

まき網データを用いたブリの親魚量指標値の開発

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 浮魚資源部
 西澤文吾、倉島 陽、岡本 俊

概要

データ	まき網漁業漁獲成績報告書（1日・1漁船あたりの漁獲量と投網回数）
対象	1網あたりのブリの漁獲量（kg/網）
データの利用可能な期間	1994～2022年
標準化に使用した期間	1994～2022年
標準化のためのデータ抽出	①176781件のデータのうち、ブリの主要な産卵場（東シナ海：東経121～130度・北緯25～33度）における産卵期（2～5月）のデータ(30209件)を抽出。 ②Biseau(1998)に基づき、Explanation Level(EL)75%およびEL90%を満たすデータ(EL75%：2154件、EL90%：2777件)をそれぞれ抽出。
使用した統計ソフト・パッケージ	統計ソフト：R(4.2.3) パッケージ：dplyr(データ操作)、ggplot2(データ描画)、MuMIn(モデル選択)、doBy(LSMEAN算出)
統計モデル	EL75%とEL90%を満たすデータそれぞれに対して一般化線形モデル(GLM)を適用。応答変数はCPUE（kg/網）、誤差はガンマ分布を仮定。リンク関数はlog。
フルモデルの説明変数	年(カテゴリ)、月(カテゴリ)、緯度(カテゴリ、1度刻み)、経度(カテゴリ、1度刻み)、10m深水温(カテゴリ、1°C刻み)。全て固定効果。
最終モデルの選択方法	AICをモデル選択規準とし、dredgeによる総当たり法で選択（ただし、年を含むモデルから選択）。
選択された説明変数	フルモデル
年トレンドの抽出方法	年毎の最小二乗平均(LSMEAN)
信頼区間の計算方法	ブートストラップ法(1000回)
標準化の結果	<ul style="list-style-type: none"> ・ノミナルCPUEと標準化CPUEの両方で、右肩上がりの傾向が示された。 ・ノミナルCPUEと比較して、標準化CPUEの年変動幅が小さくなった。 ・ノミナルCPUEと比較して、2010年以前は上方修正され、2010年以降は下方修正される年が多く、これは過去から現在にかけてブリ狙いの度合いが高まったことと関係していると考えられた。

1. 背景

これまでのブリの資源評価では、チューニングをしていないコホート解析（VPA）が採用されている。ブリには漁獲可能量（TAC）が設定されていないこと、日本の沿岸域の広範囲に分布し、それぞれの海域で多様な漁法により漁獲されていることから、現状において漁獲量は資源動向を反映していると考えられる（倉島ほか 2023）。しかし、漁獲制限が掛かった場合には資源量を過小評価する可能性があるため、資源量指標値を用いたコホート解析（チューニング VPA）の実施が不可欠となる。

CPUE（catch per unit effort、単位努力量あたりの漁獲量）は、水産資源の資源量指標値の一つとして広く利用されている。特に漁業依存情報に基づく CPUE は、操業場所、時期、狙いなど資源密度以外の様々な要因も含んでいるため、これらの影響を取り除き標準化した CPUE を資源量指標値とする必要がある（Maunder and Punt 2004、庄野 2004）。

本稿では、まき網によるブリ親魚の CPUE を標準化することで、ブリの親魚量指標値を開発することを目的とした。

2. 方法

(1) 使用データ

解析には 1994~2022 年までの日本近海における大中型まき網（以降、まき網）の漁獲成績報告書（以降、漁績）を使用した。本資料には日別・船別に操業場所、投網回数、ブリ漁獲量（kg）が記載されている。このうち 1994~2011 年は、ブリのサイズに関わらず、その総漁獲量が記録され、2012 年以降は、2 種類のサイズ銘柄（ブリ大：>2kg/尾、ブリ小：<2kg/尾）ごとの漁獲量情報が利用可能となった。本稿では、再生産に寄与するであろうブリ親魚の豊度指標値（親魚量指標値）の作成を目的としているため、主産卵場である東シナ海（東経 121~130 度・北緯 25~33 度）における産卵期（春季）の漁績データに着目し（Sassa et al. 2020、倉島ほか 2023）、①2012 年以降のデータを用いて、ブリ大のブリ全体（ブリ大+ブリ小）に対する漁獲割合を算出し、②その割合を用いて、1994~2011 年のブリ大の漁獲割合を推定した。その結果、東シナ海における 2~5 月のブリ大の漁獲割合は平均 99.2%を占めており、年によるばらつき（範囲：85.6~100%）も小さかった（図 1）。したがって、サイズ銘柄情報が記録されていない 1994~2011 年においても、東シナ海の 2~5 月におけるブリの漁獲量は全てブリ大であったと仮定して、その後の解析を実施した。ブリ大には、3kg 未満の未成熟個体も含まれる可能性があるが、東シナ海（東経 130 度以西）の 2~5 月における漁獲量の大部分（72.0~97.2%）を 4kg 以上の 3+歳ブリが占めるため（図 2、九州主要港への銘柄別水揚げ情報）、本条件下（東シナ海の 2~5 月）によって抽出されたブリ漁績データは、再生産に寄与するブリ親魚の動向を反映していると考えられる。本稿では、まき網によるブリの CPUE を 1 網あたりの漁獲量（kg）と定義した。

(2) ブリ狙い操業の抽出

日別・船別のまき網で漁獲された全魚種中に含まれるブリの漁獲割合の分布は二峰性を示し、ブリ漁獲割合が 5%以下または 95%以上を示すデータ数が多かった（図 3）。ブリ漁獲割合が大きいデータはブリ狙いの操業を、ブリ漁獲割合が小さいデータは他魚種狙いの

