

## 令和 2（2020）年度マダラ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

着底トロール調査を指標としたチューニング VPA によって本系群の資源量を推定した。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、2013 年には 8.1 万トンと推定された。しかしその後減少傾向にあり、2019 年には 1.9 万トンになった。また、漁獲量は 2013 年および 2014 年には約 2.8 万トンで過去最高になったが、その後減少し、2019 年には暫定値ながら 7 千トンであった。2019 年の資源量から資源水準は低位、直近 5 年間（2015 年～2019 年）の資源量の推移から動向は減少と判断した。

マダラは底魚類の中では成長が早く、成熟に達する年齢も低いため、漁獲圧を抑えることで親魚量が速やかに増加することが期待される。また、これまでに比較的短期間に資源の回復が認められていることから、ある程度の親魚量を確保することが資源回復のために重要であると考えられる。そのため、加入あたりの適切な親魚量を確保するために基準値を  $F_{20\%SPR}$  とし、これに 0.8 を乗じたものを管理基準とした。0.8 $F_{20\%SPR}$  を Flimit とし、ABC 算定のための基本規則 1-3)-(3)に基づき 2021 年漁期の ABC を算定した。

管理基準	Target/ Limit	2021 年 ABC (百トン)	漁獲割合 (%)	F 値 (現状の F 値から の増減%)
0.8 $F_{20\%SPR}$	Target	50	22	0.36 (-53%)
	Limit	60	27	0.45 (-42%)

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。Ftarget =  $\alpha \times Flimit$  とし、係数  $\alpha$  には 0.8 を用いた。低位水準、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。Flimit =  $\beta_2 \times F_{20\%SPR}$  とし、 $\beta_2$  には 0.8 を用いた。漁獲割合は 2021 年漁期の漁獲量/資源量である。2016～2018 年漁期の F の平均値 (0.77) を現状の F とした。

年	資源量 (百トン)	親魚量 (百トン)	漁獲量 (百トン)	F 値	漁獲割合 (%)
2016	244	50	100	0.86	41
2017	210	55	75	0.62	36
2018	229	53	104	0.82	45
2019	190	39	67	0.61	35
2020	202	69	88	0.77	44
2021	223	72	60		

2020 年、2021 年漁期の値は将来予測に基づいた推定値である。各年漁期の資源量は漁獲対象資源量を示す。漁獲量は漁期年（4～3 月）で集計。2019 年漁期の漁獲量は暫定値。F 値は各年齢の平均値。

水準：低位 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とおり

データセット	基礎情報、関係調査等
漁期年別漁獲量	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 ・資源指標値 ・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 $M=0.357$ を仮定(田中 1960)

## 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 年および 1999 年に高水準となったが、その後減少し、2003 年以降再び増加傾向にあった。その後は加入が安定しており、資源は比較的高い水準となった。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 年の資源量は過去最高を記録した。しかしながら、加入の減少や漁

獲努力量の増加、成長の鈍化などにより、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鱗条など、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、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 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 100 m 以浅の浅瀬に移動し (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（補足図 6-2）。1996 年～2019 年の平均成熟率は 3 歳で 28%、4 歳で 77% となっており、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 年以降の全漁獲量に占める沖底の割合は 48～76% 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）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高い。震災以降には、漁船の被災、魚価の低迷および操業規制、自粛などにより漁獲圧は低下したが、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期年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 年は 2.8 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 および 2014 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 2.8 万トン前後を記録した。その後減少し、2016 年には 1.0 万トン、2019 年には暫定値で 7 千トンとなっている。

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、表 1）。2018 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が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 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、2017~2019 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 2012~2018 年には年間 2.1 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

4 月~翌年 3 月を漁期とし、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)。漁期を上半期 (4~9 月) と下半期 (10~3 月) に分け、青森県、岩手県、宮城県のマダラの主要港で得られた漁獲物の体長組成を年別半期別に求めた age-length key で年齢分解し、漁獲物の年齢組成を求めた。自然死亡係数 (M) は定期的に見られる年齢 (7 歳) と田内・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をチューニングの指数として用いた。

##### (2) 資源量指標値の推移

トロール調査の現存尾数は年齢別に求められている (補足資料 3)。年齢別に見ると、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 6、補足表 3-1)。また、1 歳魚の尾数は年変化が大きく、1996~2019 年漁期には 100 万尾~9,300 万尾で推移している。2 歳以上も年変化が大きいが、2012~2016 年には比較的多かった。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、1996~2019 年では 9 千トン~25.7 万トンで推移しており、2001 年に最低値、2013 年に最高値となっている (図 7、補足表 3-2)。

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 (図 8)。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、その後すべての海区で減少傾向にある。

##### (3) 漁獲物の体長・年齢組成

2019 年漁期に各県に水揚げされたマダラの体サイズ組成を図 9 に示した。青森県、岩手県では 40~50 cm 台前半にモードを有する単峰型を呈していた。一方、宮城県では二峰型を呈しており、20 cm 台後半と 40 cm 台前半にモードが認められた。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、30 cm 前後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 3 歳魚、宮城県では 1~2 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

資源量は 1996~2011 年漁期には 2.5 万~6.4 万トンで推移していたが、震災以降増加し、2013 年には 8.1 万トンとなった(図 10、図 11、補足表 2-4)。2014 年以降は減少し、2016~2018 年漁期には 2 万トン台、2019 年漁期には 1.9 万トンになった。過去 24 年で見ると、2019 年漁期の 1 歳魚は 3,269 トンで 3 番目に少なく、2 歳~6 歳以上の資源量も 2~6 番目に少ない。この要因には近年加入が少ない傾向にあること、年齢当たりの体重が軽くなったことが作用していると考えられる(補足資料 6)。資源尾数は 0~2 歳魚の割合が高く、4 歳以上の個体の割合はかなり低い(図 12)。

漁獲割合は、1996~2019 年漁期では 27~54%と比較的高めで推移している(図 10、表 2)。震災の影響もあり、2011~2013 年漁期にかけて低下したが、その後上昇している。2019 年漁期は 35%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(2019 年は 9.1%)。また、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、1996 年~2019 年の親魚量は 3.9 千~1.9 万トンで推移しており、2019 年は 3.9 千トンで最も少なかった(図 13)。また、再生産成功率には大きな変化が認められ(図 13、表 2)、明瞭な再生産関係は認められなかった(図 14)。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であることから、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 年以降は漁獲物データから推定したコホート解析結果ならびに着底トロール調査による資源量指標値データが得られていることから、着底トロール調査による資源量指標値データでチューニングしたコホート解析結果(補足資料 1)を用いて水準と動向を判断した。

1996 年漁期以降の資源量は 1.9 万トン(2019 年漁期)から 8.1 万トン(2013 年漁期)の間を変動している(図 11、表 2)。2019 年漁期の資源量は 1.9 万トンで、1996 年以降では最も低い値となっている。震災以降には成長の鈍化などの変化(補足資料 6)も認められるが、漁獲圧が低い状況における資源の増加やその後の減少も本資源の特性の 1 つであり、

資源量には毎年の体重の変化も盛り込んでいることから、1996～2019年漁期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年漁期の資源量は平均値の42%に相当することから、資源水準は低位と判断した（図11、表2）。また、過去5年間（2015～2019年漁期）の資源量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加入量には大きな年変化があり（図12）、6月着底期の密度と0歳魚の資源尾数にも関連性が認められていない（補足資料4）。また、再生産関係にも明瞭な傾向が認められておらず（図13）、再生産成功率の変動も大きい（図14、表2）。こういったことから、2020年漁期以降の加入量（0歳魚の尾数、資源量）には、過去10年の加入量（2010～2019年漁期）の中央値をあてはめ（22,392千尾）、2021年漁期以降の資源量の将来予測に用いた。

太平洋北部におけるマダラのトロール調査による加入指標値と表面水温との関係を図15に示した。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）が、近年は親魚量の変動などもあり、相関は南北ともに弱いものとなっている（北部： $r^2=0.19$  南部： $r^2=0.16$ ）。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

コホート解析によって求めた漁獲死亡係数（F）は、5歳および6歳以上で最も高く、2～4歳の中ではほぼ同じ水準である。1歳の漁獲圧は震災前には2～4歳と同レベルだったが、近年は低くなっている（図16）。直近3年間（2016～2018年漁期）の平均選択率にも基づくF値を用いて本系群のYPRおよび%SPRを求めた（図17）。2016～2018年漁期の漁獲圧（ $F_{current}$ ）は1.32（5歳および6歳以上のF）であり、 $F_{max}$ （=0.78）や $F_{0.1}$ （=0.52）と比べて高い。また、 $F_{current}$ は13.5%SPRに相当し、一般的に適切と考えられる漁獲圧よりも高いが、親魚量を維持する $F_{med}$ （=1.39）よりも低い。

