源式網の漁具性能に関する研究—I

源式網の運動

松田 皎・増田 親

(1976 年 1 月 12 日受理)

Studies on the Catching Efficiency of the Gensiki-Ami, a Bottom Drift Net—I
Motion of Gensiki-Ami*¹Ko MATUDA*² and Chikashi MASUDA*³

In order to explain the mechanical characters of motion of the Gensiki-ami, a kind of bottom drift net for catching shrimps, field experiments with underwater observations by divers were carried out in Mikawa Bay in the summer of 1974. From results of the experiments and dimensional analysis an experimental formula for relative speed of the gear V was derived, namely:

$$V = U - v = 0.8 \mu W / \sqrt{lkB}$$

where U is the speed of the tidal current, v drifting speed of the gear, μ frictional coefficient of sinker side against sea bed, W apparent weight of sinker side in water, l depth of the gear, k drag coefficient of web, and B buoyancy of the float side. It was found that on a uniform bottom material the relative speed of gear is kept constant irrespective of the speed of the tidal current as far as the gear drifts. On the problem that the gear shortens horizontally when drifting, it was explained theoretically that the relative speed is unchanged by shortening of the gear.

源式網は浅海において潮汐流を利用して、主としてクルマエビを捕獲する一種の底流網である。この漁業は以前は有明海、瀬戸内海など潮流の発達する沿岸海域ではかなり行なわれていた模様であるが、現在では、わずかに伊勢湾周辺で行なわれているにすぎない。

王¹⁾は 1930 年代有明海で使用されていた源式網の模型実験の結果とともに当時の漁具および操業の様態を報告している。それによれば、当時の源式網は現在三河湾等で使用されているものと比較すると、Table 1 に示すように、網の構造、材質、操業状態等あらゆる点で、大きな差がみられる。この漁具は、網の移動速度、網成りと漁獲とが密接に関係していると言われており、彼¹⁾はその当時潮流の速さに応じて浮子、沈子を着脱して網の流れる速さ、網高さを調節していたと報告している。

源式網の網速度、網成りは、潮流の速さばかりでなく、漁具の設計、漁具材料、底質の状態等によつても大きく変化すると考えられる。源式網の漁獲性能に関する一連の研究において、漁場の水理環境条件に適した理想的な漁具を設計するために、まず源式網の運動の力学的特性を明らかにする必要がある。ここでは、現場における漁具の運動を観察し、網速度、網高さが潮の速さ、底質の状態、浮子の量によつて、いかに変化するかを知るために、1974 年 8 月から 10 月にかけて、三河湾口付近の源式網漁場において、現場実験を行ない、その結果について若干の考察を加えた。

*¹ 本研究の概要は昭和 50 年度日本水産学会年会（東京）で発表した。

*² 京都大学農学部水産学教室 (Dept. Fish., Fac. Agri., Kyoto Univ., Kyoto, Japan)

現勤務先 東京水産大学 (Present adress: Tokyo Univ. of Fish., Minato-ku Tokyo, Japan)

*³ 愛知県水産試験場 (Aichi Pref. Fish. Exp. Station, Gamagori, Aichi, Japan)

Table 1. Comparison of Gensiki-ami used in Ariake Sea in 1930's and in Mikawa Bay at present

	Ariake Sea in 1930's	Mikawa Bay at present
Length of net (m)	164	262
Depth of net (m)	0.9	4.6
Depth of bag-net (m)	0.7	0.6
Mesh size in stretched measure (cm)	2.5	1.8~3.5
Materials of net twine	cotton	nylon
Twine diameter (mm)	0.52	0.45~0.65
Materials of floats	wood	synthetic resin
Buoyancy of floats (g/m)	110	73
Weight of sinker in water (g/m)	120	194
Friction coefficient of sinker (—)	?	1.0~1.5
Drifting speed of gear (m/sec)	0.6~1.5	<0.5
Distance of drift (m)	750~1820	200~250
Duration of drift (min)	20	5~10
Height of net (m)	0.2~0.5	2~5

