

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
 鹿児島県東シナ海北部海域の刺網で漁獲されるヒラメの CPUE 標準化

増渕隆仁¹・下瀬環¹・井関智明¹・吉田悠馬²

1、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、2、鹿児島県水産技術開発センター

概要

データ	鹿児島県刺網網漁業データ(日別・経営体別漁獲量)
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	2013 年～2022 年
標準化に使用した期間	2013 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)、ggplot2(図示)を使用
統計モデル	対数 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 CPUE モデル:年+月+年×月(カテゴリ・固定)+年×経営体(カテゴリ・ランダム)
ベストモデルの選択方法	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 CPUE モデル:年+月+年×経営体(カテゴリ・ランダム)
年トレンドの抽出方法	対数 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	CPUE はほぼ横ばいで推移し、2021 年に最高値となった。2022 年は、2021 年と比較すると減少したが、2014 年と同様の値を示した。

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、 F_t 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 F_t 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、 F_t 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。

刺網漁業は、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、設置した漁具にら網されたものを漁獲する半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、漁況は季節、海洋環境の変化による影響が大きく、年ごとに漁業者ごとのばらつき（漁場のばらつき、浸水時間等、操業時期）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)。そこで、鹿児島県北部漁協における刺網漁の漁獲データを用い、漁船の効果をランダム効果として取り込んだ一般化線形混合モデルによって資源量指標値を算出する。ここで得られるデータには、操業日別・漁船別の水揚げ量が記録されており、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、鹿児島県北部海域の刺網データを用いた（以降、鹿児島刺網）。鹿児島刺網データは、2013～2022 年の 1～12 月におけるヒラメの日別・経営体別の漁獲量が記録されている。鹿児島刺網データにおける標準化の対象は 1 日あたり経営体別の漁獲重量 (kg/日) とした (図 1)。使用した年別の漁獲量と操業日数を表 1 に示す。

(2) 統計モデル

鹿児島刺網データは、有漁漁獲情報のみであるため漁獲があったときの CPUE の値を応答変数とした一般化線形混合モデルを使って標準化した。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、年 (Year)、月 (Month)、年と月の交互作用、ランダム効果として年と経営体 ID (corp) の交互作用を用いた。各モデルのフルモデルは以下である。

有漁 CPUE モデル：

$$\begin{aligned}\varepsilon_{ij} &\sim N(0, \sigma^2) \\ \alpha_i &\sim N(0, \sigma^2_{year-corp})\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\ln CPUE_{ij} = & factor(Year_{ij}) + factor(Month_{ij}) + factor(Year_{ij}) \cdot factor(Month_{ij}) + \alpha_i \\ & + \varepsilon_{ij}\end{aligned}$$

ここで、 $\ln\text{CPUE}$ は日ごとの自然対数変換した CPUE の平均、 N は正規分布、 α はランダム効果、 ε は誤差項を示す。

(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

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

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・各漁船のダミーデータ作成し、各変数を均等配置したときの CPUE の予測値を求め、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 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

漁獲量は阿久根が最も多く、次いで黒之浜、東町、川内と続く (図 2)。2022 は、2013 年と比較すると半分ほどの漁獲となっていた。また、漁協別の操業日数は右肩下がりに減少傾向にあった (図 2)

BIC の総当たり法により、固定効果として考慮した交互作用項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、残差の正規性・等分散性、外れ値に大きな問題はみられなかった (図 3、4)。

推定されたヒラメの標準化 CPUE はほぼ横ばいで推移した。2014 年と 2021 年に CPUE の増加がみられたが、その変化は小さく、2022 年の CPUE は 2016-2019 年の値と同等であった (図 5、6)。また、1 月から 3 月にかけて漁獲の最盛期となる傾向にあった (図 7)。

また、予備的な検討になるが、経営体のみをランダム効果としてモデル内で考慮した場合の BIC および逸脱度残差の説明度 (explained deviance) を算出した (Zuur et al. 2009、付表 2)。結果、年と経営体の交互作用をランダム効果として考慮したモデルの方が、BIC、逸脱度残差の説明度ともにパフォーマンスが良いことが明らかとなった。