操業（この場合ブリは混獲種）をそれぞれ反映していると考えられる。ノミナル CPUE には、こうした狙いの有無やその強度によるバイアスが含まれていると考えられ、資源の動向を反映する資源量指標値を推定するためには、その影響を取り除く必要がある。Biseau (1998) は、多魚種混獲を特徴とする漁業情報から、漁獲物組成に基づいて各魚種の狙い操業のデータを抽出する手法を開発した。本稿では、Biseau (1998) に従って、ブリ漁獲割合の高い順に累積漁獲量の 75% (Explanation Level : EL75%) または 90% (EL90%) に達するまでデータを抽出することで、ブリ狙い操業を抽出した。EL75%と EL90%で抽出した場合のデータに含まれる 1 日・1 漁船あたりのブリの漁獲割合はそれぞれ 83.5%以上、54.6%以上であった。

(3) 一般化線形モデルによる CPUE 標準化

狙い操業を抽出したデータ (EL75% : 2154 件、EL90% : 2777 件) を用いて、CPUE (漁獲量/網数) を応答変数とした一般化線形モデル (GLM) によって標準化をおこなった。狙い操業抽出後のデータにはゼロキャッチが含まれないため、応答変数の分布はガンマ分布 (リンク関数は log) を仮定した。説明変数には、年 (カテゴリ)、月 (カテゴリ)、緯度 (カテゴリ、1 度刻み)、経度 (カテゴリ、1 度刻み)、10m 深水温 (カテゴリ、1°C 刻み) を用いた。AIC をモデル選択基準とし、総当たり法 (ただし、年を含むモデルから選択) でベストモデルを選択した。QQ プロットおよび説明変数毎の残差分布を調べることで、ベストモデルの診断をおこなった。ベストモデルにより最小二乗平均 (LSMEAN) を用いて各年の CPUE を推定し、これを標準化 CPUE とした。標準化 CPUE の 95%信頼区間はノンパラメトリックブートストラップ法 (試行回数 1000 回) によって算出した。こうして得られた標準化 CPUE とコホート解析 (VPA) による親魚量の年トレンドを比較し、標準化 CPUE の親魚量指標値としての有用性について議論した。

3. 結果および考察

本稿では、ブリの主要な産卵場である東シナ海の産卵期 (2~5 月) におけるまき網漁績データを使用し、狙いや操業場所、操業時期による CPUE のバイアスを標準化することで、ブリの親魚量指標値の開発を試みた。同海域・同時期のまき網漁業によるブリの狙いの強さは、過去から近年になるにつれて高まっていた (近年ほどデータ点が右下に偏る、図 4)。

2つの基準 (EL75%および EL90%) で狙い操業を抽出したデータを用いて構築した GLM では、いずれの抽出基準においてもフルモデルが最小の AIC を示し、ベストモデルとして選択された (表 1~4)。ベストモデルの QQ プロットでは、標準化残差 (縦軸) の分布が標準正規分布 (横軸) におおむね従っていた (図 5)。また、いずれの説明変数においても、特定のカテゴリで残差に大きな偏りはなかった (図 6 と図 7)。したがって、ベストモデルは妥当なモデルと判断し、これを用いて標準化 CPUE を算出した。

狙い操業を抽出した段階での CPUE の年トレンドはノミナル CPUE と大きく異なっていた (図 8)。一方、狙い操業抽出後の CPUE とそれを GLM によって標準化した CPUE の年トレンドは似た傾向を示した (図 8)。標準化 CPUE の年トレンドおよびその信頼区間の広さは、2つの狙い操業抽出基準間 (EL75%および EL90%) であまり変わらなかった (図 8)

と図 9)。標準化 CPUE は、ノミナル CPUE と同様に、右肩上がりの年トレンドを示した (図 8)。標準化 CPUE は、ノミナル CPUE と比較して、年変動幅が小さくなり、2010 年以前は上方修正され、2010 年以降は下方修正される年が多かった (図 8)。これは、過去から近年にかけてブリ狙いの度合いが高まったことと関係していると考えられ、近年は狙いの強さが高まっており (図 3)、その結果としてノミナル CPUE が高めに推移していたためであろう。

標準化 CPUE とコホート解析によって推定された親魚量は、どちらも長期的な増加傾向を示した (図 9)。したがって、本稿による標準化 CPUE をブリの親魚量指標値とし、従来のコホート解析のチューニングに適用できる可能性が示された。

4. 引用文献

- 倉島 陽・古川誠志郎・松倉隆一・宮原寿恵・西澤文吾・森山丈継・岡本 俊・佐々千由紀・和川 拓・八木達紀・市野川桃子 (2023) 令和 5 (2023) 年度ブリの資源評価. 令和 5 年度我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産庁・水産研究・教育機構. FRA-SA2023-SC13. https://abchan.fra.go.jp/wpt/wp-content/uploads/2024/03/details_2023_45.pdf (last accessed 25 October).
- 庄野 宏 (2004) CPUE 標準化に用いられる統計学的アプローチに関する総説. 水産海洋研究 **68**, 106-120.
- Biseau, A (1998) Definition of a directed fishing effort in a mixed-species trawl fishery, and its impact on stock assessments. *Aquat. Living Resour.*, 11, 119-136.
- Maunder, M. N., A. E. Punt (2004) Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. *Fish. Res.*, 70, 141-159.
- Sassa, C., Takahashi, M., Konishi, Y., Yoshimasa, A., Tsukamoto, Y. (2020). The rapid expansion of yellowtail (*Seriola quinqueradiata*) spawning ground in the East China Sea is linked to increasing recruitment and spawning stock biomass. *ICES Journal of Marine Science*, **77**, 581-592.

