

平成 21 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：青森県産業技術センター水産総合研究所、岩手県水産技術センター、宮城県水産技術総合センター、福島県水産試験場、茨城県水産試験場

要 約

太平洋北部におけるマダラの資源量、漁獲量は 1998、1999 年に非常に多かったが、その後は 2002 年にかけて減少した。2005～2007 年にかけては、加入が比較的良かったこともあり、資源量、漁獲量ともに高い水準となっていた。しかし、2007 年級の加入が非常に悪く、その影響で 2008 年の資源量は少なくなった。それでも漁獲量、沖合底びき網漁業の CPUE ならびに資源量は 2003、2004 年とほぼ同じであり、長期的な比較から中程度のレベルを保っていることから、資源水準は中位、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 21 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。

	2010年ABC	資源管理基準	F 値	漁獲割合
ABC limit	117百トン	$F20\%SPR$	0.43	30%
ABC target	97百トン	$0.8F20\%SPR$	0.34	25%

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
2007	531	201	0.57	38%
2008	321	164	0.87	51%
2009	338			

水準：中位 動向：横ばい

本件資源評価に使用するデータセットは以下のとおり

データセット	基礎情報、関係調査など
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）
2009年級加入量	カレイ類・マダラ0歳魚分布調査（水研セ） ・着底トロール

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。太平洋北部海区（青森～茨城沖）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。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く、2008 年の加入も最近 10 年の平均程度であったため、2009 年の資源状態は 2003 年および 2004 年と同レベルになっている。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。

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、

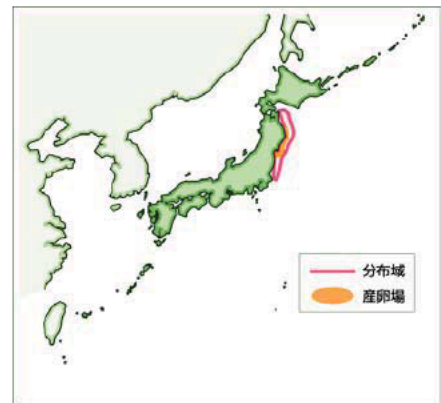


図 1. 太平洋北部におけるマダラ分布

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)。

(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

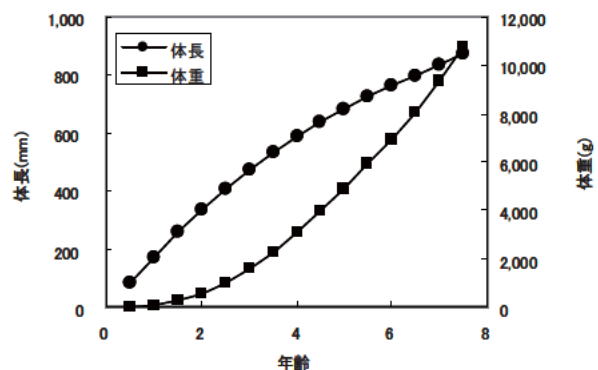


図 2. 太平洋北部におけるマダラの成長

する(図2)。成長は年によって変化し、マダラ自体の密度や春季の親潮第一分枝の流入強度が作用していると考えられている(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。

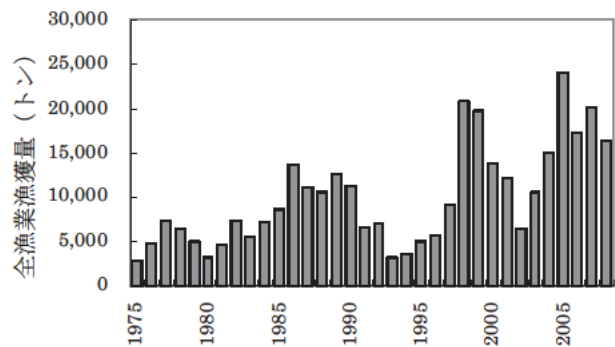


図3. 太平洋北部におけるマダラの漁獲量
2008年は暫定値

(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、

表1. 漁業種別マダラの漁獲量(単位トン) 2008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	11,247
小底	1,897	614	295	157	278	430	701	494	823	1,245	768	764	731	911	996
刺網	704	372	238	438	166	322	426	897	799	828	786	817	1,004	648	766
延縄	1,698	886	3,181	395	546	633	806	1,976	2,267	2,981	2,977	1,803	1,298	1,901	1,956
定置	1,803	1,629	807	384	462	278	207	283	239	264	107	153	58	65	63
その他	333	82	103	88	106	104	201	111	1,552	982	165	393	84	182	238
計	11,299	6,599	6,944	3,320	3,571	4,943	5,688	9,094	20,753	19,819	13,749	12,143	6,551	10,610	15,267

