

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
Citation	MEMOIRS OF THE FACULTY OF FISHERIES HOKKAIDO UNIVERSITY, 47(2), 173-241
Issue Date	2000-12
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/21936
Туре	bulletin (article)
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

	新	ľ	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
		1-1-2	1-1	網の整定時間	
		1-1-	1-2	網成り	180
	1-	1-2	結果	₹	182
		1-1-5	2-1	網の整定時間	182
		1-1-5	2-2	網成り	
		1-1-2	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	j	· ·····	
	1-	2-1	材料	4と方法	
	1-	2-2	結果	₹	192
		1-2-2	2-1	毎別の抗力変化	192
		1-2-2	2-2	網全長別の抗力変化	
		1-2-2	2-3	網丈別の抗力変化	193
	1-	2-3	考察		
2.	網	水深	木答 #	、 特性 ······	
2	-1	要因	分析		
	2-	1-1	材料	- と方法 ······	
		2-1-	1-1		
		2-1-	1-2	水槽実験	
		2-1-	1-3	網の平衡水深 D_{∞} と整定時間 T_{\circ}	
	2-	1-2	結果		200
		2-1-5	2-1	、 毎重量の影響	
		2-1-5	2-2	<u>操作ワープ長の影響</u>	201
		2-1-5	2-3	ウインチ速度の影響	201
	2-	1-3	考察		203
		2-1-3	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/	パー・	シュー	-	量と	慗疘	時間	1										•••••	203
2-	-2	細水深	応	答特	性		<u>ء</u> י															205
-	- 2-	-2-1 実	腧	方法	止 と計注	御項[<u>з</u>															205
	-	2-2-1-1	- ~ m. 1	静的	時性																	206
		2-2-1-2	· ·	動的	時性																	207
	2-	2-2 結	里	••••••	•••••																	207
	-	2-2-2-1	. / \ 특	静的	歧性																	207
		2-2-2-2		動的	時性																	209
		2-2-3	· 	窗…											•••••							210
3.	採	生ました	кŢ	っ、 : 7バ _複	作时	ŧ																213
3-	-1	材料と	方	注…		- 															•••••	213
	-3-	-1-1 握	業)	新 城	と試	餘内纲	容 …	•••••														213
	3-	-1-2 網	.~~. の	什样																		213
	3-	-1-3 操	業-	方法																		215
	3-	1-4 網	[月]	選択	性曲線	線の排	推定し	方法														217
3-	-2	結果お	よう	び考望	索…	•••••															•••••	220
	3-	2-1 採	集	能力			•••••	• • • • •													•••••	220
	3-	2-2 選	択	性曲緒	線 …		•••••	• • • • •		•••••	• • • • • •											223
	3-	2-3 海	洋	調査	船に:	おけ	る操作	乍性	•••••						• • • • •	• • • • • • •					•••••	226
		3-2-3-1	. 1	投網:	準備		•••••			•••••	• • • • • •	•••••	•••••	• • • • • •	•••••		•••••			•••••	•••••	226
		3-2-3-2	: 1	投網	•••••	•••••	•••••	•••••		•••••	• • • • • •	• • • • •			•••••		•••••	• • • • • • • •			•••••	226
		3-2-3-3	1	揚網		•••••	•••••	•••••	• • • • • •	•••••	• • • • • •	•••••	•••••	• • • • • •	••••	• • • • • • •		• • • • • • • • •			•••••	227
		3-2-3-4	. !	曳航	型の	網水泊	深調 的	節 …	• • • • • •	•••••		••••	••••	•••••	•••••	•••••	•••••	• • • • • • • • •	• • • • • •	•••••	•••••	228
4.	総	合考察	•••	• • • • • •	•••••	•••••	•••••	•••••	• • • • • •	•••••	• • • • • •	•••••	•••••	• • • • • •	•••••	•••••	•••••	• • • • • • • •	•••••	•••••	•••••	$\cdot 230$
4-	-1	基本設	計	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	• • • • • •	•••••	• • • • • •	•••••	•••••	• • • • • •	•••••	•••••	•••••		• • • • • •	•••••	•••••	230
4-	-2	網水深	応	答特	生…	•••••	•••••	•••••	• • • • • •	•••••	• • • • • •	••••	•••••	•••••	•••••	• • • • • • • •	•••••	•••••	• • • • • •	•••••	•••••	230
4-	-3	採集能	力	およう	び操作	作性	•••••	•••••	• • • • • •	•••••	• • • • • •	••••	•••••	• • • • • •	••••	• • • • • • • •	•••••	• • • • • • • • •		•••••	•••••	$\cdot 231$
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

