

有明海ガザミ漁業の標準化 CPUE

上田 拓
(有明海研究所)

有明海において重要な漁業対象種であるガザミは、1985年以降、漁獲量減少が続いており、国及び有明4県（福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県）は、2008年より資源回復計画を策定し、資源の増大に取り組んでいる。一方、ガザミは有効な年齢形質がないためコホート解析等による資源解析が行えず、正確な資源動向把握ができない。そこで1991～2018年の福岡県漁業者の操業日誌データを用いて、新たな資源量の指標として一般化線形混合モデルより求めた標準化CPUEを検討した結果、総漁獲尾数を総操業日数で除して求めたノミナルCPUEに比べて変動が激しく、資源の年変動が表れていた。さらに2004～2018年の刺網1日1網あたりの漁獲尾数から求めた標準化CPUE網でも、ノミナルCPUE網に比べ年変動が激しく、わずかに減少傾向を示していた。

キーワード：有明海、ガザミ、一般化線形混合モデル、標準化CPUE、資源量指標

有明海において、ガザミ *Portunus trituberculatus* は重要な漁業対象種であり、刺網、かご、小型底びき網、たもすくい網等で漁獲されている。有明海のガザミ資源は、過去に行われた外部標識放流調査^{1, 2)}やマイクロサテライトDNAを用いた種苗放流効果調査の結果³⁾から、橘湾や天草灘を含めた同一資源と考えられる。

近年、ガザミ資源の減少が危ぶまれたため、2008年に国および有明4県（福岡県、佐賀県、長崎県、熊本県）は、有明海ガザミ資源回復計画（現資源管理指針）を策定し、以降、ガザミ資源の増大を目指して、産卵雌親や小型個体の保護等の漁獲努力量削減を実施している。

資源管理を行う上で、資源量の動向を把握することは非常に重要である。しかしながら、ガザミは年齢形質がなく、魚類で行われているコホート解析等による資源解析ができない。

そこで、有明4県では資源量の動向を表す指標として、単位努力量あたりの漁獲量（catch per unit effort, 以下CPUE）を求め、資源動向を推定している⁴⁾。CPUEは、一般に資源密度に比例していると考えられており、特別な計算を行わなくともCPUEの年トレンドを見るだけで資源量の増減傾向を把握することが可能である⁵⁾。そこで、農林統計年報による漁獲動向や、漁業者から得た漁獲データをもとにして算出したCPUEの年推移について検討を行った。

一方、漁獲量を単位漁獲努力量で除して求めただ

けのCPUEはノミナルCPUE（nominal CPUE, 以下nCPUE）と呼ばれ、資源密度以外の様々な要因（操業時期、漁場、漁業種など）の影響も含んでいるため、資源量の年による変化傾向を知るためには、これらの影響を取り除く必要がある⁵⁾。そのため、一般化線形モデル（Generalized Linear Model）や一般化線形混合モデル（Generalized Linear Mixed Model, 以下GLMM）等の統計モデルを用いて、CPUEを標準化し、さらに真の年効果のみを取り出すことが必要である。⁶⁻⁸⁾

そこで、本報告では、有明海におけるガザミの漁獲動向を把握するとともに、さらに資源量の動向を把握するための新たな指標として、GLMMを用いた標準化CPUEについて検討を行った。

方 法

1. 漁獲動向

農林統計年報は、ガザミの他、タイワンガザミ *Portunus pelagicus*、ノコギリガザミ属 *Scylla* spp. が含まれたがざみ類として集計されている。

一方、本県ガザミ漁業者や地元水産物卸売市場関係者からの聞き取りによると、有明海ではガザミが優占種である。そこで1974～2018年の有明4県および福岡県の有明海におけるがざみ類漁獲量を、ガザミの漁獲動向を表しているとみなして集計した。

また、1991～2018年のガザミ漁業者1～4名（1991

年 1 名, 1992 年以降 3~4 名, のべ 6 人) に依頼した操業日誌(記入項目は漁業者名, 操業日, 漁場, 漁獲尾数, 漁業種, 漁獲物, 使用漁具量(2004 年以降))を集計し, 漁業種別の漁獲状況について検討を行った。

