フグ籠網の漁獲機構に関する二、三の知見^{*1}

不破 茂, 霜村佳孝, 石崎宗周, 今井健彦

(1993年11月15日受付)

The Fishing Mechanism of Fish Pots for Puffer

Shigeru Fuwa,^{*2} Yoshitaka Shimomura,^{*2} Munechika Ishizaki,^{*2} and Takehiko Imai^{*2}

The fishing mechanism of fish pots was studied through both field research and laboratory experiments using puffer, *Fugu niphoble*. Sizes of fish pots and puffer, *Lagocephalus wheeleri* caught were measured on board. As a first step to investigate swimming motion near the entrance to pots, the behavior of fish at the entrance to a simplified pot set in the aquarium were recorded on video tape and investigated using a motion analyzer. The following results were obtained.

The turning motion of fish varied with the width of the pot's entrance "...when the ratio of the width of the pot entrance to the total length of the fish was less than 0.78." However, no turning motion was observed when the ratio fell below 0.57. These values appear to be the upper and lower limits for the turning motion of fish in the pot's entrance. The numbers of fish caught estimated from tank experiments agree well with the field research. The fish-catching mechanism of fish pots seems to depend on the behavior of the fish inside the pot's entrance.

キーワード: 漁獲機構, かご, 魚群行動, フグ

雑漁具に分類される籠漁具は,¹⁾ その構造が簡単であり, 我が国の沿岸で広く用いられている。²⁾ 籠漁具の構造と漁獲との関係は北方性のエビ, カニ類を対象としたものについて多く調べられている。³⁻⁷⁾ 一方魚類を目的とした籠漁具は西日本に多く分布しているが,^{2,8)} これらに関する研究は少なく, 魚籠に使用する餌の誘引物質と入籠行動との関係,⁹⁾ 魚種による入籠行動¹⁰⁾ などについて実験が行われ検討されている。これらは魚が籠に入る理由を研究したものであり, 漁獲過程における魚の行動を定量化して解析したものではない。魚を対象とした籠漁具の表面積と漁獲量の関係が報告されているが,¹¹⁾ 構造と漁獲機構との関係は明らかにされていない。本研究では鹿児島県西岸で行われているためにフグ籠網の, 構造と漁獲に関する基礎的な資料を得るために, 実操業の漁獲結果と室内水槽での魚の行動実験から漁獲機構を検討した。

材料および方法

実地調査 この籠網漁業はシロサバフグ *Lagocephalus wheeleri* を対象として鹿児島県西岸の串木野市を中心に阿久根市, 川内市で春から秋にかけて行われている。串木野市での水揚げ量は約 250 トン, 水揚げ額は約

1 億 5 千万円 (平成 3 年度) であった。漁場は Fig. 1 に示す水深 20~100 m の海域で, 5~7 月が最盛期である。漁具の構造は Fig. 2 に示すような半円筒型, または箱型で, 一方にだけ入口を設けている。両者の大きさおよび入口部分の構造はほぼ等しい。籠網の枠組みをステンレス丸棒 (直径 3 mm) または割竹 (約 5 mm) で作り, 全体をステンレス金網 (3 cm) で覆っている。入口部分はステンレス針金 (1 mm) を約 2 cm 間隔で平行に組み半円筒型の通路を形成し, その先端部分はステンレス針金を漏斗状にすばめて構成している。

操業方法は入口部分の下面に冷凍サバの切身を餌として装着し, 約 60 m 間隔で約 160 個を連結して投入, 2~3 時間待った後に順次引き上げる。著者らはフグ籠網漁船に乗船して漁獲があった籠ごとに, 漁獲されたシロサバフグの体長, 体幅, 体高, およびその籠の入口部分の寸法を測定した。また, 漁獲されたシロサバフグの一部は持ち帰り, 体の各部分の長さを測定し, 外部形質の特徴を把握した。

水槽実験 籠網の漁獲機構は漁具に接近してきたフグが, 入口部分から遊泳して籠網の中へ到達し, 漁獲されるものと考えられる。特に籠網の入口部分に入ったフグが, そこで転回できるかどうかは漁獲に直接関係して

^{*1} 平成 5 年度日本水産学会春季大会において口頭発表した。

^{*2} 鹿児島大学水産学部 (Faculty of Fisheries, Kagoshima University, Kagoshima 890, Japan).

