

令和元（2019）年度マダラ太平洋北部系群の資源評価

担当水研：東北区水産研究所

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、福島県水産資源研究所、福島県水産海洋研究センター、茨城県水産試験場

要 約

本系群の資源量を着底トロール調査による直接推定法によって推定した。東日本大震災以降の資源量は、漁獲圧の低下などによって増加し、2014年には19万トン記録した。しかしその後減少傾向にあり、2019年には4.1万トンになった。また、漁獲量は2013年および2014年には約3万トンになり、過去最高になったが、その後減少し、2018年は暫定値ながら9千トンになった。2019年の資源量から資源水準は中位、直近5年間（2015～2019年）の資源量の推移から動向は減少と判断した。

本系群には明瞭な再生産関係は認められていない。資源量は減少しており、成長の鈍化や晩熟化、再生産成功率の低下も認められる。そのため、資源の回復力の低下を考慮し、一定の親魚量を確保するために基準値をF20%SPRとし、これに0.8を乗じたものを管理基準とした。0.8F20%SPRをFlimitとして、ABC算定のための基本規則1-3)-(3)に基づき2020年ABCを算定した。

管理基準	Target/ Limit	2020年ABC (千トン)	漁獲割合 (%)	F値（現状のF値からの 増減%）
0.8F20%SPR	Target	8	19	0.22 (－42%)
	Limit	10	23	0.31 (－28%)

Limitは、管理基準の下で許容される最大レベルのF値による漁獲量である。Targetは、資源変動の可能性やデータ誤差に起因する評価の不確実性を考慮し、管理基準の下でより安定的な資源の増大または維持が期待されるF値による漁獲量である。 $F_{target} = \alpha \times F_{limit}$ とし、係数 α には0.8を用いた。中位水準、減少傾向にあるため、本系群のABC算定には規則1-3)-(3)を用いた。 $F_{limit} = \beta_2 \times F20\%SPR$ とし、 β_2 には0.8を用いた。漁獲割合は2020年の漁獲量/資源量である。2014～2018年のFの平均値を現状のFとした。

年	資源量 (千トン)	親魚量 (千トン)	漁獲量 (千トン)	F 値	漁獲割合 (%)
2015	143	62	24	0.19	17
2016	146	59	16	0.19	11
2017	82	22	8	0.34	10
2018	48	21	9	0.43	17
2019	41	14	14	0.55	34
2020	45	14	—	—	—

2019、2020 年の値は将来予測に基づいた推定値である。各年の資源量は漁獲対象資源量を示す。漁獲量は暦年（1～12 月）で集計。2018 年漁獲量は暫定値。F 値は調査で得られた生残率より求めた各年齢の平均値。

水準：中位 動向：減少

本件資源評価に使用したデータセットは以下の通り

データセット	基礎情報、関係調査等
年別漁獲量	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） 月別体長組成（宮城県、福島県、水研） ・市場測定
資源量指数 ・資源量 ・加入量指数	底魚類資源量調査（水研） ・着底トロール調査（10～11 月） マダラ・スケトウダラ新規加入量調査（水研、青森～茨城（5）県） ・着底トロール調査（4 月）
成熟年齢 年平均体重	月別精密測定調査（水研、青森県） 底魚類資源量調査（水研、10～11 月） マダラ・スケトウダラ新規加入量調査（水研、4 月）
自然死亡係数（M）	年当たり $M=0.313$ を仮定（田中 1960）
2019 年級加入量	カレイ類・マダラ 0 歳魚分布調査（水研）

1. まえがき

マダラは、底魚類の中でも分布密度が高く、大型に成長することから北日本の各地で重要な漁獲対象種とされている。東北地方においても周年漁獲され、特に冬場の繁殖期を中心として重要な地先資源となっている。太平洋北部（青森県～茨城県沖）は太平洋岸における本種の分布の南限に位置していることもあり、本系群の資源動向は比較的不安定で、増減を繰り返している。1990 年代後半以降の資源量は 1998 および 1999 年に高水準となったが、その後減少し、2004 年以降再び増加傾向にあった。しかし、2007 年級が極めて少な

く、資源量は再度減少した。その後は加入が安定しており、2011年には高位水準になった。さらに東日本大震災（以下、「震災」という）による漁獲圧の低下により、2013～2016年の資源量は極めて高い水準となり、2014年には過去最高を記録した。しかしながら、個体数の減少や成長の鈍化により、その後資源量は減少している。

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 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、その群れのほとんど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）。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太平洋北部系群とは別系群であると判断し、ここでは扱っていない。

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、東北海域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）。成長は年によって変化し、マダラ自体の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 6）。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（年齢起算日は 1 月 1 日）、BW は体重（g）である。

(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

魚は水深数十 m の浅瀬に移動し (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)。また、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 (1~69%) もしくは 4 歳で、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)、震災後には晩熟化の傾向が見られる (補足資料 6)。成熟後は毎年産卵すると考えられる。

(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 年以降の沖底の割合は 51~82% で推移している (表 1)。次いで延縄、刺網、小型底びき網漁業 (以下、「小底」という) で多い。これらの漁業では周年漁獲されているが、冬に産卵のために接岸する大型個体を対象にした定置網による漁獲もある。漁獲対象となるのは満 1 歳ぐらいからで、狙い操業が多いため漁獲圧が強く、震災前の十数年は特に若齢魚 (1 歳魚) に対する漁獲圧が強かったと見られる。震災以降の漁獲圧は、漁船の被災、魚価の低迷および操業規制、自粛などにより全体に低かったが、規制の解除などに伴い、年々高くなる傾向にある。

(2) 漁獲量の推移

全漁業種類合計の漁獲量の経年変化を見ると (図 3、表 1)、1980 年から漁獲量は徐々に増加し、1986~1990 年には 1 万トン以上を記録している。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 年以降再び増加に転じ、1998 年および 1999 年にはほぼ 2 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 年は 2.6 万トンとなった。2011、2012 年は震災の影響により震災以前に比べて少なくなったが、2013 年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過去最高の 3.0 万トンを記録しており、2014 年もほぼ同レベルの漁獲量になった。その後減少し、2016 年には 1.6 万トン、2017 年には 8 千トン、2018 年には暫定値で 9 千トンとなっている (図 3、表 1)。

漁業種類別の漁獲量を見ると、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、表 1)。2017 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 4)。沖底および小底では 7、8 月の禁漁期を除いて周年にわたり漁獲しているが、定置網や一部の刺網では産卵期に接岸する個体のみ漁獲の対象となっている。

(3) 漁獲努力量

漁獲努力量の指標として、本系群の漁獲量が最も多い漁法である沖底の海區別の有漁網数（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 5）。その結果、尻屋崎海区では 1972 年以降長期にわたって漸増傾向にあり、2007 年にはピークとなって 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、2017 年、2018 年は減少している。岩手海区では、1993 年に 6 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 2012～2017 年には年間 2.2 千～2.6 千網で推移している。金華山海区の網数は 1992～2004 年にかけて 1.5 万～2.0 万網と多く、その後緩やかに減少した。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比較的安定している。常磐海区の網数は 1989～1991 年に 3 万網以上を記録していたが、その後増減を繰り返しながらも減少した。特に 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. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

資源の状態は、1995 年以降、毎年 10～11 月に青森県沖～茨城県沖の水深 150～900 m で調査船若鷹丸により実施している底魚類資源量調査（以下、「トロール調査」という、調査年ごとの定点数 57～150 点）により評価した。秋季には水深 200～250 m に水温躍層ができ、マダラはその下方に分布すること、犬吠埼沖が分布の南限であることから、調査点は太平洋北部のマダラの垂直、水平的な分布範囲をほぼ網羅できており、面積密度法で資源量を推定することが可能であると考えられる。このため、調査によって得られたマダラ全個体について年齢を査定し、面積密度法を用いて年齢別に資源尾数の元となるデータを求めた（補足資料 1、2）。さらに過去のコホート解析と資源量調査の結果をもとに採集効率を推定し（年齢別採集効率は震災以前：1 歳魚 0.64、2 歳魚 0.54、3 歳以上 0.12、震災以降：1 歳魚 0.38、2 歳魚 0.72、3 歳魚 0.22、4 歳以上 0.12、補足資料 2）、それらを資源尾数の元データに乗じて年齢別資源尾数を推定した。年齢別資源尾数に年別年齢別体重を乗じ、資源量を推定した。

(2) 資源量指標値の推移

上述のように本海域のマダラは主要な漁獲対象であり、漁業種別では沖底による漁獲が最も多い。そのため、沖底の CPUE（漁獲量/有漁網数）は長期的な資源変動を知るための一つの指標になると考えられる。小海區別に沖底の CPUE の時系列変化を見ると、尻屋崎海区のかけまわしを除いて 1990 年代後半の CPUE 値はそれ以前より高くなったが、その後 2002 年にかけて減少した（図 6）。2003 年以降は各海区共に高い傾向にあるが、岩手 2 そうびきや金華山トロールでは変動が激しい。また、震災以降は放射性セシウム拡散の影響による操業規制や魚価の低迷により、操業形態が変化していると考えられる。2012～2014 年にはすべての海区の CPUE が高かったが、その後すべての海域で減少傾向が見られている。

(3) 漁獲物の体長・年齢組成

2018 年に各県に水揚げされたマダラの体サイズ組成を図 7 に示した。青森県、岩手県では 30 cm 台後半にモードを有する単峰形を呈していた。一方、宮城県では二峰系を呈しており、20 cm 台後半から 30 cm 台前半を中心とする山と 40～50 cm 台を中心とする山が認められた。福島県のデータは調査船調査によるものであり、10 cm 台に大きな山があり、20 cm 台にも小さな山が認められた。満 1、2、3、4 歳の平均体長はそれぞれ 17.9 cm、33.8 cm、47.4 cm、58.6 cm であり（図 2）、2016 年以降の成長が悪かったことも合わせて考慮すると、青森県、岩手県では 2～5 歳魚、宮城県では 1～3 歳魚が漁獲の中心になっていたと考えられる。

(4) 資源量と漁獲割合の推移

資源尾数、資源量は着底トロール調査による直接推定法によって推定した。資源量は 1996～2011 年には 1.3 万～6.6 万トンで推移していたが、震災以降急増し、2014 年には 19 万トンとなった（図 8、表 2）。その後減少し、2015 年および 2016 年には 14 万トン台、2018 年には 4 万トン台になった。過去 24 年で見ると、2019 年の 1 歳魚は 3,593 トンで 4 番目に少ない。また、2 歳～5 歳以上の資源量は平均的である。ただし、震災以降で見れば、2 歳魚は平均的であるものの、それ以外の年齢では下から 1～3 番目に少ない（図 8、表 2）。震災以降は震災以前に比べて 2～5 歳魚が多く、資源が多様な年齢によって構成されていたが、2018 年以降は震災以前のように若齢魚中心の資源に戻りつつある。全体の資源尾数が減少したこと、近年になって平均体重が軽くなったことにより、2019 年の資源量は 4.1 万トンにまで減少した。（図 8、図 9、表 2、表 3）。

漁獲割合は、1997 年以降、震災まで徐々に増加する傾向にあり、2009 年と 2010 年は 60% を越していた（図 10）。現在は福島沖での操業が試験操業にとどまっている影響もあって比較的 low、2018 年は 17% であった。

(5) 再生産関係

1998～2019 年に調査および商業的に漁獲された満 3 歳魚の成熟状況を生殖腺重量指数（GSI）と組織学的手法により調べたところ、雌の成熟率は 0.5～68.7% であり（補足図 6-2）、年級間で大きく異なっていた（2019 年は 9.1%）。50% 成熟体長は 45.7～53.5 cm で推移していた。各年の年齢別の成熟率と資源尾数から親魚量を求め、1 歳魚の加入尾数との関係から再生産関係を求めた。

