

# 八丈島周辺海域におけるクサヤモロの漁況の季節変化 および黒潮流路が与える影響

日野晴彦<sup>1†</sup>, 東元俊光<sup>1,2</sup>, 田中優平<sup>1</sup>

## Seasonal changes and influence of the Kuroshio path on catch and body size of mackerel scad *Decapterus macarellus* in waters around Hachijyo-jima Island in central Japan

Haruhiko HINO<sup>1†</sup>, Toshimitsu TOMOTO<sup>1,2</sup> and Yuhei TANAKA<sup>1</sup>

八丈島周辺海域におけるクサヤモロの漁況の変動要因について、一般化線形モデル (GLM) と混合正規分布のパラメータ推定により検討した。GLMによる解析の結果、年、月、黒潮流路が漁獲量・魚体重量に影響することが示された。操業隻数の増加に伴って1隻当たりの漁獲量が減少し、その要因として出荷可能量を勘案して設定する漁獲制限が考えられた。GLMの年の係数から、2015年以降の資源動向・魚体重量はそれぞれ減少・増加傾向にあることが示唆された。漁獲量は8–11月に増加して11–12月に減少することが示され、その要因として混合正規分布の結果から漁獲対象となる1–3歳魚の成長と年齢組成の変動が考えられた。黒潮が八丈島の南側を通過するC型流路に移行すると同月の漁獲量が非C型流路よりも1.1–1.2倍増加することが示され、その要因として栄養塩の増加に伴う餌料環境の改善により高成長となった同年齢魚の加入と年齢組成の高齢化による魚体重量の増加が考えられた。

キーワード：ムロアジ類、C型流路、伊豆諸島、一般化線形モデル

Seasonal changes and the influence of the Kuroshio path on catch and body size of mackerel scad *Decapterus macarellus* in waters around Hachijyo-jima Island in central Japan were studied using generalized linear models (GLM) and parameter estimates of a mixture of normal distributions. The results of the selected GLM using Akaike's information criterion indicated that year, month, and changes in the Kuroshio path influenced catch and body size. The number of fishing boats per day was also found to decrease fishing efficiency (catches per fishing boat per day) probably due to restrictions on catches imposed by the Hachijyo-jima Island Fishermen's Cooperative Association (FCA). The FCA restriction takes into account shipping capacity to prevent unit price drops. The coefficients of the year of the selected GLM indicate that stock abundance trends and body sizes decreased or increased after 2015, respectively. The selected GLM also indicated seasonal changes, in which catches increased from August through November and decreased from November through December. The results of parameter estimates of the mixture of normal distributions indicate that seasonal changes in catch and body size were probably due to growth and changes in age composition (age 1–3), which were targets for the fishery. Moreover, in the case of the C-type of the Kuroshio path, catches in the same month increased 1.1–1.2 times more than in the non-C-type of the Kuroshio path. Changes in catch by Kuroshio path were considered probable due to recruitment of high-growth fish associated with improvements in feeding environments, including increased nutrient levels, in addition to increases in body weight due to aging.

**Key words:** Mackerel scad, Kuroshio path of C-type, Izu-Islands, Generalized linear model

2019年3月8日受付, 2019年7月16日受理

<sup>1</sup> 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 for Agriculture, Forestry and Fisheries, 4222 Mitsune, Hachijo-machi, Tokyo 100-1511, Japan

<sup>2</sup> 東京都島しょ農林水産総合センター大島事業所, 〒100-0212 東京都大島町波浮港18

Present: Oshima Branch, Tokyo Metropolitan Island Area Research and Development Center for Agriculture, Forestry and Fisheries, 18 Habu, Oshima-machi, Tokyo 100-0212, 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8–12月に操業する棒受網漁によってクサヤモロ *Decapterus macarellus* を漁獲し、伊豆諸島海域の名産品であるクサヤの原料として利用している (東京都水産試験場, 1984)。1990年代前半には13–14隻が棒受網漁業を操業し、463–758 tを漁獲したが、クサヤの需要減少や好漁が続くキンメダイ漁への転換などによって2010年代前半に操業隻数は3–5隻まで減少した (東京都労働経済局農林水産部水産課, 1991–2001; 東京都

産業労働局農林水産部水産課, 2002–2018). 2017年漁期には3隻が操業したものの、過去最低の漁獲量61tを記録した。八丈島漁業協同組合(以下、八丈島漁協)では、クサヤモロを大量に漁獲した際に起こる魚価の下落を防止するため、出荷可能量を勘案して1隻1日当たりの漁獲制限を実施している(東京都水産試験場, 1984)。しかし、2017年漁期は需要を十分に満たせず、漁獲制限の実施は半年の半以下に留まった。そのため、漁業経営の安定を図るために漁獲量の変動要因を明らかにする重要性が高まっている。

八丈島において漁獲されるクサヤモロは魚体サイズによって、尾叉長20 cm程度の「小ムロ」と、尾叉長25 cm以上の「大ムロ」に分けられる。八丈島では漁期初めの8月上旬には「小ムロ」の需要が大きい、次第に「小ムロ」の需要が減少し、漁期終わりの12月まで可食部分の多い「大ムロ」の需要が増加する。このように、需要のある魚体サイズは季節によって異なるが、魚体サイズの変動要因は明らかではない。そのため、漁業経営の安定を図るためには、漁獲量だけでなく、魚体サイズの変動要因についても明らかにすることが重要である。

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(非C型)、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(高瀬ほか, 2008; 駒澤ほか, 2012; 日野ほか, 2019)。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*Katsuwonus pelamis*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クサヤモロの漁況についても黒潮流路変動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。

本種は東シナ海において、大中型まき網漁業および中・小型まき網漁業によって漁獲されている。現在、東シナ海におけるムロアジ類の資源状態は低位・増加と判断されているが、資源量指標値としている漁獲量には、クサヤモロだけでなくムロアジ*D. muroadsi*、モロ*D. macrosoma*、オアカムロ*D. tabl*、アカアジ*D. akaadsi*が含まれており、個々の種について資源状態を判断するためのデータは乏しい(高橋・依田, 2019)。また、クサヤモロの基礎的知見は成長や産卵期などの断片的な報告に限られる(東京都水産試験場, 1984; 岸田, 1975; 1986; 辻, 2009; Shiraiishi et al., 2010; 白石ほか, 2010)。そのため、クサヤモロの資源動向および漁況の変動要因を明らかにすることで、漁業経営の安定に貢献することが期待される。

そこで本研究では、八丈島周辺海域におけるクサヤモロ

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、一般化線形モデル(GLM)および混合正規分布のパラメータ推定を用いて漁獲データおよび魚体測定データを解析した。その結果、八丈島周辺海域におけるクサヤモロ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

### 漁獲データ

2003–2017年の毎年8–12月に八丈島漁協へ水揚げされた、延べ862日分のクサヤモロの漁獲量データを解析した。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>, 2019年1月9日)(以下、海況速報)を基に、黒潮流路が八丈島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)。クサヤモロを水揚げした隻数と漁獲量を1日ごとに集計し、1隻1日当たりの漁獲量( $\text{kg} \cdot \text{隻}^{-1} \cdot \text{日}^{-1}$ )をCPUEとして算出した。CPUEを黒潮流路別に集計し、最小値、第1四分位数、中央値、第3四分位数、最大値を月ごとに算出して箱ひげ図を作成した。

