

平成 20 年度マダラ太平洋北部系群の資源評価

責任担当水研：東北区水産研究所（成松庸二、伊藤正木、服部 努、奥田武弘）

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、宮城県水産技術総合センター、福島県水産試験場、茨城県水産試験場

要 約

太平洋北部におけるマダラの漁獲量は 1998、1999 年に非常に多かった。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準じるほど多かった。2004 年～2006 年には比較的多かったものの、2007 年には極めて少なかったことから、資源は中位水準と考えられる。また、2008 年の資源量は 5 年前とほぼ同レベルであることから、動向は横ばいと考えられる。

本系群には明瞭な再生産関係は認められていない。マダラは成長が非常に早いため、ある程度の加入量があれば資源が大きく減少することはない。そこで、当面の親魚量を確保して卓越年級の加入を阻害しないことを管理目標とし、F20%SPR を管理基準とした。平成 20 年度 ABC 算定のための基本規則 1-3) - (2) に基づき $F\ limit = F20\%SPR \times \beta_1$ とし、 $\beta_1=1$ としたときの漁獲量を ABC limit とした。また、 $F\ target = F\ limit \times 0.8$ とし、この時の漁獲量を ABC target とした。

	2009年ABC	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABC limit	101百トン	F20%SPR	0.38	29%
ABC target	84百トン	0.8F20%SPR	0.31	24%

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
2006	510	158	0.44	31%
2007	532	250	0.77	47%
2008	319			

水準： 中位 動向： 横ばい

1. まえがき

マダラは、底魚類の中でも個体数が多く、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。本海域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、太平洋北部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。近年の資源量および漁獲量は 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った。しかし、2007 年の発生量が極めて少ないため、2008 年の資源状態は 2005 年～2007 年よりも悪くなっている。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。

表 1. 本件資源評価に使用するデータセット

データセット	
年別漁獲量	県別漁獲統計（農林水産省） 太平洋北区 沖合底びき網漁業漁場別漁獲統計資料（水研セ） 月別体長組成（宮城県、福島県、水研セ） ・市場測定
資源量指数 ・資源量 ・加入量指数	底魚類資源量調査（水研セ） ・着底トロール 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
成熟年齢、 年齢別抱卵数	月別精密測定調査（水研セ、青森県） 底魚類資源量調査（水研セ）
自然死亡係数（M）	年当たりM=0.3125を仮定（田中1960より）
2008年加入量	カレイ類・マダラ0歳魚分布調査（水研セ） ・着底トロール

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、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)。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ってく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)。

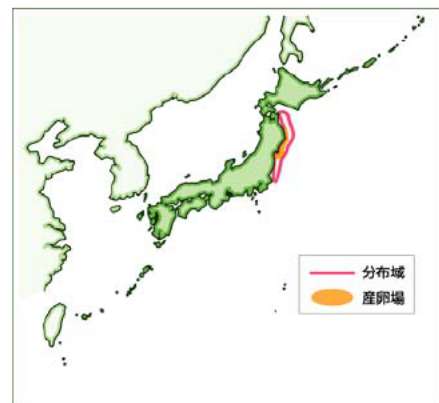


図 1. 太平洋北部におけるマダラ分布

(2) 年齢・成長

マダラの年齢査定には鱗や背鰭鰭条など、さまざまな硬組織が用いられてきたが、今日では耳石の扁平石を用いるのが一般的である。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を調べる(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(図 2)。

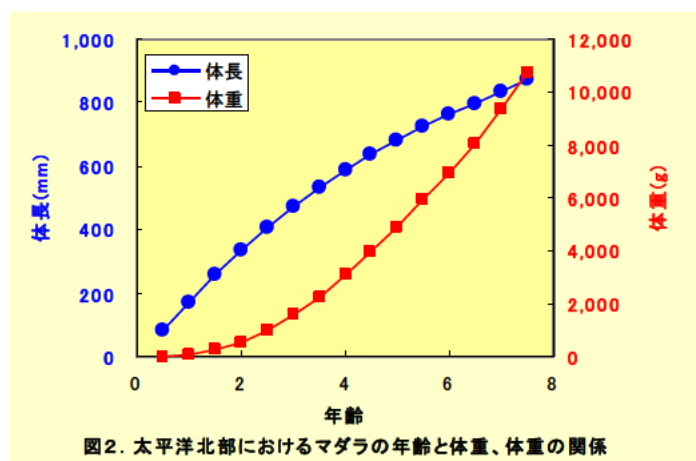


図 2. 太平洋北部におけるマダラの年齢と体重、体長の関係

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 2006)。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。

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

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

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や青森県階上沖のほか、三陸沿岸各地に小規模なものがあると考えられている(児玉ら 1990; 服部ら 1999)。夏季から秋季には水深200m以深の海域に生息するが、冬季になると産卵親魚は水深数十mの浅瀬に移動し、雌雄ペアあるいは一尾の雌

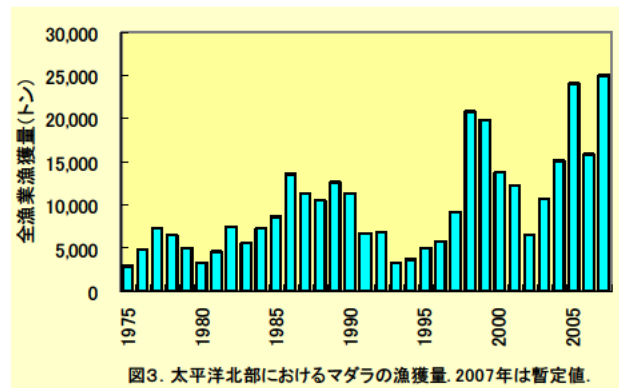


図3. 太平洋北部におけるマダラの漁獲量。2007年は暫定値。

に数尾の雄が群がり、砂泥帯に沈性卵を産む(Sakurai and Hattori 1996)。雌は一繁殖期に1回産卵し、その産卵数は50万(体長40cm前後)～400万粒(体長80cm前後)である(服部ら 1995)。また、近年の東北海域における50%成熟体長は雄で46.2cm、雌で48.3cmである。初回成熟年齢は3歳もしくは4歳で、成熟後は毎年産卵すると考えられている(成松 2006)。

