ウバガイ噴射式桁網のつめの形状について

梨本勝昭, 平石智徳, 小島隆人

(1989年3月29日受付)

Teeth Curves of a Hydraulic Jet Dredge for Catching Japanese Surf Clam

Katsuaki Nashimoto,*¹ Tomonori Hiraishi,*¹ and Takahito Kojima*²

The dynamic of Japanese surf clams as they are in contact with and slide along the teeth of a hydraulic jet dredge are analyzed and the optimal curves for the teeth are discussed. Teeth angle is considered to be a function of the weight of the shell in the sand, the drag of the shell moving vertically, the drag of the shell moving horizontally, the static frictional coefficient between the shell and the teeth, shell length and buried depth. The parameters were measured under laboratory conditions, and the optimal variation in teeth angle for various shell sizes and depths was calculated at different points along the distance from the end of the teeth. The optimum teeth curves for a shell 10 cm in length was obtained using these teeth angles.

北海道ではウバガイ *Pseudocardium sybillae* を漁獲するには古くから桁網が使用されていたが、労働作業の軽減、漁具の効率、破損貝の防止などの点から最近になって噴射式桁網が各地域で積極的に導入されるようになってきた。しかし、破損貝は普通の桁網より幾分少なくはなっているものの、まだかなりの量が生じ大きな問題となっている。前報¹⁾では破損貝は漁獲時に桁網のつめに接触した貝がつめに沿って円滑に砂面上に持ち上げられないことによって生ずるものと想定し、つめの先端部分の角度について若干検討を加えた。ここでは、曳網時のウバガイ噴射式桁網のつめに貝が接触し、つめに沿って移動するときの力学的諸関係を解析して、貝の大きさに砂面からの深さごとにつめ角度を求め、漁獲対象貝の大きさを用いて最も合理的な噴射式桁網のつめの形状を推定した。

材料および方法

砂の中に潜って棲息しているウバガイは殻長軸を砂面に垂直にし、任意の方向を向いているものと考えられる。²⁾ ウバガイは曳網時の桁網のつめに接触することによって貝がつめによっておしつけられ、水平方向の力が作用し、つめに沿って砂面に持ち上げられて袋網へと次第に運ばれて漁獲されるものと想定される。砂の中に棲息している貝が曳網時の桁網のつめに接触し、つめに沿

って移動しようとする時の力学的諸関係を模式的に示したのが Fig. 1 である。ここに、砂中の貝の重さを W_s 、貝とつめの静摩擦係数を μ 、貝がつめに接触している位置でのつめ角度を θ 、砂中に潜っている貝が砂の中で殻長軸方向に移動する時の抗力を $f(L, D)$ 、貝がつめによって水平方向に押しつけられる水平抗力を $F(L, D)$ とすれば、曳網時につめに接触した貝がつめに沿って砂面上へ垂直に移動する時の力学的条件から次式が成立する。¹⁾

Fig. 1. Dynamical relation of a shell sliding along teeth.

AB; Tooth, θ ; Tooth angle, S; Shell, W_s ; Shell weight in sand, $F(L, D)$; Drag of shell moving horizontally, $f(L, D)$; Drag of shell moving vertically, F_v ; Resultant force acting on shell by teeth, D ; Buried depth in sand, D_0 ; Distance from sand to shell edge.

*¹ 北海道大学水産学部 (Faculty of Fisheries, Hokkaido University, Hakodate 041, Japan).

