

八丈島周辺海域におけるメダイの漁獲量に黒潮流路が与える影響

日野晴彦^{1†}, 馬場真哉², 駒澤一郎³Influence of the Kuroshio path on the catches of Japanese butterfish *Hyperoglyphe japonica* in waters around Hachijyo-jima Island in central JapanHaruhiko HINO^{1†}, Shinya BABA² and Ichiro KOMAZAWA³

八丈島周辺海域におけるメダイの資源動向および黒潮流路が漁獲量に与える影響を調べた。一般化線形モデル (GLM) による解析の結果、年、月、黒潮流路が漁獲量に影響し、また操業隻数および黒潮流路が漁獲効率 (操業隻数あたりの漁獲量) に影響することが示唆された。GLMの年の係数がメダイの資源動向を反映すると仮定すると、減少傾向にはないことが示唆された。漁獲効率は操業隻数の増加に伴って向上し、その要因として漁場探索の効率化が考えられた。操業隻数の増加による漁獲効率の向上効果は、黒潮が八丈島の南側を通過するC型流路の方が非C型流路よりも高く、C型時に半月間の操業隻数が13.3を超えると非C型よりも漁獲量が増加することが示された。C型に移行すると深層の水温が低下して適水温の深度が上昇することから、漁場が浅層に形成されて潮流の影響が緩和され、さらに一度の操業に要する時間の短縮によって漁獲効率が向上すると考えられた。

キーワード：メダイ、黒潮流路、八丈島、一般化線形モデル

We examined stock abundance trends and the influence of the Kuroshio path on catches of Japanese butterfish (*Hyperoglyphe japonica*) in waters around Hachijyo-jima Island in central Japan. The results of a selected generalized linear model (GLM) using Akaike's information criterion indicated that year, month, and changes in the Kuroshio path influenced catches of Japanese butterfish. The number of fishing boats per half month and the Kuroshio path were also found to influence fishing efficiency (catch per fishing boats per half month). Assuming that the coefficients of the year of the selected GLM indicated the stock abundance trend, no decrease in the stock abundance of Japanese butterfish was detected. Moreover, fishing efficiency improved with an increase in the number of fishing boats per half month, which can be attributed to the improvement in effective searching for fishing grounds. In addition, the effect of improvement in fishing efficiency with an increase in the number of fishing boats was generally higher in the C-type than in the except C-type of the Kuroshio path. In the case of the number of fishing boats per half month exceeding 13.3, it was predicted that the catches were higher in the C-type of the Kuroshio path than in the except C-type. In the case of the C-type, the depth of suitable water temperature for Japanese butterfish was shallower than that of the except C-type because of cooling of deep waters. Therefore, in the case of the C-type, fishing grounds may form in shallower depths. Therefore, fishing efficiency may improve because of a decreased influence of current and increased operation frequency per day due to a reduction in operation time.

Key words: Japanese butterfish, Kuroshio path, Hachijyo-jima Island, Generalized linear model

2018年1月11日受付, 2018年11月7日受理

¹ 東京都島しょ農林水産総合センター八丈事業所, 〒100-1511 東京都八丈町三根4222

Hachijo Branch, Tokyo Metropolitan Island Area Research and Development Center of Agriculture, Forestry and Fisheries, 4222 Mitsune, Hachijo-machi, Tokyo 100-1511, Japan

² Logics of Blue, <https://logics-of-blue.com/>

兵庫県

Logics of Blue, <https://logics-of-blue.com/>, Hyogo, Japan

³ 東京都島しょ農林水産総合センター振興企画室, 〒105-0022 東京都港区海岸2-7-104

Tokyo Metropolitan Island Area Research and Development Center of Agriculture, Forestry and Fisheries, 2-7-104, Kaigan, Minato-ku, Tokyo 105-0022, Japan

† Haruhiko_Hino@member.metro.tokyo.jp

はじめに

伊豆諸島南部に位置する八丈島周辺海域では、1980年代後半から2000年代までカツオ *Katsuwonus pelamis* などを漁獲する曳縄漁業が中心となっていたが、近年の全国的なカツオの漁獲減少や、基幹漁業であるムロアジ棒受網漁、トビウオ流し刺網漁などの不振に伴って、底魚一本釣り漁業の漁獲量が増加している（東京都産業労働局農林水産部水産課、2003–2018）。底魚一本釣り漁業では、高値で安定した単価であることからキンメダイ *Beryx splendens* の漁獲が増加し（亘ほか、2017）、近年では年間の漁業生産金額の6割程度を占めている（東京都産業労働局農林水産部水産課、2016–2018）。しかし、関東沿岸から伊豆諸島海域における一都三県（東京都、千葉県、神奈川県、静岡県）のキンメダイの漁獲量は1990年代以降減少傾向にあり、その資源状態は低位で減少傾向と推定され、親魚量の増加には現状の漁獲圧力を3割程度削減する必要性が示されている（亘、2017）。そのため、キンメダイへの漁獲圧力を削減しながら、底魚一本釣り漁業による収益の維持・増大を図るには、キンメダイ以外の代替資源に漁獲圧力を分散させることが重要である。また代替資源についても、その資源状態や漁獲特性を十分に把握した上で持続的利用を目指す必要がある。

メダイ *Hyperoglyphe japonica* は北海道以南の日本各地に分布し、成長すると全長90 cmに達する中層部（100–400 m）に生息する魚類である（増沢ほか、1975; 中坊、1984）。メダイは八丈島の底魚一本釣り漁業において古くから漁獲され、近年ではキンメダイに次いで年間に100 t前後が水揚げされている（東京都産業労働局農林水産部水産課、2016–2018）。八丈島周辺海域におけるメダイは、キンメダイと同所的に分布するが、生息水深が浅いため（神奈川県水産試験場、1972; 増沢ほか、1975）、キンメダイよりも浅い漁場で操業することで選択的な漁獲が可能である。しかし、伊豆諸島海域のメダイについては、1960–70年代の成長や産卵期、食性などの断片的な報告に限られ（東京都水産試験場、1968–1973; 神奈川県水産試験場、1972; 増沢ほか、1975）、また資源動向についてはこれまで明らかにされていない。