(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・頭足類である(Takatsu et al. 1995, 2002, 山村 1993)。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)。

表2. 漁業種別マダラの漁獲量(単位トン)、2007年は各県水試調べによる暫定値。

	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
沖底	1,337	2,443	3,779	3,423	3,131	1,723	1,884	1,815	2,439	1,821	4,249	5,620	5,223	6,007	5,613
小底	574	498	1,103	1,108	809	399	848	3,842	1,762	2,130	1,890	2,784	1,731	1,173	1,047
刺網	546	508	495	502	315	414	307	378	410	784	504	1,269	573	428	460
延縄	107	64	88	255	216	92	59	165	234	514	631	1,031	1,415	1,344	1,206
定置	230	1,250	1,694	1,170	566	595	1,537	1,201	679	1,803	1,134	2,620	1,923	1,320	2,336
その他	7	64	166	42	26	13	14	35	71	150	276	320	339	285	1,927
計	2,801	4,827	7,325	6,500	5,063	3,236	4,649	7,436	5,595	7,202	8,684	13,644	11,204	10,557	12,589

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
沖底	4,864	3,016	2,320	1,858	2,013	3,176	3,346	5,333	15,074	13,520	8,946	8,214	3,377	6,903	10,998
小底	1,897	614	295	157	278	430	701	494	823	1,245	768	764	731	911	996
刺網	704	372	238	438	166	322	426	897	799	828	786	817	1,004	648	792
延縄	1,698	886	3,181	395	546	633	806	1,976	2,267	2,981	2,977	1,803	1,298	1,901	2,017
定置	1,803	1,629	807	384	462	278	207	283	239	264	107	153	58	65	80
その他	333	82	103	88	106	104	201	111	1,552	982	165	393	84	182	136
計	11,299	6,599	6,944	3,320	3,571	4,943	5,688	9,094	20,753	19,819	13,749	12,143	6,551	10,610	15,019

	2005	2006	2007
沖底	18,859	9,724	13,443
小底	955	1,565	4,153
刺網	1,470	1,253	2,583
延縄	2,474	2,401	1,489
定置	280	463	60
その他	61	396	3,228
計	24,099	15,802	24,956

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

太平洋北部においてマダラは沖合底びき網漁業（以下、沖底）、小型底びき網漁業（以下、小底）、刺し網、延縄および定置網などで漁獲されている。

(2) 漁獲量の推移

全漁業種類合計の漁獲量の経年変化をみると、1980年代前半から漁獲量は徐々に増加し、1985～1990年には1万トン以上を記録している。しかしその後、減少傾向を示し、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。1994年以降に再び増加に転じ、1998年および1999年にはほぼ2万トンになった。その後の変動は大きく、2002年には6千トン台を記録したが、2003年には1万トン台に回復し、2004年には1万5千トン、2005年には2万4千トンを記録した。2007年も暫定値ながら2万5千トンとなっている（図3、表2）。

漁業種類別の漁獲量を見ると、ほとんどの年で沖底による漁獲が最も多く、次いで延縄、小底および定置網による漁獲が多い（表2）。2006年の沖底では青森沖から茨城沖の広い範囲で漁獲されており、特に青森沖から宮城沖での漁獲が多い（図4）。沖底および小底では禁漁期を除いて周年にわたり漁獲されているが、定置網や刺し網では繁殖期に接岸する個体の漁獲も行われている。

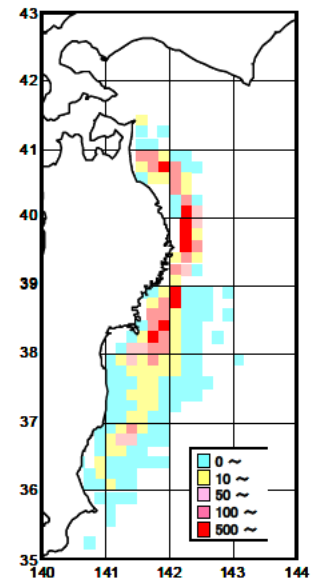


図4. 沖底による漁獲量(トン)の分布

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57～150点）。秋季には水深200～250mに水温躍層ができ、マダラはその下方に分布すること、鮫子が分布の南限であることから、設定された調査点は本海域のマダラの垂直、水平的な分布範囲をほぼ網羅している。調査によって得られたマダラ全個体について年齢を推定し、年齢別に面積一密度法を用いて資源量を推定した。この結果から、漁獲係数を変化させた場合の資源量と漁獲量の変化をシミュレートし、ABCを算定した。

(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、漁業種別では沖底による漁獲が最も多い。そのため、沖底のCPUEは長期的な資源変動を知るための一つの有力な指標になると考えられる。小海区域別に各漁法の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

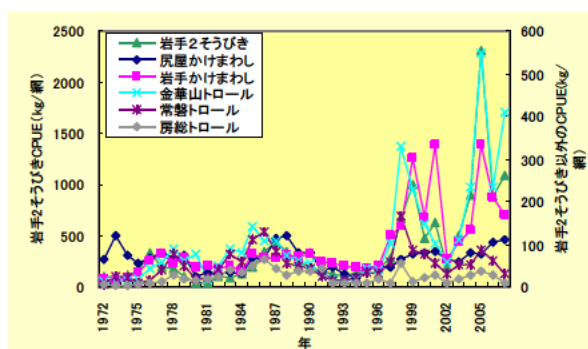


図5. 沖底によるCPUEの経年変化。2007年は暫定値。

が概して高い値を示しており、変動も非常に大きい。また、岩手かけまわしもそれらと同調する傾向にある。どの小海区のどの漁法においても 1990 年代後半の CPUE 値は高く、その後 2002 年にかけて減少した。近年は高い傾向にあるが変動は激しく、2005 年には岩手 2 そうびきと金華山トロールで過去最高を記録し、2006 年にはやや低い値となったが、2007 年には再び増加した (図 5)。

