

平成 24 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、稲川 亮）

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、漁獲量は増減を繰り返しつつも長期的には増加傾向にある。近年では、2005～2007 年には直近 3 年の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た。2008 および 2009 年級の加入は平均的で 2008～2010 年の資源量はやや少なかった。2012 年は 2 歳魚が極めて多い上に 3、4 歳魚も多く、資源水準は高位で、動向も増加と判断される。

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、親魚までの生き残りを促しつつ親魚量を確保することを管理目標とし、F20%SPR を管理基準とした。ABC 算定のための基本規則 1-3)-(1)に基づき $F_{limit} = F20\%SPR$ 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。

	2013年ABC	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABC _{limit}	425百トン	F20%SPR	0.41	28%
ABC _{target}	353百トン	0.8F20%SPR	0.33	23%
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
2010	388	264	1.46	68%
2011	639	134	0.45	21%
2012	1,179			

年は暦年、2011年の漁獲量は暫定値。

水準：高位 動向：増加

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獲成績報告書（水産庁） 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）
2012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、資源は一度減少した。その後は加入が安定しており、2011年には2、3歳魚も多く高い水準になった。さらに2012年には東日本大震災による漁獲圧の低下により、資源は極めて高い水準になっている。

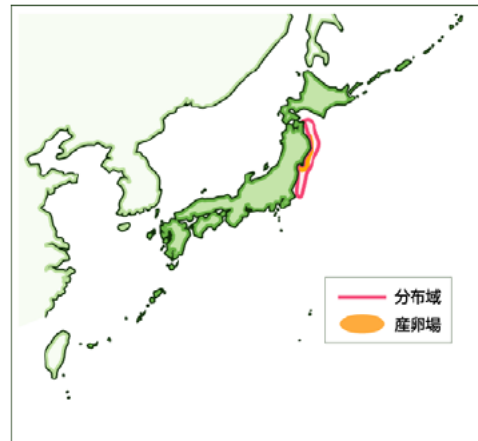


図1. 太平洋北部におけるマダラ分布

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 (福田ほか 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の動向には関連が認められない。そのため、陸奥湾で産卵し、北海道太平洋側に回遊する群を太平洋北部系群とは別系群であると判断し、ここでは扱っていない。

また、仔稚魚や産卵回遊期以外の分布水深は100～550mで（服部ほか 2002）、季節的な浅深移動を行う（橋本 1974）。南北移動については明らかになっていない。

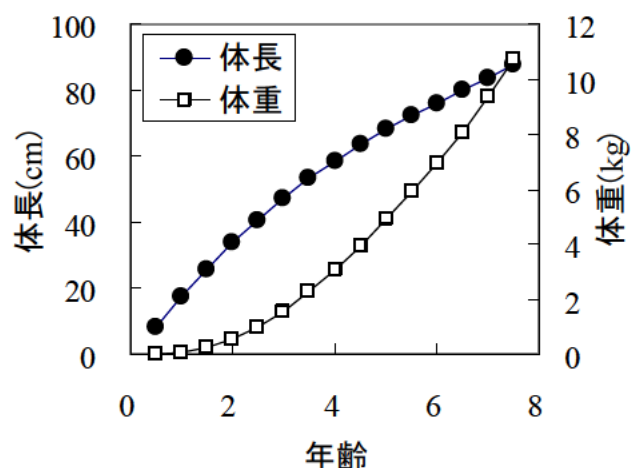


図2. 太平洋北部におけるマダラの成長

(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、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、8 歳で体長 90cm、体重 10kg に達する（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、Narimatsu et al. 2010）。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 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（服部ほか 1995）。また、1990 年代後半以降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（16～69%）もしくは 4 歳で、4 歳以上はほぼすべての個体が成熟し、成熟後は毎年産卵すると考えられている（成松 2006、Narimatsu et al. 2010）。

(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1. 漁業種別マダラの漁獲量（単位トン） 2011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	2009	2010	2011
沖底	22,101	11,236	13,981	8,556	15,896	21,039	8,977
小底	955	1,565	2,194	850	1,457	1,116	578
刺網	1,070	1,253	947	951	1,411	1,595	1,034
延縄	2,243	2,401	2,595	2,067	1,865	1,976	455
定置	190	463	72	437	140	216	276
その他	171	396	358	717	528	546	2,099
計	26,729	17,314	20,147	13,578	21,296	26,488	13,419

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（沖底）で最も多く、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満1歳ぐらいからで、狙い操業が多いため漁獲圧が強く、最近の10数年は特に若齢魚（1歳魚）に対する漁獲圧が強い。

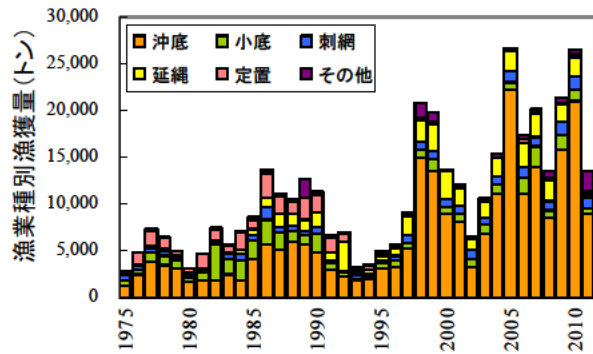


図3. 太平洋北部におけるマダラの漁獲量
2011年は暫定値。

(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（図3）、1980年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。1995年以降再び増加に転じ、1998年および1999年にはほぼ2万トンに達した。その後の変動は大きく、2002年には6千トン台に減少したが、2003年には1万トン台に回復し、2005年には2万7千トンを記録した。その後は増減を繰り返し、2010年は2万6千トンとなったが、2011年は東日本大震災の影響もあり、1万3千トン（暫定値）まで減少している（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）。2010年の沖底では青森県から茨城県の沖合の広い範囲で漁獲されており、特に青森県沖から宮城県沖での漁獲が多い（図4）。沖底および小底では7、8月の禁漁期を除いて周年にわたり漁獲しているが、定置網や刺し網では産卵期に接岸する個体も漁獲している。

