

曳網漁具各部の漁獲性能に関する研究

A study on the catch performance of various parts of towed nets

2021年9月

長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科

Jung Jungmo

(鄭 程模)

目次

	頁
第 1 章 曳網漁具の分類と漁獲性能向上に関するこれまでの研究の概要	
1-1. 曳網漁具の発達と曳網漁業	1
1-2. 曳網漁具の種類と部位	3
1-3. 曳網の漁獲過程と各部位の漁獲性能	4
1-4. 本研究の背景・目的と章立て	8
第 2 章 かけまわし網の挙動と掃過面積の推定	14
第 3 章 網口の部品構成が異なるオッタートロール漁具の漁獲性能の違い	45
第 4 章 東シナ海オッタートロール漁具のコッドエンド網目選択性と以西底 びき網漁業の資源管理への応用	65
第 5 章 総合考察	93
謝辞	105
参考文献	106

第1章 曳網漁具の分類と漁獲性能向上に関するこれまでの研究の概要

1-1. 曳網漁具の発達と曳網漁業

漁業は野生生物を取得する基礎的な生産活動であり、農業より古くから行われてきた。先史時代の漁業では各自の食料確保のために素手で魚を採集していたが、効果的に魚を漁獲するため、先史時代から漁具を使い始めた (Gabriel et al., 2008)。やがて人類は食料確保のための漁業活動から、魚を物々交換の品とする経済活動に進み、より大きな利益を得るために、大量の魚を効率的に漁獲できる漁具の開発と改良を続けた。例えば、魚一尾一尾を漁獲する釣りは数万年前の石器時代から行われていた。そして多数の魚を同時に漁獲できる網漁具は数千年前の石器時代末期に開発された (Gabriel et al., 2008)。網漁具を使った水圏生物の捕獲は、網を被せる、水平に曳いて漉しとる、囲んで巻き取る、敷いて掬い上げる、誘導して陥れる、刺させる、絡ませる、などの方法で行われる。これらのうち、本研究では、網を水平に曳いて水圏生物を漉しとるために使用する袋状の網漁具を「曳網」と呼ぶ。

バスケットで魚を掬う方法が発展して、次第に網口を広げるためのフレームを装着した袋状の網を浅い沿岸で人が曳く「曳網」が開発された (Rasmussen, 1975)。そしてこのような袋状の網は次第に船で曳かれるようになった。船を用いた曳網漁業は産業革命の前後で大きく分かれ、産業革命以前には、人の力で海底付近の生物を漉しとる地曳網や帆船で網を曳く曳網などの漁業が行われた (Gabriel et al., 2008)。産業革命以降は、

それまでより大きな曳網漁具を動力船で曳く漁業が本格的に始まった (Knauss, 2005)。

日本や韓国を含む東アジアの地域では、各国の産業の近代化により曳網漁具とそれを用いる底びき網漁業や船びき網漁業が発達した。日本では 1910 年ころから欧米から汽船トロールを受け入れ、東シナ海・黄海において他のアジアの国々より早くから曳網漁業を行った (片岡, 2011)。韓国では、1970 年代に造船業が盛んになり中小造船会社が動力漁船を作りはじめたこと (Park et al., 1995) から、曳網漁業が本格的に発達し始めた (Park et al., 2004)。このように曳網漁業は、国により発達した時期は異なるが、日本では 1990 年代まで、韓国でも 1980 年代までは年間 800,000 トン以上を漁獲するなど、両国で大きな勢力を保っていた。そしてその後生産量が減少し、2000 年代には日本の生産量が 800,000 トン、韓国の生産量が 400,000 トン程度、2018 年には日本の生産量が 600,000 トン、韓国の生産量が 200,000 トン程度にまで減少している (農林水産省大臣官房統計部, 2003, 2013, 2020; KOSIS, 2018)。この理由として、排他的経済水域 (EEZ, Exclusive economic zone) の設定による漁場範囲の縮小や、韓国・日本・中国の漁船間の競争による水産資源減少が考えられている (片岡, 2011)。しかし、こうした状況下においても曳網漁業は依然として、2018 年の日本の海面漁業生産量の約 19%、韓国の 2014 年の海面漁業生産量の約 6% を占める東アジア地域における重要な漁業種類である。また、世界においても底びき網と中層曳網を含むと年間 5000 万トンを生産し、全体海面漁業生産量の 4 割を占め、大きな勢力で行われている漁業種類である (Watson

and Tidd, 2018)。

1-2. 曳網漁具の種類と部位

曳網漁具は網口前方の水産生物を駆り集め、網内に集約してコッドエンドで保持する。ここで、本研究では水産生物を人間が利用できる水圏生物と定義する。つまり利用されない種や大きさの生物は曳網漁具の漁獲対象とは考えない。

曳網漁具は網を曳く水深、漁船と漁具の規模と網口の開き方により、多様な形態に分けられる（藤田ら, 2007）。海底と漁具が接触する底びき網漁業などで使われる漁具では、曳き方や網を構成する部品の特徴などの技術的な分類（津谷, 1983）により、2 そうびき網 (Pair trawl)、オッタートロール (Otter trawl)、ビームトロール (Beam trawl)、かけまわし網 (Anchor seine と fly-dragging seine) に大きく分けることができる (Fig. 1-1)。これらの漁具は日本全域の沖合、近海、沿岸に行われている代表的な底びき網漁具であり (不破ら, 2010; 川内ら, 2018)、それは韓国でも同様である (Lee and Lee, 2011)。

2 そうびき網、オッタートロール、ビームトロールは船や網の水平方向の開きを維持する開口装置により、網口の水平方向の開きを維持する。一方、かけまわし網は開口装置を持たず、曳網の先端に浮子を付けて海中に投入し、海面のある範囲を包囲するように、曳網、網、曳網の順に漁具を投入、最初に投入した浮子を回収することで、海中で網口が開いた状態をつくりだす。そしてアンカーで船を海底に固定して、曳網を巻きあげる

ことで網を曳く方法（Anchor seine）や浮子を回収した後に船を前進させて網を曳く方法（Fly-dragging seine）などで水産生物を漁獲する。

曳網漁具の部位と部品の名称を、オッタートロール漁具を例として Fig. 1-2 に示す。オッターボード（Otter board）は流体力で水平方向の力を生み出す開口装置で、船からワープ（Warp）で連結される。オッターボードは手綱（Sweep）、網ペンネット（Bridle）によって網と繋がる。網ペンネットが繋がる網の先端部分は袖網（Wing）と呼ばれ、網口付近に集められた生物の横方向の逃避経路を遮断する機能を期待している。網口の上端と下端に取り付けられたヘッドロープ（Head-rope）とグラウンドロープ（Ground-rope）は、それぞれ浮力や沈降力を持ち、たも網の枠のように網にかかる力を支えるとともに網の形状に影響する。本研究ではこれらの袖網、ヘッドロープおよびグラウンドロープといった部品で構成された漁具の部位を網口と定義した。最後に、コッドエンド（Codend）は網口に入った魚を蓄積する部位である。このように曳網漁具の各部位は様々な部品により構成される。次節では生物が漁具と遭遇する段階で漁獲される過程を「漁獲過程」と呼び、曳網の漁獲過程において、曳網漁具の部位が持つ機能とその性能について、既存の知見を総説する。

1-3. 曳網の漁獲過程と各部位の漁獲性能

曳網の漁獲過程において、網の前方に分布する生物の一部は、接近する漁具部品の影響

を受けて網口付近に駆集される。網口付近の生物は網口に入網、あるいは網口を避けて漁獲を免れることとなる。網口から入網した生物は前方に遊泳して再び網口から逃避するか、身網の網目を通過して逃避するか、あるいは身網により集約されてコッドエンドに到達する。そしてコッドエンドでも生物は前方に遊泳して逃避、網目を通過して逃避あるいはコッドエンドに保持されて漁獲されることとなる。本研究では、曳網漁具の漁獲努力当たりの漁獲率により、漁獲性能を表すこととした。曳網漁具の漁獲性能 q は、漁具が漁獲対象とする個体数 N と漁獲され水揚げされる個体数 n により、次の式で表される。

$$q = \frac{n}{N} \quad (1)$$

しかし実際には上述及び Fig. 1-3 に示すように、曳網漁具の漁獲過程において、漁獲の成否が決まっていくので、漁具の各部位が漁具全体の漁獲性能に影響する。つまり、

$$q = \prod q_i \quad (2)$$

ここで q_i は網口前方から i 番目の漁具部位の漁獲性能を表す。

漁獲過程において、生物の逃避/保持は曳網漁具の各部位と生物との相互関係によって決まる。網口前方では、オッターコントロールを例にすると、オッターボード、手綱、網ペンネットが、漁具の通過経路周辺に分布する生物に直接に接触や視覚、聴覚刺激を与える (井上, 1985)。また、漁具が海底と接触することで堆積物の再懸濁 (梶川ら, 2014) といった二次的な視覚、聴覚刺激も作りだす。例えば、北海で実施されたトロール網

口前方の水中観察によると、漁具が海底と接触して海底質を巻き上げ、砂煙と接触音を発生させて掃過範囲の生物に視覚、聴覚刺激を与え、網口に駆集することが報告されている (Main and Sangster, 1981)。そして同じ漁具漁法であるならば、水産生物に種々の刺激を与える掃過範囲が大きくなると漁獲も多くなることが報告されている (渡部・北川, 2004)。一方、漁具の重さが異なると漁具の海底への作用の度合いも異なる (Eigaard et al., 2016) ので砂煙や接触音の規模や頻度も異なると考えられ、網口前方における曳網漁具の漁獲性能は、掃過面積と漁具の海底への作用の度合いの両方の影響を受けると考えられる。この網口前方における漁具の漁獲性能 q_1 は、漁具が漁獲対象とする個体数 N と網口に集められた個体数 N_1 から、

$$q_1 = \frac{N_1}{N} \quad (3)$$

と表せる。そして網口に集められた N_1 の魚の漁獲の成否は、網口の形状により影響を受ける。例えばトロール網の網口高さや袖先間隔の変化による漁獲物組成の変化 (高山・小山, 1958) や、袖先間隔の過大な広がりによる特定種の漁獲の減少 (Von Szalay and Somerton, 2005) などが報告された。この網口における漁具の漁獲性能 q_2 は、網口に集められた個体数 N_1 と入網した個体数 N_2 から、

$$q_2 = \frac{N_2}{N_1} \quad (4)$$

と表せる。しかし、東アジアの底びき網漁業の対象種に対して、網口形状が漁獲性能にどのように影響するか、その知見は少ない。

次に網口から入網した魚類は身網を経てコッドエンドに集約される。北洋のトロール漁業では、網口から入網したスケトウダラは、身網の網目が十分に通過可能な大きな目合であっても逃避しないでコッドエンドまで集約された（松下ら, 1999b）。本研究でも適切に設計された身網は水産生物を逃がすことはほとんどないと考え、コッドエンドの漁獲性能を検討した。コッドエンドにおける漁具の漁獲性能 q_3 は、網口から入網した個体数 N_2 と水揚げされた個体数 n から、

$$q_3 = \frac{n}{N_2} \quad (5)$$

と表せる。

コッドエンドでは、網目の目合によって大型の生物は通過できずに選択的に保持され、小さな生物は網目を通過する。コッドエンドの漁獲性能は、水産生物をすべて保持すれば最大と考えることができるが、一方で水産生物と同時に未利用の種や大きさの生物が保持されてしまうと、これは資源管理や生態系の保全のための問題となる可能性がある。つまり、コッドエンドの漁獲性能では、水産生物の保持と未利用生物の漁獲回避を考慮することが望ましい。

以上のように曳網漁具では、漁具の各部位の設計や使用方法によって漁獲性能が変化する。本研究では、曳網漁具各部の漁獲性能に関連する技術要素を漁業や調査の現場における調査実験結果から検討し、曳網漁具の漁獲性能を向上できる技術的改善策を示すことを目的とした。一方で、曳網漁具を用いる漁業では、海洋生態系に与えるいくつか

の負の影響が問題視されている。漁具が海底と接触する底曳網漁具は、海底の環境を悪化させ、生物の生息場所を変化させることが生態系や生物多様性を脅かす問題とされている (Collie et al., 2000; 山崎ら, 2007; Diesing et al., 2013)。また、曳網漁具は成長が十分でない若齢魚を漁獲したり (成長乱獲; 松岡, 1999)、利用しない生物を漁獲してしまう問題 (混獲問題; 肥後, 1971; 東海・三橋, 1998; 濱邊ら, 2010) がある。曳網漁具を用いる漁業では、漁具各部位の漁獲性能を改善することで漁具全体の漁獲性能を高めるとともに、上記のような付随する環境や資源の問題を緩和することが重要である。曳網漁業から起こる問題を少しでも緩和しながら曳網漁具の漁獲性能の向上に関係する技術要素を明らかにするため、本研究では次節に記すように曳網漁具の部位ごとの漁獲性能を明らかにするための研究を実施した。

1-4. 本研究の背景・目的と章立て

本研究では、東シナ海とその周辺の海域で行われている曳網漁具を用いた漁業と調査活動の資料を用いて、漁具各部位の漁獲性能を検討した。東シナ海は東アジアの国々が漁業のために頻繁に利用する海域 (Hongkul, 1999) で、日本は2 そうびき網やかけまわし、ビームトロールなどの漁具を用いた漁業 (農林水産省大臣官房統計部, 2020) が、韓国では2 そうびき網、1 そうびき網のオッタートロールやかけまわし漁具 (Lee et al., 2011; Lee, 2002; Lee and Byun, 2007) を用いた漁業が盛んに行われている。

第2章では、初期の漁獲過程における曳網の漁獲性能を検討した。前述したように、曳網の漁獲には漁具が海底を包囲して掃過した範囲と広さ（掃過面積）が影響する（渡部・北川, 2004）。これは漁具の掃過面積が広いと漁獲対象とする個体数 N が増加するので、網口に集められる個体数 N_1 も増加するためであると考えられる。漁具の形状が刻一刻と変化するかけまわし網漁具の掃過面積を推定した例は少なく、かけまわし網の網口前方の漁獲性能はわかっていない。そこで本章ではかけまわし網漁具の掃過面積を明らかにした。

第3章では、網口部位の漁獲性能を検討するために、東シナ海において同時期に同じ場所で異なるオッタートロール網を用いて実施した着底トロール調査の採集結果を比較した。この研究で比較されたオッタートロール網は基本的な構造と大きさは同じであったが、網口に付加されたヘッドロープの浮力とグランドロープの沈降力が異なり、その結果、網口の形状が異なる可能性があった。このような2つのトロール網の漁獲性能を魚種ごとに比較して、網口部位の漁獲性能を評価した。

第4章では、魚が保持されるコッドエンドの網目選択性について、東シナ海における最新の知見を示そうとした。東シナ海の底びき網漁業を対象に、1950年代から1960年代にかけて、コッドエンドの網目選択性の研究が盛んに行われた（青山, 1961; 青山・北島, 1959a; 青山・北島, 1959b; 青山・北島, 1959c）。しかしその後、世界中で網目選択性の試験方法や得られたデータの解析方法が改善され（Wileman, 1996）、東シナ海にお

る知見も再検討が行われている（梁ら, 1999; Tokai et al., 2019）。本研究ではこうした研究方法の進展に対応して、東シナ海の水産生物に対するコッドエンドの漁獲性能の一つ、網目選択性を評価した。

最後に第5章では、本研究を総括して総合考察を行い、東アジアの曳網漁業で主要な水産生物に対して漁獲性能を高めるために考慮すべき漁具各部の技術ポイントを提案するとともに、それらに付随する問題点を論議して、今後の曳網漁業技術改善の方向性を提示した。

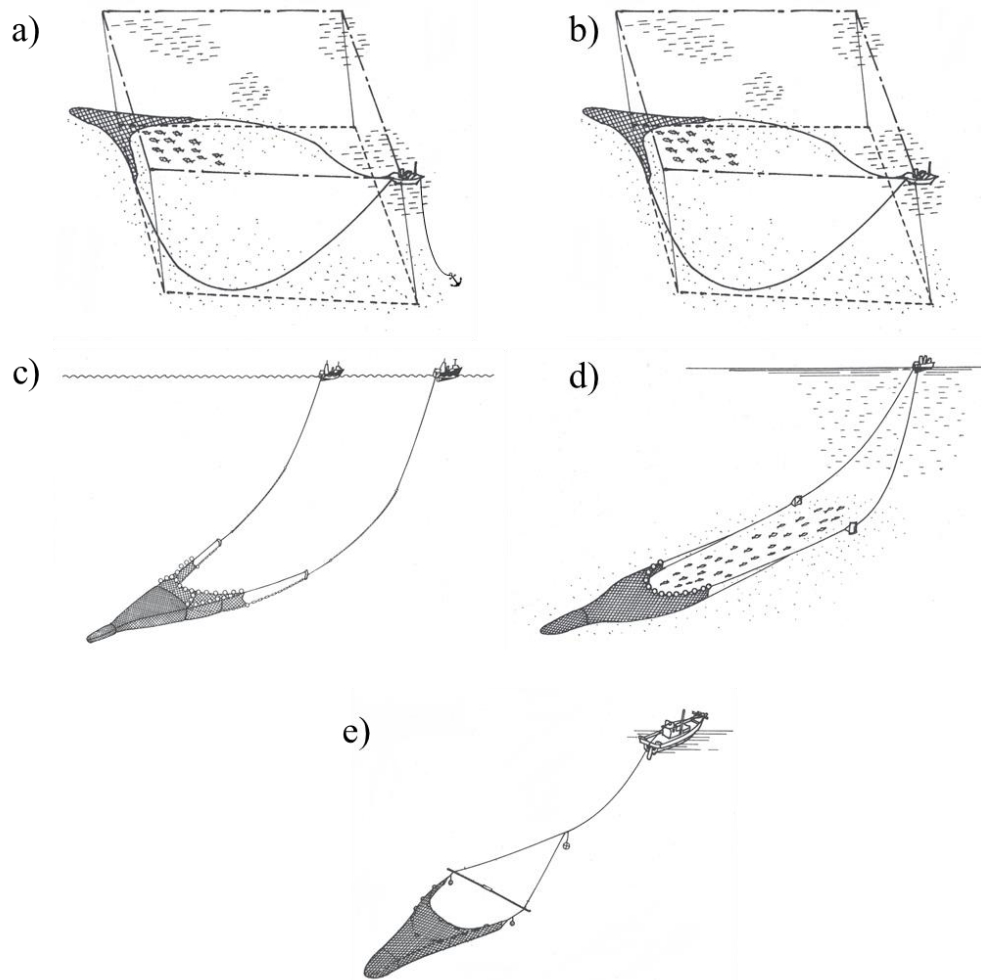


Fig. 1-1 Types of towed nets (Tsudani, 1983). a), anchor seine; b), fly-dragging seine; c), pair trawl; d), otter trawl; e), beam trawl.

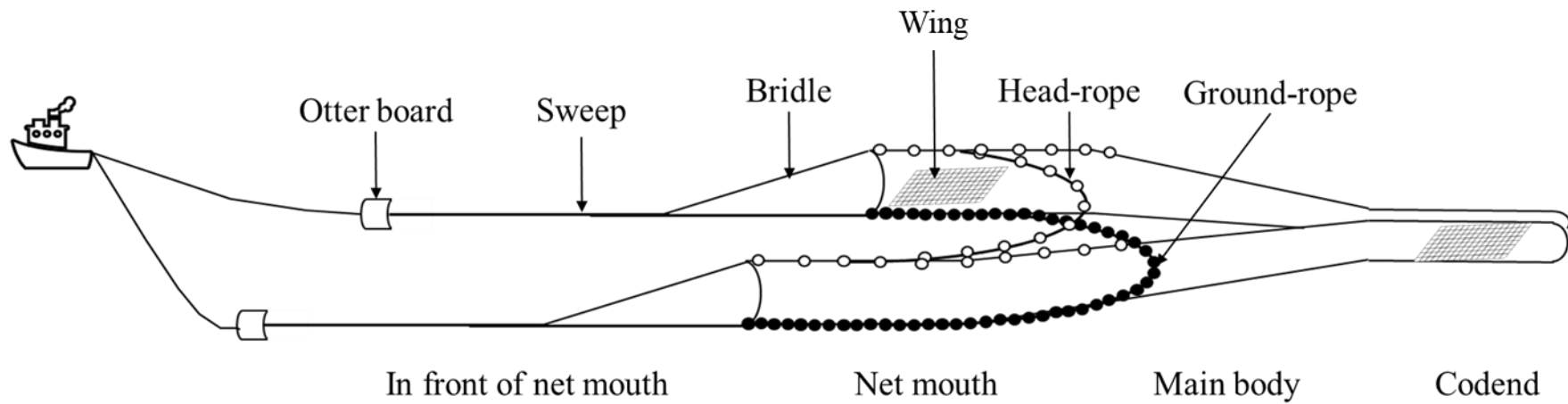


Fig. 1-2 Names of parts of an otter trawl fishing gear.

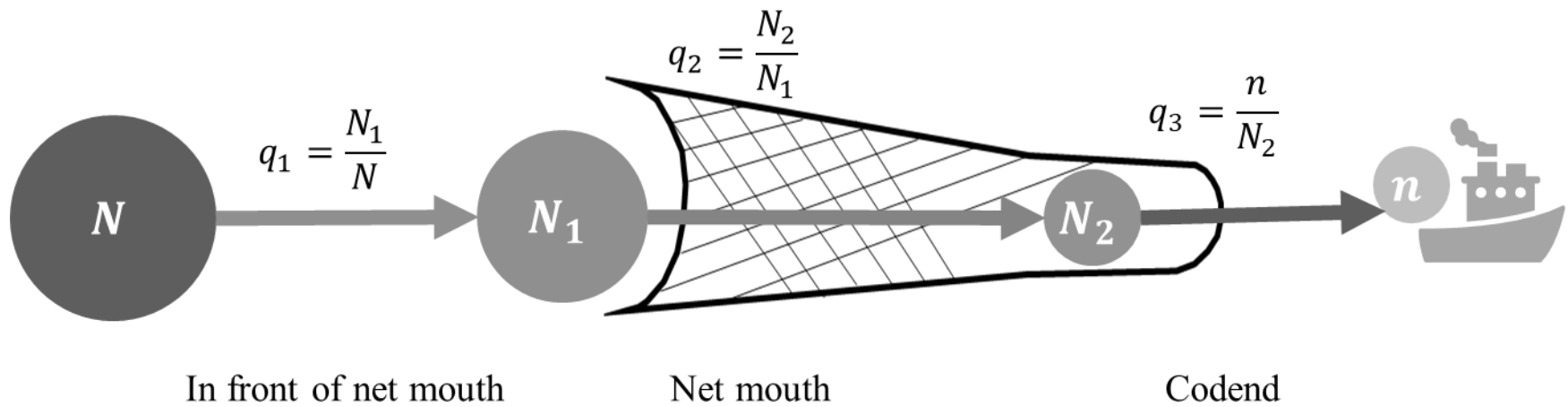


Fig. 1-3 Definition of catch performance for each part of the towed nets. q_1 , catch performance of rigging gear ahead of the net mouth; q_2 , catch performance of the 'Net mouth'; q_3 , catch performance of the 'Codend'; N , number of fish that are within the influene of the fishing gear; N_1 , number of fish in front of the net mouth; N_2 , the number of fish accumulated at the codend; n , the number of fish landed.

第2章 かけまわし網の挙動と掃過面積の推定

緒言

1-3節で述べたように、底びき網の漁獲過程において、網の前方に分布する生物の一部が接近する漁具部品の影響を受け、網口前に駆集されるか、逃避するかが決まる。この漁獲過程において網の進行方向に分布する生物のうち、漁具からの刺激(接触, 視覚, 聴覚など)を受容した生物が反応行動を起こす。例えば網口前方で海底に接地する手網や網ペンネット, グランドロープは海底を掻き起こすことで、音を発したり砂の動きを生じさせ、生物を駆集する効果があるとされている (Main and Sangster, 1981)。底びき網漁業で曳網の時に漁具が海底に接地して掃過した面積は trawl footprint と呼ばれる (Amoroso et al., 2018), 底びき網漁具が海底に影響を与える海底攪乱量の指標として扱われる。トロール調査で同じ漁具を使用する時、掃過面積が大きいと漁獲量も多くなる, 掃過面積と漁獲の明確な関係も報告されている (渡部・北川, 2004)。このように、底びき網の掃過面積は漁具の漁獲性能に強く関係すると考えられる。

オッタートロールやビームトロールと2そうびき網などの曳網漁具は網口の水平方向の開きと網の移動速度がほぼ一定なので、漁具が掃過する海底の範囲は水平方向の開きと移動距離の積として推定しやすい。一方、開口装置を持たないかけまわし網は曳網が海底を包囲する範囲や網の移動速度、網の形状は刻一刻と変化する。

このようにかけまわし網漁具の掃過面積の推定は難しい (Fujimori et al., 2009)。そ

れでもかけまわし網の掃過面積の推定は様々な方法により研究されている。韓国では、anchor seine 式の操業において、電子海図情報表示装置 ECDIS (Electronic Chart Display and Information System) を用いて船舶の DGPS (Differential Global Positioning System) とレーダーからリアルタイムで受信した動的情報から掃過面積を推定した (Lee and Byun., 2007)。デンマークでは、水深 10 m 以浅の水域で、anchor seine 漁具の曳網と袖網に GPS ロガーを搭載した浮子を結んだロープを複数取り付け、この位置記録から掃過面積を求めた (Noack et al., 2019)。しかし、両舷の曳網を固定して船が前進しながら網を曳く fly-dragging seine 式のかげまわし網漁具の掃過面積が推定された例は見当たらない。本章では、底びき網漁具の網口前方の漁獲性能における漁獲努力量と考えられる漁具の掃過面積について、今まで知見が限られていた fly-dragging seine 式の操業を行うかけまわし網の掃過面積を推定する方法を検討し、その方法、および得られた結果を評価することで、底びき網漁具の漁獲性能評価に新しい知見を提供することをねらった。

材料・方法

調査は2020年10月17日と24日に、Fig. 2-1に示した長崎県南島原市沖合の有明海で行った。布津町漁協所属のごち網漁船 (5トン、主機関出力80 kW) に乗船して、水深40～60 mの砂泥質の海域で午前中に2回ずつの投揚網を実施した。ごち網漁業では、漁具を

投入した後に漁船が前進しないように網を巻き上げる操業を行うが、本研究対象の漁業では船が定点に留まることは無く、結果としてfly-dragging seine式のかけまわし網操業となった。10月17日は月齢0.3の大潮で2回の投揚網後の10:01に最大潮位に、10月24日は月齢8.3の小潮で07:39に最低潮位となった。各調査日の1回目（#1, #3）は潮の流れに逆らい、各調査日の2回目（#2, #4）は潮の流れに乗る方向で曳網を行った。

漁具の詳細をFig. 2-2とFig. 2-3に示す。船と網を繋ぐ曳網は片舷712 mの長さで、船側の300 mは、直径18 mmのポリプロピレン製ロープ（PPロープ）である。そして網側の412 mはチェーンとPPロープが交互に連結されていた（Fig. 2-3）。片舷のチェーンの総空中重量は123 kgであった。PPロープに連結されるチェーンの太さと長さは網から遠い部分で大きく、船側の長さ300 mのPPロープには5分（約15 mm径）の鉄チェーン5 m（空中重量22.8 kg）が連結されていた。本研究では曳網の中で最も重いこの部分を「肘」と呼ぶこととする。チェーンと交互に連結したPPロープの撚りの間にはポリエチレン繊維が挟まれていて、漁業者は水中でロープの視認性を高め、駆集効果を得ようとしている。この漁具に以降に述べる各種計測機器を装着して、漁具の形状変化と運動を調べた。

漁船の船橋にGPSロガー（747Pro GPS Trip Recorder, TranSystem Inc. , accuracy < 3 m）を設置して、漁船の位置を5秒間隔で記録した。両舷の曳網の肘のチェーンの中央に、長さ約1.5 mのポリエチレンロープを結び、その端に浮力3.49 kgの浮子を取り付け

て、アドバルーンのようにロープが海底から立ち上がるようにした。このロープの上端側に水深センサ付き音響トランスポンダ (SDKN-600, Fusion Inc. 水中重量2.6 kg) を装着して、両肘の間隔と水深を数秒間隔で計測、記録した。袖網に連結する又網の先端と曳網の連結部には張力計 (Sensor-F, 水中重量5.3 kg, nke Instrumentation) を取り付け、網の抵抗を1秒間隔で計測、記録した。また、水深計 (DEFI-D20, JFE Advantech Co. Ltd. measure range 0-200 m, accuracy $\pm 1\%$ FS) を網のヘッドロープとグランドロープの中央部に取り付け、1秒間隔でヘッドロープとグランドロープの水深を記録して、同時刻の記録の水深差から網口高さを求めた。ヘッドロープ中央部の天井網上面にはマイクロデータロガー (ORI400-PD3GT, Little Leonardo co. 水中重量35 g) を取り付け、対水速度と測器の姿勢 (3軸の加速度) を2秒間隔で記録した。

操業は、左舷曳網先端の浮子→左舷の曳網→網→右舷の曳網の順に漁具を水中に投入したのち、浮子回収→曳網→揚網、の順番で行われた。調査員はこれらの過程が始まった時刻と終わった時刻を秒単位で記録した。このように記録した4回分の曳網データからそれぞれの曳網におけるごち網の掃過面積を推定した。

本研究ではFig. 2-4のようにそれぞれの曳網で漁船の曳網方向がほぼ一定であることが確認できた。そこで、漁船の曳網方向をx軸正の方向、漁具投入時の漁船の航跡 (漁具の投入位置) とx軸が交差する点を原点として、漁船、肘、網の位置を上空から鳥瞰する2次元座標系を設定した。「漁具投入時」の曳網と網はある海底範囲を包囲する形状

