

ズワイガニ日本海系群 A 海域

1 そうびき沖底によるズワイガニ CPUE の標準化

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
 佐久間啓、藤原邦浩、八木佑太、吉川 茜、白川北斗、
 内藤大河、飯田真也、山本岳男

概要

データ	1 そうびき沖合底びき網漁業漁獲成績報告書
対象	1 網あたりのズワイガニ雌雄別漁獲量 (kg/網)。
データの利用可能な期間	1972～2022 年
標準化に使用した期間	1972～2022 年
データの抽出	・全レコードのうち漁船の県籍が島根～石川であるもの ・ズワイガニ漁期 (11 月～翌 3 月) のレコード ・網数が空欄もしくは 0、漁区が不明なレコード (38 件) を除外。
使用した統計ソフト・パッケージ	ソフト : R (4.0.2) パッケージ : tidyverse (作図およびデータ処理)、MuMIn (モデル選択)、ROCR (ROC 解析)、reshape (データ処理)、emmeans (LSmean 算出) を使用。
統計モデル	デルタ型一般化線形モデル
フルモデルの説明変数	有漁確率モデル、有漁 CPUE モデル : 年、月、県籍、年×月、年×漁区、月×漁区 (いずれもカテゴリ・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	有漁確率モデル、有漁 CPUE モデル : 年、月、県籍、年×月、年×漁区、月×漁区 (いずれもカテゴリ・固定効果)
年トレンドの抽出方法	年まわりの最小二乗平均 (LSMEAN)
信頼区間の計算方法	Shono (2008)の方法
標準化の結果	標準化 CPUE はノミナル CPUE と類似するが変動の幅が大きかった。1999 年以降は資源量のトレンドとよく対応した。

1. 背景

漁業依存情報は、資源の分布に対する羅度が高い一方、漁業活動の時空間的偏りや特定の魚種に対する狙いの効果が含まれる可能性が高い。従って、漁業から得られる単位努力量あたり漁獲量（以下、CPUE）から資源状態を正確にとらえるため、統計的手法によりバイアスを取り除く CPUE の標準化が実施されてきた。

日本海西部海域においてズワイガニは狙いの対象であり、ズワイガニ漁期（11 月 6 日～翌年 3 月 20 日）における本種の漁獲動向は、年ごとの資源状態（年の効果）、月ごとの減耗状況（月の効果）、海区別の資源状態（加入の空間的ばらつき、海区の効果）、県別の操業形態の違い（県の効果）等によって明確に説明される。また、年級群ごとに加入の空間的ばらつきがあること（年漁区の効果）、漁期の進行に従って漁場がシフトすること（月漁区の効果）、年ごとに海況が異なり月ごとの漁獲動向が異なること（年月の効果）が資源量直接推定調査および漁獲統計等から示唆される。従って、これらの効果を盛り込んだ CPUE の標準化によって資源の現状に即した長期の資源量指標値が入手可能と考えられる。また、ズワイガニは狙いの対象であるものの、資源状況によっては漁期終盤にかけて狙いの対象からはずれ、ズワイガニの漁獲を含まないレコード（ゼロキャッチ）が増加する。従って、ゼロキャッチ率を考慮するため、有漁確率と有漁 CPUE をそれぞれ独立のモデルで推定するデルタ型モデル（Lo et al. 1992）を用い、一般化線形モデル（GLM）による CPUE の標準化を試行した。

2. 材料と方法

1 そうびき沖合底びき網漁業（沖底）の漁獲成績報告書（漁績）から、日本海西区（浜田沖、迎日南部、迎日北部、隠岐周辺、隠岐北方、但馬沖）および日本海中区（若狭沖、加賀沖、能登沖）における島根県～石川県籍の沖底船の操業についてレコードを抽出した。1972 年以降のレコードについて、ズワイガニ漁期（11 月～3 月）のレコードを漁期年に従って整理するとともに、網数が 0、漁区が欠損している、あるいは過去 1 度しか使用されたことのない漁区でのレコードを削除して分析に用いた（682,354 レコードを使用）。また、海区について、上記の沖底小海区に従った場合、年や月によってレコードが無い、もしくは極端にレコード数が少なく、モデルの不確実性につながる可能性がある。従って、これらの沖底小海区を、漁場の利用方法やレコード数等を勘案し、浜田（浜田沖、迎日南部、迎日北部）、隠岐周辺、隠岐北方、但馬沖、若狭以東（若狭沖、加賀沖、能登沖）に再区分した（図 1）。また、今年度は全国底曳網漁業連合会資料(2022)に基づき、日本海西部海域における雌雄ズワイガニの漁期開始および漁期終了日を考慮してデータの抽出を行った。なお、漁績にはズワイガニの漁獲量が雌雄別に記載されている。今回はそれぞれの漁獲量を網数で除して雌雄別 CPUE を求め、雌雄独立のモデルを作成することとした。

背景で述べたように、標準化における変数は年、月、海区、およびこれらの交互作用、および県籍（すべて固定効果、カテゴリ化変数）とした。標準化には一般化線形モデルを用い

たデルタ型モデルを使用し、以下に示すフルモデルからベイズ情報量基準（Bayesian Information Criterion, BIC）に基づく総当たり法により変数選択を行った。なお、事前に変動拡大係数（Variance Inflation Factor, VIF）による多重共線性の確認を行ったところ、全ての変数の組み合わせにおいて問題は認められなかった。