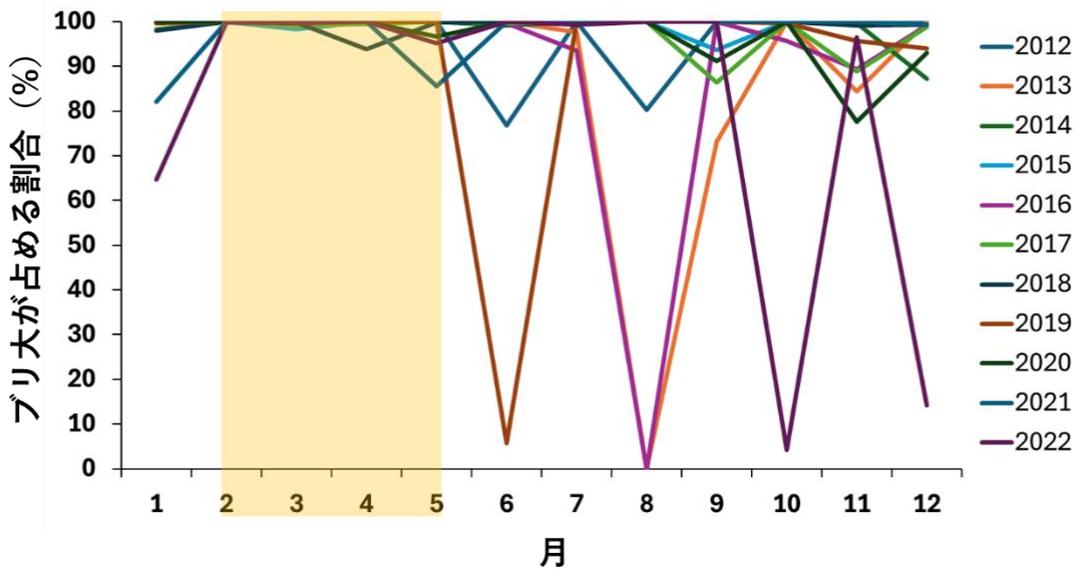


図1. まき網によって漁獲された東シナ海（東経121～130度・北緯25～33度）におけるブリ大 (>2kg/尾) のブリ全体（ブリ大+ブリ小）に占める割合（%）の月変化。黄色の網掛けで示した2～5月においては、ブリ漁獲量のうち99%以上をブリ大が占める。異なる色の折れ線は年の違いを表す。

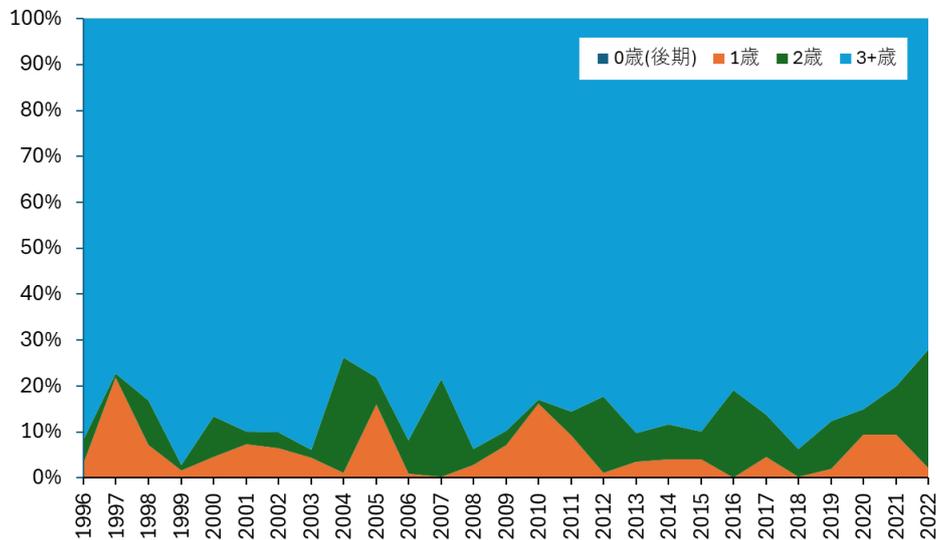


図2. 九州主要港への銘柄別水揚げ情報に基づく、まき網によって漁獲された東シナ海（東経130度以西）の2～5月におけるブリの年齢別漁獲量割合（%、1996～2022年）。

