

## 令和 3（2021）年度ソウハチ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、1 そうびき・2 そうびき沖合底びき網漁業の標準化 CPUE を考慮したコホート解析により推定した。資源量は 1999 年の 13,749 トンから 2004 年には 5,771 トンまで減少したものの、2007 年には 11,529 トンまで増加した。その後 2016 年まで減少し続け、2017 年以降は再び増加傾向に転じた。2020 年の資源量は 12,102 トンと推定された。親魚量も 2017 年以降増加傾向を示し、2020 年は 5,475 トンであった。

将来予測、管理に係わる目標等基準値、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 (百トン)	親魚量 (百トン)	漁獲量 (百トン)	F 値	漁獲割合 (%)
2017	83	32	22	0.41	27
2018	91	36	22	0.37	25
2019	106	40	19	0.28	18
2020	121	55	28	0.30	23

各年の資源量は漁獲対象資源を示す。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	主要港水揚量(鳥取県、島根県、山口県) 月別体長組成調査(鳥取県、島根県) 沖合底びき網漁業漁獲成績報告書(水産庁)
資源密度指数 標準化 CPUE	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=0.3 を仮定

\*はチューニング指数の算出に使用した情報である。

### 1. まえがき

ソウハチはムシガレイなどとともに山陰沖における 1 そうびき・2 そうびき沖合底びき網漁業（以下沖底）、小型底びき網漁業（以下小底）の重要対象種である。ソウハチは韓国沿岸域を含む日本海全域に分布するが、韓国における漁獲の詳細は不明である。我が国の漁獲量の大半は日本海西部海域で占められており、本報告書では西部海域で漁獲されるも

のを評価対象として取り扱う。

## 2. 生態

### (1) 分布・回遊

本種はサハリンから日本海のほぼ全域および渤海・黄海に分布し、水深 100～200 m の泥底を中心に生息する（渡辺 1956、金丸 1996、山田ほか 2007、中坊・土居内 2013）。日本海で特に漁獲量が多いのは日本海西部海域であり（図 1）、本海域では水深 130～185 m、水温 10 度前後で多獲される（渡辺 1956、山田ほか 2007）。着底期の分布に関する知見は少ないものの、2015～2020 年に実施された山口県による調査船調査では、山口県沖の水深 128～171 m において全長 15 cm 未満の幼魚が例年採集されている。

### (2) 年齢・成長

島根県浜田沖で採集された標本について、耳石表面観察法による年齢査定に基づき推定した本系群の年齢と全長・体重の関係は、以下の通りである（図 2、道根 1994）。

$$\text{雌 } L_t = 516(1 - \exp(-0.197(t - 0.361))), \quad BW = 1.41L^{3.34} \cdot 10^{-6}$$

$$\text{雄 } L_t = 334(1 - \exp(-0.314(t - 0.279))), \quad BW = 2.06L^{3.27} \cdot 10^{-6}$$

ここで、 $L_t$  は  $t$  歳時（1 月）における全長（mm）、 $t$  は年齢、 $BW$  は体重（g）である。雌雄ともに 2 歳までは同程度の成長であるが、3 歳をすぎると雄の成長が雌に比べて緩やかになり、その後雌は 4 歳で全長 26 cm、5 歳で 31 cm、6 歳で 35 cm、7 歳で 38 cm に、雄は 4 歳で全長 23 cm、5 歳で 26 cm に成長する。本海域における成長は山陰東部、日本海北部、石狩湾などの他海域よりも速いことが知られている（渡辺 1956）。

寿命は雌の方が長く、雌は最大で 7 歳、雄は 5 歳の個体が確認されている（道根 1994）。

### (3) 成熟・産卵

雄は 2 歳（全長 13 cm）、雌は 3 歳（全長 22 cm）から成熟を開始する。日本海西部における主産卵場は対馬周辺海域であり、産卵期は 1～4 月頃である（大内 1954、渡辺 1956、道根 1994）。ただし、隠岐周辺海域でも雌の成熟・放卵個体や 10 cm 以下の小型魚が認められることから、対馬周辺海域以外でも産卵を行っている可能性が示唆されている（道根 1994）。本系群の資源計算においては、3 歳以上の成熟率を 1 とし、3 歳以上の資源量を親魚量とした。

### (4) 被捕食関係

年間を通してエビジャコ類やオキアミ類などの大型甲殻類を主に捕食し、秋～冬季はエビジャコ類、春季はオキアミが多い（渡辺 1956）。食性は成長に伴って変化し、全長 15 cm 以上ではキュウリエソやワニギスなどの魚類、20 cm 以上ではホタルイカ等のイカ類が胃内容物中に占める割合が高くなる（伊藤ほか 1994、道根 1994）。主な捕食者は不明である。

### 3. 漁業の状況

#### (1) 漁業の概要

本系群の漁場は、漁法と所属県によって異なる。1 そうびき沖底では、兵庫県船が山口県見島以東、鳥取県船が島根県大田市沖以東で主に操業し、2 そうびき沖底では対馬周辺海域から島根県沖、小底では島根県沖が中心である。

本系群の漁法別の漁獲量は、小底の漁獲量の情報が1986年以降に限られるものの、1990年代前半までは沖底が80～90%を占めていた（図3、表1）。しかし、1990年代後半以降は小底の漁獲割合が漸増し、近年は30%以上の水準で推移している。

#### (2) 漁獲量の推移

統計が整備された1986年以降では、1999年に5,000トンを超えるピークが認められる。その後急減して2004年に最低の1,429トンまで減少したが、2008年には4,036トンに増加した。以降の漁獲量は2,000トン～3,000トンの範囲で変動しながら推移しており、2020年の漁獲量は2,778トンであった（図3、表1）。

#### (3) 漁獲努力量

1 そうびき沖底の有効漁獲努力量（補足資料3）は1990年代には約100,000網の水準にあったが、その後減少傾向にある。特に2016年からは急減し、2020年は36,975網であった（図4、表2）。2 そうびき沖底の有効漁獲努力量は1980年代の約40,000網から増減を繰り返しながら減少傾向にあり、2020年は14,286網であった（図4、表2）。

### 4. 資源の状態

#### (1) 資源評価の方法

本系群の資源量は、沖底の標準化CPUE（補足資料4）を考慮したコホート解析により推定した（補足資料1、2）。鳥取県・島根県の銘柄別体長組成・漁獲量と、沖底・小底の漁獲統計情報を基に1997年以降の年齢別漁獲尾数を求め、漁獲量の大半を占める沖底の標準化CPUE（kg/網）をチューニングに用いたコホート解析により資源量を推定した。

#### (2) 資源量指標値の推移

資源量指標値として用いた沖底の標準化CPUE（図5、表2）は、1980年代には低い水準で推移したが、1990年代に増加して1997年に1.7となった。その後、2004年にかけて急減した後は、2009年まで再び増加し、その後は増減を繰り返しながらやや減少傾向を示した。2019年以降急激な増加傾向に転じて、2020年には過去最高の2.0となった。この要因として、対馬周辺海域西部および迎日南部における有漁時CPUEの最小二乗平均が2019～2020年にかけて急激に高まったことが考えられた（補足図4-2）。

