

平成 29 (2017) 年度マダラ太平洋北部系群の資源評価

責任担当水研： 東北区水産研究所 (成松庸二、服部 努、柴田泰宙、鈴木勇人、森川英祐、永尾次郎)

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、福島県水産試験場、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19万トン以上を記録した。しかしその後減少傾向にあり、2017年には8.3万トンになった。また、漁獲量は2013年および2014年には約3万トンになり、過去最高の漁獲量となった。その後減少し、2016年は暫定値ながら1.6万トンになった。2017年の資源量から資源水準は高位、直近5年間(2013~2017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。資源量は減少しているものの、年齢構成は若齢魚に偏ることなく幅広く、現在の漁獲圧は東日本大震災以前と比べると低いことから、この漁獲圧が続いても資源量が急激に減少することはないと考えられる。そのため、多様な年齢構成を維持し、次世代の加入を促すことを管理目標とした。ただし、成長の鈍化や成熟の晩熟化、再生産成功率の低下が認められるため、資源の回復力の低下を考慮し、現在の漁獲圧に0.8を乗じたものを管理基準とした。0.8F_{current}をF_{limit}として、ABC算定のための基本規則1-3)-(2)に基づき2018年ABCを算定した。

管理基準	Target/ Limit	2018年ABC (千トン)	漁獲割合 (%)	F値(現状のF値からの 増減%)
0.8F _{current}	Target	18	17	0.25 (-36%)
	Limit	22	21	0.31 (-20%)

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} = α × F_{limit}とし、係数 α には0.8を用いた。高位水準、減少傾向にあるため、本系群のABC算定には規則1-3)-(2)を用いた。F_{limit} = β_1 × F_{current}とし、 β_1 には0.8を用いた。F値はF_{current}の各年齢平均値である。ここでのF_{current}は2011~2016年(1月1日~12月31日)のFの平均値に2017年の漁船の稼働率/2011~2016年の漁船の平均稼働率(補足資料5)を乗じたものである。漁獲割合は2018年の漁獲量/資源量である。

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 (%)
2013	158	33	30	0.35	19
2014	191	77	30	0.26	16
2015	145	77	24	0.20	17
2016	147	63	16	0.35	11
2017	83	31	24	0.39	28
2018	106	34	—	—	—

2017、2018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。2016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：高位 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	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）
年平均体重	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）
2017年級加入量	カレイ類・マダラ0歳魚分布調査（水研） ・着底トロール調査（6月）

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、1999年に過去最高を記録したがその後減少し、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になった。しかしながら、個体数の減少や2016～2017年の成長の鈍化により、2017年の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という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 40~550m 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 90cm、体重 10kg 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 200m 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 40cm 前後) ~400 万粒 (体長 80cm 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 46.2cm、雌で

48.3cm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)、震災後には資源の増大に伴い、晩熟化の傾向が見られる。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。次いで延縄、刺網、小型底びき網漁業(以下、「小底」という)が多い。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、全体に漁獲圧が低くなっている。

(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。2015年には24,081トン、2016年は暫定値ながら16,167トンとなっており、減少傾向となっている(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)。2015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、特に岩手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21,000

網を超えた。その後は13,000～17,000網で安定している。岩手海区では、1993年に6,000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1,600網となった後に2012～2016年には年間2,300～2,600網で推移している。金華山海区の網数は1992～2004年にかけて15,000～20,000網と多く、その後減少傾向にある。特に2011年以降は操業規制や操業自粛、魚価の低迷などもあり、年間の網数は6,000～12,000網と震災以前と比べて少なくなっている。常磐海区の網数は1989～1991年に30,000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150～900mで実施している着底トロール調査（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200～250m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査定を行い、面積密度法を用いて年齢別に資源量を推定した（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）、調査で求めた年齢別資源尾数に乗じて資源量を推定した。

(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。小海区別に沖底の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。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（図6）。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。2016年のCPUEは、尻屋崎海区では2013～2015年同様に高い状態を維持しているが、岩手～常磐海区では大幅に低下している。

(3) 漁獲物の体長・年齢組成

2016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、岩手県ではそれぞれ30～40cm、30～50cmにモードが認められ、それ以上のサイズでは漸減傾向にある。一方、特に宮城県では、震災前には漁獲の中心は体長40cm以下の小型魚だったが、2016年はそれらの小型魚だけではなく、60cm以上の大型魚も多く漁獲されていた。満1、2、3、4歳の平均体長はそれぞれ17.9cm、33.8cm、47.4cm、58.6cmであり（図2）、2016年は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、3歳魚が漁獲の中心

であるが、4歳以上も多く漁獲されていたと考えられる。また、宮城県では1、2歳魚がメインとなっていたが、5歳以上の個体もある程度多く漁獲され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19万トンを超えた(図8、表2)。その後やや減少し、2015年および2016年には14万トン台になった。2016年級の加入量(2017年の1歳魚)は19,710トンで、この値は2000年以降では2003年に次いで多く、過去10年間の平均値のほぼ2倍に相当する。また、2歳以上については突出して多い年齢はなく、どの年齢も過去5年間(2012～2016年)の平均を下回っているが、震災以前に比べると多い。したがって、1歳魚が非常に多く、2～5歳以上は中程度であるのが現在の資源構造の特色である(図9、表3)。全体の資源尾数は増加したが、2～5歳以上の個体数がやや減少したこと、個体あたりの体重が2017年に大きく減少したことにより、2017年の資源量は8.3万トンにまで減少した。(図8、表2)。

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)。震災以降には漁獲圧の低下と資源の増大によって低い状態が続いている。2016年は11%で、近年の中で最も低かった。

(5) 再生産関係

1998～2017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、年級間で大きく異なっていた(2017年は0.5%)。50%成熟体長は45.7～53.5cm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1998～2016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1kgあたりの1歳魚加入尾数)にもばらつきが大きく、過去19年では最大100倍以上の差が生じている(図12)。2017年は、加入尾数が過去最も多かった(図9、表3)。ただし、本系群の親魚となる3歳以上の成熟個体の資源量が2014年および2015年に次いで多く(図11)、再生産成功率で見ると高い水準ではない(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、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、極めて少ない親魚量から大きな加入が発生していることから、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年以降はトロール調査による過去22年間の資源量

推定値が得られている。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19.1万トン（2014年）の間を変動している（図8）。2017年の資源量は8.3万トンで、2011年以前の最高値（6.6万トン、1999年）よりも高い値ではあるが、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、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、2017年の資源量は震災以前の平均値の198%に相当することから、資源水準は高位と判断した（図8、表2）。また、過去5年間（2013～2017年）の資源量は2014年まで増加した後に2017年にかけて減少しており、全期間で見ると減少して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歳魚の資源量値推定値は重要である。そこで、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2017年6月の調査結果から、2017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22,234千尾、南部海域で89,851千尾となり、合計112,085千尾と推定した（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2019年以降の1歳魚の加入量には、過去10年の加入量（2008～2017年）の中央値を用いた（65,861千尾、5,130トン）。

図13に太平洋北部におけるマダラの加入量と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は負の相関があることが示されている（清水ほか2003）。近年は親魚量の増加などもあり、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

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 を算出する際には直近6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、2011～2017年には漁獲圧の回復が認められていることから、ここで得られたFに2017年稼働率/2011～2016年稼働率を乗じたものを現状のFとした。その結果、現状の3歳魚のFは0.40で、Fmaxよりもやや高い。また、現在の成長鈍化や晩熟化を考慮した%SPRは21.0%に相当する。なお、1歳魚のFは0.45、2歳魚のFは0.28で、1歳魚に対するFが最も高くなっている。

5. 2018年ABCの算定

(1) 資源評価のまとめ

資源量調査結果から、現在の資源水準は高位、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た。現在の年齢構成は若齢魚から高齢魚まで幅広く、震災以前のような高い漁獲圧がかからなければ、多様な年齢構成を維持できると考えられる。また、現在の漁獲圧は震災以前に比べて低く、この漁獲圧が続けば現在の年齢構成維持が可能であると考えられる。ただし、2016年4月～2017年4月に見られた全ての年齢の成長の著しい鈍化によって、個体あたりの体重が予測値よりも大きく減少したため、資源量は減少した。マダラの親魚は市場価値が高いことから、親魚を増やすことは次世代の加入促進と生産額の増大の両面で有効である。そのため、多様な年齢構成を維持しつつ、次世代の加入を促すことが引き続き重要である。また、今回確認された成長の鈍化が一過性の現象か否かを判断しつつ、その要因を明らかにすることも併せて必要である。

