

キャンバスカイトを用いた曳網漁具の水深制御に関する模型実験

石崎宗周*¹, 北岡 宏*², 西 隆昭*¹, 不破 茂*¹, 江幡恵吾*¹

A Model Test of Depth Control for Towed Net Using a Canvas Kite

Munechika Ishizaki*¹, Hiroshi Kitaoka*², Takaaki Nishi*¹,
Shigeru Fuwa*¹, and Keigo Ebata*¹

Keywords : Canvas kite, Depth control, Model test

Abstract

In order to clarify the ability, mechanism and problems for controlling the depth of a towed net using a canvas kite, a model test was carried out in a flume tank. The changes of the depth and attack angle of the model netting mouth, which depended on the pulling length of the lifting rope, were measured under two conditions, one in which a lifting rope was connected to a model kite (W/K) and another in which a lifting rope was directly connected to the top of the netting mouth (W/O) for purposes of comparison.

The results obtained in this study were as follows. The depth decreased monotonously depending on the pulling length under the W/O condition, but it changed by decreasing or increasing under the W/K condition. The range of attack angle was from 15 to -10 degrees in the pulling length for the effective control of the W/K condition, while in the W/O condition, the attack angle of netting mouth decreased monotonously. The primary factor of the depth control using a kite seemed to be a direction of hydraulic forces by kite on the net mouth, and a relationship between the depth and angle of net mouth was shown, but there was a negligible influence on the projected area of netting mouth in the effective control.

The effective ability and mechanism of depth control using a canvas kite were also discussed with the necessity of more basic data for the development and design of the depth control system.

資源調査を曳網漁具を用いて行う場合、意図した水深への漁具設定は操業時の経験則に従うことが多く、漁具に取り付けた水深計から回収後に正確な曳網水深を読み取るか、音響技術を応用した高価な漁網監視システムを用いて漁具水深を監視しながら曳網索長を加減したり、曳網速度を調整して漁具水深を設定するのが現状である。したがって、魚群探知機で発見された魚群の組成を分析するために魚群が存在する水深に曳網漁具を正確かつ迅速に設定することは現在の技術では簡単にはできない。すなわち、資源調査に必要な曳網漁具の水深制御技術は現時点では不十分であり技術開発や改良が必要である。

漁具の水深を制御する研究は中層トロールを対象に西山ら^{1,2)}、松田ら³⁾、梅田⁴⁾、胡ら^{5,6)}、三浦ら⁷⁾および米沢ら⁸⁾があり、また、塩出ら⁹⁾は曳航型中層刺網を開発し身網の水深制御を試みている。米沢ら⁸⁾の方法は網口上部にキャンバスカイトを取り付けている点で他の研究者の方法とは異なる。これらの研究で想定している水深制御方法は曳網速度や曳網索長を変化させる方法であるが、これらの変化量に対する水深の応答は遅いことがいずれの研究においても報告されている。これに対し、ロープ(以後リフティングロープとする)を取り付けたキャンバスカイトを袋網の網口上部に取り付けてロープの長さ

*¹ 鹿児島大学水産学部漁業基礎工学講座 (Laboratory of Fundamental Fishing Technology, Faculty of Fisheries, Kagoshima University, 50-20 Shimoarata 4, Kagoshima, 890-0056 Japan)

*² ニチモウ株式会社 (Tennozu Yusen Building, 2-20 Higashi-shinagawa 2, Shinagawa-ku, Tokyo, 140-0002 Japan)

を曳網船上から変化させてカイトのキャンパーや迎角を変化させ、袋網の水深を制御する試みが水産庁事業^{*3}として実施されている。これはカイトを可変揚力体として使用した水深制御の唯一の試みであるが、カイトを作用させない場合の曳網水深が460mであったのに対して作用させた場合は450mとなり、水深の変化はわずか10mであったと報告されており、水深制御効果は小さいといえる。

キャンバスカイトはオッターボードと異なり柔軟なため、カイト自体に流れを与えて展開させるためにはロープなどをカイトの頂部や底部に取り付けて支持する必要がある。またこのとき、カイトの長さは縦、横ともに流れを与えない場合より短くなる。したがって、支持しているロープの長さを調整することでキャンパーや流れに対する迎角を変えることが可能で、それに伴って流体力特性を変化させることが可能である。このため、カイトを袋網の網口上部に取り付けて曳網船上からロープの長さを操作することでカイトの流体力特性を変化させて袋網水深を制御できるものと考えられる。

網口幅を広げる目的で使用されるオッターボードの代用としてキャンバスカイトを用いる研究は松田ら^{10, 11)}と胡ら¹²⁾によりおこなわれている。また、キャンバスカイトの流体力特性に関する研究は平布式キャンバスカイトの改良型であるウイングパラカイトについて松田ら¹¹⁾により模型実験がおこなわれ、キャンパーや湾曲度と迎角に対する揚力係数や抗力係数について検討されているが、単純な形状である平布式キャンバスカイトについては野々田ら¹³⁾と石崎ら¹⁴⁾により報告されているだけである。野々田らは縦方向の短縮率(同論文では横短縮と定義されている)と迎角に対する揚力係数や抗力係数について検討しているが、横短縮に伴うキャンパーと迎角については正確に検討していない。また、石崎らの報告では測定方法に起因する問題により、求められた係数にばらつきが大きく、また、圧力中心が求められていないためカイトの流体力特性が十分に明らかになっているとはいえない。

