

令和3(2021)年度マアジ対馬暖流系群の資源評価

水産研究・教育機構 水産資源研究所 水産資源研究センター

水産技術研究所 環境・応用部門

参画機関：青森県産業技術センター水産総合研究所、秋田県水産振興センター、山形県水産研究所、新潟県水産海洋研究所、富山県農林水産総合技術センター水産研究所、石川県水産総合センター、福井県水産試験場、京都府農林水産技術センター海洋センター、兵庫県立農林水産技術総合センター但馬水産技術センター、鳥取県水産試験場、島根県水産技術センター、山口県水産研究センター、福岡県水産海洋技術センター、佐賀県玄海水産振興センター、長崎県総合水産試験場、熊本県水産研究センター、鹿児島県水産技術開発センター・海洋生物環境研究所

要 約

本系群の資源量について、資源量指標値をチューニング指数として用いたコホート解析により推定した。資源量は、1970年代後半に低水準だったが、1980～1990年代前半に増加し、1993～1998年には50万トンを超えた。その後、資源量は減少し、1999～2002年には30万～40万トンだったが、2003、2004年には増加し、再び50万トンを超えた。2005年以降は40万トン前後で推移しており、2020年の資源量は44万トンと推定された。

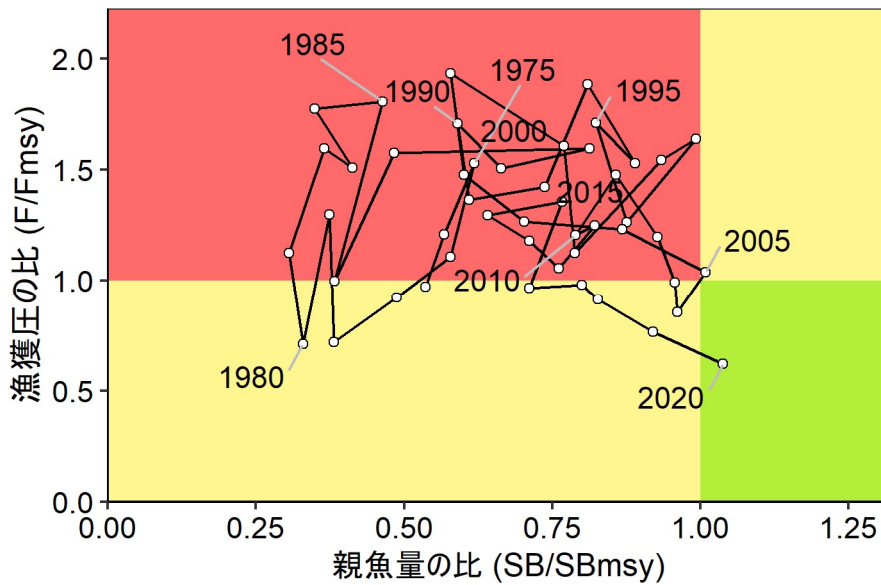
令和2年7、9月に開催された「資源管理方針に関する検討会」および令和2年10月に開催された「水産政策審議会」を経て、本系群の目標管理基準値、限界管理基準値、禁漁水準、および漁獲管理規則が定められた。目標管理基準値は最大持続生産量MSYを実現する親魚量(25.4万トン)であり、本系群の2020年の親魚量は、これを上回る。また、本系群の2020年の漁獲圧は、MSYを実現する水準の漁獲圧(Fmsy)を下回る。親魚量の動向は近年5年間(2016～2020年)の推移から「増加」と判断される。2022年の親魚量および資源量の予測値と、漁獲管理規則に基づき算出された2022年のABCは17.1万トンである。

項目	値	説明
管理基準値と MSY に関する値		
SBtarget	254 千トン	最大持続生産量 MSY を実現する親魚量 (SBmsy)
SBlimit	107 千トン	MSY の 60%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.6msy)
SBban	16 千トン	MSY の 10%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.1msy)
Fmsy	最大持続生産量 MSY を実現する漁獲圧 (漁獲係数 F) (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳以上) = (0.11, 1.10, 0.82, 0.24)	
%SPR (Fmsy)	20%	Fmsy に対応する %SPR
MSY	158 千トン	最大持続生産量 MSY
2020 年の親魚量と漁獲圧		
SB2020	264 千トン	2020 年の親魚量
F2020	2020 年の漁獲圧 (漁獲係数 F) (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳以上) = (0.06, 0.65, 0.72, 0.21)	
%SPR (F2020)	32%	2020 年の %SPR
%SPR (F2018-2020)	27%	現状 (2018~2020 年) の漁獲圧に対応する %SPR
目標管理基準値および MSY を実現する水準に対する比率		
SB2020/ SBtarget (SBmsy)	1.04	目標管理基準値 (MSY を実現する親魚量) に対する 2020 年の親魚量の比
F2020/ Fmsy	0.62	最大持続生産量を実現する漁獲圧に対する 2020 年の漁獲圧の比*

*2020 年の選択率の下で Fmsy の漁獲圧を与える F を %SPR 換算して算出し求めた比率

再生産関係：ホッケー・スティック型 (自己相関なし)

親魚量の水準	MSY を実現する水準を上回る
漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を下回る
親魚量の動向	増加



年	資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	漁獲量 (千トン)	F/Fmsy	漁獲割合 (%)
2017	385	203	140	0.98	36
2018	389	210	125	0.91	32
2019	392	234	121	0.76	31
2020	441	264	125	0.62	28
2021	500	289	142	0.78	28
2022	536	313	-	-	-

2021年、2022年の値は将来予測に基づいた推定値である。

2022年の ABC (千トン)	2022年の親魚量 予測平均値 (千トン)	現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2018-2020)	2022年の 漁獲割合 (%)
171	313	1.21	32

コメント：

- ・令和2年7、9月に開催された「資源管理方針に関する検討会」および令和2年10月に開催された「水産政策審議会」を経て定められた漁獲管理規則に基づきABCを算定した。
- ・ABCは日本と韓国を合わせた値

1. データセット

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） 主要港水揚量（青森～鹿児島（17）府県） 九州主要港入り数別水揚量（水研） 大中型まき網漁業漁獲成績報告書（水産庁） 月別体長組成調査（水研、青森～鹿児島（17）府県） ・市場測定 水産統計（韓国海洋水産部）（ http://www.fips.go.kr 、2021年3月）
資源量指数 ・加入量指数 ・年齢別資源量指数	大中型まき網漁業漁獲成績報告書（水産庁）* 中型まき網漁業漁獲成績報告書（島根県）* 長崎魚市豆銘柄水揚げ量（長崎県）* 新規加入量調査「中層トロールなどを用いた浮魚類魚群量調査」（5～6月、水研、鳥取県、島根県、山口県） ・中層トロール* 資源量直接推定調査「底魚類現存量調査（東シナ海）」（5～6月、水研） ・着底トロール* 魚群分布調査「計量魚探などを用いた浮魚類魚群量調査」（8～9月、水研） ・中層トロール・計量魚探* 大中型まき網漁業漁獲成績報告書（水産庁）* 中型まき網漁獲量（島根県）* 資源量直接推定調査「底魚類現存量調査（東シナ海）」（5～6月、水研） ・着底トロール*
自然死亡係数（M）	年当たりM=0.5を仮定

*はコホート解析におけるチューニング指数である。

2. 生態

(1) 分布・回遊

東シナ海南部から九州、日本海沿岸域の広域に分布する（図 2-1）。春夏に索餌のため北上回遊を秋冬に越冬・産卵のため南下回遊をする。東シナ海での産卵に由来する当歳魚の一部は太平洋岸に加入すると考えられる。しかし、太平洋系群に占める東シナ海からの加入割合は不明で、太平洋系群の親魚が東シナ海に産卵回遊するという知見も得られていない。

(2) 年齢・成長

成長は海域や年代等によってやや異なるが、1歳で尾叉長 16~18 cm、2歳で 22~24 cm、3歳で 26~28 cm に達する (Yoda et al. 2014 など (図 2-2))。寿命は 5歳前後と考えられる。

(3) 成熟・産卵

産卵は、東シナ海南部、九州・山陰沿岸から日本海北部沿岸の広い海域で行われる。東シナ海南部では 2~3月に仔稚魚の濃密な分布がみられる (Sassa et al. 2006)。産卵期は南部ほど早く (1~3月) 北部は遅い (5~6月) 傾向がある (盛期は 3~5月)。1歳魚で 50%程度、2歳魚ではほぼ全ての個体が成熟する (図 2-3)。

(4) 被捕食関係

代表的な餌生物は、オキアミ類、アミ類、橈脚類等の動物プランクトンや小型魚類である (Tanaka et al. 2006)。稚幼魚は、ブリなどの魚食性魚類に捕食される。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

対馬暖流域で漁獲されるマアジの約 80%は、大中型まき網漁業及び中小型まき網漁業で漁獲され、主漁場は東シナ海から九州北~西岸・日本海西部である。

(2) 漁獲量の推移

対馬暖流域での我が国のマアジ漁獲量は、1973~1976年には 9.3万~15万トンであったが、その後減少し、1980年に 4.1万トンまで落ち込んだ。1980~1990年代は増加傾向を示し、1993~1998年には 20万トンを超えたが、1999~2002年は 13.5万~15.9万トンに減少した。2003年から漁獲量は再び増加し、2004年には 19.2万トンであった。その後次第に減少し、2018年以降は 10万トンを下回った (図 3-1、表 3-1)。

韓国は毎年、数万トンを漁獲しており、2020年のアジ類の漁獲量は 4.5万トンであった。韓国が漁獲するアジ類にはムロアジ類が含まれるが、ほとんどはマアジだと推定される。中国のマアジ漁獲量は 2003年以降に報告されるようになった。2005~2007年には 10万トンを超えたが、2008年には 5.9万トンに減少し、2009年以降は 2万~4万トンの間で推移しており、2019年は 4.0万トンであった (FAO Fishery and Aquaculture Statistics. Global capture production 1950- 2019 (Release date: March 2021; <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en>, 2021年3月))。

年齢別漁獲尾数の推移を図 3-2 に示した。漁獲の主体は 0歳魚と 1歳魚である。2015年以降は 0歳魚の漁獲尾数は 10億尾を下回っており、1歳魚の占める割合が高い (図 3-2、補足資料 4)。

(3) 漁獲努力量

東シナ海・日本海西部で操業する大中型まき網の網数を図 3-3 に示す。網数は、1980年代後半に過去最多となったが、1990年以降、減少が続いている。2020年の網数は約 4千

網と低い水準だった。これは秋を中心とした太平洋での操業増加が主な理由である。後述の有効漁獲努力量も1998年以降には概ね減少傾向を示している(図4-1)。

4. 資源の状況

(1) 資源評価の方法

漁獲量、漁獲努力量等の情報を収集し、漁獲物の生物測定結果とあわせて年齢別・年別漁獲尾数による資源解析を行った(補足資料1、2)。資源解析の計算は1973~2020年の日本と韓国の年齢別漁獲尾数に基づいて行った。中国の漁獲量については2003年以降の統計のみであること、直近年(2020年)の情報が得られないことなどから、資源計算では考慮していない。

当歳魚(0歳魚)を主対象として、5~6月に対馬周辺~日本海西部海域において中層トロールを用いた新規加入量調査、5~6月に東シナ海において着底トロールを用いた資源量直接推定調査、8~9月には九州西岸~日本海において中層トロールと計量魚探を用いた魚群分布調査を実施し、これらを0歳および1歳魚の指標値として使用した(補足資料3)。なお、着底トロールを用いた資源量直接推定調査は、2020年には実施されなかった。

(2) 資源量指標値の推移

1973年以降の長期的な資源変動を概観する資源量指標値として、東シナ海・日本海西部で操業する大中型まき網の統計値から資源密度指数(トン/網)を求めた。指数は1970年代前半から1980年代前半にかけて減少したが、その後増加に転じ、1990年代半ばと2009年以降は高かった(図4-1)。2008年~2011年にかけて増加した後は比較的高い水準で推移している。有効漁獲努力量は、1994年まではほぼ一定の水準を保っていたが、以降は緩やかな減少傾向にある(図4-1)。なお、資源密度指数は、経緯度30分間隔に区分された漁区のうち、2020年に操業があった漁区について、漁区毎の一網当りの漁獲量をマアジの漁獲があった漁区間で平均した値とした。有効漁獲努力量は、2020年に操業があった漁区の漁獲量を資源密度指数で除して求めた。また2003年以降の年齢毎の資源変動を詳細に表す指標値として、東シナ海・日本海西部で操業する大中型まき網の銘柄別漁獲量から年齢別(0~3+歳)の資源量指標値を計算し、コホート解析に用いた(図4-2、4-3、4-4、補足資料2-1補注3)。2020年の資源量指標値は、過去16年間と比べて、1歳で低く、2歳以上で高かった。0、1歳魚についてはこれらの指標値に加え、前述の調査船調査などの指標値も加えて、資源量の推定を行った(補足資料2-1、補注2、補注3)。なお、大中型まき網と新規加入量調査(幼魚)の資源量指標値についてはCPUEの標準化を行った(FRA-SA2020-SC01-107)。

(3) 資源量と漁獲圧の推移

コホート解析により求めた資源量を図4-5と表3-1に示す(詳細は補足資料4参照)。資源量は、1973~1976年の26万~34万トンから1977~1980年の13万~18万トンに減少した(図4-5)。その後、増加傾向を示し、1993~1998年には50万~54万トンの高い水準を維持した。1999年以降はそれよりやや低く、2001年に28万トンまで減少したが、

その後増加して、2004年は54万トンとなった。2005年から2012年にかけてゆるやかに減少し、2012年は34万トンだった。2013～2019年は35万～40万トンで推移し、2020年は44万トンであった。前年度の評価と比較すると2019年の0、1歳魚の資源尾数は増加した一方で、2歳魚以上の資源尾数は下方修正され、全体の資源量もやや下方修正された。下方修正の原因は2020年の3歳魚以上の漁獲量が前年度想定していたよりも少なかったことによると考えられる。親魚量については、2歳魚以上の資源尾数が下方修正された影響で、2019年親魚量は昨年度評価時点では28万トンであったのに対し、今年度評価では23万トンと大きく下方修正となった。

加入量（資源計算の0歳魚資源尾数）は、1980年代後半から2000年代前半には、80億尾を超えた年が出現した。2005年以降は31億～55億尾で推移していたが、2014年加入量は再び増加し、73億尾となった。2020年の加入量は40億尾と推定された（図4-6）。

