

底びき網のグランドロープに対する生物の行動と 漁獲への影響に関する研究*¹

藤田 薫*²

Studies on behavior of marine organisms in response to the footrope of bottom trawls and its effects on the catch

Kaoru FUJITA

目 次	
第1章 序 論	3-2-3 解析方法
1-1 我が国における底びき網漁業の概要	3-3 結果
1-2 底びき網における漁獲過程	3-3-1 操業
1-3 グランドロープに対する生物の行動と漁獲への影響に関する既往の知見	3-3-2 解析結果
1-4 本研究の目的と章立て	3-4 考察
第2章 生物の種によるグランドロープに対する行動の相違	3-4-1 グランドロープの太さ以外の要因の影響
2-1 はじめに	3-4-2 グランドロープの太さによる選択性への影響
2-2 材料と方法	第3章 グランドロープの太さがズワイガニ類の漁獲に及ぼす影響
2-2-1 異体類の行動観察	4-1 はじめに
2-2-2 タラ類の行動観察	4-2 材料と方法
2-2-3 ズワイガニ類の行動観察	4-2-1 映像資料及び漁獲資料
2-3 結果	4-2-2 甲幅の測定
2-3-1 異体類の行動	4-2-3 入網率の算出
2-3-2 タラ類の行動	4-2-4 漁獲効率の推定
2-3-3 ズワイガニ類の行動	4-3 結果
2-4 考察	4-3-1 甲幅による入網率の相違
2-4-1 異体類の行動	4-3-2 グランドロープの部位による入網率の相違
2-4-2 タラ類の行動	4-3-3 漁獲効率の推定
2-4-3 ズワイガニ類の行動	4-4 考察
2-4-4 生物の種によるグランドロープに対する行動の相違	4-4-1 甲幅による入網率の相違
第3章 グランドロープの太さが魚類の漁獲に及ぼす影響	4-4-2 グランドロープの太さと角度が漁獲に与える影響
3-1 はじめに	4-4-3 漁獲効率の推定
3-2 材料と方法	第5章 総合考察
3-2-1 グランドロープの構造	5-1 漁獲効率の向上
3-2-2 操業試験	5-2 選択漁獲技術への応用
	5-3 ズワイガニ類に対する漁獲効率の推定
	謝 辞
	参考文献

2018年1月23日受理 (Received on January 23, 2018)

*¹ 東京海洋大学博士学位論文 (掲載に際し, 投稿規定に沿って一部修正した。東京海洋大学学術機関リポジトリ TUMSAT-OACIS より公表済 URL : <https://oacis.repo.nii.ac.jp/>)

*² 国立研究開発法人 水産研究・教育機構 水産工学研究所 〒314-0408 茨城県神栖市波崎7620-7 (National Research Institute of Fisheries Engineering, Japan Fisheries Research and Education Agency, 7620-7, Hasaki, Kamisu, Ibaraki 314-0408, Japan)

第1章. 序 論

1-1 我が国における底びき網漁業の概要

我が国における底びき網漁業は、操業海域と漁船規模により遠洋底びき網漁業、以西底曳き網漁業、沖合底びき網漁業、小型底びき網漁業に大きく分類され、このうち沖合底びき網漁業は曳網方法により1そうびき（かけまわし、オッタートロール）と2そうびきに分類される（農林水産省大臣官房統計部，2015）。また、小型底びき網漁業は網口の開口装置により、手繰第1種漁業（かけまわし）、手繰第2種漁業（エビ漕ぎ網）、手繰第3種漁業（けた網、マンガ、戦車こぎ網等）、打瀬漁業（帆打瀬網、潮打瀬網）、その他の小型機船底びき網漁業（板曳網）に分けられる（水産庁振興部沖合課，1983）。このように様々な規模や形態の底びき網漁具があるが、いずれも海底に接した袋状の網を漁船で曳き回すまたは曳き寄せることにより海底近傍に生息する生物を集約して漁獲することに特徴がある。底びき網漁具の例を Fig. 1 に示す。

2013年における我が国の漁獲量は約373万トンであり、このうち底びき網漁業の漁獲量は、約80万トンである（農林水産省大臣官房統計部，2015）。また、2006年における底びき網漁業の生産額は約2043億円であり、これは同年の海面漁業生産額の18.9%を占める（農林水産省大臣官房統計部，2008）。我が国の底びき網漁業の1992年から2013年までの漁獲量の推移を、資料（農林水産省統計部，2004；農林水産省大臣官房統計部，2015）に基づき、Fig. 2 に示す。遠洋底びき網漁業による漁獲量は1990年代初頭には40万トンを超えていたが、その後減少を続け、2013年における漁獲量は約3万トンである。以西底びき網漁業による漁獲量は1990年代初頭に7万トンであったが、2013年には4千トンを下回るまで減少した。沖合底びき網漁業（1そうびき）による漁獲量は1990年代の中頃に50万トン近くを記録したのちに減少に転じ、2010年代に入ってからの漁獲量は30万トン前後で推移している。一方、沖合底びき網漁業（2そうびき）による漁獲量はほぼ3万トンから4万トンの間で推移し、大きな変動は見られない。また、小型底びき網漁業による漁獲量は、35万トンから45万トンの間で変動するが、減少傾向は見られない。このように、一部で漁獲量の減少が見られるものの、依然として底びき網漁業は我が国の総漁獲量と漁業生産額の約2割を占める重要な漁業種類である。

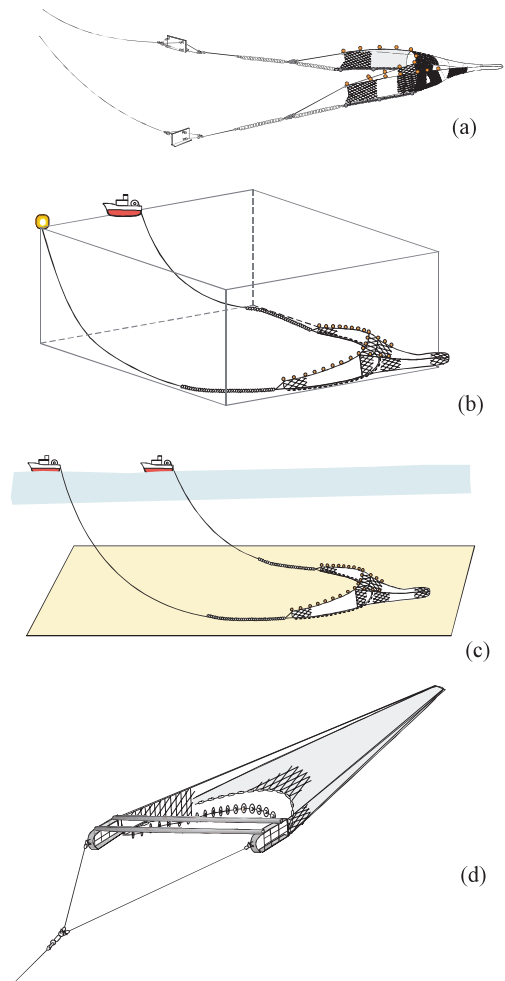


Fig. 1. Schematic diagram of typical bottom trawls in Japan. : (a) Otter trawl, (b) Danish seine, (c) Pair trawl, (d) Beam trawl.

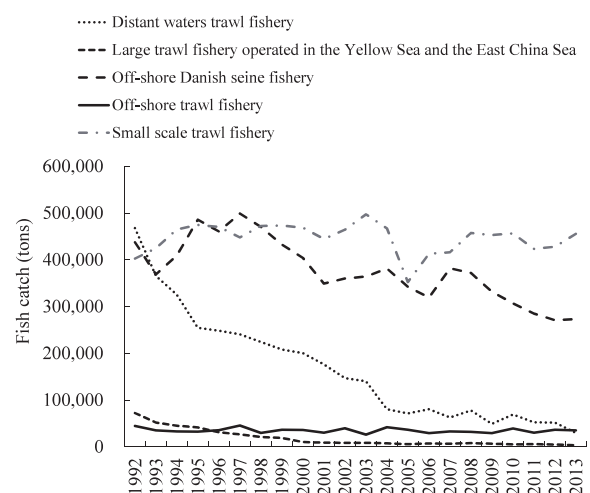


Fig. 2. Amount of fish catch by trawl and Danish seine fishery in recent 22 years in Japan. (data from the statistics of fishery and aquaculture production 2002 and 2013, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries)

1-2 底びき網における漁獲過程

底びき網漁具の各部の名称を、代表的な底びき網漁法の一つであるオッタートロール漁具を例に、Fig. 3に示す。先に述べたとおり、底びき網漁具は、海底近傍に生息する生物を袋状の網で集約して漁獲できるように考えられている。底びき網の漁獲過程を、生物が漁具と遭遇する順序を基に網口前方、網口 (net mouth)、身網 (main body)、コッドエンド (codend) の4段階に大きく分けて考えると、次のことが知られている。ここで網口とは、左右の袖網 (Wing) の先端を結んだ線から身網の前端で囲まれる範囲とする。まず網口前方においては、移動するオッターボード (otter board) やブライドル (bridle) に対して生物がどのように反応するかが問題となる。例えば、北海で実施された底びき網前方の水中観察によると、魚類は接近してくるオッターボードに対して回避行動を起こし、2枚のオッターボードの内側へ回避した魚類は巻き上げられた砂煙やブライドルにより網口方向へと駆集された (Main and Sangster, 1981; Wardle, 1993; Winger *et al.*, 2010)。

また、Main and Sangster (1981) は、網口に駆集されたハドック *Melanogrammus aeglefinus* やホワイティング *Merlangius merlangius* は網口の中央部で遊泳を続け、疲労した個体が入網するが、このときにハドックの方が海底から離れることを観察した。一方、異体類はブライドルやグランドロープ (ground rope, foot rope) の接近や接触により、網口中央に向けてジグザグの運動を繰り返しながら駆集されることも明ら

かにされている (Main and Sangster, 1981; Wardle, 1993; Winger *et al.*, 2010)。こうした行動は、生物が漁具から受けた視覚及び聴覚刺激によるものと考えられており (Wardle, 1993)、漁具認知と回避行動に基づく漁獲モデル (張, 1996) も提唱されている。

身網内に入った生物は、遊泳して再び網口に到達するか、網目を通過しない限り漁獲を免れることができない。現状の底びき網は、網目の大きさや網地の曳網方向に対する角度を調節するなどして、入網した生物を保持できるように経験的に設計されている。例えば、北洋の底びき網漁業では、身網に入網したスケトウダラ *Theragra chalcogramma* が、十分に大きな網目合であってもこれを抜けることなく網地に沿ってコッドエンドに集約されることが知られている (松下ら, 1999)。

コッドエンドに集約された生物は、網目によるふるい分け効果を受け、網目を通過しない生物が最終的に漁獲される。コッドエンドは生物が最終的に集約される場所であり、網目の大きさによる生物の選択漁獲に関する研究が行われてきた (Tokai *et al.*, 1990; 東海ら, 1989a; 東海ら, 1989b; 東海ら, 1994; 東海・三橋, 1998)。

以上のように、身網内に入った生物は網地によって包囲されるため、適切な目合の網地を採用することにより生物の逃避を防ぐことができる。そのため、網口に駆集された生物をいかに逃避させることなく身網内に誘導するかは、底びき網における漁獲の成立に関する重要な問題である。

この網口における生物の逃避経路には、網の前方、

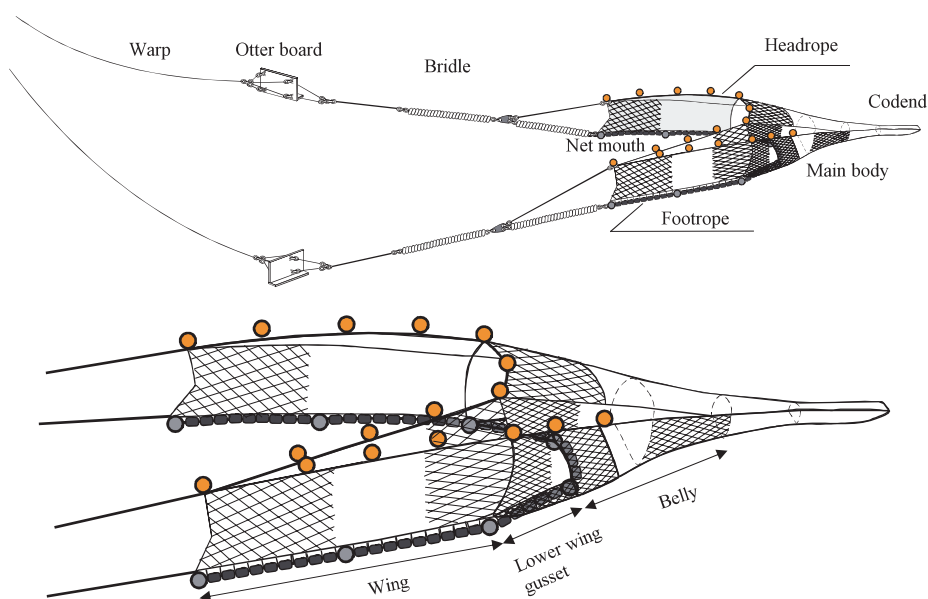


Fig. 3. Schematic diagram of an otter trawl gear.

網の上方、網の下方の通過の3通りがあり、特に底びき網では網の下方への逃避を防ぐために網口が海底に接する部分に装着されたグランドロープの機能が重要となる。また、グランドロープにはこの他に、海底に潜砂している生物を駆り立てる、あるいは、生物を網口中央に駆集するといった機能があるとされる。このように、底びき網で対象生物を効率よく漁獲するためには、グランドロープに対する生物の行動と漁獲への影響を理解する必要がある。

1-3 グランドロープに対する生物の行動と漁獲への影響に関する既往の知見

これまでにグランドロープに対するいくつかの魚類の行動が示されてきた (Main and Sangster, 1981; Wardle, 1993; Winger *et al.*, 2010)。Main and Sangster (1981, 1982) は、曳航式の水中型ビデオカメラにより底びき網の網口を撮影し、魚類の行動を次のように報告している。ハドックが網口で曳網方向への遊泳を続け、疲労すると頭を上に向けてゆっくりと上昇し、グランドロープの下方に逃避する個体はいなかった。ホワイティングはグランドロープの前方で海底から1~2mの位置を遊泳したのち、水平方向に反転してコッドエンド方向を向いて遊泳することで入網した。タイセイヨウダラも水平方向に反転してコッドエンド方向を向くが、このときに入網するも個体とボビンのスペーサーの下を通過して逃避する個体があった。この底びき網のスペーサーは海底から約16cmの高さにあり、その幅は56cmであった。異体類は、ブライドルが接近もしくは接触と直角方向への遊泳の繰り返しによりジグザグの経路を描いて、グランドロープの中央に集められた。Grey gurnardは海底から1m以上離底して遊泳し、水平方向に向きを変えるかハドックのように上昇しながら入網した。スペーサーや潮切りの下から抜ける個体は僅かであった。

Rose (1995) は、低照度カメラを用いてベーリング海の着底底びき網に対する生物の行動を記録した。これによると、オヒョウは最初、余裕を持って遊泳しているが、疲労してくるとグランドロープから1~2mの範囲で短い突進を伴う遊泳と後退を繰り返し、最後は離底して身網内に入った。カレイ類はオヒョウよりも持続性が無く、漁獲の全ての段階でグランドロープの近傍を遊泳した。そして短い突進遊泳やブライドルと袖網に沿ったゆっくりとした遊泳によって網の中央に駆集された。その後、この位置で10秒間から1分間の遊泳した後、向きを変えて入網するか、グランドロープの下に遊泳した。単独で行動するマダラは海底近く

に定位しており、グランドロープを乗り越えるときに離底した。一方、群れで行動するマダラは離底していた。これら群れのマダラは単独の個体よりも短時間で入網した。スケトウダラはグランドロープが2~4mに接近するまではゆっくりと遊泳し、その後は突進した。タラバガニはブライドルと袖網の近傍で逃避するものの、移動能力が魚類より劣っていることでブライドルに追い越された。網口中央に駆集されたタラバガニは速やかに漁具に追いつかれる。そして、タラバガニがグランドロープを乗り越えるか下をくぐるかは、グランドロープの形状と大きさに依存している。

Bublitz (1996) は、グランドロープを乗り越えるときの異体類の行動を、裏返しもしくは横向きで入網するパターンとグランドロープの高さにゆっくりと離底して曳網方向に遊泳してグランドロープを乗り越えるか、もしくは水平方向に反転して入網するパターンに分類した。

これら行動観察の他に、通常底びき網のベレー(網の底面となる網地, belly) (Bridger *et al.* 1981)の下方に補助網(auxiliary net)を装着することでグランドロープの下方に逃避した生物を漁獲する研究が行われている (Engås and Godø, 1989; Walsh, 1992; Munro and Somerton, 2001; Munro and Somerton, 2002)。Weinberg *et al.* (2002) は、曳網速度による漁獲効率の影響を調べた。それによると、タイセイヨウダラ *Gadus macrocephalus*, スケトウダラ *Theragra chalcogramma*, タイハイヨウオヒョウ *Hippoglossus stenolepis* に対する漁獲効率は体の大きさや曳網速度によって変わらず、ガンギエイ類 *Bathyraja spp.* に対する漁獲効率は曳網速度が上がると減少したが体の大きさによる差はなく、アラスカアブラガレイ *Atheresthes stomias* とウマガレイ *Hippoglossoides elassodon* に対する漁獲効率は体が大きくなると増加し曳網速度が上がると減少した。また、Engås and Godø (1989) は、タイセイヨウダラ *Gadus morhua* の方がハドック *Melanogramma aeglefinus* よりもフィッシングラインの下方に潜り込む傾向が強いことを示した。

Munro and Somerton (2002) は、異体類とマダラ *Gadus macrocephalus* に対する底びき網の漁獲効率を推定しており、ウマガレイ、シムシユガレイ *Lepidopsetta bilineata*, タイハイヨウオヒョウ、マダラでは体長に寄らず、常に漁獲効率は0.94以上であった。一方、コガネガレイ *Limanda aspera* に対する漁獲効率は体長に従い増加し、0.77が最大であった。このようにグランドロープによるサイズ選択性があり、小型個体ほどグランドロープの下に逃避しやすいこと

を示した。Somerton and Otto (1999) は、ズワイガニ *Chionoecetes opilio* 及びオオズワイガニ *C. bairdi* に対する漁獲効率を推定し、漁獲効率に性別や体の大きさが影響していることを示した。

このようにグランドロープの下からの逃避が漁獲に与える影響があることが報告されているが、グランドロープの太さのようなその構造が漁獲に与える影響については十分に検討されていない。そして、生物の種やその体の大きさによって、グランドロープに対する行動が異なると考えられる。

底びき網は、面積密度法による資源量推定のための調査用漁具としても用いられる（竹下, 1983; 北川ら, 1997; 北川・服部, 1998; 鈴木・領家, 2000）。面積密度法では、推定された資源量指数（使用した底びき網の漁獲効率を1としたときの資源量）を漁獲効率で除したものを資源量推定値とするので、資源の絶対量を把握し、漁獲係数や漁獲率などを推定するためには、漁獲効率を求めることが不可欠である（上田ら, 2006）。特に、底びき網の重要漁獲対象種であり、かつ調査用底びき網によって資源量推定が行われているズワイガニ類（鈴木・領家, 2000; 渡部・北川, 2004; 服部ら, 2014）のグランドロープに対する行動と漁獲への影響は未解明のままであった。

1-4 本研究の目的と章立て

本研究では、底びき網のグランドロープとその構造、特に太さなどが生物の行動や漁獲に及ぼす影響を、生物の種とその体の大きさの観点から明らかにすることを目的とした。

第2章では、グランドロープに対する行動の生物の種による相違を、遊泳性の異なる生物群に分けて、順に明らかにする。ここでは、海底に接して生息する生物として異体類を、海底から離れて生息すると考えられる生物としてタラ類（スケトウダラ及びマダラ）を、さらに魚類とは異なり遊泳しない生物としてズワイガニ類を対象にして、グランドロープに対する行動を水中映像により観察した。また、ズワイガニ類については、映像中を解析することでグランドロープによる駆集効果の有無について考察した。

第3章では、遊泳性の異なるいくつかの生物の体の大きさとグランドロープの太さが漁獲に与える影響を比較操業試験により検討した。ここでは通常のグランドロープに対して2倍の太さのグランドロープを持つ試験用の網を製作し、比較操業試験で得られた漁獲物の体の大きさを、標本抽出率を考慮した SELECT モデルに当てはめて解析を行い、通常の網をコントロー

