

令和 5（2023）年度ハタハタ日本海北部系群の資源評価

1 そうびき沖底の CPUE 標準化・モデル診断結果

水産資源研究センター底魚資源部 底魚第 3 グループ
飯田真也・八木佑太・白川北斗・佐藤信彦

概要

データ	1 そうびき沖底の漁獲成績報告書における緯度経度 10 分漁区 解像度の日別・漁船別漁獲量と網数
対象	1 網あたりのハタハタ漁獲量（kg／網）
データ利用可能期間	1972～2022 年
標準化に使用した期間	1972～2022 年
データのフィルタリング	禁漁月（7～8 月）、網数が 0、網数は記録されているが一種 類の漁獲も記録されていないレコードを解析から除外 日本海北部海域（男鹿北・男鹿南・新潟沖）のレコードを解 析対象
使用した統計ソフト・パ ッケージ	R（4.2.1） モデル選択では dredge(MuMIn パッケージ)、多重共線性のチ ェックでは vif(car パッケージ)、最小二乗平均の算出には emmeans(emmeans パッケージ)を使用
統計モデル	Delta-lognormal GLM 有漁確率モデルの誤差構造：二項分布 有漁時 CPUE モデルの誤差構造：正規分布
フルモデルで導入した説 明変数	<u>有漁確率モデル</u> 年（カテゴリ、固定）・月（カテゴリ、固定）・県コード（カ テゴリ、固定）・小海区（男鹿北・男鹿南・新潟、固定）・月 と年、月と小海区の交互作用 <u>有漁時 CPUE モデル</u> 有漁確率モデルの説明変数に狙い効果（累積漁獲量の 75%を 説明するレコードか否か）（Biseau 1998）を加えた
ベストモデルの選択方法	AIC 総当たり法
ベストモデルで選択され た説明変数	有漁確率モデル・有漁時 CPUE モデルともにフルモデルが選 択された
年トレンドの抽出方法	小海区別に年効果の最小二乗平均を求め、有漁確率モデルで

	はロジスティック変換、有漁時 CPUE モデルでは自然指数とし、両者を乗じて小海区別の有漁漁区数で重み付けした平均値を年トレンドと定めた
信頼区間の算出方法	ブートストラップサンプリングされたデータを基にベストモデルによる標準化 CPUE の算出を 1000 回繰り返した
その他	標準化 CPUE のトレンドは 1970～1990 年代ではノミナル CPUE と同様の傾向にあったが、2000 年代以降では両者の乖離が目立つようになった。 2022 年において、有漁確率は前年より増加した一方、有漁時 CPUE は低下し、標準化 CPUE は前年から低下した。

背景

ハタハタ日本海北部系群の資源水準・動向を 1 そうびき沖底の資源密度指数に基づき評価してきた。しかし、資源密度指数には季節、操業海区、対象種の狙い度 (Biseau 1998) など資源密度以外の様々な要因も含まれている。よって、資源の変動を正確に知るためにはこれらの影響を統計的に消去して資源の年トレンド (相対資源量) を抽出する CPUE 標準化 (Maunder and Punt 2004; 庄野 2004) を行う必要がある。当系群の資源評価精度を高めるため、一般化線形モデルを用いた 1 そうびき沖底の標準化 CPUE を求めた。

解析に用いたデータ

1972~2022 年 1 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。解析対象の小海区を男鹿北・男鹿南・新潟沖とした。曳き網回数が 0 もしくは複数回操業を行ったものの 1 種類の漁獲も記録されていないレコードを解析から除外した。

各年のレコード数は 1530~6135 であり、1990 年代以降減少傾向にあった。レコード総数に占めるゼロキャッチ (操業しているがハタハタ漁獲量は 0) の割合は 60~91% だった (図 1、表 1)。

小海區別 (男鹿北・男鹿南・新潟沖) の有漁漁区数は、2000 年代以降、男鹿北と男鹿南では概ね横ばいで推移している一方、新潟沖では急激に減少しており、海区によってトレンドが大きく異なった (図 2)。

