修正田内則に基づく拡網装置を取り付けたトロール漁具の模型試験

熊沢泰生,¹ 胡 夫祥,^{2*} 不破 茂,³
永松公明,⁴ 木下弘実,¹ 東海 正²

(2009年2月4日受付, 2009年5月16日受理)

¹ニチモウ株式会社, ²東京海洋大学, ³鹿児島大学, ⁴水産大学校

Model test of trawl gear with a net-mouth opening
device based on modified Tauti's law

TAISEI KUMAZAWA,¹ FUXIANG HU,^{2*} SHIGERU FUWA,³
KIMIYAKI NAGAMATU,⁴ HIROMI KINOSHITA¹ AND TADASHI TOKAI²

¹Shimonoseki Research Institute, Nichimo Co., Ltd., Shimonoseki, Yamaguchi 750-1136, ²Faculty of Marine Science, Tokyo University of Marine Science and Technology, Minato, Tokyo 108-8477, ³Faculty of Fisheries, Kagoshima University, Kagoshima 890-0056, ⁴National University of Fisheries, Shimonoseki, Yamaguchi 759-6595, Japan

For model testing of trawl gear utilizing an opening device such as an otter board, the ratio in area of the model opening device to the full-scale device was proposed based on modified Tauti's law. A sea trial with a full-scale midwater trawl net of 27.44 m in total length and model experiment with 1/10 scale model were conducted. Two otter board models of different scale were used for the model experiment: otter board model I of 1/60 area scale based on the modified Tauti's law, and model II of 1/100 area scale based on the original Tauti's law. As a result, a distinct difference both in the distance of the two otter boards and in net-mouth height was found between the converted values from the model test with model II based on Tauti's law and the observed values in the full-scale sea trial. In contrast, no such difference was observed in the results of model I. In addition, it was verified that the speed ratio based on the modified Tauti's law was useful for predicting the drag of the test trawl gear with opening device.

キーワード：拡網装置, トロール漁具, 面積比, 模型実験, 模型相似則

トロール漁法は、表層から海底に分布する対象魚を効率的に漁獲する漁法として世界中に広く利用されており、その漁法による漁獲量は現在でも我が国の総漁獲量に対して2割程度を占めている。¹⁾ 昨今、トロール漁具には、環境との共存の観点から海底に影響が少ない構造、²⁾ 混獲物の海中選別^{3,4)} および省燃費⁵⁾ などに対応できる新規設計や改良が求められている。新規設計もしくは改良された漁具の性能は、実物を製作する前にできるだけ正確に知る必要がある。そのために、水槽を利用した模型実験が多く利用されてきた。⁶⁾ 近年では、数値シミュレーションによる推定方法も提案されている。⁷⁻¹⁰⁾ こうした数値シミュレーション手法を用いた推定の際にも、その精度検証の観点から模型実験は必要である。¹⁰⁾

網漁具の模型実験においては、数種の模型相似法則¹¹⁻¹³⁾ が提案されている。これまで日本国内においては、田内模型比較則（以下、田内則と呼ぶ）が広く利用されてきた。¹¹⁾ 田内則は網漁具を構成する網地の受ける流体抵抗とその水中重量による力学的相似に基づいて導かれた法則であり、実物網とその模型を含むレイノルズ数の範囲において、網の流体抵抗が速度の2乗に比例することを前提としている。一方、網の抵抗係数を網糸直径に基づくレイノルズ数の関数として表されるものとした修正田内則を用いた模型実験法も提案されている。¹³⁾

