

令和3（2021）年度マダラ本州太平洋北部系群の資源評価

水産研究・教育機構 水産資源研究所 水産資源研究センター

参画機関：青森県産業技術センター水産総合研究所、岩手県水産技術センター、宮城県水産技術総合センター、福島県水産資源研究所、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。2011 年以降の資源量は、東日本大震災による漁獲圧の低下などによって増加し、2013 年には 7.9 万トンと推定された。しかしその後減少し、2020 年には 1.7 万トンになった。親魚量は 2007～2015 年には 1.2 万～1.9 万トンで推移したが、2016～2018 年には 5,000 トン前後となり、さらに 2019 年および 2020 年には 3,000 トン前後に減少した。この背景には、加入量の減少に加えて、近年小型化や成熟年齢の晩熟化が影響しており、資源尾数の動向に加えてこれら生物特性の変化にも引き続き注意が必要である。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後に減少し、2019 年には 6,663 トン、2020 年も暫定値ながら 6,769 トンとなっている。

将来予測、管理に係る目標等基準値、資源の動向などについては、本年度中に開催される研究機関会議資料に記述します。

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 (%)
2017	196	53	75	0.75	38
2018	207	50	104	1.08	50
2019	147	32	67	1.11	45
2020	172	32	68	1.01	39

各漁期年の資源量は漁獲対象資源量を示す。漁獲量は漁期年（4月～翌年3月）で集計。2020年漁期の漁獲量は暫定値。F値は各年齢の平均値。

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	市場調査データ(水研、青森～宮城(3)県)
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後に一時的に減少し、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、近年は加入の減少や漁獲努力量の増加、成長の鈍化などにより、資源量が減少している。

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本州の太平洋北部の群れとは別系群であると判断した。なお、ここでは青森県大間崎以南以東で漁獲される個体を本系群として扱っている。

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

(2) 年齢・成長

マダラの年齢査定には鱗や背鰭鱗条など、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 5)。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 以浅に移動し (Narimatsu et al. 2015b)、雌雄ペアあるいは一尾の雌に数尾の雄が群がり、砂泥帯に沈性卵を産む (Sakurai and Hattori 1996)。雌は一繁殖期に 1 回産卵し、その産卵数は 50 万 (体長 40 cm 前後) ~400 万粒 (体長 80 cm 前後) である (服部ほか 1995)。成熟後は毎年産卵すると考えられる。

1990 年代後半以降の東北北部における 50% 成熟体長は雄で 46.2 cm、雌で 48.3 cm である。初回成熟年齢は 3 歳もしくは 4 歳で、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 4-2)。1996~2020 年の平均成熟率は 3 歳で 28%、4 歳で 77% となっている。

(4) 被捕食関係

餌生物は浮遊生活期にはカイアシ類幼生、魚卵、および十脚目幼生、若魚期にはオキ

アミ類、成魚期には魚類・頭足類・大型甲殻類である（山村 1993、Takatsu et al. 1995、2002、伊藤ほか 2014）。また、小型の個体は大型のマダラに捕食されることが示されている（橋本 1974）。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

本種の漁獲は沖合底びき網漁業（以下、「沖底」という）で最も多く、2000年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）の漁獲が多い。これらの漁業では禁漁期を除いて周年漁獲されているが、定置網では、冬に産卵のために接岸する大型個体が漁獲される。漁獲対象となるのは主に満1歳以降で、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一時的に低下したが、規制の解除などに伴い、近年は年々高くなっている。

(2) 漁獲量の推移

全漁業種類合計の漁期年（4月～翌年3月）漁獲量の経年変化を見ると（図3、表1）、1980年漁期から漁獲量は徐々に増加し、1986～1990年漁期には1万トン以上となった。その後は減少し、1993年および1994年には3,000トン台と1980年代前半の水準にまで低下した。1995年漁期以降再び増加に転じ、1998年漁期には2.4万トンに達した。その後は増減を繰り返しながら長期的には増加し、2010年漁期は2.8万トンとなった。2011、2012年漁期は震災の影響により震災以前に比べて減少したが、2013および2014年漁期には福島県および茨城県における漁獲がごくわずかであるにもかかわらず2.8万トン前後を記録した。しかしその後減少し、2016年漁期には1.0万トン、2019年漁期には6,663トン、2020年漁期も暫定値で6,769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）。2019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）。

(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2.1万網を超えた。その後は1.5万網前後で安定していたが、2018～2020年は1万網程度で推移している。岩手海区では、1993年に5,997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1,562網となった後に2012～2020年には年間2,000～2,600網で推移している。金華山海区の網数は1992～2004年にかけて1.5万～2.0万網と多く、その後、震災まで緩やかに減少した。震災以降3年ほどは落ち込んだが、2014年以降は震災以前よりは少ないものの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、震災まで増減を繰り返しながらも減少した。2011年以降は操業規制や

操業自粛により非常に低い値で推移している。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

4月～翌年3月を漁期年とし、Pope (1972) の近似式を用いたチューニング VPA (コホート解析) により資源量を推定した (補足資料 2)。VPA に用いる年齢別漁獲尾数は、漁期年を上半期 (4～9月) と下半期 (10～翌年3月) に分け、青森県、岩手県および宮城県の主要港で得られた体長組成を、年別半期別に求めた age-length key で年齢分解して求めた。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 (補足資料 3) を資源量指標値としてチューニングの指数に用いた。

(2) 資源量指標値の推移

トロール調査の結果では、現存尾数は1歳魚で最も多く、加齢とともに減少する傾向にある (図 6、補足表 3-1)。また、1歳魚の尾数は年変化が大きく、1996～2020年漁期には200万尾～12,900万尾で推移している。2歳以上も年変化が大きいが、2012～2016年漁期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、1996～2020年漁期では9,231トン～25.6万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)。しかしその後は減少し、2017年以降は5万トンを下回っている。

一方、漁業情報による資源量指標値として小海区別に沖底の CPUE の時系列変化を見ると、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し、2017年以降は低い値になっている。

(3) 漁獲物の体長・年齢組成

2020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 2.3万～6.1万トンで推移していたが、震災以降増加し、2013年には 7.9万トンとなった (図 10、図 11、補足表 2-4)。2014年以降は減少し、2016

～2018年漁期には2万トン前後になり、2020年漁期には1.7万トンになった。年齢別で見ると、2020年漁期の1歳魚は6,853トンで平均値よりやや少なく（平均値は8,379トン）、2歳～6歳以上の資源量も過去25年間で1～3番目に少ない。この要因には近年加入量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4）。現在の資源尾数は1～2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28～56%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。2020年漁期は39%であった。

昨年度の評価では2019年の資源量は1.9万トンであったが、本評価では1.5万トンとなった。これは2018年級が想定よりも少なかったことが影響していると考えられる。

(5) 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（6歳以上も同じと仮定）で最も高く、2～4歳ではほぼ同水準である。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13）。直近3年間（2017～2019年漁期）の平均選択率に基づくF値を用いて本系群のYPRおよび%SPRを求めた（図14）。2017～2019年漁期の漁獲圧（ $F_{current}$ ）は1.53（5歳）であり、 F_{max} （=0.74）や $F_{0.1}$ （=0.52）と比べて高かった。 $F_{current}$ は6.8%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と判断される。

5. 2022年資源評価のまとめ

コホート解析の結果によると、1996～2020年漁期の資源量は2013年漁期に7.9万トンを記録した後に減少し、2016～2020年漁期には1.5～2.3万トンとなった。資源減少の背景には、加入量の減少に加えて、近年小型化や成熟年齢の晩熟化が影響しており、資源尾数の動向に加えてこれら生物特性の変化にも引き続き注意が必要である。

6. その他

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

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., 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.
- 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)