となる (Fig. 2-5-A)。そして曳網が始まると最初に肘に張力がかかり、両舷の肘は前進するとともに間隔が狭まり、網は前進を始める。このとき投網直後に漁具が海底を包囲する形状 (Fig. 2-5-A) はx軸に対して線対称ではないため、どちらか一方の曳網が先に強く引っ張られ、その曳網につながる肘の動きが大きくなることが考えられる。このように両舷の肘の移動方向と速さがそれぞれ異なる曳網の過程 (Fig. 2-5-B) を本研究では「曳網前半」と呼ぶことにする。次に曳網過程が進み、肘間の距離が小さくなると、船が前進する力が両舷の肘に同じように伝わり、肘の動きはx軸に対して対象となり、漁具の形状も線対称となる (Fig. 2-5-C) と考えた (「曳網後半」)。以上、「漁具投入時」、「曳網前半」、「曳網後半」の3つの曳網過程における漁船、肘、網の位置を上述した各種測器の記録から推定した。

漁具投入時の漁船、肘、網の位置

漁具が投入された直後の肘と網の海底上の位置は、いずれの曳網も潮汐の影響が小さいと考えられる時間帯に行われたこと、詳しくは後述するが浮子投入から回収までの航跡の長さが両舷の曳網長とヘッドロープ長の和と大きな差が無かったことから、曳網と漁具がGPSロガーから得られた漁船位置の直下に沈降、着底したと仮定して、肘と網が投入された緯度経度とした。そして漁具投入時の網の位置 (x_{n0}, y_{n0})、両肘の座標 (左舷: x_{l0}, y_{l0} , 右舷: x_{r0}, y_{r0}) と曳網開始の時の漁船の座標 ($x_{s0}, 0$) はHubeny formula (Tsuboi and Oguri, 2013) を用いて、原点からそれぞれの軸方向への距離 (m) として表した。

曳網前半～曳網後半の漁船の位置

曳網が始まってからの経過時間 t のときの漁船の座標 $(x_{st}, 0)$ はGPSロガーの記録から求めた。

曳網前半～曳網後半の肘の位置

曳網前半の間に両肘は、「漁具投入時」の座標（左舷： x_{l0}, y_{l0} ，右舷： x_{r0}, y_{r0} ）から、 x 軸に対して対象となり、漁具の形状も線対称となる「曳網後半」の始まり $t=T$ における両肘の座標（左舷： x_{lT}, y_{lT} ，右舷： x_{rT}, y_{rT} ）まで移動すると仮定した（Fig. 2-5-B）。「曳網後半」になると、曳網に弛みは無くなり、船と肘をつなぐ曳網の形状は直線となると考えた。したがって漁具の形状が x 軸に対して線対称と仮定した「曳網後半」の間($t \geq T$)の両肘の座標（左舷： x_{lt}, y_{lt} ，右舷： x_{rt}, y_{rt} ）は以下の式で表すことができる。

$$x_{lt} = x_{rt} = x_{st} - d_{1t} \quad (1)$$

$$y_{lt} = -y_{rt} = \frac{1}{2}D_t \quad (2)$$

ただし D_t は音響トランスポンダに記録された t 時の両肘間の距離、 d_{1t} は船から両肘までの距離の x 軸成分 $\left(\sqrt{300^2 - D_p^2 - y_{lT}^2}\right)$ である。 D_p は漁場水深の平均値(m)である、

ここで、曳網後半が始まる経過時間 T 以降には曳網に弛みは無くなるので、両舷の曳網にかかる張力の不均衡と変化は小さくなると考えた。そこで本研究では曳網過程において曳網後半が始まる経過時間 T を張力の経時変化から判断し、両舷の張力が上昇しなくなったときを T とした。そして両肘が漁具投入時の座標（左舷： x_{l0}, y_{l0} ，右舷： x_{r0}, y_{r0} ）

から $t=T$ における座標（左舷： x_{lT}, y_{lT} ，右舷： x_{rT}, y_{rT} ）までの間，直線的に移動すると仮定した。つまり $0 < t \leq T$ の間の両肘の座標（左舷： x_{lt}, y_{lt} ，右舷： x_{rt}, y_{rt} ）を以下の式で表した。

$$x_{lt} = (x_{lT} - x_{l0}) \frac{t}{T} \quad (3)$$

$$y_{lt} = (y_{lT} - y_{l0}) \frac{t}{T} \quad (4)$$

$$x_{rt} = (x_{rT} - x_{r0}) \frac{t}{T} \quad (5)$$

$$y_{rt} = (y_{rT} - y_{r0}) \frac{t}{T} \quad (6)$$

そして肘の間隔 D_{estt} は次の式で求められる。

$$D_{estt} = \sqrt{(x_{lt} - x_{rt})^2 + (y_{lt} - y_{rt})^2} \quad (7)$$

以上で推定された「曳網前半」における両舷の肘の座標が実際に当てはまるかを検証するため，音響トランスポンダにより計測された肘の間隔 D_{meas} と推定された肘の間隔 D_{estt} を比較し，両者の割合（ D_{estt}/D_{meas} ）を求めた。

曳網前半～曳網後半の網の位置

「漁具投入時」の網の位置は原点に近かったが，必ずしも一致しなかった。したがって，網は漁船が移動するx軸に漸近するような軌跡をたどると思われた。本研究ではこの網の軌跡を表現する以下の簡単なモデルを考えた。

網は曳網開始とともにx軸に漸近する方向に移動し，「曳網後半」にはx軸近くをx軸の正の方向に近い方向で移動する。

この運動を単純化するために、網は「曳網前半」の間には曳網開始の位置から曳網後半の最初の位置であるx軸上の $(x_{nT}, 0)$ までは直線的に移動し、「曳網後半」の間にはx軸上を移動すると仮定した。「曳網後半」でx軸上を移動する網の位置 $(x_{nt}, 0)$ は曳網後半の肘の位置から次のように算出できる。

$$x_{nt} = x_{st} - d_{1t} - d_{2t} \quad (8)$$

x_{st} は「曳網後半」の経過時間tのときの漁船のx座標、 d_{1t} はt経過時間tのときの船から肘

(左舷： x_{lt}, y_{lt} 、右舷： x_{rt}, y_{rt})までの距離のx軸成分 $\left(\sqrt{300^2 - D_p^2 - y_{lt}^2}\right)$ 、 d_{2t} は経過時間

tのときの肘から網のヘッドロープ中央までの距離のx軸成分 $\left(\sqrt{428.7^2 - y_{lt}^2}\right)$ である。t

>T の間は、肘の位置はx軸に対して線対称と仮定しているので、 $y_{lt} = y_{rt}$ である。曳網

開始から「曳網後半」の始まり(t=T)までの間の網の移動距離のx成分とy成分はそれぞれ

れ、 $x_{nT} - x_{n0}$ と y_{n0} で、網が移動する方向とx軸がなす角 θ は $\theta = \text{atan} \frac{y_{n0}}{x_{nT} - x_{n0}}$ なので、網

の移動速度のx成分とy成分である v_{nxt} と v_{nyt} は網の移動速度 v_{nt} から、それぞれ $v_{nt} \cos \theta$ 、

$v_{nt} \sin \theta$ と考えることができる。以上より、「曳網前半」の経過時間tのときの網の位置

(x_{nt}, y_{nt}) は、

$$x_{nt} = \int_0^t v_{nxt} dt \quad (9)$$

$$y_{nt} = \int_0^t v_{nyt} dt \quad (10)$$

と表した。

本研究は潮汐による流れが小さいと考えられる時間帯に曳網を実施したが、実際には海底周辺には流れがあり、対水速力（網）と対地速力（船）には違いがある可能性が考えられた。そこで、両肘間の間隔が非常に狭くなり、両舷の曳網が網に船の推進力を直接に伝え、網と船の移動速度が同じと仮定できる曳網終了直前の2分間の網の速力（対水）と船の速力（対地）の差の平均値を用いて v_{nt} を対地速力に補正した。

投網直後の漁船が曳網と網で海底を包囲した面積を包囲面積とした。それ以降、揚網を開始するまでの間の漁船、両肘、網の位置を1分ごとに座標上に重畳して、これらの図形が重なる範囲を漁具の掃過範囲とした。この図形の画素数を ImageJ（National Institute of Health, USA）により算出し、同じ縮尺で既知の面積の図形の画素数と比較することで掃過面積を求めた（Fig. 2-6）。

結果

4回の曳網における操業過程とそれに要した時間を Table 2-1 に表した。浮子の投入から揚網終了までに要した時間は38.6分から49.6分の間であり、平均時間は43.9分±S.D. 5.7分であった。最初に浮子投入から左舷曳網一網一右舷曳網を投入して一浮子回収までにかかった時間は4.9分から5.4分の間で、平均時間は5.2分±S.D. 0.2分であった。そして曳網を開始してから終了するまでの時間は14.7分から20.3分の間で、平均時間は17.7分±S.D. 2.4分であった。曳網終了から網を巻き上げ網が水面に最初に上がるまで

に掛かった時間は11.2分から12.9分の間で、平均時間は12.1分±S.D. 0.9分であった。

Fig. 2-7には各曳網時における両肘と網の深度と網高さの経時変化を示した。漁具は、左肘―網―右肘の順番に投入されたが、着底は左肘―右肘―網の順で、網の着底はすべての曳網において曳網の着底の後であった。#1, #2, #4の曳網では、両舷の肘と網がすべて着底してから曳網が開始されたが、#3の曳網では、両舷の肘は海底に着底したが網が着底する前に曳網が開始された。両肘と網の位置が違うので水深が異なる可能性があるが、両肘は曳網が終わるまで海底近くに沈降していることがこれらの記録からわかる。次に網高さは曳網を開始しても少しの間（1.9～3.2分間）は2.63～11.35 mの高さであったがその後急速に小さくなり、網高さは1.53～2.21 m程度となった。また網高さはその後徐々に高くなり、曳網後半では、#1―4のすべてで2.45～3.54 m程度となった。

次に4回の曳網における漁船と網の移動速度、肘の間隔、両舷張力の時系列変化をFig. 2-8とTable 2-2に示した。曳網開始してから漁船が動き、0.9分後には肘が狭まり始め、次に張力が増加し始めてから船の速度は一旦減少したが、肘が狭まり始めてから1.8分後に再び増加し、曳網終了前の1分間の平均速度は#1で1.28 m/s (2.48 knot)、#2で1.42 m/s (2.77 knot)、#3で1.65 m/s (3.21 knot)、#4で1.46 m/s (2.84 knot) で、4回の平均は1.35 m/s (2.62 knot) であった。一方、#3の曳網では測器設定に不備があり、網の速度を計測できなかったが、そのほかの曳網で網は曳網開始から3.5分後に動き始め、肘が狭まり張力が増加するとともに網の移動速度が本格的に増加し、曳網終了前の1分

間の平均速度は#1で1.29 m/s (2.51 knot), #2で1.42 m/s (2.75 knot), #4で1.47 m/s (2.86 knot) で, 3回分の平均値は1.40 m/s (2.71 knot) であった。肘の間隔は投網直後には, #1で289.9 m, #2で250.9 m, #3で341.3 m, #4で327.1 mで, 4回の肘の平均間隔は302.3 mであった。肘の間隔は曳網開始から3.1分間は安定していたが, その後急激に減少し, 曳網終了の時には, #1で5.9 m, #2で6.2 m, #3で5.4 m, #4で7.8 mとなった。両舷の張力は網の移動速度と同様に曳網開始2.8分後から急激に増加し, #1で857 kg, #2で777 kg, #3で679 kg, #4で665 kgで最大値に達し, それ以降は安定した。

Fig. 2-8に示すように, どの曳網でも, 上述したように船の前進(曳網開始)から少し遅れて肘の間隔が減少しはじめ, 続いて網の前進と両舷張力の増加が同時に起こった。左右の張力には不均衡がみられ, 常に左舷側の張力が高い傾向がみられたが, 両舷の張力の合計を見ると, 張力が時間経過とともに増加して, その後ほぼ一定となっていることがわかる。本研究では両舷の張力の合計値が安定したときを両舷の肘が進行方向に対して線対称となった時 ($t=T$) とした。曳網開始から両舷の肘が進行方向に対して線対称となった時点まで要した時間 T は#1で7.7分, #2で6.5分, #3で8.6分, #4で11.5分で, この間の肘の間隔の実測値 D_{meas} に対する推定値 D_{estt} の比率を曳網前半における1分ごとの時間経過とともにFig. 2-9に表した。それぞれの操業で得られた線対称となる前の実測値と推定値の比率は#1で1.01~1.03, #2ではほぼ1.00, #3で0.98~1.00, #4で0.95~1.04で, それぞれ実測値と推定値に大きな違いは見られなかった。

かけまわし網の包囲面積と掃過面積、包囲面積に対する掃過面積の割合をTable 2-3に表した。包囲面積は#1で120,133 m²、#2で112,488 m²、#3で147,807 m²、#4で142,478 m²で1日目の#1、#2と2日目の#3、#4の間で違いがあった。掃過面積は#1で162,221 m²、#2で188,696 m²、#3で229,453 m²、#4で223,542 m²で包囲面積と同じように1日目の#1、#2と2日目の#3、#4と比べて違いがあった。包囲面積に対する掃過面積の割合は#1で1.35倍、#2で1.68倍、#3で1.55倍、#4で1.57倍、平均で1.54倍であった。

考察

底びき網漁具の中でかけまわし網漁具を使った操業は、オッターコントロールや2そうびきによる漁法よりも小さい規模や馬力の漁船で行われ、安価な漁具を用いて簡便な方法で行われるので、より良い燃費を実現するとともに、海底影響への悪影響も低減させる環境に優しい操業方法として知られている (Suuronen et al., 2012)。また、かけまわし網を用いる漁業は、高品質の漁獲が利点としても知られている (Suuronen et al., 2012)。ノルウェーでは、天然魚を種苗とする魚類養殖 (Capture-based aquaculture) のための魚の採集にかけまわし網漁具を最も一般的に使用し (Humborstad et al., 2009)、漁業者は鮮魚ではなく著しく高い価格の活魚を入手していると報告されている (Dreyer et al., 2006)。また、12種類の底生無脊椎動物門を対象に計算された主要な曳網漁具の平均死亡率は、ビームコントロールで0.25、オッターコントロールで0.1、かけまわし網漁具が0.05で、

かけまわし網が3種類の曳網漁具の中で死亡率が最も低いことが報告されている (Tulp et al., 2005)。このように、かけまわし網は曳網漁具の中で優れた特徴を示すが、網口前方でどのくらいの範囲の海底の魚を駆集対象としているか、その知見は極めて限られている。本研究は、こうした効果が及ぶ海底の範囲を推定した。近年では、コンピュータを用いて漁具の運動をシミュレーションする研究がいくつか行われている (Cha and Lee, 2002; Takagi et al., 2003; Vincent and Roullot, 2006)。そしてこうした技術を用いて fly-dragging seine で用いられる漁具の挙動を推定し、漁具が海底を包囲する形状や面積と漁獲の関係を検討した例もある (Madsen et al., 2017)。トロール網やまき網漁具の挙動については、ネットゾンデや漁網監視装置 (小野寺・稲田, 2017) などによる直接測定が可能で、コンピュータシミュレーションの結果の妥当性を検証することがこれまで行われてきたが (Cha and Lee, 2002; Takagi et al., 2003; Vincent and Roullot, 2006), かけまわし網の挙動と掃過面積の把握については、使用可能な測器や測定方法が限られ、知見は極めて少なかった (Noack et al., 2019; 水産研究教育機構開発調査センター, 2021)。こうした中、本研究では各種測器の使用方法を工夫して、漁船、網の移動速度と肘間の距離を精密に計測し、各部の運動から掃過範囲とその面積を推定することができた。

その推定においては、以下のことを仮定した。仮定①漁船の曳網方向は直線的である。このことについては、投網時の網の位置を原点として、曳網中の漁船の位置を1分ごと

にプロットして求めた漁船の座標の回帰直線（本研究で仮定した直線的な曳網航跡）の長さが1066.3～1429.5 m（平均1208.2 m）であったことに対して、GPS上の曳網開始の位置と曳網終了の位置の間の距離は1060.0 m～1417.7m（平均1247.3 m）で、違いはわずかであった。こうしたことからこの仮定について問題はないと考えた。仮定②曳網前半の漁船一肘の曳網は直線、肘一網は曲線、曳網後半の漁船一肘、肘一網の曳網はいずれも直線となる。曳網後半の1分ごとの漁船と網の位置を推定して、その時の両肘の位置を(1,2)式で推定して、漁船一両肘一網の位置を直線状の曳網でつなぐ図形において、肘一網をつなぐ直線の長さは392.5～452.8mで、これは肘からヘッドロープ中央までの長さ428.7 mの92～106%であった。

このように曳網後半の漁具形状の仮定にはそれほど大きな違いは見られなかった。そして曳網後半につながる曳網前半の両肘の位置は、両肘の投入位置から曳網後半のはじめの位置まで直線的に移動すると仮定したが、この仮定から推定した両肘の間の距離と音響トランスポンダで測定された両肘間の距離の比は、曳網後半のはじめ（ $t=T$ ）の位置が音響トランスポンダによる計測値からの推定であるので曳網後半に近づくところの比は100%に近づくのが当然であるものの、曳網前半の間は99～102%と非常に良い一致を示した（Fig. 2-9）。

以上のことより、本研究で計測した漁具各部の速度や距離から推測した曳網と網の形状は、かけまわし網の形状変化をある程度正確に表現できたと考えている。

本章におけるかけまわし網の曳網開始から曳網終了まで経過した時間から換算した1時間当たりの掃過面積の平均値は $682,381 \text{ m}^2/\text{h} \pm \text{S.D. } 85,509 \text{ m}^2/\text{h}$ であった。この1時間当たりの掃過面積を船の大きさや主機関出力が似通った日本の底びき網漁業の漁具の単位時間当たりの掃過面積とともにTable 2-4に示した。1時間当たりで換算すると、本章で取り扱ったかけまわし網は、日本各地のビームトロール漁具を用いる底びき網漁業の掃過面積より15~16倍、オッタートロール漁具を用いる底びき網漁業の掃過面積よりそれぞれ2.9倍と8.6倍広い面積を掃過していることが推定された。また、曳網が約4.6倍も長いAnchor seine式かけまわし網の掃過面積（約 $1,000,000 \text{ m}^2/\text{h}$, Noack et al., 2019）やLee and Byun (2007)の大型漁船（90トン, 350馬力）の1曳網（平均73.1分）で約 $710,000 \text{ m}^2$ という値と比較しても本研究の小型漁船（5トン, 80 kW）, 曳網長712 m/舷の漁具の掃過面積 $682,381 \text{ m}^2/\text{h}$ は際立って広く、本研究の対象とした漁業は広い海底を掃過し、そこに分布する魚類を漁獲対象にしていることがわかった。

前述したとおり、同じ漁具では掃過面積が大きいほど漁獲量も多くなるという掃過面積と漁獲性能の明確な関係が報告されている（渡部・北川, 2004）。かけまわし網は単位時間当たりの掃過面積が大きいので、曳網漁具の中で非常に高い漁獲性能を誇るだろう。ところが、かけまわし網とトロール網の漁獲量はそれらの掃過面積の違いほどに大きくないと報告もある（Noack et al., 2017）。これは曳網漁具の網口前方の漁獲性能が掃過面積だけでは決まらないことを示唆している。曳網漁具の網口前方における漁獲性能

に影響する他の要因については，総合考察で詳しく検討することとする。

Table 2-1 The time required for fishing process of the fly-dragging fishing operations

fishing process	Elapsed time from set of marker buoys (minute)				Average
	2020.10.17		2020.10.24		
	Spring tide		Neap tide		
	#1	#2	#3	#4	
Set of marker buoys	0.0	0.0	0.0	0.0	-
Set of port seine rope	1.1	1.2	1.2	1.1	1.2
Set of seine net	2.4	2.6	2.7	2.5	2.6
Set of starboard seine rope	3.8	4.1	4.3	4.0	4.0
Collection of marker buoys	4.9	5.2	5.3	5.4	5.2
Towing start	5.3	6.0	5.6	5.8	5.7
Towing finish	22.3	20.8	24.6	26.0	23.4
Hauling finish	39.5	38.6	49.6	47.9	43.9

Table 2-2 Results of gear mensuration of the fly-dragging fishing operations

		#1	#2	#3	#4	Average
Towing time (h:mm:ss)	Elapsed time	0:17:00	0:14:43	0:18:58	0:20:16	0:17:44
Distance between elbows (m)	Towing start	289.9	250.9	341.3	327.1	302.3
	Towing finish	5.9	6.2	5.4	7.8	6.3
Net height (m)	Towing start	3.49	11.39	8.37	6.61	7.47
	Towing finish	2.52	3.56	2.59	2.77	2.86
Vessel speed (m/s)	Towing finish	1.16	1.42	1.65	1.46	1.35
Net speed (m/s)	Towing finish	1.29	1.42	—	1.47	1.39

The vessel speed and net speed is calculated to average value in 1 minutes before towing finish.

Table 2-3 Surrounded and swept areas of the fly-dragging fishing operations estimated by gear mensuration

	#1	#2	#3	#4	Average
Surrounded area (m²)	120,133	112,488	147,807	142,478	130,726
Perimeter of surrounded area (m)	1,402.2	1,429.9	1,576.9	1,568.7	1,494.5
Swept area (m²)	162,221	188,696	229,453	223,542	200,978
Swept area / Surrounded area	1.35	1.68	1.55	1.57	1.54

Table 2-4 Swept areas of various towed nets

Type of towed net (fishing ground)	Vessel size, Engine output	Swept area	Ratio to this study	Reference
	(t, kW)	(m ² /h)		
This study	5.0 t, 80 kW	682,381	-	
Beam trawl (Tokyo Bay)	5.0 t	41,760	1 / 16.4	Ishiguro (2006)
Beam trawl (Kagoshima)	3.7 t	41,670	1 / 15.4	Fuwa (1976)
Beam trawl (Ariake Sea)	4.2 t	44,262	1 / 15.4	Hirai et al. (2003)
Otter trawl (Niigata)	5.0 t	79,345	1 / 8.6	Nashida (1990)
Otter trawl (Aichi)	12.0 t	233,170	1 / 2.9	Matsushita et al. (2005)

Swept areas of beam trawl and otter trawl were calculated from the products of towed distance and beam length for the beam trawl, and the products of towed distance and the distance between otter boards for the otter trawl.

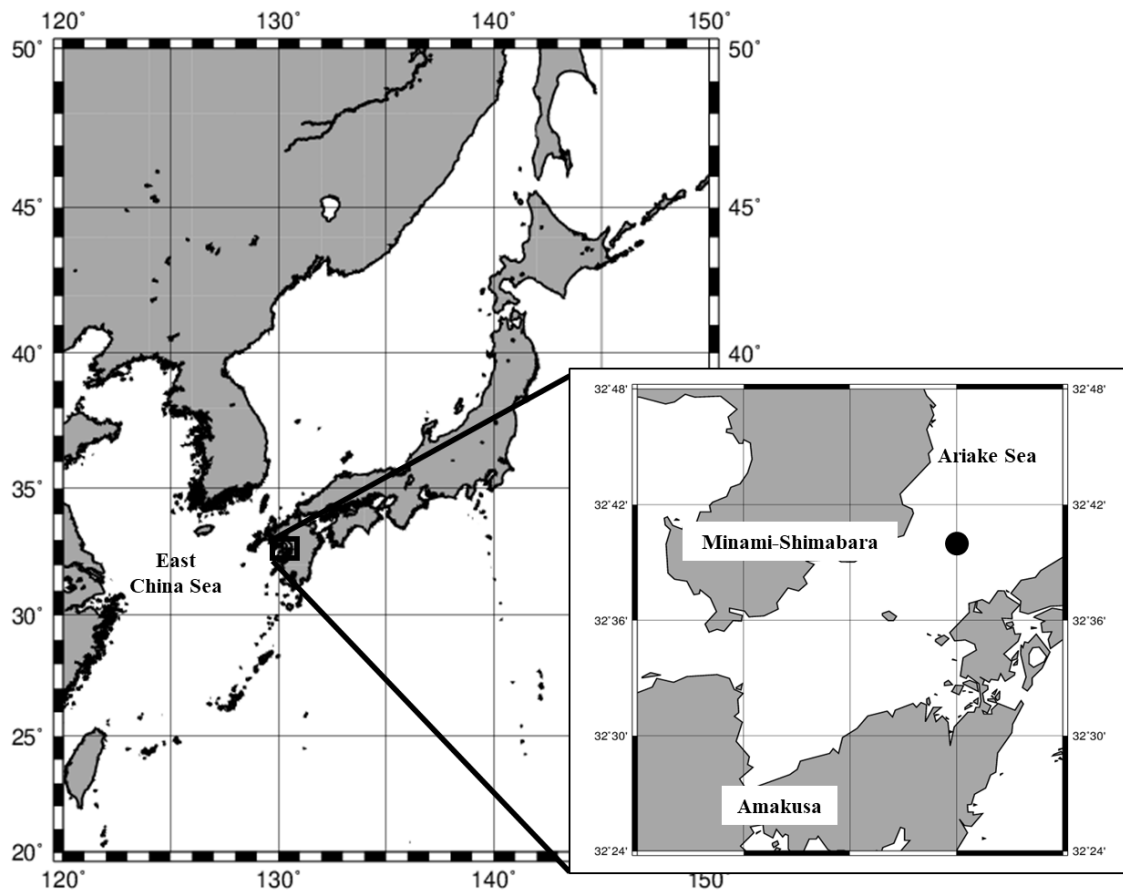


Fig. 2-1 The Map of experimental fishing ground in this study. The black circle shows the position where the study was conducted.

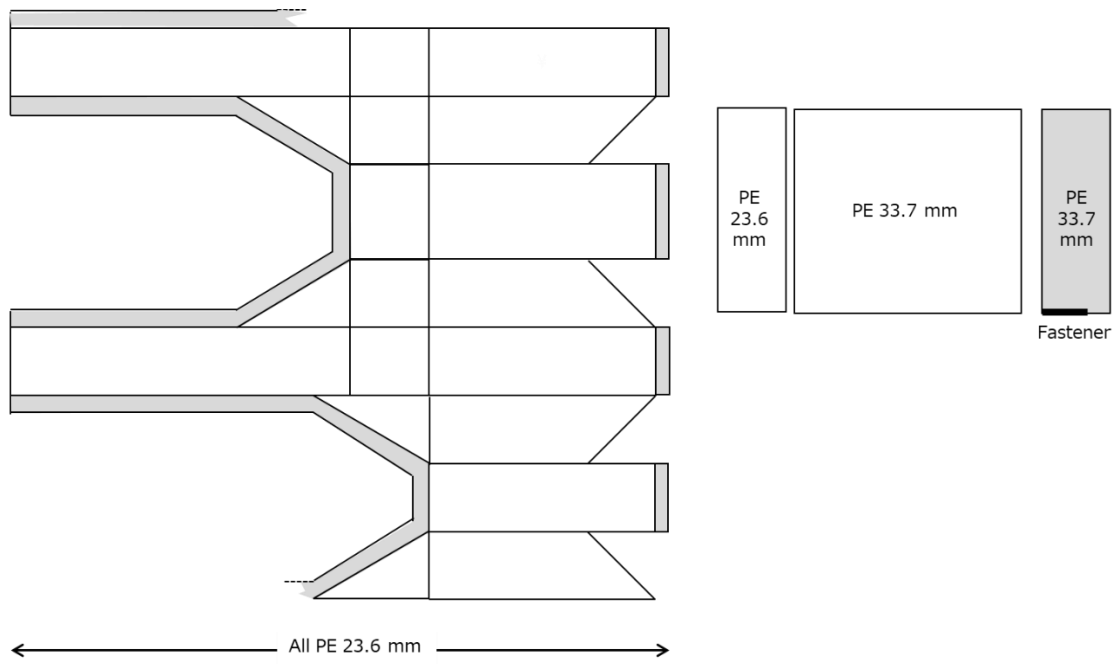


Fig. 2-2 The design of fly-dragging seine net used in this study. Gray area indicates part of netting composed of thicker twines.

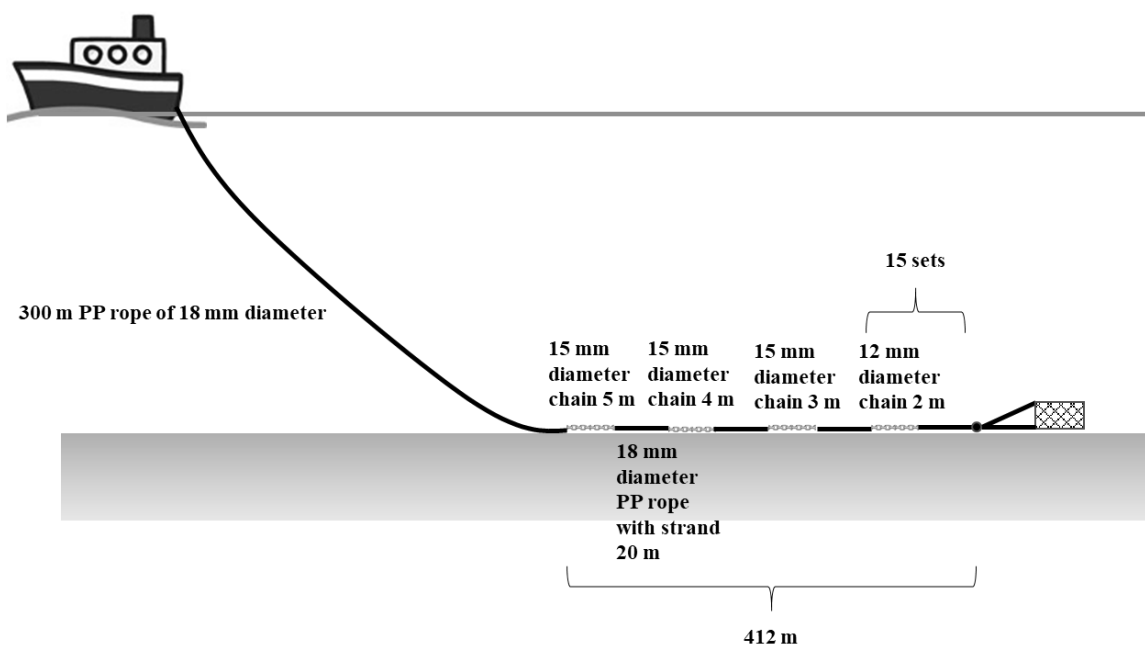


Fig. 2-3 The rope configuration of the fly-dragging seine used in this study.