実験の材料および方法

漁具 実験の材料として取上げた漁具は、現在三河湾周辺で使用されているもので、Fig. 1 にその操網中の概略を、また Fig. 2 および Table 2 にそれぞれ配置図および仕様を示す。

この実験には、1/2 縮尺網、実物網および、袋網の改良のため新たに設計した改良網の三種類を用い、それらを用いた実験を、それぞれ実験 I, II, III とした。

実験 I. Table 1 にも示したように現在三河湾周辺で用いられている 源式網の長さは約 260 m、網丈は 4.6 m であるが実際操作中には網が水平に短縮し網丈は 6~7 m にも及ぶことが考えられる。操業中の網成り、運動を水中で全体として把えるために、実物の 1/2 縮尺の網を作成した。しかし網長さは 37.5 m で縮尺比は 1/7 としたがこれは、現場において広い範囲で様な流れを要求できないこと、および網成りを網の鉛直断面で 2 次元的に見る場合、必ずしも鉛直と水平の縮尺比を同一にする必要はない²⁾ ことによる。1/2 縮尺網は KAWAKAMI³⁾ の縮尺比が水平と鉛直方向で異なる場合の相似則にもとづいて作成した。網地に実物と同一のものを用いたため $D'=D$, $\rho'=\rho$, $\rho_w'=\rho_w$ より速度比 V は

$$V = \sqrt{\frac{D'(\rho' - \rho_w')}{D(\rho - \rho_w)}} = 1.$$

Fig. 1. Schematic diagram of Gensiki-ami used in Mikawa Bay when drifting.

ここで D は網糸の直径, ρ は網糸の比重, ρ_w は水の比重, ' 記号は模型を示す。よつて浮子方の浮力, 沈子方の沈降力は鉛直方向の張力比 T_0'/T_0 。

$$\frac{T_v'}{T_v} = A_v V^2 = \frac{1}{2}$$

Fig. 3. Chart showing experimental areas in Mikawa Bay. Main experiment was made in Circle A and the measurement of friction of sinker side in Circle B. Hatched area shows fishing grounds of Gensiki-ami fishery.

きるだけ水深は浅いこと、源式網は潮流を利用することから潮流はできるだけ一様であること、沈子網は海底に接地しながら移動することから海底はできるだけ平坦で地質も一様であること等に留意して漁場を選定した。選定した漁場は Fig. 3 の円 A で囲んだ三河湾口渥美半島寄りの海域、(愛知県渥美町小中山地先西ノ浜漁場 $34^{\circ}8.8'N$, $137^{\circ}3.5'E$ 付近) で、源式網の好漁場とされている。実験が行なわれた海域は岸からほぼ 300 m までの水深 10 m 以浅の砂または砂泥質で、沖に向つてゆるやかな傾斜をもっている。この海域の底質は深度によりほぼ 3 種類に分けられる。水深 4 m 距岸約 100 m までは砂の表面数 cm が生物群落(主としてホトトギス貝)で覆われ、いわゆるぬた状になつていて、網の接地抵抗の特に大きな海域である。これを α 区とした。それ以深は 6 m 深(距岸 200 m)までは表面に砂紋のある軟かい砂質で、比較的接地抵抗の小さい海域で、これを β 区とした。それ以深は砂紋もない平坦な砂泥質で、これを γ 区とした。

各実験に用いた漁具の網丈、浮子方浮力、沈子方水中重量と底質との組合せを Table 3 に示す。

網の移動速度、網高さの測定ならびに網各部の水中写真は専門の潜水士によつて行なわれた。同時に操網中における潮流の鉛直分布を測定した。また別に後の解析のために、実験に用いた網地の流体抵抗、沈子方の接地摩擦抵抗を測定した。

漁具測定と実験の結果

網の移動速度と網高さ 網の移動速度および網高さは専門の潜水士 2 人によつて測定された。網を潮流に直角に投入し、運動がほぼ安定した後、一人の潜水士が長さ 3.5 m の検尺棒を網の前方に網に直角に砂に半ば埋めるように置き、他方がストップウォッチで網すそが棒の上を 3 m 移動する時間を測定、終るとすぐその検尺棒で網高さ(浮子方から浮子と海底との距離)を測定した。各実験でこれを 5 回繰返した。Table 3 に、それらの平均値および標準偏差を示した。ただし No. I-4 は 1 回測定した後、網が障害物にかかったため 1 回目の測定値のみを示した。

