

ソウハチ日本海南西部系群
沖底漁績に基づくソウハチ CPUE の標準化

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
 五味伸太郎、飯田真也、井関智明、藤原邦浩

概要

データ	沖合底びき網漁業漁獲成績報告書（日本海区）
対象	1 網あたりのソウハチの漁獲量（kg／網）
データの利用可能な期間	1981～2022 年（操業区域 ¹ 43～46 に該当する船） 1972～2022 年（上記以外）
標準化に使用した期間	1981～2022 年
データの抽出	1 そうびき沖底の休漁期にあたる 6～8 月の 2 そうびき沖底のレコードを除外した（全データの 1.7%）。
使用した統計ソフト・パッケージ	ソフト：R (4.3.0) パッケージ：glm、MuMIn、ROCR、emmeans、ggplot2
統計モデル	デルタ型一般化線形モデル
フルモデルの説明変数	有漁確率モデル・CPUE モデル： 年、月、小海区、漁法、年×月、年×小海区、小海区×月、漁法×年（カテゴリ・固定効果）
最終モデルの選択方法	AIC 総当たり法
選択された説明変数	有漁確率モデル・CPUE モデル：フルモデル
年トレンドの抽出方法	月、小海区ごとの年トレンドを LSMEAN により算出し、月は単純平均、小海区は漁場面積比で加重平均して各モデルの年トレンドを得た。両者を乗じることで標準化 CPUE の年トレンドを得た。
信頼区間の計算方法	ブートストラップ法（1,000 回）
標準化の結果	1980 年代後半から 1990 年代後半、2010 年代前半に、トレンドの変化が認められた。

¹ 漁業法・省令等により定められた操業区域

1. 背景

漁業データに基づく CPUE は資源量の指標値として広く利用されており、調査船調査よりも幅広い年代・海域のデータが得られるため、資源変動の全体像を知る上で重要である。一方で、事前に調査デザインが決められた調査船調査とは異なり、漁業データは操業場所、時期、漁法などといった努力量の時空間分布が非均一である場合が多い。そのため、努力量の偏りを統計的に取り除いた CPUE (標準化 CPUE) を用いることが推奨されている (Maunder and Punt 2004)。また、本系群では 1 そうびき・2 そうびき沖合底びき網漁業 (以下沖底) が主要な漁法であるが、漁法間の漁獲効率の差異は不明であり、統計的な手法により 1 つの指標値として統合することが望ましい。以上の理由より、本項では沖底に基づくソウハチ CPUE の標準化について検討した。

2. 方法

沖底 (日本海区) の漁獲成績報告書を解析に用いた。期間は全ての船の電子データが存在する 1981 年以降、海域は本系群の評価範囲である日本海西部 (日本海の北緯 33 度以北、東経 135 度以西の領域、図 1) のデータを用いた。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。

約 106 万レコードのうち、1 そうびき沖底の休漁期にあたる 6~8 月の 2 そうびき沖底のデータ (18,370 件) は分析から除外した (全データの 1.7%)。フィルタリング後のデータのうち、ソウハチのゼロキャッチデータは約 63 万 7 千レコード (61.2%) であった (図 2)。ゼロキャッチデータが約 6 割を占めるため、ゼロキャッチデータを考慮できるデルタ型一般化線形モデル (Lo et al. 1992) を適用した。デルタ型一般化線形モデルは、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ることで年トレンドが得られる。

有漁確率モデルの応答変数はソウハチの在不在 (1/0)、CPUE モデルは CPUE (漁獲量÷網数) とし、それぞれ誤差構造は二項分布・対数正規分布に従うと仮定した。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、漁法 (1 そうびき・2 そうびき) 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、漁法による漁況の違いとして年×漁法を考慮した。なお、小海区は農林漁区に基づく行政的な海域区分であるが、農林漁区では欠測値が多くなるため、7 つの小海区にグループ化して解析を行った。

3. 結果と考察

(1) モデル選択とモデル診断

モデル選択は赤池情報量規準 (AIC) の総当たり法によって行い、最も AIC の低いモデルをベストモデルとした。その結果、有漁確率モデル・CPUE モデルともにフルモデルが選択