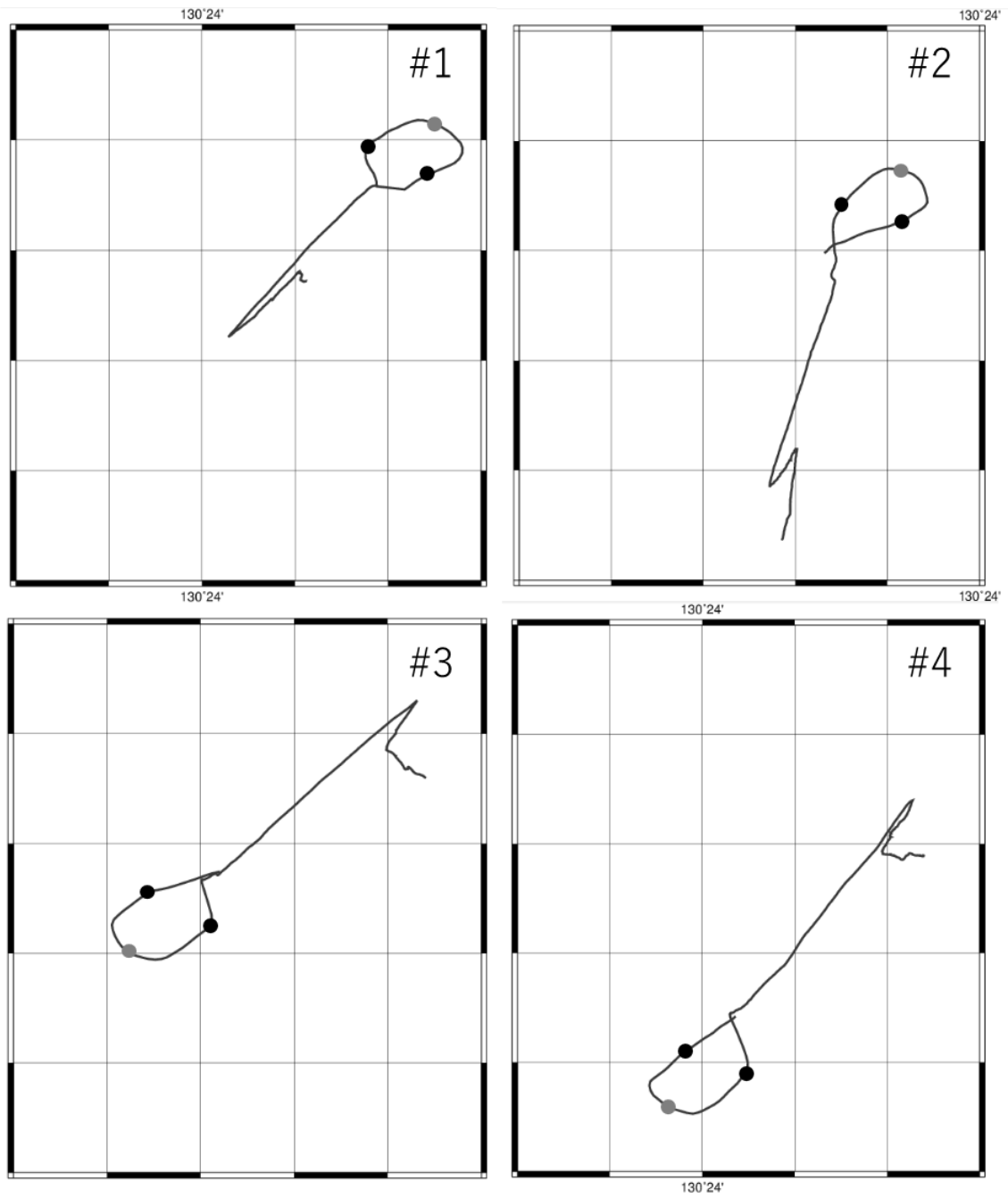


Fig. 2-4 Tracks of the fishing vessel. Gray circle is the position where net was shot and black circles are the positions where the elbows were shot.

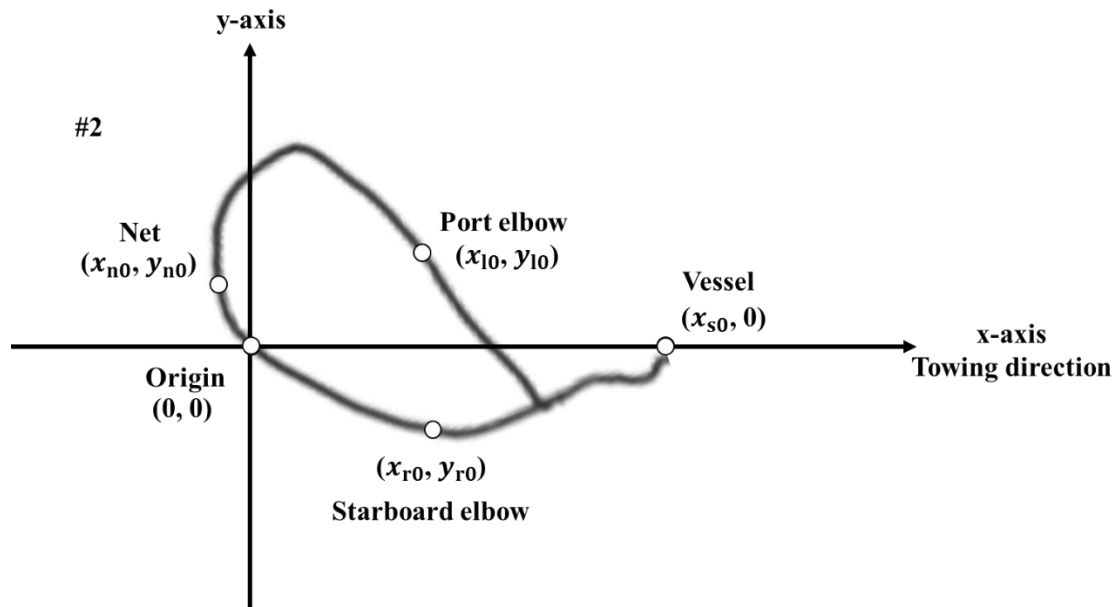


Fig. 2-5-A The positions of the net, the vessel and elbows of a fly-dragging seine, when shooting a gear, obtained from the GPS data. The direction the fishing boat is moving is the x-axis. The origin is the point where the x-axis intersects with the track of the fishing vessel at the time of gear shooting (the center of the headrope was not always the origin).

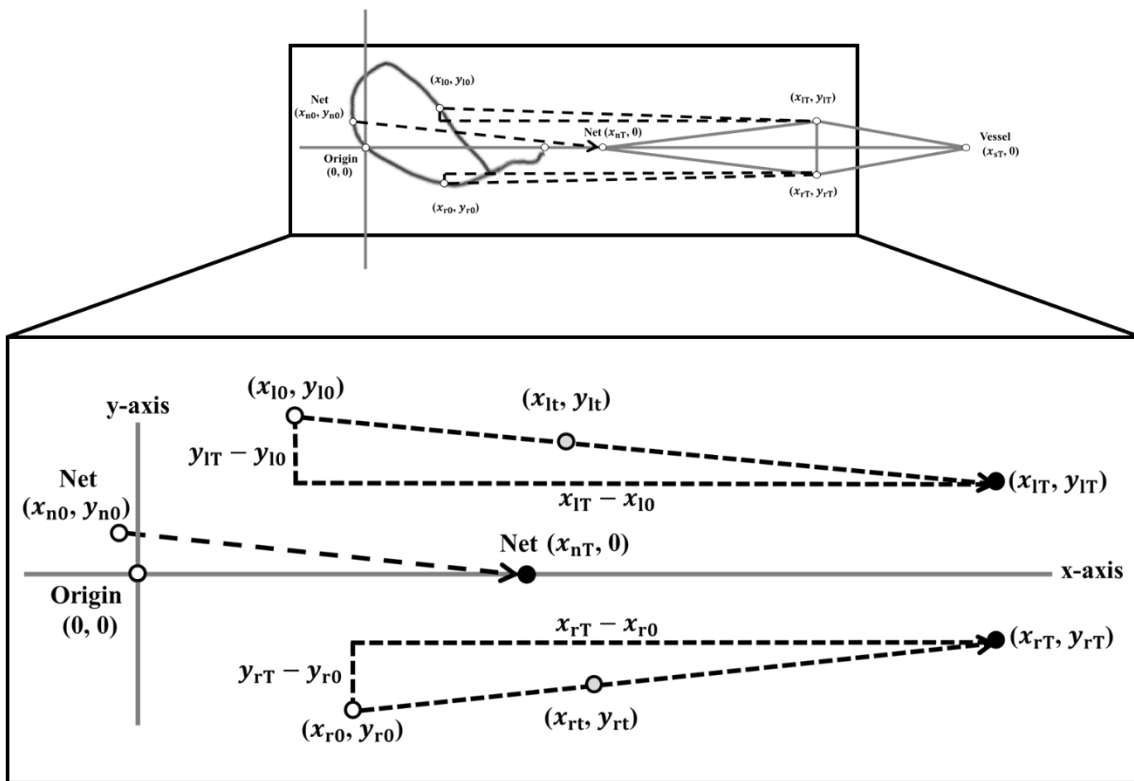


Fig. 2-5-B The estimation of the coordinates of elbows in the phase one which is the time period when the elbows move without linear symmetry of the x-axis during towing. The net is assumed to move linearly to the start position in phase two during the phase one. Blank circles are positions of net and elbows at the beginning of the phase one, black circles, positions of net and elbows at the beginning of the phase two which is the time period when the elbows start moving with linear symmetry of the x-axis during towing, light gray circles, elbows positions during the phase one.

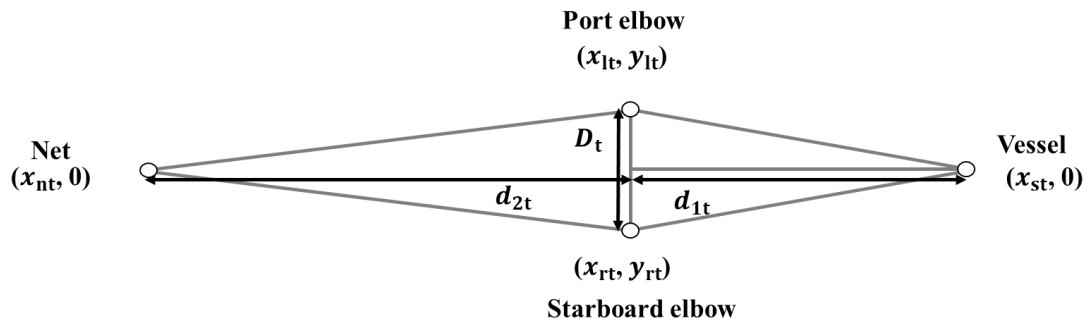


Fig. 2-5-C The positions of the net, the vessel and elbows at the beginning of the phase two which is the time period when the elbows move with linear symmetry of the x-axis during towing. The distance between elbows (D_t) measured in fishing experiment respectively. The position of the net is estimated from the distance obtained from the integral of the velocity, and the position of the is fixed by the GPS data.

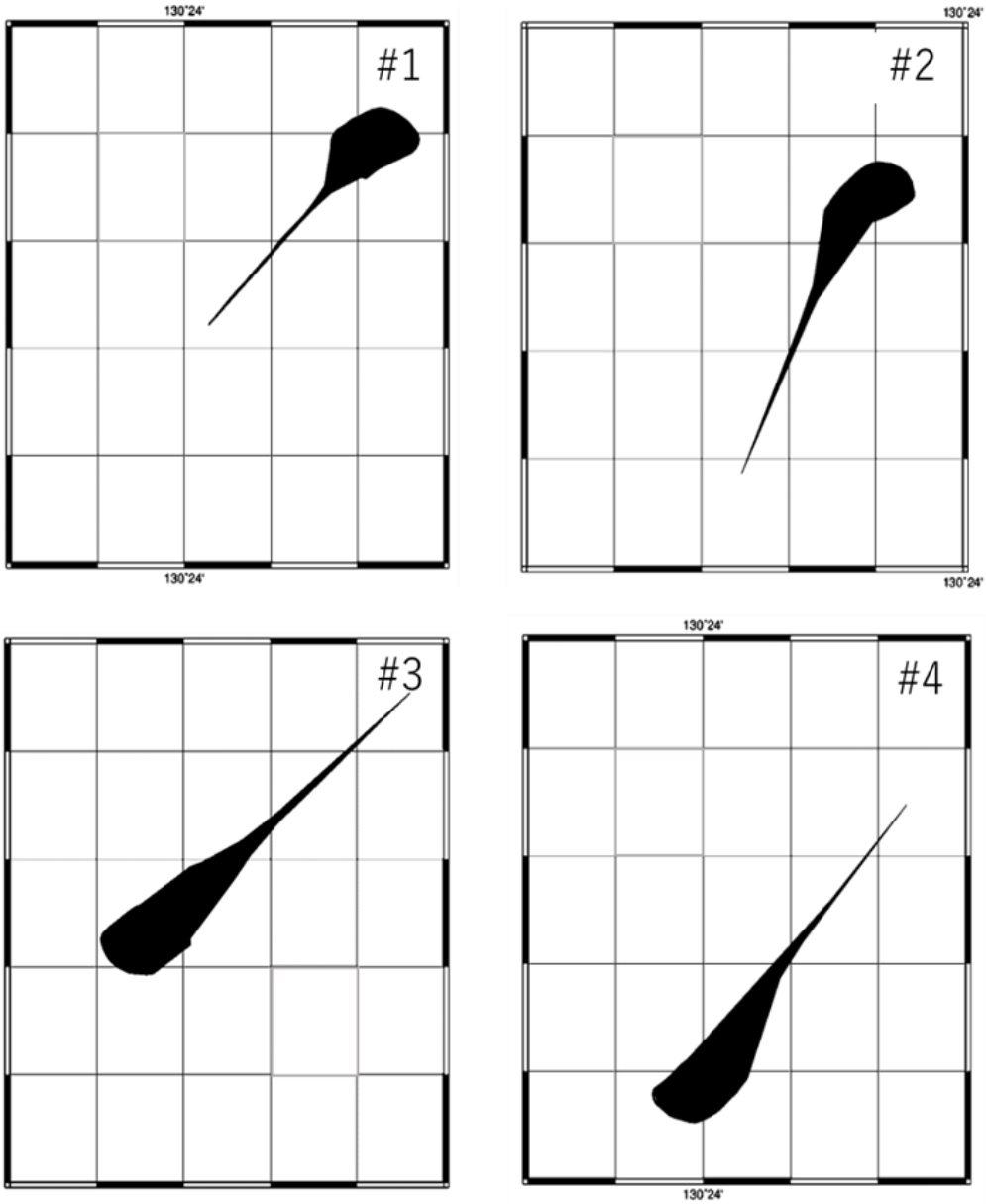


Fig. 2-6 The estimated swept areas (black-filled areas) of the fly-dragging seine.

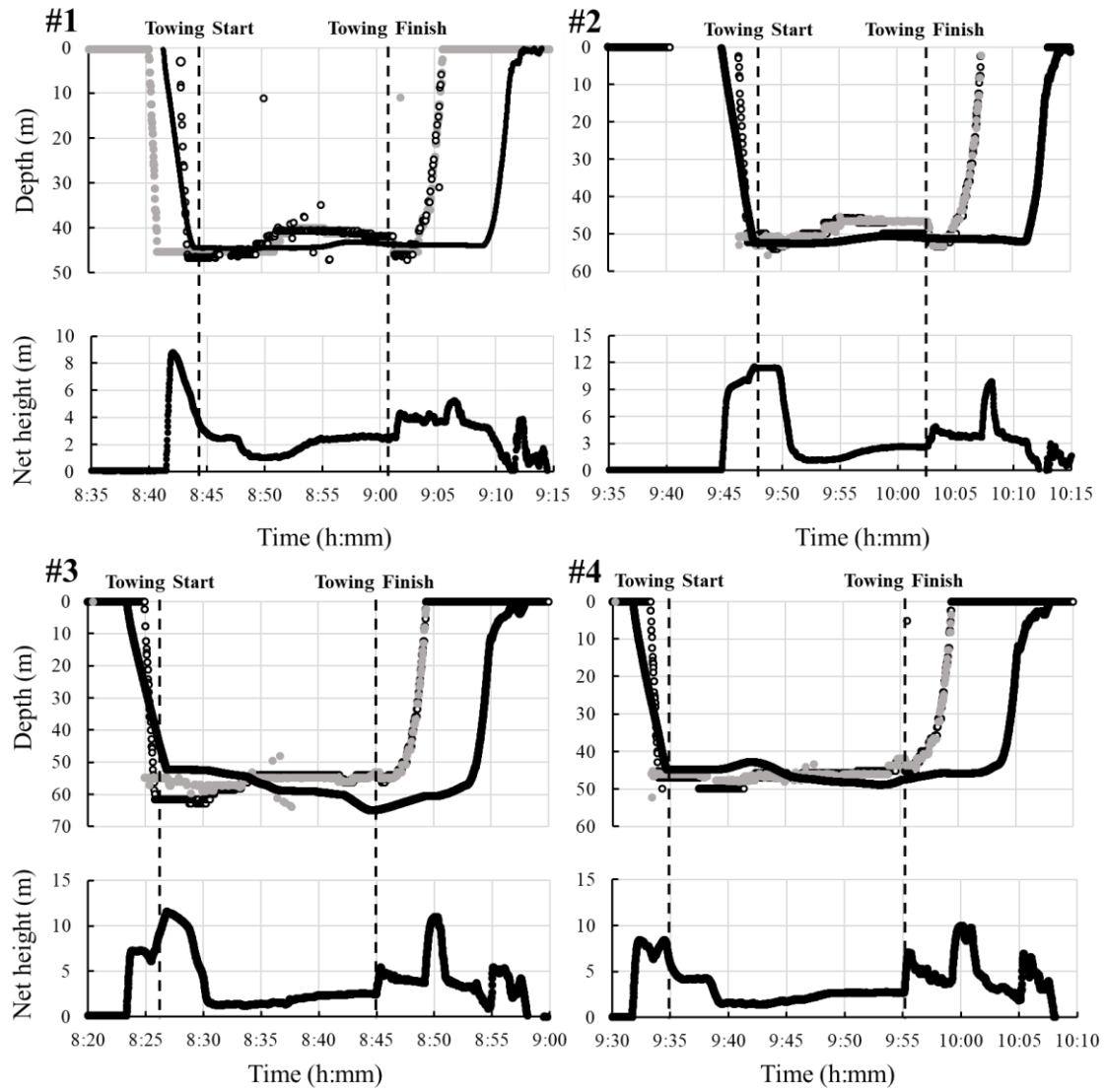


Fig. 2-7 Changes in depth of each part and a net height of the fly-dragging seine in four tows. The depth of the elbow at the port-side rope (●), the depth of the net (●), the depth of the elbow at the starboard-side rope (○).

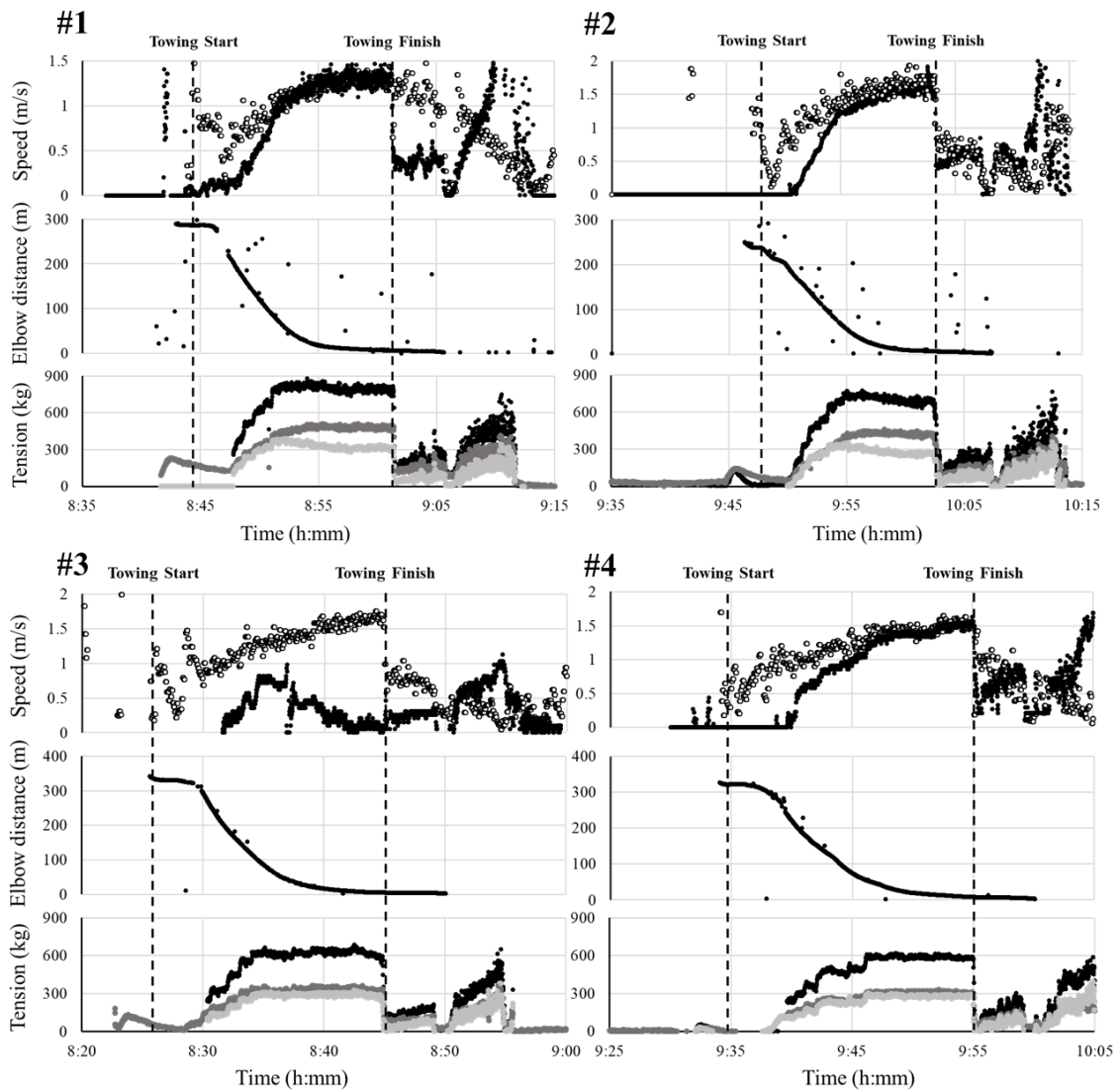


Fig. 2-8 The moving speeds of the vessel and the net, the distances between elbows and the tensions of the net of the fly-dragging seine measured in four tows. The moving speed of the vessel (○), the moving speed of the net (●) in the speed graph, the distance between elbows (●) in elbow distance graph, the sum of the tensions (●), the tension at the port side (●) and the starboard side (●) in tension graph.

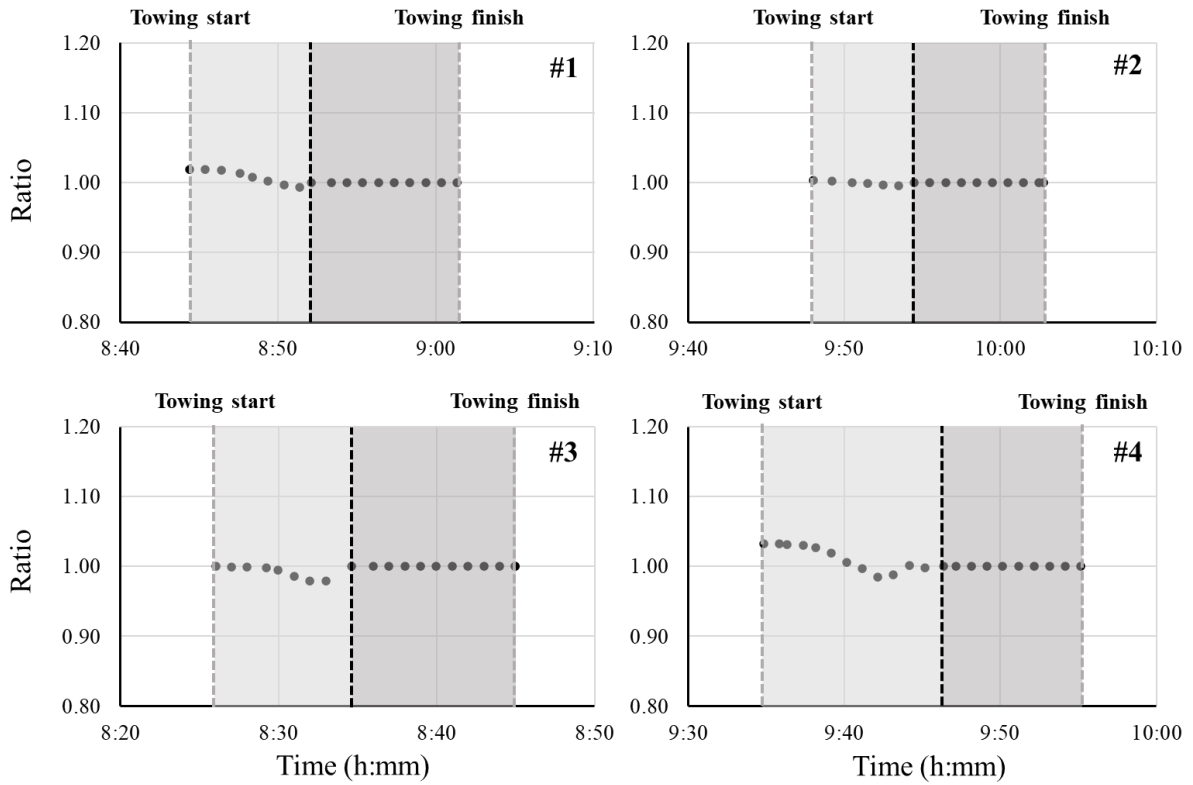


Fig. 2-9 The ratio of estimated elbow distance by measured elbow distance (D_{estt}/D_{meas}). Light gray area is the time period of the phase one (the time period when the elbows move without linear symmetry of the x-axis during towing); dark gray area, the phase two (the time period when the elbows move with linear symmetry of the x-axis during towing).

