

スルメイカ冬季発生系群の表層トロール調査 CPUE の標準化

概要

データ	調査船調査（移行域幼稚魚調査（太平洋））、表層トロール
対象	30 分曳網あたりのスルメイカ採捕尾数（尾/時間）
データの利用可能な期間	1996～2020 年の 5～6 月
標準化に使用した期間	全期間
標準化のためのデータ抽出	1238 件のデータから、調査時間が夜間ではない 96 件、近年調査をほとんど行っていない東経 160 度より東側の 119 件、および水温情報が無い 16 件を除外。除外されたデータは、全データのうち 18.7%。
使用した統計ソフト・パッケージ	R(4.0.5)を用いて計算。使用したパッケージは、海域区分では <code>deltaGLMtree</code> 、モデル選択では <code>MuMIn</code> 、モデル構築では <code>stats</code> と <code>nlme</code> 、有漁確率モデルの ROC 解析では <code>ROCR</code> 。
統計モデル	デルタ型 2 段階モデル。 有漁確率モデル：応答変数は有漁確率、誤差は二項分布に従う。 有漁モデル：応答変数は有漁時の CPUE の自然対数、誤差は正規分布に従う。
フルモデルで導入した説明変数	有漁確率モデル：年、海域*、年×海域、海表面水温、海表面水温の 2 乗、海表面水温と 100m 深水温との差（水温は連続変数、それ以外はカテゴリカル変数） 有漁モデル：年、海域*、年×海域、海表面水温、海表面水温の 2 乗、海表面水温と 100m 深水温との差、調査年月日（水温は連続変数、それ以外はカテゴリカル変数。また、調査年月日は変量効果、それ以外は固定効果） *海域区分には <code>deltaGLMtree</code> を使用し、BIC を規準として設定。
最終モデルの選択方法	BIC をモデル選択規準とし、 <code>dredge</code> による総当たり法で選択（ただし、年を含むモデルのみ）。
最終モデルで選択された説明変数	有漁確率モデル：年、海表面水温、海表面水温の 2 乗、海表面水温と 100m 深水温との差 有漁モデル：年、海表面水温、海表面水温の 2 乗、調査年月日
年トレンドの抽出方法	有漁確率モデルから各年の有漁確率を、また有漁モデルから各年について最小二乗平均 CPUE を推定し、これらを掛け合わせて標準化 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最終モデルから標準化 CPUE の算出を 1000 回繰り返した。この際、モデル選択は行っていない。

1. 背景

毎年5～6月に黒潮親潮移行域において、スルメイカ冬季発生系群を含む各魚種幼稚魚を対象として調査船による表層トロール調査を実施している（FRA-SA2020-SC05-1）。同調査結果は特に遅生まれ（2～3月生まれ）のスルメイカの加入量把握に有効であると考えられており、長期漁況予報や資源評価で利用されている。また、次年度からは、5～7月に実施している調査船によるいか釣り調査の結果（FRA-SA2021-BRP01-02）を併用して資源状態の早期モニタリング指標を算出し（FRA-SA2021-BRP01-04）、その新たな指標値の活用を検討する予定である。

表層トロール調査は図1で示した海域で実施しており、採捕されるスルメイカの9割近くは遊泳能力が乏しい外套背長5cm以下の個体である。海域や水温環境によって分布密度は異なると考えられるため、単純平均したCPUEの年トレンドは資源量指標値としては十分ではないと考えられる。そこで、海域や水温環境の影響を取り除いた指標値を得るため、表層トロール調査によるCPUEの標準化を実施した。

2. 方法

調査船による表層トロール調査は1996年から継続して実施している（図1）。データは全部で1238件あり、そのうち調査時間が夜間ではない96件、近年調査をほとんど行っていない東経160.5度より東側の119件、水温情報が無い16件を除外した1007件を使用した（除外されたデータの数全データのうち18.7%）。このうち、採捕の無かったゼロキャッチデータは215件あった。