本来であれば操業ごとに刺網の浸水時間や設置位置や目合いの大きさ、季節的な狙いの変化などによって漁業状況は大きく異なると考えられるが、そのような情報を得ることは現実的に困難であるため、上記のばらつきを経営体と年の効果で説明させ、ランダム効果としてモデルに取り込んだ。今後の課題として、銘柄ごとの CPUE 算出等を行い、市場測定データと統合することや狙い操業等の抽出などの計算を行い、年齢層を考慮した CPUE 算出が望ましいと考えられた。

3. 引用文献

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

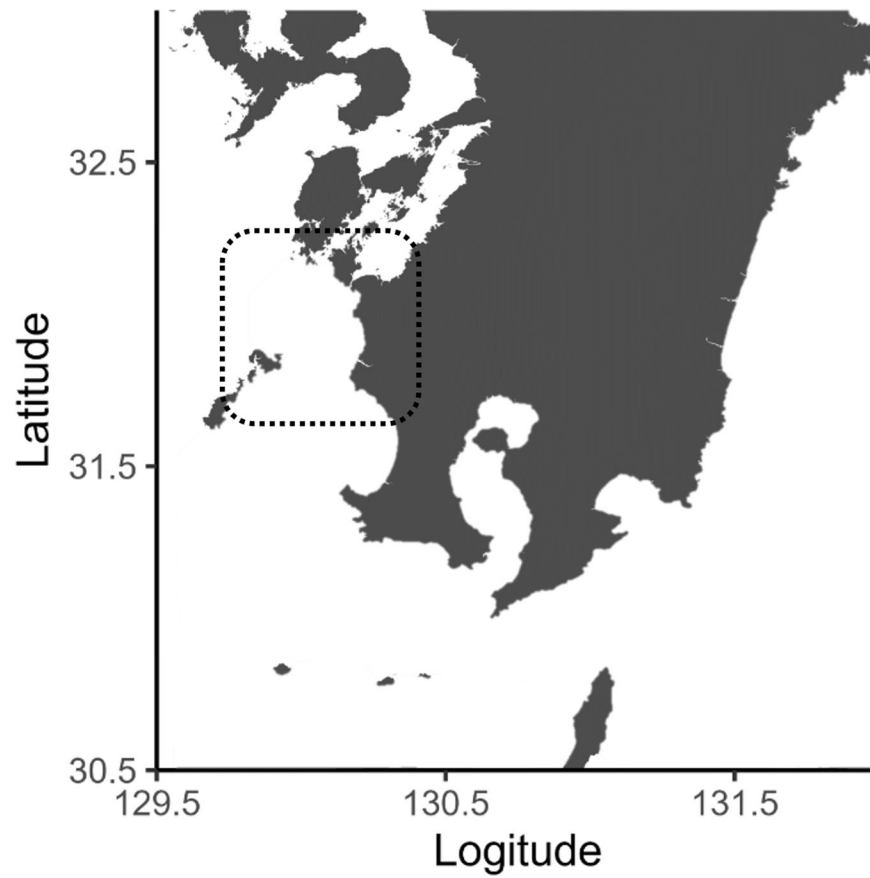


図 1. 鹿児島県の周辺海域図。

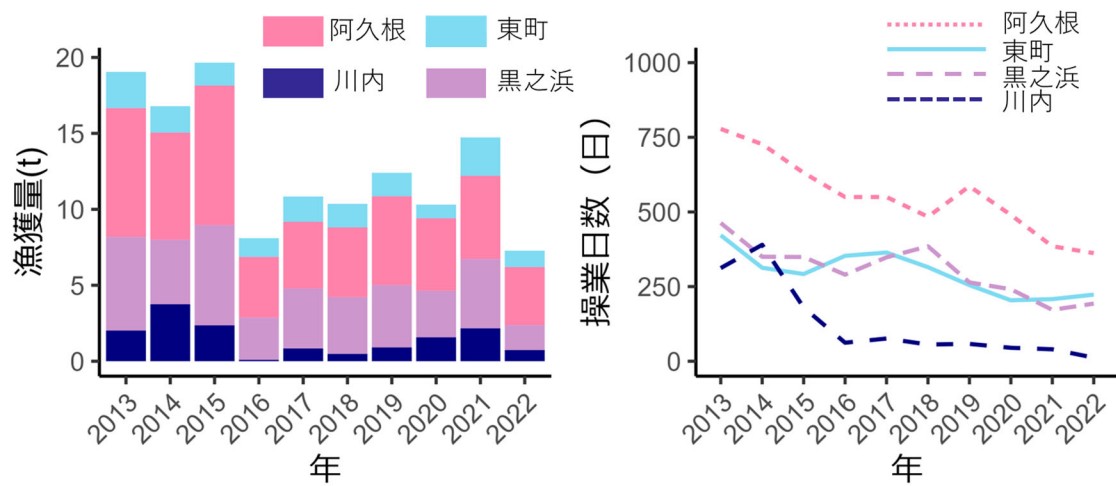


図 2. 鹿児島県北部海域の刺網による漁協別ヒラメ漁獲量（左）、漁協別ヒラメの有漁努力量（右）

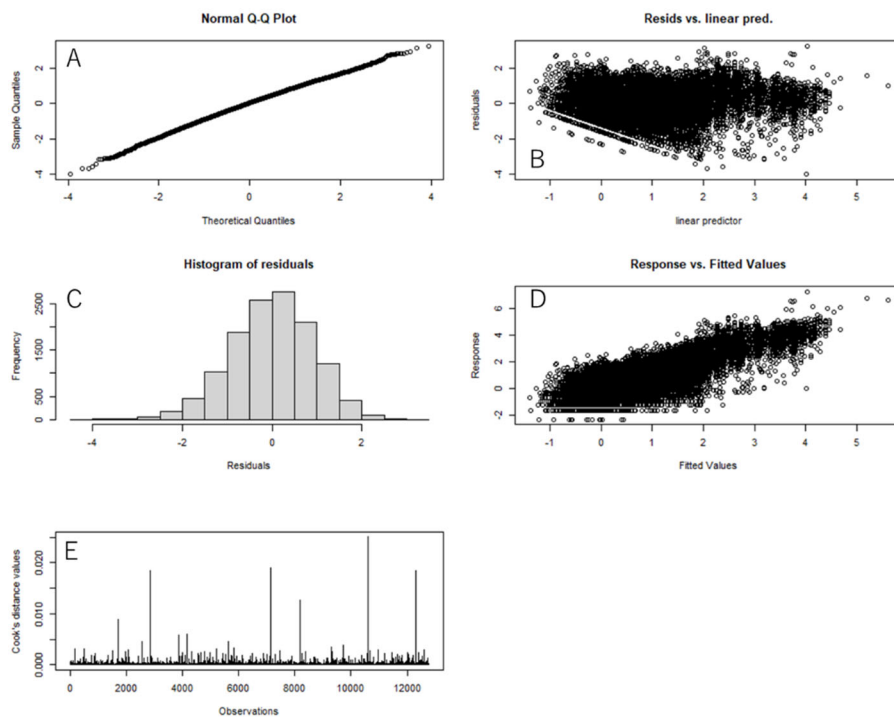


図 3. モデル診断（有漁時 CPUE モデル）の要約図。A：標準化した正規 QQ plot、B:推定値に対する逸脱度残差の分布、C:逸脱度残差の頻度分布、D:推定値に対する標準化残差の分布、E:観察値に対するクックの距離

