日本海西部海域におけるトラフグはえ縄漁業の釣針選択性

片山 貴士,^{1a*} 藤森 康澄²

(2017 年 3 月 7 日受付, 2018 年 3 月 13 日受理, 2018 年 7 月 3 日 J-STAGE 早期公開)

¹(国研)水産研究・教育機構 瀬戸内海区水産研究所, ²北海道大学大学院水産科学研究院Hook selectivity of bottom and pelagic longline fisheries for ocellate puffer *Takifugu rubripes* in the western part of the Sea of JapanTAKASHI KATAYAMA^{1a*} AND YASUZUMI FUJIMORI²¹*Yashima Laboratory, National Research Institute of Fisheries and Environment of Inland Sea, Fisheries Research and Education Agency, Takamatsu, Kagawa 761-0111,* ²*Faculty of Fisheries Sciences, Hokkaido University, Hakodate, Hokkaido 041-8611, Japan*

This study compared the hook width selectivity of bottom and pelagic longlines for ocellate puffer *Takifugu rubripes* using catch data obtained in the western part of the Sea of Japan. The selectivity curve of each longline was estimated by an expansion of Kitahara's method. The hook width selectivity curves of both the bottom and pelagic longlines were much wider than typical curves such as those of gillnets. The tendency was particularly remarkable in the pelagic longline, which seems to catch fish regardless of fish size. This result suggests that many individuals with a length of 48 cm or less were distributed at the depth where the pelagic longline was set, and that ocellate puffer migrate vertically as they grow.

キーワード：北原の方法, 釣針選択性, トラフグ, 日本海, はえ縄

トラフグ *Takifugu rubripes* は高級魚として知られ、西日本における重要な漁業資源として、季節、海域、及び対象とするサイズにより、はえ縄、釣り、小型底曳網、定置網、袋待網等の多様な漁業によって漁獲されている。西日本でのトラフグの漁場は、日本海、東シナ海及び有明海を中心とした海域が外海、瀬戸内海を中心とした海域が内海と呼ばれている。このうち、山口県から福岡県の沖合にかけての日本海西部海域では、12 月～翌 3 月頃の 4 ヶ月程度、主に 1 歳魚以上のトラフグを対象としたトラフグはえ縄漁業（小型船の沿岸操業を除く）が行われており、本海域での漁獲量は外海における漁獲量の多数を占めている。

トラフグの漁獲量は農林水産統計に集計されていないため、長期の漁獲量データは存在しないが、当該海域における長期的な漁獲量の指標として、1971 年以降の下関唐戸魚市場¹⁾の外海産トラフグの取扱量（暦年）がある。¹⁾ これを見ると、外海産トラフグの漁獲量は、漁場

の拡大縮小や漁船隻数の増加等の外部要因による増減はあるものの、1970–80 年代には概ね 400–1,000 t の範囲で推移していた。その後 1993 年に 400 t を割り込むと長期の減少傾向を示し、1998 年から現在に至るまで 100 t 前後で推移している。2002 年から公表されているトラフグ府県別漁獲量¹⁾のうち、外海に該当する 11 県の漁獲量を確認しても、2002–2013 年にかけて 130–180 t の範囲で推移しており、漁獲量の上昇は見られない。適正な資源管理を行いながら減少したトラフグ資源の回復を図るため、西日本の各県合わせて 160 万尾/年にも及ぶ大規模な稚魚の放流、²⁾ 漁業者による自主規制、及び水産庁の資源回復計画の実施とその後のトラフグ資源管理検討会議の設置等の措置が積極的にとられているにもかかわらず、資源回復の兆しは見えていない。

本海域でのトラフグはえ縄漁業は、漁業者の申し合わせによる一定のルールの下で、底はえ縄と浮はえ縄（スジ縄）が同一漁場で併用されている。底はえ縄は主に山

口県籍の漁船を中心に、浮はえ縄は主に福岡県籍の漁船を中心に構成されている。このうち底はえ縄は、本海域でトラフグを対象としたはえ縄漁業が行われた当初から用いられてきたが、浮はえ縄は 1985 年頃から普及し始めた。³⁾ 通常はえ縄対象魚種は、底はえ縄もしくは浮はえ縄のどちらかで漁獲されるが、トラフグは例外的にどちらのはえ縄でも漁獲される希有な魚種である。底はえ縄と浮はえ縄では、漁獲される魚体サイズや性比に差異があること、及び使用した釣針数当たりの漁獲尾数 (CPUE) が異なること等、これまでに漁法間で異なる漁獲特性があることが示唆されている。⁴⁻⁹⁾ これらのことは、本海域での漁業管理において、底はえ縄と浮はえ縄それぞれの漁獲特性を考慮した管理手法の必要性を示している。しかしながら、トラフグの生物学的特性や移動、回遊、資源状況及び放流技術等に関する調査研究はこれまでに数多く行われているものの、¹⁰⁻¹³⁾ 漁業の実態や漁具に対する具体的な研究事例は少ない。また、聞き取りにより、本海域での底はえ縄と浮はえ縄の当業船で用いられている釣針は、形状は同じであるが釣針サイズが異なり、浮はえ縄の方が小型の釣針を使用していることが知られている。よって、上述の漁法間の漁獲特性の違いが釣針サイズの違いに起因する可能性も考えられる。今後適正な漁業管理を行ううえで、それぞれの漁法の釣針選択性を知ることは重要である。