Biseau (1998) に基づき、ハタハタ狙い度を操業別総漁獲量に占めるハタハタの入網割合別累積漁獲量を図示することで調べた (図 3)。1980・1990 年代では、ハタハタの入網割合が低い操業で主に漁獲される「By catch 種」の特徴を示した。一方、2000 年代以降にはハタハタの入網割合が高い操業で主に漁獲される「Target 種」の特徴を示しており、ハタハタ狙い度は年代によって異なっていたと考えられた (図 3)。

方法

採用した統計モデルとその説明変数

データセットはゼロキャッチが 6 割以上を占めることから (図 1)、CPUE 標準化には Delta-lognormal GLM (Lo et al. 1992) を用いた。モデル構築にあたって、有漁確率モデル (有漁となる確率を予測するモデル) と有漁時 CPUE モデル (有漁時の対数 CPUE を予測するモデル) の誤差構造をそれぞれ二項分布、正規分布と定めた。

フルモデルの説明変数として、有漁確率モデルでは、年 (カテゴリ)・月 (カテゴリ)・県コード (カテゴリ)・小海区 (男鹿北・男鹿南・新潟)、月と年および小海区の交互作用を設定した。全ての説明変数を固定効果として扱った。有漁時 CPUE モデルでは、前述の説明変数に狙い効果 (累積漁獲量の 75% を説明するレコードか否か) (Biseau 1998) も加えた。

説明変数間の相関

分散拡大係数 VIF (Variance Inflation Factor) に基づき、説明変数の多重共線性を確認した。VIF の計算には R パッケージ `car` の関数 `vif` を用いた。有漁確率モデルおよび有漁時 CPUE モデルの VIF は 1.0~3.0 だった。一般に VIF が 10 以上の時に多重共線性が疑われるが（松浦 2016）、今回の VIF はその閾値（10）を下回っていたため該当しなかった。

モデル選択

AIC 総当たり法によるモデル選択を行った。R パッケージ `MuMIn` の関数 `dredge` を用いて AIC が最小となるベストモデルを得た。

標準化 CPUE および信頼区間の算出

有漁確率モデルおよび有漁時 CPUE モデルについて、R パッケージ `emmeans` の `emmeans` 関数を用いて小海区域に年効果の最小二乗平均を求め、それらを有漁確率モデルではロジスティック変換、有漁時 CPUE モデルでは自然指数とし、両者を乗じた値を得た。そして、その値を小海区毎の有漁漁区数で重み付けした平均値を当系群の年トレンドと定めた。

信頼区間は、ブートストラップサンプリングされたデータを使ってベストモデルに基づく標準化 CPUE の算出を 1000 回繰り返すことで求めた。

結果

選択されたベストモデル

モデル選択の結果、有漁確率モデル、有漁時 CPUE モデルともにフルモデルがベストモデルに選ばれた（表 2、3）。

モデル診断

有漁確率モデル

有漁確率モデルの分類性能（漁獲があるか否か）を評価するため、ROC 曲線（Receiver Operating Characteristics、Fawcett 2005）を描写した。一般に、曲線の下面積（Area Under the Curve、AUC）が 0.8 以上の時に当該モデルの分類性能が高いと判断される（松浦 2016）。データの 2/3 をトレーニングデータ、残り 1/3 をテストデータとして AUC を 100 回計算したところ、平均±標準偏差は 0.81 ± 0.002 と基準値（0.8）より大きかった。よって、今回の有漁確率モデルの分類性能は高いと考えられた。

有漁時 CPUE モデル

残差の正規性を QQ プロットで検討した。プロットは直線的に描かれており、誤差の非正規性は問題ないと判断した（図 4）。また、説明変数の水準ごとに残差の分布を図示したところ、各説明変数において水準間の残差の偏りが見られなかったことから（図 5）、当モデ

ルの構造に問題はないと判断した。

本モデルの説明逸脱度 ($explained\ deviance = 100 \times \frac{null\ deviance - residual\ deviance}{null\ deviance}$) (Zuur et al. 2009)は 66.3%と比較的高かった。

有漁確率・有漁時 CPUE・標準化 CPUE

有漁確率モデルによるハタハタ有漁確率の推定値は増減を繰り返しながら推移し、2022 年は前年に比べて全ての小海区で増加した (図 6)。有漁時 CPUE モデルによる CPUE の推定値は 2017 年以降大きく変動し、2022 年は前年に比べて漸減した (図 7)。