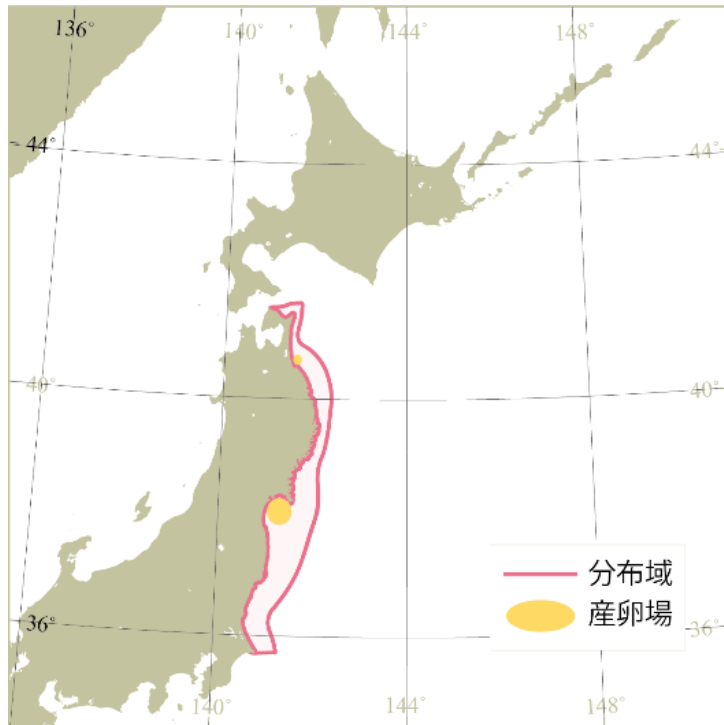


図1. 太平洋北部におけるマダラ分布

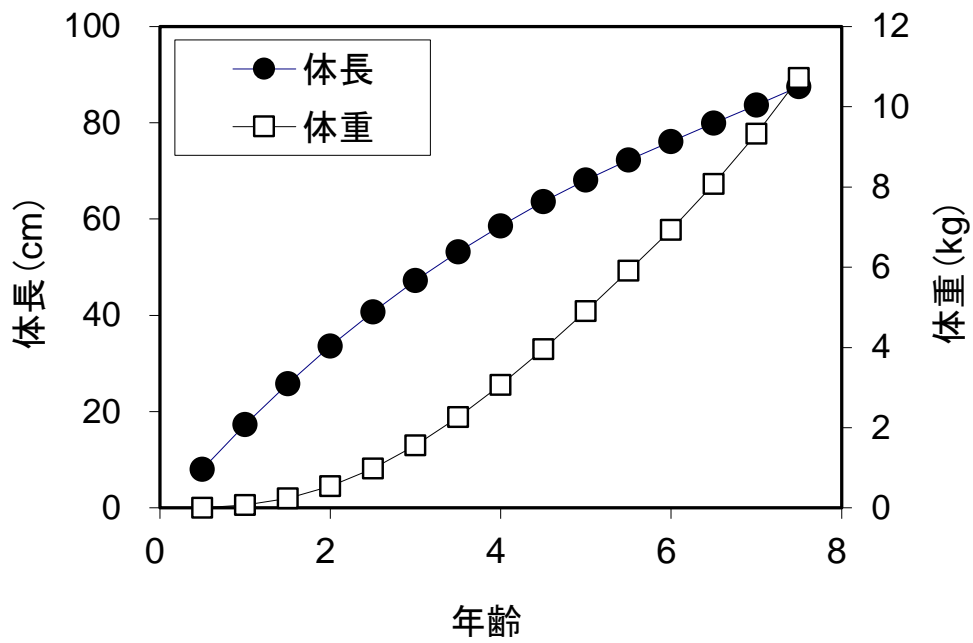


図2. 太平洋北部におけるマダラの成長（震災以前の平均）

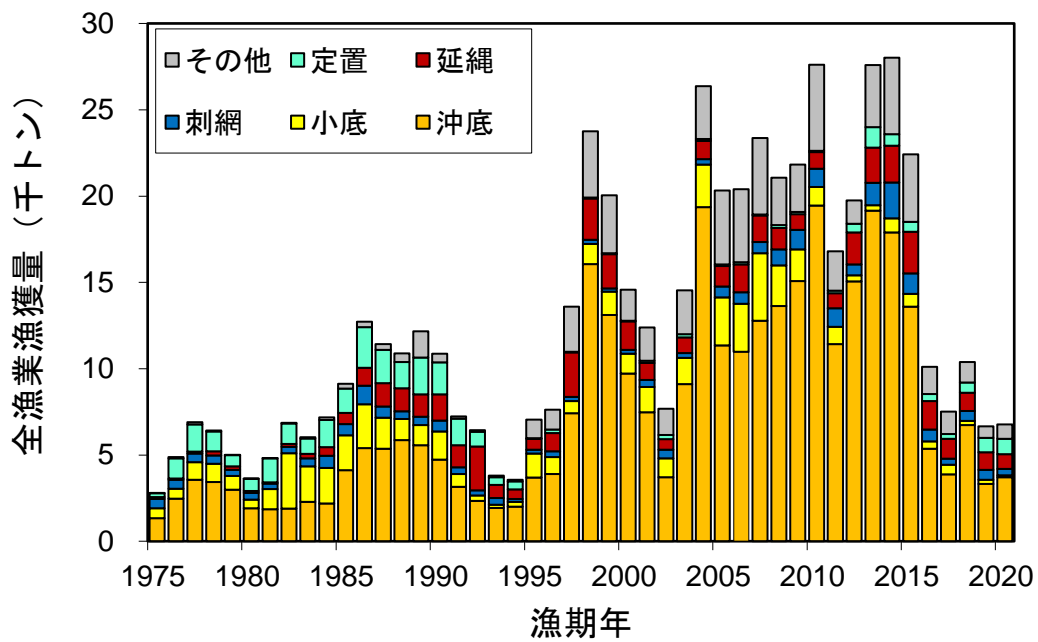


図3. 太平洋北部におけるマダラの漁業種別漁獲量 2020年漁期は暫定値。

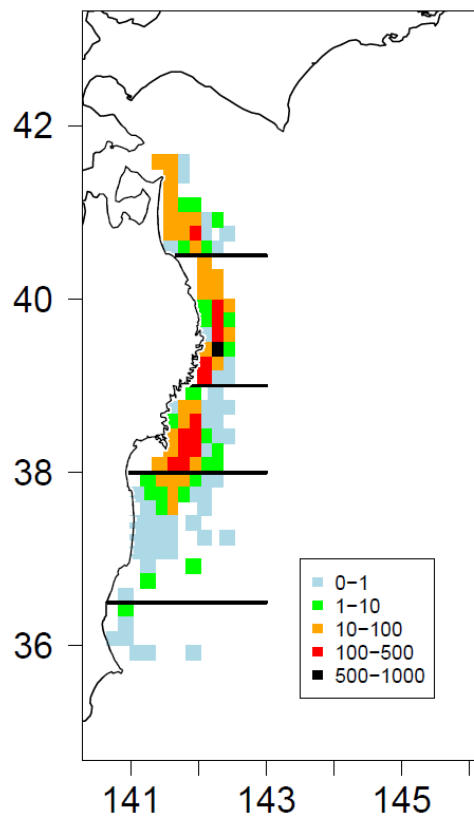


図4. 沖底による2019年の漁獲量(トン)の分布

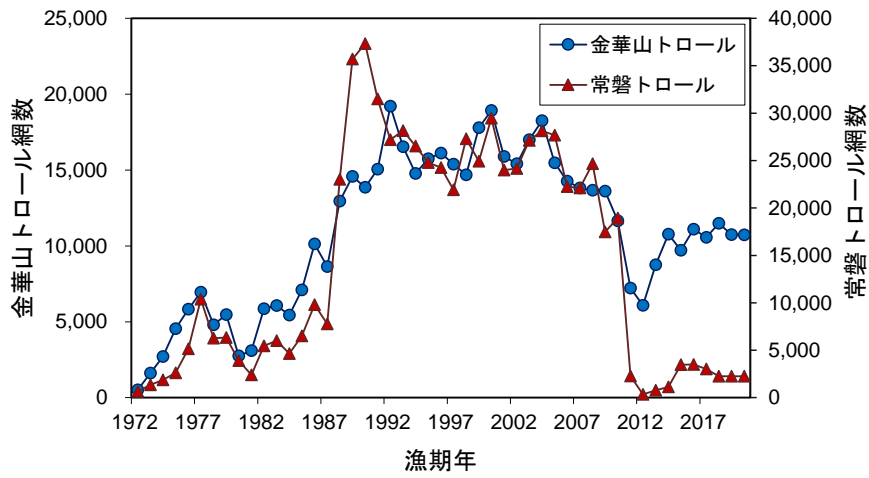
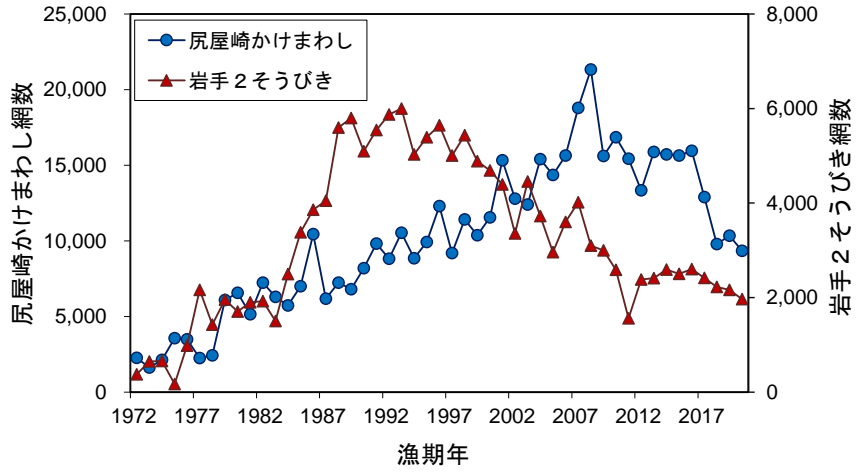