ルとした場合に試験網にサイズ選択性が見られるかを種毎に検討した。

第4章では、遊泳しないズワイガニ類を対象にして、ズワイガニ類の体の大きさが漁獲されやすさに与える影響と、グランドロープの太さなどがズワイガニ類の漁獲されやすさに与える影響を水中映像と漁獲物から検討した。

第5章では、本研究を総括し、グランドロープに対する生物の行動と漁獲への影響の理解による、漁業への応用、選択漁獲技術の開発の可能性、調査用底びき網の漁獲効率の推定について考察する。

第2章 生物の種によるグランドロープに対する行動の相違

2-1 はじめに

漁獲過程を調べるうえで漁具に対する生物の行動を把握することは重要である（Engås, 1994; Graham *et al.*, 2004）。これまで魚類を対象に、ダイバーによる観察や光学機器を用いた観察によって底びき網に対する行動が研究されてきた（Main and Sangster, 1981; Engås, 1994; Wardle, 1993）。例えば、タラ科のセイズ *Pollachius virens*、タラやハドックなどの遊泳力のある大型魚種は、網口前方で長時間に渡って遊泳することが観察されている（Main and Sangster, 1981; Walsh, 1992; Wardle, 1993）。一方、スプラット（ニシン科の小魚）やイカナゴ科 *Ammodytidae* などの小型魚種は、遊泳力が大型魚種に比べて弱いため、網口前方における遊泳時間が短く、順次網内に入っていくことが観察されている（Main and Sangster, 1981; Wardle, 1993）。異体類はブライドルやグランドロープに対して法線方向内側に移動した後に停止し、漁具の接近もしくは接触により再び駆集され、この反応行動は異体類が網口の中央まで移動して入網するか、グランドロープの下から抜けるまで繰り返されることが明らかにされている（Main and Sangster, 1981; Walsh, 1992; Wardle, 1993; Rose, 1995）。

本章では、グランドロープに対する行動の生物の種による相違を明らかにするため、海底に接して生息するためグランドロープの影響を強く受けると考えられる異体類、海底からやや離れて生息すると考えられるタラ類（スケトウダラ及びマダラ）、海底に接して生息して遊泳しないズワイガニ類を対象にして、桁網のおどしチェーンあるいは調査用底びき網のグランドロープに対する行動を観察した。

2-2 材料と方法

2-2-1 異体類の行動観察

ヒラメ *Paralichthys olivaceus* を主とした異体類を漁獲対象としている水産工学研究所Ⅱ型桁網(木元ら, 2001)に, 小型有索水中TVカメラ(目玉カメラ, 広和株式会社)(以下, カメラ)を取り付けた行動観察用フレーム(以下, フレーム)を曳航し, おどしチェーンに対する異体類の行動を撮影した。

フレームは幅2.0m×長さ2.3m×高さ0.8mのステンレス製で, 水産工学研究所Ⅱ型桁網に用いられているステンレス製直径6mm, 長さ4.5mのおどしチェーン及び網部分を取り付けた(Fig. 4)。フレームの上面に3台のカメラを取り付け, 同期させた3チャンネルの8ミリビデオデッキで映像を記録した。カメラ1台の撮影範囲は約48cm×64cmであった(Fig. 5)。調

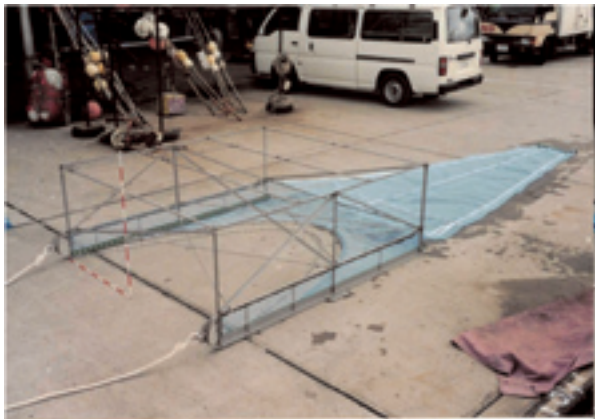


Fig. 4. Frame of the towed camera sled system to observe juvenile flatfish.

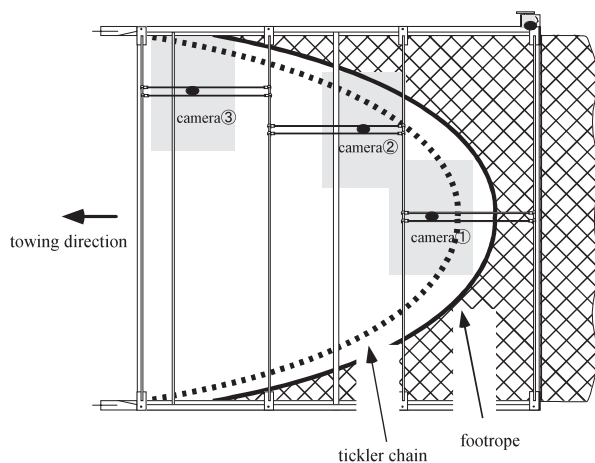


Fig. 5. Schematic drawing of the towed camera sled system (top view).

査は1997年7月24日及び9月9日に山形県酒田市七窪地先の水深6, 9, 12m帯において行った。

7月24日は試験1として, おどしチェーンの中央, 取り付け位置及びその中間を観察するようにカメラを取り付け, おどしチェーン近傍での異体類の行動を撮影した。このとき, おどしチェーンの中央を観察するカメラをカメラ①, おどしチェーンの取り付け位置を観察するカメラをカメラ③, 中間を観察するカメラをカメラ②とした。9月9日は試験2として, おどしチェーンの中央で縦方向に3台カメラを並べ, おどしチェーンに対して異体類が逃避行動を開始したときの距離(反応距離)を観察した。このときも, おどしチェーンの中央を観察するカメラをカメラ①とし, 中央から離れる順にカメラ②, カメラ③とした。

得られた映像から出現種を判別し, 行動パターンを類別した。同年7月23日に同海域において水産工学研究所Ⅱ型桁網(網目幅3.7mm)を曳網し, その漁獲結果を映像における種の判別の参考にした。

2-2-2 タラ類の行動観察

試験は1999年2月に岩手県沖の水深200~400m帯において岩手丸(158トン, 895kW)によって実施した。調査用底びき網のヘッドロープ(長さ20.6m)の中央部に水中ビデオカメラ(Inoue *et al.*, 1998)を取り付け(Fig. 6), 網口の中央部付近におけるタラ類(スケトウダラ及びマダラ)の行動を観察した。この網のグランドロープは, 連結した直径80mm幅40mmのゴムボビンに直径11mmのチェーンを沿わせた構造であり, グランドロープの空中重量は167kgf, 水中重量は72kgfであった。曳網中にライトが進行方向と逆を向くように水中ビデオカメラを取り付けることにより, 照明光に起因する行動への影響を極力避けた。観察中における曳網速度は2.3~2.8ノットであった。

水中ビデオカメラの撮影範囲に出現するまでの行動並びに水中ビデオカメラの撮影範囲外に出るまでの行動を類別し, それぞれの行動を示した個体数を計数した。

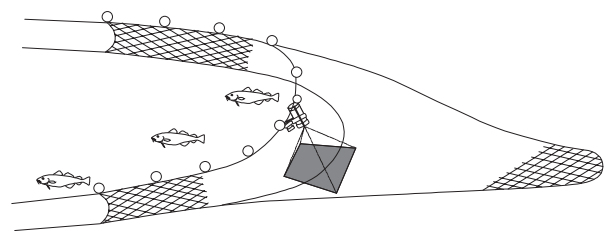


Fig. 6. Schematic drawing of the video camera package on a bottom trawl.

2-2-3 ズワイガニ類の行動観察

調査用底びき網の操業 調査は、宮城県仙台市沖から茨城県日立市沖の水深 440m ~ 700m の海域において (Fig. 7), 2000 年 6 月 7 日 ~ 12 日, 2001 年 6 月 7 日 ~ 13 日, 2004 年 11 月 18 日 ~ 12 月 2 日, 2005 年 11 月 9 日 ~ 21 日に、東北区水産研究所所属の漁業調査船若鷹丸 (692 トン, 1471kW) を用いて行った。本調査で用いた底びき網は、渡部・北川 (2004) が使用したのと同じ底びき網 (以下、調査用底びき網と呼ぶ) である。この網のグランドロープは、大きく 3 つの部位に分けられ、ここでは袖部 (Wing), 補助ペレー

部 (Lower wing gusset), ペレー部 (Belly) と呼ぶ (Fig. 8)。グランドロープの袖部, 補助ペレー部, ペレー部の長さはそれぞれ, 13m, 4.5m, 3m である。ここで、袖部と補助ペレー部のグランドロープの長さは、片側の長さである。まず、グランドロープのペレー部は曳網方向にはほぼ直角になるのに対して、その両側にあたる補助ペレー部と呼ばれる部位は角度がやや小さくなる。これらの部位には、いずれも 150mm 径のゴムボビンが装着されている (Fig. 8)。一方、袖部は曳網方向となす角度がより小さく、この部位のゴムボビンはやや小さな 120mm 径である。曳網中にオッターレコーダ (古野電気製 CN-22A) によりオッターボード間隔

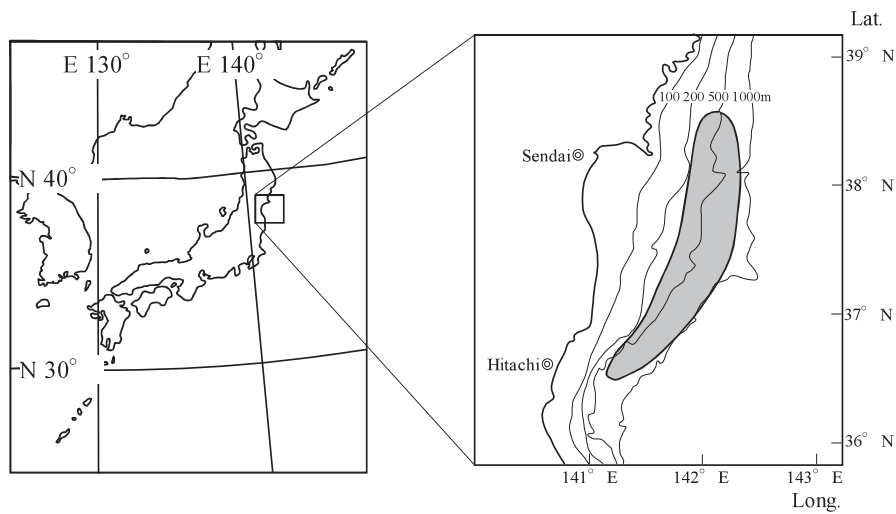


Fig.7. Map showing the survey water area in Pacific coastal waters of Northern Japan.

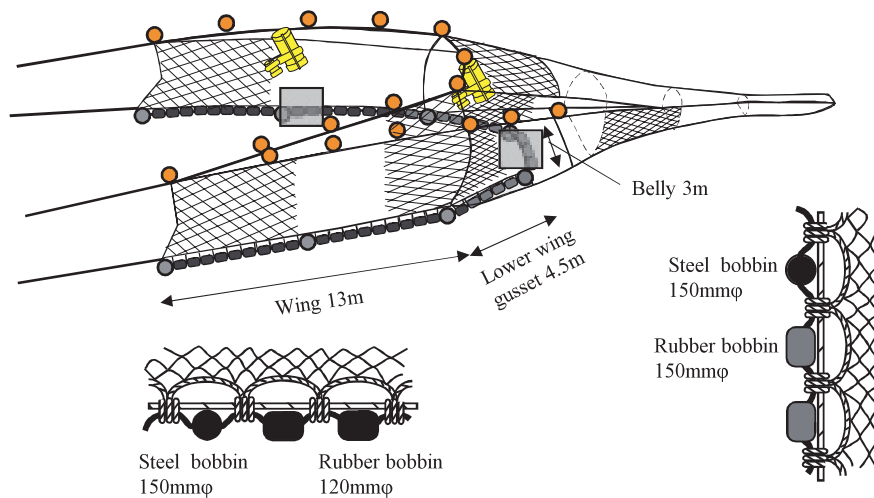


Fig. 8. Schematic drawing of the underwater video cameras observing the footrope at the belly, lower wing gusset, and wing sections of the survey trawl net. The shaded areas indicate the locations monitored with the underwater video cameras. The diameter of the rubber bobbins at the belly and lower wing gusset sections of the footrope was 150 mm (gray) and that at the wing section was 120 mm (black).

を計測した。そして北川・服部 (1998) と同様に、オッターボードと袖網先端並びにコッドヘッドを結ぶ線が直線になると仮定して、計測したオッターボード間隔とコッドヘッドの幅、並びにオッターボードと袖網先端までの長さ、袖網先端からコッドヘッドまでの長さから、袖先間隔を求めた。

漁獲されたズワイガニ類は、ズワイガニ、ベニズワイガニ及びこれらの交雑種 (石田・川田, 2003) ごとに雌雄に分けて計数し、それぞれの漁獲個体数が100個体未満の場合は全数、100個体以上の場合は無作為に選んだ少なくとも100個体についてノギスを用いて0.1mm単位で甲幅を計測した。

ビデオカメラ観察 2000年と2001年は、調査用底びき網のヘッドロープの中央に1台の水中ビデオカメラを取り付け、Fig. 9に示したグランドロープのベレー部から補助ベレー部にかけての範囲を撮影した。そして、合計46調査点で水中ビデオカメラによる観察を行った。解析には、海水の濁りや水中ビデオカメラの結露により映像が不鮮明であった調査点を除き、調査用底びき網が着底してから離底するまでの間を全て観察できた合計10調査点の映像記録を用いた。また、ヘッドロープ中央の海底からの高さ (以下、網口高さと呼ぶ) をネットレコーダで計測して、水中ビデオカメラを取り付けたことによって網口高さに変化するかどうかを調べた。

2004年と2005年は、調査用底びき網におけるヘッドロープの中央部及び袖部にそれぞれ1台の水中ビデオカメラを取り付けた (Fig. 8)。以降、ヘッドロープの中央部と袖部に取り付けた水中ビデオカメラをそれぞれ中央カメラと袖カメラと呼ぶ。また、中央カメラと袖カメラを合わせて両カメラと呼ぶ。そして、中央

カメラによってグランドロープのベレー部から補助ベレー部にかけてを、袖カメラでグランドロープの袖部のうち中間よりも補助ベレー寄りの部分を、それぞれほぼ直上から観察した。合計97回の曳網を行い、このうち67回で2台の水中ビデオカメラを装着した。このうち映像が鮮明であり、2台のカメラで底びき網の着底から離底までの間の全てを撮影できた7回の曳網を解析の対象にした。このとき撮影した画像の範囲は、グランドロープのベレー部、補助ベレー部、袖部のそれぞれ78%、16%、10%に当たる。さらに、画像内のゴムボビンの数からグランドロープの長さ l を、またグランドロープが曳網方向となす角度 θ を求めた (Fig. 10)。

いずれの年の調査でも、装着した水中ビデオカメラは、Inoue *et al.* (1998) が開発したものをもとに、内蔵されるビデオカメラをSony製DCR-TRV10もしくはSony製CCD-TR1に、さらにハロゲンライトの光源出力を150W (電圧24V) に改良したものである。

投網を開始してからグランドロープが着底するまでに要する時間は水深によって異なる。このため、水中ビデオカメラが作動する時間を制御して調査用底びき網が着底してから離底するまでの間を撮影した。

曳航式深海用ビデオカメラの照明光がベニズワイガニ (渡部・山崎, 1999) やズワイガニ (渡部・廣瀬, 2001) の行動におよぼす影響は少ないと推察されている。また、アブラガレイ、コガネガレイ、シムシムガレイ、マダラ、スケトウダラの漁獲されやすさは照明光の有無によって影響されないとされる (Weinberg and Munro, 1999)。これらのことから、本研究においても照明光がズワイガニ類の行動に与える影響は少ないものとして取り扱う。曳網は全て日中に行い、曳網

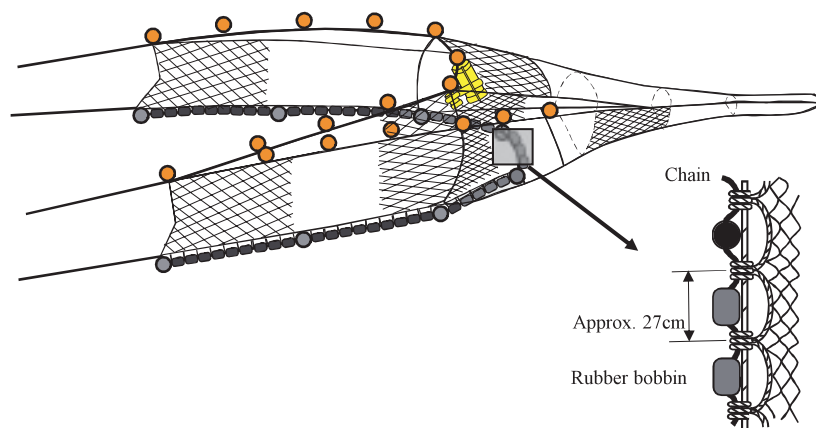


Fig. 9. Schematic drawing of attachment of the underwater video camera in the center of the headrope of the survey trawl net. Shaded area indicates the observing area on the seafloor. Distance (27cm) indicated by the arrow was used as a standard to estimate carapace width from video image.

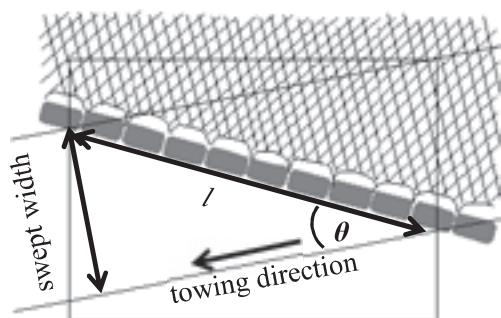


Fig. 10. Definition of swept width in the view field of the underwater video camera. The swept width was defined as $l \sin \theta$. Here, l : length of the footrope in the footage, θ : Attack angle of footrope in relation to the towing direction.