された（表 1、表 2）。

有漁確率モデル

$\text{logit}(\text{有漁確率}) \sim \text{年} + \text{月} + \text{小海区} + \text{漁法} + \text{年:月} + \text{年:小海区} + \text{小海区:月} + \text{漁法:年}$

CPUE モデル

$\text{log}(\text{CPUE}) \sim \text{年} + \text{月} + \text{小海区} + \text{漁法} + \text{年:月} + \text{年:小海区} + \text{小海区:月} + \text{漁法:年}$

有漁確率モデルの ROC 曲線下面積（AUC）は 0.83 であり、0.8 を超えていることから高い予測性能があると評価された（Hosmer and Lemeshow 2000）（図 3）。CPUE モデルでは残差が正規分布から逸脱しておらず（図 4）、水準ごとの残差に著しい偏りも認められないことから（図 5）、あてはまりは十分であると判断された。

(2) 推定値の妥当性

説明変数が応答変数に与える効果を、推定した係数の最小二乗平均に基づき図 6、7、8 に示した。経年的な漁場変化として加えた年×小海区の効果は、有漁確率・CPUE モデルともに 2000 年代後半を境に浜田以東では減少、迎日南部・対馬周辺では横ばいないし増加傾向であった（図 6）。この傾向は資源の分布が西偏している、または韓国沿岸から底部冷水（森脇・小川 1989）を伝って来遊する群れの来遊頻度が増加していることを示唆していると考えられた。環境要因の代替値として加えた年×月の効果は、どの月も長期的な推移の傾向は類似しており、短期的な変動の差異において環境要因の影響が推定されたものと考えられた（図 7）。さらに、産卵回遊を想定した小海区×月では、特に有漁確率モデルにおいて 4～5 月中心に有漁確率が高く（図 8）、ソウハチが産卵のために群れを作る時期と一致していた（道根 1994）。また、隠岐東方以東には若齢の成長群のみが分布し、産卵個体が少ないことが知られているが（渡辺 1956）、本結果において但馬沖・隠岐北方で有漁確率が低い点と一致する。最後に、漁法による漁況の違いを考慮する年×漁法では、いずれのモデルでも 2000 年代前半に低下傾向を示したことは、両漁法において有効努力量（網数）がピークを過ぎて減少した頃と年代が一致していた（図 9）。

(3) 標準化 CPUE とノミナル CPUE の比較

選択されたモデルに基づき算出した標準化 CPUE を図 10 と図 11 に示す。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、それらを乗じることで得た。年トレンドは年・月・海域ごとの最小二乗平均（LSMEAN）を算出し、月間は単純平均、海域間は漁場面積比（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

の比)で加重平均する方法を用いた。95%信頼区間はノンパラメトリックな非層別ブートストラップ法により推定した。

標準化 CPUE の 95%信頼区間は比較的狭く、データに対して頑健であると考えられた(図 10) 標準化 CPUE とノミナル CPUE は、いずれも 1980 年代後半に低水準で推移し、その後 1990 年代後半にかけて増加した。2000 年以降では、両者ともに 2004 年に極小、2008 年に極大となって動向は同調していた。その後、ノミナル CPUE は 2010 年にかけて急減し、以後、2018 年まで横ばいで推移した一方、標準化 CPUE は 2012 年まで高い水準で横ばいに推移した後、2018 年まで減少傾向を示した。2019 年から急増して 2020 年には過去最高となった。そして、直近 3 年(2020~2022 年)では、2020~2021 年にかけて両者ともに減少し、ノミナル CPUE は 2022 年にかけてわずかに増加に転じ、標準化 CPUE は減少を続けたが、依然として高水準となっている(図 11)。

引用文献

Hosmer, D. W., S. Lemeshow (2000) *Applied Logistic Regression Second Edition*. Wiley-Interscience Publication, New York, 375 pp.

