

令和 4（2022）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

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

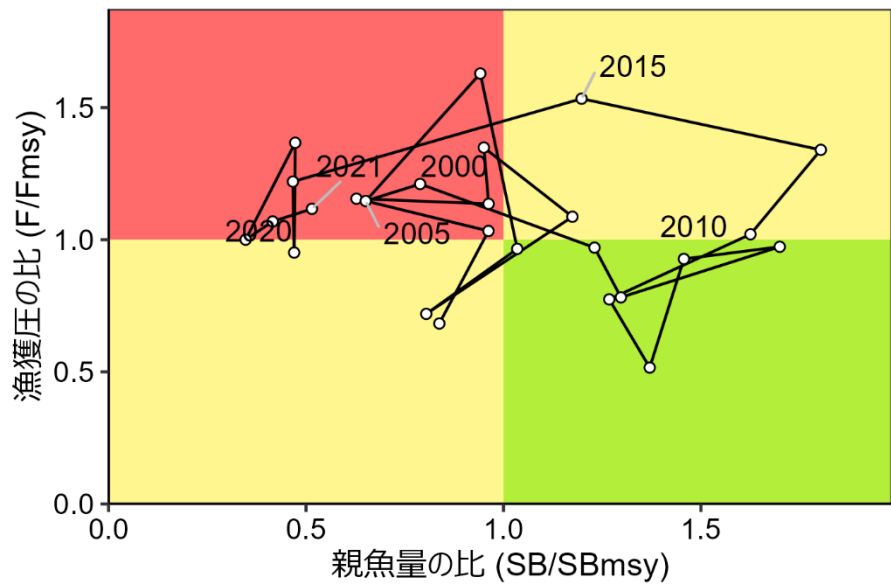
要 約

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 万～6.1 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 2011～2013 年漁期には 6.3 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、2021 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、2021 年漁期には 0.6 万トンになっている。加入量（1 歳魚の資源尾数）は、1996～2014 年漁期では 1.1～6.3 千万尾で推移しており、特に 2003～2014 年漁期では 2 千万尾を上回っていた。一方、2015 年漁期以降は 0.7 千万～1.7 千万尾と少ない年が続いており、2021 年漁期には 0.7 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 2021 年の親魚量は SB_{msy} を下回る。また 2021 年の漁獲圧は MSY を実現する水準を上回る。親魚量の動向は近年 5 年間 (2017～2021 年) の推移から「横ばい」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
2021 年漁期の親魚量の水準	MSY を実現する水準を下回る
2021 年漁期の漁獲圧の水準	MSY を実現する水準を上回る
2021 年漁期の親魚量の動向	横ばい
最大持続生産量（MSY）	2.02 万トン
2023 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 (%)
2017	20.2	5.1	7.5	0.95	37
2018	22.0	5.1	10.4	1.37	47
2019	16.8	3.8	6.6	1.00	39
2020	17.5	4.5	6.8	1.07	39
2021	17.4	5.6	7.3	1.12	42
2022	16.8	6.5	7.9	1.20	48
2023	16.9	3.8	-	-	-
・2022 年、2023 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	・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	・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いる。個々の系群の移動範囲は限られており、これらの系群間の交流は少ない(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、東北海道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）。1996～2021 年の平均成熟率は 3 歳で 28%、4 歳で 76%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 48～76%で推移している（表 3-1）。次いで延縄、刺網、小型底びき網漁業（以下、「小底」という）の漁獲が多い。これらの漁業では禁漁期を除いて周年漁獲されているが、定置網では、冬に産卵のために接岸する大型個体が漁獲される。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年および1994年には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2.8万トンとなった。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および2014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2.8万トン前後を記録した。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2021年漁期も暫定値ながら0.7万トンとなっている。

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）。2020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）。

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年漁期以降は各年齢とも漁獲尾数が減少し、2021年漁期には6歳以上を除く各年齢ともに軒並み少なく、特に1歳魚は1996年漁期以降で3番目に少ない。

(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、2007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1万網程度で推移し、2021年は8.3千網となっている。岩手海区の有漁網数は、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。金華山海区の有漁網数は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。常磐海区の有漁網数は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いる。

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歳以上は調査や漁獲物からあまり出現しない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、1996～2021 年漁期には 60 万尾～12,900 万尾で推移している。2011～2015 年漁期には比較的多く、全体の尾数も多かった。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、1996～2021 年漁期では 0.9 万トン～25.6 万トンで推移し、2001 年漁期に最低値、2013 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 5 万トンを下回り、2021 年漁期には 2.3 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分に沖底の 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）。2003 年以降は岩手 2 そうびきや金華山トロールでは変動が激しいものの、各海区共に高い傾向にある。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、トロール調査の結果では年齢別の情報があること、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）資源量と漁獲量の推移

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 1 kg 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 63 百万尾で 1996～2021 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、2021 年漁期には過去最低の 7 百万尾となった。

2021 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 390 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 万～6.1 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、2016～2018 年漁期には 2 万トン前後になり、2019～2021 年漁期では 1.7 万～1.8 万トンで推移している。年齢別で見ると、2021 年漁期の 1 歳魚は 2.7 千トンと過去 26 年で 2 番目に少なく（平均値は 8 千トン）、2 歳魚も過去 26 年で最も少ない。3～5 歳魚も 4～6 番目に少なく、6 歳以上のみ平均値を上回っている。これは近年加入量が少ないことが主な要因であり、さらに年齢当たりの体重が軽くなったことも作用していると考えられる（補足資料 8）。

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 万トンでピークとなった。その後は急激に減少し、2016 年漁期に 5 千トンになって以降は 2021 年漁期ま

で4千～6千トンで推移している。

再生産成功率（RPS、1歳魚加入尾数/親魚量）は、1997～1999年漁期で3.9～4.2尾/kg、2003～2007年漁期で4.3～5.6尾/kgと高かったが、2008～2016年漁期には0.7～3.0尾/kgと低下した。2017～2020年漁期には2.0～3.3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年漁期には1.5尾/kgと再び低くなっており、今後の資源の減少が危惧される。

漁獲係数 F は年変動があるとともに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および2021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1996～2021年漁期の資源量は、 M が0.3では1.4万～7.8万トンとなり、 M が0.4では1.7万～8.9万トンと推定され、 M が0.357のときと比較すると前者で92～94%、前者で106～107%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2.0～17.0%と低い傾向にあり、現状の漁獲圧として近年3年間（2018～2020年漁期）の平均 F 値から%SPRを算出すると4.7%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）を用いた。また、年齢別平均体重および成熟割合についても F_{msy} 算出時の値を使用した（補足表5-1）。 F_{msy} は%SPRに換算すると5.9%に相当する。現状の漁獲圧 ($F_{2018-2020}$) は F_{msy} や $F_{0.1}$ 、 $F_{30\%SPR}$ を上回る。

（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2021）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、2021 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 2021 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、2021 年漁期の親魚量は SBmsy の 0.51 倍である。また、2021 年漁期の漁獲圧は、MSY を実現する漁獲圧 (Fmsy) を上回っており、MSY を実現する漁獲圧の 1.12 倍である。なお、神戸プロットに示した漁獲圧の比 (F/F_{msy}) とは、各年の F の選択率の下で F_{msy} の漁獲圧を与える F を %SPR 換算して求めた値と、各年の F 値との比である。親魚量の動向は、近年 5 年間 (2017~2021 年漁期) の推移から横ばいと判断される。本系群の親魚量は 2007~2015 年漁期には SBmsy を上回っていたが、2014 年漁期からの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 年漁期から 2013 年漁期にかけて 2.3 万トンから 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、2021 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 7 千トンから 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 5 千トンとなり急激に減少した。2017 年漁期以降も 4 千トンから 6 千トンで推移しており、1996 年漁期以降では非常に低い水準となっている。

2021 年漁期の親魚量は MSY を実現する水準を下回り、その動向は過去 5 年間 (2017~2021 年漁期) の推移から横ばいと判断された。2021 年漁期の漁獲圧は、MSY を実現する漁獲圧 (F_{msy}) を上回っており、MSY を実現する漁獲圧よりも高い。

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捕食について. 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・富樫博幸・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・富樫博幸・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.

(執筆者：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、柴田泰宙)

