



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	標本採集用曳航型中層刺網の開発に関する研究
Author(s)	塩出, 大輔; SHIODE, Daisuke
Citation	MEMOIRS OF THE FACULTY OF FISHERIES HOKKAIDO UNIVERSITY, 47(2), 173-241
Issue Date	2000-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/21936
Type	departmental bulletin paper
File Information	47(2)_P173-241.pdf



標本採集用曳航型中層刺網の開発に関する研究¹⁾

塩出 大輔²⁾

A Study on Development of Depth-controllable (Towed) Gillnet for Fish Sampling

Daisuke SHIODE

目 次

緒 言	176
1. 基本設計	179
1-1 ワープと網の連結法と網成り	179
1-1-1 材料と方法	179
1-1-1-1 網の整定時間	180
1-1-1-2 網成り	180
1-1-2 結果	182
1-1-2-1 網の整定時間	182
1-1-2-2 網成り	182
1-1-2-3 複数反連結した場合の網成り変化	185
1-1-3 考察	188
1-2 抗力	190
1-2-1 材料と方法	190
1-2-2 結果	192
1-2-2-1 錘別の抗力変化	192
1-2-2-2 網全長別の抗力変化	192
1-2-2-3 網丈別の抗力変化	193
1-2-3 考察	193
2. 網水深応答特性	197
2-1 要因分析	197
2-1-1 材料と方法	197
2-1-1-1 模型網	197
2-1-1-2 水槽実験	198
2-1-1-3 網の平衡水深 D_{∞} と整定時間 T_s	198
2-1-2 結果	200
2-1-2-1 錘重量の影響	200
2-1-2-2 操作ワープ長の影響	201
2-1-2-3 ウインチ速度の影響	201
2-1-3 考察	203
2-1-3-1 平衡水深の予測	203

¹⁾ 北海道大学審査学位論文 (2000)

²⁾ 北海道大学大学院水産科学研究科資源計測学講座

(Laboratory of Marine Environment and Resource Sensing, Graduate School of Fisheries, Hokkaido University)

2-1-3-2	オーバーシュート量と整定時間	203
2-2	網水深応答特性	205
2-2-1	実験方法と計測項目	205
2-2-1-1	静的特性	206
2-2-1-2	動的特性	207
2-2-2	結果	207
2-2-2-1	静的特性	207
2-2-2-2	動的特性	209
2-2-3	考察	210
3.	採集能力および操作性	213
3-1	材料と方法	213
3-1-1	操業海域と試験内容	213
3-1-2	網の仕様	213
3-1-3	操業方法	215
3-1-4	網目選択性曲線の推定方法	217
3-2	結果および考察	220
3-2-1	採集能力	220
3-2-2	選択性曲線	223
3-2-3	海洋調査船における操作性	226
3-2-3-1	投網準備	226
3-2-3-2	投網	226
3-2-3-3	揚網	227
3-2-3-4	曳航型の網水深調節	228
4.	総合考察	230
4-1	基本設計	230
4-2	網水深応答特性	230
4-3	採集能力および操作性	231
4-4	今後の課題	233
5.	要約	235
6.	謝辞	236
7.	記号説明	237
8.	参考文献	240

Abstract

A new type of depth-controllable gillnet (towed gillnet) was designed for fish sampling surveys. The net was joined to a vessel with a single warp to control net depth. Flume-tank experiments were carried out to examine the optimum net design and net depth response using a model net. Two types of warp connection to the net (one is connected directly to the front edge of float line and the other is connected to the float line and sinker line through the forked bridle) were compared. Sea experiments were conducted using a full-scale net to investigate the effect of warp length and vessel speed (propeller pitch) on net depth. The sampling performance and selectivity of the towed gillnet for Japanese sardine *Sardinops melanostictus* were compared with those of a drift net used simultaneously in the experiments.

A Direct connection was adopted for the actual net. The size of net and the weight of main sinker was about 100 m long with 10 m depth and 30 kgw respectively, which were determined by the tank experiment. The relationship between the equilibrium depth and the warp length was approximately linear. The relationship between net depth and the elapsed time it took the net to reach the equilibrium depth could be approximated using a first order lag model. About one hundred sardines were caught in each haul by the towed gillnet. There were no remarkable differences between the towed gillnet and the drift net in the catch amounts and the selectivity curves. The towed gillnet was easier to cast than the drift net because of its simple construction. From these results, I concluded that the towed gillnet is efficient gear for sampling pelagic fishes.

Keywords : Towed gillnet, Sampling gear, Depth control, Mesh selectivity, Sardine

結 言

国連海洋法条約の批准により、日本国内においても漁獲可能量 (TAC) 制度が導入され、排他的経済水域内における水産資源の持続的な利用とその管理のために、現存の資源量を推定する必要性が高まっている (FAO, 1998)。そのため、関連する試験研究機関では資源調査およびこれに関連する研究が盛んに行われており、海洋資源調査で簡単に使用できる標本採集用漁具の確立が急務となっている。

これまで、現存資源量推定法として、漁業から得られる漁獲量や漁獲努力量などの情報を用いた資源統計学的手法が広く用いられてきた。この中には、年齢別漁獲尾数のデータを利用するコホート解析や、その手法を拡張したチューニング VPA (Virtual Population Analysis) をはじめとして、余剰生産モデルや DeLury 法, SPR (加入当たり産卵親魚量) に基づく管理手法など、漁業の現状や形態に合わせて多様な手法があり、精力的に研究されている (嶋津, 1983; 海洋水産資源開発センター, 1984; 平松, 1996; 桜本, 1998; 松宮ら, 1999)。その一方で、漁業による漁獲量は必ずしも現場の資源状況を正確に反映するものではない場合も報告されており、その補正の手段としても、漁業とは独立した資源調査による情報が重要視されている (Pennington and Strømme, 1998)。これは、漁業からの情報が不十分である場合や漁期外もしくは主要漁場以外の資源状況の把握に加えて、未利用資源の開発にも必要なものである (桜本, 1998)。そのため、近年では卵・仔稚魚の分布量の情報を基にした生態モデルによる生物資源学的手法に加えて、科学的根拠に基づく直接的な資源調査法の重要性が認識されてきている。このような資源調査研究では、調査海域における水温や塩分といった環境データに加えて、対象魚の標本から得られる生物学的データは非常に重要な情報となることから、海洋調査で使用できる採集用漁具の必要性が高まっている。

これまで、卵・仔稚魚を対象とした採集用漁具には、いわゆるプランクトンネット (ノルパックネット (元田, 1957), LNP (改良型ノルパックネット) (元田, 1974; 森, 1989), マルト B 型 (Nakai, 1962) マル中 B' 型 (Nakai and Hattori, 1962)) が開発され使用されてきた。表層曳きにはマル稚ネット (Nakai, 1962), その問題点について改良した新型稚魚ネット (渡邊ら, 1992), 仔魚を対象とした鉛直、傾斜曳きにはボンゴネット (McGowan and Brown, 1966; Smiss and Richardson, 1977; 森, 1981) が使用されている。また、多層開閉式ネットには、アメリカを中心とした MOCNESS (Wiebe et al., 1976; Wiebe et al., 1985) カナダでは BIONESS (Sameoto et al., 1980), ヨーロッパでは LOCHNESS (Dunn et al., 1993) や RMT (Dimmler and Klindt, 1990), そして日本国内においても ORI-VMPS (寺崎, 1991) などが開発されてきた。また、ある程度の遊泳力を持つ仔稚魚類に対しては、IKMT (アイザックス・キッド中層トロールネット) (Isaacs and Kidd, 1953) や、定量的な採集を目的として一定の網口形状を保持しながら高速曳網が可能なフレーム型トロール (板谷, 1999) などがある。このように、使用できる条件や用途に合わせて多様な採集用漁具が開発され使用されている。

一方、成魚の採集用漁具としては底生魚類に関しては底曳き網がある。また、その生物量の大きさと社会的影響の強さから TAC の対象種としても重要であるマイワシ、サンマなどを含む多獲性浮魚類に関しては中層トロールや刺網 (高橋, 1996; 高橋ら, 1996) が考えられる。特に、短時間で広範囲の海域を直接探査できることから近年注目されている、計量魚群探知機を用いた音響調査では、その魚種確認や対象魚群密度の推定のために中層トロールが用いられている (Gunderson, 1993; Godø et al., 1998)。しかし、このような調査では、必要な時間や使用できる船の設備に制限が多く、調査自体の規模も大き

くならざるを得ない。浮魚類の中でも、海面付近を中心に遊泳する魚種には表層の流し網が使用できる。しかし、遊泳水深が垂直方向に広い魚種に対しては、中層域を広くカバーできる中層トロールや中層刺網を使用することになる。中層トロールは任意の水深を比較的自由に採集できる漁具である。しかし、この漁具はトロールウインチやトップローラー、ならびに各種クレーン類といった特別な漁労設備を必要とする。加えて、他の漁具に比べ漁具の抗力が大きいため、曳網する船の設備や規模もそれに応じたものが要求される。また、経済的にも高価なものになるので、あらゆる研究機関で使用できるものではない。したがって、通常、このような浮魚類の採集には、大型の漁労設備を持たない海洋調査船においても操業が比較的容易な刺網漁具が使用される場合が多い(高橋ら, 1996)。これらの刺網は、一般に網を浮標浮子からロープで吊り下げる方法(Manzer, 1964; 待島, 1966; 山田ら, 1996; Aoki and Murayama, 1993)により海中に敷設される(このような漁具を、以後、流し網型とする)。しかし、このような漁具では操業中に網の敷設水深(以後、網水深とし、刺網の場合は浮子網の水深を基準とする)を調節できないため、海域や時刻によって遊泳水深が異なる場合が多い浮魚類を確実に採集することは困難であった。これまで、採集効果の向上を図り、網を上下に連結して網丈を増す方法(Mishima and Shimazaki, 1969; 岩間, 1968; 和田・北片, 1982)等も試みられてきたが、この場合には操業の手間が増加し、とくに荒天下での揚網作業が困難となる。これらの問題はそれぞれ調査時間の浪費や調査計画の失敗の原因となる。したがって、これらの問題を解決することができれば、確実な調査計画の遂行や調査時間の短縮が可能になる。

このような前提のもとに、本研究では経済的にも安価で操業しやすい刺網の利点を残し、かつ操業中に網水深の調節可能な漁具を実現するため、1本のワープで刺網を曳航する曳航型中層刺網(以下、曳航型とする)を考案した。刺網を船と連結して操業する漁法はこれまでも存在している。その例としては、風下側の船が風を受けることを利用して網成りを保持するという長崎県橘湾のさわら流刺網(大島・宮崎, 1969)や舷側から潮下側に網を流し、船上灯と水中灯で水面付近にまで集魚した魚群を羅網させる長崎県福江地区のきびなご刺網(茶碗谷, 1984)などがある。このように、ただ船に係留しておくだけのものから、漁法上、漕ぎ刺網(川村ら, 1992)・まき刺網に分類されるものまで様々なものがある(川村ら, 1992; 金田, 1977)。しかし、曳航型のように船と刺網をワープでつないで曳航し、操業中の網水深の調節を可能にする漁具は過去に例がない。

刺網による漁獲では網目が設計通りに開かなければならない。通常の商業用中層刺網は潮流に垂直な方向へ投網され、潮流とともに流されるが、曳航型は船につながれているので、船体が風や潮流の影響を受けることで、意図的に曳航しなくても若干の対水速度を持つことになる。したがって、流水中で網成り(ここでは、網および網目の形状を指す)が正常に保たれ、網が水平方向によく展開し、漁具の持つ本来の漁獲能力が十分機能するような構成としなければならない。

曳航型では網を任意の水深に沈めるための錘が必要となる。曳航型は投網後に微速で曳航されるので、その網水深は網の抗力と錘の沈降力およびワープ張力の力学的釣り合いとワープ長によって定まると考えられる。そのため、適正な錘の重量を決定するためには網の抗力を調べておく必要がある。また、安全に操業を行うためにも曳航時の網の抗力を把握しておくことは非常に重要である。曳航型の網は、曳航されることにより水平方向に展開した網成りが維持される。したがって、流れに平行に置かれた場合の網の抗力を調べる必要がある。松田・王(1987)や王・松田(1988)は、流線型枠を用いて流れに平行な網の抗力を測定する手法を提案し、網の仕様から抗力係数 C_D を推定する実験式を示した。しかし、曳航型は、曳航速度(網の対水速度)や錘の重量により網成りが変化するため、仕様や流速により網の展開

面積が異なるものと推測される。したがって、網の規模や錘の重量をそれぞれ変えた場合の抗力の変化を、網成りとの関連を含めて理解しておく必要がある。

曳航型を用いて適切に操業を行うためには、網水深応答特性について把握しておく必要がある。これまで、曳網類の網水深制御に関しては、計測器類の発達に伴って海上実験による直接的な観測と分析が行われるようになった。静的特性に関しては小山 (1967), 西山ら (1982), および松田ら (1991) などが、網の力学的特性と網水深、網成りとの関連について論じている。また、動的特性に関しては、葉室・石井 (1960), 三浦ら (1991), 胡ら (1994) がワープ長および曳網力を変えた場合の網の動態について分析した。さらに、西山ら (1982), 梅田ら (1991) は、中層トロールの網の挙動をシステムの応答系として捉え、そのシステム構成の分析と構築ならびにシステムパラメータの同定を試みた。しかし、これらの研究はすべてトロール漁具について行われたものであり、1本のワープで平面網地である刺網を曳航した場合の網水深応答特性について調べられた例はない。曳航型の網水深調節方法としては、トロール漁具と同様に、曳網力とワープ長の操作が考えられる。そのため、これらの条件を変化させた場合の網水深応答特性を調べておく必要がある。

刺網では、網地と魚群との遭遇頻度が増すほど羅網の機会が増す。そのため網水深を魚群探知機やソナーで探知した魚群の分布水深に設定することにより、羅網の機会が増し、採集の確実性を高めることができる。また、積極的に網を魚群に近づけることで総合的な操業時間の短縮も期待できる。このような漁具の実現を目的として、本研究では、主要採集対象魚として資源研究における重要種の一つであるマイワシの成魚を想定し、まず設計した刺網について模型を作製して微速で曳航した場合の網成りや抗力を調べることにより、ワープの取り付け方や錘の重量に関する曳航型の基本構成を決定した。そして、実物網に換算した場合の網寸法と抗力との関係を調べ、実用的な網寸法に関する設計指針を得た。さらに、ここで決定された基本的な曳航型の刺網について、模型実験により網水深応答特性に影響を与える要因について分析し、適切な操作法や注意点について整理した。そして、試作網を用いた海上実験により曳航型の網水深調節の実用性について評価した。また、実際に海洋調査船においてマイワシを対象とした操業試験を行うことにより、曳航型の採集能力や漁獲特性、操作性を評価した。最後に、総合考察として、これまでの結果を総括し、新しい標本採集具として提案した曳航型の有効性を総合的に論じた。

1. 基本設計

曳航型は1本のワープで船に刺網を係留し、微速で曳網する漁具である。したがって、曳航型の基本構成において、曳航状態における網成りに直接影響するワープと網の取り付け方は重要な問題であると考へた。既存の商業用刺網(大島・宮崎, 1969; 茶碗谷, 1984)を参考にすると、ワープを直接網の浮子網前端に連結する方法(直接方式)とブライドルを介して浮子網と沈子網に連結する方法(ブライドル方式)がある。本章では、微速で曳航した場合の網成りや抗力を調べることににより、ワープの取り付け方や錘の重量に関する曳航型の基本構成を決定した。さらに、実物網に換算した場合の網寸法と抗力との関係を求め、実用的な網構成に関する設計指針を示した。

1-1 ワープと網の連結法と網成り

直接方式とブライドル方式の2種類の模型網を作製し、回流水槽において、静水中と流水中の網成りを調べた。ここでは、網成りとして網の展開面積と網目形状を取り上げた。さらに、投網後に平衡水深に達する場合を想定し、その際の網成りの変化や整定時間を調べ、曳航型に適したワープの取り付け方を決定することを目的とした。ここで、平衡水深は網が沈降してから十分に安定した際の水深を指し、整定時間を平衡水深の95%に到達するのに要する時間と定義した。

1-1-1 材料と方法

模型網の原型は東京大学海洋研究所が主にマサバ *Scomber japonicus* の調査に使用している中層刺網である。この漁具の概要を Fig. 1 に示す。この網の目合は 72 mm で網の寸法は網幅 50 m, 網丈 9.2 m で

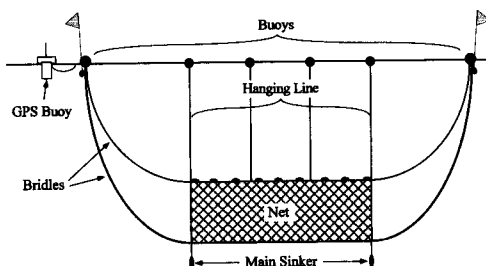


Fig. 1. Construction of a midwater gillnet.

Table 1. Specifications of the original net and the model net (1/30)

Items	Full scale	1/30 scale Model
Material	Nylon, monofilament	Nylon, multifilament
Diameter	0.4 (mm)	210 d/3
Mesh size (mm)	72	50
Hang-in ratio	0.47	0.47
Size (upper×lower×height)	51.8×50.0×9.2 (m)	175.3×169.3×30.7 (cm)
Total buoyancy (gw)	8496	8.5
Weight (gw)	8668	8.2

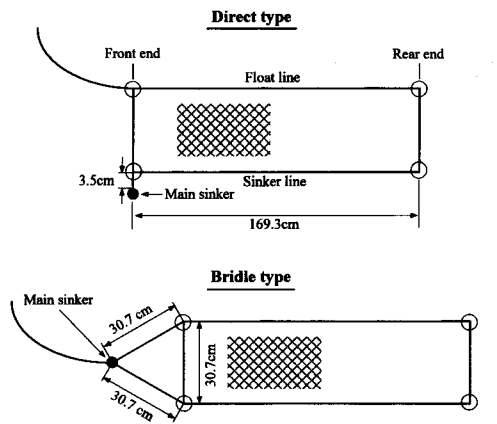


Fig. 2. Model nets used in flume tank experiments for settling time measurements (Upper, Direct type; Lower, Bridle type; ○, ●, depth measurement points).

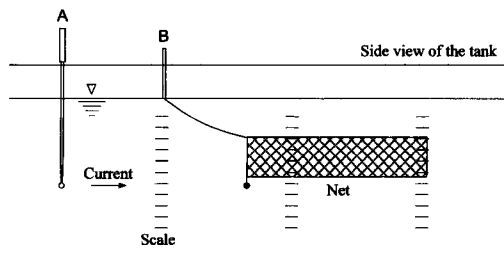


Fig. 3. Illustrations of the equipments used in flume tank experiments (A, Current meter; B, Traverser).

あり、浮子の総浮力および沈子の総沈降力はそれぞれ約 8.5 kgw で釣り合うように設計され、浮標浮子と浮標網を付加して網水深が調節されている。

模型網を回流水槽の規模を考慮して寸法比 1/30 とし、田内の模型相似則 (Tauti, 1934) にしたがって設計した。実物網と模型網の仕様を Table 1 に示す。この仕様の模型網を計 3 反作製した。ワープの取り付け方は直接方式とブライドル方式の 2 種類とした。Fig. 2 に示すように、直接方式では沈子網前端に錘を取り付け、ブライドル方式では筋縄と同じ長さ 30.7 cm のブライドルをとり、ワープとブライドルの連結点に錘を取り付けた。ワープとブライドルにはポリエチレン製の 440 d (デニール) の撚糸を使用した。

1-1-1-1 網の整定時間 実験は北海道大学水産学部の回流水槽において行われた。実験装置の概要を Fig. 3 に示す。一回の実験は、ワープの先端を水面上に設置した支柱に固定し、ワープと浮子網が水面に沿って水平になるように引き上げ解放し、網水深の沈降が止まるまでとした。この時の網水深を平衡水深とした。実験時の流速をプロベラ式流速計で計測し、本網の実操業での実用的な流速範囲を 0-1.0 kt と考え、流速比 0.96 より、0.25 kt 間隔になるように 0-49 cm/s の間で 5 段階に設定した。錘には水中重量 9.8, 15.1, 21.4 gw (実物網換算で 9.9, 15.3, 21.7 kgw) の球形の鉛を使用した。また、ワープの長さは、水槽の深さを考慮して 30-70 cm の間で 10 cm 間隔の 4 種類を選択した。

これらの条件を組み合わせる両方式の模型網について網の沈降過程を観測窓からビデオカメラにより記録した。このビデオ画像をパーソナルコンピュータに取り込み、網位置の計測部位を Fig. 2 に示す錘および浮子網・沈子網の前端、後端の 5 カ所とし、最初は 1 秒間隔で、10 秒後からは 3 秒間隔で各部の水深を画像から読み取った。

1-1-1-2 網成り 模型網 1-3 反を水平方向に連結し、静水中および流水中の網成りを調べた。本実験におけるワープと網の取り付け方を Fig. 4 に示す。実験の流速は網の整定時間計測の実験と同様であった。錘には水中重量 21.4 gw (実物網換算で 21.7 kgw) の球形の鉛を使用した。ワープの長さは、網が水槽の水深に収まるように適宜調節した。

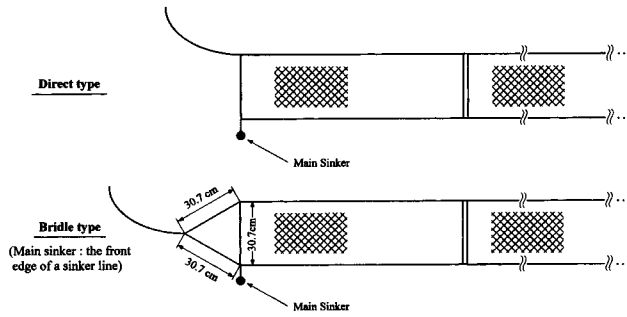


Fig. 4. Model nets used in flume tank experiments for shape of net measurements (Upper, Direct type; Lower, Bridle type).

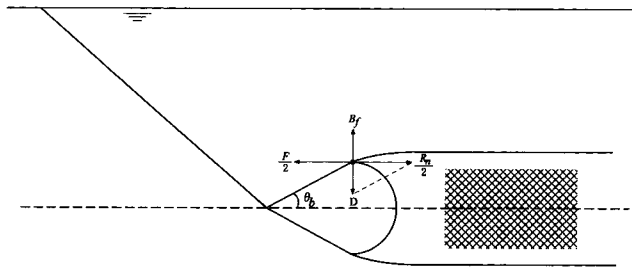


Fig. 5. Force balance at the front edge of a float line (R_n , Net drag; F , Horizontal component of warp tension; B_f , Buoyancy at the front edge of a float line; D , Down force at the front edge of a float line).

実験は、北海道大学水産学部の回流水槽において行われた。実験時の流速はプロベラ式流速計で計測した。各設定流速に模型網を1-3反まで連結して設置し、網の抗力をロードセルにより計測し、プロベラ式流速計の計測値とともにペンレコーダーに記録した。また、各設定条件における網成りを観測窓からビデオカメラにより記録した。このビデオ画像をパーソナルコンピュータに取り込み、得られた静止画像から網の連結部の高さおよび展開面積を求めた。

ブライドル方式では、網の全長が長くなるのにしたがって網の抗力が増加するために、網の前端部が狭まり、適正な網高さが得られないことが予想された。そこで、浮子網前端に浮子を付加することにより垂直方向の網の開きを改善し、正常な網高さを得るのに必要な浮子の浮力を次のようにして求めた。網の抗力 R_n が浮子網・沈子網前端に均等にかかると仮定すると、浮子網前端における力の釣り合いは、Fig. 5 のようになる。ここで、浮子網前端にかかる浮力 B_f は次式で表される。

$$D = B_f = \frac{R_n}{2} \tan \theta_b \quad (1-1)$$

ブライドルの開き角 θ_b は、実験により得られた結果から次式により求められる。

$$\theta_b = \sin^{-1} \left(\frac{|D_{f1} - D_{s1}|}{61.4} \right) \quad (1-2)$$

ここで、 D_{f1} 、 D_{s1} は、それぞれ浮子網前端、沈子網前端の水深である。61.4 という値は、ブライドルの長さ 30.7 cm の2倍として求められたものである。網の前端を正常に開かせるために必要な浮子の浮力

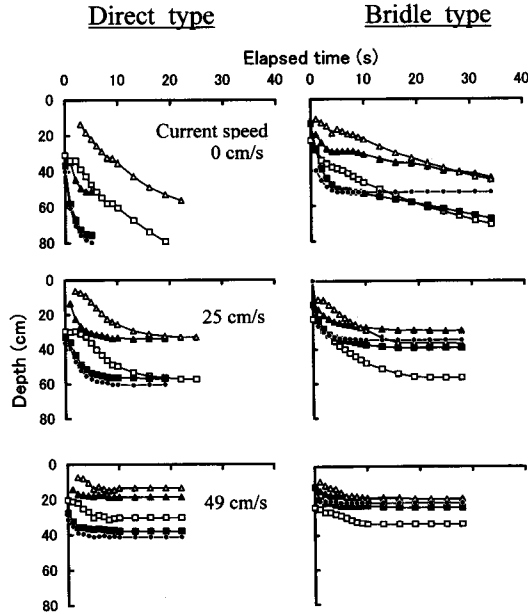


Fig. 6. Time series of depth of each measurement points (Warp length, 50 cm ; Main sinker, 21.4 gw).