(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。2017年の資源は高位減少であるため、ABC算定のための基本規則の1-3)-(2)(下式)によりABCを算定した。

$$Flimit = \text{基準値} \times \beta_1$$

$$Ftarget = Flimit \times \alpha$$

ここで、 β_1 は係数で、2017年には、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（表2）が顕著であり、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。①2017年級（2018年の1歳魚）の加入尾数は2017年6月の新規加入量調査結果に基づき算出した。②2018年級以降の加入尾数は直近10年級（2007～2016年級）の中央値である。③年齢別体重は、2018年は2017年の平均値（4月）、2019年以降は2016年と2017年の平均値（4月）とした（表5）。④2016年以降の年齢別選択率はFcurrent（2011～2016年の平均的なF）から算出した値と仮定した。⑤2011～2017年の漁船の稼働率には大きな経年変化が認められる（補足資料5）ため、2011～2016年のFの平均値に2011～2016年平均稼働率に対する2017年稼働率の比を乗じたものを2017年のF

とした。⑥2017年以降の成熟率は、2011～2017年の結果に従い、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2017年末まで続くと仮定すると、2018年の初期資源量は10.6万トンになると推定された。

震災以降に資源が増大したこともあり、震災以降の漁獲圧は震災以前と比べて低い(%SPRは2010年で14.3%、2017年で21.0%、図14、図15、表4)。震災から6年以上が経過し、漁獲圧は徐々にあがってきたものの、震災前と比べると低く、年齢構成も若齢魚から高齢魚まで幅広い。そのため、現在の漁獲圧が続いても、多様な年齢構成を維持できると考えられる。ただし成長の鈍化や成熟の晩熟化、再生産成功率の低下が認められるため、資源の回復力の低下を考慮し、現在の漁獲圧に $\beta_1=0.8$ 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、 $ABC_{limit}=22,203$ トン、 $ABC_{target}=18,232$ トンと算出された。

管理基準	Target/ Limit	2018年ABC (千トン)	漁獲割合 (%)	F値(現状のF値からの増 減%)
0.8Fcurrent	Target	18	17	0.25 (-36%)
	Limit	22	21	0.31 (-20%)

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。高位水準、減少傾向にあるため、本系群のABC算定には規則1-3)-(2)を用いた。 $F_{limit}=\beta_1 \times F_{limit}$ とし、 β_1 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。F値はFcurrentの各年齢平均値である。ここでのFcurrentは2011～2016年(1月1日～12月31日)のFの平均値に2017年の漁船の稼働率/2011～2016年の漁船の平均稼働率(補足資料5)を乗じたものである。漁獲割合は2018年の漁獲量/資源量である。

(3) ABCの評価

FcurrentをFlimitとし、 β_1 を0.8として漁獲すると、2018年の漁獲量は2.2万トンとなる。また、漁獲量、資源量とも2021年にピークを迎え、それぞれ4.3万トン、18.5万トンとなる。その後減少するものの減少ペースは緩やかで、6年後の2023年でも漁獲量、資源量および親魚量は2017年を上回る。

ABC算定の基準値とした0.8FcurrentとともにF20%SPR、F30%SPR、Fmax、Fcurrent、0.64Fcurrent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0.64Fcurrentでは2022年に、F30%SPRと0.8Fcurrentでは2021年に、Fmax、FcurrentおよびF20%SPRでは2020年に見られた。どの漁獲方策で漁獲しても2023年の資源量、漁獲量および親魚量は2017年を上回る。2023年には資源量が多かった2016年級が寿命を迎えるため、資源量、漁獲量および親魚量は大きく減少する。また、加入量一定としているため、2025年以降は資源

量、漁獲量および親魚量ともに一定になる。なお、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、資源尾数の多い 2016 年級に対する漁獲圧が高まる場合や 2018 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)							
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0.64Fcurrent	0.25	16	24	18	33	39	41	42	30
F30%SPR	0.30	16	24	21	38	42	43	42	30
0.8Fcurrent	0.31	16	24	22	39	42	43	42	30
Fmax	0.33	16	24	23	40	43	43	42	29
Fcurrent	0.39	16	24	27	44	45	43	40	28
F20%SPR	0.40	16	24	28	45	45	43	40	28
管理基準	F 値	資源量 (千トン)							
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0.64Fcurrent	0.25	147	83	106	178	203	216	220	156
F30%SPR	0.30	147	83	106	171	187	191	190	134
0.8Fcurrent	0.31	147	83	106	169	183	185	182	129
Fmax	0.33	147	83	106	167	178	178	173	123
Fcurrent	0.39	147	83	106	159	160	153	144	102
F20%SPR	0.40	147	83	106	157	157	149	139	99
管理基準	F 値	親魚量 (千トン)							
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
0.64Fcurrent	0.25	63	31	34	55	98	147	158	93
F30%SPR	0.30	63	31	34	53	89	130	132	77
0.8Fcurrent	0.31	63	31	34	52	87	123	126	72
Fmax	0.33	63	31	34	51	85	118	119	68
Fcurrent	0.39	63	31	34	48	75	99	95	53
F20%SPR	0.40	63	31	34	47	74	96	90	50

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
2015 年漁獲量確定値 2016 年漁獲量	2015 年漁獲量の確定 2016 年漁獲量の暫定値
2017 年資源量確定値 2017 年級資源量暫定値	2016 年調査結果に基づき年齢別資源尾数を追加 2017 年 6 月調査結果に基づき推定
2012～2017 年年齢別体重	過去 5 年間の平均値に基づく推定値を各年の 4 月に得られた値に修正

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)
2016 年 (当初)	F20%SPR	0.41	188	55	45	
2016 年 (2016 年再評価)	F20%SPR	0.41	165	48	40	
2016 年 (2017 年再評価)	F20%SPR	0.41	147	42	35	16 (0.11)
2017 年 (当初)	Fcurrent	0.31	193	43	35	
2017 年 (2017 年再評価)	Fcurrent	0.31	83	19	16	

2016 年の漁獲量は暫定値。

2016 年の ABClimit は 2016 年再評価で 4.8 万トンであったのに対し、2017 年再評価では 4.2 万トンとなった。これは年齢別の体重を複数年の平均値から各年の平均値に変更したことによる。また、2017 年の ABClimit の再評価値は 2016 年当初に行った値よりも低くなった。これは、年齢別の体重が例年よりも著しく軽かった（補足資料 6）ことに加え、資源尾数が当初の推定よりも少なかった（特に 2 歳魚）ことによる。なお、旧体重で評価していた場合には資源量は 13.7 万トン、ABClimit は 3.1 万トンであった。

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 80g 程度の個体が、満 2 歳では 550g、満 3 歳では 1,600g 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）。だが、2016～2017 年にかけて大幅な成長の停滞が見られており、2017 年の満 2 歳魚および満 3 歳魚の体重はそれぞれ 330g および約 900g で、平均値の 6 割程度となっている。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, **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) マダラ的生活史と繁殖生態 -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”, eds by K. Nakata and H. Sugisaki, 123-138. Springer.
- 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. Oceanog., **11**, 90-101.

田中昌一 (1960) 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海水研報, **28**, 1-200.

