

平成 23 年度ムシガレイ日本海系群の資源評価

責任担当水研：日本海区水産研究所（木下貴裕、藤原邦浩）

参画機関：西海区水産研究所、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

日本海のムシガレイ資源の現状を、本種の主分布域の日本海南西部海域における 1966 年以降の底びき網漁業の漁獲動向と 1993 年以降のコホート解析による資源推定値から検討した。本海域のムシガレイの漁獲量は、1980 年代に 4 千トン前後から 2 千トン弱まで減少した後、若干、増減しながら近年まで低水準である。しかし、浜田沖以西で操業する沖合 2 そうびきの資源量指数および資源密度指数は、いずれも、1980 年代に減少した後、2000 年代以降、横ばいから増加傾向にある。資源量指数、資源密度指数およびコホート解析による推定資源量から、資源水準は中位と判断した。また資源動向は過去 5 年間のこれら指標値の動向から横ばいと判断した。

漁獲圧は 1990 年以降断続的に低下し、近年は低い水準にある。また再生産成功率も近年は比較的高い水準にある。現状の漁獲圧の下、再生産成功率が近年 5 ヶ年（2005～2009 年）の平均値で継続した場合、資源量の増加が期待できることから、現状の漁獲圧による 2012 年の推定漁獲量を 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。

	2012 年 ABC (百トン)	資源管理基準	F 値	漁獲割合
ABClimit	18	Fcurrent	0.30	23%
ABCtarget	15	0.8・Fcurrent	0.24	19%

漁獲割合は $ABC \div \text{資源量}$ 。Fcurrent は 2010 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
2009	54	16	0.40	29%
2010	58	13	0.30	23%
2011	68	-	-	-

2011 年の資源量は加入量を仮定した値。

水準：中位 動向：横ばい

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

ムシガレイ日本海系群は、底びき網、刺し網、はえ縄等で漁獲されるが、その殆ど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4千トン程度あったが、1978年をピークに減少し、1990年以降は1～2千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南西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（三栖ほか 1973）対馬以東で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、対馬以西では春～夏に対馬西海域に滞留して秋には南西へ回遊、越冬する。

(2) 年齢・成長

全長は1歳で約11cm、2歳で約17cm、3歳で約21cm、4歳で約25cm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29、27cm、6歳で約32、29cm、7歳で約34、30cm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、成長するにつれ沖合へ移動する（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）。コホート解析においては、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。さらに全長約 18cm から魚類を捕食する（今岡 1972）。島根県の精密測定・胃内容物観察では、エンコウガニ類、エビジャコ類が高い頻度で出現している（島根県水産技術センター 未発表）。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

ムシガレイは、日本海南西部海域において、底びき網や刺し網、釣・はえ縄等で漁獲されるが、漁獲の殆どが底びき網漁業によるものである。底びき網漁業でも浜田港と下関港を基地とする 2 そうびき沖底（浜田以西）の漁獲が多く、漁業種類別統計が概ね整備された 1986 年以降では、総漁獲量の 47～78% を占める（図 4、表 1）。また 2 そうびき沖底（浜田以西）にとってムシガレイは最も重要な漁獲対象種であり、その漁場は対馬南西域から隠岐周辺と本系群の分布域とほぼ一致する。

(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。その後は近年まで低水準で推移している（図 4、表 1）が、後述のように努力量の減少も継続している。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。韓国全域では 2006 年以降、例年 2 万トン以上のカレイ類が漁獲され、2010 年も 2.0 万トンであったが、このうちのムシガレイの割合は明らかではない。

(3) 漁獲努力量の推移

2 そうびき沖底（浜田以西）の有効漁獲努力量（補足資料 4）は 1980 年代前半には 8 万網程度あったが、その後減少し、2010 年には約 2.2 万網と努力量の減少傾向は現在も引き続き認められる（図 5）。

4. 資源の状態

(1) 資源評価の方法

1966 年以降の日本海南西部海域（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・山口各県の小底について、漁獲量、漁獲努力量等の情報を収集するとともに、2 そうびき沖底の漁獲成績報告書から資源密度指数、資源量指数等を算出した。

これらの漁業情報に加え、1993 年以降は漁獲物の生物測定結果に基づき年齢別漁獲尾数を求め、コホート解析により評価を行った。

(2) 資源量指標値の推移

本系群の資源量指標値として、2 そうびき沖底（浜田西）の資源量指数と資源密度指数を用いた（補足資料 4）。

資源量指数は、1980年代に低水準まで減少し、1990年以降は、若干、年変動しつつ概ね低水準で推移した。近年では2008、2009年に約24,000とやや高い値を示したが、2010年には20,182まで低下した(図6)。なお、水準の判断基準は、過去の最高(およそ60,000)から0までを3等分した値(20,000と40,000)とした。資源密度指数は、資源量指数と概ね同様の変動を示すが、1990年代以降、資源量指数は横ばいから若干の増加に対し、資源密度指数はかなり増加している(図7)。

ムシガレイの有漁漁区は1970年代1,000程度あったが、近年はその半分程度に減少している。このような場合、資源量指数では近年は過小評価となるが、資源密度指数も検討する必要がある。例えば、有漁漁区数が多い年にはCPUE(kg/網)が低い漁区も利用し、有漁漁区数が少ない年ではCPUEの高い漁区のみを利用したとすると、資源密度指数は過大評価となる。ムシガレイは、2そうびき沖底の漁獲対象種の中で最も重要な魚種であり、有漁漁区はCPUEが低い漁区から減少している傾向が認められる。そこで、1993年以降に限られるが後述するコホート解析による資源量の変化と比較すると資源量指数と同様に若干の増加にとどまっていることから、資源水準の判断には資源量指数を用いた。

(3) 漁獲物の年齢組成

1993～2009年の年齢別漁獲尾数を求めた(図8、補足表1、補足資料3)。小底および1そうびき沖底の漁獲物は、2そうびき沖底と同様の年齢組成であると仮定した。例年、1～2歳魚が主体で漁獲されている。

(4) 資源量と漁獲割合の推移

コホート解析により推定された資源量を図9に示す(補足表2)。解析は、1歳魚以上について行い、値は0歳魚を含まない漁獲対象資源を表す。

資源量は、長期的には安定しているが、1995、2001年に緩やかなピークがあり、2004年以降は増加している。漁獲割合は1996、2003、2006年にピークがみられ、最近年は2年続けて減少している(図9)。加入量(1歳魚資源尾数)は、2003年に低い値を示した後、2007年まで増加、2008、2009年は減少したが2010年には再度増加した(図10)。親魚量は長期的に安定しており、2008年以降、増加傾向が認められる(図10)。親魚量と加入量の間には、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、翌年(N+1年)の加入量(1歳魚)を親魚量(N年)で除して求めた(図12)。再生産成功率は、2000年と2006年にピークがみられ、2007年から2008年に低下し、2009年は2008年と同程度であった。長期的にみると、最近5年間の再生産成功率は比較的高い水準にある。