*² 日本大学農獣医学部 (College of Agriculture and Veterinary Medicine, Nihon University, Setagaya, Tokyo 154, Japan).

$$F(L, D) \cos \theta \geq \{W_s \cos \theta + f(L, D) \cos \theta + F(L, D) \sin \theta\} \mu + \{W_s + f(L, D)\} \sin \theta \quad (1)$$

上式を整理し次式が得られる。

$$\tan \theta \leq \frac{F(L, D) - W_s \mu - f(L, D) \mu}{\mu F(L, D) + W_s + f(L, D)} \quad (2)$$

従って、つめ角度 θ は次式で与えられる。

$$\theta \leq \tan^{-1} \left\{ \frac{F(L, D) - \mu \{W_s + f(L, D)\}}{\mu F(L, D) + W_s + f(L, D)} \right\} \quad (3)$$

ここで、前報¹⁾で明らかにしたように鉄製のつめと貝の静摩擦係数 $\mu=0.5$ 、砂中の貝の重さ $W_s=0$ となることが知られているので、これらを適用すれば、 θ は次式のように表わされる。

$$\theta \leq \tan^{-1} \left\{ \frac{F(L, D) - 0.5 f(L, D)}{0.5 F(L, D) + f(L, D)} \right\} \quad (4)$$

砂中でつめに接触したウバガイが殻長軸方向に砂中を移動する時の抗力 $f(L, D)$ は前報¹⁾で測定した結果、この抗力は殻長 L と深さ D との関数として、 $f(L, D)=0.31 \exp \{0.373 L + (0.236 - 0.0107 L) D\}$ として表わすことができた。また、前報¹⁾では貝がつめによって押しつけられる水平抗力 $F(L, D)$ は直接測定できなかったため、曳網時の引網の張力を使って推定した。しかし、この力は砂中に潜っている貝の深さ、貝の大きさ、貝の方向によって大きく変化するので、大変精度の悪いものとなり、つめの曲線形状を求めることができなかった。そこでここでは水平抗力 $F(L, D)$ を次のようにして計測した。測定に使用した装置の概要を Fig. 2 に示す。幅 40 cm、長さ 70 cm、深さ 25 cm、の大きさの合成樹脂製の水槽の中に前報¹⁾で使用した中心粒径 0.15 mm の砂を厚さ 23 cm に敷き、砂の表面上約 1 cm まで水を満たした。貝がつめによって押しつけられる水平抗力 $F(L, D)$ は砂の空隙の状態によって変化するものと考えられる。噴射式

Fig. 2. Schematic illustration of experimental apparatus for measuring drag of shell moving horizontally.

B; Sand box, M; Motor, S; Shell, T; Truck, W; Balance weight, Lt; Three Component load cell.

Table 1. The sizes of Japanese surf clam used for the present study

No.	Shell length (cm)	Shell width (cm)	Shell height (cm)
1	9.34	5.07	7.82
2	8.52	4.66	7.33
3	7.77	3.93	6.19
4	6.06	2.86	4.75
5	5.78	2.61	4.63

桁網では噴射によって砂が掘られ非常に柔らかい状態になっていることが知られているので、²⁾ここでは砂地に任意の深さの穴を掘り、貝は殻長軸を砂面に垂直にして埋め、貝に取付けた支持棒を台車に固定した三分力検力計と結合した後、砂を静かにかけて表面を平坦にならした。なお、測定に際し、貝には予め殻長軸に直径 5.5 mm、長さ 30 cm の鉄製の丸棒を取付けた。この支持棒には測定のための基点の印を付けた。この基点から砂の表面までの距離を計測し、砂の中に埋めた貝の深さ (砂の表面と殻長軸の上端までの距離で、砂面より下方を正とした) D を求めた。貝の深さ D を計測した後、モーターを使って約 2.4 cm/s の速度で台車を引張り、この時の曳く力を三分力検力計を使って連続的に計測記録して、貝が動き出す瞬間の力を測定し、これを水平抗力 $F(L, D)$ とした。測定には Table 1 に示す殻長 5.78~9.34 cm のウバガイ 5 個を用いた。なお、ウバガイは殻長軸を砂面に垂直にして任意の方向を向いて棲息しているもので、²⁾この抗力は殻長軸に対して垂直な様々の方向について測定しなければならない。しかし、水平抗力の最大値は殻高軸に対して垂直な方向、最小値は殻幅軸に対して垂直な方向の場合に生じることになるので、ここではこの両者の方向についてだけ計測した。測定は貝が砂面に完全に没している場合と砂面に出ている場合とに分けて、砂の中に入る貝の深さをいろいろ変化させ貝の水平抗力 $F(L, D)$ を測定し、両者の関係を調べた。