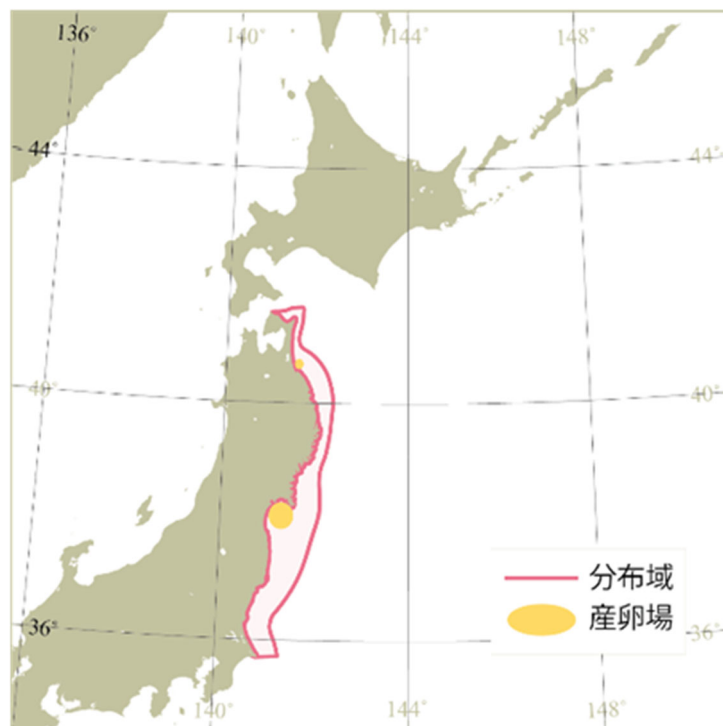


図 2-1. 太平洋北部におけるマダラ分布

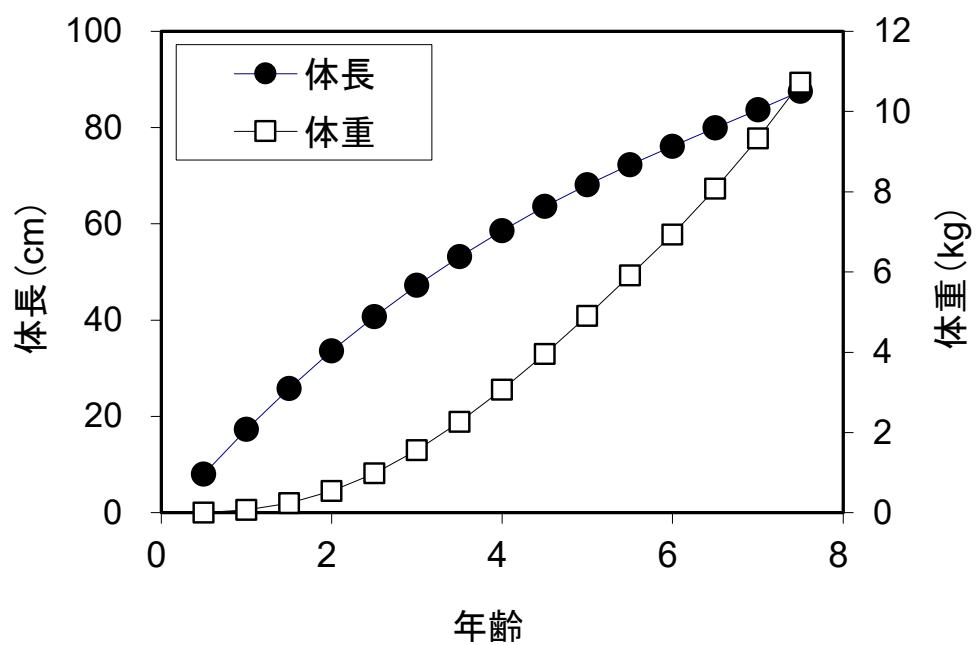


図 2-2. 太平洋北部におけるマダラの成長

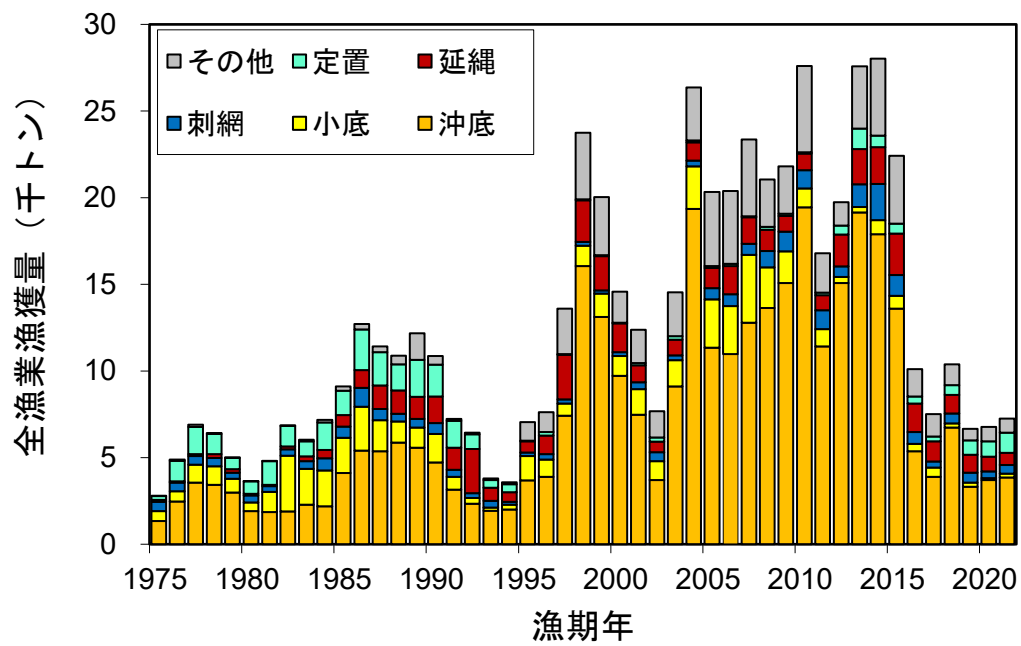


図 3-1. 太平洋北部におけるマダラの漁業種別漁獲量 2021 年漁期は暫定値。

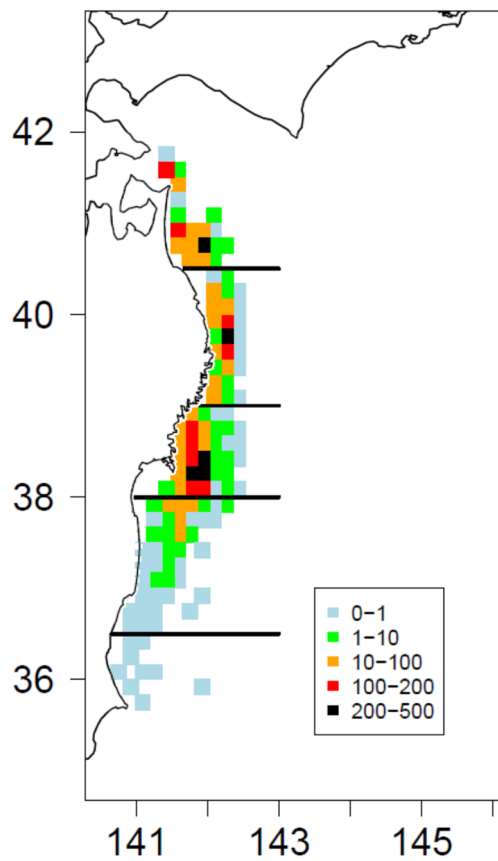


図 3-2. 沖底による 2020 年の漁獲量（トン）の分布

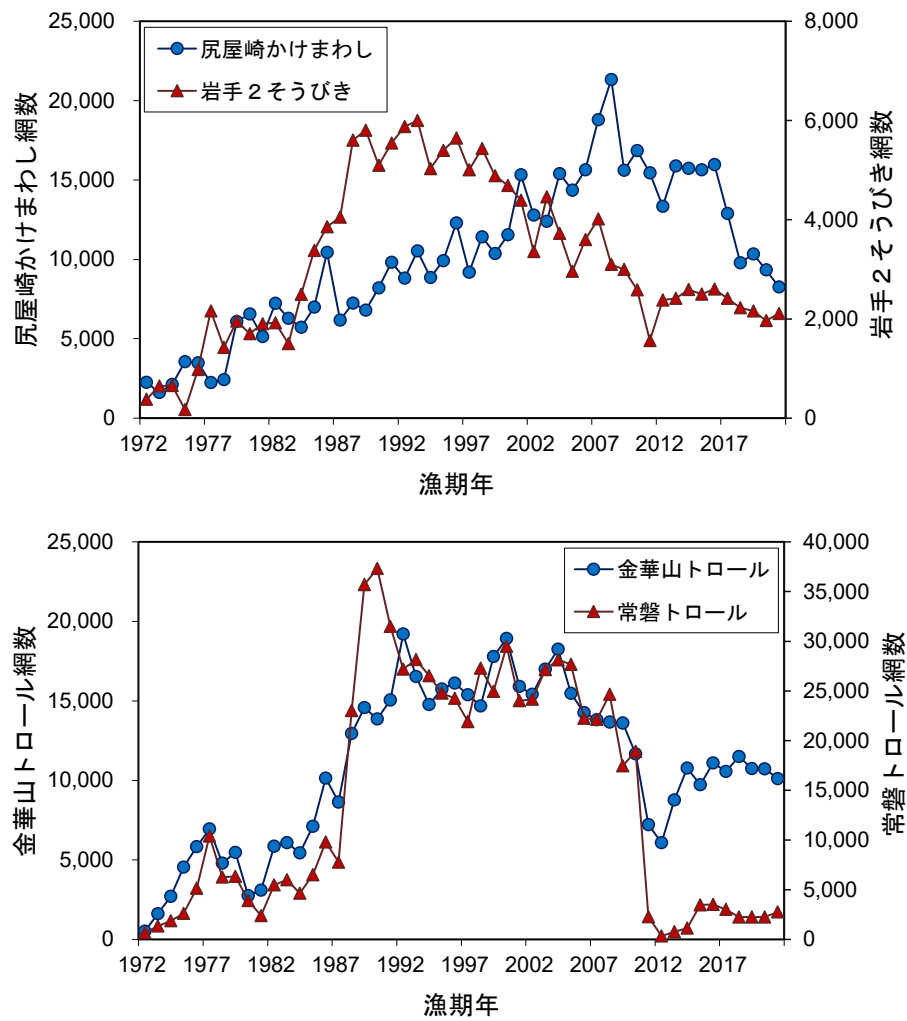


図 3-3. 沖底による有漁網数の推移

上：2 そうびきとかけまわし 下：トロール 2021 年は暫定値。

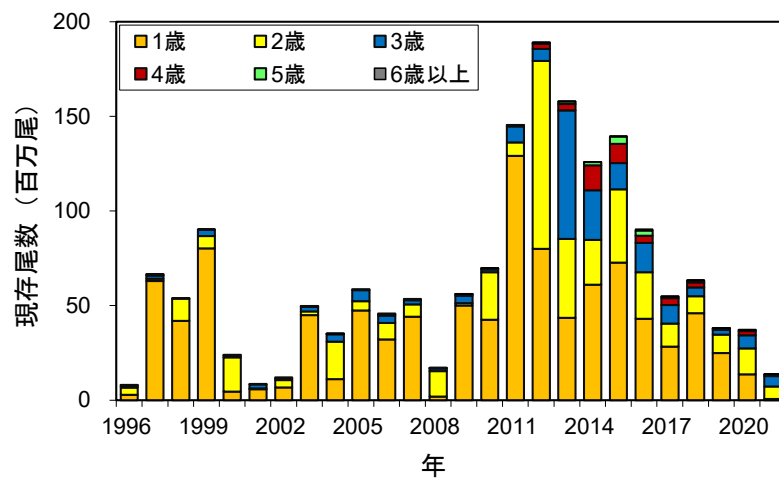


図 4-1. トロール調査によって求めた年齢別現存尾数の推移

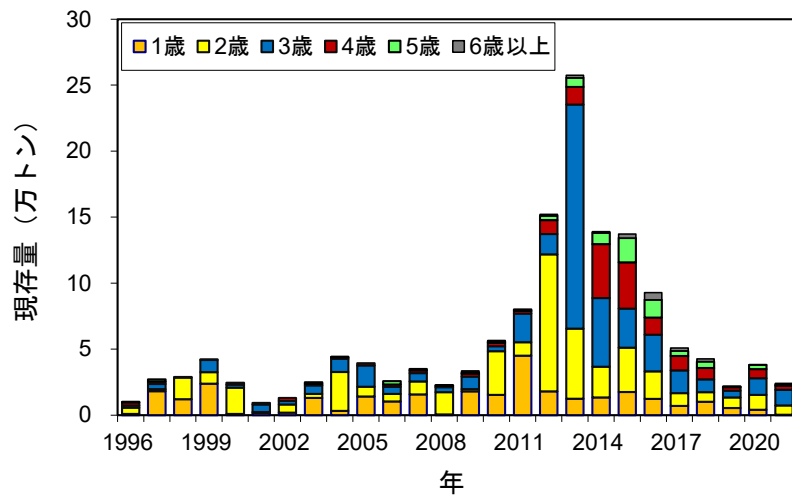


図 4-2. トロール調査によって求めた年齢別現存量（資源量指標値）の推移

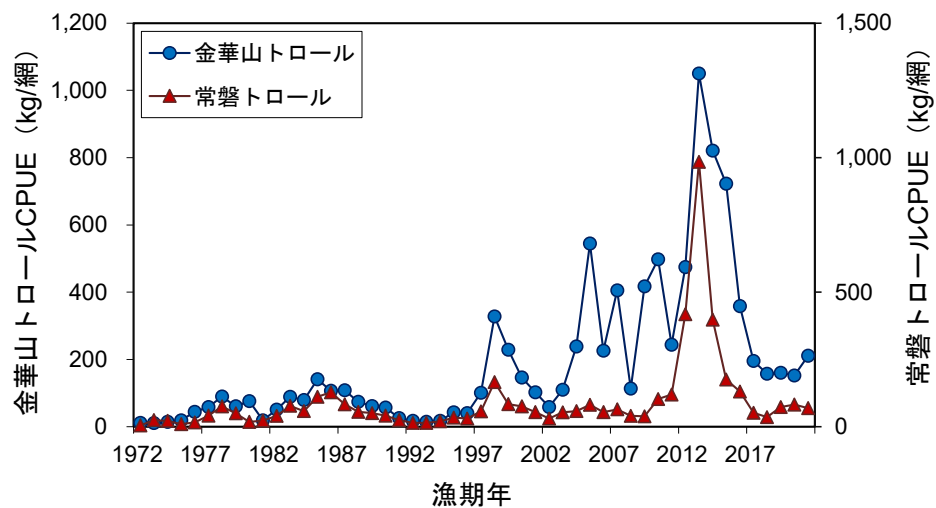
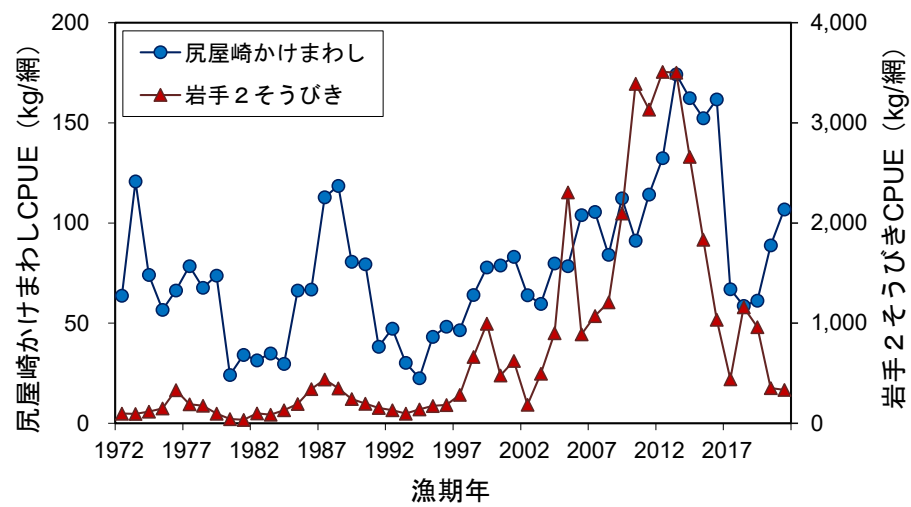


