

## 空中垂下法によるグランドロープ形状の検討

不破 茂, 桜井広光, 今井健彦, 石崎宗周, 金 碩鍾, 洪 性完

### Considerations on a Shape of Groundrope obtained by Mechanical Simulation

Shigeru Fuwa<sup>\*1</sup>, Hiromitsu Sakurai<sup>\*2</sup>, Takehiko Imai<sup>\*1</sup>,  
Munehika Ishizaki<sup>\*1</sup>, Suk Jong Kim<sup>\*3</sup> and Seong Wan Hong<sup>\*4</sup>

*Keywords* : Groundrope, Mechanical simulation, Model net, Trawl

#### Abstract

This study deals with the shape of groundrope under the towing condition of bottom trawl net. The shape of groundrope depends on an equilibrium of three forces: fluid-dynamic resistance of netting, fluid-dynamic resistance of the groundrope and sliding frictional force against the sea bottom. It was assumed that the groundrope consisted of a connection of segments. The vertical, horizontal and tangential components were considered to be in equilibrium acting on the segment. The horizontal component acting on each segment of the groundrope was constant at any part. The spread of wing's end was fixed beforehand. The vertical component, acting on each segment of the groundrope, was calculated based on the relative ratio of netting area which was connected to each part of groundrope of the whole netting area. The shape of groundrope was analyzed based on the distribution of vertical components of segment.

The model experiments were carried out using the method of mechanical simulation; and the model net was suspended on the vertical meshed board. The fluid-

---

\*1 鹿児島大学水産学部漁具学研究室 (Laboratory of Fishing Gear Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 50-20 Shimoarata 4, Kagoshima, 890 Japan)

\*2 ニチモウ株式会社 (Nichimo Co. Ltd., 6-2 Ohtemachi 2, Chiyoda, Tokyo, 100 Japan)

\*3 済州大学校海洋科学大学 (College of Ocean Science, Cheju National University, Ara-1 Dong, Cheju, 690-756 Korea)

\*4 鹿児島大学大学院連合農学研究科 (The United Graduate School of Agricultural Science, Kagoshima University, 21-24 Korimoto-1, Kagoshima, 890 Japan)

dynamical resistance of the net was simulated by equivalent weight secured at the end of lacing lines. The frictional forces was simulated by attaching equivalent to of the groundrope of the model net in water. And the shape of netting was simulated by rubber ballons fixed inside the trawl net. The shape of groundrope was expressed by the two dimensional coordinates using the grid of board with 2 cm scale.

A close agreement was obtained between the analytical and mechanical simulated values in the shape of groundrope.

魚類は移動するグランドロープによって駆集されて入網するが、この過程で魚種により種々の行動をすることが曳行時のトロール網の潜水観察<sup>1-3)</sup>から明らかにされている。漁具に対する魚群の行動を解析し、入網効率を推定する試みとして、底着性魚が曳行時のグランドロープに反応して逃避し駆集されて、入網する確率モデルを製作して、グランドロープの形状別に駆集性能を検討した結果<sup>4, 5)</sup>はすでに発表した。

底びき網が海底上を曳行されるとき、グランドロープには網地とグランドロープ自身の流体抵抗および、海底からうける力が作用してそれらの力の釣り合いによりある一定の形状が形成される。グランドロープの形状について不破<sup>6)</sup>はグランドロープの微小部分に作用する力の力学的関係からその形状を解析的に決定する方法を提示し、グランドロープに作用する力の分布からその形状を決定できることを報告した。

操業時のグランドロープの駆集性能について検討するためにはその形状を明らかにする必要があるが、底びき網が深い所で操作されるため直接測定は困難である。また水槽での模型実験によりグランドロープの形状を測定する方法があるが、回流水槽ではグランドロープに作用する接地抵抗を考慮できず、曳行水槽での実験は簡便でない等の問題点がある。グランドロープの形状を明らかにするためには多数の部位の測定が必要であるが、多くの測定を行う場合には水中より空中がはるかに容易である。空中での模型実験として刺網<sup>7)</sup>、底びき網の袋網<sup>8)</sup>、底びき網の綱具<sup>9)</sup>が報告されており、いずれも幾何学的に相似であり力学的条件が等しくなるように配慮されている。

