

令和 5（2023）年度シャコ伊勢・三河湾系群の資源評価における 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
 澤山周平、福井 眞、横内一樹、青木一弘、堀 正和、竹茂愛吾

概要

データ	豊浜漁港漁獲量・小底出漁隻数(愛知県調べ、月別データ) 有滝漁港漁獲量・小底(夜間)出漁隻数(三重県調べ、月別データ)
対象	出漁隻数あたりのシャコ の漁獲量
データの利用可能な期間	1989～2022 年(豊浜漁港) 1999～2022 年(有滝漁港)
標準化に使用した期間	1989～2022 年
データの抽出	全レコード(696 件)のうち 出漁隻数が 0 のデータ(17 件、全レコードの 2.44%)を除外
使用した統計ソフト・パッケージ	R (4.2.0) にてパッケージ stats (4.2.0)(一般化線形モデル)、tidyverse (1.3.1)(データ処理)、MuMIn (1.46.0)(モデル選択)、arm (1.13.1)(ブートストラップ)、MASS (7.3.56)、ggplot2 (3.3.6)(作図)を使用
統計モデル	一般化線形モデル:誤差構造(ガンマ分布)、リンク関数(対数リンク) 線形モデル:誤差構造(対数正規分布)
フルモデルの説明変数	年、月、漁港、年×月、月×漁港(カテゴリ・固定効果)、オフセット($\log(\text{出漁隻数})$)(数値・固定効果)、切片なし
最終モデルの選択方法	AIC、総当たり
選択された説明変数	年、月、漁港、月×漁港(カテゴリ・固定効果):誤差構造(ガンマ分布)
年トレンドの抽出方法	選択モデルを用いて、得られた全ての年・月・漁港・努力量の全ての組み合わせにおける漁獲量の予測値を努力量で割り、各年の CPUE 平均値を求めることで年トレンドとした。
信頼区間の計算方法	選択モデルの係数推定結果から係数セットを生成し、標準化 CPUE を反復計算した(1,000 回)。
標準化の結果	標準化 CPUE は 1990 年代前半にかけて減少し、1990 年代後半から 2010 年代前半にかけて横ばいで推移、最近年は減少傾向が続く。

1. 背景

愛知県の豊浜漁港は、本系群の全漁獲量に占める割合が 2018 年には約 5 割を占めるなど、本系群の圧倒的な主要水揚げ港と位置付けられてきた。このため、令和 4 年度評価までは豊浜における小底漁船の努力量(延べ出漁隻数)あたりの漁獲量(以下、「豊浜ノミナル CPUE」

という)をABC算定のための資源量指標値として利用してきた。しかし、直近の極端な不漁年においては豊浜漁港で大目網の使用率が高まっており、豊浜ノミナル CPUE は資源状態を過小に評価している可能性が考えられた。また、こうした操業形態の変化や湾内のシャコの分布域の変化等の影響により、近年は愛知県の実漁獲量に占める豊浜の割合が大きく低下しており、豊浜漁港の小底シャコ CPUE の指標値としての信頼性が低下していた。さらに、豊浜漁港の小底ではシャコ不漁期以前から月によって狙いを変えた操業を行うのが一般的であり、冬季にはシャコの自主的な水揚げ制限が行われるなど、月による漁港特有の漁獲効率バイアスも存在している。こうしたことから、漁港特有のバイアスや年・月別の漁獲効率の違いを考慮した資源量指標値の補正が必要と考えられた。三重県有滝漁港の小底(夜間びき)については、比較的長期間にわたる月別漁獲量と出漁隻数データが整備されている。有滝の小底では元来シャコを専門に狙うことはなく、豊浜と比べるとシャコの漁獲量自体は小さいが、年や季節によりシャコを狙う・狙わないの切り替えが起こる豊浜よりも漁獲効率の変動は起こりにくいと考えられる。これらのことから、豊浜漁港と有滝漁港の月別漁獲量と延べ出漁隻数データを用いて CPUE の標準化を実施することとした。