(3) 漁獲物の体長組成

2007 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の体サイズ組成を図 6 に示した。漁獲の中心は例年通り体長 40cm 以下の小型魚であり、50cm 以上の個体の割合は非常に低い。平均的な成長をした個体では満 2 歳の体長が 33.8cm であるため (図 2)、漁獲の中心は 1 歳魚であるといえることができる。

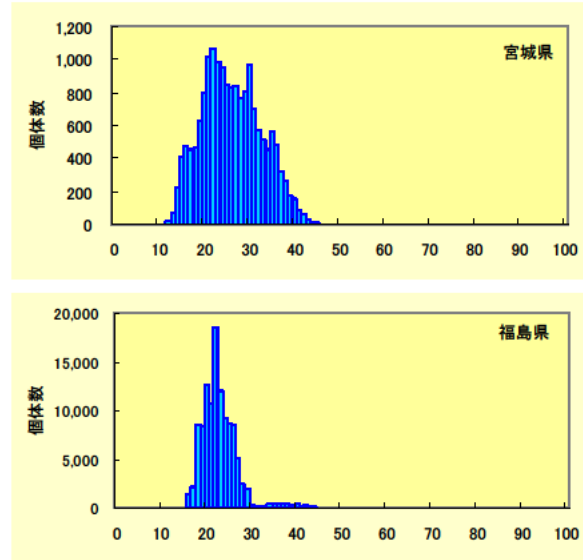


図6. 2007年に宮城県(石巻)および福島県(小名浜)に水揚げされた個体の体サイズ組成。宮城は被鱗体長(cm)、福島は全長(cm)で示している

(4) 資源量と漁獲割合の推移

資源量の推定は着底トロールによる直接推定法によって行った。詳細な計算方法については補足資料 2 を参照されたい。2008 年と 1996 年から 2007 年の資源量を比較すると、2007 年級の加入尾数(2008 年の 1 歳魚)は過去 13 年の中で最も少なかった。その値は加入が最も良かった 1997 年級および 1998 年級の 1/70 以下、最近の 3 年の 1/30 以下と極めて低い水準である。また、2 歳魚(2006 年級)および 3 歳魚 (2005

表3. 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	2007	2008
1	30,588	155,535	203,361	206,056	3,512	17,551	74,524	133,642	35,646	87,622	87,673	105,457	2,822
2	4,771	1,254	28,585	19,050	36,459	2,016	2,624	3,029	20,414	4,775	20,221	13,742	19,468
3	1,779	2,401	766	7,201	3,997	11,277	278	2,412	1,198	12,604	3,150	5,631	4,153
4	101	408	899	148	1,883	525	1,114	535	1,337	2,129	3,305	2,255	1,248
5以上	0	357	404	0	41	201	185	276	233	168	222	709	393
合計	37,239	159,955	234,015	232,455	45,892	31,570	78,725	139,893	58,828	107,298	114,572	127,795	28,084

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0.84、2才魚0.54、3才魚以上0.12とした

表4. 太平洋北部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	2007	2008
1	5,131	26,092	34,116	34,568	589	2,944	12,502	22,420	5,980	14,699	14,708	17,691	473
2	3,928	1,032	23,534	15,684	30,017	1,660	2,160	2,494	16,807	3,931	16,648	11,314	16,028
3	3,597	4,855	1,549	14,558	8,079	22,798	561	4,876	2,421	25,480	6,368	11,384	8,395
4	368	1,491	3,285	542	6,882	1,920	4,072	1,955	4,887	7,780	12,079	8,242	4,561
5以上	0	2,100	2,563	0	227	1,117	1,074	1,534	1,505	1,018	1,238	4,547	2,435
合計	13,025	35,570	65,048	65,351	45,794	30,438	20,370	33,279	31,600	52,909	51,041	53,179	31,893

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0.84、2才魚0.54、3才魚以上0.12とした

年級)は比較的多い。したがって、1 歳魚は極めて少ない一方で、2~3 歳魚は比較的高い水準を維持しているというのが現在の資源構造の特色である (表 3)。

資源量の変動に比べて、漁獲割合の変動は緩やかである。しかし、1997 年以降、漁獲割合は徐々に増加する傾向にある (図 7)。

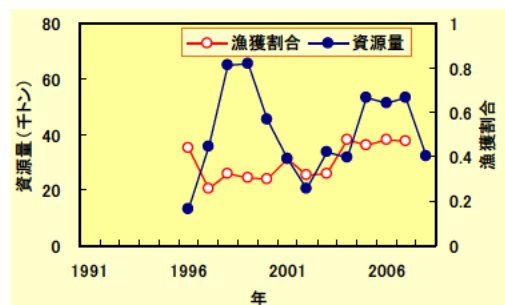


図7. 資源量と漁獲割合の経年変化

1997 年～2007 年に調査および商業的に漁獲されたマダラ満 3 歳魚の成熟、未熟を GSI と組織学的手法により調べたところ、雌の成熟率は 15.8～68.7%であり、年級間で大きく異なっていた（補足資料 4）。50% 成熟体長は 45.7～50.6cm で推移していた。各年の年齢別の成熟率、抱卵数の結果を盛り込んで個体群全体の抱卵数を求め、加入尾数との関係から再生産関係を求めた（図 8）。

その結果、過去 10 年間では、明瞭な再生産関係は認められていない。1998 および 2002 年は卓越年級であると考えられるが、これらが発生したときの卵数は 2 兆個前後と過去 10 年の中でもかなり低レベルに属していた。逆に 2007 年には、比較的卵数が多い状況で過去最低の加入が生じている。さらに、RPS（加入尾数／卵数）にもばらつきが大きく、過去 10 年では最大 100 倍以上の差が生じている（図 9）。RPS に大きなばらつきが生じる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ほか、親魚の年齢組成の影響も考えられるが、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 10 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