そこで本研究では、2003-2004 年にかけて同海域において実施したトラフグを対象としたはえ縄操業試験で得た操業データ及び漁獲物データを用いて、北原の方法を拡張した Fujimori *et al.*^{14,15)} の方法で、底はえ縄と浮はえ縄について釣針幅を代表値とした釣針選択性 (以後釣針幅選択性とする) を推定した。底はえ縄と浮はえ縄それぞれに得られた選択性曲線の形状について、その妥当性を検討し、釣針幅と漁獲特性の関係について考察した。

材料と方法

操業試験 2003 年 12 月～2004 年 3 月に、海洋水産資源開発センター (現水産機構 開発調査センター) が実施した、資源管理型沖合漁業推進総合調査⁸⁾ で得られた資料を解析した。当該調査では、日本海西部海域でのトラフグはえ縄漁場において、当業船として稼働している底はえ縄漁船 (春日丸, 19 トン, 船籍港: 山口県萩市) と浮はえ縄漁船 (日光丸, 19 トン, 船籍港: 福岡県宗像市) を用船し、原則として当業船に準じた操業試験を行った。操業位置は、底はえ縄では、通常底はえ縄漁船の漁場内で、他船の漁獲状況や天候等を考慮して船長の経験にもとづき現場で決定し、浮はえ縄では、用船した浮はえ縄漁船の所属船団の操業規則に従った (Fig. 1)。操業形態は原則として両漁法とも当業船に準

Fig. 1 The location of the fishing experiment for ocellate puffer in the western part of the Sea of Japan from December 2003 to March 2004 for estimating selectivity curves.

じ、底はえ縄は 1 回/日、浮はえ縄は、2 月上旬まで 2 回/日、以降は 1 回/日の操業回数で行った。底はえ縄では 65 回の操業のうち 63 回で、浮はえ縄では 82 回の操業のうち 81 回でトラフグを漁獲し、以後の解析は、トラフグの漁獲のあった操業データを用いて行った。

漁具の仕様 本研究で用いた漁具の仕様を Table 1 に示す。本研究では、底はえ縄、浮はえ縄ともに、それぞれ当業船で通常用いられている漁具を使用した。底はえ縄は、幹縄が合成繊維 (マンセン 108 本, アサヒテックス㈱)、枝縄が 2 本の針金とスィベルで、それぞれ構成されている。通常のはえ縄漁具と異なり、トラフグによる噛み切り防止のため、枝縄には合成繊維やナイロン等は使用されておらず、当該箇所は 5 cm 程度と極端に短い。さらに、枝縄と幹縄の繋ぎ目も、噛み切り防止のため針金となっている。一鉢 (320 m) は 54 本の釣針で構成され、1 回/日の操業試験では概ね 60 鉢/操業を使用した。他方浮はえ縄は、幹縄がナイロン 20 号、枝縄がナイロン 10 号で、それぞれ構成されている。底はえ縄と異なり枝縄は 3 m と一定の長さがあり、トラフグの噛み切り防止のため、釣針と枝縄の間にピアノ線 (14 cm) が配置されている。一鉢 (1,534 m) は 152 本の釣針で構成され、2 回/日の操業試験では概ね 16 鉢/操業を、1 回/日の操業試験では概ね 30 鉢/操業を、それぞれ使用した。本海域において、当業船で現在までに使用された実績のある 8 種類のサイズの釣針 (通称か

Table 1 Gear specifications of the bottom and pelagic longlines used in the experiment from December 2003 to March 2004

