

令和 3（2021）年度ムシガレイ日本海南西部系群の資源評価

水産研究・教育機構 水産資源研究所 水産資源研究センター

参画機関：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

本系群の資源量について、2 そうびき沖合底びき網の標準化 CPUE を考慮したコホート解析により推定した。本系群の漁獲量は、1970 年代末の約 5,000 トンをピークとし、その後増減を伴いながらも 1990 年代後半の約 1,000 トンにまで減少した。2009 年以降はさらに減少しており、2020 年の漁獲量は前年を 97 トン下回る 435 トンであった。資源量は 2009 年までは 4,000～5,000 トンで推移していたが、その後減少し、2016 年には 1,713 トンとなった。2017 年以降は増加傾向にあり、2020 年の資源量は 2,335 トンと推定された。親魚量も 2017 年以降緩やかに増加しており、2020 年は 1,488 トンであった。

将来予測、管理に係る目標等基準値、資源の動向などについては、本年度中に開催される研究機関会議資料に記述します。

年	資源量 (トン)	親魚量 (トン)	漁獲量 (トン)	F 値	漁獲割合 (%)
2017	1,780	1,167	485	0.37	27
2018	1,919	1,291	553	0.39	29
2019	2,024	1,361	532	0.35	26
2020	2,335	1,488	435	0.24	19

各年の資源量は漁獲対象資源量を示す。年は暦年、2020 年の漁獲量は暫定値である。F 値は各年齢の平均値。

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	主要港水揚げ量(山口県、島根県、鳥取県) 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)
自然死亡係数(M)	年あたり M=0.35 を仮定
漁獲努力量、資源量指数	沖合底びき網漁業漁獲成績報告書(水産庁)*

*はチューニング指数の算出に使用した情報・調査である。

1. まえがき

ムシガレイは日本近海に広く分布し、日本海南西海域（東経 135° 以西）における底びき網漁業の重要な対象種である。本種は韓国でも漁獲されているが詳細が不明であることから、本評価では、日本海南西海域において日本漁船によって漁獲される群を評価対象と

して取り扱っている。

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。日本海側では青森県～対馬までの広範囲に分布するが、山口県および島根県沖の日本海南西海域が主分布域である（図 1、今岡・三栖 1969）。対馬以東では、秋に対馬北東から見島北西の海域に分布が集中するが、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（三栖ほか 1973）。幼魚は浅海に生息し、成長にともない沖合へ移動する（今岡 1977）。

(2) 年齢・成長

全長は雌雄それぞれ 1 歳で 10.9 cm、11.4 cm、2 歳で 16.5 cm、17.2 cm、3 歳で 21.2 cm、21.4 cm、4 歳で 25.2 cm、24.5 cm となる。5 歳以降は雌雄差が大きくなり、5 歳で雌雄それぞれ 28.6 cm、26.9 cm、6 歳で 31.6 cm、28.6 cm、7 歳で 34.1 cm、29.8 cm となる（図 2、今井・宮崎 2005）。寿命は 7 歳程度と推察される。

(3) 成熟・産卵

成熟開始年齢は雄 2 歳、雌 3 歳である。産卵盛期は、対馬以西では 1 月下旬～2 月下旬、対馬以東では 2 月上旬～3 月上旬である（今岡 1971）。親魚量の計算では、2 歳の成熟率を 0.4、3 歳以上の成熟率を 1 とした。

(4) 被捕食関係

全長約 12 cm までは小型甲殻類を主要な餌とし、約 12 cm 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 18 cm から魚類を捕食する（今岡 1972）。島根県の漁獲物を対象とした精密測定・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）。被食については不明である。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

日本海南西海域におけるムシガレイの漁獲の殆どは底びき網（1 そうびきおよび 2 そうびき沖合底びき網（以下、沖底）と小型底びき網（以下、小底））によるものであり、漁場は対馬南西海域から隠岐諸島周辺に及ぶ。底びき網以外では、刺し網、釣りおよびはえ縄等でも漁獲される。底びき網では浜田漁港と下関港を根拠地とする 2 そうびき沖底（浜田以西）の漁獲が多く、漁業種類別統計が整備された 1986 年以降では、総漁獲量の 47～78% を占める（図 3、表 1）。

(2) 漁獲量の推移

2 そうびき沖底（浜田以西）の漁獲量は、1970 年代末の約 5,000 トンをピークとし、1980 年代の前半に約 2,500 トン、後半には約 1,000 トンにまで減少した。2009 年以降、さらに

減少しており、2020年の漁獲量は313トンであった（図3、表1）。小底の漁獲量は、1986年以降2004年（197トン）を除き300～600トンで推移していたが、2011年からは減少傾向にあり、2020年は93トンであった。2020年の系群全体の漁獲量は、前年を97トン下回る435トンであった。

（3）漁獲努力量

2そうびき沖底（浜田以西）の有効漁獲努力量（補足資料3）は、1970年代後半の約80,000網をピークに減少傾向が続き、2010年には21,102網となった（図4、表2）。その後は約20,000網で安定していたが、2013年以降再び減少し、2020年は12,878網であった。

4. 資源の状態

（1）資源評価の方法

日本海南西海域で操業する1そうびきおよび2そうびき沖底と、山口県、島根県、鳥取県の小底について、1966年以降の漁獲情報を収集した。統計資料が整備されている2そうびき沖底（浜田以西）について、日別・漁船別の漁業データが詳細に整理されており、漁区ごとの水深・水温情報も利用可能な1993年以降の標準化CPUEの計算を行い、資源量指標値とした（補足資料4）。

1993年以降の年齢別漁獲尾数を求め、2そうびき沖底の標準化CPUEをチューニングに用いたコホート解析（補足資料2）により資源量を推定した（補足資料1）。

（2）資源量指標値の推移

2そうびき沖底の標準化CPUE（kg/網）は、1998年の10.0から2003年の23.3にかけて増加した（図5、表2）。その後、2005年の19.7にやや減少したが、以降は再び増加し2008年には過去最高の28.2となった。2009年以降、2014年の13.9に減少し、2015年の16.0に一旦増加した後、2年連続でやや減少した。2018年以降は増加しており、2020年は16.0であった。

長期的な資源量指標値の推移として、1966年以降の2そうびき沖底の資源量指数と資源密度指数（kg/網）の推移を図6と図7にそれぞれ示す。資源量指数は、1960年代後半から1970年代には50,000を超えた年もみられたが、1980年代に減少し、1990年以降は9,000～25,000で推移した（図6、表2）。2011～2015年は16,000前後で推移していたが、2016年以降さらに減少し、2020年は10,988であった。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、資源量指数に比べて増減の幅が大きい（図7、表2）。

（3）漁獲物の年齢（体長）組成

例年、1～2歳魚が漁獲物の主体となっている。1993～2020年の漁獲尾数の変動には、3回のピークがみられる（図8、補足資料6）。近年では、2009年以降、減少傾向にあり、2020年は過去最少となる535万尾であった。

（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1993年以降の資源量を図9、表3および補足資料6に示

す。資源量は、2001年に5,344トンのピークがあり、2004年にかけて減少した後、2008年まで約4,500トンで横ばいであった。2009年以降、減少傾向が続いていたが、2017年に増加に転じ、2020年は2,335トンと推定された。山口県水産研究センターによる桁網調査で得られた分布密度（全長10cm以上）も2017年以降増加傾向を示している（補足資料5）。漁獲割合は2009年の40%から2014年の35%に緩やかに低下した後、2015年の36%に一旦上昇した。その後、2017年の27%にかけて低下した。2020年はさらに低下しており、19%となった（図9、表3）。