オッターボードなどの拡網装置を有するトロール漁具では、網口の形状は拡網装置の拡網力に大きく左右され

る。そのため、トロール漁具の模型実験は、網地部分ばかりでなく、拡網装置を含めた漁具構成全体としての形状および流体抵抗を精度よく推定できる方法が必要であり、そうした模型実験方法が確立されるべきである。しかし、これまでワープおよびオッターボードを取り付けて行われた模型実験の例は報告されているが、¹⁴⁻¹⁸⁾ 水槽規模の制限などにより網模型実験の場合、網のみを用いた計測が多い。¹⁹⁻²⁴⁾ 本研究では、オッターボードなどの拡網装置を取り付けたトロール漁具の全体構成を対象とする模型実験の精度向上を目的として、Hu *et al.*¹³⁾ が提案した修正田内則に基づき、実物に対する模型拡網装置の縮尺比について検討を行った。実物の中層トロール漁具による洋上実験と、曳航水槽におけるワープとオッターボードを含めた縮尺比 1/10 のトロール網模型実験を行った。洋上と模型実験では、オッターボードの間隔とその水深、網口高さおよび網漁具の抵抗をいずれも計測し、得られた結果より、新たに提案した修正田内則に基づくトロール漁具の模型実験方法の妥当性について検討した。

材料と方法

修正田内則に基づく拡網装置模型の縮尺について トロール漁具の網全長などの代表長さを L 、網地の網糸直径と脚長をそれぞれ d と l 、曳網速度を V とすると、田内則は次のように表される。

$$\text{縮尺比: } \lambda = L_m / L_f \quad (1)$$

$$\text{網糸直径比: } M = d_m / d_f = l_m / l_f \quad (2)$$

$$\text{速度比: } \frac{V_m}{V_f} = \sqrt{M \frac{(\rho_{sm} - \rho_m)}{(\rho_{sf} - \rho_f)} \frac{\rho_m}{\rho_f}} \quad (3)$$

$$\text{力比: } \frac{F_m}{F_f} = \frac{(\rho_{sm} - \rho_m)}{(\rho_{sf} - \rho_f)} \lambda^2 M \quad (4)$$

ここで、添字の f と m はそれぞれ実物と模型を示し、 ρ_{sf} と ρ_{sm} はそれぞれ実物網とその模型の網地材質密度であり、 ρ_f と ρ_m は実物と模型実験の流体密度である。中層トロール網の抵抗係数 C_{DN} が網糸直径 d を代表長さとするレイノルズ数 ($R_d = Vd/\nu$) の指数関数 ($C_{DN} = kR_d^n$) で表されるとし、¹³⁾ また係数 k , n および実験流体の動粘性係数 ν が実物とその模型で同じ値をもつとすれば、

$$\frac{C_{DNm}}{C_{DNf}} = \left(\frac{d_m V_m}{d_f V_f} \right)^{-n} \quad (5)$$

となる。田内則において、網の流体抵抗の比と水中重量の比が等しくなければならないので、

$$\frac{\rho_m C_{DNm} V_m^2}{\rho_f C_{DNf} V_f^2} \lambda^2 = \frac{(\rho_{sm} - \rho_m)}{(\rho_{sf} - \rho_f)} \lambda^2 M \quad (6)$$

となり、(5)式を(6)式に代入して整理すると、

$$\frac{V_m}{V_f} = \left[M^{n+1} \frac{(\rho_{sm} - \rho_m)}{(\rho_{sf} - \rho_f)} \frac{\rho_m}{\rho_f} \right]^{1/(2-n)} \quad (7)$$

となり、(3)式とは違った速度比が得られる。上式中の n の値については、漁網の模型実験において 0.1 から 0.3 程度であることが報告されている。²⁵⁾

ここで、オッターボードなどの拡網装置について考える。実物の拡網装置の面積を S とし、拡網力 (揚力) L および抗力 D は、

$$L = \frac{1}{2} \rho C_L S V^2 \quad (8)$$

$$D = \frac{1}{2} \rho C_D S V^2 \quad (9)$$

で表される。 C_L と C_D は拡網装置の揚力係数および抗力係数である。ここで、洋上および模型実験とも拡網装置の揚力係数および抗力係数が等しいとおき、両者の力学的相似が満たされる場合では、次の関係式が成り立つ。

$$\frac{L_m}{L_f} = \frac{D_m}{D_f} = \frac{\rho_m S_m V_m^2}{\rho_f S_f V_f^2} = \frac{\rho_m C_{DNm} V_m^2}{\rho_f C_{DNf} V_f^2} \lambda^2 \quad (10)$$

よって、オッターボードなどの拡網装置における実物に対する模型の面積比は次のように求められる。

$$\frac{S_m}{S_f} = M^{-n} \lambda^2 \left(\frac{V_m}{V_f} \right)^{-n} \quad (11)$$