CPUE標準化のための統計モデルとしてデルタ型2段階モデルを利用した。1段階目の有漁確率モデルでは、有漁確率を応答変数とし、フルモデルの説明変数には年（Year）、海域（Area）、年と海域の交互作用、表面水温（SST）、表面水温の二乗、表面水温と100m深水温の差（dT100）を用いた。水温は連続変数、それ以外はカテゴリカル変数として扱った。誤差は二項分布に従うと仮定した。2段階目の有漁モデルではCPUEの自然対数を応答変数とし、フルモデルの説明変数は1段階目の有漁確率モデルで採用した変数に調査年月日（Date：日の入から日の出までが同一調査年月日）を加えた。同一調査年月日には最大3点で調査が実施されており、それらの調査点間の距離は10マイル程度と近く、似たようなCPUEが得られることがあるため、調査年月日を有漁モデルに変量効果として説明変数に加えることで階層構造を考慮した。誤差は正規分布に従うと仮定した。海域区分にはRのdeltaGLMtreeを使用し、ベイズ情報量規準（BIC）に基づいて3つの海域を設定した（図1）。なお、一般化分散拡大係数GVIFが2以上の説明変数は見られず、多重共線性は確認されなかった。

有漁確率モデル（フルモデル）

$$\text{logit}(P) = \text{Year} + \text{Area} + \text{Year} \times \text{Area} + \text{SST} + (\text{SST})^2 + \text{dT100} + \text{error}$$

有漁モデル（フルモデル）

$$\text{log}(\text{CPUE}) = \text{Year} + \text{Area} + \text{Year} \times \text{Area} + \text{SST} + (\text{SST})^2 + \text{dT100} + \text{Date} + \text{error}$$

モデル選択はBICに基づく総当たり法で行い、最もBICの低いモデルを最終モデルとした。選択された有漁確率モデルからは有漁割合の年トレンドを推定し、有漁モデルからはCPUEの年トレンドを推定した。これら2つの推定値を掛け合わせることで標準化CPUEを算出した。信頼区間の推定にはブートストラップ法を用い、ランダムサンプリングされたデータと最終モデルから標準化CPUEの算出を1000回繰り返し、各年の2.5%分位点と97.5%分位点を求めた。

3. 結果

最終モデルには以下のモデルが選択された。

有漁確率モデル

$$\text{logit}(P) = \text{Year} + \text{SST} + (\text{SST})^2 + \text{dT100} + \text{error}$$

有漁モデル

$$\text{log}(\text{CPUE}) = \text{Year} + \text{SST} + (\text{SST})^2 + \text{dT100} + \text{Date} + \text{error}$$

有漁確率モデルの ROC 曲線下面積 (AUC) は 0.85 であり、採捕の有無の判別性能に問題は無いと判断された (図 2)。また有漁モデルは、QQ プロットによるモデルの診断において標準化残差 (縦軸) の分布が概ね標準正規分布 (横軸) に従っており、問題は無いと判断された (図 3)。各説明変数に対する残差の分布にも大きな偏りは見られなかった (図 4)。

有漁確率モデルから推定された有漁割合の年トレンドを見ると、2017 年以降は 60% 以下の低い状態が続いていたが、2020 年は 90% 以上に戻っている (図 5a)。有漁モデルから推定された CPUE は 2012 年以降漸減傾向にあったが、2019 年、2020 年は増加に転じている (図 5b)。これら 2 つのモデルによる推定値を掛け合わせることで算出された標準化 CPUE は、単純平均したノミナル CPUE と比べて 2002 年から 2010 年の間で年トレンドが大きく異なる年も見られた (2007 年、2008 年、2010 年など)。2011 年以降、両 CPUE の年トレンドは大きく変わらず、低い水準が続いている (図 6)。

4. 引用文献

加賀敏樹・岡本 俊・久保田 洋・宮原寿恵・西嶋翔太 (2021) 令和 2(2020)年度スルメイカ冬季発生系群の資源評価. FRA-SA2020-SC05-1.

岡本 俊・加賀敏樹 (2021) スルメイカ冬季発生系群のいか釣り調査 CPUE の標準化. FRA-SA2021-BRP01-02.