Fig. 1. Map of puffer fishing ground using fish pots.

Fig. 2. Two types of fish pots for puffer fishing.
S: Semicylindrical type, B: Box type.

Fig. 3. Relationship between total length and relative ratio of measurements of two species of puffer.

●: Sum of body width and length of pectoral fin, ▲: Distance from snout to base of dorsal fin, ■: Distance from snout to base of pectoral fin, ◆: Length of pectoral fin.

いると考え、入口部分でのフグの転回運動を水槽実験で調べた。漁獲されるシロサバフグを実験に使用するには、輸送などの制約があったので、本種の代りに簡単に入手できるクサフグ *Fugu niphobles* を用いた。両者は、その生息水域が異なっており、¹²⁾ 実験にクサフグを使用することの妥当性を検討した。両者の遊泳運動を観察したところ、主に尾鰭を使って前進するが、転回運動など細かな動きには、胸鰭と背鰭を使っていることが明らかになった。これらの鰭が転回運動を左右すると考え、両種の胸鰭の長さ、体幅と胸鰭の長さの和、吻端から胸鰭

基底、および背鰭基底までの長さを測定し外部形態的特徴を比較した。測定された各形質を全長で除して無次元化した値を Fig. 3 に示した。これらの値はいずれもほぼ等しいことから、両者の体型は幾何学的に相似であるといえる。また、相似形であることから、転回運動などの運動能力に両種間では大差がないものと想定される。以上を考慮し、本研究ではクサフグを使用した水槽実験結果が、シロサバフグの籠網入口部分での転回運動を類推するのに役立つと考えた。¹³⁾

フグ籠網の入口部分での転回運動についての実験を、

Fig. 4. Schematic drawing of experimental apparatus used for testing the turning motion of fish in the narrow channel.

A: CCD camera, B: Experimental channel, C: Air screen, D: Tank, E: Air compressor, F: Switch, G: AC supply, C_b : Width of experimental channel, T_0 : Turning diameter of fish.

Table 1. Specification of fish pot used for puffer fish in Kagoshima Prefecture

Fishing port	Shape	Outside			Pot's entrance			E_i/E_b	E_h/E_b
		Length (cm)	Breadth (cm)	Height (cm)	Length E_i (cm)	Breadth E_b (cm)	Height E_h (cm)		
Wakimoto	S	46.3	44.3	31.6	11.0	11.5	12.6	0.97	1.11
Kuratsu	B	50.5	42.3	28.1	13.2	16.0	17.0	0.83	1.06
Kuratsu	S	54.1	47.0	31.5	11.9	14.0	15.8	0.89	1.13
Sebdai	S	56.3	50.9	32.5	10.9	13.1	18.4	0.84	1.41
Kushikino	S	50.9	43.0	27.3	12.3	15.3	14.2	0.81	0.93

E_i : Length of pot's entrance, E_b : Breadth of pot's entrance, E_h : Height of pot's entrance, S: Semicylindrical type, B: Box type.

