

令和 5（2023）年度キダイ日本海・東シナ海系群の資源評価
東シナ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	以西 2 そう漁獲成績報告書の日別・漁船別・農林魚区別漁獲量と網数(1993～2022 年 1～12 月)、資源量直接推定調査(2000～2022 年 5～6 月、2020 年は欠測)と東シナ海底魚資源分布生態調査(2009～2019、2022 年 11～12 月、2021 年 6、9～10 月)の着底トロール調査曳網別漁獲量。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)
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除去(全体の 82%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て 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、漁法(固定効果、すべてカテゴリーカル変数) 年:海区(交互作用) 有漁 CPUE モデル： 年、季節、海区、水深、漁法(固定効果、すべてカテゴリーカル変数) 年:海区(交互作用)
説明変数に関する補足	海区は北緯 31 度の南北で 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・各月・各海区・各水深・各漁法の予測 CPUE

	を算出し、年・海区ごとに平均する。その後、1993 年以降に各海区で以西 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 2000 年以降、2011 年まで上昇傾向にあった(図 5)。その後 2018 年にかけて低下したが、2019 年は上昇に転じ、2020 年には計算を行った 30 年間(1993～2022 年)で最も高い値となった。2021 年には低下し、2022 年には上昇した。 1993～2005 年の標準化 CPUE はノミナル CPUE とほぼ同じ値であった。以降、2015 年までは両者は概ね同様の傾向をもって変動したが、2016～2022 年には両者の値、傾向ともに違いが見られる(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。

本稿は資源評価に導入している東シナ海におけるキダイの CPUE 標準化について、2022 年データを加えて再計算したため、その概要を示すものである。長期間東シナ海で操業しており、東シナ海区における漁獲量の 50%以上を占める 2 そうびき以西底びき網漁業 (以西 2 そう) のデータに、時系列は漁業より短いものの継続して広い空間を網羅している着底トロール調査のデータをプールしたデータセットを用いた。本データセットの 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、東シナ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

漁業データには、1993～2022 年の 1～12 月における以西 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、調査船データには、資源量直接推定調査 (2000～2022 年 5～6 月、ただし 2020 年は欠測)、および東シナ海底魚資源分布生態調査 (2009～2019、2022 年 11～12 月、2021 年 6、9～10 月) の着底トロール調査曳網別漁獲量を用いた。これらの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、漁業データの漁区中央および調査船データの曳網

地点に最近傍の水深データを ETOPO1 global relief model (<https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>) から切り出して用いた。

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・経度をもつデータを省いた。その結果、全体の 82%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、漁法（漁業もしくはトロール調査）のほかに、海洋環境の影響を考慮するために水深を固定効果として設定した。今年度解析時には、FRA-ROMS II の東シナ海域における水温データはアップデート作業中であり、昨年度と同様、水温情報は使用しなかった。海区は、日本と周辺国の漁場の違いや、近年東シナ海の南北で資源の動向が異なると考えられること（Zhu et al. 2018、Kawauchi et al. 2020）を考慮して、北緯 31 度の南北（海区 1：31 度以南、海区 2：31 度以北）で 2 つに分割した（図 1）。また、このような海区による資源動向の違いを考慮するため、年と海区の 2 次交互作用も導入した。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 等分し、水深は 25 m ごとに区分することでカテゴリー化した。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：

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

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

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：

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

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

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・各月・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 (付図 1)。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 年以降に各海区で以西 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か否かの判別性能が高く (AUC=0.81; 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 (期間の平均で規格化した値) は 2000~2011 年には概ね上昇傾向にあった (図 5、表 3)。その後いったん低下したが、2019 年、2020 年と連続して上昇した。2020 年には計算を行った 30 年間で最も高い値となった。しかし、2020 年は新型コロナウイルス感染症拡大の影響で調査船調査が欠測したことにより標準化した有漁時 CPUE が高く推定されており、また以西底びき網漁業の操業機会の減少が数値に影響していることも考えられる。このため、2020 年の標準化 CPUE は参考値扱いとした。2021 年には 2019 年の値に近いところまで低下したが、2022 年にはやや上昇した (図 5)。

1993~2005 年の標準化 CPUE はノミナル CPUE とほぼ同じ値であった。以降、2015 年までは両者は概ね類似した傾向をもって変動したが、以降は違いが見られる (図 5)。

引用文献

Kawauchi, Y., S. Ohshimo, T. Sakai, M. Yoda, Y. Aonuma (2020) Spatiotemporal changes in demersal fish habitats suggest potential impacts of fishing pressure: A case study of yellow

- seabream *Dentex hypselosomus* in the East China Sea. Reg. Stud. Mar. Sci., **40**, 101491
- 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.
- Zhu, M., T. Yamakawa and T. Sakai (2018) Combined use of trawl fishery and research vessel survey data in a multivariate autoregressive state-space (MARSS) model to improve the accuracy of abundance index estimates. Fish. Sci., **84**, 437-451.

