

黄海・東シナ海・日本海において大中型まき網で漁獲されるサワラ CPUE 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

平岡優子・向草世香・依田真里・黒田啓行

概要

データ	黄海・東シナ海・日本海で操業する大中型まき網データ（1 網あたりのサワラ漁獲量）、1993 年～1999 年 FRA-ROMS、2000 年～2022 年 FRA-ROMSII 再解析値（10m 深海水温および塩分）
対象	1 網あたり漁獲量（kg/網）
データの利用可能な期間	1994 年～2022 年
標準化に使用した期間	1994 年～2022 年
データの抽出	10m 深海水温は FRA-ROMS および FRA-ROMSII 再解析値を使用したため、水温の欠損したデータ（19 件、全データの 0.01%）は除外
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）、maps、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・エリア・季節・10m 深海水温（すべてカテゴリ・固定効果） 有漁 CPUE モデル：年・エリア・季節・10m 深海水温（水温は連続・固定効果、それ以外はカテゴリ・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、有漁 CPUE モデルともにフルモデル
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。モデル選択はしていない。
標準化の結果	1996 年に大きく落ち込むが、2000 年まで急激に増加し、その後は変動をしながら推移した。2022 年のノミナル CPUE は減少したものの、標準化 CPUE は微増した。

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・東シナ海系群では、黄海・東シナ海・日本海で操業する大中型まき網について、水温、季節、エリア等を考慮した標準化 CPUE が公表されている（平岡ほか 2022、Ohshimo et al. 2021）。

本報告書では、既に公表された手法を用いて、大中型まき網の標準化 CPUE を 2022 年まで更新する。

2. 方法

黄海・東シナ海・日本海で操業する大中型まき網のデータを用いた（図 1）。この海域を 4 つのエリアに分け（図 1）、それぞれの一日毎の船別魚種別漁獲量（kg）と努力量（網数）を用いた。操業を行った小漁区の緯度経度ごとの 10m 水深の水温は、FRA-ROMS および FRA-ROMSII の再解析値を用いた。

サワラの漁獲量が 0 であった操業が年平均で 78.0～98.3%と非常に高いため（図 2C）、ここでは存在/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/網）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）、海域（Area）、季節（Qt）と小数点第 1 位を四捨五入した 10m 水深の水温を用いた。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 段階目と同様だが、10m 水深の水温は連続変数として用いた。各モデルのフルモデルは以下である。

有漁確率モデル：

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

有漁 CPUE モデル：

$$\log(\text{CPUE}) = \text{Year} + \text{Area} + \text{Qt} + \text{Temp10m} + \text{error}$$

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、カテゴリカル変数としてモデルに入っている変数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、多重線形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

図 2 に大中型まき網によるサワラの漁獲量、サワラの有漁獲の努力量、大中型まき網の漁獲努力量、サワラの有漁獲率を示した。漁獲量は増減を繰り返しながら徐々に減少傾向にあ

る。一方、全体の漁獲努力量は一貫して減少をしていたが、2019 年以降は横ばいである。有漁確率は 2017 年まで徐々に増加をした後、2019～2020 年は減少したが、その後は横ばい傾向である。

BIC から判断したベストモデルは、有漁確率モデルおよび有漁 CPUE モデルともにフルモデルが選択された（表 1、2）。有漁確率モデルの ROC 曲線下面積（AUC）は 0.79 であり、問題はないと判断された（図 3）。それぞれの一般化線形モデル（GLM）による要約図を図 4 と 5 に示した。有漁 CPUE モデルの QQ プロットから、残差の正規性について概ね問題はないと判断された（図 4）。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見られず、モデルの当てはまりに大きな問題はないと判断された（図 5）。これらの結果は、2021 年までの計算結果と変わらなかった（平岡ほか 2022, Ohshimo et al. 2021）。

フルモデルから推定したまき網漁業で漁獲されるサワラの標準化 CPUE を図 6 に示す。1995 年から 2000 年まで大きく上昇した後、2019 年までは増減を繰り返しながらも 0.5 から 2.0 の間で推移している。2020 年に 0.81 まで大きく減少したが、2021 年、2022 年は、0.92、0.96 と微増した。2022 年は、ノミナル CPUE との乖離が大きくなったが、理由として有漁割合が増加したことが挙げられる（図 2d）。

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・向草世香・依田真理・黒田啓行（2021）黄海・東シナ海・日本海において大中型まき網で漁獲されるサワラ CPUE 標準化の更新. FRA-SA2022-RC02-201
- Ohshimo, S., S. Muko, M. Yoda and H Kurota (2021) Fluctuations in distribution and relative abundance of Japanese Spanish mackerel, *Scomberomorus hipponius*, in the Yellow Sea, East China Sea and Sea of Japan. *Reg. Stud. Mar. Sci.*, **48**, 102057.

