

令和 5（2023）年度ヤリイカ太平洋系群の資源評価
太平洋北部におけるヤリイカの CPUE 標準化

水産研究・教育機構 水産資源研究所
時岡 駿、鈴木勇人

概要

データ	太平洋北区沖合底びき網漁業漁獲成績報告書
対象	1 網あたりの漁獲量 (kg/網)
データの利用可能な期間	1972-2022 年 1-6 月および 9-12 月
標準化に使用した期間	1997-2022 年 1-6 月および 9-12 月 (ヤリイカとしての漁獲量区分がある期間)
データの抽出	金華山・房総海区のオッタートロール漁法による操業
使用した統計ソフト・パッケージ	R (4.1.0) パッケージは MuMIn (Ver 1.43.17)、GLM.tree (Ver1.2)
統計モデル	一般化線形モデル
初期モデルの応答変数	自然対数変換した日別船別 CPUE (kg/網)
初期モデルの説明変数	CPUE モデル： 年、月、海域、水深帯、漁船県籍、年×月、年×海域、 月×海域、月×水深帯、海域×水深帯 (全てカテゴリ・固定効果)
最終モデルの選択方法	BIC 総当たり法
選択された説明変数	年、月、海域、水深帯、漁船県籍、年×月、年×海域、 月×海域、月×水深帯、海域×水深帯
年トレンドの算出方法	ベストモデルの最小二乗平均 (LSMEAN) より海域別の年トレンドを算出し、それらを各海域の面積比により重み付け平均することで、標準化 CPUE の年トレンドとした。
信頼区間の計算方法	データのリサンプリングによるブートストラップ法。反復回数は 1000 回とした。
標準化の結果	標準化 CPUE の年トレンドはノミナル CPUE と概ね類似したが、東日本大震災後の 2012 年や 2013 年の標準化 CPUE はノミナル CPUE よりも低い値となった。2018 年、2020 年および 2021 年では標準化 CPUE はノミナル CPUE より高い値となった。これら乖離の要因として、CPUE 標準化により海域による努力量の偏りの影響が補正されたことが考えられた。

1. 背景

商業船による CPUE（単位努力量当たり漁獲量）は、資源量以外に漁獲月や海域による影響を受ける。そのため、適切な資源量指標値にはこれらの要因を取り除く必要がある（庄野 2004）。

ヤリイカ太平洋系群の北部海域では 2012 年にオッタートロールのノミナル CPUE（年間漁獲量／年間有漁網数）が著しく高い値を示したが、この要因として資源の増加以外に、2011 年の東日本大震災（以下「震災」）による操業形態の変化（服部ほか 2014）や、特定の時期および海域における漁場形成の影響（益子 2014）が指摘されている。太平洋北部のヤリイカは、震災後の 2012 年から 2013 年にかけて、房総海域において記録的な豊漁となった（益子 2014）。一方、常磐海域の努力量は震災の影響で非常に低い状態であり、この時期の太平洋北部全体のノミナル CPUE は資源の豊度が高い海域に努力量が偏ったことによる影響を受けていると考えられる。そこで、ノミナル CPUE に含まれるこれらの影響を除去するために GLM（一般化線形モデル）を用いた CPUE 標準化を検討した。

2. 方法

解析には太平洋北区の沖合底びき網漁獲成績報告書（沖底漁績）における金華山海区、常磐海区、房総海区のオッタートロールのデータを用いた。沖底漁績には操業位置の記載ミスと思われるデータも存在することから、1972 年以降の操業網数を漁区（緯度経度 10 分区分）ごとに合計し、合計網数が極端に少ない漁区のデータは解析から除去した。この操作により、全網数の 0.1%にあたるデータを除去した。また、沖底漁績では水深情報は一部の期間でしか記録されていないため、操業水深の記載がないデータについては、操業水深の記載がある同一漁区のデータにおける平均操業水深を計算し、これを操業水深として当てはめて使用した。標準化モデルにはヤリイカとしての漁獲量区分がある 1997 年以降の有漁獲データを使用した。自然対数変換したヤリイカの日別船別 CPUE（kg/網）を応答変数とし、モデルの誤差は正規分布に従うと仮定した。

