

令和 4（2022）年度ウルメイワシ太平洋系群の資源評価

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：水産資源研究所、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、福島県水産資源研究所、福島県水産海洋研究センター、茨城県水産試験場、千葉県水産総合研究センター、愛知県水産試験場漁業生産研究所、三重県水産研究所、和歌山県水産試験場、徳島県立農林水産総合技術支援センター水産研究課、高知県水産試験場、香川県水産試験場、愛媛県農林水産研究所水産研究センター、愛媛県農林水産研究所水産研究センター栽培資源研究所、大分県農林水産研究指導センター水産研究部、宮崎県水産試験場

要 約

本系群について、資源量指標値に基づき資源状態を評価した。資源量指標値には、卵稚仔調査で得られる卵密度データを標準化した指標値（平均値を 1 とする相対値）を用いた。本系群は太平洋および瀬戸内海のまき網、定置網および釣りで主に漁獲される。漁獲量は 2004 年まで 6,000～3 万トンで増減を繰り返した後、2005 年以降増加し、2015 年に 4.9 万トンに達した。その後は減少傾向となり、2018 年以降は 3 万トン以下で推移したが、2021 年は 3.9 万トンに増加した。過去 5 年（2017～2021 年）の平均漁獲量は 2.9 万トンであった。本系群の資源量指標値に累積正規分布をあてはめたところ、現状（2021 年）は 28.1%の資源量水準であると評価された。

本系群では、管理基準値や漁獲管理規則など、資源管理方針に関する検討会の議論をふまえて最終化される項目については、管理基準値等に関する研究機関会議において提案された値を暫定的に示した。

要 約 表

	資源量 水準	資源量 指標値	説 明
現状の値 (2021 年)	28.1%	0.77	資源量指標値に累積正規分布を 当てはめて得た水準

年	漁獲量(トン)
2017	33,009
2018	23,332
2019	25,124
2020	23,070
2021	39,339
平均	28,775

1. データセット

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	漁業・養殖業生産統計年報(農林水産省) 漁獲成績報告書(農林水産省) 主要港月別水揚量 主要港月別体長組成
資源量指標値	卵稚仔調査(周年、水研、鹿児島～青森(27)都道府県) ノルパックネット鉛直曳網

資源量指標値は、卵の出現状況から判断して前年 9 月～当年 8 月を産卵期とし、この間のデータを集約して得られる値とした。算出された資源量指標値は、当年 1～12 月の親魚量を指標すると考えた。

2. 生態

(1) 分布・回遊

本系群は沿岸性が強く、分布・回遊範囲は、資源増大期に 150°E 以東の沖合域へ拡大するカタクチイワシやマイワシのような広がりを見せず、本州～九州の太平洋沿岸に集中する(図 2-1)。

(2) 年齢・成長

1 歳末までに被鱗体長で約 22 cm に達する(山田 1994、図 2-2)。月別体長組成と主要港水揚量から推定した月別漁獲尾数の体長組成からは、春季に 0 歳魚が出現し、前年生まれの 1 歳魚とともに分布し、秋～冬季には 0 歳魚は 1 歳魚と同程度の体長に成長することが窺える(図 2-4)。寿命は 2 年とされるが(真田ほか 1994、1996)、2 歳以上の高齢魚も認められている(岡田 2016)。漁獲の大部分は 0～1 歳魚が占める。

(3) 成熟・産卵

1 歳までに成熟する(図 2-3)。雌は 16 cm 前後から成熟個体が出現し(本多ほか 2002)、18 cm 以上の個体はほぼ全て成熟する(大下ほか 2011、Nyuji and Takasuka 2017)。産卵期は 10 月～翌年 7 月に亘る(補足図 2-2、渡井ほか 2021)。産卵盛期は明瞭でないが、3～6 月に卵密度が高くなる傾向がある(補足図 2-2)。産卵場は土佐湾周辺海域を中心に、伊豆諸島～関東近海でもかなりの産卵が見られる(補足図 2-5)。産卵頻度(一日に産卵する雌魚尾数の全雌魚尾数に対する割合)は 0.14～0.26、相対バッチ産卵数(雌の体重 1 g あたり一回に産卵する卵数)は 76～142 個/g と報告されている(Nyuji et al. 2022)。仔魚の出現時期は主に 11 月～翌年 6 月である(渡井ほか 2021)。仔魚期の成長速度は餌料環境よりも環境水温の影響を強く受けると考えられている(Watanabe et al. 2013、2014)。

(4) 被捕食関係

動物プランクトン等を捕食する。土佐湾における胃内容物調査では橈脚類が最も多く出現し、次いでオキアミ類も確認された。その他、十脚類、毛顎類などが確認されている。

(広田ほか 2003)。大型浮魚等に捕食される。

(5) 特記事項

北西太平洋において、小型浮魚類の資源は気候変動に伴って数十年規模で周期的かつ劇的な変動を繰り返しており、例えば太平洋十年規模変動指数 (PDO index) が正偏差の期間はマイワシ、負偏差の期間はカタクチイワシの資源が高水準となる魚種交替が知られている (Takasuka et al. 2008)。一方、ウルメイワシ資源は太平洋十年規模変動指数の正負にかかわらず、漁獲量の変動幅は小さく比較的安定している。ウルメイワシは沿岸性が強く、物理環境・餌料環境が安定した黒潮内側域に分布域が限られていることが、資源の安定性につながっていると指摘されている (Watanabe et al. 2013)。

3. 漁業の状況

(1) 漁業の概要

主にまき網、定置網により漁獲される。和歌山県では棒受網、高知県では多鈎釣りでも漁獲される。仔稚魚 (シラス) 期は船びき網で漁獲される。外国船による漁獲はない。

(2) 漁獲量の推移

漁獲量は漁業・養殖業生産統計年報に基づき、太平洋区と瀬戸内海区の合計漁獲量を用いた。1994 年以降の宮崎県、愛媛県の漁獲量については、太平洋区に所属する大中まき網漁船による東シナ海域での漁獲量 (漁獲成績報告書による) を差し引いた。漁獲量は 1968~1970 年は 1.2 万トン前後であったが、1971 年に 2.7 万トンに増加した後は減少し、1985~1991 年は 5,000~9,000 トン台で推移した。その後 1992 年には 1.6 万トンに、1997 年には 2.6 万トンまで増加した (図 3-1、表 3-1)。1999~2004 年はやや減少して 1.1 万~1.7 万トンで推移したが、2005 年以降再び増加傾向となった。とくに太平洋中区の増加が顕著であった。2007 年以降は、一時的に減少した 2010 年を除き概ね 3 万トン以上の高い水準で推移し、2015 年は 4.9 万トンと過去最高となった。その後は減少し、2018 年以降は 3 万トン以下で推移したが、2021 年の漁獲量は 3.9 万トンに増加した。過去 5 年 (2017~2021 年) の平均漁獲量は 2.9 万トンであった。

4. 資源の状況

(1) 資源評価の方法

資源評価は「令和 4 (2022) 年度 漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針 (FRA-SA2022-ABCWG02-01)」での 2 系資源の管理規則で用いられる資源量水準の判定方法を参考に、過去の資源量指標値に累積正規分布をあてはめ、現状 (2021 年) の資源量水準を評価した (補足資料 1)。資源量指標値には、水産資源研究所が開発してきた卵稚仔データベース (Oozeki et al. 2007、大関ほか 2013) に集計されている、1978 年 9 月~2021 年 8 月の緯度経度 5 分升目の平均卵密度のデータを使用した。Vector Autoregressive Spatio-Temporal モデル (VAST model、Thorson 2019) を用いて指標値を標準化し、標準化された平均卵密度の時系列を、平均値を 1 として規格化し、本系群の親魚量を反映する資源量指標値とした (補足資料 2)。

(2) 資源量指標値の推移

資源量指標値は 1979～2007 年は 0.36～1.89 の範囲で増減を繰り返しながら全体としては増加傾向を示した。その後 2008 年に 1.04 となった後は再び増加傾向が続き、2016 年に 1.79 となった。その後 2019 年までは 1.36～1.64 と比較的高い水準で推移したものの減少傾向となり、2020 年は 0.84 に大きく減少した。2021 年は 2020 年からさらに減少し、0.77 となった（図 4-1、表 3-1）。2017～2021 年の 5 年間の指標値の増減傾向から、動向は減少と判断される。

(3) 資源量水準

本系群の資源量指標値（1979～2021 年）に累積正規分布をあてはめたところ、2021 年の資源量指標値は 28.1%水準であると評価された。資源量指標値の年変動の大きさを示す指標 AAV（Average Annual Value）は 0.263 であり、資源量指標値が平均で毎年 26%程度上昇もしくは低下していた。

(4) その他

漁獲量が増加した 2010 年以降の年齢別・体長別漁獲尾数の推移をみると、2013 年から 2016 年にかけて 1 歳魚に相当する大型個体が多く漁獲されるようになり、2017 年以降は大型魚の漁獲尾数が減少していることがうかがえ、親魚量の減少を示唆していると考えられる（図 4-2）。

5. その他

本資源は、2016 年以降、資源量指標値の減少傾向が続いている。2021 年の指標値はさらに減少した一方、漁獲量は大きく増加し、指標値と漁獲量に乖離がみられた。しかし漁場は太平洋南区に偏っており、太平洋中区の漁獲量は減少が著しい（表 3-1）。卵の分布も III 区（太平洋南区）が中心になってきており（渡井ほか 2021）、全体としては資源の減少および分布域の縮小が懸念され、今後も動向を注視する必要がある。本系群は北西太平洋に分布する他の小型浮魚類に比べて漁獲量変動は小さいものの、資源の大部分が 0～1 歳で構成されるため、年々の再生産の成功の可否がその年の資源量に強く影響する。今後も再生産の場となる沿岸の産卵場を維持し、再生産状況をモニタリングすることが重要であると考えられる。

本年度は資源量指標値に基づく資源量推定に向けて、プロダクションモデルの適用の検討を開始した。今後も商業漁業 CPUE 等、資源量指標値に関する情報収集とそれらの標準化手法の検討、プロダクションモデルにおける計算の設定等についての検討を進める。

6. 引用文献

ABCWG (2022) 令和 4 (2022) 年度 漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針.FRA-SA2022-ABCWG02-01.

広田祐一・本多 仁・市川忠史・三谷卓美 (2003) 土佐湾におけるウルメイワシの胃内容物. 黒潮の資源海洋研究, 4, 35-44.