図5. 沖底による有漁網数の推移

上：2そうびきとかけまわし 下：トロール 2020年は暫定値。

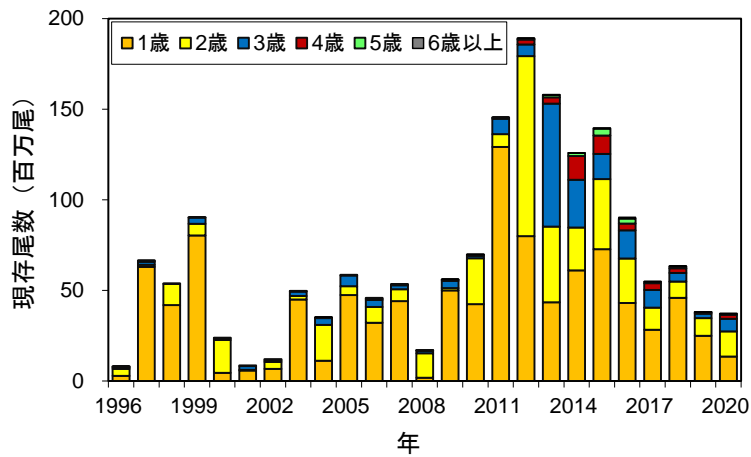


図6. トロール調査による年齢別現存尾数の推移

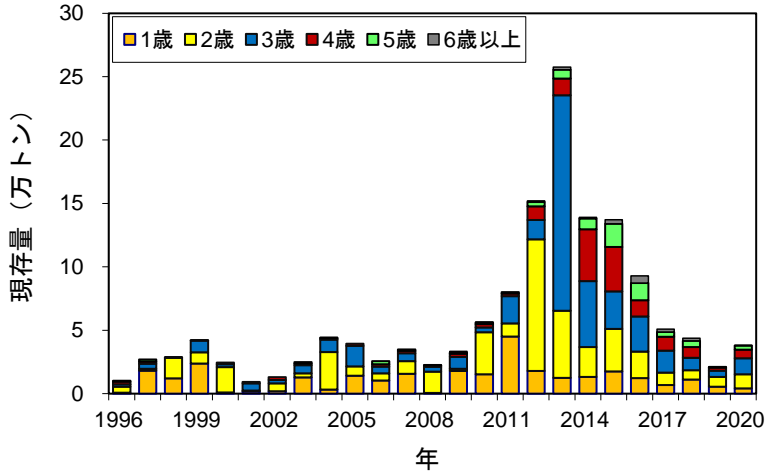


図7. トロール調査による年齢別現存量（資源量指標値）の推移

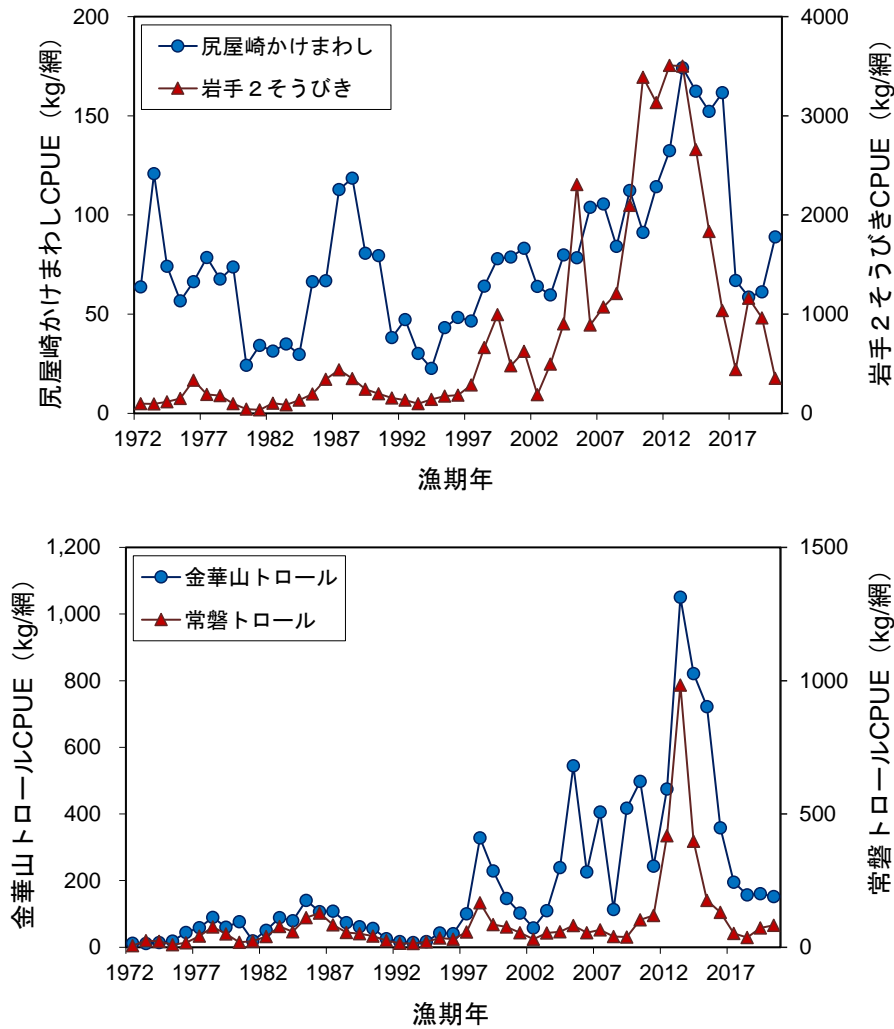


図8. 沖底による CPUE の推移

上：2そうびきとかけまわし 下：トロール 2020年漁期は暫定値。

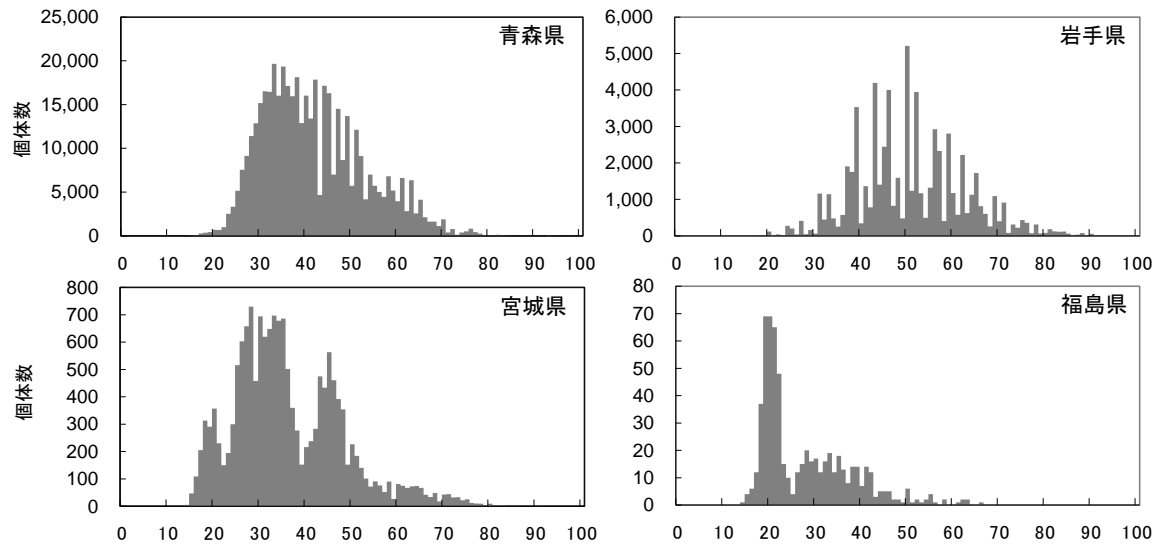


図9. 2020年漁期に各県で漁獲されたマダラの体サイズ組成 (cm)