有漁確率モデル（フルモデル）：

$$\text{logit}(p) \sim \text{年} + \text{月} + \text{海区} + \text{年} \times \text{月} + \text{年} \times \text{海区} + \text{月} \times \text{海区} + \text{県籍}$$

*p は有漁確率

有漁 CPUE モデル（フルモデル）：

$$\text{log}(\text{CPUE}) \sim \text{年} + \text{月} + \text{海区} + \text{年} \times \text{月} + \text{年} \times \text{海区} + \text{月} \times \text{海区} + \text{県籍}$$

ここで有漁確率モデルおよび有漁 CPUE モデルの誤差はそれぞれ二項分布(logit リンク)および正規分布に従うと仮定した。モデル選択によって得られたベストモデルについて、当該モデルから各説明変数を除去したモデルを作成し、ベストモデルからの BIC の差を求めることで、各説明変数の重要度を評価した。

標準化 CPUE は有漁確率モデルおよび有漁 CPUE モデルのそれぞれについて得られた年まわりの最小二乗平均（Leas Square mean, LSmean）を乗じることで計算した。LSmean の算出には emmeans package を利用した。デルタ型モデルの 90%信頼区間は個々のモデルの標準誤差から Shono（2008）の方法によって解析的に求めた。

3. 結果と考察

1972 年以降の沖底漁績レコードに基づき、有漁確率モデルおよび有漁 CPUE モデルが得られた。BIC に基づき、有漁確率モデルおよび有漁 CPUE モデルのいずれにおいてもフルモデルが選択された（表 1）。

雌雄それぞれについて、有漁確率モデルおよび有漁 CPUE モデルの残差に関する分析をおこなった。有漁確率モデルの ROC 曲線を図 2 に示す。曲線下領域（Area Under Curve, AUC）の割合は雄で 78%、雌で 77%であり、それぞれ高い予測性能の基準とされる 0.8 に近い値を示した。従って、有漁確率モデルの分類性能に問題はないと判断した。なお、有漁確率モデルの層別残差には若干の偏りがみられ、年に関する残差は雄で 1998 年以降、雌で 1993 年以降、正に偏る傾向が見られた（図 2、3）。

有漁 CPUE モデルの残差ヒストグラム、Q-Q プロットおよび各変数階層に関する残差プロットを図 2、3、4、5 に示す。残差には偏りが見られず、Q-Q プロットでは逸脱残差が低い際に実測値が期待値を下回る傾向があるものの、著しい逸脱は認められなかった。

モデルに含まれる変数の各層において均等に漁獲が行われた際の有漁確率および有漁 CPUE の年変化を図 6 示す。有漁確率は雌雄ともに漁獲が低迷した 1970 年代後半から

1990 年頃にかけて低く、近年に向かって徐々に上昇する傾向が見られた。有漁 CPUE は 1972 年から 1990 年ごろまで減少した後、2007 年まで増加した。2008 年以降は増減を繰り返しながら緩やかに減少している。

雌雄の有漁確率モデルおよび有漁 CPUE モデルから各説明変数を除去したモデルを作成し、BIC の差分を求めた（delta、表 2）。雄では有漁確率に海区、月、次いで年が大きく影響したのに対し、雌では月が最も影響した。これは、雌の主漁期が年内であるのに対して年によっては自主規制の関係で 1 月以降のデータも含まれるためである。月以外では年と月の交互作用（前述の自主規制による）や、雄モデル同様年の効果が認められた。また、有漁 CPUE モデルでは、雌雄ともに、年、海区、月の影響が大きかった。これらは漁期開始時点の資源量、資源の地理的分布、漁獲に伴う資源水準の低下を反映していると考えられる。

標準化 CPUE、年ごとの漁獲量および網数から得たノミナル CPUE および漁獲量の変化を図 7 に示す。標準化 CPUE は有漁時 CPUE と類似した推移を示し、1972 年以降、雌雄ともに減少したのち、雄では 1989 年、雌では 1986 年に過去最低となった。その後、雌雄ともに 2007 年にかけて増加したのち、現在まで増減を伴いながらも緩やかに減少している。ノミナル CPUE も同様のトレンドを示すものの、変動の幅は標準化 CPUE よりも小さい傾向が見られた。標準化 CPUE の変動は漁獲量のトレンドと類似するが、2000 年代以降は漁獲量に対して標準化 CPUE が高い傾向にあり、1990 年代以前と比較して資源状態が良好であることが示唆された。

得られた標準化 CPUE を資源量と比較したところ、変動の傾向が類似しており、整合性が高かった（図 11）。一方、細かな動向の差異も認められ、例えば雄では 2018 年以降、ミズガニの漁獲抑制と対応すると考えられる CPUE の抑制傾向が見られた。このように、本海域の漁獲動向は資源の増減に加えて漁業者の自主的な資源保護の取り組みの影響を受けており、例えばミズガニや雌ガニの 1 航海あたり漁獲枚数の上限等、自主規制の基準となるような指標をモデルに組み込むことで、モデルの精度向上が期待できる。また、漁績では雄の漁獲量がカタガニ・ミズガニの合計値となっている。カタガニとミズガニの漁獲動向の違いは、漁獲月（両者は漁期が異なり、ミズガニ漁期の方が短い）あるいは漁区と海区の交互作用等により、現状のモデルでもある程度できていると考えられる。一方、カタガニ・ミズガニの分布水深の違いや、より詳細な分布海域の違い等を考慮することでより詳細なモデル作成が可能になると見込まれる。今後も、カタガニ・ミズガニ個別モデルを含む有限混合モデル等の適用により、さらなる精度向上を目指す。

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.