この研究では上述した解析的方法とは別に空中において幾何学的に相似な模型漁具を使用して漁具の流体抵抗、および接地抵抗を重錘で代用した実験を行い、グランドロープ形状を解析的に決定する方法について検討した。

## 材料および方法

まず、予備実験として鹿児島大学大型回流水槽で模型網を水槽底に設置して袖先間隔はヘッドロープ長さの30-60%の範囲で10%ごとの4段階、曳網速度は2.0-4.5knotの範囲で0.5knotごとの6段階として各組み合わせについて、袖端からコッドエンドまでの6カ所について模型網の垂直および水平方向の拡がりおよび、流体抵抗を測定した。ここで得た実験結果を次に行った空中実験に使用した。実験に用いた漁具は一般的に使用されている6枚構成のトロール網の1/40縮小模型網であり、Tauti<sup>10)</sup>の方法に従って製作した。その設計図お

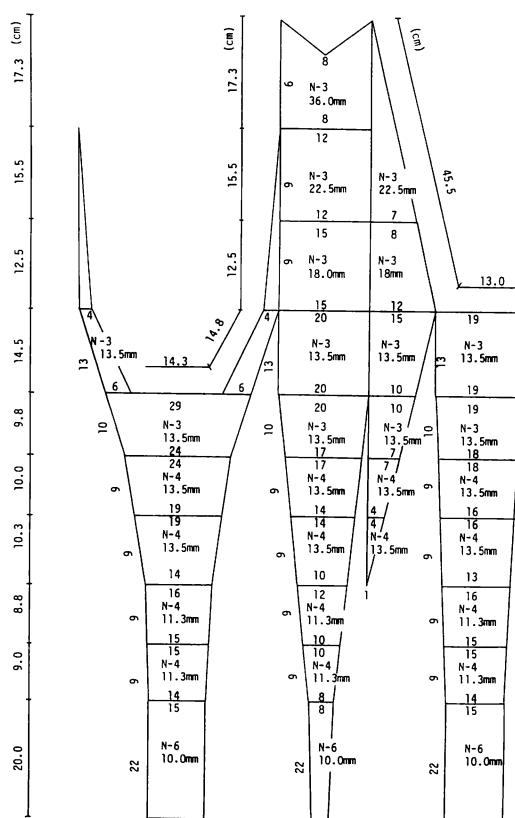


Fig. 1. Plan of trawl net used in experiments.

Table 1. Dimensions of experimental model net.

Headrope length	104.0 cm
Groundrope length	134.5 cm
Buoyancy of float	35.5 g
Sinking weight of sinker	152.7 g

よび、仕様の概要をFig. 1, Table 1に示す。グランドロープの重量は接地抵抗と密接な関係があり以下の方法で決定した。すなわち、大沢ら<sup>11)</sup>が提示した漁具抵抗の推算式を使用し、標準的な曳網速度(4.0knot)における模型網の漁具抵抗を計算した。操業時における底びき網の接地抵抗は全抵抗の約30-35%であり<sup>12, 13)</sup>、これらはグランドロープの各部分の重量に比例している。そこで接地抵抗係数を0.7として<sup>6)</sup>模型網のグランドロープ各部分の水中重量を計算した。グランドロープは柔軟性を維持するため、テトロン糸(0.5mm)をナイロントワイン(0.4mm)でせき巻きしたものを芯として、この重量を釣り用鉛に置き換えて実物漁具と同じ重量配分となるように取り付けた。

模型網を海底上で曳行した時、グランドロープには各部分の重量と重力に比例した接地抵抗と漁具の流体抵抗に相当する力が曳行方向と逆向きに作用して、これらの力の釣り合いで

