

底曳網の漁獲性能に関する基礎的研究*

肥 後 伸 夫**

Fundamental Studies on the Fishing Efficiencies of the Trawling Nets

Nobio HIGO

Abstract

This research was carried out with the use of the three kinds of trawling net using of by the fishing boats, namely, trawlers, bull trawlers or Danish seiners belonging to the groups of the fishing boats of the mother ship fishery, fishing on the continental shelf of the eastern part of the Bering Sea including near the shelf, during the term from April to October for the three years of 1963, 1965 and 1967.

As to the items of the fishing gears used in this research, in table 3, are shown the tonnage of the fishing boat, its number and the scale of the net used in this experiment.

Namely, the number of the mother ship is 3; the number of the fishing boats belonging to those mother ships, is as in the following: — the number of the side trawlers with tonnage of 370, is 2; that of the stern trawlers with the tonnage of 299, is 3; the total of which being 5; that of the bull trawler with the tonnage of 121 and with the tonnage of 98, is 4 and 2; the total number of with being 6; the total number of the Danish seiner is, 11; with the tonnage range from 65 to 92.

In case of those trawling nets, in accordance with varieties in the sort of the net, a considerable difference is to be noted both in the weight of the ground rope and in the buoyancy of the float, but the whole lengths of the nets are almost equal.

As may be seen in the introduction of this thesis, the purpose of this research is as in the following: — through the three sorts of the fishing net used as the materials of this experimental research, namely, the trawl net, the bull trawl net, and the Danish seine, the following 3 items were aimed: (1) the attempted clarifications of the fishing efficiency of the fishing net by means of actual measurements and the model experiments; (2) the confirmation of the fundamental characteristics in the designing and making-up the respective net; (3) accompanied with the analyses of the physical and biological factors in drawing the design of the trawling net in possession of high effectivity.

The experimental methods used in this research are as in the following:

1. With the use of Radar equipped on board of the mother ship lying at anchor, some tracings were made of the towing speed and the removing distance concerning the nets towed by trawlers, bull trawlers and Danish seiners and as the result of the tracings the sweeping area of the actual net towing was counted, and after combining this counted value with the value of the filtering volume, which will be mentioned in item 3, some numerical value, which is assumed to be indispensable for the determination of the fishing efficiency of the fishing net, was obtained.

2. Concerning Danish seine, in the three stages of the commencement of net to wing,

* 北海道大学審査学位論文 (Thesis submitted for the degree of Doctor of Fishery science at the University of Hokkaido, Dec. 1970.)

** 鹿児島大学水産学部漁具漁法学研究室 (Laboratory of Fishing Gear and Technology, Faculty of Fisheries, Kagoshima University.)

its finishing and the end of net-lifting, the gradual changes in the status of boat and net happening in the lapse of time, were ascertained with the use of experimental models in 50m.-pool, with the counting clarification of the towing speed, interval between the wing ends, and the sweeping area of the towing rope.

3. On the three sorts of trawling net (trawl net, bull trawl net, Danish seine), model experiments were carried out; and in those experiments, first the area of the net mouth under towing was counted, and with the use of the counted value, the filtering volume was fixed out, and after combining this with the sweeping area mentioned in item 1, some numerical value was fixed, and by which the fishing efficiency of the various kinds of fishing net was compared.

4. For the purpose of using as the fundamental criterion in drawing the basic designs of the respective trawling net, the following experiments were carried out:—

- a) Three sorts of trawling net having the bag nets made to be equal typed, in spite of their being made of 2 sheets, 4 sheets and 6 sheets of net, each of which being typical of the trawling net, were designed, and with the use of these, some model experiments were carried out, and the respective characteristics and efficiency were brought under comparative examinations.
- b) Concerning the shape of the net under towing, its resistance against the flowing water and the behaviours of the fish schools entering into the net; the causes of such phenomena were put under considerate examinations, and the distribution of the current velocities in and out of the net were measured by using model nets.
- c) The border line of the limited possibilities of making the turning movements of the respective fish body within the bag net, in other words, the dimension of the swimming capabilities was fixed experimentally.
- d) The problem of what behaviour is to be taken by the fish schools against the variations of the flowing velocity within the bag net, was put under consideration to bring it to a reasonable solution, in connection with the size of the fish body and in that with the size and the scale of the fish schools, respectively; and at the same, the net formation and the net resistance at that time, were put under investigations.
- e) In the 50m.-pool, using gold fish, the behaviours of the fish schools to the rope were brought under grasping, with the investigations of the driving-in effects of the net performed.

目 次

I. 緒 論	1
II. 研究の歴史	4
III. 本研究の対象とした北洋底曳網漁業の概況	5
IV. 研究に用いられた資料と研究方法の概要	8
V. 実験結果と考察	9
5. 1. レーダー測定による底曳網漁船の操業軌跡の作図と曳網掃立面積	9
5. 1. 1. トロール網漁船の測定と解析	11
5. 1. 2. 二そう曳底曳網漁船の測定と解析	14
5. 1. 3. 一そう曳底曳網漁船の測定と解析	20
5. 1. 4. 考 察	32
5. 2. 底曳網の模型実験による物理的性状と曳網濾過容積	34
5. 2. 1. トロール網	35
5. 2. 2. 二そう曳底曳網	44
5. 2. 3. 一そう曳底曳網	49
5. 2. 4. 考 察	59

5. 3. 北洋底曳網の漁獲性能	63
5. 3. 1. 漁獲性能の意義	63
5. 3. 2. 漁獲性能の比較方法	64
5. 3. 3. 漁獲性能の比較結果	68
5. 3. 4. 考 察	72
5. 4. 底曳網設計上の基本的問題点の実験的解析	78
5. 4. 1. 物理的問題点の実験的解析	79
5. 4. 1. 1. 網地配置を異にする基本型3種の物理的性状	79
5. 4. 1. 2. 考 察	85
5. 4. 1. 3. 網の内外の流速分布	86
5. 4. 1. 4. 考 察	93
5. 4. 2. 生物的問題点の実験的解析	96
5. 4. 2. 1. 囊網中における魚体の遊泳可能容積	97
5. 4. 2. 2. 考 察	99
5. 4. 2. 3. 囊網中における魚群の行動	100
5. 4. 2. 4. 考 察	106
5. 4. 2. 5. 曳網に対する魚群の行動と駆集効果	107
5. 4. 2. 6. 考 察	109
VI. 結 論	110
VII. 要 約	115
謝 辞	121
Summary	122
文 献	135

I. 緒 言

我が国における底曳網漁業は第二次世界大戦後、東支那海漁場および沖合漁場を舞台として再興されたが、年を経ずして海外漁場への進出が始まり、現在では世界のほとんどの漁場で操業が行なわれるようになり、今や我が国の代表的な漁業として確固たる地位を占めるに至った。このように底曳網漁業が我が国の代表的な漁業として発達し得た主な理由は、この漁業が積極的な近代的漁撈導入機構を有形・無形に有したことであろう。即ち、1955年頃までは従来の漁具・漁法によって操業が行なわれてきたものが、海外漁場進出に刺激され、合成繊維の採用、漁撈機械の改良、航海計器の活用、漁船の大型化等によって急速に近代的漁業としての性格を具備するようになったのである。中でも漁具である底曳網は従来の綿糸ならびにマ＝ラトワイン網から合成繊維網に変わり、その構造も漁場の諸条件に適合するように半ば改良され、漁具の性能は一段と高いものに飛躍した。

しかし、この漁場で用いられている代表的な3種の底曳網、即ち、トロール網、二そう曳底曳網および一そう曳底曳網は、それぞれ漁具・漁法の面で特徴点を有してはいるものの漁具の性能および漁場への適合性については相対的に差があるようであり、それぞれの漁具の設計についても経験的手法から漸く脱しつつある現状で、設計に関する研究もあまり進んでいないようである。

そこで本研究は、底曳網の設計に関する指針を求めることを目的として3種の底曳網の物理的特性を実測および実験によって、またそれぞれの漁獲性能を操業結果より解析し、最終的にはこれらの解析結果を基礎に漁場の諸条件に適合した高性能底曳網の設計に関する基礎的研究を行なったものである。なお本論にはいるに先立って問題点を明確にするため、先ず従来の各種底曳網に関する

諸研究を紹介し、併せてこれらの諸研究を基礎として発展してきた北洋底曳網漁業の概況に触れておくこととする。

II. 研究の歴史

底曳網の研究は実物網について直接潜水するか、または諸計器を装着して測定、観察する方法と、模型網を作製して水槽実験を行ない、その実験結果を実物網に換算して検討する方法が従来からとられてきた。

実物網を直接測定、観察する研究については、三浦 (1925)¹⁾ の手操網の潜水調査、井上・佐々木・大脇 (1953)²⁾ のくろしお号による調査があり、いずれも曳行中の網成り、魚群の網に対する行動について観察した。実物網に諸計器を装着して行なう研究は斉藤・三島 (1951)³⁾、斉藤・三島・山本・荒木 (1952)⁴⁾、井上・小林・斉藤・三島 (1952)⁵⁾ が網口高さや曳網の張力を測定する計器を作製し、一そう底曳網に装着して実際に測定し、続いて熊凝・葉室・石井・振屋 (1952)⁶⁾、熊凝・葉室・石井 (1953)⁷⁾、(1954)⁸⁾、(1955)⁹⁾、葉室・石井 (1959)¹⁰⁾、葉室 (1957)¹¹⁾、葉室・石井 (1958)¹²⁾、(1960)¹³⁾ が種々の測定器によって各種底曳網の曳網の張力、網の各部高さ、沈子網の形状等を測定し、曳網中の網の実態を解明した。また近くは谷口・南・隅川 (1968)¹⁴⁾ が100尺2枚仕立てのトロール網の網成り、抵抗、網類の形状について海上実験を行ない、曳網中の物理的諸性能について検討し、小山 (1966)¹⁵⁾、¹⁶⁾、小山・桜井・隅川 (1968)¹⁷⁾ は大型トロール網の抵抗を測定して主機関馬力との関係を求めた。これらの実物網についての実験と並行して曳網中の諸元を求める測定器の開発も進み、井上ら・葉室らが考案した諸測定器に続いて音響測深儀を利用する研究が行なわれた。まず高山・小山 (1961)¹⁸⁾、¹⁹⁾ は200 K.C の魚探機を用いて両袖間隔長を測定すると共に、網口高さを船上にて測得出来るネット・ゾンデを試作し、続いて多くの研究者によって無線式のネット・ゾンデが開発され、いずれも現在広く実用化されて漁撈上重要な計器となっている。

模型実験による方法は田内の比較法則 (1934)²⁰⁾ が確立されてから各種の底曳網が試みられている。即ち、宮本 (1936)²¹⁾ の白魚帆曳網、岡部 (1938)²²⁾ の鮫鱗網、斉藤・清水 (1941)²³⁾ のタラニそう曳手操網、今村 (1942)²⁴⁾、²⁵⁾ の鯨・鱈曳網、小池 (1953)²⁶⁾ の底層曳網、小倉 (1954)²⁷⁾ の中層曳網、野々田 (1958)²⁸⁾ のバッチ網、猿田・渡辺・安井・三河 (1952)²⁹⁾、野村・安井 (1953)³⁰⁾ の5種の底曳網、宮崎 (1957)³¹⁾ の小型機船底曳網、本多 (1958)³²⁾、高山・小山・武 (1959)³³⁾ のトロール網、谷口 (1961)³⁴⁾ の二そう底曳網、肥後 (1966)³⁵⁾ の2種の底曳網についての実験があり、いずれも網口高さ、網にかかる流水抵抗、網成りについて検討を加えている。これらの実験に用いられた模型網はいずれも実際に漁場で使用された網を縮尺したものであるが、他方、実験に当って出来るだけ網地構造を単純化し、その物理的諸性能と設計との関連性について検討を加えた実験も少なくない。川上 (1953)³⁶⁾、(1954)³⁷⁾ は4種類の形状の囊網について、谷口 (1955)³⁸⁾ は囊網の網口面積の違いによる抵抗差について実験し、それぞれ実験式を求めた。また肥後 (1964)³⁹⁾ は円錐形状の囊網の網中流速を測定し、網内外の流れの流速差と網地との関係について検討を加えた。模型実験としてはこの他、H. Stengel・H. J. Fischer (1964)⁴⁰⁾ が風洞による中層曳網の模型地上実験を試み、網成りと設計との関係について解析している。

以上の実測・実験の他、底曳網の設計に関する重要な問題として、魚群の網に対する行動、つまり底曳網の生物学的性能についての研究をあげることが出来る。

この研究としては、大島 (1950)⁴¹⁾、神田 (1953)⁴²⁾、草下 (1957)⁴³⁾、落合・浅野 (1955)⁴⁴⁾ の実

験があり、魚群行動または個体運動の基礎的な研究には田内・三善 (1929)⁴⁵⁾、田内・藤野 (1929)⁴⁶⁾、大島 (1948)⁴⁷⁾、黒木・加藤・永島 (1952)⁴⁸⁾、黒木 (1959)⁴⁹⁾、肥後 (1968)⁵⁰⁾ の実験をあげることが出来る。魚群行動を実際に水中で観察した研究としては、先にあげた三浦、宮崎の他、H. Barnes (1955)⁵¹⁾、Russell (1959)⁵²⁾、Livingstone (1960)⁵³⁾、(1962)⁵⁴⁾ が水中撮影によって効果的な観測結果を得ている。この他底曳網に間接的な関連性を有する研究としては、田内 (1949)⁵⁵⁾ P. R. Crewe (1964)⁵⁶⁾ の網とオッターボードの関係についての研究、高山・小山 (1958)⁵⁷⁾ のオッターボードの傾斜角度に関する研究があり、また鈴木 (1963)⁵⁸⁾、(1964)^{59), 60)}、(1965)^{61), 62), 63)} は一そう底曳網のすり網の運動を解析し、前田・南 (1964)⁶⁴⁾、(1965)^{65), 66)}、南 (1965)⁶⁷⁾、前田・南 (1966)^{68), 69)}、南・前田 (1966)⁷⁰⁾、(1967)^{71), 72), 73)}、前田・南 (1969)^{74), 75)} はペーリング海フィッシュミール船団所属以東底曳網船の操業および漁獲量に関する諸解析を行なった。

以上述べたように、底曳網の研究は数多く行なわれており、解明されてきた点が多い。特に底曳網の物理的諸元、即ち網成り、網にかかる抵抗等については実測もしくは模型実験によりかなりの成果をみてきている。

しかし、今後の底曳網漁場は、従来の東海漁場と異なり、漁場のもつ環境条件が複雑化する傾向にあるので、今後使用される底曳網は漁具・漁法の両面に互って漁場の環境条件への適合性を強調されることになる。

従って今後の底曳網の研究は、従来のそのように個々もしくは複数の底曳網の物理的性能の解析のみならず、個々の底曳網の漁具・漁法の特徴を十分に活用出来るような漁具の設計方法および漁法の改良を目的とするものに展開されてゆくことが必要であろう。本研究の目的とするところもここにある。

III. 本研究の対象とした北洋底曳網漁業の概況

我が国の底曳網漁業は古くから沿岸沖合および瀬戸内海を漁場として広く行なわれてきたが、明治の末期にトロール漁法が英国より輸入され、また大正の年代にはいって動力船による一そう曳漁法、続いて二そう曳漁法が開発されるに及び、我が国の3種の代表的な底曳網漁法が各地で操業に用いられるようになり、近代底曳網漁業の初期の段階を迎えた。しかしいずれの漁法も底魚資源の枯渇の現象をもたらしたため沿岸漁業者との紛争を招き、その結果1909年には汽船トロール漁業取締規則、1921年には機船底曳網漁業取締規則が定められ、トロール漁業および二そう曳底曳網漁業等の漁場は東海漁場に、主として一そう曳底曳網漁業の漁場は我が国沿岸沖合の漁場に限定された。その後第一次世界大戦の影響を受け、多少迂余曲折の変動を経ながら全般的に各底曳網漁業とも法的に規制を受け発達した。しかし第二次世界大戦によって漁場は縮小され、また漁船は備用されてその大半が失なわれたため我が国の底曳網漁業は壊滅的な打撃を受けたが、終戦後、動物性蛋白資源確保という社会的な要請を受けて各底曳網漁業とも急速に復興し、現在では漁船は大型化し、漁場も世界の各海域に伸び、我が国底曳網漁業の黄金時代を迎えるに至った。この時に当り1963年漁業法が一部改正となり、底曳網漁業は法的に沖合底曳網漁業、以西底曳網漁業、遠洋底曳網漁業、母船式底曳網等漁業および小型機船底曳網漁業に分類され、小型機船底曳網漁業を除く全ての底曳網漁業は漁業法第52条の規定による指定漁業の適用を受け農林大臣の許可漁業となった。これらの底曳網漁業の現況は Table 1 に示すようで、漁場によって使用漁具の異なっている場合がある。特に北洋海域で行なわれている北洋底曳網漁業は法的には遠洋底曳網漁業および母船式底

Table 1. Trawl fisheries of Japan today.

Name of fishery	Item	Fishing ground	Sort of trawl net*
Mother ship-type trawl fishery		Bering Sea	T, B, D
		Gulf of Alaska	T, D
		Okhotsh Sea	D
High sea trawl fishery		Bering Sea	T, D
		Gulf of Alaska	T
		Off the coast of North America	T
		Off the coast of Newzealand	T
		Arafura Sea	T
		Gulf of Carpentaria	T
		Arabian Sea	T
		Off the coast of West Africa	T, B
		Off the coast of South Africa	T
		North west of Atlantic Ocean	T
	Off the west coast of South America	T	
Isei trawl fishery (West of 128°30'E)		East China sea and Yellow Sea	T, B
Okiai trawl fishery (East of 128°30'E)		Off the coast of Japan	D, B

* T : Trawl net B : Bull trawl net D : Danish seine

曳網等漁業の適用を受けるものであるが、漁業規模が大であり、また使用漁具の多いことから現在では、我が国の底曳網漁業の代表的な漁業と言えるようである。

この北洋底曳網漁業は近年めざましく発展してきた漁業で、その漁獲量および漁業規模は他種漁業と比較して極めて大きなものとなってきている。1959年より1966年に至る8カ年間の漁獲量の経年変化をみるとTable 2に示すように1961年度に増加したピークがみられるが、1963年より以後は年毎に増加の傾向を示し、1966年では1959年度の約4.5倍の76.1万トン余の漁獲量をあげている。この漁獲量の変動を漁業別に比較すると、母船式底曳網漁業では着業統数がほとんど一定であるが、近年になって漸増の傾向を示し、特にアラスカ湾におけるこの漁業の進出がめざましい。この他、トロール漁業では大型スタントローラーによる漁獲量が8カ年間を通じて漸増しているが、北転船による漁獲量の増加は着業統数の増加と同様に顕著である。しかし北洋底曳網漁業の中で最も主体を占めるものはTable 2に示すようにベーリング海で操業した母船式底曳網漁業で1966年度で約43万トンの漁獲量(1968)⁷⁶⁾をあげ、北洋海域における底曳網漁業の総漁獲量の56.5%とその大半を占め、ついで、沖合底曳網漁業より転換した北転船による漁業を含めた北洋トロール漁業の約22.2万トン、29.2%となり、その他はアラスカ湾、オホーツク海における母船式底曳網漁業によるものとなっている。このように母船式底曳網漁業は、今や北洋底曳網漁業の中心的漁業としての地位を占め、その消長は北洋漁業のみならず日本全体の水産業を左右するまでに至ってきているが、この漁業を支えているのは、歴史的発展過程を背景とした大規模な漁業規模の確立という事実であろう。

その漁業規模は他種漁業にみられぬほど大規模なもので、1~3万トン級の大型工船を母船とし

Table 2. The fluctuating state of the trawl fisheries in the North Ocean Sea from 1959 to '66.

Unit : ton

Catch and Boat	Fishing Ground	Year									Remark
		1959	'60	'61	'62	'63	'64	'65	'66		
Catch	All Sea	1402449	1702997	1916191	1762475	1710061	1876017	1916987	2074276	Japan	
	North Ocean Sea	171066	471718	662438	575163	403969	535908	595649	761215	Total	
	Bering Sea	158314	457387	622743	509922	313950	415447	381410	430081	Mother ship-type fishery	
	Gulf of Alaska	—	—	—	—	—	—	28408	85695		
	Okhotsk Sea	10411	14331	16242	24193	24240	22702	22278	23426		
North Ocean Sea	2341	—	4453	6048	17779	28771	34040	222013	Trawl fishery		
Boat	North Ocean Sea	—	19000	35000	48000	68988	129513	—	—	Danish seine fishery	
	All Sea	38869	36934	36128	34625	33680	32747	32946	33772	Japan	
	Bering Sea	6(62)	13(190)	33(380)	25(306)	20(258)	14(228)	13(182)	14(187)	Mother ship-type fishery	
	Gulf of Alaska	—	—	—	—	—	—	5(6)	9(9)		
Okhotsk Sea*	2(15)	3(30)	3(28)	3(38)	3(39)	3(37)	3(32)	3(31)			
North Ocean Sea	2	—	—	3	2	5	9	6	3	Trawl fishery	
				—	75	80	108	147	169	Danish seine fishery	

* Numbers in brackets show the number of the subsidiary trawler belonging to the mother ship and numbers out brackets show the number of the ship.

これに多数の附属漁船（独航船とも言う）を配属させた大型の船団構成のものと、2,000~4,000トン級の大型スタントローラーを母船として、これに少数の附属漁船を配属させた中型の船団構成のものがある。Table 2によると、ベーリング海における母船式底曳網漁業は前者に属し、附属漁船数は1966年度では1船団当たり平均13.4隻となっている。附属漁船の種類は中型トローラー、二そう曳底曳網（以西網）、一そう曳底曳網（以東網）船の3種で、この附属漁船の構成は船団の規模と漁場の環境条件に適合させるべく選択している。従って附属漁船の構成を決定する場合は、各船の使用する底曳網の特性および漁法を把握し、個々の附属漁船が十分にその性能を発揮出来るよう努めることが必要である。

これらの母船式底曳網漁業の他、北洋海域では前述したようにトロール漁業も盛んであり、アラスカ湾、北米太平洋沿岸沖合海域等がその漁場となっている。これらの漁場は従来トロール漁場が平坦な海底地形の漁場であったのに対して、200~1,000 m水深の海台、海膨上に構成されることが多く、従来の漁場が面の曳網が可能であったのに対し、北洋海域のトロール漁場では点の曳網方法を採用するを得なくなった。従って漁法は勿論のこと網の設計も漁場の環境条件に適合させたものに変化してきている。各海域で構成されている漁場は Fig. 1 に示す通りで、ベーリング海では東部大陸棚上に広範囲に構成され、その傾斜漁場も利用度が高い。

魚種はスケトウダラ *Theragra chalcogramma* (PALLAS), マダラ *Gadus macrocephalus* (TILESIUS), アブラガレイ *Atheresthes evermanni* (JORDAN & STARKS), コガネガレイ *Limanda aspera* (PALLAS), シュムシュガレイ *Lepidopstta bilineata* (AYRES), オヒョウ *Hippoglossus hippoglossus stenolepis* (SCHMIDT), ギンダラ *Anoplopoma fimbria* (PALLAS), アラスカメスケ *Sebastes alutus*

(GILBERT), ホッコクアカエビ *Pandalus borealis* (KRÖYER), ニシン *Clupea pallasii* (CUIVIER & VALENCIENNES) 等で, 当海域で操業している母船式底曳網漁業は主としてスケトウダラを主対象魚として操業を行ない, 冷凍摺身およびフィッシュミールを生産している. アリューシャン列島海域, アラスカ湾の各漁場では, アラスカメスケ, ギンダラがトロール漁業によって多獲されている. 1966年度の魚種別漁獲量はスケトウダラ 42.9万トン, カレイ類 12.4万トン, メスケ類 11.3万トン, マダラ 3.5万トン, ニシン 2.6万トン, その他 3.4万トンでスケトウダラが極めて多く全体の 56% を占めている.

なお, ペーリング海漁場の推定資源量は 650~850万トン, 増加開発可能な資源量は 200~350万トンといわれているところから, 今後更に漁獲量増加の傾向をみせるものと考えられる.

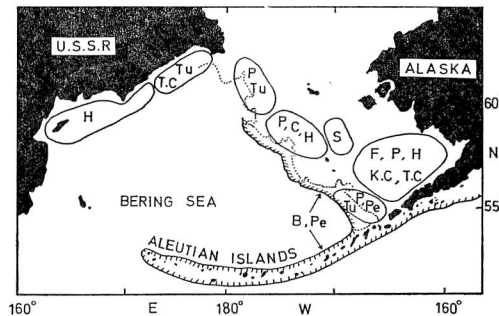


Fig. 1. The staple bottom fish and their fishing grounds in the Bering Sea.

Dotted line shows 150 meter depth line.

B : *Anoplopoma fimbria* (PALLAS)

C : *Gadus macrocephalus* (TILESIUS)

F : *Limanda aspera* (PALLAS)

H : *Clupea pallasii* (CUIVIER & VALENCIENNES)

P : *Theragra chalcogramma* (PALLAS)

S : *Pandalus borealis* (KRÖYER)

Pe : *Sebastes alutus* (GILBERT)

Tu : *Athereathes evermanni* (JORDAN & STARKS)

T. C : *Chionoecetes opileo elongatus* (PATHBVN)

K. C : *Paralithodes camtschaticus* (TILESIUS)

IV. 研究に用いられた資料と研究方法の概要

本研究は 1963, 1965, 1967 年の 3 カ年間, 4 月より 10 月にわたる期間, ペーリング海東部大陸棚上およびその傾斜海域において, 母船式底曳網船団に附属するトローラー, 二そう曳および一そう曳底曳網漁船を資料船としてこれが使用する 3 種の底曳網について進められたものであって, 本研究で資料として用いられた漁船の大きさ, 隻数, 網の規模などは Table 3 に示した. 即ち船団は 3 船団, 附属漁船はトローラーが 370 トン級のサイド型 2 隻, 299 トン級のスタン型を 3 隻の計 5 隻, 二そう曳底曳網漁船は 121 トン級を 2 組, 98 トン級を 1 組の計 6 隻, 一そう曳底曳網漁船は木船の 65 トンから 92 トンまでの計 11 隻となっている. 底曳網は沈子網の沈降力および浮子の浮揚力が網の種類によって相当の差があるが, 網の仕立上りの全長は略等しいものとなっている.

本研究の最終目的とするところは緒論においても述べた通り, トロール網, 二そう曳底曳網, 一そう曳底曳網の 3 種の底曳網について, 漁具の漁獲性能を実測および実験によって明らかにすると

共に各網の設計構成上の基本的特徴を確認し、底曳網設計に関する物理的、生物的要因を解析して高性能底曳網の設計に資することを目的としたものであって、このために次のような研究の方法を試みた。

1. 投錨中の母船のレーダーによって、大洋中に操業するトローラー、二そう曳、一そう曳底曳網漁船と、その網の対地速度と移動距離の軌跡を測定し、このことから実際の曳網による掃立面積を算出して、3に述べる曳網濾過容積との組み合わせによって漁具の漁獲性能の判定に必要な数値的資料を得た。
2. 一そう曳底曳網を50mプールにおいて模型実験し、曳網開始、終了、揚網終了までの各段階における船、網の位置および曳網の形状の時間的変化を確かめると共に網速度、袖先間隔、曳網掃立面積を求めた。
3. 3種の底曳網（トロール網、二そう曳底曳網、一そう曳底曳網）の模型実験を行ない、特に曳網中の網口面積を求めて濾過容積を算出し、これと上述1の掃立面積とを組み合わせ、漁具の漁獲性能を比較する資料を得た。
4. 各種底曳網設計上の基本的指針とするために次の実験を行なった。
 - (1) 底曳網の基本型である2枚、4枚、6枚構造網の囊網部を同型のものとした3種の底曳網を設計し、模型実験を行なってそれぞれの特性と漁具性能を比較した。
 - (2) 曳網中の網成り、抵抗、入網する魚群の行動などの変化の原因を推定し、模型網による網の内外の流速分布を測定した。
 - (3) 囊網中における魚の個体の反転運動可否の境界線、即ち遊泳可能の容積を実験的に求めた。
 - (4) 囊網中における魚群が種々の流速に対して、どのような行動をとるかを体の大きさ別および群の大きさ別に調べ、併せてその時の網成りと抵抗を調べた。
 - (5) 50mプールにおいてヒブナ250尾を用い、魚群の曳網に対する行動を把握し、駆集効果を調べた。

V. 実験結果と考察

5. 1 レーダー測定による底曳網漁船の操業軌跡の作図と曳網掃立面積

ベーリング海東部大陸棚漁場で操業している母船式底曳網漁業は、母船を中心とする半径約5浬の円内において操業を行なう場合が多い。中でも、ミール工船漁業はスケトウダラの豊富な資源量を擁する水深100~200mの漁場で長時間連続的に操業を行なう場合が多く、この際、母船は深海投錨法によって投錨し、附属漁船はその周辺の海域で操業する。漁獲量が減少してくると、調査船や前年度迄の調査結果に基づいて新しい漁場を選定し、そこに全船移動する。このような操業形式であるため、操業中の底曳網漁船の行動を投錨中の母船のレーダーで把握することは容易である。筆者(1966)^{35),77),78)}は1963, 1965年と1967年の3か年間に、ベーリング海東部大陸棚漁場およびその傾斜漁場で操業した各種附属漁船の操網状態をミール工船のレーダーによって測定し検討を加えた。Table 3は漁船および漁具の主要目表、Fig. 2は測定に用いられたミール船団の3か年間に互る各操業海域図であり、またFig. 3は附属漁船の操業位置をレーダーでとらえた画像の1例を示したものである。

測定の方法は、先ず測定する漁船を定め、該船をレーダーと眼鏡もしくは無線電話によって確認

Table 3. The sorts of the trawler and the dimension of the sampling nets.

Item of net and trawler		Dimension of net					Dimension of trawler				
Net	No.	Length of total	Length of head rope	Length of ground rope	Weight of ground rope	Buoyancy of float	Sam-pling boat	Gross tonnage (ton)	Horse power of main engine (B.P)	Sam-pling factory fleet	Remark
		(m)	(m)	(m)	(kg)	(kg)					
Trawl net	T	55.18	47.66	57.03	578.0	355.8	T 1	370	850	S ₀	Side trawler
		54.15	47.66	57.03	436.3	376.2	T 2	"	"		
							T 3	299	1200		
							T 4	"	1250		
		T 5	"	"							
Bull trawl net	B	62.10	66.40	73.80	626.6	335.5	B 1	121	430	G _y	Iron hull
							B 2	"	"		
							B 3	98	"		
Danish seine	D	56.06	58.60	66.30	69.0	66.4	D 1	74	310	T _e	Wooden hull
							D 2	73	"		
		60.0	66.6	72.9	48.9	58.9	D 3	70	250		
							D 4	65	270		
							D 5	70	"		
							D 6	75	220		
							D 7	83	270		
							D 8	76	"		
							D 9	73	"		
							D 10	92	440		
							D 11	75	310		

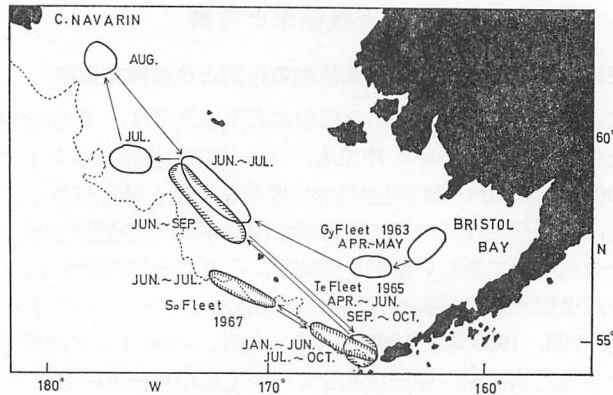


Fig. 2. Shifts of fishing grounds operated by G_y-factory-fleet in 1963, by T_e-factory-fleet in 1965 and by S₀-factory-fleet in 1967 in the Bering Sea.

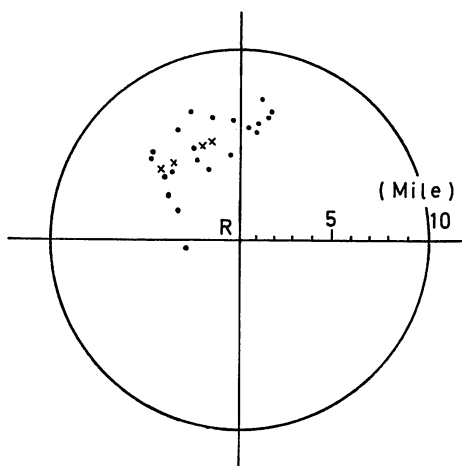


Fig. 3. An example of the point spots of the fishing boats using the Danish seine and the bull trawl net, caught by the radar on the mother ship anchored.
R : Mother ship • : Danish seiner × : Bull trawler

する。投網が開始されると同時に、船位をレーダーによって測定し、円形グラフ上に記入する。この場合に、円形グラフの中心を母船位置とした。またエコーの中心を被測定船の船位とし、方位はカーソル、母船よりの距離は可変レンジを用いて連続測定した。

5. 1. 1 トロール網漁船の測定と解析

(I) 操網の概要

トロール網漁業は曳網に相当するワープと手網の間に開口板となるオッターボード (Otterboard, 略称 O. B) を装着し、その展開力を利用して網を拡網させ曳網する趣向のもので、両ワープは船尾付近で一括されている。従ってこの両ワープの夾角と長さによって O. B 間隔は推算出来、また O. B 間隔と手網の長さによってその袖先間隔は求めることが出来る。葉室⁷⁹⁾によればワープ長 300 m、手網長 90 m、ワープ夾角 12.5° で O. B 間隔が 64 m、袖先間隔が 24.6 m としている。曳網の長さはワープが水深の 3.0~3.5 倍、手網が 75~100 m で、ワープは水中部分で緊張するが、O. B は必ず着底状態にあるので、手網は接地して O. B と共に魚群の駆集の役目をすることになる。曳網速度は各種の底曳網の中で最も速く 3.0~4.0 ノットで、高速を利用して強制的に魚群の入網を期待する点、一そう曳底曳網と対照的である。

操網上、他網と異なる点は、曳網の間に重量の重い大型の O. B が介在しているところから、操網者は絶えず網と O. B との相対的な位置関係、O. B の展開状態および網の拡網状態を想定もしくは確認しなければならないことである。即ち網と O. B に絶えず抵抗をかけることによって、O. B の間隔を保たさせ、網を十分に拡網させる必要がある。また主機関馬力が大で曳網力が優れているので、他の網のようにあまり風潮の影響を考慮に入れて曳網方向を決定する必要がなく、風力 5~6 までは逆風でも曳網方向を自由に選択することが出来、また曳網中でも大角度の変針が可能である点有利である。スタントローラーとサイドローラーの操網上の異なる点は両ワープの締結場所が前者が船尾、後者が右舷船尾であり、前者は後者に比して揚網、投網および曳網中に変針する場合の操船と作業が容易である。投揚網に要する時間は船型、漁場、天候等によって若干異な

るが、一般に投網に10分内外、揚網に15~20分で、曳網時間は大体1時間である。

(II) 測定に用いられた資料と操業条件

トロール網の測定にあたって用いられた資料船はサイドトローラーT1, T2の2隻, スタントローラーT3, T4, T5の3隻で, これらはいずれもS.丸船団の附属漁船である。各漁船の大きさ, 漁具の大きさなどの要目は既にTable 3に示したように船型ではサイドトローラーが大であるが, 主機関馬力ではスタントローラーが大であり, 漁具は沈子と浮子が若干異なるだけで網の主要寸法は殆んど等しくなっている。測定した日時, 母船位置, 当時の天象, 海象等についてはTable 4に示すようで, 操業水深は308~352mと比較的深く, 風力は1~3と海上平穏な状態である。

(III) 測定と解析

Fig. 4は各船の操業中の船位を投錨した母船(R)のレーダーによって連続測定した操業図である。図中のT1, T2は上述の資料で示したサイドトローラー, T3, T4, T5はスタントローラーを表わし, a~dは投網開始より曳網伸長終了迄の投網, d~eは曳網, e~fは揚網の各過程を示したものである。但しT1は曳網中のみを示す。Table 4はFig. 4より求めた各船の操網に要した距離および曳網速度である。Table 4によれば, 投網に要する距離a~dはスタントローラーの場合が略1.0浬, サイドトローラーの場合は1例ではあるがスタントローラーの約1/2である。揚網に要する距離は図でも明らかなように, 各船とも値が異なり, O. B. 収納時の船位が曳網終了点とほとんど変わらず停止状態で揚網する場合があります, あるいは後退する状態で揚網する場合もある。曳網距離d~eは曳網時間が一定ではないが, その範囲は2.25~6.09浬であり, 曳網速度はTable 4に示すようにサイドトローラーで2.7~2.75浬, スタントローラーで3.14~3.60浬となり, 後者がいずれもより高速で曳網している。各船の曳網はワープが水深の3.0~3.3倍, 手網が

Table 4. Distance and towing speed of the net under operation calculated from Fig. 4.

Unit: Distance: mile.

Item Date	Time h : m } h : m	Wind direction and force	Position of mother ship		Depth (m)	Ship's No.	Total distance of net- operat- ion (Time : min.)	Dis- tance for net- setting (Time : min.)	Dis- tance for net- taking (Time : min.)	Dis- tance for net- towing (Time : min.)	Average speed of net- towing (knot)
			Lat.	Long.							
1967 Apr. 29	12 : 51 } 14 : 22	SE 3	54°—34'N	165°—39'W	352 } 340	T3	4.51 (91)	0.95 (9)	0.16 (17)	3.40 (65)	3.14
	13 : 00 } 13 : 50				338 } 336	T1	2.25 (50)	—	—	2.25 (50)	2.70
May 8	13 : 46 } 16 : 01	SSE 1	54°—41'N	166°—17'W	308 } 343	T4	7.49 (135)	1.12 (13)	0.28 (16)	6.09 (106)	3.45
	13 : 53 } 15 : 48				310 } 330	T5	6.60 (115)	1.05 (11)	0.10 (13)	5.45 (91)	3.60
	14 : 36 } 16 : 12				332 } 324	T2	3.82 (96)	0.52 (9)	0.32 (22)	2.98 (65)	2.75

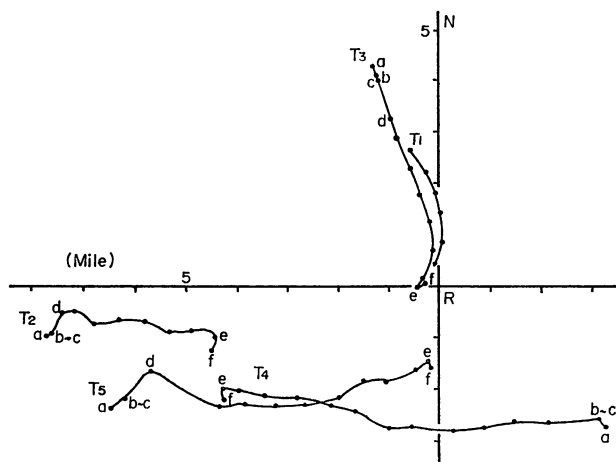


Fig. 4. The net-operation locality drawn by trawlers; measured by the Radar on the mother ship anchored.
 R: Mother ship a: Layout the net
 b: Connection of otter-board c: Start of berring out warp
 d: Hauling of warp (beginning of towing net)
 e: Start of net-hauling (finish of towing net)
 f: Taking off otter-board
 T1, T2: Side trawler T3, T4, T5: Stern trawler

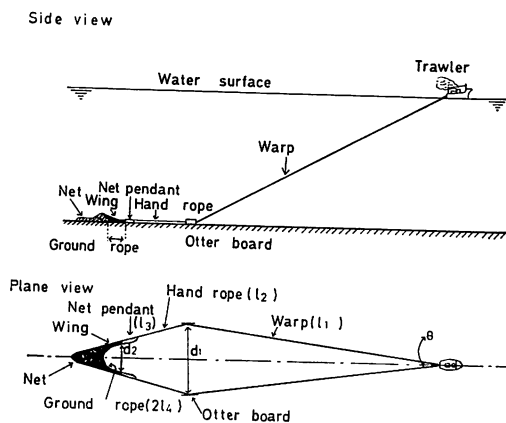


Fig. 5. General aspects of the operation of the trawl net.
 d_1 : Interval between both the otter-boards
 d_2 : Interval between the wing ends

80 m で、曳網時における両ワープ夾角は水深 300 m のとき $6\sim 8^\circ$ であった。

次に曳網中の平面図を示した Fig. 5 より O. B 間隔 (d_1) および袖先間隔 (d_2) を求めると次式で与えられる。なおワープおよび手綱は直線状に緊張されているものとし、ワープ長: l_1 , 手綱長: l_2 , ネットペンデント長: l_3 , グランドロープ長: $2l_1$, ワープ夾角: θ とする。

$$d_1 = 2l_1 \sin \frac{\theta}{2}$$

$$d_2 = \frac{2l_4}{l_2 + l_3 + l_4} l_1 \sin \frac{\theta}{2}$$

上式に水深 300 m の場合の実測値 ($l_1: 1,000$ m, $l_2: 80$ m, $l_3: 7$ m, $l_4: 28.5$ m, $\theta: 6\sim 8^\circ$) を代入すると,

$$d_1 = 140\sim 105$$
 m

$$d_2 = 34.5\sim 25.9$$
 m

となりそれぞれの平均値 (\bar{d}_1, \bar{d}_2) は

$$\bar{d}_1 = 122.5$$
 m

$$\bar{d}_2 = 30.2$$
 m

となる。

次に曳網の接地点間隔と曳網距離の積で与えられる曳網掃立面積 (Sweeping area of the towing rope) はトロール網の場合は曳網の接地点が O, B であるため, O, B 間隔と曳網距離の積で求められる。即ち

サイドトローラー用 T 網

$$122.5 \text{ m} \times 1,852 \text{ m} \times 2.7 = 612,549 \text{ m}^2 \approx 61 \times 10^4 \text{ m}^2$$

スタントローラー用 T 網

$$122.5 \text{ m} \times 1,852 \text{ m} \times 3.4 = 771,358 \text{ m}^2 \approx 77 \times 10^4 \text{ m}^2$$

となる。この場合 O, B 間隔, 曳網速度は平均値, 曳網時間は 1 時間として計算した。

5. 1. 2 二そう曳底曳網漁船の測定と解析

(I) 操網の概要

二そう曳底曳網漁業の漁法は 1 個の底曳網を 2 隻の漁船で曳網する形式のもので, 曳網はワイヤーとコンビネーションロープ (Combination rope, 略称 Comb. R) を用い, その長さは海況, 底質等によって若干異なるが, 一般にワイヤーを水深の 5~6 倍, Comb. R を 1~3 丸 (1 丸 \approx 200 m) としている。船型の割合に規模の大きな底曳網であるので, 曳網速度はトロール網の場合より低速で 2.0~2.5 ノットである。袖先間隔は 2 隻の曳船間隔で調整されるが, その曳船間隔は昼夜の別, 海況, 底質, 魚種等によって一定せず, 大略 300~500 m の範囲内である。葉室 (1959)⁷⁹⁾ の測定によると曳船間隔長 400 m, 450 m, 500 m の時の袖先間隔は 41.5 m, 45.6 m, 48.6 m となり, 葉室の測定によるトロール網の袖先間隔 24.6 m に比し, 略 1.7~2.0 倍広がっている。投網は 1 隻で行なう場合と 2 隻で行なう場合とがあり, 曳網終了後, 揚網準備と網口附近の魚群を最終的に魚捕部に追い込むための寄せ網および寄せ漕ぎの段階があり, 寄せ漕ぎ終了後に揚網に移る。揚網はトロール網や一そう曳底曳網が機関前進として揚網作業を行なうのに対し, 二そう曳底曳網では機関停止として行なう。曳網方向は風潮流の強い場合は (例えば風力 4 以上) 漁船の曳網力がトローラーのように大きくないので逆風, 逆潮の曳網は困難であり, 一般に風潮流を船首尾線に対して直角方向より船尾側にかけて受けるように曳網するのが通例となっている。操網に関する所要時間は投網が一隻投網法で約 10 分, 二隻投網法で約 5 分, 曳網は昼間 60~65 分間, 夜間 105~130 分間, 寄せ漕ぎは 10~15 分, 揚網は漁獲量 1~4 トンで 30~35 分, 10 トン前後で 40~50 分を要する。

(II) 測定に用いられた資料と操業条件

二そう曳底曳網の測定に当って用いられた資料船は B1, B2, B3 の 3 組, 計 6 隻で, これらはいずれも G_y 丸船団の附属漁船である. 各漁船の大きさ, 漁具の大きさ等の要目は Table 3 に示すようで, 船型は B1, B2 は B3 より総トン数で 23 トン大であるが, 主機関馬力は同一値であり, 漁具は同じものを各船共使用している. 測定した日時, 母船位置, 当時の天候, 海況等は Table 5 に示すようで, 操業水深は 142~147 m と全て 150 m 以浅である.

(III) 測定と解析

測定方法は投錨中の母船よりレーダーによって各船の曳網開始と終了時における船位をそれぞれ測定する方法を用いた. 実際には曳網中の船の軌跡は風潮の影響によって曲線状となるはずであるが, この場合は曳網開始と終了の両点間を直線でつないで表わした. Table 6 は各附属漁船の操業状態を, Fig. 6 は Table 6 より作図した操業図を示したものである. Fig. 6 より各船の曳網速度を求めると, その範囲は毎時 1.6~3.2 ノットとなるが, 事故網の 3 例を除けば 2.3~2.8 ノット, 平均 2.5 ノットとなる. 除外した 3 例は曳網中に拡網しないため高速となったもの (3.2 ノット), 曳網中に根掛りしたもの (1.7 ノット), 波浪を正横より受けて曳網したため流圧大となり, 直行距

Table 5. Measured detail of Radar on the net-operations of the bull trawlers by the mother ship's Radar.

Date Time	Position of mother ship	Depth	Wind	Wave	Fishing boat		Name of mother ship	Radar of mother ship
					Number	Name		
Aug. 23, '63	59°—58'N 178°—16'W	142~147m	2~5	—	B1	No. 3, 5 KOSHIN MARU	GYOKUEI MARU (G _y)	Type of 45 Decca Wireless Co., Ltd.
					B2	No. 7, 8 KOSHIN MARU		
					B3	KATORI MARU KATSUKI MARU		

Table 6. Net-operation data of the bull trawl net measured by the Radar.

Item	Number of trawler															
	B1	B1'	B1	B1'	B1	B2'	B2	B2'	B2	B2'	B3'	B3	B3'	B3	B3'	
Direction (degree) at point of throwing net and distance (mile) from R.	222 6.0	230 3.1	237 6.2	228 4.0	220 5.0	220 5.8	230 3.0	240 5.8	250 3.2	235 5.5	200 5.2	225 2.0	225 5.5	225 2.8	225 5.0	
Hour of throwing net	0834 { 0850	1030 { 1040	1325 { 1334	1516 { 1526	1747 { 1757	0812 { 1816	0958 { 1002	1243 { 1248	1431 { 1436	1728 { 1733	0803 { 0808	1002 { 1006	1252 { 1257	1447 { 1452	1725 { 1730	
Course of net-towing (degree)	22	55	68	45	45	35	55	55	60	55	10	30	20	120	45	
Depth (m)	144	144	144	142	144	144	144	143	143	144	146	144	146	144	146	
Direction (degree) at finished point of towing and distance (mile) from R.	232 2.9	220 0.7	228 4.0	245 2.5	125 1.0	230 3.0	190 0.5	250 3.2	200 0.8	285 1.5	225 2.0	315 2.0	200 2.8	210 1.4	280 0.9	
Time of net-towing (miunte)	60	60	60	60	130	65	65	65	65	105	65	65	65	60	105	
Catch (ton)	9	4	3	3	3	3	2	4	4	7	13	0	9	2	3	
Difference angle of course between starting and finishing of net-towing (degree)	7	3	3	25	6	7	2	7	23	14	5	31	25	58	10	

それぞれ求めると、

$$\widehat{MM'} = 1.6 \text{ 湊} \times \text{coesc } 58^\circ \times 1.01 = 1.91 \text{ 湊}$$

$$\widehat{NN'} = 1.5 \text{ 湊} \times \text{coses } 27^\circ \times 0.47 = 1.55 \text{ 湊}$$

となる。従って求める船の見かけの曳網距離 MM' と実際の網の移動距離 $\widehat{NN'}$ との差は

$$MM' - \widehat{NN'} = 1.6 \text{ 湊} - 1.55 \text{ 湊} = 0.05 \text{ 湊}$$

と極めて小さい値となる。実際には曳網中における船の変針角度が 30° 以上になるような場合は稀であり、 30° 以下の場合では更にこの差は僅小値となるので、レーダーで測得される MM' をもって曳網距離として差支えないことになる。

二そう曳底曳網の曳網掃立面積は曳網の接地点間隔と曳網距離との積によって表わすことが出来るが、この網の場合、問題点は曳網のどの点で海底に接地するかということである。接地点の位置は曳網の水中部分の長さ、水中重量、曳網にかかる張力、曳網速度もしくは曳網の夾角および深度によって変化するので、これらの諸要素によって成り立つ釣合関係から推算する必要がある。求め方としては以上の考え方は別にワイヤーの摺れから推定する方法、ワイヤーを懸垂曲線とみだてて計算する方法等があるが、ここではワイヤーの水中重量がかなり重く、またワイヤーにかかる流水の速度が一定とみなされるところから、定常的に流水に吹かれる網の形をワイヤーの形に変えて考察し、ワイヤーの接地点を力学的に解析して求めることとした。

Fig. 8 に示した定常的流水に吹かれる紐や網の場合では、下端から S の距離における微小部分 ds の各力は

$$dT = w \, ds \, \sin \theta$$

$$ds = \rho \, d\theta$$

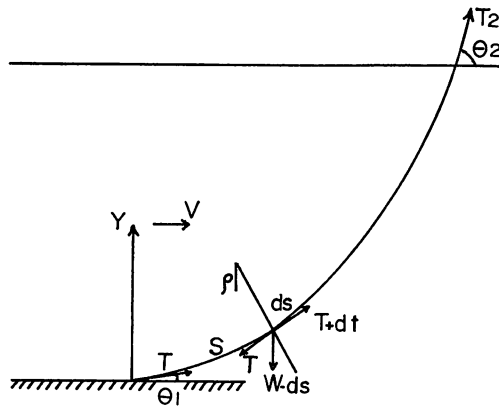


Fig. 8. State of the fine rope drifting in the stationary current and the power coming on to the minute part.

S : Length from the under edge to the free point

T : Tension W : Weight in water

ρ : Radius of curvature

θ_1 : Angle between the fine rope and the bottom

θ_2 : Angle between the fine rope and the current

V : Velocity

ここで w は単位長さ当りの綱の水中重量, θ は綱の方向と流れの方向とのなす角, R は曳綱の単位長さに及ぼす水流の抵抗, T を張力, dT を張力の増分, ρ を曲率半径とすると, 単位長さについて考えれば

$$\frac{T}{\rho} = w \cos\theta + R \sin\theta$$

$$\frac{dT}{T} = \frac{w \sin\theta d\theta}{w \cos\theta + R \sin\theta}$$

ここで $\tan\theta \equiv t$ とおけば

$$\sec^2\theta d\theta = dt \quad d\theta = \frac{dt}{1+t^2}$$

従って上式は

$$\begin{aligned} \frac{dT}{T} &= \frac{t}{\left(1 + \frac{R}{w}t\right)} \frac{dT}{(1+t^2)} \\ &= \frac{1}{\left(\frac{R}{w} + \frac{w}{R}\right)} \frac{dt}{(1+t^2)} + \frac{\frac{w}{R}}{\left(\frac{R}{w} + \frac{w}{R}\right)} \frac{t \cdot dt}{(1+t^2)} - \frac{1}{\left(\frac{R}{w} + \frac{w}{R}\right)} \frac{dt}{\left(1 + \frac{R}{w}t\right)} \end{aligned}$$

$$\therefore \log T = \frac{1}{\left(\frac{R}{w} + \frac{w}{R}\right)} \tan^{-1}t + \frac{\frac{w}{R}}{\left(\frac{R}{w} + \frac{w}{R}\right)} \log(1+t^2)^{\frac{1}{2}}$$

$$- \frac{\frac{w}{R}}{\left(\frac{R}{w} + \frac{w}{R}\right)} \log\left(1 + \frac{R}{w}t\right) + \text{Const}$$

$$\left\{1 + \left(\frac{R}{w}\right)^2\right\} \log T = \frac{R}{w} \theta - \log\left(\cos\theta + \frac{R}{w} \sin\theta\right) + \text{Const}$$

$$T^{1+\left(\frac{R}{w}\right)^2} = \frac{C e^{\frac{R}{w}\theta}}{\cos\theta + \frac{R}{w} \sin\theta} \quad C \text{ は積分常数}$$

ここで紐や綱を水中重量の重いワイヤーとして考えると

$$1 \gg \frac{R}{w} \Rightarrow 0 \text{ と見なされるから}$$

$$T = \frac{C}{\cos\theta} \quad \frac{dT}{d\theta} = \frac{C \sin\theta}{(\cos\theta)^2}$$

$$ds = \frac{dT}{w \sin\theta} = \frac{C}{w} \sec^2\theta \cdot d\theta$$

$$\text{ワイヤーの水中部分の長さ } l_3 = \int_{\theta_1}^{\theta_2} ds = \frac{C}{w} (\tan\theta_2 - \tan\theta_1)$$

ここで θ_1 は接地点における水平となす角であるから $\theta_1=0$ となる船からの曳網の長さ l_3 と θ_2 を求めれば接地点の位置は決定出来る。 $\theta_1=0$ となるまでのワイヤーの長さを l'_3 、船尾における張力を R_2 、水深を D' とすれば

$$l_3 \geq l'_3 = \frac{R_2}{w} \tan \theta_2 \qquad D' = \frac{R_2}{w} (\sec \theta_2 - 1)$$

$$l_3 \geq \frac{R_2}{w} \sqrt{\left(\frac{wD'}{R_2} + 1\right)^2 - 1}$$

3式を用いて実際の曳網状態におけるワイヤーの水中部分の長さを求めると R_2 : 1,500 kg, w : 1.0 kg/m (18 mm 径ワイヤーロープ, 空中重量 1.13 kg/m), D' : 100 m とすればこれらの値を代入して

$$l_3 \geq 1,500 \text{ m} \times 0.351$$

$$l_3 \geq 526 \text{ m}$$

となる。従って曳網の接地点は船尾から 526 m のワイヤーロープ上に位置することとなり、仮に、ワイヤーロープの長さを 600 m とすれば、その接地長は $600 \text{ m} - 526 \text{ m} = 74 \text{ m}$ となる。このように曳網の接地点をワイヤーロープ上に位置させることにより、径が大で水中重量の重い Comb. R はその全長に互って接地出来ることとなり、魚群の駆集効果と網の安定のために好結果をもたらすことになる。 Fig. 9 は曳網の長さとお水深との関係を示したもので、 l_1 は曳網の全長、 l_2 はワイ

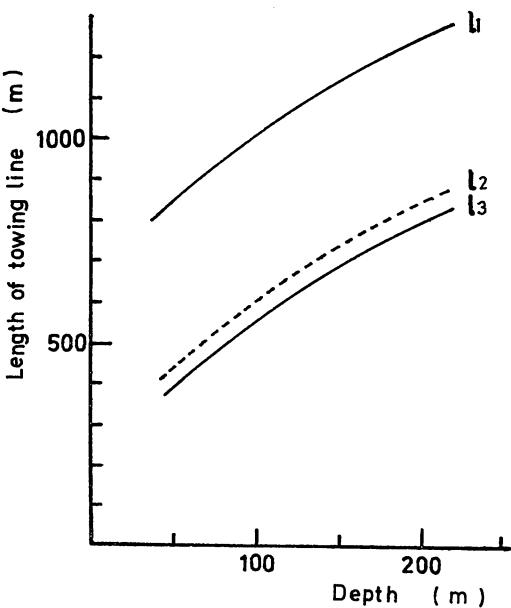
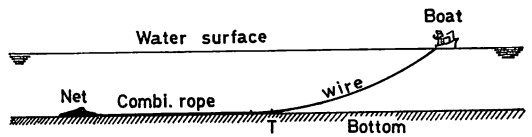


Fig. 9. Relationship between the length of towing ropes and the depth on bull trawl net.
 Length of l_3 : Length of wire rope in water
 Length of l_2-l_3 : Length of wire rope on bottom
 Length of l_1-l_2 : Combination rope

Side view



Plane view

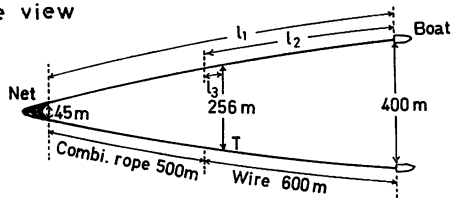


Fig. 10. Arrangement of the towing rope on the bull trawl net.
 T: Point attaching to the ground
 l_1 : Total length of towing rope
 l_2 : Wire rope
 l_3 : Wire rope on bottom

ワイヤーロープの全長, $l_2 - l_3$ はワイヤーロープの接地長を示す. l_3 は $l = R_2/wv \sqrt{(wD'/R+1)^2 - 1}$ より求めた水深に応じたワイヤーロープの水中部分の長さ, $l_1 - l_2$ は Comb. R の長さである. 但し同図は操業条件の良好な通常の操業状態における各曳網の長さを示したものであって, 底質, 海況, 対象魚種の条件によっては各曳網の長さを表わす曲線は変化することが考えられる.