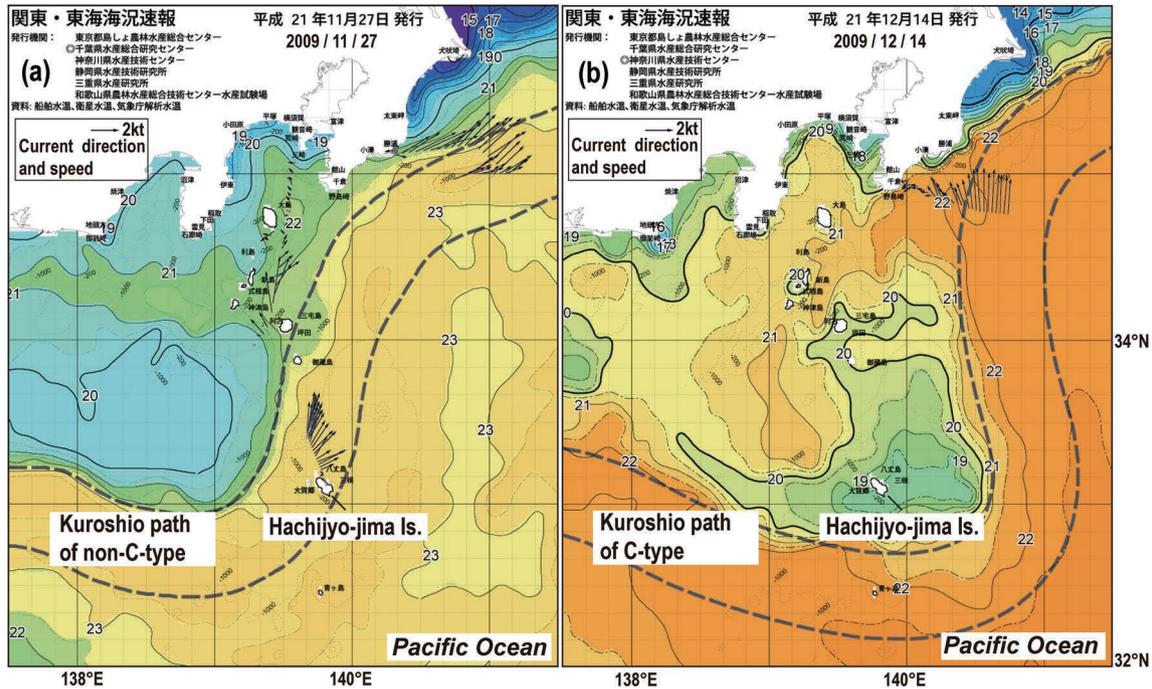
### 魚体測定データ

クサヤモロの魚体サイズに影響する要因を明らかにするため、東京都漁業調査指導船「たくなん」が2009年7月から2017年10月に八丈島周辺海域において漁期前および漁期中の7–11月に漁獲した計5,784尾の魚体重量および尾叉長の測定データを解析した。「たくなん」による試験操業はサビキ釣りで行われているが、棒受網漁業と同様に表層の魚群を対象にしているため、そのデータを解析した。なお、漁期中の12月には試験操業を行えず欠測した。魚体重量および尾叉長の測定間隔はそれぞれ0.1 g, 0.1 cmとした。試験操業日の海況速報を基に測定データを非C型とC型に分類した。漁獲データと同様に魚体重量データを黒潮流路別に集計し、最小値、第1四分位数、中央値、第3四分位数、最大値を月ごとに算出して箱ひげ図を作成した。

### GLMによる漁獲データおよび魚体測定データの解析

クサヤモロの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GLMを構築した。八丈島漁協では出荷可能量を勘案して1隻1日当たりの漁獲制限を実施するため、1隻当たりの漁獲量は操業隻数の影響を受ける可能性がある。しかし、漁獲制限実施の有無は記録されておらず、また漁獲データから正確に読み取ることはできない。そこで、日野ほか(2019)を参考にして応答変数を漁獲量、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2種類のGLM(式1, 2)を構築した。

$$\begin{aligned} \text{Catch} = & a_0 + a_1 (\text{Year}) + a_2 (\text{Month}) + a_3 (\text{Kuroshio}) \\ & + a_4 (\text{Month: Kuroshio}) + \text{Offset} (\text{Log} (\text{Effort})) \end{aligned} \quad (1)$$



**Figure 1.** Locations of Hachijyo-jima Island and examples of the Kuroshio path. (a) Non-C-type on November 27, 2009. (b) C-type on December 14, 2009. Figures were quoted from the following sites and English descriptions were added (<http://www.ifarc.metro.tokyo.jp/20,5786,48,282.html>; <http://www.ifarc.metro.tokyo.jp/20,5859,48,284.html>).

$$\text{Catch} = \beta_0 + \beta_1 (\text{Year}) + \beta_2 (\text{Month}) + \beta_3 (\text{Kuroshio}) + \beta_4 (\text{Month: Kuroshio}) + \beta_5 (\text{Log (Effort)}) \quad (2)$$

ここで,  $\alpha_i$  ( $i=0, 1, 2, 3, 4$ ) および  $\beta_j$  ( $j=0, 1, 2, 3, 4, 5$ ) は係数を示す. 年, 月, 黒潮流路はカテゴリカル変数として扱った. GLM (式1) では, 操業隻数が1隻当たりの漁獲量に影響しない (操業隻数と漁獲量は単純な比例関係にある) 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1隻当たりの漁獲量に影響する (操業隻数と漁獲量は単純な比例関係ではなく, 係数 $\beta_5$ に従って漁獲制限の影響を受ける) と仮定し, GLM (式1) のように操業隻数をオフセット項として扱わずにGLM (式2) を構築した.

次に, 魚体重量に影響する要因を明らかにするため, 応答変数を魚体重量, 説明変数を年, 月, 黒潮流路としたGLM (式3) を構築した.

$$\text{Weight} = \gamma_0 + \gamma_1 (\text{Year}) + \gamma_2 (\text{Month}) + \gamma_3 (\text{Kuroshio}) + \gamma_4 (\text{Month: Kuroshio}) \quad (3)$$

ここで,  $\gamma_k$  ( $k=0, 1, 2, 3, 4$ ) は係数を示す.

構築したすべてのモデルについて, 応答変数の従う確率分布が対数正規分布およびガンマ分布を仮定し, リンク関数を対数としてAIC (Akaike's Information Criterion) がより小さい方の確率分布を採用した. その後, 総当たり法で

AICが最小のモデルを選択した. なお, 選択されたモデルの係数は対数であるため, 漁獲量および魚体重量の経年変化は係数を真数変換して議論した. GLM (式1) を例とした真数変換を以下の変換式 (4) に示した.

$$a'_1 = \exp(\alpha_1) \quad (4)$$

ここで,  $\alpha_1$  はGLM (式1) における年の係数を示し, GLM (式2, 3) ではそれぞれ $\beta_1, \gamma_1$ が該当する. なお, 基準となる年 (漁獲量: 2003年, 魚体重量: 2009年) の係数は0となる.