- ▲, Front edge of a float line ; △, Rear edge of a float line ;
- , Front edge of a sinker line ; □, Rear edge of a sinker line ;
- , Main sinker.

B' (=沈子の沈降力) は次のように求められた。まず, 網の前端に浮子を付加していない場合に, 浮子網前端にかかる浮力を (1-1) 式により算出する。この浮力を B_f' とすると, 網の前端が正常に開いている場合に浮子網前端にかかる浮力は, (1-1) 式における $\theta_0=30^\circ$ の値であるから, B' は次式により求められる。

$$B' = \frac{R_n}{2} \tan 30^\circ - B_f' \quad (1-3)$$

1-1-2 結果

1-1-2-1 網の整定時間 網の沈降過程の例としてワープ長が 50 cm の場合を Fig. 6 に示す。両方式ともまず錘にひかれて前端から沈降し, 後端がそれに追従した。整定時間は網の前端よりも後端のほうが長い, それぞれ浮子網と沈子網ではほとんど差がなかった。

網の浮子網前端と後端の整定時間の計測結果について, 直接方式の場合を Table 2 に, ブライドル方式の場合を Table 3 にそれぞれ示す。この結果から, 両方式について, 網の前端が平衡水深に達してから後端が平衡水深に達するまでの時間を比較するため, 流速と浮子網の前端, 後端の整定時間の関係の例として, 全設定流速で計測が可能であった最大のワープ長である 60 cm で, 錘が 15.1 gw の場合を Fig. 7 に示す。両方式の前端, 後端とも流速の増大にともない整定時間が短くなる傾向があった。両方式を比較すると, 後端では両方式に大きな差はないが, 前端では, 流速 37 cm/s 以上ではその差は小さいものの, それ以下の流速では直接方式の方が明らかに早くなった。

1-1-2-2 網成り 直接方式とブライドル方式の網 1 反での流速と網形状の関係の一例 (錘: 21.4

Table 2. Results of flume tank experiments for the direct type of towed gillnet

Current speed (cm/s)	Warp length (cm)	Weight of main sinker (gw)	Equilibrium depth		Settling time	
			Front edge of a float line (cm)	Rear edge of a float line (cm)	Front edge of a float line (s)	Rear edge of a float line (s)
12	30	3.3	—	—	—	—
12	30	9.8	27.6	30.2	5	21
12	30	15.1	31.1	37.2	4.5	18.5
12	30	21.4	32.7	42.0	3	16
12	40	3.3	—	—	—	—
12	40	9.8	32.9	33.9	7	18.5
12	40	15.1	37.0	43.2	5.5	19
12	40	21.4	38.7	48.5	4.5	16.5
12	50	3.3	—	—	—	—
12	50	9.8	37.1	40.0	12.5	22.5
12	50	15.1	41.2	48.6	8	20.5
12	50	21.4	44.3	53.8	6.5	18
12	60	3.3	26.5	22.7	15	23
12	60	9.8	44.6	47.9	14.5	24
12	60	15.1	49.2	57.2	9.5	23.5
12	60	21.4	—	—	—	—
25	40	3.3	—	—	—	—
25	40	9.8	20.8	13.7	5	16
25	40	15.1	25.3	22.0	3.5	16
25	40	21.4	30.3	29.8	3.5	15
25	50	3.3	—	—	—	—
25	50	9.8	20.5	15.9	4.5	14
25	50	15.1	26.7	22.6	8.5	15
25	50	21.4	32.1	31.4	7	16.5
25	60	3.3	—	—	—	—
25	60	9.8	—	—	—	—
25	60	15.1	32.2	26.9	7	15
25	60	21.4	37.9	36.7	7.5	18.5
25	70	3.3	—	—	—	—
25	70	9.8	27.4	19.9	6.5	13
25	70	15.1	33.1	29.4	5	17
25	70	21.4	43.7	42.9	9.5	17.5
37	40	3.3	—	—	—	—
37	40	9.8	—	—	—	—
37	40	15.1	17.0	11.2	3	6.5
37	40	21.4	21.1	16.9	2	8
37	50	3.3	—	—	—	—
37	50	9.8	—	—	—	—
37	50	15.1	16.8	12.9	3	11.5
37	50	21.4	21.3	16.7	5	11.5
37	60	3.3	—	—	—	—
37	60	9.8	—	—	—	—
37	60	15.1	21.6	15.3	3.9	7.5
37	60	21.4	25.6	18.9	4.5	8
37	70	3.3	—	—	—	—
37	70	9.8	—	—	—	—
37	70	15.1	22.5	16.8	4	8.5
37	70	21.4	29.4	24.7	5	10.5
49	40	3.3	—	—	—	—
49	40	9.8	—	—	—	—
49	40	15.1	14.8	11.2	1	6.5
49	40	21.4	17.4	13.2	1.5	5.5
49	50	3.3	—	—	—	—
49	50	9.8	—	—	—	—
49	50	15.1	14.4	10.0	2.5	6
49	50	21.4	17.7	12.8	4	7
49	60	3.3	—	—	—	—
49	60	9.8	—	—	—	—
49	60	15.1	17.5	11.7	2	5.5
49	60	21.4	20.8	18.5	3.5	8
49	70	3.3	—	—	—	—
49	70	9.8	—	—	—	—
49	70	15.1	19.3	14.9	4	7
49	70	21.4	23.3	20.4	4	8.5

Table 3. Results of flume tank experiments for the bridle type of towed gillnet

Current speed (cm/s)	Warp length (cm)	Weight of main sinker (gw)	Equilibrium depth		Settling time	
			Front edge of a float line (cm)	Rear edge of a float line (cm)	Front edge of a float line (s)	Rear edge of a float line (s)
12	30	3.3	—	—	—	—
12	30	9.8	22.7	33.8	20	26
12	30	15.1	26.2	38.4	17.5	30
12	30	21.4	28.3	39.2	18	29
12	40	3.3	—	—	—	—
12	40	9.8	27.2	38.7	22	29.5
12	40	15.1	32.2	42.8	22	28
12	40	21.4	34.1	43.3	17	25
12	50	3.3	—	—	—	—
12	50	9.8	36.3	42.5	20	26
12	50	15.1	39.6	49.6	18.5	28
12	50	21.4	42.5	52.4	17	28
12	60	3.3	20.0	30.1	21.5	24.5
12	60	9.8	40.4	49.8	23.5	34.5
12	60	15.1	47.8	55.5	20.5	30
12	60	21.4	50.8	59.9	19.5	29
25	40	3.3	—	—	—	—
25	40	9.8	15.4	21.3	10	11
25	40	15.1	18.9	25.9	12	15
25	40	21.4	23.4	29.5	9.5	14.5
25	50	3.3	12.3	18.0	3.5	8
25	50	9.8	16.3	23.2	7	13
25	50	15.1	21.9	28.4	12	19.5
25	50	21.4	28.7	36.2	13.5	19
25	60	3.3	—	—	—	—
25	60	9.8	22.1	27.3	7.5	15
25	60	15.1	26.4	31.8	12	16.5
25	60	21.4	33.2	40.0	13	21.5
25	70	3.3	—	—	—	—
25	70	9.8	23.4	29.0	14	17.5
25	70	15.1	29.7	35.7	15.5	19.5
25	70	21.4	37.6	43.0	15	22
37	40	3.3	—	—	—	—
37	40	9.8	13.4	16.8	2.5	6
37	40	15.1	15.8	17.7	5	11.5
37	40	21.4	19.8	22.5	8	15.5
37	50	3.3	—	—	—	—
37	50	9.8	14.7	17.2	4	7
37	50	15.1	18.0	18.9	5	9
37	50	21.4	21.9	24.9	7	14.5
37	60	3.3	—	—	—	—
37	60	9.8	15.8	17.6	5	7
37	60	15.1	19.7	21.1	4	7
37	60	21.4	26.0	26.4	8	11.5
37	70	3.3	11.9	15.6	3.5	8.5
37	70	9.8	18.3	20.9	9	16.5
37	70	15.1	23.0	24.4	10	12.5
37	70	21.4	29.3	31.1	8.5	14.5
49	40	3.3	—	—	—	—
49	40	9.8	—	—	—	—
49	40	15.1	13.8	13.9	1	3
49	40	21.4	17.1	17.3	3	8
49	50	3.3	—	—	—	—
49	50	9.8	11.5	13.6	1.5	7.5
49	50	15.1	14.7	16.3	3	8
49	50	21.4	17.5	18.4	6	9
49	60	3.3	—	—	—	—
49	60	9.8	14.1	15.0	2	5
49	60	15.1	17.4	18.5	4	7.5
49	60	21.4	20.5	20.7	3	6.5
49	70	3.3	—	—	—	—
49	70	9.8	15.1	16.4	3	7
49	70	15.1	18.3	17.3	4	4.5
49	70	21.4	22.6	21.8	7	11

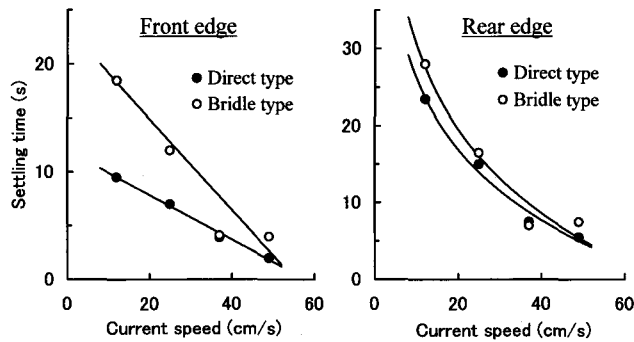


Fig. 7. Relationship between current speed and settling time of a float line.

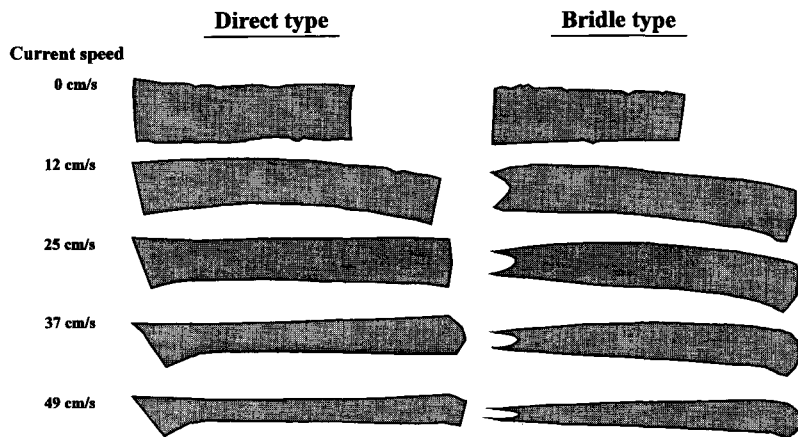


Fig. 8. Shapes of both types of towed gillnet for different current speeds (Main sinker : 21.4 gw).

gw) を Fig. 8 に示した。静水中においてはブライドル方式、直接方式ともに、沈降後に網がワーブ側にむかって縮まるため水平方向に十分に展開しなかった。流水中においては、ブライドル方式では水平方向に十分に展開するが、網の前端が垂直方向でつぶれてしまい、その傾向は流速の増加にともない顕著になった。そのため、つぶれた部分では適正な網目の開きも得られなかった。一方、直接方式では水平方向に十分に展開し流速が 25 cm/s までは網地が上下にもよく展開した。また、直接方式では網が水平方向に展開したが、ブライドル方式では特に低流速域において網の前端と後端に水深差が見られた。網地の観察では浮子網前端部に網糸の緊張がみられたものの、ほぼ全体的に適正な網目の開きが得られた。しかし、流速が 37 cm/s 以上の場合には、網の抗力の増加で浮子網より沈子網が後方にずれ、後方へ延びる網目脚がそれを支えるために沈子網の前部にくびれが生じた。両方式の流速と網地の投影面積の関係を Fig. 9 に示す。ここでは、Fig. 8 の最大面積を基準とした網地面積比で表した。全流速域においてブライドル方式の方が網地面積比が小さくなった。両方式とも流速 12 cm/s で面積が最大となったが、若干の対水速度を持つ状態において最も網が展開すると考えられる。

1-1-2-3 複数反連結した場合の網成り変化 直接方式と、錘を沈子網前端に取り付けたブライドル方式での流速と網成りの関係を網の反数別に Fig. 10-13 に示す。直接方式では、反数が増すにしたがって

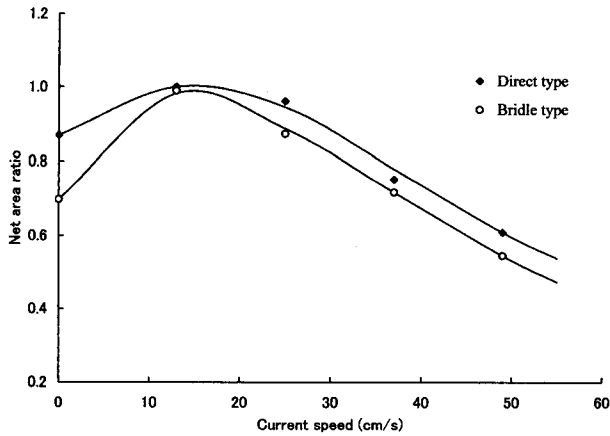


Fig. 9. Relationship between current speed and net area ratio in both types of towed gillnet (Main sinker : 21.4 gw).

Direct type (2 net units)

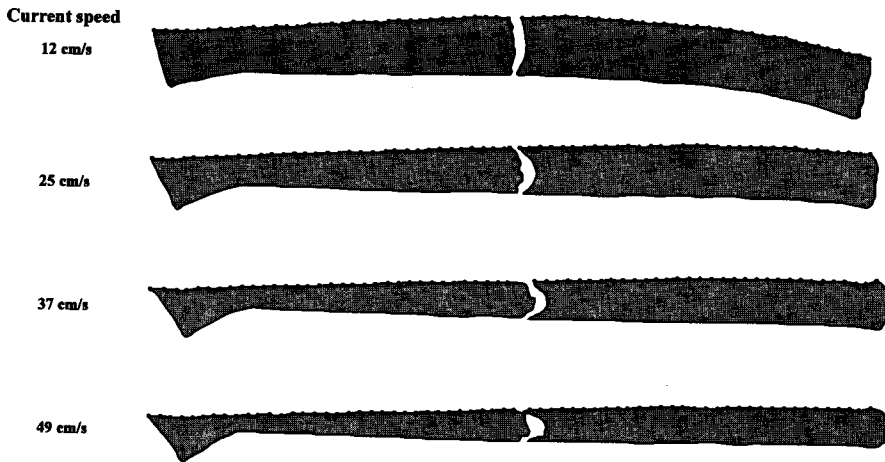


Fig. 10. Shapes of the direct type of towed gillnet (2 net units) for different current speeds (Main sinker : 21.4 gw).

網前端的くびれが顕著となった。この現象は反数が増すほど低流速域でも顕著に見られた。そして、網の反数を増すにしたがい、網高さは減少した。特に、3反の場合では低流速域でも適正な網高さは得られず、網地が上下にたわむことから、適正な網目の開きは得られなかった。一方、ブライドル方式で反数が少ない場合では、低流速域において浮子網が沈子網に比べて後方にずれた。そのため、網の前端では適正な網目の開きが得られなかった。これは、低流速域では網の抗力が小さいために、沈子網側のブライドルがワープと直線になる角度になるために、浮子網側のブライドルがたるんでしまうことによるものであった。この現象は、反数が増すにしたがい、また流速が増すにしたがって減少するが、その場合には網の前端が垂直方向につぶれ、網全体で適正な網高さが得られなかった。また、低流速域において

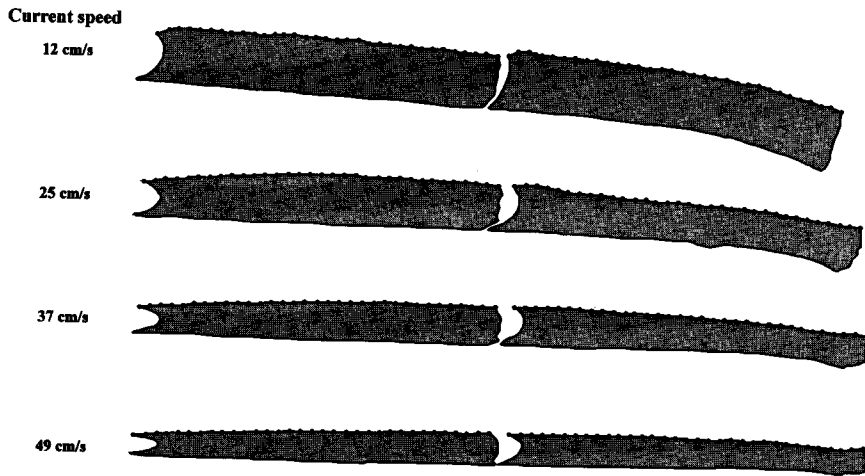
Bridle type (2 net units)

Fig. 11. Shapes of the bridle type of towed gillnet (2 net units) for different current speeds (Main sinker : 21.4 gw).

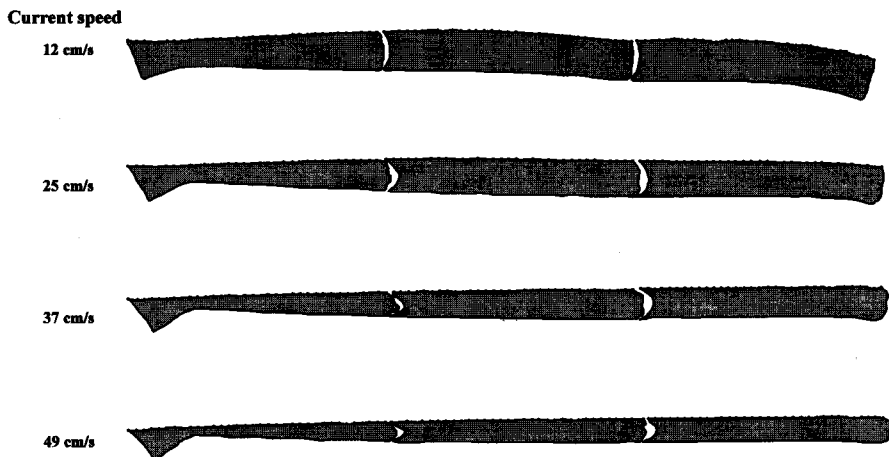
Direct type (3 net units)

Fig. 12. Shapes of the direct type of towed gillnet (3 net units) for different current speeds (Main sinker : 21.4 gw).

は、反数の増加にしたがって網の前端と後端の水深差が大きくなり、網が傾く傾向が見られた。両方式の流速と網の展開面積の関係を Fig. 14 に示した。両方式ともに流速が増すにしたがって網の展開面積は減少し、反数が増すにしたがってその傾向は顕著であった。両方式の網の抗力の計測結果を Table 4 に示した。さらに、ブライドル方式で網を3反連結した場合における網の前端部高さの計測結果と、これらの計測値をもとに、(1-1)-(1-3) 式を用いて計算した、網前端を正常に開かせるのに必要な浮子の浮力

Bridle type (3 net units)

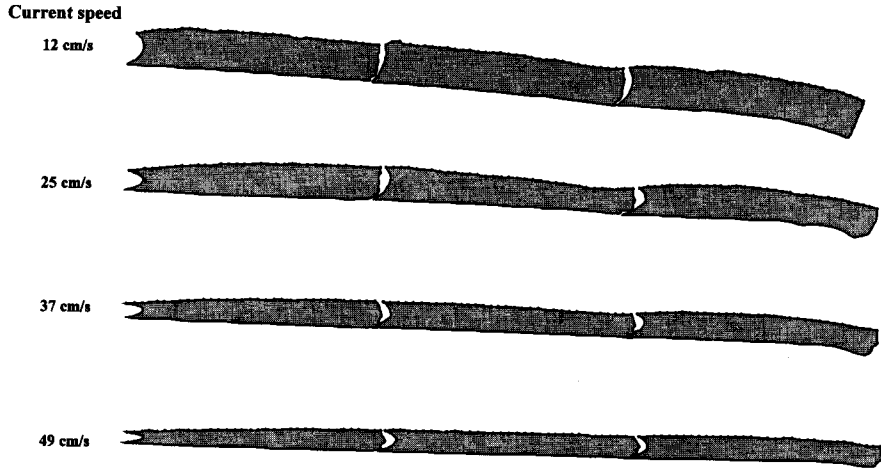


Fig. 13. Shapes of the bridle type of towed gillnet (3 net units) for different current speeds (Main sinker : 21.4 gw).

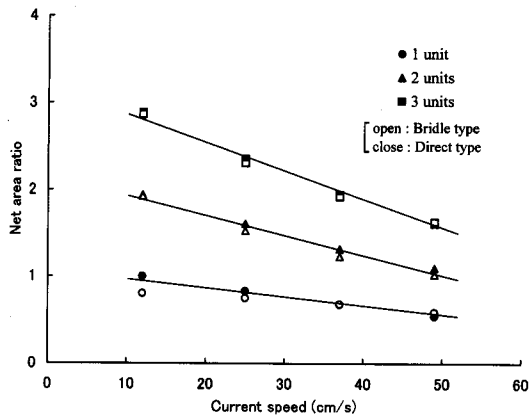


Fig. 14. Relationship between current speed and net area ratio in the both types of towed gillnet. Another all values were transformed to relative ones by which the value of the direct type at current speed 12 cm/s is assumed to be 1.0.

と流速の関係を Table 5, Fig. 15 に示した。必要な浮子の浮力は流速の増加とともに増し、流速約 25 cm/s (実網換算で 0.5 kt) では約 20 gw (同約 20 kgw), 流速 50 cm/s (同 1.0 kt) では約 60 gw (同約 60 kgw) が必要であった。

1-1-3 考察

曳航型は、静水中においては十分な網成りを得られないものの、12 cm/s (実網換算で 0.25 kt) 程度の対水速度を与えれば、網が水平方向に展開し、良好な網成りを保持できることが確認できた。そして、直接方式の方がブライドル方式に比べて、特に低流速域において網が水平方向に展開し、適正な網目の開

Table 4. Results of net drag measurements for both types of towed gillnet

Rigging	Number of net units	Current speed (cm/s)	Net drag (gw)
Direct type	1	12	19
		25	44
		37	67
		49	95
	2	12	35
		25	75
		37	117
		49	167
	3	12	50
		25	108
		37	180
		49	253
Bridle type	1	12	19
		25	36
		37	67
		49	90
	2	12	38
		25	75
		37	114
		49	157
	3	12	44
		25	105
		37	174
		49	248

Table 5. Net height of a front edge of the net (Bridle type, 3 net units) and estimated buoyancy required to be the regular bridle angle

Current speed (cm/s)	Net height (cm)	Estimated buoyancy (gw)
12	14.7	7.4
25	8.0	23.4
37	5.2	42.6
49	4.4	62.6

きを得られることがわかった。また、本網が標本採集用に使用されることを考慮すれば、網の一部であっても、速やかに平衡水深に達する直接方式が曳航型のワープの取り付け方に適している。

複数反連結した場合の網成りを観察した結果、網を2反以上連結した場合には、低流速でも網成りの崩れが大きく、適正な網目の開きが得られないことが分かった。このことから、曳航型の網全長は、本

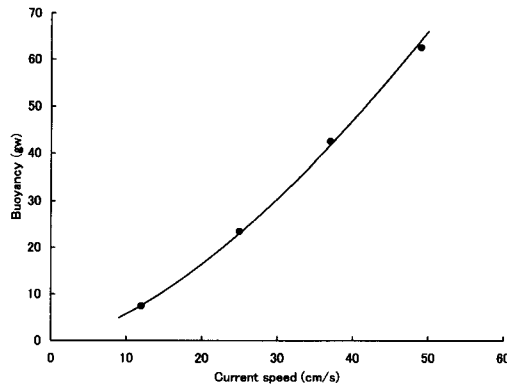


Fig. 15. Relationship between current speed and estimated buoyancy required for the regular bridle angle.