1歳魚の資源尾数を加入量とし、その経年変化を親魚量とともに図10および表3に示す。加入量は2009年までは30百万～54百万尾の間で変動していたが、2007年の47百万尾のピークの後には減少が続き、2016年には14百万尾となった。その後、増加傾向に転じており、2020年は23百万尾と推定された。親魚量は、2006年までは3,000トン前後で比較的安定していたが、2009年以降は減少傾向を示し、2016年には1,141トンとなった。その後は緩やかに増加しており、2020年の親魚量は1,488トンと推定された。

漁獲係数 F （各年齢の F 値の単純平均）は、長期的には概ね0.3～0.6で変動している（図11、補足資料6）。近年では2009年の0.59をピークとして、2014年の0.50にかけて緩やかに低下した。2015年に0.53とやや上昇したが、その後は低下傾向にある。2020年の F 値は前年から大きく低下し0.24であった。現状の F 値（ F_{current} ）は2018～2020年の F 値の平均値（0.33）とした。2そうびき沖底の有効漁獲努力量は長期的に減少傾向を示している（図11）。

コホート解析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2020年の資源量、親魚量、加入量を図12に示す。 M を基準値である0.35から0.1増減させたときに生じる資源量、親魚量、加入尾数の増減は30%以下であったが、加入量に与える M の不確実性の影響が他の推定値よりもやや大きい傾向がある。

（5）生物学的管理基準（漁獲係数）と現状の漁獲圧の関係

年齢別選択率に現状と同値を仮定し、 F 値を変化させた場合の加入量当たり親魚量（ SPR ）と加入量当たり漁獲量（ YPR ）を図13に示す。 F_{current} （0.33）は $F_{0.1}$ （0.27）より高いが、 $F_{30\%SPR}$ （0.43）よりも低い。

5. 資源評価のまとめ

本系群の漁獲量は、2009年以降減少傾向にあり、2020年は前年を97トン下回る435トンであった。資源量は2009年までは4,000～5,000トンで推移していたが、その後減少し、2016年には1,713トンとなった。2017年以降は増加傾向にあり、2020年の資源量は2,335トンと推定された。親魚量も2017年以降緩やかに増加しており、2020年は1,488トンであった。

6. その他

年齢別漁獲尾数は1～2歳魚の割合が高く（図8）、単価の安い小型魚が多く漁獲されている。また、商品サイズ以下の小型魚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、小型魚の保護を目的とした資源管理方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. 水大研報, **53**, 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), 118 pp.
- 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.

(執筆者：八木佑太、藤原邦浩、飯田真也、佐久間啓、吉川 茜、白川北斗)

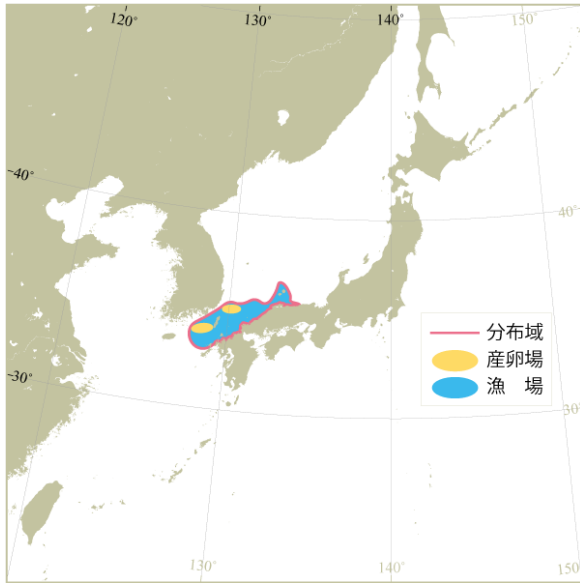


図1. ムシガレイ日本海南西部系群の分布

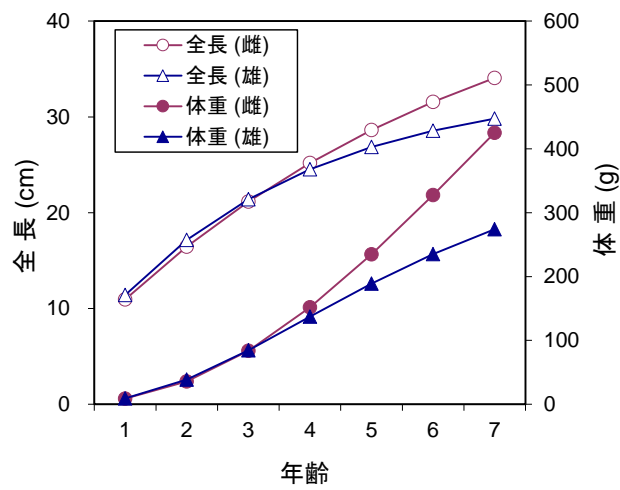


図2. 年齢と成長

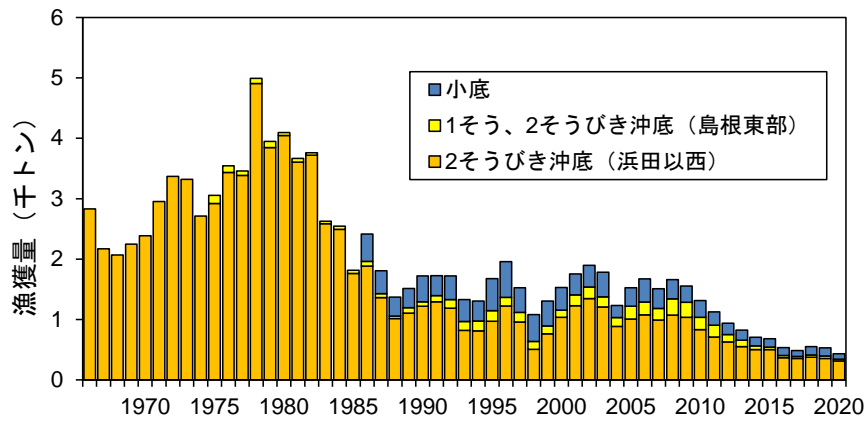


図3. 漁業種別漁獲量の推移 (1985年以前の小底のデータは無い)

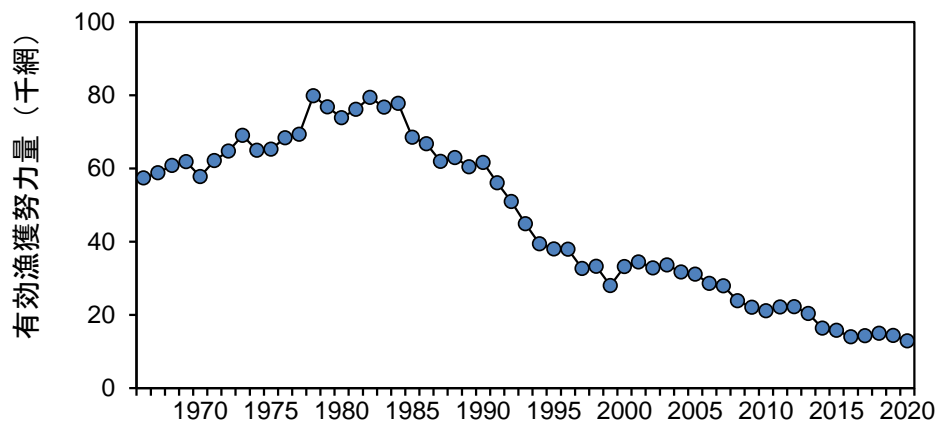


図4. 有効漁獲努力量 (2 そうびき沖底、浜田以西)