図 4-3. 沖底による CPUE の推移

上：2 そうびきとかけまわし 下：トロール 2021 年は暫定値。

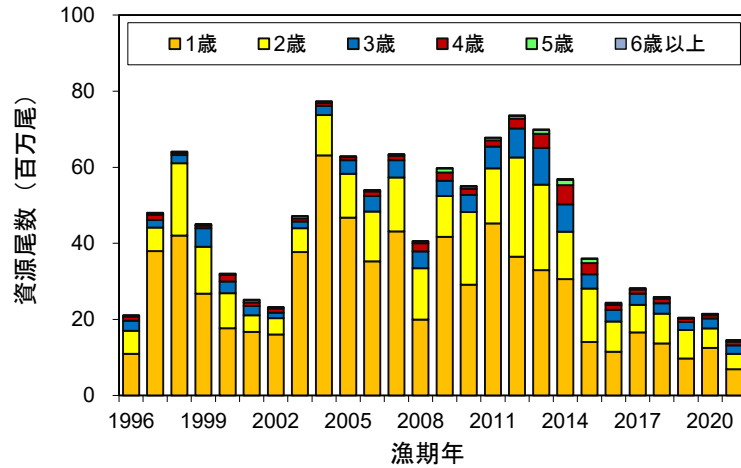


図 4-4. コホート解析によって求めた年齢別資源尾数の推移

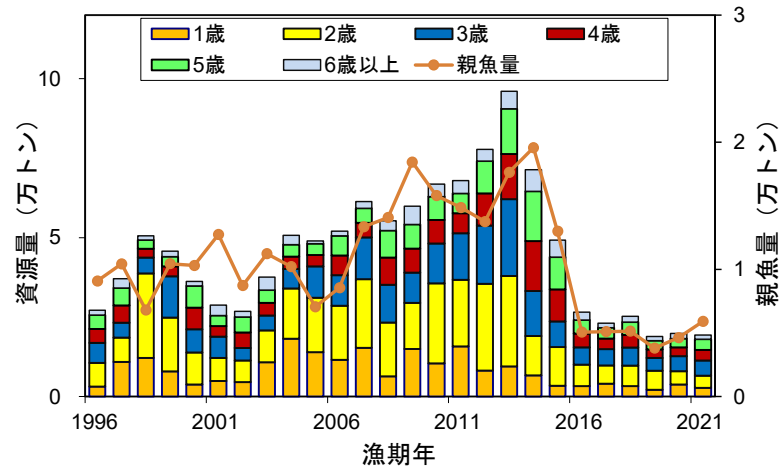


図 4-5. コホート解析によって求めた年齢別資源量および親魚量の推移

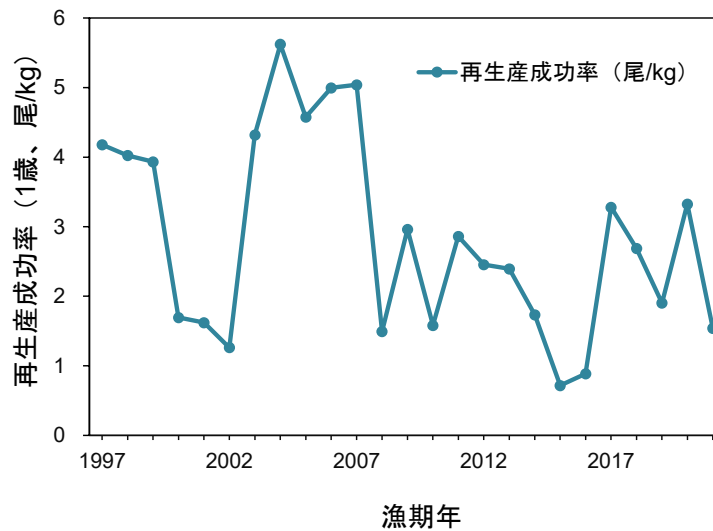


図 4-6. 再生産成功率の推移

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。

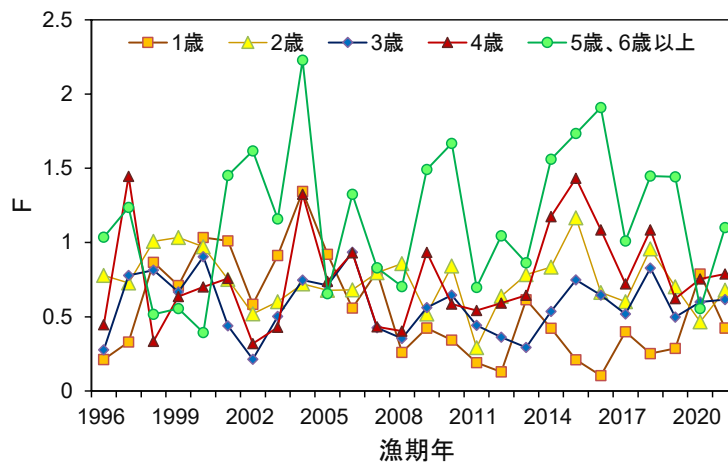


図 4-7. 漁獲係数 F の推移

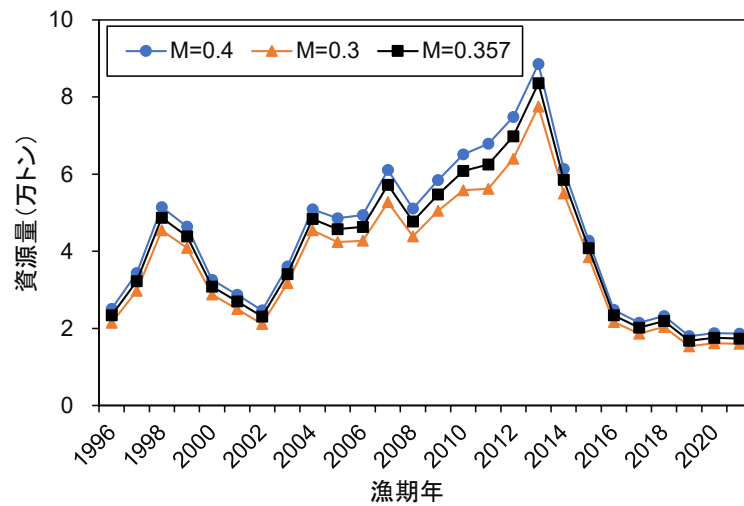


図 4-8. M を変化させたときの資源量の変化

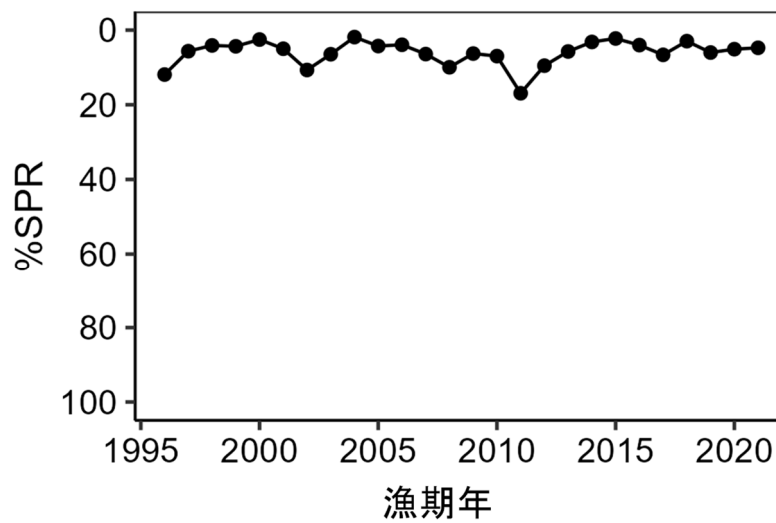


図 4-9. %SPR の推移

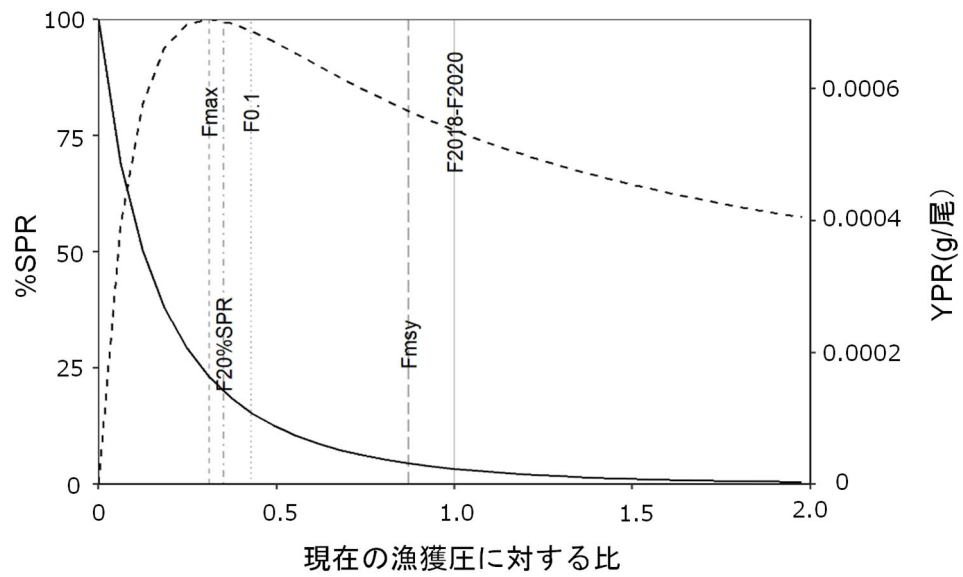


図 4-10. 現状の漁獲圧に対する YPR と %SPR の関係

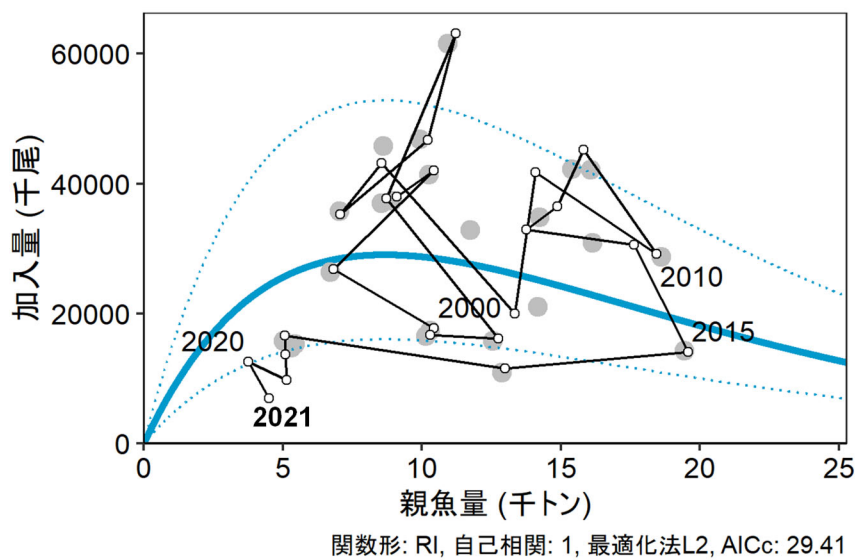


図 4-11. 親魚量と加入量（1 歳魚尾数）の関係（再生産関係）

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 2021）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 4（2022）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。

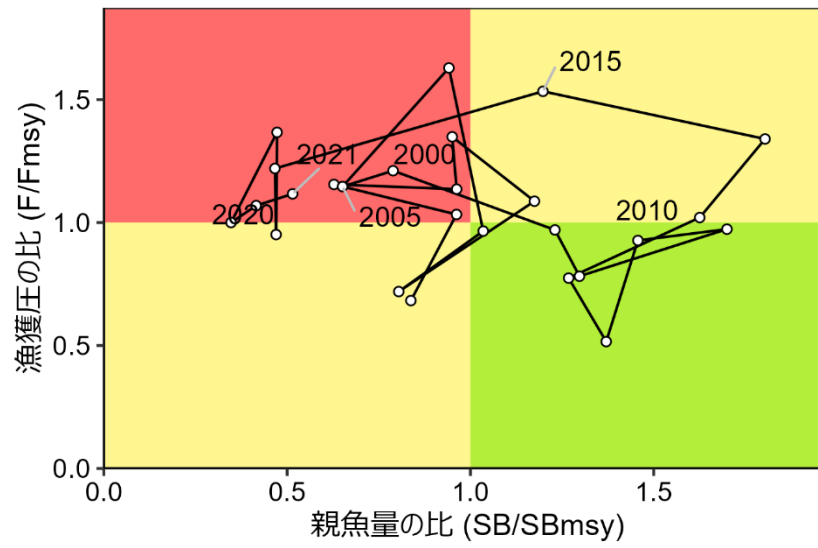


図4-12. 最大持続生産量(MSY)を実現する(SB_{msy})およびMSYを実現する漁獲圧(F_{msy})に対する、親魚量および漁獲圧の関係 (神戸プロット)

