

令和 5（2023）年度マダイ日本海西部・東シナ海系群の資源評価

水産研究・教育機構

水産資源研究所 水産資源研究センター（下瀬 環・増渕隆仁・井関智明）

参画機関：鳥取県栽培漁業センター、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、全国豊かな海づくり推進協会

要 約

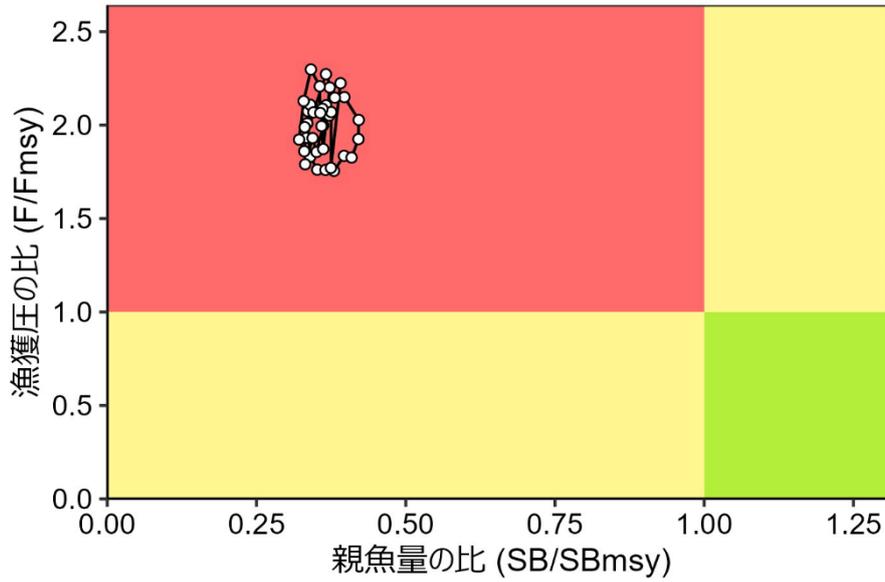
本系群の 1986 年以降の資源量について、2007 年以降の島根県大型定置網 CPUE を資源量指標値としたチューニングコホート解析により計算した。本系群の漁獲量は 1969 年の 11.2 千トンから 1985 年の 6.4 千トンに減少した後、1986 年以降は 5.0 千～7.1 千トンで推移し、2022 年は 5,043 トン（暫定値）であった。資源量は 1988 年の 19.8 千トンから 1996 年の 23.8 千トンに増加した後、2001 年の 19.9 千トンに減少し、2007 年の 22.8 千トンに増加した。以降はわずかに減少傾向で、2022 年は 19.5 千トンであった。親魚量は資源量の 63～70% で推移し、2022 年は 66%（13.0 千トン）であった。

本種は栽培対象種であり、2021 年には 268 万尾の人工種苗が放流された。2022 年の漁獲物における人工種苗放流魚の混入率は 1.8%、添加効率（放流魚の 1 歳魚加入までの生残率）は 0.09 であった。本系群の天然魚加入尾数（1 歳魚資源尾数）は、1,283 万～1,820 万尾の範囲で推移した。

令和 3 年 11 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ケー・スティック型が適用されており、これに基づき推定された最大持続生産量（MSY）を実現できる水準の親魚量（SBmsy）は 39.3 千トンである。この基準に従うと、本系群の 2022 年の親魚量は、MSY を実現する水準を大きく下回る。また、本系群に対する 2022 年の漁獲圧は MSY を実現する水準の漁獲圧（Fmsy）を上回る。親魚量の動向は直近 5 年間（2018～2022 年）の推移から「減少」と判断される。

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最終化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。

要 約 図 表



| MSY、親魚量の水準と動向、および ABC | |
|---|---------------------------------|
| MSY を実現する水準の親魚量 | 39.3 千トン |
| 2022 年の親魚量の水準 | MSY を実現する水準を下回る (SB/SBmsy=0.33) |
| 2022 年の漁獲圧の水準 | MSY を実現する水準を上回る (F/Fmsy=1.86) |
| 2022 年の親魚量の動向 | 減少 |
| 最大持続生産量 (MSY) | 6,720 トン |
| 2024 年の ABC | - |
| コメント: ・ABC は、本系群の漁獲管理規則が「資源管理方針に関する検討会」で取り纏められ、「水産政策審議会」を経て定められた後に算定される。 | |

| 近年の資源量、漁獲量、漁獲圧、および漁獲割合 | | | | | |
|------------------------|--------------|--------------|-------------|--------|-------------|
| 年 | 資源量 (千トン) | 親魚量 (千トン) | 漁獲量 (トン) | F/Fmsy | 漁獲割合 (%) |
| 2018 | 21.7 | 14.0 | 6,582 | 2.21 | 30 |
| 2019 | 21.2 | 13.4 | 6,629 | 2.30 | 31 |
| 2020 | 20.0 | 12.9 | 5,889 | 2.13 | 29 |
| 2021 | 19.6 | 12.6 | 5,218 | 1.92 | 27 |
| 2022 | 19.5 | 13.0 | 5,043 | 1.86 | 26 |
| 2023 | 19.8 | 13.1 | 5,327 | 1.97 | 27 |
| 2024 | 19.7 | 13.0 | - | - | - |

・ 2022 年の漁獲量は暫定値。
・ 2023 年、2024 年の値は将来予測に基づく平均値である。

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 |
|------------|--|
| 年別・年齢別漁獲尾数 | ・2021 年県別魚種別漁獲量、2022 年県別魚種別漁獲量暫定値(水産庁、鳥取県～鹿児島県の 8 県) ・漁獲物年齢組成 |
| 自然死亡係数 (M) | M=0.24/年(1 歳魚)、0.17/年(2 歳以降)とした(島本 1999) |
| 資源量指標値 | 島根県大型定置網における 1 日 1 経営体あたり漁獲量 |
| 人工種苗放流尾数等 | 栽培漁業用種苗放流実績(全国豊かな海づくり推進協会) 天然・人工魚別年齢別漁獲尾数(鹿児島県) 年別・年齢別混入率(佐賀県、熊本県) 年別混入率(島根県) |

2. 生態

(1) 分布・回遊

本系群のマダイは、鳥取県以西の日本海西部海域と、福岡県から鹿児島県の九州西岸域に分布している(図 2-1)。島根県の隠岐島周辺や山口県から鹿児島県にかけての九州西岸海域で、島周りを中心にいくつかの産卵場が知られている。1～3 歳魚は春季の接岸と秋季の離岸(沖合越冬)の季節的な移動を繰り返す。4 歳以上の成魚は等深線に沿った移動を行い、広域的に回遊すると推定されている。

(2) 年齢・成長

孵化後の尾叉長は、1 年で 14 cm、2 年で 22 cm、3 年で 30 cm(図 2-2)となり、寿命は 20 歳程度と推定されている。本系群で用いる成長と尾叉長-体重関係は以下の式で表される。

$$\text{年齢-尾叉長関係式 } FL_t = 78.14 \times (1 - e^{(-0.1423 \times (t+0.35))})$$

$$\text{尾叉長-体重関係式 } BW = 0.0382 \times FL^{2.825}$$

ここで FL_t : t 歳時の尾叉長 (cm)、 BW : 体重 (g)、 FL : 尾叉長 (cm)。

なお、各年齢時の体重は、年の中間時点の値とするため、各齢に 0.5 歳を足した計算値とした。

(3) 成熟・産卵

産卵期は南ほど早く、鹿児島県では 2～5 月、長崎県の五島西沖や鯨曾根では 3 月上旬～5 月下旬、同県壱岐・対馬周辺では 4～6 月、福岡県では 3～5 月下旬である。孵化した仔魚は 30～40 日の浮遊期の後に底生生活に入り、幼魚は 4～5 月頃に沿岸一帯に広く分布する(田中 1986)。3 歳の半数と 4 歳以降の全数が再生産を行う(図 2-3)。

(4) 被捕食関係

稚魚は端脚類や尾虫類などの動物プランクトン、当歳魚は端脚類やアミ類、成魚は甲殻類や貝類、多毛類などを主要な餌とする（木曾 1980）。捕食者は大型の魚類などである。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

本系群を対象とする漁業は船びき網（57%）、釣り・延縄（12%）、沖合底びき網（7%）、小型底びき網（5%）定置網（5%）および刺網（6%）など多種多様である（割合は 2022 年の値）。2022 年の漁獲量が多い県は、長崎県（36%）と福岡県（29%）で、島根県（9%）と鹿児島県（8%）がそれに次いだ（図 3-1）。なお、当海域における遊漁採捕量は、213～327 トン（農林水産省統計情報部 1998、2003）と推定され、当該年の漁獲量に対して 4～5%であった。また、2008 年には鳥取県、島根県、山口県（瀬戸内海含む）、長崎県、熊本県、鹿児島県の 6 県における遊漁採捕量の合計が 677 トンと推定されている（（水産庁資源管理部沿岸沖合課 平成 20 年度遊漁採捕量調査報告書データ <https://www.e-stat.go.jp/stat-search/files?page=1&layout=datalist&toukei=00502002&tstat=000001031445&cycle=8&year=20081&month=0&tclass1=000001031446&tclass2=000001031447>、2022 年 9 月 5 日閲覧）。本報告では遊漁については考慮していないが、今後、遊漁による漁獲が資源に与える影響について検討していく必要がある。また、本報告では外国船による漁獲についても考慮していない。

(2) 漁獲量の推移

本系群の漁獲量は 1969 年の 11.2 千トンから 1985 年の 6.4 千トンに減少した後、1986 年以降は 5.0 千～7.1 千トンで推移し、2022 年は 5,043 トン（暫定値）であった（図 3-2、表 3-1）。全国のマダイ漁獲量に対する本系群の占める割合は 32%であった。

1986 年から現在に至るまでの漁獲尾数は、小幅な増減を繰り返しながら、835 万～1,300 万尾の範囲で推移し、2022 年は 894 万尾であった（図 3-3）。年齢別に見ると 1～3 歳魚が漁獲物の多くを占め、2022 年は 1 歳魚 32.6%、2 歳魚 37.5%、3 歳魚 17.7%であった。漁獲重量では、2～3 歳魚が多かった（図 3-4）。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

1986 年以降に得られている年齢別漁獲尾数と系群全体の漁獲量を用いたコホート解析により、年別の年齢別漁獲係数、年齢別資源尾数、資源量、親魚量を推定した（補足資料 2）。この際、2007 年以降に得られている島根県の大型定置網による標準化 CPUE（1 日 1 経営体あたりの漁獲量）をチューニング指標に用いた。漁獲は漁期の中央でパルス的に行われると仮定する Pope の近似式（Pope 1972）を用いた。

(2) 資源量指標値の推移

島根県の大型定置網による標準化 CPUE（1 日 1 経営体あたりの漁獲量）は、2008 年に

減少したのち2009年に増加したが、以後2014年にかけて再び減少した。2016、2017年には一時的に増加した。2018～2020年に再び低い値を示し、2021年に増加したが2022年に減少した（図4-1、表4-1）。

(3) 資源量と漁獲圧の推移

資源量は1988年の19.8千トンから1996年の23.8千トンに増加した後、2001年の19.9千トンに減少し、2007年の22.8千トンに再び増加した。以降はわずかに減少傾向で2022年は19.5千トンとなった（図4-2、表4-2）。親魚量は12.6千～16.5千トン（資源量の63～70%）で推移し、2022年は13.0千トン（資源量の66%）であった（図4-3）。

天然魚の加入量（1歳資源尾数）は、1989年の1,300万尾から1997年の1,820万尾に増加し、2001年の1,283万尾に減少した。以降概ね増加傾向で推移しており、2022年は1,381万尾であった（表4-2）。

年齢別Fは、小幅な増減を繰り返しているが、期間を通して2歳と3歳で特に高かった（図4-4）。2019年以降のFは減少傾向である。漁獲割合は25～31%の間で推移しており、2022年は26%であった（図4-2）。

自然死亡係数Mの値を30%増減させ、資源量、親魚量および1歳資源尾数の感度解析を行ったところ、資源量では85～123%、親魚量では83～126%、1歳資源尾数では85～122%の変化となった（図4-5）。

(4) 種苗放流と加入量

本種は栽培漁業の対象種であり、本系群の対象海域では1977年から人工種苗放流が実施されている。放流尾数は放流開始以降増加し、1999年に最多の938万尾に達したが、以後は減少しており、2013年以降は300万尾前後で推移している（図4-6）。2021年は、島根県、山口県、長崎県、熊本県、鹿児島県で計268万尾が放流された（2022年は未集計）。

標識装着率で補正された放流魚の年齢別混入率については、3県から年齢別の推定値が毎年提供されており、それ以外の県については不明、もしくは欠測年があるものの全年齢込みの混入率が提供されている。このため、混入率は全年齢込みの値を用いて推定した。添加効率は、1歳の資源尾数と各年の混入率の積を前年の放流尾数で除して求めた。その結果、2022年の漁獲物における人工種苗放流魚の混入率は1.8%、添加効率は0.09であった（表4-3）。

本海域では、放流種苗由来のマダイが1歳時に18.0万～201.5万尾加入しており、天然の加入群を下支えする一定の効果はあると考えられる。2022年に1歳で加入した放流魚は25.0万尾、直近5年間（2018～2022年）の平均は31.9万尾と推定された。

(5) 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、その漁獲圧が無かった場合との比較を行った。図4-7に年ごとに漁獲が無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な値となる。2022年の%SPRは9.6%であった。

現状の漁獲圧に対するYPRと%SPRの関係を図4-8に示す。ここで、現状の漁獲圧

(F2023) は 2020～2022 年の平均として与えることとし、選択率に令和 3 年 11 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 (下瀬ほか 2021) を用い、%SPR が 2020～2022 年の平均値 (8.5%) となる F とした。また、年齢別平均体重および成熟割合についても Fmsy 算出時の値を使用した。Fmsy は%SPR に換算すると 26%に相当する。現状の漁獲圧 (F2023) は Fmsy や F0.1、F30%SPR を上回る。

(6) 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 4-9 に示す。上述の「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式にはホッカー・スティック型再生産関係が適用されている (下瀬ほか 2021)。ここで、再生産関係式のパラメータ推定に使用するデータは令和 3 (2021) 年度の資源評価 (下瀬ほか 2022) に基づく 1986～2018 年の親魚量、1987～2019 年の加入量とした。なお、加入量としては天然由来の加入尾数のみを使用した。最適化方法には最小二乗法を用い、加入量の残差の自己相関を考慮した。また「再生産関係の決定に関するガイドライン (令和 3 年度) (FRA-SA2021-ABCWG01-03)」に従い、観測範囲の最小親魚量を変曲点とした。再生産関係式の各パラメータを補足表 6-1 に示す。

(7) 現在の環境下において MSY を実現する水準

最大持続生産量 MSY を実現する親魚量 (SBmsy) および MSY を実現する漁獲量として、上記の「管理基準値等に関する研究機関会議」で推定された値 (下瀬ほか 2021) を補足表 6-2 に示す。

(8) 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 4-10 に示す。また、2022 年の親魚量と漁獲圧の概要を補足表 6-3 に示した。本系群における 2022 年の親魚量は MSY を実現する親魚量 (SBmsy) を下回っており、2022 年の親魚量は SBmsy の 0.33 倍である。また、2022 年の漁獲圧は、MSY を実現する漁獲圧 (Fmsy) を上回っており、2022 年の漁獲圧は MSY を実現する漁獲圧の 1.86 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、直近 5 年間 (2018～2022 年) の推移から減少と判断される。

5. 資源評価のまとめ

2022 年の資源量は 19.5 千トン、親魚量は 13.0 千トンで、MSY を実現する親魚量 (SBmsy) を下回っており減少傾向である。2022 年の漁獲圧は前年より減少しているが、なお MSY を実現する漁獲圧 (Fmsy) を上回っている。

6. その他

現状、小型で未成熟の割合が高い 2、3 歳魚の漁獲圧が高く、MSY を実現する水準に回

復させるために大幅な漁獲圧の削減が必要という結果となっているが、資源評価の基礎となる年齢別漁獲尾数の算出方法や成長・成熟などの生物特性等については、引き続き検討していく必要がある。

7. 引用文献

- 木曾克裕 (1980) 平戸島志々伎湾におけるマダイ当歳魚個体群の摂餌生態－ I . 成長に伴う餌料の変化とその年変動. 西水研研報, **54**, 291-306.
- 農林水産省統計情報部 (1998) . 平成 9 年遊漁採捕量調査報告書, 58 pp.
- 農林水産省統計情報部 (2003) . 平成 14 年遊漁採捕量調査報告書, 52 pp.
- Pope J. G. (1972) An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. Int. Comm. Northwest Atl. Fish. Res. Bull., **9**, 65-74.
- 島本信夫 (1999) 瀬戸内海東部海域におけるマダイの資源変動および栽培漁業に関する研究. 兵庫水試研報, **35**, 43-112.
- 下瀬 環・増淵隆仁・中川雅弘 (2021) 令和 3 (2021) 年度マダイ日本海西部・東シナ海系群の管理基準値案等に関する研究機関会議資料. 水産研究・教育機構, 1-39. FRA-SA2021-BRP05-001.
https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/20211124/FRA-SA2021-BRP05-001.pdf (last accessed 6 September 2022)
- 下瀬 環・増淵隆仁・中川雅弘 (2022) 令和 3 (2021) 年度マダイ日本海西部・東シナ海系群の資源評価. 我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産研究・教育機構, 1-20. FRA-SA2021-RC01-11.
<http://abchan.fra.go.jp/digests2021/details/202150.pdf> (last accessed 6 September 2022)
- 田中 克 (1986) II. 天然当歳魚の生態. 「マダイの資源培養技術」田中 克・松宮義晴編, 恒星社厚生閣, 東京, 59-74.

