

令和 5（2023）年度キダイ日本海・東シナ海系群の資源評価
日本海に分布するキダイの CPUE 標準化（2022 年データによる更新）

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
酒井 猛・増淵隆仁

概略

データ	沖底 2 そう漁獲成績報告書における日別・漁船別・農林漁区別漁獲量と網数。水深は ETOPO1 global relief model から取得。
標準化の対象	1 網あたりの漁獲重量 (kg/網)
データが利用可能な期間	1993～2022 年 1～12 月
標準化に使用した期間	1993～2022 年 1～12 月
データのフィルタリング	キダイが主に分布する水深帯（100～250 m）を対象とし、入力ミスと見られる緯度経度のデータを削除（全体の 97%を使用）。
統計ソフト・パッケージ	R ver. 4.3.1 を用いて計算。モデルパラメータの計算では glm、モデル選択では MuMIn パッケージ内の dredge、ROC 曲線下面積（AUC）の計算には PresenceAbsence 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 データに対しては二項分布を適用して有漁確率を計算し（有漁確率モデル）、有漁データに対しては対数正規分布を適用し、CPUE を計算する（有漁 CPUE モデル）。
フルモデルで導入した説明変数	有漁確率モデル： 年、季節、海区、水深（固定効果、すべてカテゴリーカル変数） 有漁 CPUE モデル： 年、季節、海区、水深（固定効果、すべてカテゴリーカル変数）
説明変数に関する補足	海区は東経 129 度 30 分の東西で 2 つに分割（図 1）。 季節は 1～12 月を 4 等分、水深は 25 m ごとに区分することでカテゴリー化。
ベストモデルの選択方法	dredge による総当たり法。情報量規準は BIC を使用
年トレンドの抽出方法	有漁確率モデルの予測値×有漁 CPUE モデルの予測値。それぞれベストモデルのものを使用。 ベストモデルから各年・各季節・各海区・各水深の予測 CPUE を算出し、年ごと、海区ごとに平均する。その後、1993 年以降に各海区で沖底 2 そうが操業に利用した漁区数により年ご

	とに重み付け平均することで標準化 CPUE を算出。
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、95%信頼区間を計算。
ベストモデル	有漁確率モデル、有漁 CPUE モデルともにフルモデル（表 2）
モデル診断の結果	有漁確率モデルにおける有漁・不漁の判別性能、有漁 CPUE モデルにおける残差の正規性・等分散性に問題なし（図 2、3、4）。
年トレンドの予測結果	標準化 CPUE（期間の平均で規格化した値）は 2014 年まで上昇し、2015 年以降 2018 年までは低下、2019 年より再び上昇した（図 5）。2022 年はわずかに低下した。 1993～2007 年の標準化 CPUE は 2004 年を除きノミナル CPUE よりも低く、2008 年以降は 2015, 2017, 2018 年を除きノミナル CPUE よりも高かった（図 5）。

1. 背景

長期間連続的に収集された漁業データにおける単位努力量あたり漁獲量（CPUE）は、資源量の相対的な指標値として重要である。しかし、漁業は規格化された調査計画に基づいて実施されているわけではないため、ノミナル CPUE は季節、漁場、海洋環境の変化といった漁獲効率に影響を及ぼす要因の影響を強く受けている。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。

本稿は、日本海におけるキダイの CPUE 標準化について、2022 年データを加えて結果を更新したので、その概要を示すものである。日本海での長期間の操業データが利用可能で、日本海西区における漁獲量の 50 %程度を占める浜田以西の 2 そうびき沖合底びき網漁業（沖底 2 そう）のデータを用いた。本データの CPUE は漁獲なし（ゼロキャッチ）を含む連続値のため、デルタ型一般化線形モデルを用いて年トレンドを抽出し、日本海における資源量指標値とした。

2. データと方法

2.1. 使用データ

1993～2022 年の 1～12 月における沖底 2 そう漁獲成績報告書の日別・漁船別・農林漁区（緯度経度 10 分グリッド）別の漁獲量と網数を用いた。本データにおける標準化の対象は 1 網あたりの漁獲重量（kg/網）とした。海洋環境情報として、ETOPO1 global relief model (<https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>) から漁業データの農林漁区中央に最近傍の水深データを切り出して用いた。

2.2. データのフィルタリング

キダイが主に分布する水深帯（100～250 m）を対象とし、入力ミスとみられる緯度・経度のデータを省いた。その結果、全体の 97 %が残ったため、これを CPUE 標準化に供した。

