

令和 2（2020）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：水産技術研究所、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

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って計算した。本系群の資源量は、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、2019 年の資源量は 42 万トンと推定された。

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、本系群の再生産関係にはホッカー・スティック型（HS）が、最大持続生産量（MSY）を実現することのできる水準の親魚量（SB_{msy}）には 25 万トンが、それぞれ提案されている。この基準に従うと、本系群の 2019 年の親魚量（28 万トン）は MSY を実現する水準を上回る。また本系群に対する漁獲圧は近年減少傾向にあり、MSY を実現する水準（F_{msy}）を下回っている。親魚量の動向は近年 5 年間（2015～2019 年）の推移から「増加」と判断される。本系群は韓国、中国等によっても漁獲されている。特に東シナ海において操業する数百隻の中国漁船は当該資源に大きな影響を与えていると想定されるが、本資源評価ではその影響を考慮できていない。

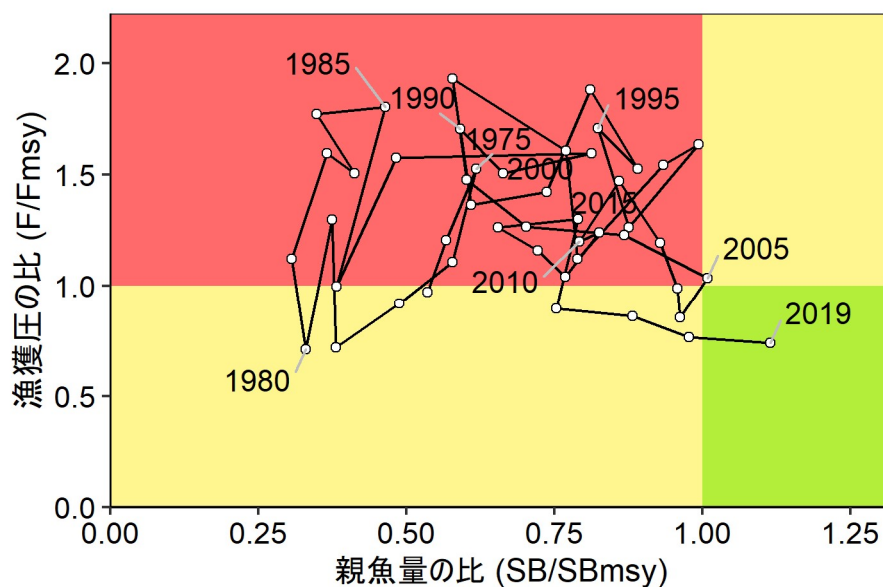
本系群では、管理基準値や将来予測など、資源管理方針に関する検討会の議論をふまえて作成される項目については管理基準値等に関する研究機関会議において提案された値を暫定的に示した

項目	値	備考
現在の環境下において MSY を実現する水準		
SBmsy	254 千トン	最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量
Fmsy	(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
2019 年の親魚量と漁獲圧		
SB2019	283 千トン	2019 年の親魚量
F2019	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳以上) = (0.13, 0.78, 0.61, 0.18)	
%SPR (F2019)	28.2%	2019 年の %SPR
%SPR (F2017-2019)	26.1%	2017～2019 年の平均漁獲圧に対応する %SPR
MSY を実現する水準に対する比率		
SB2019/ SBmsy	1.11	最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量に対する 2019 年の親魚量の比
F2019/ Fmsy	0.74	最大持続生産量 (MSY) を実現する漁獲圧に対する 2019 年の漁獲圧の比*

*2019 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－・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/F _{msy}	漁獲割合 (%)
2016	386	191	128	0.99	33
2017	423	224	140	0.86	33
2018	430	248	125	0.77	29
2019	418	283	121	0.74	29
2020	453	268	113	0.80	25
2021	495	277	—	—	—

2020 年、2021 年の値は将来予測に基づいた推定値である。

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） 主要港水揚げ量（青森～鹿児島（17）府県） 九州主要港入り数別水揚げ量（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 、2020 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）* 中型まき網漁業漁獲成績報告書（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) 漁獲量の推移と漁獲物の年齢組成

対馬暖流域での我が国のマアジ漁獲量は、1973～1976 年には 93 千～150 千トンであったが、その後減少し、1980 年に 41 千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 135 千～159 千トンに減少した。2003 年から漁獲量は再び増加し、2004 年には 192 千トンであった。2006 年以降はほぼ横ばいであったが、2019 年は 78 千トンと 2018 年に引き続き 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、2019 年のアジ類の漁獲量は 43 千トンであった。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 59 千トンに減少し、2009 年以降は 2 万～4 万トンの間で推移しており、2018 年は 40 千トンであった（FAO Fishery and Aquaculture Statistics. Global capture

production 1950- 2018 (Release date: March 2020; <http://www.fao.org/fishery/statistics/software/fishstatj/en>, 2020 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。2019 年の網数は約 5 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 1973～2019 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（2019 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）。

(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、2019 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、2019 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）。2019 年の資源量指標値は、過去 15 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、大中型まき網と日本海幼魚

調査の資源量指標値については CPUE の標準化を行った（補足資料 5、ドキュメント 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、2013 年は 35 万トンだった。2014 年以降は 38 万～43 万トンで推移し、2019 年は 42 万トンであった。

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 30 億～60 億尾で推移していたが、2014 年加入量は再び増加し、74 億尾となった。2019 年の加入量は 30 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 17 万トンまで減少した。2015 年以降は再び 20 万トン前後で推移し、2018 年には 25 万トン、2019 年には 28 万トンと、増加した（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。年齢別でみると 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 2014 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
SB2019	283 千トン	2019 年の親魚量
F2019	(0 歳, 1 歳, 2 歳, 3 歳以上) = (0.13, 0.78, 0.61, 0.18)	
U2019	29%	2019 年の漁獲割合

（4）加入量当たり漁獲量（YPR）、加入量あたり親魚量（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 2019 年は 28.1%だった。現状の漁獲圧として近年 3 年間（2017～2019 年）の平均 F 値から %SPR に換算すると 26%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（Fmsy）の推定に用いた値（依田ほか 2020）を用いた。現状の漁獲圧（F2017-2019）は、F30%SPR、F0.1 を上回り、Fmsy を下回った。

項目	値	備考
%SPR（F2019）	28.2%	2019 年の %SPR
%SPR（F2017-2019）	26.1%	現状の漁獲圧（F2017-2019）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.
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

現在（1973 年以降）の環境下において最大持続生産量 MSY を実現する親魚量（SBmsy）および MSY を実現する漁獲圧（Fmsy）として上述の「管理基準値等に関する研究機関会議」で提案された値（依田ほか 2020）を下表に示す。

項目	提案値	備考
SBmsy	254 千トン	最大持続生産量（MSY）を実現する親魚量
Fmsy	(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その時の漁獲圧を基準にした神戸プロットを図 4-12 に示す。近年における本系群における漁獲圧は MSY を実現する水準を下回っていると判断される。2019 年の漁獲圧は MSY を実現する漁獲圧の 0.74 倍である。また本系群における親魚量は 1973～2018 年まで 2005 年を除くと MSY を実現する水準を下回っており（表 3-1）、2019 年に親魚量は MSY を実現する親魚量を上回った。なお、漁獲圧の比（ F/F_{msy} ）は、各年の選択率下において %SPR 値が F_{msy} に対応する値となる場合の F 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（2015～2019 年）の推移から増加と判断される。

項目	値	備考
SB2019/ SB $_{msy}$	1.11	最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量に対する 2019 年の親魚量の比
F2019/ F_{msy}	0.74	最大持続生産量 (MSY) を実現する漁獲圧に対する 2019 年の漁獲圧の比*

*2019 年の選択率の下で F_{msy} 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. 資源評価のまとめ

本系群の親魚量は、1973～2018 年には 2005 年を除いて MSY を下回る水準だったが、近年 5 年間（2015～2019 年）は増加傾向で推移し、2019 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、2016 年以降は MSY を実現する水準を下回り、横ばいで推移している。

6. 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。

7. 引用文献

- 堀田秀之・真子渺(1970) 西日本海域におけるマアジの群構造に関する研究-I. 漁況変動による解析. 西水研研報, 38, 87-100.
- 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.
- 水産総合研究センター (2013) 平成 24 年度資源変動要因分析調査報告書「マアジ対馬暖流系群」.39-52.
- 水産総合研究センター (2016) 平成 27 年度資源変動要因分析調査報告書「マアジ対馬暖流系群」.55-64.
- 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)

(執筆者：依田真里、向 草世香、黒田啓行、高橋素光、佐々千由紀)