- 本多 仁・広田祐一・三谷卓美・上原伸二・阪地英男・梨田一也 (2002) 土佐湾におけるウルメイワシ産卵群の体長組成及び成熟状態の季節変化と幼魚の出現時期. 黒潮の資源海洋研究, **3**, 75-83.
- Nyuji, M. and A. Takasuka (2017) Spawning cycle and fecundity of a multiple spawner round herring *Etrumeus teres* off southern Japan: Oocyte growth and maturation analysis. J. Sea Res., **122**, 11-18.
- Nyuji, M., A. Takasuka, M. Okada (2022) Variation in reproductive parameters of round herring in the Pacific coastal waters of Japan. J. Sea Res., **187**, 1-10.
- 岡田 誠 (2016) 熊野灘における大型ウルメイワシの出現. 黒潮の資源海洋研究, **17**, 55-63.
- 大下誠二・後藤常夫・大塚 徹・梶島光次郎 (2011) 東シナ海におけるウルメイワシの年齢・成長と成熟特性. 日水誌, **77**, 15-22.
- Oozeki, Y., A. Takasuka, H. Kubota and M. Barange (2007) Characterizing spawning habitats of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*), Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*), and Pacific round herring (*Etrumeus teres*) in the northwestern Pacific. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep., **48**, 191-203.
- 大関芳沖・高須賀明典・坪井守夫・木立 孝・鈴木秀彌・服部茂昌 (2013) 産卵調査と資源変動研究—その研究を継続させた思い— 中井甚二郎 (1901～1984). 水産海洋研究, **77** (創立 50 周年記念特別号), 6-12.
- 真田康広・藤田正夫・石田 実 (1994) 太平洋南部におけるウルメイワシの耳石日周輪に基づく年齢と成長. 南西外海の資源・海洋研究, **10**, 55.
- 真田康広・藤田正夫・石田 実 (1996) 太平洋南部におけるウルメイワシの耳石日周輪に基づく年齢と成長. 平成 2～4 年度地域性浮魚資源管理方式開発調査報告書, 南西海区水産研究所・三重県水産技術センター・和歌山県水産試験場・徳島県水産試験場・高知県水産試験場・愛媛県水産試験場・大分県水産試験場・宮崎県水産試験場・鹿児島県水産試験場, 54-58.
- Takasuka, A., Y. Oozeki and H. Kubota (2008) Multi-species regime shifts reflected in spawning temperature optima of small pelagic fish in the western North Pacific. Mar. Ecol. Prog. Ser., **360**, 211-217.
- Thorson, J. T. (2019) Guidance for decisions using the Vector Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) package in stock, ecosystem, habitat and climate assessments. Fish. Res., **210**, 143-161.
- 渡井幹雄・安田十也・入路光雄・宇田川美穂・渡邊千夏子・木下順二 (2021) 2020 年～2021 年春季の我が国太平洋岸におけるウルメイワシ卵・仔魚の分布状況. 令和 3 年度中央ブロック卵・稚仔、プランクトン調査研究担当者協議会研究報告, **41**, 155-170.
- Watanabe, Y., S. Ochiai, K. Fukamichi (2014) Larval growth rates differ in response to seasonal temperature variations among clupeoid species inhabiting the Pacific coastal waters of Japan. Fish. Sci., **80**, 43-51.
- Watanabe, Y., T. Suzuki, K. Tsuno (2013) Temperature determines growth rates of larval round herring *Etrumeus teres* in the Pacific coastal waters off southern Japan. Fish. Sci., **79**, 757-766.

山田浩且 (1994) 1. 熊野灘におけるウルメイワシの資源生態. 水産海洋研究, **58**, 286-292.

(執筆者：渡邊千夏子、安田十也、渡井幹雄、井元順一、木下順二、河野悌昌、高橋正知)

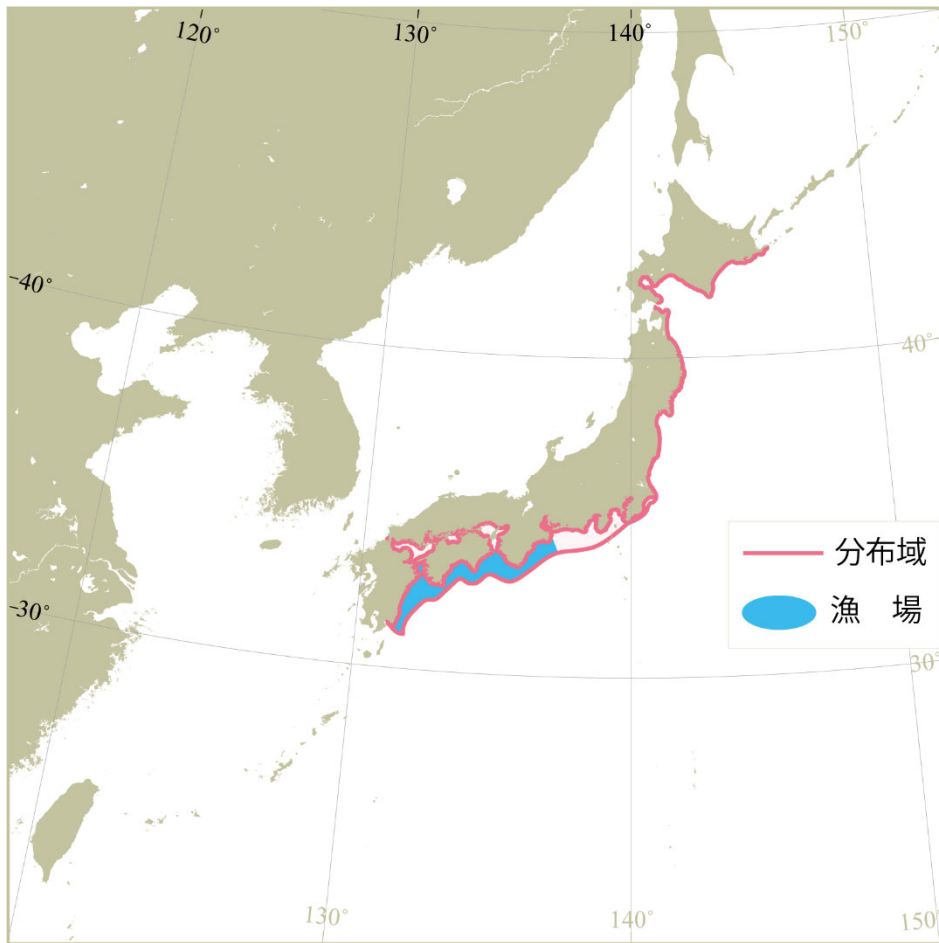


図 2-1. ウルメイワシ太平洋系群の分布

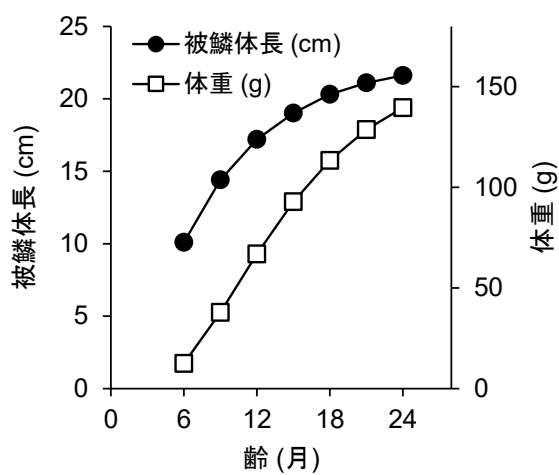


図 2-2. 月齢と成長の関係

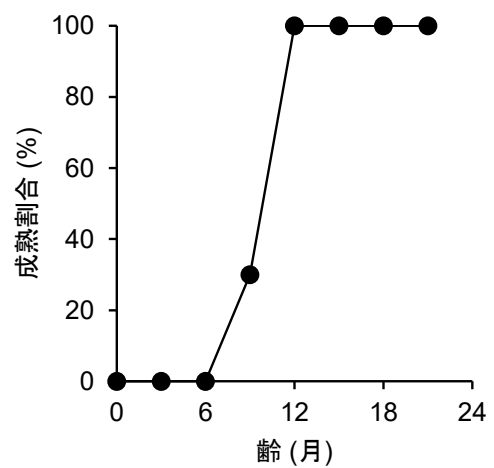


図 2-3. 月齢と成熟割合の関係

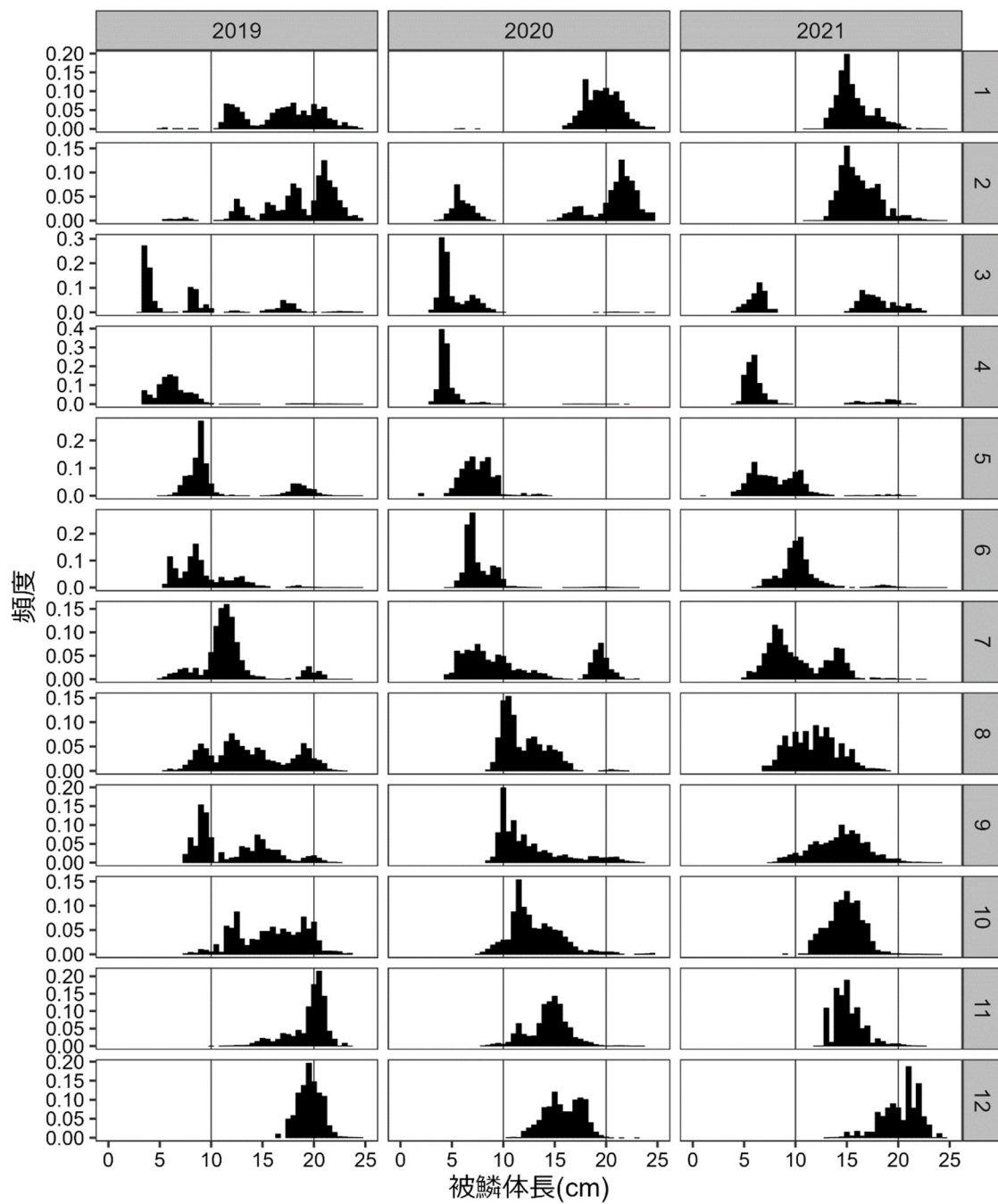


図 2-4. 月別推定漁獲尾数の体長組成の推移の例（2019～2021 年） 宮崎県～三重県の主要港水揚量と体長測定結果から求めた。図の上端の数字は年、右端の数字は月を表す。