	2005	2006	2007	2008
沖底	22,101	11,236	13,981	9,069
小底	955	1,565	2,194	1,657
刺網	1,070	1,253	947	566
延縄	2,243	2,401	2,595	1,257
定置	190	463	72	167
その他	171	396	358	3,686
計	26,729	17,314	20,147	16,402

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

沖合底びき網漁業（沖底）で最も多く漁獲され、次いで延縄、小型底びき網漁業（小底）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や刺し網による操業も行われている。漁獲対象となるのは生後満1歳ぐらいからで、狙い操業が多いため漁獲圧が強く、近年は特に若齢魚（1歳魚）に対する漁獲圧が強い。

(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。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2万7千トンを記録した。その後は減少に転じ、2008年も暫定値で1万6千トンとなっている（図3、表1）。

漁業種類別の漁獲量を見ると、ほとんどの年で沖底による漁獲が最も多く、次いで延縄、小底および定置網による漁獲が多い（表1）。2007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、定置網や刺網では繁殖期に接岸する個体も漁獲されている。

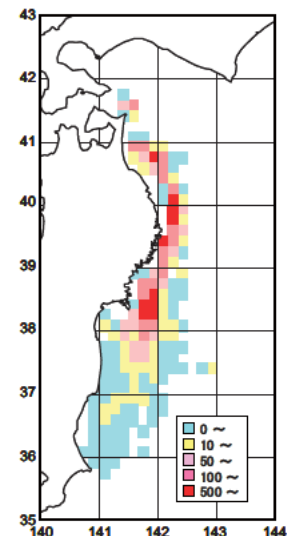


図4. 沖底による2007年の漁獲量（トン）の分布

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

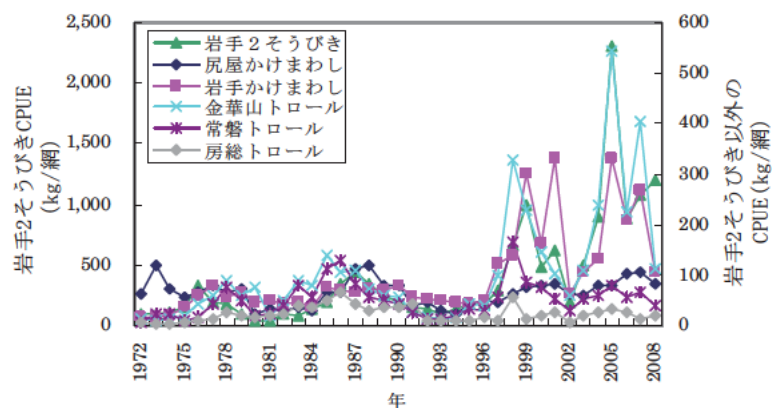


図5. 沖底によるCPUEの経年変化
2008年は暫定値

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—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。また、2010 年の加入量は 6 月に行った加入量調査結果から推定した。

(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。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た。2008 年は暫定値ではあるが岩手 2 そうびきを除き軒並み減少し、2004 年と同レベルになった (図 5)。

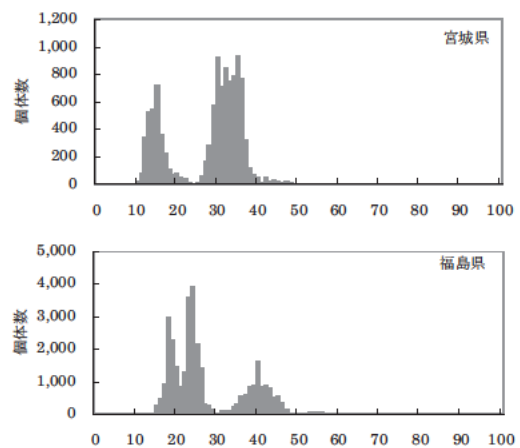


図 6. 2008 年に宮城県（石巻）および福島県（小名浜）に水揚げされた個体の体サイズ組成。宮城は被鱗体長 (cm)、福島は全長 (cm)