#### (3) 漁獲物の年齢組成

1997～2020年の年齢別漁獲尾数を求めた（図6、補足資料6）。本系群は、1歳から漁獲されはじめ、2歳で完全加入する。例年2歳魚の漁獲尾数が全体の概ね半数を占めており、2020年も同様の傾向であった。2020年は前年に比べて全年齢で増加し、全体として漁獲尾

数が増加した。2020年1歳魚の漁獲割合は22%と2015～2019年の平均15%に比べてやや高かった。

#### (4) 資源量と漁獲割合の推移

コホート解析（補足資料2）により推定した資源量（1歳以上）を図7、表3に示す。資源量は1999年に最高値の13,749トンとなった後、2004年には過去最低の5,771トンまで減少した。2007年に11,529トンまで増加した後は再び減少傾向にあったが、2017年以降は増加傾向に転じ、2020年の資源量は12,102トンであった。山口県水産研究センターによる桁網調査で得られた1歳魚の分布密度（全長10cm以下）も2018年以降増加傾向を示している（補足資料5）。漁獲割合は1999～2003年には35%～44%だったが、2005年には23%まで低下した。以降、30%前後で増減を繰り返していたが、2015年以降減少傾向が続いており、2020年の漁獲割合は23%であった。

コホート解析により推定した親魚量の推移は、資源量の推移と概ね同調している。2000年に過去最高の5,175トンとなった後、資源量が過去最低となった2004年には、親魚量も同じく過去最低となる2,424トンまで減少した。2008年に4,983トンまで回復した後は再び減少したが、2017年以降増加に転じ、2020年の親魚量は5,475トンであった（図8、表3）。

本系群では0歳魚が漁獲されないため、1歳魚の資源尾数を加入量と定義した。加入量は1998年に最高値の8500万尾となった後、2003年まで減少していたが、2004年以降は3000万尾以上に回復し、2020年には4800万尾となった（図8、表3）。

漁獲係数（各年齢のF値の単純平均）は2000年の0.84をピークに2005年にかけて0.34に低下した（図9、補足資料6）。その後は増減を繰り返しながら漸増していたが、漁獲量の多い1そうびき沖底の有効漁獲努力量が大きく低下したことに対応して、2015年以降は低下、2020年の漁獲係数は2019年（0.28）に次いで低い0.30となった。

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10に示す。Mを基準値である0.3から0.1増減させた時に生じる資源量、親魚量、加入尾数の増減は概ね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高い傾向にあった。

#### (5) 生物学的管理基準（漁獲係数）と現状の漁獲圧の関係

年齢別選択率は2020年と同じと仮定し、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11に示す。2018～2020年における平均F値（ $F_{current}$  : 0.31）は $F_{0.1}$ （0.27）より高いが、 $F_{30\%SPR}$ （0.31）と等しかった。

## 5. 資源評価のまとめ

本系群の漁獲量は2015年以降概ね横ばいで推移していたが、2020年は前年を約800トン上回る2,778トンだった。資源量は2007～2016年にかけて減少傾向にあったが、2017年以降は増加傾向に転じ、2020年の資源量は12,102トンと推定された。親魚量も2017年以降増加傾向を示し、2020年は5,475トンであった。

## 6. その他

本系群の1歳魚が漁獲全体に占める割合や、1歳魚の漁獲係数Fは、2013年以降低い値を示している（補足資料6）。しかし、商品サイズにならない15cm以下の小型個体が投棄されている実態があることから（村山ほか1991、道根1994）、小型個体の投棄量を把握するとともに、不合理漁獲を避ける方策が必要である。同様に、本系群の漁獲主体は2歳魚であるが（図6）、特に3歳以降成熟を開始する雌は未成魚が多く漁獲されていると考えられ、親魚量保護の観点からも漁獲サイズの引き上げが重要である。

一般的に底びき網で漁獲された漁獲物は水揚げ時点で死亡していることが多いため、小型魚・未成魚の保護には水揚げ前のサイズ選択的な漁獲が有効である。ソウハチではこれまで網目拡大による方法が検討されており、49～60mm程度まで網目を拡大しても水揚げ物の漁獲量には影響がないことが報告されている（村山ほか1991、道根1994）。一方で、網目選択性が極端に異なる複数魚種を漁獲する底びき網漁業の特性上、単一種に着目した網目拡大は他魚種の漁獲量減少を伴うことも指摘されている。この点において、ソウハチ小型魚の入網を防ぎつつ、複数魚種のサイズ選択性を備える二段式分離選択網（藤原・上田2014）などは未成熟魚の保護に有用であると期待され、今後の導入・普及が望まれる。

## 7. 引用文献

- 藤原邦浩・上田祐司（2014）二段式分離網を用いたカレイ類3種のサイズ選択的漁獲の可能性. 東北底魚研究, **34**, 111-114.
- 伊藤正木・木下貴裕・花淵靖子・小嶋喜久雄（1994）日本海西部海域におけるソウハチの食性について. 漁業資源研究会議西日本底魚部会報, **22**, 15-29.
- 金丸信一（1996）ソウハチ水深700mにも分布か！？. 日本海ブロック試験研究集録, **34**, 89-91.
- 道根 淳（1994）II-1 ソウハチ. 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）, 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, 118 pp.
- 村山達朗・由木雄一・道根 淳（1991）沖合漁場資源調査 沖合底曳網漁業における適正網目の推定. 平成3年度（1991）事業報告, 島根県水産試験場, 37-49.
- 中坊徹次・土居内龍（2013）カレイ科. 「日本海産魚類検索 全種の同定 第三版」中坊徹次編, 東海大学出版会, 秦野, 1675-1683.
- 大内 明（1954）鱗によるソウハチの年齢及び成長. 日水研業績集, **1**, 27-32.
- 渡辺 徹（1956）重要魚族の漁業生物学的研究, ソウハチ. 日水研報, **4**, 249-269.
- 山田梅芳・時村宗春・堀川博史・中坊徹次（2007）「東シナ海・黄海の魚類誌」. 水産総合センター叢書, 東海大学出版会, 秦野, 1262 pp.

