

令和 3(2021)年度スルメイカ秋季発生系群の資源評価
CPUE 標準化・モデル診断結果(いか釣り調査)

2021 年 11 月 18 日

水産研究・教育機構 水産資源研究センター 浮魚資源部 浮魚第 3 グループ

概要

データ	調査船調査（日本海スルメイカ漁場一斉調査）、いか釣り調査
対象	いか釣り機 1 台 1 時間あたりのスルメイカ漁獲尾数（尾/台/時間）
データの利用可能な期間	1981~2021 年漁期の 6~7 月（漁期年は 4 月~翌年 3 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	4496 件のデータから現行の日本海スルメイカ漁場一斉調査の調査範囲外（日口の地理的中間線より北および東経 132 度より西側）の 490 件を除外。また、表面水温情報の無い 233 件も除外。除外されたデータは、全データのうち 16.1%。
使用した統計ソフト・パッケージ	R(4.1.0)を用いて計算。モデル選択では MuMIn パッケージ内の dredge、モデル構築には stats パッケージ内の glm と lme4 パッケージ内の glmer、有漁確率モデルの ROC 解析には ROCR パッケージを使用。
統計モデル	デルタ型一般化線形モデルと一般化線形混合モデル。各モデルは以下の通り 有漁確率モデル（一般化線形モデル）：応答変数は漁獲の有無、誤差は二項分布に従う。リンク関数は logit ガンマ分布モデル（一般化線形混合モデル）：応答変数は有漁時の調査 CPUE、誤差はガンマ分布に従う。リンク関数は log
フルモデルで導入した説明変数	有漁確率モデル：年（カテゴリ）、海域（カテゴリ）、表面水温（連続）、表面水温の 2 乗（連続） ガンマ分布モデル： 年（カテゴリ）、海域（カテゴリ）、表面水温（連続）、表面水温の 2 乗（連続）、漁獲物の平均外套背長（連続）、変量効果として年×海域（交互作用）
最終モデルの選択方法	AIC をモデル選択規準とし、dredge による総当たり法で選択（ただし、年を含むモデルから選択）。
最終モデルで選択された説明変数	有漁確率モデル： 年、海域、表面水温、表面水温の 2 乗 ガンマ分布モデル： 年、漁獲物の平均外套背長、年×海域
年トレンドの抽出方法	有漁確率モデルから年ごとの推定値を、ガンマ分布モデルから年ごとに海域別の推定値を求め、これらを掛け合わせた推定値について海域面積で重

	み付けをし、平均値を算出した。
信頼区間の計算方法	なし
標準化の結果	大まかな傾向はノミナル CPUE および前年度までの各標準化 CPUE と変わらず、1980 年代後半に増加し、その後増減しながら推移し、2010 年代後半以降減少傾向にある。

1. 背景

スルメイカ秋季発生系群では、毎年 6～7 月に行われる日本海スルメイカ漁場一斉調査から得られる調査 CPUE（釣機 1 台 1 時間あたりの漁獲尾数）から資源量指標値が算出されている。また、資源尾数は資源量指標値に比例定数 q を乗ずることで算出されることから、資源量指標値は資源量に直結するパラメータである。平成 29 年度評価まではこの調査 CPUE の単純な算術平均を資源量指標値としてきたが、調査時期の海況の影響により調査点数が少ない海域が生じた年や、特定の海域での漁獲の多寡があった年に、資源量指標値が過大または過小に推定される可能性があった。このため、平成 30 年度評価より調査 CPUE を標準化したうえで資源量指標値とするように改善した。平成 30 年度評価では有漁時のデータのみを用いて、応答変数を調査 CPUE、誤差を対数正規分布としたモデルを、令和元年度評価では、応答変数を調査 CPUE、誤差をガンマ分布としたモデルを作成し標準化を行った。令和 2 年度評価では漁獲の無い調査データを解析に含めるため、漁獲の有無を応答変数とした有漁確率モデルと、令和元年度と同様の有漁時のデータを用いたガンマ分布モデルによるデルタ二段階モデルによる標準化を行った上で、ガンマ分布モデルで説明変数に年と海域の交互作用項を含むことから海域面積の重み付け平均を用いて標準化 CPUE を算出した（久保田ほか 2021）。