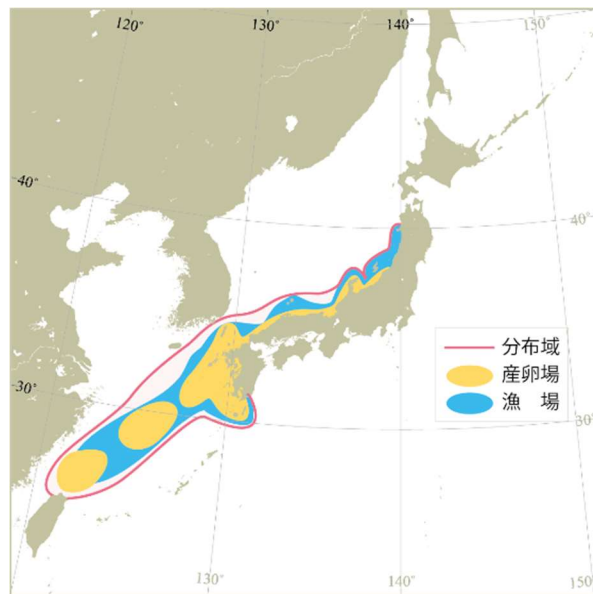


図 2-1. マアジ対馬暖流系群の分布域と産卵場

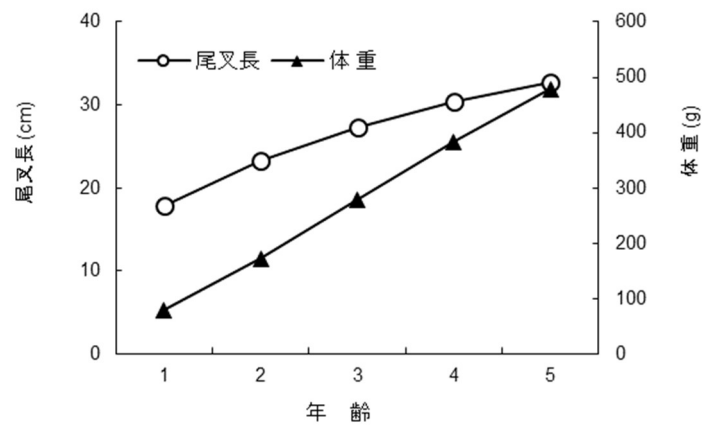


図 2-2. 年齢と成長

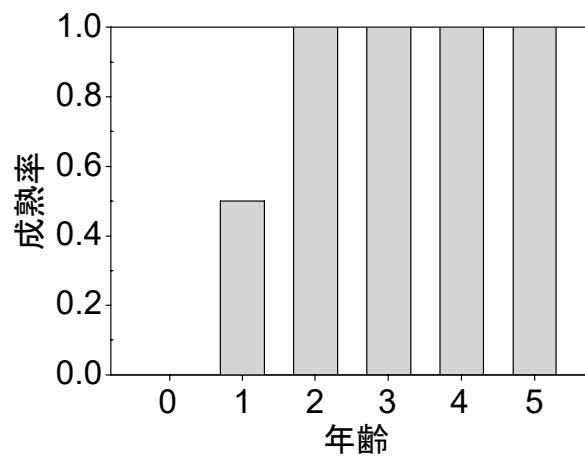


図 2-3. 年齢と成熟割合

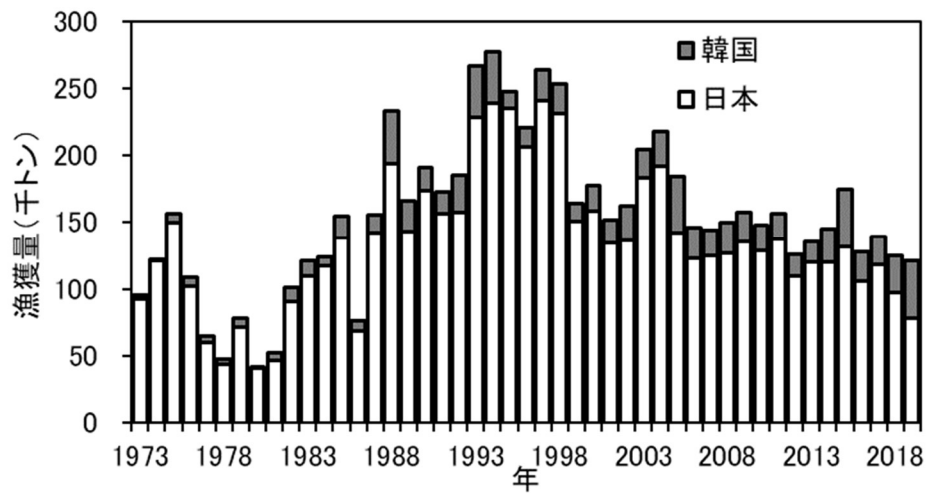


図 3-1. 漁獲量の推移

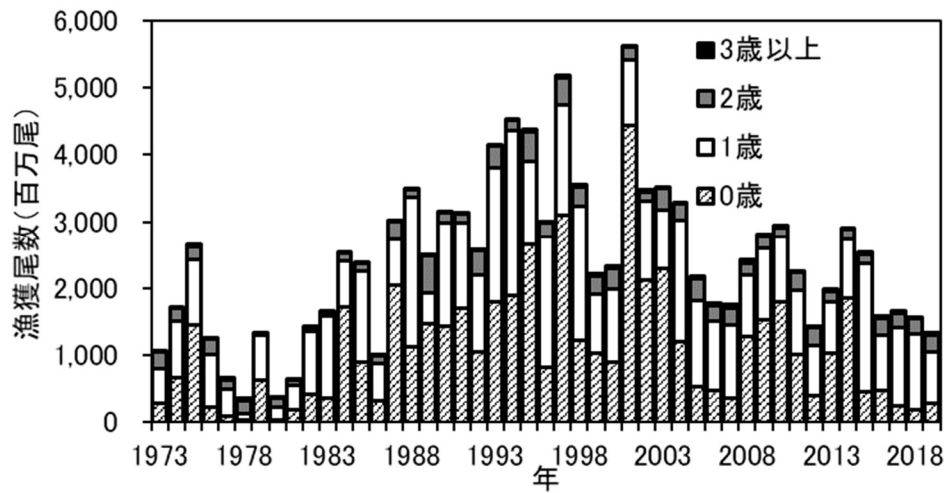


図 3-2. 年齢別漁獲尾数の推移

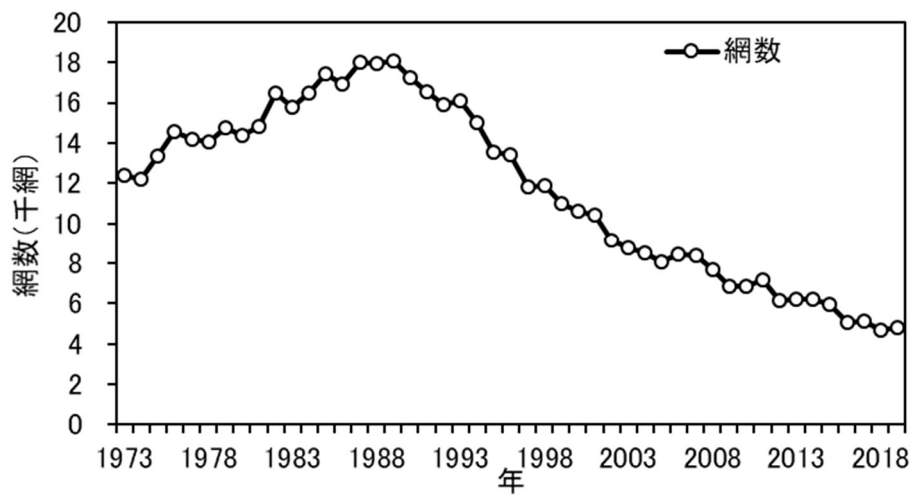


図 3-3. 東シナ海・日本海西部で操業する大中型まき網の網数の推移

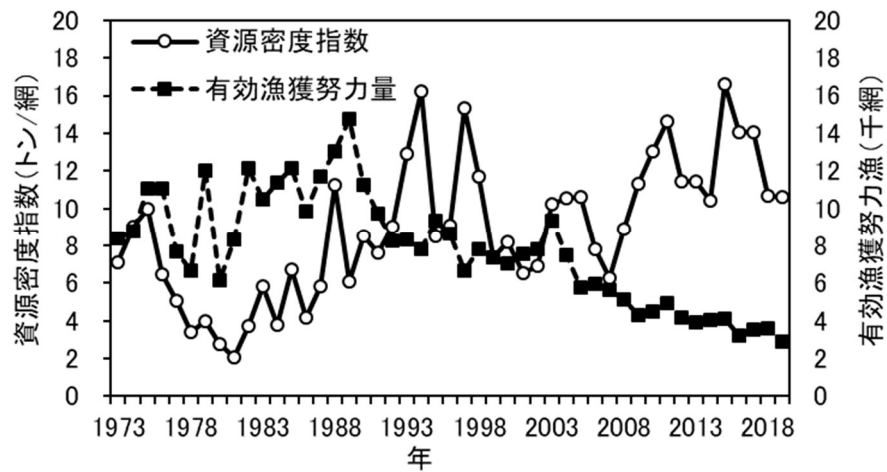


図 4-1. 東シナ海・日本海西部で操業する大中型まき網におけるマアジの資源密度指数と有効漁獲努力量の推移。

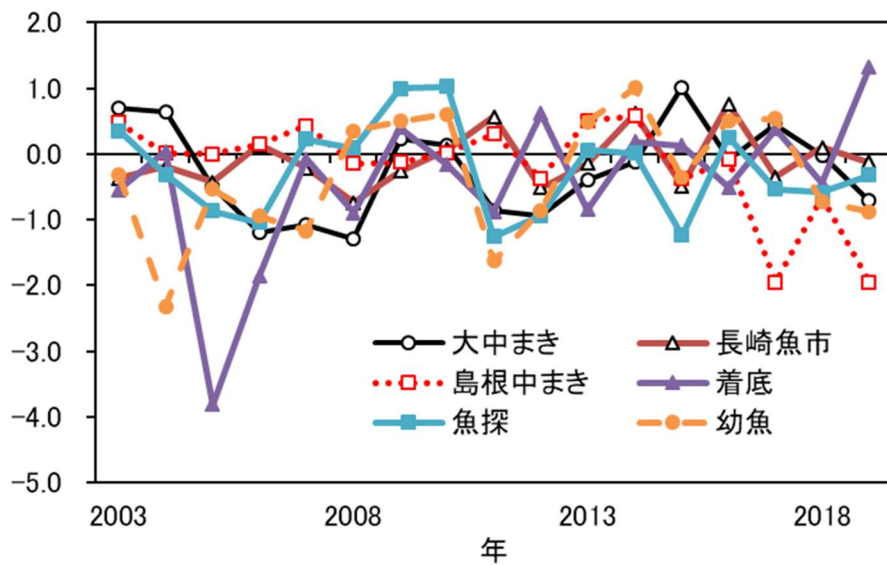