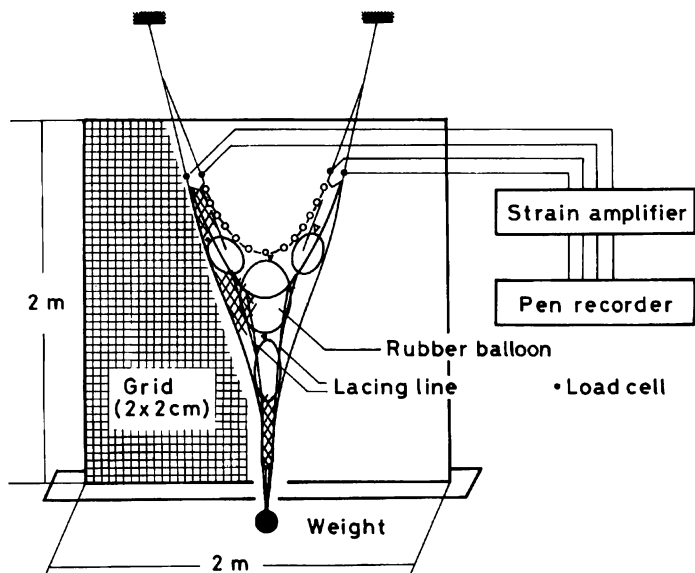


Fig. 2. Schematic drawing of experimental apparatus used in the mechanical simulation of groundrope shape in laboratory.

グランドロープは一定の形状となる。模型網を空中に垂下して海底上で曳行する場合と同じ形状に保ち、その時に受ける力に相当する力を与えると、この時模型網に作用する力の方向は等しく、グランドロープ微小部分での力の釣り合いも等しいと考えられる。そこで模型網を空中に垂下した場合と海底上で曳行した場合には幾何学的な相似、および力学的な相似が成り立つと考え、空中で実験を行って解析した。

空中実験では Fig. 2 に示すように、目盛板 (2 m × 2 m, 2 cm 方眼) の上方に装着した鉄アングルから模型網を空中に垂下してグランドロープ形状を測定した。袖先間隔はヘッドロープ長さの 30–60% の範囲で 10% ごとの 4 段階、曳網速度は 2.0–4.5 knot の範囲で 0.5 knot ごとの 6 段階とした。各組み合わせについて模型網の内部に大きさの異なる数個のゴム風船を挿入して、予備実験で得られた網成りと同一となるように整形し、コードエンド下方の筋縄の延長上にその時の流体抵抗に相当する重量の錘を垂下した。グランドロープには各部分の重量に比例した接地抵抗に相当する力と、漁具の流体抵抗に相当する力が筋縄を介して作用することになる。

このように模型網を空中で垂下した場合には、幾何学および、力学的な条件は水中で曳行した場合と同一と考えることができる。ここで目盛板上に 2 次元の座標系を設定し、グランドロープ上に設けた 12 個の測定点の座標を方眼目盛を使用して測読した。この時グランドロープは目盛板から約 1 cm 離れ、板面とはほぼ平行な状態であった。

解析的にグランドロープの形状を決定するため、グランドロープに作用する抗力の分布を求めた。この研究ではグランドロープの微小部分にはグランドロープ自身の流体抵抗と接地抵抗および、その部分に接続されている網地面積に比例した流体抵抗の合力の曳網方向成分 (抗力) が作用すると考えた。なお、グランドロープ形状は左右対称であることから、ここ

