

平成 18 年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、伊藤正木、服部 努、上田祐司）

参 画 機 関：青森県水産総合研究センター、岩手県水産技術センター、宮城県水産研究開発センター、福島県水産試験場、茨城県水産試験場

要 約

太平洋北部海域におけるマダラの漁獲量は 1998、1999 年に過去最高を記録した。これは 1996 年から 1998 年における加入が連続して良かったためと考えられる。その後の加入は、1999 年および 2000 年には低調だったが、2002 年には 1990 年代後半の卓越年級に匹敵するほど多かった。2003 年には平均よりもやや少なかったが、2004 年および 2005 年には比較的多かったことから資源は増加傾向にあると考えられる。また、資源量は過去 11 年で 4 番目に多く、漁獲量、CPUE も高いレベルにあることから、資源水準は高位と考えられる。

現世代の若齢魚の生き残りを高めて成魚を増やすことで次世代の加入を増やし、資源のさらなる増加を促すことを資源管理目標とした。F20%SPR を基準値とし、平成 18 年 ABC 算定のための基本規則 1－3)－(1)に基づいて F limit 基準値としてこの時の漁獲量を ABC limit とした。また、F target =基準値×0.8 とし、この時の漁獲量を ABC target とした。

	2007年ABC	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABC limit	131百トン	F20%	0.39	27%
ABC target	108百トン	0.8F20%	0.31	23%

注)F値は各年齢の平均で、ABCは100トン未満で四捨五入した。

年	資源量(百トン)	漁獲量(百トン)	F値	漁獲割合
2004	316	175	0.80	55%
2005	529	266	0.78	50%
2006	510			

水準：高位 動向：増加

1. まえがき

マダラは、食味がよく、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。本種は東北太平洋岸を分布の南限にしていることもあり、太平洋北部系群の資源動向は主産地である北海道に比べ不安定である。近年の現存量および漁獲量は 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る。このように近年は大きな資源変動が認められることから今後の加入や資源動向に注意を払う必要がある。

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、本邦周辺では日本海から東シナ海北部、北日本太平

洋岸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)。

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)。標識放流の結果、陸奥湾産卵群は、ほとんどの個体が産卵後に北海道太平洋岸に移動し、産卵期になると再び陸奥湾に戻ることが明らかになっている(福田ら 1985)。また、漁獲統計で見ても太平洋北部海域の漁獲量と陸奥湾周辺における漁獲量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。

また、産卵期以外の分布水深は100～550mで(服部ら 2002)、季節的な浅深移動を行う(橋本 1974)。

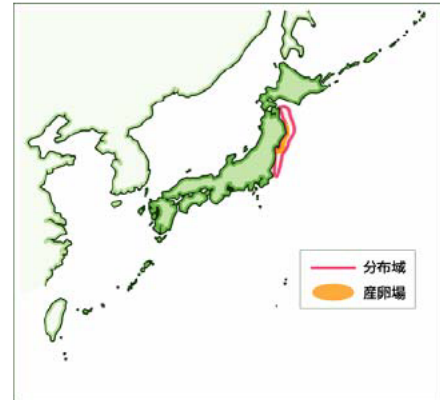


図1. 太平洋北部におけるマダラ分布

(2) 年齢・成長

マダラの年齢査定は耳石の扁平石を用いて行われる。扁平石の薄片を作り、薄片中に見られる透明帯を数えることによって年齢査定が可能である(服部ら 1992)。マダラの成長は早く、8歳になると体長90cm、体重10kg程度に達する。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いる(成松ら 2003)。体長と年齢および体重の関係は下式の通りである。

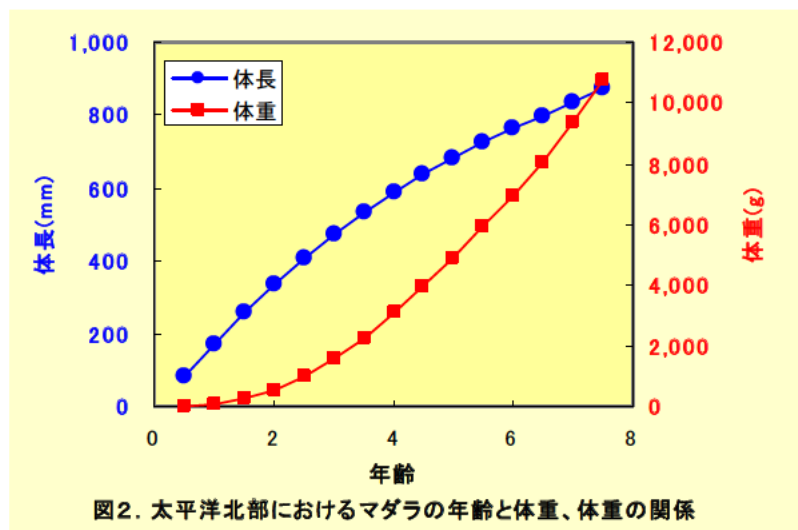


図2. 太平洋北部におけるマダラの年齢と体重、体長の関係

$$BL=1255.2(1-\exp(-0.16(t-0.036)))$$

$$BW=7.07 \times 10^{-6} \times BL^{3.12}$$

ここで、BLは被鱗体長(mm)、tは満年齢(年齢の起算日は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(児玉ら 1990; 服部ら 1999)。冬季になると産卵親魚は水深数十mの浅瀬に移動し、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)。雌は単回産卵で、1繁殖期の産卵数は50万