初期モデルの説明変数は、主効果として年、月、海域、水深帯および県ごとの漁船規模の違いを考慮するために漁船県籍を含めた。また、経年的な漁場変化として年と海域の交互作用、経年的な漁場形成時期の変化として年と月の交互作用、特定の時期、海域における漁場形成の影響として月と海区の交互作用、特定の時期、繁殖等に伴う水深帯における漁場形成の影響として月と水深帯の交互作用、および特定の海域、水深帯における漁場形成の影響として海域と水深帯の交互作用を含めた。説明変数は全てカテゴリカル変数として扱った。

海域の変数としては、沖底漁績の小海区区分（金華山海区、常磐海区、房総海区）を用いる場合（モデル A）と、初期モデルについて GLM-tree (Ichinokawa & Brodziak 2010)により BIC 最小になるように推定された 4 海域区分（図 1）を用いる場合（モデル B）の両方を検討した。GLM-tree はメッシュ状の漁区データ（今回は沖底漁績の緯度経度 10 分メッシュ農林漁区に相当）について、ツリーモデルを用いて AIC または BIC が最小となるような海域

区分を推定する手法である。

初期モデルを下記に示す。

モデル A

$$\text{Ln}(\text{CPUE}) = \text{Intercept} + \text{Year} + \text{Month} + \text{Area} + \text{Depth} + \text{Pref} + \\ \text{Year} * \text{Month} + \text{Year} * \text{Area} + \text{Month} * \text{Area} + \text{Month} * \text{Depth} + \text{Area} * \text{Depth}$$

ここでの記号は下記の通りである。

Year：年（1997-2022 年）

Month：月（7 月と 8 月を除く各月）

Area：海域（金華山海区、常磐海区、房総海区）

Depth：水深帯（100m 以浅、101-200m、201-300m、301m 以深）

Pref：漁船の所属県（宮城県、福島県、茨城県、千葉県）

モデル B

$$\text{Ln}(\text{CPUE}) = \text{Intercept} + \text{Year} + \text{Month} + \text{Area} + \text{Depth} + \text{Pref} + \\ \text{Year} * \text{Month} + \text{Year} * \text{Area} + \text{Month} * \text{Area} + \text{Month} * \text{Depth} + \text{Area} * \text{Depth}$$

ここでの記号は下記の通りである。

Year：年（1997-2022 年）

Month：月（7 月と 8 月を除く各月）

Area：海域（1-4）（GLM-tree により推定）

Depth：水深帯（100m 以浅、101-200m、201-300m、301m 以深）

Pref：漁船の所属県（宮城県、福島県、茨城県、千葉県）

モデル A とモデル B のそれぞれについて、変数総当たり法によるモデル選択を行い、BIC 最小となるモデルをベストモデルとして標準化 CPUE 算出に用いた。ベストモデルの最小二乗平均 (LSMEAN) より海域別の年トレンドを算出し、それらを各海域の面積比により重み付け平均することで、標準化 CPUE の年トレンドとした。重み付けに用いる海域面積比は各海域に含まれる農林漁区（緯度経度 10 分メッシュ）の数により決定した。この際、操業回数が極端に少ない漁区は計数対象から除外した。

3. 結果と考察

BIC を基準としたモデル選択の結果、ベストモデルとしてモデル B の初期モデルが選択

された（表 1、表 2）。モデルの観測値と推定値の残差は概ね正規分布に従っていた（図 2）。また、各変数の残差にも大きな偏りはみられず（図 3）、モデルの残差の正規性、等分散性に大きな問題はなかった。

標準化 CPUE の年トレンドはノミナル CPUE と概ね類似したトレンドを示したが、一部で乖離が見られた（図 4、表 3）。2012 年、2013 年のノミナル CPUE は標準化 CPUE と比べて高い値を示した。これらの年では、海域 3 および海域 4 に当たる海域では記録的な豊漁（益子 2014）となったことに加えて、海域 2 における努力量は東日本大震災の影響で極端に低かったことで、ノミナル CPUE には努力量割合の高い海域 3 や海域 4 の資源動向がより大きく反映されたと考えられる（図 5、図 6）。また、2020 年や 2021 年では標準化 CPUE はノミナル CPUE よりも高くなった。これはノミナル CPUE では近年高い努力量割合を占める海域 1 の資源動向を反映しやすいことが一因と考えられる。標準化 CPUE では、海域ごとの年トレンドが海域面積比（表 4）で重み付け平均されることで、ノミナル CPUE に含まれる海域間の努力量の偏りによる影響が補正されたと考えられる。