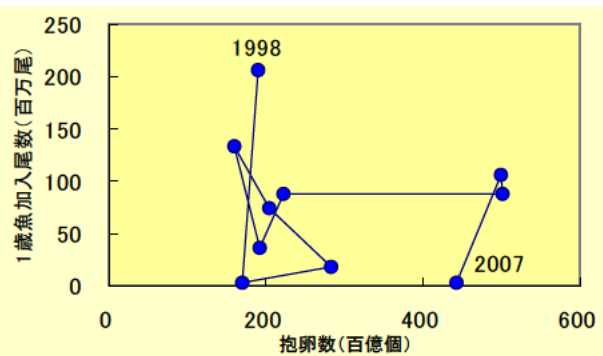


図8. 抱卵数と加入尾数の関係
数字は加入個体の年級

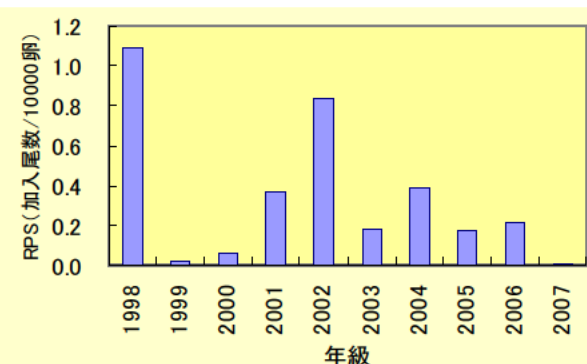


図9. RPSの時系列変化

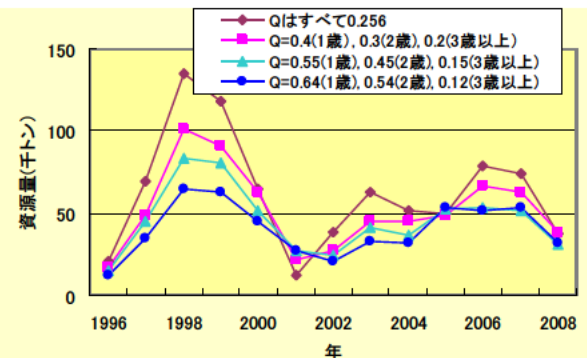


図10. Q を変化させたときの資源量の変化

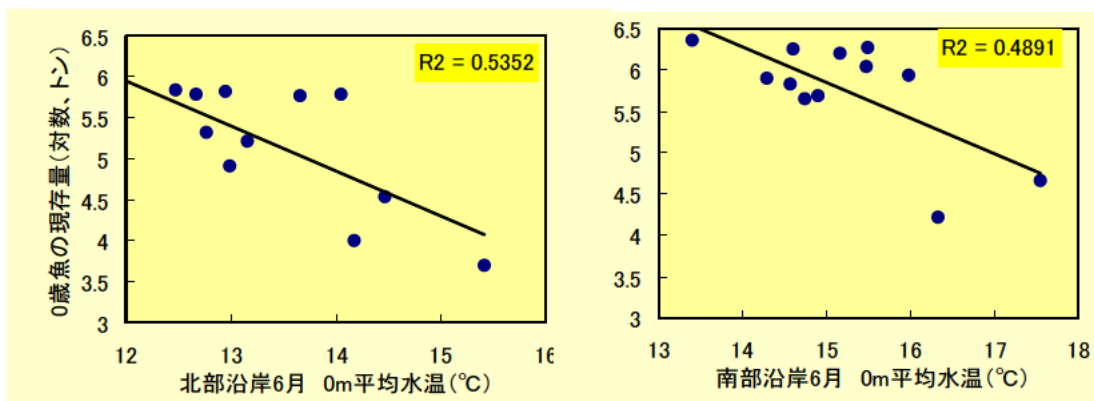


図 11. 太平洋北部における表面水温と 0 歳魚の資源量の関係

種の平均値(全年齢の Q は 0.256)および年齢別に变化させた場合の資源量の変動を示した。補足資料 2 に示した理由に基づき、 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。

図 11 に太平洋北部におけるマダラの加入量と水温との関係を示した。ここでの北部および南部はそれぞれ青森沖～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(清水ら 2003)。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この要因の解明が求められる。

(5) 資源の水準・動向

資源量は 1998、1999 年には多かったが、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 2004～2006 年級も比較的多かったため、資源状態は良好であった。同様に漁獲量や CPUE も 2002 年を底として増加し、2005～2007 年には高めで推移していた(表 2、図 5)。しかし、2007 年級の加入量は極めて少なく、2008 年の資源量推定値は 2003、2004 年とほぼ同レベルに低下する(表 3、図 7)。これらのことから、現在の資源水準は中位であると考えられる。また、最近年には資源量は減少したが、最近の 5 年間で見ると、2008 年の資源量は 5 年前とほぼ同水準であることから(図 11)、資源は横ばいにあると判断される。

水準：中位 動向：横ばい

(6) 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 7)。近年の生物情報に基づく YPR 曲線と SPR 曲線を図 12 に示した。年齢別資源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 0.59 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 6.7%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 1.23 である。

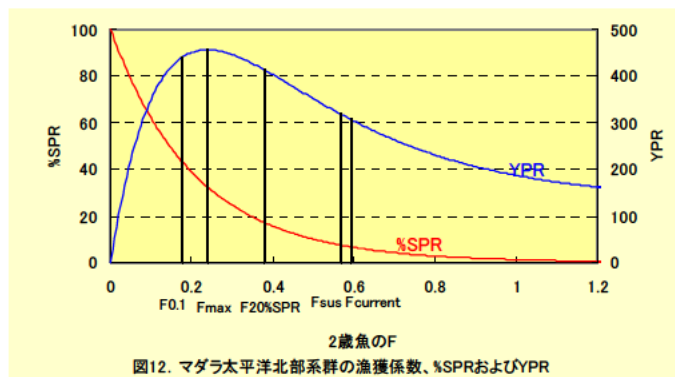


図12. マダラ太平洋北部系群の漁獲係数、%SPRおよびYPR

5. 2009 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、その後減少した。近年では、2003 年級は

