

令和 5（2023）年度キアンコウ太平洋北部の資源評価
キアンコウ太平洋北部の 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	1973~2022 年 1~6 月および 9~12 月 (キアンコウとしての漁獲量区分がある期間)
データの抽出	尻屋崎～襟裳西海区：かけまわし漁法による操業 金華山～房総海区：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： 尻屋崎～襟裳西海区 年、季節、海域、水深帯、年×季節、年×海域、季節×海域、 季節×水深帯、海域×水深帯（全てカテゴリ・固定効果） 金華山～房総海区 年、季節、海域、水深帯、年×季節、年×海域、季節×海域、 季節×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	尻屋崎～襟裳西海区 年、季節、海域、水深帯、年×季節、年×海域、季節×海域、 季節×水深帯、海域×水深帯 金華山～房総海区 年、季節、海域、水深帯、年×季節、年×海域、季節×海域、 季節×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	尻屋崎～襟裳西海区モデル、金華山～房総海区モデルともに標準化 CPUE の年トレンドは概ねノミナル CPUE と類似したが、一部の年でノミナル CPUE よりも低い値あるいは高い値を示した。これらの乖離の要因としては標準化 CPUE では、海域による努力量の偏りが補正されたことの影響が考えられる。

1. 背景

キアンコウ太平洋北部の主漁場は岩手を挟んで南北に分かれており、北部（青森～岩手）の主漁場は尻屋崎～襟裳西海区、南部（宮城～千葉）の主漁場は金華山～房総海区となっている。CPUE の傾向、主要漁法（北部：かけまわし、南部：オッタートロール）が異なることから、本種では北部（青森-岩手）、南部（宮城～千葉）に分けて ABC を算定している。

2011 年の東日本大震災以降、金華山～房総海区におけるオッタートロールのノミナル CPUE（年間漁獲量／有漁網数）は大きく変化しており、近年は、金華山海区と常磐海区の沖底 CPUE は房総と比べて顕著に高い状態にある（図 1）。また、2011 年の東日本大震災以降、常磐海区の努力量が減少したことで、近年は金華山海区の努力量は金華山～房総海区の努力量全体の 5 割程度を占めている（図 2）。金華山～房総海区のノミナル CPUE は近年顕著に高い値を示したが、これには資源の増加以外に、特定の海域での努力量割合が高い状態にあることも影響している可能性が考えられる。上記のような沖底 CPUE に含まれる資源の年変動以外の影響を除去するため、尻屋崎～襟裳西海区および金華山～房総海区についてそれぞれ一般化線形モデルを用いた CPUE の標準化を行った。

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）のデータを用いた。尻屋崎～襟裳西海区モデルについては同海区におけるかけまわしのデータを、金華山～房総海区モデルについては同海区における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、尻屋崎～襟裳西海区と金華山～房総海区のそれぞれのデータについて、1972 年以降の操業網数を漁区（緯度経度 10 分区切り）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。標準化モデルにはキアンコウとしての漁獲量区分がある 1973 年以降の有漁獲

データを使用した。自然対数変換したキアコウの日別船別 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、尻屋崎～襟裳西海区モデル、金華山～房総海区モデルともに、主効果として年、季節、海域、水深帯を使用した。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季節の交互作用、特定の時期、海域における漁場形成の影響として季節と海域の交互作用、繁殖等に伴う特定の時期、水深帯における漁場形成の影響として季節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。尻屋崎～襟裳西海区モデルでは年と季節の交互作用項に欠損が生じないように、操業月は 2 か月ごとにまとめて季節（季節 1：1～2 月、季節 2：3～4 月、季節 3：5～6 月、季節 4：9～10 月、季節 5：11～12 月）とした。金華山～房総海区モデルでは年と季節の交互作用項に欠損が生じないように、操業月は 3 か月ごとにまとめて季節（季節 1：1～3 月、季節 2：4～6 月、季節 3：9 月、季節 4：10～12 月）とした。

海域は尻屋崎～襟裳西海区モデルと金華山～房総海区モデルのそれぞれについて、沖底漁績の小海区区分を用いる場合（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海域区分を用いる場合（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。

尻屋崎～襟裳西海区モデル A では、海域区分は沖底漁績の 2 区分（尻屋崎海区、襟裳西海区）を採用した（図 3）。尻屋崎～襟裳西海区モデル B では、海域区分は GLM-tree で BIC 最小と推定され、かつ交互作用項にデータ欠損が生じない 2 区分を採用した（図 3）。

金華山～房総海区モデル A では、海域区分は沖底漁績の 3 区分（金華山海区、常磐海区、房総海区）を採用した（図 4）。金華山～房総海区モデル B では海域区分は GLM-tree で BIC 最小と推定され、かつ交互作用項にデータ欠損が生じない 4 区分を採用した（図 4）。尻屋崎～襟裳西海区モデルの初期モデルを下記に示す。

尻屋崎～襟裳西海区モデル A

$$\begin{aligned} \text{Ln}(\text{CPUE}) = & \text{Intercept} + \text{Year} + \text{Season} + \text{Area} + \text{Depth} + \\ & \text{Year} * \text{Season} + \text{Year} * \text{Area} + \text{Season} * \text{Area} + \text{Season} * \text{Depth} + \text{Area} * \text{Depth} \end{aligned}$$

ここでの記号は次の通りである。

Year: 年（1973～2022）

Season: 季節（1～2 月、3～4 月、5～6 月、9～10 月、11～12 月）

Area: 海域（尻屋崎海区、襟裳西海区）

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

尻屋崎～襟裳西海区モデル B

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

ここでの記号は次の通りである。

Year: 年 (1973～2022)

Season: 季節 (1～2 月、3～4 月、5～6 月、9～10 月、11～12 月)

Area: 海域 (1～2) (GLM-tree により推定)

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

金華山～房総海区モデルの初期モデルを下記に示す。

金華山～房総海区モデル A

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

ここでの記号は次の通りである。

Year: 年 (1973～2022)

Season: 季節 (1～3 月、4～6 月、9 月、10～12 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)