実験での2反程度、実網で約100 m程度において良好な網成りが得られることが分かった。やむを得ず網全長を増したい場合には、網の前端に負荷がかかりにくいブライドル方式を利用する方法がある。その場合には、網の前端部が上下につぶれてしまうのを防ぐために、網の前端に浮力と沈降力を増すことにより開きを改善することができる。しかし、本実験で得られた結果から、実網で網全長150 m程度の網を用いる場合に必要な浮子の浮力は曳網速度0.5 ktで約20 kgw、1.0 ktでは約60 kgw程度となった。この程度の浮力を本漁具に付加するためには、刺網漁具に対して非常に規模の大きい浮子を用意する必要があり、現実的であるとは言えない。ブライドルの長さを増せば、この浮力を少なくすることができるが、その場合には、網の運動性能がさらに悪くなることが予想される。

以上から、曳航時に水平方向に展開した網成りが得られ、なおかつ適正な網目の開きを得られる曳航型の基本構成は、直接方式で網全長が約100 m程度の場合と判断できる。

1-2 抗力

本節では、網全長や網丈を変えた模型網を作製し、それぞれの網の抗力について調べることにより、適正な錘の重量について検討した。さらに、網寸法と実物網に換算した場合の抗力との関係を調べ、網の仕様と平衡水深との関係から実用的な網寸法に関する設計指針を得ることを目的とした。

1-2-1 材料と方法

模型の原型とした網は、1反の長さ30 m、網丈9.7 mのマイワシ *Sardinops melanostictus* 成魚採集用に設計された網（モノフィラメント・ナイロン、目合33 mm、直径 ϕ 0.284 mm）である。田内の模型相似則（Tauti, 1934）に従い、寸法比1/15の模型網（網全長2 m、網丈0.7 m）を計3反作製した。また、この寸法から網丈を0.5倍（網丈0.3 m）、1.5倍（同1.0 m）したものも計3反ずつ作製した。原型とした網と実験に使用した模型網の詳細をTable 6に示す。網の構成はFig. 16に示した。網地にはナイロン110 d/2、目合24 mmのものを使用した。模型網を作製する上で、浮子と沈子にも比較法則を適用するのが理想である。しかし、入手できる材料の制限から比較法則に完全に沿って作製するのは困難である。したがって、本模型網に関しても、特に浮子に関しては入手できるものの中からできるだけ寸法が小さい円錐形のプラスチック製浮子（長さ8 mm、幅5 mm）と直径 ϕ 2 mmの円柱状の発泡スチロール材を長さ約20 mmに切り、各浮子間に取り付けて調整した。

Table 6. Specifications of the original net and the model nets (1/15) used in drag experiments

Net	Float line (m)	Sinker line (m)	Net height (m)	Diameter (mm)	Mesh size (mm)
Full scale	30	30	9.7	0.28	33
1/15 model	2	1.6	0.7	0.2	24
// (with a half net height)	2	1.8	0.3	0.2	24
// (with 1.5 times net height)	2	1.5	1.0	0.2	24

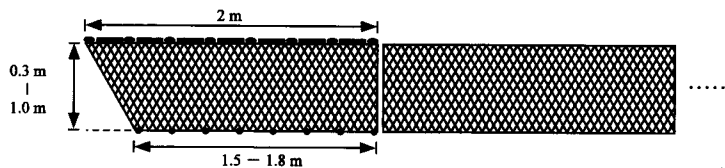


Fig. 16. The model net used in drag experiments.

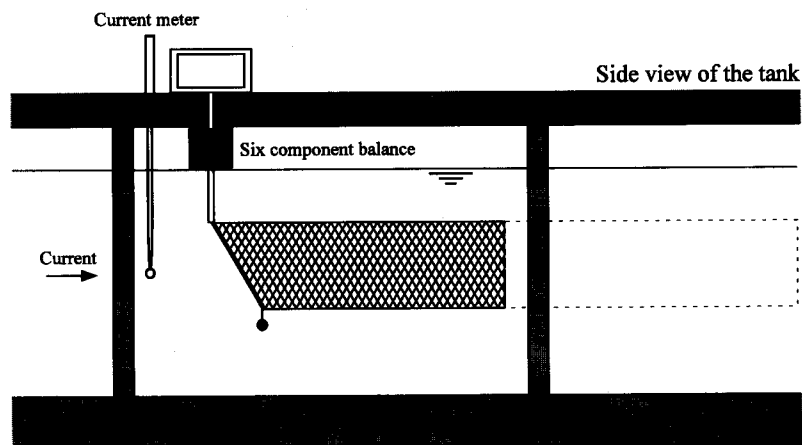


Fig. 17. Illustration of the equipments used in drag experiments.

実験を行う前に試作した網を定常流水中に設置したところ、網の後端が浮上し、斜めに傾いた網成りとなった。傾いた主要因は、流れを受けた場合に網の前端下部が吹かれることによってたわみが生じ、揚力が発生したためと考えられた。そこで、吹かれの主要因となる部分をあらかじめ無くすために、浮子網前端の最初の網目から延びる網目脚に沿ってこの部分を切除した。そのため、網の寸法は浮子網長 2.0 m で沈子網長が 1.6 m (網丈が 0.5 倍の網で 1.8 m, 網丈が 1.5 倍の網で 1.5 m) であった。

実験は、東京水産大学の大型回流水槽 (観測部長さ 7.0 m, 水路幅 1.45 m, 常用水路 1.2 m) において行われた。実験設備の概要を Fig. 17 に示す。錘には、前節で想定された実用的な重量範囲である実網換算で 10-30 kgw となるように、水中重量 39, 77, 116 gw の 3 種類を用いた。3 種類の丈の網をそれぞれ横方向に連結することにより、網全長、網丈、錘を組み合わせた構成の網を用いて、流速を 10-50 cm/s (実網換算で 0.2-1.0 kt) の間で 9 段階に変化させた場合の抗力を測定した。流速はプロペラ式流速計を用

い、網の抗力は6分力検力計を用いて計測した。プロベラ式流速計と6分力検力計の信号は、動ひずみ測定器(共和電業製DPM-6H)、AD変換ボードを介してパーソナルコンピュータに入力された。計測データはいずれも20 Hzで収録し、解析には計測した5分間の平均値を用いた。実験期間中の水温は約20°Cであった。

本研究では、網の抗力に加えて、抗力係数 C_D とレイノルズ数 R_e の関係について調べた。ここで、網の抗力係数 C_D は、網糸の投影面積から次のように算出した。

$$C_D = \frac{2R_n}{\rho\psi SV^2} \tag{1-4}$$

ここで、 R_n は測定された網の抗力(kgw)、 ρ は水の密度(kgw s²/m⁴)、 S は設計通りに開いた場合の網の展開面積(m²)、 V は流速(m/s)である。 ψ は結節を無視した場合の網地面積に占める網糸面積の割合であり、次式で表される。

$$\psi = \left(\frac{d}{l}\right) \frac{1}{\sin\phi \cos\phi} \tag{1-5}$$

ここで、 d は網糸直径(m)、 l は脚長(m)、 ϕ は縮結角(2脚の交角の半分)である。また、 R_e は網糸直径を代表長さとして次式で表される。

$$R_e = \frac{dV}{\nu} \tag{1-6}$$

ここで、 ν は水の動粘性係数(m²/s)である。

1-2-2 結果

1-2-2-1 錘別の抗力変化 網丈0.7 m、網全長4 mで、錘を変えた場合の流速と抗力関係をFig. 18に示す。錘を変えても抗力にはほとんど差がなかった。この場合のレイノルズ数 R_e と抗力係数 C_D の関係をFig. 19に示す。本実験で計測した R_e が100以下の範囲では、 C_D は R_e に対して直線的に減少した。王・松田(1988)は R_e が約70以上の範囲において C_D が一定であると報告した。この報告での実験は網枠に網地を固定して行われたものである。一方、本実験では、流速が増すにしたがって網の展開面積が減少した。そのことが C_D の減少した原因の一つと考えられる。ただし、抗力と同様に錘による差はほとんど見られなかった。

1-2-2-2 網全長別の抗力変化 錘を変えても抗力にほとんど差が生じなかったことから、解析には、甲板上での作業条件も考慮し標準的な仕様であると考えられる、水中重量77 gw(実網換算で約20 kgw)

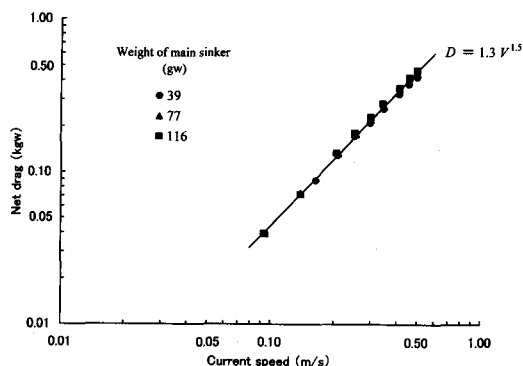


Fig. 18. Relationship between current speed and net drag for different weights of main sinker.

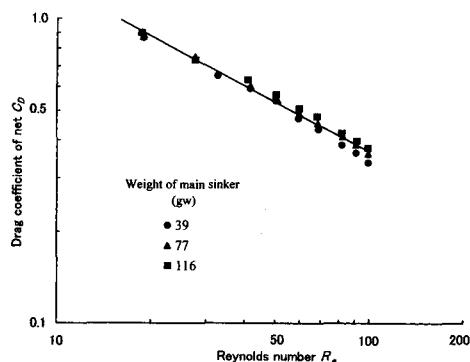


Fig. 19. Relationship between Reynolds number and drag coefficient of net for different weights of main sinker.

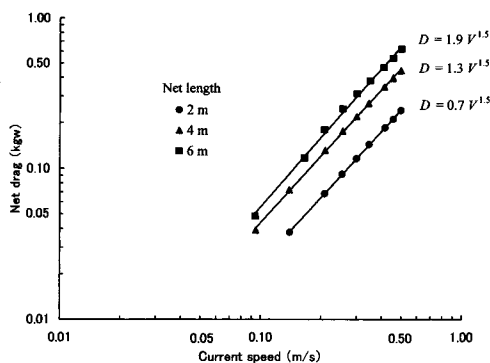


Fig. 20. Relationship between current speed and net drag for different net length.

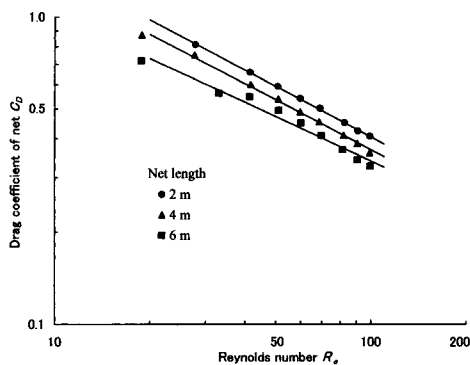


Fig. 21. Relationship between Reynolds number and drag coefficient of net for different net length.

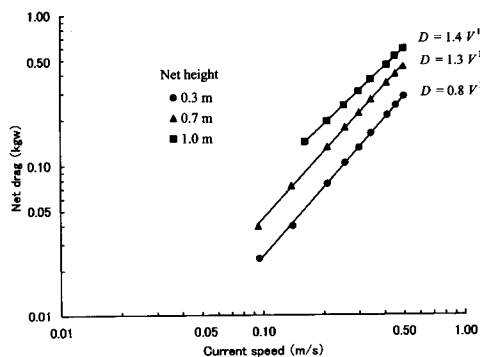


Fig. 22. Relationship between current speed and net drag for different net height.

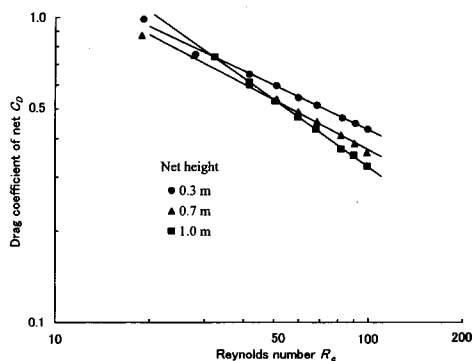


Fig. 23. Relationship between Reynolds number and drag coefficient of net for different net height.

の錘の場合を用いる。網丈 0.7 m で網の全長を変えた場合の抗力の変化を Fig. 20 に示す。全長を増すにしたがい抗力は増加したが、流速に対する増加傾向はほとんど変化しなかった。各網全長の結果に当てはめた近似曲線における流速 V のべき数は約 1.5 で、ほぼ同じ値であった。この場合の C_D の変化を Fig. 21 に示す。 R_e が小さい範囲には若干のばらつきが見られるが、 R_e に対してほぼ同じ傾向であった。

1-2-2-3 網丈別の抗力変化 網全長が 4 m で、網丈を変えた場合の抗力の変化を Fig. 22 に示した。網丈を増すにしたがい抗力は大きくなったが、流速に対する増加の傾向は、網丈が増すにしたがって緩やかになった。近似曲線における流速 V のべき数は、網丈を増すにしたがい、約 1.5 から 1.3 に減少した。 C_D の変化を Fig. 23 に示す。 R_e に対して C_D は減少し、網丈を増すにしたがい、その傾向が強くなった。これは、網丈を増すほど、流れを受けた場合の前端の吹かれが大きくなるためと考えられる。

1-2-3 考察

曳航型は、漁労設備が十分でない海洋調査船においても扱いやすいのが特徴である。したがって、曳航型を構成する各要素も甲板上で扱いやすいものでなければならない。錘重量が大きければ、短いワープ長で大きな水深が得られるが、人力で扱えないほどの重量では曳航型に適しているとは言えない。こ

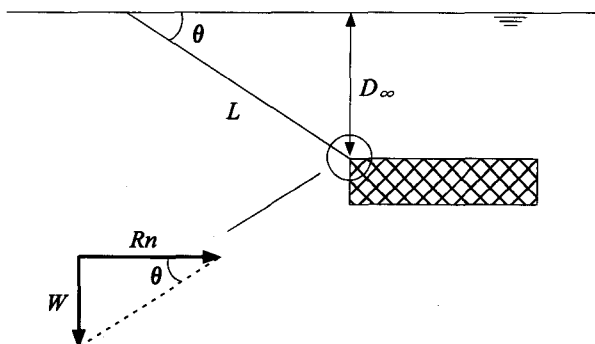


Fig. 24. Schematic diagram of the force balance at the front edge of a float line (L , Warp length; R_n , Net drag; W , Weight of main sinker; θ , Depression of warp; D_∞ , Equilibrium depth of net).

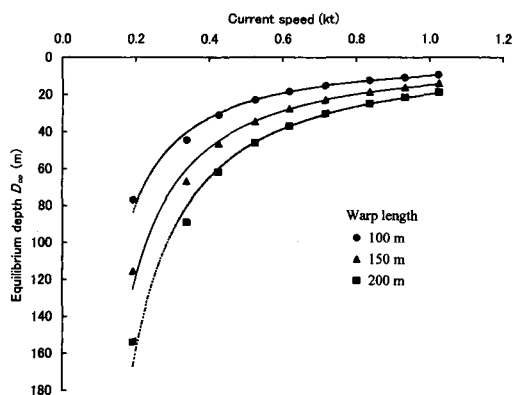


Fig. 25. Relationship between current speed and estimated equilibrium depth for warp length 100, 150, and 200 m (Main sinker : 15 kgw).

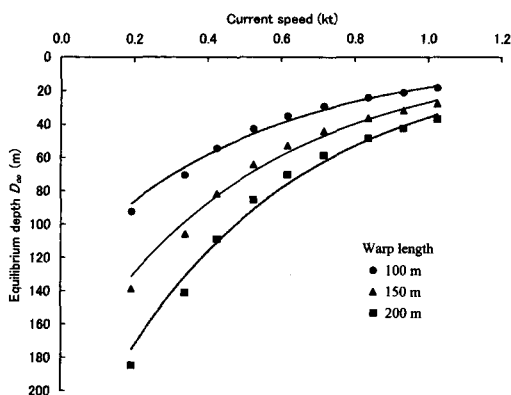


Fig. 26. Relationship between current speed and estimated equilibrium depth for warp length 100, 150, and 200 m (Main sinker : 30 kgw).

のような理由から、錘重量は最大でも 30 kgw 程度までが望ましいと考えられる。一方、曳航型の網水深は、網の抗力と錘とワープ張力の力学的釣り合いとワープ長によって定まると考えられる。ワープが直線であると仮定すると、曳航型の平衡水深 D_∞ は、Fig. 24 に示すような簡単な力学的関係から、ワープ長 L 、網の抗力 R_n 、錘の沈降力 W を用いて次のように表される。

$$\tan \theta = \frac{W}{R_n} \tag{1-7}$$

$$D_\infty = L \sin \left[\tan^{-1} \left(\frac{W}{R_n} \right) \right] \tag{1-8}$$

ここで、 θ はワープの入水角 (ワープが水面となす鋭角側の角度) である。このように、錘重量は平衡水深を決定する重要な要素となる。そこで、曳航型の標準的な網の仕様を考え、想定される曳網条件における網の平衡水深を (1-8) 式を用いて試算する。曳航型の標準的な網の仕様を、1 反 30 m で網丈 9.7 m の網 3 反を連結した仕様と考え、本実験での測定結果を実網に換算した抗力値を R_n として用いて、錘重量を 15 kgw として試算した網の対水速度と平衡水深 D_∞ (m) の関係をワープ長 (100, 150, 200 m) 別に Fig. 25 に、錘重量が 30 kgw の場合を Fig. 26 に示した。網の対水速度が大きければ、網の抗力も大きく

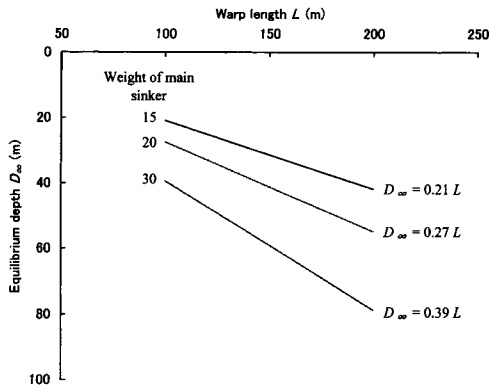


Fig. 27. Relationship between warp length and estimated equilibrium depth for weights of main sinker 15, 20, and 30 kgw (Current speed: 0.5 kt).

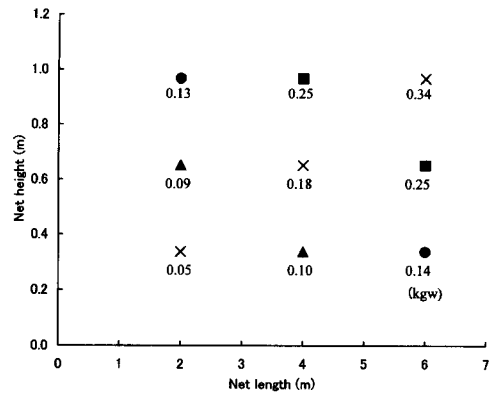


Fig. 28. Net drags at current speed 0.5 kt estimated from experiments. These plots show each net constructions (Net height and net length) and same symbols (●, ▲, ■) show same area.

なるために、ワーブ長を増しても得られる水深変化量は小さいが、網の対水速度を小さくすれば、ワーブ長の操作により大きな水深変化量が得られることがわかる。網成りや対象魚の行動、羅網の条件を考慮すると、曳網速度は小さいほうが良いと考えられる。しかし、使用する船が姿勢を保ちながら安全に操業できる巡航速度は約 0.5 kt 程度と考えられる。曳網状態として網の対水速度が 0.5 kt である場合、本実験結果から、この曳網条件における網の抗力は約 70 kgw と推定された。この条件において、錘重量を 15, 20, 30 kgw とした場合のワーブ長 L (m) と網の平衡水深 D_{∞} (m) の関係を錘重量別に Fig. 27 に示した。錘重量 15 kgw の場合のワーブ長 L と網の平衡水深 D_{∞} の関係は $D_{\infty}=0.21L$ 、同 20 kgw で $D_{\infty}=0.27L$ 、同 30 kgw では $D_{\infty}=0.39L$ と推定された。したがって、ワーブ長 100 m で網の平衡水深を 20 m とするには、錘重量は約 15 kgw となった。また、錘重量を 30 kgw とすれば、ワーブ長 200 m で網水深約 80 m を実現できる。これらの錘重量は、甲板上での作業の安全性を考慮しても十分妥当であり、なおかつ、浮魚類を対象とした採集具として使用する場合に十分な網水深が得られることが分かる。

網全長別、網丈別の抗力変化の結果を整理し、横軸を網全長、縦軸を網丈として、本実験で使用した網の寸法を示すプロット点に流速が 0.25 m/s (実網換算で 0.5 kt) の場合の抗力を記したのが Fig. 28 である。同じ面積となる各プロットを見ると、抗力はほぼ同じ値である。同様に、流速が 0.5 m/s (実網換算で 1.0 kt) の場合を Fig. 29 に示し、抗力が 0.1–0.9 kgw になると予想される網の寸法を実験結果から推定して点線で示した。同じ面積を示すプロットでの抗力を比較すると、網丈を増すよりも全長を増した方が抗力が大きくなった。したがって、これらの傾向を示す線も若干右に傾く傾向を示した。このことから、曳航型の抗力は、網の面積が同じで網丈を増した場合には、流速が 0.25 m/s では変わらないが、流速が大きくなると抗力が小さくなることがわかる。野村 (1961) によると、中層に分布する魚を対象とした流し網では、同じ目数の刺網を用いる場合には、水平方向よりも鉛直方向に長い方が有利であるとしている。しかし、曳航型では、網丈を増す方が網成りの崩れが大きいと考えられるので、必ずしも有利とはならない。また、長い網丈は甲板での操作性に問題が生じる。したがって、曳航型の網丈は、これまでに使用されてきた流し網型の網丈約 9–10 m 程度が適切であると考えられる。

曳航型では、前節の結果から、直接方式で網全長約 100 m が適切である。そして、今回の結果から甲板での操作性や網の抗力を考えると、網丈約 10 m で、30 kgw 以下の錘を使用する構成が適切であると判

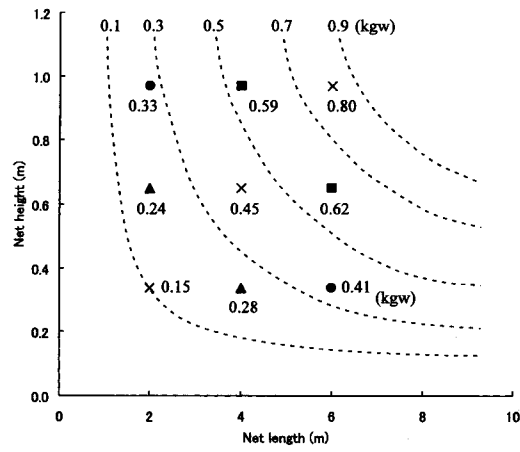


Fig. 29. Net drags at current speed 1.0 kt estimated from experiments. These plots show each net constructions (Net height and net length) and same symbols (●, ▲, ■) show same area. Broken lines show net drag 0.1-0.9 kgw.

断できる。

2. 網水深応答特性

曳航型を用いて、投・揚網や作業中の網水深調節を適切に行うためには、曳航型の網水深応答特性を把握しておく必要がある。そこで、本章では、まず模型実験により曳航型の網水深応答特性に影響を与える要因の分析を行った。さらに、網水深応答に一次遅れ系モデルを適用し、試作した実物網を用いた海上実験結果との適合性を調べ、網水深調節の実用性について評価した。

2-1 要因分析

前章において、ワープで船に係留し微速で曳網することにより、中層トロール網と同様に作業中の網水深調節を可能とする曳航型を考案し、その基本構成を決定した。本節では、網水深応答特性に影響を与える要因の分析を目的として、前章で決定した構成の網を用いて、模型実験により異なる錘重量、操作条件（操作ワープ長、ウインチ操作速度）のもとでのワープ長変化にともなう曳航型の沈下、浮上の過程を調べた。

2-1-1 材料と方法

2-1-1-1 模型網 原型網は、1反の長さ30m、網丈9.7mでマイワシ成魚採集用として設計された網（ナイロンモノフィラメント、目合33mm、直径 ϕ 0.284mm）である。田内の模型相似則（Tauti, 1934）にしたがい、原型網2反を横に連結したものの1/30模型網を作製した（Fig. 30）。原型網と模型網の詳細

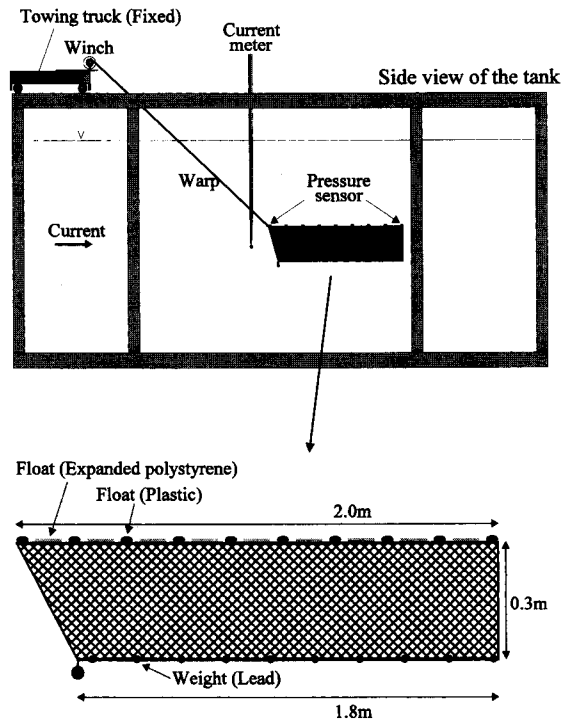


Fig. 30. Illustrations of the equipments and the net used in experiments.