(表 1)。

2.3.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、デルタ型一般化線形モデル (Lo et al. 1992) による解析を行った。0/1 データに対して二項分布の誤差構造を適用して有漁確率を計算し (有漁確率モデル)、有漁データに対しては対数正規分布を適用して CPUE を計算した (有漁 CPUE モデル)。説明変数には、年、季節、海区、水深を固定効果として設定した。海区は、沖底 2 そうの主漁場の変遷を考慮して、東経 129 度 30 分 (対馬東岸付近) の東西で 2 つに分割した (図 1)。説明変数はすべてカテゴリカル変数であり、季節は 1~12 月を 4 等分に区分しカテゴリー化した。これらの説明変数を用いて、最も複雑なモデル (フルモデル) を作成した。フルモデルは次のとおり。

有漁確率モデル：

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

$$\text{logit}(p) = \alpha + \text{factor}(\text{year}) + \text{factor}(\text{Quarter}) + \text{factor}(\text{Area}) + \text{factor}(\text{Depth})$$

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：

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

$$\mu = \alpha + \text{factor}(\text{year}) + \text{factor}(\text{Quarter}) + \text{factor}(\text{Area}) + \text{factor}(\text{Depth})$$

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。

2.4.モデル選択

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。

2.5.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から残差の正規性・等分散性を評価した。

2.6.年トレンドの計算

まず、有漁確率モデルおよび有漁 CPUE モデルのベストモデルから各年・各季節・各海区・各水深・各漁法の予測値を計算し、年・海区ごとに平均した。次に、有漁確率モデルの予測値に有漁 CPUE モデルの予測値をかけ合わせ、それを 1993 年以降に各海区で沖底 2 そうが操業に利用した漁区数によって年ごとに重み付け平均することで、標準化 CPUE の年トレンドを算出した。

2.7.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. 4.3.1 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。

3. 結果

BIC の総当たり法により、有漁確率モデルと有漁 CPUE モデルの双方でフル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は付表 1 に示したとおりである。モデル診断の結果、有漁確率モデルでは有漁か否かの判別性能が高く（AUC = 0.69; 図 2）、有漁 CPUE モデルでは残差の正規性（図 3、Q-Q プロット）および等分散性（図 4）に大きな問題はみられなかった。

標準化 CPUE（1993～2022 年の平均値で規格化した値）は 2014 年まで概ね上昇傾向にあったが、2015 年以降 2018 年までは低下、2019 年より再び上昇した（図 5、表 3）。

標準化 CPUE は、1994～2002 年にはノミナル CPUE よりも低く、2003～2010 年はノミナル CPUE と同様の値を示し、2011 年以降はノミナル CPUE よりも高い年が多くなった（図 5）。これは、全有漁データに占めるノミナル CPUE が高い東経 129 度 30 分以西（海区 1; 付図 1）の有漁データの割合が近年低下したことが（表 1）、年トレンドを計算する際に各海区での 1993 年以降の利用漁区数（海区 1：57、海区 2：87）で重み付け平均することにより、補正された結果と考えられる。

引用文献

Lo, N. C. H., L. D. Jacobson and J. L. Squire (1992) Indices of relative abundance from fish spotter data based on Delta-lognominal models. Can. J. Fish. Aquat. Sci., **49**, 2515-2526.