岡本 俊 (2021) スルメイカ冬季発生系群の早期モニタリング指標値の検討. FRA-SA2021-BRP01-04.

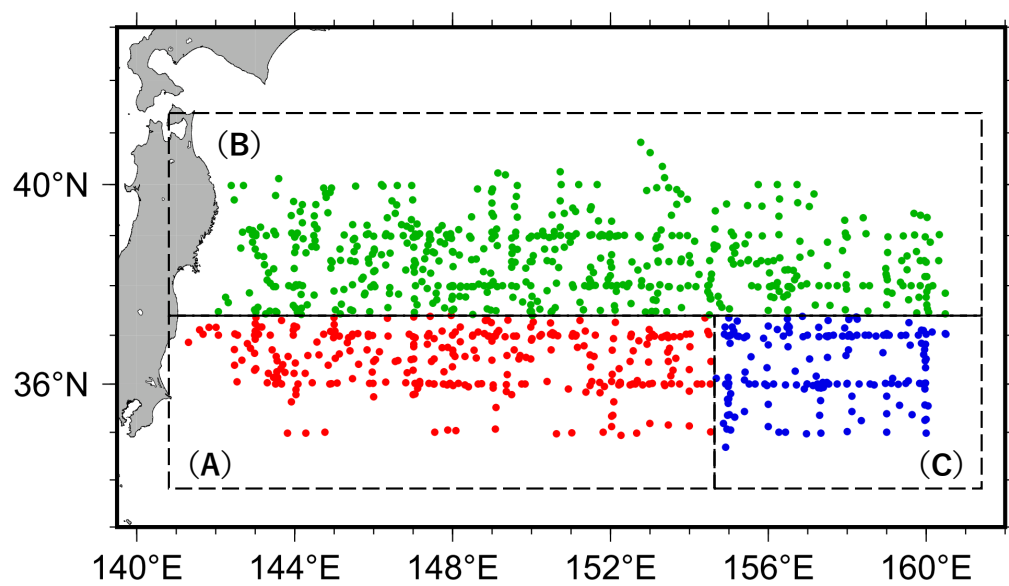


図 1. 調査データの海域区分の結果

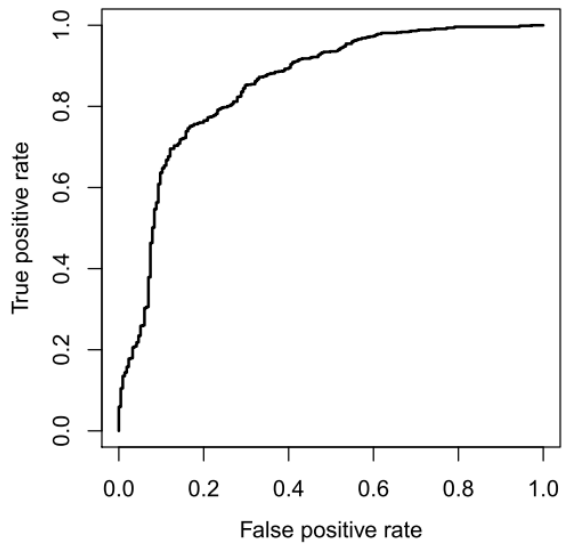


図 2. 有漁確率モデルの ROC 曲線 (AUC = 0.85)