伊豆諸島海域の漁況は、黒潮流路の変動に伴う海洋環境の変化に大きく影響される。通常、黒潮は八丈島の北側を通過し、同島周辺海域は黒潮の外側域に位置している。しかし、黒潮流路の蛇行によって八丈島の南側を通過するC型（吉田、1961; 二谷、1969）に移行し、同島周辺海域が黒潮の内側域に位置すると低水温・高栄養塩の海洋環境となることが知られている（高瀬ほか、2008; 駒澤ほか、2012）。八丈島周辺海域において黒潮流路がC型に移行すると、カツオやアオダイ *Paracaesio caerulea* の1隻当たり漁獲量（CPUE）が減少することや（米沢ほか、2004, 2006）、キンメダイのCPUEが増加すること（米沢ほか、2004; 武内、

2014）が報告されている。以上から、八丈島周辺海域で漁獲されるメダイの漁況についても黒潮流路の影響を受ける可能性があるが、漁況に関する知見は皆無である。メダイの資源動向および漁況に影響を与える要因を明らかにすることで、メダイ漁業の効率化に貢献するばかりでなく、キンメダイへの漁獲圧力の分散を通じて、持続的な底魚一本釣り漁業の推進に寄与することが期待される。

そこで本研究では、八丈島周辺海域の黒潮流路別の海洋観測水温およびクロロフィル *a* 量のデータを解析し、黒潮流路が海洋環境に与える影響を調べた。そして、八丈島周辺海域におけるメダイの資源動向および漁況に影響する要因を明らかにするため、黒潮流路が漁獲量に与える影響に着目して一般化線形モデル（GLM）を用いて漁獲データを解析した。その結果、メダイの資源動向および漁況に関する知見が初めて得られたので報告する。

材料と方法

海洋観測水温

東京都島しょ農林水産総合センター八丈事業所所属の漁業調査指導船「たくなん」が2001年から2016年までに実施した海洋観測の中で、底魚一本釣り漁業の主漁場の1つである拓南山付近に位置する北緯33°10′・東経140°07′（Fig. 1）の結果を用いた。一都三県海況速報および関東・東海海況速報（<http://www.ifarc.metro.tokyo.jp/20.html>, 2018年1月9日）（以下、海況速報）を基に、黒潮流路が八丈島および観測地点の北側に位置する場合を非C型、南側に位置する場合をC型として1日ごとに判別した（Fig. 1）。その後、半月ごと（上旬、下旬）の黒潮流路を非C型（非C型の占める日数が50%以上）とC型（C型の占める日数が50%以上）に分類した。CTD（SBE-19plus, シーバード社製）またはXBT（MK-130, 鶴見精機社製）を用いておおむね月に1回の頻度で測定した計155（CTD, 72; XBT, 83）の水温の鉛直データについて、観測日の海況速報を基に黒潮流路別に集計し、水深10 m間隔の平均値を月ごとに算出して水温の鉛直構造の季節変化を求めた。

黒潮流路の変動に伴う海洋環境の変化と漁獲量の関連性を検討するため、メダイの生息適水温（以下、適水温）を仮定した。八丈島周辺海域において、漁業者はメダイよりも深層に分布するキンメダイを漁獲する際に、底層の水温が10°C前後の漁場を目安に操業していることから、メダイの適水温はそれ以上と考えられる。また、河野（2009）は、日本海山口県沖の水深約90 mの人工魚礁において、魚群探知機および水中テレビによりメダイの鉛直分布を調べ、生息水温が14–16°C前後と報告している。そこで本研究では、メダイの適水温を15°Cと仮定し、海洋観測結果から求めた水温の鉛直構造を基に、黒潮流路別にメダイの適水温に最も近い深度を月ごとに集計し、その季節変化を求めた。黒潮流路別の適水温の深度が季節によって有意に変化する

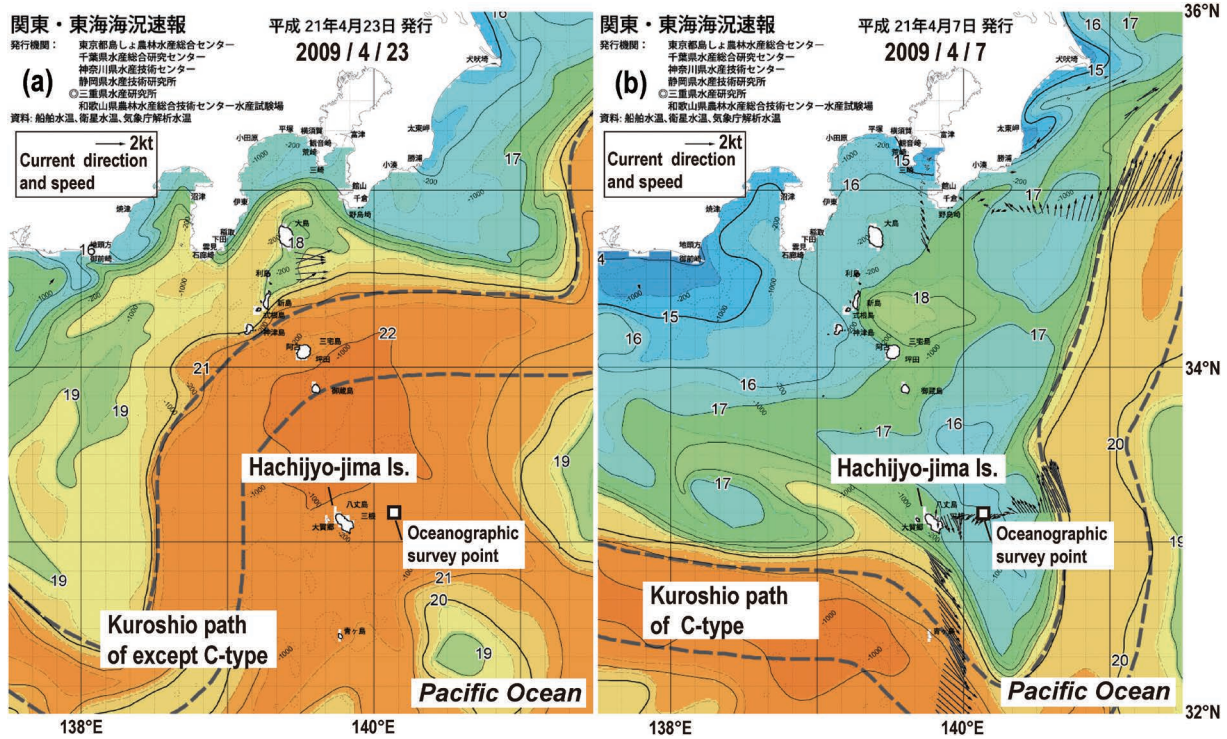


Figure 1. Location of Hachijyo-jima Island and examples of the Kuroshio path. (a) Except C-type on April 23, 2009, (b) C-type on April 7, 2009. The open square indicates the monitoring station of oceanographic survey.