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	2007	2008	2009
1	30,588	155,535	203,361	206,056	3,512	17,551	74,524	133,642	35,646	87,622	87,673	105,457	2,822	70,132
2	4,757	1,250	28,500	18,993	36,350	2,010	2,616	3,020	20,352	5,064	21,447	14,521	19,957	835
3	1,832	2,472	789	7,414	4,115	11,611	286	2,483	1,233	12,613	3,153	5,586	4,159	8,564
4	102	415	915	151	1,917	535	1,135	545	1,362	2,109	3,275	2,142	1,213	792
5以上	0	306	253	0	42	204	167	281	135	126	220	394	264	139
合計	37,280	159,979	233,818	232,614	45,936	31,911	78,727	139,970	58,729	107,535	115,768	128,101	28,414	80,508

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	2009
1	5,131	26,092	34,116	34,568	589	2,944	12,502	22,420	5,980	14,699	14,708	17,691	473	11,765
2	3,916	1,029	23,464	15,637	29,927	1,655	2,154	2,486	16,756	4,169	17,658	11,955	16,430	687
3	3,704	4,998	1,595	14,989	8,319	23,472	578	5,021	2,493	25,499	6,373	11,294	8,408	17,312
4	374	1,518	3,345	552	7,007	1,955	4,147	1,991	4,976	7,709	11,968	7,827	4,432	2,895
5以上	0	2,138	2,610	0	231	1,137	1,138	1,562	1,563	1,052	1,226	4,370	2,391	1,124
合計	13,126	35,776	65,130	65,745	46,073	31,163	20,517	33,480	31,768	53,129	51,933	53,137	32,135	33,784

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

(3) 漁獲物の体長組成

2008 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

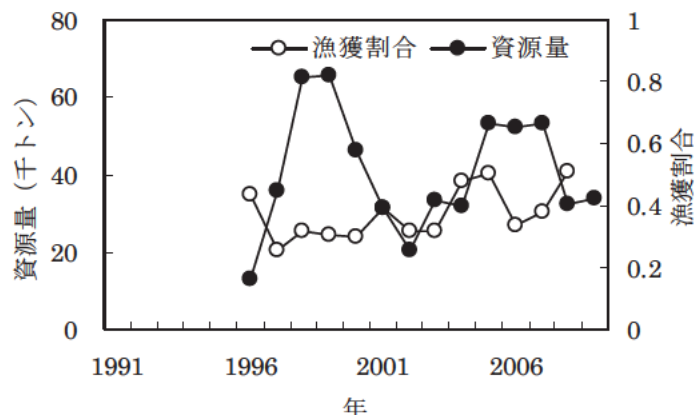


図7. 資源量と漁獲割合の経年変化

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 歳魚と 2 歳魚であると考えられる。

(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。2009 年と 1996 年から 2008 年の資源を比較すると、2008 年級の加入尾数 (2009 年の 1 歳魚) は 70,137 千尾で、過去 14 年の中で 9 番目に多い。その値は加入が最も良かった 1997 年級および 1998 年級の 1/3 程度で過去 10 年間の平均値とほぼ同レベルである。2 歳魚は極めて少なく、過去 14 年で最低の水準となっている。その一方で 3 歳魚は比較的多く、資源重量ではすべての年齢の中で最も多い。したがって、1 歳魚は平均的なレベルで、2 歳魚は極めて少なく、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 2)。

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)。

1997 年～2008 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。

その結果、過去 11 年間では、明瞭な再生産関係は認められていない (図 8)。1998 年および 2002 年は卓越年級であると考えられるが、これらが発生したときの卵数は 2 兆個前後と過去 11 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。また、RPS (加入尾数/卵数) にもばらつきが