## 5. 2021年ABCの算定

### (1) 資源評価のまとめ

コホート解析の結果によると、1996～2019年漁期の資源量は1.9万トン～8.1万トンで推移しており、2013年漁期に8.1万トンを記録した後に減少し、2016～2018年漁期には2万トン台、2019年漁期には1.9万トンになっている。こういった資源の現状から、現在の資源水準は低位、動向は減少と判断した。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く、漁獲圧を抑えることで親魚量が速やかに増加することが期待される。また、明瞭な再生産関係は認められないが、これまでに比較的短期間で資源の回復が認められていることから、ある程度の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年の資源の水準、動向はそれぞれ低位、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、 $\beta_2$  は係数で、近年は成長の鈍化や成熟年齢の高齢化も認められていることから、0.8 を用いた。また、 $\alpha$  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 ①2020 年級以降の加入尾数は直近 10 年級 (2010~2019 年級) の中央値とした。②2020 年および 2021 年漁期以降の年齢別体重は、それぞれ 2018 年、2019 年漁期の平均値および 1996 年~2019 年漁期の平均値とした。③2020 年漁期以降の年齢別選択率は 2016 年~2018 年漁期の平均値と同じと仮定した。④2020 年および 2021 年以降の成熟率は、それぞれ 2018 年、2019 年の平均値および 1996~2019 年の平均値とした。

この条件の下で現状の漁獲が 2020 年末まで続くと仮定すると、2021 年漁期の初期資源量は 2.2 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かったが (図 16)、震災から 9 年以上が経過し、漁獲圧は高くなっており、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残率が低下していること、マダラの成長は早く、漁獲圧を抑えることで親魚量が速やかに回復することが期待できること、これまでは資源が減少しても比較的短期間で回復していることから、加入あたりの適切な親魚量を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  $\alpha$  (0.8) を乗じ、 $F_{\text{target}}=F_{\text{limit}} \times 0.8$  として ABCtarget を算定した。

その結果、ABClimit=5,986 トン、ABCtarget=4,991 トンと算出された。

管理基準	Target/ Limit	2021 年 ABC (百トン)	漁獲割合 (%)	F 値 (現状の F 値からの増減%)
0.8F20%SPR	Target	50	22	0.36 (-53%)
	Limit	60	27	0.45 (-42%)

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。低位水準、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。 $F_{\text{limit}}=\beta_2 \times \text{F20\%SPR}$  とし、 $\beta_2$  には 0.8 を用いた。 $F_{\text{target}}=\alpha \times F_{\text{limit}}$  とし、係数  $\alpha$  には 0.8 を用いた。漁獲割合は 2021 年漁期の漁獲量/資源量である。2016~2018 年漁期の 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、 $\beta_2$  を 0.8、2020 年漁期の F を 2016~2018 年漁期の平均値と同じと仮定して漁獲すると、2021 年漁期の漁獲量は 6.0 千トンとなる。この漁獲量は近年の中では非常に少なく、これを下回るのは 1994 年漁期までさかのぼる。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 18（図 18 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 Fcurrent の漁獲量を除き、どの漁獲方策を用いても 2026 年に見られた。Fcurrent で漁獲すると、資源量は緩やかに増加し、2026 年の資源量は 2.9 万トンになるが、親魚量はほぼ横ばいとなり、2026 年漁期には 7.1 千トンになる。0.8F20%SPR で漁獲すると、当初の漁獲量は低く抑えられるが、漁獲量、資源量および親魚量は大きく増加し、2026 年漁期にはそれぞれ 4.2 万トン、1.1 万トンおよび 1.6 万トンにまで回復する。特に近年の F は 1 歳魚では低いものの、2 歳魚では高い傾向にあることから、漁獲圧を下げることにより、親魚量が顕著に増加する傾向を示す。ただし、この予測結果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。レトロスペクティブ解析の結果では、20017 年漁期以降の資源量と F は比較的安定している（補足資料 5）。なお、基準値の 0.8F20%SPR は昨年度と同じであるが、資源量推定方法の変更により、昨年度（F=0.31）よりも高い値となっている。

管理基準	F 値	漁獲量(百トン)							
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
F0.1	0.33	67	88	46	64	77	99	95	105
0.64F20%SPR	0.36	67	88	50	67	81	102	98	108
0.8F20%SPR	0.45	67	88	60	77	89	109	106	113
F20%SPR	0.56	67	88	71	86	96	114	111	115
0.8Fcurrent	0.61	67	88	76	89	99	115	113	116
Fcurrent	0.77	67	88	89	97	103	116	114	116
		資源量(百トン)							
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
F0.1	0.33	190	202	223	309	383	440	479	506
0.64F20%SPR	0.36	190	202	223	304	372	424	459	482
0.8F20%SPR	0.45	190	202	223	289	342	381	406	420
F20%SPR	0.56	190	202	223	272	309	337	354	361
0.8Fcurrent	0.61	190	202	223	265	296	319	333	339
Fcurrent	0.77	190	202	223	245	262	277	285	287
		親魚量(百トン)							
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
F0.1	0.33	39	69	72	96	118	158	197	223
0.64F20%SPR	0.36	39	69	72	93	111	147	183	205
0.8F20%SPR	0.45	39	69	72	85	94	120	145	160

F20%SPR	0.56	39	69	72	75	76	94	111	118
0.8Fcurrent	0.61	39	69	72	71	69	83	97	103
Fcurrent	0.77	39	69	72	61	52	60	68	71

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
2018 年漁期漁獲量確定値	2018 年漁期漁獲量の確定
2019 年漁期漁獲量	2019 年漁期漁獲量の暫定値
2019 年漁期資源量	2019 年漁期資源量暫定値

評価対象年 (当初・再評価)	管理 基準	F 値	資源量 (百トン)	ABClimit (百トン)	ABCtarget (百トン)	漁獲量 (百トン) (実際の F 値)
2019 年(当初)	0.8F20%SPR	0.31	537	116	95	
2019 年(2019 年 再評価)	0.8F20%SPR	0.32	414	88	72	
2019 年(2020 年 再評価)	0.8F20%SPR	0.32	190	39	32	67 (0.61)
2020 年(当初)	0.8F20%SPR	0.31	451	102	84	
2020 年(2020 年 再評価)	0.8F20%SPR	0.31	202	44	36	

2019 年漁期の漁獲量は暫定値。

再評価では、資源量、ABC が減少した。これは資源評価方法をトロール調査による直接推定法からコホート解析に変更し、資源量が減少したことに起因するが、従来行っていた直接推定法においても直近年の資源量は 2.6 万トンとなっており、2020 年の ABClimit および ABCtarget はそれぞれ 5.5 千トンおよび 4.6 千トンとなっていた。これは資源量推定値が想定よりも少なく、特に加入が悪かったことによる。

#### 6. ABC 以外の管理方策の提言

近年は成長の停滞が見られているものの、マダラは非常に成長が早く、特に若齢魚を保護することによって親魚量に加えて漁獲量の増大も可能となる。そのため、加入してきた個体を減らしすぎないように効率的に漁獲することが重要となる。

#### 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) 陸奥湾に来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., 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)

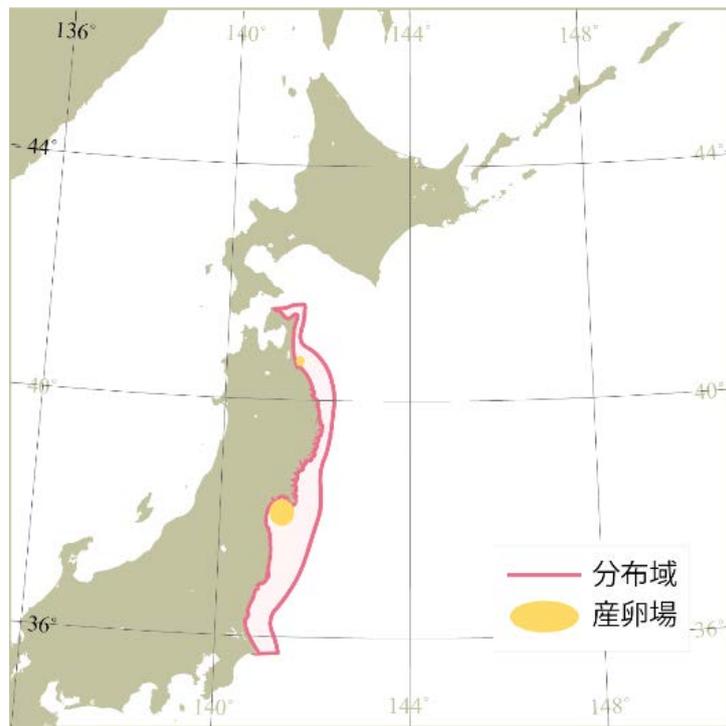


図1. 太平洋北部におけるマダラ分布

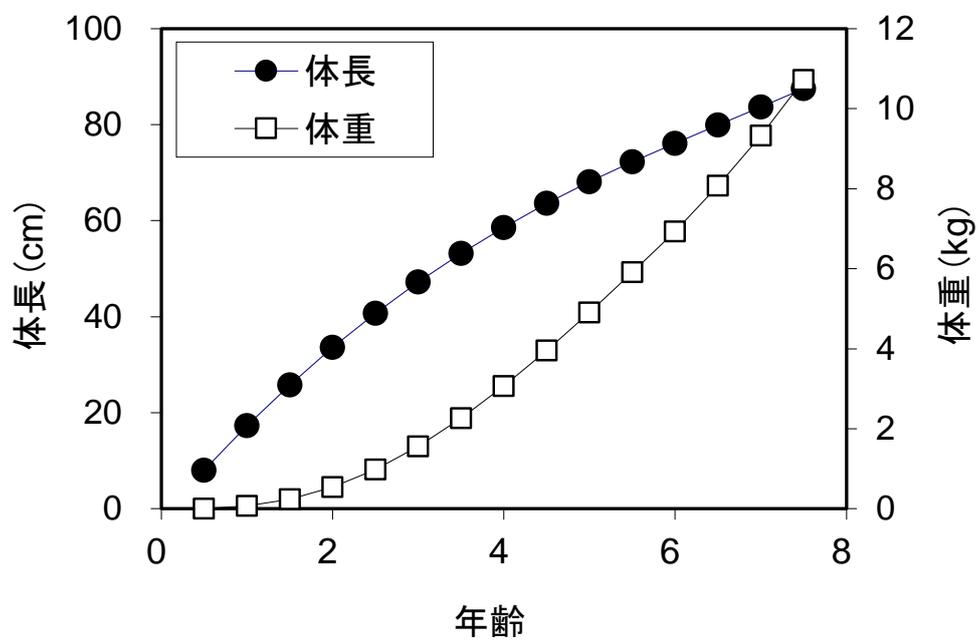


図2. 太平洋北部におけるマダラの成長 (震災以前の平均)