のかを検討するため、Friedman検定を行った。

クロロフィルa量

黒潮流路の変動に伴う海洋環境の変化と漁獲量の関連性を検討するため、「たくなん」が2005年6月から2007年9月にかけて、八丈島周辺海域での海洋観測時に採取した表層海水のクロロフィルa量を測定した。なお、非C型の1-3月、9月、11-12月と、C型の1-3月、10-12月のデータは欠測した。採取した海水500 mlをガラス繊維濾紙（GF・F, Whatman社製）でろ過し、そのフィルターを6 mlのN, N-ジメチルホルムアミド（以下、DMF）に液浸した。DMFに液浸した海水試料は、暗所冷蔵下で7日以上色素抽出を行った後、蛍光光度計（10-AU-005-CE, Turner-Designs社製）を用いて、Holm-Hansen法によりクロロフィルa量を算出した。算出したクロロフィルa量について、観測日の海況速報を基に黒潮流路別に集計した。その後、黒潮流路別のクロロフィルa量の中央値、四分位数、最小値、最大値を月ごとに算出して箱ひげ図を作成した。

クロロフィルa量に影響する要因を明らかにするため、応答変数をクロロフィルa量、説明変数を年、月、黒潮流路としたフルモデルのGLM（ガンマ分布、logリンク関数）を構築した。年、月、黒潮流路はカテゴリカル変数として扱った。構築したフルモデルから、総当たり法でAIC（Akaike's Information Criterion）が最小のモデルを選択した。

漁獲データ

2001年から2016年にかけて、八丈島漁業協同組合（以下、八丈島漁協）大賀郷支所へ水揚げされたメダイの日別漁獲量を解析の対象とした。大賀郷支所所属の漁船は、八丈島周辺漁場において底魚一本釣り漁業でメダイを主な漁獲対象として操業しているが、水揚げをしなかった日数は記録されていない。そのため、メダイを水揚げした漁船について半月ごとに集計し、1隻当たりの漁獲量（kg・隻⁻¹）をCPUEとして算出した。半月ごとに分類した黒潮流路を基に、CPUEを黒潮流路別に集計し、中央値、四分位数、最小値、最大値を月ごとに算出して箱ひげ図を作成した。

漁獲量に影響する要因を明らかにするため、応答変数を漁獲量とした2種類のGLM（ガンマ分布、logリンク関数）を構築した。1つ目のGLMでは説明変数を年、月、黒潮流路、操業隻数、月と黒潮流路の交互作用項とした。年、月、黒潮流路はカテゴリカル変数として扱い、操業隻数は対数変換した。また、月による黒潮流路の影響の違いを検討するため、月と黒潮流路の交互作用項を説明変数に組み込みフルモデル1とした。フルモデル1では、操業隻数が漁獲効率（操業隻数当たりの漁獲量）に影響しない（操業隻数と漁獲量は比例関係にある）と仮定して、操業隻数の係数を1に固定したオフセット項として扱った。

さらに、操業隻数が漁獲効率に影響する（操業隻数と漁獲量は比例関係にはない）と仮定し、フルモデル1のよう

に操業隻数をオフセット項として扱わず、また黒潮流路間での漁獲効率の違いを検討するため、黒潮流路と操業隻数の交互作用項を追加し、フルモデル2とした。それぞれのフルモデルについて、総当たり法でAICが最小のモデルを選択した。

すべての統計解析は、フリーソフトR (<http://cran.r-project.org/>, 2018年1月9日) Ver.3.0.2を用いて行った。

結果

黒潮流路別の水温の鉛直構造とその季節変化

非C型、C型に半月ごとに分類した黒潮流路の推移をFig. 2に示した。非C型は2002年から2004年にかけて継続し、また2010年から2011年にかけて期間中の83%を占めた。一方、2008年5月から2009年7月にかけて期間中の93%をC型が占めた。非C型、C型のデータ数は、それぞれ256、

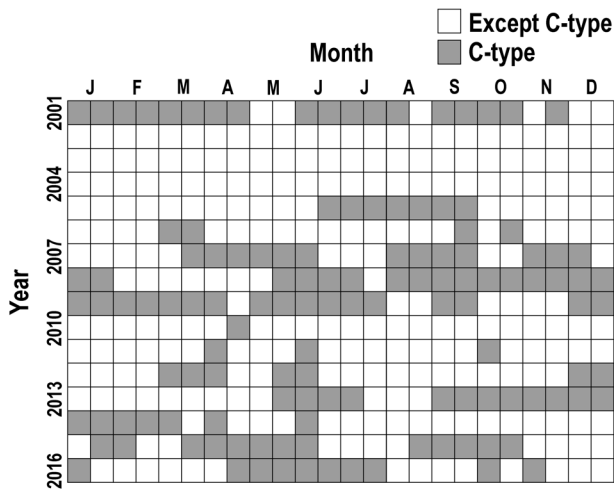


Figure 2. Changes in the Kuroshio path around Hachijyo-jima Island from 2001 to 2016. Open and filled squares indicate except C-type and C-type of the Kuroshio path, respectively.