コホート解析に用いた自然死亡係数(M=0.35)が推定値に与える影響をみるために、Mを0.25から0.45まで変化させた場合の2010年の資源量、親魚量、加入量を図13に示す。Mが大きくなるにつれて、いずれも大きくなる。

(5) 資源の水準・動向

2010年の2そうびき沖底(浜田以西)の資源量指数は、低位水準と中位水準の境界よりも僅かではあるが高い値を示した。コホート解析による資源量は1993年以降に限られるが

比較的高い水準にあることから、資源水準は中位と判断した。

資源動向について、2010年の資源量指数及び資源密度指数は、2008、2009年から減少し、2006～2007年よりは高いがほぼ同じ水準にある。一方、コホート解析による資源量は増加傾向を示しており、資源量指数や密度指数と異なる傾向を示したが、コホート解析の結果は暫定値を含むことから資源動向は横ばいと判断した。

(6) 資源と漁獲の関係

資源量指数や資源密度指数の値は、2010年には2008、2009年よりも減少したものの、2000年以降、横ばいもしくは増加傾向を示している。コホート解析による資源量は、長期的には安定しており、近年は緩やかに増加している(図9)。漁獲係数F(各年齢のFの単純平均)は、1994年以降、増減しながら、0.3～0.6で推移している(図14)。漁獲割合、有効努力量(図9)及びFは、2007年以降連続して低下しており、この近年の漁獲圧のもとで、最近5ヶ年平均の再生産成功率が続くと仮定した場合、資源の増加が期待される。

年齢別選択率を一定(=2010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。現状のF(2010年の $F_{current}=0.30$)は $F_{max}=0.35$ や $F_{30\%SPR}=0.34$ よりもやや低く、 $F_{sus}(1.7F_{current}=0.51)$ よりもかなり低い。

5. 2012年ABCの算定

(1) 資源評価のまとめ

ムシガレイの漁獲量は、1990年代以降、近年も含め低水準であるが、沖底2そうびきの資源量指数および資源密度指数は、2000年代以降、横ばいから増加傾向にあり、2010年の資源量指数は中水準にある。

コホート解析により推定された資源量は増加傾向にあるが、最近5年間の資源量指数および資源密度指数は横ばい傾向にあり、コホート解析には暫定値が含まれることを考慮して資源動向は横ばいと判断した。

漁獲統計による努力量の指標値、コホート解析によるF値および漁獲割合は低下傾向を示しており、近年の漁獲圧は比較的低い水準にある。

以上のことから、本系群の2010年の資源水準は中位、動向は横ばいと判断され、現状の漁獲圧および最近年の再生産成功率の下であれば、資源量・漁獲量ともに増加すると考えられる。

(2) ABC並びに推定漁獲量の算定

資源回復措置を講じる資源量の閾値である 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、動向は横ばいであり、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。

$$F_{limit} = (\text{基準値か現状の } F) \times \beta_1 \cdots \beta_1 \text{ は } 1 \text{ 以下の値。}$$

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

現状のFを2010年のFとし、これを F_{limit} とした。ABCの算定および「(3) ABC $_{limit}$

の評価」では、以下の仮定を行った。2011年のFは2010年と同じ。2012年以降の年齢別選択率は直近3年の平均（4歳以上の選択率を1とすると、1歳=0.47、2歳=1.02、3歳=1）。2011年以降の再生産成功率は過去5年の平均値（2005～2009年）で一定（16.0尾/kg）とした。2010年のFで計算した資源量および漁獲量の将来予測はともに増加するので $\beta_1=1$ とした。これらの仮定のもとで計算された漁獲量は、2011年が1,526トン、2012年が1,772トンであった。

α を標準値の0.8として計算された2012年の漁獲量は1,463トンであった。

	2012年ABC（百トン）	資源管理基準	F値	漁獲割合
ABClimit	18	Fcurrent	0.30	23%
ABCtarget	15	0.8・Fcurrent	0.24	19%

漁獲割合は $ABC \div \text{資源量}$ 。Fcurrentは2010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、現状の F (2010 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。なお、 $F=0.51(1.7F_{\text{current}} \div F_{\text{sus}})$ のとき、漁獲量・資源量ともに安定するが、現状の F でも 2015 年には同等の漁獲量となる。

F	基準値	漁獲量 (トン)						
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0.21	0.7F _{current}	1,313	1,526	1,300	1,633	2,014	2,486	3,068
0.24	0.8F _{current}	1,313	1,526	1,463	1,789	2,162	2,615	3,162
0.27	0.9F _{current}	1,313	1,526	1,620	1,931	2,287	2,710	3,211
0.30	1.0F _{current}	1,313	1,526	1,772	2,058	2,390	2,775	3,223
0.33	1.1F _{current}	1,313	1,526	1,919	2,172	2,474	2,815	3,204
0.36	1.2F _{current}	1,313	1,526	2,061	2,275	2,542	2,834	3,161
0.39	1.3F _{current}	1,313	1,526	2,199	2,366	2,595	2,835	3,100
0.51	1.7F _{current}	1,313	1,526	2,708	2,637	2,692	2,711	2,737

F	基準値	資源量 (トン)						
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
0.21	0.7F _{current}	5,829	6,755	7,865	9,810	12,140	14,997	18,489
0.24	0.8F _{current}	5,829	6,755	7,865	9,578	11,600	14,038	16,964
0.27	0.9F _{current}	5,829	6,755	7,865	9,352	11,090	13,147	15,573
0.30	1.0F _{current}	5,829	6,755	7,865	9,134	10,607	12,319	14,305
0.33	1.1F _{current}	5,829	6,755	7,865	8,922	10,150	11,549	13,147
0.36	1.2F _{current}	5,829	6,755	7,865	8,817	9,717	10,832	12,090
0.39	1.3F _{current}	5,829	6,755	7,865	8,518	9,307	10,165	11,124
0.51	1.7F _{current}	5,829	6,755	7,865	7,782	7,870	7,923	8,016

F_{current}=2010 年の F、F 値は各年の F の単純平均。

(4) ABC の再評価

昨年度評価以降追加されたデータセット	修正・更新された数値
2010 年漁獲量	2010 年漁獲量の確定
2010 年資源量指数、資源密度指数 (2 そうびき沖合底びき網漁業)	水準、動向判断
2010 年年齢別漁獲尾数	2010 年までの資源尾数、漁獲係数、再生産関係、年齢別選択率