図 4-2. 0 歳魚指標値（補注 2 参照、平均値で規格化した後、対数をとって示した）。

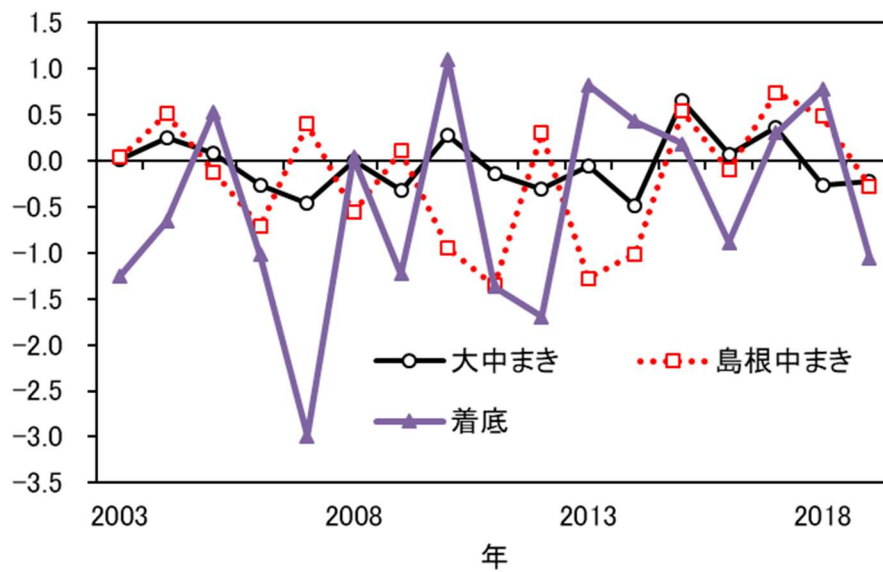


図 4-3. 1 歳魚指標値（補注 2 参照、平均値で規格化した後、対数をとって示した）。

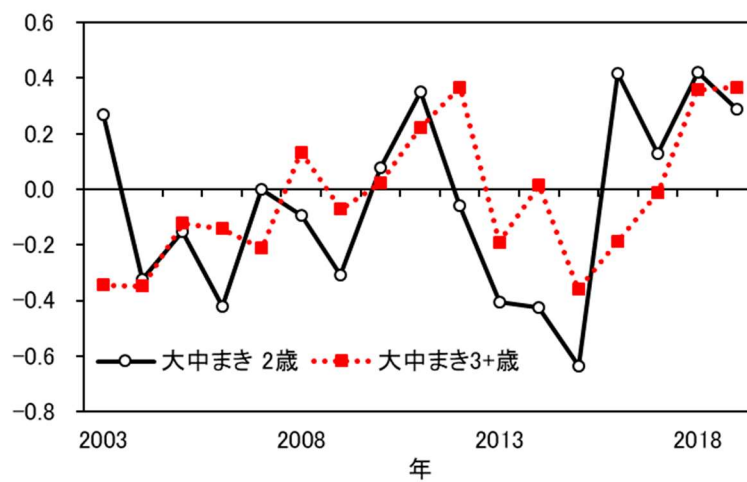


図 4-4. 2 歳魚以上指標値（補注 2 参照、平均値で規格化した後、対数をとって示した）。

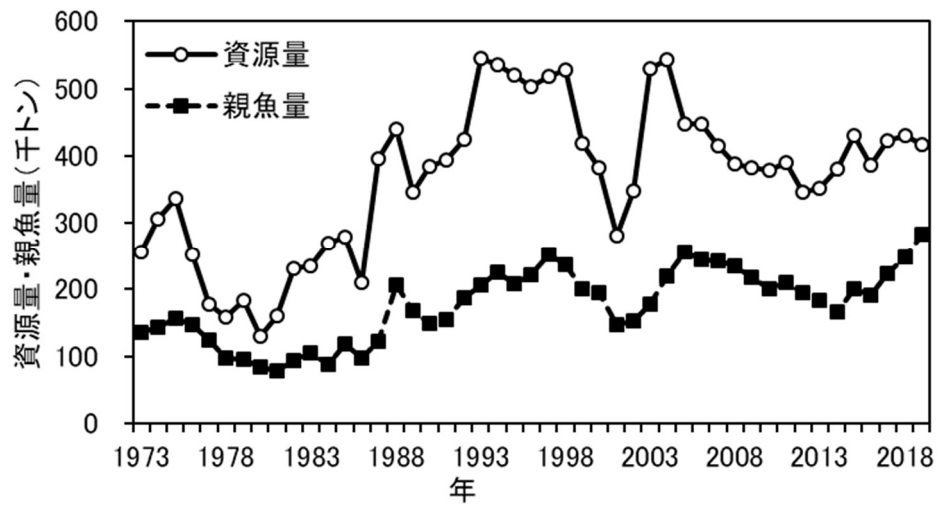


図 4-5. 資源量と親魚量の推移

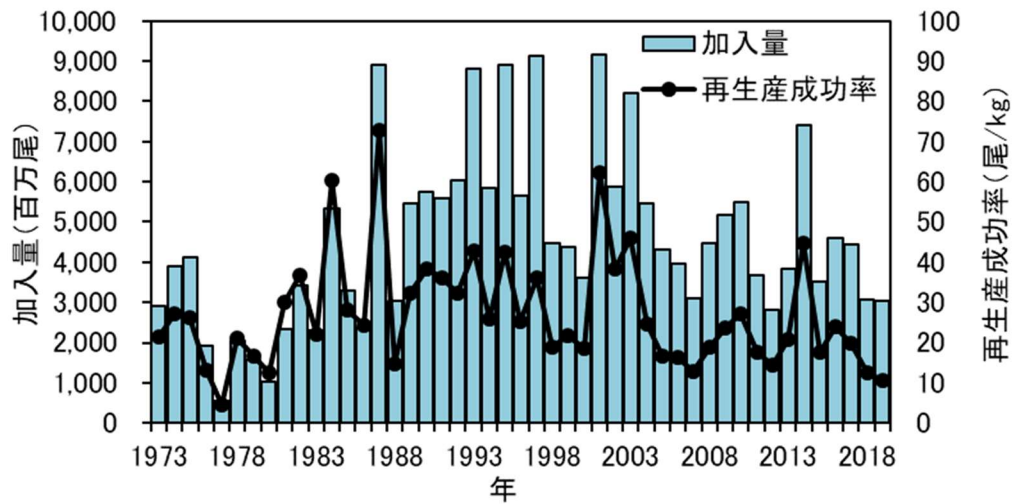


図 4-6. 加入量と再生産成功率の推移

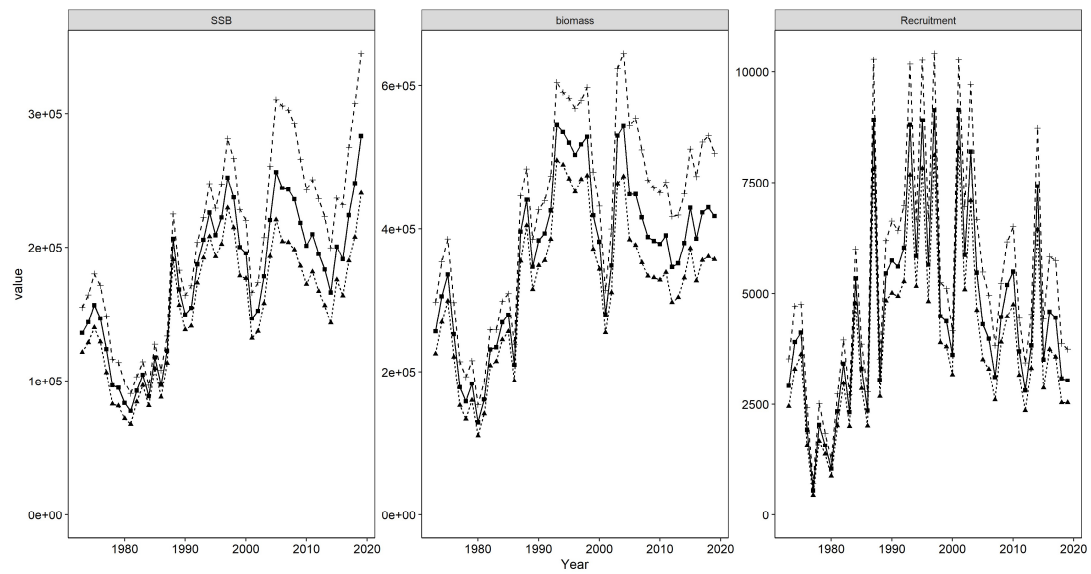


図 4-7. M の値を変化させた場合の親魚量、資源量、加入量の変化。実線は $M=0.5$ 、破線は $M=0.6$ 、点線は $M=0.4$ 。

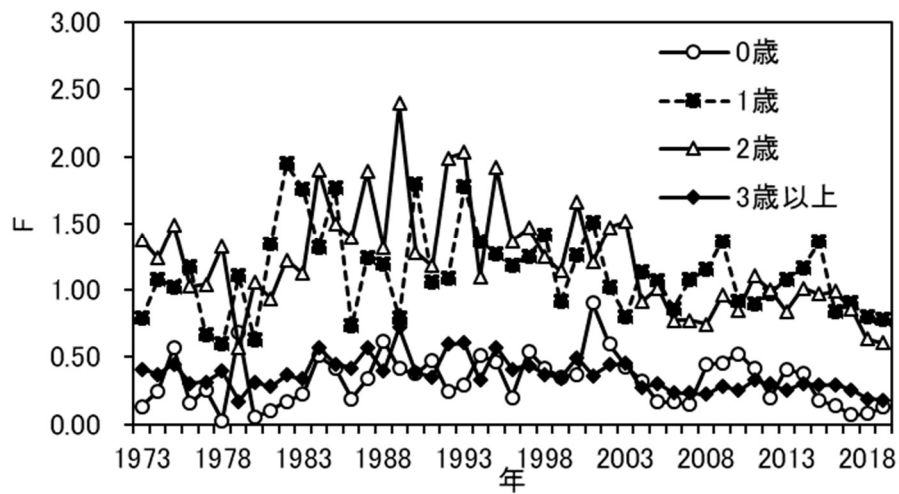


図 4-8. 年齢別漁獲係数 F の推移

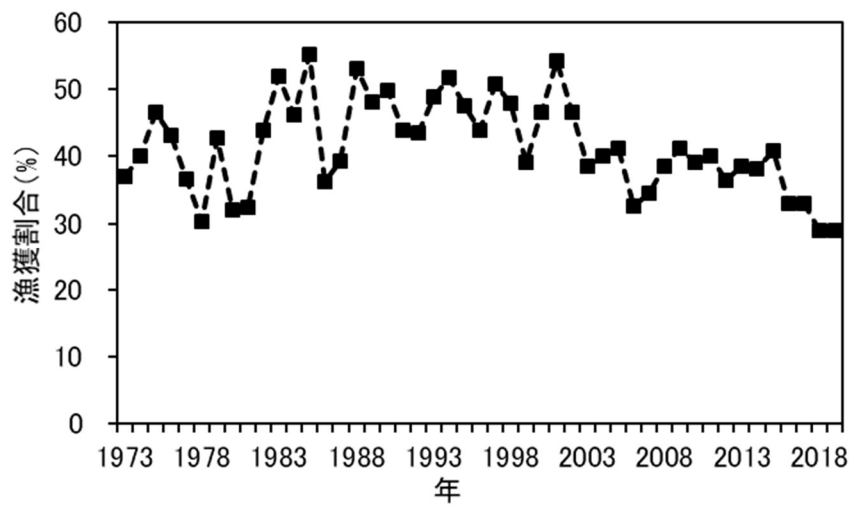