128となった。

黒潮流路別の水温の鉛直構造および適水温の深度の季節変化をFig. 3に示した。2001年から2016年の非C型、C型のデータ数は、それぞれ105、50となった。非C型およびC型の水温の鉛直構造は、表層から水深200 m付近までが季節によって大きく変化した。非C型では、冬季（1月）に表層から水深200 m付近に形成された20°C前後の混合層が、春季（4月）には表層から水深130 m付近に形成された（Fig. 3a, b）。その後、夏季（7月）には混合層が消滅し、秋季（10月）には26°C前後の混合層が表層から水深60 m付近に形成された（Fig. 3c, d）。

一方、C型では冬季に18°C前後の混合層が表層から80 m付近まで形成され（Fig. 3a）、春季に混合層は消滅した（Fig. 3b）。その後、夏季から秋季に表層から水深100 m付近まで水温躍層が形成された（Fig. 3c, d）。黒潮流路がC型に移行すると、水深100 m以深では同一の深度における水温が最大10°C程度低下した。

メダイの適水温の深度は、非C型、C型でそれぞれ330–390 m程度、110–140 m程度となっており、C型では非C型よりも200 m以上浅層に形成された。また、適水温の深度の季節変化に有意差は確認されなかった ($p > 0.05$)。

黒潮流路別のクロロフィルa量とその季節変化

黒潮流路別のクロロフィルa量とその季節変化をFig. 4に示した。測定した海水試料の内、黒潮流路が非C型で採取した試料が54、C型で採取した試料が79となった。非C型のクロロフィルa量の中央値は4–5月の値が $0.4 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ と他の月と比較して2倍程度高く、C型では5月の値が $1.5 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ 程度と他の月と比較して3倍程度高い値となった。

総当たり法により、No. 1からNo. 8の計8モデルが作成された（Table 1）。AICによるモデル選択の結果、年、月、黒潮流路を説明変数としたモデルNo. 1が選択された。選択されたモデルNo. 1の係数をTable 2に示した。非C型を基準（0）としたC型時の係数は0.617で、C型のクロロフィ

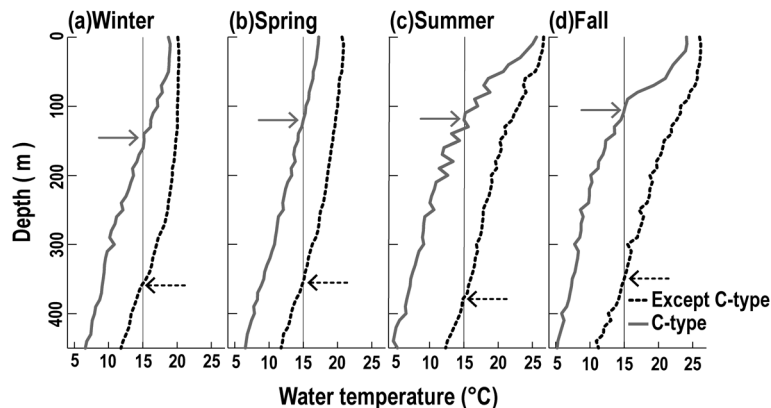


Figure 3. Seasonal changes in the mean vertical water structure of except C-type and C-type of the Kuroshio path. (a) Winter (January), (b) spring (April), (c) summer (July), and (d) fall (October). Arrows indicate the depth of water where the temperature was 15°C.

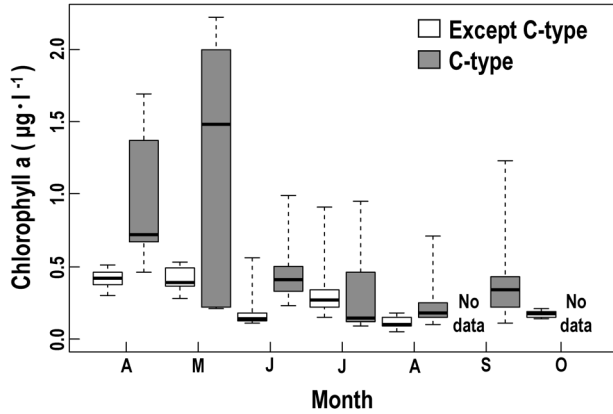


Figure 4. Seasonal changes in chlorophyll *a* concentrations in waters around Hachijyo-jima Island. Horizontal lines in the box indicate the median values, and lower and upper box levels indicate 75% and 25% percentiles, respectively. Vertical bars indicate the minimum and maximum values. Left and right sides of each month indicate except C-type and C-type of the Kuroshio path, respectively.

ル a 量は非C型よりも1.85 ($=\exp(0.617)$) 倍高いことが示唆された。選択されたモデルNo. 1の月の係数をFig. 5に示した。月の係数は4月を基準 (0) とした場合、5–8月にかけて–1.440まで減少し、その後微増して10月に–0.924となった。

漁獲量およびCPUEの経年変化

2001年から2016年に八丈島漁協大賀郷支所に水揚げされたメダイの漁獲量およびCPUEの経年変化をFig. 6に示した。メダイの漁獲量は10–130 tと増減が大きいものの、2009年以降は40–90 tで推移した。CPUEは2002年から2008年にかけて37–136 kg・隻^{–1}まで増加した後に、2009年には67 kg・隻^{–1}まで減少したが、2010年以降は100 kg・隻^{–1}程度で推移した。

黒潮流路別のCPUEとその季節変化

黒潮流路別のメダイのCPUEとその季節変化をFig. 7に示した。各月のCPUEの中央値は、1月に非C型で40 kg・隻^{–1}、C型で50 kg・隻^{–1}と最低値を示した後に上昇し、それぞれ4–5月に130 kg・隻^{–1}、5月に220 kg・隻^{–1}と最高値を示した。その後、CPUEの中央値は非C型では次第に減少し、12月に40 kg・隻^{–1}となった。一方、C型では10月に70 kg・隻^{–1}まで減少した後、増加に転じ、12月には95 kg・隻^{–1}と微増した。各月のCPUEの中央値は4月および7月を除いてC型の方が非C型よりも高い値で推移しており、特に5月のC型の値は同月の非C型よりも1.8倍程度高い値となった。

GLMによる漁獲量の解析結果

フルモデル1と2、それぞれの総当たり法により、主効果を含まずに交互作用項を含むモデルを除いた計46モデルが作成された。作成されたモデルのうち、上位10モデル

Table 1. Explanatory variables and Akaike's Information Criterion (AIC) scores for alternative models to explain chlorophyll *a* concentrations in waters around the Hachijyo-jima Island.

No.	Explanatory variables	AIC	Δ AIC
1	Year+Month+Kuroshio	– 70.5	0.0
2	Month+Kuroshio	– 54.1	16.4
3	Year+Month	– 49.4	21.1
4	Month	– 27.8	42.7
5	Year+Kuroshio	– 4.9	65.6
6	Kuroshio	12.0	82.5
7	Year	15.2	85.7
8	Null model	31.2	101.7

Table 2. Coefficients and standard errors for the selected model (No. 1) in Table 1.

