キャンバスカイトを用いた資源調査用中層トロール網

米沢 崇, 藤森康澄, 清水 晋, 梨本勝昭, 三浦汀介

(1995年7月10日受付)

A Midwater Trawl Net with Mouth Opening Canvas Devices for Stock Assessments^{*1}Takashi Yonezawa,^{*2} Yasuzumi Fujimori,^{*2} Susumu Shimizu,^{*2}
Katsuaki Nashimoto,^{*2} and Teisuke Miura^{*2}

The purpose of this work is to develop a midwater trawl net to survey fish stock. A constant net mouth opening is necessary in order to measure fish stock densities accurately. For this purpose, canvas kites were attached to the midwater trawl net, instead of floats and weights.

The area of canvas kites attached to the headrope and groundrope was derived from the equilibrium between the sum of vertical components of the towing force and the drag of the net. The model test were made with a scale of one-twentieth in a flume tank, in which the static characteristics of the kite-type net were compared with those of the float-type net. Further, a full-scale kite-type net was examined aboard the RV "Ushio-maru".

The kite-type model maintained a more constant form and net-mouth area than the float type net over a range of current speeds. The full-scale kite-type net maintained a constant net mouth height of 7 meters, according to the plan. From these results, we conclude that the kite-type net is to be recommended for a better sampling device for fish stock assessments.

キーワード: 幼魚採集, 定量採集具, 中層トロール網, キャンバスカイト, 網口形状・面積

一般に魚類の死亡率は餌生物条件や水温などの海洋環境条件に左右される卵や仔稚魚期において非常に高く、年級群間で大きな違いを示す。しかし、その後の幼魚期からの生残率には年級群間で大きな差はない。¹⁾したがって、幼魚期の資源量を正確に評価することができれば、親魚の資源量予測にとって非常に有効な情報となり得る。

資源量密度を海水単位体積当たりの棲息個体数とすると、曳網類を用いて資源量密度を推定するためには、曳網の濾水量と採集効率（存在個体数に対する採集個体数の割合）を明らかにしておく必要がある。現在使用されている定量採集具にはプランクトンから卵仔稚魚を対象としたNORPAC ネット、マイクロネクトンから仔稚魚を対象としたMOCNESS, LOCHNESS^{2,3)}に代表される多層開閉式プランクトン・サンプラーがある。このような採集具は網口形状が一定であるために曳網距離と網口面積から正確な濾水量を求めることができる。ところがフレーム式であるため規模を大きくすることが困難であり、遊泳力のある幼魚の採集は難しい。このような理由

から現状では幼魚採集具として中層オッタートロール方式が流用されている。⁴⁾しかし、この方法は曳網条件によって網口形状が変化しやすいことに加え、^{5,6)}漁具の対水速度を正確に計測することが困難であるために濾水量を精度よく求めることができない。また、魚は網口に対して逃避行動を起こすことが知られている。⁷⁾したがって、網口形状が変化すれば採集効率に違いが生じる可能性がある。このようなことから、幼魚用定量採集具には、規模としては中層トロール網のように大型で、かつ、フレーム型採集具のように網口形状、面積が一定である採集具が必要となる。

一般に商業用に用いられている中層トロール網の網口形状が流速にともなって変化するのは、網口に装着される浮子の浮力と沈子の沈降力は常に一定であるが、曳網力と網の抗力の垂直分力からなる網口をせばめようとする力が流速の増加にともなう大きくなるためである。そこで、流速に応じて必要な網口の展開力を得るための手段の一つとしてキャンバスカイトを利用することを考えた。

^{*1} 本論文の要旨は平成7年度日本水産学会春季大会で発表した。

^{*2} 北海道大学水産学部 (Faculty of Fisheries, Hokkaido University, Hakodate, Hokkaido 041, Japan).

本研究では、幼魚用定量採集具を開発するために、流速に応じた拡網力を発生し網口形状、面積を一定に保持する装置としてキャンバスカイトの有効性を明らかにすることを目的とした。

キャンバスカイトの揚力に関する理論

本研究において、実際にキャンバスカイトの装着を試みた網は北海道大学水産学部研究調査船うしお丸が装備する4枚網である。Fig. 1に網地配置図を示す。この網は稚魚の採集用に設計されたものである。そのため、身網部からコッドエンドに同規模の漁具に比べて比較的小さい目合(90–43 mm)を使用している。網の寸法は全長29.7 m、ヘッドロープ長は12.2 mである。