2. 方法

使用するデータ

1989～2022 年の愛知県豊浜漁港と 1999～2022 年三重県有滝漁港における月別小底出漁隻数(有滝は夜間)および月別漁獲量(kg)とした。有滝漁港のデータには出漁隻数が正の値かつ漁獲量がゼロの月(ゼロキャッチ)が若干含まれた(合計14件、全レコードの2.01%)。これらのゼロキャッチデータのうち13件は2016年秋以降に記録され、近年の低い資源状態を反映したものと考えられた。データにゼロキャッチが含まれる場合、全体に占めるゼロキャッチの割合が低い場合には CPUE に一定値を足す方法でも大きなバイアスは生じないことが示されている(Shono 2008)。また、「令和5(2023)年度 標準化 CPUE の記載について」(FRA--SA2023-SAWG02-12)内の「CPUE 標準化プロトコル(2023年度版)」には、このとき足す一定値として CPUE の平均の10%を用いるのが ICCAT で推奨されているものの、その理由は明確でなく(Shono 2008)、使用するデータに合った微小値を用いればよいと記載されている。記録されたゼロキャッチは実際の資源状態の低さを反映したものと考えられた。また、使用する漁獲量データの数値は最大値から最小値まで幅広く、平均値の10%は最小値よりもかなり大きくなることから、影響を抑えるために微小量を足すこととし、漁獲量の最小値の1%を全体に足したものを応答変数として用いた。全体に足す微小量が推定結果に与える影響の検討のため、微小量として漁獲量の最小値を足した場合についても試算した。有滝漁港における出漁隻数がゼロの月(合計17件、全レコードの2.44%)については解析時に除外した。

候補モデルの作成とモデル選択

標準化には一般化線形モデルおよび線形モデルを適用し、R および stats パッケージの glm 関数を用いて計算を行った。漁獲量を応答変数、年、月、漁港(豊浜、有滝)の主効果並びに年と月、月と漁港の交互作用を説明変数(いずれもカテゴリカル変数)とするフルモデルを作成した。有滝において1998年以前のデータが存在しないことから、年と漁港の交互作

用は含めなかった。一般化線形モデルでは CPUE 換算のため出漁隻数の対数値をオフセット項にとり、リンク関数を log リンク、誤差分布はガンマ分布とした。線形モデルでは漁獲量とオフセット項の対数値をとることで、誤差分布を対数正規分布とした。モデル選択では MuMIn パッケージの dredge 関数を用いた総当たり計算により、赤池情報量基準（AIC）が最小となる最適モデルを選択した。

年トレンドの抽出

選択されたモデルを用いて、得られた全ての年・月・漁港・努力量の全ての組み合わせにおける漁獲量の予測値を努力量で割り、各年の CPUE 平均値を求めることで標準化 CPUE の年トレンドとした。この年トレンドをもとに、データ期間の平均値を 1 として基準化した値を資源量指標値とした。選択されたモデルとその係数推定結果を利用し、arm パッケージを用いて生成された係数セットから年トレンドの反復計算（1,000 回）を行うことにより、標準化 CPUE の 95%信頼区間を算出した。

3. 結果と考察

モデル選択の結果、誤差構造としてガンマ分布を仮定した下式が標準化モデルとして採択された（表 1、表 2）。

$$\log(\text{漁獲量}) \sim \text{年} + \text{月} + \text{漁港} + (\text{月} \times \text{漁港}) + \log(\text{出漁隻数})$$