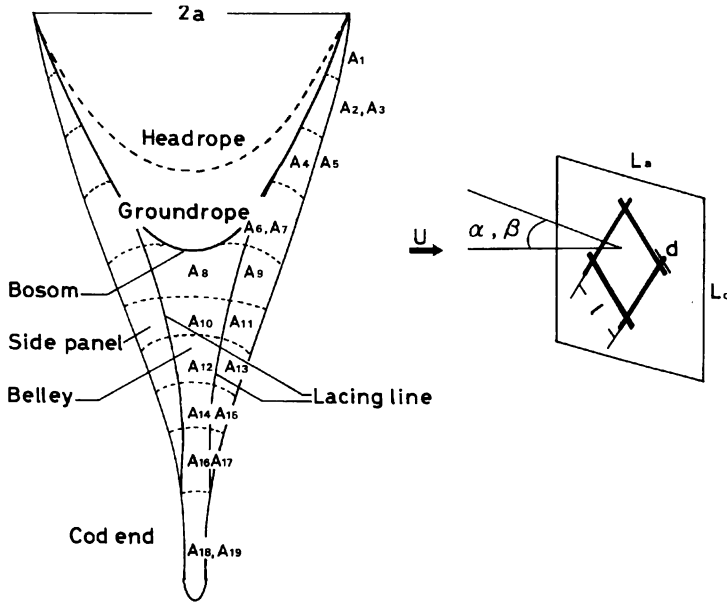


Fig. 3. Schematic drawing of the shape of model net under towing condition.

では右半分について解析を行って線対称として全体の形状を求めた。各微小部分に作用する網地の流体抵抗は、そこに接続している網地面積に比例するとして設計図に基づいて計算した値である。

グランドロープを設計図に基づき5個の小部分に分割した。それぞれの小部分に接続している袖網部分と袋網部分の網地も設計図に従って19個の網地面積に分割した。トロール網の抵抗は網糸直径と網目の脚の長さの比、網地の面積および、曳行速度の関数として表わされる<sup>14)</sup>ことが報告されており、本研究ではそれらに従って各網地ごとの流体抵抗を求めるために、各網地別に面積を求め、流れに対する射影面積に換算した。

袖網部分

$$A_j = L_o \cdot L_a \cdot (d/l) \sin \alpha \quad (1)$$

袋網部分

$$A_j = L_o \cdot L_a \cdot (d/l) \sin \beta \quad (2)$$

ただし、 $A_j$ : 網地面積

$L_o$ : 縮結がはいた網地長さ

$L_a$ : 縮結がはいた網地幅

$d$ : 網糸直径

$l$ : 網目の脚の長さ

$\alpha$ : 袖網部分の網地の流れに対する迎角

$\beta$ : 袋網部分の網地の流れに対する迎角

ここで迎角  $\alpha$ ,  $\beta$  は、網の側線形状は直線とみなせる<sup>15)</sup>ことから次式によって求めた。

$$\sin \alpha = WD/2l \quad (3)$$

$$\sin \beta = H_c/L_b \quad (4)$$

ただし,  $WD$ : 袖先間隔

$L_n$ : 模型網の袖先からコッドヘッドまでの長さ

$H_c$ : コッドヘッドの高さ

$L_b$ : ボソムからコッドヘッドまでの長さ

袖網と袋網部分の全射影面積は各網地の射影面積を積算したものととして次式で表わされる

$$S = \sum_{j=1}^{19} A_j \quad (5)$$

ここでグランドロープに作用する抗力はグランドロープ自身と網地の流体抵抗および、グランドロープの接地抵抗の和であり、空中垂下実験からグランドロープ側ペンダント張力の垂直成分として求められる。そこでグランドロープの各部分に作用する力はグランドロープに作用する抗力を、そこに接続する網地面積に応じて比例配分した値として求められる。先袖と中袖部分ではそこに接続している網地は、Fig. 3 に示すように曳行方向に対して1～2個であり、これらの部分に作用する力の比率は(6)～(8)式で表わされる。奥袖および、ボソム部分に接続する網地を明確に分割することは困難であり、この部分には均等に抗力が作用すると考えて(9)、(10)式で表わした。