また, 選択されたモデルに月と黒潮流路の交互作用項が含まれる場合は, 係数を真数変換して, 漁獲量および魚体重量の季節変化を黒潮流路別に議論した. GLM (式1) を例とした真数変換を以下の変換式 (5) に示した.

$$(a_2 + a_3 + a_4)' = \exp(a_2 + a_3 + a_4) \quad (5)$$

ここで,  $a_2, a_3, a_4$  はそれぞれGLM (式1) における月, 黒潮流路, 月と黒潮流路の交互作用項の係数を示し, GLM (式2, 3) ではそれぞれ $\beta_2, \beta_3, \beta_4$  および  $\gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$  が該当する. なお, 基準となる月 (漁獲量: 8月, 魚体重量: 7月) および黒潮流路 (非C型) の係数は0となる.

その後, ノンパラメトリックブートストラップ法 (反復回数10,000回) を用いて, 真数変換した係数の95%信頼

区間を求めた。GLMによる解析は、フリーソフトR (<http://cran.r-project.org/>, 2019年1月9日) Ver.3.0.2を用いて行った。

#### 尾又長組成の正規分布分解による年齢組成の推定

黒潮流路別の尾又長組成を1 cm幅で月別に作成し、相澤・滝口 (1999) に従ってMS-Excel2010のSolverを用いて複数の正規分布群に分解した。Shiraishi et al (2010) はクサヤモロの生殖腺重量指数 ((生殖腺重量/魚体重量-生殖腺重量) $\times 10^2$ ) の季節変化および生殖腺の組織学的観察結果から産卵盛期を5-6月と推定し、また耳石による年齢査定結果から成長曲線を求め、1-3歳でそれぞれ尾又長18 cm, 25 cm, 30 cmまで成長すると推定した。そこで、複数の正規分布群について、Shiraishi et al. (2010) による成長曲線を基に年齢組成を推定した。黒潮流路間で各月における同年齢魚の尾又長の平均値の差異を検討するため、Wilcoxonの符号付順位検定を行った。

## 結果

### 漁獲量およびCPUEの経年変化

2003-2017年に八丈島漁協に水揚げされたクサヤモロの漁獲量およびCPUEの経年変化をFig. 2に示した。漁獲量は2003-2006年に199-237 tで推移し、2007-2009年には290-339 tで推移した。その後漁獲量は減少し、2011年には195 t, 2014年には123 t, 2017年には61 tまで減少した。一方、CPUEは2003-2006年に453-787  $\text{kg}\cdot\text{boat}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ で推移し、2007-2009年には941-1,013  $\text{kg}\cdot\text{boat}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ で推移した。その後、CPUEは529-955  $\text{kg}\cdot\text{boat}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ で推移した。

### 黒潮流路別のCPUEの季節変化

計862日の日別漁獲データのうち、黒潮流路別のデータ数は非C型で564日、C型で298日となった。黒潮流路別のクサヤモロのCPUEとその季節変化をFig. 3に示した。各月のCPUEの中央値は、8月に非C型で420  $\text{kg}\cdot\text{boat}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ 、C型で560  $\text{kg}\cdot\text{boat}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ と最低値を示した後に上昇し、そ

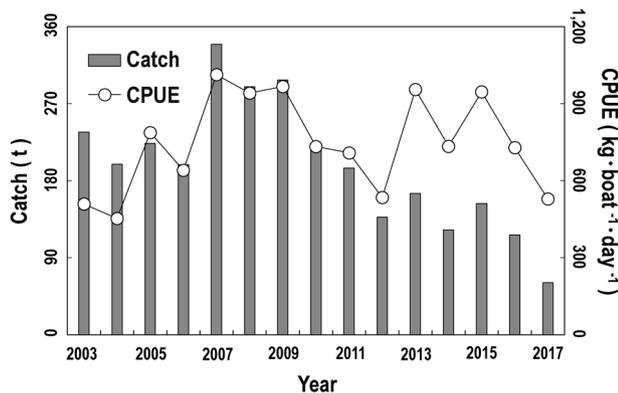


Figure 2. Catches and catch per unit effort (CPUE) of mackerel scad landed at Hachijyo-jima Island Fishermen's Cooperative Association (FCA) from 2003 to 2017.

れぞれ11月に908  $\text{kg}\cdot\text{boat}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ , 1,144  $\text{kg}\cdot\text{boat}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ と最高値を示した。その後、CPUEの中央値は減少し、12月にそれぞれ791  $\text{kg}\cdot\text{boat}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ , 1,045  $\text{kg}\cdot\text{boat}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}$ となった。各月のCPUEの中央値は、すべての月でC型の方が非C型よりも高い値で推移した。

### GLMによる漁獲量の解析結果

GLM (式1, 2) について、応答変数の従う確率分布をガンマ分布とした場合よりも対数正規分布の場合にAICが小さい値を示したため、対数正規分布を採用した (GLM (式1) 対数正規分布: 13976.2, ガンマ分布: 14149.2) (GLM (式2) 対数正規分布: 13975.5, ガンマ分布: 14139.9)。GLM (式1, 2), それぞれの総当たり法により、交互作用項のみ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モデルをTable 1に示した。モデル選択の結果、年, 月, 黒潮流路, 操業隻数, 月と黒潮流路の交互作用項を説明変数で構成されたモデルが選択された。なお、選択されたモデルと、操業隻数をオフセット項としてその他の変数構成は同一としたモデルのAIC差は0.7と小さいものの、同じ説明変数で構成される他の2組のモデル (年, 月, 黒潮流路, 操業隻数で構成されるモデルおよび年, 月, 操業隻数で構成されるモデル) においても操業隻数をオフセット項として扱わないモデルのAICの方が低いため、選択されたモデルを採用した。選択されたモデルの係数をTable 2に示した。操業隻数の係数は0.865と推定され、操業隻数と漁獲量は単純な比例関係にはな

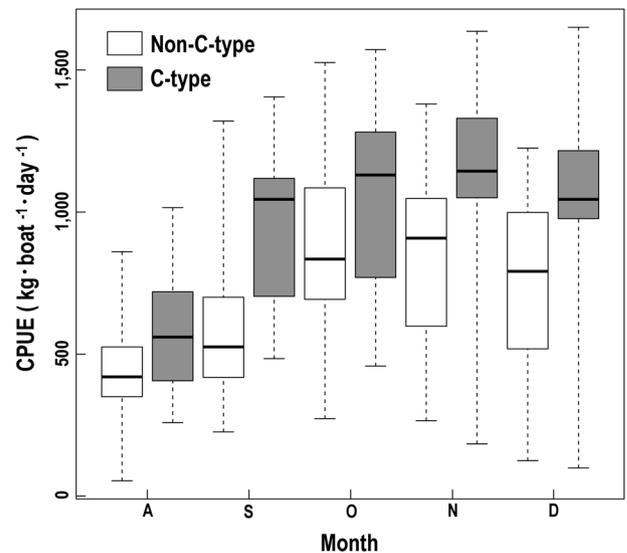


Figure 3. Seasonal changes in CPUE of mackerel scad for non-C-type and C-type of the Kuroshio path. Horizontal lines in the box indicate median values, and lower and upper box levels indicate 25% and 75% quantiles, respectively. Vertical bars indicate the minimum and maximum values. Left and right sides of each month indicate non-C-type and C-type of the Kuroshio path, respectively.

