

平成 21 年度ムシガレイ日本海系群の資源評価

責任担当水研：西海区水産研究所（酒井猛、塚本洋一）

参画機関：日本海区水産研究所、鳥取県水産試験場、島根県水産技術センター、山口県水産研究センター

要 約

底びき網漁業の漁獲動向とコホート解析による資源計算値から、ムシガレイ資源の現状を検討した。日本海西部海域のムシガレイ資源は、1980 年代に減少した後、増減しながら同水準にあったが、近年はやや増加傾向にある。加入量（1 歳魚資源尾数）は、2001 年にやや高い値を示した後、一時低い水準にあったが、近年急速に増加した。また、2007 年、2008 年は漁獲圧がやや低下し、この漁獲圧のもとでは今後資源が増加することが期待される。再生産成功率が近年 5 年間（2003～2007 年）の平均値で継続した場合に、親魚量の十分な増加が期待できる漁獲量を $ABClimit$ 、それよりやや少なく不確実性を見込んだ漁獲量を $ABCtarget$ とした。

	2010 年 ABC (百トン)	資源管理基準	F 値	漁獲割合
$ABClimit$	22	$F_{current}$	0.35	25%
$ABCtarget$	18	$0.8 \cdot F_{current}$	0.28	21%

漁獲割合は $ABC \div$ 資源量。 $F_{current}$ は 2008 年の F 。 F 値は各年齢の単純平均。

年	資源量 (百トン)	漁獲量 (百トン)	F 値	漁獲割合
2007	57	15	0.39	26%
2008	69	17	0.35	24%
2009	78			

2009 年の資源量は加入量を仮定した値。

水準：中位 動向：増加

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
漁獲量 年齢別・年別漁獲尾数	漁業・養殖業生産統計年報（農林水産省） 小型底びき主要港水揚げ量（山口・島根・鳥取） 沖合底びき網漁業漁獲成績報告書（水産庁） 市場測定（島根県） 韓国沿近海魚種別総漁獲量年別統計（韓国農林水産食品部）
資源量指数・資源密度指数・努力量	沖合底びき網漁業漁獲成績報告書（水産庁）
自然死亡係数（M）	年当たり $M=0.35$ を仮定

1. まえがき

ムシガレイは、底びき網、刺し網、はえ縄等で漁獲されるが、その大半は沖合底びき網漁業（以下沖底）および小型底びき網漁業（以下小底）によるものである。漁獲量は盛時には沖底のみでも 5 千トン近くあったが、1978 年をピークに以降減少し、1987 年以降は沖底と小底を合わせて 1 千～2 千トンで推移している。

2. 生態

(1) 分布・回遊

ムシガレイは日本近海の大陸棚暖水域に分布する。日本海側では青森～対馬までの広範囲に分布するが、島根県および山口県沖の日本海西南部海域が主分布域である（図 1、今岡・三栖 1969）。標識放流、産卵・成熟、成長等の知見から、対馬以東の群と以西の群の独立性が高いという報告がある（三栖ほか 1973）。この報告によると、対馬以東群は秋に対馬北東から見島北西の海域に集中するが他の時期には分散し、対馬以西群は春～夏に対馬西海岸に滞留して秋には南西へ回遊、越冬するという。一方、対馬以東の資源は対馬以西からの移送によって支えられるとする仮説（木下 1992）もある。現時点では、資源管理上、日本海西部海域に分布するムシガレイをひとつの単位と見なすことが妥当であると考えられる。

(2) 年齢・成長

全長は 1 歳で約 11 cm、2 歳で約 17 cm、3 歳で約 21 cm、4 歳で約 25 cm となり、顕著な雌雄差はみられないが、4 歳以降雌雄差が大きくなり、5 歳で雌雄それぞれ約 27、29 cm、6 歳で約 29、32 cm、7 歳で約 30、34 cm となる。（図 2、今井・宮崎 2005）。寿命は 7 歳程度と推察される。幼魚は浅海に生息し、成長するに従って沖合へ移行する（今岡 1977）。生息水深や生息水温帯が広く、個体による成長の分散が大きいのが特徴である。

(3) 成熟・産卵

雄は 2 歳、雌は 3 歳で成熟を始め、対馬以西では 1 月下旬～2 月下旬に、対馬以東では若干遅く、2 月上旬～3 月上旬に産卵盛期を迎える（今岡 1971）。資源計算においては、2

歳の成熟率を 0.4、3 歳以上の成熟率を 1 とした（図 3）。

（4）被捕食関係

全長約 12cm までは小型甲殻類を主要な餌とし、約 12cm 以上ではエビ・カニ類、イカ類などを捕食するようになる。さらに全長約 18cm から魚類を捕食するようになる（今岡 1972）。島根県水産技術センターによる胃内容物調査では、エンコウガニ、エビジャコが高い頻度で出現している。