潮流の流向流速 網を潮流に、したがつて海岸線にも、ほぼ直角に投網した後、船を網の直ぐ上流側のほぼ中央部に錨止めし、インベラ型流向流速計を用いて、表面から海底まで 1 m 間隔で流向、流速を測定した。流速の鉛直分布は Fig. 4 に示すように、表層または表層付近に山をもつ形が多く観測された。

Table 3. Results of underwater measurement (drifting speed and height of net) and tidal current

Exp. No.	Drifting speed of net		Height of net		Current speed	Relative speed of net
	v (cm/sec)	σ	h (m)	σ	U (cm/sec)	V (cm/sec)
I- 1	1.8	0.36	1.47	0.30	16.2	14.4
2	7.6	0.91	1.76	0.11	18.4	10.8
3	5.1	0.67	0.88	0.20	25.0	19.9
4	4.8	—	0.86	0.27	27.3	22.5
5	8.2	2.06	1.14	0.17	23.1	14.9
6	15.1	1.20	1.54	0.05	15.4	0.3
7	6.0	0.54	0.70	0.07	24.3	18.3
8	15.1	1.20	1.08	0.11	25.2	10.1
9	24.4	2.21	1.56	0.05	20.7	-3.7
10	15.6	0.99	0.73	0.05	27.4	11.8
11	6.2	0.83	1.44	0.05	18.9	12.7
II- 1	9.1	1.21	2.68	0.08	20.9	11.8
2	18.8	1.90	2.42	0.04	25.6	6.8
3	13.7	1.19	2.54	0.38	31.0	17.3
III- 1	17.1	1.13	2.86	0.13	31.2	14.1
2	23.9	1.05	3.32	0.11	32.5	8.7
3	22.4	0.90	4.86	0.22	32.0	9.6
4	5.6	0.35	2.42	0.04	14.1	8.6

Fig. 4. Examples of vertical distribution of tidal current measured in situ.

網の運動の解析のために流速を何かの代表値で表わす必要がある。源式網の場合、網の推進力はほぼ流速の平方に比例するところから、代表値として海底から網丈の高さまでの流速の平方平均値

$$U = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i^2}$$

を用いた。ここで u_i はある深さの流速の観測値、 n は底から網丈高さまでに含まれる測点の数である。網丈は実物網では 4.6 m、1/2 縮尺網では 2.3 m としたが、観測時の水深がそれ以下の場合は表面までをその範囲とした。流向は実験の間ほぼ海岸線に平行に保たれたため、これを考慮しなかつた、得られた平均流速を、Table 3 に示す。潮流の流速と網の移動速度との差すなわち相対速度は網の実質的な推進力となる

Fig. 5. Relation between friction and apparent weight of sinker side in water measured in downstream of Yahagi River, which is shown by Circle B in Fig. 3.

もので、これと同じ Table に示した。しかし例えば実験 I-9 のようにこの値が負になる場合が出て来た。網が潮流より早く流れるということは明らかに不合理である。網の速度については測定方法からみて誤差は余り考えられない。一方、潮流の強い場合など投網直後に測流を始めても終る頃には網は 200 m 余りも流されている場合がある。潮の強さは時間的にも変化しているため、そのような影響が現れたのではないかと考えられる。

網地の流体抵抗 身網（上網，中網，下網）および袋網の単位面積当り抵抗係数の値を直接測定によつて求めた。直径 5 mm, 1 m 四方のステンレス棒枠に上記の網地をそれぞれ仕立通りの縮結で張り、自由落下法により抵抗を測定した。実験は三谷港内の静かな場所を選んで行なつた。抵抗は落下速度 20 cm/sec 以上ではほぼ 2 乗に比例している。抵抗を R 、面積を S としたとき抵抗係数を $k=R/Sv^2$ から計算すると、得られた上，中，下，袋網の値はそれぞれ 7.7, 10.0, 11.4, 10.4 ($\text{kg}\cdot\text{sec}^2/\text{m}^4$) となつた。