金華山～房総海区モデル B

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

ここでの記号は次の通りである。

Year: 年 (1973～2022)

Season: 季節 (1～3 月、4～6 月、9 月、10～12 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)

尻屋崎～襟裳西海区モデルと金華山～房総海区モデルのそれぞれについて、モデル A とモデル B で、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漁区（緯度経度 10 分区分切り）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、尻屋崎～襟裳西海区の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）。金華山～房総海区では、ベストモデルとしてモデル A の初期モデルが選択された（表 3、表 4）。両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 5、図 6）。また、各変数の残差にも大きな偏りはみられず（図 7、図 8）、残差の正規性、等分散性に大きな問題はなかった。

両モデルの標準化 CPUE の年トレンドは概ねノミナル CPUE と類似したトレンドを示した（図 9、図 10、表 5）。尻屋崎～襟裳西海区においては 1973、1974 年についてノミナル CPUE が標準化 CPUE と比べて特に高い値を示した（図 9）。これは、1970 年代には海域 1（襟裳西海区および尻屋崎海区の北部に相当）での努力量が全体の大部分を占めていたために、ノミナル CPUE には海域 1 の資源動向が大きく反映されていたことが影響していると考えられる（図 11、図 12）。ノミナル CPUE では他海域に比べて高い努力量割合を占める海域の資源動向が大きく反映されやすい（図 11、図 12、図 13、図 14）。標準化 CPUE では、各海域の CPUE 年トレンドは海域面積比（表 6、表 7）で重み付けされるため、海域による努力量の違いの影響が補正され、ノミナル CPUE との違いが生じたと考えられる。

引用文献

Ichinokawa, M., and J. Brodziak (2010) Using adaptive area stratification to North Pacific swordfish (*Xiphias gladius*). Fish. Res., **106**, 249-260.

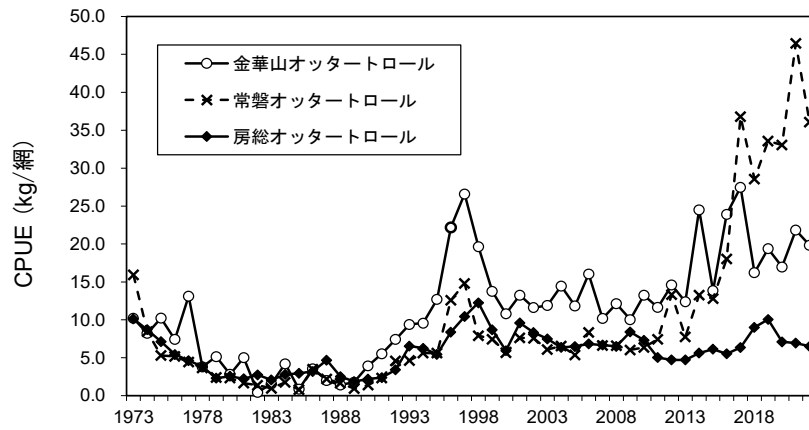


図 1. 金華山～房総海区における海区別の沖底 CPUE（年間漁獲量／有漁網数）の推移

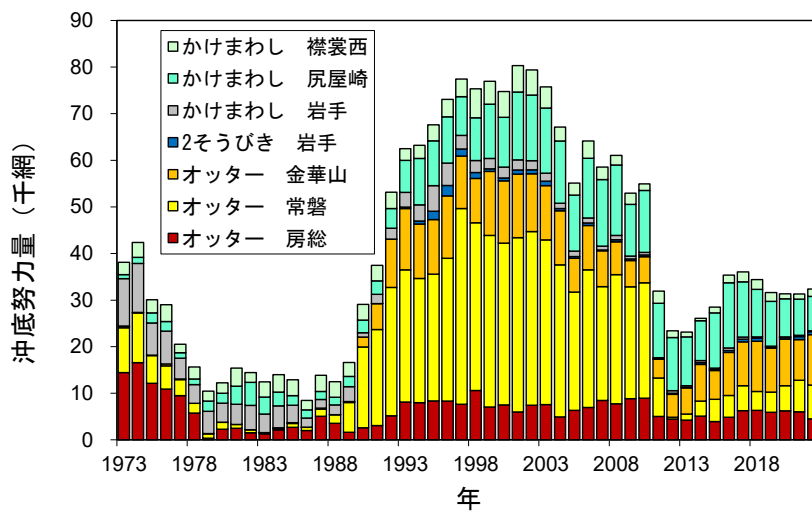


図 2. 沖底の海区別漁法別努力量（有漁網数）の推移

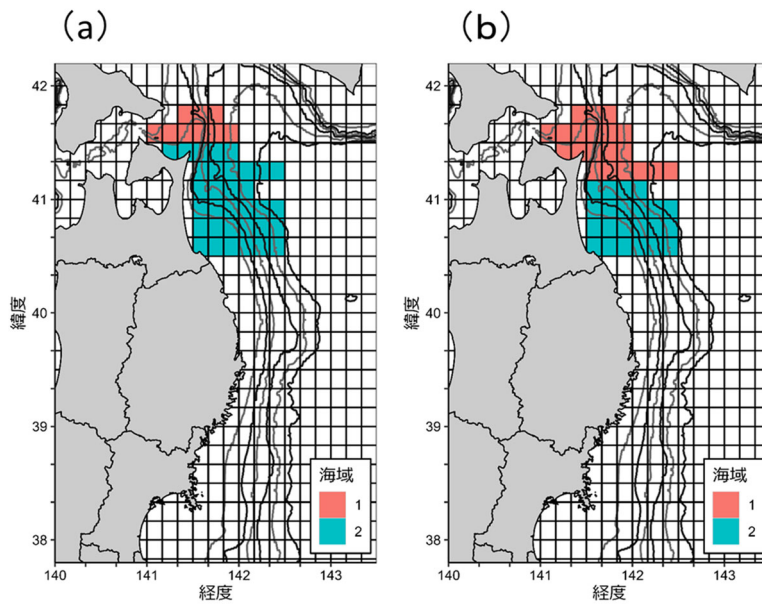


図 3. (a) 尻屋崎～襟裳西海区モデル A について説明変数として用いた 2 海域区分。海域 1、2 と各グリッドの色分けはそれぞれ襟裳西海区、尻屋崎海区を示す。(b) 尻屋崎～襟裳西海区モデル B について説明変数として用いた 2 海域区分。グリッドの色分けはそれぞれ海域 1、2 を示す。