必要なキャンバスカイトの揚力はヘッドロープの力学的釣合から求めることができる。Fig. 2にヘッドロープ中央部にかかる力を垂直面に集約した釣合の模式図を示す。^{8,9)} 中層トロール網を近似的に円錐とみなし、網の抗力 R_n とキャンバスカイトの抗力 R_k が上下のヘッドロープに均等にかかると仮定する。この際、簡単のため網地の比重、揚力は無視し、オッターボードの揚力は考えずに想定する網幅を保つように横方向の拡網力のみを発生しているものとする。

曳網力を F とするとヘッドロープ中央部での流れの方向に平行な力の釣り合いは次式で表わされる。

$$\frac{F}{2} = R_n + \frac{R_k}{2} \quad (1)$$

Fig. 1. Net plan of the midwater trawl used in this experiment.

LL, lacing line length; NL, net length; HR, headrope; GR, groundrope.

Fig. 2. Schematic diagram of the force balance acting on the center of a headrope.

F , towing force; R_n , total drag of net; R_k , the total drag of canvas kites; L_k , lift of canvas kites; D , vertical component of F and R_n ; θ_1 , attack angle of lacing line to current; θ_2 , attack angle of bridle to current.

袋網とブライドルの1/2展開角を θ_1 , θ_2 とすると、曳網力 F と網の抗力 R_n の下方分力 D は次式で表わされる。

$$D = \frac{R_n}{2} \tan \theta_1 + \frac{F}{2} \tan \theta_2 \quad (2)$$

(1), (2)式より

$$D = \frac{R_n}{2} (\tan \theta_1 + \tan \theta_2) + R_k \tan \theta_2 \quad (3)$$

を得る。

したがってキャンバスカイトが流速に応じて下方分力 D に等しい揚力を発生すれば同じ網口高さが保たれることになる。キャンバスカイトの抗力 R_k 、揚力 L_k はキャンバスカイトの面積 A に比例すると仮定すると^{8,9)}

$$R_k = \frac{1}{2} C_D A \rho V^2 \quad (4)$$

$$L_k = \frac{1}{2} C_L A \rho V^2 \quad (5)$$

と表される。ここに C_D はキャンバスカイトの抗力係数、 C_L は揚力係数である。網口高さが一定の時、下方分力 D とキャンバスカイト揚力 L_k は等しいので、(3), (4), (5)式より

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} C_L A \rho V^2 &= \frac{R_n}{2} (\tan \theta_1 + \tan \theta_2) \\ &+ \frac{1}{2} C_D A \rho V^2 \tan \theta_2 \end{aligned} \quad (6)$$

となる。これを面積 A について解くと

$$A = \frac{R_n (\tan \theta_1 + \tan \theta_2)}{\rho V^2 (C_L - C_D \tan \theta_2)} \quad (7)$$

となり、必要なキャンバスカイトの面積が得られる。ところがキャンバスカイトは柔軟な帆布で作られているのでその特性がオッターボードとは異なる。そこでキャンバスカイトの設計に当たってはこれまでの報告¹⁰⁾を参考にして、揚力係数 C_L を0.6、抗力係数 C_D を0.8とした。

網の抗力 R_n は網地配置図から田内の理論式¹¹⁾にしたがって常用される曳網速度を 4 kt として 3700 kgw と求めた。そしてこの網の網口高さを 7 m として θ_1 を 8.47° , θ_2 を 4.09° とした。この網は、網口が設計どおりに円形に開くとすると直径が約 8.5 m となる設計であるが、ここでは余裕を持たせて 7 m 開かせることを考えた。これらの値と (7) 式によってカイトの面積を 2.56 m² とした。

キャンバスカイトはヘッドロープ、グランドロープに沿うような形で網に装着することで安定した拡網力がえられるものと考えた。キャンバスカイトの上端にはネットモニタを装着するための切り欠きがしてあり、そこから袖先の先端ヘブライドルを連結した。キャンバスカイトは流れを受けると湾曲し易く、迎角を厳密に設定することが困難である。そこで、最も効果的に機能するようにブライドルの長さをキャンバスカイトが湾曲せずに形状を保持したとすれば水平面に対し 40° となるように調節した。なお、模型実験に用いる浮子式の浮力、沈降力は (2) 式により 2 kt 曳網時に網口高さが 7 m 開くように実網で 95 kgw 相当とした。