（執筆者：飯田真也、吉川 茜、八木佑太、藤原邦浩）



図1. ソウハチ日本海南西部系群の分布

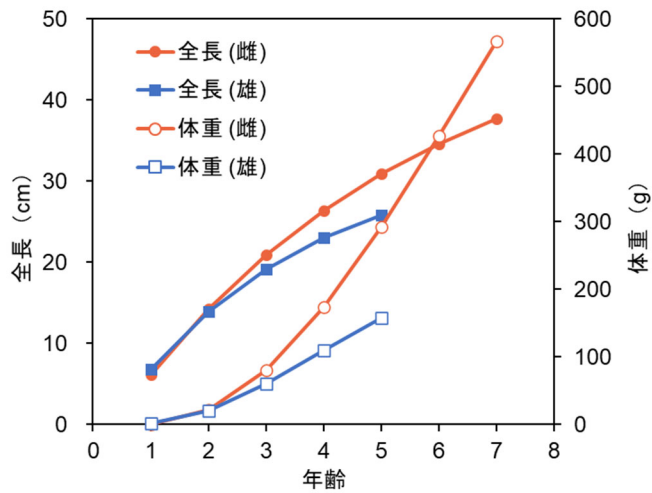


図2. 年齢と成長

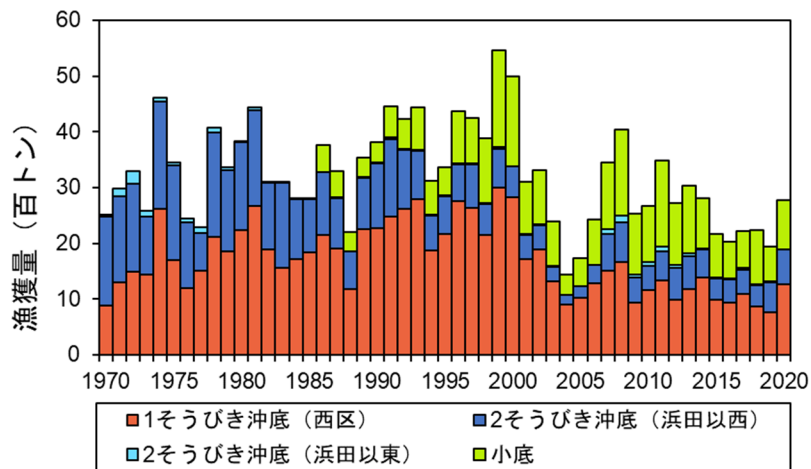


図3. ソウハチ日本海南西部系群の漁獲量の推移 小底の漁獲量統計は1986年開始。

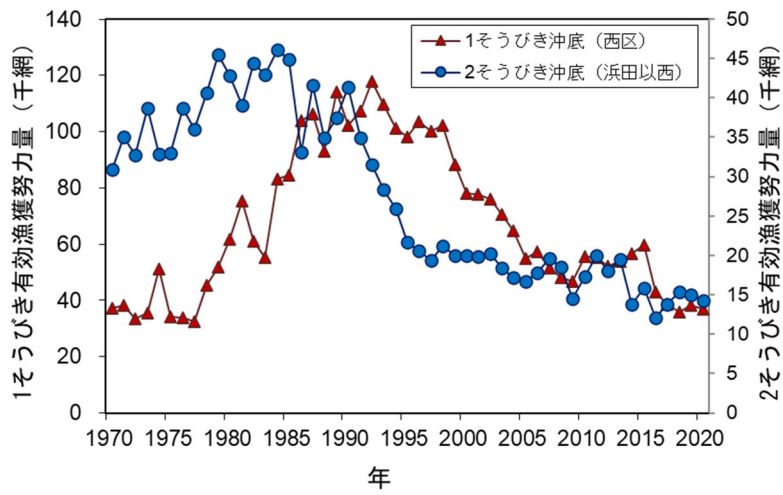


図 4. 沖合底びき網の有効漁獲努力量の推移

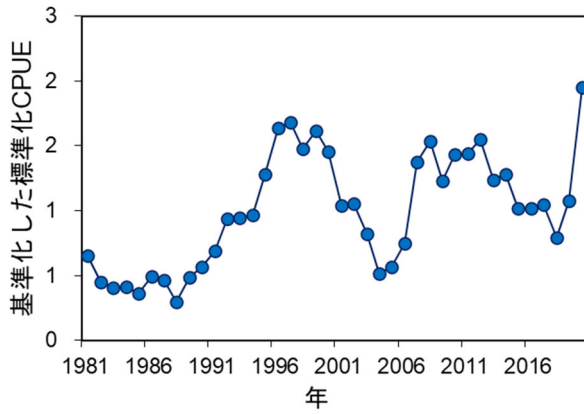


図 5. 沖合底びき網の標準化 CPUE

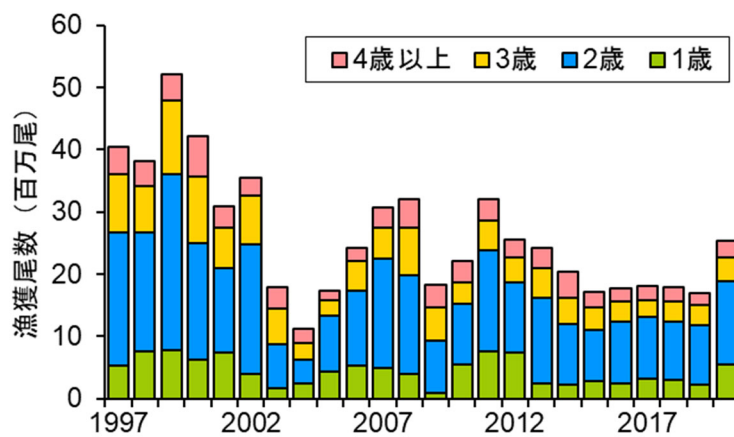


図 6. 年齢別漁獲尾数の推移

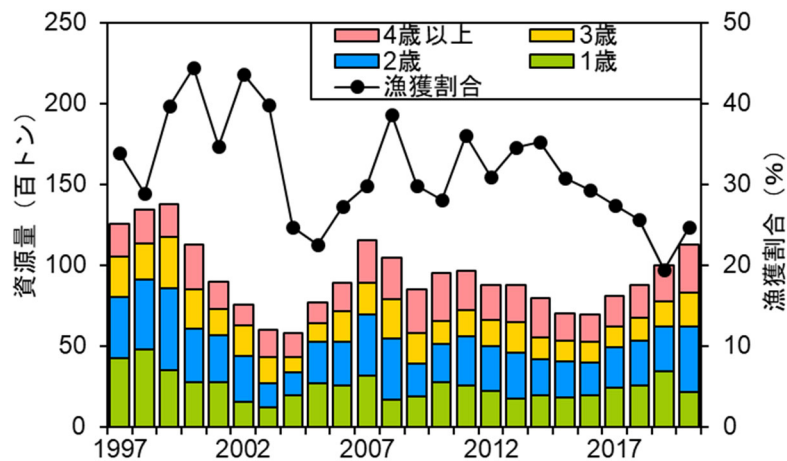


図 7. 資源量 (棒グラフ) と漁獲割合 (折線グラフ) の推移

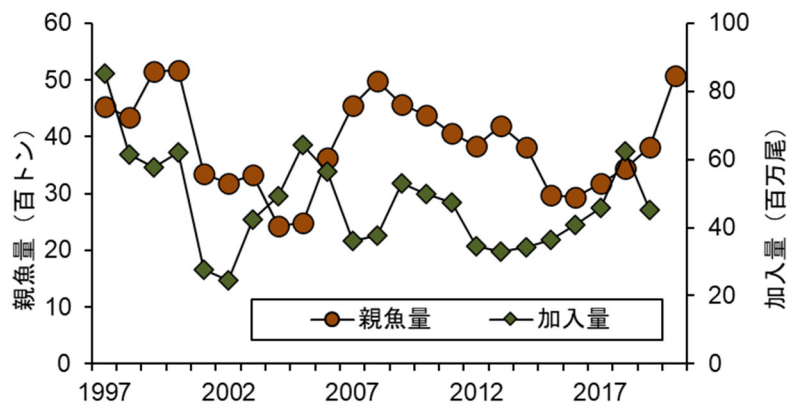


図 8. 親魚量と加入量 (1 歳魚) の推移

加入量は加入年ではなく発生年を横軸としている。

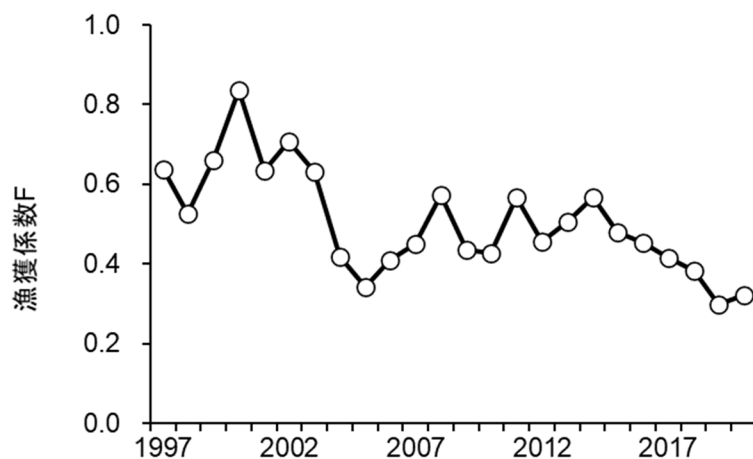


図 9. 漁獲係数 F 値 (各年齢平均) の推移

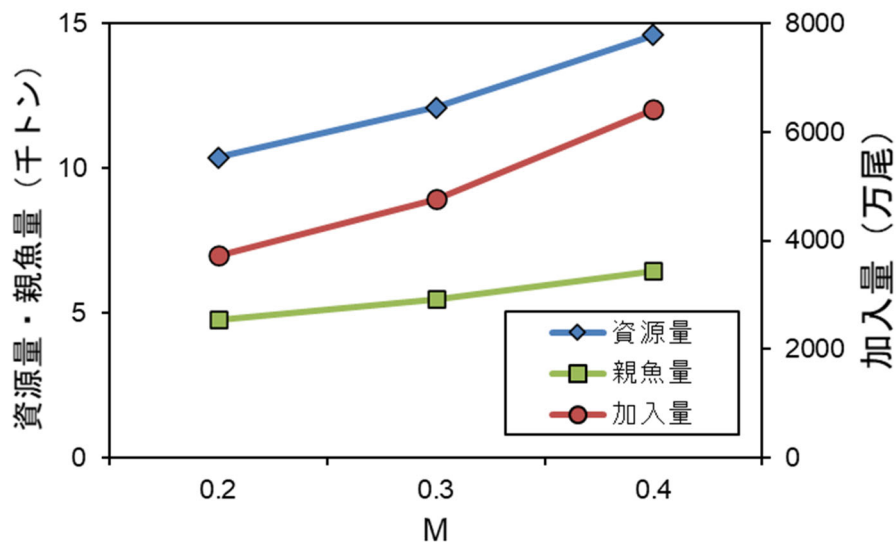


図 10. M と 2020 年資源量、親魚量、加入量 (1 歳魚) の関係

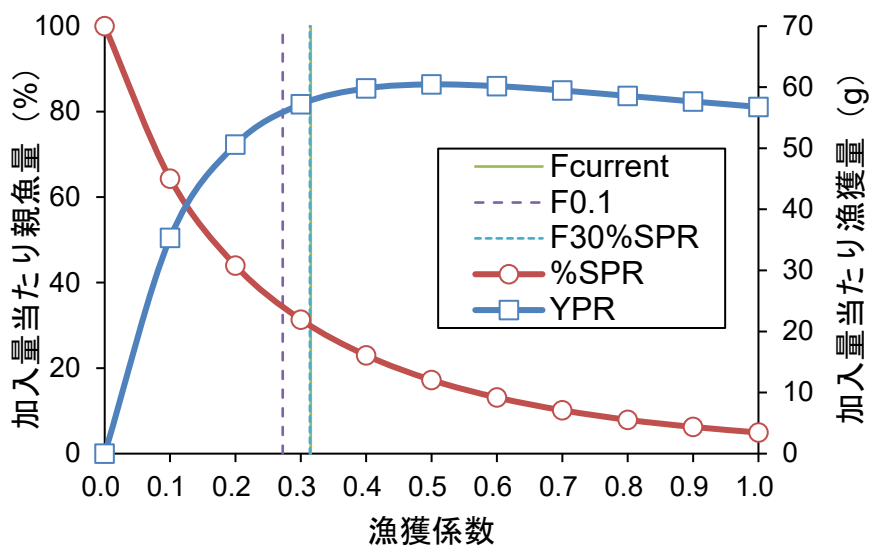


図 11. %SPR、YPR と F の関係

表 1. ソウハチ日本海南西部系群の漁業種類別漁獲量（トン）

年	2そう沖底		1そう沖底	小底	計	年	2そう沖底		1そう沖底	小底	計
	浜田以西	浜田以東	日本海西部				浜田以西	浜田以東	日本海西部		
1966	941				941	2000	560	8	2,818	1,610	4,996
1967	792				792	2001	437	14	1,718	940	3,108
1968	484				484	2002	447	9	1,880	972	3,308
1969	1,488				1,488	2003	269	5	1,313	810	2,397
1970	1,591	35	885		2,511	2004	160	3	906	361	1,429
1971	1,537	150	1,298		2,985	2005	194	2	1,026	516	1,738
1972	1,582	237	1,481		3,301	2006	320	8	1,282	814	2,424