2008～2010年の評価ではチューニングに資源密度指数を用いていたが、2011年の評価は資源量指数を用いた。資源密度指数による値を下表のカッコ内に示した。

評価対象年	管理基準	F 値	資源量 (百トン)	ABClimit (百トン)	ABCtarget (百トン)	漁獲量 (百トン)
2010年(当初)	Fcurrent	0.35	88	22	18	
2010年(再評価)	Fcurrent	0.38	60	16	13	
2010年 (2011年再評価)	Fcurrent	0.40 (0.39)	58 (60)	17 (17)	14 (14)	13
2011年(当初)	Fcurrent	0.31	89	20	17	
2011年(再評価)	Fcurrent	0.30 (0.29)	68 (71)	15 (15)	13 (13)	

2010年、2011年ともに当初評価時よりも再評価時に資源量が大幅に減少したのは、当初評価時に予測値であった1歳魚の資源尾数が予測値を下回ったためである。

6. ABC 以外の管理方策の提言

年齢別漁獲尾数は、1995年以降、1～2歳魚の割合が60～80%と高く、単価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)。また、商品サイズにならない小型個体が投棄されている可能性があり(石川県水産総合センターほか 1994)、今後、小型魚の保護策について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.
- 三栖 寛・今岡要二郎・末島富治・花淵信夫・小嶋喜久雄・花淵靖子(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. 漁業種類別漁獲量 (単位: トン)

年	2そうびき沖底		1そう沖底	小型底びき網	計
	浜田西	島根東部	日本海西部		
1966	2,829				2,829
1967	2,169				2,169
1968	2,069				2,069
1969	2,247				2,247
1970	2,384				2,384
1971	2,954				2,954
1972	3,371				3,371
1973	3,322				3,322
1974	2,711				2,711
1975	2,920	137			3,057
1976	3,436	109			3,545
1977	3,384	75			3,460
1978	4,906	86			4,991
1979	3,848	100			3,948
1980	4,048	46			4,094
1981	3,604	64			3,668
1982	3,721	38	2		3,761
1983	2,588	27	11		2,625
1984	2,490	50	6		2,546
1985	1,764	49	4		1,817
1986	1,887	72	2	456	2,417
1987	1,364	61	4	379	1,808
1988	1,017	40	1	314	1,373
1989	1,107	89	1	317	1,514
1990	1,221	68	5	428	1,722
1991	1,292	101	3	331	1,726
1992	1,187	139	2	393	1,722
1993	821	141	6	362	1,330
1994	814	157	5	333	1,308
1995	970	175	2	531	1,678
1996	1,225	140	2	593	1,960
1997	960	126	31	408	1,526
1998	507	115	17	444	1,083
1999	763	110	22	411	1,305
2000	1,037	107	10	377	1,531
2001	1,228	161	18	347	1,754
2002	1,346	179	12	362	1,899
2003	1,210	151	16	406	1,783
2004	887	110	37	197	1,231
2005	1,007	199	15	303	1,524
2006	1,076	191	22	385	1,674
2007	990	164	29	326	1,509
2008	1,074	243	24	318	1,659
2009	1,037	236	11	270	1,554
2010	833	172	32	276	1,313

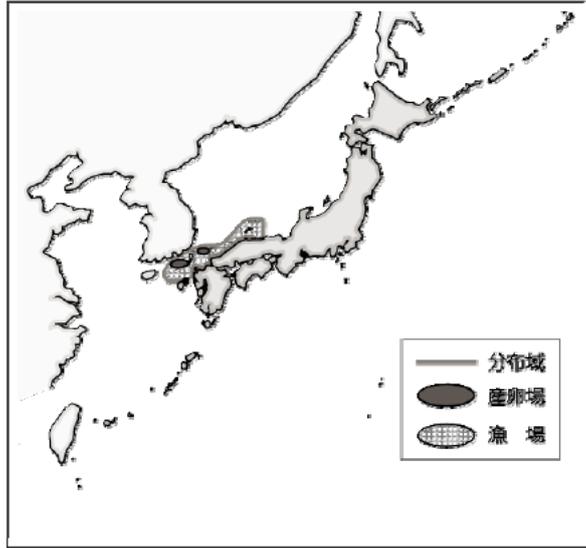


図1. ムシガレイ日本海系群の分布

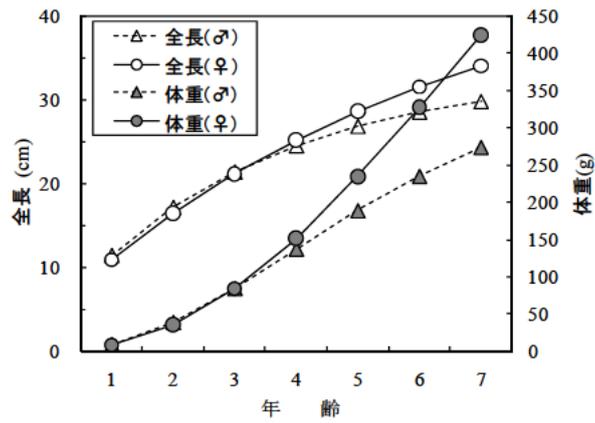


図2. 年齢と成長

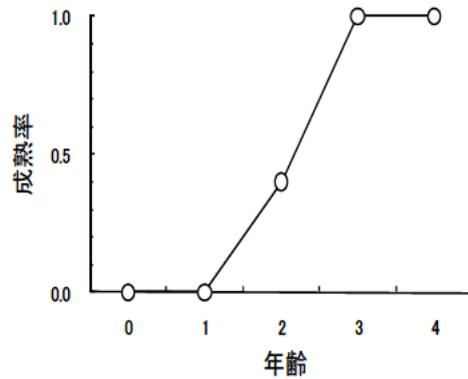


図3. 年齢と成熟率

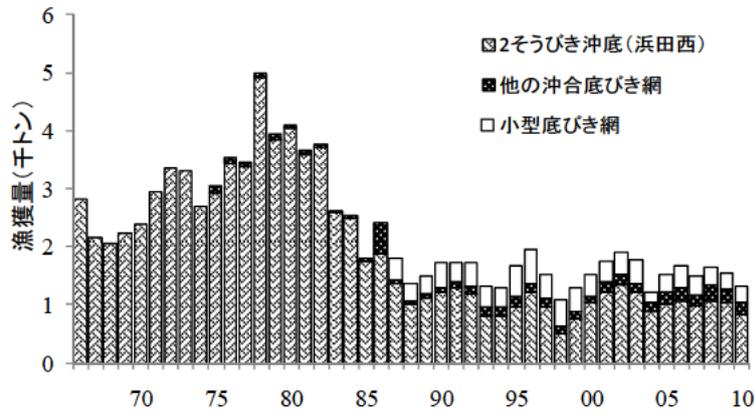


図4. 漁業種類別漁獲量の推移 (1986年以前の小底のデータは無い)