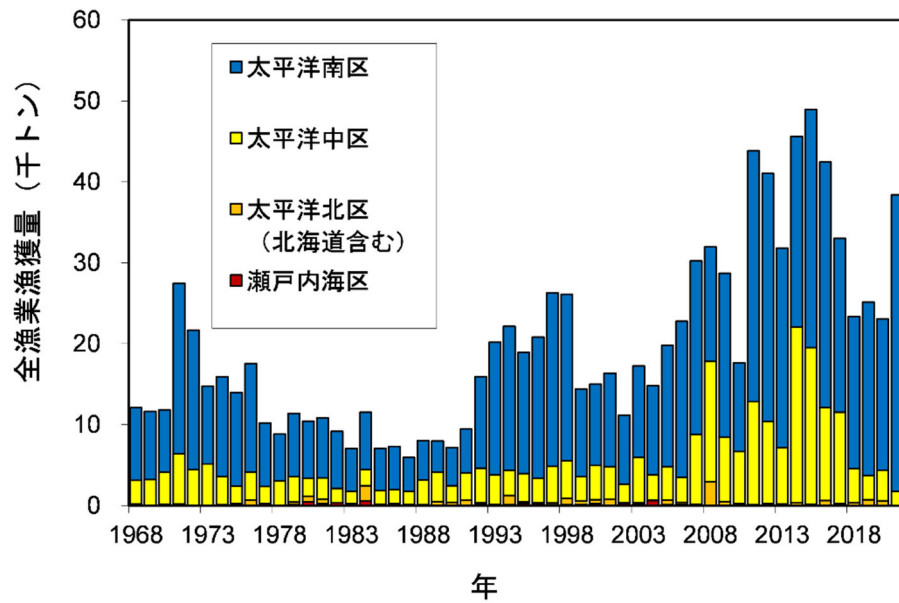


図 3-1. 漁獲量の推移

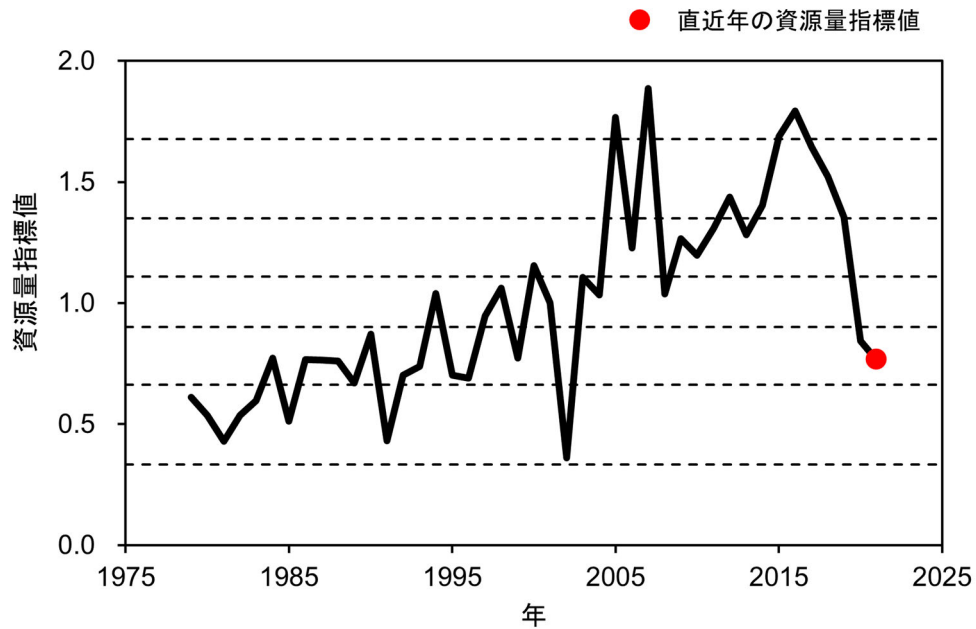


図 4-1. 資源量指標値の推移と累積正規分布を適用したときの資源量水準 資源量指標値は平均を 1 とする相対値で示した（左縦軸）。横破線は資源量水準を示す。赤丸は 2021 年の資源量指標値を示す。

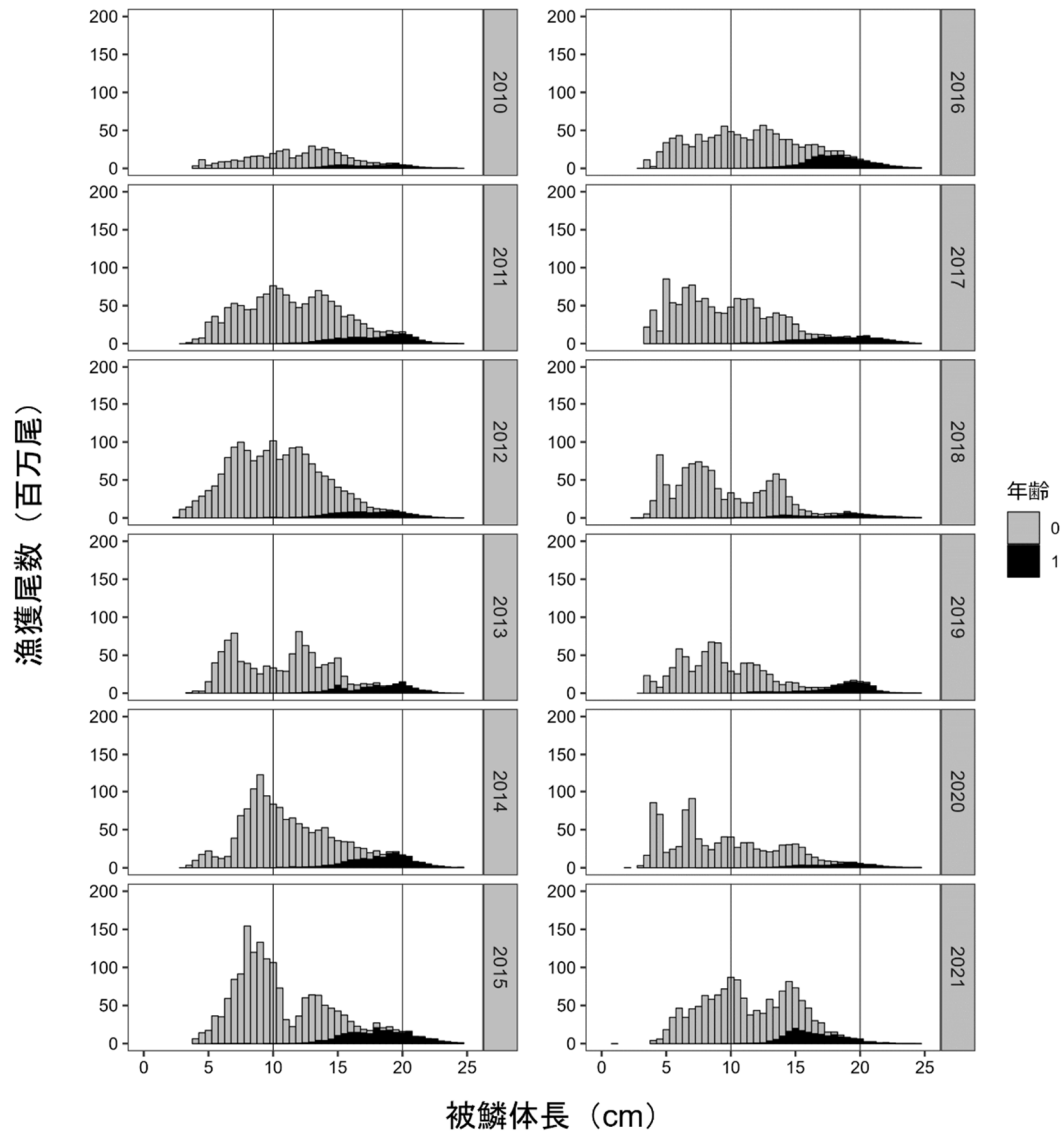
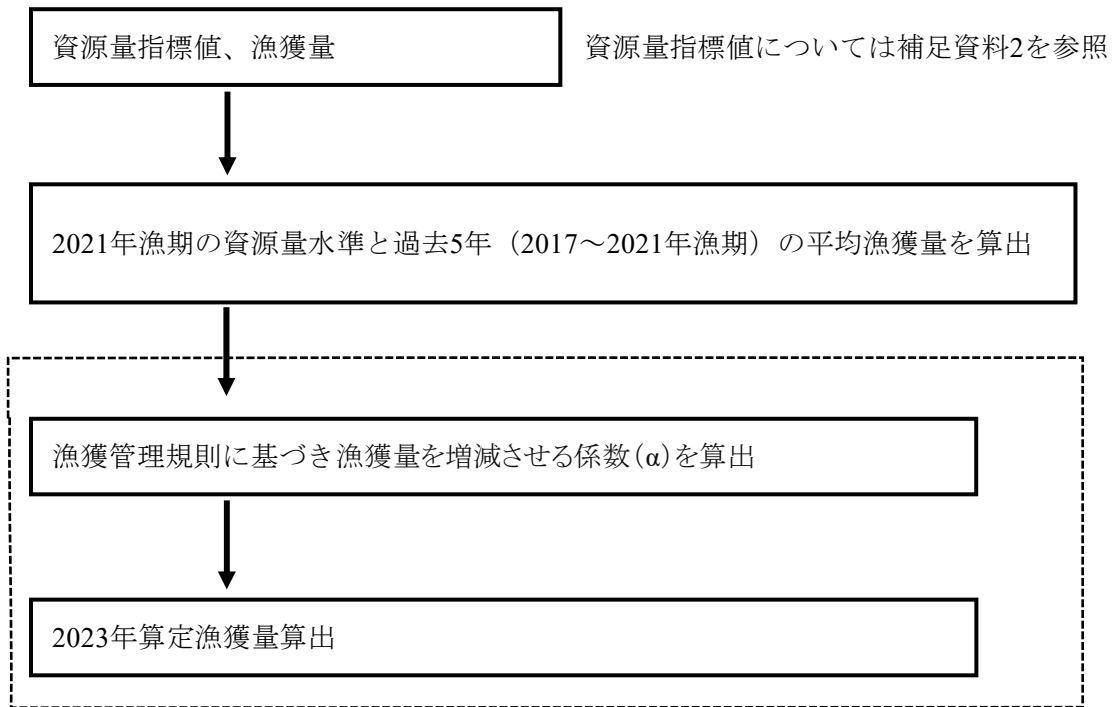