あわせて, 式 1 より 1991~2018 年のガザミを目的として操業した日における全漁業種の nCPUE について年別に集計を行った。

(式 1)

$$\text{nCPUE} = \text{総漁獲尾数} / \text{総出漁日数}$$

さらに, 一定のガザミ漁獲量がある 4~11 月を, 春季(3~5 月), 夏季(6~8 月), 秋季(9~11 月)に区分し, 季別 nCPUE の年推移を求めた。

福岡県有明海区のガザミ漁業では, 操業は前日に漁具を設置し, 翌日に回収し水揚げを行う。1 船当たり通常 2 人で操業し, 1 人が操船し, 1 人が網にかかった漁獲物を外しながら船槽に収容する。操業日誌を依頼した漁業者が使用している漁港は全て河川にあり, 有明海特有の大きな干満差により, 漁港への着岸が可能な時刻が限定され, 海上での作業時間も限られている。そのため, 漁具にかかったガザミ数量の多寡により, その日に回収できる漁具量も変動する。そこで式 2 より, 2004~2018 年の刺網 1 隻 1 日 1 網当たりのノミナル CPUE 網(以下 nCPUEnet)を求め, nCPUE の動向との比較を行った。

(式 2)

$$\text{nCPUEnet} = \text{刺網総漁獲尾数} / (\text{刺網総出漁日数} \times 1 \text{ 日あたり使用網数})$$

2. 標準化 CPUE

解析には Windows 版の R version 3.6.2(統合開発環境 RStudio version 1.3.1056)を用いた。

操業日誌データをもとに, GLMM を用いてかご, 刺網をあわせた全漁業種の 1 隻 1 日当たりの漁獲尾数を標準化する(1)標準化 CPUE モデルと, 2004 年以降使用漁具量の項目が加わったため, 刺網の 1 隻 1 日 1 網当たりの漁獲尾数を標準化する

(2) 標準化 CPUEnet モデルを作成した。

さらに資源動向指標値として, (1), (2) で得られた最適モデルから, lsmeans パッケージ version 2.30-0 を用いて, 各漁獲年の効果に, 漁獲年を除く全説明変数の係数の平均値を加えた最小二乗平均⁵⁾を算出し, 標準化 CPUE および標準化 CPUEnet を求めた。

(1) 標準化 CPUE モデル

1991~2018 年の操業日誌データ 16,141 件より, CPUE の標準化モデルを作成した。

GLMM の推定には, 式 3 に示したとおり, 応答変数として 1 隻 1 日当たりの漁獲尾数, 説明変数として漁獲年, 漁獲月, 漁業種, 漁業者, 漁場, および, 漁獲年, 漁獲月, 漁業種間の二次の交互作用を設定した。なお, 漁業者はのべ 6 人, 漁場は 1 日に複数の漁場を選択して操業することもあり 149 種類の組み合わせデータがあるが, それらの固定効果は検討せずに, 観察データにばらつきをもたらすランダム項⁹⁾として設定した。その他の説明変数は固定項とした。このモデルを初期モデルとし, mcvg パッケージ version (1.8-31) の gam 関数, MuMIn パッケージ version (1.43.17) の dredge 関数により, ベイズ情報量規準(Bayesian information criterion)が最小となるモデルを総当り法で推定し, 最適モデルとして採択した。応答変数の漁獲尾数は計数データであるため誤差構造は負の二項分布を仮定した。説明変数は全てカテゴリカル変数として扱った。

(式 3)

$$C \sim \text{year} + \text{month} + \text{gear} + \text{name} + \text{area} + \text{交互作用項}$$