速度を約 1.5m/sec とし、1 回の曳網時間を着底後 30 分間とした。ただし、過去の調査において生物が大量に漁獲された海域における曳網では曳網時間を着底後 15 分間もしくは 20 分間に短縮した。

行動観察 ズワイガニとベニズワイガニ及びその交雑種 (石田・川田, 2003) の外観が酷似しており、ビデオ映像からは種を判別できなかったため、全てズワイガニ類とした。

2000 年及び 2001 年は、水中ビデオカメラの視野に入った時点からグランドロープがズワイガニ類に到達するまでの間のズワイガニ類の行動によって、1) 静止していた個体 (以下、静止個体と呼ぶ)、2) 水中ビデオカメラの視野に入った時点ですでに移動していた個体 (以下、移動個体と呼ぶ)、3) 水中ビデオカメラの視野に入った時点では静止しており、その後移動した個体 (以下、静止移動個体と呼ぶ)、の 3 通りに分類した。また、グランドロープが到達後、ズワイガニ類の下方をグランドロープが通過した場合、その個体は入網したと判断した。入網パターンによって、1) グランドロープに接触して入網した、2) ゴム沈子や鉄製沈子が押しつける泥とともに入網した (グランドロープに引っ掛かった個体に接触して入網した場合を含む) の 2 通りに分類した。

2004 年及び 2005 年は、両カメラで撮影した映像内で観察されたズワイガニ類のグランドロープとの接触状況を次のように分類し、それぞれの接触状況を示した個体に呼称をつけた (Fig. 11)。1) 映像内でグランドロープがズワイガニ類の下を通過することで入網した (入網個体)、2) 映像内でグランドロープがズワイガニ類の上を通過することでグランドロープの下方に逃避した個体 (逃避個体)、3) 映像内でグランドロープがズワイガニ類の上下を通過することなく画面の枠

の外に達した個体 (フレームアウト個体)、4) 映像中に観察されたものの水中ビデオカメラの動揺等によりグランドロープがズワイガニ類の上下いずれを通過したか判別できなかった個体 (不明個体)。特に、グランドロープに対する反応として、映像内にズワイガニ類が見えた段階からグランドロープに接触するかフレームアウトするまで間の反応行動を、2000 年及び 2001 年のベレー部及び補助ベレー部の観察に従い、1) 静止していた個体 (静止個体)、2) 映像内に見えた段階で既に移動していた個体 (移動個体)、3) 映像内に見えた時点では静止しており、その後移動した個体 (静止移動個体) の 3 通りに分類した。

ズワイガニ類に対してブライドルにおける駆集効果がほとんどないことが知られている (Rose, 1995)。一方で、グランドロープに駆集効果があれば、部位別にグランドロープに遭遇しているズワイガニ類の密度が異なる可能性が残る。そこで、部位別にグランドロープに遭遇するズワイガニ類の密度を求めるため、映像中のグランドロープが海底を掃過した幅を掃過幅とし、画像におけるグランドロープの長さ l 及びグランドロープが曳網方向となす角度 θ から掃過幅を $l \sin \theta$ で求めた (Fig. 10)。こうして得られたグランドロープの掃過幅に曳網距離を乗じることで掃過面積が求められる。ここで同一の曳網におけるグランドロープの着底から離底までの時間は、中央カメラと袖カメラの間で差があったが、この差は曳網時間全体に比べて短かったことから、グランドロープの部位間による曳網時間に大きな差はないものと仮定して扱う。従って、

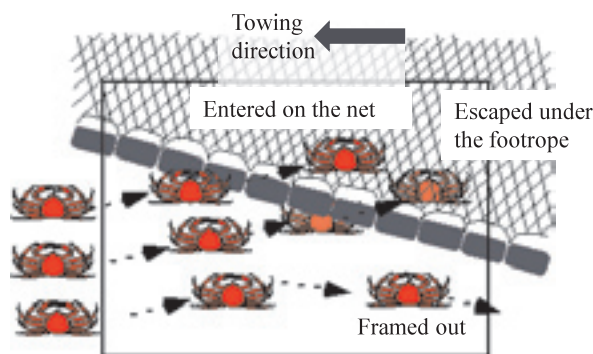


Fig. 11. Behavioral patterns of snow crabs in relation to the footrope as observed with underwater video cameras. Entered the net: the footrope passed below crab and thus the crab entered the net. Escaped under the footrope: the footrope passed over crab and the crab escaped. Framed out: crabs left the frame of the footage without the footrope passing either above or below them. Unidentified: behavior of the crabs was not identified due to the instability of the image.

部位間の曳網距離は同じと仮定して、曳網時間と曳網速度から求めた。そして、密度に相当する値として単位掃過幅あたりのグランドローブに遭遇したズワイガニ類の個体数をグランドローブの部位ごとに求めた。全7曳網について、ベレー部における密度に対して補助ベレー部と袖部でズワイガニ類の密度に差があるかを検討した。

2-3 結果

2-3-1 異体類の行動

曳航速度（対地速度）は映像から推測して1.0～2.3ノットの範囲にあった。なお、網に砂が詰まり船が止まった場合や、フレームがバランスを崩して正常に曳航できない場合のデータについては除外した。

映像からヒラメ、アラメガレイ *Tarphops oligolepis*、ササウシノシタ *Heteromycteris japonica* を判別できた。試験1で、カメラ③での撮影範囲ではおどしチェーンが曳航方向に対してほぼ平行になっていたため、駆られる異体類はほとんど出現しなかった。また、カメラ②においても出現した異体類は少なかった。そこで、カメラ②及び③については解析の対象から除外し、カメラ①の撮影範囲で出現した異体類のおどしチェーンに対する行動を次のA～Fの6パターンに類別した（Fig. 12）。

パターンA：おどしチェーンにひっかけられるように起こされ、フレームの進行により相対的に後退し、おどしチェーンの上を通過する。

パターンB：遊泳することで海底から離れ、曳航方向の反対側を向いて突進し、おどしチェーンの上を通過する。

パターンC：遊泳することで海底から離れ、曳航方向を向いて突進し、おどしチェーンの上を通過する。

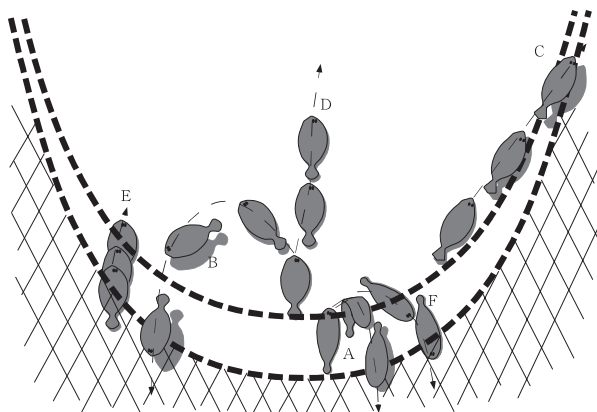


Fig. 12. Behavioral pattern of juvenile flatfish.

パターンD：おどしチェーンを超えず曳航方向への逃避を続ける。

パターンE：曳航方向への逃避をするが、おどしチェーンが遊泳速度を上回り、魚体の上を通過する。

パターンF：曳航方向の反対側を向き、おどしチェーンの下に潜り込む。

一度おどしチェーンを通過した個体が再びおどしチェーンの前方に出現することはなかった。よって今回はおどしチェーンの上を通過したものは全て入網するものとして扱った。

魚種毎、行動パターン毎の出現数を Table 1 に示す。なお、Dパターンについては、逃避後おどしチェーンの接近により再度駆られ、最終的にはおどしチェーンの上下いずれかを通過するものとして計算に加えなかった。

魚種毎に特徴的な行動パターンは以下のとおりであった。ヒラメは数回の尾鰭と体の後半の振り下ろしにより全長の5倍、もしくはそれ以上の距離を曳航方向やや斜めへ離底した状態で突進し、その後、体を動かさずに水中を滑空しておどしチェーンを越えて入網する様子が観察された（Fig. 13）。突進、滑空後に砂漣の窪地に着底した場合には、おどしチェーンが駆ることなく魚体の上を通過し、結果としておどしチェーン

Table 1. Behavioral pattern of juvenile flatfish overbed at the center of the tickler chain of the towed camera system

Pattern	Japanese	Pygmy whiff	Bamboo sole
A	3	2	18
B	4	18	8
C	6	3	2
E	6	8	24
F	3	3	29
total	22	34	81



Fig. 13. A juvenile flounder swam over the tickler chain.

ン下方への逃避が生じることが観察された (E パターン)。

アラメガレイは尾鰭の振り下ろしによる断続的な突進を繰り返して逃避した後、おどしチェーンに接触しかけたときに弾かれるように離底し、Uターンをして曳航方向の反対側へ突進する行動 (B パターン) が特に多く出現した。ヒラメと同様に、砂漣の窪地に着底したときにおどしチェーン下方への逃避が観察された (E パターン)。

ササウシノシタは離底せずにおどしチェーン直前を曳航方向に、あるいはおどしチェーンに沿って逃避した後、おどしチェーンの下に潜り込む逃避行動 (F パターン) が最も多く観察され、その他にはおどしチェーンが魚体の上を通過する現象 (E パターン) や、おどしチェーンにひっかけられるように起こされ、フレームが進行することにより相対的に後退する入網行動 (A パターン) が多く観察された。

試験2でカメラをおどしチェーンの中央で縦方向に3台並べ、おどしチェーンに対する反応距離の観察を行った際には、おどしチェーンから50cm以上前方では逃避行動の開始は観察されなかった。いずれの魚種でも逃避行動はおどしチェーンが全長の数倍の距離から接触するまでのごく狭い範囲で初めて開始された。また、ササウシノシタはおどしチェーンの直前で逃避した。

7月23日の漁獲物は、ヒラメ19個体、アラメガレイ24個体、ササウシノシタ20個体であり、全長±標準偏差 (mm) はそれぞれ、 69 ± 15 , 58 ± 16 , 83 ± 14 であった。

2-3-2 タラ類の行動

映像から魚種を判別し、不明確なものは漁獲物組成からその多くをスケトウダラと判断した。合計で369個体の行動を観察し、これらタラ類の大半は海底直近

で観察された。水中ビデオカメラの撮影範囲に出現する位置とグランドロープが接近するまでのタラ類の行動は、A) 動かない162個体 (44%), B) グランドロープ中央と平行に遊泳する89個体 (24%), C) 袖網側から遊泳してくる82個体 (22%), D) 曳網方向前方から遊泳してくる35個体 (9%), E) ヘッドロープ側から出現する1個体の順に多かった。一方、グランドロープが接近し、タラ類が水中ビデオカメラの撮影範囲外に出るまでの行動は、a) グランドロープの下に潜り込む209個体 (57%), b) 網口中央部方向に遊泳する117個体 (32%), c) 入網する36個体 (10%) の順に多く、前方に遊泳する行動は7個体と少なかった。また、Main and Sangster (1981) が報告している、網口で定位して曳網方向を向いた状態で遊泳する行動は見られなかった。

2-3-3 ズワイガニ類の行動

調査用底びき網の操業 2000年と2001年は、10調査点における調査用底びき網の操業によって合計1,221個体のズワイガニ類を漁獲した (Table 2)。漁獲されたズワイガニ類の甲幅組成を Fig. 14 に示した。調査用底びき網により漁獲された雌のズワイガニ類の甲幅は4.20cm ~ 9.32cmの範囲にあり、平均甲幅は6.8cm (SD, 0.8cm) であった。雄のズワイガニ類の甲幅は2.63cm ~ 14.33cmの範囲にあり、平均甲幅は11.0cm (SD, 2.3cm) であった。甲幅4cm未満の個体は全体の0.3%と、ほとんど漁獲されなかった。

水中ビデオカメラの映像から、合計466個体のズワイガニ類のグランドロープ近傍での行動を観察した。水中ビデオカメラと海底との距離により水中ビデオカメラの視野は変わり、それに伴い観察幅は3m ~ 5mの範囲で変動した。水中ビデオカメラの視野はグランドロープの前方1m ~ 2mまでの範囲であった。調査用底びき網の着底から揚網までグランドロープが海底

Table 2. Number of snow crabs, response to the footrope observed with the underwater video camera and the catch of the trawl net

Date	8 June '00	12 June '00	11. June '00	11 June '00	9 June '01	9 June '01	10 June '01	11 June '01	11 June '01	12 June '01	Total
Bottom depth(m)	600	490	670	540	550	680	550	690	480	650	
Towing duration	32min41s	30min23s	31min35s	34min15s	32min51s	20min31s	29min45s	20min00s	30min20s	30min09s	
Camera Response											
No response ^{*1}	15	73	38	276	2	24	10	0	1	0	439
Moving when they appeared ^{*2}	1	12	0	6	0	0	2	0	0	0	21
Moved after they had appeared ^{*3}	0	1	0	4	1	0	0	0	0	0	6
Trawl											
Number of crabs captured	83	208	145	668	7	49	40	7	13	1	1221

^{*1} Crabs were in a state of rest

^{*2} Crabs were moving when they appeared in the field of view of the under-water video camera

^{*3} Crabs moved after they had appeared in the field of view of the under-water video camera

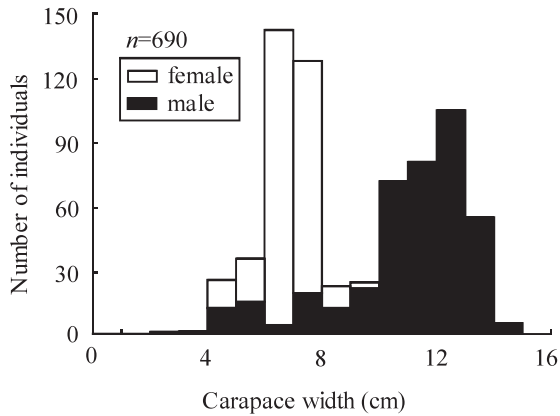


Fig. 14. Number of snow crabs (*Chionoecetes opilio*, *C. japonicus* and the hybrid from a *C. opilio* and a *C. japonicus*) captured by the survey trawl net.

から離れることはなかった。ネットレコーダの記録から、曳網中の網口高さは3.5m～4.0mであった。水中ビデオカメラを取り付けたことによって網口高さは変化しなかった。

2004年と2005年は、7回の曳網で、調査用底びき網により合計682個体のズワイガニ類が漁獲された。計測したオッターボード間隔から求めた袖先間隔は17.1m～21.1mであった (Table 3)。

両カメラの映像から求めたグランドロープと曳網方向となす角度 θ (°) (平均±標準偏差)は、袖部で 28 ± 5.9 であったのに対して、補助ベレー部で 58 ± 8.0 、またベレー部で 85 ± 5.3 であった (Table 3)。2005年に行った3回の曳網 (No.5からNo.7)における袖カメラの位置は、グランドロープの直上からやや外れた。

ズワイガニ類の行動 2000年と2001年は、水中ビデオカメラで観察されたズワイガニ類466個体のうち、静止個体は439個体 (94.2%)、移動個体は21個体 (4.5%)、静止移動個体は6個体 (1.3%) であっ

た (Table 2)。従って、水中ビデオカメラの視野に入った時点で、静止していたズワイガニ類は445個体 (95.5%)であった。また、移動した27個体の移動速度は曳網速度に比べて遅かった。ズワイガニ類は、全て海底面上で観察され、海底から離れる個体はなかった。

静止個体のうち54個体 (12.3%)が入網し、移動個体と静止移動個体のうち5個体 (18.5%)が入網した。これら59個体のうち33個体がグランドロープに接触して入網した。残りの26個体はゴム沈子や鉄製沈子が押しつける泥とともに入網するか、グランドロープに引っ掛かった個体に接触して入網した (Fig. 15)。グランドロープに接触して入網したパターンは33個体のうち11個体 (33%)が、ゴム沈子や鉄製沈子が押しつける泥とともに入網したパターンは26個体のうち17個体 (65%)が甲幅8cm未満の小型個体であった (Fig. 15)。

グランドロープに引っ掛かったズワイガニ類は28

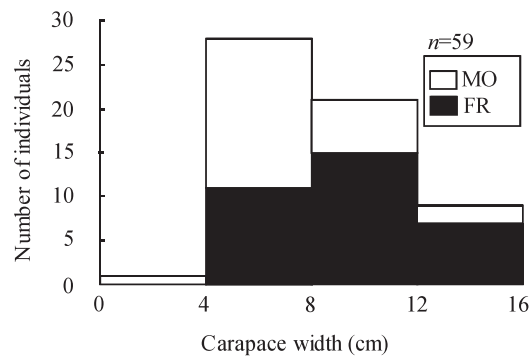


Fig. 15. Entering pattern of snow crabs observed with the underwater video camera. FR: snow crabs entered after contacted with the footrope. MO: snow crabs entered with mud or snow crabs entered after contacted with other individuals that scratched the footrope.

Table 3. Number of crabs captured in the codend, wing spread, length of footrope observed with the underwater video cameras, attack angle of footrope

Operation No.	1	2	3	4	5	6	7	Total
Number of crabs captured in the codend	81	82	73	158	52	28	208	682
Wing spread (m) ^{*1}	17.1	19.0	18.7	17.3	18.0	18.5	21.1	
Belly	Length (m) ^{*2}	2.4	2.1	2.9	1.2	2.6	2.3	2.9
	Attack angle ^{*3}	90	75	90	85	90	80	85
Lower wing gusset	Length (m) ^{*2}	1.5	2	1.2	2.3	1	1.5	0.7
	Attack angle ^{*3}	60	45	60	55	65	50	70
Wing	Length (m) ^{*2}	2.3	3.1	2.6	2.6	2.4	2.6	2.6
	Attack angle ^{*3}	30	25	25	20	30	25	40

*1 Wing spread was calculated from the otter board spread

*2 Length of footrope in the footage

*3 Attack angle of footrope against the towing direction

個体 (6%) と僅かであり, 大部分は速やかに入網するか, グランドロープの下に抜けた。入網しなかった全ての個体は, グランドロープに接触した後にその下方に抜け, 前方へ逃避する個体はなかった。

2004年と2005年に両カメラで撮影されたズワイガニ類は合計466個体であった。このうちベレー部, 補助ベレー部と袖部においてそれぞれ, 入網個体は21個体, 11個体と61個体, また逃避個体は144個体, 86個体と54個体であった。なおフレームアウト個体は6個体, 0個体, 76個体であり, 袖部ではフレームアウト個体が観察された個体の40%と多かった。また不明個体は5個体, 0個体, 2個体とわずかであった (Table 4)。グランドロープに対するズワイガニ類の反応では, ベレー部, 補助ベレー部, 袖部のそれぞれで, 静止個体が70個体, 60個体, 80個体, 移動個体が55個体, 31個体, 95個体, 静止移動個体が51個体,

6個体, 18個体であった。従って, ベレー部, 補助ベレー部, 袖部のそれぞれで観察された個体の69%, 68%, 51%が映像内で見えた段階では移動していなかった。全ての部位において, ズワイガニ類が接近するグランドロープを上回る速度で曳網方向に移動することはなかった。袖部では, グランドロープの下側部分が海底の泥に潜り込み, この泥とともにズワイガニ類が入網することがあった。一方, ベレー部と補助ベレー部では, グランドロープのほぼ全てが海底上に露出しており, グランドロープが泥をすくい上げることはほとんどなかった。

2004年と2005年におけるグランドロープのベレー部における単位掃過幅あたりの接触個体数 Q_B (個体数/m) と袖部における接触個体数 Q_w (個体数/m) の関係は, 原点を通過する回帰直線 $Q_w=1.08Q_B$ (決定係数 $r^2=0.86$) で表され, この回帰直線の傾きは1

Table 4. Behavioral pattern, response to the footrope and entry ratio at each section of the footrope

Section of the footrope			Operation No.							
			1	2	3	4	5	6	7	Total
Belly	Behavioral patterns of snow crabs	Entered on the net ^{*1}	2	3	1	2	1	0	12	21
		Escaped under the footrope ^{*1}	23	16	9	22	12	6	56	144
		Framed out ^{*1}	0	0	0	5	0	1	0	6
		Unidentified ^{*1}	0	0	0	0	0	0	5	5
		Total	25	19	10	29	13	7	73	176
	Responses of snow crabs	No response ^{*2}	11	14	4	29	0	2	10	70
		Moving when they appeared ^{*3}	9	3	5	0	8	1	29	55
		Moved after they had appeared ^{*4}	5	2	1	0	5	4	34	51
		Total	25	19	10	29	13	7	73	176
	Entry ratio ^{*5}			0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0	0.2
Lower wing gusset	Behavioral patterns of snow crabs	Entered on the net ^{*1}	1	2	0	4	2	1	1	11
		Escaped under the footrope ^{*1}	16	20	3	30	3	5	9	86
		Framed out ^{*1}	0	0	0	0	0	0	0	0
		Unidentified ^{*1}	0	0	0	0	0	0	0	0
		Total	17	22	3	34	5	6	10	97
	Responses of snow crabs	No response ^{*2}	8	17	0	26	2	3	4	60
		Moving when they appeared ^{*3}	8	5	2	8	3	2	3	31
		Moved after they had appeared ^{*4}	1	0	1	0	0	1	3	6
		Total	17	22	3	34	5	6	10	97
	Entry ratio ^{*5}			0.1	0.1	0	0.1	0.4	0.2	0.1
Wing	Behavioral patterns of snow crabs	Entered on the net ^{*1}	4	4	9	14	5	1	24	61
		Escaped under the footrope ^{*1}	9	12	11	5	2	0	15	54
		Framed out ^{*1}	8	11	18	11	11	1	16	76
		Unidentified ^{*1}	0	0	0	0	0	0	2	2
		Total	21	27	38	30	18	2	57	193
	Responses of snow crabs	No response ^{*2}	8	22	17	12	2	0	19	80
		Moving when they appeared ^{*3}	2	1	7	1	2	0	5	18
		Moved after they had appeared ^{*4}	11	4	14	17	14	2	33	95
		Total	21	27	38	30	18	2	57	193
	Entry ratio ^{*5}			0.3	0.3	0.5	0.7	0.7	1	0.6

*1 See Fig.11. for details of each behavioral pattern of snow crabs

*2 Crabs were in a state of rest

*3 Crabs were moving when they appeared in the footage

*4 Crabs moved after they had appeared in the footage

*5 Entry ratio was defined as a ratio of the number of crabs that entered to the number of crabs that entered and escaped

と有意な差は認められなかった (t 検定, $P > 0.05$)。同様に, Q_B と補助ベレー部における接触個体数 Q_L (個体数/m) の関係も, 原点を通過する回帰直線 $Q_L=0.87Q_B$ ($r^2=0.88$) で表され, その回帰直線の傾きもまた1とは有意な差がなかった (t 検定, $P > 0.05$) (Fig. 16)。従って, ベレー部と袖部, ベレー部と補助ベレー部で, 単位掃過幅あたりの接触個体に差は認められなかった。

2-4 考 察

2-4-1 異体類の行動

ヒラメとアラメガレイはいずれも離底するパターンが多く見られた。これに対してササウシノシタはほとんど離底せず, むしろおどしチェーンの下に潜り込む傾向を示し, 種による行動の相違が見られた。また, ササウシノシタがおどしチェーンの上を通過する際には, 離底するのではなく, おどしチェーンにひっかけられるように起こされるパターンの事例が多かった。このようにおどしチェーンの接近により上方向へ遊泳するか, 下方向へ遊泳するかといった行動の相違が漁獲に影響していると考えられる。一方で, 個体の上をおどしチェーンが通過する現象 (Eパターン) が観察された。特に砂漣の窪地において, おどしチェーンが完全には接地しないことにより, 結果としておど

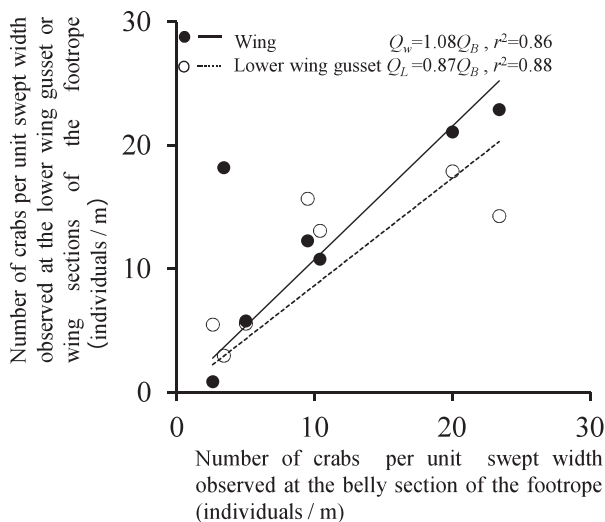


Fig. 16. Comparisons between the number of snow crabs that entered the net and fled per unit of swept width among sections of the footrope. Q_B , Q_W and Q_L indicate number of crabs per unit swept width observed at the belly, wing, and lower wing gusset sections, respectively.

