

令和 5（2023）年度ヒラメ日本海中西部・東シナ海系群の資源評価
島根県大型定置網で漁獲されるヒラメの CPUE 標準化

増渕隆仁・下瀬環・井関智明・石原成嗣

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，島根県水産技術センター

概要

データ	島根県大型定置網漁業データ(日別・会社別・海区別漁獲量)
対象	経営体別の 1 日あたり漁獲量(kg/日)
データの利用可能な期間	2012 年～2022 年
標準化に使用した期間	2012 年～2022 年
標準化のためのデータ抽出	なし
統計ソフト・パッケージ	R (4.2.3) にてパッケージ tidyverse(データ処理)、mgcv(モデル計算)、MuMIn(モデル選択)、car(多重共線性確認)、PresenceAbsence(ROC 曲線下面積:AUC の計算)、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・経営体・年×月・年×経営体(カテゴリ・固定) 有漁 CPUE モデル:年・月・経営体・年×月・年×経営体(カテゴリ・固定)
ベストモデルの選択方法	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)
ベストモデルで選択された説明変数	有漁確率モデル:年・月・経営体 有漁 CPUE モデル:年・月・経営体
年トレンドの抽出方法	有漁確率モデルと有漁 CPUE モデルのベストモデルでの説明変数が均等に配置されたダミーデータにおける予測値の年平均の積
信頼区間の計算方法	重複を許したブートストラップサンプリングでデータを生成し、ベストモデルから標準化 CPUE を算出する計算を 1000 回繰り返した。モデル選択はしていない。
標準化の結果	2012 年以降増加傾向にあり、2015 年に最高値となった。2017 年以降は減少する傾向を示した。

1.背景

本系群の資源評価は、年齢別漁獲尾数と生物パラメータから資源尾数と漁獲係数を推定する Virtual population analysis (VPA) を使用している。VPA では、ターミナル F (Ft)を何らかの方法で仮定する必要がある、本系群では 6 歳と 7+歳の Ft は等しいと仮定している。一方で、Ft を正確に推定することは難しく、近年の漁獲状況や分布が変化している場合、最近年の Ft の信頼性が低くなる問題がある。近年、COVID-19 の蔓延や魚価の低迷、燃油の高騰などの影響で漁業を取り巻く状況が大きく変化しており、漁獲努力量の減少が懸念されている。このような状態を資源評価に反映させるためには、Ft を資源量の相対的な変化を表すとされる資源量指標値 (CPUE: 単位努力量当たり漁獲量) で補正するチューニング VPA の導入が極めて重要である。

定置網漁業は、旋網や底びき網のように魚群の分布を探して操業する漁業とは異なり、設置した漁具に入網してきたものを漁獲する受動的な漁業である。特にヒラメのような浅海域沿岸域の漁業が主体で漁獲されている種の資源量指標としては適当であると考えられる。一方で、定置網漁具の設置場所が固定されていることから、漁況は季節、漁場（設置場所）、海洋環境の変化による影響が大きく、経営体ごとのばらつきがある。したがって、適切な統計モデルによりそれらの影響を除去する CPUE 標準化は重要であると考えられる (Maunder and Punt 2004; 庄野 2004)。R4 年度、本系群ではゼロキャッチを除いた有漁 CPUE を算出し、資源量指標値とした。しかし、ヒラメは毎操業安定して漁獲される魚ではないため、有漁 CPUE のみでは資源量を過大評価してしまう事が懸念される。そこで、島根県内における大型定置網漁の漁獲データを用い、有漁 CPUE を漁獲確率で補正したデルタ型一般化線形モデルによって資源量指標値を算出する (Lo et al. 1992)。ここで得られるデータには、操業日別・経営体別の水揚げ量（ゼロキャッチを含む）が記録されており、それらの交互作用を含む CPUE の標準化を実施する。

2.方法

(1) 使用データ

CPUE の標準化に関しては、島根県の大形定置網を用いた（以降、島根定置）。島根定置データは、2012～2022 年の 1～12 月におけるヒラメの日別・会社別・海区（石見・隠岐・出雲）別の漁獲量が記録されている。島根定置データにおける標準化の対象は 1 日あたりの漁獲重量 (kg/日) とした。使用した年別の漁獲量とデータ数を表 1 に示す。

(2) 統計モデル

本解析に使用する CPUE はゼロキャッチを含む連続値のため (図 2)、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/日・経営体) 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, カテゴリカル)、月 (Month, カテゴリカル)、経営体 (corp, カテゴリカル)。