緒 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), マル特 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、游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,刺網の場合は浮子綱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游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にも存在している。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 考えた。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 綱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綱と沈子綱に連結する方法(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 $(upper \times lower \times height)$	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

北大水産紀要



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 浮標綱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)にしたがい設計した。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,直接方式では沈子綱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、ワープと浮子綱が水面に 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ペ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て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ーに取り込み,網位置の計測部位を Fig.2 に示す 錘および浮子綱・沈子綱の前端,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 $(R_n, \text{Net drag}; F, \text{Horizontal component of warp tension}; B_f$, 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ペラ式流速計で計測 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、プロペ 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ーに取り込み、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,浮子綱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 が浮子綱・沈子綱前端に均等にかかると仮定すると,浮子綱前端における力の釣り合いは, Fig.5 のようになる。ここで,浮子綱前端にかかる浮力 B_f は次式で表される。

$$D = B_f = \frac{R_n}{2} \tan \theta_b \tag{1-1}$$

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。

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

ここで、 D_{f^1} 、 D_{s^1} は、それぞれ浮子綱前端、沈子綱前端の水深である。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

2000]



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; \triangle , Rear edge of a float line;

\blacksquare, Front edge of a sinker line; \Box , 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、浮子綱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綱前端にかかる浮力は、(1-1) 式における $\theta_b=30^\circ$ の値であるから、B' は次式により求められる。

$$B' = \frac{R_n}{2} \tan 30^\circ - B_{f'} \tag{1-3}$$

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 長いが、それぞれ浮子綱と沈子綱ではほとんど差がなかった。

網の浮子綱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,流速と浮子綱の前端,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

-182-

Generat Warn Weight of		Equilibri	um depth	Settling time			
speed (cm/s)	Warp length (cm)	Weight of main sinker (gw)	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 20	15.1	16.8	12.9	3	11.5	
51		21.4	21.3	16.7	5	11.5	
37	60	3.3		_	—		
37	60	9.8	-		_		
31 97	60	10.1	21.6	15.3	3.9	7.5	
। १		41.4	20.0	18.9	4.5	8	
51	70	3.3		_	—		
51	70 70	9.8 15 1	00 F	10.0		-	
31 97	70	10.1	22.5	16.8	4	8.5	
		21.4	29.4	24.7	5	10.5	
49	40	3.3		_		<u></u>	
49	40	9.0 15 1	14.9	11.0			
40	40	21 4	14.0	11.4	1	0.0	
+0 10		<u> </u>	11.4	10.4	1.0	0.0	
49 10	50	0.0 0.0	_	_	_	_	
40	50	9.0 15 1	14.4	10.0	0 F	e	
49	50	21.4	17.7	10.0	4.i) A	7	
49		33		12.0			
49	60	0.0			_	—	
49	60	151	175	11 7	 ຄ		
49	60	21 4	20.8	18.5	2 3 K	0.0 Q	
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 2. Results of flume tank experiments for the direct type of towed gillnet

-

	117	W. : C	Equilibri	um depth	Settling time		
speed (cm/s)	warp length (cm)	weight of main sinker (gw)	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		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	21.4	34 1	44.8	22	28 95	
12	50	33		+0.0		20	
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	
20	40	3.3	15 4			—	
25	40	5.0 15.1	19.4	21.3	10	11	
25	40	21.4	23.4	29.5	95	15	
25		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		21.4	33.2	40.0	13	21.5	
25	70	3.3					
20	70	9.8 15 1	23.4	29.0	14	17.5	
25	70	21.4	29.1	30.7 43.0	10.0	19.0	
37	40	33		40.0	10		
37	40	9.8	13.4	16.8	2.5	6	
37	40	15.1	15.8	17.7	2.0	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				_	
31	60 60	9.8	15.8	17.6	5	7	
37	60	214	19.1 26 N	21.1 96 /	4 o	115	
37	70	33	11.9	15.6	<u>२</u> ह	QK	
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	90 50	9.8 1 ד ז	11.5	13.6	1.5	7.5	
49	50 50	10.1 21 A	14.7 17 K	10.3	3	8	
49	60	33			0	3	
49	60	9.8	14.1	15.0	- 9	<u></u> Б	
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	

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

--- 184 ---



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,沈降後に網がワープ側に 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 の観察では浮子綱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綱より沈子綱が後方にずれ,後方へ延びる 網目脚がそれを支えるために沈子綱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, 錘を沈子綱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

-185-



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).

