

令和 5（2023）年度マダラ本州太平洋北部系群の資源評価

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（成松庸二・鈴木勇人・森川英祐・

時岡 駿・三澤 遼・金森由妃・富樫博幸・永尾次郎・櫻井慎大）

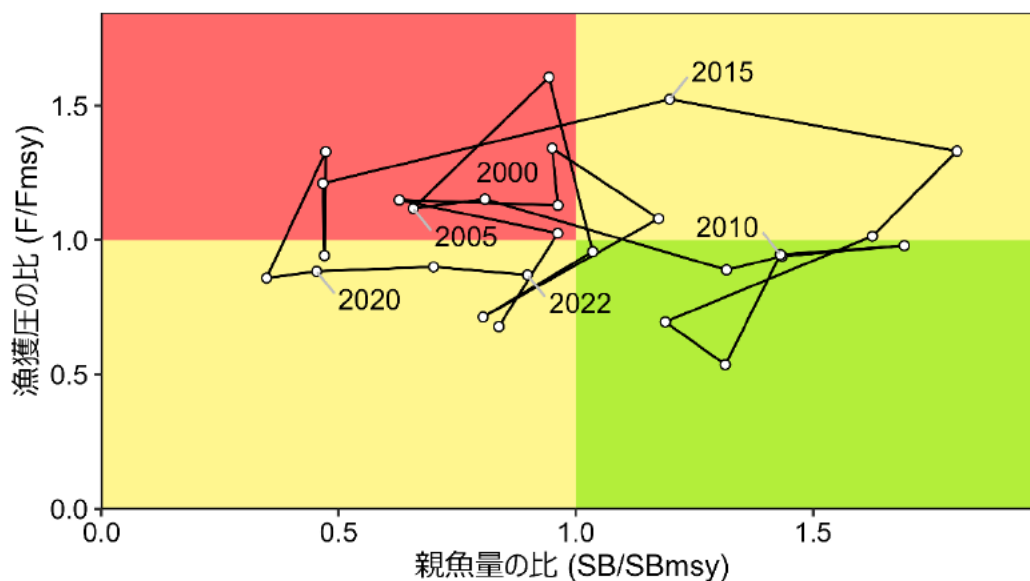
参画機関：青森県産業技術センター水産総合研究所、岩手県水産技術センター、宮城県水産技術総合センター、福島県水産海洋研究センター、福島県水産資源研究所、茨城県水産試験場、海洋生物環境研究所

要 約

着底トロール調査結果をチューニング指数としたコホート解析により本系群の資源量を推定した。資源量（1歳以上の総重量）は、1996～2010年漁期（4月～翌年3月）には2.3万～6.0万トンの範囲で推移し、東日本大震災（以下、「震災」という）以降の2012～2013年漁期には6.6万～8.4万トンに増加した。2014年漁期以降は減少傾向にあり、2022年漁期の資源量は1.7万トンであった。親魚量は1996～2006年漁期にかけて0.7万～1.3万トンの範囲で比較的安定して推移していたが、2007年漁期から増減を繰り返しながらも増加し、2014年漁期には2.0万トンに達した。2015年漁期以降は減少したものの2021年漁期から再度増加し、2022年漁期には1.0万トンになった。加入量（1歳魚の資源尾数）は、1997～2014年漁期には1.6千万～6.3千万尾と比較的高い水準で推移したが、2015年漁期以降は0.3千万～1.7千万尾と少ない年が続いており、2022年漁期には0.3千万尾と過去最低の水準となった。

令和3年3月および8月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」では、本系群の再生産関係式にはリッカー型再生産関係（RI）が適用されている。最大持続生産量（MSY）を実現する親魚量（SB_{msy}）は、適用した再生産関係に基づき1.09万トンと推定された。この基準に従うと、本系群の2022年漁期の親魚量はSB_{msy}を下回る。また2022年漁期の漁獲圧はMSYを実現する水準を下回る。親魚量の動向は直近5年間（2018～2022年漁期）の推移から「増加」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 | 1.09 万トン |
| 2022 年漁期の親魚量の水準 | MSY を実現する水準を下回る |
| 2022 年漁期の漁獲圧の水準 | MSY を実現する水準を下回る |
| 2022 年漁期の親魚量の動向 | 増加 |
| 最大持続生産量 (MSY) | 2.02 万トン |
| 2024 年漁期の 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。 ・ 近年の加入量が再生産関係から期待される平均値を継続して下回っていることにより、資源量が少ない状態が続いていることに留意する必要がある。 | |

| 近年の資源量、漁獲量、漁獲圧、および漁獲割合 | | | | | |
|------------------------|--------------|--------------|--------------|--------|-------------|
| 漁期年 | 資源量 (千トン) | 親魚量 (千トン) | 漁獲量 (千トン) | F/Fmsy | 漁獲割合 (%) |
| 2018 | 22.5 | 5.1 | 10.4 | 1.33 | 46 |
| 2019 | 18.9 | 3.8 | 6.6 | 0.86 | 35 |
| 2020 | 22.4 | 4.9 | 7.1 | 0.88 | 32 |
| 2021 | 23.8 | 7.6 | 7.3 | 0.89 | 30 |
| 2022 | 17.4 | 9.9 | 6.5 | 0.85 | 37 |
| 2023 | 17.6 | 10.7 | 7.9 | 0.90 | 45 |
| 2024 | 16.8 | 4.8 | - | - | - |

・2023年、2024年漁期の値は将来予測に基づく平均値である。

1. データセット

| データセット | 基礎情報、関係調査等 |
|--------------------------|--|
| 年齢別・漁期年別 漁獲量、漁獲尾数 | <ul style="list-style-type: none"> ・県別漁獲統計(農林水産省・各県水試調べ) ・太平洋北区 沖合底びき網漁業漁獲成績報告書(水産庁) ・市場測定(八戸、宮古、石巻)による漁獲物の体長組成 ・着底トロール調査漁獲物(4月、10～11月)および市場漁獲物を用いたALK(各年半期別に作成) |
| 資源量指数 ・資源量指標値 ・親魚量 | <ul style="list-style-type: none"> ・底魚類資源量調査(水研、着底トロール調査(10～11月))による現存量* ・着底トロール調査(10～11月)および市場漁獲物(12月～翌年3月)の精密測定データを用いた年別年齢別成熟率 |
| 自然死亡係数 (M) | 年当たり $M=0.357$ を仮定(田中 1960) |

*はコホート解析におけるチューニング指数である。

系群の漁期は4月～翌年3月であり、年齢の起算日は4月1日としている。

2. 生態

(1) 分布・回遊

マダラは北部太平洋沿岸に広くみられ、我が国周辺では日本海から東シナ海北部、北日本太平洋およびオホーツク海に分布する(Bakkala et al. 1984)。太平洋における分布の南限は茨城県沖とされている(Mishima 1984、図 2-1)。

マダラにはアジア周辺だけでも10以上の系群があると考えられており、個々の系群の移動範囲は限定的であるため、系群間の交流は少ないとされている(Bakkala et al. 1984)。ただし、国内に分布するマダラのミトコンドリアDNA解析では、山陰地方に分布する群れ以外では明瞭な遺伝的差異は認められていない(Suda et al. 2017)。青森県の陸奥湾ではマダラの産卵群が形成される。標識放流の結果、その群れの多くの個体が産卵後に北海道太平洋沿岸に移動し、産卵期になると再び陸奥湾に戻ってくることが明らかになっている(福田ほか 1985、三浦ほか 2019)。また、漁獲統計で見ても東北地方太平洋沖の漁獲量と陸奥湾周辺における漁獲量の動向には関連が認められない。そのため、陸奥湾で産卵し、北海道太平洋側に回遊する群を本州の太平洋北部の群れとは別系群であると判断した。なお、ここでは青森県大間崎以南以東で漁獲される個体を本系群として扱っている。

仔稚魚や産卵回遊期以外の分布水深は40～550 mで(服部ほか 2002、Narimatsu et al. 2015a)、季節的な浅深移動を行う(橋本 1974、Narimatsu et al. 2015b)。南北移動については明らかになっていない。

(2) 年齢・成長

マダラの年齢査定には鱗や背鰭鰭条など、さまざまな硬組織が用いられてきたが、東北地方太平洋岸(以下、「東北海域」という)では、耳石の扁平石を用いた年齢査定が行われてき

た（服部ほか 1992）。マダラの成長は早く、最高年齢となる 8 歳で体長 90 cm、体重 10 kg に達する（図 2-2）。成長は年によって変化し、分布密度や春季の親潮第一分枝の流入強度が作用していると考えられており（成松 2006、Narimatsu et al. 2010）、震災以降には成長の鈍化が認められている（補足資料 8）。標準的な体長と年齢および体重の関係は下式のとおりである。

$$SL = 1255.2(1 - \exp(-0.16(t - 0.036)))$$

$$BW = 7.07 \times 10^{-6} \times SL^{3.12}$$

ここで、SL は標準体長（mm）、t は満年齢（ここでの年齢起算日は 1 月 1 日）、BW は体重（g）である。なお、成長に雌雄差はないことが確認されていることから（服部ほか 1992）、雌雄差は考慮していない。

(3) 成熟・産卵

産卵親魚の来遊および幼魚の出現状況から、本系群の産卵場は宮城県仙台湾や青森県八戸沖のほか、三陸沿岸各地に小規模なものがあると考えられている（児玉ほか 1990、服部ほか 1999）。夏季から秋季には水深 200 m 以深の海域に生息するが、冬季になると産卵親魚は水深 100 m 以浅に移動し（Narimatsu et al. 2015b）、雌雄ペアあるいは一尾の雌に数尾の雄が群がり、砂泥帯に沈性卵を産む（Sakurai and Hattori 1996）。雌は一繁殖期に 1 回産卵し、その産卵数は 50 万（体長 40 cm 前後）～400 万粒（体長 80 cm 前後）である（服部ほか 1995）。成熟後は毎年産卵すると考えられる。

1990 年代後半以降の東北北部における 50% 成熟体長は雄で 46.2 cm、雌で 48.3 cm である。初回成熟年齢は 3 歳もしくは 4 歳で、成長同様に 3 歳魚の成熟率には資源状態と負の関係がある（Narimatsu et al. 2010）。4 歳以上はほぼすべての個体が成熟すると考えられていたが（成松 2006、Narimatsu et al. 2010）、震災後には成長の鈍化とともに晩熟化の傾向が見られる（補足図 8-1、補足図 8-2）。1996～2022 年の平均成熟率は 3 歳で 28%、4 歳で 75% となっている。

(4) 被捕食関係

餌生物は浮遊生活期にはカイアシ類幼生、魚卵、および十脚目幼生、若魚期にはオキアミ類、成魚期には魚類・頭足類・大型甲殻類である（山村 1993、Takatsu et al. 1995、2002、伊藤ほか 2014）。また、小型の個体は大型のマダラに捕食されることが示されている（橋本 1974）。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

本種の漁獲は沖合底びき網漁業（以下、「沖底」という）で最も多く、2000 年漁期以降の全漁獲量に占める沖底の割合は 39～76% で推移している（表 3-1）。その他では延縄、刺網、定置網、小型底びき網漁業（以下、「小底」という）の漁獲が多い。定置網での漁獲は冬季中心で、その他の漁業では禁漁期を除いて周年漁獲されている。漁獲対象となるのは主に満

1 歳以降である。

(2) 漁獲量の推移

全漁業種類合計の漁期年（4 月～翌年 3 月）漁獲量の経年変化を見ると（図 3-1、表 3-1）、1980 年漁期から漁獲量は徐々に増加し、1986～1990 年漁期には 1 万トン台となった。その後は減少し、1993 および 1994 年漁期には 3 千トン台と 1980 年代前半の水準にまで低下した。1995 年漁期以降再び増加に転じ、1998 年漁期には 2.4 万トンに達した。その後は増減を繰り返しながら長期的には増加し、2010 年漁期は 2.6 万トンとなった。2011、2012 年漁期は震災の影響により震災以前に比べて減少したが、2013 年漁期には福島県および茨城県における漁獲がごくわずかであるにもかかわらず 3.1 万トンを記録した。しかしその後減少し、2016 年漁期には 1.0 万トン、2020 年漁期は 0.7 万トンで 2022 年漁期は暫定値で 0.6 万トンとなっている。

漁業種類別に漁獲量を比べると、ほとんどの年で沖底による漁獲が最も多く、次いで延縄、刺網、小底および定置網による漁獲が多い（図 3-1、表 3-1）。2021 年の沖底では青森県から茨城県の沖合の広い範囲で漁獲されており、特に青森県沖から宮城県沖での漁獲が多い（図 3-2）。また、県別漁獲量では、岩手県、宮城県の漁獲量が多く、近年では青森県の割合も高くなっている（表 3-2）。

年齢別漁獲尾数を補足表 2-1 に示す。全体として 1、2 歳魚の漁獲尾数が多い傾向にある。震災後の 2012～2015 年漁期には 3～6 歳以上の個体も比較的多く漁獲された。2016 年漁期以降は全年齢合計の漁獲尾数は減少傾向にある。2022 年漁期には 4～6 歳以上は比較的多い一方で 1～3 歳魚は少なく、特に 2 歳魚は 1996 年漁期以降で最も少ない。

(3) 漁獲努力量

漁獲努力量の指標として、各漁法の中で本系群の漁獲量が最も多い沖底の海区別の有漁網数（漁船毎のマダラが漁獲された日の網数の合計）を求めた（図 3-3）。尻屋崎海区の有漁網数は 1972 年以降長期にわたって漸増傾向にあり、2008 年には 2.1 万網を超えた。その後は 1.5 万網前後で安定していたが、2018～2020 年は 1.0 万網程度で推移し、2022 年は 7.9 千網となっている。岩手海区の 2 そうびきは、1993 年に 6.0 千網でピークとなったが、その後減少傾向にある。近年は 2011 年に 1.6 千網となった後に 2012～2020 年には年間 2.0 千～2.6 千網で推移している。金華山海区のオッタートロールは 1992～2004 年にかけて 1.5 万～2.0 万網と多く、その後、震災まで緩やかに減少した。震災以降 3 年ほどは落ち込んだが、2014 年以降は震災以前よりは少ないものの 1.0 万～1.1 万網で安定している。常磐海区のオッタートロールは 1989～1991 年に 3 万網以上を記録していたが、その後、震災まで増減を繰り返しながらも減少した。2011 年以降は操業規制や操業自粛により非常に低い値で推移しており、2021、2022 年はそれぞれ 2.8 千、3.1 千網であった。

4. 資源の状況

(1) 資源評価の方法

4 月～翌年 3 月を漁期年とし、Pope (1972) の近似式を用いたチューニング VPA（コホート解析）により資源量を推定した（補足資料 2）。VPA に用いる年齢別漁獲尾数は、漁期年

を上半期（4～9月）と下半期（10月～翌年3月）に分け、青森県、岩手県および宮城県の主要港で得られた体長組成を、年別半期別に求めた age-length key で年齢分解して求めた。なお、年齢分解は1～6歳以上を対象とし、0歳魚は近年漁獲量が少なく、7歳以上は出現頻度が下がることから対象としなかった。自然死亡係数（M）は定期的に見られる上限年齢（7歳）を寿命として、田内・田中の式（田中 1960）から 0.357 とした。また、トロール調査で求めた年齢別の現存量（補足資料 7、補足表 2-1）を資源量指標値としてチューニングの指数に用いた。

（2）資源量指標値の推移

トロール調査の結果では、現存尾数は1歳魚で最も多く、加齢とともに減少する傾向にある（図 4-1、補足表 7-1）。1歳魚の尾数は年変化が大きく、1996～2022年漁期には37万尾～69百万尾で推移している。2011～2015年漁期には比較的多く、全年齢合計の尾数も多かった。現存尾数に漁期年別、年齢別体重を乗じて求めた現存量にも大きな年変化が認められ、1996～2022年漁期では0.6万～9.0万トンで推移し、2001年漁期に最低値、2012年漁期に最高値となった（図 4-2、補足表 7-2）。しかし、2013年漁期以降は減少し、2017年漁期以降は3万トンを下回り、2022年漁期には0.6万トンとなった。

漁業情報による資源量指標値として小海区別に沖底の CPUE の時系列変化を求めた。尻屋崎海区のかけまわしを除いて1990年代後半の CPUE はそれ以前より高かったが、その後2002年にかけて減少した（図 4-3）。2012～2014年にはすべての海区の CPUE が高かったが、その後すべての海区で減少し、2017年以降は低い値になっている。なお、震災以降には沖底の操業形態が変化していると考えられる。

以上の資源量指標値のうち、漁業情報には震災前後で操業形態の変化が認められることやトロール調査の結果には年齢別の情報があることから、トロール調査結果を VPA のチューニング指数として用いた。

（3）資源量と漁獲圧の推移

コホート解析によって推定した年齢別資源尾数、年齢別資源量、親魚量および再生産成功率（RPS、親魚1kgあたりの加入（1歳魚）尾数）を図 4-4、図 4-5、図 4-6、表 4-1 に示す（詳細は補足資料 2 参照）。資源尾数に占める1、2歳魚の割合は高く、若齢魚中心の資源となっている。2004年漁期の加入量（1歳魚の資源尾数）は6.3千万尾で1996～2022年漁期中で最も多かったが、その後は増減を繰り返しながら減少し、2022年漁期には過去最低の3百万尾となった。2022年漁期は1歳魚だけではなく2歳以上も少ないため、全年齢の合計も1.0千万尾と1996年漁期以降で最低の値となっている。

資源量は1996～2010年漁期には2.3万～6.0万トンで推移していたが、震災以降増加し、2013年には8.4万トンとなった。2014年以降は減少し、2016～2022年漁期には2万トン前後で推移している。年齢別で見ると、2022年漁期の1歳魚は1.1千トンと過去27年（1996～2022年漁期）で最も少なく（平均値は8.1千トン）、2歳魚も過去27年で最も少ない。その一方で4～6歳以上は比較的多い。

親魚量は1996年漁期以降増減を繰り返しながらも増加し、2014年漁期に2.0万トンでピークとなった。その後減少し、2016～2020年漁期に0.4万～0.5万トンになったが、2022年

漁期は 1.0 万トンに回復した。現在の資源は、親魚量は比較的多いが、1 および 2 歳魚が少ないことから、今後減少すると考えられる。

再生産成功率（RPS、1 歳魚加入尾数/親魚量）は、2003～2007 年漁期には 4.3～5.6 尾/kg と高かったが、2008～2016 年漁期には 0.7～2.8 尾/kg と低下した。2017～2020 年漁期には 2.7～3.8 尾/kg とやや回復したが、親魚量自体が少ないため、大きな加入になっていない。また、2021 および 2022 年漁期にはそれぞれ 1.0 および 0.4 尾/kg と再び低下した。

漁獲係数 F は年変動があるととも年齢によっても異なり、高齢の個体ほど高い傾向にある（図 4-7）。1 歳魚の F は 2008～2019 年漁期では低かったが、2020～2022 年漁期ではやや高くなっている。また、2～4 歳魚の F は類似する傾向にある。

M を 0.3～0.4 で変化させた場合の 1996～2022 年漁期の資源量は、 M が 0.3 では 1.6 万～7.8 万トン、 M が 0.4 では 1.8 万～8.9 万トンと推定される。 M が 0.357 のときと比較すると前者で 90～94%、後者で 105～108%となる（図 4-8）。

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

選択率の影響を考慮して漁獲圧を比較するため、加入量あたり親魚量（SPR）を基準に、その漁獲圧が無かった場合との比較を行った。図 4-9 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 1.9～13.7%と低い傾向にあり、現状の漁獲圧として直近 3 年間（2019～2021 年漁期）の平均 F 値から %SPR を算出すると（このときの %SPR は 2018～2022 年漁期の生物パラメータの平均値を使用した）7.7%となった。

現状の漁獲圧に対する YPR と %SPR の関係を図 4-10 に示す。このとき F の選択率としては令和 2 年 8 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」において最大持続生産量 MSY を実現する F (F_{msy}) の推定に用いた値（成松ほか 2021a）を用い、7.7%SPR を実現するような F を現状の漁獲圧とした。また、 F_{msy} や他の管理基準値案と現状の漁獲圧を比較する際に用いた生物パラメータは 2019～2021 年漁期の平均値の値を使用した。 F_{msy} は %SPR に換算すると 5.9%に相当する。現状の漁獲圧 ($F_{2019-2021}$) は F_{max} 、 $F_{30\%SPR}$ を上回る一方で F_{msy} を下回る。

(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 4-11 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リッカー型再生産関係が適用されている（成松ほか 2021a）。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 2（2020）年度の資源評価（成松ほか 2021b）に基づく親魚量・加入量とし、最適化方法には最小二乗法を用いている。加入量の残差の自己相関は考慮している。再生産関係式の各パラメータを補足表 6-1 に示す。

(6) 現在の環境下において MSY を実現する水準

現在（1996 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 (SB_{msy})、および MSY を実現する漁獲圧 (F_{msy}) として、上述の「管理基準値等に関する研究機関会議」において示された推定値（成松ほか 2021a）を補足表 6-2 に示す。

(7) 資源の水準・動向および漁獲圧の水準

MSY を実現する親魚量と漁獲圧を基準にした神戸プロットを図 4-12 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 年漁期の親魚量は MSY を実現する親魚量 (SBmsy) を下回っており、2022 年漁期の親魚量は SBmsy の 0.9 倍である。また、2022 年漁期の漁獲圧は、MSY を実現する漁獲圧 (Fmsy) を下回っており、MSY を実現する漁獲圧の 0.85 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 年漁期) の推移から増加と判断される。本系群の親魚量は 2007~2015 年漁期には SBmsy を上回っていたが、漁獲圧の上昇や加入量の減少によって 2016 年漁期以降には SBmsy を下回る水準が続いている。

4. 資源評価のまとめ

本系群の資源量は、1996~2013 年漁期にかけて 2.3 万から 8.4 万トンへと増加したが、その後 2016 年漁期には 2.3 万トンに減少した。その後も大きな加入がなかったことから資源は増加せず、2022 年漁期は 1.7 万トンとなった。親魚量も資源量同様に 1996 年漁期から 2014 年漁期にかけて 0.7 万~2.0 万トンの間で変動しつつも増加した。しかし、その後、2015 年漁期には 1.3 万トン、2016 年漁期には 0.5 万トンとなり急激に減少した。2016~2020 年漁期は 0.4 万~0.5 万トンで推移したが、その後増加し、2022 年漁期は 1.0 万トンとなっている。

2022 年漁期の親魚量は MSY を実現する水準を下回り、その動向は直近 5 年間 (2018~2022 年漁期) の推移から増加と判断された。2022 年漁期の漁獲圧は、MSY を実現する漁獲圧 (Fmsy) を下回る。

5. その他

近年はやや鈍化が見られるもののマダラは成長が非常に早い。また、これまでにも比較的短期間で資源の回復が認められていることもあり、ある程度の加入があり、高すぎる漁獲圧を与えるようなことがなければ、親魚量が速やかに増加することが期待される。

6. 引用文献

- Bakkala, R., S. Westrheim, S. Mishima, C. Zhang and E. Brown (1984) Distribution of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) in the North Pacific Ocean. Int. North Pac. Fish. Comm. Bull., **42**, 111-115.
- 福田慎作・横山勝幸・早川 豊 (1985) 青森県陸奥湾湾口部におけるマダラ成魚の標識放流について. 栽培技研, **14**, 71-77.
- 橋本良平 (1974) 東北海区漁場におけるマダラの食性と生息水深の変動に関する研究. 東北水研研報, **33**, 51-67.
- 服部 努・桜井泰憲・島崎健二 (1992) マダラの耳石薄片法による年齢査定と成長様式. 日水誌, **58**, 1203-1210.
- 服部 努・桜井泰憲・島崎健二 (1995) 陸奥湾に來遊するマダラの孕卵数. 東北水研報, **57**,

1-5.