やや少ないものの 2004～2006 年級は比較的多い。2007 年級は極めて少ないと考えられる。本系群のマダラでは、資源量や漁獲量に占める 1 歳魚の割合が高いため、2007 年のように個体数の極めて少ない年級が発生すると、資源や漁獲を巡る状況は一気に悪くなる。ただし、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高い水準で資源を維持させることが可能である。明瞭な再生産関係が認められないこともあり、現有資源の親魚までの生き残りを促しつつ、卓越年級の発生を阻害しないために当面の親魚量を一定量確保することを管理目標とした。

(2) ABC ならびに推定漁獲量の算定

2009 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。
- ・ 2003～2007 年に行った資源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。
- ・ 2008 年以降の年齢別の F の比率（選択率）は 2003～2007 年の平均値と同じと仮定する。2 歳を 1 とすると、1 歳＝2.07, 3 歳以上＝0.93 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 483mm で、1995～2007 年では満 3 歳魚の成熟率は平均 40%であったため、満 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。
- ・ 再生産関係が明瞭ではないため（図 8）、現段階では親魚量から加入量を推定するのは困難であり、これまでの資源評価では過去の平均的な加入量を用いてきた。しかしながら、上述のように本系群の 1 歳魚の加入量には極めて変動が大きい上に資源や漁獲に占める 1 歳魚の影響が大きいため、加入量に極端な多少が生じると、資源量推定値が大きく変化してしまう問題があった。この問題に対処し、ABC を算定する年の加入水準を事前に把握するため、マダラ仔稚魚の育成場において着底直後の分布密度を調べる調査を毎年 6 月に行ってきた。過去 6 年間の調査から、着底直後の密度は加入量の指標になりうることを示されつつある。そこで、2008 年 6 月の調査結果とこれまでの調査で得られた回帰式から 2008 年級の加入個体数を推定した。

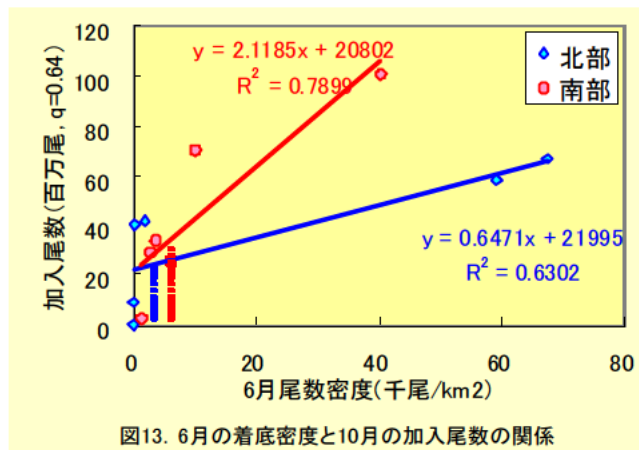


図13. 6月の着底密度と10月の加入尾数の関係

2008 年 6 月の北部海域（八戸沖）の密度は 132 尾/km²、南部海域（仙台湾）の密度は 2,624 尾/km²と推定された（図 13 の破線）。回帰式から加入尾数は北部海域で 22,080 千尾、南部海域で 26,361 千尾となり、合計 48,441 千尾と推定された。ただし、特に北部海域では、6 月の密度が非常に少ない年でも 4 千万尾程度の加入が認められている年が 2 年あり、6 月の密度が低い年の加入尾数にはふり幅が大きい。2008 年級の 6 月の密度も低い

ため、その加入尾数も推定値から大きく逸脱する可能性もある。

- 1990年代後半や2002年には卓越と判断される年級が発生し、さらに2004～2006年も加入は比較的多かった。1970年代からの漁獲量やCPUEから見ると近年の加入状況は例外的に良いものと思われる。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、今後、近年と必ずしも同じような状況が続くとは限らない。そのため、過去13年のうち、加入が少なかった7年間の平均値を2010年以降の加入量とした(36,038千尾, 6,046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2008年まで続くとする、2009年の初期資源量は35,213トンになる。
- 水準と動向は中位横ばいと判断されるので、平成20年度ABC算定のための基本規則1-3)-(2)に基づいて $F_{limit} = \text{基準値} \times \beta_1$ によってABCを算定した。基準値をF20%SPRとし、 β_1 を1とした。また、安全率0.8を F_{limit} に乗じたものを F_{target} とし、このときの漁獲量を ABC_{target} とした。

F30%SPR、F20%SPR、F0.1、F=M、 $F_{current}$ (年齢別に5年間の平均)および資源が安定したとき(2015年)の資源量を2008年レベルに保つF(F_{sus})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2013年の資源量は3万トンになる(図14、表5)。F30%SPR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、2013年

表5. F値(各年齢の平均)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)						
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
0.00		24,956	12,245	0	0	0	0	0	53,179	31,893	35,213	68,018	114,648	167,471	218,704
0.06	0.1 F_{sus}	24,956	12,245	1,980	3,188	4,823	6,586	8,190	53,179	31,893	35,213	63,085	100,384	140,112	176,268
0.19	0.3 F_{sus}	24,956	12,245	5,531	7,868	10,732	13,457	15,624	53,179	31,893	35,213	54,515	77,450	98,951	116,056
0.20	F0.1	24,956	12,245	5,702	8,061	10,936	13,654	15,800	53,179	31,893	35,213	54,112	76,431	97,211	113,621
0.24	0.64 F20%SPR	24,956	12,245	6,950	9,372	12,222	14,781	16,689	53,179	31,893	35,213	51,196	69,232	85,158	97,030
0.29	F30%SPR	24,956	12,245	7,893	10,256	12,968	15,303	16,960	53,179	31,893	35,213	49,026	64,068	76,779	85,800
0.31	0.8 F20%SPR	24,956	12,245	8,405	10,698	13,297	15,480	16,984	53,179	31,893	35,213	47,860	61,363	72,486	80,150
ほぼ F_{target} に相当															
0.38	F20%SPR	24,956	12,245	10,090	11,966	14,028	15,605	16,570	53,179	31,893	35,213	44,084	52,954	59,573	63,620
ほぼ F_{limit} に相当															
0.40	$F_{sim}(6\text{万トン})$	24,956	12,245	10,407	12,173	14,109	15,561	16,422	53,179	31,893	35,213	43,386	51,459	57,352	60,850
0.48	$F_{sim}(5\text{万トン})$	24,956	12,245	11,978	13,050	14,276	15,078	15,454	53,179	31,893	35,213	39,976	44,430	47,228	48,541
0.52	0.8 $F_{current}$	24,956	12,245	12,907	13,455	14,207	14,624	14,745	53,179	31,893	35,213	38,004	40,579	41,923	42,310
0.63	F_{sus}	24,956	12,245	14,686	14,001	13,779	13,510	13,234	53,179	31,893	35,213	34,321	33,826	33,075	32,304
0.66	$F_{current}$	24,956	12,245	15,133	14,091	13,619	13,195	12,841	53,179	31,893	35,213	33,416	32,258	31,111	30,155
0.79	1.2 $F_{current}$	24,956	12,245	17,079	14,272	12,728	11,734	11,149	53,179	31,893	35,213	29,579	26,022	23,677	22,297