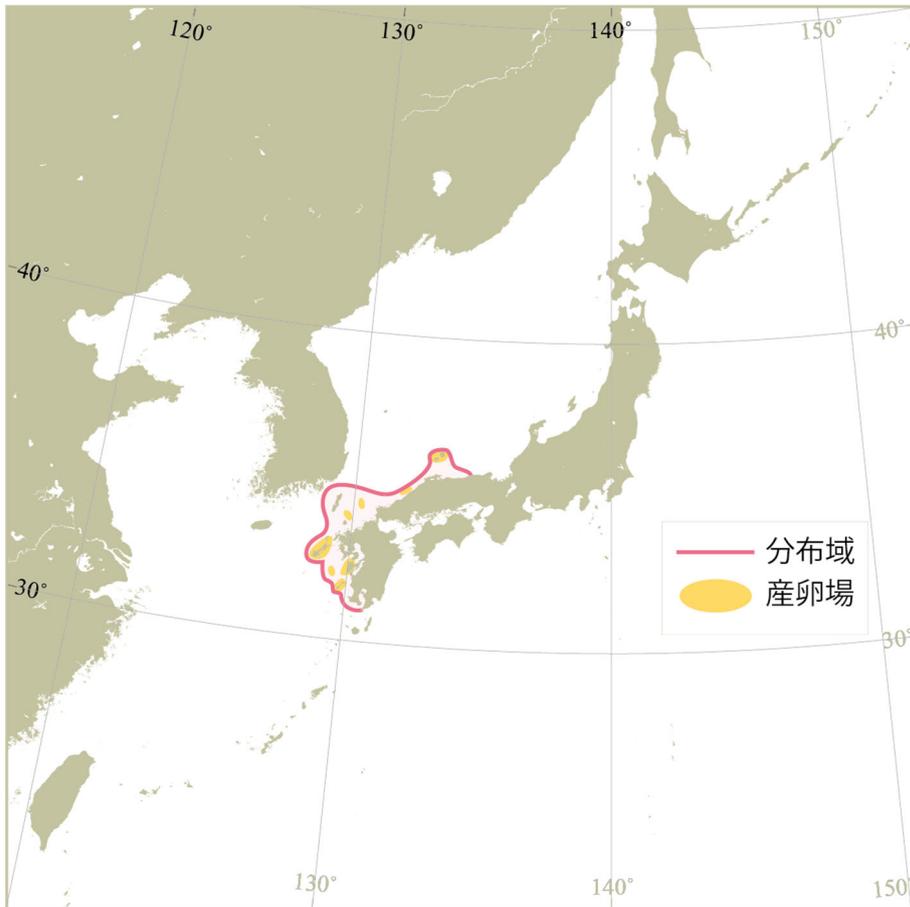


図 2-1. マダイ日本海西部・東シナ海系群の分布域

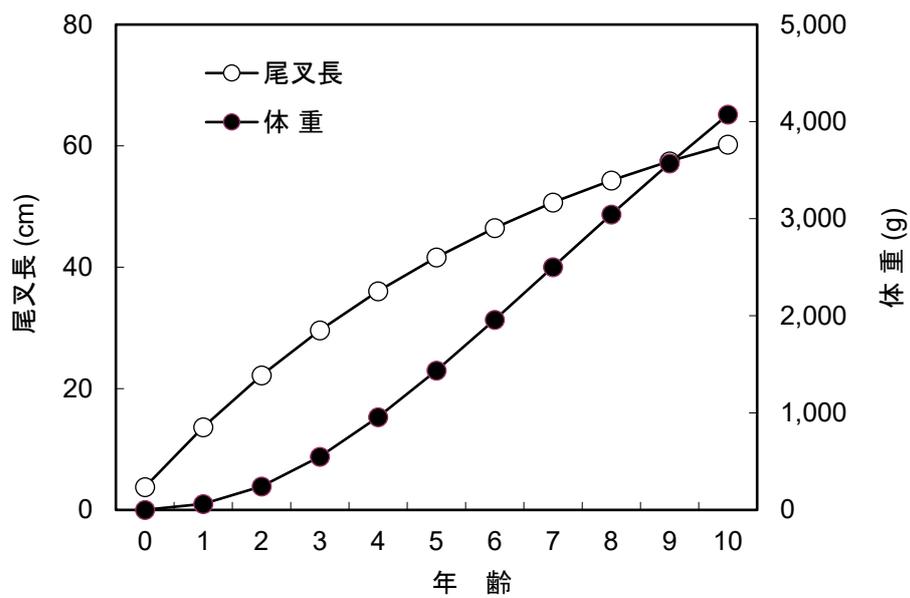


図 2-2. マダイ日本海西部・東シナ海系群の成長

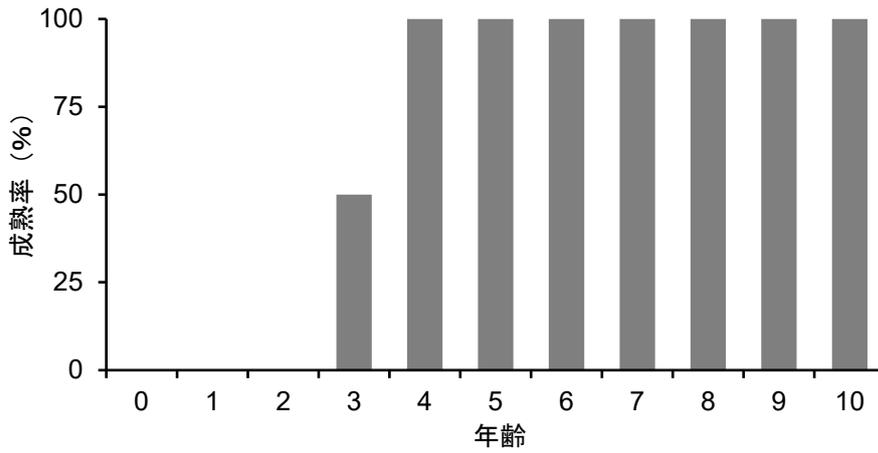


図 2-3. マダイ日本海西部・東シナ海系群の年齢別成熟率

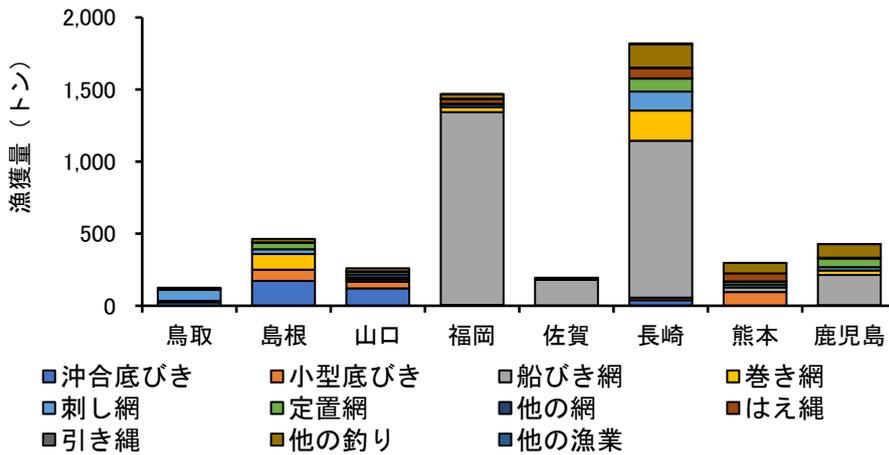


図 3-1. マダイ日本海西部・東シナ海系群の県別漁業種別の漁獲量 (2022年)