実験方法

本研究ではキャンバスカイト式中層トロール網（以後、カイト式とする）について模型実験、実網実験の両方を行った。模型実験では流速に対する網口形状、面積の変化について、従来の浮子の浮力、沈子の沈降力によ

って網口を拡げる一般的な方式（以後、浮子式とする）と比較することでキャンバスカイトの有効性を明らかにした。また、実網の網口面積推定のためオッターボード間隔と網口幅の関係を調べた。実網実験では、実際の操業条件のもとでキャンバスカイトが設計どおり機能し、網口高さが一定に保たれるかどうかを確かめた。

模型実験 模型網の寸法の縮尺は 1/20 とし、フルード相似則に従い模型を製作した。¹²⁾ これは回流水槽において安定した流速が得られる範囲を 80 cm/s までと考え、この範囲に想定する曳網速度を収めるようにしたためである。模型網の網地配置図を Fig. 3 に、模型網の縮尺比を Table 1 に示す。

模型実験では、オッターボードの模型は使用せず、ブライドル先端を支柱に固定した状態で計測を行った。しかし実操業においては曳網速度とワープ長を変えることによりオッターボード間隔は変化する。実網における曳網速度を 2–5 kt、ワープ長を 250–450 m で変化させると、その間隔は 25–45 m の範囲で変化するものと推定

Table 1. Model scale factors

Parameter	Scale factor	Scaling ratio
Overall section dimensions	λ	1/20
Mesh size	λ_m	1/5.3
Twine thickness	λ_m	1/5.3
Current speed	$\lambda^{1/2}$	0.22

Fig. 3. Net plan with kites of the 1/20 model.

LL, lacing line length; NL, net length; HR, headrope; GR, groundrope.

Fig. 4. Illustration of the laboratory equipment.

1, Current indicator; 2, Current sensor; 3, Pen recorder; 4, Strain meter; 5, Load cell; 6, Video recorder; 7, Video camera; 8, Monitor; 9, Stanchion; V, Current direction.

される。この範囲は模型網では寸法比 1/20 によって 125–225 cm となる。したがって、これを支点間隔 x (cm) とし、等間隔に 5 段階に設定した。流速は実網の想定曳網速度範囲 2–5 kt と模型網の流速比 0.22 から模型網対水速度範囲を 22–57 cm/s とし、各支点間隔ごとにこの範囲で 7 段階に設定した。実験装置の概要を Fig. 4 に示す。

プロペラ式流速計によって計測した回流水槽の流速と、ロードセルにより検出したブライドル張力をペンレコーダーによって記録した。網口高さ、網口幅および網口面積については、水中ビデオカメラで網口正面を録画記録し、後にこの画像データをパーソナルコンピュータに取り込むことによって計測した。なお、網口高さとはヘッドロープとグランドロープ中央部の鉛直距離であり、網口幅とは左右刃切中央部の水平距離を示す。また、網口面積を袖網と袋網の境界線で囲まれた面積と定義した。

実網実験 1994 年 8 月 9 日と 26 日、北海道大学水産学部調査船うしお丸により北海道南茅部町白尻沖、水深約 250–350 m の海域で実験を行った。うしお丸は全長 33 m、主機関馬力 1000 ps、トップローラー間隔 3.95 m である。カイト式の中層トロール型採集具を Fig. 5 に示す。同図 b に示すように上部キャンバスカイトの上端には浮子を取り付けられており、投網時にキャンバスカイトが迎え角を保つよう揚力特性に影響を与えない程度の浮力を与えてある。同様の理由から同図 c に記すように、下部キャンバスカイトの下端はチェーンが取り付けられている。浮子にかかる抗力の下方成分は網、キャンバスカイトのそれに比べて非常に小さいためここでは無視した。ワープは直径 12 mm のステンレスワイヤー製で、ブライドルは直径 9 mm、長さ 49 m で

Fig. 5. Photographs showing the midwater trawl used.

a, Forward part of the net; b, Upper canvas kite; c, Lower canvas kite.

