、親魚量の非線形性パラメータ b_s は推定せず、1 で固定した。

推定パラメータの数は多く、過剰適合による予測力の悪化などの弊害を避けるため、ランダム効果分散に対して AIC による変数選択に基づき、

$$\begin{aligned}\omega_{S,a} &= \omega_S (\forall a (a > 0)), \\ \sigma_0 &= \sigma_1, \sigma_2 = \sigma_3 = \dots = \sigma_A, \\ \tau_2 &= \tau_3, \tau_5 = \tau_{6+}\end{aligned}$$

という制約を課した。

SAM は VPA と異なり、 $N_{a,y}$ 、 $F_{a,y}$ などの状態変数を確率的なランダム変数（ランダム効果）として定義しているため、モデルのパラメータを推定する際に積分計算をする必要があるが、多くのランダム効果があるためこの計算は難しい。そこで自動微分とラプラス近似により高速計算が可能な Template Model Builder (TMB: Nielsen and Berg 2014, Kristensen et al. 2016) を使用した。また、これらのランダム効果は対数スケールで推定されるため、平均値の補正を行った (Thorson and Kristensen 2016)。

解析の結果、SAM による資源量推定のパターンは VPA と似ていたが、近年は VPA に比して低い資源量推定値を与える傾向にあった (補足図 6-1)。これは、VPA では高い加入量が推定されている 2013、2016、2017 年の値が SAM では低く推定されるためである (補足図 6-1)。この違いは VPA では近年の加入量の推定に指標値が大きく影響するのに対し、SAM では再生産関係の影響も反映されることによる。つまり、SAM では再生産関係から大きく外れるような加入量の推定値は得られにくくなっている。一方、VPA における最新年 (2018 年) の加入量の予測値は指標値と再生産関係の両方を考慮したため、SAM による推定値と近い値となっている (VPA : 243 億尾、SAM : 221 億尾)。SAM による親魚量の近年の推定値は、資源量、加入量ほどではないが、VPA よりやや低い推定値を与える傾向にあった。

SAM の長所として、以下の点が挙げられる。

- (1) 再生産関係を資源評価モデルの中で推定できる
 - (2) 年齢別漁獲尾数の観察誤差を考慮できる
 - (3) 近年の推定値の不確実性が小さい
 - (4) モデルの設定に対して比較的頑健である
- (1) の再生産関係については、近年の加入量の推定精度だけでなく、最大持続可能漁獲量 (MSY: maximum sustainable yield) の推定精度の向上への貢献が期待できる。(2) の年齢別漁獲尾数については、VPA では誤差がないことを仮定しているため、その妥当性が問題となっている。また、マサバ太平洋系群では、外国船の漁獲物の年齢構成が不明であるため、その誤差は増加していることが予測され、SAM を用いる意義は大きいと思われる。(3) の不確実性については、年齢別漁獲尾数の観察誤差を考慮しない後退計算の VPA では過去の推定値の信頼区間は狭くなり、近年の推定値の信頼区間が広がっていた (補足図 6-2)。一方、SAM では過去の推定値の不確実性も評価され、近年の信頼区間が VPA に比べて狭くなっていた (補足図 6-2)。今回の結果では、VPA による 2018 年の資源量推定値の変動係数は 38% であったのに対し、SAM では 25% であった。(4) については、例えば、本系群の資源評価では加入量とその指標値の関係の非線形性パラメータ b_r の推定の不安定性が

課題となっている。VPAにおいて b_r を推定した場合と1に固定した場合を比較すると、1に固定した場合では2016、2017年の加入量が大きく増加する(補足図6-3)。それに対し、SAMでは b_r を1に固定した場合でも、最近の加入量の増加はVPAほど顕著ではない(補足図6-3)。これは、SAMは再生産関係を推定することで指標値への過剰適合が抑えられるからであり、VPAに比べてモデルの設定に対して頑健なモデルになっていると考えられる。