カル)、および、年と月、年と経営体の交互作用を用いた。これらの誤差は二項分布に従うと仮定した。昨年度は、沿岸の環境等の変化を考慮するために水温および塩分をモデルに考慮したが、本稿では、年と経営体の交互作用を考慮することで良い細かい操業状況を考慮することとした。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。またフルモデルの説明変数は 1 段階目の有漁確率と同様とした。各モデルのフルモデルは以下である。

有漁確率モデル：

$$r \sim \text{Bin}(1, p)$$

$$\text{logit}(p) = \alpha + \text{factor}(\text{Year}) + \text{factor}(\text{Month}) + \text{factor}(\text{Corp})$$

$$+ \text{factor}(\text{Year}) \times \text{factor}(\text{Month}) + \text{factor}(\text{Year}) \times \text{factor}(\text{Corp})$$

ここで、 r は応答変数、 p は有漁確率、 Bin は二項分布、 α は切片を示す。

有漁 CPUE モデル：

$$\ln \text{CPUE} \sim N(\mu, \sigma^2)$$

$$\mu = \alpha + \text{factor}(\text{Year}) + \text{factor}(\text{Month}) + \text{factor}(\text{Corp})$$

$$+ \text{factor}(\text{Year}) \times \text{factor}(\text{Month}) + \text{factor}(\text{Year}) \times \text{factor}(\text{Corp})$$

ここで、CPUE は有漁時の CPUE、 μ と σ^2 は自然対数変換した有漁時 CPUE の平均と分散、 N は正規分布、 α は切片を示す

(3) 使用データ

ベイズ情報量規準（BIC）を用いた総当たり法により、モデル選択を行った。BIC が最小となるモデル候補をベストモデルとして CPUE 標準化に供した。

(4) モデル診断

有漁確率モデルでは receiver operating characteristic（ROC）曲線下面積（AUC）により有漁か否かの判別性能を、有漁 CPUE モデルでは QQ プロットおよび説明変数に対する残差プロット、クックの距離から残差の正規性・等分散性、外れ値を評価した。

(5) 年トレンドの計算

有漁確率モデル、有漁 CPUE モデルともにベストモデルの推定結果から資源量指数を算出した。まず、各年・各月・各会社のダミーデータ作成し、各変数を均等配置したときの漁獲確率と CPUE の予測値を求めた。次に、各年における漁獲確率と CPUE の予測値を各年で平均し、掛け合わせた値を資源量指標値とした。

(6) 信頼区間の計算

重複を許して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、各計算結果から 95 %信頼区間を推定した。

以上の解析は、すべて R ver. 4.2.3 上で行い、モデルパラメータの計算では glm、モデル選択では MuMIn パッケージの dredge、AUC の計算では PresenceAbsence パッケージを用いた。

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、多重共線性は確認されなかった。

3. 結果と考察

BIC の総当たり法により、有漁確率モデル、有漁 CPUE モデル共に交互作用を除くモデルがベストモデルに選ばれた（表 2）。それぞれのモデルにおけるパラメータ推定結果を付表 1 に示した。モデル診断の結果、有漁確率モデルでは有漁・不漁の判別性能が高く（AUC = 0.75; 図 3）、有漁 CPUE モデルでは残差の正規性・等分散性に大きな問題はみられなかった（図 4、5）。

推定されたヒラメの標準化 CPUE は 2012 年から徐々に増加し、2015 年に最高値となった。2021 年は最低値となったものの、2022 年は微増していることが示された（図 6、7）。有漁 CPUE だけであるとピークは、2017 年となり、2017 年以降の減少傾向も低い傾向にあった。また、2018-2022 の間では、2 段階法で算出した CPUE よりも高い水準で推移していた（図 7）。そのため、2 段階法で算出した結果は、操業は行われたが、漁獲はなかったという情報を反映した結果であると判断された。また、12 月から 5 月にかけて、特に 4 月に漁獲の最盛期となる傾向にあった（図 8）。さらに、水揚げ頻度が定置網によって大きく異ならいことを考えると A 定置網がもっともヒラメを漁獲しており、O 定置網のヒラメ漁獲は多くないと考えられる。また地域ごとにばらつきはあるが、隣り合った定置網の CPUE は近い値になる傾向がみられた（図 8）。

島根県は、南西から北東にかけて緯度方向に広がっている県であり、対馬暖流の影響や勢力を大きく受ける場所であると考えられる。また、隠岐諸島といった離島も有し、定置網設置位置の特徴が大きいと考えられる。今後の課題として、定置網操業場所の解像度を向上し、定置網経営体の特徴を考慮したより精度の高いモデル推定が必要であると考えられる。

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. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* **49**, 2515-2526.
- 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.