このベストモデルの推定係数を補足表 3-2 に示した。残差プロットにおいては近年の有漁港の値で広がる傾向が見られた（図 1）。残差のヒストグラムはやや左に尾を引いたものとなり、Q-Q プロットにおいてもデビアン残差の分布にはガンマ分布に対して若干のずれが見られた（図 2）。このずれは有漁港で近年の秋から冬にかけて多く記録されているゼロキャッチデータに起因しているものと考えられる。標準化 CPUE と豊浜ノミナル CPUE および有漁ノミナル CPUE の年トレンドを比較すると（図 3）、豊浜ノミナル CPUE は概ね標準化 CPUE と同様の推移を示し、標準化 CPUE の 95%信頼区間内に存在する割合が高かった。しかし、豊浜ノミナル CPUE では 1990 年代後半から 2010 年代前半にかけてやや増加傾向を示した一方で、標準化 CPUE では同期間はほぼ横ばいで推移し、最近年は減少傾向が続いていた。2000～2005 年の期間を見ると、豊浜ノミナル CPUE は平均より低い値で、有漁ノミナル CPUE は平均より高い値でそれぞれ変動していたが、標準化 CPUE は平均値付近で比較的安定して推移していた。また、2010 年以降における標準化 CPUE の変動幅は豊浜および有漁のノミナル CPUE のそれよりも小さくなっていた。これらより、標準化モデルによる補正の結果、本資源の長期的な減少トレンドはより明瞭となった。2000 年代前半および 2017 年以降に見られた標準化 CPUE と豊浜ノミナル CPUE の値のずれは、豊浜と有漁におけるシャコに対する漁獲効率の差によるものである可能性が考えられた。

表 2 において、月と漁港の交互作用における係数推定値は、有漁に対する豊浜特有の月のトレンドを表したものであるが、これらの p 値を見ると、9、10、11 月のみ有意（ $p < 0.05$ ）となっており、特に 9～11 月の月の変動パターンが有漁の月のパターンと有意に異なっていることを示している。標準化 CPUE の漁港別・月別の予測値のトレンドでも（図 3）、同

時期に両漁港間の差が大きくなっている。これは、秋季に伊勢湾中央に形成された大きな貧酸素水塊が有滝の主漁場である湾南西部に向かって移動することにより、シャコの漁獲量が減少するという有滝特有の季節性が影響している可能性がある。また、近年の不漁年では豊浜で3～5月頃に魚類狙いの操業が増加しているが、この時期の予測値は両漁港でほぼ同様のトレンドを示している（図4）。これはデータ全体に占める近年の不漁年のデータの割合が小さいためと考えられる。これに関して、年と漁港の交互作用を説明変数に加えることで補正できる可能性が考えられたが、今回のモデル選択では有滝におけるデータの欠損に配慮してこの交互作用を含めなかった。確認のため、年と漁港の交互作用を固定効果として加えたモデルのAICを試算したところ、上記の選択モデルよりも大きい値となった。さらなる補正のため、年と漁港の交互作用をランダム効果としてモデルに加えるといった高度化が今後の課題として残されている。しかし、本標準化において有滝漁港のデータを加えたことにより、近年の豊浜における漁獲効率バイアスに対してもある程度の補正は行えているものと考えられる。なお、微小値として漁獲量の最小値を用いた場合のベストモデルにおいても、上記の選択モデルと同様の変数の組み合わせとなった。また、その場合の選択モデルにおける標準化CPUEの年トレンドは上記の選択モデルとほぼ一致し、残差ヒストグラムには目立った改善は見られなかった。このことから、応答変数全体に足す微小量として最小値の1%を用いることによる推定結果への悪影響はないものと判断した。

有滝漁港におけるゼロキャッチデータは近年継続的に記録されており、今後も引き続き生じる可能性がある。また、ゼロキャッチデータが近年に偏っていることから、今後のゼロキャッチデータの増加が年トレンドに及ぼす影響について引き続き注意していく必要がある。現段階ではデータ全体に占めるゼロキャッチの割合は約2%と小さいことから、現状はこの標準化モデルの採用が妥当と考えるが、将来的にはTweedie分布の仮定やデルタ2段階法等の解析によるさらなる補正が必要となる可能性がある。

本系群において現状用いられているABCの計算方法に基づき、標準化CPUEと豊浜ノミナルCPUEによるABCLimit計算値の年推移を比較したところ、長期的なトレンドに大きな差は見られず、2020年以降はいずれも低い値となっていた（図5）。このことから、標準化CPUEの導入によるABC計算値への影響は軽微なものと思われる。しかしながら、今後の本系群の分布のさらなる偏りや漁港特有の影響の顕在化に備え、資源量指標値として標準化CPUEを適用することが望ましいと考える。

引用文献

Shono H. (2008) Application of the Tweedie distribution to zero-catch data in CPUE analysis. Fisheries Research 93, 154-162