その結果、明瞭な再生産関係は認められなかった（図 11）。1998 年および 2002 年は卓越年級であると考えられるが、これらが発生したときの親魚量は 1998～2018 年の中でもかなり低水準であった。逆に 2007 年には、比較的親魚量が多い中で過去最低の加入となった。また、再生産成功率（親魚 1 kg あたりの 1 歳魚加入尾数）にもばらつきが大きく、過去 20 年では最大 100 倍以上の差が生じている（図 12）。2019 年は、加入尾数がやや少なく（図 9、表 3）、再生産成功率で見ても低い水準である（図 12）。再生産成功率に大きなばらつきが生じる要因としては、後述する環境の影響が大きいことや親魚の年齢の影響などが考えられるが、詳細は明らかにはなっておらず、今後さらなるデータの蓄積や解析が必要である。なお、再生産関係が不明瞭で卓越年級が発生する最低親魚量も不明などの理由

により、Blimit は設定していない。

(6) 資源の水準・動向

沖底 CPUE（有漁網数当たり漁獲量）では 40 年を超える長期間にわたるデータが得られているが、近年は年変動が大きく、海域による差も認められる。また、震災の影響により漁業実態は変化している。一方、1996 年以降は着底トロール調査による過去 24 年間の資源量推定値が得られている。着底トロール調査の結果は、海域間および経年的な漁業実態の変化とは独立していることから、本系群の資源水準および動向は着底トロール調査から得られた資源量推定値を用いて判断した。

1996 年以降の資源量は 1.3 万トン（1996 年）から 19.0 万トン（2014 年）の間を変動している（図 8）。2019 年の資源量は 4.1 万トンで、震災以降（2012 年以降）では最も低い値となっている。震災以降の資源の急増や海洋環境の変化などにより、本系群には成長の鈍化（補足資料 6）や晩熟化が認められており、震災後の高い資源量は一時的な状況である可能性がある。そのため、資源水準を判断するための基準には震災以前のデータを用いた。1996～2011 年の資源量の平均値を求め、それよりも 30%以上多い場合を高位水準、少ない場合を低位水準として判断した。その結果、2019 年の資源量は震災以前の平均値の 97%に相当することから、資源水準は中位と判断した（図 8、表 2）。また、過去 5 年間（2015～2019 年）の資源量は明瞭に落ち込んでいることから動向は減少と判断した。

(7) 今後の加入量の見積もり

前述のように本系群の 1 歳魚の加入量には大きな年変化があり、再生産成功率の変動も大きい（図 11、図 12）。また、特に震災以前には資源や漁獲に占める 1 歳魚の割合が高かったため、1 歳魚の資源量推定値の把握は資源予測に有用である。そこで、マダラ稚魚の成育場において着底直後の分布密度を調べる調査（若鷹丸によるカレイ類・マダラ 0 歳魚分布調査）を毎年行い、過去の調査で得られた 6 月と 10 月の資源量指標値の回帰式と 2019 年 6 月の調査結果から、2019 年級の加入個体数を推定した（補足資料 4）。回帰式から推定した加入尾数（10 月時点）は北部海域で 20,319 千尾、南部海域で 41,402 千尾となり、合計 61,721 千尾であった（補足図 4-1）。なお、再生産関係が明瞭ではないため（図 11）、将来予測における 2021 年以降の加入量（1 歳魚の尾数、資源量）には、過去 10 年の加入量（2010～2019 年）の中央値を用いた（66,712 千尾、5,737 トン）。

図 13 に太平洋北部におけるマダラの加入量と表面水温との関係を示した。ここでの北部および南部はそれぞれ青森県沖～金華山沖および金華山沖～日立沖を示している。マダラの幼魚が着底する直前の 6 月における表面水温と加入量の間に負の相関があることが示されている（清水ほか 2003）が、近年は親魚量の変動などもあり、相関は弱いものとなっている。また、水温以外の要因について考慮しておらず、水温が卵稚仔の生残に作用するメカニズムも明らかになっていないことから今後負の相関が見られた要因の解明が求められる。

(8) 生物学的管理基準（漁獲係数）と現状の漁獲圧の関係

着底トロール調査で求めた年齢別資源尾数から年齢別の生残率 S を求め、以下の式から

年齢別 F 値を求めた（表 4）。自然死亡係数 M は田内・田中の式（田中 1960）およびこれまでの年齢査定で得られた最高齢の個体（8 歳）から、0.313 とした。なお、年齢別 F を算出するには直近 5 年分の生残率の平均値を用い、S が 1 を越えている場合には解析から除外した。

$$F = -\ln(\bar{S}) - M$$

また、この 2014～2018 年の F を現状の F (F_{current}) とした。その結果、現状の 3 歳魚の F は 0.55 で、現在の成長鈍化や晩熟化を考慮した %SPR は 16.9% に相当する（図 14）。1 歳魚の F は 0.81、2 歳魚の F は 0.29 で、1 歳魚に対する F が最も高くなっている。なお、0.8F_{20%SPR} となる 3 歳魚の F は 0.32 で、F_{current} よりも低い。

5. 2020 年 ABC の算定

(1) 資源評価のまとめ

資源量調査結果から、現在の資源水準は中位、動向は減少と判断した。震災以前は本資源は若齢魚中心に構成されていたこともあり、その変動は加入量に大きく依存してきた。そのため、2007 年のように個体数の極めて少ない年級が発生すると、資源状態は急速に悪化していた。震災以降は若齢魚から高齢魚まで幅広い年齢によって資源が構成されていたが、近年は徐々に漁獲圧が増加しており、親魚までの生き残りが悪くなっていることから親魚量が減少傾向にあり、さらに年齢構成も若齢魚中心に戻りつつある。また、成長の鈍化やそれに伴う肥満度の低下により、産卵数の減少も予測される。そのため、親魚量を確保することが次世代の加入促進のために重要であると考えられる。

(2) ABC の算定

ABC を算定する際の情報として資源量が利用できるが再生産関係は不明瞭である。2019 年の資源は中位減少であるため、ABC 算定のための基本規則の 1-3)-(3) (下式) により ABC を算定した。

$$F_{\text{limit}} = \text{基準値} \times \beta_2$$

$$F_{\text{target}} = F_{\text{limit}} \times \alpha$$

ここで、 β_2 は係数で、2017 年以降には、成長の鈍化や成熟年齢の高齢化（補足資料 6 参照）による親魚量の減少が顕著（表 2）であり、再生産成功率の低下（図 12）も認められていることから、0.8 を用いた。また、 α は安全率であり、標準値の 0.8 を用いた。将来予測は以下の条件の下で行った。①2019 年級（2020 年の 1 歳魚）の加入尾数は 2019 年 6 月の新規加入量調査結果に基づき算出した。②2020 年級以降の加入尾数は直近 10 年級（2009～2018 年級）の中央値である。③2020 年以降の年齢別体重は、2018 年と 2019 年の平均値（4 月）とした（表 5）。④2019 年以降の年齢別選択率は 2014～2018 年の平均値と同じと仮定した。⑤2020 年以降の成熟率は、2011～2019 年の解析結果に基づき（補足図 6-2）、満 3 歳魚 0.08、満 4 歳 0.58、満 5 歳以上 1 とした。

この条件の下で現状の漁獲が 2019 年末まで続くと仮定すると、2020 年の初期資源量は

4.5 万トンになると推定された。

震災以降の漁獲圧は震災以前と比べて低いものの（図 15、表 4）、震災から 8 年以上が経過し、漁獲圧は徐々に増加しており、資源尾数は減少傾向にある。また、漁獲圧の増加により親魚までの生き残りが悪くなっていること、成長の鈍化や晩熟化などにより近年の親魚量は減少傾向にあることから、親魚量を一定量確保することを管理目標とした。F20%SPR を基準値とし、これに $\beta_2=0.8$ を乗じたものを管理基準とした。また、不確実性を考慮した安全率 α (0.8) を乗じ、 $F_{target}=F_{limit} \times 0.8$ として ABCtarget を算定した。

その結果、ABClimit=10,198 トン、ABCtarget=8,398 トンと算出された。

管理基準	Target/ Limit	2020 年 ABC (千トン)	漁獲割合 (%)	F 値 (現状の F 値からの 増減%)
0.8F20%SPR	Target	8	19	0.22 (-42%)
	Limit	10	23	0.31 (-28%)

Limit は、管理基準の下で許容される最大レベルの F 値による漁獲量である。Target は、資源変動の可能性やデータ誤差に起因する評価の不確実性を考慮し、管理基準の下でより安定的な資源の増大または維持が期待される F 値による漁獲量である。中位水準、減少傾向にあるため、本系群の ABC 算定には規則 1-3)-(3)を用いた。 $F_{limit}=\beta_2 \times F20\%SPR$ とし、 β_2 には 0.8 を用いた。 $F_{target} = \alpha \times F_{limit}$ とし、係数 α には 0.8 を用いた。漁獲割合は 2020 年の漁獲量/資源量である。2014～2018 年の F の平均値を現状の F とした。

(3) ABC の評価

F20%SPR を基準値とし、 β_2 を 0.8 として漁獲すると、2020 年の漁獲量は 1.0 万トンとなる。なお、この漁獲圧は過去 20 年のうちで 2013 年～2015 年に次いで低い値である（図 15、表 4）。ABC 算定の管理基準とした 0.8F20%SPR とともに 0.64F20%SPR、F0.1、0.8Fcurrent、F20%SPR および Fcurrent による漁獲量、資源量および親魚量の将来予測を以下の表と図 16（図 16 は漁獲量と資源量のみ）に示す。その結果、資源量、漁獲量のピークはどの漁獲方策を用いても 2025 年に見られた。Fcurrent で漁獲すると、2025 年の資源量はそれぞれ 2018 年資源量をやや上回る程度となる。ただし、このシミュレーションは年齢別の漁獲圧や加入尾数が近年と同様の傾向と仮定したものであり、今後、漁獲圧が増加あるいは 2020 年以降の加入が減少した場合には予測値を下回ることになる。

管理基準	F 値	漁獲量（千トン）							
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0.64F20%SPR	0.25	9	14	8	11	15	20	22	25
F0.1	0.27	9	14	9	11	16	20	22	25
0.8F20%SPR	0.31	9	14	10	13	17	21	23	25
F20%SPR	0.39	9	14	12	14	18	21	23	25
0.8Fcurrent	0.44	9	14	14	15	18	21	22	24
Fcurrent	0.55	9	14	16	16	18	20	20	21
管理基準	F 値	資源量（千トン）							
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0.64F20%SPR	0.25	48	41	45	62	84	109	121	136
F0.1	0.27	48	41	45	61	82	105	115	129
0.8F20%SPR	0.31	48	41	45	58	76	95	103	113
F20%SPR	0.39	48	41	45	54	67	80	85	91
0.8Fcurrent	0.44	48	41	45	52	62	72	75	80
Fcurrent	0.55	48	41	45	47	51	57	58	61
管理基準	F 値	親魚量（千トン）							
		2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
0.64F20%SPR	0.25	21	14	14	21	29	44	54	69
F0.1	0.27	21	14	14	21	28	42	51	64
0.8F20%SPR	0.31	21	14	14	20	26	37	43	54
F20%SPR	0.39	21	14	14	18	23	29	33	40
0.8Fcurrent	0.44	21	14	14	18	21	26	28	33
Fcurrent	0.55	21	14	14	16	17	19	19	22

F 値は各年齢の平均値である。

(4) ABC の再評価

昨年度評価以降追加されたデータセット	修正・更新された数値
2017 年漁獲量確定値 2018 年漁獲量	2017 年漁獲量の確定 2018 年漁獲量の暫定値
2019 年資源量確定値 2019 年級資源量暫定値	2018 年調査結果に基づき年齢別資源尾数を追加 2019 年 6 月調査結果に基づき推定
2019 年年齢別体重	2019 年および 2020 年以降の年齢別体重

評価対象年 (当初・再評価)	管理 基準	F 値	資源量 (千トン)	ABClimit (千トン)	ABCtarget (千トン)	漁獲量 (千トン) (実際の F 値)
2018 年(当初)	0.8Fcurrent	0.31	106	22	18	
2018 年(2018 年再評価)	0.8Fcurrent	0.31	48	11	9	
2018 年(2019 年再評価)	0.8Fcurrent	0.31	48	11	9	9 (0.18)
2019 年(当初)	0.8F20%SPR	0.31	54	12	10	
2019 年(2019 年再評価)	0.8F20%SPR	0.32	41	9	7	

2018 年の漁獲量は暫定値。

再評価では、資源量、ABC が減少した。2018 年の再評価では、成長の鈍化によって各年齢の体重が軽くなったためである。2019 年では、小型化に加えて資源尾数が当初の推定よりも少なかったことによる。

6. ABC 以外の管理方策への提言

マダラは非常に成長が早く、平均的な成長をした場合、満 1 歳で 80 g 程度の個体が、満 2 歳では 550 g、満 3 歳では 1,600 g になる。2013 年以降に資源量が大幅に増大したのは、震災の影響によって漁獲圧が下がり、3 歳以上の個体が増えたためと考えられる(Narimatsu et al. 2017)。しかし、2016～2019 年にかけて大幅な成長の停滞が見られており、1 歳魚では、2019 年の体重は震災前のわずか 51%で、2～5 歳魚でも 60～81%となっている。そのため、若齢魚の保護は資源増大に効果的であるが、成長には年変化が大きく、今後の状況を注視する必要がある。

7. 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.
- 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., Y. Shibata, T. Hattori, T. Yano, and J. Nagao (2017) Effects of a marine protected area occurred incidentally after the Great East Japan Earthquake on the Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) population off northeastern Honshu, Japan. Fish. Oceanogr., **26**, 181-192.
- 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.
- 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.
- 清水勇吾・成松庸二・北川大二 (2003) 東北海区水温データによるマダラ現存量予測の可能性. 東北底魚研究, **23**, 39-42.
- 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.