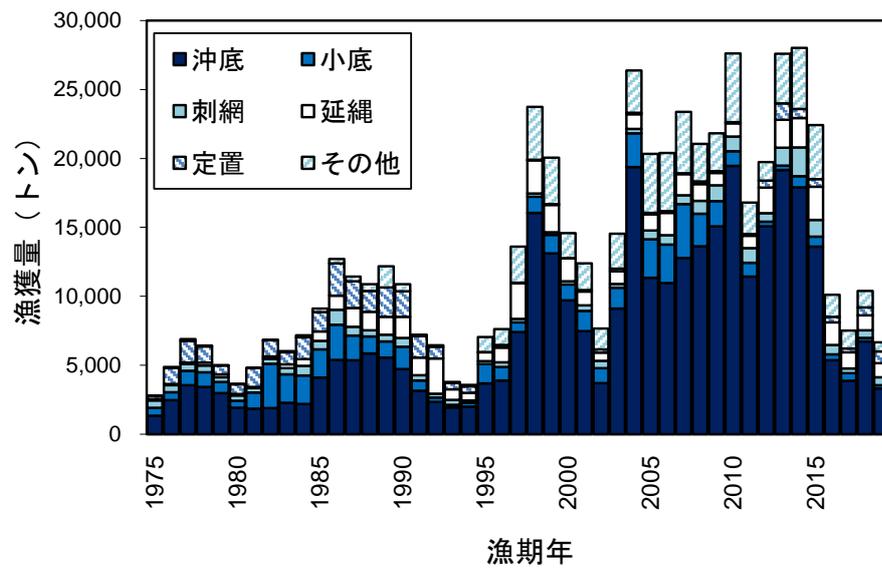


図3. 太平洋北部におけるマダラの漁業種別漁獲量 2019年漁期は暫定値。

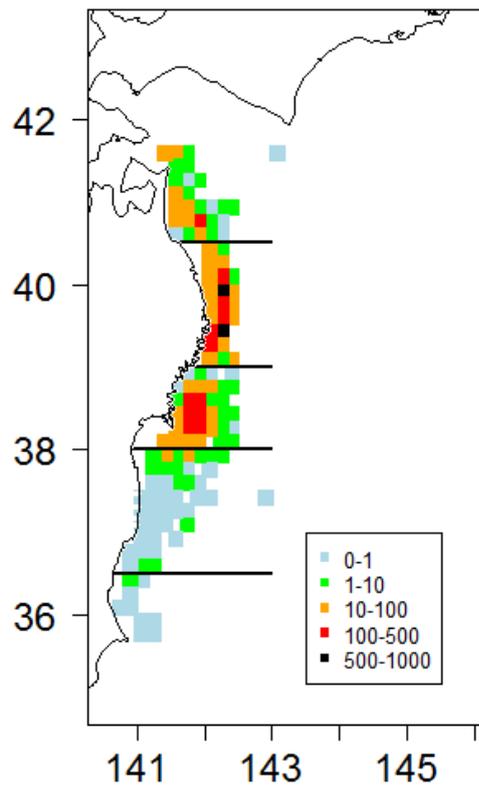


図4. 沖底による2018年の漁獲量(トン)の分布

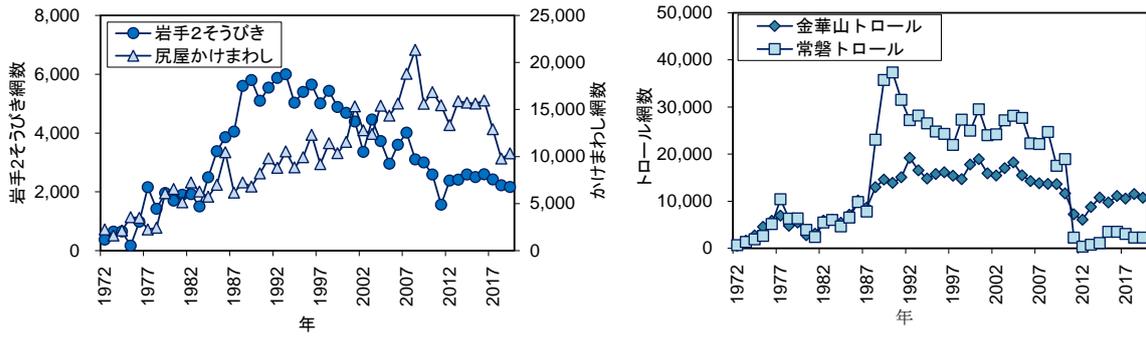


図5. 沖底による有漁網数の推移

左：2そうびきとかけまわし 右：トロール 2019年は暫定値。

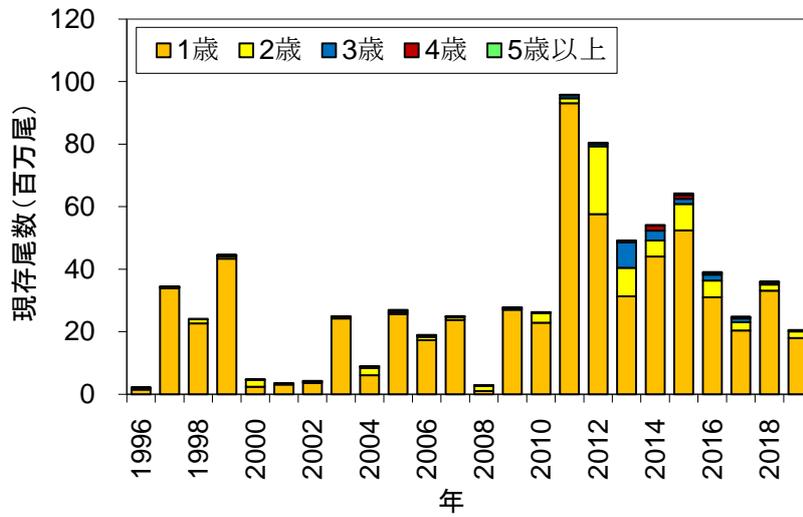


図6. トロール調査による年齢別現存尾数の推移

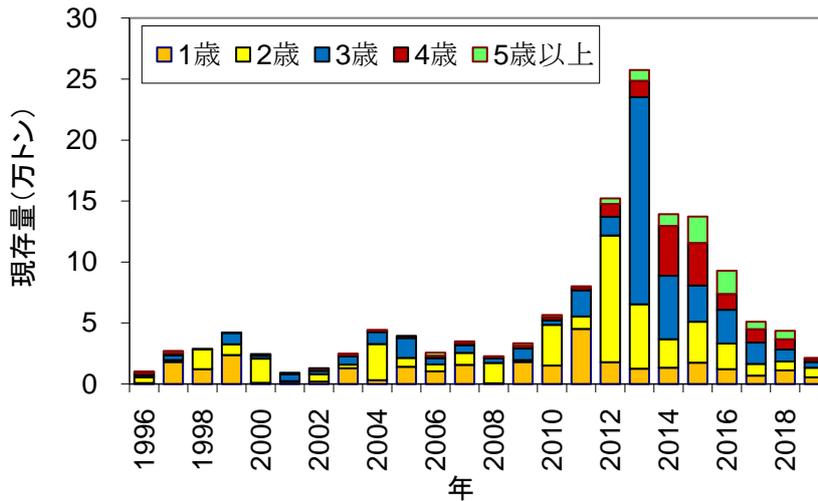


図7. トロール調査による年齢別現存量（資源量指標値）の推移

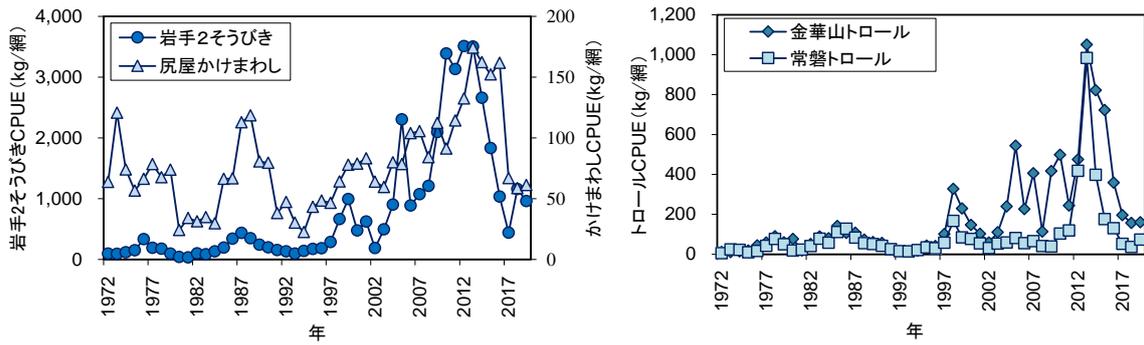


図 8. 沖底による CPUE の推移

左：2 そうびきとかけまわし 右：トロール 2019 年漁期は暫定値。

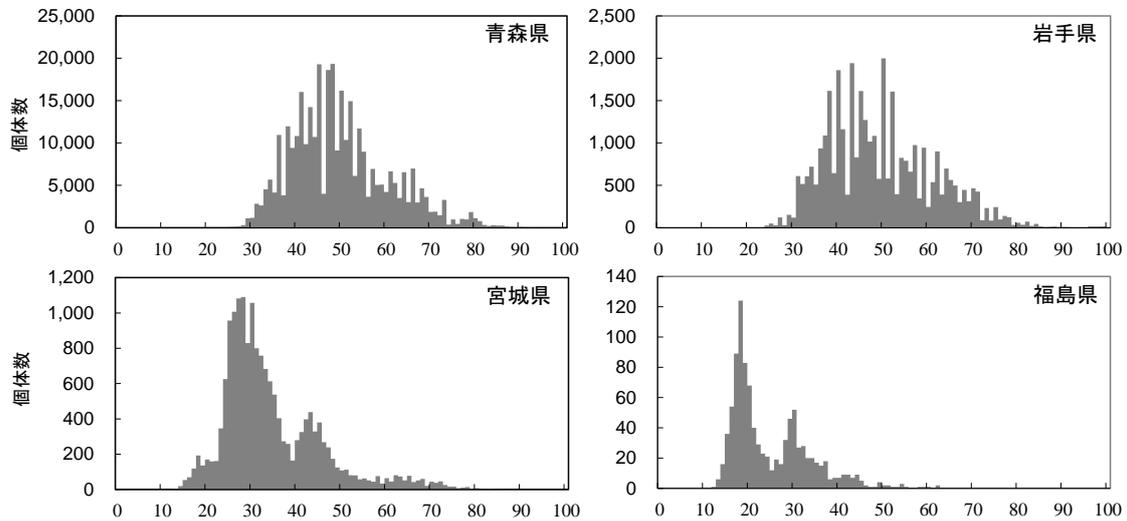


図 9. 2019 年漁期に各県で漁獲されたマダラの体サイズ組成 (cm)