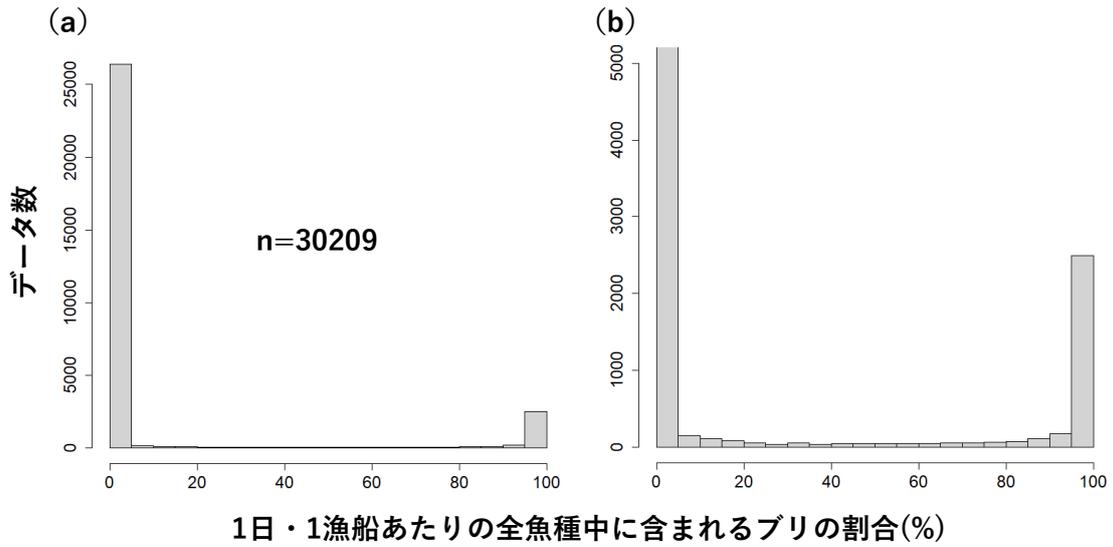


図3. 1日・1漁船あたりの全魚種の総漁獲量に含まれるブリ漁獲量の割合(%)の分布 (a) と (a) のデータ数の最大値を5000で区切った図 (b)。

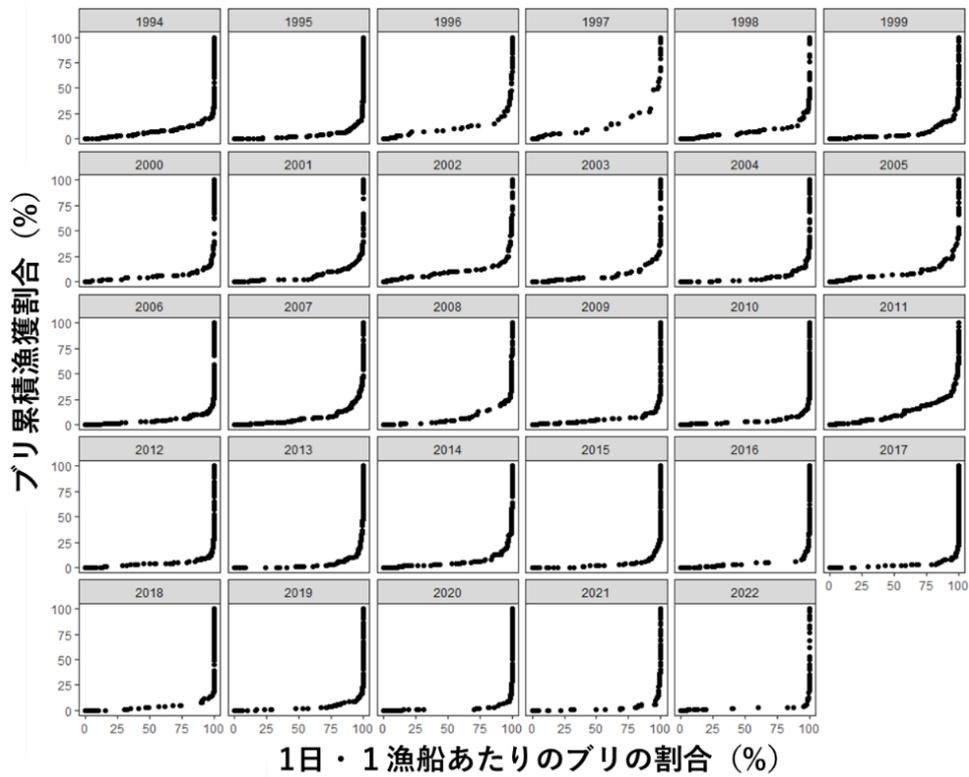


図4. 東シナ海の2~5月における年別の1日・1漁船あたりのブリの漁獲割合(%)と累積漁獲割合の関係。対角線よりも右下にデータ点が偏るほどブリ割合の高操業が多く、すなわち狙い操業による漁獲が多いことを表す (Beseau 1998)。