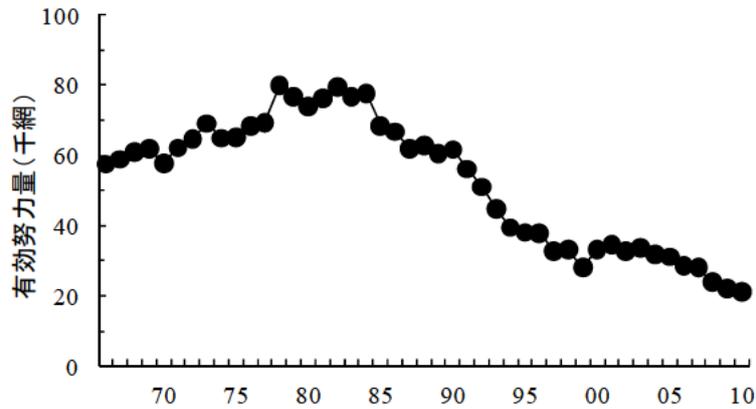


図5. 2そうびき沖底 (浜田以西) の有効漁獲努力量

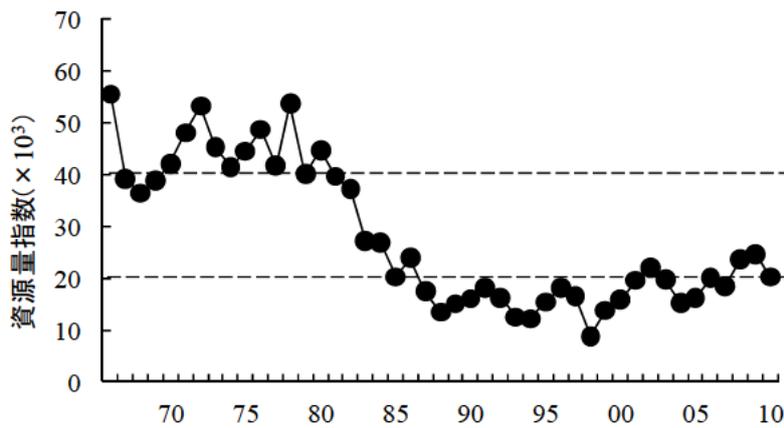


図6. 2そうびき沖底 (浜田以西) の資源量指数
破線は、資源量指数の最高値 (約 60,000) を三等分した値である。

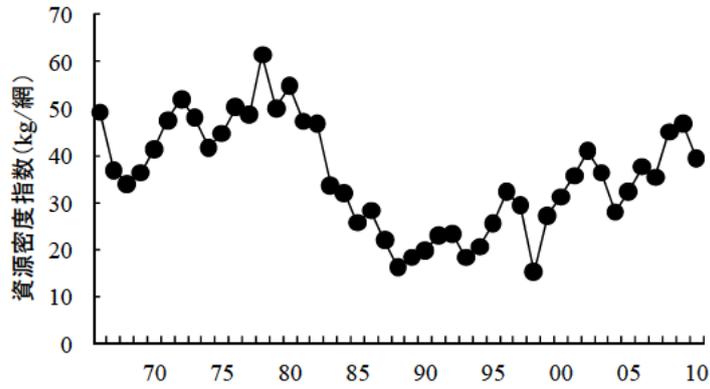


図7. 2そうびき沖底（浜田以西）の資源密度指数

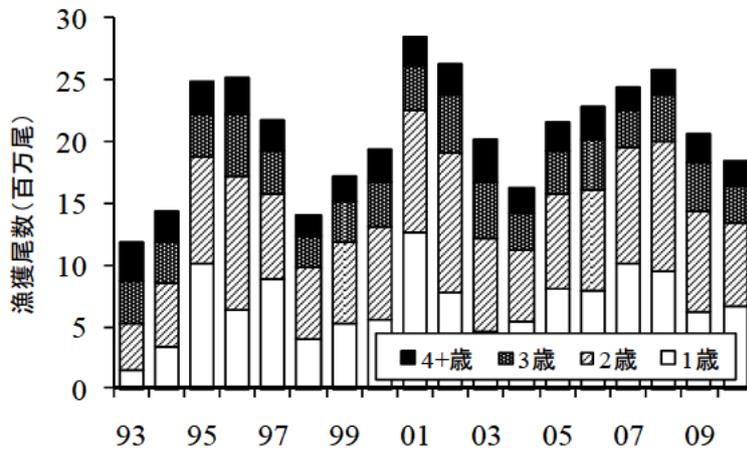


図8. 年齢別漁獲尾数

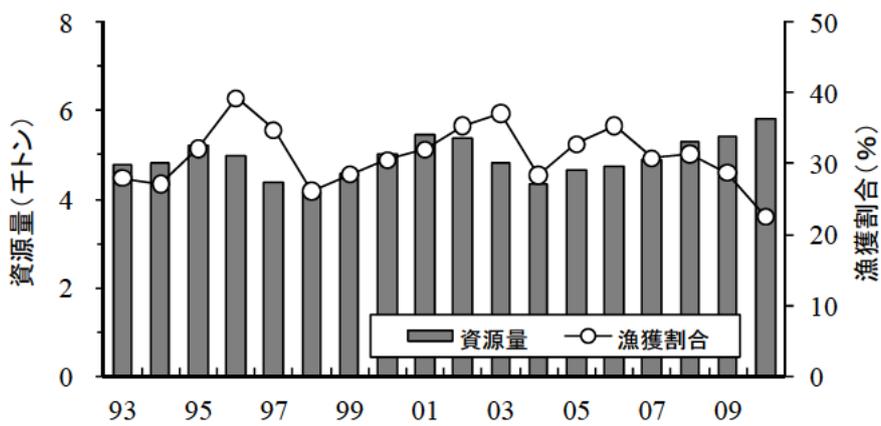


図9. 漁獲割合と資源量

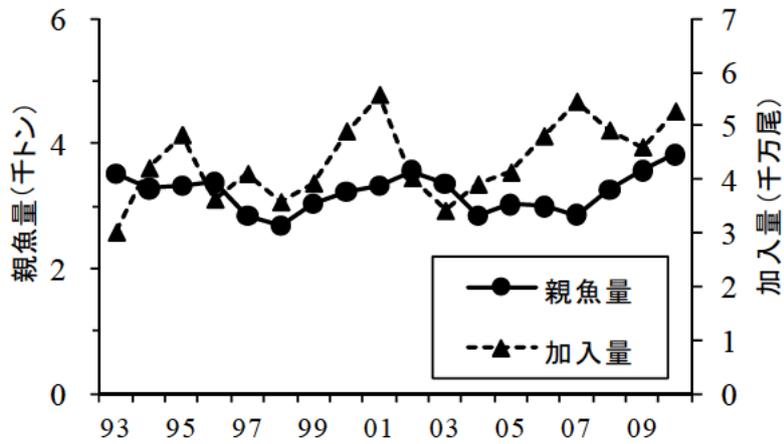


図 10. 親魚量と加入量 (1 歳魚)