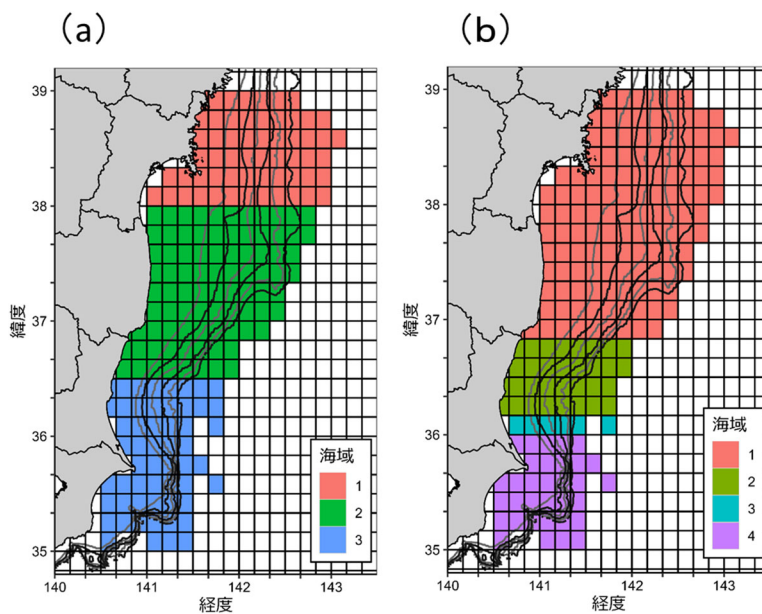


図 4. (a) 金華山～房総海区モデル A について説明変数として用いた 3 海域区分（金華山海区、常磐海区、房総海区）。海域 1、2、3 と各グリッドの色分けはそれぞれ金華山海区、常磐海区、房総海区を示す。(b) 金華山～房総海区モデル B について説明変数として用いた 4 海域区分。グリッドの色分けはそれぞれ海域 1～4 を示す。