$n=0$ の場合では、 $S_m/S_f = \lambda^2$ となり、田内則の速度比に帰着する。

洋上実験 鹿児島大学所属の南星丸 (175 トン、1323 kw) を利用して、2007 年 12 月 10~12 日に鹿児島湾において実験を実施した。実験に用いた中層トロール網の展開図を Fig. 1 に示す。網は全長 27.44 m であり、ヘッドロープ長は 12.96 m である。網地材料には身網部にポリエチレン 42 tex、コッドエンドの内張りにはナイロン 23 tex が使用されている。袖網部の目合は 1000 mm でコッドエンドに至るまで網目は徐々に小さくなり、コッドエンドの内張り目合は 15 mm である。ロープ類には全てポリプロピレン 333 tex が用いられている。中層トロール漁具の索具類、ヘッドロープおよびグランドロープの構成を Fig. 2 に示す。網口の鉛直方向への拡網のために浮力として、ヘッドロープに径 240 mm の中通し浮子 (浮力 4.85 kg/個) が 20 個 (計 97 kg) 取り付けられ、また沈降力としてグランドロープに径 19 mm の鉄製チェーン (水中重量 7.69 kg/m) が 12.96 m (水中重量 100 kg) 取り付けられている。オッターボードは、ステンレス製の複葉型 (600 mm × 1200 mm、水中重量 116 kg) で、縦横比 2.0、反り比 15%、後退角 7° である (Fig. 3)。網ペンネント、ハンドロープ、オッターボードペンネントおよび先付けロープは、すべて鋼製ワイヤー (素線構成: 6 × 19) が用いられ、ワープは径 14 mm の鋼製ワイヤー (素線構成: T6 × WS26) である。

実験では、ワープ長を 100 m として、曳網速度を 1.34, 1.65, 1.91 および 2.16 m/s の 4 段階とした場合の

Fig. 1 Plan of the midwater trawl used in the experiment.

オッターボード間隔、オッターボード水深、網口高さおよび網漁具の抵抗をそれぞれ計測した。オッターボード間隔の計測には、漁網監視装置（Simrad 社製、PI-32、測定範囲 1-350 m、分解能 0.1 m、精度 $\pm 0.25\%$ FS）をそれぞれ両舷のオッターボードペンネントに取り付けて行った。両舷のオッターボードの水深計測には、自記式水深計（アレック電子社製 COMPACT-TD-500、最大計測深度 500 m、分解能 0.08 m、精度 $\pm 3\%$ FS）を用いた。また、ヘッドロープとグラウンドロープのそれぞれ中央付近に自記式水深計を 1 個ずつ取り付けて、得られた水深差を網口高さとした。さらに、網漁具の抵抗計測には、自記式張力計（Micrel 社製、Sensor-F、定格容量 98 KN、分解能 44 N、精度 $\pm 0.5\%$ FS）をそれぞ

れ両舷のハンドロープ先端に取り付けて行った。各計器類のサンプリング周波数は、すべて 1 Hz とした。

模型実験 模型実験では、模型網の縮尺比を 1/10、網糸直径比（目合比）を 1/8 とした。模型網に使用した網地材料はナイロン 23 tex である。実物網の網地材料がポリエチレンであるのに対して、模型網にナイロン網地を用いたことによる比重の違いについては、松田ら²⁶⁾により模型網地に小さな浮子を取り付けて比重を調整する方法が提案されているが、本研究では実験流速範囲において、網地の受ける流体抵抗とその水中重量のバランスにより、網地材料の違いが網の形状に及ぼす影響は小さいと判断し、模型網の比重調整を行わなかった。

実験に用いたオッターボード模型は、実物と同様に複

Wire arrangement

Head rope arrangement

Ground rope arrangement

Fig. 2 Plan of the wire, head rope and ground rope arrangements of the midwater trawl used in the experiment.