図 4-2. 2010 年以降の体長別・年齢別漁獲尾数の推移

表 3-1. 漁獲量および資源量指標値の推移

年	漁獲量（トン）					資源量指標値
	太平洋南区	太平洋中区	太平洋北区 （北海道含む）	瀬戸内海区	合計	（相対値）
1968	8,961	2,938	33	161	12,093	
1969	8,423	3,152	14	46	11,635	
1970	7,732	3,949	17	143	11,841	
1971	21,061	6,224	1	196	27,482	
1972	17,229	4,373	1	61	21,664	
1973	9,640	5,080	7	47	14,774	
1974	12,316	3,500	15	61	15,892	
1975	11,600	2,136	45	190	13,971	
1976	13,404	3,471	617	66	17,558	
1977	7,846	2,096	4	268	10,214	
1978	5,794	2,975	3	62	8,834	
1979	7,821	3,123	352	80	11,376	0.61
1980	7,024	2,237	714	449	10,424	0.54
1981	7,429	2,608	573	223	10,833	0.43
1982	7,054	1,795	8	332	9,189	0.54
1983	5,293	1,470	64	211	7,038	0.60
1984	7,092	2,014	1,889	550	11,545	0.77
1985	5,237	1,674	42	130	7,083	0.51
1986	5,349	1,739	16	213	7,317	0.77
1987	4,186	1,626	79	54	5,945	0.76
1988	4,823	3,079	18	81	8,001	0.76
1989	3,853	3,627	456	32	7,968	0.67
1990	4,718	2,051	368	35	7,172	0.87
1991	5,433	3,387	620	36	9,476	0.43
1992	11,326	4,249	204	147	15,926	0.70
1993	16,397	3,639	8	123	20,167	0.74
1994	17,791	3,107	1,167	78	22,143	1.04
1995	14,996	3,477	185	272	18,930	0.70
1996	17,471	3,013	115	227	20,826	0.69
1997	21,437	4,521	225	89	26,272	0.95
1998	20,547	4,679	799	76	26,101	1.06
1999	10,851	3,000	367	187	14,405	0.77
2000	10,036	4,240	478	233	14,987	1.16
2001	11,569	4,057	698	46	16,370	1.00
2002	8,501	2,306	116	248	11,171	0.36
2003	11,295	5,592	161	202	17,250	1.11
2004	11,032	3,095	67	613	14,807	1.03
2005	15,016	4,111	595	102	19,824	1.77
2006	19,288	3,102	254	131	22,775	1.23
2007	21,441	8,635	34	130	30,240	1.89
2008	14,126	14,930	2,864	43	31,963	1.04
2009	20,262	7,947	480	12	28,701	1.27
2010	10,953	6,421	160	93	17,627	1.20
2011	30,988	12,748	70	18	43,824	1.31
2012	30,642	10,187	137	88	41,054	1.44
2013	24,692	6,944	177	18	31,831	1.28
2014	23,595	21,714	291	43	45,643	1.40
2015	29,393	19,345	98	76	48,912	1.69
2016	30,371	11,472	591	24	42,458	1.79
2017	21,488	11,282	211	28	33,009	1.64
2018	18,773	4,198	356	5	23,332	1.52
2019	21,415	2,996	711	2	25,124	1.36
2020	18,676	3,812	576	6	23,070	0.84
2021	36,646	1,752	928	13	39,339	0.77

補足資料 1 資源評価の流れ



※点線枠内は資源管理方針に関する検討会における管理基準値や漁獲管理規則等の議論をふまえて作成される。

補足資料 2 資源量指標値の算出方法：Vector Autoregressive Spatio-Temporal モデルによるウルメイワシ太平洋系群卵密度の標準化

(1) 背景

我が国太平洋岸では 1978 年以降、水産庁委託事業における国立研究開発法人水産研究・教育機構（旧水産庁水産研究所、旧独立行政法人水産総合研究センター）と各都県水産研究機関の共同によって、主に小型浮魚類の再生産状況を把握するために卵稚仔調査が周年実施されてきた（Oozeki et al. 2007、大関ほか 2013）。毎月の調査により、太平洋岸全体で毎年 3,000～4,000 件のプランクトンネット（近年は改良型ノルパックネット）の鉛直曳網データが蓄積されている（Takasuka et al. 2008）。

本報告では、太平洋全体に相当する海区Ⅰ～Ⅲおよび瀬戸内海に相当する海区Ⅶの調査で得られる平均卵密度を用いて資源量指標値を得た。しかし卵稚仔調査の調査海域や調査点数は年・月により一定ではなく、ウルメイワシの産卵の活発さや産卵場の位置も年や季節による変化があることから、平均卵密度の標準化を行った。標準化には Vector Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) モデルを使用した（Thorson and Barnett 2017、Thorson 2019）。VAST は、空間自己相関を考慮することで、相対密度の時空間変動の柔軟な取り扱いを可能にした CPUE 標準化の手法である。VAST による卵密度の標準化はゴマサバ太平洋系群で行われており、マサバ卵との区別が困難なために生じると考えられる卵密度の誤差を解消でき、資源評価推定値の改善に貢献していることが報告されている（Kanamori et al. 2021）。またマサバ太平洋系群における平均卵密度に対して VAST を適用した研究では、温暖化に伴いマサバの産卵場が北にシフトしつつあることが報告されている（Kanamori et al. 2019）。

(2) 方法

本報告では、水産資源研究所が開発してきた卵稚仔データベースから、海区Ⅰ～Ⅲ（日向灘～本州東方沖）および海区Ⅶ（瀬戸内海）の調査結果で得られる 1979～2021 年の平均卵密度を使用した。期間を通じた全調査点の分布は補足図 2-1 のとおりである。 y 年 m 月の平均卵密度を $E_{y,m}$ とし、以下のように定義した。

$$E_{y,m} = \sum_i \left(\frac{1}{\bar{S}} \frac{D_m}{d_i} \right) \bar{X}_i$$

ここで $\bar{S}$ は卵時代の平均生残率、 D_m は m 月の日数、 d_i は区画 i における平均孵化日数であり、卵採集時の水温、採集時の卵の発生ステージおよび水温別の卵発生速度（Uehara and Mitani 2009）を用いて算出される（渡部 1983）。 $\bar{X}_i$ は区画 i における 1 m^2 あたり平均卵数である（渡部 1983）。本報告は緯度経度 5 分升目を区画として算出された $E_{y,m}$ を用いた。平均卵密度の年別・月別平均値の季節変化をみると、ウルメイワシの卵はほぼ周年観察されるものの、9 月に卵密度が減少する傾向がみられた（補足図 2-2）。このことから、産卵期は渡井ほか（2021）に従い前年 9 月～当年 8 月とした。なおウルメイワシ卵は正確に同定でき、他魚種卵と混同されることはないことから、ゴマサバ太平洋系群で考慮したよう

な他魚種卵による採集率への影響は考慮していない。また令和3年度に水温の影響を検討したところ影響は認められなかったことから、今年度は水温の影響は考慮していない。

【モデルの構造】

VASTは卵密度を、サンプル*i*の遭遇確率（の線形予測子） $(p_1(i))$ と、卵が採集された場合のサンプル*i*の卵密度（の線形予測子） $(p_2(i))$ に分けて、以下のように表す。

$$\begin{aligned} p_1(i) &= \beta_1(y_i) + \omega_1(s_i) + \varepsilon_1(s_i, y_i) + \eta_1(y_i, m_i) \\ p_2(i) &= \beta_2(y_i) + \omega_2(s_i) + \varepsilon_2(s_i, y_i) + \eta_2(y_i, m_i) \end{aligned}$$

右辺の第1項の $\beta(y_i)$ は調査年*y*の固定効果で、調査年の効果は各調査年で独立とした。第2項の $\omega(s_i)$ は空間のランダム効果、第3項の $\varepsilon(s_i, y_i)$ は調査年*y*と場所*s*における時空間のランダム効果を表している。第4項の $\eta(y_i, m_i)$ は要因が卵の採集率（卵の採れやすさ）の過分散を生じさせるランダム効果を表しており、卵の採れやすさの年・月による変化を考慮するため調査年*y*と調査月*m*の交互作用を使用した。

【パラメータの推定】

初めに、空間情報から、クラスタリングの一種であるk-平均法により空間分布を近似するノットを決め、ノットにおける相対密度の時空間変化をモデル化する。先行研究ではノット数は100以上とすることを推奨されているので（Thorson 2019）、これに倣い今回はノット数を100とした。空間効果の確率密度関数は多変量正規分布（MVN）を使って、

$$\omega_1(\cdot, f) \sim MVN(0, \mathbf{R}_1), \quad \omega_2(\cdot, f) \sim MVN(0, \mathbf{R}_2)$$

と表す。ここで、 $\mathbf{R}_1$, $\mathbf{R}_2$ はMatérn 相関関数であり、

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_1(s_n, s_m) &= \frac{1}{2^{\phi-1}\Gamma(\phi)} \times (\kappa_1 |\mathbf{d}(s_n, s_m) \mathbf{H}|)^{\phi} \times K_{\nu}(\kappa_1 |\mathbf{d}(s_n, s_m) \mathbf{H}|) \\ \mathbf{R}_2(s_n, s_m) &= \frac{1}{2^{\phi-1}\Gamma(\phi)} \times (\kappa_2 |\mathbf{d}(s_n, s_m) \mathbf{H}|)^{\phi} \times K_{\nu}(\kappa_2 |\mathbf{d}(s_n, s_m) \mathbf{H}|) \end{aligned}$$