- 服部 努・北川大二・今村 央・野別貴博 (1999) 1998 年の底魚類資源量調査結果. 東北底魚研究, **19**, 77-91.
- 服部 努・北川大二・成松庸二・佐伯光広・片山知史・藤原邦浩・小谷健二・本田学志 (2002) 2001 年の底魚類現存量調査結果. 東北底魚研究, **22**, 82-98.
- 伊藤正木・服部 努・成松庸二・柴田泰宙 (2014) 東北沖太平洋におけるマダラによるズワイガニの補食について. 東北底魚研究, **34**, 123-132.
- 児玉純一・永島宏・和泉祐司 (1990) 金華山海域に生息するマダラについて. 東北海区底魚研究チーム会議報告, 東北区水産研究所, **11**, 43-46.
- Mishima, S. (1984) Stock assessment and biological aspects of Pacific cod (*Gadus macrocephalus* Tilesius) in Japanese waters. Int. North Pac. Fish. Comm. Bull., **42**, 180-199.
- 三浦太智・吉田雅範・山田嘉暢・野呂恭成・伊藤欣吾・東 信行 (2019) マダラ陸奥湾産卵群の分布と回遊. 水産増殖, **67**, 19-24.
- 成松庸二 (2006) マダラの生活史と繁殖生態 -繁殖特性の年変化を中心に-. 水研センター研報, 別冊 **4**, 137-146.
- Narimatsu, Y., S. Kakehi, S. Ito, Y. Okazaki, R. Inagawa and T. Yano (2015a) Impact of the Great East Japan Earthquake tsunami on growth and survival of Pacific cod, *Gadus macrocephalus*. Can. J. Fish. Aquat. Sci., **72**, 1629-1638.
- Narimatsu, Y., T. Sohtome, M. Yamada, Y. Shigenobu, Y. Kurita, T. Hattori and R. Inagawa (2015b) Why do the radionuclide concentrations of Pacific cod depend on the body size? In: Impact of the Fukushima nuclear accident on fish and fishing grounds, ed. K. Nakata and H. Sugisaki, Springer Japan, Tokyo, pp. 123-138.
- 成松庸二・鈴木勇人・森川英祐・時岡 駿・三澤 遼・金森由妃・冨樫博幸・柴田泰宙 (2021a) 令和 3 (2021) 年度マダラ本州太平洋北部系群の管理基準値等に関する研究機関会議資料. 水産研究・教育機構, 1-50. FRA-SA2021-BRP02-1.
https://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/detail_madara_pacN_RIM_quickVer_20210930.pdf (last accessed 21 July 2022).
- 成松庸二・鈴木勇人・森川英祐・時岡 駿・三澤 遼・金森由妃・冨樫博幸・柴田泰宙 (2021b) 資源評価報告書, 1-31. FRA-SA2021-RC05-2.
<http://abchan.fra.go.jp/digests2021/details/202134.pdf>
- Narimatsu, Y., Y. Ueda, T. Okuda, T. Hattori, K. Fujiwara and M. Ito (2010) The effect of temporal changes in life-history traits on reproductive potential in an exploited population of Pacific cod, *Gadus macrocephalus*. ICES J. Mar. Sci., **67**, 1659-1666.
- Sakurai, Y. and T. Hattori (1996) Reproductive behavior of Pacific cod in captivity. Fish. Sci., **62**, 222-228.
- Suda, A., N. Nagata, A. Sato, Y. Narimatsu, H. H. Nadiatul and M. Kawata (2017) Genetic variation and local differences in Pacific cod *Gadus macrocephalus* around Japan. J. Fish Biol., **90**, 61-79.
- Takatsu, T., T. Nakatani, T. Mutoh and T. Takahashi (1995) Feeding habits of Pacific cod larvae and juveniles in Mutsu bay, Japan. Fish. Sci., **61**, 415-422.
- Takatsu, T., T. Nakatani, T. Miyamoto, K. Kouka and T. Takahashi (2002) Spatial distribution and

feeding habits of Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) larvae in Mutsu Bay, Japan. Fish. Oceanogr., **11**, 90-101.

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.

山村織生 (1993) 仙台湾沖底生魚類群集における資源分割. 漁業資源研究会議底魚部会報, **26**, 61-70.