図5. 標準化 CPUE (2 そうびき沖底、浜田以西) 破線は 95%信頼区間。

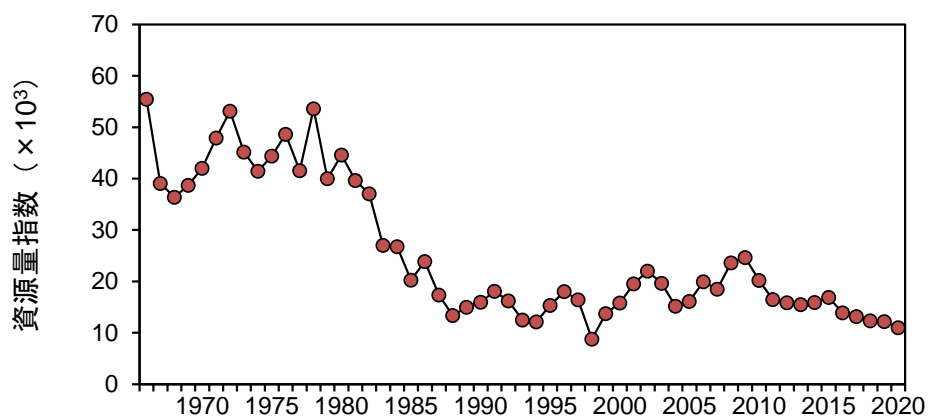


図6. 資源量指数 (2 そうびき沖底、浜田以西)

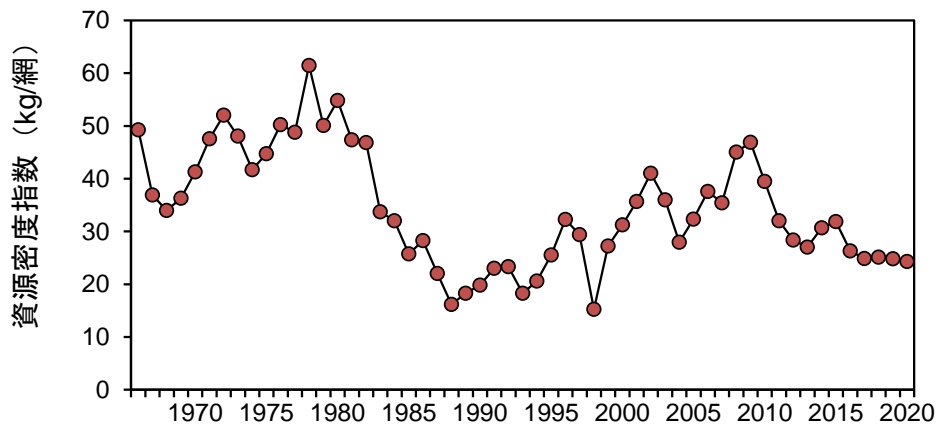


図7. 資源密度指数 (2 そうびき沖底、浜田以西)

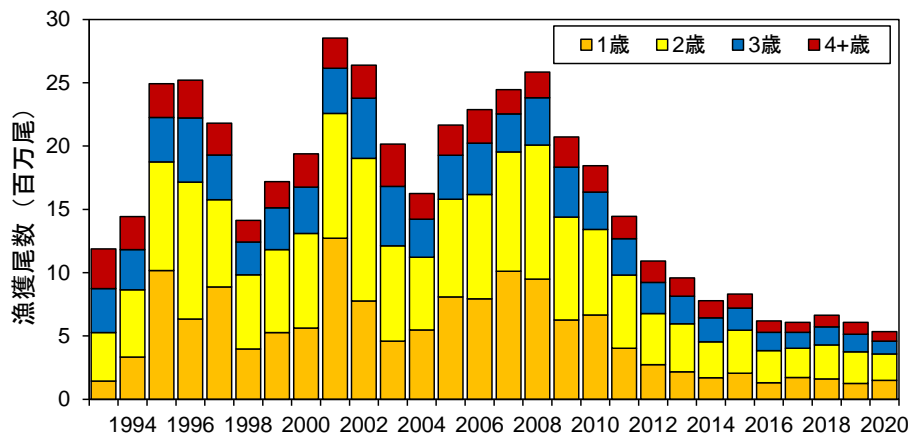


図8. 年齢別漁獲尾数

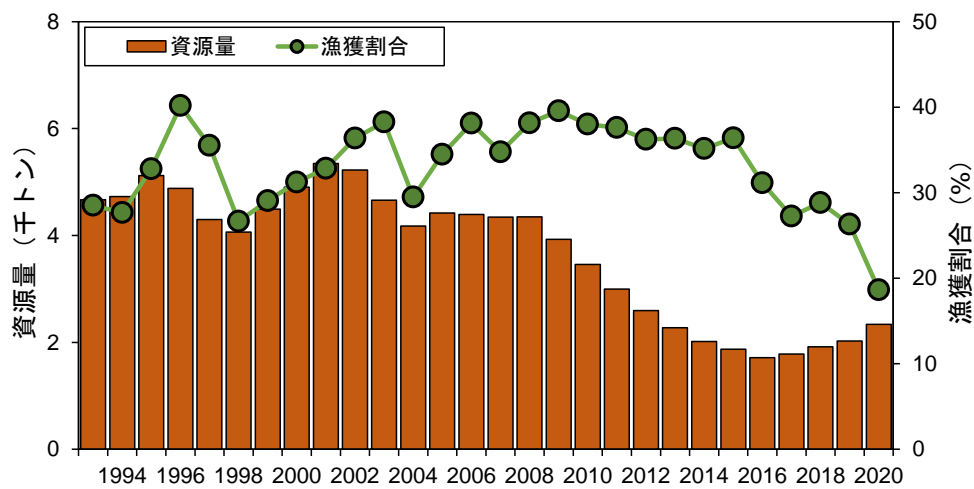


図9. 資源量と漁獲割合

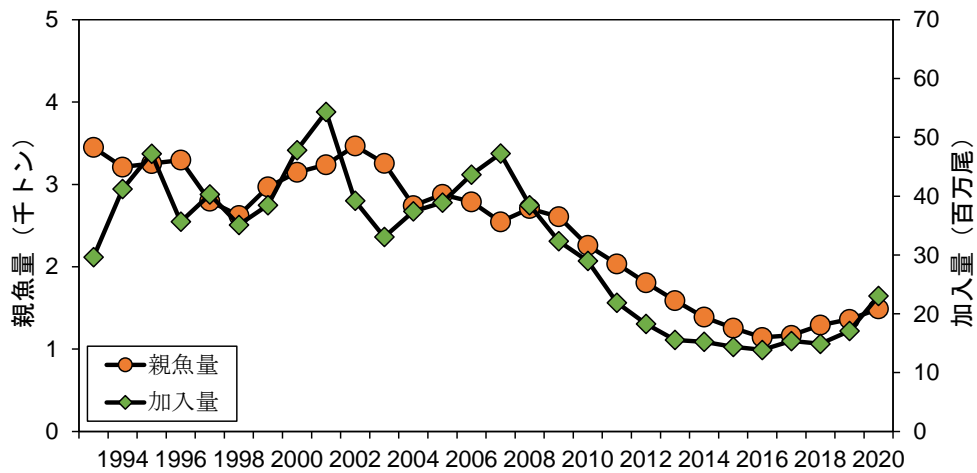


図 10. 親魚量と加入量 (1 歳魚)