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



図1. 太平洋北部におけるマダラ分布

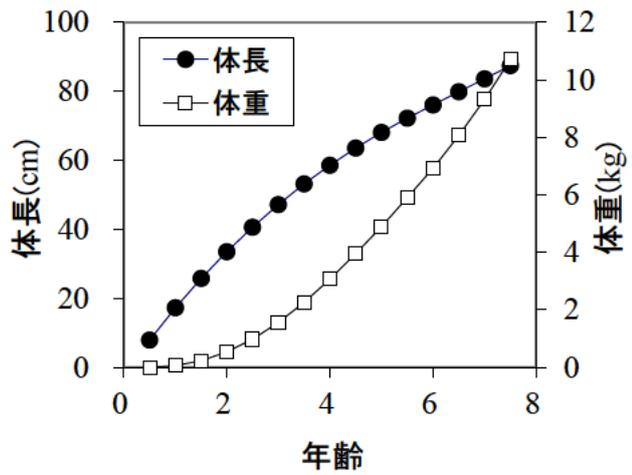


図2. 太平洋北部におけるマダラの成長（震災以前の平均）

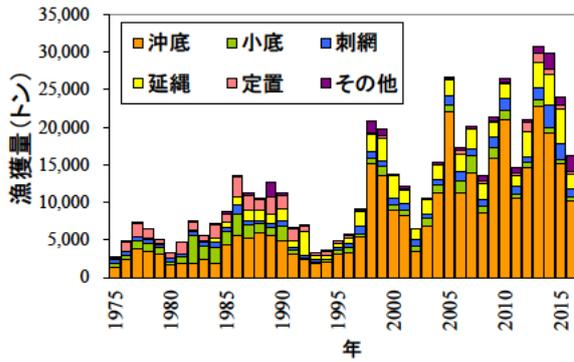


図3. 太平洋北部におけるマダラの漁業種別漁獲量 2016年は暫定値。

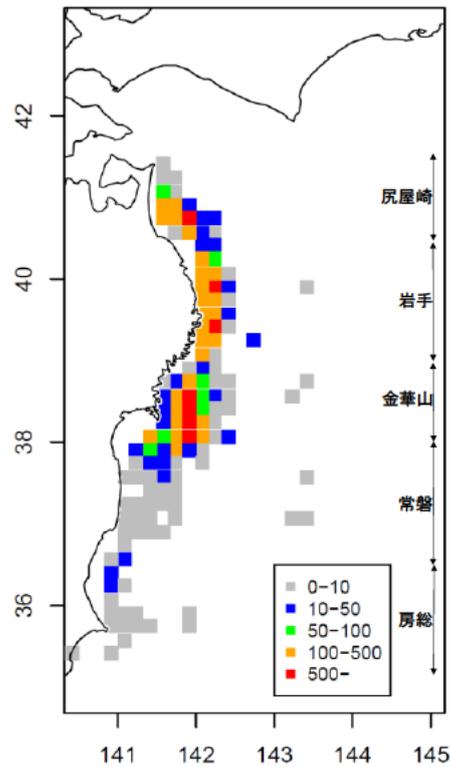


図4. 沖底による2015年の漁獲量（トン）の分布

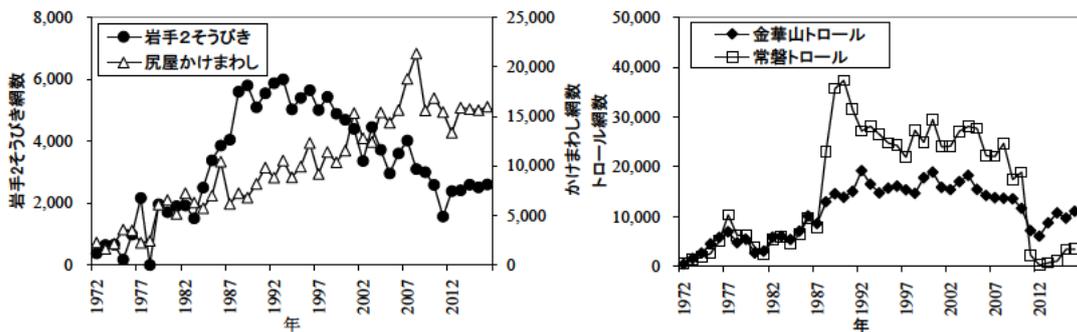


図5. 沖底による網数の推移
 左：2そうびきとかけまわし 右：トロール 2016年は暫定値。

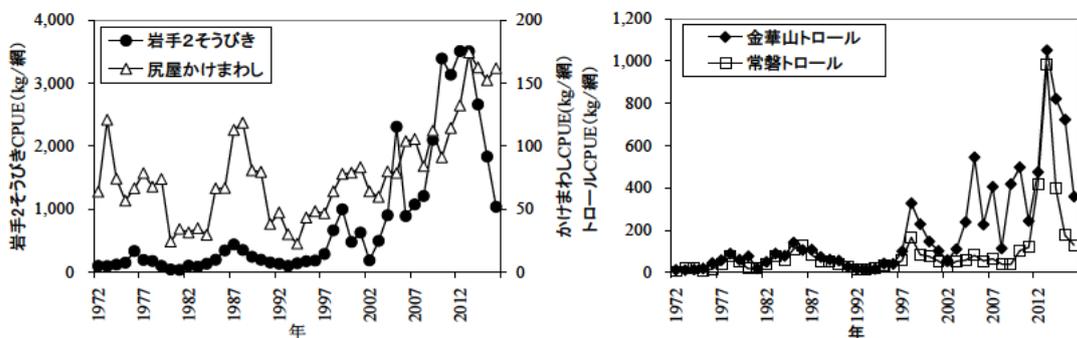


図6. 沖底によるCPUEの推移
 左：2そうびきとかけまわし 右：トロール. 2016年は暫定値。

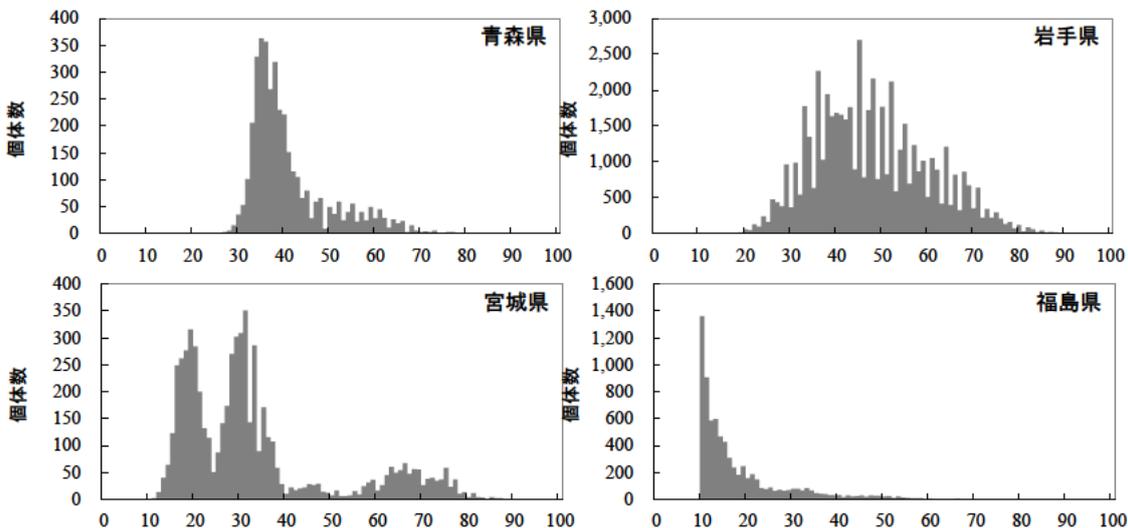


図7. 2016年に各県で漁獲されたマダラの体サイズ組成 (cm)
 福島県は調査船による漁獲物で全長表記、その他の県は商業船による漁獲物で標準体長表記。