$$\text{先 袖} \quad R_{gf} = A_1/S \quad (6)$$

$$\text{中袖 1} \quad R_{gm1} = (A_2 + A_3)/S \quad (7)$$

$$\text{中袖 2} \quad R_{gm2} = (A_4 + A_5)/S \quad (8)$$

$$\text{奥 袖} \quad R_{gh} = \frac{1}{2} \sum_{j=6}^{19} A_j/S \quad (9)$$

$$\text{ボソム} \quad R_{gb} = \frac{1}{2} \sum_{j=6}^{19} A_j/S \quad (10)$$

このようにしてグランドロープの各部分に作用する抗力が求まり、グランドロープの形状は解析的に決定することができる<sup>6)</sup>。

## 結果および考察

袖先間隔ごとのグランドロープの部分別に作用する抗力の比率を表したものがFig. 4である。グランドロープの部分別にみれば、作用する抗力はその大半が中央部分に集中しており、両端部に向かって漸減している。袖先間隔が拡がると中央部分に作用する力の比率はやや減少し、その他の部分が増加している。これは袖先間隔の拡大により袖網部分の網地の流れに対する迎角( $\alpha$ )が増大するのに対して、袋網部分の網地の流れに対する迎角( $\beta$ )はほとんど変化しないためである。また、曳行速度が変わった場合でもこれらの比率は変化しなかった。

前述の方法で得られた比率によってグランドロープの各部分ごとに作用する力を求め、解析的に決定したグランドロープの形状と実測結果を袖先間隔ごと、曳行速度別に整理して表

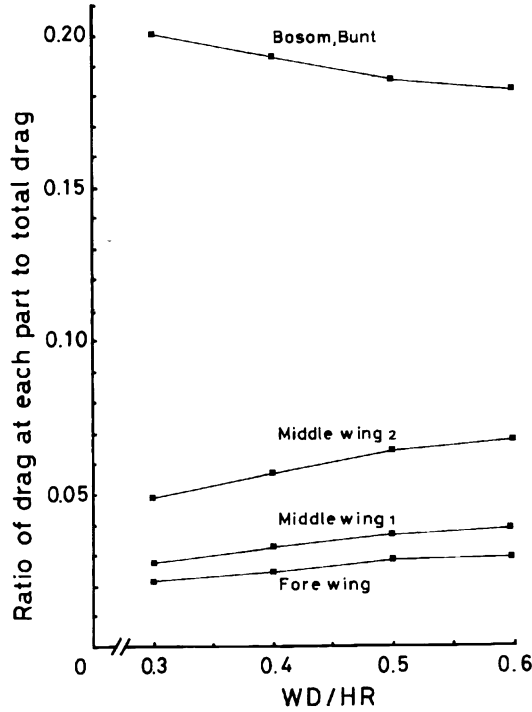


Fig. 4. Relationship between the ratio of drag acting on each part of groundrope and the ratio of distance of wing tips to headrope length.

したものをFig. 5 - 8に掲げている。曳行速度はそれぞれ3.0, 3.5, 4.0, 4.5knotに相当する。いずれの実験条件についても解析的に決定したグランドローブの形状と空中実験の測定値は良く一致している。

解析値の実験値に対する一致度を定量化するために、実験で測定した座標 ( $x_i, y_i$ ) に対応する解析値の座標 ( $x'_i, y'_i$ ; ただし  $x_i = x'_i$ ) を内挿法で求め、両者の偏差を計算し

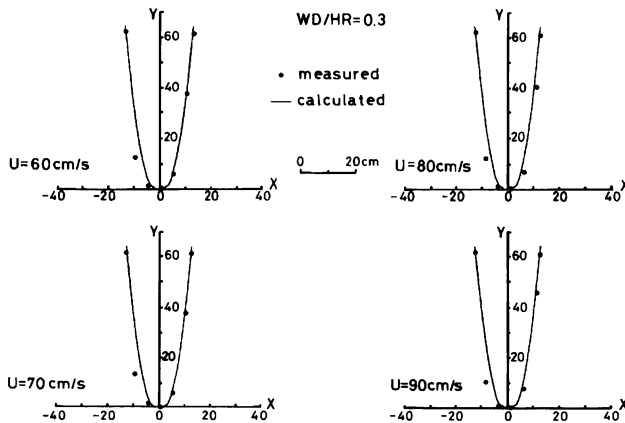


Fig. 5. Schematic diagrams of analyzed and mechanically simulated groundrope shapes.