表1. 漁業種別マダラの漁獲量(単位トン). 2005年は各県水試調べによる暫定値.

底および定置網による漁獲が多い（表 1）。沖底および小底では禁漁期を除く周年にわたり漁獲されているが、定置網や刺網では繁殖期に接岸する個体の漁獲も行われている。

4. 資源の状態

（1）資源評価の方法

1995 年以降、毎年 10～11 月に青森県沖～茨城県沖の水深 150～900m で着底トロール調査を行っている（調査年ごとの定点数 57～149 点）。秋季には水深 200m 前後に水温躍層ができ、マダラはその下方に分布するため、この調査点は本海域のマダラの垂直、水平的な分布範囲を網羅している。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、年齢別に面積－密度法を用いて現存量を推定した。この結果から、漁獲係数を変化させた場合の現存量と漁獲量の変化をシミュレートし、ABC を算定した。

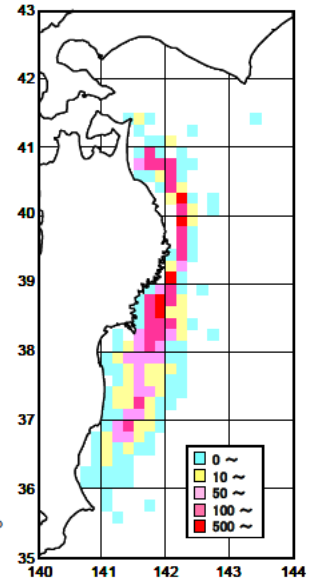


図4. 沖底による漁獲量(トン)

（2）資源量指標値の推移

先述のように本海域のマダラは主要な漁獲対象であり、沖底で最も多く漁獲されている。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有力な指標になると考えられる。小海区分別に各漁法の CPUE の変化を見ると、岩手 2 そうびきや金華山トロールにおける CPUE 値が概して高い値を示しており、変動も非常に大きい（海区分分はズワイガニ北部系群参照）。また、岩手かけまわしもそれらと同調する傾向にある。どの小海区分のどの漁法においても 1990 年代後半の CPUE 値は高く、その後減少しているが、最近の 4 年は再び増加する傾向にあり、2005 年には暫定値ながら岩手 2 そうびきと金華山トロールで過去最高を記録した（図 5）。

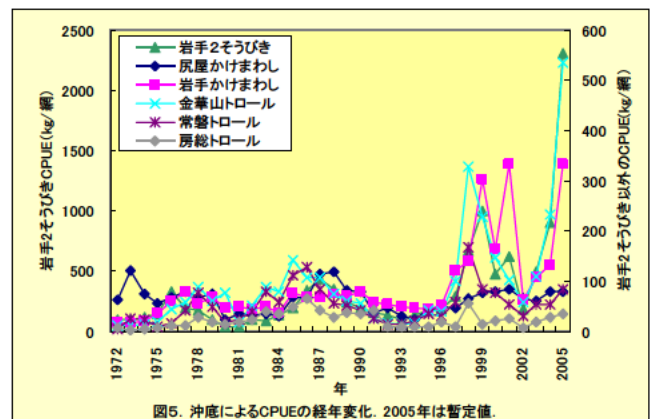


図5. 沖底によるCPUEの経年変化. 2005年は暫定値.

（3）漁獲物の体長組成

2005 年に宮城県石巻港および福島県小名浜港に水揚げされたマダラ体長組成を図 6 に示した。漁獲の中心は例年通り体長 50cm 以下の小型魚であるが、福島県では全長 55cm 前後にも小さい山が認められた。この 55cm 前後の山は年齢と体長の関係（図 2）からほぼ 3 歳魚（2002 年級）であると考えられる。2002 年級は卓越年級であることから、漁獲の中心は 2 歳以下の若齢魚であ

