

令和 5（2023）年度サメガレイ太平洋北部の資源評価の CPUE 標準化

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
鈴木勇人、時岡 駿

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 1～12 月 (1978 年は 1～10 月)
標準化に使用した期間	1972～2022 年 1～6 月および 9～12 月 (1978 年は 1～6 月および 9～10 月)
データの抽出	金華山海区以南のオッター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 (4.0.5)。 パッケージは MuMIn (Ver 1.43.17)、GLM.tree (Ver 1.2)
統計モデル	一般化線形モデル
フルモデルの応答変数	自然対数変換した日別船別 CPUE (kg/網)
フルモデルの説明変数	CPUE モデル： 年、月、海域、水深、年×海域、月×水深、海域×水深 (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	CPUE モデル： 年、月、海域、水深、年×海域、月×水深、海域×水深
年トレンドの抽出方法	CPUE モデルの係数から年別に海域面積で重み付けした最小二乗平均を計算し、逆対数変換して年トレンドとした。 資源量指標値とする際には、さらに平均値で除して規格化した。
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	標準化により 1990 年以前の多くの年で資源量指標値が減少し、1990 年以降の全年で資源量指標値が増加した。過去と比べて沖合域での操業の割合が減少している影響が取り除かれることで、近年の資源量指標値が増加したと考えられた。

目次

1. 背景
2. 方法
3. 結果と考察
4. 引用文献
5. 図表

図 1～4(金華山海域以南の全網数に関する図)

図 5～8(モデル作成の説明)

図 9～14(結果と考察の図)

表 1～4(計算に用いた、または算出された数値)

1. 背景

漁業データに基づく CPUE は資源量の指標値として広く利用されており、調査船調査よりも幅広い年代・海域のデータが得られるため、資源変動の全体像を知る上で重要である。一方で、事前に調査デザインが決められた調査船調査とは異なり、漁業データは操業場所、時期、漁法などといった努力量の時空間分布が非均一である場合が多い。そのため、近年では努力量の偏りを統計的に取り除いた CPUE (標準化 CPUE) を用いることが望ましいとされている (Maunder and Punt 2004)。

サメガレイ太平洋北部は主に東北海域南部の金華山海区～房総海区におけるオッタートロール漁法 (以下、南部トロール) により漁獲されており、本資源の状態を評価するために南部トロールによる操業データを用いている。図 1 および図 2 に示したように南部トロールの操業形態は長期的に大きく変化しており、その変化の様子は海区ごとに異なっている。サメガレイのノミナル CPUE (=年間漁獲量/年間網数) が高い 1976～1980 年と直近 5 年である 2018～2022 年をそれぞれ平均して比較すると、近年は深場での操業の割合が大きく減少し、加えて、近年の深場における操業は 3～6 月に偏っていることがわかる (図 3、4)。ノミナル CPUE はデータ数が多い情報に強く影響されるため、南部トロールのノミナル CPUE は、1976～1980 年には深場の情報、2018～2022 年には浅場の情報をより強く反映しており、その一方で近年の 1～2 月における 801 m 以深の深場の情報はほとんど反映されないと考えられる。底魚類では分布が水深帯に依存することが多く、このような操業水深の変化はノミナル CPUE に大きな影響を与えていると考えられる。より正確に資源変動を把握することを目的とし、一般化線形モデル (GLM) を用いて CPUE の標準化を実施した。

2. 方法

使用するデータ

使用するデータは太平洋北区沖合底びき網漁業漁獲成績報告書 (以下、沖底漁績) とし、その中に含まれる金華山海区以南におけるオッタートロール漁法によるサメガレイ

有漁網データとした。なお、今回の解析ではゼロキャッチデータは使用していない。モデルの誤差分布は正規分布に従うと仮定し、自然対数変換したサメガレイの日別船別 CPUE (kg/網/日・隻) を応答変数とした。沖底漁績に含まれる操業情報の内、説明変数に用いることが可能であると判断したのは操業年、操業月、操業漁区、操業水深である。漁区は緯度経度 10 分ごとに分割されたメッシュ状に設定されており、本解析に用いたデータでは北緯 35～39 度、西経 140.5～143.5 度の範囲の 232 個の漁区において操業記録が存在する。ただし、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、1972 年以降 50 年間の総網数が約 200 網以下の漁区のデータを除去し、全網数の 0.1% にあたるデータを除去した。操業水深は一部の期間でしか記録されていないため、操業水深の記載があるデータを用いて漁区ごとの平均操業水深を計算し、操業水深の記載がないデータに当てはめて使用した。連続値である操業水深を 100 m ごとに 11 個のカテゴリ (1～100 m、101～200 m、201～300 m、301～400 m、401～500 m、501～600 m、601～700 m、701～800 m、801～900 m、901～1000 m、1001 m 以上) に分けて操業水深とした。

標準化モデルの作成

操業漁区は GLM-tree (Ichinokawa and Brodziak 2010) により BIC が極小になるようにカテゴリにまとめ、操業海域とした。GLM-tree はメッシュ状の海域データ (今回は漁区に相当) を説明変数に持つモデルを作成し、ツリーモデルを用いて AIC または BIC が最小になる海域区分を決定する手法である。まず海域を定義するための一次モデルを作成し、GLM-tree による海域区分を実行した (R パッケージ glm.tree 1.2 を利用)。次に、これにより定義された海域を説明変数に用いて二次モデルを作成し、BIC を基準とした変数総当たり法により最適な標準化モデルを選択した (R パッケージ MuMIn 1.43.17 利用)。

一次モデルおよび二次モデルの説明変数には年、月、海域、水深および年と海域 (産卵場位置の変化)、月と水深 (年周期の浅深移動)、海域と水深 (海域ごとに異なる操業水深推定精度の補正) の交互作用を用いた。図 5 の月別ノミナル CPUE の推移をみると年代によって CPUE の高い月に変化がみられるが、以下の理由から各モデルの説明変数に年と月の交互作用は採用していない。過去にはサメガレイの産卵期は 1～2 月で、この時期に 500～1,000 m の産卵場に集群したところを漁獲していたことが知られており (佐伯 2001、服部ほか 2008)、このために過去の 1～2 月の CPUE が高くなっていると考えられる。2010～2017 年の宮城県水産技術総合センターの水揚げ物の精密測定結果では 1～2 月に急激な GSI の減少がみられる (図 6) ことに加え、水産資源研究所が 4 月に実施している調査の採集物には産卵前の個体はみられていない。これらのことから、2010 年以降も産卵期は変わらず 1～2 月であると考えられる。また、本種は深海性が強く、いずれの月でも深場ほど CPUE が高い傾向がみられる (図 7)。冒頭で述べたように近年では