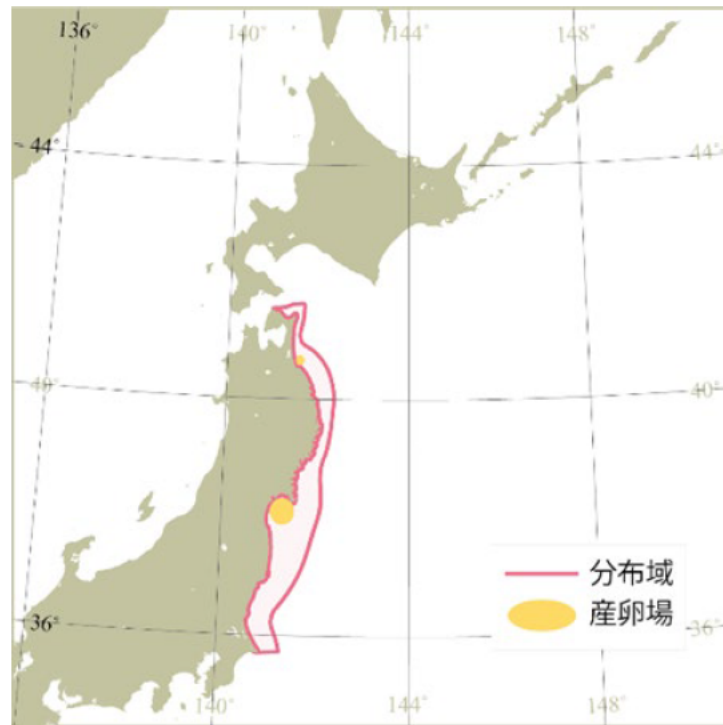


図 2-1. 本州太平洋北部におけるマダラ分布

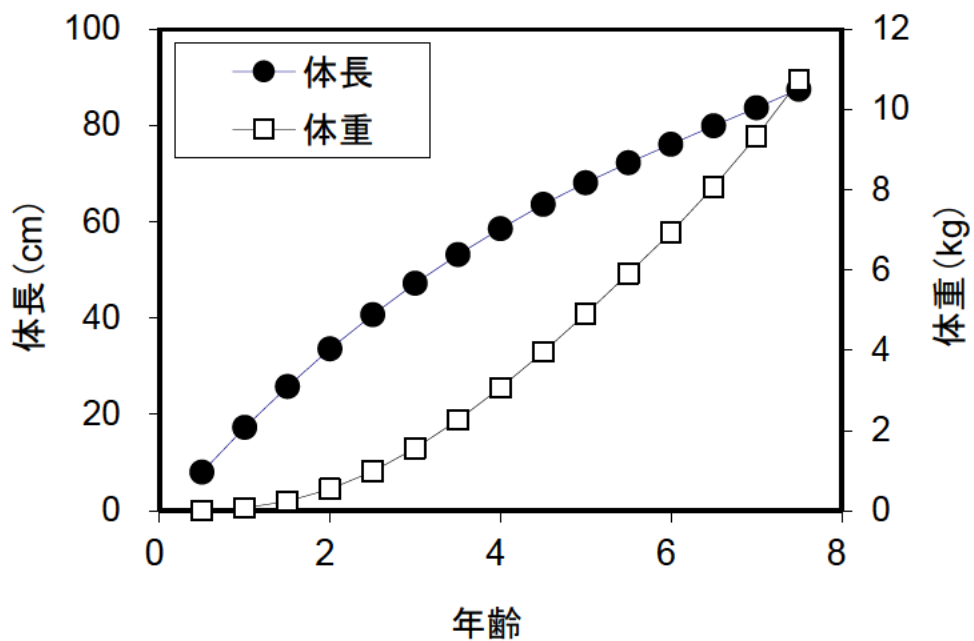


図 2-2. 本州太平洋北部におけるマダラの成長

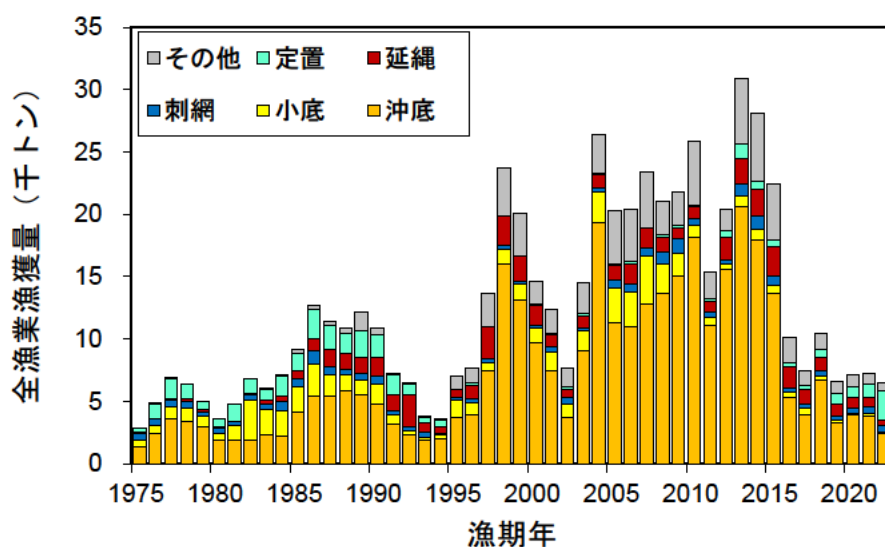


図 3-1. 本州太平洋北部におけるマダラの漁業種別漁獲量 2022 年漁期は暫定値。

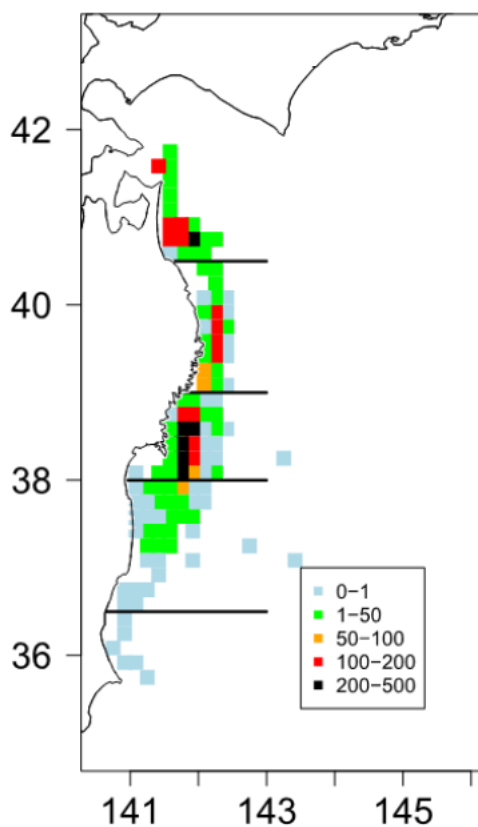


図 3-2. 沖底による 2021 年の漁獲量 (トン) の分布

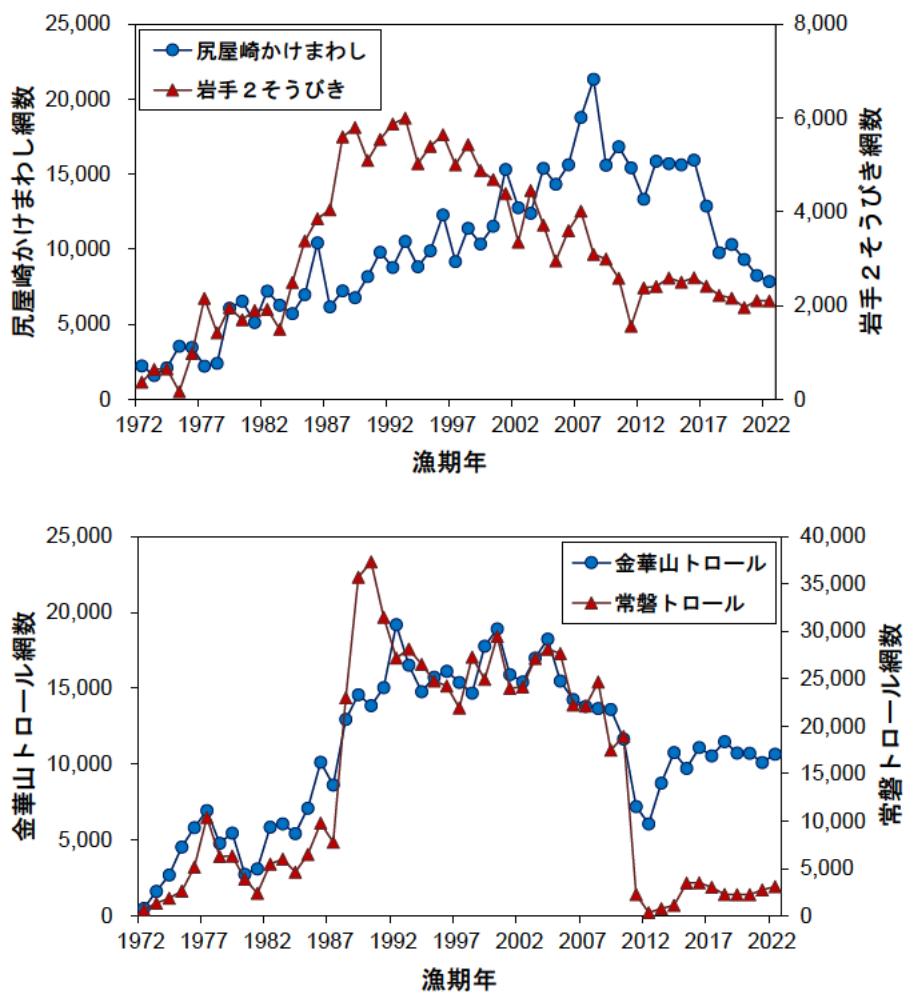


図 3-3. 沖底による有漁網数の推移

上：2そうびきとかけまわし 下：トロール 2022年は暫定値。

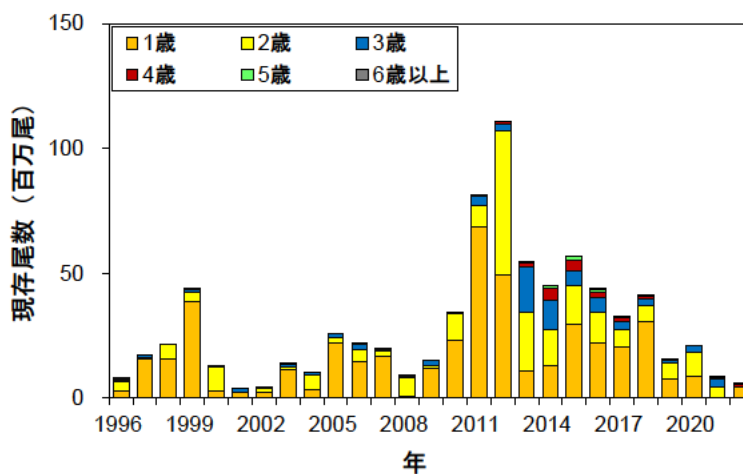


図 4-1. トロール調査によって求めた年齢別現存尾数の推移

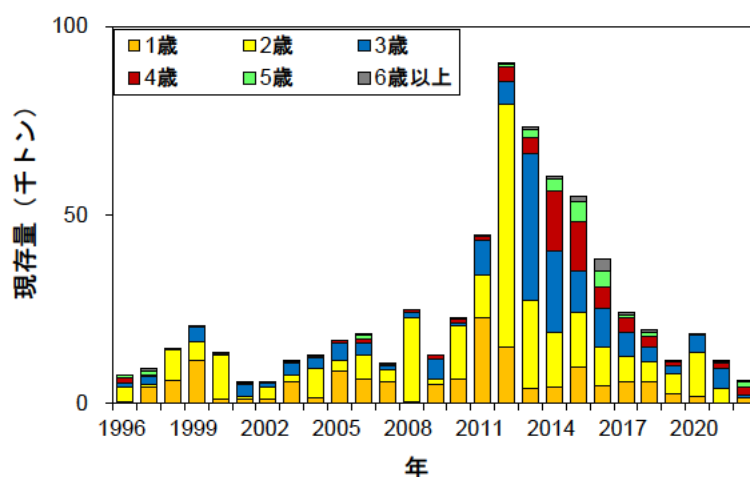


図 4-2. トロール調査によって求めた年齢別現存量（資源量指標値）の推移

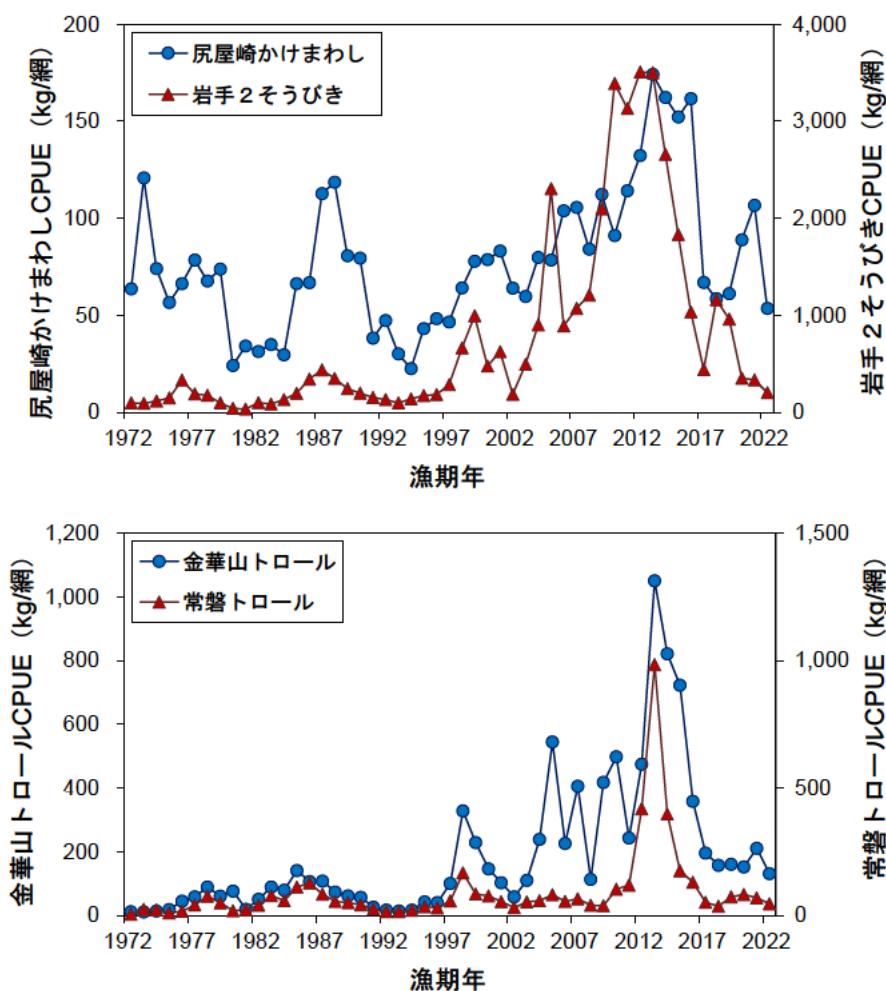


図 4-3. 沖底による CPUE の推移

上：2そうびきとかけまわし 下：トロール 2022 年は暫定値。

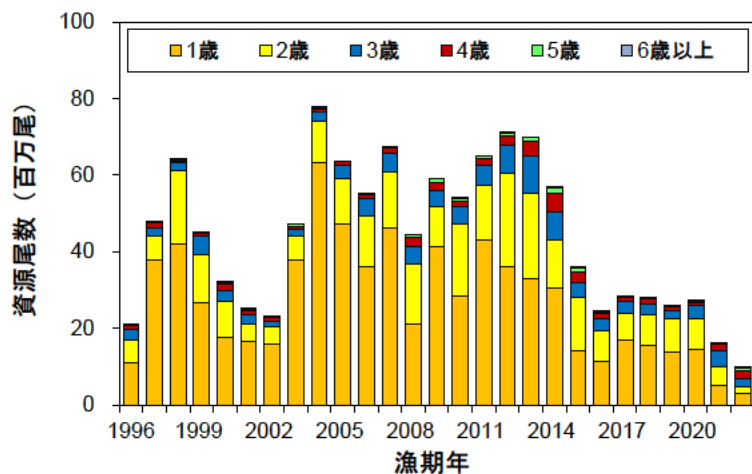


図 4-4. コホート解析によって求めた年齢別資源尾数の推移

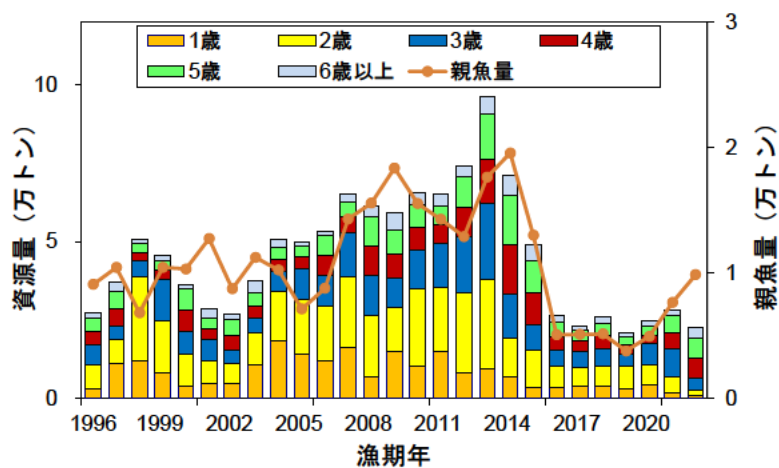


図 4-5. コホート解析によって求めた年齢別資源量および親魚量の推移

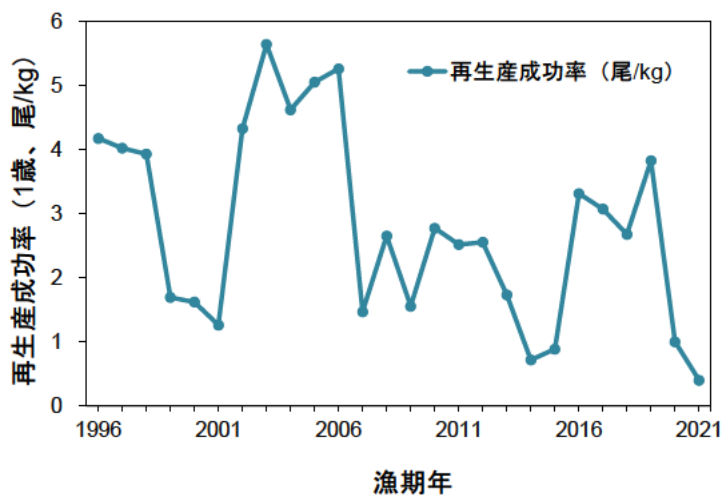


図 4-6. 再生産成功率の推移

ここでは1歳魚の加入した漁期年を示しており、親魚量は前年の漁期年の値である。

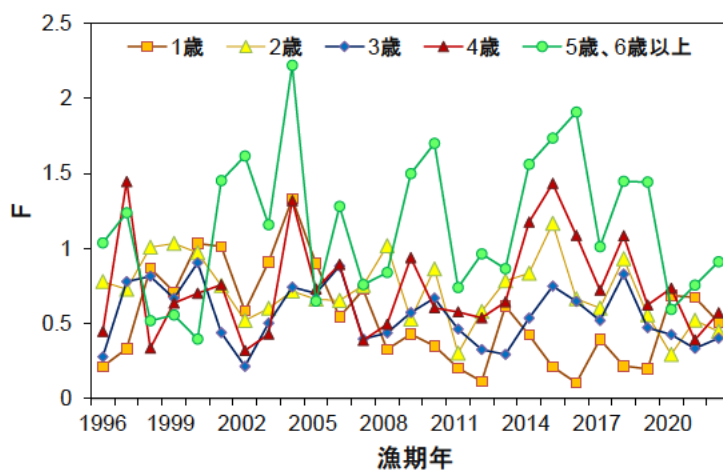


図 4-7. 漁獲係数 F の推移

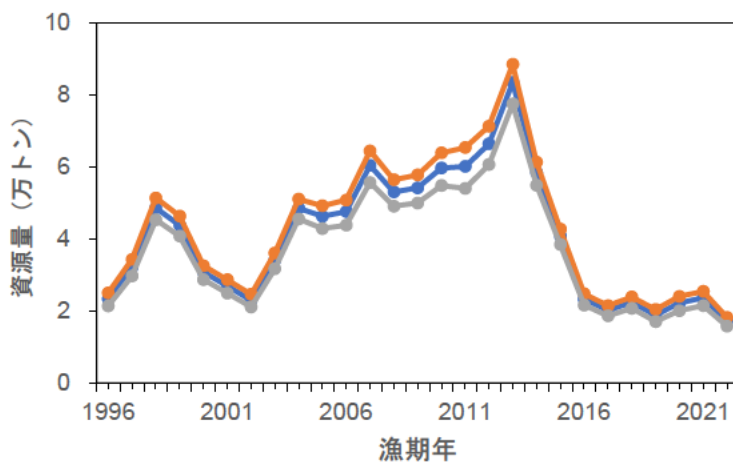


図 4-8. M を変化させたときの資源量の変化

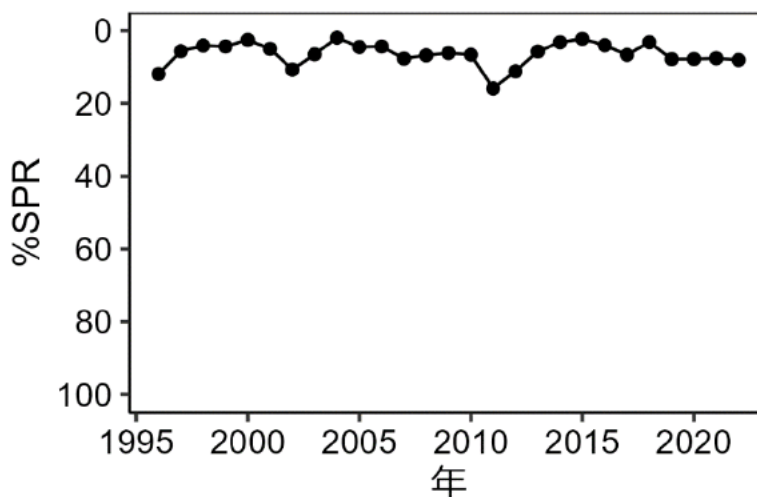


図 4-9. %SPR の推移

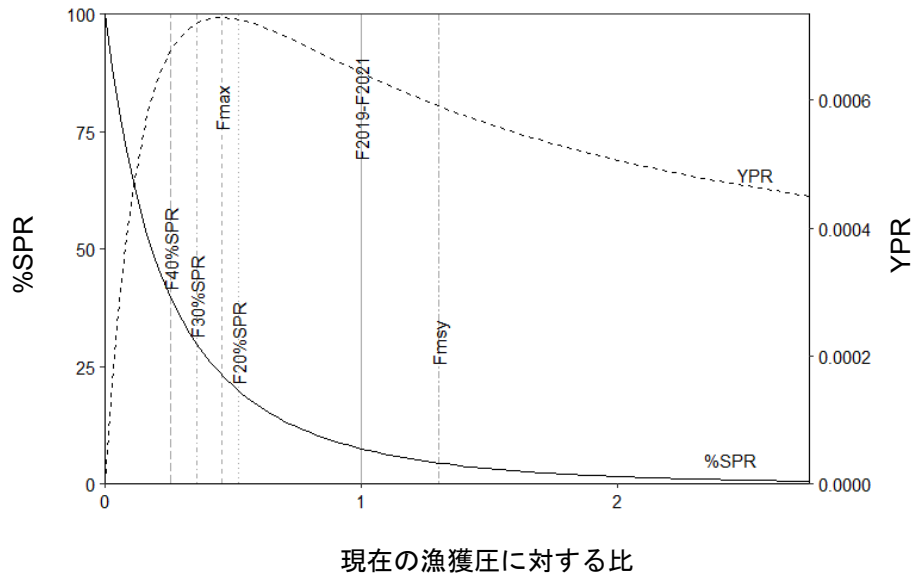


図 4-10. 現状の漁獲圧に対する YPR と%SPR の関係

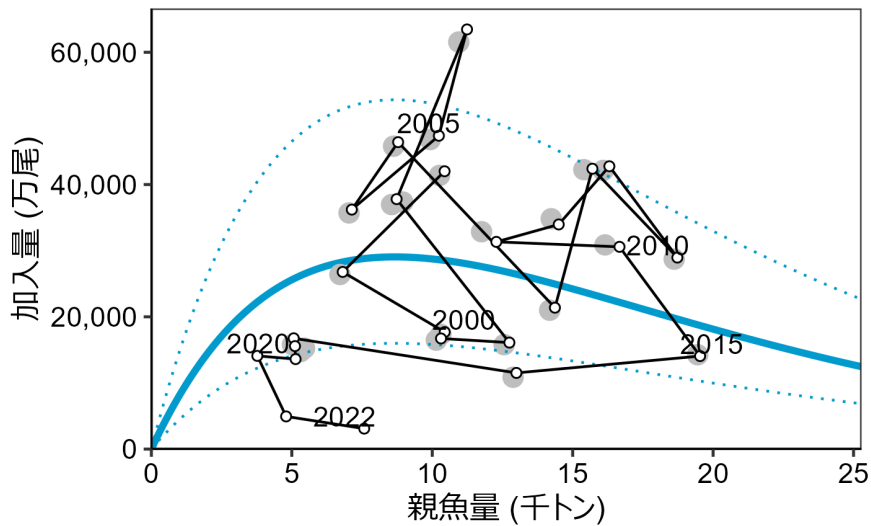


図 4-11. 親魚量と加入量（1 歳魚尾数）の関係（再生産関係）

灰色の丸および青線は令和 3 年 8 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」（成松ほか 2021a）で提案された再生産関係式。点線は観測データの 90%が含まれると推定される範囲を示す。白色の丸は令和 5（2023）年度の資源評価における資源量と加入量のデータである。

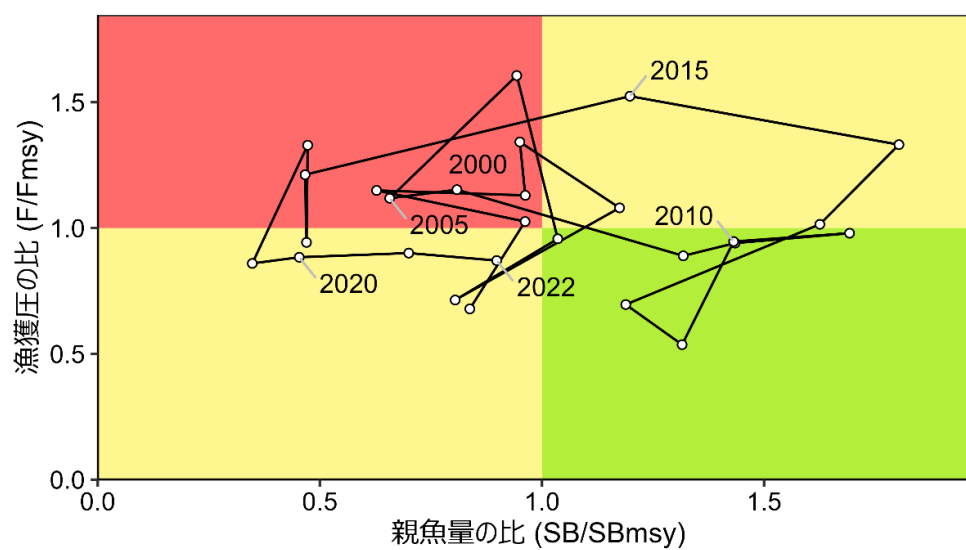


図 4-12. 最大持続生産量 (MSY) を実現する親魚量 (SBmsy) および MSY を実現する漁獲圧 (Fmsy) に対する、親魚量および漁獲圧の関係 (神戸プロット)

表 3-1. 漁業種類別の漁獲量の推移（漁期年集計：トン）

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1975 | 1976 | 1977 | 1978 | 1979 | 1980 | 1981 | 1982 | 1983 | 1984 | 1985 | 1986 | 1987 |
| 沖底 | 1,337 | 2,472 | 3,567 | 3,431 | 2,992 | 1,919 | 1,855 | 1,902 | 2,284 | 2,202 | 4,117 | 5,399 | 5,371 |
| 小底 | 574 | 583 | 1,028 | 1,070 | 795 | 506 | 1,166 | 3,208 | 2,068 | 2,054 | 2,032 | 2,541 | 1,793 |
| 刺網 | 546 | 511 | 498 | 478 | 351 | 388 | 329 | 373 | 453 | 702 | 635 | 1,086 | 642 |
| 延縄 | 107 | 72 | 106 | 229 | 205 | 103 | 76 | 160 | 260 | 494 | 666 | 1,029 | 1,358 |
| 定置 | 230 | 1,178 | 1,573 | 1,160 | 645 | 709 | 1,377 | 1,178 | 885 | 1,579 | 1,403 | 2,347 | 1,935 |
| その他 | 7 | 70 | 138 | 56 | 26 | 15 | 17 | 37 | 76 | 156 | 266 | 317 | 330 |
| 計 | 2,801 | 4,886 | 6,909 | 6,424 | 5,014 | 3,641 | 4,821 | 6,857 | 6,026 | 7,186 | 9,119 | 12,719 | 11,428 |
| | 1988 | 1989 | 1990 | 1991 | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 |
| 沖底 | 5,860 | 5,568 | 4,727 | 3,160 | 2,349 | 1,935 | 2,013 | 3,690 | 3,899 | 7,413 | 16,055 | 13,119 | 9,716 |
| 小底 | 1,227 | 1,169 | 1,630 | 735 | 318 | 189 | 278 | 1,400 | 990 | 706 | 1,172 | 1,347 | 1,154 |
| 刺網 | 450 | 487 | 632 | 397 | 280 | 379 | 166 | 213 | 323 | 242 | 235 | 191 | 215 |
| 延縄 | 1,336 | 1,285 | 1,535 | 1,274 | 2,546 | 762 | 546 | 639 | 1,068 | 2,575 | 2,397 | 1,971 | 1,661 |
| 定置 | 1,522 | 2,142 | 1,848 | 1,548 | 857 | 447 | 462 | 29 | 193 | 43 | 51 | 59 | 36 |
| その他 | 497 | 1,523 | 501 | 116 | 99 | 92 | 106 | 1,080 | 1,154 | 2,623 | 3,837 | 3,357 | 1,796 |
| 計 | 10,892 | 12,174 | 10,873 | 7,229 | 6,447 | 3,805 | 3,571 | 7,051 | 7,627 | 13,602 | 23,747 | 20,045 | 14,577 |
| | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| 沖底 | 7,477 | 3,712 | 9,109 | 19,365 | 11,355 | 10,976 | 12,786 | 13,628 | 15,070 | 18,215 | 11,068 | 15,552 | 20,661 |
| 小底 | 1,467 | 1,088 | 1,511 | 2,453 | 2,773 | 2,778 | 3,912 | 2,353 | 1,838 | 921 | 678 | 431 | 773 |
| 刺網 | 415 | 516 | 281 | 317 | 644 | 674 | 642 | 940 | 1,144 | 510 | 430 | 359 | 1,027 |
| 延縄 | 981 | 610 | 909 | 1,069 | 1,173 | 1,619 | 1,532 | 1,229 | 900 | 959 | 879 | 1,849 | 2,028 |
| 定置 | 117 | 236 | 198 | 105 | 101 | 131 | 63 | 172 | 131 | 74 | 131 | 503 | 1,200 |
| その他 | 1,928 | 1,514 | 2,526 | 3,061 | 4,279 | 4,216 | 4,435 | 2,741 | 2,733 | 5,166 | 2,160 | 1,752 | 5,179 |
| 計 | 12,385 | 7,677 | 14,535 | 26,370 | 20,325 | 20,395 | 23,369 | 21,062 | 21,817 | 25,846 | 15,344 | 20,447 | 30,868 |
| | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | | | | |
| 沖底 | 17,963 | 13,600 | 5,364 | 3,887 | 6,729 | 3,219 | 3,953 | 3,853 | 2,376 | | | | |
| 小底 | 803 | 731 | 406 | 544 | 253 | 241 | 119 | 221 | 102 | | | | |
| 刺網 | 1,089 | 658 | 320 | 351 | 500 | 304 | 384 | 502 | 580 | | | | |
| 延縄 | 2,129 | 2,408 | 1,643 | 1,151 | 1,069 | 1,024 | 853 | 703 | 454 | | | | |
| 定置 | 657 | 569 | 407 | 294 | 580 | 840 | 910 | 1,161 | 2,361 | | | | |
| その他 | 5,449 | 4,465 | 1,978 | 1,255 | 1,262 | 939 | 918 | 810 | 603 | | | | |
| 計 | 28,091 | 22,431 | 10,117 | 7,482 | 10,393 | 6,567 | 7,137 | 7,250 | 6,476 | | | | |

各県水試調べによる。

漁期年は4月～翌年3月。

表 3-2. 県別漁業種類別の漁獲量の推移（漁期年集計：トン）

| | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 青森 | 1,375 | 1,439 | 791 | 1,228 | 1,406 | 1,274 | 2,210 | 2,595 | 2,216 | 1,636 | 2,199 | 1,529 | 2,318 | 3,271 | 2,275 | 3,203 | 1,343 | 714 | 708 | 626 | 978 | 981 | 729 |
| 神底 | 424 | 521 | 581 | 439 | 614 | 480 | 915 | 1,170 | 437 | 713 | 641 | 414 | 337 | 608 | 278 | 308 | 115 | 52 | 60 | 73 | 54 | 126 | 48 |
| 小底 | 0 | 0 | 53 | 81 | 86 | 167 | 121 | 337 | 420 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 刺網 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 延縄 | 10 | 14 | 42 | 147 | 14 | 11 | 21 | 14 | 70 | 75 | 18 | 33 | 48 | 69 | 89 | 71 | 61 | 66 | 60 | 48 | 77 | 283 | 1,201 |
| 定置 | 356 | 342 | 214 | 133 | 136 | 146 | 195 | 394 | 461 | 543 | 847 | 1,130 | 493 | 1,903 | 2,020 | 1,622 | 929 | 513 | 617 | 557 | 508 | 367 | 407 |
| その他 | 3,150 | 2,247 | 614 | 2,565 | 8,161 | 3,377 | 3,998 | 4,310 | 6,414 | 8,237 | 9,426 | 5,992 | 8,613 | 8,136 | 6,802 | 4,273 | 1,856 | 1,284 | 3,828 | 990 | 861 | 660 | 614 |
| 岩手 | 75 | 266 | 379 | 87 | 39 | 128 | 153 | 238 | 283 | 371 | 248 | 170 | 207 | 227 | 340 | 141 | 125 | 143 | 258 | 199 | 217 | 271 | 419 |
| 小底 | 1,559 | 896 | 553 | 784 | 762 | 948 | 1,488 | 1,315 | 1,118 | 809 | 846 | 838 | 1,847 | 2,006 | 2,099 | 2,352 | 1,629 | 1,139 | 1,062 | 1,019 | 851 | 702 | 453 |
| 刺網 | 12 | 10 | 191 | 29 | 64 | 22 | 28 | 9 | 57 | 50 | 23 | 32 | 224 | 529 | 198 | 162 | 46 | 45 | 215 | 381 | 479 | 293 | 958 |
| 延縄 | 182 | 146 | 117 | 62 | 128 | 144 | 15 | 55 | 18 | 10 | 4 | 17 | 30 | 34 | 65 | 43 | 30 | 23 | 34 | 22 | 23 | 25 | 24 |
| 定置 | 4,490 | 3,114 | 1,381 | 3,826 | 8,527 | 5,099 | 3,751 | 4,603 | 4,419 | 4,034 | 5,982 | 3,528 | 4,620 | 9,254 | 8,789 | 5,889 | 2,034 | 1,796 | 2,105 | 1,512 | 1,986 | 2,144 | 981 |
| その他 | 615 | 904 | 465 | 902 | 1,689 | 2,114 | 1,798 | 2,695 | 1,826 | 1,035 | 229 | 236 | 92 | 165 | 477 | 375 | 270 | 478 | 180 | 158 | 63 | 92 | 50 |
| 宮城 | 94 | 130 | 48 | 65 | 76 | 234 | 222 | 233 | 261 | 329 | 261 | 259 | 152 | 799 | 749 | 517 | 195 | 207 | 240 | 101 | 165 | 221 | 161 |
| 小底 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 30 | 16 | 1 | 21 | 18 | 22 | 13 | 8 | 7 | 5 | 2 | 1 | 1 |
| 刺網 | 13 | 93 | 3 | 22 | 28 | 68 | 82 | 40 | 44 | 6 | 34 | 67 | 231 | 602 | 370 | 337 | 299 | 183 | 306 | 411 | 354 | 585 | 202 |
| 延縄 | 1,211 | 1,422 | 1,180 | 2,306 | 2,743 | 3,979 | 4,003 | 3,982 | 2,259 | 2,178 | 4,314 | 1,012 | 1,230 | 3,242 | 3,363 | 2,797 | 1,019 | 718 | 608 | 360 | 388 | 418 | 172 |
| 定置 | 693 | 674 | 923 | 1,478 | 1,256 | 1,591 | 1,009 | 1,271 | 565 | 1,145 | 579 | 0 | 0 | 0 | 45 | 144 | 94 | 76 | 86 | 90 | 127 | 67 | 52 |
| その他 | 81 | 34 | 33 | 91 | 70 | 99 | 46 | 37 | 70 | 71 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 5 | 1 | 3 | 4 |
| 福島 | 46 | 19 | 37 | 49 | 115 | 137 | 131 | 50 | 59 | 24 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 4 | 3 | 10 | 0 |
| 小底 | 32 | 47 | 38 | 73 | 128 | 130 | 63 | 114 | 63 | 61 | 52 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 刺網 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 延縄 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 定置 | 46 | 18 | 3 | 24 | 52 | 10 | 3 | 3 | 2 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| その他 | 8 | 4 | 3 | 12 | 15 | 13 | 9 | 8 | 14 | 18 | 29 | 18 | 0 | 0 | 52 | 91 | 37 | 17 | 2 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 茨城 | 34 | 8 | 9 | 80 | 81 | 19 | 10 | 19 | 19 | 26 | 28 | 28 | 2 | 0 | 48 | 48 | 21 | 11 | 9 | 6 | 1 | 0 | 0 |
| 小底 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 刺網 | 69 | 38 | 19 | 53 | 179 | 95 | 68 | 102 | 48 | 17 | 30 | 24 | 1 | 0 | 12 | 33 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 延縄 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 定置 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| その他 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