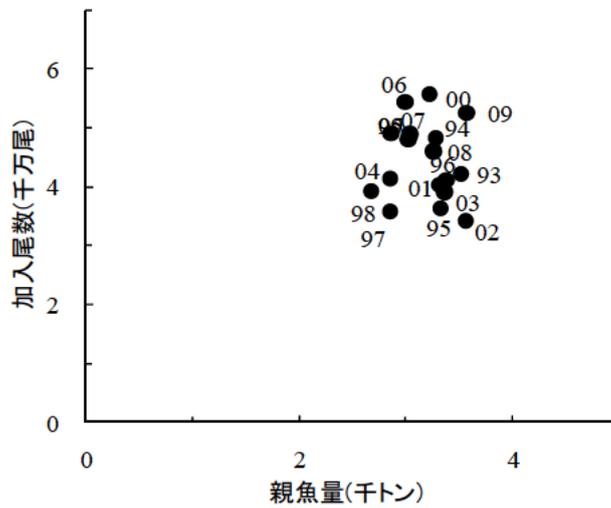


図 11. 親魚量と加入量 (1 歳魚) の関係 ラベルは産卵年を表す。

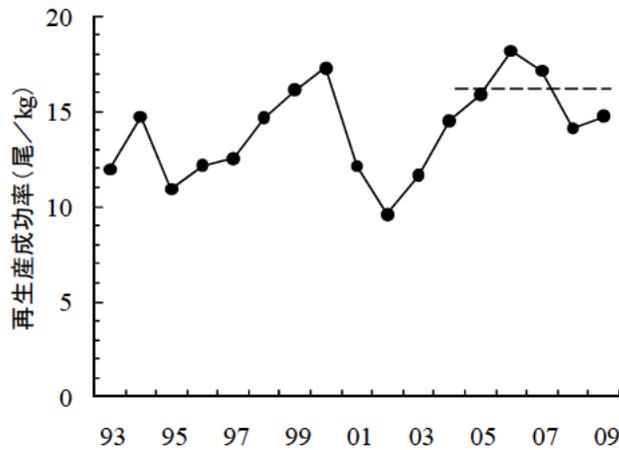


図 12. 再生産成功率 (翌年の加入量 (1 歳魚) ÷ 当該年の親魚量。) 破線は、直近 5 ヶ年の再生産成功率の平均(16.1)である。

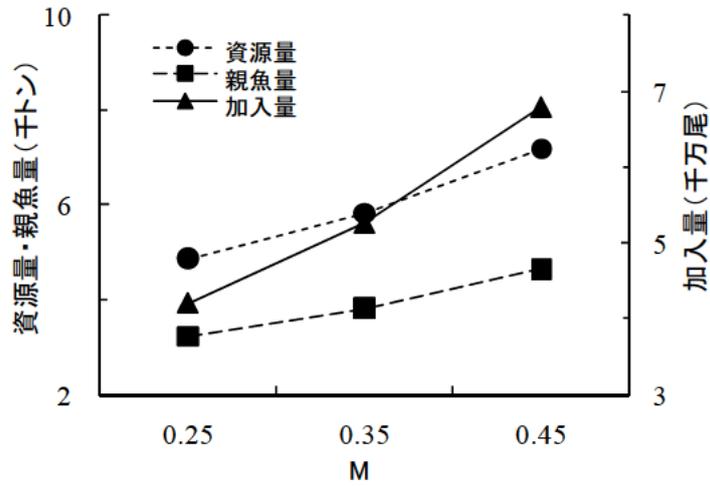


図 13. M と 2010 年資源量、親魚量、加入量の関係