		Bottom longline	Pelagic longline
Main line	Material	108 threads of “Mansen” (Twist thread)	Nylon No. 20
	Thickness	2.9 mm	0.74 mm
Branch line	Material	Wire and swivel	Nylon No. 10 and piano wire
	Thickness	1.16 mm (Wire)	0.52 mm and 0.37 mm
	Length	5 cm	3 m and 14 cm
	Interval between branch lines	5.5 m (between hook and hook)	8.5 m
Hook	Size	“Kamuro” Hook #1.25, 1.4, 1.5	“Kamuro” Hook #1.2, 1.25, 1.4
	Hook width	1.78, 1.89, 2.03 cm	1.67, 1.78, 1.89 cm
Basket	Number of hooks	54	152
	Length	320 m	1,534 m
Length of buoy rope		—	12 m
Number of hauls per day in principle		Once	12/1–2/11: Twice 2/16–3/31: Once
Number of baskets per haul		30–69	12/1–2/11: 8–27 2/16–3/31: 30–31
Number of hooks per haul		1,620–3,726	12/1–2/11: 1,216–4,104 2/16–3/31: 4,560–4,712
Main line length per haul		9,600–22,080 m	12/1–2/11: 12,272–41,418 m 2/16–3/31: 46,020–47,554 m

The numbers following “#” for each hook denote the nominal hook size.

むろ針, (旬大谷卓徳商店製) の仕様を Table 2 に示す。また, 本研究で用いた釣針の形状と仕様を Fig. 2 に示す。釣針の各部位の長さは, ノギスを用いて測定した。本研究で用いた釣針は, 当業船で通常使用されている釣針サイズを基準に選択し, 底はえ縄では 1.25 号 (釣針幅平均値 1.78 cm), 1.4 号 (釣針幅平均値 1.89 cm), 及び 1.5 号 (釣針幅平均値 2.03 cm) の 3 種類を, 浮はえ縄では 1.2 号 (釣針幅平均値 1.67 cm), 1.25 号, 及び 1.4 号の 3 種類を, それぞれ使用した。操業試験では, 両漁法とも一鉢毎に異なる号数の釣針につけ替えることで, 同一操業内での 3 種類の釣針の使用数を可能な限り揃えたとともに, 釣針サイズによる操業位置の偏りをなくした。餌には塩漬けにしたマイワシ, サンマ, サバ等を輪切りにして使用した。これらの餌は, 当業船のトラフグはえ縄漁業で通常使用されているものである。

選択性曲線の推定 本研究での釣針幅選択性曲線の推定には, 上述の操業試験で得た全長組成をもとに, 曲線を関数で表現するよう北原の方法を拡張した Fujimori *et al.* を用いる。同方法では, 両漁法ともに釣針サイズ毎に異なる有効釣針数を揃えて, 漁獲尾数を単位努力量あたりの漁獲尾数 (CPUE) に標準化する必要がある。本研究では, 釣針サイズ毎の総有効釣針数を考慮して, 底はえ縄, 浮はえ縄ともに 10 万本あたりの漁獲尾数を

Table 2 Dimensions of the hooks used in the fishing experiment

Hook size	Hook diameter (mm)	Hook dimensions (cm, mean $\pm$ SD, $n=20$)		
		Hook width	Front length	Hook length
#1.2	1.20	1.67 $\pm$ 0.006	1.42 $\pm$ 0.037	3.76 $\pm$ 0.042
#1.25	1.25	1.78 $\pm$ 0.005	1.49 $\pm$ 0.020	3.84 $\pm$ 0.060
#1.3	1.35	1.81 $\pm$ 0.005	1.56 $\pm$ 0.029	4.40 $\pm$ 0.031
#1.4	1.45	1.89 $\pm$ 0.007	1.63 $\pm$ 0.044	4.74 $\pm$ 0.020
#1.5	1.55	2.03 $\pm$ 0.008	1.72 $\pm$ 0.026	4.99 $\pm$ 0.029
#1.6	1.65	2.16 $\pm$ 0.005	1.88 $\pm$ 0.054	5.09 $\pm$ 0.023
#1.7	1.75	2.19 $\pm$ 0.005	1.97 $\pm$ 0.032	5.26 $\pm$ 0.025
#1.8	1.85	2.20 $\pm$ 0.010	1.97 $\pm$ 0.030	5.47 $\pm$ 0.044

Bold type shows hooks used in this study.

CPUE とする。同方法を適用すると, 釣針幅 w_i ($i=1, 2, \dots, v$) の釣針による全長階級 l_j ($j=1, 2, \dots, n$) (1 階級の階級幅は 3 cm とする) の魚の単位努力量あたりの漁獲尾数 C_{ij} (CPUE) は次式で表される。

$$C_{ij} = s(l_j/w_i) q_i d_j \quad (1)$$

ここで, $s(l_j/w_i)$ は, 釣針幅と全長の比である釣針幅相対全長を変数とした時の選択率であり, q_i は釣針幅 w_i の漁具能率で, d_j は漁具に遭遇した全長 l_j の資源密度 (ここでは尾数) である。なお, 通常 q_i は一定値 ($q=1$)

Fig. 2 Dimensions of the “Kamuro” hooks used in the longline fishery and the fishing experiment.