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。

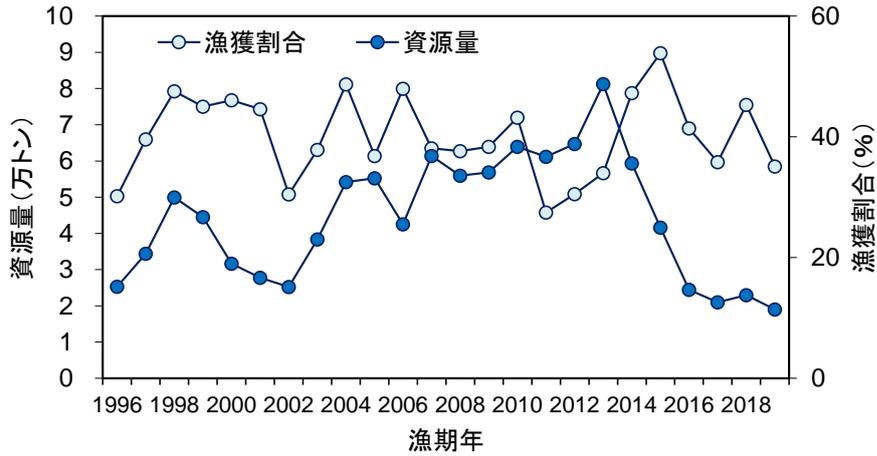


図 10. 資源量と漁獲割合の推移 2019年漁期の漁獲割合は暫定値。

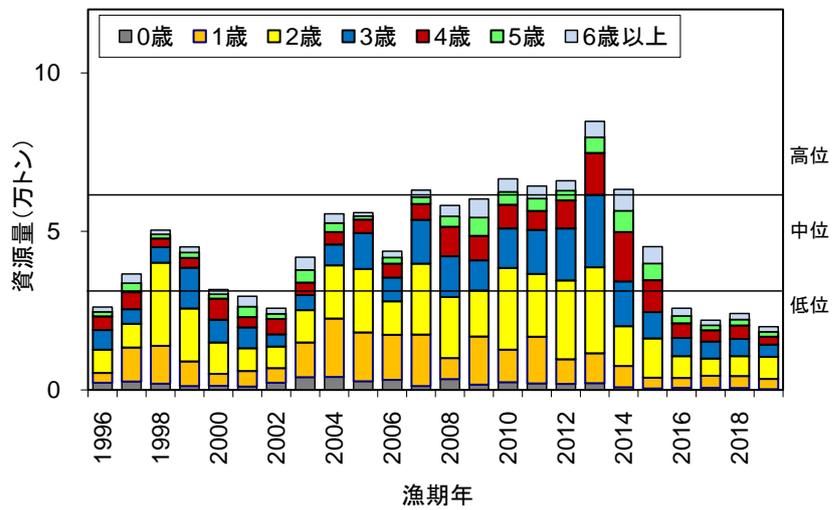


図 11. 年齢別資源量の推移

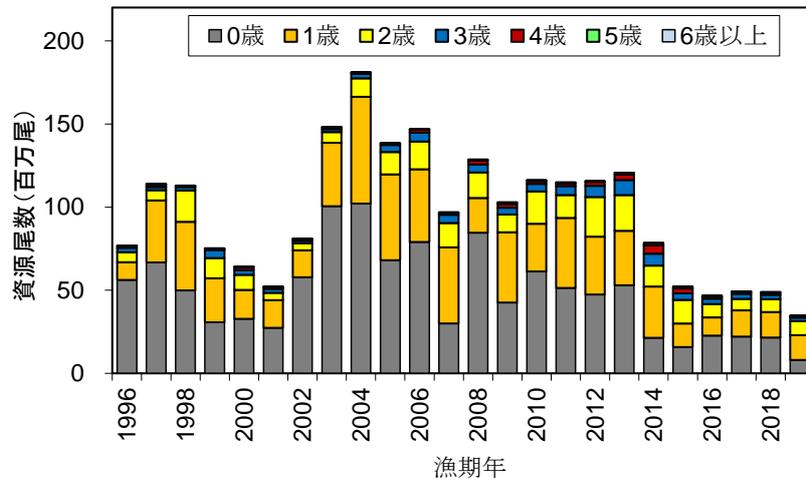


図 12. 年齢別資源尾数の推移

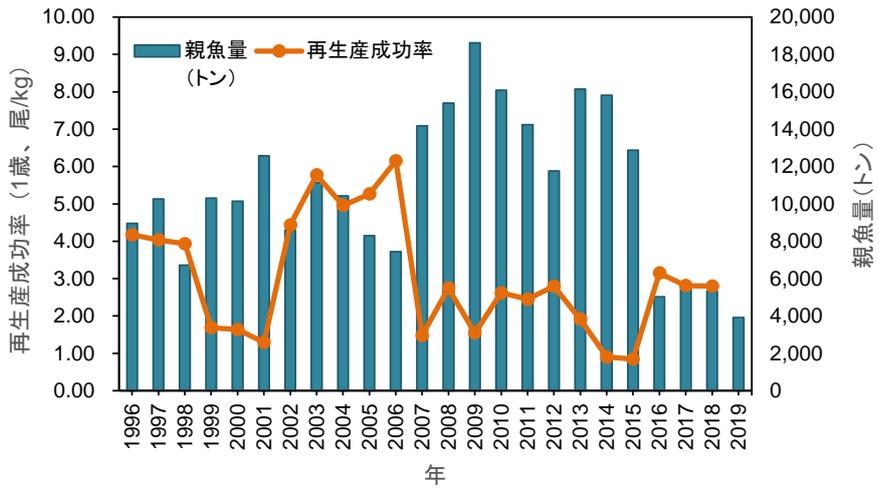


図 13. 再生産成功率と親魚量

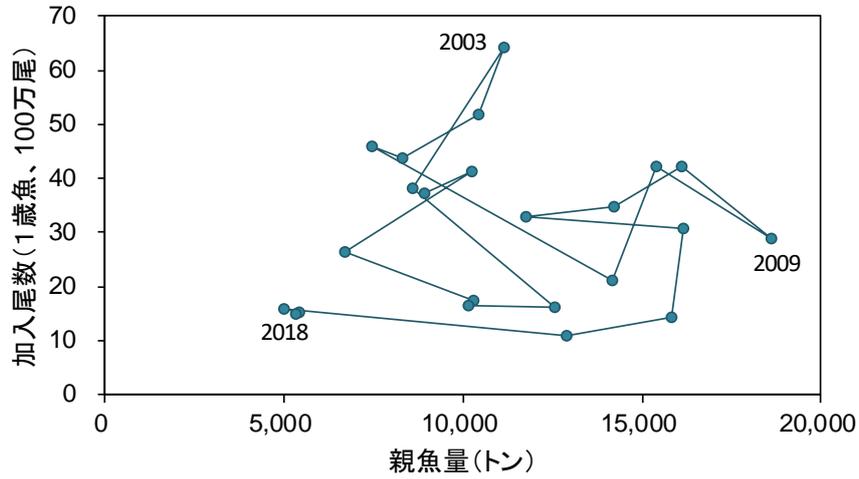


図 14. 再生産関係の推移

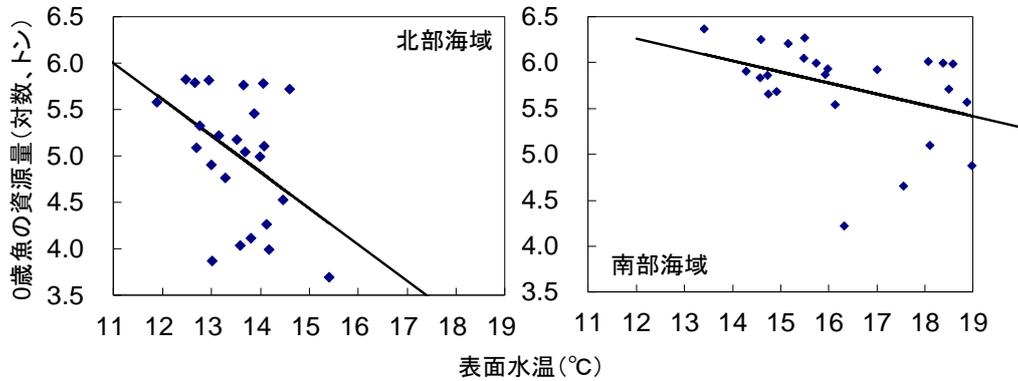


図 15. 太平洋北部における表面水温と0歳魚の資源量指標値の関係 (1996~2019年)  
左：北部海域、右：南部海域。

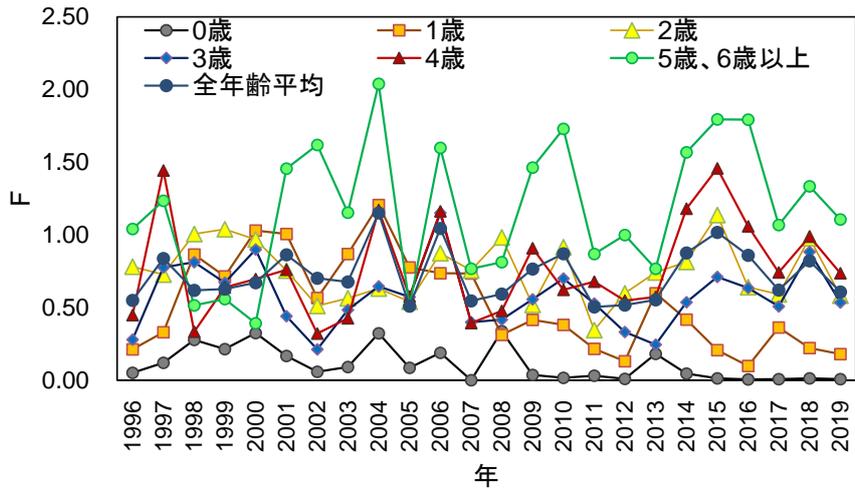


図 16. コホート解析によって求めた年齢別漁獲死亡係数 (F) の年変化