と表される。ここでは、 ϕ は推定しない。 Γ はガンマ関数、 K_{ν} は第2種の変形ベッセル関数、 κ_1 と κ_2 は非相関率、 $\mathbf{d}(s_n, s_m)$ はノット間の距離、 $\mathbf{H}$ は地理的な異方性（方角によって相関の程度が異なること）を表す行列である。同様に、時空間効果の確率密度関数は

$$\begin{aligned} \varepsilon_1(\cdot, f, y) \sim f(x) &= \begin{cases} MVN(0, \mathbf{R}_1), & \text{if } y = 1 \\ MVN(\rho_{\varepsilon_1} \varepsilon_1(\cdot, f, y-1), \mathbf{R}_1) & \text{if } y > 1 \end{cases} \\ \varepsilon_2(\cdot, f, y) \sim f(x) &= \begin{cases} MVN(0, \mathbf{R}_2), & \text{if } y = 1 \\ MVN(\rho_{\varepsilon_2} \varepsilon_2(\cdot, f, y-1), \mathbf{R}_2) & \text{if } y > 1 \end{cases} \end{aligned}$$

で与えられるが、本解析では調査年で独立と仮定した ($\rho_{\epsilon 1} = \rho_{\epsilon 2} = 0$)。上記モデルのパラメータは、Template Model Builder (Kristensen et al. 2016) と呼ばれる高速最適化ソフトを用い、最尤法によって推定される。

本データを使用した解析では二項分布とガンマ分布を使用したデルタ型のモデルを使用し、予測遭遇率 ($r_1(i)$) と予測卵密度 ($r_2(i)$) を以下の式で表した (Thorson 2017、Thorson et al. 2021)。

$$\begin{aligned} r_1(i) &= \text{logit}^{-1} p_1(i) \\ r_2(i) &= a_i \log^{-1} p_2(i) \end{aligned}$$

a_i はオフセット項であり、今回の場合は平均卵密度を目的変数として用いているので 1 とした。卵密度 B が観測される確率は以下で表され、周辺尤度が最大となるパラメータを推定した。

$$\Pr(b_i = B) = \begin{cases} 1 - r_i(i), & \text{if } B = 0 \\ r_1(i) \times g\{B|r_2(i), \sigma_m^2(c)\} & \text{if } B > 0 \end{cases}$$

推定されたパラメータから、各年における各位置の予測卵密度を

$$d^*(s, y) = r_1^*(s, y) \times r_2^*(s, y)$$

で計算し、各ノットの面積と予測卵密度を掛け合わせた値の総和を算出した。

$$I(y) = \sum_{s=1}^{n_s} (a(s) \times d(s, y))$$

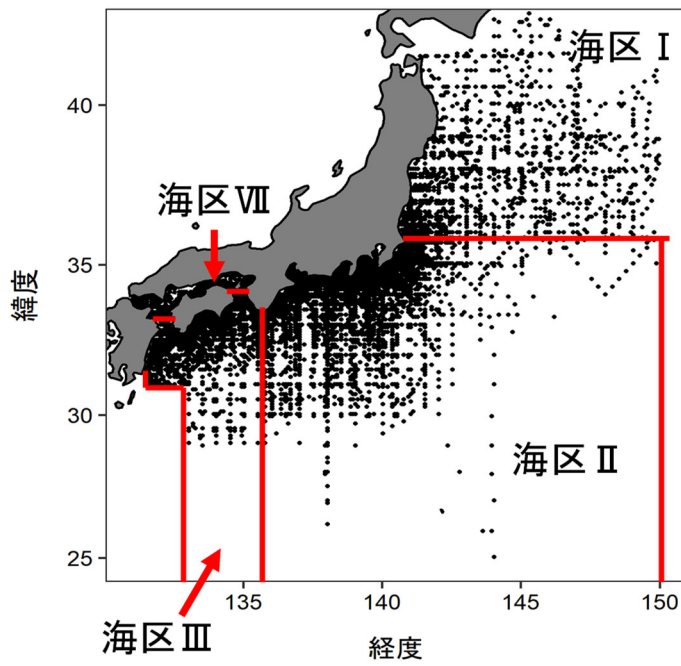
この際、ランダム効果の平均補正を行った (Thorson and Kristensen 2016)。VAST のモデル構造の詳細については、Thorson (2019) や GitHub (<https://github.com/James-Thorson-NOAA/VAST>) を参照されたい。本報告では各年の $I(y)$ を 1979～2021 年の平均値で除して規格化した相対値を資源量指標値とした。

(3) 結果

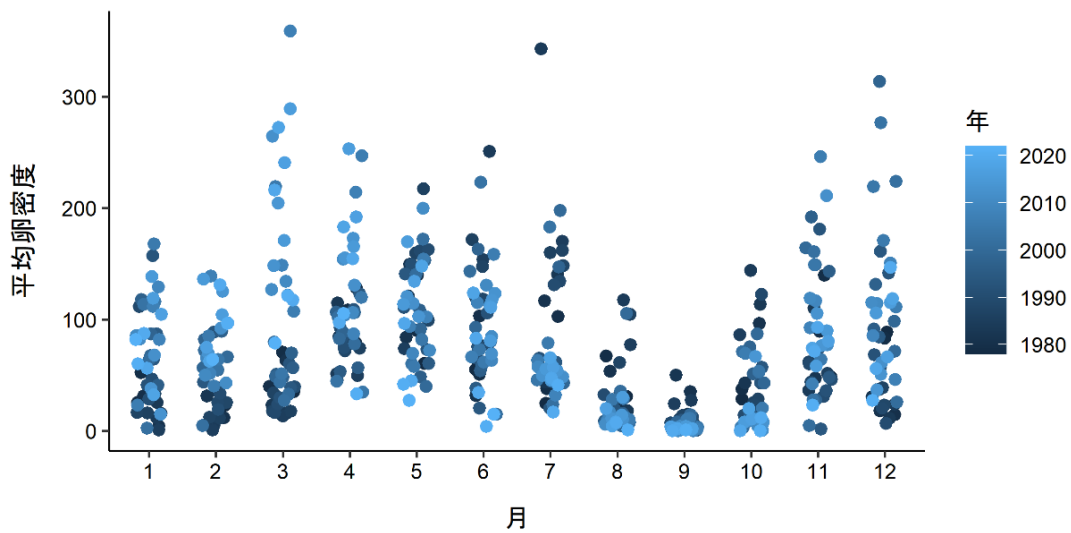
資源量指標値について、1979～1986 年は、標準化した指標値が標準化しない場合よりも低く、逆に 2008～2021 年は標準化した場合に高くなっており、標準化したことにより、指標値の動向がより明瞭となった (補足図 2-3)。予測卵密度の QQ プロットおよび予測値と残差の関係からパラメータは適切に推定されていると考えられた (補足図 2-4)。各年の相対卵密度は土佐湾を中心とする四国沖および伊豆諸島周辺で高かった (補足図 2-5)。四国沖の相対卵密度は対象期間の 1979～2021 年を通じて高く、安定した産卵場であることが示された。伊豆諸島周辺海域の相対卵密度も増減はあるものの調査期間を通じて周辺海域より高い傾向がみられた (補足図 2-5)。

引用文献

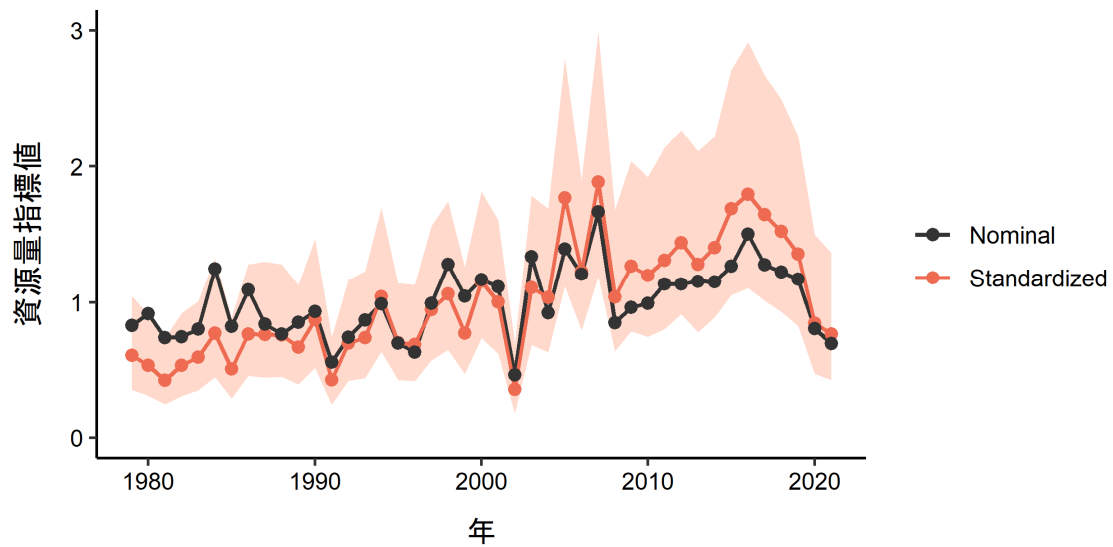
- Kanamori, Y., S. Nishijima, H. Okamura, R. Yukami, M. Watai, A. Takasuka (2021) Spatio-temporal model reduces species misidentification bias of spawning eggs in stock assessment of spotted mackerel in the western North Pacific. *Fish. Res.*, **236**, 105825.
- Kanamori, Y., A. Takasuka, S. Nishijima, H. Okamura (2019) Climate change shifts the spawning ground northward and extends the spawning period of chub mackerel in the western North Pacific. *Mar.Ecol. Prog. Ser.* **624**, 155-166.
- Kristensen, K., A. Nielsen, C. E. Berg, H. Skaug, and B. M. Bell (2016) TMB: automatic differentiation and Laplace approximation. *J. Stat. Softw.*, **70**, 1-21.
- Oozeki, Y., A. Takasuka, H. Kubota and M. Barange (2007) Characterizing spawning habitats of Japanese sardine (*Sardinops melanostictus*), Japanese anchovy (*Engraulis japonicus*), and Pacific round herring (*Etrumeus teres*) in the northwestern Pacific. *Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest. Rep.*, **48**, 191-203.
- 大関芳沖・高須賀明典・坪井守夫・木立 孝・鈴木秀彌・服部茂昌 (2013) 産卵調査と資源変動研究—その研究を継続させた思い— 中井甚二郎 (1901～1984). *水産海洋研究*, **77** (創立 50 周年記念特別号), 6-12.
- Takasuka, A., H. Kubota and Y. Oozeki (2008) Spawning overlap of anchovy and sardine in the western North Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **366**, 231-244.
- Thorson, J. T. and K. Kristensen (2016) Implementing a generic method for bias correction in statistical models using random effects, with spatial and population dynamics examples. *Fish. Res.*, **175**, 66-74.
- Thorson, J. T. (2017) Three problems with the conventional delta-model for biomass sampling data, and a computationally efficient alternative. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **75**, 1369-1382.
- Thorson, J. T. and L. A. K. Barnett (2017) Comparing estimates of abundance trends and distribution shifts using single-multispecies models of fishes and biogenic habitat. *ICES J. Mar. Sci.* **74**, 1311-1321.
- Thorson, J. T. (2019) Guidance for decisions using the Vector Autoregressive Spatio-Temporal (VAST) package in stock, ecosystem, habitat and climate assessments. *Fish. Res.*, **210**, 143-161.
- Thorson, J. T., C. J. Cunningham, E. Jorgensen, A. Havron, P-J. F. Hulson, C. C. Monnahan, P. v. Szalay (2021) The surprising sensitivity of index scale to delta-model assumptions: Recommendations for model-based index standardization. *Fish. Res.* **233**, 105745.
- Uehara, S. and T. Mitani (2009) Effect of temperature on the development of eggs and the daily pattern of spawning of round herring *Etrumeus teres*. *Fish. Sci.*, **75**, 159-165.
- 渡井幹雄・安田十也・入路光雄・宇田川美穂・渡邊千夏子・木下順二 (2021) 2020 年～2021 年春季の我が国太平洋岸におけるウルメイワシ卵・仔魚の分布状況. 令和 3 年度中央ブロック卵・稚仔、プランクトン調査研究担当者協議会研究報告, **41**, 155-170.
- 渡部泰輔 (1983) 卵数法. 水産資源の解析と評価. 石井丈夫編, 恒星社厚生閣. 東京, 9-29pp.



