令和 5（2023）年度マアジ太平洋系群の資源評価
CPUE 標準化・モデル診断結果（宿毛湾まき網）

2023 年 8 月 1 日
水産資源研究センター浮魚資源部浮魚第 2 グループ
井元順一、安田十也、渡井幹雄、日野晴彦、木下順二、河野悌昌、髙橋正知

概要

データ	高知県宿毛湾中型まき網水揚げ集計データ（日別魚種別銘柄別漁獲量）
対象	ゼンゴ漁獲重量（kg／出漁隻数）
データが利用可能な期間	2000 年～2022 年
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	本系群では 4 月から翌年 3 月までを年の区切りとして使用していることから、標準化作業でも同様にした。
使用した統計ソフト・パッケージ	R(4.1.1)にて、glm（GLM パッケージ）、dredge（MuMIn パッケージ）、VIF（car パッケージ）、predict（stats パッケージ）、expand.grid（gridExtra パッケージ）を使用
統計モデル	デルタ型一般化線形モデル（0/1 データに対して二項分布、有漁データに対して対数正規分布を適用）
フルモデルで導入した説明変数	有漁確率モデル： 年、月（カテゴリ・固定効果） 有漁 CPUE モデル 年、月（カテゴリ・固定効果）
最終モデルの選択方法	AICc を基準とした総当たり法
最終モデルで選択された説明変数	有漁確率モデル： 年、月（カテゴリ・固定効果） 有漁 CPUE モデル 年、月（カテゴリ・固定効果）
年トレンドの抽出方法	各変数のすべての組み合わせにおける予測値の年平均
推定誤差や信頼区間の計算方法	ブートストラップサンプリングされたデータとベストモデルから標準化 CPUE の計算を 1,000 回繰り返して計算。
結果	標準化 CPUE の年トレンドの増減は、ノミナル CPUE と概ね一致した（図 6）。その中で、有漁確率が高かった 2004 年、2018 年および 2021 年の標準化 CPUE はノミナル CPUE よりも高くなった。

１．背景

マアジ太平洋系群では 6 つの加入量指標値を用いたチューニング VPA により資源量が推定されている。これら加入量指標値を求める際に使われるデータには季節や漁具など漁獲効率に影響を与える情報を含んでいるものも存在する。そのため、加入量の年変動以外の要因の持つ効果を把握し、必要に応じてそれらを取り除く標準化を行うことが望ましいと考えられる。

宿毛湾はマアジ太平洋系群が漁獲される主要な漁場の一つである。宿毛湾まき網 CPUE は加入量指標値の一つであり、昨年度評価までは有漁データの日別ゼンゴ漁獲量を出漁隻数で割ることによって日別 CPUE を算出し、それらを相乗平均することによってノミナル CPUE を算出していたが、本年度評価においては季節の影響を考慮して、一般化線形モデル（GLM）による CPUE の標準化を実施した。

２．方法

1）データの特性

データは 2000 年～2022 年の日別魚種別銘柄別漁獲量と出漁隻数から成る（高知県提供）。2000 年以降において、漁獲量および努力量（隻数）ともに緩やかな減少傾向が見られる（図 1）。また、4～11 月にかけて努力量が高い値で推移している中で、漁獲量は 1 月から 11 月にかけて増加傾向を示す形となっている（図 2）。なお、ゼロ漁獲データは全体の 54%であった。

2）統計モデル

マアジ 0 歳魚の漁獲の有無（有漁確率）と、マアジ 0 歳魚の漁獲があった操業の CPUE（有漁 CPUE）について別々に解析を行うことができるデルタ型一般化線形モデルを適用した。有漁確率と有漁 CPUE のそれぞれについてモデルで得られた年効果を乗じることで、標準化 CPUE の年効果を得ることができる。

有漁確率については、マアジ 0 歳魚の漁獲がない操業を 0、漁獲がある操業を 1 とする、二値データを応答変数とした一般化線形モデル（GLM）を適用するとともに、モデルの誤差分布は二項分布に従うと仮定した。有漁 CPUE については、マアジ 0 歳魚の漁獲があった操業を抽出し、日別 CPUE の対数値を応答変数とした GLM を適用するとともに、モデルの誤差分布は正規分布に従うと仮定した。