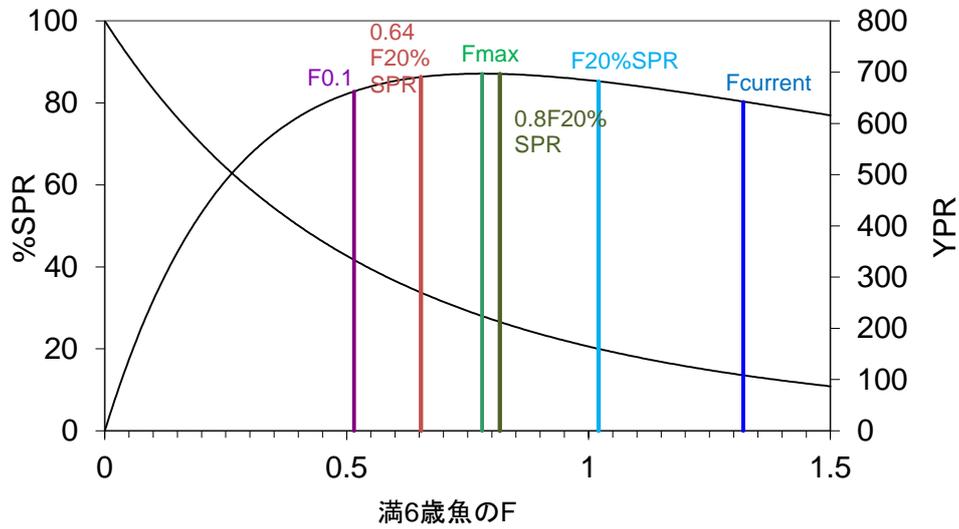


図 17. 漁獲係数 F と YPR および %SPR の関係

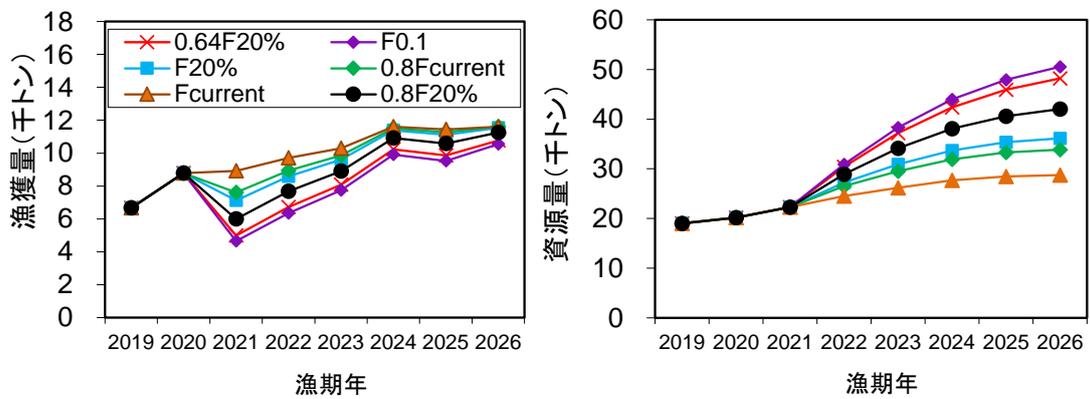


図 18. さまざまな管理方策に基づく漁獲量 (左図) と資源量 (右図) の将来予測

表 1. 漁獲種別のマダラの漁獲量（トン） 漁期年（4月～3月）で集計。

	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							
沖底	17,902	13,600	5,364	3,887	6,729	3,318							
小底	803	731	425	544	253	241							
刺網	2,092	1,201	691	351	566	577							
延縄	2,129	2,408	1,643	1,151	1,069	1,024							
定置	655	564	404	291	579	842							
その他	4,444	3,919	1,588	1,284	1,195	660							
計	28,024	22,423	10,114	7,508	10,392	6,663							