沈子網の接地摩擦抵抗 源式網のように、海底に接触しながら移動する漁具は接地摩擦の運動に及ぼす影響が大きいため、前述の α , β 区における沈子網の接地摩擦抵抗を測定した。この測定は本実験を行なつた現場では水深が深すぎるため、現場の状態に類似

Table 4. Data of experimental conditions of the gear

Exp. No.	Depth of net l (m)	Buoyancy of floats B (kg/m)	Drag coeff. of float side b ($\text{kg}\cdot\text{sec}^2/\text{m}^3$)	Weight of sinker in water W_s (kg/m)	Total weight of sinker side in water W (kg/m)	Field region	Friction coeff. of sinker side
I- 1	2.3	0.0593	0.640	0.100	0.134	α	1.5
2	"	"	"	"	"	β	1.1
3	"	0.0396	0.552	"	"	β	"
4	"	"	"	"	0.101	α	1.5
5	"	"	"	0.0677	0.101	α	"
6	"	"	"	"	"	β	1.1
7	"	0.0264	0.495	"	"	α	1.5
8	"	"	"	"	"	β	1.1
9	"	"	"	0.0444	0.078	β	"
10	"	"	"	"	"	α	1.5
11	"	"	"	"	"	α	"
II- 1	4.6	0.0732	0.833	0.126	0.194	α	"
2	"	"	"	"	"	β	1.1
3	"	"	"	"	"	γ	—
III- 1	"	"	"	"	"	α	1.5
2	"	"	"	"	"	β	1.1
3	"	"	"	"	"	γ	—
4	"	"	"	"	"	α	1.5

の底質を矢作川下流付近 (Fig. 3 円B内) の水深 40~50 cm の浅処に求めて行なつた。まず縮尺網と同一のものを 1 m 幅だけ作成、浮子方に 1 m の手木を取付けた。測定は後方からゆるい流れを受け、それとはほぼ同一の速度で水平に引張りそのときの接地抵抗をバネ秤で測定した。実験は沈子の水中重量を α 区、 β 区ともそれぞれ単位長さ当り 100.0, 66.7, 44.4 g/m に変えて行なつた。

摩擦係数 μ を計算するために、接地抵抗 F は

$$F = \mu W = \mu(W_s + W_r)$$

で表わされると仮定した。ここに、 W_s は沈子の、 W_r は沈子網および沈子ずれ等の沈子以外の水中重量である。この 1/2 縮尺網の場合、 $W_r = 34$ g/m とおくと、接地抵抗は Fig. 5 に示すように、両区とも原点を通る直線とみなせる。得られた摩擦係数は α 区で 1.5, β 区で 1.1 となつた。

α 区における μ の値は一般の場合よりかなり大きな値を示しているようであるが、これは沈子ずれ (沈子および沈子網を包み込んでいるナイロンの古網の束で、この海域の漁業者にはこれが漁獲効果を増すと信じられている) が α 区に群生する貝類または貝殻等の微小な障害にかかりながら運動するためと考えられる。なお実物網では W_r の値を 68 g/m として計算した。また γ 区に相当する底質が得られなかつたが μ の値は β 区よりも多少小さいものと考えられる。

その他浮子浮力 (B)、および沈子の沈降力 (W_s) は現場において直接バネ秤を用いて測定したが、浮子方にかかる流体抵抗 (bV^2) は浮子および浮子網を円柱とみなして計算により求めた。

以上の各数値は実験別に Table 4 に示した。

理論的考察

源式網の力学的解析は田内* が王¹⁾ の行なつた模型実験の結果を基に、また角田²⁾ は源式網と類似のキス底流網の解析を試みている。いずれの場合も取扱いは 2 次的で、前者は浮子における流れに対する網の傾きが 90° 、すなわち浮力が無限に大きいかまたは網の相対速度が 0 の場合を仮定して解析を始めており、また後者は網地の湾曲が小さく円弧で近似できるような場合を想定し、相対速度が既知として解析している。