と仮定されるため、本研究でもそれに倣い以後一定値 q とする。(1)式の両辺を対数化した次式を用いて、CPUE から求めた対数化した選択性曲線を得る。

$$\ln(s(l_j/w_i)) = \ln C_{ij} - \ln qd_j \quad (2)$$

ここで、CPUE の最も高い全長 l_j 、即ち底はえ縄、浮はえ縄ともに階級 39–42 cm (39.0 cm 以上 42.0 cm 未満、以下同様) を基準となる全長 (以後ピボットとする) として、その補正值パラメータ (qd_j 、以後補正值パラメータ D_j とする) を 1 に固定し、後述の方法で他の全長の補正值を求める。

北原の方法では、釣針幅相対全長を変数とすることで、異なる釣針幅の選択率を標準化して一本の曲線 (マスターカーブ) で表現できる。このマスターカーブに適用する関数 $F(R) = \ln s(R)$ として、Fujimori *et al.*¹⁴⁾ に倣い次の多項式を与えた。なお、 R は釣針幅相対全長 ($R = l/w$)、 a は各項の定数である。

$$F(R) = a_n R^n + a_{n-1} R^{n-1} + a_{n-2} R^{n-2} \cdots + a_0 \quad (3)$$

したがって、最大値を 1 とする最終的な選択性のマスターカーブを表す関数 $\hat{s}(R)$ は、(3)式における最大値 $F_{\max}$ を用いて以下のように表される。

$$\begin{aligned} \hat{s}(R) &= \exp(F(R) - F_{\max}) \\ &= \exp\{(a_n R^n + a_{n-1} R^{n-1} + a_{n-2} R^{n-2} \cdots + a_0) - F_{\max}\} \end{aligned} \quad (4)$$

この $F_{\max}$ は、(3)式において $d/dR \ln F(R^*)$ として極値を与える R^* を算出し、この値をあらためて同式に代入することにより得られる。今回は二次関数と三次関数を用いてマスターカーブを求める。全長毎の選択率の補正值パラメータ D_j と関数のパラメータの推定は、次式の残差平方和 θ の最小化により同時に行う。

$$\theta = \sum_{ij} [s(R_{ij}) - \hat{s}(R_{ij})]^2 \quad (5)$$

ここで、 $R_{ij} = l_j/w_i$ であり、 $s(R_{ij})$ は実測値として得られた選択率、 $\hat{s}(R_{ij})$ は関数式による選択率の推定値である。この計算は、MS-Excel (Microsoft, USA) のソルバーを用いて行った。^{15,16)}

関数の選択は、マスターカーブの形状、推定結果における誤差分散の不偏推定量 $\hat{\sigma}^2$ 、及び AIC (Akaike Information Criterion) の比較^{17,18)} により行う。最小二乗法における π 個の点に対する近似式の誤差分散の不偏推定量 $\hat{\sigma}^2$ は、その残差平方和 θ を用いて次式で求められる。

$$\hat{\sigma}^2 = \theta / (\pi - p) \quad \text{ただし} \quad p = \mu + (\lambda - 1) \quad (6)$$

ここで、 p は関数のパラメータ数 μ に全長階級数 λ (補正值パラメータ D_j の数) からピボット分の 1 階級を引いた数を加えた総パラメータ数である。AIC は以下の式により求められる。

$$AIC = \pi \ln \theta + 2\mu \quad (7)$$

結 果

漁獲結果と漁獲物の全長組成 漁法別釣針サイズ別の漁獲結果を Table 3 に示した。底はえ縄においては、1.25 号では有効釣針数 67,406 本で 157 尾を、1.4 号では同 67,181 本で 193 尾を、1.5 号では同 67,141 本で 197 尾を、それぞれ漁獲した。他方、浮はえ縄においては、1.2 号では有効釣針数 87,019 本で 237 尾を、1.25 号では同 81,243 本で 237 尾を、1.4 号では同 80,251 本で 182 尾を、それぞれ漁獲した。ここでの有効釣針数とは、使用した釣針数からもつれや縄切れ等により紛失した釣針等を除いた釣針数である。CPUE (尾/10 万本) が最も高かったのは、底はえ縄では 1.5 号の 293、浮はえ縄では 1.25 号の 292 であり、最も低かったのは、底はえ縄では 1.25 号の 233、浮はえ縄では 1.4 号の 227 であった。