いま水深 100 m, 曳網間隔 400 m, 曳網総長 1,100 m の条件で曳網した場合の曳網図 Fig. 10 より接地点間隔および袖先間隔を求めると, 256 m および 45 m という値を得た. なお, この場合ワイヤーロープの接地長は Fig. 9 より 74 m とした.

二そう曳底曳網の曳網掃立面積はこの曳網の接地点間隔と曳網距離との積で与えられるが, この網の曳網時間はほとんど 1 時間単位であり, また曳網速度は 2.5 ノットであるので該面積は $256 \text{ m} \times 1,852 \times 2.5 = 119 \times 10^4 \text{ m}^2$ となる.

5. 1. 3 一そう曳底曳網漁船の測定と解析

(I) 操網の概要

一そう曳底曳網の漁法はトロール網や二そう曳底曳網と異なり非常に長い曳網を Fig. 11 に示すように四角形状に展開し, 両曳網が互いに平行になるまで曳網しながら曳網間に駆集される魚をすくい取るように漁獲する趣向のものである. 網の海面上における平面形状は台形, 略二等辺三角形, 略直角三角形, 菱形, 扇形など種々あり, また旋回方法は右旋回投網法と左旋回投網法があるが, いずれも風潮流などの外力の影響, 魚群の集群状況, 他船との関係等の漁場条件を勘案してその都度いずれかを採用している. 曳網の展開が終了すると, 樽を船内に収納し, 樽に仮止めていた曳網を解き, それを船尾の繫柱に繫止し網待ちとする. 網待ちとは船を停止させて網および曳網が海底に着底するまで待機する状態で, 従来まで漁具の沈降速度を 15 m/min としてその所要時間を定めていたが, 芥藤 (1959)⁸⁰⁾ は実験によってその沈降速度はマニラロープ 20 m/min, Comb. R 25 m/min, 網 12.5 m/min と曳網の着底時間が若干早くなることを確かめた. またこの実験は 100 m 以深の漁場において, 船尾に近い曳網に重量の重いロープを使用することの有利性をも立証している. 網待ちが終了すると肩寄せに移る. 肩寄せとは, 両曳網を船尾の両舷の繫柱に繫止したまま船を前進させ, 両曳網が略平行となるまで曳網する状態で, その所要時間は水深によって異なるが大体 15~20 分の範囲内である. 葉室⁷⁹⁾ が肩寄せ中における網および曳網の運動を考察したところによると, 肩寄せの初期において網は既に前進し始めており, 肩寄せによる船の進出距離 1,700 m, 網の進出距離 1,150 m で, 曳網の両屈曲点間隔 (両肩間隔とも言う) は 1,100 m から 200 m に接近する (但し肩寄せ時間 30 分間) と言う.

揚網は主機関を前進としながら両曳網を巻きこむもので, 所要時間は曳網長 11 丸 (約 2,200 m) で約 40 分を要する. 手木が船尾ローラーの近くまでくると, 左舷正横から風潮を受けるように船を旋回しながら両手木を一括して左舷に移し, デリックブーム, 両舷のドラムによって順次網を船内に収納する. 魚捕部が舷側までくると魚捕部を一部開放し, 舷門に設けた枠によって魚捕部を開き, 漁獲物を大タモによって順次汲みとり魚倉に移す. 魚捕部の魚が少なくなったところで枠より網を外し, 魚捕部共一括してフィッシュテールで船内に収納し揚網作業を終る.

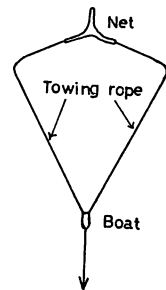


Fig. 11. Schematic diagram of the net-operation of Danish seiner. An arrow shows the direction of the net-towing.

(II) 測定に用いられた資料と操業条件

測定は1963年と1965年の2回に亘って実施した。測定に用いられた資料船はTable 3に示したように1回目ではいずれも総トン数70トン級の木船D1, D2の2隻で、母船はG_y丸である。2回目に用いられた資料船は100トン以下の木船D3~D11の9隻で、母船はT_e丸である。2回共資料船の船型に大きな差はないが、底曳網の網規模に多少差があり、2回目のものが若干大型である。測定した日時、母船位置、天候、海況等の操業条件はTable 7に示すようで、2回目の操業水深が比較的深層に及んでいる。

(III) レーダーによる測定と解析

資料1の場合はFig. 12に示すように、D1船の曳網展開形状が略梯形状であるのに対してD2船のそれは略二等辺三角形の形状をなしている。肩寄せ距離即ち、曳網距離および曳網巻き揚げによる船の進出距離は2船とも異なっており、特にD2船は揚網終了点(c)が揚網開始点(b)よりもかなり大きく前進した距離にあるのに対してD1船の(c)点は(b)点よりも後退するか、またはほとんど同じ位置となっている。このように各船の操網状態が異なるのは、船型、主機関馬力の相違、曳網巻きとり用ドラムの径の相違等による所謂、船自体の操網能力の差による場合と、入網魚の多寡による場合とがその主な原因として考えられるようである。なお揚網の際、船が、後退した場合は⊖の符号を、移動距離に符することとする。

資料2の場合は64の資料の中から2船以上がほとんど同時か、または時間的に連続して操網を開始した場合のみをFig. 13にとりあげ、これを主として検討することとしたもので、資料1の場合と同様に、各船の操網状態はそれぞれ異なっている。まず曳網展開形状では資料数21のうち略二等

Table 7. Measured detail of the Radar on the net-operations of Danish seiners by the mother ship's Radar.

Date Time	Position of mother ship	Depth	Wind	Wave	Fishing boat		Name of mother ship	Radar of mother ship
					Number	Name		
Aug. 3, '63	60°—02'N 174°—58'W	117m	2	—	D 1	No. 18 HOKKO MARU	GYOKUEI MARU (G _y)	Type of 45 Decca Wireless Co., Ltd.
					D 2	No. 20 HOKKO MARU		
May 4 June 19, '65	Fishing ground of north-ward Unimak pass.	99~270m	1~5	—	D 3	No. 8 HOKKO MARU	TENYO MARU (T _e)	Type of MM-5 Kyoritsu Wireless Co., Ltd.
D 4					No. 8 ZENPO MARU			
D 5					No. 5 SHOEI MARU			
D 6					SHOKEN MARU			
D 7					No. 1 MYOKEN MARU			
D 8					No. 5 TENYU MARU			
D 9					SHOHO MARU			
D10					No. 5 KYUHO MARU			
D11					No. 2 ZENPO MARU			

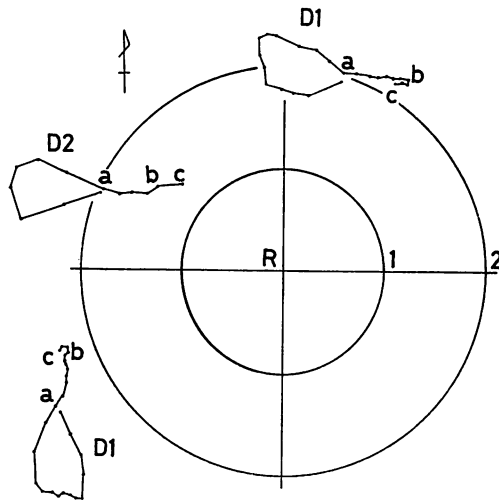


Fig. 12. The tracks of the Danish seiner (D1, D2) in their net-operation, 1963.
 D1, D2: Sampling boats R: Anchorage point of mother ship
 a: Starting point of the net-towing b: Finished point of the net-towing
 c: Finished point of the rope-hauling
 Numbers show the scale of distance in mile.

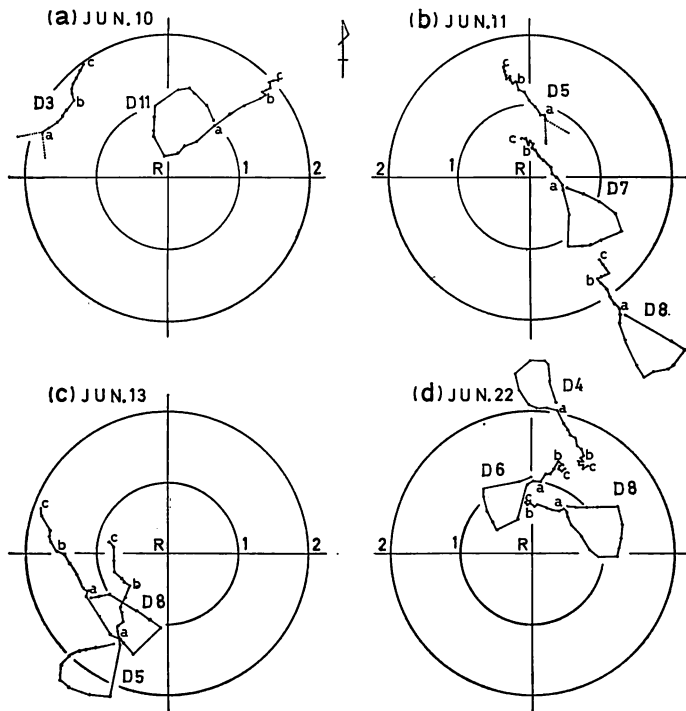


Fig. 13. Tracks of the Danish seiner (D3~D11) in their net-operations, 1965.
 D3~D11: Sampling boats R: Anchorage point of mother ship
 a: Starting point of the net-towing b: Finished point of the net-towing
 c: Finished point of the rope-hauling
 Numbers show the scale of distance in mile.

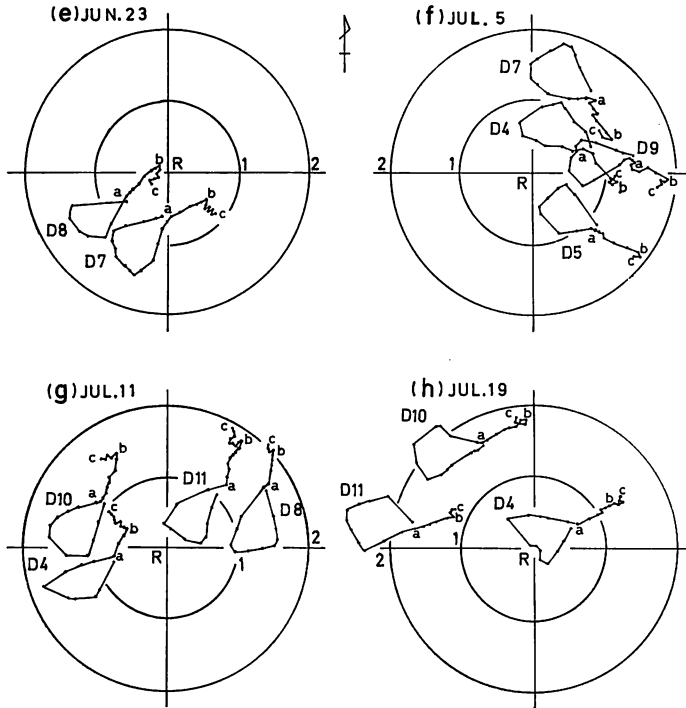


Fig. 13. Continued.

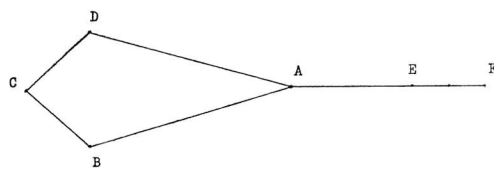
辺三角形のものが8, 梯形状のものが13であり, 後者は全体の約6割を占めている。これらの資料のなかには投網中に他船と接近しすぎたり, あるいは母船に接近しすぎて変針を余儀なくされ, 曳網展開形状が著しく変形したのがある。Fig. 13 (c) の D8 船, Fig. 13 (g) の D4 船がこの好例である。Fig. 13 より操網に要する海面の広さおよび諸距離を求めると, Table 8 に示す通りで, まず曳網展開形状のうち漁獲に最も影響を与えると考えられる両屈曲点間隔 BD は $0.50 \sim 0.93$ 湊の範囲で平均 0.63 湊となり, その形状は曳網方向に若干長くなる傾向がある。肩寄せ距離即ち曳網距離 AE は $0.48 \sim 0.84$ 湊の範囲で平均 0.67 湊, 揚網開始より手木収納までの揚網に要する進出距離 EF は, $0.63 \sim \ominus 0.27$ 湊の範囲で平均 0.1 湊となり, 平均値だけで考えるとほとんど停止して揚網する形となる。

肩寄せと揚網に要する進出距離は, 風潮流, 船の曳網速度, 揚網速度などの船の内的, 外的条件の他に入網魚の量による影響が特に大であろうと考えられる。揚網距離 EF が \ominus の符号をもつ場合はほとんど5トン以上の漁獲量を得ており, この点上述の考察と符号するようである。曳網展開形状が著しく他と異なる場合 (例えば Fig. 13, (c), D8 船の場合) はその形状が船の曳網方向に長く, 両屈曲点間隔が狭いため, 曳網距離 AE は20分間で 0.7 湊にも及び, 揚網距離に至っては 0.63 湊と他の場合に比較して著しく長い。この場合の漁獲量は Table 8 に示すように2トンに止まり, 同時にこの船の至近距離で操業した船 (Fig. 13, (c), D5 船) の漁獲量の $1/2$ となっている。投網点 C と揚網点 F (曳網巻き揚げ終了点) 間の距離, 即ち一そう曳底曳網船の操網に要する距離は $1.20 \sim 2.32$ 湊の範囲で平均 1.55 湊となる。この値はトロール網や二そう曳底曳網に比し著しく短かく, この種の底曳網の特長と言えよう。

次に、一そう曳底曳網の曳網掃立面積について検討する。曳網掃立面積とは曳網の際、曳網によって掃立てられる海底の面積をさすが、一そう曳底曳網の場合は海面上に展開された曳網の平面的形状が収縮、変形することなく海底に沈降するものとして投網時に曳網を海上に走出しながら航走する船の軌跡によって囲まれる面積、即ち曳網の展開形状によって定まる面積を曳網掃立面積として計算することとした。計算の結果、資料1による曳網掃立面積は資料数3で平均 $102 \times 10^4 \text{m}^2$ となり、資料2の場合は資料数47の中から樽位置不明瞭なもの、他船の投網中を避航して曳網を伸長したもの、母船位置より4浬以上離れた点で投網したもの、事故網のため漁獲0であったもの、船名不明のものなど11例を除く資料数36について同面積をヒストグラフで表わすと Fig. 14 のよう

Table 8. Tabled distances and catches about 17 operations of the Danish seine measured by the radar.

Number of trawler	D11	D8	D7	D8	D5	D7	D8	D4	D6	D8	D7	D4	D9	D5	D10	D11	D4
	13 (a)	13 (b)	—	13 (c)	—	13 (e)	—	13 (d)	—	—	13 (f)	—	—	—	13 (g)	—	—
BD (mile)	0.72	0.66	0.79	0.53	0.76	0.70	0.64	0.50	0.68	0.67	0.75	0.55	0.75	0.60	0.55	0.66	0.93
AC	0.84	0.98	0.88	1.00	0.78	0.87	0.76	0.70	0.80	0.84	0.94	0.83	0.93	0.78	0.96	0.89	0.69
AE	0.84	0.53	0.64	0.70	0.68	0.55	0.62	0.75	0.48	0.50	0.64	0.63	0.70	0.60	0.69	0.61	0.59
EF	0.20	0.20	0.20	0.63	0.54	0.02	0.24	0.15	0.03	0.04	0.27	0.12	0.11	0	0.14	0.08	0.10
CF	1.84	1.80	1.78	2.32	2.10	1.50	1.20	1.68	1.25	1.40	1.28	1.22	1.44	1.47	1.58	1.63	1.37
Catch (ton)	2.50	1.50	2.00	2.00	4.00	10.00	12.00	6.00	4.00	2.50	5.00	4.00	5.00	4.00	5.00	4.50	4.50



A : Point of throwing the buoy
 B, D : Points of alternation course
 C : Point of throwing the net
 AE : Distance of net-towing
 EF : Distance of hauling up rope
 ⊖ is direction to astern,
 respectively in shifting of ship
 CF : Direct distance between C and F

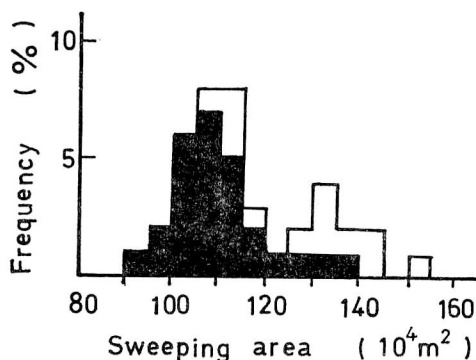


Fig. 14. Frequency distribution of the sweeping area by the towing rope of the Danish seine.

Shadeless part: The case when the accident happened on the net, ship's name was uncertain, and the operation was done at the point off four miles from the mother ship.

になりモードは $105\sim 115\times 10^4\text{m}^2$ と $130\sim 135\times 10^4\text{m}^2$ にみられる。更に同図より平均曳網掃立面積が $120\times 10^4\text{m}^2$ 以上ある白色部分の標本船 D7 船 (平均面積 $135\times 10^4\text{m}^2$)、D10 船 (平均面積 $122\times 10^4\text{m}^2$) を除くとモードは $105\sim 110\times 10^4\text{m}^2$ にみられ、資料 1 より求めた平均値との差は少ない。このようにして広範囲に展開された曳網は肩寄せの段階に移行すると両屈曲点間隔は次第に狭まり、肩寄せ速度は種々減速しながら略一定値に近づく。

肩寄せの作業が終了すると、つぎは揚網の過程に移行するが、前にも述べたようにこの過程にお

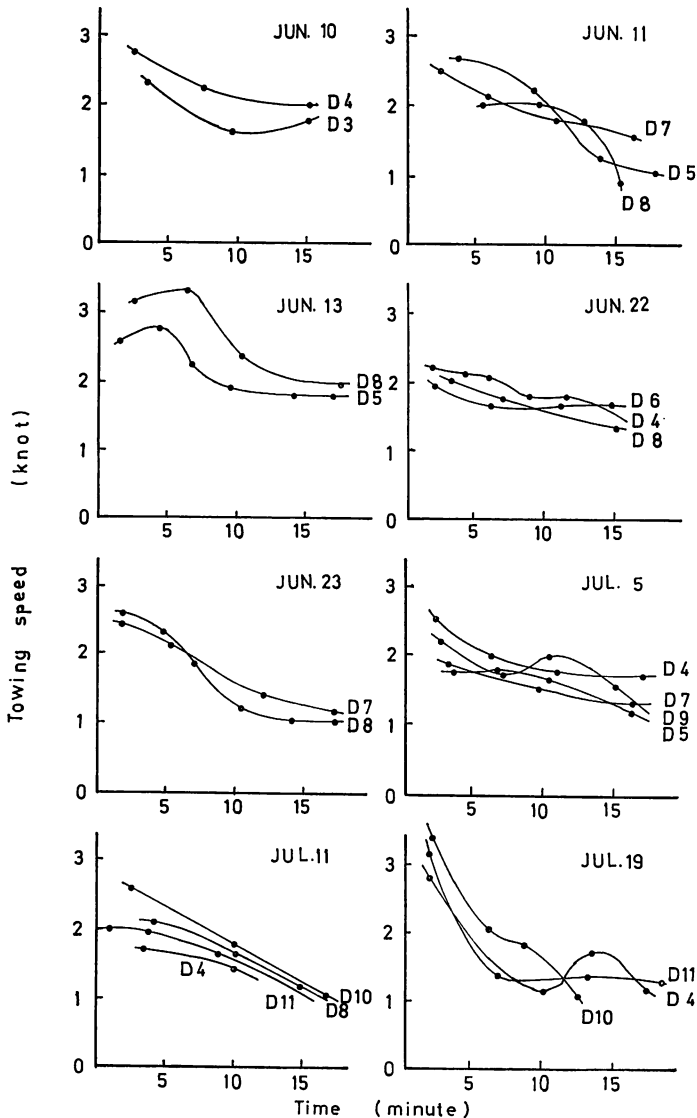


Fig. 15. Changes of the towing speed happening in accordance with the lapse of time in the Danish seine, measured by the Radar.
D3~D11: Sampling boats

ける船速は船の曳網力、魚の入網量、天候等の条件によって種々変わることが考えられる。ここで横軸に経過時間、縦軸に速度（ノット）をとり、肩寄せ速度と揚網速度の変化の状態を検討してみる。Fig. 15 は肩寄せ速度の変化の状態、Fig. 16 は肩寄せ速度と揚網速度の変化の状態を連続的に表わしたものである。肩寄せ速度は一般に時間の経過に従って減速する傾向が認められるが、いずれも肩寄せ開始後7～8分で急速に減速している。これは曳網展開形状が投網位置と樽とを結ぶ線に対して非対称であるため、肩寄せ初期においては曳網に加わる張力が少なく、従って曳網速度は速いが、曳網の形状が非対称から対称に移行するに及んで曳網に加わる張力が増加し、上述のような減速の現象が現われてくるものと考えられる。

肩寄せ開始後5分間内における速度と肩寄せ終了前5分間内における速度を求め比較すると、前者は1.8～3.4ノットで平均2.4ノット、後者は1.1～1.8ノットで平均1.3ノットとなる。この各平均速度はさほど重要な意味を持たないが、各船の曳網力が一律でなく、また速度の範囲が比較的大であるので、一応の目安として求めたわけである。このようにして求めた平均値でもって肩寄せの初期と終期の段階における速度を比較すると、両者の差は約1.0ノットとなり、肩寄せ中はかなり大きな速度の変化が認められる。

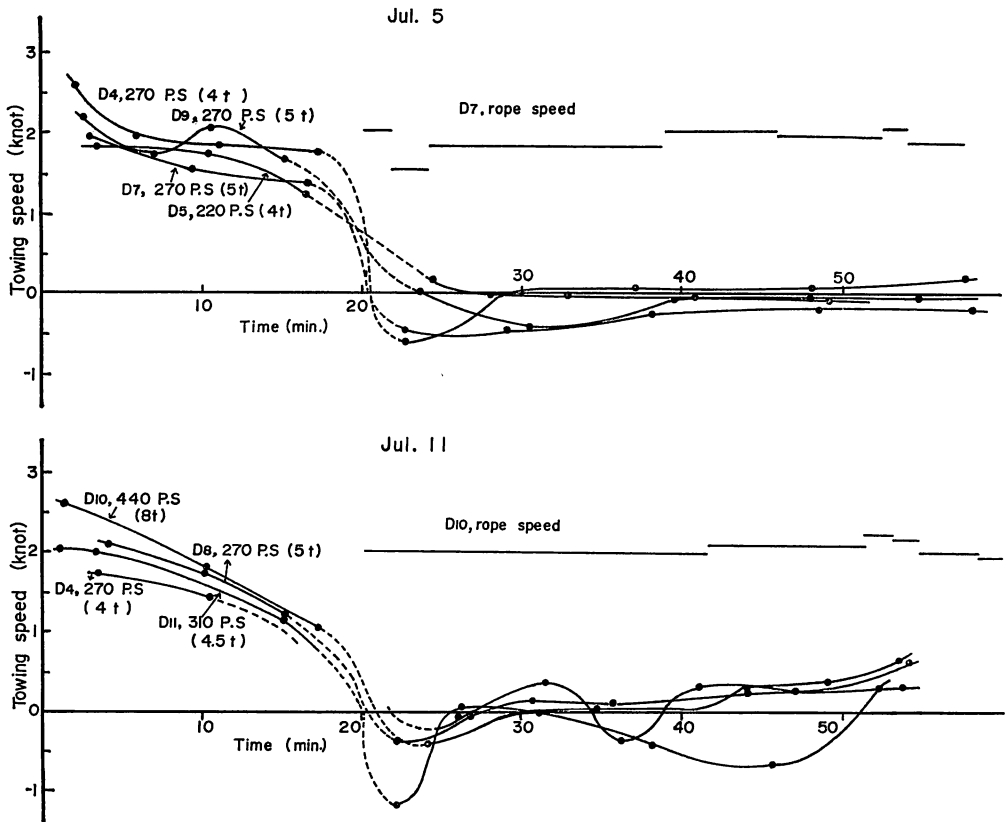


Fig. 16. Changes of the towing speed with the time elapsed from the beginning of the net-towing to the finishing of the rope-hauling.

D4～D11: Sampling boats

P. S: Horse power of main engine

Bracketed numbers show the weights of catches (ton).

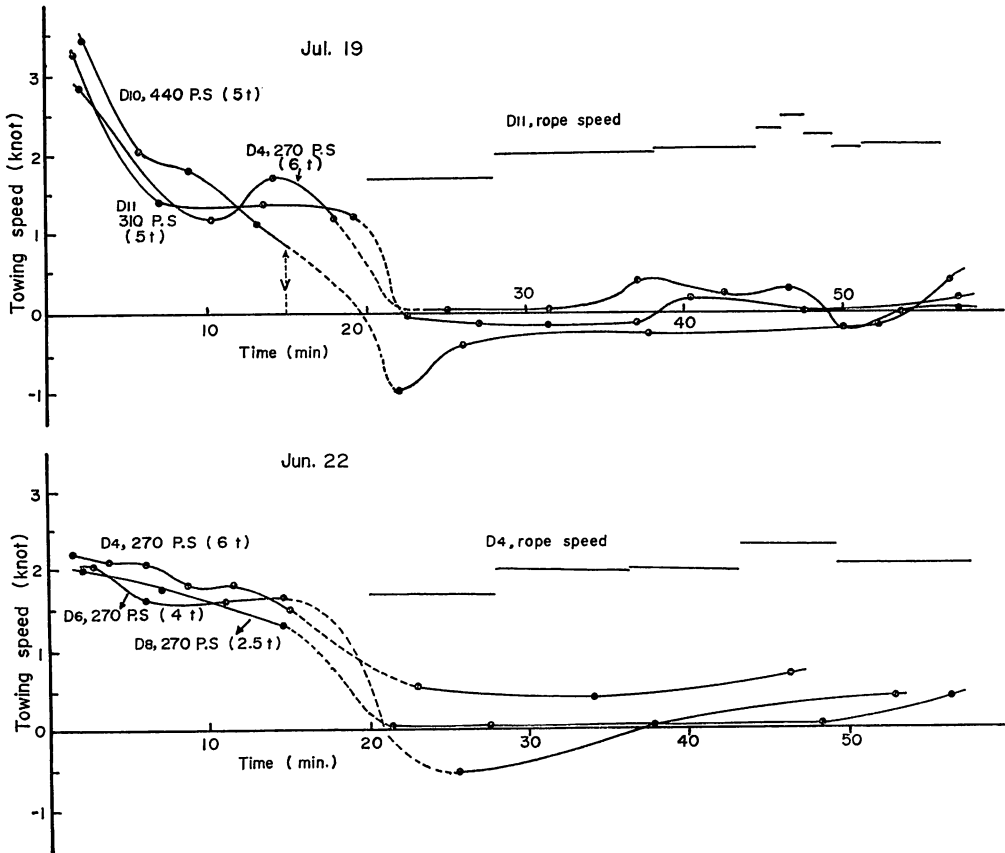


Fig. 16. Continued.

揚網の段階に移ると、船速は Fig. 16 に示すように大略 1.0 ノットより小さい値となるが、符号が⊖の場合も少なくない。つまり揚網する場合の船速は⊕、⊖ 側いずれも小さい値を示しており、従ってほとんど停止して揚網が行なわれると見なして差支えないようである。なお Fig. 16 に示す Rope speed とは曳網の巻き揚げ速度のことで、その速度はドラムの回転数、ドラムおよび曳網の径によって異なるが、測定した結果では略 1 m/sec であった。また Fig. 17 は各船の曳網の構成を示したものであるが、大体において 30~33mm 径のマ=ラロープがその主体を占め、屈曲点にあたる部分に径の大きな曳網を、また船付きの方に重量を重く、しかも径の比較的細いクレモナロープを配している点が共通している。

(IV) 模型実験による測定と解析

今まで述べたようにレーダーによって曳網の展開形状や船速等は測定出来るが、一そう曳底曳網を解明するのに最も必要である網速度や操網中における曳網の展開形状の変化等は直接測器を装着するか、または模型実験によらない限り測定出来ない。そこで本論ではレーダーによって得た測定値をもとに模型実験を行ない、一そう曳底曳網を解明するのに必要な諸元を求めることとした。

標型として使用した曳網は直径 30 mm、長さ 2,200 m のマ=ラロープを、また底曳網は 1965 年型の D 網をいずれも 1/70 に縮尺したもので、作製にあたっては川上⁸³⁾の曳網に適應させる理論式、

底曳網は田内法則に従った。なお、実物網と模型網との寸法、材料および曳網と底曳網の各縮尺比は Table 9 に示した。

実験場は 50 m プールを使用し、Fig. 18 に示すように予め二等辺三角形形状に曳網を展開し、その曳網の両端を模型船の船尾に仮止めし、肩寄せ、所謂曳網の過程ではその模型船を引き寄せ、ま

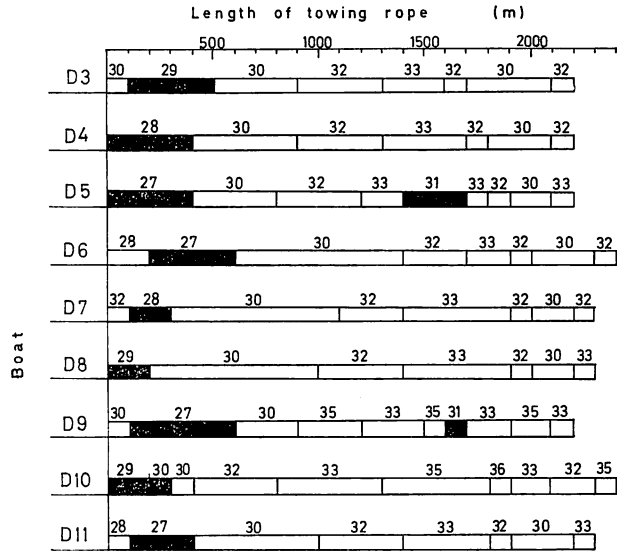


Fig. 17. Construction of the towing rope of the Danish seiner (D3~D11). Numbers show the diameter of the towing rope (mm), blacked parts showing the combination rope.

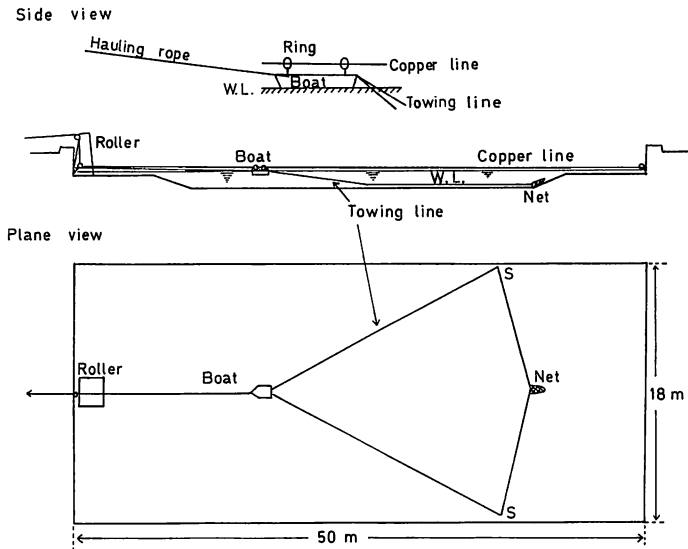


Fig. 18. Experimental equipment of the model rope of the Danish seine.

Table 9. Details of the scale of Danish seine, and towing rope, reducing scale ratio 1/70.

Part	Net						Rope			
	Full scale			Model scale			Part	Full scale		Model scale
	Material	Diameter of thread (mm)	Size of mesh (mm)	Material	Diameter of thread (mm)	Size of mesh (mm)		Material	Diameter (mm)	Diameter (mm)
Wing (Fore)	Nylon	1.73	120	Nylon	0.23	16.0	Head rope	20		0.94
Side panel (Fore)	Nylon	1.20	75	Nylon	0.16	10.1	Ground rope	34		1.60
Side panel (After)	Nylon	1.73	66	Nylon	0.23	8.9	Ground rope	12	Teviron	0.56
Cod end	Nylon	2.33	66	Nylon	0.31	8.9	Man rope	18		0.85
Upper triangle net	Polyethylene	1.20	75	Nylon	0.16	10.1	Man rope	16		0.75
Lower triangle net	Nylon	1.20	75	Nylon	0.16	10.1				
Belly (Fore)	Nylon	1.20	75	Nylon	0.16	10.1				
Belly (After)	Nylon	1.20	75	Nylon	0.16	10.1				
Baiting (All)	Nylon	1.73	66	Nylon	0.23	8.9				
Ratio of elements on model scale net and full scale net	$\frac{\lambda'}{\lambda''} = \frac{1}{70}$ $\frac{L'}{L''} = \frac{D'}{D''} = 0.135$ $\frac{V'}{V''} = 0.367$ $\frac{D'}{D''} = 0.047$ $\frac{F'}{F''} = 2.71$ $\frac{R'}{R''} = 2.71$						$\frac{\lambda'}{\lambda''} = \frac{1}{70}$ $\frac{D'}{D''} = 0.143$ ' : Model scale '' : Full scale λ : Length D : Diameter of towing rope		Ratio of elements on model scale towing rope and full scale towing rope	

た曳網巻き揚げ，所謂揚網の過程では模型船を停止して両曳網を一緒に引き寄せ，刻々変化する曳網の展開形状，網の移動距離等の測定を行なった。

模型船は図示するように，船首と船尾にとりつけた小環を通して，プールの両端水面上に緊張した細い銅線に導かれて，前後に直線的に移動可能のようにした。なお，実験を開始するに当っては予め模型曳網をプールの床面に屈曲点間隔を定めて展開した後，模型船で曳網距離および曳網速度を定め曳網するわけであるが，これらの長さは全てレーダーで実際に測得した Table 8 のそれぞれの結果を平均した値をそのまま用いることとした。即ち屈曲点間隔は Table 8 の BD の平均値 1,245 m を縮尺して 17.8 m とし，船の曳網距離は同じく Table 8 の AE の平均 1,080 m を縮尺して 15.4 m とした。曳網速度は実際には Fig. 15 で示すように，時間の経過に従って刻々変化する，また船によってその変化の状態が異なるので定め難いが，より正確な実験結果を得る目的から速度の減速率が比較的一定である Fig. 15 の Jun. 11 および Jun. 23 の D7 船の場合を採用した。また曳網を巻き揚げる場合の船の進出距離は，実際の場合が僅かに前進または後退している程度で，平均値も ± 0.1 湮とほとんど船位は変わらないとみてよいので 0 とした。測定は目測と写真撮影によって行ない，その結果は Table 10, Fig. 19 に示した。

Table 10 によると，一そう曳底曳網の解明に必要な諸元は，時間の経過に従って変化するが，20分間の曳網が終了して 36分間の揚網に移行する段階で特にその変化は著しい傾向が認められた。Fig. 20 はこのような各諸元の経過時間に伴う変化の状態を図示したもので，同図から個々の諸元のみならず，各諸元間の関連性についても考察を加えることが出来よう。

この模型実験では，経過時間を曳網で 20 分，揚網即ち曳網の巻き揚げ時間を 36 分間とり計 56 分間とした。この経過時間に伴う各諸元の変化をみると，まず曳網時における船の進出距離は，曳網速度が前半に速く，後半で遅くなるため，前半に距離の伸びが大きく，後半で小さくなっており，

Table 10. Experimental results of the model towing-net, reducing scale ratio 1/70.

Item Operation of net	Mark in Fig.19	Lapsed time (minute)	Proceed- ing distance of trawler (m)	Towing speed (mile/h)	Proceed- ing distance of net (m)	Average speed of net (mile/h)	Interval of both S point showing Fig. 19 (m)	Interval of both wings edge (m)	Area ($\times 10^4 m^2$)
Net-towing	$X_A \sim X_C$	5.0	390	2.4	125	0.70	1245~980	63	100~98
	$X_C \sim X_D$	5.0	260	1.7	130	0.84	660	63	98~82
	$X_D \sim X_E$	5.0	230	1.5	160	1.04	505	63	82~56
	$X_E \sim X_F$	5.0	200	1.3	200	1.24	365	61	56~38
Rope- hauling	$X_F \sim X_G$	3.7	0	0	190	1.66	280	58	38~26
	$X_G \sim X_H$	3.7	0	0	195	1.71	195	53	26~12
	$X_H \sim X_I$	3.7	0	0	200	1.75	125	46	12~ 8
	$X_I \sim X_J$	3.7	0	0	210	1.84	100	39	8~ 6
	$X_J \sim X_K$	3.6	0	0	210	1.84	55	26	6~ 2
	$X_K \sim X_L$	3.6	0	0	210	1.84	30	18	2~ 1
	$X_L \sim X_M$	6.0	0	0	360	1.94	15	7	1~ 0.5
	$X_M \sim X_N$	8.0	0	0	490	2.00	—	—	—
Total	$X_N \sim X_A$	56.0	1080	—	2680	—	—	—	—

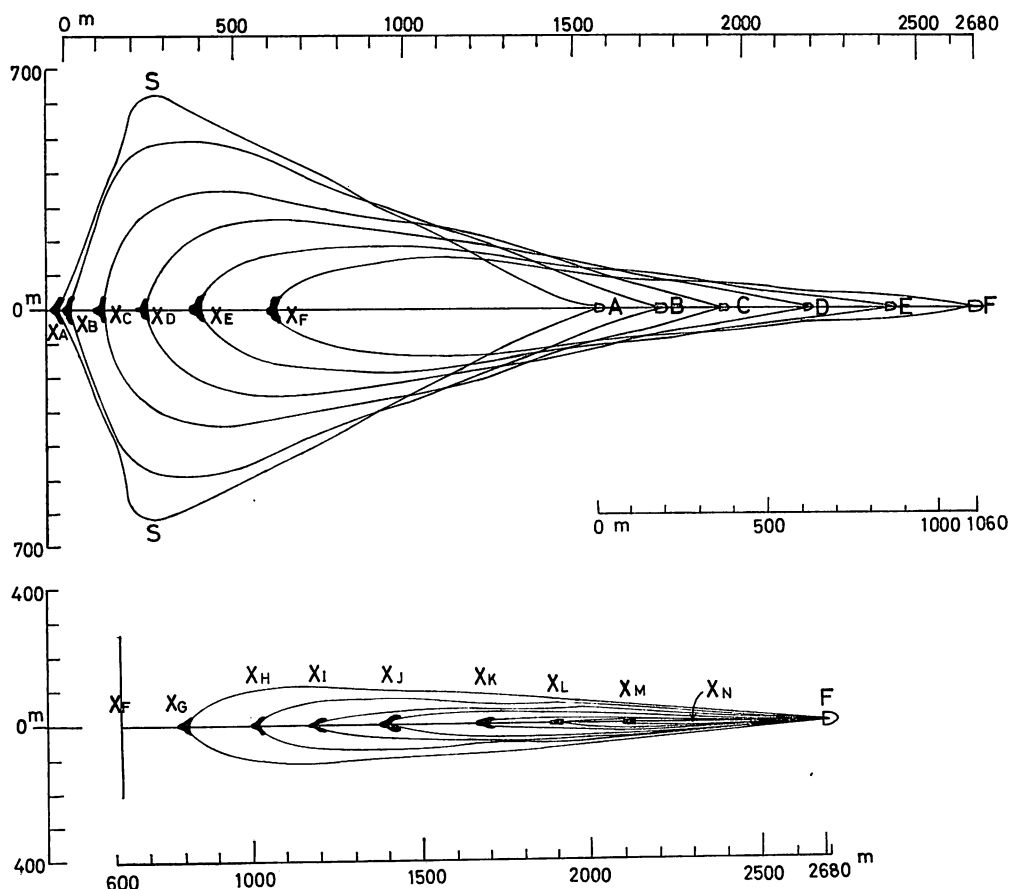


Fig. 19. Experimental result of the model towing rope, showing the net-figure transformation under towing-operation.
 $X_A \sim X_N$: Net A ~ F: Boat

曳網時における船の全進出距離は 1,080 m である。揚網時は船位が変わらないので進出距離は 0 である。曳網速度は前半 2.4 ノット、後半 1.3 ノットで時間の経過に従って漸次遅くなっている。網の進出距離 $X_A \sim X_F$ は曳網時に 615 m、揚網時に 2,065 m、計 2,680 m となる。網は曳網開始と同時に前進を始めるが、曳網の初期では距離の伸びは少ない。しかし時間の経過と共に次第に多くなり、曳網終了時における網の進出距離は船の進出距離の約 60% となる。揚網の段階にはいると、網の進出距離 $X_G \sim X_N$ の伸びは更に多くなり進出距離と時間の関係は略直線的な比例関係を示す。このように網の進出距離が曳網時と揚網時で異なるのは、後述する屈曲点間隔の広狭の差に起因するものと考えられる。網速度は網の進出距離から求めたもので、曳網の初期では時速 0.5 ノットより小さいが、時間の経過と共に次第に増速し、曳網終了時には時速 1.24 ノットに達する。揚網の段階にはいると、その速度は更に速くなり、徐々に曳網巻き揚げ速度に近い速さとなる。袖先間隔は曳網中はほとんど 63 m で変わらず、両袖先部は一杯開いた形であり、曳網終了時 X_F にわずかに狭まり 61 m となる。しかし揚網に移ると、袖先間隔は急速に狭まり、特に経過時間 35 分後から 45 分後にかけての狭りは大きくなる。袖網の手木より 650 m の部分にとった両曳網の屈曲点の間

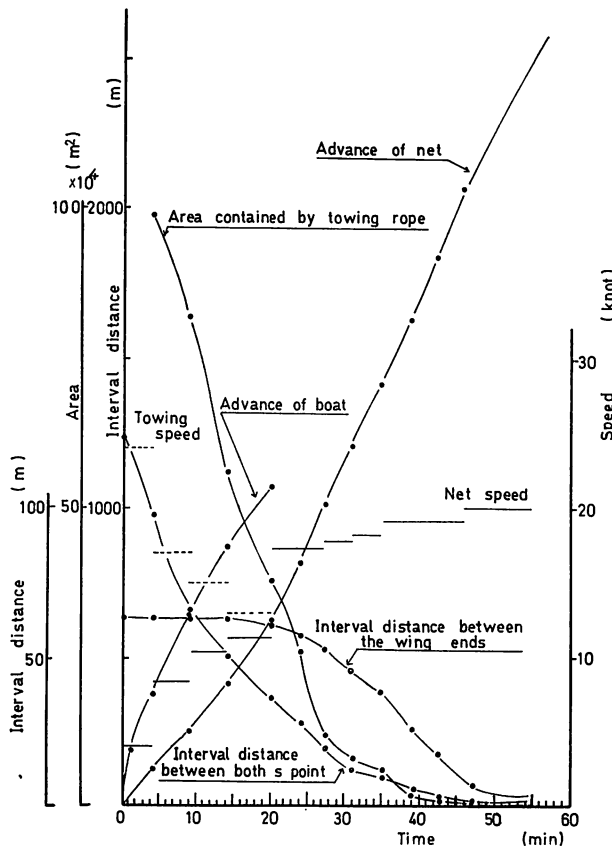


Fig. 20. Change of the various elements in accordance with the elapsed time on the operation of the Danish seine.

隔, 即ちS点間隔は曳網開始から10分後 $X_A \sim X_C$ にかけて急速に狭まり, 1,245 m から 660 m まで縮少する. その後は縮少率は若干小さくなり略一定の縮少率をもって30分頃まで続き, 30分以後のそれは大きくなって, 40分後には約30 mの間隔となる.

曳網掃立面積は曳網開始時では曳網によって囲まれた面積 ($98 \sim 100 \times 10^4 \text{ m}^2$) に相当する. この実験では曳網終了時の経過時間20分まで略一定の縮少率で面積は減少する. 揚網に移ってから約10分後には $12 \times 10^4 \text{ m}^2$ となり, それ以後はS点間隔の狭まりと同様に掃立面積は急速に減少し, 40分後では $2 \times 10^4 \text{ m}^2$ となる.

5. 1. 4 考 察

各底曳網の漁法は既述したように, 底曳網によってそれぞれ異なり, トロール網では O. B を曳網の中間に装着して O. B を展開させることにより, 二そう曳底曳網では2隻の曳船の間隔を適当に保つことにより, 一そう曳底曳網では予め三角形または四角形状に曳網を海底に伸長して展開させることにより袖先間隔を拡げて曳網している. このうち前二者の網については曳網速度が一定であるため曳網中における袖先間隔は一定に保たれるが, 後者の網は両曳網の屈曲点間隔が狭められるので, 袖先間隔は一定ではなく, 時間の経過と共に次第に狭められてゆく. 元来各底曳網はそれぞれ独特の駆集効果と入網効果を期待した漁法機構を有しているため, その漁法機構を形成

する諸要素、即ち曳網の材料、長さおよび曳網速度はそれぞれ異なっており、その結果上述のように袖先間隔や曳網掃立面積も網によってかなりの差が生じてくる。ここで各底曳網船の作業中の軌跡をレーダーで測定し、また模型実験を実施した結果からそれぞれの底曳網の漁法機構を比較検討してみる。

(I) 曳網長さ・材料

トロール網は高さ 3.2 m、巾 1.8 m、水中重量 963 kg もある巨大な O.B を使用して曳網されるが、曳網の長さは他の網に比して最も短く、径 26 mm のワイヤーロープを水深の 3.0~3.5 倍、手網に径 44 mm の Comb. R を 80~100 m 用いている。

二そう曳底曳網は曳船間隔を 300~400 mm に保った 2 隻の漁船からかなり長い曳網を伸長して曳網されるが、その曳網は 18 mm 径ワイヤーロープを水深の 5~6 倍、径 44 mm の Comb. R を水深の 3.5~4.0 倍用いている。従って曳網の総長は水深の 8.5~10 倍となる。

一そう曳底曳網の曳網はその長さが他の網に比して最も長く、水深 100 m 以浅で 10 丸 (2,000 m)、100 m 以深で 13 丸 (2,600 m) にも及ぶ。材料は最近では船型の大型化と省力化の影響を受けて Comb. R を用いる場合があるが、従来型では 28~33 mm 径のマラロープかクレモノロープを使用している。曳網の構成は一樣でなく、Fig. 17 にその 1 例を示したように、網に接続する部分および曳網を展開した時の屈曲点にあたる部分は径の大きいものを配置せしめている。

(II) 曳網速度

トロール網が最も高速で曳網されており、スタントローラーで 3.4 ノット、サイドローラーで 2.7~3.0 ノット前後である。二そう曳底曳網は船型の割に網規模が大であるので、トロール網より曳網速度は遅く大体 2.5 ノット前後であるが、魚種によっては 2.0 ノット以下に減速して曳網する場合がある。一そう曳底曳網の曳網速度は他の網の場合が定常的であるのに対して、連続的に変化するので、レーダー測定によれば、曳網の 20 分間に平均 2.4 ノットから 1.3 ノット迄変化している。網の速度は曳網中は 0.7 ノットから 1.24 ノットまで、揚網中は 1.66 ノットから 2.0 ノットまで次第に増速してゆく。但しこの網速度は揚網中の船位が移動しない状態の場合であり、揚網中船に行脚のある場合はその速さだけ増速されることとなる。

(III) 袖先間隔

トロール網では 26.0~34.5 m の範囲で平均 30 m、二そう曳底曳網では 45 m で、いずれも曳網中の間隔は一定とみてよい。しかし一そう曳底曳網では曳網中は 63 m から 61 m に、揚網中は 58 m より 7 m まで連続的に変化しており、特に揚網中の変化は著しい。

(IV) 曳網掃立面積

曳網掃立面積はトロール網や二そう曳底曳網では曳網の接地点間隔と曳網距離との積、一そう曳底曳網では展開した曳網によって囲まれる面積で表わされる。

まずトロール網では曳網の接地点は O. B であるので接地点間隔は O. B 間隔で表わされ、その長さは 5.1.1 で示した通り 140~105 m、平均 123 m である。従って該面積はサイド型トロール網で $61 \times 10^4 \text{m}^2$ 、スタント型トロール網で $77 \times 10^4 \text{m}^2$ となり、他の網に比して面積が最も小である。二そう曳底曳網では曳網の接地点は曳船間隔 400 m、ワイヤーロープ長 600 m、Comb. R 長 500 m で船尾より 526 m のワイヤーロープ上にあり、接地点間隔は 256 m となる。従って該面積は $119 \times 10^4 \text{m}^2$ で他の網より大となっている。一そう曳底曳網では曳網の展開形状を測定した結果、標本網の 2 網を含めて $(102 \sim 110) \times 10^4 \text{m}^2$ となり、二そう曳底曳網より若干面積が小となっている。

曳網中における底曳網の形状および曳網の運動に関する解析は従来から種々の方法で行なわれており、三浦 (1949)⁵⁵⁾ は手操網の曳網と袖先間隔の狭まりを解析し、斉藤 (1959)⁶⁰⁾ は一そう曳底曳網の動きを音響測深儀により、葉室 (1959)⁷⁹⁾ は自記記録計によって曳網および底曳網の沈降速度をそれぞれ測定し、川上・鈴木 (1959)⁸⁴⁾、鈴木 (1963)⁵⁸⁾、(1964)^{59), 60)} は模型実験等によって曳網の運動を解析した。また篠田・佐野・加藤・神田 (1970)⁸⁵⁾ はレーダーによって一そう曳底曳網の網速度および掃立面積を測定した。これらの研究のうち、葉室は本論の場合と同様に、トロール網、二そう曳底曳網、一そう曳底曳網の3種の底曳網の測定を行ない、その解析結果は高く評価されているが、その測定値を本論のそれと比較した場合、必ずしも一致せず網によってはかなりの差が認められる。一そう曳底曳網について両者の網速度と袖先間隔を比較すると、まず網速度では本論の場合がいずれの場合も高速であり、また袖先間隔では曳網中はほとんど変わらないが、揚網にはいと急激に狭まる傾向があるのに対し、葉室の場合は曳網開始から揚網にかけて漸次狭まる結果を得ている。このように解析結果に差の生じたのは、両者の取扱った資料網の構造、規模、材料が異なっていることに加え、本論の場合がレーダー測定と模型実験の結果より求めた値であるのに対し、葉室の場合は網速度を流速計より、袖先間隔を作図より求めたものであり、両者の資料網と測定方法の相違がその主な理由であると考えられる。

5. 2 底曳網の模型実験による物理的性状と曳網濾過容積

底曳網の物理的性状を知るためには水中における漁具の性能を計器によって測定、観察する方法と、模型網を作製して水槽実験を行なう方法がある。前者は実験場の環境条件が良好である場合は精度の高い値が得られるが、そうでない場合は誤差を生じたり、あるいは漁具の限られた一部の性状しか把握出来ない等の欠点がある。後者は模型網の実験結果を拡大することによって実物網の全ての性状を測得することが可能であるが、実験に用いる模型網は実物網を幾何学的にも力学的にも同時に縮小した相似のものとしなければならない。しかし両網が完全に流体力学的に相似であるためには Reynold's number を一致させる必要があるが、これは現実的には不可能であるので、田内 (1934)²⁰⁾ は Floud's number を一致させる限界内で漁具の比較法則を導き、模型網の作製や比較実験を簡便に実施出来るものとし、現在でもこれに代る比較法則は見当たらないようである。

本章ではこれまで述べてきた3種の底曳網を上述の田内の比較法則に従って1/35の模型網に縮小

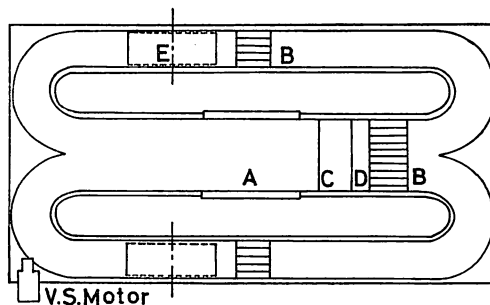


Fig. 21. Plane-view of the laboratory tank of circulating water system.

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| A : Observational window | B : Rectifying plate |
| C : Wave-control plate | D : Vertical iron net |
| E : Water wheel | |

し、水槽実験を行なってそれぞれの物理的性状を明らかにすると共に、実験結果から底曳網の漁獲性能の指数計算に必要な濾過容積を求めることとした。

模型実験は全て鹿児島大学水産学部の大型回流水槽(1959)⁸⁶⁾において実施した。この水槽はFig. 21に示すように中央の実験水路の両側に環流水路があり、水車駆動によって生じた水流は固定整流板、彎曲部整流板、制波板を経て実験水路に導かれる。水槽全体の寸法は14.0×7.1 m、実験水路は2.0×2.0×1.0 mで、両側に観測窓を設け、水路の両側より測定または観察することが出来るようになっている。網高きの測定は測定部位にスケールを当てて観測窓より直接測定し、網抵抗は曳糸を水路の上方に導き、台秤およびストレンメーターに連結して測定した。また実験水路には立込板を固定して板上に実験網を置き、実験網の網成りおよび網口形状等の測定に便ならしめるようにした。

5. 2. 1 トロール網 (T網)

(I) 実験網

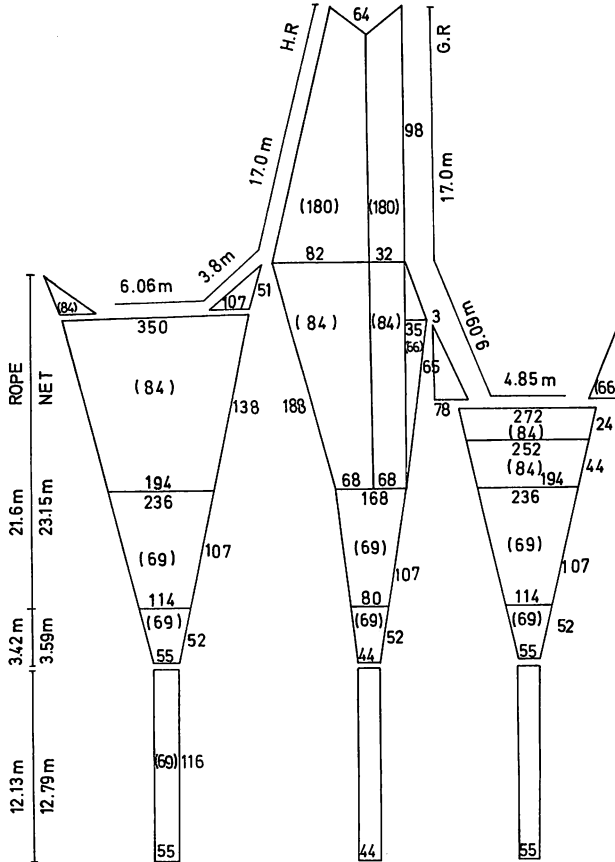


Fig. 22. Developed figure of the actual net used by the side trawler (Table 2, T1, T2).