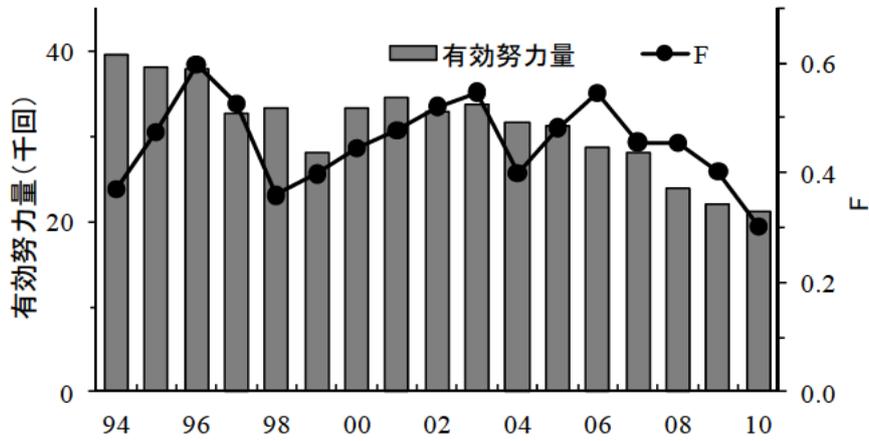


図 14. F と 2 そうびき沖底 (浜田以西) の有効努力量

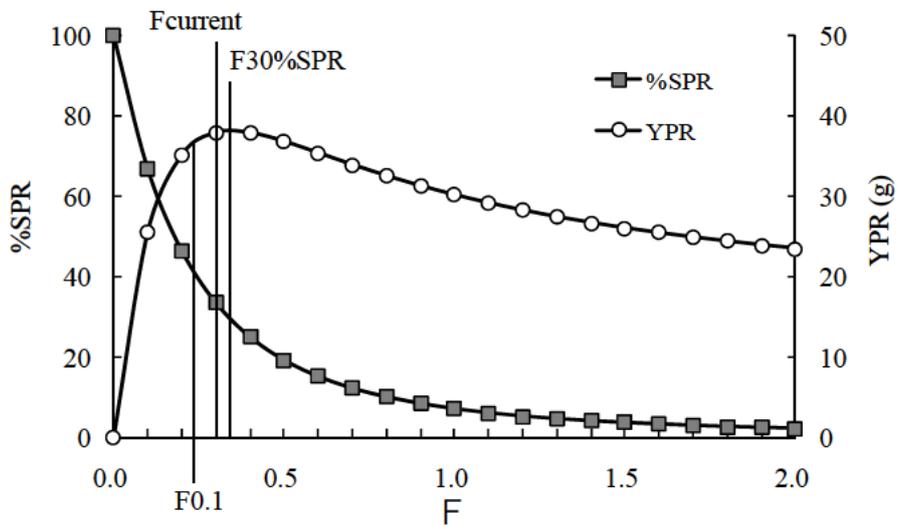


図 15. YPR と SPR

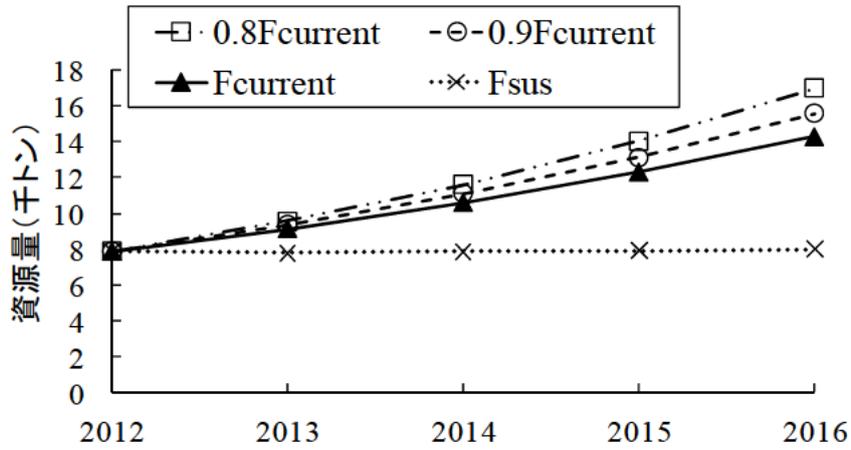


図 16. 様々な F による漁獲量の予測値

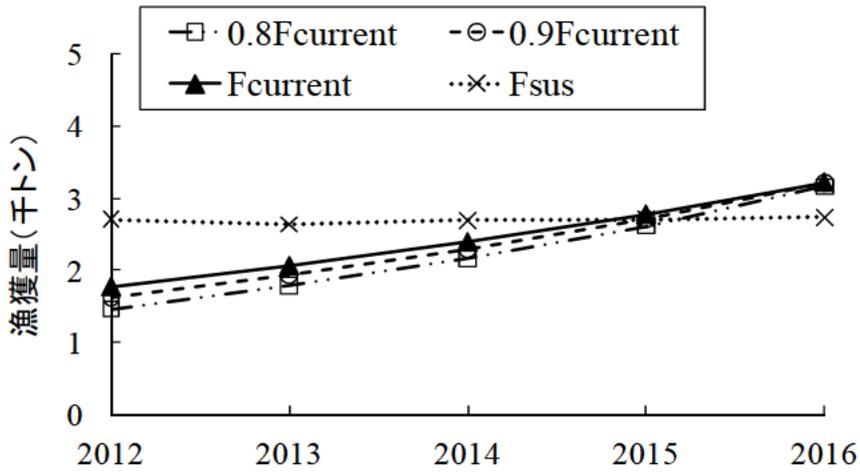
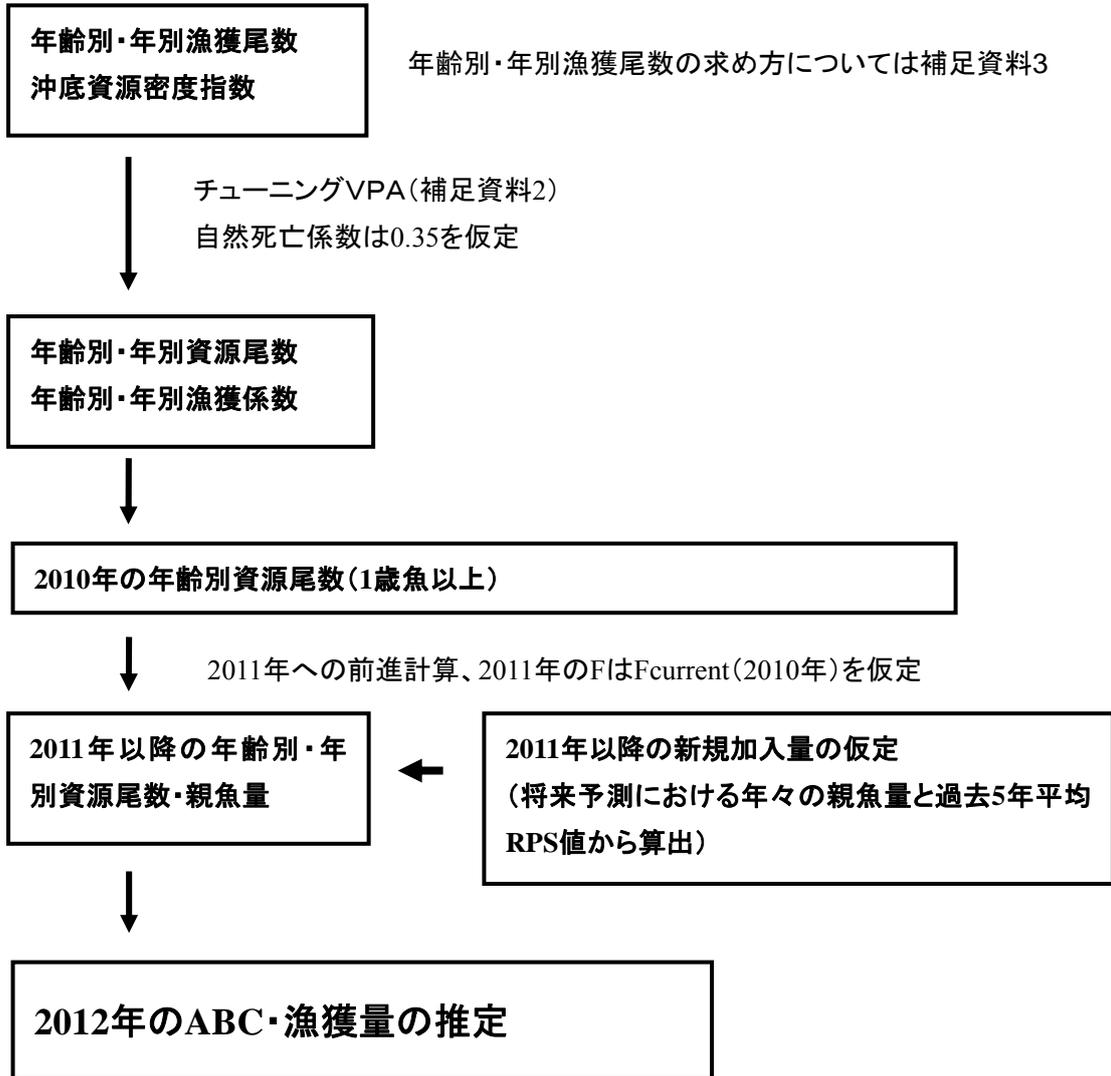