深場で操業する時期が 4～6 月に偏っていることから、これが原因でノミナル CPUE では 4～6 月に高い CPUE が観測されているものと考えられる。標準化モデルに年と月の交互作用を採用するということは、CPUE の高い月が年によって変化するという現象をモデルに盛り込むことを意味し、本資源では産卵に起因する集群行動が大きく変化するということとほぼ同義であると考えられる。つまり、実際には集群する時期は変化しておらず 1～2 月に深場の産卵場で操業すればサメガレイは多く漁獲されると考えられるが、モデルに年と月の交互作用を採用すると、集群する時期が変化したことで 1～2 月には CPUE が減少していると仮定することになり、資源量指標値を過小推定する可能性がある。以上から、サメガレイが集まる時期は変化しておらず漁船の操業時期が変化した、ということモデルで表現するためには、年と月の交互作用は採用しないことが適切であると判断した。その他の交互作用についても昨年の標準化モデルで採用していないものは今年度の評価でも除外した。

以上の一次モデルに GLM-tree を適用して海域を区分けした結果、海域区分の数が 4 つの時に BIC は極小となったものの、年×海域に欠損データが生じたため、3 分割の海域区分を採用した（図 8）。一次モデルの説明変数に用いた海域区分をこれらの区分に置き換えて二次モデルを作成し、BIC を基準とする変数総当たり法により最適な標準化モデルを選択した。その結果、後述のようにフルモデルが選択されたことから、上記の GLM-tree による海域区分が最適と判断して採用した。

年トレンドの抽出

標準化モデルから年別海域別最小二乗平均を算出し、海域面積比（表 1）で重み付けした平均を年別最小二乗平均とした。重み付けに用いる海域面積比は各海域に含まれる漁区の数で決まることにより決定した。年別最小二乗平均をその平均値で除して標準化 CPUE の年トレンドとした。選択された標準化モデルを用いて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）を行い、95%信頼区間を推定した。

3. 結果と考察

モデル選択の結果、以下が標準化モデルとして選択された（表 2）。

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

ここでの記号は以下の通りである。

Year: 年（1972～2022 年）

Month: 月（1～6 月および 9～12 月：7～8 月は休漁期）

Area: 海域（GLM-tree により区分した海域 1～3）

Depth: 水深（1～100 m、101～200 m、201～300 m、301～400 m、401～500 m、501 m～600 m、601～700 m、701～800 m、801～900 m、901～1000 m、1001 m 以深）

このモデルの残差は概ね正規分布に従っていた（図 9）。また、各変数の残差にも大きな偏りはみられず（図 10）、モデルの正規性に問題はないと判断した。

このモデルから抽出された標準化 CPUE は 1970～1980 年代にはほとんどの年が 1 以上、1992 年以降は全ての年で 1 以下であり、この傾向はノミナル CPUE と類似していた（図 11、表 3）。

年以外の主効果のトレンドをみると、月別では 1～2 月に CPUE が高く、それ以外の月には CPUE が低い結果となった（図 12）。水深別では 1～500 m は CPUE が低い一方で、深くなるにつれて CPUE は増加し、901～1000 m で最大となった。水深別の標準化 CPUE は、1～100 m で 2.36、901～1000 m で 53.79 であることから、両水深帯を比較すると約 23 倍の差があることが明らかになった（表 4）。また、水深別月別の標準化 CPUE をみると、水深 300 m 以浅では月による CPUE の変化はあまりみられないが、産卵期である 1～2 月には 301 m 以深、特に 501 m 以深で CPUE の上昇がみられた。冒頭で述べたように過去と近年では操業する水深帯および月に変化が生じており（図 1～4）、ノミナル CPUE は本種の分布密度が高い沖合での操業、特に 1～2 月の 501 m 以深での操業の増減によって大きく影響されていると考えられた。

海域別のトレンドでは海域 3（茨城～千葉県沖）で最も CPUE が高く、海域 1（宮城県沖）と海域 2（福島県沖）は同程度であった（図 12）。しかし、年別海域別の CPUE をみると、海域ごとに資源変動の推移が異なることが明らかになった（図 14）。本種の産卵場は 1980 年代半ばまで宮城～茨城県沖の全域に分布していたが、その後大規模な産卵場は形成されなくなり、近年では 2000 年代に茨城県沖で産卵場が復活した可能性が報告されている（服部ほか 2008）。2000 年代の海域 3 の CPUE が高いことは、茨城県沖の産卵場が復活したことを示していると考えられる。また、2007～2010 年には宮城県～福島県沖で卓越年級群が発生したことが報告されている（服部ほか 2011、鷹崎・和田 2011、Abe et al. 2013、稲川ほか 2013）。その後の加入が期待されたが、2011 年に発生した東日本大震災により漁獲圧が低下し、現在でも福島県沖の深場での操業はほとんど行われていない。本種は漁獲加入するまで 3 年程度を要すると考えられ、通常であれば漁獲圧にさらされ始めるタイミングで、震災による大幅な漁獲圧低下が生じた。その後は震災以前よりも浅い海域での操業の割合が増加したこともあり、ノミナル CPUE では資源の増加は顕著ではない。しかし CPUE を標準化することによって、近年の沖合域での操業の減少の影響が除去され、金華山海区～常磐海区の沖合における資源が 2015～2020 年にかけてやや回復したことが示唆された。

4. 引用文献

Abe T., T. Wada, M. Aritaki, N. Sato and T. Minami (2013) Morphological and habitat characteristics of settling and newly settled Roughscale Sole *Clidoderma asperimum* collected in the coastal waters of northeastern Japan. Fish Sci., **79**, 767-777.