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。

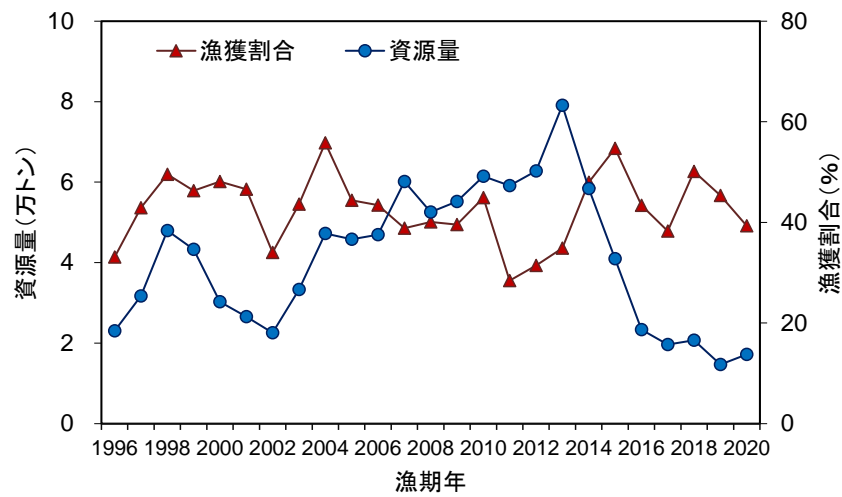


図10. 資源量と漁獲割合の推移 2020年漁期の漁獲割合は暫定値。

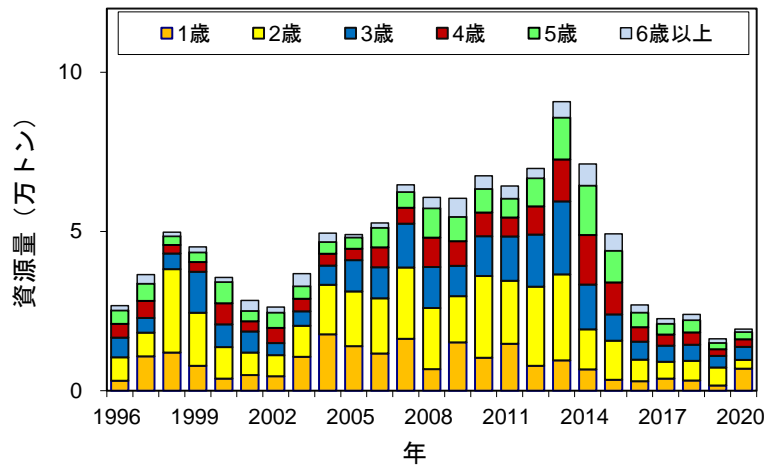


図 11. 年齢別資源量の推移

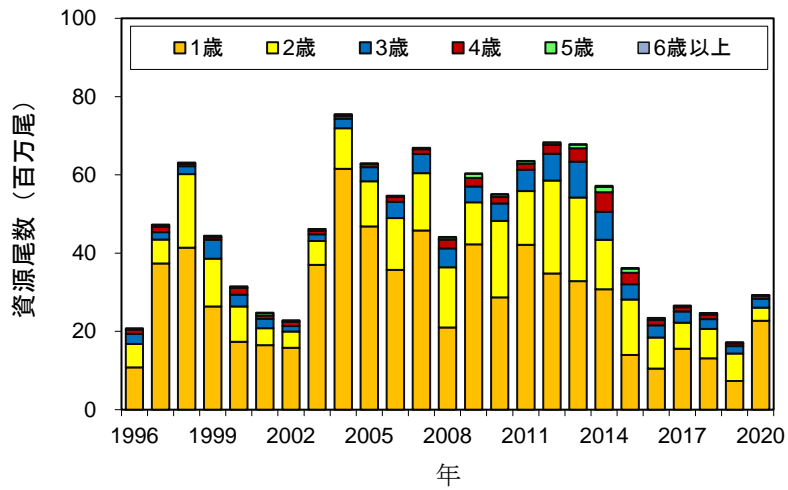


図 12. 年齢別資源尾数の推移

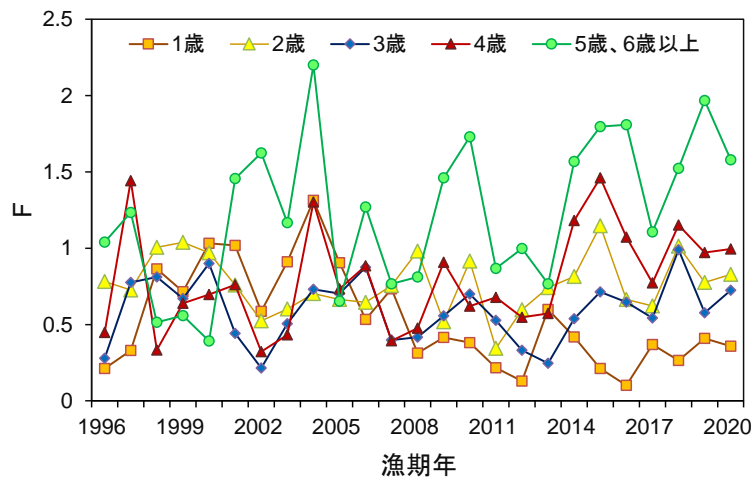


図 13. 年齢別漁獲係数 (F) の推移

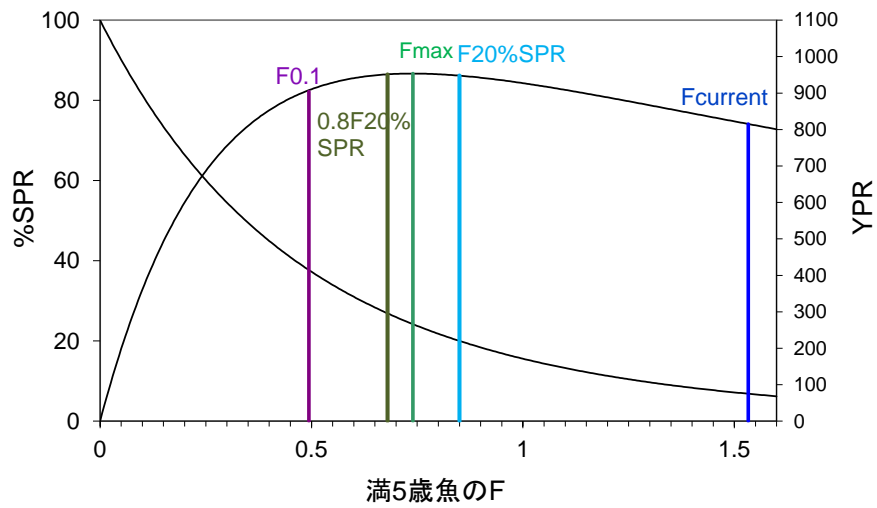


図 14. 漁獲係数 F と YPR および %SPR の関係

表 1. 漁獲種別のマダラの漁獲量（トン） 漁期年（4月～翌年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	2020
沖底	17,902	13,600	5,364	3,887	6,729	3,318	3,706
小底	803	731	425	544	253	241	112
刺網	2,092	1,201	691	351	566	577	384
延縄	2,129	2,408	1,643	1,151	1,069	1,024	853
定置	655	564	404	291	579	842	878
その他	4,444	3,919	1,588	1,284	1,195	660	836
計	28,024	22,423	10,114	7,508	10,392	6,663	6,769