図 17. 様々な F による資源量の予測値

補足資料1 資源評価のフロー



補足資料2 コホート解析

0歳魚は漁獲されないため、1歳魚以上の漁獲対象資源について、最高齢群は4歳以上とした(以下、4+と表す)。用いた各年齢の体重と成熟率は下表に示す。1993～2010年の4+の体重は、各年の4歳と5歳以上の割合で重み付けした平均値を用いた。2011年以降の4+の体重は、1993～2010年の平均値(=214g)で一定とした。自然死亡係数Mは、田内・田中の式(田中1960)により、寿命を7歳として求めた($M=2.5 \div 7 \text{歳} \approx 0.35$)。

年齢	1	2	3	4	5+
体重(g)	20	58	115	188	331
成熟率(%)	0	40	100	100	100

年齢別資源尾数の推定には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。3歳魚は(2)式、4歳以上は(3)式により計算した。

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

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

ただし、最近年については全年齢を(4)式により計算した。

$$N_{a,y} = \frac{C_{a,y} \exp\left(\frac{M}{2}\right)}{1 - \exp(-F_{a,y})} \quad (4)$$

以上の計算の後、資源量指数を用いて最近年の3歳と4+歳のFを式(5)、(6)でチューニングした。1歳と2歳のFは2010年の年齢別選択率が過去3年平均(2007～2009年)とした。

$$\text{最小} \sum_{y=2002}^{2010} \left\{ \ln(q \cdot B_y) - \ln(CPUE_y) \right\}^2 \quad (5)$$

$$q = \left(\frac{\prod_{y=2002}^{2010} CPUE_y}{\prod_{y=2002}^{2010} B_y} \right)^{\frac{1}{9}} \quad (6)$$

ここで、Bは資源量、CPUEは沖合底びき網(2そうびき)の資源量指数。なお、2008～10年の評価ではチューニングに資源密度指数を用いていたが、資源水準の判断には資源量指数を用いていることから、資源量指数に変更した。なお、チューニングに資源密度指数を使っても計算された資源量には殆ど差は無い。

補足資料 3 年齢別漁獲尾数

1993～2010年に島根県浜田漁港において、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をベースに、評価対象資源全体の年齢別漁獲尾数を求めた。

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、サイズ依存性のある入り数銘柄と散銘柄がある。両銘柄について、2002年3月～2010年12月までの市場調査データを基に、雌雄込みの銘柄別全長組成（箱内尾数）Keyを作成し（入り数銘柄は53種、散銘柄は8種）、1993～2010年の各月において、島根県浜田漁港に2 そうびき沖底により水揚げされたムシガレイの全長組成（漁獲尾数）を算出した。

そして、1989～2003年に日本海南西部海域における試験操業による採集物ならびに市場購入した水揚げ物のムシガレイ 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）の年齢査定結果に基づく、3～5月、6～8月、9～11月、および12～2月における Age-Length Key（平成17年資源評価報告書）を用い、浜田漁港における2 そうびき沖底により入り数・散銘柄として水揚げされたムシガレイの各月の年齢別漁獲尾数を算出した。なお、用いた ALK は、本種の起算日を3月1日としており、1月と2月の各年齢群は+1歳群として扱った。

次に、入り数・散銘柄として水揚げされたムシガレイの各月の年齢別漁獲尾数を、サイズ依存性のない他の銘柄の漁獲量を含む浜田2 そうびき沖底の全体の漁獲量の年齢別漁獲尾数に、各月で引き延ばした。さらに、各月の年齢別漁獲尾数を3～5月、6～8月、9～11月、12月および1～2月の期間で合算し、各期間の、山口県下関及び島根県東部2 そうびき沖底、1 そうびき沖底及び小底の漁獲量を含む評価対象である総漁獲量の年齢別漁獲尾数に引き延ばした。これらの総和を、各年（暦年）における評価対象の年齢別漁獲尾数とし、コホート解析に用いた。

補足資料 4 2 そうびき沖底の漁獲成績報告書を用いた資源量指標値の算出方法

2 そうびき沖底の漁獲成績報告書では、月別漁区（10 分柁目）別の漁獲量と網数が集計されている。これらより、月 i 漁区 j における CPUE(U)は次式で表される。

$$U_{i,j} = \frac{C_{i,j}}{X_{i,j}}$$

上式で C は漁獲量を、 X は努力量（網数）をそれぞれ示す。

集計単位（月または小海区）における資源量指数(P)は CPUE の合計として次式で表される。

$$P = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J U_{i,j}$$

集計単位における有効漁獲努力量(X')と漁獲量(C)、資源量指数(P)の関係は次式のように表される。

$$P = \frac{CJ}{X'} \quad \text{すなわち} \quad X' = \frac{CJ}{P}$$

上式で J は有漁漁区数であり、資源量指数(P)を有漁漁区数(J)で除したものが資源密度指数(D)である。

$$D = \frac{P}{J} = \frac{C}{X'}$$

広がりのある漁場内では魚群の密度は濃淡があるのが通常であり、魚群密度が高いところに漁船が集中して操業した場合、総漁獲量を総網数で割った CPUE は高い方に偏る。そこで漁場を 10 分柁目の漁区に細分し、漁区内での密度は一樣と仮定して、魚群や努力量の偏りを補正し、資源量を指数化したのが資源量指数と資源密度指数である。