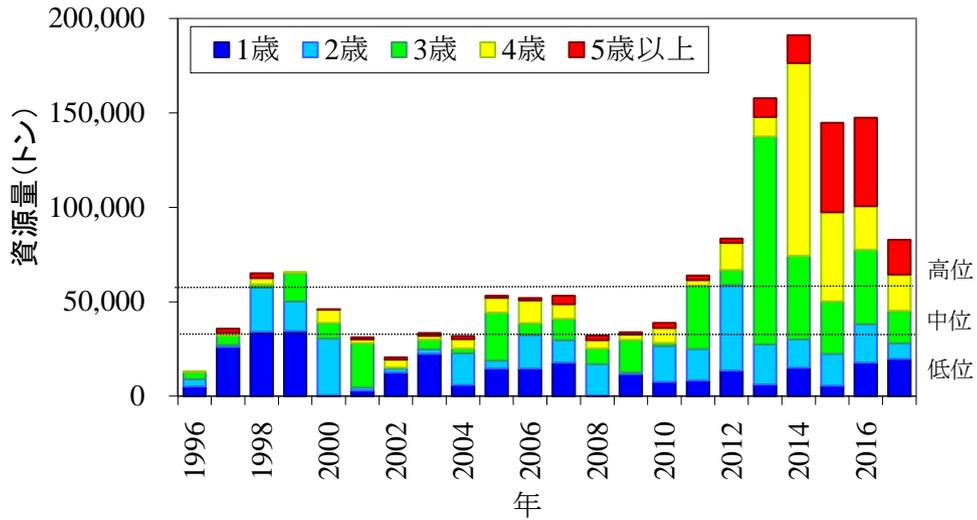


図8. 年齢別資源量の推移
図中の破線は水準判断基準を示す。

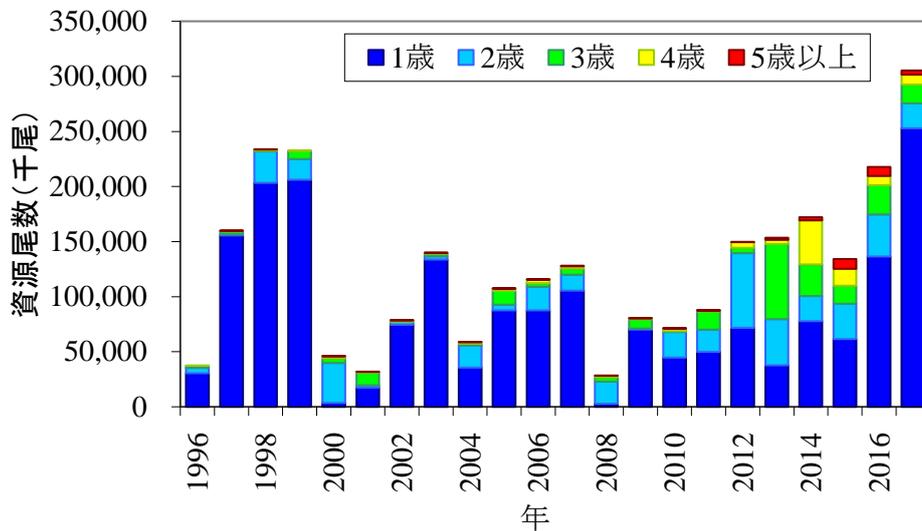


図9. 年齢別資源尾数の推移

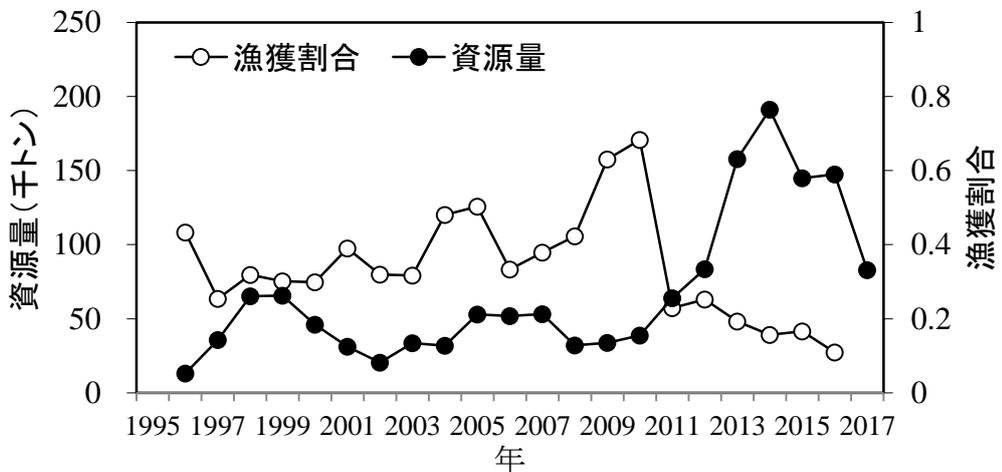


図10. 資源量と漁獲割合の推移 2016年の漁獲割合は暫定値。

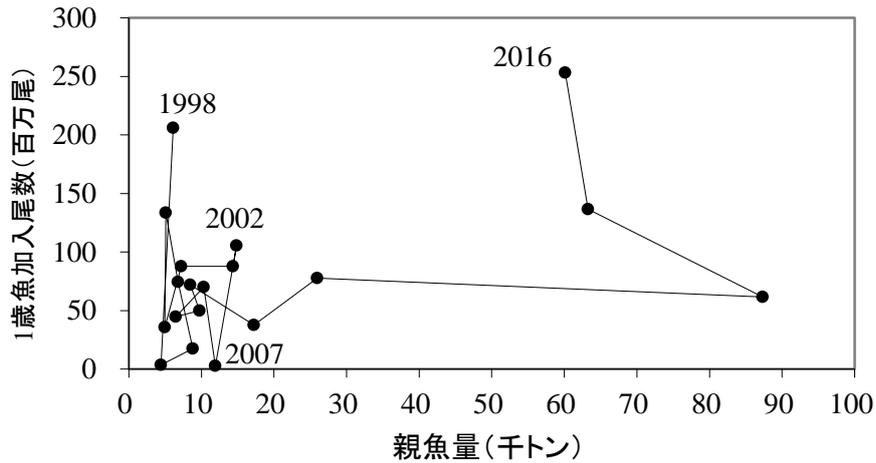


図 11. 再生産関係（親魚量と1歳魚加入尾数の関係）
数字は加入個体の年級。

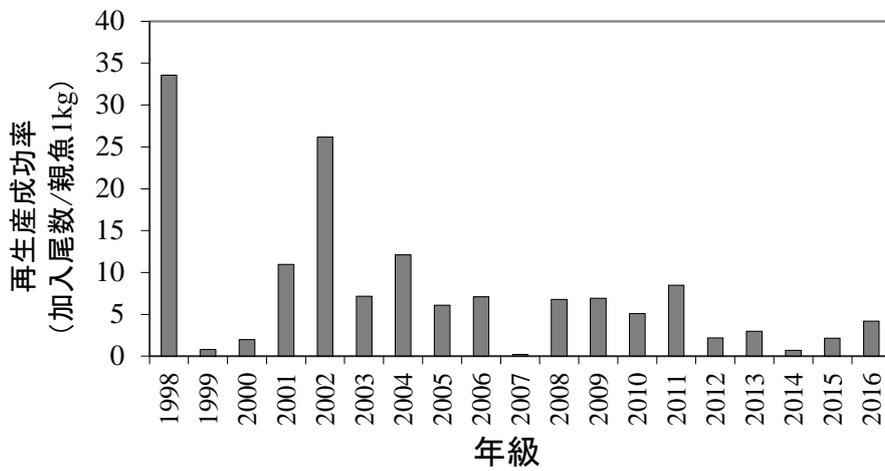


図 12. 再生産成功率の推移

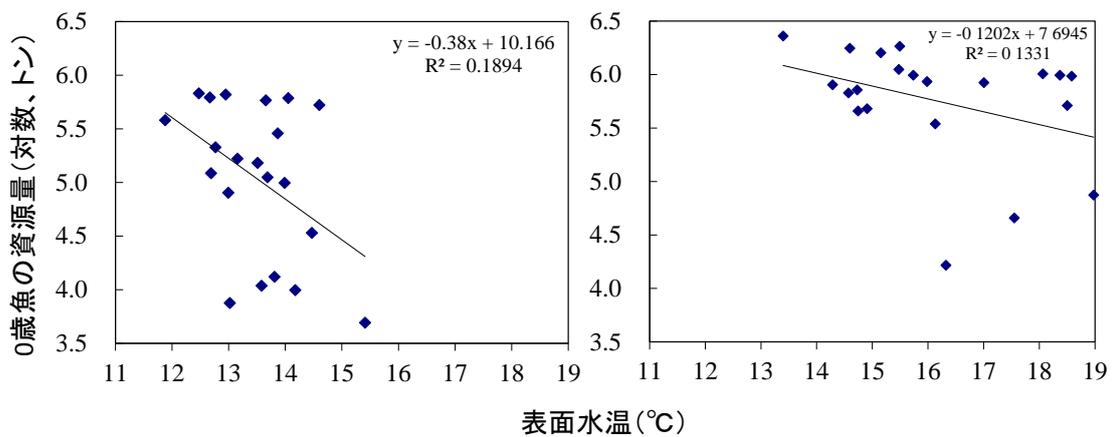


図 13. 太平洋北部における表面水温と0歳魚の資源量の関係（1996～2016年）
左：北部海域、右：南部海域。

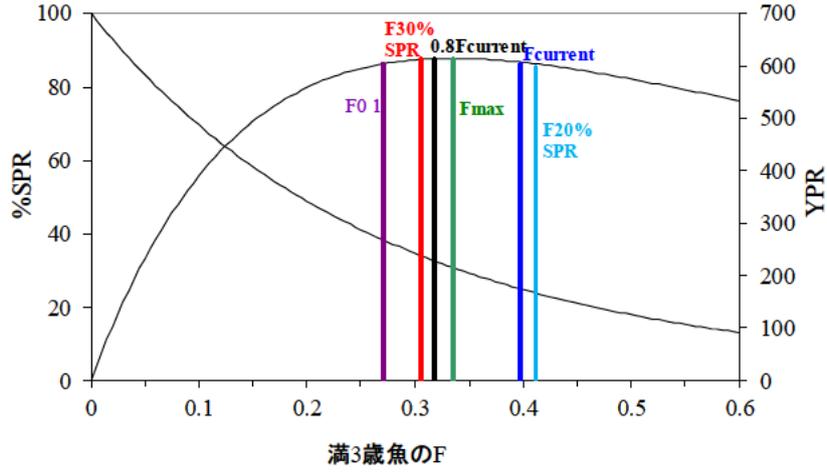


図 14. 漁獲係数 F と %SPR および YPR の関係

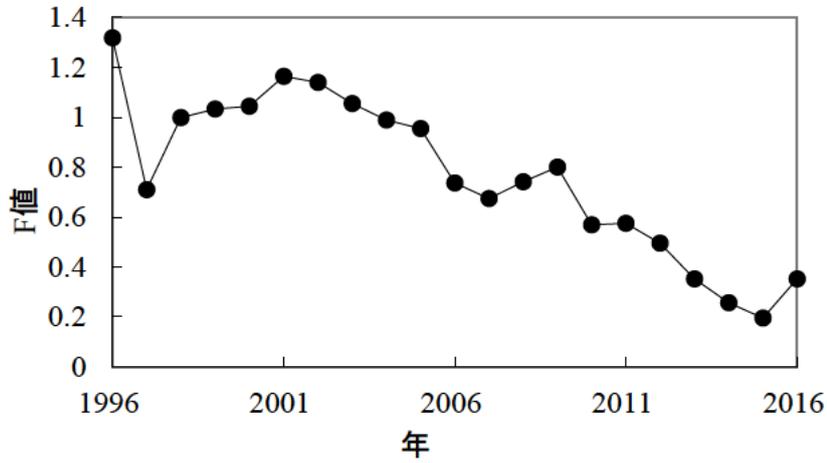


図 15. F 値の推移 (値は各年齢の単純平均)

