

京都府・石川県・富山県における定置網で漁獲されるサワラ CPUE 標準化

平岡優子¹・黒田啓行¹・阿部隼也²・四方崇文³・梶原大郁⁴・木下直樹⁵

1：水産研究・教育機構、2：富山県農林水産総合技術センター、3：石川県水産総合センター、4：福井県水産試験場、5：京都府農林水産技術センター海洋センター

概要

データ	京都府、石川県および富山県沿岸海域で操業する大型定置網データ（1日あたりのサワラ漁獲量）、2000年～2022年 FRA-ROMSII 再解析値（10m 深海水温および塩分）
対象	1日あたり漁獲量（kg/日）
データの利用可能な期間	1990年～2022年（京都府）、1996年～2022年（石川県）、1999年～2022年（富山県）
標準化に使用した期間	2000年～2022年
標準化のためのデータ抽出	FRA-ROMSII のデータが利用できる 2000 年以降を解析
使用した統計ソフト・パッケージ	R (4.1.2) にてパッケージ tidyverse（データ処理）、MuMIn（モデル選択）、car（多重共線性確認）、PresenceAbsence（AUC 計算）、ggplot2（図示）を使用
統計モデル	デルタ型一般化線形モデル（Lo et al. 1992） 有漁確率モデル：二項分布 有漁 CPUE モデル：対数正規分布
フルモデルで導入した説明変数	有漁確率モデル：年、月、エリア、年：月、年：エリア、10m 深海水温、10m 深塩分（すべてカテゴリ・固定効果） 有漁 CPUE モデル：年、月、エリア、年：月、年：エリア、10m 深海水温、10m 深塩分（すべてカテゴリ・固定効果）
最終モデルの選択方法	有漁確率モデル、有漁 CPUE モデルそれぞれについて dredge による総当たり法（選択基準は BIC）
最終モデルで選択された説明変数	有漁確率モデル：年、月、エリア、10m 深水温 有漁 CPUE モデル：年、月、エリア、年：月、10m 深水温、10m 深塩分
年トレンドの抽出方法	有漁確率モデルと有漁 CPUE モデルの最小二乗平均の積
信頼区間の計算方法	ブートストラップ法
標準化の結果	2000 年以降変動しながら増加し、2016 年に最高値となった。2019～2021 年は高い値で推移したが、2022 年は減少した。

1. 背景

資源評価において、資源量の相対的な変化を表すとされる CPUE（単位努力量当たり漁獲量）の推定は重要である。その CPUE は魚の来遊状況や海洋環境の影響を受けるため、それらの要因を出来るだけ考慮した計算が必要となる。サワラ日本海・東シナ海系群については、2022 年に石川県と富山県の大型定置網データを用いた標準化 CPUE が計算され、その後、さらに京都府のデータを加えて、サワラの標準化 CPUE が計算された（平岡ほか、2022）。本報告では、石川県、富山県、京都府の 3 府県における大型定置網について、2022 年まで更新した標準化 CPUE の結果を示す。

2. 方法

京都府、石川県、富山県にある定置網のデータを用いた（図 1、表 1）。各県のデータはエリアごとに集計し、それぞれの一日毎のサワラの漁獲量を求め、エリア内の定置網の統数で除して、一日一統あたりの漁獲量（CPUE）を求めた（図 2-3）。それぞれのエリアにおける 10m 水深の水温と塩分は FRA-ROMSII の再解析値を当てはめた。

サワラの漁獲量は 0 が多い場合があるため、ここでは在/不在を考慮したデルタ型一般化線形モデル（Lo et al. 1992）を使って CPUE（kg/日）を標準化した。1 段階目の有漁確率モデルでは、有漁確率を応答変数として、フルモデルの説明変数は、年（Year）、エリア（Area）、月（Month）と小数点第 1 位もしくは第 2 位を四捨五入した 10m 水深の水温と塩分を用いた（Temp10m、Sal10m）。交互作用については、データに欠損のない、年と海域、年と月について考慮した。これらは全てカテゴリカル変数とし、誤差は二項分布に従うと仮定した。2 段階目の有漁 CPUE モデルは、CPUE の自然対数を応答変数とし、誤差は正規分布に従うと仮定した。フルモデルの説明変数は 1 段階目と同様とした。各モデルのフルモデルは以下である。