2019年漁期は各県水試調べによる暫定値。

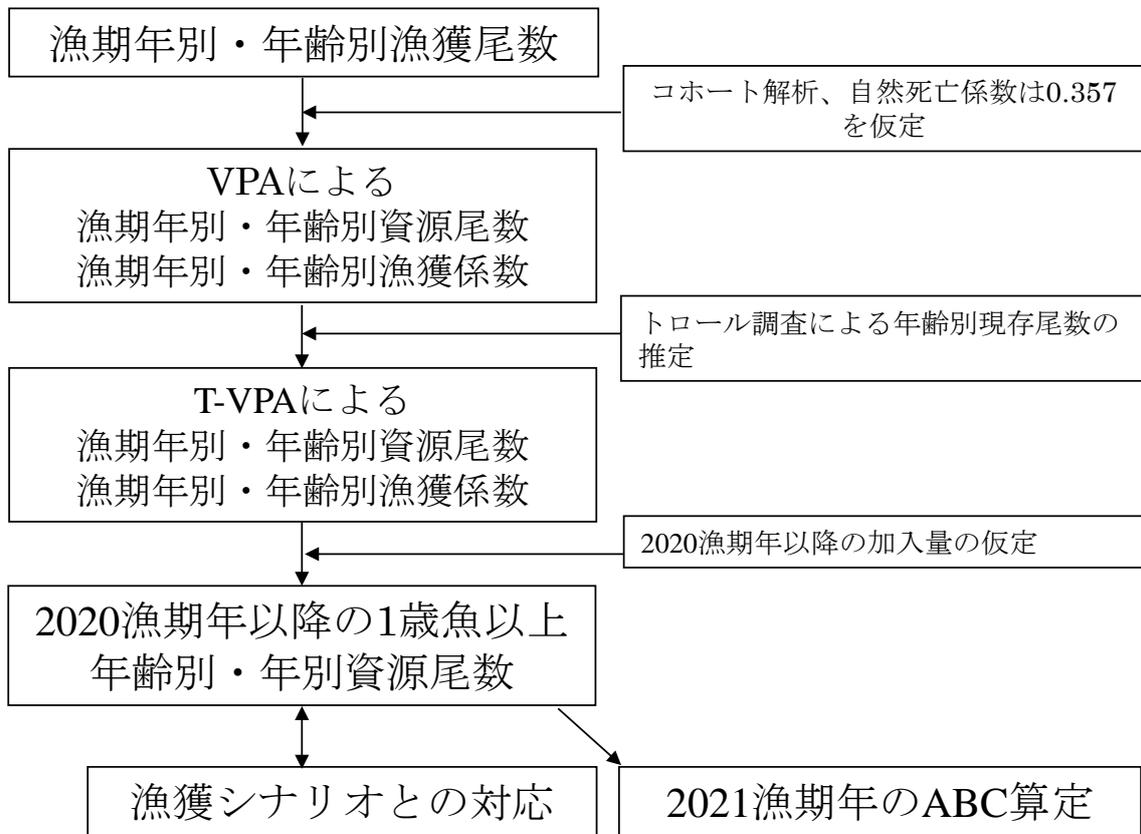
表 2. 漁獲量とコホート計算結果

漁期年	漁獲量 (トン)	資源量 (トン)	親魚量 (トン)	加入量 (1歳魚、 百万尾)	漁獲割合 (%)	再生産成 功率 (尾/kg)	F単純 平均
1996	7,627	25,292	8,951	10.8	30.2	4.17	0.55
1997	13,602	34,379	10,260	37.4	39.6	4.03	0.84
1998	23,747	49,934	6,714	41.4	47.6	3.93	0.62
1999	20,045	44,532	10,310	26.4	45.0	1.69	0.63
2000	14,577	31,634	10,146	17.4	46.1	1.64	0.67
2001	12,385	27,783	12,578	16.6	44.6	1.29	0.86
2002	7,677	25,206	8,596	16.2	30.5	4.44	0.70
2003	14,535	38,391	11,127	38.1	37.9	5.77	0.68
2004	26,370	54,157	10,422	64.2	48.7	4.96	1.15
2005	20,325	55,209	8,299	51.7	36.8	5.27	0.51
2006	20,395	42,515	7,443	43.7	48.0	6.15	1.04
2007	23,369	61,360	14,181	45.8	38.1	1.48	0.55
2008	21,062	55,949	15,398	21.0	37.6	2.74	0.59
2009	21,817	56,857	18,614	42.3	38.4	1.54	0.77
2010	27,602	63,928	16,087	28.7	43.2	2.62	0.87
2011	16,795	61,184	14,236	42.1	27.5	2.45	0.50
2012	19,741	64,685	11,756	34.8	30.5	2.80	0.52
2013	27,595	81,227	16,151	32.9	34.0	1.91	0.55
2014	28,024	59,322	15,819	30.9	47.2	0.90	0.88
2015	22,423	41,622	12,879	14.3	53.9	0.84	1.02
2016	10,114	24,414	5,023	10.9	41.4	3.15	0.86
2017	7,508	20,957	5,456	15.8	35.8	2.81	0.62
2018	10,392	22,929	5,323	15.3	45.3	2.80	0.82
2019	6,663	18,984	3,922	14.9	35.1		0.61

親魚量は各年各年齢の成熟率に基づき算出。

2019年漁期の漁獲量は暫定値。

補足資料 1 資源評価の流れ



## 補足資料 2 資源量計算方法および計算結果

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きた。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、年級で見ると加齢とともに尾数が増えるケースもある、といったデメリットがあった。今後の資源評価では、再生産関係をベースに MSY 水準を求め、さらにそれを基に漁獲努力量などを決めることが重視されており、高齢魚の資源量や親魚量のデータが重要になる。そこで、本年度は VPA による評価を導入した。資年齢別資源尾数と漁獲死亡係数  $F$  を求め、それら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、年齢別資源尾数、年齢別  $F$  を求め、さらに年齢別資源尾数に各年の年齢別体重を乗じることによって年齢別資源量を推定した。

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。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。

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。

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

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（2019 漁期年）、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。

$$N_{a,2019} = C_{a,2019} \exp(M/2) / (1 - \exp(-F_{a,2019})) \quad (2)$$

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

$$N_{6,y} = C_{6,y} / (C_{7+,y} + C_{6,y}) \times N_{7+,y+1} \times \exp(M) + C_{6,y} \times \exp(M/2) \quad (4)$$

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 齢魚の 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、2020 年の F は 2016~2018 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。

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に各年の年齢別体重を乗じたものを用いた。

最近年（2019 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 1~6 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 から推定された 2016~2018 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  $F_t$  と  $q$  を解析的に求めた。

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

ここで  $a$  は年齢、 $y$  は年、 $I$  は 1996~2019 漁期年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。

その結果、1996~2019 漁期年の資源尾数は 2,700 万尾~1.8 億尾となり、2019 年の尾数は 2,700 万尾で過去最低の尾数となっていた（補足表 2-2）。漁獲死亡係数（F）は 5、6 歳以上で最も高く、2~4 歳では似たような値となっていた。1 歳魚は近年減少傾向にあった（補足表 2-3）。資源量は 1.9 万トン~8.1 万トンと推定された。近年では 2013 年漁期に 8.1 万トンで最高値となった後に減少し、2016~2018 年漁期は 2 万トン台になり、2019 年漁期には 1.9 万トンになった（補足表 2-4）。

## 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.

補足表2-1. 年齢別漁獲尾数 (千尾)

年齢	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0	2,291	6,339	10,102	4,970	7,586	3,538	2,754	7,319	23,586	4,699	11,382	18	20,201
1	1,724	8,772	20,031	11,283	9,338	8,804	5,865	18,498	37,642	23,311	19,036	19,932	4,710
2	2,720	2,634	9,972	6,592	4,690	1,924	1,421	2,326	4,388	4,703	8,119	6,495	8,041
3	527	867	960	1,966	1,498	716	230	572	1,020	1,522	3,135	1,339	1,373
4	331	875	147	253	722	383	248	235	444	345	944	330	723
5	138	290	76	111	64	385	189	315	270	56	247	161	267
6以上	42	49	39	51	49	127	87	33	98	15	60	29	64
合計	7,772	19,826	41,328	25,228	23,948	15,876	10,793	29,297	67,448	34,651	42,923	28,303	35,380

補足表2-2. 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
0	56,124	66,718	49,828	30,777	32,785	27,424	57,785	100,560	102,055	68,071	79,068	30,034	84,537
1	10,780	37,353	41,378	26,413	17,376	16,593	16,228	38,128	64,237	51,676	43,696	45,801	20,999
2	5,998	6,101	18,798	12,196	9,042	4,347	4,246	6,448	11,204	13,458	16,658	14,650	15,374
3	2,589	1,921	2,065	4,811	3,019	2,403	1,432	1,782	2,566	4,169	5,483	4,864	4,818
4	1,095	1,370	619	642	1,721	859	1,083	810	769	942	1,644	1,214	2,283
5	255	489	227	310	237	600	281	550	370	167	370	360	573
6以上	77	82	116	143	182	198	130	57	134	46	89	65	138
合計	76,918	114,034	113,031	75,292	64,362	52,425	81,185	148,335	181,335	138,528	147,009	96,988	128,722

注) コホート解析による推定値。

補足表2-3. チューニングVPAによって推定した漁獲死亡係数

年齢	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
0	0.05	0.12	0.28	0.21	0.32	0.17	0.06	0.09	0.32	0.09	0.19	0.00	0.34
1	0.21	0.33	0.86	0.71	1.03	1.01	0.57	0.87	1.21	0.77	0.74	0.73	0.31
2	0.78	0.73	1.01	1.04	0.97	0.75	0.51	0.56	0.63	0.54	0.87	0.75	0.98
3	0.28	0.78	0.81	0.67	0.90	0.44	0.21	0.48	0.65	0.57	1.15	0.40	0.42
4	0.45	1.44	0.33	0.64	0.70	0.76	0.32	0.43	1.17	0.58	1.16	0.39	0.48
5	1.04	1.23	0.52	0.56	0.39	1.46	1.62	1.15	2.04	0.51	1.60	0.77	0.81
6以上	1.04	1.23	0.52	0.56	0.39	1.46	1.62	1.15	2.04	0.51	1.60	0.77	0.81
平均	0.55	0.84	0.62	0.63	0.67	0.86	0.70	0.68	1.15	0.51	1.04	0.55	0.59

補足表2-4. 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
0	2,245	2,669	1,993	1,231	1,311	1,097	2,311	4,022	4,082	2,723	3,163	1,201	3,381
1	3,099	10,737	11,921	7,810	3,759	4,883	4,599	10,959	18,464	15,439	14,242	16,281	6,719
2	7,371	7,498	26,242	16,653	9,891	7,150	6,773	10,214	16,779	19,967	10,596	22,358	19,205
3	6,164	4,574	4,897	12,873	7,161	6,614	3,836	4,728	6,569	11,389	7,468	13,835	12,876
4	4,302	5,386	2,709	3,058	6,682	3,251	4,828	3,969	3,913	4,214	4,329	4,988	9,247
5	1,486	2,850	1,324	1,734	1,418	3,287	1,702	3,986	2,861	1,101	1,991	2,181	3,391
6以上	626	666	848	1,172	1,411	1,500	1,156	512	1,489	376	726	515	1,129
合計	25,292	34,379	49,934	44,532	31,634	27,783	25,206	38,391	54,157	55,209	42,515	61,360	55,949

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. 年齢別漁獲尾数（千尾、続き）

2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1,281	854	1,297	391	7,353	786	162	97	121	233	44
12,023	7,611	6,847	3,554	12,375	8,805	2,230	849	4,021	2,544	2,050
3,635	9,780	3,344	8,939	9,367	5,889	8,088	3,208	2,574	4,016	3,179
1,439	1,888	1,875	1,609	1,664	2,480	1,670	1,255	999	1,311	701
1,109	626	642	795	1,245	2,901	1,872	737	519	662	337
638	432	295	292	409	893	750	331	180	244	184
142	135	50	110	88	239	174	107	40	59	51
20,267	21,326	14,349	15,690	32,502	21,993	14,946	6,584	8,454	9,069	6,546