有漁確率および有漁 CPUE ともに、説明変数の候補は年および月とし、すべてカテゴリカル変数として扱った。なお、年と月の交互作用も取り入れた場合にはモデルが収束しなかったため、今回は、交互作用については考慮しなかった。

GVIF を指標として多重共線性はないことを確認した上で、補正赤池情報量基準（AICc）を基準として総当たり法によりモデル選択を行った。ベストモデルで選択された各変数のダミーデータを作成し、各変数を均等配置して作成した全ての組み合わせについて CPUE の予測値を求めた上で、それらを年ごとに平均した値を標準化 CPUE とした。また、ブートストラップ法（試行回数 1,000 回）により 95%信頼区間を求めた。

3.結果

モデル選択の結果（表 2）、以下の式が最終モデルとして選択された。

有漁確率：二項分布モデル

$$Positive\ rate = Intercept + Year + Month$$

有漁 CPUE：対数正規分布モデル

$$Log(CPUE) = Intercept + Year + Month$$

ここで、Year は年（2000 年～2022 年）、Month は月（4 月～翌年 3 月）を表す。選択されたモデルの妥当性を確認するため、対数正規分布モデルの要約図を定性的に確認した（図 3）。予測値と残差の関係をみると、残差はゼロ付近に均等にばらついており、QQ プロットでは両端で理論値から外れる傾向がみられたものの、モデルに対するデータの当てはまりについては大きな問題はないと解釈した。また、モデルの残差は概ね正規分布に従っていた（図 4）。

月による違いとしては、1 月（intercept）と比較して加入魚が出現し始める 6～9 月に推定値が高くなる傾向がみられた（表 2）。

ブートストラップ法で推定した信頼区間は推定値の年変動と比べて広くないため、本モデルによって推定値の年変化を十分に捉えられていると考えられた（図 5）。

標準化 CPUE とノミナル CPUE を比較すると、増減する年トレンドの傾向は変わらなかった（図 6）。その中で、2004 年、2018 年および 2021 年の標準化 CPUE はノミナル CPUE よりも高くなったが、これらの年においては有漁確率が高かったため、その影響が大きいものと考えられる。

表 1. モデル選択結果

Model	有漁確率：二項分布モデル	df	logLik	AICc	delta
1	年 + 月	34	-2938.816	5946.1	0.0
2	年	23	-3212.167	6470.6	524.5

Model	有漁 CPUE：対数正規分布モデル	df	logLik	AICc	delta
1	年 + 月	35	-4355.320	8781.8	0.0
2	年	24	-4384.648	8817.9	36.1