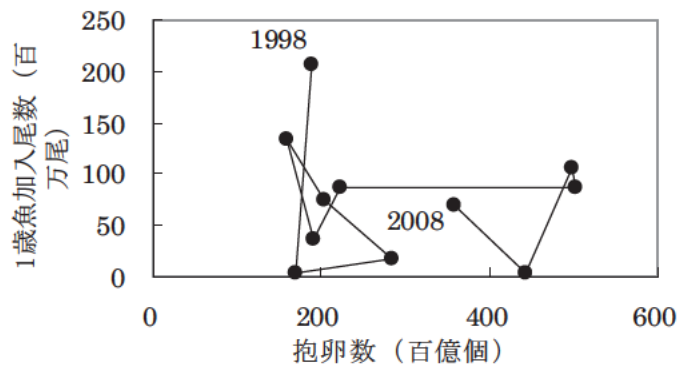


図8. 抱卵数と加入尾数の関係
数字は加入個体の年級

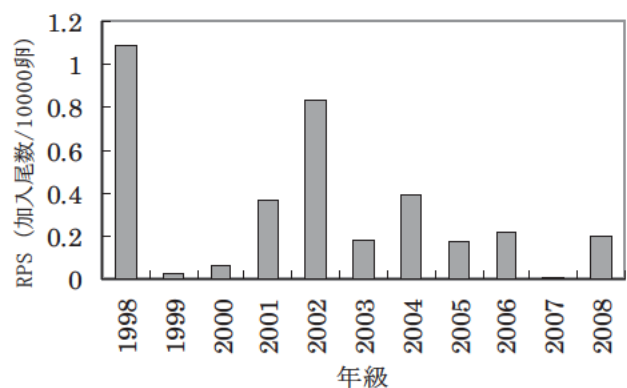


図9. RPSの時系列変化

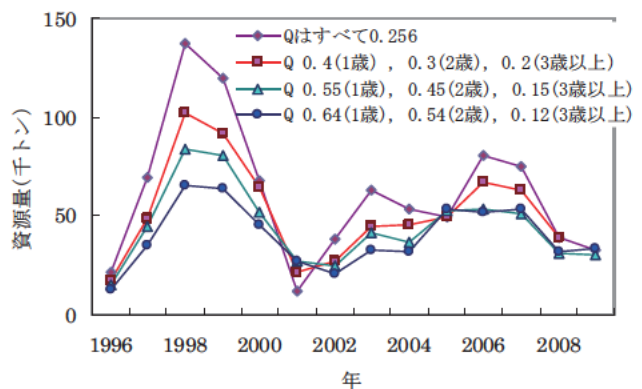


図10. Qを変化させたときの資源量の変化

大きく、過去 11 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。

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 に設定したものを資源診断、ABC 算定に用いたが、感度分析として採集効率 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。

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と加入量の間には負の相関があることが示された（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。

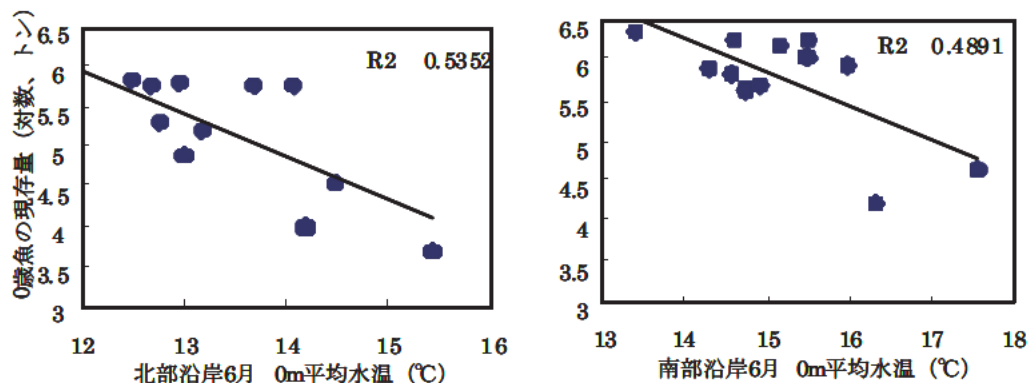


図 11. 太平洋北部における表面水温と 0 歳魚の資源量の関係

(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 1、図 5）。しかし、2007 年級の加入量は極めて少なく、2008 年級の加入も平均的であったことから、2008 ならびに 2009 年の資源量推定値は 2003、2004 年とほぼ同レベルに低下している（表 2、図 7）。また、2008 年の漁獲量および CPUE も 2003、2004 年と同レベルにある（表 1、図 3、5）。これらのことから、現在の資源動向は横ばいであると考えられる。また、長期的に見て、漁獲量、CPUE ならびに資源量は中程度のレベルにあることから、資源は中位水準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）。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 0.58 で、一般にいわゆ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 6.2%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 1.08 である。