水槽 (0.9×1.8×0.4 m) で行い、その概略を Fig. 4 に示した。実験には釣りで漁獲した 14 尾を 10 日間飼育して用いた。実験魚の平均全長は 13.1 cm、平均体高は 2.2 cm、平均体幅は 2.6 cm であった。実物漁具の入口部分は針金で半円筒型に作られているが、この部分における遊泳運動を計測するために、実物漁具の入口部分を単純化した長方形の水路 (長さ 50 cm) を塩化ビニール板で製作して設置した。水路幅 (C_b) は供試魚の最大体長にほぼ等しい 15 cm から 0.5~2.5 cm 間隔で 5 cm まで 9 段階に変えた。事前に行った小型水槽での遊泳行動観察では、クサフグは主に体高を軸とした転回運動を示した。また、解析では画像から二次元の座標を測読することを考慮して、魚の行動を単純化して二次元的に考えるため、水深は平均体高の約 4 倍の 10 cm とした。実験魚は一尾ずつ水路の一端に収容して 10 分間馴致させた後、静かに仕切板を引き上げ、魚を水路へ遊泳させた。魚の行動はモニターテレビ画面で監視し、遊泳した魚の吻端

が水路の端に接近した時に、そこに設置したエアーストームに通気して気泡幕を発生させて、その刺激で魚を転回させるようにした。これら一連の操作は約 10 m 離れた場所から行った。実験水路内の魚の行動は水面上 175 cm の高さに設置した CCD カメラ (NEC 製 TI-23P) によって撮影した。その映像はタイムジェネレーター (朋栄製 VTG-33) で 100 分の 1 秒までの時刻とともに、ビデオテープレコーダー (松下電器製 NV-FS90) に録画した。実験は照度の条件を一定に保つため、鹿児島大学共同利用研究施設回流水槽の 1 階で行った。照明は室内の蛍光灯を使用し、外部からの光は遮断した。実験は魚の活動性と学習効果を考慮して、午前と午後の各 1 回ずつとし、延べ 300 回行った。水槽の水面上での照度は 240 lx、水温は 27.5~29.1°C であった。

結果および考察

この地域で使用されている籠網の各部寸法を Table 1

Fig. 5. Length distribution of puffer caught.

Fig. 6. Comparison of catch per pot with different pot entrance widths.

に掲げた。籠網の外形や入口の大きさは、地域によって大きな差異はなかった。籠網には二つの形があるが、入口の構造はほぼ同一で、漁業者はいずれか一方の形のみを使用している。本研究で使用した籠網は箱形だった。

漁獲されたシロサバフグの体長組成を Fig. 5 に示した。この図から明らかなように、全長 20 cm 以上のものがほとんどである。使用している籠網の入口幅は 12~18 cm の範囲にあり、籠網の入口幅ごとに 1 籠当たりの漁獲尾数を求めて整理したのが Fig. 6 である。籠網の入口幅によって 1 籠当たりの漁獲尾数は差があるがどうかを検定した結果、有意差は認められなかった ($\chi^2=10.400$, $p>0.7$)。したがって以後の解析では全漁獲物を込みにして扱った。

実験終了後にビデオ画像を解析して、設定した水路幅 (C_B) における魚の転回の可否と、転回した場合には転回幅 (T_D) を測定した。ここで転回幅は魚が最も湾曲した時の、両眼の中心および尾柄部の座標をビデオデジタイザーで読み取り、この座標から計算した。座標の測読に先立って、長さのわかっている格子板を水槽底に敷いて撮影し、モニター画面の座標を校正した。

設定した水路幅 (C_B) において、実験魚の運動を水平転回 (体高軸を中心とした転回)、三次元の転回および直進に区分し、それらの観察回数に対する割合を Fig. 7 に

Fig. 7. Relationship of ratio of channel width to total length and percentage of turning motion.

●: Horizontal turn, ▲: Three dimensional turn, ■: Escaped through the air bubble screen.

Fig. 8. Relationship between two dimensionless body indices, T_D/T_L and C_B/T_L .

T_D/T_L : Ratio of turning diameter of fish (T_D) to total length of fish (T_L). C_B/T_L : Ratio of width of channel (C_B) to total length of fish (T_L).