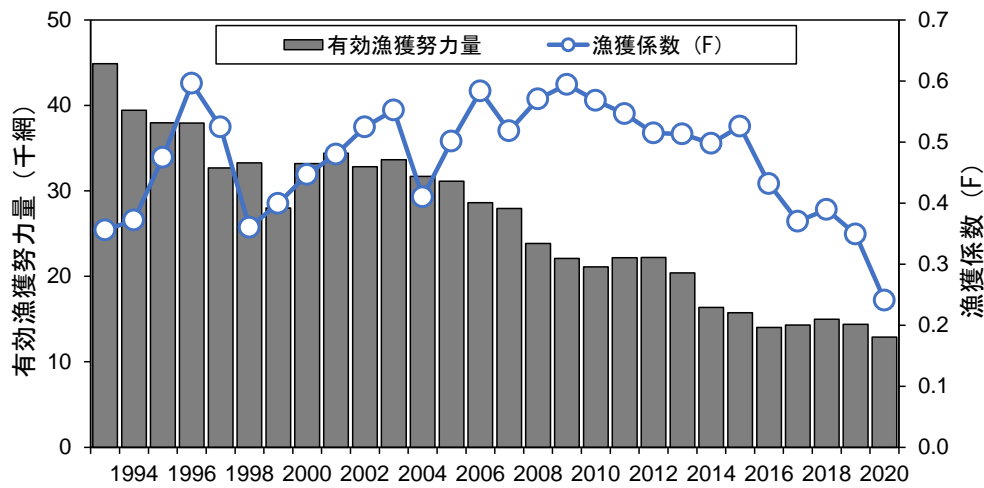


図 11. 漁獲係数(F)と 2 そうびき沖底 (浜田以西) の有効漁獲努力量
F は各年齢の単純平均。

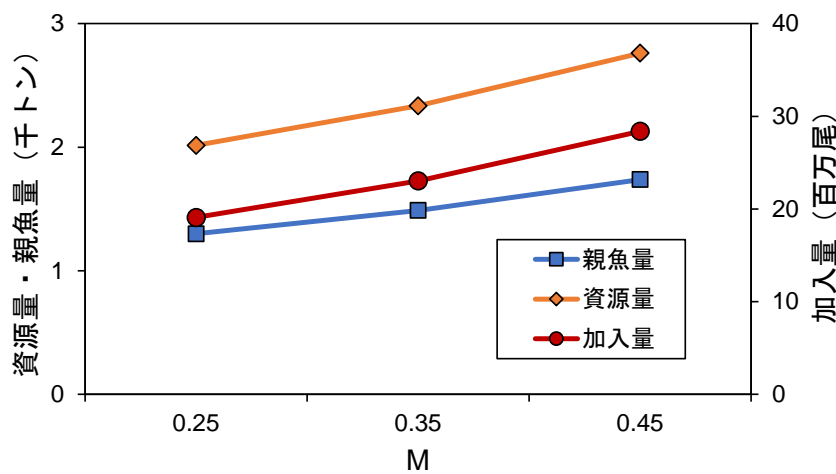


図 12. 自然死亡係数(M)と 2020 年資源量、親魚量、加入量の関係

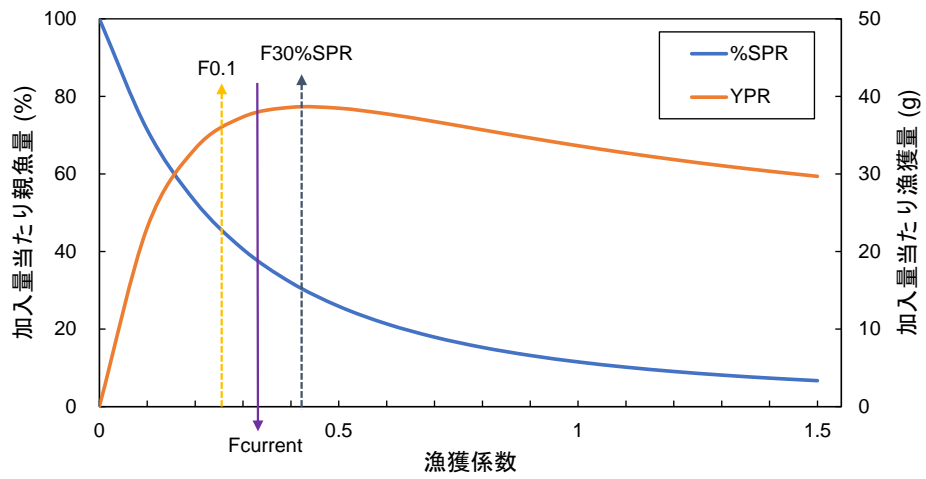


図 13. 加入量当たり親魚量(%SPR)、加入量当たり漁獲量(YPR)と漁獲係数(F)の関係

表 1. ムシガレイ日本海南西部系群における漁業種類別漁獲量（トン）

年	2そうびき沖底		1そうびき沖底	小底	計
	浜田以西	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
2011	710	174	22	220	1,126
2012	630	96	28	187	940
2013	551	68	37	169	826
2014	502	23	40	143	708
2015	502	8	34	137	681
2016	369	3	34	128	534
2017	356	2	30	97	485
2018	377	2	32	142	553
2019	357	1	38	137	532
2020*	313	1	27	93	435

* 暫定値。

表 2. 2 そうびき沖底によるムシガレイの漁獲動向

年	漁獲量 (トン)	有効漁獲努力量* ¹	有漁漁区数* ¹	資源量指数* ¹	資源密度指数* ¹	標準化CPUE* ²
1966	2,829	57,426	1,125	55,430	49.3	
1967	2,169	58,805	1,059	39,069	36.9	
1968	2,069	60,832	1,070	36,385	34.0	
1969	2,247	61,894	1,066	38,703	36.3	
1970	2,384	57,777	1,018	42,010	41.3	
1971	2,954	62,139	1,008	47,926	47.5	
1972	3,371	64,747	1,020	53,104	52.1	
1973	3,322	69,069	939	45,160	48.1	
1974	2,711	64,965	993	41,436	41.7	
1975	2,920	65,281	992	44,372	44.7	
1976	3,436	68,379	968	48,643	50.3	
1977	3,384	69,365	852	41,571	48.8	
1978	4,906	79,841	872	53,580	61.4	
1979	3,848	76,802	798	39,979	50.1	
1980	4,048	73,844	814	44,621	54.8	
1981	3,604	76,131	837	39,622	47.3	
1982	3,721	79,403	791	37,071	46.9	
1983	2,588	76,750	802	27,040	33.7	
1984	2,490	77,753	835	26,745	32.0	
1985	1,764	68,513	786	20,236	25.7	
1986	1,887	66,718	844	23,867	28.3	
1987	1,364	61,896	787	17,348	22.0	
1988	1,017	62,958	827	13,360	16.2	
1989	1,107	60,453	819	14,997	18.3	
1990	1,221	61,599	806	15,973	19.8	
1991	1,292	56,045	784	18,069	23.0	
1992	1,187	50,931	696	16,227	23.3	
1993	821	44,873	682	12,480	18.3	10.2
1994	814	39,444	589	12,151	20.6	13.2
1995	970	37,970	600	15,322	25.5	15.3
1996	1,225	37,928	558	18,019	32.3	19.3
1997	960	32,672	558	16,402	29.4	15.8
1998	507	33,267	577	8,793	15.2	10.0
1999	763	27,996	504	13,728	27.2	13.3
2000	1,037	33,189	506	15,806	31.2	18.7
2001	1,228	34,420	547	19,510	35.7	20.9
2002	1,346	32,815	536	21,985	41.0	22.4
2003	1,210	33,635	546	19,640	36.0	23.3
2004	887	31,692	543	15,194	28.0	19.9
2005	1,007	31,130	498	16,114	32.4	19.7
2006	1,076	28,621	530	19,926	37.6	23.6
2007	990	27,949	522	18,494	35.4	24.2
2008	1,074	23,852	524	23,593	45.0	28.2
2009	1,037	22,102	525	24,633	46.9	27.9
2010	833	21,102	511	20,182	39.5	23.4
2011	710	22,173	515	16,488	32.0	19.0
2012	630	22,204	559	15,849	28.4	17.5
2013	551	20,393	573	15,490	27.0	14.7
2014	502	16,373	519	15,921	30.7	13.9
2015	502	15,747	530	16,892	31.9	16.0
2016	369	14,021	528	13,904	26.3	13.1
2017	356	14,316	530	13,186	24.9	12.4
2018	377	14,968	490	12,325	25.2	12.7
2019	357	14,400	492	12,202	24.8	14.1
2020* ³	313	12,878	492	10,988	24.3	16.0