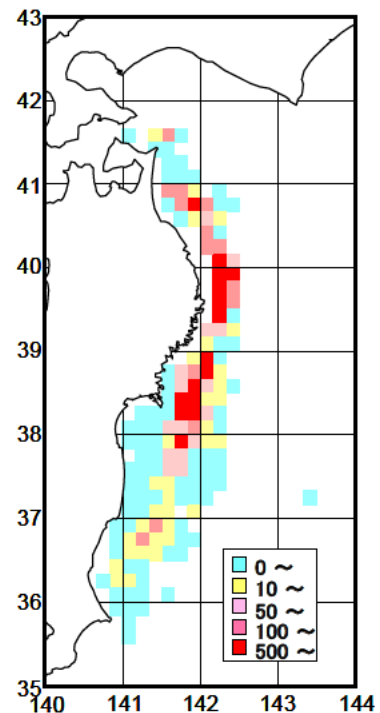


図4. 沖底による2010年の
漁獲量（トン）の分布

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、犬吠埼沖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できており、面積一

密度法で資源量を推定することが可能であると考えられる。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、面積—密度法を用いて年齢別に資源量を推定した。詳細な計算方法については補足資料 2 を参照されたい。

(2) 資源量指標値の推移

上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指標になると考えられる。小海区別に沖底の CPUE を見ると、主漁場である岩手 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いる。尻屋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。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 (図 5)。

(3) 漁獲物の体長組成

2011 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。宮城県の漁獲の中心は例年通り体長 40cm 以下の小型魚だった。一方、福島県の漁獲物では全長 20cm 前後の小型の個体も多く漁獲されていたものの、40cm 以上の個体も比較的多く含まれていた。平均的な成長をした個体では、満 2 歳と満 3 歳の体長がそれぞれ 33.8cm、47.4cm であるため (図 2)、宮城の漁獲の中心はほぼ 2 歳魚で、福島は 3 歳までの個体であると考えられる。上述のように成熟開始年齢は 3 歳であることから、未成魚が漁獲の中心ということになる。

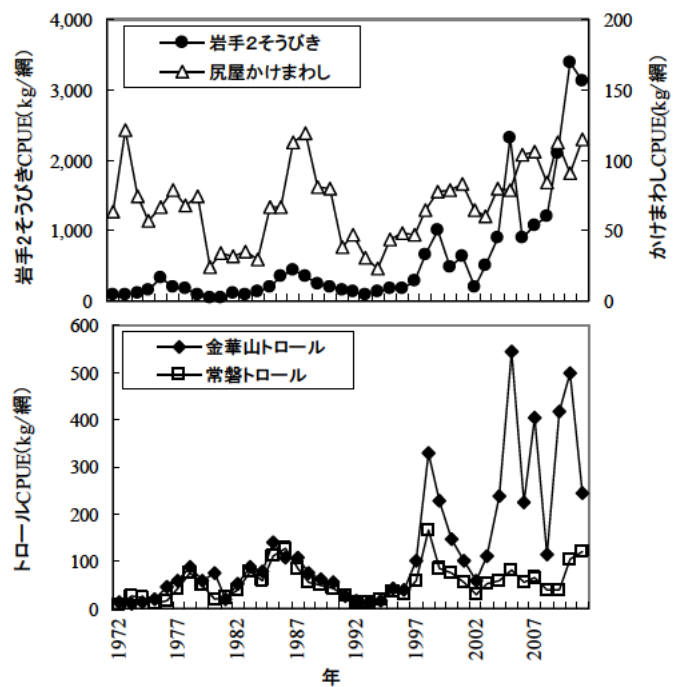


図 5. 沖底による CPUE の経年変化。
上：2 そうびきとかけまわし。
下：トロール。2011 年は暫定値。

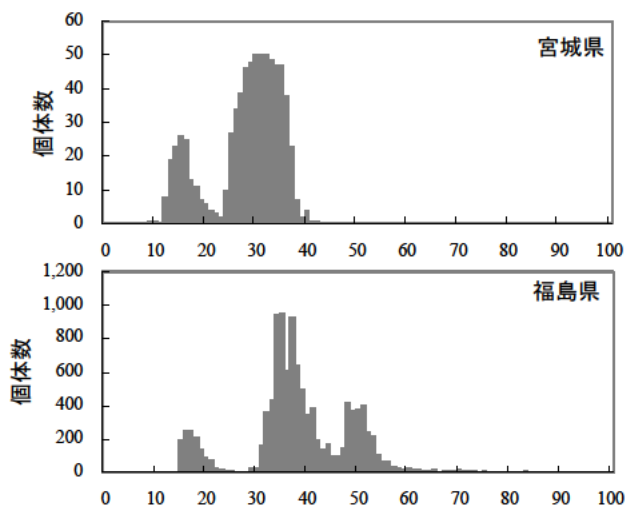


図 6. 2011 年に宮城県 (石巻) および福島県 (小名浜) に水揚げされたマダラの体サイズ組成。宮城県は標準体長 (cm)、福島県は全長 (cm)。

(4) 資源量と漁獲割合の推移

資源量は着底トロールによる直接推定法によって推定した。2011 年級の加入尾数(2012 年の 1 歳魚)は 42,989 千尾で、過去 17 年の中で 12 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 1/4 程度で、過去 10 年間の平均値よりもやや少ないレベルである。2012 年は 2 歳魚が極めて多く、過去