有漁確率モデル：

$$\text{logit}(P) = \text{Year} + \text{Area} + \text{Month} + \text{Year:Area} + \text{Year:Month} + \text{Temp10m} + \text{Sal10m} + \text{error}$$

有漁 CPUE モデル：

$$\text{log}(\text{CPUE}) = \text{Year} + \text{Area} + \text{Month} + \text{Year:Area} + \text{Year:Month} + \text{Temp10m} + \text{Sal10m} + \text{error}$$

説明変数の選択は MuMIn の dredge 関数を用いて、BIC（ベイズ情報量規準）を選択基準とした総当たり法により行った。95%信頼区間は、モデルに入っている変数のうち、年、月、エリアにより元データを層化し、重複を許したブートストラップ法で新しいデータを生成し、ベストモデルから標準化 CPUE を算出する計算を 1000 回繰り返して求めた。なお、多重共線性に関する検討のため、“car”パッケージを用いて、VIF（分散拡大係数）をもとめたが、2 以上の説明変数はみられず、多重共線性は確認されなかった。

3. 結果と考察

BIC から判断したベストモデルは以下である（表 2、3）。

有漁確率モデル：

$$\text{logit}(P) = \text{Year} + \text{Area} + \text{Month} + \text{Temp10m} + \text{error}$$

有漁 CPUE モデル：

$$\log(\text{CPUE}) = \text{Year} + \text{Area} + \text{Month} + \text{Year:Month} + \text{Temp10m} + \text{Sal10m} + \text{error}$$

有漁確率モデルの ROC 曲線下面積 (AUC) は 0.77 であり、問題はないと判断された (図 4)。有漁 CPUE モデルの QQ プロットから、残差の正規性について問題はないと判断された (図 5)。各説明変数に対する残差のプロットも極端なバイアスはみられず、モデルの当てはまりに問題はないと判断された (図 6)。

本研究により 3 府県のデータから推定されたサワラの標準化 CPUE は、2000 年以降変動しながら増加した (図 7)。2016 年に最高値となり、その後は減少したものの 2019 年は増加に転じた。過去 3 年間 (2019~2021 年) は 1.5 を超える高い値で推移していたが、2022 年は 1.23 まで減少した。

4. 引用文献

Lo, N. C., L. D. Jacobson and J. L. Squire (1992) Indices of relative abundance from fish spotter data based on Delta-lognormal models. *Canadian Journal of Fish and Aquatic Science*. 49, 2515-2526.
 平岡優子・黒田啓行・阿部隼也・四方崇文・梶原大都・木下直樹 (2022) 京都府・石川県・富山県における定置網で漁獲されるサワラの CPUE 標準化. FRA-SA2022-RC02-202

表 1 府県・エリアごとの定置網統数、FRA-ROMSII 観測点

府県	エリア	定置網 統数	データ件数	FRA-ROMSII 観測点 ：経度、緯度
富山県	east	21	7051	T1 : 137.25、36.95
	center	15	7192	T1 : 137.25、36.95
	west	22	6402	T1 : 137.25、36.95
石川県	E	13	8002	I1 : 137.25、37.15
	N	3	4236	I2 : 136.95、37.45
	W	3	4447	I3 : 136.55、36.95
京都府	舞鶴	9	7325	K1 : 135.35、35.65
	宮津	7	7356	K1 : 135.35、35.65
	与謝	8	7212	K1 : 135.35、35.65
	北丹	2000～2019 年 : 6 2020～2022 年 : 4	6150	K2 : 135.05、35.75

表 2 有漁確率モデルの BIC の比較（上位 5 モデル）

Model Description	df	Loglik	BIC
logit(P)~Year+Area+Month+Temp10m	64	-21658.9	44027.4
logit(P)~Year+Area+Month+Temp10m+Sal10m	89	-21530.5	44047.8
logit(P)~Year+Area+Month	43	-21884.9	44246.5
logit(P)~Year+Area+Month+Sal10m	68	-21764.7	44283.3
logit(P)~Year+Area+Temp10m+Sal10m	78	-21816.9	44498.6