Shono, H (2008) Confidence interval estimation of CPUE year trend in delta-type two-step model.

Fish. Sci., 74, 712–717.

全国底曳網漁業連合会 (2022) 2021 年度日本海ズワイガニ漁獲結果総まとめ資料. 全国底曳網漁業連合会, 東京.

表 1 モデル選択結果

(a) 有漁確率モデル (雄)

Model	df	logLik	BIC	ΔBIC
logit(P)~Year+Area+Month+Prefecture+Year×Area+Month×Area+Year×Month	480	-269543	545475	
logit(P)~Year+Area+Month+Prefecture+Year×Area+Year×Month	464	-270359	546894	1419
logit(P)~Year+Area+Month+Prefecture+Year×Area+Month×Area	280	-273221	550169	4694
logit(P)~Year+Area+Month+Prefecture+Year×Area	264	-274202	551918	6443
logit(P)~Year+Area+Month+Year×Area+Month×Area+Year×Month	475	-274866	556055	10580

(b) 有漁 CPUE モデル (雄)

Model	df	logLik	BIC	ΔBIC
log(CPUE)~Year+Area+Month+Prefecture+Year×Area+Month×Area+Year×Month	481	-609760	1225796	-
log(CPUE)~Year+Area+Month+Year×Area+Month×Area+Year×Month	476	-610360	1226931	1135
log(CPUE)~Year+Area+Month+Prefecture+Year×Area+Year×Month	465	-612185	1230437	4642
log(CPUE)~Year+Area+Month+Year×Area+Year×Month	460	-612695	1231392	5596
log(CPUE)~Year+Area+Month+Prefecture+Year×Area+Month×Area	281	-618923	1241513	15717

(c) 有漁確率モデル (雌)

Model	df	logLik	BIC	ΔBIC
logit(P)~Year+Area+Month+Prefecture+Year×Area+Month×Area+Year×Month	361	-157052	318677	-
logit(P)~Year+Area+Month+Prefecture+Year×Area+Year×Month	353	-157356	319184	507
logit(P)~Year+Area+Month+Prefecture+Year×Area+Month×Area	270	-157918	319258	581
logit(P)~Year+Area+Month+Prefecture+Year×Area	262	-158218	319755	1078
logit(P)~Year+Area+Month+Year×Area+Month×Area+Year×Month	356	-158333	321176	2499

(d) 有漁 CPUE モデル (雌)

Model	df	logLik	BIC	ΔBIC
log(CPUE)~Year+Area+Month+Prefecture+Year×Area+Month×Area+Year×Month	362	-346581	697630	-
log(CPUE)~Year+Area+Month+Prefecture+Year×Area+Month×Area	271	-347295	697934	304
log(CPUE)~Year+Area+Month+Prefecture+Year×Area+Year×Month	354	-347297	698963	1332
log(CPUE)~Year+Area+Month+Prefecture+Year×Area	263	-348066	699379	1748
log(CPUE)~Year+Area+Month+Year×Area+Month×Area+Year×Month	357	-349697	703801	6170

表 2 雌雄のベストモデルおよびベストモデルから各要因を個別に除去したモデルの、BIC
および BIC の差分 (delta)

(a) 雄モデル

Model	Zero model (binomial)		Catch model (gaussian)	
	BIC	delta	BIC	delta
Full model	545475	-	1225796	-
-Year	573886	28411	1389970	164174
-Area	607059	61584	1287470	61674
-Month	568770	23295	1255698	29902
-Prefecture	556055	10580	1226931	1135
-Area×Year	558098	12623	1262866	37070
-Area×Month	546894	1419	1230437	4642
-Year×Month	550169	4694	1241513	15717

(b) 雌モデル

Model	Zero model (binomial)		Catch model (gaussian)	
	BIC	delta	BIC	delta
Full model	318677	-	697630.498	-
-Year	350075	31398	764485.011	66855
-Area	338134	19457	719653.106	22023
-Month	326534	7857	736590.99	38960
-Prefecture	321176	2499	703800.549	6170
-Area×Year	330626	11949	730024.076	14358
-Area×Month	319184	507	711412.083	13782
-Year×Month	319258	581	697934.324	304