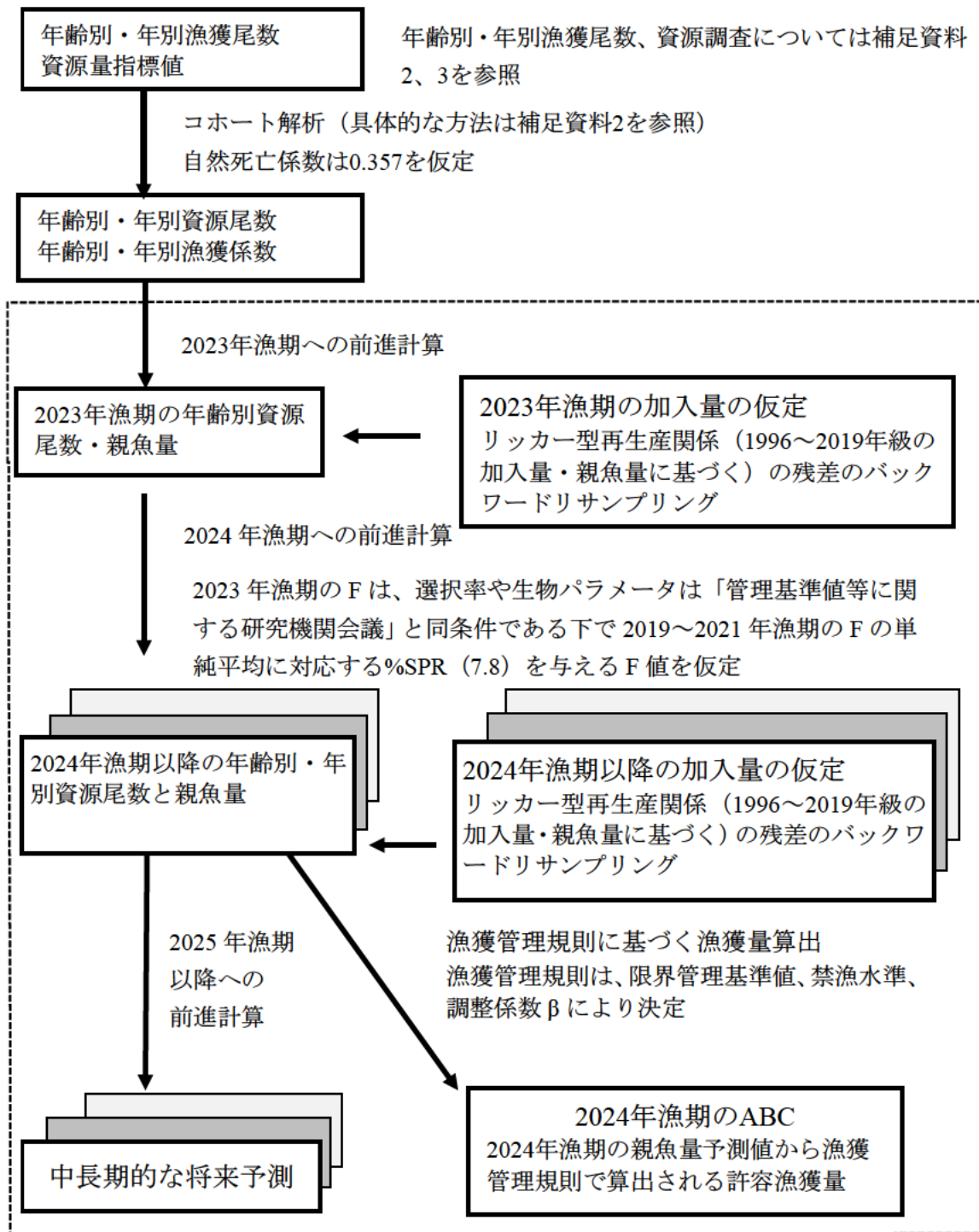
各年水試調べ

表 4-1. マダラ本州太平洋北部系群の資源量解析結果

| 漁期年 | 漁獲量 (百トン) | 資源量 (百トン) | 親魚量 (百トン) | 加入量(1歳 魚、百万尾) | 漁獲割合 (%) | F単純平 均 | 再生産成 功率 (尾/kg) | F/Fmsy | %SPR |
|------|--------------|--------------|--------------|------------------|-------------|-----------|----------------------|--------|------|
| 1996 | 76 | 234 | 91 | 11 | 33 | 0.63 | | 0.68 | 11.9 |
| 1997 | 136 | 322 | 104 | 38 | 42 | 0.96 | 4.2 | 1.03 | 5.7 |
| 1998 | 237 | 487 | 68 | 42 | 49 | 0.68 | 4.0 | 1.15 | 4.1 |
| 1999 | 200 | 439 | 104 | 27 | 46 | 0.69 | 3.9 | 1.13 | 4.3 |
| 2000 | 146 | 309 | 103 | 18 | 47 | 0.73 | 1.7 | 1.34 | 2.5 |
| 2001 | 124 | 270 | 127 | 17 | 46 | 0.98 | 1.6 | 1.08 | 5.0 |
| 2002 | 77 | 230 | 87 | 16 | 33 | 0.81 | 1.3 | 0.71 | 10.7 |
| 2003 | 145 | 341 | 112 | 38 | 43 | 0.79 | 4.3 | 0.96 | 6.5 |
| 2004 | 264 | 486 | 102 | 63 | 54 | 1.42 | 5.6 | 1.61 | 1.9 |
| 2005 | 203 | 464 | 71 | 47 | 44 | 0.71 | 4.6 | 1.12 | 4.5 |
| 2006 | 204 | 476 | 88 | 36 | 43 | 0.92 | 5.1 | 1.15 | 4.3 |
| 2007 | 234 | 605 | 143 | 46 | 39 | 0.63 | 5.3 | 0.89 | 7.7 |
| 2008 | 211 | 531 | 156 | 21 | 40 | 0.66 | 1.5 | 0.94 | 6.8 |
| 2009 | 218 | 542 | 184 | 41 | 40 | 0.91 | 2.7 | 0.98 | 6.1 |
| 2010 | 258 | 597 | 155 | 29 | 43 | 0.98 | 1.6 | 0.95 | 6.6 |
| 2011 | 153 | 602 | 143 | 43 | 25 | 0.50 | 2.8 | 0.54 | 15.9 |
| 2012 | 204 | 665 | 129 | 36 | 31 | 0.58 | 2.5 | 0.70 | 11.2 |
| 2013 | 309 | 836 | 176 | 33 | 37 | 0.68 | 2.6 | 1.01 | 5.7 |
| 2014 | 281 | 585 | 196 | 31 | 48 | 1.01 | 1.7 | 1.33 | 3.2 |
| 2015 | 224 | 408 | 130 | 14 | 55 | 1.17 | 0.7 | 1.52 | 2.3 |
| 2016 | 101 | 234 | 51 | 12 | 43 | 1.05 | 0.9 | 1.21 | 4.0 |
| 2017 | 75 | 202 | 51 | 17 | 37 | 0.71 | 3.3 | 0.94 | 6.7 |
| 2018 | 104 | 225 | 51 | 16 | 46 | 0.99 | 3.1 | 1.33 | 3.2 |
| 2019 | 66 | 189 | 38 | 14 | 35 | 0.79 | 2.7 | 0.86 | 7.8 |
| 2020 | 71 | 224 | 49 | 14 | 32 | 0.55 | 3.8 | 0.88 | 7.8 |
| 2021 | 73 | 238 | 76 | 5 | 30 | 0.57 | 1.0 | 0.89 | 7.6 |
| 2022 | 65 | 174 | 99 | 3 | 37 | 0.62 | 0.4 | 0.85 | 8.1 |

再生産成功率は各漁期年における1歳魚の資源尾数を前年の親魚量で除した値である。

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) 資源計算方法

1996～2022 年の 1～6+歳（6 歳以上をまとめて 6+（プラスグループ）と表記する）の漁期年別の資源尾数、漁獲係数および資源量をコホート解析により推定した。1996 年以降に着底トロール調査および市場で買い付けたマダラの年齢を査定し、年別半期別に Age length key を作成した。また、漁期年を 4 月～翌年 3 月とし、上半期を 4～9 月、下半期を 10 月～翌年 3 月とした。1996～2015 年は青森県および宮城県、2016 年以降は青森県、岩手県および宮城県に水揚げされたマダラの漁獲物の体長組成を求め、Age length key の結果と併せて半期別の年齢別漁獲尾数を推定した（補足表 2-1）。得られた年齢別漁獲尾数を用いて、以下に示す VPA により年別年齢別資源尾数を推定した。東北海域のマダラは 8 歳頃まで生きることが報告されているが、7 歳以上の個体が非常に少ないことから、ここでは 6 歳以上をプラスグループとした。寿命は 7 歳とし、田内・田中の式（田中 1960）より自然死亡係数は $2.5/7=0.357$ で一定とした。また、着底トロール調査で得られた年齢別現存量を指標値としてチューニングを行った。

Pope の近似式を用いた資源尾数の計算（ステップ 1）

各年齢、各年における資源尾数 $N_{a,y}$ を、以下の Pope (1972) の近似式を用いて計算した。

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

ここで $N_{a,y}$ は y 年における a 歳魚の資源尾数、 $C_{a,y}$ は y 年における a 歳魚の漁獲尾数である。最近年（2022 年漁期）、最高齢（6 歳、プラスグループ）および最高齢-1 歳魚の資源尾数はそれぞれ以下の式で求めた。

$$N_{a,2022} = C_{a,2022} \exp(M/2) / (1 - \exp(-F_{a,2022})) \quad (2)$$

$$N_{6+,y} = C_{6+,y} / (C_{6+,y} + C_{5,y}) \times N_{6+,y+1} \times \exp(M) + C_{6+,y} \times \exp(M/2) \quad (3)$$

$$N_{5,y} = C_{6+,y} / (C_{6+,y} + C_{5,y}) \times N_{6+,y+1} \times \exp(M) + C_{5,y} \times \exp(M/2) \quad (4)$$

ターミナル F を除く漁獲死亡係数 F 値の計算は (5) 式で求めた。

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

最高齢の F は最高齢-1 歳魚の F と等しくなるように求めた。コホート解析における最近年である 2022 年漁期の F は、1～5 歳魚では近年 3 年間（2019～2021 年漁期）の F の平均値とした。プラスグループ（最高齢）の F では、最高齢-1 歳と等しくなるように探索的に求めた。その後、ステップ 2 の方法により最近年の F を調整した。

最近年の F の調整（ステップ 2）

チューニング指数とした年齢別の資源量指標値には、着底トロール調査で得られた各年 10 月の 1～6 歳以上の年齢別現存尾数（補足表 2-1）に各年の年齢別体重を乗じたものを用

いた。

最近年（2022年漁期）の各年齢の漁獲係数 F を以下のようにチューニングし、資源尾数および F を推定した。最近年の1～6歳以上の F の年齢別選択率には、チューニングをしない VPA（ステップ1）から推定された2019～2021年の平均値を用いた。平松（2001）に基づき、(6) 式を最小化する最近年の q および F_t をそれぞれ解析的および探索的に求めた。

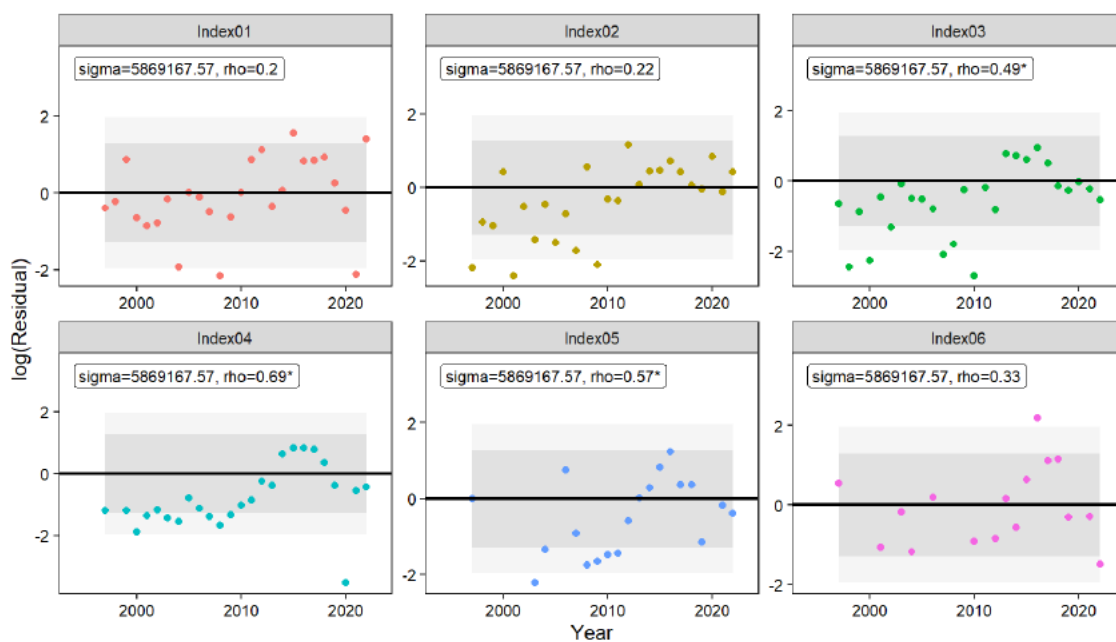
$$\sum_a \sum_y (I_{a,y} - q_a B_{a,y})^2 \quad (6)$$

ここで a は年齢、 y は年、 I は1996～2022年漁期におけるトロール調査による現存量、 B は VPA による資源量である。

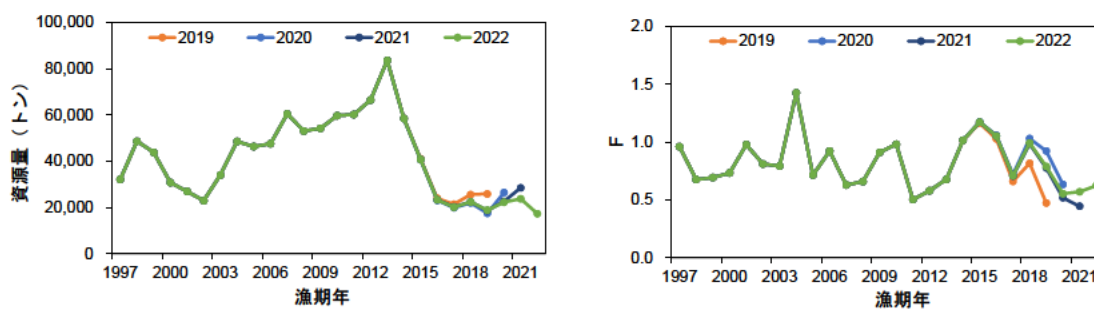
「令和5（2023）年資源評価におけるモデル診断の手順と診断結果の提供指針（FRA-SA2023-ABCWG02-03）」に従って、本系群の評価に用いた VPA の統計学的妥当性や仮定に対する頑健性について診断した。指標値の観測値とモデルの予測値の残差では、各年齢ともに年変動が大きく、残差も大きい傾向にあった（補足図2-1）。各漁期年のデータの追加、更新の影響を検証するレトロスペクティブ解析では、資源量、 F 値ともに2018年漁期では解離が大きかったが、その後は安定した（補足図2-2）。

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」. 日本水産資源保護協会, 104-129.
- Pope, J. G (1972) An investigation of accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. Res. Bull. int. comm. Northw. Atlant. Fish., **9**, 65-74.
- 田中昌一（1960）水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海水研報, **28**, 1-200.



補足図 2-1. 資源量指標値の観測値とモデルの期待値の差を示す残差プロット
 Index01～Index06 はそれぞれ 1 歳魚～6 歳以上を示す。



補足図 2-2. 資源量 (左) および F (右) のレトロスペクティブ解析結果

補足表 2-1. コホート解析に用いたデータ (1996~2010 年漁期)

| 年齢別漁獲尾数 (千尾) | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 年齢 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
| 1 | 1,745 | 8,938 | 20,378 | 11,396 | 9,537 | 8,905 | 5,951 | 18,878 | 39,039 | 23,528 | 12,633 | 19,932 | 4,898 | 12,051 | 7,069 |
| 2 | 2,753 | 2,684 | 10,145 | 6,658 | 4,790 | 1,946 | 1,442 | 2,374 | 4,551 | 4,747 | 5,388 | 6,495 | 8,362 | 3,643 | 9,104 |
| 3 | 534 | 884 | 977 | 1,986 | 1,530 | 724 | 233 | 584 | 1,058 | 1,536 | 2,080 | 1,339 | 1,428 | 1,442 | 1,784 |
| 4 | 335 | 892 | 149 | 256 | 737 | 387 | 252 | 239 | 460 | 349 | 627 | 330 | 752 | 1,112 | 593 |
| 5 | 140 | 296 | 78 | 112 | 66 | 390 | 191 | 321 | 280 | 56 | 164 | 161 | 277 | 639 | 409 |
| 6以上 | 42 | 50 | 40 | 52 | 50 | 129 | 89 | 33 | 101 | 15 | 40 | 29 | 67 | 142 | 129 |
| 合計 | 5,548 | 13,743 | 31,766 | 20,460 | 16,710 | 12,481 | 8,157 | 22,430 | 45,489 | 30,231 | 20,931 | 28,286 | 15,784 | 19,031 | 19,087 |

| 年齢別平均体重 (g) | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 年齢 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
| 1 | 287 | 287 | 288 | 296 | 216 | 294 | 283 | 287 | 287 | 299 | 326 | 355 | 320 | 359 | 358 |
| 2 | 1,229 | 1,229 | 1,396 | 1,365 | 1,094 | 1,645 | 1,595 | 1,584 | 1,498 | 1,484 | 1,309 | 1,526 | 1,249 | 1,346 | 1,318 |
| 3 | 2,381 | 2,381 | 2,371 | 2,676 | 2,372 | 2,752 | 2,679 | 2,653 | 2,560 | 2,732 | 2,336 | 2,844 | 2,673 | 2,371 | 2,788 |
| 4 | 3,930 | 3,930 | 4,379 | 4,765 | 3,882 | 3,784 | 4,459 | 4,900 | 5,091 | 4,474 | 5,012 | 4,109 | 4,050 | 3,462 | 4,614 |
| 5 | 5,825 | 5,825 | 5,841 | 5,591 | 5,980 | 5,475 | 6,054 | 7,247 | 7,721 | 6,606 | 5,504 | 6,059 | 5,913 | 5,854 | 6,509 |
| 6以上 | 8,110 | 8,110 | 7,286 | 8,174 | 7,769 | 7,573 | 8,869 | 8,982 | 11,099 | 8,174 | 8,110 | 7,929 | 8,174 | 11,035 | 7,300 |

| 年齢別成熟割合 | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 年齢 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0.44 | 0.41 | 0.50 | 0.35 | 0.24 | 0.73 | 0.43 | 0.66 | 0.41 | 0.25 | 0.18 | 0.50 | 0.16 | 0.39 | 0.33 |
| 4 | 0.96 | 0.90 | 0.77 | 0.93 | 0.84 | 0.92 | 0.84 | 0.89 | 0.86 | 0.94 | 0.78 | 0.91 | 0.95 | 0.86 | 0.86 |
| 5 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 6以上 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