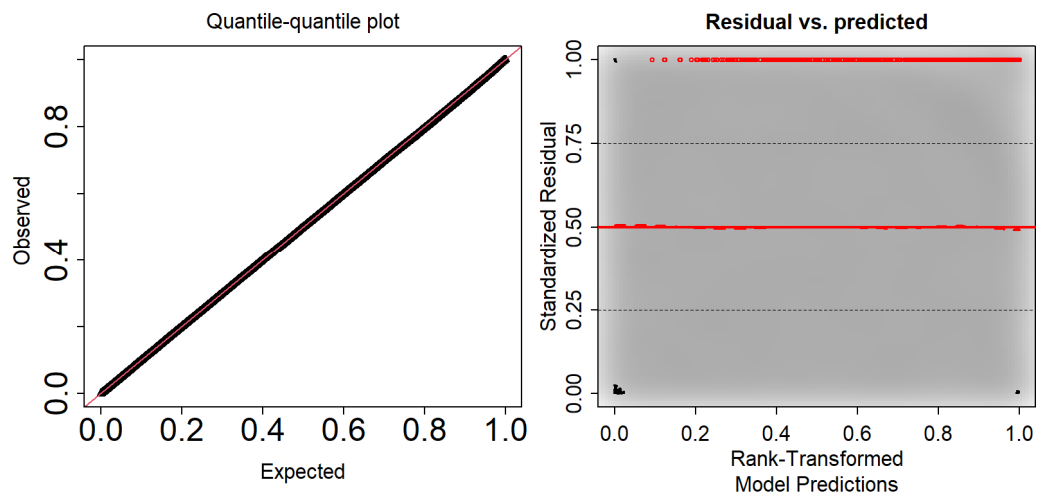
補足図 2-1. 卵稚仔調査における海区の区分および本資料で使用了全データの分布



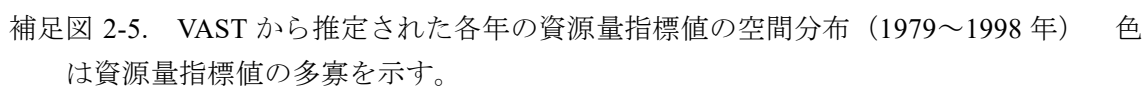
補足図 2-2. 1978～2021 年における月平均卵密度の季節変化

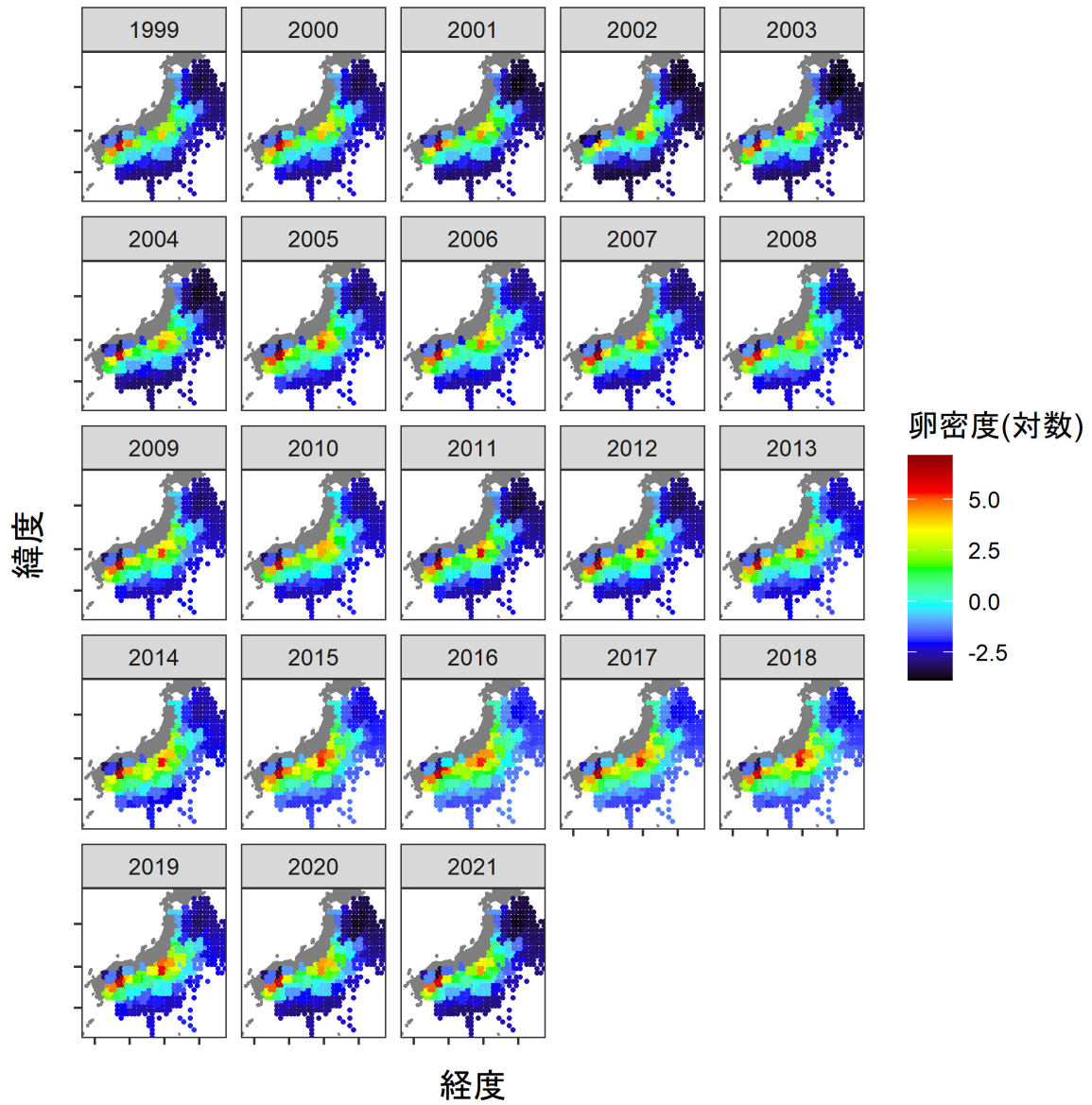


補足図 2-3. 標準化した場合 (standardized) としない場合 (Nominal) の資源量指標値のトレンド オレンジ色の領域は標準化した指標値の 95%信頼区間。



補足図 2-4. 予測卵密度の QQplot (左図) および予測値に対する残差の分布 (右図)





補足図 2-5. (続き) VAST から推定された各年の資源量指標値の空間分布 (1999～2021 年) 色は資源量指標値の多寡を示す。

補足資料 3 2023 年漁期の算定漁獲量

(1) 漁獲管理規則案への当てはめ

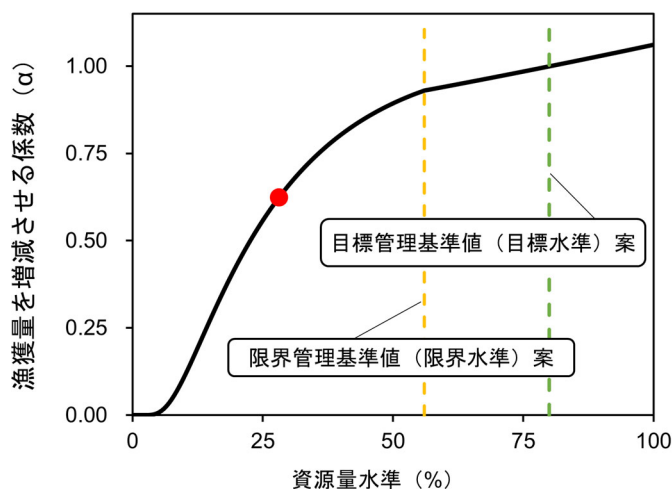
令和 3 年 9 月に開催された「管理基準値等に関する研究機関会議」において提案し、令和 4 年 3 月に開催された「資源管理方針に関する検討会」で議論された漁獲管理規則案は、目標管理基準値（目標水準）を資源量水準 80%、限界管理基準値（限界水準）を資源量水準 56%とした 2 系資源の基本的漁獲管理規則（令和 4（2022）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針）である。この基本的漁獲管理規則を本系群のデータに当てはめ、2023 年漁期の算定漁獲量を求めた。目標管理基準値（目標水準）案および限界管理基準値（限界水準）案は、資源量指標値でそれぞれ 1.34 および 1.06 であった。現状（2021 年）の資源量指標値は 0.77 であり、その資源量水準は目標管理基準値（目標水準）案および限界管理基準値（限界水準）案を下回った。そのため、漁獲管理規則案に基づき漁獲量を増減させる係数（ α ）は 0.62 となった（補足図 3-1、3-2、補足表 3-1）。