Table 7. Specifications of the original net and the model net (1/30)

Items	Full scale	1/30 scale
Material	Nylon, monofilament	Nylon, multifilament
Diameter	0.28 (mm)	110 d/2
Mesh size (mm)	33	24
Hang-in ratio	0.52	0.52
Size (upper×lower×height)	30×30×9.7 (m)	2.0×1.8×0.30 (m)
Total buoyancy (gw)	6.0×10 ³	5.8
Weight (gw)	〃	〃

を Table 7 に示す。模型網には、マルチフィラメント・ナイロン 110 d/2, 目合 24 mm の網地を使用した。ワープには、ステンレスワイヤ (直径 ϕ 0.7 mm) を沿わせたナイロン組み紐 (直径 ϕ 2.1 mm, 水中重量 3.4 gw/m, 密度 2.0 g/cm³) を使用した。また、錘は、水中重量 10, 22, 39 gw (実網換算で約 10, 23, 40 kgw) の 3 種類とした。なお、本実験では、前章の抗力測定実験の場合と同様に、吹かれが生じやすい網の前端下部を切除して Fig. 30 に示すような形とし、模型網の寸法を浮子綱長 2.0 m, 沈子綱長 1.8 m, 網丈 0.3 m とした。

2-1-1-2 水槽実験 実験は、東京水産大学の大型回流水槽 (観測部長さ 7.0 m, 水路幅 1.45 m, 常用水深 1.2 m) において行われた。実験装置の概要を Fig. 30 に示す。ワープ長の操作は、コンピューター制御小型ウインチ (胡, 1993) により行った。ウインチのワープ出し入れ速度の制御範囲は -60 cm/s から +60 cm/s である。このウインチを水槽上部にある曳航台車上に設置した。ウインチから水面までの高さは最大で 82 cm であった。水槽の水深と観測部の長さを最大限に利用するために、曳航台車を最上流位置に設置した。網水深の変化を計測するために、小型圧力センサー (直径 ϕ 8 mm, 長さ 6.1 mm, 水中重量 0.9 gw) (胡, 1993) を網の浮子綱前端, 後端の 2 カ所に、センサーの沈降力と等しい浮力をもつ球形の発砲スチロールとともに取り付けた。また、流速の測定にはプロペラ式流速計を使用した。圧力センサーとプロペラ式流速計で検出された信号は、動ひずみ測定器 (共和電業製 DPM-6H), AD 変換ボードを介し、計測周波数 20 Hz でパーソナルコンピューターに入力した。実験期間中の水温は約 20°C であった。

計測は、あらかじめ網の挙動を回流水槽の水深内に収めるための初期ワープ長および操作ワープ長を決定した後、錘重量 (10-39 gw), 操作ワープ長 (50-150 cm), およびウインチ速度 (5-15 cm/s) をそれぞれ変えて行われた。実験条件の詳細を Table 8 に示す。

2-1-1-3 網の平衡水深 D_{∞} と整定時間 T_s 。本研究では、胡の定義 (胡, 1993; 胡ら, 1989) にしたがって、ワープ長を変化させた後、網位置が次の平衡位置に達した時点の網水深を平衡水深 D_{∞} , その時点までの所要時間を整定時間 T_s として解析を行った。

初期網水深を D_0 とし、ワープ操作開始時点を原点として t 時間後の網水深を D_t とすると、 t 時間後ににおける網の水深変化量 ΔD_t は次式により得られる。

$$\text{ワープ繰り出し時: } \Delta D_t = D_t - D_0 \quad (2.1)$$

$$\text{ワープ巻き上げ時: } \Delta D_t = D_0 - D_t \quad (2.2)$$

平衡水深 D_{∞} に達したときの水深変化量を ΔD_{∞} とする。得られた時系列データから、整定時間 T_s を、

Table 8. Experimental conditions and results

	Current speed (cm/s)	Initial warp length (cm)	Weight of main sinker* ¹ (gw)	Change of warp length (cm)	Winch speed (cm/s)	Front edge of net				Rear edge of net			
						Equilibrium depth D_{∞} (cm)	Change of depth ΔD_{∞} (cm)	Settling time T_s (s)	Overshoot (cm)	Equilibrium depth D_{∞} (cm)	Change of depth ΔD_{∞} (cm)	Settling time T_s (s)	Overshoot (cm)
Paying out the warp	20	270	10	100	10	123.9	30.3	27.0	19.4	117.9	27.1	40.9	11.4
	20	180	22	100	10	144.7	45.9	25.3	22.4	143.4	35.2	33.0	10.3
	20	110	39	100	10	148.9	71.0	14.0	10.3	154.2	65.7	14.8* ²	2.4
	26	210	22	50	10	97.5	16.8	19.2	16.7	91.5	16.6	28.9	8.1
	26	210	22	100	10	116.7	38.2	21.4	19.2	109.7	35.0	27.3	9.5
	26	210	22	150	10	135.0	56.7	31.8	25.0	125.3	52.6	41.1	16.3
	33	270	22	200	5	138.1	61.4	45.3	7.8	140.3	68.0	46.2	3.8
	33	270	22	200	10	139.5	61.8	29.0	18.5	141.2	69.1	32.4	9.1
	33	270	22	200	15	139.3	63.2	24.3	27.0	140.3	68.2	29.9	11.9
Winding up the warp	20	370	10	100	10	92.6	30.2	20.3	13.4	90.4	29.5	28.7	7.5
	20	280	22	100	10	98.0	46.3	20.1	14.9	107.3	35.4	35.2	10.9
	20	210	39	100	10	77.6	71.3	11.2	8.0	87.3	66.5	12.7* ²	0.4
	26	260	22	50	10	78.6	18.6	9.2	8.8	74.5	16.7	14.2	3.1
	26	310	22	100	10	78.2	37.6	14.1	9.4	73.3	36.6	12.6	1.9
	26	360	22	150	10	78.1	56.0	18.0	9.5	73.5	52.7	14.6* ²	1.6
	33	470	22	200	5	77.4	60.3	43.7	7.2	72.8	67.4	31.3* ²	2.0
	33	470	22	200	10	77.1	62.1	22.9	9.1	71.4	69.8	17.7* ²	0.4
	33	470	22	200	15	77.6	60.9	16.0	9.5	71.4	69.2	13.5* ²	0.2

*¹: Values in water*²: There were no overshoot phenomena

ワープ長操作開始から ΔD_t が ΔD_∞ の 95% に到達するまでの時間 (オーバーシュート (胡ら, 1994; 西山ら, 1982) が生じた場合に関しては 105% まで復元する時間) として求めた。

本実験における網の挙動は, ワープ操作終了直後にオーバーシュート頂点に達し, その後平衡水深へと漸近した。そこで, オーバーシュート頂点の水深を D_0 , オーバーシュート頂点を原点として t' 時間後の網水深を D_t とし, この間の網の挙動を次式のように表せると仮定した。

$$|D_t - D_0| = \alpha \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\beta}}) \tag{2-3}$$

ここで, α はオーバーシュート量の指標となる定数, β はオーバーシュート頂点から平衡水深へ復元するのに要する時間の指標となる定数であり, それぞれ最小自乗法により求めることができる。したがって, D_∞ は次のように表される。

$$\text{ワープ繰り出し時: } D_\infty = D_0 - \alpha \tag{2-4}$$

$$\text{ワープ巻き上げ時: } D_\infty = D_0 + \alpha \tag{2-5}$$

2-1-2 結果

2-1-2-1 錘重量の影響 曳網速度 20 cm/s, ウインチ速度 10 cm/s で, ワープを 100 cm 操作した場合の網の前端と後端それぞれの沈下, 浮上距離の時間的变化を錘重量別に Fig. 31 に示した。網の前端では本実験で用いたすべての錘の場合においてオーバーシュートが見られた。後端の挙動にも前端よりは小さいもののオーバーシュートが見られた。ワープ操作終了後, 網の前端は僅かに遅れてオーバーシュート頂点に達し, その後平衡状態へと漸近した。ワープ操作中の網の沈下, 浮上の速度は時間の経過とともにやや減少するものの, ほぼ直線的であった。沈下時の速度は, 錘が軽いほど遅いが, 錘が重い場合には速くなった。この傾向は, 巻き上げ時でも同様であった。これは, 錘が重いほどワープの入水角が大きくなり, 単位ワープ長あたりの鉛直距離 (水深) が大きくなるため, 見かけ上の浮上, 沈下速度が速

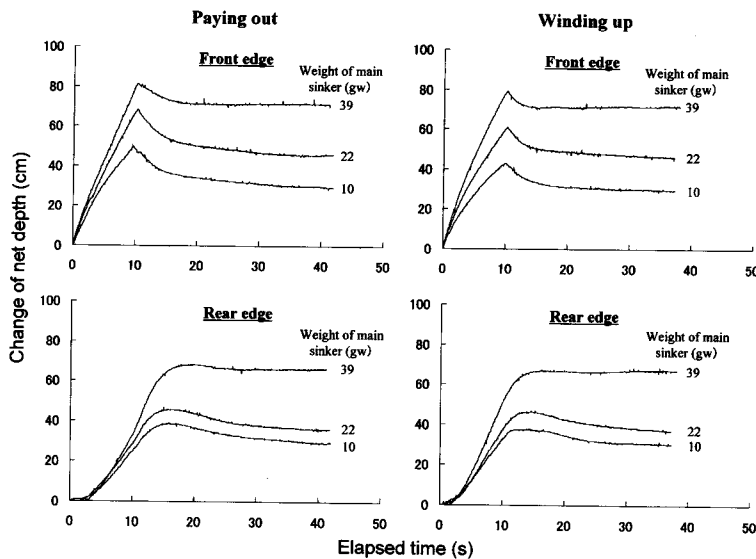


Fig. 31. Change of net depth when warp length was increased and decreased by 100 cm for different weights of main sinker (winch speed = 10 cm/s, current speed = 20 cm/s).

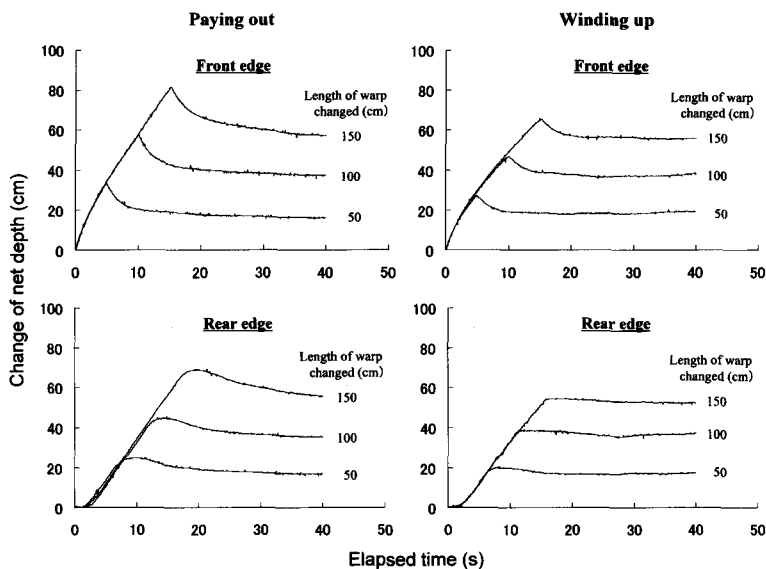


Fig. 32. Change of net depth when warp length was increased and decreased for different length of warp changed (winch speed = 10 cm/s, current speed = 26 cm/s).

くなったためである。

水深変化量 ΔD_{∞} は、網の前端、後端ともに錘重量が増すにつれて大きくなった。また、ワーブの繰り出し時には、後端が前端よりも遅れて沈む傾向が見られた。同じ条件でワーブを 100 cm 巻き上げた場合では、繰り出し時と同様に、前端、後端ともにオーバーシュートが見られた。しかし、その大きさは繰り出し時に比べて小さく、平衡水深へ復元する時間も短かった。Table 8 に示すように、整定時間は最も重い錘の場合に前端、後端ともに短くなった。一方、前端、後端ともに錘重量が 39 gw の場合にオーバーシュート量が小さくなった。

2-1-2-2 操作ワーブ長の影響 曳網速度 26 cm/s、ウインチ速度 10 cm/s で、ワーブを 50-150 cm 操作した場合の、網の前端と後端それぞれの沈下および浮上距離の時間的変化を操作ワーブ長別に Fig. 32 に示した。繰り出し、巻き上げ時ともに操作ワーブ長を増すにしたがい、水深変化量 ΔD_{∞} は増加したが、沈下・浮上速度には変化が見られなかった。Table 8 から、繰り出し時では、操作ワーブ長を増すにしたがい、オーバーシュート量はわずかに増加する傾向が見られた。一方、巻き上げ時でのオーバーシュート量はほぼ一定であった。整定時間に関しては、操作ワーブ長が増すにしたがい増加する傾向が見られた。これは、ワーブの繰り出しに要する時間の違いによるものであり、オーバーシュート頂点から平衡状態へと達するまでの時間にはほとんど差がなかった。

2-1-2-3 ウインチ速度の影響 曳網速度 33 cm/s、錘重量 22 gw で、ワーブを 200 cm 操作した場合の網の前端および後端の沈下、浮上距離の時間的変化をウインチ速度別に Fig. 33 に示した。ウインチ速度を変えても水深変化量は変化しないが、ウインチ速度の増加によって、網の沈下、浮上に要する時間が短くなった。この時のオーバーシュート量および整定時間とウインチ速度との関係を Fig. 34, 35 に示した。繰り出し時には、ウインチ速度の増加によってオーバーシュート量が直線的に増加するが、巻き上げ時にはほとんど変化が無く一定であった。一方、整定時間は繰り出し、巻き上げ時ともにウインチ速

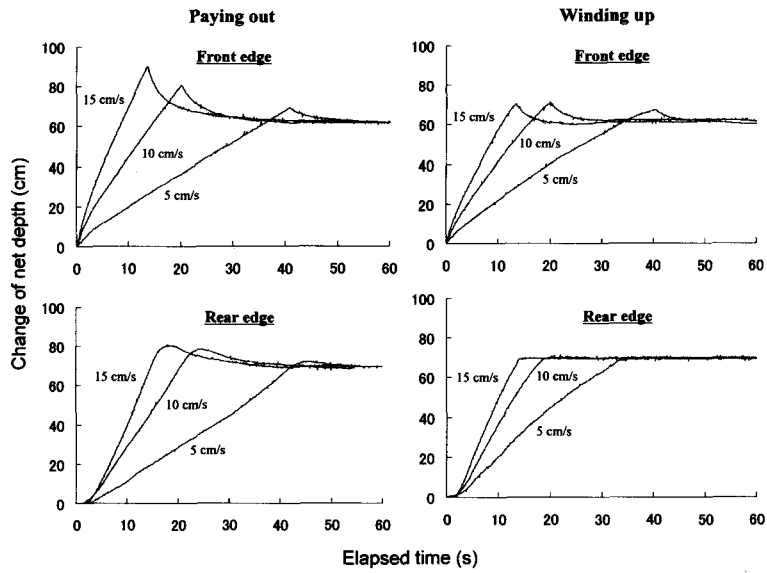


Fig. 33. Change of net depth when warp length was increased and decreased by 200 cm for different winch speeds (current speed=33 cm/s, weight of main sinker=22 gw).

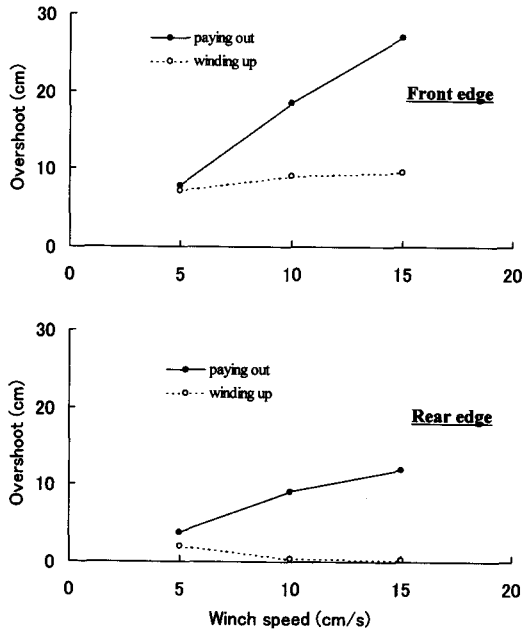


Fig. 34. Relationship between winch speed and overshoot of front and rear edge of a net for paying out and winding up the warp (current speed=33 cm/s, weight of main sinker=22 gw).

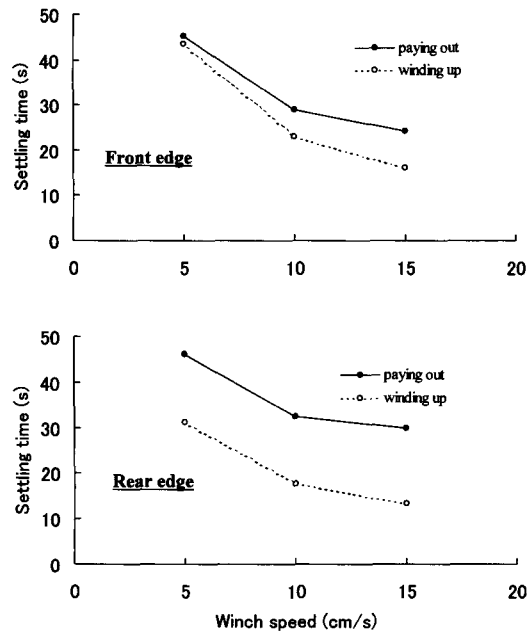


Fig. 35. Relationship between winch speed and settling time of front and rear edge of a net for paying out and winding up the warp (current speed=33 cm/s, weight of main sinker=22 gw).

度を増すにしたがい短くなり、一定値に漸近する傾向が見られた。

2-1-3 考察

2-1-3-1 平衡水深の予測 実験時の観察では、平衡状態に達した際のワープ形状はほぼ直線であった。実際に、予備実験で得られた実験網の抗力 R_n (gw) と流速 V (cm/s) の関係を表す近似式 ($R_n=0.22 V^{1.67}$) を用いて、各実験でのワープ長および流速における平衡水深を (1-8) 式を用いて推定した結果を Table 9 に示す。錘重量が 10 gw で流速が 20 cm/s の場合の実験結果を除いて、実測値と推定値との差は 10% 以下であった。曳航型の主要対象魚は浮魚であるため、実操業でのワープ調節範囲は最大で 200 m 程度であると考えられる。さらに、操業時に刺網の沈子網などの細く水中重量もあまり大きくない索具をワープとして使用する場合には、実際の海中においてもワープの形状は直線に近い状態であると考えられる。したがって、流速に対する網の抗力特性を把握しておけば、網の対水速度の監視が可能であれば平衡水深を簡便に予測することができると思われる。

2-1-3-2 オーバーシュート量と整定時間 本実験では、曳航型の網水深応答特性に影響を与えると考えられる要因として、錘重量、操作ワープ長、ウインチ速度を取り上げた。このうち、錘重量は対象種の遊泳水深と網の規模との関係によって操業前に予め決められる条件であり、操業中に変更することのできない要因である。そのため、錘重量と網の挙動の関係については特に留意しておく必要がある。本実験結果では、錘重量を変えた場合のワープ繰り出し時のオーバーシュート量に大きな差が見られなかったものの、錘重量が最も重い 39 gw の場合にオーバーシュート量がわずかに小さくなる傾向が見られた。これは、最も重い錘重量である 39 gw では、網が深く沈むために、圧力センサーのリード線の抗力の影響が大きくなり、網の沈下が妨げられたものと考えられる。本実験の設定条件の範囲では、ウイ

Table 9. Ratio of difference about equilibrium depth

Current speed (cm/s)	Weight of main sinker* ¹ (gw)	Warp length (cm)	Change of warp length (cm)	Winch speed (cm/s)	Equilibrium depth		Ratio of difference* ² (%)
					Experimental value (cm)	Estimated value (cm)	
20	10	370	100	10	123.9	108.1	12.8
20	22	280	100	10	144.6	156.2	8.0
20	39	210	100	10	148.9	160.8	8.0
26	22	260	50	10	97.5	103.4	6.1
26	22	310	100	10	116.6	123.3	5.8
26	22	360	150	10	134.9	143.2	6.1
33	22	470	200	5	138.0	131.4	4.8
33	22	470	200	10	139.5	131.4	5.8
33	22	470	200	15	139.2	131.4	5.6

*¹: Values in water

*²: Ratio of difference = |A - B| / A (A, Experimental value ; B, Estimated value).

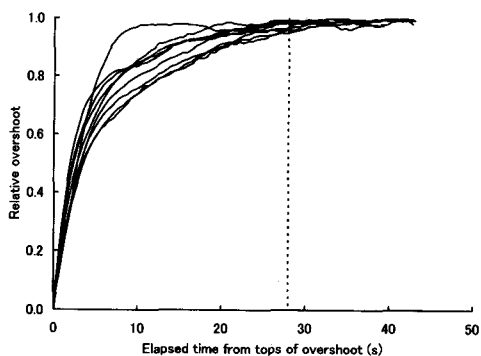


Fig. 36. Relationship between elapsed time from tops of overshoot and relative overshoot when warp length was increased. Broken line shows the settling time.

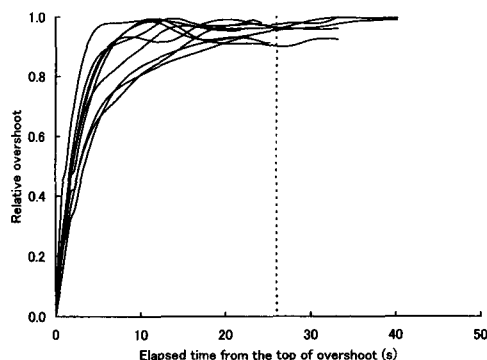


Fig. 37. Relationship between elapsed time from tops of overshoot and relative overshoot when warp length was decreased. Broken line shows the settling time.

ンチ速度が速いほど整定時間が短くなったが、ウインチ速度を速くすれば、特にワープ繰り出し時にはオーバーシュート量が大きくなる。本実験の条件範囲では、最大で操作ワープ長の約 1/3 のオーバーシュート量が観測されたことから、浅海での操業や海底付近に網水深を設定する必要がある場合には、目標水深から海底までの距離とオーバーシュート量との関係に注意しておく必要がある。巻き上げ時のオーバーシュートは、本実験の結果から、繰り出し時よりも小さくなり、繰り出し時のオーバーシュート量の範囲内に収まる。

ワープ長を操作した場合、網はワープ操作終了直後にオーバーシュート頂点に達し、そこから平衡水深へ漸近した。網の後端の動きは、前端の水深移動範囲内に収まるために、前端の水深変化を把握しておけばよい。そこで、各実験条件でのワープ操作に要した時間と網の前端がオーバーシュート頂点に達

する時間を調べた結果、ワープ操作終了時からオーバーシュート頂点に達するまでの時間は、すべての結果においてワープ操作時間の2%以内であり、網はワープ操作終了と同時にオーバーシュート頂点に達すると考えてよい。また、オーバーシュート頂点から平衡水深へ復元する過程を調べた結果 (Fig. 36, 37), 各実験条件によって明確な傾向は見出されなかったことから、平衡水深へ復元するのに要する時間に大きな差が生じるものではないと判断できる。したがって、ワープ長を操作した場合の網の整定時間は、ワープ長の操作に要する時間と、オーバーシュート頂点から平衡水深へと復元する時間の和として概略を把握することができる。

2-2 網水深応答特性

本節では、模型実験では得られなかった実物網での網水深の静的特性、動的特性を明らかにすることにより、曳航型の網水深調節の実用性を評価した。

2-2-1 実験方法と計測項目

1995年6月、北海道茅部郡南茅部町白尻沖の水深約100-150mの海域において、北海道大学水産学部研究調査船うしお丸(128 ton)を用いて実験を行った。使用した網の長さは49.5m、目合13.5mmである (Fig. 38)。この網の詳細な仕様を Table 10 に示す。本実験では、模型実験の結果をふまえ、全長が最大で100m程度になるようにこの網を1-2反で使用し、錘には空中重量で30kgwの鉛を用いた。また、投網時の網成りを整えると同時に、前端に比べて遅れて沈降する網の後端を一定の水深まで速やかに沈めるために、網の後端に補助錘を取り付け、その沈降力に等しい浮力を持つ補助浮子を20mのロープにつないで Fig. 38 に示すように取り付けた。補助浮子の浮力と補助錘の沈降力はそれぞれ1.7kgwとした。ワープには一般に刺網の沈子網に使用される鉛芯入りのポリプロピレンロープ (直径 ϕ 10.4 mm) 2本合わせを使用した。

網水深と網成りの安定状態を調べるために、メモリー深度計 (株)アレック電子製) を浮子網前端と浮子網後端に装着した (Fig. 39)。この深度計の計測間隔は1秒で分解能は0.9mである。網水深をモニターするため、ワープと網の連結部分に深度計 (スキャンマー製、測定レンジ0-600m、分解能1m) もあわせて装着した (Fig. 39)。船の対水速度は超音波式潮流計 (株)カイジョー製) で計測し、ワープ張力の計測にはトップローラーに組み込まれた張力計 (株)泰東製網製) を使用した。

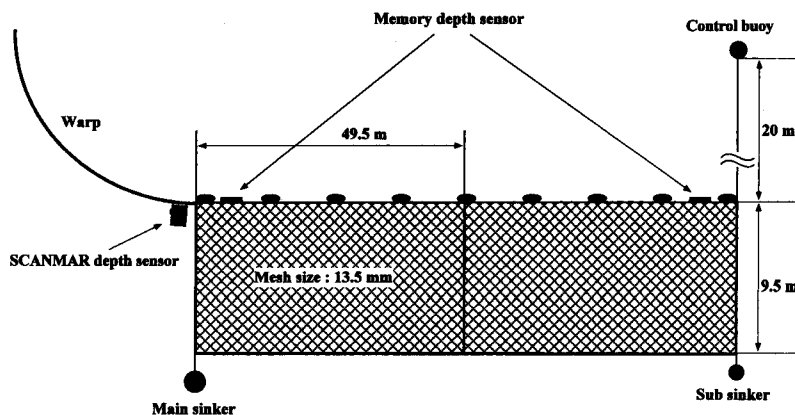


Fig. 38. Schematic diagram of the towed gillnet used in experiments at sea.