今回の実験の結果からみると、浮子における網の傾きは浮力 (B) と浮子方にかかる流体抵抗 (bV^2) の大きさに応じて変化し、 80° 前後の場合が多く、特に相対速度 (V) が大きいと 45° 程度になることもあり、前者のように一律にこれを 90° と仮定することはできないし、またこの網の傾きから相対速度を出そうとする本研究の意味がなくなる。一方網成りも水中写真から判断すると、網丈が前 2 者の数倍あることから、必ずしも後者のように単一の円弧で近似できないようである。

研究の対象としている物理現象がいかなる因子にいかなる形で影響されているかを知る目的において次元解析による方法は、解析的に解けない微分方程式から始めるより、問題を解決する早道である。⁴⁻⁶⁾ ここでは網の移動速度がいかなる因子にいかなる形で依在しているかを知る目的で次元解析を試みる。

源式網は網にかかる流体抵抗によつて推進され、これに抗して沈子方の接地摩擦抵抗が働いて網の運動がおさえられている。この網にかかる推進力と沈子方の接地抵抗とが丁度バランスするような流速が存在するが、ここではこれを限界流速と呼ぶことにする。潮流がこの限界流速より小さければ網は流れないし、またわずかでも大きければ網は移動を始める。

網が一定速度 v で運動している場合を考えると、単位長さ当り網にかかる流体抵抗はまず相対速度 V

$$V = U - v \quad (1)$$

に依存し、さらに網丈 l 、網地の抵抗係数 k 、浮子方にかかる抵抗係数 b および網の流れに対する角度に依存するであろう。最後の網の傾きは、漁具の仕立とは直接には関係しないので、その代りに最も関係するものとして浮子の浮力 B があげられる。一方沈子方の接地抵抗としては沈子方 (沈子、沈子網および沈子ずれ等) の水中重量 W および沈子方と海底との間の接地摩擦係数 μ があげられる。この外に網の形に影響

* 田内森三郎:「漁具物理学」東京水産大学講義プリント p. 82-85, 1955.

Table 5. Unit and dimension of elements for dimensional analysis

	Notation	Unit	Dimension
Relative velocity	V	m/sec	LT^{-1}
Depth of net	l	m	L
Buoyancy of floats	B	kg/m	MT^{-2}
Drag coeff. of web	k	$kg \cdot sec^2/m^4$	ML^{-3}
Drag coeff. of floats and float lines	b	$kg \cdot sec^2/m^3$	ML^{-2}
Friction between sinker and sea bed	F	kg/m	MT^{-2}

するものとして網の水中重量が考えられるが、この場合は極めて海水の比重に近いナイロンを用いるためここではこれを考慮しなかつた。

以上のことから相対速度 V は、接地抵抗を $F = \mu W$ で表わせば、 l , B , k , b , および F に依存すると考えられ、これらの間の関係を

$$V = f(l, B, k, b, F) \quad (2)$$

とし、これを

$$V = cl^\alpha B^\beta k^\gamma b^\delta F^\epsilon \quad (3)$$

と置いて両辺の次元を比較する。これらの要素の単位および次元は Table 5 に示す通りである。これら各要素の次元を (3) 式に代入した次元方程式は

$$[LT^{-1}] = [L]^\alpha [MT^{-2}]^\beta [ML^{-3}]^\gamma [ML^{-2}]^\delta [ML^{-2}]^\epsilon \quad (4)$$

これより

$$[M] \quad 0 = \beta + \gamma + \delta + \epsilon$$

$$[L] \quad 1 = \alpha - 3\gamma - 2\delta$$

$$[T] \quad -1 = -2\beta - 2\epsilon$$

未知数 5 個に対し方程式は 3 個で解は一義的には定まらない。しかし、これらを解いて得られる $\gamma = \alpha$, $\beta = (1/2) - \epsilon$, $\delta = -\alpha - (1/2)$ の諸関係を (3) 式に代入すれば

$$V = c \left(\frac{lk}{b} \right)^\alpha \left(\frac{F}{B} \right)^\epsilon \left(\frac{B}{b} \right)^{1/2} \quad (5)$$