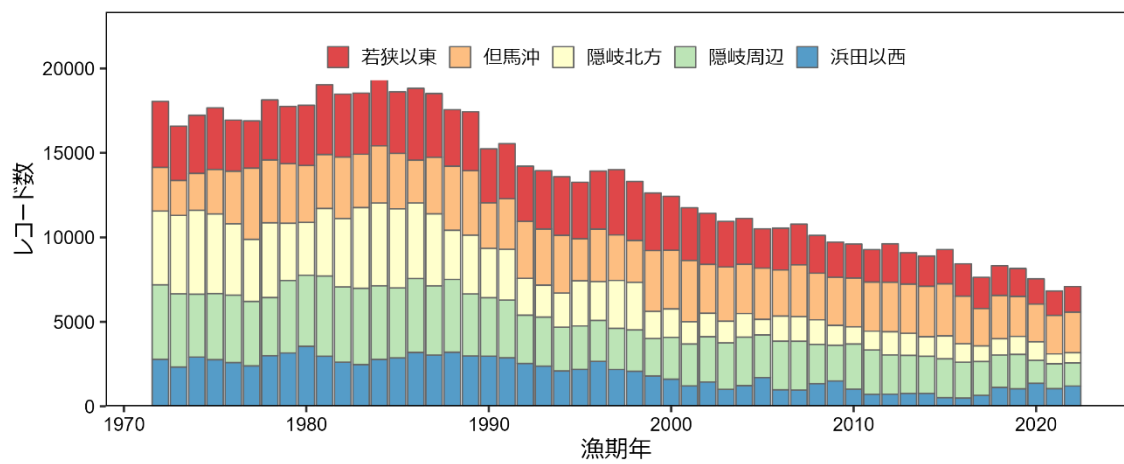


図 1. 海区別レコード数の変遷

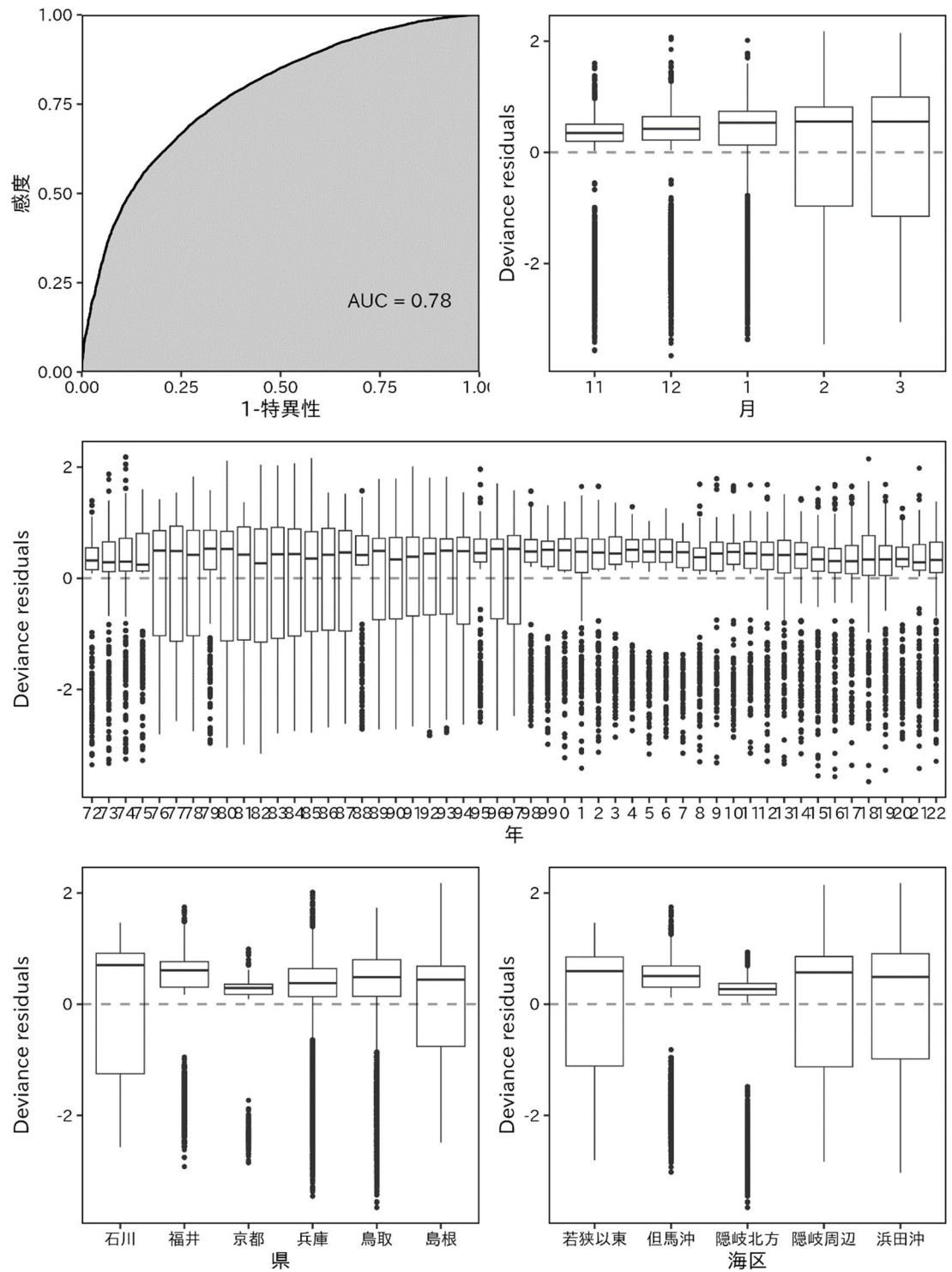


図2. 雄の有漁確率モデルの ROC 曲線および各変数の層別逸脱度残差