(執筆著者：成松庸二、柴田泰宙、鈴木勇人、森川英祐、時岡 駿、永尾次郎)



図 1. 太平洋北部におけるマダラ分布

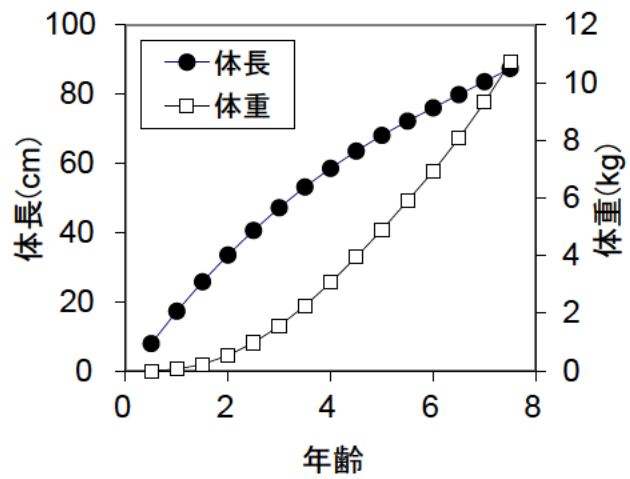


図 2. 太平洋北部におけるマダラの成長（震災以前の平均）

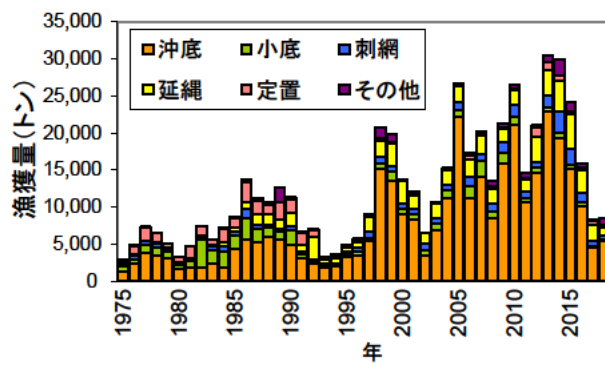


図 3. 太平洋北部におけるマダラの漁業種別漁獲量 2018 年は暫定値。

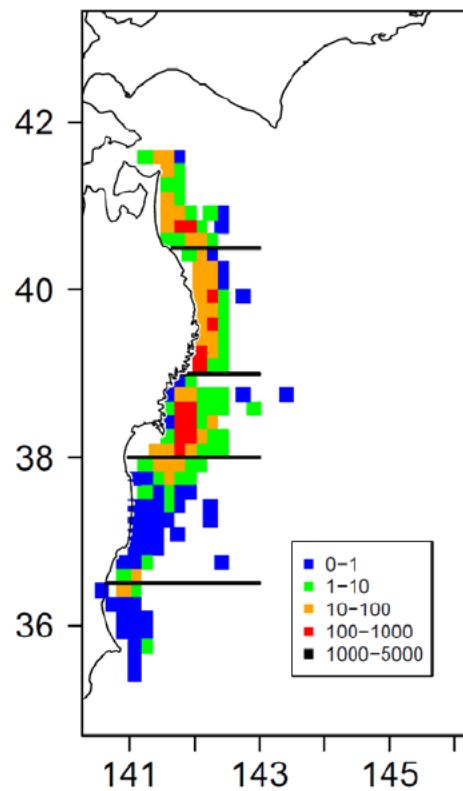


図 4. 沖底による 2017 年の漁獲量（トン）の分布

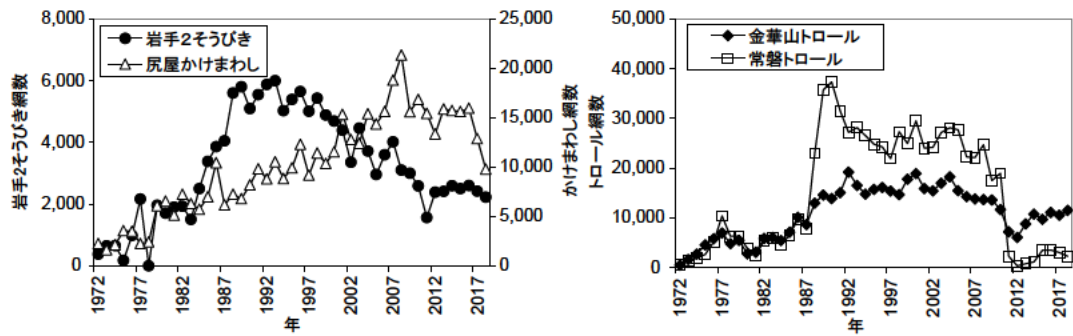


図 5. 沖底による有漁網数の推移

左：2 そうびきとかけまわし 右：トロール 2018 年は暫定値。

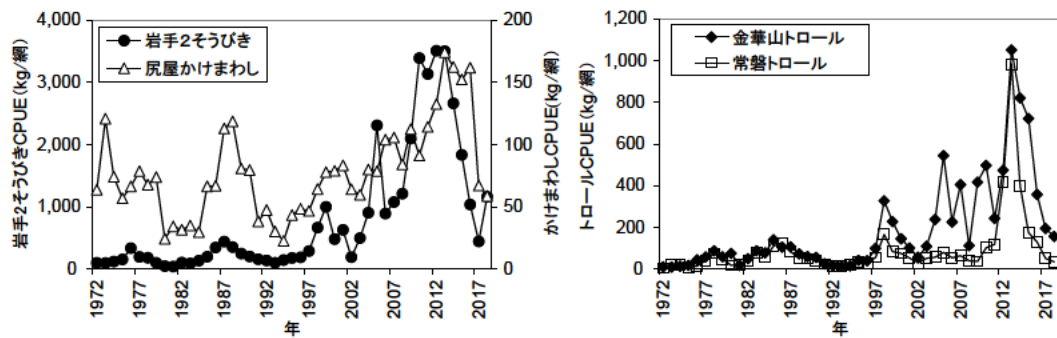


図 6. 沖底による CPUE の推移

左：2 そうびきとかけまわし 右：トロール. 2018 年は暫定値。

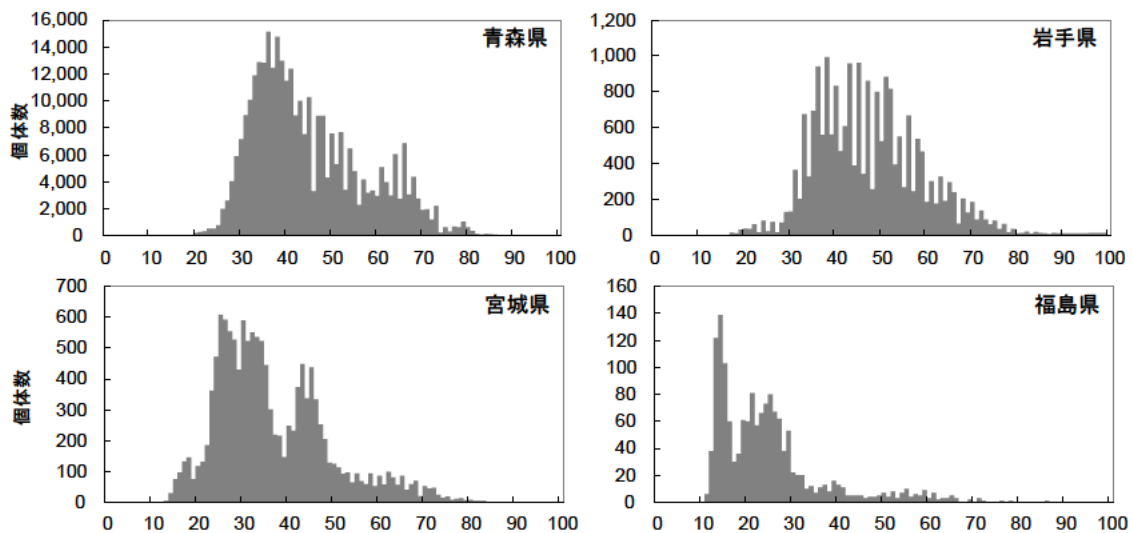


図 7. 2018 年に各県で漁獲されたマダラの体サイズ組成 (cm)