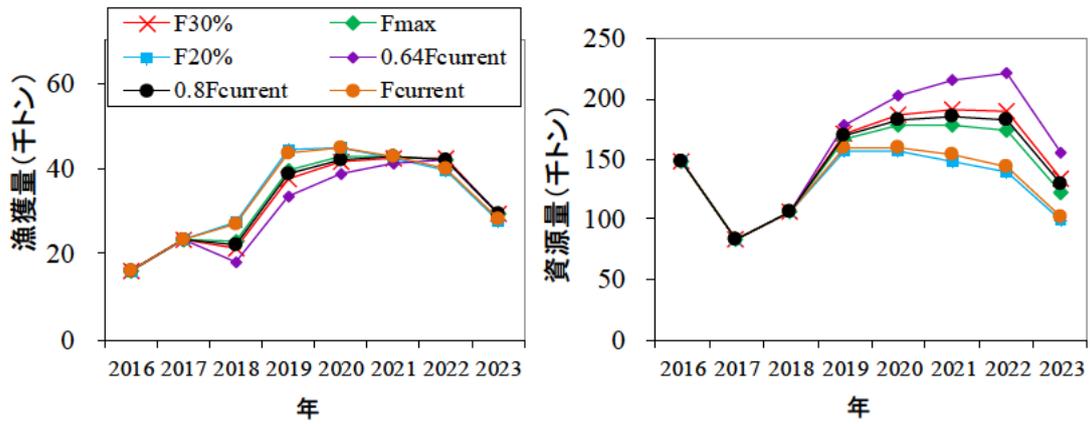


図 16. さまざまな管理方策に基づく漁獲量 (左図) と資源量 (右図) の将来予測

表1. 漁業種別のマダラの漁獲量（単位トン）

	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
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	6,007	5,613
小底	574	498	1,103	1,108	809	399	848	3,842	1,762	2,130	1,890	2,784	1,731	1,173	1,047
刺網	546	508	495	502	315	414	307	378	410	784	504	1,269	573	428	460
延縄	107	64	88	255	216	92	59	165	234	514	631	1,031	1,415	1,344	1,206
定置	230	1,250	1,694	1,170	566	595	1,537	1,201	679	1,803	1,134	2,620	1,923	1,320	2,336
その他	7	64	166	42	26	13	14	35	71	150	276	320	339	285	1,927
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	10,557	12,589

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
沖底	4,864	3,016	2,320	1,858	2,013	3,176	3,346	5,333	15,074	13,520	8,946	8,214	3,377	6,903	11,247
小底	1,897	614	295	157	278	430	701	494	823	1,245	768	764	731	911	996
刺網	704	372	238	438	166	322	426	897	799	828	786	817	1,004	648	766
延縄	1,698	886	3,181	395	546	633	806	1,976	2,267	2,981	2,977	1,803	1,298	1,901	1,956
定置	1,803	1,629	807	384	462	278	207	283	239	264	107	153	58	65	63
その他	333	82	103	88	106	104	201	111	1,552	982	165	393	84	182	238
計	11,299	6,599	6,944	3,320	3,571	4,943	5,688	9,094	20,753	19,819	13,749	12,143	6,551	10,610	15,267

	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
沖底	22,101	11,236	13,981	8,556	15,896	21,039	10,543	14,674	22,841	19,223	15,076	10,155
小底	955	1,565	2,194	850	1,457	1,116	569	598	668	767	553	660
刺網	1,070	1,253	947	951	1,411	1,595	1,015	877	1,588	2,953	2,196	984
延縄	2,243	2,401	2,595	2,067	1,865	1,976	1,515	1,956	3,317	4,003	4,635	1,928
定置	190	463	72	437	140	216	264	305	1,163	870	451	424
その他	171	396	358	717	528	546	718	330	866	2,066	1,170	2,017
計	26,729	17,314	20,147	13,578	21,296	26,488	14,624	18,738	30,442	29,882	24,081	16,167

2016年は各県水試調べによる暫定値。

表2. 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資源量（トン）

年齢	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
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	11,765	7,511
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	687	19,141
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	17,312	1,622
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	2,895	7,833
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	1,124	2,694
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	33,784	38,801
親魚量	1,856	5,656	6,593	6,547	10,566	12,481	5,515	5,561	7,536	18,960	15,744	16,714	10,187	10,944	11,175

年齢	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	8,355	13,565	6,226	15,041	5,499	17,792	19,710
2	16,628	45,416	21,161	15,009	16,969	20,278	8,401
3	33,613	7,879	110,190	44,372	27,755	39,496	17,079
4	2,817	14,369	10,234	102,074	47,229	23,151	19,269
5以上	2,529	2,215	10,002	14,741	47,370	46,736	18,381
合計	63,942	83,445	157,813	191,237	144,822	147,454	82,839
親魚量	18,792	24,689	32,996	77,493	76,983	63,324	30,923

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. トロール調査により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	2009	2010
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	70,132	44,775
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	835	23,249
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	8,564	802
4	102	415	915	151	1,917	535	1,135	545	1,362	2,109	3,275	2,142	1,213	792	2,143
5以上	0	306	253	0	42	204	167	281	135	126	220	394	264	139	452
合計	37,280	159,979	233,818	232,614	45,936	31,911	78,727	139,970	58,729	107,535	115,768	128,101	28,414	80,462	71,421

年齢	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	49,802	71,835	37,651	77,769	61,589	136,601	253,024
2	20,197	67,728	41,914	22,779	32,026	38,120	22,557
3	16,627	4,891	68,226	28,698	16,215	26,551	16,867
4	771	4,991	3,752	40,103	15,529	8,227	9,181
5以上	415	432	1,958	2,797	8,776	8,232	3,802
合計	87,812	149,877	153,501	172,146	134,135	217,731	301,327

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。

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	2008- 09	2009- 10
1	2.89	1.38	1.67	1.58	1.05	1.14	1.28	1.31	1.27	1.22	1.59	1.55	1.31	1.17
2	0.34	0.15	0.50	0.68	0.72	0.85	0.56	0.65	0.50	0.36	0.38	0.33	0.51	0.32
3+	1.17	0.68	0.96	0.98	1.13	1.25	1.25	1.09	1.04	1.04	0.61	0.54	0.66	0.83

年齢	2010- 11	2011- 12	2012- 13	2013- 14	2014- 15	2015- 16	2016- 17
1	0.96	0.94	0.68	0.48	0.43	0.31	0.43
2	0.29	0.42	0.33	0.19	0.10	0.14	0.23
3+	0.54	0.52	0.49	0.36	0.25	0.18	0.36