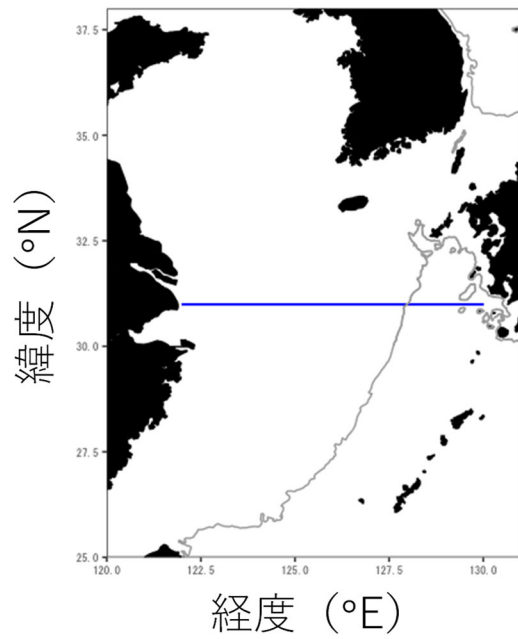


図 1. 海区分け 北緯 31 度以南を海区 1、以北を海区 2 とした。

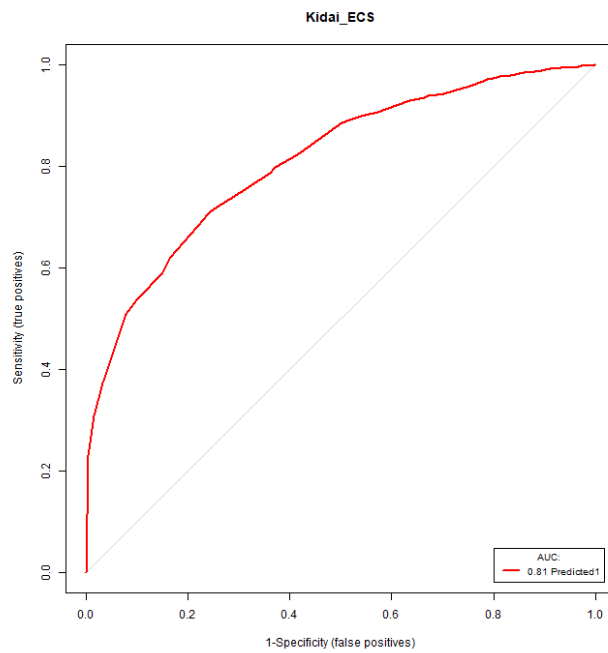


図 2. 有漁確率モデルの ROC 曲線下面積 (AUC)