表 1 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+Qt+Temp10m	57	-48462.9	97614.5
logit(P)~Year+Qt+Temp10m	54	-48489.09	97630.6
logit(P)~Year+Area+Qt	35	-50151.51	100725.9
logit(P)~Year+Qt	32	-50431.39	101249.4
logit(P)~Year+Area+Temp10m	54	-51908.13	104468.7

表 2 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+Qt+Area+Temp10m	37	-36172.0	72705.6
log(CPUE)~~Year+Qt+Area	36	-36216.82	72785.5
log(CPUE)~~Year+Qt+Temp10m	34	-36268.64	72869.6
log(CPUE)~~Year+Area+Temp10m	34	-36391.15	73114.6
log(CPUE)~~Year+Qt	33	-36401.23	73125.0

表 5 計算されたサワラの年別標準化 CPUE と規格化 CPUE

年	CPUE (kg/網)	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
1994	2.786	2.128	3.595	0.584	0.446	0.754
1995	2.455	1.432	3.768	0.515	0.300	0.790
1996	0.588	0.409	0.827	0.123	0.086	0.173
1997	1.142	0.953	1.360	0.239	0.200	0.285
1998	2.863	2.402	3.465	0.600	0.503	0.726
1999	3.189	2.533	3.919	0.669	0.531	0.822
2000	7.206	6.124	8.496	1.511	1.284	1.781
2001	4.117	3.407	4.879	0.863	0.714	1.023
2002	2.665	2.119	3.292	0.559	0.444	0.690
2003	2.506	2.023	3.071	0.525	0.424	0.644
2004	4.094	3.363	4.980	0.858	0.705	1.044
2005	5.503	4.632	6.544	1.154	0.971	1.372
2006	3.578	2.919	4.305	0.750	0.612	0.902
2007	6.217	5.112	7.415	1.303	1.072	1.555
2008	5.453	4.569	6.461	1.143	0.958	1.354
2009	8.723	7.366	10.221	1.829	1.544	2.143
2010	6.627	5.531	7.908	1.389	1.160	1.658
2011	5.511	4.651	6.533	1.155	0.975	1.370
2012	6.225	5.298	7.251	1.305	1.111	1.520
2013	5.732	4.817	6.888	1.202	1.010	1.444
2014	8.262	7.054	9.666	1.732	1.479	2.027
2015	4.107	3.537	4.754	0.861	0.742	0.997
2016	8.255	7.074	9.636	1.731	1.483	2.020
2017	6.232	5.487	7.149	1.306	1.150	1.499
2018	5.585	4.720	6.492	1.171	0.990	1.361
2019	5.890	5.017	6.959	1.235	1.052	1.459
2020	3.851	3.319	4.501	0.807	0.696	0.944
2021	4.388	3.728	5.184	0.920	0.782	1.087
2022	4.578	3.980	5.246	0.960	0.834	1.100