示した。実験魚の運動は設定した水路幅と体長との相対関係に影響されると考え、水路内での転回運動の難易度を示す指標として C_B/T_L を取り上げて整理した。 $C_B/T_L=0.60$ 以上の場合ではいずれの魚も水平転回したが、これより水路幅が狭くなるに従って、水平転回の割合は減少し三次元の転回および直進する割合が増加した。三次元の転回は $C_B/T_L=0.55$ 以下でみられ、 $C_B/T_L=0.50$ 以下では気泡幕を突破して直進するものが出現した。 $C_B/T_L=0.30$ 以下では、実験魚は直進も転回もできなかった。

著者らは魚の転回運動が水路の幅に影響されると考え、魚の転回幅と水路の幅との関係を調べた。この関係を明らかにすることによって、実際の籠漁具への入網の難易度を判定する資料とした。魚が水平転回した場合について、実験した水路幅 (C_B) と魚の転回幅 (T_D) を実験魚の全長 (T_L) で除して無次元化し、両者の関係を Fig. 8 に示した。図から明らかなように C_B/T_L が約 0.8 を境に大きく二つに分けられる。そこでそれぞれの範囲での T_D/T_L の平均値を計算し、両者に差があるかを検定した

Fig. 9. Comparison of turning motion of fish and ratio of width of channel to total length of fish.

C_b/T_l : Ratio of width of channel (C_b) to total length of fish (T_l). ○: Horizontal turn, ●: Three dimensional turn or escaped through the air bubble screen.

Fig. 10. Relationship between width of pot entrance and total length of fish caught by experimental research.

Broken lines show the critical values of turning motion in the pot's entrance. The turning diameter of fish decreased below $F_b = 0.78T_l$. Fish could not turn in the pot's entrance below $F_b = 0.57T_l$. Ratio of numbers of dots below $F_b = 0.57T_l$ to total is 0.92.

ところ有意差が認められた ($t=459.39, p<0.01$)。 C_b/T_l が約 0.8 より大きい範囲では、魚は水路壁面に影響されことなく自由に転回していることが明らかである。しかし C_b/T_l が約 0.8 以下では転回幅は水路壁面に影響されて直線的に減少し、この 1 本の直線に収束する傾向が見られた。水路幅が相対的に狭くなると、水路壁面の影響を受けて魚の転回運動が制約を受け始め、転回幅は魚体の屈曲率の限界まで減少してくる。これよりさらに水路幅が狭まると水路断面の最大長を利用して、体幅軸を斜めにして三次元の転回運動を行った。水路幅が狭まって最終的に転回が不可能となると、気泡幕を突破して直進した。魚の転回運動が制約を受け始める水路幅の上限

は、 C_b/T_l の値 0.8 を境にして有意差があることを考慮して、直線的に減少している部分での実験値の上限を図から読み取って、 $C_b = 0.78T_l$ が得られた。

実験魚の大きさごとに実験した水路幅との比 (C_b/T_l) を求めて、水平転回できるかどうかを整理して Fig. 9 に示した。図からも明らかなようにいずれの実験魚でも、水平転回できた水路幅の下限および水平転回できなかった水路幅の上限は相互に重なり、その限界値は明確でない。そこで実験魚の大きさごとに、水平転回できた水路幅の下限値と水平転回できなかった水路幅の上限値の差を求めた。この平均値が 0 と見なせるかどうかを検定したところ、有意差はなかった ($t=1.10, p<0.2$)。そこですべての実験魚の水平転回できた水路幅の下限値と、水平転回できなかった水路幅の上限値を平均した値は 0.57 となった。この C_b/T_l の値を実験魚が水平転回できる水路幅の下限値とした。この値は実験魚が胸鰭を上げた長さにはほぼ等しく、主に尾鰭を使って前進するが、転回運動など細かな動きには、胸鰭と背鰭を使っていたフグの遊泳運動を観察した結果にも一致した。また、これは胸鰭の運動が水路壁面によって制約されることを示している。肥後¹⁴⁾ はヒブナ *Carassius aeratus* で実験し、水路幅が体幅の π 倍以上ないと魚は水平転回できないことを報告している。本実験の結果は体幅の π 倍よりもやや小さくなったが、実験した魚種が異なり、体型が異なるためと考えられた。