引用文献

- 服部 努・成松庸二・伊藤正木・柴田泰宙（2014）東日本大震災がヤリイカ漁獲データに与えた影響. 東北底魚研究, **34**, 103-11.
- Ichinokawa, M., and J. Brodziak (2010) Using adaptive area stratification to North Pacific swordfish (*Xiphias gladius*). Fish. Res., **106**, 249-260.
- 益子 剛（2014）茨城県沖における震災後のヤリイカ漁獲動向について. 東北底魚研究, **34**, 81-94.
- 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**(2), 106-120.

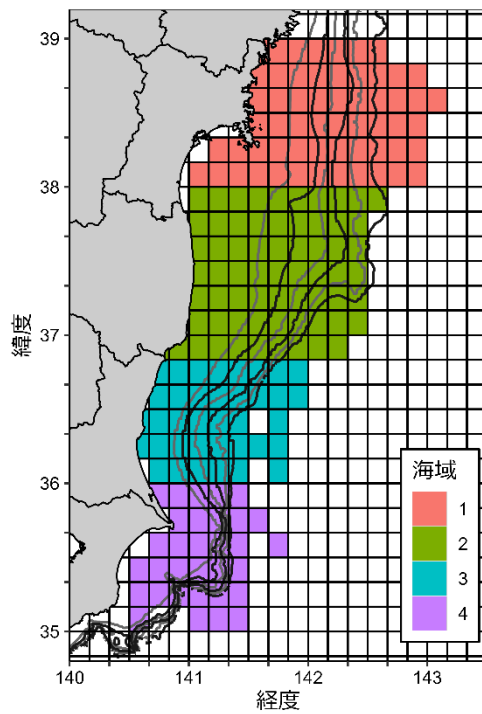


図1 GLM-treeにより推定された4海域区分
グリッドの色分けはそれぞれ海域1-4を示す。

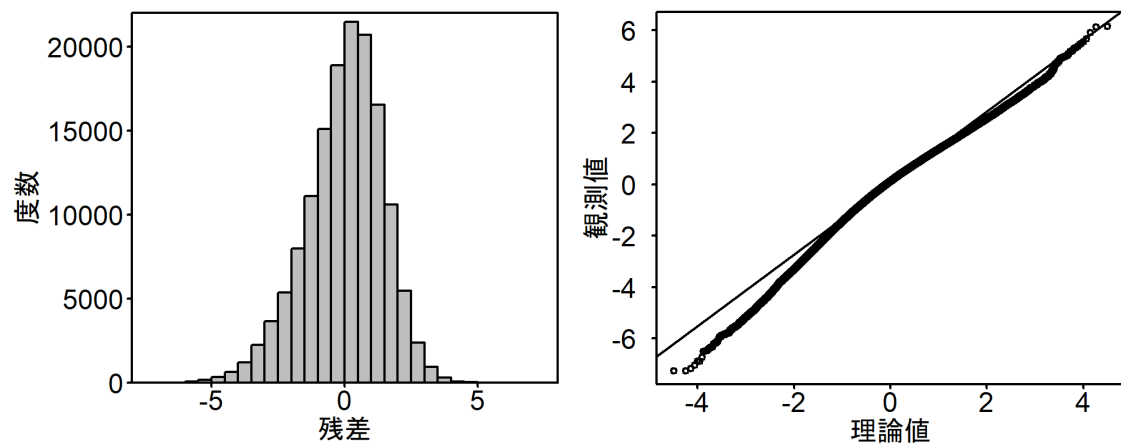


図2 モデルの予測値と実測値の残差ヒストグラム(左図)および正規確率プロット(右図)