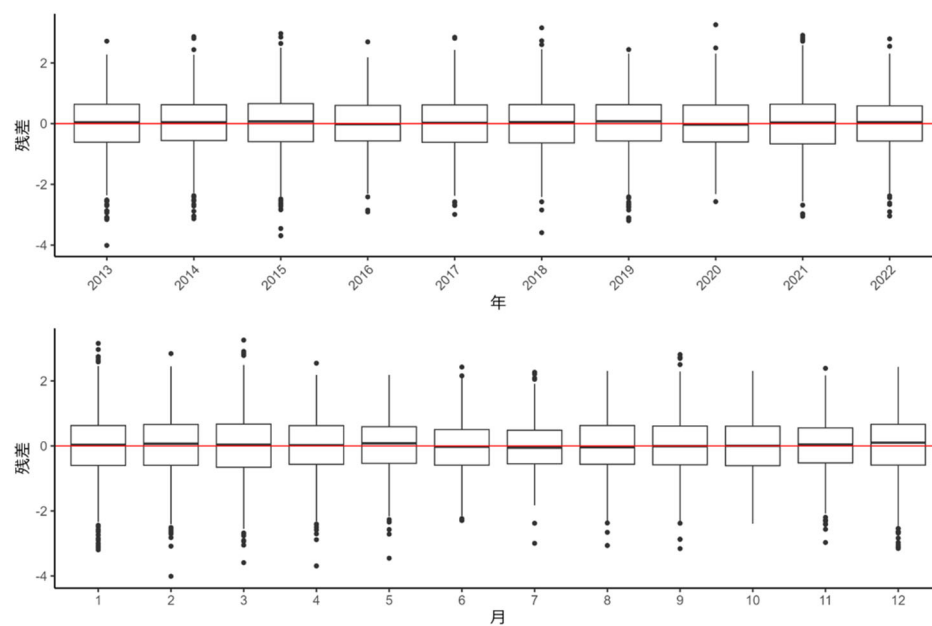


図 4. 各説明変数に対する残差

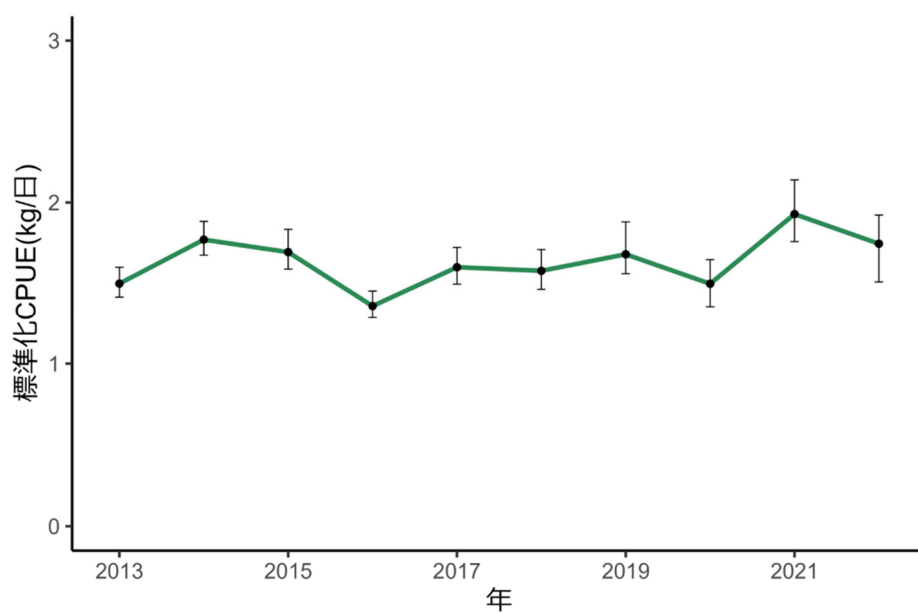


図 5. 標準化 CPUE の年トレンド。エラーバーは 95%信頼区間を示す。

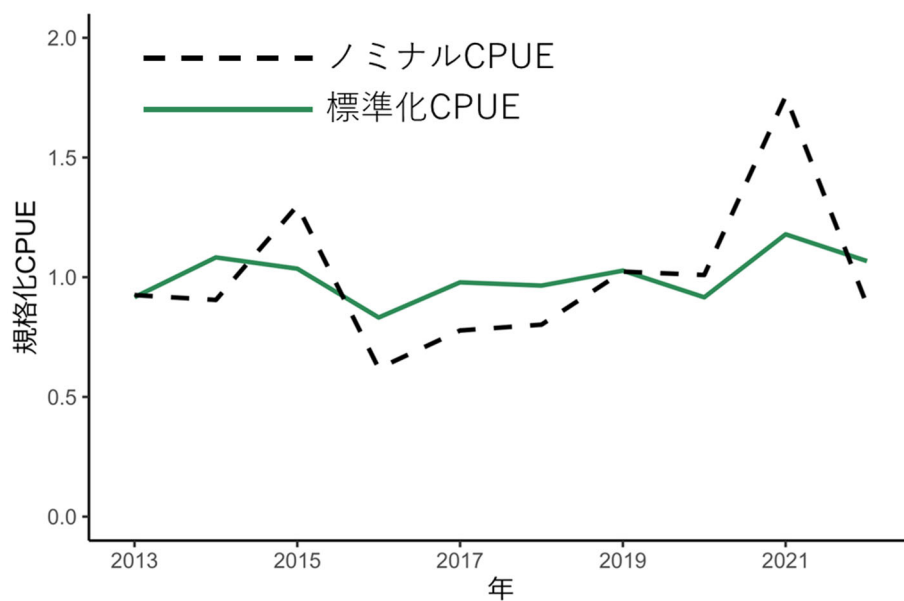


図 6. ノミナル CPUE と標準化 CPUE の比較

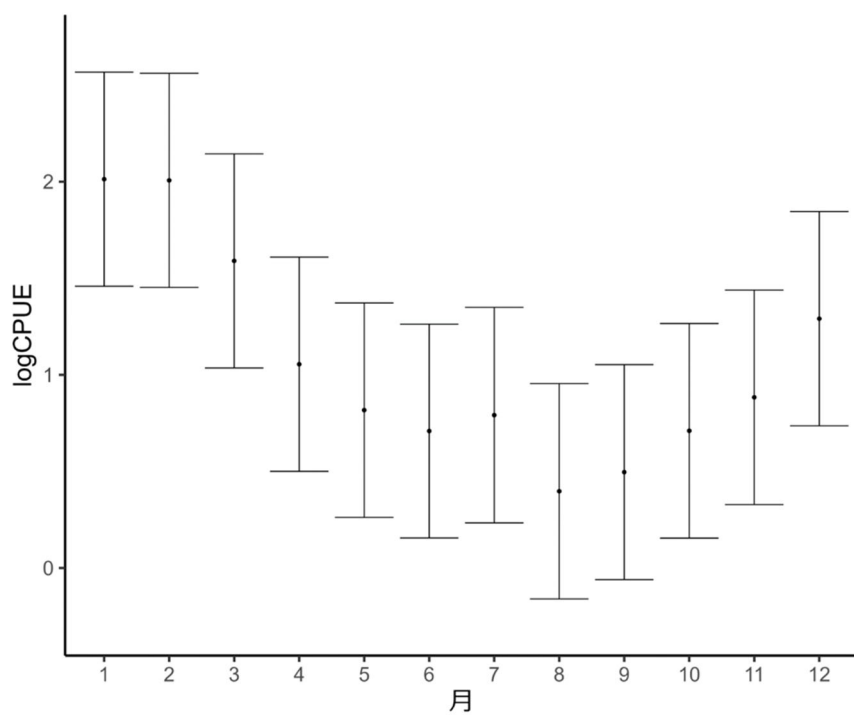


図 7. 年トレンド以外の変数における推定結果

表 1. 年別操業日数(日)、漁獲量(kg)、計算されたヒラメの年別標準化 CPUE と CV、規格化 CPUE

年	操業日数 (日)	漁獲量 (t)	標準化 CPUE (kg/日)	信頼限界 下限 2.5%	信頼限界 上限 97.5%	CV (%)	規格化 CPUE
2013	1975	19.05	1.50	1.42	1.60	3.26	0.92
2014	1780	16.79	1.77	1.67	1.88	3.30	1.08
2015	1452	19.65	1.69	1.59	1.83	4.00	1.04
2016	1255	8.10	1.36	1.28	1.45	3.26	0.83
2017	1338	10.84	1.60	1.50	1.72	4.03	0.98
2018	1240	10.36	1.58	1.46	1.71	4.10	0.96
2019	1163	12.40	1.68	1.56	1.88	4.93	1.03
2020	980	10.31	1.50	1.36	1.65	5.20	0.92
2021	805	14.73	1.93	1.76	2.14	5.10	1.18
2022	790	7.27	1.75	1.51	1.92	5.89	1.07

表 2. モデル選択の結果 (BIC による上位 5 モデル)

(Int)	月	年	年:経営体("re")	年:月	df	logLik	BIC	delta	weight
1.35	+	+	+		905	-16951	42464	0	1.00
1.60	+	+			21	-21296	42800	337	0.00
1.49	+	+	+	+	1005	-16790	43090	627	0.00
1.84	+	+		+	120	-21182	43509	1045	0.00
0.71		+	+		882	-18277	44895	2432	0.00