| 漁獲死亡係数 (F) | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 年齢 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
| 1 | 0.21 | 0.33 | 0.87 | 0.71 | 1.03 | 1.01 | 0.58 | 0.91 | 1.33 | 0.90 | 0.54 | 0.73 | 0.33 | 0.43 | 0.35 |
| 2 | 0.78 | 0.73 | 1.01 | 1.03 | 0.97 | 0.75 | 0.52 | 0.60 | 0.71 | 0.66 | 0.65 | 0.75 | 1.02 | 0.53 | 0.86 |
| 3 | 0.28 | 0.78 | 0.81 | 0.67 | 0.90 | 0.44 | 0.21 | 0.50 | 0.74 | 0.70 | 0.88 | 0.40 | 0.44 | 0.57 | 0.67 |
| 4 | 0.45 | 1.45 | 0.33 | 0.64 | 0.70 | 0.76 | 0.32 | 0.43 | 1.32 | 0.73 | 0.89 | 0.39 | 0.49 | 0.94 | 0.60 |
| 5 | 1.04 | 1.24 | 0.52 | 0.56 | 0.39 | 1.45 | 1.62 | 1.16 | 2.22 | 0.65 | 1.28 | 0.76 | 0.84 | 1.50 | 1.70 |
| 6以上 | 1.04 | 1.24 | 0.52 | 0.56 | 0.39 | 1.45 | 1.62 | 1.16 | 2.22 | 0.65 | 1.28 | 0.76 | 0.84 | 1.50 | 1.70 |
| 平均 | 0.63 | 0.96 | 0.68 | 0.69 | 0.73 | 0.98 | 0.81 | 0.79 | 1.42 | 0.71 | 0.92 | 0.63 | 0.66 | 0.91 | 0.98 |

| チューニング指標値 (調査現存量) | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|
| 年齢 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
| 1 | 301 | 4,451 | 5,895 | 11,509 | 1,212 | 1,272 | 1,262 | 5,530 | 1,591 | 8,434 | 6,285 | 5,661 | 448 | 4,882 | 6,362 |
| 2 | 4,141 | 692 | 8,191 | 4,663 | 11,485 | 539 | 3,146 | 1,914 | 7,763 | 3,033 | 6,462 | 3,098 | 22,259 | 1,446 | 14,211 |
| 3 | 869 | 1,843 | 330 | 4,096 | 588 | 3,190 | 795 | 3,220 | 2,828 | 4,415 | 3,292 | 1,233 | 1,507 | 5,573 | 655 |
| 4 | 1,371 | 662 | | 374 | 367 | 326 | 615 | 362 | 300 | 693 | 812 | 439 | 592 | 762 | 1,071 |
| 5 | 635 | 978 | | | | | | 81 | 177 | | 1,307 | 219 | 110 | 240 | 203 |
| 6以上 | 0 | 467 | | | | 250 | | 188 | 225 | | 263 | | | | 262 |

| チューニングVPAによって推定した資源尾数 (千尾) | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 年齢 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
| 1 | 10,952 | 37,970 | 42,010 | 26,787 | 17,692 | 16,725 | 16,101 | 37,797 | 63,456 | 47,382 | 36,209 | 46,410 | 21,381 | 42,394 | 28,960 |
| 2 | 6,082 | 6,205 | 19,094 | 12,351 | 9,211 | 4,403 | 4,254 | 6,289 | 10,657 | 11,748 | 13,475 | 14,771 | 15,803 | 10,864 | 19,585 |
| 3 | 2,631 | 1,953 | 2,096 | 4,875 | 3,073 | 2,439 | 1,453 | 1,771 | 2,415 | 3,651 | 4,250 | 4,922 | 4,903 | 4,064 | 4,555 |
| 4 | 1,112 | 1,395 | 627 | 650 | 1,750 | 870 | 1,101 | 822 | 751 | 805 | 1,269 | 1,234 | 2,325 | 2,236 | 1,637 |
| 5 | 259 | 498 | 230 | 314 | 241 | 608 | 285 | 560 | 375 | 141 | 272 | 364 | 587 | 997 | 635 |
| 6以上 | 78 | 84 | 118 | 145 | 184 | 201 | 132 | 58 | 136 | 39 | 66 | 66 | 141 | 222 | 200 |
| 合計 | 21,114 | 48,104 | 64,175 | 45,122 | 32,151 | 25,245 | 23,326 | 47,296 | 77,789 | 63,765 | 55,541 | 67,766 | 45,140 | 60,778 | 55,571 |

| チューニングVPAによって推定した資源量 (トン) | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 年齢 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
| 1 | 3,148 | 10,914 | 12,103 | 7,920 | 3,827 | 4,921 | 4,563 | 10,864 | 18,240 | 14,157 | 11,802 | 16,498 | 6,841 | 15,236 | 10,377 |
| 2 | 7,474 | 7,625 | 26,655 | 16,865 | 10,075 | 7,242 | 6,786 | 9,962 | 15,960 | 17,429 | 17,639 | 22,542 | 19,741 | 14,623 | 25,820 |
| 3 | 6,264 | 4,650 | 4,971 | 13,044 | 7,289 | 6,712 | 3,892 | 4,698 | 6,183 | 9,973 | 9,928 | 14,001 | 13,104 | 9,633 | 12,699 |
| 4 | 4,369 | 5,482 | 2,747 | 3,097 | 6,794 | 3,294 | 4,908 | 4,027 | 3,823 | 3,600 | 6,362 | 5,069 | 9,414 | 7,741 | 7,552 |
| 5 | 1,506 | 2,900 | 1,343 | 1,756 | 1,439 | 3,328 | 1,728 | 4,056 | 2,894 | 929 | 1,495 | 2,206 | 3,473 | 5,839 | 4,132 |
| 6以上 | 635 | 678 | 861 | 1,187 | 1,433 | 1,519 | 1,174 | 521 | 1,507 | 317 | 533 | 521 | 1,156 | 2,451 | 1,457 |
| 合計 | 23,397 | 32,249 | 48,680 | 43,870 | 30,857 | 27,015 | 23,050 | 34,129 | 48,607 | 46,405 | 47,759 | 60,836 | 53,729 | 55,524 | 62,037 |

注) 資源尾数に各年各年齢の平均体重を乗じたもの。

補足表 2-1. コホート解析に用いたデータ (2011~2022 年漁期)

| 年齢別漁獲尾数 (千尾) | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 年齢 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| 1 | 6,606 | 3,232 | 12,656 | 8,815 | 2,231 | 949 | 4,568 | 2,545 | 2,042 | 6,010 | 2,029 | 1,023 |
| 2 | 3,063 | 9,067 | 10,212 | 5,903 | 8,092 | 3,232 | 2,749 | 4,020 | 3,150 | 1,680 | 1,729 | 531 |
| 3 | 1,720 | 1,691 | 2,056 | 2,490 | 1,671 | 1,218 | 972 | 1,312 | 687 | 1,028 | 977 | 586 |
| 4 | 575 | 851 | 1,467 | 2,913 | 1,873 | 696 | 482 | 663 | 330 | 416 | 439 | 754 |
| 5 | 262 | 319 | 485 | 897 | 751 | 349 | 158 | 244 | 181 | 120 | 142 | 385 |
| 6以上 | 44 | 121 | 110 | 240 | 174 | 118 | 36 | 59 | 50 | 22 | 65 | 77 |
| 合計 | 12,269 | 15,280 | 26,986 | 21,258 | 14,792 | 6,562 | 8,965 | 8,843 | 6,441 | 9,276 | 5,381 | 3,356 |

| 年齢別平均体重 (g) | | | | | | | | | | | | |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 年齢 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| 1 | 349 | 224 | 288 | 218 | 241 | 284 | 243 | 243 | 220 | 302 | 387 | 345 |
| 2 | 1,445 | 1,045 | 1,266 | 990 | 867 | 850 | 789 | 819 | 804 | 813 | 985 | 750 |
| 3 | 2,541 | 2,411 | 2,503 | 1,979 | 2,128 | 1,791 | 1,776 | 2,040 | 1,908 | 1,832 | 2,093 | 1,971 |
| 4 | 3,827 | 3,916 | 3,855 | 3,108 | 3,436 | 3,422 | 3,027 | 3,345 | 3,186 | 3,106 | 3,356 | 2,999 |
| 5 | 6,443 | 5,633 | 5,460 | 4,996 | 4,913 | 5,021 | 4,828 | 4,798 | 4,813 | 5,089 | 4,718 | 4,398 |
| 6以上 | 8,110 | 8,627 | 7,748 | 7,762 | 6,891 | 6,636 | 7,044 | 7,022 | 7,033 | 7,689 | 8,797 | 8,005 |

| 年齢別成熟割合 | | | | | | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 年齢 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0.31 | 0.09 | 0.02 | 0.06 | 0.04 | 0.01 | 0.20 | 0.08 | 0.06 | 0.18 | 0.17 | 0.17 |
| 4 | 0.87 | 0.61 | 0.70 | 0.59 | 0.55 | 0.34 | 0.64 | 0.54 | 0.60 | 0.57 | 0.62 | 0.73 |
| 5 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 6以上 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

| 漁獲死亡係数 (F) | | | | | | | | | | | | |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 年齢 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| 1 | 0.20 | 0.11 | 0.61 | 0.42 | 0.21 | 0.10 | 0.39 | 0.22 | 0.20 | 0.69 | 0.67 | 0.51 |
| 2 | 0.30 | 0.58 | 0.78 | 0.83 | 1.17 | 0.66 | 0.60 | 0.93 | 0.56 | 0.29 | 0.52 | 0.45 |
| 3 | 0.46 | 0.32 | 0.29 | 0.54 | 0.75 | 0.65 | 0.52 | 0.83 | 0.47 | 0.42 | 0.33 | 0.40 |
| 4 | 0.58 | 0.54 | 0.64 | 1.17 | 1.43 | 1.09 | 0.72 | 1.08 | 0.62 | 0.73 | 0.39 | 0.57 |
| 5 | 0.74 | 0.96 | 0.86 | 1.56 | 1.74 | 1.91 | 1.01 | 1.45 | 1.44 | 0.59 | 0.76 | 0.91 |
| 6以上 | 0.74 | 0.96 | 0.86 | 1.56 | 1.74 | 1.91 | 1.01 | 1.45 | 1.44 | 0.59 | 0.76 | 0.91 |
| | 0.50 | 0.58 | 0.68 | 1.01 | 1.17 | 1.05 | 0.71 | 0.99 | 0.79 | 0.55 | 0.57 | 0.62 |

| チューニング指標値 (調査現存量) | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|
| 年齢 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| 1 | 22,846 | 15,017 | 4,046 | 4,303 | 9,692 | 4,513 | 5,794 | 5,836 | 2,441 | 1,744 | 149 | 1,495 |
| 2 | 11,287 | 64,404 | 23,311 | 14,498 | 14,432 | 10,462 | 6,559 | 5,275 | 5,248 | 11,682 | 3,636 | 81 |
| 3 | 9,018 | 6,054 | 38,816 | 21,478 | 10,967 | 10,341 | 6,300 | 3,707 | 2,410 | 4,837 | 5,455 | 711 |
| 4 | 1,127 | 3,748 | 4,445 | 16,033 | 13,142 | 5,576 | 4,082 | 2,917 | 837 | 23 | 1,445 | 1,948 |
| 5 | 217 | 601 | 1,907 | 3,332 | 5,251 | 4,115 | 780 | 1,001 | 107 | | 417 | 1,309 |
| 6以上 | | 443 | 854 | 722 | 1,304 | 3,235 | 549 | 761 | 178 | | 426 | 422 |

| チューニングVPAによって推定した資源尾数 (千尾) | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 年齢 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| 1 | 42,765 | 33,967 | 31,333 | 30,583 | 14,063 | 11,517 | 16,752 | 15,569 | 13,605 | 14,092 | 4,938 | 3,093 |
| 2 | 13,950 | 23,877 | 21,158 | 12,461 | 14,045 | 7,975 | 7,265 | 7,888 | 8,766 | 7,787 | 5,093 | 1,758 |
| 3 | 5,572 | 6,957 | 9,386 | 7,170 | 3,793 | 3,061 | 2,878 | 2,777 | 2,158 | 3,460 | 4,117 | 2,117 |
| 4 | 1,594 | 2,325 | 3,503 | 5,030 | 2,939 | 1,257 | 1,124 | 1,198 | 846 | 926 | 1,606 | 2,064 |
| 5 | 616 | 589 | 940 | 1,355 | 1,089 | 490 | 298 | 382 | 284 | 311 | 318 | 757 |
| 6以上 | 103 | 223 | 213 | 362 | 252 | 166 | 68 | 93 | 78 | 58 | 146 | 151 |
| 合計 | 64,601 | 67,938 | 66,533 | 56,961 | 36,182 | 24,467 | 28,385 | 27,906 | 25,736 | 26,635 | 16,217 | 9,940 |

| チューニングVPAによって推定した資源量 (トン) | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 年齢 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| 1 | 14,923 | 7,612 | 9,027 | 6,659 | 3,383 | 3,268 | 4,069 | 3,782 | 2,986 | 4,256 | 1,911 | 1,068 |
| 2 | 20,157 | 24,949 | 26,776 | 12,342 | 12,174 | 6,781 | 5,735 | 6,463 | 7,051 | 6,331 | 5,016 | 1,318 |
| 3 | 14,159 | 16,773 | 23,491 | 14,191 | 8,073 | 5,482 | 5,111 | 5,664 | 4,116 | 6,339 | 8,616 | 4,173 |
| 4 | 6,098 | 9,105 | 13,503 | 15,636 | 10,100 | 4,302 | 3,402 | 4,008 | 2,694 | 2,878 | 5,389 | 6,189 |
| 5 | 3,969 | 3,317 | 5,132 | 6,768 | 5,350 | 2,462 | 1,437 | 1,831 | 1,368 | 1,585 | 1,501 | 3,327 |
| 6以上 | 838 | 1,926 | 1,649 | 2,808 | 1,740 | 1,098 | 480 | 653 | 552 | 446 | 1,282 | 1,210 |
| 合計 | 60,143 | 63,682 | 79,578 | 58,404 | 40,821 | 23,395 | 20,235 | 22,402 | 18,768 | 21,834 | 23,716 | 17,285 |

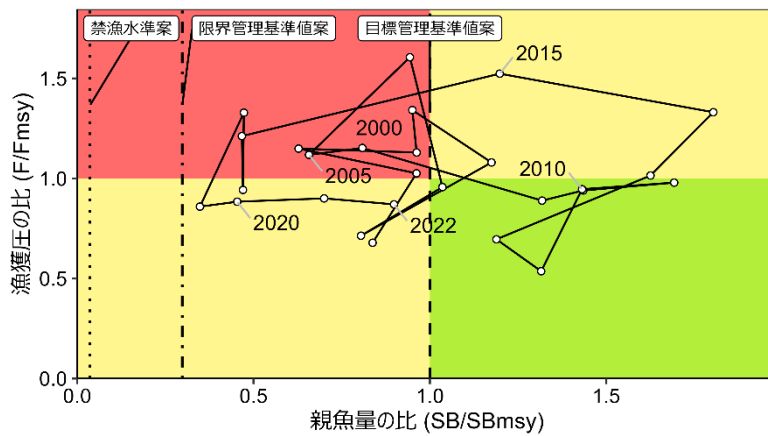
注) 資源尾数に各年各年齢の平均体重を乗じたもの。

補足資料 3 管理基準値案と禁漁水準案等

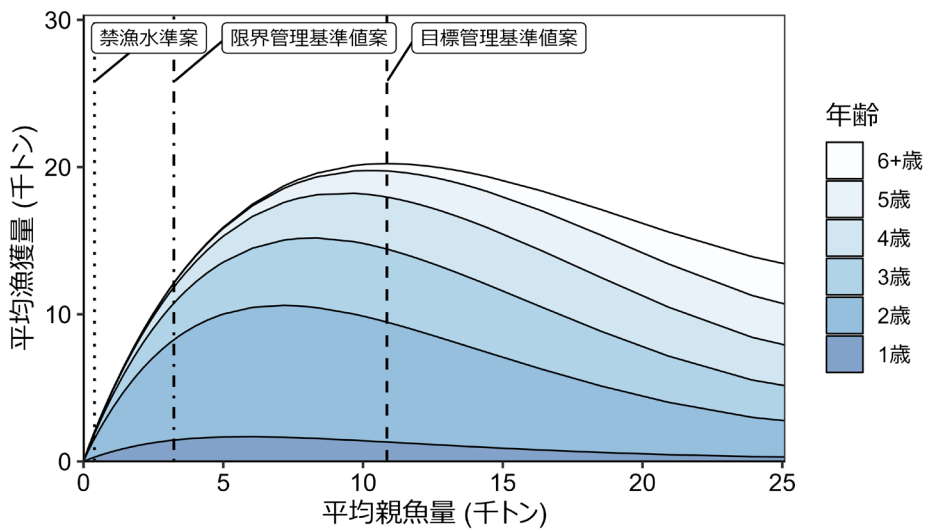
令和 2 年 8 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」により、目標管理基準値 (SBtarget)には MSY 水準における親魚量(SBmsy:10.9 千トン)、限界管理基準値(SBlimit)には MSY の 60%が得られる親魚量(SB0.6msy:3.2 千トン)、禁漁水準(SBban)には MSY の 10%が得られる親魚量(SB0.1msy:0.4 千トン)を用いることが提案されている(成松ほか 2021, 補足表 6-2)。

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 年漁期の親魚量(SB2022:9.9 千トン)は目標管理基準値案を下回るが、限界管理基準値案および禁漁水準案は上回る。本系群における 2019 年漁期～2022 年漁期の漁獲圧は、MSY を実現する漁獲圧を下回っていたと判断される(補足表 6-3)。

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。平均親魚量が限界管理基準値以下では 3 歳以下の個体がほとんどの割合を占めている。しかし、親魚量が増加するにつれて高年齢魚の比率が高くなる傾向がみられる。



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. 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 (漁獲量曲線)

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 年漁期の資源量から、コホート解析の前進法を用いて 2023～2054 年漁期までの将来予測計算を行った（補足資料 5 参照）。

本系群は年代によって成熟率が変化することが知られており、資源状態と関係が指摘されている（Narimatsu et al. 2010）。近年のデータでも年齢別資源尾数と成熟率には負の相関が認められており（補足資料 5）、将来予測には資源尾数の増減による年齢別成熟率の変化を考慮して親魚量を計算した。ただし、年齢別成熟率の最大値、最小値はそれぞれ過去に観測された値の範囲内にあると仮定した。

2023 年漁期の漁獲量は、予測される資源量と現状の漁獲圧（F2019-2021）から仮定した。2024 年漁期以降の漁獲圧には、各漁期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。

(3) 2024 年漁期の予測値

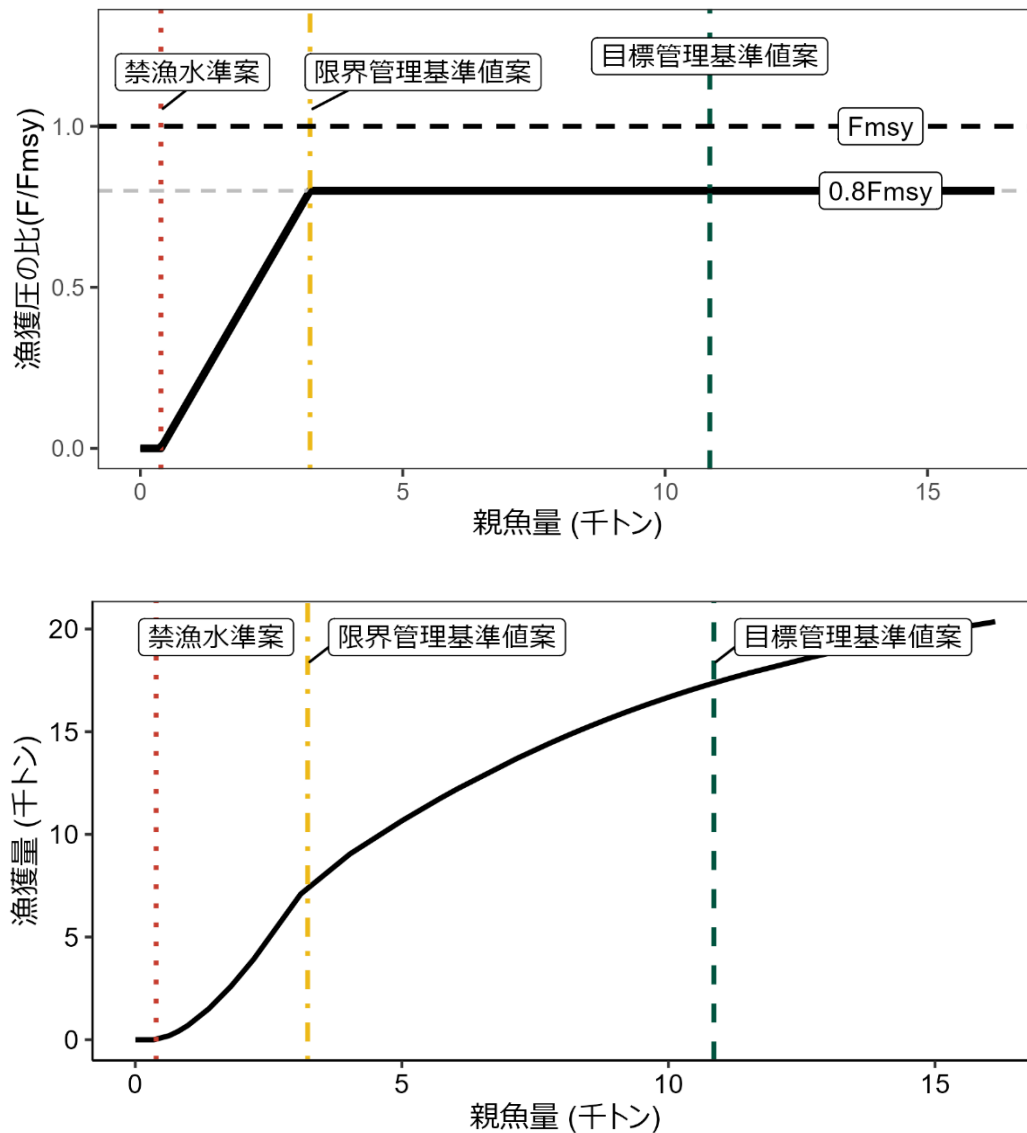
漁獲管理規則に基づき試算された 2024 年漁期の平均漁獲量は β を 0.8 とした場合には 6.3 千トン、 β を 1.0 とした場合には 7.3 千トンであった（補足表 6-4）。2024 年漁期に予測される親魚量は限界管理基準値を上回り、平均 4.8 千トンと見込まれた。