飯田真也・吉川 茜・八木佑太・藤原邦浩 (2021) 令和 3 (2021) 年度ソウハチ日本海系群の資源評価. 令和 3 年度我が国周辺水域の漁業資源評価, 水産研究・教育機構

Maunder, M. N., A. E. Punt (2004) Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. *Fish. Res.*, **70**, 141–159.

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.

森脇・小川 (1989) 日本海南西海域における“底部冷水”の底魚類への影響. 東北区水産研究所研究報告, **51**, 167–181.

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.

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.

吉川 茜・市野川桃子・飯田真也・八木佑太・藤原邦浩 (2021) ソウハチ日本海南西部系群沖底漁績に基づくソウハチ CPUE の標準化. FRA-SA2021-SSC02-1.

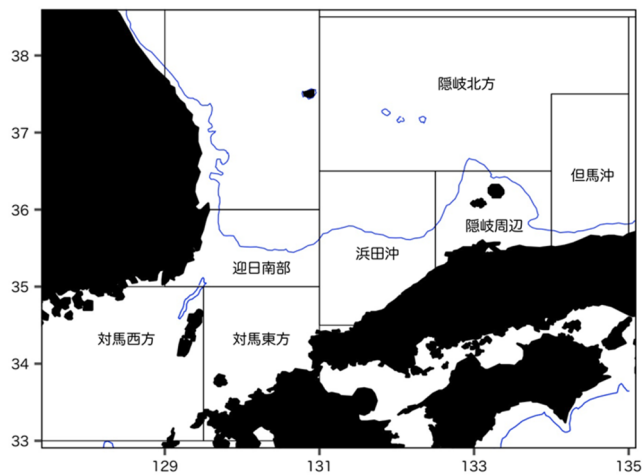


図1 分析に用いたデータセットの海域
青線は 200 m 等深線を示す。

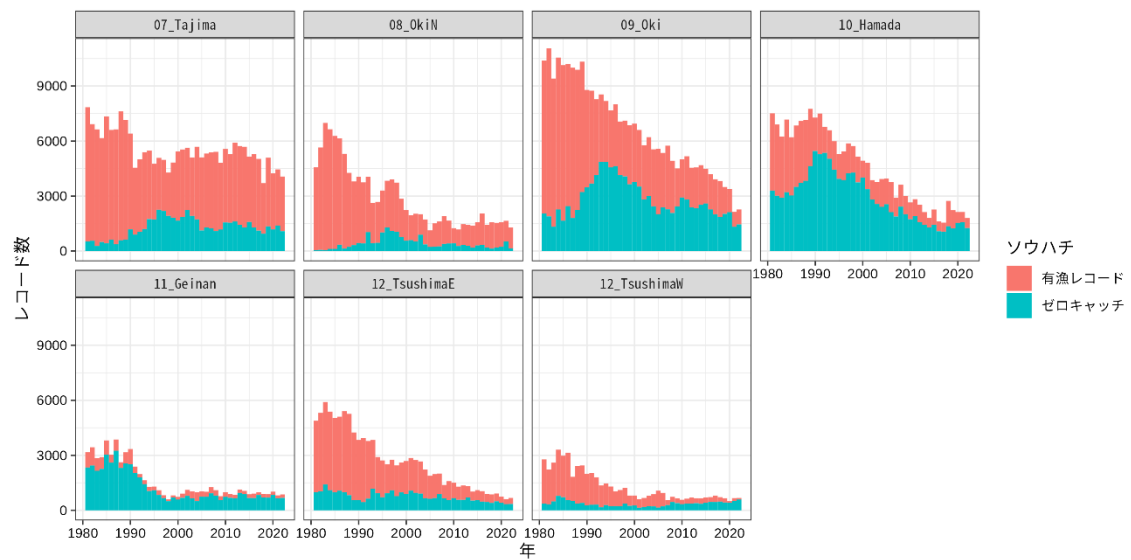


図2 分析に用いたデータセットのレコード数の推移