表 2. 最終モデルにおける推定パラメータ

有漁確率：二項分布モデル

```
glm(formula = zengo_pa ~ factor(Year) + factor(Month), family = binomial,
    data = data)

Deviance Residuals:
       Min          1Q      Median          3Q         Max
-2.0837764  -0.9846299  -0.6688609   1.0437791   1.9996508

Coefficients:
                    Estimate   Std. Error  z value   Pr(>|z|)
(Intercept)      -0.625257443  0.220356594 -2.83748 0.00454712 **
factor(Year)2001 -0.024482286  0.197141800 -0.12419 0.90116787
factor(Year)2002 -0.002837185  0.200565513 -0.01415 0.98871356
factor(Year)2003 -0.580826034  0.205576185 -2.82536 0.00472280 **
factor(Year)2004  0.676876817  0.200503375  3.37589 0.00073578 ***
factor(Year)2005 -0.360564394  0.195876470 -1.84077 0.06565462 .
factor(Year)2006 -0.042697139  0.193073196 -0.22114 0.82497966
factor(Year)2007 -0.415438463  0.203743676 -2.03903 0.04144752 *
factor(Year)2008  0.096215110  0.196458609  0.48975 0.62431260
factor(Year)2009 -0.463116319  0.203397589 -2.27690 0.02279210 *
factor(Year)2010 -0.438940697  0.203406110 -2.15795 0.03093154 *
factor(Year)2011 -0.029044055  0.210029719 -0.13829 0.89001482
factor(Year)2012 -0.246290819  0.212032453 -1.16157 0.24540963
factor(Year)2013 -0.273568224  0.207778442 -1.31663 0.18796124
factor(Year)2014 -0.422051325  0.211294191 -1.99746 0.04577543 *
factor(Year)2015 -0.316288517  0.206215213 -1.53378 0.12508408
factor(Year)2016 -0.183803793  0.207010296 -0.88790 0.37459623
factor(Year)2017  0.316494229  0.206111011  1.53555 0.12464823
factor(Year)2018  0.957893210  0.214672578  4.46211 8.1156e-06 ***
factor(Year)2019  0.401909624  0.209655890  1.91700 0.05523837 .
factor(Year)2020  0.290580741  0.216480672  1.34229 0.17950064
factor(Year)2021  0.955991603  0.219628255  4.35277 1.3443e-05 ***
factor(Year)2022  0.338560466  0.211508259  1.60070 0.10944422
factor(Month)2   -0.282681333  0.233327121 -1.21152 0.22569476
factor(Month)3   -0.319379759  0.210980685 -1.51379 0.13007994
factor(Month)4   -0.647695434  0.205500471 -3.15180 0.00162270 **
factor(Month)5   -0.137303577  0.195608893 -0.70193 0.48272337
factor(Month)6    0.055128346  0.193466343  0.28495 0.77568201
factor(Month)7    0.692686604  0.192295359  3.60220 0.00031553 ***
factor(Month)8    1.717324286  0.199655163  8.60145 < 2.22e-16 ***
factor(Month)9    1.367301950  0.195523906  6.99302 2.6904e-12 ***
factor(Month)10   0.990703497  0.194077923  5.10467 3.3137e-07 ***
factor(Month)11   0.738888082  0.197323872  3.74454 0.00018072 ***
factor(Month)12   0.066581339  0.215428992  0.30906 0.75727287
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

    Null deviance: 6573.2426  on 4764  degrees of freedom
Residual deviance: 5877.6326  on 4731  degrees of freedom
AIC: 5945.6326

Number of Fisher Scoring iterations: 4
```

有漁 CPUE：対数正規分布モデル

```