Table 10. Specifications of the net used in experiments at sea

Items	Material	Standard	Weight (kgw)	Length (m)	Height (m)	Number	Remarks
Net	Nylon, monofilament	330d×13.5 mm		101	9.5		Hang-in ratio 0.52
Float line	Polypropylene	φ7.1 mm×21 gw/m		49.5		2	
Sinker line	Lead within Polypropylene	φ10.4 mm×100*gw/m		48.0		4	
Warp	Lead within Polypropylene	φ10.4 mm×100*gw/m		200		2	
Floats	Plastic	100 mm×φ35 mm				178	Buoyancy 59 gw
Control buoy	Plastic	φ180 mm				1	Buoyancy 1700 gw
Main sinker	Lead		30			2	
Sub sinker	Lead		1.9			1	

* Lead : 62.2 gw/m, Polypropylene : 37.8 gw/m

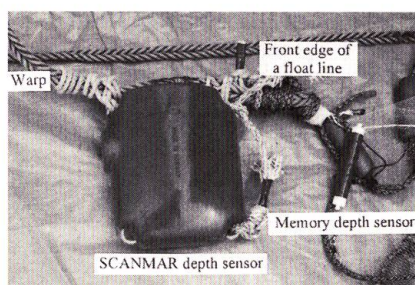
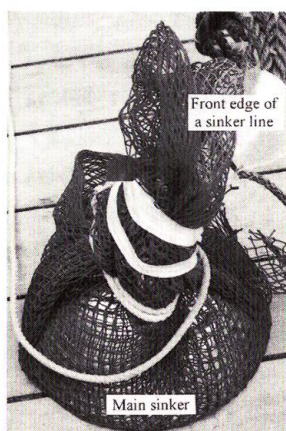


Fig. 39. The memory depth sensor and the SCANMAR depth sensor used in experiments at sea.

船の推力の操作は、機関回転数を一定にした状態で、プロペラピッチ角より行い、この時のプロペラピッチ角を推力の指標とした。また、ワープの繰り出し、巻き上げはトロールウインチを用いて行った。実験は、以下に述べる静的特性と動的特性に分けて行われた。

2-2-1-1 静的特性 30 kgw の錘を用い、船速を網地 1 反の場合約 1.0 kt までの間になるようにプロ

ベラピッチ角を3段階に、網地2反の場合約2.0 ktまでの間にプロベラピッチ角を5段階に設定した。ワープ長は100 m, 150 m, 200 mの3段階に設定した。そして各条件下における網の平衡水深をメモリー深度計から求めた。

2-2-1-2 動的特性 網地1反を使用し、錘の重量を13, 18, 30, 43, 56 kgwの5種類に変えて実験を行った。ワープ長の変化に対する網水深の応答を調べるために、プロベラピッチ角を0.6°に設定し、投網後ワープを100 m (錘が30 kgwの場合は200 m)まで繰り出した。またプロベラピッチ角の変化に対する網水深の応答は、ワープ長を100 mに固定し、プロベラピッチ角を船速1.0 ktに対応する0.8°から-0.8°に変化させることにより調べた。

本研究では、曳航型の網水深の応答を中層トロールの場合と同様に、プロベラピッチ角とワープ長それぞれを入力とした1次遅れ系のモデルにより表す(西山ら, 1982)。プロベラピッチ角は網水深の応答に比べて即座に変更できるので、その入力ステップ入力と考えられる。そこで、次式のステップ応答関数 $O_s(t)$ によってプロベラピッチ角操作時の網水深が表される。

$$O_s(t) = K(1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (2-6)$$

ここで K , T はゲイン定数および時定数であり、 t はプロベラピッチ角変更直後からの経過時間を表す。

一方、ワープ長はワープ繰り出し時間を要するため瞬時に変更できない。そこで、ワープ長 $i(t)$ をインパルス列と考え、 $i(t)$ とワープ長操作時の網水深インパルス応答関数 $O_i(t)$ とのたたみ込み積分によってワープ長操作時の網水深 $O_w(t)$ を表した(電子通信学会, 1975; 西山ら, 1982)。

$$O_w(t) = \int_0^{\infty} i(t-\tau) O_i(\tau) d\tau \quad (2-7)$$

ここで、 τ は遅れ時間を表す。また、網水深インパルス応答関数 $O_i(t)$ は次式のように表される。

$$O_i(t) = \frac{K}{T} e^{-\frac{t}{T}} \quad (2-8)$$

ステップ応答関数および網水深インパルス応答関数における K , T は、実験値と推定値の差に対して最小自乗法を用いることにより求められる。ただし、網水深インパルス応答関数に関しては、計算を容易にするため、(2-7) 式を離散化した次式を用いる。

$$O_n = \Delta t \sum_{k=0}^n i_{n-k} O_{i_k} \quad (2-9)$$

ここで、 O_n は網水深系列、 k はサンプル番号、 O_{i_k} はインパルス応答系列であり、(2-8) 式より逐次算出される。そして、 n はサンプル個数、 Δt はサンプリング間隔、 i_{n-k} はワープ長系列を表す。

2-2-2 結果

網の各部に取り付けた深度計の記録を調べた結果、平衡状態での浮子網の前端と後端の水深は、最大11 m (前端の平衡水深の25%)の差が見られたものの、ほぼ同じである場合が多かった。このことから、これまでと同様に浮子網前端を網水深の基準として扱った。

2-2-2-1 静的特性 各曳網条件での、網の平衡水深を Table 11 に示す。船速とワープ長別の網の平衡水深の関係を、網1反の場合を Fig. 40 に、網2反の場合を Fig. 41 にそれぞれ示した。網2反では船速が増すにしたがい平衡水深が指数的に浅くなる傾向が見られたものの、網1反では計測値のばらつきが大きく、そのような傾向が見られなかった。これは、潮流などの外乱の影響に加えて、船速が必ずしも網の対水速度と一致しないためであると考えられた。そこで本研究では、網の対水速度を直接計測することができないため、その指標としてワープ張力を用いた(西山ら, 1982)。これは、本漁具の力学的釣

Table 11. Results of experiments at sea

Net	Warp length (m)	Ship's speed (kt)	Warp tension (kgw)	Net depth (m)	Rear end depth (m)
1 unit	100	—	107	45	38*
	100	0.5	120	46	46
	100	—	240	19	20*
	150	0.7	93	80	79
	150	0.8	127	73	70*
	150	0.9	229	37	38
	200	0.6	123	96	94*
	200	0.8	159	71	70
	200	0.5	171	50	44
	2 units	100	0.4	145	41
100		—	257	36	17*
100		0.4	404	17	16
100		1.0	600	12	17*
100		1.6	930	5	6*
150		—	351	28	23
150		—	494	19	19
150		—	779	11	11
150		2.0	903	6	6
200		0.8	300	45	36*
200		1.0	304	44	33
200		1.4	420	39	37
200		1.3	733	23	24*
200		2.0	900	11	10

— : lost data
 * : non stabilized

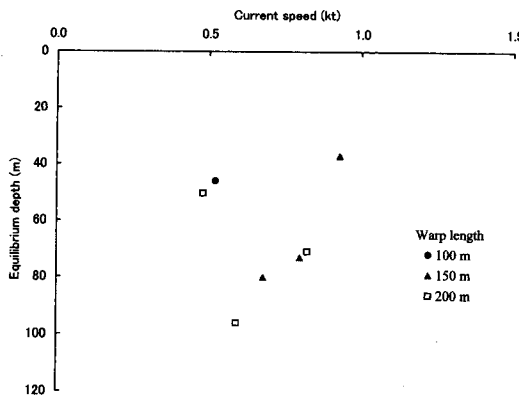


Fig. 40. Relationship between current speed and equilibrium depth (1 net unit, main sinker : 30 kgw).

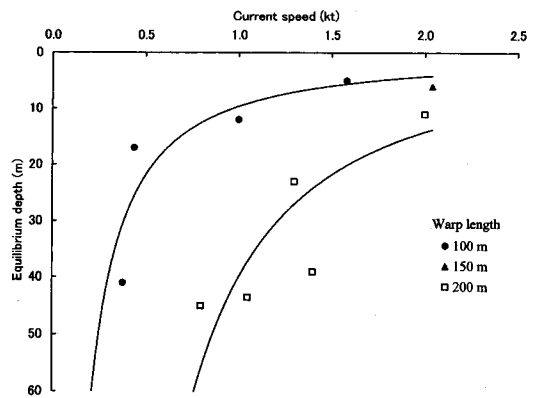


Fig. 41. Relationship between current speed and equilibrium depth (2 net units, main sinker : 30 kgw).

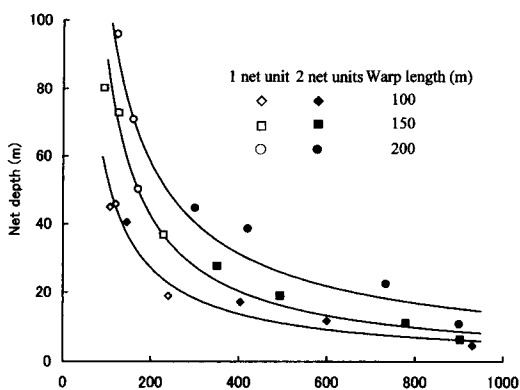


Fig. 42. Relationship between warp tension and net depth.

Table 12. Time constant T and gain constant K for different weights of main sinker (13-56 kgw)

Weight of main sinker (kgw)	Angle of propeller pitch changed (deg)	Time constant T (min)	Gain constant K (m/deg)
13	1.6	5.8	9.9
18	1.6	5.9	16.1
30	1.6	6.0	17.0
43	1.6	7.0	24.4
56	1.6	6.2	29.8

り合いにおいて、ワーブ張力は網の対水速度によって変化する網の抗力と直接関連するものと考えたためである。ワーブ張力と平衡水深の関係を Fig. 42 に示した。網の反数の違いは抗力の大小となるので、1 反と 2 反のデータを合わせてワーブ長ごとにその傾向を図中に曲線として示した。各ワーブ長ともワーブ張力が約 900 kgw の時には網の平衡水深は 10-20 m 前後であった。ワーブ張力が 100 kgw 前後の時にはワーブ長による平衡水深の違いが顕著に見られ、ワーブ長 100 m で平衡水深は約 40 m、同 150 m で約 70 m、同 200 m では約 100 m であった。これらのことから、プロペラピッチ角やワーブ長の操作によって網の平衡水深を調節することが十分に可能である。

2-2-2-2 動的特性 プロペラピッチ角を入力とした実験により得られたデータから、最小自乗法により推定した (2-6) 式の各パラメータを Table 12 に示す。これらのパラメータを用いて求めた各条件の網水深の推定値と実測値を錘の重量別に Fig. 43 に示した。ここではプロペラピッチ角変更前の網の平衡水深を 0 としている。計算値は実測値とよく一致していることから、プロペラピッチ角変化に対する網水深の応答を求める際に 1 次遅れ系のモデルを適用することは妥当と考えられる。得られた時定数 T とゲイン定数 K について錘の重量との関係を Fig. 44 に示した。 T は、錘の重量によらずほぼ一定となった。また、錘が重くなるにしたがい、 K の値は増加した。

一方、ワーブ長を入力とした場合の一例として、錘の重量が 30 kgw で、ワーブ長を 200 m 繰り出した場合の計算値と実測値を Fig. 45 に示した。ワーブ長操作開始から約 5 分後に見られる小規模なオーバーシュートを除いては、計算値と実験値はよく一致した。この場合の K は 0.3、 T は 9.0 min となった。こ

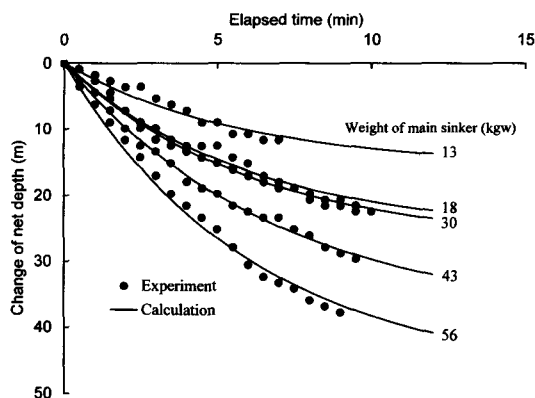


Fig. 43. Time series of net depth for decrease of angle of propeller pitch from 0.8° to -0.8° .

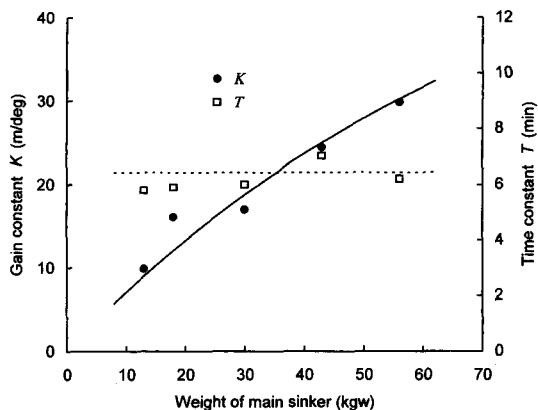


Fig. 44. Relationship between weight of main sinker and gain constant K , time constant T .

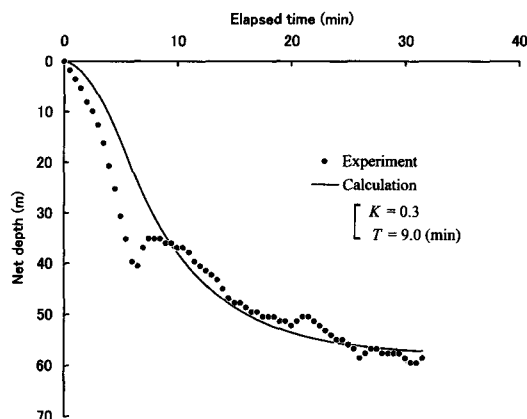


Fig. 45. Relationship between elapsed time and net depth for paying out of a warp from 0 to 200 m (Main sinker: 30 kgw).

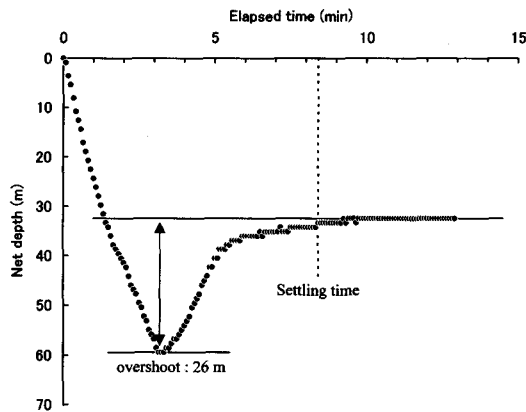


Fig. 46. Relationship between elapsed time and net depth for paying out of a warp from 0 to 100 m (Main sinker: 56 kgw).

のように、オーバーシュートが小さい場合には、1次遅れ系モデルを適用できると考えられる。また、本実験の条件では、錘の重量が30 kgw 以上の場合に顕著なオーバーシュートが見られた。オーバーシュート量は錘の重量が増すにしたがい増加する傾向があり、今回用いた最高重量 (56 kgw) の錘ではオーバーシュート量は26 mに達した (Fig. 46)。このように顕著なオーバーシュートが見られる場合には、網水深の変化を1次遅れ系のモデルで表現することはできない。この実験では、ワープ長操作に要した時間は約3分であり、その30秒後にはオーバーシュート頂点に達していた。そこからの網水深の変化について、模型実験と同様に (2-3) 式から α を算出し、 α の95%に達するのに要した時間を調べると約4.5分であった。

2-2-3 考察

投網後、敷設点において、プロペラピッチ角を操作して船速を減じると、網は平衡水深まで沈下する。この場合の網の平衡水深は、ワープ張力を指標として Fig. 42 より予測することが可能である。また、そ

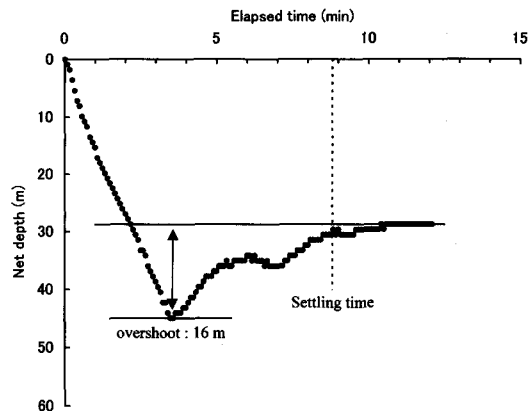


Fig. 47. Relationship between elapsed time and net depth for paying out of a warp from 0 to 100 m (Main sinker: 43 kgw).

の際の網水深の変化は (2-6) 式を使用して予測することができる。

対象魚の行動や羅網の条件を考えると、網そのものはあまり大きな対水速度を持つべきではないと考えられる。したがって、操業中は、プロペラピッチ角を小さくかつ一定とすることが望ましい。これは、プロペラピッチ角の操作では曳航速度の微調整が難しいことから同様である。したがって、網水深を調節するには、ワープ長による調節が望ましいと考えられる。試作した曳航型の場合、30 kgw 程度の錘を使用し、ワープ張力が錘の 3-4 倍の 100 kgw 程度になるように操船すれば、ワープ長を調節することにより網水深を 40-100 m の深度範囲で設定し調節することが可能である。

ワープ長による網水深の調節時には、オーバーシュートが生じない場合やほとんど無視できる程度である場合には、1次遅れ系モデルにより、網水深の変化を把握することができる。一方、オーバーシュートが顕著に見られる場合には、本モデルを適用することはできない。しかし、実操業を考えると、最終的な平衡水深と整定時間を把握しておけばよい。ワープ長調節時の網の平衡水深は、ワープ張力を指標とした静的特性から推定することができる。模型実験の結果から、ワープ長操作時の整定時間を知るためには、ワープ長操作に要する時間と、オーバーシュート頂点から復元するのに要する時間を把握しておけばよい。オーバーシュートが顕著に見られた Fig. 46 の実験結果の場合、ワープ長操作に要した時間は約 3 分で、3 分 10 秒後にはオーバーシュート頂点に達し、オーバーシュート頂点からの整定時間は 5 分 15 秒であった。したがって、8 分 25 秒で網水深の調節を完了したことになる。また、錘重量が 43 kgw の場合 (Fig. 47) においては、オーバーシュートは約 16 m であり、錘重量が 56 kgw の場合の 26 m より小さいが、整定時間は 8 分 50 秒となった。このように、同じ仕様の網であれば、他の操作条件であっても、ワープ長操作に要する時間に 6 分を加えた時間として整定時間を計算しておけばよい。

錘を重くするほど網水深を大きな範囲で変更できるが、オーバーシュートは本実験で最大であった 26 m よりもさらに大きくなることが予想される。ワープ長操作時のウインチ速度を増せば、より短時間で網水深を調節できるが、オーバーシュートが顕著となることから、浅海での操業や網を海底付近に設定する場合には、錘や計測器が海底に衝突して事故につながる可能性もある。また、ワープ操作終了時に網に伝わる衝撃が大きくなるために、破網などの危険性も生じる。実際に、本実験の終了後、網の浮子網前端と沈子網前部付近に破損が見られた。そして、その位置は模型実験で観察された網のくびれの位

置とほぼ一致していた。曳航型では、直接方式でワープを連結しているために、浮子網前端から沈子網につながる網目脚に張力が集中しやすい。本実験では、流水中の特性を把握するために、実操業では必要がないと思われるほどの高速 (2.0 kt) で曳網した結果、このような事故が起きたと考えられる。本実験でのワープ張力は最大で約 1,000 kgw 程度であった。安全に操業を行うためには、網の前端の強度を高めるような工夫をし、網の構成を改善していく必要もある。

3. 採集能力および操作性

本章では、採集対象魚としてマイワシを選択し、流し網型と曳航型を用いて比較操業試験を行うことにより、両漁具の採集能力（漁獲する能力）を調べた。さらに、選択性曲線を推定し、マイワシに対する漁獲特性の違いについて検討を行った。また、各試験における両漁具の操作性を調べることにより、曳航型の標本採集具としての有効性について評価した。

3-1 材料と方法

3-1-1 操業海域と試験内容

操業試験は、東京大学海洋研究所の研究船淡青丸（470 ton）により、1995年4月、伊豆大島沿岸（Fig. 48）において計3回（試験1-3）、及び1998年7月、相模湾の東側湾口部である城ヶ島沖（Fig. 49）において1回（試験4）行われた。いずれの試験においても主要対象種はマイワシであった。試験1-3では、操業海域が黒潮の流路に近かったため、水深約30mでの流速は大島沿岸では0.4 kt程度、沖合で2.0 kt程度であった。また、操業海域の水深は200-1,000 mであった。また、試験4では、潮流速は約0.6 ktで水深は約600-800 mであった。操業試験の内容をTable 13に示す。曳航型と流し網型の採集能力と操作性を直接比較するために、試験1では両網を同時に用いた。風が強く波が若干高かった試験2では流し網型の操業を中止して曳航型のみでの操業試験を行い、試験3では流し網型のみでの試験を行った。また、試験4では、両漁具の選択性曲線を推定、比較するために、両漁具を同時に用いた。いずれの試験においても網の浸漬時間は2-3時間であった。

3-1-2 網の仕様

試験1-3で使用した流し網型と曳航型の概要図および仕様をそれぞれFig. 50とTable 14に示す。流し網型では、連結した網の両端に、網を沈め初期の網成りを維持するための沈子を取り付けられ、浮標浮子と浮標綱により網が海中に敷設される。本試験では、この浮標綱の長さを対象となるマイワシ魚群の同海域での最頻出現深度である30mとした。使用された網はマイワシ用の目合33,43 mm（ナイロン

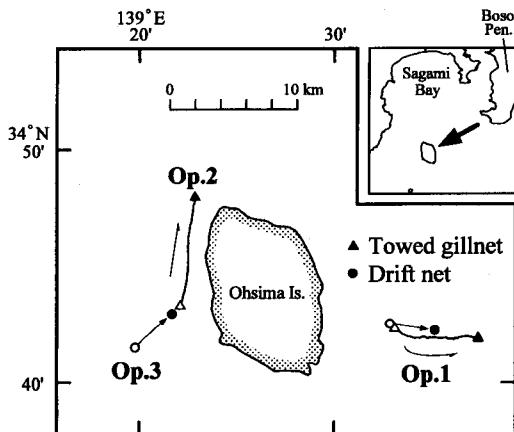


Fig. 48. The area of sampling operations (OP. 1-3). Solid lines show the tracks of Tansei-maru with the towed gillnet (open, deploying; close, retrieving).

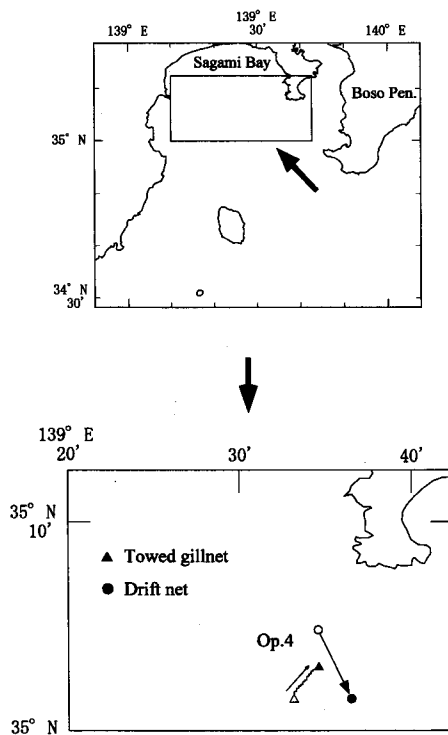


Fig. 49. The area of OP. 4. Solid line shows the track of Tansei-maru with the towed gillnet (open, deploying; close, retrieving).

Table 13. Conditions of sampling operations

Operation No.	Date	Gear type	Arrangement of net units	Time (JST)	Current* ¹	
					speed (kt)	direction (°)
1	13 Apr, 1995	Drift	33 mm, 43 mm, 72 mm×1	20:13 ~ 23:45	0.4* ²	260* ²
		Towed	33 mm, 43 mm×1	20:22 ~ 22:46	0.4* ²	229* ²
2	15 Apr, 1995	Towed	43 mm×1	18:54 ~ 21:20	1.6* ²	18* ²
3	17 Apr, 1995	Drift	33 mm, 43 mm, 72 mm×1	18:30 ~ 21:00	1.0* ²	56* ²
4	16 Jul, 1998	Drift	33 mm, 37 mm, 43 mm×1	00:30 ~ 04:07	0.6* ²	50* ²
		Towed	//	01:19 ~ 03:15	0.6* ²	55* ²

*¹ At 30 m depth

*² Average values at each operations

モノフィラメント, 直径 ϕ 0.284 mm), さば類用の目合 72 mm, (同, 直径 ϕ 0.403 mm) 各 1 反の計 3 反であった。一方, 曳航型の基本構成は前章に示した網と同様とした。目合は 33, 43 mm (ナイロンモノフィラメント, 直径 ϕ 0.284 mm) とし, それぞれを各 1 反使用した。対象魚の分布水深の情報から, 設定する網水深を最大 50 m 程度と想定し, 前章の結果を参考に最適な錘重量を 12 kgw 程度とした (空中重量 6 kgw の錘×2)。ワープには鉛芯入りのポリプロピレンロープ (直径 ϕ 10.4 mm) 2 本合わせを使用

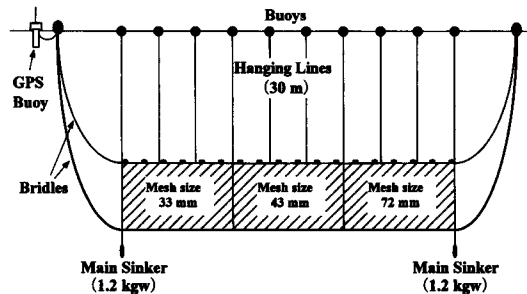
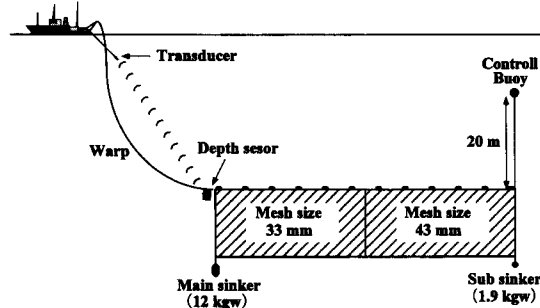
Drift net**Towed gillnet**

Fig. 50. Constructions of both gear types used in the operations (OP. 1-3).