(2) 2023 年漁期漁獲量の算定

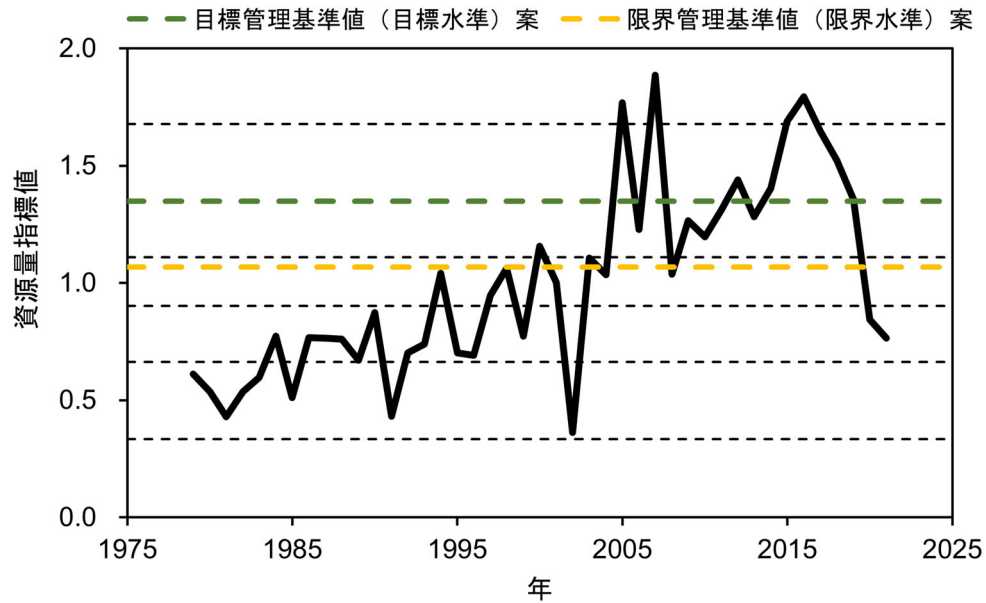
漁獲管理規則案にて漁獲量を増減させる係数（ α ）は 0.62 である。また、本年度の資源評価結果によると過去 5 年（2017～2021 年漁期）の平均漁獲量（ $C_{2017-2021}$ ）は 28,775 トンである。したがって、「令和 4（2022）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2022-ABCWG02-01）」の 2 系資源の管理規則に基づき $\alpha \times C_{2017-2021}$ より算出されるウルメイワシ太平洋系群の 2023 年漁期の漁獲量は 17,970 トンとなる（図 3-3、補足表 3-2）。

引用文献

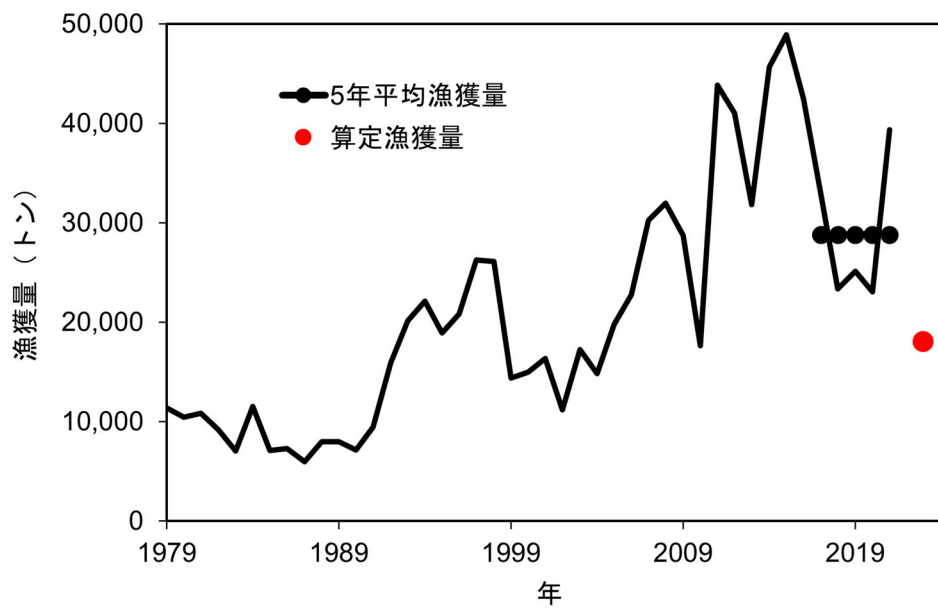
ABCWG (2022) 令和 4 (2022) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2022-ABCWG02-01



補足図 3-1. 基本的漁獲管理規則案 赤丸は 2021 年の資源量水準に対応する α



補足図 3-2. 資源量指標値の水準



補足図 3-3. 漁獲量の推移と試算された算定漁獲量 実線は漁獲量、黒丸と黒太線は2017～2021年の平均漁獲量、赤丸は2023年算定漁獲量。

補足表 3-1. 管理基準値案および現状の値

	資源量 水準	漁獲量を増減 させる係数(α)	資源量 指標値	説 明
目標管理基準値 (目標水準)案*	80.0%	1.00	1.34	資源量指標値の時系列を累積正規分布に当てはめた場合に 80%水準に相当する値
限界管理基準値 (限界水準)案*	56.0%	0.89	1.06	資源量指標値の時系列を累積正規分布に当てはめた場合に 56%水準に相当する値
現状の値 (2021 年漁期)	28.1%	0.62	0.77	過去 5 年の平均漁獲量に掛ける係数は、目標水準案と限界水準案に対する現状の値の水準によって規定される

* 「令和 3 (2021) 年度ウルメイワシ太平洋系群研究機関会議」で提案した水準。

補足表 3-2. 近年の漁獲量および算定漁獲量

	漁期年	漁獲量(トン)
漁獲量の年変化	2017	33,009
	2018	23,332
	2019	25,124
	2020	23,070
	2021	39,339
	平均	28,775
算定漁獲量	2023	17,970

補足資料 4 変動緩和措置を適用した場合の 2023 年漁期の算定漁獲量

令和 4 年 8 月に公開された「令和 4（2022）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針：補遺（FRA-SA2022-ABCWG02-13）」において、「令和 4（2022）年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針（FRA-SA2022-ABCWG02-01）」に示された基本的漁獲管理規則（以下、基本規則とする）以外の選択肢として、漁獲量の変動幅を抑制する措置（以下、変動緩和措置とする）が示された。基本規則は、目標管理基準値（目標水準）を 80%、限界管理基準値（限界水準）を 56%とした上で、漁獲量を増減させる係数 α を算出するためのパラメータを $BT = 0.8$ 、 $PL = 0.7$ 、 $PB = 0$ 、 $(\delta_1, \delta_2, \delta_3) = (0.5, 0.4, 0.4)$ とし、算出される α を過去 5 年の平均漁獲量に乗じて算定漁獲量を算出する。これに対し変動緩和措置では、同じ目標および限界管理基準値案のもと、 α を推定するためのパラメータを $BT = 0.8$ 、 $PL = 0.7$ 、 $PB = 0$ 、 $(\delta_1, \delta_2, \delta_3) = (0.3, 0.6, 0.3)$ とし、これらを用いて算出される算定漁獲量が直近年漁獲量の $(1 + 0.4) \times 100\%$ を超える、もしくは直近年漁獲量の $(1 - 0.4) \times 100\%$ を下回る場合は、算定漁獲量を直近年漁獲量 $\times (1 + 0.4) \times 100\%$ もしくは直近年漁獲量 $\times (1 - 0.4) \times 100\%$ に置き換える。本資料では、当該措置をとった場合の α と 2023 年算定漁獲量を算出し、基本規則に基づいた結果と比較した。

(1) 変動緩和規則案への当てはめ

変動緩和措置においても、目標管理基準値（目標水準）案は 80%、限界管理基準値（限界水準）案は 56%とする。一方、目標管理基準値に対応する α は 1.0、限界管理基準値に対応する α は 0.93、現状（2021 年）の資源量指標値の水準に相当する α_{2023} は 0.62 となる（補足図 4-1、4-2、補足表 4-1）。

(2) 2023 年漁期漁獲量の算定

α_{2023} を用いて算出される 2023 年算定漁獲量は 1.8 万トンとなり、2021 年漁獲量 3.9 万トン $\times (1 - 0.4) \times 100\%$ を下回る。このため 2023 年算定漁獲量を 2021 年漁獲量 3.9 万トン $\times (1 - 0.4) \times 100\%$ に置き換える。この措置によって算出される 2023 年の算定漁獲量（ C_{2023} ）は 2.4 万トンである（補足図 4-2、補足表 4-2）。

(3) 基本規則との比較

変動緩和措置は MSE シミュレーションによりパフォーマンスが確認されており（新 2 系ルールについての追加計算とその結果（FRA-SA2022-ABCWG02-11））、基本規則と同等の資源保護のパフォーマンスを持つが、資源保護のパフォーマンスを維持しつつ急激な漁獲量の増減を抑制するため、長期的な平均漁獲量についてのパフォーマンスは若干劣ることが示されている。基本規則と変動緩和措置をとった場合の漁獲管理規則を比較すると、資源量水準 28%未満では α は変動緩和措置のほうが小さく、28～80%では大きく、80%以上では小さくなるように調整されている（補足図 4-3）。

様々な資源状況で基本規則および変動緩和措置をとった場合を比較するため、1990 年以降について、ある年 t 年までのデータを使い、基本規則および変動緩和措置に基づいた α と、 $t+2$ 年の算定漁獲量を算出した（補足図 4-4）。補足図 4-4c に示したように、1990～

2021 年の 32 年間のうち、算定漁獲量が t 年漁獲量 $\times (1 + 0.4) \times 100\%$ もしくは t 年漁獲量 $\times (1 - 0.4) \times 100\%$ に置き換えられた年は 9 回みられた。1991 年および 2002 年は指標値が急減し（補足図 4-4a）、 α が 0 に近い値となった（補足図 4-4b）。このため基本規則では算定漁獲量が非常に小さくなるが、変動緩和措置により算定漁獲量の急激な減少は避けられた（補足図 4-4c）。一方 2018 年は、資源量指標値と過去 5 年（2014～2018 年）の平均漁獲量が高いために α は高く算定され（補足図 4-4b）、基本規則による算定漁獲量は高く維持されるが（補足図 4-4c）、2018 年の漁獲量が急減したため（補足図 4-4a）、変動緩和措置をとると算定漁獲量は基本規則による場合より 8 千トン程度少なくなるという事例もみられた（補足図 4-4c）。