glm(formula = log(cpue_zengo) ~ factor(Year) + factor(Month),
    family = gaussian, data = data_p)

Deviance Residuals:
       Min          1Q      Median          3Q         Max
-6.7587093  -1.1216673   0.1303899   1.2689597   5.3615789

Coefficients:
                    Estimate   Std. Error  t value   Pr(>|t|)
(Intercept)       6.538411440  0.299653636 21.81990 < 2.22e-16 ***
factor(Year)2001  0.100764750  0.246246043  0.40920 0.68243102
factor(Year)2002  0.176856793  0.248382774  0.71203 0.47652137
factor(Year)2003  0.003954654  0.271595059  0.01456 0.98838389
factor(Year)2004  0.460274302  0.231226371  1.99058 0.04665351 *
factor(Year)2005 -0.287336910  0.252096918 -1.13979 0.25450170
factor(Year)2006 -0.030523881  0.240923394 -0.12670 0.89919334
factor(Year)2007  0.228723129  0.264556511  0.86455 0.38738053
factor(Year)2008  0.024339807  0.241780310  0.10067 0.91982252
factor(Year)2009 -0.886453081  0.264956146 -3.34566 0.00083497 ***
factor(Year)2010 -0.989144151  0.264058507 -3.74593 0.00018445 ***
factor(Year)2011 -1.049923871  0.259900306 -4.03972 5.5393e-05 ***
factor(Year)2012 -1.245787371  0.269766975 -4.61801 4.1029e-06 ***
factor(Year)2013 -0.439823894  0.266357043 -1.65126 0.09883204 .
factor(Year)2014 -0.717005625  0.274387135 -2.61312 0.00903454 **
factor(Year)2015 -1.410356308  0.265327439 -5.31553 1.1734e-07 ***
factor(Year)2016 -0.897281355  0.261055546 -3.43713 0.00059909 ***
factor(Year)2017 -1.002920322  0.248717092 -4.03237 5.7140e-05 ***
factor(Year)2018 -0.935787016  0.236292403 -3.96029 7.7292e-05 ***
factor(Year)2019 -2.070261912  0.250489156 -8.26488 2.4150e-16 ***
factor(Year)2020 -1.122795684  0.258335031 -4.34628 1.4491e-05 ***
factor(Year)2021 -0.133994550  0.242379807 -0.55283 0.58043803
factor(Year)2022 -1.298518451  0.253494052 -5.12248 3.2840e-07 ***
factor(Month)2   -0.226913340  0.337449195 -0.67244 0.50137769
factor(Month)3   -0.197019365  0.304582216 -0.64685 0.51779725
factor(Month)4   -0.762010838  0.302213215 -2.52143 0.01175942 *
factor(Month)5   -0.666589407  0.280002075 -2.38066 0.01736828 *
factor(Month)6   -0.992578104  0.275359783 -3.60466 0.00031967 ***
factor(Month)7   -0.799989266  0.266385542 -3.00313 0.00270301 **
factor(Month)8   -0.486616807  0.260101898 -1.87087 0.06149873 .
factor(Month)9   -0.699947564  0.261448167 -2.67719 0.00748054 **
factor(Month)10  -0.368684210  0.264334970 -1.39476 0.16323175
factor(Month)11   0.038725256  0.270427990  0.14320 0.88614573
factor(Month)12  -0.225485511  0.302762874 -0.74476 0.45649848
---
Signif. codes:  0 ‘***’ 0.001 ‘**’ 0.01 ‘*’ 0.05 ‘.’ 0.1 ‘ ’ 1

(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 3.198040086)

    Null deviance: 7960.2016  on 2185  degrees of freedom
Residual deviance: 6882.1823  on 2152  degrees of freedom
AIC: 8780.6405

Number of Fisher Scoring iterations: 2
```