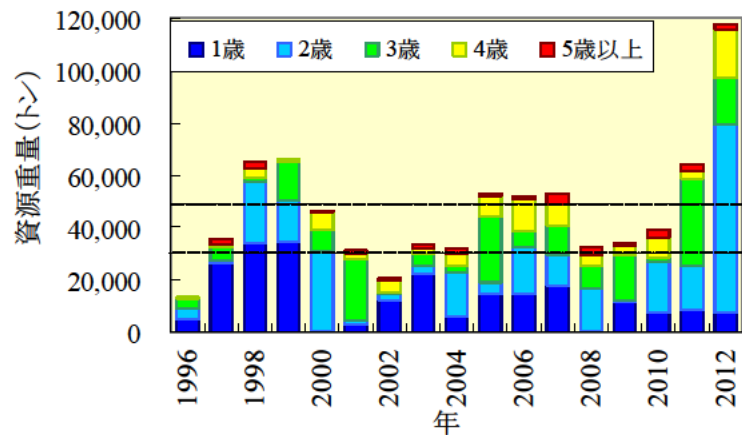


図 7. 年齢別資源量の経年変化

図中の破線は水準判断基準を示す。

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	2010	2011	2012
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	44,775	49,802	42,989
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	23,249	20,197	87,236
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	802	16,627	8,861
4	102	415	915	151	1,917	535	1,135	545	1,362	2,109	3,275	2,142	1,213	792	2,143	771	5,023
5以上	0	306	253	0	42	204	167	281	135	126	220	394	264	139	452	415	435
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	80,462	71,421	87,812	144,544

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	2010	2011	2012
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	7,511	8,355	7,212
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	19,141	16,628	71,821
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	1,622	33,613	17,912
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	7,833	2,817	18,357
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	2,694	2,529	2,631
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	38,801	63,942	117,934

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。

表4. 太平洋北部のマダラの年齢別生残率

年齢	1996-97	1997-98	1998-99	1999-2000	2000-01	2001-02	2002-03	2003-04	2004-05	2005-06	2006-07	2007-08	2008-09	2009-10	2010-11	2011-12
1-2	0.05	0.22	0.11	0.21	0.69	0.18	0.05	0.18	0.17	0.29	0.20	0.23	0.35	0.39	0.51	1.88
2-3	0.48	0.58	0.24	0.20	0.29	0.13	0.36	0.38	0.57	0.57	0.24	0.26	0.40	0.89	0.66	0.40
3-4	0.23	0.37	0.19	0.26	0.13	0.10	0.55	0.55	0.38	0.26	0.69	0.22	0.19	0.26	0.94	0.29

17年で最も多い。また、4歳魚も過去17年で最も多く、3歳魚も比較的多い。したがって、1歳魚はやや少ないが、2、4歳魚は非常に高い水準にあり、3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(表2、表3、図7)。

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り、2009年と2010年は6割を越している(図8)。2011年は東日本大震災の影響もあり、大幅に減少した。

1998～2011年に調査および商業的に漁獲されたマダラ満3歳魚の成熟状況を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る。

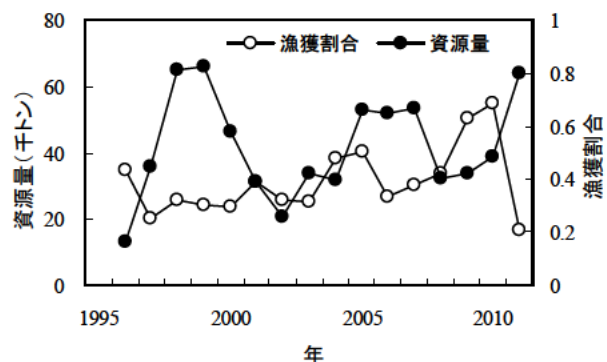


図 8. 資源量と漁獲割合の経年変化
2011 年は暫定値。

た。50%成熟体長は 45.7～53.5cm 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資源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 14 年間では、明瞭な再生産関係は認められていない (図 9)。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 12 年の中でもかなり低水準であった。逆に 2007 年には、比較的卵数が多い中で過去最低の加入となった。また、RPS (加入尾数/卵数) にもばらつきが大きく、過去 14 年では最大 100 倍以上の差が生じている (図 10)。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なども考えられるが、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、

採集効率 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 Q を変化させたときの資源量の変化を図 11 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 Q を全年齢一定にした場合 ($Q=0.256$) 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。

図 12 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県沖～金華山沖および金華山沖～日立沖を示している。マダラの幼魚が着底する直前の 6 月における表面水温と加入量の間には負の相関があることが示されている (清水ほか 2003)。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