以上のように、水深制御に用いる場合のキャンバスカイトに関する設計資料は少なく、先に示したカイトによる水深制御の例は取り付けるカイトの形状に関する基本設計すら十分におこなわれた結果ではなく、実用に際して技術改良の余地があるものと考えられ、キャンバスカイトを用いた曳網水深を制御する技術開発にはキャンバスカイトを設計する上で重要である最適形状や流体力特

性を明らかにする必要がある。また、実作業におけるカイトによる水深制御効果や問題点などの基礎的知見を得る必要がある。

本研究はこのような基礎的資料収集の第一段階に位置するもので、大型回流水槽における模型実験でカイトに取り付けたリフティングロープの巻き上げ長を変化させた場合の曳網水深と網口迎角の変化を明らかにした。そして、キャンバスカイトを用いた曳網水深制御の可能性と制御メカニズムおよび問題点について検討した。

材料および方法

実験に用いたキャンバスカイトの模型形状はこれまでに唯一検討された事例^{*3}を参考とした。厚さ0.01mmのポリエステルシートから底辺10cm、高さ5cmの二等辺三角形を切り出し、その3ヶ所の角付近に直径1mmの糸通し用の穴をあけた。頂点付近の穴には直径0.20mmのステンレス線を取り付け、模型カイトを操作するためのリフティングロープとして用いた。底辺の2ヶ所の穴は袋網をカイトに取り付ける際に用いた。袋網には幅10cm、高さ30cmの二等辺三角形に切り出した平面網地4枚を縫合して作成した四角錐の袋網を用いた。網地はポリアミド製蛙又結節網地とし、網糸直径と脚長はそれぞれ、0.37mmと6.57mmであった。網口形状が変化して袋網の抗力が変化することを防ぐために、直径2.10mmのチタン線材を一辺10cmの正方形に折り曲げ、これを袋網の網口に取り付けた。また、模型に流れを与えた場合に模型の姿勢が安定するように網口上部の両端2ヶ所に直径13mmのABS製中通し浮子(総余剰浮力1.8g)をそれぞれ1個ずつ取り付けた。

実験は鹿児島大学共同利用施設大型回流水槽でおこなった。実験装置の概要をFig. 1に示す。回流水槽の観測水路部の幅は2mで、流れ方向および鉛直方向を観察するための観測窓の大きさはそれぞれ2.2mと1mである。模型カイトと袋網の運動はこの観測窓を通してビデオカメラで記録した。観測水路上部にはトラバース装置を設置し流線型支持棒を取り付けた。この流線型支持棒は中空になっており、一端に滑車を取り付けることで初期状態の袋網の曳網長と水深を水槽の外で調整できるようになっている。また、直径20cmの巻き取り用ドラムを取り付け、模型カイトに取り付けてあるリフティングロープを任意の長さまで巻き上げることが可能である。

^{*3} (社)全国底曳網漁業連合会・(社)漁船協会 (1990):平成元年度漁業新技術開発事業中層トロール技術開発報告書(漁具・漁法総集編), 11-59

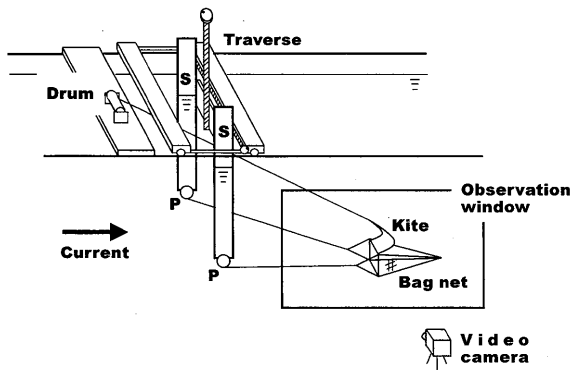


Fig. 1 Equipment and setup used for the model test. P and S show the pulley and supports with a current-shaped section. The movements of a bag net were recorded by a video camera with a timestamp, and the records were converted to AVI formatted files. From the files, the changes of points at the top and bottom of the net mouth were analyzed and the changes in angle and depth of the net mouth were calculated by a PC.

実験ではまず、流速を40cm/sに設定し模型カイトの頂点が下流側に十分なびくまでリフティングロープを繰り出し、袋網の水深が約70cmとなるように設定した。これを初期状態とした。次に、リフティングロープをドラムを回転させて設定した長さを巻き上げた。巻き上げ速度は2cm/sの一定とし、巻き上げ中および巻き上げ終了後10秒間以上の袋網の運動を記録した。運動記録の終了後、リフティングロープを再び繰り出して初期状態を設定した。異なる巻き上げ設定長を引き続き巻き上げ、同様に記録した。これらの巻き上げ設定長は6cmから30cmまでの2cm刻みとした。なお、対照実験としてリフティングロープを袋網の網口上部中央に直接取り付け同様の操作をおこない袋網の運動を記録した。

ビデオカメラに記録された画像はビデオキャプチャー機能を拡張したパーソナルコンピュータに画素数740×480 pixel, フレームレート2 flames/sの条件で動画ファイル(Audio Visual Interleaved; AVI形式)として取り込んだ。これらはパソコンのCRT上に任意の時刻の動画像を静止画像として表示し、その静止画像上の任意の座標を測読するプログラムをVisual Basicで作成し袋網の網口上部と下部の座標を測読した。