1973	1,028	100	1,445		2,573	2007	653	91	1,514	1,185	3,443
1974	1,910	83	2,624		4,617	2008	701	129	1,665	1,542	4,036
1975	1,706	61	1,688		3,455	2009	453	64	927	1,087	2,531
1976	1,180	71	1,188		2,440	2010	437	66	1,161	1,009	2,672
1977	681	99	1,506		2,287	2011	519	91	1,335	1,538	3,483
1978	1,873	92	2,109		4,074	2012	568	46	989	1,110	2,713
1979	1,468	47	1,849		3,363	2013	597	46	1,175	1,214	3,032
1980	1,575	16	2,231		3,822	2014	518	15	1,377	905	2,815
1981	1,708	55	2,673		4,435	2015	376	17	993	773	2,159
1982	1,196	5	1,892		3,094	2016	412	11	940	659	2,022
1983	1,514	2	1,563		3,079	2017	444	25	1,082	671	2,222
1984	1,080	4	1,713		2,797	2018	389	3	864	983	2,239
1985	949	3	1,836		2,788	2019	532	8	767	634	1,942
1986	1,125	5	2,153	480	3,763	2020	619	1	1,267	891	2,778
1987	902	1	1,913	474	3,290						
1988	671	4	1,181	351	2,206						
1989	929	4	2,250	354	3,537						
1990	1,166	7	2,266	372	3,812						
1991	1,385	39	2,476	549	4,448						
1992	1,063	19	2,614	537	4,234						
1993	872	15	2,783	776	4,445						
1994	623	20	1,872	599	3,114						
1995	687	13	2,160	502	3,361						
1996	659	17	2,753	946	4,375						
1997	778	11	2,638	827	4,253						
1998	552	18	2,149	1,164	3,883						
1999	701	26	2,991	1,742	5,460						