第3章 網口の部品構成が異なるオッタートロール漁具の漁獲性能の違い

緒言

第3章では、漁具の掃過範囲から網口付近まで駆集された生物の入網の成否を左右する網口の漁獲性能について検討する。曳網の漁獲過程は漁具と魚類の間の相互作用に依存しているため、網の形状が異なれば漁獲結果も異なる可能性が高い。実際に網の形状に関連して、漁獲量と魚のサイズ構成が変化するという報告がいくつか有り、この網の変化は、設計の違いによることはもちろん、曳網速度、ワープ長、scope ratio (ワープ長/水深の比)、曳網時間などによっても変化する (Byrne et al, 1981; Carrothers, 1981; Godø and Engås, 1989; Somerton and Weinberg, 2001; Weinberg, 2003; Fujimori et al., 2005; O'Neill et al., 2005; Broadhurst et al., 2015; Brinkhof et al., 2017)。このような漁獲の変化は、曳網を用いた生物採集調査の結果の解釈に大きな影響を与える。曳網漁具を用いた水圏生物の調査は非常に一般的で、特に水産生物資源の現存量調査に良く用いられる (北川・服部, 1988; 川内ら, 2018)。例えば東シナ海の日本の EEZ では、近年、陽光丸 (692 トン, 1,885 kW) と熊本丸 (443 トン, 1,323 kW) の 2 隻の調査船により、資源評価データの取得が行われてきた。漁具の漁獲性能や選択性などの違いはそれらの漁具を使ったサンプリングから得られるデータの精度と信頼性に影響を及ぼすため (Laevastu and Favorite, 1988)、これらの船は、サンプリング結果をより良く、より簡単に解釈するために、同じデザインで同じ大きさのオッタートロール網を使用してきた。しかし、この 2 隻の船が使用するトロール網の構成は、ヘッドロープ、グランドロープ、手網、網ペンネットが異なり、網の浮力や沈下力も異なっている。これら

の違いが、網口の形状や漁具の海底への接触状態に影響を与え、結果的に漁獲結果に影響を与える可能性があるため、網口の形状と漁獲結果の関係から漁獲性能を検討する必要がある。

資源評価のために調査トロール漁具の選択的特性を検討する時、トロール網の形状とその漁獲性能に与える影響を理解することは、サンプリングのために考慮することが重要な課題である (Weinberg et al.2002)。

材料・方法

陽光丸と熊本丸では、同じデザインの着底トロール網 (Nichimo Co. Ltd. SS-R1(B), Fig. 3-1) が使用されている。コッドエンドを含めた全長は45.9 m, ヘッドロープとグランドロープの長さはそれぞれ35.2 mと46.4 mである。コッドエンドはポリエチレン製無結節網地66 mm, カバーネット (ポリエステル製無結節網地18 mm) が使用されている。しかし、ヘッドロープ, グランドロープ, 手網, 網ペンネットの構成は2隻で異なる。陽光丸では、投網時には浮力を発生させず、曳網時に浮力 (流体力学的な力) を発生させるカイト式ヘッドロープにフロートを数個付けたものが使用されている (メーカー発表では、曳網速度3ノットで浮力380 kg)。一方、熊本丸ではフロートを付けた従来のヘッドロープが使用されている (浮力380 kg)。水中でのグランドロープの重量は、陽光丸が503 kg、熊本丸が493 kgであった。また、網からオッターボードにつなぐワイヤーロープである手網と網ペンネットの水中重量も異なっていた (陽光丸 : 439 kg, 熊本丸 : 352 kg)。

東シナ海における調査海域は、水深125m未満 (Area I), 125mから160mまで (Area II),

160mから300mまで (Area III) の3つに分けられ、水産研究・教育機構水産資源研究所 (旧西海区水産研究所) によれば、東シナ海の日本のEEZ内に合計110の観測点を設定してトロール調査が行われている。2012年から2017年の毎年5月から6月の間に、38地点 (Fig. 3-2) で両船が短期間内 (45日以内) に曳網した78組 (対) の漁獲データ (156曳網分) を解析した。各曳網は、観測点を通過するように、日中に3ノットで30分間曳網された。漁獲データには、漁獲結果 (漁獲種の総数と重量、およびそれらのサイズ別の頻度) に加えて、ステーション番号、操業日、時間、開始時と終了時の位置 (緯度/経度)、曳網中の水深、ワープの長さ、網口高さ と袖先間隔 (ヘッドロープの高さと両側の袖先間の距離) が含まれていた。網口高さおよび袖先間隔は、SCANMARネットモニタリングシステム (SCANMAR AS, Norway) で測定された値が曳網中に10分ごとに記録されていた。網口高さ と袖先間隔は、曳網開始から20分後と網を曳き揚げる直前に記録した2つの値の平均値で表した。同じ観測点で短期間内に曳網した陽光丸と熊本丸の網口高さ と袖先間隔を、t検定を用いて比較した。また、水深による網口高さや袖先間隔の変化を示す指標であり、漁具の海底との接触状態にも影響を与える scope ratio (Fujimori et al.2005) も同様に比較した。scope ratioは以下の式で表される。

$$\text{scope ratio} = \frac{\text{warp length (m)}}{\text{depth (m)}} \quad (1)$$

ここで、ワープ長はすべての曳網で曳網中一定で、水深は曳網開始位置と終了位置の水深の平均値とした。

次に、陽光丸と熊本丸で漁獲された主要種の個体数をGLM解析により比較した。2隻の漁獲個体数の関係を表現する次のようなフルモデルを考えた。

$$E(C_y) = C_k \cdot \exp(\beta_0 + \beta_1 V_y + \beta_2 V_k + \beta_3 H_y + \beta_4 H_k) \quad (2)$$

ここで、 C_y と C_k はそれぞれ、陽光丸と熊本丸が対となるデータに含まれる同じ観測点で短期間に漁獲した同種の個体数である。本研究では対となるデータでその種の両船の漁獲個体数がそれぞれ少なくとも10個体以上であった場合に解析に用いた。 $E(C_y)$ は C_y の期待値で、今回のデータセットでは過分散が見られたため、期待値のまわりの誤差は負の二項分布に従うと仮定した。曳網時間に大きな差がないため（平均30分±S.D. 0.6分）、単位時間当たりの漁獲個体数には換算していない。 V_y と V_k はそれぞれのデータにおける陽光丸と熊本丸の網口高さ、 H_y と H_k は陽光丸と熊本丸の袖先間隔である。また、パラメータ β_0 、 β_1 、 β_2 、 β_3 、 β_4 は、それぞれ推定される切片と係数である。同じ観測点における種の個体密度は対となるデータで同一であり、網口の開きの違いが漁獲個体数に影響すると仮定した。目的変数 C_y は説明変数（2隻の漁船の網口高さや袖先間隔）との関係を介して C_k に比例することから、漁獲個体数に影響を与える要因（網口高さや袖先間隔）を評価することができる。scope ratioも網口の形状や漁具が海底への接触状態の変化を説明するものとしても考えられているため（Fujimori et al., 2005）、本研究ではこの指標にも注目した。しかし、scope ratioを変数として予備的にGLM分析を行ったところ、scope ratioと網口高さや袖先間隔に多重共線性があることが確認された（R(ver.3.6.2)の「car」パッケージを用いて、分散拡大要因Variance Inflation Factorを算出したところ、その値は5.0より大きかった）ため、2隻の漁船の網口高さや袖先間隔、すなわち網口の形状の違いのみを説明変数とした。

GLM解析は、Rの「MASS」パッケージに含まれるglm.nb関数を用いて行った。フルモデ

ルから始めて、バックワードステップワイズ法で変数を段階的に減らした。そして各段階で赤池情報量規準 (AIC) を計算して、最も低いAICを示したモデルを最適モデルとして選択した。そして、R の「lmtest」パッケージを用いて、2 隻の漁獲個体数の違いが網口の形状の違いに影響されないという帰無仮説を評価するために、尤度比検定 (LRT) を行った。また、最適モデルから、変数を 1 つずつ減らしたときのAIC の増減分 (ΔAIC) を調べて説明変数の効果を評価した。

結果

網口の形状

陽光丸の網口高さは水深が深くなると小さくなったが (Fig. 3-3, $r = -0.58$, $p < 0.05$), 熊本丸では網口高さと水深の関係は有意ではなかった ($r = -0.20$, $p > 0.05$)。網口高さの平均 ± 標準偏差は、Area Iでは陽光丸が $4.24 \pm S.D. 0.04$ m, 熊本丸が $4.00 \pm S.D. 0.03$ m, Area IIでは陽光丸が $4.28 \pm S.D. 0.05$ m, 熊本丸が $4.04 \pm S.D. 0.01$ m, Area IIIでは陽光丸が $4.08 \pm S.D. 0.03$ m, 熊本丸が $4.07 \pm S.D. 0.01$ mであった。このように、Area IとArea IIでは両船の網口高さの差が大きく、組となるデータで両船の網口高さを比較すると、Areaにかかわらず、陽光丸の網口高さは熊本丸よりも有意に大きかった ($p < 0.01$)。

両船の袖先間隔を深度に対して示したのがFig. 3-4であり、Area Iでは陽光丸が $21.29 \pm S.D. 0.03$ m, 熊本丸が $22.50 \pm S.D. 0.01$ m, Area IIでは陽光丸が $22.15 \pm S.D. 0.04$ m, 熊本丸が $23.32 \pm S.D. 0.01$ m, Area IIIでは陽光丸が $21.94 \pm S.D. 0.04$ m, 熊本丸が $23.05 \pm S.D. 0.04$ m

となった。陽光丸の袖先間隔は深度と有意な相関を示さなかったが ($r = 0.11, p > 0.05$), 熊本丸では有意であった ($r = 0.32, p < 0.05$)。組となるデータの両船の袖先間隔の差は有意で ($p < 0.01$)、熊本丸の方が大きかった。しかし、網口高さとは袖先間隔は2つの船で有意な相関を示さなかった (陽光丸では $r = 0.04, p > 0.05$, 熊本丸では $r = 0.13, p > 0.05$)。

scope ratioも水深に応じて変化し (Fig. 3-5), 両船とも水深が深くなるとscope ratioは小さくなっていった。両船のワープ長を対となるデータで比較すると, Area IとIIでは熊本丸のワープが陽光丸よりも長い ($p < 0.01$) ため, 熊本丸が陽光丸よりもscope ratioを高く設定する傾向にあった。Area Iでは, 陽光丸が2.73~3.92, 熊本丸が3.18~3.78, Area IIでは陽光丸が2.43~3.14, 熊本丸が2.96~3.1であった (陽光丸が2.52~3.23, 熊本丸が2.56~2.85)。一方, 深い観測点 (Area III) では変わらない結果となった (Area III, $p > 0.05$)。

主な漁獲種

6年間の調査で78組156曳網分から漁獲された348種の中で, 漁獲個体数が多かったのは, キダイ *Dentex tumifrons*, ケンサキイカ *Photoligo edulis*, マアジ *Trachurus japonicus*, ワニギス *Champsodon snyderi*, カイワリ *Kaiwarinus equula*であった (Table 3-1)。これら5種で漁獲個体数全体の39.0%を占めていた。マアジとワニギスは主にArea Iで漁獲され, ケンサキイカはArea IとArea IIの両方で漁獲された。カイワリはArea IIでよく漁獲された。キダイはすべてのAreaで漁獲されており, 広い水深範囲で生息していることが示唆された。

漁獲個体数の比較

GLM分析では, 4種 (キダイ, ケンサキイカ, マアジ, ワニギス) について, 網口高さとは

袖先間隔のいずれか、あるいは両方が漁獲個体数に影響することが検出されたが、カイワリについては、網高さと袖先間隔の影響は有意ではなかった (Table 3-2)。上記4種の最適モデルはすべてnullモデルと有意に異なっていた (LRT, $p < 0.05$)。

組となるデータにおける陽光丸と熊本丸のキダイの漁獲個体数の比 (C_y/C_k) は、陽光丸の網口高さと袖先間隔 (V_y, H_y)、熊本丸の袖先間隔 (H_k) に応じて変化した。陽光丸の網口高さと袖先間隔の係数 (β_1, β_3) は正の値で、熊本丸の袖先間隔の係数 (β_4) は負の値であったことから、キダイの C_y/C_k は、陽光丸の網口高さと袖先間隔が大きくなるか、熊本丸の袖先間隔が小さくなると増加することが示唆された。

同様に、ケンサキイカの C_y/C_k は、陽光丸の網口高さと熊本丸の袖先間隔の影響を受けた。 $\beta_1 > 0, \beta_4 < 0$ であったので、陽光丸の網口高さが大きくなるほど、また熊本丸の袖先間隔が小さくなるほど、ケンサキイカの C_y/C_k は増加する。一方、ワニギスの C_y/C_k は、両船の網の袖先間隔に影響された。陽光丸のワニギスの漁獲個体数は、陽光丸の袖先間隔が大きくなるか、あるいは熊本丸の袖先間隔が小さくなると、熊本丸の漁獲数に比べて増加した。

また、マアジでは、LRTが $p < 0.05$ で、熊本丸の網口高さと陽光丸の袖先間隔を組み合わせた最適モデルが選ばれている。このことは、マアジの C_y/C_k は、熊本丸の網口高さが大きくなると増加し、陽光丸の袖先間隔が大きくなると減少することを示唆しているが、これは両船の網の漁獲性能として解釈が難しい。2隻の船の網口高さの違いは、Carangidaeに属するカイワリとマアジの漁獲個体数に影響を与えなかったと思われる。

考察

本研究の目的は、網口の形状の違いが東シナ海でのトロール調査の結果にどのような影響を与えるかを理解し、網口の形状による魚種ごとの漁獲性能を把握することである。網口の形状を陽光丸と熊本丸で比較したところ、カイト式ヘッドロープを使用している陽光丸の方が、フロートを使用している熊本丸よりも同じ観測点での曳網では網口高さが大きく、袖先間隔は熊本丸の方が大きかった。また、網口高さの標準偏差は、Area IIIの袖先間隔を除いて、陽光丸の方が大きかった。この陽光丸の網口の形状のばらつき大きさは、カイト式ヘッドロープの採用に関係していると考えられる。陽光丸のカイト式ヘッドロープは、曳網中の海底の流れの状態に影響される。調査地点の海底の水の流れが曳網方向と逆であれば、相対的な曳網速度が上がるため、カイトはより大きな揚力（浮力）を発生する。カイトの揚力は、流速（＝曳網速度）の二乗に比例するため、曳網速度やトロール漁具と周囲の水との相対的な流速のわずかな違いによって、カイト式ヘッドロープの揚力が設計値とは異なる値になる（米沢ら, 1996）。

また、scope ratioの違いによって、オッターボードの海底接触状態や網口の形状が変わることが報告されている（Fujimori et al., 2005）。同じ観測点で熊本丸は、陽光丸よりもより多くのワープを繰り出していた。このscope ratioの違いは、カイト式ヘッドロープ（陽光丸）とフロート（熊本丸）の違いにも起因していると考えられる。カイト式ヘッドロープは、投網時の曳網速度が遅くなると設計よりも浮力が小さくなるため、網を繰り出す状態では陽光丸の網は熊本丸よりも早く沈んでしまう。実際、平均投網時間は陽光丸が14.7分±S.D. 0.5分で

あることに対して、熊本丸は21分36秒±S.D. 0.7分であった。その結果、陽光丸では、より短いワープ長（より小さいscope ratio）で網を着底させることができた。本研究では、水深に沿って設定されたワープの長さ（scope ratio）と、両船の網口高さとの間に負の相関関係を見出した（陽光丸： $r = -0.55$, $p < 0.01$, 熊本丸： $r = -0.21$, $p = 0.07$ ）。従って、多重共線性を回避するために、ワープの長さ（あるいはscope ratio）と両船の網口高さをともにGLM分析に適用しなかった。網口高さとscope ratioの関係から、網高さは網口の形状だけでなく、網の海底への接触状態とも関連した変数と考えることができる（scope ratioが小さくなると網の海底との接触状態が弱くなる）。このように、この2隻は同じデザインの網を用いているが、ヘッドロープの浮力（陽光丸はカイト、熊本はフロート）、グランドロープなどのワイヤーロープの沈下力、scope ratioなどの違いにより、網口の形状が変化したと考えられる。

Engås and Godø (1986) は、上下方向の対漁具行動は魚種によって異なるだけでなく、魚の密度が海底から数メートルの高さまで高い状況では、網口高さが比較的小さいと、漁獲性能が低下する可能性があるとして述べている。逆に、アメリカ大西洋岸のチェサピーク湾で行ったトロール調査では、袖先間隔を大きくするとアトランティッククローカ *Micropogonias undulatus* に対する漁獲性能が高くなり (Hoffman et al., 2009)、ベリング海でのトロール調査では、袖先間隔の変化が漁具の海底との接触を変化させ、底びき網の単位努力量当たりの漁獲量 (CPUE) に影響することが報告されている (Von Szalay and Somerton, 2005)。陽光丸でキダイとケンサキイカの漁獲個体数が多いのは、網口高さが漁獲する個体数を増加させたケースと考えられる。また、GLM分析の最適モデルでは、熊本丸の袖先間隔が大きくなる

と、陽光丸の相対的な漁獲数 (C_y/C_k) が減少している (Table 3-2)。つまり熊本丸の袖先間隔が大きくなると熊本丸の両種の漁獲個体数が増え、結果として C_y/C_k が減少した。ワニギスは、 C_y/C_k が両船の袖先間隔にのみ影響される魚であり、陽光丸の袖先間隔が広がると陽光丸での漁獲量が増え、同様に熊本丸の袖先間隔が広がると C_y/C_k が減少する。この種の生態はよく研究されておらず、その空間分布も知られていないが、GLM分析の結果からは海底近くに生息していると考えられる。

Carangidaeの2種であるマアジとカイワリについて得られたGLMの結果を、網の形状の影響に関連付けて解釈するのは難しい。これらの種については、比較対象とした対のデータにおいて魚の密度が一致しているという仮定が成立していない可能性が考えられる。日本海／東海におけるバイオテレメトリー調査では、放流されたマアジが2～62日後に同一ステーションで再漁獲されたのは約1%に過ぎないとの報告がある (伊藤ら, 2009) 一方、マアジの漁獲量比較のための両曳網は1～37日 \pm S.D. 9.1日に行われた。本種の漁獲量の両船間の差の主な原因は網口の形状ではなく、調査点における魚の密度の違いである可能性が高い。一方、マアジと同じ属のカイワリの移動行動に関する知見はほとんどなく (Futagawa et al., 2000), トロール網の網口形状の影響が比較対象としたデータで魚群密度が異なったためか、それとも本研究における2つの網の網口形状の違いでは漁獲には影響しないような分布様式や対漁具行動をとるのか、不明である。本種は分析対象種の中でもっとも個体数が少なかった。今後、資料を蓄積して十分な検討を行う必要がある。

トロール網を用いた底魚資源評価では、底びき網漁具の掃過面積あたりの漁獲量がバイオ

マスの指標として用いられており (Canales and Arana, 2009), 底魚資源の密度は掃過面積と
相関している。しかし, 本章では, トロール調査海域で最も頻繁に出現する重要な商業種で
あるキダイとケンサキイカのトロール漁獲性能を決定する重要な要素が, 網口高さであるこ
とを示した。他の要因を固定した場合 (すなわち, $V_k = 4.0$ m, H_y と H_k を全曳網の平均値)
の, キダイとケンサキイカの漁獲数の比に対する網口高さの影響を, GLMの結果からFig. 3-
6に示す。漁獲比 (C_y/C_k) は, 陽光丸の網口高さが熊本丸の網口高さを上回ると1.0を超え,
陽光丸の網口高さが熊本丸の網口高さより0.3 m (4.3 m) 高いと1.41に達した。一方, ケン
サキイカの漁獲量は, 陽光丸の網口高さが熊本丸の網口高さの平均値より小さい場合 ($V_y =$
3.9 m) で2倍以上, $V_y = 4.3$ mでは4倍以上になった。これは, 分析対象とした対となるデー
タでは陽光丸の網口高さが有意に高かったため, 実際には陽光丸の網高さが熊本丸の網高さ
より小さいことが少なく, 漁獲個体数の違いが顕著であったことが一因と考えられる。ケン
サキイカと同じ科の*Loligo pealeii*がアメリカ北東部で底びき網に反応する様子を水中で観察
したところ, 本種の群れは鉛直方向に一定ではない分布をしており, 漁具を避けて遊泳して
いる間は網の上部や上側部に分布し, その後疲弊して入網するときに降下するというもので
あった (Glass et al., 1999)。このことは, Loliginidaeを漁獲するためには, 網口高さがか
なり重要であることを示唆しており, ケンサキイカに対する陽光丸の網の漁獲性能の優位性を
裏付けている。

2隻の調査船の漁獲個体数の違いを説明するために, 2隻の調査船が使用するトロール網の
漁具形状のわずかな違いに着目したところ, 漁獲個体数は, 種間の空間的・時間的分布や行

動などの生態の違いに加えて、網口の形状のわずかな違いにも影響されることがわかった。

このように、複数の漁船を用いてトロール漁具を用いた調査を実施する場合には、同じデザイン
の網を使用する際の網の形状や作業手順に注意するとともに、scope ratio、曳網速度、
曳網時間位置、時間などのサンプリングプロトコルを可能な限り正確に適用する必要がある。

トロール漁具の仕様を考慮することで、漁獲性能に影響を与える根本的な要因をより明確に
比較することができる。本研究の場合、マアジとカイワリの最適モデルからは合理的な理由
を見出すことができず、他の要因（時間差など）が重要であることが示唆された。このよう
な要因をより明確に理解することは、将来的に調査トロールのCPUE標準化に貢献すること
が期待される。

第4章では網口から入網した水産生物が漁具に保持されるか否か、漁獲物を蓄積するコッ
ドエンドの漁獲性能について検討を行う。

Table 3-1 Major captured species, number of individuals caught by the two vessels, and their occurrence rates* by area

Species	Scientific name	Number of individuals caught		Occurrence rate (%) *		
		<i>Yoko</i>	<i>Kumamoto</i>	Area I	Area II	Area III
Yellowback seabream	<i>Dentex tumifrons</i>	6,775	3,517	67	87	65
Swordtip squid	<i>Photololigo edulis</i>	29,818	12,197	80	77	18
Jack mackerel	<i>Trachurus japonicus</i>	30,866	25,211	90	45	0
Benttooth	<i>Champsodon snyderi</i>	8,549	2,427	77	23	12
Whitefin jack	<i>Kaiwarinus equula</i>	4,762	2,618	43	94	6

* Number of stations where the species was caught / number of stations in area

Table 3-2 Results of the optimum model of the GLM analysis for each species

Explanatory variables	Yellowback seabream (<i>n</i> = 59)	Swordtip squid (<i>n</i> = 52)	Jack mackerel (<i>n</i> = 41)	Benttooth (<i>n</i> = 31)	Whitefin jack (<i>n</i> = 43)
	Estimate (SE)	Estimate (SE)	Estimate (SE)	Estimate (SE)	Estimate (SE)
β_0	-4.94 (2.64)	15.00 (3.92)			0.70 (0.11)
β_1	Δ AIC = 11.27 1.37 (0.36)	Δ AIC = 0.73 1.32 (0.60)			
β_2			Δ AIC = 1.34 3.58 (0.93)		
β_3	Δ AIC = 4.71 0.28 (0.06)		Δ AIC = 2.5 -0.32 (0.13)	Δ AIC = 5.46 0.44 (0.13)	
β_4	Δ AIC = 5.14 -0.29 (0.10)	Δ AIC = 32 -0.84 (0.13)		Δ AIC = 2.71 -0.45 (0.17)	

n; number of paired data used in the analysis; Δ AIC, increment in AIC if the explanatory variable is removed from the optimum models (β_0 , the intercept; β_1 , coefficient for vertical opening of the net of *Yoko*; β_2 , coefficient for vertical opening of the net of *Kumamoto*; β_3 , coefficient for horizontal opening of the net of *Yoko*; β_4 , coefficient for horizontal opening of the net of *Kumamoto*)

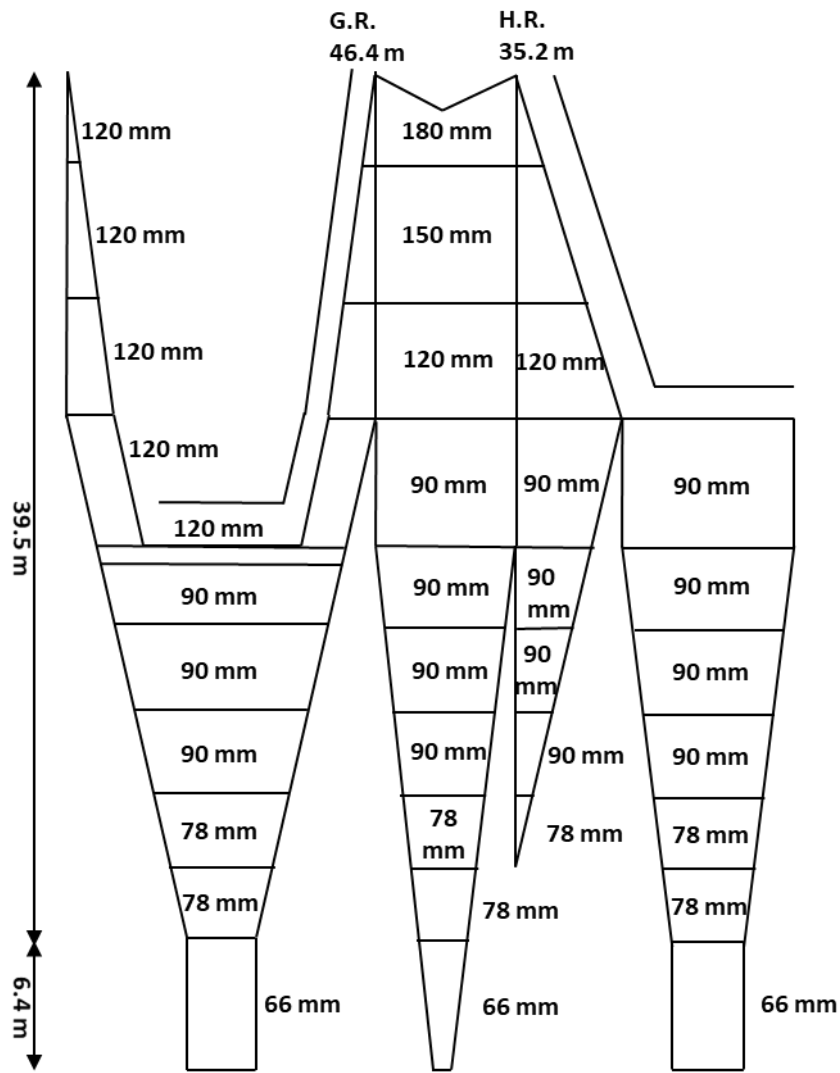


Fig. 3-1 The net design (Nichimo Co. Ltd. SS-R1 (B)) of *Yoko* and *Kumamoto* used in this study.

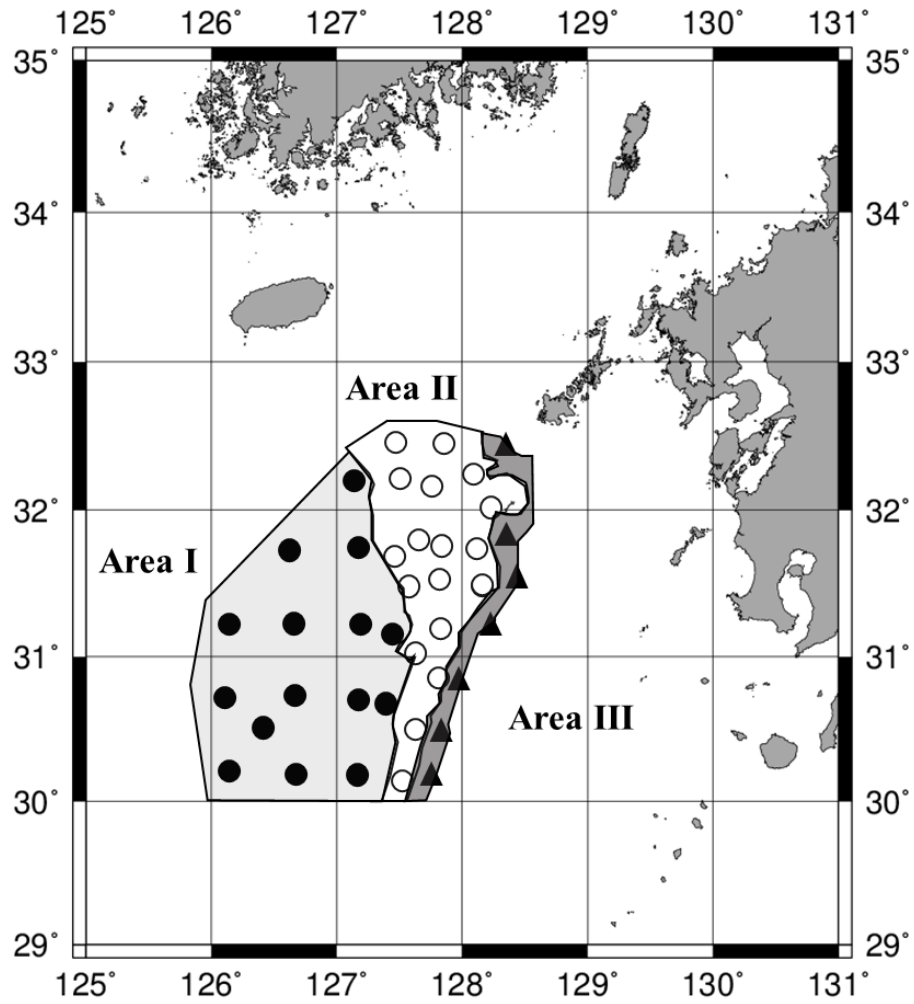


Fig. 3-2 Map of the study area and positions of the trawl survey stations (Area I (●), Area II (○), Area III (▲)).

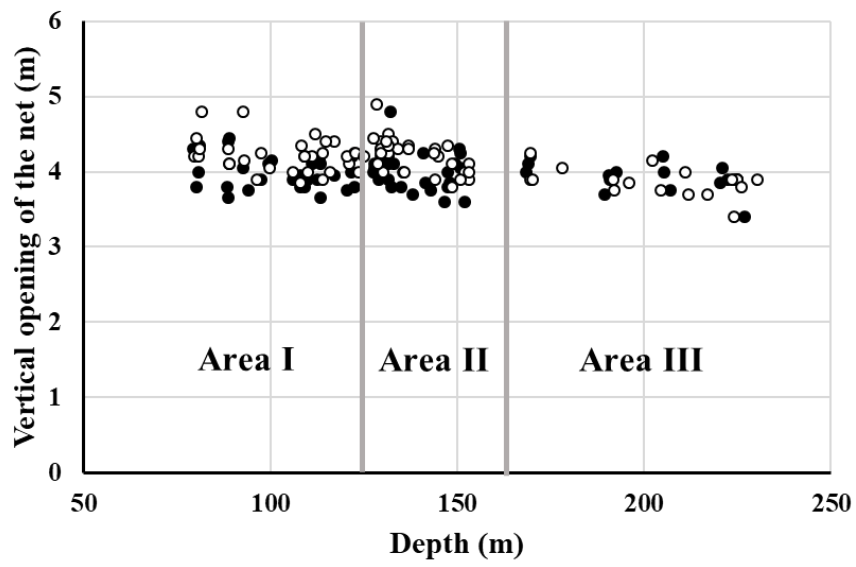


Fig. 3-3 Relationships between the depth and vertical net opening of *Yoko* (○) and *Kumamoto* (●).