または

$$V \sqrt{\frac{b}{B}} = c \left(\frac{lk}{b} \right)^\alpha \left(\frac{F}{B} \right)^\epsilon \quad (6)$$

を得る。ここで α と ϵ は任意であり、その間にはなんの拘束もないから、一般に

$$V = \phi \left(\frac{lk}{b}, \frac{F}{B} \right) \cdot \sqrt{\frac{B}{b}} \quad (7)$$

と書ける。

ここで (6) 式左辺の平方 bV^2/B は、浮子方における網地の流れに対する角を θ_2 とすると、その余接 $\cot \theta_2$ を意味する。さらに右辺のパラメータ lk/b は単位長さの網地にかかる流体抵抗 (lkV^2) と浮子方にかかる抵抗 (bV^2) との比を、また F/B は摩擦抵抗と浮力との比を表わし、いずれも無次元量である。

解析の結果

以上の解析で得られた各パラメータの値を今回の実験をもとに計算した結果が Table 6 である。ただここでは測定バラツキを少くすため、各実験において漁具の仕様と底質の組合せが一致したものは同一とみ

なして平均値で表わした。実験Ⅰでは No. 10 と 11 を No. 10' で、また実験Ⅱ, Ⅲの実物網実験では α 区で行なつた実験を F-1, β 区と γ 区では μ がほぼ等しいとみなしてこれらをまとめて F-2 で示した。

(6) 式より, lk/b をパラメータとして $V\sqrt{b/B}$ を F/B に対してプロットしたのが Fig. 6 である。仔細に見れば, $V\sqrt{b/B}$ は F/B と共に増大し, 逆に lk/b と共に減少している。 lk/b による影響を除くため, $V\sqrt{lk/B}$ を F/B に対しプロットすると, Fig. 7 に示すように, 多少のバラツキを許せば点はほぼ原点を通る直線の周りに落ちる。ただし, ここでは相対速度 V が負または極めて 0 に近い値を示した実験 No. 1-6 および No. 1-9 は明らかな測定ミスとしてこれらを除外した。最小自乗法で勾配を決めると, 相関係数 0.8 で回帰

Table 6. Numerical values of parameters and comparison of observed and calculated values from Eq. (8) for the relative speed of net

Exp. No.	lk/b	F/B	$V\sqrt{b/B}$	$V\sqrt{lk/B}$	V_{obs}	V_{cal}
I- 1	27.7	3.41	0.473	2.49	14.4	15.7
2	"	2.50	0.355	1.87	10.8	11.5
3	32.1	3.69	0.743	4.21	19.9	14.1
4	"	5.03	0.840	4.76	22.5	19.2
5	"	3.79	0.556	3.15	14.9	14.5
6	"	2.78	0.011	0.06	0.3	10.6
7	35.8	5.83	0.792	4.74	18.3	17.8
8	"	4.28	0.437	2.62	10.1	13.0
9	"	3.30	-0.160	-0.96	-3.7	10.0
10'	"	4.50	0.533	3.19	12.3	13.7
F- 1	42.5	3.99	0.387	2.53	11.5	14.4
2	"	2.92	0.356	2.32	10.6	10.6

Fig. 6. Relation between F/B and $V\sqrt{b/B}$.

Fig. 7. Relation between F/B and $V\sqrt{lk/B}$. Straight line shows a regression line.

直線 $V\sqrt{lk/B}=0.8 F/B$ を得た。これよりこの実験の範囲では, 相対速度 V は式

$$V = \frac{4\mu W}{5\sqrt{lk/B}} \quad (8)$$

で近似される。これは式 (6) において $c=4/5$, $\alpha=-1/2$, $\epsilon=1$ に相当する。

以上の結果より網の移動速度は (1) および (8) 式より

$$v = U - \frac{4\mu W}{5\sqrt{lk/B}} \quad (9)$$

これより網の移動速度は, 流速から, 流速には依らないある一定数を差引いたものに等しいと言うことがで

きる。いま網を流れに直角に入れたとき、流速がある程度低いと浮子方が傾斜するだけで網自体は移動しないが、ある流速に達すると移動を始める。このときの流速、すなわち限界流速は (9) 式で $v=0$ としたときの値、すなわち $0.8 \mu W / \sqrt{lkB}$ に等しい。したがって限界流速は相対速度に等しい。このことは、網が一旦移動を始めたら流速の大きさには無関係に、相対速度が一定に保たれることを意味する。