Variables	Coefficient	Std. Error
Intercept	– 0.828	0.192
Year (relative to 2005)		
2006	– 0.046	0.249
2007	0.475	0.126
Month (relative to April)		
May	– 0.022	0.218
June	– 0.985	0.216
July	– 0.901	0.205
August	– 1.440	0.211
September	– 1.094	0.221
October	– 0.924	0.307
Kuroshio (relative to except C-type)		
C-type	0.617	0.136

をTable 3に示した。AICによるモデル選択の結果、年、月、黒潮流路、操業隻数、黒潮流路と操業隻数の交互作用項を説明変数としたモデルNo. 1が選択された。操業隻数をオフセット項にすると、AICが大きく増加した。選択されたモデルNo. 1の係数をTable 4に示した。

選択されたモデルNo. 1の年および月の係数の変化をFig. 8に示した。年の係数は2001年を基準 (0) とした場合、2002年に–0.026を示し、2003年から2005年にかけて増加して0.965と最高値を示した (Fig. 8a)。その後減少に転じ、2009年に0.202を示し、2010年以降は増加に転じて0.643–0.898と高い値で推移した。月の係数は1月を基準 (0) とした場合、2月に–0.038を示した後に増加し、4–5月に0.654–0.677と高い値を示した (Fig. 8b)。その後、月の係数は減少して9月には–0.099と最低値を示し、11月には微増して0.031となった。

操業隻数の係数は1.134と推定され、操業隻数と漁獲量

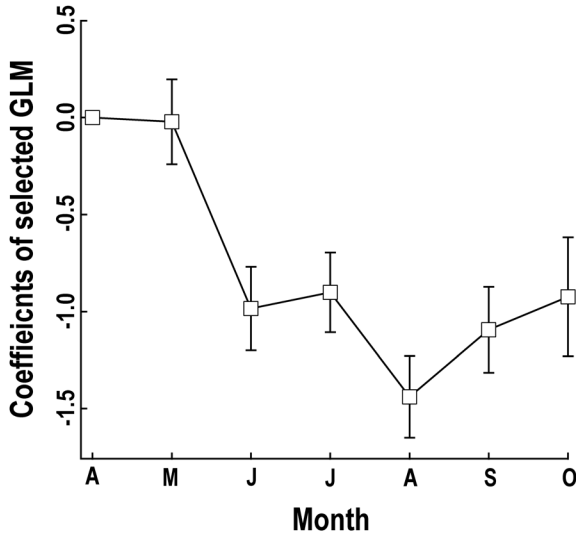


Figure 5. Coefficients of the month (relative to April) for the selected generalized linear model (GLM) to explain chlorophyll *a* concentrations in waters around Hachijyo-jima Island. Vertical bars indicate standard errors.

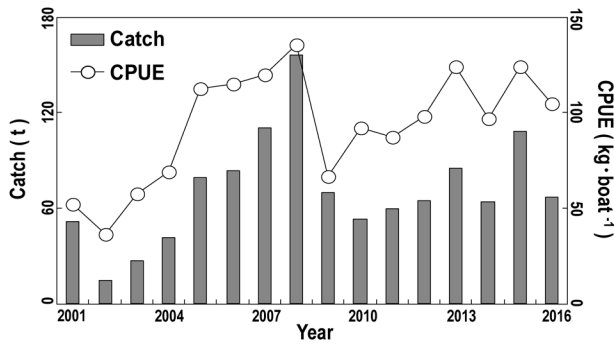


Figure 6. Catches and catch per unit effort (CPUE) of Japanese butterfish which landed at the Okago branch of the Hachijyo-jima Island Fishermen's Cooperative Association from 2001 to 2016.

は比例関係ではなく、操業隻数の増加に伴って漁獲効率が向上することが示された。また、非C型を基準(0)としたC型の係数は-0.316と推定されたが、一方でC型時の黒潮流路と操業隻数の交互作用項は0.122と推定され、操業隻数の増加に伴う漁獲効率の向上効果はC型の方が大きいことが示された。推定された係数を基に、2001年1月を基準とした場合の操業隻数の変化に伴う漁獲量の予測値を黒潮流路別に示した (Fig. 9)。その結果、操業隻数が閾値を超えると非C型よりもC型の漁獲量が多くなることが示された。推定された係数を基に、以下の不等式(1)によってその閾値を算出した。

$$\exp(\alpha_1 + \alpha_2 + (\alpha_3 + \alpha_4) \times \log(E)) > \exp(\alpha_1 + \alpha_3 \times \log(E)) \quad (1)$$

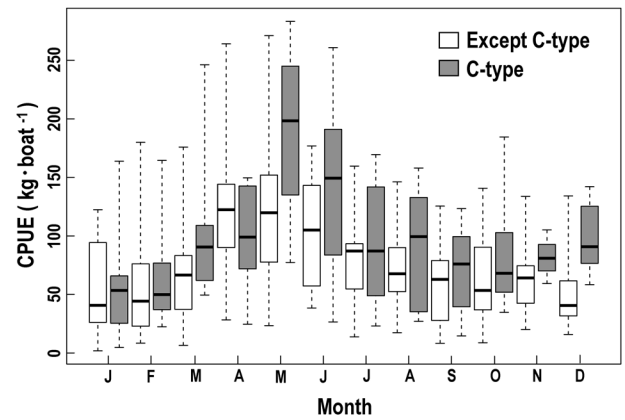


Figure 7. Seasonal changes in CPUE of Japanese butterfish for except C-type and C-type of the Kuroshio path. Horizontal lines in the box indicate the median values, and lower and upper box levels indicate 75% and 25% percentiles, respectively. Vertical bars indicate the minimum and maximum values. Left and right sides of each month indicate except C-type and C-type of the Kuroshio path, respectively.