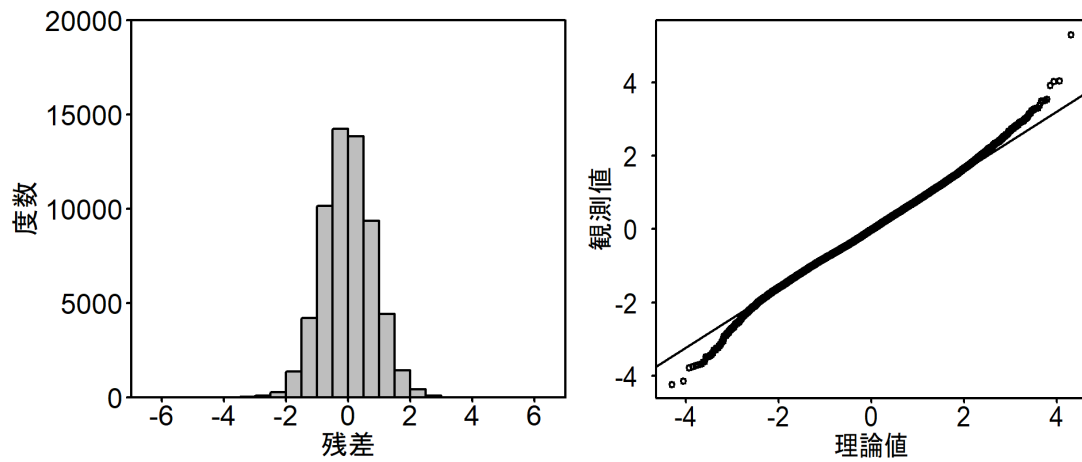


図 5. 尻屋崎～襟裳西海区モデル A の予測値と実測値の残差ヒストグラム（左図）および正規確率プロット（右図）

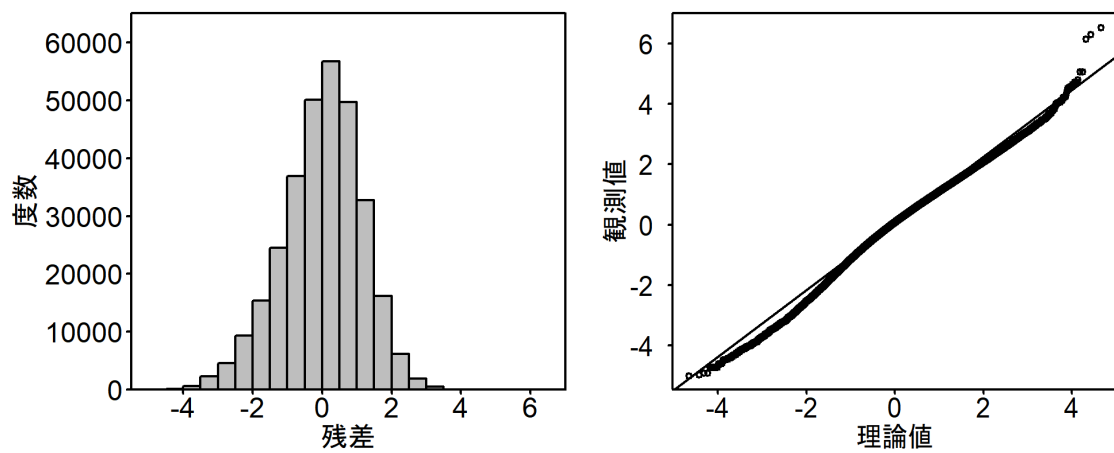


図 6. 金華山～房総海区モデル B の予測値と実測値の残差ヒストグラム（左図）および正規確率プロット（右図）

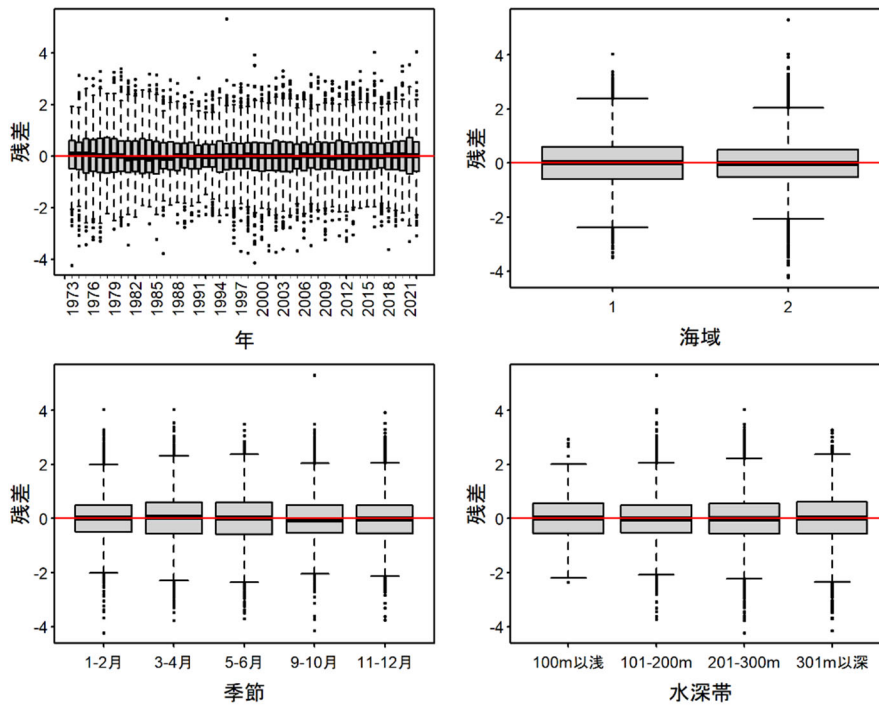


図 7. 尻屋崎～襟裳西海区モデル A の各変数における残差の箱ひげ図

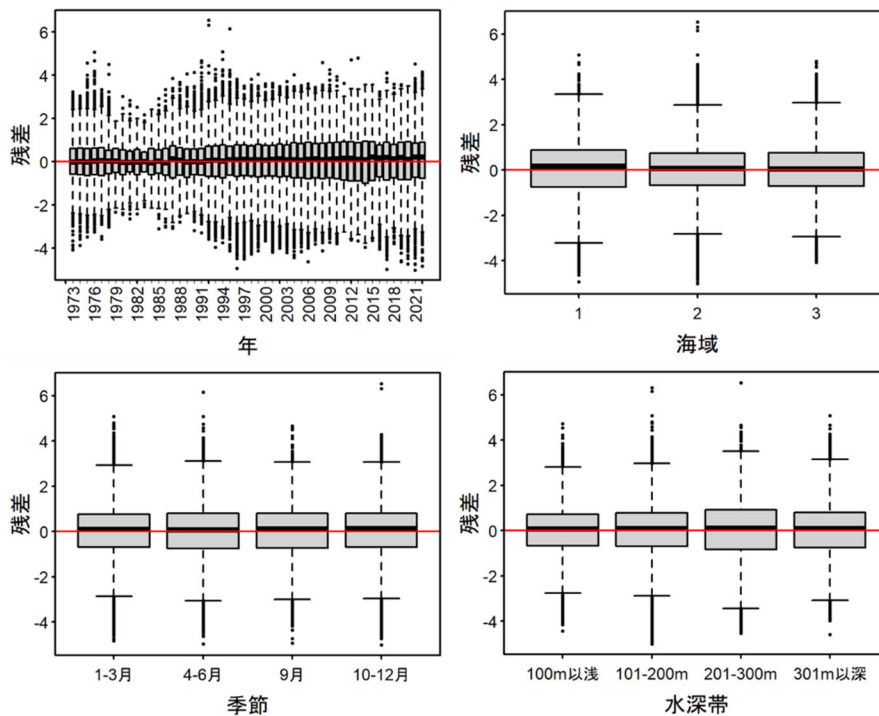


図 8. 金華山～房総海区モデル B の各変数における残差の箱ひげ図
海域 1、2、3 はそれぞれ金華山海区、常磐海区、房総海区を示す。

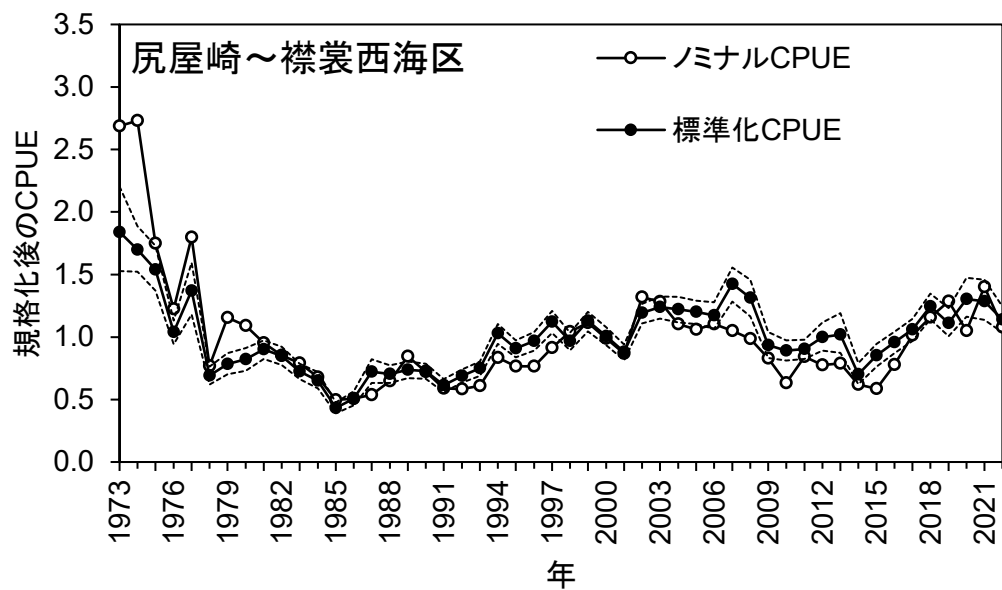


図 9. 尻屋崎～襟裳西海区の標準化 CPUE（黒）とノミナル CPUE（白）の比較
それぞれ、平均値で除すことで規格化した。破線は 95%信頼区間を示す。

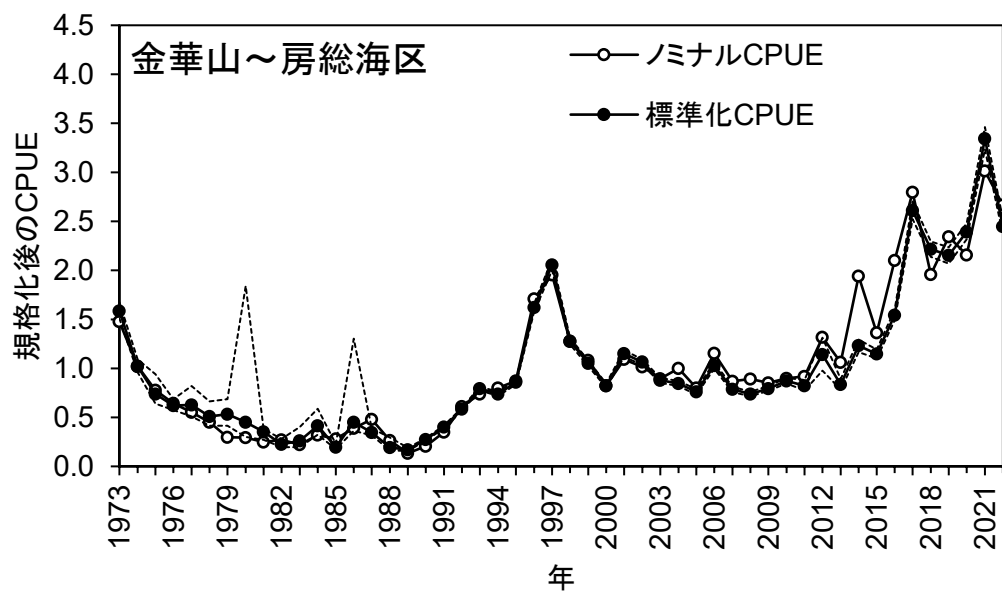


図 10. 金華山～房総海区の標準化 CPUE（黒）とノミナル CPUE（白）の比較