親魚量に対する加入量の比（再生産成功率 RPS）は概ね加入量と類似した変動パターンを示した（図4-6）。

親魚量（資源計算の成熟魚資源量）は2005年には25万トンを超えたが、2014年は16万トンまで減少した。2015年以降は20万トン前後で推移し、2020年には26万トンであった（図4-5、表3-1）。

コホート解析に用いた自然死亡係数（M）に対する感度解析として、Mを仮定値（0.5）に対して0.4および0.6とした条件のもと資源評価を行った。資源量、親魚量、加入量はMの上昇とともに多くなり、Fは低くなった。Mが0.1変化すると、各推定値に対して20%前後の影響があった（図4-7）。

漁獲係数Fは、1980年代後半から1990年代前半に全体的に高かったが、その後減少した。年齢別で見ると1、2歳魚にかかるFが相対的に高く、2003年以降は1歳魚にかかるFが高い傾向が見られた。一方、0歳魚に対するFは2015年以降減少し、低い水準となっている（図4-8）。

漁獲割合は2001年には50%を超える高い水準だったが、その後減少し、2016年以降は30%前後だった（図4-9）。

項目	値	説明
SB2020	264千トン	2020年の親魚量
F2020	2020年の漁獲圧（漁獲係数F） （0歳, 1歳, 2歳, 3歳以上） = (0.06, 0.65, 0.72, 0.21)	
U2020	28%	2020年の漁獲割合

(4) 加入量当たり漁獲量（YPR）、加入量当たり親魚量（SPR）および現状の漁獲圧

選択率の影響を考慮して漁獲圧を比較するため、加入量あたり親魚量（SPR）を基準に、その漁獲圧がなかった場合との比較を行った。図4-10に年ごとに漁獲がなかったと仮定した場合のSPRに対する、漁獲があった場合のSPRの割合（%SPR）の推移を示す。%SPRは漁獲圧が低いほど大きい値をとる。1990年代から2000年代初めは10%を下回る年も

あり、低かったが、その後増加傾向にあり 2020 年は 32% だった。現状の漁獲圧として近年 3 年間（2018～2020 年）の平均 F 値から %SPR に換算すると 27% となった。

現状の漁獲圧に対する %SPR と YPR の関係を図 4-11 に示す。このとき F の選択率としては令和 2 年 3 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」において最大持続生産量 MSY を実現する F (F_{msy}) の推定に用いた値（依田ほか 2020）を用いた。現状の漁獲圧（F₂₀₁₈₋₂₀₂₀）は、F_{30%SPR}、F_{0.1} を上回り、F_{msy} を下回った。

項目	値	説明
%SPR (F ₂₀₂₀)	32%	2020 年の %SPR
%SPR (F ₂₀₁₈₋₂₀₂₀)	27%	現状（2018～2020 年）の漁獲圧に対応する %SPR

(5) 再生産関係

親魚量（重量）と加入量（尾数）の関係（再生産関係）を図 4-12 に示す。上述の「管理基準値等に関する研究機関会議」により、本系群の再生産関係にはホッカー・スティック型関係式を用いることが提案されている（依田ほか 2020）。ここで、再生産関係のパラメータ推定に使用するデータは、令和元（2019）年度の資源評価（依田ほか 2020）に基づく親魚量・加入量とし、最適化方法には最小絶対値法を用いている。加入量の残差の自己相関は考慮していない。再生産式の各パラメータは下表に示す。

再生産関係式	最適化法	自己相関	a	b	S.D.	ρ
ホッカー・スティック型	最小絶対値法	無	0.0271	1.67e+05	0.486	-

ここで、a は HS の折れ点までの再生産曲線の傾き（尾/g）、b は HS の折れ点となる親魚量（トン）である。

(6) 現在の環境下において MSY を実現する水準および管理基準値等

上述の「管理基準値等に関する研究機関会議」では現在（1973 年以降）の環境下における最大持続生産量 MSY は 15.8 万トンと推定された。令和 2 年 7 月、9 月に開催された「資源管理方針に関する検討会」および令和 2 年 10 月に開催された「水産政策審議会」を経て、この MSY を実現する親魚量（SB_{msy} : 25.4 万トン）を目標管理基準値とする資源管理目標が定められた。また、MSY の 60% の漁獲量が得られる親魚量（10.7 万トン）が限界管理基準値、MSY の 10% の漁獲量が得られる親魚量（1.6 万トン）が禁漁水準とされた。MSY を実現する漁獲圧（F_{msy}）と共に諸数値を下表に示す。

項目	値	説明
SBtarget	254 千トン	目標管理基準値。最大持続生産量 MSY を実現する親魚量 (SBmsy)。
SBlimit	107 千トン	限界管理基準値。MSY の 60%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.6msy)。
SBban	16 千トン	禁漁水準。MSY の 10%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.6msy)。
Fmsy	最大持続生産量 MSY を実現する漁獲圧(漁獲係数 F) (0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳以上)=(0.11, 1.10, 0.82, 0.24)	
%SPR (Fmsy)	20%	Fmsy に対応する%SPR
MSY	158 千トン	最大持続生産量 MSY

(7) 資源の水準・動向および漁獲圧の水準

MSY を実現する親魚量と漁獲圧を基準にした神戸プロットを図 4-13 に示す。本系群における 2020 年の親魚量は MSY を実現する親魚量を上回る。2020 年の親魚量は SBmsy の 1.04 倍である。また、2020 年の漁獲圧は MSY を実現する漁獲圧 (Fmsy) を下回っており、2020 年の漁獲圧は Fmsy の 0.62 倍である。なお、神戸プロットに示した漁獲圧の比 (F/Fmsy) とは、各年の F の選択率の下で Fmsy の漁獲圧を与える F を%SPR 換算して求めた値と、各年の F 値との比である。親魚量の動向は、近年 5 年間 (2016~2020 年) の推移から増加と判断される。本系群の親魚量は 1973~2004 年には SBmsy を下回っていたが、2005 年には SBmsy を上回った。2006~2019 年には SBmsy を下回ったが、2016 年以降は漁獲圧が Fmsy 以下に削減され、2020 年の親魚量は SBmsy を上回った。

項目	値	説明
SB2020/ SBmsy (SBtarget)	1.04	最大持続生産量を実現する親魚量(目標管理基準値)に対する 2020 年の親魚量の比
F2020/ Fmsy	0.62	最大持続生産量を実現する漁獲圧に対する 2020 年の漁獲圧の比*

* 2020 年の選択率の下で Fmsy の漁獲圧を与える F を%SPR 換算して算出し求めた比率

親魚量の水準	MSY を実現する水準を上回る
漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を下回る
親魚量の動向	増加

5. 将来予測

(1) 将来予測の設定

資源評価で推定した 2020 年の資源量から、コホート解析の前進法を用いて 2021~2051 年までの将来予測計算を行った (補足資料 2-2)。将来予測における加入量は、各年の親

魚量から予測される値を再生産関係式から与えた。加入量の不確実性として、対数正規分布に従う誤差を仮定し、10,000回の繰り返し計算を行った。2021年の漁獲量は、予測される資源量と現状の漁獲圧（F2018-2020）から仮定した。2022年以降の漁獲圧には、(2)の漁獲管理規則を適用した。

(2) 漁獲管理規則

漁獲管理規則は、目標管理基準値以上に親魚量を維持・管理するため、親魚量が限界管理基準値を下回った場合には禁漁水準まで直線的に漁獲圧を削減する規則である（図 5-1）。親魚量が限界管理基準値以上にある場合には F_{msy} に調整係数 β を乗じた漁獲圧とする。

本系群の「資源管理方針に関する検討会」において、調整係数 β は 0.95 とし、親魚量が 2031 年に目標管理基準値を 50%以上の確率で上回り、かつ将来の漁獲量が最大となる漁獲シナリオが取りまとめられ、「水産政策審議会」で定められた。

(3) 2022年の予測値と ABC の算定

本系群の漁獲管理規則に基づき、 $\beta=0.95$ を用いて算定される 2022 年の予測漁獲量である 17.1 万トンを ABC として提示する。2022 年に予測される親魚量は、目標管理基準値を上回り、平均 31.3 万トンと見込まれた。

2022年の ABC (千トン)	2022年の親魚量 予測平均値 (千トン)	現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2018-2020)	2022年の 漁獲割合(%)
171	313	1.21	32

コメント:

- 令和2年7、9月に開催された「資源管理方針に関する検討会」および令和2年10月に開催された「水産政策審議会」を経て定められた漁獲管理規則に基づき ABC を算定した。
- ABC は日本と韓国を合わせた値

(4) 2023年以降の予測

2023年以降も含めた将来予測の結果を図 5-2 および表 5-1、5-2 に示す。漁獲管理規則に基づく管理を 10 年間継続した場合、2031 年の親魚量の予測値は 27.4 万トン（80%予測区間は 19.4 万～36.6 万トン）であり、予測値が目標管理基準値を上回る確率は 57%、限界管理基準値を上回る確率は 100%である。

参考情報として、異なる β を使用した場合、および現状の漁獲圧（F2018-2020）を継続した場合の将来予測結果についても示す。2031 年の親魚量の予測値は、 β を 1.0 とした場合は平均 25.8 万トン（80%予測区間は 18.0 万～34.6 万トン）、 β を 0.8 とした場合は平均 33.3 万トン（80%予測区間は 24.1 万～44.0 万トン）であり、限界管理基準値を上回る確

率は 100%である。一方、現状の漁獲圧を継続した場合の親魚量の予測値は 34.2 万トン（80%予測区間は 24.7 万～45.1 万トン）であり目標管理基準値を上回る確率は 88%である。いずれの場合も限界管理基準値を上回る確率は 100%である。

考慮している不確実性： 加入量					
項目	2031 年の親魚量 (千トン)	80% 予測区間 (千トン)	2031 年に親魚量が以下の 管理基準値を上回る確率(%)		
			SBtarget	SBlimit	SBban
漁獲管理規則で使用する β					
$\beta=0.95$	274	194 – 366	57	100	100
その他の方策（漁獲管理規則とは異なる β を使用した場合）					
$\beta=1.0$	258	180 – 346	47	100	100
$\beta=0.8$	334	241 – 440	85	100	100
F2018-2020	342	247 – 451	88	100	100

6. 資源評価のまとめ

本系群の親魚量は 1973～2019 年には 2005 年を除いて SB_{msy} を下回っていたが、近年 5 年間（2016～2020 年）は増加傾向で推移し、2020 年には親魚量が MSY を実現する水準を超えた。近年の漁獲圧は F_{msy} 以下に削減され、減少傾向で推移している。

7. その他

これまで本資源の管理は大中型まき網漁業の漁場（海区制）における操業許可隻数を制限するなど、努力量管理の形で行われてきた。これに加えて、平成 9（1997）年から TAC（漁獲可能量）による資源管理が実施されている。また平成 21（2009）年度から平成 23（2011）年度の間、日本海西部・九州西海域マアジ（マサバ・マイワシ）資源回復計画が実施された。小型魚保護を目的とした本計画は、小型魚を主体とする漁獲があった場合、大・中型まき網漁業に対しては集中的な漁獲圧をかけないよう速やかな漁場移動を求め、中・小型まき網漁業に対しては団体毎に一定日数の休漁や水揚げ日数制限等の漁獲規制を行った。これらの取り組みは平成 24（2012）年度以降も、新たな枠組みである資源管理指針・計画の下で継続されている。

本資源の資源評価結果および将来予測に大きな不確実性をもたらす要因として、外国漁船による漁獲の影響を十分に考慮できていない点が挙げられる。この要因は、再生産関係、管理基準値、管理目標の達成確率などに影響をもたらす可能性がある。本種の資源管理のためには、加入量変動要因や回遊経路の解明などとともに漁業の実態把握を国際的に協調して進める必要がある。

8. 引用文献

Sassa, C., Y. Konishi and K. Mori (2006) Distribution of jack mackerel (*Trachurus japonicus*) larvae and juveniles in the East China Sea, with special reference to the larval transport by the

- Kuroshio Current. Fish. Oceanogr., **15**, 508-518.7
- Tanaka, H., I. Aoki and S. Ohshimo (2006) Feeding habits and gill raker morphology of three planktivorous pelagic fish species off the coast of northern and western Kyusyu in summer. J. Fish Biol., **68**, 1041-1061.
- Yoda, Y., T. Shiraishi, R. Yukami and S. Ohshimo (2014) Age and maturation of jack mackerel *Trachurus japonicus* in the East China Sea. Fish. Sci., 80, 61-68.
- 依田真里・黒田啓行・高橋素光 (2020) 令和元 (2019) 年度マアジ対馬暖流系群の資源評価. <http://abchan.fra.go.jp/digests2019/details/201904.pdf>, last accessed July 20, 2020
- 依田真里・黒田啓行・高橋素光 (2020) 令和2 (2020) 年度マアジ対馬暖流系群の管理基準値等に関する研究機関会議報告書. http://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/detail_maaji_tc.pdf, last accessed July 20, 2020)

(執筆: 依田真里・佐々千由紀・高橋素光・向草世香・黒田啓行)