しチェーン下方への異体類の逃避が多く観察された。Kuipers (1975) は, 直径6mmのステンレス製おどしチェーン及びグラウンドロープを有するソリ付き桁網のプレイス *Pleuronectes platessa* 未成魚に対する漁獲効率の推定において, 網の下方への逃避はないとしている。しかしながら, 本調査においておどしチェーンの下への逃避が観察されたことは, 漁獲効率を向上させるためにはおどしチェーンの接地性の向上が重要であることを示している。

2-4-2 タラ類の行動

既往の知見では, タラ類はグラウンドロープ中央の前方で曳網方向を向いて遊泳した後に入網するとされてきた (Main and Sangster, 1981)。一方, 本研究の観察結果では, 静止して海底に接するようにしているタラ類がグラウンドロープと海底の隙間を通過して逃避する様子が観察されたことから, 離底していると考えられていたタラ類であっても, 実験に用いた底びき網漁具ではグラウンドロープが生物を駆り立てる機能や網口の下への逃避を妨げる機能が低いことが示された。

2-4-3 ズワイガニ類の行動

2000年と2001年に観察されたズワイガニ類の94.2%が静止個体であった。また, 静止移動個体を含めると, 水中ビデオカメラの視野に入った時点で静止していた個体は95.5%であった。一方, 移動個体は4.5%と極めて少なく, その移動速度は曳網速度より遅かった。水中ビデオカメラの視野はグラウンドロープの前方1m~2mまでの範囲であった。従ってグラウンドロープの接近に対して, ほとんどのズワイガニ類は反応しなかったことになる。底びき網の接近に対する反応が顕著な底魚類は, オッターボードやオッターペンネットなどによって網口へ駆集され漁獲される。一方, eastern king prawn *Penaeus plebejus* や shovelnose lobster *Thenus orientalis* などの甲殻類は接近してくる底びき網漁具に対してほとんど反応しないため, ブライドルによって網口へ駆集されない (Andrew *et al.*, 1991)。ズワイガニ類もグラウンドロープの接近に対してほとんど反応しなかったことから, オッターペンネット, ブライドル, 網ペンネットによる威嚇によって網口へ駆集されることはほとんどないと判断する。網口高さは通常の操業時と変わらなかった。また, 照明光がズワイガニ類の行動に与える影響は少ない (渡部・廣瀬, 2001)。これらのことから, 水中ビデオカメラの取り付けは漁具形状やズワイガニ類の行動には

とんど影響を与えないと考えた。

ズワイガニ類の移動速度は曳網速度より遅かった。そして、接近してくるグランドロープを回避する行動はほとんど観察されなかった。また、ズワイガニ類が海底から離れることはなかった。さらに、ズワイガニ類には歩脚等の付属肢があり魚類と較べると形態が複雑なため、身網から抜けることは少ないと推測する。調査用底びき網のコッドエンドの中網の目合が8mm(渡部・北川, 2004)と細かいことから、本調査で漁獲された大きさのズワイガニ類がコッドエンドの網目から抜けることはない。よって、ズワイガニ類がグランドロープの前方で移動し続けて漁獲を回避することも、ヘッドロープの上を越えて逃避することもなかった。従って異体類(Munro and Somerton, 2002)と同様に、ズワイガニ類についても、漁獲されなかった個体はグランドロープの下方から抜けていたことになる。このことからズワイガニ類の底びき網による漁獲は、グランドロープの構造が大きく影響すると考える。

ゴム沈子や鉄製沈子が押しつける泥とともに入網したパターンは、グランドロープに接触して入網したパターンに比べて、小型個体が多かった(Fig. 15)。グランドロープに対してズワイガニ類はほとんど行動しなかった。また、甲幅が大きいほど入網率が高くなった。これらのことから、入網率はズワイガニ類に対するグランドロープの相対的な高さによって決定すると考える。ゴム沈子や鉄製沈子が押しつける泥とともに入網した場合はグランドロープが泥に潜り込むことによって、ズワイガニ類に対するグランドロープの高さが相対的に低くなった。そのため小型個体が入網しやすくなったと推測する。このことは、海底の底質によっても入網率が変化することを示している。グランドロープに引掛かった個体に接触して入網したパターンは、グランドロープに接触する前にこれらの個体に乗り上げることによって、同様の現象が生じたと考える。渡部・廣瀬(2001)は、曳航式深海用ビデオカメラを日本海で曳航し、観察されたズワイガニ104個体のうち22個体が海底の泥中に潜っていたと報告している。一方、本調査と同一海域での曳航式深海用ビデオカメラを用いた観察では、377個体のズワイガニのうち、わずか2個体が海底の泥中に潜っていたに過ぎなかった(渡部・北川, 2004)。泥中に潜っているズワイガニ類はグランドロープに対する相対的な高さが低くなるため、入網率が低くなると考えられる。このことから、同じ漁具を使ったとしても海域が異なると入網率に差異が生じる可能性がある。

2004年と2005年において、ベレー部、補助ベレー部及び袖部における単位掃過幅あたりでグランドロー

プに接触したズワイガニ類の個体数に部位間で有意な差は認められなかった。これは、ズワイガニ類では、グランドロープのベレー部で袖部に比べて密度が高くないことを示唆しており、各部位における行動の観察だけでなく、このこともグランドロープによる駆集効果が認められないことを示唆している。

2004年と2005年では、グランドロープのベレー部と補助ベレー部のみならず、袖部においてもズワイガニ類の行動を観察した。このうち、グランドロープの袖部で観察されたズワイガニ類の51%が映像内に見えた段階では移動してはいなかった。また、グランドロープの全ての部位において、接近するグランドロープを上回る速度でズワイガニ類が曳網方向に逃げる動きをすることはなかった。さらに、本研究におけるズワイガニ類は、グランドロープに接触した後もグランドロープを避ける行動を示さなかった。異体類では、接近するグランドロープにより駆集されることでグランドロープのベレー部での密度が高くなることが報告されている(Main and Sangster, 1982)。また、甲殻類でもヨーロッパアカザエビ *Nephrops norvegicus* はグランドロープに遭遇した後、グランドロープが曳網方向に対してなす角度によらず、90度方向に逃避したことが報告されている(Newland and Chapman 1989)。こうした反応は、グランドロープの駆集効果として働き、袖部よりもベレー部に近いところでの密度を高くすることが期待されている。調査用底びき網のグランドロープのベレー部及び補助ベレー部や曳航式深海用ビデオカメラ(渡部・山崎, 1999)による観察でも、これらの機器が接近するまで、あるいは接触するまで多くのズワイガニ類が行動を示さないことが報告されている。このように、接近する物体に対する反応が低い場合、ズワイガニ類に対する調査用底びき網のグランドロープの袖部におけるによる駆集効果はほとんどないと考えられる。同様に、タラバガニ *Paralithodes camtschaticus* やズワイガニ属 *Chionoecetes spp.* はブライドルを避けるように移動したとされるものの、結局はブライドルに追いつかれたと報告されている(Rose, 1995)。また、タラバガニはゆっくりと移動するために1.5m/secで接近する底びき網に追いつかれるまでに僅かな距離しか移動できないので駆集効果は無視できるとされる(Weinberg *et al.*, 2004)。これらのことから、本研究でフレームアウトしたズワイガニ類も映像フレームの外で速やかにグランドロープに接触したものと考えられる。

ベレー部と補助ベレー部においても、グランドロープが接触した後にズワイガニ類が前方に逃避するようには見えなかった。一方で同じ甲殻類でも、ヨーロッ

パアカザエビでは腹部及び尾扇で跳ねるようにグランドロープを避けたとされるのに対して (Newland and Chapman, 1989), 歩脚で移動するズワイガニ類はそのような俊敏な動きができない。このようにグランドロープに接触後にズワイガニ類が、駆集効果が生じるほどの回避行動をとることはないものと推察される。

2-4-4 生物の種によるグランドロープに対する行動の相違

以上のように、異体類やタラ類といった遊泳する魚類ではグランドロープやおどしチェーンによる生物を駆り立てる機能が種によって異なることやグランドロープやおどしチェーンに対する行動が漁獲に影響しているのに対し、ズワイガニ類のように遊泳しない甲殻類はグランドロープによって駆り立てられたり駆集されたりすることがなく、漁獲機能が異なった。また、本章で行動を確認した魚類のようにグランドロープを回避する行動を取る生物に対しては、生物の種による行動、特に海底から遊泳する高さが漁獲に影響していると考えられた。

一方、グランドロープの接近に対して回避する行動をほとんど示さないズワイガニ類のような生物に対しては、生物がグランドロープに接触したときにグランドロープに乗り上げるか否かによって入網が決定した。従って、グランドロープと生物の体の大きさの関係 (海底からの高さ) によって漁獲の成否が決定すると考えられる。

そこで第3章と第4章では、グランドロープと生物の種や体の大きさの関係に着目して、それぞれが漁獲に及ぼす影響を考える。

第3章 グランドロープの太さが魚類の漁獲に及ぼす影響

3-1 はじめに

第2章では、生物の種によってグランドロープに対する行動が異なり、漁獲に影響していることを示した。また、異体類の中でも、海底から上方向に遊泳する種 (ヒラメ、アラメガレイ) と海底に潜砂する行動を示す種 (ササウシノシタ) に分けられた。このことから、グランドロープの高さ (太さ) が漁獲に影響していることを予想した。

そこで本章では、直径を太くしたグランドロープを持つ網と通常の太さのグランドロープを持つ網の漁獲

物を比較して、グランドロープの太さによる種・サイズ選択性について検討した。

3-2 材料と方法

3-2-1 グランドロープの構造

本研究は、千葉県の外房海域で操業する小型底びき網漁具 (千葉県, 1998; 松下ら, 1999b; 松下ら, 1999c; 井上, 2000) を対象に実施した。漁業者が使用しているグランドロープ (Fig. 17A) は、直径 24mm のポリエステル製ロープと直径 16mm のポリエステル製ロープの 2 本を互いに沿わせた構成である。直径 24mm のロープはポリエステル製の網地が巻き付けられ、任意の 30 ヶ所をノギスで測定したところ、平均直径は 32.7mm (標準偏差 1.6mm) であった。直径 16mm のロープは鋳物沈子 (375g) が約 150mm 間隔で取り付けられている。さらにこの 2 本のロープに直径 11mm のチェーンを沿わせ、これら 2 本のロープと 1 本のチェーンに直径 9.5mm のチェーンを巻き付けることによって加重している。このような構成により曳網時にはポリエステル製の網地を巻いたロープが鋳物沈子を通したロープより先に海底面を通過することになる。

これに対して、直径を通常の約 2 倍にしたグランドロープ (Fig. 17B) を製作した。このグランドロー

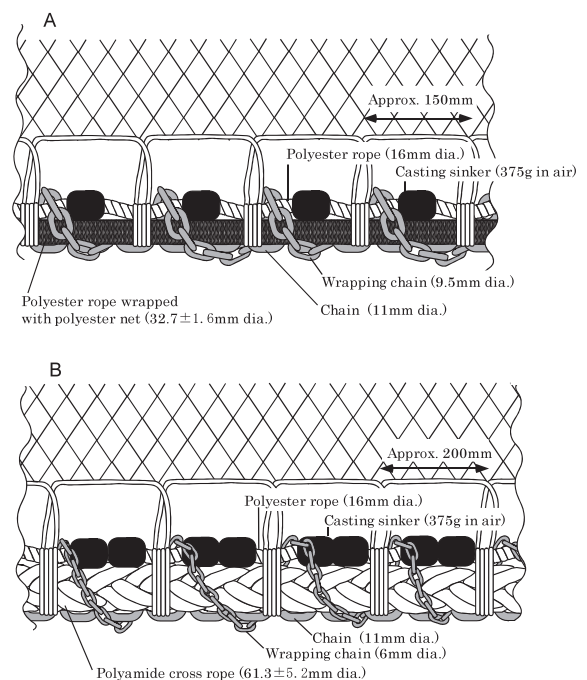


Fig. 17. Schematic drawing of a part of footrope of a conventional (control) net (A) and a test net (B).

ブにはポリエステル製の網地を巻いたロープの代わりに、任意の30ヶ所をノギスで測定した平均直径が61.3mm（標準偏差5.2mm）のポリアミド製のクロスロープを用いた。また、直径9.5mmのチェーンの代わりに直径6mmのチェーンを巻き付け、漁業者が使用しているグランドロープと水中重量をほぼ等しくした。両グランドロープの構成を Table 5 及び Fig. 17 に示す。以降では、漁業者が使用しているグランドロープを取り付けた網を現用網、直径を通常の約2倍にしたグランドロープを取り付けた網を試験網と称する。身網（松下ら, 1999c；井上, 2000；千葉県, 1998）やコッドエンド（松下ら, 1999b；井上, 2000；千葉県, 1998）の構造は現用網と試験網でほぼ同一とした。ただし、本海域で操業する小型底びき網漁業ではコッドエンドの目合は9節（37.9mm）から12節（27.5mm）が用いられており、現用網と試験網で同一の目合を用意できなかった。現用網は2階式コッドエンド（松下ら, 1999b）の上部コッドエンド及び下部コッドエンドの目合がともに10節（33.7mm）であり、試験網は

上部コッドエンドの目合が12節（27.5mm）、下部コッドエンドの目合が9節（37.9mm）であった。これらの小型底びき網のコッドエンドには、混獲防除ウインドー（千葉県, 1998；松下ら, 1999b）が装着されていたが、網口から入網した生物をできるだけ保持するために、混獲防除ウインドーを目合が13節（25.3mm）の網地で塞いだ。

3-2-2 操業試験

2003年12月13日の日中に、小型底びき網漁船（9.9トン未満、301kW）2隻により、Fig. 18 に示した海域で試験を実施した。投網時刻と曳網時間、そして曳網水深がほぼ同じになるように申し合わせ、また操業中は互いの船の位置を目視により確認しながら、2つの網を並行して3回ずつ曳網した。曳網速度は約3ノットとし、1回の曳網時間はワープがセットされてから1時間とした。

Table 5. Materials of conventional (control) and test footrope

Type of footrope	Conventional (32.7mm dia.)		Test (61.3mm dia.)	
Part	Material	Weight (kg)*	Material	Weight (kg)*
Rope	Polyester 16mm dia.	1.5	Polyester 16mm dia.	1.5
Rope	Polyester 24mm dia.	3.4	Polyamide 60mm dia.	6.9
Wrapping net	Polyamide	2.1	-	-
Sinker	Casting 375g (in air)	84.0	Casting 375g (in air)	84.0
Chain	Short link 11mm	32.2	Short link 11mm	53.7
Wrapping chain	Short link 9.5mm	44.6	Short link 6mm	31.9
Total		167.8		178.0

* weight in water

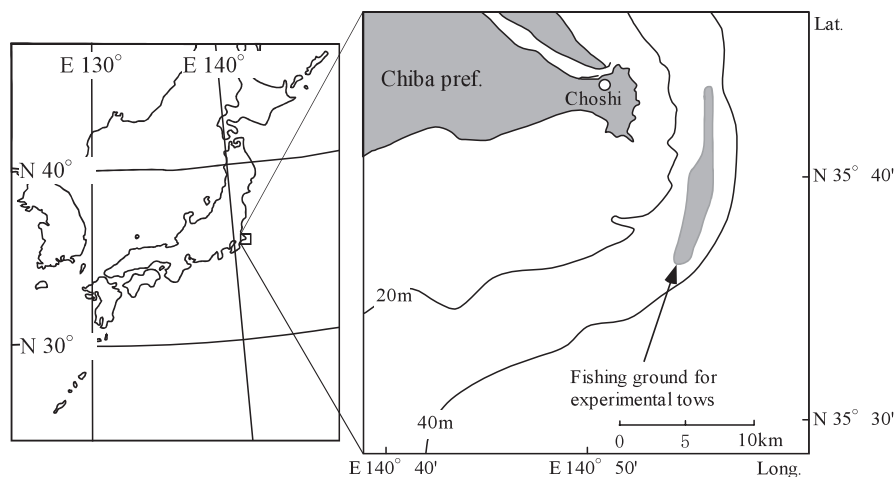


Fig.18. Fishing ground. Grey shading shows the area where experimental tows were carried out.