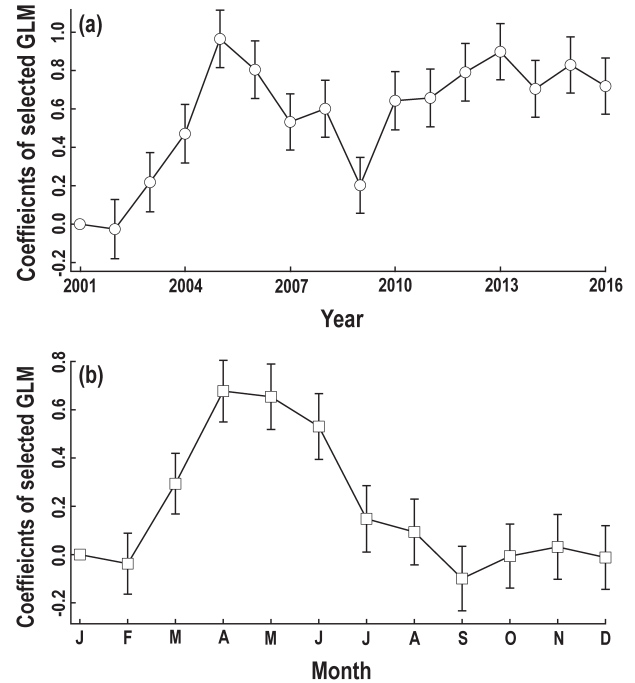
Table 3. Explanatory variables and AIC scores for alternative models to explain the catches of Japanese butterfish landing at the Okago branch of the Hachijyo-jima Island Fishermen's Cooperative Association. Only 10 models from the lowest AIC one are presented.

No.	Explanatory variables	AIC	△AIC
1	Year+Month+Kuroshio+Log (Effort)+Kuroshio: Log (Effort)	6167.0	0.0
2	Year+Month+Log (Effort)	6167.8	0.8
3	Year+Month+Kuroshio+Log (Effort)	6168.1	1.1
4	Year+Month+Kuroshio+Log (Effort)+Month: Kuroshio+Kuroshio: Log (Effort)	6175.2	8.2
5	Year+Month+Kuroshio+Log (Effort)+Month: Kuroshio	6175.6	8.6
6	Year+Month+Kuroshio+Offset (Log (Effort))	6185.7	18.7
7	Year+Month+Kuroshio+Month: Kuroshio+Offset (Log (Effort))	6193.7	26.7
8	Year+Month+Offset (Log (Effort))	6194.2	27.2
9	Year+Kuroshio+Log (Effort)+Kuroshio: Log (Effort)	6249.5	82.5
10	Month+Kuroshio+Offset (Log (Effort))	6268.4	101.4

Table 4. Coefficients and standard errors for the selected model (No. 1) in Table 3.

Variables	Coefficient	Std. Error
Intercept	3.127	0.171
Year (relative to 2001)		
2002	-0.026	0.154
2003	0.218	0.155
2004	0.470	0.153
2005	0.965	0.150
2006	0.804	0.150
2007	0.532	0.146
2008	0.601	0.148
2009	0.202	0.145
2010	0.643	0.152
2011	0.657	0.151
2012	0.791	0.149
2013	0.898	0.147
2014	0.704	0.148
2015	0.829	0.146
2016	0.718	0.146
Month (relative to January)		
February	-0.038	0.126
March	0.293	0.125
April	0.677	0.128
May	0.654	0.135
June	0.531	0.137
July	0.148	0.138
August	0.094	0.136
September	-0.099	0.134
October	-0.006	0.132
November	0.031	0.134
December	-0.012	0.132
Kuroshio (relative to except C-type)		
C-type	-0.316	0.234
Log (Effort)	1.134	0.041
Kuroshio: Log (Effort) (relative to except C-type)		
Kuroshio (C-type): Log (Effort)	0.122	0.067

ここで, α_1 は切片 (3.127), α_2 はC型時の黒潮流路の係数 (-0.316), α_3 は操業隻数の係数 (1.134), α_4 はC型時の黒潮流路と操業隻数の交互作用項の係数 (0.122), E は操業隻数を示す。閾値を算出した結果, 半月における操業隻数がおよそ13.3を超えると非C型よりもC型の漁獲量が多くなることが示された。そこで, 半月ごとに分類した黒潮流路を基に, 操業隻数を黒潮流路別に集計し, 中央値, 四分位数, 最小値, 最大値を月ごとに算出して箱ひげ図を作成した (Fig. 10)。操業隻数の中央値は1-4月に少ない傾向があるものの, C型時の値は全ての月で非C型よりも多く, また13.3を上回っていることから, C型に移行すると漁獲量が増加することが示された。

**Figure 8.** Coefficients of (a) year (relative to 2001) and (b) month (relative to January) for the selected GLM to explain catches of Japanese butterfish which landed at the Okago branch of the Hachijyo-jima Island Fishermen's Cooperative Association from 2001 to 2016. Vertical bars indicate standard errors.

考察

メダイの資源動向

GLMによる解析の結果, メダイの漁獲量には年, 月, 黒潮流路が影響することが示された (Table 3)。また, 操業隻数と漁獲量は比例関係にはなく, 操業隻数の増加およびC型流路への移行によって漁獲効率が向上することが示された (Fig. 9)。月, 黒潮流路, 操業隻数の影響を考慮して推定された年の係数は資源動向を反映すると考えられるが, 減少傾向は見られなかった (Fig. 8a)。しかし, メダイ資源は2001年から2005年まで増加した後, 2009年までに減少したことが示唆された。今後, キンメダイへの漁獲圧力の分散によってメダイへの漁獲圧力の増加が予想されることから, メダイの資源動向を注視して持続的な底魚一本釣り漁業を推進する必要がある。

メダイ漁業の漁獲効率に黒潮流路が与える影響

GLMによる解析の結果, 漁獲効率は操業隻数の増加およびC型流路への移行によって向上することが示された (Fig. 9)。操業隻数の増加によって漁獲効率が向上する要因として, 操業隻数の増加による漁場探索の効率化が考えられる。八丈島において底魚一本釣り漁業に従事する漁船は, 随時漁況の情報交換を行いながら操業する。そのため, 操業隻数の増加によって効率的な漁場探索が可能となり, その結果

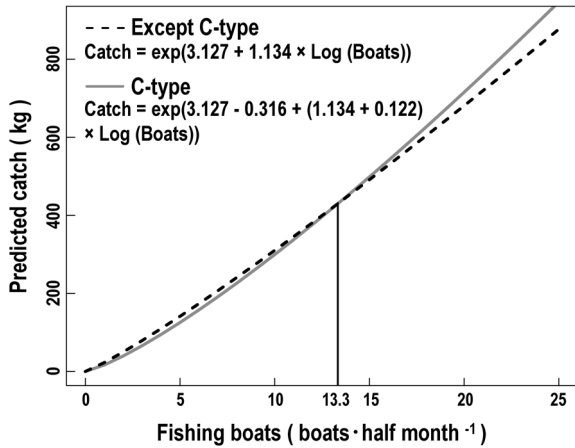


Figure 9. Relationships between number of fishing boats per half month and predicted catches of Japanese butterfish for January 2001. The bold line indicates threshold (13.3) of number of boats for except C-type and C-type of the Kuroshio path.