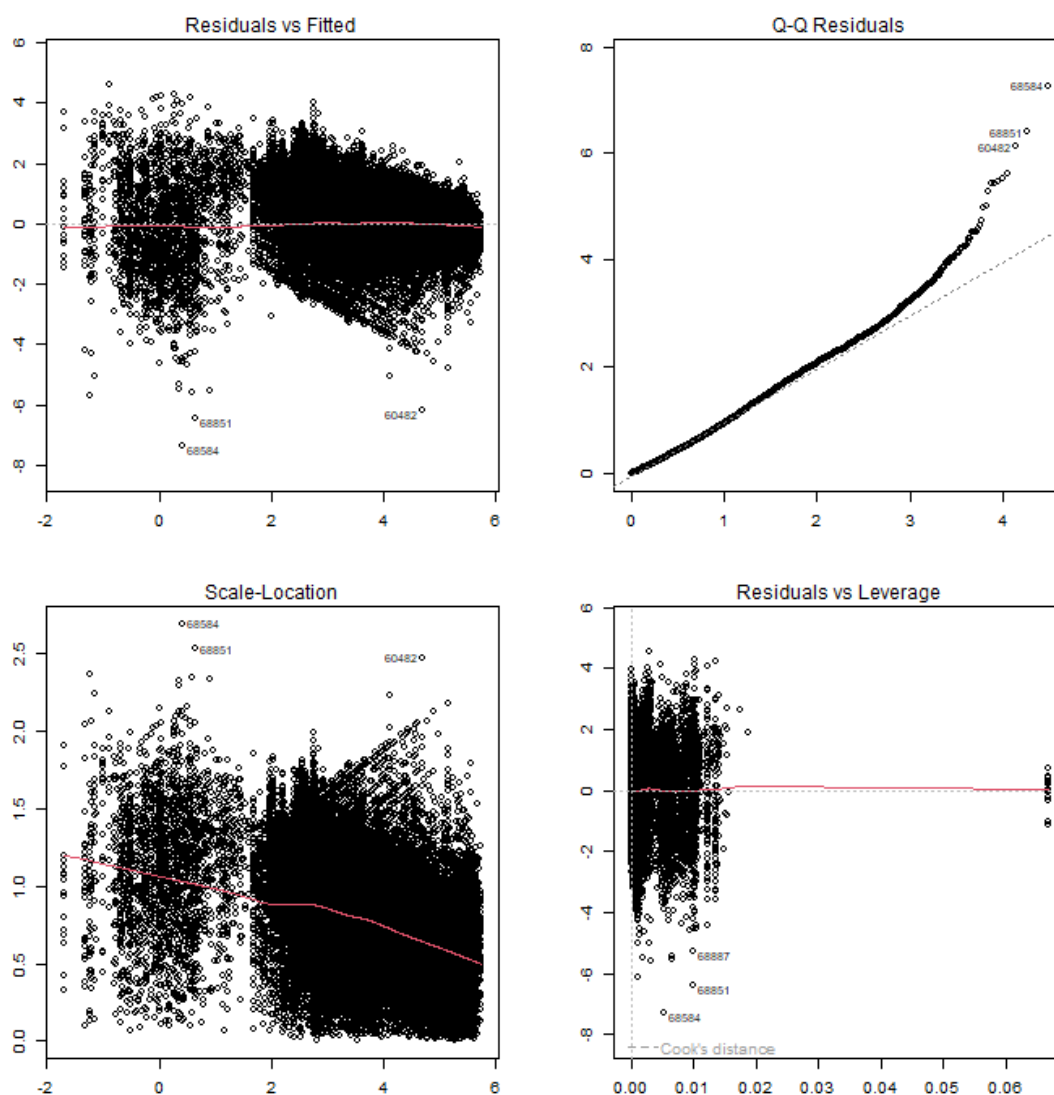


図3. モデル診断（有漁 CPUE モデル）の要約図 左上：推定値に対する残差の分布、右上：Q-Q プロット、左下：推定値に対する標準化残差の分布、右下：てこ比に対する標準化残差とクックの距離。

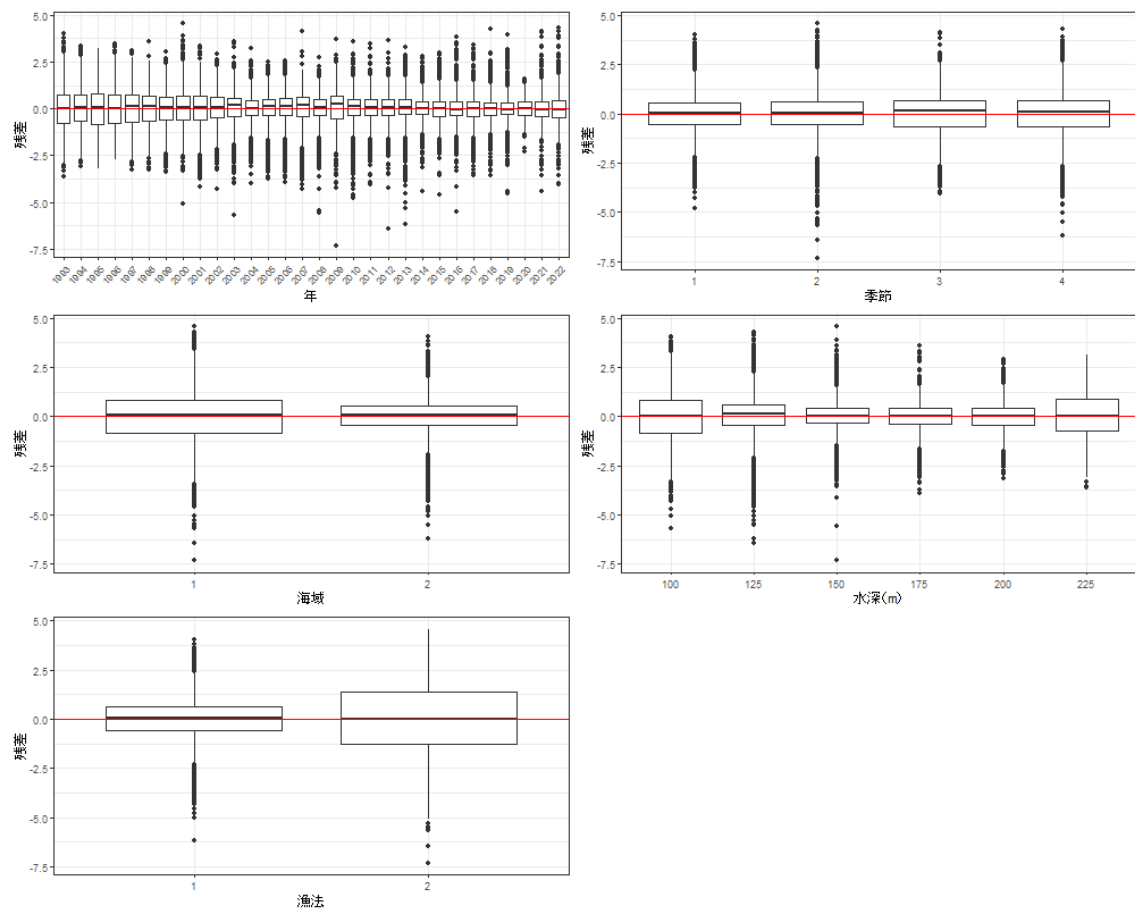


図 4. 各説明変数に対する残差 (有漁 CPUE モデル) 季節は、1: 1～3 月、2: 4～6 月、3: 7～9 月、4: 10～12 月、海区は、1: 北緯 31 度以南、2: 北緯 31 度以北、漁法は 1: 以西 2 そう、2: トロール調査である。