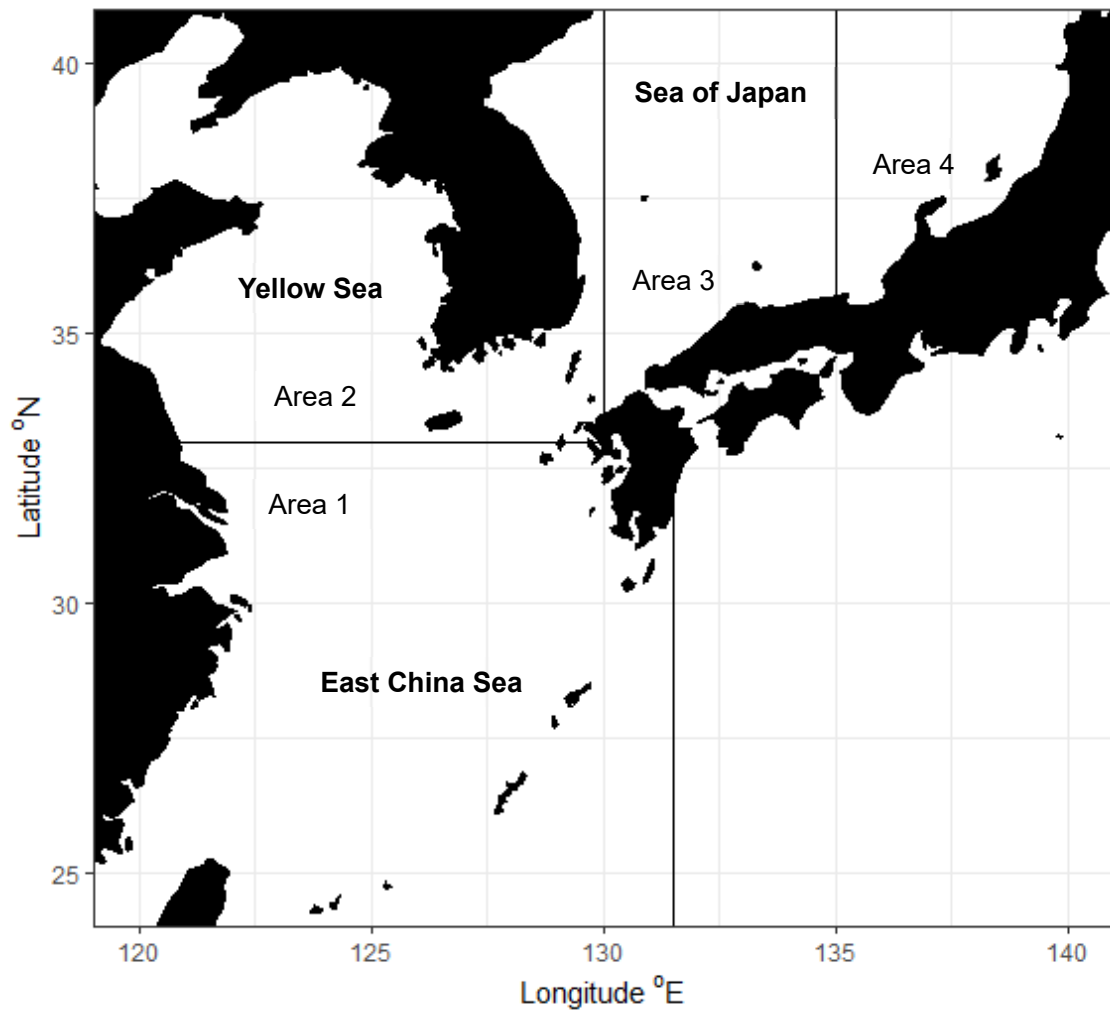


図1 黄海、東シナ海、日本海の区分け図

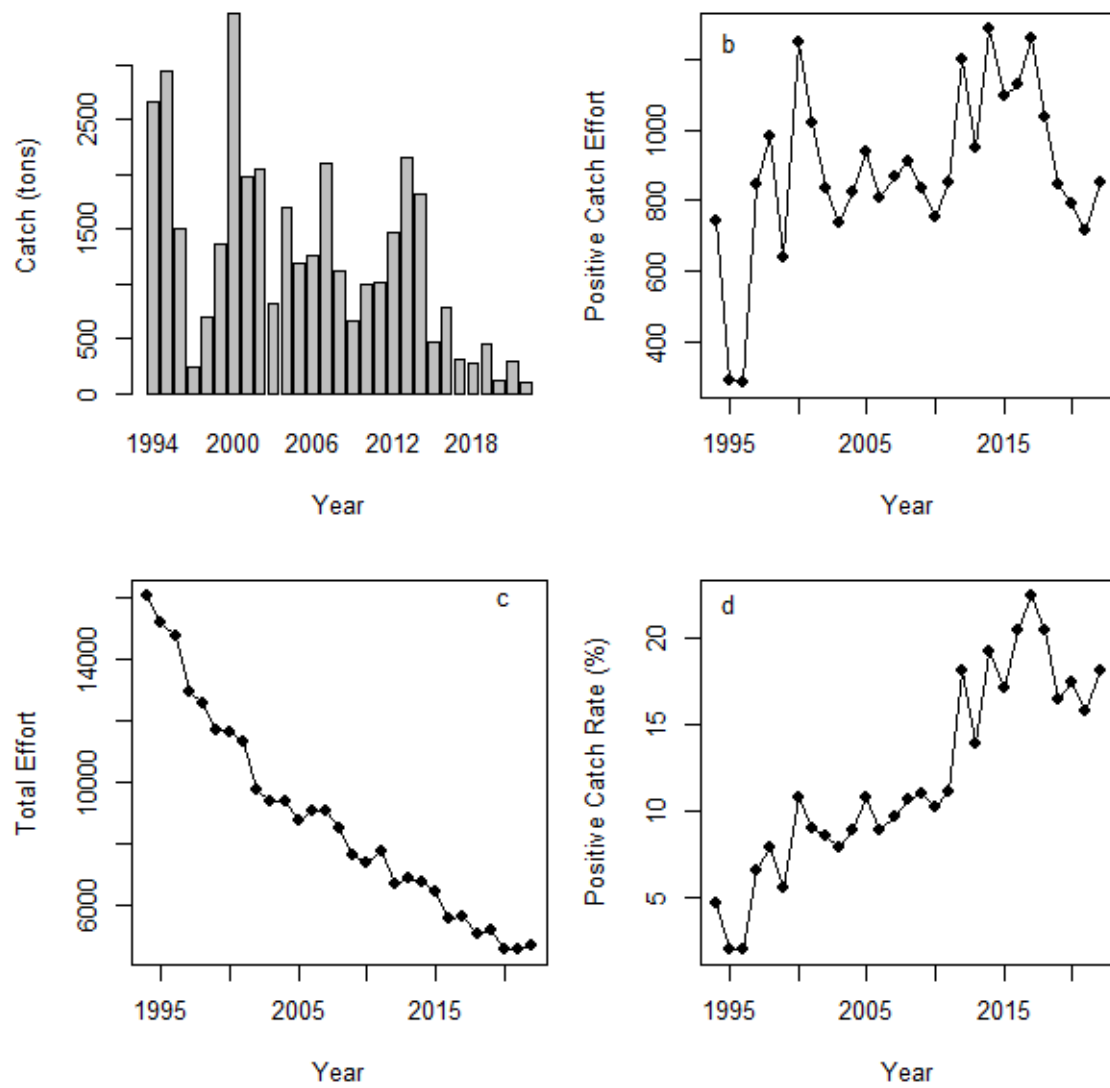