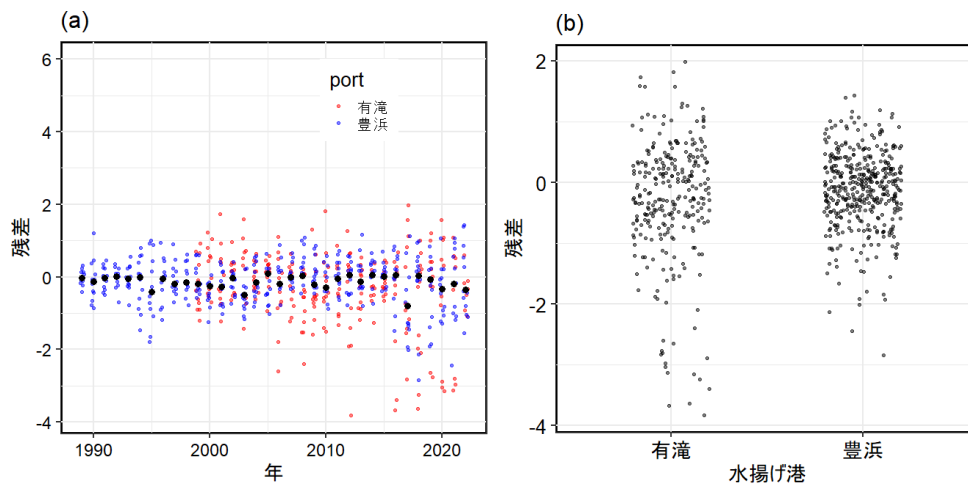


図 1. 標準化モデルの残差；(a) 年ごとのプロットと(b) 水揚げ港ごとのプロット
 年ごとのプロットでは黒点が各年の残差の中央値、青点が豊浜漁港、赤点が有滝漁港の
 残差を、水揚げ港ごとのプロットでは灰色が各年月の残差を示す。

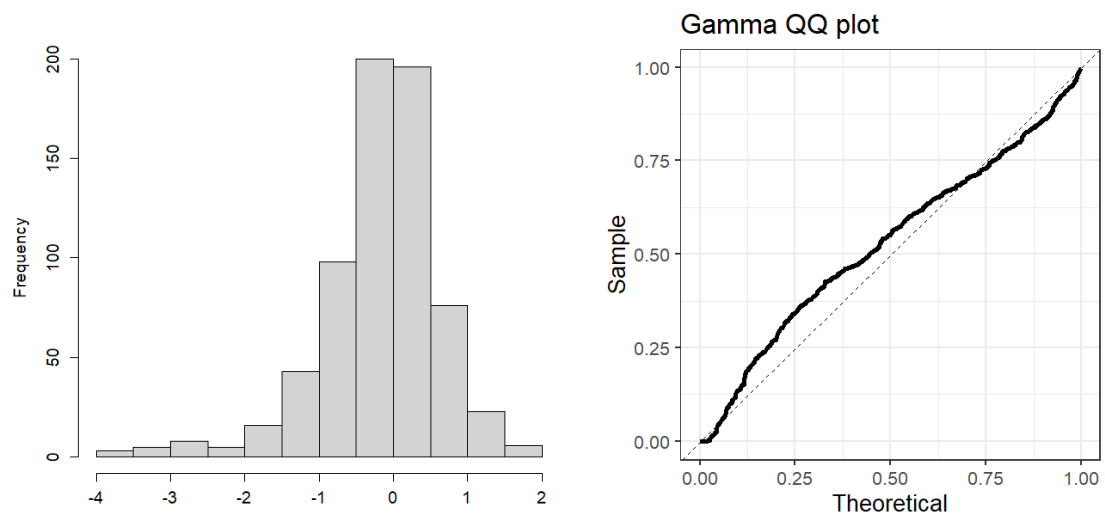


図 2. 標準化モデルの残差のヒストグラム (左) とガンマ Q-Q プロット (右)