これら水槽実験の結果を漁獲結果に適用して検討した。実操業で漁獲されたシロサバフグ (324 尾) の全長と、漁獲した籠網の入口幅 (E_b) との関係を図 10 に示した。水槽実験の結果から推定して、 $E_b = 0.57T_l$ を示す直線より下方の部分は、魚は入口部分で水平転回できず、そのまま前進して漁獲されたものに相当する。 $E_b = 0.78T_l$ の直線と $E_b = 0.57T_l$ の間の部分は、籠の入口で魚の水平転回運動が制約を受けているものに相当すると考えられる。これら二つの領域に相当するものは全漁獲尾数の 92% であった。 Munro,⁹⁾ 川村・田村¹¹⁾ の結果を参照すると、シロサバフグは餌の化学物質に誘引され籠の入口部分に到達し、頭部を籠の内側へ向けて摂餌すると推定される。入口部分で転回できない大きさの魚はそのまま直進して漁獲されるのではないかと考えられる。フグ籠網の漁獲機構は入口部分でフグの転回行動を制約することにより誘発されるもので、水平転回運動の制約を受ける大きさのフグを、漁獲していることが明らかになった。

本研究では魚の行動を単純化して考えるため水深を浅くして二次元的に考えたが、実験魚はその運動が制限されてくると三次元的な行動を示した。このことは籠網入口で魚は三次元的な行動も行うことを示唆しており、今

後この点についても、実験を行って検討する必要がある。また、籠網の入口幅と漁獲魚の体長組成は、籠網の漁獲選択性と密接に関係していると考えられ、急いで検討したい。

終わりに海上実験でご協力頂いた、串木野市漁協中村純明氏および、実験装置の製作にご協力頂いた本学部田畑静夫氏に深く感謝する。

文 献

- 1) 谷川英一, 田村 正, 金森政治, 新川伝助: 水産学通論. 恒星社厚生閣, 東京, 1977, pp. 92-210.
- 2) 金田禎之: 日本漁具漁法図説. 成山堂, 東京, 1977, pp. 567-591.
- 3) 小池 篤: かごの漁具構造と漁獲. 「かご漁業」(日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, 1981, pp. 51-65.
- 4) 竹内正一: ホッコクアカエビ籠の網目の大きさ, 入口の大きさと漁獲の関係. 東水大研報, **74**, 225-239 (1987).
- 5) 竹内正一: ホッコクアカエビ籠の網目の大きさ, 入口の大きさと漁獲個体の大きさとの関係. 東水大研報, **74**, 241-256 (1987).
- 6) 竹内正一: ホッコクアカエビ籠の網目の大きさが入籠, 脱籠に及ぼす影響. 東水大研報, **75**, 45-58 (1988).
- 7) 竹内正一: ホッコクアカエビ籠の大きさ, 餌料の量および漁獲との関係. 東水大研報, **75**, 59-73 (1988).
- 8) 竹内正一: かご漁業の漁労法. 「かご漁業」(日本水産学会編), 恒星社厚生閣, 東京, 1981, pp. 22-36.
- 9) J. L. Munro: The mode of operation of Antillean fish trap and relationship between ingress, escapment catch and soak. *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, **35**, 337-350 (1974).
- 10) G. Kawamura, T. Tanoue, and M. Akazaki: Swimming Behaviour of Fish towards pots. *Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ.*, **19**, 7-13 (1970).
- 11) 川村軍蔵, 田村松之助: 魚籠の魚種選択性. 日水誌, **56**, 917-921 (1990).
- 12) 益田 一, 荒賀忠一, 吉野哲夫: 魚類図鑑. 東海大学出版会, 東京, 1975, pp. 333.
- 13) 江守一郎, D. J. シューリング: 模型実験の理論と応用. 技報堂出版, 東京, 1979, pp. 1-89.
- 14) 肥後伸夫: 魚の遊泳運動における π 効果現象—I 水平反転運動. 日水誌, **34**, 319-323 (1968).