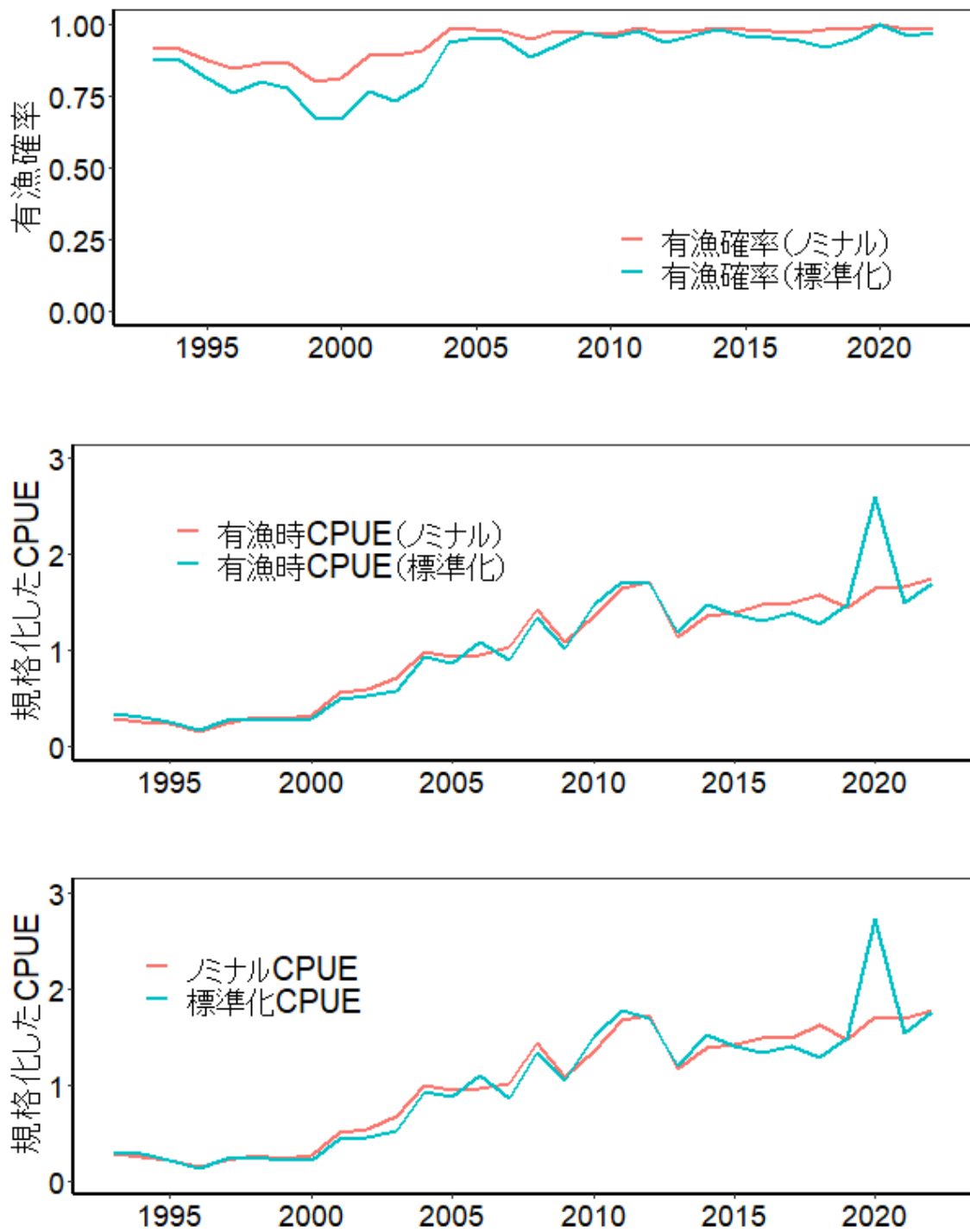


図5. 標準化した有漁確率（上段）、有漁時のCPUE（中段）、標準化CPUE（下段）の年トレンド

表 1. 年・海区・漁法ごとのデータ数・ノミナル CPUE・有漁時の平均水深

・以西 2 そう

年	北緯31度以南(海区1)				北緯31度以北(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	6,851	6,160	28.2	116.2	3,313	3,126	37.3	130.1
1994	5,434	4,876	24.4	115.7	4,082	3,798	32.4	131.4
1995	4,890	4,253	25.8	116.4	3,970	3,492	23.1	132.5
1996	2,894	2,334	12.0	117.0	3,817	3,354	18.3	134.6
1997	2,785	2,274	18.0	117.9	2,574	2,345	31.0	137.1
1998	2,132	1,612	13.3	120.2	2,334	2,254	46.4	142.4
1999	2,170	1,426	11.9	124.3	2,051	1,960	43.2	148.7
2000	713	373	9.4	117.6	1,288	1,251	43.6	143.4
2001	597	396	22.7	124.6	1,246	1,238	78.9	145.5
2002	481	305	26.6	135.3	1,268	1,259	80.0	145.6
2003	464	319	25.2	128.2	1,413	1,387	96.8	146.2
2004	105	102	64.2	120.0	1,359	1,351	124.7	153.9
2005	107	107	83.4	131.5	1,185	1,172	118.1	150.1
2006	152	149	101.5	127.0	1,055	1,047	120.8	151.5
2007	223	205	68.0	127.8	966	945	137.5	145.4
2008	124	119	97.8	131.8	1,039	1,037	185.9	149.0
2009	124	124	78.6	119.4	1,010	991	144.6	141.7
2010	79	79	123.5	131.8	771	759	185.9	151.6
2011	63	63	198.9	136.7	833	832	216.6	155.2
2012	39	32	206.7	147.6	838	832	220.0	152.7
2013	23	23	133.2	148.2	875	870	150.3	154.4
2014	37	37	160.3	135.3	720	720	184.0	159.9
2015	24	24	162.6	143.8	860	860	184.8	156.5
2016	22	22	140.9	144.3	828	828	201.9	158.2
2017	30	30	139.5	137.9	906	906	200.4	159.1
2018	19	19	171.3	145.5	898	898	202.0	158.5
2019	22	22	185.3	141.8	903	903	189.3	157.8
2020	15	15	224.0	148.5	695	695	193.0	161.0
2021	10	10	300.0	161.6	619	619	225.4	158.7
2022	10	10	357.0	167.9	615	615	240.6	159.7