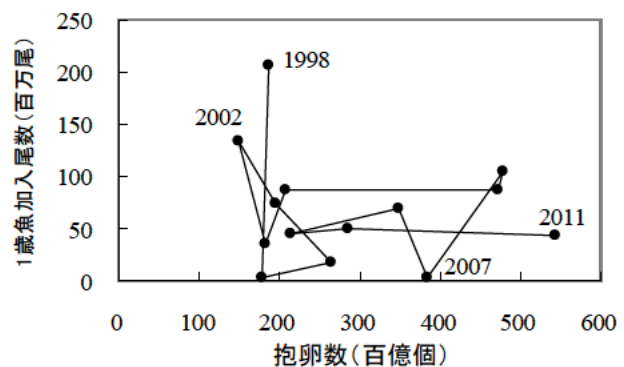


図 9. 抱卵数と加入尾数の関係
数字は加入個体の年級。

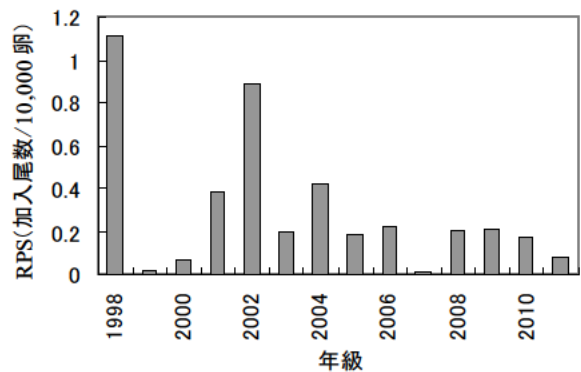


図 10. RPS の時系列変化

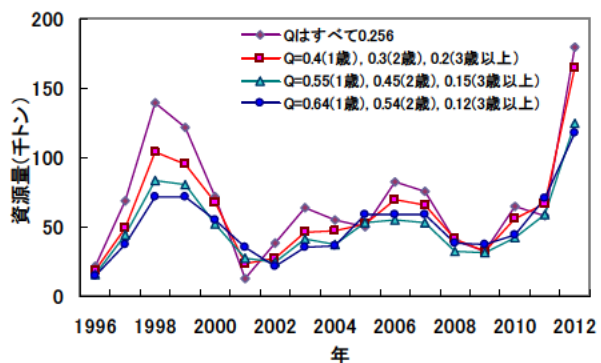


図 11. Q を変化させたときの資源量変化

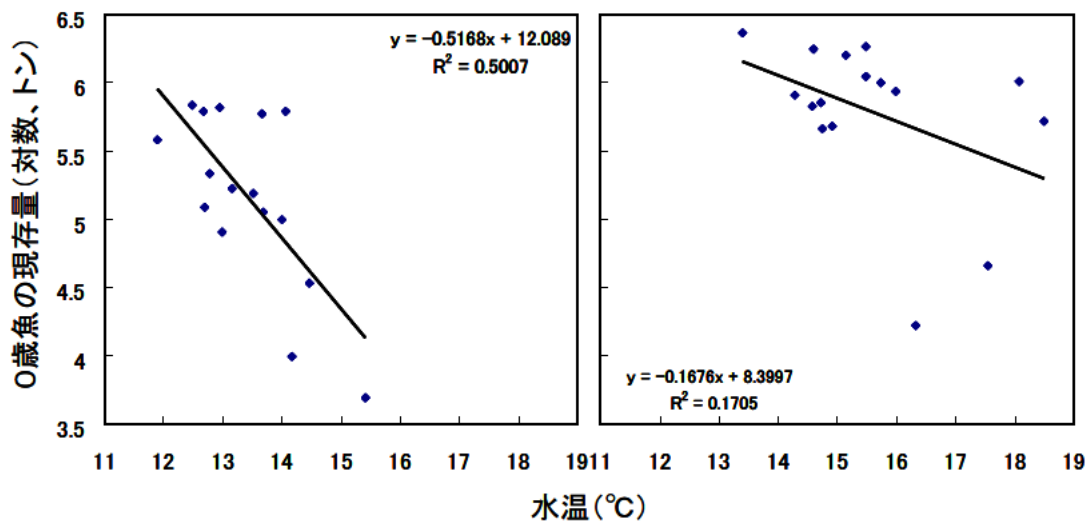


図 12. 太平洋北部における表面水温と 0 歳魚の資源量の関係

左：北部海域、右：南部海域。

について考慮しておらず、水温が卵稚仔の生残に作用するメカニズムも明らかになっていないことから今後負の相関が見られた要因の解明が求められる。

(5) 資源の水準・動向

沖底 CPUE（有漁網数当たり漁獲量）は長期間の時系列データが得られているが、近年は CPUE の年変動は大きく、海域による推移の差も認められる。一方、1996 年以降はトロール調査による過去 17 年間の資源量推定値が得られている。そこで、本系群の資源水準および傾向は資源量推定値を用いて判断した。

1996 年以降の資源量は 13 千トン（1996 年）から 118 千トン（2012 年）の間を変動している。2012 年の資源量は過去 17 年で最も多く、さらに 2011 年以前の最高値（66 千トン、1999 年）よりもかなり高い値である。このような状況になった背景には、東日本大震災による漁獲圧の低減が強く影響していると考えられる。資源水準の判断基準は、1996～2012 年の資源量の平均値を求め、それよりも 30%以上多い場合を高位水準、少ない場合を低位水準として判断した。2012 年の資源量は高位と中位水準の境界（50.2 千トン）よりも多いことから、資源水準は高位と判断した（表 3、図 7）。また、2008 年以降の資源量は年ごとに増えていることから、動向は増加と判断した。