福島県は調査船による漁獲物で全長表記、その他の県は商業船による漁獲物で標準体長表記。

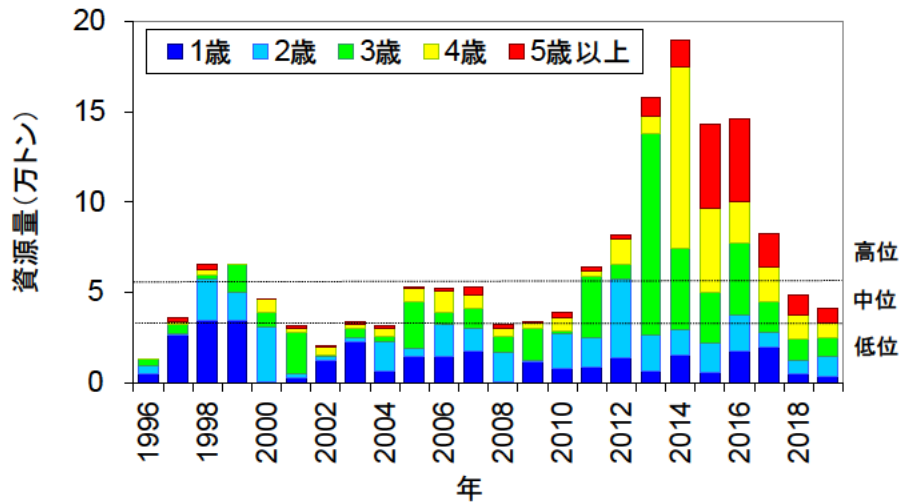


図 8. 年齢別資源量の推移

図中の破線は水準判断基準を示す。

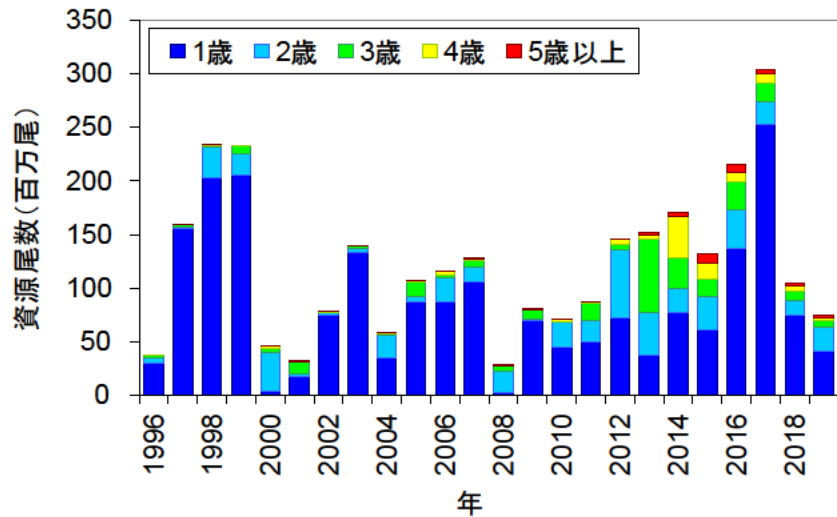


図 9. 年齢別資源尾数の推移

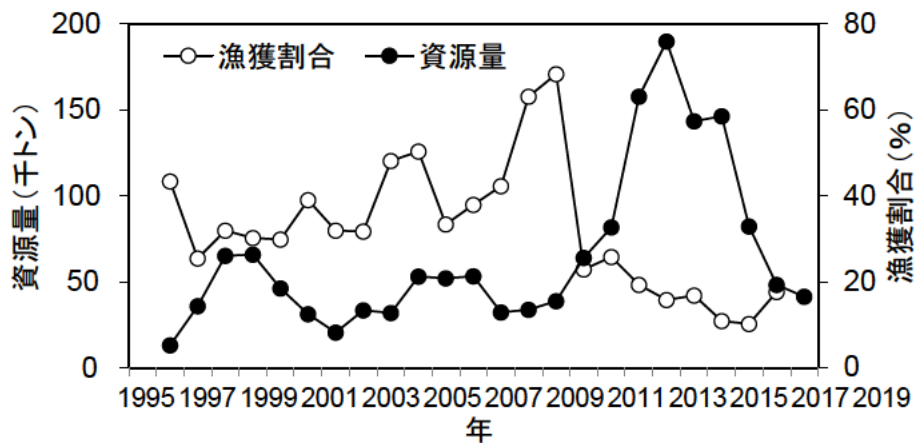


図 10. 資源量と漁獲割合の推移 2018 年の漁獲割合は暫定値。

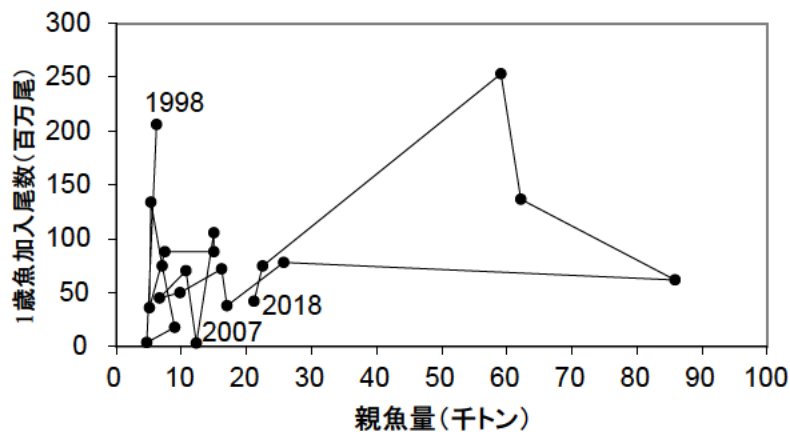


図 11. 再生産関係（親魚量と 1 歳魚加入尾数の関係）
数字は加入個体の年級。

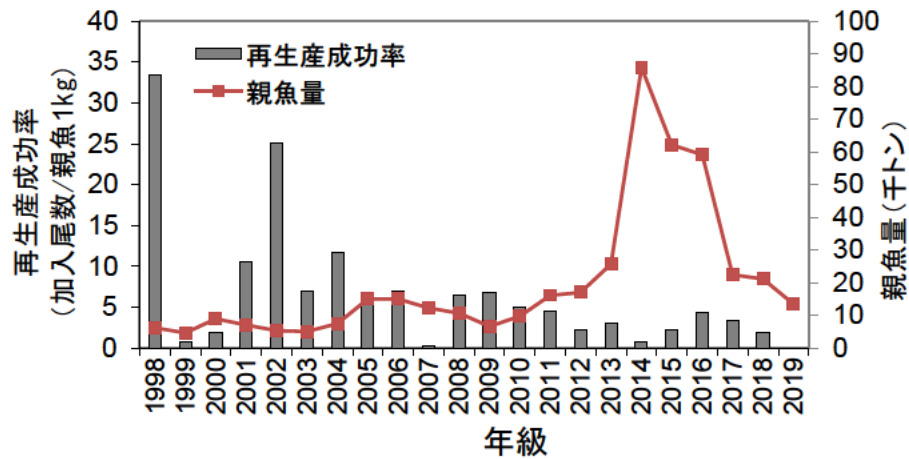


図 12. 再生産成功率と親魚量の推移

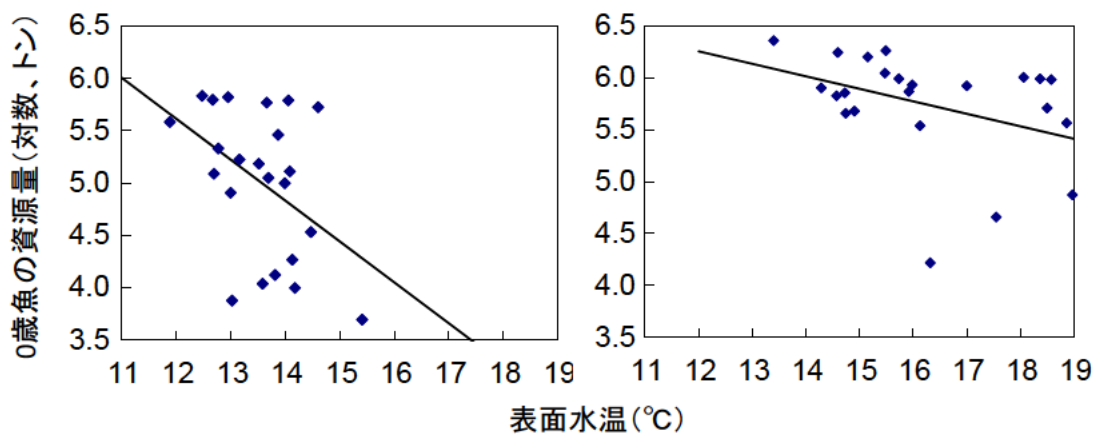
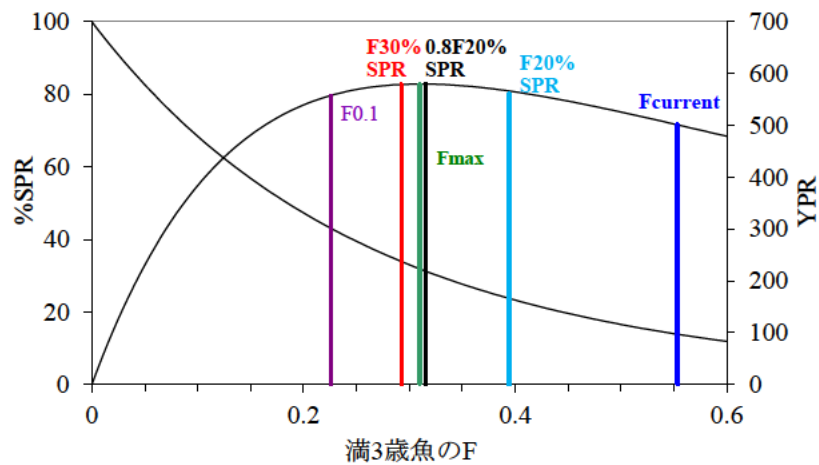
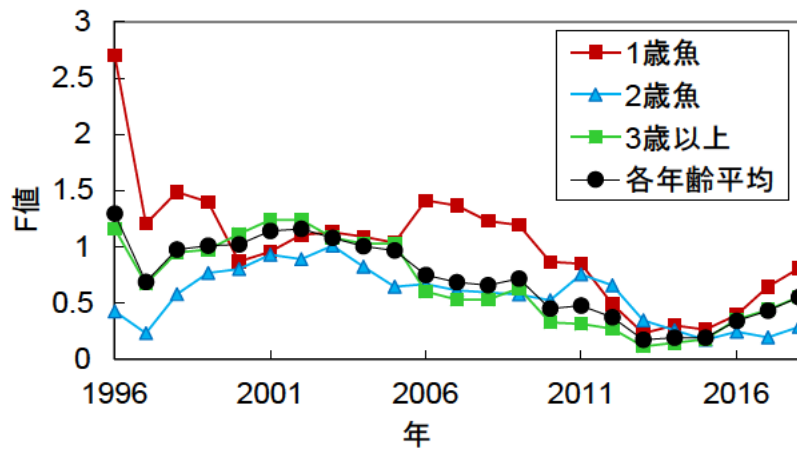


図 13. 太平洋北部における表面水温と 0 歳魚の資源量の関係 (1996～2018 年)
左：北部海域、右：南部海域。

図 14. 漁獲係数 F と %SPR および YPR の関係図 15. 年齢別 F 値の推移

F 値は生残率の平均値から算出したものである。

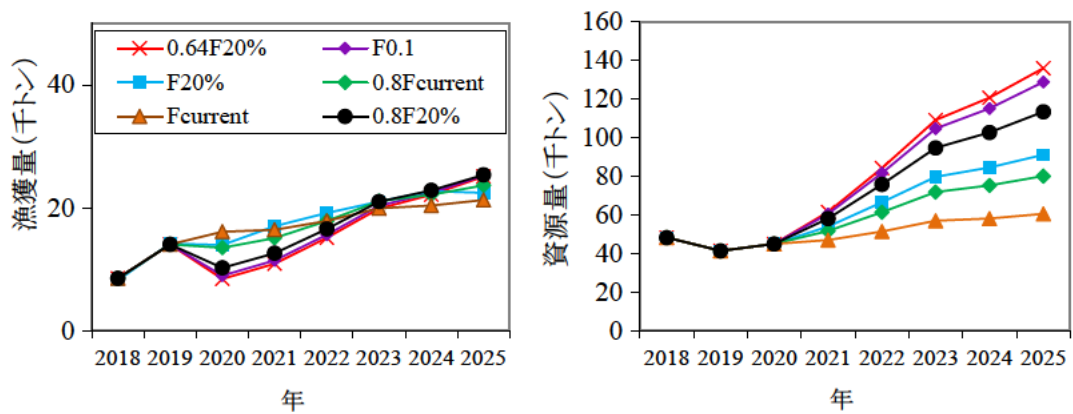


図 16. さまざまな管理方策に基づく漁獲量 (左図) と資源量 (右図) の将来予測

表1. 漁業種別のマダラの漁獲量（トン）

	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
沖底	1,337	2,443	3,779	3,423	3,131	1,723	1,884	1,815	2,439	1,821	4,249	5,620	5,223
小底	574	498	1,103	1,108	809	399	848	3,842	1,762	2,130	1,890	2,784	1,731
刺網	546	508	495	502	315	414	307	378	410	784	504	1,269	573
延縄	107	64	88	255	216	92	59	165	234	514	631	1,031	1,415
定置	230	1,250	1,694	1,170	566	595	1,537	1,201	679	1,803	1,134	2,620	1,923
その他	7	64	166	42	26	13	14	35	71	150	276	320	339
計	2,801	4,827	7,325	6,500	5,063	3,236	4,649	7,436	5,595	7,202	8,684	13,644	11,204

	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
沖底	6,007	5,613	4,864	3,016	2,320	1,858	2,013	3,176	3,346	5,333	15,074	13,520	8,946
小底	1,173	1,047	1,897	614	295	157	278	430	701	494	823	1,245	768
刺網	428	460	704	372	238	438	166	322	426	897	799	828	786
延縄	1,344	1,206	1,698	886	3,181	395	546	633	806	1,976	2,267	2,981	2,977
定置	1,320	2,336	1,803	1,629	807	384	462	278	207	283	239	264	107
その他	285	1,927	333	82	103	88	106	104	201	111	1,552	982	165
計	10,557	12,589	11,299	6,599	6,944	3,320	3,571	4,943	5,688	9,094	20,753	19,819	13,749