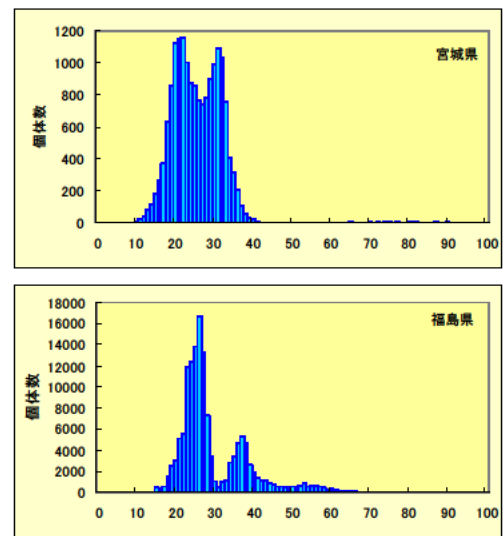


図6. 2005年に宮城県(石巻)および福島県(小名浜)に水揚げされた個体の体長組成. 宮城は被鱗体長(cm)、福島は全長(cm)で示している

るが、卓越年級では3歳以上で漁獲される個体も多くなることが明らかになった。

(4) 資源量の推移

1995～2005年の秋季に着底トロール網による底魚類資源量調査を実施し（水深150～900m）、面積一密度法を用いて資源量の推定を行っている。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、年齢別の現存尾数と重量を求めた。また、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。その結果、年齢によって採集効率は異なり、2歳魚では0.54であるのに対し3歳魚では0.12であった（上田ら2006）。

マダラは成長とともに食性、生息場所が変わる。若齢期には遊泳力が弱く砂泥底付近を群泳し、オキアミ類や小型頭足類を捕食する。一方、大型、高齢化とともに岩礁域に生息場所を移し、魚類や頭足類を主食とするようになる。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と考えられるため、ここでは遭遇率も加味したものを採集効率とした。なお、1歳魚については2歳魚よりもさらに漁獲されやすいと考えられるため、その採集効率は0.64とした。

調査を10月中心に行っているため、10月における各年齢の資源尾数（2005年のCV: 0歳魚0.24, 1歳魚0.17, 2歳魚0.17, 3歳魚0.15）に年齢別生残率を乗じ、翌年1月における年齢別尾数を算出した（表2）。マダラは周年漁獲されているが、近年では漁獲の中心は1-6月にあり、上半期に約2/3程度漁獲されているため、この値に4月における体重を乗じたものを各年の初期現存量とした（表3）。成長には年変化があり、体長や体重は年によって異なるがここでは平均値を用いた。

表2 トロール調査による年齢別資源尾数(千尾)

年齢	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
1	30,588	155,535	203,361	206,056	3,512	17,551	74,524	133,642	35,646	87,622	87,673
2	4,771	1,254	28,585	19,050	36,459	2,016	2,624	3,029	20,414	4,775	20,221
3	1,779	2,401	766	7,201	3,997	11,277	278	2,412	1,198	12,604	3,150
4	101	408	899	148	1,883	525	1,114	535	1,337	2,129	3,305
5以上	0	357	404	0	41	201	185	276	233	168	222
合計	37,239	159,955	234,015	232,455	45,892	31,570	78,725	139,893	58,828	107,298	114,572

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で求め、採集効率(Q)は1才魚0.64, 2才魚0.54, 3才魚以上0.12とした。

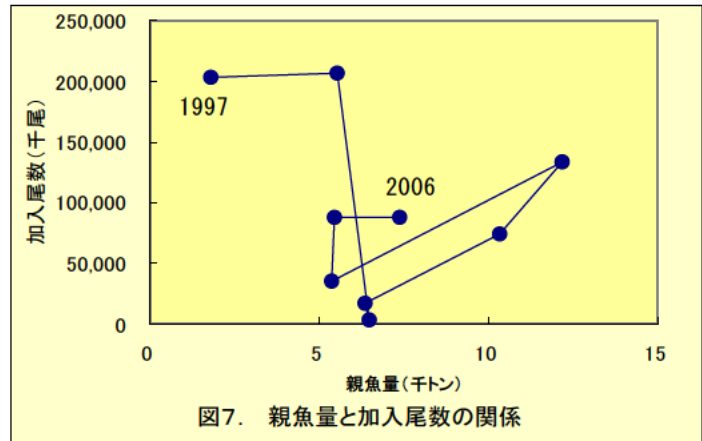
表3 太平洋北部海域のマダラの推定資源量(トン)

年齢	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
1	5,131	26,092	34,116	34,568	589	2,944	12,502	22,420	5,980	14,699	14,708
2	3,928	1,032	23,534	15,684	30,017	1,660	2,160	2,494	16,807	3,931	16,648
3	3,597	4,855	1,549	14,558	8,079	22,798	561	4,876	2,421	25,480	6,368
4	368	1,491	3,285	542	6,882	1,920	4,072	1,955	4,887	7,780	12,079
5以上	0	2,100	2,563	0	227	1,117	1,074	1,534	1,505	1,018	1,238
合計	13,025	35,570	65,048	65,351	45,794	30,438	20,370	33,279	31,600	52,909	51,041