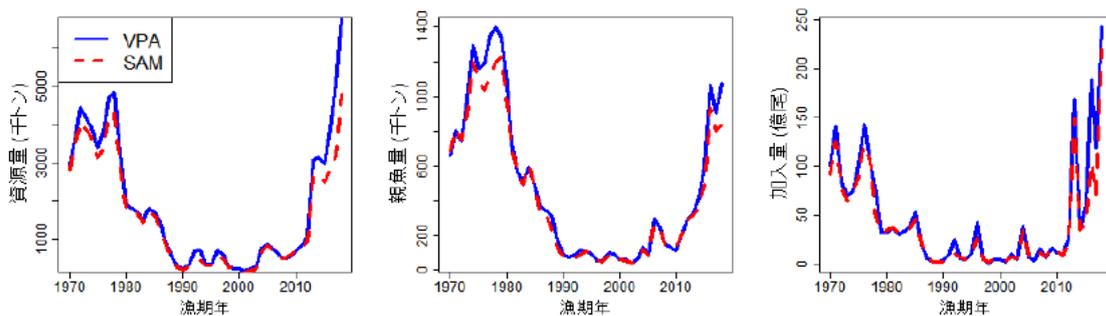
一方、SAMの短所としては、以下の点が挙げられる。

- (1) 推定するパラメータが多いため、必要とするデータ量が多い
- (2) Hockey-stick型の再生産関係の推定が難しい
- (3) モデル選択が難しい

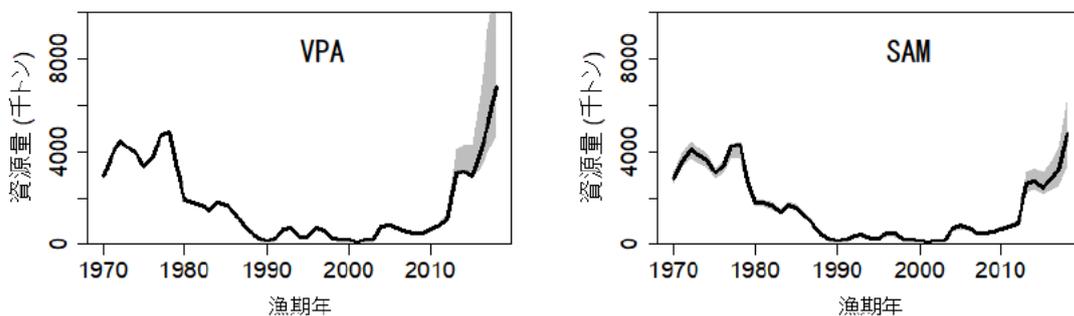
(1)については、特に年齢別の資源量指標値がない場合は最近年の資源量推定値の精度が悪くという報告もある(Okamura et al. 2018)。今回の試算の結果では、近傍の年齢間の漁獲係数の相関係数であるパラメータ ρ は0.94と高く推定されており、これは年齢別の指標値がないことが影響している可能性がある。SAMによる選択率の推定はVPAの選択率を平滑化したようなパターンが得られているが(補足図6-4)、現状のデータ量で十分な解析が可能かどうかは今後検討すべき課題である。(2)については、Hockey-stick型の再生産関係には微分不可能な折れ点が存在するため、TMBによる推定が難しい。Hockey-stick型の再生産関係の推定部分はTMBを使わずに外側で推定するといった試みを検討する必要がある。(3)については、状態空間モデルの予測性能の指標としてAICといった尺度を使用してよいのか不確かなところがある。また、年齢別漁獲尾数の観察誤差や年齢別の個体数と漁獲係数の過程誤差をどのように設定すべきかを網羅的にモデル選択することも難しく、今後の検討が必要である。