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	19,450	11,429	15,068	19,155
小底	1,467	1,088	1,511	2,453	2,773	2,778	3,912	2,353	1,838	1,081	997	351	316
刺網	415	516	281	317	644	674	642	940	1,144	1,053	1,078	620	1,302
延縄	981	610	909	1,069	1,173	1,619	1,532	1,229	900	959	879	1,849	2,027
定置	117	236	198	105	101	131	63	172	131	85	139	501	1,194
その他	1,928	1,514	2,526	3,061	4,279	4,216	4,435	2,741	2,733	4,974	2,273	1,352	3,601
計	12,385	7,677	14,535	26,370	20,325	20,395	23,369	21,062	21,817	27,602	16,795	19,741	27,595

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
沖底	17,902	13,600	5,364	3,887	6,729	3,318	3,706	3,853
小底	803	731	425	544	253	241	112	221
刺網	2,092	1,201	691	351	566	577	384	502
延縄	2,129	2,408	1,643	1,151	1,069	1,024	853	703
定置	655	564	404	291	579	842	878	1,161
その他	4,444	3,919	1,588	1,284	1,195	660	836	810
計	28,024	22,423	10,114	7,508	10,392	6,663	6,769	7,250

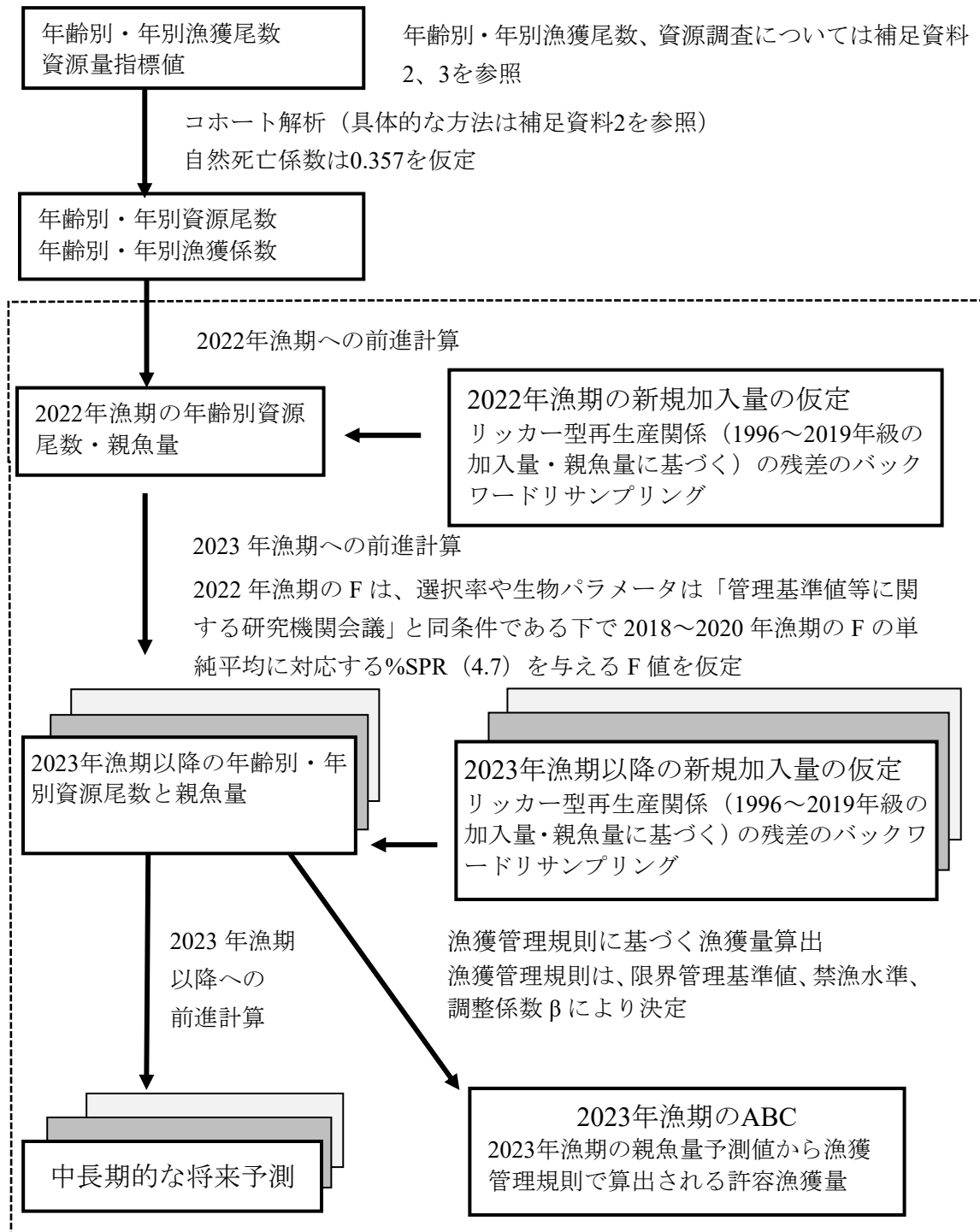
各県水試調べによる。
漁期年は4月～翌年3月。

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/F _{msy}	%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	1.16	4.1
1999	200	439	104	27	46	0.69	3.9	1.14	4.3
2000	146	309	103	18	47	0.73	1.7	1.35	2.5
2001	124	270	127	17	46	0.98	1.6	1.09	5.0
2002	77	230	87	16	33	0.81	1.3	0.72	10.7
2003	145	341	112	38	43	0.79	4.3	0.97	6.5
2004	264	484	102	63	55	1.43	5.6	1.63	1.9
2005	203	457	71	47	45	0.73	4.6	1.15	4.3
2006	204	463	86	35	44	0.96	5.0	1.21	3.9
2007	234	572	134	43	41	0.69	5.0	0.97	6.4
2008	211	478	141	20	44	0.55	1.5	0.78	10.0
2009	218	548	184	42	40	0.90	3.0	0.97	6.3
2010	276	608	158	29	45	0.96	1.6	0.93	7.0
2011	168	625	149	45	27	0.48	2.9	0.52	16.9
2012	197	698	138	37	28	0.64	2.5	0.77	9.5
2013	276	836	176	33	33	0.68	2.4	1.02	5.7
2014	280	585	196	31	48	1.01	1.7	1.34	3.2
2015	224	408	130	14	55	1.17	0.7	1.53	2.3
2016	101	234	51	12	43	1.05	0.9	1.22	4.0
2017	75	202	51	17	37	0.71	3.3	0.95	6.6
2018	104	219	51	14	48	1.00	2.7	1.37	3.0
2019	67	168	38	10	40	0.83	1.9	1.00	6.0
2020	68	175	45	13	39	0.62	3.3	1.07	5.1
2021	73	174	56	7	42	0.79	1.5	1.12	4.8

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

1996～2021 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（2021 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。

$$N_{a,2021} = C_{a,2021} \exp(M/2) / (1 - \exp(-F_{a,2021})) \quad (2)$$

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

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

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 2021 年漁期の F は、まず 1～5 歳魚については近年 3 年間（2018～2020 年漁期）の F の平均値とした。プラスグループ（最高齢）の F については、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 の方法によりさらに最近年の 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（補足資料 2）に各年の年齢別体重を乗じたものを用

いた。

最近年（2021 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 2018～2020 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。

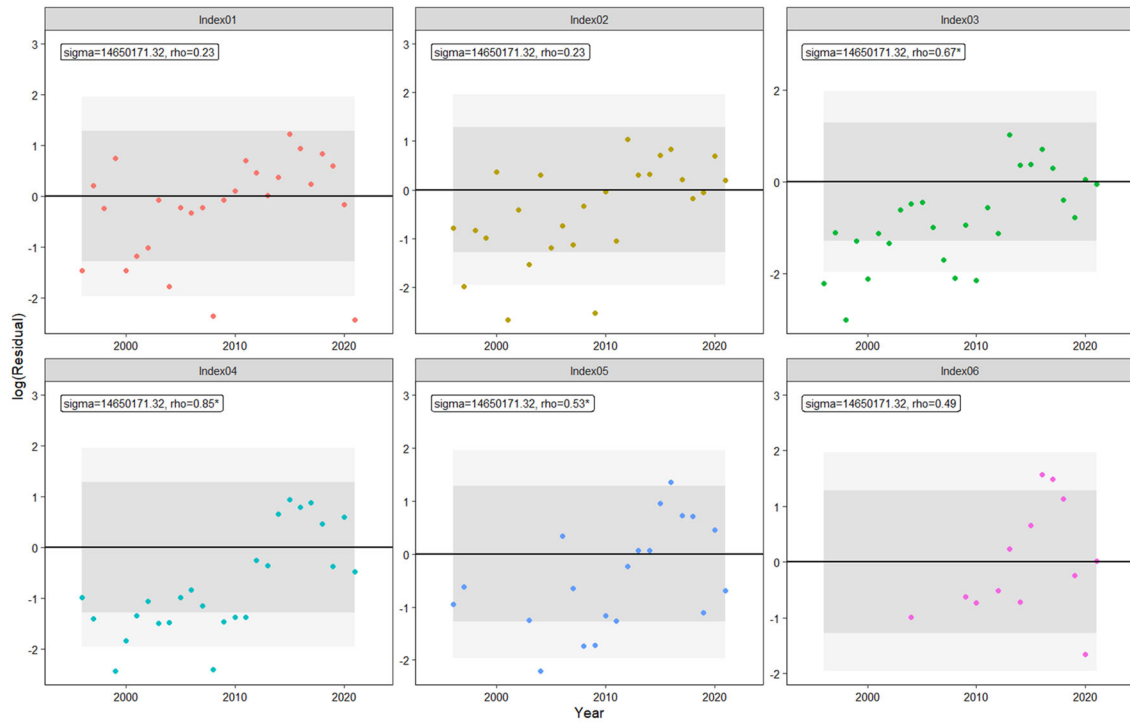
$$\sum_a \sum_y (I_{a,y} - q_a B_{a,y})^2 \quad (6)$$

ここで a は年齢、 y は年、 I は 1996～2021 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。

「資源評価のモデル診断手順と情報提供指針（令和 4 年度）FRA-SA2022-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 2017 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）。また、2019 年漁期まではデータの追加、更新のたびに資源量は減少し、 F は上昇する傾向にあったが、2020 年漁期から 2021 年漁期の更新の際には資源量は若干上昇し、 F も低下していた。

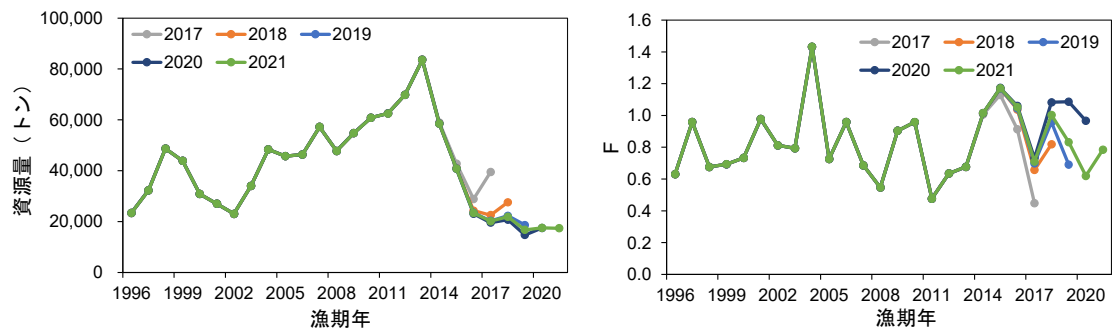
引用文献

- 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」. 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	3,815	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	6,512	3,643	9,104
3	534	884	977	1,986	1,530	724	233	584	1,058	1,536	2,080	1,339	1,112	1,442	1,784
4	335	892	149	256	737	387	252	239	460	349	627	330	586	1,112	593
5	140	296	78	112	66	390	191	321	280	56	164	161	216	639	409
6以上	42	50	40	52	50	129	89	33	101	15	40	29	52	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	12,292	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	1.34	0.92	0.56	0.80	0.26	0.42	0.34
2	0.78	0.73	1.01	1.03	0.97	0.75	0.52	0.60	0.72	0.68	0.68	0.80	0.86	0.52	0.84
3	0.28	0.78	0.81	0.67	0.90	0.44	0.21	0.50	0.75	0.71	0.93	0.43	0.35	0.56	0.65
4	0.45	1.45	0.33	0.64	0.70	0.76	0.32	0.43	1.32	0.74	0.93	0.43	0.40	0.93	0.59
5	1.04	1.24	0.52	0.56	0.39	1.45	1.62	1.16	2.23	0.66	1.32	0.83	0.70	1.49	1.67
6以上	1.04	1.24	0.52	0.56	0.39	1.45	1.62	1.16	2.23	0.66	1.32	0.83	0.70	1.49	1.67
平均	0.63	0.96	0.68	0.69	0.73	0.98	0.81	0.79	1.43	0.73	0.96	0.69	0.55	0.90	0.96