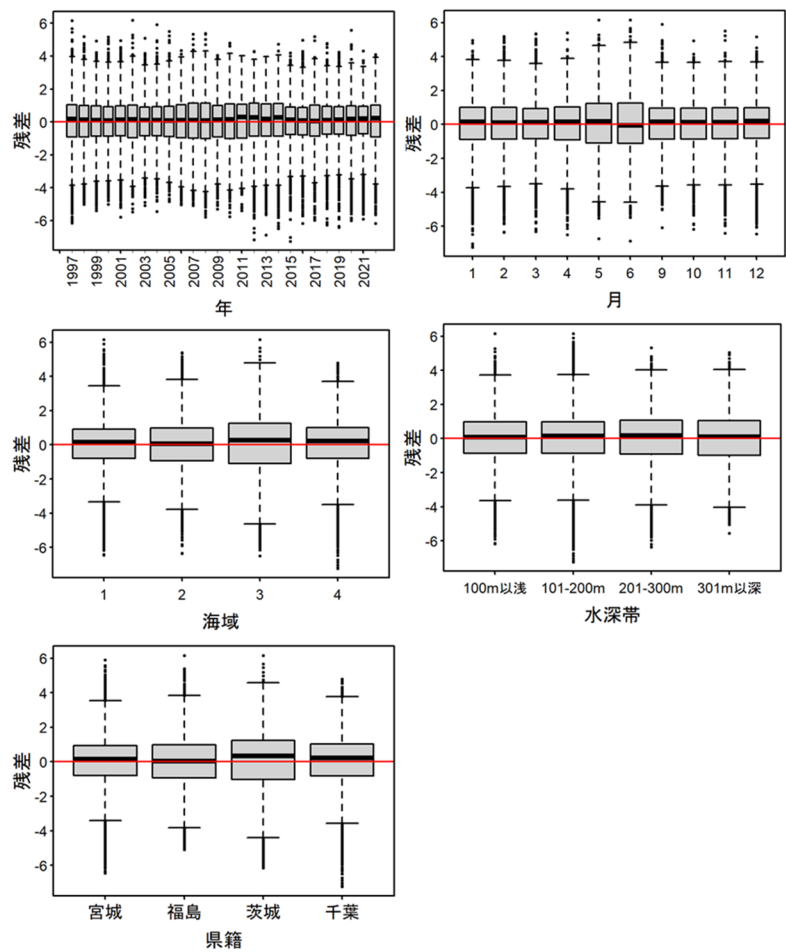


図 3 各変数における残差の箱ひげ図

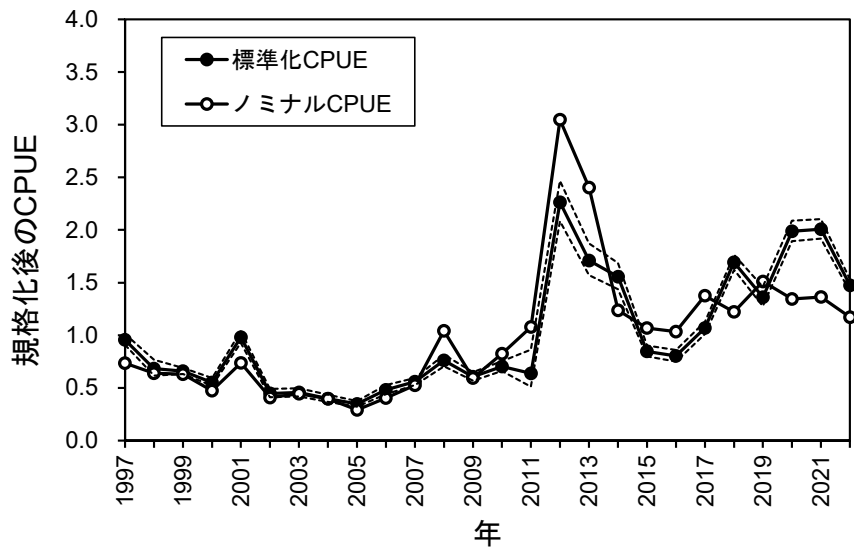


図 4 標準化 CPUE（黒）とノミナル CPUE（白）の比較

それぞれ平均値で除すことで規格化した。破線は 95%信頼区間を示す。

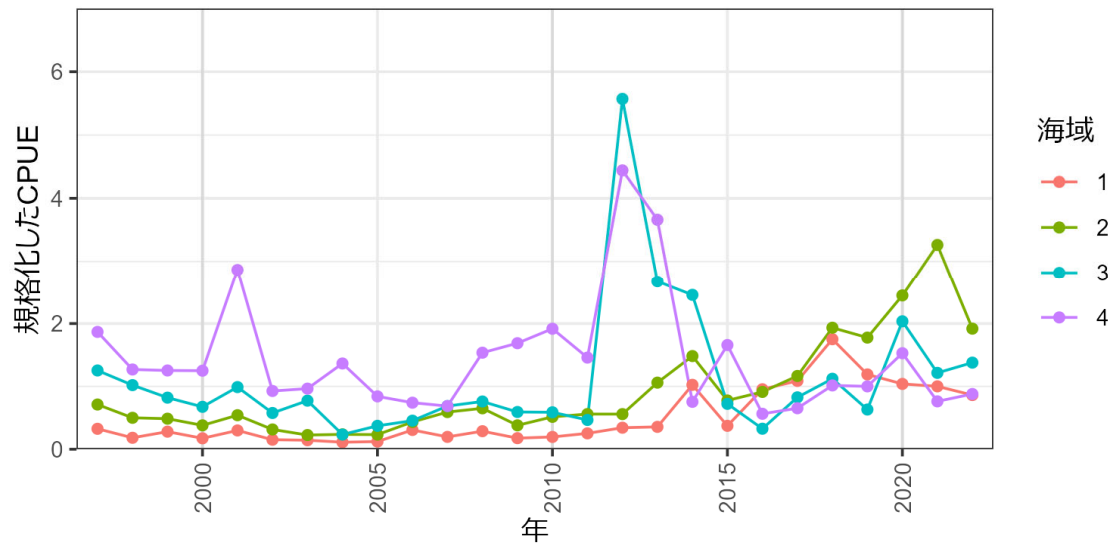


図5 ベストモデルの最小二乗平均 (LSMEAN) より算出した海域別の年トレンドの推移

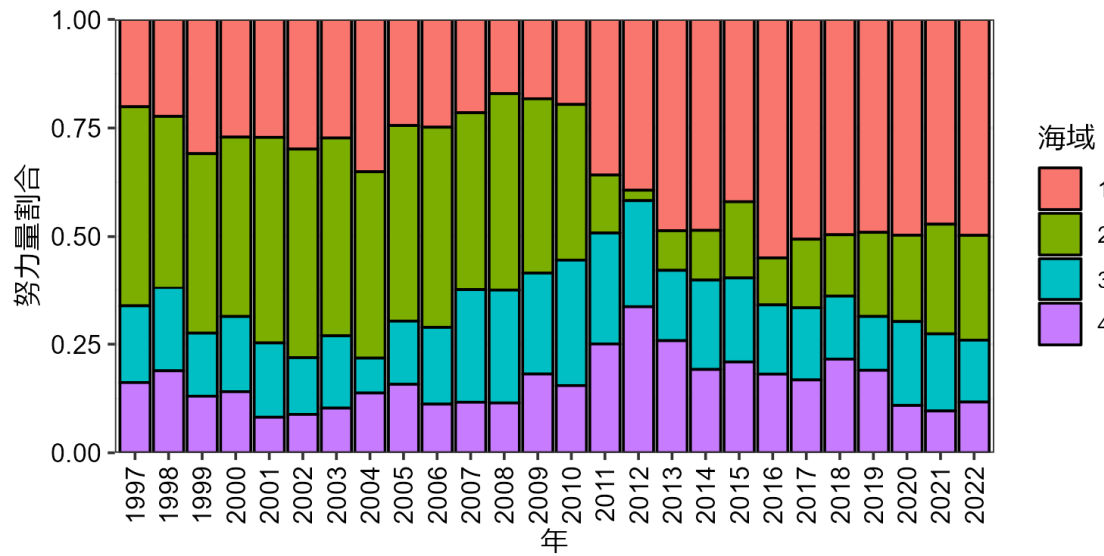


図6 年別海域別努力量割合

表 1. モデル A におけるモデル選択の結果（上位 10 モデルを示す）

(Int)	f(Ar)	f(Dp)	f(Mn)	f(Pr)	f(Yr)	f(Ar):f(Dp)	f(Ar):f(Mn)	f(Ar):f(Yr)	f(Dp):f(Mn)	f(Mn):f(Yr)	df	logLik	BIC	delta
3.45	+	+	+	+	+	+	+	+	+		370	-263671.4	531741.2	0.0
3.90	+	+	+	+	+	+	+			+	343	-263978.8	532035.0	293.7