引用文献

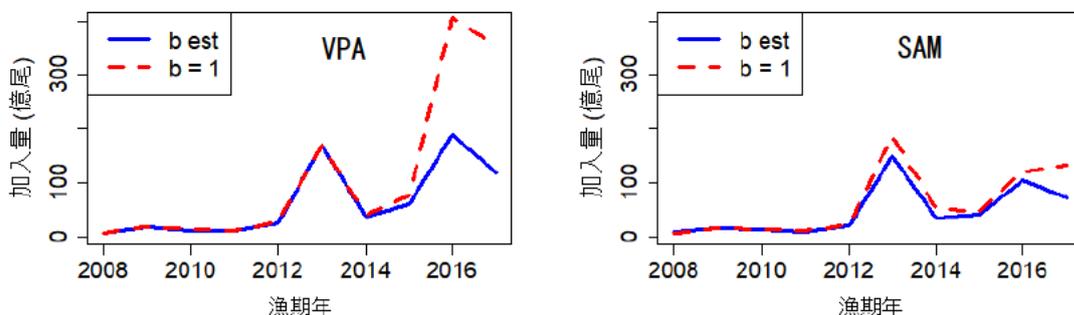
- Hilborn, R., and C. J. Walters (1992) Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty. Routledge, Chapman & Hall, Inc, New York, USA.
- Ichinokawa, M., H. Okamura and H. Kurota (2017) The status of Japanese fisheries relative to fisheries around the world. ICES J. Mar. Sci., **74**, 1277–1287.
- Kristensen, K., A. Nielsen, C. W. Berg, H. Skaug and B. M. Bell (2016) TMB: Automatic differentiation and Laplace approximation. Journal of Statistical Software, **70**, 1–26.
- Nielsen, A. and C. W. Berg (2014) Estimation of time-varying selectivity in stock assessments using state-space models. Fish. Res., **158**, 96–101.
- Okamura, H., Y. Yamashita, M. Ichinokawa and S. Nishijima (2018) Comparison of the performance of age-structured models with few survey indices. ICES J. Mar. Sci., (in press).
- Thorson, J 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.



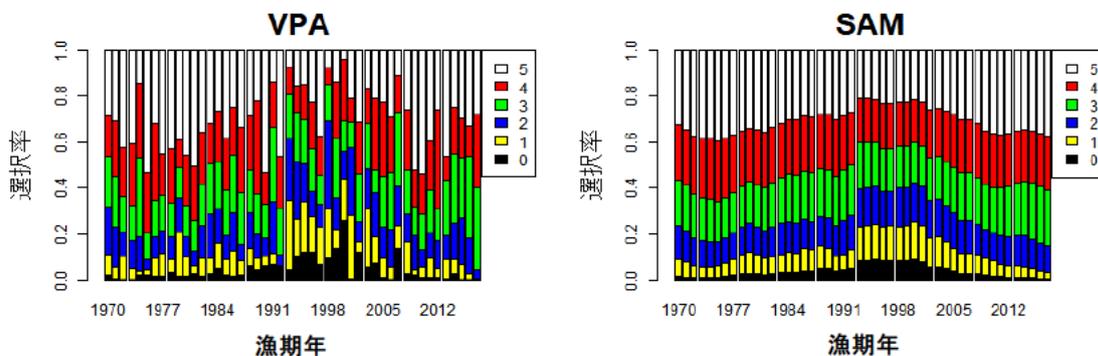
補足図 6-1. VPA と SAM による資源量 (左)、親魚量 (中央)、加入量 (右) の推定値



補足図 6-2. ノンパラメトリックブートストラップ (500 回) による資源量推定値の 80% 信頼区間 (左図: VPA、右図: SAM、灰色部分は 80% 信頼区間)



補足図 6-3. 加入量とその指標値の関係を表す非線形性パラメータ b_r を推定した場合 (b est) と 1 に固定した場合 (b=1) の加入量推定値 (左図: VPA、右図: SAM)



補足図 6-4. VPA と SAM による選択率の推定値 (左図: VPA、右図: SAM) 最高齢 6+ 歳を除く 0 歳から 5 歳までの漁獲係数の和が 1 となるように変換した。