漁獲されたトラフグの漁法別釣針サイズ別全長組成を Fig. 3 に示した。底はえ縄で漁獲されたトラフグの全長範囲は 27–68 cm、浮はえ縄で漁獲されたトラフグの全長範囲は 24–67 cm であった。底はえ縄、浮はえ縄ともに、いずれの釣針サイズでも階級 39–42 cm にモードが見られた。これらのデータを用いて、漁法別釣針サイズ別の全長階級毎の CPUE (Table 4) を算出し、選択性曲線の推定に用いた。

Table 3 Number and weight of fish caught and CPUE for each hook

	Hook size	Hook width (cm)	Number caught	Total valid hooks	CPUE (number caught/ 10 ⁵ hooks)	Weight (kg)	CPUE (kg/10 ⁵ hooks)
Bottom longline	#1.25	1.78	157	67,406	233	309.9	459.8
	#1.4	1.89	193	67,181	287	435.6	648.4
	#1.5	2.03	197	67,141	293	477.1	710.6
	Total		547	201,728	—	1222.6	—
Pelagic longline	#1.2	1.67	237	87,019	272	358.4	411.9
	#1.25	1.78	237	81,243	292	352.4	433.8
	#1.4	1.89	182	80,251	227	267.7	333.6
	Total		656	248,513	—	978.5	—

Fig. 3 Total length compositions of ocellate puffer caught by the bottom and pelagic longlines for different hook sizes.

マスターカーブのパラメータ推定と最適関数の選択
マスターカーブに適用した各関数のパラメータ値、誤差分散の不偏推定量 $\hat{\sigma}^2$ 及び AIC を Table 5 に示した。 $\hat{\sigma}^2$ と AIC の値は、底はえ縄では、二次関数が 0.0914 と 18.77、三次関数が 0.0910 と 18.91 で、 $\hat{\sigma}^2$ は三次関数が、AIC は二次関数がそれぞれ小さいという結果となった。そこで、その内容を精査したところ、 $\hat{\sigma}^2$ の差が僅かであること、及び後述の Fig. 4 に示す三次関数のマスターカーブは、小型サイズに対して選択率が上昇する不適当な形状であることから、二次関数を最適モデルとした。他方浮はえ縄では、二次関数が 0.1271 と

40.35、三次関数が 0.1324 と 42.09 で、 $\hat{\sigma}^2$ と AIC の値のどちらも二次関数が小さかったことから、底はえ縄と同様に二次関数を最適モデルとした。なお、両漁法の $\hat{\sigma}^2$ を比べると、浮はえ縄の値の方が大きく、底はえ縄に比べてマスターカーブの当てはまりが悪かった。

二次関数及び三次関数により推定された両漁法のマスターカーブを Fig. 4 に示した。最適モデルの二次関数で推定されたマスターカーブの最大値を得る釣針幅相対全長は、底はえ縄では 21.8、浮はえ縄では 23.9 であり、以後この釣針幅相対全長を、両漁法のマスターカーブのモード全長とする。選択率の増減は漁法間で大きく

Table 4 CPUE (number caught/10⁵ hooks) by the total length class of the bottom and pelagic longlines for each hook size

Total length (cm)	Bottom longline			Pelagic longline		
	#1.25	#1.4	#1.5	#1.2	#1.25	#1.4
24-	0	0	0	1	1	2
27-	0	0	1	3	2	2
30-	0	0	0	2	7	0
33-	3	7	3	7	6	7
36-	24	10	21	37	43	30
39-	61	67	55	109	118	93
42-	50	58	49	54	66	54
45-	30	46	42	37	26	17
48-	31	39	43	14	12	12
51-	24	25	25	3	4	4
54-	6	15	18	3	1	2
57-	4	9	24	1	2	1
60-	0	7	10	0	0	0
63-	0	0	1	0	0	0
66-	0	3	0	0	1	0

Bold type shows values used in this study.

異なり、浮はえ縄の方が緩やかであった。以下に底はえ縄と浮はえ縄のマスターカーブを表す関数をそれぞれ示す。

$$\hat{s}_b(R) = \exp\{(-0.016R^2 + 0.724R - 3.846) - 4.136\} \quad (8)$$

$$\hat{s}_p(R) = \exp\{(-0.002R^2 + 0.097R + 3.338) - 4.511\} \quad (9)$$

釣針サイズ毎の選択性曲線と補正值パラメータ 本海域の当業船で使用実績のある8種類のサイズの釣針についての選択性曲線をFig. 5に示した。また、釣針幅と選択性曲線のモード全長の関係をFig. 6に示した。本試験で使用した釣針について、各釣針幅の選択性曲線のモード全長を見ると、底はえ縄では、釣針幅1.78 cm (1.25号)で39.2 cm、釣針幅1.89 cm (1.4号)で41.7 cm、釣針幅2.03 cm (1.5号)で44.8 cmであり、浮はえ縄では、釣針幅1.67 cm (1.2号)で40.4 cm、釣針幅1.78 cmで43.1 cm、釣針幅1.89 cmで45.7 cmであった。このように、同じ釣針幅でも漁法により選択性曲線のモード全長は大きく異なった。