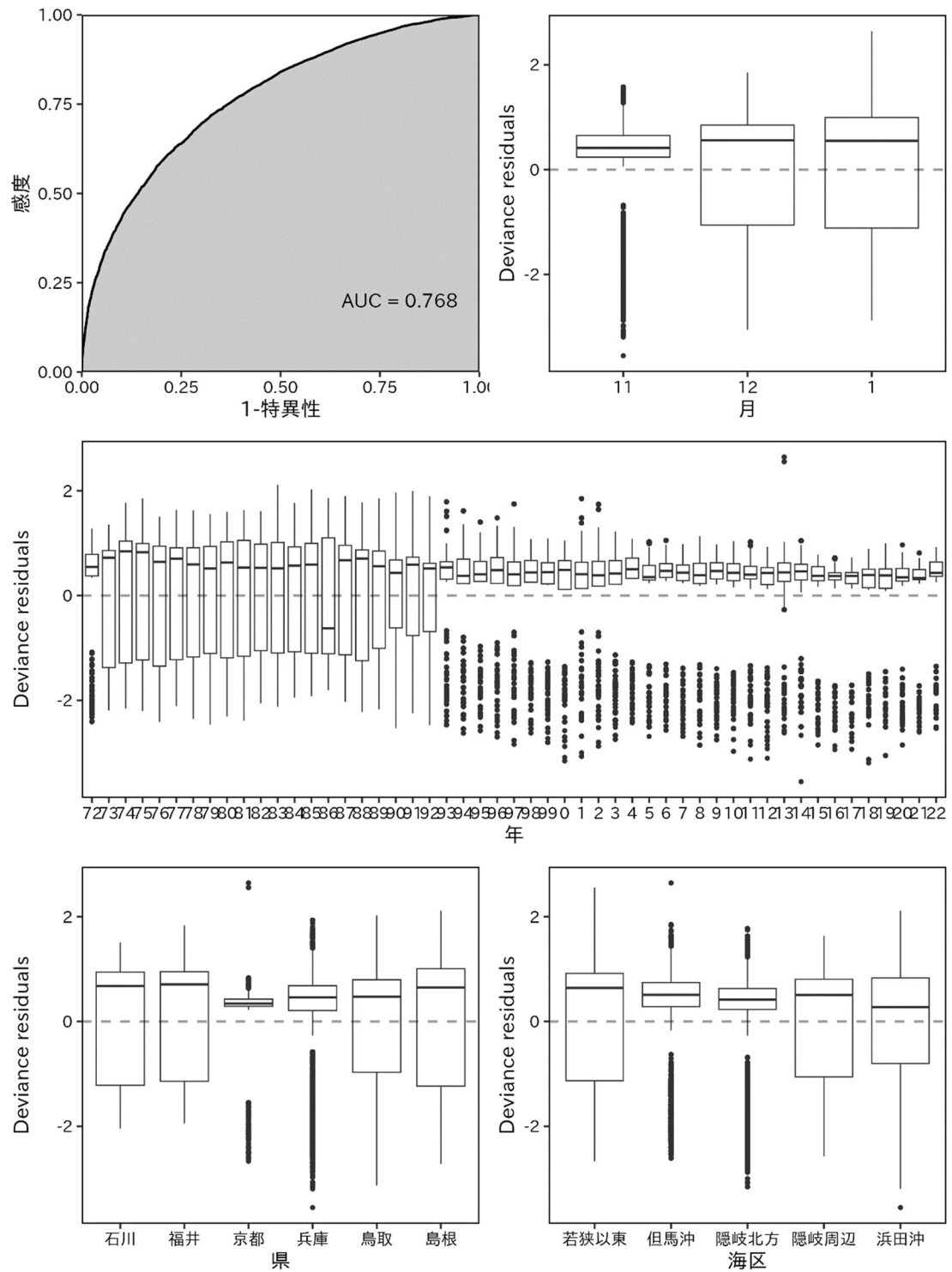


図3. 雌の有漁確率モデルの ROC 曲線および各変数の層別逸脱度残差

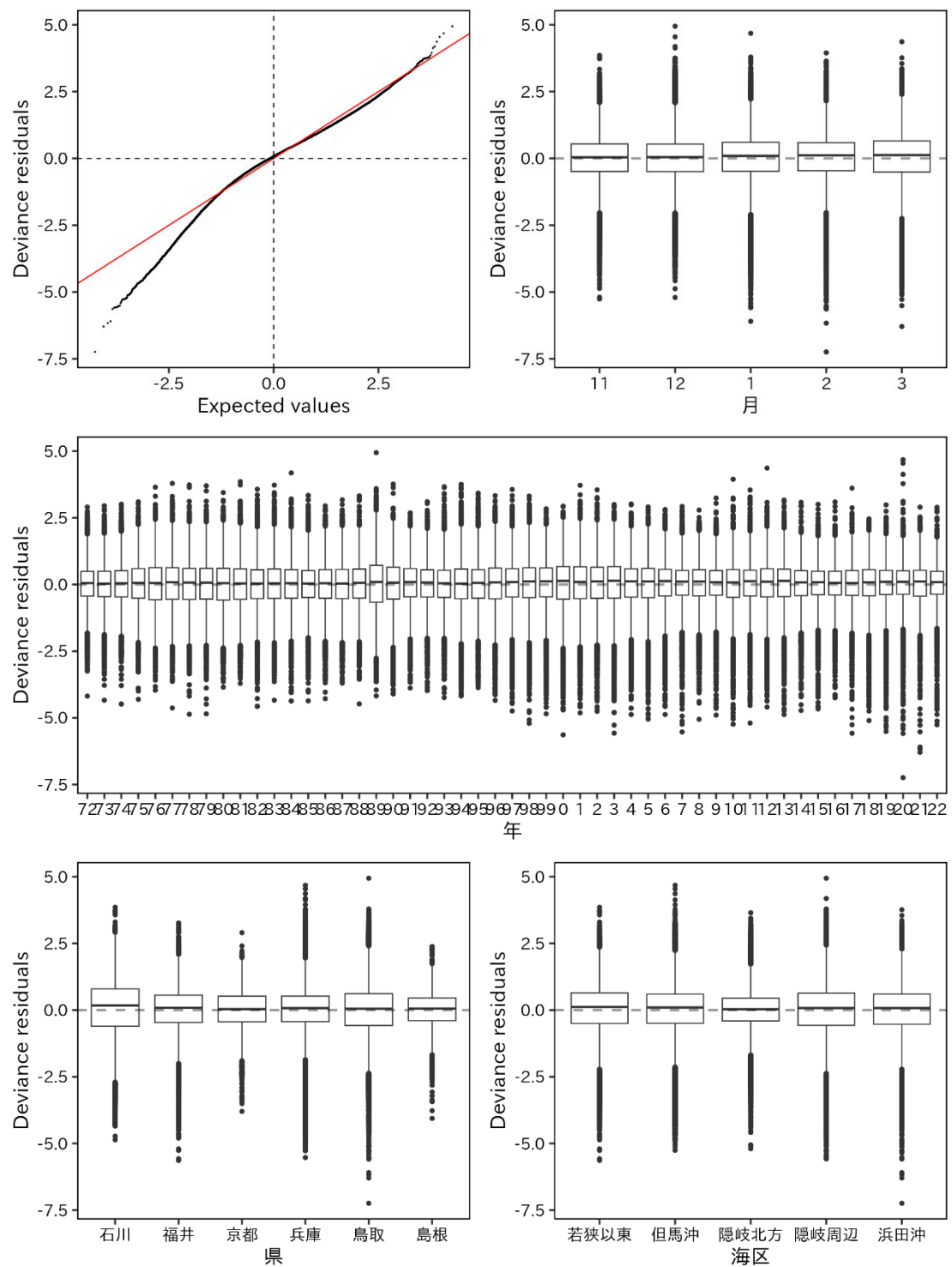


図 4. 雄の有漁 CPUE モデルの Q-Q プロットおよび各変数の層別逸脱度残差