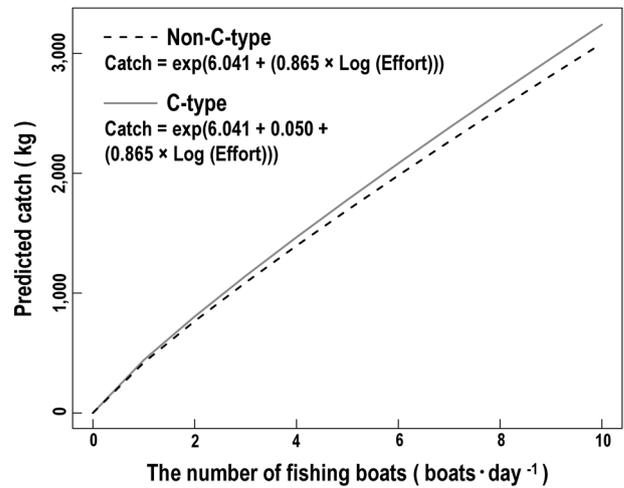
**Table 1.** Explanatory variables and Akaike's information criterion (AIC) scores for alternative models explain the catches of mackerel scad landing at the Hachijyo-jima Island Fishermen's Cooperative Association. Only ten models from the lowest AIC are presented.

No.	Explanatory variables	AIC	ΔAIC
1	Year+Month+Kuroshio+Month : Kuroshio+Log (Effort)	13975.5	0.0
2	Year+Month+Kuroshio+Month : Kuroshio+Offset (Log (Effort))	13976.2	0.7
3	Year+Month+Kuroshio+Log (Effort)	13981.0	5.5
4	Year+Month+Kuroshio+Offset (Log (Effort))	13981.3	5.8
5	Year+Month+Log (Effort)	14002.6	27.1
6	Year+Month+Offset (Log (Effort))	14002.8	27.3
7	Year+Month+Kuroshio+Month : Kuroshio	14133.7	158.2
8	Year+Month+Kuroshio	14140.3	164.8
9	Year+Month	14159.6	184.1
10	Month+Kuroshio+Month : Kuroshio+Log (Effort)	14451.7	476.2

**Table 2.** Coefficients and standard errors for the lowest AIC model in Table 1.

Variables	Coefficient	Std. Error
Intercept	6.041	0.186
Year (relative to 2003)		
2004	- 0.162	0.044
2005	0.297	0.069
2006	0.149	0.050
2007	0.604	0.057
2008	0.496	0.060
2009	0.550	0.055
2010	0.360	0.061
2011	0.287	0.060
2012	0.058	0.066
2013	0.458	0.095
2014	0.261	0.106
2015	0.463	0.099
2016	0.202	0.105
2017	- 0.143	0.133
Month (relative to August)		
September	0.325	0.041
October	0.667	0.037
November	0.673	0.036
December	0.626	0.040
Kuroshio (relative to Non-C-type)		
C-type	0.050	0.049
Month: Kuroshio (relative to Non-C-type)		
September: C-type	0.165	0.059
October: C-type	0.016	0.059
November: C-type	0.046	0.059
December: C-type	0.031	0.059
Log (Effort)	0.865	0.086

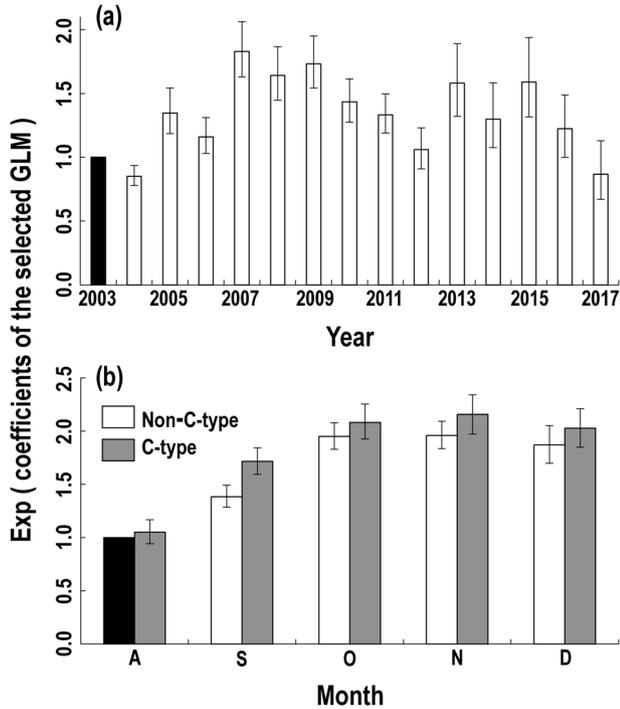
く、操業隻数の増加に伴い漁獲制限の影響を受けて、1隻当たりの漁獲量が減少することが示された。推定された係数を基に、2003年8月を基準とした場合の操業隻数の変化



**Figure 4.** Relationships between the number of fishing boats per day and predicted catches of mackerel scad for August 2003 for non-C-type and C-type of the Kuroshio path.

に伴う漁獲量の予測値を黒潮流路別に示した (Fig. 4).

選択されたモデルの年および月の係数を真数変換した値を Fig. 5 に示した。年の係数は2003年を基準 (1=Exp (0)) とした場合、2004年に最低値0.85を示し、その後増加して2007年に1.83と最高値を示した (Fig. 5a)。2007年以降、年の係数は減少に転じて2012年に1.06、2013–2015年に1.30–1.59で推移し、その後減少して2017年に0.87を示した。黒潮流路別の月の係数は、非C型の8月を基準 (1=Exp (0)) とした場合、9月に1.38、10月に1.95、11月に1.96を示し、8–11月にかけて増加した (Fig. 5b)。その後減少に転じ、12月に1.87を示した。C型時の係数は8月に1.05、9月に1.72、10月に2.08、11月に2.16を示し、8–11月にかけて増加した。その後減少に転じ、12月に2.03を示した。このように、漁獲量は非C型・C型共に8–11月にかけて増加し、11–12月にかけて減少することが示された。黒潮流路間で同月の漁獲量を比較すると、C型の方が非C型より



**Figure 5.** Exponentials of coefficients of (a) year (relative to 2003) and (b) month (relative to August of non-C-type of the Kuroshio path) for the selected GLM to explain catches of mackerel scad landed at Hachijyo-jima Island FCA from 2003 to 2017. Vertical bars show 95% confidence intervals.