漁法別全長階級毎の3種類の釣針サイズのCPUE合計値と補正值パラメータをFig. 7に示した。ここで補正值パラメータは、漁具に遭遇した集団のサイズ別の相対密度を表している。底はえ縄では、階級48-51 cm以上でCPUE合計値と補正值パラメータの値に明確な乖離が見られ、大型になるにつれその差は大きくなった。即ち、大型個体ほど逃避が生じ、選択率が低くなっている可能性が示唆された。他方浮はえ縄では、階級36-39

Table 5 Estimated parameters of selectivity curve, unbiased estimators of error variance, and AIC value

Parameter	Bottom longline		Pelagic longline	
	Quadratic function	Cubic function	Quadratic function	Cubic function
a_0	-3.8458	10.6574	3.3382	5.0195
a_1	0.7241	-1.0827	0.0969	-0.1316
a_2	-0.0164	0.0570	-0.0020	0.0079
a_3		-0.0010		-0.0001
R^*	22.0471	23.2163	24.2020	26.0975
$F_{\max}$	4.1361	4.1428	4.5111	4.5211
D_{24-27}			0.0203	0.0196
D_{27-30}			0.0348	0.0349
D_{30-33}			0.0486	0.0499
D_{33-36}	0.0835	0.0733	0.0786	0.0808
D_{36-39}	0.3058	0.2981	0.4061	0.4156
D_{39-42}	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
D_{42-45}	0.8706	0.8448	0.6363	0.6343
D_{45-48}	0.7015	0.6396	0.2834	0.2788
D_{48-51}	0.8103	0.6879	0.1455	0.1420
D_{51-54}	0.6954	0.5576	0.0424	0.0414
D_{54-57}	0.4592	0.3610	0.0268	0.0266
D_{57-60}	0.5910	0.4842	0.0196	0.0201
D_{60-63}	0.6079	0.5003		
$\hat{\sigma}^2$	0.0914	0.0910	0.1271	0.1324
AIC	18.7748	18.9104	40.3518	42.0858

cmと階級42-45 cmでCPUE合計値と補正值パラメータが僅かに乖離していたが、他の階級ではほぼ一致しており、底はえ縄と異なる傾向を示した。

考 察

釣針の選択性については、FAOのマニュアル¹⁹⁾に説明されているように、魚種や漁法の違いにより、釣鐘型の曲線で表される場合^{20,21)}と、ロジスティック曲線で表される場合²²⁾があるが、本研究では、トラフグに対する選択性を釣鐘型の曲線で表すこととした。これは、トラフグの摂餌が餌を飲み込むのではなく咀嚼する形式であり、釣針の大きさに対して魚体が相当に大きい時に逃避が起こると考えたからである。さらに底はえ縄では、釣針サイズ毎にCPUEの変化とCPUEの最高値を示す全長階級が明確に異なること (Table 4) や、全長48 cm以上の階級で見られるCPUE合計値と補正值パラメータの明確な乖離 (Fig. 7) から、選択性を釣鐘型の曲線で表すことの妥当性が示された。他方浮はえ縄では、底はえ縄と比べてTable 4やFig. 7で見られた前述の現象が明確でないこと、選択性が非常に緩やかであること、及び誤差分散の不偏推定量 $\hat{\sigma}^2$ が底はえ縄よりも大きくマスターカーブの当てはまりが悪いこと等か

Fig. 4 Estimated master curves of the hook width selectivity for ocellate puffer in the western part of the Sea of Japan.

ら、明確な判断は出来なかった。ただし、摂餌形式を考慮すると、底はえ縄と同様に釣鐘型の選択性を持つと思われる。

上述したように、底はえ縄と浮はえ縄の選択性曲線が顕著に異なった一因は、両漁法で大きく異なる漁具の仕様にあると考えられる。底はえ縄の枝縄は、針金、スィベル、針金の順で構成されて、当該部分は5 cm程度と短いことから、咀嚼後に餌を飲み込むことができないと推察される。著者らの観察結果でも、口腔付近に針掛かりしている個体が多かった。また、海底に漁具が固定されており、魚体に対して不適当な釣針幅では、逃避を助長する可能性が高い。他方、浮はえ縄の枝縄は、ナイロン（10号、3 m）の先にピアノ線（径0.37 mm、14 cm）が取り付けられていることから、咀嚼後に餌が飲み込まれやすいと推察される。著者らの観察結果でも、針掛かり箇所は口腔付近から喉の奥までと多様であった。また、底はえ縄と異なり漁具が海底に固定されておらず、