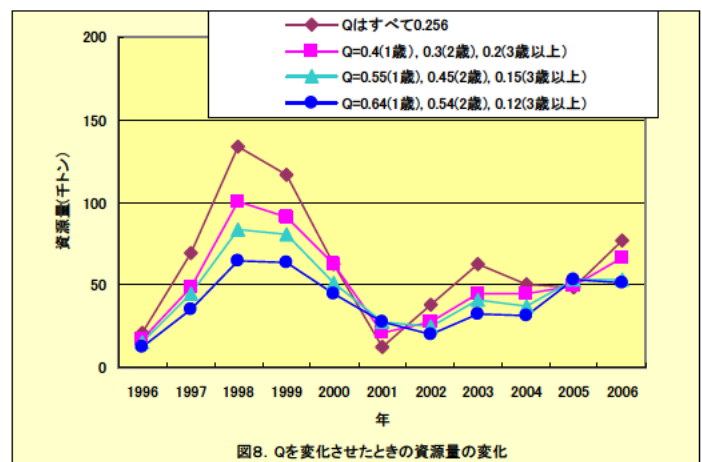
注) 10-11月時点の値から推定した翌年1月の現存尾数に各年齢の平均体重(4月)を乗じたもの。

トロール調査による面積一密度法で求め、採集効率(Q)は1才魚0.64, 2才魚0.54, 3才魚以上0.12とした。

2006 年と 1996 年から 2005 年までの結果を比較すると、2005 年級の加入尾数(2006 年の 1 歳魚)は過去 11 年の中で 5 番目に多い。2005 年級よりも多かった 1996～1998 年および 2002 年級は 1 歳時に 1 億 3 千万尾～2 億 1 千万尾で他の年級よりもかなり多い。こういった年級は調査を開始した 1995 年以降の 11 年間で 4 回発生しているが、過去の漁獲量の変動(図 2)から、長期的にみればむしろ稀に発生している卓越年級と考えられる。2005 年級の加入尾数は卓越年級の 1/3～半分程度であると考えられる。また、4 歳魚(2002 年級)は非常に多く、過去最高の資源量を示している。さらに、2 歳魚(2004 年級)も多く生残している。したがって、2004 年級の 2 歳魚と 2002 年級の 4 歳魚が多く、2005 年級の 1 歳魚も比較的多いというのが現在の資源構造の特色である。



過去 11 年の調査結果では、明瞭な再生産関係は認められていない(図 7)。1990 年代後半に卓越年級が連続して発生したが、その世代が親になっても次世代の大きな加入がなかったため、このような結果になったと考えられる。再生産関係が認められない要因には後述のような環境の影響が大きいことが考えられるが、再生産関係、環境と加入量の関係ともに短期間の調査結果であること、高齢の親魚量の推定精度が低いことなどの問題点もあり、今後さらなるデータの蓄積が必要である。



採集効率 Q を変化させたときの資源量の変化を図 8 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。ここではいくつかの魚種の平均値(全年齢の Q は 0.256)および年齢別に変化させた場合の資源量の変動を示した。先に述べた理由に基づき Q を 1 歳 0.64、2 歳 0.54、3 歳以上 0.12 に設定したものをこれ以降の資源診断、ABC 算定に用いた。

(5) 資源の水準・動向

現存量は 1998、1999 年には極めて多かったが、加入量の減少により 2000 年以降には減少した。その後、2002 年級が非常に多く 2004 年級、2005 年級も比較的多かったため、資源は増加傾向にある。同様に漁獲量や CPUE も 2002 年を底として増加しており、2005 年には暫定値ながら最高値を記録した海区別の漁法も認められた(表 1、図 5)。現存量推定値を 2006

年と 2005 年以前と比較すると、2006 年は 2005 年と並んで 2000 年以降では最も多く、1990 年代後半に準ずるレベルにある（表 3、図 8）。これらのことから、現在の資源水準は高位であると考えられる。また、直近 4 年のうちで 3 年で加入がよく、さらにいずれの年級でも生き残りがよいと考えられることから、資源は増加傾向にあると判断される。

水準：高位 動向：増加

5. 資源管理の方策

(1) 資源と漁獲の関係

1990 年代後半には漁獲割合は資源量と反比例の関係にあり、資源状態がよいと低く、悪いと高い傾向にあったが、近年の漁獲割合は資源量が増加しているにもかかわらず高い傾向にある（図 9）。近年の生物情報に基づく YPR 曲線と SPR 曲線を図 10 に示した。年齢別現存量から年齢別の生残率を求め、後述のように自然死亡係数を一定とし、漁獲方程式を用いて F を求めた。その結果、2 歳魚の F は 0.60 で、一般にいわれる管理基準値に比べて高いことが明らかになった。これは 4.6%SPR に相当する。また、若齢魚に対する漁獲圧が高いのも特徴で、漁獲開始年齢である 1 歳魚では 1.43 である。