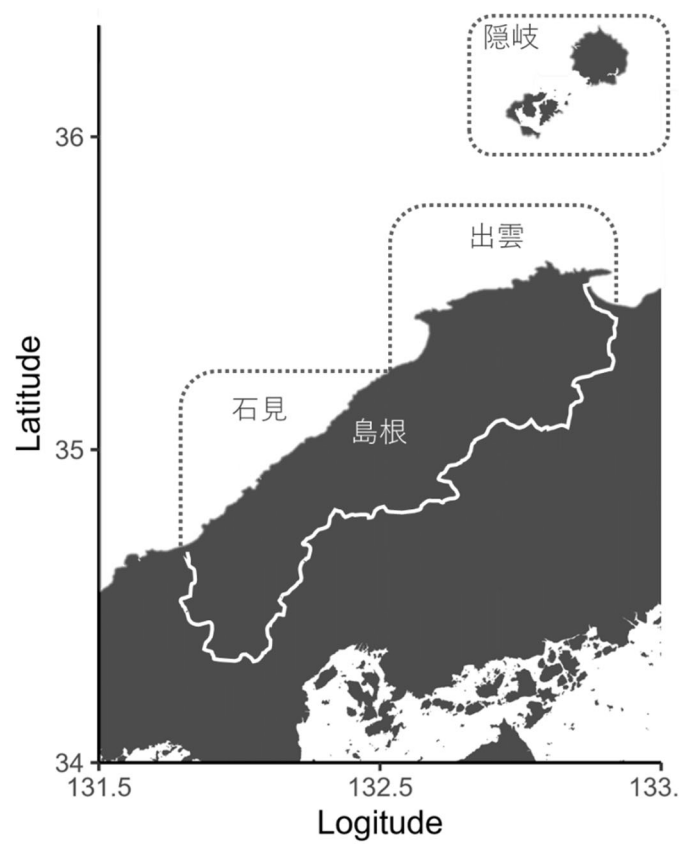


図 1. 島根県の周辺海域図

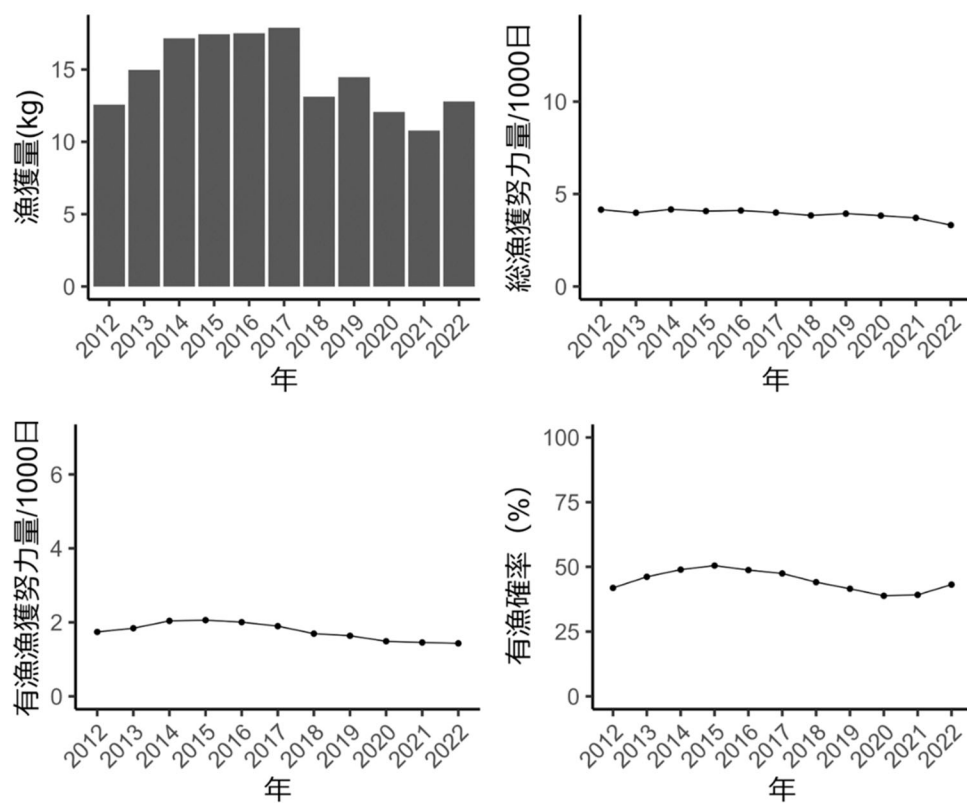


図 2. 島根県大型定置網によるヒラメ漁獲量（左上）、操業日数（右上）、漁獲の合った有漁日数（左下）、ヒラメの有漁獲率（右下）

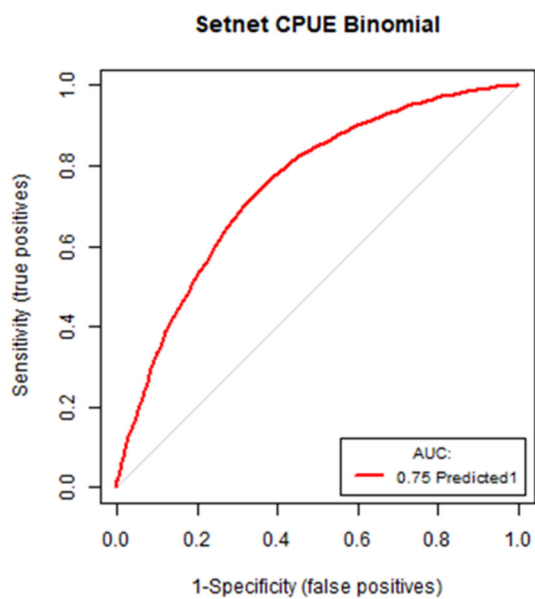