網前端の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綱が沈子綱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,沈子綱側のブラ イドルがワープと直線になる角度になるために,浮子綱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



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



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

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

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が得られる曳航 型の基本構成は、直接方式で網全長が約100m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。

- **190** -

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	
\mathcal{N} (with 1.5 times net height)	2	1.5	1.0	0.2	24	

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



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 綱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,網の寸法は浮子綱長 2.0 m で沈子綱長が 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。プロペラ式流速計と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ーに入力された。計測 データはいずれも20Hz 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。

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

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。

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

ここで, v 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の関係を 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. 22. Relationship between current speed and net drag for different net height.



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



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4m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

2000]



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).



mated equilibrium depth for warp length 100, 150, and 200 m (Main sinker: 15 kgw).

mated 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, ${
m Fig.}$ 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。

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

$$D_{\infty} = L \sin \left[\tan^{-1} \left(\frac{W}{R_n} \right) \right]$$
(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30mで網丈9.7m 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. 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).





なるために、ワープ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 プ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 とした場合のワープ長 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 の場合のワープ長 L と網の平衡水深 D_{∞} の関係は D_{∞} =0.21 L, 同 20 kgw で D_{∞} = 0.27 L, 同 30 kgw では D_{∞} =0.39 L と推定された。したがって、ワープ長 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、ワープ長 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100m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10mで,30kgw以下の錘を使用する構成が適切であると判

- 195 ---





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・揚網や操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操業中の網 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 30 m, 網丈 9.7 m 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 33 mm, 直径 ¢ 0.284 mm) 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.

- 197 -

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 $(upper \times lower \times height)$	$30\! imes\!30\! imes\!9.7$ (m)	$2.0 \times 1.8 \times 0.30$ (m)		
Total buoyancy (gw)	$6.0 imes 10^{3}$	5.8		
Weight (gw)	"	11		

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

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 文 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 \$ 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 い、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_i とすると、t時間後に おける網の水深変化量 ΔD_i は次式により得られる。

フープ繰り出し時:
$$\Delta D_t = D_t - D_0$$
 (2.1)

ワープ巻き上げ時:
$$\Delta D_t = D_0 - D_t$$
 (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,

	Current	Initial	Weight	Change	W 7'h		Front edge	of net			Rear edge	of net	
	speed (cm/s)	warp length (cm)	of main sinker*1 (gw)	of warp length (cm)	speed (cm/s)	${f Equilibrium}\ {f depth}\ {D_{\infty}(cm)}$	Change of depth $\varDelta D_{\infty}$ (cm)	${{{\rm Settling}}\atop{{ m time}}} T_s~{ m (s)}$	Overshoot (cm)	$Equilibrium \ depth \ D_{\infty} \ (cm)$	Change of depth $ extsf{D}_{\infty}$ (cm)	$egin{array}{c} { m Settling} \ { m time} \ T_s \ ({ m s}) \end{array}$	Overshoot (cm)
Paying out	20	270	10	100	10	123.9	30.3	27.0	19.4	117.9	27.1	40.9	11.4
the warp	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	20	370	10	100	10	92.6	30.2	20.3	13.4	90.4	29.5	28.7	7.5
the warp	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

Table 8. Experimental conditions and results

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

ワープ長操作開始から ΔD_i 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_o 、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。

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

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。

ワープ繰り出し時:
$$D_{\infty} = D_{o} - \alpha$$
 (2-4)

ワープ巻き上げ時:
$$D_{\infty} = D_{o} + \alpha$$
 (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, 浮上距離の時間的変化を錘重量別に 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).

-200 -



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、ワープの繰り 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。同じ条件でワープを 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 操作ワープ長の影響 曳網速度 26 cm/s, ウインチ速度 10 cm/s で, ワープを 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プ長別に Fig. 32 に示した。繰り出し,巻き上げ時ともに操作ワープ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, 操作ワープ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, 操作ワープ長が増すにしたがい増加する傾向が見られた。これは, ワープ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, ワープを 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 北大水産紀要



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綱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

2000]

	W. i. k C		()h		Equilibriu	Datia of	
speed (cm/s)	(gw)	Warp length (cm)	warp length (cm)	Winch speed (cm/s)	Experimental value (cm)	Estimated value (cm)	difference* ² (%)
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