各県水試調べによる。

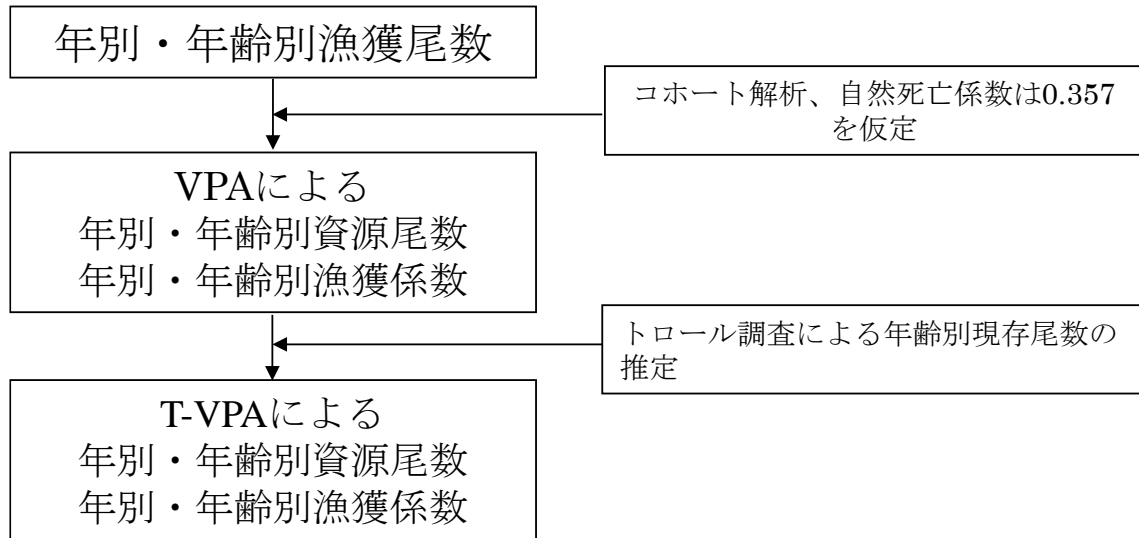
表 2. 漁獲量とコホート計算結果

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 (%)	F単純 平均
1996	7,627	23,047	8,951	10.8	33.1	0.63
1997	13,602	31,709	10,260	37.4	42.9	0.96
1998	23,747	47,939	6,714	41.4	49.5	0.67
1999	20,045	43,293	10,309	26.4	46.3	0.70
2000	14,577	30,299	10,144	17.3	48.1	0.73
2001	12,385	26,587	12,559	16.5	46.6	0.98
2002	7,677	22,568	8,552	15.8	34.0	0.82
2003	14,535	33,316	10,945	37.0	43.6	0.80
2004	26,370	47,247	9,927	61.5	55.8	1.41
2005	20,325	45,780	7,038	46.8	44.4	0.72
2006	20,395	46,953	8,624	35.7	43.4	0.91
2007	23,369	60,159	14,181	45.8	38.8	0.64
2008	21,062	52,567	15,398	21.0	40.1	0.64
2009	21,817	55,154	18,614	42.3	39.6	0.89
2010	27,602	61,478	16,087	28.7	44.9	1.01
2011	16,795	59,129	14,236	42.1	28.4	0.58
2012	19,741	62,782	11,756	34.8	31.4	0.60
2013	27,595	79,093	16,150	32.8	34.9	0.62
2014	28,024	58,418	19,447	30.8	48.0	1.01
2015	22,423	40,978	12,870	14.0	54.7	1.19
2016	10,114	23,319	5,000	10.5	43.4	1.02
2017	7,508	19,628	5,297	15.6	38.3	0.75
2018	10,392	20,737	4,952	13.1	50.1	1.08
2019	6,663	14,700	3,176	7.3	45.3	1.11
2020	6,769	17,208	3,187	22.7	39.3	1.01

親魚量は各年各年齢の成熟率に基づき算出。

2020年漁期の漁獲量は暫定値。

補足資料 1 資源評価の流れ



将来予測、管理に係る目標等基準値、資源の動向などについては、本年度中に開催される研究機関会議資料に記述します。

補足資料 2 資源量計算方法、計算結果およびモデル診断

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、5、6歳以上などの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、本系群では昨年度から VPA による評価を導入している。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 2019 年の評価まで用いていた 1~12 月から 4 月~翌年 3 月とし、上半期を 4~9 月、下半期を 10 月~翌年 3 月とした。1996~2015 年は青森県および宮城県、2016 年以降は青森県、岩手県および宮城県に水揚げされたマダラの漁獲物の体長組成を求め、Age length key の結果と併せて半期別の年齢別漁獲尾数を推定した（補足表 2-1）。得られた年齢別漁獲尾数を用いて、以下に示す VPA により年別年齢別資源尾数を推定した。

なお、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。

1. Pope の近似式を用いた資源尾数の計算（ステップ 1）

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

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

ここで $N_{a,y}$ は y 年における a 歳魚の資源尾数、 $C_{a,y}$ は y 年における a 歳魚の漁獲尾数である。最近年（2020 年漁期）、最高齢（6 歳、プラスグループ）および最高齢-1 歳魚の資源尾数はそれぞれ以下の式で求めた。

$$N_{a,2020} = C_{a,2020} \exp(M/2) / (1 - \exp(-F_{a,2020})) \quad (2)$$

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

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

ターミナル F を除く漁獲死亡係数 F 値の計算は（5）式で求めた。

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

最高齢の F は最高齢-1 齢魚の F と等しくなるように求めた。コホート解析における最近年である 2020 年の F は、まず 1~5 歳魚については近年 3 年間（2017~2019 年漁期）の F の平均値とした。プラスグループ（最高齢）の F については、最高齢-1 歳と等しくなるように探索的に求めた。その後、ステップ 2 の方法によりさらに最近年の F を調整した。

2. 最近年の F の調整（ステップ 2）

チューニング指数とした年齢別の資源量指標値には、着底トロール調査で得られた各年 10 月の 1~6 歳以上の年齢別現存尾数（補足資料 3）に各年の年齢別体重を乗じたものを用いた。

最近年（2020 年漁期）の各年齢の漁獲係数 F を以下のようにチューニングし、資源尾数および F を推定した。最近年の 1~6 歳以上の F の年齢別選択率には、チューニングをしない VPA（ステップ 1）から推定された 2017~2019 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 1996~2020 年漁期におけるトロール調査による現存量、B は VPA による資源量である。

その結果、1996~2020 年漁期の資源尾数は 1,700 万尾~7,600 万尾となり、2020 年漁期の尾数は 2,900 万尾となっていた（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 歳魚は近年少なく、2019 年漁期には過去最低の 700 万尾となったが、2020 年漁期には 2,300 万尾とやや回復している（補足表 2-3）。資源量は 1.5 万トン~7.9 万トンと推定された。近年では 2013 年漁期に 7.9 万トンで最高値となった後に減少し、2016~2018 年漁期は 2 万トン前後になり、2020 年漁期には 1.7 万トンになった（補足表 2-4）。