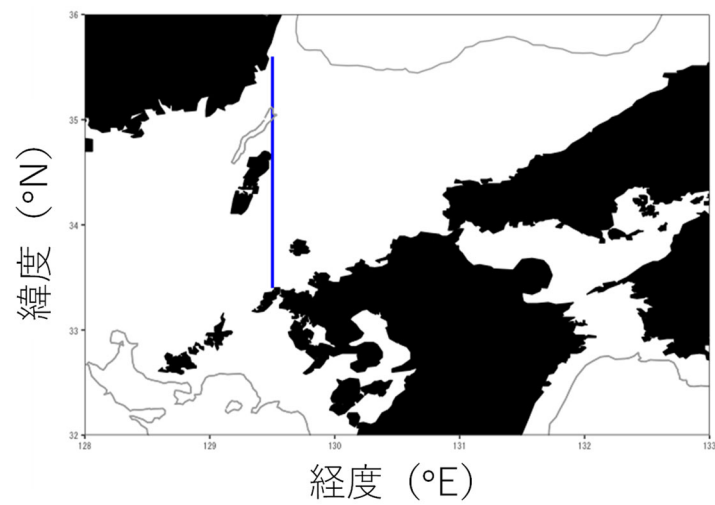


図 1. 海区分け 東経 129 度 30 分以西を海区 1、以東を海区 2 とした。

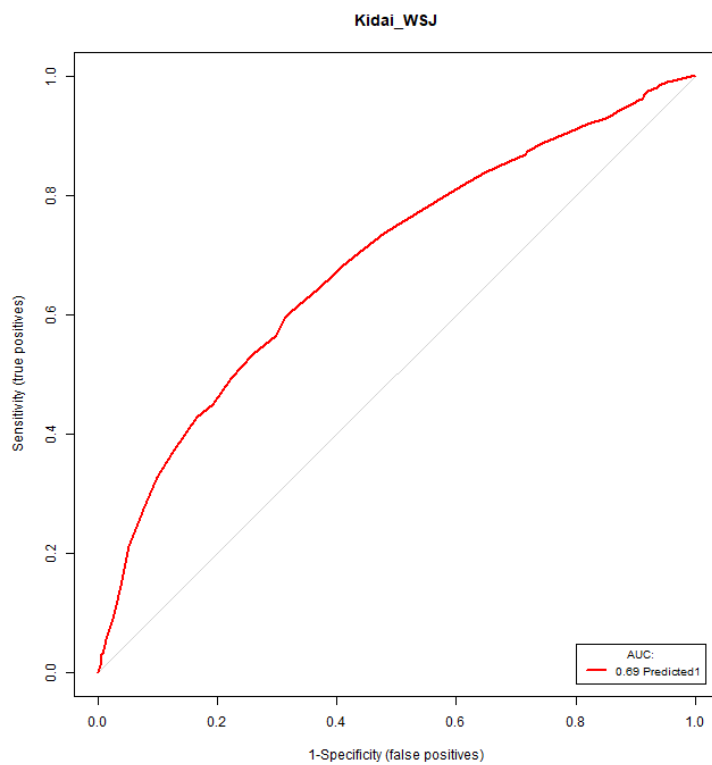


図 2. 有漁確率モデルの ROC 曲線下面積 (AUC)

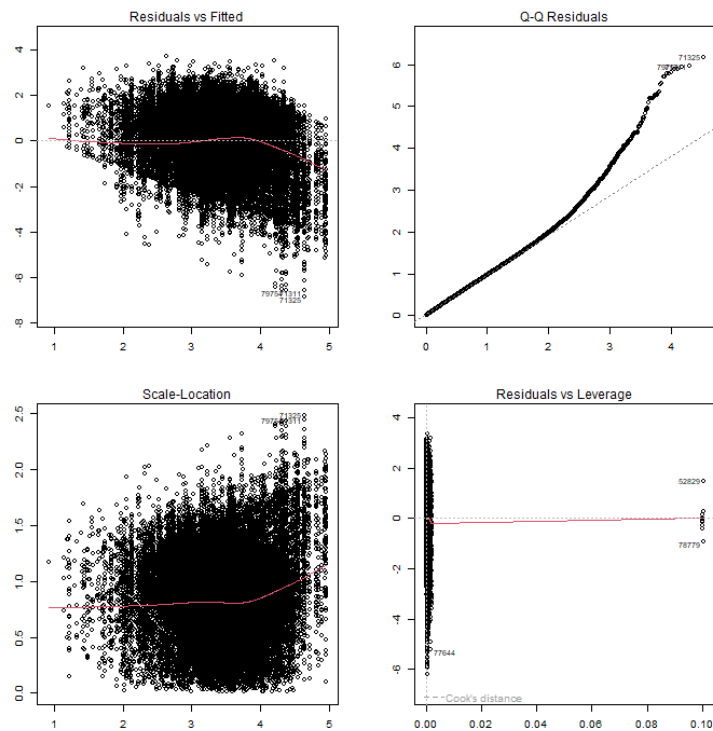


図 3. モデル診断（有漁 CPUE モデル）の要約図 左上：推定値に対する残差の分布、右上：Q-Q プロット、左下：推定値に対する標準化残差の分布、右下：てこ比に対する標準化残差とクックの距離。