この関係は先にあげた王¹⁾の水槽実験の結果からも説明することができる。彼の実験によると、網の移動速度は流速のある値までは 0 で、その値を超えると流速に対しほぼ 45° の直線にそって増大している。これは (9) 式によつて説明することができる。一方網高さは網の移動が始まる点までは急激に減少するが、それを超えるとほぼ一定の値を示している。網が移動を始めるまでは網の相対速度は流速に等しく、そのため流速が増大すると浮子方がそれに応じて低くなるが、網が移動を始めたら網高さが一定に保たれるということとは、相対速度が一定となっていることを意味し、これは (8) 式を支持するものである。

操業時の網長さの短縮の問題

Fig. 8. Underwater photograph taken from back of the gear drifting in Exp. III-2.

流網、源式網など両端が自由になっている帯状漁具は操網中必ずしも仕立通りの網長さ、網丈にはなっていない。一般にこのような漁具では、網長さが短縮し、そのため網丈は仕立より深くなり勝ちである。

Fig. 8 は今回の実験で得られた水中写真で、網の背後上流より浮子方付近を撮影したものである。これから操網中の網の短縮する割合を計算すると

$$\begin{aligned} \text{短縮率} &= \frac{(\text{浮子間隔}) + (\text{浮子長さ})}{(\text{両浮子間の浮子網長さ}) + (\text{浮子長さ})} \\ &= \frac{41 + 14}{57 + 14} = 0.75 \end{aligned}$$

となり、操網中は仕立より約 25% 短縮していることがうかがえる。実質的な縮結について考えると、上網については仕立では 10% であるから、短縮の結果全体として、 $1 - (1 - 0.1)(1 - 0.25) = 0.325$ 。すなわちこれは実質的には 32.5% 縮結が入った状態と考えられる。一方目の開きからみると、縮結 32.5% より、脚の縮結角 φ は $\cos^{-1}(1 - 0.325) = 47.5^\circ$ となり、写真からの読取値 48° とほぼ一致する。

今仮に網長さが仕立より 25% 短縮しているとすると、身網各部の実質の縮結は、上・中網は 32.5%、下網は 38.2% となり、これで網丈を計算すると、実物網で 7.6 m となり、実に仕立時 (4.6 m) の 65% 増しとなる。

以上は一枚の写真から推定した網の短縮の割合であるが、一般に源式網は両端が自由になっているところから、短縮の割合は網の両端に近いほど大きいであろう。したがって、全体的には網の全長が短いほど短縮の割合が大きくなることが考えられる。上に推定した短縮率がかなり大きな値を示したのもこのためと考えられる。

ここでひとつ問題となるのは、今回の解析で用いた l, k, B, b, F はすべて仕立時の値を用いている。網が短縮すれば、単位長さ当りの力 (浮力、沈子重量等)、網丈から網地の抵抗係数までそれに応じて変ってくることは明らかである。

いま仕立時の縮結角 φ が短縮時 φ' (以後短縮時の値に ' 記号をつける) になつたと仮定する。全体の網長さの比を p とすると

$$p = \frac{\text{仕立上の網長さ}}{\text{短縮時の網長さ}} = \frac{\cos \varphi}{\cos \varphi'}$$

網丈の比を q とすると

$$q = \frac{\text{仕立上の網丈}}{\text{短縮時の網丈}} = \frac{l}{l'} = \frac{\sin \varphi}{\sin \varphi'}$$

水平方向の単位長さ当りの張力 $T(B, W, bV^2$ など) の比は

$$\frac{T}{T'} = \frac{\cos \varphi}{\cos \varphi'} = p.$$

網地にかかる単位面積当りの力 K (例えば網地の抵抗, 水中重量など) の比は, TAUTI⁸⁾ の網地の抵抗法則, IITAKA⁹⁾ の網地の水中重量の式における結節の影響を無視すると

$$\frac{K'}{K} = \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{\sin \varphi' \cos \varphi'} = pq.$$