結果および考察

殻長別に砂の中に埋まった貝の深さ D と殻幅軸方向に移動する時の抗力について測定し、貝が砂中に完全に没している場合と砂面上に出ている場合とに分けて整理した結果を Fig. 3, Fig. 4 に示す。ここでは貝の深さ D は便宜的に砂面を基準にして下方を正、上方を負にとった。殻長別のそれぞれの資料は若干変動するが、いずれの場合とも一定の傾向が見られる。貝の深さ D と殻幅軸方向の水平抗力 $F_w(L, D)$ との関係は貝が砂中に完全に没している場合と砂面上に出ている場合とでは異なるが、それぞれ次式のような実験式で表わされる。すなわち、 $-L \leq D \leq 0$ の条件では、

Fig. 3. Relation between drag of shell moving normal to shell width axis and buried depth in sand ($0 < D \leq L$).

Fig. 5. Relation between drag of shell moving normal to shell height axis and buried depth in sand ($0 < D \leq L$).

Fig. 4. Relation between drag of shell moving normal to shell width axis and buried depth in sand ($-L \leq D \leq 0$).

Fig. 6. Relation between drag of shell moving normal to shell height axis and buried depth in sand ($-L \leq D \leq 0$).

$$F_w(L, D) = 0.029 \exp \{0.52 L - (0.022 L - 0.55) D\} \quad (5)$$

$0 < D \leq L$ の条件では,

$$F_w(L, D) = 0.0076 L^{8.2} D^{(-0.084 L + 0.71)} \quad (6)$$

また、殻長別に砂の中に埋まっている貝の深さ D と殻高軸方向の水平抗力について測定し、貝が砂中に完全に没している場合と、砂面上に出ている場合とに分けて整

理した結果を Fig. 5, Fig. 6 に示す。いずれも殻長別の資料は若干変動するが両者とも一定の傾向が見られる。貝の深さ D と殻高軸方向の水平抗力 $F_h(L, D)$ との関係は貝の砂中に没している状態によって異なるが、それぞれ次式のような実験式で表わされる。

$-L \leq D \leq 0$ の条件では,

$$F_h = 0.0069 \exp \{0.65 L - (0.62 L - 0.97) D\} \quad (7)$$

Fig. 7. Teeth curves for various shell lengths on the condition that the shell moves along normal to shell width axis.

Fig. 8. Teeth curves for various shell lengths on the condition that the shell moves along normal to shell height axis.

$0 < D \leq L$ の条件では,

$$F_h = 0.0047 L^{8.2} D^{(-0.060 L + 0.82)} \quad (8)$$

従って, 自然に棲息しているウバガイについて殻長別に砂の中に潜っている深さ D を知ることでつめの形状のつめに接触し貝が砂地におしつけられ移動する時の水平抗力をそれぞれ求めることができる。また, 殻長軸方向に移動するときの抗力 $f(L, D)$ はすでに殻長 L_x と潜っている深さ D との関数として求まっているので, これらの諸関係を (4) 式に代入することによってつめ角度 θ について解くことができる。そこで, 殻長 4, 6, 8, 10 cm 別に貝の深さ D とつめ角度 θ を求め, 砂面を基準にし, つめの形状, つめの深さ D_0 とつめの先端からの水平距離との関係としてとらえ示したのが Fig. 7, Fig. 8 である。なお, つめの深さ D_0 , 潜っている貝の深さ D , 殻長 L との関係は, $D_0 = D + L$ となる。なお, 殻幅軸に垂直な方向におしつけられた場合と殻高軸に垂直な方向におしつけられた場合とに分けて示した。なお, 計算に際しては殻長別に深さ D を 1 mm ごとに变化させてつめの座標をそれぞれ求めた。座標の原点はつめの先端の砂の表面にとった。つめの形状はつめに接触した貝が殻