あり、ハンドロープは直径 12 mm、長さ 30 m のステンレスワイヤー製である。オッターボードは縦 1.35 m、横 0.95 m、縦横比 1.42、水中重量 175 kgw の縦型で、揚力係数 $C_L=1.3$ 、抗力係数 $C_D=0.5$ であるものを用いた。

計測項目は以下のとおりである。超音波式潮流計で船の対水速度を計測し、ワープ張力、ワープ長をトップローラーに組み込まれた張力計、線長計の電圧出力をペンレコーダーで記録することにより計測した。また、網深さ、網口高さを計測するためにネットモニタを上部ヘッドロープ中央に取り付けた。そして、オッターボード深さ、オッターボード間隔を計測するためにオッターグラ

フを右舷側オッターボード中央に装着した。これらの項目の計測をそれぞれ時間を同期させて行った。なお、用いたオッターグラフのオッターボード深さの計測範囲は水深 160 m までであるため、これを越える範囲のオッターボード深さはワープの俯角より推定した。本実験では西山ら⁶⁾にしたがい網の対水速度が船の推力と船と漁具の抗力によって結果的に生ずるものと考え、網の対水速度の設定は、プロペラピッチを変更することで推力を操作する方法によった。そして網の対水速度については直接計測できなかったため、その指標にはワープ張力を用いた。

計測前に予備実験を行い、計測器の測定可能深度範囲内で曳網できる条件を求め、プロペラピッチの可変範囲を 5.7–10.3° とし、曳網条件を 1.3° 間隔で 5 段階とした。また、ワープ長も 250–450 m の範囲で 50 m 間隔に 5 段階に変化させた。

結果と考察

模型実験 流速に対する網口高さの変化を Fig. 6 に示す。浮子式の網口高さは流速の増加にともない減少するが、各支点間隔での減少の傾向はほぼ同じである。流速 20 cm/s 付近での網口高さは設計どおり 35 cm (実網換算で 7 m) 以上に開いているが、流速の増加にともなって減少した。一方、カイト式では流速に応じてキャンバスカイトの揚力が大きくなるために、広い流速範囲で約 35 cm の網口高さを保持している。また、支点間隔に対する変化は浮子式に比べ明らかに小さくなっている。このことからキャンバスカイトが網口高さを保つのに浮子、沈子に比べ効果的であるといえる。また、キャンバスカイトの設計が、ほぼ適正なものであったと考え

Fig. 6. Relationship between the height of net mouth and the current speed.

Solid line indicates the experimental values of the float-type and the broken line indicates the experimental values of the kite-type.

られる。

網口幅は浮子式においてもカイト式においても流速に対してはほとんど変化しないが、支点間隔により変化した。カイト式の支点間隔 x (cm) に対する網口幅の変化を Fig. 7 に示す。網口幅はいずれの流速においても支点間隔の広がりにとまない緩やかに拡大していることがわかる。

実網実験では網口幅が直接計測できないのでオッターボード間隔からそれを推定しなければならない。そこで、カイト式模型網の網口幅 w (cm) を支点間隔 x (cm) の関数として表すと (8) 式のようにになった (相関係数 $R=0.98$)。

$$w = 0.076x + 15.4 \quad (8)$$

つまり (8) 式の両辺に寸法比の逆数をかけることにより、オッターボード間隔から実網での網口幅が得られる。

浮子式の網口面積は流速の増加にともない網口高さが減少するので、その結果として減少する。一方、カイト式では流速に対する網口面積の変化は Fig. 8 に示すようにほぼ一定となる。網口高さが流速、支点間隔の変化に対して一定であることから、網口面積の支点間隔による違いは網口幅によるものと考えてよいと思われる。

模型実験では網口面積を直接計測することができるが、実網での網口面積の計測はトロールソーナーのような特殊な計測器を用いない限り不可能である。¹³⁾ そこで、網口高さと網口幅を用いて網口面積の推定を次のように行った。一般的方法として網口を楕円に近似する方法があるが、模型網を見る限り網口形状は楕円とは言い難く、楕円近似では誤差が大きくなりすぎると思われる。そこで網口面積 A_n が網口高さ (H) 網口幅 (W) の積に比例すると考え、以下の式を仮定した。

Fig. 7. Relationship between the width of net mouth (kite-type) and the distance between stanchions in the flume tank experiment.

Fig. 8. Relationship between the area of net mouth (kite-type) and the current speed in the flume tank experiment.