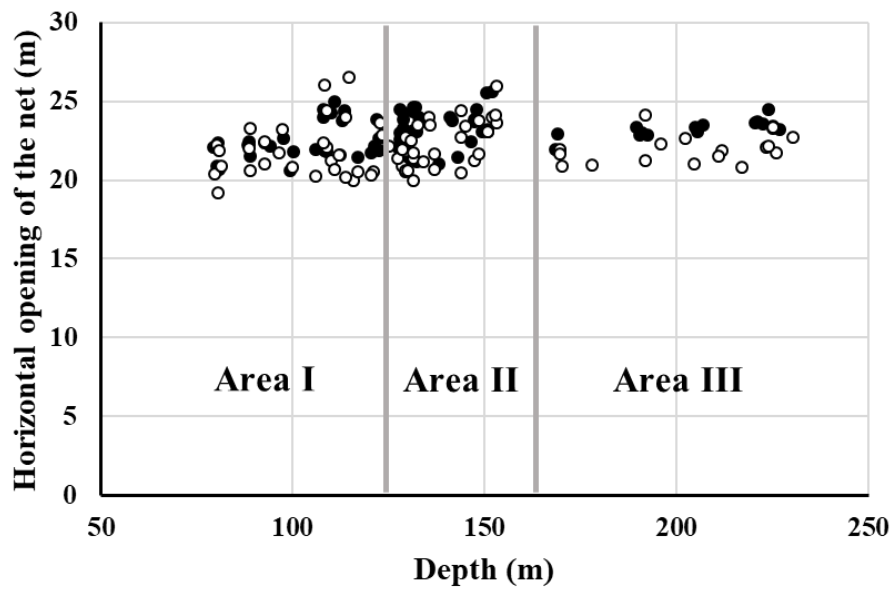


Fig. 3-4 Relationships between the depth and horizontal net opening of *Yoko* (○) and *Kumamoto* (●).

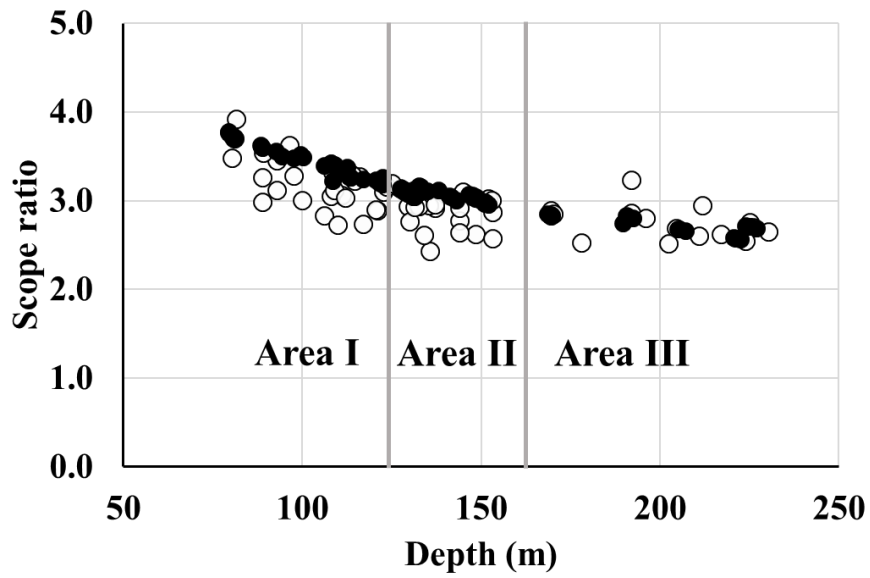


Fig. 3-5 Relationships between the depth at stations and scope ratio (warp length/depth) for *Yoko* (○), and *Kumamoto* (●).

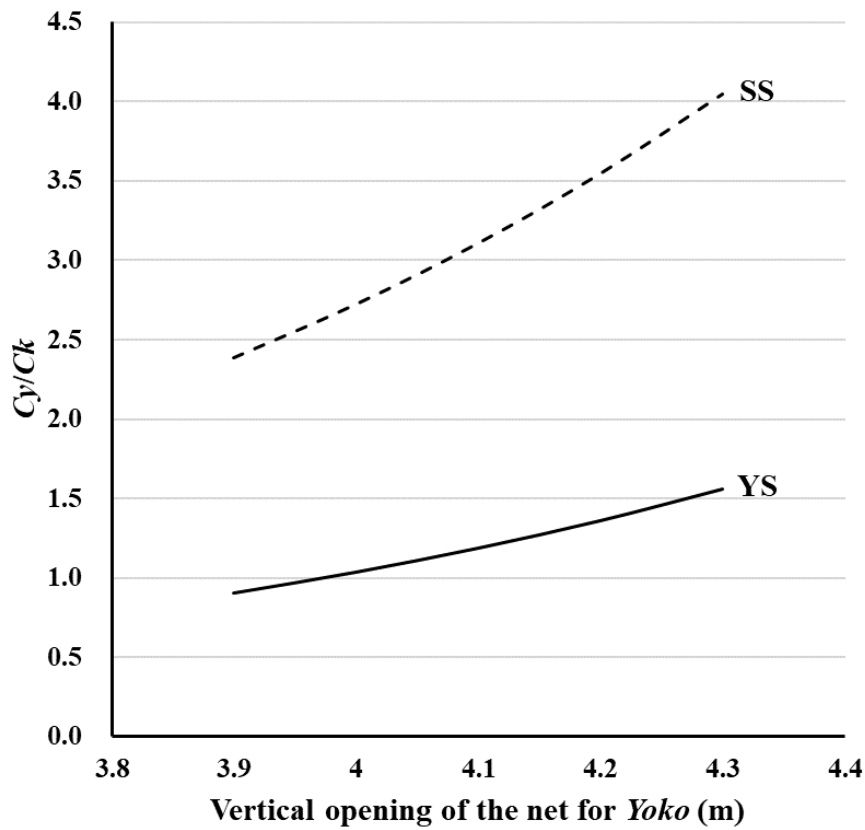


Fig. 3-6 Expected catch ratio between *Yoko* and *Kumamoto* (C_y/C_k) for yellowback seabream (YS) and swordtip squid (SS) in relation to the vertical opening of the net of *Yoko* as calculated from the optimum model. Vertical opening of the net of *Kumamoto* (V_k) was fixed at 4.0 m, and horizontal openings of both vessels (H_y and H_k) were set at the average values over all tows.

第4章 東シナ海オッタートロール漁具のコッドエンド網目選択性と以西底びき網漁業

の資源管理への応用

緒言

本章では網前方から駆集され、網口から入網して網後端のコッドエンドまで到達した水産生物が漁獲されるかどうか、その漁獲性能について検討する。コッドエンドが生物を保持する性能は網目のふるい分け機能による部分が大きく、それはコッドエンドの網目選択性と呼ばれてきた。この網目選択性は漁獲する魚の大きさを決定することから、コッドエンドの網目の目合や形状は曳網漁業の資源管理のためのツールとして使われてきた。例えば以西底びき網漁業では水揚げ対象種の小型個体の混獲を削減するために、古くからコッドエンドの網目選択性に関する研究が行われてきた。青山らは1950年代から1960年代にかけて、コッドエンド網目を通過した魚をカバーネットで回収して網目選択性を直接推定するカバーネット法による漁獲実験を行い、数種類のコッドエンド目合の網目選択性曲線を求めた（青山, 1961, 1965; 青山・北島, 1959a, 1959b, 1959c）。梁らはこれらの研究を踏まえて、魚体測定結果から多くの魚種の体形と網目内周長の関係を求め、コッドエンドの網目選択性曲線を推定した（梁ら, 1999）。近年では、カバーネットを装着した底魚トロール調査のデータから、以西底びき網漁業で現用される目合と同じ大きさの66 mm目合のコッドエンドの様々な魚種に対する網目選択性を求め、魚種の網目選択性と成熟体長の関係を報告している（Tokai et al., 2019）。このように以西

底びき網漁業ではコッドエンドの目合別、魚種別の網目選択性が示されている。一方、永松らは、東シナ海における66 mm目合コッドエンドを用いたトロール調査結果と漁業会社の水揚げ基準体長（私信）を比較して、漁獲されても水揚げされない魚の大きさを推定した（永松ら, 2006）。しかし、漁獲された魚の水揚げの可否は船上で目視により選別されて決まるので、網目選択性と同様にある体長の範囲内で確率的に変化することが知られている（Matsushita and Ali, 1997）。そこで本章ではコッドエンドの漁獲性能を再検証する。以西底びき網漁業で現用される66 mm目合コッドエンドの網目選択性が有効か検証するために、以西底びき網漁業の漁場においてHoop式カバーネット法（Wileman et al., 1996）による66 mm目合のコッドエンドの網目選択性実験を実施した。Hoop式カバーネット法は、これまで東シナ海におけるカバーネット法実験で懸念された、カバーネットがコッドエンドの網目を塞いでしまうマスキング効果（Davies, 1934）が生じないように金属や樹脂製の環（Hoop）をカバーネットに装着して行う実験方法である。そして、以西底びき網漁業の漁獲物の大きさを水揚げ時に市場で調べて、コッドエンドの網目選択性と比較することで、以西底びき網漁業で使用されているコッドエンドの漁獲性能を議論する。

材料・方法

長崎大学附属練習船「長崎丸」（1,131 トン、約 2700 kW）を用いて、オッタートロー

ル漁具を用いた網目選択性実験を 2018 年 4 月から 2019 年 9 月の間に以西底びき網漁業の主漁場である農林漁区 247 と 248 において日中に 14 回実施した (Fig. 4-1, Table 4-1)。長崎丸のトロール網 (SS-R1 型, ニチモウ株式会社) はコッドエンドまでを含めた全長が 45.3 m, ヘッドロープ長は 35.2 m, 後端に向かうにつれて脇網の上下の目数が減少する設計となっているので, 曳網中のコッドエンドは海底から離れた層を通過する。コッドエンドは全長 6.4 m, 周長 7.52 m で, 以西底びき網漁業のコッドエンドと同じ呼称目合 66 mm のポリエチレン製無結節網 (平均目合 66.0 mm \pm S.D. 0.3 mm, $n=15$, 平均網目内径 60.0 mm \pm S.D. 0.5 mm, $n=6$, 内割縮結 3%) である。このコッドエンドの網目を通過した魚類を回収するために, コッドエンド全体をカバーネット (ポリエチレン製有結節網, 目合 30.0 mm \pm S.D. 0.6 mm, $n=15$) で覆い, 3 ノットの曳網速度で 1 回の実験につき 30 分間曳網した。カバーネットの曳網方向に沿った前後 3 ヶ所には高密度ポリエチレン製パイプでつくった矩形環 (Hoop, 幅 2.9 m, 高さ 2 m) を取り付け, 曳網中もコッドエンドとカバーネットの間に空隙をつくり, マスキング効果が起こらないようにした。この Hoop 式カバーネットの構造は, ICES の網目選択性マニュアルにおける設計要件 (Wileman et al., 1996) (全長がコッドエンド長の 2 倍以上, 幅がコッドエンド幅の 1.5 倍以上) を満足していない (全長 1.44 倍, 幅 1.26 倍)。そこで Hoop 式カバーネットがマスキング効果を起こしていないかを確認するために, コッドエンドの内側と外側に曳網方向に対して後ろ向きあるいは横向きに水中ビデオカメラ (GoPro

Hero5 (GoPro 社) + 水中ハウジング (Recsea 社 WHG-HERO5) + LED 照明 (Recsea 社 RML-18650 B/S)) を取り付けて、コッドエンドやカバーネットの曳網時の展開形状を観察した (Table 4-2)。この際に、入網した魚が光に気づいて反応することを避けるために、照明は網口方向に向けないようにした。曳網後、コッドエンドとカバーネットに入った生物はそれぞれ別々に選別して、全個体の全長を 1 mm 単位、体重を 1 g 単位で測定、記録した。また、多数が漁獲されたキダイ *Dentex tumifrons* とカナガシラ類 *Lepidotrigla* spp. についてはさらに詳細な魚体の計測を行うために、すべての曳網におけるコッドエンドとカバーネットから無作為に 20 個体以上抽出して研究室に持ち帰り、全長と最大胴周長 (キダイは尾叉長も) を 1 mm 単位で測定した。

以西底びき網漁船は通常、約 1 週間にわたる操業航海の後に水揚げを行う。以西底びき網漁業の漁獲物調査は 2019 年 8 月 23 日、10 月 2 日、11 月 19 日、12 月 16 日、12 月 19 日に長崎魚市場において以西底びき網漁船が水揚げする際に実施した。水揚げ漁獲物のうち、網目選択性実験で計測したキダイとカナガシラ類の全長と体重を漁船から水揚げされる際に測定した。これらの水揚げ漁獲物の漁場は Table 4-3 と Fig. 4-1 に示すとおりである。以西底びき網漁業の漁獲物は、大きさ別に発泡スチロール製の箱と木箱に選別されて水揚げされる。本研究では大きさ別の箱をそれぞれ 1 箱ずつ抽出して、1 箱中のすべての個体の全長と尾叉長を 1 mm 単位で測定した。しかし 1 箱中の個体数が 35 尾を超える場合には、無作為抽出を行った約 35 尾について測定するとともに未計

測個体を数え、再標本化法（山岸・福原, 1988）により 1 箱中の魚の全長組成を推定した。そして、調査日ごとに大きさ別の水揚げ箱数と箱ごとの全長測定結果から、その航海において水揚げされたキダイとカナガシラ類の全長組成を推定した。

コッドエンドの網目選択性実験の結果は、曳網結果をすべて合算して網目選択性を求める方法（Madsen and Holst, 2002; Lowry and Robertson, 1996）と曳網ごとに網目選択性を求める方法がある（Millar et al., 2004; Thorarinsdóttir et al., 2010; Brinkhof et al., 2020）。曳網結果を合算して求めた結果は、対象漁業における操業期間の全漁獲を代表すると解釈される。しかし網目選択性は、季節による水温の変化などにより曳網ごとに変化する場合がある（Özbilgin et al., 2006, 2007; 松下・井上, 1997）。例えば地中海のトロール漁業では、水温によってタイ科魚類 picarel *Spicare smarís* の遊泳力が変化して、その結果、コッドエンド網目の 50% 選択体長は季節により有意に異なった（Özbilgin et al., 2007）。このような場合には曳網ごとの網目選択性の変化を求めて、変化が大きいようならば条件ごとに適当な目合を検討する必要性も考えられる。そこで本研究では、コッドエンド網目選択性を操業ごとに求める解析と、全データを合算して求める解析をともに行い、結果を比較した。全長階級 l の魚がコッドエンドに保持される割合 $r_c(l)$ は網目選択性実験の結果から（平松, 1992）次のように表される。

$$r_c(l) = \frac{n_{l1}}{n_{l1} + n_{l2}} \quad (1)$$

ここで n_{l1} はコッドエンドで保持された全長階級 l の魚の個体数、 n_{l2} はカバーネット

で回収された全長階級 l の魚の個体数である。こうして表される $r_c(l)$ を全長 l の関数として、以降に説明する解析ソフト (Brooks et al., 2020) によりロジスティック式で近似して表した (Millar, 1992)。

$$r_c(l) = \frac{\exp(a + bl)}{1 + \exp(a + bl)} \quad (2)$$

a と b はロジスティック式のパラメータである。

次に、漁獲されたが水揚げされなかった魚の大きさを推定するために、上記の網目選択性実験で漁獲された魚の体長組成と市場で計測した魚の体長組成を比較した。市場で計測した全長階級 l の魚の個体数が、市場および長崎丸で計測された全長階級 l の魚の合計個体数に占める割合 $\phi(l)$ は、

$$\phi(l) = \frac{N_{lm}}{N_{lc} + N_{lm}} \quad (3)$$

となる。 N_{lc} が長崎丸で計測した全長階級 l の魚の個体数で、 N_{lm} が市場で計測した全長階級 l の魚の個体数である。ここで、以西底びき網漁船と長崎丸の網に入った魚の全長組成は本研究で扱う場所と期間中で変わらず、市場で魚が水揚げされるか否かは全長階級 l の関数 $r_m(l)$ で確率的に決まり、一方で長崎丸のトロール網 (コッドエンドとカバーネット) がすべての大きさの魚を漁獲したと仮定すると、 $\phi(l)$ は次式で表現できる。

$$\phi(l) = \frac{p \cdot r_m(l)}{(1 - p) + p \cdot r_m(l)} \quad (4)$$

ここで p は本研究における以西底びき網漁船と長崎丸の相対漁獲強度を表すパラメータである。

以上の 66 mm 目合コッドエンドの網目選択性と長崎丸の漁獲物に対する以西底びき網の水揚物のサイズ選択性の解析は、統計用言語 R (ver. 3.6.2) のパッケージ selfisher (Selectivity of fisheries gear) (Brooks et al, 2020) を用いて行った。selfisher は、漁具の選択性を求めることに特化した一般化線形混合モデル (Generalized linear mixed model, GLMM) パッケージで、本研究で取り扱うカバーネット法や比較操業法 (SELECT 法) (平松, 1992; Millar, 1992; 東海・三橋, 1998) に対応した解析が可能である。selfisher では、複数回の曳網結果を合算して網目選択性を求める固定効果モデル (fixed effect model) と、曳網ごとの結果が網目選択性の固定効果と操業状況や資源環境要因などの要因によるランダム効果の影響を受けたと仮定するランダム効果モデル (random effects model) を仮定した解析が行える。ランダム効果モデルを用いた解析では曳網ごとの網目選択性からブートストラップ法により平均的な網目選択性を求めた。また、本研究では漁獲物選別時のサイズ選択性にも固定効果モデルを仮定して、selfisher により解析した。

結果

長崎丸による網目選択性実験でキダイ 1,235 尾、カナガシラ類は 1,377 尾が漁獲され、すべてを計測した。これらの個体は 14 回の曳網における全魚種の総漁獲個体数の 38% を占め、広い全長範囲にわたって十分な個体数の資料を得ることができた。長崎丸

で漁獲されたキダイとカナガシラ類の全長組成を曳網ごとに Fig. 4-2 と Fig. 4-3 に示した。長崎丸では全長 66~317 mm の範囲のキダイが漁獲された。このうちコッドエンドで保持された最小のキダイの全長は 108 mm, カバーネットで回収された最大のキダイの全長は 111 mm であった。各曳網におけるキダイ全長の中央値は 192~245 mm で、# 105 と # 113 の曳網で小さくなったが、その他の曳網ではほぼ同じであった。同様に全長範囲が 85~290 mm のカナガシラ類が漁獲され、コッドエンドで最小の個体は全長 105 mm, カバーネットで最大の個体は全長 224 mm であった。各曳網におけるカナガシラ類の全長の中央値は 130~199 mm であった。

漁獲物から抽出したキダイ 304 個体の測定結果から、キダイの尾叉長 (FL, mm) と全長 (TL, mm) の関係は、

$$FL = 0.92 TL + 0.08 \quad (5) \quad (r = 0.98, p < 0.01, n = 304, \text{Fig. 4-4})$$

で表すことができた。また、キダイおよびカナガシラ類の全長 (TL, mm) と最大胴周長 (G, mm) の関係もそれぞれ、

$$G = 0.80 TL + 19.43 \quad (6) \quad (r = 0.92, p < 0.01, n = 304, \text{Fig. 4-5})$$

$$G = 0.63 TL - 3.40 \quad (7) \quad (r = 0.93, p < 0.01, n = 634, \text{Fig. 4-5})$$

と表せた。

次に、6 回の曳網においてコッドエンドの内外に装着した水中カメラの記録 (Table 4-1) からは、コッドエンドとカバーネットの間には空間が確保され、その空間をキダ

イやカナガシラ類が遊泳している様子が確認できた。後ろ向きに取り付けた水中カメラの視野内に網口方向から入ってきたキダイは合計 96 個体、カナガシラ類は合計 152 個体であった。これらの魚類のうち、カナガシラ類 22 個体がコッドエンドの網目を通過してコッドエンドとカバーネットの間の空間に移動したが、その逆の行動はキダイ、カナガシラ類ともに全く観察されなかった。

市場調査では、銘柄別魚体計測結果と水揚げ箱数から、キダイ 122,106 尾、カナガシラ類 7,052 尾の水揚げが推定され、この結果から調査日ごとの全長組成を Fig. 4-6 に示した。水揚げされたキダイの全長範囲は 134~324 mm で最大値は長崎丸の漁獲物とほぼ同じであることに対して、最小全長は 68 mm 大きくなった。同様にカナガシラ類の全長範囲は 196~266 mm で、最小全長が長崎丸の漁獲物のそれより 111 mm 大きくなった。

以上の網目選択性実験の結果を合算した全長組成と市場調査の結果を合算した全長組成を Fig. 4-7 に示した。キダイでは全長階級 120 mm より小さな個体はコッドエンドの網目を通過し、160 mm 以上の個体が水揚げされている傾向がみられた。カナガシラ類では全長階級が 200 mm を超える個体も網目を通過し、180 mm 以上の個体が水揚げされていた。

2つの選択性解析方法(ランダム効果モデルによる各曳網の平均的な選択性と固定効果モデルによる漁獲結果を合算して求めた選択性)による選択性のパラメータと50%選

択全長 (L_{50}) および選択性レンジ (S.R.) をTable 4-4に、魚種ごとの網目選択性曲線をFig. 4-8に示した。2つの解析方法による網目選択性曲線の違いは小さく、キダイの50%選択全長はいずれも100 mm、カナガシラ類の50%選択全長はそれぞれ117 mmと119 mmで、いずれの魚種の L_{50} も大きな違いが認められなかった。一方で各曳網の平均的な網目選択性を求めた解析ではいずれの魚種の50%選択体長の95%信頼限界には7~10 mmの幅がみられ、曳網ごとの網目選択性にはばらつきがあったことが示唆された。また、キダイの選択性レンジはそれぞれ10 mmと12 mm、カナガシラ類のそれらはそれぞれ54 mmと56 mmで、漁獲結果を合算して求めた選択性のほうがわずかに大きな値を示す傾向がみられた。

次に長崎丸の漁獲物と以西底びき網で水揚げされた魚の比較から推定した選別時のサイズ選択性曲線のパラメータと50%選択全長および選択性レンジをTable 4-5に、推定したサイズ選択性曲線をFig. 4-9に示した。キダイの50%選択全長は160 mm、選択性レンジは12 mm、カナガシラ類のそれらは208 mmと7 mmで、いずれの魚種でも網目選択性に比べて50%選択全長は大きく、選択性レンジが狭かったので選択性が鋭いことがわかった。

考察

本研究では、我が国の同種の研究では使用例が無いマスキング効果を緩和するHoop

式カバーネットを用い、一般化線形混合モデルを用いた解析方法で東シナ海の底びき網で使用されている66 mm目合コッドエンドの網目選択性の検討を行った。マスキング効果はカバーネットがコッドエンド網目を覆い、小さな魚の網目通過を阻止することで、選択性を変化させる可能性がある（東海・三橋, 1998）。本研究で使用したHoopは船上での使用しやすさを優先して、ICESのガイドラインに則った大きさでは製作しなかった。6回の曳網においてコッドエンドの内外に装着した水中カメラの記録（Table 4-1）でマスキングは観察されず、コッドエンドとカバーネットの間の空間をキダイやカナガシラ類、ヒメ *Aulopus japonicus*, アジ類 *Carangidae* spp., サギフエ *Macroramphosus scolopax*などが遊泳している様子が確認できた。魚は後ろ向きに取り付けた水中カメラの視野内に網口前方から入ってきてコッドエンド内で観察されたり、水中カメラに映る前からコッドエンドを通過しコッドエンドとカバーネットの間の空間で遊泳している様子が観察された。これらの魚類のうち、水中カメラの視野内でコッドエンドの網目を通過してコッドエンドとカバーネットの間の空間に移動する魚もいたが、その逆の行動は魚種にかかわらず全く観察されなかった。これらの観察結果から、本研究で用いたHoop式カバーネットはマスキング効果の影響を抑えることができたと判断した。カバーネット法では、小さな目合のカバーネットでコッドエンドを覆うため、コッドエンド内の水流の速さがカバーネットを装着しないときよりも遅くなり、魚の行動が変化して実験結果に影響する可能性も指摘されている（Wileman et al, 1996）。この影響について

では今後、カバーネットを装着した状態と取り外した状態で、バイオロギングで使用される水中速力ロガー (Cadigan and Millar, 1992; Gleiss et al., 2010) をコッドエンド内に取り付けて、実際に網内の流速を測定するなどして検証したい。

本研究のもう一つの特徴は、漁獲選択性解析パッケージselfisher (Brooks et al., 2020) を用いて、ランダム効果モデルによる操業ごとの選択性と固定効果モデルによる漁獲データを合算した選択性をともに求めたことである。コッドエンドの網目選択性は、曳網速力 (Dahm et al., 2002; Queirolo et al., 2012)、漁獲量の多寡 (東海ら, 1994) など漁業に起因する要因に加えて、水温の違い (Özbilgin et al., 2007) や、産卵前後の体型の変化 (松下・井上, 1997; Özbilgin et al., 2006) など魚の生理生態とそれを取り巻く環境要因によって影響を受けることが報告されている。環境や生物の状態に影響される網目選択性を、曳網ごとのようにその都度の効果を期待して考えるのか、それとも長期間の漁業操業の総計として効果を考えるのか、異なる漁業管理の方法が考えられる。例えば、千島列島近海で漁獲されるスケトウダラ *Theragra chalcogramma* の尾叉長と最大胴周長の関係は夏季と冬季で異なり、産卵期を迎える冬季に有意に大きくなることを報告した (松下・井上, 1997)。スケトウダラのように抱卵個体に対する漁獲努力が高まる場合には、冬季と夏季で異なる目合のコッドエンドを使うような管理方策も考えられる。一方で、本研究では曳網ごとのランダム効果モデルによる網目選択性と漁獲結果を合算した固定効果モデルによる網目選択性に大きな違いは認められなかったため、以西底びき

網漁業ではキダイとカナガシラ類に限っては季節や場所などによって目合を変更するなどをして網目選択性を調整する必要性は低いと考えられる。魚類の網目通過は多くの場合、網目内周長と魚の最大胴周長の関係で決まる（東海, 1998）。つまり、コッドエンドの網目選択性には、魚体の全長より最大胴周長が大きく影響すると考えられ、魚類の網目による保持は、魚類の胴周長（G）と網目内周長（P）の比（G/P）が0.5付近から始まり、G/Pが1を超えた付近で100%となることが多くの研究で報告されている（松下・井上, 1997; 梁ら, 1999）。式(5, 6)とコッドエンドの網目内周長（網目内径の2倍, 120.0 mm）から、水揚げ時のサイズ選択性（Table 4-5およびFig. 4-9）の50%選択全長を実現するコッドエンドの網目内径はキダイでは74.1 mm, カナガシラ類では63.8 mmと推定できた（長澤, 2017）。キダイやカナガシラ類に対しては漁獲性能を向上させるため、水揚げされない未利用のサイズを漁獲しないように目合の拡張が要ると考えられる。しかし、以西底びき網漁業の漁獲物は多様で、他にもアカムツ *Doederleinia berycoides*, ヨロイイタチウオ *Hoplobrotula armata*, ケンサキイカ *Uroteuthis edulis*, スルメイカ *Todarodes pacificus*などは漁獲物に占める割合が比較的高い主要対象種である（濱邊ら, 2010）。農林水産省の指定漁業の許可及び取締りに関する1963年度の省令では、以西底びき網漁業の袋網の網目は54 mm以上とすることが定められているが、以西底びき網漁業者は自主的にこの目合を66 mmにまで拡大して底魚類の資源管理に取り組んでいる。この漁業の主要対象魚種について本研究と同様に2種類の選択性を比較して、網目選択

性の利用方法をさらに検討することが望ましい。特に、アカムツは以西底びき網漁業を含める日本の南西部の漁獲物の中で単価が非常に高く、経営上重要な魚種(今井ら, 2017)であるが、漁場が隣接する沖合底びき網漁業の漁場で近年、漁獲圧の上昇による成長乱獲が問題視(熊木ら, 2020)されており、以西底びき網漁業でも積極的な管理を検討すべき魚種である。京都府におけるかけまわしと桁網を用いたコッドエンドの網目選択性実験に結果(濱邊ら, 2010)では、網目内径57.2 mm以上の目合であれば、2歳魚をある程度、網から逃がすことができると考えられているため、66 mmコッドエンド(網目内径 60.0 mm)はアカムツの成長乱獲の防止に一定の効果があると考えられる。多魚種を漁獲する以西底びき網漁業においては、アカムツの成長乱獲を緩和しながら多獲されるキダイやカナガシラ類を漁獲できる66 mm目合が使用されていると考えている。今後は、この目合選択が最適か、目合の違いが水揚げに与える影響を経済面と資源面で評価する取り組み(山口ら, 2011)を考える必要がある。

Table 4-1 Dates and positions of codend mesh selectivity experiments by *Nagasaki Maru*

Haul No.	Date	Start position of the haul		Underwater video record
		Latitude	Longitude	
#101	2018.04.26	31°04.209' N	127°46.999' E	-
#102	2018.08.09	31°04.548' N	127°47.789' E	-
#103	2018.08.09	31°03.453' N	127°47.526' E	-
#104	2018.08.31	31°05.047' N	127°48.980' E	-
#105	2018.08.31	31°00.435' N	127°47.428' E	-
#106	2018.11.07	31°04.587' N	127°46.686' E	-
#107	2018.12.19	31°03.114' N	127°46.349' E	-
#108	2019.03.05	31°55.839' N	127°55.282' E	✓
#109	2019.04.05	31°50.139' N	127°50.689' E	✓
#110	2019.04.05	31°48.760' N	127°54.423' E	-
#111	2019.04.23	31°50.858' N	127°52.716' E	✓
#112	2019.08.27	31°04.426' N	127°50.415' E	✓
#113	2019.08.27	31°00.520' N	127°47.696' E	✓
#114	2019.09.12	31°47.962' N	127°50.979' E	✓

“✓” designates a tow that underwater video was recorded.