今年度評価にあたって、データの構造に合わせて適用する統計モデルの再検討を行った。データを精査したところ、1993 年漁期の 1 海域でデータが欠損したことから、今年度ではこれまでの一般化線形モデル（GLM）から一般化線形混合モデル（GLMM）の適用へと変更した（庄野 2004、岡本ほか 2016）。一般化線形混合モデルにおいて年と海域の交互作用項を変量効果として扱うことで、欠損が生じた年・海域の予測値は年と海域の主効果のみからの予測値で補完されるため、海域面積による重みづけ平均による標準化 CPUE を全年にわたって求めることができるようになる。本解析では欠損データは 1 年の 1 海域のみであるため本手法を適用し、有漁確率モデルと GLMM によるガンマ分布モデルによるデルタ二段階モデルを用いて標準化 CPUE を算出した。標準化 CPUE の算出にあたっては、海域面積による重み付け平均を用いたが、このとき、昨年の重み付けの手法を改訂し、有漁確率モデルでの予測値とガンマ分布モデルの予測値の積に対して重み付けを行った。

2. 方法

解析には 1981～2020 年漁期までの前述の調査データを使用した（図 1、2）。本調査は 1994 年漁期以前と 1995 年漁期以後で調査を行っている時期や海域が異なるため、1995 年漁期以降の調査時期と海域情報に基づき、6～7 月に実施されたいか釣り調査のうち、東経 132 度以東の日韓暫定水域以南および日口の地理的中間線以南のデータのみを用いた。調査データについては、各調査点の CPUE、年のほか、海域、表面水温、平均外套背長のデータを用い、表面水温情報の無い調査点のデータは除外した。海域については、調査点の緯度経度に基づき、調査海域を A～G の 7 海域に分けた（図 1）。また各調査点での漁獲個

体の外套背長組成（最大 100 個体を測定）から求めた平均値をその地点の平均外套背長とした。

1 段階目の有漁確率モデルは、漁獲の有無を応答変数とし、その分布には二項分布を仮定した。なお、有漁確率モデルについても GLMM の適応を検討したが収束しなかったため、今回は GLMM を適応せず GLM モデルを用いることとした。有漁確率モデルのフルモデルの説明変数には、年（Year）のほかに、海域（Area）、表面水温（Temp）、表面水温の二乗値を用い、リンク関数に logit を採用した。2 段階目のガンマ分布モデルには、有漁確率モデルで用いたデータのうち 1 尾以上の漁獲が有り、かつ平均外套背長情報がある 3,552 件のデータを用いた。ガンマ分布モデルは応答変数を調査 CPUE、誤差をガンマ分布とし、リンク関数に対数を採用した。フルモデルの説明変数には、年のほかに、海域、表面水温、表面水温の二乗値、平均外套背長（ML）、海域と平均外套背長の交互作用項、変量効果（a）として年と海域の交互作用項を用いた。このとき変量効果は、平均 0、分散 σ^2 の正規分布に従うものとした。

有漁確率モデル（フルモデル）

$$P \sim \text{Year} + \text{Area} + \text{Temp} + (\text{Temp})^2$$

P は有漁確率

ガンマ分布モデル（フルモデル）

$$\text{CPUE} \sim \text{Year} + \text{Area} + \text{Temp} + (\text{Temp})^2 + \text{ML} + \text{Area:ML} + a$$

$$a \sim N(0, \sigma^2)$$

3. 結果と考察

モデル選択は赤池情報量基準（AIC）に基づく総当たり法によって行い、最も AIC の低いモデルを最終モデルとした。最終モデルにはそれぞれ以下の変数が選択された。

有漁確率モデル（最終モデル）

$$P \sim \text{Year} + \text{Temp} + (\text{Temp})^2$$

P は有漁確率

ガンマ分布モデル（最終モデル）

$$\text{CPUE} \sim \text{Year} + \text{Area} + \text{ML} + a$$

有漁確率モデルの ROC 曲線下面積（AUC）は 0.94 であり、漁獲の有無の判別性能は十分であると判断された（図 3）。またガンマ分布モデルは、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 4）。有漁確率モデルの最終モデルより最小二乗平均を用いて各年 CPUE の推定値を求め、またガンマ分布モデルの最終モデルより年・海域別の CPUE の推定値を求め、両 CPUE の推定値の積に対して海域面積による重み付け平均をとった結果を調査データの標準化 CPUE とした（庄野・椿 2006）。