表 2. ソウハチ日本海南西部系群の沖底の有効漁獲努力量および標準化 CPUE

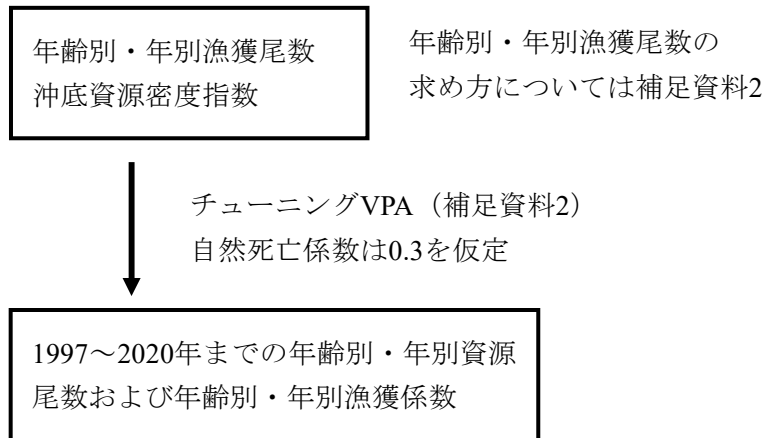
年	有効漁獲努力量 (網)		標準化した 標準化CPUE
	1そうびき沖底	2そうびき沖底	
1970	37,362	30,962	
1971	38,391	35,038	
1972	33,536	32,693	
1973	35,587	38,651	
1974	51,273	32,913	
1975	34,062	32,980	
1976	33,733	38,645	
1977	32,626	36,003	
1978	45,322	40,638	
1979	52,024	45,525	
1980	61,736	42,795	
1981	75,411	39,101	0.7
1982	60,918	44,464	0.5
1983	55,400	42,964	0.4
1984	83,312	46,122	0.4
1985	84,653	44,851	0.4
1986	104,025	33,058	0.5
1987	106,285	41,646	0.5
1988	93,127	34,976	0.3
1989	114,094	37,431	0.5
1990	102,144	41,378	0.6
1991	107,221	34,889	0.7
1992	118,035	31,546	0.9
1993	109,717	28,368	0.9
1994	101,070	25,957	1.0
1995	98,061	21,648	1.3
1996	103,441	20,633	1.6
1997	100,130	19,343	1.7
1998	102,367	21,210	1.5
1999	88,159	20,040	1.6
2000	78,092	20,014	1.5
2001	77,794	19,827	1.0
2002	76,044	20,250	1.1
2003	70,750	18,431	0.8
2004	64,666	17,198	0.5
2005	54,982	16,750	0.6
2006	57,180	17,791	0.7
2007	51,523	19,605	1.4
2008	48,017	18,579	1.5
2009	46,949	14,472	1.2
2010	55,770	17,275	1.4
2011	55,172	20,020	1.4
2012	52,071	18,083	1.6
2013	54,057	19,508	1.2
2014	56,736	13,855	1.3
2015	59,875	15,846	1.0
2016	43,021	12,060	1.0
2017	38,722	13,815	1.0
2018	35,857	15,385	0.8
2019	38,454	14,980	1.1
2020	36,975	14,286	2.0

表 3. ソウハチ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)	1歳加入尾数 (千尾)	漁獲割合 (%)
1997	4,253	12,568	4,526	85,198	34
1998	3,883	13,455	4,336	61,537	29
1999	5,460	13,749	5,151	57,557	40
2000	4,996	11,243	5,175	62,020	44
2001	3,108	8,974	3,346	27,617	35
2002	3,308	7,583	3,177	24,433	44
2003	2,397	6,013	3,327	42,458	40
2004	1,429	5,771	2,424	49,382	25
2005	1,738	7,712	2,490	64,393	23
2006	2,424	8,906	3,625	56,331	27
2007	3,443	11,529	4,559	36,004	30
2008	4,036	10,464	4,983	37,682	39
2009	2,531	8,481	4,562	53,032	30
2010	2,672	9,522	4,383	49,998	28
2011	3,483	9,679	4,064	47,451	36
2012	2,713	8,805	3,845	34,530	31
2013	3,032	8,806	4,203	33,218	34
2014	2,815	8,012	3,832	34,632	35
2015	2,159	7,057	2,996	37,114	31
2016	2,022	7,008	2,966	41,890	29
2017	2,222	8,288	3,245	47,992	27
2018	2,239	9,075	3,561	66,994	25
2019	1,942	10,590	4,027	47,643	18
2020	2,778	12,102	5,475	-	23

1歳加入尾数：対象年に発生した年級群の、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、管理に係わる目標等基準値、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

### 年齢別漁獲尾数の推定

- ① 1 そうびき沖底については、鳥取県賀露港における銘柄別の体長組成、精密測定および銘柄別漁獲量を基礎資料として、これを鳥取県全体に引き延ばした雌雄別の体長組成を使用した。雌雄別体長組成をもとに雌雄別および4半期別（1～3月、4～6月、7～9月、10～12月）の体長-体重関係を用いて4半期別の体長別重量組成を求め、1 そうびき沖底（西区）の漁獲量で引き延ばすことで1 そうびき沖底の体長別漁獲尾数を計算した。さらに、雌雄別および4半期別の年齢体長相関表（平成17年度資源評価報告書）により年齢分解し、雌雄を合計して年齢別漁獲尾数を計算した。
- ② 2 そうびき沖底については、島根県浜田漁港に水揚げされた銘柄別体長組成と銘柄別漁獲量から、雌雄込みの月別体長別尾数を求めた。さらに、雌雄込みの4半期別体長-体重関係を用いて4半期別の体長別重量組成を求め、2 そうびき沖底（島根県東部船を含む）と小型底びき網（島根県が主体）の漁獲量で引き延ばして1 そうびき沖底以外の体長別漁獲尾数を計算した。さらに、雌雄込みの4半期別の年齢体長相関表により年齢分解し、年齢別漁獲尾数を計算した。
- ③ 資源計算に用いた年齢別漁獲尾数は、上記の①、②の合計を用いた。また年齢別の平均体重は、上記の体長組成、体長-体重関係および年齢体長相関表から求めた年齢別の漁獲重量を、年齢別漁獲尾数で除して計算した。