3. 漁業の状況

（1）漁業の概要

ムシガレイは日本海西部海域において、底びき網や刺し網、釣・はえ縄等で漁獲されているが、漁獲の大半は底びき網漁業によるものである。2 そうびき沖底の漁獲が底びき網漁獲量の 60～80%を占め、残りが 1 そうびき沖底および小底による（図 4、表 1）。2 そうびき沖底のムシガレイ漁場は、対馬南西域から隠岐周辺に及ぶ。本報告では、日本海西部海域（135°E 以西）で操業する 1 そうびきおよび 2 そうびき沖底と、鳥取・島根・山口各県の小底の漁獲量について資源計算を行い、ABC を算定する。

（2）漁獲量の推移

沖底の漁獲量は 1970 年代に 2,000 トン前後から 4,000 トン前後に増加したが、1980 年代前半に減少した後、増減を繰り返しながら低位で推移している（図 4、表 1）。沖底と小底を合計した漁獲量は、1998 年には 1,100 トンまで減少したが、2008 年には 1,700 トンの漁獲があった。近年の沖底の漁獲量は 1,000 トン前後、小底の漁獲量は 300 トン前後で推移している。

ムシガレイは韓国水域にも分布し、韓国沿近海魚種別総漁獲量年別統計ではカレイ類にまとめられている。韓国全域で 2005 年 1.5 万トン、2006 年 2.0 万トン、2007 年 2.4 万トン、2008 年 2.0 万トンのカレイ類が漁獲されているが、このうちのムシガレイの割合は明らかにされていない。

（3）漁獲努力量の推移

2 そうびき沖底の網数は、1980 年代前半には 10 万網近くあったがその後減少が続き、2008 年には約 2.7 万網であった（図 5）。

4. 資源の状態

（1）資源評価の方法

漁獲量、漁獲努力量等の情報を収集し、漁獲物の生物測定結果とあわせて年齢別の漁獲尾数による資源解析を行った。

（2）資源量指標値の推移

資源量指数（月別漁区別 1 網当たり漁獲量の総和）は、1980 年代に減少し、1990 年以降は増減を繰り返しながら同水準にある（図 6）。

資源密度指数（月別漁区別 1 網当たり漁獲量の平均）は、資源量指数と概ね同様の経年変動傾向を示しているが、1995 年以降、年による変動はあるものの、漸増傾向がみられる（図 7）。

（3）漁獲物の年齢組成

1993～2008 年の年齢別漁獲尾数を推定した（図 8、補足表 1）。小底および 1 そうびき沖底の漁獲物は、2 そうびき沖底と同じ年齢組成であると仮定している。毎年、1～2 歳魚を主体に漁獲されている。

（4）資源量と漁獲割合の推移

年齢別年別漁獲尾数により計算された（コホート計算）資源量を図 9 に示す（補足表 2）。資源計算は 1 歳魚以上について行っているため、資源量は 0 歳魚を含まない漁獲対象資源を表す。

資源量は増減を繰り返しているが、2005 年以降緩やかな増加傾向にある。漁獲割合も増減しているが、2007、2008 年は連続して減少している（図 9）。加入量（1 歳魚資源尾数）は、2001 年にやや高い値を示した後、一時低い水準にあったが、近年急速に増加した（図 10）。親魚量は 2002 年以降減少傾向にあったが、2008 年にはやや回復した（図 10）。親魚量と加入量の関係は年変動が大きく、明瞭な関係は認められない（図 11）。

再生産成功率（加入量÷親魚量）は、親魚量と産卵量に比例関係があるとして、発生初期の生き残りの良さの指標値になると考えられる。翌年（N+1 年）の加入量（1 歳魚）を親魚量（N 年）で除した値を（N 年の）再生産成功率として図 12 に示す。再生産成功率は 2002 年には急激に低下した後上昇し、近年は連続して高い値を示している。

コホート計算に使用した自然死亡係数（M）の値が資源計算に与える影響をみるために、M を変化させた場合の 2008 年の資源量、親魚量、加入量を図 13 に示す。M が大きくなると、いずれも大きくなる。

（5）資源の水準・動向

コホート計算が可能な 1993 年以降、漁獲量は低位で推移しているが、資源量は 2004 年以降増加傾向にある。資源量指数および資源密度指数は、1979 年以降低い値を示していたが、近年漸増傾向にある。これらの指標から、2008 年の資源水準は中位であると判断する。資源量、親魚量は 1993 年以降増減しながらも緩やかな増加が見られることから、動向を増加と判断する。

（6）資源と漁獲の関係

資源量は増減を繰り返しながらゆるやかに増加している。漁獲係数 F（各年齢の F の単純平均）は、1994 年以降増減を繰り返しながら 0.3～0.7 で推移している（図 14）。資源量の 30～40%を漁獲する漁獲圧がかかっていたが、2007、2008 年は連続して低下し、この漁獲圧のもとでは、資源の増大が期待される。

年齢別選択率を一定（2008 年）として F を変化させた場合の、加入量当たり漁獲量（YPR）と加入量当たり親魚量（SPR）を図 15 に示す。現在の F（ $F_{\text{current}}=0.35$ ）は $F_{\text{max}}=0.35$