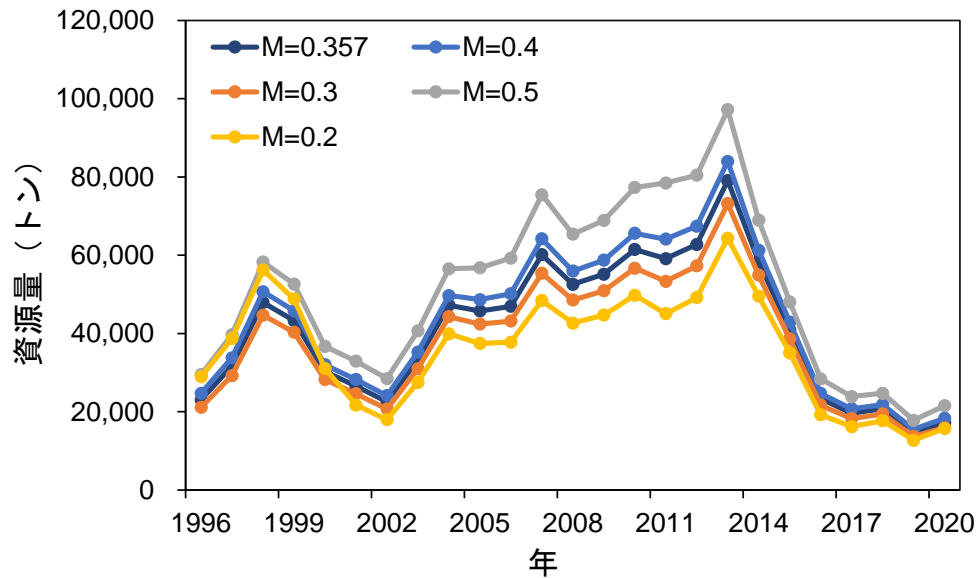
チューニング VPA による資源量推定における M の影響や各年のデータの削減の影響を検証するため、M の感度分析およびレトロスペクティブ解析を行った（補足図 2-1、補足図 2-2）。また、年齢別の資源量指標値の残差プロットも併せて示した（補足図 2-3）。M の感度分析では、M が高くなると資源量が増加し、低くなると減少する傾向が認められた。M を 0.2 および 0.5 とした場合、資源量が最も多かった 2013 年の資源量はそれぞれ 6.4 万トンおよび 9.7 万トンになった。また、2020 年では、M を 0.2 および 0.5 とした場合の資源量はそれぞれ 1.6 万トンおよび 2.2 万トンになった。レトロスペクティブ解析では、年をさかのぼるにつれて資源量は増加した。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思われる。変動幅は 2015 年漁期までさかのぼると大きかったものの、2018 年漁期以降は比較的安定している。

引用文献

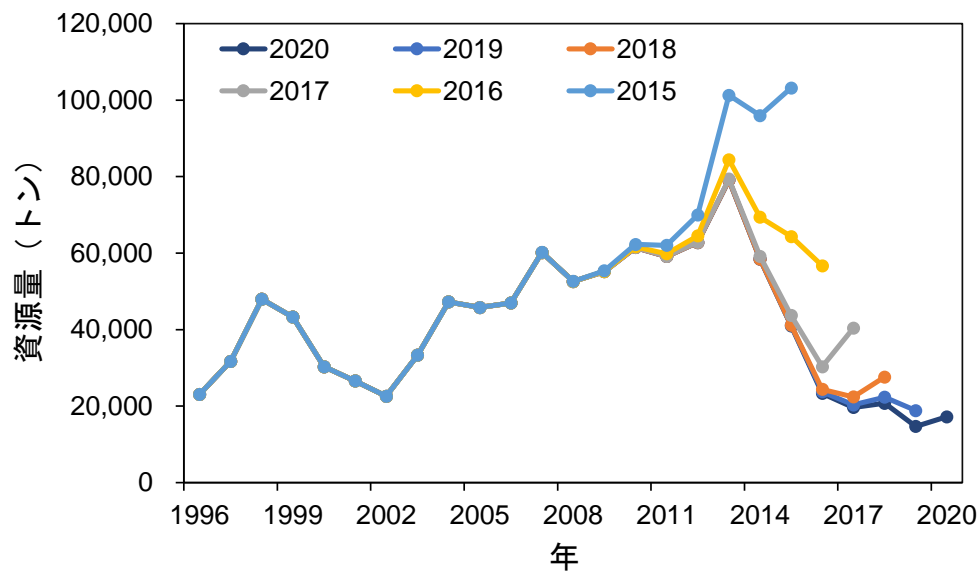
平松一彦 (2001) VPA (Virtual Population Analysis). 「平成 12 年度 資源評価体制確立推進事業報告書」. 日本水産資源保護協会, 104-129.

Pope, J. G (1972) An investigation of accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. Res. Bull. int. comm. Northw. Atlant. Fish., **9**, 65-74.

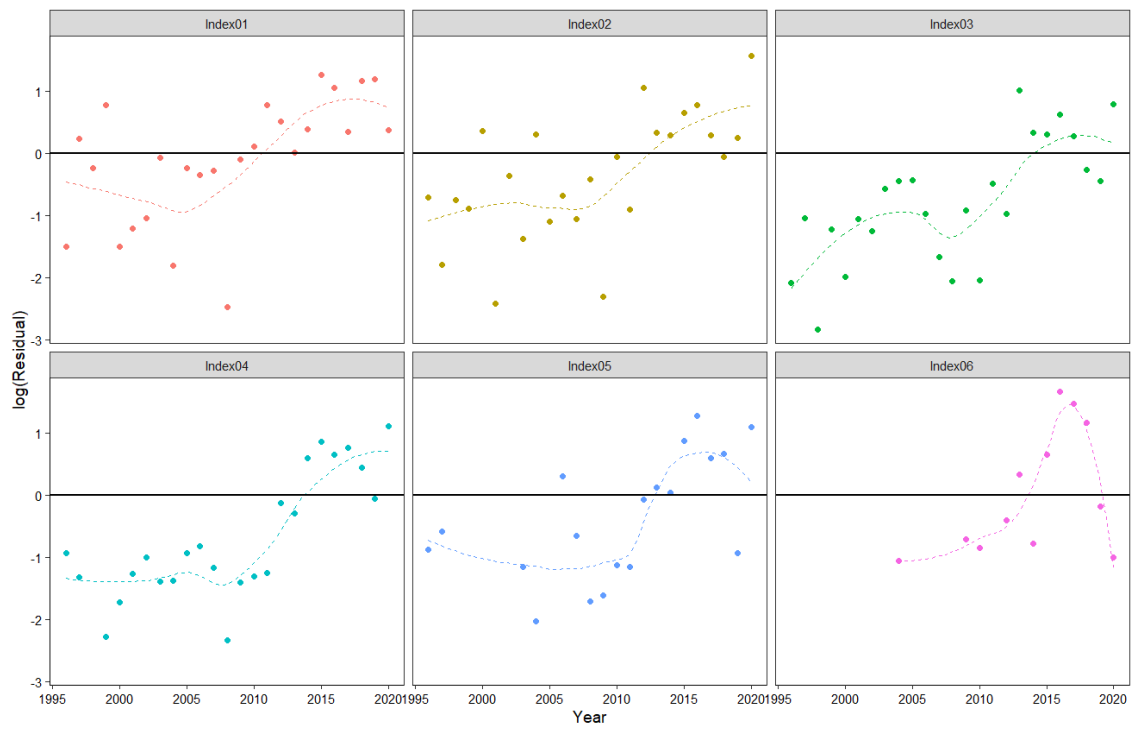
田中昌一 (1960) 水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海水研報, 28, 1-200.



補足図 2-1. 資源量推定値の M の感度分析結果



補足図 2-2. 資源量推定値のレトロスペクティブ解析結果



補足図 2-3. 資源量指標値の残差プロット Index01～Index06 はそれぞれ 1 歳魚～6 歳以上を示す。

補足表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
1	1,724	8,772	20,031	11,283	9,338	8,804	5,865	18,498	37,642	23,311	12,351	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	5,268	6,495	8,041
3	527	867	960	1,966	1,498	716	230	572	1,020	1,522	2,034	1,339	1,373
4	331	875	147	253	722	383	248	235	444	345	613	330	723
5	138	290	76	111	64	385	189	315	270	56	160	161	267
6以上	42	49	39	51	49	127	87	33	98	15	39	29	64
合計	5,481	13,487	31,225	20,257	16,362	12,338	8,040	21,978	43,861	29,952	20,464	28,285	15,179

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
1	10,780	37,352	41,377	26,397	17,342	16,476	15,795	36,970	61,548	46,805	35,704	45,801	20,999
2	5,998	6,101	18,797	12,195	9,031	4,323	4,164	6,145	10,394	11,577	13,249	14,650	15,374
3	2,589	1,921	2,065	4,810	3,018	2,396	1,415	1,725	2,354	3,602	4,167	4,864	4,818
4	1,095	1,370	619	642	1,721	859	1,077	798	728	794	1,247	1,214	2,283
5	255	489	227	310	237	600	281	546	362	139	266	360	573
6以上	77	82	116	143	182	198	130	57	131	38	64	65	138
合計	20,793	47,315	63,201	44,498	31,532	24,851	22,863	46,241	75,519	62,954	54,698	66,955	44,185