図 4-9. 漁獲割合の推移

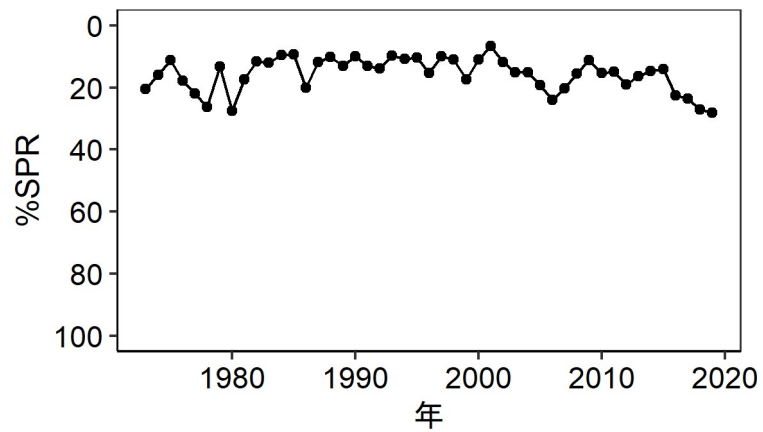


図 4-10. %SPR 値の推移

%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。

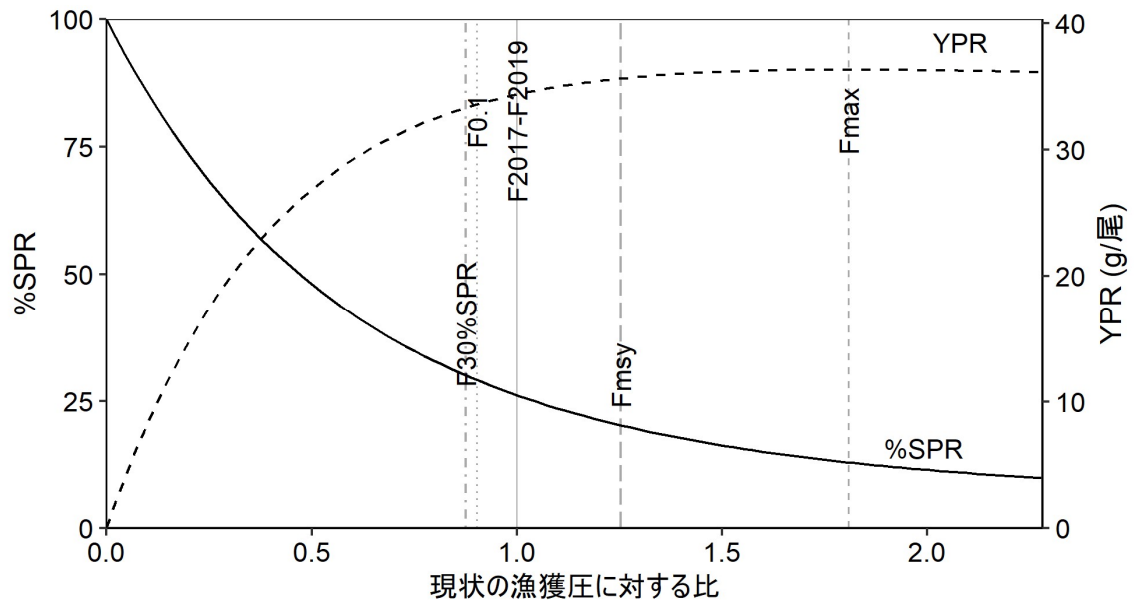


図 4-11. 現状の漁獲圧（F2017-2019）に対する YPR と%SPR の関係

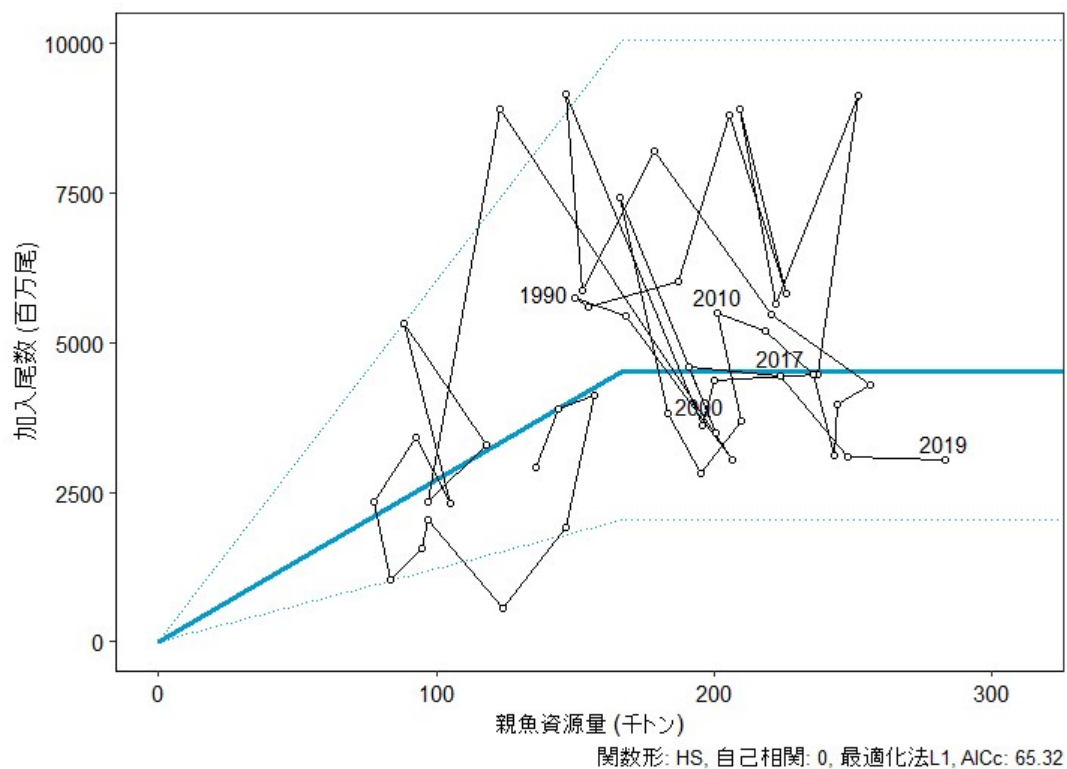


図 4-12. 親魚量と加入量の関係（再生産関係） 令和 2 年 3 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」（依田ほか 2020）で提案された再生産関係式。図中の再生産関係式（青実線）の上下の点線は、仮定されている再生産関係において観察データの 90%が含まれると推定される範囲である。

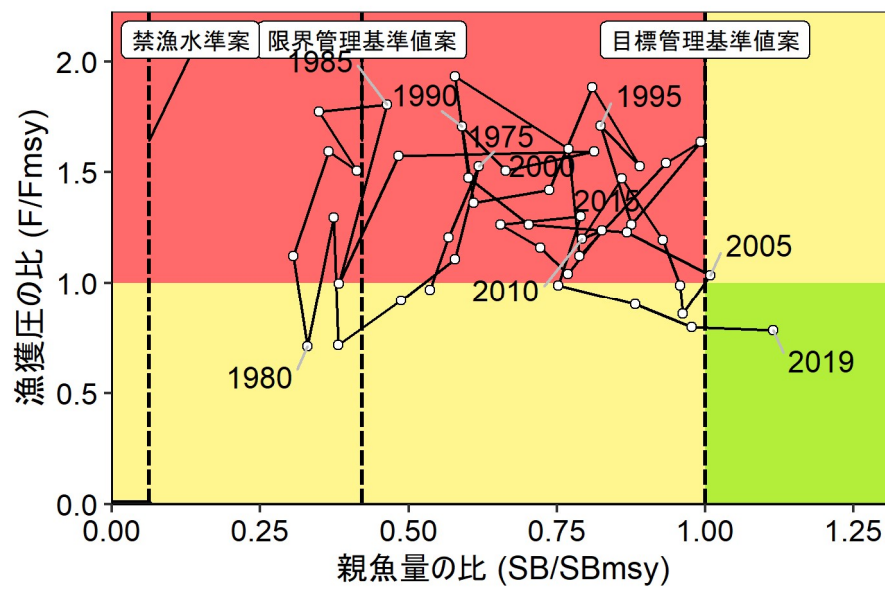
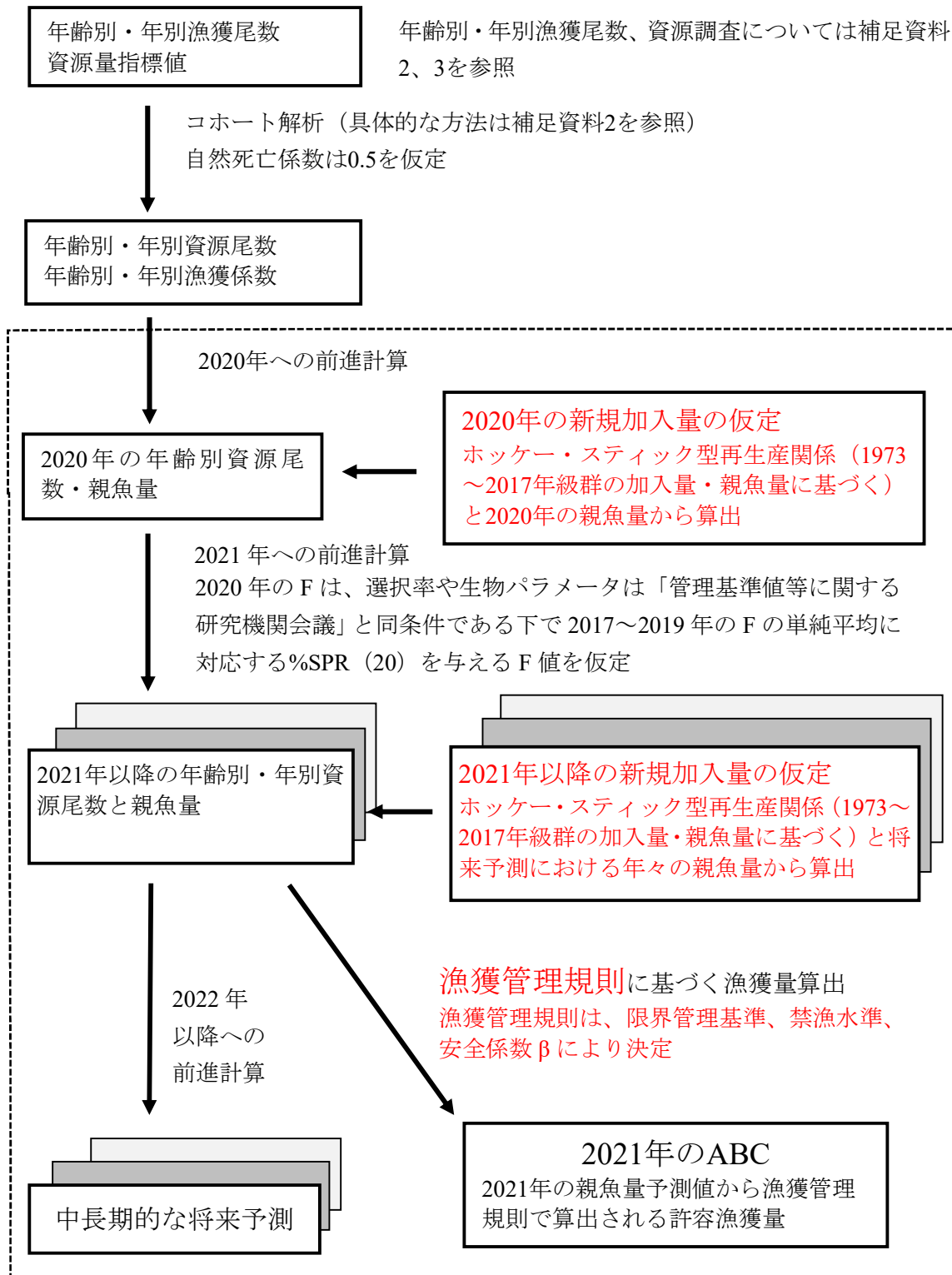