5. 2010 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 年級は極めて少なく、2008 年級は平均的な水準である。本系群のマダラでは、資源量や漁獲量に占める 1、2 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。そこで、親魚までの生き残りを高めることで現有資源を有効利用しつつ、次世代の加入を促すことを管理目標とした。

(2) ABC ならびに推定漁獲量の算定

2010 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。
- ・ 2004～2008 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。
- ・ 2009 年以降の年齢別の F の比率（選択率）は 2004～2008 年の平均値と同じと仮定する。2 歳を 1 とすると、1 歳 1.85、3 歳以上=1.27 となる。
- ・ 年齢別の体重は図 2 のとおり。なお、雌の 50%成熟体長は 483mm で、1996～2008 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

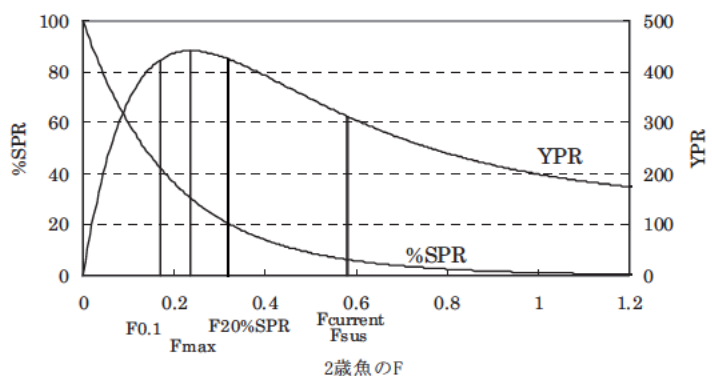


図12. マダラ太平洋北部系群の漁獲係数、%SPRおよびYPR

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、前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と、加入

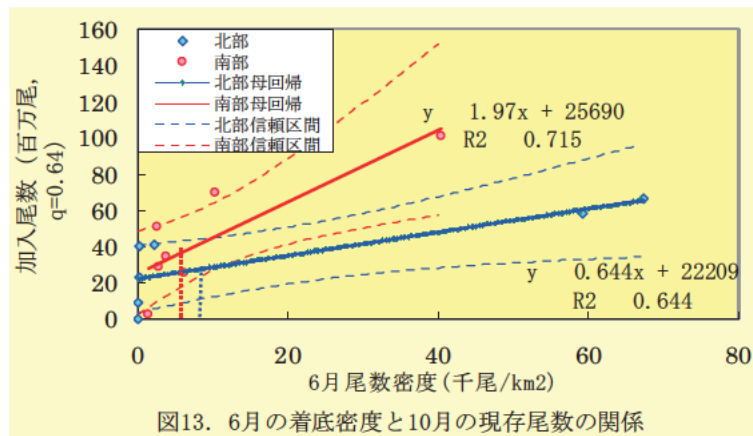


図13. 6月の着底密度と10月の現存尾数の関係

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7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り、昨年からの分布密度を用いて加入水準を推定している(2008年は6月推定値48,441千尾に対し10月確定値73,882千尾)。今年も昨年同様に、2009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2009年級の加入個体数を推定した。

その結果、2009年6月の北部海域(八戸沖)の密度は8,508尾/km²、南部海域(仙台湾沖)の密度は5,498尾/km²と推定された(図13)。回帰式から加入尾数は北部海域で27,685千尾、南部海域で36,531千尾となり、合計64,216千尾と推定された。回帰式は南北ともに加入尾数が極端に多い1もしくは2年に強く影響を受けており、95%信頼区間も広い。そのため、加入尾数も推定値から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14年のうち、加入が少なかった8年間の平均値を2011年以降の加入量とした(40,300千尾、6,761トン)。