以上のように、変動緩和措置は資源量指標値の急減に伴う算定漁獲量の急減を避けることができる一方、資源量水準が高い状況には算定漁獲量が基本規則よりも低く抑えられる傾向があり、基本規則にも変動緩和措置にもメリット・デメリットがある。しかし 2002 年にみられたような一時的な資源量指標値の変動は今後も避けがたいと考えられることから、算定漁獲量の大きな変化を避けることができる変動緩和措置は有効な措置と考える。

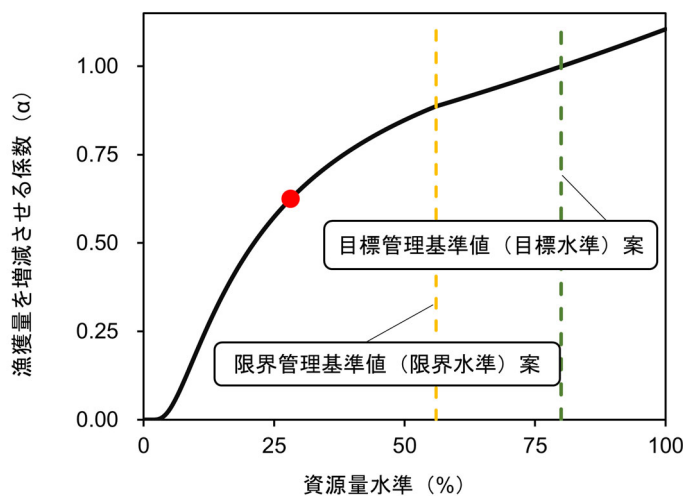
なお、補足図 4-4 に示した計算は個体群動態モデルを用いたシミュレーションに基づくものではないため、漁獲を削減すべき時に削減しなかったことが資源にどの程度影響するか、といった管理効果を示すものではないことに留意が必要である。

引用文献

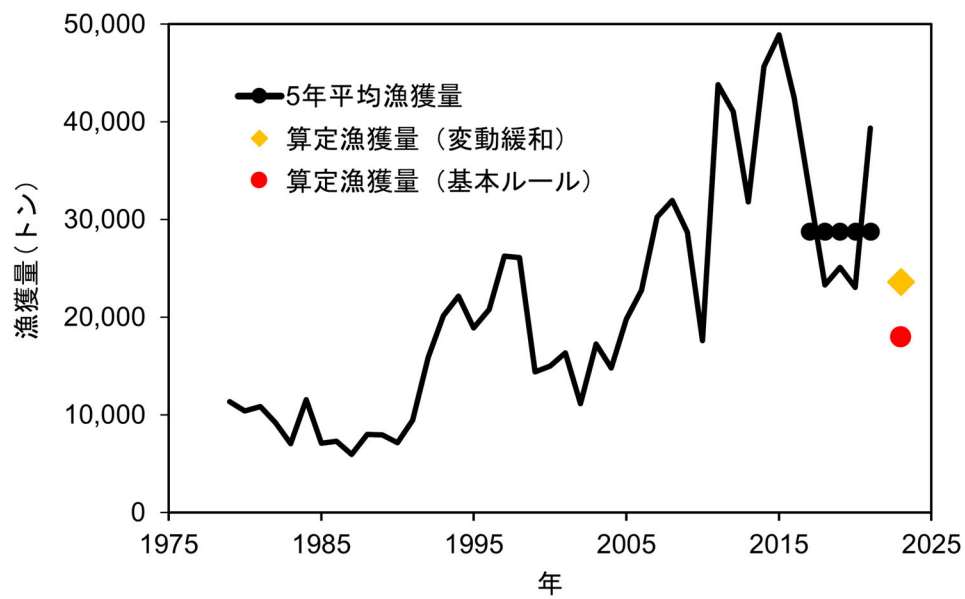
ABCWG (2022) 令和 4 (2022) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針. FRA-SA2022-ABCWG02-01.

ABCWG (2022) 新 2 系ルールについての追加計算とその結果. FRA-SA2022-ABCWG02-11.

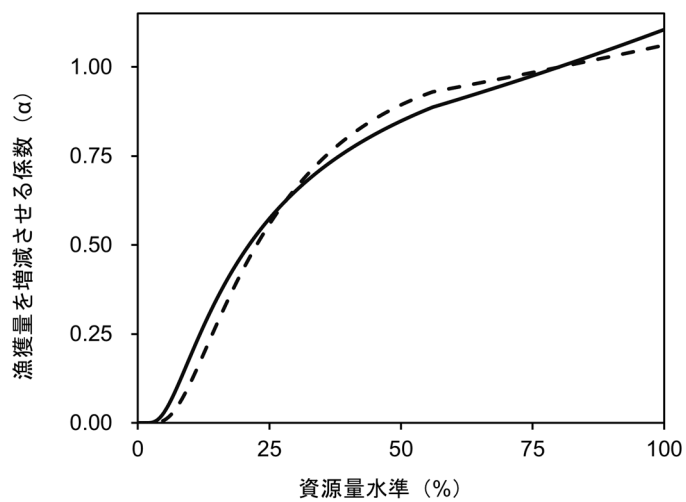
ABCWG (2022) 令和 4 (2022) 年度漁獲管理規則および ABC 算定のための基本指針：補遺. FRA-SA2022-ABCWG02-13.



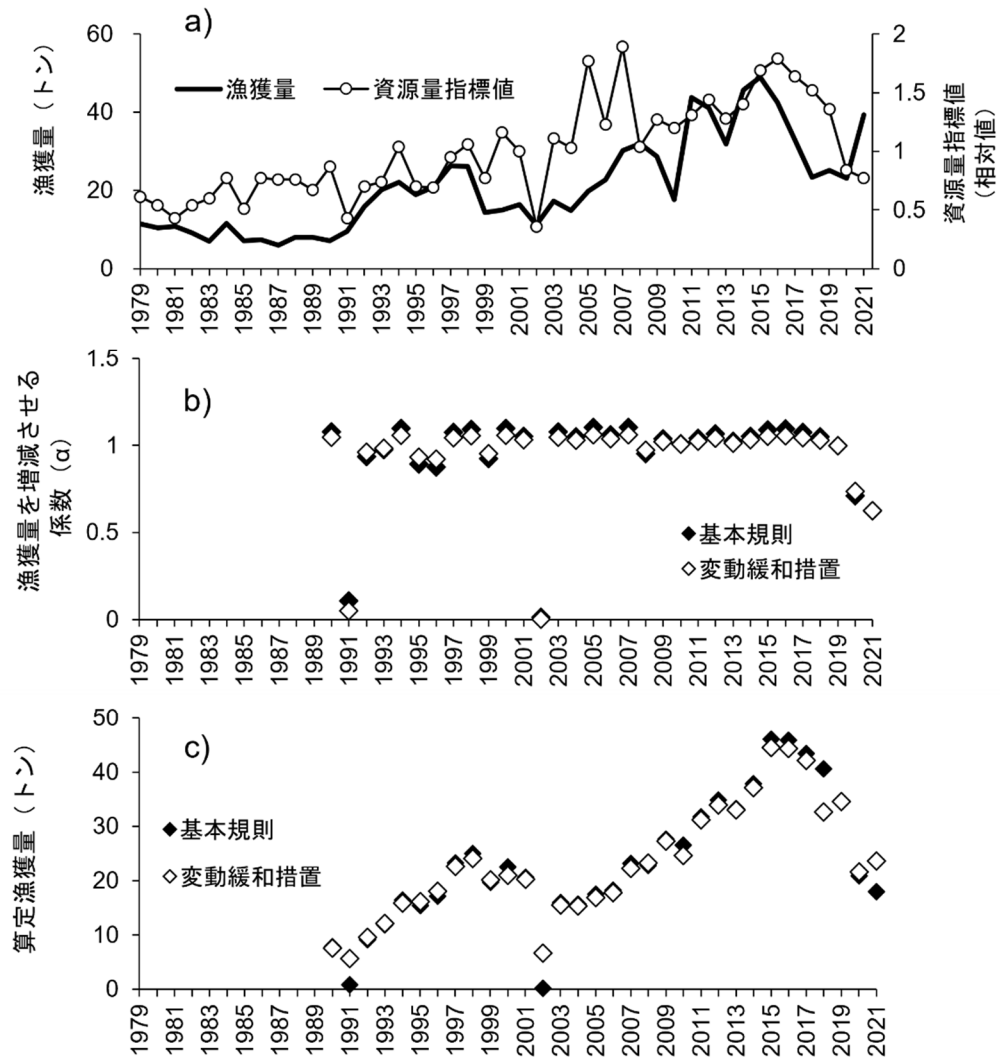
補足図 4-1. 変動緩和措置をとった場合の漁獲管理規則案 赤丸は 2021 年の資源量水準に対応する α を示す。



補足図 4-2. 漁獲量の推移と試算された算定漁獲量 実線は漁獲量、黒丸と黒太線は 2017～2022 年の平均漁獲量、赤丸は基本規則に基づく 2023 年算定漁獲量、黄色ひし形は変動緩和措置をとった場合の 2023 年算定漁獲量を示す。



補足図 4-3. 基本規則および変動緩和措置をとった場合の漁獲管理規則の比較 実線は基本規則の α 、破線は変動緩和措置をとった場合の α の値。



補足図 4-4. 基本規則と変動緩和措置の比較 a) 算定漁獲量の基本データとなる漁獲量および資源量指標値、b) t 年までのデータによって算出される α 、c) t 年までのデータによって算出される $t+2$ 年の算定漁獲量、いずれも横軸は t 年。

補足表 4-1. 管理基準値案および現状の値

	資源量 水準	漁獲量を増減 させる係数 (α^{**})	資源量 指標値	説 明
目標管理基準値 (目標水準) 案*	80.0%	1.00	1.34	資源量指標値の時系列を累積正規分布に当てはめた場合に 80%水準に相当する値
限界管理基準値 (限界水準) 案*	56.0%	0.93	1.06	資源量指標値の時系列を累積正規分布に当てはめた場合に 56%水準に相当する値
現状の値 (2021 年漁期)	28.1%	0.62	0.77	過去 5 年の平均漁獲量に掛ける係数は、目標水準案と限界水準案に対する現状の値の水準によって規定される。

* 「令和 3 (2021) 年度ウルメイワシ太平洋系群研究機関会議」で提案した値。

** 変動緩和措置をとった場合の値。

補足表 4-2. 近年の漁獲量および算定漁獲量

	漁期年	漁獲量(トン)
漁獲量の年変化	2017	33,009
	2018	23,332
	2019	25,124
	2020	23,070
	2021	39,339
	平均	28,775
算定漁獲量*	2023	23,603

*算定漁獲量は 2021 年漁獲量 39,339 トン× (1-0.4) ×100%