標準化 CPUE は、1970～1990 年代ではノミナル CPUE と非常に似た推移を示したが、2000 年代以降両者の乖離が目立つようになった (図 8、表 4)。この要因の一つとして、2000 年代以降、当系群に対する狙い度合いが変わったことが考えられた (図 3)。直近 3 年間 (2020～2022 年) のトレンドは両者で一致し、2022 年は前年に対して減少した。

引用文献

- Biseau, A. (1998) Definition of a Directed Fishing Effort in a Mixed-Species Trawl Fishery, and Its Impact on Stock Assessments. *Aqua. Living Res.*, **11**, 119-136.
- Fawcett, T. (2006) An introduction to ROC analysis. *Pattern recognition letters*, **27**, 861-874.
- 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.
- 松浦 健太郎 (2016) Stan と R でベイズ統計モデリング. 共立出版株式会社, 東京, 264pp.
- Maunder, M. N., and A. E. Punt (2004) Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. *Fish. res.*, **70**, 141-159.
- 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.
- Zuur, A., E. N. Ieno, N. Walker, A. A. Saveliev, and G. M. Smith (2009) *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Springer Science & Business Media, New York, USA, 574pp.

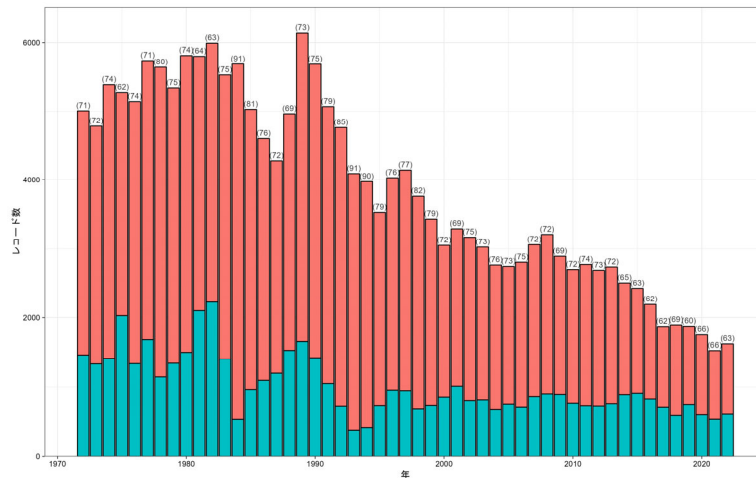


図1 日本海北部海域におけるハタハタ漁獲有無で分けた漁獲成績報告書1 そうびき沖底のレコード数（青：漁獲あり、赤：漁獲なし）、括弧内の数値はレコード総数に占めるハタハタ漁獲のないレコードの割合（%）を示す