Numbers in the figure show the mesh number, bracketed numbers showing the mesh size (mm).

H. R.: Head rope G. R.: Ground rope

実験に用いたトロール網は 1967 年、ベーリング海東部大陸棚漁場において操業した底曳網船団の附属漁船サイドトローラー 2 隻とスタントローラー 3 隻 (Table 3 参照) の使用網で、Fig. 22, Fig. 23 に両網の網地配置図を示す。両網の網規模、網地配置を比較すると、浮子網 47.66 m, 沈子網 57.03 m といずれも同長であるが、身網の仕立上りの長さは若干差があり、スタントロール網 (Fig. 23) が 38.18 m でサイドトロール網 (Fig. 22) より 1.03 m 長くなっている。また網の全長はサイドトロール網 54.15 m, スタントロール網 55.18 m とほとんど同長である。網糸はいずれもハイゼックストワインを用い、目合長は袖網 (Wing) と魚捕部 (Cod end) はそれぞれ同長であるが、身網でサイドトロール網の方が短い目合の網地を採用している。各網地の網糸の太さは、両網とも、袖網、背網 (Baiting) と脇網 (Side panel), 腹網 (Belly), 魚捕部の順に太い網糸を配しているが、スタントロール網は袖網、背網、腹網の各部で太い網糸を使用している。両網を従来の同型の漁船が使用したマニラトワイン網と比較すると、上袖網長が 4 m 短くなっているのに

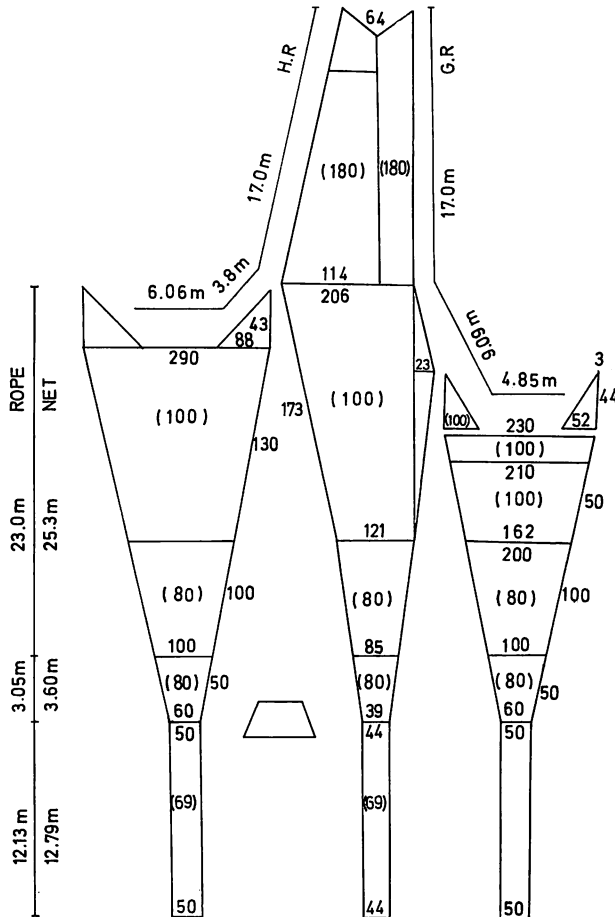


Fig. 23. Developed figure of the actual net used by the stern trawler (Table 2, T3, T4, T5). Numbers in the figure show the mesh number, bracketed numbers showing the mesh size (m). H. R: Head rope G. R: Ground rope

対し、前天長が約 1.3 倍、身網長が約 1.2 倍、魚捕部が約 1.4 倍と長くなり、概して袖網部で小さく、囊網部で大きい規模のものとなってきている。

(II) 模 型 網

a) サイドトロール網

模型網を作製し、実験するについて縮尺に関する各比を次のように定めた。なおトロール網の実験は O. B を装着して行なうべきであるが、本論では実験水槽の広さの関係で O. B を装着せず、底曳網について実験することとした。また本項に出てくる各符号の ' は模型網、'' は実物網とする。

(1) 長さ (λ) の縮尺比: $\lambda'/\lambda''=1/35$. (2) トワインの径 (d) および目合長 (l) の比: $l'/l''=d'/d''=0.12$. (3) 流速 v の比: 実物網の網地は全てハイゼックストワインを用いているが、ここでは実物網、模型網とも網地はナイロントワイン ($\rho'=\rho''=1.14$) として計算した。即ち $v'/v''=\sqrt{d'(\rho'-1)/d''(\rho''-1)}=\sqrt{0.12}=0.346$. なお実物網をナイロン網とした理由はハイゼックスト

Table 11. Comparative table about the ropes of the full scale and the model scale nets of the side trawler (T net).

Net Item Rope	Full scale net		Model scale net		
	Material	Diameter (mm)	Material	Diameter (mm)	Weight of added lead to rope (g)
Head rope	Wire	14	Teviron	1.51	0.053
Ground rope	Wire	18	Teviron	1.51	0.094
Man rope	Comb. R.	20	Teviron	1.51	0.044

Table 12. Comparative table about the floats and the sinkers of the full scale and the model scale nets of the side trawler (T net).

Net Item Float, Sinkers		Full scale net				Model scale net		
		Material	Size	Buoyancy or weight (kg)	Number	Material	Buoyancy or weight (g)	Number
Float	Wing part	Light alloy	Dia. 240mm	4.8	34	VINICON	1.00	16
	Triangular part		"	4.8	14		0.83	8
	Square part		Dia. 300mm	8.3	9		1.20	6
	Edge of wing		"	8.3	6		1.20	4
Sinkers	Bobbin	Iron		1.35	56	Lead	Total 56.6	—
	"	Wooden	No. 4	0.22	145			
	"	Iron and Wooden	"	1.90	76			
	Iron ball	Iron	Dia. 150mm	4.80	37			
	Iron pipe	"	"	0.135	178			
	Wire crip	"	18mm	0.45	28			
	Chain	"	12mm, 5R.	0.90	135			
Wire rope	"	Dia. 18mm						
Total buoyancy of float		355.8 kg				34.7g		
Total weight of sinker		578.0 kg				56.6g		

ワインの比重が 0.95 であるため ($\rho''-1$) の値が負となり、流速の比が求められなくなるので本論では実物網にナイロン網地を用いたと仮定し、天井網に当る部分の網地の水中重量差を浮子にかえて模型網を作製することとした。なおこの場合、腹網、脇網は流速が加わると比重の 1.0 より小さい値をもつ網地でも沈下着底するのでこの計算より除外した。以下各底曳網の場合も同様の考え方に立って計算する。(4) 網類の径 (d_1) の比: 実物網の網類は Table 11 に示すように主としてワイヤーロープ ($\rho_1''=7.8$) を用いているが、模型網ではテピロントワイン ($\rho_1'=1.40$) を用いることとする。即ち $d_1'/d_1''=\sqrt{\lambda'v'^2(\rho_1''-1)/\lambda''v''^2(\rho_1'-1)}=0.243$ 。模型網の網類は一般に計算値の径が太くなりすぎてその抵抗が無視出来なくなるので、出来るだけ径の細いものを用い、実物網の網との相違は実物網と模型網の網との重量差を沈子に換算し、模型網の網にその沈子を附加する方法をとった。以下各底曳網の場合も同様の考え方に立って作製する。(5) 力 (f) の比: 実物網で使用している浮子は全て軽合金製浮子であり、沈子は各種のポーピン、鉄球、鉄管を用いている。その

Table 13. Comparative table about the ropes or the full scale and the model scale nets of the stern trawler (T net).

Net Item	Full scale net		Model scale net		
	Material	Diameter (mm)	Material	Diameter (mm)	Weight of added lead to rope (g)
Head rope	Wire	14	Teviron	1.51	0.053
Ground rope	Wire	20	Teviron	1.51	0.200
Man rope	Comb. R.	20	Teviron	1.51	0.044

Table 14. Comparative table about the float and the sinkers of the full scale and the model scale nets of the stern trawler (T net).

Net Item	Full scale net				Model scale net			
	Material	Size	Buoyancy or weight (kg)	Number	Material	Buoyancy or weight (g)	Number	
Float	Wing part		Dia. 240mm	4.8	40	VINICON	1.00	19
	Triangular part	Light alloy	"	4.8	14		0.83	8
	Square part		"	4.8	"		1.12	6
	Edge of wing		Dia. 300mm	8.3	6		1.25	4
Sinker	Bobbin	Rubber	350mm	4.1	10	Lead	Total 44.5	—
	"	"	240×50mm	0.9	16			
	"	"	240×70mm	1.15	32			
	"	"	80×40mm	0.06	1198			
	Iron ball	Iron	Dia. 150mm	4.8	21			
	Rubber ball	Rubber	"	3.7	6			
	Wire crip	Iron	20mm	0.5	18			
Chain	"	100mm, 5R.	0.5	88				
Total buoyancy of float		376.2 kg			38.37g			
Total weight of sinker		436.3 kg			44.50g			

構成は Table 12 に示す. 実物網に対して模型網にはビニールおよび鉛板を用いることとし, 浮子の浮揚力と沈子の沈降力の比は $f'/f'' = \lambda'^2 v'^2 / \lambda''^2 v''^2 = (0.346/35)^2 = 0.98 \times 10^{-4}$ とした.

b) スタントロール網

各縮尺比を次のように定めて模型網を作製し, 模型実験を行なった.

(1) 長さの縮尺比: $\lambda'/\lambda'' = \frac{1}{35}$. (2) トワインの径および目合長の比: $l'/l'' = d'/d'' = 0.125$. (3) 流速の比: 実物網の網地は全てハイゼックストワインを用いているが, サイドトロール網と同様にナイロン網とした. 即ち $v'/v'' = 0.354$. (4) 網類の径の比: 実物網の網類は Table 13 に示すように主としてワイヤロープを用いているが, 模型網ではテピロントワインを用いることとする. 即ち $d_1'/d_1'' = 0.247$. (5) 力の比: 実物網と模型網の浮子は Table 14 に示すようで, 浮子の浮揚力と沈子の沈力の比は $f'/f'' = 1.02 \times 10^{-4}$ となる.

(III) 実験結果

a) サイドトロール網

(1) 網口中央高さ

網口中央高さとして曳網速度との関係は Fig 24 に示すように速度の速いほど, また袖先間隔の広いほど高さが低くなる傾向が認められる. 即ち静水中における網口中央高さは袖先間隔 11~40m の範囲で 10~15 m の値を示すが, その高さは増速に伴って漸次低下し, 速度 4.0 ノットで 2.9~4.1 m の値となる. また袖先間隔が狭いほど網口中央高さは高く, 間隔の最も広い場合と最も狭い場合の高さの差は 1.0 ノットで 4.5 m, 2.0 ノットで 2.8 m, 3.0 ノットで 1.9 m, 4.0 ノットで 1.1 m で速度の速いほどその差は小さい値となる.

次に, 速度を 0.5 ノット毎に区切った場合のそれぞれの階級内における網口中央高さの減少値を

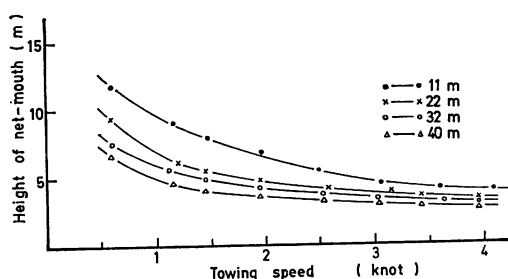


Fig. 24. Relationship between the height of the net-mouth and the towing speed of T net used by the side trawler (T1, T2).

11m, 22m, 32m, 40m: Interval between the wing ends

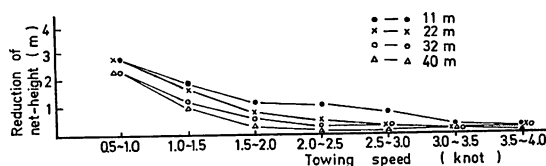


Fig. 25. Relationship between the reduction of the net-height and the towing speed of T net used by the side trawler (T1, T2).

11m, 22m, 32m, 40m: Interval between the wing ends

示した Fig. 25 より高さの低下の状態と速度、袖先間隔との関係を見ると、いずれの袖先間隔の場合でも高さの減少値は速度の速い程小さい値を示している。即ち0.5~1.0ノットではその減少値は2.3~2.8 mであるが、1.5~2.0ノットでは0.3~1.2 m, 2.5~3.0ノットで0.2~0.8 m, 3.5~4.0ノットで0.1~0.2 mと極めて小さい値となり、いずれの袖先間隔の場合でも網口中央高さは略一定値に近づく傾向が認められる。また一般に、袖先間隔の広い程減少値は小さい値を示している。実際の曳網状態における網口中央高さは、袖先間隔が30.2 m, 曳網速度が2.7ノットであるから、Fig. 24 から求めると3.8 m という値となる。

(2) 網にかかる流水抵抗

網の全抵抗と曳網速度との関係を両対数グラフで表わすと、Fig. 26 に示すように1.1ノットを境とする2つの直線で表わすことが出来る。抵抗値は一般に袖先間隔の広い程大となるが、この傾向は袖先間隔の最も広い40 mの場合に顕著である。袖先間隔の広い程抵抗値が大となる理由については種々考えられるが、Fig. 27 に示すように網口断面積が袖先間隔の広い程増加することにもよるものと考えられる。1.1ノット以下の低速時の場合は網の糸の剛さにより網口の投影面積が真の値よりも大きくなっているため抵抗値の変化が少なくあらわれてきたものと考えられる。抵抗値(R)と流速(V)との関係はFig. 26 に示す回帰直線から $R=KV^n$ の実験式で導びかれるが、 K は網糸の太さ、目合長、流体密度および網口の射影面積によって定まる比例常数、 n は2に近い値

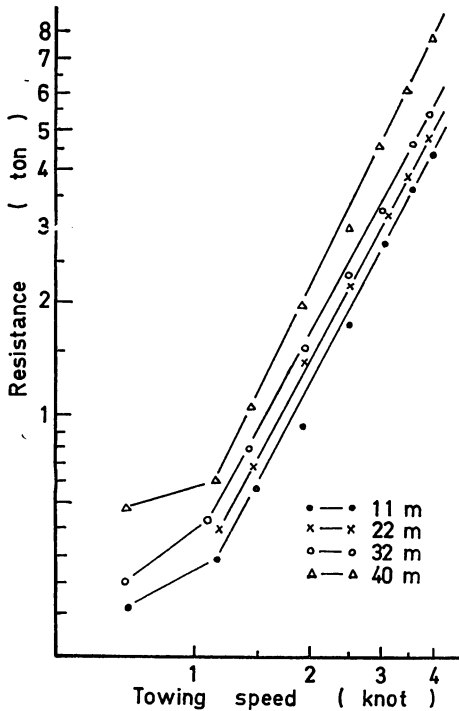


Fig. 26. Relationship between the resistance and the towing speed of T net used by the side trawler (T1, T2).
11m, 22m, 32m, 40m: Interval between the wing ends

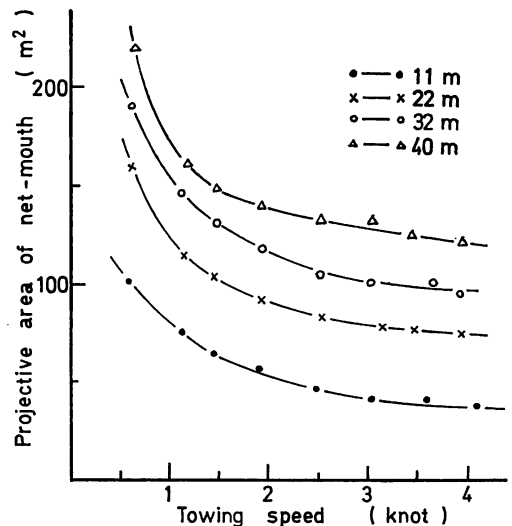


Fig. 27. Relationship between the projective area of the net-mouth and the towing speed of T net used by the side trawler (T1, T2).
11m, 22m, 32m, 40m: Interval between the wing ends

Table 15. Values of k and n in the equation about the resistance of the T net to the running water.

Item \ Interval*	11m	22m	32m	40m
k	242	373	392	506
n	1.90	1.85	1.89	1.99

Interval*: Interval between the wing ends

で曳く速さによる網の変形の大きさによって変り、また網の仕立によって異なる値である。1.1ノット以上における各袖先間隔の場合の各実験式より K, n の値を求めると Table 15 に示すように、特に n の値は 1.85~1.99 の範囲となり、いずれも 2 に近い値をとっている。実際の曳網状態における網にかかる流水抵抗は袖先間隔 30.2 m, 曳網速度が 2.7 ノットであるから、Fig. 26 から求めると 2.7 トンという値となり、また抵抗と速度との関係を表わす実験式の n の値は 1.89 に近い値となる。

(3) 網口形状

網口形状は速度の増加と共に変化するが、静水中では天井網 (Square part) から上部三角網 (天井網の両側に縫合される三角網を言う) にかけて特に浮上している。速度が加えられると三角網地と隣接する網地の部分が網の進行方向に対して直角方向に脹らむため天井網は低下現象を示し、浮子網は前面から見て円弧状に緊張する。この浮子網の形状は速度が 2.0 ノット以上に達すると円弧状から略直線状となり、三角網地の部分もこれと平行に近い形にまで変ってゆき、高速になる程網口中央高さ と袖先部の高さの差は少なくなる。網の前面からみた網口断面の速度に伴う変化の状態は、Fig. 27 に示す通りで、同図の曲線の状態からみて、一般に、2.0~2.5 ノットから面積は減少し、3.0 ノット以上になると略一定値に近づく傾向がある。また袖先間隔の広い程その面積は大であり、且つその広狭による面積の差もかなり大である。通常曳網状態における袖先間隔 30.2 m,

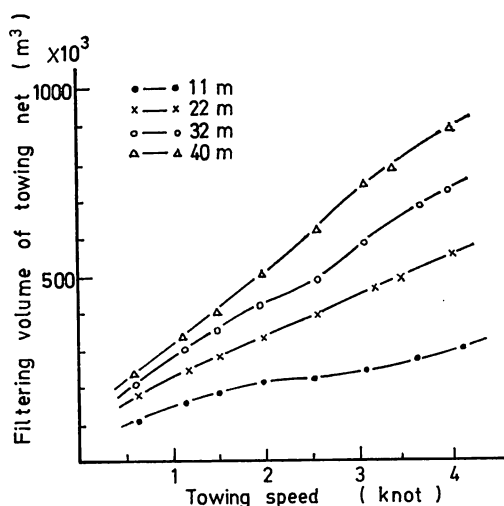


Fig. 28. Relationship between the filtering volume of the towing net and the towing speed of T net used by the side trawler (T1, T2). 11m, 22m, 32m, 40m: Interval between the wing ends

曳網速度 2.7 ノットでは網口断面積は Fig. 27 より 103 m^2 となることが知られる。

(4) 曳網濾過容積

曳網濾過容積 (Filtering volume of the towing net) は曳網によって底曳網が濾過する容積のことをいい、本論では網口断面積と曳行距離との積で表わすこととする。

Fig. 28 は曳網濾過容積と曳網速度との関係を示したもので、いずれの袖先間隔の場合も曳網速度が速い程、容積は増加しており、その増加率は袖先間隔の広い程高率となっている。通常曳網状態における1時間当りの該容積は袖先間隔が 30.2 m、曳網速度が 2.7 ノットであるので Fig. 28 より求めると $515 \times 10^3 \text{ m}^3$ という値となる。

b) スタントロール網

(1) 網口中央高さ

網口中央高さとは曳網速度との関係はサイドトロール網と同様、Fig. 29 に示すように速度の速い程、また袖先間隔の広い程、高さが低くなる傾向が認められる。即ち静水中における網口中央高さは袖先間隔 11~40 m の範囲で 12 m 以上の値を示すが、その高さは増速に伴って漸次低下し、速度 4.0 ノットで 3.2~5.2 m となり、サイドトロール網より 0.3~1.1 m 高くなっている。また袖先間隔が狭い程その高さは高く、間隔の最も広い場合と最も狭い場合の両者の高さの差は 1.0 ノットで 5.5 m、2.0 ノットで 2.0 m、3.0 ノットで 1.4 m、4.0 ノットで 1.3 m となり、速度が速くなる程その差は小さい値となる。次に速度を 0.5 ノット毎に区切った場合のそれぞれの階級内における網口中央高さの減少値は Fig. 30 に示すように、いずれの袖先間隔の場合でも速度の速い程その値は小さい。また袖先間隔の広いもの程減少値は小さい。一般にいずれの袖先間隔の場合でも網口の高

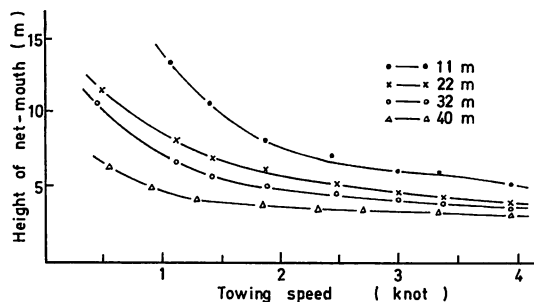


Fig. 29. Relationship between the height of the net-mouth and the towing speed of T net used by the stern trawler (T3~T5).
11m, 22m, 32m, 40m: Interval between the wing ends

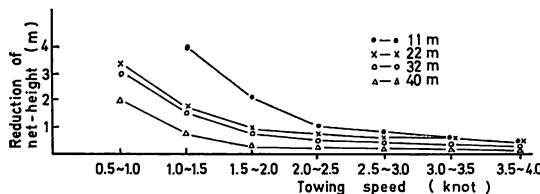


Fig. 30. Relationship between the reduction of the net height and the towing speed of T net used by the stern trawler (T3~T5).
11m, 22m, 32 m, 40m: Interval between the wing ends

さは1.5~2.0ノットまでは割合に高く、且つ速度の増加に伴う低下も大きい。特に袖先間隔の最も狭い11mの場合、他の袖先間隔の場合に比較して著しく網口の低下する現象が認められる。実際の曳網状態における網口中央高さは袖先間隔がサイドトロール網と同様30.2m、曳網速度が3.4ノットであるから Fig. 29 より求めると3.9m という値となる。

(2) 網にかかる流水抵抗

網の全抵抗と曳網速度との関係は Fig. 31 で示すように両対数グラフで表わすと1.1ノットを境とする2つの直線で表わすことが出来る。抵抗値は一般に袖先間隔の広い程大となる傾向があるが、袖先間隔の最も広い40mの場合を除く他の場合はそれぞれの間にさほど大きな差は認められない。サイドトロール網の場合と同様に Fig. 31 より1.1ノット以上の場合における実験式 $R = KV^n$ の K および n の値を求めると Table 16 に示すようで、 n の値は袖先間隔40mを除いていずれも2に近い値となる。実際の曳網状態における網抵抗は袖先間隔が30.2m、曳網速度が

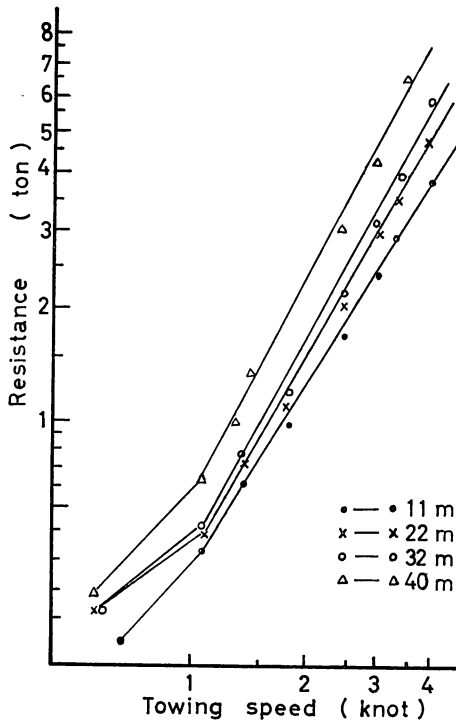


Fig. 31. Relationship between the resistance and the towing speed of T net used by the stern trawler (T3~T5). 11m, 22m, 32m, 40m: Interval between the wing ends

Table 16. Values of k and n in the equation about the resistance of the T net to the running water.

Item \ Interval*	11m	22m	32m	40m
k	292	347	345	686
n	1.88	1.90	1.98	1.66

Interval*: Interval between the wing ends

3.4ノットであるから Fig. 31 から求めると 4.2トンとなり、同じ曳網状態のサイドトロール網に比較して1.5トン多い。また抵抗と速度との関係を表わす実験式の n の値は 1.98 に近い値となる。

(3) 網口形状

速度の増速に伴う網口形状の変化の状態はサイドトロール網とほとんど変わらないが、観察の結果によると上部三角網の横方向への拡網状態がサイドトロール網より優れているようである。網の前面からみた網口断面積の変化は Fig. 32 に示す通りでサイドトロール網と同様、いずれの袖先間隔の場合でも面積は増速に伴って減少し、2.0ノット以上に増速した場合の面積の減少量は袖先間隔の最も広い 40 m の場合が最も小さい値をとる。通常曳網状態における網口断面積は袖先間隔が 30.2 m、曳網速度が 3.4 ノットであるから、Fig. 32 で求めると 106 m^2 となる。

(4) 曳網濾過容積

曳網濾過容積と曳網速度との関係は Fig. 33 に示すように、いずれの袖先間隔の場合でも曳網速度の速い程容積は増加し、また低速の場合を除き袖先間隔の広い程容積は大である。増速に伴う容積の増加率は袖先間隔の広い程大であるが、袖先間隔の狭い 11 m、22 m の場合の 3.0 ノット以上ではさほど大きな増加量は示していない。通常曳網状態における単位時間当たり曳網濾過容積は袖先間隔 30.2 m、曳網速度 3.4 ノットから Fig. 33 より求めると $667 \times 10^3 \text{ m}^3$ となる。

5. 2. 2 ニそう曳底曳網 (B 網)

(I) 実物網

実験に用いたニそう曳底曳網は 1963 年から 1965 年までの期間中、ペーリング海大陸棚漁場において、底曳網船団の附属漁船用として使用された網で、その網地配置は Fig. 34 に示す通りであ

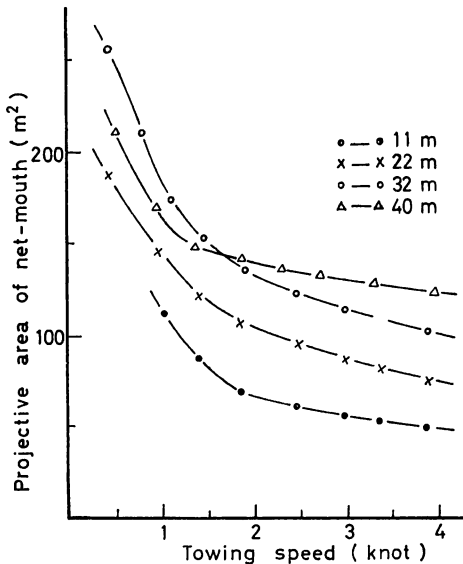


Fig. 32. Relationship between the projective area of the net-mouth and the towing speed of T net used by the stern trawler (T3~T5).
11m, 22 m, 32 m, 40 m: Interval between the wing ends

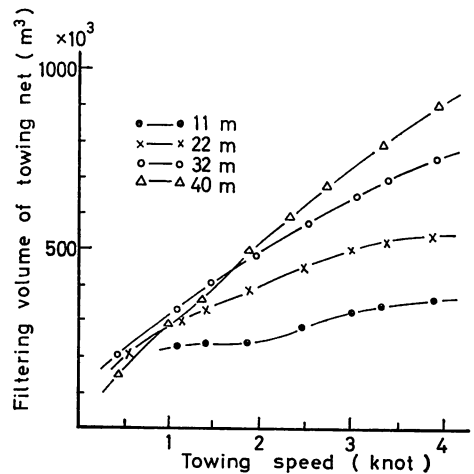


Fig. 33. Relationship between the filtering volume of the towing net and the towing speed of T net used by the stern trawler (T3~T5).
11m, 22 m, 32 m, 40 m: Interval between the wing ends

Table 17. Comparative table about the ropes of the full scale and the model scale nets of B net used by the bull trawler (B1~B3).

Rope	Net Item	Full scale net		Model scale net	
		Material	Diameter (mm)	Material	Diameter (mm)
Head rope		Wire	14	Saran	2.83
Ground rope		Wire	18	Saran	3.64
Man rope		Wire	12	Saran	2.42

Table 18. Comparative table about the floats and the sinkers of the full scale and the model scale nets of B net used by the bull trawler (B1~B3).

Float, Sinker	Net Item	Full scale net				Model scale net	
		Material	Size	Buoyancy or weight (kg)	Number	Material	Buoyancy or weight (g)
Float	Ball	Glass	Dia. 30cm	10.9	5	VINICON	Total 40.91g
		"	Dia. 18cm	2.2	24		
		Hi-Zex	Dia. 24cm	5.7	4		
		"	Dia. 21cm	3.8	54		
Sinker	Bobbin	Wood (iron band)	120 170mm	1.2	270	Lead	Total 44.02g
	"	"	150 170mm	2.8	25		
	Chain	Iron	18.17kg	16.4	8		
	"	"	33.75kg	29.4	1		
	"	"	41.25kg	36.0	2		
Total buoyancy of float		335.3 kg				40.91g	
Total weight of sinker		360.8 kg				44.02g	

($\rho_1' = 1.39$) の細目のものに鉛糸を附加したものをを用いることとする。即ち $d_1'/d_1'' = \sqrt{1/35 \times 0.15 \times (7.83 - 1)/(1.39 - 1)} = 0.274$ 。(6) 力の比: 実物網の浮子は硝子玉とハイゼックス製浮子, 沈子は鉄帯木製ボービンとチェンを用いているが, 模型網では浮子にビニール, 沈子に鉛を使用する。その構成は Table 18 に示す。従って浮子の浮揚力と沈子の沈降力の比は

$$f'/f'' = (0.387/35)^2 = 1.22 \times 10^{-4} \text{ となる。}$$

(III) 実験結果

(1) 網口中央高さ

網口中央高さとは曳網速度との関係は Fig. 35 に示すように速度の速い程, また袖先間隔の広い程, 高さが低くなる傾向が認められる。即ち 0.5 ノットにおける網口中央高さは袖先間隔 11~53 m の範囲で, 略 15.4~7.5 m の値を示すが, その高さは増速に伴って漸次低下し, 速度 3.0 ノットで 5.8~2.3 m の値となる。増速に伴う網口中央高さの減少値は Fig. 36 に示す通り, いずれの袖先間隔の場合でも速度の速い程減少する値は小さい。即ち 0.5~1.0 ノットではその減少は 2.5~2.7 m, 1.5~2.0 ノットでは 0.9~2.2 m, 2.5~3.0 ノットでは 0.3~1.0 m となり, 網口中央高さは高速になるに従って略一定値に近づくことを示している。また袖先間隔の広い程その減少値は小さく, 例えば速度 1.5~2.0 ノット, 袖先間隔 53 m と 11 m の両者を比較すると, 前者は 0.9 m であ

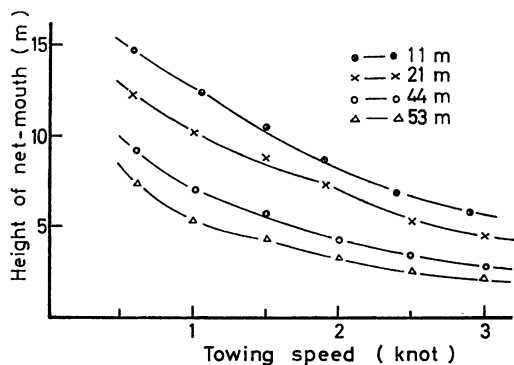


Fig. 35. Relationship between the height of the net-mouth and the towing speed of B net used by the bull trawler (B1~B3).
11m, 21m, 44m, 53m : Interval between the wing ends

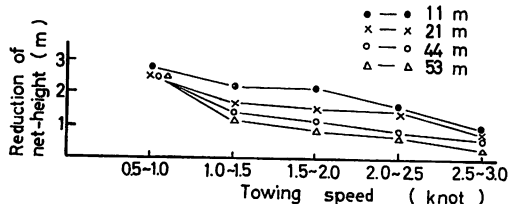


Fig. 36. Relationship between the reduction of the net-height and the towing speed of B net used by the bull trawler (B1~B3).
11m, 21m, 44m, 53m : Interval between the wing ends

るが後者は 2.2 m の減少となり両者の間にかかなりの差のあることを示している。また袖先間隔の最も狭い 11 m では 1.0 ノットから 2.0 ノットに増速してもその減少値は変わらず 2.2 m を示し、他の袖先間隔に比してこの程度の速度が増速されても網口中央高さは大きく変化しない傾向を示している。実際の曳網状態における網口中央高さは袖先間隔が 45 m、曳網速度が平均 2.5 ノットであるから Fig. 35 から求めると 3.5 m となる。

(2) 網にかかる流水抵抗

網の全抵抗 (R) と流速 (V) との関係は Fig. 37 に示す様に直線であらわすことが出来るが、一般に袖先間隔の広い程抵抗値は大となり、袖先間隔の広狭による抵抗差は袖先間隔 10m の場合を除いて顕著に認められない。即ち袖先間隔 53 m の抵抗値が最も大きく、次で 44m, 21 m の順となっているが、これら 3 者の抵抗値の範囲は 1.0 ノットで 0.53~0.66 トン、2.0 ノットで 1.3~1.8 トン、3.0 ノットで 2.8~3.2 トンとなる。また袖先間隔が 53 m と 10 m の場合の抵抗差をみると 1.0 ノットで 0.2 トン、2.0 ノットで 0.8 トン、3.0 ノットで 1.0 トンとなり、速度が速くなる程その差は大きくなる傾向が認められる。次に Fig. 37 によって求められる実験式 $R = KV^n$ より 1.5 ノット以上の各袖先間隔の場合の K, n 値をそれぞれ求めると Table 19 に示すようになり、 n 値はいずれも 1.5 に近い値となる。実際の曳網状態における抵抗値は袖先間隔 45 m、曳網速度 2.5 ノットであるから、Fig. 37 より求めると 2.2 トンという値となり、また抵抗と流速との関係を表わす実験式の n の値は 1.45 となる。

Table 19. Values of k and n in the equation about the resistance of the B net to the running water.

Interval*	11m	21m	44m	53m
k	432	592	587	504
n	1.52	1.33	1.45	1.46

Interval*: Interval between the wing ends

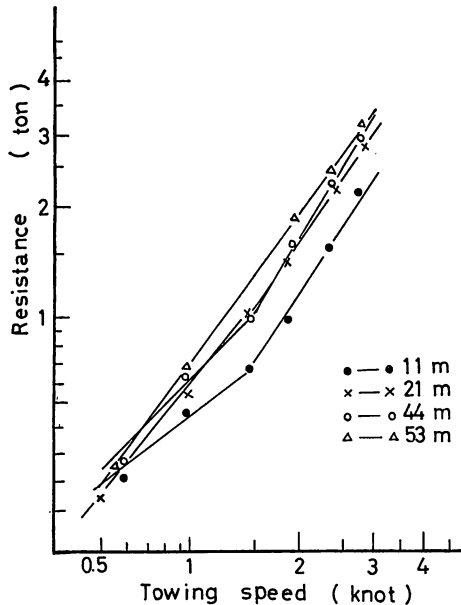


Fig. 37. Relationship between the resistance and the towing speed of B net used by the bull trawler (B1~B3). 11m, 21m, 44m, 53m: Interval between the wing ends

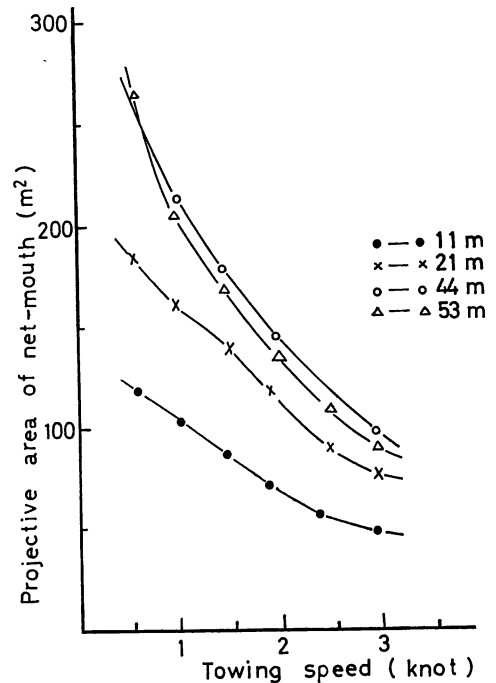


Fig. 38. Relationship between the projective area of the net-mouth and the towing speed of B net used by the bull trawler (B1~B3). 11m, 21m, 44m, 53m: Interval between the wing ends

(3) 網口形状

網口形状は1.0ノット附近までは天井網および三角網部分が特に浮上している傾向がみられるが、1.0ノット以上になると前面から見た浮子網の線は総体的に円弧状となり、更に2.0ノット以上では網口各部の網高さは一様となり、特に三角網部から天井網中央部にかけて直線状となる。このような速度の増加に伴う網口形状の変化は袖先間隔の広い程顕著である。網口断面積と速度との関係はFig. 38に示したが両者の関係は袖先間隔の狭い11m, 21mの場合、大略2.5ノットまで直線的な比例関係で減少しゆくが、2.5ノット以上に及ぶと漸次その減少率が低くなる。袖先間隔44m, 53mの場合も略同じ傾向が認められるが、44mが53mよりも常に網口面積が広い点か他の網と異なっている。このような現象が生じたのは三角網部の網地面積が広がらないため、袖先間隔が53mのように開きすぎるとかえって44mのような狭い場合より網口断面積が減少する理由によるものと考えられる。実際の曳網状態における袖先間隔45m, 曳網速度2.5ノットでは網口断面積はFig. 38より118m²となる。

(4) 曳網濾過容積

曳網濾過容積と曳網速度との関係はFig. 39に示す通りである。該容積は袖先間隔44mの場合が最も大で、袖先間隔53m, 21m, 11mの順に小となっている。しかし速度の増加に伴う該容積の増加の傾向はトロール網の場合と異なっており、ある速度までは容積は増加するが、それ以上の

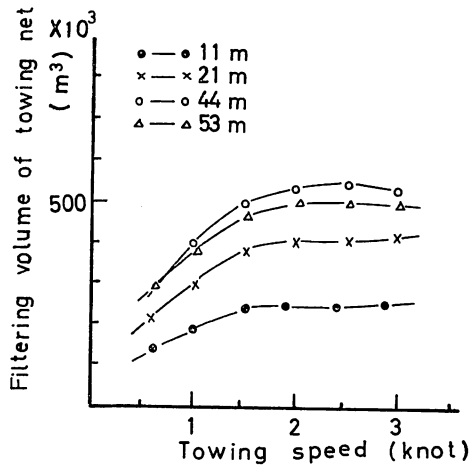


Fig. 39. Relationship between the filtering volume of the towing net and the towing speed of B net used by the bull trawler (B1~B3).
11m, 21m, 44m, 53m: Interval between the wing ends

速度になると、容積は略一定値を保つ傾向が認められる。即ち0.5~1.5ノットまではいずれの袖先間隔の場合でも略100~200 m³/hourの割合で増加するが、1.5ノット以上になると袖先間隔53m, 21m, 11mの場合のようにほとんど増加しないで一定値を保つ場合と、44mの場合のように漸減する場合の2つの型がみられる。通常曳網状態における1時間当り曳網濾過容積を Fig. 39 より求めると $118 \text{ m}^2 \times 1,852 \text{ m} \times 2.5 = 546 \times 10^3 \text{ m}^3$ となる。

5. 2. 3 一そう曳底曳網 (D網)

(I) 実物網

実験に用いた一そう曳底曳網は1963年と1965年の両年度に亘り、先に述べたトロール網、二そう曳底曳網と同様に、ベーリング海大陸棚漁場において、底曳網の附属漁船用として使用された網で、これらの網地配置図は Fig. 40 に示す通りである。いずれも総トン数60~100トン級の底曳船に使用された網で、両網の網規模、網地配置について比較すると、仕立上りの全長では1963年型の網が56.6m, 1965年型の網が60mで後者が3.4m長くなっている。浮子網は1965年型の網が66mで1963年型のものより7.4m長く、沈子網も1965年型の網が72.9mで6.6m長くなっている。網糸は1963年型の網が胴尻、胴下部にスパンナイロン、その他の部分にポリエチレントワインを用いているのに対し、1965年型の網は上部三角網、胴上部にポリエチレントワインを、その他の部分にナイロントワインを用いている。両網共、網口附近の拡網を計るためその部分にポリエチレン網地を採用しているが胴網にはナイロン網地を用いている。目合の長さは前網部で1963年型の網が大きい目合のものを用いている他は胴網部では同一目合長であり、いずれも胴尻に近い程小さい目合のものとなっている。三角網については上部三角網では1963年型の網が75目、1965年型の網が100目で、後者の網地面積が広がっているが、下部三角網は両者共ほとんど同一設計となっている。

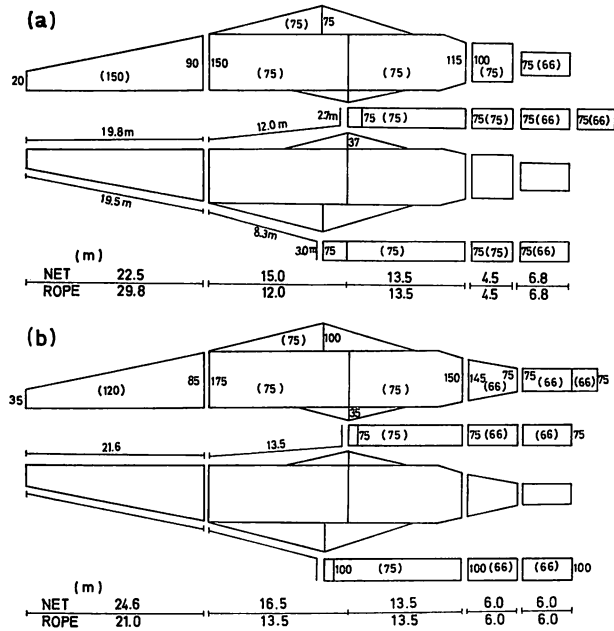


Fig. 40. Developed figures of the actual nets used by the Danish seiner (data of the upper figure (a) are shown in Table 3, D1 and D2, those of the lower figure (b) are shown in Table 3, D3~D11 except D9 and D10). Numbers in figures show the mesh number, bracketed numbers showing the mesh size (mm).
H. R: Head rope G. R: Ground rope

(II) 模 型 網

a) 1963 年 型 網

模型網を作製し、実験するについて各縮尺比を次のように定めた。なお一そう曳底曳網の実験は回流水槽の広さの関係で曳網を含まない底曳網についてのみ実験することとした。

(1) 長さの縮尺比: $\lambda'/\lambda''=1/35$. (2) トワインの径および目合長の比: $d'/d''=l'/l''=0.197$. (3) 流速の比: 実物網の網地にはポリエチレントワインおよびナイロントワインを用いているが、模型網には全てナイロントワインを用いることとする。即ち、 $v'/v''=\sqrt{0.197 \times (1.14-1)/(1.14-1)}=0.444$. (4) 網類の径の比: 実物網の網類は Table 20 に示すようにポリテックスロープ ($\rho_1''=1.14$) が用いられているが、模型網にはテビロントワイン ($\rho_1'=1.40$) を用いることとする。即ち、 $d_1'/d_1''=\sqrt{1/35 \times 0.197 \times (1.14-1)/(1.40-1)}=0.044$. (5) 力の比: 実物網の浮子は全て硝子玉であり、沈子は全て陶器製沈子であるが、模型網では Table 21 に示すように浮子にビニール、沈子に鉛を使用する。従って浮子の浮揚力と沈子の沈降力の比は $f'/f''=(0.444/35)^2=1.59 \times 10^{-4}$ となる。

b) 1965 年 型 網

(1) 長さの縮尺比: $\lambda'/\lambda''=1/35$. (2) トワインの径および目合長の比: $d'/d''=l'/l''=0.135$. (3) 流速の比: 実物網は上部三角網を除いて全てナイロントワインであるので、模型網も全てナイロントワインとする。 (4) 網類の径の比: 実物網は Table 22 に示すように浮子網にマニラロープ、沈

Table 20. Comparative table about the rope of the full scale and the model scale nets of D net used by the Danish seiner (D1, D2).

Net		Full scale net		Model scale net	
Rope	Item	Material	Diameter (mm)	Material	Diameter (mm)
	Head rope	Polytex	20	Teviron	0.88
	Ground rope	Polytex	28	Teviron	1.24
	Man rope	Polytex	20	Teviron	0.88
	Boltch line	Polytex	14	Teviron	0.62

Table 21. Comparative table about the floats and the sinkers of the full scale and the model scale nets of D net used by the Danish seiner (D1, D2).

Net		Full scale net				Model scale net	
Float, Sinker	Item	Material	Size	Buoyancy or weight (kg)	Number	Material	Buoyancy or weight (g)
Float	Ball	Glass	Dia. 12cm	0.49	70	VINICON	Total 10.60
			Dia. 15cm	1.07	30		
Sinker	Tube	China	—	0.1125	234	Lead	Total 10.97
			—	0.1875	244		
Total buoyancy of float		66.40 kg				10.60 g	
Total weight of sinker		68.95 kg				10.97 g	

Table 22. Comparative table about the ropes of the full scale and the model scale nets of D net used by the Danish seiner (D3~D11).

Net		Full scale net		Model scale net		
Rope	Item	Material	Diameter (mm)	Material	Diameter (mm)	Weight of added lead to rope (g)
	Head rope	Manila	20	Nylon	1.42	0.969
	Ground rope	Cremona	34	Nylon	1.42	4.019
	Man rope	Manila	18	Nylon	1.42	0.706
	Man rope	Polythylene	16	Nylon	1.42	0.509

子網にクレモナロープを用いたが、模型網にはナイロントワインを用いた。即ち浮子網の場合は $d_1'/d_1'' = \sqrt{1/35 \times 0.135 \times (1.45-1)/(1.14-1)} = 0.109$ 、沈子網の場合は $d_1'/d_1'' = \sqrt{1/35 \times 0.135 \times (1.31-1)/(1.14-1)} = 0.092$ 。(5) 力の比：浮子、沈子の材料は Table 23 に示すように 1963 年型網と同様である。そこで浮子の浮揚力と沈子の沈降力の比は $f'/f'' = (0.367/35)^2 = 1.1 \times 10^{-4}$ となる。

(III) 実験結果

a) 1963 年型網

(1) 網口中央高さ

曳網速度の変化に伴う網口中央高さの変化は Fig. 41 に示す様に速度の増加に伴って減少し、

Table 23. Comparative table about the floats and the sinkers of the full scale and the model scale nets of D net used by the Danish seiner (D3~D11).

Net Item		Full scale net				Model scale net	
		Material	Size	Buoyancy or weight (kg)	Number	Material	Buoyancy or weight (g)
Float	Ball	Glass	Dia. 12cm	0.49	46	VINICON	2.8
			Dia. 15cm	1.07	34		
Sinker	Tube	China	—	0.1125	200	Lead	3.0
			—	0.1875	140		
Total buoyancy of float		58.9 kg				2.8g	
Total weight of sinker		48.8 kg				3.0g	

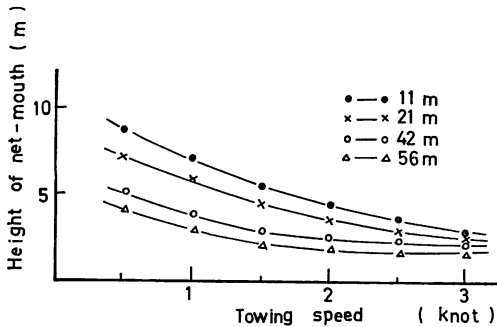


Fig. 41. Relationship between the height of the net-mouth and the towing speed of D net used by the Danish seiner (D1, D2).
11m, 21m, 42m, 56m: Interval between the wing ends

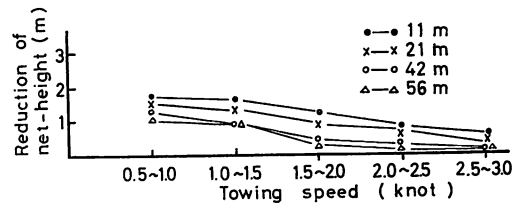


Fig. 42. Relationship between the reduction of the net-height and the towing speed of D net used by the Danish seiner (D1, D2).
11m, 21m, 42m, 56m: Interval between the wing ends

2.5ノット以上に達すると、高さの低下率は著しく小となり、略一定値に近づく傾向が認められた。この傾向はいずれの袖先間隔の場合でも同様である。速度を0.5ノット毎に区分した場合の減少値については Fig. 42 に示す様に、いずれの袖先間隔の場合でも速度の速い程小となっている。即ち0.5~1.0ノットではその減少値は1.0~1.7mであるが1.5~2.0ノットで0.3~1.2m、2.5~3.0ノットで0~0.6mと極めて小さい値を示した。この現象は網口中央高さが2.5ノットに達するといずれの袖先間隔の場合でも略一定値に近づくことを示している。曳網中における一そう曳底曳網は葉室(1979)⁷⁹⁾の研究でも解析されているように他網と異なり曳網速度と袖先間隔が絶えず変化する。5.1.3で述べたレーダーによる測定結果と Fig. 19の曳網および本実験の底曳網に関する模型実験の総合結果から曳網中における網口中央高さと速度との関係を図示すると Fig. 43に示すような曲線を描く。また曳網中における曳網速度、袖先間隔および網口中央高さの時間的変化は Table 24に示すようである。即ち静止状態のとき6mあった網口中央高さは曳網開始後5分迄の間に急速に低下して3.1mとなり、その後曳網終了(曳網時間20分)までの間に3.1mから2.3mまで低下する。揚網開始直後、袖先間隔はさほど大きな狭まりはないが網速度が速くなるため網口中央高さは急激に低下して2.0mを示す。その後、網速度は若干速くなるけれども袖先間隔は急激に狭

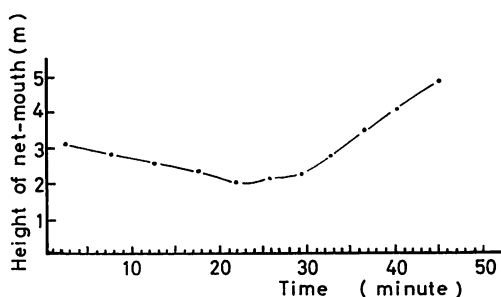


Fig. 43. Change of the height of the net-mouth in accordance with the lapse of time of D net used by the Danish seiner (D1, D2).

Table 24. Change of elements in accordance with the lapse of time in the towing and hauling operations of D net used by the Danish seiner (D1, D2).

Operation of net	Item	Lapsed time (minute)	Towing speed of net (knot)	Interval* (m)	Height of net-mouth (m)	Projective area of net-mouth (m ²)	Resistance of net (kg)
Net-towing		5.0	0.70	63	3.1	150	270
		5.0	0.84	63	2.8	140	330
		5.0	1.04	63	2.5	128	390
		5.0	1.24	61	2.3	116	460
Rope-hauling		3.7	1.66	58	2.0	95	640
		3.7	1.71	53	2.1	90	650
		3.7	1.75	46	2.2	82	630
		3.7	1.84	39	2.7	76	630
		3.6	1.84	26	3.4	64	620
		3.6	1.84	18	4.0	52	600
		6.0	1.94	7	4.8	28	570
		8.0	2.00	—	—	—	—

Interval*: Interval between the wing ends

まるため網口中央高さは漸次高くなり、揚網開始後 20 分で 4.0 m, 30 分後で 4.8 m に達する。

(2) 網にかかる流水抵抗

抵抗と速度との関係は Fig. 44 に示すようにいずれの袖先間隔の場合も大体 2.0 ノットを境とする 2 つの直線で表わされるようである。一般的な傾向として袖先間隔の広い程抵抗は大であるが、11 m の場合を除く他の袖先間隔の場合は互いに大きな差はなく、抵抗値の範囲は Fig. 44 より 1.0 ノットで 0.26~0.33 トン、2.0 ノットで 0.7~0.9 トン、3.0 ノットで 1.2~1.4 トンで抵抗差はいずれも 0.5 トンを超えることはない。網の全抵抗 (R) と速度 (V) との関係を表わす実験式 $R=KV^n$ から略 1.5 ノット以上の場合の K 値、 n 値を求めると Table 25 に示すように n 値はいずれの袖先間隔の場合でも略 1.5 に近い値となる。しかし袖先間隔の最も広い 56 m の場合は n 値が 1.65 と最も大きく増速に伴う網成りの変化の度合いが最も少ないことが考えられる。

曳網中における抵抗値は Fig. 44 および Table 24 に示すように時間の経過に伴って連続的に

Table 25. Values of k and n in the equation about the resistance of the D net to the running water.

Item	Interval*	11m	21m	42m	56m
k		259	251	280	260
n		1.40	1.49	1.47	1.65

Interval*: Interval between the wing ends

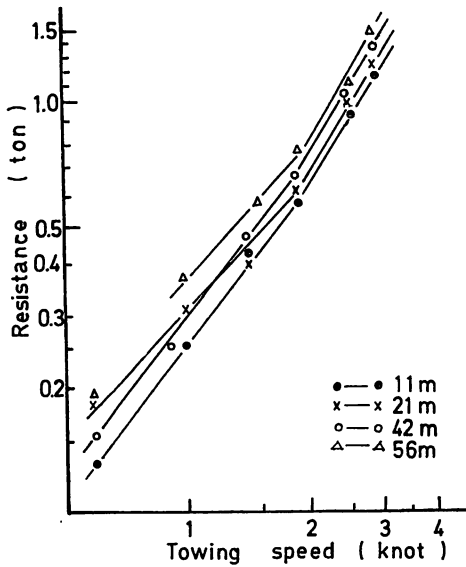


Fig. 44. Relationship between the resistance and the towing speed of D net used by the Danish seiner (D1, D2). 11m, 21m, 42m, 56m: Interval between the wing ends

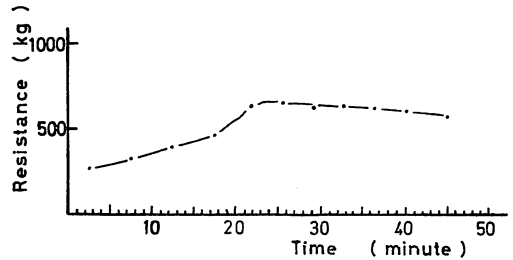


Fig. 45. Change of the resistance of the net in accordance with the lapse of time of D net used by the Danish seiner (D1, D2).