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	793	18,087	12,082	23,732	960	1,699	1,890	12,917	3,214	14,148	10,450	15,664	590	17,961	15,196
2	4,758	1,518	16,207	8,797	19,885	736	6,203	3,058	29,576	7,323	11,450	9,939	16,751	1,691	33,318
3	1,790	3,943	648	9,283	2,295	5,650	2,641	6,536	9,772	16,187	9,052	6,241	3,830	9,452	3,772
4	2,178	1,800		358	1,435	1,146	2,265	1,198	1,160	1,783	3,577	1,959	1,020	2,345	2,502
5	600	1,664						1,147	275	0	2,528	1,158	492	955	1,215
6以上									417					1,021	515

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	26,786	17,690	16,720	16,082	37,704	63,137	46,753	35,305	43,141	19,934	41,710	29,153
2	6,082	6,205	19,094	12,351	9,211	4,401	4,250	6,276	10,592	11,525	13,035	14,138	13,515	10,758	19,106
3	2,631	1,953	2,096	4,875	3,073	2,438	1,452	1,768	2,405	3,605	4,094	4,614	4,460	4,010	4,481
4	1,112	1,395	627	650	1,750	870	1,100	821	749	798	1,238	1,125	2,109	2,191	1,600
5	259	498	230	314	241	608	285	560	375	139	267	342	511	986	603
6以上	78	84	118	145	184	201	132	58	136	38	65	62	123	220	190
合計	21,114	48,104	64,175	45,121	32,149	25,238	23,302	47,187	77,394	62,859	54,003	63,421	40,652	59,875	55,132

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	4,920	4,557	10,837	18,148	13,969	11,507	15,336	6,378	14,990	10,446
2	7,474	7,625	26,655	16,864	10,075	7,240	6,780	9,941	15,862	17,099	17,062	21,576	16,883	14,480	25,189
3	6,264	4,650	4,971	13,044	7,289	6,711	3,890	4,691	6,159	9,849	9,564	13,124	11,920	9,506	12,492
4	4,369	5,482	2,747	3,097	6,794	3,294	4,907	4,025	3,814	3,571	6,203	4,621	8,540	7,584	7,380
5	1,506	2,900	1,343	1,756	1,439	3,328	1,727	4,055	2,892	921	1,469	2,071	3,022	5,771	3,925
6以上	635	678	861	1,187	1,433	1,519	1,174	521	1,505	314	524	489	1,006	2,422	1,384
合計	23,397	32,249	48,680	43,869	30,856	27,011	23,036	34,070	48,380	45,722	46,329	57,217	47,750	54,754	60,816

(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（2011～2021 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
1	6,606	3,676	12,655	8,815	2,231	949	4,567	2,545	2,041	5,714	2,010
2	3,063	10,311	10,211	5,904	8,092	3,231	2,748	4,020	3,148	1,597	1,643
3	1,720	1,923	2,056	2,490	1,671	1,218	972	1,312	687	977	865
4	575	968	1,466	2,913	1,873	696	482	663	330	396	453
5	262	363	485	897	751	349	158	244	181	114	164
6以上	44	138	110	240	174	118	36	59	50	21	85
合計	12,269	17,378	26,984	21,259	14,791	6,561	8,963	8,843	6,436	8,819	5,221

年齢別平均体重（g）											
年齢	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	349	224	288	218	241	284	243	243	220	302	387
2	1,445	1,045	1,266	990	867	850	789	819	804	813	985
3	2,541	2,411	2,503	1,979	2,128	1,791	1,776	2,040	1,908	1,832	2,093
4	3,827	3,916	3,855	3,108	3,436	3,422	3,027	3,345	3,186	3,106	3,356
5	6,443	5,633	5,460	4,996	4,913	5,021	4,828	4,798	4,813	5,089	4,718
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

年齢別成熟割合											
年齢	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	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
4	0.87	0.61	0.70	0.59	0.55	0.34	0.64	0.54	0.60	0.57	0.62
5	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

漁獲死亡係数（F）											
年齢	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	0.19	0.13	0.61	0.42	0.21	0.10	0.40	0.25	0.29	0.79	0.42
2	0.29	0.64	0.78	0.83	1.17	0.66	0.60	0.96	0.70	0.47	0.68
3	0.44	0.36	0.29	0.54	0.75	0.65	0.52	0.83	0.50	0.60	0.62
4	0.54	0.59	0.64	1.17	1.43	1.09	0.72	1.09	0.62	0.76	0.79
5	0.70	1.05	0.86	1.56	1.74	1.91	1.01	1.45	1.44	0.56	1.10
6以上	0.70	1.05	0.86	1.56	1.74	1.91	1.01	1.45	1.44	0.56	1.10
平均	0.48	0.64	0.68	1.01	1.17	1.05	0.71	1.00	0.83	0.62	0.79

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
1	45,065	17,912	12,514	13,297	17,488	12,207	6,862	11,153	5,471	4,091	231
2	10,294	103,840	52,900	23,393	33,524	20,888	9,688	7,346	7,828	11,268	6,517
3	21,455	15,305	169,815	52,004	29,624	27,818	17,342	9,698	4,720	12,640	11,352
4	2,130	10,614	13,345	40,872	35,000	12,839	11,003	8,601	2,480	6,781	2,763
5	1,121	3,393	6,936	8,491	18,389	13,464	3,819	4,815	453	3,172	731
6以上		1,039	1,968	1,073	3,143	5,601	2,241	2,026	357	59	1,163

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
1	45,237	36,495	32,959	30,605	14,049	11,517	16,606	13,707	9,762	12,524	6,951
2	14,488	26,130	22,463	12,477	14,042	7,965	7,265	7,800	7,463	5,124	3,984
3	5,755	7,575	9,659	7,178	3,792	3,058	2,871	2,785	2,096	2,589	2,250
4	1,643	2,589	3,693	5,039	2,940	1,256	1,121	1,196	851	892	994
5	624	669	1,002	1,357	1,089	490	297	381	283	320	293
6以上	105	254	227	362	253	165	68	93	78	60	152
合計	67,851	73,712	70,003	57,019	36,165	24,451	28,228	25,962	20,533	21,508	14,625

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
1	15,785	8,179	9,495	6,664	3,380	3,268	4,034	3,330	2,143	3,782	2,690
2	20,933	27,303	28,427	12,358	12,172	6,772	5,735	6,391	6,003	4,166	3,924
3	14,623	18,263	24,175	14,206	8,071	5,476	5,098	5,681	3,998	4,743	4,709
4	6,287	10,137	14,234	15,664	10,101	4,299	3,394	4,001	2,713	2,771	3,337
5	4,018	3,768	5,472	6,781	5,351	2,462	1,433	1,829	1,360	1,627	1,383
6以上	849	2,189	1,758	2,814	1,740	1,098	479	652	549	458	1,340
合計	62,494	69,839	83,562	58,486	40,816	23,374	20,172	21,885	16,765	17,546	17,384

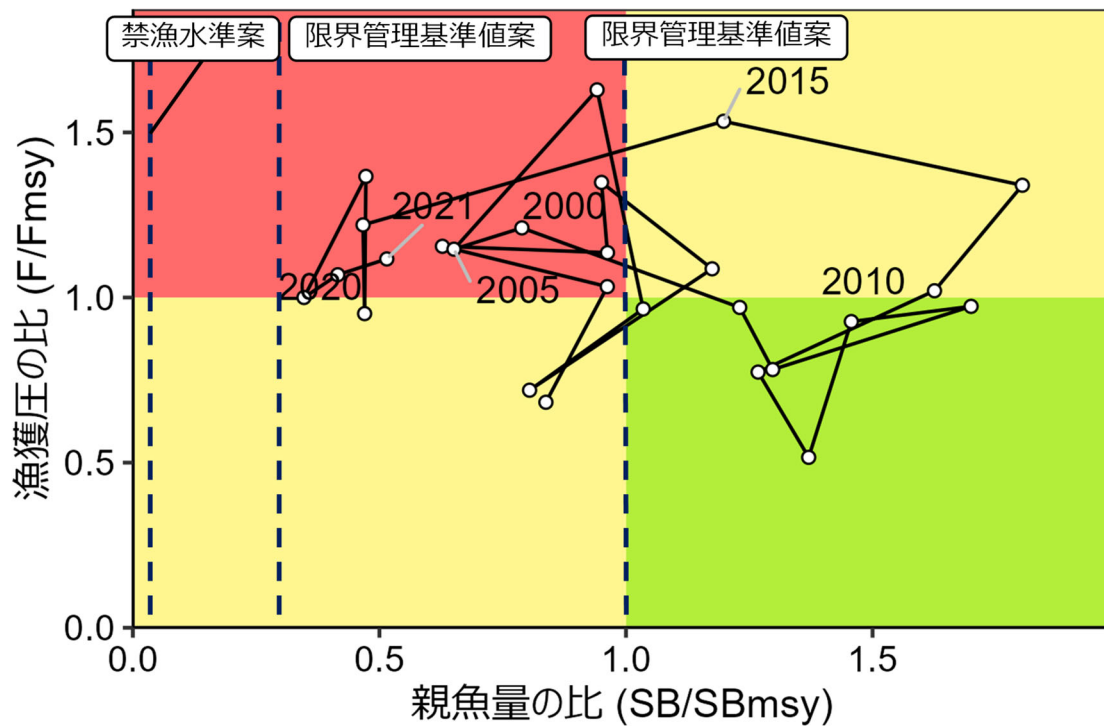
注) 資源尾数に各年各年齢の平均体重を乗じたもの。

補足資料 3 管理基準値案と禁漁水準案等

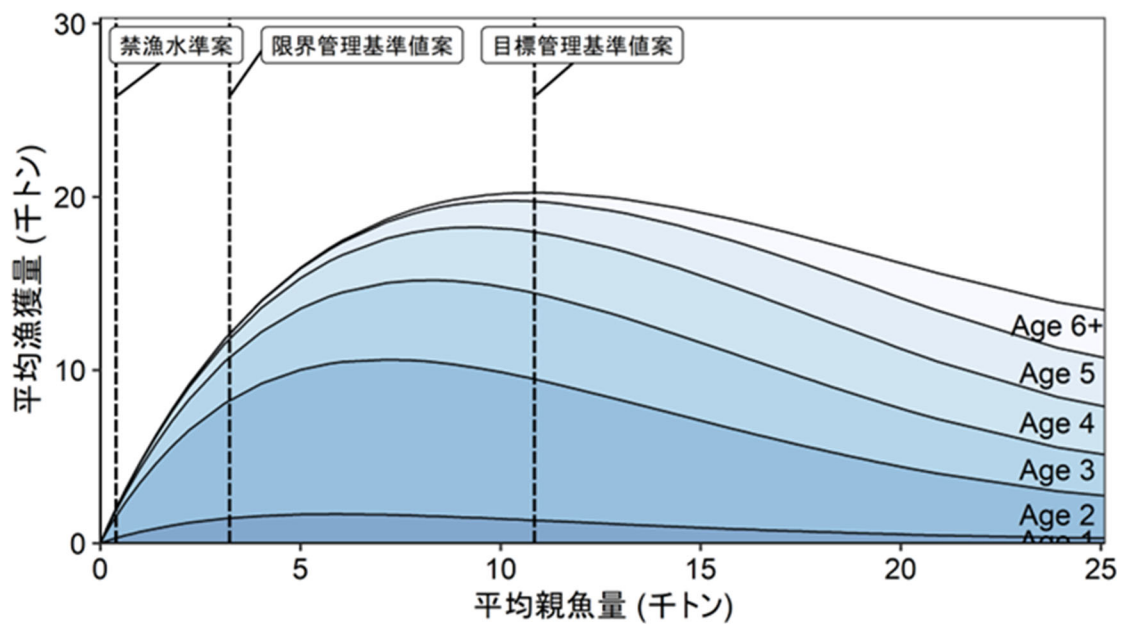
令和 2 年 8 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」により、目標管理基準値 (SBtarget) には MSY 水準における親魚量 (SBmsy: 10.9 千トン)、限界管理基準値 (SBlimit) には MSY の 60% が得られる親魚量 (SB0.6msy: 3.2 千トン)、禁漁水準 (SBban) には MSY の 10% が得られる親魚量 (SB0.1msy: 0.4 千トン) を用いることが提案されている (成松ほか 2021, 補足表 6-2)。