や $F_{30\%SPR} = 0.35$ と等しい。

5. 2010 年 ABC の算定

(1) 資源評価のまとめ

資源は 1993 年以降増減を繰り返しているが、近年は増加している。漁獲圧は近年やや減少傾向が見られる。加入量は近年増加している。本種の資源水準は中位であり、現在と同様の漁獲圧の下で漁獲量は増加するものと考えられる。

(2) ABC 並びに推定漁獲量の算定

資源回復の水準である B_{limit} 等を定めるためにはさらに検討が必要であると判断し、ABC 算定規則 1-3) を使用する。資源の水準は中位、動向は増加傾向であり、1-3) (2) に相当する。ABC を算定するための漁獲係数 F を以下によって定める。

$$F_{limit} = (\text{基準値か現状の } F) \times \beta_1$$

$$F_{target} = F_{limit} \times \alpha$$

現在の F を 2008 年の F とし、これをもとに F_{limit} を検討する。

ABC の算定および「(3) $ABClimit$ の評価」の計算には、以下の仮定を置いた。2009 年は、2008 年と同じ F で漁獲される。2010 年以降の年齢別選択率は 2008 年と同じ (4 歳以上の F を 1 とすると、1 歳 0.70、2 歳 1.03、3 歳 1)。2008 年以降の再生産成功率は過去 5 年の平均値 (2003~2007 年) で一定 (0.015 尾/g)。2009 年の漁獲量は 1,900 トン。これらの仮定のもとでは、次の「 $ABClimit$ の評価」でみるように、現在の F を維持すれば、資源量、漁獲量は増加する計算になる。

資源量は増加傾向にあり、水準は現在中位にあると判断される。これらのことから、 $\beta_1=1$ 、すなわち $F_{current}$ を F_{limit} として提案する。 α は、標準値の 0.8 とした。

	2010 年 ABC (百トン)	資源管理基準	F 値	漁獲割合
$ABClimit$	22	$F_{current}$	0.35	25%
$ABCtarget$	18	$0.8 \cdot F_{current}$	0.28	21%

漁獲割合は $ABC \div \text{資源量}$ 。 $F_{current}$ は 2008 年の F 。 F 値は各年齢の単純平均。

(3) $ABClimit$ の評価

ABC 算定と同じ仮定のもとで、現在の F (2008 年の F) を変化させた場合に、期待される漁獲量と資源量を次表と図 16、17 に示す。

F		漁獲量 (トン)				
		2010	2011	2012	2013	2014
0.24	0.7Fcurrent	1,615	1,975	2,357	2,849	3,427
0.28	0.8Fcurrent	1,815	2,155	2,509	2,957	3,473
0.31	0.9Fcurrent	2,007	2,315	2,630	3,023	3,468
0.35	1.0Fcurrent	2,193	2,457	2,725	3,055	3,422
0.38	1.1Fcurrent	2,372	2,582	2,796	3,058	3,345
0.41	1.2Fcurrent	2,545	2,692	2,847	3,037	3,244
0.45	1.3Fcurrent	2,712	2,788	2,881	2,997	3,127

F		資源量 (トン)				
		2010	2011	2012	2013	2014
0.24	0.7Fcurrent	8,804	10,745	12,830	15,497	18,649
0.28	0.8Fcurrent	8,804	10,448	12,163	14,327	16,837
0.31	0.9Fcurrent	8,804	10,161	11,536	13,252	15,210
0.35	1.0Fcurrent	8,804	9,884	10,946	12,263	13,746
0.38	1.1Fcurrent	8,804	9,616	10,391	11,354	12,430
0.41	1.2Fcurrent	8,804	9,358	9,868	10,516	11,245
0.45	1.3Fcurrent	8,804	9,108	9,376	9,746	10,179

(4) ABC の再評価

今年度より年齢別漁獲尾数の求め方を変更し、過去にさかのぼって再計算した（補足資料 2）。また、チューニング方法を 2008 年評価のもの（平成 20 年度資源評価報告書参照）から変更し、資源密度指数を用いた新たな方法でチューニングを行った（補足資料 3）。さらに、計算に用いた年齢別平均体重も今井・宮崎（2005）に従って変更した（補足資料 3）。この結果、新たに求めた資源量・親魚量・加入量は、計算可能な 1993 年以降全ての年で以前の計算による値を上回った。また以前の評価と比較して、1994 年以降全ての年で F が低く見積もられた。

評価対象年	管理基準	F	資源量 (百トン)	ABClimit (百トン)	ABCtarget (百トン)	漁獲量 (百トン)
2008 年（当初）	0.9Fcurrent	0.46	44	14	12	
2008 年（再評価）	0.9Fcurrent	0.36	62	17	14	
2008 年 （2009 年再評価）	Fcurrent	0.31	69	19	15	17
2009 年（当初）	0.9Fcurrent	0.37	51	19	15	
2009 年（再評価）	Fcurrent	0.41	78	19	16	