$F_{current}$ は5年間のFの平均。 F_{sus} 、 $F_{sim}(5\text{万トン})$ 、 $F_{sim}(6\text{万トン})$ はそれぞれ資源が安定したとき(2015年)の資源量が2008年と同水準、5万トン、6万トン。

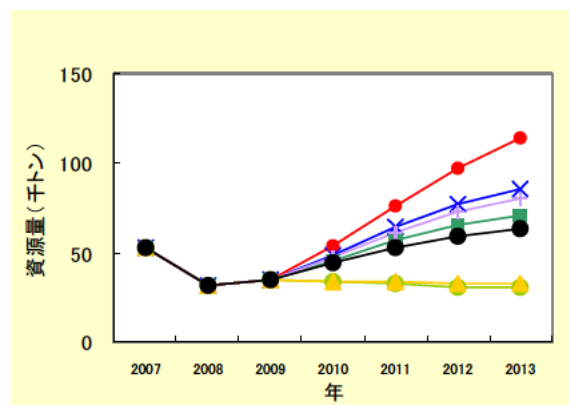
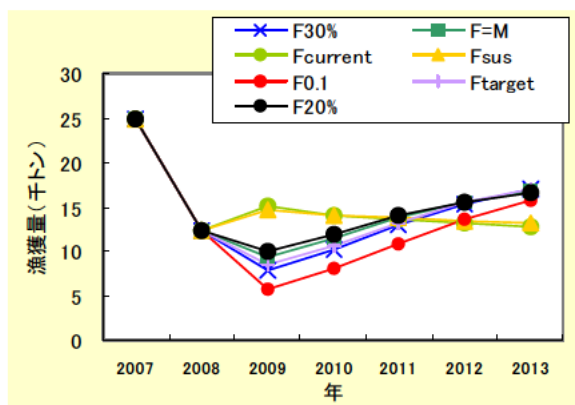


図14. さまざまな管理方策に基づく漁獲量(左)と資源量(右)の変動

の資源量はそれぞれ 8.6 万トン以上および 11.4 万トン以上となり、漁獲量も 1.7 万トン、1.6 万トンになる。F_{sus} で漁獲すると、資源は一度増加した後に若干減少し、2015 年に 2008 年と同レベルの 3.2 万トンになり、漁獲量は 1.3 万トン前後となる。F20%SPR で漁獲すると、2009 年の漁獲量は 1 万トンになるものの、その後の資源は増加し、2013 年には 6.4 万トンと過去最高であった 1998、1999 年に匹敵する水準となる。マダラは成長が非常によいことから、若齢魚の漁獲圧を下げることで資源の回復が見込める。親魚までの生き残りを促しつつ、当面の親魚量を一定量確保することができる F20%SPR を基準値とし、 β_1 を 1 とした。

その結果、ABClimit=10,090 トン、ABCtarget=8,405 トンと算出された。

	2009年ABC	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABC limit	101百トン	F20%SPR	0.38	29%
ABC target	84百トン	0.8F20%SPR	0.31	24%

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

(3) ABClimit の評価

本系群には明瞭な再生産関係は認められていないため、親魚量や産卵量に基づく将来予測は難しい。しかし、成長が非常に早いため、ある程度の加入量があれば資源が大きく減少することはない。そのため、加入量の将来予測に基づく長期的な展望を視野に入れた管理よりも現在いる資源の生き残りを促し、一定の親魚量を確保して卓越年級の加入を阻害しないといった管理の方が望ましいと考えられる。そこで F20%SPR を管理基準値として用いた。F20%SPR を Flimit として漁獲すると、2009 年の漁獲量は 1.0 万トンと現状よりも減少するものの、2010 年には 1.2 万トンになり、資源量も 2011 年には高位と判断できる水準にまで回復する。

マダラは成長が非常に早いことから、若齢魚に対する漁獲圧を少し控えることにより、資源の回復が見込める。2010 年以降の加入量は低めに見積もっているが、それでも基準値で漁獲すると 2011 年以降には高位水準となり、2013 年には過去最高に準じるレベルに達すると推定されることから、 β_1 は 1 とした。

(4) ABC の再評価

2008 年の ABClimit は当初 158 百トンであったが、これは加入量を卓越年級をのぞく過去の平均レベルと見積もったときの推定値であった。その後の調査で、2007 年級の加入量が極めて少ないことがわかり、再評価では資源量、ABClimit とともに大きく減少している。また、2007 年の ABClimit は再評価、再々評価でも 162~165 百トンであったのに対し、実際の漁獲量は 250 百トンと大幅に上回った。2007 年の漁獲量は暫定値で、近年では確定値は暫定値の

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)
2007年(当初)	F20%SPR(0.39)	477	131	108	
2007年(2007年再評価)	F20%SPR(0.34)	532	162	136	
2007年(2008年再評価)	F20%SPR(0.38)	532	165	138	250
2008年(当初)	F _{sus} (0.30)	533	158	132	
2008年(2008年再評価)	F20%SPR(0.38)	319	79	65	