補足資料7 コホート解析結果の詳細

年齢別漁獲尾数 (百万尾)												
年齢\漁期年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
0歳	834	334	29	93	351	1,254	632	539	1,039	208	199	266
1歳	1,202	815	1,847	647	182	388	923	2,083	1,256	1,919	472	184
2歳	1,037	888	681	1,211	794	560	548	727	1,468	1,312	286	142
3歳	365	288	242	548	994	618	446	472	641	645	419	149
4歳	127	104	73	183	310	391	251	236	338	158	310	194
5歳	49	56	35	46	26	165	42	82	173	80	126	115
6歳以上	41	19	18	12	4	46	4	16	17	13	11	13
計	3,656	2,504	2,924	2,740	2,662	3,421	2,845	4,154	4,932	4,335	1,824	1,063

年齢別漁獲重量 (千トン)												
年齢\漁期年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
0歳	63	21	2	9	25	57	48	48	101	15	12	28
1歳	226	165	417	152	43	71	142	388	328	420	77	39
2歳	299	342	231	346	262	186	159	222	452	416	95	46
3歳	147	159	111	194	387	265	202	213	255	278	188	65
4歳	68	84	43	81	150	189	133	133	174	85	169	122
5歳	32	60	26	28	18	93	28	55	104	52	85	84
6歳以上	30	23	15	11	4	35	3	13	15	9	11	14
計	865	855	845	822	889	897	715	1,071	1,428	1,275	637	398
漁獲割合	29%	23%	19%	20%	23%	26%	19%	23%	30%	39%	33%	22%

年齢別漁獲係数 (F)												
年齢\漁期年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
0歳	0.11	0.03	0.00	0.02	0.06	0.16	0.06	0.07	0.19	0.08	0.08	0.09
1歳	0.35	0.18	0.28	0.15	0.05	0.11	0.22	0.33	0.27	0.87	0.33	0.12
2歳	0.83	0.61	0.28	0.38	0.36	0.27	0.27	0.34	0.52	0.64	0.37	0.20
3歳	0.85	0.77	0.42	0.50	0.85	0.70	0.45	0.50	0.75	0.60	0.56	0.43
4歳	0.69	0.85	0.57	0.88	0.79	1.57	0.96	0.60	1.20	0.54	0.89	0.74
5歳	1.14	1.08	1.14	1.31	0.36	3.21	0.92	1.51	2.21	1.74	1.87	1.60
6歳以上	1.14	1.08	1.14	1.31	0.36	3.21	0.92	1.51	2.21	1.74	1.87	1.60
平均 (Fbar)	0.73	0.66	0.55	0.65	0.40	1.32	0.54	0.69	1.05	0.89	0.85	0.68

年齢別資源尾数 (百万尾)												
年齢\漁期年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
0歳	9,998	14,084	8,345	6,958	7,462	10,095	14,344	10,460	7,283	3,291	3,302	3,725
1歳	5,015	6,019	9,167	5,570	4,588	4,714	5,740	9,098	6,570	4,032	2,036	2,051
2歳	2,248	2,378	3,368	4,633	3,204	2,926	2,843	3,092	4,393	3,376	1,132	978
3歳	776	657	867	1,700	2,115	1,498	1,503	1,457	1,478	1,742	1,189	524
4歳	311	221	204	383	691	604	498	642	590	466	640	454
5歳	88	104	63	77	107	209	84	128	237	119	183	175
6歳以上	74	35	32	20	18	58	7	25	23	19	16	20
計	18,509	23,499	22,047	19,342	18,184	20,105	25,019	24,902	20,574	13,045	8,497	7,927