袋網の水深は網口上部と網口下部の midpoint の水深と定義し、リフティングロープを引き始めた時刻における水深との差で示した相対深度 $Depth(t)$ とした。

$$Depth(t) = \frac{Y_u(t) + Y_l(t)}{2} - \frac{Y_u(0) + Y_l(0)}{2} \quad (1)$$

また、次式により時刻 t における網口の流れに対する

迎角 $\theta(t)$ を算出した。

$$\theta(t) = \tan^{-1} \left[\frac{Y_u(t) - Y_l(t)}{X_u(t) - X_l(t)} \right] \quad (2)$$

ここで $(X_u(t), Y_u(t))$ と $(X_l(t), Y_l(t))$ はそれぞれ、時刻 t における網口上部と網口下部の座標を示す。

実験結果

袋網深度

リフティングロープの巻き上げに伴う模型の状態変化の一例を Plate 1 と Plate 2 に示した。いずれもリフティングロープの巻き上げ設定長は30cmであり、Plate 1 はリフティングロープをカイトに接続した場合について示し、Plate 2 は網口上部に接続した場合について示している。以後前者をカイト有りとし、後者をカイト無しとする。

リフティングロープの巻き上げに伴う深度変化をカイト有りの場合についてリフティングロープの巻き上げ設定長ごとに Fig. 2 に示した。縦軸には相対深度を示し、横軸には巻き上げ開始からの経過時刻を示している。また、リフティングロープの巻き上げ速度を一定にしたのでグラフは巻き上げ量と相対深度との関係も示している。

Fig. 2 よりカイト有りの場合、巻き上げ設定長が10cmまでの条件では巻き上げに伴って袋網深度は深くなり、12cmから26cmまでの条件ではいったん深くなり極大深度を示した後に浅くなったことがわかる。また、巻き上げ停止後2から3秒で水深が安定したことがわかる。巻き上げ設定長が28cm以上の条件では深-浅-深運動を示した。リフティングロープ巻き上げに伴うカイトの状態変化は Plate 1 では詳細に観察できないが、実験で記録したビデオの画像より深運動のみの場合、迎角は約180°から121°まで変化し、深-浅運動の場合は引き続き21°まで変化した。この深-浅運動では袋網が極大深度から最小深度まで運動する途中の相対深度0で迎角は約62°であった。この迎角はゼロ揚力迎角であると考えられる。この実験で使用したカイトと同じ型のゼロ揚力迎角は約60°であったと石崎ら¹⁴⁾は報告しているが、本実験結果から予想されるものとはほぼ一致した。このカイトの迎角の変化から、深運動は揚力がカイト迎角の減少に伴って下向きに増加した範囲で表れていて、深-浅運動では迎角の減少に伴って揚力が下向きに増加、減少、更に上向きに増加する変化に伴って深度が変化したといえる。また、深-浅運動の後には揚力が減少し、リフティングロープの極端な巻き上げでカイトの横断面が直線状、すなわちキャンバーが0で迎角がほぼ0の状態となった後にカイ