・トロール調査

年	北緯31度以南(海区1)				北緯31度以北(海区2)			
	データ数	有漁 データ数	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	ミナル CPUE(kg/網)	有漁時の平 均水深(m)
2000	79	68	3.4	160.2	20	16	1.8	138.4
2001	72	68	1.8	134.0	18	18	3.0	140.4
2002	81	66	1.0	142.3	22	19	2.1	139.2
2003	67	60	1.8	141.4	19	15	3.0	143.7
2004	66	52	2.0	142.1	22	20	4.1	143.4
2005	67	56	1.2	138.3	29	28	3.7	138.9
2006	68	54	1.6	141.6	24	21	4.6	146.6
2007	67	43	2.5	138.8	24	20	5.1	144.8
2008	67	48	2.1	138.8	25	23	7.0	143.1
2009	98	87	2.1	136.1	29	24	7.2	141.3
2010	111	93	3.5	142.8	39	34	7.6	143.6
2011	89	79	3.2	136.8	30	26	11.1	137.8
2012	84	71	3.2	132.9	17	14	9.3	130.7
2013	92	78	2.5	132.8	33	30	9.7	140.5
2014	93	86	2.4	135.1	30	28	13.3	144.1
2015	99	83	2.3	136.1	29	26	12.9	138.0
2016	113	91	2.7	142.3	43	39	11.2	144.3
2017	119	91	2.3	138.8	42	36	11.9	146.9
2018	69	55	2.9	138.3	19	17	10.7	131.9
2019	91	75	3.2	144.4	36	31	19.4	144.5
2021	84	72	3.9	133.5	30	27	22.4	137.4
2022	101	88	6.2	133.4	30	29	22.2	137.3

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

	(intercept)	factor(area)	factor(depth)	factor(method)	factor(qt)	factor(year)	factor(area): factor(year)	df	logLik	BIC	delta
64	0.963	+		+	+	+	+	69	-19948	40672	0.0
60	0.958	+			+	+	+	68	-20133	41031	359.4
62	1.230	+		+	+	+	+	64	-20210	41141	468.8
58	1.224	+			+	+	+	63	-20384	41477	805.0
32	1.381	+	+	+	+	+		40	-20547	41544	872.1
30	1.376	+		+	+	+		35	-20865	42124	1452.2
31	1.633	+	+	+	+	+		39	-20869	42177	1505.4
28	1.627	+			+	+		39	-20904	42248	1575.8
56	0.328	+	+			+	+	66	-20867	42478	1805.6
52	0.292	+				+	+	65	-20911	42554	1882.2

・有漁 CPUE モデル

	(intercept)	factor(area)	factor(depth)	factor(method)	factor(qt)	factor(year)	factor(area): factor(year)	df	logLik	BIC	delta
64	2.755	+	+	+	+	+	+	70	-100050	200881	0.0
32	2.699	+	+	+	+	+		41	-100851	202160	1279.5
56	2.641	+	+	+		+	+	67	-100860	202467	1586.3
31	2.816	+	+		+	+		40	-101349	203144	2262.9
24	2.594	+	+			+		38	-101672	203769	2888.0
23	2.675		+			+		37	-102388	205189	4308.8
62	2.864	+		+	+	+	+	65	-102623	205971	5089.9
30	2.793	+		+	+	+		36	-103414	207230	6349.1
54	2.770	+		+		+	+	62	-103599	207889	7008.3
22	2.711	+		+		+		33	-104393	209154	8273.4

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	0.27	0.30	2.37	0.29	0.32
1994	0.24	0.28	2.32	0.27	0.30
1995	0.22	0.21	2.63	0.20	0.22
1996	0.14	0.13	3.01	0.12	0.14
1997	0.21	0.22	2.76	0.21	0.24
1998	0.27	0.24	2.64	0.23	0.25
1999	0.24	0.21	2.82	0.20	0.22
2000	0.26	0.22	3.89	0.20	0.23
2001	0.51	0.43	3.29	0.40	0.46
2002	0.54	0.45	3.46	0.42	0.48
2003	0.67	0.52	3.25	0.48	0.55
2004	1.00	0.93	5.03	0.84	1.02
2005	0.94	0.87	5.42	0.78	0.96
2006	0.97	1.09	5.60	0.98	1.21
2007	1.02	0.86	4.30	0.79	0.94
2008	1.44	1.34	5.26	1.21	1.48
2009	1.09	1.05	5.27	0.94	1.15
2010	1.35	1.50	5.83	1.33	1.67
2011	1.67	1.77	6.11	1.56	1.98
2012	1.73	1.69	7.86	1.44	1.96
2013	1.16	1.20	7.88	1.04	1.41
2014	1.39	1.53	5.76	1.38	1.73
2015	1.42	1.41	6.23	1.25	1.59
2016	1.49	1.33	5.64	1.20	1.50
2017	1.49	1.41	5.47	1.27	1.56
2018	1.62	1.28	6.81	1.13	1.49
2019	1.47	1.49	6.77	1.31	1.70
2020	1.70	2.74	8.93	2.27	3.22
2021	1.70	1.54	7.56	1.35	1.81
2022	1.78	1.76	8.14	1.52	2.09