沖合底びき網統計による。

*¹各項目については、補足資料3を参照。

*²補足資料4を参照。

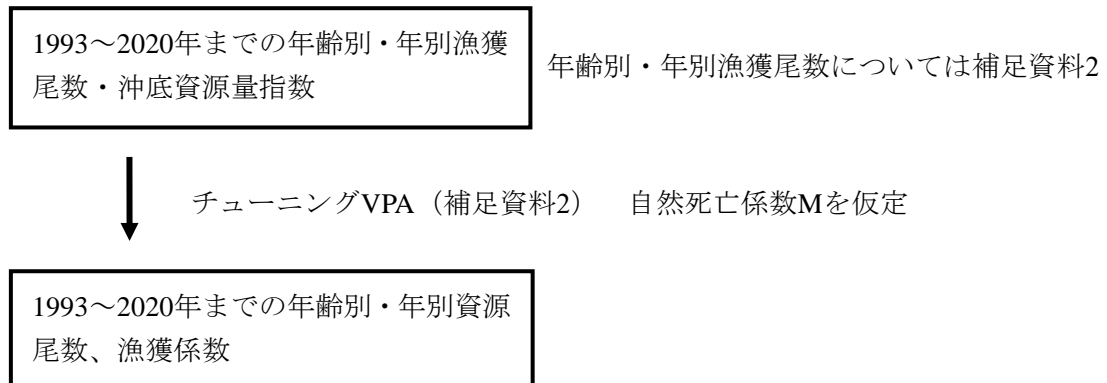
*³暫定値。

表 3. ムシガレイ日本海南西部系群の資源解析結果

年	漁獲量 (トン)	資源量 (トン)	親魚量 (トン)	加入尾数 (千尾)	漁獲割合 (%)
1993	1,330	4,667	3,448	41,220	29
1994	1,308	4,726	3,210	47,236	28
1995	1,678	5,121	3,254	35,654	33
1996	1,960	4,879	3,295	40,294	40
1997	1,526	4,300	2,796	35,114	36
1998	1,083	4,064	2,623	38,486	27
1999	1,305	4,492	2,970	47,832	29
2000	1,531	4,903	3,147	54,330	31
2001	1,754	5,344	3,239	39,221	33
2002	1,899	5,225	3,468	33,057	36
2003	1,783	4,660	3,256	37,425	38
2004	1,231	4,176	2,743	38,917	29
2005	1,524	4,422	2,878	43,678	34
2006	1,674	4,391	2,789	47,251	38
2007	1,509	4,341	2,546	38,471	35
2008	1,659	4,350	2,707	32,343	38
2009	1,554	3,930	2,607	28,976	40
2010	1,313	3,456	2,259	21,883	38
2011	1,126	2,995	2,035	18,293	38
2012	940	2,595	1,806	15,551	36
2013	826	2,272	1,589	15,230	36
2014	708	2,015	1,389	14,374	35
2015	681	1,870	1,256	13,853	36
2016	534	1,713	1,141	15,387	31
2017	485	1,780	1,167	14,892	27
2018	553	1,919	1,291	17,071	29
2019	532	2,024	1,361	23,040	26
2020	435	2,335	1,488	—	19

加入尾数：対象年に発生し、1歳時における尾数。

補足資料 1 資源評価の流れ



将来予測、管理に係る目標等基準値、資源の動向などについては、本年度中に開催される研究機関会議資料に記述します。

補足資料 2 資源計算方法

年齢別漁獲尾数

1993～2020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。

1. 浜田漁港の全長組成

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、散銘柄および他の銘柄がある。入り数銘柄および散銘柄について、2002年3月～2020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）変換表を作成し（入り数銘柄は53種、散銘柄は8種）、1993～2020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。

2. 年齢分解

1989～2003年に日本海南西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（山口県水産研究センター、島根県水産試験場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月における年齢体長相関表（上田 2006）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、用いた年齢体長相関表では、年齢起算日を3月1日としているため、1月と2月の各年齢群は+1歳群として扱った。

3. 全体への引き延ばし

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、浜田2そうびき沖底全体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、各期間における本系群の総漁獲量を用いて、本系群全体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。

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、最高年齢群は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。1993～2020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。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+ 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+は(3)式により計算した。

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

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

ただし、最近年については全年齢の資源尾数を(4)式により計算した。

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

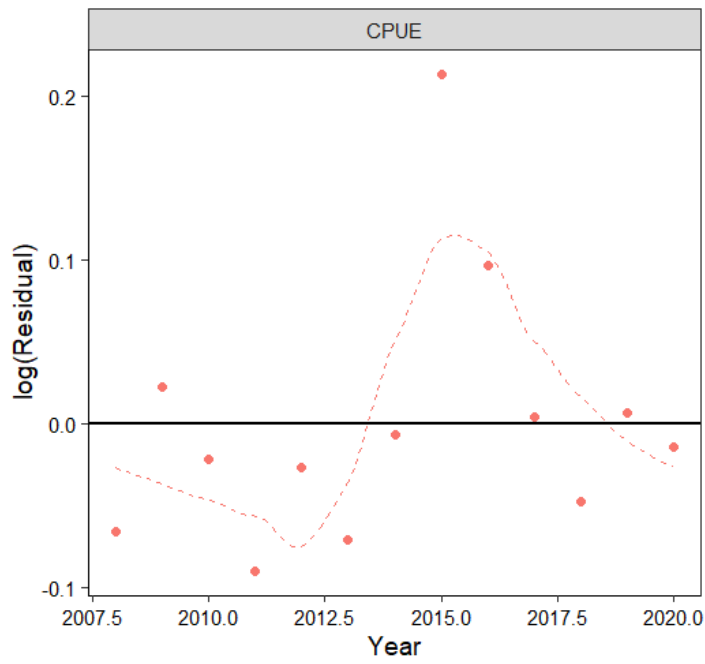
2008 年から直近年までの標準化 CPUE を用いて、式(5)が最小となるように最近年の 3 歳と 4+歳の F 値 を求めた。1 歳と 2 歳の F 値は、2020 年の年齢別選択率を過去 3 年平均 (2017~2019 年) として計算した。