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)

82%程度であるため、実際の漁獲量は 250 百トンよりも少ないことが想定されるが、それでも ABClimit よりも高い漁獲圧がかかっていると考えられる。

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 は現在の約 1.7 倍になる。さらに 1 歳を禁漁にすると YPR は 2.9 倍になる(図 15)。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増加傾向に転じ、2013 年には 4.8 万トンに回復する。1 歳を禁漁にすると漁獲量、資源量ともに急増し、2013 年の資源量は 8.2 万トン、漁獲量は 2.9 万トンとなり、過去最高の漁獲量になることから(図 16)、若齢魚取り残しの効果は大きい。

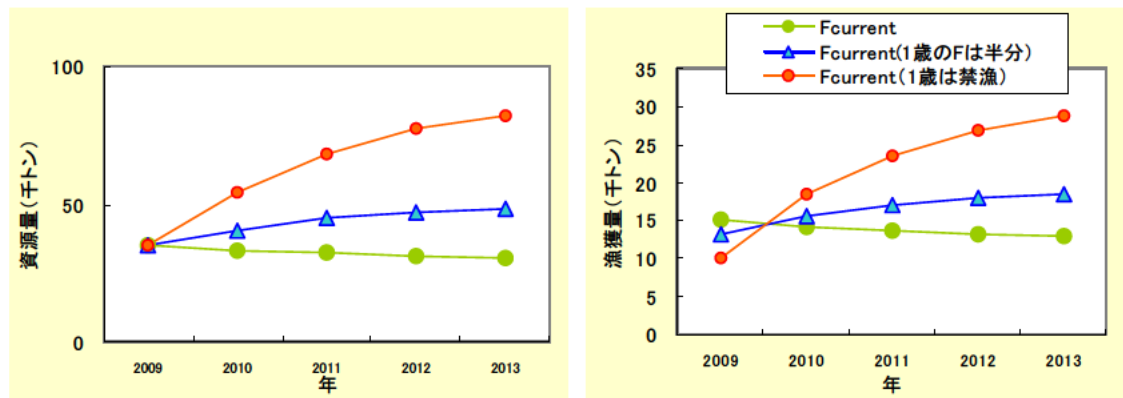
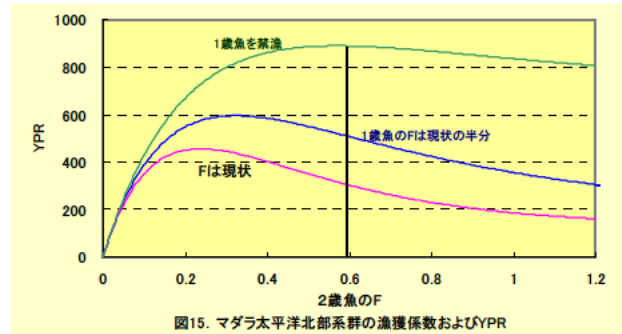


図 16. 1 歳魚の漁獲圧を変化させたときの資源量(左)と漁獲量(右)の変動

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.
- 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.
- 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.
- 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 1

使用したデータと資源評価の関係をフローチャートとして示した。



補足資料 2 資源計算方法

マダラ太平洋北部系群の資源量推定は、調査船による着底トロール調査の結果（補足資料 3）を用いた面積－密度法により行われている。まず、体長組成（0、1 歳魚）と耳石の透明帯の読みとり（2 歳魚以上）から漁獲されたすべての個体について年齢を査定した。次に北緯 38°50′で調査海域を南北に分け、2007 年には 100～200m、200～300m、300～400m、400～500m、500～600m、600～700m、700～800m および 800～1,000m の 8 水深帯、16 層に海域を層化した。南北および水深帯で層化した層（ i ）ごとに各調査点（ j ）において網着底から網離底までの距離を求め、それを曳網距離として用いた。オッターレコーダー（フルノ社製、CN-22A）でオッターボード間隔を測定し、漁具構成から得られたオッターボード間隔と袖先間隔の比（1:0.258）により袖先間隔を推定し、曳網距離に袖先間隔を乗じて i 層 j 地点の曳網面積（ a_{ij} ）を求めた。 i 層 j 地点の年齢別漁獲重量あるいは年齢別漁獲尾数（ C_{ij} ）を a_{ij} で除し、 i 層 j 地点の密度（ d_{ij} ）を算出し、その平均を i 層における密度 d_i とした。なお、 n_i は i 層の調査地点数を表す。

$$d_{ij} = \frac{C_{ij}}{a_{ij}} \quad (1)$$

$$d_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} d_{ij} \quad (2)$$

さらに、 i 層の平均密度（ d_i ）に i 層の海域面積（ A_i ）を乗じ、 i 層の資源量あるいは資源尾数（ B_i ）を求め、これらを合計することにより東北海域全体のマダラの資源量あるいは資源尾数（ B ）とした。

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

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

資源尾数については、体長 1 cm ごとに計算を行い、資源全体の年齢別体長組成を求めた。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ところ、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 であることが示されている（上田ら 2006）。マダラの食性や生息場所は成長とともに変わる。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。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。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。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。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。

i 層の密度の標準偏差（ SD_{di} ）を求め、 n_i と A_i により i 層における資源量あるいは資源尾数の標準誤差（ SE_{Bi} ）を計算し、調査海域全体における資源の標準誤差（ SE ）および変動係数（ CV , %）を下式により求めた。なお、ここで得られる CV とは資源量および資源尾数の指標