図2 大中型まき網によるサワラの漁獲量（左上）、サワラの有漁獲努力量（右上）、大中型まき網の総漁獲努力量（左下）、サワラの有漁獲率（右下）

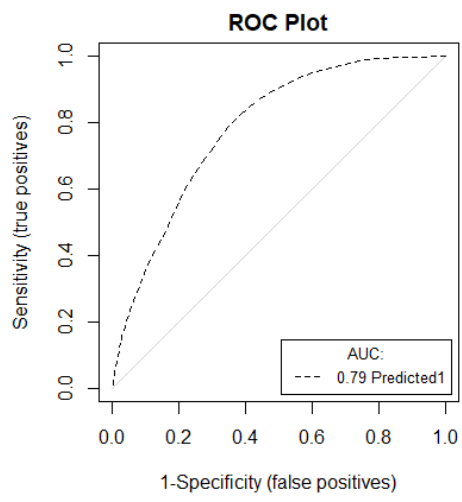


図 3 有漁確率モデルの ROC 曲線

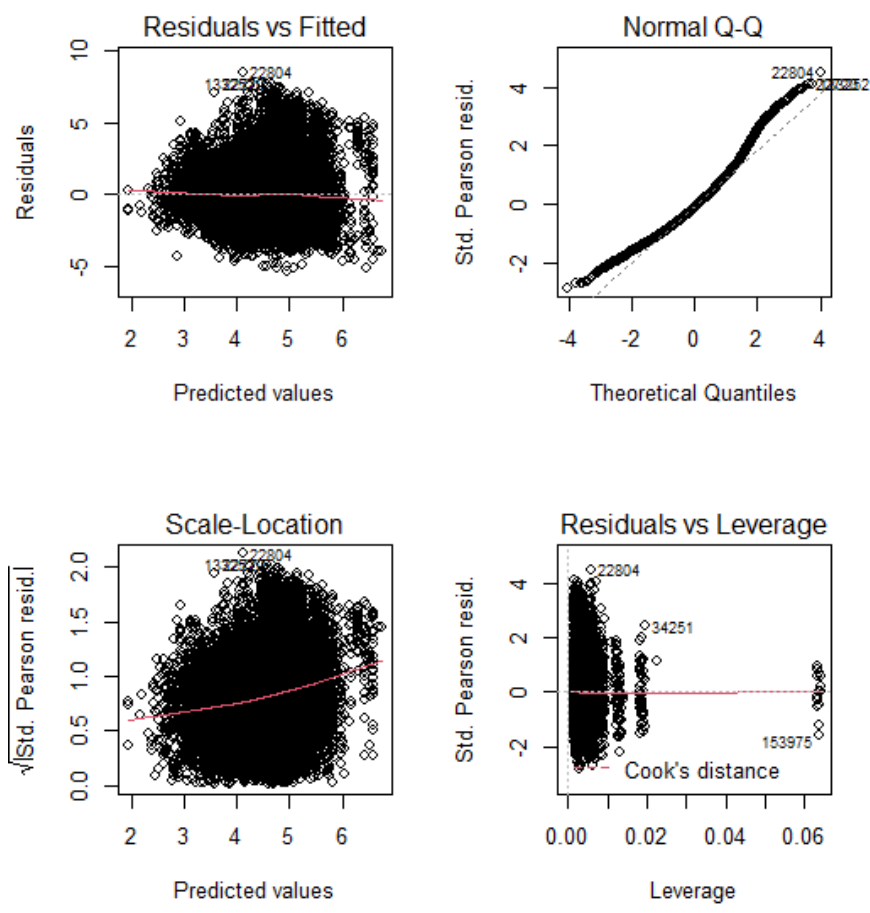


図 4 有漁 CPUE モデルの要約図

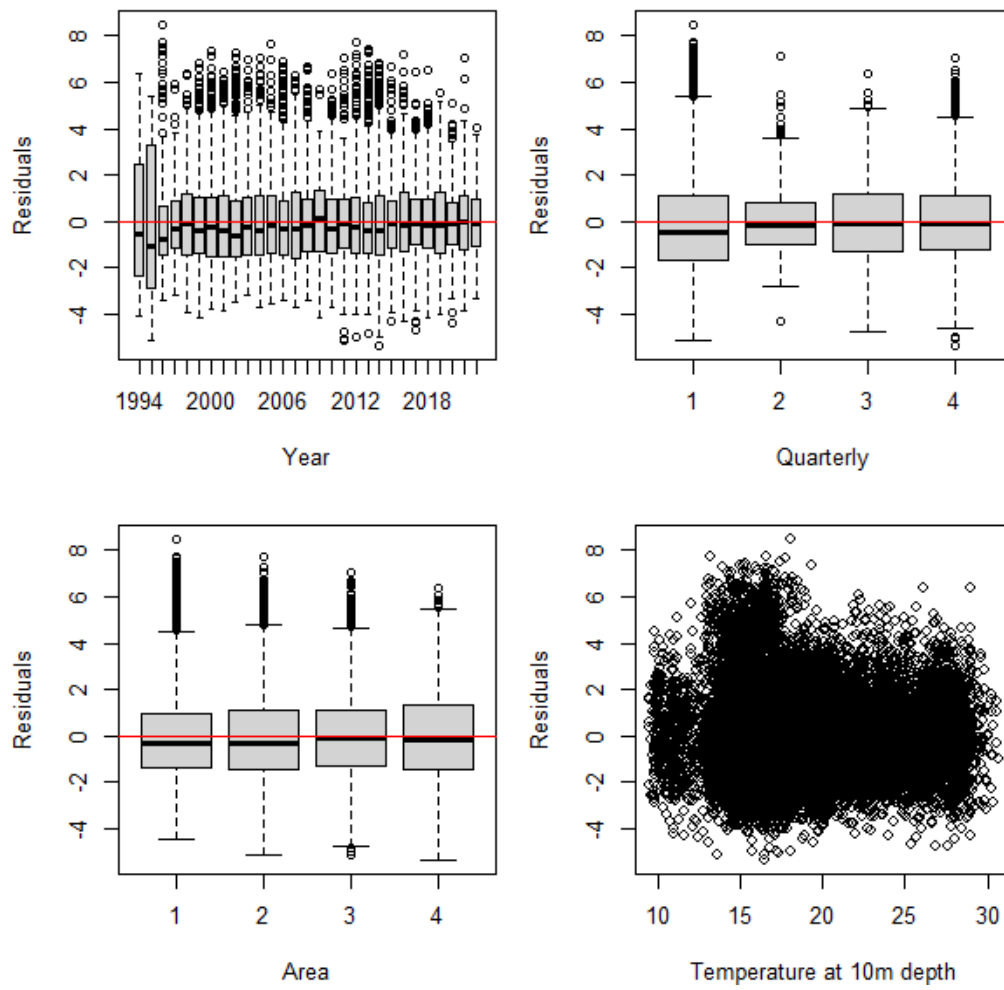