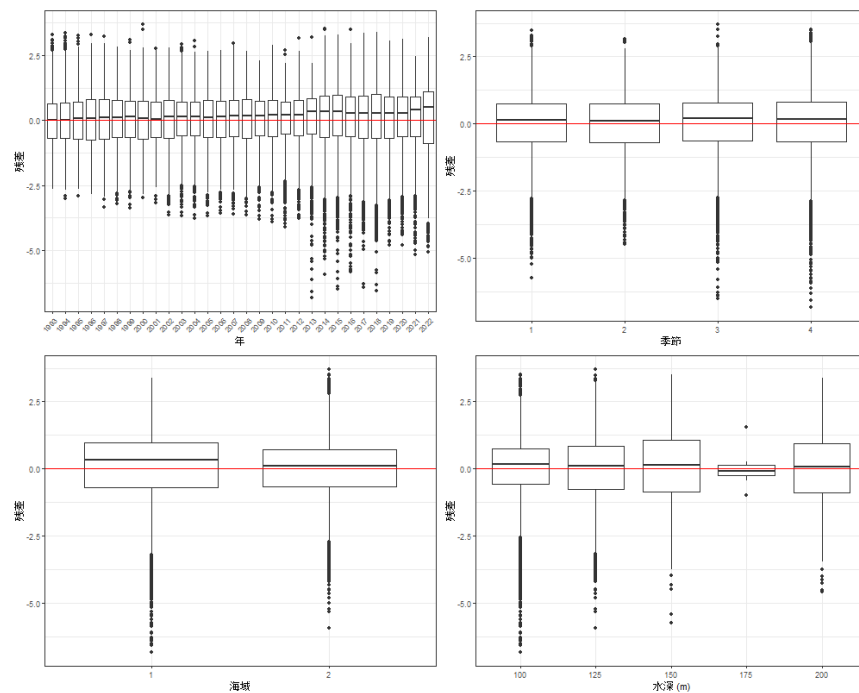


図 4. 各説明変数に対する残差（有漁 CPUE モデル） 季節は 1：1～3 月、2：4～6 月、3：7～9 月、4：10～12 月、海区は、1：東経 129 度 30 分以西、2：東経 129 度 30 分以