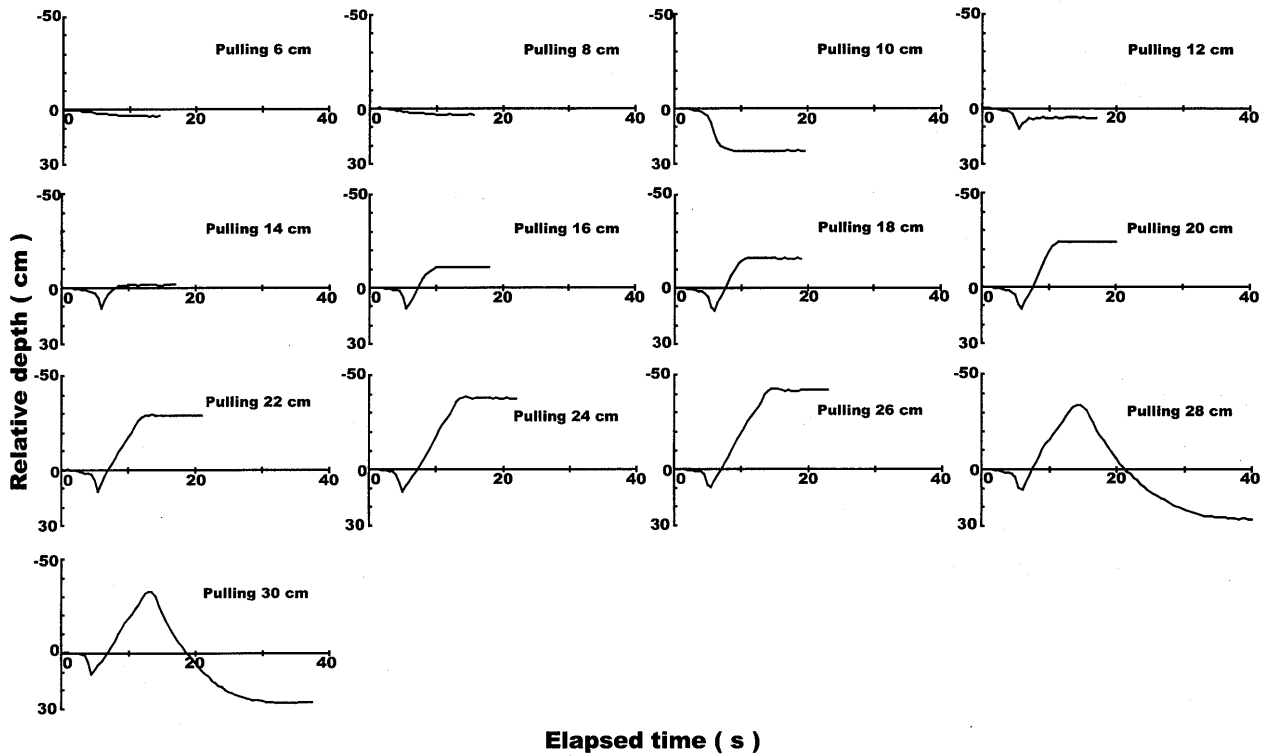


Fig. 2 Relationship between elapsed time and relative depth of a bag net with a model kite. The elapsed time is proportioned to the pulling length. Although the movements of the bag net were divided into three groups, down, down-up and down-up-down, depending on the pulling length, the mechanisms of all movements were explained by one of the down-up-down movements at a pulling length of 30 cm.

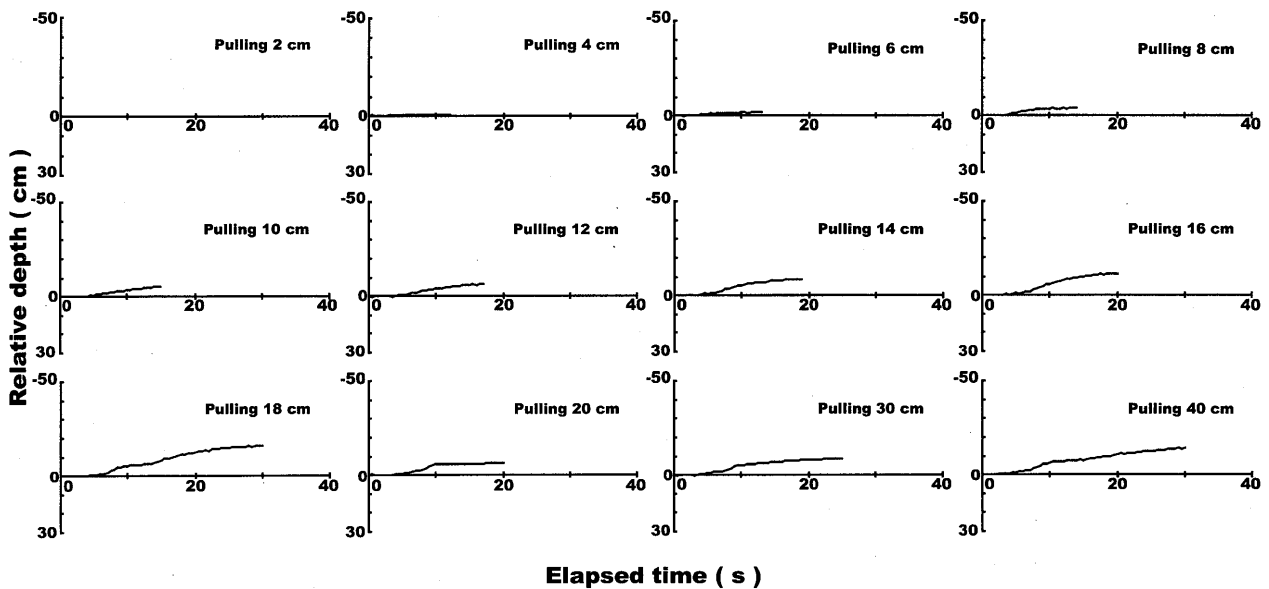


Fig. 3 Relationship between elapsed time and relative depth of a bag net without a model kite. The elapsed time is proportioned to the pulling length. The depths of the bag net decreased monotonously.

トの裏側から流れを受ける状態となり、発生した下向きの揚力で袋網が下に押し付けられるものと考えられる。この場合、網口迎角は減少して袋網抗力も減少するもの

と考えられる。深-浅運動後のこれらカイトの揚力変化と袋網抗力の変化により総合的に深-浅-深運動が表れるものといえる。以上から、相対深度と経過時刻または

相対深度と巻き上げ長との関係はリフティングロープの巻き上げ設定長で深運動、深-浅運動および深-浅-深運動に三分類できるが、実際には深-浅-深運動の説明ですべての巻き上げ設定長に対する袋網の運動メカニズムが説明可能であるといえる。

一方、リフティングロープの巻き上げに伴う深度変化をカイト無しの場合についてリフティングロープの巻き上げ設定長ごとに Fig. 3 に示した。袋網深度はカイト有りの場合と異なり、いずれの巻き上げ設定長の場合もリフティングロープの巻き上げに伴って単調減少した。また、カイト有りの場合と異なり巻き上げ停止後長時間深度は安定しなかった。Plate 2 からカイト無しの場合の袋網運動は、網口上部に接続されたリフティングロープの巻き上げに伴う網口の引き上げによることが明らかである。また、ビデオ画像より網口の引き上げによる慣性が袋網運動に作用していたことが推測できた。これらは巻き上げ停止後深度安定に長時間必要であった原因となるものと考えられる。なお、巻き上げ設定長30cmの条件でカイト有りの場合と無しの場合の深度変化を比較すると、最終的に安定する深度はカイト有の場合の方が十分に大きい。このことはカイト有りの場合、最小深度を示