葉型とした。(7)式に示す速度比における n の値については、本研究で対象とした中層トロール網の実物および模型の網糸直径を代表長さとするレイノルズ数は、Hu *et al.*¹³⁾ が示した中層トロール網による実験結果の範囲内に含まれることから $n=0.15$ とした。この値を(11)式に代入して求めた面積比が $1/60$ となる模型Ⅰと、比較のために元の田内則による面積比が $1/100$ の模型Ⅱをそれぞれ製作し用いた (Table 1)。オッターボード模型は、ノルマンなどの付属具は取り付けず、実物の寸法に対する縮尺に合わせて、反り比や後退角などの形状も一致するように製作した。オッターボード模型の重量、

模型網に取り付ける浮力と沈降力などは、すべて実物の値より(4)式に示す力比に代入して算出した。模型用ロープ類は、すべて直径 1.0 mm のポリエステル撚糸を用いた。ワープ、網ペンメントおよび金具の重量は、水中重量に換算した後、それらの値をオッターボード模型に付加する方法とした。実験の組み合わせとして、(7)式に $M=1/8$ と $n=0.15$ を代入して求められる修正田内則の速度比 ($V_m/V_f=1/3.64$) に従い、オッターボード模型ⅠとⅡをそれぞれ用いた実験方法をそれぞれ実験方法 A および実験方法 B とした。また、オッターボード模型Ⅱを用いて、(3)式の田内則から求められる速度

Fig. 3 Plan of the biplane-type otter board used in the experiment.

Table 1 Details of biplane-type otter board models used in model experiments

Model	Scale	Scale ratio	Area ratio	Weight in water
Model I	77.5 mm×155 mm	1/7.75	1/60	275 g
Model II	60 mm×120 mm	1/10	1/100	275 g

比($V_m/V_f=1/2.83$)に従った実験を実験方法 C とした。

ニチモウ株式会社曳航水槽（長さ 100 m，水路幅 5 m，水深 1.5 m）内で，ワープ，オッターボード，網ペンネットおよび網を含む全長 18.4 m の網を，着底しないように曳網速度に応じて曳航点の高さを水面より 5.9 m から 1.35 m の間で調整しながら曳網した。模型実験の曳網速度は，洋上実験で行った 1.34, 1.65, 1.91 および 2.16 m/s の 4 条件に対して，実験方法 A と B は (7) 式の速度比により求めた 0.37, 0.45, 0.52 および 0.59 m/s，実験方法 C は (3) 式の速度比により求めた 0.47, 0.58, 0.67 および 0.76 m/s に設定して行った。実際の台車曳航速度をプロペラ式流速計（東邦電探社製，CM-1BN，測定範囲 0.03～3.00 m/s）により計測した。オッターボード間隔は，曳航水槽底面に 10 cm 間隔で描かれたラインを指標に計測用浮体を同時に曳航してオッターボードの位置を直上から目視で計測した。網口高さは，曳航水槽の側面から撮影したビデオ映像から，画像

解析により求めた。また，模型網の流体抵抗については，模型網の網ペンネット先端間隔を固定して，左右の網ペンネット先端に水中ロードセル（東京測器社製，TLP-10KS，定格容量 98 N）を 1 個ずつ取り付けて，曳網状態が安定した後，サンプリング周波数 50 Hz で 30 秒間計測した 5 回分の時系列データの平均値を用いた。なお，便宜上，実物と模型実験の両者とも，両舷の網ペンネット先端に取り付けた自記式張力計と水中ロードセルで計測したハンドロープ張力を，両舷で合計した値を近似的に網の抵抗として用いた。

結 果

洋上実験 実物による洋上実験で計測されたすべてのデータについて，4 段階の曳網速度を段階的に変化させた際の時系列データとして，オッターボードの間隔 (Fig. 4)，ヘッドロープおよびグランドロープの中央水深 (Fig. 5)，オッターボード水深 (Fig. 6)，ハンドロープの先端張力 (Fig. 7) を示した。その結果，曳網速度が速くなるにつれ，オッターボードの間隔が増加し，その水深は浅くなり，またヘッドロープおよびグランドロープ中央水深の差から得られる網口高さは減少してハンドロープ張力は大きくなる。左右両舷で計測されたオッターボード水深に差がほとんどなく，右舷側と左舷側のハンドロープ張力についても差が少なかった。このように，各曳網速度に対して，すべてのデータに変動が少

Fig. 4 Variations in distance between the two otter boards with towing speed.