3-2-3 解析方法

漁獲物は種ごとに分けて個体数を計数し、魚類は全長を、小型エビ類は体長を測定した。1回の曳網での漁獲個体数が100個体を大きく上回った種は、無作為に抽出した100～305個体の全長（小型エビ類は体長）をコードエンドごとに測定した。異尾類、ヒトデ類及び貝殻はゴミとしてまとめ、総重量を測定した。こうして得られた両網における漁獲物のうち、2つの網での漁獲数の合計が100個体を上回った、ガンゾウピラメ *Pseudorhombus cinnamomeus*, アカシタピラメ *Cynoglossus joyneri*, クロウシノシタ *Paraplagusia japonica*, ネズツポ属 *Callionymidae*, ホウボウ *Chelidonichthys spinosus*, マトウダイ *Zeus faber*, サルエビ *Trachypenaeus curvirostris* について、現用網をコントロールとした場合の試験網のサイズ選択性をSELECT解析（東海・三橋1998）により検討した。解析に用いる全長階級は10mm間隔とした。ただしサルエビは体長階級を5mm間隔で整理した。

SELECT解析のパラメータは最尤推定で求められる。最尤推定法では各体長階級の測定個体数を用いて尤度を計算するため、抽出率で引き延ばした値を解析に用いることはできない。Millar (1994) はコードエンドとカバーネットから抽出した標本のデータに最尤推定法を適用するため、抽出率を考慮して拡張したSELECTモデルを提案した。本研究でも1回の曳網での漁獲個体数が100個体を大きく上回った種は標本を抽出しているので、Millar (1994) による拡張したSELECTモデルを適用した。

Munro and Somerton (2001) は、グランドロープによるサイズ選択性 $r(l)$ を下記の(1)～(4)式のいずれかに当てはめて表現した。本研究でも同様に、 $r(l)$ をいずれかの式に当てはめた。(1)式は全長によらず一定の割合で漁獲されることを想定しており、全長（サルエビは体長、以下同じ） l に関わらず $r(l)$ は一定の値となる。(2)式は、大型個体ほど遊泳力が大きくなるためにグランドロープを乗り越えやすくなるパターンと、大型個体ほど潜砂して漁獲されにくくなるパターンを考慮しており、全長 l の変化に応じて $r(l)$ は0から1の間で単調に変化する。(3)式は、 $r(l)$ が全長 l の変化に応じて変化するが、 γ は全長によらずグランドロープで駆り立てられないことを示し、 $r(l)$ が0から漸近線 γ の間で単調に変化する。(4)式は、小型個体ほどグランドロープを乗り越えにくく、また、大型個体ほど潜砂する能力が高くなるためにグランドロープによって駆り立てられずに漁獲される確率が低くなり、また、全長によらず一定の割合 γ でグランド

ロープにより駆り立てられないことを示しており、全長 l が大きくなるのに従って $r(l)$ が増加して γ に近づいた後に減少する。

$$r_1(l) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha}} \quad (1)$$

$$r_2(l) = \frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \beta l)}} \quad (2)$$

$$r_3(l) = \gamma \left(\frac{1}{1 + e^{-(\alpha + \beta l)}} \right) \quad (3)$$

$$r_4(l) = \gamma \left(\frac{1}{1 - \delta} \right) \left(\frac{1 - \delta}{\delta} \right)^\delta \left(\frac{e^{-\delta(\alpha + \beta l)}}{1 + e^{-(\alpha + \beta l)}} \right) \quad (4)$$

ここで、 α , β , γ 及び δ はパラメータである。

全長 l ごとの現用網での測定個体数 c_l と試験網での測定個体数 t_l の和に対する試験網での測定個体数 t_l の割合を Φ_l として次式で定義した。

$$\Phi_l = \frac{t_l}{t_l + c_l} \quad (5)$$

それぞれの種について、試験網と現用網で測定した標本の抽出率をそれぞれ、 q , s 、試験網と現用網に遭遇した個体数のうち、試験網に遭遇した個体数の割合（分割率）を u 、試験網と現用網に遭遇した全長 l の総個体数を R_l とすると、試験網で漁獲された全長 l の測定個体数 t_l は、

$$t_l = u \cdot q \cdot r(l) \cdot R_l \quad (6)$$

現用網で漁獲された全長 l の測定個体数 c_l は、

$$c_l = (1 - u) \cdot s \cdot R_l \quad (7)$$

となる。 $\Phi(l)$ を表すモデルには、分割率 u をパラメータとした場合と一定とした場合 ($u=0.5$) の2通りを考えた。ただし、(1)式は全長 l に関わらず $\Phi(l)$ が一定となるので、 $r(l)$ と u は一意に決定されない。そこで(1)式への当てはめは分割率 u を一定とした場合のみ行った。

式(5)に式(1), (6), (7)を代入すると、 Φ_l は、

$$\Phi(l) = \frac{u \cdot q}{u \cdot q + s \cdot (1 - u) \cdot (1 + e^{-\alpha})} \quad (8)$$

で表せる。同様に、式 (5) に式 (2), (6), (7) を代入すると、 Φ_l は、

$$\Phi(l) = \frac{u \cdot q}{u \cdot q + s \cdot (1-u) \cdot (1 + e^{-(\alpha+\beta)l})} \quad (9)$$

で表せる。式 (5) に式 (3), (6), (7) を代入すると、 Φ_l は、

$$\Phi(l) = \frac{\gamma \cdot u \cdot q}{\gamma \cdot u \cdot q + s \cdot (1-u) \cdot (1 + e^{-(\alpha+\beta)l})} \quad (10)$$

で表せる。式 (5) に式 (4), (6), (7) を代入すると、 Φ_l は、

$$\Phi(l) = \frac{\gamma \cdot u \cdot q \cdot \left(\frac{1}{1-\delta}\right) \cdot \left(\frac{1-\delta}{\delta}\right)^\delta \cdot \left(\frac{e^{-\delta(\alpha+\beta)l}}{1+e^{-(\alpha+\beta)l}}\right)}{\gamma \cdot u \cdot q \cdot \left(\frac{1}{1-\delta}\right) \cdot \left(\frac{1-\delta}{\delta}\right)^\delta \cdot \left(\frac{e^{-\delta(\alpha+\beta)l}}{1+e^{-(\alpha+\beta)l}}\right) + s \cdot (1-u)} \quad (11)$$

で表せる。

全長階級 l_j ($j=1, 2, 3, \dots, k$) としたとき、最尤推定法では、次式 (12) が最大となるようにパラメータを決定する (東海, 1997; 齋浦・東海, 2003)。

$$\ln L(\alpha, \beta, \gamma, \delta) = \sum_{j=1}^k [l_{l_j} \log \Phi(l_j) + c_{l_j} \log(1 - \Phi(l_j))] \quad (12)$$

抽出率 q と s はそれぞれの曳網で一定でなかったため、抽出率が高い曳網時の測定データから重複しないように無作為に抜き取り、それぞれの網で同一種の抽出率を最も低い曳網時の値に統一した。パラメータの推定には MS-Excel^{*1} のソルバーを用いた。選択されたモデルの適合度は χ^2 検定により検討し、モデルの選択は AIC (Akaike's Information Criterion) 値の比較により行った (東海, 1997)。

3-3 結果

3-3-1 操業

比較操業実験を繰り返し行った際にデータを合算できる条件は、操業期間中に体長組成が変わらない場合、あるいは操業期間中に努力量が一定であるもしくは調査対象漁具と非選択漁具の努力量の比が一定である場合のいずれかである (内田ら, 2000)。現用網と試験網の曳網開始時刻のずれは最も大きくても 3 分程度であり、それぞれの漁船の 1 回の曳網時間は 59 ~ 62 分の間であった。曳網速度は 2.7 ~ 3.1 ノットであり、3 回の曳網距離の合計はどちらの漁船も 16.8km であった。2 隻は同海域で、ほぼ同時刻に同距離を曳網したので、同じ生物群を漁獲したと仮定できる。そこで各網 3 回の曳網での漁獲物の測定データを合算した。

現用網及び試験網で漁獲された魚類及びサルエビの個体数とゴミの重量を Table 6 に示す。現用網の総漁獲個体数は 6678 個体であったのに対し、試験網のそれは約 3/4 の 5037 個体であった。また、現用網のゴ

*1 MS-Excel は Microsoft Corporation の登録商標

Table 6. Catch composition of number of organisms and weight of garbage

Common name	Scientific name	Type of footrope		
		Con.	Test	Test/Con.
Cinnamon flounder	<i>Pseudorhombus cinnamoneus</i>	326	71	0.22
Red tongue sole	<i>Cynoglossus joyneri</i>	131	59	0.45
Black cow tongue	<i>Paraplagusia japonica</i>	98	39	0.40
Dragonet	Callionymidae	337	121	0.36
Bluefin searobin	<i>Chelidonichthys spinosus</i>	94	90	0.96
John dory	<i>Zeus faber</i>	198	233	1.18
Southern rough shrimp	<i>Trachypenaeus curvirostris</i>	971	894	0.92
Others		3182	3214	1.01
Total		6678	5037	0.75
Garbage (kg)		55.4	19.6	0.35

Con. : Control

Garbage: hermit crabs, star fishes and shells

ミの総重量は55.4kgであったのに対し、試験網のそれは約1/3の19.6kgであり、試験網のゴミの重量は少なかった。ゴミの大部分は目合9節(37.9mm)のコッドエンドで保持されるのに十分な体の大きさであった。

3-3-2 解析結果

試験網と現用網で漁獲されたガンゾウビラメ、アカシタビラメ、クロウシノシタ、ネズッポ属、ホウボウ、マトウダイ、サルエビの全長組成を Fig. 19 に示した。現用網によるガンゾウビラメ、アカシタビラメ、クロウシノシタ、ネズッポ属の漁獲個体数に対する、試験網によるそれらの比は0.22～0.45であり、試験網でこれらの種の漁獲は少なくなった (Table 6)。一方、現用網によるホウボウ、マトウダイ、サルエビの漁獲個体数に対する、試験網によるそれらの比は0.92～1.18と、それぞれの網で漁獲された個体数は2つの網でそれほど変わらなかった (Table 6)。

これらの ϕ_l と選択されたモデルの $\phi(l)$ を Fig. 20 に示した。ガンゾウビラメ、ネズッポ属、サルエビには分割率を一定とした式(2)のモデルが、マトウダイは分割率をパラメータとした式(2)のモデルが採択され、全長階級が大きくなるに従って、 $\phi(l)$ が高くなった。これらの種とは逆に、クロウシノシタには分割率を一定とした式(2)のモデルが採択され、全長階級が大きくなるに従い $\phi(l)$ は低くなった。アカシタビラメには分割率を一定にした式(4)のモデルが採択され、全長階級140mmで $\phi(l)$ が最高になった後に低くなった。一方、ホウボウには分割率を一定にした式(1)のモデルが選択され、全長階級の変化に対して $\phi(l)$ が一定の値となった。SELECT解析によって求めた式のパラメータ、分割率 u を Table 7 に、得られた選択性曲線を Fig. 21 に示した。このように、試験網で漁獲個体数が減少する種とそれほど変わらない種(ホウボウ、マトウダイ、サルエビ)に分けられた。さらに前者は小型個体ほど漁獲が減少する種(ガンゾウビラメ、ネズッポ属)と大型個体ほど漁獲が減少する種(クロウシノシタ)、そしてある全長階級で選択率が最高となる種(アカシタビラメ)に分けられた。

3-4 考察

3-4-1 グランドロープの太さ以外の要因の影響

本研究では、現用網を無選択であると仮定してコントロールとした。しかし、資源調査用の底びき網

のグランドロープでは種・体の大きさによる選択性が報告されている (Engås and Godø, 1989; Munro and Somerton, 2001; Munro and Somerton, 2002)。また、千葉県の外房海域で操業する小型底びき網の漁業者の間では、ネズッポ属がベレーの海底側に前鰓蓋骨棘を刺した状態で漁獲されることが知られている (漁業者私信)。すなわち、ネズッポ属の少なくとも一部はグランドロープの下方から抜けている。従って本研究で示した試験網のグランドロープの選択性は、現用網で漁獲される生物群に対する相対的な選択性であるといえる。

また、前述したように現用網と試験網のコッドエンドの目合が異なるので、こうした実験設定が結果に影響した可能性がある。そこで、これらの影響を考察する。本研究で用いたコッドエンドの最大目合は9節であった。この目合を通過できる体の大きさでは、得られた選択性曲線にはグランドロープの太さによる選択性に加えて、それぞれのコッドエンドの網目選択性が影響した可能性がある。そこで、網目選択性の影響を分離するため、目合9節(37.9mm)のコッドエンドではほぼ100%の個体が保持される体の大きさを種ごとに求めた (Fig. 21)。板びき網の網目選択性に関する研究 (本多, 1991) によると、目合が9節(37.9mm)のコッドエンドを抜けたシタビラメ類の最大個体は全長130mmであった。本研究では全長が130mm未満のクロウシノシタは漁獲されなかったので、コッドエンドの目合の違いは得られた結果に影響を与えていないと考えられる。一方、現用網では試験網の網目(37.9mm)を通過する可能性がある全長130mm未満のアカシタビラメが2個体(個体数比2%)漁獲された。アカシタビラメの選択性曲線には式(4)のモデルが採用されたが、網目選択性の影響が考えられる全長130mm未満のアカシタビラメのデータを除外すると、選択性曲線はクロウシノシタと同じ式(2)のモデルが当てはまる (Fig. 22)。

ガンゾウビラメ、ネズッポ属、ホウボウ、マトウダイ、サルエビは、9節(37.9mm)の網目を通過できる体の大きさの個体が多く漁獲された。目合と体高の比が1.0で選択率が100%に達すると仮定すると、全長100mm以上のガンゾウビラメは目合9節(37.9mm)のコッドエンドで全て保持される (東海ら, 1989a; 松下ら, 1999c)。マトウダイは全長と体高の関係 (体高 = $0.41 \times$ 全長 + 0.35) から、目合9節(37.9mm)のコッドエンドで全て保持される全長を100mm以上と推定した。ネズッポ属は、ハタタテヌメリ *Repomucenus valenciennei* に対する網目選択性曲線マスターカーブ (東海ら, 1994) と、ネズッポ属の全長と体高の関

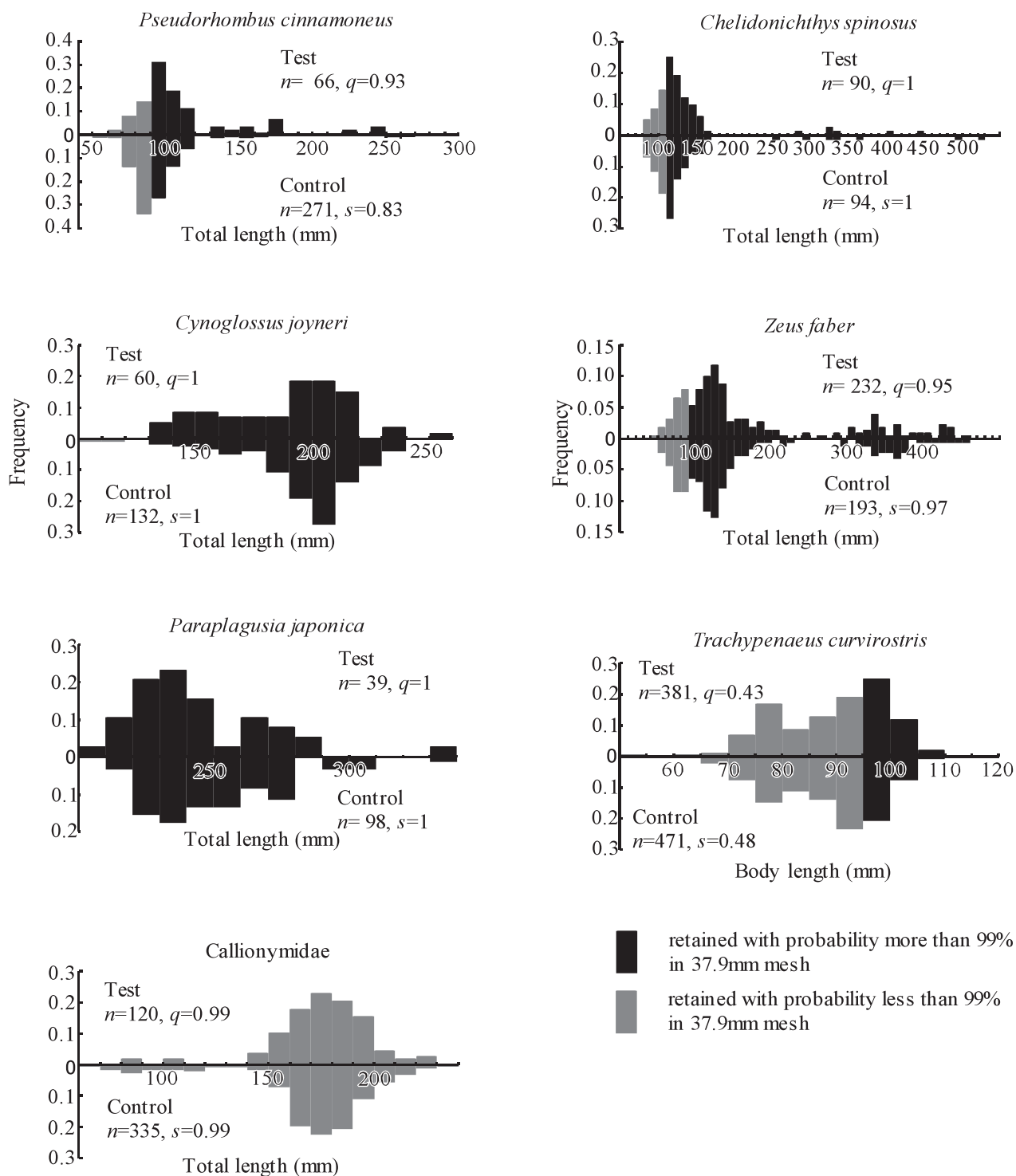


Fig.19. Frequency distributions of fish length in test and control nets. n : measured number of fish. q : sampling rate in test net. s : sampling rate in control net.

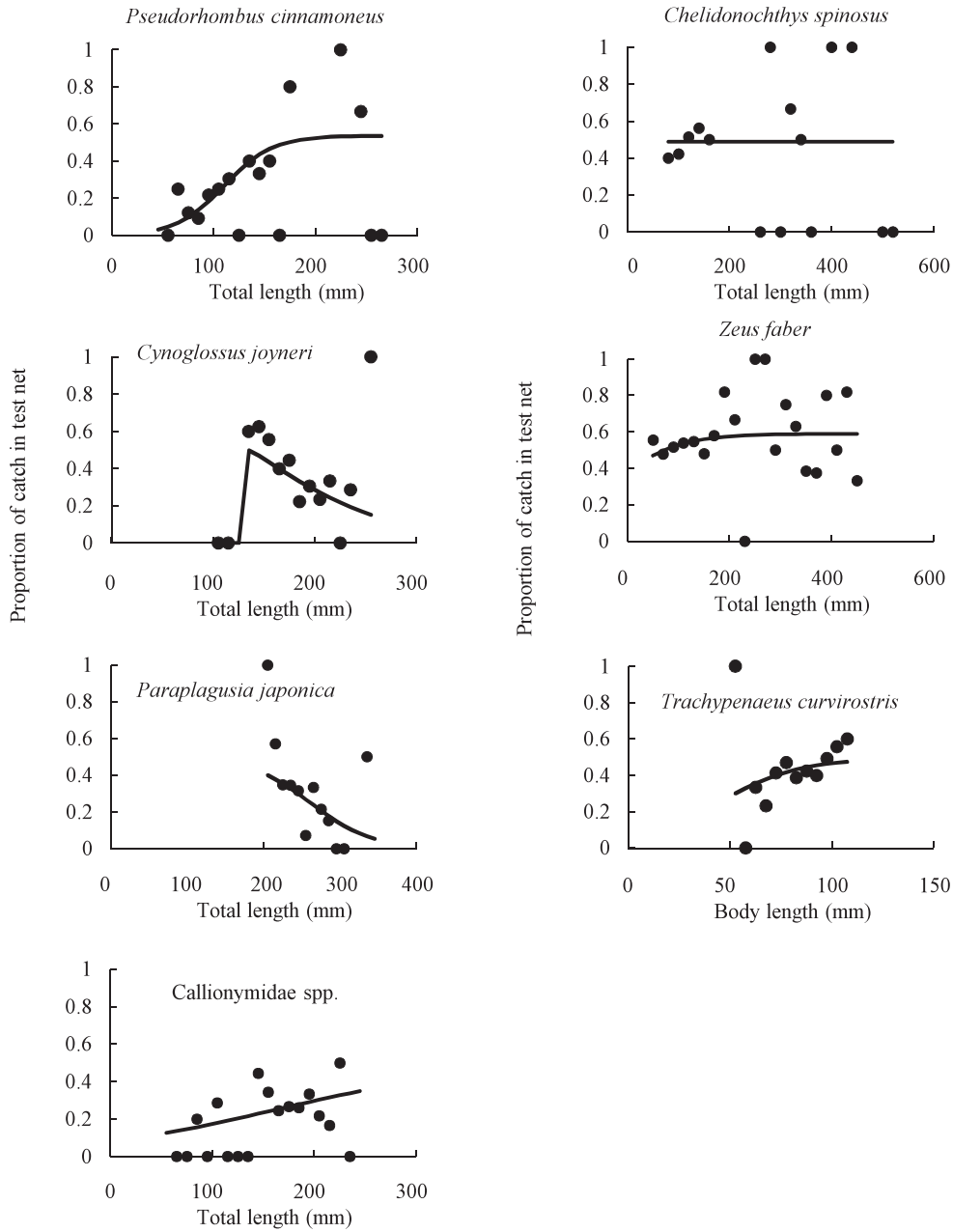


Fig.20. Fits of estimated curves to the proportion values, $\Phi l = t_l / (t_l + c)$. t_l ; Number of test net samples in the length class l . c ; Number of control net catches in the length class l .