(4) 2025 年漁期以降の予測

2025 年漁期以降も含めた将来予測の結果を補足図 4-2 および補足表 4-2、4-3 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、2034 年漁期の親魚量の予測値は β を 0.8 とした場合には 10.4 千トン（90%予測区間は 4.1 千～18.8 千トン）であり、 β を 1.0 とした場合には 6.9 千トン（90%予測区間は 2.7 千～12.8 千トン）である（補足表 6-5）。予測値が目標管理基準値案を上回る確率は β が 0.75 以下で 50%を上回る。限界管理基準値案を上回る確率は β が 1.0 でも 50%を上回る。現状の漁獲圧（F2019-2021）を継続した場合の 2034 年漁期の親魚量の予測値は 8.2 千トン（90%予測区間は 3.0 千～15.2 千トン）であり、目標管理基準値案を上回る確率は 24%、限界管理基準値案を上回る確率は 93%である。

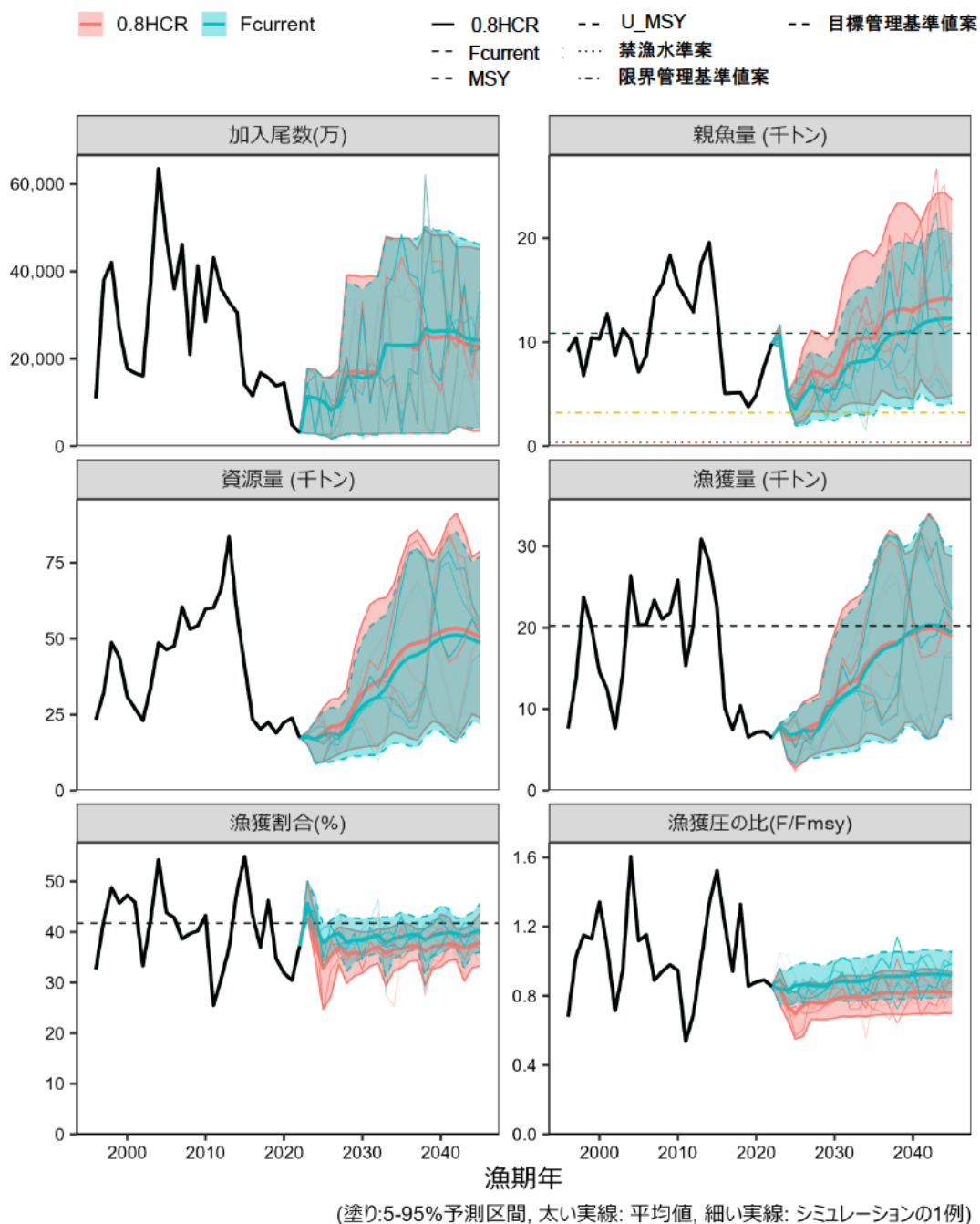
漁獲管理規則案に基づく管理を継続した場合、2024 年漁期以降で親魚量が目標管理基準値案を 50%以上の確率で上回る漁期年は、 β を 0.8 とした場合には 2044 年漁期になると予測された（補足表 6-5）。また、限界管理基準値を 50%以上の確率で上回る漁期年は、2024 年漁期と予測された。

なお、2021年漁期の資源評価結果に基づく将来予測では、 β を0.8とした場合に10年後の親魚量の予測値が目標管理基準値を上回る確率は56%であり、昨年の結果(48%)や本年の結果(41%)よりも高かった。この要因には、2022年、2023年ともにデータが加わることにより、1歳時の推定尾数が減少したことによる。



補足図 4-1. 漁獲管理規則 (HCR) 案

目標管理基準値案 (SBtarget) は RI 型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。調整係数 β には標準値である 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。



補足図 4-2. 漁獲管理規則 (HCR) 案を用いた将来予測 (赤線) と現状の漁獲圧で漁獲を続けた場合の将来予測 (青線)

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 5 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。

補足表 4-1. 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表 (成松ほか 2021)

| 年齢 | 自然死亡係数 | 成熟割合 (平均値) | 平均体重 (g) | 選択率 (注1) | Fcurrent (注2) |
|----|--------|------------|----------|----------|---------------|
| 1 | 0.357 | 0 | 285 | 0.16 | 0.23 |
| 2 | 0.357 | 0 | 1,239 | 0.53 | 0.74 |
| 3 | 0.357 | 0.22 | 2,402 | 0.48 | 0.68 |
| 4 | 0.357 | 0.73 | 3,999 | 0.66 | 0.93 |
| 5 | 0.357 | 1.00 | 5,788 | 1.00 | 1.40 |
| 6+ | 0.357 | 1.00 | 8,065 | 1.00 | 1.40 |

注1: MSYを実現する水準の推定の際に使用した選択率は、令和2(2021)年度でのFcurrentの選択率(2017~2019年漁期の平均Fの選択率)である。

注2: 令和2(2021)年度資源評価でのFcurrent(2017~2019年漁期の平均F値)。

補足表 4-2. 将来の親魚量が目標・限界管理基準値案を上回る確率

a) 目標管理基準値案を上回る確率 (%)

| β | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2044 | 2054 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 0 | 42 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 8 | 13 | 12 | 13 | 49 | 44 |
| 0.95 | 0 | 42 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 10 | 17 | 18 | 18 | 55 | 51 |
| 0.9 | 0 | 42 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 2 | 14 | 23 | 25 | 25 | 60 | 57 |
| 0.85 | 0 | 42 | 0 | 0 | 1 | 3 | 2 | 1 | 3 | 18 | 30 | 33 | 33 | 64 | 62 |
| 0.8 | 0 | 42 | 0 | 0 | 1 | 6 | 5 | 3 | 6 | 24 | 38 | 41 | 41 | 66 | 66 |
| 0.75 | 0 | 42 | 0 | 0 | 2 | 11 | 11 | 7 | 11 | 32 | 45 | 50 | 50 | 69 | 71 |
| 0.7 | 0 | 42 | 0 | 0 | 3 | 17 | 20 | 15 | 19 | 41 | 55 | 59 | 59 | 71 | 74 |
| 0.65 | 0 | 42 | 0 | 0 | 5 | 25 | 31 | 27 | 30 | 52 | 64 | 67 | 67 | 74 | 76 |
| 0.6 | 0 | 42 | 0 | 0 | 8 | 35 | 44 | 40 | 43 | 63 | 72 | 73 | 74 | 75 | 77 |
| 0.55 | 0 | 42 | 0 | 0 | 12 | 43 | 55 | 54 | 56 | 74 | 79 | 79 | 80 | 77 | 78 |
| 0.5 | 0 | 42 | 0 | 0 | 16 | 51 | 67 | 68 | 68 | 83 | 86 | 84 | 85 | 78 | 79 |
| 0.4 | 0 | 42 | 0 | 0 | 28 | 71 | 83 | 88 | 88 | 94 | 94 | 92 | 90 | 79 | 78 |
| 0.3 | 0 | 42 | 0 | 1 | 42 | 83 | 92 | 96 | 97 | 99 | 98 | 96 | 92 | 81 | 81 |
| 0.2 | 0 | 42 | 0 | 1 | 54 | 88 | 97 | 99 | 100 | 100 | 100 | 99 | 95 | 91 | 95 |
| 0.1 | 0 | 42 | 0 | 3 | 62 | 94 | 99 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 99 | 100 | 99 |
| 0 | 0 | 42 | 0 | 5 | 70 | 99 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| F2019-2021 | 0 | 42 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 11 | 20 | 22 | 24 | 59 | 56 |

b) 限界管理基準値案を上回る確率 (%)

| β | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2044 | 2054 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 1 | 100 | 100 | 100 | 42 | 77 | 87 | 87 | 79 | 81 | 89 | 91 | 91 | 90 | 96 | 97 |
| 0.95 | 100 | 100 | 100 | 45 | 79 | 90 | 90 | 85 | 85 | 92 | 93 | 93 | 93 | 97 | 97 |
| 0.9 | 100 | 100 | 100 | 49 | 80 | 93 | 92 | 89 | 89 | 94 | 95 | 95 | 95 | 98 | 98 |
| 0.85 | 100 | 100 | 100 | 53 | 82 | 94 | 94 | 92 | 92 | 96 | 96 | 97 | 97 | 98 | 99 |
| 0.8 | 100 | 100 | 100 | 57 | 83 | 95 | 96 | 94 | 95 | 97 | 97 | 98 | 98 | 99 | 99 |
| 0.75 | 100 | 100 | 100 | 62 | 85 | 96 | 97 | 96 | 97 | 98 | 99 | 99 | 99 | 99 | 99 |
| 0.7 | 100 | 100 | 100 | 69 | 87 | 97 | 98 | 98 | 98 | 99 | 99 | 99 | 99 | 99 | 99 |
| 0.65 | 100 | 100 | 100 | 75 | 90 | 98 | 99 | 99 | 99 | 99 | 100 | 100 | 100 | 99 | 99 |
| 0.6 | 100 | 100 | 100 | 81 | 92 | 98 | 99 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 99 | 99 |
| 0.55 | 100 | 100 | 100 | 90 | 96 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 99 | 99 |
| 0.5 | 100 | 100 | 100 | 99 | 99 | 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 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| F2019-2021 | 100 | 100 | 100 | 49 | 76 | 89 | 89 | 86 | 86 | 92 | 93 | 93 | 93 | 97 | 96 |

太字は漁獲管理規則に基づく管理開始から10年目となる目標年の値を示す。

補足表 4-3. 将来の親魚量および漁獲量の平均値の推移

a) 親魚量の平均値の推移 (千トン)

| β | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2044 | 2054 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|
| 1 | 9.9 | 10.7 | 4.8 | 3.3 | 4.8 | 5.6 | 5.2 | 4.6 | 5.0 | 6.4 | 7.0 | 6.9 | 6.9 | 10.6 | 10.3 |
| 0.95 | 9.9 | 10.7 | 4.8 | 3.4 | 5.0 | 5.9 | 5.6 | 5.0 | 5.4 | 6.9 | 7.6 | 7.6 | 7.7 | 11.5 | 11.1 |
| 0.9 | 9.9 | 10.7 | 4.8 | 3.5 | 5.2 | 6.3 | 6.0 | 5.5 | 5.9 | 7.5 | 8.4 | 8.5 | 8.5 | 12.3 | 12.0 |
| 0.85 | 9.9 | 10.7 | 4.8 | 3.7 | 5.4 | 6.7 | 6.5 | 6.1 | 6.4 | 8.1 | 9.2 | 9.4 | 9.4 | 13.3 | 12.9 |
| 0.8 | 9.9 | 10.7 | 4.8 | 3.8 | 5.7 | 7.1 | 7.1 | 6.7 | 7.0 | 8.8 | 10.0 | 10.4 | 10.4 | 14.2 | 13.8 |
| 0.75 | 9.9 | 10.7 | 4.8 | 4.0 | 6.0 | 7.6 | 7.8 | 7.4 | 7.6 | 9.6 | 11.0 | 11.5 | 11.6 | 15.2 | 14.8 |
| 0.7 | 9.9 | 10.7 | 4.8 | 4.1 | 6.3 | 8.2 | 8.5 | 8.2 | 8.4 | 10.4 | 12.1 | 12.7 | 12.9 | 16.3 | 15.9 |
| 0.65 | 9.9 | 10.7 | 4.8 | 4.3 | 6.7 | 8.8 | 9.3 | 9.1 | 9.3 | 11.4 | 13.3 | 14.0 | 14.2 | 17.4 | 17.0 |
| 0.6 | 9.9 | 10.7 | 4.8 | 4.5 | 7.0 | 9.5 | 10.3 | 10.1 | 10.3 | 12.5 | 14.6 | 15.4 | 15.7 | 18.7 | 18.2 |
| 0.55 | 9.9 | 10.7 | 4.8 | 4.6 | 7.4 | 10.3 | 11.3 | 11.3 | 11.5 | 13.8 | 15.9 | 16.9 | 17.2 | 20.1 | 19.5 |
| 0.5 | 9.9 | 10.7 | 4.8 | 4.8 | 7.9 | 11.2 | 12.5 | 12.7 | 13.0 | 15.2 | 17.5 | 18.4 | 18.7 | 21.7 | 21.0 |
| 0.4 | 9.9 | 10.7 | 4.8 | 5.2 | 8.8 | 13.2 | 15.5 | 16.2 | 16.6 | 18.7 | 20.9 | 21.5 | 21.5 | 25.3 | 24.5 |
| 0.3 | 9.9 | 10.7 | 4.8 | 5.6 | 10.0 | 15.7 | 19.4 | 20.9 | 21.6 | 23.4 | 24.9 | 24.6 | 23.6 | 29.7 | 29.4 |
| 0.2 | 9.9 | 10.7 | 4.8 | 6.1 | 11.2 | 18.8 | 24.6 | 27.5 | 29.0 | 30.2 | 30.3 | 27.9 | 24.7 | 36.0 | 38.9 |
| 0.1 | 9.9 | 10.7 | 4.8 | 6.6 | 12.7 | 22.6 | 31.5 | 36.9 | 39.9 | 40.6 | 38.4 | 32.8 | 26.6 | 49.9 | 59.0 |
| 0 | 9.9 | 10.7 | 4.8 | 7.1 | 14.3 | 27.3 | 40.8 | 50.6 | 56.7 | 57.7 | 53.1 | 44.1 | 34.3 | 80.3 | 64.8 |
| F2019-2021 | 9.9 | 10.7 | 4.8 | 3.5 | 4.9 | 5.8 | 5.6 | 5.2 | 5.6 | 7.1 | 8.0 | 8.1 | 8.2 | 12.3 | 11.9 |

b) 漁獲量の平均値の推移 (千トン)

| β | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | 2034 | 2044 | 2054 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------------|------|------|
| 1 | 6.5 | 7.9 | 7.3 | 6.2 | 7.7 | 7.5 | 7.6 | 9.2 | 10.3 | 11.3 | 11.7 | 12.3 | 14.4 | 19.9 | 19.8 |
| 0.95 | 6.5 | 7.9 | 7.1 | 6.3 | 7.6 | 7.6 | 7.7 | 9.5 | 10.6 | 11.7 | 12.1 | 12.7 | 14.8 | 19.9 | 19.8 |
| 0.9 | 6.5 | 7.9 | 6.8 | 6.3 | 7.6 | 7.7 | 7.9 | 9.7 | 10.9 | 12.0 | 12.5 | 13.1 | 15.1 | 19.8 | 19.7 |
| 0.85 | 6.5 | 7.9 | 6.6 | 6.3 | 7.6 | 7.8 | 8.1 | 9.9 | 11.1 | 12.3 | 12.9 | 13.4 | 15.3 | 19.7 | 19.5 |
| 0.8 | 6.5 | 7.9 | 6.3 | 6.3 | 7.5 | 7.9 | 8.3 | 10.0 | 11.4 | 12.6 | 13.3 | 13.8 | 15.5 | 19.4 | 19.3 |
| 0.75 | 6.5 | 7.9 | 6.0 | 6.2 | 7.4 | 8.0 | 8.4 | 10.2 | 11.5 | 12.8 | 13.6 | 14.0 | 15.6 | 19.1 | 18.9 |
| 0.7 | 6.5 | 7.9 | 5.8 | 6.2 | 7.4 | 8.0 | 8.6 | 10.3 | 11.6 | 13.0 | 13.8 | 14.2 | 15.6 | 18.6 | 18.4 |
| 0.65 | 6.5 | 7.9 | 5.5 | 6.1 | 7.3 | 8.1 | 8.7 | 10.3 | 11.7 | 13.0 | 13.9 | 14.2 | 15.4 | 18.1 | 17.9 |
| 0.6 | 6.5 | 7.9 | 5.1 | 5.9 | 7.1 | 8.1 | 8.8 | 10.4 | 11.7 | 13.0 | 13.9 | 14.1 | 15.2 | 17.5 | 17.3 |
| 0.55 | 6.5 | 7.9 | 4.8 | 5.7 | 7.0 | 8.1 | 8.8 | 10.3 | 11.5 | 12.8 | 13.7 | 13.9 | 14.7 | 15.1 | 16.9 |
| 0.5 | 6.5 | 7.9 | 4.5 | 5.5 | 6.8 | 8.0 | 8.9 | 10.2 | 11.3 | 12.5 | 13.3 | 13.4 | 14.1 | 16.2 | 15.9 |
| 0.4 | 6.5 | 7.9 | 3.7 | 4.9 | 6.2 | 7.7 | 8.7 | 9.9 | 10.6 | 11.4 | 12.0 | 11.9 | 12.3 | 14.5 | 14.3 |
| 0.3 | 6.5 | 7.9 | 2.9 | 4.0 | 5.4 | 7.0 | 8.2 | 9.1 | 9.5 | 9.8 | 9.9 | 9.6 | 9.6 | 12.0 | 12.3 |
| 0.2 | 6.5 | 7.9 | 2.0 | 3.0 | 4.2 | 5.7 | 7.0 | 7.7 | 7.9 | 7.8 | 7.5 | 6.8 | 6.4 | 9.1 | 10.3 |
| 0.1 | 6.5 | 7.9 | 1.1 | 1.7 | 2.5 | 3.6 | 4.5 | 5.1 | 5.2 | 5.0 | 4.5 | 3.9 | 3.3 | 6.0 | 7.7 |
| 0 | 6.5 | 7.9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F2019-2021 | 6.5 | 7.9 | 6.8 | 6.9 | 7.4 | 7.3 | 7.6 | 9.4 | 10.6 | 11.5 | 12.1 | 12.8 | 14.9 | 19.9 | 19.8 |

太字は漁獲管理規則案に基づく管理開始から10年目となる目標年の値を示す。

補足資料 5 将来予測の方法

得られた資源量をもとに漁獲管理規則案に基づく将来予測を行った。2023年以降の加入量予測については、令和3年8月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」において提案された1996～2018年級の親魚量と1997～2019年漁期の加入量に基づくリッカー型再生産関係 ($a=9,116$, $b=1.15 \times 10^{-4}$, $SD=0.36$) に基づいている。ただし、2014年級の加入量(2015年漁期の1歳魚の加入尾数)から再生産関係から予測されるより低い加入量が続けている(図4-11)。今後も同様の傾向が続くことが予測されることから、近年における加

入状況を取り入れた将来予測を行った。2023 年漁期以降の加入量を予測する際、観測値と再生産関係式の残差を過去に遡って期間を 5 年ごとに区切ってリサンプリングを行うバックワードリサンプリングを採用した（補足図 5-1）。この方法により、短期的には直近の環境条件を反映するような加入を想定し、中長期的にはそれ以前の過去の条件を反映するような加入を想定した。