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 2021 年漁期の親魚量 (SB2021: 5.6 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 2018 年漁期～2021 年漁期の漁獲圧は、MSY を実現する漁獲圧を上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 2021 年漁期の資源量から、コホート解析の前進法を用いて 2022～2052 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。

2022 年漁期の漁獲量は、予測される資源量と現状の漁獲圧（F2018-2020）から仮定した。2023 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。なお、研究機関会議提案では「 β が 0.8 以下であれば、

10 年後に目標管理基準値案を 50%以上の確率で上回ると推定される」とされている。

(3) 2023 年漁期の予測値

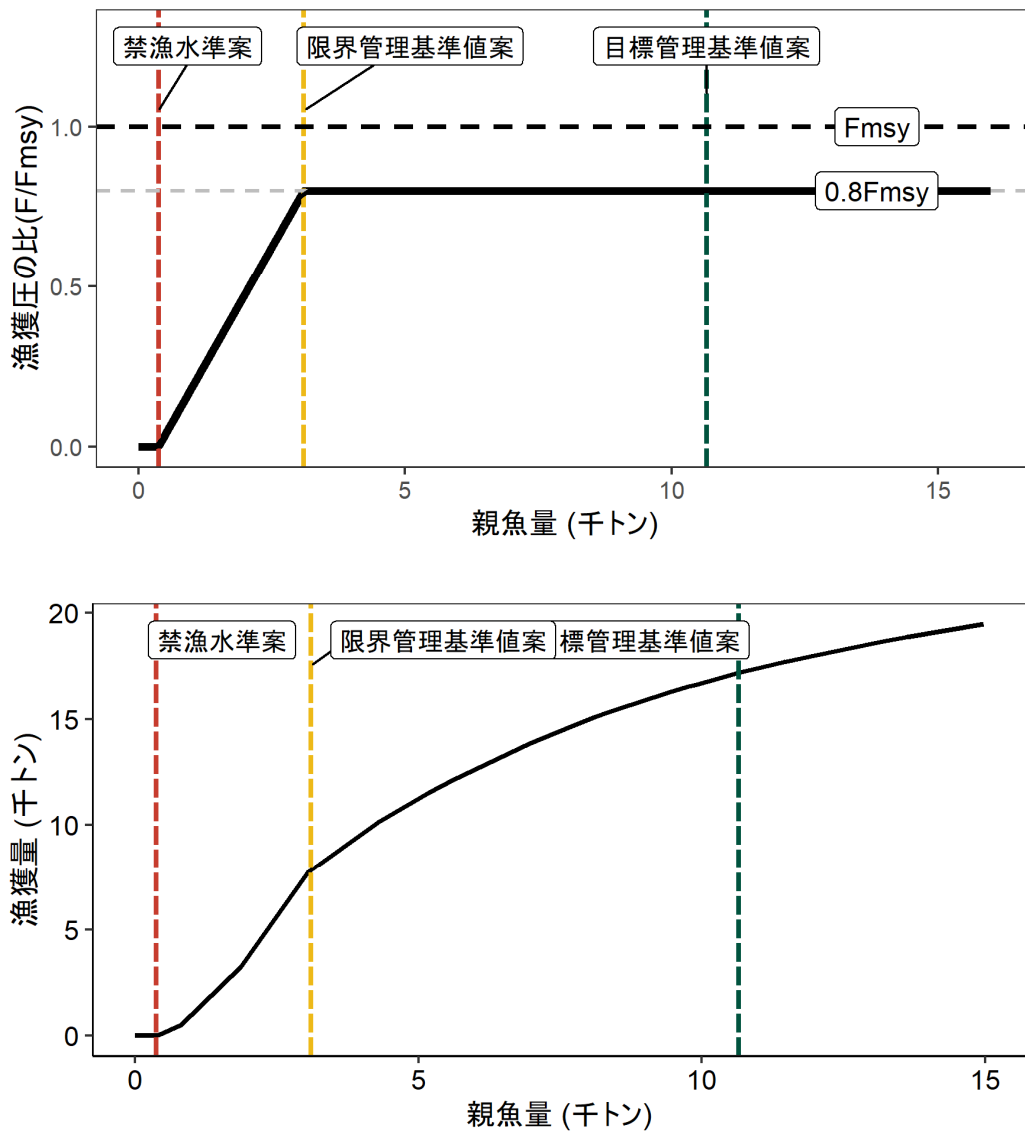
漁獲管理規則に基づき試算された 2023 年漁期の平均漁獲量は β を 0.8 とした場合には 5.9 千トン、 β を 1.0 とした場合には 6.8 千トンであった（補足表 6-4）。2023 年漁期に予測される親魚量は限界管理基準値を上回り、平均 3.8 千トンと見込まれた。

(4) 2024 年漁期以降の予測

2024 年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、2033 年漁期の親魚量の予測値は β を 0.8 とした場合には 1.2 万トン（90%予測区間は 0.4 万～1.4 万トン）であり、 β を 1.0 とした場合には 0.8 万トン（90%予測区間は 0.3 万～1.0 万トン）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 0.7 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 でも 50%を上回る。現状の漁獲圧（F2018-2020）を継続した場合の 2033 年漁期の親魚量の予測値は 0.5 万トン（90%予測区間は 0.2 万トン～1.0 万トン）であり目標管理基準値案を上回る確率は 2%、限界管理基準値案を上回る確率は 68%である。

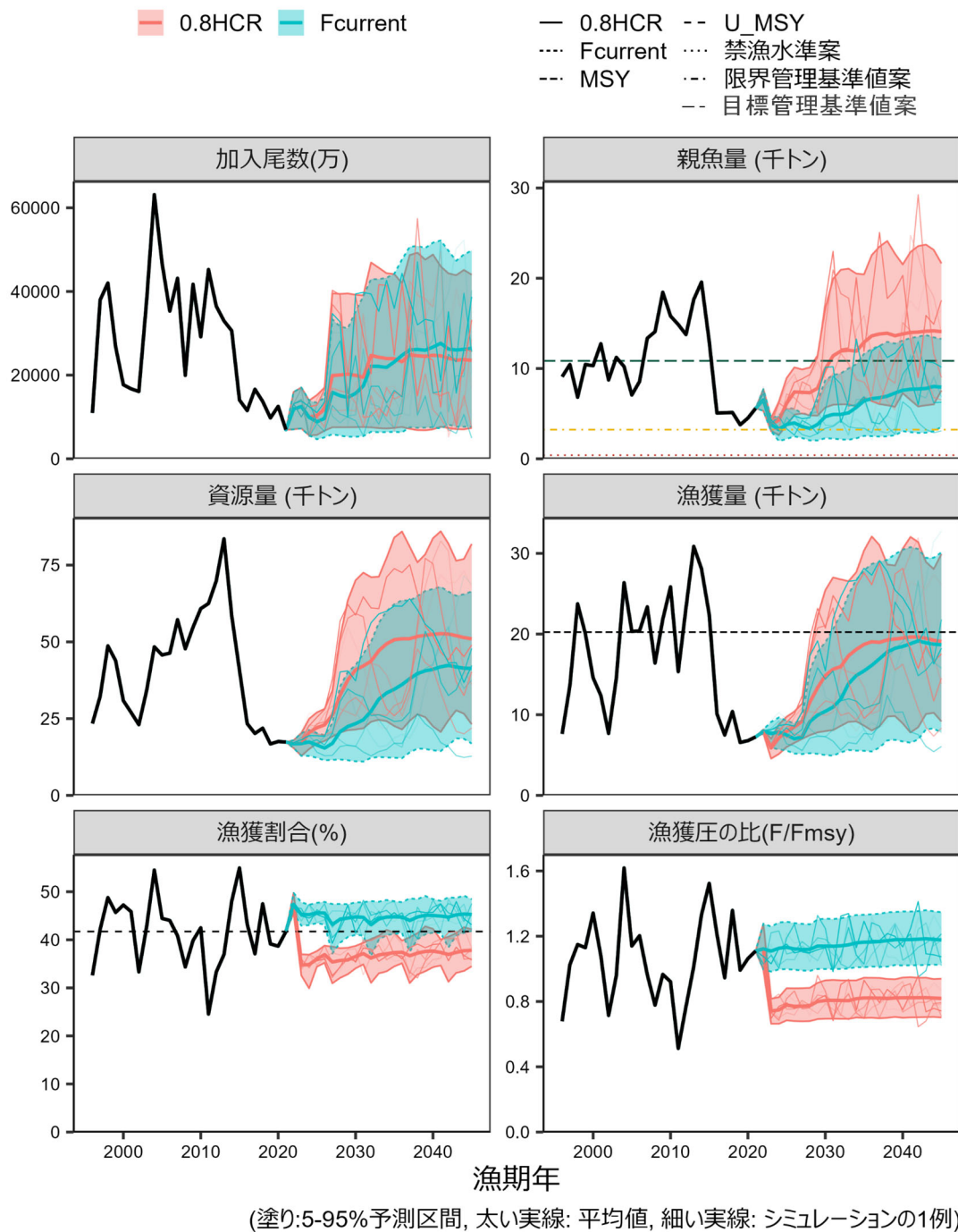
漁獲管理規則案に基づく管理を継続した場合、親魚量が目標管理基準値案を 50%以上の確率で上回る漁期年は、 β を 0.8 とした場合には 2034 年漁期以降となると予測された（補足表 6-5）。また、限界管理基準値を 50%以上の確率で上回る漁期年は、2023 年漁期と予測された。仮に漁獲圧をゼロにした場合でも（ $\beta=0$ ）、親魚量が目標管理基準値案を 50%以上の確率で上回るのは 2025 年漁期になると予測された。

なお、2021 年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、本年の結果（48%）よりも高かった。この要因には、2020 年級のデータが 1 年加わることにより、1 歳時の尾数が少なく見積もられたことに加えて 2021 年漁期の加入量が少なかったことが作用していると考えられる。



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 (緑線)

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、黄点線は限界管理基準値、赤点線は禁漁水準を示す。漁獲割合の図の破線は U_{msy} を示す。

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	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	11	19	20	21	48	47
0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	2	19	31	34	34	60	60
0.8	0	0	0	0	0	2	1	2	7	31	44	48	48	67	69
0.7	0	0	0	0	2	12	14	16	26	53	64	67	67	73	75
0.6	0	0	0	0	6	38	49	54	60	81	85	86	85	78	80
0.5	0	0	0	0	16	68	85	89	90	96	97	96	95	82	82
0.4	0	0	0	0	32	90	98	99	100	100	100	99	98	82	81
0.3	0	0	0	0	51	98	100	100	100	100	100	100	99	82	83
0.2	0	0	0	1	69	100	100	100	100	100	100	100	100	94	97
0.1	0	0	0	3	85	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	0	0	0	5	95	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2018-2020	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	19	19

b) 限界管理基準値案を上回る確率 (%)

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	100	100	89	67	91	97	97	94	94	98	98	98	98	99	99
0.9	100	100	89	76	95	99	99	99	99	100	100	100	100	100	100
0.8	100	100	89	84	98	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.7	100	100	89	89	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.6	100	100	89	93	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.5	100	100	89	97	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.4	100	100	89	99	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.3	100	100	89	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.2	100	100	89	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0.1	100	100	89	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
0	100	100	89	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
F2018-2020	100	100	89	46	69	77	64	52	62	73	74	72	72	92	94