$$\sum_{y=2008}^{2020} \{\ln(q \cdot B_y) - \ln(CPUE_y)\}^2 \quad (5)$$

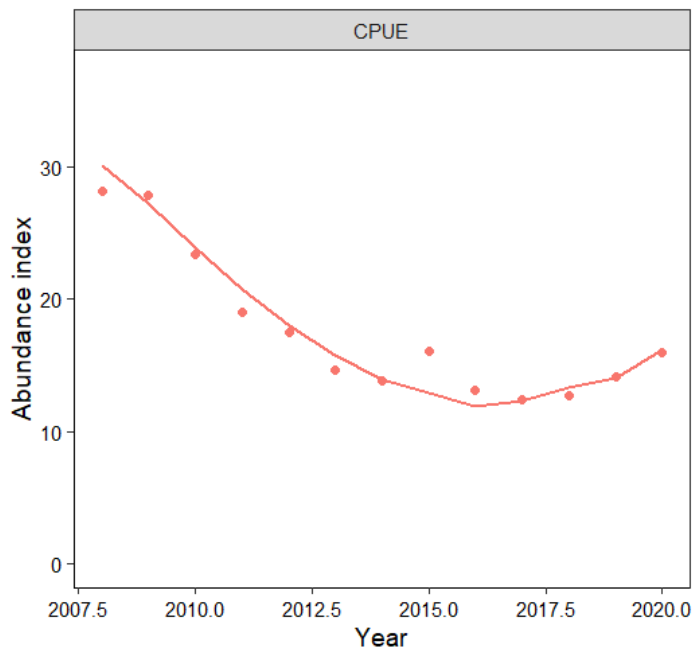
$$q = \left(\frac{\prod_{y=2008}^{2020} CPUE_y}{\prod_{y=2008}^{2020} B_y} \right)^{\frac{1}{13}} \quad (6)$$

ここで、B は資源量、CPUE は標準化 CPUE。

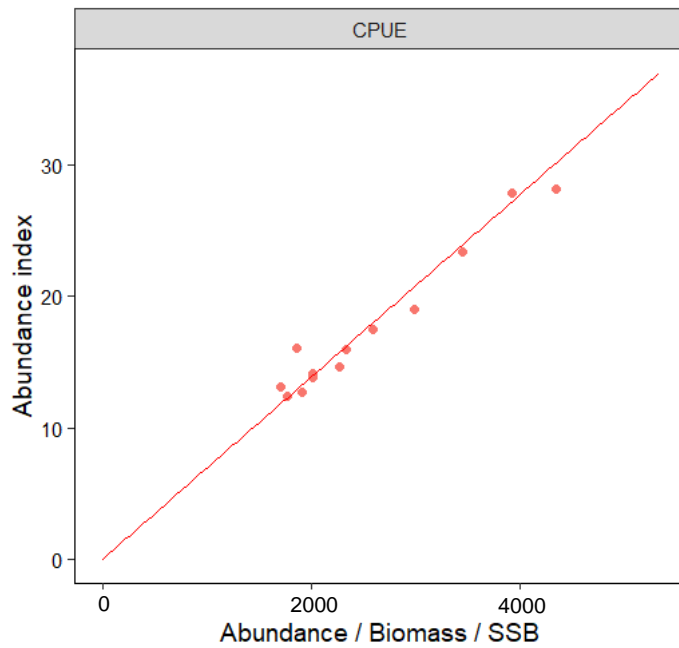
「資源評価のモデル診断手順と情報提供指針(令和 3 年度)FRA-SA2021-ABCWG02-03」に従って、本系群の評価に用いた VPA の統計学的妥当性や仮定に対する頑健性について診断した。本系群の資源評価では、一昨年度より標準化 CPUE を資源量指標値としてコホート解析におけるチューニングに用いている。指標値と予測値との関係は 2014 年までは 2009 年を除き負の残差、2015 年と 2016 年では正の残差となったが、その後一定の偏りは認められない(補足図 2-1、補足図 2-2)。指標値と予測値との関係は、線形を仮定して問題ないと考えられた(補足図 2-3)。レトロスペクティブ解析では、データの追加・更新が行われることで、F 値や資源量推定値に大きな変化は生じていないが(補足図 2-4)、2017 年以前については資源量と親魚量をやや過大に推定する傾向が認められる。



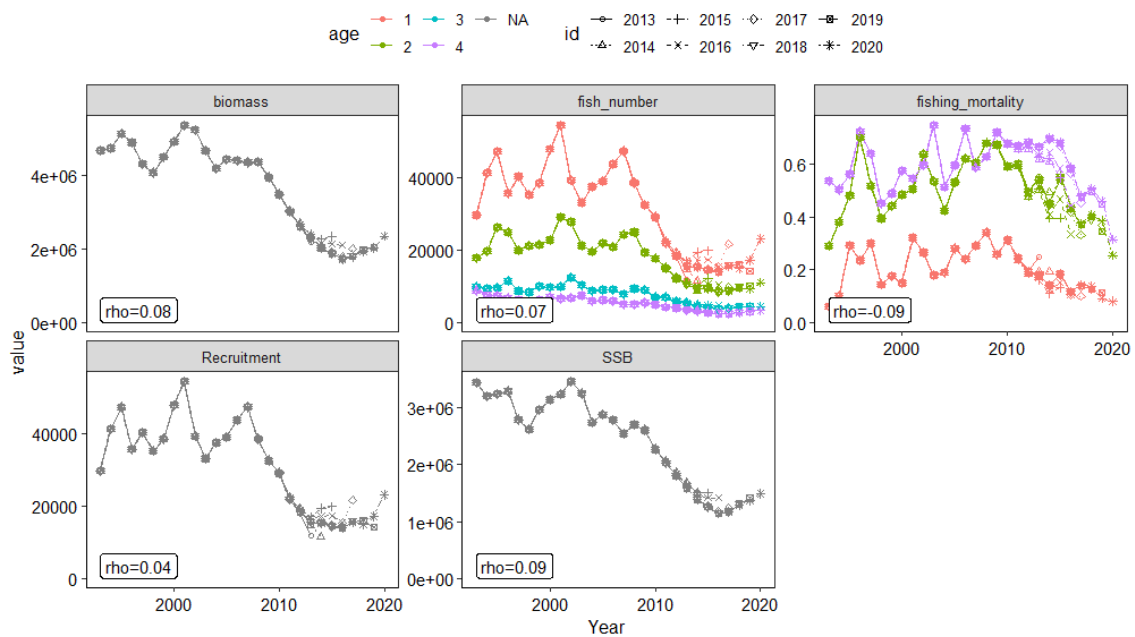
補足図 2-1. 残差プロット



補足図 2-2. 予測値と指標値の経年変化



補足図 2-3. 予測値と指標値との関係



補足図 2-4. レトロスペクティブ解析の結果

引用文献

Mohn, R (1999) The retrospective problem in sequential population analysis: An investigation using cod fishery and simulated data. ICES J. Mar. Sci., **56**, 473-488.

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.

上田幸男 (2006) 平成 17 年ムシガレイ日本海系群の資源評価. 平成 17 年度我が国周辺水域の漁業資源評価 第 3 分冊, 水産庁・水産総合研究センター, 1232-1249.