した後に下向きの揚力が網口に作用したことを補足するものといえる。

網口迎角

リフティングロープの巻き上げに伴う網口迎角の変化をカイト有りの場合についてリフティングロープの巻き上げ設定長ごとに Fig. 4 に示した。横軸には巻き上げ開始からの経過時刻を示し、縦軸には相対迎角を $\theta_R(t)$ として示した。相対迎角は(3)式に示すとおり任意の時刻での網口迎角と巻き上げ開始前10秒間の平均網口迎角との差である。

$$\theta_R(t) = \theta(t) - \theta_m(0) \tag{3}$$

ここで、 $\theta_R(t)$ は時刻 t における相対迎角を示し $\theta(t)$ と $\theta_m(0)$ はそれぞれ、時刻 t における迎角と巻き上げ開始前10秒間の平均迎角を示す。また、相対迎角は網口上部が網口下部より前方に出て傾斜した状態を負とし、逆に網口上部が網口下部より後方に出て傾斜した場合を正とした。

相対網口迎角の変化は、相対深度の結果で示した通りリフティングロープの巻き上げに伴うカイトの状態変化

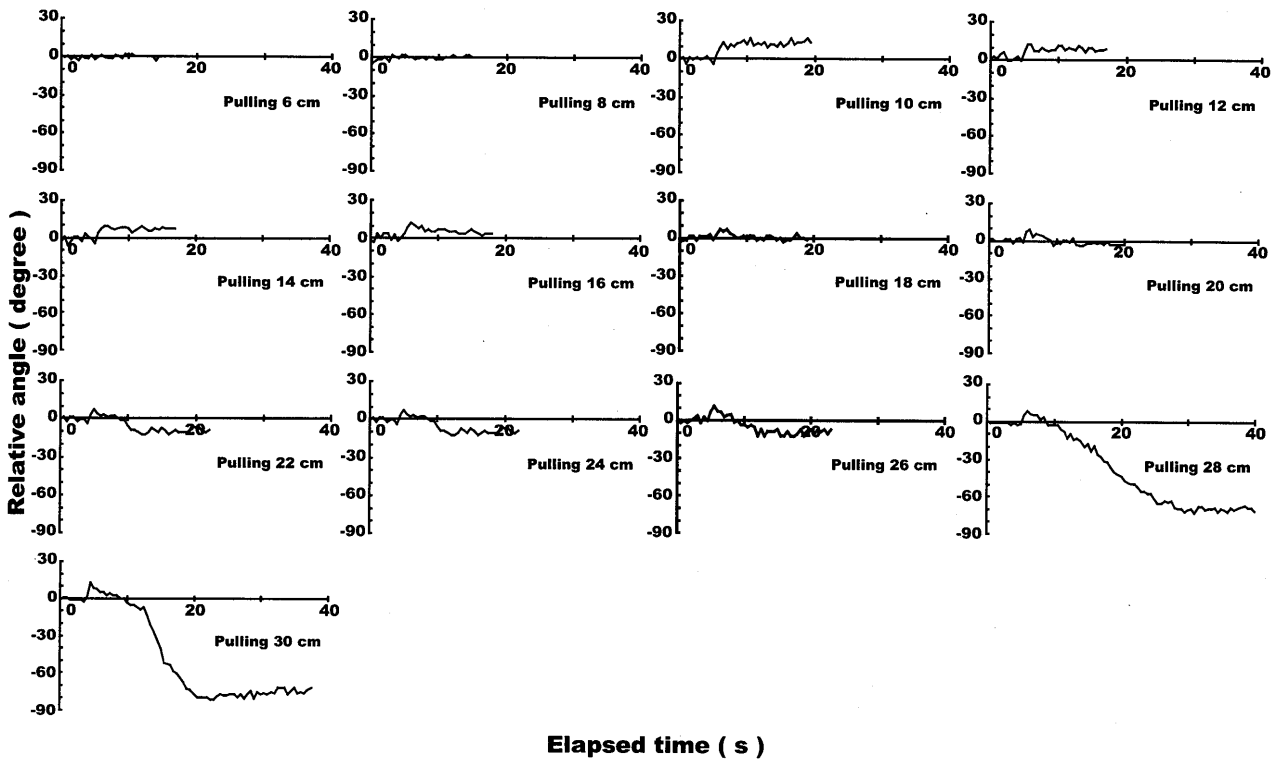


Fig. 4 Relationship between elapsed time and relative angle of a bag net with a model kite. The elapsed time is proportioned to the pulling length. All changes in the angle were explained by the down-up-down movement at a pulling length of 30 cm as in the changes of net depth.

が深-浅-深運動を示した巻き上げ設定長の場合で説明可能であったこと、Fig. 4のそれぞれのグラフが巻き上げ量の不足にしている部分を互いに補完しあう傾向を示したことから、すべての巻き上げ設定長に対する相対迎角の変化についても巻き上げ設定長30cmの場合で説明可能であるといえる。この巻き上げ設定長30cmの場合の相対深度の変化と相対迎角の変化を同時に Fig. 5 に示した。

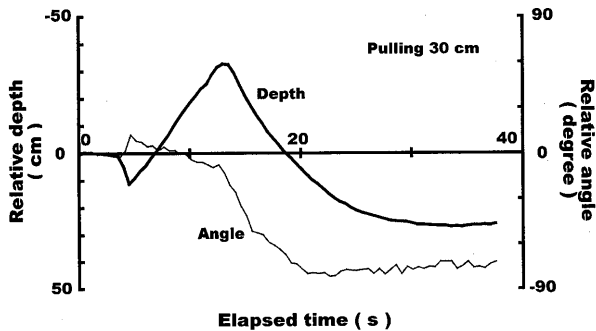


Fig. 5 Relationship between elapsed time and relative angle and relative depth of a bag net with a model kite under the pulling length 30 cm. In this figure, the range of angle seemed to be between 15 and -10 degrees in the range of the effective control. Radical changes in the angle were shown at the time of minimum or maximum depth.