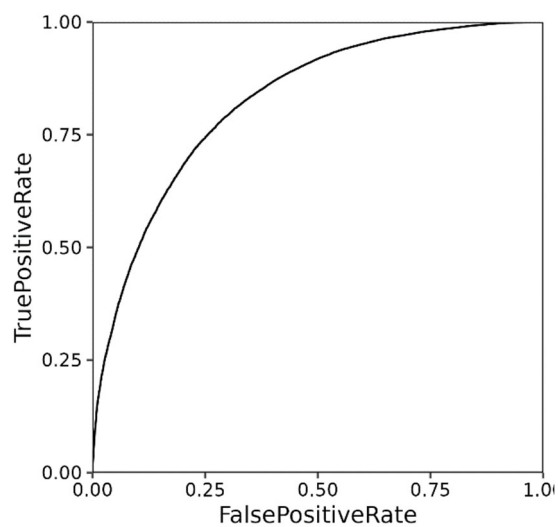


図 3 有漁確率モデルの ROC 曲線

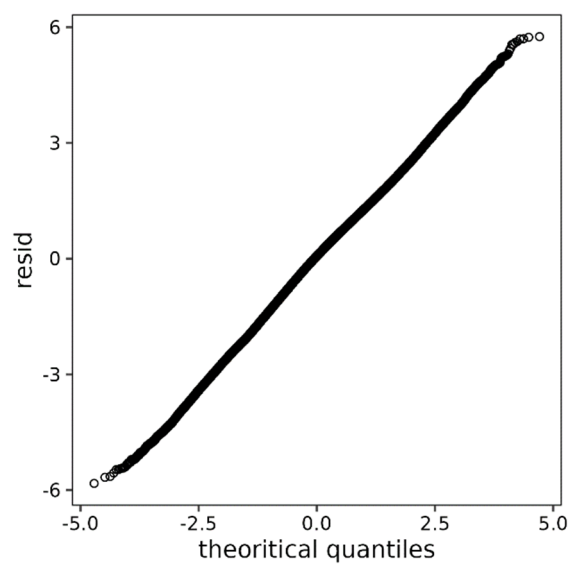


図 4 CPUE モデルの残差の QQ プロット

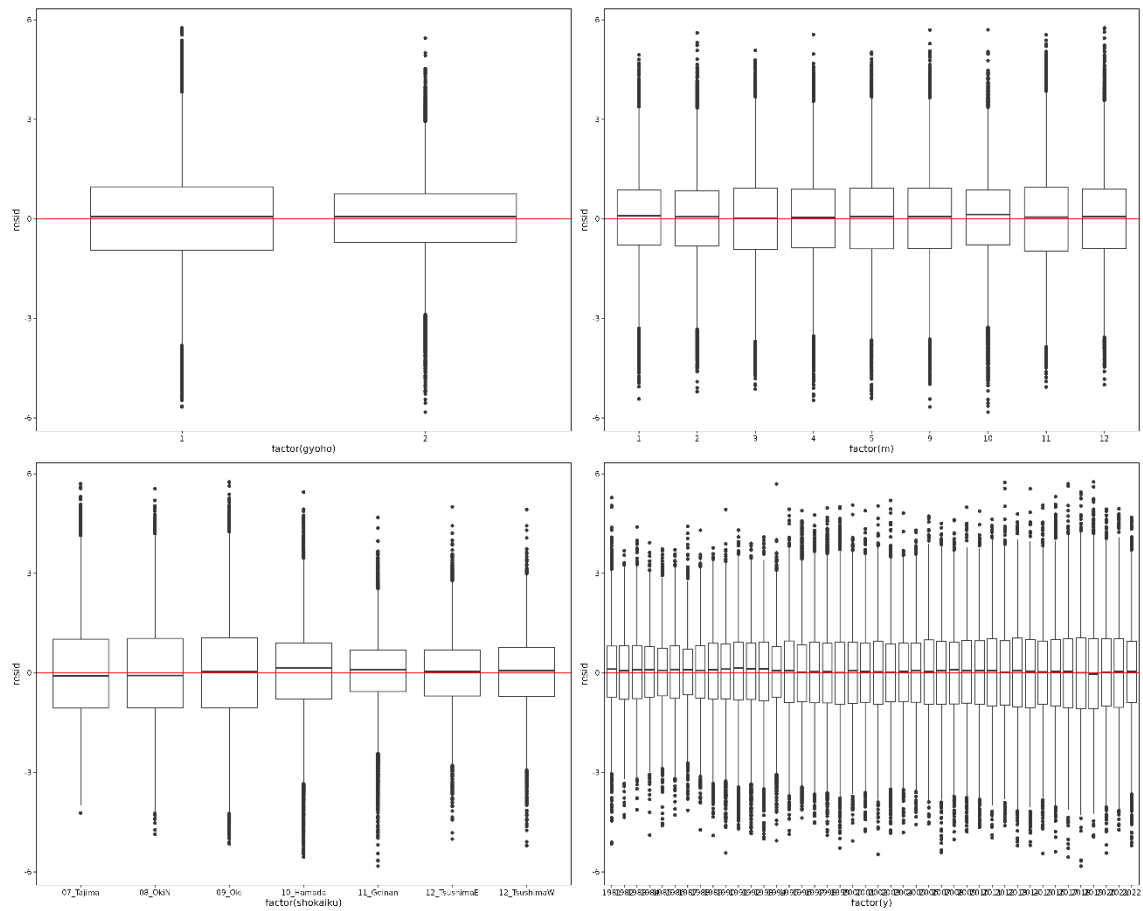


図5 CPUE モデルの水準別残差（左上：漁法、左下：小海区、右上：月、右下：年）



図 6 年×小海区の効果（上：有漁確率モデル、下：CPUE モデル）

交互作用の組み合わせにおける最小二乗平均を求めた。月の効果は単純平均した。

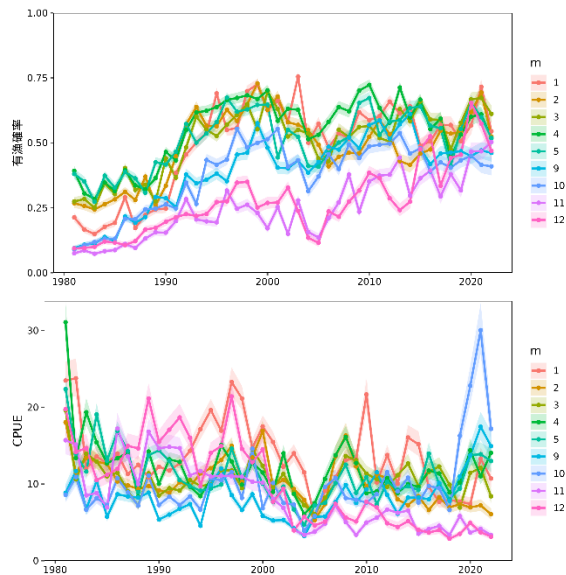


図 7 年×月の効果（上：有漁確率モデル、下：CPUE モデル）

交互作用の組み合わせにおける最小二乗平均を求めた。小海区の効果は単純平均した。

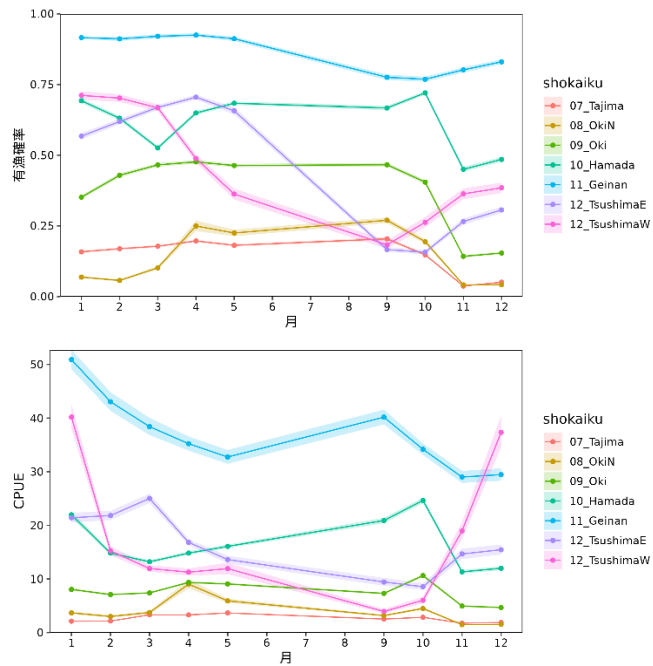


図 8 小海区×月の効果（上：有漁確率モデル、下：CPUE モデル）

交互作用の組み合わせにおける最小二乗平均を求めた。年の効果は単純平均した。



図 9 年×漁法の効果（上：有漁確率モデル、下：CPUE モデル）

交互作用の組み合わせにおける最小二乗平均を求めた。月の効果は単純平均した。

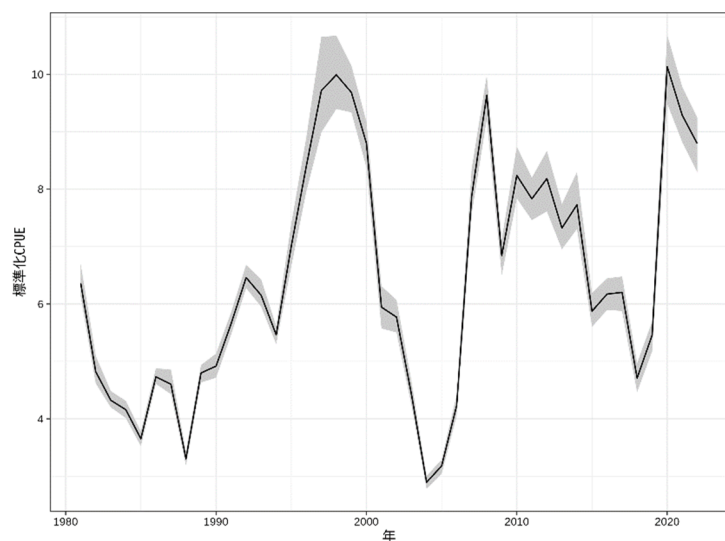