図 3. 有漁確率モデルの ROC 曲線

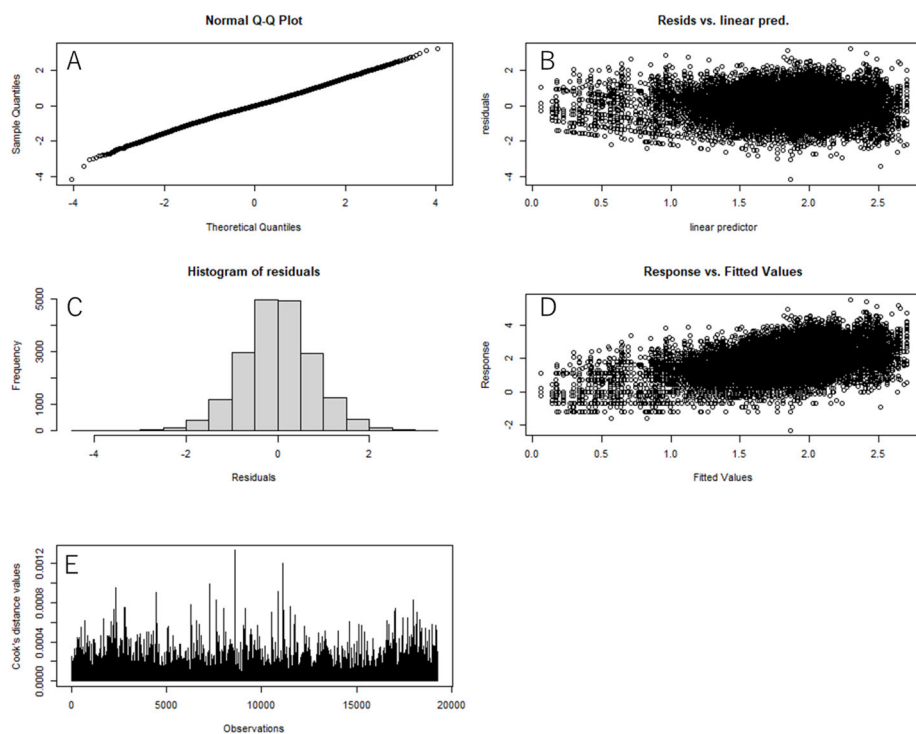


図 4. モデル診断（有漁時 CPUE モデル）の要約図。A 標準化した正規 QQ plot、B 推定値に対する逸脱度残差の分布、C 逸脱度残差の頻度分布、D 推定値に対する標準化残差の分布、E 観察値に対するクックの距離