それぞれ、平均値で除すことで規格化した。破線は 95%信頼区間を示す。

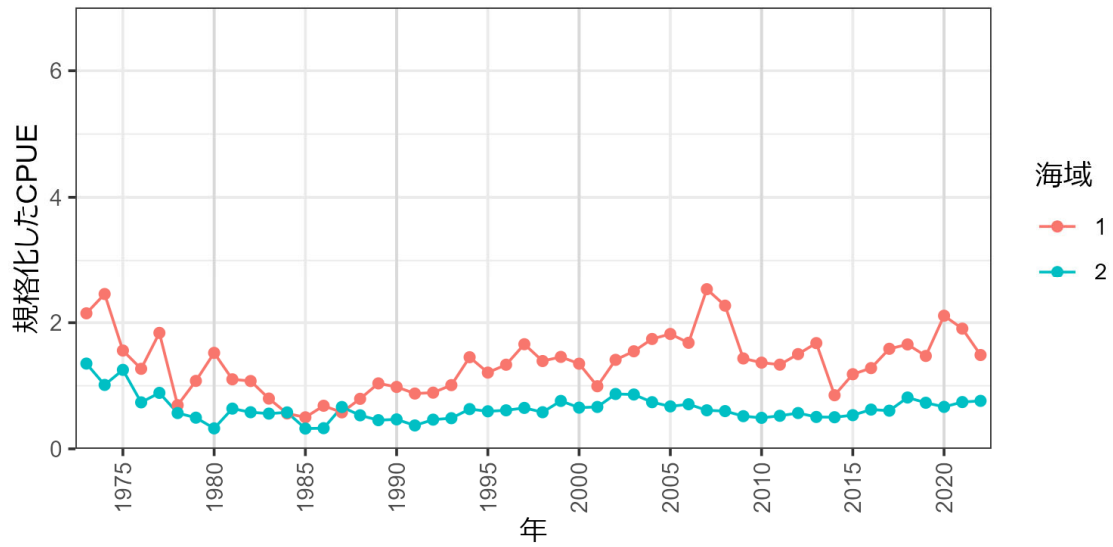


図 11. 尻屋崎～襟裳西海区におけるベストモデルについて最小二乗平均 (LSMEAN) より算出した海域別年トレンドの推移

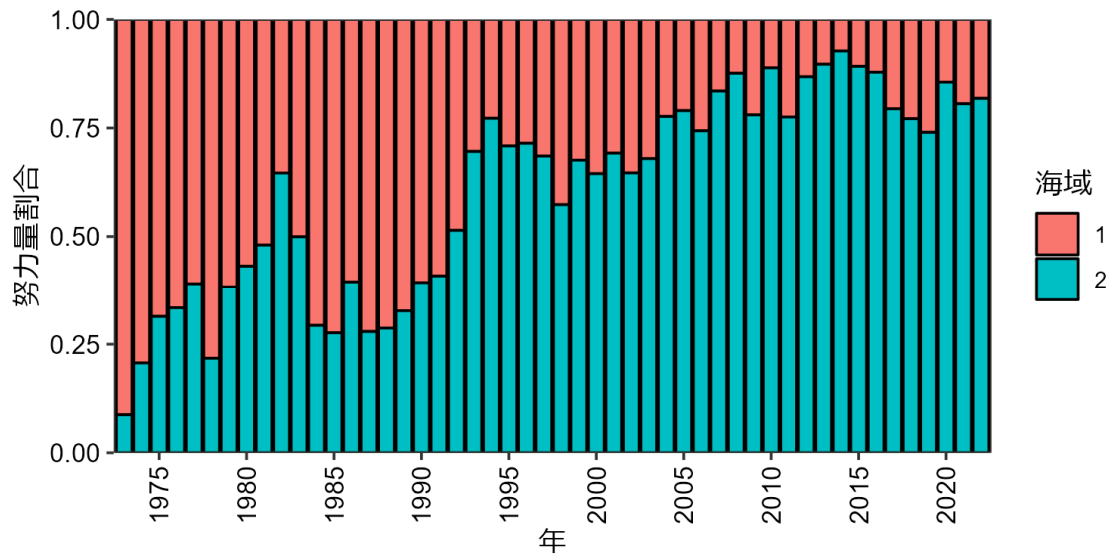


図 12. 尻屋崎～襟裳西海区における年別海域別努力量割合

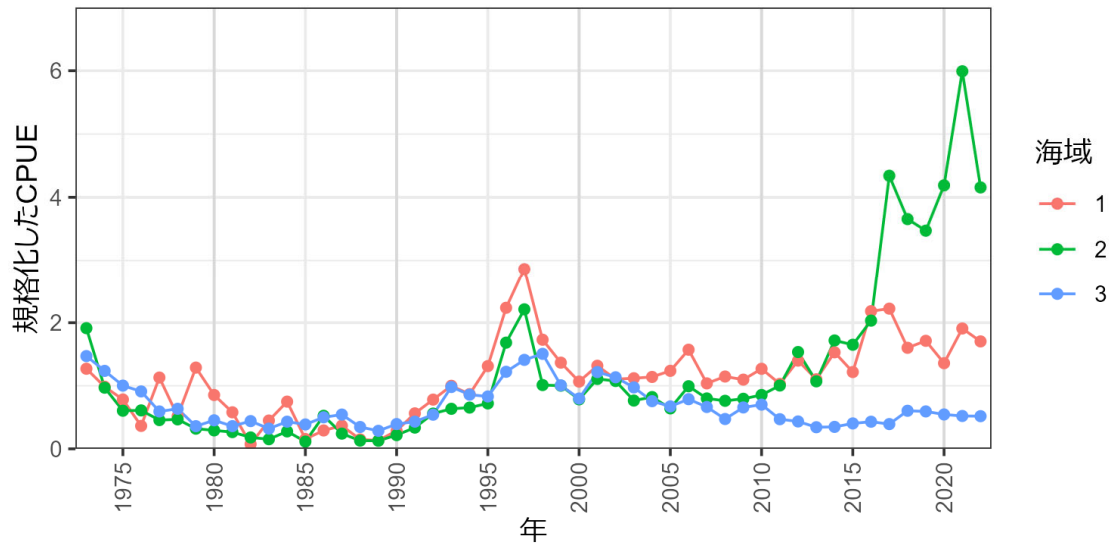


図 13. 金華山～房総海区におけるベストモデルについて最小二乗平均（LSMEAN）より算出した海域別の年トレンドの推移
海域 1、2、3 はそれぞれ金華山海区、常磐海区、房総海区を示す。

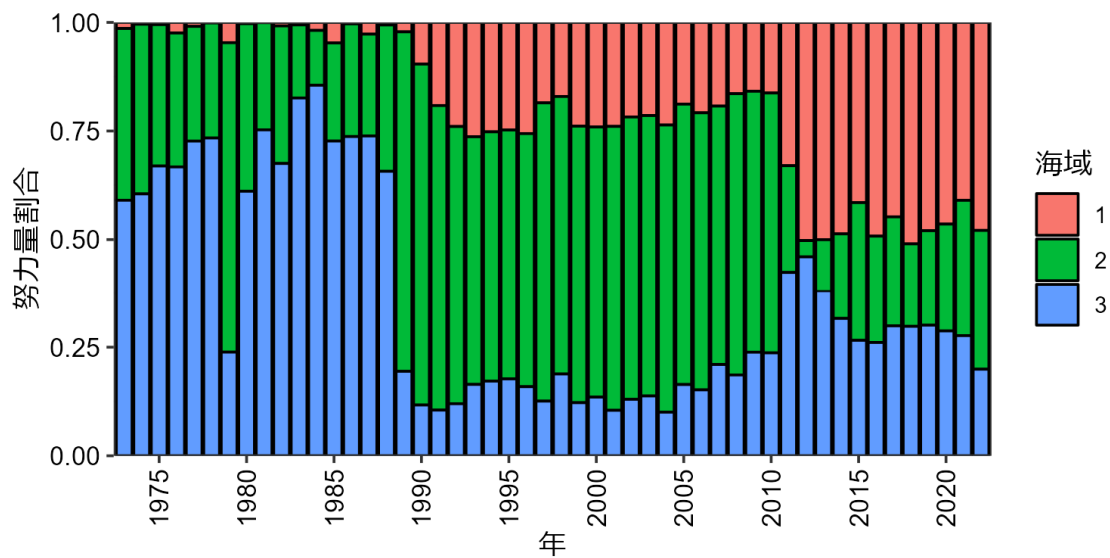


図 14. 金華山～房総海区における年別海域別努力量割合
海域 1、2、3 はそれぞれ金華山海区、常磐海区、房総海区を示す。

表 1. 尻屋崎～襟裳西海区モデル A におけるモデル選択の結果（上位 10 モデル）

(Int)	f(Ar)	f(Dp)	f(Sn)	f(Yr)	f(Ar):f(Dp)	f(Ar):f(Sn)	f(Ar):f(Yr)	f(Dp):f(Sn)	f(Sn):f(Yr)	df	logLik	BIC	delta
2.439	+	+	+	+	+	+	+	+	+	323	-73374.06	150302.0	0.00
2.744	+	+	+	+	+	+	+	+	+	320	-73442.82	150406.5	104.50
2.697	+	+	+	+	+	+	+	+	+	311	-73541.47	150504.8	202.78
2.895	+	+	+	+	+	+	+	+	+	308	-73615.82	150620.5	318.47
2.395	+	+	+	+	+	+	+	+	+	319	-73701.84	150913.5	611.54
2.668	+	+	+	+	+	+	+	+	+	274	-73996.63	151008.0	706.00
2.784	+	+	+	+	+	+	+	+	+	316	-73788.13	151053.1	751.12
2.656	+	+	+	+	+	+	+	+	+	307	-73848.34	151074.5	772.52
2.914	+	+	+	+	+	+	+	+	+	262	-74166.99	151216.7	914.69
2.920	+	+	+	+	+	+	+	+	+	304	-73940.68	151226.2	924.19