6. ABC 以外の管理方策の提言

年齢別漁獲尾数は、1～2 歳魚の割合が 70～85%と高く、商品価値の低い小型個体が多く漁獲されていることを示している（図 8、補足表 2）。また、商品サイズにならない小型個体が投棄されている実態がある（石川県水産総合センターほか 1994）。従って、小型魚の保護策についても検討する必要がある。

7. 引用文献

- 今井千文・宮崎義信（2005）耳石解析によるムシガレイ日本海西部群の成長モデルの再検討. 水産大学校研究報告, 53（1）, 21 34.
- 今岡要二郎（1971）日本海西南海域およびその周辺海域産ムシガレイの漁業生物学的研究 II. 成熟と産卵について. 西水研報, 39, 51 63.
- 今岡要二郎（1972）日本海西南海域およびその周辺海域産ムシガレイの漁業生物学的研究 III. 食性について. 西水研報, 42, 77 89.
- 今岡要二郎（1977）日本海西南海域およびその周辺海域産ムシガレイの漁業生物学的研究（昭和 47 年度）ムシガレイ幼魚の生息域について. 島根水試事報, 昭和 47 48 年度, 297 299.
- 今岡要二郎・三栖 寛（1969）日本海西南海域およびその周辺海域産ムシガレイの漁業生物学的研究第 1 報. 年令と生長について. 西水研報, 37, 51 70.
- 石川県水産総合センター・福井水産試験場・兵庫県但馬水産事務所・鳥取県水産試験場・島根県水産試験場（1994）平成 3～5 年度水産関係地域重要新技術開発促進事業総合報告書（重要カレイ類の生態と資源管理に関する研究）, 118pp.
- 木下貴裕（1992）ムシガレイ対馬東系群について. 西海ブロック底魚調査研究会報, 3, 40 49.
- 三栖 寛・今岡要二郎・末島富治・花渕信夫・小嶋喜久雄・花渕靖子（1973）日本海西南海域およびその周辺海域産ムシガレイの漁業生物学的研究 IV. 標識放流結果からみた分布と回遊について. 西水研報, 43, 23 36.
- 田中昌一（1960）水産生物の Population Dynamics と漁業資源管理. 東海区水研報, 28, 1 200.

表 1. 漁獲量 (単位: トン)

年	沖合底びき網		小型底びき網	計
	1 そうびき	2 そうびき		
1975	0	3,057		3,057
1976	0	3,545		3,545
1977	0	3,460		3,460
1978	0	4,991		4,991
1979	0	3,948		3,948
1980	0	4,094		4,094
1981	0	3,668		3,668
1982	2	3,760		3,761
1983	11	2,614		2,625
1984	6	2,541		2,547
1985	4	1,813		1,817
1986	2	1,959	456	2,417
1987	4	1,425	379	1,808
1988	1	1,058	314	1,373
1989	1	1,196	317	1,514
1990	5	1,288	428	1,722
1991	3	1,393	331	1,726
1992	2	1,326	393	1,722
1993	6	962	362	1,330
1994	5	970	333	1,308
1995	2	1,145	531	1,678
1996	2	1,365	593	1,960
1997	31	1,087	408	1,526
1998	17	622	444	1,083
1999	22	872	411	1,305
2000	10	1,144	377	1,531
2001	18	1,389	347	1,754
2002	12	1,525	362	1,899
2003	16	1,082	406	1,505
2004	37	997	197	1,231
2005	15	1,206	303	1,524
2006	22	1,267	385	1,674
2007	29	1,154	326	1,509
2008	24	1,317	318	1,659