	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
沖底	8,214	3,377	6,903	11,247	22,101	11,236	13,981	8,556	15,896	21,039	10,543	14,674	22,841
小底	764	731	911	996	955	1,565	2,194	850	1,457	1,116	569	598	668
刺網	817	1,004	648	766	1,070	1,253	947	951	1,411	1,595	1,015	877	1,588
延縄	1,803	1,298	1,901	1,956	2,243	2,401	2,595	2,067	1,865	1,976	1,515	1,956	3,317
定置	153	58	65	63	190	463	72	437	140	216	264	305	1,163
その他	393	84	182	238	171	396	358	717	528	546	718	330	866
計	12,143	6,551	10,610	15,267	26,729	17,314	20,147	13,578	21,296	26,488	14,624	18,738	30,442

	2014	2015	2016	2017	2018
沖底	19,223	15,076	10,161	4,454	5,376
小底	767	553	497	264	209
刺網	2,953	2,196	1,225	740	621
延縄	4,003	4,635	2,992	2,191	1,105
定置	870	451	446	420	312
その他	2,066	1,170	547	315	899
計	29,882	24,081	15,866	8,384	8,522

2018年は各県水試調べによる暫定値。

表2. トロール調査から推定したマダラ太平洋北部系群の年齢別資源量（トン）

年齢	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
1	5,131	26,092	34,116	34,568	589	2,944	12,502	22,420	5,980	14,699	14,708	17,691	473
2	3,916	1,029	23,464	15,637	29,927	1,655	2,154	2,486	16,756	4,169	17,658	11,955	16,430
3	3,704	4,998	1,595	14,989	8,319	23,472	578	5,021	2,493	25,499	6,373	11,294	8,408
4	374	1,518	3,345	552	7,007	1,955	4,147	1,991	4,976	7,709	11,968	7,827	4,432
5以上	0	2,138	2,610	0	231	1,137	1,138	1,562	1,563	1,052	1,226	4,370	2,391
合計	13,126	35,776	65,130	65,745	46,073	31,163	20,517	33,480	31,768	53,129	51,933	53,137	32,135
親魚量	1,563	4,162	6,175	4,675	8,977	7,049	5,337	5,073	7,475	14,990	15,012	12,288	10,702

年齢	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	11,765	7,511	8,355	13,565	6,226	15,041	5,499	17,792	19,710	4,555	3,593
2	687	19,141	16,628	43,788	20,402	14,471	16,360	19,551	8,100	7,625	11,058
3	17,312	1,622	33,613	7,939	111,032	44,711	27,967	39,798	17,209	12,198	9,955
4	2,895	7,833	2,817	14,190	10,107	100,807	46,643	22,864	19,029	13,199	8,058
5以上	1,124	2,694	2,529	2,188	9,878	14,558	46,782	46,156	18,152	10,679	8,734
合計	33,784	38,801	63,942	81,671	157,645	189,588	143,251	146,161	82,201	48,257	41,398
親魚量	6,640	9,787	16,171	17,015	25,728	85,859	62,180	59,123	22,470	21,170	13,870

注) 10-11月時点の値から推定した翌年1月の現存尾数に各年の各年齢の平均体重（4月）を乗じたもの。

トロール調査による面積－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。

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。

表3. トロール調査から推定したマダラ太平洋北部系群の年齢別資源尾数（千尾）

年齢	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
1	30,588	155,535	203,361	206,056	3,512	17,551	74,524	133,642	35,646	87,622	87,673	105,457	2,822
2	4,757	1,250	28,500	18,993	36,350	2,010	2,616	3,020	20,352	5,064	21,447	14,521	19,957
3	1,832	2,472	789	7,414	4,115	11,611	286	2,483	1,233	12,613	3,153	5,586	4,159
4	102	415	915	151	1,917	535	1,135	545	1,362	2,109	3,275	2,142	1,213
5以上	0	363	411	0	42	204	189	281	238	166	220	673	382
合計	37,280	160,036	233,976	232,614	45,936	31,911	78,749	139,970	58,831	107,576	115,768	128,380	28,532

年齢	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	70,132	44,775	49,802	71,835	37,651	77,769	61,589	136,601	253,024	74,428	41,755
2	835	23,249	20,197	64,113	39,677	21,564	30,317	36,086	21,353	14,022	22,249
3	8,564	802	16,627	4,905	68,415	28,777	16,260	26,625	16,914	8,449	6,089
4	792	2,143	771	4,905	3,688	39,416	15,263	8,086	9,024	5,673	2,715
5以上	185	452	415	425	1,924	2,749	8,626	8,091	3,737	2,571	2,041
合計	80,508	71,422	87,812	146,183	151,356	170,275	132,055	215,489	304,052	105,143	74,870

注) 10-11月時点の値に年齢別の生残率を乗じ、翌年1月の値を推定したもの。

トロール調査による面積－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。

表4. トロール調査により推定したマダラ太平洋北部系群の年齢別漁獲死亡係数

年齢	1996- 97	1997- 98	1998- 99	1999- 2000	2000- 01	2001- 02	2002- 03	2003- 04	2004- 05	2005- 06	2006- 07	2007- 08
1	2.71	1.20	1.49	1.40	0.87	0.96	1.10	1.13	1.09	1.04	1.41	1.37
2	0.42	0.23	0.58	0.77	0.80	0.93	0.89	1.01	0.82	0.65	0.67	0.61
3+	1.16	0.67	0.95	0.97	1.11	1.24	1.24	1.08	1.03	1.03	0.60	0.53
各年齢平均	1.30	0.69	0.98	1.01	1.02	1.14	1.16	1.08	1.00	0.97	0.75	0.68

年齢	2008- 09	2009- 10	2010- 11	2011- 12	2012- 13	2013- 14	2014- 15	2015- 16	2016- 17	2017- 18	2018- 19
1	1.23	1.19	0.87	0.85	0.49	0.23	0.30	0.26	0.39	0.64	0.81
2	0.59	0.57	0.52	0.75	0.66	0.35	0.26	0.17	0.24	0.19	0.29
3+	0.53	0.63	0.33	0.31	0.27	0.11	0.15	0.18	0.35	0.44	0.55
各年齢平均	0.66	0.71	0.45	0.48	0.37	0.17	0.19	0.19	0.34	0.43	0.55

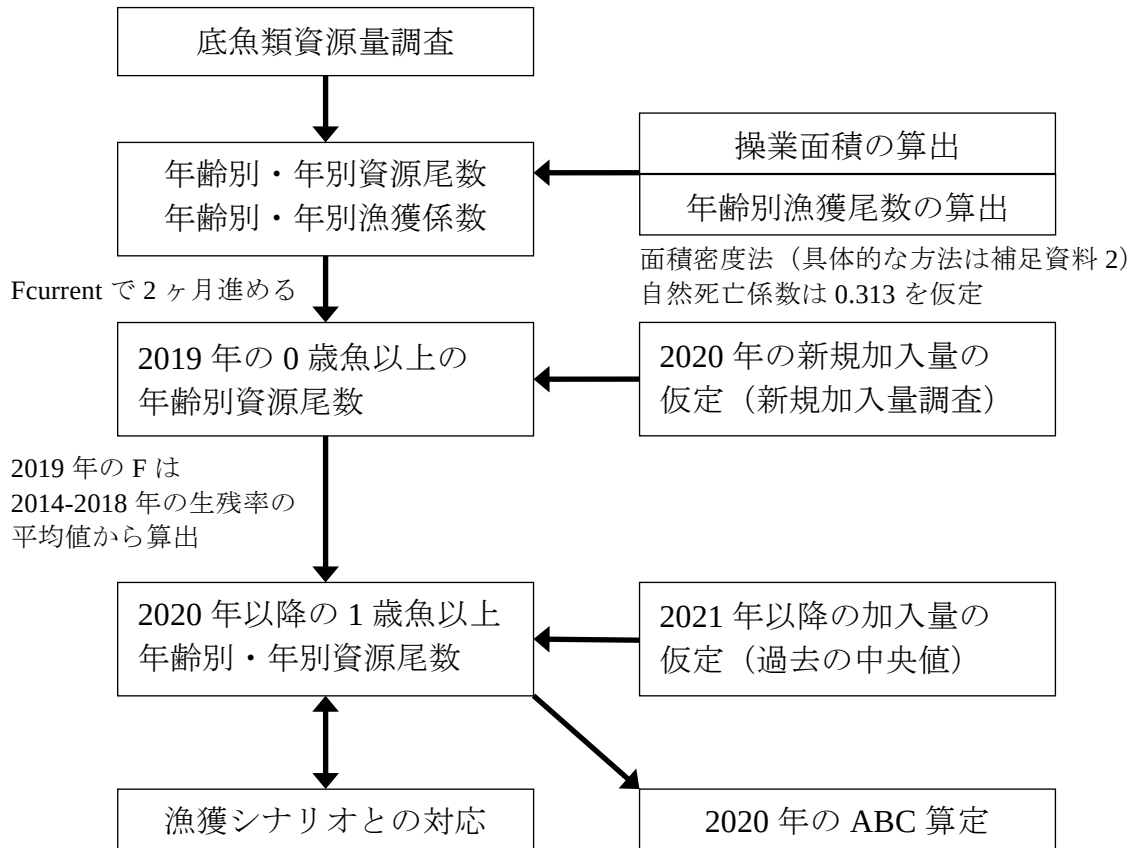
注) Fは生残率の5年平均値から算出した値。

表5. 各年の年齢別平均体重（g）

年齢	2011年 以前	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	168	189	165	193	89	130	78	61	86
2	823	683	514	671	540	542	379	544	497
3	2,022	1,619	1,623	1,554	1,720	1,495	1,017	1,444	1,635
4	3,655	2,893	2,741	2,558	3,056	2,828	2,109	2,327	2,968
5	5,566	4,468	4,708	4,499	5,119	5,251	3,465	3,563	3,544
6+	7,609	7,346	7,047	7,466	7,780	6,938	6,805	6,871	6,160

注) ここでの平均体重は4月時点での体重である。

補足資料 1 資源評価の流れ



補足資料2 資源計算方法

マダラ太平洋北部系群の資源量推定は、調査船による着底トロール調査の結果（補足資料3）を用いた面積密度法により行った。まず、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）から漁獲された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層の資源量あるいは資源尾数（ 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資源量あるいは資源尾数（B）とした。

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

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

資源尾数については、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（補足図2-1）。

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てきた（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（図9）。そのため、コホート解析と着底トロール調査による2011～2015年の年齢別資源尾数を対数に変換し、上田ほか（2006）と同様に各年の着底トロール調査とコホート解析の資源尾数の差の合計が最小になる採集効率を年齢別に求めた。その解析によって得られた値を2011年以降の採集効率とした（1歳魚0.38、2歳魚0.72、3歳魚0.22、4歳以上0.12）。なお、調査で用いている網の高さは5 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。

i層の密度の標準偏差（ SD_{di} ）を求め、 n_i と A_i によりi層における資源量あるいは資源尾

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 (結果は補足資料 3 に記述)。なお、ここで得られる CV とは資源量および資源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。

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

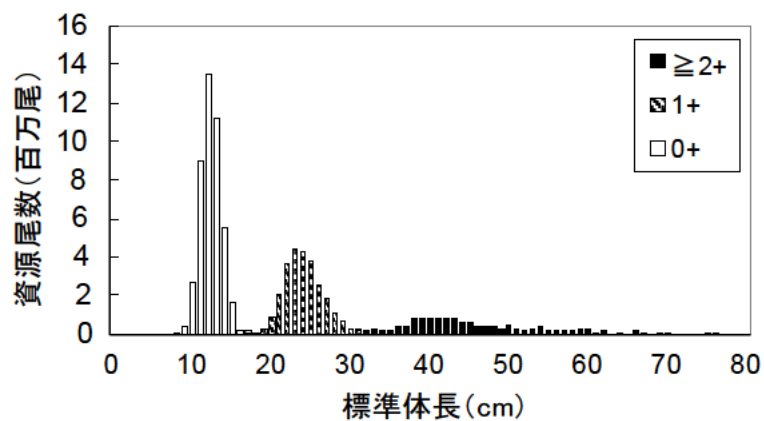
$$SE = \sqrt{\sum SE_{B_i}^2} \quad (6)$$

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

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。

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.