服部 努・稲川 亮・成松庸二・伊藤正木 (2011) 東北海域におけるサメガレイ 2008 年級群の加入. 東北底魚研究, **31**, 79-84.

服部 努・上田祐司・成松庸二・伊藤正木 (2008) 東北海域におけるサメガレイ分布域の長期変化. 水産海洋研究, **72**, 14-21.

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

稲川 亮・服部 努・成松庸二・伊藤正木 (2013) 2012 年におけるサメガレイの年級群構造. 東北底魚研究, **33**, 13-16.

Maunder, Mark N., André E. Punt (2004) Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. Fish. Res., **70**, 141-159.

佐伯光広 (2001) 三陸・常磐沖合で漁獲されたサメガレイの生態と資源管理について. 宮城水産研報, **1**, 93-102.

鷹崎和義・和田敏裕 (2011) 福島県におけるサメガレイの漁獲実態および好漁の予兆. 東北底魚研究, **31**, 71-78.

5. 図表

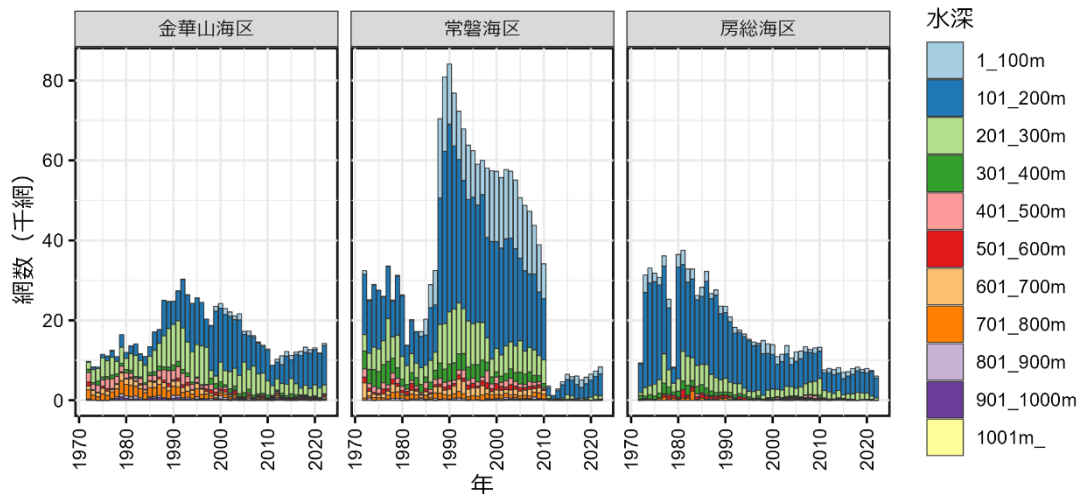


図 1. 各小海区における水深別網数の推移

金華山海区と常磐海区では 1990 年代の網数が多く、房総海区では 1990 年以前の網数が多い。常磐海区では震災の影響により 2011 年以降は震災以前の 1/5 以下であるが、金華山海区と房総海区ではそこまで大きな減少は見られていない。

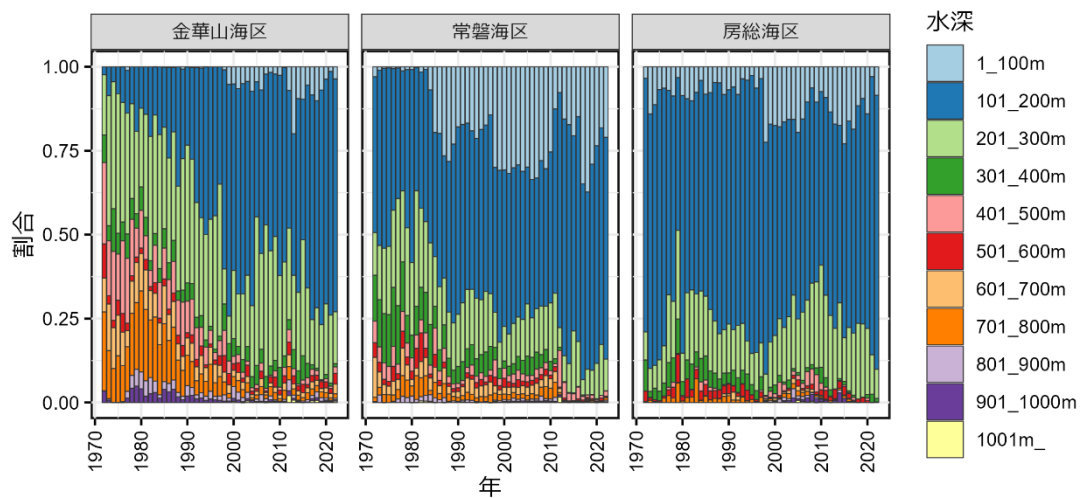


図 2. 各小海区における全網数のうち各水深帯の網数が占める割合の推移

1980 年代までの金華山海区と常磐海区では 401 m 以深の深場での操業が全体の 25～50%程度を占めていたが、その後深場での操業の割合は減少した。常磐海区では 2011 年以降は深場での操業の割合は極端に減少し、301 m 以浅の浅場での操業の割合が高い。房総海区では 2000 年代に 801 m 以深での操業の割合が増加したが、2016 年以降は 801 m 以深での操業はほとんどみられず、301 m 以浅での操業の割合が高い。