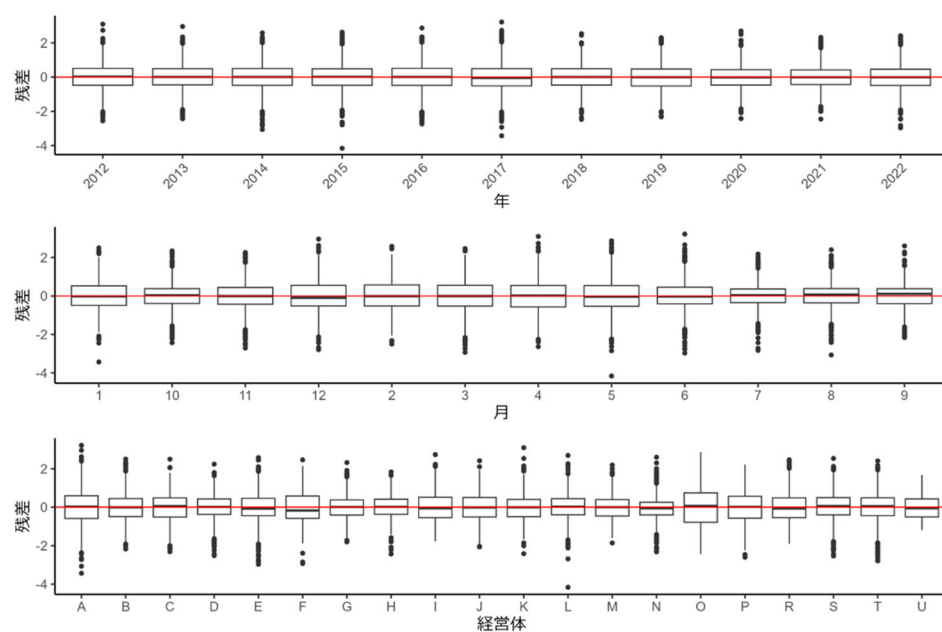


図 5. 各説明変数に対する残差（有漁 CPUE モデル）

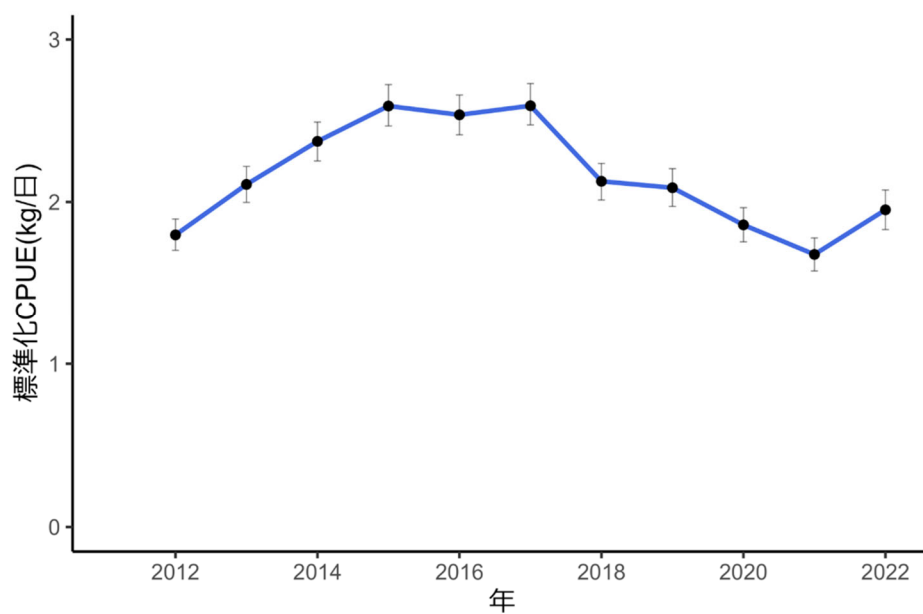


図 6. 95%信頼区間付き標準化 CPUE の年トレンド

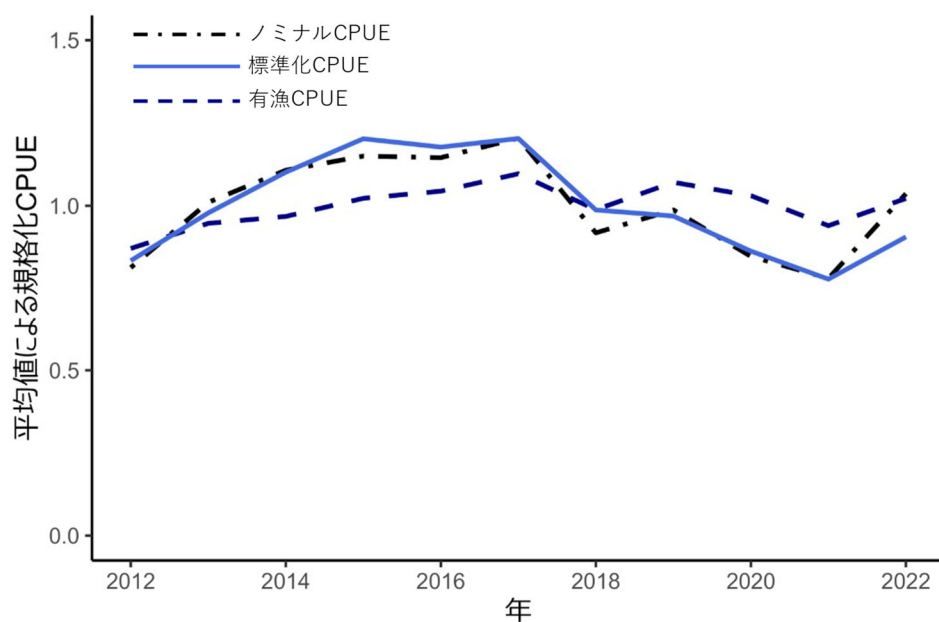


図 7. ノミナル CPUE、標準化 CPUE と有漁 CPUE の比較

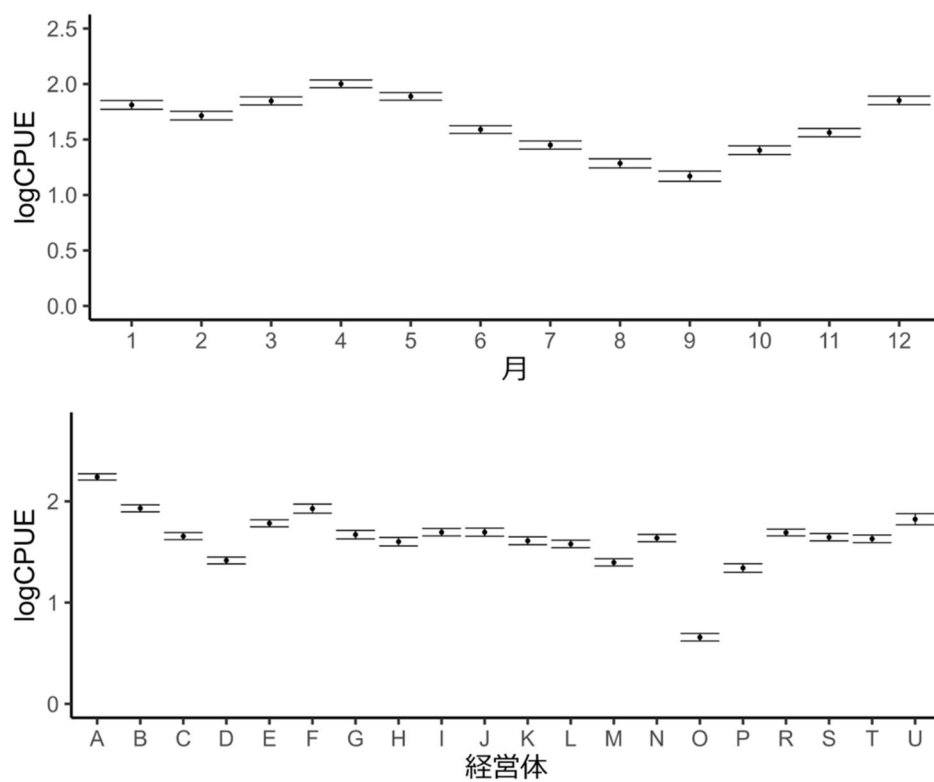


図 8. 年トレンド以外の変数における推定結果

表 1. 年別の操業日数(n)、漁獲量(t)、計算されたヒラメの標準化 CPUE と CV、規格化 CPUE

年	操業日数 n	漁獲量 (t)	標準化 CPUE (kg/tow)	信頼限界 下限 2.5%	信頼限界 上限 97.5%	CV (%)	規格化 CPUE
2012	4,156	13	1.80	1.70	1.90	2.83	0.83
2013	3,986	15	2.11	2.00	2.22	2.72	0.98
2014	4,167	17	2.37	2.25	2.49	2.58	1.10
2015	4,078	17	2.59	2.47	2.72	2.57	1.20
2016	4,111	18	2.54	2.41	2.66	2.49	1.18
2017	3,997	18	2.59	2.47	2.73	2.54	1.20
2018	3,842	13	2.13	2.01	2.24	2.76	0.99
2019	3,942	14	2.09	1.97	2.21	2.87	0.97
2020	3,832	12	1.86	1.75	1.97	2.96	0.86
2021	3,713	11	1.68	1.58	1.78	3.16	0.78
2022	3,319	13	1.95	1.83	2.07	3.15	0.91

表 2. モデル選択の結果 (BIC による上位 5 モデル)

・有漁確率モデル

(Int)	経営体	月	年	年:会社	年:月	df	logLik	BIC	delta	weight
1.32	+	+	+			40	-25392	51221.1	0.0	1.00
1.38	+	+				30	-25575	51480.4	259.3	0.00
1.13	+	+	+		+	150	-25047	51704.9	483.8	0.00
1.64	+	+	+	+		227	-24832	52086.8	865.7	0.00
1.45	+	+	+	+	+	336	-24488	52573.3	1352.2	0.00

・有漁 CPUE モデル

(Int)	経営体	月	年	年:会社	年:月	df	logLik	BIC	delta	weight
2.29	+	+	+			41	-21938	44290.3	0	1.00
2.42	+	+				31	-22005	44325	34.68	0.00