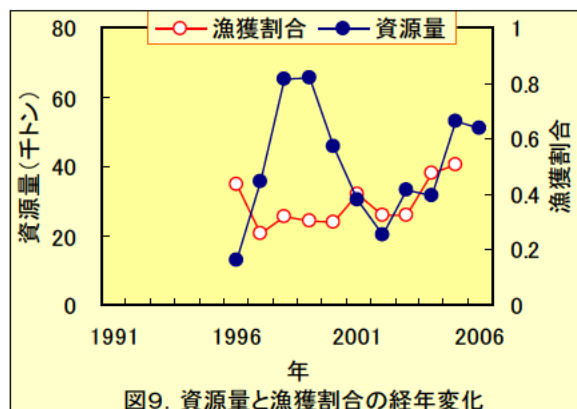


図9. 資源量と漁獲割合の経年変化

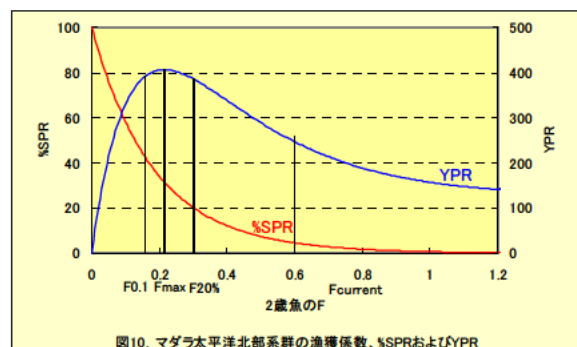


図10. マダラ太平洋北部系群の漁獲係数、%SPRおよびYPR

(2) 資源と海洋環境の関係

図 11 に太平洋北部海域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海域はそれぞれ青森沖～金華山沖および金華山沖～日立沖を示している。マダラの卵が孵化する 2 月から幼魚が着底する 6 月までの水温を月毎に水深 0m、50m および 100m で調

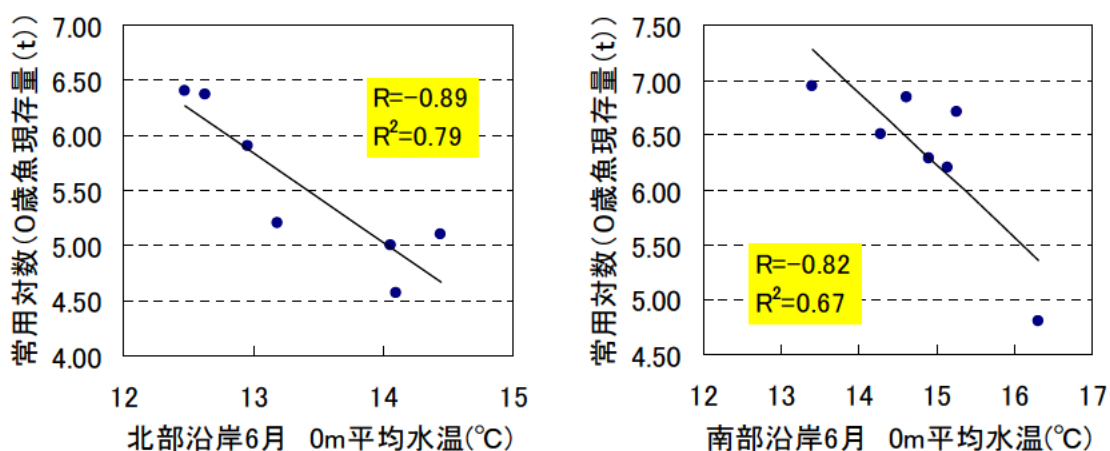


図 11. 太平洋北部海域における表面水温と 0 歳魚の現存量の関係

べた結果、着底直前の6月における表面水温が加入量決定に大きな影響を及ぼす可能性が示唆された。本海域は太平洋岸におけるマダラの分布の南限に位置することから、この結果は興味深い。ただし、ここでは水温以外の要因について考慮しておらず、水温が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この要因の解明が求められる。