表4. 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)						
		2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
0.00		16,402	16,907	0	0	0	0	0	32,135	33,784	38,763	86,143	149,190	216,824	273,655
0.08	0.1 F _{sus}	16,402	16,907	2,476	4,616	7,857	10,842	13,083	32,135	33,784	38,763	79,687	129,909	178,638	215,221
0.23	0.3 F _{sus}	16,402	16,907	6,889	11,244	16,843	20,890	23,177	32,135	33,784	38,763	68,402	98,960	122,540	135,863
0.23	F _{0.1}	16,402	16,907	6,805	11,137	16,725	20,788	23,100	32,135	33,784	38,763	68,615	99,512	123,480	137,122
0.27	0.64 F _{20%SPR}	16,402	16,907	8,030	12,623	18,245	21,988	23,881	32,135	33,784	38,763	65,536	91,681	110,357	119,800
0.33	F _{30%SPR}	16,402	16,907	9,079	13,771	19,241	22,574	24,049	32,135	33,784	38,763	62,917	85,244	99,929	106,424
0.34	0.8 F _{20%SPR}	16,402	16,907	9,716	14,411	19,715	22,753	23,962	32,135	33,784	38,763	61,336	81,457	93,950	98,919
ほぼF _{target} に相当															
0.43	F _{20%SPR}	16,402	16,907	11,671	16,108	20,604	22,597	23,001	32,135	33,784	38,763	56,535	70,427	77,225	78,605
ほぼF _{limit} に相当															
0.61	0.8 F _{current}	16,402	16,907	15,449	18,248	20,268	20,134	19,361	32,135	33,784	38,763	47,470	51,609	51,265	49,288
0.76	F _{sus}	16,402	16,907	17,992	18,850	18,875	17,597	16,462	32,135	33,784	38,763	41,551	40,816	38,018	35,534
0.77	F _{current}	16,402	16,907	18,064	18,857	18,825	17,521	16,381	32,135	33,784	38,763	41,386	40,533	37,689	35,204
0.92	1.2 F _{current}	16,402	16,907	20,324	18,819	17,042	15,090	13,918	32,135	33,784	38,763	36,271	32,247	28,478	26,217

F_{current}は5年間のFの平均、F_{sus}は資源が安定したとき(2016年)の資源量が2009年と同水準。

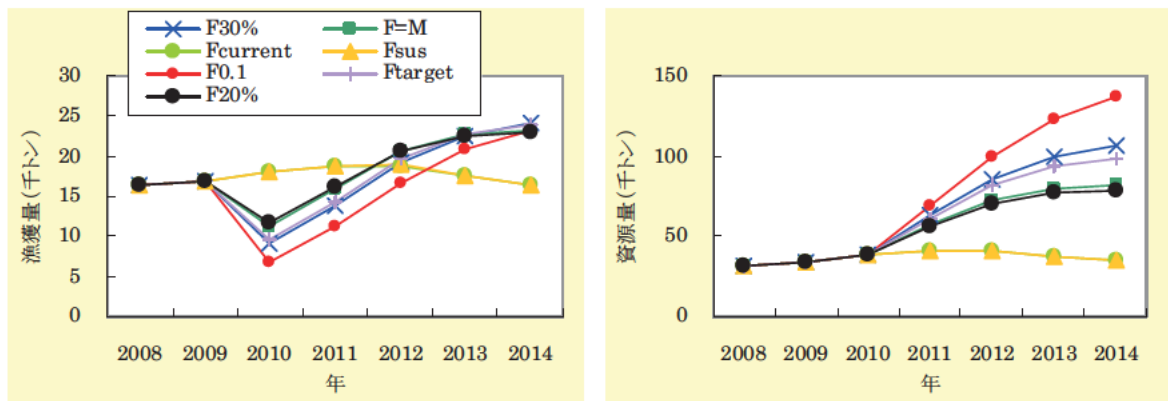


図 14. さまざまな管理方策に基づく漁獲量（左）と資源量（右）

- ・ 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状の漁獲が 2009 年まで続くとする、2010 年の初期資源量は 38,763 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 21 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 ABCtarget とした。