f()はカテゴリカル変数を示す。Ar、Dp、Sn、Yr はそれぞれ海域、水深帯、季節、年を示す。

表 2. 尻屋崎～襟裳西海区モデル B におけるモデル選択の結果（上位 10 モデル）

(Int)	f(Ar)	f(Dp)	f(Sn)	f(Yr)	f(Ar):f(Dp)	f(Ar):f(Sn)	f(Ar):f(Yr)	f(Dp):f(Sn)	f(Sn):f(Yr)	df	logLik	BIC	delta
2.784	+	+	+	+	+	+	+	+	+	323	-72737.54	149028.9	0.00
2.662	+	+	+	+	+	+	+	+	+	320	-72779.37	149079.6	53.91
2.905	+	+	+	+	+	+	+	+	+	311	-72904.09	149230.0	199.73
2.781	+	+	+	+	+	+	+	+	+	308	-72955.37	149299.6	273.40
2.955	+	+	+	+	+	+	+	+	+	274	-73306.95	149628.6	606.92
2.799	+	+	+	+	+	+	+	+	+	319	-73090.73	149691.3	634.34
2.694	+	+	+	+	+	+	+	+	+	316	-73145.52	149767.9	712.72
2.808	+	+	+	+	+	+	+	+	+	271	-73409.36	149800.4	784.17
3.021	+	+	+	+	+	+	+	+	+	262	-73470.29	149823.3	799.86
2.899	+	+	+	+	+	+	+	+	+	307	-73244.03	149865.9	808.81

f()はカテゴリカル変数を示す。Ar、Dp、Sn、Yr はそれぞれ海域、水深帯、季節、年を示す。

表 3. 金華山~房総海区モデル A におけるモデル選択の結果（上位 10 モデル）

(Int)	f(Ar)	f(Dp)	f(Sn)	f(Yr)	f(Ar):f(Dp)	f(Ar):f(Sn)	f(Ar):f(Yr)	f(Dp):f(Sn)	f(Sn):f(Yr)	df	logLik	BIC	delta
2.287	+	+	+	+	+	+	+	+	+	325	-491989.97	988095.1	0.00
2.139	+	+	+	+	+	+			+	316	-492294.56	988590.3	495.23
2.053	+	+	+	+		+	+	+	+	319	-492758.24	989555.6	1460.57
1.890	+	+	+	+		+			+	310	-493108.36	990141.9	2046.85
2.302	+	+	+	+	+		+	+	+	319	-493176.72	990392.6	2297.52
2.203	+	+	+	+			+		+	310	-493695.30	991315.8	3220.72
2.130	+	+	+	+			+	+	+	313	-493947.40	991858.0	3762.90
1.868	+		+	+		+	+		+	307	-494289.98	992467.2	4372.10
2.400	+	+	+	+	+	+	+	+		178	-495214.53	992682.9	4587.82
2.018	+	+	+	+			+		+	304	-494535.47	992920.2	4825.10

f()はカテゴリカル変数を示す。Ar、Dp、Sn、Yr はそれぞれ海域、水深帯、季節、年を示す。

表 4. 金華山~房総海区モデル B におけるモデル選択の結果（上位 10 モデル）

(Int)	f(Ar)	f(Dp)	f(Sn)	f(Yr)	f(Ar):f(Dp)	f(Ar):f(Sn)	f(Ar):f(Yr)	f(Dp):f(Sn)	f(Sn):f(Yr)	df	logLik	BIC	delta
2.449	+	+	+	+	+	+	+	+	+	381	-492367.85	989559.9	0.00
2.499	+	+	+	+		+	+	+	+	372	-492949.85	990609.9	1050.03
2.391	+	+	+	+	+		+	+	+	372	-493030.39	990771.0	1211.11
2.292	+	+	+	+	+	+		+	+	372	-493066.19	990842.6	1282.71
2.456	+	+	+	+		+	+	+	+	363	-493639.12	991874.5	2314.61
2.224	+	+	+	+		+			+	363	-493658.67	991913.6	2353.72
2.346	+	+	+	+		+		+	+	363	-493690.19	991976.7	2416.75
2.288	+	+	+	+		+			+	354	-494315.83	993114.0	3554.07
2.512	+	+	+	+	+	+	+			234	-495735.43	994433.7	4873.85
2.477	+		+	+		+	+		+	360	-495138.87	994836.0	5276.13