6. 2007 年 ABC の算定

(1) 資源評価のまとめ

マダラ資源は1990年代後半に大幅に増大したがその後減少傾向にあった。2002年級の発生量は非常に多く、2003年級ではやや少ないものの2004年級および2005年級は再び多かった。また、いずれの年級も生き残りが良いと考えられるため、資源は高位水準で増加傾向にあると考えられる。現在は若齢魚に対する漁獲圧が高いがマダラの成長は非常に早いため、若齢魚を取り残す適切な漁獲管理を行うことによって1990年代後半以上に資源を維持させることが可能である。図7で示した再生産関係や図11で示した水温と加入の関係は文中にも示したようにかなり不確定な要素を残している。現在、成長、成熟年齢、成熟体長、体長当たりの抱卵数の年変化を盛り込んだ産卵数-加入尾数の関係解明に取り組んでおり、図11の関係は大幅に変わる可能性が示唆されている。そこで、当面は成魚までの生き残りを増やすことは親魚量を増やし次世代の加入を促す効果があると考え、親魚までの生残を高め、資源水準を向上させることを管理目標とした。F20%SPRを基準値とし、平成18年ABC算定のための基本規則1-3)-(1)に基づいてF limit=基準値としてこの時の漁獲量をABC limitとした。またF target = 基準値×0.8とし、この時の漁獲量をABC targetとした。

(2) ABC の算定

2007年のABC算定は以下の条件の下で行った。

- ・ 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。
- ・ 2001~2005年に行った現存量調査の結果からもとめた各年齢の生残率の平均値を年齢別生残率Sとし、SとMとの関係から得られた年齢別F値を現状のFとした。
- ・ 2006年以降の年齢別のFの比率(選択率)は2001~2005年の平均値と同じと仮定する。2歳を1とすると、1歳=2.39, 3歳以上=1.14となる。
- ・ 年齢別の体重は図1のとおり。なお、雌の50%成熟体長は478mmで、1995~2004年では3歳魚の20~85%が成熟していたため、3歳魚の成熟割合を0.4とした。また、2歳魚はすべて未熟で、4歳以上の個体はほぼすべて成熟していたため、それぞれ0および1とした。
- ・ 1990年代後半や2003年以降には卓越年級が多く発生したと考えられ、1970年代からの漁獲量から見ても近年は加入状況が良かったと判断できる。加入には水温が関与していることが示唆されているものの未だ不明なことも多く、必ずしも同じような状況が続くとは限らない。そのため、2007年以降の加入量を過去11年のうち卓越年級を除く6年間の平均値とした(41,574千尾, 6,974トン)。
- ・ 年齢別選択率と漁獲物の体長組成から漁獲開始年齢は満1歳とする。

この条件のもとで現在の漁獲が2006年まで続くとなると、2007年の初期資源量は47,686

トンになる。

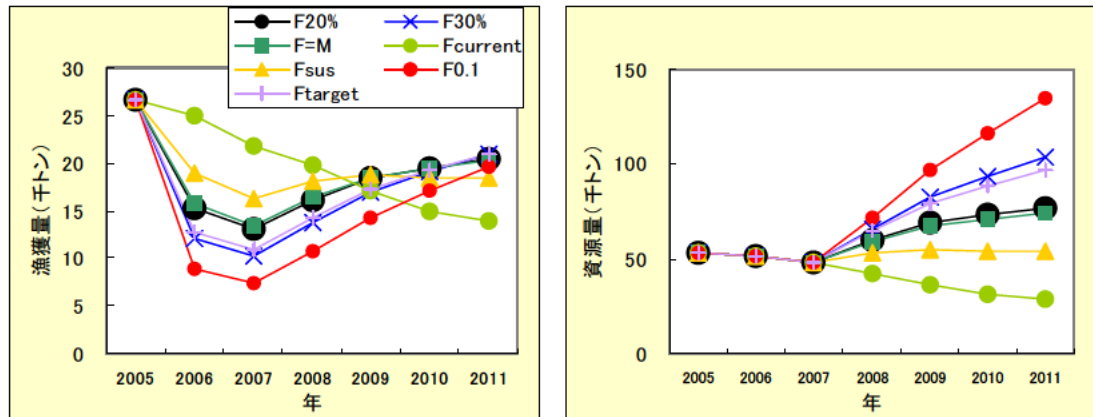


図 12. さまざまな管理方策に基づく漁獲量(左)と資源量(右)の変動

(3) 漁獲圧と資源動向

F20%、F30%、F0.1、F=M、Fcurrent(年齢別に5年間の平均)および資源量を2006年レベルに保つF(Fsus)について検討した。その結果、現状の漁獲圧が続くと資源は減少し、5年後の2011年の資源量は2万9千トンになる(図12、表4)。F30%およびF0.1まで漁獲圧を下げると当面の漁獲量は大きく減少するが、2011年の資源量はそれぞれ10万トン以上および13万トン以上となり、漁獲量も2万トン前後になる(図12、表4)。F=Mとすると5年後の資源量は7万4千トンになる。F20%とすると、2011年の資源量は7万7千トンとなり、1990年代後半の水準以上になり、漁獲量も2万トン前後になる。また、F20%×0.8とすると、2011年の資源量は9万7千トンになり、漁獲量も2万1千トンになる。