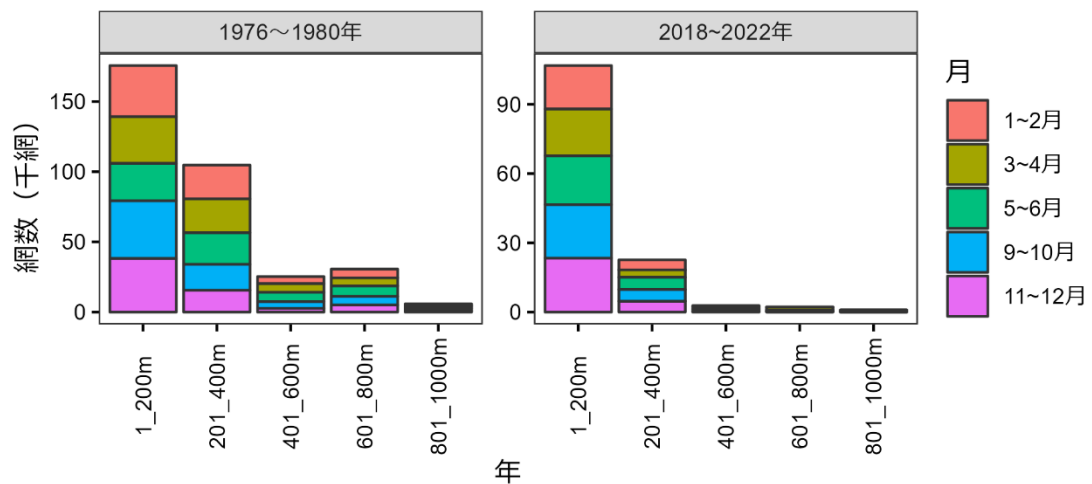


図 3. 1976～1980 年と 2018～2022 年の水深帯別および月別の全網数の比較

近年は 1976～1980 年と比較して 401 m 以深での操業が少ない。

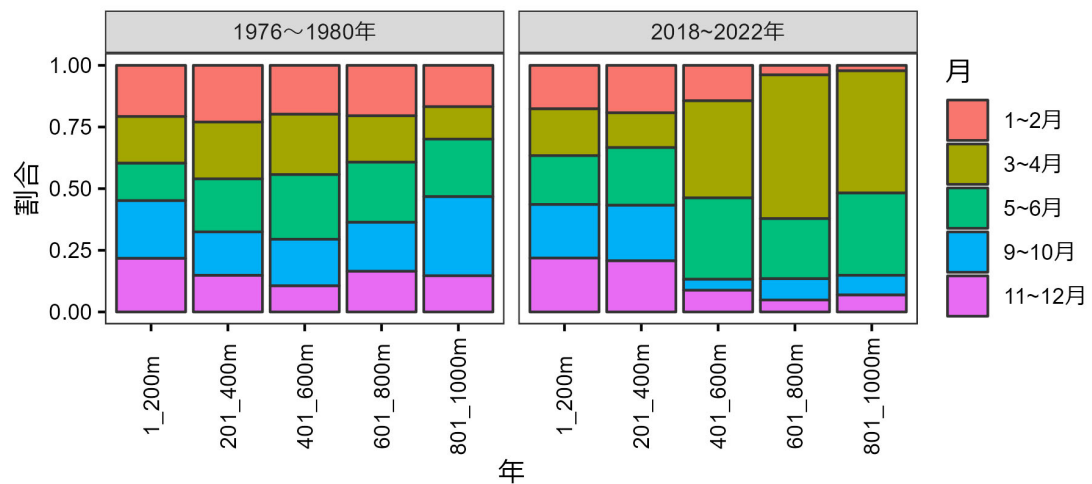


図 4. 1976～1980 年と 2018～2022 年の水深帯ごとの月別網数の割合の比較
401 m 以深の海域において、近年は 4～6 月の操業の割合が高い。401 m 以浅の海域ではいずれの年代も月別網数の割合に大きな差は見られない。

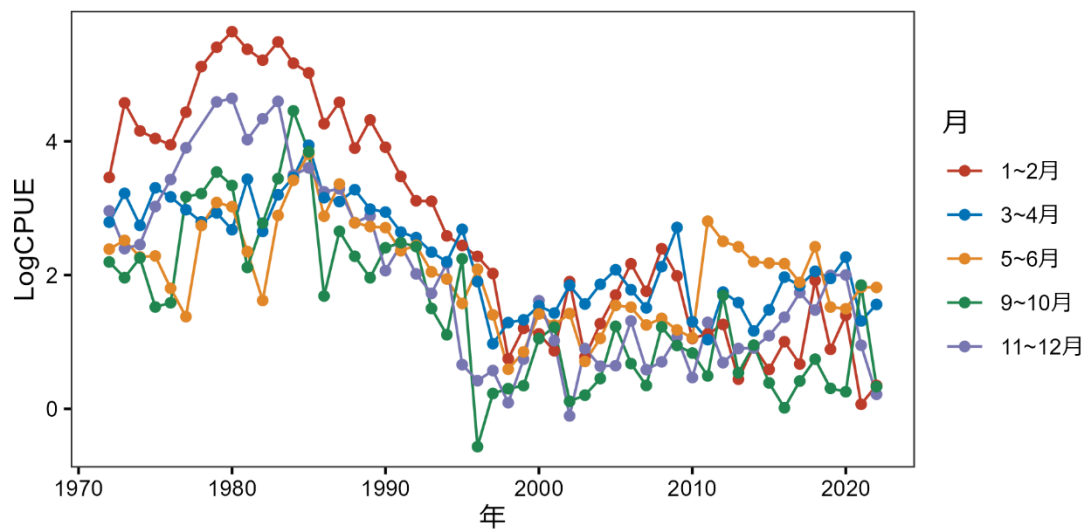


図 5. 月別ノミナル CPUE の推移
2000 年以前は 1～2 月に CPUE が高く、2010 年以降は 3～6 月に CPUE が高くなっている。

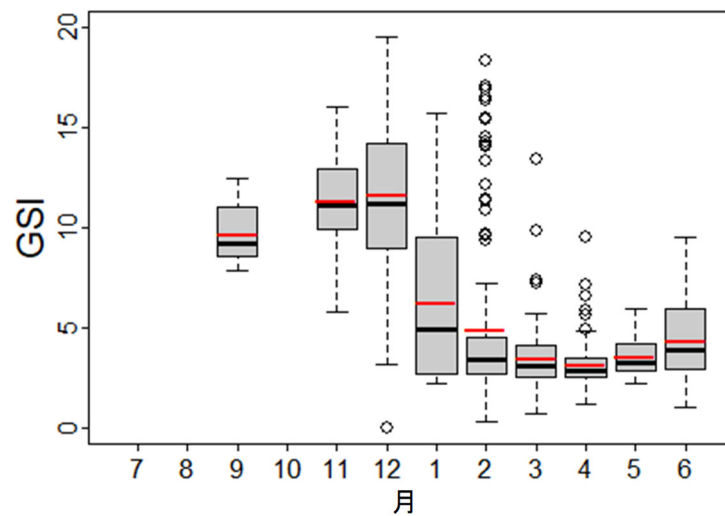


図 6. 2010～2017 年のサメガレイの GSI（生殖腺重量指数）の推移

宮城県水産技術総合センターの水揚げ物測定結果に基づく。黒線はデータの中央値、赤線は平均値を表す。12 月までは GSI が高い個体が多いが、その割合は 1～2 月にかけて急激に減少している。3 月には GSI が 5 以上の個体はごくわずからであることから、多くの個体は 1～2 月に産卵を終えていると考えられる。