Table 9. Ratio of difference about equilibrium depth

*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臼尻沖の水深約 100-150 m 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 49.5 m,目合 13.5 mm 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 100 m 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 30 kgw 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 20 m 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 1.7 kgw とした。 ワープには一般に刺網の沈子綱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(㈱アレック電子製)を浮子綱前端と浮 子綱後端に装着した(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(㈱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(㈱泰東製綱製)を使用した。



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

[XXXXVII, 2

Items	Material	Standard	Weight (kgw)	Length (m)	Height (m)	Number	Remarks
Net	Nylon, monofilament	$330\mathrm{d}\! imes\!13.5~\mathrm{mm}$		101	9.5		Hang-in ratio 0.52
Float line	Polypropylene	ϕ 7.1 mm $ imes$ 21 gw/m		49.5		2	
Sinker line	Lead within Polypropylene	ϕ 10.4 mm \times 100*gw/m		48.0		4	
Warp	Lead within Polypropylene	$\phi 10.4 \text{ mm} \times 100^* \text{gw/m}$		200		2	
Floats	Plastic	$100~{ m mm} imes \phi 35~{ m mm}$				178	Buoyancy 59 gw
Control buoy	Plastic	ϕ 180 mm				1	Buoyancy 1700 gw
Main sinker	Lead		30			2	
Sub sinker	Lead		1.9			1	

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

* 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

ペラピッチ角を3段階に,網地2反の場合約2.0ktまでの間にプロペラピッチ角を5段階に設定した。 ワープ長は100m,150m,200m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, プロペラピッチ角を 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。またプロペ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, プロペラピッチ角を船速 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、プロペ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)。プロペ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、その入力は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 *Os*(*t*)によってプロペラピッチ角操作時の網水深が表される。

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

ここで *K*, *T* はゲイン定数および時定数であり、*t* はプロペ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 *Oi*(*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 *Ow*(*t*) を表した (電子通信学会、1975; 西山ら、1982)。

$$Ow(t) = \int_0^\infty i(t-\tau)Oi(\tau)d\tau$$
(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 Oi(t) は次式のように表される。

$$Oi(t) = \frac{K}{T} e^{-\frac{t}{T}}$$
(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。

$$O_n = \varDelta t \sum_{k=0}^n i_{n-k} O i_k \tag{2-9}$$

ここで、 O_n は網水深系列、kはサンプル番号、 Oi_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、 $\varDelta t$ 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,平衡状態での浮子綱の前端と後端の水深は,最大 11m(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綱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

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	9*
	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

Table 11. Results of experiments at sea

— : lost data

*: non stabilized









-208-



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

Weight of main sinker (kgw)	Angle of propeller pitch changed (deg)	Time constant T (min)	Gain constant <i>K</i> (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

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

り合いにおいて、ワープ張力は網の対水速度によって変化する網の抗力と直接相関するものと考えたた めである。ワープ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プ長ごとにその傾向を図中に曲線として示した。各ワープ長とも ワープ張力が約 900 kgw の時には網の平衡水深は 10-20 m 前後であった。ワープ張力が 100 kgw 前後の 時にはワープ長による平衡水深の違いが顕著に見られ、ワープ長 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プ長の操作に 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、ワープ長を入力とした場合の一例として、錘の重量が 30 kgw で、ワープ長を 200 m 繰り出した 場合の計算値と実測値を Fig. 45 に示した。ワープ長操作開始から約 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 北大水産紀要



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も同様である。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 綱前端と沈子綱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,浮子綱前端から沈子綱 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200-1,000mであった。また,試験4では,潮流速は約0.6 ktで 水深は約600-800m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の操業試験を行い,試験3では流し網型のみの試験を行った。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が取り付けられ,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 30 m 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).

Operation	Data	Coor tomo	Arrangement of	Time	Current*1			
No.	Date	Gear type	net units	(JST)	speed (kt)	direction (°)		
1	13 Apr, 1995	\mathbf{Drift}	33 mm, 43 mm, 72 mm $\times 1$	$20:13\sim 23:45$	0.4*2	260*2		
		Towed	$33 \text{ mm}, 43 \text{ mm} \times 1$	$20:22\sim 22:46$	0.4*2	229*2		
2	15 Apr, 1995	Towed	$43\mathrm{mm}{ imes}1$	$18:54 \sim 21:20$	1.6*2	18*2		
3	17 Apr, 1995	Drift	33 mm, 43 mm, 72 mm \times 1	$18:30 \sim 21:00$	1.0*2	56*2		
4	16 Jul, 1998	Drift	33 mm, 37 mm, 43 mm \times 1	$00:30 \sim 04:07$	0.6*2	50* ²		
		Towed	11	$01:19 \sim 03:15$	0.6*2	55* ²		