2.15	+	+	+		+	152	-21733	44965.8	675.48	0.00
2.30	+	+	+	+		226	-21447	45133.2	842.85	0.00
2.13	+		+			31	-22739	45784.8	1494.47	0.00

付表 1. ベストモデルの推定パラメータ

Family: binomial					
Link function: logit					
Formula:					
pp ~ corp + factor(month) + factor(year) + 1					
Parametric coefficients:					
	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	1.319759	0.070710	18.664	< 2e-16	***
corpB	-1.051916	0.061325	-17.153	< 2e-16	***
corpC	-1.336886	0.060542	-22.082	< 2e-16	***
corpD	-1.341781	0.058100	-23.094	< 2e-16	***
corpE	-1.272164	0.060767	-20.935	< 2e-16	***
corpF	-2.263189	0.073327	-30.864	< 2e-16	***
corpG	-1.785073	0.071000	-25.142	< 2e-16	***
corpH	-1.491580	0.071667	-20.813	< 2e-16	***
corpI	-1.248817	0.064430	-19.382	< 2e-16	***
corpJ	-1.535745	0.069489	-22.101	< 2e-16	***
corpK	-1.782971	0.065909	-27.052	< 2e-16	***
corpL	-1.149064	0.064294	-17.872	< 2e-16	***
corpM	-1.235481	0.062494	-19.770	< 2e-16	***
corpN	-1.007239	0.064727	-15.561	< 2e-16	***
corpO	-1.483848	0.063326	-23.432	< 2e-16	***
corpP	-1.170426	0.075501	-15.502	< 2e-16	***
corpR	-0.270946	0.063620	-4.259	2.06e-05	***
corpS	-1.217767	0.065487	-18.595	< 2e-16	***
corpT	-2.236733	0.060894	-36.732	< 2e-16	***
corpU	-2.351177	0.088389	-26.600	< 2e-16	***
factor(month)10	-1.171685	0.060144	-19.481	< 2e-16	***