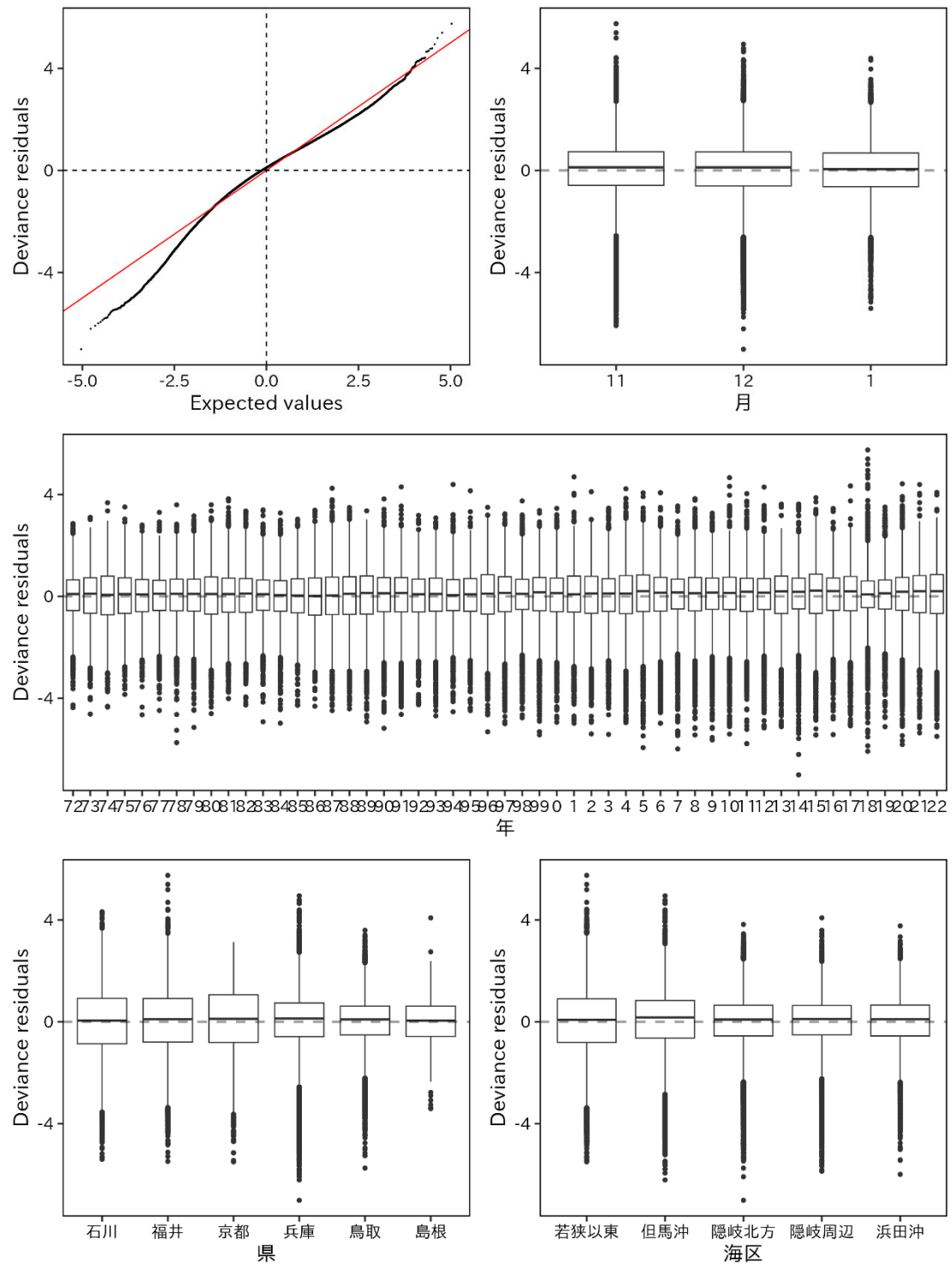


図5. 雄の有漁 CPUE モデルの Q-Q プロットおよび各変数の層別逸脱度残差

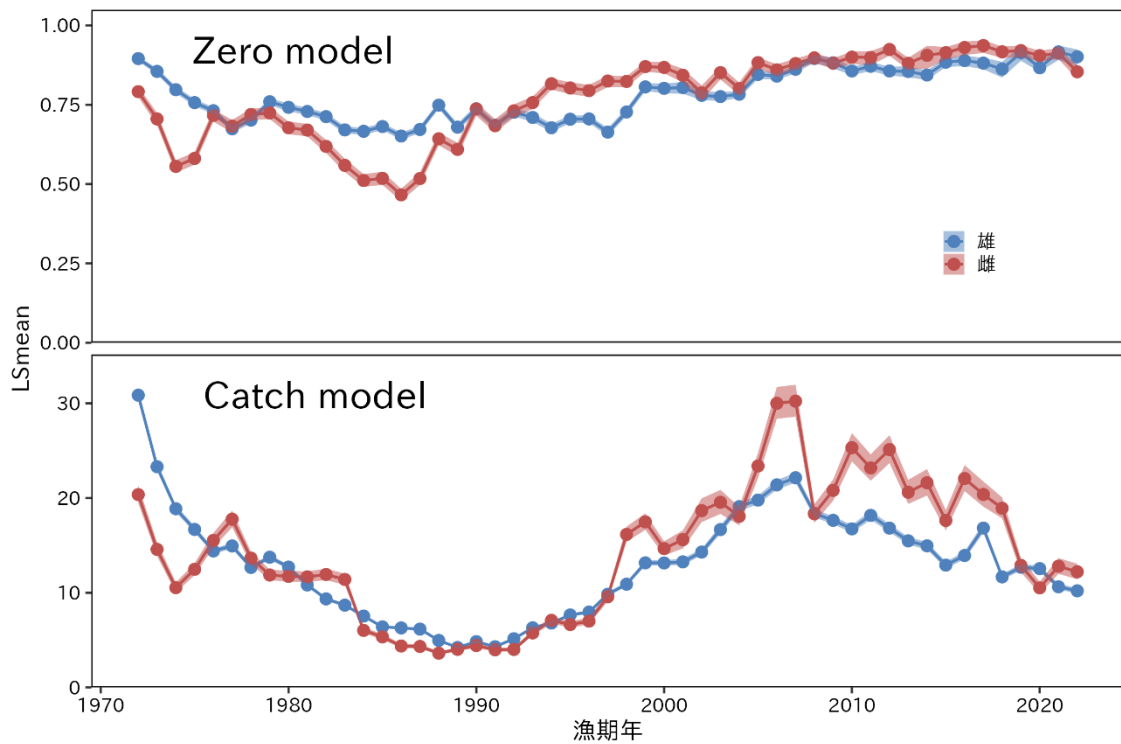