Table 4-2 Fish behavior around the codend observed by the underwater video camera

Haul No.	Date ^{*1}	Mounting position and shooting direction ^{*2}		Recorded duration	Number of fishes by their observed position and behavior in the observation range ^{*3}									Remark
					codend			covernet			codend -> covernet			
					Y	S	O	Y	S	O	Y	S	O	
#108	2019.03.05	Outside	Back	00h 25m 11s	24	18	16	0	7	2	0	0	1	-
#109	2019.04.05	Outside	Cross	00h 46m 27s	9	0	12	0	0	0	0	0	0	Low visibility due to sand clouds
#111	2019.04.23	Inside	Back	00h 47m 35s	32	21	81	0	0	0	0	6	5	
#112	2019.08.27	Inside	Back	00h 47m 14s	13	17	16	3	3	10	0	10	7	
#113	2019.08.27	Inside	Back	01h 02m 03s	18	18	30	0	18	4	0	6	2	Crabs stayed in front of the camera lens and obstructed the view for approx. 10 min.
#114	2019.09.12	Inside	Back	00h 43m 22s	6	28	15	0	0	0	0	0	3	

*1, all observations were carried out in the morning time.

*2, "Outside" designates that the underwater video camera was mounted on the top-panel of the codend which was approx.1.5 m ahead from the rear-end of the codend to observe mainly in the covernet, while "Inside", the camera was mounted on the belly-panel of the codend which was outside of codend approx.1.5 m ahead from the rear-end of the codend, "Back", set to observe backward direction against the tow direction, "Cross", cross direction to the tow direction.

*3, Number of observed species ("Y", yellowback seabream, "S", searobins, "O", other species) were categorized by observed position (codend or covernet) if they stayed in the either part, or categorized by behavior (codend -> covernet). No movement from covernet to codend was observed in all underwater video records.

Table 4-3 Landing dates, trawlers' IDs and fishing areas where measured fish at the landing site were caught

Survey No.	Date	Trawlers' ID	Fishing area
#201	2019.08.23	A	245, 246
#202	2019.10.02	B	245, 246
#203	2019.11.19	C	245, 246, 247
#204	2019.12.16	D	233, 234
#205	2019.12.19	B	235, 236, 246

Table 4-4 Estimated parameters for the codend mesh selectivity curves

Common name	Scientific name	Estimation method* ¹	Logistic parameters* ²		Selectivity curve parameters* ³				Model fit		
			a	b	L ₅₀	C.I. of L ₅₀	S.R.	C.I. of S.R.	Deviance	df	p-value
Yellowback seabream	<i>Dentex tumifrons</i>	Average of each haul	-21.08 (17.03)	0.21 (0.17)	100 (7)	96 – 103	10 (8)	3 – 17	0	29	0.216
		Sum of hauls	-18.25 (7.89)	0.18 (0.08)	100 (5)	-	12 (5)	-	0.2	29	0.021
Searobins	<i>Lepidotrigla</i> spp.	Average of each haul	-4.77 (1.91)	0.04 (0.02)	117 (15)	112 - 122	54 (20)	42 - 66	0	27	0.013
		Sum of hauls	-4.67 (0.57)	0.04 (0.01)	119 (3)	-	56 (5)	-	0.1	27	<0.001

*1, Average of each haul, parameters were estimated by a random effects model for each haul and average values are shown, Sum of hauls parameters were estimated from catch results summed from all hauls by a fixed effect model.

*2, parameters for the equation (2) in the text. Values in the brackets are standard errors.

*3, L₅₀ is the total length (mm) at 50% retention ratio, C.I., the 95% confidence interval, S.R., selection range (mm) which is a distance between the total lengths at 75% and 25% retention ratios. Values in the brackets are standard errors.

Table 4-5 Estimated parameters for sorting selectivity curves after capture

Common name	Scientific name	Logistic parameters* ¹		Selectivity curve parameters* ²		Model fit		
		a	b	L ₅₀	S.R.	Deviance	df	p-value
Yellowback seabream	<i>Dentex tumifrons</i>	-28.75 (0.47)	0.18 (<0.01)	161(0.16)	12 (0.20)	14.4	30	<0.001
Searobins	<i>Lepidotrigla</i> spp.	-63.69 (0.52)	0.31 (0.02)	208 (0.47)	7 (0.59)	5.6	30	<0.001

Parameters were estimated from results summed from all hauls by a fixed effect model.

*1, parameters for the equation (2) in the text. Values in the brackets are standard errors.

*2, L₅₀ is the total length (mm) at 50% retention ratio, C.I., the 95% confidence interval, S.R., selection range (mm) which is a distance between the total lengths at 75% and 25% retention ratios. Values in the brackets are standard errors.

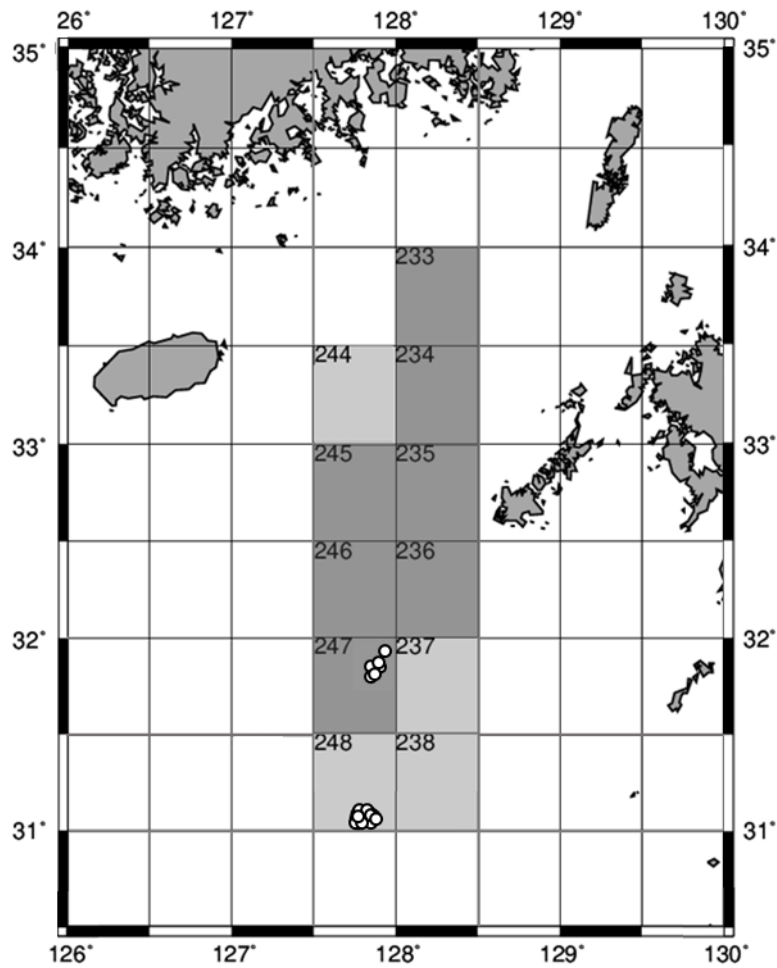


Fig. 4-1 Map of trawl fishing grounds in this study. The blank circles show positions where codend mesh selectivity experiments were conducted by *Nagasaki Maru*. Dark gray squares are fishing areas where measured fish in the market were caught, and light gray squares are other fishing areas for the Japanese pair trawl fishery.

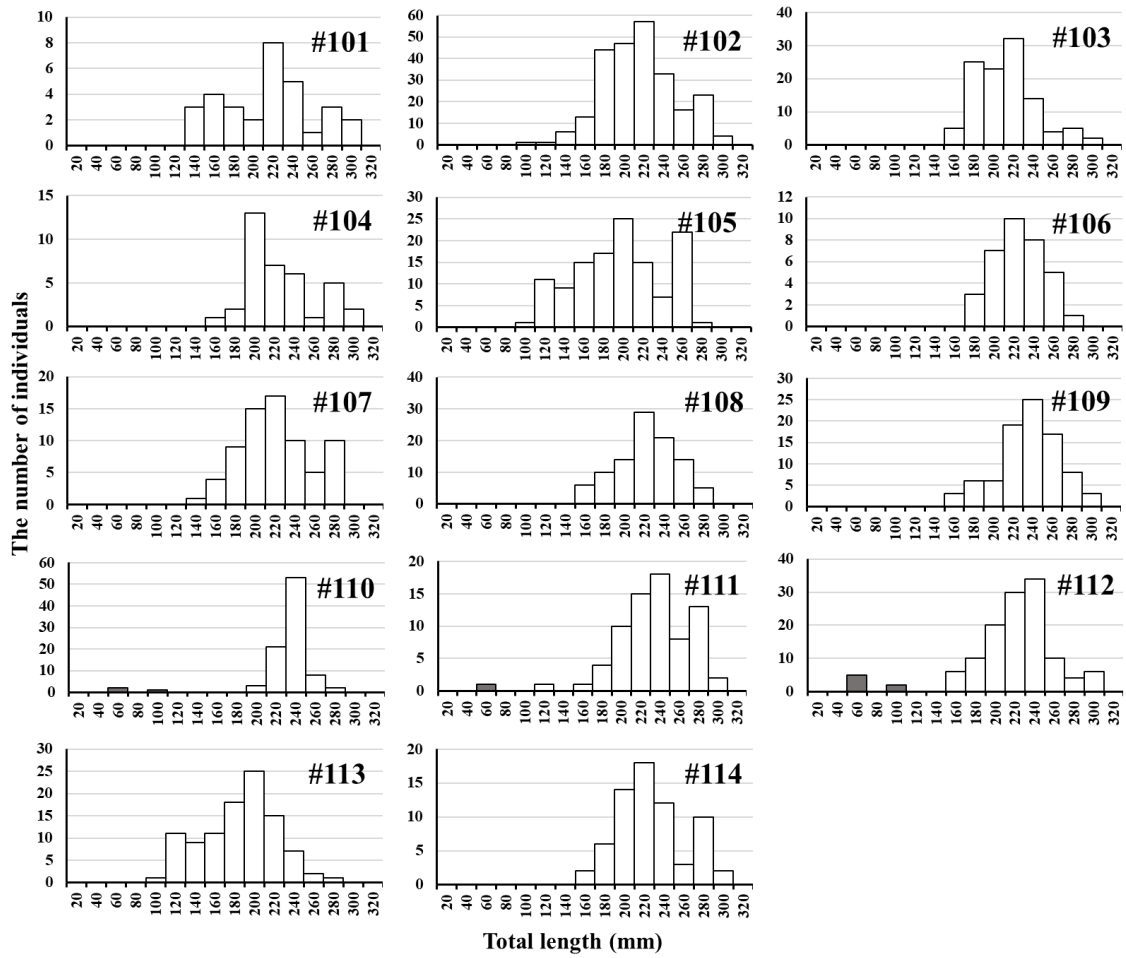


Fig. 4-2 Total length distributions of yellowback seabream caught by *Nagasaki Maru*. Open bars designate number of fish caught in the codend, and gray bars are number of fish recovered by the covernet.

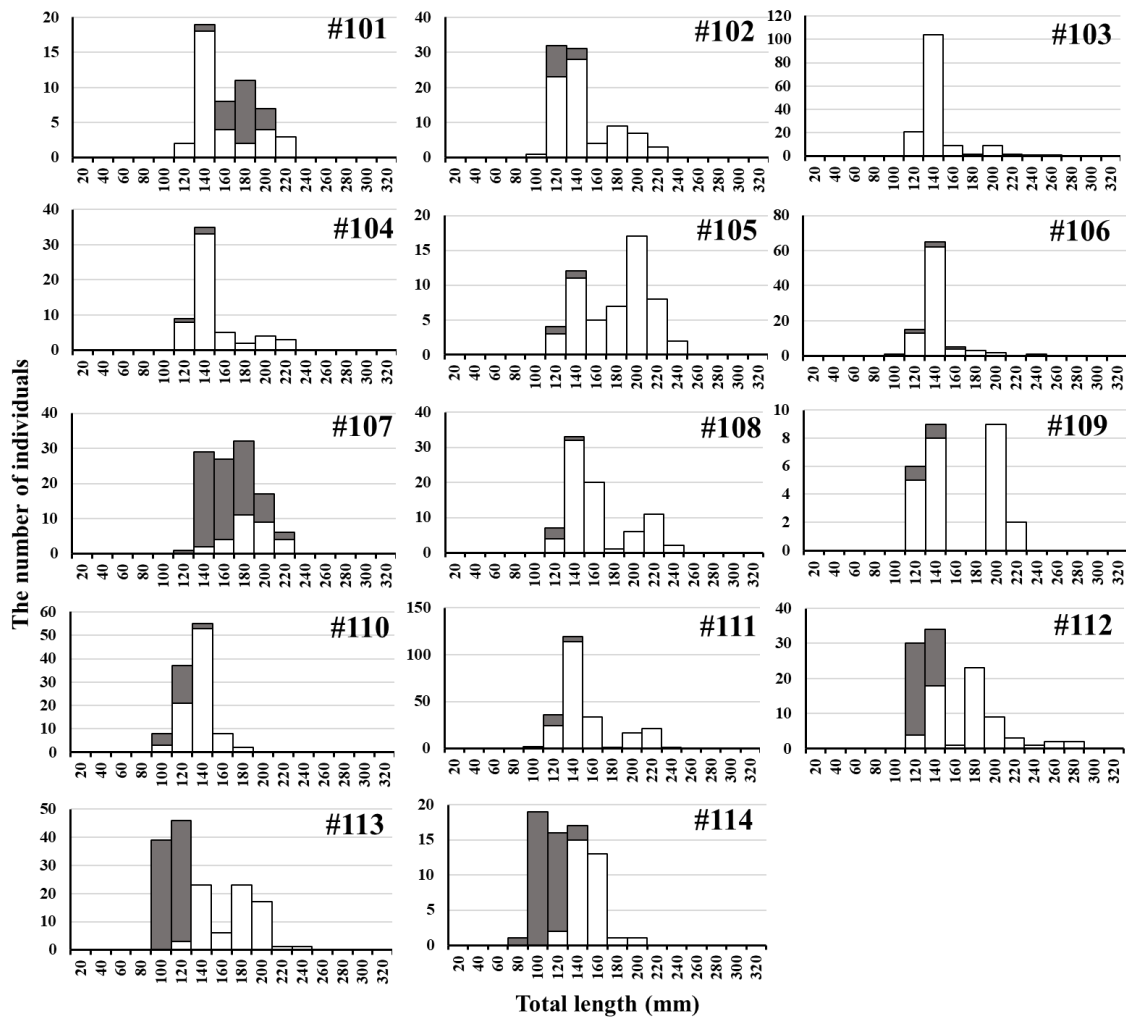


Fig. 4-3 Total length distributions of searobins caught by *Nagasaki Maru*. Open bars designate number of fish caught in the codend, and gray bars designate number of fish recovered by the covernet.

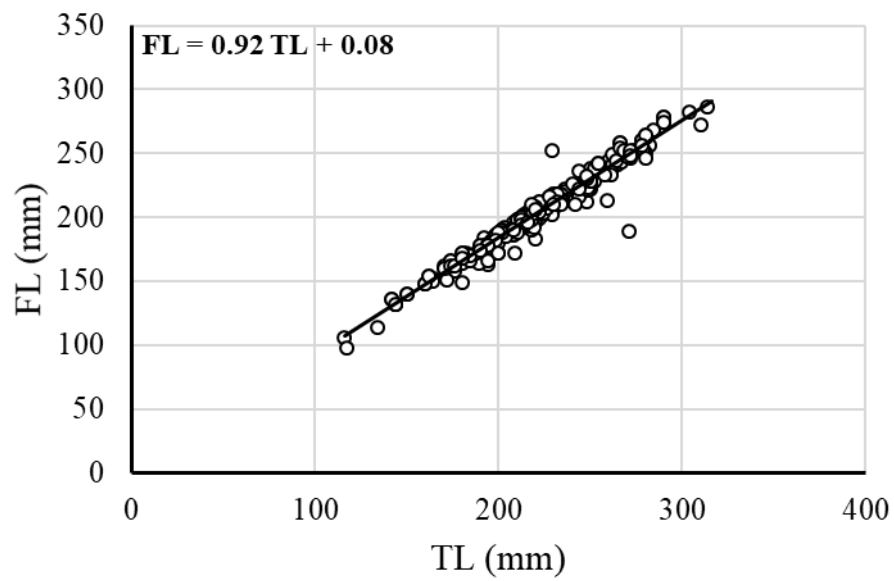


Fig. 4-4 The relationship between total length (TL) and fork length (FL) for yellowback seabream.

Solid line indicates the regression line shown by the equation in the graph.

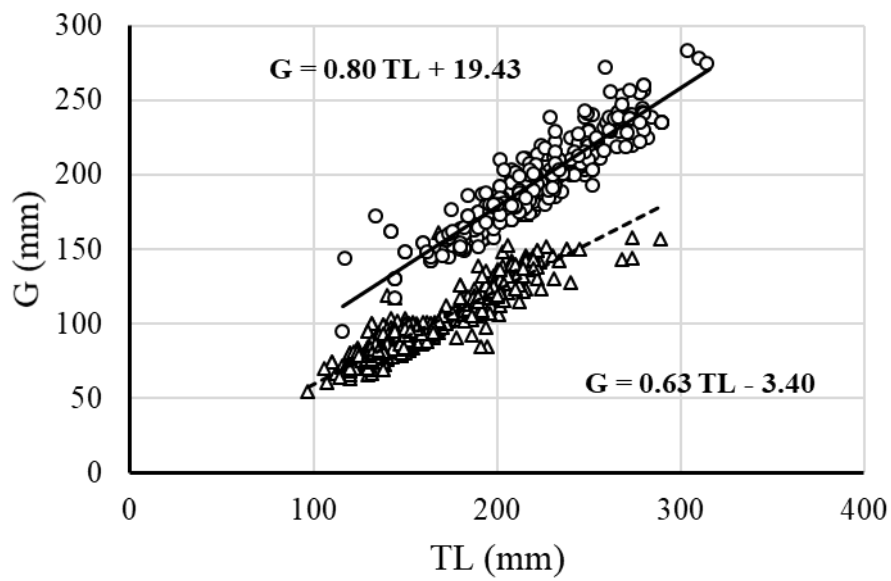


Fig. 4-5 The relationship between total length (TL) and maximum girth (G) for yellowback seabream (○) and searobins (△). Solid lines indicate the regression lines shown by the equations in the graph.

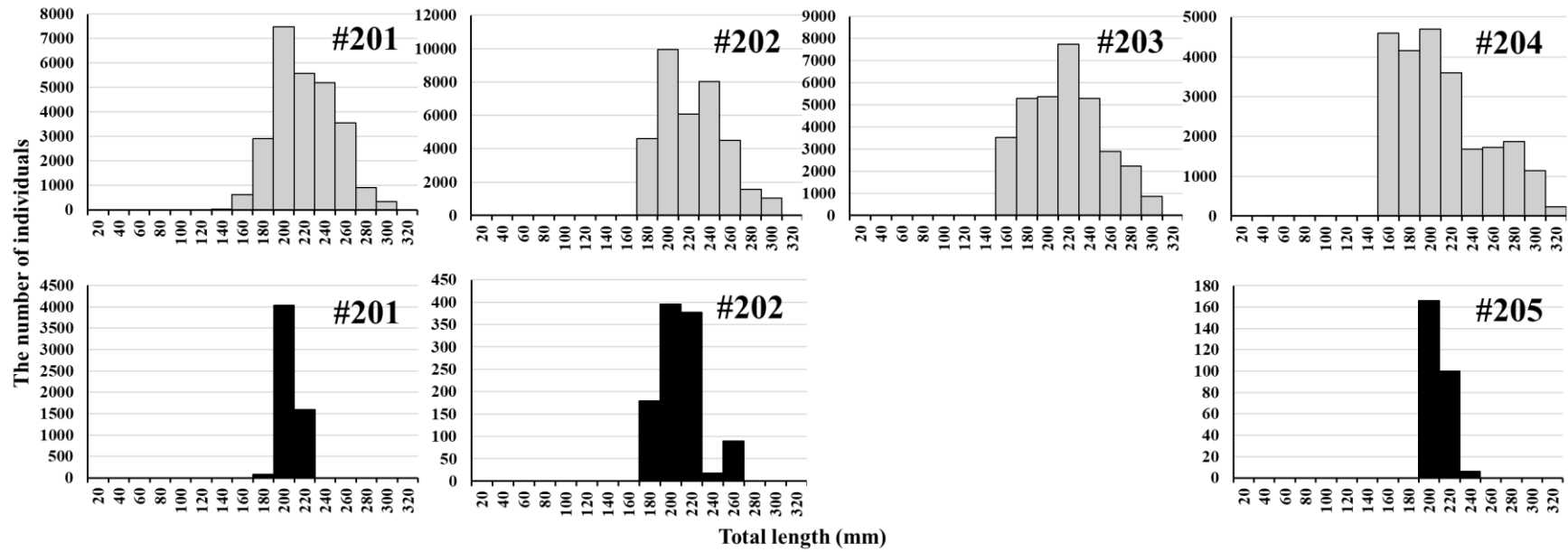


Fig. 4-6 Total length distributions of yellowback seabream (light gray bars in the upper row) and searobins (black bars in the lower row) landed measured at the landing site.

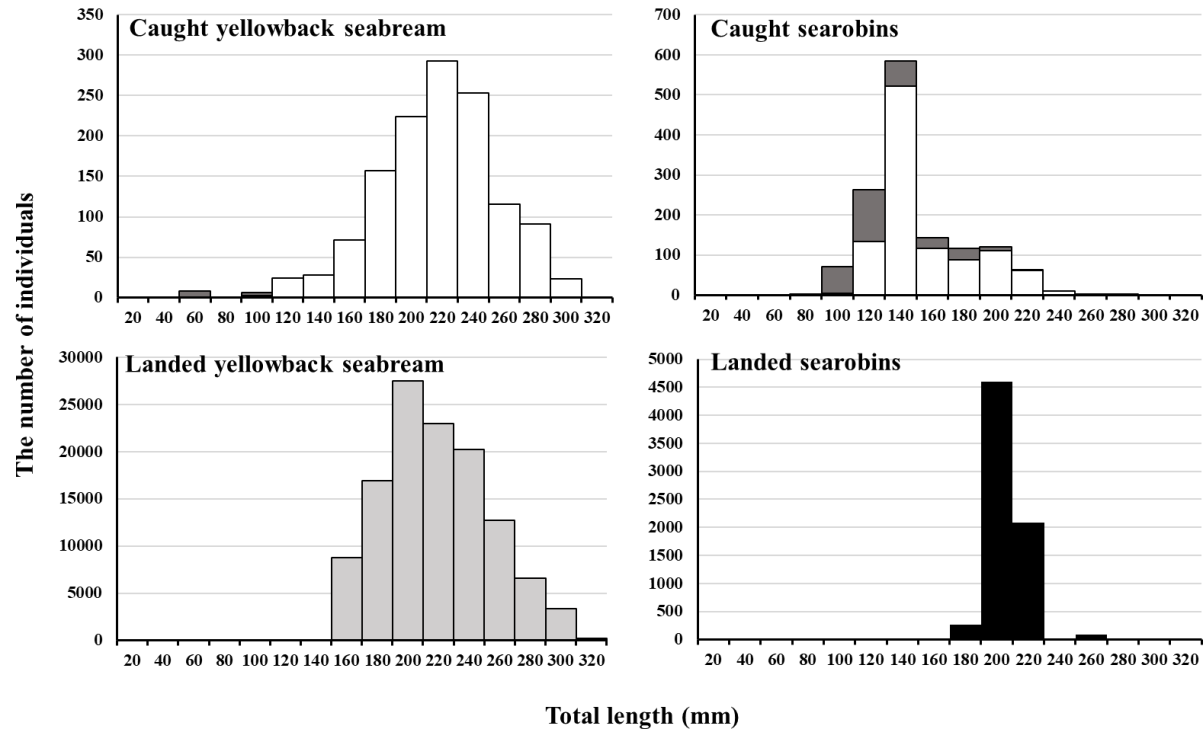


Fig. 4-7 Sum of total length distributions of yellowback seabream and searobins caught by *Nagasaki Maru* and those landed by the pair trawl fishery. Open bars in upper graphs indicate number of fish in the codend; gray bars, covernet.

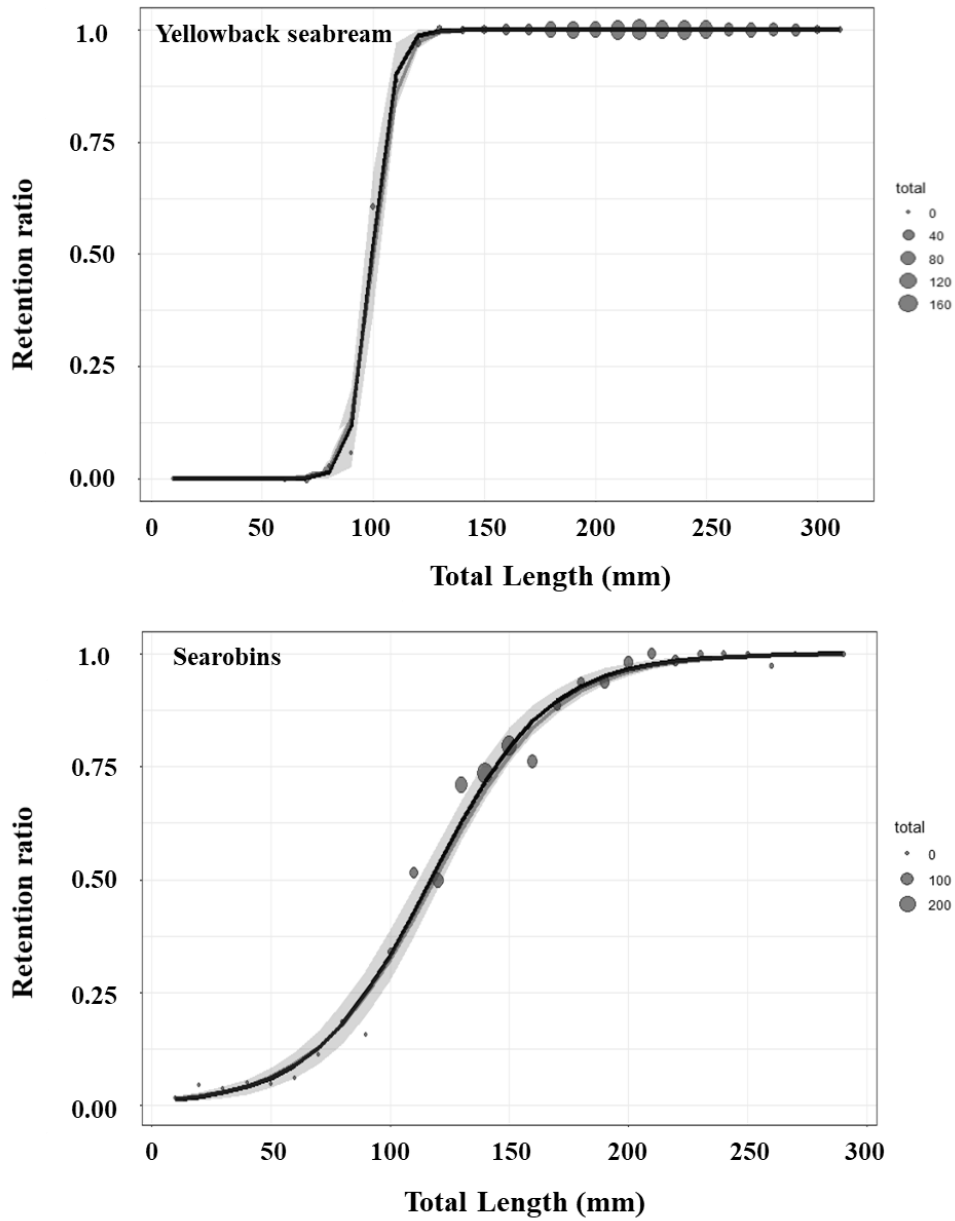


Fig. 4-8 Codend mesh selectivity curves for yellowback seabream (top) and searobins (bottom). Black line shows the selectivity curve averaged from selectivity curve of each haul with a random effects model. Shaded area indicates a 95% confidence range of the averaged selectivity curve, a gray line, the selectivity curve estimated from a pooled data of all hauls with a fixed effects model. Circle indicates the scale of total number of fish caught by *Nagasaki Maru*.