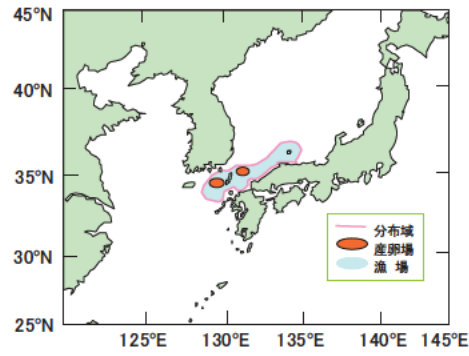


図 1. ムシガレイ日本海系群の分布

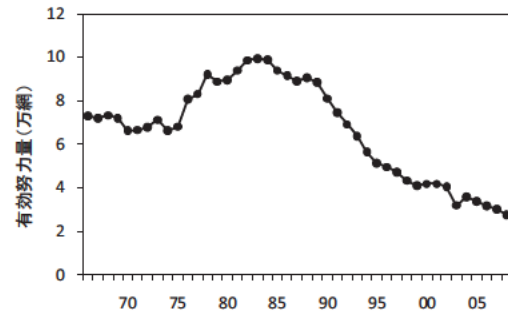


図 5. 2そうびき沖底の網数

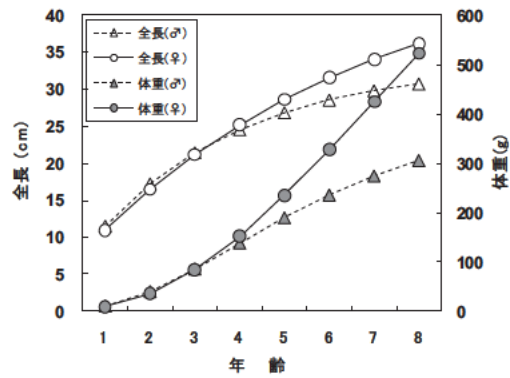


図 2. 年齢と成長

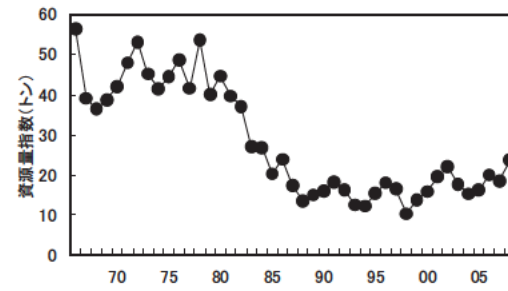


図 6. 2そうびき沖底（浜田以西）の資源量指数

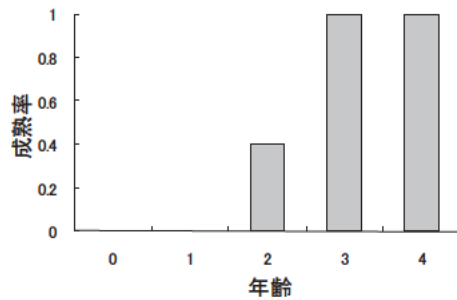


図 3. 年齢と成熟率

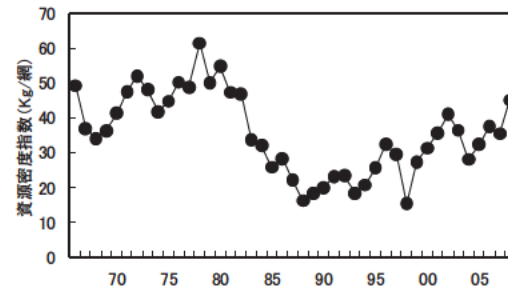


図 7. 2そうびき沖底（浜田以西）の資源密度指数

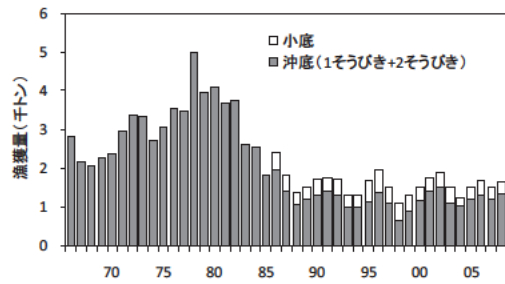


図 4. 沖底および小底の漁獲量

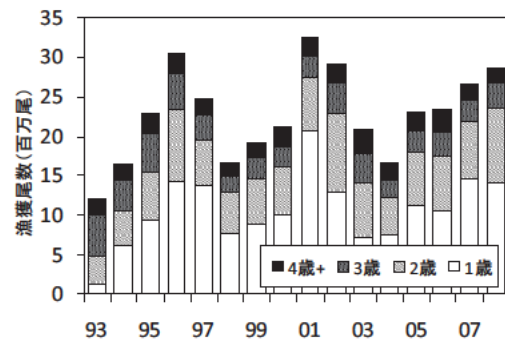


図 8. 年齢別漁獲尾数

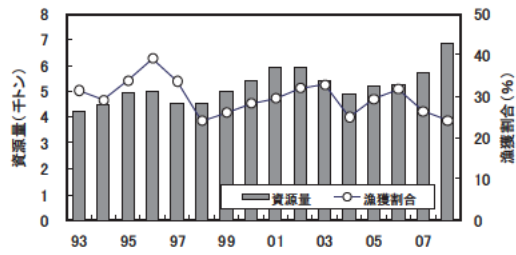


図 9. 漁獲割合と資源量

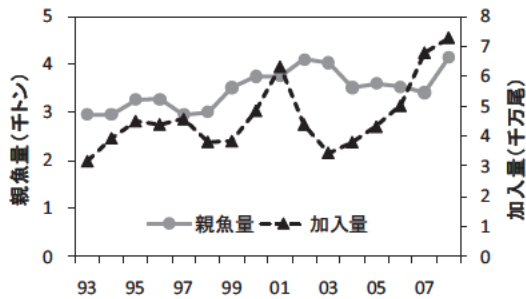


図 10. 親魚量と加入量 (1 歳魚)