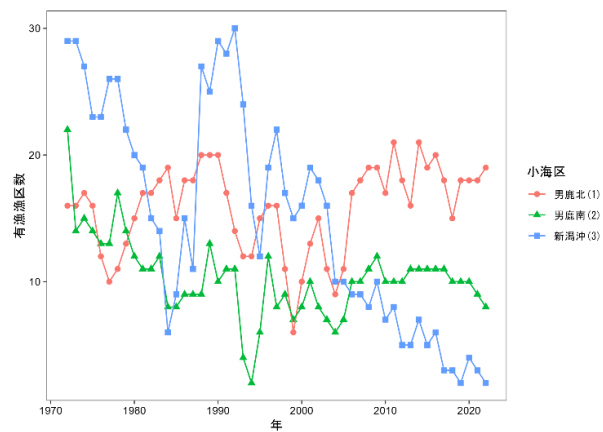


図2 小海区別のハタハタ有漁区数

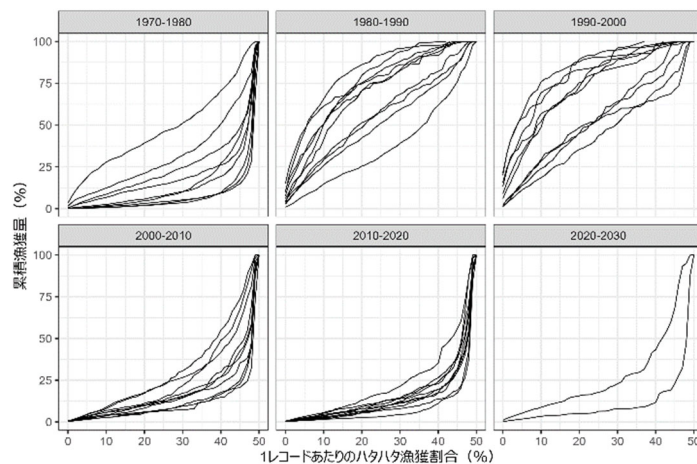


図3 Biseau (1998) の手法による年代別の累積漁獲量