として漁獲効率が向上すると考えられる。1–4月の操業隻数が少ない傾向があるものの、C型時の操業隻数は全ての月で非C型よりも多く、さらに13.3を上回っていることから (Fig. 10), C型に移行すると漁獲量が増加することが示された。1–4月に操業隻数が少ない要因として、冬季の季節風による荒天で出漁日数が減少することや (東京都水産試験場, 1968), 兼業する曳縄漁が盛漁期を迎えるため操業隻数が減少することが考えられる。非C型よりもC型の操業隻数が多い要因として、C型に移行するとカツオやアオダイのCPUEが減少するため (米沢ほか, 2004, 2006), これらの漁船がメダイ漁業に切り替えることが推察される。また本研究では、メダイを水揚げした漁船を操業隻数として集計しているため、C型よりも漁獲効率が低い非C型時の操業隻数が過少に集計されている可能性が考えられる。今後、メダイの資源動向や漁況について検討する際に、ゼロキャッチデータを考慮することが望まれる。

C型に移行すると漁獲効率が向上する要因として、適水温の深度の上昇による漁獲効率の向上が考えられる。本研究の結果から、黒潮流路がC型に移行すると深層の水温が大幅に低下し、メダイの適水温と仮定した15°Cの深度が200 m以上上昇することが示された (Fig. 3)。八丈島の漁業者は黒潮流路がC型に移行するとメダイの漁獲深度が上昇することを経験的に把握しており、本研究の結果と整合する。底魚一本釣り漁業では、漁場が深いと漁具を降す最中に潮流の影響を受けやすくなり、魚群探知機で発見した魚群反応へ漁具を降す精度が低下する (秋元・高橋, 2008)。しかし、黒潮流路がC型に移行してメダイの適水温の深度が上昇すると、潮流の影響が軽減し、魚群反応へ漁具を降す精度が改善して漁獲効率が向上する。さらに、適水温

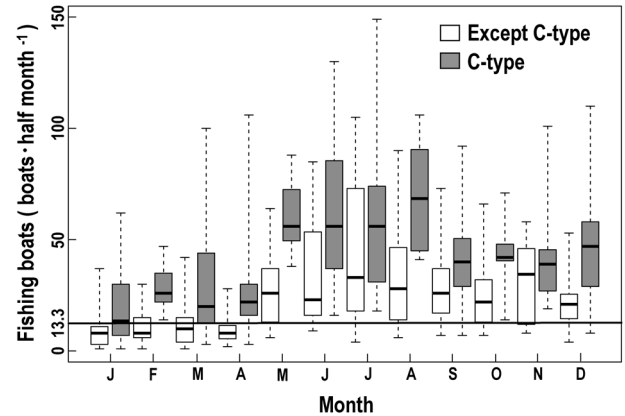


Figure 10. Seasonal changes in number of fishing boats per half month for except C-type and C-type of the Kuroshio path. Horizontal lines in the box indicate the median values, and lower and upper box levels indicate 75% and 25% percentiles, respectively. Vertical bars indicate the minimum and maximum values. Left and right sides of each month indicate except C-type and C-type of the Kuroshio path, respectively. The bold line indicates threshold (13.3) of number of boats for except C-type and C-type of the Kuroshio path.

の深度が上昇し漁場が浅層に移行すると、一度の操業に要する時間が短縮され、1日当たりの操業回数が増加して漁獲効率が向上する。このように、黒潮流路がC型に移行してメダイの適水温の深度が上昇することで漁獲効率が向上すると考えられる。

また、増沢ほか (1975) は伊豆諸島海域のキンメダイの漁況がC型で好転する要因として、漁獲深度の変化だけでなく、冷水塊により運ばれてきた餌生物が陸棚斜面の漁場で湧昇流に流され、索餌行動が活性化する可能性を指摘している。このことから、黒潮流路が変動することで、メダイの餌生物環境も変化すると予想される。今後、黒潮流路の変動に伴う漁獲深度や食性の変化を明らかにして、黒潮流路が漁況に与える要因をより詳細に検討する必要がある。

メダイの漁獲量の季節変化

メダイの適水温の深度は季節間で有意差が確認されなかったことから (Fig. 3), 漁獲量の季節変化には影響しないと考えられた。伊豆諸島海域のメダイの食性を調べた報告によると、サルパ類やヒカリボヤ類などの遊泳力の乏しい深層の大型動物プランクトンが中心となっており、胃内容物重量の7割程度を占めることが報告されている (東京都水産試験場, 1969, 1971, 1973)。Durr and Gonzales (2002) は大西洋中東部のCanary諸島のキンメダイの胃内容物重量の季節変化を調べ、サルパ類の占める割合が春季に増加したことを報告しており、その要因として春季ブルームの影響によるサルパ類の増加を挙げている。GLMによる解析の結果、八丈島周辺海域のクロロフィルa量は、年、月、黒

潮流路の影響を受けて変動することが示された (Table 1). クロロフィル a 量は春季 (4-5 月) に高いことが示されたが (Fig. 5), これは春季ブルームによるものと推測される. また, メダイの漁獲量はこの期間に高い値を示していることから (Fig. 8b), ブルームによって増殖した植物プランクトンが, 捕食-被食関係を通じて漁獲量の増加に影響している可能性がある. 黒潮域の動物プランクトン量の推定結果によると, 1 月に最低値 ($20 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) を示した後に上昇し, 5 月に春季ブルームの影響を受けてピーク ($110 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) を迎え, その後 7 月まで減少し ($50 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$), 11 月頃に第 2 のピーク ($100 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$) を迎えている (Yoo et al., 2008). この季節変化の傾向は漁獲量の GLM の月の係数と同調しており, 特に 11 月に微増している点と整合する (Fig. 8b). しかし, 八丈島周辺海域の黒潮流路別の動物プランクトン量や, メダイの食性の季節変化に関する知見は皆無である. 今後, メダイの漁況と春季ブルームの関連性を検討するため, これらの調査を行う必要があるだろう.