F30%SPR、F20%SPR、F0.1、F=M、Fcurrent（年齢別に 5 年間の平均）および資源が安定したとき（2016 年）の資源量を 2009 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ほぼ横ばいの傾向を示し、5 年後の 2014 年の資源量は 3.5 万トンになる（図 14、表 4）。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、2014 年の資源量はそれぞれ 10.6 万トンおよび 13.7 万トンとなり、漁獲量も 2.4 万トン、2.3 万トンになる。Fsus で漁獲すると、資源は一度増加した後若干減少し、2016 年に 2009 年と同レベルの 3.4 万トンになり、漁獲量は 1.6 万トン前後となる。F20%SPR で漁獲すると、2009 年の漁獲量は 1.2 万トンになるものの、その後の資源は増加し、2014 年には 7.9 万トンと過去最高であった 1998、1999 年を越す水準となる。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。さらに F に不確実性を考慮した安全率 α (0.8) を乗じたものを F_{target} とした。

その結果、 $ABClimit = 11,671$ トン、 $ABCtarget = 9,716$ トンと算出された。

	2010年ABC	資源管理基準	F 値	漁獲割合
ABC limit	117百トン	F20%SPR	0.43	30%
ABC target	97百トン	0.8F20%SPR	0.34	25%

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、2010 年の漁獲量は 1.2 万トンと現状よりも減少するものの、2010 年には 1.6 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。2011 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、2012 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、 B_1 は 1 とした。

(4) ABC の再評価

2008 年の **ABClimit** は 2009 年の再評価でも 0.9 万トンであったのに対し、実際の漁獲量は 1.6 万トンと大幅に上回った。2008 年の漁獲量は暫定値で、近年では確定値は暫定値の 85%程度であるため、実際の漁獲量は 1.6 万トンよりも少ないと考えられるが、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。

2009 年の資源量、**ABClimit** は当初それぞれ 3.5 万トン、1 万トンであった。これは 2 歳魚以上には 2008 年の資源量に現在（最近 5 年平均）の漁獲圧を乗じ、1 歳魚には 2008 年 6 月の加入量調査を元に推定したものであった。2008 年 10～11 月に行われたトロール調査結果から、資源量は 3.4 万トンに修正され、これに年齢別の漁獲率の変化も加味することで **ABClimit** は 1.1 万トンと推定された。

評価対象年 (当初・再評価)	管理 ¹ 基準	F値	資源量 (百トン)	ABClimit (百トン)	ABClimit (百トン)	漁獲量 (百トン)
2008年（当初）	Fsus	0.39	533	158	132	
2008年（2008年再評価）	F20%SPR	0.34	321	79	65	
2008年（2009年再評価）	F20%SPR	0.38	321	86	71	164
2009年（当初）	F20%SPR	0.30	352	101	84	
2009年（2009年再評価）	F20%SPR	0.63	338	110	92	

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

6. ABC 以外の管理方策への提言

マダラは非常に成長が早く、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、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、資源量は 2014 年には 7 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、2014 年の資源量は 8.6 万トン、漁獲量は 3.5 万トンとなり、過去最高の漁獲量になることから(図 15)、若齢魚取り残しの効果は大きい。

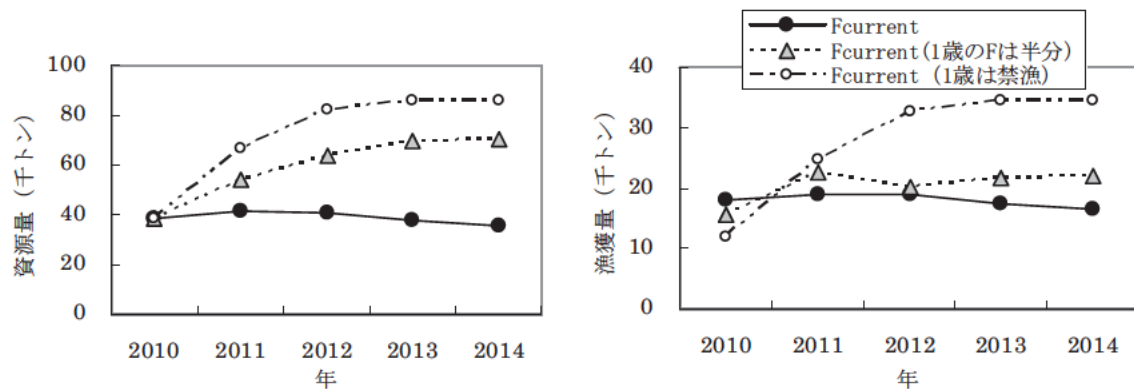


図 15. 1 歳魚の漁獲圧を変化させたときの資源量 (左) と漁獲量 (右)