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
1	0.21	0.33	0.86	0.72	1.03	1.02	0.59	0.91	1.31	0.90	0.53	0.73	0.31
2	0.78	0.73	1.01	1.04	0.97	0.76	0.52	0.60	0.70	0.66	0.64	0.75	0.98
3	0.28	0.78	0.81	0.67	0.90	0.44	0.22	0.50	0.73	0.70	0.88	0.40	0.42
4	0.45	1.44	0.33	0.64	0.70	0.76	0.32	0.43	1.30	0.73	0.89	0.39	0.48
5	1.04	1.23	0.52	0.56	0.39	1.46	1.62	1.17	2.20	0.65	1.27	0.77	0.81
6以上	1.04	1.23	0.52	0.56	0.39	1.46	1.62	1.17	2.20	0.65	1.27	0.77	0.81
平均	0.63	0.96	0.67	0.70	0.73	0.98	0.82	0.80	1.41	0.72	0.91	0.64	0.64

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
1	3,099	10,736	11,921	7,805	3,752	4,848	4,476	10,627	17,691	13,984	11,637	16,281	6,719
2	7,371	7,498	26,241	16,652	9,878	7,111	6,642	9,734	15,566	17,177	17,343	22,358	19,205
3	6,164	4,574	4,897	12,872	7,159	6,593	3,792	4,576	6,027	9,841	9,734	13,835	12,876
4	4,302	5,386	2,709	3,058	6,681	3,249	4,803	3,912	3,709	3,550	6,250	4,988	9,247
5	1,486	2,850	1,324	1,734	1,418	3,286	1,699	3,958	2,798	916	1,466	2,181	3,391
6以上	626	666	848	1,172	1,411	1,500	1,155	509	1,456	312	522	515	1,129
合計	23,047	31,709	47,939	43,293	30,299	26,587	22,568	33,316	47,247	45,780	46,953	60,159	52,567

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	2020
12,023	7,611	6,847	3,554	12,375	8,805	2,230	849	4,021	2,544	2,050	5,714
3,635	9,780	3,344	8,939	9,367	5,889	8,088	3,208	2,574	4,016	3,179	1,597
1,439	1,888	1,875	1,609	1,664	2,480	1,670	1,255	999	1,311	701	977
1,109	626	642	795	1,245	2,901	1,872	737	519	662	337	396
638	432	295	292	409	893	750	331	180	244	184	114
142	135	50	110	88	239	174	107	40	59	51	21
18,986	20,472	13,052	15,299	25,149	21,207	14,784	6,486	8,333	8,836	6,502	8,819

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	2020
42,250	28,719	42,134	34,821	32,844	30,777	13,965	10,505	15,575	13,099	7,293	22,694
10,752	19,504	13,727	23,753	21,391	12,629	14,169	7,906	6,640	7,534	7,037	3,388
4,031	4,483	5,466	6,807	9,142	7,131	3,910	3,148	2,848	2,493	1,911	2,265
2,222	1,616	1,557	2,256	3,417	5,005	2,915	1,339	1,153	1,157	648	751
993	627	608	553	913	1,349	1,075	473	321	373	256	171
221	197	102	208	196	360	249	154	72	91	71	32
60,469	55,146	63,594	68,398	67,904	57,252	36,283	23,525	26,609	24,746	17,216	29,301

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	2020
0.42	0.38	0.22	0.13	0.60	0.42	0.21	0.10	0.37	0.26	0.41	0.36
0.52	0.91	0.34	0.60	0.74	0.82	1.15	0.66	0.62	1.01	0.78	0.83
0.56	0.70	0.53	0.33	0.25	0.54	0.71	0.65	0.54	0.99	0.58	0.73
0.91	0.62	0.68	0.55	0.57	1.18	1.46	1.07	0.77	1.15	0.97	0.99
1.46	1.73	0.87	1.00	0.77	1.57	1.80	1.81	1.11	1.52	1.97	1.58
1.46	1.73	0.87	1.00	0.77	1.57	1.80	1.81	1.11	1.52	1.97	1.58
0.89	1.01	0.58	0.60	0.62	1.01	1.19	1.02	0.75	1.08	1.11	1.01

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	2020
15,184	10,291	14,702	7,804	9,463	6,701	3,360	2,981	3,783	3,182	1,601	6,853
14,472	25,713	19,834	24,819	27,070	12,508	12,282	6,721	5,241	6,173	5,661	2,755
9,555	12,498	13,888	16,411	22,881	14,114	8,322	5,638	5,057	5,085	3,647	4,150
7,692	7,458	5,960	8,834	13,172	15,557	10,015	4,583	3,492	3,872	2,063	2,331
5,811	4,081	3,915	3,116	4,986	6,740	5,282	2,377	1,549	1,788	1,232	873
2,439	1,437	829	1,798	1,521	2,797	1,717	1,019	506	637	497	246
55,154	61,478	59,129	62,782	79,093	58,418	40,978	23,319	19,628	20,737	14,700	17,208

補足資料 3 資源量指標値の算出

マダラ本州太平洋北部系群の資源量指標値は、東北海域における調査船による着底トロール調査の結果を用いた面積密度法により行った。調査エリアは青森県～茨城県沖の水深 100～1,000 m で、本系群の水平、垂直分布範囲を網羅している（補足図 3-1）。調査で漁獲されたマダラについては、体長組成（0、1 歳魚）と耳石の透明帯の読みとり（2 歳魚以上）からすべての個体について年齢を査定した。次に北緯 38°50' で調査海域を南北に分け、100～200 m、200～300 m、300～400 m、400～500 m、500～600 m、600～700 m、700～800 m および 800～1,000 m の 8 水深帯、16 層に海域を層化した。南北および水深帯で層化した層 (i) ごとに各調査点 (j) において網着底から網離底までの距離を求め、それを曳網距離として用いた。オッターレコーダーでオッターボード間隔を測定し、漁具構成から得られたオッターボード間隔と袖先間隔の比 (1 : 0.258) により袖先間隔を推定し、曳網距離に袖先間隔を乗じて i 層 j 地点の曳網面積 (aij) 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 (Cij) を aij で除し、i 層 j 地点の密度 (dij) を算出し、その平均を i 層における密度 di とした。なお、ni 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 (di) に i 層の海域面積 (Ai) を乗じ、i 層の現存量あるいは現存尾数 (Bi) を求め、これらを合計することにより東北海域全体のマダラの現存量あるいは現存尾数 (B) とした。

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

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

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

i 層の密度の標準偏差 (SDdi) を求め、ni と Ai 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 (SEBi) 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。

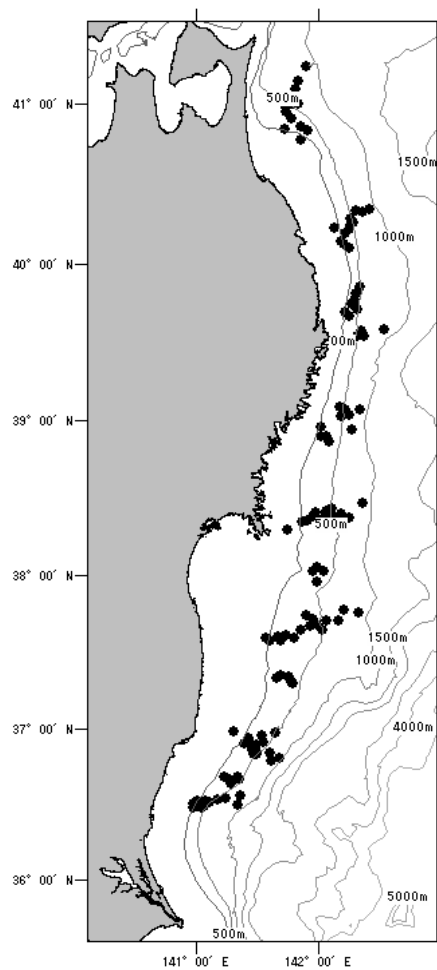
コホート解析は起算月を4月としているため、チューニングの指標値として用いる際には、調査を行った10月時点現存尾数から6か月後進させたものを用いた。年齢別の現存尾数に年齢別の体重を乗じた年齢別の現存量を指標とした。