Fig. 5 よりロープの巻き上げに伴って袋網深度が増加するときには網口相対迎角が増加し、網口上部が下部より後方に位置したことがわかる。そして、極大深度で網口相対迎角は瞬間的に最大値である15°を示した。また、袋網深度が減少し始めると網口相対迎角は最小深度を示

すまで徐々に減少し、網口上部が相対的に前方に移動した。この最小深度では網口相対迎角は約-10°となった。最小深度を示した後に深度が増大する範囲では、ロープの巻き上げが停止していても網口迎角は相対深度の増大と共に急激に減少し、相対迎角は約-80°まで達した。

相対深度の結果を示した際に、リフティングロープの巻き上げに伴うカイトの揚力変化に依存して袋網深度が変化すると考察した。しかし、これらの相対迎角の変化と相対深度の変化との関係は、深度変化はカイトの揚力の変化のみならず抗力と揚力の変化に大きく依存し、カイトを取り付けた網口上部がカイトに作用する抗力と揚力の合力方向に引かれることにより深度変化が生じることを示しているものと考えられる。

一方、リフティングロープの巻き上げに伴う網口迎角の変化をカイト無しの場合についてリフティングロープの設定巻き上げ長ごとに Fig. 6 に示した。Fig. 6 よりカイト無しの場合、いずれもリフティングロープの巻き上げに伴って網口は上部が前方になるように傾き続け、巻き上げ停止時の相対迎角-70°まで単調に減少し続け、その後傾きは変化せずにはほぼ一定であったことがわかる。

考 察

この実験結果から、キャンバスカイトを取り付けた袋網深度はカイトに接続したリフティングロープの巻き上げにより、カイトが作用していない初期深度よりも増加させたり減少させたりすることが可能であるといえた。

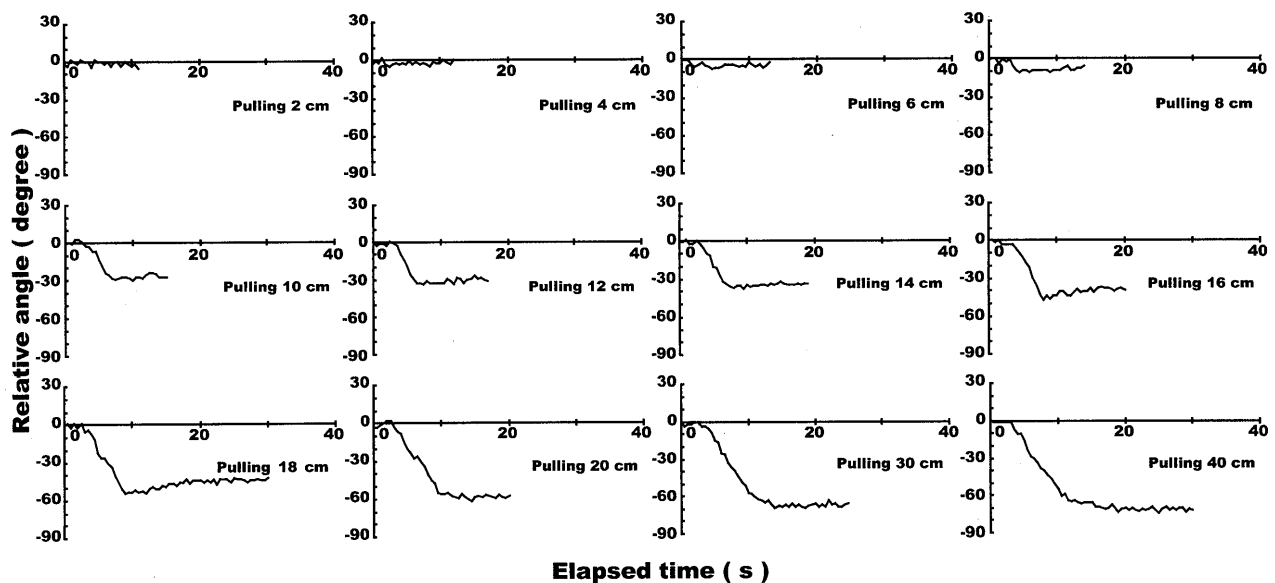


Fig. 6 Relationship between elapsed time and relative angle of a bag net without a model kite. The elapsed time is proportioned to the pulling length. The changes in the angle seemed to decrease monotonously.