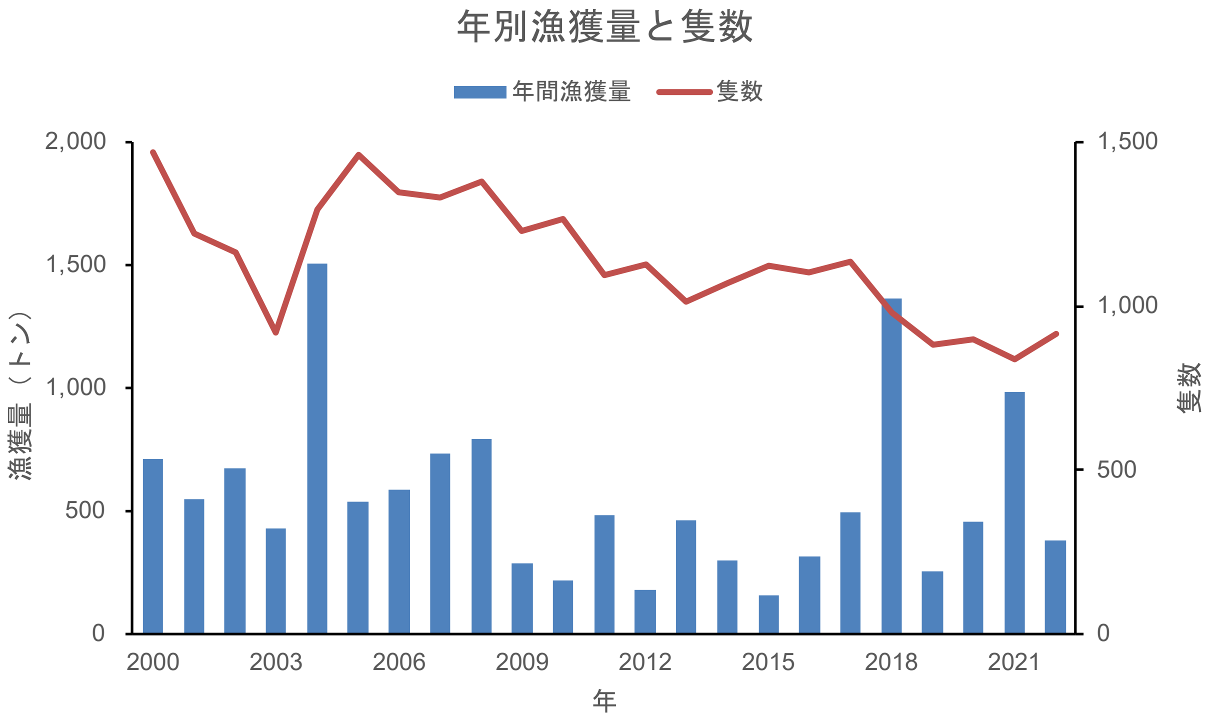

図 1　漁獲量と隻数の年変化

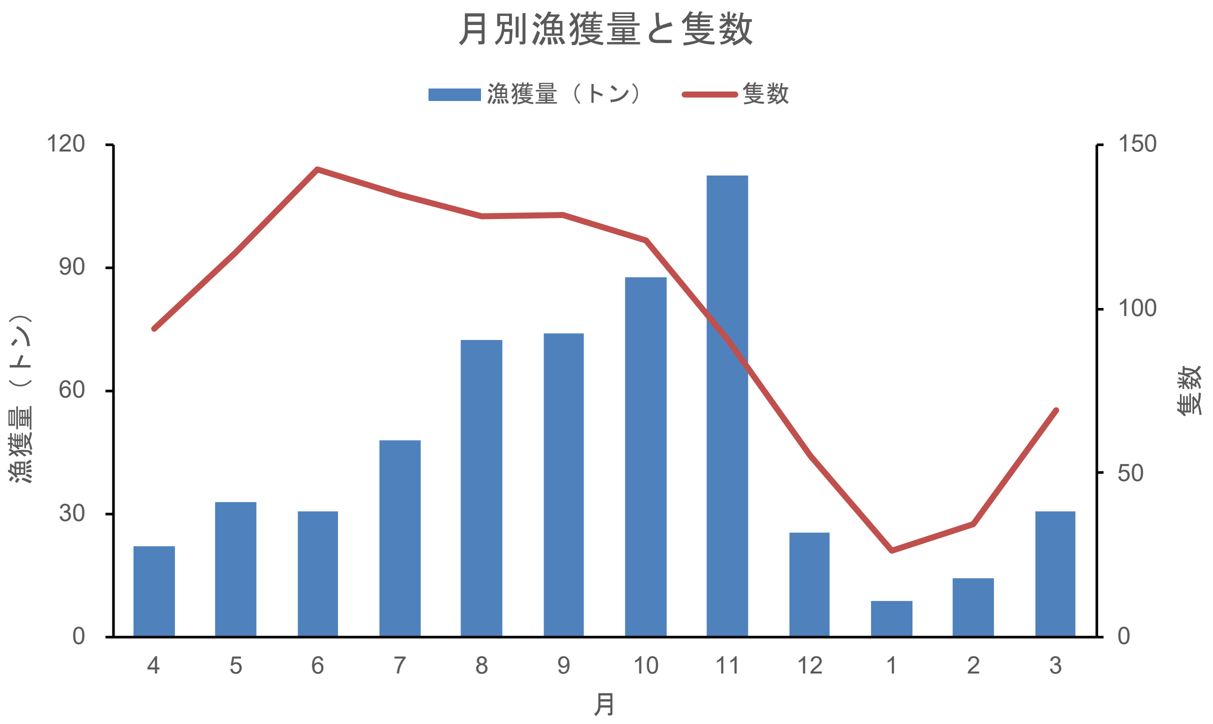

図 2　漁獲量と隻数の月変化

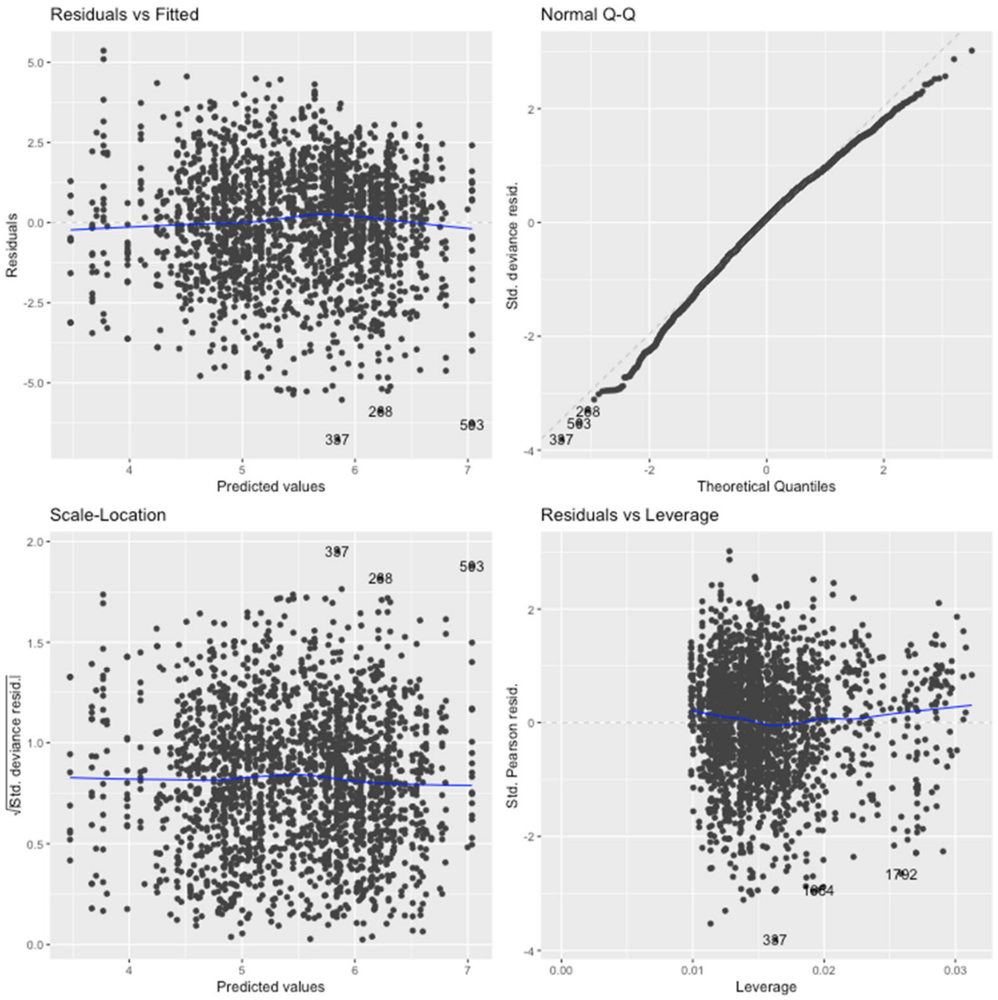