ここで記号を次のとおり定めた

C: 出漁毎の 1 隻 1 日あたりの漁獲尾数

year: 漁獲年の効果

month: 漁獲月の効果

gear: 漁業種の効果

name: 漁業者の効果

area: 漁場の効果

(2) 標準化 CPUEnet モデル

2004~2018 年の刺網出漁時の操業日誌データ 6,904 件より, CPUEnet の標準化モデルを作成した。式 4 に示したとおり, 応答変数として 1 隻 1 日当たりの漁獲尾数(C), 説明変数は標準化 CPUE モデルと同様のものに加え, 網数の対数値をオフセット項⁵⁾としたものを初期モデルとした。その他は(1)と同様の手法で最適モデルを推定した。

(式 4)

$$C \sim \text{year} + \text{month} + \text{name} + \text{area} + \text{交互作用項} + \text{offset}(\log(\text{net}))$$

ここで記号を次のとおり定めた。

net: 刺網 1 隻 1 日当たりの使用網数

結 果

1. 漁獲動向

農林統計年報の有明 4 県がざみ類の漁獲量推移を図 1 に示した。1974 年以降、増減を繰り返しながら増加し、1985 年には最高の 1,781 トンであった。その後徐々に減少し、2000 年に急激に減少し 142 トンとなった。2002 年には 338 トンまで回復したものの、再び増減を繰り返しながら減少し、2016 年は過去最低の 59 トンとなるなど、長期的には減少傾向を示している。

操業日誌による漁業種別漁獲尾数の推移を図 2 に示した。ガザミは 12～3 月にはかご、4～11 月には刺網で漁獲され、刺網の占める割合が 1991 年～2018 年の平均で 91%と圧倒的に高い。

福岡県の農林水産統計年報がざみ類漁獲量と、

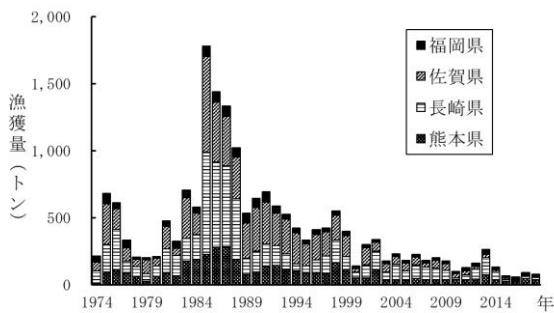


図 1 有明 4 県のがざみ類漁獲量

操業日誌のかごと刺網を合わせて集計した nCPUE の年推移を図 3 に示した。農林統計年報では多少の増減はあるものの減少傾向を示しているが、nCPUE については増減を繰り返しており、一定の傾向が見られない。

次に、季別 nCPUE および、3 年間の移動平均の推移について図 4-1 から図 4-3 に示した。春季、夏季は 2013 年に現れた卓越年級群を除くと期間を通じて減少傾向を示していた。一方、秋季は 2013 年まで増減を繰り返しながら増加傾向を示し、その後、やや減少に転じており、季節により nCPUE の推移は異なっていた。

2004 年以降、刺網の nCPUE_{net} と nCPUE の推移について図 5 に示した。概ね増減傾向は一致し、2008 年、2013 年に大きく増加し、その後減少するパターンが見られた。