補足資料 3 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分柘目）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 分柘目の漁区に細分し、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、資源密度指数は密度が高い漁区の平均となるので過大となる。一方、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。

補足資料 4 標準化 CPUE の計算方法

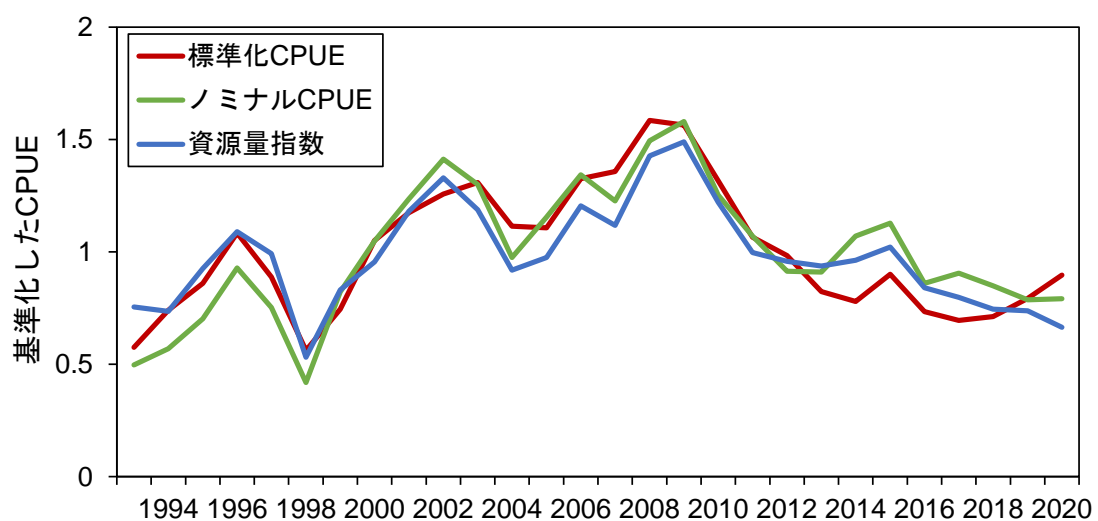
1993～2020 年における 2 そうびき沖底の漁獲成績報告書に基づき、緯度経度 10 分漁区解像度の日別・漁船別漁獲量と網数をデータとして用いた。海洋環境データとしては、ETOPO1 global relief model (<https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>) から水深を、FRA-ROMS (Kuroda et al. 2017) から日別の 100 m 深水温再解析値を切り出して用いた。

今回使用したデータはゼロキャッチ (操業しているが漁獲量は 0) を含む連続値のため、標準化モデルには delta-GLM (Lo et al. 1992) を用いた。このモデルは、有漁となる確率を予測するモデル (有漁確率モデル) と有漁時の CPUE (自然対数値) を予測するモデル (有漁 CPUE モデル) の 2 つを別々に解析するものであり、それぞれのモデルの誤差分布には二項分布と正規分布を設定した。各モデルにおいて最も複雑な候補モデル (フルモデル) の説明変数には、年、季節、海区、水温、水深、漁船 ID の固定効果 (すべてカテゴリカル変数) と、年と海区の交互作用を設定した。海区は、2 そうびき沖底における漁場の変遷、ムシガレイの CPUE 分布などを考慮し、東経 130 度の東西で 2 つに分割した。各モデルにおいて、説明変数の有無を変えて AIC による総当たりのモデル選択を行った結果、以下のフルモデルがベストモデルに選ばれた。ベストモデルにおいて、有漁か否かの判別性能は十分であり、有漁 CPUE の残差の正規性・等分散性にも問題がないことが確認されたため、これらのモデルを用いて標準化 CPUE を計算した (補足図 4-1)。

有漁確率モデル : 有漁確率 \sim 切片+年+季節+海区+水深+100 m 深水温+漁船 ID+年:海区

有漁 CPUE モデル : $\ln(\text{CPUE})\sim$ 切片+年+季節+海区+水深+100 m 深水温+漁船 ID+年:海区

なお、モデル構築、標準化 CPUE の予測およびモデル診断の詳細を別途説明文書 (FRA-SA2021-RC06-203) に示す。



補足図 4-1. 標準化 CPUE、ノミナル CPUE、資源量指数の推移

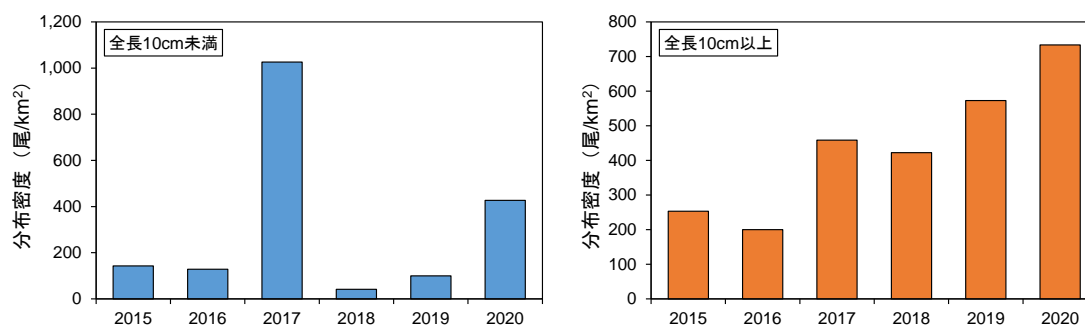
引用文献

- Kuroda, H., T. Setou, S. Ito, T. Taneda, T. Azumaya, D. Inagake, Y. Hiroe, K. Morinaga, M. Okazaki, T. Yokota, T. Okunishi, K. Aoki, Y. Shimizu, D. Hasegawa and T. Sakai (2017) Recent Advances in Japanese Fisheries Science in the Kuroshio–Oyashio Region through Development of the FRA-ROMS Ocean Forecast System: Overview of the Reproducibility of Reanalysis Products. *Open J. Mar. Sci.*, **7**, 62-90.
- Lo, N. C. H., L. D. Jacobson and J. L. Squire (1992) Indices of relative abundance from fish spotter data based on Delta-lognominal models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **49**, 2515-2526.

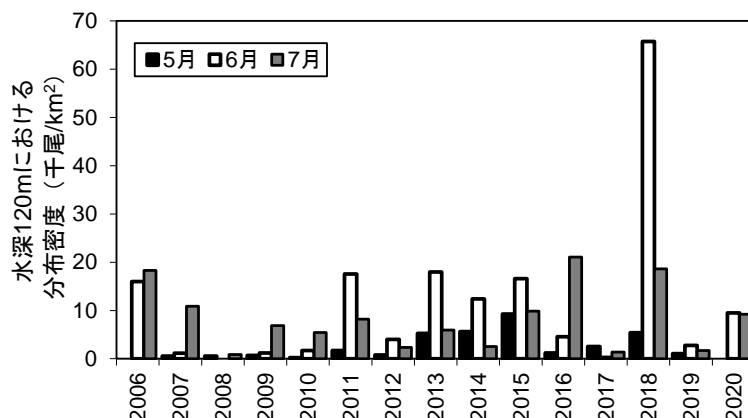
補足資料 5 新規加入量調査結果

山口県水産研究センターでは、漁業調査船かいせいにより幅 4.5 m の桁網を用いた新規加入量調査を実施している。本調査で採集されたムシガレイの全長組成に基づき、全長別の分布密度を補足図 5-1 に示した。当歳魚主体とみられる全長 10 cm 未満の分布密度は 2017 年に高い値を示したが、2018 年と 2019 年は低い値であった。2020 年の分布密度（尾/km²）は 427 とこれまでで 2 番目に高い値であった。全長 10 cm 以上の分布密度は 2017 年以降増加傾向を示しており、本系群の資源量推定値（図 9）とよく類似した推移を示している。

鳥取県栽培漁業センターでは、沿岸性異体類の当歳魚分布量の把握を目的として、例年 4～9 月にビーム長 5 m のビームトロールを用いた漁船用船調査を実施している。本調査におけるムシガレイ当歳魚の主な出現時期および水深帯である 5～7 月の水深 120 m における分布密度を補足図 5-2 に示した。当歳魚の分布密度（千尾/km²）は、2013 年以降 6 月もしくは 7 月に比較的高い値を示したが、2017 年はいずれの月も低い値であった。2018 年の分布密度は 6 月に 66 と突出して高い値を示した。2020 年は 5 月には採集されず、6 月と 7 月については過去の平均値とほぼ同等の値であった。