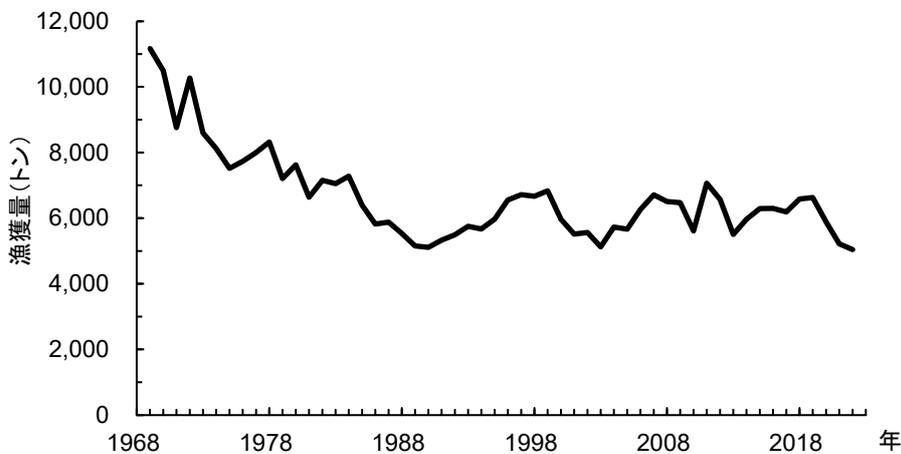


図 3-2. マダイ日本海西部・東シナ海系群の漁獲量の推移

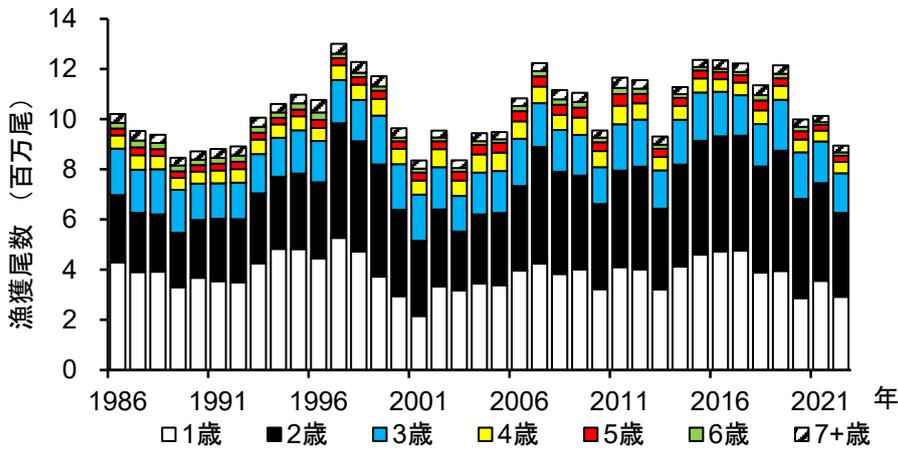


図 3-3. 年齢別漁獲尾数の経年変化

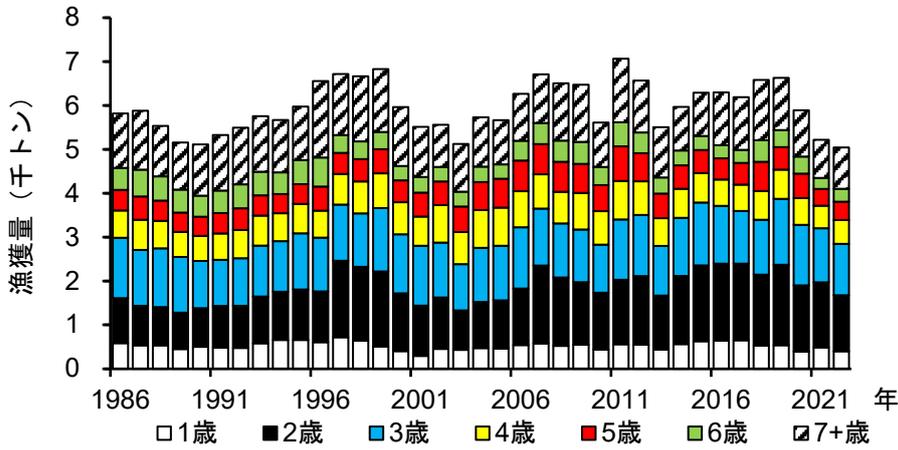


図 3-4. 年齢別漁獲量の経年変化

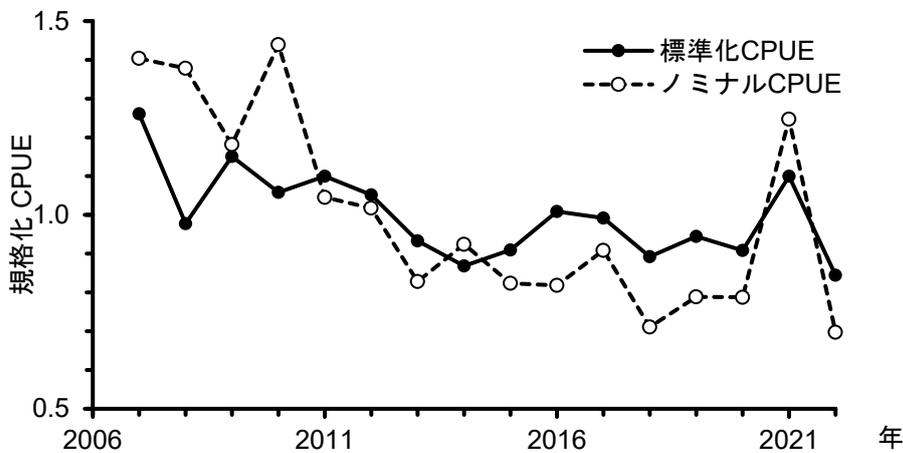


図 4-1. 島根県大型定置網による規格化したノミナル CPUE と標準化 CPUE

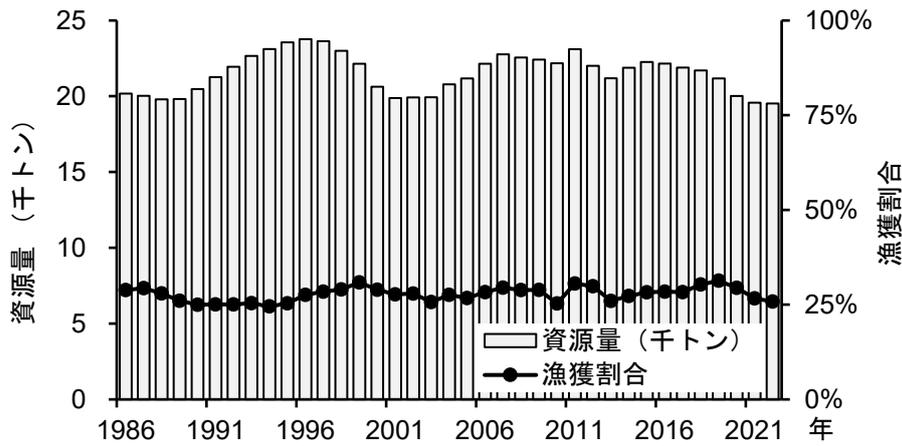


図 4-2. 資源量と漁獲割合の推移

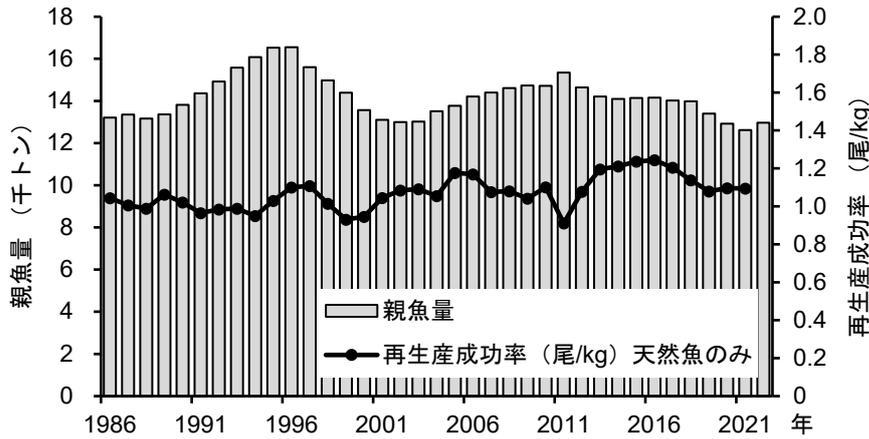


図 4-3. 親魚量と再生産成功率（翌年の1歳魚資源尾数）の推移

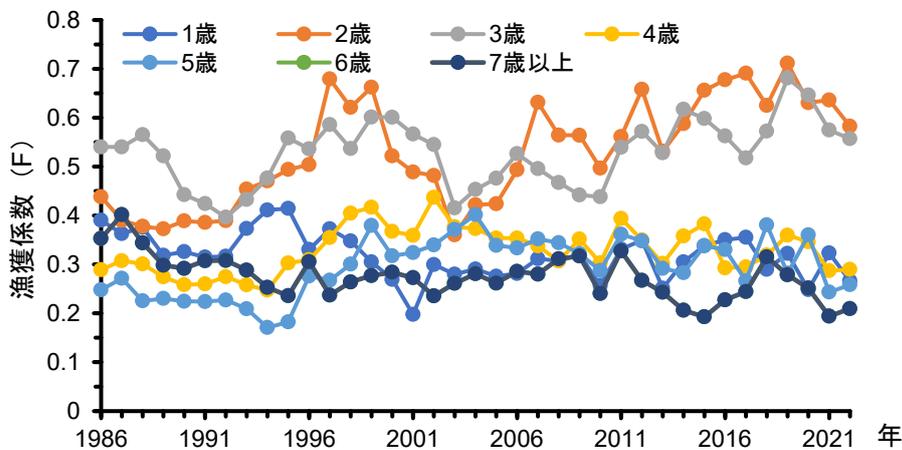


図 4-4. 年齢別漁獲係数 (F) の推移

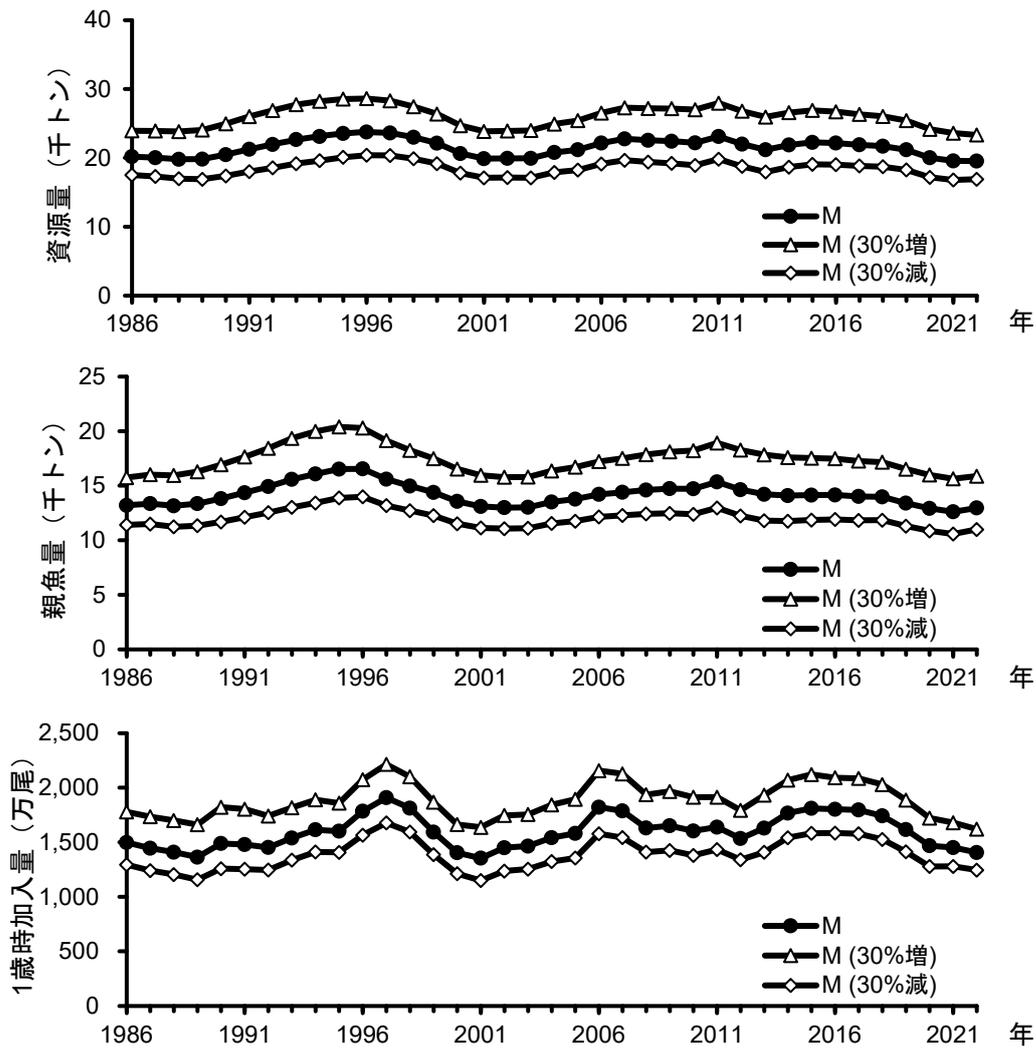


図 4-5. 自然死亡係数 M の値による資源量・親魚量・加入量の感度解析

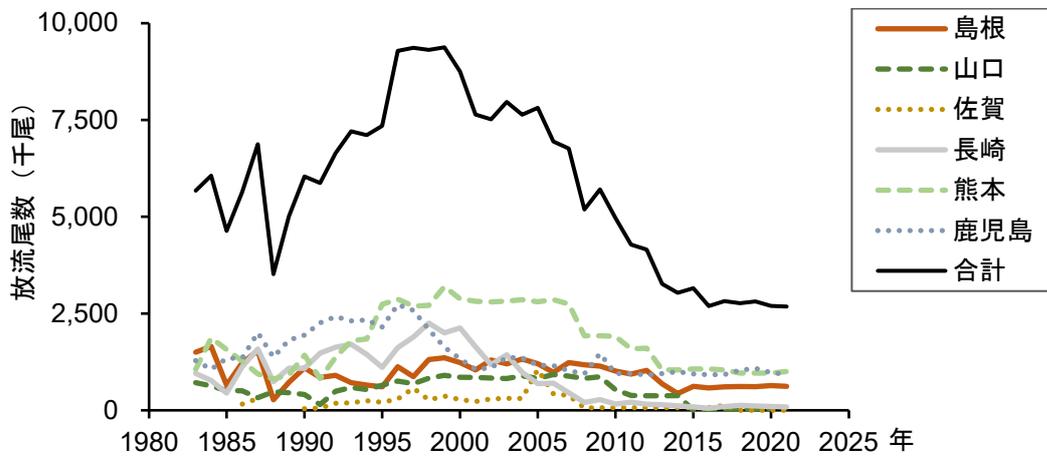


図 4-6. 1983 年以降の放流尾数の推移

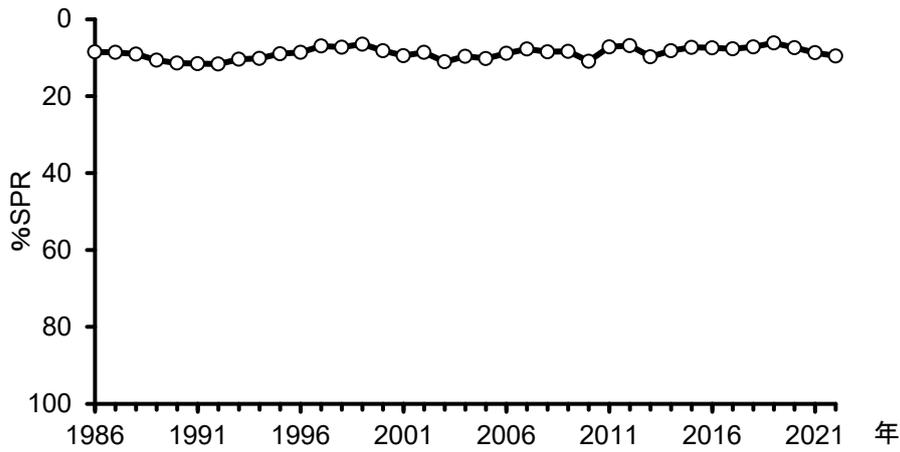


図 4-7. %SPR の推移

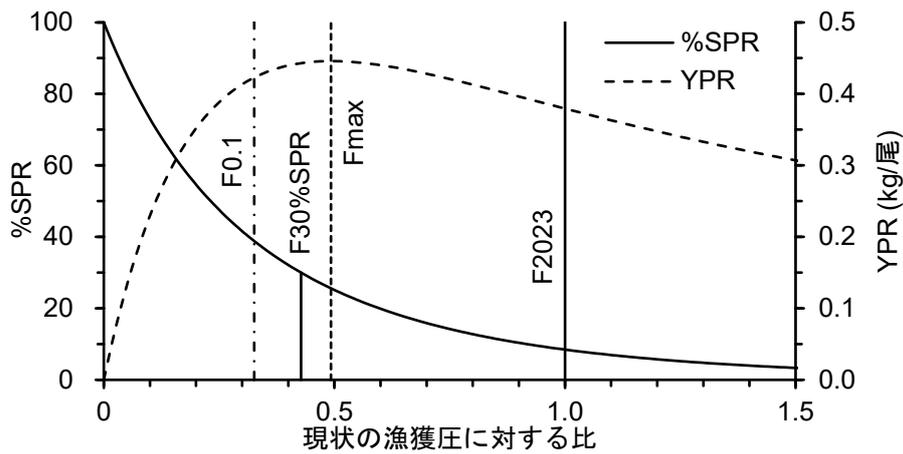


図 4-8. 現状の漁獲圧 (F2023) に対する YPR、%SPR の関係

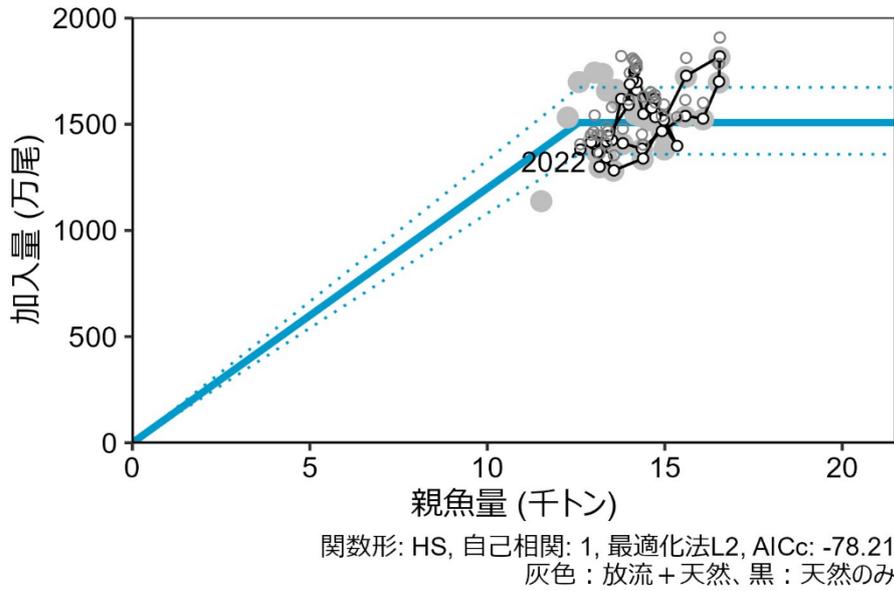


図 4-9. 親魚量と加入量の関係 青実線は本系群で適用した再生産関係式であり、上下の点線は、仮定されている再生産関係において観察データの90%が含まれると推定される範囲である。再生産関係式のパラメータは令和3年11月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」（下瀬ほか 2021）に示された値に基づく。丸印は今年度評価において推定された1986～2021年の親魚量と1987～2022年の加入量を示し、黒色は天然のみ、灰色は種苗放流を加味した加入量である。図中の数字は加入群の加入年を示す。

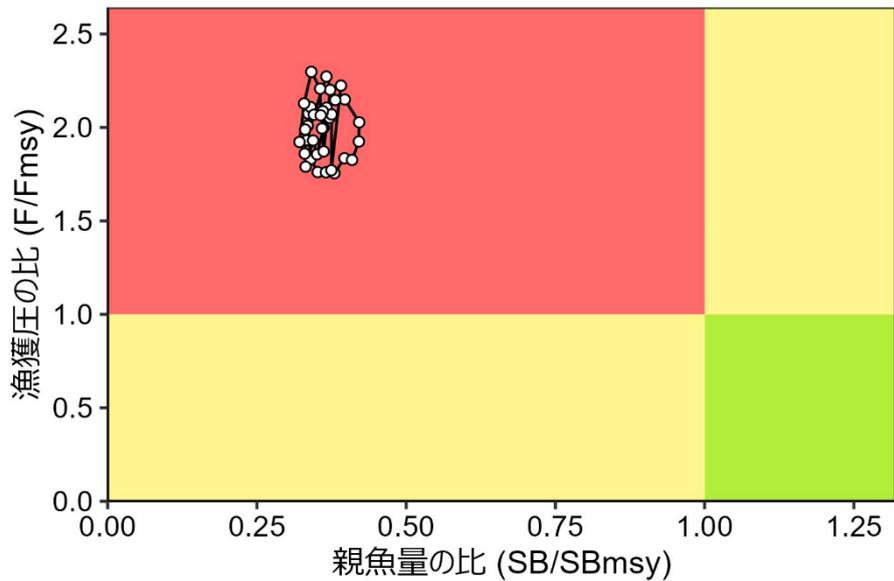


図 4-10. 神戸プロット

表 3-1. マダイ日本海西部・東シナ海系群の漁獲量（トン）

| | | | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 年 | 1969 | 1970 | 1971 | 1972 | 1973 | 1974 | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 |
| 漁獲量 | 11,166 | 10,493 | 8,759 | 10,268 | 8,596 | 8,121 | 7,517 | 7,729 | 8,000 | 8,320 |
| 年 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 | 1988 |
| 漁獲量 | 7,206 | 7,622 | 6,638 | 7,154 | 7,050 | 7,279 | 6,392 | 5,819 | 5,879 | 5,532 |
| 年 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 |
| 漁獲量 | 5,154 | 5,111 | 5,327 | 5,495 | 5,754 | 5,669 | 5,973 | 6,555 | 6,716 | 6,666 |
| 年 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
| 漁獲量 | 6,830 | 5,964 | 5,512 | 5,561 | 5,123 | 5,729 | 5,665 | 6,265 | 6,710 | 6,505 |
| 年 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| 漁獲量 | 6,472 | 5,610 | 7,065 | 6,568 | 5,506 | 5,965 | 6,291 | 6,297 | 6,188 | 6,582 |
| 年 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | | | | | | |
| 漁獲量 | 6,629 | 5,889 | 5,218 | 5,043 | | | | | | |

* 2022年の漁獲量合計値は暫定値。

表 4-1. 2007年以降の島根県大型定置網による CPUE (kg/日・経営体) と規格化 CPUE (平均を1とした時の相対値)

| 年 | 努力量 (日・経営体) | 漁獲量 (kg) | CPUE (kg/日・経営体) | | 規格化 CPUE | |
|------|----------------|-------------|--------------------|-------|-------------|------|
| | | | ノミナル | 標準化 | ノミナル | 標準化 |
| 2007 | 2,976 | 110,329 | 37.07 | 13.28 | 1.40 | 1.26 |
| 2008 | 2,629 | 95,682 | 36.39 | 10.30 | 1.38 | 0.98 |
| 2009 | 2,977 | 92,890 | 31.20 | 12.12 | 1.18 | 1.15 |
| 2010 | 2,454 | 93,280 | 38.01 | 11.15 | 1.44 | 1.06 |
| 2011 | 2,716 | 74,984 | 27.61 | 11.59 | 1.05 | 1.10 |
| 2012 | 2,542 | 68,307 | 26.87 | 11.08 | 1.02 | 1.05 |
| 2013 | 2,390 | 52,276 | 21.87 | 9.83 | 0.83 | 0.93 |
| 2014 | 2,658 | 64,878 | 24.41 | 9.15 | 0.92 | 0.87 |
| 2015 | 2,669 | 58,061 | 21.75 | 9.58 | 0.82 | 0.91 |
| 2016 | 2,807 | 60,666 | 21.61 | 10.63 | 0.82 | 1.01 |
| 2017 | 2,334 | 56,007 | 24.00 | 10.45 | 0.91 | 0.99 |
| 2018 | 2,264 | 42,502 | 18.77 | 9.40 | 0.71 | 0.89 |
| 2019 | 2,360 | 49,150 | 20.83 | 9.95 | 0.79 | 0.94 |
| 2020 | 2,195 | 45,659 | 20.80 | 9.57 | 0.79 | 0.91 |
| 2021 | 2,315 | 76,238 | 32.93 | 11.58 | 1.25 | 1.10 |
| 2022 | 1,973 | 36,332 | 18.41 | 8.90 | 0.70 | 0.84 |

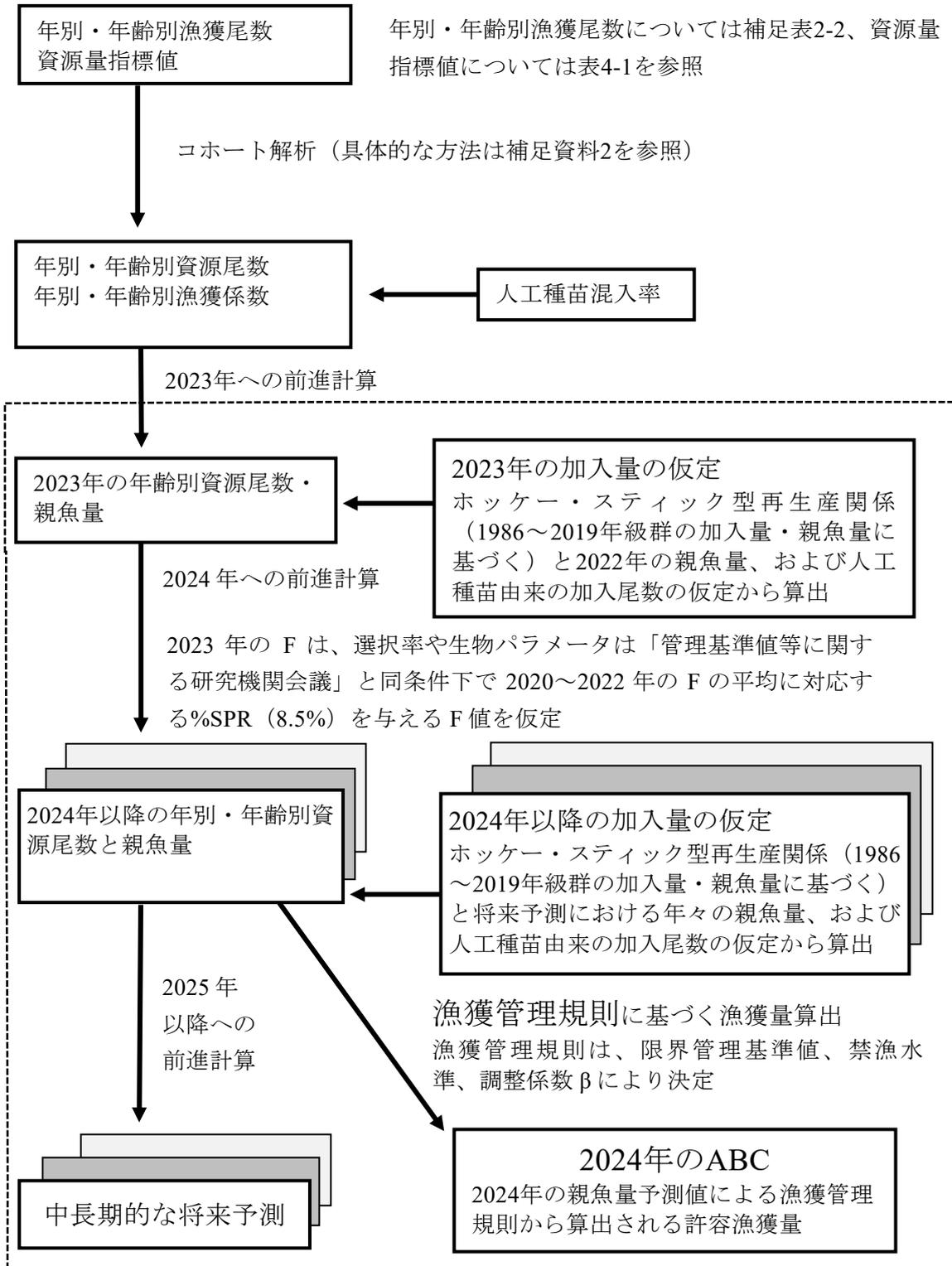
表 4-2. マダイ日本海西部・東シナ海系群の資源解析結果

| 年 | 漁獲量 (トン) | 資源量 (トン) | 親魚量 (トン) | 加入尾数 (千尾) | | 漁獲 割合 (%) | %SPR | F/Fmsy |
|------|-------------|-------------|-------------|--------------|----------------|-----------------|-------|--------|
| | | | | 天然 由来 | 人工 種苗 由来 | | | |
| 1986 | 5,819 | 20,176 | 13,205 | 14,277 | 694 | 29% | 8.50 | 2.07 |
| 1987 | 5,879 | 20,027 | 13,354 | 13,786 | 670 | 29% | 8.61 | 2.11 |
| 1988 | 5,532 | 19,789 | 13,162 | 13,431 | 653 | 28% | 9.06 | 2.01 |
| 1989 | 5,154 | 19,817 | 13,359 | 13,001 | 632 | 26% | 10.64 | 1.83 |
| 1990 | 5,111 | 20,462 | 13,817 | 14,192 | 690 | 25% | 11.40 | 1.76 |
| 1991 | 5,327 | 21,253 | 14,357 | 14,105 | 686 | 25% | 11.55 | 1.76 |
| 1992 | 5,495 | 21,937 | 14,919 | 13,848 | 674 | 25% | 11.62 | 1.75 |
| 1993 | 5,754 | 22,653 | 15,579 | 14,676 | 714 | 25% | 10.40 | 1.84 |
| 1994 | 5,669 | 23,113 | 16,078 | 15,394 | 749 | 25% | 10.17 | 1.83 |
| 1995 | 5,973 | 23,551 | 16,528 | 15,267 | 743 | 25% | 8.98 | 1.92 |
| 1996 | 6,555 | 23,762 | 16,549 | 17,015 | 828 | 28% | 8.61 | 2.03 |
| 1997 | 6,716 | 23,625 | 15,602 | 18,199 | 885 | 28% | 6.96 | 2.15 |
| 1998 | 6,666 | 22,992 | 14,974 | 17,285 | 841 | 29% | 7.27 | 2.15 |
| 1999 | 6,830 | 22,141 | 14,389 | 15,192 | 739 | 31% | 6.48 | 2.27 |
| 2000 | 5,964 | 20,629 | 13,566 | 13,388 | 651 | 29% | 8.18 | 2.07 |
| 2001 | 5,512 | 19,883 | 13,102 | 12,826 | 713 | 28% | 9.48 | 1.93 |
| 2002 | 5,561 | 19,924 | 12,994 | 13,690 | 803 | 28% | 8.62 | 1.99 |
| 2003 | 5,123 | 19,933 | 13,023 | 14,086 | 559 | 26% | 11.07 | 1.79 |
| 2004 | 5,729 | 20,782 | 13,513 | 14,207 | 1,212 | 28% | 9.64 | 1.93 |
| 2005 | 5,665 | 21,174 | 13,772 | 14,254 | 1,549 | 27% | 10.21 | 1.86 |
| 2006 | 6,265 | 22,146 | 14,206 | 16,200 | 2,015 | 28% | 8.86 | 2.00 |
| 2007 | 6,710 | 22,760 | 14,396 | 16,609 | 1,259 | 29% | 7.75 | 2.11 |
| 2008 | 6,505 | 22,557 | 14,608 | 15,491 | 812 | 29% | 8.48 | 2.05 |
| 2009 | 6,472 | 22,415 | 14,734 | 15,775 | 735 | 29% | 8.36 | 2.07 |
| 2010 | 5,610 | 22,178 | 14,716 | 15,340 | 691 | 25% | 10.93 | 1.77 |
| 2011 | 7,065 | 23,097 | 15,347 | 16,202 | 180 | 31% | 7.20 | 2.22 |
| 2012 | 6,568 | 22,000 | 14,638 | 13,981 | 1,354 | 30% | 6.85 | 2.20 |
| 2013 | 5,506 | 21,178 | 14,212 | 15,766 | 530 | 26% | 9.76 | 1.87 |
| 2014 | 5,965 | 21,874 | 14,096 | 16,985 | 685 | 27% | 8.18 | 1.99 |
| 2015 | 6,291 | 22,252 | 14,142 | 17,074 | 1,027 | 28% | 7.30 | 2.08 |
| 2016 | 6,297 | 22,151 | 14,157 | 17,482 | 537 | 28% | 7.44 | 2.09 |
| 2017 | 6,188 | 21,887 | 14,016 | 17,605 | 349 | 28% | 7.69 | 2.06 |
| 2018 | 6,582 | 21,698 | 13,981 | 16,885 | 533 | 30% | 7.20 | 2.21 |
| 2019 | 6,629 | 21,172 | 13,399 | 15,915 | 238 | 31% | 6.16 | 2.30 |
| 2020 | 5,889 | 20,014 | 12,924 | 14,454 | 226 | 29% | 7.40 | 2.13 |
| 2021 | 5,218 | 19,569 | 12,620 | 14,161 | 348 | 27% | 8.70 | 1.92 |
| 2022 | 5,043 | 19,524 | 12,964 | 13,810 | 250 | 26% | 9.55 | 1.86 |