### コホート計算

年齢別資源尾数の計算にはPopeの式を用い(Pope 1972)、年齢別年別資源尾数を求めた。

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

ここで、Nは資源尾数、Cは漁獲尾数、aは年齢、yは年。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8歳として（ $M=2.5 \div \text{最高年齢} 8 \text{歳} \approx 0.3$ ）求めた。3歳（添え字：3）、4歳以上（添え字：4+）には、それぞれ（2）、（3）式を使い、各年における4歳以上と3歳の漁獲係数Fは等しいとした。

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

$$N_{4+,y} = \frac{C_{4+,y}}{C_{3,y}} N_{3,y} \quad (3)$$

ただし、最近年（2020年）は、2～3歳に対して（4）式を使った。

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

最近年の2～3歳以外のFは(5)式を用いて計算した。

$$F_{a,y} = -\ln\left(1 - \frac{C_{a,y}\exp(M/2)}{N_{a,y}}\right) \quad (5)$$

最近年の2歳のFは、最近年を除く直近3年(2017～2019年)の選択率の平均値を以下で推定される最近年の3歳のFに乗じて計算した。

2001年から最近年までの2歳魚以上の資源量と沖底の標準化CPUEの残差平方和を(6)、(7)式により求め、これを最小化するような最近年の3歳魚のFを求めた。

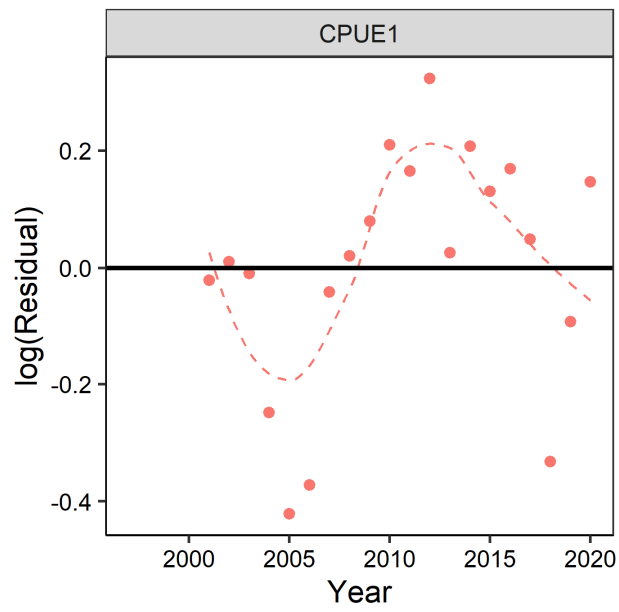
$$\sum_{y=2001}^Y \{\ln(qB_y) - \ln(I_y)\}^2 \quad (6)$$

$$q = \left( \frac{\prod_{y=2001}^Y I_y}{\prod_{y=2001}^Y B_y} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (7)$$

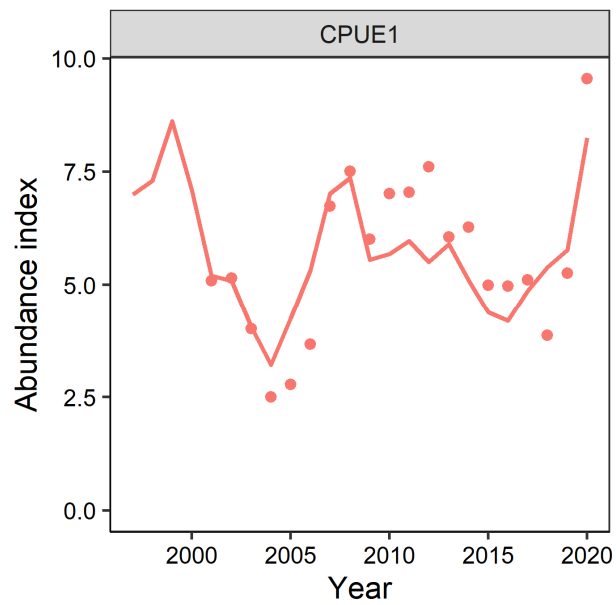
ここで、Iは平均で除して基準化した沖底の標準化CPUE、Bは2歳以上の資源量、yは年、Yは最近年、nは2001年から最近年までの年数を表す。使用した年齢別漁獲尾数と計算結果を補足資料6に示す。

加入量は1歳魚の資源尾数とし、最近年の加入量は、1997～2018年の再生産成功率(RPSmed)に2019年の親魚量の値を乗じて推定した。最近年の1歳魚のFは(5)式により推定した。

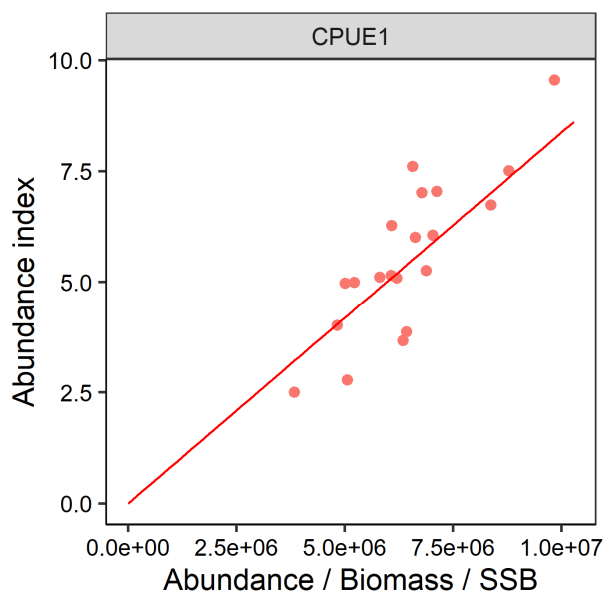
「資源評価のモデル診断手順と情報提供指針(令和3年度)FRA-SA2021-ABCWG02-03」に従って、本系群の評価に用いたVPAの統計学的妥当性や仮定に対する頑健性について診断した。本系群の資源評価では、本年度より沖底の標準化CPUEをコホート解析のチューニングに用いている。指標値(標準化CPUE)とVPAで推定した資源量の予測値との関係は2004～2006年までは負、2009～2016年では正の残差となったが、その後一定の偏りは認められない(補足図2-1、補足図2-2)。指標値と予測値との関係は、線形を仮定して問題ないと考えられた(補足図2-3)。レトロスペクティブ解析では、データの追加・更新を行うことで、過小・過大推定が認められるものの、一定方向のパターンではなかった(補足図2-4)。また、レトロスペクティブパターンの程度を表すrhoを沖底資源密度指数(2019年度まで利用)をチューニングに用いた場合のrhoと比較した場合、資源量(0.25→0.14)、漁獲係数(-0.2→-0.08)、加入尾数(0.32→0.17)のいずれも小さくなり、バイアスの改善が認められた。