図 10 標準化 CPUE の推移 灰色帯は 95%信頼区間を示す。

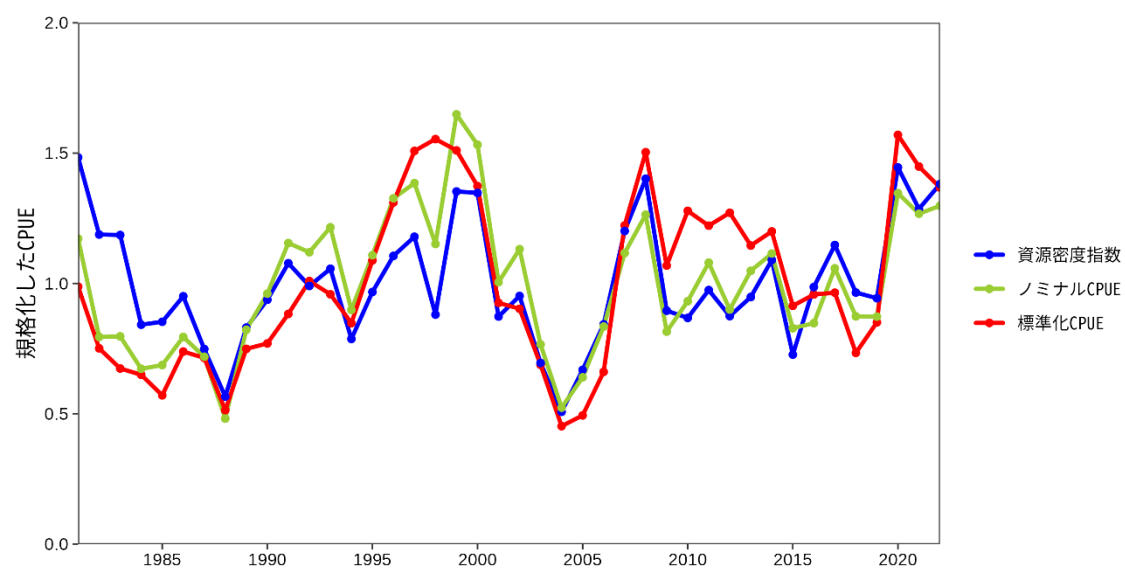


図 11 規格化した（平均で除した）資源密度指数、ノミナル CPUE、標準化 CPUE の推移

表 1 有漁確率モデルのモデル選択結果

モデル	漁法	月	小海区	年	漁法:年	月:小海区	月:年	小海区:年	df	AIC	ΔAIC
1	+	+	+	+	+	+	+	+	720	1017629	0
2	+	+	+	+		+	+	+	679	1023068	5439
3	+	+	+	+	+	+		+	392	1029208	11579
4	+	+	+	+		+		+	351	1034533	16904
5		+	+	+		+	+	+	678	1035636	18007

＋はその変数がモデルに含まれていることを示す。

表 2 CPUE モデルのモデル選択結果

モデル	漁法	月	小海区	年	漁法:年	月:小海区	月:年	小海区:年	df	AIC	ΔAIC
1	+	+	+	+	+	+	+	+	721	1371098	0
2	+	+	+	+		+	+	+	680	1373422	2324
3		+	+	+		+	+	+	679	1373426	2328
4	+	+	+	+	+	+	+		475	1380816	9719
5	+	+	+	+	+		+	+	673	1380976	9878

＋はその変数がモデルに含まれていることを示す。

表3 資源密度指数、ノミナル・標準化 CPUE および標準化 CPUE の信頼区間