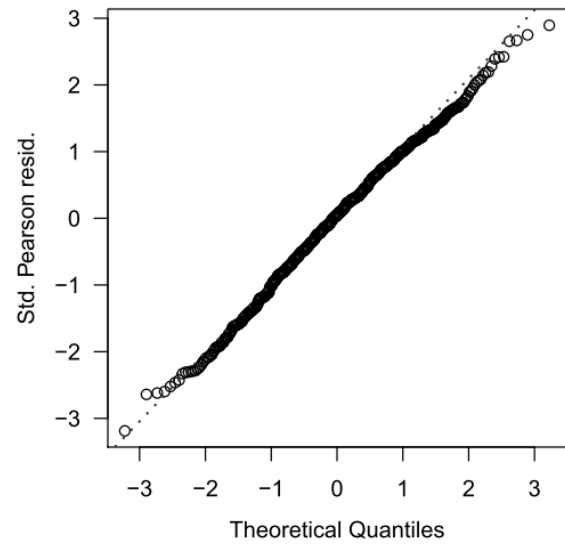


図 3. 有漁モデルの QQ プロット

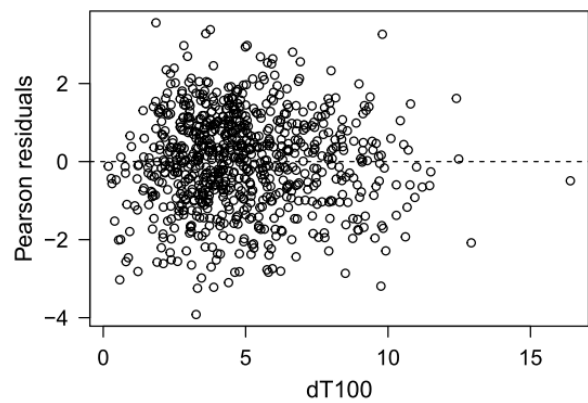
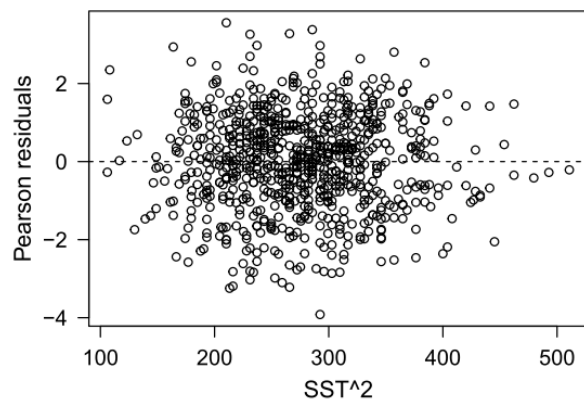
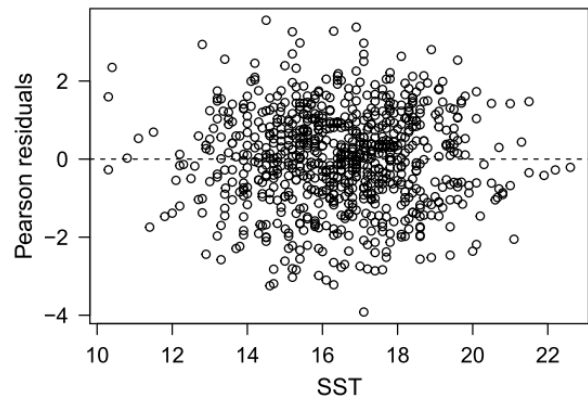
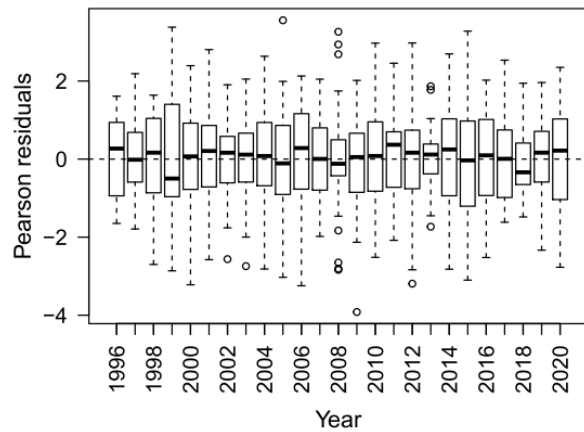