東。

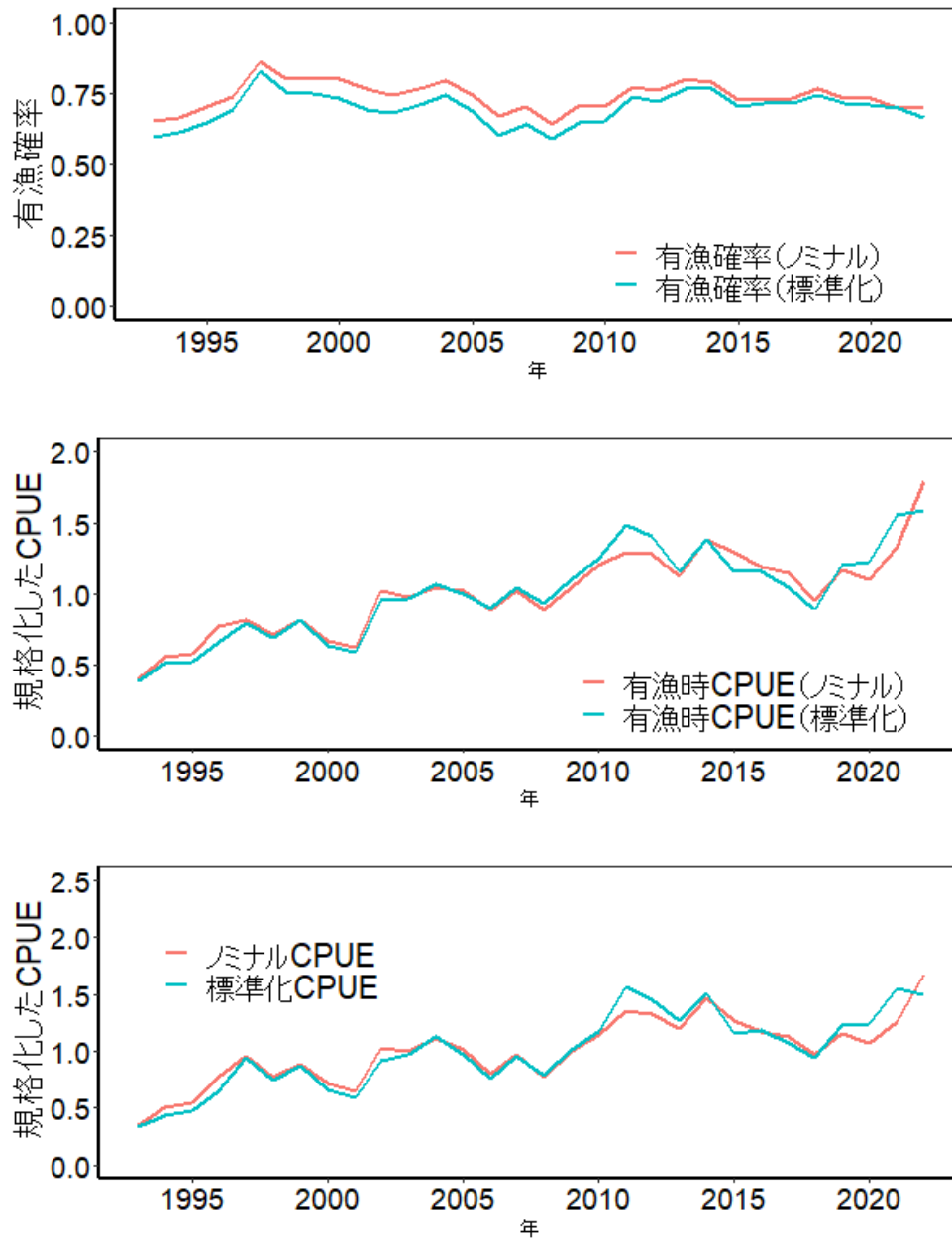


図 5. 標準化した有漁確率（上段）、有漁時の CPUE（中段）、標準化 CPUE（下段）の年トレンド

表 1. 年・海区ごとのデータ数・ノミナル CPUE・有漁時の平均水深

年	東経129度30分以西(海区1)				東経129度30分以东(海区2)			
	データ数	有漁 データ数	ノミナル CPUE (kg/網)	有漁時の平 均水深(m)	データ数	有漁 データ数	ノミナル CPUE (kg/網)	有漁時の平 均水深(m)
1993	1,330	1,202	43.01	132.3	6,409	3,852	8.78	122.6
1994	1,457	1,261	41.52	129.8	5,267	3,220	15.20	121.4
1995	1,279	1,044	34.21	129.6	4,716	3,169	19.57	120.9
1996	999	860	50.42	131.2	4,555	3,246	28.04	120.9
1997	1,064	917	65.83	131.3	4,463	3,860	33.56	121.1
1998	1,160	828	35.03	132.6	3,991	3,297	31.12	120.0
1999	780	631	53.79	133.1	3,950	3,180	33.68	119.3
2000	796	684	63.07	129.0	4,063	3,192	23.41	118.9
2001	605	488	50.79	133.1	4,350	3,318	23.58	119.0
2002	675	551	75.99	130.4	4,178	3,062	37.25	119.8
2003	795	595	76.12	128.2	4,056	3,112	35.10	120.5
2004	873	553	62.89	130.6	3,795	3,149	42.79	120.1
2005	1,072	744	64.22	131.1	3,335	2,532	35.47	118.6
2006	948	497	37.98	134.5	3,153	2,245	31.79	119.3
2007	543	309	47.78	138.1	3,283	2,392	39.30	120.2
2008	730	335	34.22	140.6	2,695	1,866	31.54	121.4
2009	650	340	53.80	132.9	2,551	1,940	38.54	120.9
2010	574	333	59.28	134.9	2,563	1,873	45.15	121.3
2011	629	368	53.49	130.6	2,418	1,987	57.13	120.9
2012	699	413	51.40	132.3	2,421	1,966	56.12	121.2
2013	652	417	56.63	135.6	2,276	1,921	48.40	122.8
2014	645	409	49.36	138.3	2,024	1,693	64.94	123.7
2015	699	375	41.57	141.0	2,073	1,642	56.86	122.1
2016	714	370	27.88	150.8	1,918	1,544	56.52	122.6
2017	784	404	26.22	139.0	1,811	1,500	56.18	123.7
2018	713	406	27.98	135.6	1,800	1,514	45.87	124.6
2019	642	314	26.81	134.3	1,777	1,464	56.10	124.5
2020	488	197	14.20	135.8	1,614	1,337	54.25	125.5
2021	637	245	8.05	146.8	1,174	1,023	76.37	123.8
2022	654	271	10.35	133.1	1,186	1,016	103.42	124.6

表 2. モデル選択の結果 (BIC による上位 10 モデル)