f()はカテゴリカル変数を示す。Ar、Dp、Sn、Yr はそれぞれ海域、水深帯、季節、年を示す。

表 5. 各年のノミナル CPUE および標準化 CPUE

年	尻屋崎～襟裳西海区		金華山～房総海区	
	ノミナルCPUE	標準化CPUE	ノミナルCPUE	標準化CPUE
1973	2.693	1.840	1.432	1.586
1974	2.706	1.700	0.992	1.019
1975	1.777	1.541	0.755	0.738
1976	1.204	1.040	0.622	0.623
1977	1.798	1.370	0.537	0.628
1978	0.768	0.693	0.437	0.512
1979	1.152	0.783	0.289	0.533
1980	1.091	0.823	0.284	0.452
1981	0.951	0.902	0.240	0.353
1982	0.851	0.848	0.264	0.226
1983	0.791	0.726	0.217	0.261
1984	0.665	0.651	0.309	0.415
1985	0.466	0.433	0.272	0.198
1986	0.507	0.507	0.377	0.450
1987	0.529	0.722	0.465	0.348
1988	0.648	0.704	0.257	0.192
1989	0.844	0.738	0.130	0.170
1990	0.723	0.726	0.200	0.276
1991	0.590	0.614	0.340	0.403
1992	0.585	0.689	0.591	0.585
1993	0.609	0.751	0.717	0.794
1994	0.836	1.029	0.775	0.739
1995	0.766	0.910	0.844	0.858
1996	0.765	0.969	1.658	1.620
1997	0.916	1.121	1.892	2.056
1998	1.043	0.968	1.238	1.279
1999	1.114	1.129	1.050	1.051
2000	0.988	1.007	0.799	0.825
2001	0.868	0.880	1.059	1.150
2002	1.319	1.195	0.986	1.065
2003	1.284	1.240	0.866	0.879
2004	1.105	1.222	0.931	0.846
2005	1.062	1.201	0.778	0.761
2006	1.103	1.174	1.119	1.029
2007	1.050	1.423	0.844	0.787
2008	0.987	1.315	0.865	0.739
2009	0.829	0.936	0.832	0.796
2010	0.634	0.891	0.896	0.874
2011	0.843	0.903	0.914	0.825
2012	0.777	1.000	1.154	1.142
2013	0.789	1.019	1.029	0.835
2014	0.619	0.702	1.901	1.231
2015	0.588	0.853	1.321	1.147
2016	0.778	0.957	2.038	1.543
2017	1.016	1.061	2.715	2.610
2018	1.159	1.245	1.896	2.217
2019	1.285	1.113	2.270	2.153
2020	1.049	1.305	2.086	2.394
2021	1.402	1.285	2.938	3.342
2022	1.078	1.141	2.585	2.447

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 6. 尻屋崎～襟裳西海区のベストモデルにおける各海域の面積比

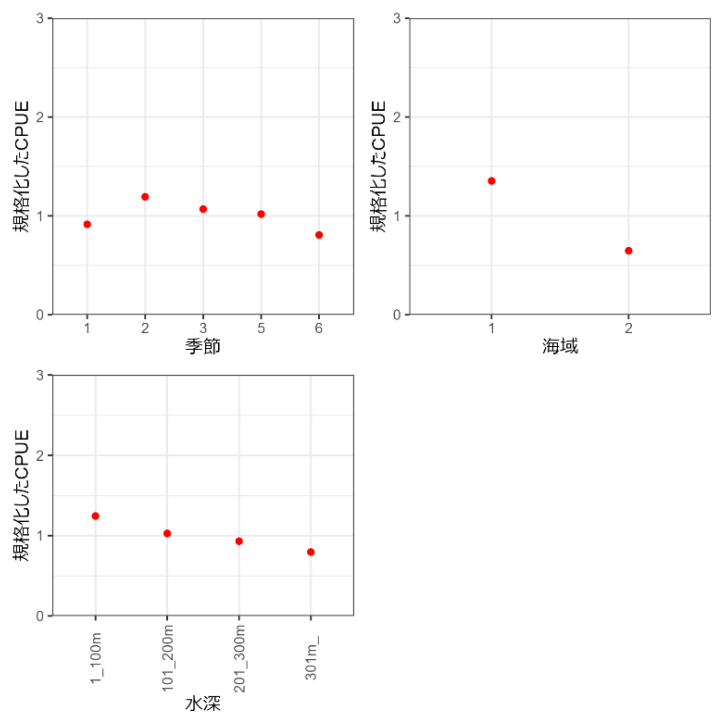
海域 1	海域 2	全海域計
0.33	0.67	1.00

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。この際、有漁網数が極端に少ない農林漁区は集計から除外した。

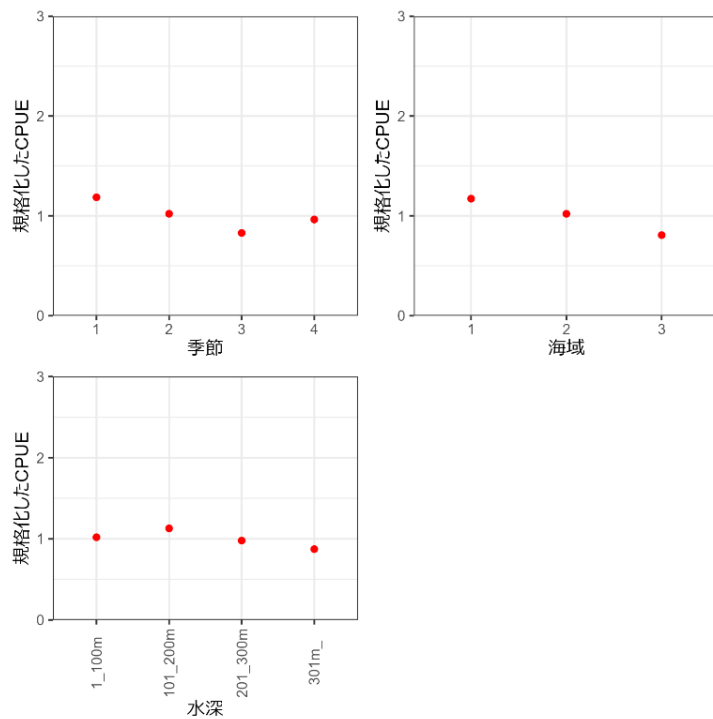
表 7. 金華山～房総海区のベストモデルにおける各海区の面積比

金華山	常磐	房総	全海域計
0.22	0.48	0.29	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。この際、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. 尻屋崎~襟裳西海区ベストモデルの最小二乗平均 (LSMEAN) より算出した季節、海域、水深帯ごとの標準化 CPUE のトレンド。縦軸は平均値で除すことで規格化した。



付図 2. 金華山~房総海区ベストモデルの最小二乗平均 (LSMEAN) より算出した季節、海域、水深帯ごとの標準化 CPUE のトレンド。縦軸は平均値で除すことで規格化した。