3.27	+	+	+	+		+	+	+		+	364	-264173.6	532674.2	933.0
3.69	+	+	+	+		+	+			+	337	-264456.7	532919.5	1178.3
4.01	+		+	+		+	+			+	334	-265908.0	535786.4	4045.2
3.48	+	+	+	+	+	+			+	+	320	-268212.4	540228.8	8487.6
3.91	+	+	+	+	+	+				+	293	-268521.2	540525.5	8784.2
3.36	+	+	+	+	+	+	+	+			145	-269751.4	541226.5	9485.3
3.28	+	+	+	+		+			+	+	314	-268775.8	541284.3	9543.1
3.78	+	+	+	+	+	+	+				118	-270062.7	541528.1	9786.9

f0はカテゴリカル変数を示す。Ar、Dp、Mn、Pr、Yr はそれぞれ海域、水深帯、月、漁船の所属県、年を示す。

表 2. モデル B におけるモデル選択の結果（上位 10 モデルを示す）

(Int)	f(Ar)	f(Dp)	f(Mn)	f(Pr)	f(Yr)	f(Ar):f(Dp)	f(Ar):f(Mn)	f(Ar):f(Yr)	f(Dp):f(Mn)	f(Mn):f(Yr)	df	logLik	BIC	delta
3.09	+	+	+	+	+	+	+	+	+		408	-260454.5	525759.1	0.0
3.53	+	+	+	+	+	+	+			+	381	-260781.8	526092.8	333.7
3.01	+	+	+	+		+	+	+		+	399	-261183.2	527109.6	1350.5
3.42	+	+	+	+		+	+			+	372	-261471.7	527365.5	1606.4
3.64	+		+	+		+	+			+	369	-262701.8	529790.1	4031.0
3.19	+	+	+		+	+	+	+		+	405	-265024.1	534862.7	9103.6
3.05	+	+	+	+	+	+			+	+	333	-265509.6	534977.8	9218.7
3.46	+	+	+	+	+	+				+	306	-265844.6	535326.8	9567.7
3.75	+	+	+		+	+	+			+	378	-265456.7	535406.9	9647.7
3.06	+	+	+	+	+	+	+	+			183	-266718.9	535613.2	9854.0