Fig. 9. Comparison of the estimated values with observed values of the area of net mouth.

$$A_n = \beta HW \quad (9)$$

ここに、 β は網口形状の角張り具合を表わす係数で、1に近いほど網口形状が長方形に近付くことを意味する。また式の形から $\beta = \pi/4$ のとき網口は円形または楕円となる。実験結果より、支点間隔に対するそれぞれの β の値を求め平均し、このカイト式中層トロール網特有の β の値を0.88とした。つぎにこの推定値がどの程度実測値と一致しているかをFig. 9に示す。このときの相関係数 R が0.91であることを考えると、(9)式は十分実用的であると考えられる。

浮子式は網口幅が増加すると網口高さが減少するように網口幅と網口高さが互いに影響を及ぼし合うが、カイト式では網口高さに対する支点間隔や流速の影響がほと

んどないことがわかる。また、網口形状や面積の変化は、支点間隔の変化による網口幅によって生じるものと考えられる。このことは、実操業時にオッターボード間隔がどのような値をとったとしても、ある範囲内では、設計したキャンバスカイトによって網口高さ7mの条件を満足することを示している。つまり、濾水量を推定する際の網口面積を決定するパラメータが網口幅だけとなり、カイト式が浮子式に比べて定量的な標本採集に適することを示唆している。

実網実験 実験結果の解析には各曳網条件について計測されたデータの、網深さが安定した後3分間のデータを用いた。そして取得データを30秒ごとに読み取り、3分間の平均値を求めた。このようにして得られた結果をTable 2に示す。

Fig. 10にワープ張力と網口高さ、網口幅の関係をワープ長別に示す。網口高さは今回の曳網条件の範囲内においては全て7-8mの範囲に収まった。前項の1/20模型実験の結果、網口高さがほとんど35cmから40cmの間に収まっていたことを考えると、網口高さに関しては模型実験結果と一致するものと思われる。なお、計測されたワープ張力の範囲における船の対水速度は1.8-3.6 ktであった。

網口幅は計測器の都合で直接計測することができなかった。そこで(8)式を用いて、実測されたオッターボード間隔から実網の網口幅を求めた。その結果、今回の曳網条件の範囲内ではワープ長、ワープ張力によらず6.0-6.4mの範囲ではば一定と推定された。

網口面積は、実網の場合直接計測することが難しい。模型実験より得られた網口面積の推定式(9)に網口高さの実測値と、対応する網口幅の推定値を代入し、曳網条件ごとに網口面積を求めた。Fig. 11にワープ張力に対する推定網口面積を示す。網口面積は平均40.2 m²、標準誤差0.3 m²と求められた。

以上のことから、カイト式が網の対水速度が変わっても、網口形状、面積の保持という点で高い効果を持つことがわかる。今回の曳網条件の範囲内では、網高さについては模型実験の結果をかなり良く再現しており、実操業においてもカイト式中層トロール網の有効性および本研究で用いたキャンバスカイトの設計法が十分実用的であることを確認できた。

資源量調査用の定量採集具は採集効率が明らかで、濾水量を精度よく求めることができないと見なされる。本研究では、まず、採集効率を一定にし、濾水量を精度よく求めるために網口形状と面積を保持する方法に焦点をあてた。作成した中層トロール型採集具は網口形状と面積を一定に保つという点では所期の目的を達成できたと考えられる。しかし、同時に採集具の対水速度を精度よ

Table 2. Recorded values of the midwater trawl experiment by RV "Ushio-maru"

Warp length (m)	Ship's speed (kt)	Propeller pitch (deg)	R.P.M.	H.P. (ps)	Depth of otterboard (m)	Depth of net (m)	Height of net mouth (m)	Distance between otterboards (m)	Warp tension (kgw)		
									Starboard	Port	Total
250	2.1	5.6	668	169	120	117	7.3	39	730	690	1420
250	3.0	7.0	670	208	80	75	7.3	38	1020	360	1880
250	3.3	8.3	669	241	55	57	7.3	39	1330	1130	2460
250	3.3	10.2	661	294	52	54	7.3	39	1560	1200	2760
300	2.0	4.1	671	170	160	164	7.5	35	580	550	1130
300	1.8	5.8	666	176	127	127	7.5	40	720	650	1370
300	2.9	7.0	670	208	100	102	7.5	39	1000	800	1800
300	2.6	8.3	665	223	90	91	7.5	41	1010	970	1980
300	3.5	9.6	667	285	72	71	7.3	40	1530	1230	2760
300	2.8	10.3	661	305	60	62	7.5	41	1340	1280	2620
350	2.6	5.7	672	180	164	160	7.5	39	730	670	1400
350	2.9	7.0	671	199	135	135	7.5	40	930	830	1760
350	3.2	8.3	670	230	110	106	7.5	41	1130	1000	2130
350	3.6	9.6	668	270	90	86	7.3	41	1400	1230	2630
350	3.6	10.3	666	306	80	74	7.0	41	1600	1470	3070
400	2.2	5.8	665	178	175	179	7.8	43	790	680	1470
400	2.3	7.0	671	199	163	164	7.5	41	870	870	1740
400	2.7	8.3	663	—	135	134	7.5	43	1050	880	1930
400	3.2	10.4	661	307	90	87	7.5	43	1460	1300	2760
450	2.7	5.7	671	191	175	174	7.3	41	900	800	1700
450	2.4	7.0	671	199	169	174	7.5	41	870	800	1670
450	3.3	8.3	669	241	115	114	7.3	43	1270	1170	2440
450	2.8	9.7	662	274	118	119	7.5	43	1350	1180	2530
450	3.1	10.3	660	312	99	97	7.0	44	1500	1370	2870