Table 7. Estimated parameter values for the selected models

Scientific name	Selected model	Parameters					p value
		α	β	γ	δ	u	
<i>Pseudorhombus cinnamoneus</i>	$r_2(l)$	-5.43	0.42			0.5	0.38
<i>Cynoglossus joyneri</i>	$r_4(l)$	-175.45	13.24	1	0.01	0.5	0.18
<i>Paraplagusia japonica</i>	$r_2(l)$	5.81	-0.25			0.5	0.31
Callionymidae	$r_2(l)$	-2.33	0.1			0.5	0.44
<i>Chelidonichthys spinosus</i>	$r_1(l)$	3.11				0.5	0.50
<i>Zeus faber</i>	$r_2(l)$	-0.31	0.16			0.59	0.33
<i>Trachypenaeus curvirostris</i>	$r_2(l)$	-2.88	0.5			0.5	0.23

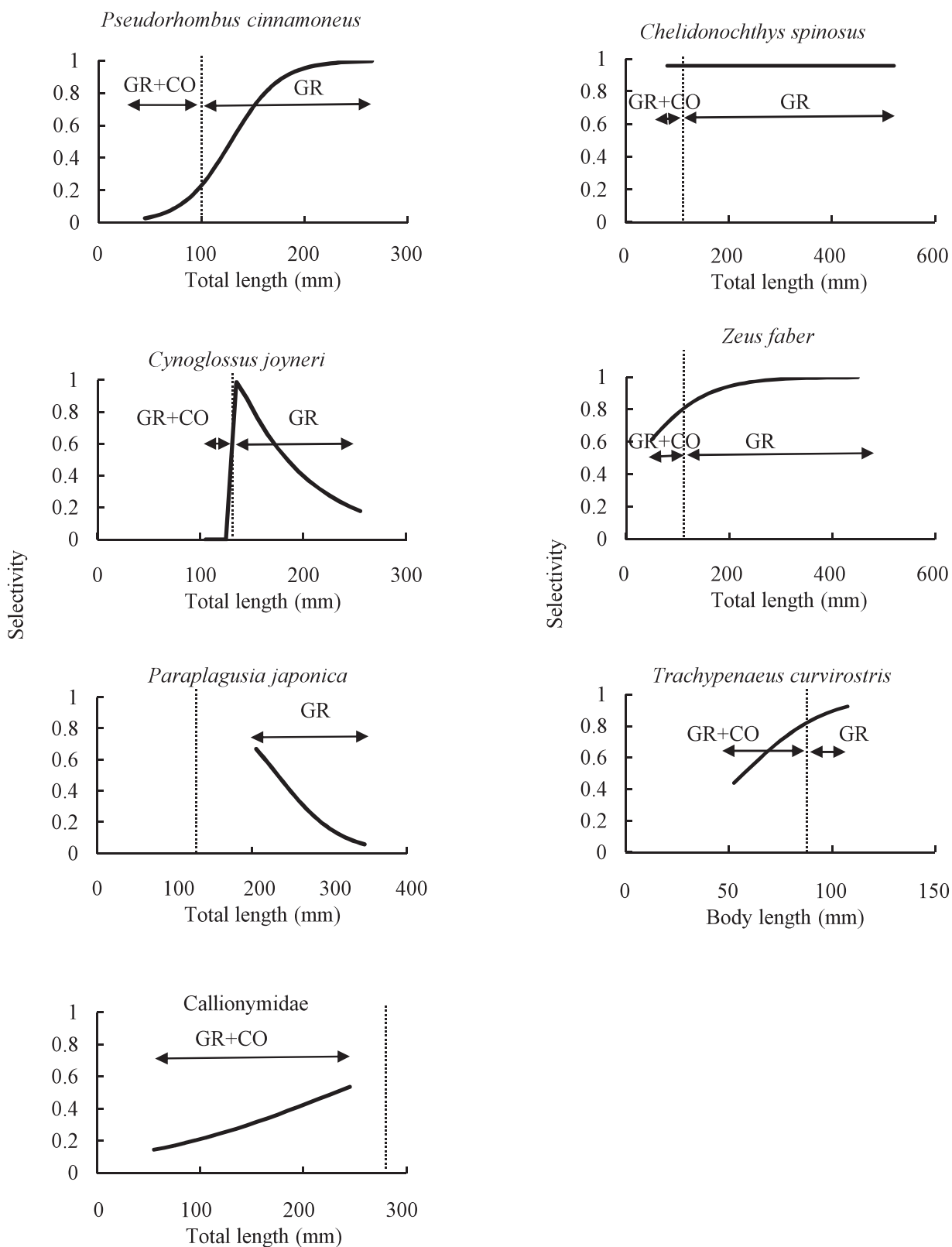


Fig.21. Selectivity curves with test net for the selected models. A dotted line shows the length class / remained with probability of 99% in 37.9mm mesh. GR+CO shows that both footrope selectivity and codend selectivity influences a result. GR shows that only footrope selectivity influences a result.

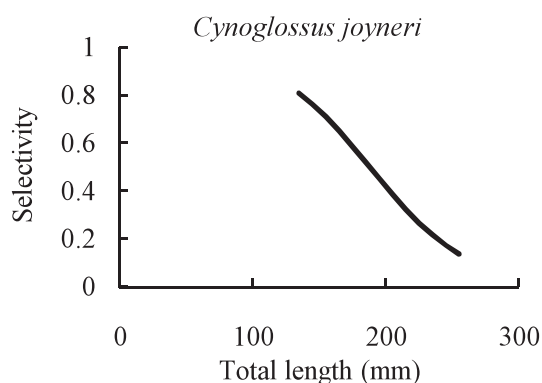


Fig.22. Selectivity curve with test net for the selected model for red tongue sole *Cynoglossus joyneri* of the size that is not affected by codend selectivity (> 130mm TL).

係 (全長 = $1.42 \times$ 体長 - 0.90) から、99% 選択体長を 195mm (全長 276mm) と推定した。ホウボウは、近縁種のオニカナガシラ *Lepidotrigla kishinouyei* に対する網目選択性曲線のマスターカーブ (梁ら, 1999) から、99% 選択全長を 107mm と推定した。サルエビは、網目選択性曲線マスターカーブ (Tokai *et al.*, 1990) と体長 - 頭胸甲長の関係式 (日下部, 1997) から目合 9 節 (37.9mm) での 99% 選択体長を 94mm と推定した。このようにして求めた体の大きさ以上の個体はコッドエンドの目合の違いが結果に影響を与えないため、得られた選択性曲線はグランドロープの太さによる選択性を表していると考えられる。一方、これらの体の大きさ以下では、グランドロープの太さによる選択性と網目選択性の両方が影響している可能性がある (Fig. 21)。全ての、あるいはほとんどの全長 (体長) 階級で網目選択性を受けると考えられるネズボ属とサルエビについてはグランドロープの太さによる選択性を評価できなかった。

3-4-2 グランドロープの太さによる選択性への影響

次にグランドロープの太さによる選択性について考察する。コッドエンドの網目選択性の影響がないと考えられる体の大きさでは、全長階級が大きくなるに従い選択率が高くなる種 (ガンゾウビラメ, マトウダイ), 全長階級が大きくなるに従い選択率が低くなる種 (アカシタビラメ, クロウシノシタ), 全長階級に関わらず選択率が一定である種 (ホウボウ) に分けられた。底びき網から魚類が逃避する経路について Munro and Somerton (2002) は、1) 網目から抜ける; 2) グランドロープの前方で遊泳し続けて漁獲を回避する;

3) ヘッドロープの上を越えて逃避する; 4) グランドロープの下方から抜ける, の 4 通りに分類した。網目選択性の影響がないと考えられる体の大きさの魚類に対しては、グランドロープの構造以外の条件は 2 つの網で同一であるので、1) ~ 3) の経路はこの体の大きさの魚類で見られた選択性の違いの要因として考えにくい。従って、グランドロープの下方から抜ける傾向に種・体の大きさによる相違があったと考えられる。このことを、グランドロープに遭遇したときの行動や遊泳層の種・体の大きさによる相違から以下のように考えた。

第 2 章で示したように、グランドロープを乗り越えようとする行動をとる生物は、グランドロープの太さの違い、すなわち海底からの高さが入網の成否を決定する可能性がある。これとは逆に、底びき網漁業では、泥質の海底で操業する場合にグランドロープが泥の中に沈まないように、直径が大きく比重が小さいものを使用することがある (不破, 1989b)。本研究において、グランドロープの水中重量を変えずに太さを 2 倍にしたことにより、試験網のグランドロープが海底に接する面積は広くなり、単位面積あたりの接地圧は低くなる。従って、接近するグランドロープに対して、海底中やグランドロープと海底との間に逃避しようとする行動をとる生物は、グランドロープの接地圧が高い現用網により多く入網するであろう。

ガンゾウビラメは全長階級が大きくなるに従って選択率が高くなった (Fig. 21)。木元ら (2001) は、全長 20 ~ 30mm のヒラメ稚魚に対する桁網の漁獲効率が低いことを示し、その原因がグランドロープの接地不足のほかに、ヒラメ稚魚の逃避行動を上回る曳網速度によりヒラメ稚魚が海底に取り残される現象によると推察している。対象にしている種や体の大きさが異なるが、本研究での曳網速度は約 3 ノットであり、2 ノット以下で曳網した木元ら (2001) より速い。そのため、生物が海底に取り残される現象がより生じやすかったと考える。これらのことから、現用網に比べて接地圧が低い試験網のグランドロープは海底上のガンゾウビラメを取り残しやすく、また遊泳能力の高い大型の個体でなければ太いグランドロープを乗り越えられなかったことからこのような選択性が得られたと考えた。

マトウダイの行動に関する知見は乏しく、両網の網口でどのような漁獲過程が生じているかは不明である。ただし、全長が大きくなると選択率が 1 に近づくことから、小型個体より遊泳力があると考えられる大型個体は海底から離れた状態でグランドロープの上方を通過して入網したと考えられる。

一方、クロウシノシタ (Fig. 21) と全長 130mm 以上のアカシタビラメ (Fig. 22) は、全長階級が大きくなるに従って選択率が低くなった。Munro and Somerton (2001) の報告では、ウマガレイに対するグランドロープの選択率は体が大きくなるに従って高くなり、ある体長階級でピークを迎えた後に低くなった。この現象について Munro and Somerton (2001) は、はじめに選択率が高くなったのは大型个体ほど海底とグランドロープとの隙間に逃げられずに駆集されやすくなり、また、大型个体ほど遊泳力が高いため離底してグランドロープを乗り越えやすいためと考察した。その後選択率が低くなったメカニズムは不明としながらも、刺激があったときに潜砂する性質のある魚類は遊泳力のある个体 (通常、大型个体) ほどグランドロープが通過するまでに潜砂できる可能性があるとして推察している。アカシタビラメは本研究の曳網実験時にベレーに刺さった状態で漁獲される个体が多数見られたので、漁具に遭遇した際に下方に潜り込む行動をとる傾向が強いことが考えられる。従って、グランドロープの前方でこの行動をとったアカシタビラメは潜砂してグランドロープをやり過ごし、その傾向は大型个体ほど強いと考えられる。そして、現用網に比べて接地圧が低い試験網のグランドロープではより多くの个体がグランドロープの下方から逃げたと考えられる。クロウシノシタに対する選択性もアカシタビラメと同じような傾向を示したことから、クロウシノシタも接近するグランドロープに対してアカシタビラメと同様の行動を示す可能性がある。また、アカシタビラメとクロウシノシタは主に大型个体が漁獲されたため、ガンゾウビラメで見られた、全長が大きくなるに従って選択率が高くなる部分は見られなかったと考えた。

ホウボウでは、サイズ選択性がないとするモデルが採択された。Main and Sangter (1981) は底びき網のグランドロープ前方を観察し、grey gurnard *Eutrigla gurnardus* が海底から 1m 以内で群になって逃避する様子を報告した。このことから grey gurnard の近縁種であるホウボウも、グランドロープに遭遇した際には海底から離れて遊泳し、グランドロープの太さは選択性に影響しなかったと考える。

試験網に入網したゴミの総重量は、現用網の約 1/3 であった (Table 6)。泥質の海底では、グランドロープが泥の中に入り込まないように直径を大きくして、比重を小さくしたグランドロープが使用されることがある (不破, 1989b)。おそらく、直径が大きい試験網のグランドロープは、現用網のそれに比べて海底に沈み込む度合いが小さく、その結果、海底上のゴミを掘り起こしにくかったと考える。松下ら (1999c) は、2

階式コッドエンドによりゴミと漁獲物を異なるコッドエンドに分離することで、上部コッドエンドで漁獲された生物の再放流の際の生残性の向上と漁獲物の品質向上が期待できると報告した。グランドロープを太くした場合にも、ゴミの総重量が減少したので、同様の効果が期待できる。

第4章 グランドロープの太さがズワイガニ類の漁獲に及ぼす影響

4-1 はじめに

第2章において示したように、ズワイガニ類が接近してくるグランドロープを回避する行動はほとんど観察されなかった。そして、ズワイガニ類の移動速度は曳網速度より遅かった。また、ズワイガニ類が海底から離れることはなかった。さらにズワイガニに対するグランドロープの駆集効果はほとんど無いと判断された。これらのことから、底びき網によるズワイガニ類の漁獲の成否は、ズワイガニ類がグランドロープに接触したときに、両者の相対的な大きさによって決定されると考えられる。

本章では、グランドロープを回避する行動をほとんど示さないズワイガニ類を対象にして、ズワイガニ類の体の大きさとグランドロープの構造、特に太きなどが漁獲に与える影響を明らかにする。

4-2 材料と方法

4-2-1 映像資料及び漁獲資料

第2章で得られたズワイガニ類に関する映像資料及び漁獲資料を用いた。

4-2-2 甲幅の測定

ズワイガニ類の体の大きさを表す指標として甲幅を用いた。2000年及び2001年の資料から、映像中における大きさが既知の物体を基準にして、ズワイガニ類の甲幅を測定した。調査用底びき網のグランドロープは、第2章の Fig. 9 で示したようにゴム沈子と鉄製沈子がチェーンによって繋がれており、添網によってフィッシングラインに直接取り付けられている。添網とフィッシングラインとの接合部の間隔 (以下、取り付け間隔と呼ぶ) は、約 27cm であったので、これを基準にしてズワイガニ類の甲幅を測定した。画像解析ソフト上における取り付け間隔の画素数は、海底面上

における水中ビデオカメラの横方向の視野（以下、観察幅と呼ぶ）によって変化し、37画素～72画素の間であった。これから、取り付け間隔を27cmとしたときの1画素の実際の大きさは0.38cm～0.73cmとなる。この値を甲幅の画素数に乗じて甲幅（cm）とした。ただし、1画素が最大0.73cmと大きいことが主な原因となり、甲幅の測定値に誤差が生じる。この誤差の大きさを推定したところ、誤差の絶対値は最大で3cmになるものの、その95%は2cm以下であったので、甲幅階級幅4cmとして頻度分布を求めた。

4-2-3 入網率の算出

2000年及び2001年の資料より、水中ビデオカメラで観察された全てのズワイガニ類の個体数に対して、グランドロープの上を通過して入網した個体数（以下、入網個体数と呼ぶ）の占める割合を入網率と定義して、甲幅階級ごとに入網率を求めた。

2004年及び2005年の資料より、ズワイガニ類の入網率をグランドロープの部位ごとに求めた。ここでは、フレームアウト個体数及び不明個体数は入網率の計算から除外し、グランドロープに接触した個体のうち入網した個体の割合を入網率と定義した。グランドロープに接触した個体数（接触個体数）は、入網個体数と逃避個体数の合計として求めた。こうして求めたグランドロープのベレー部、補助ベレー部、袖部の各部位における入網率を、共通のパラメータとするか別々のパラメータとするかの組み合わせに基づく次の5つのモデルを考えて、全7曳網のデータからパラメータを最尤推定した。

モデル A: ベレー部、補助ベレー部、袖部の入網率をそれぞれ別々のパラメータとする、

モデル B: ベレー部と補助ベレー部の入網率を1つの共通のパラメータとし、袖部の入網率を別のパラメータとする、

モデル C: 補助ベレー部と袖部の入網率を1つの共通のパラメータとし、ベレー部の入網率を別のパラメータとする、

モデル D: ベレー部と袖部の入網率を1つの共通パラメータとし、補助ベレー部の入網率を別のパラメータとする、

モデル E: ベレー部、補助ベレー部、袖部の入網率を1つの共通パラメータとする、

なお、対数尤度関数の最大化にはMS-Excelのソルバー（東海、1997）を用いた。そしてAIC（Akaike's Information Criterion）を求めて、モデルを選択した。

4-2-4 漁獲効率の推定

入網率から調査用底びき網の漁獲効率を推定できるか否かについて、以下の方法で検討した。まず、グランドロープのベレー部及び補助ベレー部における入網率を漁獲効率と見なせるか否かについて、2000年及び2001年の資料より、各調査点における入網個体数と調査用底びき網による漁獲個体数との相関係数を求めた。また、水中ビデオカメラの観察幅から求めた1mあたりの入網個体数と調査用底びき網の袖先間隔から求めた1mあたりの漁獲個体数に差があるかどうかを符号検定により検討した。

次いで、グランドロープの異なる部位における観察から調査用底びき網の漁獲効率を推定できるか否かを、次の方法で検討した。両カメラ（第2章における袖カメラ及び中央カメラ）による観察が調査用底びき網の漁獲を代表しているかを検証するため、両カメラによる観察結果から推定した総入網個体数と実際に漁獲された個体数を曳網ごとに比較した。最尤推定とモデル選択で決定したグランドロープの部位ごとに入網率は、その部位全体でも等しいものと仮定した。また、グランドロープはそれぞれの部位において直線形状であると仮定して、それぞれの部位全体の掃過幅を求めた。この入網率に、単位掃過幅あたりの接触個体数及び部位ごとのグランドロープ全体が掃過した幅を乗じることによって、部位ごとに入網個体数を推定した。そして、部位別に入網個体数の推定値を合計することでその曳網における総入網個体数を求めた。こうして両カメラの映像から曳網ごとに推定された総入網個体数を、調査用底びき網で採集された個体数と比較した。

漁獲効率を、グランドロープの各部位における掃過幅の割合でそれぞれの入網率を重みづけた平均値として求めた。また、総入網個体数の推定と同様にグランドロープがそれぞれの部位において直線形状であると仮定のもとでは、画像中のグランドロープが曳網方向となす角度とグランドロープ各部位における全体の長さから、調査用底びき網の袖先間隔を推定することができる。これによる袖先間隔の推定値と、第2章で述べたオッターボード間隔の計測値から推定した袖先間隔の値を比較し、画像から推定した総入網個体の推定値が、過大あるいは過小評価となる可能性について検討した。

4-3 結 果

4-3-3 漁獲効率の推定

4-3-1 甲幅による入網率の相違

2000年と2001年に観察された466個体のズワイガニ類の甲幅を全て測定した。甲幅階級ごとに求めた入網率をFig. 23に示す。甲幅が大きくなるに従って入網率は高くなり、甲幅階級0.1cm～4.0cm, 4.1cm～8.0cm, 8.1cm～12.0cm, 12.1cm～16.0cmで入網率はそれぞれ0.05, 0.09, 0.24, 0.33であった。また、全観察個体数に占める入網個体数の割合は0.13であった。

4-3-2 グランドロープの部位による入網率の相違

2004年と2005年の資料より、各部位の入網率は、袖部で0.3～1、補助ベレー部で0～0.4、ベレー部で0～0.2と曳網間で変動がみられた(Fig. 24)。また、グランドロープの各部位の入網率を表すモデルとして、ベレー部と補助ベレー部の入網率を共通のパラメータとし、袖部の入網率を別のパラメータとするモデルBがAICによって選択された、つまりベレー部と補助ベレー部で入網率に差は認められず、その入網率は0.12であり、一方、袖部での入網率は0.53であった(Table 8)。

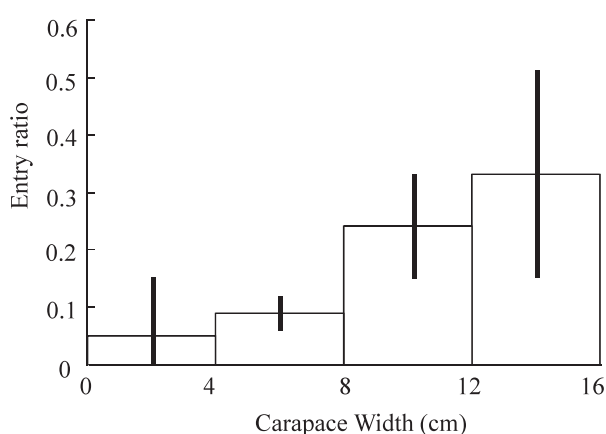


Fig.23. Relationship between carapace width and entry ratio of snow crabs observed with the underwater video camera. The entry ratios were defined by dividing the number of crabs that entered the net by the total number of crabs observed in each carapace width. Bars indicate 95 percent confidence intervals.