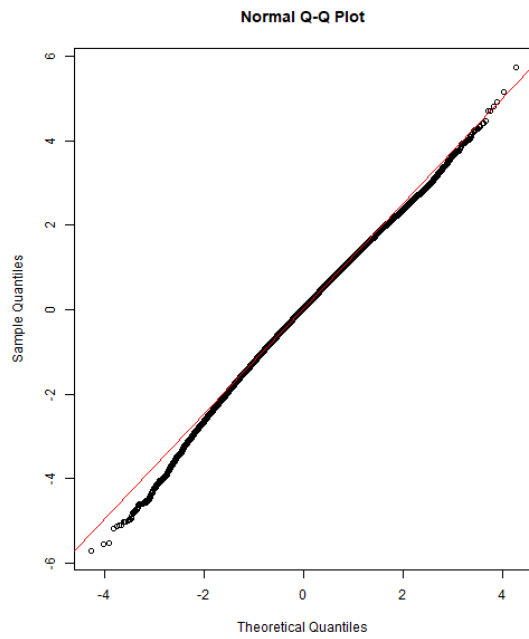


図 4 有漁時 CPUE モデルの QQ プロット

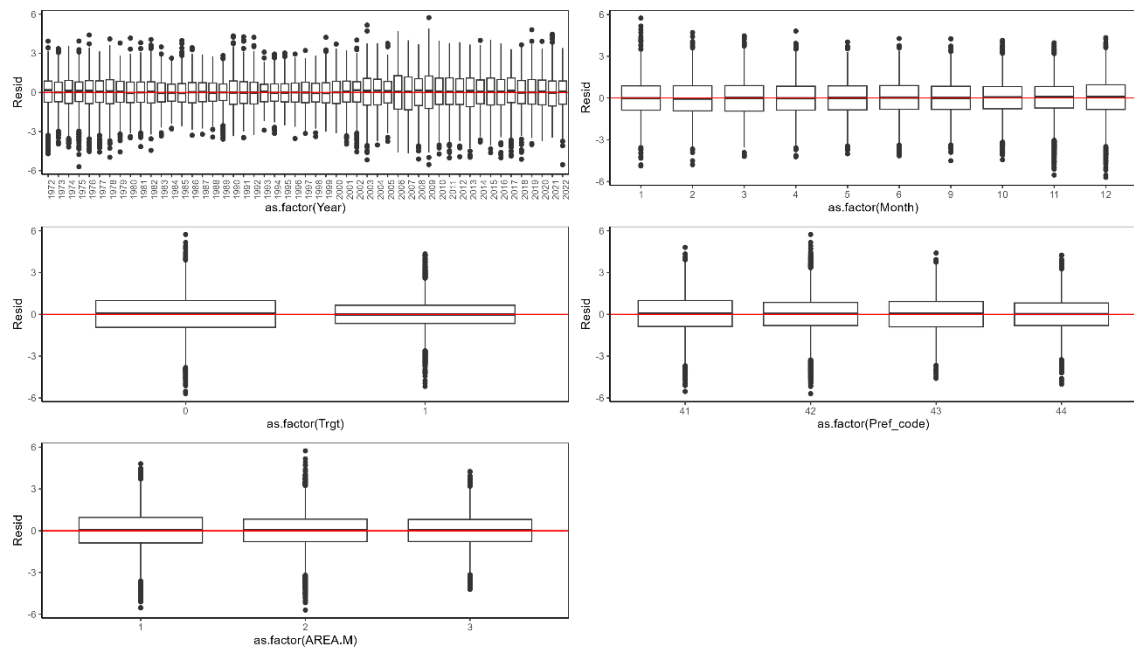