表4 F値の変化による資源量および漁獲量の推移

F	基準値	漁獲量(トン)							資源量(トン)						
		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
0.00		26,604	0	0	0	0	0	0	52,909	51,041	47,686	88,500	142,207	198,469	258,650
0.05	0.1 F _{sus}	26,604	2,469	2,048	3,384	5,100	6,790	8,525	52,909	51,041	47,686	83,822	128,694	172,870	218,211
0.16	0.3 F _{sus}	26,604	6,962	5,825	8,792	12,130	14,996	17,717	52,909	51,041	47,686	75,374	105,717	131,776	156,522
0.31	0.60 F _{sus}	26,604	12,807	10,849	14,315	17,339	19,286	20,986	52,909	51,041	47,686	64,517	79,065	88,432	96,608
ほぼF _{target} に相当															
0.39	0.75 F _{sus}	26,604	15,334	13,064	16,147	18,376	19,466	20,437	52,909	51,041	47,686	59,877	68,726	73,052	76,903
ほぼF _{limit} に相当															
0.52	F _{sus}	26,604	18,978	16,307	18,170	18,766	18,484	18,460	52,909	51,041	47,686	53,257	55,134	54,244	54,170
	0.8 F _{current}	26,604	21,594	18,674	19,157	18,353	17,145	16,570	52,909	51,041	47,686	48,561	46,366	43,066	41,498
0.78	1.49 F _{sus}	26,604	25,019	21,826	19,840	17,109	14,945	13,941	52,909	51,041	47,686	42,494	36,171	31,164	28,840
ほぼF _{current} に相当															
	1.2 F _{current}	26,604	27,932	24,558	19,862	15,581	12,940	11,839	52,909	51,041	47,686	37,420	28,682	23,293	21,046
F _{current} は5年間のFの平均															

そこでF20%を基準値とし、その基準値における漁獲量をABC_{limit}とした。またF_{target}をF_{limit}×0.8とし、この基準値における漁獲量をABC_{target}とした。その結果、ABC_{limit}=13,064トン、ABC_{target}=10,849トンと推定された。

	2007年ABC	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABC _{limit}	131百トン	F20%	0.39	27%
ABC _{target}	108百トン	0.8F20%	0.31	23%

注)F値は各年齢の平均で、ABCは100トン未満で四捨五入した。

(4) ABClimit の検証

F20%を F_{limit} として漁獲すると、2007 年の漁獲量は 1 万 3 千トンと現状よりも減少するものの、2008 年には 1 万 6 千トンになり、その後も増加する。近年の漁獲係数は特に若齢魚で高い (1 歳の $F=1.43$) ため、%SPR はわずか 4.6% しかない。これまでのところ明瞭な再生産関係は認められていないものの、現在の高い水準の資源状態を保つためには親魚量の維持が重要と考え、この管理方策を用いた。

(5) ABC の再評価

2006 年の ABClimit は当初 138 百トンであったが、その後、2004 年級の生き残りが良かったことに加えて 2005 年級の加入量が想定値よりも多かったため、153 百トンに上方修正され

表5. ABCの再評価

評価対象年 (当初・再評価)	管理 ¹ 基準	資源量 (百トン)	ABClimit (百トン)	ABCtarget (百トン)	漁獲量 (百トン)
2005年(当初)	F20%SPR(0.39)	331	99	83	266
2005年(再評価)	F20%SPR(0.42)	522	160	133	266
2005年(再々評価)	F20%SPR(0.39)	529	161	135	266
2006年(当初)	F20%SPR(0.42)	470	138	114	
2006年(再評価)	F20%SPR(0.39)	510	153	128	

1:ABClimitに対する資源管理基準(略号)とそれに相当するF値(年あたり)

漁獲量は暫定値

た(表5)。また、2005 年当所の ABClimit は 99 百トンであったのに対し、実際の漁獲量は 266 百トンと大幅に上回った。これは、当時は年齢別の採集効率に関する情報がなく資源量が過小評価されていたことに加え、2002 年級の加入量を過小評価していたためである。