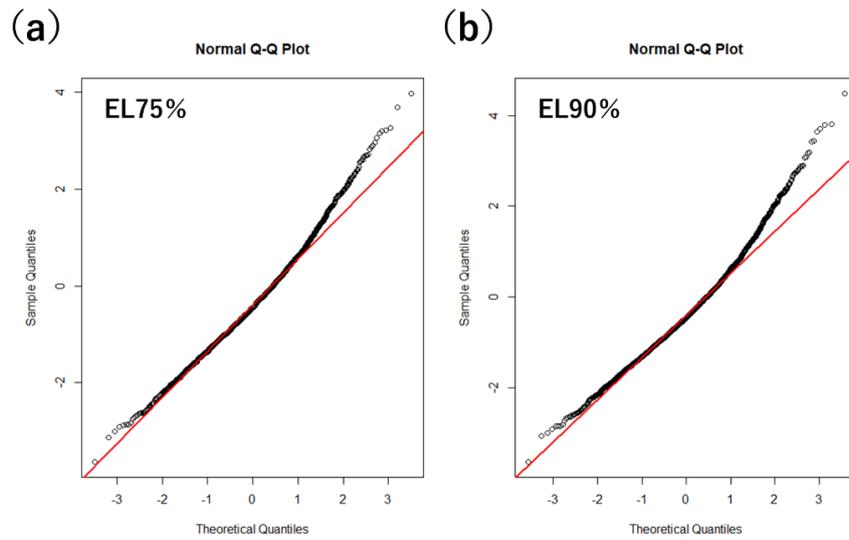


図 5. ベストモデルの QQ プロット (a : EL75%、b : EL90%)。

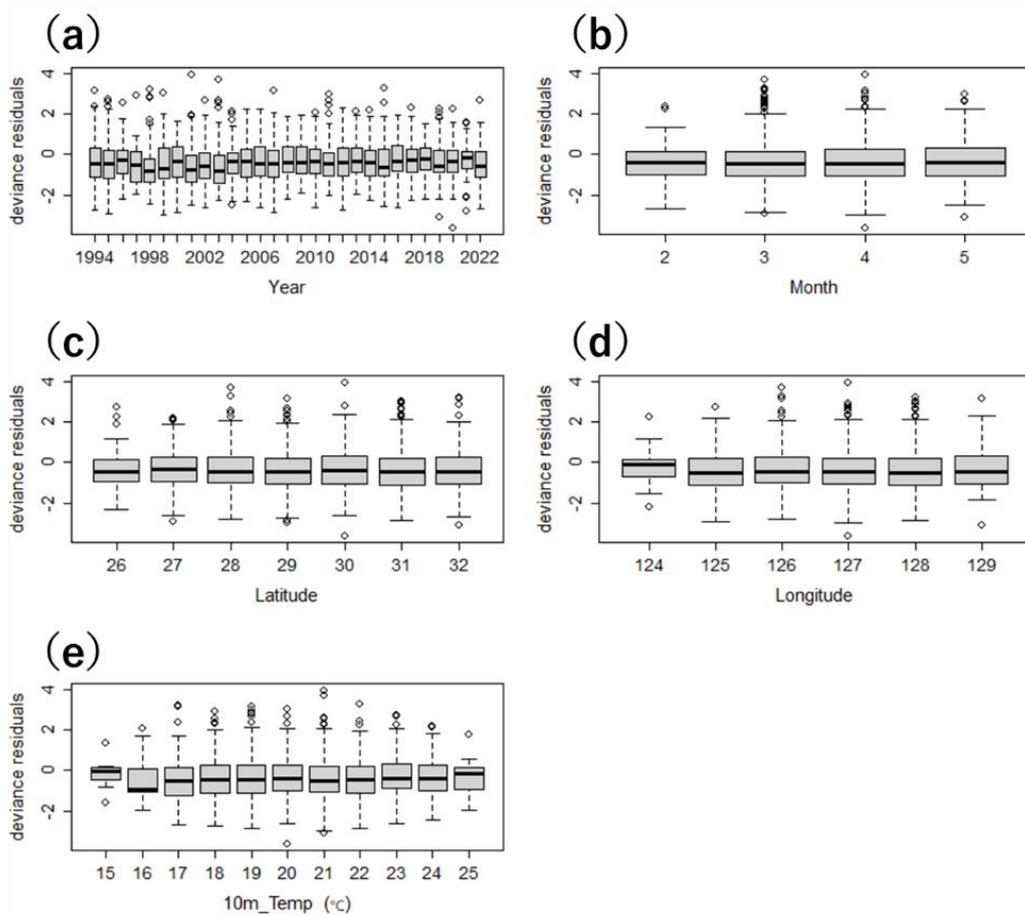


図 6. ベストモデル (EL75%) における各説明変数の残差分布 (a : 年、b : 月、c : 緯度、d : 経度、e : 10m 深水温)。

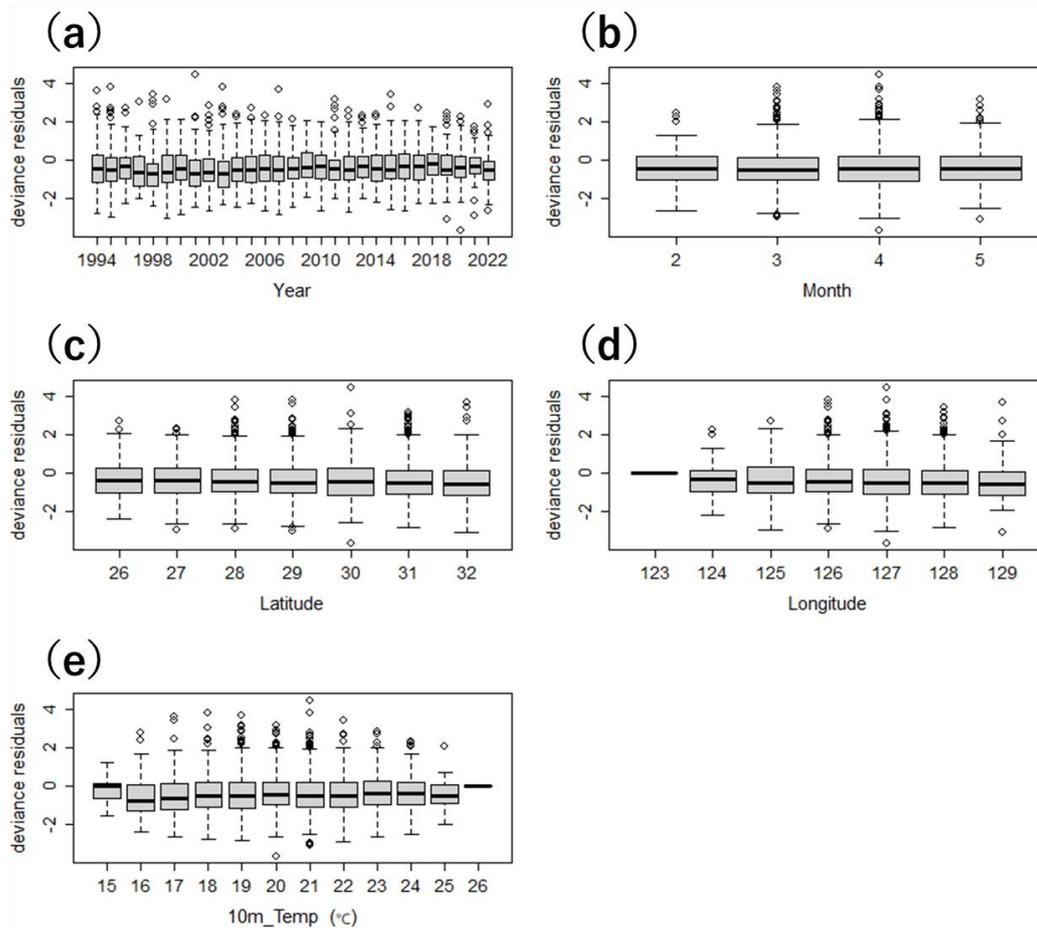