図 5 に規準化した調査 CPUE の各年の算術平均値（ノミナル CPUE）と令和元年度以降の各評価で用いた統計モデルに基づく標準化 CPUE の年推移を示す。長期的な変動傾向にはいずれの値の間でも大きな違いはなく、1980 年代後半に増加し、その後増減しながら推移した後、2010 年代後半以降減少傾向となっている。ノミナル CPUE では 2014 年漁期に、各年の標準化 CPUE では 1997 年漁期に最大となった。

また、ノミナル CPUE と今年度評価の標準化 CPUE では 1986 年漁期に、令和元年度および前年度評価の標準化 CPUE では 2019 年漁期に最小となった。前年度評価の標準化 CPUE と比較すると、2014 年漁期および 2019 年漁期以降に、今年度評価の標準化 CPUE の方がより大きい値をとる傾向にあった。

本系群の再生産関係は、令和元年度評価の標準化 CPUE から求めた資源解析結果（ただし、前進計算により資源量を求めた 2019 年漁期を含まない）から求めている（久保田ほか 2020）。令和元年度評価と今年度評価で比べると、2018 年漁期までの資源尾数の長期的な変動傾向はよく似ており、大きな違いは認められなかった。

引用文献

- 久保田 洋・宮原寿恵・加賀敏樹・岡本 俊・西嶋翔太・松倉隆一・高崎健二・齋藤 勉・稲掛伝三
(2021) 令和 2 (2020) 年度スルメイカ秋季発生系群の資源評価. FRA-SA2020-SC05-2.
- 久保田 洋・宮原寿恵・西嶋翔太・加賀敏樹・岡本 俊 (2020) 令和 2 (2020) 年度スルメイカ秋季発生系群の管理基準値等に関する研究機関会議報告書. 水産研究・教育機構, 1-87. FRA-SA-2020-BRP04-2. http://www.fra.affrc.go.jp/shigen_hyoka/SCmeeting/2019-1/detail_surume_a_20201014.pdf (last accessed Oct 21st, 2020)
- 岡本 俊・山下紀生・加賀敏樹 (2016) 小型いか釣り漁業データを用いたスルメイカ冬季発生系群の CPUE の標準化. 日本水産学会誌, **82**, 686-698.
- 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**, 106-120.
- 庄野 宏・椿 広計 (2006) ニューラルネットワークによる水産資源解析 : CPUE 予測と要因分析の試み. 計量生物学, **27(1)**, 35-53.