・有漁確率モデル

16	0.963 +	+	+	+	38	-62936	126316	0.0
12	0.958 +	+		+	35	-63003	126415	99.0
15	1.23	+	+	+	37	-63117	126667	351.3
11	1.224	+		+	34	-63176	126749	433.2
8	1.381 +	+	+		9	-63791	127687	1371.4
4	1.376 +	+			6	-63854	127778	1462.2
7	1.633	+	+		8	-63963	128020	1703.9
3	1.627	+			5	-64018	128094	1778.2
14	0.328 +		+	+	34	-66301	132999	6683.2
10	0.292 +			+	31	-66381	133124	6808.0

・有漁 CPUE モデル

	(intercept)	factor(area)	factor(depth)	factor(qt)	factor(year)	df	logLik	BIC	delta
16	3.143 +	+	+	+		39	-132914.3	266272	0
15	2.68	+	+	+		38	-134713.2	269859	3586.4
12	3.224 +	+		+		36	-134751.5	269913	3640.2
11	2.782	+		+		35	-136213	272824	6551.9
14	2.787 +		+	+		35	-136383.6	273166	6893.1
8	3.862 +	+	+			10	-137343.7	274801	8528.8
13	2.484		+	+		34	-137221.4	274830	8557.3
10	2.845 +			+		32	-138076.4	276517	10244.6
7	3.428	+	+			9	-138601.7	277306	11033.3
4	3.909 +	+				7	-138796.4	277673	11400.1

表 3. ノミナル・標準化 CPUE とその CV・95 %信頼区間

年	ノミナル CPUE	標準化 CPUE	CV (%)	2.5%	97.5%
1993	0.35	0.33	6.40	0.31	0.38
1994	0.50	0.44	5.66	0.42	0.50
1995	0.54	0.48	3.79	0.46	0.52
1996	0.77	0.64	1.73	0.62	0.67
1997	0.95	0.95	6.88	0.81	1.00
1998	0.77	0.74	3.25	0.68	0.77
1999	0.89	0.87	3.27	0.81	0.90
2000	0.72	0.66	2.27	0.63	0.69
2001	0.64	0.58	2.00	0.56	0.61
2002	1.02	0.92	2.53	0.89	0.97
2003	1.00	0.98	1.88	0.94	1.01
2004	1.11	1.13	2.73	1.06	1.18
2005	1.02	0.97	2.11	0.93	1.02
2006	0.80	0.76	6.16	0.72	0.88
2007	0.97	0.95	4.02	0.91	1.05
2008	0.77	0.78	7.45	0.73	0.92
2009	1.00	1.01	3.70	0.96	1.11
2010	1.14	1.16	2.98	1.10	1.27
2011	1.35	1.56	2.61	1.46	1.64
2012	1.32	1.45	2.62	1.37	1.51
2013	1.20	1.26	3.98	1.14	1.33
2014	1.46	1.51	4.32	1.36	1.60
2015	1.27	1.15	3.28	1.08	1.23
2016	1.17	1.18	3.52	1.10	1.24
2017	1.13	1.06	3.39	1.00	1.13
2018	0.98	0.95	4.23	0.86	1.01
2019	1.16	1.22	3.20	1.14	1.30
2020	1.08	1.25	3.45	1.16	1.32
2021	1.25	1.55	4.44	1.43	1.67
2022	1.68	1.50	5.03	1.37	1.66

CPUE は、各年の値を 1993～2022 年の平均で規格化した値。

付表 1. ベストモデルの推定パラメータ
有漁確率モデル

Call:

```
glm(formula = kidai_pa ~ factor(year) + factor(qt) + factor(depthc) +  
    factor(area), family = binomial, data = data2)
```