- ・将来予測の 1～5 年目：過去 5 年分（2018～2022 年漁期）の残差のみから重複を許してリサンプリングする。
- ・将来予測の 6～10 年目：過去 5 年分（2018～2022 年漁期）の残差、または 6～10 年前（2013～2017 年漁期）の残差のどちらかをランダムに選び、選んだ方の 5 年分の残差の重複を許してリサンプリングした。
- ・将来予測の 11 年目以降：上記の手順で 5 年ごとに残差をリサンプリングする範囲を追加した。2043 年以降の予測は全残差データのリサンプリングとなる。

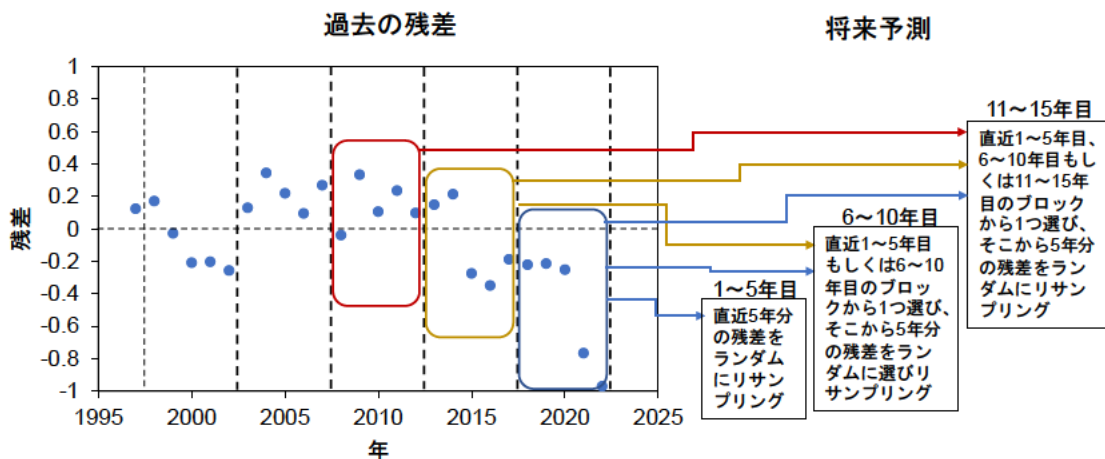
将来予測における漁獲係数 F は、「漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針」における 1 系資源の管理規則に基づき算出される値を用いた。将来予測に用いたパラメータ（補足表 5-1）は「管理基準値等に関する研究機関会議」における提案された各種管理基準値の推定に用いた値を用いた。なお、上述のように将来予測には資源尾数の増減による年齢別成熟率の変化を考慮して親魚量を計算した。ただし、年齢別成熟率の最大値、最小値はそれぞれ過去に観測された値の範囲内にあると仮定した（補足図 5-2）。資源尾数の予測には、コホート解析の前進法を用いた。

$$N_{a+1,y+1} = N_{a,y} \exp(-F_{a,y} - M) \quad (1 \sim 5 \text{ 歳魚}) \quad (1)$$

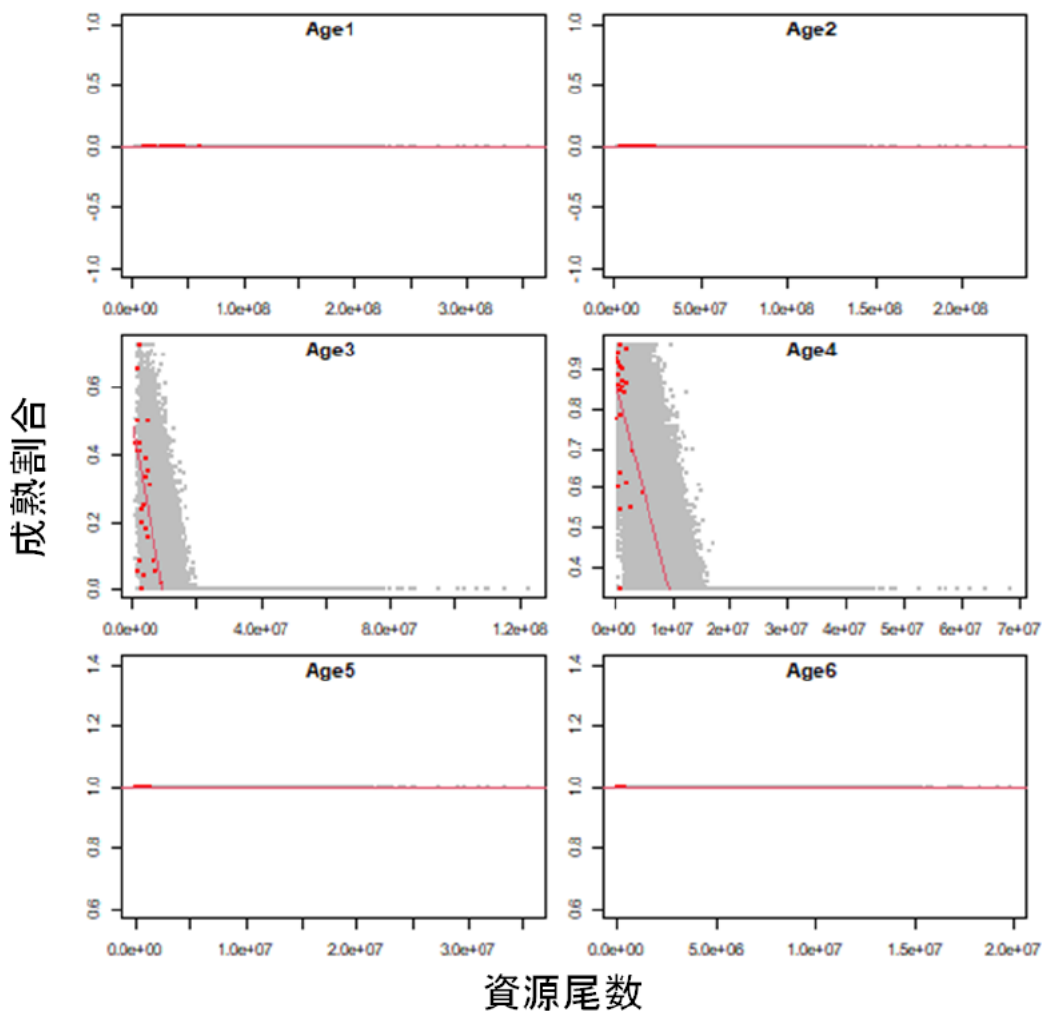
$$N_{6+,y+1} = (N_{6+,y} + N_{5,y}) \exp(-F_{5,y} - M) \quad (6 \text{ 歳以上}) \quad (2)$$

また、漁獲尾数は上記で求めた資源尾数と各漁獲シナリオから仮定される F 値をもとに以下の式から求めた。

$$C_{a,y} = N_{a,y} \{1 - \exp(-F_{a,y})\} \exp(-\frac{M}{2}) \quad (3)$$



補足図 5-1. バックワードリサンプリングの概念図



補足図 5-2. 年齢別資源尾数と成熟率の関係

赤点は実測値、赤線はその回帰、灰色点は将来予測における推定値である。

補足表 5-1. 将来予測計算に用いたパラメータ

| | 選択率 (注 1) | Fmsy (注 2) | F2019-2021 (注 3) | 平均体重 (g) | 自然死亡 係数 | 成熟割合 (注 4) |
|-------|--------------|---------------|---------------------|-------------|------------|---------------|
| 1 歳 | 0.16 | 0.23 | 0.51 | 285 | 0.357 | 0 |
| 2 歳 | 0.53 | 0.75 | 0.45 | 1,239 | 0.357 | 0 |
| 3 歳 | 0.48 | 0.69 | 0.40 | 2,402 | 0.357 | 0.02~0.72 |
| 4 歳 | 0.66 | 0.95 | 0.57 | 3,999 | 0.357 | 0.34~0.96 |
| 5 歳 | 1.00 | 1.42 | 0.91 | 5,788 | 0.357 | 1 |
| 6 歳以上 | 1.00 | 1.42 | 0.91 | 8,065 | 0.357 | 1 |

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（すなわち、令和 2 年度資源評価での Fcurrent の選択率）。

注 2： 令和 2 年度研究機関会議で推定された Fmsy（すなわち、令和 2 年度資源評価での Fcurrent に Fmsy/Fcurrent 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 2019~2021 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 2023 年漁期の漁獲量の仮定に使用した。

注 4： 将来予測における 3、4 歳の成熟割合（Maa）はそれぞれ以下の式による。なお、N はそれぞれの年齢における資源尾数である。

$$3 \text{ 歳} : \text{Maa} = -5.24 * 10^{(-8)} N_{\text{age}3} + 0.48 \quad (0.72 \geq \text{Maa} \geq 0.02)$$

$$4 \text{ 歳} : \text{Maa} = -5.67 * 10^{(-8)} N_{\text{age}4} + 0.87 \quad (0.96 \geq \text{Maa} \geq 0.34)$$

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 |
|--------|-------|------|-------|-----------------------|------|--------|
| リッカー型 | 最小二乗法 | 有 | 9,116 | 1.15×10^{-4} | 0.36 | 0.63 |

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 | 10.9 千トン | 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 | 3.2 千トン | 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 | 0.4 千トン | 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 歳以上) =(0.23, 0.75, 0.69, 0.95, 1.42, 1.42) | |
| %SPR (Fmsy) | 5.9% | Fmsy に対応する %SPR |
| MSY | 20.2 千トン | 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 | 9.9 千トン | 2022 年漁期の親魚量 |
| F2022 | 2022 年漁期の漁獲圧(漁獲係数 F) (1 歳, 2 歳, 3 歳, 4 歳, 5 歳, 6 歳以上) =(0.51, 0.45, 0.40, 0.57, 0.91, 0.91) | |
| U2022 | 37% | 2022 年漁期の漁獲割合 |
| %SPR (F2022) | 8.1% | 2022 年漁期の%SPR |
| %SPR (F2019-2021) | 7.7% | 現状(2019～2021 年漁期)の漁獲圧に対応する%SPR* |
| 管理基準値案との比較 | | |
| SB2022/ SBmsy (SBtarget) | 0.91 | 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 年漁期の親魚量の比 |
| F2022/ Fmsy | 0.85 | 最大持続生産量を実現する漁獲圧に対する 2022 年漁期の漁獲圧の比* |
| 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 を実現する水準を下回る | |
| 親魚量の動向 | 増加 | |

* 2022 年漁期の選択率の下で 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

| 2024年漁期の親魚量(予測平均値):4.8千トン | | | |
|---------------------------|--------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| 項目 | 2024年漁期の 漁獲量 (千トン) | 現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2019-2021) | 2024年漁期の 漁獲割合(%) |
| $\beta=1.0$ | 7.3 | 1.11 | 43 |
| $\beta=0.9$ | 6.8 | 1.00 | 41 |
| $\beta=0.8$ | 6.3 | 0.89 | 38 |
| $\beta=0.75$ | 6.0 | 0.83 | 36 |
| $\beta=0.7$ | 5.8 | 0.78 | 34 |
| $\beta=0.6$ | 5.1 | 0.67 | 31 |
| $\beta=0.5$ | 4.5 | 0.55 | 27 |
| F2019-2021 | 6.8 | 1.00 | 41 |

補足表 6-5. 異なる β を用いた将来予測結果

| 考慮している不確実性: 加入量 | | | | | |
|-----------------|--------------------------------|----------------------|------------------------------------|--------------|------------|
| β | 2034年漁期 の平均親魚 量 (千トン) | 90% 予測区間 (千トン) | 2034年漁期に親魚量が以下の 管理基準値案を上回る確率(%) | | |
| | | | SBtarget 案 | SBlimit 案 | SBban 案 |
| $\beta=1.0$ | 6.9 | 2.7 – 12.8 | 13 | 90 | 100 |
| $\beta=0.9$ | 8.5 | 3.3 – 15.5 | 25 | 95 | 100 |
| $\beta=0.8$ | 10.4 | 4.1 – 18.8 | 41 | 98 | 100 |
| $\beta=0.75$ | 11.6 | 4.6 – 20.7 | 50 | 99 | 100 |
| $\beta=0.7$ | 12.9 | 5.2 – 22.8 | 59 | 99 | 100 |
| $\beta=0.6$ | 15.7 | 6.5 – 27.5 | 74 | 100 | 100 |
| $\beta=0.5$ | 18.7 | 7.9 – 32.6 | 85 | 100 | 100 |
| F2019-2021 | 8.2 | 3.0 – 15.2 | 24 | 93 | 100 |

補足表 6-5. 異なる β を用いた将来予測結果 (つづき)

| 考慮している不確実性: 加入量 | | | |
|-----------------|---|-----------|---------|
| β | 2024 年以降に親魚量が管理基準値案を 50%以上の確率で上回る年(漁期年) | | |
| | SBtarget 案 | SBlimit 案 | SBban 案 |
| $\beta=1.0$ | 2054 年以降 | 2024 年 | 2024 年 |
| $\beta=0.9$ | 2044 年 | 2024 年 | 2024 年 |
| $\beta=0.8$ | 2044 年 | 2024 年 | 2024 年 |
| $\beta=0.75$ | 2033 年 | 2024 年 | 2024 年 |
| $\beta=0.7$ | 2032 年 | 2024 年 | 2024 年 |
| $\beta=0.6$ | 2031 年 | 2024 年 | 2024 年 |
| $\beta=0.5$ | 2027 年 | 2024 年 | 2024 年 |
| F2019-2021 | 2044 年 | 2024 年 | 2024 年 |

補足資料 7 調査結果の概要

マダラ本州太平洋北部系群の資源量指標値は、東北海域における調査船による着底トロール調査の結果を用いた面積密度法により行った。調査エリアは青森県～宮城県沖の水深 100～1,000 m であり、本系群の垂直分布範囲を網羅している (補足図 3-1)。本系群の分布範囲は青森県～茨城県沖であるが、本文 3. 漁業の状況 (3) 漁獲努力量で示したように、震災以降、福島沖の網数が大幅に減少し、2021 年 3 月まで試験操業しか行われていなかったことを考慮すると、震災以降の年齢別漁獲尾数には偏りが生じていると考えられる。そこでチューニングに用いる指標値には青森～宮城沖の現存量値を用いた。調査で漁獲されたマダラについては、体長組成 (0, 1 歳魚) と耳石の透明帯の読みとり (2 歳魚以上) からすべての個体について年齢を査定した。次に北緯 38°50' で調査海域を南北に分け、100～200 m、200～300 m、300～400 m、400～500 m、500～600 m、600～700 m、700～800 m および 800～1,000 m の 8 水深帯、16 層に海域を層化した。南北および水深帯で層化した層 (i) ごとに各調査点 (j) において網着底から網離底までの距離を求め、それを曳網距離として用いた。オッターレコーダーでオッターボード間隔を測定し、漁具構成から得られたオッターボード間隔と袖先間隔の比 (1 : 0.258) により袖先間隔を推定し、曳網距離に袖先間隔を乗じて i 層 j 地点の曳網面積 (a_{ij}) を求めた。i 層 j 地点の年齢別漁獲重量あるいは年齢別漁獲尾数 (C_{ij}) を a_{ij} で除し、i 層 j 地点の密度 (d_{ij}) を算出し、その平均を i 層における密度 d_i とした。なお、 n_i は i 層の調査地点数を表す。

$$d_{ij} = \frac{C_{ij}}{a_{ij}} \quad (1)$$

$$d_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} d_{ij} \quad (2)$$

さらに、i層の平均密度 (d_i) にi層の海域面積 (A_i) を乗じ、i層の現存量あるいは現存尾数 (B_i) を求め、これらを合計することにより東北海域全体のマダラの現存量あるいは現存尾数 (B) とした。

$$B_i = A_i \cdot d_i \quad (3)$$

$$B = \sum B_i \quad (4)$$

現存尾数については、体長 1 cm ごとに計算を行い、資源全体の年齢別体長組成を求めた。

i層の密度の標準偏差 (SD_{d_i}) を求め、 n_i と A_i により i層における現存量あるいは現存尾数の標準誤差 (SE_{B_i}) を計算し、調査海域全体における資源の標準誤差 (SE) および変動係数 ($CV, \%$) を下式により求めた。なお、ここで得られる CV とは現存量および現存尾数の指標値に対する値であり、採集効率の推定誤差は含んでいない。

$$SE_{B_i} = \frac{A_i \cdot SD_{d_i}}{\sqrt{n_i}} \quad (5)$$

$$SE = \sqrt{\sum SE_{B_i}^2} \quad (6)$$

$$CV = \frac{SE}{B} \quad (7)$$

なお、信頼区間の上限と下限は、 $\exp(\log(N)-1.96 \times CV)$ および $\exp(\log(N)+1.96 \times CV)$ により求めた。

着底トロール調査の結果と漁獲物の年齢および体長組成をもとに求めた過去のコホート解析の結果から、着底トロールにおける年齢別の採集効率を求めた (1 歳 0.64、2 歳 0.54、3 歳魚 0.12、上田ほか 2006)。

なお、調査で用いている網の高さは曳網中で 3~4 m 程度で、それよりも上方に分布する個体が入網することはない。また、着底トロール網は岩礁域での曳網が困難で、岩礁域の周辺を生息域とする高年齢魚との遭遇率は低くなる。そのため、ここでは遭遇率も加味したものを採集効率とした。

その結果、1996~2022 年漁期の現存尾数は 4 百万尾~111 百万尾で推移していた (図 4-1、補足表 7-1)。資源量指標値とした現存量は 6 千トン~90 千トンで推移しており、2012 年に 90 千トンを記録した後に急激に減少し、2022 年には 6 千トンとなっている (図 4-2、補足表 7-2)。

なお、1996～2022年の調査における年齢別現存尾数のCVは0.11～0.47で、2022年は0.33であった（補足表7-3）。

引用文献

上田祐司・成松庸二・服部 努・伊藤正木・北川大二・富川なす美・松石 隆 (2006) VPAと着底トロール調査による資源量から推定された東北海域におけるマダラの漁獲効率. 日水誌, **72**, 201-209.

補足表 7-1. トロール調査から推定した年齢別現存尾数 (千尾)

| 年齢 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|-----|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|
| 1 | 2,760 | 15,806 | 15,848 | 38,757 | 2,630 | 2,247 | 2,196 | 11,253 | 3,509 | 22,042 | 14,743 | 16,866 | 893 | 12,057 | 23,066 |
| 2 | 3,871 | 518 | 5,695 | 3,452 | 9,758 | 332 | 1,798 | 1,060 | 5,570 | 2,018 | 4,936 | 2,219 | 7,449 | 921 | 10,863 |
| 3 | 752 | 749 | 74 | 1,519 | 360 | 1,125 | 286 | 1,287 | 1,313 | 1,779 | 1,736 | 550 | 597 | 1,957 | 299 |
| 4 | 554 | 123 | 0 | 49 | 105 | 96 | 128 | 103 | 69 | 156 | 223 | 107 | 111 | 190 | 237 |
| 5 | 103 | 123 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 21 | 0 | 244 | 36 | 16 | 29 | 39 |
| 6以上 | 0 | 62 | 0 | 0 | 0 | 25 | 0 | 18 | 24 | 0 | 20 | 0 | 0 | 0 | 25 |
| 合計 | 8,040 | 17,381 | 21,618 | 43,777 | 12,853 | 3,826 | 4,407 | 13,734 | 10,508 | 25,995 | 21,901 | 19,779 | 9,066 | 15,155 | 34,529 |

| 年齢 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|-----|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| 1 | 68,679 | 49,374 | 10,688 | 13,297 | 29,436 | 22,036 | 20,272 | 30,588 | 7,803 | 8,449 | 372 | 4,189 |
| 2 | 8,487 | 57,884 | 23,993 | 14,172 | 15,807 | 12,327 | 6,957 | 6,559 | 6,088 | 10,026 | 4,249 | 96 |
| 3 | 3,685 | 2,718 | 18,083 | 11,600 | 5,842 | 6,096 | 3,554 | 2,377 | 1,243 | 2,665 | 3,157 | 346 |
| 4 | 343 | 899 | 1,327 | 5,091 | 4,362 | 2,105 | 1,442 | 1,180 | 262 | 7 | 481 | 786 |
| 5 | 49 | 105 | 357 | 680 | 1,230 | 1,015 | 187 | 282 | 23 | 0 | 98 | 319 |
| 6以上 | 0 | 40 | 97 | 111 | 189 | 476 | 82 | 111 | 33 | 0 | 81 | 67 |
| 合計 | 81,243 | 111,019 | 54,546 | 44,949 | 56,866 | 44,055 | 32,493 | 41,098 | 15,453 | 21,148 | 8,437 | 5,802 |