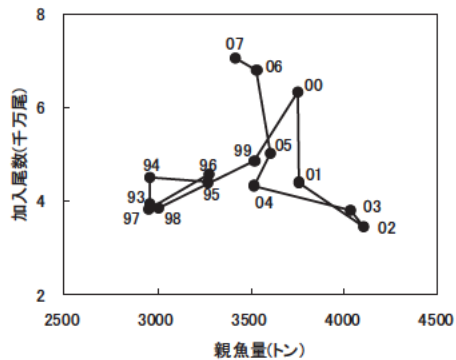
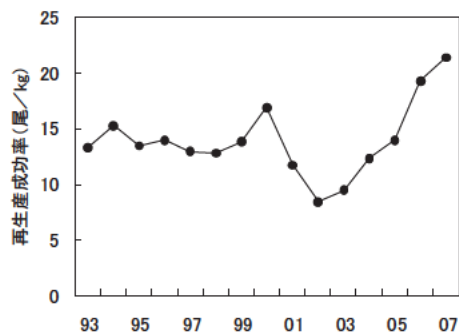
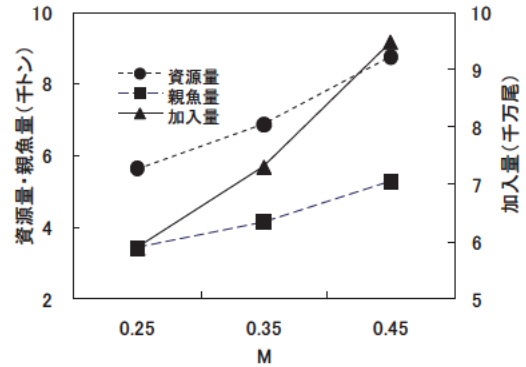
図 11. 親魚量と加入量 (1 歳魚) の関係
ラベルは産卵年を表す。図 12. 再生産成功率 翌年の加入量
(1 歳魚) ÷ 当該年の親魚量。