Fig. 5 Variations in depth of the head rope and ground rope with towing speed.

Fig. 6 Variations in depth of the otter board with towing speed.

Fig. 7 Variations in tension of the hand rope with towing speed.

Fig. 8 Comparison in distance of the two otter boards between the converted value with a 1/10 scale model and the observed values of the full-scale trawl.

なく、安定的な曳網状態が得られていることが明らかになった。したがって、洋上実験結果を模型実験結果と比較するために、安定した曳網状態となった曳網時の深度および張力記録の10分間のデータの平均値を用いた。

模型実験 縮尺比 1/10 模型を用いた実験において、目視計測した曳網速度別のオッターボード間隔は、実験方法 A による模型実験からの換算値が実物の値とほぼ一致したのに対して、実験方法 B と実験方法 C から得た換算値は実物の計測値よりそれぞれ 10.0~10.6 m (31~25%), 6.7~7.2 m (17~21%) 小さかった (Fig. 8)。

撮影したビデオ映像の画像解析から求めた曳網速度別

Fig. 9 Comparison in height of net-mouth between the converted value with a 1/10 scale model and the observed ones of the full-scale trawl.

Fig. 10 Comparison in tension of the hand rope between the converted values with a 1/10 scale model and the observed values of the full-scale trawl.

の網口高さは、オッターボード間隔と同様に、実験方法 A による換算値が実測値とかなりよく一致した (Fig. 9)。一方、実験方法 B と C によるこの実物換算値は、実測値よりも前者で 1.2~1.6 m (14~22%) 大きく、後者で 0.5~2.1 m (10~21%) 小さかった。

模型実験で測定された曳網速度別の網に作用する流体抵抗の関係より、(7)式の修正田内則の速度比に基づい

て求めた実物換算値は、実測値とかなり良く一致した (Fig. 10)。これに対して、(3)式の田内則に基づいた場合には、模型実験の曳網速度の範囲における換算値が、実測値に対して 19~36% 大きく、曳網速度が速くなると両方の差は小さくなった。

考 察

オッターボードなどの拡網装置を用いるトロール漁具では、網口形状や曳網水深が拡網装置の流体特性に大きく影響される。模型実験を行う際には、曳航水槽などの実験条件が許される限り、実操業と同様にワープおよび拡網装置を含んだ構成漁具全体による実験が望まれる。本研究では、拡網装置を取り付けた場合のトロール漁具の模型実験法について検討を行った。Hu *et al.*¹³⁾ が提案した修正田内則に従い、模型と洋上実験による拡網装置の力学的相似が満たされるように、新たに拡網装置の面積比を考慮して製作したオッターボード模型を用いた実験方法 A では、オッターボード間隔と網口高さが模型と実物でかなりよい一致した結果を得た。拡網装置を含んだトロール漁具の模型実験では、縮尺模型による拡網装置の流体特性に及ぼす影響も考慮する必要がある。本研究の実験方法 A に用いた複葉型オッターボードは、実物の 1/7.75 の模型を用いた。翼弦長を代表長さとするレイノルズ数は、洋上実験ではその範囲がかなり大きいものの、複葉型オッターボードの流体特性を調べた回流水槽実験²⁷⁾でのレイノルズ数範囲内に含まれていることから、オッターボード間隔が模型と実物でよく一致したことから、この程度の縮尺模型によるオッターボードの流体特性に及ぼす影響は少ないと考えられる。一方、オッターボードおよび網の水深については、模型実験において 1.5 m の水槽水深に対して、ワープ先端の曳航点を空中の高い位置に調整していた関係で、ワープの受ける流体抵抗による誤差が考えられるため、実測値と比較することはできなかった。オッターボードと網の水深差などの位置関係に関しては、模型オッターボードや索具類などの水中重量を相似則に則って正確に調整した場合でも、水深が十分に深い曳航水槽を利用できる条件が必要となる。近年漁網の数値シミュレーションが実物網レベルまで行われているので、計算精度を確認した上でそうしたシミュレーションを利用することも一つの方法として考えられる。