2000年及び2001年の資料に基づきベレー部及び補助ベレー部において入網が確認された個体数と調査用底びき網によって漁獲された個体数には正の相関があった($df=9$, $r=0.94$, $p<0.01$) (Fig. 25)。水中ビデオカメラの観察幅から求めた1mあたりの入網個体数と調査用底びき網の袖先間隔から求めた1mあたりの漁獲個体数をTable 9に示す。全ての調査点で、調査用底びき網の袖先間隔から求めた1mあたりの漁獲個体数の方が多かった(符号検定, $p<0.05$)。

2004年及び2005年の資料に基づき両カメラの映像から曳網ごとに推定された総入網個体数 T と、調査用底びき網のコッドエンドで漁獲された個体数 E の関係は、原点を通過する回帰直線式 $T=1.00E$ (決定係数 $r^2=0.96$)で表され(Fig. 26)、この回帰直線の傾きは1と有意差は認められなかった(t 検定, $P>0.05$)。

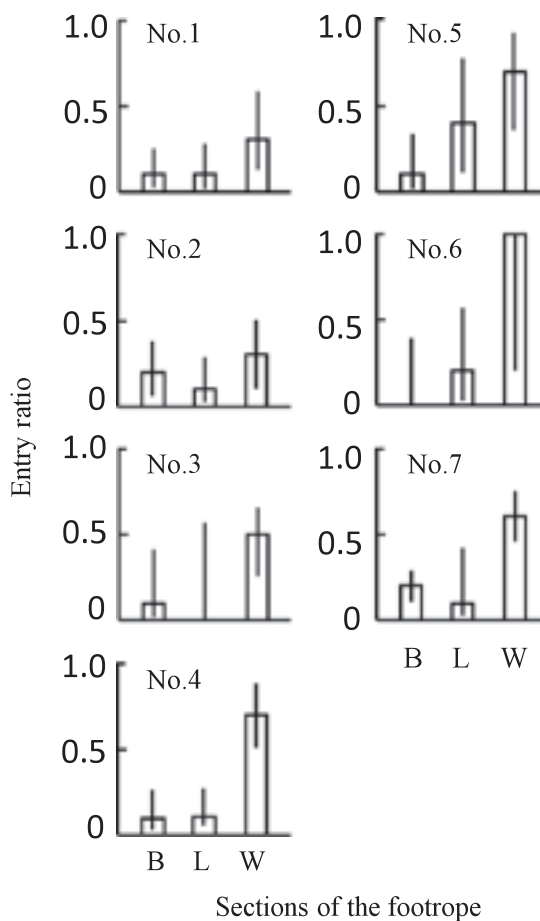


Fig.24. Entry ratio in the three sections of the footrope. Bars indicate 95 percent confidence intervals. B: Belly. L: Lower wing gusset. W: Wing. No. of each graph refers to the operation number.

Table 8. Entry ratio estimates for three sections of the footrope in each model with total AIC *¹value

Model	Sections of the footrope			Total AIC*
	Belly	Lower wing gusset	Wing	
Model A: Variation between e_B , e_L and e_W	0.13	0.11	0.53	78
Model B: Common in e_B & e_L , and e_W variation * ²	0.12	0.12	0.53	76
Model C: Common in e_L & e_W , and e_B variation	0.13	0.34	0.34	120
Model D: Common in e_B & e_W , and e_L variation	0.29	0.11	0.29	130
Model E: Common in e_B , e_L and e_W	0.25	0.25	0.25	142

*¹ Akaike's Information Criterion

*² Model selected by the AIC

Table 9. Number of snow crabs, entry ratio observed with the underwater video camera and the catch of the trawl net in 2000 and 2001

Date	8 June '00	12 June '00	11. June '00	11 June '00	9 June '01	9 June '01	10 June '01	11 June '01	11 June '01	12 June '01	Total
Bottom depth(m)	600	490	670	540	550	680	550	690	480	650	
Towing duration	32min41s	30min23s	31min35s	34min15s	32min51s	20min31s	29min45s	20min00s	30min20s	30min09s	
Camera Observed swath (m)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Number of crabs observed	16	86	38	286	3	24	12	0	1	0	466
Number of crabs entered	5	10	11	24	0	7	2	0	0	0	59
Entry ratio * ¹	0.3	0.12	0.29	0.08	0	0.3	0.2	-	0	-	0.13 * ²
Number of crabs entered/Observed swath	1.3	2.5	2.8	6	0	1.8	0.5	0	0	0	
Trawl Width between the wing tips (m)	18	18	20	18	19	18	19	20	18	17	
Number of crabs captured	83	208	145	668	7	49	40	7	13	1	1221
Number of crabs captured/Width between	4.6	11.6	7.3	37.1	0.4	2.7	2.1	0.4	0.7	0.1	

*¹ The entry ratio was obtained by dividing the number of crabs that entered the trawl net by the number of crabs that were observed

*² The entry ratio in "Total" was obtained by dividing the sum of number of crabs that entered the trawl net by the sum of number of crabs that were observe

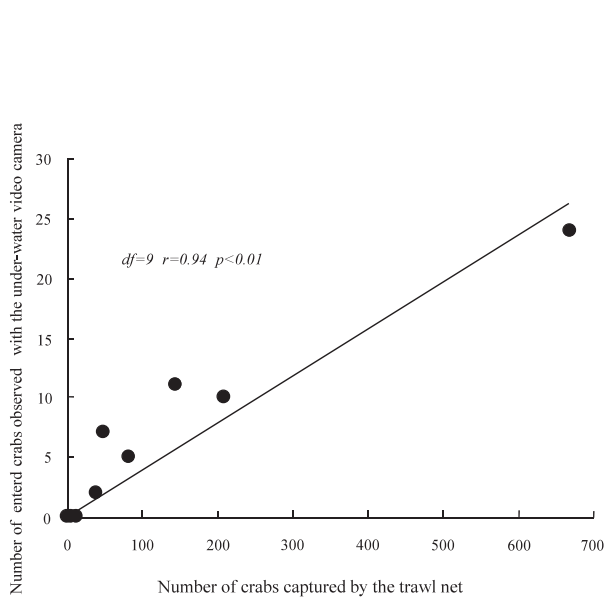


Fig.25. Relationship between the number of crabs captured by the trawl net and the number of entered crabs observed with the underwater video camera.

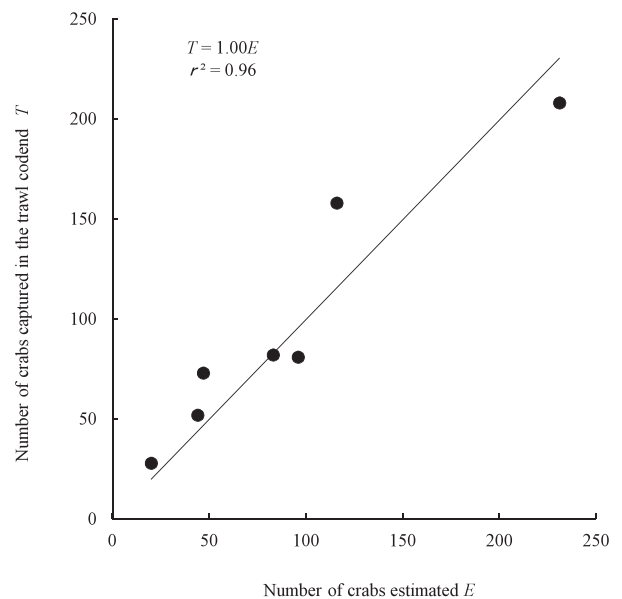


Fig.26. Comparison between the number of snow crabs estimated from the actual number of "entered crabs" at each section and that captured in the trawl codend.

グランドロープの部位別の入網率と掃海幅を用いて求めた調査用底びき網の漁獲効率率は、0.31～0.36であった（Table 10）。画像中のグランドロープが曳網方向となす角度とグランドロープの各部位における全体の長さから推定した袖先間隔は、19.4m～29.0mであった（Table 10）。

4-4 考察

4-4-1 甲幅による入網率の相違

2000年及び2001年の資料より求めたベレー部及び補助ベレー部におけるズワイガニ類の入網率は、甲幅が大きくなるに従って高くなった（Fig. 23）。これは、底びき網のベレーの下に補助網を取り付け、コードエンドと補助網での漁獲個体数からズワイガニ類の甲幅と漁獲効率との関係を求めた Somerton and Otto (1999), Choi and Somerton (2012), 服部ら (2014) の結果と一致しており、その理由としてズワイガニ類は甲幅が大きくなるほど歩脚が長くなり、海底から体が離れ入網しやすくなるため漁獲効率が高くなると考えられている (Somerton and Otto, 1999)。本研究により、グランドロープによるズワイガニ類に対するサイズ選択性を映像により明らかにすることができた。

第2章で述べたように、接近してくるグランドロープに対してほとんどのズワイガニ類は反応しなかった。従ってグランドロープの部位によってズワイガニ類の入網率に差が無いと仮定すると、水中ビデオカメラの観察幅から求めた1mあたりの入網個体数と、調査用底びき網の漁獲個体数と袖先間隔から求めた1mあたりの漁獲個体数は等しくなるはずである。しかし、Table 9で示したように、調査用底びき網における1mあたりの漁獲個体数の方が水中ビデオカメラにおける1mあたりの入網個体数より多かった。従って、

グランドロープの部位によって入網率が異なり、水中ビデオカメラで観察したグランドロープのベレー部より観察しなかった袖において入網が多かったと推定できる。調査用底びき網のグランドロープのベレー部及び補助ベレー部のゴム沈子の直径は150mmあり、観察を行わなかった袖のゴム沈子の直径120mmより太い（渡部・北川, 2004）。また、曳網方向に対するグランドロープの向きも部位によって異なるので、これらの差異より入網率に差が生じたものと考えられる。次に、グランドロープの太さと角度が異なる部位における入網率からグランドロープの太さなどが漁獲に与える影響を考察する。

4-4-2 グランドロープの太さと角度が漁獲に与える影響

ベレー部と補助ベレー部の入網率は共通のパラメータであったのに対して、袖部の入網率はやや高い推定値とするモデルが選ばれた。このことは、ベレー部と補助ベレー部における入網率に有意な差がなかったことを意味している。実際に、2004年と2005年の資料に基づくベレー部と補助ベレー部における入網率0.12と、2000年と2001年の資料に基づくベレー部と補助ベレー部の入網率0.13に差があるか2組の比率の差に関する検定を行ったところ、有意差は認められなかった ($p>0.05$)。本調査で用いた調査用底びき網の補助ベレー部とベレー部のゴムボビンの直径はいずれも150mmと等しかった。一方、グランドロープが曳網方向となす角度は、ベレー部がほぼ直角に近かったのに対して、補助ベレー部は平均60°とやや小さかった（Table 3）。しかしながら、ベレー部と補助ベレー部における入網率を共通のパラメータとするモデルが採択されたことから、この程度の曳網方向となす角度の差は入網率に影響しなかったものと考えられる。こ

Table 10. Total swept width of each section of the footrope (m) and estimated catching efficiency of the net

Operation No.	Section of the footrope				Catching efficiency ^{*1}
	Belly	Lower wing gusset	Wing	Total	
1	3.0	7.8	13.6	24.4	0.35
2	2.9	6.3	10.9	20.1	0.34
3	3.0	7.5	11.0	21.5	0.33
4	3.0	7.4	9.0	19.4	0.31
5	3.0	8.1	13.0	24.1	0.34
6	3.0	6.6	11.0	20.6	0.34
7	3.0	9.0	17.0	29.0	0.36

*1 Estimated catching efficiency was calculated by multiplying the entry ratio by the total swept area of each section of the footrope

れに対して、ベレー部や補助ベレー部に比べて袖部における入網率は高かった。補助ベレー部やベレー部に比べて、袖部ではグランドロープを構成するゴムボビンの直径が120mm径と小さく、グランドロープが曳網方向となす角度は平均30°と小さかった。ベレー部及び補助ベレー部と袖部の入網率が異なったことは、ベレー部及び補助ベレー部と袖部のグランドロープの太さと角度のいずれかもしくは両方が入網率に影響していることを示している。2000年及び2001年における観察結果や既往研究(Somerton and Otto, 1999; Dawe *et al.*, 2010; Choi and Somerton, 2012; 服部ら, 2014)によれば、底びき網のグランドロープにはズワイガニ類に対するサイズ選択性があり、大型個体ほど漁獲されやすい。このことは、グランドロープとズワイガニ類の相対的な大きさが入網率に影響を及ぼすことを意味し、ベレー部や補助ベレー部に比べて直径がやや小さなゴムボビンを持つ袖部では、入網率が高くなったことを支持している。さらに、袖部では他の部位よりもグランドロープが海底の泥を押しつけていた。タラバガニが脚で立ちあがることで甲羅と海底が離れる場合に漁獲されやすくなることが知られている(Weinberg *et al.*, 2004)。本研究では、グランドロープを構成するゴムボビンの直径が相対的に小さいことや曳網方向に対する角度が小さいことに加えて、グランドロープが海底に潜り込むことによってゴムボビンが泥を押しつけながらズワイガニ類の下を通りやすくなることで、袖部におけるズワイガニ類の入網率が高くなった可能性を示唆している。

4-4-3 漁獲効率の推定

本研究で用いた調査用底びき網は、渡部・北川(2004)が曳航式深海用ビデオカメラを用いて漁獲効率を推定した調査用底びき網である。それによると漁獲効率は0.30、その95%信頼区間は0.23～0.37であった(渡部・北川, 2004)。2000年及び2001年の水中ビデオカメラの観察から求めたグランドロープのベレー部及び補助ベレー部における全観察個体数に占める入網個体数の割合は0.13であり、渡部・北川(2004)の推定値より低かった。これはグランドロープの部位によって入網率に差があったためと考える。また、水中ビデオカメラで観察した入網個体数と調査用トロール網による採集個体数には正の相関が認められた($r=0.94$)。従って、グランドロープの構造や曳網方向に対するグランドロープの向きが大きく異なる部位ごとに複数の水中ビデオカメラを用いて同時に観察し、それぞれの部位ごとに入網率を求めることによって、調査用底びき網

の漁獲効率の推定が可能と考える。

2004年及び2005年の資料に基づき両カメラの映像から推定した総入網個体数と実際に漁獲された個体数がよく一致したことから、両カメラによる観察が調査用底びき網の漁獲を代表していると考えられた。

画像中のグランドロープが曳網方向となす角度とグランドロープの各部位における全体の長さから推定した袖先間隔は19.4m～29.0mであった(Table 10)。この値は、オッターボード間隔から推定された袖先間隔17.1m～21.1m(Table 3)に比べて1.1倍～1.4倍になった。画像から袖先間隔を推定する際に、各部位は直線形状であると仮定した。しかしながら、実際にはグランドロープと曳網方向がなす角度は袖部の中でも袖先に向かって徐々に小さくなる。そして、袖カメラはグランドロープの袖部のうち中間より補助ベレーに近い部分を撮影したので、この範囲のグランドロープが曳網方向となす角度は観察していない袖先付近における角度に比べて大きい。このことは、画像から推定した掃過幅が過大評価になっていることを示唆している。

第5章 総合考察

本章では、底びき網のグランドロープに対する生物の行動と漁獲への影響について総括する。本研究では、グランドロープに対する生物の行動が漁獲に及ぼす影響を、グランドロープの太さなどの構造と生物の種や体の大きさの観点から明らかにした。また、既往の研究で示されていたグランドロープによる駆集効果が、小型の異体類やズワイガニ類のように、生物の種や体の大きさによっては存在しないことを示した。これらから、底びき網のグランドロープに対する生物の行動と漁獲への影響を明らかにすることで、どのように漁業へ貢献できるかを考える。

5-1 漁獲効率の向上

ズワイガニ類のように、グランドロープに遭遇したときにこれを回避する行動を示さないかその程度が弱い生物は、グランドロープとの相対的な大きさにより漁獲が決定される。このような生物の漁獲を増大するためには、グランドロープを細くすることが有効である。一方、底びき網のグランドロープは、生物を効率よく漁獲する以外に、海底との摩擦や海底突起物との纏絡による漁具の損耗の防止や泥質の海底で泥が入網しないようにする働きがある(不破, 1989b)。このため、グランドロープを細くすると、漁具が損耗したり泥が

入網する恐れがある。しかし、ズワイガニ類の行動を観察した事例では、海底は平坦であり、また、グランドロープのベレー部や補助ベレー部において泥が大量に入網することはなかった。このように、海底の性状によっては、グランドロープを細くすることで、既存の漁具の漁獲効率を向上することが考えられる。

グランドロープを回避する生物のうち、ガンゾウビラメやホウボウのように海底から離れて上方方向に遊泳する種は、グランドロープを回避する行動を取ることで結果として漁獲されやすくなる。大きく離底しない生物はさらに、グランドロープの接近に対して示す行動で漁獲されやすさが異なる。一般に、魚類の遊泳力は体長に比例して大きくなるので、潜砂する行動を示す生物では、大型個体ほど漁獲されにくくなると考えられる。一方、離底する生物では、小型個体ほどグランドロープを回避できず、漁獲されにくくなる。このような生物の種による行動の差を利用すれば、目的の生物を効率よく漁獲できる漁具の改良が可能になり得る。底びき網のグランドロープを設計する際に要求されるものは海底への接地性である（不破, 1989b）。そして、底びき網のグランドロープ重量は、浮子の浮力より15%ほど多くしており、浮子の浮力は網抵抗の10~20%が一般的である（水上, 2001）。例えば、伊勢湾で操業する小型底びき網（板びき網）漁業では、シャコ *Oratosquilla oratoria* やマアナゴ *Conger myriaster* を対象にする網とスズキ *Lateolabrax japonicus* を対象にする網があり、後者の沈子の沈降力は浮子の浮力よりも小さく、網だけでは水に浮く設計である（松下ら, 2005）。このような漁具は、スズキがグランドロープの下方に逃避しないことを経験的に理解して、漁業者が作り上げてきたものである。グランドロープに対する生物の行動とグランドロープの構造が漁獲に与える影響をより詳細に理解することで、より効率的な漁具の改良が可能になる。

5-2 選択漁獲技術への応用

我が国の小型底びき網漁業では、漁獲対象生物の小型個体や非漁獲対象生物の混獲が問題視されることが多い（北沢・大阿久, 1982；藤石, 1995；松岡, 1999；松下, 2000a；松下, 2000b；松下, 2008）。これまでこうした混獲の減少を目的として、コッドエンドの目合の拡大（東海ら, 1989a；東海ら, 1989b；本多, 1991；西川ら, 1994；東海ら, 1994）や混獲防除漁具の開発（町田ら, 1994；永松ら, 1998；梶川ら, 1998；松下ら, 1999a；松下ら, 1999c；梶川ら, 1999；松下, 2000a；松下ら, 2006）が行われてきた。

しかし、コッドエンドの目合の拡大は、小型エビ類と大型の魚類を同時に漁獲するような小型底びき網漁業では、小型エビ類の漁獲量の減少に繋がることもある。そこで、生物がグランドロープを通過してからコッドエンドに蓄積されるまでの過程において、種や体の大きさによる行動の相違と網目選択性を利用した、二層式底びき網（町田ら, 1994；梶川ら, 1998）、仕切網式分離装置（松下ら, 1999a；梶川ら, 1998；梶川ら, 1999）、混獲防除ウインドー（松下ら, 1999c）などの混獲防除漁具が開発されてきた。しかし、これらの漁具を用いても、漁獲対象生物と非漁獲対象生物の網内での行動や体の大きさに相違がない場合には選択漁獲が困難になる。また、漁獲過程のより早い段階で混獲防除ができれば、網目の目詰まりによる選択性の低下（O'Neill and Kynoch, 1996；斎浦・東海, 2003）や網目通過による魚体の損傷（Chopin and Arimoto, 1995）の回避が期待できる。本研究によって示された種や体の大きさによって異なるグランドロープの太さによる選択性を利用すれば、漁獲過程の早い段階で新たな混獲防除技術を開発できると考えられる。