年齢別資源量 (千トン)、親魚量 (千トン)、再生産成功率 (RPS、尾/kg)												
年齢\漁期年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
0歳	755	903	649	700	527	459	1,089	939	705	231	204	397
1歳	944	1,222	2,071	1,311	1,083	862	882	1,693	1,714	883	333	433
2歳	648	915	1,141	1,323	1,057	972	824	943	1,353	1,071	376	315
3歳	313	362	398	601	824	642	680	656	587	750	532	230
4歳	166	180	121	170	334	292	264	361	304	250	348	285
5歳	57	111	47	47	75	119	58	86	142	77	123	128
6歳以上	54	43	27	19	17	45	7	21	20	14	16	22
計	2,938	3,737	4,454	4,171	3,917	3,391	3,803	4,699	4,826	3,276	1,932	1,810
親魚量	657	807	741	981	1,296	1,164	1,188	1,341	1,401	1,337	1,079	737
RPS(尾/kg)	15.2	17.5	11.3	7.1	5.8	8.7	12.1	7.8	5.2	2.5	3.1	5.1

年齢別体重 (g)												
年齢\漁期年	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981
0歳	76	64	78	101	71	45	76	90	97	70	62	107
1歳	188	203	226	235	236	183	154	186	261	219	164	211
2歳	288	385	339	286	330	332	290	305	308	317	332	322
3歳	404	551	459	354	390	429	453	450	397	431	448	439
4歳	532	811	592	443	484	484	530	563	515	536	544	628
5歳	655	1,066	737	611	699	567	683	668	601	648	675	732
6歳以上	731	1,242	843	908	946	768	917	847	893	738	954	1,067

補足資料7 コホート解析結果の詳細(続き)

年齢別漁獲尾数(百万尾)

年齢\漁期年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0歳	123	250	549	378	183	72	67	34	29	53	297	96
1歳	324	284	544	398	1,336	316	106	24	6	8	11	957
2歳	301	440	358	253	555	352	253	53	6	11	13	240
3歳	160	225	208	190	276	170	253	71	11	8	12	39
4歳	81	76	90	75	79	41	26	77	6	5	7	5
5歳	70	44	46	38	28	19	4	4	4	2	10	2
6歳以上	13	23	18	21	9	6	2	1	1	0	8	2
計	1,072	1,343	1,812	1,352	2,465	976	711	263	63	87	357	1,341

年齢別漁獲重量(千トン)

年齢\漁期年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0歳	14	19	66	31	18	6	11	7	5	9	43	14
1歳	75	57	122	96	266	77	27	8	2	2	3	272
2歳	83	135	130	95	156	118	86	23	3	5	6	88
3歳	70	91	114	93	112	76	111	38	7	5	6	17
4歳	47	36	59	55	45	27	17	46	5	3	5	4
5歳	48	25	35	33	21	16	4	3	4	2	10	2
6歳以上	10	15	18	20	9	7	2	1	1	0	9	2
計	347	378	543	422	627	327	259	125	28	26	81	398
漁獲割合	20%	26%	30%	25%	43%	36%	46%	42%	13%	8%	12%	56%

年齢別漁獲係数(F)

年齢\漁期年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0歳	0.05	0.09	0.19	0.09	0.12	0.15	0.37	0.23	0.11	0.07	0.15	0.23
1歳	0.19	0.19	0.39	0.26	0.68	0.40	0.44	0.27	0.07	0.05	0.02	1.54
2歳	0.36	0.55	0.52	0.40	0.98	0.48	0.89	0.53	0.13	0.22	0.13	1.34
3歳	0.45	0.65	0.74	0.76	1.57	1.45	1.07	0.92	0.24	0.32	0.53	0.96
4歳	0.56	0.52	0.80	0.88	1.24	1.86	1.39	2.10	0.22	0.20	0.59	0.61
5歳	0.90	0.93	0.93	1.49	1.53	2.19	1.66	1.16	0.88	0.14	1.23	0.38
6歳以上	0.90	0.93	0.93	1.49	1.53	2.19	1.66	1.16	0.88	0.14	1.23	0.38
平均(Fbar)	0.49	0.55	0.64	0.77	1.09	1.25	1.07	0.91	0.36	0.16	0.55	0.78

年齢別資源尾数(百万尾)