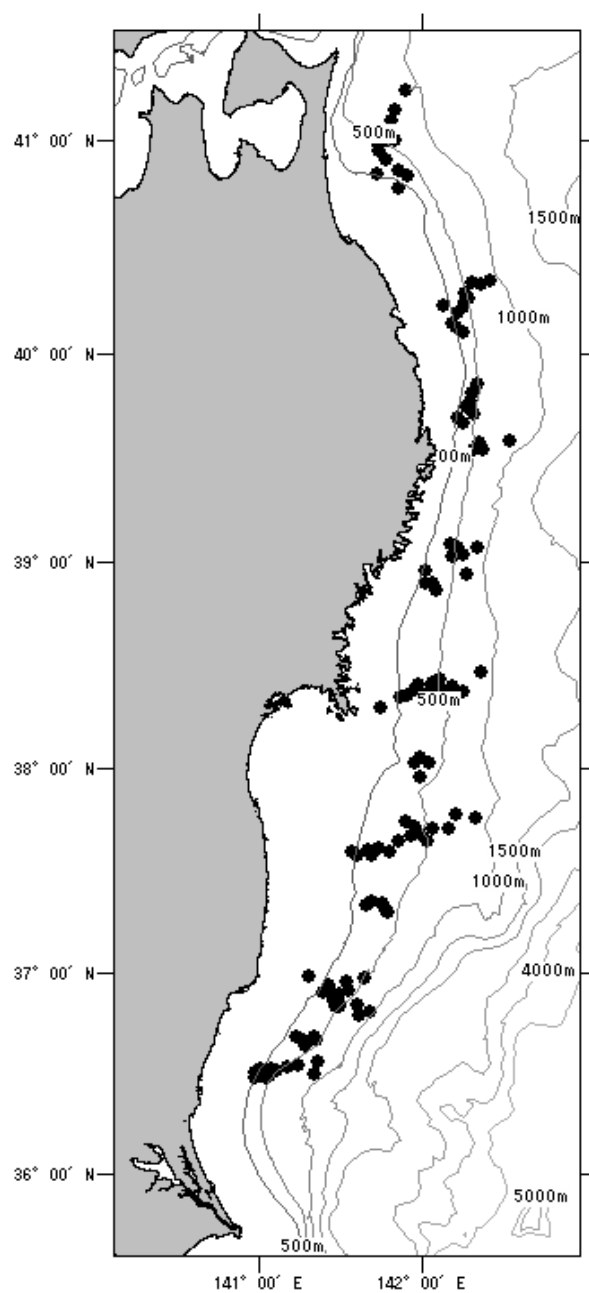
補足図 2-1. 調査におけるマダラの年齢別体長組成 年齢別採集効率は本文参照。

補足資料3 調査船調査の経過および結果

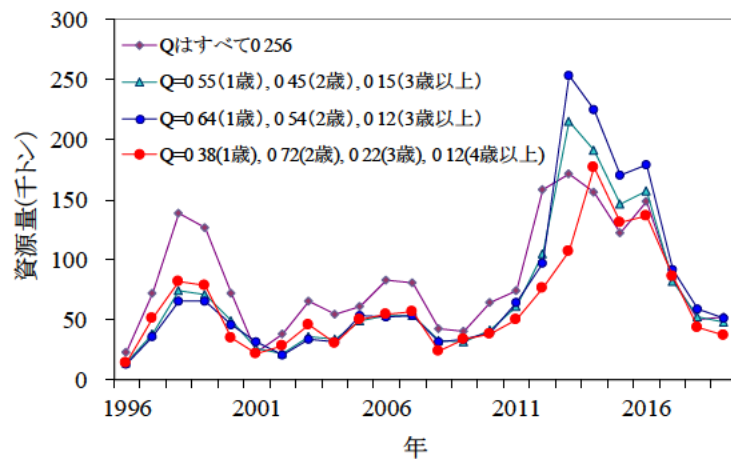
若鷹丸による底魚類資源量調査は、1995 年以降、秋季（10～11 月）に着底トロールを用いて実施されている（補足図 3-1）。この調査で使用している着底トロール網の構成は、袖網長 13.0 m、身網長 26.1 m、網口幅が 5.4 m であり、コッドエンドの長さは 5.0 m である。コッドエンドは 3 重構造となっており、内網の目合が 50 mm、外網の目合が 8 mm 角、すれ防止用の最も外側を覆う網の目合が 60 mm であり、小型個体も外網により採集可能な構造となっている。1 回の曳網時間は原則として 30 分間とし、すべての曳網は日の出から日没までの間に船速 2.5～3.5 ノットで行われている。船上で各々の曳網で採集されたマダラの尾数と重量を計数・計量した後、標準体長を計測し、体長 40 cm 以上の大型個体については年齢査定用の耳石の採取を実施している。

2018 年 10～11 月の調査では、水深 150～900 m において計 107 地点の着底トロール調査を実施した。マダラは水深 150～550 m に分布しており、250～450 m に分布の中心が認められた。面積密度法（補足資料 2）により資源全体に引き延ばした体長組成を推定した。その結果、体長組成には 3 つの山が確認され、体長 9～16 cm の山が最も大きく、次いで 20～31 cm、40 cm を中心とする山の順で大きかった。なお、2018 年の調査における年齢別の CV は 0 歳魚で 0.320、1 歳魚で 0.186、2 歳魚で 0.136 であり、全年齢合計では 0.255 であった（補足表 3-1）。

着底トロール調査と VPA による資源尾数の比較から求めた採集効率（Q）で年齢別資源尾数を調整し（補足図 3-2）、資源診断、ABC 算定に用いたが、感度分析として Q を変化させたときの資源量の変化を補足図 3-2 に示した。直接法による資源量推定のため、年齢別の Q の値によって資源量は変わる。



補足図 3-1. 若鷹丸による底魚類資源量
調査の調査点図



補足図 3-2. Q を変化させたときの資源量変化

補足表3-1. トロール調査により得られたマダラの資源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
資源尾数 (千尾)	41,008	164,376	252,266	253,952	56,622	35,372
資源尾数のCV	0.222	0.574	0.524	0.371	0.234	0.276
資源尾数の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
資源尾数 (千尾)	83,692	148,447	66,530	116,009	127,173	139,200
資源尾数のCV	0.497	0.292	0.258	0.493	0.218	0.256
資源尾数の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
資源尾数 (千尾)	34,843	86,023	79,780	96,779	160,681	165,149
資源尾数のCV	0.156	0.266	0.257	0.210	0.266	0.211
資源尾数の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

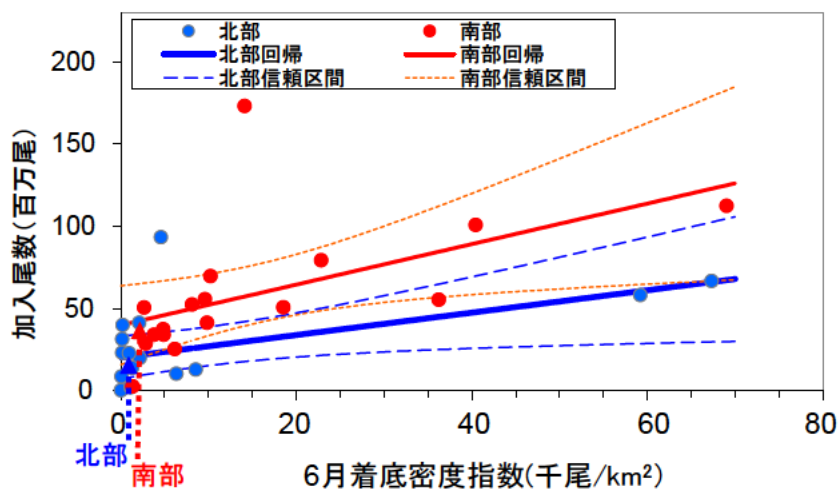
年	2013	2014	2015	2016	2017	2018
調査地点数	113	110	122	121	101	107
資源尾数 (千尾)	184,712	143,860	232,164	323,038	112,640	82,097
資源尾数のCV	0.234	0.298	0.157	0.175	0.255	0.255
資源尾数のSE (千尾)	43,197	42,843	36,512	56,423	28,776	20,903
95%信頼区間 (下限、千尾)	116,764	80,219	170,669	229,240	68,333	49,842
95%信頼区間 (上限、千尾)	292,200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

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 4 2019 年級の加入尾数推定

再生産関係に明瞭な傾向が見られなかったこともあり（図 11）、2007 年までの資源評価では過去の平均的な加入量を用いてきた。しかしながら、前述のように本系群の 1 歳魚の加入量には大きな年変化が認められ、再生産成功率にもばらつきが大きいことから、平均的な値の当てはめには大きな誤差を生む可能性があった。この問題に対処し、ABC を算定する年の加入水準を事前に把握するため、マダラ仔稚魚の成育場において着底直後の分布密度を調べる調査を毎年 6 月に行ってきた。2002～2007 年の調査から、着底直後の密度は加入量の指標になりうることを示されつつあり、2008 年からこの分布密度を用いて加入水準を推定している。今年も同様に、2019 年 6 月の調査結果とこれまでの調査で得られた回帰式から 2019 年級の加入個体数を推定した。なお、若鷹丸によるカレイ類・マダラ 0 歳魚分布調査のデータを基本としているが、2018 年は一部宮城県漁業調査指導船みやしおによる新規加入量調査結果も用いている。

その結果、2019 年 6 月の北部海域（八戸沖）の密度は 42 尾/km²、南部海域（仙台湾沖）の密度は 1,211 尾/km²と推定された。回帰式から加入尾数（10 月時点）は北部海域で 20,319 千尾、南部海域で 41,402 千尾となり、合計 61,721 千尾と推定された（補足図 4-1）。南北ともに回帰式の 95%信頼区間は比較的広いことから、ある程度の誤差は発生する可能性が高い。しかし、加入尾数が大きく変動している本系群においては、加入量を精度良く把握するためには、着底稚魚の密度を推定することが現段階では最も有効であると考えられる。



補足図 4-1. 6 月の着底密度と 10 月の加入尾数の関係
矢印は 2019 年の加入尾数推定値を示す。

補足資料 5 2019 年の漁獲状況について

2011 年 3 月 11 日に発生した巨大地震と津波により、東北地方太平洋岸の漁業は壊滅的な打撃を受けた。マダラを漁獲する各漁業種の船舶も数多く被災したこと、広い範囲で漁獲されたマダラから食品の安全基準値を上回る放射性物質が検出され、操業や出荷が規制されたこと（補足表 5-1）から、震災以降の漁獲は 2010 年以前とは異なる様相となっている。被災状況、復旧状況ともに地域、漁業種別に異なるが、以下の手順で県別、漁業種別に被災ならびに復旧状況をまとめ、震災が漁獲に与えた影響を数値化した。

- ・ 青森、岩手、宮城、福島および茨城の漁船について被災状況と復旧状況を調べた。
- ・ 漁業種は沖合底びき網漁業、小型底びき網漁業および沿岸漁業（延縄、刺し網、定置網およびその他）に分けた。
- ・ 被災の状況は、組合等からの聞き取り、各県および水産庁に寄せられた情報から調べ、震災以前の漁船数については農林統計資料も用いた。
- ・ がれき撤去作業を行った船および期間については操業していないとした。
- ・ 9 月以降の操業も上半期と同様とした。
- ・ 2011 年 3 月に被災して 2019 年 8 月までに復旧していない船については 12 月 31 日まで操業を再開しないものとした。
- ・ 県別、漁業種別に操業隻数と操業期間の減少から予測される努力量の減少割合を求め、2005～2009 年の平均漁獲量に占める各県、各漁業種の割合を算出した。それに上で求めた努力量の減少割合を乗じることで、漁獲の状況に応じた重み付けを行った。

その結果、2019 年の青森県から茨城県の操業の稼働率は、沖底で 8.0～100%、小底で 8.1～100%、沿岸漁業で 2.7～100%で、現在操業が試験操業に限られている福島県で低かった（補足表 5-2）。また、漁業種別に見ると、マダラの主要な漁法である沖底の稼働率は高かった反面（89.7%）、小底、沿岸漁業の稼働率が低い傾向が認められた（83.3%、85.3%、補足表 5-3）。2019 年の全漁業種の稼働率は 88.4%となり、2015～2018 年とほぼ同じであった（補足表 5-4）。