表 4-3. 人工種苗の放流尾数、混入率と添加効率

| 放流年 | 放流数 (万尾) | 翌年 | | 放流魚加入数 (万尾) | 添加効率 (1歳加入) |
|------|-------------|-----------------|------------|----------------|----------------|
| | | 1歳魚資源尾数 (万尾) | 混入率 (%) | | |
| 1983 | 567.2 | | | | |
| 1984 | 606.1 | | | | |
| 1985 | 463.3 | 1,497.1 | | | |
| 1986 | 563.8 | 1,445.6 | | | |
| 1987 | 687.2 | 1,408.5 | | | |
| 1988 | 351.8 | 1,363.4 | | | |
| 1989 | 501.1 | 1,488.3 | | | |
| 1990 | 603.8 | 1,479.1 | | | |
| 1991 | 586.9 | 1,452.1 | | | |
| 1992 | 664.3 | 1,539.0 | | | |
| 1993 | 720.6 | 1,614.2 | | | |
| 1994 | 710.9 | 1,601.0 | | | |
| 1995 | 734.8 | 1,784.2 | | | |
| 1996 | 928.6 | 1,908.4 | | | |
| 1997 | 936.4 | 1,812.5 | | | |
| 1998 | 931.0 | 1,593.1 | | | |
| 1999 | 937.8 | 1,403.9 | | | |
| 2000 | 874.7 | 1,353.9 | 5.3 | 71.3 | 0.08 |
| 2001 | 763.8 | 1,449.3 | 5.5 | 80.3 | 0.11 |
| 2002 | 751.6 | 1,464.5 | 3.8 | 55.9 | 0.07 |
| 2003 | 796.4 | 1,541.9 | 7.9 | 121.2 | 0.15 |
| 2004 | 763.7 | 1,580.3 | 9.8 | 154.9 | 0.20 |
| 2005 | 781.1 | 1,821.4 | 11.1 | 201.5 | 0.26 |
| 2006 | 694.2 | 1,786.7 | 7.0 | 125.9 | 0.18 |
| 2007 | 676.3 | 1,630.2 | 5.0 | 81.2 | 0.12 |
| 2008 | 518.5 | 1,651.0 | 4.5 | 73.5 | 0.14 |
| 2009 | 570.4 | 1,603.0 | 4.3 | 69.1 | 0.12 |
| 2010 | 496.6 | 1,638.2 | 1.1 | 18.0 | 0.04 |
| 2011 | 427.8 | 1,533.4 | 8.8 | 135.4 | 0.32 |
| 2012 | 415.3 | 1,629.6 | 3.3 | 53.0 | 0.13 |
| 2013 | 326.7 | 1,767.0 | 3.9 | 68.5 | 0.21 |
| 2014 | 303.3 | 1,810.1 | 5.7 | 102.7 | 0.34 |
| 2015 | 315.5 | 1,801.9 | 3.0 | 53.7 | 0.17 |
| 2016 | 269.2 | 1,795.4 | 1.9 | 34.9 | 0.13 |
| 2017 | 282.1 | 1,741.8 | 3.1 | 53.3 | 0.19 |
| 2018 | 276.7 | 1,615.4 | 1.5 | 23.8 | 0.09 |
| 2019 | 281.3 | 1,468.1 | 1.5 | 22.6 | 0.08 |
| 2020 | 269.5 | 1,450.9 | 2.4 | 34.8 | 0.13 |
| 2021 | 268.3 | 1,406.0 | 1.8 | 25.0 | 0.09 |
| 2022 | 未集計 | - | - | - | - |

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管理基準値や漁獲管理規則等の議論をふまえて作成される。

(http://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/index.html)

補足資料 2 計算方法

(1) 年別年齢別漁獲尾数の推定とコホート解析に用いたパラメータ

年齢別漁獲尾数は、鳥取県、島根県、山口県、福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県、鹿児島県の各県で推定された。各県によって推定される年齢組成の最高齢が異なるため、7歳以上の漁獲尾数を7+歳として集計した。なお、1993年頃から各地で0歳魚の捕獲が禁止されたため、資源への漁獲加入年齢は1歳魚とし、解析では0歳魚を除外した。自然死亡係数 M は、島本（1999）に従い、1歳魚では0.24、2歳魚以上では0.17とした。成長に関するパラメータは、従来本系群に用いられてきた以下の式に従った。

$$\begin{aligned} \text{成長式} & : & FL_t &= 78.14 \times (1 - e^{(-0.1423 \times (t+0.35)})} \\ \text{尾叉長-体重関係式} & : & BW &= 0.0382 \times FL^{2.825} \end{aligned}$$

ここで、 FL_t : t 歳時の尾叉長 (cm)、 BW : 体重 (g)、 FL : 尾叉長 (cm)

なお、各年齢時の体重は、年の中間時点の値とするため、各齢に0.5歳を足した計算値とした。また、7+歳の体重は、7~20歳が全減少係数=0.5で減少すると仮定して得られた個体数割合を用いた加重平均である3,531gとした。この年齢群に充てるべき体重は、年齢組成の変動を考慮して毎年更新されるべきであるが、現時点では、年齢組成推定精度にばらつきがあること、過去にさかのぼったデータの精査ができないことから、年によらず一定の数値を用いた。

(2) 資源量推定法

1986年以降に得られた年齢別漁獲尾数と本系群が対象とする海域における漁獲量を用いてコホート解析を行った。コホート計算に用いた生物パラメータを補足表2-1に示す。

最新年を除く y 年 a 歳 (0~5歳) の資源尾数 ($N_{a,y}$) および漁獲係数 ($F_{a,y}$) は、それぞれ以下の式で求めた (平松 2001)。

$$N_{a,y} = N_{a+1,y+1} \exp(M_a) + C_{a,y} \exp\left(\frac{M_a}{2}\right) \quad (1 \leq a \leq 5) \quad (1)$$

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

なお、 $C_{a,y}$ は y 年 a 歳の漁獲尾数である。

7歳以上はプラスグループ (7+) であり、6歳と7+歳の漁獲係数は等しいと仮定して、6歳魚以上の資源尾数を以下の式で求めた。

$$N_{6,y} = \left(\frac{C_{6,y}}{(C_{6,y} + C_{7+,y})}\right) N_{7+,y+1} \exp(M_6) + C_{6,y} \exp\left(\frac{M_6}{2}\right) \quad (3)$$

$$N_{7+,y} = \left(\frac{C_{7+,y}}{C_{6,y}}\right) N_{6,y} \quad (4)$$

最新年の資源尾数は、以下の式で求めた。

$$N_{a,y} = \frac{c_{a,y}}{1 - \exp(-F_{a,y})} \exp\left(\frac{M_a}{2}\right) \quad (1 \leq a \leq 7^+) \quad (5)$$

$F_{a,y}$ は、 y 年における CPUE の観測値 u_y （島根県大型定置網で漁獲されるマダイの標準化 CPUE (kg/日・社)、数値は表 4-1 参照) を使用したチューニングコホート解析により推定した (平松 2001)。対数変換した u_y は、次のような正規分布の確率変数であると仮定した。

$$\ln(u_y) = \ln q \sum_a (N_{a,y} W_a)^b + \varepsilon_y \quad \text{なお、} \varepsilon_y \sim N(0, \sigma^2) \quad (6)$$

W_a は a 歳の平均体重である。

q は漁具能率であり、チューニングに使用した調査の年数を T 年とすると (7) 式により求められる。

$$q = \exp\left(\frac{\sum_y \ln(u_y) - b \sum_y \ln(\sum_a (N_{a,y} W_a))}{T}\right) \quad (7)$$

チューニングコホート解析で推定する資源量より求めた CPUE の理論値と CPUE の観測値のトレンドが最も一致するように、(8) 式を最小とするパラメータを推定した。

$$SS = \sum_y \left(\ln(u_y) - \ln(q \sum_a (N_{a,y} W_a))^b \right)^2 \quad (8)$$

親魚量は 1 歳以上の資源尾数に平均体重と成熟率 (fr_a 、補足表 2-1) をかけることで求めた。

$$SB_y = \sum_{a=1}^{7^+} N_{a,y} W_a fr_a \quad (9)$$

(3) 混入率および天然由来、人工種苗由来の加入尾数の推定

y 年における人工種苗由来の加入尾数 Ra_y は、以下の式で計算される。

$$Ra_y = N_{1,y} \times \text{人工種苗混入率}$$

また、添加効率とは全ての放流尾数のうち、生き残って資源に添加された尾数の割合で、以下の式で計算される。

$$\text{添加効率} = \frac{Ra_y}{y-1 \text{ 年の人工種苗放流尾数}}$$

天然由来加入尾数 Ra_y は、 $N_{1,y}$ から Ra_y を減じることで求めた。

$$Rn_y = N_{1,y} - Ra_y$$

(4) YPR、SPR の解析

加入あたり漁獲量 (YPR) と加入あたり親魚量 (SPR) は、以下の式で求めた。

$$YPR = \sum_{a=1}^{\infty} S_a W_a \exp(-M_a/2) (1 - \exp(-F_a))$$

$$SPR = \sum_{a=0}^{\infty} fr_a S_a W_a$$

$$S_{a+1} = S_a \exp(-F_a - M_a) \quad (\text{ただし } S_0=1)$$

ここで、 S_a は a 歳における生残率、 fr_a は a 歳の雌の成熟割合を示す。

(5) モデル診断結果

「資源評価におけるモデル診断の手順と診断結果の提供指針 (令和 5 年度) (FRA-SA2023-ABCWG02-03)」に従い、本系群の評価に用いた VPA の統計学的妥当性や仮定に対する頑健性について診断した。

チューニングの有無による VPA 結果の違いを補足図 2-1 に、チューニングにおけるモデル診断結果を補足図 2-2 に、資源解析とその結果における年別年齢別漁獲尾数、年齢別漁獲係数、年齢別資源尾数、年齢別資源量をそれぞれ補足表 2-2~5 に示した。

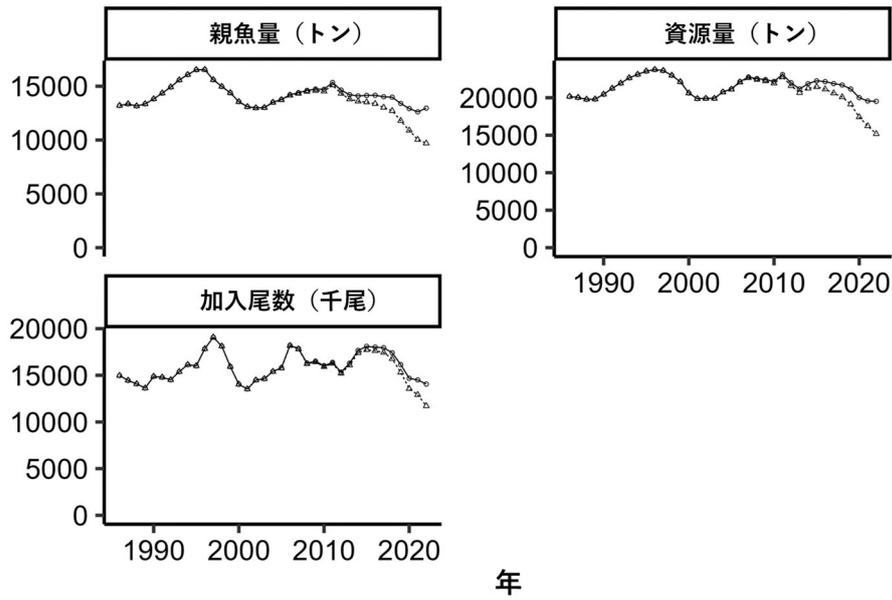
資源量、親魚量および加入尾数におけるレトロスペクティブ解析結果を補足図 2-3 に示した。資源量の解析では、2018~2021 年の推定値は毎年わずかに上方修正され、2022 年は下方修正された。親魚量の解析では、2019~2022 年の推定値は毎年わずかに上方修正された。加入尾数の解析では、2018~2021 年の推定値は毎年上方修正され、2022 年は下方修正された。

引用文献

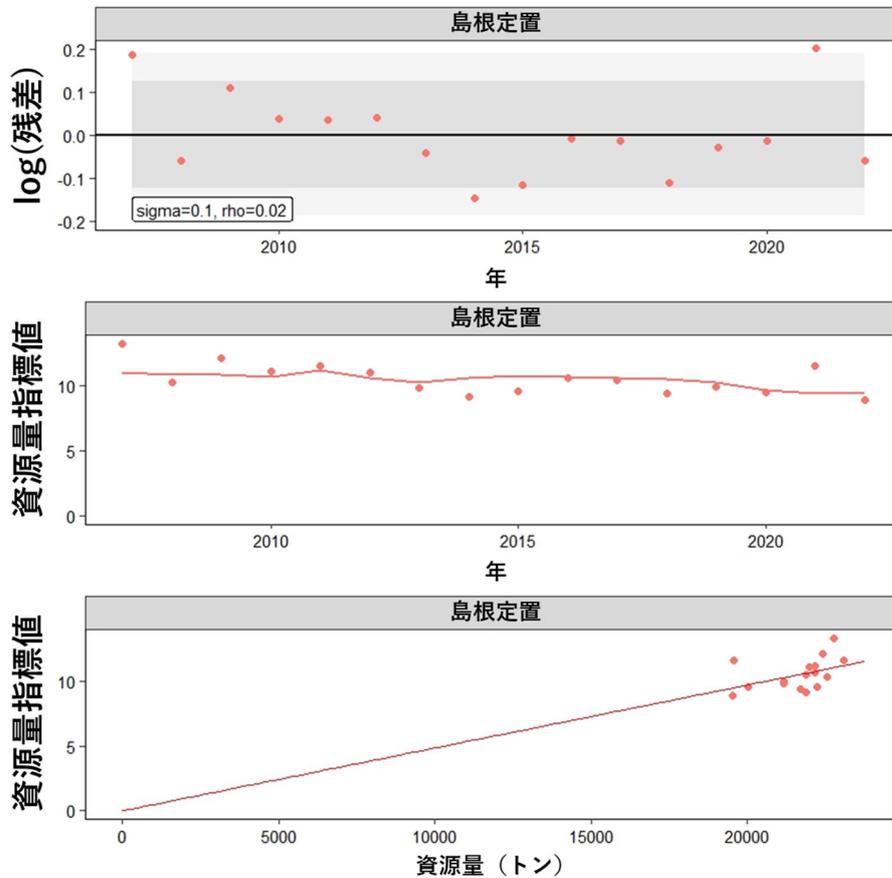
平松一彦 (2001) VPA (Virtual Population Analysis). 平成 12 年度資源評価体制確立推進事業報告書—資源解析手法教科書—, 日本水産資源保護協会, 104-128.

資源評価高度化作業部会 (2023) 資源評価におけるモデル診断の手順と診断結果の提供指針 (令和 5 年度) FRA-SA2023-ABCWG02-03. https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2023-ABCWG02-03.pdf (last accessed 23 August 2023)

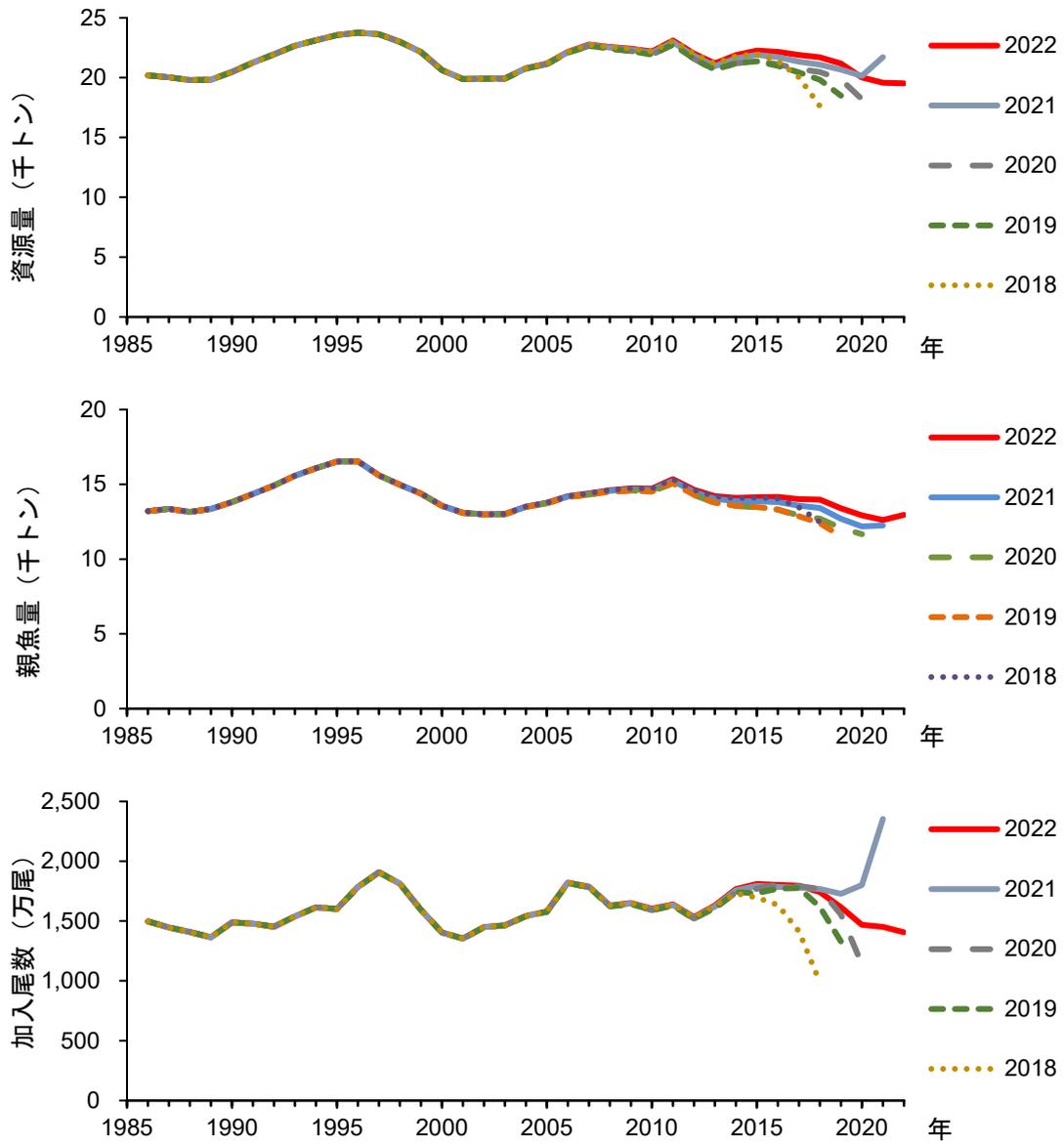
島本信夫 (1999) 瀬戸内海東部海域におけるマダイの資源変動および栽培漁業に関する研究. 兵庫水試研報, **35**, 43-112.