表 3 有漁 CPUE モデルの BIC の比較（上位 5 モデル）

Model Description	df	Loglik	BIC
log(CPUE)~Year+Area+Month+Year:Month+Temp10m+Sal10m	332	-114951.5	233538.1
log(CPUE)~Year+Area+Month+Year:Month+Year:Area+Temp10m+Sal10m	530	-113905.7	233614.4
log(CPUE)~Year+Area+Month+Year:Month+Sal10m	311	-115588.9	234582.9
log(CPUE)~Year+Area+Month+Year:Month+Year:Area+Sal10m	509	-114563.6	234700.3
log(CPUE)~Year+Area+Month+Year:Month+Temp10m	307	-116041.3	235414.7

表 4 計算されたサワラの年別標準化 CPUE と規格化 CPUE

年	CPUE (kg/日)	信頼区間 下限	信頼区間 上限	Scaled CPUE	信頼区間 下限	信頼区間 上限
2000	1.8825	1.6251	2.2427	0.2550	0.2182	0.3011
2001	2.1827	1.8780	2.5486	0.2957	0.2521	0.3422
2002	1.9161	1.6408	2.2762	0.2596	0.2203	0.3056
2003	1.5672	1.3652	1.8538	0.2123	0.1833	0.2489
2004	2.3851	2.0743	2.8520	0.3231	0.2785	0.3829
2005	3.5593	3.0860	4.1987	0.4822	0.4143	0.5637
2006	7.0015	6.0974	8.2063	0.9486	0.8186	1.1018
2007	8.6694	7.5360	10.2063	1.1745	1.0118	1.3703
2008	9.8302	8.5672	11.5255	1.3318	1.1502	1.5474
2009	7.7171	6.7368	9.0483	1.0455	0.9045	1.2148
2010	9.3570	8.1841	10.8876	1.2677	1.0988	1.4618
2011	3.9440	3.4315	4.6350	0.5343	0.4607	0.6223
2012	7.4448	6.5019	8.8186	1.0086	0.8729	1.1840
2013	6.9163	6.0445	8.1008	0.9370	0.8115	1.0876
2014	7.4169	6.4952	8.6299	1.0048	0.8720	1.1586
2015	9.0693	7.8898	10.5857	1.2287	1.0593	1.4212
2016	14.4854	12.6132	17.0693	1.9625	1.6934	2.2917
2017	9.8053	8.5392	11.4010	1.3284	1.1465	1.5307
2018	6.5674	5.6603	7.6858	0.8897	0.7599	1.0319
2019	12.0469	10.4306	14.1498	1.6321	1.4004	1.8997
2020	14.2908	12.5483	16.6992	1.9361	1.6847	2.2420
2021	12.6562	11.0403	14.7795	1.7147	1.4823	1.9843
2022	9.0557	7.9137	10.5745	1.2269	1.0625	1.4197