図 5 有漁時 CPUE モデルに関する説明変数の水準別残差プロット

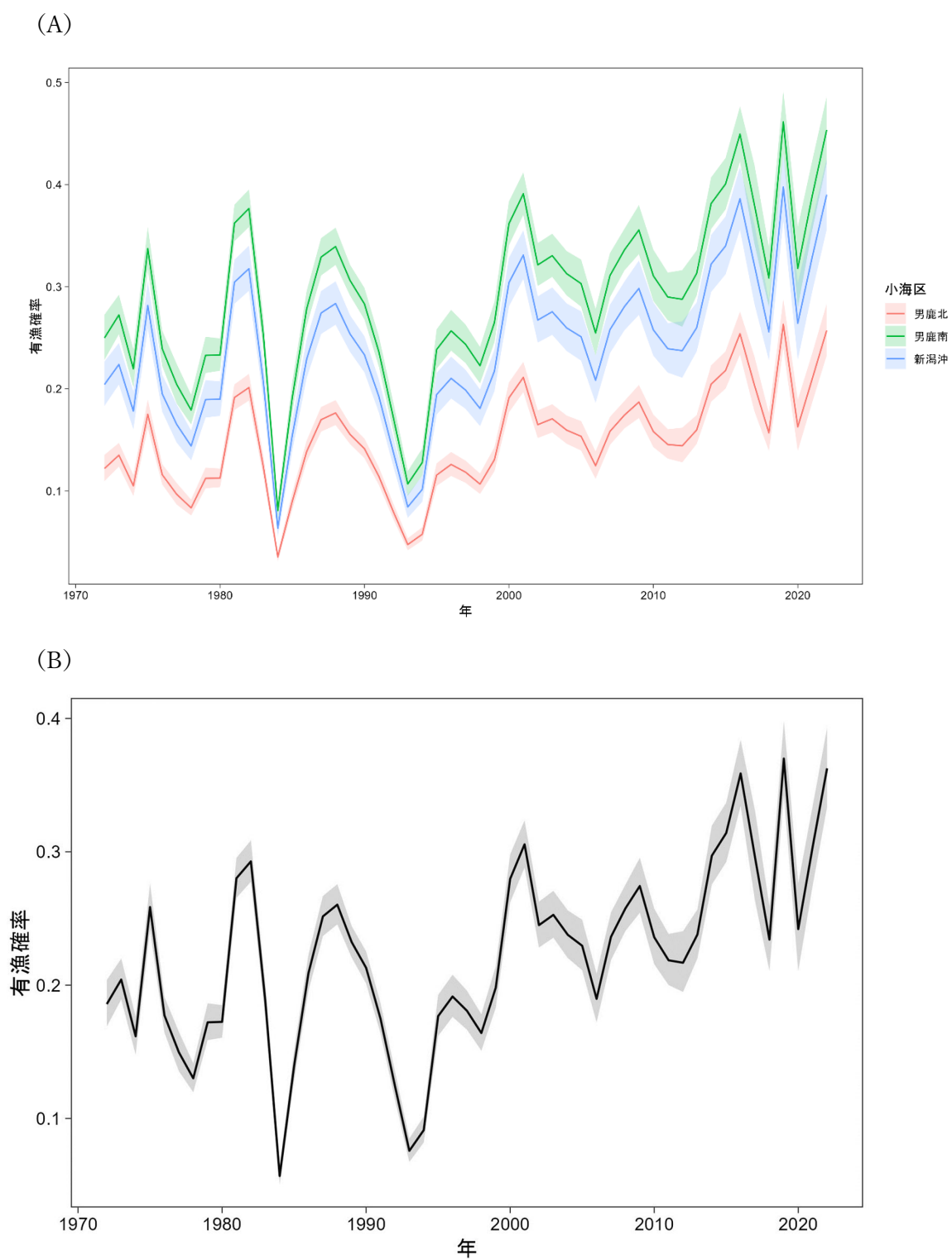
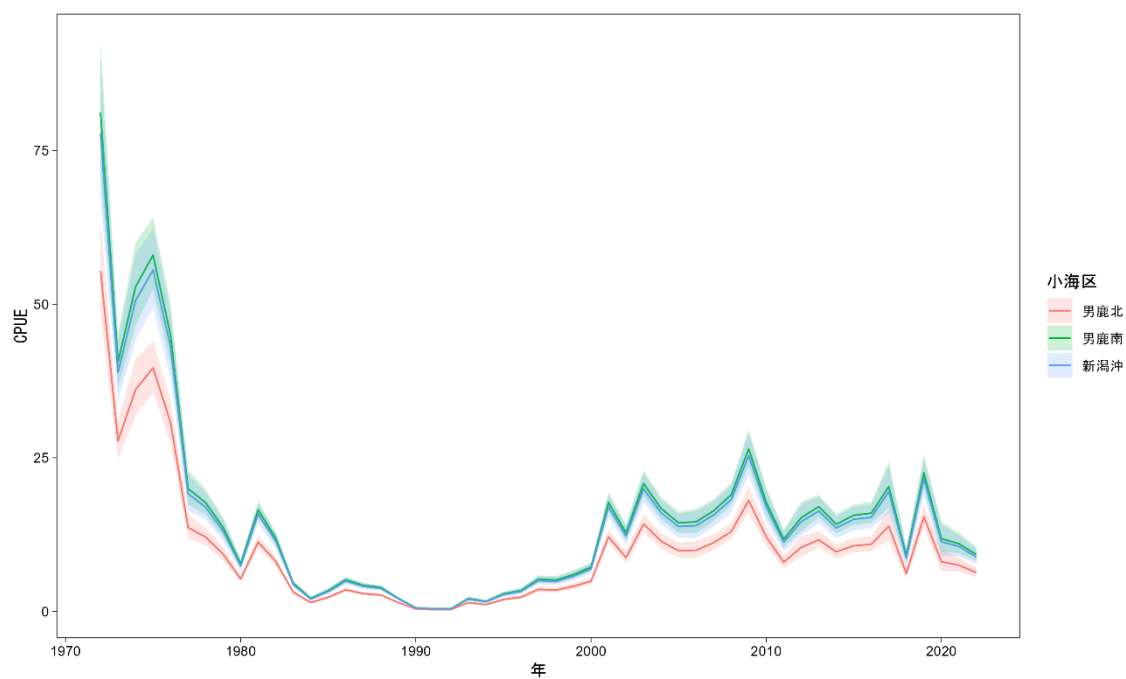