図 4-13. 最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量 (SB_{msy}) と MSY を実現する漁獲圧 (F_{msy}) に対する、過去の親魚量および漁獲圧の関係 (神戸プロット)。

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	8,197	39	45.98
2004	192	26	218	543	220	5,464	40	24.80
2005	142	43	184	448	256	4,302	41	16.80
2006	123	23	146	448	244	3,977	33	16.28
2007	125	19	144	416	243	3,113	35	12.81
2008	127	23	150	389	236	4,467	39	18.95
2009	136	22	158	383	218	5,189	41	23.79
2010	129	19	148	379	201	5,488	39	27.29
2011	138	19	157	391	210	3,689	40	17.59
2012	109	17	126	346	195	2,809	37	14.40
2013	121	15	136	351	183	3,825	39	20.87
2014	121	24	145	380	166	7,419	38	44.64
2015	132	43	175	429	200	3,503	41	17.47
2016	106	22	128	386	191	4,589	33	24.02
2017	118	21	140	423	224	4,452	33	19.86
2018	98	27	125	430	248	3,085	29	12.44
2019	78	43	121	418	283	3,035	29	10.73

補足資料 1 資源評価の流れ



※ 点線枠内は資源管理方針に関する検討会における再生産関係や管理基準値（赤字）の議論をふまえて作成される。（http://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/）

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。2019 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	18.1	22.7	29.7
体重 (g)	21.5	80.8	160	359
成熟割合 (%)	0	50	100	100

1973～2019 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（2019 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 2003～2019 年とした。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（補足資料 2 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。

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

ただし、本資源評価では b_k はいずれの指標値に対しても 1 に固定した。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 2008～2019 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（補足表 2-2）。（式 4）を最小化するような F を探索的に求めた結果、 $F0,2019=0.13$ 、 $F1,2019=0.78$ 、 $F2,2019=0.61$ 、 $F3+,2019=0.18$ と推定された。

補注 1. 年齢別・年別漁獲尾数を以下のように推定した。1997～2019 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、2018 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. 1 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。

（2）将来予測

コホート解析により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。管理基準値案については補足資料 6 に、漁獲管理規則案と将来漁獲量の算定については補足資料 7 に、将来予測の方法については補足資料 8 にそれぞれ詳細を示した。

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	幼魚	魚探
対象	N ₀	N ₀	N ₀	N ₀	N ₀	N ₀
2003	2.03	1.59	9.62	8,487	0.73	20.5
2004	1.89	1.90	6.00	15,161	0.10	10.6
2005	0.61	1.50	5.93	324	0.58	6.1
2006	0.30	2.64	6.86	2,265	0.39	5.1
2007	0.34	1.86	9.12	13,569	0.31	18.1
2008	0.28	1.10	5.14	5,934	1.43	15.8
2009	1.27	1.78	5.24	21,712	1.65	39.0
2010	1.15	2.47	6.07	12,375	1.83	40.4
2011	0.42	4.08	8.05	6,062	0.20	4.1
2012	0.40	1.37	4.09	27,122	0.42	5.7
2013	0.67	2.00	9.82	6,237	1.64	15.3
2014	0.90	4.25	10.55	17,625	2.75	14.5
2015	2.76	1.41	4.05	16,593	0.70	4.2
2016	0.93	4.92	5.42	8,819	1.67	18.5
2017	1.57	1.62	0.84	21,411	1.71	8.5
2018	0.99	2.55	3.08	9,310	0.48	8.1
2019	0.50	2.04	0.84	54,603	0.42	10.5
q	0.000184	0.000488	0.00114	2.25	0.000166	0.00264
σ	0.61	0.46	0.67	1.17	0.82	0.59

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	調査		漁況			
	着底	大中まき	島根中まき	大中まき	大中まき	大中まき
対象	B ₁	B ₁	B ₁	B ₂	B ₂	B ₃₊
2003	1.00	1.01	7.96	1.31		0.71
2004	1.81	1.29	12.78	0.72		0.71
2005	5.95	1.08	6.78	0.86		0.89
2006	1.25	0.77	3.76	0.66		0.87
2007	0.18	0.63	11.44	1.00		0.81
2008	3.61		4.38		0.91	1.14
2009	1.02		8.52		0.74	0.93
2010	10.43		2.96		1.08	1.02
2011	0.89		1.98		1.42	1.25
2012	0.64		10.38		0.94	1.45
2013	7.94		2.14		0.67	0.83
2014	5.37		2.78		0.65	1.02
2015	4.19		13.15		0.53	0.70
2016	1.43		6.92		1.52	0.83
2017	4.71		16.07		1.14	0.99
2018	7.58		12.45		1.52	1.43
2019	1.22		5.84		1.33	1.44
q	0.0137	0.00500	0.00644	0.0397	0.0110	0.0151
σ	1.04		0.19	0.61		0.24

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

(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			
加入量指標値	2.74	0.76	0.70	1.35*			

*2020 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					
現存量指標値	8.1	10.5					

(4) 新規加入量調査「ニューストンネットを用いた新規加入量調査」：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い、黒田ほか（2020）に掲載した。

引用文献

黒田啓行・高橋素光・依田真里・佐々千由紀 (2020) 令和 2（2020）年度カタクチイワシ対馬暖流系群の資源評価. 令和 2（2020）年度我が国周辺水域の漁業資源評価(魚種別系群別資源評価), 印刷中

補足資料 4 コホート解析結果の詳細 (1973～2019 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	0.91	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	0.77	0.23
2008	1,284	913	179	44	23	83	29	15	0.44	1.15	0.74	0.22
2009	1,533	1,077	156	51	29	82	27	20	0.46	1.37	0.96	0.29
2010	1,805	974	125	34	30	85	21	12	0.53	0.92	0.85	0.25
2011	1,009	953	266	36	29	73	42	13	0.42	0.90	1.11	0.33
2012	403	752	251	34	13	64	37	12	0.20	0.98	1.00	0.30
2013	1,034	758	156	32	28	71	26	11	0.41	1.08	0.84	0.25
2014	1,856	873	150	36	38	70	24	12	0.38	1.17	1.01	0.30
2015	451	1,911	148	28	17	124	23	11	0.18	1.36	0.97	0.29
2016	480	823	247	27	13	69	37	9	0.14	0.84	0.99	0.30
2017	240	1,172	220	30	6	89	34	11	0.07	0.90	0.86	0.26
2018	194	1,124	226	27	6	73	36	10	0.08	0.80	0.64	0.19
2019	286	760	252	38	6	61	40	14	0.13	0.78	0.61	0.18

補足資料 4 (続き) コホート解析結果の詳細 (1973~2019 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	8,197	1,954	492	68	271	161	76	22
2004	38	73	133	348	5,464	3,230	530	92	205	236	71	32
2005	21	87	151	337	4,302	2,398	627	171	88	208	95	58
2006	28	83	159	344	3,977	2,206	497	215	112	183	79	74
2007	31	74	149	342	3,113	2,045	566	242	97	152	84	83
2008	18	91	162	342	4,467	1,618	422	275	79	147	68	94
2009	19	76	173	386	5,189	1,738	310	255	99	132	54	98
2010	16	88	166	370	5,488	1,988	268	188	90	174	45	69
2011	29	76	158	372	3,689	1,967	482	158	106	150	76	59
2012	32	85	148	365	2,809	1,473	485	165	89	125	72	60
2013	27	94	164	342	3,825	1,396	336	183	103	131	55	63
2014	20	81	162	332	7,419	1,536	287	174	152	124	47	58
2015	37	65	158	384	3,503	3,091	290	141	128	201	46	54
2016	26	84	150	344	4,589	1,780	480	130	121	149	72	45
2017	24	76	154	362	4,452	2,415	466	167	107	184	72	61
2018	33	65	157	371	3,085	2,516	594	197	101	163	93	73
2019	21	81	160	359	3,035	1,722	687	289	65	139	110	104

補足資料 5 CPUE 標準化の手法

(1) 大中型まき網

大中型まき網による年齢別（銘柄別）資源量指標値の標準化を行った。使用したデータは大中型まき網の漁獲成績報告書で緯度経度 10 分枠目の漁船別日別魚種別銘柄別漁獲量および網数が記録されている。環境要因として考慮した 50m 深水温データについては FRA-ROMS の再解析値を用い（2020/04/03 リリース）、CPUE は 1 隻当たり 1 網当たりのマアジ年齢別漁獲量（トン／網）を用いる。

CPUE の標準化には delta-lognormal 法を用いた。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対数 CPUE（自然対数）を予測するモデルの二つを別々に解析する手法である。解析には、一般化加法モデル（GAM）を用いて、前者のモデルの誤差分布には二項分布を、後者には正規分布を用いた。CPUE を予測する説明変数として、年（カテゴリカル変数）・月（カテゴリカル変数）・緯度経度（平滑化スプライン）・50m 深水温（連続変数、平滑化スプライン）・トン数階層（カテゴリカル変数）・漁船 ID（カテゴリカル変数）を用いた。漁船 ID についてはランダム効果とした。すべての変数の組み合わせを考慮し、BIC 最小となるモデルをベストモデルとし、標準化 CPUE を計算した。

選択されたモデルの妥当性を確認するため、残差の分布を定性的に確認した。すべての年齢において二項分布モデル、対数正規分布モデルともに、残差の頻度分布は正規分布から大きくは逸脱しておらず、残差の分散は応答変数に対して偏った傾向は見られなかった。以上の結果から、CPUE 標準化モデルとして妥当であると考えられた。