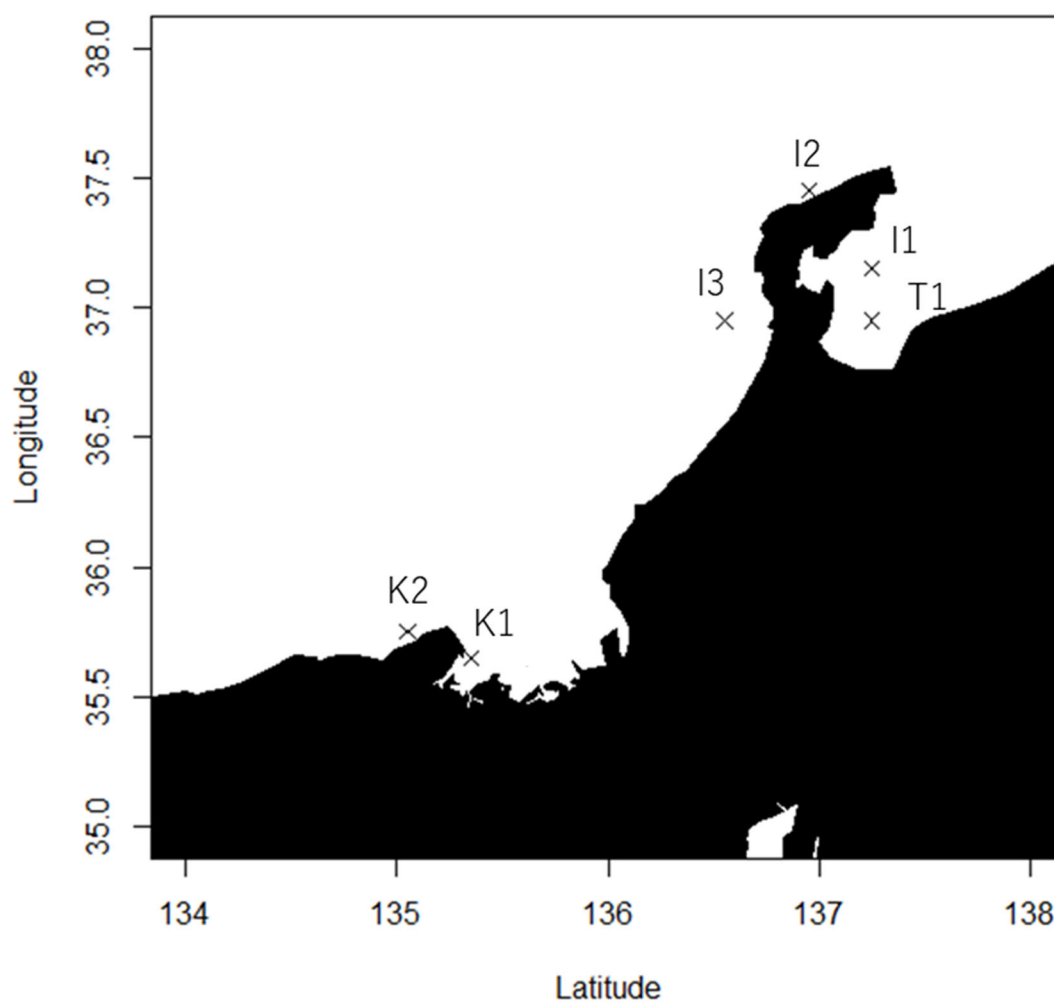


図1 京都府、福井県、石川県、富山県の周辺海域図。×は FRA-ROMSII による 10m 深水温と塩分を抽出した地点。各エリアに対応する観測点は、富山県：east (T1)、west (T1)、center (T1)、石川県：E (I1)、N (I2)、W (I3)、京都府：舞鶴 (K1)、宮津 (K1)、与謝 (K1)、北丹 (K2)