図 6 有漁確率モデルの (A) 小海区別および (B) 3 海区平均の推定値

(A)



(B)

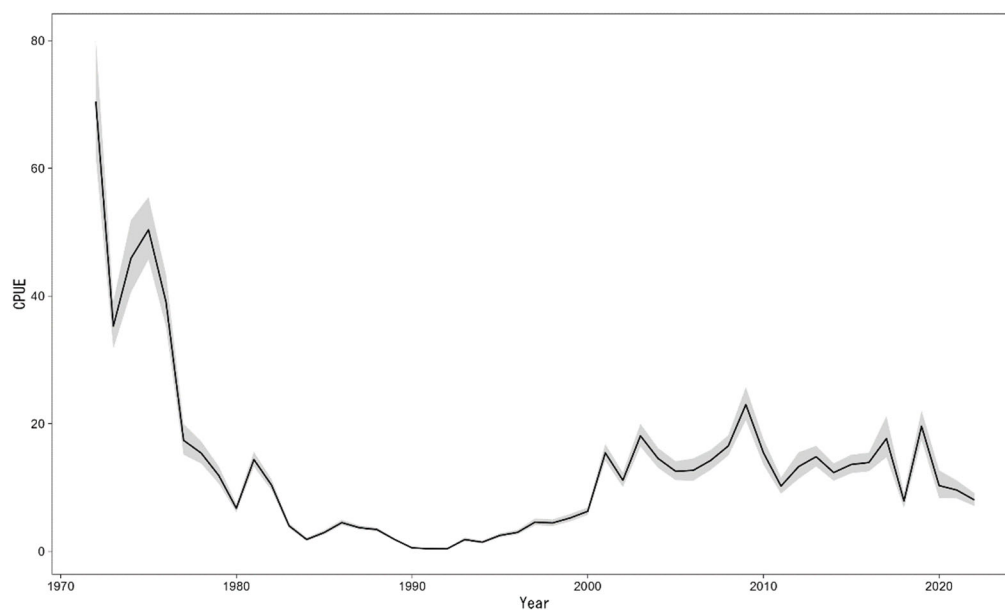


図7 有漁時 CPUE モデルの (A) 小海区分別および (B) 3 海区平均の推定値

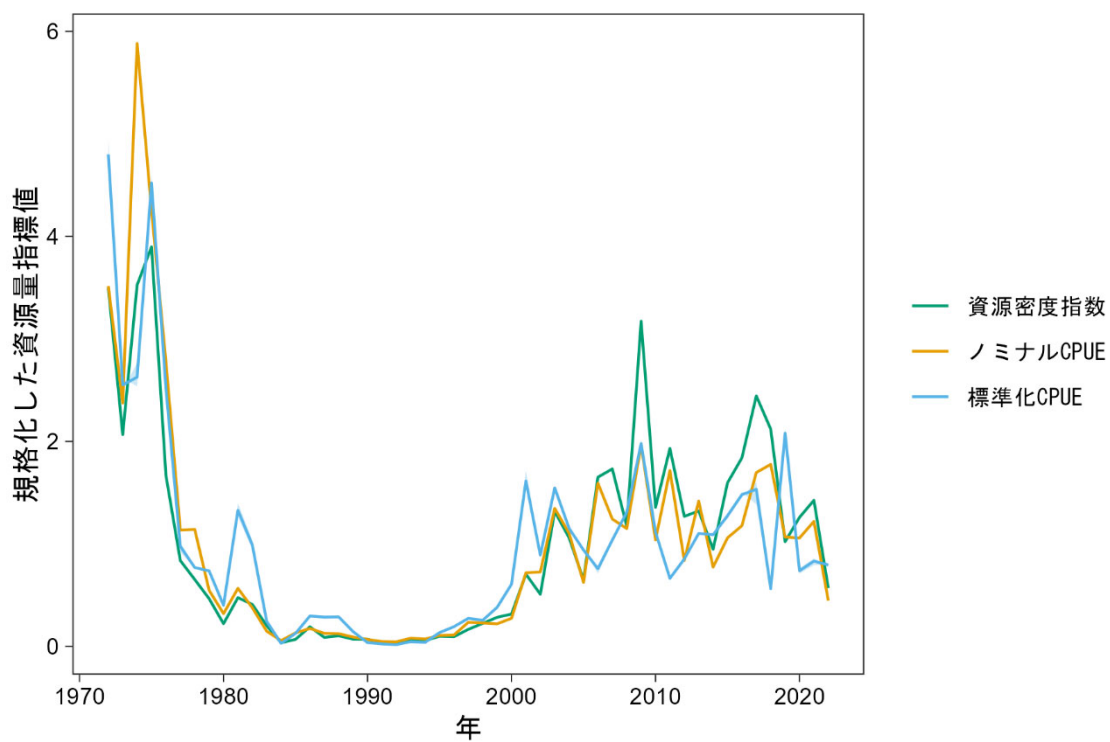


図8 資源評価に使用した沖底の標準化 CPUE、ノミナル CPUE、資源密度指数
青帯は標準化 CPUE の 95%信頼区間を示す。

表 1 データ数・ノミナル CPUE・ゼロキャッチ割合

年	レコード数	CPUE (kg/網)	ゼロキャッチ 割合 (%)	年	レコード数	CPUE (kg/網)	ゼロキャッチ 割合 (%)
1972	5,006	199	71	2001	3,294	41	69
1973	4,781	135	72	2002	3,172	41	75
1974	5,386	334	74	2003	3,028	76	73
1975	5,272	241	62	2004	2,766	63	76
1976	5,141	158	74	2005	2,745	35	73
1977	5,739	64	71	2006	2,808	90	75
1978	5,642	65	80	2007	3,064	71	72
1979	5,339	31	75	2008	3,212	65	72
1980	5,812	18	74	2009	2,894	111	69
1981	5,800	32	64	2010	2,700	59	72
1982	5,990	21	63	2011	2,774	97	74
1983	5,529	8	75	2012	2,688	48	73
1984	5,689	3	91	2013	2,737	80	72
1985	5,028	8	81	2014	2,505	44	65
1986	4,599	10	76	2015	2,427	60	63
1987	4,276	7	72	2016	2,192	67	62
1988	4,963	7	69	2017	1,872	96	62
1989	6,135	5	73	2018	1,895	101	69
1990	5,687	4	75	2019	1,780	59	62
1991	5,068	3	79	2020	1,759	60	66
1992	4,761	3	85	2021	1,530	69	66
1993	4,089	5	91	2022	1,628	25	63
1994	3,971	4	90				
1995	3,529	6	79				
1996	4,028	6	76				
1997	4,141	13	77				
1998	3,760	13	82				
1999	3,433	13	79				
2000	3,054	16	72				

*ノミナル CPUE はゼロキャッチを除いてハタハタ漁獲量の合計を網数の合計で除した値

表 2 有漁確率モデルに関するモデル選択結果

モデル	小海区	月	県コード	年	小海区：月	年：月	AIC	delta
1	+	+	+	+	+	+	175,950	0
2	+	+		+	+	+	178,242	2,292
3	+	+	+	+		+	180,597	4,647
4	+	+		+		+	182,629	6,678
5		+	+	+		+	183,794	7,844

表 3 有漁時 CPUE モデルに関するモデル選択結果

モデル	小海区	月	県コード	狙い効果	年	小海区：月	年：月	AIC	delta
1	+	+	+	+	+	+	+	170,973	0
2	+	+		+	+	+	+	171,089	116
3	+	+	+	+	+		+	171,865	892
4	+	+		+	+		+	171,961	987
5		+	+	+	+		+	172,445	1,472

表 4 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%	年	資源密度指数	ノミナルCPUE	標準化CPUE	下限95%	上限95%
1972	3.5	3.5	4.9	4.6	4.9	2001	0.7	0.7	1.6	1.7	1.5
1973	2.1	2.4	2.5	2.6	2.5	2002	0.5	0.7	0.9	0.9	0.9