変化する。Fig. 45 はその変化の状態を示したもので、曳網開始後5分で270 kgとなるが、その後漸次増加して曳網終了時には460 kgとなる。揚網に移ると抵抗値は急増し、640 kgに達する。

その後、袖先間隔の縮小に伴って網口の投影面積が減少するため抵抗値は漸減し、曳網開始後30分には570 kgを示す。なおこの抵抗値は静止した網に流速をあてて計測した結果から換算したもので、漁具の全抵抗としてはこの他、底曳網および曳網と海底面との摩擦力、曳網にかかる流水抵抗を加えなければならないが、ここでは底曳網についてのみ実験し解析した。

(3) 網口形状

一そう曳底曳網の三角網は網地面積が広く、全体の網地面積に対する割合が大きいため網口形状に大きな影響を与えるものと考えられる。この三角網の網全体に与える影響は Fig. 46 に示すように、一般に網口の断面積は速度の遅いほど、また袖先間隔の広いほど大である。しかし流速が網に与えられる初期においては、三角網による網口の横方向への拡網効果が著しいため、網口断面積の変化が大であり、また袖先間隔の狭い場合は同間隔の広い場合より三角網の拡網する余裕がある。このような傾向は速度では1.5ノットまで、また袖先間隔では56 m, 42 mについて顕著にあらわれている。1.5ノット以上に及ぶと網口断面積の変化はさほど認められず、袖先間隔56 m, 42 mの

場合のようにほとんど変わらない場合もある。これらの網口断面積の各速度における範囲は1.0ノットで60~123 m²、2.0ノットで35~90 m²、3.0ノットで27~85 m²である。通常曳網状態における網口断面積は Fig. 47 に示すように曳網開始から5分後までの平均が150 m²で最も広く、その後時間の経過に従って面積は減少し曳網開始後10分で140 m²、曳網終了時で116 m²となる。揚網にはいって面積は更に減少して95 m²となり、揚網開始後10分で82 m²、20分後で52 m²、30分後で28 m²と減少する。

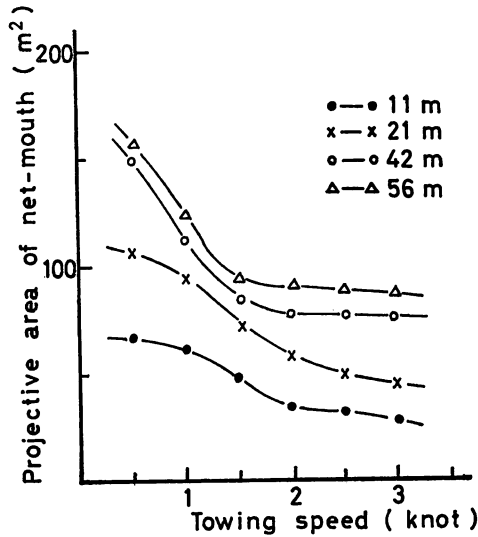


Fig. 46. Relationship between the projective area of the net-mouth and the towing speed of D net used by the Danish seiner (D1, D2).
11m, 21m, 42m, 56m: Interval between the wing ends

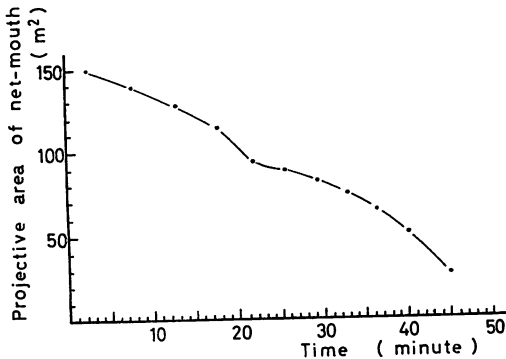


Fig. 47. Change of the projective area of the net-mouth in accordance with the lapse of time of D net used by the Danish seiner (D1, D2).

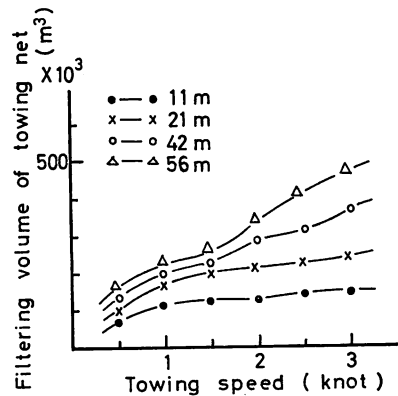


Fig. 48. Relationship between the filtering volume of the towing net and the towing speed of D net used by the Danish seiner (D1, D2).
11m, 21m, 42m, 56m: Interval between the wing ends

(4) 曳網濾過容積

曳網濾過容積は Fig. 48 に示す様にいずれの袖先間隔の場合でも増速に伴って増加しており、袖先間隔の広い程容積は大である。またいずれの袖先間隔の場合でも 1.0~1.5 ノットを境として容積の増加率がそれぞれ異なる傾向があり、1.5 ノット以上では袖先間隔の広い程容積の増加率が大きい。しかし袖先間隔の狭い 11 m と 21 m の場合ではさほど顕著でない。各速度における容積の範囲は 1.0 ノットで $(110\sim 230)\times 10^3\text{m}^3$ 、2.0 ノットで $(130\sim 330)\times 10^3\text{m}^3$ 、3.0 ノットで $(150\sim 470)\times 10^3\text{m}^3$ となる。通常曳網状態における曳網濾過容積は、Fig. 47 で示した網口断面積の時間の経過に伴う変化曲線と縦軸、横軸によって囲まれる面積を求積して算出し、 $183\times 10^3\text{m}^3$ という値を得た。

b) 1965 年型網

(1) 網口中央高さ

速度の増速に伴う網口中央高さの変化は Fig. 49 に示すように速度の増加に伴って減少し、2.0~2.5 ノットを境として高さの減少率は小となり、略一定値に近づく傾向が認められた。各速度における高さは袖先間隔の狭い程一般に高いが、袖先間隔 56 m と 42 m の場合のように 2.8 ノット以上はほとんど同一高さとなっている場合もある。ここで速度を 0.5 ノット毎に区分した場合の高さの減少値について検討すると、Fig. 50 に示すように、いずれの袖先間隔の場合でも速度の速い程小となっている。即ち 0.5~1.0 ノットではその減少値は 1.5~1.6 m、1.5~2.0 ノットで 0.4~0.7 m、2.5~3.0 ノットで 0.2~0.7 m、3.5~4.0 ノットで 0.1~0.3 m と極めて小さい値に近づいてゆく。各袖先間隔における高さの範囲は 1.0 ノットで 3.2~6.9 m、2.0 ノットで 2.4~5.0 m、3.0 ノットで 1.9~3.6 m、4.0 ノットで 1.6~2.9 m となる。通常曳網状態における高さを 1963 年型網と同一計算法で求めると、Fig. 51, Table 26 に示すように 1963 年型網と略同様な変化曲線をとる。

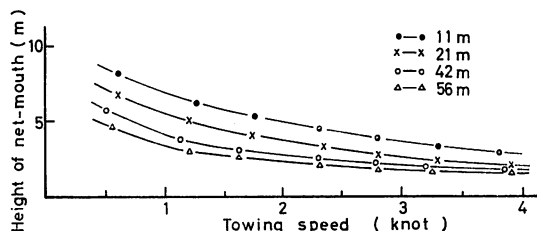


Fig. 49. Relationship between the height of the net-mouth and the towing speed of D net used by the Danish seiner (D3~D11).

11m, 21m, 42m, 56m: Interval between the wing ends

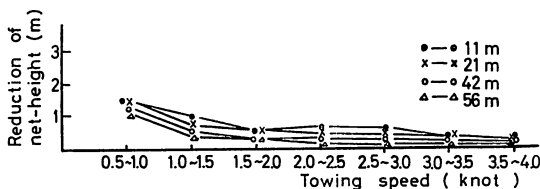


Fig. 50. Relationship between the reduction of the net-height and the towing speed of D net used by the Danish seiner (D3~D11).

11m, 21m, 42m, 56m: Interval between the wing ends

即ち静止状態で 10 m あった網口中央高さは曳網開始後 5 分で 3.8 m, 10 分後で 3.5 m と急激に低下し, その後曳網終了 (曳網時間 20 分) までの間に 3.5 m から 2.8 m に低下する. 揚網開始直後, 袖先間隔の狭まりはさほどみられないが, 網速度が速くなるため, その高さは急激に低下し 2.6 m を示す. その後, 網速度は若干速くなるが袖先間隔が急激に狭まるので網口中央高さは漸次高くなり, 揚網開始後 20 分で 4.4 m, 30 分後で 5.2 m に達する.

(2) 網にかかる流水抵抗

網の全抵抗と速度との関係は Fig. 52 に示す通りであるが, 全体的な傾向として, いずれの袖先間隔の場合でも 1.6 ノットを境として抵抗は急激に増加する. 袖先間隔の広狭による抵抗値の差は袖先間隔の狭い 11 m, 21 m の場合はほとんど認められないが, 同間隔の広い 42 m, 56 m の場合はかなりの差が認められる. 各速度における抵抗値の範囲は 1.0 ノットで 0.35~0.7 トン, 2.0 ノットで 0.85~1.5 トン, 3.0 ノットで 1.45~2.7 トンとなる. 抵抗値 (R) と速度 (V) との関係

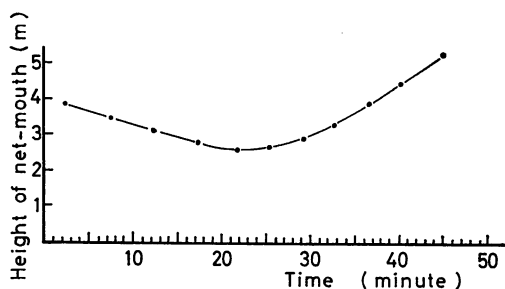


Fig. 51. Change of the height of the net-mouth in accordance with the lapse of time of D net used by the Danish seiner (D3~D11).

Table 26. Change of elements in accordance with the lapse of time in the towing and hauling operations of D net used by the Danish seiner (D3~D11).

Operation of net	Item	Lapsed time (minute)	Towing speed of net (knot)	Interval* (m)	Height of net-mouth (m)	Projective area of net-mouth (m ²)	Resistance of net (kg)
Net-towing		5.0	0.70	63	3.8	192	670
		5.0	0.84	63	3.5	176	760
		5.0	1.04	63	3.1	156	920
		5.0	1.24	61	2.8	144	1040
Rope-hauling		3.7	1.66	58	2.6	120	1340
		3.7	1.71	53	2.7	114	1330
		3.7	1.75	46	2.9	102	1220
		3.7	1.84	39	3.2	90	1200
		3.6	1.84	26	3.9	70	1000
		3.6	1.84	18	4.4	58	960
		6.0	1.94	7	5.2	32	920
		8.0	2.00	—	—	—	—

Interval*: Interval between the wing ends

表わす実験式 $R=KV^n$ から1.6ノット以上のK値, n 値を求めると, Table 27 に示すように n 値はいずれも 1.5 に近い値をとり, 速度の増速に伴う網成りの変化がかなり大きいことが考えられる, 通常曳網状態における抵抗値は Fig. 53 に示すように曳網開始後5分で670 kg となるが, その後増加し, 曳網終了時には1,040 kg となる. 揚網に移ると抵抗値は急増し, 1,340 kg に達する. その後も袖先間隔と曳網速度は絶えず変化するので抵抗値も変動し, 揚網開始後7分から15分にかけて1,200~1,330 kg となるが, その後は減少し始め, 揚網開始後30分には920 kg となる.

(3) 網口形状

網口形状に直接影響を与える三角網の効果は1963年型網と同様に速度の遅い程, また袖先間隔の広い程大きく, 網口断面積は大である. Fig. 54 は網口断面積と速度との関係を示したもので速度

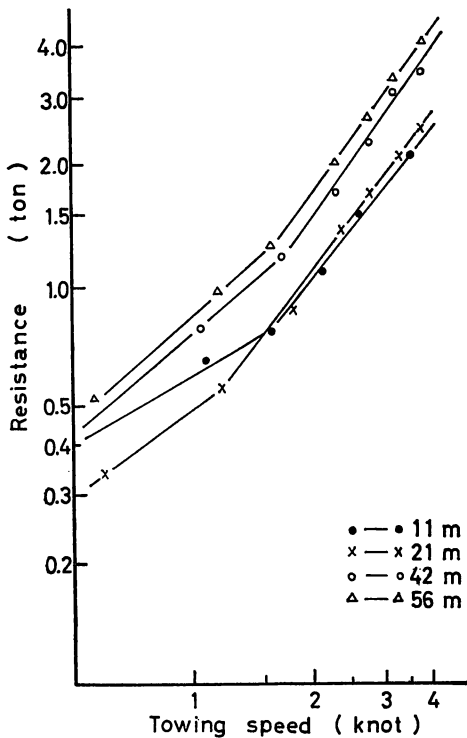


Fig. 52. Relationship between the resistance and the towing speed of D net used by the Danish seiner (D3~D11). 11m, 21m, 42m, 56m: Interval between the wing ends

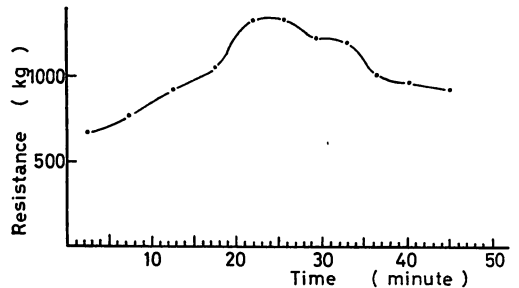


Fig. 53. Change of the resistance of the net in accordance with the lapse of time of D net used by the Danish seiner (D3~D11).

Table 27. Values of k and n in the equation about the resistance of the D net to the running water.

Item \ Interval*	11m	21m	42m	56m
k	629	436	568	647
n	1.27	1.39	1.56	1.53

Interval*: Interval between the wing ends

が1.5ノット附近では袖先間隔の広狭によって網口断面積の変化に大きな差がある。即ち袖先間隔の狭い場合は三角網による網口の横方向への拡網効果よりも浮子の浮揚力がまさるので網口高さの減少が少なく、ために網口断面積の変動は少ない。また袖先間隔の広い場合は三角網の拡網力が浮子の浮揚力よりまさるため網口高さは低くなって網口断面積の変化が大となる。速度が1.5ノットよりも速くなると、いずれの袖先間隔の場合も面積の減少が少なく、特に袖先間隔の狭い11mの場合が最も少ない。各速度における網口断面積の範囲は1.0ノットで50~150m²、2.0ノットで37~110m²、3.0ノットで30~96m²となっている。通常曳網状態における網口断面積はFig. 55に示すように曳網開始から5分迄の平均が192m²で最も広く、その後時間の経過に従って面積は減少し、曳網開始後10分で176m²、曳網終了時144m²となる。揚網にはいって面積は減少し120m²となり、10分後に102m²、20分後に58m²、30分後に32m²と減少する。

(4) 曳網濾過容積

曳網濾過容積と曳網速度との関係はFig. 56に示す通りである。該容積はいずれの袖先間隔の場合でも速度の増加に伴って増加しており、袖先間隔の広い程容積は大である。また容積の増加率はいずれの袖先間隔の場合でも1.5~2.0ノットを境として低くなる傾向があり、特に袖先間隔の狭い11m、21mの場合は2.0ノット以上になると僅かに増加しているにすぎない。袖先間隔の最も広い56mの場合は2.0~2.8ノットにかけて僅かに増加率は低くなるが、その他の速度ではほとんど同じ増加率で容積は増加している。通常曳網状態における曳網濾過容積は、Fig. 55で示された網口断面積の変化曲線から $234 \times 10^3 \text{m}^3$ という値を得た。

5. 2. 4 考 察

各底曳網の構造は既述したように底曳網によって特徴があり、主要寸法、網地配置、浮子網、沈子網の構造がそれぞれ異なっている。まず主要寸法を比較してみると、網全長ではいずれも略54m

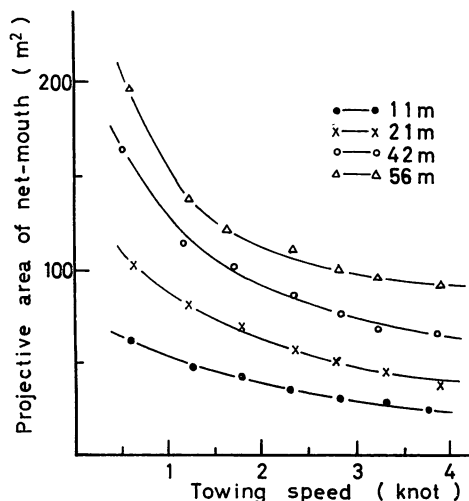


Fig. 54. Relationship between the projective area of the net-mouth and the towing speed of D net used by the Danish seiner (D3~D11).
11m, 21m, 42m, 56m: Interval between the wing ends

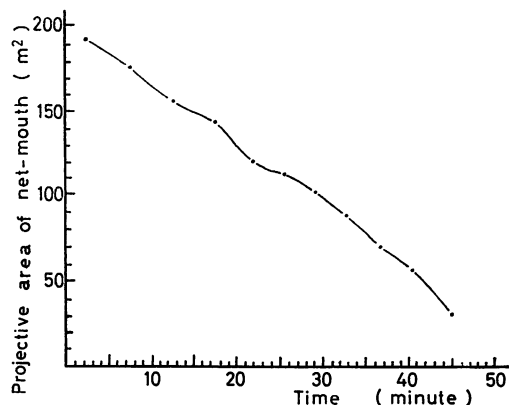


Fig. 55. Change of the projective area of the net-mouth in accordance with the lapse of time of D net used by the Danish seiner (D3~D11).

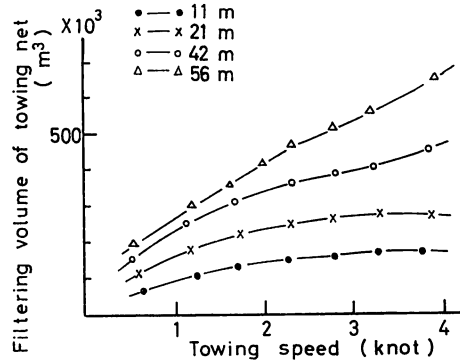


Fig. 56. Relationship between the filtering volume of the towing net and the towing speed of D net used by the Danish seiner (D3~D11).
11m, 21m, 42m, 56m : Interval between the wing ends

から 62 m の範囲にはいる規模のもので各網間にほとんど差はない。しかし各部の長さが網によっては相当の差が認められるようである。網全長に対する浮子網長、袖網長、身網長の比率は、トロール網では 86.4~88.0%, 51.8~52.7%, 47.3~48.2% (Fig. 22, 23), 二そう曳底曳網では 106.9%, 43.5%, 56.5% (Fig. 34), 一そう曳底曳網では 103.5~109.9%, 42.1~43.8%, 56.2~57.9% (Fig. 40) となり、トロール網が他の網に比較して浮子網がかなり短かく、袖網、身網が若干長くなっている傾向が認められた。網地配置についてはトロール網が三角網を袖先から身網まで挿入する所謂 6 枚構造網であるのに対して、二そう曳底曳網は小規模の三角網を附加した 4 枚構造網、一そう曳底曳網は両者の中間的な構造のものとなっている。網糸は一そう曳底曳網が他の網より全体を通じて細い径のものを使用している。浮子網の構造はトロール網、二そう曳底曳網が浮子網にワイヤーロープを使用し、浮子の浮揚力をトロール網: 355.8 kg (Table 12, 14), 二そう曳底曳網: 335.3 kg (Table 18) とかなり大としているのに対し、一そう曳底曳網は浮子網にマニラロープおよびクレモナロープを使用し、浮子の浮揚力を 66.4 kg および 58.9 kg (Table 21, 23) としており、前者らに比較して後者はその構造がはるかに軽量にして小規模である。沈子網の構造も浮子網の場合と同様の傾向があり、トロール網、二そう曳底曳網が沈子網にワイヤーロープを使用し、沈子の空中重量もトロール網: 578 kg (Table 12, 14), 二そう曳底曳網: 360.8 kg (Table 18) としているのに対し、一そう曳底曳網では沈子網にマニラロープおよびクレモナロープを使用し、沈子の空中重量も 68.95 kg および 48.8 kg (Table 21, 23) と前者らに比較してはるかに軽量である。従って網の全長では 3 者とも差をあまり認められないが、重量の点で一そう曳底曳網がはるかに軽い構造のものを使用していることになる。このように各網でそれぞれ構造上特徴が認められるが、これらの設計上の特徴が実験結果からみてどのように特徴づけられるか、以下各網の網口中央高さ、網口形状、網抵抗、曳網濾過容積について比較検討してみる。

(I) 網口中央高さ

各網の網口中央高さは速度と袖先間隔によってそれぞれ異なるが、いずれの袖先間隔の場合でも 2.0~2.5 ノットまでは二そう曳底曳網が最も高く、2.5 ノット以上ではトロール網が最も高くなっている。例えば袖先間隔 40 m の場合の各速度における高さは、トロール網 (サイドトロール網) が 1.0 ノット: 4.6 m, 2.0 ノット: 3.8 m, 3.0 ノット: 3.4 m, 4.0 ノット: 3.1 m (Fig. 24), 二

一そう曳底曳網が1.0ノット：7.8 m, 2.0ノット：5.0 m, 3.0ノット：3.3 m (Fig. 35), 一そう曳底曳網 (1965年型網) が1.0ノット：4.2 m, 2.0ノット：3.0 m, 3.0ノット：2.4 m, 4.0ノット：1.9 m (Fig. 49) となる。網口中央高さの速度に伴う変化の特徴を各網について比較すると、トロール網では全般的に高さの減少値は速度の遅い程、また袖先間隔の狭い程大であるが、袖先間隔の広い場合は2.0ノット附近で高さの減少値は小となり、高さは一定値に近づく傾向がある (Fig. 25)。二そう曳底曳網も全般的に速度の増加に伴う高さの減少値が大であり、袖先間隔の狭い11 m, 21 m の場合ではこの傾向が顕著である。袖先間隔の最も広い53 m の場合でも2.5~3.0ノットにおける高さの減少値が0.7 m で、3.0ノット以上の速度でもかなり低下するようである (Fig. 36)。一そう曳底曳網は速度の増速に伴う高さの減少値が最も少なく、特に袖先間隔の広い42 m, 56 m の場合は2.5ノットで減少値は極めて小となり、高さは略一定値に近づく状態となる (Fig. 50)。このように各網とも速度の変化に伴う高さの変化にそれぞれ特徴がみられるのは、浮子の浮揚力と網地配置が各網で相違しているためと考えられる。即ち、浮子の浮揚力を大きくとっている二そう曳底曳網は速度の遅い場合は、流速を受けることによって生ずる網地の拡網力よりも浮子の浮揚力が大となるため網口高さは高くなるが、略3.0ノット以上に達すると網口附近の網地面積が他網より少ないため、トロール網のように高さを保つことが出来ず、高さは低下することになる。トロール網は三角網地の面積が大きく、速度を受けると同時に網全体、特に網口附近は拡網して高さは低下するが2.0ノット以上に達すると、三角網地による拡網効果に浮子の浮揚力が加わるため、高さの低下はほとんど認められない状態となる。一そう曳底曳網は浮子量が少ないかわりに網口附近の網地面積が広いので網口高さは網地の拡網によってほとんど定まるものと考えられる。従って網口高さは速度の増加によってさほど低下しないが、浮子量が少ないため他網より最も低いものとなっている。各網の通常曳網状態における網口中央高さはトロール網 (サイドトロール網およびスタントロール網) が3.8 m および3.9 m, 二そう曳底曳網が3.5 m, 一そう曳底曳網 (1963年型網および1965年型網) が曳網〜揚網を通じて2.0~4.8 m および2.6~5.2 m の範囲でそれぞれ変化する。これらの値を同じ曳網条件の従来型の網と比較すると、トロール網では1959年の高山・小山・武 (1959)³³⁾ の実験によれば網口中央高さは2.7~3.1 m であり、二そう曳底曳網では1961年の谷口 (1961)³⁴⁾ によれば、補助三角網を用いない場合約2 m, 一そう曳底曳網では1959年の葉室 (1959)⁷⁹⁾ によれば、曳網開始5分後から曳網終了までの間に1.8~3.5 m, 揚網中で約2.7 m の高さを示し、いずれも本論の資料網の場合より1 m 内外低くなっている。このように差を生じた理由としては、本論の資料網の場合が、網地の枚数を増加したり、三角網地を採用して網地の構造や配置を改良し、また網糸に比重の軽い合成繊維のものを採用したりして網口高さの上昇を計ったためと考えられる。

(II) 網 成 り

上方から見た網の形状は、三角網部の網地面積の広い程網口附近の横方向への拡がりが顕著である。即ちトロール網は他網に比して最も横方向に網口附近が拡網し、次で、一そう曳底曳網の拡網効果が大である。側方より見た網の形状は、浮子量の多い二そう曳底曳網が網口中央部で上方に突出した形となるが、2.0ノット以上になると突出部分がなくなり、天井網から身網中央部にかけてその背線は底面に略平行となる。トロール網や一そう曳底曳網では三角網が横方向に拡網するので、二そう曳底曳網に見られる網口中央部の上方突出部分はなく、全体として天井網部から身網中央部にかけて底面に平行で、しかも円錐形に近い形状をなしている。

(III) 網にかかる流水抵抗

底曳網の流水抵抗 (R) と流速 (V) との関係は一般に下式で与えられる。

$$R = \frac{1}{2} C_x \rho \sum [(2(d \times l) m \times p) \sin \theta] V^n$$

$$= K V^n$$

ここで C_x : 抵抗係数, ρ : 流体密度, d : 網糸の直径, l : 1脚の長さ, m : 横目数, p : 縦目数, θ : 流れに対する網の角度を示す。また K は網糸の太さ, 目合長, 流体密度, 網地の射影面積によって定まる比例常数であり, n の値は網成りが速度によって変化しなければ2に等しい値をとるが, 実際には, 一般に速度の増加に伴って網口高さは低下して網口断面積は減少し, また流れに対して平行な網の断面積も速度によって種々変化するので2よりも少ない値を示す。従って n の値が小さい値をとる程, 速度の増加に伴う変形, 即ち網口および射影面積の減少率は大きであるということが出来る。ここで各網の n の値を比較すると, トロール網が最も大で, サイドトロール網で 1.85~1.99, スタントロール網で 1.66~1.98 となり, 次で, 二そう曳底曳網が 1.33~1.52, 一そう曳底曳網が 1963 年型網で 1.40~1.65, 1965 年型網で 1.27~1.56 となっている。トロール網の n の値が最も大であるのは, 速度の増加に伴う網口の投影形状の変化が最も少ないためであり, n の値によっても6枚構造網の網成りの特性を知ることが出来る。他網の場合は低速における網口の投影形状の変化が著しいためその影響を受けて n の値が比較的小さい値を示しているものと考えられる。通常曳網状態における各網の抵抗値はトロール網が2.7トンおよび4.2トン, 二そう曳底曳網が2.2トン, 一そう曳底曳網が曳網, 揚網を通じて0.27~0.65トンおよび0.67~1.34トンとなる。また n の値はトロール網が1.89と1.98, 二そう曳底曳網が1.45である。

これらの値を同じ曳網条件の従来型の網と比較すると, トロール網では高山ら (1959)³³⁾ は2.9~4.0トン, 二そう曳底曳網では谷口 (1961)³⁴⁾ が4.9トン, 一そう曳底曳網では葉室 (1959)⁷⁹⁾ が略0.6トンという値を得ており, さほど大きな差は認められなかった。本論であげた資料網の場合は前述の通り, 網口中央高さが従来型の網の場合より約1.0m高い結果を得ており, 必然的に網抵抗は増加すべきであるが, このように抵抗値に差がないのは, 本論の資料網が網糸に出来るだけ径の細いものを使用しているため網糸自体の受ける抵抗が少なくなったものと考えられる。 n の値では, 小山 (1962)⁸⁷⁾ によると従来型の網では, トロール網が1.45, 二そう曳底曳網で1.77という結果を得ており, 本論の資料網の場合と全くその値が異なっている。これは小山の取扱ったトロール網が2枚構造網, 二そう曳底曳網が4枚構造網で, 網糸はいずれもマラトワインを採用しているところから, 網口中央高さの場合と同様に, 網地の配置, 網糸の相違がこのような差を生ぜしめた原因と考えられる。なお本論では網の流水抵抗を測定する方法として, 模型網を回流水槽の槽底におき, これに流速をあてて曳糸にかかる抵抗を測定したので, 該漁具の全抵抗として, この他, 底曳網および曳網と海底面との摩擦抵抗, 曳網にかかる流水抵抗, トロール網では更に O. B にかかる流水抵抗を加えなければならないが, ここでは底曳網の流水抵抗についてのみ解析したものである。

(IV) 網口断面積

流れに対して直角な網口の射影面積, 即ち網口断面積は速度の増加に伴って減少するが, その面積は, 2.0ノットまでは二そう曳底曳網が, 2.0ノット以上ではトロール網がそれぞれ最も大である。二そう曳底曳網の曳網速度に対する該面積の減少量は, いずれの速度の場合でも大であるが,

トロール網は略1.5ノット以上になると減少量は少なくなる。一そう曳底曳網のそれは2.0ノット位から少なくなり、2.8ノットでは二そう曳底曳網より該面積は大となっている。各網の通常曳網状態における網口断面積は、トロール網（サイドトロール網およびスタントロール網）が103m²および106m²、二そう曳底曳網118m²、一そう曳底曳網（1963年型網および1965年型網）が曳網、揚網を通じて150~28m²および192~32m²の範囲内で変化する。

(V) 曳網濾過容積

一般に袖先間隔の広い程容積は大であるが、各網で容積の変化の状態についてそれぞれ特徴がみられるようである。まずトロール網ではサイドトロール網を例にとってみると曳網速度の増加に伴って容積は急増し、袖先間隔40mの場合、1.0ノットで320×10³m³であるが、4.0ノット以上に達すると800×10³m³となり、同じ状態の他網の場合より容積が大である（Fig. 28）。次に二そう曳底曳網では1.5ノット附近までは急増するが、それ以上は漸増し、2.5ノットになるといずれの袖先間隔の場合でも一定もしくは漸減する傾向がみられる。袖先間隔44mの場合、1.0ノット：400×10³m³、1.5ノット：500×10³m³、2.0ノット：540×10³m³、2.5ノット：546×10³m³であるが3.0ノットでは540×10³m³となり、3.0ノットの場合は2.5ノットの場合より減少している。また袖先間隔53mと44mとでは、いずれの曳網速度の場合でも前者の容積が小となっており、この網の特徴となっている（Fig. 39）。一そう曳底曳網では1965年型網を例にとってみると袖先間隔の狭い場合は曳網速度が増加してもさほど容積は増加しないが、袖先間隔の広い場合は曳網速度の増加に伴ってトロール網の場合と同様に急増している傾向がみられる。袖先間隔の最も広い56mの場合は2.6ノット附近で同じ状態の二そう曳底曳網より容積は大となり、4.0ノットで670×10³m³に達する。概して該容積と速度との関係を表わす曲線は、トロール網の場合が傾斜が急であるのに対して二そう曳底曳網では2.0~2.5ノットで傾斜が緩やかとなり、それ以上の速度では横軸に平行かもしくは負の傾斜となる。また一そう曳底曳網は両者の中間的な特性曲線を示している。各網の通常曳網状態における曳網濾過容積はトロール網（サイドトロール網およびスタントロール網）が515×10³m³および667×10³m³、二そう曳底曳網が546×10³m³、一そう曳底曳網（1963年型網および1965年型網）が曳網、揚網を通じて183×10³m³および223×10³m³となる。なお曳網掃立面積、網口中央高さおよび曳網濾過容積は既に発表した結果（1966）³⁵⁾と異なっている。これは曳網の展開形状の作図法および模型実験の方法の条件を変えたために異なる値となったもので、本論の結果は既に発表した結果より底曳網の実態により近いものと考えられる。

5. 3 北洋底曳網の漁獲性能

5. 3. 1 漁獲性能の意義

漁獲性能とは共通する操業条件下の複数の漁船または漁具間で相対的に対比して定められる漁獲し得る性能を言い、原則的には漁場の物理的、生物的諸条件の等しいことが前提となる。漁船の漁獲性能を比較する場合は、船型、主機関馬力、集魚灯の光力、乗組員数、漁具の規模等の人為的要因が複雑であり、漁船の性能を標準化することが困難であるので、漁撈の結果としてあらわれた単位努力当り漁獲量を以て比較することが多く、その優劣を論ずる場合に上述の個々の人為的要因をとりあげて検討している（1963）⁸⁸⁾。漁具の場合も単位努力当り漁獲量を以て漁獲性能の指数としているが（1962）⁸⁹⁾、前者が漁船および漁具を含めた形で漁獲性能を論じているのに対し、後者は対象が漁具だけに限られ、一般に漁具の物理的要因を基準として漁獲性能を解析している。但し漁

船を漁具の一部と拡大解釈する場合もあるが、この場合は前者に類似した方法によって漁獲性能を論じている。

底曳網漁業の場合は漁獲性能の指数として1日当り漁獲量や1曳網当り漁獲量を用いているが、漁獲を構成する漁具の有形、無形の多くの要素、即ち漁具の規模とその物理的性状、漁法、漁船の曳網力および船長の漁撈技術の差はもとより、漁場の生物的条件、特に魚群密度を均一とみなして定めるため多くの問題点を残している(1957)⁹⁰。従って、同一漁具でも漁場が異なると、漁場の環境条件、即ち水深、底質、天候、海流はもとより、魚群の生息状況、魚種組成、年令組成等の生物的、生態的条件が変わってくるので、必然的にその1曳網当り漁獲量に差を生じ、漁獲性能はかなりの範囲のある値か、または絶えず変動する値となる。しかし現在の底曳網漁業のように、船型、曳網力にかなりの差のある各漁船が、独特の漁法によって、それぞれ特性を有する漁具を使用して操業するような場合には、それぞれの漁具もしくは漁船の仕事を同一に取り扱うことは出来ないわけで、従来のように漁具もしくは漁船の努力量を均一とみなして漁獲性能を比較する方法は当然ながら妥当性を欠くように考えられる。そこで本論では現状の底曳網漁業により則した漁獲性能の比較方法を導き出すためその指数を次のように定義した。

$$\text{一つの底曳網の漁獲性能の指数} = \frac{\text{単位時間当りの漁獲量}}{\text{単位時間当りの底曳網の仕事量}}$$

ここで底曳網の仕事量とは、その平面的および立体的仕事量を指すものであるが、更に平面的仕事量を魚群の駆集効果の役目をなす底曳網の一部である曳網が海底上を掃立てる面積、即ち曳網掃立面積 (Sweeping area of the towing rope)、立体的仕事量を魚群を直接入網させる役目をする底曳網が海底上を単位時間に濾水する容積、即ち単位時間における曳網濾過容積 (Filtering volume of the towing net) と解釈することとした。故に曳網の漁獲性能の指数は漁獲量を曳網の掃立面積で除した単位曳網掃立面積当り漁獲量 (Catch per sweeping area of the towing rope, 略称を C. P. S. A. とする)、底曳網の漁獲性能の指数は漁獲量を底曳網の濾過容積で除した単位曳網濾過容積当り漁獲量 (Catch per filtering volume of the towing net, 略称を C. P. F. V. とする) で表わされる。

このようにして得られる漁獲性能の指数は、先に述べた漁獲を構成するに必要な諸要素を底曳網のなす仕事量で総括的に表わしているものと考えられる。但し同一漁場、もしくは隣接した漁場でも漁場の環境条件が必ずしも同一でなく、特に魚群密度は漁場の全域に亘って均一でないので、漁獲量にかなりの変動の生ずることは免れない。従って漁獲性能の指数も巾のある値で得られるので、指数だけで漁獲性能を比較出来ない場合が起る。しかし底曳網と対象魚種が同一であれば、仮令、漁獲量変動しても1曳網当り漁獲量と漁獲性能の指数とは正の相関関係にあることが考えられるので、本論では両者の関係を示す回帰線の形状より、最終的に複数の底曳網の漁獲性能の優劣を判定することが出来ると言う前提で論述することにする。

5. 3. 2 漁獲性能の比較方法

漁獲性能の比較を行なった底曳網の種類は5.1および5.2で既に述べた、曳網および底曳網の物理的性状を実測もしくは実験的に解析したトロール網、二そう曳底曳網および一そう曳底曳網である。これらの底曳網はそれぞれ各母船の至近海域で操業に用いられたもので、Table 28~32にそれぞれの操業結果と C. P. S. A. および C. P. F. V. を示した。これらの各 Table に示した値は1963年、1965年、1967年の3カ年間に亘り、ペーリング海東部大陸棚およびその傾斜漁場で操業し

Table 28. Catching efficiency of T net calculated from the result of the catch by the side trawler (T1, T2).

Date	Item	Catch per unit of effort by T1 (ton)	Catch per unit of effort by T2 (ton)	Mean value of catch per unit of effort (ton)	Mean value of sweeping area of the towing rope per towing (10 ⁴ m ²)	C. P. S. A. (kg/10 ⁴ m ²)	Mean value of filtering volume of the net per towing (10 ³ m ³)	C. P. F. V. (kg/10 ³ m ³)
1967, Apr.	19	19.6	23.6	21.6		354.1		41.9
	23	4.7	10.8	7.8		127.9		15.1
	24	17.6	16.8	17.2		291.8		33.4
	25	20.4	17.3	18.9		309.8		36.7
	26	14.6	14.2	14.4		236.1		28.0
May	1	17.4	16.0	16.7		273.8		32.4
	2	19.2	15.4	17.3		283.6		33.6
	3	9.5	15.0	12.3		201.6		23.9
	4	13.3	12.8	13.1		214.8		25.4
	5	16.3	8.0	12.2		200.0		23.7
	6	13.1	11.7	12.4		203.3		24.1
	9	9.2	14.4	11.8		193.4		22.9
	10	13.9	13.4	13.7		224.6		26.6
	11	10.3	18.9	14.6		239.3		28.3
	12	15.9	11.5	13.7		224.6		26.6
	16	13.3	28.9	21.1		345.9		41.0
	17	15.6	12.6	14.1		231.0		27.4
	18	10.1	23.7	16.9		277.0		32.8
	19	26.5	28.4	27.5		450.8		53.4
	20	11.6	11.1	11.4		186.9		22.1
	23	15.2	16.7	16.0		262.3		31.1
	24	17.5	22.9	20.2		331.1		39.2
	27	6.4	4.8	5.6		91.8		10.9
	28	7.8	11.7	9.8		160.7		19.0
	29	11.6	11.4	11.5	61	188.5	515	22.3
	30	4.1	5.2	4.7		77.0		9.1
	31	12.7	11.0	11.9		195.1		23.1
Jun.	1	5.3	5.6	5.5		90.2		10.7
	2	9.9	10.8	10.4		170.5		20.2
	4	6.6	13.0	9.8		160.7		19.0
	5	4.6	6.6	5.6		91.8		10.9
	6	4.5	7.4	6.0		98.4		11.7
	7	5.1	7.2	6.2		101.6		12.0
	8	3.5	3.2	3.4		55.7		6.6
	13	16.6	10.3	13.5		221.3		26.2
	14	13.4	18.4	16.0		262.3		31.2
	15	9.0	11.5	10.3		168.9		20.2
	16	3.3	7.4	5.4		88.5		10.5
	18	5.8	4.2	5.0		82.0		9.7
	19	4.7	4.0	4.4		72.1		8.5
	21	13.0	8.0	10.5		172.1		20.4
	22	12.5	12.2	12.4		203.3		24.1
	23	11.1	13.1	12.1		198.4		23.5
	24	4.0	8.8	6.4		104.9		12.4
	26	12.8	14.9	13.9		227.9		27.0
	30	8.6	7.6	8.1		132.8		15.7
Jul.	1	13.3	18.7	16.0		262.3		31.1
	3	26.4	10.6	18.5		303.3		35.9
	4	12.0	16.4	14.2		232.8		27.6
	6	21.0	17.4	19.2		314.8		37.3
	7	24.0	17.1	20.6		337.7		40.0
	13	20.8	11.3	16.1		263.9		31.3
	14	12.7	19.4	16.1		263.9		31.3
	18	5.8	1.7	3.8		62.3		7.4
	19	13.2	11.4	12.3		201.6		23.9
	20	14.8	19.6	17.2		282.6		33.4

C. P. S. A.: Catch per sweeping area of the towing rope
C. P. F. V.: Catch per filtering volume of the towing net

Table 29. Catching efficiency of T net calculated from the result of the catch by the stern trawler (T3~T5).

Item Date	Catch per unit of effort by T3 (ton)	Catch per unit of effort by T4 (ton)	Catch per unit of effort by T5 (ton)	Mean value of catch per unit of effort (ton)	Mean value of sweeping area of the towing rope per towing (10^4m^2)	C.P.S.A. (kg/ 10^4m^2)	Mean value of filtering volume of the net per towing (10^3m^3)	C.P.F.V. (kg/ 10^3m^3)
1967, Apr. 19	20.1	17.1	22.2	19.8		257.1		29.7
23	12.1	17.4	17.2	15.6		202.6		23.4
24	17.5	13.8	20.8	17.4		226.0		26.1
25	27.9	23.0	25.6	25.2		327.3		37.8
26	29.9	20.8	19.6	23.4		303.9		35.1
May 1	18.0	15.7	14.0	15.9		206.5		23.8
2	18.7	18.8	22.4	20.0		259.8		30.0
3	15.1	17.1	13.7	15.3		198.7		22.9
4	10.7	19.5	12.1	14.1		183.1		21.1
5	10.3	11.6	17.0	13.0		168.8		19.5
6	13.9	11.1	10.9	12.0		155.8		18.0
9	12.0	11.4	10.5	11.3		146.8		16.9
10	10.4	10.0	13.2	11.2		145.5		16.8
11	15.4	11.1	12.8	13.1		170.1		19.6
12	14.6	15.6	13.9	14.7		190.9		22.0
16	21.5	35.2	17.9	24.9		323.4		37.3
17	30.1	20.3	26.3	25.6		332.5		38.4
18	15.6	25.5	18.6	19.9		258.4		29.8
19	12.2	22.1	15.1	16.5		214.3		24.7
20	8.4	21.6	15.8	15.3		198.7		22.9
23	19.6	26.2	21.8	22.5		292.2		33.7
24	27.0	33.6	24.9	28.5		370.1		42.7
27	14.1	11.0	8.4	11.2		145.5		16.7
28	11.3	15.9	17.0	14.7		190.9		22.0
29	20.5	17.0	13.5	17.0	77	220.8	667	25.5
30	6.2	7.5	6.9	6.9		89.6		10.3
31	12.2	19.3	14.2	15.2		197.4		22.8
Jun. 1	10.6	10.4	10.5	10.5		136.4		15.7
2	14.4	9.7	10.2	11.4		148.1		17.1
4	8.7	13.1	9.4	10.4		135.1		15.6
5	7.7	7.9	5.4	7.0		90.9		10.5
6	8.7	10.8	8.4	9.3		120.8		13.9
7	8.3	9.7	10.6	9.5		123.4		14.2
8	4.5	4.9	4.1	4.5		58.4		6.7
13	17.2	17.1	11.9	15.4		200.0		23.1
14	18.7	19.9	10.7	16.4		213.0		24.6
15	9.1	15.2	12.7	12.3		159.7		18.4
16	9.3	7.8	5.3	7.5		97.4		11.2
18	7.1	7.8	6.5	7.1		92.2		10.6
19	5.5	5.5	6.5	5.8		75.3		8.7
21	18.3	18.8	16.3	17.8		231.2		26.7
22	22.5	22.3	17.7	20.8		270.1		31.2
23	17.2	15.9	15.9	16.3		211.7		24.4
24	9.7	9.7	8.7	9.4		122.1		14.1
26	18.5	13.7	13.5	15.2		197.4		22.7
30	12.0	12.9	11.5	12.1		157.1		18.1
Jul. 1	17.4	12.8	18.3	16.2		210.4		24.3
3	10.5	10.6	19.3	13.5		175.3		20.2
4	17.4	28.0	13.6	19.7		255.9		29.5
6	24.8	25.2	18.8	22.9		297.4		34.3
7	18.1	16.0	18.2	17.4		226.0		26.1
13	63.8	33.1	41.9	46.3		601.3		69.4
14	23.5	66.2	38.3	42.7		554.5		64.0
18	4.1	4.9	7.3	5.4		70.1		8.1
19	19.1	11.9	14.9	15.3		198.7		22.9
20	27.9	32.0	22.0	27.3		354.5		40.9

C. P. S. A. : Catch per sweeping area of the towing rope
 C. P. F. V. : Catch per filtering volume of the towing net

た各船の結果を解析したものであるが、このうち漁場、操業日を同じくしたものは Table 28, 29 の T 網, Table 30, 31 の B 網と D 網の 1963 年型網の場合であって、全て各母船の操業報告書の中から抽出したものである。

漁獲性能の比較の方法としては、Table 28~32 に示すように、先ず各船の操業日の 1 曳網当り平均漁獲量を求め、これを 5.1 から得た各底曳網の曳網掃立面積で除して C. P. S. A. を算出し、曳網の漁獲性能の指数とし、次で同じく 1 曳網当り平均漁獲量を各網の曳網濾過容積で除して C. P. F. V. を算出し、網の漁獲性能の指数とした。次でこれらの指数を各網について比較し、明瞭な差を認められない場合は、前項で述べたように、C. P. S. A. および C. P. F. V. と 1 曳網当り漁獲量との回帰線の状態から比較検討することとした。なお C. P. S. A. および C. P. F. V. は原則として 1 曳網毎に漁獲量を、その時の曳網状態から計測した曳網掃立面積および曳網濾過容積で除して算出すべきであるが、実際には曳網する度に曳網掃立面積を求めるのは困難であるので、ここではその平均値を以てそれぞれの代表値とした。但し D 網 (1965 年型網) の C. P. S. A. については曳網掃立面積を各曳網毎に測定出来たので、毎回の曳網について C. P. S. A. を求めた。

Table 30. Catching efficiency of B net calculated from the result of the catch by the bull trawler (B2, B3).

Date	Catch by B2 (ton)	Catch by B3 (ton)	Total catch of B2 and B3 (ton)	Mean value of catch per boat (ton)	Mean value of catch per towing (ton)	Mean value of sweeping area of the towing rope per towing (10^4m^2)	C.P.S.A. (kg/ 10^4m^2)	Mean value of filtering volume of the net per towing (10^3m^3)	C.P.F.V. (kg/ 10^3m^3)
1963, Jun. 16	22(8)	29(8)	51(16)	25.5	3.19		26.8		5.8
17	18(8)	25(8)	43(16)	21.5	2.69		22.6		4.9
24	13(4)	18(4)	31(8)	15.5	3.88		32.6		7.1
25	17(8)	20(8)	37(16)	18.5	2.31		19.4		4.2
30	26(8)	28(8)	54(16)	27.0	3.38		28.4		6.2
Jul. 1	42(8)	35(8)	77(16)	38.5	4.81		40.4		8.8
2	28(8)	31(8)	59(16)	29.5	3.69		31.0		6.8
3	42(8)	40(8)	82(16)	41.0	5.13		43.1		9.4
4	48(8)	51(8)	99(16)	49.5	6.19		52.0		11.3
7	23(8)	19(8)	42(16)	21.0	2.63	119	22.1	546	4.8
13	50(8)	54(7)	104(15)	52.0	6.93		58.2		12.7
14	75(7)	71(7)	146(14)	73.0	10.43		87.6		19.1
Aug. 4	30(7)	23(7)	53(14)	26.5	3.79		31.8		6.9
19	59(7)	54(7)	113(14)	56.5	8.07		67.8		14.8
20	32(7)	39(7)	71(14)	35.5	5.07		42.6		9.3
21	28(7)	25(7)	53(14)	26.5	3.79		31.8		6.9
Sep. 21	19(5)	36(5)	55(10)	27.5	5.50		46.2		10.1
22	31(7)	32(7)	63(14)	31.5	4.50		37.8		8.2
24	20(7)	14(7)	34(14)	17.0	2.43		20.4		4.5
25	24(7)	24(7)	48(14)	24.0	3.43		28.8		6.3

Bracketed number show the number of the towing net.
C. P. S. A.: Catch per sweeping area of the towing rope
C. P. F. V.: Catch per filtering volume of the towing net

5. 3. 3 漁獲性能の比較結果

Table 28~32 より先ず各底曳網の漁獲結果を比較すると, Table 30~31 に示すように, 操業条件を同じくしたB網とD網(1963年型網)では, D網が1日当り平均漁獲量23.9トン, 1曳網当り平均漁獲量3.36トン, B網は1日当り平均漁獲量34.9トン, 1曳網当り平均漁獲量4.55トンとなり, B網がいずれも漁獲量が大となっている. 次に1965年に用いられたD網(1965年型網)の漁獲結果はTable 32によると, 1曳網当り平均漁獲量は5.76トンと同じ一そう底曳網である1963年型網より大となっている. 1967年に用いられたT網の1曳網当り平均漁獲量はサイドトロール網が12.5トン, スタントロール網が16.2トンとなり, 後者が大となっている.

次に漁獲性能の指数を各網について比較すると, Table 28~32 に示すように C. P. S. A. および C. P. F. V. とともにその値に変動がみられる. その上限値と下限値はTable 33 に示すように, まず曳網の漁獲性能の指数である C. P. S. A. の上限値では T 網が他の網よりはるかに大で, D 網(1965年型網), B 網, D 網(1963年型網)の順に小となっており, C. P. S. A. の下限値でも同様に T 網が最大で以下 B 網, D 網の順に小となっている.

底曳網自体の漁獲性能の指数である C. P. F. V. の上限値については, T 網(スタントロール網)

Table 31. Catching efficiency of D net calculated from the result of the catch by the Danish seiner (D1, D2).

Item Date	Catch by D1 (ton)	Catch by D2 (ton)	Total catch of D1 and D2 (ton)	Mean value of catch per boat (ton)	Mean value of catch per towing (ton)	Mean value of sweeping area of the towing rope per towing (10 ⁴ m ²)	C.P.S.A. (kg/ 10 ⁴ m ²)	Mean value of filtering volume of the net per towing (10 ³ m ³)	C.P.F.V. (kg/ 10 ³ m ³)
1963, Jun. 16	16.8(9)	18.6 (9)	35.4(18)	17.7	1.97		19.3		10.8
17	20.2(8)	19.2(10)	39.4(18)	19.7	2.19		21.5		12.0
24	6.7(3)	8.4 (3)	15.1 (6)	7.6	2.51		24.6		13.7
25	16.8(8)	16.8 (8)	33.6(16)	16.8	2.10		20.6		11.5
30	25.8(8)	41.9 (8)	67.7(16)	33.9	4.23		41.5		23.1
Jul. 1	26.9(7)	22.7 (8)	49.6(15)	24.8	3.31		32.5		18.1
2	26.9(9)	37.1 (9)	64.0(18)	32.0	3.56		34.9		19.5
3	30.3(8)	44.3 (8)	74.6(16)	37.3	4.66		45.7		25.5
4	20.2(8)	40.7 (9)	60.9(17)	30.5	3.58		35.1		19.6
7	23.5(8)	34.7 (9)	58.2(17)	29.1	3.42	102	33.5	183	18.7
13	14.6(5)	22.7 (6)	37.3(11)	18.7	3.39		33.2		18.5
14	25.8(6)	23.9 (6)	49.7(12)	24.9	4.14		40.6		22.6
Aug. 4	28.0(7)	23.3 (7)	51.3(14)	25.7	3.66		35.9		20.0
19	47.0(7)	35.9 (8)	82.9(15)	41.5	5.53		54.2		30.2
20	43.7(7)	18.0 (4)	61.7(11)	30.9	5.61		55.0		30.7
21	42.6(8)	31.1 (8)	73.7(16)	36.9	4.61		45.2		25.2
Sep. 21	4.5(1)	6.6 (4)	11.1 (5)	5.6	2.22		21.8		12.1
22	16.8(8)	23.9 (7)	40.7(15)	20.4	2.71		26.6		14.8
24	11.2(7)	19.2 (7)	30.4(14)	15.2	2.17		21.3		11.9
25	6.7(7)	10.8 (7)	17.5(14)	8.8	1.54		15.1		8.4

Figures in bracket show the number of the towing net.
C. P. S. A. : Catch per sweeping area of the towing rope
C. P. F. V. : Catch per filtering volume of the towing net

Table 32. Catching efficiency of D net calculated from the result of the catch by the Danish seiner (D3~D11).

No. of boat	Date	Catch (ton)	Sweeping area of the towing rope per towing (10 ² m ⁴)	C. P. S. A. (kg/10 ⁴ m ²)	Mean value of filtering volume of the net per towing (10 ³ m ³)	C. P. F. V. (kg/10 ³ m ³)
D 3	1965, May 27	15	107	140.2	223	67.3
	Jun. 30	3	107	28.0		13.5
	Jul. 12	5	102	49.0		22.4
D 4	Jun. 22	6	108	55.6		26.9
	Jul. 5	4	109	36.7		17.9
	11	5	102	49.0		22.4
	19	6	109	55.5		26.9
D 5	May 25	1	124	8.1		4.5
	Jun. 1	4	92	43.5		17.9
D 6	Jun. 19	3	119	25.2		13.5
	22	4	100	40.0		17.9
	24	10	119	84.0	44.8	
D 7	May 15	10	110	90.9	44.8	
	Jun. 11	2	152	13.2	9.0	
	23	6	125	48.0	26.9	
	24	5	137	36.5	22.4	
	30	4	143	28.0	17.9	
	Jul. 5	5	133	37.6	22.4	
15	5	141	35.5	22.4		
D 8	Jun. 11	1.5	115	13.0	6.7	
	22	2.5	130	19.2	11.2	
	23	12	99	121.2	53.8	
	Jul. 4	4	115	34.8	17.9	
	11	5	115	43.5	22.4	
D 9	May 25	5	102	49.0	22.4	
	Jun. 2	3	104	28.8	13.5	
	5	5	109	45.9	22.4	
D10	May 4	6	115	52.2	26.9	
	Jun. 9	10	134	74.6	44.8	
	14	2	114	17.5	9.0	
	21	15	114	131.6	67.3	
	22	12	108	111.1	53.8	
	Jul. 11	8	131	61.1	35.9	
D11	May 14	5	137	58.4	22.4	
	Jun. 30	4	114	35.1	17.9	
	Jul. 11	4.5	97	46.4	20.2	

C. P. S. A. : Catch per sweeping area of the towing rope
C. P. F. V. : Catch per filtering volume of the towing net

が最大であり、次で1965年型網のD網となり、B網が最小となっているが、下限値については各網間で大きな差はない。

次に縦軸に C. P. S. A. 横軸に1曳網当り漁獲量をとり、両者の関係から各底曳網の曳網についての漁獲性能を比較してみると、まず各曳網毎に曳網の掃立面積を測定したD網(1965年型網)では、Fig. 57に示すように最小自乗法で求めた直線の至近に C. P. S. A. の値がみられ、この直線の信頼性の高いことが認められる。他の底曳網の場合は、各曳網毎にその掃立面積を測定していないが、それぞれの漁場が至近の海域に集中し、また投網方法、曳網方法に共通点の多くみられるところから、曳網掃立面積の代表値で求めた C. P. S. A. と1曳網当り漁獲量との関係直線はD網(1965年型網)の場合と同様に信頼性の高いものと考えられる。Fig. 58は各底曳網の C. P. S. A. と1曳網当り漁獲量との関係を示したもので、T網のスタントロール網、D網、B網の順に小となっている。

この直線の傾きは曳網掃立面積の平均値の逆数に相当し、傾きの大なる程、曳網の仕事量の少ないことを意味している。従って曳網の漁獲性能はトロール網が最も優れ、一そう曳底曳網、二そう曳底曳網の順となっている。またトロール網の中ではサイドトロール網が、一そう曳底曳網の中で

Table 33. Comparison of C. P. S. A. and C. P. F. V. of T, B and D nets.