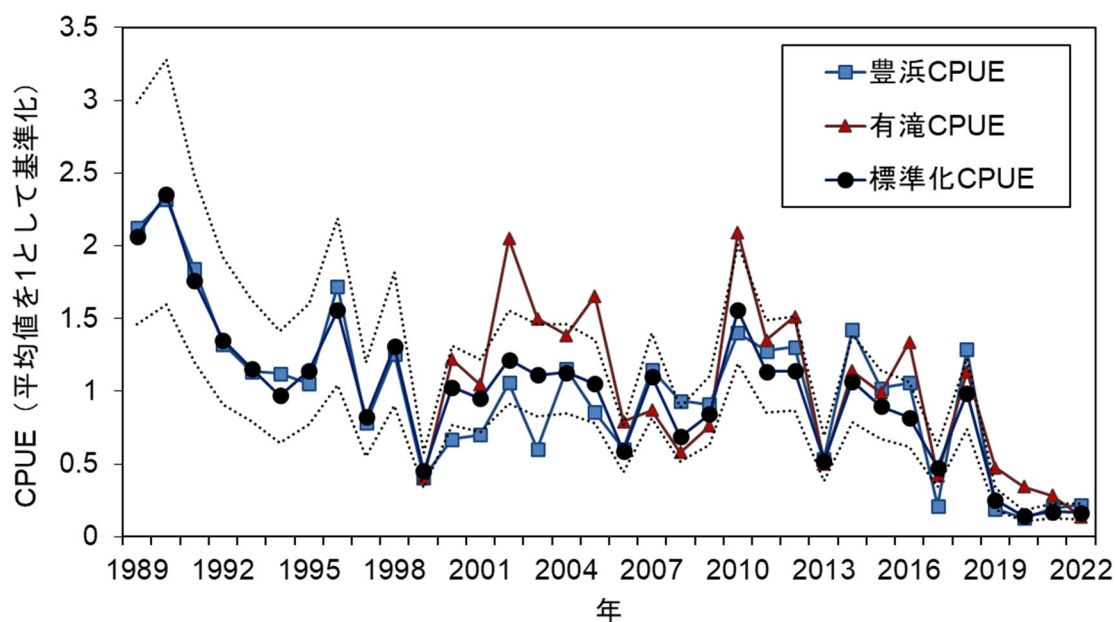


図 3. 豊浜ノミナル CPUE、有滝ノミナル CPUE および標準化モデルによる CPUE 推定値の比較（1989～2022 年）

各 CPUE の値は平均値を 1 として基準化した。点線は標準化 CPUE の 95%信頼区間を表す。有滝ノミナル CPUE は標準化に用いた月別漁獲量・出漁隻数データが存在する 1999 年以降のデータを示している。