図 13. M と 2008 年資源量、親魚量、加入量の関係

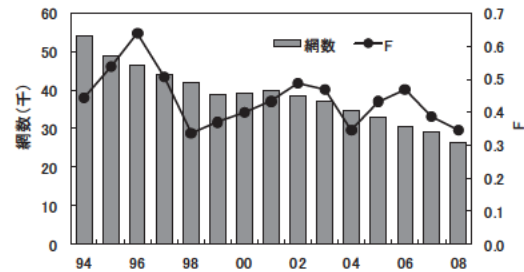


図 14. F と 2 そうびき沖底の網数

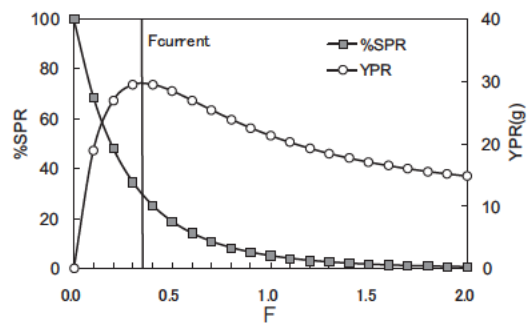


図 15. YPR と SPR

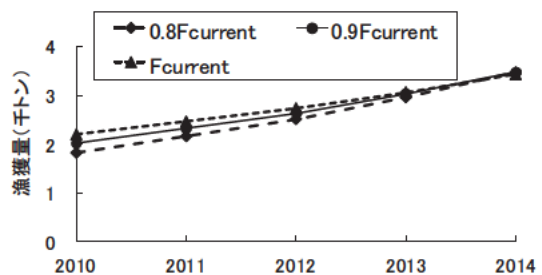


図 16. F による漁獲量の変化

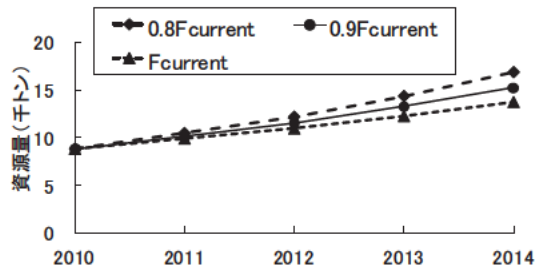
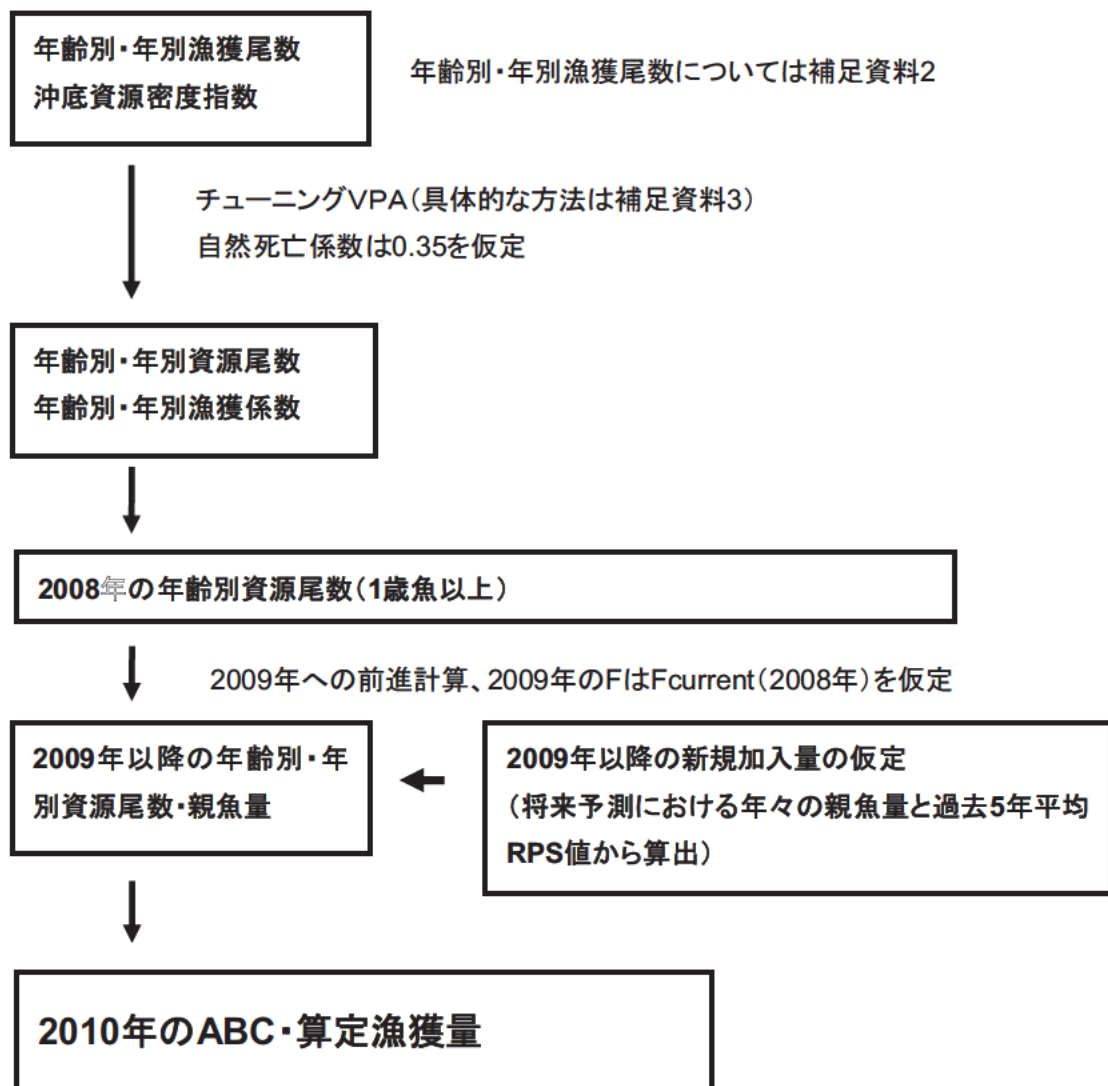


図 17. F による資源量の変化

補足資料 1

資源評価のフロー



補足資料 2

年齢別漁獲尾数

1993～2008 年に島根県浜田漁港における 2 そうびき沖底により水揚げされたムシガレイの年齢別漁獲尾数より、評価対象資源全体の年齢別漁獲尾数を推定した。島根県浜田漁港における 2 そうびき沖底の水揚げ物には入り数銘柄と散銘柄がある。入り数銘柄については、1993～2008 年に島根県浜田漁港における 2 そうびき沖底により水揚げされたムシガレイの 1 箱あたりの入り数および入り重量から 1 尾あたりの平均体重を求め、今井・宮崎（2005）の成長式より年齢を求めた。また入り数に箱数を乗じて漁獲尾数とした。

主に小型魚が占める散銘柄については、1989～2003 年に日本海西部海域において試験操業および漁獲物より採集したムシガレイ 1,708 個体の耳石標本（島根県水産試験場、山口県水産研究センターおよび西海区水産研究所保有）について年齢査定を行い、3～5 月、6～8 月、9～12 月、および 1～2 月における全長階級別年齢組成（1cm 階級）を求めた（平成 17 年資源評価報告書）。浜田漁港における 2 そうびき沖底により水揚げされたムシガレイの銘柄別全長組成（1997～2003 年）および全長階級別年齢組成に基づいて、3～5 月、6～8 月、9～12 月、および 1～2 月の年齢と体長の関係を整理した（平成 17 年資源評価報告書）。これらの関係により 1993～2008 年の浜田漁港における散銘柄の銘柄別漁獲量を年齢別漁獲尾数に変換した。

こうして求めた散銘柄と入り数銘柄の年齢別漁獲尾数を足し合わせ、これを 1 そうびき沖底および小底の漁獲量を含む全体の漁獲量の年齢別漁獲尾数に引き延ばした。さらに求めた年齢別漁獲尾数と各年齢の平均体重から求めた計算漁獲重量が実際の漁獲量に合うように補正した年齢別漁獲尾数をコホート計算に用いた。