本研究は, メダイの資源動向および漁況に影響する要因について初めて報告したものである. GLM による解析の結果, 八丈島周辺海域のメダイ資源は減少傾向にはないことが示唆された. さらに, メダイ漁業の漁獲効率は, 操業隻数の増加による漁場探索の効率化および C 型流路への移行による適水温の深度の上昇によって向上することが示唆された. 今後, メダイの漁況に関する知見を蓄積することで, 効率的なメダイ漁業の推進に貢献するだけでなく, キンメダイへの漁獲圧力を分散させるための一助になることが期待される. また, メダイへの漁獲圧力の増加が予想されることから, その漁況および資源動向を注視して持続的な底魚一本釣り漁業を推進する必要がある.

謝 辞

本研究をまとめるにあたり, 東京都島しょ農林水産総合センター八丈事業所長前田洋志氏, 同センター振興企画室高瀬智洋氏, 小笠原水産センター所長の滝尾健二氏には有益なご助言をいただいた. また, 海洋観測の際には, 東京都島しょ農林水産総合センター八丈事業所所属漁業調査指導船「たくなん」の清水寿生船長をはじめ乗組員の皆様にご支援を頂いた. 記して感謝の意を表する.

引用文献

- 秋元清治・高橋則行 (2008) キンメダイ漁場における海況と海底地形が魚群形成に及ぼす影響. 神奈川県水産技術センター研究報告, **3**, 25-33.
- Durr, J. and J. A. Gonzalez (2002) Feeding habits of *Beryx splendens* and

- Beryx decadactylus* (Berycidae) off the Canary Islands. Fish. Res., **54**, 363-374.
- 神奈川県水産試験場 (1972) 底魚資源調査研究報告書. 神水試資料, **190**, 1-45.
- 駒澤一朗・高瀬智洋・田中優平・早川浩一 (2012) 八丈島におけるマクサの生長と成熟におよぼす黒潮流路変動の影響. 水産増殖, **60**, 169-177.
- 河野光久 (2009) メダイ (だるま) 釣りのすすめ. 水産研究センターより, **2**, 山口県水産研究センター, 1-3.
- 増沢 寿・倉田洋二・大西慶一 (1975) 「キンメダイその他底魚類の資源生態」. 日本水産資源保護協会, 東京, 1-88.
- 中坊徹次 (1984) 「日本産魚類大図鑑」. 益田 一, 尼岡邦夫, 荒賀忠一, 上野輝彌, 吉野哲夫編, 東海大学出版会, 東京, 226 pp.
- 二谷頼男 (1969) 最近数年の黒潮の変動について. 水産海洋, **14**, 13-18.
- 高瀬智洋・田中優平・黒川 信・野原精一 (2008) 伊豆諸島八丈島におけるテングサの磯焼け. 日本水産学会誌, **74**, 889-891.
- 武内啓明 (2014) キンメダイの生物学的特徴ならびに神奈川県における漁業および資源管理. 神奈川県水産技術センター研究報告, **7**, 17-35.
- 東京都産業労働局農林水産部水産課 (2003-2018) 生産量・生産額. 東京都の水産, 平成 14 年版-平成 29 年版.
- 東京都水産試験場 (1968) 底魚資源調査報告書, 昭和 42 年度指定調査研究総合助成事業. 東京都水産試験場研究要報, **61**, 1-60.
- 東京都水産試験場 (1969) 底魚資源調査報告書, 昭和 43 年度指定調査研究総合助成事業. 東京都水産試験場研究要報, **72**, 1-42.
- 東京都水産試験場 (1970) 底魚資源調査報告書, 昭和 44 年度指定調査研究総合助成事業. 東京都水産試験場研究要報, **79**, 1-13.
- 東京都水産試験場 (1971) 底魚資源研究報告書, 昭和 45 年度指定調査研究総合助成事業. 東京都水産試験場研究要報, **89**, 1-15.
- 東京都水産試験場 (1972) 底魚資源調査研究報告書, 昭和 46 年度指定調査研究総合助成事業. 東京都水産試験場研究要報, **95**, 1-8.
- 東京都水産試験場 (1973) 底魚資源調査研究報告書, 昭和 47 年度指定調査研究総合助成事業. 東京都水産試験場研究要報, **100**, 15-28.
- 亘 真吾 (2017) 平成 28 年度キンメダイ太平洋系群の資源評価. 我が国周辺漁業海域の資源評価 (魚種別系群別資源評価・TAC 種以外) 第 2 分冊, 水産庁増殖推進部・国立研究開発法人水産研究・教育機構, 1044-1063.
- 亘 真吾・米沢純爾・武内啓明・加藤正人・山川正巳・萩原快次・越智洋介・米崎史郎・藤田 薫・酒井 猛・猪原 亮・矢道弘敏・田中栄次 (2017) キンメダイの資源生態と資源管理. 水産研究・教育機構研究報告, **44**, 1-46.
- 米沢純爾・床枝真吉・橋本 浩・堀井善弘・妹尾浩太郎・山口邦久 (2004) 伊豆諸島海域の底魚一本釣り漁業におけるキンメダイの漁獲特性. 黒潮の資源海洋研究, **5**, 91-97.
- 米沢純爾・橋本 浩・堀井善弘・森下浩司・青木雄二 (2006) 黒潮大蛇行と伊豆諸島海域の漁況変動. 月刊海洋, **38**, 39-45.
- Yoo, S., H. P. Batchelder, W. T. Peterson and W. J. Sydeman (2008) Seasonal, interannual and event scale variation in North Pacific ecosystems. Prog. Oceanog., **77**, 155-181.
- 吉田昭三 (1961) 遠州灘沖冷水塊と黒潮の変動について (その 1). 水路要報, **67**, 54-57.