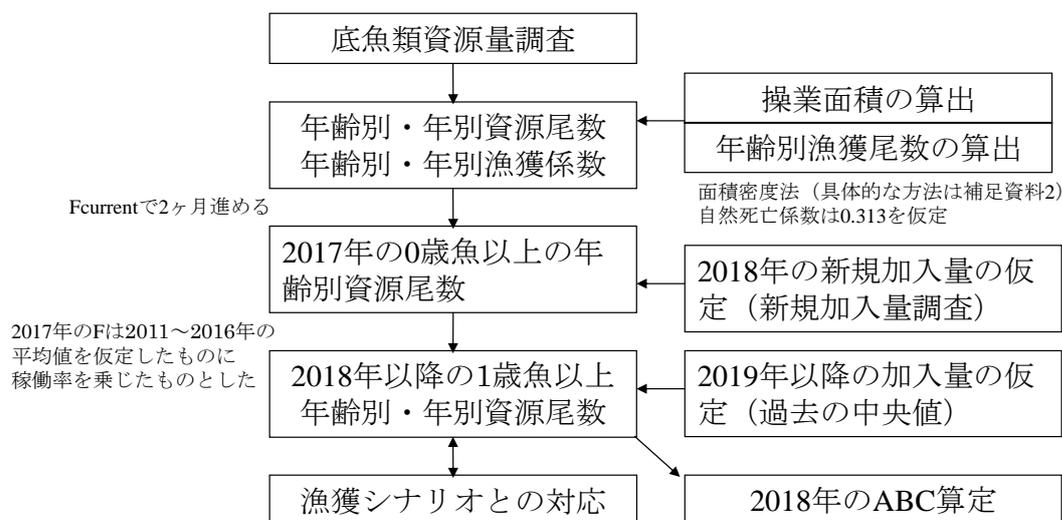
注) Fの値は生残率の平均値から算出したもの

表5. 各年の平均体重 (g)

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

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、100～200m、200～300m、300～400m、400～500m、500～600m、600～700m、700～800m および 800～1,000m 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、コホート解析によって 2011~2015 年の年齢別資源尾数を求め、上田ほか(2006)と同様にトロール調査とコホート解析の年齢別資源尾数の差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 5m 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_{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(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。

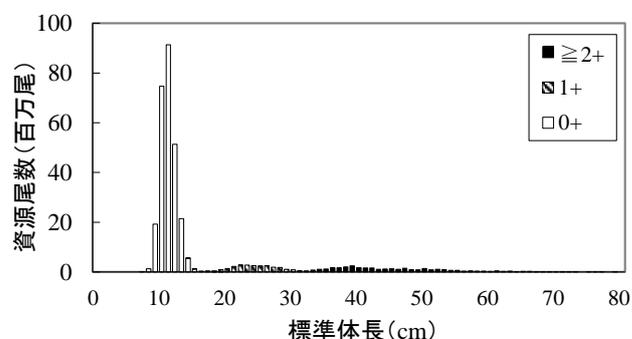
$$SE_{B_i} = \frac{A_i \cdot SD_{d_i}}{\sqrt{n_i}} \quad (5)$$

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

$$CV = \frac{SE \times 100}{B} \quad (7)$$

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.



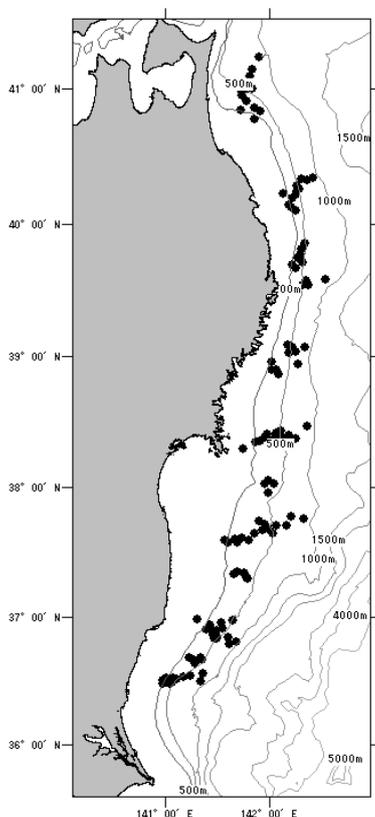
補足図 2-1. 調査におけるマダラの年齢別体長組成 年齢別採集効率は本文参照。

補足資料3 調査船調査の経過および結果

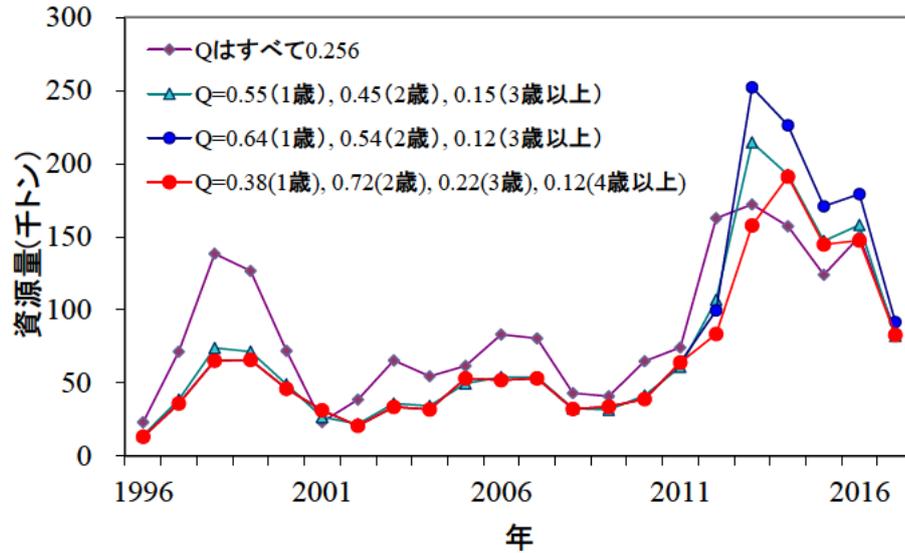
若鷹丸による底魚類資源量調査は、1995年以降、秋季（10～11月）に着底トロールを用いて実施されている（補足図3-1）。この調査で使用している着底トロール網の構成は、袖網長13.0m、身網長26.1m、網口幅が5.4mであり、コッドエンドの長さは5.0mである。コッドエンドは3重構造となっており、内網の目合が50mm、外網の目合が8mm角、すれ防止用の最も外側を覆う網の目合が60mmであり、小型個体も外網により採集可能な構造となっている。1回の曳網時間は原則として30分間とし、すべての曳網は日の出から日没までの間に船速2.5～3.5ノットで行われている。船上で各々の曳網で採集されたマダラの尾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

2016年10～11月の調査では、水深150～900mにおいて計121地点の着底トロール調査を実施した。マダラの分布は水深150～550mに確認され、250～450m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16cm以下の0歳魚が非常に多いことが明らかになった。また、体長20～30cmの1歳魚や35～40cmの2歳魚も比較的多く見られた。なお、2016年の調査における年齢別のCVは0歳魚で0.183、1歳魚で0.147、2歳魚で0.109であり、全年齢合計では0.175であった（補足表3-1）。

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大きく変わる。



補足図3-1. 2016年10～11月の資源量調査点



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
 なお、ここで示す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。

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)	14,288	-57,456	-24,092	58,603	28,484	15,160
95%信頼区間 (上限、千尾)	67,728	386,209	528,623	449,301	84,761	55,584

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)	-6,766	58,468	30,780	-1,524	72,178	68,350
95%信頼区間 (上限、千尾)	174,150	238,426	10,228	233,542	182,167	210,049

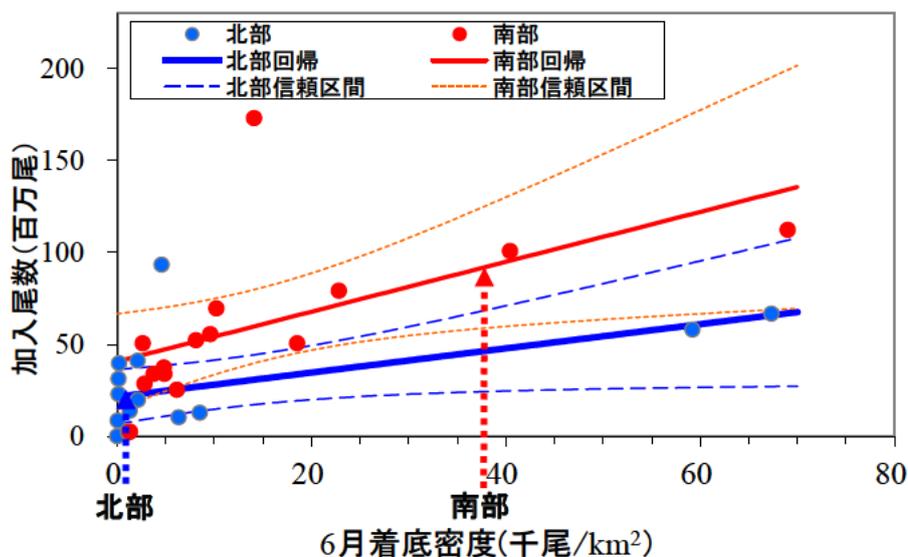
年	2007	2008	2009	2010	2011	2012
調査地点数	150	148	134	124	124	101
資源尾数 (千尾)	34,843	86,023	79,780	96,779	160,681	165,149
資源尾数のCV	0.156	0.266	0.257	0.210	0.266	0.211
資源尾数のSE (千尾)	54,228	22,869	20,540	20,298	42,684	34,851
95%信頼区間 (下限、千尾)	24,026	40,553	38,483	56,070	75,123	95,444
95%信頼区間 (上限、千尾)	45,660	131,494	121,077	137,488	246,239	234,855