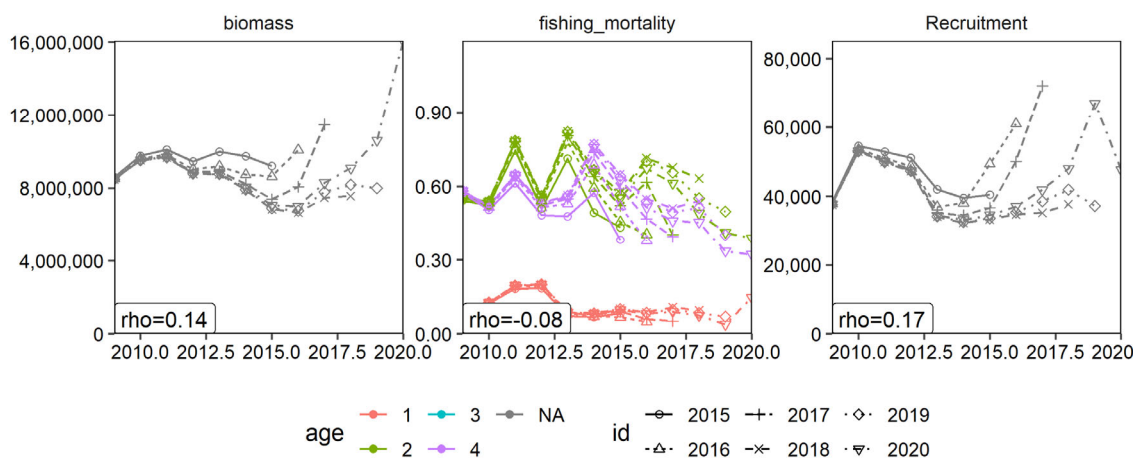
補足図 2-1. 残差プロット



補足図 2-2. VPA で予測した資源量の予測値（折線）と指標値（点）の経年変化



補足図 2-3. 予測値と指標値の関係



補足図 2-4. レトロスペクティブ解析結果

引用文献

Pope, J. G. (1972) An investigation of the accuracy of virtual population analysis using cohort analysis. *Int. Comm. Northwest Atl. Fish. Res. Bull.*, **9**, 65-74.

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.

### 補足資料 3 漁獲成績報告書を用いた資源量指標値の算出方法

沖合底びき網の漁獲成績報告書では、月別漁区（緯度経度 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。

#### 補足資料 4 沖底の漁獲成績報告書を用いた CPUE 標準化手法

以西 2 そうおよび日本海沖合底びき網漁業の漁獲成績報告書を解析に用いた。本資料は船別・日別に農林漁区、網数、魚種別漁獲量 (kg) が記載されている。データの約 6 割がソウハチの漁獲がない (ゼロキャッチ) データであるため、標準化にはデルタ型一般化線形モデル (Lo et al. 1992) を適用した。本モデルでは、ゼロキャッチを含めた有漁確率モデルと有漁データのみを扱う CPUE モデルを組み合わせ、年トレンドを算出する。

応答変数として、有漁確率モデルではソウハチの存在 (1/0)、CPUE モデルでは CPUE (漁獲量÷網数) とし、誤差構造としてそれぞれ二項分布・対数正規分布を仮定した。説明変数は 2 つのモデルで共通とし、固定効果として年、月、小海区およびそれらの交互作用をカテゴリカル変数として含めた。交互作用には、経年的な分布の変化として年×小海区を、水温等環境要因の代替値として年×月を、ソウハチの産卵回遊として小海区×月を考慮した。これらの変数に加え、観測できていない漁船ごとの影響を考慮するため、漁船 ID と漁船 ID×月を変量効果として加えた。赤池情報量規準の総当たり法によってモデル選択した結果、いずれもフルモデルが選択された。

##### 有漁確率モデル

$$\text{logit}(\text{有漁確率}) \sim \text{年} + \text{月} + \text{小海区} + \text{年:月} + \text{年:小海区} + \text{小海区:月} + (1|\text{漁船 ID}) + (1|\text{漁船 ID:月})$$

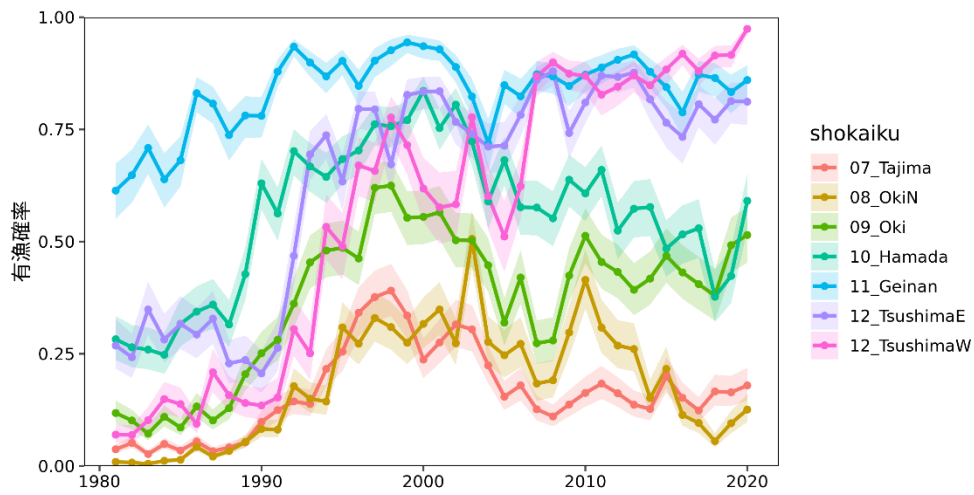
##### CPUE モデル

$$\text{log}(\text{CPUE}) \sim \text{年} + \text{月} + \text{小海区} + \text{年:月} + \text{年:小海区} + \text{小海区:月} + (1|\text{漁船 ID}) + (1|\text{漁船 ID:月})$$