水準：高位 動向：増加

(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、2004 年以降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 8）。2011 年は東日本大震災の影響により漁獲割合が低くなっている。トロール調査で求めた年齢別資源量から年齢別の生残率を求め（表 5）、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、震災前の 2006～2010 年における F は 0.50 で、 F_{max} のほぼ 2 倍に相当する。また、14.3%SPR に相当することからも、現在の漁獲圧は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（図 13）。また、若齢魚に対する漁獲圧が高いのも特徴で、同期間における 1 歳魚の F は 0.78 である。

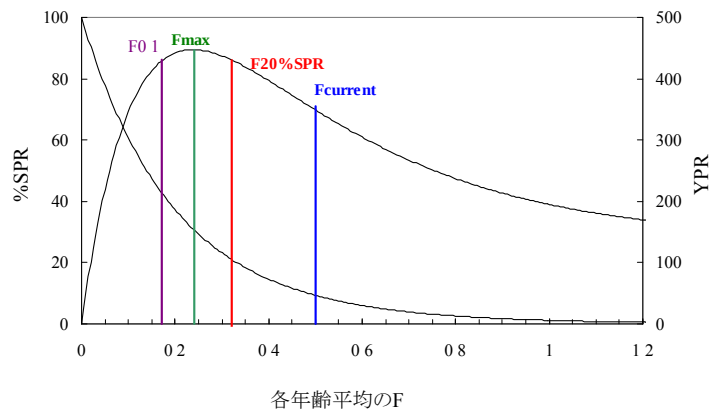


図 13. 漁獲係数、%SPR および YPR

5. 2013 年 ABC の算定

(1) 資源評価のまとめ

1995 年以降に行ってきた資源量調査結果から、2012 年の資源は高位水準で、増加傾向にあると判断された。本資源の変動は、若齢魚中心に構成されていることもあり、加入量に大きく依存し、2007 年のように個体数の極めて少ない年級が発生すると、資源状態は急速に悪くなる。ただし、マダラの成長は非常に早いため、ある程度の加入があれば資源が大きく減少することはない。また、マダラの親魚は市場価値が高いことから、親魚を増やすことは次世代の加入促進と生産額の増大の両面で有効である。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

2013 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。
- ・資源量調査の結果から各年齢の生残率 S を求め、さらに以下の式から年別、年齢別 F 値を求めた。

$$F = -\ln(S) - M$$

- ・年齢別の現状の F には震災以前直近の 5 年間の平均値を用いた。
- ・2012 年以降の年齢別の F の比率（選択率）は 2006～2010 年の平均値と同じと仮定する。2 歳を 1 とすると、1 歳=1.92, 3 歳以上=1.15 となる。
- ・2011 年の東日本大震災による 2012 年の漁獲圧への影響を県別、漁業種別に求めた（補足資料 4 参照）。この値を現状の F に乗じることで 2012 年の年齢別の F とした。
- ・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、1996～2011 年では満 3 歳魚の成熟率は約 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 歳以上の個体はほとんどの成熟していたため、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 9）、2007 年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歳魚の加入量には大きな年変化があり、RPSの変動も大きい(図9、図10)。さらに資源や漁獲に占める1歳魚の割合が高いため、加入量が極端に多いあるいは少ないと、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、マダラ仔稚魚の成育場

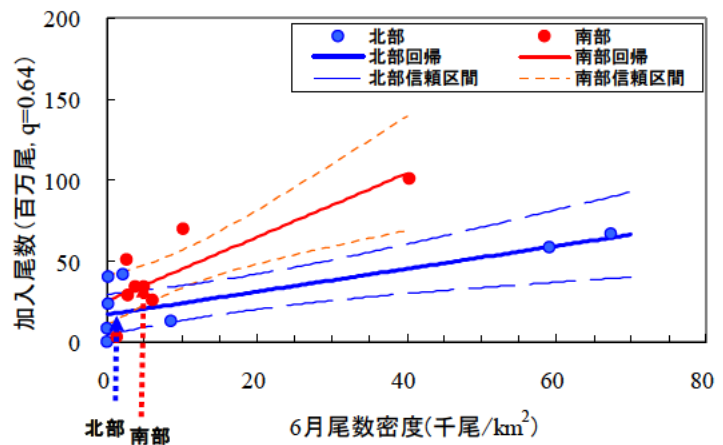


図14. 6月の着底密度と10月の加入尾数の関係

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。2002～2007年の調査から、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、2008年からこの分布密度を用いて加入水準を推定している(2008、2009、2010、2011年はそれぞれ6月推定値48,441、62,962、65,710、65,227千尾に対し10月資源量73,882、47,169、62,938、45,287千尾)。今年も同様に、2012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2012年級の加入個体数を推定した。