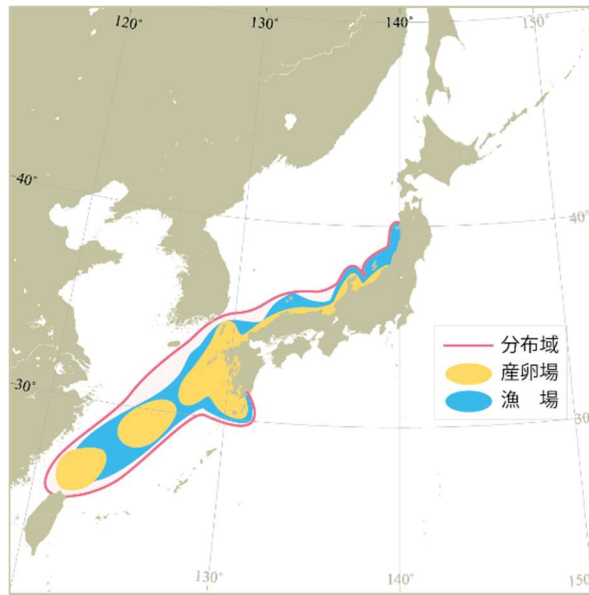


図 2-1. マアジ対馬暖流系群の分布域と産卵場

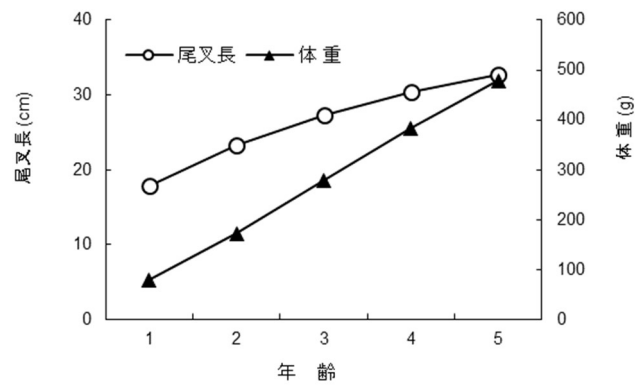


図 2-2. 年齢と成長

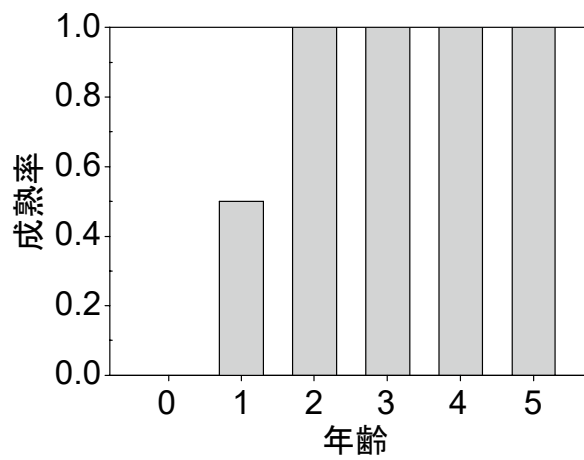


図 2-3. 年齢と成熟割合

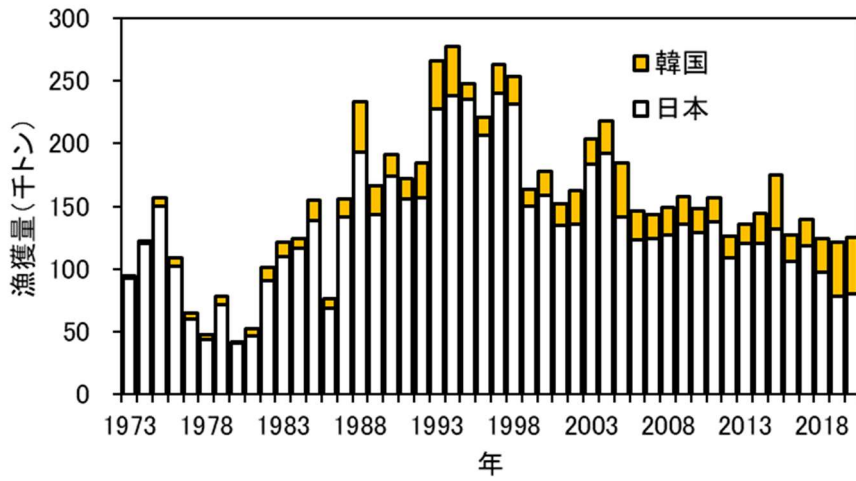


図 3-1. 漁獲量の推移

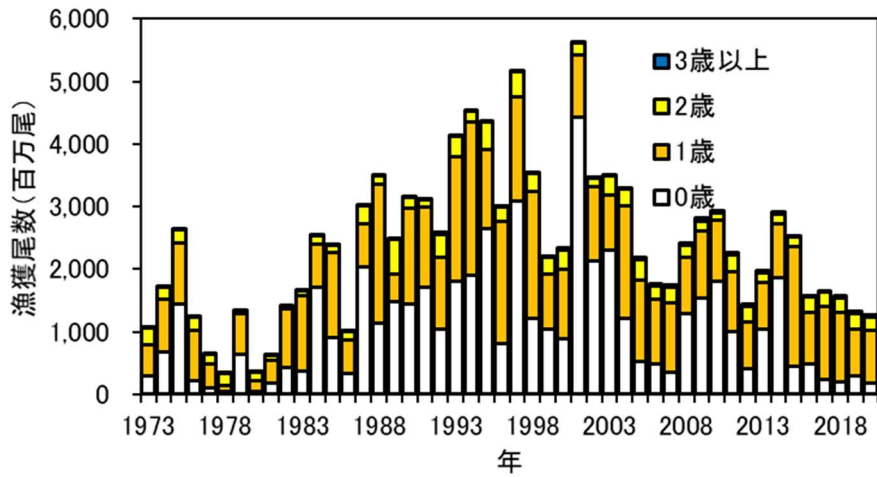


図 3-2. 年齢別漁獲尾数の推移

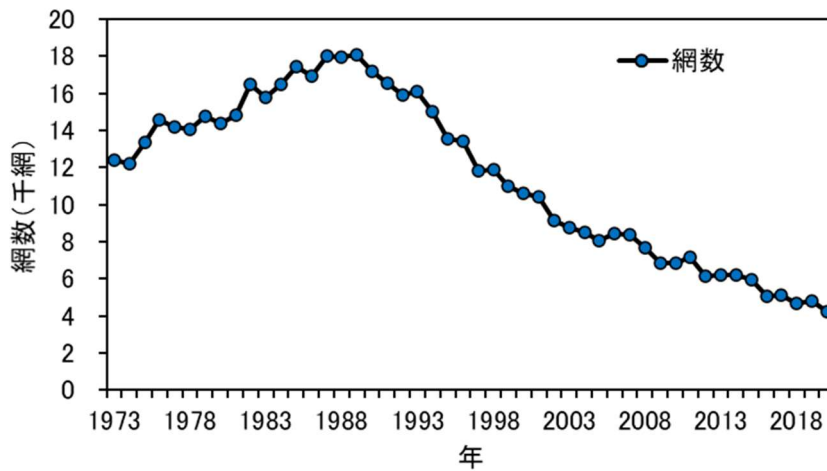


図 3-3. 東シナ海・日本海西部で操業する大中型まき網の網数の推移

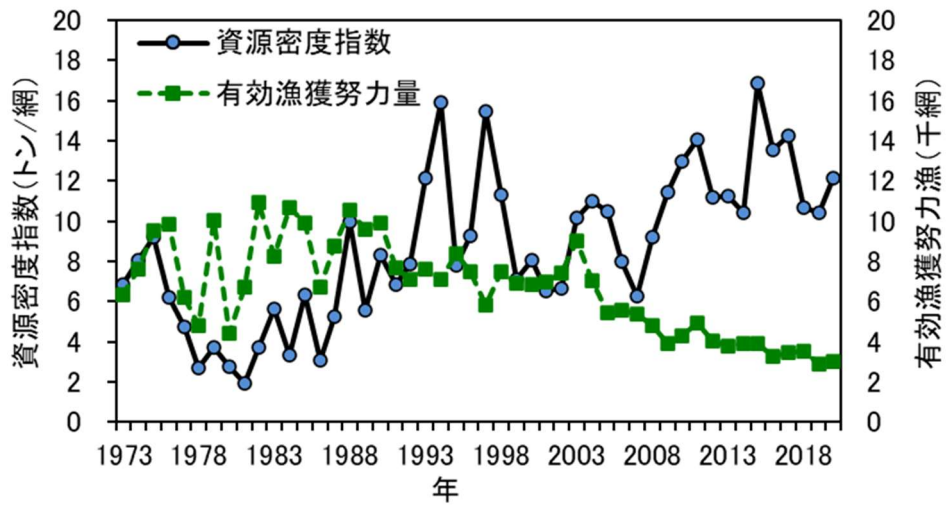


図 4-1. 東シナ海・日本海西部で操業する大中型まき網におけるマアジの資源密度指数と有効漁獲努力量の推移。

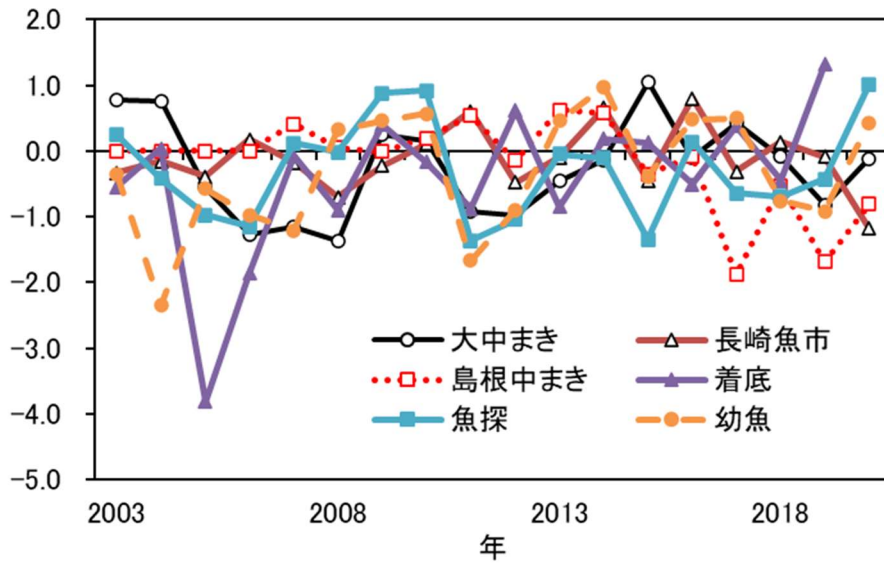


図 4-2. 0歳魚指標値（補注2参照、平均値で規格化した後、対数をとって示した）。

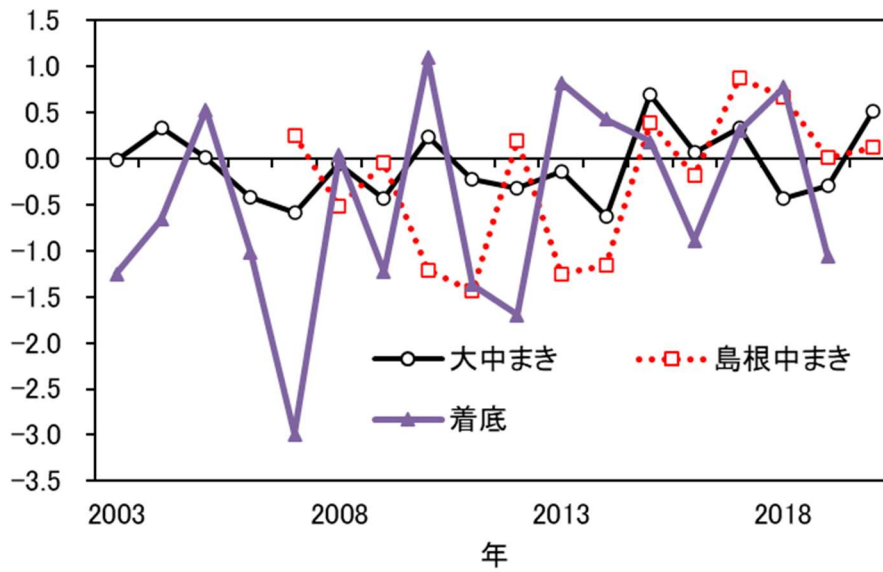


図 4-3. 1 歳魚指標値（補注 2 参照、平均値で規格化した後、対数をとって示した）。

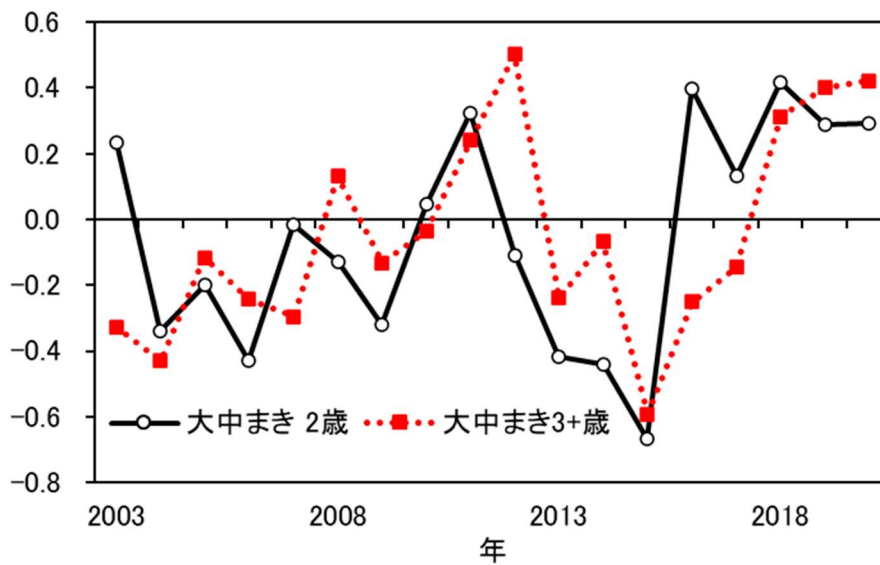


図 4-4. 2 歳魚以上指標値（補注 2 参照、平均値で規格化した後、対数をとって示した）。

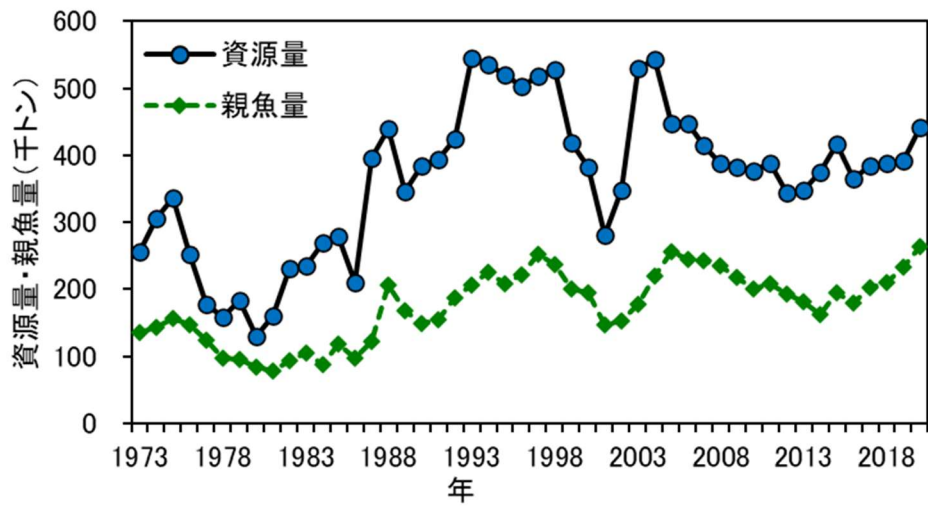


図 4-5. 資源量と親魚量の推移

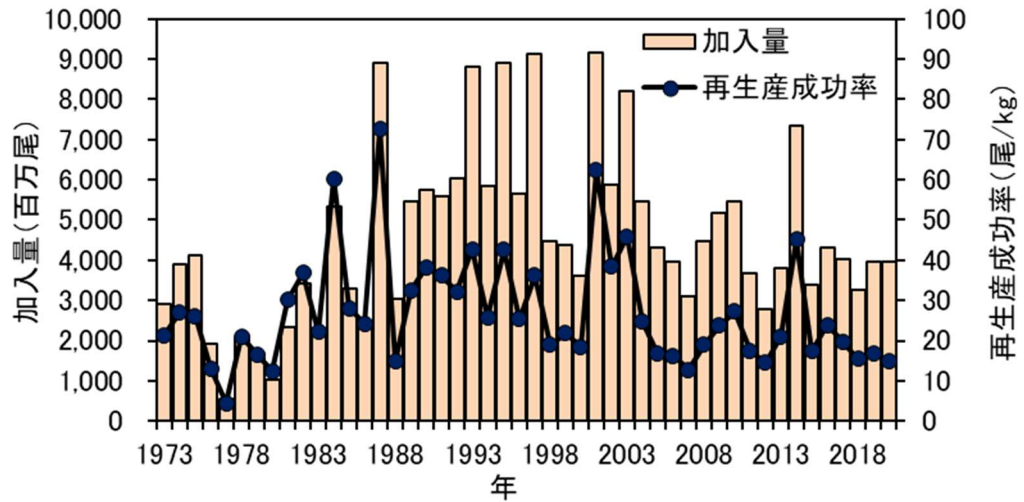