図5 対数正規分布モデルの残差プロット図

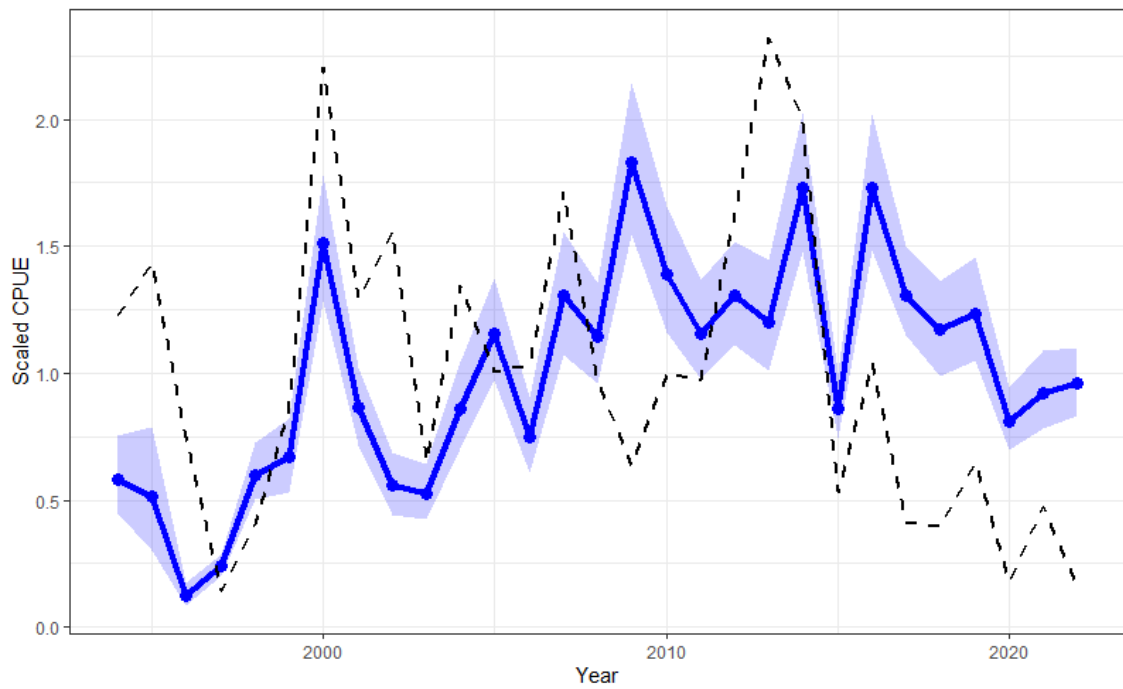


図 6 平均値で規格化した 95%信頼区間付き標準化 CPUE (青) およびノミナル CPUE (破線)