年	2013	2014	2015	2016
調査地点数	113	110	122	121
資源尾数 (千尾)	184,712	143,860	232,164	323,038
資源尾数のCV	0.234	0.298	0.157	0.175
資源尾数のSE (千尾)	43,197	42,843	36,512	56,423
95%信頼区間 (下限、千尾)	98,432	58,354	159,293	210,809
95%信頼区間 (上限、千尾)	270,991	229,366	304,443	435,268

補足資料 4 2018 年 1 歳魚の加入尾数推定

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 10）、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、2017 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 2017 年級の加入個体数を推定した。

その結果、2017 年 6 月の北部海域（八戸沖）の密度は 935 尾/km²、南部海域（仙台湾沖）の密度は 36,230 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 22,234 千尾、南部海域で 89,851 千尾となり、合計 112,085 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、最近の 10 年間（2008～2017 年）において、加入尾数が最大 90 倍も変化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 2017 年の加入尾数推定値を示す。

補足資料 5 2017 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。

る。本資源評価では、当年（2017年）の資源尾数に近年の生残率（漁獲死亡＋自然死亡）を乗じて翌年（2018年）の資源尾数を求めており、2018年当初の資源尾数を求めるためには、震災以降の年別の漁獲量の把握が必要となる。被災状況、復旧状況ともに地域、漁業種別に異なり、類型化することは容易ではないが、ここでは以下の手順で県別、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可能な限り数値化した。

- ・ 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2017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、2017年の青森県から茨城県の操業の稼働率は、沖底で6.2～100%、小底で5.2～100%、沿岸漁業で0.3～100%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（89.5%）、小底、沿岸漁業の稼働率が低い傾向が認められた（83.2%、85.3%、補足表5-3）。全漁業種では、88.2%となり、2015、2016年とほぼ同じであった（補足表5-4）。

補足表5-1. 2012年4月以降の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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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. 2017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	0.064	0.006	0.037	0.057	0.002	0.035	0.017	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		0.895	1.000		0.832	1.000		0.853

補足表5-3. 2017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	0.895	0.649
小底	1,404	0.071	0.832	0.059
沿岸漁業	4,055	0.205	0.853	0.175
合計	19,813	1.000		0.882

補足表5-4. 2011～2017年における稼働率の推移

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
重み付けした 稼働率	0.660	0.622	0.810	0.834	0.882	0.882	0.882

補足資料 6 2017年に見られた成長の鈍化および震災後の成熟率の推移

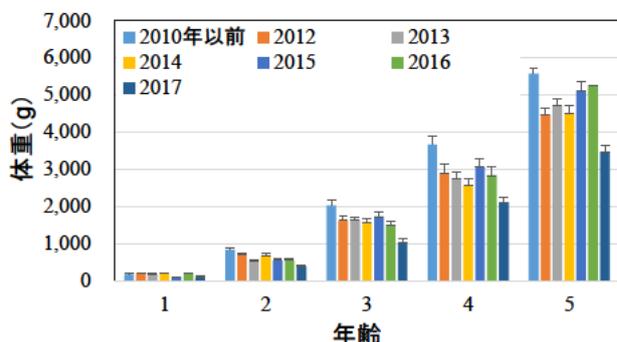
震災以降、マダラの成長には鈍化傾向が認められてきた。震災以前にもマダラの成長には加入尾数と負の相関があることが示されていたことから（Narimatsu et al. 2010）、震災以降の急激な資源の増加に伴い、成長が鈍化したと考えられる。過去の資源評価では、直近5年間の4月時点での年齢別の平均体重を年齢別の資源尾数に乗じることで資源量を推定してきた。しかし、2017年4月に行った調査で漁獲されたマダラは、震災以降の他の年に漁獲されたマダラと比べても著しく年齢別の体重が軽い傾向が認められた（補足図 6-1）。例えば2017年の1歳魚や2歳魚は震災以前の体重の46%となっており、2012～2016年の平均値と比べてもそれぞれ40%、70%となっている。また、3歳魚と4歳魚でもそれぞれ2012～2016年の68%と75%になっていた。そこで、2012～2017年の体重を直近5年間の平均値から各年の平均値に変更した。

4月および10月に行っている調査結果から得られたマダラを用いて調べた年級別の体重の成長履歴を見ると（補足図 6-2）、2007年級以前の年級に比べ、震災を経験した年級の成長は劣っている傾向にあった。また、2012～2015年級では最近の12か月（2012年級の52～64月齢、2013年級の40～52月齢、2014年級の28～40月齢および2015年級の16～28月齢）における成長が著しく悪くなっていた。直近の調査は2017年4月なので、これらの結果は、マダラの著しい成長鈍化が2016年4月から始まっていたことを示している。

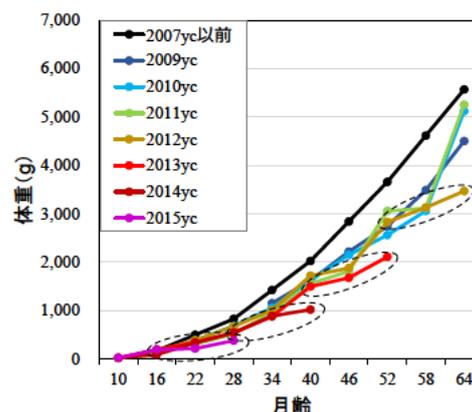
2016年には親潮系海水の南下がほとんどなく、親潮の流域面積が極めて低かったことが

知られており、東北海域では親潮に由来する生態系が形成されなかったと考えられる。そのため、マダラ若齢魚の主要な餌生物のオキアミ類が少なく、若齢魚の成長鈍化を引き起こしたと考えられる。また、マダラ成魚の主要な餌生物の一つであるスルメイカ資源の減少も知られており、こういったことがそれぞれ若齢魚と成魚の成長に関与した可能性が考えられるが、この要因や今後の継続の可能性について、さらに詳しく調査する必要がある。このように年齢別の体重が予測値よりも大幅に小さくなったため、2017年の資源量は前年の値と比べて大きく落ち込むことになった。

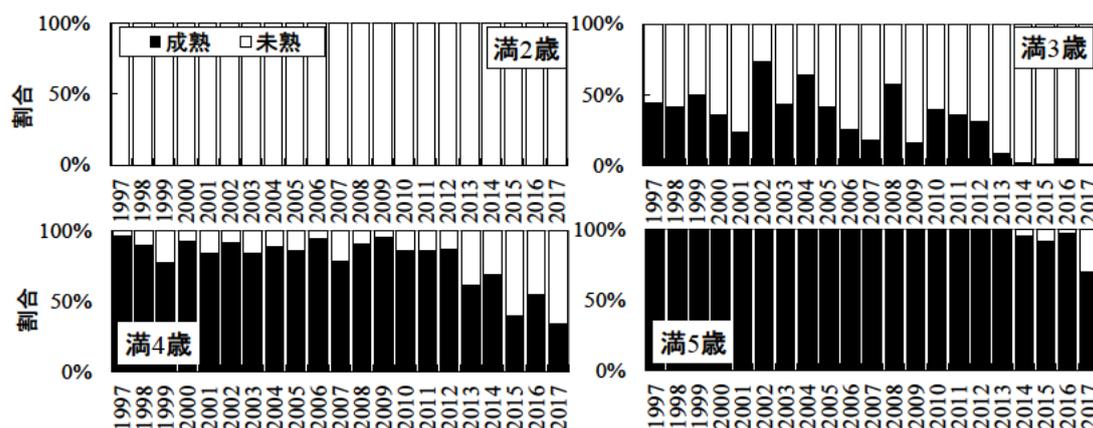
年齢別の成熟率も震災後低下しており、特に満3歳魚、満4歳魚ではその傾向が顕著である（補足図6-3）。



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. 年級別のマダラの体重の成長の推移
破線の丸囲みは2016年4月～2017年4月のデータを示す。



補足図 6-3. 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

2006年以降に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、2006～2015年は青森県および宮城県、2016年は青森

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（2016 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。

$$N_{a,2016} = C_{a,2016} \exp(M/2) / (1 - \exp(-F_{a,2016}))$$

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

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

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、2016 年の F は 2011~2015 年の F の平均値に 2016 年稼働率/2011~2015 年平均稼働率を乗じたものとした。