1974	3.5	5.9	2.6	2.5	2.8	2003	1.3	1.3	1.5	1.6	1.5
1975	3.9	4.3	4.5	4.6	4.4	2004	1.1	1.1	1.2	1.2	1.1
1976	1.7	2.8	2.5	2.6	2.5	2005	0.7	0.6	0.9	0.9	0.9
1977	0.8	1.1	1.0	0.9	1.0	2006	1.7	1.6	0.8	0.7	0.8
1978	0.7	1.1	0.8	0.8	0.8	2007	1.7	1.2	1.0	1.0	1.1
1979	0.5	0.5	0.7	0.7	0.7	2008	1.2	1.1	1.3	1.3	1.3
1980	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	2009	3.2	2.0	2.0	2.0	2.0
1981	0.5	0.6	1.3	1.4	1.3	2010	1.4	1.0	1.1	1.1	1.1
1982	0.4	0.4	1.0	1.0	0.9	2011	1.9	1.7	0.7	0.7	0.7
1983	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	2012	1.3	0.8	0.9	0.8	0.8
1984	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	2013	1.3	1.4	1.1	1.1	1.1
1985	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	2014	0.9	0.8	1.1	1.1	1.1
1986	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	2015	1.6	1.1	1.3	1.3	1.2
1987	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	2016	1.8	1.2	1.5	1.5	1.5
1988	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	2017	2.4	1.7	1.6	1.4	1.6
1989	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	2018	2.1	1.8	0.6	0.6	0.6
1990	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	2019	1.0	1.1	2.1	2.0	2.1
1991	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2020	1.3	1.1	0.7	0.7	0.8
1992	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2021	1.4	1.2	0.8	0.8	0.9
1993	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	2022	0.6	0.4	0.8	0.8	0.8
1994	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0						
1995	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1						
1996	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2						
1997	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3						
1998	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3						
1999	0.3	0.2	0.4	0.4	0.4						
2000	0.3	0.3	0.6	0.6	0.6						

*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ハタハタ漁獲総量を網数の合計で除した値