も 1.1–1.2 倍高いことが示された。

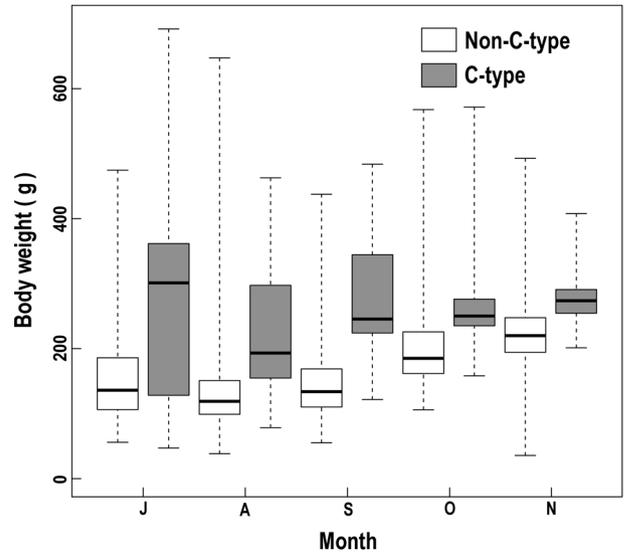
**黒潮流路別の魚体重量の季節変化**

黒潮流路別の魚体重量の季節変化を Fig. 6 に示した。非C型時の魚体重量の中央値は7月に 136.1 g を示した後に減少し、8月に最低値の 119.0 g を示した。その後魚体重量の中央値は増加に転じ、11月に最高値 220.0 g を示した。C型時の魚体重量の中央値は7月に最高値 301.2 g を示した後に減少し、8月に最低値 193.3 g を示した。その後魚体重量の中央値は増加に転じ、11月に最高値 273.6 g を示した。各月の魚体重量の中央値は、すべての月で非C型よりもC型の方が高い値で推移した。

**GLMによる魚体重量の解析結果**

GLM (式3) について、応答変数の従う確率分布を対数正規分布とした場合よりもガンマ分布の場合に AIC が低い値を示したため、ガンマ分布を採用した (対数正規分布: 66740.8, ガンマ分布: 65030.7)。総当たり法により、交互作用項のみを含むモデルを除いた計 10 モデルが作成された (Table 4)。モデル選択の結果、年、月、黒潮流路、月と黒潮流路の交互作用項を説明変数で構成されたモデルが選択された。

選択されたモデルの年および月の係数を真数変換した値を Fig. 7 に示した。年の係数は 2009 年を基準 ( $1 = \text{Exp}(0)$ )



**Figure 6.** Seasonal changes in body weight of mackerel scad for non-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 25% and 75% quantiles, respectively. Vertical bars indicate the minimum and maximum values. Left and right sides of each month indicate non-C-type and C-type of the Kuroshio path, respectively.

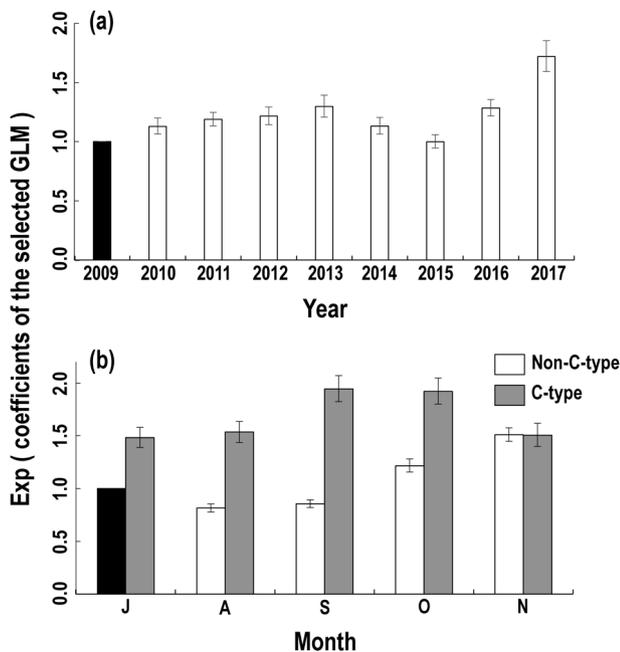
**Table 3.** Explanatory variables and AIC scores for alternative models explain body weights of mackerel scad landing at the Hachijyo-jima Island Fishermen’s Cooperative Association.

No.	Explanatory variables	AIC	ΔAIC
1	Year+Month+Kuroshio+Month: Kuroshio	65030.7	0.0
2	Year+Month+Kuroshio	65167.7	137.0
3	Month+Kuroshio+Month: Kuroshio	65313.6	282.9
4	Month+Kuroshio	65388.7	358.0
5	Year+Month	65892.5	861.8
6	Year+Kuroshio	65988.6	957.9
7	Kuroshio	66195.6	1164.9
8	Month	66455.1	1424.4
9	Year	66582.5	1551.8
10	Null model	67083.7	2053.0

とした場合、2009 年以降増加して 2013 年に 1.30 を示し、その後減少して 2015 年に 1.00 を示した (Fig. 7a)。その後増加に転じて 2017 年には 1.72 を示した。真数変換した黒潮流路別の月の係数は、非C型の 7 月を基準 ( $1 = \text{Exp}(0)$ ) とした場合、8 月に減少して 0.82 を示し、その後 9 月に 0.85、10 月に 1.22、11 月に 1.51 を示し、8–11 月にかけて増加した (Fig. 7b)。C型時の係数は 7 月に 1.48、8 月に 1.53、9 月に 1.94 を示し 7–9 月にかけて増加した。その後減少に転じ、10 月に 1.92、11 月に 1.50 を示し 9–11 月にかけて減少した。このように、魚体重量は非C型では 7–8 月につ

**Table 4.** Coefficients and standard errors for the lowest AIC model in Table 3.

Variables	Coefficient	Std. Error
Intercept	4.955	0.027
Year (relative to 2009)		
2010	0.121	0.028
2011	0.173	0.026
2012	0.196	0.029
2013	0.260	0.029
2014	0.124	0.032
2015	0.000	0.030
2016	0.251	0.029
2017	0.542	0.047
Month (relative to July)		
August	- 0.204	0.020
September	- 0.157	0.021
October	0.195	0.025
November	0.411	0.026
Kuroshio (relative to Non-C-type)		
C-type	0.393	0.028
Month: Kuroshio (relative to Non-C-type)		
August: C-type	0.239	0.048
September: C-type	0.428	0.055
October: C-type	0.065	0.060
November: C-type	- 0.396	0.063



**Figure 7.** Exponentials of coefficients of (a) year (relative to 2009) and (b) month (relative to July of non-C-type of the Kuroshio path) for the selected GLM to explain body weights of mackerel scad caught by survey fishing from 2009 to 2017. Vertical bars show 95% confidence intervals.