補足表2-2. チューニングVPAによって推定した資源尾数（千尾、続き）

2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
42,578	61,244	51,327	47,449	52,917	21,335	15,731	22,712	22,072	21,565	8,031
42,250	28,720	42,136	34,827	32,872	30,874	14,270	10,871	15,809	15,342	14,894
10,752	19,504	13,728	23,755	21,395	12,648	14,237	8,119	6,896	7,698	8,607
4,031	4,483	5,466	6,807	9,144	7,134	3,924	3,195	2,997	2,672	2,026
2,222	1,616	1,557	2,256	3,417	5,006	2,917	1,349	1,186	1,262	773
993	627	608	553	913	1,349	1,076	475	327	396	329
221	197	102	208	196	360	249	154	73	96	91
103,047	116,391	114,924	115,856	120,855	78,707	52,403	46,875	49,363	49,031	34,750

補足表2-3. チューニングVPAによって推定した漁獲死亡係数（続き）

2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
0.04	0.02	0.03	0.01	0.18	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
0.42	0.38	0.22	0.13	0.60	0.42	0.21	0.10	0.36	0.22	0.18
0.52	0.91	0.34	0.60	0.74	0.81	1.14	0.64	0.59	0.98	0.58
0.56	0.70	0.53	0.33	0.25	0.54	0.71	0.63	0.51	0.88	0.53
0.91	0.62	0.68	0.55	0.57	1.18	1.46	1.06	0.74	0.99	0.74
1.46	1.73	0.87	1.00	0.77	1.57	1.79	1.79	1.07	1.33	1.11
1.46	1.73	0.87	1.00	0.77	1.57	1.79	1.79	1.07	1.33	1.11
0.77	0.87	0.50	0.52	0.55	0.88	1.02	0.86	0.62	0.82	0.61

補足表2-4. チューニングVPAによって推定した資源量（トン、続き）

2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1,703	2,450	2,053	1,898	2,117	853	472	681	662	647	241
15,184	10,291	14,703	7,805	9,470	6,723	3,433	3,085	3,840	3,727	3,269
14,472	25,714	19,835	24,821	27,076	12,527	12,340	6,903	5,444	6,307	6,923
9,555	12,498	13,888	16,412	22,884	14,121	8,351	5,722	5,322	5,451	3,866
7,692	7,458	5,960	8,835	13,173	15,559	10,023	4,616	3,592	4,221	2,463
5,811	4,081	3,915	3,116	4,986	6,741	5,284	2,385	1,580	1,899	1,584
2,439	1,437	829	1,798	1,521	2,798	1,718	1,022	516	677	638
56,857	63,928	61,184	64,685	81,227	59,322	41,622	24,414	20,957	22,929	18,984

### 補足資料3 資源量指標値の算出

マダラ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 100～1000 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<sub>ij</sub>) 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<sub>ij</sub>) を a<sub>ij</sub> で除し、i 層 j 地点の密度 (d<sub>ij</sub>) を算出し、その平均を i 層における密度 d<sub>i</sub> とした。なお、n<sub>i</sub> 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<sub>i</sub>) に i 層の海域面積 (A<sub>i</sub>) を乗じ、i 層の現存量あるいは現存尾数 (B<sub>i</sub>) 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 (SDd<sub>i</sub>) を求め、n<sub>i</sub> と A<sub>i</sub> 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 (SEB<sub>i</sub>) 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。

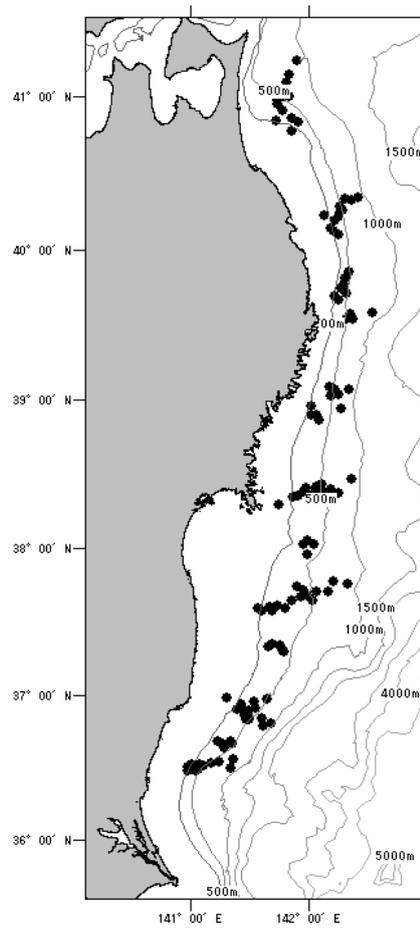
コホート解析は起算月を4月としているため、チューニングの指標値として用いる際には、調査を行った10月時点現存尾数から6か月後進させたものを用いた。年齢別の現存尾数に年齢別の体重を乗じた年齢別の現存量を指標とした。

その結果、1996～2019年漁期の現存尾数は212万尾～9,577万尾で推移していた(補足表3-1)。資源量指標値とした現存量は1.0万トン～25.7万トンで推移しており、2013年に25.7万トンを記録した後に急激に減少し、2019年には2.1万トンまで減少した(補足表3-2)。

なお、2019年の調査における年齢別現存尾数のCVは0歳魚で0.542、1歳魚で0.201、2歳魚で0.188であり、全年齢合計では0.385であった(補足表3-3)。

## 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.



補足図 3-1. 若鷹丸による底魚資源量調査の調査点図

補足表 3-1. 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	1,490	33,980	22,645	43,340	2,397	3,119	3,600	24,266	6,038	25,572	17,314	23,794	995
2	465	148	1,393	773	2,182	54	467	232	2,370	592	1,050	781	1,609
3	90	199	33	416	116	246	118	296	458	711	465	263	172
4	67	55	0	9	44	36	61	29	27	48	86	57	30
5以上	12	34	0	0	0	0	0	19	9	0	55	23	10
合計	2,124	34,416	24,071	44,538	4,739	3,455	4,246	24,842	8,902	26,923	18,969	24,919	2,816

年齢	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	26,988	22,901	93,115	57,625	31,318	44,031	52,409	31,012	20,366	33,102	17,972
2	151	3,033	1,553	21,665	9,113	5,149	8,431	5,356	2,675	1,955	2,121
3	478	162	1,013	762	8,142	3,153	1,670	1,864	1,172	570	297
4	81	65	67	325	415	1,578	1,222	450	436	309	93
5以上	31	31	21	87	183	221	504	423	133	155	17
合計	27,729	26,192	95,769	80,463	49,171	54,131	64,237	39,105	24,782	36,091	20,501

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3-2. トロール調査から推定した年齢別現存量および親魚量 (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以上	600	1,664	0	0	0	0	0	1,147	692	0	2,472	1,158	492
合計	10,119	27,012	28,936	42,170	24,576	9,231	12,998	24,857	44,415	39,443	25,644	34,960	22,682
親魚量	3,079	3,839	222	2,904	1,952	1,991	3,891	4,544	7,594	6,178	6,314	3,680	3,370

年齢	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
1	17,961	15,196	45,065	17,912	12,514	13,297	17,488	12,207	6,862	11,153	5,471
2	1,691	33,318	10,294	103,840	52,900	23,393	33,524	20,888	9,688	7,346	7,828
3	9,452	3,772	21,455	15,305	169,815	52,004	29,624	27,818	17,342	9,698	4,720
4	2,345	2,502	2,130	10,614	13,345	40,872	35,000	12,839	11,003	8,601	2,480
5以上	1,976	1,730	1,121	4,432	8,904	9,563	21,532	19,065	6,060	6,840	810
合計	33,425	56,518	80,066	152,103	257,479	139,129	137,168	92,818	50,954	43,638	21,309
親魚量	7,166	4,562	10,402	16,968	67,295	53,360	73,979	40,055	26,242	17,012	4,998

注) 10～11月時点の値から推定した4月の現存量に各年の各年齢の現存量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-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 3-3. トロール調査により得られた現存尾数および変動係数 (CV)、信頼区間

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

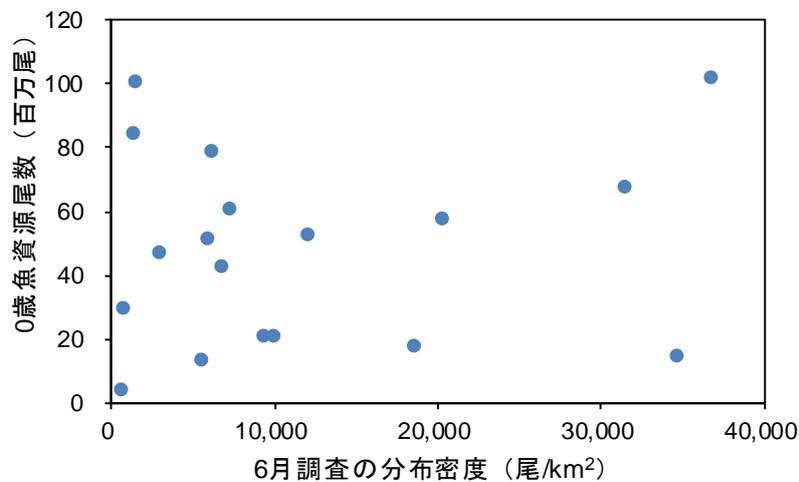
年	2013	2014	2015	2016	2017	2018
調査地点数	113	110	122	121	101	107
現存尾数 (千尾)	184,712	143,860	232,164	323,038	112,640	82,097
現存尾数のCV	0.234	0.298	0.157	0.175	0.255	0.255
現存尾数のSE (千尾)	43,197	42,843	36,512	56,423	28,776	20,903
95%信頼区間 (下限、千尾)	116,764	80,219	170,669	229,240	68,333	49,842
95%信頼区間 (上限、千尾)	292,200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