網の抵抗については、計測されたハンドロープの張力と曳網方向に対するハンドロープの展開角から求めるべきである。しかし、本実験では網の袖先間隔の計測ができなかったため、左右ハンドロープ張力の合計値を近似的に網の抵抗とした。Fig. 10 より、従来から用いられてきた田内則による模型実験から求めた網抵抗の実物換算値は、実測値に対して 19~36% 大きい。一方、網地

の抵抗係数を網糸の代表長さとするレイノルズ数の関数として、田内則を修正して得られた速度比に基づいて行った模型実験では、網抵抗の実物換算値が実測結果をほぼ正確に再現した。Hu *et al.*¹³⁾ も同様な結果が報告されており、トロール漁具の模型実験で田内則を利用する際には、(7)式の修正速度比を用いることにより、かなりの精度で実物漁具の抵抗を予測できる。

網模型に取り付ける浮子については、(4)式の力比によって必要な浮力を算出し、この浮力を持つ市販の球形浮子を取り付けて実験を行った。しかし、オッターボード模型 I と同様に、この市販の浮子個々の投影面積は(11)式から算出した値に比べてやや小さかった。一方、実験方法 A による模型実験から得た網口高さは実測値とよく一致したことから、網漁具に取り付ける浮子については、流れから受ける抵抗より浮力を優先した方が適切であると考えられる。

本研究で提案した拡網装置を含めたトロール漁具をひとつのシステムとした模型実験方法は、拡網装置としてカイトを用いた漁具、²⁸⁾ 浮魚類を対象とした表層曳網²⁹⁾ および航跡から曳網針路を外して曳網する特殊な曳網方法³⁰⁾ などの研究にも応用可能である。また、底面との摩擦抵抗を考慮すれば、着底トロール漁具の海底におけるパイプラインや海底保護構造物に対する接触時の干渉度合の確認^{31,32)} にも活用が期待される。

今回の模型は縮尺比 1/10 の中層トロール漁具模型を用いて、網糸直径比 (目合比) 1/8 で、実物ワープ長 100 m の結果について検討したが、今後は縮尺比、網糸直径比 (目合比) およびワープ長が異なる場合についても検証して、トロール漁具全体の模型実験方法の確立を目指したい。

謝 辞

本研究にご協力頂いた鹿児島大学練習船南星丸東 政能船長ならびに乗組員各位に厚く御礼申し上げます。模型実験にご協力頂いたニチモウ株式会社下関研究室平山完氏、武内要人氏に厚く感謝申し上げます。また、模型網の製作では小川由美子氏、オッターボード模型の製作では株式会社カネヤス宗岡龍馬氏、西日本ニチモウ株式会社吉永邦夫氏にご尽力頂いた。ここに深く感謝の意を表する。