Table 13. Conditions of sampling operations

*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



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 の網を浮子綱と沈子綱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綱, 沈子綱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、流し網型の浮標綱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綱,沈子綱を連結した後,海 況や魚群探知機の情報をもとに浮標綱の長さを調節し,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綱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

Jear type	Items	Material	Size (Diameter)	Diameter) Weight*1 (kgw)		Height (m)	Number	Remarks	
Drift	Net	Nylon, monofilament	$33 \text{ mm} (\phi 0.284 \text{ mm})$		101	8.0		Hang-in Ratio 0.52	
			$43 \text{ mm} (\phi 0.284 \text{ mm})$		101	8.0		Hang-in Ratio 0.52	
			$72 \text{ mm} (\phi 0.403 \text{ mm})$		96	9.2		Hang-in Ratio 0.48	
	Float line	Polypropylene	$(\phi 5.3 \mathrm{~mm})$		49.5		2		
	Sinker line	Lead within Polypropylene	$100^{*2}{ m gw/m}({ m \phi}10.5{ m mm})$		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 (\$\$\phi\$0.284 mm)\$		101	8.7		Hang-in Ratio 0.52	
			$43 \text{ mm} (\phi 0.284 \text{ mm})$		101	11.3		Hang-in Ratio 0.52	
	Float line	Polypropylene	$21 \text{ gw/m} (\phi 7.1 \text{ mm})$		49.5		2		
	Sinker line	Lead within Polypropylene	$100^{*3}{ m gw/m}({m \phi}10.4~{ m mm})$		48		4		
	\mathbf{Float}	Plastic	$100 \text{ mm} (\phi 35 \text{ mm})$				173	Buoyancy 59 gw	
-	Control buoy	Plastic	$(\phi 180 \text{ mm})$				1	Buoyancy 1700 gw	
	Main sinker	Lead		6			2		
	Sub sinker	Lead		1.9			1		

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

*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)



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綱前端に 50 cm 程度のロープを結び錘を取り付けた。網の浮子綱後端に 20 m のロープを結び、補助浮子(浮力 1.7 kgw)を取り付け、沈子綱後端には補助錘(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)、錘の順で投じ、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。

Gear type	Items	Material	Size (Diameter)	Weight ^{*1} (kgw)	Length (m)	Height (m)	Number	Remarks
Drift	Net	Nylon, monofilament	$33 \text{ mm} (\phi 0.284 \text{ mm})$		62	9.7		Hang-in Ratio 0.52
			$37 \text{ mm} (\phi 0.284 \text{ mm})$		62	9.7		"
			$43 \mathrm{mm} \ (\phi 0.284 \mathrm{mm})$		62	9.7		"
	Float line	Polypropylene	$(\phi 7.9 \text{ mm})$		30		2	
	Sinker line	Lead within Polypropylene	$(\phi 16 \text{ mm})$		30		1	$225 \mathrm{gw/m}$ in water
	Float	Synthetic rubber	$(\phi 52 \text{ mm})$				34	Buoyancy 235 gw
	Main sinker	Lead		1.1	•••••		4	
	Shackle	Iron		0.5			3	
Towed	Net	Nylon, monofilament	$33 \text{ mm} (\phi 0.284 \text{ mm})$		62	9.7		Hang-in Ratio 0.52
			$37 \text{ mm} (\phi 0.284 \text{ mm})$		62	9.7		п
			$43 \text{ mm} (\phi 0.284 \text{ mm})$		62	9.7		11
	Float line	Polypropylene	$(\phi 7.9 \text{ mm})$		30		2	
	Sinker line	Lead within Polypropylene	$(\phi 16 \text{ mm})$		30		1	$225~{ m gw/m}$ in water
	Float	Plastic	$(\phi 52 \text{ mm})$				34	Buoyancy 235 gw
-	Control buoy	Plastic	$(\phi 180 \text{ mm})$	•••••			1	Buoyancy 1900 gw
	Main sinker	Lead		6			2	
	Sub sinker	Lead		1.9			1	

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

*1 Values in air

± ⊁

水産紀要

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。

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

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。

$$S(m_i, l_i) = s(l_j/m_i)$$
 (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。