補足表5-1. 放射性セシウムによる操業規制、出荷制限に関する情報

県	状況
青森県	・ 2012年6月19日に八戸沖の漁獲物から120Bq/kgで操業自粛 ・ 2012年8月9日に太平洋岸の漁獲物から130Bq/kgで出荷制限 ・ 2012年11月1日から出荷制限解除
岩手県	・ 2012年5月2日より宮城県県境で出荷制限 ・ 2013年1月より出荷制限解除
宮城県	・ 2012年4月26日に130Bq/kg検出で出荷制限 ・ 2012年9月1日より1kg未満の個体について出荷制限解除 ・ 2013年1月より1kg以上の個体についても出荷制限解除
福島県	・ 震災以降から2015年1月まで操業停止 ・ 2015年1月14日より水深約110m以深の海域で試験操業対象種入り ・ 2015年2月24日より全海域で試験操業対象種入り ・ 2015年12月24日から試験操業対象から除外 ・ 2016年1月27日より試験操業対象種入り
茨城県	・ 2012年6月8日より県南部で操業自粛 ・ 2012年10月26日自粛解除 ・ 2012年11月6日から出荷制限 ・ 2014年11月20日から出荷制限解除

補足表5-2. 2019年のマダラの漁獲比率と操業稼働率

県	沖底			小底			沿岸漁業（刺し網、延縄、定置）		
	漁獲比率 (a)	稼働率(b)	a*b	漁獲比率 (c)	稼働率(d)	c*d	漁獲比率 (e)	稼働率(f)	e*f
青森	0.124	1.000	0.124	0.529	1.000	0.529	0.290	1.000	0.290
岩手	0.391	1.000	0.391	-	-	-	0.360	0.888	0.320
宮城	0.384	0.963	0.370	0.400	0.667	0.266	0.310	0.768	0.238
福島	0.097	0.080	0.008	0.037	0.081	0.003	0.035	0.027	0.001
茨城	0.005	1.000	0.005	0.034	1.000	0.034	0.005	0.922	0.004
合計	1.000		0.897	1.000		0.833	1.000		0.853

補足表5-3. 2019年の漁獲に占める漁法別の比率と稼働率

	漁獲量（トン、2005- 2009年平均）	漁法別の 比率(g)	稼働率(h)	比率g*比率h
沖底	14,354	0.724	0.897	0.650
小底	1,404	0.071	0.833	0.059
沿岸漁業	4,055	0.205	0.853	0.175
合計	19,813	1.000		0.884

補足表5-4. 2011～2019年における稼働率の推移

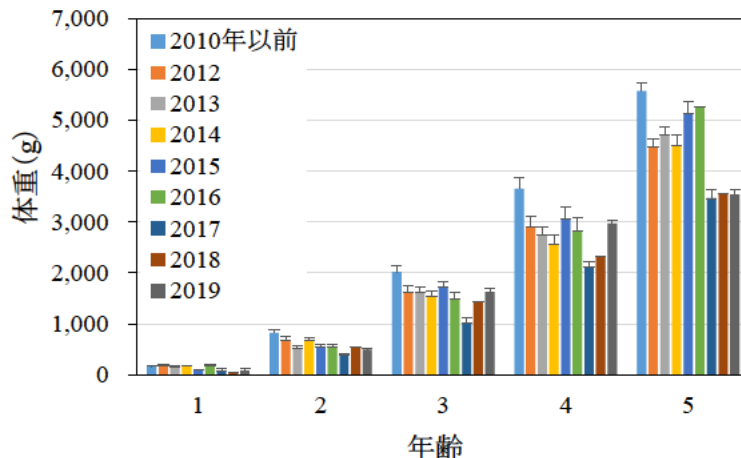
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
重み付けした稼働率	0.660	0.622	0.810	0.834	0.882	0.882	0.882	0.883	0.884

補足資料 6 震災以降の成長の鈍化および成熟率の変化

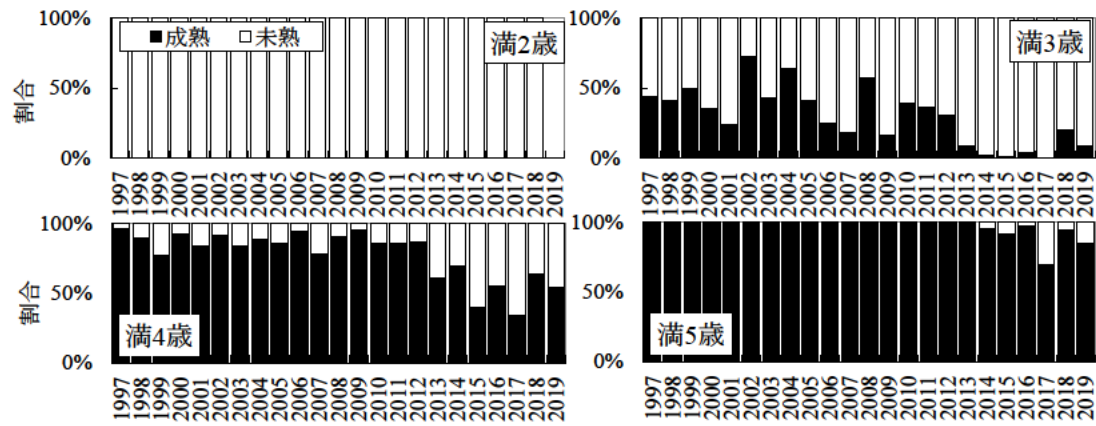
震災以降、マダラの成長には鈍化傾向が認められてきた。震災以前にもマダラの成長には加入尾数と負の相関があることが示されていたことから (Narimatsu et al. 2010)、震災以降の急激な資源の増加に伴い、成長が鈍化したと考えられる。過去の資源評価では、直近 5 年間の 4 月時点での年齢別の平均体重を年齢別の資源尾数に乗じることで資源量を推定してきた。しかし、2017 年および 2018 年 4 月に行った調査で漁獲されたマダラは、震災以降の他の年に漁獲されたマダラと比べても著しく年齢別の体重が軽い傾向が認められた (補足図 6-1)。それらの年では、体重が震災前の 3~4 割程度にまで下がっている年齢も認められた。2019 年では、1、2 および 5 歳の体重は震災前の 51~64% と依然低いものの、3 および 4 歳魚では 80% 程度となっており、2017 年や 2018 年と比べるとやや回復している。また、成熟率も震災後低下しており、特に 3 歳および 4 歳魚で顕著な傾向が認められる (補足図 6-2)。

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 6-1. 4 月におけるマダラの体重の推移



補足図 6-2. 満 2～5 歳魚の年齢別成熟率の推移

補足資料 7 コホート解析による年齢別資源尾数、重量の試算

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、漁期年を現行の 1～12 月から 4～3 月とし、上半期を 4～9 月、下半期を 10～3 月とした。1997～2015 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 7-1）。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。各年齢、各年における資源尾数 $N_{a,y}$ は、以下の Pope (1972) の近似式を用いて求めた。

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

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（2018 年）、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。

$$N_{a,2018} = C_{a,2018} \exp(M/2) / (1 - \exp(-F_{a,2018}))$$

$$N_{6+,y} = C_{6+,y} / (C_{6+,y} + C_{5,y}) \times N_{7+,y+1} \times \exp(M) + C_{6+,y} \times \exp(M/2)$$

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

ターミナル F を除く漁獲死亡係数 F 値の計算は以下の式で求めた。

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

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、最近年、最高齢の F は最高齢-1 歳と等しくなるように探索的に求めた。また、2018 年の F は 2013～2017 年の F の平均値とした。

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。

全体の傾向として年齢別の資源尾数や F 値にばらつきが見られており（補足表 7-2、補足表 7-3）、特に 1 歳魚や 5 歳以上の F 値が極めて高い値になるケースが散見された。また、資源量は 2013 年の 9.6 万トンピークとしてその後減少しており、2017 年および 2018 年には小型化の影響もあり（補足表 7-4）、それぞれ 3.1 万トンおよび 3.2 万トンにまで減少していた（補足表 7-5）。

引用文献

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.

補足表7-1. 東北海域におけるマダラの年齢別漁獲尾数（千尾）

年齢	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	3,854	13,532	28,991	16,348	15,498	14,449	9,471	25,551	56,588	27,818	26,420	23,319	25,703	13,940	10,663	7,035	4,178	24,551	10,128	2,550	1,136	4,948	1,813
2	2,612	2,359	9,594	6,631	4,295	2,252	1,562	2,303	4,056	4,670	7,051	7,592	8,296	3,809	12,319	2,889	9,467	11,657	6,219	8,621	3,850	3,075	4,134
3	506	777	924	1,978	1,372	838	252	566	943	1,512	2,723	1,565	1,417	1,508	2,378	1,620	1,704	2,071	2,619	1,780	1,506	1,193	1,344
4	318	784	141	255	661	448	273	232	410	343	820	386	746	1,162	788	554	842	1,550	3,064	1,996	884	620	652
5	132	260	73	112	59	451	207	311	249	55	215	189	275	668	544	255	309	509	943	800	397	215	244
6+	40	44	38	52	45	149	96	32	90	15	52	34	66	149	171	43	117	109	252	185	129	48	363

補足表7-2. コホート解析によって推定した東北海域におけるマダラの年齢別資源尾数（千尾）

年齢	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	12,845	42,585	52,162	32,109	25,236	23,415	20,175	45,708	86,153	56,225	55,232	50,927	47,512	49,054	33,310	45,493	41,376	52,039	34,726	16,905	16,268	21,073	7,700
2	5,739	5,764	18,476	12,246	8,791	4,694	4,297	6,194	10,608	12,944	16,070	16,545	16,127	11,743	22,661	14,387	25,946	25,455	15,874	15,825	9,695	10,433	10,605
3	2,412	1,831	2,060	4,902	3,022	2,558	1,400	1,700	2,408	4,030	5,150	5,346	5,226	4,344	5,031	5,551	7,649	10,235	8,059	5,904	3,861	3,563	4,728
4	1,029	1,265	632	668	1,776	967	1,088	769	716	896	1,555	1,326	2,431	2,471	1,778	1,531	2,529	3,927	5,429	3,448	2,642	1,442	1,495
5	242	455	229	324	254	689	302	533	344	158	340	402	605	1,077	757	585	608	1,065	1,451	1,236	743	1,109	490
6+	73	76	118	150	195	227	140	55	124	44	82	73	146	240	238	98	229	229	388	286	241	248	730

補足表7-3. コホート解析によって推定した東北海域におけるマダラの年齢別F値

年齢	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	0.44	0.48	1.09	0.94	1.32	1.34	0.82	1.10	1.54	0.90	0.85	0.79	1.04	0.42	0.48	0.20	0.13	0.83	0.43	0.20	0.09	0.33	0.33
2	0.79	0.67	0.97	1.04	0.88	0.85	0.57	0.59	0.61	0.56	0.74	0.80	0.95	0.49	1.05	0.27	0.57	0.79	0.63	1.05	0.64	0.43	0.63
3	0.29	0.71	0.77	0.66	0.78	0.50	0.24	0.51	0.63	0.60	1.00	0.43	0.39	0.54	0.83	0.43	0.31	0.28	0.49	0.45	0.63	0.51	0.42
4	0.46	1.35	0.31	0.61	0.59	0.81	0.36	0.45	1.15	0.61	1.00	0.43	0.46	0.83	0.75	0.57	0.51	0.64	1.12	1.18	0.51	0.72	0.74
5	1.06	1.15	0.48	0.53	0.32	1.52	1.72	1.20	2.02	0.54	1.40	0.82	0.78	1.36	1.96	0.74	0.94	0.85	1.50	1.49	1.02	0.26	0.90
6+	1.06	1.15	0.48	0.53	0.32	1.52	1.72	1.20	2.02	0.54	1.40	0.82	0.78	1.36	1.96	0.74	0.94	0.85	1.50	1.49	1.02	0.26	0.90