て減少して8-11月にかけて増加するのに対し、C型では7-9月にかけて増加して9-11月にかけて減少することが示された。魚体重量を黒潮流路別に比較すると、11月を除いてC型の方が非C型よりも1.5-2.3倍高いことが示された。

**黒潮流路別の尾叉長の季節変化**

計5,784尾の魚体測定データのうち、黒潮流路別のデータ数は非C型で4,589尾、C型で1,195尾となった。黒潮流路別の尾叉長組成の月変化をFig. 8に、混合正規分布を当てはめた年齢組成の推定パラメータをTable 5に示した。黒潮流路別の尾叉長組成から、C型に移行すると尾叉長組成が大型化することが示された。尾叉長組成は3群に分離され、Shiraishi et al. (2010) による成長曲線から1-3歳魚に該当すると推定された。2歳魚はすべての月で確認されたが、非C型の10月以降およびC型の9月以降の1歳魚と、C型の11月の3歳魚は確認されなかった。

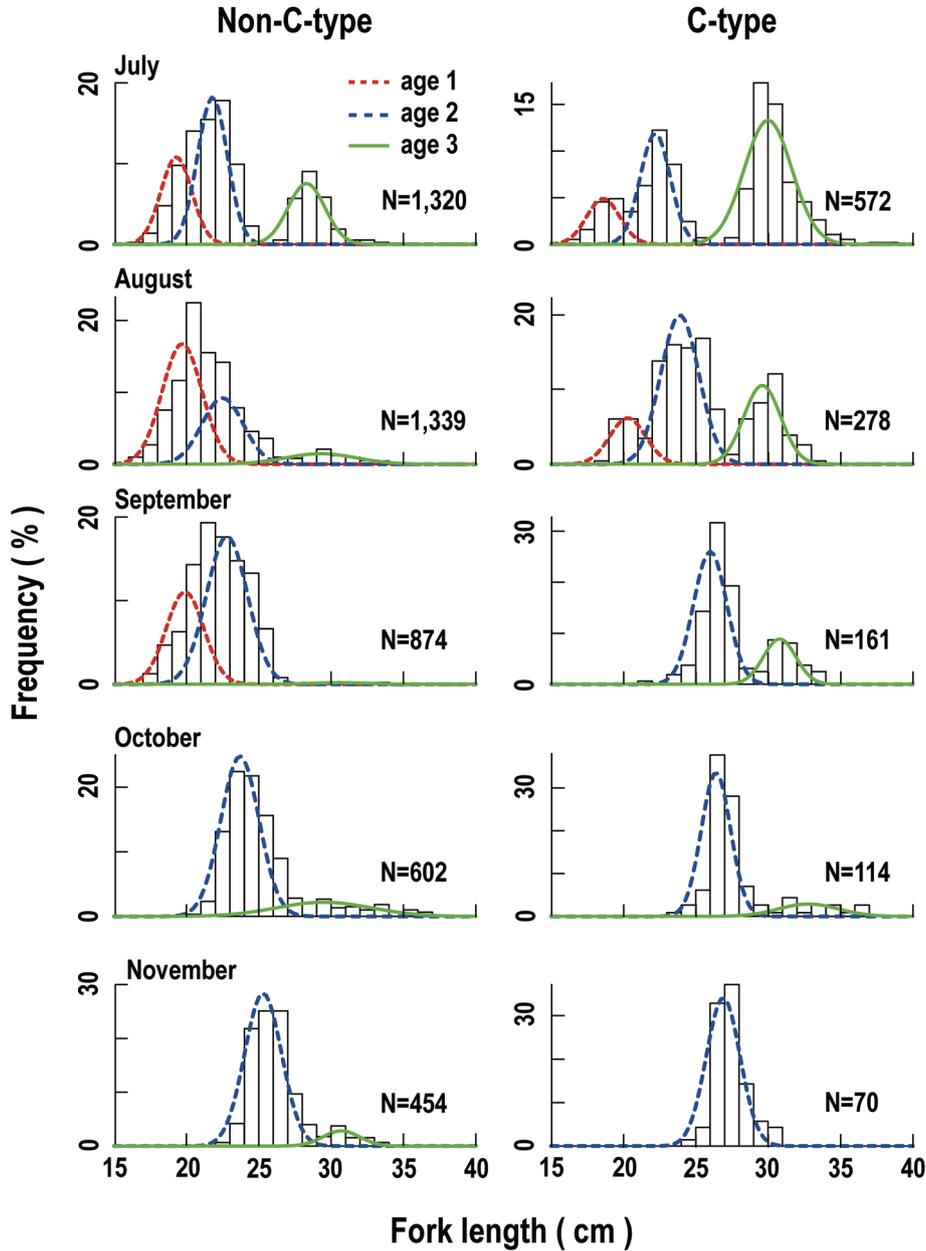
黒潮流路別の尾叉長組成を月別に比較すると、非C型では7月に1-3歳魚と推定される平均19.3 cm, 21.3 cm, 28.3 cmの3群が確認された (Fig. 8, Table 5)。1-3歳魚の尾叉長の平均値は7月以降増加し、1歳魚は9月に19.9 cm、2・3歳魚は11月にそれぞれ25.3 cm, 30.7 cmとなった。一方、C型では7月に1-3歳魚と推定される平均18.6 cm, 22.2 cm, 30.0 cmの3群が確認された。1-3歳魚の尾叉長の平均値は7月以降増加し、1歳魚は8月に20.3 cm、2歳魚は11月に26.9 cm、3歳魚は10月に32.8 cmとなった。各月における同年齢魚の尾叉長平均値について、黒潮流路間で比較可能な計11データ (Table 5) を解析した結果、7月の1歳魚を除いて非C型よりもC型の方が大きく、C型に移行すると尾叉長が有意に増加することが示された ( $p=0.008$ )。

年齢組成を黒潮流路別に比較すると、7-9月に非C型では1・2歳魚が76-99%を占めたのに対し、C型では2・3歳魚が86-100%を占め、年齢組成が高齢化した。また、非C型では10-11月に2・3歳魚のみとなったが、C型では11月に2歳魚のみとなった。

**考 察**

**1隻当たりの漁獲量に漁獲制限が与える影響**

GLM (式1, 2) のモデル選択の結果、操業隻数と漁獲量は単純な比例関係ではなく (Table 1)、操業隻数の増加に伴い漁獲制限の影響を受けて、1隻当たりの漁獲量が減少することが示された (Fig. 4)。操業隻数の増加に伴って1隻当たりの漁獲量が減少する要因として、出荷可能量を勘案して設定する1隻1日当たりの漁獲制限が考えられる。2003-2012年においては、1日に5-10隻が操業して漁期中の7割程度で漁獲制限 (1隻1日当たり約400-1,400 kg) が実施された。しかし、2013年以降は操業隻数が3隻まで減少し、2017年には過去最低の漁獲量61 tを記録したため漁獲制限の実施は漁期中の3割程度に留まり、需要を十分に



**Figure 8.** Seasonal changes in the fork length of mackerel scad from July to November. Left and right sides of each month indicate non-C-type and C-type of the Kuroshio path, respectively. Dotted red and blue curves, and solid green curves indicate normal distributions of estimated ages 1, 2, and 3, respectively.