図 3　有漁 CPUE：対数正規分布モデルの要約図（a）二項分布モデル、（b）対数正規分布モデル

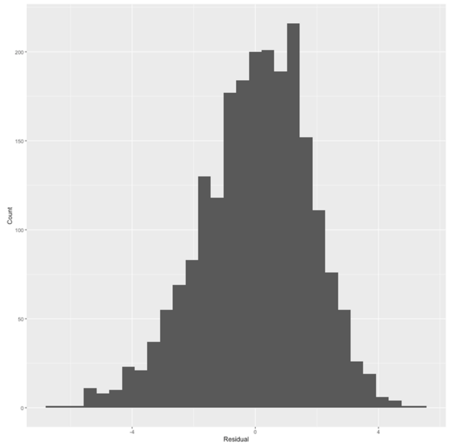

図 4　有漁 CPUE：対数正規分布モデルの残差のヒストグラム

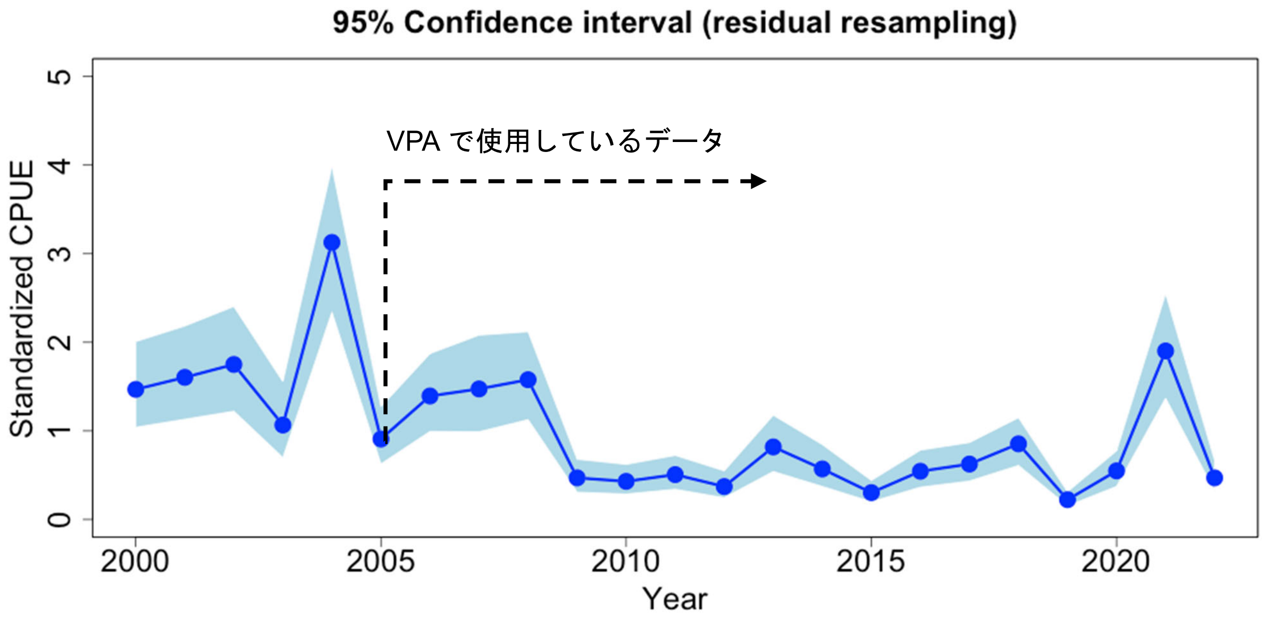