その結果、2011年6月の北部海域(八戸沖)の密度は1,115尾/km²、南部海域(仙台

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)							
		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	
0.00		13,419	28,285	0	0	0	0	0		63,942	117,934	152,461	225,309	295,390	347,299	387,857	
0.22	F0.1	13,419	28,285	24,061	28,627	31,109	30,938	30,079		63,942	117,934	152,461	183,648	199,273	198,164	192,612	
0.26	0.64 F20%SPR	13,419	28,285	29,022	33,001	34,345	32,918	31,101		63,942	117,934	152,461	175,202	182,016	174,367	164,633	
0.30	Fmax	13,419	28,285	32,305	35,612	35,984	33,640	31,192		63,942	117,934	152,461	169,641	171,070	159,792	148,015	
0.30	F30%SPR	13,419	28,285	32,948	36,097	36,261	33,732	31,163		63,942	117,934	152,461	168,555	168,972	157,046	144,930	
0.33	0.8 F20%SPR	13,419	28,285	35,254	37,764	37,137	33,939	30,947		63,942	117,934	152,461	164,667	161,562	147,472	134,293	
0.39	F=M	13,419	28,285	40,467	41,126	38,485	33,767	29,912		63,942	117,934	152,461	155,922	145,494	127,401	112,620	
0.41	F20%SPR	13,419	28,285	42,541	42,306	38,794	33,483	29,329		63,942	117,934	152,461	152,460	139,363	119,999	104,854	
0.40	0.8 Fcurrent	13,419	28,285	41,700	41,839	38,684	33,611	29,576		63,942	117,934	152,461	153,862	141,830	122,959	107,945	
0.50	Fcurrent	13,419	28,285	49,965	45,806	38,943	31,668	26,697		63,942	117,934	152,461	140,154	118,635	96,082	80,671	
0.60	1.2 Fcurrent	13,419	28,285	57,520	48,213	37,764	28,884	23,523		63,942	117,934	152,461	127,776	99,477	75,599	61,183	

Fcurrentは2006～2010年のFの平均 F=MとなるFは2歳魚基準。

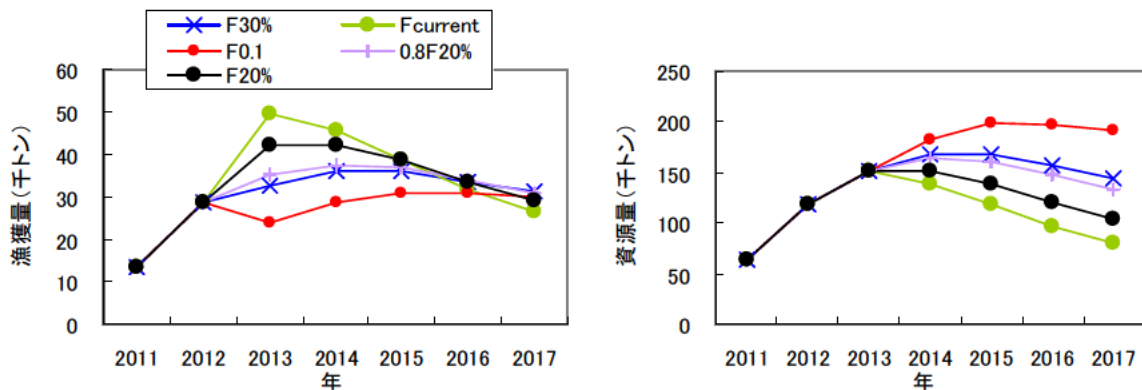


図15. さまざまな管理方策に基づく漁獲量(左図)と資源量(右図)

湾沖)の密度は4,807尾/km²と推定された。回帰式から加入尾数(10月時点)は北部海域で17,899千尾、南部海域で35,056千尾となり、合計52,955千尾と推定した(図14)。南北ともに回帰式の95%信頼区間は比較的広いことから、ある程度の誤差は発生する可能性が高い。しかし、加入量が最大70倍以上も変化している本系群においては、加入量を精度良く把握するためには、着底稚魚の密度を推定することが現段階では最も有効であると考えられる。

- ・現段階では親魚量から加入量を予測するのは困難であること、卓越年級と考えられる1998および2002年級が非常に少ない親魚量、産卵量で発生しており、卓越年級を発生しうる親魚量、産卵量の下限がわからないことから、2014年以降の1歳魚の加入量には過去の平均的なものを用いた。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1990年代後半以降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、1990年代後半以降と同じような良い状況が続くとは限らない。そのため、過去17年のうち、加入が少なかった11年間の平均値を2014年以降の加入量とした(41,814千尾、7,015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。この条件のもとで漁船の被災および復旧状況を考慮した漁獲が2012年末まで続くとする、2013年の初期資源量は152,461トンになる。

F30%SPR、F20%SPR、F0.1、F=MおよびFcurrent(2006～2010年の年齢別Fの平均)をABCを求める際の基準値の候補として検討した。その結果、現状の漁獲圧(2006～2010年の平均値)が続くと資源は2013年をピークに減少し、5年後の2017年の資源量は8.1万トンになる(図15、表4)。F30%SPRおよびF0.1(42.6%SPRに相当)まで漁獲圧を下げると2017年の資源量はそれぞれ14.5万トンおよび19.3万トンとなり、漁獲量も3.1万トン、3.0万トンになるが、当面の漁獲量はそれぞれ3.3万トン、2.4万トンとなる。F20%SPRで漁獲すると、2013年の漁獲量は4.3万トンと過去最高になり、2017年の資源量も10万トン以上となる。マダラは成長が非常によいことから、ある程度の加入があれば資源が大幅に減少することはない。そこで、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を基準値とした。資源は高位増加と判断されるので、ABC算定のための基本規則1-3)-(1)に基づいてFlimit=基準値によってABCを算定した。また、Fに不確実性を考慮した安全率 α (0.8)を乗じたものをFtargetとした。