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	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	5.6	6.5	3.8	3.7	5.0	5.5	5.2	5.0	5.5	7.0	7.7	7.8	7.9	10.6	10.6
0.9	5.6	6.5	3.8	4.0	5.5	6.4	6.1	6.0	6.5	8.3	9.4	9.7	9.7	12.3	12.2
0.8	5.6	6.5	3.8	4.3	6.1	7.4	7.4	7.3	7.8	9.9	11.4	11.9	12.0	14.1	14.1
0.7	5.6	6.5	3.8	4.6	6.9	8.7	8.9	9.0	9.5	11.9	13.8	14.6	14.7	16.2	16.1
0.6	5.6	6.5	3.8	5.0	7.7	10.2	10.9	11.2	11.6	14.2	16.5	17.5	17.7	18.7	18.4
0.5	5.6	6.5	3.8	5.3	8.7	12.1	13.4	14.0	14.5	17.2	19.6	20.6	20.7	21.7	21.2
0.4	5.6	6.5	3.8	5.7	9.8	14.4	16.6	17.7	18.4	20.9	23.1	23.5	23.1	25.3	24.7
0.3	5.6	6.5	3.8	6.1	11.1	17.2	20.8	22.8	23.9	25.9	27.0	26.0	24.3	29.1	29.7
0.2	5.6	6.5	3.8	6.6	12.5	20.6	26.4	29.8	31.7	32.9	31.9	28.2	24.0	34.1	40.3
0.1	5.6	6.5	3.8	7.1	14.1	24.8	33.9	39.8	43.2	43.4	39.2	31.7	24.3	47.0	65.2
0	5.6	6.5	3.8	7.6	16.0	30.0	44.0	54.3	60.9	60.8	53.4	42.2	31.4	80.2	72.9
F2018-2020	5.6	6.5	3.8	3.2	3.8	4.0	3.6	3.4	3.8	4.7	4.9	4.9	5.1	7.8	8.0

b) 漁獲量の平均値の推移（千トン）

β	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2043	2053
1	7.3	7.9	6.8	7.4	7.9	8.0	8.4	10.6	12.0	13.1	13.6	14.4	16.3	20.0	20.1
0.9	7.3	7.9	6.4	7.3	8.0	8.2	8.8	11.2	12.8	14.1	14.7	15.3	17.0	20.0	20.0
0.8	7.3	7.9	5.9	7.1	7.9	8.5	9.2	11.6	13.4	14.8	15.6	16.0	17.3	19.5	19.4
0.7	7.3	7.9	5.3	6.9	7.8	8.7	9.5	11.8	13.6	15.2	16.1	16.3	17.1	18.6	18.6
0.6	7.3	7.9	4.7	6.4	7.6	8.8	9.7	11.8	13.5	15.1	16.0	16.0	16.4	17.5	17.4
0.5	7.3	7.9	4.1	5.9	7.2	8.7	9.8	11.5	12.9	14.2	15.0	14.8	15.0	16.1	15.9
0.4	7.3	7.9	3.4	5.2	6.6	8.3	9.6	10.9	11.8	12.7	13.1	12.7	12.7	14.2	14.2
0.3	7.3	7.9	2.7	4.3	5.7	7.6	8.9	9.9	10.4	10.6	10.5	9.8	9.5	11.4	12.1
0.2	7.3	7.9	1.8	3.1	4.5	6.2	7.5	8.2	8.4	8.2	7.6	6.7	6.1	8.2	10.1
0.1	7.3	7.9	1.0	1.7	2.6	3.8	4.8	5.4	5.4	5.2	4.5	3.7	3.0	5.4	8.1
0	7.3	7.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
F2018-2020	7.3	7.9	7.7	7.9	7.5	7.0	7.2	9.1	9.9	10.4	11.0	11.9	13.9	18.9	19.2

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。2022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1996～2019年級の加入量・親魚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いている（図4-11）。今後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。2022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（2017～2021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（2017～2021年漁期）の残差、または6～10年前（2012～2016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。2042年以降の予測は全残差データのリサンプリングとなる。

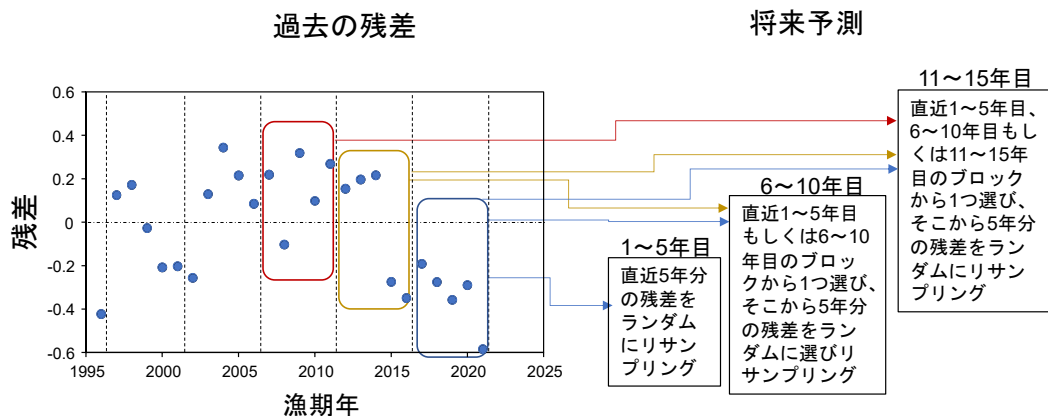
将来予測における漁獲係数 F は、「漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針」における 1 系資源の管理規則に基づき算出される値を用いた。将来予測に用いたパラメータ（補足表 5-1）は「管理基準値等に関する研究機関会議」における提案された各種管理基準値の推定に用いた値を用いた。なお、上述のように将来予測には資源尾数の増減による年齢別成熟率の変化を考慮して親魚量を計算した。ただし、年齢別成熟率の最大値、最小値はそれぞれ過去に観測された値の範囲内にあると仮定した（補足図 5-2）。また、資源尾数の予測には、コホート解析の前進法を用いた。

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

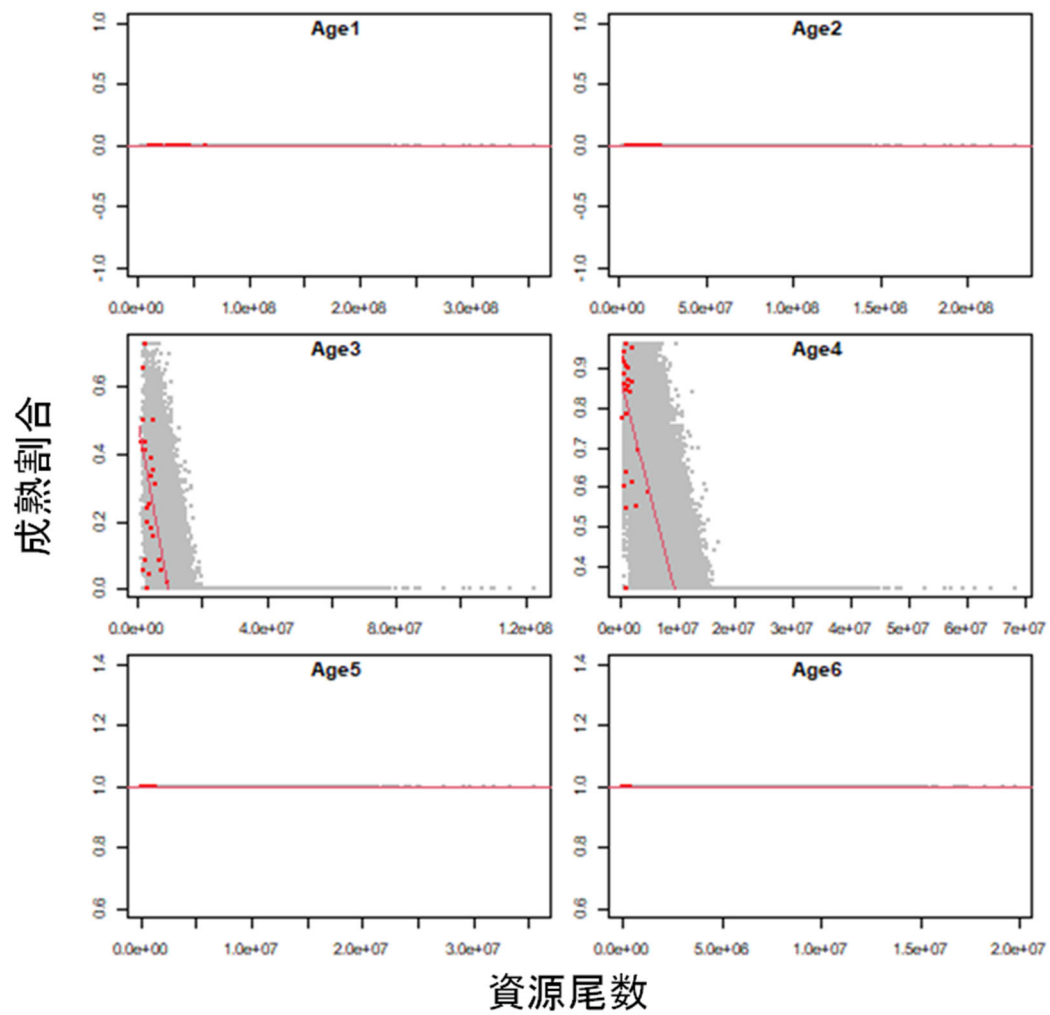
$$N_{6+,y+1} = (N_{6+,y} + N_{5,y}) \exp(-F_{5,y} - M) \quad (6 \text{ 歳以上}) \quad (2)$$

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)	F2017-2019 (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	0.30	285	0.357	0
2 歳	0.53	0.75	0.96	1,239	0.357	0
3 歳	0.48	0.69	0.88	2,402	0.357	0.02～0.72
4 歳	0.66	0.95	1.22	3,999	0.357	0.34～0.96
5 歳	1.00	1.42	1.81	5,788	0.357	1
6 歳以上	1.00	1.42	1.81	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 2018～2020 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 2022 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。

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

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

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
SB2021	5.6 千トン	2021 年漁期の親魚量
F2021	2021 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) =(0.23, 0.75, 0.69, 0.95, 1.42, 1.42)	
U2021	42%	2021 年漁期の漁獲割合
%SPR (F2021)	4.8%	2021 年漁期の%SPR
%SPR (F2018-2020)	4.7%	現状(2018～2020 年漁期)の漁獲圧に対応する%SPR*
管理基準値案との比較		
SB2021/ SBmsy (SBtarget)	0.51	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 2021 年漁期の親魚量の比
F2021/ Fmsy	1.12	最大持続生産量を実現する漁獲圧に対する 2021 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 を実現する水準を上回る	
親魚量の動向	横ばい	

* 2021 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

2023 年漁期の親魚量(予測平均値):3.8 千トン			
項目	2023 年漁期の 漁獲量 (千トン)	現状の漁獲圧に 対する比 (F/F2018-2020)	2023 年漁期の 漁獲割合(%)
$\beta=1.0$	6.8	0.92	40
$\beta=0.8$	5.9	0.74	35
$\beta=0.6$	4.7	0.55	28
$\beta=0.4$	3.4	0.37	20
$\beta=0.2$	1.8	0.18	11
$\beta=0$	0	0	0
F2018-2020	7.7	1.00	45

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	2023 年漁期 の親魚量 (千トン)	90% 予測区間 (千トン)	2023 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
$\beta=1.0$	8	4 – 14	21	98	100
$\beta=0.8$	12	6 – 21	48	100	100
$\beta=0.6$	18	9 – 31	85	100	100
$\beta=0.4$	23	12 – 40	98	100	100
$\beta=0.2$	24	13 – 42	100	100	100
$\beta=0$	31	23 – 47	100	100	100
F2018-2020	5	2 – 10	3	72	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	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
$\beta=1.0$	2053 年以降	2023 年	2023 年
$\beta=0.8$	2034 年	2023 年	2023 年
$\beta=0.6$	2028 年	2023 年	2023 年
$\beta=0.4$	2026 年	2023 年	2023 年
$\beta=0.2$	2025 年	2023 年	2023 年
$\beta=0$	2025 年	2023 年	2023 年
F2018-2020	2053 年以降	2023 年	2023 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～茨城県沖の水深 100～1,000 m で、本系群の水平、垂直分布範囲を網羅している（補足図 3-1）。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