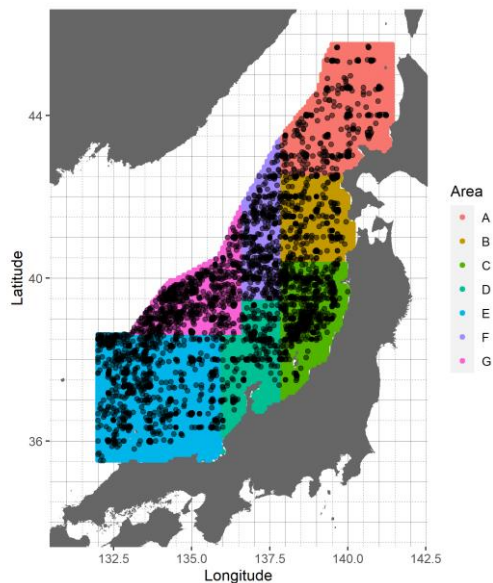


図1 調査データの海域分け 黒点は調査データを、各色はA～Gの各海域を示す。

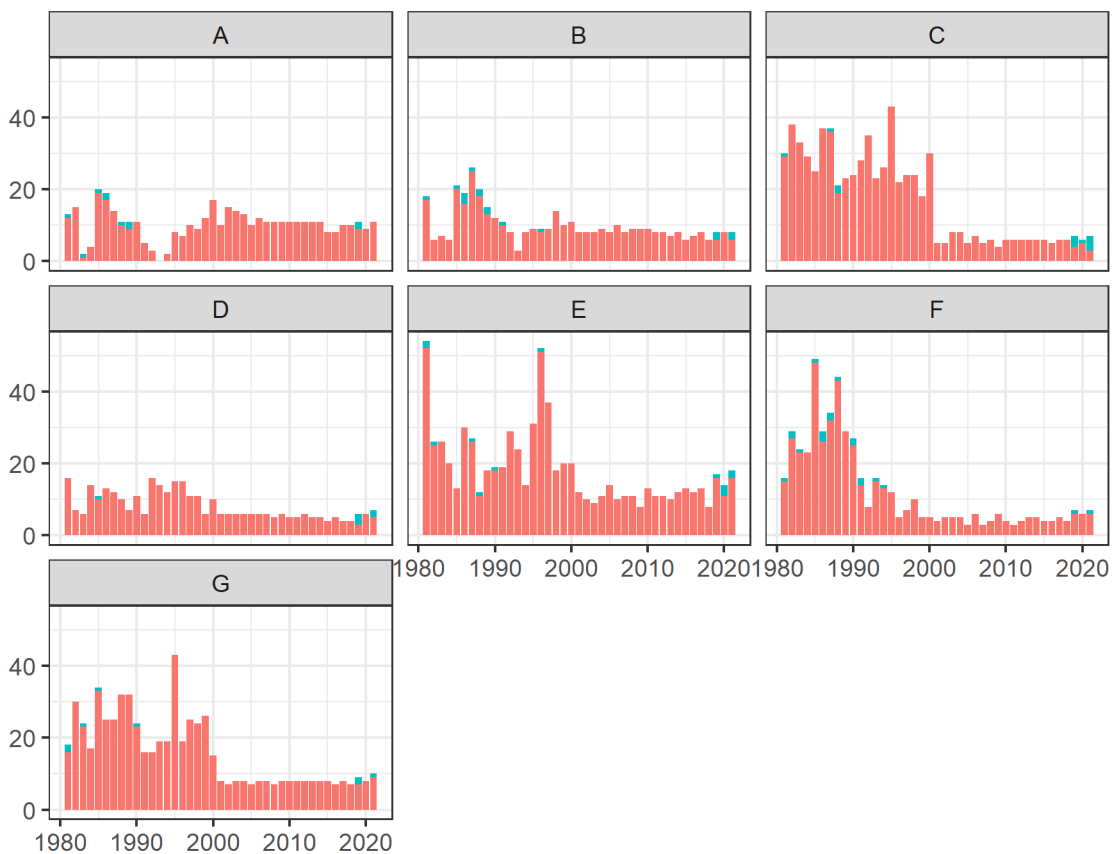


図2 年別海域別データ数の推移 赤色は漁獲有りデータを、青色は漁獲無しデータを示す。

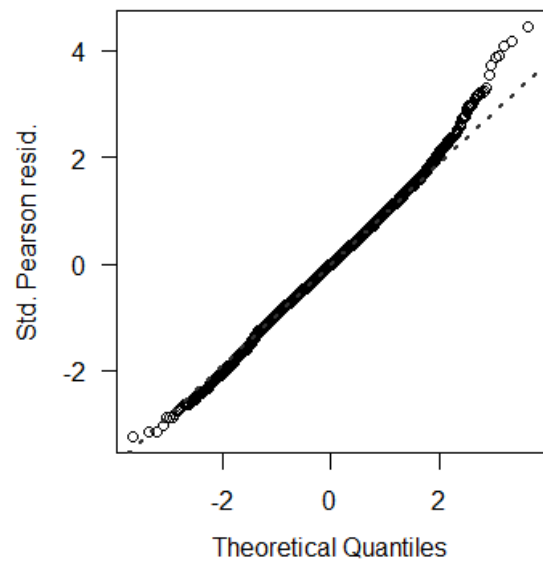
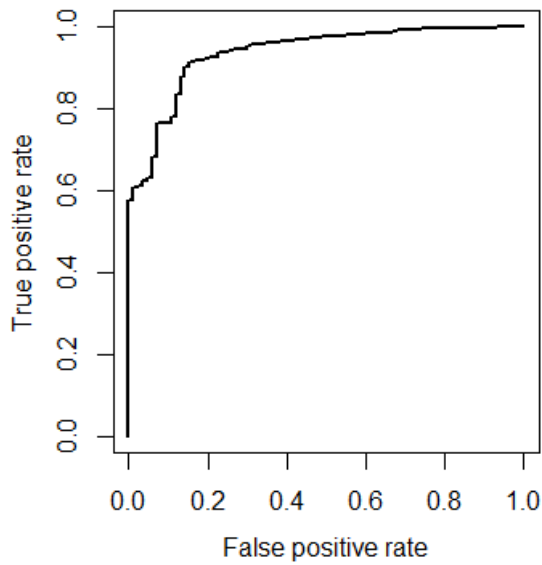