した。試験1では目合33, 43 mmの網を浮子網と沈子網でつないで使用した。この試験の揚網時に目合33 mmの網が破損したため、試験2では目合43 mmの網1反のみ使用した。なお、操業中の網水深の計測にはスキャンマー深度計（スキャンマー社製）を使用した。

試験4で使用した網の構成をFig. 51に、仕様の詳細をTable 15にそれぞれ示す。目合33-43 mmの網は両漁具とも同一のものを使用した。本試験の曳航型では、曳航時の破網を防ぎ、かつ網成りを整えるために、ワープと連結される最前部に大目合で直径の十分太い網全長10 m程度の網成り調整用の網（目合115 mm，直径 ϕ 0.5 mm）を導入した。各目合の網の全長は30 mであり、操業時には各網の浮子網，沈子網を連結して使用した。したがって、網全長は100 mであった。錘やその他の漁具の構成は試験1-3と同様であった。試験開始前に、計量魚群探知機を用いて魚群探索を行い、マイワシと推測された魚群影像の水深を考慮して、流し網型の浮標網長および曳航型の設定水深を15 mとした。

3-1-3 操業方法

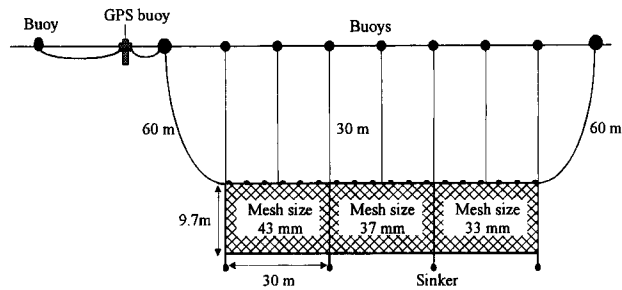
各試験での流し網型の操業は次の手順で行われた。甲板上で各網の浮子網，沈子網を連結した後、海況や魚群探知機の情報をもとに浮標網の長さを調節し、浮標浮子の両端にGPSブイを取り付けた。投網は船尾より行い、浮標浮子および浮標網を網に絡まないように船尾横方向に投じた。投網中、船は流向に対して約20-40°の角度を保ち航行した。一定の浸漬時間の後、GPSブイにより網を探索し、船尾より人力で揚網した。

曳航型の操業は以下の手順で行われた。甲板上で各網を連結した後、ワープをガントリーのローラー

Table 14. Specifications of the drift net and the towed gillnet used in OP. 1-3

Gear type	Items	Material	Size (Diameter)	Weight* ¹ (kgw)	Length (m)	Height (m)	Number	Remarks
Drift	Net	Nylon, monofilament	33 mm (ϕ 0.284 mm)		101	8.0		Hang-in Ratio 0.52
			43 mm (ϕ 0.284 mm)		101	8.0		Hang-in Ratio 0.52
			72 mm (ϕ 0.403 mm)		96	9.2		Hang-in Ratio 0.48
	Float line	Polypropylene	(ϕ 5.3 mm)		49.5		2	
	Sinker line	Lead within Polypropylene	100* ² gw/m (ϕ 10.5 mm)		48		4	
	Float	Synthetic rubber	195.6 mm (ϕ 39.5 mm)				18	Buoyancy 235 gw
	Main sinker	Lead		1.1			2	
	Shackle	Iron		0.5			15	
Towed	Net	Nylon, monofilament	33 mm (ϕ 0.284 mm)		101	8.7		Hang-in Ratio 0.52
			43 mm (ϕ 0.284 mm)		101	11.3		Hang-in Ratio 0.52
			72 mm (ϕ 0.403 mm)		96	9.2		Hang-in Ratio 0.48
	Float line	Polypropylene	21 gw/m (ϕ 7.1 mm)		49.5		2	
	Sinker line	Lead within Polypropylene	100* ³ gw/m (ϕ 10.4 mm)		48		4	
	Float	Plastic	100 mm (ϕ 35 mm)				173	Buoyancy 59 gw
	Control buoy	Plastic	(ϕ 180 mm)				1	Buoyancy 1700 gw
	Main sinker	Lead		6			2	
Sub sinker	Lead		1.9			1		

*¹ Values in air*² Lead : 47 gw/m, Polypropylene : 53 gw/m (in air)*³ Lead : 62.2 gw/m, Polypropylene : 37.8 gw/m (in air)



Towed gillnet

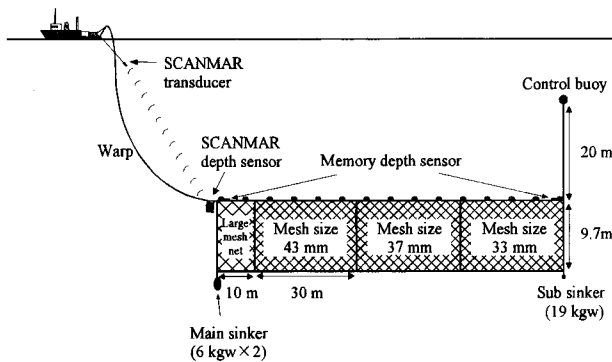


Fig. 51. Constructions of both gear types used in OP. 4.

を通して網に連結し、この連結部に深度計を取り付けた。そして、ワープと連結した網の沈子網前端に 50 cm 程度のロープを結び錘を取り付けた。網の浮子網後端に 20 m のロープを結び、補助浮子（浮力 1.7 kgw）を取り付け、沈子網後端には補助錘（水中重量 1.7 kgw）を取り付けた。投網の際は 1 kt 程度で航行し、補助浮子、後端の網（補助錘を含む）、錘の順で投げ、ワープをおよそ 180 m まで送出した。試験中の網水深の調節は、ワープ長とプロペラピッチ角の操作で行われた。一定の浸漬時間の後に揚網を開始し、網の前端が船尾付近に来るまでワープを巻き上げ、その後は流し網型と同様の方法で揚網した。

両漁具を使用した試験 1, 4 では、二つの漁具の纏絡を防ぐために、流し網型を投網した後に 10 分程度（約 0.3 マイル）航走し、曳航型の操業を開始した。そして、曳航型の揚網後に流し網型を探索して揚網した。また、全試験を通じて投網前および操業中において計量魚群探知機（㈱古野電気製 FQ-50, 周波数 50 kHz）を用いてマイワシの魚群を探索した。揚網後、試験 1-3 では、各網に漁獲されたマイワシを網からはずした後、それぞれから約 100 尾を抽出して体長（Body length）を測定した。試験 4 では、両漁具により得られた漁獲物は漁具別に目合毎に収集された。そして、体長に加えて、羅網部位、鰓部、最大胴周部の各周長と吻端からの距離をそれぞれ測定した。

3-1-4 網目選択性曲線の推定方法

試験 4 で得られた両漁具の目合別の漁獲尾数のデータを用いて、両漁具のマイワシ選択性曲線を推定した。本研究では漁具間の選択性の比較を目的とするため、各目合の結果を 1 本の選択性マスターカーブで表すことができる Kitahara の方法（Kitahara, 1968；藤森・東海, 1999）を用いた。

Table 15. Specifications of the drift net and the towed gillnet used in O.P. 4

Gear type	Items	Material	Size (Diameter)	Weight* ¹ (kgw)	Length (m)	Height (m)	Number	Remarks
Drift	Net	Nylon, monofilament	33 mm (ϕ 0.284 mm)		62	9.7		Hang-in Ratio 0.52
			37 mm (ϕ 0.284 mm)		62	9.7		„
			43 mm (ϕ 0.284 mm)		62	9.7		„
	Float line	Polypropylene	(ϕ 7.9 mm)		30		2	
	Sinker line	Lead within Polypropylene	(ϕ 16 mm)		30		1	225 gw/m in water
	Float	Synthetic rubber	(ϕ 52 mm)				34	Buoyancy 235 gw
	Main sinker	Lead		1.1			4	
Shackle	Iron		0.5			3		
Towed	Net	Nylon, monofilament	33 mm (ϕ 0.284 mm)		62	9.7		Hang-in Ratio 0.52
			37 mm (ϕ 0.284 mm)		62	9.7		„
			43 mm (ϕ 0.284 mm)		62	9.7		„
	Float line	Polypropylene	(ϕ 7.9 mm)		30		2	
	Sinker line	Lead within Polypropylene	(ϕ 16 mm)		30		1	225 gw/m in water
	Float	Plastic	(ϕ 52 mm)				34	Buoyancy 235 gw
	Control buoy	Plastic	(ϕ 180 mm)				1	Buoyancy 1900 gw
	Main sinker	Lead		6			2	
Sub sinker	Lead		1.9			1		

*¹ Values in air

Kitahara の方法では、目合 m_i の体長階級 l_j に対する選択率 $S(m_i, l_j)$ は、0 から 1 の値をとる相対効率として表される。以下に Kitahara の方法の一般式を示す。

$$c_{ij} = S(m_i, l_j) \cdot q \cdot d_j \quad (3-1)$$

ここで、 c_{ij} は CPUE であり、網反数などの漁獲努力量によって標準化された漁獲尾数であり、 d_j は対象資源の相対密度である。また、 q は漁獲効率を表し、 $q=1$ と仮定される。Kitahara の方法では $S(m_i, l_j)$ を目合と体長の比の関数として表すことにより、次式のように異なる目合の選択性曲線を一つの曲線(マスターカーブ)で表すことができる。

$$S(m_i, l_j) = s(l_j/m_i) \quad (3-2)$$

実際の推定には (3-1) 式に上式を代入して対数化した次式を用いる。

$$\ln s(l_j/m_i) = \ln c_{ij} - \ln qd_j \quad (3-3)$$

ここで、 $\ln qd_j$ は補正項となる。

本研究では、藤森・東海 (1999) により提案された拡張された Kitahara の方法を用いることにより、選択性曲線のマスターカーブに特定の関数形を仮定し、この関数形による相対効率と実験値として得られる相対効率の残差平方和を最小化することで、体長階級ごとの補正值 (qd_j) を関数形のパラメータと同時に決定する。推定における評価関数は以下のように表される。

$$\theta_s = \sum_{ij} [\ln s(R_{ij}) - \ln \hat{s}(R_{ij})]^2 \quad (3-4)$$

ここで、 $R_{ij} = l_j/m_i$ であり、 $s(R_{ij})$ は実験から得られる相対効率、 $\hat{s}(R_{ij})$ は関数形による相対効率の推定値である。なお、式 (3-4) における残差平方和 θ_s の最小化計算には、MS-Excel (MS-EXCEL は Microsoft Corporation の登録商標) に備えられた最適解探索ツールであるソルバーを用いて行った (藤森・東海, 1999; 東海, 1997)。

選択性曲線を表す関数形には、Fujimori *et al.* (1996) にしたがって、次に示す多項式を用いた。

$$F(R) = a_n R^n + a_{n-1} R^{n-1} + a_{n-2} R^{n-2} + \dots + a_0 \quad (3-5)$$

刺網の選択性を表す関数として $n > 4$ が適当となる場合は稀である (Fujimori *et al.*, 1996; 藤森・東海, 1999) ことから、本研究では 2 次と 3 次について計算し、誤差分散の不偏推定量の比較により最適な次数を選択した。最小自乗法における π 個の点に対する近似式の誤差分散の不偏推定量 $\hat{\sigma}^2$ は、その残差平方和 θ_s を用いて次式で与えられる。

$$\hat{\sigma}^2 = \theta_s / (\pi - p), \quad \text{ただし, } p = \mu + (\lambda - 1) \quad (3-6)$$

ここで、 p は関数形のパラメータ数 μ に体長階級数 (補正值パラメータ qd_j の数) λ から、ピボット (全目合の中で最も漁獲の多かった体長階級) 分の 1 階級を引いた数を加えた総パラメータ数である。 $\hat{\sigma}^2$ の値が小さい方を選択性曲線を表す関数に最適な次数として選択した。

最終的な選択性のマスターカーブを表す関数 $s(R)$ は、式 (3-5) における最大値 F_{max} を用いて以下のように表される。

$$\begin{aligned} s(R) &= \exp(F(R) - F_{max}) \\ &= \exp(a_n R^n + a_{n-1} R^{n-1} + a_{n-2} R^{n-2} + \dots + a_0 - F_{max}) \end{aligned} \quad (3-7)$$

F_{max} は、式 (3-5) において $-\frac{d}{dR} \ln F(R^*)$ として極値を与える R^* を算出し、この値を同式に代入することにより得られる。ここで、 R^* は相対効率の最大値を得る目合相対体長である。

3-2 結果および考察

3-2-1 採集能力

試験 1-3 における採集結果を Table 16 に示した。ここでは、18 cm 以下の小型魚は全数を、18 cm 以上の大型魚はその一部を無作為に抽出して測定した。試験 1 では、曳航型と流し網型それぞれに約 150 尾のマイワシが採集された。また、試験 2 においても試験 1 とほぼ同数のマイワシが曳航型によって採集

Table 16. Body length distributions of Japanese sardine caught by the drift net and the towed gillnet

Body length class (cm)	Operation No.			
	1		3	
	Drift	Towed	Towed	Drift
14-14.9	0	1	0	0
15-15.9	4	5	0	0
16-16.9	11	14	0	1
17-17.9	7	5	1	1
18-18.9	14	13	8	6
19-19.9	38	26	30	19
20-20.9	11	15	30	3
21-21.9	5	6	21	0
22-22.9	0	2	2	0
Number of samples	90	87	92	30

≥ 18 cm : random samples from the amount catch

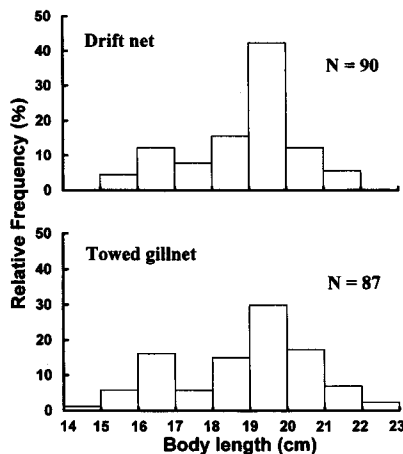


Fig. 52. Relative body length frequencies of Japanese sardine caught by both gear types in OP. 1.

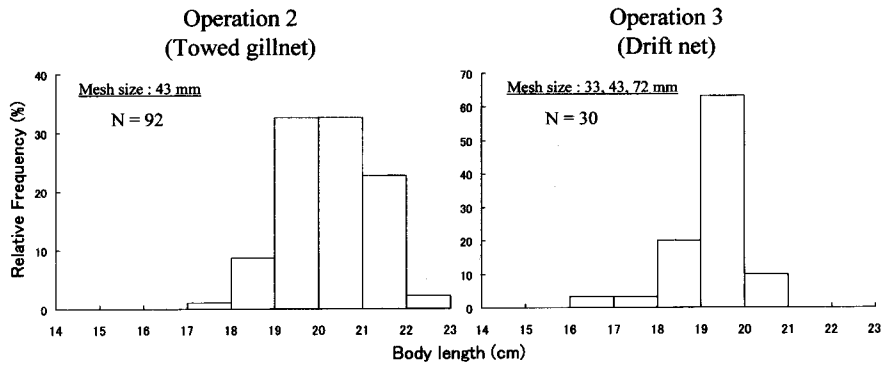


Fig. 53. Relative body length frequencies of Japanese sardine caught by both gear types in OP. 2 and 3.

Table 17. Body length distributions of Japanese sardine caught in OP.4

Body length class (cm)	Drift Mesh size (mm)			Towed Mesh size (mm)		
	33	37	43	33	37	43
13-13.9	0	0	1	0	0	0
14-14.9	0	0	0	0	0	0
15-15.9	0	0	0	0	0	0
16-16.9	1	0	0	2	0	0
17-17.9	4	6	2	4	4	2
18-18.9	5	16	17	3	10	8
19-19.9	2	15	11	0	3	10
20-20.9	0	2	3	2	1	7
21-21.9	0	0	5	1	4	6
22-22.9	0	0	0	0	0	2
23-23.9	0	0	1	0	0	0
Total	12	39	40	12	22	35

された。流し網型のみでの操業であった試験3では合計30尾のマイワシが採集された。試験1で流し網型、曳航型によって得られたマイワシから抽出した魚(18 cm以下:流し網型で22尾,曳航型で25尾,18 cm以上:流し網型で68尾,曳航型で62尾)の体長組成をFig. 52に示した。両網のモードとなる体長階級はともに19.5 cmで等しく、漁獲体長範囲もほぼ同一であった。同様に、試験2,3における漁獲されたマイワシの体長組成をFig. 53に示した。試験2の曳航型による漁獲において、試験1に比べてモードや漁獲体長範囲が右にずれた。これは、使用する目合が43 mmのみであったことと、操業海域が異なるために対象母集団の組成が異なるものであった可能性がある。試験3の流し網型では、使用目合は試験1,2と同一であったにもかかわらず、漁獲尾数は極端に少なく、漁獲体長範囲も狭かった。試験4において両漁具により漁獲されたマイワシの体長組成をTable 17に示す。ここで、選択性曲線推定の計算対象とした体長階級の頻度分布をFig. 54に示した。本試験では、モードの位置に若干の相違が見られたものの、漁獲されている体長範囲はほぼ同一であった。試験2における曳航型でのマイワシの羅網状況をFig. 55

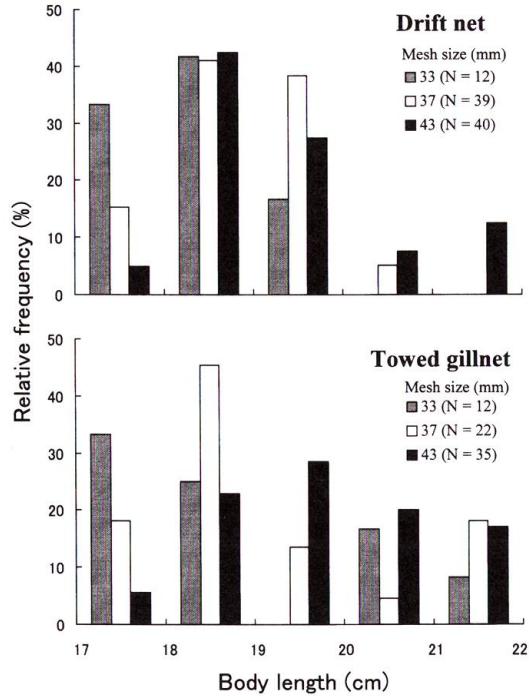


Fig. 54. Relative body length frequencies of Japanese sardine caught by both gear types in OP. 4.



Fig. 55. The hauling of the towed gillnet for Japanese sardine at OP. 2 (off Izu).

に示した。羅網状態（網への魚の刺さり方）に関しては、刺さりや絡みによる漁獲の比率や羅網の方向に曳航型と流し網型でほとんど違いはなく、刺網を曳航することが採集能力に与える影響は特に見られなかった。

試験 1 の結果において、流し網型と曳航型の採集能力を比較するためには、対象としたマイワシの母集団が同じものであることが前提となる。それぞれの操業地点の距離は約 0.3-0.4 マイル程度であり、得られた体長組成もよく一致したことから、両網が採集したマイワシは同じ母集団に属するものと仮定した。このことから、曳航型と流し網型の採集能力は同等であり、曳航型による標本採集が十分に有効で

あることが明らかとなった。

一方、試験4においては、網の目合によってモードの位置や頻度に若干の相違が見られた。このことから、流し網型と曳航型では、その漁獲特性に相違がある可能性がある。また、調査対象となる魚群の体長範囲を漁獲範囲としてとらえるためには、目合の適切な組み合わせが必要となる。以上の理由から、両漁具のマイワシに対する選択性を明らかにしておく必要がある。

3-2-2 選択性曲線

選択性曲線の推定には、極端に漁獲の少なかった体長階級を除外し、17-17.9 (cm) から 21-21.9 (cm) を計算資料として用いた。Kitaharaの方法を用いて推定した選択性曲線について、流し網型と曳航型の推定された2次および3次関数の各係数、残差平方和 θ_s 、誤差分散の不偏推定量 $\hat{\sigma}^2$ を Table 18 に示す。 $\hat{\sigma}^2$ の値は、流し網型では2次の場合が、曳航型では3次の場合がともに小さかった。両漁具の2次および3次関数の相対効率と実験値のプロットを示すグラフを Fig. 56 に示す。流し網型では、得られた実験値が最適体長 (目合相対体長) 付近を中心としてほぼ左右対称の傾向を示し、 $\hat{\sigma}^2$ の結果の通り、2次関数による表現が適切であると判断できる。一方、曳航型では、目合相対体長が大きい範囲での実験値の減

Table 18. Parameters of estimated selectivity curve of both gear types by Kitahara's method

Gear	Function	a_3	a_2	a_1	a_0	q_d					θ_s	$\hat{\sigma}^2$
						Length class (cm)						
						17.5	18.5	19.5	20.5	21.5		
Drift	Quadratic	—	-1.40	13.42	-29.19	0.30	1.00	0.83	0.21	0.31	0.56	0.14
	Cubic	0.33	-6.44	39.18	-72.74	0.31	1.00	0.81	0.21	0.29	0.56	0.19
Towed	Quadratic	—	-0.51	4.66	-8.57	0.47	1.00	0.80	0.58	0.95	2.74	0.46
	Cubic	0.47	-7.97	43.38	-74.73	0.48	1.00	0.74	0.58	0.86	2.22	0.44

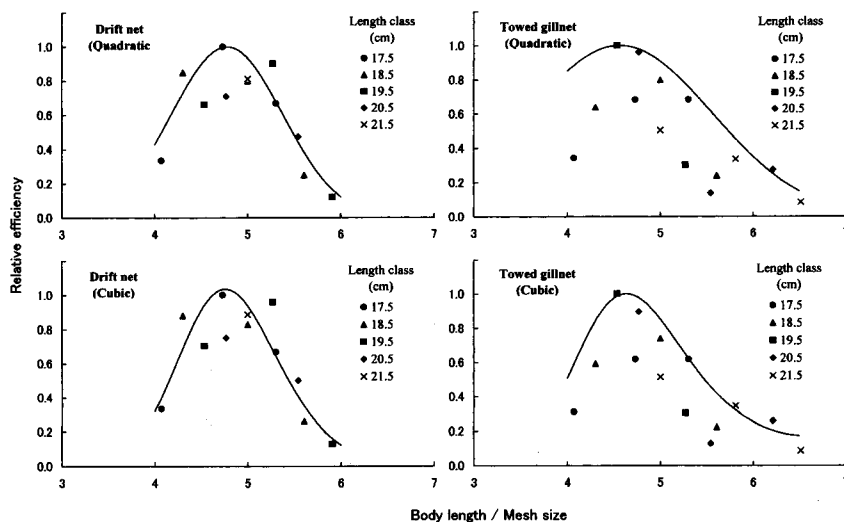


Fig. 56. Relationship between ratio of body length to mesh size and relative efficiency estimated for both gear types.

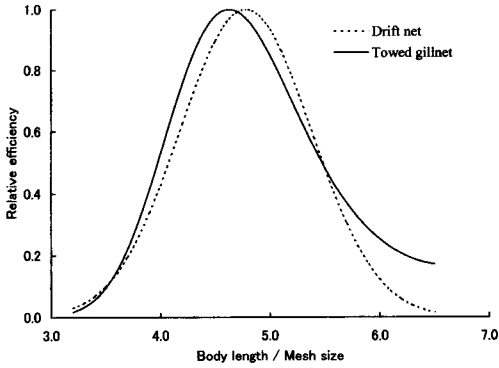


Fig. 57. Selectivity master curves for Japanese sardine of both gear types.

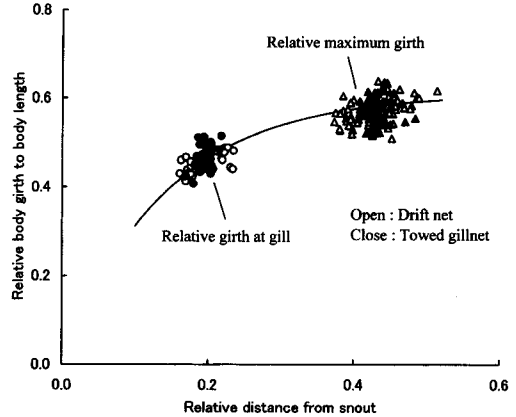


Fig. 58. Relationship between relative distance from snout and relative body girth to body length.