補足図 2-1. チューニングの有り (○) と無し (△) による VPA の結果



補足図 2-2. チューニング VPA のモデル診断結果



補足図 2-3. 資源量、親魚量、1 歳資源尾数のレトロスペクティブ解析結果 凡例の数字はコホート解析の最終年を示す。

補足表 2-1. コホート計算に用いた年齢別平均体重、成熟率および自然死亡係数 (M)

| 年齢 | 平均体重 | | 自然死亡 | 年齢 | 平均体重 | | 自然死亡 |
|----|-------|-----|--------|----|-------|-----|--------|
| | (kg) | 成熟率 | 係数 (M) | | (kg) | 成熟率 | 係数 (M) |
| 1 | 0.136 | 0 | 0.24 | 5 | 1.694 | 1.0 | 0.17 |
| 2 | 0.382 | 0 | 0.17 | 6 | 2.230 | 1.0 | 0.17 |
| 3 | 0.742 | 0.5 | 0.17 | 7+ | 3.531 | 1.0 | 0.17 |
| 4 | 1.189 | 1.0 | 0.17 | | | | |

補足表 2-2. 資源解析結果 年齢別漁獲尾数 (千尾)

| 年 | 1歳 | 2歳 | 3歳 | 4歳 | 5歳 | 6歳 | 7+歳 | 合計 |
|------|-------|-------|-------|-----|-----|-----|-----|--------|
| 1986 | 4,290 | 2,680 | 1,853 | 525 | 277 | 225 | 352 | 10,201 |
| 1987 | 3,902 | 2,364 | 1,716 | 577 | 314 | 274 | 380 | 9,527 |
| 1988 | 3,913 | 2,286 | 1,806 | 525 | 273 | 247 | 325 | 9,375 |
| 1989 | 3,297 | 2,174 | 1,708 | 481 | 259 | 235 | 303 | 8,459 |
| 1990 | 3,670 | 2,308 | 1,452 | 479 | 259 | 214 | 331 | 8,712 |
| 1991 | 3,542 | 2,485 | 1,417 | 504 | 275 | 229 | 359 | 8,812 |
| 1992 | 3,494 | 2,516 | 1,457 | 543 | 291 | 245 | 366 | 8,912 |
| 1993 | 4,252 | 2,789 | 1,566 | 575 | 274 | 241 | 358 | 10,055 |
| 1994 | 4,827 | 2,874 | 1,553 | 535 | 259 | 222 | 338 | 10,608 |
| 1995 | 4,817 | 3,013 | 1,726 | 560 | 268 | 246 | 345 | 10,975 |
| 1996 | 4,452 | 3,025 | 1,652 | 518 | 323 | 297 | 493 | 10,761 |
| 1997 | 5,265 | 4,567 | 1,727 | 587 | 283 | 181 | 395 | 13,004 |
| 1998 | 4,723 | 4,395 | 1,646 | 609 | 302 | 181 | 421 | 12,276 |
| 1999 | 3,715 | 4,479 | 1,946 | 666 | 325 | 176 | 406 | 11,714 |
| 2000 | 2,938 | 3,449 | 1,817 | 612 | 296 | 147 | 380 | 9,639 |
| 2001 | 2,152 | 2,997 | 1,837 | 562 | 322 | 159 | 323 | 8,353 |
| 2002 | 3,328 | 3,070 | 1,684 | 720 | 316 | 149 | 273 | 9,539 |
| 2003 | 3,169 | 2,347 | 1,422 | 616 | 344 | 151 | 308 | 8,358 |
| 2004 | 3,447 | 2,754 | 1,664 | 725 | 376 | 158 | 318 | 9,442 |
| 2005 | 3,377 | 2,878 | 1,676 | 730 | 389 | 148 | 285 | 9,483 |
| 2006 | 3,961 | 3,375 | 1,883 | 691 | 411 | 202 | 303 | 10,826 |
| 2007 | 4,242 | 4,650 | 1,745 | 657 | 408 | 214 | 315 | 12,232 |
| 2008 | 3,824 | 4,077 | 1,664 | 606 | 402 | 218 | 370 | 11,161 |
| 2009 | 4,011 | 3,735 | 1,621 | 699 | 392 | 224 | 369 | 11,050 |
| 2010 | 3,220 | 3,391 | 1,475 | 643 | 349 | 186 | 286 | 9,551 |
| 2011 | 4,097 | 3,848 | 1,854 | 737 | 465 | 247 | 410 | 11,657 |
| 2012 | 4,008 | 4,098 | 1,878 | 645 | 378 | 211 | 336 | 11,554 |
| 2013 | 3,211 | 3,220 | 1,523 | 535 | 329 | 165 | 325 | 9,308 |
| 2014 | 4,119 | 4,070 | 1,785 | 556 | 315 | 153 | 280 | 11,278 |
| 2015 | 4,605 | 4,527 | 1,933 | 561 | 313 | 143 | 280 | 12,361 |
| 2016 | 4,723 | 4,590 | 1,773 | 505 | 286 | 133 | 341 | 12,351 |
| 2017 | 4,761 | 4,576 | 1,615 | 506 | 293 | 133 | 340 | 12,223 |
| 2018 | 3,884 | 4,226 | 1,690 | 549 | 394 | 219 | 390 | 11,352 |
| 2019 | 3,946 | 4,796 | 2,028 | 557 | 303 | 174 | 337 | 12,142 |
| 2020 | 2,863 | 3,955 | 1,857 | 513 | 329 | 174 | 299 | 9,990 |
| 2021 | 3,554 | 3,895 | 1,660 | 430 | 226 | 113 | 246 | 10,124 |
| 2022 | 2,913 | 3,350 | 1,578 | 454 | 248 | 131 | 267 | 8,942 |

補足表 2-3. 資源解析結果 年齢別漁獲係数 (F)

| 年 | 1歳 | 2歳 | 3歳 | 4歳 | 5歳 | 6歳 | 7+歳 | %SPR |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1986 | 0.39 | 0.44 | 0.54 | 0.29 | 0.25 | 0.35 | 0.35 | 8.5 |
| 1987 | 0.36 | 0.39 | 0.54 | 0.31 | 0.27 | 0.40 | 0.40 | 8.6 |
| 1988 | 0.38 | 0.38 | 0.57 | 0.30 | 0.23 | 0.34 | 0.34 | 9.1 |
| 1989 | 0.32 | 0.37 | 0.52 | 0.27 | 0.23 | 0.30 | 0.30 | 10.6 |
| 1990 | 0.33 | 0.39 | 0.44 | 0.26 | 0.22 | 0.29 | 0.29 | 11.4 |
| 1991 | 0.31 | 0.39 | 0.42 | 0.26 | 0.22 | 0.31 | 0.31 | 11.5 |
| 1992 | 0.32 | 0.39 | 0.40 | 0.27 | 0.23 | 0.31 | 0.31 | 11.6 |
| 1993 | 0.37 | 0.45 | 0.43 | 0.26 | 0.21 | 0.29 | 0.29 | 10.4 |
| 1994 | 0.41 | 0.47 | 0.48 | 0.25 | 0.17 | 0.25 | 0.25 | 10.2 |
| 1995 | 0.41 | 0.49 | 0.56 | 0.30 | 0.18 | 0.24 | 0.24 | 9.0 |
| 1996 | 0.33 | 0.50 | 0.54 | 0.31 | 0.28 | 0.31 | 0.31 | 8.6 |
| 1997 | 0.37 | 0.68 | 0.59 | 0.35 | 0.27 | 0.24 | 0.24 | 7.0 |
| 1998 | 0.35 | 0.62 | 0.54 | 0.40 | 0.30 | 0.26 | 0.26 | 7.3 |
| 1999 | 0.31 | 0.66 | 0.60 | 0.42 | 0.38 | 0.28 | 0.28 | 6.5 |
| 2000 | 0.27 | 0.52 | 0.60 | 0.37 | 0.32 | 0.28 | 0.28 | 8.2 |
| 2001 | 0.20 | 0.49 | 0.57 | 0.36 | 0.32 | 0.27 | 0.27 | 9.5 |
| 2002 | 0.30 | 0.48 | 0.54 | 0.44 | 0.34 | 0.24 | 0.24 | 8.6 |
| 2003 | 0.28 | 0.36 | 0.42 | 0.38 | 0.37 | 0.26 | 0.26 | 11.1 |
| 2004 | 0.29 | 0.42 | 0.45 | 0.37 | 0.40 | 0.28 | 0.28 | 9.6 |
| 2005 | 0.28 | 0.42 | 0.48 | 0.35 | 0.34 | 0.26 | 0.26 | 10.2 |
| 2006 | 0.28 | 0.49 | 0.53 | 0.35 | 0.33 | 0.29 | 0.29 | 8.9 |
| 2007 | 0.31 | 0.63 | 0.50 | 0.34 | 0.35 | 0.28 | 0.28 | 7.7 |
| 2008 | 0.31 | 0.56 | 0.47 | 0.31 | 0.34 | 0.31 | 0.31 | 8.5 |
| 2009 | 0.32 | 0.56 | 0.44 | 0.35 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 8.4 |
| 2010 | 0.26 | 0.50 | 0.44 | 0.30 | 0.29 | 0.24 | 0.24 | 10.9 |
| 2011 | 0.33 | 0.56 | 0.54 | 0.39 | 0.36 | 0.33 | 0.33 | 7.2 |
| 2012 | 0.35 | 0.66 | 0.57 | 0.35 | 0.35 | 0.27 | 0.27 | 6.8 |
| 2013 | 0.25 | 0.53 | 0.53 | 0.30 | 0.29 | 0.24 | 0.24 | 9.8 |
| 2014 | 0.30 | 0.59 | 0.62 | 0.36 | 0.28 | 0.21 | 0.21 | 8.2 |
| 2015 | 0.34 | 0.66 | 0.60 | 0.38 | 0.34 | 0.19 | 0.19 | 7.3 |
| 2016 | 0.35 | 0.68 | 0.56 | 0.29 | 0.33 | 0.23 | 0.23 | 7.4 |
| 2017 | 0.36 | 0.69 | 0.52 | 0.29 | 0.27 | 0.24 | 0.24 | 7.7 |
| 2018 | 0.29 | 0.62 | 0.57 | 0.32 | 0.38 | 0.31 | 0.31 | 7.2 |
| 2019 | 0.32 | 0.71 | 0.68 | 0.36 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 6.2 |
| 2020 | 0.25 | 0.63 | 0.65 | 0.35 | 0.36 | 0.25 | 0.25 | 7.4 |
| 2021 | 0.32 | 0.64 | 0.57 | 0.29 | 0.24 | 0.19 | 0.19 | 8.7 |
| 2022 | 0.27 | 0.58 | 0.56 | 0.29 | 0.26 | 0.21 | 0.21 | 9.6 |

補足表 2-4. 資源解析結果 年齢別資源尾数 (千尾)

| 年 | 1 歳 | 2 歳 | 3 歳 | 4 歳 | 5 歳 | 6 歳 | 7+歳 | 合計 |
|------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1986 | 14,971 | 8,223 | 4,833 | 2,277 | 1,371 | 825 | 1,286 | 33,787 |
| 1987 | 14,456 | 7,972 | 4,476 | 2,376 | 1,439 | 903 | 1,251 | 32,872 |
| 1988 | 14,085 | 7,911 | 4,554 | 2,200 | 1,474 | 925 | 1,216 | 32,366 |
| 1989 | 13,634 | 7,609 | 4,575 | 2,184 | 1,374 | 993 | 1,281 | 31,649 |
| 1990 | 14,883 | 7,800 | 4,423 | 2,290 | 1,400 | 921 | 1,423 | 33,141 |
| 1991 | 14,791 | 8,452 | 4,461 | 2,397 | 1,493 | 944 | 1,477 | 34,015 |
| 1992 | 14,521 | 8,493 | 4,848 | 2,462 | 1,560 | 1,007 | 1,502 | 34,393 |
| 1993 | 15,390 | 8,324 | 4,855 | 2,751 | 1,578 | 1,049 | 1,556 | 35,503 |
| 1994 | 16,142 | 8,335 | 4,461 | 2,657 | 1,793 | 1,080 | 1,647 | 36,116 |
| 1995 | 16,010 | 8,417 | 4,392 | 2,337 | 1,750 | 1,275 | 1,787 | 35,968 |
| 1996 | 17,842 | 8,322 | 4,333 | 2,120 | 1,457 | 1,231 | 2,041 | 37,345 |
| 1997 | 19,084 | 10,087 | 4,242 | 2,138 | 1,312 | 933 | 2,034 | 39,830 |
| 1998 | 18,125 | 10,343 | 4,315 | 1,992 | 1,265 | 847 | 1,974 | 38,862 |
| 1999 | 15,931 | 10,069 | 4,689 | 2,129 | 1,121 | 791 | 1,828 | 36,558 |
| 2000 | 14,039 | 9,237 | 4,380 | 2,168 | 1,184 | 647 | 1,675 | 33,331 |
| 2001 | 13,539 | 8,438 | 4,625 | 2,026 | 1,267 | 727 | 1,475 | 32,097 |
| 2002 | 14,493 | 8,741 | 4,365 | 2,215 | 1,194 | 773 | 1,414 | 33,195 |
| 2003 | 14,645 | 8,449 | 4,555 | 2,136 | 1,207 | 717 | 1,458 | 33,167 |
| 2004 | 15,419 | 8,709 | 4,972 | 2,536 | 1,236 | 702 | 1,413 | 34,988 |
| 2005 | 15,803 | 9,072 | 4,818 | 2,666 | 1,474 | 698 | 1,348 | 35,879 |
| 2006 | 18,214 | 9,435 | 5,010 | 2,525 | 1,579 | 886 | 1,329 | 38,979 |
| 2007 | 17,867 | 10,814 | 4,861 | 2,497 | 1,496 | 954 | 1,405 | 39,894 |
| 2008 | 16,302 | 10,293 | 4,852 | 2,498 | 1,503 | 887 | 1,504 | 37,839 |
| 2009 | 16,510 | 9,432 | 4,939 | 2,565 | 1,550 | 899 | 1,478 | 37,374 |
| 2010 | 16,030 | 9,430 | 4,527 | 2,678 | 1,523 | 948 | 1,460 | 36,596 |
| 2011 | 16,382 | 9,754 | 4,841 | 2,465 | 1,669 | 964 | 1,598 | 37,672 |
| 2012 | 15,334 | 9,253 | 4,695 | 2,382 | 1,402 | 981 | 1,558 | 35,605 |
| 2013 | 16,296 | 8,507 | 4,043 | 2,236 | 1,417 | 835 | 1,639 | 34,974 |
| 2014 | 17,670 | 9,971 | 4,220 | 2,012 | 1,395 | 893 | 1,638 | 37,798 |
| 2015 | 18,101 | 10,247 | 4,674 | 1,921 | 1,187 | 887 | 1,737 | 38,754 |
| 2016 | 18,019 | 10,155 | 4,486 | 2,168 | 1,105 | 714 | 1,826 | 38,474 |
| 2017 | 17,954 | 9,986 | 4,351 | 2,157 | 1,365 | 670 | 1,707 | 38,190 |
| 2018 | 17,418 | 9,900 | 4,222 | 2,188 | 1,355 | 882 | 1,571 | 37,537 |
| 2019 | 16,154 | 10,257 | 4,471 | 2,009 | 1,342 | 781 | 1,511 | 36,524 |
| 2020 | 14,681 | 9,207 | 4,248 | 1,909 | 1,183 | 854 | 1,464 | 33,546 |
| 2021 | 14,509 | 9,009 | 4,135 | 1,878 | 1,139 | 696 | 1,521 | 32,887 |
| 2022 | 14,060 | 8,261 | 4,023 | 1,964 | 1,189 | 754 | 1,541 | 31,791 |