年齢\漁期年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0歳	3,084	3,397	3,805	5,410	1,962	630	263	199	342	965	2,581	565
1歳	2,279	1,967	2,072	2,102	3,317	1,165	363	122	106	206	604	1,487
2歳	1,224	1,263	1,086	944	1,083	1,130	523	156	62	66	131	396
3歳	539	573	486	434	426	272	469	143	61	37	35	77
4歳	230	231	200	155	136	60	43	107	38	32	18	14
5歳	145	88	92	60	43	26	6	7	9	21	18	7
6歳以上	26	47	36	34	14	8	3	1	2	3	14	6
計	7,527	7,566	7,777	9,140	6,981	3,291	1,670	736	620	1,329	3,401	2,552

年齢別資源量(千トン)、親魚量(千トン)、再生産成功率(RPS、尾/kg)

年齢\漁期年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0歳	348	262	457	441	192	54	44	41	58	163	370	81
1歳	531	393	463	507	661	284	92	40	39	63	174	423
2歳	338	388	393	355	304	379	178	66	36	32	56	146
3歳	237	230	266	212	173	121	206	77	41	21	19	33
4歳	134	110	131	115	78	38	28	64	32	21	13	10
5歳	99	51	71	52	33	22	6	6	8	16	18	6
6歳以上	20	30	35	32	13	9	3	1	2	3	15	7
計	1,706	1,464	1,816	1,713	1,455	909	558	295	215	320	665	705
親魚量	567	514	595	496	371	343	314	175	97	74	87	114
RPS(尾/kg)	5.4	6.6	6.4	10.9	5.3	1.8	0.8	1.1	3.5	13.0	29.5	4.9

年齢別体重(g)

年齢\漁期年	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
0歳	113	77	120	82	98	86	168	207	170	169	143	143
1歳	233	200	223	241	199	244	255	325	365	305	288	284
2歳	276	307	362	376	281	336	341	426	582	488	424	368
3歳	439	402	547	489	407	446	440	537	661	585	529	430
4歳	583	475	656	741	572	644	654	599	828	654	749	705
5歳	681	576	768	855	755	838	886	814	954	790	990	943
6歳以上	758	645	993	943	947	1,112	1,066	1,034	1,101	957	1,114	1,115

補足資料7 コホート解析結果の詳細(続き)

年齢別漁獲尾数(百万尾)

年齢\漁期年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
0歳	128	362	1,578	147	32	145	252	7	244	66	767	42	6
1歳	98	123	193	885	69	17	86	69	17	206	87	523	62
2歳	98	49	23	61	177	24	13	40	6	32	72	53	376
3歳	28	28	20	13	13	41	11	5	6	7	11	32	25
4歳	5	9	10	6	1	10	14	4	4	2	4	13	8
5歳	2	3	4	4	0	1	1	3	3	1	1	1	2
6歳以上	2	2	3	2	0	0	0	2	2	1	1	1	0
計	361	576	1,830	1,118	292	238	376	131	281	314	944	664	479

年齢別漁獲重量(千トン)

年齢\漁期年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
0歳	19	38	186	22	5	24	40	1	27	8	101	5	1
1歳	29	50	50	254	22	5	31	24	6	48	24	165	22
2歳	47	23	10	26	79	12	6	18	3	12	41	25	199
3歳	16	17	11	7	7	25	6	3	4	3	8	18	16
4歳	3	7	6	4	1	8	8	2	2	2	4	10	5
5歳	1	3	3	3	0	1	1	2	3	1	1	1	2
6歳以上	2	2	2	2	0	0	0	3	2	1	1	1	1
計	117	141	269	318	115	77	91	53	47	76	181	226	245
漁獲割合	35%	40%	38%	51%	40%	33%	41%	35%	20%	30%	24%	27%	33%

年齢別漁獲係数(F)