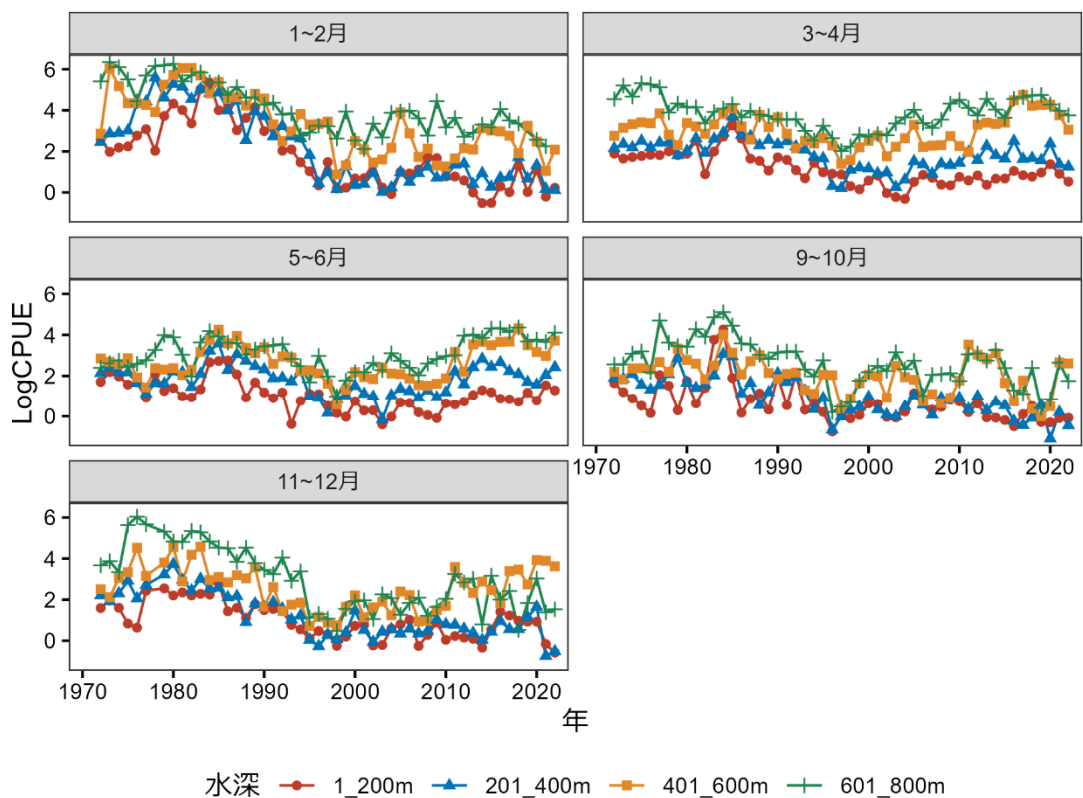


図 7. 月ごとの水深別ノミナル CPUE の推移

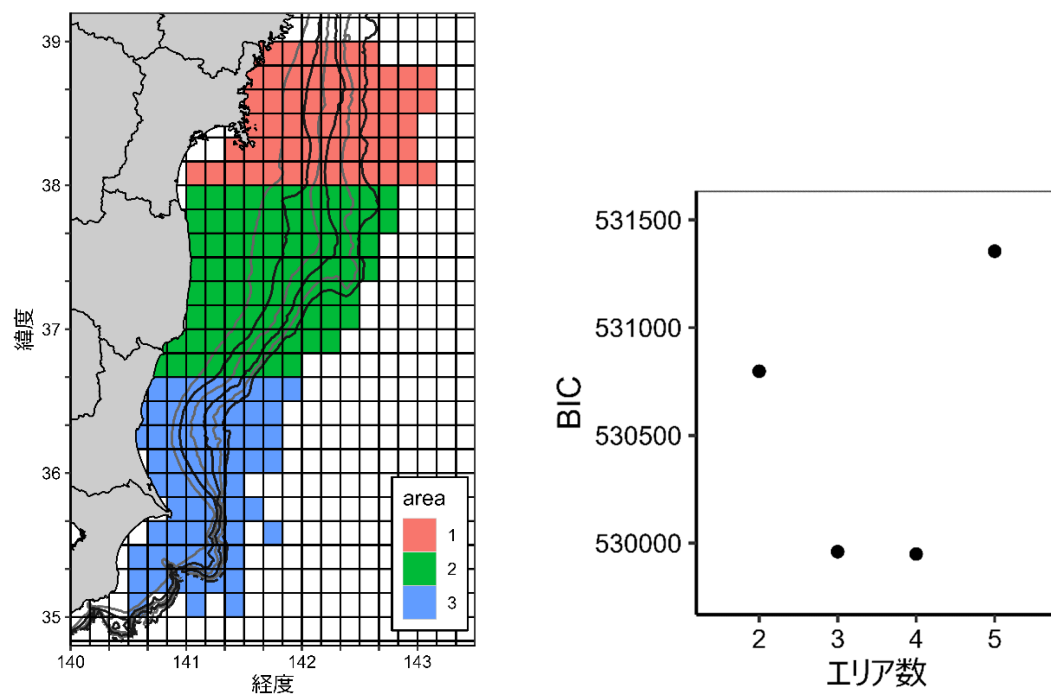


図 8. GLM-tree で区分された海域（左）と海区区分の数ごとの最小 BIC（右）

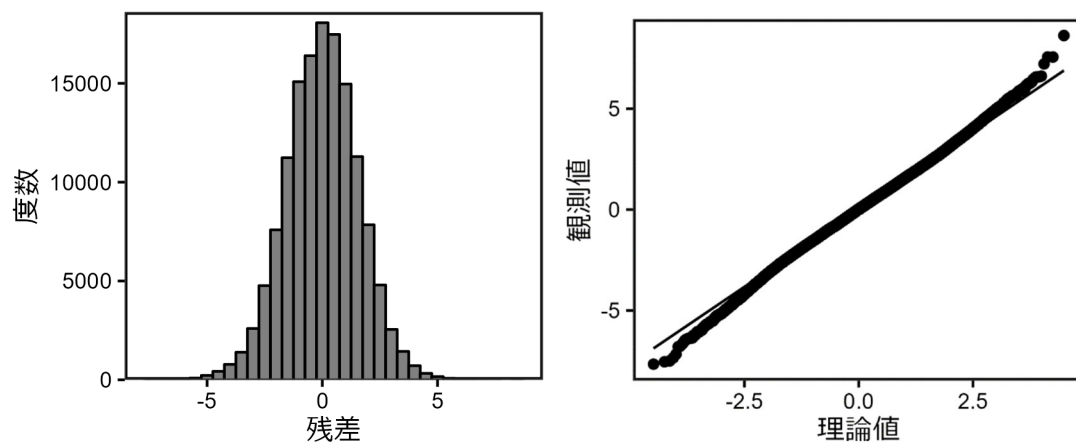


図 9. 標準化モデルの残差のヒストグラム（左）と正規確率プロット（右）

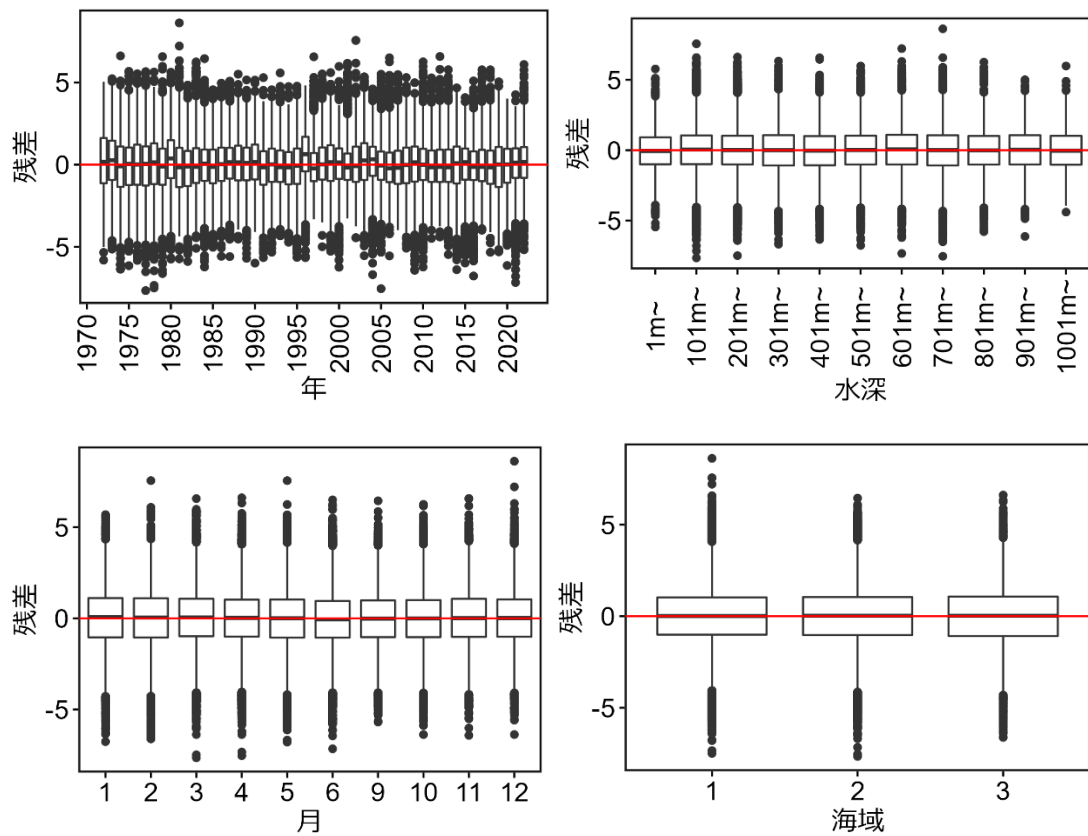


図 10. 標準化モデルにおける各変数の残差の箱ひげ図

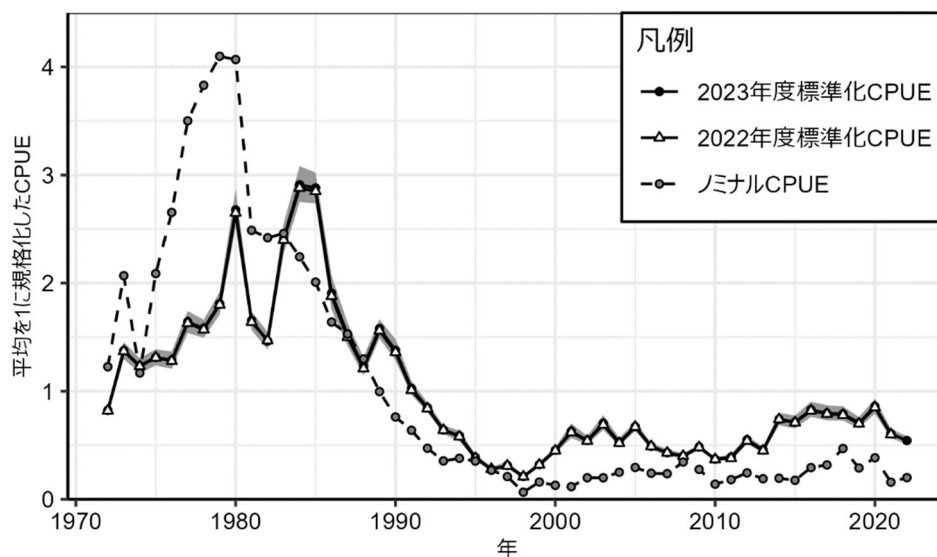


図 11. 標準化 CPUE とノミナル CPUE の比較

各 CPUE の平均値で除すことで平均値を 1 に規格化している。

灰色の網掛け部分は 2023 年度モデルの 95%信頼区間を表す。

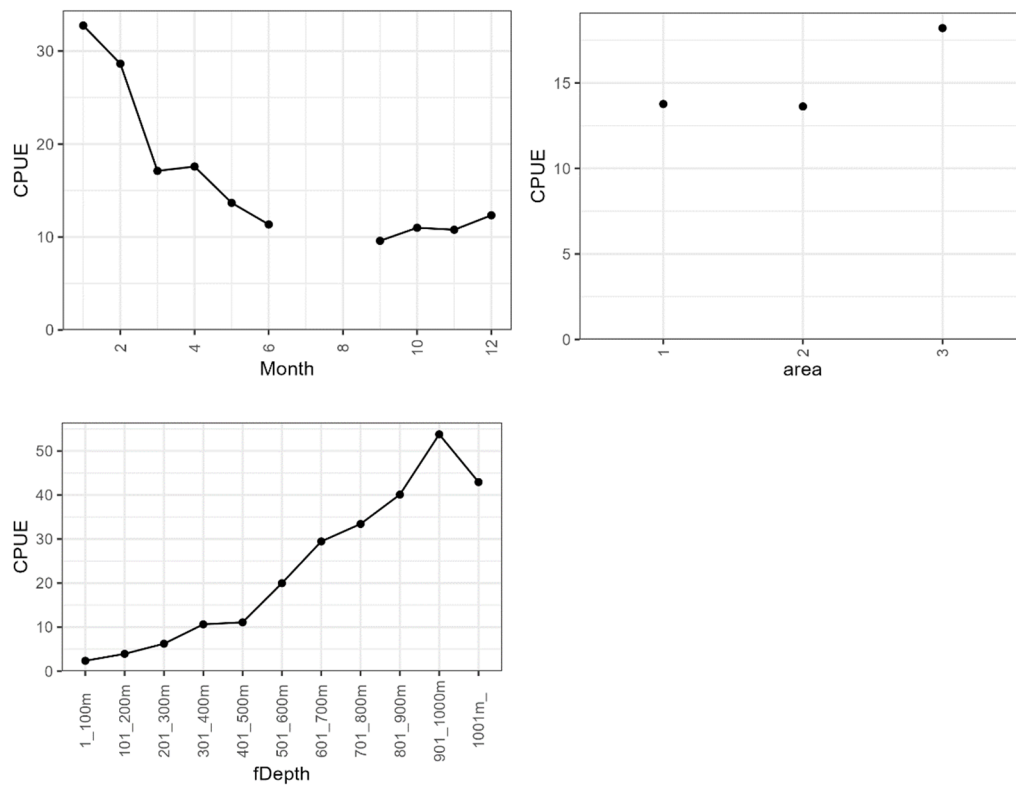


図 12. 面積重み付け最小二乗平均の算出により抽出した年以外の主効果のトレンド

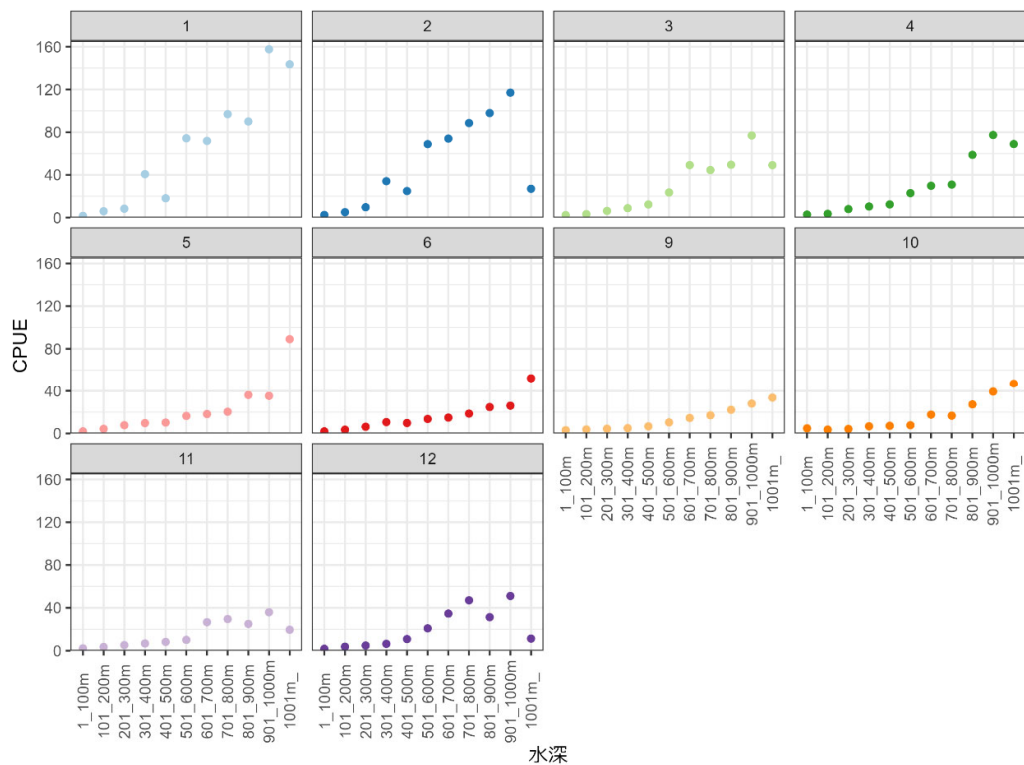


図 13. 最小二乗平均の算出により抽出した月別水深別トレンド
水深を x 軸とし、月別に色分けしている。

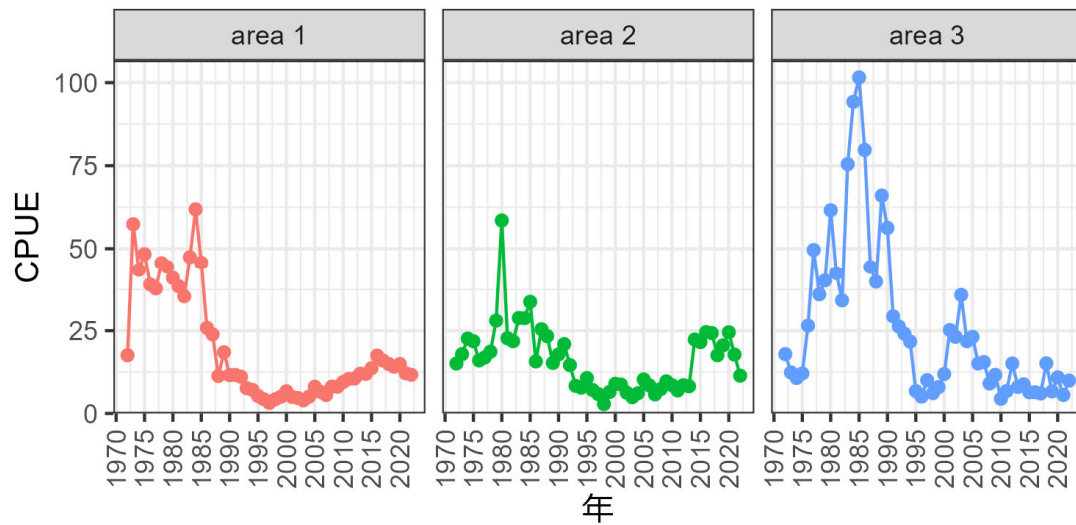


図 14. 最小二乗平均の算出により抽出した海域別の年トレンド
海域区分は図 8 参照のこと。

表 1. 海域面積の重み付けに用いた各海域の面積比

海域 1	海域 2	海域 3	合計