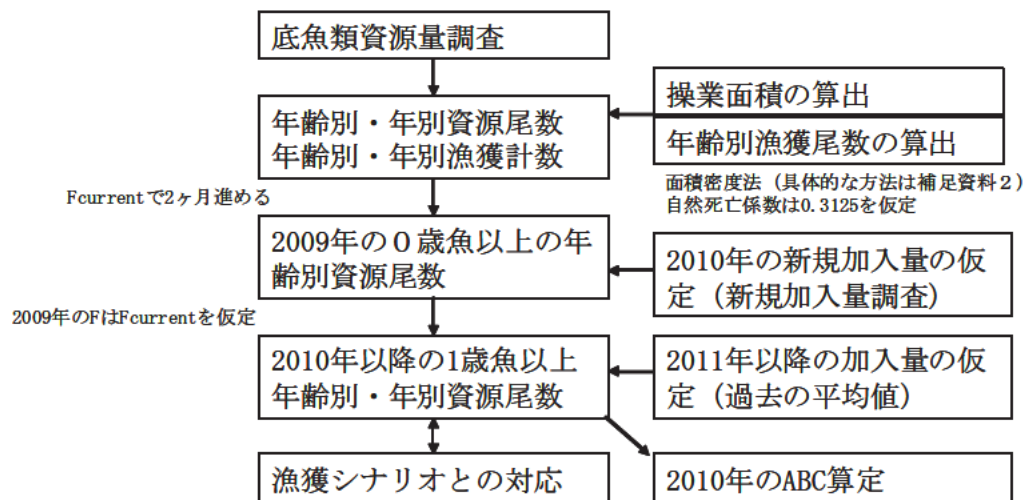
8. 引用文献

- 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. Oceanogra., 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。

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

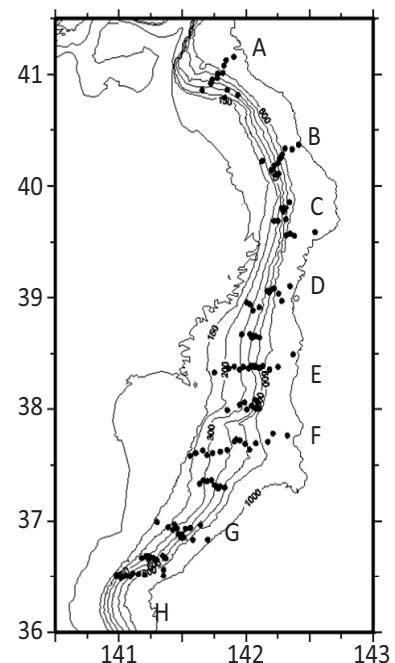
$$SE = \sqrt{\sum SE_{B_i}^2} \quad (6)$$

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

補足資料 3

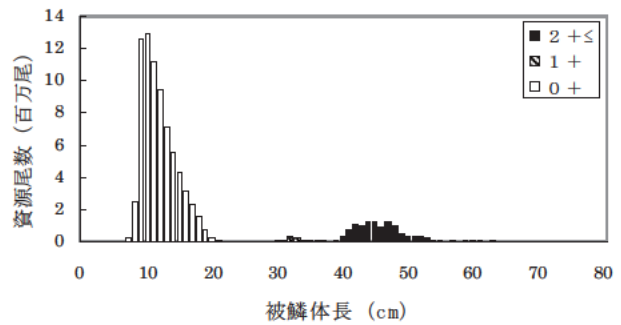
調査船調査の経過及び結果

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 以上の大型個体については年齢査定用の耳石の採取を実施している。下記に 2008 年に行った調査結果の概要を示す。



2008 年 10～11 月の資源量調査点図

2008 年 10～11 月の調査では、水深 150～900m において計 148 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 歳魚が比較的多い一方で、体長 25～35cm の 1 歳魚が非常に少ないことが明らかになった。なお、2008 年の調査における年齢別の CV は 0+で 0.28、1+で 0.29、2+で 0.17 であった。



調査におけるマダラの年齢別体長組成
年齢別採集効率は本文参照

補足資料 4 満 3 歳魚の体長組成と成熟