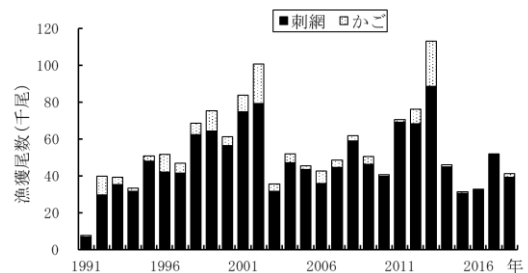


図 2 操業日誌による漁業種別ガザミ漁獲尾数

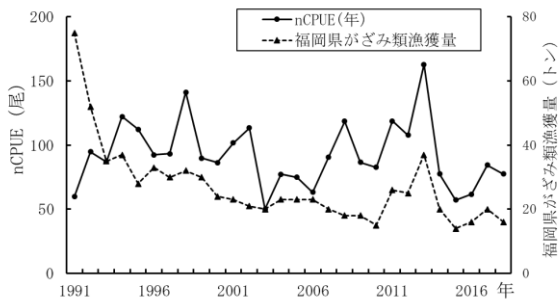


図 3 福岡県がざみ類漁獲量と nCPUE (年) の推移

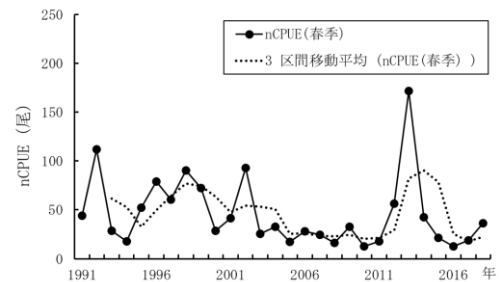


図 4-1 春季 (3-5 月) の nCPUE の推移

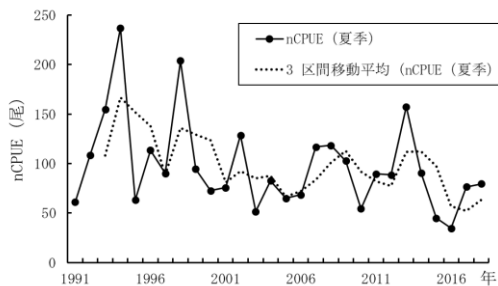


図 4-2 夏季 (6-8 月) の nCPUE の推移

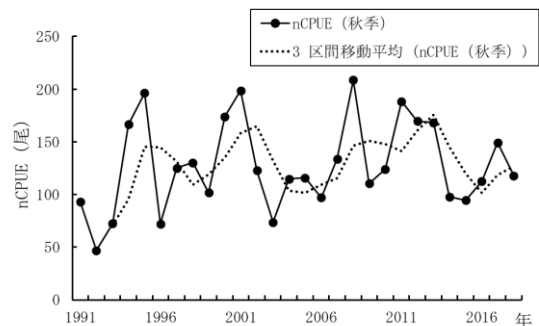


図 4-3 秋季 (9-11 月) の nCPUE の推移

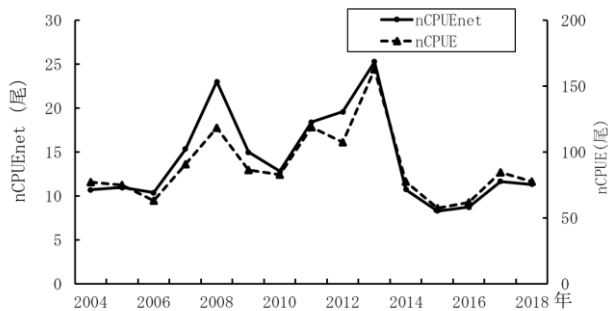


図5 nCPUEnet と nCPUE の比較

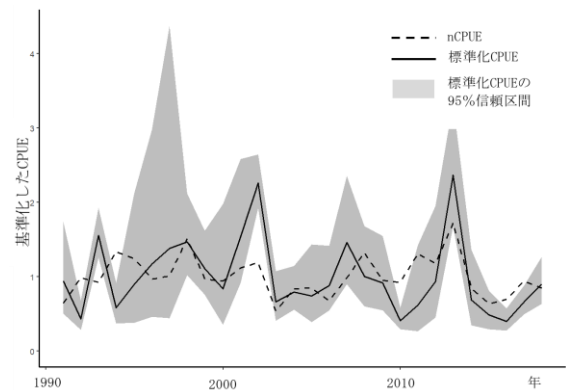


図6 標準化 CPUE と nCPUE の比較

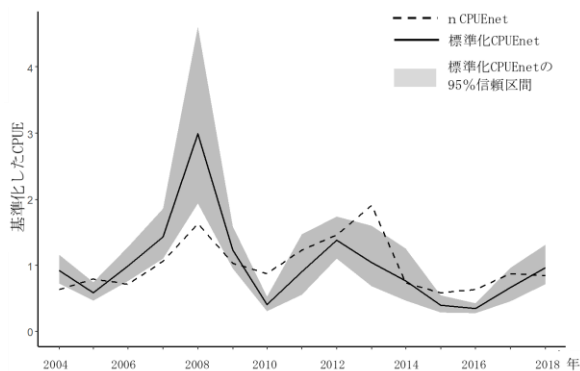


図7 標準化 CPUEnet と nCPUEnet の比較

2. 標準化 CPUE

(1) 標準化 CPUE モデル

式3の初期モデルを用いたモデル選択の結果、式5に示した交互作用を含む以下の式が採択された。なお、式中の:は2変数の交互作用を示す。

(式5)

$$C \sim \text{year} + \text{month} + \text{gear} + \text{name} + \text{year}:\text{month} + \text{month}:\text{gear}$$