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	0.96295	0.03122	30.845	< 2e-16	***
factor(year)1994	0.05048	0.03654	1.381	0.16715	
factor(year)1995	0.21014	0.03839	5.473	4.42e-08	***
factor(year)1996	0.41010	0.04013	10.220	< 2e-16	***
factor(year)1997	1.18809	0.04720	25.171	< 2e-16	***
factor(year)1998	0.72507	0.04380	16.553	< 2e-16	***
factor(year)1999	0.68687	0.04522	15.190	< 2e-16	***
factor(year)2000	0.59867	0.04429	13.516	< 2e-16	***
factor(year)2001	0.42090	0.04264	9.871	< 2e-16	***
factor(year)2002	0.36438	0.04196	8.685	< 2e-16	***
factor(year)2003	0.48798	0.04272	11.422	< 2e-16	***
factor(year)2004	0.66692	0.04470	14.919	< 2e-16	***
factor(year)2005	0.39115	0.04346	9.001	< 2e-16	***
factor(year)2006	0.01588	0.04254	0.373	0.70897	
factor(year)2007	0.19501	0.04435	4.397	1.10e-05	***
factor(year)2008	-0.03025	0.04469	-0.677	0.49856	
factor(year)2009	0.20927	0.04741	4.414	1.01e-05	***
factor(year)2010	0.24312	0.04742	5.127	2.94e-07	***
factor(year)2011	0.63147	0.05110	12.357	< 2e-16	***
factor(year)2012	0.55675	0.05009	11.114	< 2e-16	***
factor(year)2013	0.79260	0.05359	14.789	< 2e-16	***
factor(year)2014	0.80000	0.05495	14.560	< 2e-16	***
factor(year)2015	0.45669	0.05094	8.965	< 2e-16	***
factor(year)2016	0.52091	0.05245	9.932	< 2e-16	***
factor(year)2017	0.51777	0.05279	9.809	< 2e-16	***
factor(year)2018	0.68496	0.05476	12.509	< 2e-16	***
factor(year)2019	0.52016	0.05401	9.631	< 2e-16	***
factor(year)2020	0.50651	0.05684	8.911	< 2e-16	***
factor(year)2021	0.43510	0.06001	7.250	4.16e-13	***
factor(year)2022	0.28843	0.05903	4.886	1.03e-06	***
factor(qt)2	0.07951	0.02006	3.964	7.36e-05	***
factor(qt)3	0.06337	0.02136	2.967	0.00301	**

factor(qt)4	-0.12036	0.01722	-6.988	2.78e-12	***
factor(depthc)125	-1.01391	0.01460	-69.434	< 2e-16	***
factor(depthc)150	-1.92502	0.04633	-41.554	< 2e-16	***
factor(depthc)175	0.64800	1.05267	0.616	0.53817	
factor(depthc)200	-1.59295	0.04208	-37.859	< 2e-16	***
factor(area)2	0.34740	0.01801	19.287	< 2e-16	***

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

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 135328 on 118150 degrees of freedom
 Residual deviance: 125872 on 118113 degrees of freedom
 AIC: 125948

Number of Fisher Scoring iterations: 4

有漁 CPUE モデル

Call:

```
glm(formula = kidai_lcpue ~ factor(year) + factor(area) + factor(qt) +  
    factor(depthc), family = gaussian, data = d.pos)
```

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	3.142993	0.018510	169.80	< 2e-16	***
factor(year)1994	0.266342	0.022708	11.73	< 2e-16	***
factor(year)1995	0.287858	0.023081	12.47	< 2e-16	***
factor(year)1996	0.523120	0.023244	22.51	< 2e-16	***
factor(year)1997	0.720655	0.022333	32.27	< 2e-16	***
factor(year)1998	0.573636	0.023223	24.70	< 2e-16	***
factor(year)1999	0.742066	0.023763	31.23	< 2e-16	***
factor(year)2000	0.494707	0.023650	20.92	< 2e-16	***
factor(year)2001	0.418225	0.023790	17.58	< 2e-16	***
factor(year)2002	0.894051	0.024128	37.05	< 2e-16	***
factor(year)2003	0.914616	0.023954	38.18	< 2e-16	***
factor(year)2004	1.011737	0.023975	42.20	< 2e-16	***
factor(year)2005	0.939669	0.024841	37.83	< 2e-16	***
factor(year)2006	0.832809	0.026258	31.72	< 2e-16	***
factor(year)2007	0.988257	0.026416	37.41	< 2e-16	***
factor(year)2008	0.877204	0.028294	31.00	< 2e-16	***
factor(year)2009	1.044217	0.027935	37.38	< 2e-16	***
factor(year)2010	1.170195	0.028250	41.42	< 2e-16	***
factor(year)2011	1.345176	0.027617	48.71	< 2e-16	***
factor(year)2012	1.288864	0.027516	46.84	< 2e-16	***
factor(year)2013	1.089767	0.027686	39.36	< 2e-16	***
factor(year)2014	1.267122	0.028740	44.09	< 2e-16	***
factor(year)2015	1.087836	0.029173	37.29	< 2e-16	***
factor(year)2016	1.094368	0.029774	36.76	< 2e-16	***
factor(year)2017	0.992215	0.029781	33.32	< 2e-16	***
factor(year)2018	0.827462	0.029689	27.87	< 2e-16	***
factor(year)2019	1.130267	0.030547	37.00	< 2e-16	***
factor(year)2020	1.153077	0.032302	35.70	< 2e-16	***
factor(year)2021	1.390189	0.034823	39.92	< 2e-16	***
factor(year)2022	1.407464	0.034556	40.73	< 2e-16	***
factor(area)2	-0.611619	0.010094	-60.59	< 2e-16	***
factor(qt)2	-0.222356	0.010682	-20.82	< 2e-16	***
factor(qt)3	0.083429	0.011320	7.37	1.72e-13	***
factor(qt)4	0.406387	0.009434	43.08	< 2e-16	***

```

factor(depthc)125 -0.475164    0.007834  -60.66 < 2e-16 ***
factor(depthc)150 -1.089672    0.038500  -28.30 < 2e-16 ***
factor(depthc)175  0.210094    0.350149    0.60    0.548
factor(depthc)200 -1.999467    0.032081  -62.33 < 2e-16 ***