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 8 歳とし、田内・田中の式（田中 1960）より自然死亡係数は $2.5/8=0.3125$ 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 2012 年の 9.8 万トン进行ピークとしてその後減少しており、2016 年には小型化の影響もあり（補足表 7-4）、5.3 万トンにまで減少していた（補足表 7-5）。東北海域のマダラは満 1 歳魚から漁獲され、若齢魚に対する漁獲圧が比較的高い。そのため、漁獲開始年齢が遅い他の底魚類に比べて直近年のデータがより重要である。また、震災前後の資源量や F の変動が緩やかで、以降の資源の急激な変動がうまく反映されていないと考えられる。こういったことから、コホート解析を用いた本海域のマダラの資源量推定を資源評価に用いるには、直近年のデータを現実的に示すことのできるチューニングが不可欠であると考え、本年度の評価では補足資料として示すに留めた。

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	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	17,638	36,166	5,246	29,494	8,723	12,380	6,790	13,659	42,802	2,088	10,640
2	7,942	5,611	5,298	2,591	13,762	2,958	13,498	17,403	4,422	4,424	5,206
3	2,313	1,941	1,658	2,015	992	2,585	3,212	4,630	2,972	1,497	1,254
4	586	664	698	1,227	1,014	779	1,649	2,122	2,995	2,812	1,064
5	127	387	164	831	743	921	623	1,858	1,547	1,677	1,137
6+	39	126	200	136	505	584	936	610	716	640	471

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	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	44,929	67,917	19,527	79,401	38,312	65,540	59,421	35,179	67,719	25,926	35,568
2	21,099	17,784	18,755	9,799	32,864	20,569	37,360	37,666	14,055	12,933	17,182
3	4,652	8,643	8,212	9,190	4,953	12,272	12,518	15,788	12,672	6,500	5,678
4	2,121	1,425	4,663	4,590	5,000	2,775	6,767	6,411	7,591	6,729	3,475
5	505	1,051	475	2,815	2,309	2,791	1,364	3,541	2,875	2,992	2,518
6+	155	341	580	460	1,569	1,769	2,049	1,164	1,331	1,141	1,043

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	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	0.61	0.97	0.38	0.57	0.31	0.25	0.14	0.61	1.34	0.10	0.43
2	0.58	0.46	0.40	0.37	0.67	0.18	0.55	0.78	0.46	0.51	0.44
3	0.87	0.30	0.27	0.30	0.27	0.28	0.36	0.42	0.32	0.31	0.30
4	0.39	0.79	0.19	0.37	0.27	0.40	0.34	0.49	0.62	0.67	0.44
5	0.35	0.56	0.52	0.42	0.47	0.49	0.76	0.95	0.99	1.06	0.75
6+	0.35	0.56	0.52	0.42	0.47	0.49	0.76	0.95	0.99	1.06	0.75

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	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	168	168	168	168	168	168	189	165	193	89	130
2	823	823	823	823	823	823	683	514	671	540	542
3	2,022	2,022	2,022	2,022	2,022	2,022	1,619	1,623	1,554	1,720	1,495
4	3,655	3,655	3,655	3,655	3,655	3,655	2,893	2,741	2,558	3,056	2,828
5	5,566	5,566	5,566	5,566	5,566	5,566	4,468	4,708	4,499	5,119	5,251
6+	7,609	7,609	7,609	7,609	7,609	7,609	7,346	7,047	7,466	7,780	6,938

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	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
1	7,537	11,394	3,276	13,320	6,427	10,995	11,221	5,817	13,097	2,315	4,633
2	17,371	14,642	15,441	8,067	27,057	16,934	25,516	19,368	9,432	6,979	9,309
3	9,404	17,472	16,602	18,578	10,012	24,809	20,263	25,622	19,688	11,181	8,487
4	7,750	5,209	17,041	16,776	18,273	10,141	19,578	17,570	19,414	20,563	9,828
5	2,809	5,849	2,644	15,667	12,854	15,535	6,092	16,670	12,937	15,316	13,221
6+	1,182	2,596	4,412	3,503	11,939	13,464	15,051	8,200	9,936	8,881	7,234
合計	46,053	57,162	59,415	75,912	86,563	91,877	97,722	93,248	84,504	65,235	52,712

補足資料 8 再生産関係の検討

図 11 に示したように、本系群の再生産関係では、親魚量が少ない状況でも卓越した加入が見られる一方で親魚量が多い状態でも加入があまり増えないケースがたびたび見られ、明瞭な関係性を見いだすのが難しかった。再生産関係をホッケースティック（HS）曲線に当てはめた加入量予測の有効性が近年示されつつある（Ichinokawa et al. 2017）ことから、本系群でも同文献の内容に従い、同曲線への当てはめを試行した。加入尾数の推定には 1998～2016 年の親魚量と加入量の関係から求めた、以下の式を用いた。

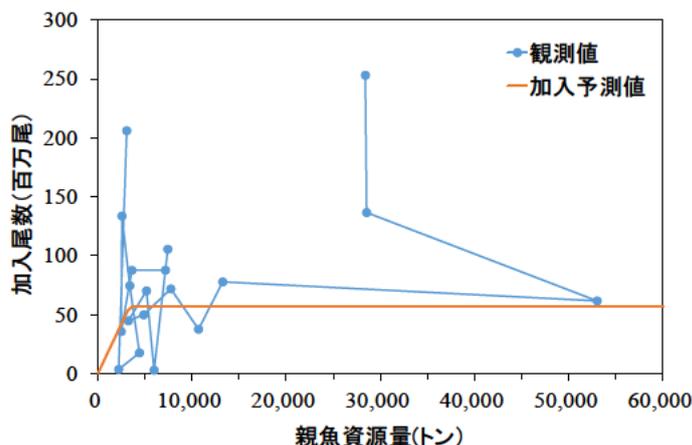
$$R = 0.0084(SSB + \sqrt{3396^2 + \gamma^2 / 4} - \sqrt{(SSB - 3396)^2 + \gamma^2 / 4})$$

ここで、 R は満 1 歳時の加入尾数（百万尾）、 SSB は親魚量（トン）、 γ は定数（0.00001）である。

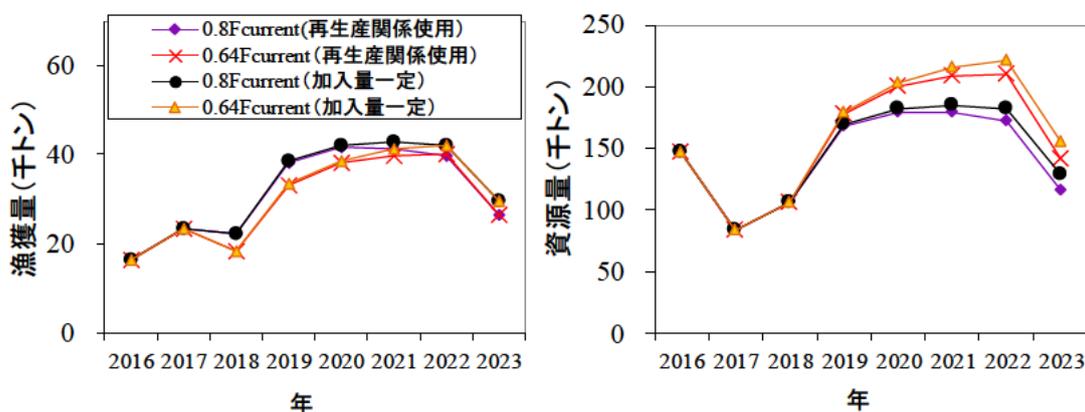
その結果、加入尾数は親魚量が 0~3,396 トンにおいて直線的に増加し、3,396 トン以上において 5,705 万尾で一定となった（補足資料図 8-1）。ここで得られた 5,705 万尾は本報告で用いている加入尾数（6,586 万尾）と比較的近い値を示しており、さらに現在の親魚量は変曲点となる親魚量よりもかなり多いことから、この結果を使った将来予測は、本報告で用いている予測値よりもやや少ない程度となり、傾向としては類似している（補足資料図 8-2）。ただし、現在は親魚量が大きく変動しており、さらに大幅な成長の鈍化によって年齢別の成熟率なども変化していることから、本年度は試行にとどめた。

引用文献

Ichinokawa, M., H. Okamura, and H. Kurota (2017) The status of Japanese fisheries relative to fisheries around world. ICES J. Mar. Sci., 74, 1277-1287.



補足図 8-1. ホッケースティック曲線をあてはめた再生産関係



補足図 8-2. 加入量一定とし、現在の漁獲圧で漁獲した場合と HS 関係に基づき加入量を予測し、現在の漁獲圧で漁獲した場合の漁獲量、資源量の将来予測比較