1 そうびき沖底および小底の漁獲物調査を行っていないので、今後検討する必要がある。

補足表 1. ムシガレイ日本海系群のコホート計算

年\年齢	漁獲尾数（十万尾）				漁獲量（十トン）				漁獲係数F				資源尾数（十万尾）			
	1	2	3	4+	1	2	3	4+	1	2	3	4+	1	2	3	4+
1993	12	36	52	22	2	20	57	48	0.05	0.27	0.79	0.79	317	182	112	48
1994	61	44	39	20	11	24	42	44	0.20	0.28	0.64	0.64	394	213	98	51
1995	92	62	50	24	18	35	56	56	0.28	0.39	0.74	0.74	451	227	113	55
1996	142	93	47	25	25	47	48	53	0.48	0.61	0.73	0.73	440	240	108	57
1997	137	57	34	20	25	30	35	49	0.44	0.44	0.57	0.57	457	191	92	56
1998	76	53	22	15	13	27	22	33	0.27	0.36	0.36	0.36	382	207	87	58
1999	88	58	27	19	16	30	28	43	0.32	0.41	0.37	0.37	384	205	102	72
2000	98	61	28	25	18	32	29	58	0.28	0.46	0.43	0.43	486	197	96	84
2001	207	69	26	24	36	35	26	56	0.49	0.38	0.43	0.43	633	260	88	82
2002	127	101	40	25	23	51	40	53	0.42	0.58	0.47	0.47	440	273	125	78
2003	71	70	37	31	13	38	40	75	0.28	0.53	0.53	0.53	345	203	108	89
2004	74	48	22	21	13	25	23	50	0.26	0.38	0.37	0.37	381	184	84	81
2005	112	69	26	24	20	36	27	54	0.37	0.50	0.43	0.43	432	206	89	81
2006	104	71	31	27	19	37	32	63	0.28	0.52	0.54	0.54	503	210	88	78
2007	146	74	26	20	26	38	26	43	0.30	0.40	0.43	0.43	680	267	88	68
2008	140	95	33	19	24	47	32	39	0.26	0.38	0.37	0.37	730	357	126	72

補足表 2. コホート計算結果

年	資源量 (十トン)	親魚量 (十トン)	加入量 (十万尾)	漁獲割合 (%)	再生産成功率 (尾/kg)
1993	423	296	317	31	13.3
1994	449	296	394	29	15.3
1995	497	327	451	34	13.5
1996	500	328	440	39	14.0
1997	454	295	457	34	12.9
1998	450	301	382	24	12.8
1999	501	352	384	26	13.8
2000	542	375	486	28	16.9
2001	594	376	633	30	11.7
2002	594	410	440	32	8.4
2003	543	403	345	33	9.4
2004	492	352	381	25	12.3
2005	519	360	432	29	14.0
2006	527	353	503	32	19.3
2007	571	341	680	26	21.4
2008	687	415	730	24	-

補足資料 3

コホート計算

ムシガレイの年齢別漁獲尾数を推定し、コホート計算によって 1993～2008 年の資源尾数を計算した。0 歳魚は漁獲されないので、1 歳魚以上の漁獲対象資源について計算した。資源量を計算するために使った各年齢の体重と親魚量を計算するために使った各年齢の成熟率は下表のとおり。年齢 4+は 4 歳以上を表す。自然死亡係数 M は、田内・田中の式（田中 1960）により、最高年齢を 7 歳として求めた（ $M = 2.5 \div \text{最高年齢 } 7 \text{ 歳} \div 0.35$ ）。

年齢	1	2	3	4+
体重 (g)	20	58	115	261
成熟率 (%)	0	40	100	100

年齢別資源尾数の計算には Pope の式を用い、最高年齢 4 歳以上（4+）と 3 歳の各年の漁獲係数 F は等しいとした。

$$N_{a,y} = N_{a+1,y+1} \exp(M) + C_{a,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right) \quad (1 \sim 2 \text{ 歳の資源尾数}) \quad (1)$$

ここで、 N は資源尾数、 C は漁獲尾数、 a は年齢、 y は年。ただし、再近年については全年齢を (2) 式、3 歳魚は (3) 式、4 歳以上は (4) 式により計算した。

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

$$N_{3,y} = \frac{C_{3,y}}{C_{4+,y} + C_{3,y}} N_{4+,y+1} \exp(M) + C_{3,y} \exp(\frac{M}{2}) \quad (3 \text{ 歳の資源尾数}) \quad (3)$$

$$N_{4+y} = \frac{C_{4+,y}}{C_{3,y}} N_{3,y} = \frac{C_{4+,y}}{C_{4+,y} + C_{3,y}} N_{4+,y+1} \exp(M) + C_{4+,y} \exp(\frac{M}{2}) \quad (4 \text{ 歳の資源尾数}) \quad (4)$$

以上の計算の後、資源密度指数を用いて最近年の F を式 (5)、(6) のようにチューニングした。各年齢の F は、2008 年の年齢別選択率が過去 3 年平均 (2005～2007 年) であるとして計算した。

$$\text{最小} \sum_{y=2002}^{2008} \{ \ln(q \cdot B_y) - \ln(CPUE_y) \}^2 \quad (5)$$

$$q = \left(\frac{\prod_{y=2002}^{2008} CPUE_y}{\prod_{y=2002}^{2008} B_y} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (6)$$

ここで、 B は資源量、 $CPUE$ は沖合底びき網 (2 そうびき) の資源密度指数。その結果、 $F1,2008$ 0.260、 $F2,2008$ 0.381、 $F3,2008$ $F4+,2008$ 0.370 と推定された。