年齢\漁期年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
0歳	0.34	0.50	0.59	0.46	0.25	0.43	0.91	0.03	0.33	0.16	0.27	0.08	0.02
1歳	0.51	0.90	0.72	1.12	0.52	0.26	0.65	0.93	0.12	0.66	0.41	0.37	0.20
2歳	0.82	0.68	0.51	0.69	0.96	0.44	0.42	1.01	0.22	0.46	0.67	0.63	0.66
3歳	0.69	0.77	0.89	0.87	0.39	0.80	0.46	0.37	0.55	0.52	0.37	1.01	0.96
4歳	0.36	0.63	0.95	1.15	0.18	0.77	0.95	0.37	0.60	0.41	1.11	1.48	0.96
5歳	0.51	0.61	1.08	2.54	0.19	0.44	0.14	0.72	0.82	0.44	0.74	1.06	1.15
6歳以上	0.51	0.61	1.08	2.54	0.19	0.44	0.14	0.72	0.82	0.44	0.74	1.06	1.15
平均(Fbar)	0.54	0.67	0.83	1.34	0.38	0.51	0.52	0.59	0.49	0.44	0.62	0.81	0.73

年齢別資源尾数(百万尾)

年齢\漁期年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
0歳	536	1,126	4,321	489	176	504	514	276	1,071	545	4,001	666	418
1歳	299	254	459	1,604	207	92	219	138	179	518	312	2,054	412
2歳	213	120	69	149	351	83	48	77	36	107	179	138	949
3歳	69	63	41	28	50	90	36	21	19	20	45	61	49
4歳	20	23	19	11	8	23	27	15	10	7	8	21	15
5歳	5	9	8	5	2	4	7	7	7	4	3	2	3
6歳以上	6	4	5	3	0	2	3	6	4	3	3	2	1
計	1,148	1,601	4,922	2,290	796	798	854	541	1,327	1,204	4,551	2,943	1,847

年齢別資源量(千トン)、親魚量(千トン)、再生産成功率(RPS、尾/kg)

年齢\漁期年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
0歳	78	119	510	74	29	85	81	38	121	68	527	78	57
1歳	88	103	119	461	67	28	80	48	63	122	87	649	149
2歳	101	57	31	64	157	43	20	34	17	40	102	66	501
3歳	40	39	22	15	26	55	18	13	11	10	33	35	31
4歳	13	19	12	7	6	18	16	9	6	6	7	16	11
5歳	5	8	6	3	2	4	6	5	5	3	3	2	3
6歳以上	7	4	4	3	0	2	3	6	5	4	3	2	1
計	332	350	705	628	288	235	225	153	228	252	763	849	752
親魚量	105	94	57	54	98	96	64	63	44	60	132	89	296
RPS(尾/kg)	5.1	12.0	75.4	9.1	1.8	5.3	8.1	4.4	24.5	9.0	30.2	7.5	1.4

年齢別体重(g)

年齢\漁期年	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
0歳	146	106	118	152	165	169	158	137	113	124	132	118	136
1歳	294	406	260	287	325	308	366	350	354	236	280	316	362
2歳	476	474	451	428	446	515	421	440	455	374	569	477	528
3歳	578	626	545	535	523	606	517	599	576	530	742	578	631
4歳	661	809	633	642	787	803	593	626	643	756	835	787	726
5歳	896	908	743	699	879	950	895	689	780	788	1,011	1,002	1,013
6歳以上	1,116	973	819	840	970	1,099	1,031	1,078	1,126	1,078	1,087	1,089	1,122

補足資料7 コホート解析結果の詳細(続き)

年齢別漁獲尾数(百万尾)											
年齢\漁期年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
0歳	425	60	174	80	28	63	297	140	33	100	91
1歳	53	275	35	163	88	52	248	812	177	141	139
2歳	70	47	127	54	87	90	75	165	1,401	236	264
3歳	157	44	24	37	21	66	77	65	128	1,147	421
4歳	4	51	13	9	7	21	25	17	16	32	694
5歳	1	3	15	6	2	4	5	18	11	15	60
6歳以上	0	1	1	1	0	1	2	1	10	10	16
計	709	481	388	349	234	297	729	1,219	1,777	1,681	1,685