Item	Net Boat	T		B	D	
		T1, T2	T3~T5	B2~B3	D1, D2	D3~D11
C. P. S. A. kg/10 ⁴ m ²		450.8~55.7	601.3~58.4	87.6~19.4	55.0~15.2	140.2~8.1
C. P. F. V. kg/10 ³ m ³		53.4~ 6.6	69.4~ 6.7	19.1~ 4.2	30.7~ 8.4	67.3~4.5

T1, T2: Side type trawl net
B1~B3: Bull trawl net
D3~D11: '65 type Danish seine

T3~T5: Stern type trawl net
D1, D2: '63 type Danish seine

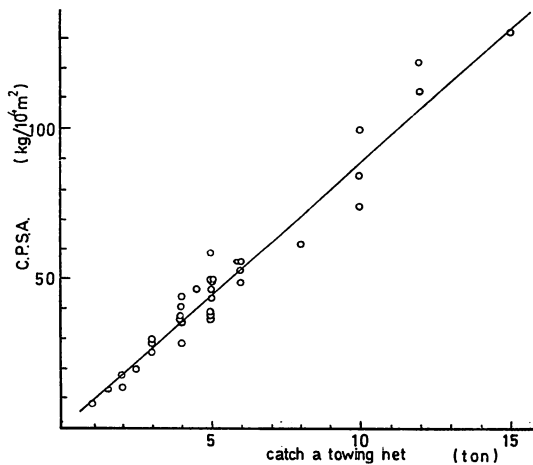


Fig. 57. Relationship between the catch per sweeping area of the towing rope (C. P. S. A.) and the catch by a towing net of D net used by the Danish seiner (D1, D2).

は1963年型網が優れている。

底曳網自体の漁獲性能についてはC.P.F.V.を縦軸、1曳網当り漁獲量を横軸にとり、C.P.S.A.と同様な考え方で各底曳網を比較すると、Fig. 59に示すように、D網を表わす直線の傾きが最も大で、T網とB網は共に小となっている。従って底曳網自体の漁獲性能は一そう曳底曳網が最も優れ、トロール網と二そう曳底曳網とでは大きな差は認められない。

しかしこれらの各網間の漁獲性能の比較はC.P.S.A.およびC.P.F.V.の各値の範囲内において

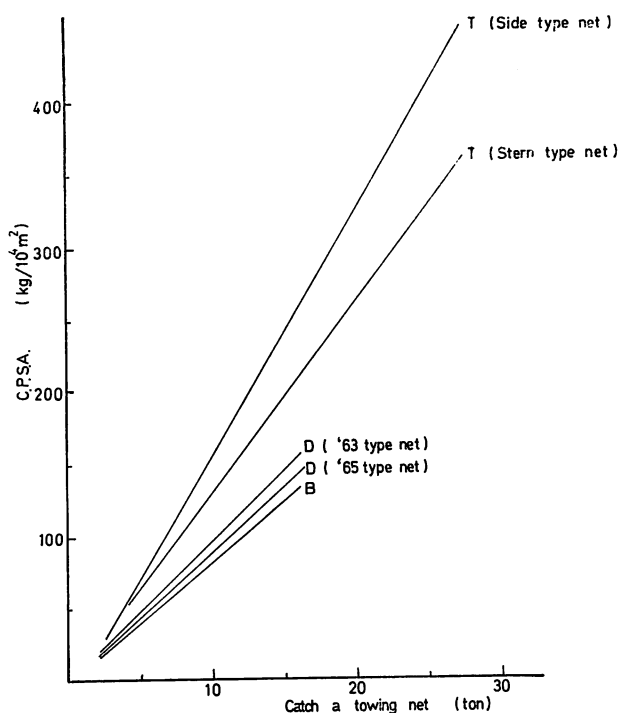


Fig. 58. Relationship between the catch per sweeping area of the towing rope (C. P. S. A.) and the catch by a towing net of T, B and D nets,

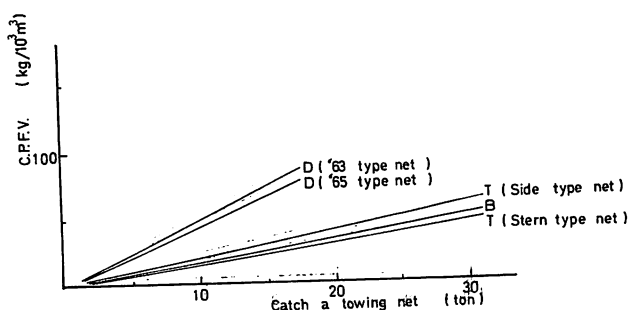


Fig. 59. Relationship between the catch per filtering volume of the towing net (C. P. F. V.) and the catch by a towing net of T, B and D nets.

て、漁具の仕事量の逆数、即ち曳網では曳網掃立面積、網では曳網濾過容積の逆数の値で比較されることになる。ここで各網の漁獲性能を具体的に比率で示すと、先ず曳網の漁獲性能はサイドトロール網の C. P. S. A. の $450 \text{ kg}/10^4 \text{ m}^2$ に相当する 1 曳網当り漁獲量 27.5 トンまでは、サイドトロール網に対し

$$\text{スタントロール網} : \frac{61 \times 10^4 \text{ m}^2}{77 \times 10^4 \text{ m}^2} \times 100 = 79.2(\%)$$

$$\text{二そう曳底曳網} : \frac{61 \times 10^4 \text{ m}^2}{119 \times 10^4 \text{ m}^2} \times 100 = 51.3(\%)$$

$$\text{一そう曳底曳網 (1963年型網)} : \frac{61 \times 10^4 \text{ m}^2}{102 \times 10^4 \text{ m}^2} \times 100 = 59.8(\%)$$

$$\text{一そう曳底曳網 (1965年型網)} : \frac{61 \times 10^4 \text{ m}^2}{114 \times 10^4 \text{ m}^2} \times 100 = 53.5(\%)$$

となる。なおトロール網を除く 2 網については 1 曳網当り漁獲量が少なく、二そう曳底曳網と一そう曳底曳網の各比率は、後者の 1963 年型網の C. P. S. A. の $55.0 \text{ kg}/10^4 \text{ m}^2$ に相当する 1 曳網当り漁獲量 5.61 トンの範囲内で定められるものである。

底曳網の漁獲性能は、一そう曳底曳網 (1965 年型網) の C. P. F. V. の $67.3 \text{ kg}/10^3 \text{ m}^3$ に相当する 1 曳網当り漁獲量 15 トンまでは、一そう曳底曳網 (1963 年型網) に対し、

$$\text{サイドトロール網} : \frac{183 \times 10^3 \text{ m}^3}{515 \times 10^3 \text{ m}^3} \times 100 = 35.5(\%)$$

$$\text{スタントロール網} : \frac{183 \times 10^3 \text{ m}^3}{667 \times 10^3 \text{ m}^3} \times 100 = 27.4(\%)$$

$$\text{二そう曳底曳網} : \frac{183 \times 10^3 \text{ m}^3}{546 \times 10^3 \text{ m}^3} \times 100 = 33.5(\%)$$

$$\text{一そう曳底曳網 (1965年型網)} : \frac{183 \times 10^3 \text{ m}^3}{223 \times 10^3 \text{ m}^3} \times 100 = 82.1(\%)$$

となる。これらの値は 1963 年型一そう曳底曳網の漁獲性能を 1 とした場合の各網の係数とも言うべき値で、各網の設計および漁場の環境条件に変化がなければ、これらの値を標準として資源変動をみる事が可能である。なお 1 曳網当り漁獲量が 15 トンをこえる場合はトロール網だけが比較可能であり、またトロール網と二そう曳底曳網の C. P. F. V. の上限値は前者がはるかに大であることから、後者の上限値 $19.1 \text{ kg}/10^3 \text{ m}^3$ に相当する 1 曳網当り漁獲量 10.4 トンを超えて漁獲する場合はトロール網の漁獲性能が優れていることも考えられる。

5. 3. 4 考 察

漁獲性能を比較する場合は前述したように、各底曳網の用いられる漁場の物理的、生物的環境条件の等しいことが原則的な前提条件となるので、先ずこれまで漁獲性能の比較を行なった各底曳網の用いられた漁場、漁期および対象魚種を比較した上で各底曳網の漁獲性能について総括的に論述することにする。

(I) 漁 場・漁 期

各底曳網の用いられた漁場は Fig. 2 に示したようなベーリング海 東部大陸棚および同傾斜海域

である。これらの諸漁場を含むベーリング海東部海域の漁場形成の季節的推移は小藤・前田⁹¹⁾の解析によると、同大陸棚上の底部水温の負温帯の移動および消長によって左右されるという。即ち冬期アラスカ半島中部沖合より以北、大陸棚上の大半の海域に亘って構成される底部水温の負温帯は春期表層水の昇温とアラスカ海流の活動とによって舌状になりながら漸次北西方に押され、夏期に

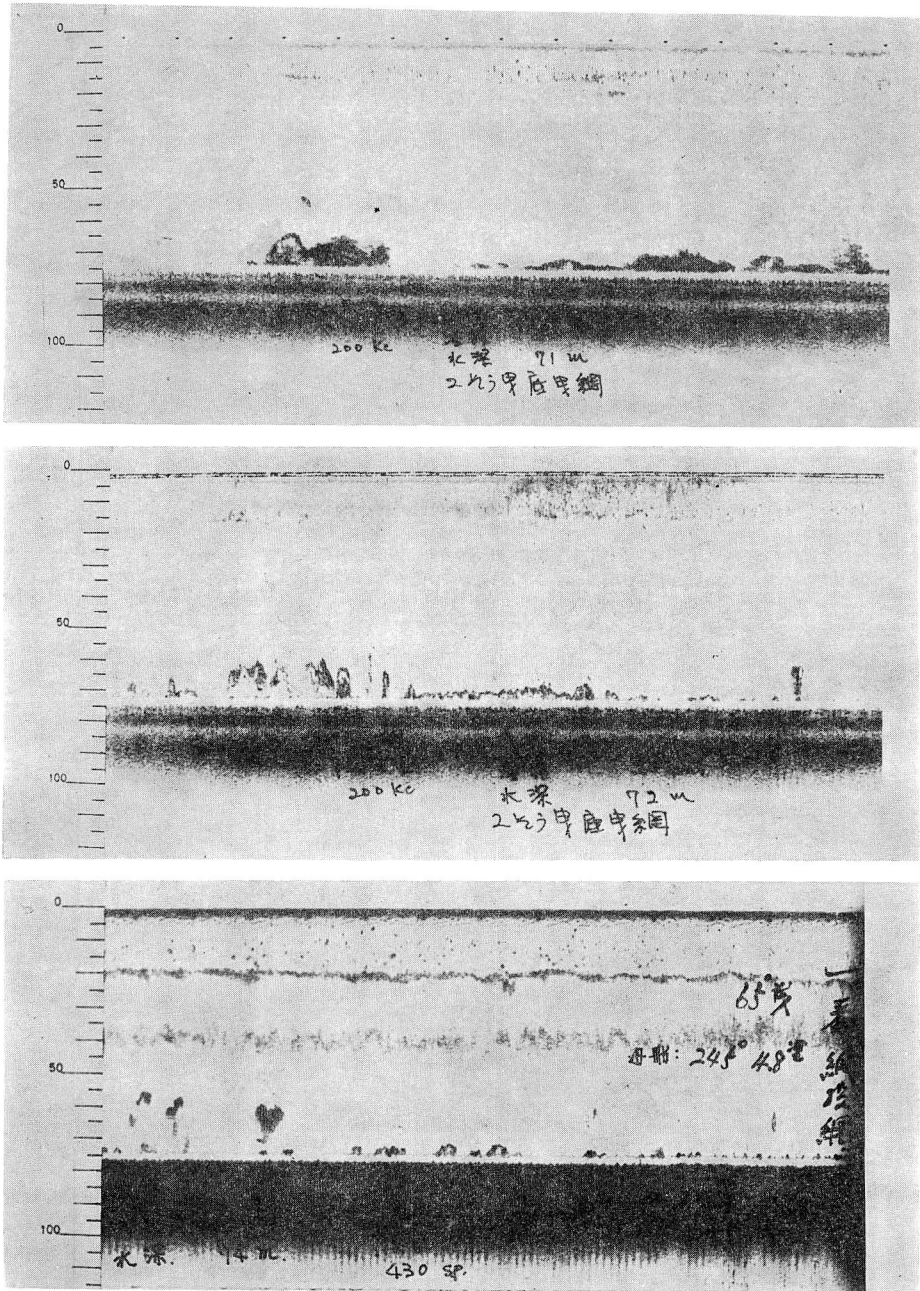


Fig. 60. Echo of a school of *Theragra chalcogramma*.

はプリピロフ諸島の北方まで移動し、この状態は秋期まで続く。この負温帯の移動は当然大陸棚およびその縁辺の海洋構造を時期的に変えることになるので負温帯の周辺海域に形成される漁場は春期から夏期にかけて漸次北上し、秋期から冬期にかけて再び南下することになる。これらの各漁場で主対象魚となったスケトウダラは主として負温帯の南側、水温 $1.0 \sim 2.5^{\circ}\text{C}$ の海域に、ホッコクア

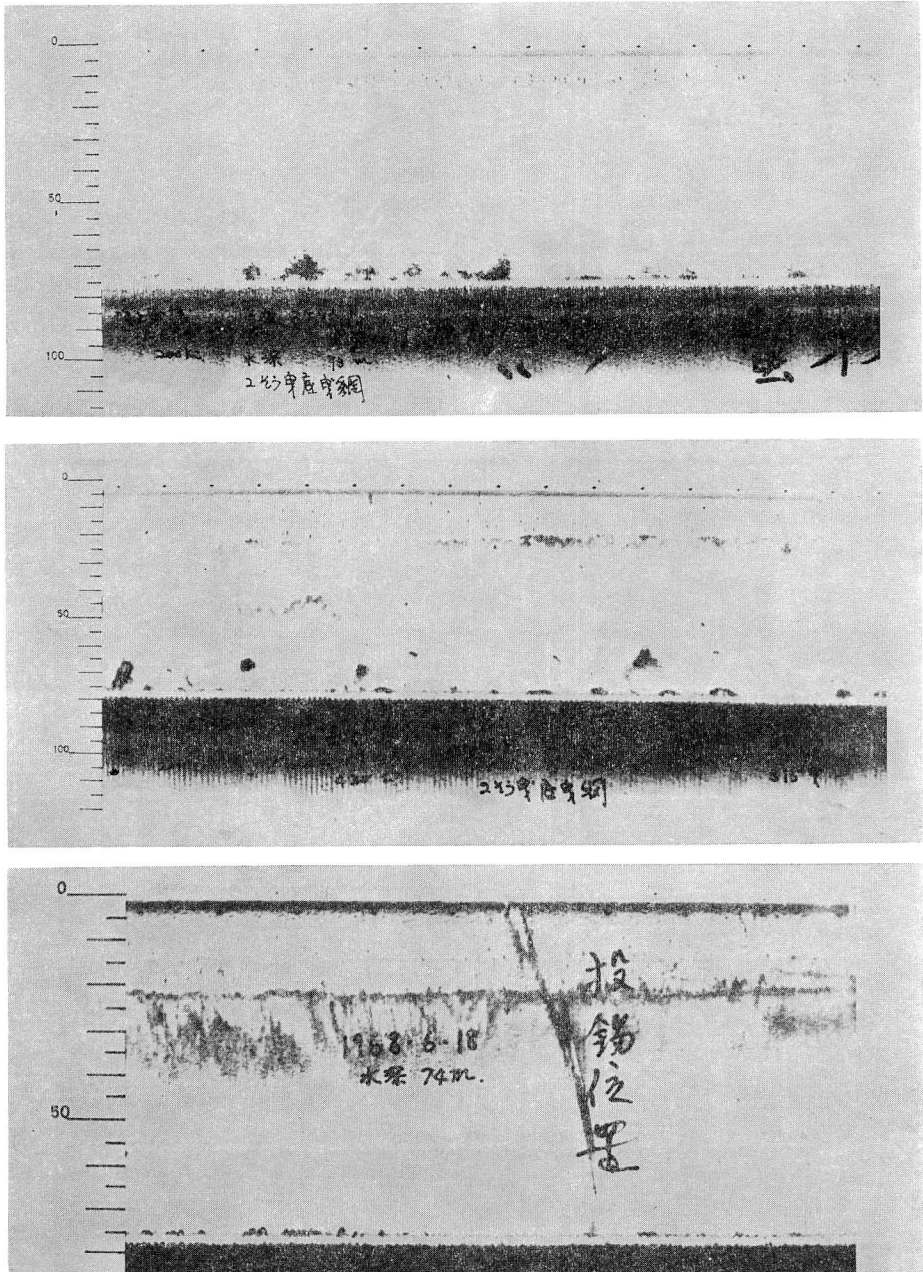


Fig. 60. Continued.

カエビ、ユーファシャ等を餌料として高密度の集群をなし移動する。スケトウダラの集群状態は Fig. 60 に示した音響測深儀の記録結果からもわかるように、昼間の遊泳層は海底から約 10 m の高さまで達し、記録の濃淡からみて 5 m 層までは平均してかなり濃密な群を形成している。各母船の操業した漁場をみると、1963年度の G_y 船団は 4 月 Bristol 湾口より操業を開始し、以後 4～5 月を同海域で、6 月にはプリピロフ諸島の北方海域、8 にはナバリン岬南方海域で操業しており、従ってその漁場は大陸棚の全域に亘っている。その操業水深は 100～150 m 層が全操業回数の 82 % で、操業の大半はこの水深層で行なわれている。

1965年度の T_e 船団は上述の G_y 船団の操業した漁場より西方に偏した海域を漁場としている。即ち 4 月下旬ウーマック水道北方漁場にユーファシャの発生を追って深層より浅層に移動してきた魚群を対象として操業を開始し、6 月中旬まで同海域で操業し、それ以後、プリピロフ諸島北方漁場で 9 月まで、9 月から 10 月にかけて南下し、再びウーマック水道北方漁場で操業している。操業水深は G_y 船団より深層に及び、200～300 m 層が全操業回数の 51% を占め、ついで 100～150 m 層が 36% で最深 375 m となっている。このように深層に操業水深が比較的に集中しているのは、ウーマック水道北方漁場の海底形状によるもので、深所が西方よりウーマック水道北方の大陸棚にむかって楔状に入りこんでいるため、スケトウダラの高密度群はその楔状の各水深層に随所に点在して漁場を形成しているものと考えられる。1967年の S_o 船団は上述の 2 船団より漁場範囲が狭く、ほとんど大陸棚傾斜漁場で操業を行なっている。即ち 6 月初旬から下旬にかけてウーマック水道北方漁場、7 月は北上してプリピロフ諸島の西方漁場、7 月から 10 月にかけては南下して再びウーマック水道北方漁場で操業している。

操業水深の操業回数の比率は 110～150 m : 11 % , 150～200 m : 36 % , 200～300 m : 31 % , 300～400 m : 22 % と主として 150～300 m の水深層での操業回数が多く、最深操業水深は 414 m となっている。各船団とも、省令で定める操業許可海域の制限があるが、このように 1963年の G_y 船団は 150 m 以浅の大陸棚上をかなり大規模に移動しながら随所に漁場を定めて操業しているのに対し、1955年度の T_e 船団は大陸棚の縁辺海域に、1967年の S_o 船団は更に深層の縁辺海域を操業している。各網の最深曳網水深は、二そう曳底曳網で 150 m、一そう曳底曳網で 375 m となっているが、トロール網は 414 m と最も深い漁場で用いられている。

(II) 主対象魚

本論で資料として取り扱った 1963年から 1967年にかけてのベーリング海における各母船の主対象魚は前述したようにスケトウダラであるが、その 3 年間に於ける各母船の漁獲結果は Table 34 に示すように、スケトウダラをフィッシュミールの原料魚として本格的に漁獲し始めた 1963年では全漁獲高の 68.2 % を占め、その後同魚の漁獲高は増加し、1967年の S_o 船団の場合は実に全漁獲

Table 34. Catching state of the trawling factory fleet in the Bering Sea.

Unit: ton

Year	Item	Mother ship	Total catch	<i>Theragra chalcogramma</i>	<i>Gadus macrocephalus</i>	Species of soles	Others
1963		G _y	100861(100)	68817(68.2)	3133 (3.1)	27656(27.4)	1255(1.3)
1965		T _e	47834(100)	35883(75.0)	6108(12.7)	4920(10.2)	913(2.3)
1967		S _o	153513(100)	139960(91.2)	3763 (2.5)	6498 (4.2)	3292(2.1)
1968		N _i	140949(100)	125298(88.9)	7328 (5.2)	7630 (5.4)	693(0.5)

高の91.2%を占めるに至った。このように漁獲高のほとんど大半を占めるスケトウダラの体長組成を年度別に比較すると、Fig. 61に示す通りである。1963年度G₁船団における宮崎の測定によると、体長(F. L)42~44cmにモードが認められ、漁場が同一であれば年度が異なっても体長組成に大きな差のないことがわかった。

次に1967年度のS₁船団において測定したスケトウダラの体型は、Fig. 62に示す状態から、体長と体高、体巾との関係は回帰直線で、体長と体重との関係は回帰曲線でそれぞれ表わすことが出来よう。このような傾向は、同じくFig. 62に示した1968年度の同漁場における他船団の測定結果でも認められるようである。このように各底曳網は春期から秋期にかけて、大陸棚傾斜海域から

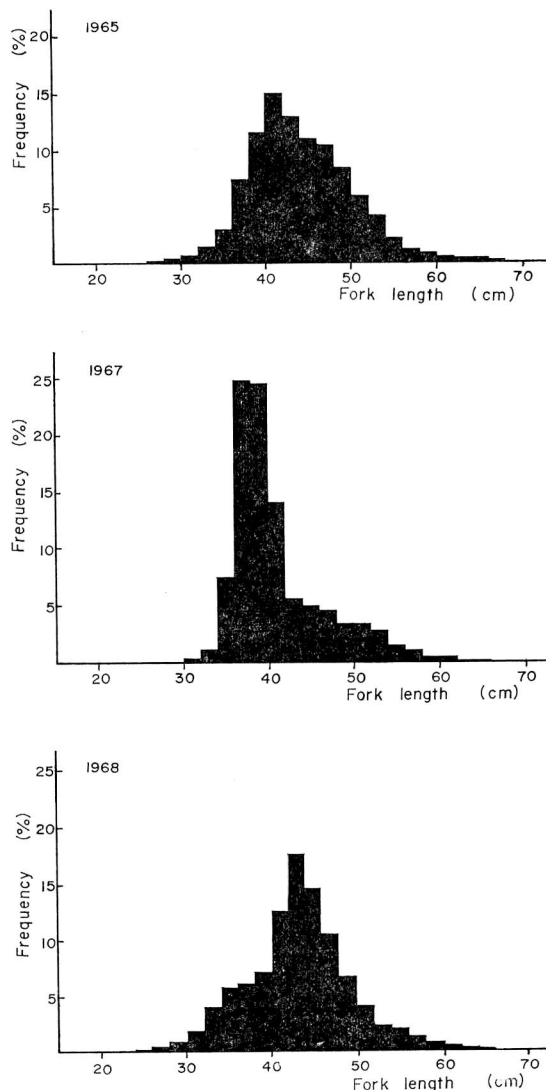


Fig. 61. Frequency distributions of the fork length of *Theragra chalcogramma* in the Bering Sea, 1965, 1967 and 1968.

大陸棚にかけて、大規模に回遊するスケトウダラを対象とした操業に用いられたものであり、また漁場は過去の豊富な資料と母船の周辺海域に常時展開して試験操業を行なっている調査船の調査結果から漁場を順次に選定してゆくので、操業位置および時期については大きな差はないものと考えられる。

(III) 漁獲性能

底曳網を曳網の過程と底曳網自体とにわけ、それぞれの漁獲性能を各底曳網について比較した結果、まず曳網の漁獲性能は Table 33 と Fig. 58 に示すように、トロール網の 2 つの網は他網より C. P. S. A の値が大であり、また Fig. 58 に示す回帰直線の傾度が大であることから、曳網の漁獲性能は他網よりはるかに優れていることが言える。このようにトロール網の曳網の漁獲性能が優れている理由としては、曳網の接地部分が 3.2 m の高さを有する O. B であるため、立体的な駆集効果を有する点にあると考えられる。二そう曳底曳網と一そう曳底曳網とでは、Fig. 58 に示す回帰直線の傾度からみて、曳網の漁獲性能は後者が若干優れているが、これは後者の接地する曳

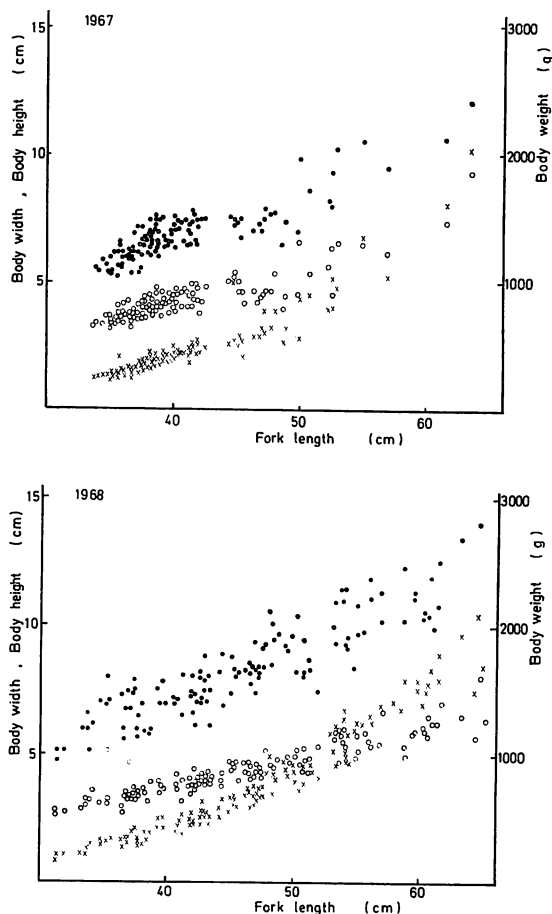


Fig. 62. Biological conditions of *Theragra chalcogramma* in the Bering Sea, 1967 and 1968.

● : Body height ○ : Body width × : Body weight

網の長さがより長い理由によるものであろう。

底曳網自体の漁獲性能は Table 33 と Fig. 59 に示すように、一そう曳底曳網の2つの網が他網に比して C. P. F. V. の値では必ずしも最大ではないが、Fig. 59 に示す回帰直線の傾度が最大であるところから、C. P. F. V. の値が1963年型網では $30.7 \text{ kg}/10^3 \text{ m}^3$ 、1965年型網では $67.3 \text{ kg}/10^3 \text{ m}^3$ に相当するそれぞれの1曳網当り漁獲量の範囲では、一そう曳底曳網の漁獲性能は他網よりはるかに優れていることが言える。その理由としては、底曳網の網成りが他網より魚群の入網し易い形状をなしている理由の他に、後述するように (5. 4. 2. 5)、魚群の入網する時点で魚群は曳網によって網の前面に濃密な集群を形成すること、また網速度がこの網としては最高の2.0~2.5ノット、袖先間隔は約7mで網口中央高さはかなり高くなるので、魚群の入網に好条件を揃える結果となることが推考される。なおトロール網は他網より漁具性能が優れ、1曳網当り漁獲量も最も大であるが、網の仕事量が大きいため C. P. F. V. の値は必ずしも他網より大とならず、一そう曳網底曳網より漁獲性能は劣る結果となっている。しかし三角網の網地面積が広くその拡網効果が優れているため、漁獲量の多い場合は三角網の網地面積の狭い二そう曳底曳網より漁獲性能は優れている。

各底曳網の漁獲性能は (I)、(II) で述べたように、各網の用いられた漁場の操業位置、時期、水深が多少相違するけれども、主対象魚が全てスケトウダラであるという点で各底曳網の用いられた漁場の環境条件を同一視して比較を行なったものである。しかし各底曳網の漁獲物の内容をみると、魚種組成の異なっている場合もあり、全漁獲物に対するスケトウダラの占める比率は68.2~91.2%と比率に巾がみられる。従って厳密に言えば、魚種別に類別し、それぞれについて各網の漁獲性能を比較すべきであるが、本論ではスケトウダラで主群を占める全漁獲物を対象として比較したので、今後は更に各魚種について底曳網の漁獲性能を比較してみる必要がある。特に各網で漁獲量に差があると言われているブリストル湾口西方海域のコガネガレイを対象とする場合の二そう曳底曳網と一そう曳底曳網、また大陸棚傾斜漁場のアブラガレイを対象とする場合のトロール網と一そう曳底曳網の漁獲性能の比較は、本論で解析した漁獲性能の比較結果を検証する意味もあり、興味ある問題点でもあるので本論と同じ方法で模型実験と資料の解析を行ない検討したいと考える。

5. 4 底曳網設計上の基本的問題点の実験的解析

底曳網を設計する場合に従来とられてきた方法としては、底曳網のもつ物理的問題点を理論的または実験的に解析して理想の網成りおよび抵抗を得よう検討してきたが、漁場の環境条件が複雑化してきた現在では、従来の方法では必ずしも妥当な設計方法とは言えなくなった。即ち、海底形状が平坦で広範囲な従来の漁場では、面の曳網法がとられていたのに対し、現在では漁場は大陸棚傾斜漁場もしくは海台、海膨上のように極く限られた狭い範囲であるため線もしくは点の曳網法をとらざるを得なくなり、勢い漁場の物理的環境条件もさることながら生物的環境条件も設計上検討すべき重要な問題点となってきた。このような影響を受けて最近の底曳網の設計方法は底曳網のもつ物理的および生物的特性を発揮出来るよう漁場の諸条件を考慮に入れて解析する方向に向っているが、実験装置や資料および取扱い等の点で未だ十分な解析は行なわれていない現状である。

そこで本論では、底曳網のもつ諸特性のうちから、物理的問題点として、網の構成を異にする底曳網の網成りの相違および網内外の流速差と網成りとの関係について、また生物的問題点として曳網に対する魚群行動および囊網中の魚群行動を取りあげ、それぞれについて実験的解析を行なってみた。

5. 4. 1 物理的問題点の実験的解析

5. 4. 1. 1 網地配置を異にする基本型3種の物理的性状

底曳網を構成する各網地の設計方法は既述したように底曳網の種類および対象魚種によって種々異なっているが、終戦以来、網糸の合繊化、漁船の大型化等によって急速に変化してきている。勿論、漁船と漁場によってもその設計方法は異なるが、一般にトロール網は2枚構造網から6枚構造網へ、二そう曳底曳網は4枚構造網から上部三角網を附加した網へ、一そう曳底曳網は上部三角網と下部三角網を附加した6枚構造網に近い形をとっている。これらの各網地の設計方法は経験的に改変されたものが多く、その点2枚構造網、4枚構造網、6枚構造網の実験的比較はそれぞれの網の特徴を解明する点で意義があり、底曳網設計の指針となり得ると考えられる。そこで本章では袖網および囊網の主要部分をほとんど同型のものとした2枚、4枚、6枚構造網を設計して模型実験を行ない、それぞれの網の特徴点について比較検討することとした。

(I) 実物網

実物網は2枚構造網(X網)、4枚構造網(Y網)、6枚構造網(Z網)の3種とし、いずれも袖網、魚捕部を同一構造のものとした。X網は Fig. 63 に示すように、3種の網の中では最も底曳網の原型に属するもので、1960年頃まで用いられた中型サイドトローラー用の浮子網長44mのトロール網の構造に類似しており、図示するように袖網、天井網、同型の背網と腹網および魚捕部からなっている2枚構造網である。Y網はX網の囊網部に4本の筋網をとりつけた網で、背、腹網部に脇網を挿入した4枚構造網である。Z網はY網の袖網部に三角網をとりつけた網で、三角網の規模が幾分か小さすぎるが、ここでは6枚構造網として扱うこととする。

網糸の材料は袖網、三角網をポリエチレントワイン、天井網、背網、腹網、脇網をナイロントワイン、魚捕部をクレモナトワインとし、目合の長さは袖網を150mm、囊網を全て60mmとした。網類にはいずれもワイヤーロープを用い、その径は浮子網を12mm、沈子網を18mmとし、浮子網に装着する浮子の浮揚力を150、300kgの2通り、沈子網に装着する沈子の沈降力をいずれも400kgとし、浮子網および沈子網にかかる単位長さ当りの浮揚力、沈降力を袖網部1.0に対して網口部1.5の比率になるよう設計した。

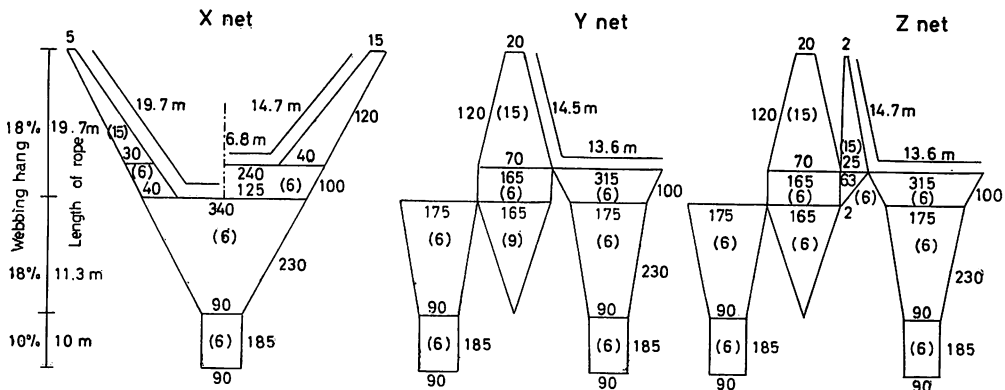


Fig. 63. Design of the three type nets.
Numbers in figures show the mesh number, bracketed numbers showing the mesh size (mm), Meter shows the length of the rope.

(II) 模 型 網

模型網は全て田内の比較法則に従って作製することとし、(1)長さの縮尺比、(2)トワインの径および目合長の比、(3)流速の比、(4)網類の径の比、(5)浮子の浮揚力、沈子の沈降力および抵抗の各比を次のように定めた。なお網糸の材料には全てナイロンを用いた。

$$(1) \quad \frac{\lambda'}{\lambda''} = \frac{1}{35} \quad \lambda: \text{長さ}, \quad ': \text{模型網}, \quad '': \text{実物網}$$

$$(2) \quad \frac{d'}{d''} = \frac{l'}{l''} = 0.12 \quad d: \text{網糸の径}, \quad l: \text{目合長}$$

$$(3) \quad \frac{v'}{v''} = \sqrt{d'(\rho'-1)/d''(\rho''-1)} = 0.25 \quad v: \text{流速}, \quad \rho: \text{網糸の比重}$$

$$(4) \quad \frac{d_1'}{d_1''} = \sqrt{\lambda'/\lambda'' \cdot (v'/v'')^2 \cdot (\rho_1''-1)/(\rho_1'-1)} = 0.301 \quad d_1: \text{網の径}, \quad \rho_1: \text{網の比重}$$

$$(5) \quad \frac{f'}{f''} = (\lambda'/\lambda'')^2 \cdot (v'/v'')^2 = 2.04 \times 10^{-4} \quad f: \text{力}$$

(III) 実 験 方 法

実験は Fig. 21 に示した大型回流水槽の槽底に模型網をおき流速をあてる従来と同一の方法で実施した。実験の内容は実物網換算で袖先間隔を 21m, 35m の 2 通り、浮子の浮揚力を 150, 300 kg の 2 通りとし、速度を 0.5 ノット毎に 3.0 ノットまでの 7 通りの各組合わせについて、各部の網高さ、および網抵抗の測定と網成りの観察を行なった。

(IV) 実 験 結 果**a) 網口中央高さ**

各網の網口中央高さとの関係は Fig. 64, 65 に示すように、いずれも 2.0~3.0 ノットの範囲でその低下率は小となり、3.0 ノット以上に達するとほとんど一定値に近づく傾向が認められるが、この傾向は袖先間隔の広狭、浮子の浮揚力の大小にかかわらず同じ傾向を示している。また一般に袖先間隔の狭い場合および浮子の浮揚力の大である場合は網口中央高さが高くなっている。各網の比較では、浮子の浮揚力 300 kg の場合で Z 網が最も高く、Y 網、X 網の順に低くなるが、Z 網、Y 網の高さはいずれの速度の場合でも両者間に大きな差は認められず、その差は 0.7 m を超えない。しかも X 網の場合は他の網との差が大きく、Y 網との差は低速時では最高 2.5 m に達する。しかしこのような高さの差も速度が速くなるに従って減少し、2.5 ノット以上では 0.5 m をこえない。浮子の浮揚力 150 kg の場合では 300 kg の場合と異なった結果を示し、Fig. 65 に示すように、1.7 ノットまでは Y 網が最も高く、Z 網、X 網の順に低くなるが、1.7 ノット以上に達すると、袖先間隔 21 m の場合は、Z 網、X 網、Y 網の順に、袖先間隔 35 m の場合は Z 網、Y 網、X 網の順にいずれも低くなっている。ここで浮揚力 150 kg、袖先間隔 21 m の Y 網が 1.7 ノットで Z 網の高さよりも低くなり、さらに 2.1 ノットで X 網の高さよりも低くなったことは注目すべきことである。浮子の浮揚力の異なる場合の網口中央高さは Fig. 64 に示すように、袖先間隔を 21 m にして 0.5 ノットから 3.0 ノットの曳網速度で曳網したときの両者の網口中央高さの差は X 網: 0.5~0.3 m, Y 網: 1.2~0.9 m, Z 網: 2.9~0.4 m となり、袖先間隔 35 m の場合のそれらは X 網: 0.6~0.3 m, Y 網: 1.2~0.3 m, Z 網: 2.2~0.6 m となり、Z 網が最も浮子の浮揚力の影響を受けることを示している。

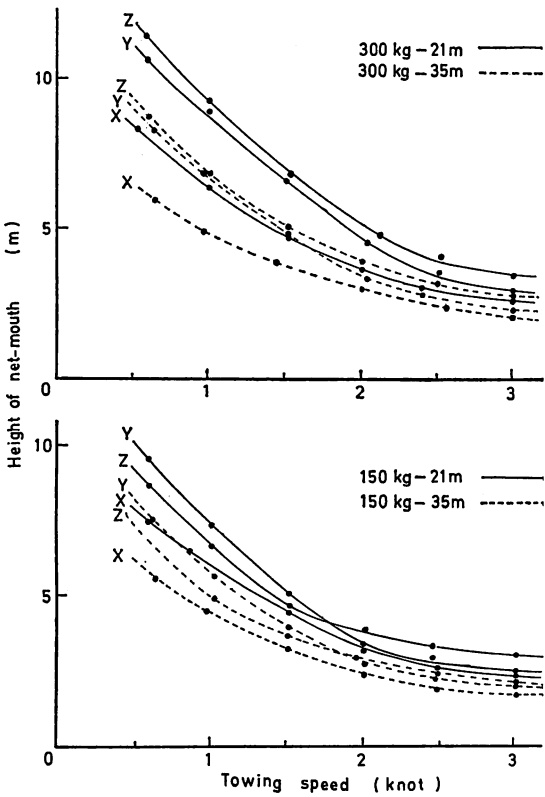


Fig. 64. Relationship between the height of the net-mouth and the towing speed. m-kg shows experimental condition, m: interval between the wing ends, kg: buoyancy of floats. X, Y, Z show the nets, X: X net, Y: Y net, Z: Z net.

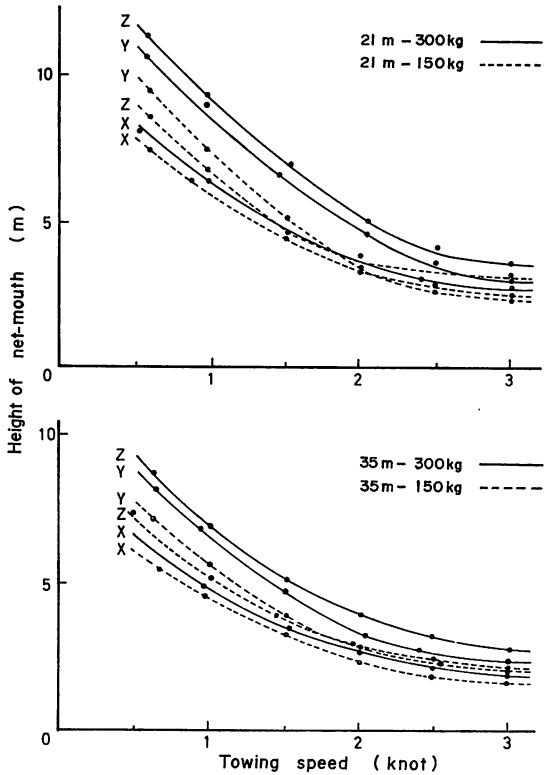


Fig. 65. Relationship between the height of the net-mouth and the towing speed. m-kg shows experimental condition, m: interval between the wing ends, kg: buoyancy of floats. X, Y, Z show the nets, X: X net, Y: Y net, Z: Z net.

b) 網にかかる流水抵抗

網にかかる流水抵抗は Fig. 66 に示すように、いずれの実験条件の場合でも速度の増加に伴って増大する傾向が認められる。2.0 ノット以上の速度では Z 網が最も大きく、Y 網、X 網の順に抵抗は小となっている。3 者の浮子の浮揚力を一定とする場合は袖先間隔の広い場合が、また袖先間隔を一定とする場合は浮子の浮揚力の大である場合がいずれも抵抗値は大である。次に Fig. 66 より抵抗値 (R) と速度 (V) に関する一般式 $R=KV^n$ の n の値を求め各網について比較すると、Table 35 に示すように浮子の浮揚力 150 kg、袖先間隔 35 m の場合を除いて n の値は Z 網が最も大で、X 網が最も小である。特に Z 網の n の値が 1.75~1.87 と 2.0 に近い値をとることは、網口附近の網地が三角網によって十分に拡網するために変形が少なく、他網より完全な囊網に近い形状をとるものと考えられ、この点は後述する網口断面積が Z 網の場合最も広い結果と一致している。

c) 網口形状

網の上方、側方および前方より撮影した写真と網口各部の網高さの測定とによって各網の拡網状態を比較すると、まず網口中では、1 例としてあげた Fig. 69 の平面図でもみられるように脇網、

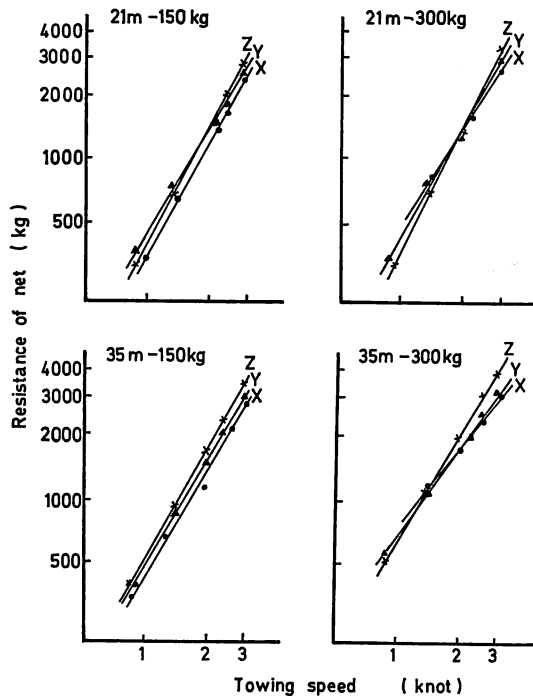


Fig. 66. Relationship between the resistance of the net and the towing speed.
m-kg show experimental condition, m: interval between the wing ends, kg: buoyancy of floats. X, Y, Z show the nets, X: X net, Y: Y net, Z: Z net.

Table 35. Values of n in the equation about the resistance of the nets to the running water.

Net \ Condition	21m-150kg	35m-150kg	21m-300kg	35m-300kg
X-net	1.77	1.94	1.63	1.33
Y-net	1.63	1.63	1.80	1.39
Z-net	1.84	1.75	1.87	1.77

21m, 35m: Interval between the wing ends
150kg, 300kg: Buoyancy of floats

三角網を有するZ網が最も長く、X網が最も短い。網口附近の断面形状は Fig. 69 の側面図および前面図に示すように、Z網がその網地面積が最も広いいため最も囊状に拡網し、また網口から魚捕部前縁に至る背線の底面に対する傾斜はZ網が最も緩やかでX網が最も急である。網口断面形状は前面図に見られるように、天井網の浮子網はいずれも円弧状の曲線をなしているが、その曲率半径は速度が増加するに従って大となり、先ずX網から、次でY網、Z網の順に直線状に近づく傾向がある。

網口断面面積はいずれの速度においてもZ網が最も大きく、Y網、X網の順に小さいことが認められた。袖先間隔35mで浮子の浮揚力を300kgとした場合の各網の網口断面面積を比較すると、Fig. 67に示すように各網の速度の増加に伴う面積の減少量は1.0~2.0ノットでX網: 36 m², Y: 網

55 m², Z網: 62 m², 2.0~3.0ノットで X網: 21 m², Y網: 21 m², Z網: 11 m² となり, 2.0~3.0ノットの場合が1.0~2.0ノットの場合より減少量は少なく, 特にZ網は2.5~3.0ノットで僅か2 m² となり, この速度で網口断面積は略一定値になることを示している.

d) 曳網濾過容積

袖先間隔 35 m で浮子の浮揚力 300 kg の各網の曳網濾過容積と速度との関係は Fig. 68 に示す通りで, Z網が最も大で, Y網, X網の順に小となっている. 速度の増加に伴う該容積の増加の状態は2.0ノットまでは各網とも略同様の傾向をとるが, 2.0ノット以上に達するとZ網が他の網よ

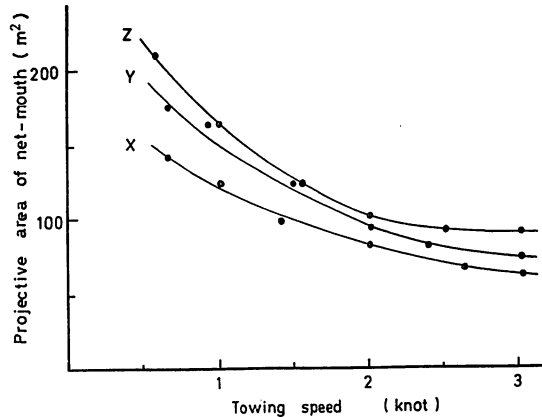


Fig. 67. Relationship between the projective area of the net-mouth and the towing speed.

Experimental conditions are the interval between the wing ends: 35 m, and buoyancy of floats: 300 kg. X, Y, Z show the nets, X: X net, Y: Y net, Z: Z net.

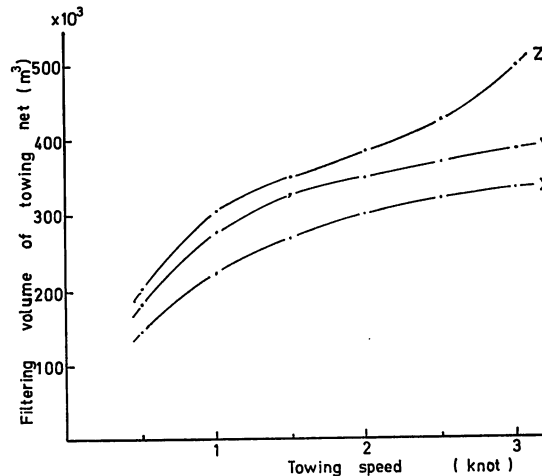


Fig. 68. Relationship between the filtering volume of the towing net and the towing speed.

Experimental conditions are the interval between the wing ends: 35m, and buoyancy of floats: 300kg. X, Y, Z show the nets, X: X net, Y: Y net, Z: Z net.

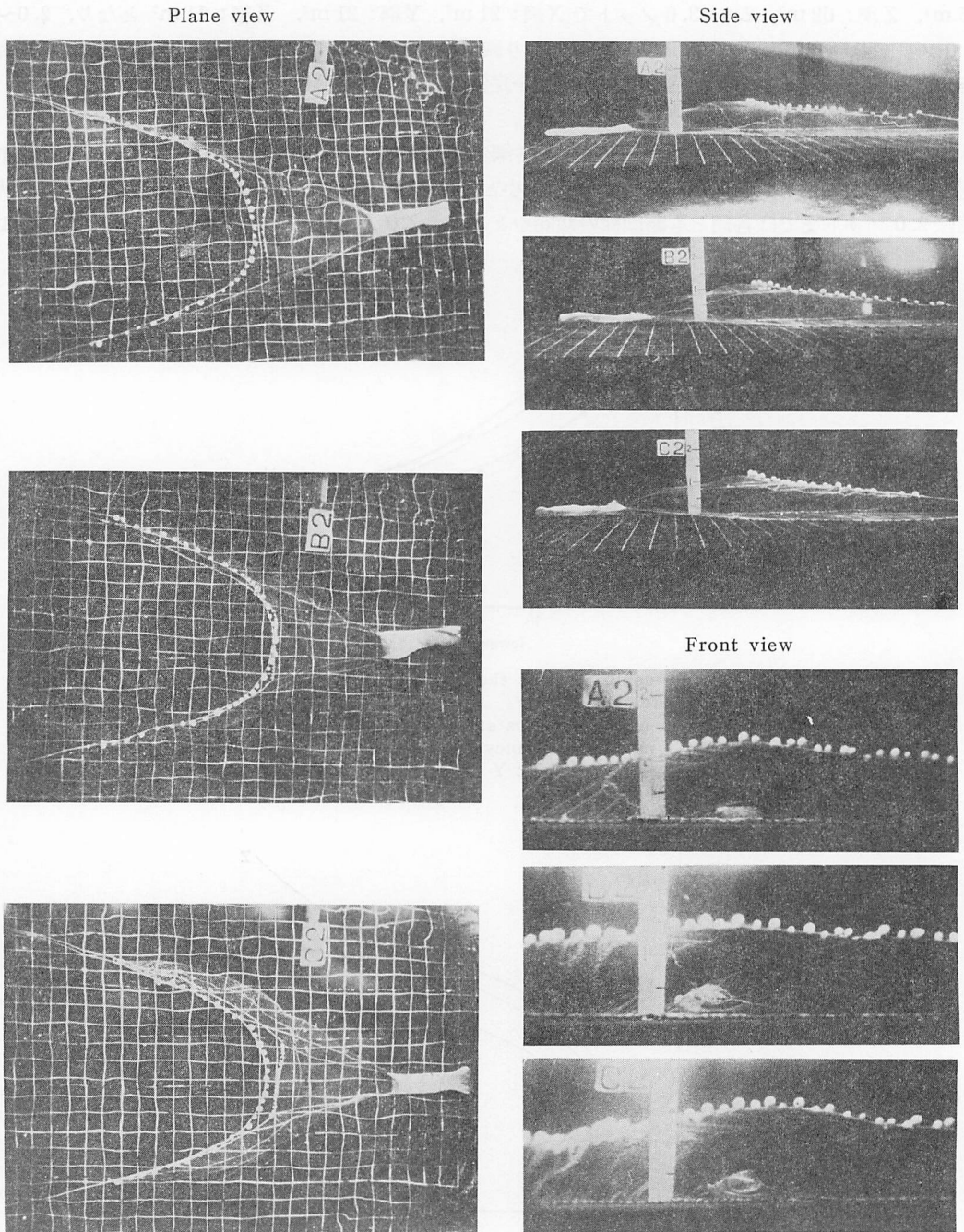


Fig. 69. The view of the nets.
 Experimental conditions
 Interval between the wing ends: 21 m, buoyancy of floats: 300kg, towing speed: 2 knot.
 A2: X not, B2: Y not, C2: Z not.