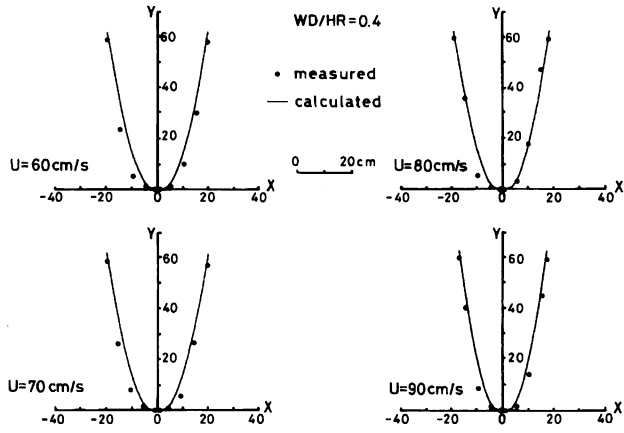


Fig. 6. Schematic diagrams of analyzed and mechanically simulated groundrope shapes.

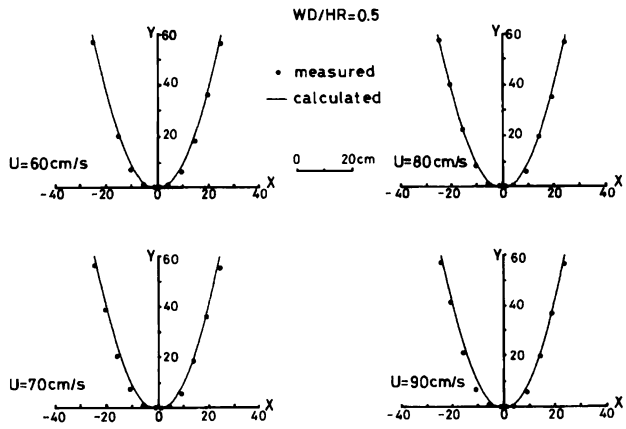


Fig. 7. Schematic diagrams of analyzed and mechanically simulated groundrope shapes.

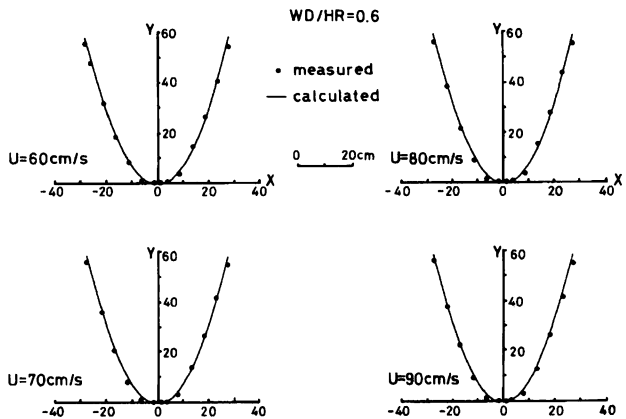


Fig. 8. Schematic diagrams of analyzed and mechanically simulated groundrope shapes.



た。いずれの袖先間隔についても速度変化による影響は明瞭でないが、袖先間隔が小さな場合には平均偏差は大きくなっている。これはFig. 5, 6に見られるように一部の測定値が他の値と比較して大きな偏差を示しており、これに起因すると考えられる。本実験での平均偏差は約1-4 cmであり、グランドロープ長さに対して約0.7-3.0%となった。

水槽底に沿って曳行した模型網を上方から撮影した写真に基づいて、本研究と同様の方法でグランドロープの形状を解析した場合の平均偏差が約4.0-6.4%であったことと比較すれば、本解析方法での精度は向上し、簡便であった。また、グランドロープの形状は懸垂線で近似できると報告した葉室<sup>16)</sup>に従って懸垂線と比較した結果、得られた形状は懸垂線とは明らかに異なり、平均偏差も約8.2-11.4%と大きかった。グランドロープはその重量分布が一様でなく、それ自身の流体抵抗と接地抵抗および、網地の流体抵抗が作用しており、それらの力の釣り合いによって一定の形状を保っている。従って重量分布が均一で重力だけが作用している懸垂線で、グランドロープの形状を近似することは適当ではない。