少傾向は流し網型の結果に比べてなだらかであり、3次関数による表現は妥当と考えられる。Fig. 57に、流し網型、曳航型それぞれのマスターカーブを示す。相対効率が最大となる最適体長は、流し網型では4.8、曳航型では4.6となり、流し網型の方が大きかった。また、相対体長の大きい範囲での相対効率の減少は曳航型の方がなだらかであった。

両漁具によって漁獲されたマイワシの魚体形状を比較するため、計測可能であった鰓部、最大胴周部の各周長を体長で除した値 (相対周長 G_r) と、吻端から各計測部位までの距離を体長で除した値 (相対周長距離 L_r) との関係性を比較した (Fig. 58)。この図から、両漁具により漁獲されたマイワシの形状には大きな違いは見られなかった。両漁具で漁獲されたマイワシの羅網位置周長と体長の関係を目合別に Fig. 59 に示す。なお、目合 33 mm ではネットマークによる羅網位置の識別が可能である個体が少なかったため、目合 37, 43 mm について示した。この図から、目合 37 mm では、曳航型のプロットが、流し網型に比べて右側に偏っていた。一方、目合 43 mm では両漁具間に大きな差異は見られなかった。そこで、両漁具での羅網位置を比較するため、漁獲されたマイワシの吻端から羅網位置までの相対距離 L_r の頻度分布を Fig. 60 に示した。ここでも、同様に目合 37, 43 mm の結果についてのみ示した。目合 37 mm では両漁具ともモードの位置は同じであり、モードより左側のデータが欠けていた。しかし、曳航型の方がわずかに深く刺さる傾向が見られた。目合 43 mm では、流し網型が上に凸の分布を示しているのに対して、曳航型ではモードの左側が欠けていた。そして、37 mm の場合と同様にわずかに深く刺さる傾向が見られた。

刺網の漁獲では、羅網時に作用する網目脚張力 (魚体締力) によって魚体が締められて網目に捕捉される (梨本, 1965)。そのため、網目脚張力が異なる場合には、網目の漁獲作用に変化が生じる可能性がある。曳航型では、浮子網にワープが連結されているために、浮子網側から後方に延びる網目脚に余剰の張力が働いていると考えられる。その大きさは網の位置によって変化し、特にワープとの連結部側の網ほど大きくなると推測される。また、曳航されることで網が上下方向につぶれることにより網地がたるみ、網目脚張力が弱まることも推測され、このような現象が深く刺さる傾向を生じさせたと考えられる。実際に、漁獲結果の体長組成から大型の個体が漁獲される傾向が見られた。

石田 (1962, 1963) はマイワシの選択性曲線を調べ、ある目合の網の最適全長とその目合比 k' を 4.95

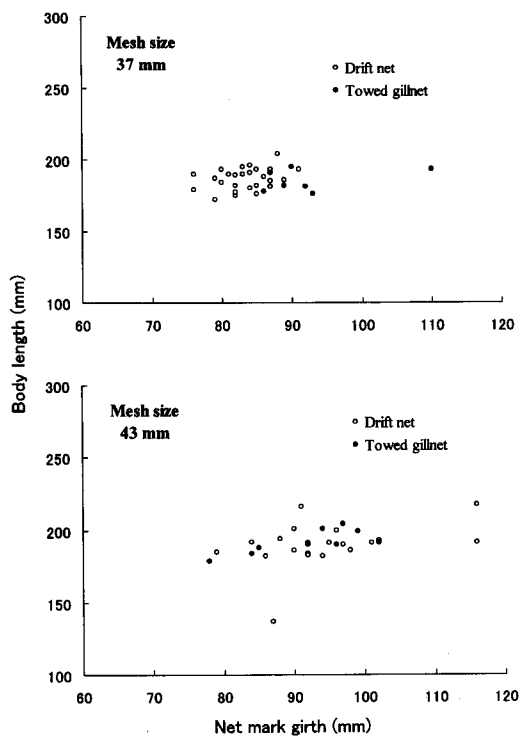


Fig. 59. Relationship between net mark girth and body length of Japanese sardine caught by both gear types.

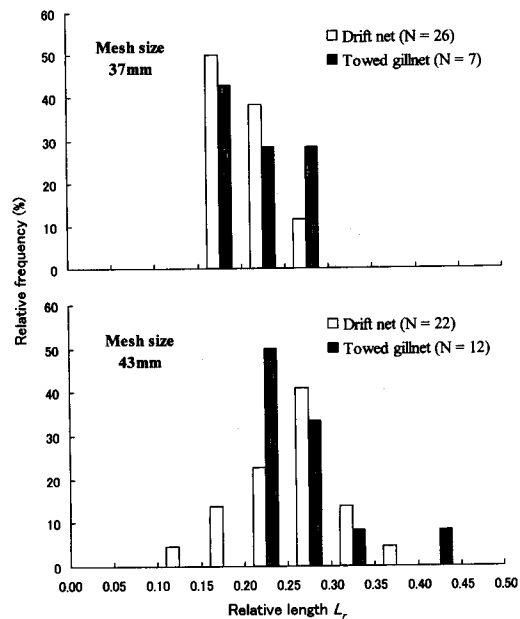


Fig. 60. Relative length L_r distributions of Japanese sardine caught by both gear types.

と報告している。マイワシに関して、本研究で計測した体長の全長に対する比率を約 0.9 と考え、 k' の値を補正すると約 4.5 となる。この値を用いて、本研究で用いた目合に対する最適体長を推定すると、目合 33 mm で 14.9 cm, 37 mm で 16.7 cm, 43 mm では 19.3 cm となる。漁獲されたマイワシの体長組成 (Table 17) と比較すると、石田により推定された最適体長とモードがほぼ一致しているのは目合 43 mm の場合のみであり、目合 33, 37 mm におけるモードは、最適体長よりも大きかった。これは、対象とした母集団において目合 33, 37 mm が漁獲対象とする体長範囲の個体が少なかったことを示している。このような理由から、特に目合 33 mm の漁獲尾数が少なかったものと考えられる。これは、目合 33 mm では単純な刺しによる漁獲よりも絡みによる漁獲が多く見られ、羅網位置が識別できないほど網傷の多い個体が多かったことから推測される。

海洋調査で使用される標本採集具では、漁獲された魚の組成が現場にいる魚の組成を反映しているのが望ましい。また、例えばある特定の時期の産卵親魚群を採集したい場合など、対象魚のサイズがあらかじめ既知である場合には、そのサイズを確実にかつ選択的に漁獲する必要がある。両漁具の選択性曲線を推定した結果、目合に対する最適体長は、流し網型の方が目合相対体長で 0.2 大きかった。また、流し網型では左右対称である 2 次曲線が適切であったのに対して、曳航型では、体長の大きい範囲の形状がなだらかとなる 3 次曲線が適合した。そのため、漁獲されるマイワシの組成がやや体長の大きい側に偏る可能性がある。したがって、実際に使用する場合には、このように漁具の特性に違いが生じる可能性があることを念頭においた上で使用するのが望ましい。ただし、本試験結果から推定された両漁具の選択性曲線の差異が、操業ごとの漁獲結果のばらつきによる推定結果の偏差に対して有意な差であるか否かを今後検討する必要がある。

本試験では、使用した目合の組み合わせが現場海域に分布するマイワシの組成に対して最適であったとは言えない。そのため、漁獲されたマイワシの標本数が十分ではなかった。また、曳航型において各目合の網の順番は各操業試験において同一であったことから、曳網時における張力の影響が、各目合にどの程度作用していたかについては詳細に明らかにすることはできなかった。したがって、今後さらに目合の組み合わせを変更するなどして操業試験を重ね、網の構成に関係する漁獲特性の変化を詳細に調べていく必要がある。

3-2-3 海洋調査船における操作性

3-2-3-1 投網準備 流し網型では、浸漬中の網成りを維持するために、網の中間と各網の連結部に浮標浮子と浮標綱を、さらに各浮標浮子に対応するように同数の錘を取り付ける必要がある。本試験における流し網型では 3 反を連結して使用したので、各網の中間に 1 本で計 3 本、連結部 2 本、両端に 2 本の合計 7 本が取り付けられた (Fig. 50, 51)。これらは、投網時に互いが絡まないように、それぞれの浮標綱をまとめて整理する必要がある (Fig. 61(a))。また、探索用の GPS ブイや、甲板に引き上げる際に先取りブイおよびそれらを結ぶロープも必要であった。したがって、本試験では甲板上に各網を上げて浮子綱と沈子綱どうしを連結するのに加えて、浮標綱の連結作業等に約 30 分から 1 時間を要した。また、魚群探索の結果得られた魚群の遊泳水深が異なる場合には、その都度浮標綱の長さをあらかじめ調節する必要が生じた。一方、曳航型では、各網の連結作業に加えて、後端に補助浮子と 20 m のロープを 1 本取り付けただけでよいので、全ての作業を約 10 分程度と敏速に行うことができた。錘や補助錘の取り付けも容易であった。曳航型では、あらかじめワープを淡青丸のウインチに接続し、巻いておく必要がある。しかし、その作業は調査項目の合間に行えばよいので調査進行の妨げとなるものではなかった。

3-2-3-2 投網 両網とも、網は船尾後方のスリップウェイから投じられた。流し網型では、各目合の

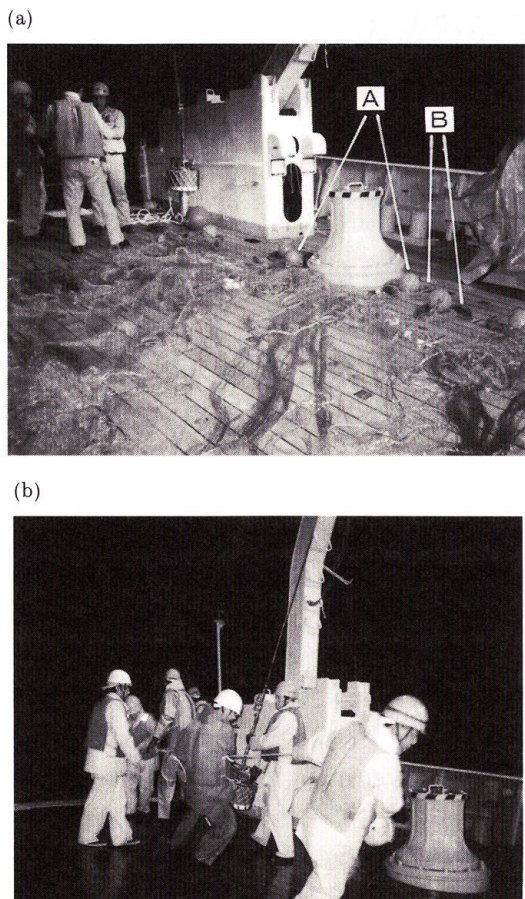


Fig. 61. (a), Arrangement before deploying the drift net (A, buoys; B, coiled hanging line); (b), The retrieving of the GPS buoy of the drift net.

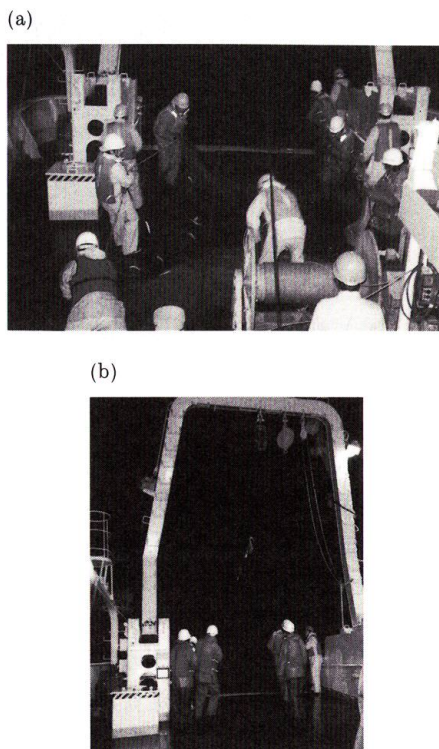


Fig. 62. (a), The retrieving of the drift net; (b), The declining of the swing type gantry to retrieve the towed gillnet.

網を投入する際に浮標浮子と浮標網を斜め後方に投じるにより、浮標網どうしが絡まないよう注意する必要があった。曳航型では網を投じた後にワープの送出作業が必要となるが、ウインチの使用などに特に問題は見られなかった。200 m のワープの送出に要した時間は、各試験とも約5分であった。

3-2-3-3 揚網 流し網型では、GPS ブイの情報をもとに網の位置まで航走する必要があった。本試験では、網を探索してから揚網するまでに30分から1時間程度要した。揚網時には、GPS ブイと先取りブイを結ぶロープをめぐらして右舷船側よりフックを投じた。その後に、スリップウェイからフックラインをたぐり寄せてGPS ブイを人力により回収した (Fig. 61(b))。それから網端の浮標網をたぐり、網端をスリップウェイより引き上げた後、順番に各網を甲板へ引き上げた。この際、甲板上の左右舷側に人員を約5名ずつ配置し、浮子網、沈子網をつかんで人力により揚収した (Fig. 62(a))。一方、曳航型ではワープと網の連結部分がガントリーの滑車に到達するまでワープを巻き上げた後に、ガントリーを船首方向に倒した (Fig. 62(b))。このワープ巻き上げ作業は、揚網前のワープ長にもよるが、ワープ長が200 m 程度であっても約5分で完了した。その後の網の揚収作業は流し網型とほぼ同一であり、甲板上で網の揚



Fig. 63. The retrieving of the towed gillnet.

取時間を含めて約10分で揚網を完了した (Fig. 63)。

3-2-3-4 曳航型の網水深調節 曳航型の網水深調節の一例として、95年に行われた操業試験時について解析を行った。試験1では深度計の信号の受信状態が悪く、操業開始1時間後からの網水深が不明であった。前章での実験結果によると、操作ワープ長200 m、錘の空中重量30 kgwの条件下において、網は約30分で約60 mに達していた。しかし、深度計で受信できた操業開始1時間後の水深は、この平衡水深に達していなかった。この原因として、投網直後のプロペラピッチによる船速の調節の影響が考えられた。また、それに加えて潮流などの外乱の影響も無視できないものであったと考えられる。この結果をふまえ、その翌日の試験では船速が常に1 kt以下になるようにプロペラピッチを固定した後ワープ長を操作した。この時の記録を、曳航型を用いた操業試験中の曳網条件および網水深調節の一例として Fig. 64 に示した。本試験では、網の投下を約3分で終了し、その後にワープの繰り出しを開始した。それから約4分後に約180 mのワープ繰り出しを完了した。投網開始直後の網水深は不明であったが、網が平衡水深に達するのに要した時間は約40分であると推測された。投網開始から約50分後にワープを

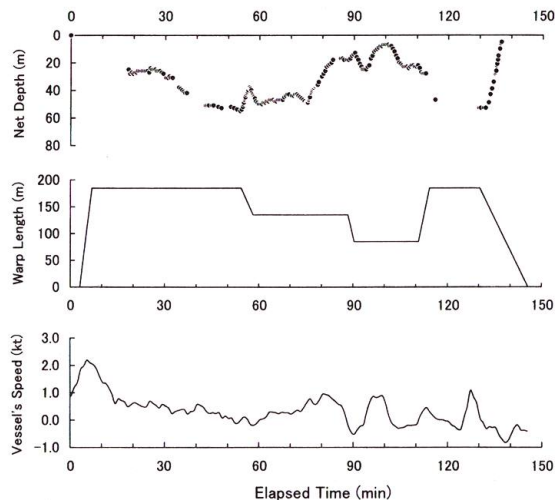


Fig. 64. Variations of net depth and controlled conditions (warp length, vessel's speed) with elapsed time at OP. 2.

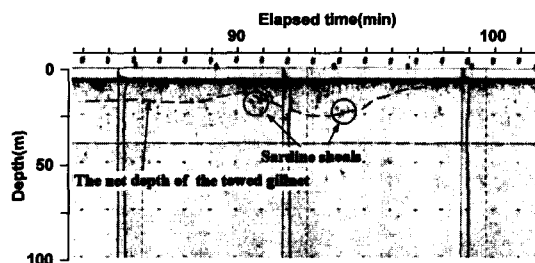


Fig. 65. Echogram (50 kHz) of sardine shoals at second operation. The broken line shows the net depth of the towed gillnet.

50 m 巻き上げたので、網水深は約 40 m となった。船速の増加のために投網開始後約 75 分付近で網水深は上昇したが、さらにその約 15 分後には水深約 20 m 付近に魚群を発見したために、再度ワープを 50 m 巻き上げて網水深をその水深に合わせることができた (Fig. 65)。

流し網型は、全操業試験において網水深を 15 m もしくは 30 m で一定としていた。これ以上網水深を深くするには、浮標網が長くなり過ぎて良好な網成りを得ることが難しく、網丈を増せば甲板での作業性が低下する。したがって、流し網型ではこれ以深の層に分布する魚群を漁獲するのは困難であると推測される。さらに、漁具の構造から操業中に網水深を調節することができないため、対象魚群の遊泳層が設定した網水深と同一の場合のみしか多くの漁獲量は見込めない。そのため、採集は受動的であり、その成否は不確定なものとなる。実際に、流し網型では魚探の記録からマイワシのと思われる魚群影像が網水深付近に見られた試験では十分な漁獲が得られたが、網水深付近に魚群影像が見られなかった試験では漁獲が極端に少なかった。一方、曳航型では、魚探の反応に追従して 10-60 m とより広い範囲に網水深を設定することができた。こうした操業中の網水深調節によって、魚探によって確認されたマイワシと思われる魚群を効率的に漁獲することができたと考えられる (Fig. 65)。このように、魚群の遊泳水深と網水深を一致させることで確実な採集を行うことが可能であれば、長時間にわたる操業の必要がなくなると思われる。さらに、曳航型は揚網が容易であるために、流し網型では探索が困難となるために操業が中止となるような場合にも、ある程度操業が可能であると考えられる。実際に本試験においても、波が高く、岸近くで岸向きの流れがあったために、流し網型の操業を見送らざるをえなかった場合が生じたが曳航型では可能であった。これらの点から、採集能力および操作性を総合的に判断すると、曳航型がこれまでに使用されてきた流し網型に比べて能率的な漁具であると判断できる。

4. 総合考察

4-1 基本設計

海洋調査船で使用される標本採集用の漁具は、漁労設備が十分に装備されていない海洋調査船においても十分に扱いやすいものでなければならない。具体的には、投網の準備から投・揚網作業までを、甲板上で短時間にかつ簡単に行える必要がある。刺網漁具は経済的にも安価であり、規模が非常に大きな場合を除いては、操業するのに特別な漁労設備を必要としない漁具である。刺網では網地と魚群との遭遇頻度が増すほど羅網の機会が増す。そのため、網水深を魚群探知機やソナーで探知した魚群の分布水深に設定することができれば、羅網の機会が増し、採集の確実性を高めることができる。したがって、投網後には速やかに目標とした水深に網を移動させる必要がある。また、特に浮魚類の場合に多く見られるように、分布水深が異なる魚群を対象として効率よく標本を採集するためには、操業中における網水深調節が可能であることも必要となる。

このような前提のもとに、本研究では経済的にも安価で操業しやすい刺網の利点を残し、かつ操業中に網水深の調節可能な漁具を実現するため、1本のワープで刺網を曳航する曳航型を考案した。このような漁具の構成に必要な条件は、曳網中に良好な網成りが得られ、なおかつ速やかに網が水平状態で平衡水深に達することである。ワープと網の連結方式は、曳網時の網成りや網の運動性能に大きく影響を与える。異なる連結方式の模型網を用いた実験結果から、流水中に網地がよく展開し、網水深が速やかに整定する直接方式が曳航型に適したワープの取り付け方であると判断した。

曳航型の錘は、網を予定の水深に沈め、平衡状態における網の沈降力として作用するため、重いほど短いワープ長で深い網水深が得られる。しかし、甲板での作業性を考慮すれば、人力で扱える 30 kgw 程度が限度である。

流し網型では、浮標網を中心として網が水平方向へ縮んでしまうために、短い網全長では水平方向に展開した網成りを維持することが難しい(塩出, 1994)。一方、曳航型では、12 cm/s 程度の対水速度があれば、短い網全長でも水平方向に展開した網成りを維持することができる。しかし、網の対水速度が増すにしたがい、網が上下方向につぶれ、沈子網前端付近にくびれが生じる。この傾向は、網の反数が増加するほど顕著となるが、網全長が約 100 m 程度までであれば問題とならない。そして、全長 100 m の網の抗力であれば、30 kgw 程度の錘で浮魚を対象とした場合に十分な網水深が得られる。

網丈を増せば曳航速度の増加とともに網成りの崩れが大きくなり、甲板上での作業性も悪くなるので、曳航型には現有の流し網型と同程度(約 10 m)が適切である。

直接方式のくびれに起因する破網の防止と漁獲低減の回避を目的として、ワープと連結される最前部に網全長 10 m 程度の網成り調整用の網を使用した。これは、もともと漁獲を目的としたものではないので、大目合で直径の十分太い網地を用いることができる。この網は、実操業において破網などの事故が起こらなかったことから十分に効果的である。

以上から、直接方式で重量 30 kgw 以下の錘を使用し、網丈が 10 m で、全長 10 m の網成り調整用の網を加えた網の総延長が約 100 m という構成を、曳航型の基本的な仕様として考える。

4-2 網水深応答特性

曳航型の最大の特徴は、魚群探知機やソナーによって発見した魚群の分布水深に網水深を調節できる

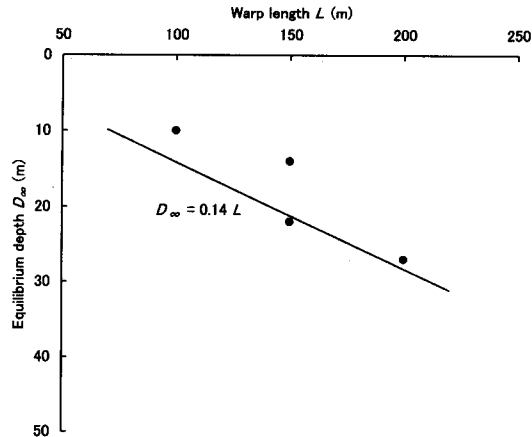


Fig. 66. Relationship between warp length and equilibrium depth (weight of main sinker = 12 kgw). ●, experimental value; —, estimated.

点である。この特徴を最大限に活用し、魚群の分布水深に網水深を合わせるためには、曳航型の静的特性を把握すればよい。曳航型の網の平衡水深は、網の対水速度の指標となるワープ張力とワープ長を操作することにより調節することができる。したがって、プロペラピッチ角を十分に小さくかつ一定に設定すれば、ワープ長の変更により、平衡水深を任意に設定することができる。模型実験の結果から (1-8) 式を用いて推定されたワープ長と平衡水深との関係と、淡青丸における操業試験での結果を Fig. 66 に示す。このように、船速を約 0.5 kt 程度と低く設定することができれば、ほぼ予想された水深に網を設定することが可能である。

曳航型の網水深調節には、船の推力の操作とワープ長の操作がある。船の推力の操作は、通常は機関回転数を一定にした状態でプロペラピッチ角により行われる。この場合の網水深の変化は、プロペラピッチ角を入力とした 1 次遅れ系のモデルにより表現できる。錘を重くするにしたがい、ゲイン定数 K の値は増加するが時定数 T はほぼ一定である。このことから、錘重量の許容範囲内では、錘を重くするほど、同じ時間でより大きな水深変化量が得られることになる。一方、ワープ長を操作した場合の網水深の変化は、オーバーシュートが生じないか無視できる程度である場合には、一次遅れ系のモデルにより表現できる。しかし、オーバーシュートが顕著に生じる場合の網水深の変化をモデルで表現することはできない。実操業では、網の平衡水深と整定時間を把握しておく必要がある。ワープ長を操作する場合、網はワープ長操作終了直後にオーバーシュート頂点に達し、そこから平衡水深へと漸近する。オーバーシュート頂点から平衡水深へ復元するまでの時間は錘の重量や操作ワープ長によらずほぼ一定である。したがって、ワープ長操作に要する時間と、オーバーシュート頂点から平衡水深へ復元するのに要する時間を把握しておけばよい。本研究で試作した実網による実験結果では、この復元するのに要する時間は約 6 分であった。したがって、ワープ長操作に要する時間に 6 分を加えた時間があれば、網水深調節をほぼ完了することができる。

4-3 採集能力および操作性

現在、資源調査研究の対象種となっているものには、社会的、経済的な影響の大きい多獲性の魚類が多い。その中でも、浮魚類は、その生物量の大きさから大変重要である。曳航型を用いて操業試験を行っ

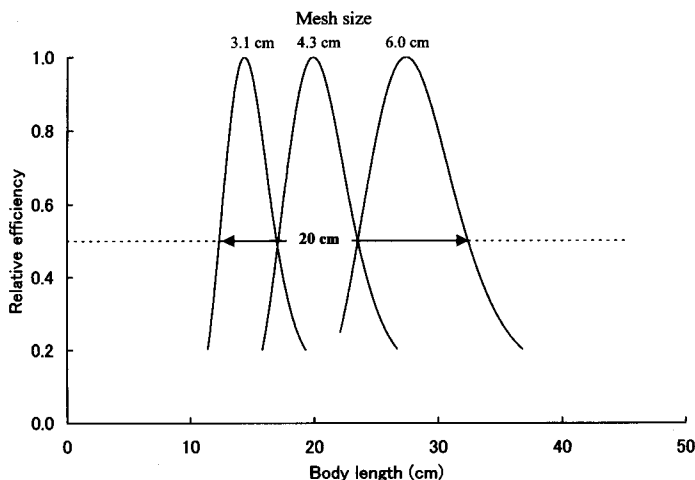


Fig. 67. Selectivity curves of each mesh sizes (3.1, 4.3, and 6.0 cm) for Japanese sardine.