一鉢1,534 mの間に等間隔で設置されている重りも軽量なことから、漁具自体の柔軟性が逃避防止の一助となっている可能性もある。このような漁法間での異なる漁具の仕様により、底はえ縄と浮はえ縄の漁獲機構に違いが生じていると思われ、このことが、同一サイズの釣針であっても、漁法間で選択性のモード全長や選択性曲線の形状が著しく異なる一因となっていると考えられる。

Erzini *et al.*²³⁾は、はえ縄と刺し網のどちらの漁法でも漁獲される複数の魚種について、両漁法の選択性を比較し定量化を試みている。その結果、どの魚種においても、はえ縄の釣針選択性の方が刺し網の網目選択性よりも緩やかであった。今回推定された底はえ縄と浮はえ縄の釣針幅選択性も、過去に行われた釣針選択性の結果^{21,23,24)}と同様に、どちらも選択性は緩やかで、選択範囲が非常に広い結果となった。さらに、両漁法を比較すると、浮はえ縄では顕著に緩やかな傾向であった。また、浮はえ縄の3種類の釣針サイズのCPUE合計値と

Fig. 5 Selectivity curve of each hook size for ocellate puffer in the western part of the Sea of Japan, estimated from each master curve.

漁具に遭遇した集団のサイズ別の相対密度を表す補正值パラメータが、いずれの全長でも概ね一致していた (Fig. 7) ことから、浮はえ縄は、漁具に遭遇した個体をサイズに関わりなく漁獲すると推察された。この結果が妥当だとすると、浮はえ縄が設置された水深帯 (水深 15 m 前後) には、概ね 48 cm 以下の小型個体しか分布していない可能性が高いことを示しており、片山⁹⁾がトラフグの分布が成長に伴い鉛直的に変化する可能性があるとしたことと一致する。漁法間で異なる漁獲物のサイズ⁴⁻⁹⁾について、その要因が異なる釣針サイズにあるのではとしばしば論じられてきたが、両漁法の選択性曲線のモード全長は、浮はえ縄の方が底はえ縄よりも明らかに大きく、浮はえ縄が選択的に小型魚を漁獲するとは

言い難い。むしろ、漁法間で漁獲物サイズに差異が生じる要因は、浮はえ縄の設置水深帯に分布する個体が、底はえ縄のそれに比べて小型であるというトラフグの生物特性によると考えた方が妥当である。今後日本海西部海域におけるトラフグの漁業管理方針を策定するにあたっては、それぞれの漁具の特性、ならびにトラフグの分布特性を十分考慮する必要があるだろう。

トラフグはえ縄漁業は、本研究で対象とした日本海西部海域以外にも、瀬戸内海、秋田や石川等の日本海北部から中央部、及び遠州灘から熊野灘にかけての太平洋中海域等で広く営まれており、底はえ縄と浮はえ縄が併用されている漁場もある。それぞれの漁場で使用されている漁具の情報、CPUE、全長組成や性等の漁獲物の特性

Fig. 6 Relationship between the hook width and modal length for the bottom and pelagic longlines obtained from the selectivity curves. The vertical broken lines indicate the nominal number of each “Kamuro” hook which has been used by the bottom and pelagic longlines fisheries in the western part of the Sea of Japan so far.

Fig. 7 Comparison between CPUE and the correction factor (q_d) estimated simultaneously with the selectivity curve.

を収集することで、本研究で得られた知見を他海域でのトラフグはえ縄漁業の漁業管理に応用できると考える。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、操業試験に協力いただいたはえ縄漁船の船長及び乗組員の方、補助調査員として調査に協力いただいた方、及び関係各位に心よりお礼申し上げます。また、編集委員ならびに査読者の方々には有益な指摘と助言をいただいた。記して深く感謝する。なお、本研究は、海洋水産資源開発センター（現水産機構開発調査センター）所有のデータを使用して行った。同センターの関係各位に謝意を表する。