factor(month)11	-0.597652	0.058077	-10.291	< 2e-16	***
factor(month)12	-0.300537	0.062021	-4.846	1.26e-06	***
factor(month)2	0.091556	0.065802	1.391	0.1641	
factor(month)3	0.279181	0.061465	4.542	5.57e-06	***
factor(month)4	0.869096	0.059222	14.675	< 2e-16	***
factor(month)5	0.715477	0.057108	12.528	< 2e-16	***

```

factor(month)6    -0.001145    0.055419   -0.021    0.9835
factor(month)7    -0.773813    0.056750  -13.636   < 2e-16 ***
factor(month)8    -1.473229    0.062482  -23.578   < 2e-16 ***
factor(month)9    -1.855046    0.068337  -27.145   < 2e-16 ***
factor(year)2013   0.130849    0.049414   2.648    0.0081 **
factor(year)2014   0.308558    0.048968   6.301 2.95e-10 ***
factor(year)2015   0.372433    0.049143   7.578 3.50e-14 ***
factor(year)2016   0.290797    0.048974   5.938 2.89e-09 ***
factor(year)2017   0.239306    0.049443   4.840 1.30e-06 ***
factor(year)2018   0.072071    0.050029   1.441    0.1497
factor(year)2019  -0.093375    0.049804  -1.875    0.0608 .
factor(year)2020  -0.215495    0.050401  -4.276 1.91e-05 ***
factor(year)2021  -0.232475    0.050815  -4.575 4.76e-06 ***
factor(year)2022  -0.126396    0.051933  -2.434    0.0149 *
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) =  0.183   Deviance explained = 14.4%
UBRE =  0.179   Scale est. = 1           n = 43143