年	資源密度指数	ノミナルCPUE	標準化CPUE	下限95%	上限95%
1981	1.5	1.2	1.0	1.0	1.0
1982	1.2	0.8	0.8	0.7	0.8
1983	1.2	0.8	0.7	0.7	0.7
1984	0.8	0.7	0.6	0.6	0.7
1985	0.9	0.7	0.6	0.5	0.6
1986	1.0	0.8	0.7	0.7	0.8
1987	0.7	0.7	0.7	0.7	0.8
1988	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
1989	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8
1990	0.9	1.0	0.8	0.7	0.8
1991	1.1	1.2	0.9	0.9	0.9
1992	1.0	1.1	1.0	1.0	1.0
1993	1.1	1.2	1.0	0.9	1.0
1994	0.8	0.9	0.8	0.8	0.9
1995	1.0	1.1	1.1	1.0	1.2
1996	1.1	1.3	1.3	1.2	1.4
1997	1.2	1.4	1.5	1.4	1.7
1998	0.9	1.2	1.6	1.5	1.7
1999	1.4	1.6	1.5	1.5	1.6
2000	1.3	1.5	1.4	1.3	1.4
2001	0.9	1.0	0.9	0.9	1.0
2002	1.0	1.1	0.9	0.9	0.9
2003	0.7	0.8	0.7	0.7	0.7
2004	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5
2005	0.7	0.6	0.5	0.5	0.5
2006	0.8	0.8	0.7	0.6	0.7
2007	1.2	1.1	1.2	1.2	1.3
2008	1.4	1.3	1.5	1.4	1.6
2009	0.9	0.8	1.1	1.0	1.1
2010	0.9	0.9	1.3	1.2	1.4
2011	1.0	1.1	1.2	1.2	1.3
2012	0.9	0.9	1.3	1.2	1.3
2013	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2
2014	1.1	1.1	1.2	1.1	1.3
2015	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0
2016	1.0	0.8	1.0	0.9	1.0
2017	1.1	1.1	1.0	0.9	1.0
2018	1.0	0.9	0.7	0.7	0.8
2019	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9
2020	1.4	1.3	1.6	1.5	1.7
2021	1.3	1.3	1.4	1.4	1.5
2022	1.4	1.3	1.4	1.3	1.4

*各々の平均値で除して規格化した値

*ノミナル CPUE はゼロキャッチを除いてソウハチ漁獲総量を網数の合計で除した値