図 6. 有漁確率（上）および有漁 CPUE（下）の年トレンド

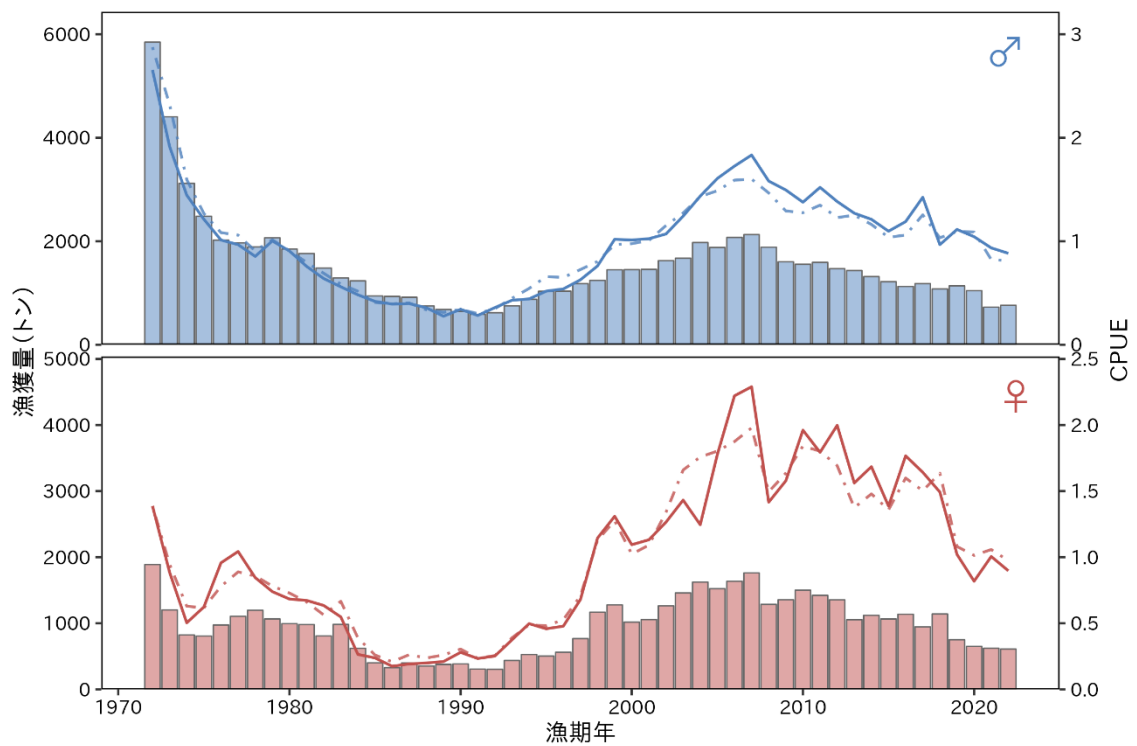


図 7. 雌雄別漁獲量（棒グラフ）、標準化 CPUE（実線）およびノミナル CPUE（点線）