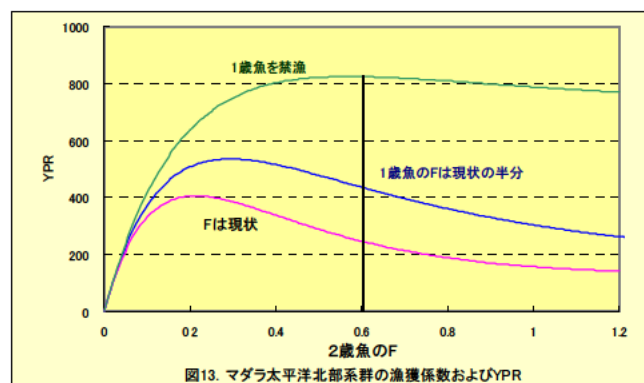


図13. マダラ太平洋北部系群の漁獲係数およびYPR

7. ABC 以外の管理方策への提言

マダラは非常に成長が早く、満 1 歳で

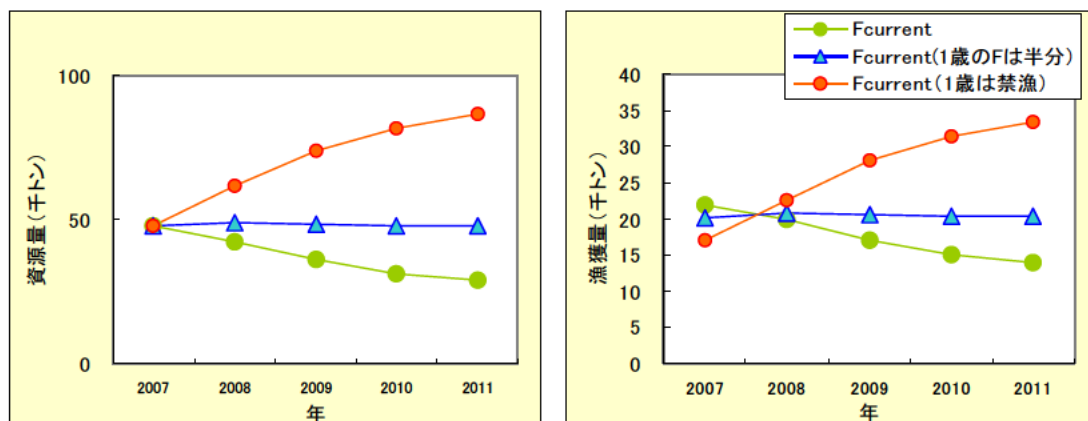


図 14. 1 歳魚の漁獲圧を変化させたときの資源量(左)と漁獲量(右)の変動

は 80g 程度の個体が満 2 歳では 550g、満 3 歳では 1,600g に成長する。そのため、加入が多くない状況でも小型魚の漁獲規制することによって資源量を回復させることができると考えられる。例えば、2 歳魚以上の漁獲圧を現状のままで、1 歳魚の漁獲圧を半分にすると YPR は現在の 1.8 倍になる。さらに 1 歳を禁漁にすると YPR は 3.3 倍になる(図 13)。また、1 歳の漁獲圧を半分にすると将来の資源量および漁獲量はほぼ横ばいとなり、1 歳を禁漁にすると 2011 年の資源量は 8 万 9 千トン、漁獲量は 3 万 5 千トンとなり、過去最高の漁獲量になることから(図 14)、若齢魚取り残しの効果は大きい。

8. 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. 日本水産学会誌, 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.
- 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.
- 成松庸二・北川大二・服部努 (2003) 東北海域におけるマダラの成長の年変化. 平成 15 年度日本水産学会大会講演要旨集, 83p.
- Sakurai, Y. and T. Hattori (1996) Reproductive behavior of Pacific cod in captivity. Fish. Sci., 62: 222-228.
- 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.

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.

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.

補足資料

図8に示したようにマダラの再生産関係は不明瞭であるため、秋季における調査の親魚量から翌年以降の加入量を推定するのは困難である。そこで、2002年から毎年5～6月に仙台湾沖および八戸沖で着底トロール調査を行い、生育場における着底直後の幼魚の現存量推定を試みている。仙台湾における2006年6月のマダラ0歳魚の分布密度は、10,200尾/km²であった(別添表1)。この値は2002年級に比べるとかなり低い。2003年以降では最大である。一方八戸沖では2,100尾/km²であり、過去2年間に比べると著しく低い。これらの結果から、2006年級は仙台湾沖を中心とした南部海域ではやや多く、八戸沖を中心とした北部海域では少ないと考えられた。この傾向は2002年とやや似ているが、卓越年級であった2002年に比べると仙台湾での発生量が少ないため、着底期から陸棚斜面域へ移動する夏季の生残も過去と同様であるならば、加入量の中程度になるのではないかと考えられる。現在は6月の着底量と10月の陸棚斜面域の現存量との対応関係が不明瞭なため、6月の調査結果を参考値として扱っているが、データが蓄積する数年後には翌年度の加入量を高精度で推定できると考えられる。

別添表1. 5-6月における主分布水深帯のマダラ0歳魚の尾数密度(尾/km²)

年	仙台湾沖			八戸沖		
	水深帯(m)	調査点数	密度	水深帯(m)	調査点数	密度
2002	40-80	13	40,419	75-150	8	190
2003	40-80	9	2,809	80-150	5	0
2004	40-80	10	6,139	60-110	9	67,325
2005	40-120	13	3,752	60-160	14	59,207
2006	30-120	16	10,205	60-160	15	2,091