上記モデルから年効果の推定値を計算し、二項分布モデルの年効果と対数正規分布の年効果を掛け算することで、標準化 CPUE の年トレンドを算出した。

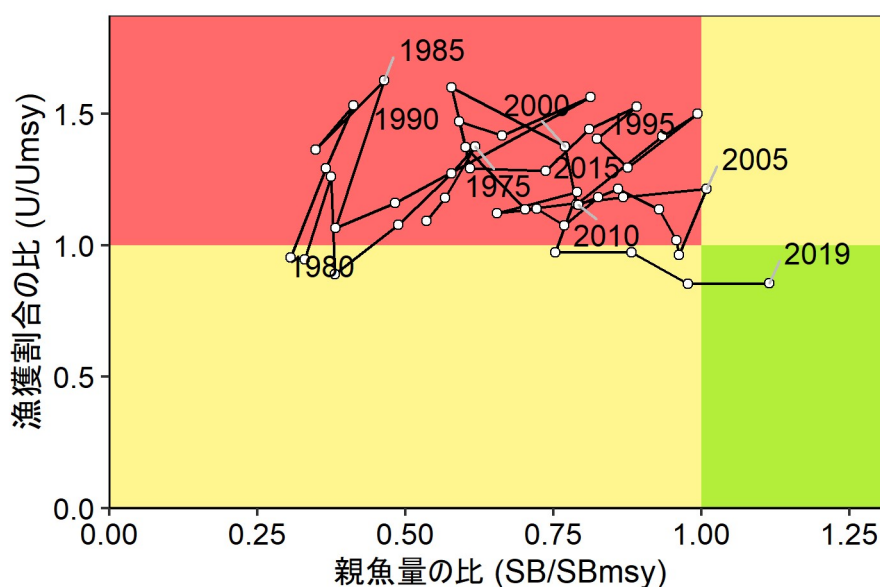
(2) 新規加入量調査（幼魚）

九州西岸から日本海南西部で 5～6 月に実施した中層トロールによるマアジ幼魚調査結果（補足資料 3（2）新規加入量調査（幼魚））について資源量指標値の標準化を行った。使用したデータは 2003～2019 年の 1 網当たりのマアジ幼魚漁獲尾数である。マアジが採集されなかった調査定点は全体の 2 割未満であったことから、解析には一般化線型モデル（GLM）を用いた。予備的検討から、過分散が検出されたことから、誤差分布は負の二項分布を用いた。CPUE を予測する説明変数として、年（カテゴリカル変数）・海域（カテゴリカル変数）・調査実施機関（カテゴリカル変数）・昼夜差（カテゴリカル変数）を用いた。すべての変数の組み合わせを考慮し、BIC 最小となるモデルをベストモデルとし、標準化 CPUE を計算した。詳細はドキュメント（FRA-SA2020-SC01-107）を参照されたい。

補足資料 6 漁獲割合に基づく神戸プロット

親魚量とその時の漁獲割合(U)を基準にした神戸プロットを下図に示す。本系群における親魚量は 2005 年と 2019 年を除いて MSY を実現する水準を下回るが、近年では、漁獲割合の比(U/Umsy)は 2016 年以降 MSY を実現する水準より低くなっている。

項目	値	説明
SBmsy	254 千トン	最大持続生産量(MSY)を実現する親魚量
Umsy	32.4%	最大持続生産量(MSY)を実現する漁獲割合
U2019	29.1%	2019 年の漁獲割合
U2019/ Umsy	0.90	最大持続生産量(MSY)を実現する漁獲割合に対する 2019 年の漁獲割合の比



補足図 6-1. 最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量 (SBmsy) と漁獲割合 (Umsy) に対する、過去の親魚量と漁獲割合の関係 (神戸プロット)

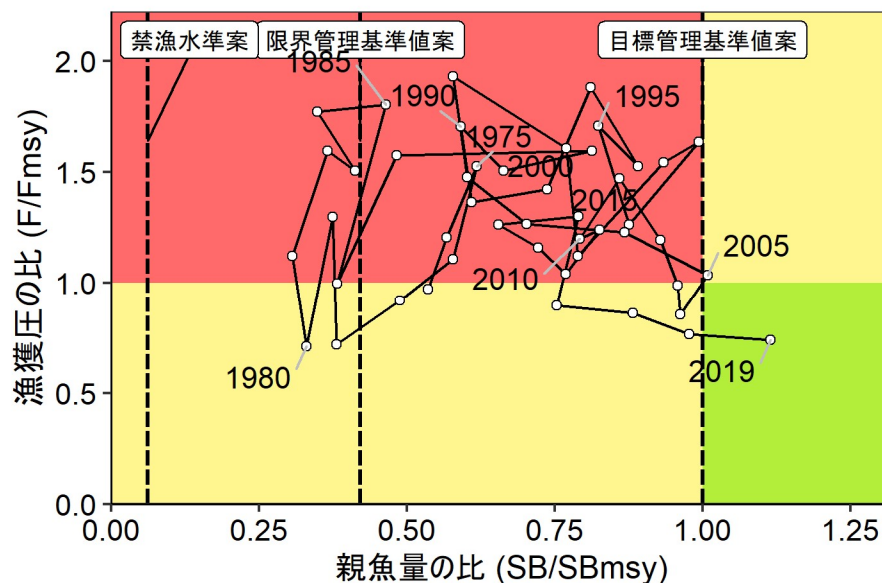
補足資料 7 管理基準値案と禁漁水準案等

本系群の管理基準値案や禁漁水準案等について以下に示す。

項目	値	備考
SBtarget 案	254 千トン	最大持続生産量(MSY)を実現する親魚量(SBmsy)
SBlimit 案	107 千トン	MSY の 60%の漁獲量が得られる親魚量(SB0.6msy)
SBban 案	16 千トン	MSY の 10%の漁獲量が得られる親魚量(SB0.1msy)

令和 2 年 3 月に開催された研究機関会議により、目標管理基準値 (SBtarget) には MSY 水準における親魚量 (SBmsy : 254 千トン)、限界管理基準値 (SBlimit) には最大持続生産量の 60%が得られる親魚量 (SB0.6msy : 107 千トン)、禁漁水準 (SBban) には最大持続生産量の 10%の漁獲が得られる親魚量 (SB0.1msy : 16 千トン) を用いることが提案されている。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」を参照されたい。

目標管理基準値案と、その時の漁獲圧 (F) を基準にした神戸プロットを補足図 7-1 に示す。コホート解析により得られた 2019 年の親魚量 (SB2019 : 283 千トン) は目標管理基準値案をやや上回る。また、2016 年以降の漁獲圧は、MSY を実現する漁獲圧を下回っていたと判断される。



補足図 7-1. 管理基準値案・禁漁水準案と親魚量・漁獲圧との関係 (神戸プロット)。

補足資料 8 漁獲管理規則案に対応した将来予測

(1) 将来予測の設定

資源評価で推定した 2019 年の資源量から、コホート解析の前進法を用いて 2020～2051 年までの将来予測計算を行った（補足資料 9）。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。2020 年の漁獲量は、予測される資源量と現状の漁獲圧（F2017-2019）から仮定した。現状の漁獲圧は、管理基準値案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 2017～2019 年の漁獲圧に対応する %SPR を与える F 値とした。2021 年以降の漁獲圧には、各年に予測される親魚量をもとに下記の漁獲管理規則案で定められる漁獲圧を用いた。

(2) 漁獲管理規則案

漁獲管理規則案（HCR）は、目標管理基準値以上の親魚量を維持・管理する達成確率を勘案して、親魚量に対応した漁獲圧（F）を定める漁獲シナリオ案である。親魚量が限界管理基準値案を下回ると禁漁水準案まで直線的に漁獲圧を下げる。漁獲圧の上限となる F_{msy} には安全係数となるチューニングパラメータ β を乗じる。補足図 8-1 と 8-2 に令和 2 年 3 月に開催された研究機関会議により提案された漁獲管理規則案を示す。ここでは例として安全係数 β を標準値である 0.8 と 0.9 とした場合を示した。なお、研究機関会議提案では、「 β が 0.9 以下であれば、10 年後に目標管理基準を 50%以上の確率で上回ると推定される」とされた。1 年分更新されたデータを用いた将来予測においても同様の結論が得られた。

(3) 2021 年の予測値

漁獲管理規則案を用いた将来予測に従い、2021 年漁獲量を試算した。将来予測の結果、漁獲管理規則案に従い試算された 2021 年の平均漁獲量は β を 0.9 とした場合には 152 千トン、 β を 0.8 とした場合には 140 千トンであった。2021 年に予測される親魚量は、いずれの繰り返し計算でも限界管理基準値案を上回り、平均 279 千トンと見込まれた。

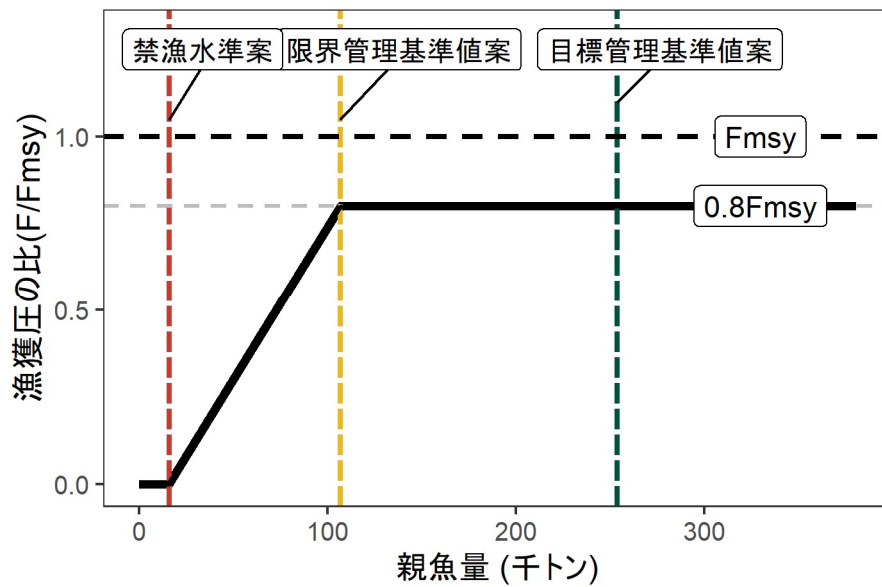
2021 年の親魚量（予測平均値）：277 千トン			
項目	2021 年の 漁獲量 (千トン)	現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2017-2019)	2021 年の 漁獲割合 (%)
漁獲管理規則案にて研究機関会議が提案した β を使用した場合			
$\beta=0.9$	151	1.13	30.2
その他の方策（漁獲管理規則案にて異なる β を使用した場合）			
$\beta=1.0$	162	1.25	32.4
$\beta=0.8$	139	1.00	27.7
$\beta=0$	0	0	0
F2017-2019	139	1.00	27.7