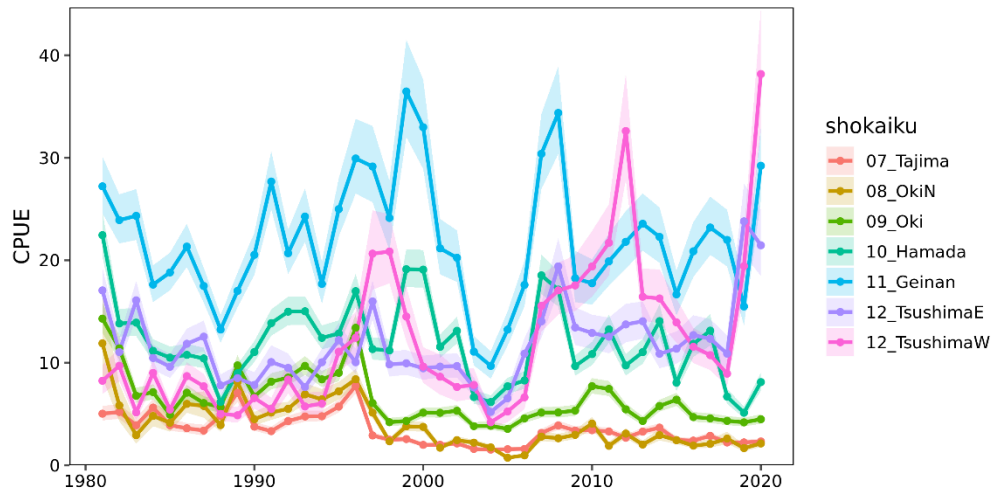
標準化 CPUE は有漁確率モデルと CPUE モデルそれぞれで年トレンドを計算し、それらに乗じることで得た。年トレンドは年・海域ごとの最小二乗平均 (LSMEAN) を算出し (補足図 4-1、補足図 4-2)、両者に乗じて漁場面積比 (解析対象期間の内に 1 度でもソウハチが漁獲された漁区の数之比) で加重平均した値と定めた (補足図 4-3)。信頼区間はノンパラメトリックブートストラップ標本に基づき算出した。

##### 引用文献

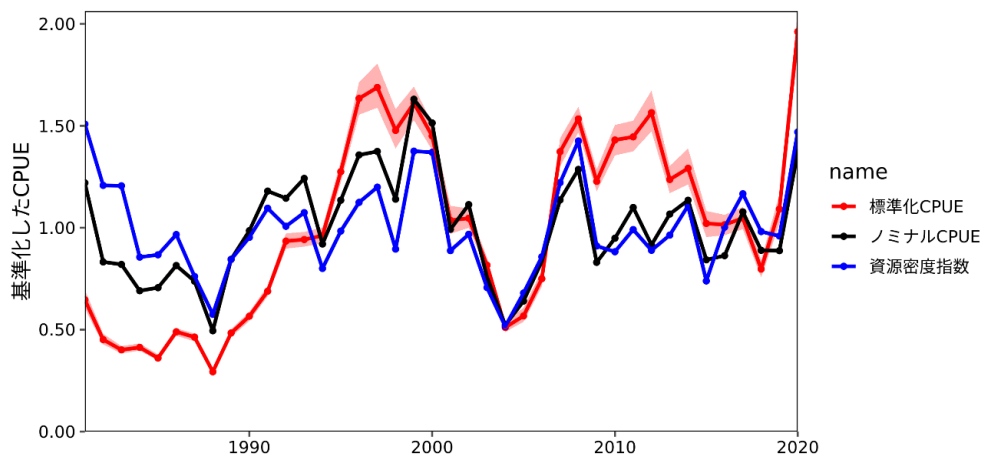
Lo, N. C. H., L. D. Jacobson and J. L. Squire (1992) Indices of relative abundance from fish spotter data based on Delta-lognormal models. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **49**, 2515–2526.



補足図 4-1. 小海区別の有漁確率



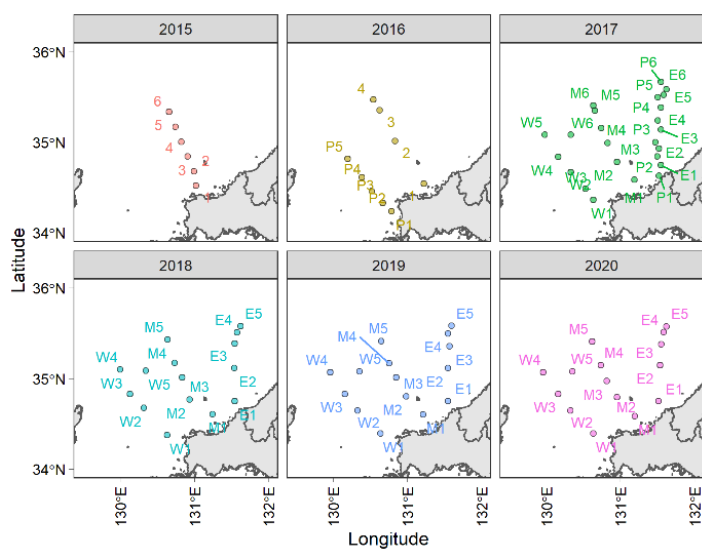
補足図 4-2. 小海区別の有漁時 CPUE



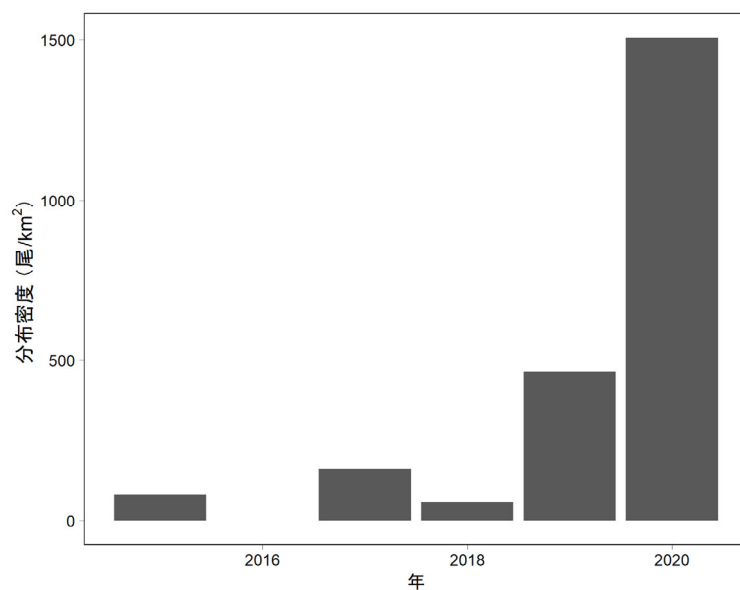
補足図 4-3. 平均で除して基準化した資源密度指数、ノミナル CPUE、標準化 CPUE

## 補足資料 5 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 の桁網を用いた加入量調査を山口県沿岸において実施している（補足図 5-1）。本調査で採集されたソウハチについて、1 歳魚とみられる全長 10 cm 未満の分布密度を補足図 5-2 に示した。1 歳魚の分布密度は 2019 年以降増加傾向を示し、2020 年は 1,507 尾/km<sup>2</sup> と 2019 年（464 尾/km<sup>2</sup>）に対して約 3 倍だった（補足図 5-2）。この動向は本系群の沖底標準化 CPUE（図 5）とよく類似した推移を示している。



補足図 5-1. 山口県沖における加入量調査定点



補足図 5-2. 山口県沖におけるソウハチ 1 歳魚の分布密度