り容積の増加量が急増する傾向を示している。即ち該容積の増加量は 1.0~2.0 ノットでは Z 網： $83 \times 10^3 \text{m}^3$ ，Y 網： $74 \times 10^3 \text{m}^3$ ，X 網： $82 \times 10^3 \text{m}^3$ ，2.0~3.0 ノットでは Y 網： $37 \times 10^3 \text{m}^3$ ，X 網： $35 \times 10^3 \text{m}^3$ であるのに比べて Z 網： $115 \times 10^3 \text{m}^3$ となり，他の網の増加量の約 3 倍にも達している。

5. 4. 1. 2 考 察

三角網の効果については谷口²²⁾の二そう曳底曳網に関する実験があるが，この実験によると，三角網をつけた場合は常に在来の網より網高さは高くなるが，横方向へは逆に狭くなる結果を得ている。本実験では浮子の量を現在の中型二そう曳底曳網と略同量の 300 kg とした結果，3.0 ノットの場合における網口中央高さは，2 枚構造の X 網に比して 4 枚構造の Y 網は 1.3 倍，6 枚構造の Z 網は 1.5 倍となり，三角網をつけた場合が高くなっている。横方向への拡がりについては Fig. 69 の平面図に示すように網口中は X 網に比し，Z 網は 1.3 倍広く，網口断面積も 1.4 倍となり，共に三角網の網地面積が広ければ網口高さの上昇と横方向への拡がりの効果をもたらすものと考えられる。抵抗については，谷口の実験結果では三角網をつけることにより約 40% 抵抗が増加しているが，本実験では浮子の量 300 kg，袖先間隔 35 m，速度 3.0 ノットの条件で Z 網の抵抗は X 網より約 35% 増加となっており，大体似た値となっている。三角網の効果については，この他，浮子の浮揚力の大小によって網口高さの変化の状態が異なり，浮揚力の大きい場合は三角網の拡網力より浮子の浮揚力が勝り，Z 網は他網より網口高さは高いが，浮揚力の小である場合は，ある速度以上になると三角網の拡網力が浮子の浮揚力より大となり，Z 網は Y 網より網口高さが低くなる傾向が認められた。このように三角網と浮子量は互に密接な関係を保ちながら網成り，特に網口形状を決定する要因となっているが，以下各網についてそれぞれの特性を中心としながら考察を加えてみる。

(1) X 網

網口中央高さは浮子の浮揚力を 2 倍にした場合でも両者の間に大きな差は認められない。他網との高さの差は低速ではかなりの差があるが，高速になる程その差は小さくなり，特に浮子の浮揚力が小さく袖先間隔が狭い場合はその傾向が顕著である。袖先間隔を 21 m，浮子の浮揚力を 300 kg (150 kg) とした場合の網口中央高さは 1.0 ノットで 6.4 m (5.9 m)，2.0 ノット 3.7 m (3.3 m)，3.0 ノットで 2.7 m (2.4 m) となる。網にかかる抵抗は浮子の浮揚力が 150 kg の場合，袖先間隔の広狭に関係なく，いかなる速度の場合でも他の網より小さく，浮揚力 300 kg の場合は 2.0~3.0 ノットのときが他の網よりも小である。袖先間隔を 35 m，浮子の浮揚力を 300 kg (150 kg) とした場合の抵抗値は 2.0 ノットで 1.7 トン (1.3 トン)，3.0 ノットで 3.0 トン (2.7 トン) となる。

この網の利点は遊泳層の高さが 2.0 m よりも低い魚群を対象として 2.0 ノット以上で曳網する場合，特に袖先間隔を狭く浮子量を少なくすれば，他網より網口高さが高く，その漁具性能が優れることになり，エビを対象とするビームトロール網などに適するものと考えられる。

(2) Y 網

網口中央高さは浮子の浮揚力が 300 kg の場合は Z 網の高さに近い値をとるが，両者の差は 2.0 ノット以下の速度の場合では相対的に少なく，2.0 ノット以上の速度で大となる。浮子の浮揚力が 150 kg の場合の高さは 1.7~1.8 ノットまでは Z 網の方が高いが，それ以上の速度になると Y 網が高くなる。袖先間隔を 21 m，浮子の浮揚力を 300 kg (150 kg) とした場合の網口中央高さは 1.0 ノットで 8.4 m (7.2 m)，2.0 ノット 4.7 m (3.4 m)，3.0 ノットで 2.9 m (2.3 m) となる。網にかかる抵抗は 2.0 ノット以上では Z 網に次ぎ，Fig. 66 に示すように，袖先間隔 35 m，浮子の浮揚力

150 kg の場合、速度 3.0 ノットのときにおける Z 網との抵抗値の差は 0.5 トンと小さく、300 kg の場合のそれは 1.0 トンを示し、浮揚力の大きい場合が Z 網との抵抗値の差は大である。この網の利点は、低速曳網の場合、Y 網との網口中央高さの差が少なく特に浮子の浮揚力を 300 kg、袖先間隔を 35 m とした場合顕著であることであり、4 枚構造網に似た二そう曳底曳網の場合、対象魚種によっては現在の 2.0~2.5 ノットの曳網速度を 1.5 ノット附近まで減速すれば、網口高さは 6 枚構造網なみの高さとなり漁具性能を高めることが可能となる。また浮子量を少なく、袖先間隔を狭くとり、1.5 ノット以下の低速で曳網する場合は 6 枚構造網より網口高さが高くなるので、この点を利用すれば有利であろう。

(3) Z 網

網口中央高さは浮揚力が 300 kg の場合は他の網に比較して最も高く、網口断面積も広い。この傾向は 2.0 ノット以上の場合に顕著にあらわれている。しかし浮揚力が 150 kg の場合は Y 網より網口中央高さが低くなるが、これは低速の場合に三角網が流れに対して直角方向に拡網するために、かえって網口高さを低下せしめていることを示している。袖先間隔 35 m、浮子の浮揚力 300 kg (150 kg) の場合の網口中央高さは、1.0 ノットで 7.1 m (5.3 m)、2.0 ノットで 4.1 m (2.6 m)、3.0 ノットで 2.8 m (2.2 m) である。抵抗は 2.0 ノット以上の速度の場合では、浮子の浮揚力や袖先間隔の如何を問わず他の網より大であるが、2.0 ノット以下の低速の場合では他網との差は少ない。袖先間隔 35 m、浮子の浮揚力 300 kg (150 kg) の場合の抵抗値は 1.0 ノットで 0.65 トン (0.5 トン)、2.0 ノットで 2.0 トン (1.7 トン)、3.0 ノットで 4.0 トン (3.5 トン) である。この網の利点は遊泳層が高く、魚群密度の高い魚族を対象とする場合にその漁具性能が優れていることで、特に主機関馬力数の大きい底曳網船用の網としては効果的であろう。また浮子量を少なく、袖先間隔を狭くして低速で曳網する場合は網の抵抗が少ない上に網口中が広がる特性があるので、対象魚群の遊泳層の高さおよび魚群密度によってその特性をうまく利用することが肝要である。しかし袖先間隔の広狭による網口高さの変動が特に大であるため、X 網と同様、袖先間隔を随時変えるような漁法の場合には対象魚種によって不適当な場合がある。

以上述べたようにそれぞれの網は、その漁具性能に特徴点がみられるが、結局、2 枚構造網に脇網をつけ、更に三角網をつけた場合では、網口附近に網地を増加させただけ網の拡網効果があがり、網口高さは高くなる傾向がみられる。このような傾向は速度が速くなる程、また浮子の浮揚力が大となる程顕著にあらわれるようで、増速に伴う曳網濾過容積の増加現象によっても網地の枚数の多い網の有利性を立証することが出来よう。しかし枚数の少ない網でも曳網速度、袖先間隔、浮子の浮揚力の選択によっては、枚数の多い網より有利な点、例えば浮子量が少なく袖先間隔の狭いビームトロール網や浮子量を多くして 3.0 ノット以上で曳網するトロール網のような場合のあることも指摘したい。

5. 4. 1. 3 網の内外の流速分布

底曳網の網成りは網地の水中重量、網面内に生ずる張力および網面の受ける流水抵抗の 3 力の釣合いで形成され、流速によって種々異なった変化をなす。網成りと流速との関係については、底曳網が元来一種の半濾過水体であるところから、網内と網外では流速の分布状態が異なり、そのため網面は一種の波動に似た現象を呈しながら与えられる流速によって略一定した網成りを形成しているものと考えられる。またこのように網の内外面で流速分布の異なることは、入網する魚群の行動に影響を与え、またはその行動を決定する一因ともなっていると考えられる。

従来、底曳網を設計する場合は網口高さ、網抵抗を主な設計上の要因としてとりあげてきたが、上述したように流速が網口形状を含む網成りのみならず、入網する魚群にとっても密接な関係にあるということを設計上の基調的な考え方として進められた研究は少ないようである。そこで筆者は底曳網設計の一方法として流速面より設計の実験的解析を試みることにし、同じ網地からなる4枚構造網を作成し、水槽実験によって網内外の流速測定および流線の観察を行なった。

(I) 実験網

実物網は網糸の材料、径、目合の等しい4枚構造網で、網糸にはマニラトワイン、網糸の径 1.8 mm、目合長 84 mm、仕立上り長さ 15.6 m とした。この網を田内の比較法則に従って、(1) 長さの縮尺比、(2) トワインの径および目合長の比、(3) 流速の比、(4) 網類の径の比を次のように定め模型網を作製した。なお網糸は実物網ではマニラトワイン、模型網では綿糸を用い、網類は実物網ではマニラロープ、模型網では綿糸を用いた。Fig. 70 はその模型網の設計図を示したものである。

- (1) $\frac{\lambda'}{\lambda''} = \frac{1}{10}$ λ : 長さ, ' : 模型網, '' : 実物網
- (2) $\frac{d'}{d''} = \frac{l'}{l''} = 0.161$ d : 網糸の径, l : 目合長
- (3) $\frac{v'}{v''} = \sqrt{d'(\rho' - 1)/d''(\rho'' - 1)} = 0.306$ v : 流速, ρ : 網糸の比重
- (4) $\frac{d_1'}{d_1''} = \sqrt{\lambda'/\lambda'' \cdot (v'/v'')^2 \cdot (\rho_1'' - 1)/(\rho_1' - 1)} = 0.102$ d_1 : 網の径, ρ_1 : 網の比重

この模型網には袖網がないので網口が流速を受けることによって変化することを想定して Fig. 71 に示す周長の等しい4種の網口展開枠を網口に装着し、4本の支え糸によって曳糸に連絡して流速をあてることとした。

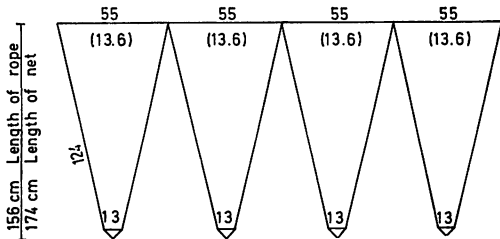


Fig. 70. Construction of the drag net used in measuring the current velocity. Numbers show the mesh number, bracketed numbers showing the mesh size (mm).

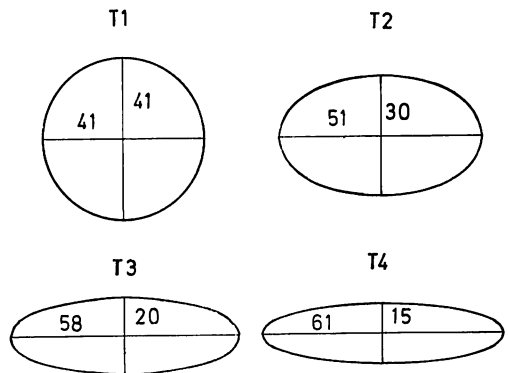


Fig. 71. Configuration of the hoops of the net-mouth. Unit: cm

(II) 実験装置と方法

Fig. 72 に示すように模型網を大型回流水槽の槽底におき、曳糸をプーリーを介して上方に導き固定した。流速測定には直熱型のサーミスター式微流速計を使用し、受感部が水流によって振動することを極力防止するため、水槽壁上のレール上を水平に移動する台車に支持筒を固定した。流速測定点は Fig. 73 に示すように、網中ではその中心線上の3点を取り、網外では網の側方と後方にそれぞれ定めた。流速測定範囲は0.5~3.5 ノットである。流線の観察は網の前方に固定した先細の管孔をもつガラス管より青インク液を流し、網中での流れの状態および網面に流れが当たって網外に流出する状態を上面および側面より観察すると同時に写真撮影した。

(III) 実験結果

Fig. 74 (A~O) は各網口展開枠を装着した模型網の流速測定結果と網成りを示したもので、流速測定は囊網の右側半分について実施した。ここで測定点は矢印の基点で、流速の平均の速さは矢印の長さで示した。Table 36 は各点の測定結果を示したものであるが、各測定点の流速を網口の流速と比較してみると、先ず網中の流速は網口のそれにほとんど等しいか、または網口より速くなっており、網の側面附近および網の後方ではほとんど網口のそれより遅くなっている。但し網の後方では図示するように流速のふれのある場合が多く、渦流の状態となっていることを示している。網口の流速を100%とした場合の各測定点の流速の百分率を求めてみると、Fig. 75 に示すように、網中の流速は81~125%の範囲ではあるが、2例を除けばほとんどが100%以上を示している。網の側面附近の流速は25~113%の範囲でほとんど100%以下、網の後方の流速は32~117%であるがほとんど100%以下である。しかし Fig. 74 の (F), (H), (J) の場合のように網の側面附近

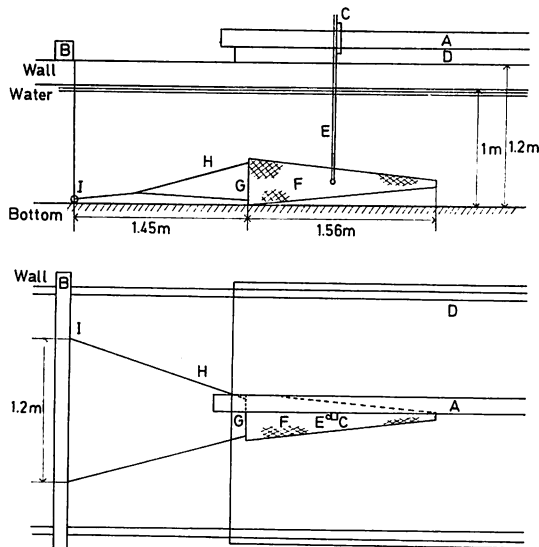


Fig. 72. Side view and plane view of the experimental equipment.

- A : Setting-timber of the current speed meter
- B : Setting-timber of the towing line
- C : Fixed timber of the current speed meter
- D : Truck E : Current speed meter F : Net
- G : Hoop of the net-mouth H : Towing line I : Pulley

Table 36. Comparison of the current velocities at the main point under the various fixing frames of the net-mouth.

Net type	T 1			T 2			T 3				T 4					
	0.5	1	1.5	1	1.5	2	1	1.5	2	2.5	1.5	2	2.5	3	3.5	
Current (knot)*																
Current (cm/sec)**	8	15~17	23~24	17~18	23~24	29~30	17~18	23~24	29~30	37~38	25~26	30~31	36~37	44~45	53~55	
Net mouth	P ₀	8	16	18	24	30	18	24	30	38	26	31	37	45	54	
Inside of the net	P ₁	9	17	26	21	—	19	25~27	32~34	42	20~22	31	37~38	45	56	
	P ₂	10	16	26	21	24	21	24~25	32~34	42	22~23	30~31	38~39	46	56	
	P ₃	8	17	25	22	24	21	27	30~32	46	27	29~31	38	46~48	55	
	P ₁ '	3	—	21	11	—	31	7	21~24	15~16	37~38	20~23	12~15	28~29	38~39	48
Outerside of the net	P ₂ '	4	7	19	12	—	30	7	12~14	16~18	37~38	26	15~17	28~29	40	48
	P ₃ '	2	5	20	9~12	—	31	5~6	24	34	37~38	20~23	15~17	31	30~31	51
	P ₁ ''	—	—	25	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	P ₂ ''	—	—	25	13	—	32	7	19~22	25~34	38	—	—	—	40	50
	P ₃ ''	8	11~15	23	11~14	—	32	8~9	25~27	21~23	38	22~24	—	—	40~41	50
	P _c	3~11	2~13	18~22	10~11	—	35	8~16	7~11	34	10~14	10~22	32~37	26	30~31	25~27
Rear of the net	P _c '	1~3	2	18~22	14	—	22	6~8	7~8	16~23	23~28	9~22	15~19	22~26	30	40~41
	P _c ''	3	4	15~23	10~14	—	22	6~8	10~11	18~23	30~32	9~10	15~22	26~27	35	42

* Current (knot) shows the current velocity at the full scale net.

** Current(cm/sec) shows the current velocity at the model scale net.

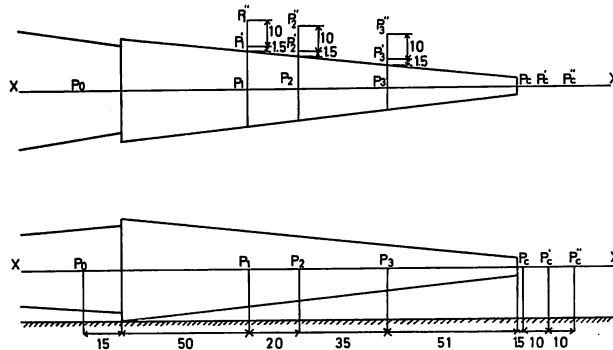


Fig. 73. Plane view and side view show the measuring point of the current velocity.
Unit: cm

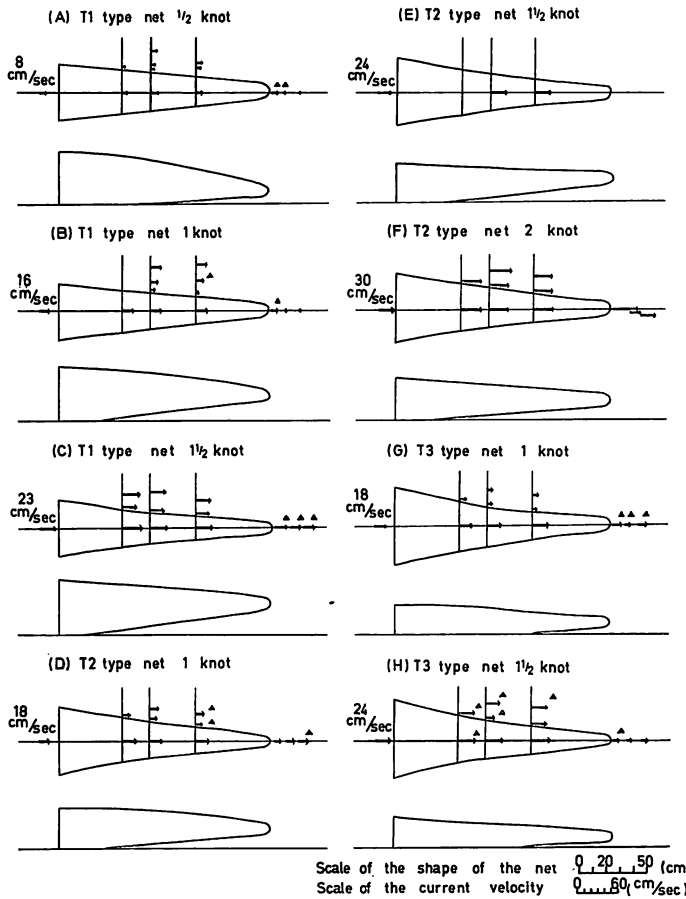


Fig. 74(A)~(H). Plane view shows the state of the current velocity through the measurement and the shape of the net.
Side view shows the shape of the net.
Knot shows the current velocity measured in full scale.
▲ mark shows the measurement deflection of 2 cm/sec upward.

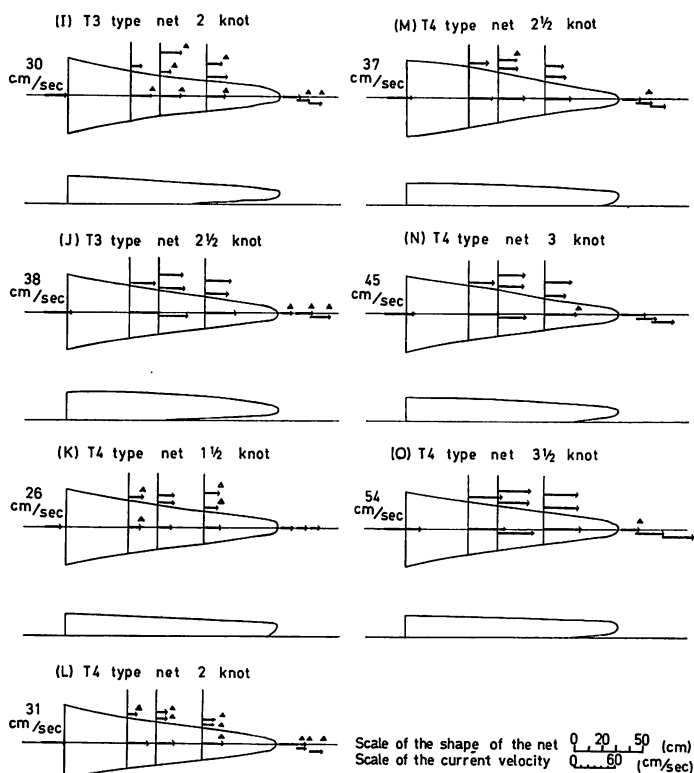


Fig. 74(I)~(O). Continued.

の流速が網口より速くなっている場合や、(F), (I), (L) の流速 2.0 ノットにおける網後方の流速が同じく網口より速くなっている場合もみられる。

網口展開枠別の流速分布の特徴は、円形の T 1 型のものでは、網中における流速が網口部より速くなっており、側方部の 0.5~1.0 ノットの場合および網後方では逆に網口部より遅くなっている。楕円形の T 2 型のものでは、T 1 型と略同様の傾向がみられるが、T 1 型のもの程、網中の流速は速くなっていない。長楕円形の T 3 型のものでは、T 2 型の傾向が更に強く、網側方および網後方の流速分布も複雑で渦流の存在していることを示している。T 4 型のものでは 1.5 ノットで他の型にみられる網中の流速の増速現象がみられず、網中は網口よりも減速している。しかし網側方および網後方部では、他の型と同様に渦流の存在していることが認められる。以上のことから網中の増速現象は網口の円形に近いもの程、低流速でもみられるが、楕円形の短径が小となると低流速では逆に減速する現象がみられる。この傾向は網口高さが高く、網口が円形に近い形をとる程、網中の増速現象が低流速でも生じ易いことを示唆するものである。

流速の測定と同時に実施した流線の観察結果では、Fig. 77 に示すように網中を流れるインク液の流れは網面に当たった場合、網目を通過して網外に出るものと、網の内面に沿って網中を流れてゆくものとに分かれることが認められる。このような流れが網の内面全周にわたって存在するとすれば、流速は網口の流速に加速される結果となり、網中の流速が増速される 1 つの解釈を得ることになる。網の側面の流れは網内から網外に流出した後、流速の遅い流れに変わり、流線は網外面附近で

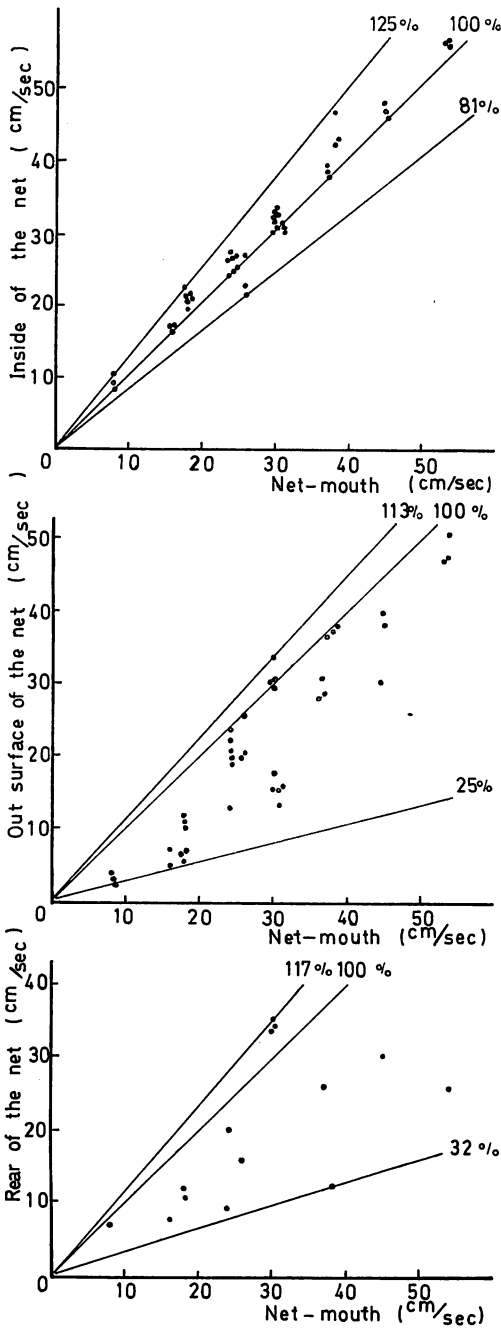


Fig. 75. Comparison of the current velocity at the net mouth with that of the respective part of the net.

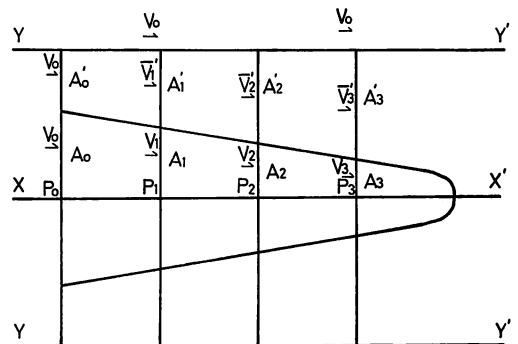


Fig. 76. The schematic representation of the net which is setting in a laminar flow.

P_0, P_1, P_2, P_3 : Measuring point of the current velocity
 V_0, V_1, V_2, V_3 : Current velocity
 $\bar{V}_0', \bar{V}_1', \bar{V}_2', \bar{V}_3'$: Average current velocity
 A_0, A_1, A_2, A_3 : Cross area of the net

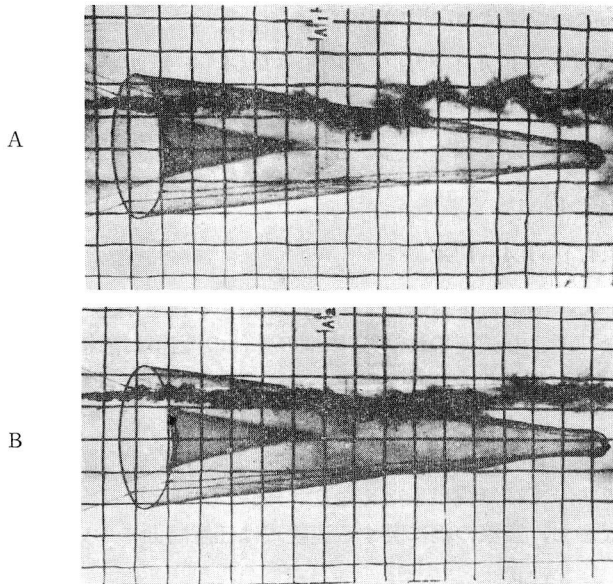


Fig. 77. Observations on the stream-line.
 A : T1 type net, 1 knot (full scale)
 B : T1 type net, 1½ knot (full scale)

渦流の形をなしている。従って網外面附近の流速は渦の速さに近似したものと考えるべきであろう。このように網中で流れに垂直な同一断面における流速の分布は網面附近で不連続の状態になるが、網面からの距離が遠くなるに従って流速は速くなり、一定の距離に達すると網口の流速に等しくなることが認められた。網成りは Fig. 74 に示すようにほとんどの場合が円錐形か、もしくはそれに近い形状をなしているが、Fig. 74 (A), (B) の場合では網尻部の浮上りが少なく、また短径の最も短い網口展開枠を装着した T 4 型の場合は、網の側線が網口附近において内方に彎曲状となっていることが認められた。

5. 4. 1. 4 考 察

定常流の中におかれた囊網は、網面よりある距離をへだてた流れの等速の面で形成される流管内でその網成りを形成していると想定する。この流管内において、流れに垂直な断面を通過する流量は、網内の流量と網外の流量の和で表わされるが、この流量の和はいずれの断面においても等しいものと見なすことが出来る。

Fig. 76 は定常流の中においた囊網を示したもので、 $Y Y'$ は流管の側線、 $X X'$ は網の中心線である。いま中心線上の任意の点、 P_0, P_1, P_2, P_3 を通り流れに垂直な 4 個の断面を考える。それぞれの網内の断面積を A_0, A_1, A_2, A_3 、網外の断面積を A_0', A_1', A_2', A_3' 、これらの断面を通過する流速を網内では V_0, V_1, V_2, V_3 、網外の平均流速を $\bar{V}_0', \bar{V}_1', \bar{V}_2', \bar{V}_3'$ とする。なお網外の流速はその平均流速で表わすものとする。

今、網の後端を一応考慮外におき、網面がその表皮抵抗を無視出来るような非常に薄い膜で覆われているものとするれば、 $Y Y'$ 面で囲まれる各断面での内外面積の合計は略一定で

$$A_0 + A_0' = A_1 + A_1' = A_2 + A_2' = A_3 + A_3'$$

となり、各々の合計面積を通る流れが定常で且つ、連続的な状態を保つ場合、単位時間当りの各

断面における流量は等しくならねばならないので

$$V_0(A_0 + A_0') = V_1 A_1 + \bar{V}_1' A_1' = V_2 A_2 + \bar{V}_2' A_2' = V_3 A_3 + \bar{V}_3' A_3'$$

となる。上式はいずれの面においても成立するから、面積および流量の連続式は添字 1, 2, 3 を省略して下式で与えられる。

$$A_0 + A_0' = A + A' \quad \dots\dots(1)$$

$$V_0(A_0 + A_0') = VA + \bar{V}'A' \quad \dots\dots(2)$$

しかし、実際の網においては、網目を通過して網外に流出する流量があるので、網中の流速はその流量だけ上記の理論的な速度より減速され、逆に網の外側の流速は増速される結果となる。しかし、網の外側の流れには渦が生じたりするので、ここでは網中の流れだけを取り、任意断面における網中の流量が、上記の理論的な速度より減速された流量と網目を通過する流量とに分けて考えられるものとする。そのうちの網目を通過する流量は、その流速によって網面を展開させる役目をなすので、網面の対水角度によっては無視出来なくなり、従って、流量の連続式 (2) に補正項を加えなければならない。すなわち、実際の網に関する連続式は任意断面において

$$\begin{aligned} A_0 + A_0' &= A + A' \\ V_0(A_0 + A_0') &= VA + \bar{V}'A' + V''S \sin \theta \end{aligned} \quad \dots\dots(3)$$

となる。ここで V'' は網目通過の流速、 S は単位長さ当りの任意断面の全周網目面積よりその網糸部分の面積を除いた網目面積、 θ は任意断面の対流水角度を示すものとする。従って、上式中の $V''S \sin \theta$ は任意断面の網面における通過流量を表わすことになる。ここにおいて、(1) 式と (2) 式から次式を得る。

$$A_0' = \frac{A(V - \bar{V}') + A_0(\bar{V}' - V_0) + V''S \sin \theta}{V_0 - \bar{V}'} \quad \dots\dots(4)$$

厳密に言えば、 $A_0' = 0$ とはならないであろうが、本論での測定精度を勘案しつつ、簡単にするために $A_0' = 0$ と仮定しよう。実験により、 $V_0 \neq \bar{V}'$ なることを確めてあるので (3) 式は

$$A_0(V_0 - \bar{V}') = A(V - \bar{V}') + V''S \sin \theta$$

これから V を求めると

$$V = \frac{A_0 V_0 - (A_0 - A)\bar{V}' - V''S \sin \theta}{A} \quad \dots\dots(5)$$

と表わし得る。

ここで、網目通過の流速は同断面の網中の流速に比例するとおけば $V'' = CV$ (C : 比例常数) となり、(5) 式は更に

$$V = \frac{A_0 V_0 - (A_0 - A)\bar{V}'}{A + CS \sin \theta} \quad \dots\dots(6)$$

となる。(6) 式において、一定流速 V_0 のもとで実験観測すれば、 A_0 , A , S , θ は求められ、 C は網糸の直径、網目の大きさによって定まってくる係数とみなされるので、 \bar{V}' を測定することによって、 V は求められることになる。ここで V_0 は網口直前の流速であるが、本論においては曳網速度と同一に取り扱われる。なおプランクトンネットやもじ網のような抵抗を多く受けるような網地を

曳く場合、網口直前の流速は曳網速度より小さくなることもあり得るが、粗い網目の場合には上記の想定は妥当であり、本論におけるような測定誤差の範囲内では、当然、網口の流速は曳網速度に等しくなると見なしてもよいであろう。

(6) 式は結局、流速と網成りとの関係をあらわす理論式となるが、本実験のうちから、網成りが最も円錐形に近い T1 型網の実物換算流速 $1\frac{1}{2}$ ノットの場合をとりあげ、(6) 式にその測定値を代入した結果、Table 37 に示すような網中の流速の計算式を得た。同表の A_0, A, S, θ は網成り結果より求め、 C は Table 38 に示すような測定結果よりその平均の比率を求めたものである。Table 39 は Table 36 の結果に幾つかの網外流速を投入した時の計算値と、この実験で得られた測定値との比較表であるが、同表によれば、網中流速に対応する網外平均流速が丁度実測値と一致するあたりに見出され、従って (6) 式で求められた計算値は実測値とほぼ一致していることを示している。

以上述べたように本実験では、網中の増速現象を確認し、網中のある点における流速を理論的に

Table 37. Expansion of the calculated expression at the T1 type net, $1\frac{1}{2}$ knot (full scale).

Item Section	V_0 (cm/sec)	A_0 (cm ²)	A (cm ²)	C	S (cm ²)	θ (°)	$V = \frac{A_0 V_0 - (A_0 - A) \bar{V}'}{A + C \cdot S \cdot \sin \theta}$
P ₁	24	1294	707	1.02	100	5	$V = 43.8 - 0.8 \bar{V}'$
P ₂	24	1294	539	1.02	87	8	$V = 56.0 - 1.4 \bar{V}'$
P ₃	24	1294	301	1.02	65	8	$V = 100.2 - 3.2 \bar{V}'$

Table 38. The coefficient of two current velocities at the section.

Item Section	V (cm/sec)	V'' (cm/sec)	C (V''/V)
P ₁	26	26~72	1.02
P ₃	25	25~26	1.02

Table 39. Comparison between calculated velocity and experimental velocity.

Item Section	V_0 (cm/sec)	Calculated velocity (cm/sec)		Experimental velocity (cm/sec)	
		\bar{V}'	V	\bar{V}'	V
P ₁	24	22	26.2	22	26
		23	25.4		
		24	24.6		
P ₂	24	21	26.6	22	26
		22	25.2		
		23	23.8		
P ₃	24	22	29.8	23	26
		23	26.6		
		24	23.4		

推算出来ることを指摘したが、実際に商業用として用いられる底曳網では、囊網や魚群を入網させる魚捕部等は、小さい網目と網糸の径の大きいものを使用しているため、網中の流速は必ずしも増速せず、かえって減速し、渦流状態となる部分もあることが考えられる。一方、ロープ捲揚げ終りの前に網が海底から離れ始めて以後の不安定な状態の下ではあるが、網内の流速が網の曳かれる速度より速くなった例を葉室 (1959)⁷⁹⁾ は得ているので、実物網で網内流速が網速度 (網外対水) より速い事はあると思ってよい。このような現象を生じた理由としては、一そう曳底曳網が他の網に比較して細い網糸を囊網全体に使用しているため、本実験網にみられる通り網中の流速の増速現象が生じたのであろう。このような現象は網口附近に遊泳定位している魚群を囊網内に吸引する作用を起こさせるので魚群の入網を促進させる一要因となり得ることが考えられる。即ち魚の入網姿勢を R. Livingstone (1962)⁵⁴⁾ が観察したところによると、魚は前向き姿勢で尾部の方から入網してゆくという。このような入網姿勢は曳網速度が速くまた網口より網中の流速が速ければ速い程入網効果を助勢させることになる。特に本実験にみられるように、網口の流速に比して網中の流速が25%も加速される状態であればなおさらのことである。前章で一そう曳底曳網が他網に比して漁獲性能の優れていることを述べたが、その原因は本実験にみられる網中の増速現象もその1つとしてあげることが出来るようである。

5. 4. 2 生物的問題点の実験的解析

従来から行なわれている底曳網の設計方法は、多くの底曳網の操業結果に基づいて得られた経験的手法によるものが多く、また設計する場合の主眼点は網口高さ、網成り、網の受ける流水抵抗等の物理的特性のみを重要視する傾向があった。このような設計方法はかつての東海漁場のように底魚の資源量が豊富な漁場で用いる網を対象とする場合では問題は少なかったが、現在のように底魚の資源量が全般的に減少もしくは局部的に集中しているような場合および海底地形や水深等の漁場条件が従来の平坦な漁場より複雑化してきた場合では満足な方法とは言えなくなり、従来の方法にとって代る新しい設計方法が必要となった。ここで筆者は、現在の漁場条件から考えて、これからの底曳網は漁場の諸条件、特に生物的条件に適合した物理的特性をより多く具備する網が理想的であると提唱したい。更にこのような網を設計するためには対象魚種の棲息状況や生態を知ると同時に網漁具に対する魚群行動を基本的に充分に把握しておくことがまず第一に必要であろうと考える。このような観点にたつて筆者は先ず網漁具に対する魚群行動を解明することとしたが、実際問題として網漁具に対する魚群行動を観察したり、また地上で復元して実験することは極めて困難であるので、従来から行なわれている小型の水槽実験による方法を採用することとした。

実験魚にはいずれもヒブナ *Carassius auratus* を用いた。ヒブナを実験魚としてとりあげたのは、体型が紡錘形であり、また障害物に遭遇したときの行動が沈下もしくは浮上せず、ほとんど水平方向に反応して遊泳する習性があるなど、淡水魚の中では本論における各種底曳網の主対象魚であるスケトウダラと最も共通点の多い魚であることなどの理由によるものである。

実験の内容としては

1. 囊網中における魚体の遊泳可能容積
2. 囊網中における魚群の行動
3. 曳網に対する魚群の行動と駆集効果

1は回流水槽の槽底においた2枚の側板によってつくられる水路内に魚を1尾ずつ遊泳させ、これに流速を当てながら反転させ、魚の個体としての遊泳容積を求めた。2は円錐形の囊網を回流水

槽内におき、網中にヒブナを入れ、その尾数別、体型別の行動の相違を観察した。3は1, 2よりやや実験規模が大となり、50 m プールにヒブナを放ち、曳網に対する行動について解析した。

5. 4. 2. 1 囊網中における魚体の遊泳可能容積

曳網によって底曳網の前面に駆集された魚群はやがて半強制的に魚捕部に入網させられるわけであるが、入網尾数が増加してくれば、始め充分な遊泳空間を有していたそれぞれの個体は次第にその空間を狭められ、遂には遊泳可能の空間を失い、囊尻に魚体を押しつけられてしまう。このような状態になると底曳網にかかる抵抗は魚体による受圧面積の拡大によって増加し、また魚捕部は勿論全体の網成りにも変化がみられるに至るであろう。底曳網設計の次元はかかる入網後の諸元（網成り、抵抗など）についても考えるべきだとすれば当然魚の個体の運動の空間の広さ、特に遊泳可能の範囲（容積）について検討を加えておく必要を生ずる。ここで遊泳可能容積は、魚体を仮りに1つの可撓体として考える場合、その容積は体長の関数としての長さ、最大体巾の関数としての巾、最大体高の関数としての高さの相乗積である直方体状の容積で表わされ、それぞれの係数は魚種およびその他の環境条件によって定まると考えてよい。かかる遊泳可能容積を決定する長さのうち体長によって定まる長さは遊泳速度もしくは流速が関係し、体高によって定まる高さについては定位するのに必要な上下運動が関係し、体巾によって定まる巾については定位、前後進および反転するのに必要な水巾が関係してくるであろう。ここで本論においては上記の長さのうち体巾によって定まる巾について実験し、遊泳可能容積を求めてみることにする。

体巾によって定まる遊泳可能容積の巾については、魚の遊泳運動そのものが一般に魚体を蛇行させながら行なうので、体巾より広い水巾を必要とする。特に遊泳運動のうち水平に魚体を反転させる反転運動は、魚体の一部が円弧を描く円運動に近い形をとると考えられるので、単なる前進、後進の遊泳運動よりかなり広い水巾を必要とする。従って体巾によって定まる遊泳可能容積の巾はこの反転運動を行なうに必要な水巾を以て表わすことが出来ると考えて妥当であり、また該巾は反転運動が円運動であるところから π の関数か、またはそれに近い形で表わされる可能性のあることが考えられる。本論ではこのような観点にたって反転運動に関する水槽実験を行ない、水平反転運動における反転可能の最小巾を測定し、遊泳可能容積について検討を加えてみることにする。

(I) 実験装置と方法

実験装置は Fig. 78 に示すように白色プラスチック板製の側板2枚と距離目盛を記入した底板1枚よりなる水路を大型回流水槽の槽底におき、両側板に電極を装着し約 30 mA の衝撃電流を瞬間的に流して、両電極間を通過しようとする実験魚を反転せしめることとした。実験魚は7ヵ月間養魚池で餌育したヒブナ 417 尾を用いたが、その体型は体長 4.5~7.3 cm、体高 1.3~2.0 cm、最大体巾 0.8~1.5 cm、体重 4~14 g である。実験方法は2枚の側板によって水路の巾を 2.5, 2.8, 3.1, 3.5, 3.8, 4.2, 4.7, 6.2 cm の8通りとし、流速は水車駆動による 10, 20, 30 cm/sec の3段階とし、水路で1尾ずつ上述の電流を魚体に与えて反転せしめる実験を行なった。魚は水路の後端附近に放つとその点でしばらく定位しているが、やがて遡泳し始め、両電極間に接近する。これを上方より注視し、魚の吻端が両電極間を結ぶ線に達する直前に電鍵で電路を閉じ衝撃電流を与える。魚は感電すると体を左右いずれかに屈曲させて反転運動を行なう。この際、水路巾に余裕のある場合は反転可能であるが、余裕のない場合は一応反転姿勢をとった後、旧姿勢にかえり、そのまま両電極間を通り抜けて水路前部仕切網に達する。実験は1尾について3回行なったが、魚がいずれかの側板に接近しすぎて遡泳する場合および反転姿勢がひねりまたは跳び上りである場合は実

験値より除外した。

(II) 実験結果

縦軸に水路巾, 横軸に魚体最大巾をとり, 各流速毎に実験値を検討してみると, Fig. 79 に示すように, いずれの流速においても水路巾の狭い場合は3回共反転不可能で直進するが, 水路巾の広い場合ではほとんど反転可能の場合が多く, これらの現象は体巾の約3倍の水路巾を境として2分されるようである. ここで Fig. 79 に示すように体巾の π 倍の線を画いてみると, 該線は全体的に反転可能と不可能の境界線を示すものであることが認められる. 更に体巾 1.15 cm の線および

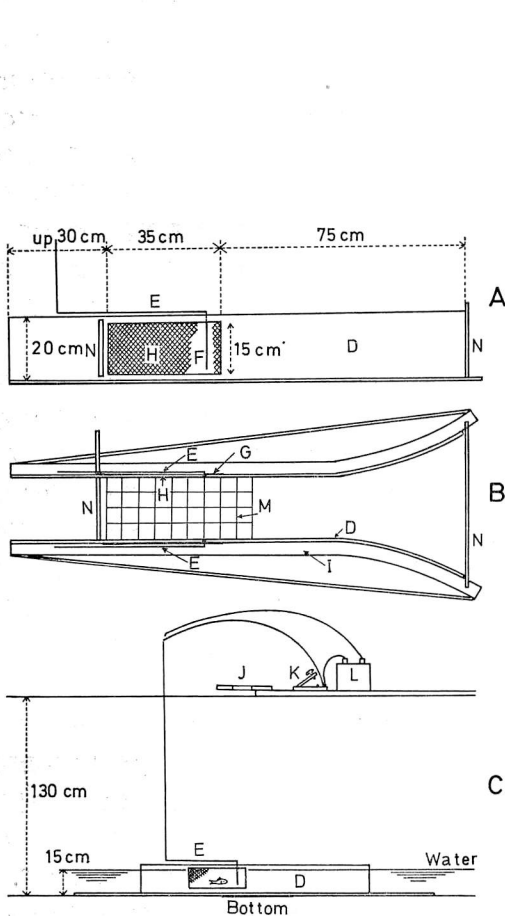


Fig. 78. Experimental equipments for the determination of U-turn motion.
 A : Side view of the waterway
 B : Plane view of the waterway
 C : Sketch of the experimental equipment
 D : White plastic plate E : Copper wire
 F : Bare wire (Electrodes)
 G : Glass plate H : Nylon net
 I : Iron plate J : Observation hole
 K : Key L : Battery (12 volt)
 M : Craduation plate N : End net

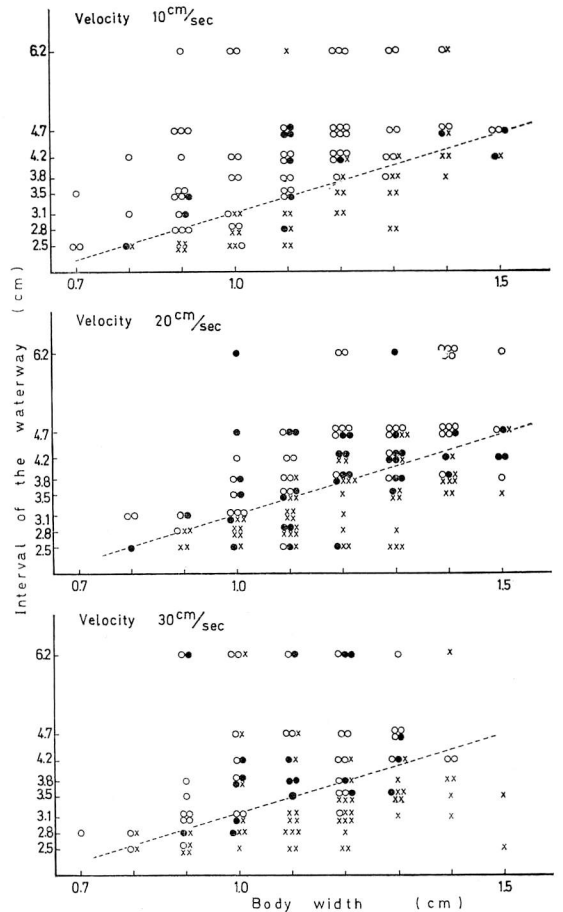


Fig. 79. Relationship between the body width and the possibility of U-turn motion within the waterway.
 --- : π -times value of body width
 ○ : U-turn is possible (three times)
 ● : U-turn is possible (one or twice in three times)
 × : U-turn is impossible (three times)

Table 40. Chi-square test for the line of the π -times body width.

Velocity (cm/sec)	10		20		30	
Range of body width (cm)	0.7~1.1	1.2~1.5	0.7~1.1	1.2~1.5	0.7~1.1	1.2~1.5
χ^2	23.74	18.14	13.63	7.15	14.56	16.17

体中の π 倍の線を境とする 2 群について 群間の差異の有無を χ^2 検定により検討した。 χ^2 の値は Table 40 に示すように全て 5% 水準で有意差を示した。 従って各流速における実験値はいずれも体中の π 倍の線を境として有意であり、該線は反転可能と不可能の境界を表わす線として信頼性の高いことを示している。

5. 4. 2. 2 考 察

実験の結果、ヒブナの場合は反転可能の最小巾として体中の π 倍の値を得たが、反転運動が円運動に近いところから当然、反転可能の最小巾と体幹部の曲率半径とはある一定の関係が成立するものと考えられる。ここで両者の関係を解明するため Fig. 80 に示すような測定装置を作製し、魚体を人為的な外力によって屈曲させたときの体幹部の曲率半径 (r) と魚体の占める巾 (l) を測定し、体中の π 倍の水路巾で反転する場合の曲率半径 (R) と水路巾 (L) とを比較した。なお Fig. 80 で測定に用いた W_1 はその最大静止摩擦力を魚の体重に略等しくするため魚の体重の 4 倍の錘、 W_2 は 200 g の錘とし、 W_2 で魚体を押しして W_1 が動き始めるときの l, r を測定した。この測定を実施した目的は魚が反転する場合、人力で魚体を極端に屈曲させる程の力で魚は屈曲しないまでも、場合によってはそれに近い屈曲力でもって反転する場合が考えられるので、一応の目安として 200 g の力で押し、その時の姿勢の諸値を求め、反転する場合の体型的な条件を解析することにしたのである。

測定した結果、体巾 0.9~1.5 cm の範囲の魚では、 R/r の値は 2.7~3.2 となり、大型魚程大である。この測定結果では大型魚程反転し難いことになるが、Fig. 79 にみられるように大型魚の場合は小型魚に比較して体中の π 倍より狭い水路内で反転している傾向が若干多い点から考えて、大型魚は体型的に比例した力以上の屈曲力を以て反転することも考えられてよい。これまで行なった

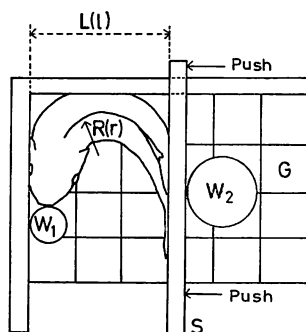


Fig. 80. Measuring method of a radius of curvature of the dorsal line (R, r) and the length of the body-extension (L, l).

W_1 : Sinker weighing four times the fish weight

W_2 : Sinker weighing 200g

S: Shifting plate (plastic plate)

G: Graduation plate (plastic plate)

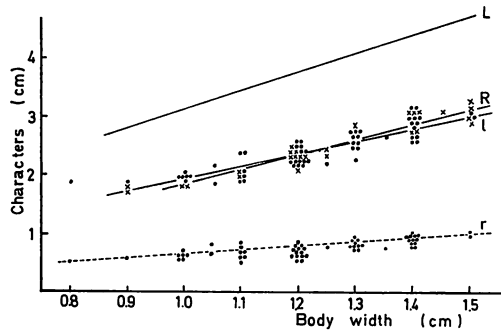


Fig. 81. Relationship between the body width (B) and each character on the experiments at waterway as was shown in Fig. 79 and 80.

The related equations are as follows:

$$L \text{ and } B, (\text{---}): L = \pi B$$

$$R \text{ and } B, (\times\text{---}\times): R = 2.54B - 0.68$$

$$l \text{ and } B, (\bullet\text{---}\bullet): l = 2.34B - 0.45$$

$$r \text{ and } B, (\bullet\text{---}\bullet): r = 0.65 B$$

実験結果と測定結果を Fig. 81 に示すような1つのグラフで表わすと体巾 B と R, l, r との関係はいずれも回帰直線で表わされ、体幹部の曲率半径が大なる程その反転に要する水路巾は大となることが認められる。

更に Fig. 81 で示した体巾と遊泳巾、体巾と屈曲させた場合の曲率半径との関係式より、反転可能な最小巾とその曲率半径との関係を求めると

$$\frac{L}{R} = \frac{\pi B}{2.54 B - 0.68} = \frac{B}{0.81 B - 0.22}$$

となる。上式を体巾 0.9~1.5 cm の範囲の魚にあてはめると L/R は 1.50~1.77 となり、大型魚程小となっている。 L/R と R/r の値を併せて考察すると、大型魚程、回転半径は大であるが、体巾の π 倍の水路巾で反転しているところをみると、大型魚の反転する場合の屈曲力は体巾に比例するものではなく、むしろこれより大であることがわかる。

π 効果現象については、これまで黒木ら (1952)⁴⁸⁾ および黒木 (1959)⁴⁹⁾ のカワニナの運動速度および魚群移動のループ運動に関する研究があるが、この研究が個体群の運動を確率的に扱ったものであるのに対して本論の場合は個体運動自体をとりあげたもので、ヒブナの遊泳運動が魚体の生物学的要素を基礎としたもので表わされることを示したものである。魚体の運動が時間的にも空間的にも連続したものであり、また魚体が可機性的のものであるので、必然的に遊泳可能な空間は π の関数として表わすことが可能ではないかと考えられる。このような π 効果現象を認める観点に立てば、ヒブナと体型の類似した紡錘型の魚種は勿論、体型の異なる魚種についても遊泳可能な最小巾として π の効果が適用されると考えられる。遊泳可能容積の要素である長さ、高さについても、生物学的要素と相乗的な効果で表わされるものと考えられる。即ち遊泳可能容積は体巾 (B)、体長 (L) および体高 (H) の相乗積に π^3 を乗じた $\pi^3 \cdot K_{(L, H)} \cdot L \cdot H \cdot B$ で与えられる。なお $K_{(L, H)}$ は体長、体高によって定まる係数である。

5. 4. 2. 3 囊網中における魚群の行動

囊網中における魚は生物学的もしくは生態学的諸条件によって定まる遊泳可能容積を維持すべ

く、常時その遊泳型式を変えて遊泳しているものと考えられるが、流速をある値以上に増遊させると魚体の受ける抵抗値がその遊泳力を超え、次第に押し流されて囊網後面に押しつけられる結果となる。このような段階では遊泳可能容積を維持しながら遊泳するという考え方は出来なくなり、魚の体型的条件と流速によって定まる魚体の抵抗値と遊泳力によって魚の遊泳状態は決まると考えてよい。このような観点に立って流速の増速または入網尾数の増加に伴う囊網中の魚群行動の変化について実験的に検討した。

(I) 実験装置と方法

実験用囊網は Fig. 82 に示すような4枚構造網で Table 41 の材料表に従って仕立上り長さ 140 cm の綿糸網、ナイロン網の2組の囊網を作製した。網口は網成りを整えるため直径 45 cm の鉄製リングをつけ、そのリングには囊網内に入れた魚群の逸出を防止するためナイロン網地（網糸の径 0.19 mm、目合長 10 mm）を緊張して縫合した。なお囊網の水面への浮上を防止するためリングの下部に空中重量 500 g の鉄沈子を装着した。実験魚は養魚池で2カ月間餌育したヒブナ 700 尾を用いたが、その体型は体長 (F. L): 5.0~11.5 cm, 体高: 1.4~4.4 cm, 体巾: 0.8~2.5 cm, 体重 (空中重量) 3.4~42.0 g である。実験装置は Fig. 83 に示すように、囊網を大型回流水槽の槽底に置き、囊網の網口リングに曳索を縛着し、その端は囊網の前面のプーリーを介して上方に導き 20 kg 用台秤に連結した。この場合プーリー間隔は 120 cm, 曳索長 118 cm である。なお照明は水面上 5 m に取り付けられた蛍光灯 40 W のみとした。魚の出し入れ要領としては、魚を囊網内に入れる場合および囊網から取り出す場合、魚に出来るだけ刺激を与えないよう特に慎重に取り扱った。魚を

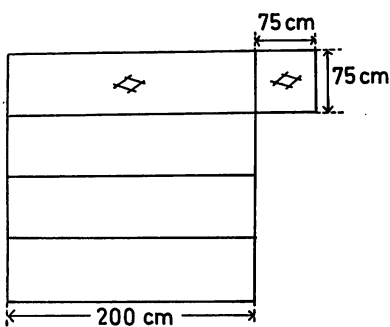


Fig. 82. Construction of the drag net.

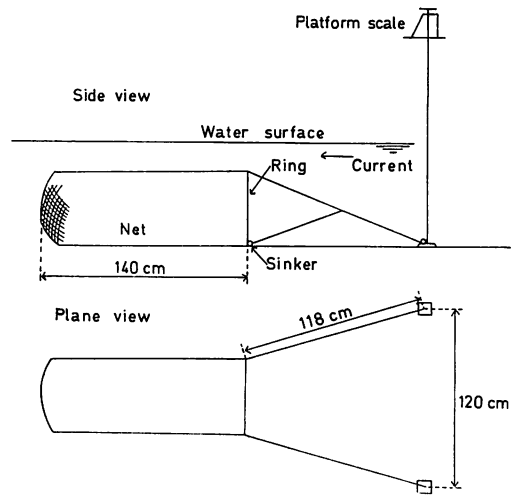


Fig. 83. Experimental equipments of the drag net used in measuring the behaviour of a fish school.

Table 41. Items about the bag net.

Net	Item	Material of twine	Size of mesh	Diameter of twine
	Net 1	Nylon	10 mm	0.19 mm
	Net 2	Cotton	15 mm	0.68 mm

囊網内に入れる場合は囊網の上方に縦に開口部を設け、魚を入れた容器ごと網の中に入れ、網の中に魚を放つ方法をとった。魚を取り出す場合はリングに縫合した網に予め開口部を設け、実験終了後、網尻を持ち上げ、開口部より魚を取り出すこととした。実験方法としては、実験魚を体型別、尾数別に仕分けしてそれぞれ囊網内に遊ばせ次に述べるようにその魚群行動の観察および測定を実施した。

実験 1. 体型別魚群の行動実験

実験網 綿糸網

実験魚	小型魚	体長	5.0~6.5 cm	尾数	60尾
	中型魚	"	7.0~8.5 cm	"	"
	大型魚	"	9.0~11.5 cm	"	"

流速 40, 45, 50, 60, 80 cm/sec

流速の持続時間 1時間

実験方法 各体型別に10尾ずつ抽出して1群とし、体型の異なる2群(計20尾)を組合せて計8回の実験を実施した。

実験 2. 尾数別魚群の行動実験

実験網 綿糸網, ナイロン網

実験魚 200, 400, 700尾の3群

流速 20, 40, 60, 80 cm/sec

流速の持続時間 20 cm/sec: 7分, 40 cm/sec: 6分
60 cm/sec: 4分, 80 cm/sec: 3分

実験方法 上方および側方よりカメラにて連続撮影し、写真によって遊泳位置および尾数を確認することとした。

(II) 実験結果

a) 体型別魚群の行動

囊網中の魚群は Table 42 に示すように一般に流速の増加に伴って遊泳力を失い、網の後面に押しつけられる尾数が増加する傾向が認められた。各流速における網の後面に押しつけられる尾数は体長別にそれぞれ異なり、小型魚ほど流速の影響を受け易く、従って体長の小さい魚ほど遊泳力が小さいものと考えられる。逆に大型魚ほど後面に押しつけられる尾数は少ない。この現象は Table 42 を図化した Fig. 84 でもわかる様に囊尻に押しつけられる尾数の百分率が50%を示す場合の流速を各魚体別に比較してみると、小型魚では45 cm/sec、中型魚では60 cm/sec、大型魚では75 cm/secとなる。魚体が囊尻に押しつけられる場合の毎秒の流速(V)と体長(L)との比 V/L をみると、小型魚では6.5~9.0、中型魚では7.1~8.5、大型魚では6.5~8.3とその比は体型によってそれぞれ異なるが、6.5~9.0の範囲に定まる。この値は流速が体長の6.5~9.0倍に及ぶと魚は定位出来なくなり、囊尻に押しつけられる状態になることを示している。次に一定流速を長時間与えた場合の時間的变化に伴う魚体の囊尻に押しつけられる尾数の百分率の変化を求めてみると、Fig. 85 に示すように実験値にかなりの変動がみられるが、一般的な傾向として同じ経過時間のもとでは流速が速いほど百分率は高く、また魚体が押しつけられるまでの経過時間は流速の如何を問わず5分内外で最高の百分率を示している場合が多い。一方、流速の速い場合は囊尻の動揺が激しいので、囊尻に押しつけられようとした魚群の一部が前方にはね出され、再び遊泳し始める場合が

あるが、この場合の百分率は低くなる。囊網中における魚の遊泳姿勢は流速が与えられると全て水流に逆らって定位もしくは漸進しているが、流速が速くなるに従って魚体のふれが短くなり、また前後進を繰り返し一見活発に泳いでいる状態となる。中には定位不可能となり、そのままの姿勢で後方に押し流され、または頭部を下流にむけるものもあるが、いずれの場合も囊尻の部分で一時的

Table 42. Number of fish pressed to the net surface of the drag net by the current. Bracketed numbers show the total number of the experimental fish.