(4) 2022 年以降の予測値

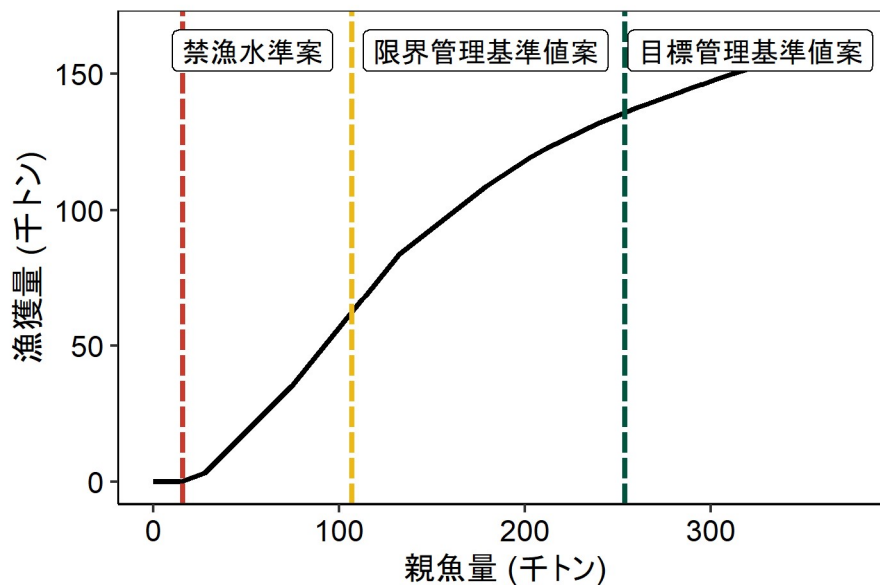
漁獲管理規則案（補足図 8-1、8-2）に基づく中長期的な将来予測の結果を補足図 8-3、8-4 および補足表 8-1、8-2 に示す。漁獲管理規則案に基づく管理を 10 年間継続した場合、2031 年の親魚量の予測値は β を 1.0 とした場合には平均 257 千トン（80%信頼区間は 180 千トン～345 千トン）、 β を 0.9 とした場合には平均 292 千トン（80%信頼区間は 209 千トン～388 千トン）である。予測値が目標管理基準値案を上回る確率は β が 0.9 以下で 50%を上回った。さらに、 β を 0.01 刻みで試算した場合、 $\beta=0.98$ で 2031 年に目標管理基準値を超える確率は 50%となった。 $\beta=0.98$ の場合、2021 年の平均漁獲量は 160 千トンであった。限界管理基準値案を上回る確率および禁漁水準案を上回る確率は全ての方策において 100%となった。

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% 信頼区間 (千トン)	2031 年に親魚量が以下の 管理基準値案を上回る確率 (%)		
			SBtarget	SBlimit	SBban
漁獲管理規則案にて研究機関会議が提案した β を使用した場合					
$\beta=0.9$	292	209–388	67.0	100	100
その他の方策（漁獲管理規則にて異なる β を使用した場合）					
$\beta=1.0$	257	180–345	45.9	100	100
$\beta=0.8$	334	240–438	85.3	100	100
$\beta=0$	1270	963–1613	100	100	100
F2017-2019	335	241–440	85.6	100	100

a)

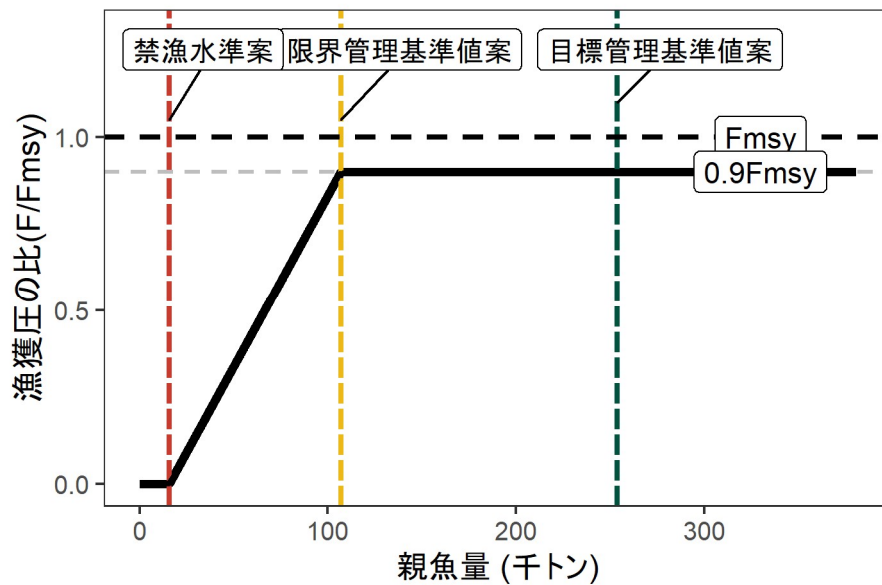


b)

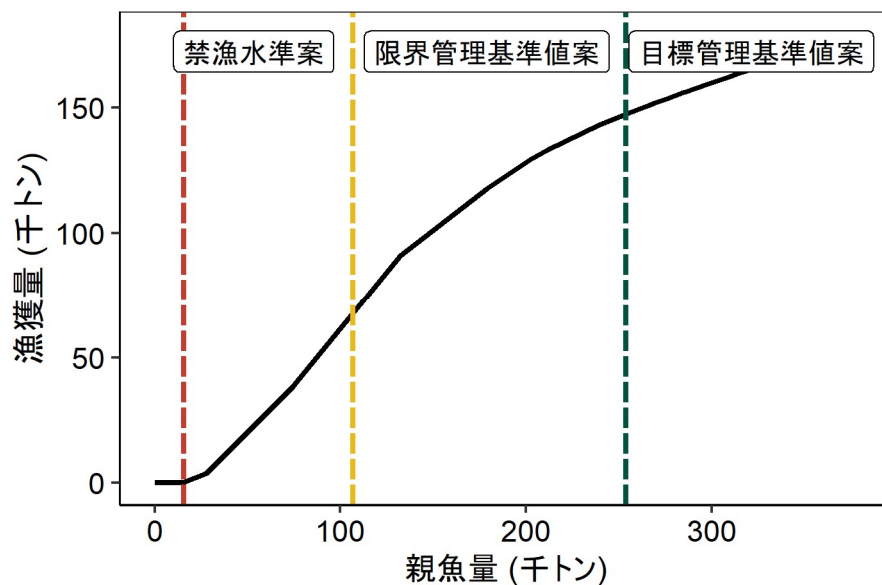
補足図 8-1. 漁獲管理規則案 ($\beta = 0.8$ の場合)

目標管理基準値案 (SBtarget) は HS 再生産関係に基づき算出した SB_{msy} である。限界管理基準値案 (SBlimit) および禁漁水準案 (SBban) にそれぞれ標準値を用いている。ここでは安全係数 β には標準値の 0.8 を用いた。黒破線: F_{msy} 、灰色破線: $0.8F_{msy}$ 、黒太線: HCR、赤破線: 禁漁水準案、黄色破線: 限界管理基準値案、緑色破線: 目標管理基準値案を示す。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。

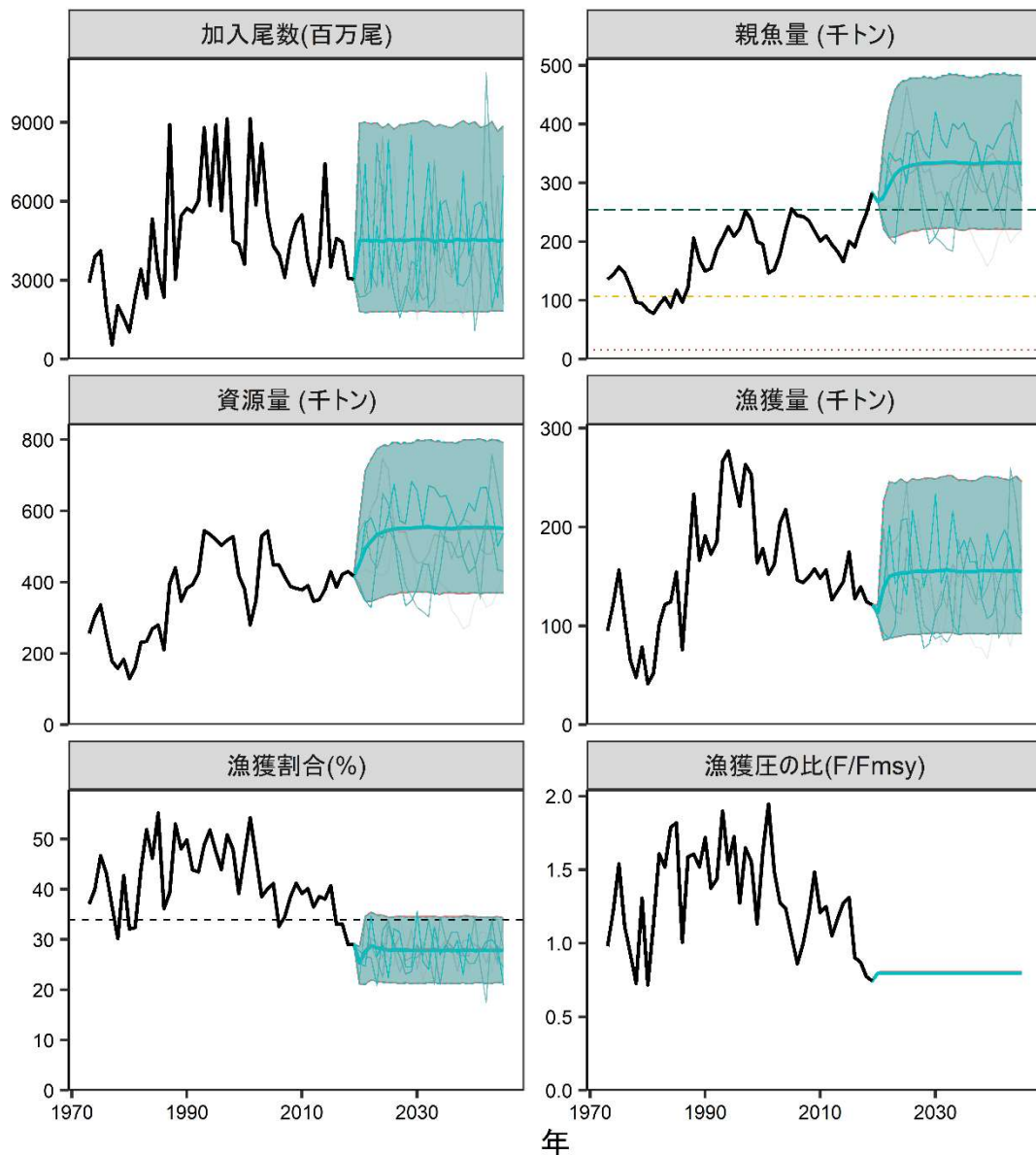
a)



b)