2 そうびき沖底のように有漁漁区数が減少した場合、漁船の漁区を選択性が資源量指数と資源密度指数に影響を与える。底びき網は複数の魚種を対象とし、魚種によって分布密度が高い場所が異なるため、有漁漁区数の減少は漁獲の主対象となる魚種の分布密度が高い漁区に操業が集中することが考えられる。このような場合、資源密度指数で有漁漁区数が多い時代と減少した時代を比較すると、資源密度指数は密度が高い漁区の平均であるので減少した時代は過大となり、資源量指数では密度が低い漁区のデータが無いのでその分だけ過小となる。一方漁獲の主対象ではない魚種では、その魚種の分布密度に影響されにくいため、漁区数の減少は合計値である資源量指数を過小とすることから資源密度指数の方が良い指標値と考えられる。

ムシガレイは 2 そうびき沖底の最重要魚種であり、その分布密度が漁区を選択に影響を与えると考え、過大評価の可能性を重要視して資源量指数を資源量の指標値として用いた。

補足表1. ムシガレイ日本海系群のコホート解析

年齢別獲尾数 (千尾)		1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1歳		1,446	3,341	10,169	6,339	8,882	3,974	5,272	5,632	12,723	7,773	4,596	5,477	8,095	7,945	10,108	9,494	6,268	6,654
2歳		3,825	5,300	8,583	10,811	6,881	5,853	6,555	7,474	9,864	11,250	7,528	5,739	7,708	8,235	9,438	10,597	8,126	6,771
3歳		3,476	3,188	3,501	5,074	3,523	2,590	3,309	3,646	3,561	4,762	4,689	3,008	3,466	4,058	2,996	3,731	3,937	2,939
4+歳		3,137	2,596	2,682	2,983	2,522	1,718	2,060	2,633	2,388	2,597	3,353	2,036	2,383	2,644	1,925	2,021	2,387	2,076
合計		11,884	14,424	24,935	25,208	21,808	14,135	17,195	19,384	28,536	26,382	20,165	16,259	21,652	22,882	24,466	25,842	20,717	18,441
年齢別漁獲重量 (トン)		1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1歳		29	67	205	128	179	80	106	114	257	157	93	110	163	160	204	191	126	134
2歳		221	307	497	626	398	339	380	433	571	651	436	332	446	477	546	614	470	392
3歳		401	367	403	585	406	298	381	420	410	549	540	347	399	468	345	430	454	339
4+歳		679	566	573	622	543	365	438	564	516	542	714	442	515	569	413	424	504	449
合計		1,330	1,308	1,678	1,960	1,526	1,083	1,305	1,531	1,754	1,899	1,783	1,231	1,524	1,674	1,509	1,659	1,554	1,313
漁獲係数F		1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1歳		0.059	0.099	0.289	0.233	0.298	0.142	0.174	0.148	0.318	0.261	0.174	0.183	0.266	0.220	0.250	0.262	0.177	0.163
2歳		0.288	0.377	0.479	0.705	0.518	0.393	0.441	0.483	0.503	0.634	0.528	0.412	0.511	0.579	0.534	0.550	0.452	0.353
3歳		0.536	0.503	0.562	0.726	0.641	0.450	0.488	0.575	0.544	0.593	0.741	0.502	0.575	0.690	0.519	0.504	0.488	0.347
4+歳		0.536	0.503	0.562	0.726	0.641	0.450	0.488	0.575	0.544	0.593	0.741	0.502	0.575	0.690	0.519	0.504	0.488	0.347
合計		0.355	0.370	0.473	0.597	0.525	0.359	0.398	0.445	0.477	0.520	0.546	0.400	0.482	0.544	0.455	0.455	0.401	0.303
年齢別資源尾数 (千尾)		1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1歳		30,226	42,083	48,242	36,321	41,044	35,817	39,286	48,914	55,659	40,272	34,194	39,093	41,324	48,007	54,400	49,081	45,987	52,602
2歳		18,197	20,086	26,851	25,459	20,274	21,468	21,903	23,259	29,741	28,542	21,855	20,238	22,951	22,325	27,160	29,850	26,617	27,145
3歳		9,980	9,612	9,705	11,716	8,865	8,510	10,215	9,933	10,116	12,678	10,669	9,081	9,444	9,703	8,820	11,217	12,139	11,936
4+歳		9,005	7,827	7,434	6,888	6,346	5,645	6,358	7,172	6,783	6,915	7,629	6,145	6,495	6,322	5,666	6,077	7,359	8,432
合計		67,408	79,608	92,233	80,385	76,530	71,440	77,762	89,278	102,300	88,408	74,347	74,557	80,214	86,357	96,046	96,225	92,102	100,114
年齢別資源重量 (トン)		1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
1歳		609	848	973	732	828	722	792	986	1,122	812	689	788	833	968	1,097	990	927	1,061
2歳		1,054	1,163	1,555	1,474	1,174	1,243	1,268	1,347	1,722	1,653	1,265	1,172	1,329	1,293	1,573	1,728	1,541	1,572
3歳		1,150	1,107	1,118	1,350	1,021	981	1,177	1,144	1,166	1,461	1,229	1,046	1,088	1,118	1,016	1,292	1,399	1,375
4+歳		1,950	1,707	1,589	1,435	1,366	1,200	1,351	1,538	1,465	1,443	1,625	1,334	1,404	1,361	1,217	1,276	1,554	1,821
合計		4,763	4,826	5,234	4,992	4,389	4,145	4,588	5,015	5,475	5,369	4,809	4,340	4,654	4,739	4,902	5,286	5,421	5,829

補足表2. ムシガレイ日本海系群のコホート解析

	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
資源量(トン)	4,763	4,826	5,234	4,992	4,389	4,145	4,588	5,015	5,475	5,369	4,809	4,340	4,654	4,739	4,902	5,286	5,421	5,829
親魚量(トン)	3,521	3,280	3,329	3,375	2,857	2,678	3,035	3,221	3,320	3,565	3,361	2,849	3,024	2,996	2,862	3,260	3,569	3,825
加入量(千尾)	30,226	42,083	48,242	36,321	41,044	35,817	39,286	48,914	55,659	40,272	34,194	39,093	41,324	48,007	54,400	49,081	45,987	52,602
漁獲割合(%)	27.9	27.1	32.1	39.3	34.8	26.1	28.4	30.5	32.0	35.4	37.1	28.4	32.7	35.3	30.8	31.4	28.7	22.5
再生産成功率	12.0	14.7	10.9	12.2	12.5	14.7	16.1	17.3	12.1	9.6	11.6	14.5	15.9	18.2	17.1	14.1	14.7	

資源量は、0歳魚を含まない漁獲対象の値である。

親魚量は、年齢別資源尾数に年齢別成熟率を乗じ、さらに、年齢別平均体重を乗じた値である。

加入量は、1歳魚の資源尾数である。

再生産成功率は、翌年(N+1年)の加入量(1歳魚)を親魚量(N年)で除した値である。