満たせなかった。1990年代以降クサヤモロの需要は減少したものの、近年ではその減少した需要を十分に満たす漁獲量が十分に確保されていない。そのため、漁獲量安定のためには現在の操業隻数を維持・増加させる必要があるだろう。

#### 資源動向および魚体重量の経年変化

GLM (式2) による解析の結果、クサヤモロの漁獲量には年、月、黒潮流路が影響することが示された (Table 1)。現在、東シナ海におけるムロアジ類の資源評価は低位・増

加と判断されているが (高橋・依田, 2019)、資源量指標値にはクサヤモロ以外のムロアジ属4種が含まれており、資源状態を判断するデータは乏しい。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が八丈島周辺海域における資源動向を反映すると考えると、2003–2017年の間に増減を繰り返し、2015年以降は減少傾向にあることが示唆された (Fig. 5a)。以上から、2015年以降の漁獲量の減少の要因として、操業隻数の減少に加えて資源量の減少が考えられる。また、GLM (式3) による解析の結果、

**Table 5.** Estimated age compositions, fork length (FL), and standard deviation (SD) of mackerel scad.

		July			August			September			October			November		
		Age 1	Age 2	Age 3	Age 1	Age 2	Age 3	Age 1	Age 2	Age 3	Age 1	Age 2	Age 3	Age 1	Age 2	Age 3
Non-C-type	Composition (%)	29	47	24	57	34	9	36	63	1	—	82	18	—	91	9
	FL (cm)	19.3	21.8	28.3	19.6	22.6	29.4	19.9	22.8	30.6	—	23.7	29.5	—	25.3	30.7
	SD	1.1	1.0	1.3	1.3	1.3	2.3	1.3	1.4	2.1	—	1.3	3.3	—	1.3	1.3
C-type	Composition (%)	14	31	55	16	55	28	—	75	25	—	85	15	—	100	—
	FL (cm)	18.6	22.2	30	20.3	23.9	29.6	—	26	30.8	—	26.4	32.8	—	26.9	—
	SD	1.1	1.0	1.7	1.2	1.3	1.3	—	1.2	1.1	—	1.0	2.1	—	1.2	—

クサヤモロの魚体重量には年、月、黒潮流路が影響することが示された (Table 3)。月および黒潮流路の影響を考慮して推定された年の係数が魚体重量の経年変動を反映すると考えると、単調な増加・減少傾向は見られないものの、2015年以降は増加傾向にあることが示唆された (Fig. 7a)。2015年以降、資源動向および魚体重量にそれぞれ減少・増加傾向が見られたことから、今後の漁獲動向や魚体測定データを注視する必要がある。

**黒潮流路別の漁獲量および魚体サイズの季節変化の変動要因**

GLM (式2) による解析の結果、クサヤモロの漁獲量は非C型・C型ともに8-11月にかけて増加した後、11-12月にかけて減少することが示唆された (Fig. 5b)。また、GLM (式3) による解析の結果、漁期中の魚体重量の季節変化の傾向は非C型・C型の黒潮流路間で異なり、非C型では8-11月にかけて増加するが、C型時には8-9月にかけて増加し、9-11月にかけて減少することが示された (Fig. 7b)。漁獲量の季節変化に影響する要因として、漁獲対象となる1-3歳魚の成長および年齢組成の変動による魚体重量の変化が考えられる。

黒潮流路別尾叉長組成を複数の正規分布群に分離した結果、8-11月に1-3歳魚が成長して尾叉長が増加することが示された (Fig. 8, Table 5)。非C型流路では8月に1歳魚が57%を占めたが、9月には36%まで減少し、10月以降確認されなかった。8-11月にかけて魚体重量が増加する要因として、1-3歳魚の成長に加えて、1歳魚の組成割合の減少が考えられる。このようにして8-11月にかけて魚体重量が増加することで、漁獲量が増加すると考えられる。

一方、C型流路では8月に1歳魚が16%を占めたが、9月以降確認されなかった。8-9月にかけて魚体重量が増加する要因として、1-3歳魚の成長に加えて、1歳魚の組成割合の減少が考えられる。その後10月に15%を占めた3歳魚は、11月には確認されなくなった。10-11月に2・3歳魚が成長するにもかかわらず魚体重量が減少する要因として、3歳魚の組成割合の減少が考えられる。このようにして8-9月に1歳魚の組成割合の減少によって魚体重量が増

加し、また10-11月に3歳魚の組成割合の減少によって魚体重量が減少すると考えられる。以上のように、魚体重量の季節変化には1-3歳魚の成長に加えて、年齢組成の変動が影響すると考えられた。しかし、C型時には10-11月に漁獲量が増加する一方で魚体重量が減少し、また11月の魚体重量はC型よりも非C型の方が高いことが示された (Fig. 7b)。この間の黒潮流路別漁獲量と魚体重量に関連性が見られないことから、魚群の密度など他の要因が影響する可能性があるが、知見が乏しく詳細は不明である。

3歳魚の組成割合の季節変化を黒潮流路別に比較すると、7月に非C型では24%、C型では55%を占めたが次第に減少し、11月にはそれぞれ9%、0%となった。このように3歳魚の組成割合が7月以降減少する要因として、産卵回遊のために八丈島周辺海域を離れることが考えられる。クサヤモロに近縁のモロについて、岸田 (1986) は成熟個体が北緯30°以南で確認されることを報告しており、また田中ほか (1982) は伊豆諸島北部海域における尾叉長組成および生殖腺熟度指数 (生殖腺重量×10<sup>4</sup> / (尾叉長)<sup>3</sup>) の季節変化から、産卵回遊のために当該漁場を離れる可能性を指摘している。辻 (2009) は八丈島周辺海域において1981-1989年に漁獲されたクサヤモロの尾叉長組成の月変化を調べ、尾叉長30 cm以上の占める割合が6-10月に減少することを報告しており、その要因として八丈島周辺海域から他海域への産卵回遊を挙げている。クサヤモロの産卵盛期は5-6月で、成熟100%尾叉長は33 cmと推定されているが (白石ほか, 2010)、その大きさの個体は八丈島周辺海域において年間を通して全体の1割未満である (辻, 2009)。また、より大型の個体は稀に深層の底魚を対象とした底魚一本釣り漁業で混獲されるが (橋本, 2005)、産卵期に熟卵を持った雌魚は報告されていない (辻, 2009)。一方、東シナ海におけるクサヤモロは八丈島周辺海域よりも大型で尾叉長33 cm以上が全体の3割程度を占め (高橋・依田, 2019)、産卵期に熟卵を持つ (白石ほか, 2010)。以上から、八丈島周辺海域において3歳まで成長したクサヤモロは深層へ移行した後、産卵のために東シナ海周辺海域等へ回遊すると推察される。また、1歳魚は非

C型時の9月以降およびC型時の8月以降に確認されなかった。この要因として1歳魚が他海域や棒受網漁業の操業海域よりも沿岸に移行する可能性などが考えられるが、知見が乏しく詳細は不明である。東京都島しょ農林水産総合センターでは、クサヤモロの標識放流調査を行っているものの、放流から8-19日後に八丈島周辺海域で再捕される短期報告のみとなっている（未発表）。また、1-6月および12月の黒潮流路別の尾又長組成の季節変化は明らかではない。さらに、2015年以降の魚体重量に増加傾向が見られたが（Fig. 7a）、複数の正規分布群に分解した黒潮流路別の尾又長組成は経年変動を考慮していない。今後、標識放流調査や試験操業を周年継続して、回遊生態や黒潮流路別の年齢組成および魚群密度などを明らかにする必要がある。