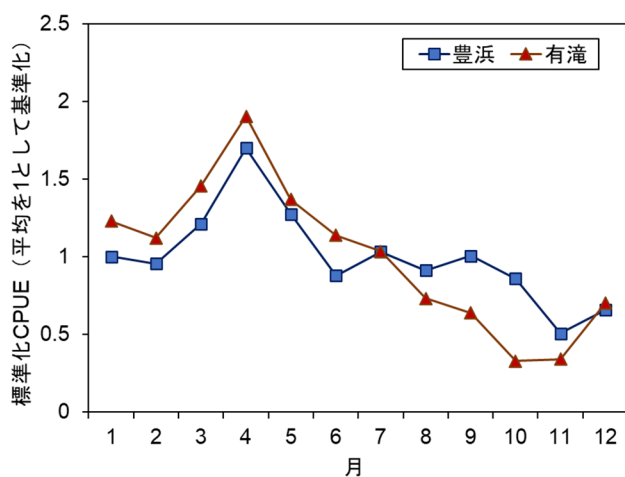


図 4. 月別・漁港別の標準化 CPUE 予測値のトレンド

各漁港の予測値は漁港別に求めた平均値を 1 として基準化して示した。

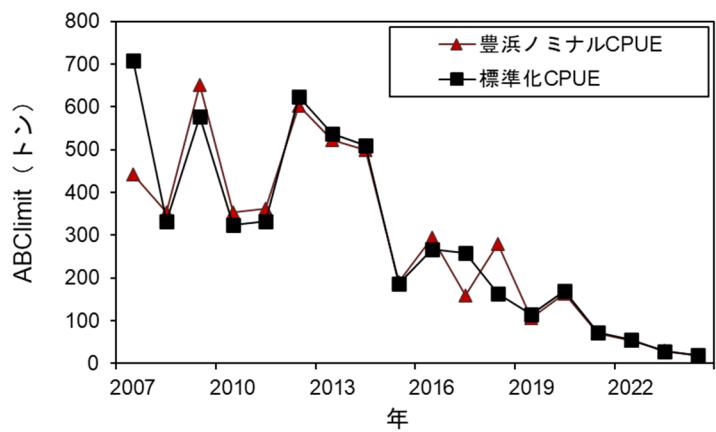


図 5. 豊浜ノミナル CPUE と標準化 CPUE を使用した ABClimit 計算結果の年推移の比較 (2007～2024 年 ABC)

表 1. GLM 解析における AIC を基準にしたモデル選択の上位 5 モデル（説明変数として年を含むもの）と AIC

説明変数	誤差構造	df	AIC
年+月+港+月*港	ガンマ分布	58	11694.7
年+月+港	ガンマ分布	47	11701.9
年+港	ガンマ分布	36	11792.0
年+月+港+年*月+月*港	ガンマ分布	421	11863.4
年+月+港+年*月	ガンマ分布	410	11987.4

表 2. 標準化モデルの係数推定結果

変数	推定値	標準誤差	p値
1月	2.546	0.254	5.95E-22
2月	2.453	0.267	6.81E-19
3月	2.716	0.248	1.01E-25
4月	2.984	0.244	5.26E-31
5月	2.653	0.244	2.29E-25
6月	2.468	0.244	2.11E-22
7月	2.373	0.244	6.21E-21
8月	2.027	0.244	5.86E-16
9月	1.887	0.244	4.08E-14
10月	1.220	0.244	7.28E-07
11月	1.261	0.244	3.14E-07
12月	1.982	0.246	3.68E-15
1990年	0.132	0.278	0.635
1991年	-0.160	0.278	0.564
1992年	-0.423	0.278	0.128
1993年	-0.578	0.278	0.038
1994年	-0.755	0.278	0.007
1995年	-0.592	0.278	0.033
1996年	-0.282	0.278	0.311
1997年	-0.920	0.278	0.001
1998年	-0.457	0.278	0.100
1999年	-1.516	0.242	7.18E-10
2000年	-0.697	0.242	0.004
2001年	-0.776	0.242	0.001
2002年	-0.530	0.242	0.029
2003年	-0.617	0.244	0.012
2004年	-0.603	0.242	0.013
2005年	-0.675	0.242	0.005
2006年	-1.257	0.244	3.38E-07
2007年	-0.627	0.242	0.010
2008年	-1.097	0.242	7.16E-06
2009年	-0.897	0.242	0.000
2010年	-0.282	0.242	0.245
2011年	-0.596	0.248	0.016
2012年	-0.596	0.242	0.014
2013年	-1.375	0.244	2.62E-08
2014年	-0.659	0.244	0.007
2015年	-0.834	0.242	0.001
2016年	-0.923	0.242	0.000
2017年	-1.470	0.244	2.84E-09
2018年	-0.738	0.242	0.002
2019年	-2.097	0.246	1.06E-16
2020年	-2.670	0.246	2.57E-25
2021年	-2.476	0.246	3.17E-22
2022年	-2.521	0.248	1.26E-22
漁港（豊浜）	1.138	0.197	1.14E-08
2月：豊浜	0.045	0.288	0.876
3月：豊浜	0.021	0.270	0.939
4月：豊浜	0.092	0.267	0.731
5月：豊浜	0.134	0.267	0.615
6月：豊浜	-0.053	0.267	0.844
7月：豊浜	0.204	0.267	0.445
8月：豊浜	0.426	0.267	0.110
9月：豊浜	0.664	0.267	0.013
10月：豊浜	1.173	0.267	1.27E-05
11月：豊浜	0.601	0.267	0.024
12月：豊浜	0.142	0.268	0.596