補足表7-4. 東北海域におけるマダラの年別年齢別体重（g）

年齢	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	287	287	288	296	216	294	283	287	287	299	326	355	320	359	358	349	224	288	218	241	284	243	220
2	1,229	1,229	1,396	1,365	1,094	1,645	1,595	1,584	1,498	1,484	636	1,526	1,249	1,346	1,318	1,445	1,045	1,266	990	867	850	789	819
3	2,381	2,381	2,371	2,676	2,372	2,752	2,679	2,653	2,560	2,732	1,362	2,844	2,673	2,371	2,788	2,541	2,411	2,503	1,979	2,128	1,791	1,776	2,040
4	3,930	3,930	4,379	4,765	3,882	3,784	4,459	4,900	5,091	4,474	2,634	4,109	4,050	3,462	4,614	3,827	3,916	3,855	3,108	3,436	3,422	3,027	3,345
5	5,825	5,825	5,841	5,591	5,980	5,475	6,054	7,247	7,721	6,606	5,381	6,059	5,913	5,854	6,509	6,443	5,633	5,460	4,996	4,913	5,021	4,828	4,798
6+	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	8,110	8,627	7,748	7,762	6,891	6,636	7,044	7,022

補足表7-5. コホート解析によって推定した東北海域におけるマダラの年齢別資源量（トン）

年齢	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	3,692	12,241	15,028	9,494	5,460	6,890	5,717	13,138	24,764	16,798	18,002	18,104	15,202	17,629	11,936	15,875	9,273	14,992	7,561	4,067	4,617	5,119	1,690
2	7,053	7,083	25,793	16,722	9,615	7,721	6,854	9,811	15,886	19,205	10,222	25,249	20,146	15,806	29,876	20,787	27,110	32,213	15,722	13,717	8,243	8,235	8,690
3	5,744	4,360	4,883	13,118	7,168	7,039	3,751	4,510	6,165	11,008	7,015	15,204	13,967	10,297	14,026	14,104	18,441	25,615	15,951	12,566	6,914	6,327	9,644
4	4,046	4,970	2,766	3,184	6,893	3,658	4,853	3,766	3,646	4,008	4,096	5,448	8,203	5,854	8,203	5,858	9,903	15,137	16,875	11,847	9,043	4,366	5,002
5	1,410	2,648	1,339	1,811	1,521	3,774	1,827	3,866	2,653	1,044	1,829	2,435	3,578	6,303	4,926	3,768	3,423	5,813	7,249	6,071	3,731	5,355	2,351
6+	594	619	858	1,224	1,514	1,722	1,241	497	1,381	356	667	575	1,191	2,646	1,734	798	1,975	1,774	3,009	1,974	1,600	1,750	5,127
合計	22,540	31,922	50,667	45,552	32,171	30,805	24,243	35,589	54,493	52,421	41,830	67,015	63,929	61,236	70,700	61,190	70,125	95,545	66,367	50,242	34,147	31,152	32,505

補足資料 8 チューニング VPA

本系群の資源評価は着底トロール調査による直接推定法によって行われている。着底トロール調査による資源量推定では、直近の年齢別資源尾数が得られるといったメリットがある一方で、高齢魚の資源量推定精度が低いこと、単年単位で資源尾数を求めるため、年級でみると加齢とともに尾数が増えるケースもある、といった問題があった。ここでは、補足資料 7 で求めた VPA 結果を着底トロール調査によって求めた資源量でチューニングすることにより、それらの問題解決を図り、高精度の資源量推定を模索した。

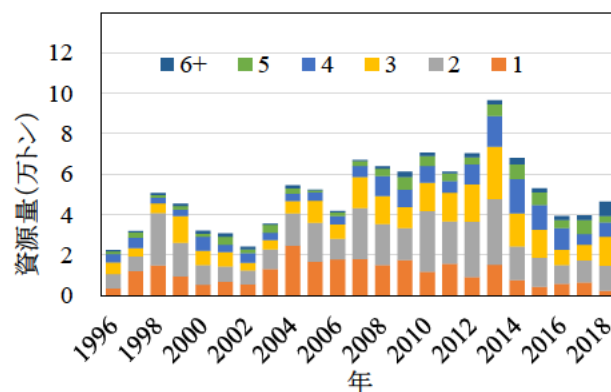
チューニング指数とした資源量は、着底トロール調査をおこなった各年 10 月の年齢別資源尾数に年齢別体重を乗じたものの和から求めた。それらを用いて VPA のチューニングを行った。

最近年（2018 年）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 1～5 歳の F の年齢別選択率には、チューニングをしない VPA から推定された 2013～2017 年の平均値を用い、最近年以前の F については補足資料 7 で示したものをを用いた。平松（2001）に基づき、(1) 式の ss を最小化する最近年の F_t と q を探索的に求めた。

$$ss = \sum_y (\ln I_y - \ln q B_y)^2 \quad (1)$$

ここで B は VPA による資源量、 I には 1996～2018 年の調査による資源量を用いた。

その結果、2018 年の資源量は 4.6 万トンと推定された（補足図 8-1）。全体的な傾向はチューニングしていない VPA の値と類似しており、最大値も 2013 年となっていた（補足図 8-1、補足表 8-1、補足表 8-2、補足表 8-3、補足表 8-4、補足表 8-5）。ただし、近年の資源量値はチューニング VPA の方が高くなっている傾向が認められた（補足図 8-1、補足表 8-5）。



補足図 8-1. チューニング VPA による資源量

補足表8-1. 東北海域におけるマダラの年齢別漁獲尾数（千尾）

年齢	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	3,854	13,532	28,991	16,348	15,498	14,449	9,471	25,551	56,588	27,818	26,420	23,319	25,703	13,940	10,663	7,035	4,178	24,551	10,128	2,550	1,136	4,948	1,813
2	2,612	2,359	9,594	6,631	4,295	2,252	1,562	2,303	4,056	4,670	7,051	7,592	8,296	3,809	12,319	2,889	9,467	11,657	6,219	8,621	3,850	3,075	4,134
3	506	777	924	1,978	1,372	838	252	566	943	1,512	2,723	1,565	1,417	1,508	2,378	1,620	1,704	2,071	2,619	1,780	1,506	1,193	1,344
4	318	784	141	255	661	448	273	232	410	343	820	386	746	1,162	788	554	842	1,550	3,064	1,996	884	620	652
5	132	260	73	112	59	451	207	311	249	55	215	189	275	668	544	255	309	509	943	800	397	215	244
6+	40	44	38	52	45	149	96	32	90	15	52	34	66	149	171	43	117	109	252	185	129	48	363

補足表8-2. コホート解析によって推定した東北海域におけるマダラの年齢別資源尾数（千尾）

年齢	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	12,845	42,585	52,162	32,109	25,236	23,415	20,175	45,708	86,153	56,225	55,232	50,929	47,515	49,065	33,344	45,623	41,721	53,466	35,547	18,627	19,323	26,366	20,175
2	5,739	5,764	18,476	12,246	8,791	4,694	4,297	6,194	10,608	12,944	16,070	16,545	16,127	11,745	22,669	14,411	26,036	25,696	16,872	16,399	10,900	12,570	14,308
3	2,412	1,831	2,060	4,902	3,022	2,558	1,400	1,700	2,408	4,030	5,150	5,346	5,226	4,344	5,032	5,556	7,666	10,298	8,228	6,603	4,263	4,406	6,223
4	1,029	1,265	632	668	1,776	967	1,088	769	716	896	1,555	1,326	2,431	2,471	1,778	1,532	2,532	3,938	5,473	3,566	3,131	1,723	2,085
5	242	455	229	324	254	689	302	533	344	158	340	402	605	1,077	757	585	608	1,067	1,459	1,267	826	1,451	687
6+	73	76	118	150	195	227	140	55	124	44	82	73	146	240	238	98	229	229	390	294	268	325	1,023

補足表8-3. コホート解析によって推定した東北海域におけるマダラの年齢別F値

年齢	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	0.44	0.48	1.09	0.94	1.32	1.34	0.82	1.10	1.54	0.90	0.85	0.79	1.04	0.42	0.48	0.20	0.13	0.80	0.42	0.18	0.07	0.25	0.11
2	0.79	0.67	0.97	1.04	0.88	0.85	0.57	0.59	0.61	0.56	0.74	0.80	0.95	0.49	1.05	0.27	0.57	0.78	0.58	0.99	0.55	0.35	0.42
3	0.29	0.71	0.77	0.66	0.78	0.50	0.24	0.51	0.63	0.60	1.00	0.43	0.39	0.54	0.83	0.43	0.31	0.27	0.48	0.39	0.55	0.39	0.30
4	0.46	1.35	0.31	0.61	0.59	0.81	0.36	0.45	1.15	0.61	1.00	0.43	0.46	0.83	0.75	0.57	0.51	0.64	1.11	1.11	0.41	0.56	0.47
5	1.06	1.15	0.48	0.53	0.32	1.52	1.72	1.20	2.02	0.54	1.40	0.82	0.78	1.36	1.96	0.74	0.94	0.84	1.48	1.41	0.86	0.19	0.55
6+	1.06	1.15	0.48	0.53	0.32	1.52	1.72	1.20	2.02	0.54	1.40	0.82	0.78	1.36	1.96	0.74	0.94	0.84	1.48	1.41	0.86	0.19	0.55

補足表8-4. 東北海域におけるマダラの年別年齢別体重（g）

年齢	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	287	287	288	296	216	294	283	287	287	299	326	355	320	359	358	349	224	288	218	241	284	243	220
2	1,229	1,229	1,396	1,365	1,094	1,645	1,595	1,584	1,498	1,484	636	1,526	1,249	1,346	1,318	1,445	1,045	1,266	990	867	850	789	819
3	2,381	2,381	2,371	2,676	2,372	2,752	2,679	2,653	2,560	2,732	1,362	2,844	2,673	2,371	2,788	2,541	2,411	2,503	1,979	2,128	1,791	1,776	2,040
4	3,930	3,930	4,379	4,765	3,882	3,784	4,459	4,900	5,091	4,474	2,634	4,109	4,050	3,462	4,614	3,827	3,916	3,855	3,108	3,436	3,422	3,027	3,345
5	5,825	5,825	5,841	5,591	5,980	5,475	6,054	7,247	7,721	6,606	5,381	6,059	5,913	5,854	6,509	6,443	5,633	5,460	4,996	4,913	5,021	4,828	4,798
6+	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	8,110	8,627	7,748	7,762	6,891	6,636	7,044	7,022

補足表8-5. コホート解析によって推定した東北海域におけるマダラの年齢別資源量（トン）

年齢	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
1	3,692	12,241	15,028	9,494	5,460	6,890	5,717	13,138	24,764	16,798	18,002	18,104	15,203	17,633	11,947	15,916	9,344	15,372	7,726	4,491	5,921	6,691	2,530
2	7,053	7,083	25,793	16,722	9,615	7,721	6,854	9,811	15,886	19,205	10,222	25,250	20,147	15,808	29,885	20,819	27,198	32,495	16,634	14,176	9,291	10,773	12,399
3	5,744	4,360	4,883	13,118	7,168	7,039	3,751	4,510	6,165	11,008	7,015	15,204	13,967	10,298	14,029	14,116	18,478	25,762	16,259	13,937	7,578	7,859	14,233
4	4,046	4,970	2,766	3,184	6,893	3,658	4,853	3,766	3,646	4,008	4,096	5,448	9,845	8,554	8,204	5,861	9,916	15,178	17,002	12,221	10,585	5,151	7,022
5	1,410	2,648	1,339	1,811	1,521	3,774	1,827	3,866	2,653	1,044	1,829	2,435	3,578	6,303	4,926	3,769	3,426	5,826	7,286	6,212	4,114	6,877	3,222
6+	594	619	858	1,224	1,514	1,722	1,241	497	1,381	356	667	575	1,191	2,646	1,734	798	1,977	1,778	3,024	2,020	1,764	2,247	7,024
合計	22,540	31,922	50,667	45,552	32,171	30,805	24,243	35,589	54,493	52,421	41,830	67,016	63,931	61,243	70,726	61,281	70,338	96,410	67,932	53,057	39,253	39,599	46,429