年	2019
調査地点数	107
現存尾数 (千尾)	51,214
現存尾数のCV	0.385
現存尾数のSE (千尾)	19,696
95%信頼区間 (下限、千尾)	24,101
95%信頼区間 (上限、千尾)	108,831

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 加入尾数の推定

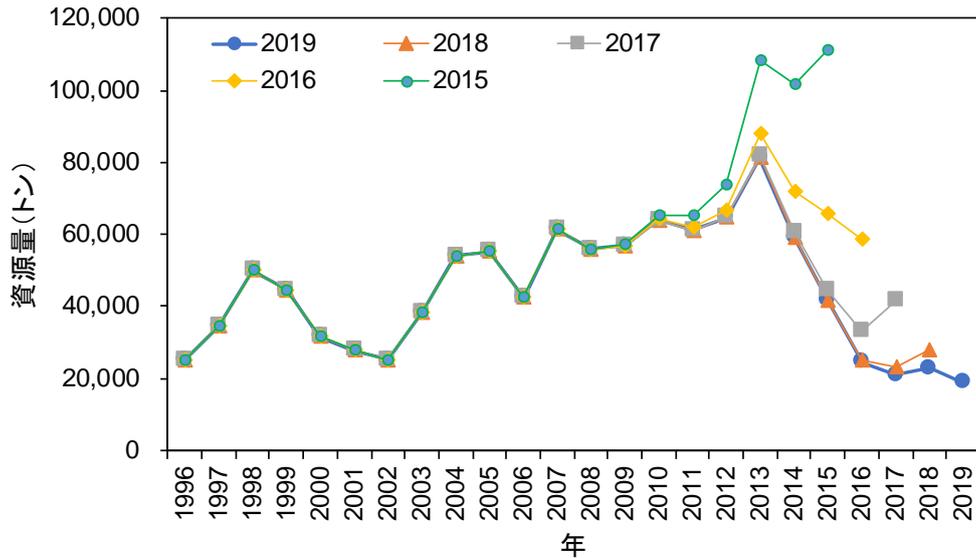
トロール調査によって資源量を求めていた昨年度評価では、資源量算出の元データとしていた秋季調査による0歳魚の資源尾数と着底期に行っていた新規加入量調査による0歳魚の分布密度の間に正の相関が認められていたため、新規加入量調査結果から0歳魚の加入尾数を推定していた。本年度から資源量の推定方法をVPAに変更したため、VPAによる加入尾数と新規加入量調査結果を比較した(補足図4-1)。その結果、明瞭な相関は認められなかった。そのため、本年度の評価では、2020年以降の加入尾数には過去の中央値を当てはめた。なお、0歳魚は震災以前には比較的多く漁獲されていたが、震災以降は漁獲尾数は少なく、Fも低くなっている。



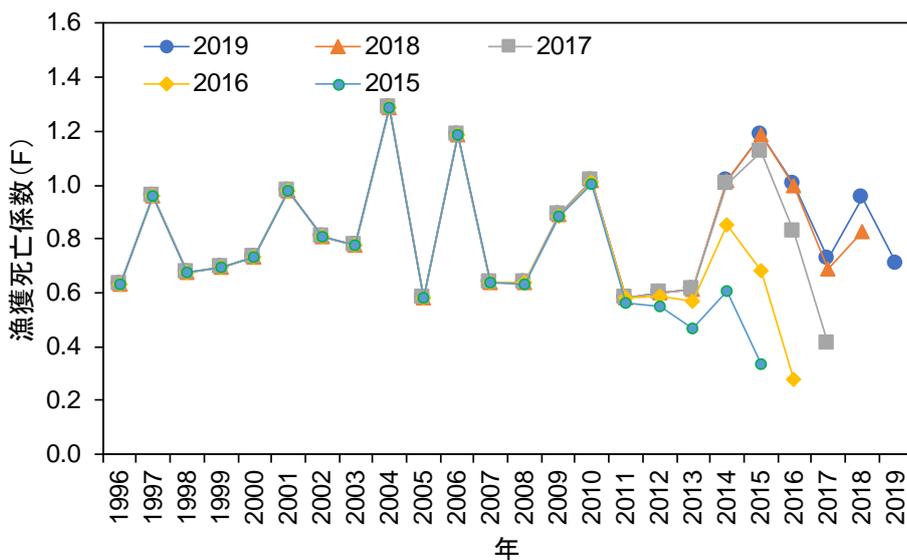
補足図 4-1. 6月における0歳魚分布密度とVPAによる0歳魚資源尾数の関係

補足資料5 資源量および漁獲死亡係数のレトロスペクティブ解析

チューニング VPA による資源量推定および漁獲死亡係数 (F) の各年のデータの追加や削減の影響を検証するため、レトロスペクティブ解析を行った。その結果、年をさかのぼるにつれて資源量は増加し、F は低下する傾向が認められた (補足図 5-1、補足図 5-2)。これはコホート解析やトロール調査による資源量や資源量指標値が近年大幅に減少したことによるとと思われる。変動幅は 2015、2016 年漁期までさかのぼると大きかったものの、2017 年漁期以降は比較的安定している。



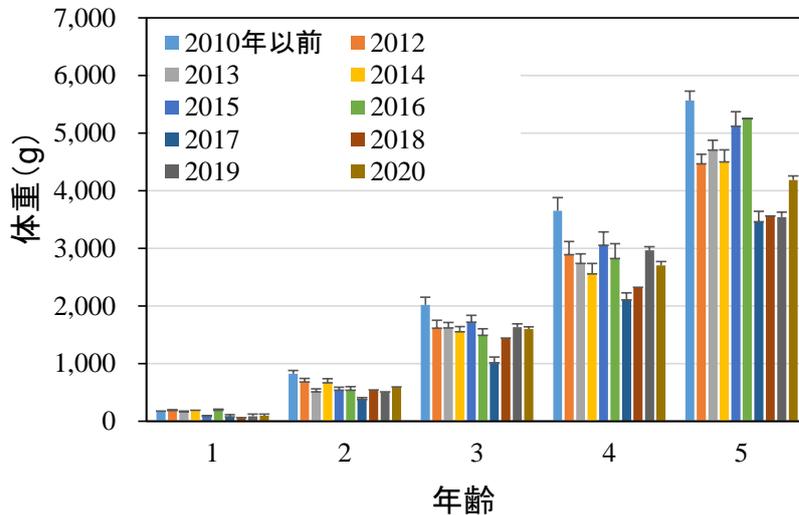
補足図 5-1. チューニング VPA による資源量推定値のレトロスペクティブ解析



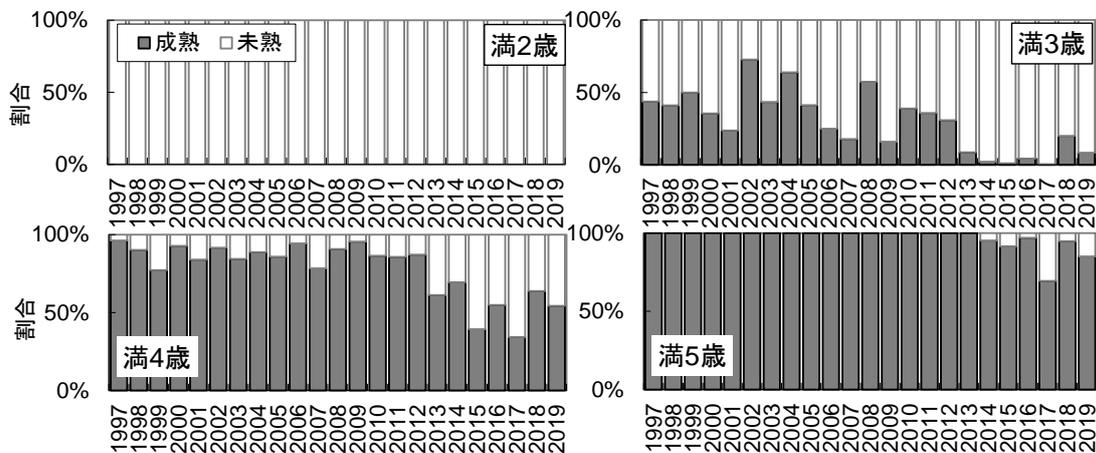
補足図 5-2. チューニング VPA による漁獲死亡係数のレトロスペクティブ解析

補足資料 6 震災以降の成長の鈍化と成熟率の変化

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。2020年では、1、2および5歳の体重は震災前の57~79%と依然低いものの、2歳以上では70%以上となっており、2017年や2018年と比べるとやや回復している。また、成長の鈍化に伴い、年齢別の成熟率にも変化が認められ、特に3歳および4歳の成熟率は近年低下傾向にある(補足図6-2)。



補足図 6-1. マダラの年齢別体重の時系列変化



補足図 6-2. マダラの年齢別成熟率の時系列変化

## 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.