0.296	0.392	0.312	1.00

表 2. モデル選択の結果（上位 10 モデル）

(Int)	f(Ar)	f(Dp)	f(Mn)	f(Yr)	f(Dp):f(Ar)	f(Ar):f(Yr)	f(Dp):f(Mn)	df	logLik	BIC	delta	weight
0.144	+	+	+	+	+	+	+	283	-262585	528524	0	1
0.487	+	+	+	+		+	+	263	-263352	529821	1297	3E-282
1.207	+	+	+	+	+	+		193	-264396	531079	2555	0
1.643	+	+	+	+		+		173	-265009	532069	3545	0
-0.089	+	+	+	+	+		+	183	-265530	533229	4704	0
0.254	+	+	+	+			+	163	-266225	534381	5857	0
1.097	+	+	+	+	+			93	-267346	535795	7271	0
0.404		+	+	+			+	161	-266975	535859	7335	0
1.595	+	+	+	+				73	-267961	536786	8262	0
0.633	+	+		+	+	+		184	-267364	536909	8385	0

f()はカテゴリカル変数であることを示す。

Int、Yr、Mn、Ar、Dp は切片、年、月、海域、水深を示す。

表 3. 2023 年度および 2022 年度の標準化 CPUE とノミナル CPUE

年	2023 年度 標準化 CPUE (平均=1)	2022 年度 標準化 CPUE (平均=1)	ノミナル CPUE (平均=1)	年	2023 年度 標準化 CPUE (平均=1)	2022 年度 標準化 CPUE (平均=1)	ノミナル CPUE (平均=1)