このカイトによる袋網深度の制御機構は、リフティングロープ長の増減により変化するカイトの揚力と抗力の合力方向に網口上部が引かれることと、網口が引かれることにより迎角が変化しこれに伴って袋網自体の抗力が変化することによるものと考えられた。このことはリフティングロープ長の操作により網口迎角と深度が連動して変化することを意味する。また、リフティングロープの極端な巻き上げでカイトの作用により網口上部が下向きに押し付けられる現象が確認された。この現象は極端に迎角が小さい場合にはカイトの裏側から流れがあたり、この場合のカイトはいわゆる裏帆状態となり、揚力の作用方向が逆転することを意味した。実際には曳網船と袋網との位置関係から、静穏な海況でカイトの迎角が極端に小さくなり裏帆状態になることは考えられない。したがってカイトによる袋網の実効制御可能深度範囲は概ね極大深度と最小深度との間であると考えられる。

網漁具の漁獲効率は流れに対する網口射影面積を一つのパラメータとして表されるが、流れに対する迎角を θ_n とした場合の網口射影面積 $S_{\theta n}$ は網口の流れに対する最大射影面積を S_{nmax} とした場合次式として表される。

$$S_{\theta n} = S_{nmax} \cdot \sin \theta_n \quad (4)$$

本実験の結果ではカイト有りの場合、実効制御可能深度範囲での相対迎角の変化は 15° から -10° であり、迎角の変化では 75° から 100° に相当する。この場合、最大射影面積に対する網口射影面積の変化は3%以内となり、実験では網口迎角と深度との連性の影響は小さいといえる。しかしながら、本実験は実用を想定した模型実験の相似則を考慮していないことから、実用に際してはこれら連性のメカニズムを明らかにし、使用するカイトの迎角に対する揚抗力特性や袋網の抗力や沈降力を明らかにし、連性の影響を再検討する必要があるといえる。また、波浪の影響や曳網船の動揺によりリフティングロープ張力が減少し、一時的にカイトが不安定となり裏帆状態になりえるものと考えられる。カイトの形状不安定性は水深の不安定性に結びつくことから、カイトの設計にはこの裏帆防止機構を考慮する必要があるといえる。その上で具体的に実用のカイトによる袋網深度制御能力を検討する必要がある。

謝 辞

本研究に着手する機会を鹿児島大学名誉教授今井健彦博士に与えていただいた。また、本研究を遂行するにあ

たり北海道大学名誉教授梨本勝昭博士を始め、同大学院水産科学研究科山本勝太郎教授、平石智徳助教教授および山下成治助教教授には貴重な助言を賜った。実験装置の製作には鹿児島大学水産学部高岡勝義技術専門職員および丸儀雅孝技術専門職員の協力を賜った。深く感謝する。

参考文献

- 1) 西山作蔵, 三浦汀介, 中村秀男, 清水晋 (1882): 中層トロール網の静的力学特性, 日水誌, **48**, 1095-1100.
- 2) 西山作蔵, 三浦汀介, 中村秀男, 清水晋 (1882): 中層トロール網の動特性について, 日水誌, **48**, 1101-1105.
- 3) 松田皎, 胡夫祥, 佐藤要, 五月女雄二郎, 春日功 (1991): 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.
- 4) 梅田直哉 (1991): 中層トロールの最適レギュレータ制御系, 水工研研報, **12**, 31-41.
- 5) 胡夫祥, 松田皎 (1991): 中層トロールシステムの静的特性の解析法, 日水誌, **57**, 661-666.
- 6) 胡夫祥, 松田皎, 佐藤要 (1994): 中層トロールシステムの動的制御特性に関する海上実験, 日水誌, **60**, 493-497.
- 7) 三浦汀介, 清水晋, 西山作蔵 (1991): 中層トロールシステムにおける網とオッターボードの運動解析, 日水誌, **57**, 57-62.
- 8) 米沢崇, 藤森康澄, 清水晋, 梨本勝昭, 三浦汀介 (1996): キャンバスカイトを用いた資源調査用中層トロール網, 日水誌, **62**, 254-261.
- 9) 塩出大輔, 藤森康澄, 清水晋, 今井信幸, 三浦汀介 (1997): サンプルング用曳網型中層刺網の水深調節, 日水誌, **63**, 920-927.
- 10) 松田皎, 胡夫祥, 小池篤 (1988): キャンバス式中層トロール網の静的特性, 日水誌, **54**, 1783-1788.
- 11) 松田皎, 胡夫祥, 石沢聡 (1989): キャンバス製拡網装置, ウイングパラカイトの流体特性, 日水誌, **55**, 1927-1934.
- 12) 胡夫祥, 松田皎, 小池篤 (1989): 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.
- 13) 野々田得郎, 川崎徹, 藤原弘文 (1980): 布地を利用した曳網の研究-II 拡網布の形状と揚・抗力の関係, 三重水産研報, **7**, 55-62.
- 14) 石崎宗周, 不破茂 (1999): 中層トロール用キャンバスカイトの形状と流体特性, 日水誌, **65**, 400-407.