第3章において明らかにしたようにグランドロープの太さを変えたことによりサイズ選択性が認められた種とそうでない種に分けられ、さらに前者には全長が大きくなるのに従って選択率が高くなる種と低くなる種が存在した。このような種や体の大きさごとに異なるグランドロープの選択性を利用できれば、これまでの網口を通過してから漁獲物を分離する方法に加えて、新たな混獲防除技術を開発できる可能性がある。また、グランドロープを太くすることによりゴミの量が減少したことから、再放流魚の生残性向上や漁獲物の品質向上が期待できる。しかし、本研究で得られたグランドロープの選択性は、グランドロープの太さ（生物が乗り越えられる高さ）とグランドロープの単位接地面積あたりの重量がともに影響したと考えている。今後はこの2つの要因を個別に検討し、混獲防除のために求められるグランドロープの構造を明らかにする必要がある。

5-3 ズワイガニ類に対する漁獲効率の推定

ズワイガニ類に対する底びき網の漁獲効率の推定方法には、ベレーの下方に取り付けた補助網によりグランドロープの下方から逃避した個体を漁獲してコッドエンドにおいて漁獲された個体と比較する方法（Somerton and Otto, 1999；Choi and Somerton, 2012；服部ら, 2014）や、曳航式深海用ビデオカメラで求めた生息密度と底びき網の掃海面積と漁獲個体数

から求めた密度を比較する方法（渡部・北川，2004）がある。底びき網のズワイガニ類に対する漁獲効率はグランドローブの構造によって異なることが指摘されている（渡部・北川，2004）。一方で，我が国における資源調査用の底びき網には統一された規格はない。従って，資源調査で使われている個々の調査用底びき網の漁獲効率を求める必要がある。補助網による方法（Somerton and Otto, 1999；Choi and Somerton, 2012；服部ら，2014）は，補助網からの逃避がないこと，補助網を装着したことによって漁具の形状等が変化しないことを前提に行う必要がある。また，補助網のグランドローブが細いため，起伏が激しい海底や泥場では事故網の恐れがある。曳航式深海用ビデオカメラを用いた方法（渡部・北川，2004）は，曳航式深海用ビデオカメラと調査用底びき網の掃海範囲におけるズワイガニ類の分布密度が等しいことを前提としている。また，同時に2隻の調査船が必要になり調査が大がかりになる。もし，通常の操業と同じ方法で1隻の調査船により漁獲効率が推定できれば，これまでに漁獲効率が求められていない調査用底びき網においても，調査を十分に繰り返すことによってズワイガニ類資源の推定精度が向上すると考えられる。

本研究で行ったグランドローブの部位ごとの入網率に基づく漁獲効率の推定は，まだ画像からのデータ取得に時間と労力を必要とするが，これら既存の方法の問題点を解消でき，繰り返しの調査を行って取得する観察事例を増やすことで推定する漁獲効率の精度を向上させることが期待できる。このためにも，画像から自動的にデータ取得できるように，画像解析のソフトの開発が必要と考えられる。本研究では，袖部における甲幅による入網率の影響は取り上げなかった。画像から甲幅を計測する試みも進められていることから（高橋ら，2005），本研究のように水中ビデオカメラで撮影したグランドローブ付近のズワイガニ類についても甲幅を計測できるようになれば，映像から甲幅別に入網率を推定してグランドローブのサイズ選択性を求めていくことも可能と考える。

本研究により，調査用底びき網のグランドローブの袖部においてズワイガニ類の入網率が高く，ゴムボビンの太さと曳網方向に対する角度が入網率に影響を及ぼしている可能性が示された。そして，この部位間に入網率の差を評価することで，漁獲効率をより正確に推定できることを示した。しかしながら，袖部における観察の範囲は袖部全体の長さの10%であり，観察していなかった部位ではさらに入網率が異なっている可能性がある。今後，より適切に漁獲効率を得るためには，さらに部位別に入網率やグランドローブの太さの

異なる底びき網間での入網率の比較など，特に曳網方向に対する角度が異なるグランドローブの袖部において観察箇所を増やし，グランドローブの太さと曳網方向となす角度が入網率に与える影響の検討を進めるべきと考える。

本研究では，グランドローブ近傍での水中ビデオ映像によって，調査用底びき網のズワイガニ類に対する漁獲効率においてグランドローブの部位別の構造が及ぼす影響を明らかにすることで，漁獲効率の推定精度を向上することができた。これは，重要な水産資源であるズワイガニ類の資源調査及び資源管理に大きく貢献することが期待できる。

謝 辞

本研究を行うにあたり，一貫して懇切なご指導とご鞭撻を賜りました東京海洋大学大学院海洋科学技術研究科教授 東海正博士に対し，謹んで感謝の意を表します。本論文の作成にあたりご指導を賜りました同研究科教授 宮本佳則博士，准教授 胡夫祥博士，准教授 秋山清二博士に厚く御礼申し上げます。

調査のご支援，投稿論文の作成のご指導と共に，本研究の取りまとめに格段のご配慮を頂きました国立研究開発法人水産研究・教育機構西海区水産研究所 渡部俊広博士に深く感謝いたします。SELECT 解析や水中撮影技術に関するご教示と共に投稿論文の作成にご指導を頂きました長崎大学大学院教授 松下吉樹博士に心よりお礼申し上げます。本研究の端緒となる研究テーマを与えてくださりました国立研究開発法人水産研究・教育機構西海区水産研究所 本元克則氏に感謝申し上げます。本研究の取りまとめに際して親身のご指導と温かいご声援を頂きました同機構水産工学研究所 越智洋介博士にお礼申し上げます。

千葉県水産総合研究センター 小林正三氏には小型底びき網の調査にご協力頂きました。岩手県水産技術センター 後藤友明博士にはタラ類の調査にご協力頂きました。国立研究開発法人水産研究・教育機構東北水産研究所 北川大二博士並びに同機構北海道水産研究所 伊藤正木博士にはズワイガニ類の調査にご協力を頂きました。同機構水産工学研究所 山崎慎太郎博士並びに同機構日本海区水産研究所 本多直人博士には小型底びき網の調査にご尽力頂きました。深く感謝申し上げます。

銚子市漁業協同組合小型機船底曳網部会の皆様には操業試験や試験漁具の製作に多大なるご協力を頂きました。漁業調査船若鷹丸の乗組員の皆様，指導調査船岩手丸の乗組員の皆様には調査の実施にあたりご支援を頂きました。（元）国立研究開発法人水産研究・教

育機構水産工学研究所 寺脇利信博士, 同上野康弘博士をはじめとする職員の皆様には本研究の遂行にあたり多大なるご支援とご声援を頂きました。心よりお礼申し上げます。

最後に、常に研究活動を応援してくれた妻 映里と息子 幹に心から感謝します。

参考文献

- Andrew N.L., Graham K.J., Kennelly S.J. and Broadhurst M.K., 1991 : The effects of trawl configuration on the size and composition of catches using benthic prawn trawls off the coast of New South Wales, Australia. *ICES J. mar. Sci.*, **48**, 201-209.
- Bridger J.P., Foster J.J., Margetts A.R. and Strange E.S., 1981 : Glossary of United Kingdom Fishing Gear Terms. Fishing News Books, Surrey. 155p.
- Bublitz C.G., 1996 : Quantitative evaluation of flatfish behavior during capture by trawl gear. *Fish. Res.*, **25**, 293-304.
- Choi J.H. and Somerton D.A., 2012 : Efficiency of the Korean Bottom Survey Trawl for Snow Crab *Chionoecetes opilio*. *Fish Aquat Sci.*, **15**, 337-343.
- Chopin F.S. and Arimoto T., 1995 : The condition of fish escaping from fishing gears -a review. *Fish. Res.*, **21**, 315-327.
- Dawe E.G., Walsh S.J. and Hynick E.M., 2010 : Capture efficiency of a multi-species survey trawl for snow crab (*Chionoecetes opilio*) in the Newfoundland region. *Fish Res.*, **101**, 70-79.
- Engås A., 1994 : The Effects of Trawl Performance and Fish behaviour on the catching efficiency of demersal sampling trawls. in "Marine fish behavior in capture and abundance estimation" (ed. by Fernö A., Olsen S.), Fishing News Books, Blackwell Science, Oxford. pp. 45-68.
- Engås A. and Godø O.R., 1989 : Escape of fish under the fishing line of a Norwegian sampling trawl and its influence on survey results, *J. Cons. Int. Explor. Mer.*, **45**, 269-276.
- 藤石昭生, 1995: 小型底曳網漁業. 「漁業の混獲問題」(松田皎編) 恒星社厚生閣, 東京, pp. 30-42.
- 不破茂, 1989a : 魚の遊泳距離を考慮したグランドロープの駆集モデル. 日水誌, **55**, 1767-1771.
- 不破茂, 1989b : 底びき網のグランドロープの機能に関する基礎的研究. 鹿児島大学水産学部紀要, **38**, 103-156.
- Graham N., Jones E.G. and Reid D.G., 2004 : Review of technological advances for the study of fish behaviour in relation to demersal fishing trawls. *ICES J. Mar. Sci.*, **61**, 1036-1043.
- 服部努, 伊藤正木, 柴田泰宙, 矢野寿和, 成松庸二, 2014 : 調査用着底トロール網によるズワイガニの採集効率の推定. 日水誌, **80**, 178-184.
- 本多信行, 1991 : 板びき網の目合選択性に関する研究. 新潟水試研報, **14**, 13-35.
- 井上喜洋, 2000 : 銚子型沿岸選択底曳網の構造設計. 水産工学研究所技報, **23**, 1-7.
- Inoue Y., Matsushita Y. and Goto M., 1998 : Development of timer controlled under-water video camera pack. *Tech. Rept. Nat. Res. Inst. Fish. Eng.*, **20**, 23-31.
- 石田敏則, 川田暁, 2003 : 常磐海域におけるズワイガニとベニズワイガニの交雑種について. 福島県水産試験場研報, **11**, 146-148.
- 梶川和武, 藤石昭生, 井上悟, 永松公明, 濱野明, 1998 : 分離漁獲装置付き 2 階式小型底曳き網の分離効果. 日水誌, **64**, 189-196.
- 梶川和武, 藤石昭生, 松永公明, 東海正, 松田皎, 1999 : 混獲防御装置 (SURF-BRD) 付トロールの魚種分離とサイズ分離, 日水誌, **65**, 278-287.
- 木元克則, 藤田薫, 野口昌之, 興石裕一, 2001 : 水産工学研究所 II 型 2m 幅桁網の開発とヒラメ稚魚の採集効率の推定. 水産工学研究所研報, **22**, 67-90.
- 北川大二, 服部努, 1998 : 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, **62**, 32-36.
- 北川大二, 服部努, 斉藤憲治, 今村央, 野澤清志, 1997 : 東北海域におけるズワイガニとベニズワイガニの分布特性. 東北底魚研究, **17**, 69-78.
- 北沢博夫・大阿久俊郎, 1982 : 若狭湾における小型底びき網漁業の投棄魚について. 日水誌, **48**, 1089-1093.
- Kuipers B., 1975 : On the efficiency of a two-meter beam trawl for juvenile plaice (*Pleuronectes platessa*). *Neth. J. Sea. Res.*, **9**, 69-85.
- 日下部敬之, 1997 : 大阪湾におけるサルエビの生長と成熟. 大阪府水産試験場研究報告, **10**, 59-69.
- Main J. and Sangster G.I., 1981 : A study of the fish capture process in a bottom trawl by direct observations from a towed underwater vehicle. *Scott. Fish. Res. Rep.*, **23**, 1-23.
- Main J. and Sangster G.I., 1982 : A study of a multi-level bottom trawl for species separation using

- direct observation techniques. *Scott. Fish. Res. Rep.*, **26**, 1-17.
- 町田末広, 岡座輝雄, 斉藤達彦, 1994: 2 段式小型底曳網の上下袋網による分離漁獲. 長崎県水産試験場研究報告, **20**, 47-53.
- 松岡達郎, 1999: 混獲投棄とその防止に関する研究. 日水誌 1999, **65**, 630-633.
- 松下吉樹, 2000a: 底曳網漁業における混獲防除技術の開発に関する研究. 水産工学研究所研究報告, **21**, 1-57.
- 松下吉樹, 2000b: 曳網漁業における混獲防除技術. 日水誌, **66**, 261-268.
- 松下吉樹, 2008: - 漁場環境を考える - 漁業における混獲・投棄問題を考える. 燈火, 3月号, 3-6.
- 松下吉樹, 井上喜洋, Tatarnikov V.A., 1999a: 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. 日水誌, **65**, 3-10.
- 松下吉樹, 井上喜洋, 信太雅博, 野島幸治, 1999b: 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 階式コッドエンドの開発. 日水誌, **65**, 673-679.
- 松下吉樹, 野島幸治, 井上喜洋, 1999c: 小型底曳網漁業における漁獲物分離装置の開発. 日水誌, **65**, 11-18.
- 松下吉樹, 熊沢泰生, 富山実, 藤田薫, 山崎慎太郎, 2005: 伊勢湾内の小型機船底びき網漁業で 사용되는トロール漁具の設計と曳網中の形状. 日水誌, **71**, 318-327.
- 松下吉樹, 藤田薫, 本多直人, 柴田輝和, 2006: 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, **27**, 13-19.
- Millar R.B., 1994: Sampling from trawl gears used in size selectivity experiments. *ICES J. mar. Sci.*, **51**, 293-298.
- 水上洋一, 2001: 曳網漁具設計の実際. 「漁具物理学」(松田皎編) 成山堂書店, 東京, pp. 146-160.
- Munro P.T. and Somerton D.A., 2001: Maximum likelihood and non-parametric methods for estimating trawl footrope selectivity. *ICES J. Mar. Sci.*, **58**, 220-229.
- Munro P.T. and Somerton D.A., 2002: Estimating net efficiency of a survey trawl for flatfish. *Fish. Res.*, **55**, 267-279.
- 永松公明, 久保田勝彦, 田淵清春, 巽重夫, 鎌野忠, 井上悟, 梶川和武, 藤石昭生, 1998: 分離漁獲装置付き 2 階式トロール網の分離効果. 水産大学校研報, **46**, 155-162.
- Newland P.L. and Chapman C.J., 1989: The swimming and orientation behavior of the Norway lobster, *Nephrops norvegicus* (L.), in relation to trawling. *Fish. Res.*, **8**, 63-80.
- 西川哲也, 反田實, 長浜達章, 1994: 大阪湾の小型底曳網(板曳網)におけるサルエビの網目選択性. 兵庫水試研報, **31**, 1-8.
- 農林水産省大臣官房統計部, 2004: 平成 14 年漁業・養殖業生産統計年報(併載: 漁業生産額). 農林水産省統計部, 東京, 363pp.
- 農林水産省大臣官房統計部, 2008: 平成 18 年漁業・養殖業生産統計年報(併載: 漁業生産額). 農林水産省大臣官房統計部, 東京, 331pp.
- 農林水産省大臣官房統計部, 2015: 平成 25 年漁業・養殖業生産統計年報(併載: 漁業生産額). 農林水産省大臣官房統計部, 東京, 211pp.
- 農林水産省大臣官房統計情報部, 2003: 平成 13 年漁業・養殖業生産統計年報, 農林統計協会, 東京, 354pp.
- O'Neill F.G. and Kynoch R.J., 1996: The effect of cover mesh size and cod-end catch size on cod-end selectivity. *Fish. Res.*, **28**, 291-303.
- Rose C.S., 1995: Behavior of North Pacific groundfish encountering trawls: applications to reduce bycatch. in "Solving bycatch: considerations to today and tomorrow", Univ Alaska Sea Grant Coll Program, 235-242.
- 梁振林, 堀川博史, 時村宗春, 東海正, 1999: 底曳網の網目選択性に及ぼす魚体横断面形状の影響. 日水誌, **65**, 441-447.
- 斎浦耕二, 東海正, 2003: ポケット網実験から推定したカタクチイワシシラスに対する船曳網の網目選択性. 日水誌, **69**, 611-619.
- Somerton D.A. and Otto R.S., 1999: Net efficiency of a survey trawl for snow crab, *Chionoecetes opilio*, and Tanner crab, *C. bairdi*. *Fish Bull.*, **97**, 617-625.
- 水産庁振興部沖合課・監修, 1983: 小型機船底びき網漁業. 地球社, 東京, 638pp.
- 鈴木康仁, 領家一博, 2000: トロール網による福井県沖のズワイガニ資源量推定の試み. 日本海ブロック試験研究集録, **40**, 1-4.
- 高橋秀行, 渡部俊広, 北川大二, 2005: 曳航式深海用ビデオカメラで撮影したベニズワイガニの甲幅推定法. 日水誌, **71**, 542-548.
- 竹下貢二, 1983: II. 適用例と問題点 5. ベーリング海ズワイガニでの評価. 「水産資源の解析と評価 その手法と適用例」(石井丈夫編), 恒星社厚生

- 閣, 東京, pp.69-78.
- 千葉県, 1998: 小型機船底びき網 (板びき) 《サルエビ》の選択漁具・漁法の改良改善及び実証化. 平成9年度資源管理等沿岸漁業新技術開発事業報告書, 58 pp.
- 東海正, 1997: MS-Excel のソルバーによる曳網の網目選択性 Logistic 式パラメータの最尤推定. 水産海洋研究, **61**, 288-298.
- 東海正, 三橋廷央, 1998: 比較操業試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, **62**, 235-247.
- 東海正, 伊東弘, 正木康昭, 上城義信, 横松芳治, 安東欣二, 1989a: 小型底びき網 (手繰第2種, エビ漕ぎ網) のカレイ類に対する網目選択性. 南海海区水産研究所研究報告, **22**, 35-46.
- 東海正, 伊東弘, 山口義昭, 1989b: 小型底びき網 (手繰第3種, 桁網) による異体類3種の網目選択性に関する予備的検討. 南海海区水産研究所研究報告, **22**, 29-34.
- Tokai T., Ito H., Masaki Y. and Kitahara T., 1990: Mesh selectivity of a shrimp beam trawl for southern rough shrimp *Trachypenaeus curvirostris* and mantis shrimp *Oratosquilla oratoria*. *Nippon Suisan Gakkaishi*, **56**, 1231-1237.
- 東海正, 大本茂之, 松田皎, 1994: 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. 日水誌, **60**, 347-352.
- 張秀梅, 1996: トロール漁法の漁獲過程. 「魚の行動生理学と漁法」(有元貴文・難波憲二編), 恒星社厚生閣, 東京, pp.21-30.
- 内田圭一, 東海正, 三橋廷央, 胡夫祥, 松田皎, 2000: 採集努力量が不定な比較操業実験におけるマアナゴに対するかご網漁獲選択性. 日水誌, **66**, 228-235.
- 上田祐司, 成松庸二, 服部努, 伊藤正木, 北川大二, 富川なす美, 松石隆, 2006: VPA と着底トロール調査による資源量から推定された東北海域におけるマダラの漁獲効率. 日水誌, **72**, 201-209.
- Walsh S.J., 1992: Size-dependent selection at the footgear of a groundfish survey trawl. *N Am J Fish Manage.*, **12**, 625-633.
- Wardle C.S., 1993: Fish behavior and fishing gear. in "Behaviour of teleost fishes second edition" (ed. By Pitcher T.J.), Chapman&Hall, London, pp.609-643.
- 渡部俊広, 廣瀬太郎, 2001: 曳航式深海用ビデオカメラによるズワイガニの生息密度の推定. 日水誌, **65**, 503-504.
- 渡部俊広, 北川大二, 2004: 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. 日水誌, **70**, 297-303.
- 渡部俊広, 山崎慎太郎, 1999: 曳航式深海用ビデオカメラによるベニズワイガニの分布観察. 日水誌, **65**, 503-504.
- Weinberg K.L. and Munro P.T., 1999: The effect of artificial light on escapement beneath a survey trawl. *ICES J. Mar. Sci.*, **56**, 266-274.
- Weinberg K.L., Otto R.S. and Somerton D.A., 2004: Capture probability of a survey trawl for red king crab (*Paralithodes camtschaticus*). *Fish Bull.*, **102**, 740-749.
- Weinberg K.L., Somerton D.A. and Munro P.T., 2002: The effect of trawl speed on the footrope capture efficiency of a survey trawl. *Fish. Res.*, **58**, 303-313.
- Winger P.D., Eayrs S. and Glass C.W., 2010: Fish behavior near bottom trawls. in "Behavior of marine fishes: Capture process and conservation challenges" (ed. He P.). Wiley-Blackwell, Iowa, p. 67-103.