図 7. ベストモデル (EL90%) における各説明変数の残差分布 (a: 年、b: 月、c: 緯度、d: 経度、e: 10m 深水温)。

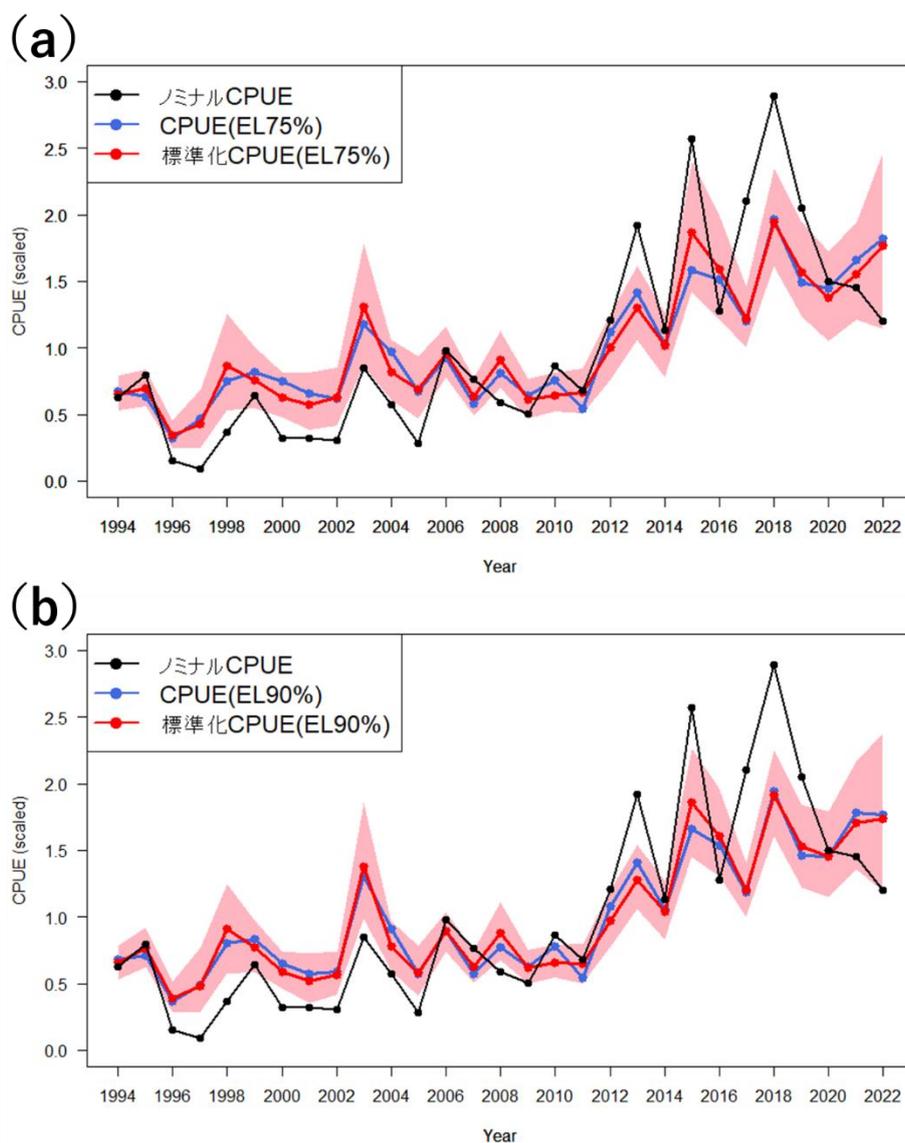


図8. ノミナルCPUE（黒線）、狙い操業抽出後のCPUE（青線、a：EL75%、b：EL90%）、および標準化CPUE（赤線、a：EL75%、b：EL90%）の年トレンド。ブートストラップ法により推定された標準化CPUEの95%信頼区間を赤色の網掛けで示した。