ここで, 今回の解析に現れたパラメータに以上の関係を用いると

$$\frac{l'k'}{b'} = \frac{(l/q) \cdot pqk}{pb} = \frac{lk}{b}, \quad (10)$$

$$\frac{F'}{B'} = \frac{pF}{pB} = \frac{F}{B}, \quad (11)$$

$$\frac{B'}{b'} = \frac{pB}{pb} = \frac{B}{b} \quad (12)$$

となり結局, 操業中網が短縮してもパラメータの値自体は変化がないことがわかる。このことは, 操業中網が水平的に短縮して, 見掛上単位長さ当りの浮子方浮力, 沈子方沈降力, 網地の抵抗係数が変わっても, (7) 式における各パラメータの値は変わらないので, それらの関数である相対速度の値も一定に保たれることを意味している。ここで注意すべきは, (11) 式において F の代りに μW を用いると $\mu' W'/B' = \mu W/B$ で, これが成立するためには $\mu' = \mu$ であることが必要となることである。すなわち上の論議が成立するためには, 網の短縮の前後において, 海底の底質が一定であることが必要となる。

要 約

源式網の運動の機構を明らかにする目的で, 浅海において潜水観察による野外操業実験を行ない次の結果を得た。

1. 網の運動に及ぼす要因として流速, 網丈, 網地の抵抗係数, 浮子方浮力, 浮子方抵抗係数, 沈子方沈降力, 接地摩擦係数が考えられ, 次元解析の結果, 網の相対速度に対する式 (7) を得た。
2. 今回の実験結果を用いて, 相対速度に対す実験式 (8) を得た。これより, 網の相対速度は接地抵抗に比例し, 網の流体抵抗および浮子浮力の平方根に逆比例することがわかった。
3. 網の動運速度は (9) 式で近似できる。流速を一定とすると網の速度は, 沈子方の接地抵抗が減少するとともに直線的に増大し, これが 0 になったとき流速に一致する。また網速度は網丈, 網地抵抗係数および浮子浮力の増大とともに増加し, 漸近的に流速に近づき, いずれかが無限に大きくなつたとき始めて流速に一致する。
4. 網が移動し始めるときの流速 (限界流速) は相対速度に等しく, 網が一旦移動を始めたら, 相対速度は, 流速の大きさに関係なく, 一定に保たれる。以上の関係は, 別に行なわれた水槽実験の結果をよく説明できた。
5. 源式網のように両端が自由になっている網は操業中に短縮するが, この網の短縮の前後で相対速度は変わらず, また相対速度の実験式の計算に, 仕立時の値が使えることを理論的に確かめた。

本研究を遂行するにあたり, 深いご理解とご援助をたまわつた京都大学名誉教授川上太左英博士に深く謝意を表するとともに, 実験に際し技術的援助, ご協力をいただいた協和潜水工業所岡村幸真氏に厚く感謝する。

文 献

- 1) 王 貽観: 本誌, **5**, 369-371 (1936).
- 2) K. MATUDA and T. KAWAKAMI: 同誌, **34**, 23-28 (1968).
- 3) T. KAWAKAMI: in "Modern Fishing Gear of the World" Vol. **2**, Fishing News (Books), London, 1964, pp. 471-482.
- 4) 福本正人: 物理学の次元解析学, 三省堂, 東京, 1940, pp. 1-202.
- 5) 坪井忠二: 新物理学講座, B-1, ダイヤモンド社, 東京, 1963, pp. 31-39.
- 6) 板谷松樹: 水力学, 朝倉書店, 東京, 1966, pp. 178-184.
- 7) 角田俊平: 広島大学水畜産学部紀要, **9**, 1-55 (1970).
- 8) M. TAUTI: 本誌, **3**, 1-4 (1934).
- 9) Y. IITAKA: 同誌, **24**, 620-624 (1958).