図 4-6. 加入量と再生産成功率の推移

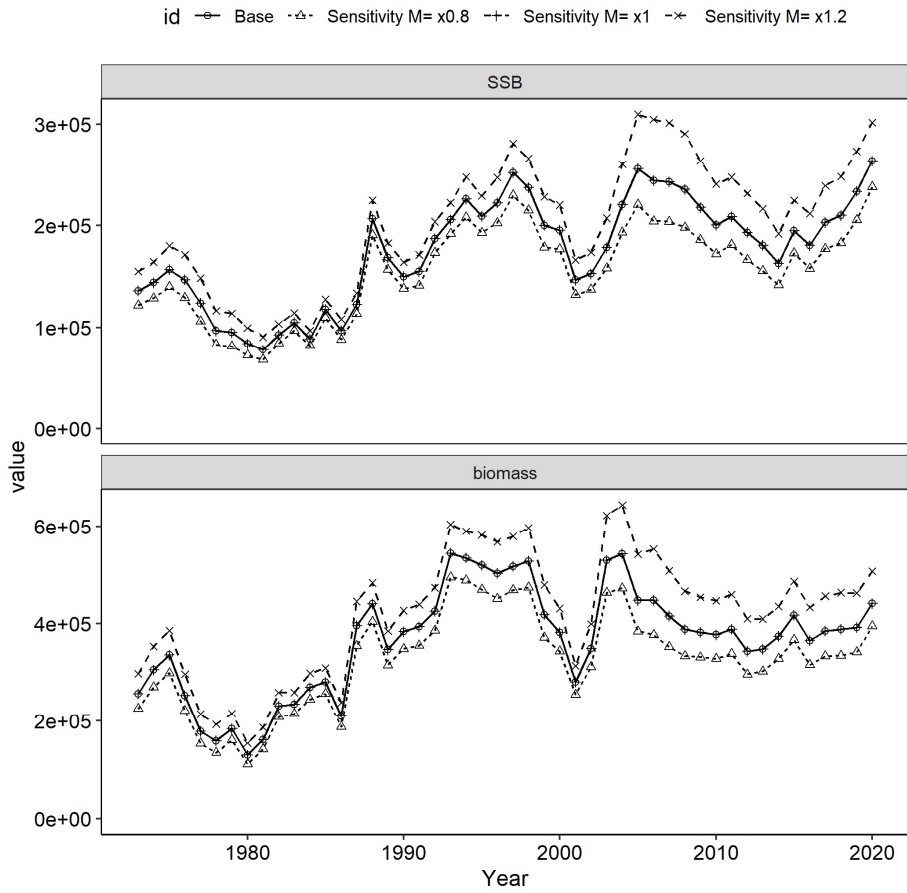


図 4-7. M の値を変化させた場合の親魚量、資源量の変化。実線は M=0.5、破線は M=0.6、点線は M=0.4

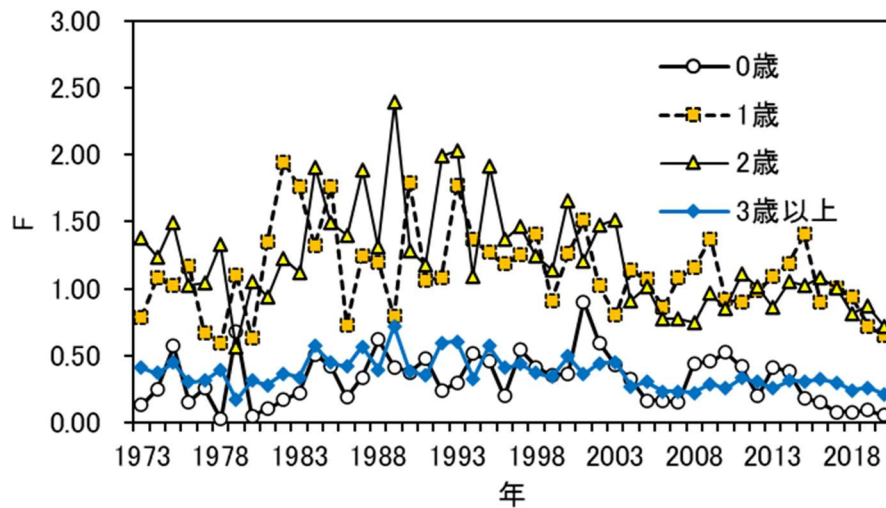


図 4-8. 年齢別漁獲係数 F の推移

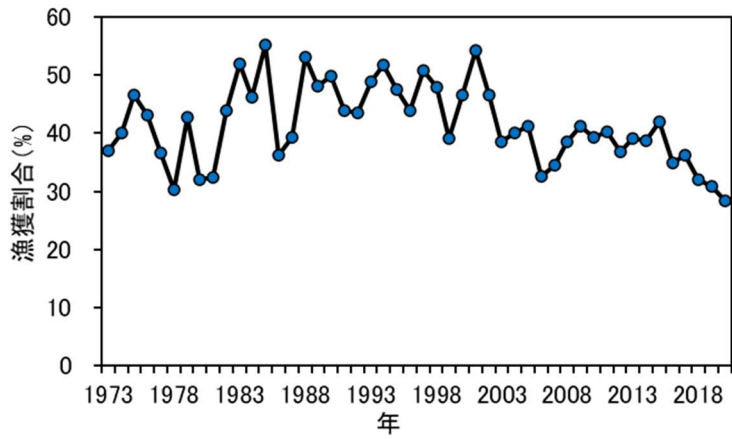


図 4-9. 漁獲割合の推移

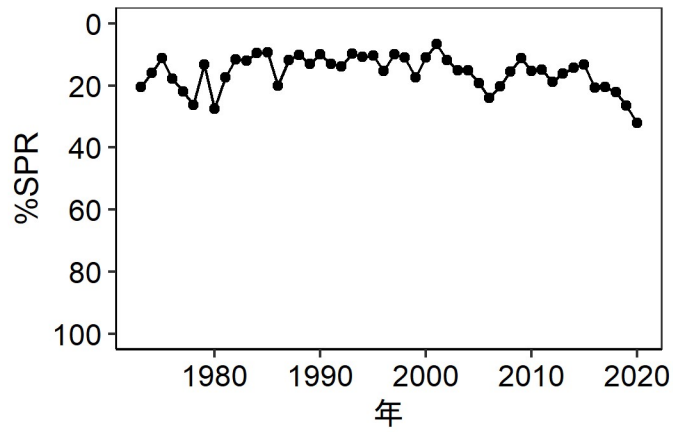


図 4-10. %SPR 値の推移

%SPR は漁獲がないときの親魚量に対する漁獲があるときの親魚量の割合を示し、Fが高い（低い）と%SPR は小さく（大きく）なる。

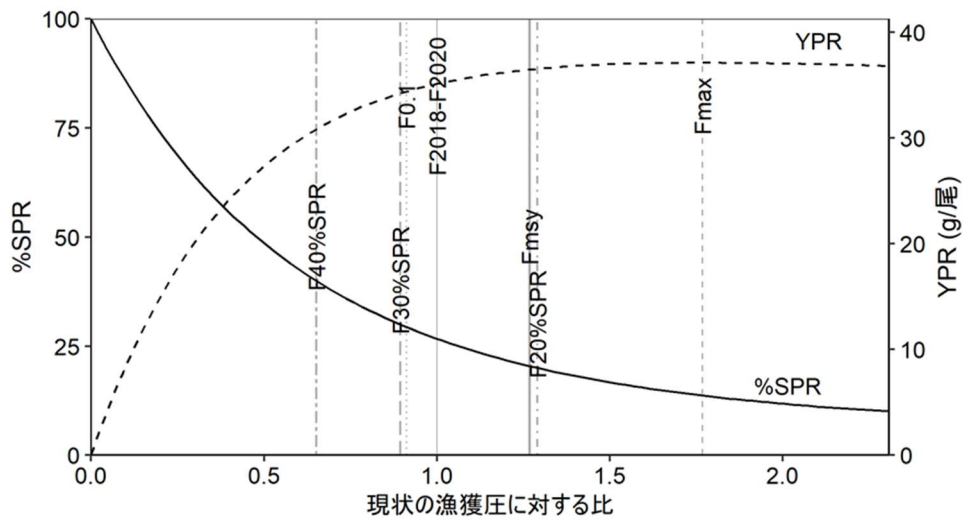


図 4-11. 現状の漁獲圧 (F2018-2020) に対する YPR と%SPR の関係

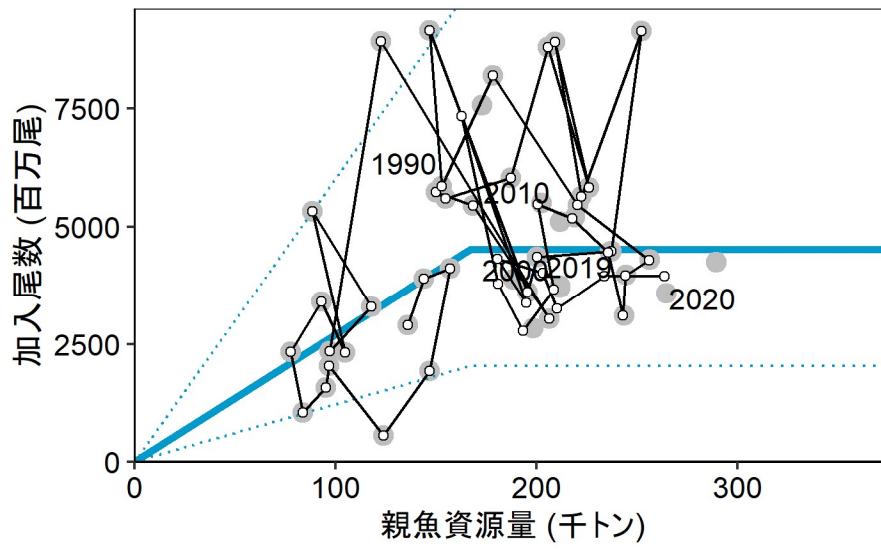


図 4-12. 親魚量と加入量の関係（再生産関係） 令和 2 年 3 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」（依田ほか 2020）で提案された再生産関係式と再生産関係のプロット（灰色の丸印）。図中の再生産関係式（青実線）の上下の点線は、仮定されている再生産関係において観察データの 90% が含まれると推定される範囲である。実線と白抜き丸印で示したのは今年度の資源評価で得られた再生産関係のプロット。

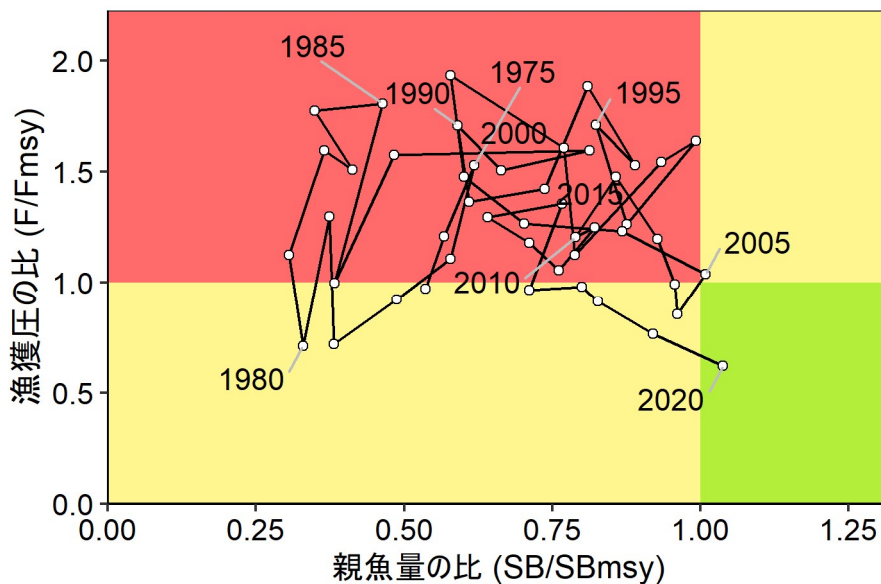
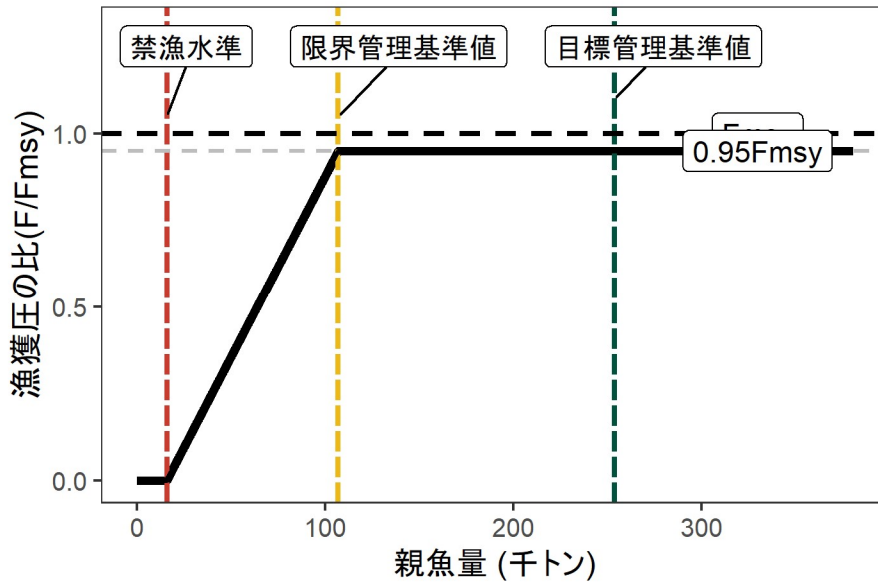