グランドロープの形状を含めた底びき網の実験はほとんどが水中で行われてきた。李<sup>8)</sup>はビニール膜で製作した袋網の単純模型内部に水を満たし、空中で2点吊りした場合の袋口断面の形状は水槽実験結果と一致したことを報告している。しかしこの方法では網成りを任意に変化させることが難しい。本研究で提示した方法は網成りの変更が容易であり、幾何学的相似と力学的相似は同時に満足された。漁具抵抗と網成りの基礎資料に基づいて、簡単な装置を使用して空中でグランドロープの形状を十分な精度で明らかにできた。本方法は漁具の設計段階で底びき網のグランドロープの形状を推定することに有効であると考えられる。

## 参 考 文 献

- 1) J. Main and G. I. Sangater (1978): The value of Direct observation Techniques by Diver in Fishing Gear Research. *Scot. Fish. Res. Rep.*, **12**, 1-15.
- 2) J. Main and G. I. Sangater (1981): A Study of Fish Capture Process in a Bottom Trawl by Direct Observation from a Towed Underwater Vehicle. *Scot. Fish. Res. Rep.*, **23**, 1-23.
- 3) J. Main and G. I. Sangater (1983): Fish Reactions to Trawl Gear - A Study Comparing Light and Heavy Ground Gear. *Scot. Fish. Res. Rep.*, **27**, 1-17.
- 4) 不破 茂, 佐藤 修, 梨本勝昭, 肥後伸夫 (1989): グランドロープによる魚の駆集モデルについて. *日水誌*, **54**, 1155-1159.
- 5) 不破 茂 (1990): 魚の遊泳距離を考慮したグランドロープの駆集モデル. *日水誌*, **55**, 1767-1771.
- 6) 不破 茂 (1989): 底びき網のグランドロープの機能の関する基礎的研究. *鹿大水紀要*, **38**, 103-156.
- 7) 笹川康雄 (1982): カニ刺網の構造と漁獲に関する研究. *水工研報告*, **3**, 239-292.
- 8) 李 珠熙 (1983): 底曳網の形状に関する基礎的研究 - 1. 単純化した袋網模型を2点で支えた時の断面形状について. *北大水産彙報*, **34**, 323-333.
- 9) A. L. Fridman (1973): Theory and design of commercial fishing gear. pp. 192-207; Israel program for scientific translations, Jerusalem.
- 10) M. Tauti (1934): A relation Between Experiment on model of Fishing Net. *Bull. Jap. Soc. Sci.*, **3**, 171-177.

- 11) 大沢要一, 小山武夫, 野村正恒, 森敬四郎, 千賀和雄 (1987) : 模型網実験による各種曳網の標準網型に関する研究. 水工研報告, 8, 215-233.
- 12) A. Fujiishi and T. Ishizuka (1974) : Basic Studies on the Shrimp Drag- II Field Experiments using a 15 meter Shrimp Drag with a Cover Net. *Bull. Jap. Soc. Sci.*, 40, 993-997.
- 13) 不破 茂 (1978) : 底曳網の網類にかかる張力についての考察. 鹿大水紀要, 27, 147-154.
- 14) 小山武夫 (1974) : 船尾トロールについての実験的考察. 東海区水研報告, 77, 171-247.
- 15) 高山重嶺, 小山武夫 (1961) : トロールに関する研究-V トロール網の袖先間隔を測定する装置及びその計算式について. 東海区水研報告, 31, 289-296.
- 16) 葉室親正 (1954) : 網口の高さとグランドローブの方向とを自記することによる二艘曳機船底曳網の研究. 日水誌, 20, 353-358.