値に対する値であり、採集効率の推定誤差は含んでいない。

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

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

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

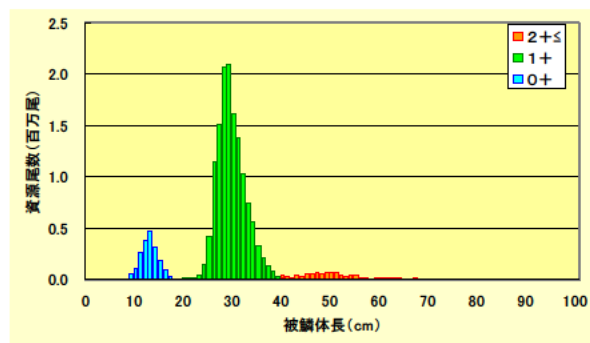
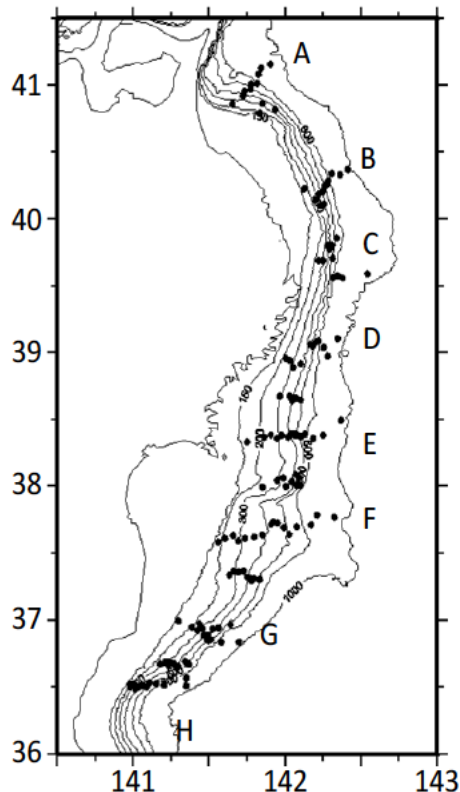
補足資料 3

調査船調査の経過及び結果

若鷹丸による底魚類資源量調査は、1995 年以降、秋季（10～11 月）に着底トロールを用いて実施されている。この調査で使用している着底トロール網の構成は、袖網長 13.0m、身網長 26.1m、網口幅が 5.4m であり、コッドエンドの長さは 5.0m である。コッドエンドは 3 重構造となっており、内網の目合が 50mm、外網の目合が 8mm 角、すれ防止用の最も外側を覆う網の目合が 60mm であり、小型個体も外網により採集可能な構造となっている。1 回の曳網時間は原則として 30 分間とし、全ての曳網は日の出から日没までの間に船速 2.5～3.5 ノットで行われている。船上で各々の曳網で採集されたマダラの尾数と重量を計数・計量した後、標準体長を計測し、体長 40cm 以下の大型個体については年齢査定用の耳石の採取を実施している。下記に 2007 年に行った調査結果の概要を示す。

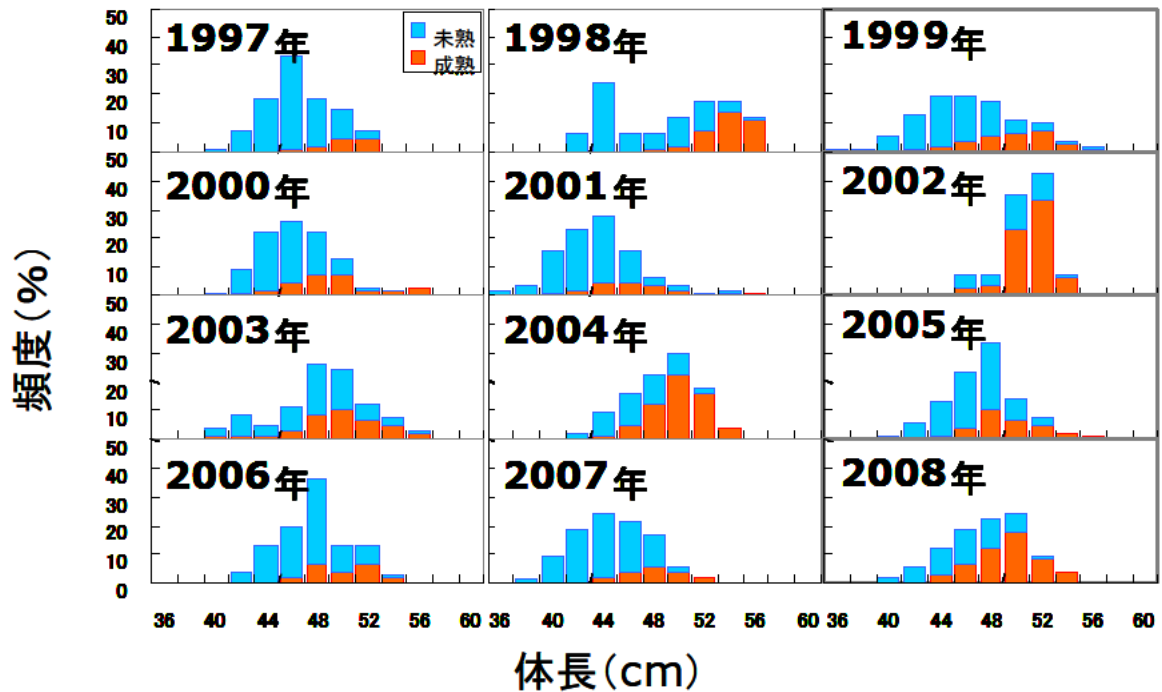
2007 年 10～11 月の調査では、水深 150～900m において計 150 地点の着底トロール調査を実施した。マダラの分布は水深 150～550m に確認され、250～450m に分布の中心が認められ

た。面積－密度法（補足資料 2）により資源全体に引き延ばした体長組成を推定した結果、現在の資源は体長 20cm 以下の 0 歳魚が非常に少ない一方で、1 歳魚が非常に多いことが明らかになった。なお、2007 年の調査における年齢別の CV は 0+で 0.37, 1+で 0.11, 2+で 0.14 であった。



2007 年 10～11 月の資源量調査点図(左)ならびに調査におけるマダラの年齢別体長組成(上)。年齢別採集効率は本文参照。

補足資料 4 満 3 歳魚の体長組成と成熟



別図 1. マダラ雌の満 3 歳魚の体長組成と成熟率の時系列変化