補足図 5-1. 山口県沖における全長別分布密度の推移



補足図 5-2. 鳥取県中部沖における当歳魚分布密度の推移

補足資料6 コホート解析結果の詳細

資源解析結果 (1993~2006年)

年齢別漁獲尾数 (千尾)

年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
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
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
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
4歳以上	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
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

年齢別漁獲量 (トン)

年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
1歳	29	67	205	128	179	80	106	114	257	157	93	110	163	160
2歳	221	307	497	626	398	339	380	433	571	651	436	332	446	477
3歳	401	367	403	585	406	298	381	420	410	549	540	347	399	468
4歳以上	679	566	573	622	543	365	438	564	516	542	714	442	515	569
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

年齢別漁獲係数

年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
1歳	0.06	0.10	0.29	0.23	0.30	0.14	0.18	0.15	0.32	0.27	0.18	0.19	0.28	0.24
2歳	0.29	0.38	0.48	0.70	0.52	0.39	0.44	0.48	0.51	0.64	0.54	0.42	0.53	0.62
3歳	0.54	0.50	0.56	0.72	0.64	0.45	0.49	0.58	0.55	0.60	0.75	0.51	0.60	0.74
4歳以上	0.54	0.50	0.56	0.72	0.64	0.45	0.49	0.58	0.55	0.60	0.75	0.51	0.60	0.74
単純平均	0.36	0.37	0.47	0.60	0.52	0.36	0.40	0.45	0.48	0.52	0.55	0.41	0.50	0.58

年齢別資源尾数 (千尾)

年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
1歳	29,630	41,220	47,236	35,654	40,294	35,114	38,486	47,832	54,330	39,221	33,057	37,425	38,917	43,678
2歳	17,845	19,675	26,265	24,865	19,866	21,041	21,439	22,740	29,023	27,758	21,197	19,476	21,824	20,718
3歳	9,771	9,407	9,487	11,439	8,673	8,338	9,995	9,703	9,869	12,334	10,335	8,746	8,990	9,039
4歳以上	8,817	7,660	7,267	6,725	6,209	5,530	6,221	7,006	6,618	6,728	7,391	5,918	6,183	5,890
計	66,063	77,962	90,255	78,684	75,043	70,024	76,141	87,282	99,840	86,041	71,980	71,565	75,914	79,326

年齢別資源量 (トン)

年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
1歳	599	833	954	720	814	709	777	966	1,097	792	668	756	786	882
2歳	1,033	1,139	1,521	1,440	1,150	1,218	1,241	1,317	1,680	1,607	1,227	1,128	1,264	1,200
3歳	1,126	1,084	1,093	1,318	999	961	1,151	1,118	1,137	1,421	1,191	1,008	1,036	1,041
4歳以上	1,909	1,671	1,553	1,401	1,336	1,176	1,322	1,502	1,429	1,404	1,574	1,285	1,337	1,268
計	4,667	4,726	5,121	4,879	4,300	4,064	4,492	4,903	5,344	5,225	4,660	4,176	4,422	4,391

年齢別親魚量 (トン)

年	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
1歳	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2歳	413	456	608	576	460	487	497	527	672	643	491	451	505	480
3歳	1,126	1,084	1,093	1,318	999	961	1,151	1,118	1,137	1,421	1,191	1,008	1,036	1,041
4歳以上	1,909	1,671	1,553	1,401	1,336	1,176	1,322	1,502	1,429	1,404	1,574	1,285	1,337	1,268
計	3,448	3,210	3,254	3,295	2,796	2,623	2,970	3,147	3,239	3,468	3,256	2,743	2,878	2,789

資源解析結果（続き）（2007～2020年）

年齢別漁獲尾数（千尾）

年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1歳	10,108	9,494	6,268	6,654	4,029	2,732	2,167	1,699	2,059	1,304	1,728	1,607	1,257	1,497
2歳	9,438	10,597	8,126	6,771	5,793	4,039	3,805	2,841	3,391	2,538	2,314	2,685	2,497	2,091
3歳	2,996	3,731	3,937	2,939	2,872	2,454	2,170	1,886	1,750	1,440	1,255	1,431	1,392	1,009
4歳以上	1,925	2,021	2,387	2,076	1,766	1,700	1,448	1,355	1,116	913	791	928	928	752
計	24,466	25,842	20,717	18,441	14,459	10,926	9,589	7,782	8,316	6,195	6,087	6,651	6,073	5,348

年齢別漁獲量（トン）

年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1歳	204	191	126	134	81	55	44	34	42	26	35	32	25	30
2歳	546	614	470	392	335	234	220	164	196	147	134	155	145	121
3歳	345	430	454	339	331	283	250	217	202	166	145	165	160	116
4歳以上	413	424	504	449	378	368	312	292	241	194	171	200	202	167
計	1,509	1,659	1,554	1,313	1,126	940	826	708	681	534	485	553	532	435

年齢別漁獲係数

年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1歳	0.29	0.34	0.26	0.31	0.24	0.19	0.18	0.14	0.18	0.12	0.14	0.14	0.09	0.08
2歳	0.61	0.68	0.67	0.59	0.60	0.50	0.54	0.45	0.55	0.44	0.37	0.41	0.38	0.25
3歳	0.59	0.63	0.72	0.68	0.67	0.68	0.67	0.70	0.68	0.59	0.48	0.51	0.46	0.31
4歳以上	0.59	0.63	0.72	0.68	0.67	0.68	0.67	0.70	0.68	0.59	0.48	0.51	0.46	0.31
単純平均	0.52	0.57	0.59	0.57	0.55	0.51	0.51	0.50	0.53	0.43	0.37	0.39	0.35	0.24

年齢別資源尾数（千尾）

年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1歳	47,251	38,471	32,343	28,976	21,883	18,293	15,551	15,230	14,374	13,853	15,387	14,892	17,071	23,040
2歳	24,190	24,926	19,259	17,596	14,913	12,080	10,622	9,158	9,320	8,419	8,677	9,406	9,157	10,983
3歳	7,844	9,300	8,887	6,915	6,841	5,754	5,187	4,357	4,111	3,780	3,839	4,203	4,412	4,391
4歳以上	5,040	5,039	5,387	4,885	4,208	3,986	3,461	3,130	2,622	2,397	2,421	2,726	2,942	3,270
計	84,325	77,736	65,876	58,373	47,844	40,112	34,821	31,875	30,428	28,449	30,324	31,227	33,582	41,684

年齢別資源量（トン）

年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1歳	954	777	653	585	442	370	314	308	290	280	311	301	345	465
2歳	1,401	1,443	1,115	1,019	863	699	615	530	540	487	502	545	530	636
3歳	904	1,071	1,024	797	788	663	598	502	474	435	442	484	508	506
4歳以上	1,082	1,058	1,137	1,055	901	863	746	675	566	510	524	589	640	728
計	4,341	4,350	3,930	3,456	2,995	2,595	2,272	2,015	1,870	1,713	1,780	1,919	2,024	2,335

年齢別親魚量（トン）

年	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1歳	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2歳	560	577	446	408	345	280	246	212	216	195	201	218	212	254
3歳	904	1,071	1,024	797	788	663	598	502	474	435	442	484	508	506
4歳以上	1,082	1,058	1,137	1,055	901	863	746	675	566	510	524	589	640	728
計	2,546	2,707	2,607	2,259	2,035	1,806	1,589	1,389	1,256	1,141	1,167	1,291	1,361	1,488