補足図 8-2. 漁獲管理規則案 ($\beta=0.9$ の場合)

目標管理基準値案 (SBtarget) は HS 再生産関係に基づき算出した SB_{msy} である。限界管理基準値案 (SBlimit) および禁漁水準案 (SBban) にそれぞれ標準値を用いている。 β が 0.9 以下であれば、10 年後に目標管理基準を 50% 以上の確率で上回ると推定されるため、ここでは安全係数 β を 0.9 として示した。黒破線: F_{msy} 、灰色破線: $0.8F_{msy}$ 、黒太線: HCR、赤破線: 禁漁水準案、黄色破線: 限界管理基準値案、緑色破線: 目標管理基準値案を示す。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。

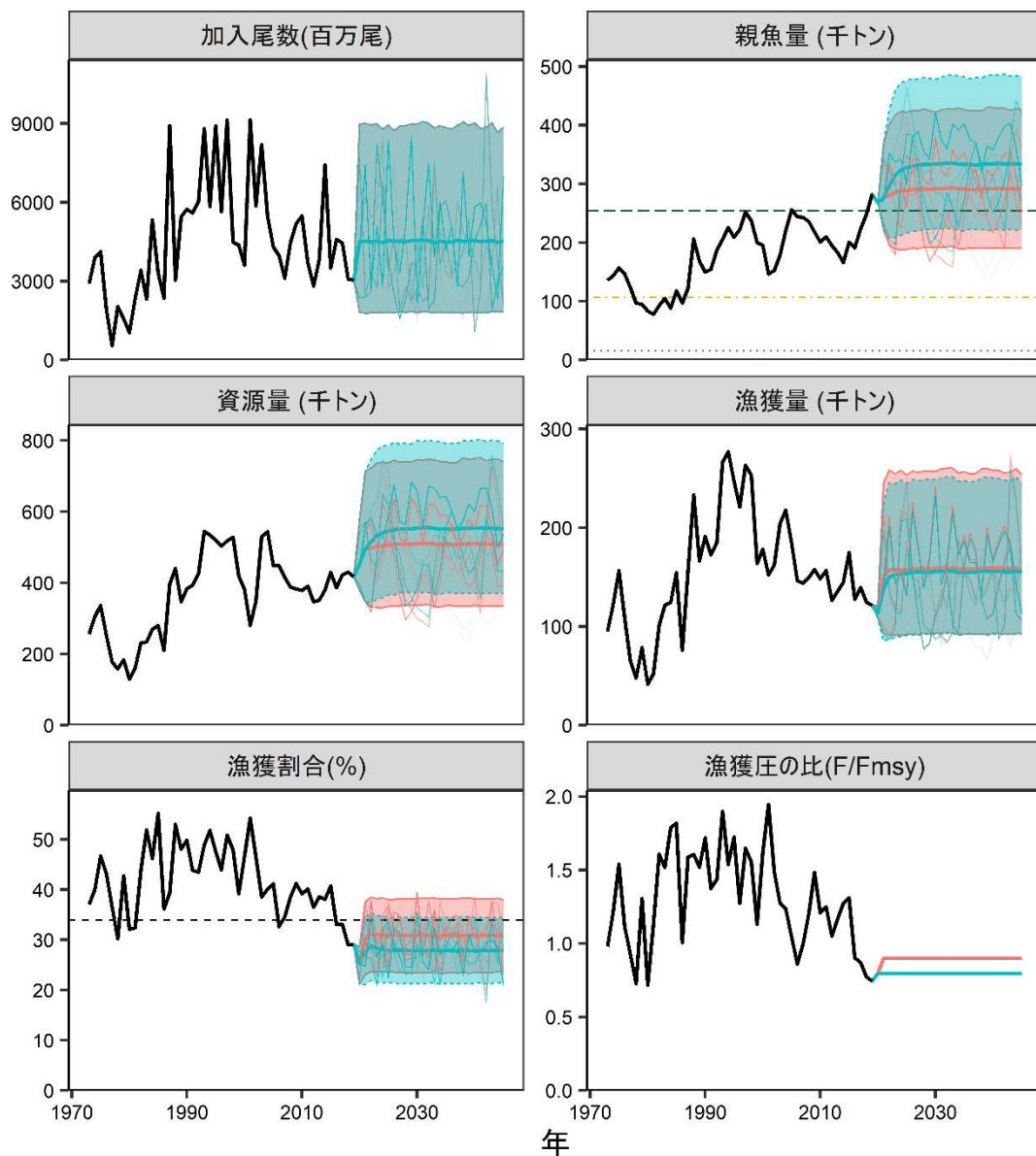


(塗り:5-95%予測区間, 太い実線: 平均値, 細い実線: シミュレーションの1例)

補足図 8-3. 漁獲管理規則案（補足図 8-1）に基づく中長期的な将来予測の結果

($\beta=0.8$ 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案、黄点破線は限界管理基準値案、赤点線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2020 年の漁獲量は予測される資源量と $F_{2017-2019}$ により仮定した。



(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)

補足図 8-4. 漁獲管理規則案（補足図 8-2）に基づく中長期的な将来予測の結果

($\beta=0.9$ 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案、黄点破線は限界管理基準値案、赤点線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。2020 年の漁獲量は予測される資源量と F2017-2019 により仮定した。

補足表 8-1. 将来の親魚量が (a) 目標管理基準値案および限界管理基準値案 (b) を上回る確率,
2020 年の漁獲圧は F2017-2019 による漁獲とした。年は暦年を示す。

(a) (%)

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	100	100	64	51	49	48	46	46	47	46	46	46	46	47	45
0.98	100	100	64	53	52	51	50	50	51	51	50	50	50	51	50
0.9	100	100	64	61	64	65	65	66	67	67	67	67	67	67	67
0.8	100	100	64	70	77	81	83	84	85	85	85	85	85	85	85
0.7	100	100	64	80	88	92	94	95	95	96	96	96	96	96	96
0.6	100	100	64	87	95	98	98	99	99	99	99	100	99	99	99
0.5	100	100	64	93	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	64	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	64	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	64	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	64	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	64	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

(b) (%)

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.9	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

補足表 8-2. 将来の親魚量 (a) および漁獲量 (b) の平均値の推移

2020 年の漁獲圧は F2017-2019 による漁獲とした。年は暦年を示す。

(a) (千トン)

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	283	268	277	266	261	259	257	257	257	257	256	257	257	257	256
0.98	283	268	277	269	266	265	263	263	263	264	263	263	264	264	262
0.9	283	268	277	280	286	289	289	290	291	292	291	292	292	293	291
0.8	283	268	277	297	314	323	327	330	331	333	332	333	334	334	332
0.7	283	268	277	314	347	364	372	377	380	382	382	383	384	384	382
0.6	283	268	277	334	385	413	426	434	439	442	443	444	445	445	443
0.5	283	268	277	355	429	470	491	504	511	516	517	518	520	521	519
0.4	283	268	277	378	480	539	570	589	599	606	609	611	612	614	612
0.3	283	268	277	404	539	621	666	692	707	717	722	725	727	730	727
0.2	283	268	277	432	609	719	782	818	840	855	862	866	869	874	871
0.1	283	268	277	463	690	837	922	974	1,005	1,025	1,036	1,043	1,047	1,054	1,051
0	283	268	277	497	785	978	1,094	1,164	1,208	1,237	1,254	1,263	1,270	1,281	1,278

(b) (千トン)

β	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2041	2051
1.0	121	113	162	163	161	161	159	161	160	160	160	160	161	161	160
0.98	121	113	160	162	161	160	159	160	160	160	160	160	161	161	160
0.9	121	113	151	157	158	158	157	159	159	159	158	159	160	159	158
0.8	121	113	139	150	153	154	154	155	155	156	155	156	156	156	155
0.7	121	113	126	142	146	148	148	150	151	151	150	151	151	151	150
0.6	121	113	112	131	137	140	141	143	144	144	144	144	145	145	144
0.5	121	113	97	119	126	130	131	133	134	134	134	135	135	135	134
0.4	121	113	80	103	111	116	118	120	121	121	121	121	122	122	121
0.3	121	113	63	84	93	97	100	102	103	103	103	103	104	104	103
0.2	121	113	43	61	69	73	75	77	78	78	79	79	79	79	79
0.1	121	113	23	34	39	41	43	44	45	45	45	45	46	46	46
0	121	113	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

補足資料 9 資源の将来予測の方法

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ケ・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 9-1 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案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。2020 年の漁獲圧 (F_{2020}) は、管理基準値案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 2017～2019 年の漁獲圧に対応する %SPR を与える F 値とし、体重は 2017～2019 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下表の値を用いた。資源尾数や漁獲量の予測は ABCWG (2020) に基づき統計ソフトウェア R (version 3.6.1) 用計算パッケージ frasyr (version 2.1.1.0) を用いて実施した。

補足表 9-1. 将来予測計算に用いたパラメータ

	選択率 (注 1)	F _{msy} (注 2)	F ₂₀₁₇₋₂₀₁₉ (注 3)	平均体重 (g)	自然死亡 係数	成熟率
0 歳	0.10	0.11	0.091	27.6	0.5	0
1 歳	1.00	1.10	0.878	74.8	0.5	0.5
2 歳	0.74	0.82	0.651	153.6	0.5	1.0
3 歳以上	0.22	0.24	0.195	359.0	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 F_{msy}。

注 3： 上記の選択率の下で、今回の資源評価で推定された 2017～2019 年漁期の年齢別の平均 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 2020 年漁獲量の仮定に使用した。

引用文献

- ABCWG (2020) 再生産関係の推定・管理基準値の計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート（令和2年度研究機関会議版）. FRA-SA-2020-ABCWG01-02
- 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)