図 5　標準化 CPUE の年変化（青線）と残差リサンプリングによるブートストラップ法を用いて推定した標準化 CPUE の 95%信頼区間（青色領域）

試行回数は 1 万回とした。点線の矢印は指標値として使用を開始した年を示す。

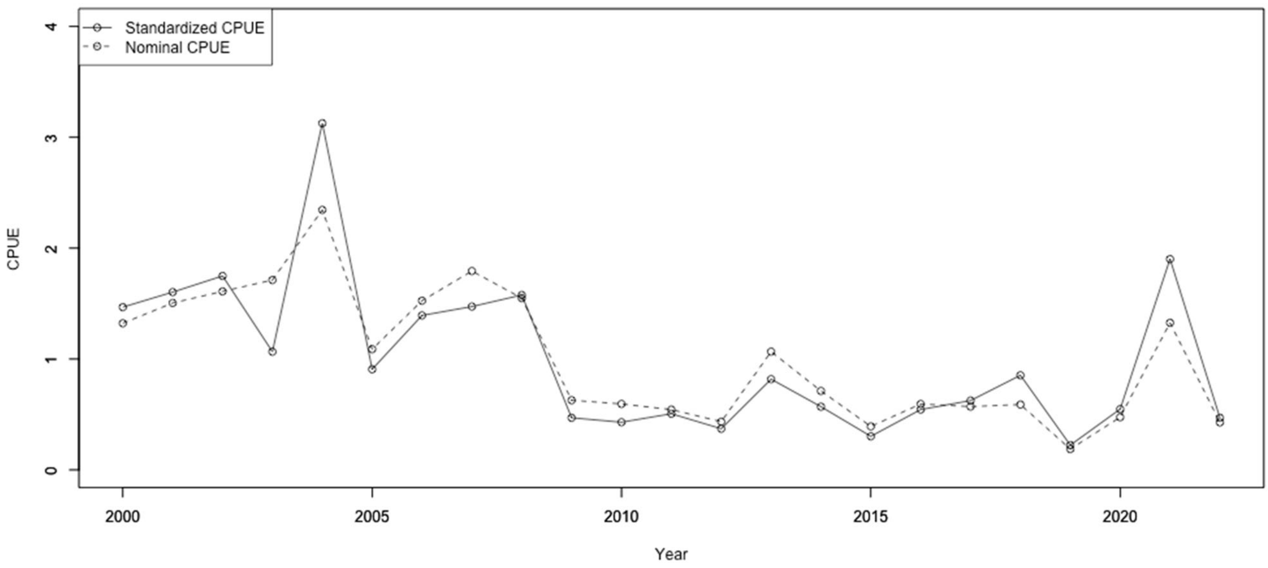

図 6　規格化した標準化 CPUE とノミナル CPUE（従来指標値）の年変化