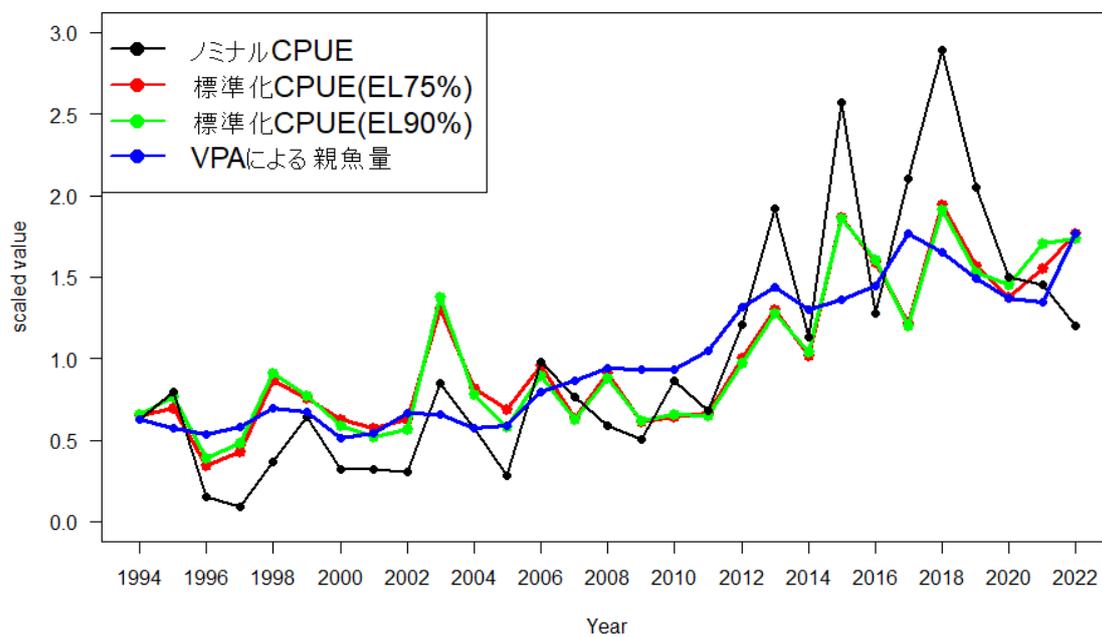


図 9. ノミナル CPUE と標準化 CPUE (EL75%、EL90%) およびコホート解析 (VPA) によって推定された親魚量の年トレンド。

表 1. AIC によるモデル選択結果 (EL75%)

Intrc	Lat	Long	Month	Temp	Year	df	logLik	AIC	deltaAIC	weight
8 871	+	+	+	+	+	54	-24375.24	48858.5	0	0.932
8 933	+	+		+	+	51	-24381.54	48865.1	6.61	0.034
8 825	+		+	+	+	49	-24383.6	48865.2	6.72	0.032
8 906	+			+	+	46	-24389.41	48870.8	12.34	0.002
9 667	+		+		+	39	-24413.92	48905.8	47.36	0
9 693	+	+	+		+	44	-24410	48908	49.52	0
9 913	+				+	36	-24422.6	48917.2	58.72	0
9 917	+	+			+	41	-24419.24	48920.5	62.01	0
8 701		+	+	+	+	48	-24416.55	48929.1	70.63	0
8 767		+		+	+	45	-24423.13	48936.3	77.78	0
8 867			+	+	+	43	-24432.9	48951.8	93.33	0
9 601		+	+		+	38	-24441.7	48959.4	100.93	0
9 023				+	+	40	-24441.6	48963.2	104.72	0
9 915		+			+	35	-24451.75	48973.5	115.02	0
9 831			+		+	33	-24462.85	48991.7	133.22	0
10 14					+	30	-24474.3	49008.6	150.12	0

表 2. AIC によるモデル選択結果 (EL90%)

Intrc	Lat	Long	Month	Temp	Year	df	logLik	AIC	deltaAIC	weight
6 69	+	+	+	+	+	56	-31182.53	62477.1	0	0.94
6 849	+	+		+	+	53	-31188.3	62482.6	5.52	0.059
8 9	+		+	+	+	50	-31197.21	62494.4	17.35	0
8 954	+			+	+	47	-31202.41	62498.8	21.76	0
7 325	+	+	+		+	45	-31221.65	62533.3	56.23	0
9 596	+		+		+	39	-31230.59	62539.2	62.11	0
7 553	+	+			+	42	-31228.84	62541.7	64.6	0
9 778	+				+	36	-31237.97	62547.9	70.87	0
6 475		+	+	+	+	50	-31233.7	62567.4	90.33	0
6 635		+		+	+	47	-31239.07	62572.1	95.07	0
7 233		+	+		+	39	-31262.34	62602.7	125.62	0
8 907			+	+	+	44	-31258.16	62604.3	127.25	0
7 554		+			+	36	-31271.51	62615	137.94	0
9 098				+	+	41	-31269.2	62620.4	143.33	0
9 741			+		+	33	-31291.29	62648.6	171.51	0
10 05					+	30	-31303.04	62666.1	189	0

表 3. ベストモデルの要約表 (EL75%)