#### 漁獲量および魚体サイズに黒潮流路が与える影響

GLM（式2）による解析の結果、C型流路への移行によって同月における漁獲量が1.1-1.2倍増加することが示された（Fig. 5b）。C型に移行すると漁獲量が増加する要因として、各月における同年齢魚の大型化および8-9月における1歳魚の減少と2・3歳魚の増加（Fig. 8, Table 5）による魚体重量の増加（Fig. 7b）が考えられる。

GLM（式3）による解析の結果、C型流路に移行すると、11月を除いて同月の魚体重量が1.5-2.3倍増加し（Fig. 7b）、8-11月における同年齢魚の尾又長が有意に増加することが示された（Table 5）。C型に移行すると同年齢魚の尾又長が大型化する要因として、高栄養塩の海域が八丈島周辺に形成されることで餌料環境が改善し、高成長となった同年齢魚が加入することが考えられる。駒澤ほか（2012）は八丈島周辺海域においてC型流路に移行して高栄養塩の環境となると、藻類のマクサ *Gelidium elegans* が高成長となることを報告している。クサヤモロはプランクトン食性であることから（東京都水産試験場、1984）、C型に移行すると高成長となった同年齢魚が八丈島周辺海域に加入する可能性がある。しかし本研究では尾又長組成の正規分布分解によって年齢組成を推定しているため、今後年齢査定を行い、年齢組成や同年齢魚の黒潮流路間の成長率の差異を詳細に検討する必要がある。

非C型では8-9月に1-3歳魚の占める割合がそれぞれ36-57%、34-63%、1-9%で1・2歳魚が主体であるのに対し、C型ではそれぞれ0-16%、55-75%、25-28%で2・3歳魚が主体となることが示された（Fig. 8, Table 5）。また、漁期中の8-9月に加えて、漁期前の7月の年齢組成についてもC型に移行すると1歳魚が減少し、2・3歳魚が増加することが示された。クサヤモロは1-3歳魚でそれぞれ160 g、220 g、390 g程度まで成長することから（高橋・依田、2019）、C型に移行すると1歳魚の減少と2・3歳魚の増加により魚体重量が増加すると考えられる。このようにC型時の年齢組成が7-9月に高齢化する要因として、C型流路への移行に

伴う深層の水温の低下が考えられる。日野ほか（2019）はC型に移行すると深層に分布するメダイの適水温の深度が上昇して、漁場が上昇することを示唆している。八丈島周辺海域において、尾又長20-30 cmのクサヤモロは棒受網漁業で漁獲されるが、より大型の個体は深層の底魚を対象とした底魚一本釣り漁業で混獲されることから（橋本、2005）、成長に伴って漁場深度が増加すると考えられる。以上から、C型に移行すると、深層に分布する大型のクサヤモロが浅層に移行して年齢組成が高齢化する可能性がある。今後、成長に伴う漁場深度の変化や黒潮流路が漁場深度に与える要因を明らかにする必要がある。

#### まとめ

本研究は、八丈島周辺海域におけるクサヤモロ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。八丈島周辺海域において、これまでにカツオやアオダイなどのCPUEに黒潮流路が与える影響が報告されているが（米沢ほか、2004、2006）、過去数十年の漁獲データをまとめてCPUEを黒潮流路別に直接算出して比較・検討しているため、CPUEの年変動やCPUEに操業隻数が与える影響を考慮していなかった。本研究ではGLMおよび混合正規分布のパラメータ推定を用いて、クサヤモロの1隻当たりの漁獲量に操業隻数が与える影響と、年、月、黒潮流路が漁獲量および魚体重量に与える影響について検討した。本研究で用いたGLMによる解析手法は他の魚種や海域にも広く適用可能であり、漁獲量や魚体重量に影響する複数の要因について、簡便で客観的な解析が可能となる。

本研究の結果、クサヤモロの1隻当たりの漁獲量は操業隻数の増加に伴って減少し、その要因として島内の需要を勘案して設定する漁獲制限が考えられた。また、八丈島周辺海域における資源動向および魚体重量の経年変動は2003-2017年に単調な増加・減少傾向が見られないものの、2015年以降はそれぞれ減少・増加傾向にあることが示され、近年の漁獲量減少の要因として、操業隻数の減少に加えて資源量の減少が示唆された。漁獲量の季節変化は、1-3歳魚の成長および年齢組成の変動を反映することが示唆された。さらに、C型流路に移行すると漁獲量が1.1-1.2倍増加することが示され、その要因として栄養塩の増加に伴う餌料環境の改善によって高成長となった同年齢魚の加入および8-9月における年齢組成の高齢化による魚体重量の増加が考えられた。クサヤモロは漁期初めの8月に「小ムロ」の需要が多く、その後「大ムロ」の需要が増加することから、漁期初めに非C型でその後C型に移行する黒潮流路が漁業経営上望ましいと考えられる。今後、年齢査定や試験操業および標識放流調査を継続・拡大し、漁況に関する知見を蓄積することで、漁業経営の安定への貢献が期待される。

## 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

- 相澤 康・滝口直之 (1999) MS-Excelを用いたサイズ度数分布から年齢組成を推定する方法の検討. 水産海洋研究, **63**, 205-214.
- 橋本 浩 (2005) 「東京おさかな図鑑」. 加藤憲司, 安藤和人編, 東京都水産試験場出版物, **406**, 116-117.
- 日野晴彦・馬場真哉・駒澤一郎 (2019) 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. 水産海洋研究, **83**, 10-18.
- 岸田周三 (1975) 東シナ海産ムロアジ属魚類の漁業生物学的研究—II. まき網漁獲物からみた魚種別分布と漁獲量. 西海水産報告, **45**, 1-14.
- 岸田周三 (1986) 「東シナ海・黄海のさかな」. 西海区水産研究所業績, **422**, 174-175.
- 駒澤一郎・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.
- 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.
- Shiraishi, T., H. Tanaka, S. Ohshimo, H. Ishida and N. Morinaga (2010) Age, growth and Reproduction of two species of scad, *Decapterus macrosoma* and *D. macarellus* in the waters off southern Kyusyu.

- JARQ, **44**, 197-206.
- 白石哲朗・由上龍嗣・田中寛繁・依田真理・大下誠二 (2010) 東シナ海におけるアジ科魚類の生物特性に関する最新知見. 西海ブロック漁海況研報, **18**, 33-47.
- 高橋素光・依田真里 (2019) 平成30年度ムロアジ類 (東シナ海) 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, 1402-1415.
- 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.
- 田中敬健・松原壮六郎・藤田信一 (1982) ムロアジ類 (主としてモロ) 調査結果について. 昭和56年度沿岸重要資源委託調査成果報告書, 20-25.
- 東京都労働経済局農林水産部水産課 (1991-2001) 東京都の水産. 平成2年版~平成12年版.
- 東京都産業労働局農林水産部水産課 (2002-2018) 東京都の水産. 平成14年版~29年版.
- 東京都水産試験場 (1984) 組織的調査研究活動推進事業報告書. 東京都水産試験場研究要報, **171**, 1-51.
- 辻 博志 (2009) 八丈島におけるクサヤモロ棒受け網漁業と魚群特性. 平成20年度東京都島しょ農林水産総合センター主要成果集, 11-12.
- 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.
- 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.
- 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.