図 4-13. 最大持続生産量（MSY）を実現する親魚量（SBmsy）と MSY を実現する漁獲圧（Fmsy）に対する、過去の親魚量および漁獲圧の関係（神戸プロット）

a) 縦軸を漁獲圧にした場合



b) 縦軸を漁獲量にした場合

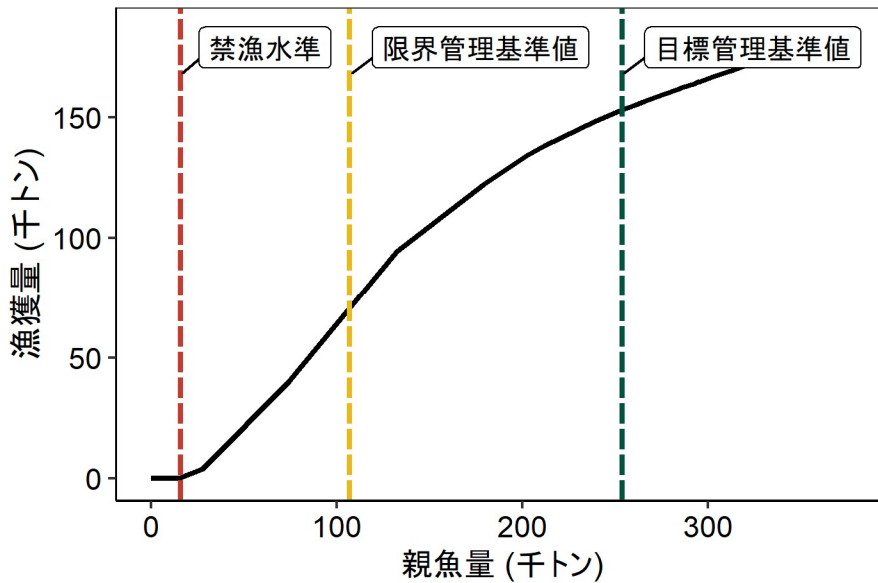
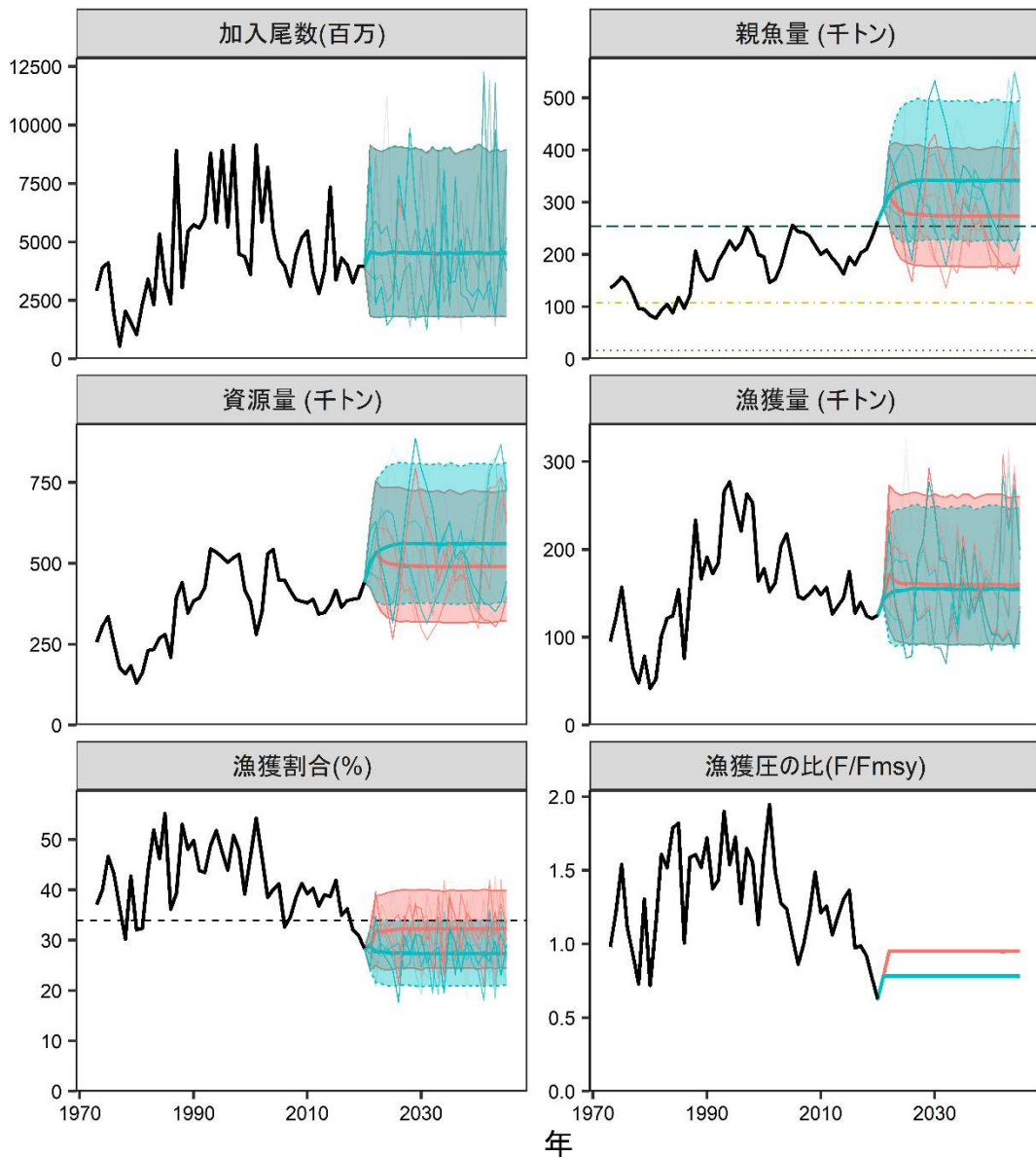


図 5-1. 漁獲管理規則 ($\beta=0.95$ の場合)。目標管理基準値 (SB_{target}) は HS 再生産関係に基づき算出した SB_{msy} である。限界管理基準値 (SB_{limit}) および禁漁水準 (SB_{ban}) にそれぞれ標準値を用いている。ここでは安全係数 β には 0.95 を用いた。黒破線： F_{msy} 、灰色破線： $0.8F_{msy}$ 、黒太線： HCR 、赤破線：禁漁水準、黄色破線：限界管理基準値、緑色破線：目標管理基準値を示す。a) は縦軸を漁獲圧にした場合、b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。b) については、漁獲する年の年齢組成によって漁獲量は若干異なるが、ここでは平衡状態における平均的な年齢組成の場合の漁獲量を示した。



(塗り:5-95%予測区間, 太い実線: 平均値, 細い実線: シミュレーションの1例)

図 5-2. 漁獲管理規則を用いた将来予測(赤線)と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測(緑色)

漁獲管理規則(図 5-1)に基づく中長期的な将来予測の結果($\beta=0.95$ の場合)10,000回の平均値(太線)、5回の試行結果(細線)、網掛けはシミュレーション結果の90%が含まれる90%予測区間である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値、黄点破線は限界管理基準値、赤点線は禁漁水準を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2021年の漁獲量は予測される資源量と $F_{2018-2020}$ により仮定した。

表 3-1. 漁獲量とコホート解析結果

年	漁獲量 (千トン)			資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	0歳加入量 (百万尾)	漁獲割合 (%)	再生産成功率 (尾/kg)
	日本	韓国	計					
1973	93	2	95	256	136	2,913	37	21.43
1974	121	2	122	305	144	3,900	40	27.09
1975	150	7	157	336	157	4,113	47	26.23
1976	102	7	109	253	147	1,927	43	13.13
1977	60	5	65	178	124	553	37	4.47
1978	44	4	48	159	97	2,034	30	21.03
1979	72	7	79	184	95	1,570	43	16.52
1980	41	1	42	130	84	1,043	32	12.45
1981	47	6	52	161	78	2,338	32	30.08
1982	91	11	101	231	93	3,414	44	36.81
1983	110	12	122	234	105	2,320	52	22.14
1984	117	7	124	269	89	5,334	46	60.24
1985	139	16	155	280	118	3,299	55	28.02
1986	69	7	76	210	97	2,354	36	24.24
1987	142	14	156	396	123	8,920	39	72.76
1988	194	40	233	440	206	3,045	53	14.76
1989	144	23	167	347	168	5,451	48	32.37
1990	174	17	191	384	150	5,739	50	38.29
1991	156	16	173	393	155	5,601	44	36.19
1992	157	28	185	426	187	6,035	43	32.25
1993	228	38	266	545	206	8,799	49	42.79
1994	239	38	277	535	226	5,838	52	25.84
1995	235	12	248	520	209	8,908	48	42.60
1996	207	15	221	503	222	5,643	44	25.39
1997	241	23	263	518	252	9,140	51	36.27
1998	231	22	253	528	237	4,485	48	18.91
1999	150	14	164	419	200	4,369	39	21.83
2000	159	20	178	382	195	3,610	47	18.47
2001	135	18	152	280	147	9,149	54	62.36
2002	136	26	162	348	153	5,863	47	38.41
2003	184	20	204	530	178	8,196	39	45.98
2004	192	26	218	543	220	5,463	40	24.80
2005	142	43	184	448	256	4,300	41	16.80
2006	123	23	146	448	244	3,975	33	16.29
2007	125	19	144	416	243	3,111	35	12.82
2008	127	23	150	388	235	4,464	39	18.97
2009	136	22	158	382	218	5,182	41	23.81
2010	129	19	148	378	200	5,475	39	27.32
2011	138	19	157	389	209	3,674	40	17.61
2012	109	17	126	344	193	2,791	37	14.44
2013	121	15	136	348	181	3,795	39	21.01
2014	121	24	145	374	163	7,340	39	45.13
2015	132	43	175	417	195	3,377	42	17.35
2016	106	22	128	365	180	4,320	35	23.95
2017	118	21	140	385	203	4,018	36	19.79
2018	98	27	125	389	210	3,256	32	15.51
2019	78	43	121	392	234	3,960	31	16.95
2020	80	45	125	441	264	3,956	28	15.01

表 5-2. 将来の親魚量 (a) および漁獲量 (b) の平均値の推移

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2021 年の漁獲量は現状の漁獲
 圧 (F2018-2020) から予測される 14.2 万トンとし、2022 年から漁獲管理規則による漁
 獲とした。

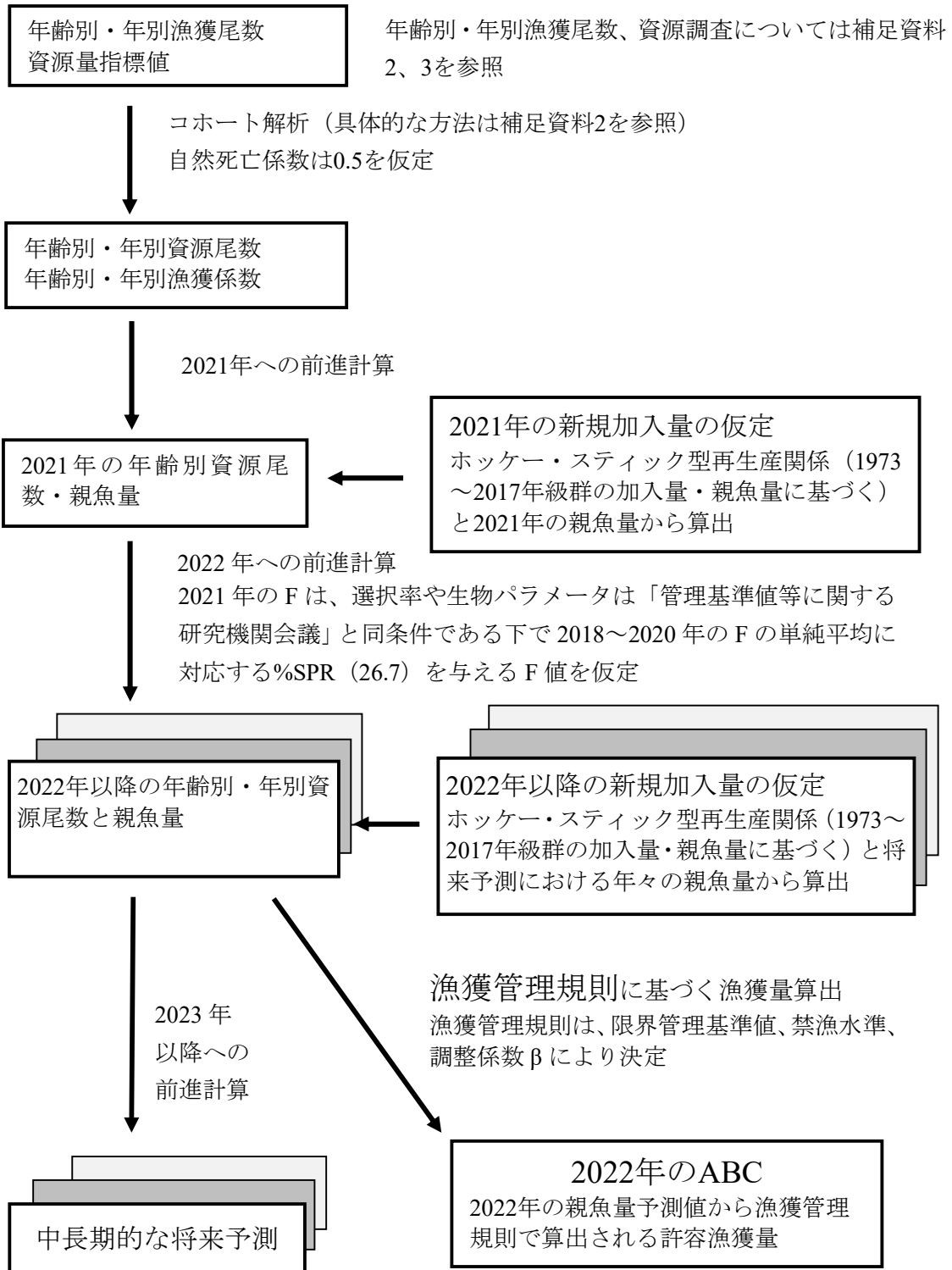
a) 親魚量の平均値の推移 (千トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	289	313	288	272	264	262	260	259	258	258	258	257	257
0.95	289	313	296	284	279	277	276	276	275	274	274	275	274
0.9	289	313	304	298	294	294	294	294	293	292	293	293	292
0.8	289	313	322	327	330	332	334	334	334	334	334	334	333
0.7	289	313	342	361	371	378	382	384	384	384	384	384	384
0.6	289	313	363	401	421	433	440	443	445	445	445	446	445
0.5	289	313	387	447	480	499	510	516	519	520	520	521	521
0.4	289	313	413	500	550	579	596	606	610	612	613	614	614
0.3	289	313	441	562	634	675	700	715	722	726	727	730	729
0.2	289	313	472	634	734	792	828	850	861	867	870	874	874
0.1	289	313	506	718	853	935	985	1,016	1,033	1,042	1,047	1,054	1,054
0	289	313	544	817	997	1,108	1,178	1,222	1,247	1,261	1,269	1,281	1,281
現状 F	289	313	325	333	337	340	342	343	342	342	342	342	342