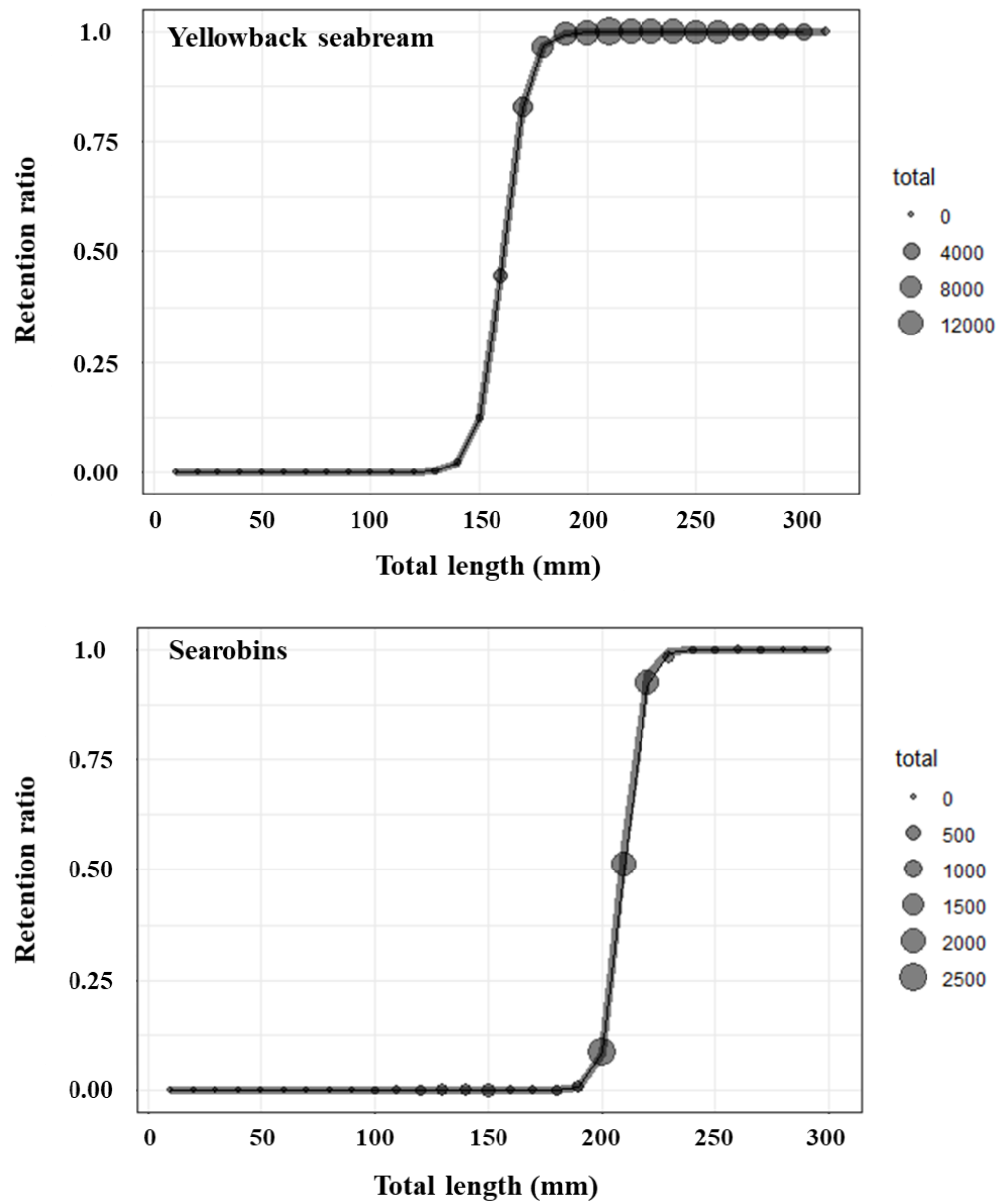


Fig. 4-9 Sorting selectivity curves for yellowback seabream (top) and searobins (bottom) estimated from a pooled data from all hauls by *Nagasaki Maru* and fish measurement at the landing site with a fixed effects model. Circle indicates the scale of total number of fish used in the estimation.

第5章 総合考察

曳網漁具の漁獲の成否を決定する部位である網口前方（第2章）、網口（第3章）、コッドエンド（第4章）の漁獲性能を、東シナ海とその周辺の海域に行われている曳網漁具を用いた漁業と調査活動の資料を用いて検討した。第2章では、かけまわし網の挙動から、網口前方の漁獲性能に関係する掃過面積を求めた。網口前方では、かけまわし網の単位時間当たりの掃過面積が同規模の他の底びき網漁具より広いことがわかった。オッターロール漁具を対象に網口の漁獲性能を検討した第3章では、魚種ごとに網口の形状が漁獲性能に大きな影響を与えた。入網した生物が集約されるコッドエンドでは、利用可能な生物（水産生物）を保持しながら、利用しない大きさの生物は網目を通過できる目合が曳網漁具の漁獲性能として望ましいと考え、第4章では以西底びき網漁業を対象にコッドエンドの網目選択性を検討した。その結果、コッドエンドの網目選択性は市場価値を持たない大きさのキダイ *Dentex tumifrons* やカナガシラ類 *Lepidotrigla* spp. までを漁獲してしまうが、他の水産生物の保持を考える必要があった。

第1章でも述べた通り、曳網漁具を使用する漁業（曳網漁業）は日本や韓国など東アジアにおいて主要な漁業であり、沿岸や沖合だけではなく、遠洋でも行われている（農林水産省大臣官房統計部, 2003, 2013, 2020; KOSIS, 2018)。しかし、近年では燃油価格の上昇が曳網漁業の経営に悪影響を及ぼしている（溝口・藤田, 2013) ため、燃油消費量を削減することで経営の改善を図ることも望まれている。曳網漁業における燃料消費を

減少させるため、網やオッターボードなどを改良して、漁具の抵抗を減少させる研究が行われてきた（例えば、松下ら, 2005）。また、曳網速度の低下で燃油消費量を抑えたり（杉野ら, 2016）、エンジン燃料噴射タイミングの調整による燃料消費効率改善（Jung, 2014）、船舶のトリム姿勢による流体抵抗減少（Park et al., 2013）、プロペラの推進効率の改善（Park and Cho, 2014）などの燃料消費の抑制に関する研究が行われている。こうした漁船、漁具の改良に合わせて、漁具の漁獲性能を維持、向上できれば、曳網漁業のさらなる経済性の向上につながるだろう。また、燃油の消費は温室効果ガスの排出問題（酒井・永松, 2015）に直結している。漁具の漁獲性能を向上できれば、少ない努力量で漁獲を維持できるので、必要な漁獲量を実現するための燃油消費量の削減や温室効果ガスの削減につながる。

上述の温室効果ガス排出の問題と同様に、曳網漁業では過剰漁獲の問題（加入乱獲, 永松ら, 1999; Hilborn, 2011）、小型魚の漁獲（成長乱獲, 熊木ら, 2020）、未利用生物の混獲投棄問題、海底環境への悪影響の問題（Suuronen et al., 2012）など、地球環境や海洋生態系への悪影響も懸念されている。曳網漁具の漁獲性能の向上による曳網漁業の経済性の向上は、加入乱獲以外の問題の緩和、解決にも貢献する。

本研究の成果の東シナ海の曳網漁業への適用

本研究により得られた曳網漁具各部の漁獲性能に関する知見から、韓日中が共通的に

利用する東シナ海の水産生物に対する曳網漁具の漁獲性能について考察した。ここでは漁獲性能を高めるための対象種として、東シナ海で漁獲されるタイ類、グチ類、ムツ類、ヒラメ・カレイ類を想定した。これらの生物は、日本や韓国で多く利用されている代表的な水産生物である（入江・山田, 1991; 最首, 1969; 田代, 1988; 片岡, 2011）。

本研究では漁獲性能を、単位努力当たりの水産生物の漁獲率と定義し、漁具部位（網口前方、網口、コッドエンド）における漁獲性能を第1章(3,4,5)式のように次の漁獲過程に移行する水産生物の個体数の割合で表した。ここで第1章(3,4,5)式の右辺の分母（例えば、第1章(3)式の N ）はその漁獲過程において漁獲の対象となった生物の個体数である。ある漁獲過程において漁獲対象となる生物の個体数は曳網の場合、生物の密度と漁具の掃過面積（密度が面積で表される場合）または網のろ過容積（密度が体積で表される場合）の積と考えられ、生物の密度に変化が無ければ曳網漁具の各部位の漁獲性能には掃過面積や、網の高さや幅が関係するろ過容積が強く影響する。

東シナ海の対象種を考えた場合、タイ類のうち、マダイ *Pagrus major* については鉛直方向には海底から少し離れて分布していることが報告されている（Russell et al., 2014; 田中, 1979）。同様にキグチ *Larimichthys polyactis* やシログチ *Pennahia argentata* などのグチ類も海底から1 m程度離れて分布することが知られ（神田, 1958）、アカムツ *Doederleinia berycoides* は海底からやや離れた層に分布すると報告されている（有本・岩崎, 1983）。これらの魚類に対して曳網漁具の網口前方の漁獲性能を高めるために

は、曳網（ワープ）などの索具が水産生物に与える視覚や音響、接触刺激が海底からある程度の高さまで及ぶように索具の構成を改良することや、掃過面積を広げる方策が適当と考えた。一方でヒラメ・カレイ類は海底への依存度が高く（遊佐, 1979）、漁具の海底への接地状況が漁獲の多寡に関係することが報告されている（Von Szalay and Somerton, 2005）。着底して生息するヒラメ・カレイ類には、海底への影響を強めるように、索具の掃過面積当たりの海底への影響量を大きくした方（例えば重い漁具など）が、網口前方の漁獲性能を向上できると考えられる。

網口の漁獲性能を考えたとき、網口前に駆集された水産生物の分布様式と網口がろ過しようとする水塊の高さと幅の相互関係が重要となる。網口では、前述の通り、海底から少し離れて垂直分布しているタイ類、グチ類、ムツ類に対しては網口高さを高くし、着底して水平分布しているヒラメ・カレイ類に対しては袖先間隔を広くすることで、網口の漁獲性能を向上できるだろう。また、ヒラメ・カレイ類の漁獲には網口のグランドロープの重さや直径などが関係することも知られている（松下ら, 2006）ので、網口においても、網口前方と同様に、漁具の海底への影響を考える必要もある。ただし、グランドロープの海底への影響の範囲は、網口前方に比べて狭いだろう。

コッドエンドでは、網口に入った水産生物をできる限りすべて保持する漁獲性能が求められる。単位時間あたりに入網する水産生物の数が決まるならば、コッドエンドの漁獲性能は、コッドエンドで保持された生物の個体数/入網した生物の個体数と考えるこ

とができる。しかし一方で、曳網漁業では利用しない大きさや種の混獲が資源保護の観点から問題視されていることから、コッドエンドの漁獲性能には利用しない大きさや種を漁獲しないことが求められ、水揚げされた水産生物の個体数/入網した生物の個体数と考えることができる。第4章から東シナ海で操業する日本の以西底びき網漁業は目合66 mm のコッドエンドを使用している。一方、韓国の大型のオッターロールと2そうびき網漁業のコッドエンドで使用できる最小目合は55 mm、中国遼寧と福建省の曳網漁業ではそれぞれ55 mm と51 mm に制限されている (Cha, 2001)。本研究では、第4章および胴周長と目合内周長の関係 (松下・井上, 1997; 梁ら, 1999) から各種の50%選択全長をコッドエンドの漁獲性能の指標と考え、実際に水揚げされる全長、各種の最小成熟全長 (北川ら, 1994; 米田・依田, 2006; Kim et al., 2009; 濱邊ら, 2010; 長野・片山, 2015; Huh et al., 2018) とともに Fig. 5-1 に示して比較した。ここで水揚げ全長は現状のコッドエンドの漁獲性能が経済的に適切か、最小成熟全長は資源管理上適切かを検討するための目安である。

タイ類については、日本では160 mm 以上の全長のキダイが (第4章)、韓国では150 mm 以上のキダイと240 mm 以上のマダイだけが水揚げされている (韓国国家法令情報センター, 2020)。韓日中のコッドエンドで使用される目合66 mm, 55 mm, 51 mm の網目の50%選択全長はそれぞれ100 mm, 88 mm, 76 mm で、いずれも水揚げ全長よりも小さい。キダイと類似する体型のマダイでも50%選択全長がキダイと似ていること

から、経済的な観点では、上記韓日中の漁業が用いる 51, 55, 66 mm 目合のコッドエンドは日本と韓国の水揚げ基準のタイ類を考えた場合、網目を拡大しても差し支えないと考えられる。生物学的観点からはキダイの最小成熟全長が 150 mm (米田・依田, 2006), マダイの最小成熟全長は雄で 270 mm, 雌で 255 mm との報告 (長野・片山, 2015) があり、資源の利用上、より大きな目合のコッドエンドが望ましい。一方、グチ類については、以西底びき網漁業では TL 110 mm 以上のキグチとシログチの水揚げ (永松ら, 2006) が、韓国では 150 mm 以上のキグチが水揚げされている (韓国国家法令情報センター, 2020)。目合 66 mm, 55 mm, 51 mm のコッドエンドの 50% 選択全長は、キグチがそれぞれ 157 mm, 144 mm, 132 mm, シログチがそれぞれ 176 mm, 163 mm, 152 mm と推定され (梁ら, 1999), 以西底びき網漁業で使用される 66 mm や、中国で使用される 55 mm, 51 mm のコッドエンドで、これら水揚げサイズのキグチとシログチを十分漁獲できる。韓国で使用される 55 mm 目合のコッドエンドは 50% 選択全長が水揚げ全長より若干小さいが、その差はわずかであるため、適切と考えられる。一方、キグチの最小成熟全長は 191 mm (Kim et al., 2009), シログチのそれは 230 mm (Huh et al., 2018) である。目合 66 mm, 55 mm, 51 mm のコッドエンドは未成熟のキグチとシログチを漁獲してしまうため、資源保護の観点からは網目を拡大する必要があると考えられる。アカムツについては、目合 72 mm と 81 mm のコッドエンドの 50% 選択全長 (濱邊ら, 2010) と全長と胴周長の関係式 (熊木ら, 2020) から、目合 66 mm, 55 mm, 51 mm の

コッドエンドの 50%選択全長を求めたところ、それぞれ 162 mm, 146 mm, 131 mm と推定された。アカムツは日本では全長 100 mm 以上で水揚げされ（熊木ら, 2020）、66 mm, 55 mm, 51 mm のコッドエンドは、この日本の水揚げ基準の大きさのアカムツを十分に漁獲する。一方、目合 55 mm, と 51 mm のコッドエンドの 50%選択全長はアカムツの最小成熟全長（17 cm, 2 歳; 濱邊ら, 2010）より小さく適切ではないため、網目を拡大する必要があると考えられるが、以西底びき網漁業で使用される目合 66 mm のコッドエンドの 50%選択全長と最小成熟全長の差はわずかであるため、概ね適当であると考えた。ヒラメ・カレイ類のうち、ヒラメ *Paralichthys olivaceus* は全長と胴周長の関係（斎藤ら, 1995）とヒラメに対する網目選択性（山田ら, 1992）から、目合 66 mm, 55 mm, 51 mm の 50%選択全長はそれぞれ 152 mm, 140 mm, 128 mm と推定された。日本では全長 200 mm から水揚げされ（永松ら, 2006）、韓国では全長 350 mm 以下は水揚げされないとされている（韓国国家法令情報センター, 2020）。目合 66 mm, 55 mm, 51 mm のコッドエンドの 50%選択全長は、日本と韓国の最小水揚げ全長より小さく、この銘柄の魚の漁獲だけを考えれば網目を拡大しても差し支えない。一方、全長 300 mm 以下のヒラメは未成魚とされている（北川ら, 1994）ので、目合 66 mm, 55 mm, 51 mm のコッドエンドの 50%選択全長は、成熟全長より小さく、網目を拡大することが望ましい。

このように、韓日中の底びき網漁業では、未成熟の若齢魚までを水揚げ対象としてい

る実態があり、資源保全のためにはコッドエンドの 50%選択全長が成熟全長より大きくなるよう拡大する必要がある。しかし 50%選択全長が最小成熟全長より大きくなるようにコッドエンド目合を設定すれば、短期的には漁業者に経済的な影響を与えるので、本研究ではまずは経済的な観点（水揚げ対象の大きさの水産生物を漁獲する）でコッドエンドの漁獲性能を考察した。韓日中の底びき網漁業のように多魚種を同時に漁獲する漁業では、利用する魚の大きさや形状により、コッドエンドの網目だけでは十分な選択漁獲ができないことが多い（堀江ら, 2001）。そしてこのような場合に混獲防除装置（Bycatch Reduction Devices, 松下, 2000; Hannah and Jones, 2007; 梶川ら, 2014）と呼ばれる特殊な装置を曳網漁具に取り付け、従来の漁具とは異なる選択性を付加することがある。しかし、BRD は漁業の経済性を損なったり（Pascoe and Reville, 2004; Grubbs et al., 2018）、漁具の取り扱いが煩雑になったり（大畑ら, 2007）して、漁業の現場で歓迎されないこともある。本研究で提案する漁具各部の漁獲性能の向上は、こうした問題に対処することも可能と考えている。つまり、商業的価値がある小型のグチ類やムツ類が逃避できるようにコッドエンドの目合を拡大して、タイ類やヒラメ・カレイ類の漁獲に適切な目合を用いても、網口前方や網口の漁獲性能を向上できれば、コッドエンドにおける損失を補填できる可能性が有る。

以上、曳網漁具に対して、各部位の特徴により、部位の変化による各魚種の漁獲性能を定義し、対象になる水産生物に対する漁獲性能を高める漁具部位の条件を示した。し

かし、本研究で残された課題としては以下のようなものが考えられる。

本研究では網口前方の漁獲性能について掃過面積だけを検討したが、前述の通り、網口前方の漁獲性能は漁具が海底を中心に影響を与える鉛直方向の範囲により変化するだろう。この影響範囲は漁具と環境により異なると考えられる。漁具が海底に与える影響は漁具の設計や重さにより異なると考えられるので、今後、漁具の設計や重さと攪乱量を定量化することが必要である。攪乱量の定量的な推定については、曳網漁具の海底と接触する部位が底面と地中にどれぐらい影響を与えるのかを定量化した (Eigaard et al., 2016) 例や、海底質の違いにより海底に与える影響が変化した事例も報告されている (Takeshige et al., 2021)。今後はこのような事例研究を統合して、網口前方における漁具部位の海底への影響の許容範囲を明らかにして、漁獲性能と環境保全のバランスを検討する必要があるだろう。

また、網口では網口形状と漁獲個体数の関係を示すことができたが、網口における漁獲性能に影響を及ぼすその他の要因の影響を検討する必要がある。漁具の網口の形状や大きさを変更することで漁獲性能を変更しようとする研究が盛んに行われている (Rose and Nunnallee, 1998; Von Szalay and Somerton, 2005; Fujimori et al., 2005)。本研究では網口における水産生物の分布性状に注目したが、網口では魚が視覚刺激に反応して行動が生起されることが多い (Main and Sangster, 1981)。このような網口における魚の対漁具行動は、周囲の明るさや水温により異なる。例えば Inoue et al. (1993) は水温が低

い漁場ではスケトウダラ *Theragra chalcogramma* は筋肉を収縮させる速度が遅くなることから十分に遊泳することができず、暗い光環境が漁具を視認することもできないため、曳網漁具に吸い込まれるように漁獲されることを報告している。また魚の遊泳速度は水温だけでなく種や体長によっても異なるため (He, 1993), 漁獲性能を高めるためには、漁具の曳網速力を適切に設定する必要がある。

コッドエンドについては、以西底びき網漁業の現用目合を基準として本研究を進めた。前述の通り、単一のコッドエンドの目合では、大きさと形状、価値が生じる大きさが異なる東アジアの多様な水産生物を考えた場合、最適な目合を示すことは難しい。そして BRD の開発などが世界中で実施されている。また、BRD のような特別な装置を用いなくとも、網目の形状や大きさをコッドエンドの各部でさらに変更することで、コッドエンドに水産生物を保持させながら利用しない種や大きさの生物の漁獲を回避しようとする研究例 (Dahm et al., 2003; Macbeth et al., 2008) もある。千葉県的小型底曳網漁業で採用されたコッドエンドの一部の目合だけを拡大した漁具は、小型エビ類の漁獲減少を抑えながらタイ類の小型個体の漁獲を回避するとして普及している (松下ら, 1999a)。東シナ海における曳網漁業では国ごとにコッドエンドの目合が異なった。東シナ海を含む東アジアの海洋では曳網漁業における水産生物種や、魚種ごとの水揚げ状況や体長と胴周長の関係など、コッドエンドの適切な漁獲性能を検討するための基礎的な情報が整備されていない。今後は、利用される水産生物の種とサイズの情報や現用の網

目に対する網目選択性, 水揚選択性などを求め, 資源保全と漁業の経済性の確保のため, 国ごとに比較・検討する取り組みが必要であると考えられる。

以上, 本研究は曳網漁具の漁獲性能にこだわった。漁獲性能の向上だけを意識すれば, 例えば過剰漁獲の問題 (加入乱獲, 永松ら, 1999; Hilborn, 2011), 網口前方では過度の重さの漁具の着底による海底の生態系の破壊 (Orth and Heck, 1980; Smith et al., 2000; Roberts et al., 2006; Hiddink et al., 2006; Rijnsdorp et al., 2016; Pitcher et al., 2017; FAO, 2018; Takeshige et al., 2021) やコッドエンドにおける利用しない魚種や大きさの個体の混獲 (成長乱獲, 熊木ら, 2020), 未利用生物の混獲投棄問題など, 水産資源や海洋環境に大きな影響を与える (東海ら, 1994; Machias et al., 2001; FAO, 2018) 可能性がある。そしてこうした問題が生態系の多様性や生産性の低下を通じて漁業経営の悪化へとつながっていく。今本研究の結果が, 曳網漁業の経済性と効率性を高めながら, 一方で漁獲性能 (漁業の効率) が高くなることで努力量が削減され, 水産資源や海洋環境の保全のための技術的解決策として利用されることを期待する。

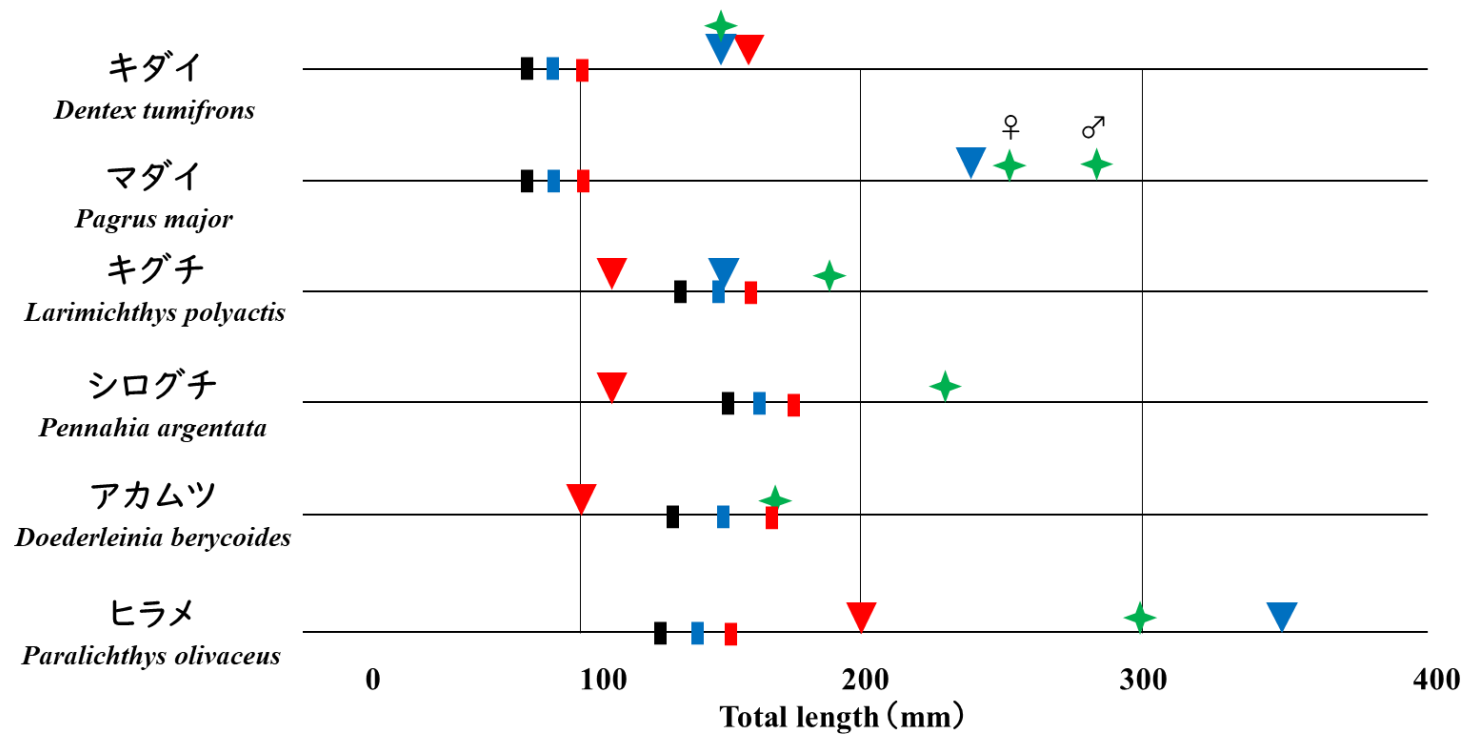


Fig. 5-1 The comparison between fifty percentage retention lengths (L_{50}) of major commercial species captured by towed net fisheries of Korea (■), Japan (■) and China (■) in the East China Sea. ▼ designates the minimum landing sizes of Japan, ▼, Korea and + minimum mature sizes in the East China Sea.

謝辞

本研究のとりまとめにあたり、懇切なるご指導とご教示をいただいた長崎大学大学院水産・環境科学総合研究科 松下吉樹教授に深厚な感謝を表す。同大学 清田雅史教授，亀田和彦教授，山口敦子教授，広瀬美由紀准教授には丁寧なご助言とご校閲をいただいた。ここに記して御礼申し上げる。

本研究の推進にあたり，第2章のかけまわし網調査では布津町漁業協同組合清光丸 須賀積船長にご協力をいただいた。第3章の陽光丸と熊本丸の漁獲性能の検討においては，水産資源研究所 依田真里博士，酒井猛博士，川内陽平博士によりご協力とご助言をいただいた。また，第4章の研究では長崎大学水産学部附属練習船長崎丸 森井康宏船長，山脇信博一等航海士，合澤格次席一等航海士，保科草太二等航海士よりご助言とご協力をいただき，長崎丸の乗組員の方々にご協力とご支援をいただいた。漁獲物の調査では，山田水産株式会社，長運水産株式会社，長崎魚市株式会社の方々によりご協力とご支援をいただいた。心から感謝を表す。

最後に本研究においてご協力をいただいた長崎大学水産学部漁業技術研究室所属 事務補佐員の中尾さとみ氏，博士後期課程1年の高橋千代氏，修士課程1年の上野蒼生氏，大沼空広氏，片岡宗一郎氏，当時4年生であった津田 新氏，平古場友也氏，岩永弘輝氏に感謝の礼を表す。

参考文献

青山恒雄. 底びき網の選択作用とその以西底びき網漁業資源管理への応用. 西海区水産研究所研究報告, 1961; **23** : 1 - 63.

青山恒雄. 底びき網の網目の選択作用. 日本水産学会誌, 1965; **10** : 848 - 861.

青山恒雄, 北島忠弘. 底びき網の網目の選択作用－V. 44 m おおい網式トロール網における 72 mm 目の選択作用. 西海区水産研究所研究報告, 1959a; **18** : 11 - 24.

青山恒雄, 北島忠弘. 底びき網の網目の選択作用－VI. 75 トン型汽船底曳網における 55 mm 目の選択作用. 西海区水産研究所研究報告, 1959b; **18** : 25 - 49.

青山恒雄, 北島忠弘. 底びき網の網目の選択作用－VII. 44 m おおい網式トロール網における 60 mm 目の選択作用. 西海区水産研究所研究報告, 1959c; **18** : 51 - 67.

Amoroso RO, Pitcher CR, Rijnsdorp AD, McConnaughey RA, Parma AM, Suuronen P, Eigaard OR, Bastardie F, Hintzen NT, Althaus F, Baird SJ, Black J, Buhl-Mortensen L, Campbell AB, Catarino R, Collie J, Cowan JH., Durholtz D, Engstrom N, Fairweather TP, Fock HO, Ford R, Gálvez PA, Gerritsen H, Góngora ME, González JA, Hiddink JG, Hughes KM, Intermann SS, Jenkins C, Jonsson P, Kainge P, Kangas M, Kathena JN, Kavadas S, Leslie RW, Lewis SG, Lundy M, Makin D, Martin J, Mazor T, Gonzalez-Mirelis G, Newman SJ, Papadopoulou N, Posen PE, Rochester W, Russo T, Sala A, Semmens JM, Silva C, Tsolos A, Vanellander B, Wakefield CB, Wood BA, Hilborn R,

Kaiser MJ, Jennings S. Bottom trawl fishing footprints on the world's continental shelves. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2018; **115**(43) : E10275 - E10282.

有本貴文, 岩崎俊彦. 沿岸底延縄漁業における釣獲の垂直分布. *日本水産学会誌*, 1983; **49**(10) : 1479 - 1486.

Brinkhof J, Larsen RB, Herrmann B, Grimaldo E. Improving catch efficiency by changing ground gear design: case study of Northeast Atlantic cod (*Gadus morhua*) in the Barents Sea bottom trawl fishery. *Fisheries Research*, 2017; **186** : 269 - 282.

Brinkhof J, Larsen RB, Herrmann B, Sistiaga M. Size selectivity and catch efficiency of bottom trawl with a double sorting grid and diamond mesh codend in the North-east Atlantic gadoid fishery. *Fisheries Research*, 2020; **231** : 105 - 647.

Broadhurst MK, Sterling DJ, Millar RB. Modifying otter boards to reduce bottom contact: effects on catches and efficiencies of triple-rigged penaeid trawls. *Fisheries Management and Ecology*, 2015; **22**(5) : 407 - 418.

Brooks ME, Melli V, Savina E, Santos J, Millar R, O'Neill FG, Veiga-Malta T, Krag LA, Feekings JP. Introducing selfisher: open source software for statistical analyses of fishing gear selectivity. *bioRxiv* 2020; doi: <https://doi.org/10.1101/2020.12.11.421362>.