その結果、1996～2020年漁期の現存尾数は804万尾～18,896万尾で推移していた（補足表 3-1）。資源量指標値とした現存量は9,231トン～25.7万トンで推移しており、2013年に25.6万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。2020年には3.8万トンとなっている（補足表 3-2）。

なお、2020年の調査における年齢別現存尾数のCVは1歳魚で0.238、2歳魚で0.101であり、全年齢合計では0.183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	2,760	62,926	41,935	80,259	4,438	5,776	6,668	44,938	11,182	47,355	32,062	44,063	1,843
2	3,871	1,236	11,609	6,443	18,180	447	3,889	1,931	19,750	4,936	8,747	6,512	13,409
3	752	1,656	273	3,469	968	2,053	986	2,464	3,817	5,925	3,875	2,194	1,433
4	554	458	0	75	370	303	508	245	228	399	714	477	252
5	103	286	0	0	0	0	0	158	36	0	459	191	83
6以上	0	0	0	0	0	0	0	0	38	0	0	0	0
合計	8,040	66,561	53,817	90,246	23,956	8,579	12,050	49,735	35,012	58,615	45,858	53,438	17,020

年齢	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	49,977	42,409	129,147	79,924	43,437	61,069	72,690	43,013	28,246	45,912	24,927	13,545
2	1,256	25,272	7,125	99,379	41,801	23,619	38,675	24,569	12,273	8,966	9,732	13,860
3	3,987	1,353	8,444	6,348	67,852	26,274	13,919	15,534	9,767	4,754	2,474	6,899
4	677	542	557	2,710	3,462	13,149	10,186	3,752	3,634	2,571	778	2,183
5	163	187	174	602	1,270	1,700	3,743	2,682	791	1,003	94	623
6以上	93	71	0	120	254	138	456	844	318	288	51	8
合計	56,061	69,764	145,446	188,964	157,822	125,811	139,212	89,549	54,711	63,206	38,004	37,111

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-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	600	1,664	0	0	0	0	0	1,147	275	0	2,528	1,158	492
6以上	0	0	0	0	0	0	0	0	417	0	0	0	0
合計	10,119	27,012	28,936	42,170	24,576	9,231	12,998	24,857	43,997	39,443	25,700	34,960	22,682
親魚量	3,079	3,839	222	2,904	1,952	1,991	3,891	4,544	7,177	6,178	6,370	3,680	3,370

年齢	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	17,961	15,196	45,065	17,912	12,514	13,297	17,488	12,207	6,862	11,153	5,471	4,091
2	1,691	33,318	10,294	103,840	52,900	23,393	33,524	20,888	9,688	7,346	7,828	11,268
3	9,452	3,772	21,455	15,305	169,815	52,004	29,624	27,818	17,342	9,698	4,720	12,640
4	2,345	2,502	2,130	10,614	13,345	40,872	35,000	12,839	11,003	8,601	2,480	6,781
5	955	1,215	1,121	3,393	6,936	8,491	18,389	13,464	3,819	4,815	453	3,172
6以上	1,021	515	0	1,039	1,968	1,073	3,143	5,601	2,241	2,026	357	59
合計	32,403	56,003	80,066	151,064	255,511	138,056	134,025	87,217	48,713	41,612	20,952	37,953
親魚量	6,145	4,047	10,402	15,929	65,327	52,288	70,836	34,454	24,001	14,986	4,641	10,486

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

トロール調査による面積-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	2020				
調査地点数	107	153				
現存尾数 (千尾)	51,214	21,774				
現存尾数のCV	0.385	0.183				
現存尾数のSE (千尾)	19,696	3,975				
95%信頼区間 (下限、千尾)	24,101	15,196				
95%信頼区間 (上限、千尾)	108,831	31,114				

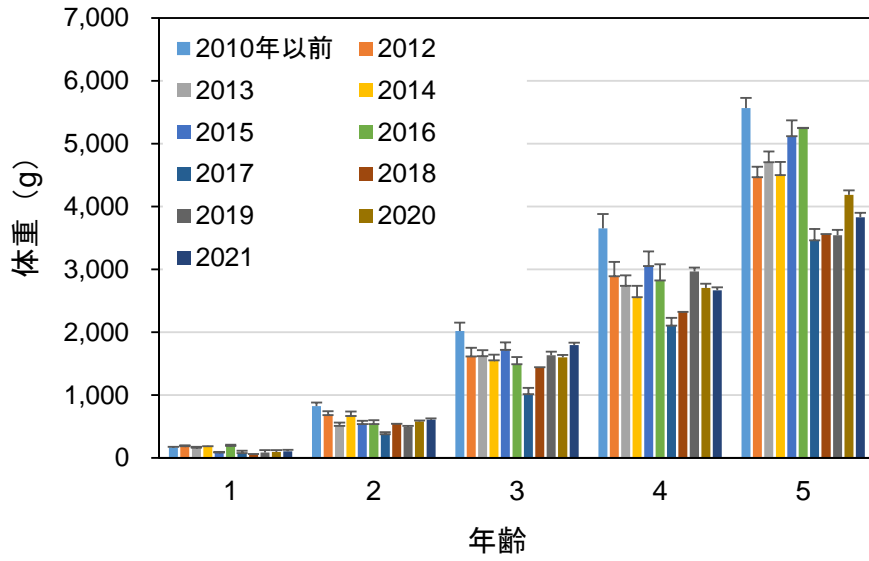
注) CV、信頼区間は各年齢に分けて求めた資源尾数、SEから求めたものである。

補足資料 4 震災以降の成長の鈍化と成熟率の変化

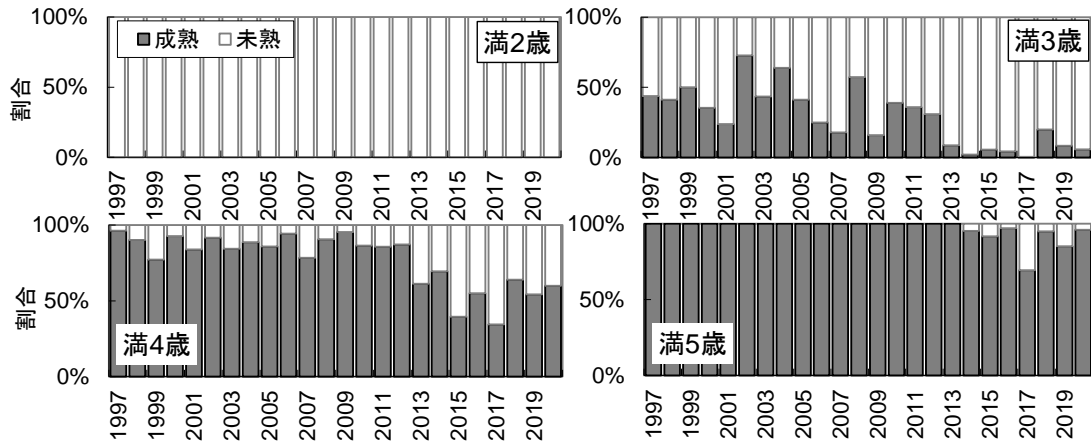
震災以降、マダラの成長には鈍化傾向が認められてきた。震災以前にもマダラの成長には加入尾数と負の相関があることが示されていたことから (Narimatsu et al. 2010)、震災以降の急激な資源の増加に伴い、成長が鈍化したと考えられる。過去の資源評価では、直近 5 年間の 4 月時点での年齢別の平均体重を年齢別の資源尾数に乗じることで資源量を推定してきた。しかし、2017 年および 2018 年 4 月に行った調査で漁獲されたマダラは、震災以降の 2012~2016 年に漁獲されたマダラと比べても著しく年齢別の体重が軽い傾向が認められた (補足図 4-1)。それらの年では、体重が震災前の 3~4 割程度にまで下がっている年齢も認められた。2021 年では、1 歳および 5 歳の体重は震災前の 65%および 69%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 4-2)。

引用文献

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



補足図 4-1. マダラの年齢別体重の時系列変化



補足図 4-2. マダラの年齢別成熟率の時系列変化