Explanatory variable	Estimate	Std Error	t value	p value
Intercept	8 871	0 455	19 509	< 2e-16
fYear1995	0 058	0 147	0 397	0 692
fYear1996	-0 648	0 200	-3 234	0 001
fYear1997	-0 415	0 256	-1 625	0 104
fYear1998	0 283	0 191	1 483	0 138
fYear1999	0 144	0 174	0 824	0 410
fYear2000	-0 035	0 192	-0 184	0 854
fYear2001	-0 133	0 187	-0 711	0 477
fYear2002	-0 035	0 200	-0 175	0 861
fYear2003	0 696	0 176	3 949	0 000
fYear2004	0 227	0 192	1 179	0 238
fYear2005	0 056	0 212	0 265	0 791
fYear2006	0 381	0 157	2 419	0 016
fYear2007	-0 028	0 158	-0 179	0 858
fYear2008	0 329	0 195	1 687	0 092
fYear2009	-0 068	0 189	-0 363	0 717
fYear2010	-0 011	0 170	-0 066	0 947
fYear2011	0 020	0 162	0 122	0 903
fYear2012	0 428	0 174	2 467	0 014
fYear2013	0 692	0 163	4 237	0 000
fYear2014	0 440	0 173	2 547	0 011
fYear2015	1 051	0 168	6 270	0 000
fYear2016	0 890	0 198	4 488	0 000
fYear2017	0 620	0 159	3 896	0 000
fYear2018	1 089	0 190	5 739	0 000
fYear2019	0 878	0 176	4 988	0 000
fYear2020	0 744	0 187	3 989	0 000
fYear2021	0 864	0 203	4 257	0 000
fYear2022	0 997	0 230	4 337	0 000
fMonth3	0 519	0 209	2 483	0 013
fMonth4	0 396	0 218	1 819	0 069
fMonth5	0 490	0 234	2 091	0 037
flong125	0 060	0 228	0 263	0 793
flong126	0 291	0 253	1 149	0 251
flong127	0 309	0 292	1 061	0 289
flong128	0 781	0 320	2 440	0 015
flong129	0 893	0 367	2 434	0 015
flat27	0 064	0 210	0 307	0 759
flat28	-0 553	0 235	-2 351	0 019
flat29	0 025	0 268	0 092	0 927
flat30	0 146	0 288	0 508	0 612
flat31	-0 568	0 309	-1 836	0 067
flat32	-0 814	0 333	-2 443	0 015
fTemp16	1 477	0 447	3 301	0 001
fTemp17	0 884	0 402	2 196	0 028
fTemp18	0 446	0 416	1 072	0 284
fTemp19	0 424	0 415	1 023	0 307
fTemp20	0 383	0 418	0 918	0 359
fTemp21	0 782	0 425	1 840	0 066
fTemp22	0 627	0 428	1 465	0 143
fTemp23	0 426	0 432	0 984	0 325
fTemp24	0 673	0 448	1 504	0 133
fTemp25	0 606	0 565	1 072	0 284

表 4. ベストモデルの要約表 (EL90%)

Explanatory variable	Estimate	Std Error	t value	p value
Intercept	6.690	1.281	5.221	0.000
fYear1995	0.148	0.138	1.070	0.285
fYear1996	-0.526	0.186	-2.828	0.005
fYear1997	-0.308	0.238	-1.294	0.196
fYear1998	0.322	0.178	1.808	0.071
fYear1999	0.158	0.160	0.986	0.324
fYear2000	-0.111	0.173	-0.639	0.523
fYear2001	-0.239	0.167	-1.428	0.153
fYear2002	-0.150	0.175	-0.857	0.392
fYear2003	0.738	0.166	4.451	0.000
fYear2004	0.164	0.169	0.970	0.332
fYear2005	-0.123	0.186	-0.662	0.508
fYear2006	0.302	0.142	2.131	0.033
fYear2007	-0.047	0.143	-0.330	0.741
fYear2008	0.288	0.177	1.625	0.104
fYear2009	-0.058	0.170	-0.343	0.732
fYear2010	0.001	0.155	0.004	0.997
fYear2011	-0.018	0.149	-0.123	0.902
fYear2012	0.389	0.159	2.449	0.014
fYear2013	0.660	0.150	4.392	0.000
fYear2014	0.455	0.160	2.837	0.005
fYear2015	1.038	0.154	6.758	0.000
fYear2016	0.893	0.180	4.971	0.000
fYear2017	0.598	0.148	4.050	0.000
fYear2018	1.064	0.172	6.172	0.000
fYear2019	0.844	0.159	5.292	0.000
fYear2020	0.792	0.171	4.619	0.000
fYear2021	0.954	0.191	5.007	0.000
fYear2022	0.968	0.211	4.590	0.000
fMonth3	0.448	0.178	2.525	0.012
fMonth4	0.421	0.186	2.268	0.023
fMonth5	0.519	0.203	2.557	0.011
fLong124	2.244	1.233	1.819	0.069
fLong125	2.216	1.229	1.803	0.072
fLong126	2.456	1.236	1.988	0.047
fLong127	2.597	1.242	2.090	0.037
fLong128	3.114	1.248	2.494	0.013
fLong129	3.079	1.259	2.445	0.015
fLat27	0.196	0.183	1.076	0.282
fLat28	-0.417	0.207	-2.013	0.044
fLat29	0.015	0.234	0.064	0.949
fLat30	0.078	0.253	0.307	0.759
fLat31	-0.682	0.273	-2.503	0.012
fLat32	-0.909	0.298	-3.045	0.002
fTemp16	1.175	0.391	3.008	0.003
fTemp17	0.769	0.367	2.095	0.036
fTemp18	0.335	0.377	0.888	0.375
fTemp19	0.293	0.377	0.777	0.437
fTemp20	0.256	0.379	0.675	0.500
fTemp21	0.636	0.386	1.650	0.099
fTemp22	0.517	0.389	1.328	0.184
fTemp23	0.323	0.394	0.821	0.412
fTemp24	0.482	0.406	1.187	0.235
fTemp25	0.322	0.500	0.645	0.519
fTemp26	0.066	1.285	0.052	0.959