Byrne CJ, Azarovitz TR, Sissenwine MP. Factors affecting variability of research vessel trawl surveys. Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences, 1981; **58** : 258 - 273.

Cadigan NG, Millar RB. Reliability of selection curves obtained from trouser trawl or alternate haul experiments. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1992; **49(8)** : 1624 - 1632.

Canales C, Arana PM. Performance of two sampling designs used to evaluate demersal crustaceans with the swept area method. Latin American Journal of Aquatic Research, 2009; **37(2)** : 211 - 219.

Carrothers PJG. Catch variability due to variations in groundfish otter trawl behavior and possibilities to reduce it through instrumented fishing gear studies and improved fishing procedures. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1981; **58** : 247 - 257.

Cha BJ, Lee CW. Dynamic simulation of a midwater trawl system's behavior. Fisheries Science, 2002; **68(2)** : 1865 - 1868.

Cha CP. A comparative study on fisheries resource management system between Korea and China. The Journal of Fisheries and Marine Sciences Education, 2001; **13(2)** : 146 - 167.

Collie JS, Hall SJ, Kaiser MJ, Poiner IANR. A quantitative analysis of fishing impacts on shelf-sea benthos. *Journal of Animal Ecology*, 2000; **69** : 785 - 798.

Dahm E, Rehme W, Wienbeck H, Hammer C, Emst P. The BACOMA cod-end. History and recent developments in BACOMA cod-end regulations and a proposal for a better specification of the BACOMA cod-end for Baltic Sea cod fishery. *Informationen für die Fischwirtschaft aus der Fischereiforschung*, 2003; **50**(2) : 53 - 61.

Dahm E, Wienbeck H, West CW, Valdemarsen JW, O'neill FG. On the influence of towing speed and gear size on the selective properties of bottom trawls. *Fisheries Research*, 2002; **55**(1-3) : 103 - 119.

Davies FM. Size limits and mesh regulations for sea fish: Appendix C – a mesh experiment indicating that small fish escape while the trawl is being towed. *Rapports et Process-verbaux des réunions, Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer.*, 1934; **90** : 22 - 26.

Diesing M, Stephens D, Aldridge J. A proposed method for assessing the extent of the seabed significantly affected by demersal fishing in the Greater North Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 2013; **70** : 1085 – 1096.

- Dreyer B, Heide M, Nøstvold BH, Midling KØ, Akse L. Fangstbaserat akvakultur – status, barrierer og potensial. Nofima rapportserie. 2006.
- Eigaard OR, Bastardie F, Breen M, Dinesen GE, Hintzen NT, Laffargue P, Mortensen LO, Nielsen JR, Nilsson HC, O'Neill FG, Polet H, Reid DG, Sala A, Sköld M, Smith C, Sørensen TK, Tully O, Zengin M, Rijnsdorp AD. Estimating seabed pressure from demersal trawls, seines, and dredges based on gear design and dimensions. ICES Journal of Marine Science, 2016; **73**(1) : i27 - i43.
- Engås A, Godø OR. Influence of trawl geometry and vertical distribution of fish on sampling with bottom trawl. Journal Northwest Atlantic Fishery Science, 1986; **7**(1) : 35 - 42.
- FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2018 -Meeting the sustainable goals. FAO, Rome, 2018. 227pp.
- Fujimori Y, Chiba K, Oshima T, Miyashita K, Honda S. The influence of warp length on trawl dimension and catch of walleye pollock *Theragra chalcogramma* in a bottom trawl survey. Fisheries Science, 2005; **71**(4) : 738 - 747.
- Fujimori Y, Ishida R, Honda N. Analysis of influence factor on the catch of Japanese sandfish by Danish seine. Mathematical and Physical fisheries science, 2009; **7** : 90 - 96.

藤田 薫, 松下吉樹, 本多直人, 山崎慎太郎, 小林正三. 小型底びき網のグランドロープの太さによる漁獲選択性の相違. 日本水産学会誌, 2007, **73**(3) : 495 - 504.

Futagawa K, Yoneda M, Tokimura M, Horikawa H, Matsuyama M, Matsuura S. Age and growth of the whitefin jack *Kaiwarinus equula* in the East China Sea. Science Bulletin of Faculty of Agriculture, Kyushu University, 2000; **55** : 13 - 20.

不破 茂. 志布志湾の小型底びき網漁業について漁場及び漁獲物. 鹿児島大学水産学部紀要, 1976; **25**(1) : 125 - 135.

不破 茂, 熊沢泰生, 工藤 嵩, 平山 完, 木下弘美. トロール漁具性能の多面的比較. 日本水産工学会誌, 2010; **47**(2) : 119 - 128.

Gabriel O, Lange K, Dahm E, Wendt T. Von Brandt's fish catching methods of the world. John Wiley & Sons, New Jersey, 2008. 523pp.

Glass CW, Sarno B, Morris GD, Miliken HO, Carr HA. Bycatch reduction in Massachusetts inshore squid (*Loligo pealeii*) trawl fisheries. Marine Technology Society Journal, 1999; **33**(2) : 35 - 42.

Gleiss AC, Dale JJ, Holland KN, Wilson RP. Accelerating estimates of activity-specific metabolic rate in fishes: Testing the applicability of acceleration data-loggers. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 2010; **385**(1-2) : 85 - 91.

Godø OR, Engås A. Swept area variation with depth and its influence on abundance

- indices of groundfish from trawl surveys. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 1989; **9**(2) : 133 - 139.
- Grubbs SP, Funkhouser H, Myer P, Arendt M, Schwenter J, Chambers RM. To BRD or not to BRD? A test of bycatch reduction devices (BRDs) for the blue crab fishery. *North American Journal of Fisheries Management*, 2018; **38**(1) : 18 - 23.
- 濱邊優祐, 原田誠一郎, 山下秀幸, 東海 正. 沖合底曳網におけるアカムツとマアナゴに対するコッドエンド選択性に及ぼす角目網ウインドーの効果. *日本水産学会誌*, 2010; **76**(5) : 824 - 840.
- Hannah RW, Jones SA. Effectiveness of by catch reduction devices (BRDs) in the ocean shirimp (*Pandalus jordani*) trawl fishery. *Fisheries Research*, 2007; **85**(1-2) : 217 - 225.
- He P. Swimming speeds of marine fish in relation to fishing gears. *ICES marine Science Symposia*, 1993; **196** : 183 - 189.
- Hiddink JG, Jennings S, Kaiser MJ. Indicators of the ecological impact of bottom-trawl disturbance on seabed communities. *Ecosystems*, 2006; **9** : 1190 - 1199.
- 肥後伸夫. 底曳網の漁獲性能に関する基礎的研究. *鹿児島大学水産学部紀要*, 1971; **20**(2) : 1 - 137.
- Hilborn R. *Overfishing: What everyone needs to know*. Oxford university Press, London. 2011. (邦訳レイ・ヒルボーン, ウルライク・ヒルボーン (市野川桃子, 岡村寛訳). 「乱

獲：漁獲資源のいまとこれから」東海大学出版部，平塚. 2015.)

平井良夫，西ノ首英之. 有明海小型底曳網漁業における混獲物の投棄の実態. 日本水産学会誌, 2003; **69**(3) : 330 - 336.

平松一彦. 最尤法による水産資源の統計学的研究—パラメータ推定とモデル選択—. 遠洋水産研究所研究報告, 1992; **29** : 57 - 114.

Hoffman JC, Bonzek CF, Latour RJ. Estimation of bottom trawl catch efficiency for two demersal fishes, the Atlantic croaker and white perch, in Chesapeake Bay. *Marine and Coastal Fisheries: Dynamics, Management, and Ecosystem Science*, 2009; **1**(1) : 255 - 269.

Hongkul V. Into the next millennium: fishery perspective. RAP Publication., 1999; 26.

Huh SH, Choi HC, Park JM. Feeding relationship between co-occurring silver croaker (*Pennahia argentata*) and Japanese sillago (*Sillago japonica*) in the Nakdong river estuary, Korea. *Korean Journal of Ichthyology*, 2018; **30**(4) : 224 - 231.

Humborstad OB, Davis MW, Løkkeborg S. Reflex impairment as a measure of vitality and survival potential of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Fishery Bulletin*, 2009; **107**(3) : 395 - 402.

堀江 充, 安田政一, 橋本 寛. ズワイガニとカレイ類を分類漁獲するかけまわし式底びき網の開発. 日本水産学会誌, 2001; **67**(3) : 444 - 448.

今井千文, 道根 淳, 村山達朗. 日本海西部海域産アカムツの資源動態. 水産大学校研究報告, 2017; **65**(4) : 217 - 222.

井上 実. 漁具と魚の行動. 恒星社厚生閣, 東京, 1985. 198pp.

Inoue Y, Matsushita Y, Arimoto T. The reaction behavior of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in a deep/low-temperature trawl fishing ground. ICES marine Science Symposia, 1993; **196** : 77 - 79.

入江隆彦, 山田梅芳. 東シナ海・黄海のタイ類資源とその漁獲の概要. 水産増殖, 1991; **39**(1) : 103 - 104.

石黒雄一. タチウオを対象とした小型汽船底びき網の曳網中の漁具形状. 神奈川県水産技術センター研究報告, 2006; **1** : 35 - 41.

伊藤 靖, 三浦 浩, 中村憲司, 吉田 司. 日本海佐渡島羽茂地先の人工魚礁における超音波バイオテレメトリーを用いたマアジの行動様式. 日本水産学会誌, 2009; **75**(6) : 1019 - 1026.

Jung KS. Improvement of combustion efficiency for marine auxiliary diesel engine. Journal of Korean Society of Marine Engineering, 2014; **38**(3) : 233 - 239.

梶川和武, 松下吉樹, 阿保純一. 漁場の生態系保全を考慮した漁具の開発に関する研究事例. 日本水産工学会誌, 2014; **50**(3) : 225 - 228.

神田献二. 底魚の垂直分布 - I. 日本水産学会誌, 1958; **24**(1) : 13 - 15.

韓国国家法令情報センター. 水産業法. 法律第 18288 号 3 第 3 項, 2020 年 4 月改正,

2021 年 2 月施行. <https://law.go.kr/법령/수산업법>.

片岡千賀之. 長崎県漁業の近現代史. 長崎文献社, 長崎. 2011. 295pp.

川内洋平, 田中寛繁, 船本鉄一郎, 伊藤正木, 服部 努, 梨田一也, 養松郁子. 我が国に

おける沖合底びき網漁業および以西底びき網漁業の漁獲量と網数の推移. 水産海洋

研究, 2018; **82**(1) : 1 - 13.

Kim SH, Park SW, Bae JH, Kim YH. Mesh selectivity of drift gill net for Yellow Croaker

Larimichthys polyactis, in the coastal sea of Gageo-do. Korean Journal of Fisheries and

Aquatic Sciences, 2009; **42**(5) : 518 - 522.

北川大二, 服部 努. 調査船による底魚の資源評価とモニタリング. 水産海洋研究,

1998; **62**(1) : 32 - 36.

北川大二, 石戸芳男, 桜井泰憲, 福永辰廣. 三陸北部沿岸におけるヒラメの年齢, 成長,

成熟. 東北区水産研究所研究報告, 1994; **56** : 69 - 76.

熊木 豊, 山崎 淳, 野口俊輔. 底曳網で漁獲されるアカムツの網目選択性. 京都府農

林水産技術センター海洋センター研究報告, 2020; **42** : 9 - 16.

Knauss JA. The growth of British fisheries during the industrial revolution. Ocean

Development and International Law, 2005; **36** : 1 - 11.

KOSIS (Korea Statistical Information Service). Fishery production survey. National

- statistical office, Daejeon, 2018.
- Laevastu T, Favorite F. Fishing and Stock Fluctuations. Fishing Books Ltd, Farnham, England, UK. 1988. 239pp.
- Lee DJ. Distribution characteristics of fish schools in the Yellow Sea and the East China Sea in the spring of 1997. Bulletin of the Korean Society of Fisheries Technology, 2002; **38**(3) : 241 - 248.
- Lee DJ, Byun DS. Real-time monitoring of net setting and hauling process in fishing operations of Danish seine vessel using ECDIS. Journal of the Korean Society of Fisheries and Ocean Technology, 2007; **43**(4) : 347 - 354.
- Lee DW, Lee JB, Kim YH, Kang SK. Analysis of species assemblages caught by large-pair-trawler in Korean Waters. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2011; **44**(5) : 499 - 505.
- Lee JH, Lee CW. A quantitative analysis of GHC emissions from the Korean offshore large scale fisheries using an LCA method. Korean Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 2011; **44**(4) : 383 - 389.
- 梁 振林, 堀川博史, 時村宗春, 東海 正. 底曳網の網目選択性に及ぼす魚体横断面形状の影響. 日本水産学会誌, 1999; **65**(3) : 441 - 447.
- Lowry N, Robertson JHB. The effect of twine thickness on cod-end selectivity of trawls

- for haddock in the North Sea. *Fisheries Research*, 1996; **26** : 353 - 363.
- Macbeth WG, Gray CA, Johnson DD. Assessment of a 35-mm square-mesh codend and composite square-mesh panel configuration in the ocean prawn-trawl fishery of northern New South Wales. NSW Department of Primary Industries, Gronulla, New South Wales, 2008.
- Machias A, Vassilopoulou V, Vatsos D, Bekas P, Kallianiotis A, Papaconstantinou C, Tsimenides N. Bottom trawl discards in the northeastern Mediterranean Sea. *Fisheries Research*, 2001; **53** : 181 - 195.
- Madsen NAH, Aarsæther KG, Herrmann B. Predicting the effect of seine rope layout pattern and haul-in procedure on the effectiveness of demersal seine fishing: A computer simulation-based approach. *Plos ONE*, 2017; **12**(8) : e0182609.
- Madsen N, Holst R. Assessment of the cover effect in trawl codend selectivity experiments. *Fisheries Research*, 2002; **56** : 289 - 301.
- Main J, Sangster GI. A study of the fish capture process in a bottom trawl by direct observations from a towed underwater vehicle. *Scottish Fisheries Research Report*, 1981; **23** : 1 - 23.
- 松下吉樹. 曳網漁業における混獲防除技術. *日本水産学会誌*, 2000; **66**(2) : 261 - 268.
- Matsushita Y, Ali R. Investigation of trawl landings for the purpose of reducing the

capture of non-target species and sizes of fish. Fisheries Research, 1997; **29** : 19 - 32.

松下吉樹, 藤田 薫, 本多直人, 柴田輝和. 千葉県沖合底びき網漁業における吊りグラ
ンドロープの魚種選択効果. 水産工学研究所技報, 2006; **28** : 13 - 19.

松下吉樹, 井上喜洋. スケトウダラ *Theragra chalcogramma* の体型による角目網コッド
エンドの漁獲選択性の変化. 日本水産学会誌, 1997; **63**(1) : 23 - 29.

松下吉樹, 井上喜洋, 信田雅博, 野島幸治. 沿岸底曳網漁業における混獲防除ウインド
ーを備えた2階式コッドエンド開発. 日本水産学会誌, 1999a; **65**(4) : 673 - 679.

松下吉樹, 井上喜洋, Tatarnikov VA. ポケット網実験から推定した北洋トロール漁業に
おける魚類の網内集約過程. 日本水産学会誌, 1999b; **65**(1) : 3 - 10.

松下吉樹, 熊沢泰生, 富山 実, 山崎慎太郎. 伊勢湾内の小型機船底びき網漁業で使用
されるトロール漁具の設計と曳網中の形状. 日本水産学会誌, 2005; **71**(3) : 318 - 327.

松下吉樹, 富山 実, 熊沢泰生, 稲田博史, 木下弘美, 平山 完, 藤田 薫, 山崎慎太郎.
伊勢湾底びき網漁業で使用されるトロール網に取り付けたカイトによる網高さの変
化. 水産工学研究所技術報告, 2005; **27** : 97 - 103.

松岡達郎. 混獲投棄とその防止に関する研究. 日本水産学会誌, 1999; **65**(4) : 630 - 633.

Millar RB. Estimating the size-selectivity of fishing gear by conditioning on the total catch.
Journal of the American Statistical Association, 1992; **87** : 962 - 968.

Millar RB, Broadhurst MK, Macbeth WG. Modeling between-haul variability in the size

- selectivity of trawls. *Fisheries Research*, 2004; **67** : 171 - 181.
- 溝口弘泰, 藤田 薫. 小型底びき網の技術発展による燃油削減効果. *日本水産学会誌*, 2013; **79**(6) : 1050.
- 永松公明, 久保田勝彦, 田渕清春. グリッドパネル 2 階式トロール網の分離効果とサイズ選択性. *水産大学研究報告*, 1999; **47**(3) : 93 - 102.
- 永松公明, 田渕清春, 水谷壮太郎, 鎌野 忠, 秦 一浩, 富賀見清彦, 井上 悟, 梶川和武. 2 階式トロールによる東シナ海底魚漁場の漁獲物組成と投棄対象生物の混獲状況. *水産大学校研究報告*, 2006; **54**(4) : 197 - 208.
- 長野昌子, 片山知史. 日向灘におけるマダイ *Pagrus major* の生活史特性と肥満度の経年変化. *日本水産学会誌*, 2015; **81**(2) : 219 - 226.
- 長澤 享. 平成 28 年度 漁海況情報配信事業 漁場形成状況等調査事業報告書(以西底曳). *日韓・日中協定対策漁業振興財団*, 2017; 3 - 11.
- 梨田一也. 魚網監視装置による小型底びき網(板びき網)の袖網間隔及び網口高さの計測例. *日本海区水産研究所研究報告*, 1990; **40** : 213 - 220.
- Noack T, Frandsen RP, Wieland K, Krag LA, Berg F, Madsen N. Fishing profiles of Danish seiners and bottom trawlers in relation to current EU management regulations. *Fisheries Management and Ecology*, 2017; **24**(6) : 436 - 445.
- Noack T, Stepputtis D, Madsen N, Wieland K, Haase S. Gear performance and catch

process of a commercial Danish anchor seine. Fisheries Research, 2019; **211** : 204 - 211.

農林水産省. 海面漁業・養殖業生産統計調査. 東京, 2019.

農林水産省大臣官房統計部. 平成 15 年漁業・養殖業生産統計年報. 農林統計協会, 東京,
2003.

農林水産省大臣官房統計部. 平成 25 年漁業・養殖業生産統計年報. 農林統計協会, 東京,
2013.

農林水産省大臣官房統計部. 令和元年漁業・養殖業生産統計年報. 農林統計協会, 東京,
2020.

O'Neill FG, Knudsen LH, Wileman DA, McKay SJ. Cod-end drag as a function of catch
size and towing speed. Fisheries Research, 2005; **72**(2-3) : 163 - 171.

小野寺恵一, 稲田真一. さんまを対象とした漁業調査指導船「みやしお」による表層ト
ロール網試験操業. 宮城県水産研究報告, 2017; **17** : 49 - 53.

大畑 聡, 池上直也, 仲村文夫, 柴田輝和. 東京湾の小型底びき網におけるマコガレイ
小型魚の混獲を防除する漁具の開発. 千葉県水産総合研究センター研究報告, 2007;
2 : 1 - 5.

Orth RJ, Heck KL. Structural components of eelgrass (*Zostera marina*) meadows in the
lower Chesapeake Bay – fishes. Estuaries, 1980; **3**(4) : 278 - 288.

Özbilgin H, Tosunoğlu Z, Tokaç A, Metin G. Seasonal variation in the trawl codend selectivity of picarel (*Spicare smaris*). ICES Journal of Marine Science, 2007; **64**(8) : 1569 - 1572.

Özbilgin H, Ferro RST, Robertson JHB, Holtrop G, Kynoch RJ. Seasonal variation in trawl codend selection of northern North Sea haddock. ICES Journal of Marine Science, 2006; **63** : 737 - 748.

Park DW, Lee SB, Chung SS, Seo HW, Kwon JW. Effect of trim on resistance performance of a ship. Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 2013; **50**(2) : 88 - 94.

Park GR, Cho KH. A study on the comparison of effects and application of marine fuel reduction methods. Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 2014; **38**(9) : 1057 - 1063.

Park JH, Park GO, Kim DJ. A study on the characteristics of traditional Korean fishing boats for development of a sailing boat. Journal of Ocean Engineering and Technology, 2004; **18**(4) : 71 - 76.

Park MH, Lee WS, Ock YS, Lee TE. A review of Korean shipbuilding industry and industrial engineering research. IE interfaces, 1995; **8**(2) : 5 - 20.

Pascoe S, Revill A. Costs and benefits of bycatch reduction devices in European brown

- shrimp trawl fisheries. *Environmental and Resource Economics*, 2004; **27**(1) : 43 - 64.
- Pitcher CR, Ellis N, Jennings S, Hiddink JG, Mazor T, Kaiser MJ, Kangas MI, McConnaughey RA, Parma AM, Rijnsdorp AD, Suuronen P, Collie JS, Amoroso R, Hughes KM, Hilborn R. Estimating the sustainability of towed fishing-gear impacts on seabed habitats: a simple quantitative risk assessment method applicable to data-limited fisheries. *Methods in Ecology and Evolution*, 2017; **8** : 472 - 480.
- Queirolo D, Hurtado CF, Gaete E, Soriguer MC, Erzini K, Gutiérrez-Estrada JC. Effects of environmental conditions and fishing operations on the performance of a bottom trawl. *ICES Journal of Marine Science*, 2012; **69**(2) : 293 - 302.
- Rasmussen H. Vodfiskeri. In: *Dansk fiskeri for industrialiseringen*. (de. M. Lundbaek). Nationalmuseet, Copenhagen (in Danish), 1975.
- Rijnsdorp AD, Bastardie F, Bolam SG, Buhl-Mortensen L, Eigaard OR, Hamon KG, Hiddink JG, Hintzen NT, Kenny A, Laffargue P, Nielsen JR, O'Neill FG, Piet GJ, Polet H, Sala A, Smith C, van Denderen PD, van Kooten T, Zengin M. Towards a framework for the quantitative assessment of trawling impact on the seabed and benthic ecosystem. *ICES Journal of Marine Science*, 2016; **73**(1) : 1127 - 1138.
- Roberts JM, Wheeler AJ, Freiwald A. Reefs of the deep: The biology and geology of cold-water coral ecosystems. *Science*, 2006; **312**(5773) : 543 - 547.

Rose CS, Nunnallee EP. A study of changes in groundfish trawl catching efficiency due to differences in operating width, and measures to reduce width variation. *Fisheries Research*, 1998; **36** : 139 - 147.

Russell B, Pollard D, Mann BQ, Carpenter KE, Buxton CD, Liao W. *Pagrus major*, Red seabream. The IUCN Red List of Threatened Species, 2014: e.T170167A1286175.

最首光三. 東シナ海, 黄海産キグチの垂直移動の日周期性について. *日本生態学会誌*, 1969; **19**(1) : 13 - 20.

斎藤達彦, 平川榮一, 町田末広, 岡座輝雄, 松尾勝樹. 三重刺網の中網目合がヒラメの漁獲組成に及ぼす影響について. *長崎県水産試験場研究報告*, 1995; **21** : 25 - 30.

酒井健一, 永松公明. 小型底びき網漁業における省エネ・省力化に関する研究. *水産大学校研究報告*, 2015; **64**(1) : 65 - 72.

Smith CJ, Papadopoulou KN, Diliberto S. Impact of otter trawling on an eastern Mediterranean commercial trawl fishing ground. *ICES Journal of Marine Science*, 2000; **57**(5) : 1340 - 1351.

Somerton DA, Weinberg KL. The affect of speed through the water on footrope contract of a survey trawl. *Fisheries Research*, 2001; **53**(1) : 17 - 24.

杉野浩二郎, 永松公明, 酒井健一, 秋元恒基. 小型底びき網漁業における減速操業の省エネ効果について. *福岡県水産海洋技術センター研究報告*, 2016; **26** : 63 - 68.

水産研究・教育機構開発調査センター. 海洋水産資源開発事業報告書：底びき網（かけまわし）：日本海北部海域平成 30 年度. 水産研究・教育機構開発調査センター，横浜，2021.

Suuronen P, Chopin F, Glass C, Løkkeborg S, Matsushita Y, Queirrol D, Rihan D. Low impact and fuel efficient fishing – Looking beyond the horizon. *Fisheries Research*, 2012; **119** : 135 - 146.

Takagi T, Shimizu T, Suzuki K, Hiraishi T, Matsushita Y, Watanabe T. Performance of “NaLA”: a fishing net shape simulator. *Fisheries Engineering*, 2003; **40**(2) : 125 - 134.

高山重嶺, 小山武夫. 漁獲組成から見たカイト式トロールの漁獲効果について. 東海区水研究所研究報告, 1958; **21** : 25 - 32.

Takehige A, Miyamoto M, Narimatsu Y, Yonezaki S, Kiyota M. Evaluation of impacts of bottom fishing on demersal habitats: A case study off the Pacific coast of north-eastern Japan. *Fisheries Research*, 2021; **238** : 105916.

田中 克. マダイ稚魚の浮遊生活から底生生活への移動過程. *水産土木*, 1979; **16**(1) : 47 - 57.

田代征秋. 五島南部海域におけるアカムツの分布. 長崎県水産試験場研究報告, 1988; **14** : 13 - 17.

Thorarinsdóttir GG, Jacobson L, Ragnarsson SA, Garcia EG, Gunnarsson K. Capture efficiency and size selectivity of hydraulic clam dredges used in fishing for ocean quahogs (*Arctica islandica*): simultaneous estimation in the SELECT model. ICES Journal of Marine Science, 2010; **67**(2) : 345 - 354.

東海 正. 底曳網の網目選択性曲線の決定法とその資源管理への応用. 日本水産学会誌, 1998; **64**(4) : 597 - 600.

東海 正, 三橋廷央. 比較操業実験から選択性曲線を求める SELECT モデルについて. 水産海洋研究, 1998; **62**(3) : 235 - 247.

東海 正, 大本茂之, 松田 皎. 瀬戸内海における小型底曳網の非有用投棄魚に対する網目選択性. 日本水産学会誌, 1994; **60**(3) : 347 - 352.

Tokai T, Shiode D, Sakai T, Yoda M. Codend selectivity in the East China Sea of a trawl net with the legal minimum mesh size. Fisheries Science, 2019; **85** : 19 - 32.

時村宗春. 東シナ海の水産資源の漁業形態. 日本水産学会誌, 2011; **77**(5) : 919 - 923.

Tsuboi T, Oguri K. Advanced ITS application for natural disaster protection. International Journal of Computing and Network Technology, 2013; **1**(3) : 159 - 170.

津谷俊人. 日本漁船図集. 成山堂, 東京, 1983.

Tulp I, Piet G, Quirijns F, Rijnsdorp A, Lindeboom H. A method to quantify fisheries induced mortality of benthos and fish. RIVO-Netherlands Institute for Fisheries

Research, 2005; Report No. C087/05.

Vincent B, Roullot J. Towed gear optimization, application to trawls. Conference on Energy Efficiency in Fisheries Séminaire sur les Économies D'énergie À la Pêche, 2006. 40pp.

Von Szalay PG, Somerton DA. The effect of net spread on the capture efficiency of a demersal survey trawl used in the eastern Bering Sea. Fisheries Research, 2005; **74** : 86 - 95.

渡部俊広, 北川大二. 曳航式深海用ビデオカメラを用いたズワイガニ類に対する調査用トロール網の採集効率の推定. 日本水産学会誌, 2004; **70**(3) : 297 - 303.

Watson RA, Tidd A. Mapping nearly a century and a half of global marine fishing: 1869-2015. Marine Policy, 2018; **93** : 171 - 177.

Weinberg KL. Change in the performance of a Bering Sea survey trawl due to varied trawl speed. Alaska Fisheries Research Bulletin, 2003; **10**(1) : 42 - 49.

Weinberg KL, Somerton DA, Munro PT. The effect of trawl speed on the footrope capture efficiency of a survey trawl. Fisheries Research, 2002; **58**(3) : 303 - 313.

Wileman DA, Ferro RST, Fonteyne R, Millar RB. Manual of methods of measuring the selectivity of towed fishing gears. ICES Cooperative Research Report, 1996; **215** : 1 - 126.

山田英明, 渡部俊明, 平野誠師, 宮永貴幸. 鳥取沿岸域の小型機船底びき網(手操網第二種, えび桁網漁業)のヒラメ当才魚に対する網目選択性. 鳥取県水産試験場報告, 1992; **33** : 29 - 39.

山岸 宏, 福原 修. 少数の無作為抽出標本による 3 種の海産魚類の成長の個体変異の推定. 水産増殖, 1988; **36(3)** : 205 - 211.

山口浩志, 西内修一, 高柳志朗, 宮下和士. 北海道西部日本海におけるホッコクアカエビに対するえびかごの網目選択性と網目拡大による漁獲量の変化. 日本水産学会誌, 2011; **77(5)** : 809 - 821.

山崎慎太郎, 松下吉樹, 川島敏彦, 富山 実, 熊沢泰生, 平山 完. 伊勢湾底びき網漁業に用いられるオッターボードの性能評価と新型オッターボードの提案. 日本水産学会誌, 2007; **73(2)** : 220 - 225.

米田道夫, 依田真里. キダイの生殖生態. 水産総合研究センター研究報告, 2006; **4** : 125 - 129.

米沢 崇, 藤森康澄, 清水 晋, 梨本勝昭, 三浦汀介. キャンバスカイトを用いた資源調査用中層トロール網. 日本水産学会誌, 1996; **62(2)** : 254 - 261.

遊佐多津雄. ヒラメ・カレイ類の生活史と環境. 水産土木, 1979; **16(1)** : 33 - 45.