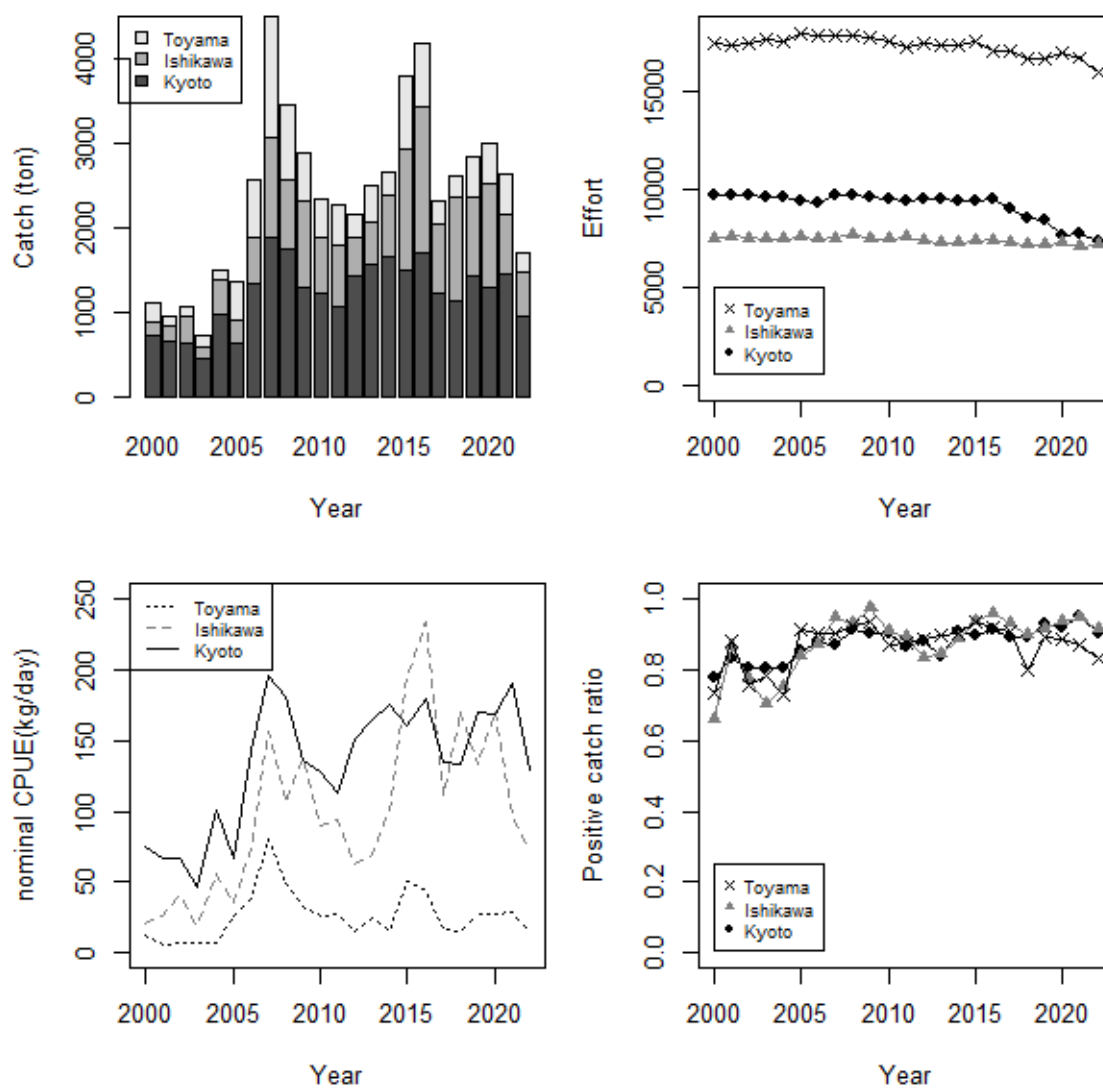


図2 CPUE 標準化に用いたデータの県別漁獲量 (左上)、県別努力量 (右上)、県別ノミナル CPUE (左下)、県別有漁割合 (右下)