その結果、ABClimit=42,541トン、ABCtarget=35,254トンと算出された。

	2013年ABC	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABClimit	425百トン	F20%SPR	0.41	28%
ABCtarget	353百トン	0.8F20%SPR	0.33	23%

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確保でき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現実的と考えられる。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、2013 年の漁獲量は 4.3 万トンになり過去最高となる。また、2013 年以降の漁獲量は高い水準で維持され、資源量は徐々に減少していくが、少なくとも 2017 年まではこれまでの最高レベルが維持される。

(4) ABC の再評価

2011 年の ABClimit は当初 143 百トンであったのに対し、再評価では 195 百トンとなった。これは資源量が当初の推定よりも多かったためである。その一方で、東日本大震災の影響もあり、2011 年の暫定漁獲量は 134 百トンに抑えられた。

2012 年の資源量、ABClimit は当初それぞれ 877 百トン、250 百トンであった。2011 年 10～11 月に行われたトロール調査結果から、当初予測していた資源状態よりも特に 2 歳魚が多かったため、資源量は 1,179 百トンに上方修正された。これを受けて ABClimit の値も高い値になった。

昨年度評価以降追加されたデータセット	修正・更新されたデータセット
2010年漁獲量確定値	2010年漁獲量の確定
2011年漁獲量	2011年漁獲量の暫定値
2012年資源量確定値	2012年資源量の確定

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)	ABCtarget (百トン)	漁獲量 (百トン)
2011年 (当初)	F20%SPR	0.45	462	143	119	
2011年 (2011年再評価)	F20%SPR	0.45	639	195	162	
2011年 (2012年再々評価)	F20%SPR	0.45	639	195	162	134
2012年 (当初)	F20%SPR	0.41	877	250	207	
2012年 (2012年再評価)	F20%SPR	0.41	1,179	325	258	

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、各年齢の平均)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を規制することによって資源量は増大する。2012 年の資源量が大幅に増大したのは、東日本大震災の影響によって漁獲圧が下がったためと考えられる。ただし、高次捕食者であることから、資源の増大が生態系におよぼす影響も大きいと考えられるため、今後、成長、分散および繁殖などの生態情報も含めた資源の状態把握が重要であると考えられる。

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.
- Narimatsu, Y., Y. Ueda, T. Okuda, T. Hattori, K. Fujiwara and M. Ito (2010) The effect of temporal changes in life-history traits on reproductive potential in an exploited population of Pacific cod, *Gadus macrocephalus*. ICES J. Mar. Sci., 67, 1659-1666.
- Sakurai, Y. and T. Hattori (1996) Reproductive behavior of Pacific cod in captivity. Fish. Sci., 62, 222-228.
- 清水勇吾・成松庸二・北川大二 (2003) 東北海区水温データによるマダラ現存量予測の可能性. 東北底魚研究, 23, 39-42.
- 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.
- 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、2010 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（上田ほか 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。

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

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

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

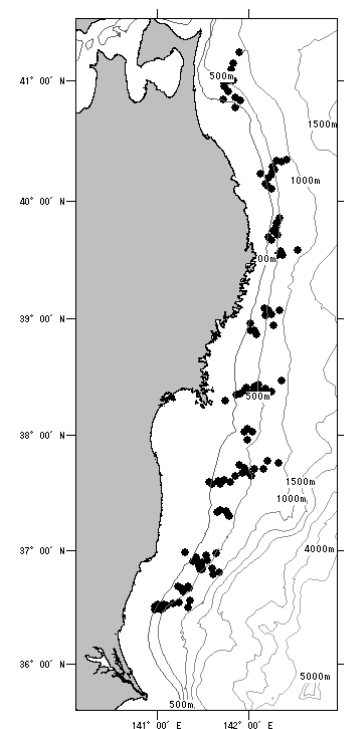
引用文献

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

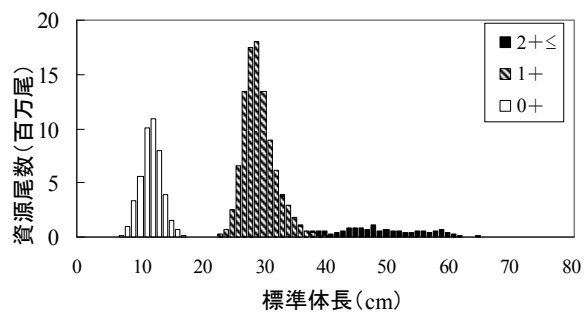
調査船調査の経過及び結果

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



2011 年 10～11 月の
資源量調査点図

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2011年に行った調査結果の概要を示す。



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。

2011年10～11月の調査では、水深150～900mにおいて計124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。その結果、体長20cm以下の0歳魚は平均よりやや少ない程度の水準であることが明らかになった。また、体長25～35cmの1歳魚が極めて多かった。なお、2011年の調査における年齢別のCVは0歳魚で0.24、1歳魚で0.29、2歳魚で0.19であり、全年齢合計では0.27であった（補足表1）。

補足表1. トロール調査により得られたマダラの資源尾数および変動係数(CV)、信頼区間の年変化
なお、ここで示す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。