```

```
---
```

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

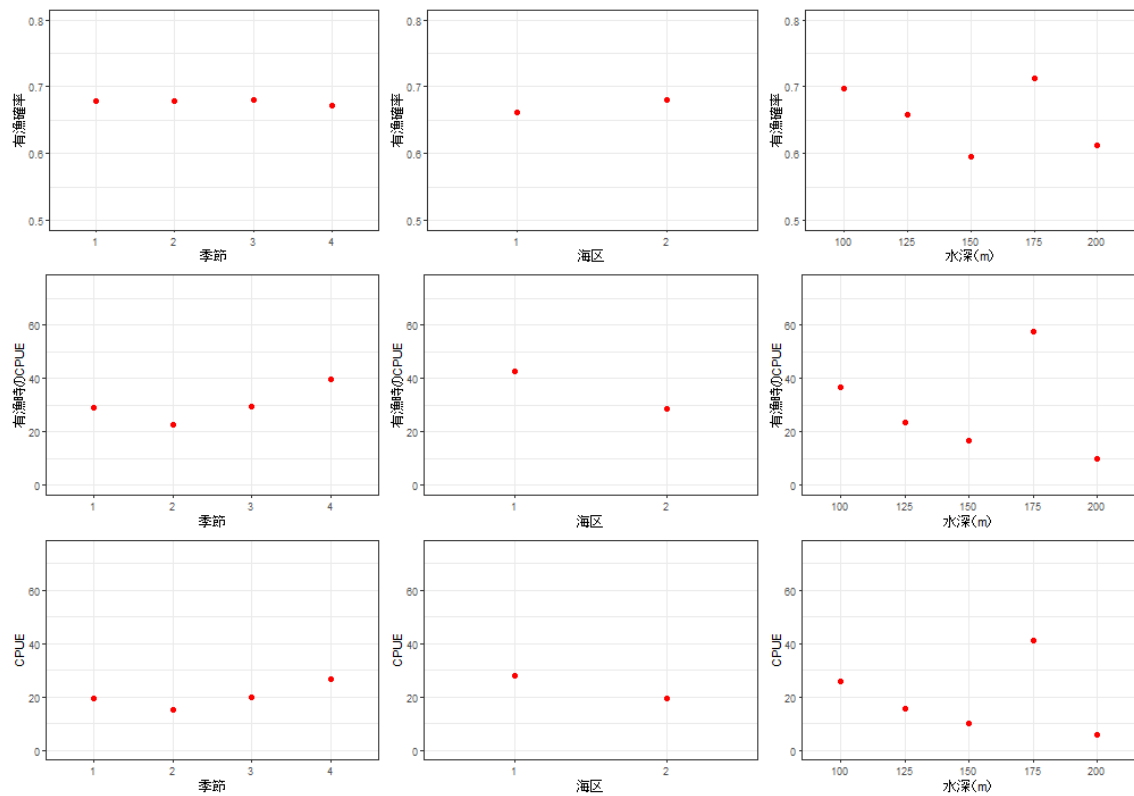
(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 1.223281)

```

Null deviance: 131162  on 87472  degrees of freedom
Residual deviance: 106958  on 87435  degrees of freedom
AIC: 265907

```

Number of Fisher Scoring iterations: 2



付図 1. 季節、海区、水深（m）と有漁確率（上段）、有漁時の CPUE（中段）、CPUE（下段）の関係 それぞれ、データにベストモデルを適用して予測値を計算し、説明変数のカテゴリーごとに平均値をとったものである。季節（左列）は、1：1～3 月、2：4～6 月、3：7～9 月、4：10～12 月、海区（中列）は、1：東経 129 度 30 分以西、2：東経 129 度 30 分以東である。