文 献

- 1) 農林水産統計。平成 19 年漁業・養殖業生産統計。農林水産省大臣官房統計部、東京。2008; 9.
- 2) 井上喜洋。キャンバスカイトを応用した小型底曳網漁具。平成 7 年度漁業新技術開発事業 (漁業再編整備推進新技術開発事業)、海底環境保全型底曳網漁法の開発、社団法人全国底曳網漁業連合会、社団法人漁船協会、東京。1996; 67-76.
- 3) 宮崎俊明, 岩尾敦志, 柳下直己, 山崎 淳。京都府沖合におけるカレイ漁に使用する駆け廻し式底曳網の選別網によるズワイガニの混獲防除。日水誌 2007; **73**: 8-17.
- 4) 沖野 晃, 村山達郎, 井上喜洋。エチゼンクラゲを分離排出する沖合底びき網 (2 そうびき) 漁具の開発。日水誌 2008; **75**: 6-18.
- 5) 平成 18 年度省エネルギー技術導入促進事業報告書。沖合底曳網漁業における 2 艘曳き 75 トン型, 1 艘曳き 65 トン型漁船での抵抗低減漁具導入実証化試験。全国底曳網漁業連合会, 海洋水産システム協会, 東京。2008; 93-96.
- 6) 本田勝司。「漁具模型試験法」恒星社厚生閣, 東京。1991.
- 7) 高木 力, 鈴木勝也, 平石智徳。網地の形状と運動に関する数値シミュレーション手法の開発。日水誌 2002; **68**: 320-323.
- 8) Wan R, Hu F, Tokai T, Matuda K. A method for analyzing the static response of submerged rope system based on finite element method. *Fish. Sci.* 2002; **68**: 65-70.
- 9) Wan R, Hu F, Tokai T. A static analysis of the tension and configuration of submerged plane nets. *Fish. Sci.* 2002; **68**: 815-823.
- 10) Hu F, Shiode D, Wan R, Tokai T. Accuracy evaluation of numerical simulation for mid-water trawl nets. *Proceedings of the International Workshop, DEMAT'05. Busan, Korean.* 2005; 59-70.
- 11) Tauti M. A relation between experiments on model and on full-scale of fishing net. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1934; **3**: 171-177.
- 12) Dikson W. A study relating models to commercial trawls. *Mar. Res. Dep. Agric. Fish. Scotl.* 1961; **1**: 1-48.
- 13) Hu F, Matuda K, Tokai T. Effects of drag coefficient of netting for dynamic similarity on model testing of trawl nets. *Fish. Sci.* 2001; **67**: 84-89.
- 14) 宮本秀明。底曳網の模型実験。日水誌 1936; **5**: 19-24.
- 15) Kawakami T. Mechanical action of the otter board of the trawl net. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1953; **19**: 228-232.
- 16) Suzuki O. On the model experiment of the British Columbia mid-water trawl-I. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1958; **24**: 480-483.
- 17) 高山重嶺, 小山武夫。トロールに関する研究-IV 縦型オッターボードと横型オッターボードとの性能比較。東海水研報 1989; **31**: 297-309.
- 18) 胡 夫祥, 松田 皎, 小池 篤。模型実験によるキャンバス式とオッター式の中層トロール網の力学的特性の比較。日水誌 1953; **55**: 785-790.
- 19) 野村正恒, 安井達夫。底曳網の模型実験。日水誌 1953; **18**: 69-75.
- 20) 小池 篤。底層曳網模型実験。日水誌 1953; **19**: 8-11.
- 21) 本田勝司。トロール網模型実験。日水誌 1958; **23**: 608-611.
- 22) Fujiishi A, Taniguchi T. Studies on saving gear for trawl Fishery-I Model experiment of a trawl net with "Bottom Curtain". *Nippon Suisan Gakkaishi* 1977; **43**: 173-179.
- 23) 藤石昭生。高速曳網用超大目中層トロール網の模型実験。日水誌 1990; **56**: 743-747.
- 24) Fujiishi A. Model tests of a high-speed midwater rope trawl for estimating the optimum buoyancy-weight ratio. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1990; **56**: 2001-2018.
- 25) 胡 夫祥。漁網の模型相似則。「漁具物理学」(松田 皎編)成山堂書店, 東京。2001; 64-82.
- 26) 松田 皎, 鈴木 誠。比重 1 以下の網糸からなる漁具の模型実験法の検討。日水誌 1982; **48**: 1065-1071.

- 27) 福田賢吾, 松田 皎, 胡 夫祥, 東海 正. 複葉型オッターボードの流体特性に関する模型実験. 日水誌 1997; **63**: 207-212.
- 28) 胡 夫祥, 松田 皎, 小池 篤. キャンバス式中層トロール網の静的特性. 日水誌 1988; **54**: 1783-1788.
- 29) Ueno Y, Suyama S, Kurita Y, Kumazawa T. Design and operation methods of a mid-water trawl for quantitative sampling of a surface pelagic fish, Pacific saury (*Cololabis saira*). *Fish. Res.* 2004; **66**: 3-17.
- 30) 渡部俊広, 熊沢泰生. サイドトーイングトロールシステム. 特開 2003-52277, 2003.
- 31) Velk P, Henriksson A, Wileman D, Romeling J. U. Design of TOGI TEMPLATE to avoid snagging of fishing gear. OMAE. 1990; 427-431.
- 32) Tore M, Jorn S, Richard V, Hermann M. Trawl board impacts on pipelines. OMAE. volume V, Pipeline Technology, 1996; 165-178.