```

有漁 CPUE モデル

Family: gaussian

Link function: identity

Formula:

log(catch_kg) ~ corp + factor(month) + factor(year) + 1

Parametric coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	2.28509	0.03245	70.420	< 2e-16 ***
corpB	-0.30957	0.02706	-11.439	< 2e-16 ***
corpC	-0.58489	0.02750	-21.266	< 2e-16 ***
corpD	-0.82482	0.02593	-31.807	< 2e-16 ***
corpE	-0.45803	0.02712	-16.888	< 2e-16 ***
corpF	-0.31281	0.03932	-7.956	1.88e-15 ***
corpG	-0.56992	0.03598	-15.839	< 2e-16 ***
corpH	-0.63931	0.03529	-18.114	< 2e-16 ***
corpI	-0.54611	0.02933	-18.618	< 2e-16 ***
corpJ	-0.54571	0.03360	-16.240	< 2e-16 ***
corpK	-0.63040	0.03257	-19.354	< 2e-16 ***
corpL	-0.66202	0.02968	-22.303	< 2e-16 ***
corpM	-0.84417	0.02833	-29.799	< 2e-16 ***
corpN	-0.60336	0.02867	-21.048	< 2e-16 ***
corpO	-1.58277	0.02993	-52.884	< 2e-16 ***
corpP	-0.89879	0.03605	-24.933	< 2e-16 ***
corpR	-0.54913	0.02533	-21.676	< 2e-16 ***
corpS	-0.59513	0.02986	-19.928	< 2e-16 ***
corpT	-0.61064	0.03088	-19.773	< 2e-16 ***
corpU	-0.41784	0.05104	-8.186	2.86e-16 ***
factor(month)10	-0.40845	0.03314	-12.323	< 2e-16 ***
factor(month)11	-0.24951	0.03046	-8.192	2.73e-16 ***
factor(month)12	0.04034	0.03180	1.268	0.204654
factor(month)2	-0.09650	0.03245	-2.974	0.002944 **
factor(month)3	0.03564	0.02988	1.193	0.232946
factor(month)4	0.18981	0.02764	6.868	6.72e-12 ***
factor(month)5	0.07684	0.02723	2.822	0.004781 **

```

factor(month)6    -0.22191    0.02791   -7.950 1.96e-15 ***
factor(month)7    -0.36184    0.03017  -11.992 < 2e-16 ***
factor(month)8    -0.52675    0.03552  -14.831 < 2e-16 ***
factor(month)9    -0.64234    0.04073  -15.772 < 2e-16 ***
factor(year)2013   0.08340    0.02529    3.297 0.000977 ***
factor(year)2014   0.10525    0.02474    4.254 2.11e-05 ***
factor(year)2015   0.16023    0.02469    6.491 8.76e-11 ***
factor(year)2016   0.18113    0.02483    7.296 3.08e-13 ***
factor(year)2017   0.23026    0.02518    9.145 < 2e-16 ***
factor(year)2018   0.12608    0.02596    4.857 1.20e-06 ***
factor(year)2019   0.20646    0.02616    7.893 3.11e-15 ***
factor(year)2020   0.16799    0.02685    6.257 4.00e-10 ***
factor(year)2021   0.07594    0.02697    2.815 0.004879 **
factor(year)2022   0.15980    0.02716    5.884 4.07e-09 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) =  0.22   Deviance explained = 22.2%
GCV = 0.57201   Scale est. = 0.57079    n = 19286

```