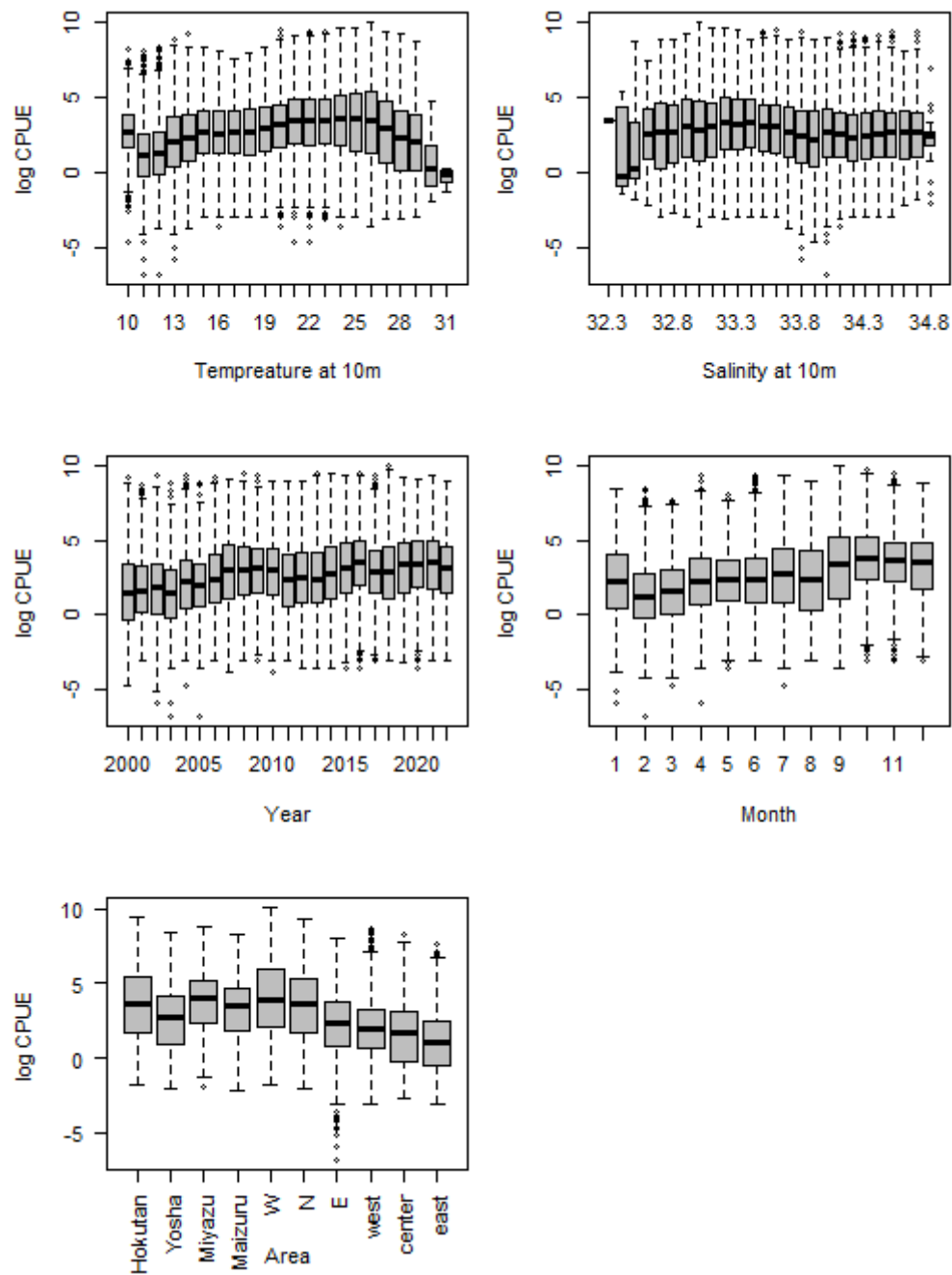


図3 各変数と資源量指標値の変化

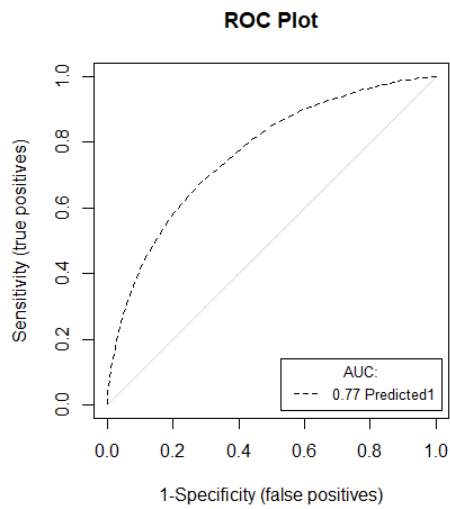


図 4 有漁確率モデルの ROC 曲線