図 4. 有漁モデルにおける各説明変数に対する残差分布

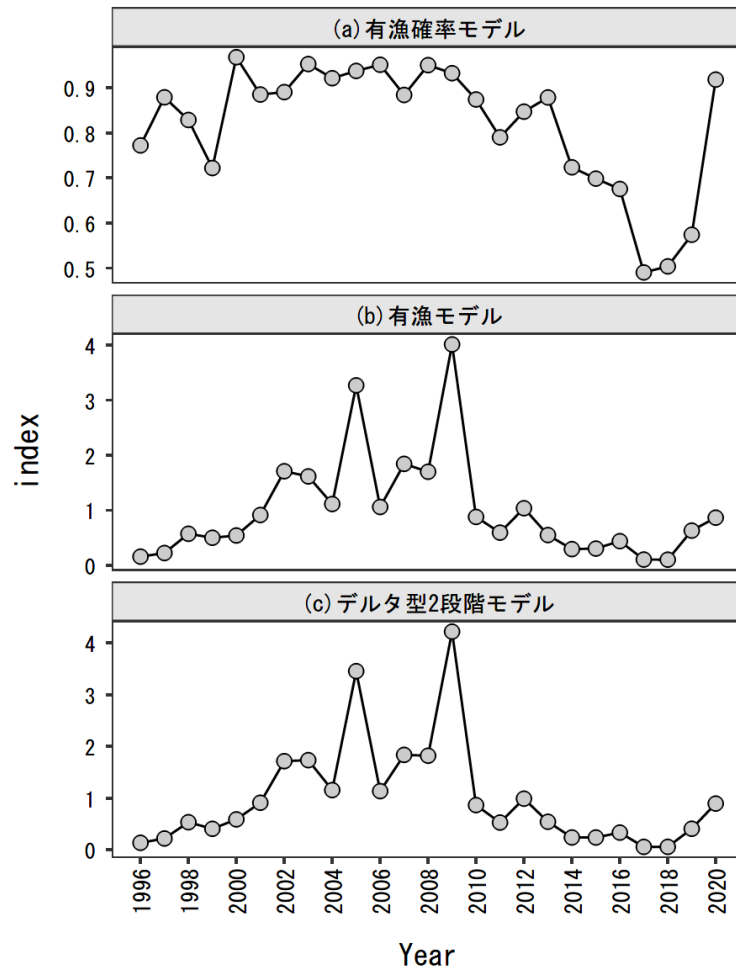


図 5. (a) 有漁確率モデル、(b) 有漁モデル、(c) デルタ型 2 段階モデルの年トレンド

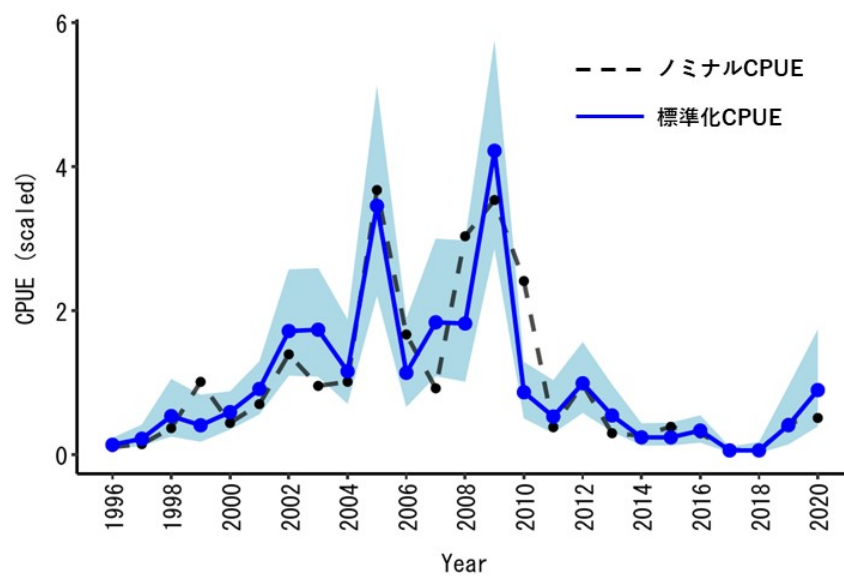


図 6. 単純平均したノミナル CPUE と標準化 CPUE の年トレンド
薄青色の領域は標準化 CPUE の 95%信頼区間を示す。