Fig. 10. Relationship between the height and width of net mouth and the total tension of warp.

Solid line indicates the height of net mouth and broken line indicates the width of net mouth.

Fig. 11. Relationship between the area of net mouth (estimated) and the total tension of warp.

く測定しなければならないという問題を残している。また、網口形状を含めた採集具の作動状態を計測するシステムは、資源量調査を能率的に進め、その推定精度を保証する上でも不可欠なものである。このような採集具計測装置の開発は定量採集具の開発と同時に進めるべき課題である。また、採集効率是对象生物の行動に深く関係する。特に網口での逃避行動や、網目通過行動が重要なものと思われる。対象生物のこれらの行動を明らかにすることも今後の欠かすことのできない課題である。

おわりに、本研究を遂行するにあたって、御協力を頂いた泰東製網株式会社の中山豊光工場長ならびに今井伸幸研究開発室長に深く感謝する。そして実網実験の際に労を願った北海道大学研究調査船うしお丸の大越金蔵船長をはじめ乗組員の方々に深く感謝する。

文 献

- 1) R. C. A. Bannister, D. Harding, and S. J. Lockwood: Larval Mortality and Subsequent Year Class Strength in the Plaice (*Pleuronectes platessa* L.), in "The Early life history of fish, The Proceedings of at The Dunstaffnage Marine Research Laboratory of the Scottish Marine Biological Association" (ed. by J. H. S. Blaxter), Oban, Scotland, 1973, pp. 21-38.
- 2) P. H. Wieve, K. H. Burt, S. H. Boyd, and A. W. Morton: A multiple opening/closing net and environmental sensing system for sampling zooplankton. *J. Mar. Res.*, **34**, 313-326 (1976).
- 3) J. Dunn, R. B. Mitchell, G. G. Urquhart, and B. J. Ritchie: LOCHNESS a new multi-net midwater sampler. *ICES J. mar. Sci.*, **50**, 203-212 (1993).
- 4) D. C. Potter, R. G. Lough, R. I. Perry, and J. D. Neilson: Comparison of the MOCNESS and IYGPT pelagic samplers for the capture of 0-group cod (*Gadus morhua*) on Georges Bank. *J. Cons. int. Explor. Mer*, **46**, 121-128 (1990).
- 5) 松田 敏, 胡 夫祥, 佐藤 要, 五月女雄二郎, 春日 功: 中層トロールシステムの静的特性に関する海上実験. 日水誌, **57**, 655-660 (1991).
- 6) 西山作蔵, 三浦汀介, 中村秀男, 清水 晋: 中層トロール網の静的力学特性. 日水誌, **48**, 1095-1100 (1982).
- 7) J. Main and G. I. Sangster: A study of fish capture process in a bottom trawl by direct observations from a towed underwater vehicle. *Scottish Fisheries Research Report*, **23**, 1-21 (1981).
- 8) 松田 敏, 胡 夫祥, 小池 篤: キャンバス式の中層トロール網の静的特性. 日水誌, **54**, 1783-1788 (1988).
- 9) 胡 夫祥, 松田 敏, 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, **55**, 785-790 (1989).
- 10) 松田 敏, 胡 夫祥, 石沢 聡: キャンバス製拡張網装置, ウイングバラカイトの流体特性. 日水誌, **55**, 1927-1934 (1989).
- 11) 田内森三郎: 演習漁業物理学, 恒星社厚生閣, 東京, 1963, pp. 44-45.
- 12) J. N. Ward and R. S. T. Ferro: A comparison of one-tenth and full-scale measurements of the drag and geometry of a pelagic trawl. *Fisheries Research*, **17**, 311-331 (1981).
- 13) 三浦汀介, 米沢 崇: 幼稚魚の採集法. 月刊海洋, 286号, 19-25 (1994).