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(area) + factor(depthc) + factor(method) +  
      factor(qt) + factor(year) + factor(area):factor(year) + 1,  
      family = binomial, data = data2)
```

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	z value	Pr(> z)	
(Intercept)	2.39962	0.04877	49.206	< 2e-16	***
factor(area)2	0.26715	0.08753	3.052	0.002274	**
factor(depthc)125	0.43521	0.03460	12.579	< 2e-16	***
factor(depthc)150	1.20098	0.07420	16.186	< 2e-16	***
factor(depthc)175	1.05904	0.09817	10.788	< 2e-16	***
factor(depthc)200	0.29764	0.11397	2.611	0.009015	**
factor(depthc)225	0.76228	0.24583	3.101	0.001929	**
factor(method)2	-1.95202	0.09869	-19.778	< 2e-16	***
factor(qt)2	0.67323	0.04795	14.041	< 2e-16	***
factor(qt)3	-0.83560	0.03961	-21.098	< 2e-16	***
factor(qt)4	-0.76041	0.03750	-20.279	< 2e-16	***
factor(year)1994	0.04054	0.06111	0.663	0.507048	
factor(year)1995	-0.32523	0.05982	-5.436	5.44e-08	***
factor(year)1996	-0.73750	0.06353	-11.609	< 2e-16	***
factor(year)1997	-0.65853	0.06503	-10.127	< 2e-16	***
factor(year)1998	-1.05665	0.06643	-15.906	< 2e-16	***
factor(year)1999	-1.64310	0.06287	-26.133	< 2e-16	***
factor(year)2000	-1.77135	0.08672	-20.425	< 2e-16	***
factor(year)2001	-1.26696	0.09859	-12.850	< 2e-16	***
factor(year)2002	-1.45577	0.10480	-13.891	< 2e-16	***
factor(year)2003	-1.02625	0.10929	-9.390	< 2e-16	***
factor(year)2004	0.50961	0.26518	1.922	0.054642	.
factor(year)2005	1.00619	0.31961	3.148	0.001643	**
factor(year)2006	0.79033	0.26000	3.040	0.002368	**
factor(year)2007	-0.11257	0.17850	-0.631	0.528286	
factor(year)2008	0.22245	0.22868	0.973	0.330690	
factor(year)2009	1.78717	0.32599	5.482	4.20e-08	***
factor(year)2010	1.13588	0.27090	4.193	2.75e-05	***
factor(year)2011	1.49953	0.35019	4.282	1.85e-05	***
factor(year)2012	0.49313	0.27604	1.786	0.074026	.

factor(year)2013	1.03148	0.31580	3.266	0.001090	**
factor(year)2014	1.91801	0.40975	4.681	2.86e-06	***
factor(year)2015	0.96391	0.29905	3.223	0.001268	**
factor(year)2016	0.73687	0.26459	2.785	0.005354	**
factor(year)2017	0.57735	0.24186	2.387	0.016980	*
factor(year)2018	0.09148	0.30884	0.296	0.767067	
factor(year)2019	0.72020	0.29820	2.415	0.015727	*
factor(year)2020	14.06157	612.52040	0.023	0.981685	
factor(year)2021	1.02221	0.34246	2.985	0.002836	**
factor(year)2022	1.21727	0.32529	3.742	0.000182	***
factor(area)2:factor(year)1994	-0.10852	0.11596	-0.936	0.349352	
factor(area)2:factor(year)1995	-0.32088	0.10902	-2.943	0.003246	**
factor(area)2:factor(year)1996	-0.01545	0.11140	-0.139	0.889711	
factor(area)2:factor(year)1997	0.39409	0.12253	3.216	0.001298	**
factor(area)2:factor(year)1998	1.69134	0.15333	11.031	< 2e-16	***
factor(area)2:factor(year)1999	1.80249	0.14694	12.267	< 2e-16	***
factor(area)2:factor(year)2000	2.36321	0.19701	11.995	< 2e-16	***
factor(area)2:factor(year)2001	3.59882	0.37627	9.564	< 2e-16	***
factor(area)2:factor(year)2002	3.40570	0.31795	10.711	< 2e-16	***
factor(area)2:factor(year)2003	2.13927	0.22811	9.378	< 2e-16	***
factor(area)2:factor(year)2004	1.50371	0.42081	3.573	0.000352	***
factor(area)2:factor(year)2005	0.64542	0.42454	1.520	0.128443	
factor(area)2:factor(year)2006	0.95627	0.40684	2.350	0.018750	*
factor(area)2:factor(year)2007	1.09734	0.28104	3.905	9.44e-05	***
factor(area)2:factor(year)2008	2.56436	0.55607	4.612	4.00e-06	***
factor(area)2:factor(year)2009	-0.62861	0.39307	-1.599	0.109770	
factor(area)2:factor(year)2010	0.09848	0.37230	0.265	0.791371	
factor(area)2:factor(year)2011	0.93897	0.57390	1.636	0.101814	
factor(area)2:factor(year)2012	1.27742	0.44094	2.897	0.003767	**
factor(area)2:factor(year)2013	1.05591	0.48062	2.197	0.028022	*
factor(area)2:factor(year)2014	1.29453	0.82137	1.576	0.115010	
factor(area)2:factor(year)2015	1.98376	0.65515	3.028	0.002462	**
factor(area)2:factor(year)2016	2.01270	0.57054	3.528	0.000419	***
factor(area)2:factor(year)2017	1.83282	0.48032	3.816	0.000136	***
factor(area)2:factor(year)2018	3.17487	0.77598	4.091	4.29e-05	***
factor(area)2:factor(year)2019	1.80257	0.54283	3.321	0.000898	***
factor(area)2:factor(year)2020	-0.32611	618.98949	-0.001	0.999580	
factor(area)2:factor(year)2021	1.55824	0.67695	2.302	0.021343	*
factor(area)2:factor(year)2022	2.50082	1.05515	2.370	0.017783	*

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

(Dispersion parameter for binomial family taken to be 1)

Null deviance: 49218 on 77456 degrees of freedom
Residual deviance: 39895 on 77388 degrees of freedom
AIC: 40033

Number of Fisher Scoring iterations: 15

有漁 CPUE モデル

Call:

```
glm(formula = kidai_lcpue ~ factor(area) + factor(depthc) + factor(method) +  
  factor(qt) + factor(year) + factor(area):factor(year) + 1,  
  family = gaussian, data = d.pos)
```

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	2.754592	0.014429	190.902	< 2e-16	***
factor(area)2	0.167344	0.022675	7.380	1.60e-13	***
factor(depthc)125	0.559163	0.010171	54.976	< 2e-16	***
factor(depthc)150	0.810804	0.012869	63.006	< 2e-16	***
factor(depthc)175	0.707148	0.018072	39.129	< 2e-16	***
factor(depthc)200	0.573380	0.023170	24.746	< 2e-16	***
factor(depthc)225	1.344592	0.074073	18.152	< 2e-16	***
factor(method)2	-4.162370	0.029755	-139.887	< 2e-16	***
factor(qt)2	0.064169	0.010742	5.974	2.33e-09	***
factor(qt)3	-0.352808	0.012060	-29.255	< 2e-16	***
factor(qt)4	-0.234770	0.010342	-22.701	< 2e-16	***
factor(year)1994	-0.040950	0.019406	-2.110	0.034849	*
factor(year)1995	-0.193408	0.020213	-9.569	< 2e-16	***
factor(year)1996	-0.713027	0.024617	-28.965	< 2e-16	***
factor(year)1997	-0.281681	0.024856	-11.332	< 2e-16	***
factor(year)1998	-0.519464	0.028323	-18.341	< 2e-16	***
factor(year)1999	-0.615510	0.029770	-20.676	< 2e-16	***
factor(year)2000	-0.360922	0.050146	-7.197	6.20e-13	***
factor(year)2001	0.025513	0.049009	0.521	0.602668	
factor(year)2002	0.132235	0.054517	2.426	0.015287	*
factor(year)2003	0.103858	0.053957	1.925	0.054255	.
factor(year)2004	0.833906	0.083213	10.021	< 2e-16	***
factor(year)2005	0.791998	0.081096	9.766	< 2e-16	***
factor(year)2006	1.210333	0.072781	16.630	< 2e-16	***
factor(year)2007	0.726038	0.065847	11.026	< 2e-16	***
factor(year)2008	1.137138	0.079957	14.222	< 2e-16	***
factor(year)2009	0.958569	0.072002	13.313	< 2e-16	***
factor(year)2010	1.359992	0.079962	17.008	< 2e-16	***
factor(year)2011	1.467223	0.087520	16.764	< 2e-16	***
factor(year)2012	1.421644	0.102576	13.859	< 2e-16	***
factor(year)2013	1.133796	0.104005	10.901	< 2e-16	***

factor(year)2014	1.265338	0.094437	13.399	< 2e-16	***
factor(year)2015	1.107175	0.101265	10.933	< 2e-16	***
factor(year)2016	0.835470	0.098991	8.440	< 2e-16	***
factor(year)2017	1.022483	0.095544	10.702	< 2e-16	***
factor(year)2018	0.827373	0.120334	6.876	6.22e-12	***
factor(year)2019	1.205914	0.106036	11.373	< 2e-16	***
factor(year)2020	2.212221	0.261626	8.456	< 2e-16	***
factor(year)2021	1.088332	0.115409	9.430	< 2e-16	***
factor(year)2022	1.344221	0.106337	12.641	< 2e-16	***
factor(area)2:factor(year)1994	-0.076827	0.031225	-2.460	0.013880	*