式5により求めた標準化 CPUE と nCPUE の推移について比較するため、それぞれの全年平均値で除して標準化したものを図6に示した。

標準化 CPUE は 1992 年以降徐々に増加し 2002 年にピークを迎えた後、翌年に急減、その後は増減を繰り返しながら 2010 年に過去最低となったが、翌年より増加に転じ 2013 年に二番目のピークを示した。

一方、nCPUE は 2003 年に減少したものの、その後増減しながら右肩上がりに増加して 2013 年にピークを迎え、その後再び急減した。標準化 CPUE は nCPUE と比べ、年による増減が激しいが、長期的に見るとそれほど増減傾向に大きな違いはなく、減少傾向も見られなかった。

(2) 標準化 CPUEnet モデル

式4の初期モデルを用いたモデル選択の結果、式6に示した交互作用を含む以下の式が採択された。

(式6)

$$C \sim \text{year} + \text{month} + \text{name} + \text{year}:\text{month} + \text{offset}(\log(\text{net}))$$

式6により求めた標準化 CPUEnet と nCPUEnet の推移について、それぞれの全年平均値で除して標準化したものを、図7に示した。

標準化 CPUEnet は 2008 年にピークを示しその後減少し、2012 年に小さなピークを示したのち増減を繰り返しながら、ほぼ横ばい傾向を示していた。

一方、nCPUEnet は 2013 年に向けてやや増加傾向を示し、その後大きく減少している。標準化 CPUEnet

は nCPUEnet と比べ、年による増減が激しく、nCPUEnet で見られた 2013 年のピークは見られず、長期的に見るとわずかに減少傾向を示していた。

考 察

農林等計年報によるがざみ類の漁獲量は有明 4 県、福岡県ともに 1980 年代後半をピークに、その後大きく減少傾向を示しているが、操業日誌による nCPUE は減少していない。漁業者からの聞き取りでは、ガザミ漁業者数が大きく減少しているため、GLMM を始めとする統計モデルによる標準化を行わない nCPUE で資源量を評価した場合には、資源量は減少しておらず、漁獲量の減少は漁業者数の減少を反映したものと判断される。

GLMM によるモデルで求めた標準化 CPUE でも長期的に見て、nCPUE と傾向にそれほど大きな違いはなく、ほぼ横ばいを示していることから資源は減少していないように見える。nCPUE と比較して標準

化 CPUE の方が年による増減が激しいことは、年以外の説明変数の影響を取り除いたことにより変動が激しくなったことを意味しており、nCPUE では見えなかった資源量の年変動が見えていた。

一方、聞き取りによれば、漁業者は、漁獲量の増減に合わせて漁具の使用量を変化させ、海域におけるガザミ資源量が少なく、漁獲量が少なくなりそうな時には、使用する漁具を増やし、一定の漁獲量を維持しようとする。また、一般的に使用漁具量と漁獲量は比例関係にある。

そのため、漁具使用量を反映していない標準化 CPUE では真の年変動は見えづらく、使用漁具量を考慮した標準化 CPUEnet の方がより正確に資源量の動向を表す指標値として適していると考えられる。

標準化 CPUEnet でも、nCPUEnet に比べ年の変動幅が大きく、年以外の説明変数による影響を取り除いた結果、真の年変動が表れたものと考えられた。2003 年以前は操業日誌に使用漁具量の項目がないため標準化 CPUEnet を求めることができないが、2004 年以降では、2008 年のピーク後、増減しつつわずかなではあるが減少傾向が見られ、資源量の減少が危惧された。