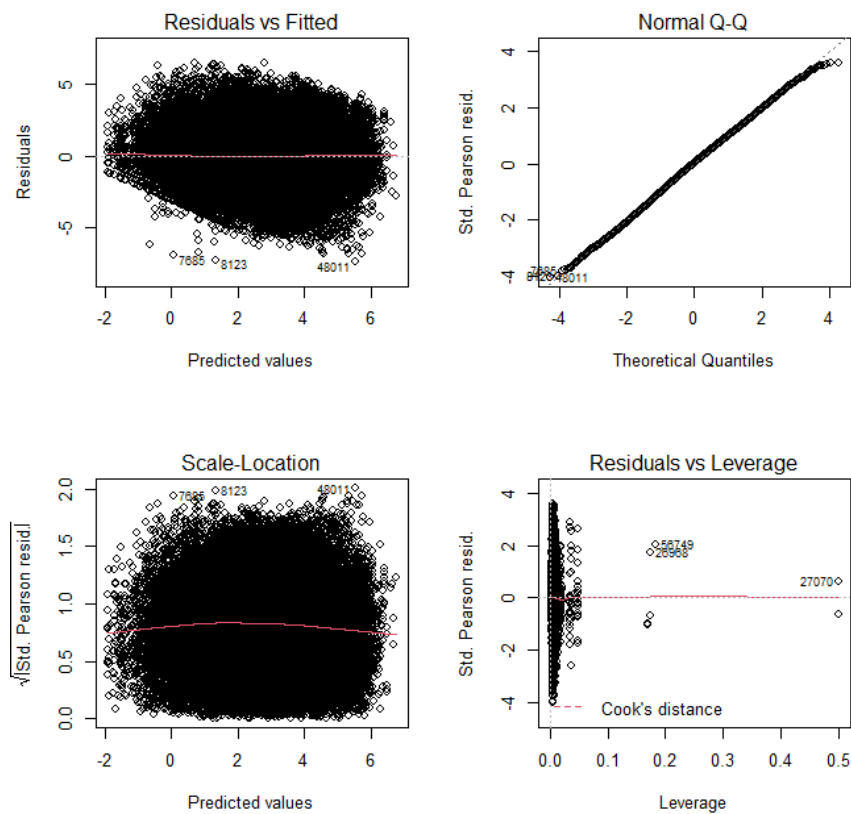


図 5 有漁 CPUE モデルの診断図

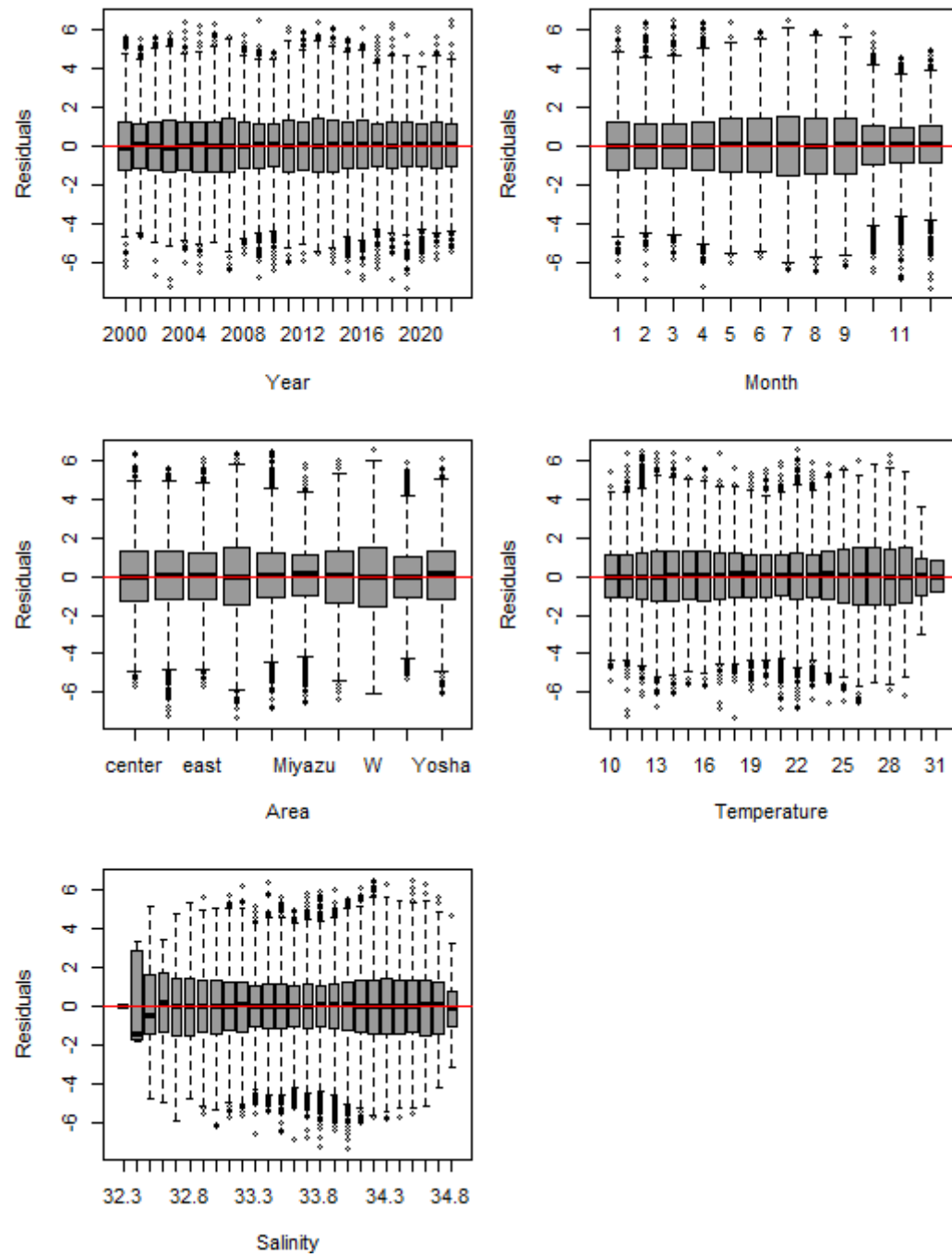