No.	Velocity (cm/sec)	Large sized fish	Middle sized fish	Small sized fish	Number of fish entangled to net
1	40	0 (10)	—	0 (10)	
2	40	—	0 (6)	2 (10)	M : 4
3	45	—	—	9 (18)	S : 2
4	50	0 (8)	—	10 (10)	L : 2
5	50	—	2 (8)	10 (10)	M : 2
6	60	1 (8)	—	9 (9)	L : 2 S : 1
7	60	—	4 (8)	10 (10)	M : 2
8	80	6 (10)	9 (10)	—	

L : Large sized fish M : Middle sized fish S : Small sized fish

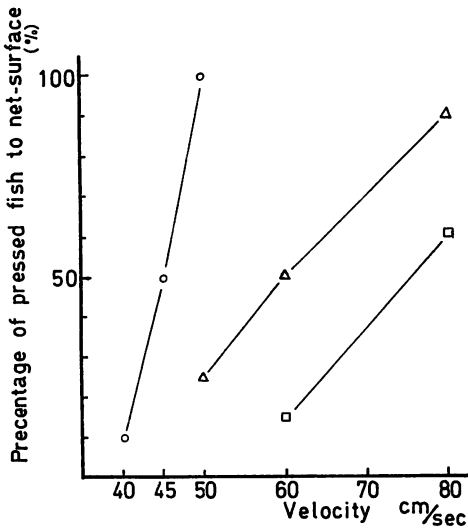


Fig. 84. Relationship between the velocity and the percentage of the fish pressed to the net surface.
 ○—○ : Small sized fish
 △—△ : Middle sized fish
 □—□ : Large sized fish

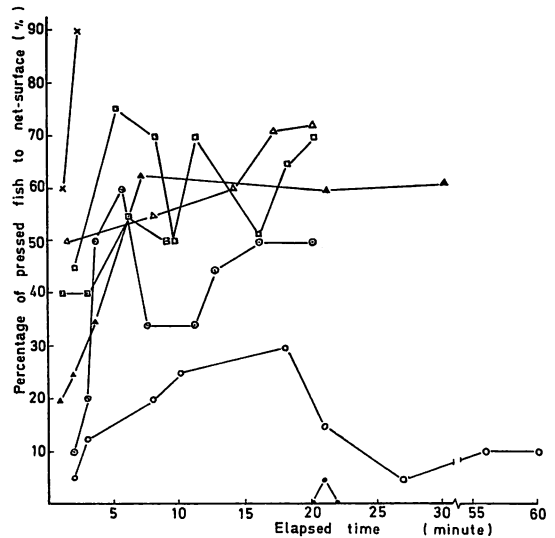


Fig. 85. Change of percentage of the fish pressed to the net surface in accordance with the lapsed time.
 ●—● : Large and small sized fish, 40cm/sec
 ○—○ : Middle and small sized fish, 40cm/sec
 ◎—◎ : Small sized fish, 45cm/sec
 □—□ : Large and small sized fish, 50cm/sec
 ◻—◻ : Middle and small sized fish, 50cm/sec
 ▲—▲ : Large and small sized fish, 60cm/sec
 △—△ : Middle and small sized fish, 60cm/sec
 ×—× : Large and middle sized fish, 80cm/sec

位する。しかし尾部が囊尻に押しつけられると、恰も枯葉が地面に積み重ねられるように、網面に吸引される。流速が速くなると囊尻に群がる魚群は増加し、同時に網面に押しつけられる魚群も増加する。

b) 尾数別魚群の行動

囊網に200尾を入れて実験した結果では、流速の遅い20 cm/secの場合は囊網内の全部に亘ってほとんど均等に散ばり、定位もしくは前後進を繰返しながら遊泳している。40 cm/secになると一部の魚群は囊尻に押しつけられるが大部分の魚群は集団となって網口から中央部にかけて定位するか、または網口と囊尻との間を前後進し、その遊泳状態には若干の規則性が認められる。60 cm/secに増速すると、一群は網口附近と囊網の中央より前方の底部に定位し、他群は囊網内において大きく前後進を始める。しかしその後、徐々にこれらの群の中から一部の小型魚が水流に押されて後進し、囊尻に押しつけられる。80 cm/secの場合は一部の大型魚が網口の底面に近い場所で遊泳している他は、ほとんどの群が囊尻に押しつけられたり、囊尻の直前でひしめくように一団となって遊泳している状態が認められた。

網成りは60 cm/secで、囊尻の部分がその網面に押しつけられた魚のため茸状に脹らみ、網中央部から囊尻にかけて上下左右に動揺し始める。80 cm/secではこの茸状の脹らみは更に顕著にな

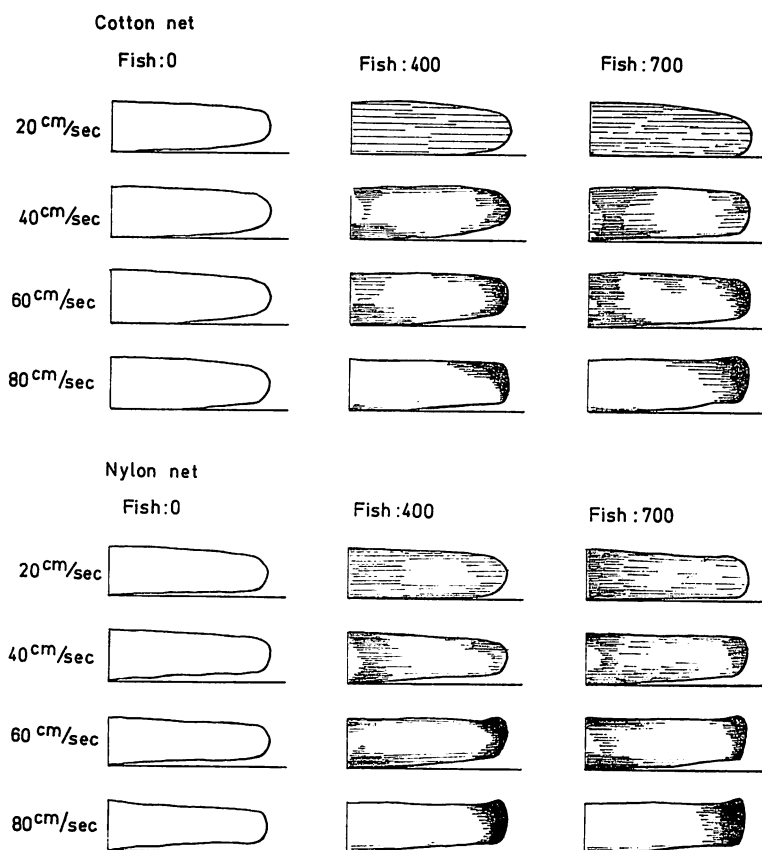


Fig. 86. Sketches of the net shapes in various velocities and fish.

り、網の動揺も激しくなると同時に囊尻は上方に若干浮上する。このような囊網中の魚群の行動および網成りの変化は群の尾数が多いほど顕著な傾向があり、また同じ流速でも群の尾数が多ければ囊尻に押しつけられる尾数が増加する。網成りも Fig. 86 および Fig. 87 に示すように茸状の脹らみは大きくなり、同時に囊尻は更に浮上する。Fig. 87 はナイロン網の尾数 700 尾、流速 80 cm/sec の囊尻の状態を示したものであるが、その囊尻の茸状の脹らみの長さは囊尻から約 50 cm で、その脹らみの中で大部分の魚は囊尻に堆積され、その前方に一団となってひしめきあいながら遊泳している状態が認められた。またこの場合の囊尻の浮上量は空網の場合より約 20 cm 高くなっている。

囊網の受ける抵抗は Fig. 28 に示す様で、まず空網の場合では、60 cm/sec までは漸増するが、80 cm/sec に達すると急増する傾向が認められた。次に囊網中に魚群を遊泳せしめて流速を与えた場合の抵抗値もやはり同様に増加の傾向を示すが、一般に尾数の多いほど抵抗値は大となり、



Fig. 87. The state of fish at 80cm/sec, fish number being 700, in the nylon net.

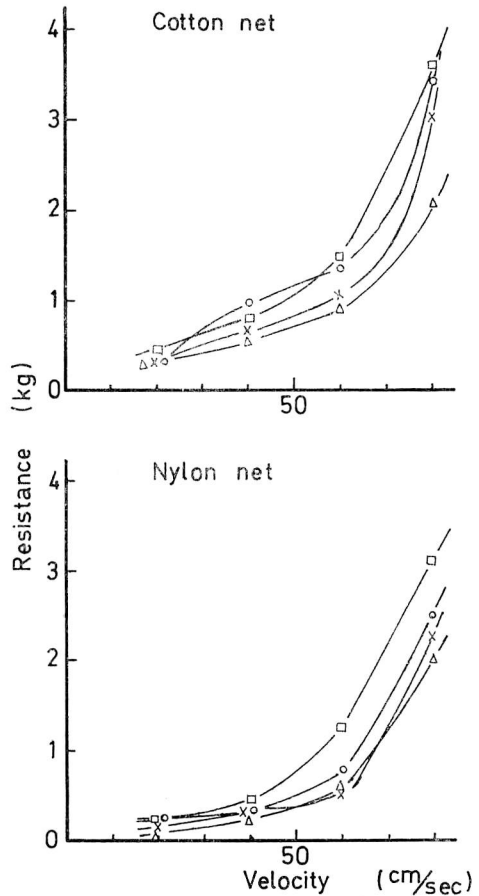


Fig. 88. Relationship between the resistance of the net and the velocity under the various number of fish.

△—△: Net only
 ×—×: Number of fish, 200
 ○—○: 400, □—□: 700

Table 43. Values of n about the resistance of the drag net.

No. of fish \ Net	Cotton net	Nylon net
0	1.67	1.58
200	1.73	1.64
400	1.81	1.71
700	1.86	1.77

尾数0の場合の抵抗値との差は流速が速くなるほど増加し、いずれの場合でも綿糸網がナイロン網より大となることが認められた。即ち尾数200, 400, 700尾の場合の流速60 cm/secにおける抵抗値は、綿糸網でそれぞれ1.19 kg, 1.35 kg, 1.56 kg, ナイロン網でそれぞれ0.53 kg, 0.8 kg, 1.25 kg となり、80 cm/secの場合では綿糸網で3.0 kg, 3.4 kg, 3.6 kg, ナイロン網で2.25 kg, 2.5 kg, 3.05 kg となる。流速40 cm/secと60 cm/secとでは抵抗値は不規則な変化を示し、上記の傾向は必ずしも認められないが、これは囊網の後面に押しつけられたもの、および押しつけられた魚群の前面で遊泳している魚群が、囊尻の動揺によって互いにその状態を繰り返すために流れに乱れを生じ抵抗値に変動を生ぜしめたものであろう。抵抗値が急増する主な原因としては、流速が速くなり、また魚群の数が多くなると大部分の魚群が囊尻に押しつけられて一種の非濾過性の被膜で後面を覆った状態となり、また魚体が網面に押しつけられて比重調節が不可能となるために囊尻は浮き上って茸状を呈するためであるとも考えられる。

5. 4. 2. 4 考 察

魚の遊泳型式は J. Gray (1968)⁹⁷⁾ が述べているように、遊泳機構そのものは複雑でも魚体の形状によって略一定している。本論ではヒブナを用いて模型的に作製した漁具に対する行動を実験した。勿論、魚の生態実験を模型的に行なうことや、淡水魚の実験結果をそのまま海水魚の底曳網に対する行動に適応させて解析することは問題であるが、淡水魚と海水魚の間で体型的にみて類似点があれば、その遊泳型式も類似点のあることが考えられる。曳網に対する魚群の行動については多く研究されているが、囊網中における魚群の行動に関する実験は今までほとんど行なわれておらず、実験の結果について新しい問題点を提起した形となった。即ち

- (1) 魚体の体型によって、定位出来なくなる時の流速が異なること。
- (2) 尾部が囊網の後面に触れた時、魚は遊泳力を失い、網面に押しつけられる。
- (3) 囊網の後面に押しつけられる尾数は網中の尾数が多いほど増加する。
- (4) 囊網の後面に押しつけられる魚群量が増加すると、網尻は茸状に脹らみ若干浮上する。
- (5) 囊網内の魚群量が増加するに従って囊網の受ける抵抗は増加する。

囊網中に顕著な渦流が認められない場合は、魚は流れに頭部を向けて定位、もしくは前後進を繰り返しているが、流速が速くなると漸次囊尻の方向に押し流される形となり、やがて囊尻の網面に押しつけられる。この現象は小型魚ほど遅い流速でみられる(1)~(2)。魚群の入網量が増加すると、魚群は漸次囊尻に押しつけられ(3)、囊網の網成りは変化し(4)、また囊網の受ける抵抗は空網の場合より急激に増加する(5)。従って囊網を設計する場合は、予想漁獲量を推定して囊網特に魚捕部の寸法を考慮することが望ましい。比較的長時間曳網する場合もしくは予想よりはるかに漁獲量の多い場合は網面に押しつけられることによって魚体が損傷するので、曳網速度や曳網時間等について配慮する必要がある。

5. 4. 2. 5 曳網に対する魚群の行動と駆集効果

曳網の駆集効果については潜水や水中テレビによる観察の他、種々の環境条件を設定した水槽実験によって検討され、曳網に出会った場合の魚の行動について多くの法則性が確立されている。しかしてらの研究内容は曳網のある部分の長さに対する魚の行動について検討したものが多く、駆集から入網までの過程に至る群としての魚の行動についてはあまり研究されていない。この実験は50 m プールにヒブナを放ち、予めプールの底面の全周に亘って沈めておいた網を魚群が網を囲む範囲から逸出するまで、即ち駆集から入網まで一括して手繰り寄せ、その間における魚群の軌跡を求めながらその行動について観察することとした。

(I) 実験装置と方法

実験魚は体長、9~13 cm のヒブナ 250 尾を準備し、実験場には水高 60 cm まで注水した 50 m プールを用いた。

駆集用の曳網は径 18 mm のマニラロープを用い、この曳網をプールの底面全周に亘るよう予め打ち廻しておき、一括して手繰り寄せて実験することとした。実験方法は、まずヒブナをプールに放ち、一日おいてプールに慣れさせた後、プールの中央附近に魚群が遊泳している時を見計らって曳網を 0.4 m/sec の速さで手繰り寄せて観察することとし、回数は学習効果を考慮して3回とし

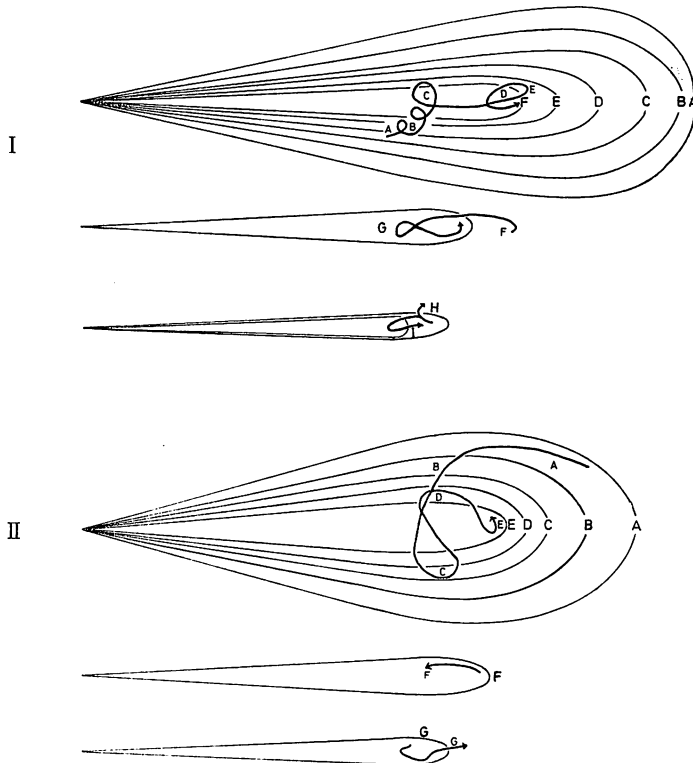


Fig. 89. Sketches of the fish movements in the shape variation of a towing net.
A~I: Process of the movement of the towing rope and fish. Arrows show the locus of fish.

た。魚群の行動の観察、測定は直視による他、35mm 1眼レフカメラ、8mm 撮影機により行なった。なお水温は実験を通じて14°Cであった。

(II) 実験結果

実験結果は Fig. 89-I~II に示す通りで3回のうち2回はいずれも曳網間隔が極めて近接した時、魚群が曳網を通過して曳網外に逸出する現象が認められた。Fig. 89-I ではまずプールの中央附近で曳網の狭まりを意識した魚群は、左旋回しながら徐々に移動する (A→C)。曳網間隔が狭まり、魚が最初に曳網に接触する段階 (D) では、曳網の進行方向と同方向にしかも若干曳網より内側に角度をとった後、大きく左旋回し、曳網の彎曲部、即ち底曳網に当る部分に曳網の進行方向と逆の方向から曳網に対してほとんど直角に接触する (F)。ここで魚群は曳網を意識して少数群が四散する状態となるが、まもなく一団となり、曳網に沿って曳網と同じ進行方向に若干角度を内側にとって移動した後、反対側の曳網に接触する。この場合は前の状態とは逆に右旋回し、再び彎曲部に接近する。この段階になると、両側の曳網は極めて接近するので魚群の移動速度は速くなり、一部の魚群は曳網を通過するが (H)、ほとんどの魚群は曳網の進行方向と逆の方向から曳網の彎曲部を通過して曳網外に逸出する (I)。Fig. 90 は Fig. 89-I の (E) の状態、Fig. 91 は Fig. 89-I (H) から (I) の状態を拡大して示したもので、これより曳網に接触した場合および曳網が狭められた段階で魚群が網外に逸出する場合の魚群の動きが把握出来るようである。

第2回目の実験は Fig. 89-II に示すように、第1回目の実験と略同様の傾向がみられたが、この実験では (A) から (F) まで1尾も曳網を通過せず、(G) の段階で始めて全魚群が曳網を通過して曳網外に逸出した。魚群の曳網に対する行動を部分的に検討してみると、魚群は曳網を意識すると一団となって遊泳し、旋回方向はほとんど左旋回であるが、両曳網の間隔が狭まり曳網によ

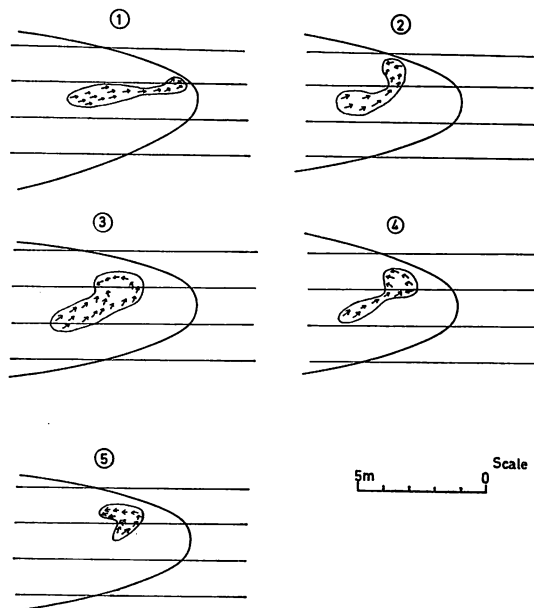


Fig. 90. Fish movements in the experiment of the towing rope. Arrows show the general direction of the movement of fish.

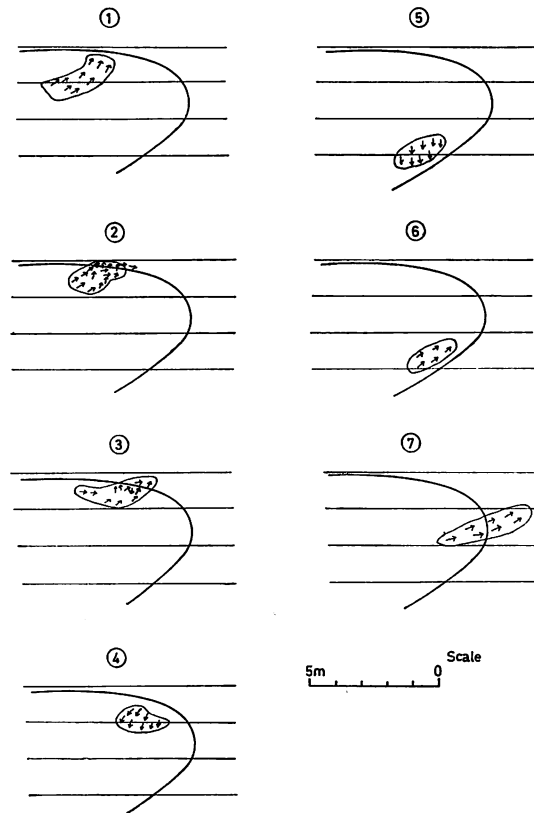


Fig. 91. Fish movements in the experiment of the towing rope.
Arrows show the general direction of the movement of fish.

って囲まれる範囲が極端に狭くなると、右旋回する場合もある。曳網に接触した場合は魚群の進行方向は定まるようであり、一般に曳網との接触の角度が大であれば曳網から逃避する角度も大であり、また各個体は反射的にそれぞれの方向に逃避し、一時四散の状態となるが、やがて一団となって逃避行動をとる。

5. 4. 2. 6 考 察

一般に魚は障害物もしくはある異なった環境に遭遇すると諸感覚を刺激されて、異なった行動をとる場合が普通である。魚の感覚は視覚、聴覚、嗅覚、温度感覚、化学的感覚、振動感覚等がある。運動中の漁具に魚が遭遇した場合に最も刺激を受ける感覚は、上記の諸感覚のうちから視覚および振動感覚をあげることが出来る。底曳網の場合は曳網および囊網によって連続的に刺激を受け、魚捕部内に入網を余儀なくされるので、漁獲とこれらの刺激とは密接な関係にあり、特に視覚刺激は漁獲にとって重要な役割を果しているものと考えられる。本論で論述した魚群の行動に関する実験は主として視覚によってひき起こされた行動を観察したもので、実験装置および方法については視覚以外の感覚を刺激することのないよう注意を払った。

本実験の結果は従来行なわれた魚群行動に関する水槽実験や直接観察の結果と一致する点が多

い。即ち水槽実験では、田内・藤野 (1929)⁴⁶⁾ の他群の誘引力、田内・安田 (1928)⁹³⁾、(1933)⁹⁴⁾ の魚群が網に出会った後に進む方向について、また Blaxter, Parrish, Dickson (1964)⁹⁵⁾ の反応距離の存在について、本実験でも類似した結果が得られた。また実際に水中テレビおよび潜水艇で直接観察した Dickson (1959)⁹⁶⁾ の曳網に対する魚の行動について、および斉藤・藤井・山本・前田 (1954)⁹⁸⁾ の一そう曳底曳網の曳網の効果について得られた観察結果は本実験の結果を今後展開させる上でも極めて価値がある。特に斉藤らはくろしお号によって一そう曳底曳網の曳網の動きを観察し、曳網の動きおよび網の移動速度が魚群の駆集および入網に関係することを述べているのに対し、本実験の場合は、実験魚が淡水魚であるが、魚群が曳網外に逸出するのは曳網がほとんど平行になった時で、しかも逸出する部位が底曳網の装着位置に相当する彎曲部であるとの結果を得た。これらの両者の結果は魚種によっては一致点が見出されることが考えられ、共に一そう曳底曳網の漁法を解明する上で重要な示唆を与えているものと考察される。

VI 結 論

前章までにおいて、我が国の底曳網漁業で現在用いられている代表的な3種の底曳網について、その漁具の物理的性状を模型実験により、またそれぞれの曳網と底曳網の漁獲性能を操業結果より解析して比較したが、これらの解析の結果は漁場に適応する底曳網を選択する場合や、漁獲性能の優れた高性能底曳網を設計する場合等に重要な指針となるものと考えられる。即ち現在の底曳網漁場は浅海から水深 1,000 m 近くの深海まで、その海底形状は平坦なものから傾斜、あるいは礁の散在する複雑な様相を呈するものまで及ぶ。またこれらの海底に棲息する魚群は遊泳層、魚群密度、遊泳速度等の生態的条件がそれぞれ異なるなど従来の漁場と環境条件が著しく相違する場合が多いので、かかる漁場での操業にいかなる種類の底曳網を採用するか、また底曳網を決定しても高性能のものとするためには、漁具の設計および運用をいかにすればよいか等の科学的な指針が必要となるわけである。そこで本章では漁場の環境条件に適合した高性能底曳網の設計について具体的な指針を検討すると共に、底曳網設計に関する問題点を提起して結論とする。

先ず漁場の環境条件に適応する底曳網の選択については、音響測深儀で測定した漁場の諸条件と模型実験で得た物理的性状を比較対照させながら底曳網を決定すべきである。特に魚群の遊泳高さや網口高さ、魚群密度と袖先間隔、魚種と曳網速度等はそれぞれ密接な関係にある。即ち遊泳層の高い魚群には網口中央高さの最も高く、離底曳の容易なトロール網を、魚群密度が大で、遊泳層のさほど高くない魚群には袖先間隔が効果的に狭まる一そう曳底曳網もしくは同間隔の広い二そう曳底曳網を採用すべきであろう。また現用の底曳網の種類によっては操業水深に限度があり、海底形状の状態によっては曳網出来ないものもあるので、漁場の物理的条件によって採用する底曳網の種類を定めることが必要である。一般に水深が深く、海底形状が粗である漁場では、漁船の主機関馬力が大であり、沈子に大型の各種ボーピンを装備しているトロール網、水深が深く、海台や傾斜した特殊な海底形状の漁場では、長い曳網を有し、曳網距離が短かく、海底形状に併せて操網することの可能な一そう曳底曳網が適しているものと考えられる。なお二そう曳底曳網は現用の漁船の主機関馬力および船型では曳網が長すぎ、また網規模が大であるので、水深 150 m 以浅の平坦な漁場のみに使用可能であるが、魚種によっては他の網より漁獲性能の高い場合があるので、大陸棚上の操業では底棲魚種に応じて底曳網を決定すべきである。

次に高性能底曳網を設計し、これを能率的に運用する場合の基本的な要素として次の諸点があげ

られる。

- (1) 曳 網
- (2) 網口中央高さ
- (3) 網 成 り
- (4) 曳網濾過容積

(1) 曳 網

現在の底曳網漁場は深海へ移行する傾向にあるが、深海操業で先ず問題となるのは、曳網の接地部分の長さ、または曳網の安定度である。曳網の接地部分の長さは長いほど曳網の掃立面積は増加し、また船の動揺が直接底曳網に伝わらないので安定した網成りが与えられるものと考えられる。各底曳網の曳網の構成をみると、まずトロール網では重量の極めて重い O. B (水中重量 963 kg) を曳網の中間において強制的に接地せしめ、また手網には比較的重い径 40 mm 前後の Comb. R (比重 2.0) を用いて底曳網の安定を計っているが、他網に比較して曳網の接地部分の長さ、即ち手網の長さが最も短かいので、船および水中部分の曳網の動揺が網自体に伝わり易い。従って網に安定を与えるためには手網を長くするか、または O. B の重量を重くして手網を全長に亘って常時接地せしめておく必要がある。現在、O. B 自体は加重式なるものが考案されており、O. B の重量調整はある程度まで可能であるが、O. B の規模からみて重量増加には限度があるので、深海操業の場合は O. B とは別に手網の重量の増加を計るべく、その材料および長さを決定するか、もしくは新しい型式の重量物の装着を考えるべきであろう。また他網に比較して接地点間隔(即ち O. B 間隔)が最も短く、深海操業の場合は更に短くなる傾向があるので、O. B 自体の重量増加、船の曳網力、ウインチ馬力等の増大について問題はあるが、O. B の展開力を増加するか、または手網を長くして O. B 間隔を広くとるようにするなど検討すべきであろう。

二そう曳底曳網の曳網はワイヤーロープと Comb. R の両者よりなり、接地点は両者の連結点から 100~200 m 隔たったワイヤーロープの部分にある。従って曳網の接地点はワイヤーロープの 1 部と Comb. R の全長に亘っていることになる。この Comb. R の長さは 400~500 m にも及ぶので、船の動揺は直接網に伝わらず網は安定した状態で曳網されていると考えてよい。しかしトロール網の O. B のような重量物を曳網の中間に装着しないので、接地点の維持のためかなりの量のワイヤーロープを必要とする。また船の曳網力および船型の割合に網規模が大きく且つ網の重量の重いことから、150 m 以深の漁場における曳網には現在のところ難がある。敢えて 150 m 以深漁場で操業を行なう場合には、曳網力およびウインチ馬力を大にして曳網を長くするか、または特殊な方法を用いて強制的に曳網の接地点を少なくともワイヤーロープの部分にもってくる必要がある。

特殊な方法として考えられるものに、ワイヤーロープの水中部分に重量物を附加してワイヤーロープを出来るだけ沈下せしめる方法、ワイヤーロープの水中部分に抵抗板を設けその抵抗を利用してワイヤーロープを接地せしめる方法等があるが、いずれにしてもワイヤーロープの水中部分の抵抗が増加することは免れない。接地点間隔は水深 150 m では 256 m となり、トロール網の約 2 倍に当り相当広い。この間隔は平坦な海底形状の漁場では有利な特徴と言えるが、深海漁場は海底形状が一般に複雑であるので、曳網の接地部分が長いだけに曳網に障害物のかかる恐れが多くなるのは当然のことである。従って絶えず曳船間隔を調整して曳網するか、または障害物を無事通過出来るような特殊の沈子を装着する必要がある。結局二そう曳底曳網を深海操業に使用する場合は、

船型、曳網力およびウインチ馬力を大にすると同時に接地点の維持および曳網方法に特別の配慮が必要である。

一そう曳底曳網は他網に比較して最も長い曳網を必要とし、曳網の接地点は出来るだけ船側に近づけることが望ましい。従って単に接地点のみについて考えると、曳網の船付きの側に単位長さ当たりの重量の重い曳網（例えばワイヤーロープ、Comb. R）を配置せしめればよいことになる。しかし曳網は曳網、揚網の過程で絶えずその展開形状が変化し、魚群を網の前面に駆集せしめるものであるので、曳網の剛さの点で材料の異なる曳網を連続して用いることは曳網の形状の連続的な変化を不連続なものにさせるので問題がある。むしろ現在の新型漁船のなかに、16 mm 径の Comb. R を曳網として採用しているように、径は小さくなくても同一材料の曳網を用いる方が曳網の展開形状の変化を連続的にする点から得策であろうと考える。この場合曳網の寸法と曳網の連続的な形状との関係を魚群の駆集効果の点から解析して、駆集効果に関する曳網の寸法の許容範囲を把握しておくべきである。

曳網の運動と魚群の駆集効果との関係は極めて密接であり、曳網によって順次駆集された魚群は最終的には集約された形の密度の高い群となって網口の前方で遊泳することになる。

トロール網では曳網の接地部分が100 m を超えることはほとんどないが、5.3.4 で既に述べたように3.2 m の高さを有する O. B によって海底より少なくとも3 m 内外の魚群が両曳網の中間に駆集せしめられるものと思われる。このように O. B の存在は単に拡張網だけの役目をなすばかりでなく、魚群の駆集に優れた効果をもたらすものと考えられるので、トロール網の場合は O. B の高さを更に高めるようにすれば、更に効果的であろう。

次にトロール網以外の長い曳網を用いる網の場合は、曳網に網の進行方向に対して横方向に展開せしめようとする O. B 状のものを装着するのではなく、かなりの高さ（少なくとも濃密な魚群が遊泳している高さ）を有する駆集用の威嚇物を網に近い曳網の部分に装着すれば、海底よりある高さにある魚群を網の前面に駆集させることが可能となるであろう。この場合、その威嚇物は曳網の特有の運動を出来るだけ阻害せしめないような運動をすることが必要条件となる。桂縄を曳網に装着して魚群を威嚇せしめる等その好例である。

二そう曳底曳網の場合、このような駆集用の威嚇物を採用するとすれば、その装着箇所は Comb. R の部分となるので、Comb. R は結果的に長さが短くてよいことになり、深海操業が可能となるであろう。

一そう曳底曳網は曳網に先立って予め四角形状に曳網を海底に展開しておき、曳網の狭まりによって魚群を駆集する漁法であるので、船の大きさとウインチ馬力の許容する範囲内で出来るだけ長い曳網によってより広い面積を占めるように曳網を展開せしめることが望ましい。この場合、曳網の径が問題となるが、既述したように駆集効果のある範囲内で出来るだけ径の小さい曳網を選定すれば、より長い曳網を使用することが出来るので、より深い漁場での操業が可能となろう。また曳網の屈曲点に相当する部分に既述のようなある高さを有する威嚇物を装着すれば、海底からある高さをもつ空間内の魚群に対する駆集効果と、曳網の屈曲点間隔の狭まり速度を遅くするために用いられる手石のような効果を同時に期待出来るものと考えられる。

(2) 網口中央高さ

網口中央高さは魚群の遊泳層に適合するように調整しなければならないが、具体的な方法としてその高さを高くするためには浮子の量を増加する方法、袖先部の網高さの上昇を計る方法、網地配

置による方法等が考えられる。浮子の量を増加する方法は 5. 4. 1. 1 の実験でも示されるように確かに効果があり、特に囊網を形成する網地の枚数の多いほど、また曳網速度の速いほど効果的である。袖先部の網高さの上昇を計る方法としてはトロール網のペンネットスイープルの高さ、その他の網については手木の高さを高める方法がある。

トロール網の場合は更に、手網の代りに O. B から 2 本の長いペンネット (Pendant) 即ちヘッドペンネットおよびグランドペンネットを用いて袖先部の網高さをも高める方法も考えられる。いずれも袖先部から網高さをも高め、間接的に網口中央高さを高めようとするものである。

網地配置については 5. 4. 1. 1 の実験で示したように囊網を構成する網地の枚数および三角網の網規模によって網口中央高さは相当影響を受けるが浮子量の多寡によってその高さの差は大きく、一般に浮子の量が多いほど三角網の拡網効果が加わって網口中央高さは高くなる傾向がある。また囊網の天井網および背網の目合長を小さくして、上向きの流水抵抗を大にし囊網全体を浮揚させるような効果をもたせ、また同じ網部に比重 1.0 より小さい材料のものを採用して網口中央高さを高める方法もある。

(3) 網 成 り

網口形状を含めた網成りは、主として網地配置、網糸の径および目合長によって異なるものと考えられる。

葉室 (1959)⁷⁹⁾ はこの点について、各網部の網糸の径および目合長を異にすることによって網口形状の相違してくることを指摘している。即ち背網部の目合長を背網部より細くすることによって囊網は浮子の浮揚力に全て依存することなく拡網し網口形状および網成りは良好な形のものになるという。最近の底曳網設計のうち目合長の傾向としては袖網、腹袖、脇網、背網、天井網、漏斗網、魚捕部の順に小さくなっているが、このような傾向は網糸の材料を各網部別に選択することにより更に良好な網成りが求められるものと考えられる。このように各網部をそれぞれ構成している要素を異にすることによって各網部の受ける抵抗は均等でなくなり、その抵抗差によって網成りが形成されるわけである。網成りが網面の受ける抵抗によって形成されるという考え方とは別に、流水速度の面から網成りについて考察を加えてみると、5. 4. 1. 3 で論じたように網成りと網中の流速とは密接な関係があり、網糸の径や目合長は網中の流速を決定する要素となる。網糸の径が大きく、しかも目合長の小さい場合、例えば底曳網の魚捕部の部分は網面から網外に流出する通水量が少ないため網中の流線は渦流状態となるが、網糸の径と目合長の小さい例えば天井網の部分では網外に出る通水量が前者より多いため網中は渦流状態とならず、網面内の流速の速くなる現象が生ずる。

この増速現象は網口附近の魚の入網を促進する効果をもつものである。囊網内全般に亘り、あるいは少なくとも囊網の前部において増速現象を伴うよう網糸の径や目合長を定め、また網地配置を行えば、同じ濾過容積でも魚の入網量は増加し、漁獲性能は更に優れたものとなる。なお腹網の部分は目合長を大にして網外に出る水量を多くし、また漏斗網の網糸の径と目合長を小にして魚捕部内の流れを整流化し、魚捕部内の魚群を定位させ魚体の鮮度を保持するよう計ることも一考に値する。

(4) 曳網濾過容積

模型実験の結果、各底曳網の曳網速度に伴う曳網濾過容積の変化曲線は、それぞれ特徴があり、トロール網は曳網速度の増加に伴って該容積は急増し、二そう曳底曳網は 2.0 ノット附近までは増

加するが、それ以上の速度になると、ほとんど一定になるかまたは減少、一そう曳底曳網は上記二者の中間的な特性曲線を示しており、いずれも袖先間隔の広いほどこの傾向が強い。これらの特性曲線は 5. 4. 1. 1 の実験で明らかにした 6 枚、4 枚構造網の曳網濾過容積に関する特性曲線に近似しており、三角網の有無によってこの特性曲線は大きく相違してくることが考えられる。特性曲線から曳網濾過容積を増加せしめようとする場合はトロール網では袖先間隔を広くとって曳網速度を増加すること、二そう曳底曳網では 1.5 ノット以上ではさほど容積の増加をみないので 1.5~2.0 ノットの範囲で曳網速度を定めればよい。一そう曳底曳網は袖先間隔と曳網速度によって相当の差を生ずるが 5. 4. 2. 5 で述べた曳網の実験結果をそのまま適用出来るとすれば、魚群の入網する時期は袖先間隔が極端に狭まる時であるので、1.0~2.0 ノット附近を最も濾過容積を大とする必要がある。しかしこれらの曳網速度は対象魚種の遊泳速度もしくは入網に際しての退避速度等の入網に関する魚群の遊泳速度と結びつけて決定しなければならないので一概に断じ難く、対象魚種に適した曳網速度と比較対象させながら適正曳網速度を決定すべきである。

次に高性能底曳網の設計に関する問題点として下記の諸点を提起し、今後研究を推進したいと考える。

- (1) 底曳網内における流速分布
- (2) 三角網の網成りに及ぼす影響
- (3) 海水魚による魚群行動
- (4) 魚種別にみた漁獲性能

(1) 底曳網内における流速分布

本論において 3 種の底曳網について漁獲性能を比較した結果では、一そう曳底曳網が最も優れている。該網の漁獲性能の優れている理由としては、まず網成りが他網より魚群の入網し易い形状をなしていることがあげられる。この種の網は一般に脇網と三角網の占める網地面積が広く、他網に比較して網糸を細くした設計となっている。このような網地構造であると、囊網は円錐形状に拡網し、5. 4. 1. 3 で実験したように、他網より網内外の流速差が少なくなるか、または網外より網内の流速が速くなる現象が起り、魚群にとって入網し易い網となることが考えられる。その点トロール網の場合は三角網の面積が広く、漁具性能が最も優れているが、網糸が太いため、網内外の流速差が大となり網内に渦流の生ずる状態が予想される。従って理想的な底曳網は 5. 4. 1. 3 で実験した囊網のように網中の流速が速くなるような網が望ましいことになる。しかし実際の底曳網は魚捕部の網糸の径が太い上に、目合長が小さいため網中の流速は遅くなり魚捕部は渦流の状態となるので入網魚の重量と体型を勘案した上で出来るだけ細目の網糸と、出来るだけ目合長の大きい網地を採用すべきであろう。この他囊網中の流速を速くするため、囊網の一部から網中の流量を網外に流出せしめるような方法も考えられる。本論の 5. 4. 1. 3 の実験は囊網のみについて行なったものであるので袖網のある底曳網は勿論、網地配置、網糸、目合長等を異にした底曳網について流速の分布状態を実験的に解析し、所謂高速網につながる設計方法の指針を求めることにしたい。

(2) 三角網の網成りに及ぼす影響

漁獲性能の優れた一そう曳底曳網とトロール網は共に三角網の網地面積を広くとっているが、三角網の効用は、5. 4. 1. 1 の実験でみられるように、浮子の量の多寡、曳網速度の遅速のいずれの場合でも、対象魚種によっては優れた効果を発揮出来るようであり、今後の底曳網に広く用いられることは明らかである。しかし三角網と網成りとの関係については未だ理論的にも実験的にも充分

に解明されていないので、今後の研究課題として、三角網の網地面積、形状、採用する網糸の材料、径および目合長が、網成り特に網口形状に及ぼす影響について実験的に研究して行きたいと考える。

(3) 海水魚による魚群行動の実験

魚群が漁具に遭遇した場合および漁具に囲まれた場合の行動は、漁具の構造、動き、および水温、照度等の環境条件によって異なることが考えられる。本論においては曳網に対する魚群の行動、囊網内における魚群の行動および個体の占める遊泳可能容積について実験を行なったが、これらの実験には全て淡水魚であるヒブナを用いたので、その実験結果をそのまま海水魚の底曳網の漁具に対する行動とみなすことは出来ない。

ただ体型的に類似した点が両者にあるので、行動についても類似点があるとして論述したものである。そこで今後の研究課題としては環境条件別に魚群の漁具に対する行動を海水魚を用いて実験的に観察し、本論で行なった水槽実験の結果と対比させ実験結果の一致点および相違点の原因を解明して今後の淡水魚による水槽実験の適応範囲を確認したい。個体の遊泳可能容積については魚種によって体型が異なるので体型的にみて特徴のある魚群を選び、その最小遊泳巾、最小遊泳高さおよび最小遊泳長さを実験的に求め、魚種によって定まる π の係数(K_B , K_H , K_L)を求めることとする。また魚種別に遊泳可能容積を求め、大量に魚群が入網した場合の魚捕部の設計方法についても検討したい。

(4) 魚種別にみた漁獲性能の分析

本論で論述した3種の底曳網はベーリング海、東部大陸棚漁場で用いられた網で、これらの網の漁獲性能の比較は漁獲された全ての魚種を一括した形で取り扱った。漁獲された魚種の大半はスケトウダラで全漁獲量の68.2~91.2%を占め、その他マダラ、カレイ類となっているので、結局、スケトウダラを主対象魚とした各底曳網の漁獲性能の比較を行なったことになる。しかしベーリング海東部大陸棚漁場では、スケトウダラと混獲されるマダラ、ブリストル湾口沖合漁場のコガネガレイ、プリピロフ諸島附近のニシン、大陸棚傾斜漁場におけるアブラガレイ、ギンダラ、メヌケ類等、漁場によってはスケトウダラ以外の魚種が多獲される場合があるので、スケトウダラを始めとする各有用魚に対する各網の漁獲性能を魚種別に求める必要がある。そこで今後の研究課題として第二次大戦後における北洋底曳網漁業の資料の中から各魚種別に漁獲量を分析し、各底曳網の魚種別の漁獲性能指数を求め、北洋底曳網漁業全般に適用出来るような高性能底曳網の設計に関する方向付けを行なう必要があるものと思われる。

VII. 要 約

我が国の底曳網漁業において使用されている底曳網はトロール網、二そう曳底曳網、一そう曳底曳網を以て代表されるが、これらの網はいずれも漁具、漁法を異にしており、それぞれ特徴点を有している。即ちトロール網は他網に比較して最も短い曳網を使用しているが、曳網の中間にO. Bを連結し、O. Bの展開力をもって袖先間隔を上げ、網口を拡網せしめている。そのため曳網の接地点はO. Bに相当し、魚群の駆集効果の役目を演ずる曳網、即ち手網には径の大きいComb. Rを用いるが、その長さは他網に比較して最も短い。網は手網から比較的長いペンネットをもって連結されるので、他網に比較して袖網の長さおよび浮子網の長さが短い、6枚構造網を採用して網地面積を増加し、また浮子を多く装着して浮揚力を大にし、網口附近が充分拡網するよう設計され

ている。

二そう曳底曳網は2隻の漁船が曳行間隔を保ちながら比較的長い時間曳網されるものであるから、曳行間隔によって袖先間隔は決定されることになる。曳網の接地点は曳網のワイヤーロープと Comb. R の連結点に近いワイヤーロープ上で Comb. R は比較的長い。袖網は目合長の大きい荒手部と目合長の小さい袖網部とよりなり、その長さはトロール網より長くなるが、身網の長さは反対に若干短くなる傾向がある。浮子量は網地面積が広いのでトロール網の場合と同様に大である。

一そう曳底曳網は予め曳網を四角形状に海底に展開し、曳網を徐々に狭めて曳網内の魚群を網口の前面に駆集せしめる漁法であるので、曳網は最も長い。また曳網の運動は直接魚群の駆集効果と密接な関係を有しているので、その点を考慮して曳網と網の寸法および曳網速度を決定している。網の構造は曳網速度が比較的低速であるので、低速でも漁具としての性能を発揮出来るように、網系の径を小さく浮子網、沈子網、浮子および沈子をいずれも他網よりはるかに軽量且小型としている。

底曳網を実際に漁具として採用する場合は漁場の種々の条件と各底曳網の漁具性能を照合した上で最も漁獲性能の優れた漁具を選択する必要がある。特に最近の漁場は従来の平坦で水深の浅い漁場から深海の漁場へ移行してきているため、更にその必要性が強調される。しかし種々の環境条件を有する漁場で用いられた底曳網の漁具、漁法を解析し比較した研究は余り行なわれていない。そこで本研究では各種底曳網が集中して操業するペーリング海漁場における母船式底曳網漁業の資料から各網の漁具、漁法の特徴点について実測および実験を行なうと共に漁獲性能との関連性を理論的に解析し、加えて高性能底曳網の設計に関する指針を求めるべく検討した。その結果を要約して述べると次の通りである。

(I) 漁船の操業軌跡の測定と解析

母船に設置されたレーダーによって操網中の各種漁船の船位を連続測定し、また模型実験によって各底曳網の曳網から揚網に至る底曳網の運動に関する解析を行なった結果、魚群を駆集する上で大きな要素となる曳網の接地点間隔は、一定速度で曳網される底曳網については二そう曳底曳網が最も広く 256 m、トロール網が平均 123 m となり、曳網中に連続してその間隔が変る一そう曳底曳網では、曳網開始時: 1,245 m、曳網後 40 分: 平均 40 m となって漸次縮少し、最後は略平行になるまで接近する。接地点間隔によって定まる袖先間隔は、二そう曳底曳網が曳船間隔 400 m の場合に 45 m、トロール網が平均 30 m という値をとる。しかし一そう曳底曳網は曳網開始時は 63 m と略一直線に開いた状態であるが、時間の経過と共に順次狭まり、曳網終了時には 61 m となる。しかし揚網中は急激に狭まり網の離底する 10 分前には 7 m の間隔にまで狭まる。

接地点間隔と曳網距離との積 (トロール網および二そう曳底曳網の場合)、または海底に伸長された曳網によって囲まれた面積 (一そう曳底曳網の場合) で表わされる曳網掃立面積は二そう曳底曳網が最も広く $119 \times 10^4 \text{m}^2$ 、次で一そう曳底曳網の $102 \sim 110 \times 10^4 \text{m}^2$ 、トロール網の $77 \times 10^4 \text{m}^2$ (スタントロール) および $61 \times 10^4 \text{m}^2$ (サイドトロール) となっている。

曳網速度についてはトロール網が最も速く、スタントローラーの場合が 3.4 ノット、サイドローラーの場合が 2.7 ノットとなり、次で二そう曳底曳網の 2.5 ノットとなっている。一そう曳底曳網の曳網速度は時間の経過と共に変化するが、曳網時間 20 分間を通じて平均 1.3 ノットとなり最も低速である。しかし一そう曳底曳網の場合は曳網速度が網速度とならないので、レーダーの測定結果をもとに模型実験を行ない、網速度を求めた結果、曳網開始から終了の間に静止から 1.24 ノット

トまで増速し、その後揚網の過程で1.66ノットから2.0ノットまで増速することが認められた。

(II) 底曳網の模型実験の解析

底曳網の漁具性能に関する解析は全て田内の比較法則に基づいて作製した縮尺比1/35の模型網の水槽実験の結果によって行なった。底曳網の漁具性能として本研究で取りあげ検討した諸元は、網口中央高さ、網口形状、網成り、網抵抗、曳網濾過容積であるが、それぞれについて各網を比較検討した。

a) 網口中央高さ

トロール網は袖網の上部から囊網の中央部にかけて縫合された三角網の網地面積が大であるため、網地による拡網効果に浮子の浮揚力による効果に加えられた形となり、その高さは最も高く、常用曳網状態のサイドトロール網が3.8m（袖先間隔30.2m、曳網速度2.7ノット）、スタントロール網が3.9m（袖先間隔30.2m、曳網速度3.4ノット）となる。二そう曳底曳網はトロール網に比し、袖網の上部に縫合した三角網の網地面積が小であるため、速度が速くなるとトロール網より高さは低くなり、常用曳網状態（袖先間隔45m、曳網速度2.5ノット）で3.5mとなる。一そう曳底曳網は、網口附近の網地面積が大であるが、浮子量が少ないため、網口高さは網地の拡網によってほとんど定まる傾向がみられる。しかし浮子量が少ないため他網より高さは低い。常用曳網状態における高さは網速度、袖先間隔が絶えず変化するので一定せず、略2.0～5.2mの範囲で変化している。

b) 網成り

網口附近の網成りは三角網の網地面積と浮子量によって異なってくるが、この傾向は速度の遅い場合に顕著であることが認められた。三角網の網地面積が大であるトロール網や一そう曳底曳網は速度を与えると流れに対して直角方向に拡網するが、二そう曳底曳網ではさほど拡網しない。三角網の網地面積が小で浮子量の多い二そう曳底曳網の場合は、速度の遅い場合で天井網の前縁部が上方に突出した形をとるが、2.0ノット以上になるとその突出部分はなくなり、天井網は概ね底面に平行の網成りとなる。

c) 抵抗

網にかかる全抵抗は一般に速度が速くなる程大であり、抵抗値はトロール網が最も大である。抵抗と速度との関係を表わす一般式 $R = KV^n$ の n の値はトロール網が最大値をとり1.66～1.99、次で二そう曳底曳網：1.33～1.52、一そう曳底曳網：1.27～1.65である。通常曳網状態における抵抗値はサイドトロール網が2.7トン、スタントロール網が4.2トン、二そう曳底曳網が2.2トン、一そう曳底曳網では1963年型のもので0.65トンおよび1965年型のもので1.34トンをこえない値となっている。

d) 曳網濾過容積

速度の増加に伴う容積の変化の状態は各網でそれぞれ特徴が認められる。トロール網は速度の増加に伴って濾過容積は急増し、4.0ノット以上では最大値をとり、袖先間隔40mの場合4.0ノットで $800 \times 10^3 \text{m}^3$ を示す。二そう曳底曳網は1.5ノット附近までは急増するが、それ以上の速度では濾過容積は漸増し、2.5ノットに達するといずれの袖先間隔の場合でも略一定値を示すかもしくは漸減する傾向がみられる。一そう曳底曳網の場合は袖先間隔の広狭によって容積の増加の状態が異なり、間隔の狭い場合は濾過容積の増加量が小である。各網の通常曳網状態における濾過容積はサイドトロール網が $515 \times 10^3 \text{m}^3$ 、スタントロール網が $667 \times 10^3 \text{m}^3$ 、二そう曳底曳網が $546 \times 10^3 \text{m}^3$ 、

一そう曳底曳網が1963年型網で $183 \times 10^3 \text{m}^3$, 1965年型網で $223 \times 10^3 \text{m}^3$ となる。

(III) 漁獲性能の比較

漁獲性能は従来から単位努力量当り漁獲量をその指数として表わしているが、本研究では漁具の平面的もしくは立体的仕事量に対する漁獲量をもって漁獲性能の指数とすることとした。ここで漁具の平面的仕事量とは、魚群の駆集効果の役目をなす曳網の掃立面積を指し、立体的仕事量とは魚群を直接入網させる役目をなす底曳網の曳網濾過容積を指すことになるので、1つの漁具の漁獲性能の指数は曳網による場合は単位曳網掃立面積当り漁獲量 (Catch per sweeping area of the towing rope, C. P. S. A.), 底曳網自体による場合は単位曳網濾過容積当り漁獲量 (Catch per filtering volume of the towing net, C. P. F. V.) で以て表わされる。しかしそれぞれの単位仕事量当り漁獲量は比較的広い範囲に亘るので、該漁獲量と1曳網当り漁獲量との回帰直線の傾斜によって各底曳網の漁獲性能を比較することとした。

まず C. P. S. A. で表わされる曳網の漁獲性能は、トロール網が最も優れ、次いで一そう曳底曳網、二そう曳底曳網の順となっている。この様にトロール網の曳網の漁獲性能が優れているのは、接地点となっている O. B が 3.2 m の高さを有しているので、海底より少なくとも O. B の高さまで遊泳している魚群を両手網の中間附近に駆集させることが出来る理由によるものと考えられる。

次に C. P. F. V. で表わされる底曳網自体の漁獲性能は、一そう曳底曳網が最も優れ、トロール網と二そう曳底曳網はほとんど同一性能を有している。このように一そう曳底曳網の漁獲性能が優れているのは、魚群が入網する段階、即ち両曳網が極端に狭められてくる段階における網口中央高さが、他網の通常曳網状態における高さより高く、また網口附近の網成りも三角網の効果で横方向に拡網して魚群が最も入網し易い状態であることによるものと考えられる。トロール網は曳網の漁具性能が最も優れ、1曳網当り漁獲量も他網より大であるが、曳網速度が高速であるため、網の仕事量が大きくなり、その結果、C. P. F. V. は一そう曳底曳網より少ない傾向となり、また C. P. F. V. と1曳網当り漁獲量との関係直線の傾きも一そう曳底曳網より緩やかとなっている。

以上要約すると曳網についての漁獲性能はトロール網が最も優れており、その理由としては、3.2 m の高さを有する O. B の魚群に対する駆集効果が曳網のみの場合より大である点をあげることが出来る。また底曳網についての漁獲性能は一そう曳底曳網が最も優れており、その理由としては魚が入網する際の網口形状が他網より優れている点をあげることが出来るようである。

(IV) 底曳網設計上の基本的問題点の実験的解析

これまで3種の底曳網についてそれぞれの特徴点を実験的に解析して漁具性能および漁獲性能を比較検討したが、最近の漁場環境条件の複雑化に伴う漁具構造と運用の必要性から次に挙げた底曳網の設計に関する物理的・生物的基本問題点をとりあげ、これを実験的に解析した。

- a) 網地配置を異にする基本型3種の物理的性状
 - b) 網の内外の流速分布
 - c) 網漁具に対する魚群行動
- a) 網地配置を異にする基本型3種の物理的性状

実験網は身網が背網、腹網の2枚網よりなる2枚構造網、2枚構造網に脇網を加えた4枚構造網、4枚構造網に三角網を加えた6枚構造網で、実験は5.2に述べた各種底曳網の実験と同じ方法をとった。