付表 1. ベストモデルの推定パラメータ

```

Family: gaussian
Link function: identity

Formula:
log(catch) ~ factor(month) + factor(year) + s(year_cid, bs = "re") + 1

Parametric coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    1.3540813   0.0833940   16.237  <2e-16 ***
factor(month)2 -0.0061788   0.0281567    -0.219   0.8263
factor(month)3 -0.4229018   0.0305249  -13.854  <2e-16 ***
factor(month)4 -0.9579785   0.0373085  -25.677  <2e-16 ***
factor(month)5 -1.1956262   0.0431582  -27.703  <2e-16 ***
factor(month)6 -1.3036938   0.0510905  -25.517  <2e-16 ***
factor(month)7 -1.2213998   0.0698360  -17.490  <2e-16 ***
factor(month)8 -1.6153815   0.0656126  -24.620  <2e-16 ***
factor(month)9 -1.5164671   0.0549725  -27.586  <2e-16 ***
factor(month)10 -1.3024510   0.0462266  -28.175  <2e-16 ***
factor(month)11 -1.1292489   0.0418238  -27.000  <2e-16 ***
factor(month)12 -0.7222049   0.0350422  -20.610  <2e-16 ***
factor(year)2014  0.1665812   0.1168864    1.425   0.1541
factor(year)2015  0.1220916   0.1206258    1.012   0.3115
factor(year)2016 -0.0971995   0.1231188   -0.789   0.4298
factor(year)2017  0.0654520   0.1273813    0.514   0.6074
factor(year)2018  0.0513877   0.1299070    0.396   0.6924
factor(year)2019  0.1141450   0.1342677    0.850   0.3953
factor(year)2020 -0.0005817   0.1403772   -0.004   0.9967
factor(year)2021  0.2519451   0.1436898    1.753   0.0796 .
factor(year)2022  0.1522484   0.1456914    1.045   0.2960
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:
              edf Ref.df      F p-value
s(year_cid) 883.5  1157 9.199  <2e-16 ***

```

```

---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) =  0.591   Deviance explained =   62%
GCV = 0.9628   Scale est. = 0.89465   n = 12778

```

付表 2. 経営体のみをランダム効果とした場合の推定パラメータ

```

Family: gaussian
Link function: identity

Formula:
log(catch) ~ factor(month) + factor(year) + s(c_id, bs = "re") + 1

Parametric coefficients:

```

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	1.35732	0.05976	22.713	< 2e-16 ***
factor(month)2	-0.04561	0.02822	-1.616	0.10602
factor(month)3	-0.43226	0.03040	-14.220	< 2e-16 ***
factor(month)4	-0.92873	0.03713	-25.012	< 2e-16 ***
factor(month)5	-1.15967	0.04278	-27.108	< 2e-16 ***
factor(month)6	-1.27256	0.05065	-25.127	< 2e-16 ***
factor(month)7	-1.17898	0.06941	-16.986	< 2e-16 ***
factor(month)8	-1.57900	0.06538	-24.153	< 2e-16 ***
factor(month)9	-1.50866	0.05442	-27.721	< 2e-16 ***
factor(month)10	-1.27354	0.04590	-27.743	< 2e-16 ***
factor(month)11	-1.10032	0.04147	-26.530	< 2e-16 ***
factor(month)12	-0.66673	0.03445	-19.352	< 2e-16 ***
factor(year)2014	0.16058	0.03342	4.805	1.56e-06 ***
factor(year)2015	0.04918	0.03574	1.376	0.16886
factor(year)2016	-0.17335	0.03777	-4.589	4.49e-06 ***
factor(year)2017	-0.11567	0.03722	-3.108	0.00189 **
factor(year)2018	-0.09619	0.03811	-2.524	0.01161 *
factor(year)2019	-0.08830	0.03899	-2.265	0.02356 *
factor(year)2020	-0.03078	0.04126	-0.746	0.45569
factor(year)2021	0.06555	0.04382	1.496	0.13474
factor(year)2022	-0.04816	0.04494	-1.072	0.28389

```
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Approximate significance of smooth terms:
      edf Ref.df      F p-value
s(c_id) 224.8   307 29.83 <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

R-sq.(adj) =  0.563   Deviance explained = 57.2%
GCV = 0.97348   Scale est. = 0.95475    n = 12778
```