(Bi) 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_{di}) 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_{Bi}) 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)。2011 年に起きた震災以降、漁場および漁獲圧が変化し、それに伴ってマダラ個体群の年齢構成も変化したため、2011～2015 年のトロール調査漁獲物に対して上田ほか (2006) の方法を用いて再度採集効率を求めた (1 歳魚 0.38、2 歳魚 0.72、3 歳魚 0.22、4 歳以上 0.12)。

採集効率を求める際には起算月を 1 月としていたため、10 月に行った調査結果から先送りによって 1 月時点での尾数を求め、翌年のコホート解析の結果と対応させた。

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。

コホート解析は起算月を 4 月としているため、チューニングの指標値として用いる際には、調査を行った 10 月時点現存尾数から 6 か月後進させたものを用いた。年齢別の現存尾数に年齢別の体重を乗じた年齢別の現存量を指標とした。

その結果、1996～2021 年漁期の現存尾数は 8 百万尾～189 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 9 千トン～256 千トンで推移しており、2013 年に 256 千トンを記録した後に急激に減少し、2021 年には 23 千トンとなっている(図 4-2、補足表 7-2)。

なお、2021 年の調査における年齢別現存尾数の CV は 1 歳魚で 0.27、2 歳魚で 0.41 であり、全年齢合計では 0.22 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
1	2,760	62,926	41,935	80,259	4,438	5,776	6,668	44,938	11,182	47,355	32,062	44,063	1,843
2	3,871	1,236	11,609	6,443	18,180	447	3,889	1,931	19,750	4,936	8,747	6,512	13,409
3	752	1,656	273	3,469	968	2,053	986	2,464	3,817	5,925	3,875	2,194	1,433
4	554	458	0	75	370	303	508	245	228	399	714	477	252
5	103	286	0	0	0	0	0	158	36	0	459	191	83
6以上	0	0	0	0	0	0	0	0	38	0	0	0	0
合計	8,040	66,561	53,817	90,246	23,956	8,579	12,050	49,735	35,049	58,615	45,858	53,438	17,020

年齢	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	49,977	42,409	129,147	79,924	43,437	61,069	72,690	43,013	28,246	45,912	24,927	13,545	596
2	1,256	25,272	7,125	99,379	41,801	23,619	38,675	24,569	12,273	8,966	9,732	13,860	6,616
3	3,987	1,353	8,444	6,348	67,852	26,274	13,919	15,534	9,767	4,754	2,474	6,899	5,424
4	677	542	557	2,710	3,462	13,149	10,186	3,752	3,634	2,571	778	2,183	823
5	163	187	174	602	1,270	1,700	3,743	2,682	791	1,003	94	623	155
6以上	93	71	0	120	254	138	456	844	318	288	51	8	132
合計	56,154	69,834	145,446	189,084	158,076	125,949	139,668	90,393	55,029	63,494	38,055	37,119	13,746

注) 10～11月時点の値に年齢別の生残率を乗じ、4月の値を推定したもの。

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1996～2011年は1歳魚0.64、2歳魚0.54、3歳魚以上0.12、

2012年以降は1歳魚0.38、2歳魚0.72、3歳魚0.22、4歳以上0.12とした。

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
1	793	18,087	12,082	23,732	960	1,699	1,890	12,917	3,214	14,148	10,450	15,664	590
2	4,758	1,518	16,207	8,797	19,885	736	6,203	3,058	29,576	7,323	5,564	9,939	16,751
3	1,790	3,943	648	9,283	2,295	5,650	2,641	6,536	9,772	16,187	5,278	6,241	3,830
4	2,178	1,800	0	358	1,435	1,146	2,265	1,198	1,160	1,783	1,880	1,959	1,020
5	600	1,664	0	0	0	0	0	1,147	275	0	2,472	1,158	492
6以上	0	0	0	0	0	0	0	0	417	0	0	0	0
計	10,119	27,012	28,936	42,170	24,576	9,231	12,998	24,857	43,997	39,443	25,644	34,960	22,682

年齢	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
1	17,961	15,196	45,065	17,912	12,514	13,297	17,488	12,207	6,862	10,078	5,471	4,091	259
2	1,691	33,318	10,294	103,840	52,900	23,393	33,524	20,888	9,688	7,346	7,974	11,268	7,089
3	9,452	3,772	21,455	15,305	169,815	52,004	29,624	27,818	17,342	9,698	5,047	12,640	11,944
4	2,345	2,502	2,130	10,614	13,345	40,872	35,000	12,839	11,003	8,601	2,604	6,781	2,975
5	955	1,215	1,121	3,393	6,936	8,491	18,389	13,464	3,819	4,815	451	3,172	785
6以上	1,021	515	0	1,039	1,968	1,073	3,143	5,601	2,241	2,026	356	53	1,013
計	32,403	56,003	80,066	151,064	255,511	138,056	134,025	87,217	48,713	40,537	21,547	37,953	23,050

注) 10～11月時点の値から推定した4月の現存尾数に各年の各年齢の平均体重を乗じたもの。

トロール調査による面積一密度法による推定値。

親魚量は各年、各年齢の資源尾数に各年、各年齢の成熟率を乗じたものである。

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	1995	1996	1997	1998	1999	2000
調査地点数	57	57	60	61	59	74
現存尾数(千尾)	41,008	164,376	252,266	253,952	56,622	35,372
現存尾数のCV	0.222	0.574	0.524	0.371	0.234	0.276
現存尾数のSE(千尾)	9,101	94,290	132,313	94,265	13,256	9,747
95%信頼区間(下限、千尾)	26,540	53,363	90,328	122,730	35,793	20,593
95%信頼区間(上限、千尾)	63,363	506,334	704,525	525,476	89,572	60,757

年	2001	2002	2003	2004	2005	2006
調査地点数	71	75	100	145	150	146
現存尾数(千尾)	83,692	148,447	66,530	116,009	127,173	139,200
現存尾数のCV	0.497	0.292	0.258	0.493	0.218	0.256
現存尾数のSE(千尾)	41,612	43,418	17,192	57,206	27,734	35,606
95%信頼区間(下限、千尾)	31,596	83,756	40,124	44,141	82,953	84,281
95%信頼区間(上限、千尾)	221,686	263,104	110,314	304,889	194,967	229,906

年	2007	2008	2009	2010	2011	2012
調査地点数	150	148	134	124	124	101
現存尾数(千尾)	34,843	86,023	79,780	96,779	160,681	165,149
現存尾数のCV	0.156	0.266	0.257	0.210	0.266	0.211
現存尾数のSE(千尾)	5,423	22,869	20,540	20,298	42,684	34,851
95%信頼区間(下限、千尾)	25,664	51,073	48,209	64,125	95,398	109,212
95%信頼区間(上限、千尾)	47,305	144,890	132,025	146,062	270,638	249,737

年	2013	2014	2015	2016	2017	2018
調査地点数	113	110	122	121	101	107
現存尾数(千尾)	184,712	143,860	232,164	323,038	112,640	82,097
現存尾数のCV	0.234	0.298	0.157	0.175	0.255	0.255
現存尾数のSE(千尾)	43,197	42,843	36,512	56,423	28,776	20,903
95%信頼区間(下限、千尾)	116,764	80,219	170,669	229,240	68,333	49,842
95%信頼区間(上限、千尾)	292,200	257,990	315,817	455,215	185,675	135,226

年	2019	2020	2021
調査地点数	107	153	139
現存尾数(千尾)	51,214	21,774	15,916
現存尾数のCV	0.385	0.183	0.223
現存尾数のSE(千尾)	19,696	3,975	3,358
95%信頼区間(下限、千尾)	24,101	15,196	10,272
95%信頼区間(上限、千尾)	108,831	31,114	24,669

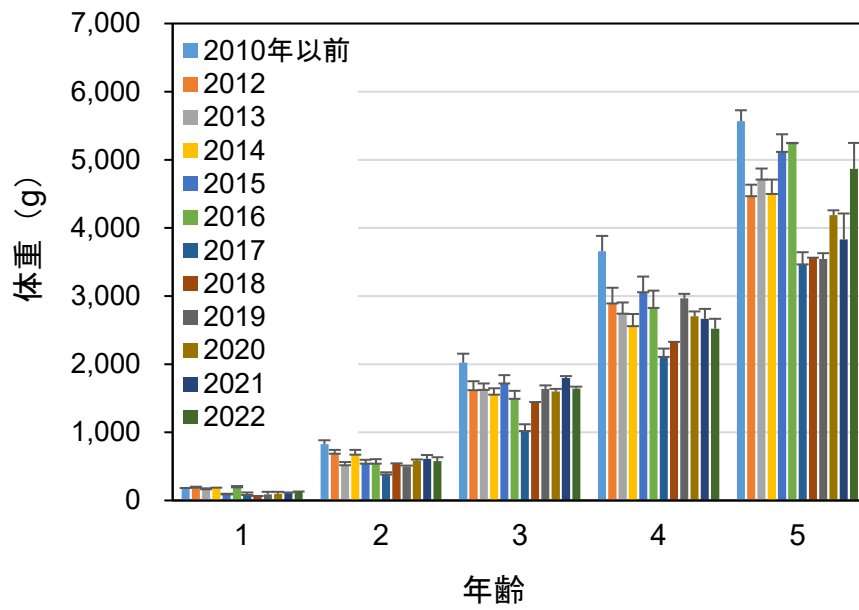
注) CV、信頼区間は各年齢に分けて求めた資源尾数、SEから求めたものである。

補足資料 8 震災以降の成長の鈍化と成熟割合の変化

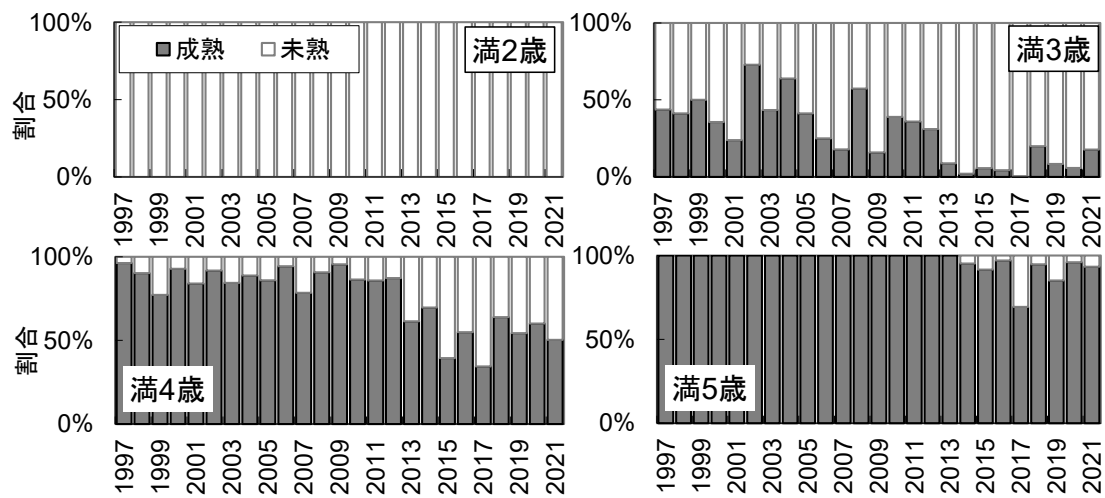
震災以降、マダラの成長には鈍化傾向が認められてきた。震災以前にもマダラの成長には加入尾数と負の相関があることが示されていたことから (Narimatsu et al. 2010)、震災以降の急激な資源の増加に伴い、成長が鈍化したと考えられる。過去の資源評価では、直近 5 年間の 4 月時点での年齢別の平均体重を年齢別の資源尾数に乗じることで資源量を推定してきた。しかし、2017 年および 2018 年 4 月に行った調査で漁獲されたマダラは、震災以降の 2012～2016 年に漁獲されたマダラと比べても著しく年齢別の体重が軽い傾向が認められた (補足図 4-1)。それらの年では、体重が震災前の 3～4 割程度にまで下がっている年齢も認められた。2022 年では、3 歳および 4 歳の体重は震災前と比べて依然低いものの、全体として 2017 年や 2018 年と比べると回復している。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