た結果、曳航型は浮魚類の代表種の一つであるマイワシ成魚を対象とした場合に十分な採集能力を持つことを確認できた。流し網型を用いた標本採集では、これまでサンマ *Cololabis saira* (岩間, 1968; 和田・北片, 1982) やサバ類 (山田ら, 1996) も採集されてきた。これらの魚種を対象とした網の違いはほぼ目合と網糸の太さだけであることから、同様の網地を使用することで、曳航型でも他の浮魚類を採集することが十分可能であると考えられる。

本研究では、主に浮魚類の成魚を採集対象として曳航型の有効性を評価した。今後は、他の魚種や幼魚の採集、また調査対象種のサイズ組成そのものを調べる目的で使用される場合も想定される。底生魚類を対象とする場合には、網を海底付近に設置する必要がある。その場合には、頻繁な深度調節は必要でないかわりに、網が海底を引きずることがないように、海底との間に保ちたい距離の長さのロープを介して錘を取り付けるなどの工夫が必要である。

対象魚群の体長組成を調べる目的で使用する場合には、組成をカバーするように複数の目合の網を組み合わせて使用する必要がある。そこで、3種類の目合を組み合わせて使用する場合の選択性を求めてみる。本研究で明らかにしたマイワシ選択性曲線のマスターカーブをもとに、相対効率0.5で交差するように組み合わせた一例として、3.1, 4.3, 6.0 cmの目合の場合には、最小目合の50%選択体長約12 cmを下限とし、最大目合の50%選択体長約32 cmを上限とした体長範囲は約20 cmとなる (Fig. 67)。また、数種類の目合を組み合わせた網を用意し、網を取り替えて使用すれば、さらに広範囲の採集が可能となる。曳航型は、その操作性の良さから、このような使用法が十分実用的に行える漁具である。

現状の曳航型では、網成りを良好に保つことができる網全長は約100 mであるので、使用できる目合は3種類が限度である。そこで、新素材を使用して漁具の抗力を軽減させ、なおかつ曳航時に網が上下に展開するような工夫ができれば、錘の重量を増すことなく網全長をさらに増して操業することが可能となり、母集団の推定精度向上が期待できる。

一般に、浮魚類の中には、遊泳層が表層から数十 m におよぶものもある。実際に、流し網型と曳航型を用いた操業試験においても、魚群探索の時点で把握した魚群の分布水深が、操業時点で異なっていることは少なくなかった。曳航型は操業中に網水深の調節が可能であるため、このような魚種を対象とす

場合に非常に有効である。マイワシ成魚を対象とした操業試験時のように、曳航型では魚群の分布水深と網水深を合わせることで確実に採集することが可能であり、長時間にわたる操業の必要がなく、短時間で標本採集を終了することができる。流し網型では、船から漁具を完全に切り離すので、浸漬中にその他の調査項目を消化できる。しかし、付近に漁船が存在する場合や、岸向きの潮流がある沿岸や潮下が航路筋にあたる場合など、流し網型の操業が難しい場合もある。また、投網地点から離れてしまうと、揚網する際には漁具を探索しなければならず、調査時間の浪費にもつながる。このことは、流し網型の利点とは言えない。

海洋調査では、魚群探知機で船のほぼ真下の魚群を探知することにより対象魚群の分布水深の情報を得る場合が多い。対象魚の分布する水深が網水深と異なる場合には、許される時間内に網水深を調節する必要がある。ここで、Fig. 24 で示したような網と錘の重量（水中重量 15 kgw）の条件で、ワープ長 200 m、船速 0.5 kt、網水深約 50 m を維持しながら曳航している場合を考える。この時、船と網の水平距離は約 190 m となる。0.5 kt でこの距離を移動するのに要する時間は約 12 分である。この時間は、本研究で使用した曳航型でワープ長を 100 m 操作する場合の整定時間約 9 分を考えると、網水深調節を完了するのに十分な時間である。

曳航型の網水深調節では、対象魚の行動と羅網の条件を考えると、網そのものはあまり大きな対水速度を持つべきではない。通常、曳網力の設定は、機関出力を一定にしてプロペラピッチ角で調整される。しかし、プロペラピッチ角では曳網力の微調整が難しいため、網水深の調節は困難である。このような理由から、プロペラピッチ角を一定として、ワープ長により網水深を設定するのが望ましい。ワープ長による調節では、特に重い錘を用いる場合やウインチを高速で操作する場合にオーバーシュートが生じやすい。ワープ繰り出し時にオーバーシュートが生じると、網の前端は一時的に平衡水深よりも深く沈む。そのため、海底付近に分布する魚種を対象とする場合には、錘が海底に衝突し、網や計測器の破損につながる可能性もあるために注意する必要がある。また、操業中には、海上のブイや船などを避けるために船速を一時的に増加せざるを得ない場合があり、破網を起こす可能性があるので注意を要する。

現在の網構成では、高速で曳網する場合に網が破損する危険性がある。しかし、曳航型の網構成を高速曳網に耐えうる構成にできれば、曳航したまま魚群を探索することも可能となる。そして、魚群を発見次第、その水深に対応するワープ長に設定し、漁獲曳網速度になるようにプロペラピッチ角を落とせばよい。この場合には、網水深の変化を正確に把握できるばかりでなく、オーバーシュートが生じないために海底付近の魚群を対象とする場合にも有効な方法と言える。

曳航型は、特別な漁労設備を持たない海洋調査船においても使用できる漁具である。曳航型に環境情報に関する各種計測器を取り付ければ、対象魚の標本と環境情報が同時に得られることになる。さらに、音響機器との併用で、対象魚の標本と音響情報を同時に得ることで、*in situ* TS（ターゲットストレンジス）（飯田，1994）の高精度推定に活用できる。

4-4 今後の課題

本研究では、浮魚類を対象とした場合の網水深調節の実用性を評価した。今後、他の魚種を対象とし、網の設定水深が深くワープ長を長くせざるを得ない場合には、ワープの抗力の影響も無視できなくなると予想されるため、網やワープを含めた総合的な解析が必要と思われる。さらに、船の動揺が網水深や網成りの安定性へ与える影響を調べるためには、これまで中層トロールなどの曳網類について行われてきた力学モデルによる解析（Hu *et al.*, 1995）も有効であると考えられる。網を連結する場合、網の前端

と後端では網目脚にかかる張力が異なる。このことが選択性に与える影響についても調べていく必要がある。曳航型を資源計測用の漁具とするためには、網に対する魚の行動や遭遇確率等といった漁具能率に関する知見を蓄積していく必要がある。

本研究で行われた、海洋調査で使用される標本採集用漁具の開発は、漁業資源の管理に科学的な根拠を与えるために今後ますます必要になるとと思われる。

5. 要 約

海洋調査船においても簡単に使用できて、なおかつ、対象魚群の分布水深の変化に対応できるように操業中の網水深調節が可能である新しい標本採集具として、1本のワープで船に刺網を係留し微速で曳網する曳航型の中層刺網を考案した。本研究では、このような漁具の実現を目的として、流水中の網成りや抗力、網の整定能力を調べることにより、ワープ連結方式、使用する網の規模、錘の重量などの基本設計を行った。また、ワープ長操作時の網水深応答特性を調べ、投網や網水深調節における適切な操作法について検討した。さらに、実際に海洋調査船においてマイワシを採集対象とした操業試験を行い、曳航型と流し網型の採集能力や選択性曲線、操作性などを比較することにより、曳航型の標本採集具としての実用性を総合的に評価した。本研究で得られた成果は以下に要約することができる。

基本設計 低流速域での網成りが良好で、かつ平衡水深に速く整定する直接方式が、曳航型に適したワープ取り付け方式であると判断した。錘の重量は甲板上で作業性を考慮すれば、人力で扱える約30kgw程度が限度と考えた。網丈を増すと曳航時に網成りの崩れが大きくなり、作業性も悪化することから、現有の流し網型の網丈約10m程度が適切であった。そして、直接方式のくびれに起因する破網の防止と漁獲低減の回避を目的として、ワープと連結される最前部に網全長10m程度の網成り調整用の網を付加した。以上の構成を曳航型の基本的な仕様と考え、曳網状態として網の対水速度が0.5ktとし、本実験結果から推定した実網の抗力をもとに網の平衡水深を試算した結果、錘重量を30kgwとすれば、ワープ長200mで網水深約80mを実現でき、主に浮魚類を採集対象とする場合において十分な平衡水深が得られることが分かった。

網水深応答特性 模型実験においてワープ長操作時の網の挙動を調べた結果、網はワープ操作終了直後にオーバーシュート頂点に達し、そこから平衡水深へ復元する時間は、ほぼ一定の時間内に収まった。そして、実網を用いた海上実験により網水深応答に関する特性を調べた結果、曳網速度を変えた場合の網の挙動は、プロペラピッチ角を入力、網水深を出力とした一次遅れ系モデルにより表現することが可能であり、 T は、錘の重量によらずほぼ一定で、錘が重くなるにしたがい K の値は増加した。一方、ワープ長の操作では、オーバーシュートを無視できる場合には、一次遅れ系モデルにより表現できた。また、オーバーシュートが生じる場合の整定時間は、ワープ操作に要する時間に約6分を加えた時間として計算することができた。また、曳航型の網の平衡水深は、網の対水速度の指標となるワープ張力の増加とともに浅くなり、ワープ張力の減少とともに深くなった。

採集能力および操作性 両漁具により漁獲されたマイワシの尾数や漁獲体長範囲がほぼ等しかったことから、曳航型は流し網型とほぼ同等の採集能力を持つことが分かった。一方、両漁具の選択性曲線を推定した結果、最適体長や、相対体長の大きい範囲で若干の差が見られた。このことから、曳航型では、網の部位によって網目にかかる張力に差が生じている可能性が示唆された。また、海洋調査船における両漁具の操作性を比較検討した結果、曳航型は流し網型に比べて構成が簡単であることから、投網準備から揚網に至るまでの作業を短時間で行うことが可能であり、十分に扱いやすい漁具であることが分かった。

以上の結果から、曳航型は、資源調査研究の主要対象種である浮魚類の成魚に対して十分な採集能力があり、また、操業中における網水深の調節が実用的に可能で海洋調査船における操作性にも優れた標本採集用漁具であると結論された。

6. 謝 辞

本論文をまとめるにあたり、終始懇切なる指導と校閲の労をとられた北海道大学水産学部生産システム設計学講座 三浦汀介教授に対し、ここに謹んで感謝の意を表す。

同時に、本研究を進めるにあたり終始熱心な指導と校閲の労をとられた同学部生産工学講座 梨本勝昭教授、同学部生産システム設計学講座 飯田浩二教授、清水 晋助教授に深く感謝の意を表す。また、本研究を進める中で常に熱心な指導ならびに有益な助言をいただいた同学部生産システム設計学講座 藤森康澄博士に厚く感謝の意を表す。

東京水産大学海洋生産学科生産システム工学研究室教授 松田 皎博士、同助教授 東海 正博士、同助手 胡 夫祥博士ならびに鈴木利男技官および学生諸兄には、模型実験を行うにあたり有益な助言および多大な協力をいただいた。また、東京大学大学院農学生命科学研究科 青木一郎助教授、東京大学海洋研究所漁業測定部門 小松輝久助教授には、操業試験に際し多大な協力をいただき、有益な助言と貴重なデータを提供していただいた。ここに深く感謝の意を表す。

本研究を進めるにあたり、必要な資材を快く提供して下さった、泰東製綱株式会社の関係各位に、また実験を行うにあたり多大な協力をいただいた北海道大学水産学部研究調査船うしお丸船長 大越金蔵氏、以下乗組員の皆様、および東京大学海洋研究所研究船淡青丸船長 田中 裕氏(当時)、以下乗組員の皆様に厚く感謝の意を表す。

そして、実験や資料の整理に協力していただいた北海道大学水産学部生産システム設計学講座学生諸兄、ならびに、杉浦多美事務官に心から感謝する。

本研究の一部は、平成 8-10 年度文部省科学研究費補助金(特別研究員奨励費)による研究の一環として行われた。

7. 記号説明

1-1

R_n	網の抗力
B_f	浮子網前端にかかる浮力
θ_b	ブライドルの開き角
D_{f1}	浮子網前端の水深
D_{s1}	沈子網前端の水深
B'	網の前端に必要な浮力
B_f'	浮子網前端の余剰浮力

1-2

C_D	網の抗力係数
ρ	水の密度
S	網の面積
V	流速
ψ	網地の網糸密度
d	網糸直径
l	脚長
ϕ	縮結角
Re	レイノルズ数
ν	水の動粘性係数
D_∞	平衡水深
L	ワープ長
W	錘の沈降力
θ	ワープの俯角

2-1

t	時間
D_0	初期網水深
D_t	t 時間後の網水深
ΔD_∞	平衡水深 D_∞ に達したときの網水深変化量
ΔD_t	t 時間後の網水深変化量
T_s	整定時間
t'	オーバーシュート頂点を原点とした場合の経過時間
D_0	オーバーシュート頂点の網水深
$D_{t'}$	オーバーシュート頂点を原点とした場合の t' 時間後の網水深
α	オーバーシュート量

β オーバーシュート頂点から平衡水深へ復元する時の時定数

2-2

$O_s(t)$ ステップ応答関数
 K ゲイン定数
 T 時定数
 $i(t)$ ワープ長変化量
 $O_i(t)$ 網水深インパルス応答関数
 $O_w(t)$ ワープ長操作時の網水深変化量
 τ 遅れ時間
 O_n 網水深系列
 k サンプル番号
 O_{i_k} インパルス応答系列
 n サンプル個数
 Δt サンプリング間隔
 i_{n-k} ワープ長系列

3-1

m_i i 番目の目合
 l_j j 番目の体長階級
 $S(m_i, l_j)$ i 番目の目合における j 番目の体長階級に対する選択率
 c_{ij} 漁獲努力量によって標準化された i 番目の目合における j 番目の体長階級の漁獲尾数
 d_j 対象資源の相対密度
 q 漁獲効率
 R_{ij} i 番目の目合によって標準化された j 番目の体長階級の相対体長
 $s(R_{ij})$ 実験から得られる相対効率
 $\hat{s}(R_{ij})$ 関数形による相対効率の推定値
 θ_s 残差平方和
 $F(R)$ マスターカーブに適用する関数
 $\hat{\sigma}^2$ 近似式の誤差分散の不偏推定量
 π 観測個数
 λ 体長階級数
 p 総パラメータ数
 $s(R)$ 選択性のマスターカーブを表す関数
 F_{\max} $F(R)$ における最大値
 R^* 相対効率の最大値を得る目合相対体長

3-2

G_r 体長に対する魚体の相対周長

2000]

塩出： 標本採集用曳航型中層刺網の開発に関する研究

L_r 吻端から計測部位までの距離を体長で割った相対周長距離
 k' 任意の目合の網の最適全長とその目合の比

8. 参考文献

- Aoki, I. and Murayama, T. (1993). Spawning pattern of the Japanese sardine *Sardinops melanostictus* off southern Kyushu and Shikoku southwestern Japan. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **97**, 127-134.
- 茶碗谷洋 (1984). 昭和59年度版漁具・漁法実例第4集. 北海水産新聞社, 北海道, 238-239.
- 電子通信学会 (1975). デジタル信号処理. 電子通信学会, 東京, 36-38.
- Dimmler, W. and Klindt, H. (1990). A new electronic system for the rectangular midwater trawl (RMT). *Mar. Biol.*, **107**, 345-348.
- Dunn, J., Mitchell, R.B., Urquhartand, G.G., and Ritchie, B.J. (1993). LOCHNESS—a new multi-net midwater sampler. *ICES J. mar. Sci.*, **50**, 203-212.
- FAO (1998). Report of the FAO technical working group on the management of fishing capacity. La Jolla, United States of America, 15-18.
- Fujimori, Y., Tokai, T., Hiyama, S. and Matuda, K. (1996). Selectivity and gear efficiency of trammel nets for kuruma prawn (*Penaeus japonicus*). *Fish. Res.*, **26**, 113-124.
- 藤森康澄・東海 正 (1999). 石田の方法と北原の方法によるMS-EXCELを用いた刺網の網目選択性曲線の推定. 水産海洋研究, **63**, 14-25.
- Godø, O.R., Karp, W.A., and Totland, A. (1998). Effects of trawl sampling variability on precision of acoustic abundance estimates of gadoids from the Barents Sea and the Gulf of Alaska. *ICES J. of Mar. Sci.*, **55**, 86-94.
- Gunderson, D.R. (1993). Surveys of Fisheries Resources. *John Wiley & Sons, Inc.*, New York, 8-9, 86-93.
- 葉室親正・石井謙治 (1960). 1艘曳式中層曳網の曳網中における網成りの測定とI, II型遠隔式中層曳網深度測定装置の設計試作並びにその実用試験結果について. 漁研技報, **14**, 57-206.
- 平松一彦 (1996). 国際会議で用いられる資源評価手法について—VPAとプロダクションモデルの現状—. 資源管理談話会報, **15**, 3-24.
- 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.
- 胡 夫祥 (1993). 中層トロールシステムの制御特性に関する研究. 博士学位論文, 東京水産大学, 東京, pp. 194.
- 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.
- Hu Fuxiang, Matsuda, K., Tokai, T., and Kanehiro, H. (1995). Dynamic Analysis of Midwater Trawl System by a Two-Dimensional Lumped Mass Method. *Fish. Sci.*, **61**, 229-233.
- 飯田浩二 (1994). 音響資源調査法の基礎. 月刊海洋, **26**, 601-610.
- Isaacs, J.D. and Kidd, L.W. (1953). ISSACS-KIDD midwater trawl. Final report. *Scripps. Inst. Oceanogr. Methodol.*, 53-3, Oceanographic Equipment report No. 1, 21 p.
- 石田昭夫 (1963). マイワシ *Sardinops melanosticta* (T. & S.) とニシン *Clupea Harengus* L. の刺網の網目選択性曲線. 北水研報, **27**, 56-60.
- 石田昭夫 (1962). 刺網の選択性曲線について. 北水研報, **25**, 20-25.
- 板谷和彦 (1999). 稚魚採集用フレームトロールの開発. 修士論文, 北海道大学.
- 岩間宝作 (1968). 岩手県沿岸北上サンマ調査. 岩手水試年報, 昭和43年度, 19-23.
- 海洋水産資源開発センター (1984). 米国海洋漁業局による資源評価活動 (NOAA技術報告, NMFSほか編). 海洋水産資源開発センター.
- 金田禎之 (1977). 日本漁具・漁法図説. 成山堂, 東京, 271-354.
- 川村軍蔵, 森 青哉, 遠矢新一郎 (1992). 羅網魚から推測されるキスマキ刺網における羅網過程. 日水誌, **58**, 249-254.
- Kitahara, T. (1968). On sweeping trammel net (Kogisasiami) fishery along coast of the San'in district-III. Mesh selectivity curve of sweeping trammel net for branquillos. *Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish.*, **34**, 759-763.
- 小山武夫 (1967). 大型トローラーによる中層トロールについて. 東水研報, **52**, 37-42.
- 待鳥精治 (1966). 北西太平洋におけるサケ・マス類の垂直分布I. 北水研報告, **31**, 11-17.
- Manzer, J.I. (1964). Preliminary observations on the vertical distribution of Pacific salmon (*Genus Oncorhynchus*) in the Gulf of Alaska. *Jour. Fish. Bd. Canada*, **21**, 891-903.
- 松田 皎・王 尔光 (1987). 流線形枠による流れに平行な網地の抵抗測定法. 日水誌, **53**, 1407-1412.
- 松田 皎, 胡 夫祥, 佐藤 要, 早乙女雄二郎, 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.
- 松宮義晴ほか (1999). 水産資源の管理と保全. 月刊海洋, 号外17, pp. 215.
- McGowan, J.A. and D.M. Brown (1966). A new opening-closing zooplankton net. *Scripps. Inst. Oceanogr. Reference*,

66-23, VII+58.

Mishima, S. and Shimazaki, K. (1969). On the diurnal change of salmon catch by the gill-net in the Okhotsk sea. *Bull. Fac. Fish., Hokkaido Univ.*, **20**, 5-21.

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.

森慶一郎 (1981). 魚類プランクトンの定量的採集方法. 漁業資源研究会議報, **22**, 29-52.

森慶一郎 (1989). イワシ類等を主対象とする卵・稚仔調査結果の一括とりまとめ・公表および採集方法の統一に関する提案. 1988年漁業資源研究会議, 浮魚・環境合同部会会議報告, 80-89.

元田 茂 (1957). 北太平洋標準プランクトンネットについて. 日本プランクトン研究連絡会報, **4**, 13-15.

元田 茂 (1974). プランクトンの採集. 丸茂隆三 (編) 海洋プランクトン, 海洋学講座 (10), 東京大学出版会, 東京, 191-225.

Nakai, Z. (1962). Apparatus for collecting macroplankton in the spawning surveys of iwashi (Sardine, anchovy and round herring) and others. *Bull. Tokai. Reg. Fish. Res. Lab.*, **9**, 221-237.

Nakai, Z. and Hattori, S. (1962). Quantitative distribution of eggs and larvae of the Japanese sardine by year. 1949 through 1951. *Bull. Tokai Reg. Fish. Res. Lab.*, **9**, 23-60.

梨本勝昭 (1965). 網刺し現象の基礎的研究-I. 北大水産彙報, **15**, 221-233.

西山作蔵, 三浦汀介, 中村秀男, 清水 晋 (1982). 中層トロール網の静的力学特性. 日水誌, **48**, 1095-1100.

西山作蔵, 三浦汀介, 中村秀男, 清水 晋 (1982). 中層トロール網の動特性について. 日水誌, **48**, 1101-1105.

野村正恒 (1961). 刺網の研究-I. 東水研報, **30**, 9-56.

農林統計協会 (1999). 図説 漁業白書 (平成10年度版). 農林統計協会, 東京.

大島泰雄・宮崎千博 (1969). 西日本海域における刺網漁業 (九州・山口ブロック水試漁業分科会編). 恒星社厚生閣, 東京, 69-77.

Pennington, M. and Strømme, T. (1998). Surveys as a research tool for managing dynamic stocks. *Fish. Res.*, **37**, 97-106.

桜本和美 (1998). 漁業管理のABC-TAC制がよくわかる本一. 成山堂, 東京, pp.200.

Sameoto, D.D., Jaroszynski, L.O., and Fraser, W.B. (1980). BIONESS, a new design in multiple net zooplankton samplers. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, **37**, 722-724.

嶋津靖彦 (1983). 「水産資源の解析と評価 (石井丈夫編)」コホート解析. 恒星社厚生閣, 30-45.

塩出大輔 (1994). サンプリング用イワシ中層流し刺網の水中性状について. 卒業論文, 北海道大学.

Smis, P.E. and Richardson, S. (1977). Standard techniques for pelagic fish egg and larval surveys. *FAO. Fish. Tech. Pap.*, **175**, pp.100.

高橋祐一郎 (1996). 資源研究の現場から (10) 調査船によるサンマ資源調査の変遷と今後の改善点. 水産の研究, **15**, 59-64.

高橋祐一郎, 藤森康澄, 松岡達郎 (1996). 調査漁具としての流し刺網に関する検討会 (報告). 水産海洋研究, **60**, 208-217.

Tauti, M. (1934). A relation between experiments on model net and full scale of fishing net. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **3**, 171-177.

寺崎 誠 (1991). 深海プランクトンの研究. *Pro. Adv. Mar. Tech. Conf.*, **4**, 25-31.

東海 正 (1997). MS-Excelのソルバーによる曳網の網目選択性 Logistic 式パラメータの最尤推定. 水産海洋研究, **61**, 288-298.

梅田直哉 (1991). 中層トロールの最適レギュレータ制御系. 水工研報, **12**, 31-41.

和田時夫・北片正章 (1982). サンマの中層流し網による採集試験結果と昼間の行動について. 北水研報告, **47**, 11-22.

王 尔光・松田 皎 (1988). 流線形枠による流れに平行な網地の抵抗の測定. 日水誌, **54**, 9-15.

渡邊良朗他 (1992). 浮魚類卵・稚仔魚採集調査マニュアル. 中央水産研究所, 15-22.

Wiebe, P.H., Burt, K.H., Boyd, S.H. and Morton, A.W. (1976). A multipule opening and closing net and environmental sensing system for sampling zooplankton. *J. Mar. Res.*, **34**, 313-326.

Wiebe, P.H., Morton, A.W., Bradley, A.M., Backus, R.H., Craddock, J.E., Barber, V., Cowles, T.J. and Flierl, G.R. (1985). New developments in the MOCNESS, an apparatus for sampling zooplankton and micronekton. *Mar. Biol.*, **87**, 313-323.

山田朋秀, 青木一郎, 白石 学, 三谷 勇 (1996). 伊豆諸島近海におけるマサバ (*Scomber japonicus*) の成熟と産卵. 水産海洋研究, **60**, 331-338.