1972	0.824	0.816	1.226	2001	0.629	0.619	0.117
1973	1.375	1.373	2.069	2002	0.546	0.538	0.200
1974	1.237	1.233	1.168	2003	0.703	0.694	0.200
1975	1.314	1.308	2.088	2004	0.528	0.523	0.250
1976	1.287	1.280	2.654	2005	0.672	0.666	0.295
1977	1.642	1.627	3.502	2006	0.491	0.487	0.242
1978	1.581	1.571	3.830	2007	0.431	0.427	0.237
1979	1.809	1.796	4.098	2008	0.400	0.396	0.345
1980	2.677	2.647	4.068	2009	0.485	0.477	0.276
1981	1.654	1.644	2.488	2010	0.372	0.366	0.141
1982	1.464	1.469	2.420	2011	0.390	0.379	0.183
1983	2.410	2.397	2.459	2012	0.551	0.541	0.245
1984	2.909	2.885	2.243	2013	0.457	0.451	0.190
1985	2.881	2.851	2.009	2014	0.741	0.737	0.195
1986	1.907	1.879	1.641	2015	0.715	0.711	0.177
1987	1.523	1.503	1.529	2016	0.829	0.820	0.294
1988	1.230	1.211	1.298	2017	0.796	0.794	0.319
1989	1.580	1.564	0.996	2018	0.791	0.784	0.471
1990	1.379	1.360	0.762	2019	0.707	0.702	0.291
1991	1.026	1.013	0.639	2020	0.859	0.853	0.384
1992	0.848	0.840	0.473	2021	0.607	0.604	0.159
1993	0.643	0.636	0.356	2022	0.544		0.201
1994	0.588	0.585	0.380				
1995	0.388	0.383	0.354				
1996	0.278	0.276	0.269				
1997	0.314	0.310	0.210				
1998	0.212	0.209	0.067				
1999	0.321	0.316	0.161				
2000	0.454	0.449	0.131				

表 4. 海域、月、水深のトレンド

海域 1	海域 2	海域 3			
13.77	13.63	18.20			
1 月	2 月	3 月	4 月	5 月	6 月
32.75	28.64	17.11	17.58	13.67	11.35
9 月	10 月	11 月	12 月		
9.59	11.00	10.78	12.34		
1～100 m	101～200 m	201～300 m	301～400 m	401～500 m	501～600 m
2.36	3.93	6.23	10.63	11.09	19.98
601～700 m	701～800 m	801～900 m	901～1000 m	1001 m～	
29.46	33.43	40.10	53.79	42.94	