年齢別漁獲重量(千トン)											
年齢\漁期年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
0歳	51	8	21	10	5	10	37	15	3	8	6
1歳	17	86	13	57	35	19	78	157	35	28	30
2歳	33	18	64	26	43	43	37	68	334	60	78
3歳	84	26	13	23	13	37	47	37	56	349	138
4歳	3	34	8	7	5	13	17	12	10	17	242
5歳	1	2	10	5	2	3	4	12	7	10	32
6歳以上	0	1	1	1	0	1	2	1	7	7	11
計	188	176	130	128	102	126	221	302	453	480	538
漁獲割合	33%	36%	25%	19%	13%	12%	7%	10%	15%	12%	11%

年齢別漁獲係数(F)											
年齢\漁期年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
0歳	0.38	0.14	0.13	0.08	0.03	0.03	0.02	0.05	0.01	0.01	0.01
1歳	0.27	0.60	0.14	0.22	0.16	0.10	0.20	0.09	0.10	0.04	0.01
2歳	0.47	0.52	0.83	0.42	0.22	0.30	0.25	0.24	0.29	0.23	0.13
3歳	0.88	0.85	0.72	0.83	0.37	0.34	0.59	0.46	0.39	0.53	1.13
4歳	0.44	1.16	0.90	0.96	0.42	1.06	0.26	0.31	0.25	0.19	1.01
5歳	0.30	1.14	2.98	2.91	0.79	0.64	1.12	0.38	0.43	0.50	0.91
6歳以上	0.30	1.14	2.98	2.91	0.79	0.64	1.12	0.38	0.43	0.50	0.91
平均(Fbar)	0.44	0.79	1.24	1.19	0.40	0.44	0.51	0.28	0.27	0.29	0.59

年齢別資源尾数(百万尾)												
年齢\漁期年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳	1,634	563	1,691	1,204	1,045	2,600	16,911	3,652	6,045	18,857	11,842	24,302
1歳	275	747	328	991	742	677	1,692	11,093	2,334	4,025	12,558	7,863
2歳	226	141	276	192	531	425	411	931	6,771	1,419	2,582	8,304
3歳	328	94	56	81	84	285	211	214	489	3,391	758	1,515
4歳	13	91	27	18	24	39	136	79	90	223	1,334	163
5歳	4	6	19	7	5	10	9	71	39	47	123	327
6歳以上	1	2	2	1	0	2	4	3	34	32	32	42
計	2,480	1,644	2,399	2,494	2,430	4,038	19,375	16,042	15,801	27,993	29,230	42,516*

年齢別資源量(千トン)、親魚量(千トン)、再生産成功率(RPS、尾/kg)												
年齢\漁期年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳	197	78	203	151	189	405	2,083	383	568	1,527	812	2,292
1歳	86	233	124	348	291	253	531	2,150	465	801	2,711	1,588
2歳	106	54	139	94	259	204	201	382	1,612	364	765	2,188
3歳	176	56	31	49	52	157	129	123	213	1,033	248	479
4歳	9	61	16	13	17	24	92	55	57	120	466	57
5歳	3	4	13	6	4	8	7	47	24	30	65	173
6歳以上	1	2	1	1	0	1	4	2	26	22	23	27
計	578	489	527	661	812	1,051	3,046	3,141	2,966	3,897	5,091	6,805*
親魚量	241	151	131	116	202	292	332	417	600	1,071	906	1,078
RPS(尾/kg)	6.8	3.7	12.9	10.4	5.2	8.9	51.0	8.8	10.1	17.6	13.1	22.5*

年齢別体重(g)												
年齢\漁期年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
0歳	121	138	120	126	181	156	123	105	94	81	69	94
1歳	314	312	377	351	393	373	314	194	199	199	216	202
2歳	469	385	503	490	488	480	489	410	238	256	296	264
3歳	537	589	557	606	614	550	612	574	436	305	328	316
4歳	683	672	599	729	701	627	672	693	637	540	349	349
5歳	745	806	694	796	842	751	747	656	624	629	529	529
6歳以上	921	995	838	940	909	868	886	793	761	697	724	645