注) 10～11月時点の値

トロール調査による面積一密度法による推定値。
採集効率 (Q) は1歳魚0.54、2歳魚以上0.12を使用

補足表 7-2. トロール調査から推定した年齢別現存量 (トン)

| 年齢 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|-----|-------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 1 | 301 | 4,451 | 5,895 | 11,509 | 1,212 | 1,272 | 1,262 | 5,530 | 1,591 | 8,434 | 6,285 | 5,661 | 448 | 4,882 | 6,362 |
| 2 | 4,141 | 692 | 8,191 | 4,663 | 11,485 | 539 | 3,146 | 1,914 | 7,763 | 3,033 | 6,462 | 3,098 | 22,259 | 1,446 | 14,211 |
| 3 | 869 | 1,843 | 330 | 4,096 | 588 | 3,190 | 795 | 3,220 | 2,828 | 4,415 | 3,292 | 1,233 | 1,507 | 5,573 | 655 |
| 4 | 1,371 | 662 | 0 | 374 | 367 | 326 | 615 | 362 | 300 | 693 | 812 | 439 | 592 | 762 | 1,071 |
| 5 | 635 | 978 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 81 | 177 | 0 | 1,307 | 219 | 110 | 240 | 203 |
| 6以上 | 0 | 467 | 0 | 0 | 0 | 250 | 0 | 188 | 225 | 0 | 263 | 0 | 0 | 0 | 262 |
| 計 | 7,316 | 9,094 | 14,416 | 20,643 | 13,653 | 5,577 | 5,819 | 11,295 | 12,883 | 16,575 | 18,421 | 10,650 | 24,916 | 12,902 | 22,764 |

| 年齢 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 1 | 22,846 | 15,017 | 4,046 | 4,303 | 9,692 | 4,513 | 5,794 | 5,836 | 2,441 | 1,744 | 149 | 1,495 |
| 2 | 11,287 | 64,404 | 23,311 | 14,498 | 14,432 | 10,462 | 6,559 | 5,275 | 5,248 | 11,682 | 3,636 | 81 |
| 3 | 9,018 | 6,054 | 38,816 | 21,478 | 10,967 | 10,341 | 6,300 | 3,707 | 2,410 | 4,837 | 5,455 | 711 |
| 4 | 1,127 | 3,748 | 4,445 | 16,033 | 13,142 | 5,576 | 4,082 | 2,917 | 837 | 23 | 1,445 | 1,948 |
| 5 | 217 | 601 | 1,907 | 3,332 | 5,251 | 4,115 | 780 | 1,001 | 107 | 0 | 417 | 1,309 |
| 6以上 | 0 | 443 | 854 | 722 | 1,304 | 3,235 | 549 | 761 | 178 | 0 | 426 | 422 |
| 計 | 44,494 | 90,267 | 73,380 | 60,366 | 54,789 | 38,242 | 24,064 | 19,497 | 11,221 | 18,285 | 11,527 | 5,966 |

注) 10～11月時点の値

トロール調査による面積一密度法による推定値。

補足表 7-3. トロール調査により得られたマダラの現存尾数および変動係数 (CV)、信頼区間の年変化

| 年 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 2001 |
|----------------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 調査地点数 | 22 | 36 | 37 | 35 | 50 | 55 |
| 現存尾数(千尾) | 3,497 | 17,381 | 21,618 | 43,777 | 12,853 | 3,826 |
| 現存尾数のCV | 0.511 | 0.127 | 0.188 | 0.176 | 0.218 | 0.349 |
| 現存尾数のSE(千尾) | 1,787 | 2,205 | 4,059 | 7,720 | 2,799 | 1,335 |
| 95%信頼区間(下限、千尾) | 1,285 | 13,556 | 14,962 | 30,984 | 8,387 | 1,930 |
| 95%信頼区間(上限、千尾) | 9,520 | 22,287 | 31,235 | 61,852 | 19,698 | 7,583 |

| 年 | 2022 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 |
|----------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 調査地点数 | 47 | 56 | 80 | 80 | 79 | 81 |
| 現存尾数(千尾) | 4,407 | 13,734 | 10,508 | 25,995 | 21,901 | 19,779 |
| 現存尾数のCV | 0.321 | 0.240 | 0.200 | 0.205 | 0.140 | 0.166 |
| 現存尾数のSE(千尾) | 1,417 | 3,300 | 2,100 | 5,337 | 3,061 | 3,291 |
| 95%信頼区間(下限、千尾) | 2,347 | 8,575 | 7,103 | 17,383 | 16,653 | 14,275 |
| 95%信頼区間(上限、千尾) | 8,276 | 21,997 | 15,546 | 38,874 | 28,802 | 27,405 |

| 年 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
|----------------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| 調査地点数 | 81 | 71 | 67 | 66 | 60 | 64 |
| 現存尾数(千尾) | 9,066 | 15,115 | 34,529 | 81,242 | 159,256 | 74,541 |
| 現存尾数のCV | 0.224 | 0.267 | 0.225 | 0.466 | 0.111 | 0.193 |
| 現存尾数のSE(千尾) | 2,034 | 4,042 | 7,761 | 37,862 | 17,725 | 14,349 |
| 95%信頼区間(下限、千尾) | 5,843 | 8,986 | 22,227 | 32,590 | 128,042 | 51,113 |
| 95%信頼区間(上限、千尾) | 14,074 | 25,561 | 53,642 | 202,530 | 198,078 | 108,706 |

| 年 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 調査地点数 | 61 | 65 | 64 | 60 | 62 | 60 |
| 現存尾数(千尾) | 56,759 | 70,038 | 54,327 | 38,290 | 46,563 | 20,526 |
| 現存尾数のCV | 0.181 | 0.167 | 0.147 | 0.178 | 0.290 | 0.256 |
| 現存尾数のSE(千尾) | 10,284 | 11,695 | 8,009 | 6,801 | 13,516 | 5,251 |
| 95%信頼区間(下限、千尾) | 39,793 | 50,488 | 40,694 | 27,033 | 26,361 | 12,433 |
| 95%信頼区間(上限、千尾) | 80,959 | 97,157 | 72,528 | 54,235 | 82,249 | 33,888 |

| 年 | 2020 | 2021 | 2022 |
|----------------|--------|--------|--------|
| 調査地点数 | 79 | 71 | 75 |
| 現存尾数(千尾) | 29,503 | 11,977 | 5,882 |
| 現存尾数のCV | 0.239 | 0.420 | 0.331 |
| 現存尾数のSE(千尾) | 7,045 | 5,027 | 1,948 |
| 95%信頼区間(下限、千尾) | 18,476 | 5,261 | 3,073 |
| 95%信頼区間(上限、千尾) | 47,111 | 27,266 | 11,258 |

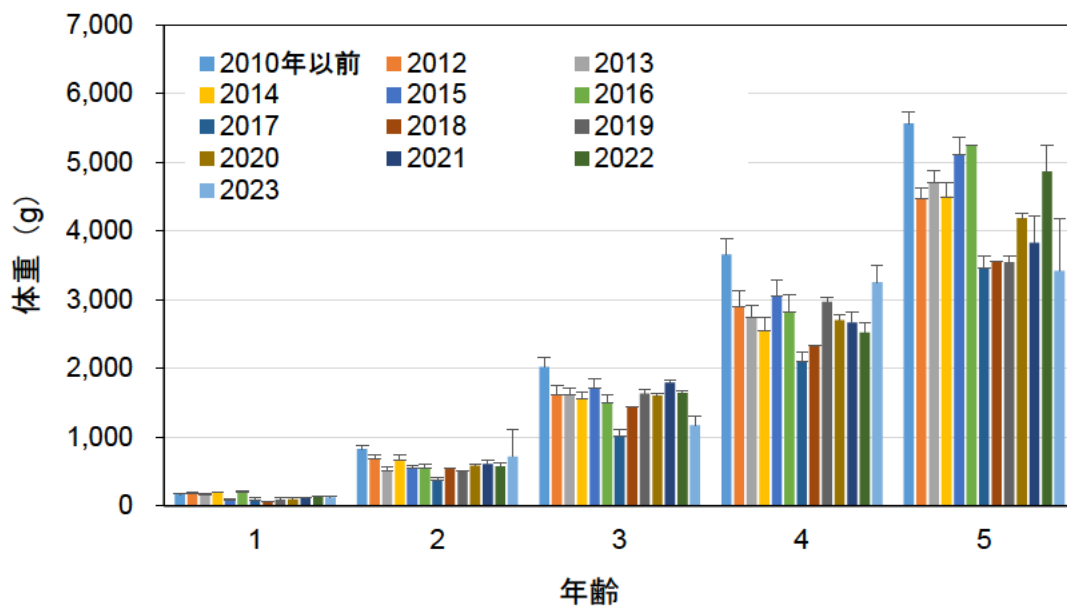
注) CV、信頼区間は各年齢に分けて求めた資源尾数、SEから求めたものである。

補足資料 8 震災以降の成長の鈍化と成熟割合の変化

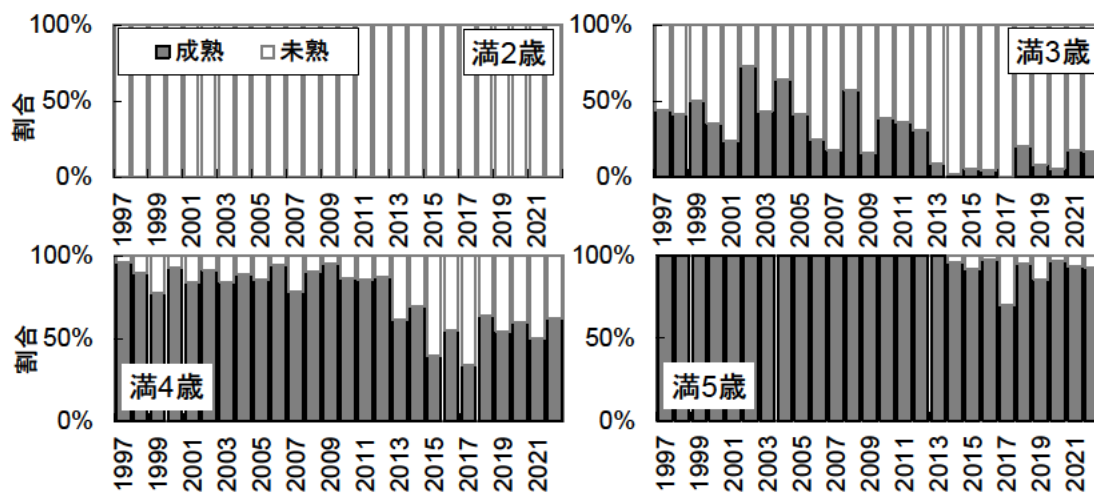
震災以降、マダラの成長には鈍化傾向が認められてきた。震災以前にもマダラの成長には加入尾数と負の相関があることが示されていたことから (Narimatsu et al. 2010)、震災以降の急激な資源の増加に伴い、成長が鈍化したと考えられる。しかし、2017 年および 2018 年 4 月に行った調査で漁獲されたマダラは、震災以降の 2012～2016 年に漁獲されたマダラと比べても著しく年齢別の体重が軽い傾向が認められた (補足図 4-1)。それらの年では、体重が震災前の 3～4 割程度にまで下がっている年齢も認められた。2023 年では、全体として 2017 年や 2018 年と比べると回復しているが、資源状態があまり良くない状態が続いているにもかかわらず震災前の水準にまでは回復していない。また、成長の鈍化に伴い、年齢別の成熟割合も特に 3 歳および 4 歳を中心に低下した。(補足図 4-2)。

引用文献

Narimatsu, Y., Y. Ueda, T. Okuda, T. Hattori, K. Fujiwara and M. Ito (2010) The effect of temporal changes in life-history traits on reproductive potential in an exploited population of Pacific cod, *Gadus macrocephalus*. ICES J. Mar. Sci., **67**, 1659-1666.



補足図 8-1. マダラの年齢別体重の時系列変化



補足図 8-2. マダラの成熟割合の時系列変化

補足資料 9 月別漁獲比率

本系群の漁獲量は冬季に産卵するマダラの生物特性を考慮し、4月～翌年3月で集計し、資源評価を行っている。一方、漁期や底びき網漁業の禁漁期などを考慮した場合には4月～翌年3月とは異なる集計期間として資源管理を行う方が適切な場合も想定される。そこで、異なる集計期間を適用した際の予測漁獲量を検討するため、最近5年間および3年間の月別漁獲割合を用いて、2024年漁期および2025年漁期の月別漁獲量の平均値を算出した。

各県水試調べによる直近5年間の月別漁獲量とそれらに基づく月別割合を補足表9-1に示す。月別の漁獲量割合は1～2月に最も高く、全体の44%であった。異なる β に基づく月別漁獲量の平均値を補足表9-2に示す。 $\beta=0.8$ における2024年漁期の予測漁獲量は、本評価の漁期年（4月～翌年3月）で6.3千トン、沖底の漁期年（9月～翌年8月）でも6.3千トンであった。

同様に直近3年間の月別漁獲量とそれらに基づく月別割合を用いた場合（補足表9-3）でも月別割合は1～2月に最も高く、全体の51%であった。 $\beta=0.8$ における2024年漁期の予測漁獲量は、本評価の漁期年（4月～翌年3月）で6.3千トン、沖底の漁期年（9月～翌年8月）でも6.3千トンであった（補足表9-4）。

補足表 9-1. 直近 5 年間で (2018~2022 年漁期) の月別漁獲量 (トン)

| 月別漁獲量 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 平均漁獲量 | 平均漁獲量割合 |
|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| 4 | 633 | 586 | 711 | 956 | 308 | 639 | 8% |
| 5 | 1,042 | 584 | 771 | 634 | 295 | 665 | 9% |
| 6 | 1,000 | 410 | 289 | 467 | 189 | 471 | 6% |
| 7 | 231 | 280 | 153 | 105 | 55 | 165 | 2% |
| 8 | 191 | 201 | 182 | 61 | 28 | 133 | 2% |
| 9 | 507 | 465 | 236 | 99 | 79 | 277 | 4% |
| 10 | 484 | 391 | 295 | 173 | 118 | 292 | 4% |
| 11 | 635 | 244 | 304 | 288 | 126 | 320 | 4% |
| 12 | 600 | 390 | 361 | 552 | 657 | 512 | 7% |
| 1 | 2,084 | 1,166 | 1,399 | 2,086 | 2,895 | 1,926 | 25% |
| 2 | 2,043 | 1,149 | 1,435 | 1,407 | 1,323 | 1,472 | 19% |
| 3 | 944 | 699 | 1,002 | 422 | 405 | 694 | 9% |
| 合計 | 10,393 | 6,567 | 7,138 | 7,251 | 6,478 | 37,827 | 100% |

補足表 9-2. 異なる β に基づく月別漁獲量の平均値 (直近 5 年間の平均使用)

| 2024年漁期 | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|---------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 項目 | 平均漁獲量 漁期年計 (千トン) | 月別平均漁獲量 (2024年4月~2025年3月) | | | | | | | | | | | |
| | | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |
| $\beta=1.00$ | 7.3 | 0.62 | 0.64 | 0.45 | 0.16 | 0.13 | 0.27 | 0.28 | 0.31 | 0.49 | 1.86 | 1.42 | 0.67 |
| $\beta=0.80$ | 6.3 | 0.53 | 0.55 | 0.39 | 0.14 | 0.11 | 0.23 | 0.24 | 0.27 | 0.43 | 1.60 | 1.23 | 0.58 |
| $\beta=0.75$ | 6.0 | 0.51 | 0.53 | 0.37 | 0.13 | 0.11 | 0.22 | 0.23 | 0.25 | 0.41 | 1.53 | 1.17 | 0.55 |
| $\beta=0.70$ | 5.8 | 0.49 | 0.51 | 0.36 | 0.13 | 0.10 | 0.21 | 0.22 | 0.24 | 0.39 | 1.48 | 1.13 | 0.53 |
| $\beta=0.60$ | 5.1 | 0.43 | 0.45 | 0.32 | 0.11 | 0.09 | 0.19 | 0.20 | 0.22 | 0.35 | 1.30 | 0.99 | 0.47 |
| F2019-2021 | 6.8 | 0.57 | 0.60 | 0.42 | 0.15 | 0.12 | 0.25 | 0.26 | 0.29 | 0.46 | 1.73 | 1.32 | 0.62 |
| 月別漁獲量割合 (過去5年平均) | | 0.08 | 0.09 | 0.06 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.07 | 0.25 | 0.19 | 0.09 |

| 2025年漁期 | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|---------------------|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 項目 | 平均漁獲量 漁期年計 (千トン) | 月別平均漁獲量 (2025年4月~2026年3月) | | | | | | | | | | | |
| | | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |
| $\beta=1.00$ | 6.2 | 0.52 | 0.55 | 0.39 | 0.14 | 0.11 | 0.23 | 0.24 | 0.26 | 0.42 | 1.58 | 1.21 | 0.57 |
| $\beta=0.80$ | 6.3 | 0.53 | 0.55 | 0.39 | 0.14 | 0.11 | 0.23 | 0.24 | 0.27 | 0.43 | 1.60 | 1.23 | 0.58 |
| $\beta=0.75$ | 6.2 | 0.52 | 0.55 | 0.39 | 0.14 | 0.11 | 0.23 | 0.24 | 0.26 | 0.42 | 1.58 | 1.21 | 0.57 |
| $\beta=0.70$ | 6.2 | 0.52 | 0.55 | 0.39 | 0.14 | 0.11 | 0.23 | 0.24 | 0.26 | 0.42 | 1.58 | 1.21 | 0.57 |
| $\beta=0.60$ | 6.1 | 0.52 | 0.54 | 0.38 | 0.13 | 0.11 | 0.22 | 0.24 | 0.26 | 0.41 | 1.55 | 1.19 | 0.56 |
| F2019-2021 | 6.9 | 0.58 | 0.61 | 0.43 | 0.15 | 0.12 | 0.25 | 0.27 | 0.29 | 0.47 | 1.76 | 1.34 | 0.63 |
| 月別漁獲量割合 (過去5年平均) | | 0.08 | 0.09 | 0.06 | 0.02 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.07 | 0.25 | 0.19 | 0.09 |

補足表 9-3. 直近3年間（2020～2022年漁期）の月別漁獲量（トン）

| 月別漁獲量 | 2020 | 2021 | 2022 | 平均漁獲量 | 平均漁獲量割合 |
|-------|-------|-------|-------|--------|---------|
| 4 | 711 | 956 | 308 | 658 | 9% |
| 5 | 771 | 634 | 295 | 567 | 8% |
| 6 | 289 | 467 | 189 | 315 | 5% |
| 7 | 153 | 105 | 55 | 104 | 1% |
| 8 | 182 | 61 | 28 | 90 | 1% |
| 9 | 236 | 99 | 79 | 138 | 2% |
| 10 | 295 | 173 | 118 | 195 | 3% |
| 11 | 304 | 288 | 126 | 239 | 3% |
| 12 | 361 | 552 | 657 | 523 | 8% |
| 1 | 1,399 | 2,086 | 2,895 | 2,126 | 31% |
| 2 | 1,435 | 1,407 | 1,323 | 1,388 | 20% |
| 3 | 1,002 | 422 | 405 | 610 | 9% |
| 合計 | 7,138 | 7,251 | 6,478 | 20,867 | 100% |

補足表 9-4. 異なる β に基づく月別漁獲量の平均値（直近3年間の平均使用）

| 2024年漁期 | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 項目 | 平均漁獲量 漁期年計（千トン） | 月別平均漁獲量（2024年4月～2025年3月） | | | | | | | | | | | |
| | | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |
| $\beta=1.00$ | 7.3 | 0.69 | 0.59 | 0.33 | 0.11 | 0.09 | 0.14 | 0.20 | 0.25 | 0.55 | 2.23 | 1.46 | 0.64 |
| $\beta=0.80$ | 6.3 | 0.60 | 0.51 | 0.29 | 0.09 | 0.08 | 0.12 | 0.18 | 0.22 | 0.47 | 1.93 | 1.26 | 0.55 |
| $\beta=0.75$ | 6.0 | 0.57 | 0.49 | 0.27 | 0.09 | 0.08 | 0.12 | 0.17 | 0.21 | 0.45 | 1.83 | 1.20 | 0.53 |
| $\beta=0.70$ | 5.8 | 0.55 | 0.47 | 0.26 | 0.09 | 0.08 | 0.11 | 0.16 | 0.20 | 0.44 | 1.77 | 1.16 | 0.51 |
| $\beta=0.60$ | 5.1 | 0.48 | 0.42 | 0.23 | 0.08 | 0.07 | 0.10 | 0.14 | 0.18 | 0.38 | 1.56 | 1.02 | 0.45 |
| F2019-2021 | 6.8 | 0.64 | 0.55 | 0.31 | 0.10 | 0.09 | 0.13 | 0.19 | 0.23 | 0.51 | 2.08 | 1.36 | 0.60 |
| 月別漁獲量割合（過去3年平均） | | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.08 | 0.31 | 0.20 | 0.09 |

| 2025年漁期 | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------------------|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 項目 | 平均漁獲量 漁期年計（千トン） | 月別平均漁獲量（2025年4月～2026年3月） | | | | | | | | | | | |
| | | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 | 1月 | 2月 | 3月 |
| $\beta=1.00$ | 6.2 | 0.59 | 0.51 | 0.28 | 0.09 | 0.08 | 0.12 | 0.17 | 0.21 | 0.47 | 1.90 | 1.24 | 0.54 |
| $\beta=0.80$ | 6.3 | 0.60 | 0.51 | 0.29 | 0.09 | 0.08 | 0.12 | 0.18 | 0.22 | 0.47 | 1.93 | 1.26 | 0.55 |
| $\beta=0.75$ | 6.2 | 0.59 | 0.51 | 0.28 | 0.09 | 0.08 | 0.12 | 0.17 | 0.21 | 0.47 | 1.90 | 1.24 | 0.54 |
| $\beta=0.70$ | 6.2 | 0.59 | 0.51 | 0.28 | 0.09 | 0.08 | 0.12 | 0.17 | 0.21 | 0.47 | 1.90 | 1.24 | 0.54 |
| $\beta=0.60$ | 6.1 | 0.58 | 0.50 | 0.28 | 0.09 | 0.08 | 0.12 | 0.17 | 0.21 | 0.46 | 1.86 | 1.22 | 0.53 |
| F2019-2021 | 6.9 | 0.65 | 0.56 | 0.31 | 0.10 | 0.09 | 0.14 | 0.19 | 0.24 | 0.52 | 2.11 | 1.38 | 0.60 |
| 月別漁獲量割合（過去3年平均） | | 0.09 | 0.08 | 0.05 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.08 | 0.31 | 0.20 | 0.09 |