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

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値 (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。

$$\theta_{s} = \sum_{ij} [\ln s(R_{ij}) - \ln \hat{s}(R_{ij})]^{2}$$
(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) にしたがい、次に示す多項式を用いた。

$$F(R) = a_n R^n + a_{n-1} R^{n-1} + a_{n-2} R^{n-2} + \dots + a_0$$
(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 δ^2 は、その残差平方 和 θ_s を用いて次式で与えられる。

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

ここで、pは関数形のパラメータ数 μ に体長階級数 (補正値パラメータ 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。

$$s(R) = \exp(F(R) - F_{max})$$

= $\exp(a_n R^n + a_{n-1} R^{n-1} + a_{n-2} R^{n-2} + \dots + a_0 - F_{max})$ (3-7)

$$-219-$$

2000]

 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

	Operation No.								
Body length class (cm)		1	2	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					

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

 $\geq 18 \text{ cm}$: random samples from the amonut 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.

$\begin{array}{c} \operatorname{Body}\ \operatorname{length}\ \operatorname{class} \end{array}$	Me	Drift sh size (m	m)	Towed Mesh size (mm)				
(cm)	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		

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

された。流し網型のみ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Table17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 2000]

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 ∂^2 をTable 18 に示す。 ∂^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、 ∂^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 r	nethod
-----------	---------------	-----------	-------------	----------	------	------	-------	----	--------------	--------

Gear	Function	a_3	<i>a</i> ₂	a_1	a ₀		Leng	qd_j th class	s (cm)		θ_s	$\hat{\sigma}^2$
						17.5	18.5	19.5	20.5	21.5		
Drift	Quadratic Cubic		$-1.40 \\ -6.44$	13.42 39.18	-29.19 -72.74	0.30 0.31	1.00 1.00	0.83 0.81	0.21 0.21	0.31 0.29	0.56 0.56	0.14 0.19
Towed	Quadratic Cubic	0.47	-0.51 -7.97	4.66 43.38	- 8.57 - 74.73	0.47 0.48	1.00 1.00	0.80 0.74	0.58 0.58	0.95 0.86	2.74 2.22	0.46 0.44



Fig. 56. Relationship between ratio of body length to mesh size and relative efficiency estimated for 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33mm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37,43mmについて示した。この図から,目合37mm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43mm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37,43mmの結果についてのみ示した。目合37mm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43mm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,37mm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,浮子綱にワープが連結されているために,浮子綱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

-224 -



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.

-225-

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 かったことからも推測される。

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 綱をまるめて整理する必要があった (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拡げて 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20mのロープを1本 取り付けるだけでよいので,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 2000]

(a)



(b)



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.

網を投入する際に浮標浮子と浮標綱を斜め後方に投じることにより,浮標綱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がけ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綱をたぐり、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、浮子綱、沈子綱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. 62. (a), The retrieving of the drift net; (b), The declining of the swing type gantry to retrieve the towed gillnet.

北大水産紀要

[XXXXVII, 2



Fig. 63. The retrieving of the towed gillnet.

収時間を含めて約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200m,錘の空中重量30kgwの条件下において,網は約30分で約60m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1kt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180m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.

-228 -



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15mもしくは30mで一定としていた。これ以上網水深を 深くするには、浮標綱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も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10-60m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、浮標綱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、沈子綱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10m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

-230-



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100m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 る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グス)(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思われる。

2000]

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の作業性を考慮すれば,人力で扱える約30 kgw 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,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にともない浅くなり、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。

-235-

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る。

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る。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る。

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る。

本研究を進めるにあたり,必要な資材を快く提供してくださった,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る。

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 浮子綱前端にかかる浮力
- *θ*^b ブライドルの開き角
- D_{f1} 浮子綱前端の水深
- **D**_{s1} 沈子綱前端の水深
- B' 網の前端に必要な浮力
- Bf' 浮子綱前端の余剰浮力

1-2

- C_D 網の抗力係数
- ρ 水の密度
- S 網の面積
- ₩ 流速
- d 網糸直径
- *l* 脚長
- φ 縮結角
- *R*e 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
- D₀ 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
- *△D_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

- **Os(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
- Oi(t) 網水深インパルス応答関数
- Ow(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
- Oik インパルス応答系列

n サンプル個数

- *∆t* サンプリング間隔
- *in-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
- \$(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
- *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, 体長に対する魚体の相対周長

- 238 ---

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

2000]

8. 参考文献

- Aoki, I. and Murayama, T. (1993). Spawning pattern of the Japanese sardine Sardinops melanosticitus 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). ディジタル信号処理. 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まき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). Prelimminary 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 尓光 (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,

-240 -

2000]

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、
- Smiss, 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 尓光・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.