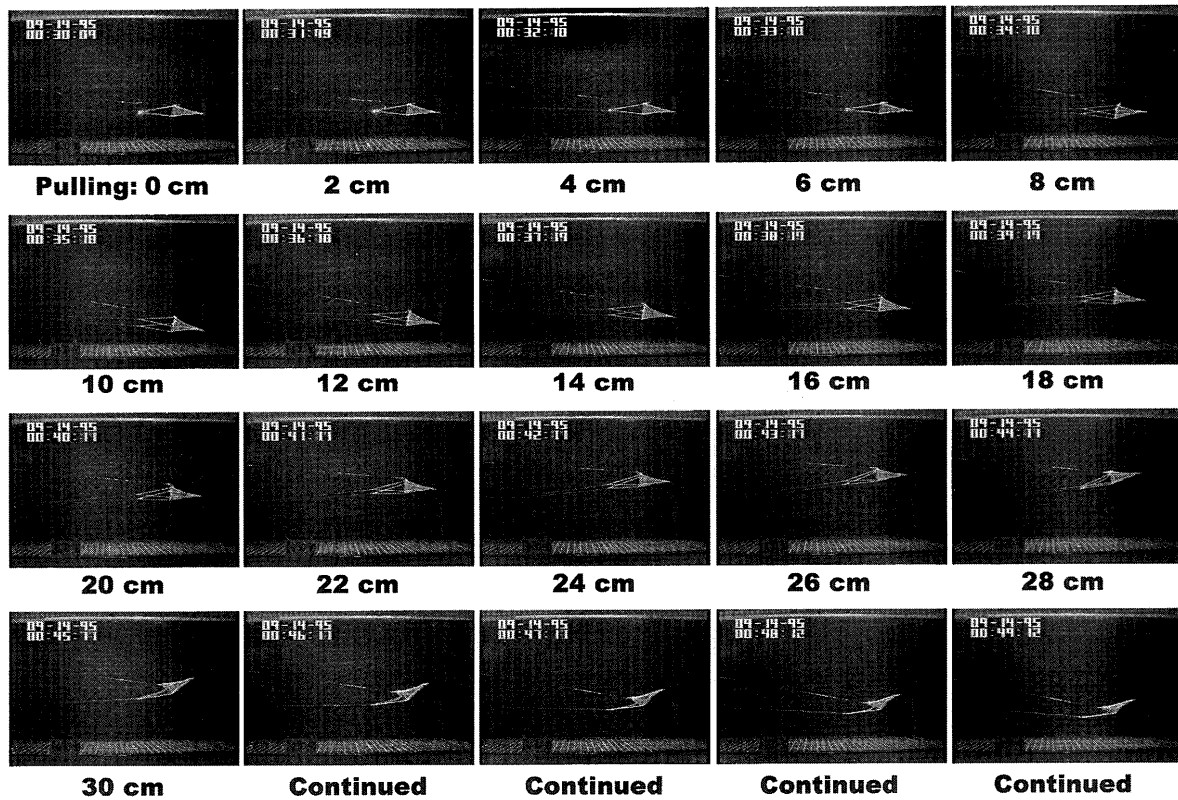


Plate 1 Change in net movement according to continuous pulling when the lifting rope was connected to the kite. After reaching the minimum depth at a pulling length of 26 cm, the attack angle decreased radically.

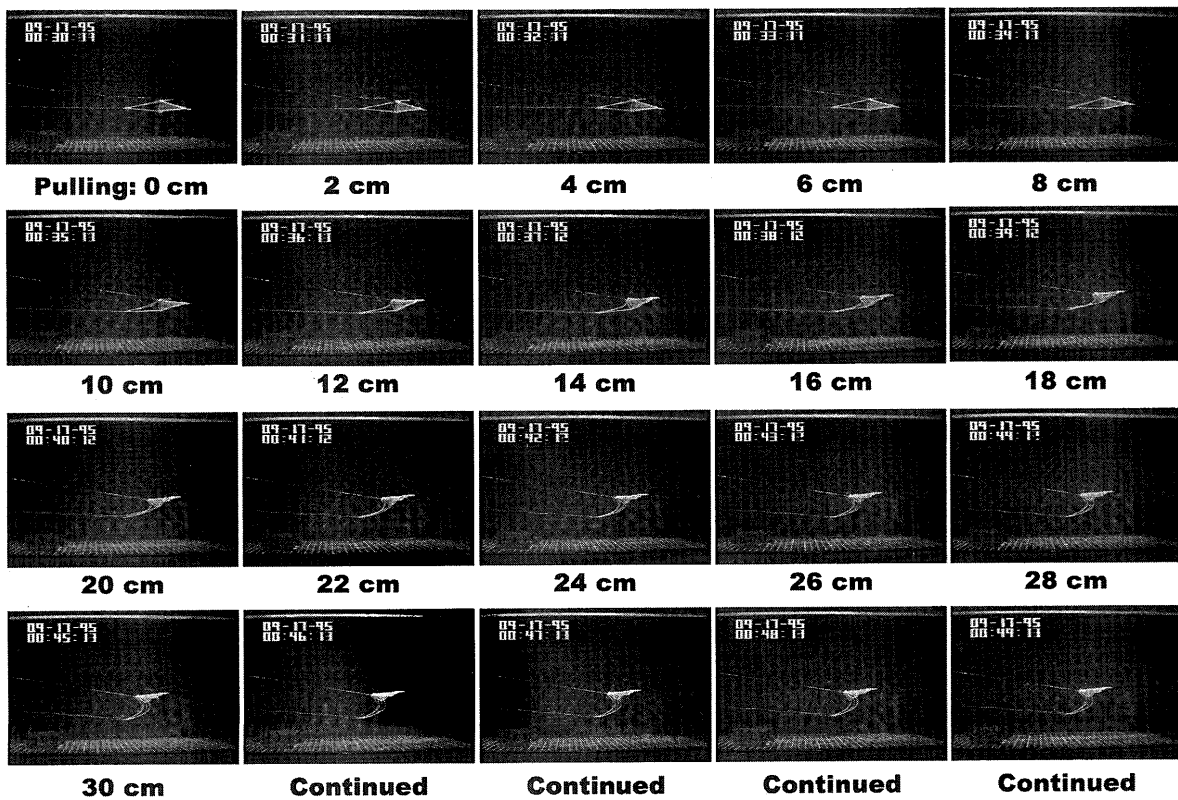


Plate 2 Change in net movement according to continuous pulling when the lifting rope was connected to the top of the net frame. In this plate, the top of the net mouth seemed to be pulled by the lifting rope only.