図 3. 有漁確率モデルの ROC 曲線 (AUC = 0.94)

図 4. ガンマ分布モデルの QQ プロット

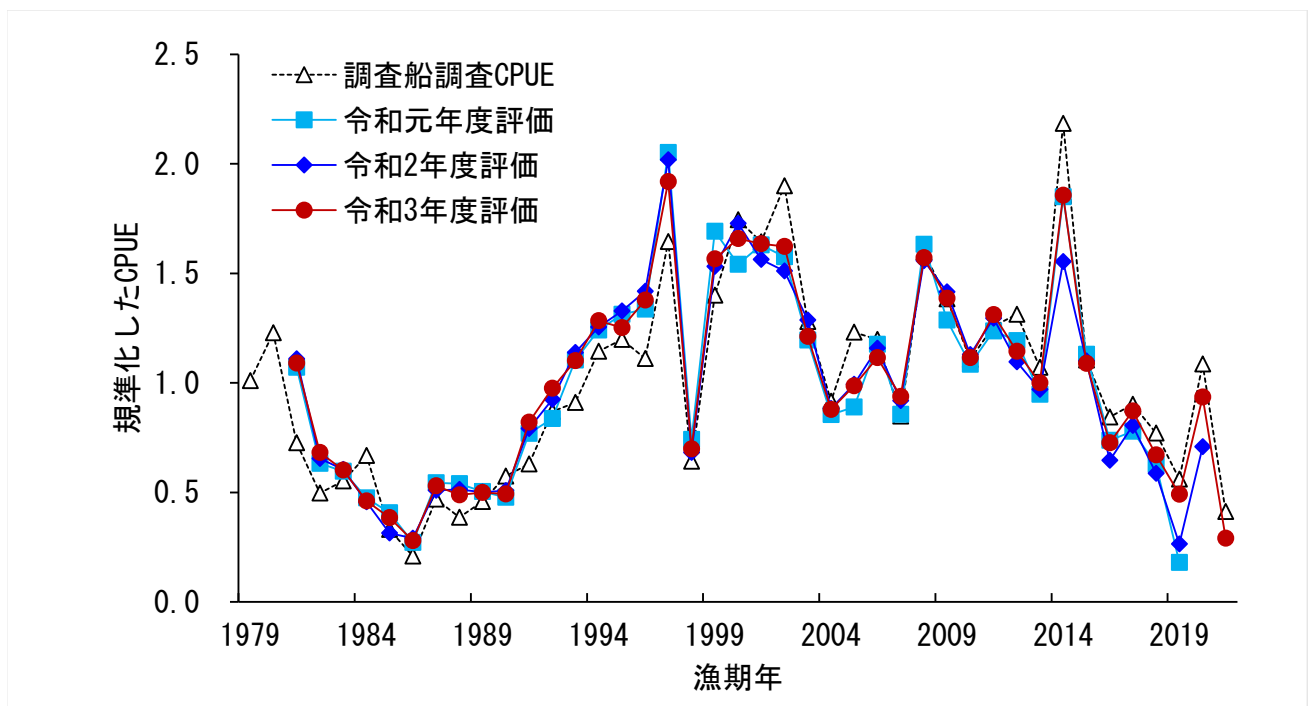


図 5. 調査 CPUE の算術平均値 (ノミナル CPUE) と令和元年度以降の各年の評価で用いた統計モデルに基づく標準化 CPUE の推移 比較のため、各 CPUE は平均が 1 となるように標準化している