補足表 2-5. 資源解析結果 年齢別資源量 (トン)

| 年 | 1歳 | 2歳 | 3歳 | 4歳 | 5歳 | 6歳 | 7+歳 | 合計 |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 1986 | 2,038 | 3,139 | 3,586 | 2,708 | 2,323 | 1,839 | 4,542 | 20,176 |
| 1987 | 1,968 | 3,043 | 3,321 | 2,826 | 2,437 | 2,013 | 4,418 | 20,027 |
| 1988 | 1,918 | 3,020 | 3,379 | 2,617 | 2,497 | 2,063 | 4,295 | 19,789 |
| 1989 | 1,856 | 2,905 | 3,394 | 2,597 | 2,328 | 2,214 | 4,523 | 19,817 |
| 1990 | 2,026 | 2,978 | 3,282 | 2,724 | 2,373 | 2,053 | 5,026 | 20,462 |
| 1991 | 2,014 | 3,227 | 3,310 | 2,852 | 2,529 | 2,105 | 5,217 | 21,253 |
| 1992 | 1,977 | 3,242 | 3,597 | 2,929 | 2,643 | 2,245 | 5,304 | 21,937 |
| 1993 | 2,096 | 3,178 | 3,602 | 3,273 | 2,674 | 2,338 | 5,493 | 22,653 |
| 1994 | 2,198 | 3,182 | 3,310 | 3,160 | 3,039 | 2,409 | 5,815 | 23,113 |
| 1995 | 2,180 | 3,213 | 3,259 | 2,780 | 2,966 | 2,844 | 6,309 | 23,551 |
| 1996 | 2,429 | 3,177 | 3,215 | 2,521 | 2,469 | 2,745 | 7,207 | 23,762 |
| 1997 | 2,598 | 3,851 | 3,147 | 2,544 | 2,223 | 2,080 | 7,182 | 23,625 |
| 1998 | 2,468 | 3,948 | 3,202 | 2,369 | 2,144 | 1,889 | 6,971 | 22,992 |
| 1999 | 2,169 | 3,844 | 3,479 | 2,532 | 1,900 | 1,763 | 6,455 | 22,141 |
| 2000 | 1,912 | 3,526 | 3,250 | 2,579 | 2,006 | 1,443 | 5,913 | 20,629 |
| 2001 | 1,843 | 3,221 | 3,432 | 2,410 | 2,147 | 1,621 | 5,208 | 19,883 |
| 2002 | 1,973 | 3,337 | 3,239 | 2,634 | 2,022 | 1,724 | 4,994 | 19,924 |
| 2003 | 1,994 | 3,225 | 3,380 | 2,540 | 2,045 | 1,599 | 5,149 | 19,933 |
| 2004 | 2,099 | 3,325 | 3,689 | 3,017 | 2,094 | 1,566 | 4,991 | 20,782 |
| 2005 | 2,152 | 3,463 | 3,575 | 3,171 | 2,497 | 1,556 | 4,760 | 21,174 |
| 2006 | 2,480 | 3,602 | 3,717 | 3,004 | 2,676 | 1,976 | 4,692 | 22,146 |
| 2007 | 2,433 | 4,128 | 3,607 | 2,970 | 2,534 | 2,128 | 4,960 | 22,760 |
| 2008 | 2,220 | 3,929 | 3,600 | 2,971 | 2,546 | 1,979 | 5,312 | 22,557 |
| 2009 | 2,248 | 3,601 | 3,664 | 3,051 | 2,627 | 2,004 | 5,220 | 22,415 |
| 2010 | 2,183 | 3,600 | 3,359 | 3,185 | 2,580 | 2,114 | 5,157 | 22,178 |
| 2011 | 2,231 | 3,723 | 3,592 | 2,931 | 2,828 | 2,149 | 5,642 | 23,097 |
| 2012 | 2,088 | 3,533 | 3,483 | 2,833 | 2,376 | 2,187 | 5,501 | 22,000 |
| 2013 | 2,219 | 3,248 | 3,000 | 2,659 | 2,401 | 1,863 | 5,789 | 21,178 |
| 2014 | 2,406 | 3,806 | 3,131 | 2,393 | 2,364 | 1,991 | 5,783 | 21,874 |
| 2015 | 2,465 | 3,912 | 3,468 | 2,285 | 2,011 | 1,978 | 6,134 | 22,252 |
| 2016 | 2,453 | 3,877 | 3,329 | 2,579 | 1,873 | 1,593 | 6,448 | 22,151 |
| 2017 | 2,445 | 3,812 | 3,229 | 2,565 | 2,313 | 1,495 | 6,029 | 21,887 |
| 2018 | 2,372 | 3,779 | 3,133 | 2,602 | 2,296 | 1,968 | 5,549 | 21,698 |
| 2019 | 2,199 | 3,916 | 3,317 | 2,390 | 2,273 | 1,742 | 5,335 | 21,172 |
| 2020 | 1,999 | 3,515 | 3,152 | 2,270 | 2,005 | 1,904 | 5,169 | 20,014 |
| 2021 | 1,976 | 3,439 | 3,068 | 2,234 | 1,930 | 1,553 | 5,370 | 19,569 |
| 2022 | 1,914 | 3,154 | 2,985 | 2,336 | 2,015 | 1,680 | 5,440 | 19,524 |

補足資料 3 管理基準値案と禁漁水準案等

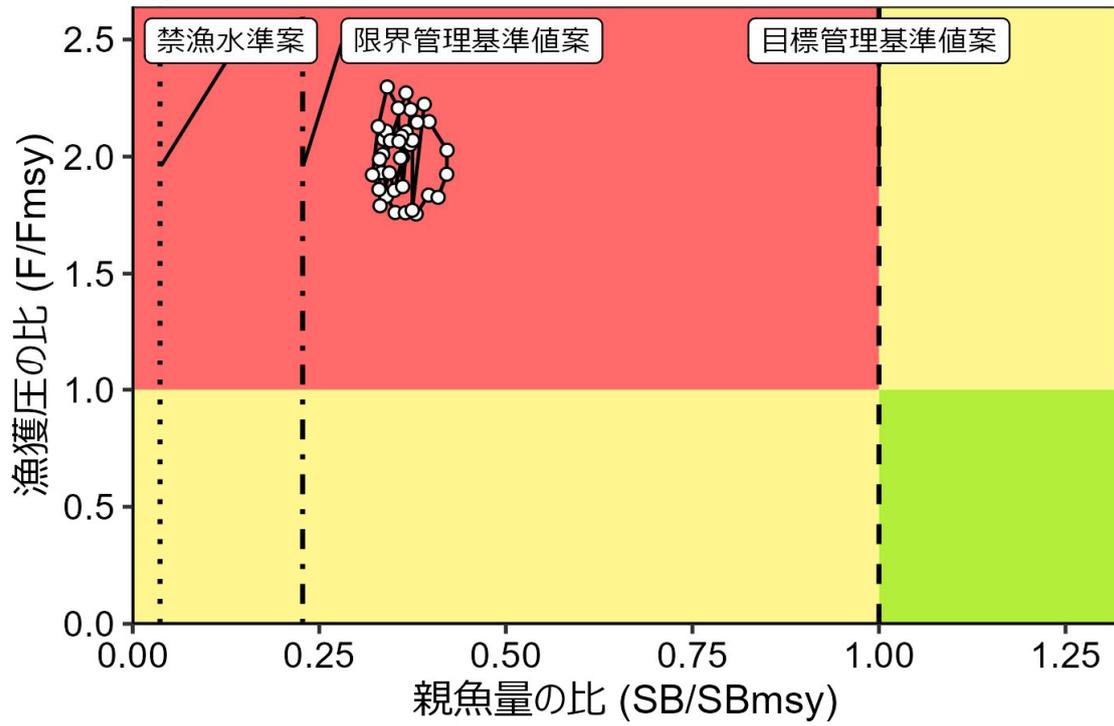
令和 3 年 11 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」により、目標管理基準値 (SBtarget) には MSY 水準における親魚量 (SBmsy : 39.3 千トン)、限界管理基準値 (SBlimit) には MSY の 60% が得られる親魚量 (SB0.6msy : 9.0 千トン)、禁漁水準 (SBban) には MSY の 10% が得られる親魚量 (SB0.1msy : 1.4 千トン) を用いることが提案されている (下瀬ほか 2021、補足表 6-2)。この推定に用いたパラメータ値は補足表 3-1 に示す。

目標管理基準値案と、MSY を実現する漁獲圧 (F) を基準にした神戸プロットを補足図 3-1 に示す。コホート解析により得られた 2022 年の親魚量 (SB2022 : 13.0 千トン) は限界管理基準値案および禁漁水準案を上回るが目標管理基準値案を下回る。本系群における漁獲圧は、1986 年以降 2022 年まで MSY を実現する漁獲圧を上回っていたと判断される (補足図 3-1)。

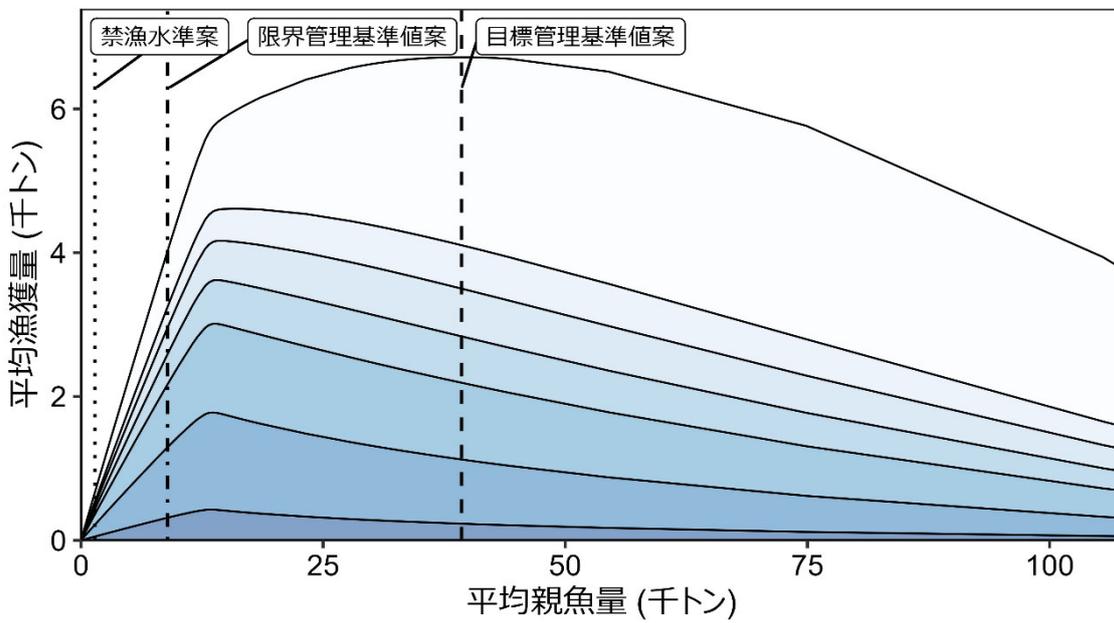
平衡状態における平均親魚量と年齢別平均漁獲量との関係を補足図 3-2 に示す。親魚量が SBlimit 以下では 2、3 歳魚が多くを占めるが、親魚量が増加するにつれて高齢魚の比率が高くなる傾向がみられ、SBmsy 達成時においては 7 歳以上の漁獲が主体となると推測された。

引用文献

下瀬 環・増淵隆仁・中川雅弘 (2021) 令和 3 (2021) 年度マダイ日本海西部・東シナ海系群の管理基準値案等に関する研究機関会議資料. 水産研究・教育機構, 1-39. FRA-SA2021-BRP05-001.
https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/20211124/FRA-SA2021-BRP05-001.pdf (last accessed 6 September 2022)



補足図 3-1. 管理基準値案と親魚量・漁獲圧との関係 (神戸プロット)



補足図 3-2. 管理基準値案および禁漁水準案と年齢別漁獲量曲線の関係

補足表 3-1. 最大持続生産量 MSY を実現する水準の推定に用いたパラメータ値

| 年齢 | 選択率 | Fmsy | 現状の漁獲圧 (F2023) | 平均体重 (kg) | 自然死亡係数 (M) | 成熟率 |
|----|------|------|-------------------|--------------|---------------|-----|
| 1 | 0.97 | 0.14 | 0.28 | 0.136 | 0.24 | 0 |
| 2 | 2.02 | 0.28 | 0.62 | 0.382 | 0.17 | 0 |
| 3 | 1.85 | 0.27 | 0.59 | 0.742 | 0.17 | 0.5 |
| 4 | 1.07 | 0.15 | 0.31 | 1.189 | 0.17 | 1.0 |
| 5 | 1.10 | 0.15 | 0.29 | 1.694 | 0.17 | 1.0 |
| 6 | 1.00 | 0.14 | 0.22 | 2.230 | 0.17 | 1.0 |
| 7+ | 1.00 | 0.14 | 0.22 | 3.531 | 0.17 | 1.0 |

補足資料 4 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 2022 年の資源量から、コホート解析の前進法を用いて 2024～2054 年の将来予測計算を行った（補足資料 5）。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、1,000 回の繰り返し計算を行った。また本系群においては継続して種苗放流が行われているため、現状の放流が継続される場合として、人工種苗由来の 1 歳魚の 2018～2022 年平均加入尾数を毎年の加入量に加算した条件での予測も行った。

2023 年の漁獲量は、予測される資源量と現状の漁獲圧（F2020-2022）から仮定した。2020 年以降の漁獲圧は、新型コロナウイルス感染症の蔓延の影響を受け、2019 年以前よりも低い水準にあり、その状況は 2023 年も継続しているものと判断される。そのため、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 2020～2022 年の漁獲圧の平均に対応する %SPR を与える F 値とした。2024 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

漁獲管理規則案は、目標管理基準値案以上に親魚量を維持・回復する達成確率を勘案して、親魚量に対応した漁獲圧（F）等を定めたものである。「漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針」では、親魚量が限界管理基準値案を下回った場合には禁漁水準案まで直線的に漁獲圧を削減するとともに、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 を乗じた値を漁獲圧の上限とするものを提示している。補足図 4-1 に本系群の「管理基準値等に関する研究機関会議」により提案された漁獲管理規則を示す。ここでは例として調整係数 β を 0.8 とした場合を示した。なお、研究機関会議提案では「漁獲管理規則案での漁獲開始から 10 年後の 2032 年に、 β が 0.9 以下であれば 50%以上の確率で目標管理基準値案を上回ると予測された」とされている。

(3) 2024 年の予測値

漁獲管理規則案に基づき試算された 2024 年の平均漁獲量は、再生産関係による加入のみの場合、 β を 0.8 とした場合には 2,450 トン、 β を 1.0 とした場合には 3,010 トンであった（補足表 6-4a）。現状の放流を想定した場合には、2024 年の平均漁獲量は β を 0.8 とした場合には 2,470 トン、 β を 1.0 とした場合には 3,030 トンであった（補足表 6-4b）。2023 年に予測される親魚量は、いずれの繰り返し計算でも目標管理基準値案を下回り、どちらの場合でも平均 13.1 千トンと見込まれた。

(4) 2025 年以降の予測

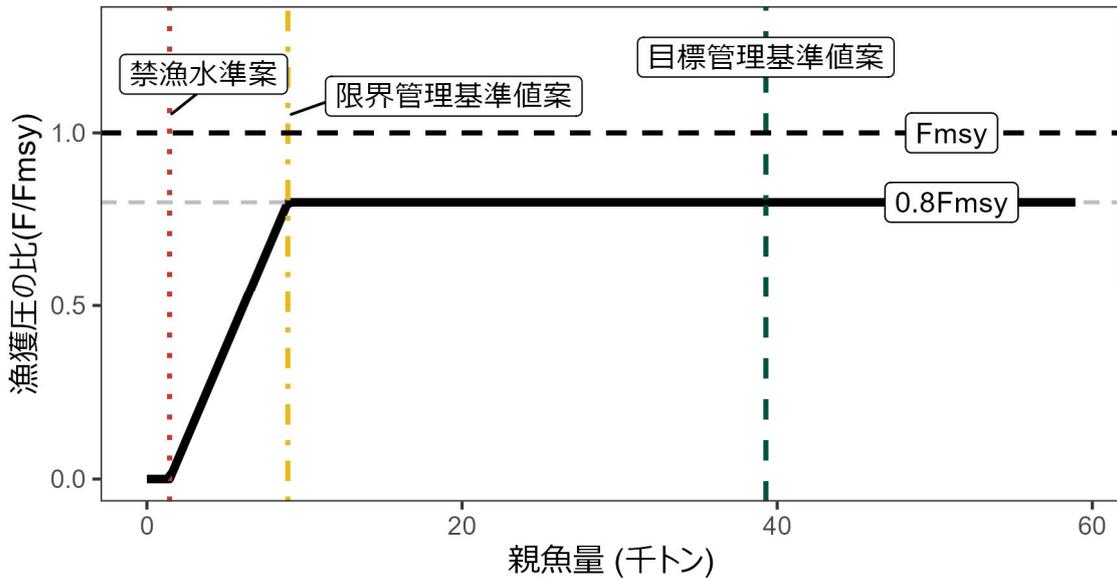
2025 年以降も含めた将来予測の結果を補足図 4-2、4-3 および補足表 4-1～4-4 に示す。

漁獲管理規則案に基づく管理を 10 年間継続した場合、再生産関係による加入のみの場合（補足図 4-2、補足表 4-1a、4-2a、4-3a、4-4a）では 2034 年の親魚量の予測値は β を 0.8 とした場合には 45.6 千トン（90%予測区間は 41.2 千～50.0 千トン）であり、 β を 1.0 とし

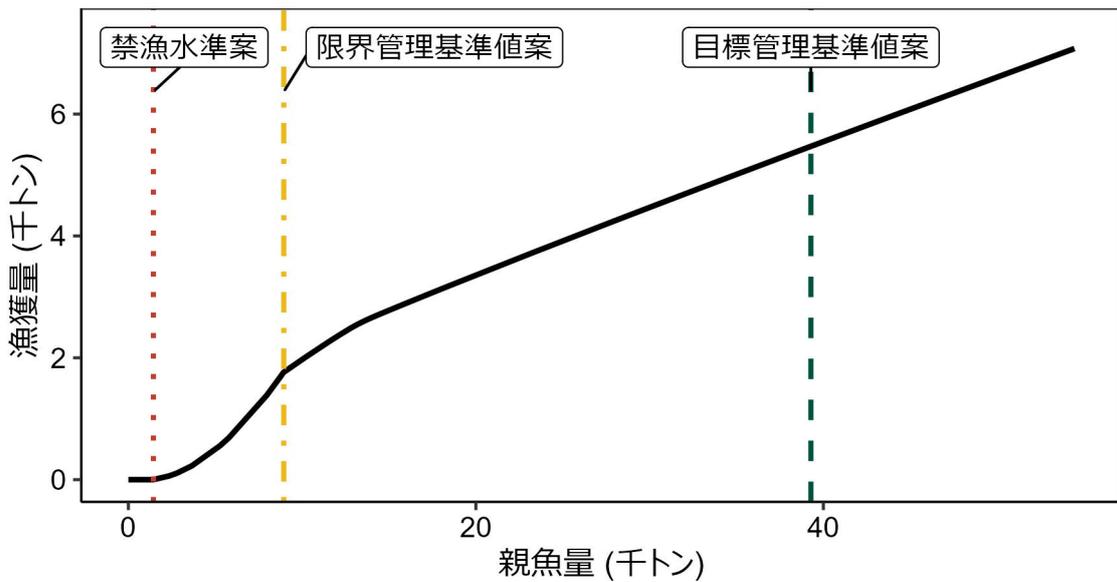
た場合には 36.7 千トン（90%予測区間は 33.1 千～40.3 千トン）である（補足表 6-5a）。予測値が 2034 年に目標管理基準値案を上回る確率は、 β が 0.9 以下の場合に 50%を上回る。限界管理基準値案を上回る確率はいずれの β においても 100%である。現状の漁獲圧（F2023）を継続した場合の 2034 年の親魚量の予測値は 12.7 千トン（90%予測区間は 11.1 千～14.2 千トン）であり目標管理基準値案を上回る確率は 0%、限界管理基準値案を上回る確率は 100%である。

同様に、現状の放流を想定した場合（補足図 4-3、補足表 4-1b、4-2b、4-3b、4-4b）では、2034 年の親魚量の予測値は β を 0.8 とした場合には 46.6 千トン（90%予測区間は 42.2 千～51.0 千トン）であり、 β を 1.0 とした場合には 37.4 千トン（90%予測区間は 33.8 千～41.0 千トン）である（補足表 6-5b）。予測値が 2034 年に目標管理基準値案を上回る確率は、 β が 0.9 以下の場合に 50%を上回る。限界管理基準値案を上回る確率はいずれの β においても 100%である。現状の漁獲圧（F2023）を継続した場合の 2034 年の親魚量の予測値は 13.0 千トン（90%予測区間は 11.5 千～14.4 千トン）であり目標管理基準値案を上回る確率は 0%、限界管理基準値案を上回る確率は 100%である。