f0はカテゴリカル変数を示す。Ar、Dp、Mn、Pr、Yr はそれぞれ海域、水深帯、月、漁船の所属県、年を示す。

表 3. 各年のノミナル CPUE および標準化 CPUE

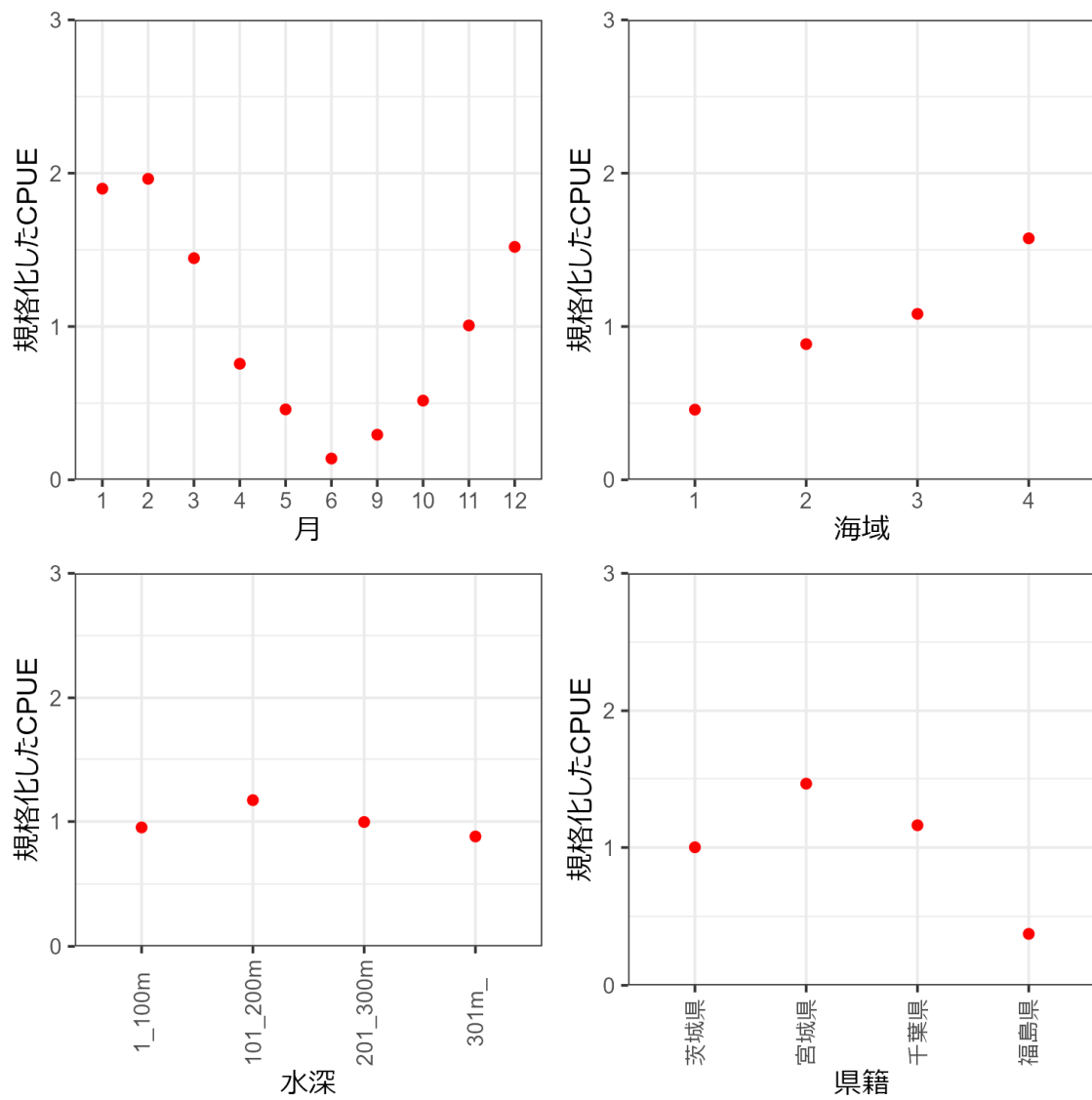
年	ノミナルCPUE	標準化CPUE
1997	0.74	0.96
1998	0.64	0.68
1999	0.63	0.66
2000	0.47	0.55
2001	0.74	0.98
2002	0.41	0.45
2003	0.45	0.46
2004	0.40	0.40
2005	0.29	0.35
2006	0.40	0.48
2007	0.53	0.56
2008	1.04	0.76
2009	0.59	0.61
2010	0.82	0.70
2011	1.08	0.64
2012	3.05	2.26
2013	2.40	1.71
2014	1.24	1.56
2015	1.07	0.85
2016	1.04	0.80
2017	1.38	1.07
2018	1.22	1.69
2019	1.51	1.36
2020	1.34	1.99
2021	1.36	2.01
2022	1.17	1.47

ノミナル CPUE、標準化 CPUE は平均値が 1 となるよう規格化した値。

表 4. 各海域の面積比

海域 1	海域 2	海域 3	海域 4	全海域計
0.26	0.38	0.21	0.15	1.00

各海域に含まれる農林漁区（緯度経度 10 分グリッド）数を集計し海域面積とした。
有漁網数が極端に少ない農林漁区は集計から除外した。



付図 1. 季節（月）、海域、水深帯、県籍のトレンド

ベストモデルの最小二乗平均（LSMEAN）より算出した季節（月）、海域、水深帯、県籍ごとの標準化 CPUE のトレンド。縦軸は平均値で除すことで規格化した。