幅軸方向におしつけられる場合には殻長別に砂の表面に次第に漸近するなめらかな曲線として求めることができた。しかし, 殻高軸方向におしつけられた場合にはつめの形状は砂面に漸近しない部分も生じた。この原因は貝が砂面に大部分が出てしまうと殻長軸方向の抗力, および殻高軸方向におしつけられる水平抗力とも著しく小さくなるためである。

殻長別に求めたつめの形状は殻高軸方向, 殻幅軸方向におしつけられる場合とは若干異なっており, 砂面からの深さが同一であれば, 前者の方が曲線の変化率は小さい。また, 殻長別に求めたつめの形状曲線は砂面からの深さが同一であれば, 曲線の変化率は殻長が小さい方が大きくなっている。このことはつめに接触した種々の大きさの貝を円滑に砂面まで持ち上げるためには漁獲対象とするウバガイの殻長の大きいものを基準につめ形状を設定すれば良いことになる。北海道の多くのウバガイ漁場では殻長制限が 9.0 cm とされており, 主な漁獲殻長は約 10 cm 程度と考えられる。そこで, ウバガイの殻長 10 cm に注目して, Fig. 7, Fig. 8 からつめの形状を求め整理したのが Fig. 9 である。図にはつめに接触した貝

Fig. 9. Optimum teeth curves of hydraulic jet dedge for catching Japanese surf clam.

—●—; measured value, ····; Calculated curves under condition shell moving normal to shell height axis, —; Calculated curves under condition shell moving normal to shell width axis.

が殻幅軸方向、殻高軸方向におしつけられた場合について描いた。また、北海道で使用されている標準的な噴射式桁網のつめの形状について測定した結果も併せて示した。つめの形状はつめに接触した貝が殻幅軸方向、殻高軸方向におしつけられた場合とでは若干異なる結果を得た。これは貝の方向によってつめによっておしつけられ移動するときの水平抗力が異なってくるためである。従って、噴射式桁網のつめに形状を検討するに当たっては水平抗力が最も小さくなる方向、すなわち殻高軸に垂直な方向について考えれば良いことになる。つめの深さ D_0 が 7 cm より深い部分では実測したつめの曲線形状と計算で求めた形状とは良く一致している。しかし、それより浅い部分では異なっており、実測値より計算値の方が変化率は小さくなっている。これは噴射式桁網では、砂面近くまで持ち上げられて砂面より露出したウバガイは噴射された水によって強制的に袋網へと運ばれることを考えてこのような形状にしたものと理解される。しかし、使用されている噴射式桁網のつめの全長は約 55 cm であるので、つめの先端から水平距離 47 cm の所でつめが砂面と漸近するような緩やかな曲線形状に、すな

わち円滑に貝を袋網へと移動させるためには砂面から 5 cm からは殻幅軸について計算した曲線にはほぼ一致させた形状にすることが望ましいものと判断できる。

一般に操業されているウバガイ噴射式桁網の曳網速度は通常約 4~5 cm/s である。殻長軸に垂直な抗力 $f(L, D)$ 、水平抗力 $F(L, D)$ は曳網速度によって変化してくるが、垂直抗力と水平抗力との比は近似的に一定と考えられるので、(4) 式によってつめ角度を求め、つめの形状を求める際には曳網速度はほとんど影響しないものとして、測定し易い速度約 2.5 cm/s で行った。しかし、破損貝について検討する場合にはつめによって貝がおしつけられる水平抗力が問題となってくる。従って、曳網速度とこの抗力との関係について急いで測定し、適正な曳網速度についても今後併せて検討する必要がある。

文 献

- 1) 梨本勝昭, 小島隆人, 平石智徳: 日水誌, **54**, 959-964 (1988).
- 2) 梨本勝昭, 小島隆人, 佐藤 修: 北大水産彙報, **37**, 171-180 (1986).