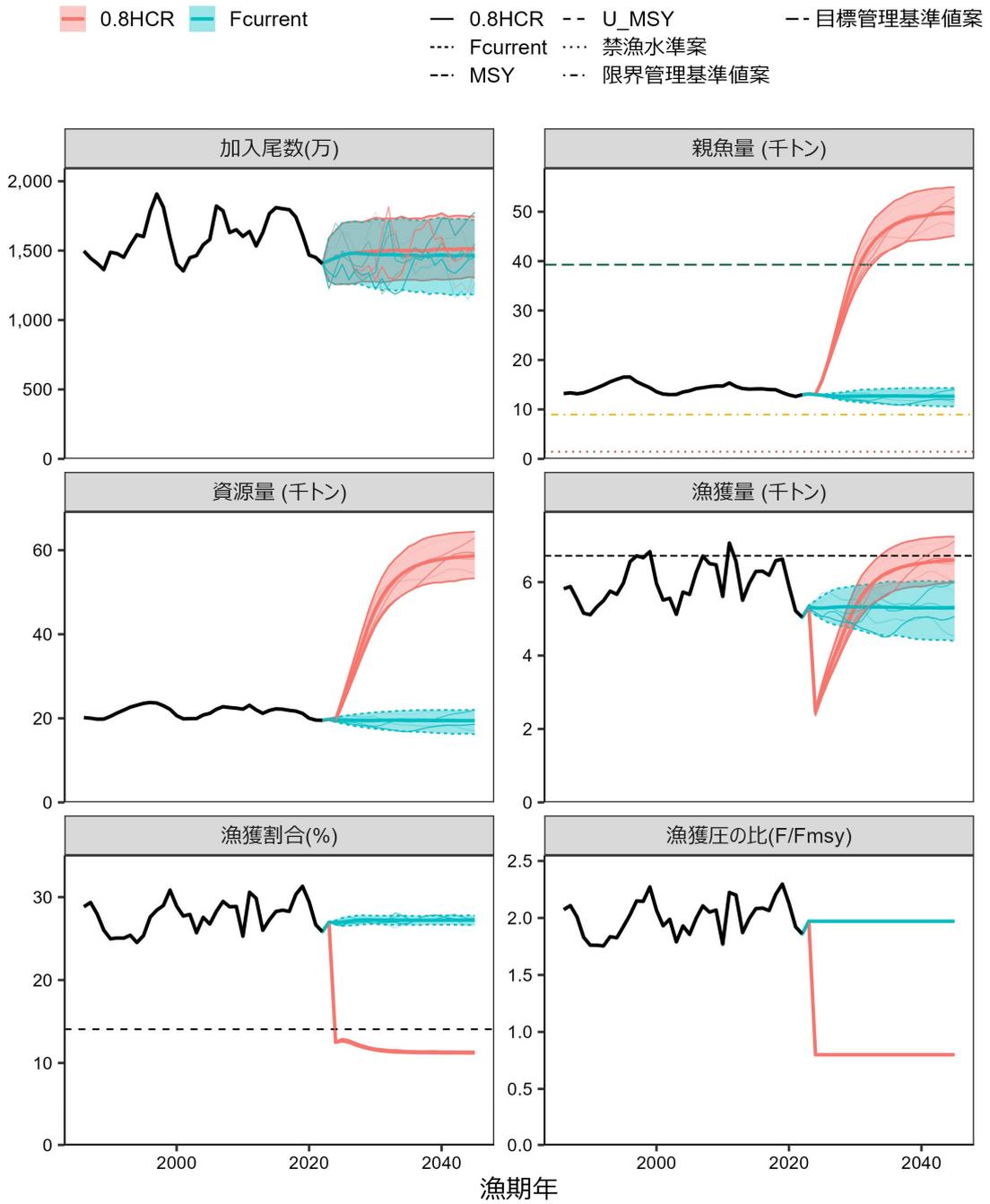
a) 縦軸を漁獲圧にした場合



b) 縦軸を漁獲量にした場合

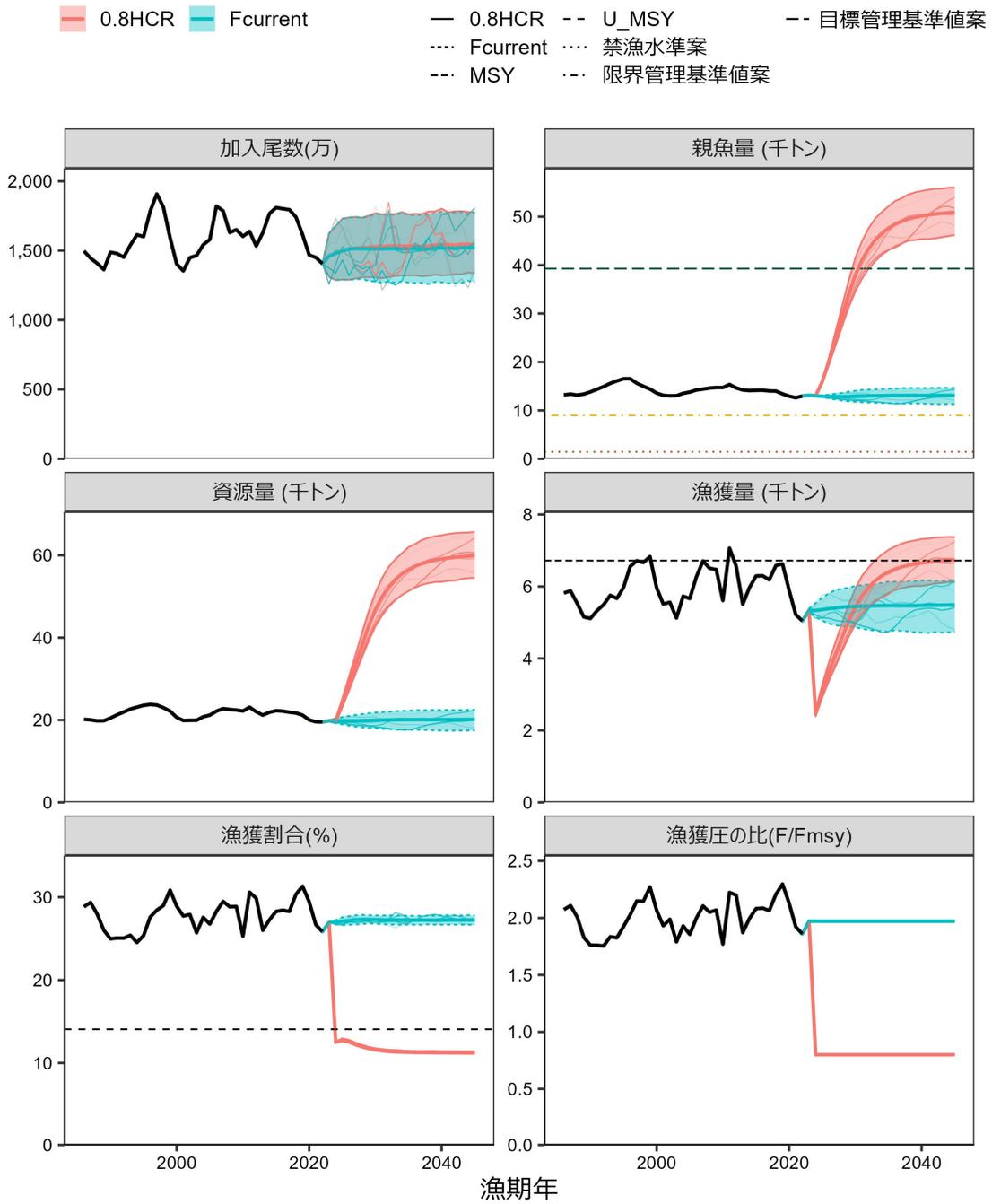


補足図 4-1. 漁獲管理規則案 目標管理基準値案 (SBtarget) は HS 再生産関係に基づき算出した SB_{msy} である。限界管理基準値案 (SBlimit) および禁漁水準案 (SBban) には、それぞれ標準値を用いている。調整係数 β には標準値である 0.8 を用いた。黒破線は F_{msy} 、灰色破線は $0.8F_{msy}$ 、黒太線は HCR、赤点線は禁漁水準案、黄一点鎖線は限界管理基準値案、緑破線は目標管理基準値案を示す。a) は縦軸を漁獲圧にした場合、b) は縦軸を漁獲量で表した場合である。b) については、漁獲する年の年齢組成によって漁獲量は若干異なるが、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 4-2. 将来の加入量として再生産関係による加入のみを想定した場合の漁獲管理規則案を用いた場合（赤色）と現状の漁獲圧での将来予測（緑色） 太実線は平均値、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、細線は3通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄一点鎖線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線はUmsyを示す。2023年の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧（F2023）により仮定し、2024年以降の漁獲は漁獲管理規則案（補足図 4-1）に従うものとした。調整係数βには0.8を用いた。



(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 4-3. 現状の放流を想定した場合の漁獲管理規則案を用いた場合（赤色）と現状の漁獲圧での将来予測（緑色） 太実線は平均値、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、細線は3通りの将来予測の例示である。親魚量の図の緑破線は目標管理基準値案、黄一点鎖線は限界管理基準値案、赤線は禁漁水準案を示す。漁獲割合の図の破線はUmsyを示す。2023年の漁獲は予測される資源量と現状の漁獲圧（F2023）により仮定し、2024年以降の漁獲は漁獲管理規則案（補足図 4-1）に従うものとした。調整係数 β には 0.8 を用いた。現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は 2018～2022 年平均値（31.9 万尾）とした。

補足表 4-1. 将来の親魚量が目標管理基準値案を上回る確率

a) 再生産関係による加入のみを想定した場合 (%)

| β | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2044 | 2054 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 6 | 12 | 47 | 50 |
| 0.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 35 | 60 | 74 | 96 | 98 |
| 0.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18 | 65 | 88 | 97 | 99 | 100 | 100 |
| 0.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 | 76 | 98 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 0.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 55 | 99 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 95 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 0.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 32 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 0.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 86 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 0.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 0.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| F2023 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

β を0~1.0で変更した場合の将来予測の結果を示す。2023年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧(F2020-2022)から予測される5,330トンとし、2024年漁期から漁獲管理規則による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧(F2020-F2022, $\beta = 1.97$ に相当)で漁獲を続けた場合の結果も示した。太字は漁獲管理規則による管理開始から10年後を示す。

b) 現状の放流を想定した場合 (%)

| β | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2044 | 2054 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 10 | 21 | 60 | 63 |
| 0.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 17 | 48 | 71 | 82 | 98 | 99 |
| 0.8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 27 | 77 | 95 | 99 | 100 | 100 | 100 |
| 0.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 83 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 0.6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 66 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 0.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 98 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 0.4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 45 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 0.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 93 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 0.2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 0.1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 42 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| F2023 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

β を0~1.0で変更した場合の将来予測の結果を示す。2023年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧(F2020-2022)から予測される5,340トンとし、2024年漁期から漁獲管理規則による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧(F2020-F2022, $\beta = 1.97$ に相当)で漁獲を続けた場合の結果も示した。太字は漁獲管理規則による管理開始から10年後を示す。現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は2018~2022年平均値(31.9万尾)とした。

補足表 4-2. 将来の親魚量が限界管理基準値案を上回る確率

a) 再生産関係による加入のみを想定した場合 (%)

| β | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2044 | 2054 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1.0 | 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 |
| F2023 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2023 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2020-2022) から予測される 5,330 トンとし、2024 年漁期から漁獲管理規則による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2020-F2022, $\beta = 1.97$ に相当) で漁獲を続けた場合の結果も示した。太字は漁獲管理規則による管理開始から 10 年後を示す。

b) 現状の放流を想定した場合 (%)

| β | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2044 | 2054 |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1.0 | 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 |
| F2023 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2023 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧 (F2020-2022) から予測される 5,340 トンとし、2024 年漁期から漁獲管理規則による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧 (F2020-F2022, $\beta = 1.97$ に相当) で漁獲を続けた場合の結果も示した。太字は漁獲管理規則による管理開始から 10 年後を示す。現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は 2018~2022 年平均値 (31.9 万尾) とした。

補足表 4-3. 将来の親魚量の平均値の推移

a) 再生産関係による加入のみを想定した場合（トン）

| β | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2044 | 2054 |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|----------------|----------------|----------------|
| 1.0 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 15,300 | 18,400 | 21,900 | 25,200 | 28,400 | 31,100 | 33,200 | 34,700 | 35,800 | 36,700 | 39,100 | 39,400 |
| 0.9 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 15,600 | 19,200 | 23,100 | 27,100 | 30,900 | 34,100 | 36,500 | 38,400 | 39,800 | 40,900 | 44,100 | 44,400 |
| 0.8 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 15,900 | 19,900 | 24,500 | 29,000 | 33,500 | 37,300 | 40,300 | 42,500 | 44,300 | 45,600 | 49,800 | 50,200 |
| 0.7 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 16,200 | 20,700 | 25,900 | 31,100 | 36,300 | 40,900 | 44,400 | 47,200 | 49,300 | 51,000 | 56,300 | 56,900 |
| 0.6 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 16,500 | 21,500 | 27,400 | 33,400 | 39,400 | 44,800 | 49,000 | 52,400 | 55,000 | 57,000 | 63,900 | 64,700 |
| 0.5 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 16,800 | 22,400 | 29,000 | 35,900 | 42,800 | 49,100 | 54,100 | 58,100 | 61,300 | 63,900 | 72,800 | 73,900 |
| 0.4 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 17,100 | 23,300 | 30,700 | 38,500 | 46,500 | 53,900 | 59,800 | 64,600 | 68,500 | 71,600 | 83,100 | 84,600 |
| 0.3 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 17,400 | 24,200 | 32,400 | 41,300 | 50,500 | 59,100 | 66,100 | 71,900 | 76,600 | 80,400 | 95,200 | 97,400 |
| 0.2 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 17,800 | 25,200 | 34,400 | 44,400 | 54,900 | 64,900 | 73,100 | 80,000 | 85,700 | 90,400 | 109,000 | 113,000 |
| 0.1 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 18,100 | 26,200 | 36,400 | 47,600 | 59,700 | 71,200 | 80,900 | 89,100 | 96,000 | 102,000 | 126,000 | 131,000 |
| 0.0 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 18,500 | 27,300 | 38,500 | 51,200 | 64,900 | 78,200 | 89,600 | 99,300 | 108,000 | 115,000 | 146,000 | 153,000 |
| F2023 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 12,900 | 12,800 | 12,700 | 12,700 | 12,700 | 12,700 | 12,700 | 12,700 | 12,700 | 12,700 | 12,700 | 12,600 |

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2023 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧（F2020-2022）から予測される 5,330 トンとし、2024 年漁期から漁獲管理規則による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧（F2020-F2022, $\beta = 1.97$ に相当）で漁獲を続けた場合の結果も示した。太字は漁獲管理規則による管理開始から 10 年後を示す。

b) 現状の放流を想定した場合（トン）

| β | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2044 | 2054 |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|----------------|----------------|----------------|
| 1.0 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 15,300 | 18,600 | 22,100 | 25,600 | 28,900 | 31,700 | 33,800 | 35,400 | 36,600 | 37,400 | 40,000 | 40,200 |
| 0.9 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 15,600 | 19,300 | 23,400 | 27,500 | 31,400 | 34,700 | 37,200 | 39,200 | 40,600 | 41,700 | 45,000 | 45,400 |
| 0.8 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 15,900 | 20,100 | 24,700 | 29,500 | 34,000 | 38,000 | 41,100 | 43,400 | 45,200 | 46,600 | 50,800 | 51,300 |
| 0.7 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 16,200 | 20,900 | 26,200 | 31,600 | 37,000 | 41,600 | 45,300 | 48,100 | 50,300 | 52,000 | 57,500 | 58,100 |
| 0.6 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 16,500 | 21,700 | 27,700 | 33,900 | 40,100 | 45,600 | 50,000 | 53,400 | 56,100 | 58,200 | 65,300 | 66,100 |
| 0.5 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 16,900 | 22,600 | 29,300 | 36,400 | 43,600 | 50,000 | 55,200 | 59,300 | 62,600 | 65,200 | 74,300 | 75,400 |
| 0.4 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 17,200 | 23,500 | 31,000 | 39,100 | 47,300 | 54,900 | 61,000 | 65,900 | 69,900 | 73,100 | 84,900 | 86,400 |
| 0.3 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 17,500 | 24,400 | 32,800 | 41,900 | 51,400 | 60,200 | 67,400 | 73,300 | 78,100 | 82,100 | 97,200 | 99,400 |
| 0.2 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 17,800 | 25,400 | 34,800 | 45,000 | 55,900 | 66,100 | 74,500 | 81,600 | 87,400 | 92,200 | 112,000 | 115,000 |
| 0.1 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 18,200 | 26,500 | 36,800 | 48,300 | 60,700 | 72,500 | 82,500 | 90,900 | 97,900 | 104,000 | 129,000 | 133,000 |
| 0.0 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 18,500 | 27,500 | 39,000 | 51,900 | 66,000 | 79,700 | 91,300 | 101,000 | 110,000 | 117,000 | 149,000 | 156,000 |
| F2023 | 13,000 | 13,100 | 13,000 | 12,900 | 12,900 | 12,800 | 12,800 | 12,900 | 12,900 | 13,000 | 13,000 | 13,000 | 13,000 | 13,100 | 13,100 |

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2023 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧（F2020-2022）から予測される 5,340 トンとし、2024 年漁期から漁獲管理規則による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧（F2020-F2022, $\beta = 1.97$ に相当）で漁獲を続けた場合の結果も示した。太字は漁獲管理規則による管理開始から 10 年後を示す。現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は 2018~2022 年平均値（31.9 万尾）とした。

補足表 4-4. 将来の漁獲量の平均値の推移

a) 再生産関係による加入のみを想定した場合（トン）

| β | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2044 | 2054 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|
| 1.0 | 5,043 | 5,330 | 3,010 | 3,600 | 4,120 | 4,560 | 4,980 | 5,380 | 5,710 | 5,960 | 6,150 | 6,290 | 6,390 | 6,700 | 6,730 |
| 0.9 | 5,043 | 5,330 | 2,730 | 3,330 | 3,860 | 4,320 | 4,770 | 5,190 | 5,550 | 5,830 | 6,030 | 6,190 | 6,310 | 6,680 | 6,710 |
| 0.8 | 5,043 | 5,330 | 2,450 | 3,050 | 3,580 | 4,050 | 4,520 | 4,960 | 5,340 | 5,640 | 5,860 | 6,040 | 6,170 | 6,590 | 6,630 |
| 0.7 | 5,043 | 5,330 | 2,170 | 2,740 | 3,270 | 3,740 | 4,210 | 4,670 | 5,060 | 5,370 | 5,620 | 5,800 | 5,950 | 6,420 | 6,470 |
| 0.6 | 5,043 | 5,330 | 1,880 | 2,420 | 2,920 | 3,380 | 3,850 | 4,300 | 4,710 | 5,030 | 5,280 | 5,480 | 5,630 | 6,160 | 6,210 |
| 0.5 | 5,043 | 5,330 | 1,580 | 2,070 | 2,540 | 2,980 | 3,420 | 3,860 | 4,260 | 4,580 | 4,830 | 5,030 | 5,190 | 5,760 | 5,830 |
| 0.4 | 5,043 | 5,330 | 1,280 | 1,710 | 2,120 | 2,520 | 2,920 | 3,330 | 3,710 | 4,010 | 4,250 | 4,450 | 4,610 | 5,200 | 5,270 |
| 0.3 | 5,043 | 5,330 | 970 | 1,320 | 1,660 | 1,990 | 2,340 | 2,700 | 3,020 | 3,290 | 3,510 | 3,700 | 3,840 | 4,410 | 4,490 |
| 0.2 | 5,043 | 5,330 | 650 | 900 | 1,160 | 1,410 | 1,670 | 1,940 | 2,200 | 2,410 | 2,590 | 2,730 | 2,850 | 3,300 | 3,400 |
| 0.1 | 5,043 | 5,330 | 330 | 470 | 610 | 740 | 890 | 1,050 | 1,200 | 1,320 | 1,430 | 1,520 | 1,600 | 1,900 | 2,000 |
| 0.0 | 5,043 | 5,330 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F2023 | 5,043 | 5,330 | 5,290 | 5,290 | 5,310 | 5,320 | 5,330 | 5,330 | 5,330 | 5,320 | 5,320 | 5,320 | 5,320 | 5,300 | 5,270 |