年	1995	1996	1997	1998	1999	2000
調査地点数	57	57	60	61	59	74
資源尾数（千尾）	41,008	164,376	252,266	253,952	56,622	35,372
資源尾数のCV	0.222	0.574	0.524	0.371	0.234	0.276
資源尾数のSE（千尾）	9,101	94,290	132,313	94,265	13,256	9,747
95%信頼区間（下限、千尾）	14,288	-57,456	-24,092	58,603	28,484	15,160
95%信頼区間（上限、千尾）	67,728	386,209	528,623	449,301	84,761	55,584

年	2001	2002	2003	2004	2005	2006
調査地点数	71	75	100	145	150	146
資源尾数（千尾）	83,692	148,447	66,530	116,009	127,173	139,200
資源尾数のCV	0.497	0.292	0.258	0.493	0.218	0.256
資源尾数のSE（千尾）	41,612	43,418	17,192	57,206	27,734	35,606
95%信頼区間（下限、千尾）	-6,766	58,468	30,780	-1,524	72,178	68,350
95%信頼区間（上限、千尾）	174,150	238,426	10,228	233,542	182,167	210,049

年	2007	2008	2009	2010	2011
調査地点数	150	148	134	124	124
資源尾数（千尾）	34,843	86,023	79,780	96,779	159,335
資源尾数のCV	0.156	0.266	0.257	0.210	0.272
資源尾数のSE（千尾）	54,228	22,869	20,540	20,298	43,336
95%信頼区間（下限、千尾）	24,026	40,553	38,483	56,070	72,470
95%信頼区間（上限、千尾）	45,660	131,494	121,077	137,488	246,199

補足資料4 2012年の漁獲状況について

2011年3月11日に発生した巨大地震と津波により、東北地方太平洋岸の漁業は壊滅的

な打撃を受けた。マダラを漁獲する各漁業種の船舶も数多く被災したことから、2011 年および2012年の漁獲は2010年以前とは異なる様相となっている。本資源評価では、当年(2012年)の資源尾数に近年の生残率(漁獲死亡+自然死亡)を乗じて翌年(2013年)の資源尾数を求めていることから、2013年当初の資源量を求めるためには、2012年の漁獲圧の把握が必要となる。被災状況、復旧状況ともに地域、漁業種別に異なり、類型化することは簡単ではないが、ここでは以下の手順で県別、漁業種別に被災ならびに復旧状況をまとめ、震災が漁獲に与えた影響を可能な限り数値化した。

- ・ 青森、岩手、宮城、福島および茨城の漁船について被災状況と復旧状況を調べた。
- ・ 漁業種は沖合底びき網漁業、小型底びき網漁業および沿岸漁業(延縄、刺し網、定置網およびその他)に分けた。
- ・ 被災の状況は、組合等からの聞き取り、各県および水産庁に寄せられた情報から調べ、震災以前の漁船数については農林統計資料も用いた。また、岩手県の沿岸漁業については、2009～2010年上半期の網数に占める2012年上半期の網数から求めた。
- ・ がれき撤去作業を行った船および期間については操業していないとした。
- ・ 9月以降は、操業しないことが判明している県、漁法、時期のみ非操業とし、わかっていない場合は操業するとした。
- ・ 2011年3月に被災して2012年8月までに復旧していない船については12月31日まで操業を再開しないものとした。
- ・ 県別、漁業種別に操業隻数と操業期間の減少から予測される努力量の減少割合を求め、2005～2009年の平均漁獲量に占める各県、各漁業種の割合を算出した。それに上で求めた努力量の減少割合を乗じることで、漁獲の状況に応じた重み付けを行った。
- ・ この値を2006～2010年の年齢別Fの平均値に乗じて2012年の年齢別のFを求めた。

その結果、青森県から茨城県の操業の稼働率は、沖底で23～100%、小底で30～91%、沿岸漁業で21～69%で、特に、福島県で大きく減少していた(補足表2)。また、漁業種別に見ると、マダラの主要な漁法である沖底の稼働率は高かった反面(80%)、特に沿岸漁業の稼働率が低い傾向が認められた(51%、補足表3)。これらを統合した結果、2012年のマダラ漁業の漁獲圧は72.9%に減少することが示されたことから、2012年の漁獲死亡係数Fは最近5年間の値に0.729を乗じたものとした。

補足表2. 2012年のマダラの漁獲比率と操業稼働率

県	沖底			小底			沿岸漁業(刺し網、延縄、定置)		
	漁獲比率(a)	稼働率(b)	a*b	漁獲比率(c)	稼働率(d)	c*d	漁獲比率(d)	稼働率(f)	e*f
青森	0.108	0.911	0.098	0.529	0.911	0.482	0.290	0.662	0.192
岩手	0.455	1.000	0.455				0.360	0.692	0.249
宮城	0.399	0.604	0.241	0.400	0.190	0.076	0.310	0.214	0.066
福島	0.038	0.225	0.009	0.037	0.285	0.010	0.035	0.097	0.003
茨城	0.001	0.942	0.001	0.034	0.808	0.028	0.005	0.454	0.002
合計	1.000		0.803	1.000		0.597	1.000		0.513

補足表3. 2012年の全体の漁獲に占める漁法別の比率と稼働率

	漁獲量(トン、 2005-2009年平均)	漁法別の 比率(g)	稼働率(h)	比率g*比率h
沖底	14,354	0.724	0.803	0.582
小底	1,404	0.071	0.597	0.042
沿岸漁業	2,929	0.205	0.513	0.105
合計	18,687	1.000		0.729