文 献

- 1) 水産庁増殖推進部・水産総合研究センター。我が国周辺水域の漁業資源評価、平成27年度トラフグ日本海・東シナ海・瀬戸内海系群の資源評価。我が国周辺水域の漁業資源評価第3分冊、東京。2016; 1756-1786。
- 2) 水産総合研究センター。平成26年度栽培漁業・海面養殖用種苗の生産・入手・放流実績（全国）～総括編・動向編～、東京。2016; 80-83。
- 3) 全国漁業協同組合連合会。沿岸基幹漁業実態調査報告書（I）1986; 215-245。
- 4) 片山貴士，越智洋介，汐留忠俊。平成11年度資源管理型沖合漁業推進総合調査（東シナ海フグ類等）トラフグ調査報告書。海洋水産資源開発センター，東京。2001; 1-35。
- 5) 片山貴士。平成12年度資源管理型沖合漁業推進総合調査（フグ類等：東シナ海海域）トラフグ調査報告書。海洋水産資源開発センター，東京。2001; 1-39。
- 6) 片山貴士。平成13年度資源管理型沖合漁業推進総合調査（東シナ海フグ類等：東シナ海海域）トラフグ調査報告書。海洋水産資源開発センター，東京。2002; 1-36。
- 7) 片山貴士。平成14年度資源管理型沖合漁業推進総合調査（東シナ海ふぐ類等：東シナ海海域）トラフグ調査報告書。海洋水産資源開発センター，東京。2003; 1-51。
- 8) 片山貴士，原田誠一郎，佐谷守朗。平成15年度資源管理型沖合漁業推進総合調査（東シナ海ふぐ類等：東シナ海海域）トラフグ調査報告書。水産総合研究センター，神奈川。2004; 1-52。
- 9) Katayama T. Catch characteristics of bottom and pelagic longline fisheries for ocellate puffer *Takifugu rubripes* in the western part of the Sea of Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2015; **81**: 674-680 (in Japanese with English abstract).
- 10) 松浦修平。生物学的特性。「トラフグの漁業と資源管理」（多部田 修編）恒星社厚生閣，東京。1997; 16-26。
- 11) 天野千絵，桧山節久。東シナ海，黄海，日本海。「トラフグの漁業と資源管理」（多部田 修編）恒星社厚生閣，東京。1997; 53-67。
- 12) Ueta Y, Sano J, Uchida H, Amano C, Matsumura Y, Katayama T. Growth and age-length key of the tiger puffer *Takifugu rubripes* in the East China Sea, Sea of Japan, and Seto Inland Sea, Japan. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2010; **76**: 803-811 (in Japanese with English abstract).
- 13) Matsumura Y. Optimal release strategy of hatchery-produced ocellate puffer *Takifugu rubripes* in Ariake Sound by mark-recapture experiments, based on the stocking effectiveness for young-of-the-year. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2005; **71**: 805-814 (in Japanese with English abstract).
- 14) Fujimori Y, Tokai T, Hiyama S, Matsuda K. Selectivity and gear efficiency of trammel nets for kuruma prawn (*Penaeus japonicus*). *Fish. Res.* 1996; **26**: 113-124。
- 15) 藤森康澄，東海 正。石田の方法と北原の方法によるMS-Excelを用いた刺網の網目選択性曲線の推定。水産海洋研究 1999; **63**: 14-25。
- 16) 東海 正。MS-Excelのソルバーによる曳網の網目選択性 Logistic 式パラメータの最尤推定。水産海洋研究 1997; **61**: 288-298。
- 17) Akaike H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans, Autom. Contr.* 1974; **19**: 716-723。
- 18) Omoto S, Tokai T, Tanda M, Nishikawa T, Matuda K. Comparison of selectivity curve between square-mesh and diamond-mesh codends by AIC. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1998; **64**: 447-452 (in Japanese with English abstract).
- 19) Hovgård H, Lassen H. Manual on estimation of selectivity for gillnet and longline gears in abundance surveys. *FAO Fish. Tech. Pap.* 2000; **397**: 1-84。
- 20) 小池 篤，竹内正一，小倉通男，神田献二。延縄釣針の選択性曲線について。 *J. Tokyo Univ. Fish.* 1968; **55**: 77-82。
- 21) Erzini K, Gonçalves JMS, Bentes L, Lino PG, Cruz J. Species and size selectivity in a Portuguese multispecies artisanal long-line fishery. *ICES J. Mar. Sci.* 1996; **53**: 811-819。
- 22) Yamashita H, Ochi Y, Shiode D, Tokai T. Comparison of hook selectivity curve between two different-shaped hooks for red tilefish *Branchiostegus japonicus*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 2010; **76**: 46-53 (in Japanese with English abstract).
- 23) Erzini K, Gonçalves JMS, Bentes L, Lino PG, Ribeiro J, Stergiou KI. Quantifying the roles of competing static gears: comparative selectivity of longlines and monofilament gill nets in a multi-species fishery of the Algarve (southern Portugal). *ICES J. Mar. Sci.* 2003; **67**: 341-352。
- 24) Shimizu S, Fujimori Y, Miura T, Nashimoto K. Size Selectivity Curves of Sode Hooks for Masu Salmon Derived from the Stochastic Model of Hooking Mechanism. *Bull. Fac. Fish. Hokkaido Univ.* 2000; **51**: 13-23。