標準化 CPUE およびノミナル CPUE はいずれも平均値で除して基準化した。

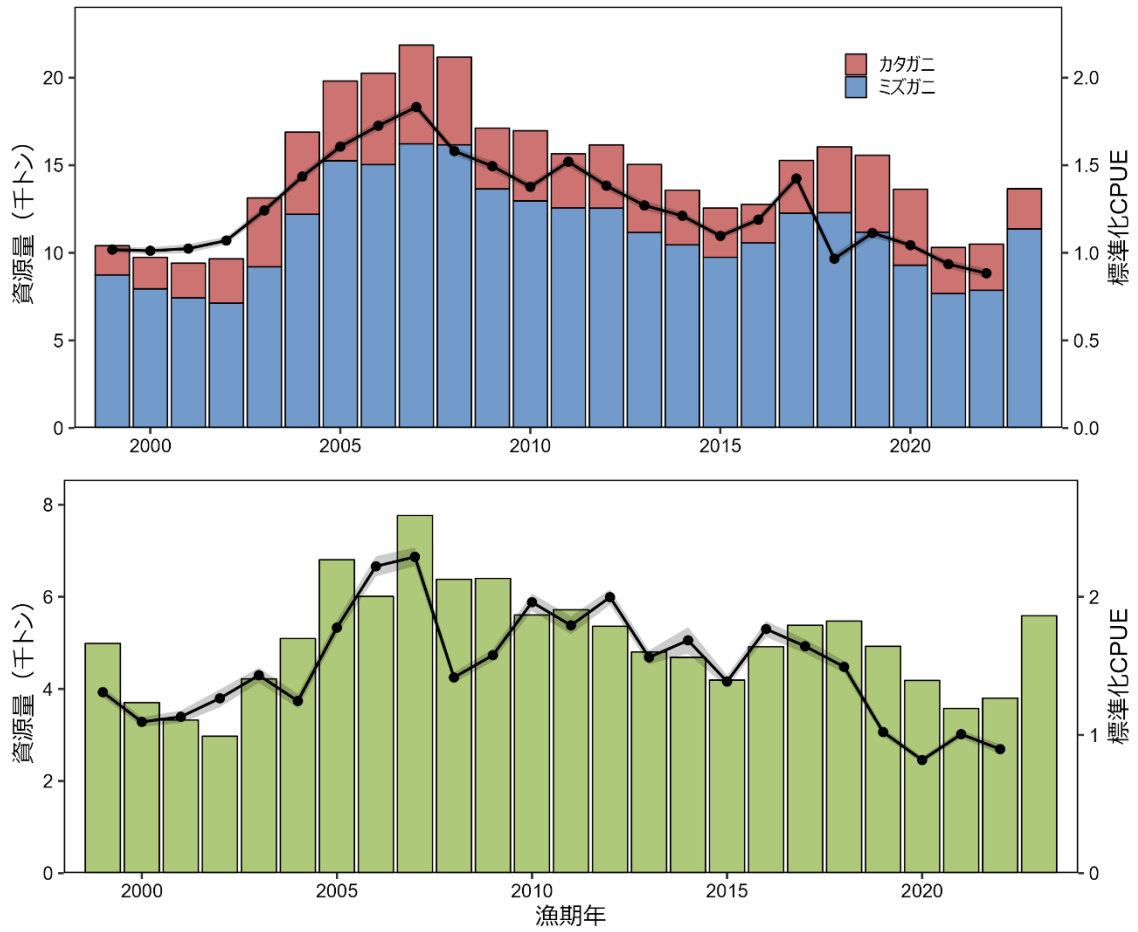


図 11. 雄（上）および雌（下）の標準化 CPUE（折れ線）ならびにトロール調査に基づく資源量（棒グラフ） 折れ線の影の範囲は 90%信頼区間を示す。