図6 有漁 CPUE モデルの残差プロット図

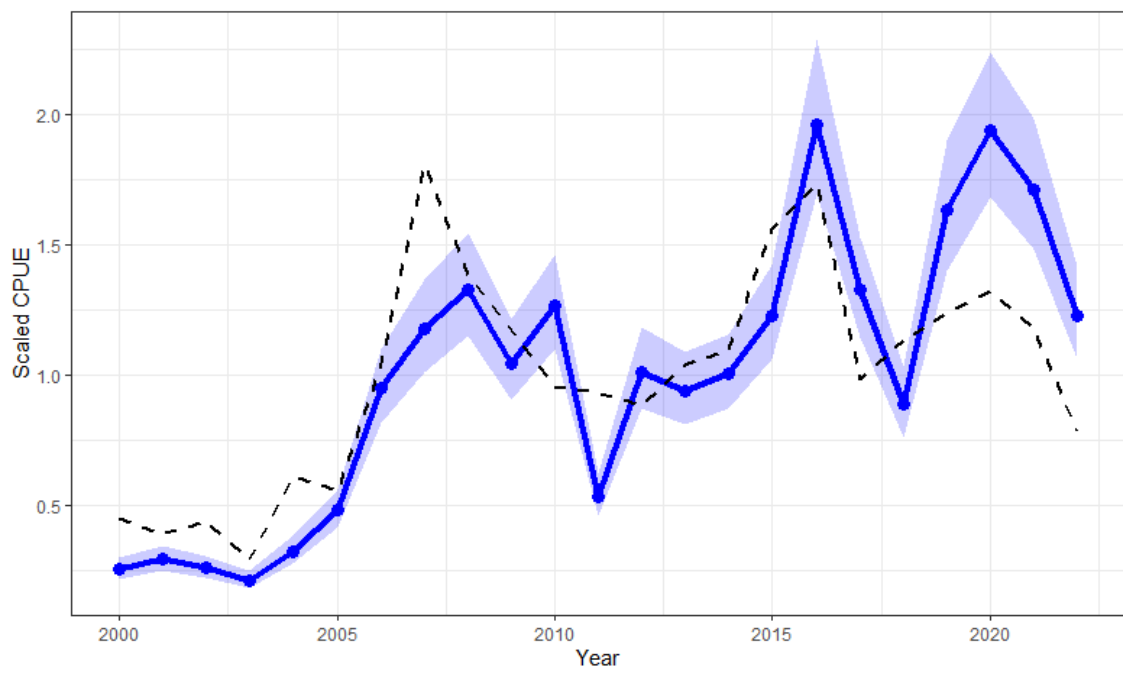


図 7 平均値で規格化した 95%信頼区間付き標準化 CPUE (青) ノミナル CPUE (破線)