b) 漁獲量の平均値の推移 (千トン)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	142	177	167	163	162	163	162	161	161	160	161	161	160
0.95	142	171	164	161	161	162	161	161	160	160	160	161	160
0.9	142	165	161	159	159	160	160	160	159	159	159	160	159
0.8	142	152	154	154	155	156	156	156	156	156	156	156	156
0.7	142	138	146	148	149	151	151	151	151	151	151	152	151
0.6	142	122	135	139	141	144	144	144	144	144	144	145	144
0.5	142	106	122	127	131	133	134	135	135	135	135	135	135
0.4	142	88	106	113	117	120	121	121	121	122	122	122	122
0.3	142	68	87	94	98	101	103	103	103	104	104	104	104
0.2	142	47	63	70	74	76	78	78	79	79	79	79	79
0.1	142	25	35	39	42	44	45	45	45	45	46	46	46
0	142	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
現状 F	142	149	153	153	154	156	156	156	155	155	155	156	155

補足資料1 資源評価の流れ



補足資料 2 計算方法

(1) 資源計算方法

本系群の漁獲量からマアジの年齢別・年別漁獲尾数を推定し（補注 1-2）、コホート解析によって資源尾数を計算した。2020 年の漁獲物平均尾叉長と体重、及び資源計算に用いた成熟割合は以下のとおり。年齢 3+は 3 歳以上を表す。自然死亡係数 M は、田内・田中の式（田中 1960）により、最高年齢を 5 歳として（ $M=2.5 \div \text{最高年齢 } 5 \text{ 歳}=0.5$ ）求めた。

年齢	0	1	2	3+
尾叉長 (cm)	11.6	18.5	22.8	29.5
体重 (g)	21.2	86.2	163.2	350
成熟割合 (%)	0	50	100	100

1973～2020 年の年齢別・年別漁獲尾数および平均体重（1 月～12 月を 1 年とする）は、東シナ海・日本海における大中型まき網漁業の銘柄別漁獲量と九州主要港における入り数別漁獲量、及び沿岸域で漁獲されたマアジの体長組成から推定した（補注 2）。

年齢別資源尾数の計算は、生残の式（式 1）と漁獲方程式（式 2）に基づくコホート解析を用いた。

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

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

ここで、 N は資源尾数、 C は漁獲尾数、 a は年齢（0～3+歳）、 y は年である。 F の計算は石岡・岸田（1985）の反復式を使い、プラスグループの資源尾数の扱いについては、平松（2000；非定常な場合のプラスグループ扱い方）に従った。また、最高年齢群 3 歳以上（3+）と 2 歳の各年の漁獲係数 F には比例関係があるとし、 α は定数（0.3）とした（依田ら 2007）。

$$F_{3+,y} = \alpha F_{2,y} \quad (3)$$

最近年（2020 年）の 0、1、2 歳の F 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 1 歳魚以上の年齢別資源量を反映すると考えられる 11 系列の指標値を用いた（補足表 2-1）。チューニング期間は、調査船調査の結果が得られる 2003～2020 年とした。ただし、着底トロール調査については 2020 年は未実施のため、2019 年までのデータを使用した。さらに、今年度の資源評価では、昨年度まで用いていた島根県中型まき網漁獲成績報告書から算出した漁獲量から、より精度が高いと考えられる水揚げ量に基づく CPUE を指標値として用いた。これに伴い指標値の集計期間は 2003 年以降から 2007 年以降に変更した。最小化させる負の対数尤度を以下のように定義した

(Hashimoto et al. 2018)。

$$-\ln L = \sum_k \sum_y \left[\frac{[\ln I_{k,y} - (b_k \ln N_{a(k),y} + \ln q_k)]^2}{2\sigma_k^2} - \ln \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_k} \right) \right] \quad (4)$$

ここで、 $I_{k,y}$ は y 年における指標 k の観測値、ここで、 N は0歳魚については資源尾数で、1歳魚以上は資源量、 I は年齢別漁法・調査別指標値(補注2、3)。 q_k 、 b_k 、 σ_k は推定(ターミナルFと同時推定)すべきパラメータ(指標ごとに定義)である。年齢別・年別の資源量は、年齢別・年別の資源尾数に年齢別・年別の漁獲物平均体重 $w_{a,y}$ を掛け合わせて求めた。

また、 $I_{f,k}$ と $N_{a,y}$ には、以下のべき乗式で表される関係があることを仮定した。

$$I_{k,y} = q_k B_{a(k),y}^{b_k} \quad (5)$$

近年、大中型まき網漁船の操業ヶ統数の減少が進んでおり、マアジに対する有効努力量も2003年以降で見ると大きく減少していることから、1歳魚および2歳魚の大中型まき網漁業の資源量指標値については2003~2007年と2008~2020年で、それぞれ別に漁獲効率に関連したパラメータ q を設定した。非線形を表す b_k は、昨年度の資源評価と同様に1に固定するとレトロスペクティブバイアス(Mohn's ρ , Mohn 1999)が高くなった($\rho=0.21$)。本系群の場合には親魚量の過大推定傾向が見られ、過去にさかのぼって親魚量の下方修正がみられた。バイアスを軽減するため、資源量推定に影響の大きい1歳魚以上の大中型まき網漁業の資源量指標値について b_k の推定を行った(1歳魚と2歳魚には2008~2020年について)。その結果、1(k=8)、2(k=12)、3+歳魚(k=13)でそれぞれ b_k は2.37、1.18、0.35と推定された。2歳魚については1に近かったため、 $b_k=1$ に固定し、1歳魚と3+歳魚について再度推定を行った($b_8=2.35$ 、 $b_{13}=0.36$) (補足表2-1、2-2)。この結果、親魚量のレトロスペクティブバイアスは0.21から0.15に軽減された(補足図2-2)。(式4)を最小化するようなFを探索的に求めた結果、 $F_{0,2020}=0.06$ 、 $F_{1,2020}=0.65$ 、 $F_{2,2020}=0.72$ 、 $F_{3+,2020}=0.21$ と推定された。

「資源評価のモデル診断手順と情報提供指針(令和3年度)FRA-SA2021-ABCWG02-03」に従って、本系群の評価に用いたVPAの統計学的妥当性や仮定に対する頑健性について診断した。残差プロットでは、調査船調査指標値には外れ値がみられた一方で、大中型まき網の指標値は分散が小さかった(補足図2-1)。

(2) 将来予測方法

得られた資源量をもとに漁獲管理規則に従う将来予測を行った。

将来の加入量の推定には、令和 2 年度に開催された資源管理方針に関する検討会において合意されたホッカー・スティック型関係式 ($a=0.0271$ 、 $b=1.67e+05$ 、 $SD=0.486$) から推定される値を用いた。なお、再生産関係のパラメータ推定に使用するデータは、令和元 (2019) 年度の資源評価に基づく親魚量・加入量とし、最適化方法には最小絶対値法を用いている。加入量の残差の自己相関は考慮していない。詳細は「令和 2 (2020) 年度マアジ対馬暖流系群の管理基準値等に関する研究機関会議報告書」(依田ほか 2020) を参照されたい。

将来予測における漁獲係数 F は、「漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針」における 1 系資源の管理規則に基づき算出される値を用いた。将来予測に用いたパラメータは補足表 2-1 に示す。選択率や漁獲物平均体重等の値には、令和 2 年度に開催された資源管理方針に関する検討会において合意された各種管理基準値の推定に用いた値を引き続き用いた。これらは再生産関係と同じく令和元 (2019) 年度の資源評価に基づく値であり、選択率および漁獲物平均体重はこの計算結果における 2016~2018 年の平均値である。2021 年の漁獲圧 (F_{2021}) は、管理基準値を算出した時と同じ選択率や生物パラメータ (平均体重等) の条件下で、今年度評価における 2018~2020 年の漁獲圧に対応する %SPR を与える F 値とし、体重は 2018~2020 年の平均値とした。

資源尾数の予測には、コホート解析の前進法 ((6-8) 式) を用いた。

$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \exp(-F_{a,y} - M) \quad (6)$$

$$N_{3+,y+1} = N_{3+,y} \exp(-F_{3+,y} - M) + N_{2,y} \exp(-F_{2,y} - M) \quad (7)$$

$$C_{a,y} = N_{a,y} \frac{F_{a,y}}{F_{a,y} + M} (1 - \exp(-F_{a,y} - M)) \quad (8)$$

将来予測における各種設定には補足表 2-3 の値を用いた。資源尾数や漁獲量の予測は ABCWG (2021) に基づき統計ソフトウェア R (version 4.0.3) 用計算パッケージ frasyr (version 2.2.2.0) を用いて実施した。

補注 1. 年齢別・年別漁獲尾数を以下のように推定した。1997~2020 年について、九州主要港に水揚げされる大中型まき網の漁獲物の体長組成を入り数別漁獲量から、九州の沿岸漁業及び日本海の漁獲物の体長組成を体長測定データと漁獲量から月別に推定した。これと月ごとに定めた各年齢の体長範囲により、年齢別・年別漁獲尾数を推定した。1996 年以前については、1973~2009 年の大中型まき網の月別銘柄別漁獲量を各年齢に単純に割り振り、1997~2009 年についての上記推定結果との各年齢の比率を求め、その 1997~2009 年平均を使って年齢別・年別漁獲尾数推定値を補正した。銘柄の年齢への振り分けは、6~12 月の豆銘柄及び 9~12 月のゼンゴ銘柄を 0 歳、1~5 月の豆、1~8 月のゼンゴ、9~12 月の小銘柄を 1 歳、1~8 月の小、6~12 月の中銘柄を 2 歳、1~5 月の中、1~12 月の大銘柄を 3+

歳とした。なお、2019年については漁獲量の暫定値の更新に伴い、年齢別・年別漁獲尾数も更新した。

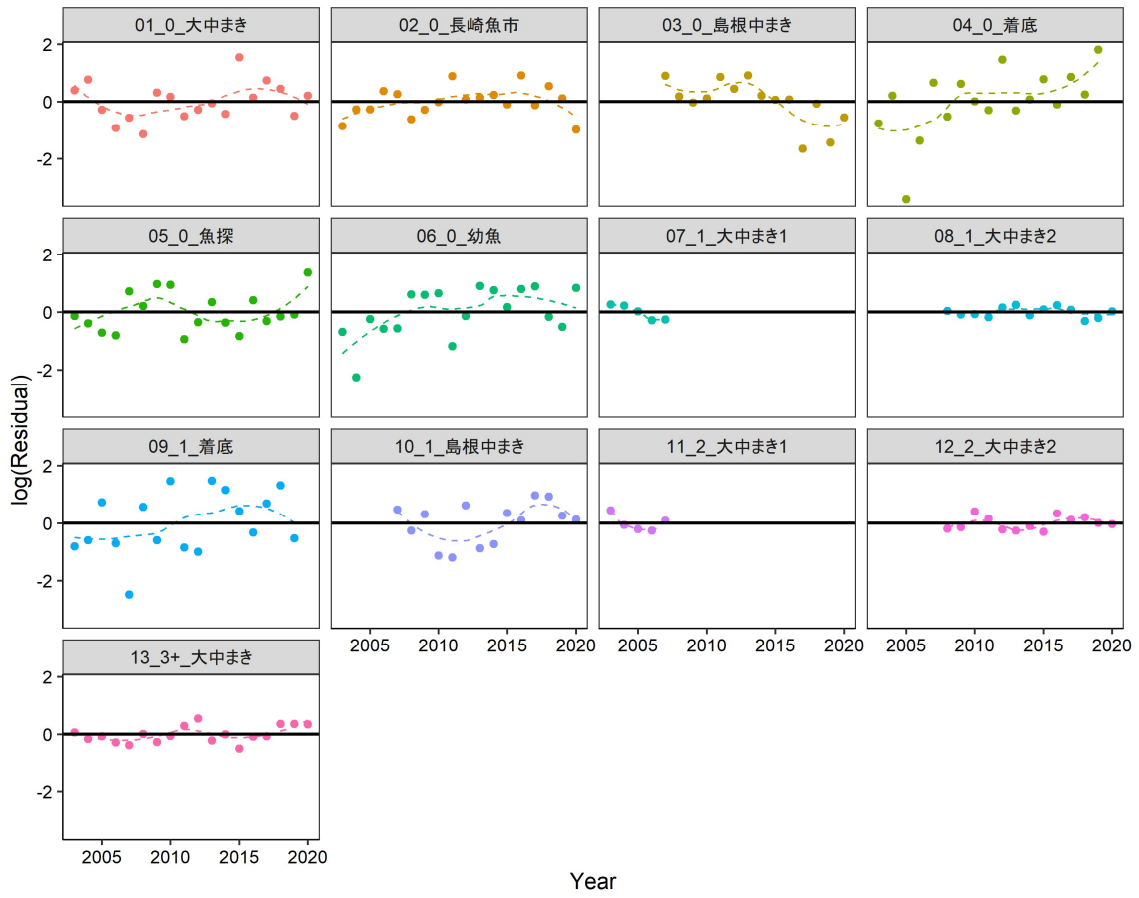
補注2. 0歳魚の指標値は漁況指標値として、大中型まき網漁業の0歳魚に相当する銘柄の標準化CPUE(6~12月)、長崎魚市豆銘柄1入港隻当り水揚量(9~1月)、島根県中型まき網一網当り豆銘柄漁獲量(8~1月)を用いた。また調査船調査からの指標値として、5~6月の着底トロールを用いた資源量直接推定調査(着底、補足資料3(1))によって得られた水深125m以浅におけるマアジ現存量、5~6月の中層トロールを用いた新規加入量調査(幼魚、補足資料3(2))、8~9月の計量魚探などを用いた魚群分布調査(魚探、補足資料3(3))によって得られたマアジ当歳魚の現存量指標値を用いた。