factor(area)2:factor(year)1995	-0.257432	0.032152	-8.007	1.20e-15	***
factor(area)2:factor(year)1996	0.003643	0.035200	0.103	0.917576	
factor(area)2:factor(year)1997	0.135509	0.037223	3.640	0.000272	***
factor(area)2:factor(year)1998	0.676442	0.039870	16.966	< 2e-16	***
factor(area)2:factor(year)1999	0.756009	0.041722	18.120	< 2e-16	***
factor(area)2:factor(year)2000	0.418750	0.060414	6.931	4.21e-12	***
factor(area)2:factor(year)2001	0.712406	0.059512	11.971	< 2e-16	***
factor(area)2:factor(year)2002	0.672293	0.063962	10.511	< 2e-16	***
factor(area)2:factor(year)2003	0.868296	0.062927	13.799	< 2e-16	***
factor(area)2:factor(year)2004	0.421045	0.089377	4.711	2.47e-06	***
factor(area)2:factor(year)2005	0.353534	0.087937	4.020	5.82e-05	***
factor(area)2:factor(year)2006	-0.046051	0.081032	-0.568	0.569824	
factor(area)2:factor(year)2007	0.574698	0.075613	7.601	2.99e-14	***
factor(area)2:factor(year)2008	0.556217	0.087557	6.353	2.13e-10	***
factor(area)2:factor(year)2009	0.375084	0.080599	4.654	3.27e-06	***
factor(area)2:factor(year)2010	0.310761	0.089196	3.484	0.000494	***
factor(area)2:factor(year)2011	0.391273	0.095589	4.093	4.26e-05	***
factor(area)2:factor(year)2012	0.449865	0.109656	4.103	4.09e-05	***
factor(area)2:factor(year)2013	0.308776	0.110562	2.793	0.005227	**
factor(area)2:factor(year)2014	0.482813	0.102742	4.699	2.62e-06	***
factor(area)2:factor(year)2015	0.644538	0.108087	5.963	2.49e-09	***
factor(area)2:factor(year)2016	1.000992	0.105922	9.450	< 2e-16	***
factor(area)2:factor(year)2017	0.812128	0.102330	7.936	2.11e-15	***
factor(area)2:factor(year)2018	0.985965	0.126051	7.822	5.27e-15	***
factor(area)2:factor(year)2019	0.591098	0.112248	5.266	1.40e-07	***
factor(area)2:factor(year)2020	-0.429710	0.264975	-1.622	0.104873	
factor(area)2:factor(year)2021	0.826393	0.123131	6.712	1.94e-11	***
factor(area)2:factor(year)2022	0.611635	0.114653	5.335	9.60e-08	***

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

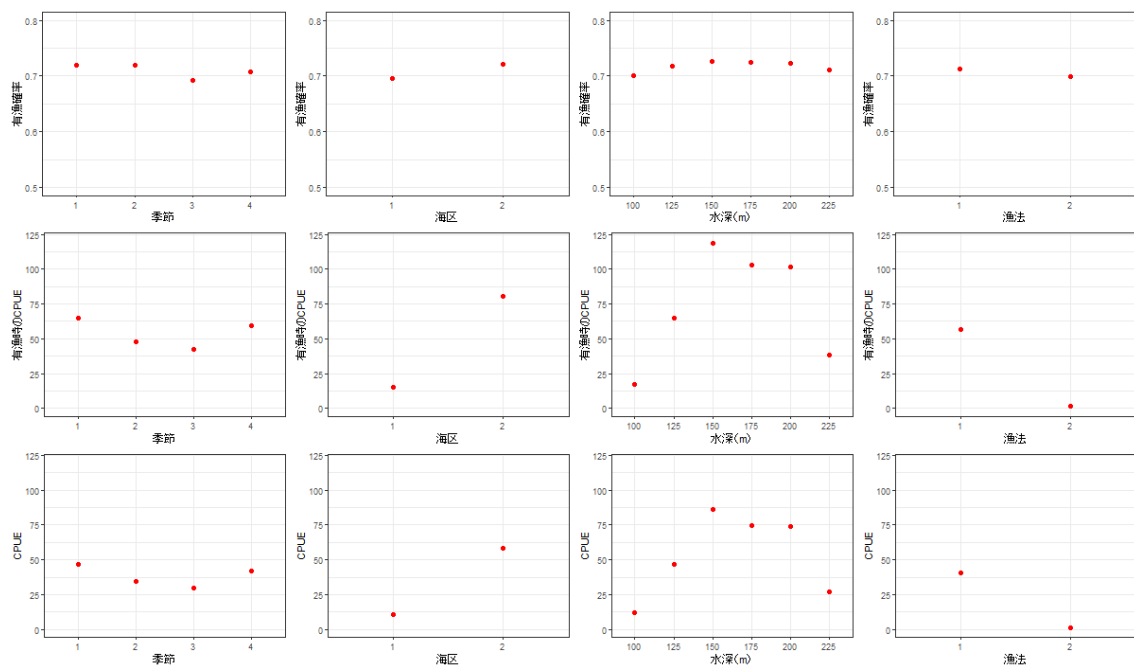
(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 1.023208)

Null deviance: 172119 on 69968 degrees of freedom

Residual deviance: 71522 on 69900 degrees of freedom

AIC: 200240

Number of Fisher Scoring iterations: 2



付図 1. 季節、海区、水深、漁法と有漁確率、有漁時の CPUE、標準化 CPUE 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。季節は、1：1～3 月、2：4～6 月、3：7～9 月、4：10～12 月、海区は、1：北緯 31 度以南、2：北緯 31 度以北、漁法は 1：以西 2 そう、2：トロール調査である。