2008 年以降、有明海ガザミ資源回復計画に基づき漁業者が実施してきた漁獲圧削減措置（産卵雌が多く漁獲されるたもすくい網の禁漁期間設定、全甲幅長 12cm 以下の小型個体や孵化直前の抱卵雌、軟甲羅個体の再放流）が資源減少を食い止めている可能性があるが、その科学的かつ定量的評価については今後の課題である。

あわせて、有明海では 2012 年ごろからビゼンクラゲが大発生し¹⁰⁾、7～8 月には、福岡県、佐賀県のガザミ漁業者もクラゲ漁に切り替える者も多く、漁獲努力量が減少していることも、資源量の減少を緩やかにしている要因の一つとして考えられる。

しかしながら、漁業者からの聞き取りでは、過去は毎日、全漁具を船上にあげて水揚げを行っていたが、近年は競合する漁業者が減り、多くの漁場を使えるため、漁具を数日間設置することもあることから、漁獲努力量増加を十分把握できていない恐れもある。今後は、可能な限り正確な操業実態を把握するよう、操業日誌の項目の見直しを行いたい。あわせて、全海域におけるガザミを漁獲する漁業者数や漁獲量の収集体制構築も必須である。

2018 年に漁業法が大きく改正され、科学的な資源評価に基づき、漁獲可能量の設定等による資源管理を行い、水産資源を持続可能な水準に維持・回復させることが強く打ち出された。資源を適切に漁獲し、安定的に供給することは、漁業者のみならず、販売・流通業者、消費者を支える根幹である。資源量の動向を迅速かつ正確に把握し、その情報を漁業者に提示するとともに、適切な資源管理手法を指導することが必要不可欠である。そのためにも今後も資源評価手法の改善を続けていくことが水産研究機関の重要な責務である。

謝 辞

長年にわたり操業日誌の記入に協力いただいた福岡県の有明海ガザミ育成会堤幸夫会長をはじめ会員の皆様に、心より感謝申し上げます。また、解析にあたり格別のご指導および多大なる御助言を頂いた国立研究開発法人水産研究・教育機構水産技術研究所井上誠章主任研究員、三重大学生物資源学研究所金岩稔准教授、増淵隆仁研究員には、厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 宮本博和, 金澤孝弘. 標識放流からみたガザミ軟甲個体の移動と再放流効果. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2009 ; 19 : 7-12.
- 2) 堀井豊充, 立石 賢, 吉田範秋. 有明海における標識放流からみた軟甲ガザミの移動と死亡係数. 長崎県水産試験場研究報告 1989 ; 15 : 47-52.
- 3) 上田 拓, 篠原直哉, 大庭元気, 上利貴光, 上原大知, 菅谷琢磨, 井上誠章. 有明海福岡県地先で放流されたガザミ種苗の成長, 移動, 放流効果. 福岡県水産海洋技術センター研究報告 2019 ; 30 : 1-12.
- 4) 上田 拓. 資源管理体制強化実施推進事業(1)資源回復計画作成推進事業(ガザミ). 福岡県水産海洋技術センター事業報告 2020 ; 133.
- 5) 庄野 宏. 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 2004 ; 68 (2) : 106-120.
- 6) 水産庁, 国立研究開発法人水産研究・教育機構. 令和元年度国際漁業の現況. 東京. 2019.

- 7) 金元保之, 柴田奉宙. 島根県沿岸におけるケンサキイカの CPUE に影響を与える要因の検討と将来予測. 日本水産学会誌 2020 ; **86** (5) : 371-38.
- 8) 岡村 寛, 市野川桃子. 水産資源学における統計モデリング. 統計数理 2016 ; **64** (1) : 39-57.
- 9) 久保拓弥. データ解析のための統計モデリング入門 岩波書店, 東京. 2012.
- 10) 藤井直紀. ブームに沸く有明海のクラゲ漁. Ocean Newsletter 2014;**324**:https://www.spf.org/opri/newsletter/324_3.html (2020 年 11 月 3 日閲覧).