補注3. 歳魚の指標値は、大中型まき網漁業の1歳魚に相当する銘柄の標準化CPUE(1~12月)、1歳魚に相当すると考えられる3~5月に島根県中型まき網漁業によって漁獲された豆銘柄一網当り漁獲量、ならびに着底トロールを用いた資源量直接推定調査における1歳魚現存量(補足資料3(1))(2003年を1とする)を用いた。

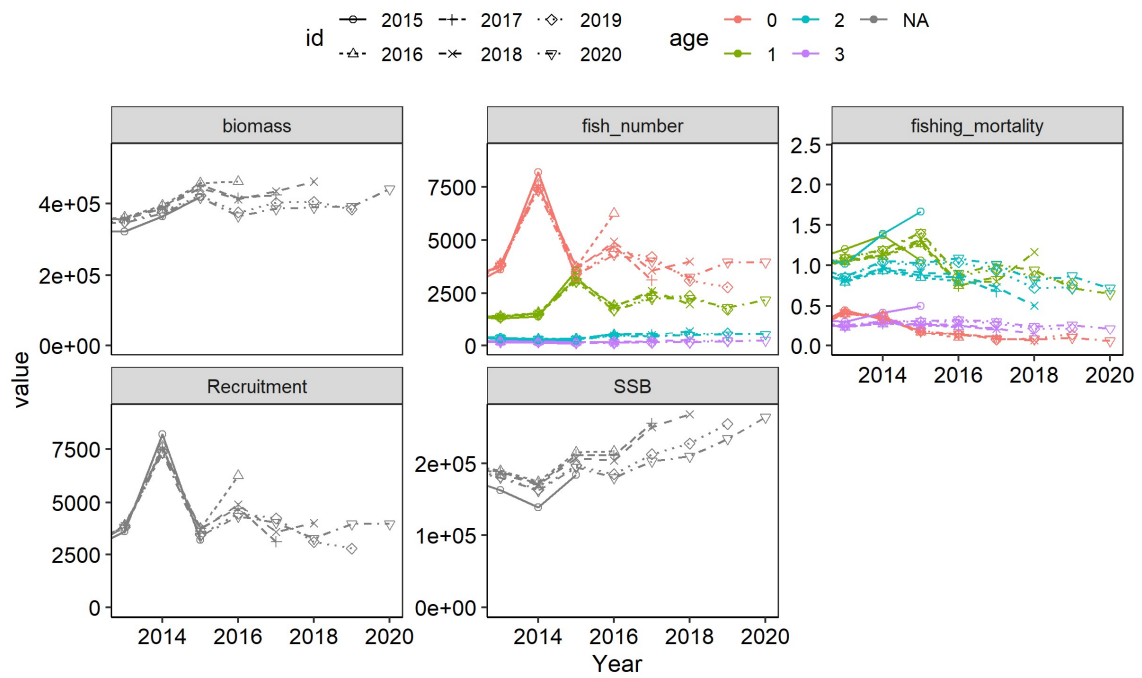
2歳と3歳以上の指標値は、それぞれ、大中型まき網漁業の2歳魚と3歳以上に相当する銘柄の標準化CPUE(1~12月)を用いた。

引用文献

- Hashimoto, M., H. Okamura, M. Ichinokawa, K. Hiramatsu and T. Yamakawa (2018) Impacts of the nonlinear relationship between abundance and its index in a tuned virtual population analysis. *Fish. Sci.* **84**(2), 335-347.
- 平松一彦 (2000) VPA. 平成12年度資源評価体制確立推進事業報告書-資源評価教科書-, 104-127.
- 石岡清英・岸田 達 (1985) コホート解析に用いる漁獲方程式の解法とその精度の検討. 南西水研報, **19**, 111-120.
- 大下誠二 (2000) 東シナ海におけるマアジの成熟特性に関する研究, 西海ブロック漁海況研報, **8**, 27-33.
- 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.
- 依田真里・檜山義明・大下誠二・由上龍嗣 (2007) 平成18年度マアジ対馬暖流系群の資源評価. 平成18年度我が国周辺水域の漁業資源評価(第一分冊), 水産庁・水産総合研究センター, pp.93-117.



補足図 2-1. 各指標値の残差プロット



補足図 2-2. レトロスペクティブ解析の結果

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 (加入量)

指標値	漁況			調査		
	大中まき	長崎魚市	島根中まき	着底	魚探	幼魚
k	1	2	3	4	5	6
対象	N_0	N_0	N_0	N_0	N_0	N_0
2003	2.20	1.59		8,487	20.5	0.70
2004	2.12	1.90		15,161	10.6	0.10
2005	0.58	1.50		324	6.1	0.57
2006	0.28	2.64		2,265	5.1	0.38
2007	0.32	1.86	8.82	13,569	18.1	0.30
2008	0.26	1.10	6.19	5,934	15.8	1.38
2009	1.28	1.78	5.81	21,712	39.0	1.59
2010	1.16	2.47	7.10	12,375	40.4	1.77
2011	0.40	4.08	10.03	6,062	4.1	0.19
2012	0.38	1.37	5.06	27,122	5.7	0.41
2013	0.64	2.00	10.93	6,237	15.3	1.58
2014	0.86	4.25	10.40	17,625	14.5	2.66
2015	2.85	1.41	4.14	16,593	4.2	0.68
2016	0.90	4.92	5.38	8,819	18.5	1.62
2017	1.53	1.62	0.89	21,411	8.5	1.66
2018	0.92	2.55	3.48	9,310	8.1	0.47
2019	0.44	2.04	1.09	54,603	10.5	0.40
2020	0.88	0.68	2.62		44.7	1.54
b_k	1	1	1	1	1	1
q_k	1.81e-04	4.58e-04	1.16e-03	2.24	2.85e-03	1.68e-04
σ_k	0.64	0.50	0.75	1.14	0.66	0.84

補足表 2-2. チューニングに用いた指標値とパラメータ推定値 (1 歳魚以上)

指標値	漁況		調査	漁況			
	大中まき		着底	島根中まき		大中まき	
k	7	8	9	10	11	12	13
対象	B_1	B_1	B_1	B_1	B_2	B_2	B_{3+}
2003	0.99		1.00		1.26		0.72
2004	1.39		1.81		0.71		0.65
2005	1.01		5.95		0.82		0.89
2006	0.66		1.25		0.65		0.78
2007	0.56		0.18	11.34	0.98		0.74
2008		0.95	3.61	5.24		0.88	1.14
2009		0.65	1.02	8.39		0.73	0.88
2010		1.27	10.43	2.62		1.05	0.96
2011		0.80	0.89	2.09		1.38	1.27
2012		0.73	0.64	10.72		0.90	1.65
2013		0.88	7.94	2.52		0.66	0.79
2014		0.53	5.37	2.75		0.64	0.93
2015		2.02	4.19	13.03		0.51	0.55
2016		1.08	1.43	7.32		1.49	0.78
2017		1.41	4.71	21.01		1.14	0.86
2018		0.65	7.58	17.22		1.52	1.37
2019		0.75	1.22	8.85		1.33	1.49
2020		1.68		9.91		1.34	1.52
b_k	1	2.35	1	1	1	1	0.36
q_k	4.73e-03	7.20e-06	1.39e-02	4.63e-02	1.07e-02	1.56e-02	2.20e-01
σ_k	0.18		1.06	0.70	0.23		0.28

補足表 2-3. 将来予測計算に用いたパラメータ

	選択率 (注 1)	Fmsy (注 2)	F2018-2020 (注 3)	平均体重 (g)	自然死亡 係数	成熟 割合
0 歳	0.10	0.11	0.09	27.6	0.5	0
1 歳	1.00	1.10	0.86	74.8	0.5	0.5
2 歳	0.74	0.82	0.64	154	0.5	1.0
3 歳以上	0.22	0.24	0.19	359	0.5	1.0

注 1：令和 2 年度研究機関会議で MSY を実現する水準の推定の際に使用した選択率。

注 2：令和 2 年度研究機関会議で推定された Fmsy。

注 3：上記の選択率の下で、今回の資源評価で推定された 2018～2020 年の年齢別の平均。F と同じ漁獲圧を与える F 値を %SPR 換算して算出した。この F 値は 2021 年漁獲量の仮定に使用した。

補足資料 3 調査船調査の結果

(1) 資源量直接推定調査（着底）：5～6月に東シナ海陸棚縁辺部で行った着底トロールを用いて推定された分布量を以下に示す（調査海域面積 138 千 km²、漁獲効率を 1 とした計算）。

年	2000	2001	2002	2003	2004	2005
現存量推定値 (トン)	26,700	70,907	34,945	9,422	23,535	7,098
年	2006	2007	2008	2009	2010	2011
現存量推定値 (トン)	2,693	13,700	9,544	25,290	23,536	7,041
年	2012	2013	2014	2015	2016	2017
現存量推定値 (トン)	28,570	13,335	21,077	20,590	10,302	24,909
年	2018	2019	2020	2021		
現存量推定値 (トン)	15,436	58,753	欠測*	29,748**		

*2020 年は調査実施できなかったため、欠測。 **2021 年は速報値。

(2) 新規加入量調査（幼魚）：2002 年から中層トロールと計量魚探による新規加入量調査を 5～6 月に対馬周辺～日本海西部海域で行っており、2003 年から計算している加入量指標値を以下に示す。

年	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
加入量指標値	1.00	0.07	0.10	0.23	0.28	1.24	1.45
年	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
加入量指標値	1.92	0.21	0.42	2.02	3.03	0.34	2.20
年	2017	2018	2019	2020	2021		
加入量指標値	2.74	0.76	0.70	1.35	0.90*		

*2021 年は速報値。

(3) 計量魚探などを用いた魚群量調査（魚探）：夏季（8～9 月）に九州西岸と対馬東海域で行った魚群量調査による現存量指標値を以下に示す。対象となるマアジは主に 0 歳魚である。

年	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
現存量指標値	8.0	3.3	18.4	12.1	89.8	5.7	20.5
年	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
現存量指標値	10.6	6.1	5.1	18.1	15.8	39.0	40.4
年	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
現存量指標値	4.1	5.7	15.3	14.5	4.2	18.5	8.5
年	2018	2019	2020				
現存量指標値	8.1	10.5	44.7				

(4) 新規加入量調査「ニューストーンネットを用いた新規加入量調査」の曳網数と主要種の採集個体数：2000年以降、2～5月に東シナ海及び九州沿岸海域で実施している。本調査は表層に分布する稚魚を対象としており、マアジ稚魚の生息水深を網羅していないため、得られる結果は参考値として取り扱った。

調査月	調査年	調査機関	曳網数	マアジ	サバ属	カタクチイワシ	ブリ	マイワシ
2月	2001	西海水研	65	3	184	33	6	0
3月	2001	鹿児島県	18	27	26	426	0	1
		西海水研	47	107	87	9	14	0
	2002	鹿児島県	18	8	7	5	8	1
	2003	鹿児島県	16	3	1	0	0	0
	2004	鹿児島県	18	25	185	1,856	9	0
	2005	鹿児島県	15	4	27	1,157	1	0
	2006	鹿児島県	17	6	75	1,330	0	0
	2007	鹿児島県	18	6	56	553	2	0
	2008	鹿児島県	18	23	136	349	1	0
	2009	鹿児島県	17	2	22	5	0	1
	2010	鹿児島県	17	28	52	886	2	0
	2011	鹿児島県	17	121	262	19	10	371
	2012	鹿児島県	18	29	78	27	10	12
	2013	鹿児島県	18	6	11	473	3	96
	2014	鹿児島県	14	14	34	24	3	17
	2015	鹿児島県	18	5	1	15	3	7
	2016	鹿児島県	18	64	41	525	33	49
	2017	鹿児島県	2	0	2	11	0	4
	2018	鹿児島県	16	39	48	4	73	0
	2019	鹿児島県	12	35	4	17	0	0
2021	鹿児島県	18	59	474	2,918	80	14	
4月	2000	長崎県	13	93	4	72	9	1
		西海水研	79	3,811	185	10,906	264	0
	2001	山口県	8	0	0	1	0	2
		長崎県	18	65	2	1,255	4	2
		鹿児島県	16	19	44	140	33	0
	2002	西海水研	88	1,339	331	2,294	359	30
		長崎県	18	17	2	58	47	0
		鹿児島県	16	23	13	8	24	0
	2003	西海水研	107	207	254	4,854	485	0
		長崎県	13	15	14	4,414	27	0
		鹿児島県	18	84	58	4,632	232	0
	2004	西海水研	96	288	225	52,153	463	0
		長崎県	15	97	0	12,949	93	0
		鹿児島県	18	5	65	13,699	167	0
	2005	西海水研	92	461	408	59,546	539	43
長崎県		15	14	4	17,667	20	0	
鹿児島県		18	6	8	12,036	53	4	
		西海水研	91	546	1,831	69,585	216	9