実験の結果、網口中央高さは浮子量が多い場合（浮子の総浮揚力 300 kg）では 6 枚構造網が最も高く、次で 4 枚構造網、2 枚構造網の順となる。この傾向は速度が 2.0 ノット以上に及ぶと顕著に現われるようである。4 枚構造網や 6 枚構造網のように網口附近に広い網地面積を有するように設計された底曳網の網成りは、速度および浮子の浮揚力によって大きく変化する傾向が認められた。即ち速度が与えられると、まず網口附近の網地は流水抵抗によって横方向に拡網し、そのため、浮子網を低下せしめることになるが、速度が増加すると、網口附近の網高さを含む網成りは、網地の流水抵抗と浮子の浮揚力とがつり合ったところで略定まるものと考えられる。しかし浮子量が少ない場合（浮子の浮揚 150 kg）では 6 枚構造網より 4 枚構造網の方がその高さが高く、三角網地の拡網効果と網口を低下せしめる効果は、浮子量が少ない場合および低速の場合に顕著に表われるようである。2 枚構造網の網口中央高さはいずれの場合でも他網より低いが、袖先間隔が狭く、浮子の浮揚力の小さい場合では他網との高さの差が小となる傾向がある。従って対象魚種の遊泳層に合致するよう網口高さを決定する場合には網地の構造によるそれぞれの特性を十分に利用して設計を行なうことが肝要である。但しこの場合、網地面積が増加すれば当然、網地の抵抗が増加するので底曳網の設計の場合には、漁船の主機関馬力およびウインチ馬力との関係も併せて考慮せねばならない。

b) 網の内外の流速分布

網内の流速分布が網成り形成に密接な関係があり、また入網する魚群にとってもその行動を決定する要因になるという考え方から、同じ構造の網地からなる 4 枚構造網を作製し、水槽実験によって流速分布の測定を行なった。

実験の結果、網口の流速に対して網中の流速は 81~125% の範囲の値を示すが、ほとんど 100% 以上の値が多い。網の側面附近の流速は 25~113% の範囲で、ほとんど 100% 以下、網の後方の流速は 32~117% でほとんど 100% 以下の値を示す。このように網口の流速に対して網内が増速する現象については流速測定と併行して行なった流線の観察から実証することが出来る。即ち網口から網内にはいる流線は網面に沿って網中を流れてゆくが、このような流れが網の内面の全周に亘る場合、流速は加速される結果となる。このように網中の流速が加速される網であれば、入網魚の魚捕部への誘導がより容易であり、また網にかかる抵抗も少なくて済むので、漁具性能の優れた網となる。

ここで網中の流速を理論的に解析して、網中の流速と網成りとを関係づける実験式を導くと

$$V = \frac{A_0 V_0 - (A_0 - A) \bar{V}}{A + C \cdot S \sin \theta}$$

となる。ここで V_0 は網口の流速、 \bar{V} は網外平均流速、 A は任意の点における網中の断面積、 A_0 は網口面積、 C は網目通過に関する流速の係数、 S は単位長さ当りの水の通過する網目面積、 θ は網面の対流水角度を示す。

c) 網漁具に対する魚群行動

漁具を設計し、漁法を改善する場合に基本的な指針となるものに魚群の漁具に対する行動がある。しかし底曳網の場合は実際に漁具に対する魚群行動を観察することは非常に困難であるので、本研究では従来行なわれた淡水魚による水槽実験の例にならってヒブナを用い下述の実験を行なった。

- (1) 囊網中における魚体の遊泳可能容積
- (2) 囊網中における魚群の行動

(3) 曳網に対する魚群の行動と駆集効果

(1) 囊網中における魚体の遊泳可能容積

遊泳中の魚は筋肉を動かしながら魚体を蛇行させ、前進、定位、反転を行なうので、それぞれの体型で許容される遊泳空間を有するはずである。従って底曳網の魚捕部に入網した魚群は、入網量が増加するとそれぞれの許容された最小限の遊泳空間を失い、遂には遊泳不可能となり、流れに押し流され、網尻に押しつけられる結果となる。このような状態になると網抵抗は増加し、そのため曳網速度、網成りおよび網口形状は変化し、以後の魚の入網量が減少する結果となる。そこで大量に魚群が入網した場合に漁具性能を低下させないような設計を求める目的から囊網中の魚の個体運動を検討すべく実験を行なった。

実験方法としてはまず魚体を反転させてその遊泳巾を求めることとし、回流水槽の槽底にプラスチック板2枚を置いて水路をつくり、水路内の一端に体長4.5~7.3 cm, 体巾0.8~1.5 cm, 体高1.3~2.0 cm のヒブナを放ち、これに流れをあてて実験した。魚体の反転は両プラスチック板に電極を置き、魚の吻端が両電極を結ぶ線上に接した時、衝撃電流を与えて行なうこととした。

実験の結論、体巾については体巾の π 倍以上の広さを有する水路巾では反転が可能であり、体巾の π 倍より狭い水路巾では反転が不可能な場合が多かった。これより魚の個体の最少遊泳巾は体巾の π 倍で与えられるとした。体長と体高に関する遊泳長さとして生物学的要素との相乗的な値で表わされると考えられるので、魚の個体の最少遊泳可能容積は $\pi^3 K_{(L, H)} L \cdot H \cdot B$ で与えられる。ここで $K_{(L, H)}$ は体長(L)、体高(H)によって定まる係数、 B は体巾である。なお魚が反転する場合は概ね円運動をすることで反転の水路巾即ち反転可能巾(L)と体幹部背線の曲率半径(R)との関係を求めると下式で与えられる。

$$\frac{L}{R} = \frac{B}{0.81B - 0.22}$$

このように魚の体型的条件によりそれぞれの個体の最大遊泳可能容積が求められるので、これ以上の容積があれば1つの底曳網についても魚捕部もしくは囊網内で自由に遊泳出来ることになる。従って底曳網を設計する場合は漁場での予想入網量を推算した上で魚捕部もしくは囊網の設計を行なうべきである。

(2) 囊網中における魚群の行動

底曳網の魚捕部に入網した魚群は、網自体が常に曳網されているので、ある速度の中で少なくとも前後進、反転および定位をある時間に亘って強制されることになる。しかしこのような遊泳運動は魚種、体型、尾数等によってそれぞれ異なってくるものと考えられる。そこで体型別および尾数別に仕分けした魚群を網地の異なる同型の2種の囊網内に放ち、それぞれ速度を与えて水槽実験し、囊網中の魚群行動の変化を検討することとした。

まず体型別の実験では、ヒブナを小型魚、中型魚、大型魚にそれぞれ60尾ずつ分けて囊網に入れ、40~80 cm/sec の速度を1時間連続して与え実験した。その結果、魚体が囊尻に押しつけられる場合の速度は、体長を L cm とすると小型魚では(6.5~9.0) L cm/sec, 中型魚では(7.1~8.5) L cm/sec, 大型魚では(6.5~8.3) L cm/sec の範囲で表わされ、略体長に比例している傾向がある。また体型によって速度の影響を受ける度合いが異なる傾向があり、網尻に押しつけられる尾数の全尾数に対する百分率が50%を示す場合の速度は、小型魚で45 cm/sec, 中型魚で60 cm/sec, 大型魚で75 cm/sec となり、小型魚ほど速度の影響を受け易いことが認められた。

次に尾数別の実験では、ヒブナを 200, 400, 700 の 3 群にわけ、速度を体型別の実験と同じく 40~80 cm/sec として実験した。その結果、各速度における囊網内での魚群行動はそれぞれ特長があり、60 cm/sec で定位する群と囊尻に押しつけられる群にわかれ始め、80 cm/sec ではほとんどの魚が囊尻に押しつけられる状態となる。この状態は尾数が増加する程顕著になる傾向があり、同じ速度でも尾数が増加すれば囊尻に押しつけられる尾数が増加し、そのため囊網の網成りが変化する。特に囊尻の網成りの変化は顕著で、押しつけられる尾数が増加すると囊尻の茸状の脹みや囊尻の浮上が顕著になり、同時に網抵抗は急増する傾向が認められた。

(3) 曳網に対する魚群の行動と駆集効果

50 m プールに体長 9~13 cm のヒブナ 250 尾を放ち、曳網として径 18 mm のマ=ラロープを用いた。実験方法としては予めプール床面全周に亘って曳網を打廻し、魚群を囲むように 0.4 m/sec の速さで曳網を手繰り込み、魚群の曳網に対する行動を観察した。

実験の結果、ヒブナは両曳網の狭まりにつれて集団をつくり、左旋回しながら移動し、やがて曳網の彎曲部前面に駆集される。両曳網が極端に狭まるとこれらの魚群は一団となって曳網の彎曲部中央附近から曳網外へ逸出する傾向が認められた。しかし一部の魚群は両曳網の狭まりの途中で曳網に接触して逸出する場合も認められた。魚群が曳網に接触した場合は魚群の進行方向と曳網との接触角度によって逃避方向は定まるようであり、一般に曳網との接触角度が大であれば曳網から逃避する角度も大であり、また反射距離 (Reaction distance) は略体長に等しいことも観察した。

この実験は一そう曳底曳網の曳網の運動に関する実験と並行して行なったものであるが、該網の曳網距離が少ないにもかかわらず単位曳網掃立面積当り漁獲量が二そう曳底曳網の場合より若干多い値をとる点から考えて曳網の駆集効果が実験の場合と大体類似した効果を持つのではないかと考える。また曳網によって駆集された魚群が底曳網へ入網するまでの過程も本実験の場合と大体酷似しているのではないかと考察される。

以上の 3 実験は淡水魚を用いた結果であるが、体型のおよび生態的条件が類似しているならば、海水魚でも、これらの実験と類似した結果が期待出来るものと考えられる。このような観点にたつて底曳網の諸設計およびその運用方法の改良の方向を考えると、底曳網、特に魚捕部については、対象魚種の体型的条件、予想入網量および遊泳速度を勘案して設計を行なうことが必要であり、また曳網については、曳網中における曳網の形状の変化とこれに反応する魚群の行動との関係から効果的な曳網方法と曳網の材料・規模について検討すべきであろう。

謝 辞

本研究を行なうに当たり、多大の御指導を賜った北海道大学水産学部教授の金森政治先生、井上直一先生、辻田時美先生、終始有益な御教示を賜った東京大学教授黒木敏郎先生、御助言と御協力を賜った北海道大学水産学部助教授の佐藤修先生、西山作蔵先生、中村秀男先生、講師の梨本勝昭先生及び鹿児島大学教授の故盛田友式先生、田ノ上豊隆先生、山路勝之先生、助教授江波澄雄先生に対し深甚なる感謝の意を表す。また資料蒐集、レーダー測定および漁具の調査に当って絶大な御協力をいただいた報国水産株式会社梶山音治氏、日本水産株式会社関政夫氏、高木正司氏、徳島喜知之氏、白崎孝一郎氏、細川四一氏、宮崎昭氏、小田孝氏、奈留喜代治氏、森浦泰輔氏および玉栄丸船団関係御一同、大洋漁業株式会社渡井口清敏氏、小山田昌氏、仲ノ瀬兼光氏および天洋丸・壮洋丸両船団関係御一同殿、北洋水産株式会社の前園辰三氏に謹んで御礼申し上げる。なお

資料の蒐集, 実験の補佐, 論文の資料整理には鹿児島大学の田畑静夫氏, 山本壯一氏, 泉賢三郎氏, 高浜一字氏, 田坂昭二氏, 松岡三十四氏, 後藤真宏氏, 矢野六雄氏, 藤宮文博氏, 佐多逸郎氏, 前田一己氏, 田中優吉氏および東郷俊子嬢の御協力を得た。ここに併記して深く感謝の意を表する次第である。

Summary

The three representative trawling nets which have been used in the trawl fishery of Japan are trawl net, bull trawl net and Danish seine; each of which having its own proper features in the net-construction and fishing tactics (Table 1).

First, in trawl net, the length of towing rope is the shortest of the three nets, but the net mouth is made to be opened widely by the net-expansive power of the otter-boards attached at the middle of the towing rope. Accordingly, the ground-touching-point of the towing rope is equal to that of the otter-board. And, as the net-side half of towing rope, or hand rope playing the part of gathering the fish schools is used the heavy combination rope, the length of which being shorter than that of other trawling nets. The net is connected by a comparatively long pendant from the hand rope, and the lengths of the wing net and the head rope are shorter than those in other nets; but the net mouth is expanded conspicuously by the increase of the net area through the adoption of the six parts net and by the enhancement of buoyancy through the attachment of a lot of floats.

Next, bull trawl net is towed for a comparatively long time by two fishing boats with a constant space-distance, by which is determined the wing nets interval. And its combination rope is comparatively long. The ground-touching-point of the towing rope is upon the wire near the point where the wire and the combination rope are connected. The wing nets consist of the two parts, the large mesh sized wing part, and the small mesh sized wing part. The length of wing net is somewhat longer than that of trawl net; while the length of trunk net is apt to be rather more shortened. Owing to the wide net, the amount of the floats is almost similar to that of trawl net.

In the Danish seine, the towing rope is spread over the sea bottom in a square shape to make the fish school in the towing rope gathered in front of the net mouth, gradually; hence, it is needed to have the longest towing rope. Moreover, the movement of the towing rope has the direct relationship with the effects gathering fish school; on the consideration of these effects, the measure and the towing speed of the towing rope and net are fixed. In the operation, the towing speed is comparatively low; and this slow speed in the towing has made it convenient not only to make the diameter of the netting twine small, but also to make the head rope, ground rope, floats and sinkers as slight and small sized as possible. And these conditions may be enable this net to exert the highest effect for fishing, in spite of its slow speed.

In adopting these trawling nets as fishing instruments over the actual fishing

ground, it is necessary for us to select the net construction which will enable us to have the highest fishing effects, in consideration of the various conditions of the fishing ground. Especially, recently, on account of the substitution of the flat and shallow sea fishing ground for the deep sea fishing ground, the necessity of such a selection has been being exceedingly stressed. But hitherto, there has been quite few studies making comparative analyses on the constructions and tactics of the trawling net which is to be operated on the fishing ground under the various natural conditions.

Hence in this study, the following items have been researched; first, experimental and operational researches on the respective fishing instruments and fishing techniques enumerated from the operation records of the mother shipped trawl fishery on the fishing ground in the Bering Sea, where many kinds of trawling net have been used in group (Fig. 2, Table 2, 3); second, theoretical analyses of their relationships with the catching effects; last, some working suggestions about the preparatory drawing of the original design, concerning the highly effective trawling net.

The results obtained are as in the following.

I. The drawing of the operation tracks of the fishing boats measured by Radar; and the measuring of the sweeping areas of the towing ropes and nets.

The positions of the respective fishing boats under operation have been spotted successively by the Radar set in the mother ship. On the other hand, through the model experiments, some analyses have been done on the movements of the trawling nets during the term from towing-in to hauling-up.

As the results of the above mentioned procedures, as to the trawling net which is to be trawled, the 'intervals' of the ground-touching-point of the towing ropes which are quite significant in gathering the fish schools, have been fixed as in the following; in the bull trawl net, it is 256 m. (Fig. 10), being widest of the three; in trawl net, 123 m. in the average (Fig. 5); and in case of the Danish seine in which the interval is under the successive variations during the towing at the beginning of the towing, it is 1245 m. in the average, 40 minutes after the commencement of the towing, it reduces to 40 m. gradually until the towing ropes come to be gathered together, running almost parallel (Fig. 19, Table 10). The interval between the wing ends is 45 m. (Fig. 10) in case of the bull trawl net, the fishing boats interval being 400 m.; while in trawl net, it shows the average count of 30 m. (Fig. 5). In case of the Danish seine, the interval between the wing ends is 63 m. at the beginning of the operation, showing like a straight line, but, with the lapse of time, this interval becomes narrower gradually, reaching 61 m. While the net is being lifted, a sudden narrowing takes place, and the interval becomes 7 m. (Fig. 20) at 10 minutes after detaching of the net from the sea bottom.

The sweeping area of the towing rope is to be expressed by multiplied value of the ground-touching interval of two rope by the towing distance (in case of

trawl net, and bull trawl net) or by the area encircled by the towing ropes spread over the sea bottom (in case of the Danish seine).

The sweeping areas are arranged as in the following order; namely, $119 \times 10^4 \text{m}^2$, in bull trawl net, $(110 \sim 102) \times 10^4 \text{m}^2$ (Fig. 14), in Danish seine, and $(61, 77) \times 10^4 \text{m}^2$ in trawl net.

As to the towing speed, it is highest in the trawler, showing 3.4 knot in case of the stern trawler, 2.7 knot in the side trawler, and 2.5 knot in the bull trawler. In case of the Danish seine, the towing speed varies with the lapse of time during the towing (20 minutes); it shows 1.31 knot in the average, which is the lowest of the three (Fig. 15, 16). But in case of the Danish seine, it happens that the towing speed does not coincide with the net speed. Then, basing on the results obtained by Radar-spotting, some model experiments were done in order to find the change of net speed. It was ascertained that the net speed increased from zero to 1.24 knot during the setting and the towing of net and that it increased from 1.66 knot to 2.0 knot during the net-hauling hours.

II. Characteristics of three kinds of trawling nets

In this study, all the analyses of the capacity of the trawl net as the fishing instrument, have been carried out in accordance with the model nets (reducing scale ratio 1/35) made up, basing on Dr. Tauchi's comparative methods. The items adopted and examined in measuring the availability of the trawl net are as in the following; namely, central height of the net mouth, the shape of the net mouth, net shaping, net resistance, and the filtering volume of the towing net.

Some comparative examinations concerned the respective net shall be reported on the above mentioned items in the following.

The height of the central net mouth: In the trawl net, as the area of the triangled webbing is big enough to add the effect of buoyancy on to the net expansive power coming from the webbing itself, its height reaches the highest point, marking 3.8~3.9m. under the ordinary towing conditions (Fig. 24, 29). In case of the bull trawl net, as the area of the triangled webbing is quite small, its height becomes lower than that of the trawl net, marking 3.5m., under the constant towing state (Fig. 35). In the Danish seine, as the webbing area near the net mouth is wide enough, the height of the net mouth is almost constant through the expansion of the webbing basis. But, owing to the little buoyancy, it is lower in height than in any other nets. As the net speed and the interval between the wing-ends fluctuate, the height of the net mouth is uncertain, varying within the range about 2.0~5.2 m. (Fig. 41, 43, 49, 51).

Net shaping: The net shaping near the mouth varies in accordance with the width of the webbing of the triangled net and the amount of floats. This tendency was ascertained to be remarkable at the time when the net was put under the low speed. In case of the trawl net and the Danish seine, given a speed, the net opens in the right angle against the current, but the bull trawl net does not

open so conspicuously.

In case of the bull trawl net in which the webbing of the triangled net is small but has a lot of floats, the front edge of the square part is pushed upward at the time when the speed is slow; but when the speed is beyond 2.0 knot, such a thrusting part of the front edge disappears and the square part shows a net shape paralleled to the bottom of the sea.

Resistance: The whole resistance of the net increases generally in proportion to the square of the towing speed. Then, the resistance value is the highest in the trawl net (Fig. 26, 31). Concerning the value of (n) in the general equation, which shows the relationship between the resistance (R) and the towing speed (V): $R=KV^n$, it is highest in the trawl net, marking 1.66~1.99 (Table 15, 16); the next comes that of the bull trawl net, marking 1.33~1.52 (Table 19); and the third is that of the Danish seine, marking 1.27~1.65 (Table 25, 27). The resistance value in the ordinary towing condition is 2.7 ton to 4.2 ton in the trawl net; 2.2 ton in the bull trawl net; 0.65 ton to 1.34 ton in the Danish seine, respectively.

Filtering volume of the towing net: The change of filtering volume in various speed is unique in the respective net. In case of the trawl net, the increase in speed is followed by a sudden increase of volume, reaching its maximum when the speed is beyond 4.0 knot. When the interval between the wing ends is 40m., it shows $900 \times 10^3 \text{m}^3$ in 4.0 knot (Fig. 28, 33). In the bull trawler, the volume is on a rapid increase, until the speed is about 1.5 knot, but beyond that speed, the volume changes into a slow increase. When it reaches 2.5 knot, at whichever interval between the wing ends, the volume is apt to be fixed, or be lessening, gradually (Fig. 39). In case of the Danish seine, the curve showing the increasing of the volume is apt to be fixed at the space between the two curves of the trawl net and the bull trawl net. And the narrower is the interval, the smaller becomes the volume (Fig. 48, 56).

The volume of the respective net under the usual ordinary towing condition is $(515, 667) \times 10^3 \text{m}^3$ in case of the trawl net; $546 \times 10^3 \text{m}^3$ in case of the bull trawl net, and $(183, 223) \times 10^3 \text{m}^3$ in case of the Danish seine (Fig. 55).

III. Fishing efficiency

The fishing efficiency has been expressed by marking the catch per unit effort (C. P. U. E.) as its indices; but in this study, the indices for fishing efficiency are expressed by the catch per unit working area or working volume of the fishing net.

Here what is called the working area means the sweeping area by the towing rope which plays the part of gathering the fish school on to the net; and what is called the working volume means the filtering volume of water mass which plays the part of inducing the fish school into the net; hence, the indices of the fishing efficiency of one trawling net are to be represented, in case of the towing rope, by catch per sweeping area of the towing rope (C. P. S. A.) and in case of

the trawling net itself, by catch per filtering volume of the towing net (C. P. F. V.).

But, since such a fishing efficiency covers comparatively wide range of values, the comparison of the fishing efficiency is to be made by using the regression line which represents the relationship between the catch per area (or volume) and the catch of one towing.

First, the fishing efficiency by the towing rope is the most excellent in case of the trawl net, which is followed by the Danish seine, and the bull trawl net (Fig. 58).

Such an excellency of the catching of the towing rope of the trawl net is supposed to be due to the following fact, that the otter-board playing the part of the ground-touching-point is in possession of the height 3.2m.; which is high enough to make the fish school swimming within the height be driven on to the wing nets.

Next, as to the fishing efficiency of the trawling net, itself, Danish seine is the most excellent; while, between the trawl net and the bull trawl net there is almost no difference in the faculties. The reason why the fishing efficiency of the Danish seine is so excellent is supposed as in the following; namely, the central height of the net mouth, at the time when the fish school is on the point of entering into the net, in other words, at the time when the interval between the two towing ropes is shortened extremely, is higher than that in the other towing net; moreover, the net shaping near the net mouth widens sideways under the effects by the triangled net, and the fish school is most apt to be enticed (Fig. 59).

The total catch is the largest in the trawl net, and the catch per one towing net is bigger than that seen in any other net; but the speed of the towing is very high and it makes the towing power needed enormous; consequently, the catch by the one unit of filtering volume is made to be less than that of the Danish seine.

In short, the fishing capability of the towing rope is the most excellent in trawl net for the reason that the collecting power of the otter-board with the height 3.2m. is larger than in case of any other towing nets.

And as to the fishing efficiency of the net, the most excellent one is to be seen in case of the Danish seine, the reason of which is as in the following; namely, the figure of the net mouth from which the fish school enter is far more excellent than those in any other net.

IV. Experimental analysis about the fundamental problems on the net design

In the preceding chapters, some experimental analyses have been described on the characteristics of three sorts of net, with the comparative examinations of them, and on their fishing efficiency. In this chapter, basing on the analytic examinations of these actual nets, the following problems about the drawing of the net design are put under the possible solution, with the aid of the experimental analyses.

a) Physical characteristics of the fundamental three sorts of trawling net having the different compositions of net-webbing

The nets put under the experiments were three types of construction; the net consisted of two pieces, the baiting and the belly; 4 pieces net, made by adding two side panel to the 2 pieces net; and 6 pieces constructed net, made by adding triangled nets to the 4 pieces net. The experiments of these nets were made in the same methods as were described in above (Fig. 63).

The experiments were resulted as in the following; namely, as to the central height of the net-mouth, the 6 pieces constructed net with ample amount of buoys (the total buoyancy 300kg.) is highest; and this is followed by 4 pieces net and 2 pieces net. This tendency appears particularly conspicuously when the speed is over 2.0 knot (Fig. 64, 65).

The net shaping of such trawl net as 4 pieces net or as 6 pieces net having a wide webbing area near the net-mouth, was seen to be fluctuating considerably, owing to the speed of the net and the buoyancy of the buoys.

In other words, when the net is moved, the webbing near the net-mouth is widened side ways, owing to the resistance, making the height of head rope reduced; but, under the increased speed, the net shaping near the net mouth becomes stable at the point where a balance is got between the resistance of the net and the buoyancy of the buoys (Fig. 66).

But, in case when the buoyancy is small (about 150 kg.) the height of the 6 pieces net is less than that of 4 pieces net. The expansion effect of the triangled net and the reducing of the height of the net mouth seem to appear conspicuously when the buoyancy is in small amount and the speed is slowed down.

The height of the net mouth of the 2 pieces net is lower than that in any other nets. And, when the interval between the wing ends is short and the buoyancy is little, the height-difference against the other nets is apt to be decreased. Accordingly, in order to operate to make the height of the net mouth fit for the swimming layer of the respective fish to catch, it is necessary for us to draw the design of net so that we may utilize the respective features of the net webbing. In this case, the increase of the net webbing area is inevitably accompanied by the increase of the net webbing resistance; hence, in drawing the trawling net design, it is needed to consider about the relationship between the main-engine power of the fishing boat and the power of winch to haul.

b) Current velocity distribution inside and outside of the net

Basing on the assumption that the current velocity distribution inside the net is closely related with the formation of the net shaping, and that it may be the factor to determine the behaviour of the fish school entering the net, the author designed a model 4 pieces net basing on the practical net webbing, and the current distributions in the inner space and outer one of this net were measured through the water tank experiment (Fig. 72, 77).

The experiments resulted as in the following: In comparison with the current velocity in front of the net mouth, the current velocity inside the net shows the

value, ranging 81~125%, almost all of which shows the value beyond 100%; the current velocity near the outside varies the range 25~113%; almost all of which shows the value below 100%.

The speed behind the net is 32~117%, almost all of which shows the value below 100% (Fig. 74, 75).

The phenomenon that the current velocity inside the net is higher than that in front of the net mouth, can be confirmed by the observations of the stream line, done simultaneously with the measuring of the current velocity.

That is to say that the stream line which runs into the net from the net mouth flows along the inside of the net, and that when such a flow as this runs along the whole circumference of the net, the current velocity is accelerated (Fig. 77). And, it is expected to entice the entering fish into the net and to reduce the resistance of the net and, in the results, to give the net the excellent instrumentality in fishing.

Hereby, after the theoretical analysis has been done on the current velocity in the net, the experimental formula relating the current velocity (V) with the net shaping is to be formed as in the following;

$$V = \frac{A_0 V_0 - (A_0 - A) \bar{V}'}{A + CS \sin \theta}$$

Here, V_0 is the current velocity in front of the net mouth; \bar{V}' is the mean current velocity outside the net; A_0 and A is the sectional area at the net mouth and at any position of the net respectively; C is the coefficient of the current velocity in passing through the mesh; S is the area of the whole mesh through which the water passes, θ is the angle of the net surface against the running water. S , A , θ and A_0 can be measured from the original drawing of the net construction design; V' from the actual measuring; C is the coefficient which is to be determined by the quality of the material of the twine, the diameter of the twine, and the mesh size (Fig. 76).

c) Fish-school behaviour to the fishing net

When we are going to draw the fishing net designs with the intention of improving the fishing technique, one of the most fundamental points to be known is the behaviour of the fish school to the fishing net.

But in case of trawling net, it is extremely difficult to observe the fish school behaviour to the fishing gears.

Consequently, in this experiment, using gold fish *Carassius auratus* as the experimental fish, the following observations were carried out, the result of which is to be reported in the following.

- (1) The space in which the fish can swim in the bag net
- (2) Fish school behaviour in the bag net
- (3) Fish school behaviour to the towing rope

(1) The space in which the fish can swim in the bag net

The fish which are under swimming, move, stop, and make U-turn motions with

the bodies swaying to the right and left, must need a swimming space in which fish of various shapes shall be free. Accordingly, the fish school trapped into the catching part of the trawl net, in accordance with the increase of the amount of the trapped fish school, become deprived of even the smallest swimming space within which the respective fish can swim, until they are enforced to become important for swimming.

And then they are pushed on to the net end by the current. At this stage, there appears the net resistance increasing which is followed not only by the decreasing in the towing speed, but also by the deformations of the net shaping and the net mouth, and, at last, by the decrease of the fish school entering into the net. Hence, some experiments were done in order to fix the space in which the fish school can swim in the bag net, for the purpose of making some original drawing fit to prevent the net capacity from being weakened even when a big fish school enters the net.

Experiment:

The swimming width was counted by making the fish body turn in the water, a water route being prepared by setting two sheets of plastic at the bottom of the circulation tank; and at the end of the waterway, gold fish with the total length 4.5~7.3cm., body width 0.8~1.5cm., body height 1.3~2.0 cm. were set free into the current running against them. The U-turn motion of the fish body was induced by stimulation of the electric shock at the end of the swimming route, or by discharging the electricity at the time when the front tip of the fish head came into the line of the electric poles (Fig. 78).

Results:

As to the width of the fish body, it was ascertained that the U-turn motion was possible in the water way having the width more than π times of the fish body, and the U-turn motion was almost impossible in the water way narrower than π times of the body width (B). As to the swimming distance and swimming height in relation with the total length (L) and body height (H), it is supposed to be expressed by the cumulative effects of the biological and ecological elements; and the minimum swimming space of the respective fish is to be given $\pi^3 K_{(L, H)} L \cdot H \cdot B$.

By the way, it may be taken for granted that when the fish makes the 'U-turn' motions, the motion is generally a rounding motion; and the interval of the water way necessary for the U-turn motion, namely, the relationship of the space in which the U-turn is possible (L) and the radius of the curvature of the bent body (R), is to be sought by the following formula.

$$\frac{L}{R} = \frac{B}{0.18B - 0.22}$$

Thus it is not impossible to get the largest space in which the swimming is possible; accordingly, the cod end, or bag net designs should be drawn with the considerations of the following items; namely, the anticipated amount of the

catches, the bodily conditions of the sort of the fish and the net towing speed.

(2) Fish school behaviour in the bag net

The fish school trapped into the cod end of the trawling net, on account of the constantly towed state of the net itself, come to be enforced to take the postures consisting of the forward and backward motion, inversion, and cessation. While it was assumed that such a swimming motion as this was considered to be varying, in accordance with the varieties of the fish sorts, body shapes and the catches amount. In the experimental water tank, the fish school divided according to the body size, and the number were discharged into the two sorts of net with the different net webbing; and the fish school behaviours in the bag nets were brought into considerations (Fig. 83).

First, in the experiments made in accordance with the variations of the body shape, gold fish school were divided into the three groups; namely, small sized, middle sized, and big sized; each of which consists of 60 fish, and those groups were discharged respectively into the bag net; and for an hour, the velocity 40~80 cm/sec was given to the water.

Consequently, it was confirmed that the velocity at the time when the fish bodies were pushed to the end of the bag net, could be determined: it might be fixed in the following range: in case of the small sized fish, (total length) $L \times (6.5 \sim 9.0)$ cm/sec; in that of the middle sized fish, $L \times (7.1 \sim 8.5)$ cm/sec; in that of the big sized fish, $L \times (6.5 \sim 8.3)$ cm/sec.

The degree of the sensitivity to speed seems to be varied in accordance with the varieties in the body size; and the speed, (in the case when the percentage of the fish pushed on to the bag end to the whole amount of the fish school is 50%) was 45 cm/sec, in the small sized fish; 60 cm/sec, in the middle sized fish; and 75 cm/sec, in the big sized fish; respectively, it was confirmed, too, that the smaller was the fish size, the bigger was the influence coming on to the speed (Table 42, Fig. 84).

Next, in the experiments carried out in accordance with the fish amount (number), gold fish school were divided into the three groups, numbering 200, 400 and 700, and the experiment were carried out, as in case of the experiment made in accordance with the body size, in the current of the speed being 40~80 cm/sec. As the result; it was confirmed that the fish school behaviour in the bag net under the respective speed was clearly distinguished; namely at 60 cm/sec the fish groups began to be divided into two groups, stationary one and the one being pushed to the bag end, and at the current velocity 80 cm/sec, almost all the fish came to be pushed on to the cod end. This state became the more conspicuous in right proportion with the increase of the catches, which was to be led to the change in the net shaping especially, the net shaping at the bag end being quite conspicuous; it was confirmed that the increase in the number of the pushed fish was inevitably accompanied not only by the mushroomlike swelling-up of the cod end but also by the sudden increase in the net resistance.

The above mentioned two experiments suggest that net shaping and net resistance

vary in accordance with the fish body size, the amount of the trapped fish, and the towing speed; accordingly, in the drawing of the bag net design, it was assumed to be essential to draw it under the considerations of the biological conditions of the fishing ground (Fig. 88).

(3) Fish school behaviour to the towing rope

Into the pool (50m. long), 250 gold fish with the body length 9~13cm. were set free, and the manila rope with 18mm. diameter was used for a towing rope.

The towing rope was spread all over the floor of the pool, and it was pulled on to the end of the pool with the towing speed of 0.4 m/sec, and the behaviour of the fish school against the towing rope was observed (Fig. 89).

In the experiment, the gold fish were observed to form groups in accordance with the restricting movements of the both towing ropes, making a circling movement anticlockwise, and gradually to be gathered in front of the curved part of the towing rope. When both the towing ropes restricted themselves extremely, these fish schools were apt to flee away out of the towing rope over the curved central part.

While, at the midst of the restricting movements of both the towing ropes, there were some fish fleeing out away by touching the towing rope.

In the case when the fish school touched the towing rope, the running away direction was seemed to be fixed by the touching angle between the fish school's advancing direction and the towing rope. Generally speaking, the larger was the touching angle with the towing rope, the bigger was the angle by which the school ran away from the towing rope, and it was observed that the reaction distance was almost equal to the body length.

These experiments were carried out together with experiment about the movements of the Danish seine. Judging from the fact that in spite of the shortness of the towing distance of the Danish seine, the catch per unit sweeping area by the net is somewhat larger than that by the bull trawl net, the fish-gathering effect of the towing rope is supposed to be roughly similar to those in the case of the experiment.

Conclusion

In the analyses made hitherto on the representative three sorts of the trawling net (trawl net, bull trawl net and Danish seine) which have been used up to this day, it was confirmed that each of them is in possession of its own characteristics both the instrumentality as the fishing gears and in the effectiveness as the fishing technique. These characteristics are extremely important elements in drawing the design of the trawl net; and the faculty of the net may be said to have been dependent on the fact how fitting is the characteristic to the surrounding conditions of the fishing ground.

Accordingly, in this thesis, the author made some analyses on the characteristics of the respective towing rope and the net webbing, and on the circumferential relationship of them to the fishing ground; and some working conditions were sought in drawing the design for the construction of the trawling net with high

effectivity, and some examinations were done and considerations were paid for the possible solution to make any improvement.

a) Towing rope

The sweeping area of the towing rope is largest in case of the bull trawl net, and is smallest in case of the trawl net. While, the catch per sweeping area of the towing rope (C. P. S. A.), which is the index of the fishing efficiency of the towing rope, is the highest in case of the trawl net, and the efficiency is decreasing in the following order, namely, trawl net, Danish seine, and bull trawl net.

The chief reason why the fishing efficiency of the trawl net is highest, is that the attachment of the otter-board which is 3.2m. high at the middle of the towing rope makes it possible to gather the fish having comparatively high swimming layer into the net. Accordingly, in order to increase the fishing efficiency it is desirable to make the position to which the otter-board is attached higher; while in other nets, the attachment of some gadget playing the part of threatening the fish school may increase the fish gathering effects. The determination of the height of the threatening gadget should be done after the comparison of the height of the swimming layer of the fish school and that of the net mouth.

In case of the Danish seine, on account of its high speed in moving and its successive variations of the towing directions, the fish gathering effects by the movement of the towing net are far more remarkable than those in case of the bull trawl net.

A way of enhancing the fishing efficiency concerning the respective net is to make the sweeping area of the towing net as wide as possible.

And for the purpose, it is necessary to make the ground-touching-part of the towing net as long as possible, and to fix the interval as wide as possible. In the trawl net, it lies in increasing the developing power of the otter-board for the purpose of widening the interval between the otter-boards. In the Danish seine, the making of some devices to keep the developing shaping of the towing net as round as possible must be desirable.

Of the physical conditions of the fishing ground, what is most closely related with the trawling operation is considered to be the water depth and the shape of the sea bottom. The water depth in which the operation of net-towing is possible, varies in accordance with the varieties in the trawling net; but, generally speaking, in the trawl net, the depth is deepest (about 500 m.) and in the bull trawl net, it is shallowest (about 150 m.).

The deeper is the water depth, the longer becomes the towing rope; and in connection with the net-storing faculty of the fishing boat, the fact gives the trawl net and the bull trawl net the identical disadvantages.

But in case of the trawl net, the possibility of adding the weight on to the otter-board makes the operation in the deep sea realizable.

In case of the bull trawl net, the addition of weighty substance near the ground-touching-part will make the operation in the deep sea possible.

But, in the case, it is necessary for us to enlarge the ship size, the horse power

of the main engine, and the power of the winch. In the Danish seine, it is possible to give freely some variations on the developed shape of the towing rope, when it is developed over the sea; and some improvements on towing technique, which will enable it to be operated in the deep sea, are possible with the aid of the skillful manipulations of the towing rope and nets.

b) Net

According to the results of the model experiments, of all the values of the central height of the net mouth, projective area of the net mouth, filtering volume of the towing net, and the resistance, the highest ones can be seen in the trawl net, which is followed by the bull trawl net and the Danish seine. But, the indices of the fishing efficiency of the nets (C. P. F. V.) are in the order, as long as the upper limit-value is concerned, of the Danish seine, the trawl net, and the bull trawl net; and yet, as to the fishing efficiency, the Danish seine is the most excellent, and there is almost no difference in the other two nets.

The reason why the Danish seine is so excellent is as follows; namely, the pair of the towing rope become almost parallel at the time when the fish school is about to enter the net, and then the interval between the wing ends is beaten narrow. And in this state, the highly heaved net mouth, opened full through the function of the triangled net are supposed to be the favourable conditions for the fish school to be induced into the net.

Next, relying on the curve line showing the filtering volume, the features of the respective net were brought under comparison. In case of the trawl net, it takes something like straight line, and the higher is the speed, the bigger is the area, and the wider is the interval between the wing ends, the more conspicuous is this tendency. Accordingly, it is assumed that the higher is the towing speed, and the larger is the interval between the wing ends, the more excellent becomes the fishing efficiency.

In the bull trawl net, when its speed is near 1.5 knot, it takes something like straight line, but when the speed reaches the count of 2.0 knot or thereabouts, the fishing efficiency approaches a fixed value, or is apt to be decreasing. This tendency is not always in the right proportion to the width of the interval between the wing ends, but it sometimes happens that in the case when the interval is shorter, the filtering volume is greater. Accordingly, as long as this sort of the net is concerned, it may be more favourable to tow the rope under the speed which is slowed from the present 2.5 knot down to about 1.7 knot. The towing interval of the two boats upon which is dependent the interval between the wing ends, had better be fixed in accordance with this curve.

In the Danish seine, the wider is the interval between the wing ends, and the higher is the towing speed, the bigger is the sweeping area of the towing rope; and generally it has the characteristics shared by the above mentioned two sorts of the net. According to this curved line, the sweeping area of the towing rope, at the state where the fish school is about to enter this net, shows almost a fixed value, measured within the range 1.0~3.0 knot; and then, for the purpose of

increasing the fishing efficiency of this net, the original drawing had better be so made as to let the slant of the curved line be large enough.

For example, in the result of the fundamental experiments done with the materials having the different net constructions, in the case when the area of the triangled net is made widened enough, there can be seen a sudden increase in the webbing area, which could not be seen when it is set at the low speed of 1.5 knot; and by this fact it is suggested that more favourable results would be obtained of the webbing area of the present triangled net might be increased. In short, the enhancement of the fishing efficiency of the trawling net must be done in the following procedure; namely, first, the curved line of the filtering volume of the towing net, should be sought; and then, the orientation to fix the fitting and proper intervals between the wing ends and the moderate towing rope speed, should be carried out together with the proper arrangement of the buoyancy and the net webbing; especially the drawing of the design of a triangled net should be fixed properly to make the shape of the net mouth fitted to the swimming layer of the fish school.

Before finishing this thesis, some descriptions had better be made on the drawing of the design of a bag net, one of the most important parts of the trawl net. The ideal state of the bag net may be interpreted as the state where the area is wide enough for the trapped fish school in the bag net to swim freely; and at the same time, the water current in the bag net keeps the state of laminar flow or of the homogeneous vortex.

In the case when a big amount of fish school has been trapped in the bag net, the interval between the individual bodies is enforced to be restricted, the swimming motions come to be prevented, and the fish school are closely pushed to the cod end, which proves the necessity of the existence of the space allowing them to swim comparatively freely.

According to the experiments, the minimum volume is shown as $\pi^3 K_{(L, H)} L \cdot H \cdot B \cdot N$, where L =length of body, H =height of body, B =width of body, N =number of the fish, $K_{(L, H)}$ =Coefficient of L and H .

So the drawing of the bag net design must be done in consideration of the size and the shape of the respective sort of fish and the anticipated amount of the trapped-in fish; and at time when the amount of the trapped-in fish is over the anticipated one, the resistance is raised; which results in the inevitable slowing down of the speed, in case of the fishing boat installed with the low powered engine; hence, some preventing device, for example, increasing of the speed, was considered to be necessary. And, in the case when the running water within the net is homogeneous and when there is little difference between the current velocities, of the inner side and the outer side of the net, it seems that it is easier to entice the fish school into the net. And in order to get the condition, it might be better to make the diameter of the net twine as slender as possible. Especially, in the Danish seine, in which the fish-trapping is to be done at the time when the interval between the wing ends becomes narrow, it is desirable to draw the

net design so as either to make the current difference between the inner side and the outer side of net as little as possible, or to make the current velocity within the net as fast as possible.

文 献

- 1) 三浦定之助 (1925): 第三回手繰網試験報告.
- 2) N. Inoue, T. Sasaki and R. Oaki (1953): "Kuroshio" undersea observation chamber, *Record of Oceanographic works in Japan*, **1** (1), 52-62.
- 3) 齊藤市郎・三島清吉 (1951): 底曳網漁場及漁具漁法に就て, 北部日本海深海魚田調査報告, **2**, 7-57.
- 4) 齊藤市郎・三島清吉・山本耕策・荒木辰夫 (1952): 底曳網漁場調査並に漁具, 漁法の研究, 北部日本海深海魚田調査報告, **3**, 91-107.
- 5) 井上直一・小林喜一郎・齊藤市郎・三島清吉 (1952): 底曳網物理試験, 北部日本海深海魚田調査報告, **3**, 109-118.
- 6) 熊擬武晴・葉室親正・石井謙治・振屋治 (1952): 二艘曳機船底曳網漁業用魚量計に就て, 漁船技報, **3**, 139-157.
- 7) 熊擬武晴・葉室親正・石井謙治 (1953): 二艘曳機船底曳網漁業用魚量計に就て, 漁船技報, **4**, 112-124.
- 8) —— (1954): 底曳網用自記式網高さ計, G. R. 展開計及びそれ等の実験結果に就て, 漁船技報, **5**, 73-140.
- 9) 熊擬武晴・葉室親正・石井謙治 (1955): 自記式網高さ計, G. R. 展開計とそれらのトロール網に就ての実験結果, 漁船技報, **6**, 41-92.
- 10) 葉室親正・石井謙治 (1956): 自記式2点同時計測網高さ計(Ⅲ型)並にそのトロール網に就ての実験結果, 漁船技報, **9**, 109-163.
- 11) 葉室親正 (1957): 自記式2点同時計測網高さ計(Ⅲ型)の二艘曳機船底曳網についての実験結果, 漁船技報, **10**, 19-40.
- 12) 葉室親正・石井謙治 (1958): 新型網高さ計, 網速度計, H. R. 及び G. R. 張力計とそれらの二艘曳機船底曳網, トロール網での実験結果, 漁船技報, **12**, 61-84.
- 13) —— (1960): 漁研型自記式水深水温計の試作研究, 漁船技報, **14**, 35-56.
- 14) 谷口武夫・南四郎・隅川芳雄 (1968): 100尺2枚仕立トロール網の海上実験, 日水誌, **34** (10), 889-894.
- 15) 小山武夫 (1966): 300トン~3,000トン級ローラーの曳網力について, 日水誌, **32** (6), 475-479.
- 16) —— (1966): トロール網の抵抗について, 日水誌, **33** (2), 74-80.
- 17) 小山武夫・桜井五郎・隅川芳雄 (1968): 船尾トロールの投揚網時におけるワープ張力の測定結果, 日水誌, **34** (10), 903~906.
- 18) 高山重嶺・小山武夫 (1961): 中層トロールに関する研究一Ⅱ, 東海水研報, **29**, 47-54.
- 19) —— (1961): トロールに関する研究一Ⅴ, 東海水研報, **31**, 289-296.
- 20) M. Tauti (1934): A Relation between Experiments on Model and on Full scale of Fishing net, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **3** (4), 171-177.
- 21) 宮本秀明 (1936): 三河湾における打瀬網の模型実験, 日水誌, **4** (6), 391-396.
- 22) 岡部五郎 (1938): 鮫鱈網模型試験, 日水誌, **6** (6), 307-308.
- 23) 齊藤市郎・清水厚雄 (1941): タラ二艘曳手繰網模型実験, 日水誌, **10** (1), 11-13.
- 24) 今村豊 (1942): 鰈, 鱈曳網模型実験, 日水誌, **10** (5), 221-224.
- 25) —— (1942): 鱈曳網模型実験, 日水誌, **11**, (2), 61-62.
- 26) 小池篤 (1953): 底層曳網模型実験, 日水誌, **19** (1), 8-11.
- 27) 小倉通男 (1954): 中層曳網模型実験, 日水誌, **20** (4), 259-262.
- 28) 野々田得郎 (1958): バッチ網の模型実験, 日水誌, **24** (4), 256-261.
- 29) 猿田達雄・渡辺光男・安井達夫・三河正男 (1952): 底曳網の模型試験第1報, 東北水研報, **14**, 35-42.
- 30) 野村正恒・安井達夫 (1953): 底曳網の模型実験, 日水誌, **18** (12), 727-733.
- 31) 宮崎千尋 (1957): 小型機船底曳網の研究, 三重県大産紀要, **2** (3), 98~200.
- 32) 本多勝司 (1958): トロール網模型実験, 日水誌, **23** (10), 608-611.
- 33) 高山重嶺・小山武・武富一 (1959): トロールに関する研究一Ⅲ, 東海水研報, **24**, 7-18.
- 34) 谷口武夫 (1961): 二艘曳機船底曳網の模型実験一Ⅰ, 農水講研報, **10** (3), 355-370.

- 35) 肥後伸夫 (1966): 機船底曳網の漁具と漁獲性能に関する研究—I, 日水誌, **32** (2), 130-136.
- 36) T. Kawakami (1953): Mechanical Action of the Otter-Board of the Trawl Net, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **19** (4), 228-232.
- 37) T. Kawakami (1954): Equilibrium Configuration of a Rectangular strip of Net Subjected to a Uniform current, *Mem. Coll. Agr. Kyoto Univ.*, **72**, 1-3.
- 38) 谷口武夫 (1955): 水中に於ける各種囊網の抵抗について—I, 日水誌, **21** (5), 291-296.
- 39) 肥後伸夫 (1964): 底曳網の研究—I, 鹿大水紀要, **13**, 78-92.
- 40) H. Stengel and H. J. Fischer (1964): Methoden für das Entwerfen von Schlepnetzen als Ergebnis von Windkanaluntersuchungen, *Fischerei und ihre Technik*, 591-597.
- 41) 大島泰雄 (1950): 曳網の中に於ける魚群の活動, 日水誌, **16** (4), 155-164.
- 42) 神田献二 (1953): 網地の縮結と魚群の網目の通過について—II, 日水誌, **19** (5), 643-647.
- 43) 草下孝也 (1957): 魚の種類による駆集網の駆集効果, 日水誌, **23** (1), 1-5.
- 44) 落合明・浅野博利 (1955): メダカ群集の大きさと網地の遮断効果について, 日水誌, **21** (3), 154-158.
- 45) 田内森三郎・三善清旭 (1929): 水講試験報告, **24** (2), 87-90.
- 46) 田内森三郎・藤野鋭男 (1929): 水講試験報告, **24** (2), 91-95.
- 47) 大島泰雄 (1948): 魚の成群反応に関する一実験, 日水誌, **13** (6), 275-278.
- 48) 黒木敏郎・加藤保雄・永島一昭 (1952): 電気漁網の研究, 第III報, 日水誌, **18** (1), 21-24.
- 49) 黒木敏郎 (1959): 魚群の移動と出現状況との関係, 鹿大水紀要, **7**, 87-101.
- 50) 肥後伸夫 (1968): 魚の遊泳運動における π 効果現象—I, 日水誌, **34** (4), 319-323.
- 51) H. Barnes (1955): Underwater Television and Research in Marine Biology, Bottom Topography and Geology-2, *Deutsche Hydrographischen Zeitschrift*, Band **8**, Heft 6, 213-236.
- 52) J. Russell (1959): Underwater T. V and the fisheries (1), *World Fishing*, **8** (6), 41-43.
- 53) R. Livingstone (1960): Fish behaviour investigation, *Ann. Rep. of Wood Hole Biol. Lab., Circular*, **99**, 42-43.
- 54) ——(1962): Underwater Television Observations of Haddock in the Cod-End, *Journal du Conseil*, **27** (1), 43-48.
- 55) 田内森三郎 (1949): 水産物理学, 54-57.
- 56) P.R. Crewe (1964): Some of the General Engineering Principles of Trawl Gear Design, *Modern Fishing Gear of the World*, **2**, 165-180.
- 57) 高山重嶺・小山武夫 (1958): トロールに関する研究—II, 東海水研報, **22**, 37-45.
- 58) O. Suzuki (1963): Behaviour of Sweep Line in Danish Seining-I, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **29** (12), 1071-1076.
- 59) ——(1964): Behaviour of Sweep Line in Danish Seining-II, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **30** (1), 21-28.
- 60) ——(1964): Behaviour of Sweep Line in Danish Seining-III, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **30** (1), 29-36.
- 61) ——(1965): Behaviour of Sweep Line in with Heavy ball, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **31** (6), 403-408.
- 62) ——(1965): Behaviour of Chain fitted Sweep Line in Pair-Tawling, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **31** (6), 409-413.
- 63) ——(1965): Field Experiment on Pair-Trawl, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **31** (7), 493-499.
- 64) H. Maeda and S. Minami (1964): Frequency Distribution of Hauls by the Danish Seiners in the Bristol Bay with Respect to Catch in tons, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **30** (7), 544-559.
- 65) ——(1965): Bathymetric Difference in the Frequency Distribution of Daily Catch by the Danish Seiners belonging to a Fish-meal Fleet in the Bering Sea, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **31** (5), 340-345.
- 66) ——(1965): Bathymetric Difference in the Frequency Distribution of Daily Catch by the Danish Seiners belonging to a Fish-meal Fleet in the Bering Sea, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **31** (5), 346-349.
- 67) 南四郎 (1965): ベーリング海東部におけるフィッシュミール船団所属以東底曳船の1日の曳網数と漁獲量, 漁場深度との関係, 日水誌, **31** (12), 971-976.
- 68) H. Maeda and S. Minami (1966): Daily Catch of Danish Seiners by the Same Number of Daily Hauls at the Same Depth Zone in the Bering Sea, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **32** (6), 511-516.

- 69) H. Maeda and S. Minami (1966): Seasonal Change of the Relation between the Length of Daytime and the Number of Daily Hauls Conducted by the Danish Seiners of a Fish-meal Fleet in the Bering Sea, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **32** (10), 847-851.
- 70) S. Minami and H. Maeda (1966): Seasonal Change of the Number of Hauling on the Days of the Same Grade of Catch by the Danish Seiners in the Bering Sea, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **32** (12), 992-997.
- 71) ——(1967): Catch and Number of Hauls in Relation to the Principal Particulars of the Danish Seiners of a Bering Sea Fish-meal Fleet, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **33** (3), 176-180.
- 72) ——(1967): Seasonal Change of the Number of Daily Hauls by the Danish Seiners in the Bering Sea, its Variation with Catch and Depth, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **33** (5), 339-404.
- 73) ——(1967): Catch and Number of Hauls in the Same Depth Zone Conducted by the Danish Seiners of a Bering Sea Fish-meal Fleet, in Relation to the Power of their Main Engine, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **33** (8), 731-737.
- 74) H. Maeda and S. Minami (1969): Working Time of Danish Seiners during Alaska pollack Fishery-I, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **35** (10), 964-969.
- 75) ——(1969): Working Time of Danish Seiners during Alaska pollack Fishery-II, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **35** (10), 970-974.
- 76) 底曳網漁業漁場別統計報告 (1968): 農林省農林経済局統計調査部.
- 77) 肥後伸夫 (1966): 機船底曳網の漁具と漁獲性能に関する研究一Ⅱ, 鹿大水紀要, **15**, 56-67.
- 78) —— (1966): 機船底曳網の漁具と漁獲性能に関する研究一Ⅲ, 鹿大水紀要, **15**, 68-75.
- 79) 葉室親正 (1959): 漁具測定論, 32-350.
- 80) 齊藤市郎 (1959): 遠洋漁業論, 82-202.
- 81) 宮崎千尋 (1961): 沿近海漁業論, 71-153.
- 82) I. Saito (1957): Studies on Fishing Ground, Fishing Gears and Fishing Technique in One-Boat Medium Trawl Fishery, *Mem. Fac. Hokkaido Univ.*, **5** (1), 1-90.
- 83) T. Kawakami (1957): On the Law of Mechanical Similarity for Ropes of Fishing Net, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **24** (10), 795-797.
- 84) T. Kawakami and O. Suzuki (1959): Studies on the kinematic Behaviour of the Ground rope of the Trawl Net-I, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **25** (6), 413-415.
- 85) M. Sinoda, Y. Sano, Y. Kato and K. Kanda: Studies on the Fishery of Zuwai Crab in the Japan Sea-V, *Bull. Jap. Soc. Sci. Fish.*, **35** (7), 648-652.
- 86) Y. Narasako and M. Kanamori (1959): A Large-sized Experimental Tank of twin symmetric Elliptical Circuits, *Modern Fishing Gear of the World*, 205-208.
- 87) 小山武夫 (1962): 設計図面より底曳網の流水抵抗を求める近似式について, 東海水研報, **34**, 75-81.
- 88) 矢島信一 (1963): サンマ棒受網漁業の漁獲性能に関する諸要因について, 日水誌, **29** (3), 235-241.
- 89) 宮崎千尋 (1962): 小型機船底曳網(ビーム式)のアミラン網と綿糸網の漁獲性能の比較一Ⅰ, 東海水研報, **35**, 9-13.
- 90) 田中昌一 (1957): 資源量の相対指数と有効漁獲努力量, 東海水研報, **17**, 1-13.
- 91) 小藤英登・前田辰昭 (1965): 東部ベーリング海トロール漁場における魚群の移動と底水温の変化, 日水誌, **31** (10), 769-780.
- 92) 谷口武夫 (1961): 二艘曳機船底曳網の模型実験一Ⅱ, 農水講研報, **11** (2), 305-331.
- 93) 田内森三郎・安田秀明 (1928): 魚群の運動一Ⅲ, 水講試験報, **24** (2), 95-102.
- 94) ——(1933): 網に出合った魚群の進路, 日水誌, **2** (1), 17-19.
- 95) J. H. S. Blaxter, B. B. Parrish and W. Dickson (1964): The Importance of Vision in the Reaction of Fish to Drift nets and Trawls, *Modern Fishing Gear of the World*, **2**, 529-536.
- 96) W. Dickson (1959): The use of model nets as a method of developing trawling gear, *Modern Fishing Gear of the world*, 173-174.
- 97) J. Gray (1968): The Mechanism of Fish Propulsion, *Animal Location*, 18-43.
- 98) 齊藤市郎・藤井武治・山本耕作・前田辰昭 (1954): 底曳網漁法の研究, 北部日本海深海魚田調査報告, **4**, 33-38.