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2023 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧（F2020-2022）から予測される 5,330 トンとし、2024 年漁期から漁獲管理規則による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧（F2020-F2022, $\beta = 1.97$ に相当）で漁獲を続けた場合の結果も示した。太字は漁獲管理規則による管理開始から 10 年後を示す。

b) 現状の放流を想定した場合（トン）

| β | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2044 | 2054 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|
| 1.0 | 5,043 | 5,340 | 3,030 | 3,640 | 4,170 | 4,630 | 5,070 | 5,480 | 5,820 | 6,080 | 6,270 | 6,420 | 6,530 | 6,850 | 6,870 |
| 0.9 | 5,043 | 5,340 | 2,750 | 3,370 | 3,920 | 4,390 | 4,850 | 5,290 | 5,660 | 5,940 | 6,160 | 6,320 | 6,440 | 6,820 | 6,850 |
| 0.8 | 5,043 | 5,340 | 2,470 | 3,080 | 3,630 | 4,120 | 4,590 | 5,050 | 5,450 | 5,750 | 5,980 | 6,160 | 6,300 | 6,730 | 6,770 |
| 0.7 | 5,043 | 5,340 | 2,180 | 2,780 | 3,320 | 3,800 | 4,280 | 4,750 | 5,160 | 5,480 | 5,730 | 5,920 | 6,070 | 6,560 | 6,610 |
| 0.6 | 5,043 | 5,340 | 1,890 | 2,450 | 2,970 | 3,440 | 3,910 | 4,380 | 4,800 | 5,130 | 5,390 | 5,590 | 5,750 | 6,290 | 6,340 |
| 0.5 | 5,043 | 5,340 | 1,590 | 2,100 | 2,580 | 3,030 | 3,480 | 3,930 | 4,340 | 4,670 | 4,930 | 5,140 | 5,300 | 5,880 | 5,950 |
| 0.4 | 5,043 | 5,340 | 1,290 | 1,730 | 2,160 | 2,560 | 2,970 | 3,390 | 3,780 | 4,090 | 4,340 | 4,540 | 4,700 | 5,310 | 5,380 |
| 0.3 | 5,043 | 5,340 | 970 | 1,330 | 1,690 | 2,030 | 2,380 | 2,750 | 3,080 | 3,360 | 3,590 | 3,770 | 3,920 | 4,510 | 4,590 |
| 0.2 | 5,043 | 5,340 | 660 | 920 | 1,180 | 1,430 | 1,700 | 1,980 | 2,240 | 2,460 | 2,640 | 2,790 | 2,910 | 3,400 | 3,500 |
| 0.1 | 5,043 | 5,340 | 330 | 470 | 610 | 750 | 910 | 1,070 | 1,220 | 1,350 | 1,460 | 1,550 | 1,600 | 2,000 | 2,000 |
| 0.0 | 5,043 | 5,340 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F2023 | 5,043 | 5,340 | 5,330 | 5,360 | 5,380 | 5,410 | 5,420 | 5,440 | 5,440 | 5,450 | 5,460 | 5,460 | 5,470 | 5,490 | 5,480 |

β を 0~1.0 で変更した場合の将来予測の結果を示す。2023 年漁期の漁獲量は現状の漁獲圧（F2020-2022）から予測される 5,340 トンとし、2024 年漁期から漁獲管理規則による漁獲とした。比較のため現状の漁獲圧（F2020-F2022, $\beta = 1.97$ に相当）で漁獲を続けた場合の結果も示した。太字は漁獲管理規則による管理開始から 10 年後を示す。現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は 2018~2022 年平均値（31.9 万尾）とした。

補足資料 5 将来予測の方法

将来予測は、「令和 5 (2023) 年度 漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針 (FRA-SA2023-ABCWG02-01)」の 1 系資源の管理規則に従い、令和 3 年 11 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) の推定に用いた再生産関係 (下瀬ほか 2021) と、補足表 5-1 に示した各種設定 (自然死亡係数、成熟率、年齢別平均体重、現状の漁獲圧) を使用して実施した。資源尾数や漁獲量の予測計算には、「再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート (FRA-SA2023-ABCWG02-04)」に基づき、統計ソフトウェア R (version 4.2.0) および計算パッケージ frasyr (ver.2.2.0.3) を用いた。

また本系群は栽培対象種であり種苗放流が継続的に行われている (表 4-3)。将来予測において種苗放流を考慮する場合は、将来の人工種苗由来の加入尾数として 2018~2022 年の 1 歳魚の平均加入尾数 (31.9 万尾) を毎年の加入量に加算して予測を行った。

将来予測における 1~6 歳魚の資源尾数は以下の式で求めた。

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

7 歳魚以上のプラスグループの資源尾数は以下の式で求めた。

$$N_{7+,y} = N_{6,y-1} \exp(-M_{6,y-1} - F_{6,y-1}) + N_{7+,y-1} \exp(-M_{7+,y-1} - F_{7+,y-1})$$

将来予測における漁獲圧 (F) は 1 系資源の漁獲管理規則に従い、以下の式で求めた。

$$F_{a,y} = \begin{cases} 0 & \text{if } SB_t < SB_{ban} \\ \beta \gamma(SB_t) F_{msy} & \text{if } SB_{ban} \leq SB_t < SB_{limit} \\ \beta F_{msy} & \text{if } SB_t \geq SB_{limit} \end{cases}$$

$$\gamma(SB_y) = \frac{SB_y - SB_{ban}}{SB_{limit} - SB_{ban}}$$

ここで、 SB_y は y 年の親魚量、 F_{msy} および SB_{target} 、 SB_{limit} 、 SB_{ban} はそれぞれ補足表 6-2 に案として示した親魚量の基準値である。

また、各年齢の漁獲尾数は以下の式で求めた。

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

将来予測における資源量および漁獲量は、ここで求めた資源尾数または漁獲尾数に補足表 5-1 の平均体重を乗じて求め、親魚量はこの資源量に成熟割合を乗じて算出した。

引用文献

国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産資源研究所 (2023) 令和 5 (2023) 年度 漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2023-ABCWG02-01.

https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2023-ABCWG02-01.pdf (last accessed 23 August 2023)

資源評価高度化作業部会 (2023) 再生産関係の推定・管理基準値計算・将来予測シミュレーションに関する技術ノート. FRA-SA2023-ABCWG02-04.

https://abchan.fra.go.jp/references_list/FRA-SA2023-ABCWG02-04.pdf (last accessed 23 August 2023)

下瀬 環・増渕隆仁・中川雅弘 (2021) 令和 3 (2021) 年度マダイ日本海西部・東シナ海系群の管理基準値案等に関する研究機関会議資料. 水産研究・教育機構, 1-39. FRA-SA2021-BRP05-001.

https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/20211124/FRA-SA2021-BRP05-001.pdf (last accessed 6 September 2022)

補足表 5-1. 将来予測計算に用いた設定値

| 年齢 | 選択率 (注 1) | Fmsy (注 2) | F2023 (注 3) | 平均体重 (kg) | 自然死亡係数 (M) | 成熟率 |
|----|--------------|---------------|----------------|--------------|---------------|-----|
| 1 | 0.97 | 0.14 | 0.28 | 0.136 | 0.24 | 0 |
| 2 | 2.02 | 0.28 | 0.62 | 0.382 | 0.17 | 0 |
| 3 | 1.85 | 0.27 | 0.59 | 0.742 | 0.17 | 0.5 |
| 4 | 1.07 | 0.15 | 0.31 | 1.189 | 0.17 | 1.0 |
| 5 | 1.10 | 0.15 | 0.29 | 1.694 | 0.17 | 1.0 |
| 6 | 1.00 | 0.14 | 0.22 | 2.230 | 0.17 | 1.0 |
| 7+ | 1.00 | 0.14 | 0.22 | 3.531 | 0.17 | 1.0 |

注 1：令和 3 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（すなわち、令和 3 年度資源評価での $F_{current}$ の選択率）。

注 2：令和 3 年度研究機関会議で推定された Fmsy（すなわち、令和 3 年度資源評価での $F_{current}$ に $F_{msy}/F_{current}$ を掛けたもの）。

注 3：上記の選択率の下で、今回の資源評価で推定された 2020～2022 年の平均の年齢別 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 2023 年の漁獲量の仮定に使用した。

補足資料 6 各種パラメータと評価結果の概要

補足表 6-1. 再生産関係式のパラメータ

| 再生産関係式 | 最適化法 | 自己相関 | a | b | S.D. | ρ |
|-------------|-------|------|------|--------|-------|--------|
| ホッケー・スティック型 | 最小二乗法 | 有 | 1.20 | 12,579 | 0.063 | 0.733 |

a と b は各再生産関係式の推定パラメータ、S.D.は加入量の標準偏差、 ρ は自己相関係数である。

補足表 6-2. 管理基準値案と MSY

| 項目 | 値 | 説明 |
|-------------|---|---|
| SBtarget 案 | 39,300トン | 目標管理基準値案。最大持続生産量 MSY を実現する親魚量 (SBmsy) |
| SBlimit 案 | 8,960トン | 限界管理基準値案。MSY の 60%の漁獲量が得られる親魚量 (SB0.6msy) |
| SBban 案 | 1,440トン | 禁漁水準案。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) (1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳, 6 歳, 7 歳以上) =(0.14, 0.28, 0.27, 0.15, 0.15, 0.14, 0.14) | |
| %SPR (Fmsy) | 26% | Fmsy に対応する %SPR |
| MSY | 6,720トン | 最大持続生産量 MSY |

補足表 6-3. 最新年の親魚量と漁獲圧

| 項目 | 値 | 説明 |
|--------------------------|---|--|
| SB2022 | 12,964トン | 2022年の親魚量 |
| F2022 | 2022年の漁獲圧(漁獲係数 F) (1歳, 2歳, 3歳, 4歳, 5歳, 6歳, 7歳以上)=(0.27, 0.58, 0.56, 0.29, 0.26, 0.21, 0.21) | |
| U2022 | 25.8% | 2022年の漁獲割合 |
| %SPR (F2022) | 9.6% | 2022年の%SPR |
| 管理基準値案との比較 | | |
| SB2022/ SBmsy (SBtarget) | 0.33 | 最大持続生産量を実現する親魚量(目標管理基準値案)に対する2022年の親魚量の比 |
| F2022/ Fmsy | 1.86 | 最大持続生産量を実現する漁獲圧に対する2022年の漁獲圧の比* |
| 親魚量の水準 | MSYを実現する水準を下回る | |
| 漁獲圧の水準 | MSYを実現する水準を上回る | |
| 親魚量の動向 | 減少 | |

* 2022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。

補足表 6-4. 予測漁獲量と予測親魚量

a) 再生産関係による加入のみを想定した場合

| 2024年の親魚量(予測平均値):13.0千トン | | | |
|--------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------|
| 項目 | 2024年の 漁獲量 (トン) | 現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2023) | 2024年の 漁獲割合(%) |
| $\beta=1.0$ | 3,010 | 0.49 | 15.3 |
| $\beta=0.9$ | 2,730 | 0.44 | 13.9 |
| $\beta=0.8$ | 2,450 | 0.39 | 12.5 |
| $\beta=0.7$ | 2,170 | 0.34 | 11.0 |
| $\beta=0.6$ | 1,880 | 0.29 | 9.6 |
| $\beta=0.5$ | 1,580 | 0.24 | 8.0 |
| $\beta=0.4$ | 1,280 | 0.19 | 6.5 |
| $\beta=0.3$ | 970 | 0.15 | 4.9 |
| $\beta=0.2$ | 650 | 0.10 | 3.3 |
| $\beta=0.1$ | 330 | 0.05 | 1.7 |
| $\beta=0.0$ | 0 | 0.00 | 0.0 |
| F2020-2022 | 5,290 | 1.00 | 26.9 |

b) 現状の放流を想定した場合

| 2024年の親魚量(予測平均値):13.0千トン | | | |
|--------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------|
| 項目 | 2024年の 漁獲量 (トン) | 現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2023) | 2024年の 漁獲割合(%) |
| $\beta=1.0$ | 3,030 | 0.49 | 15.3 |
| $\beta=0.9$ | 2,750 | 0.44 | 13.9 |
| $\beta=0.8$ | 2,470 | 0.39 | 12.5 |
| $\beta=0.7$ | 2,180 | 0.34 | 11.0 |
| $\beta=0.6$ | 1,890 | 0.29 | 9.6 |
| $\beta=0.5$ | 1,590 | 0.24 | 8.0 |
| $\beta=0.4$ | 1,290 | 0.19 | 6.5 |
| $\beta=0.3$ | 970 | 0.15 | 4.9 |
| $\beta=0.2$ | 660 | 0.10 | 3.3 |
| $\beta=0.1$ | 330 | 0.05 | 1.7 |
| $\beta=0.0$ | 0 | 0.00 | 0.0 |
| F2020-2022 | 5,330 | 1.00 | 27.0 |

現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は 2018~2022 年平均値 (31.9 万尾) とした。

補足表 6-5. 異なる β を用いた将来予測結果

a) 再生産関係による加入のみの場合

| 考慮している不確実性: 加入量 | | | | | |
|-----------------|------------------------|----------------------|----------------------------------|-----------|---------|
| β | 2034年 の親魚量 (千トン) | 90% 予測区間 (千トン) | 2034年に親魚量が以下の 管理基準値案を上回る確率(%) | | |
| | | | SBtarget 案 | SBlimit 案 | SBban 案 |
| $\beta=1.0$ | 36.7 | 33.1 – 40.3 | 12 | 100 | 100 |
| $\beta=0.9$ | 40.9 | 36.9 – 44.8 | 74 | 100 | 100 |
| $\beta=0.8$ | 45.6 | 41.2 – 50.0 | 99 | 100 | 100 |
| $\beta=0.7$ | 51.0 | 46.1 – 55.9 | 100 | 100 | 100 |
| $\beta=0.6$ | 57.0 | 51.6 – 62.5 | 100 | 100 | 100 |
| $\beta=0.5$ | 63.9 | 57.7 – 70.1 | 100 | 100 | 100 |
| $\beta=0.4$ | 71.6 | 64.7 – 78.6 | 100 | 100 | 100 |
| $\beta=0.3$ | 80.4 | 72.6 – 88.3 | 100 | 100 | 100 |
| $\beta=0.2$ | 90.4 | 81.7 – 99.4 | 100 | 100 | 100 |
| $\beta=0.1$ | 102.0 | 91.9 – 111.7 | 100 | 100 | 100 |
| $\beta=0.0$ | 115.0 | 103.5 – 125.7 | 100 | 100 | 100 |
| F2020-2022 | 12.7 | 11.1 – 14.2 | 0 | 100 | 100 |

b) 現状の放流を想定した場合

| 考慮している不確実性: 加入量 | | | | | |
|-----------------|------------------------|----------------------|----------------------------------|-----------|---------|
| β | 2034年 の親魚量 (千トン) | 90% 予測区間 (千トン) | 2034年に親魚量が以下の 管理基準値案を上回る確率(%) | | |
| | | | SBtarget 案 | SBlimit 案 | SBban 案 |
| $\beta=1.0$ | 37.4 | 33.8 – 41.0 | 21 | 100 | 100 |
| $\beta=0.9$ | 41.7 | 37.7 – 45.7 | 82 | 100 | 100 |
| $\beta=0.8$ | 46.6 | 42.2 – 51.0 | 100 | 100 | 100 |
| $\beta=0.7$ | 52.0 | 47.1 – 57.0 | 100 | 100 | 100 |
| $\beta=0.6$ | 58.2 | 52.7 – 63.7 | 100 | 100 | 100 |
| $\beta=0.5$ | 65.2 | 59.0 – 71.4 | 100 | 100 | 100 |
| $\beta=0.4$ | 73.1 | 66.2 – 80.1 | 100 | 100 | 100 |
| $\beta=0.3$ | 82.1 | 74.3 – 90.0 | 100 | 100 | 100 |
| $\beta=0.2$ | 92.2 | 83.5 – 101.2 | 100 | 100 | 100 |
| $\beta=0.1$ | 104.0 | 94.0 – 113.8 | 100 | 100 | 100 |
| $\beta=0.0$ | 117.0 | 105.9 – 128.0 | 100 | 100 | 100 |
| F2020-2022 | 13.0 | 11.5 – 14.4 | 0 | 100 | 100 |

現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は 2018~2022 年平均値 (31.9 万尾) とした。

補足表 6-6. 人工種苗由来の加入尾数を変化させた場合に予測される親魚量・漁獲量と親魚量が管理基準値案を上回る確率のまとめ

| 将来の加入の想定 | β | 10年後の目標達成確率(%) | 予測平均親魚量(トン) | | 予測平均漁獲量(トン) | | |
|------------------|------------|------------------|-------------|--------|-------------|-------|-------|
| | | 親魚量が目標管理基準値案を上回る | 5年後 | 10年後 | 0年後 | 5年後 | 10年後 |
| | | | 2029年 | 2034年 | 2024年 | 2029年 | 2034年 |
| 再生産関係による加入のみ | 1.0 | 12 | 28,400 | 36,700 | 3,010 | 5,380 | 6,390 |
| | 0.9 | 74 | 30,900 | 40,900 | 2,730 | 5,190 | 6,310 |
| | 0.8 | 99 | 33,500 | 45,600 | 2,450 | 4,960 | 6,170 |
| | 0.7 | 100 | 36,300 | 51,000 | 2,170 | 4,670 | 5,950 |
| | 0.6 | 100 | 39,400 | 57,000 | 1,880 | 4,300 | 5,630 |
| | 0.5 | 100 | 42,800 | 63,900 | 1,580 | 3,860 | 5,190 |
| | F2020-2022 | 0 | 12,700 | 12,700 | 5,590 | 5,330 | 5,320 |
| 種苗放流を考慮(31.9万尾)* | 1.0 | 21 | 28,900 | 37,400 | 3,030 | 5,480 | 6,530 |
| | 0.9 | 82 | 31,400 | 41,700 | 2,750 | 5,290 | 6,440 |
| | 0.8 | 100 | 34,000 | 46,600 | 2,470 | 5,050 | 6,300 |
| | 0.7 | 100 | 37,000 | 52,000 | 2,180 | 4,750 | 6,070 |
| | 0.6 | 100 | 40,100 | 58,200 | 1,890 | 4,380 | 5,750 |
| | 0.5 | 100 | 43,600 | 65,200 | 1,590 | 3,930 | 5,300 |
| | F2020-2022 | 0 | 12,900 | 13,000 | 5,330 | 5,440 | 5,470 |

漁獲管理規則案での調整係数 β を0.5～1.0にて0.1刻みで変更した結果をまとめた。

漁獲管理規則案での漁獲管理を開始する初年度(0年後)の2024年の値と、5年および10年管理を行った後の値(2029年および2034年)を示した。

*現状の放流による人工種苗由来の加入尾数は2018～2022年平均値(31.9万尾)とした。