調査月	調査年	調査機関	曳網数	マアジ	サバ属	カタクチイワシ	ブリ	マイワシ
4月	2006	長崎県	12	19	25	18,067	18	0
		鹿児島県	18	21	127	20,243	31	1
		西海水研	94	231	789	63,377	151	233
	2007	長崎県	18	158	152	3,727	36	9
		鹿児島県	18	22	81	39,374	31	1
		西海水研	91	104	1,329	35,060	255	9
	2008	長崎県	12	151	107	4,722	6	15
		鹿児島県	18	22	499	2,896	53	1
		西海水研	84	1,454	781	7,786	454	4
	2009	長崎県	10	44	5	200	22	0
		鹿児島県	18	31	87	30	117	0
		西海水研	90	617	1,810	5,037	570	5
	2010	長崎県	8	24	5	2,175	21	37
		鹿児島県	17	33	50	1,850	140	88
		西海水研	93	440	611	2,561	577	613
	2011	長崎県	10	82	104	1,236	155	289
		鹿児島県	15	141	166	1,450	53	5
		西海水研	72	1,241	9,385	22,328	1,046	208
	2012	長崎県	18	39	67	623	20	34
		鹿児島県	17	24	28	210	11	32
		西海水研	72	2,110	195	9,279	196	255
	2013	長崎県	11	51	35	2,408	47	5
		鹿児島県	17	18	113	15,840	128	32
		西海水研	70	267	288	35,923	1,146	183
	2014	長崎県	18	90	243	1,907	39	43
		鹿児島県	18	35	364	2,448	352	89
		西海水研	73	989	297	19,124	1,060	57
	2015	長崎県	6	18	19	830	4	3
		鹿児島県	16	42	280	12,119	325	17
		西海水研	72	448	1,722	116,787	1,200	7
	2016	長崎県	9	39	18	11,019	17	18
		鹿児島県	18	52	508	30,434	173	122
		西海水研	77	350	2,156	73,522	1,234	228
	2017	長崎県	4	11	42	1,522	40	2
		鹿児島県	18	33	137	1,853	490	10
		西海水研	71	1,297	1,411	31,663	1,093	4
	2018	長崎県	17	155	651	2,672	476	3
		鹿児島県	18	32	261	1,772	388	0
		西海水研	72	105	711	54,880	1,171	28
	2019	長崎県	4	31	50	136	1	0
		鹿児島県	18	51	224	2,342	384	0
		西海水研	72	724	1,294	18,152	1,890	0
2020	長崎県	6	24	24	360	17	1	
	鹿児島県	14	24	450	1,942	103	3	
	西海水研	71	388	590	21,574	1,432	1	
2021	長崎県	6	9	7	6,286	28	51	

調査月	調査年	調査機関	曳網数	マアジ	サバ属	カタクチイワシ	ブリ	マイワシ
4月	2021	鹿児島県	18	18	304	35,115	178	2
		西海水研	70	215	582	62,402	1,110	2
5月	2000	山口県	8	0	0	0	0	11
		長崎県	19	92	9	54	25	0
		鹿児島県	18	13	17	242	60	0
	2001	山口県	8	4	14	1	0	1
		長崎県	19	195	18	344	39	0
		鹿児島県	18	122	10	163	51	0
	2002	山口県	8	1	5	7	0	0
		長崎県	19	53	2	127	367	0
		鹿児島県	18	33	6	30	189	0
	2003	山口県	8	0	4	22	0	3
		長崎県	19	8	7	6,290	15	0
		鹿児島県	16	12	11	1,693	188	0
	2004	山口県	8	5	0	393	0	0
		長崎県	18	5	0	33,453	52	0
		鹿児島県	18	6	8	27,518	53	0
	2005	山口県	8	0	20	2,473	0	1
		長崎県	18	29	52	25,851	12	2
		鹿児島県	18	60	4	7,690	32	0
	2006	山口県	8	3	8	3,232	0	7
		長崎県	12	17	24	2,921	15	0
		鹿児島県	18	33	54	44,164	177	0
	2007	山口県	8	0	7	288	4	1
		長崎県	18	13	149	25,668	36	1
		鹿児島県	18	9	77	18,901	84	1
	2008	山口県	8	6	55	708	6	9
		長崎県	14	60	3	2,842	36	0
		鹿児島県	13	5	29	3,737	258	0
	2009	山口県	8	131	225	2,756	15	18
		長崎県	14	8	20	3,590	292	0
		鹿児島県	18	4	15	387	330	2
	2010	山口県	8	29	23	2,193	0	6
		長崎県	8	0	2	3,064	14	0
		鹿児島県	18	13	29	10,907	1,250	2
	2011	山口県	8	1	21	1,194	5	16
		長崎県	10	10	2	6,680	11	3
		鹿児島県	18	41	5	2,152	101	0
2012	山口県	8	2	26	1,311	17	1	
	長崎県	17	9	1,127	1,639	56	107	
	鹿児島県	18	24	117	198	131	3	
2013	山口県	8	4	37	1,578	2	299	
	長崎県	15	2	170	6,252	65	3	
	鹿児島県	18	9	25	7,651	745	2	
2014	山口県	8	0	98	1,294	0	9	
	長崎県	12	5	14	2,210	138	3	

調査月	調査年	調査機関	曳網数	マアジ	サバ属	カタクチイワシ	ブリ	マイワシ
5月	2014	鹿児島県	18	29	39	2,177	761	7
	2015	山口県	8	8	58	3,055	0	25
		長崎県	10	0	19	633	15	0
		鹿児島県	18	11	228	39,981	215	0
	2016	長崎県	9	0	11	542	6	0
		鹿児島県	18	37	27	2,649	80	3
	2017	長崎県	18	4	17	4,617	57	3
		鹿児島県	15	22	47	9,322	335	2
	2018	長崎県	18	22	92	10,362	298	0
		鹿児島県	17	12	6	5,850	225	0
	2019	鹿児島県	18	10	25	5,218	235	0
	2020	長崎県	6	0	392	815	95	0
		鹿児島県	18	17	7	934	514	0
	2021	長崎県	6	4	136	15,724	91	18
鹿児島県		18	6	338	76,571	609	0	
6月	2002	山口県	8	0	13	10	117	0
	2003	山口県	8	4	17	57	0	0
	2004	山口県	8	0	0	1,415	24	0
	2005	山口県	8	5	1	285	5	0
	2006	山口県	8	0	0	600	0	0
	2007	山口県	8	1	5	788	4	0
	2008	山口県	8	14	0	657	32	5
	2009	山口県	8	23	4	2,121	69	1
	2010	山口県	8	0	4	1,112	5	4
	2011	山口県	8	1	50	1,589	0	1
	2012	山口県	8	2	1	719	27	0
	2013	山口県	8	1	1	1,389	51	0
	2014	山口県	8	15	1	120	70	1
	2015	山口県	8	0	28	2,092	7	0

補足資料4 コホート解析結果の詳細(1973~2020年)

年 年齢	漁獲尾数(百万尾)				漁獲重量(千トン)				漁獲係数F			
	0	1	2	3+	0	1	2	3+	0	1	2	3+
1973	286	510	255	20	7	41	39	7	0.13	0.79	1.38	0.41
1974	677	841	187	23	17	68	29	8	0.25	1.08	1.24	0.37
1975	1,451	971	206	27	37	79	32	9	0.58	1.02	1.49	0.45
1976	222	798	212	17	6	65	33	6	0.16	1.17	1.03	0.31
1977	99	393	140	26	3	32	22	9	0.26	0.67	1.04	0.31
1978	41	94	190	29	1	8	29	10	0.03	0.60	1.33	0.40
1979	631	662	30	12	16	54	5	4	0.69	1.11	0.57	0.17
1980	43	181	129	17	1	15	20	6	0.05	0.63	1.06	0.32
1981	180	368	77	17	5	30	12	6	0.10	1.35	0.94	0.28
1982	428	931	55	19	11	76	8	6	0.17	1.95	1.22	0.37
1983	369	1,217	62	11	9	99	9	4	0.22	1.76	1.13	0.34
1984	1,716	684	131	15	43	56	20	5	0.51	1.32	1.91	0.57
1985	907	1,355	118	9	23	110	18	3	0.42	1.77	1.50	0.45
1986	324	553	126	10	8	45	19	3	0.19	0.73	1.40	0.42
1987	2,037	695	275	16	51	57	42	5	0.34	1.25	1.89	0.57
1988	1,136	2,223	125	13	29	181	19	5	0.62	1.19	1.32	0.40
1989	1,481	442	555	23	37	36	85	8	0.41	0.79	2.40	0.72
1990	1,441	1,535	163	14	36	125	25	5	0.38	1.79	1.28	0.38
1991	1,704	1,283	126	16	43	104	19	6	0.48	1.06	1.18	0.35
1992	1,042	1,147	367	25	26	93	57	9	0.24	1.08	1.99	0.60
1993	1,799	2,007	320	24	45	163	49	8	0.30	1.78	2.03	0.61
1994	1,897	2,458	161	12	48	200	25	4	0.52	1.37	1.10	0.33
1995	2,652	1,256	442	30	67	102	68	10	0.46	1.27	1.92	0.58
1996	820	1,946	222	22	21	158	34	8	0.20	1.19	1.37	0.41
1997	3,094	1,652	405	25	51	137	66	9	0.55	1.25	1.47	0.44
1998	1,218	2,020	286	31	46	154	43	10	0.41	1.41	1.25	0.37
1999	1,037	878	267	31	33	80	42	10	0.35	0.91	1.14	0.34
2000	891	1,106	298	47	27	90	43	18	0.37	1.26	1.66	0.50
2001	4,436	985	185	26	35	80	28	9	0.90	1.51	1.21	0.36
2002	2,131	1,182	130	29	38	95	21	9	0.60	1.02	1.48	0.44
2003	2,301	878	320	20	76	72	49	7	0.43	0.80	1.51	0.45
2004	1,205	1,809	260	18	45	132	35	6	0.32	1.14	0.92	0.27
2005	526	1,297	327	36	11	112	49	12	0.17	1.07	1.01	0.30
2006	480	1,038	218	35	14	86	35	12	0.17	0.86	0.77	0.23
2007	353	1,109	248	40	11	82	37	14	0.15	1.08	0.78	0.23
2008	1,284	913	179	44	23	83	29	15	0.44	1.16	0.75	0.22
2009	1,533	1,077	156	51	29	82	27	20	0.46	1.37	0.97	0.29
2010	1,805	974	125	34	30	85	21	12	0.53	0.92	0.85	0.26
2011	1,009	953	266	36	29	73	42	13	0.42	0.91	1.12	0.33
2012	403	752	251	34	13	64	37	12	0.20	0.99	1.01	0.30
2013	1,034	758	156	32	28	71	26	11	0.42	1.10	0.86	0.26
2014	1,856	873	150	36	38	70	24	12	0.38	1.19	1.05	0.32
2015	451	1,911	148	28	17	124	23	11	0.18	1.40	1.03	0.31
2016	480	823	247	27	13	69	37	9	0.15	0.90	1.09	0.33
2017	240	1,172	220	30	6	89	34	11	0.08	1.01	1.01	0.30
2018	194	1,124	226	27	6	73	36	10	0.08	0.94	0.82	0.24
2019	286	760	252	38	6	61	40	14	0.10	0.72	0.87	0.26
2020	175	841	223	36	4	73	36	13	0.06	0.65	0.72	0.21

補足資料4(続き) コホート解析結果の詳細(1973~2020年)

年\ 年齢	平均体重 (g)				資源尾数 (百万尾)				資源量 (千トン)			
	0	1	2	3+	0	1	2	3+	0	1	2	3+
1973	25	81	154	345	2,913	1,152	411	75	74	94	63	26
1974	25	81	154	345	3,900	1,547	318	93	99	126	49	32
1975	25	81	154	345	4,113	1,849	318	95	104	150	49	33
1976	25	81	154	345	1,927	1,402	403	80	49	114	62	28
1977	25	81	154	345	553	999	264	123	14	81	41	43
1978	25	81	154	345	2,034	260	311	111	51	21	48	38
1979	25	81	154	345	1,570	1,202	87	95	40	98	13	33
1980	25	81	154	345	1,043	480	241	78	26	39	37	27
1981	25	81	154	345	2,338	599	155	85	59	49	24	29
1982	25	81	154	345	3,414	1,280	94	76	86	104	15	26
1983	25	81	154	345	2,320	1,744	111	49	59	142	17	17
1984	25	81	154	345	5,334	1,126	181	43	135	92	28	15
1985	25	81	154	345	3,299	1,940	183	31	83	158	28	11
1986	25	81	154	345	2,354	1,314	201	37	59	107	31	13
1987	25	81	154	345	8,920	1,180	384	45	225	96	59	15
1988	25	81	154	345	3,045	3,862	206	51	77	314	32	17
1989	25	81	154	345	5,451	994	709	54	138	81	109	19
1990	25	81	154	345	5,739	2,184	273	55	145	178	42	19
1991	25	81	154	345	5,601	2,387	221	69	142	194	34	24
1992	25	81	154	345	6,035	2,109	500	70	153	172	77	24
1993	25	81	154	345	8,799	2,865	433	65	222	233	67	22
1994	25	81	154	345	5,838	3,967	294	56	148	323	45	19
1995	25	81	154	345	8,908	2,109	612	84	225	172	94	29
1996	25	81	154	345	5,643	3,398	359	83	143	276	55	29
1997	16	83	164	369	9,140	2,796	630	89	150	231	103	33
1998	38	76	149	343	4,485	3,212	485	123	168	246	72	42
1999	31	91	156	328	4,369	1,797	476	136	137	163	74	44
2000	31	82	143	376	3,610	1,863	438	151	110	152	63	57
2001	8	81	154	345	9,149	1,513	319	106	73	122	49	37
2002	18	80	158	300	5,863	2,252	202	102	106	180	32	31
2003	33	82	154	328	8,196	1,954	492	68	271	161	76	22
2004	38	73	133	348	5,463	3,229	530	92	205	236	71	32
2005	21	87	151	337	4,300	2,397	626	171	88	208	95	58
2006	28	83	159	344	3,975	2,205	497	214	112	183	79	74
2007	31	74	149	342	3,111	2,044	565	242	97	151	84	83
2008	18	91	162	342	4,464	1,617	421	274	79	147	68	94
2009	19	76	173	386	5,182	1,736	309	254	99	132	54	98
2010	16	88	166	370	5,475	1,984	267	187	90	174	44	69
2011	29	76	158	372	3,674	1,960	480	157	106	149	76	58
2012	32	85	148	365	2,791	1,464	481	163	88	125	71	60
2013	27	94	164	342	3,795	1,385	331	179	102	130	54	61
2014	20	81	162	332	7,340	1,518	281	169	150	122	46	56
2015	37	65	158	384	3,377	3,044	280	134	124	198	44	52
2016	26	84	150	344	4,320	1,703	453	120	114	142	68	41
2017	24	76	154	362	4,018	2,253	421	145	96	171	65	53
2018	33	65	157	371	3,256	2,253	499	158	106	146	78	59
2019	21	81	160	359	3,960	1,826	532	209	85	147	85	75
2020	21	86	163	350	3,956	2,182	539	233	84	188	88	82