

# 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

メタデータ	言語: Japanese
	出版者: 水産研究・教育機構
	公開日: 2024-10-02
	キーワード (Ja):
	キーワード (En):
	作成者: 藤田, 薫
	メールアドレス:
	所属:
URL	https://fra.repo.nii.ac.jp/records/2010950
	This work is licensed under a Creative Commons

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.



# 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\*<sup>1</sup>

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

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

\*<sup>1</sup> 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/)

\*<sup>2</sup> 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、通常の底びき網のベレー (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 ウタラ Gadus macrocephalus, スケトウダラ Theragra chalcogramma, タイヘイヨウオヒョウ 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 spb. 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、タイセイヨウタラ 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, シュムシュガレイ Lepidopsetta bilineata, タイヘイヨウオヒョウ, 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(Engas, 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 ス 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 漁獲対象にしている水産工学研究所型 II 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 sledge system to observe juvenile flatfish.



**Fig. 5.** Schematic drawing of the towed camera sledge 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 したものと同じ底びき網(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),補助ベレー 部(Lower wing gusset), ベレー部(Belly)と呼ぶ (Fig. 8)。グランドロープの袖部, 補助ベレー部, ベレー 部の長さはそれぞれ, 13m, 4.5m, 3m である。ここで, 袖部と補助ベ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, グランドロープのベレー部は曳 網方向にほぼ直角になるのに対して, その両側にあた る補助ベ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 端までの長さと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が変化す 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,シュムシュ 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. Shadowed 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  $|\sin \theta|$ . Here, *l*: length of the footrope in the footage,  $\theta$ : 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ので,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 鉄製沈子が押しの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1及びグラン ドロープが曳網方向となす角度 $\theta$ 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プに遭遇したズワイガ ニ類の個体数をグランドロープ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。

ー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

**Table 1.** Bahavioral pattern of juvenile flatfishovserbed at the center of the tickler chain of thetowed camera system

Pattern	Japanese	Pygmy whiff	Bamboo sole
A	3	2	18
В	4	18	8
С	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82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 Bottom depth(m) Towing duration		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
		600	490 30min23s	670 3s 31min35s	540 34min15s	550 32min51s	680 20min31s	550 29min45s	690 20min00s	480 30min20s	650 30min09s	
		32min41s										
Camera Response No response*1		15	73	38	276	2	24	10	0	1	0	439
	Moving when they appeared <sup>*2</sup>	1 .	12	0	6	0	0	2	0	0	0	21
	Moved after they had appeared	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 $\theta$ (°)(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 が押しの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 押しの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.

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 <sup>*3</sup>	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	

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

\*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  $Q_w$ =1.08 $Q_B$  (決 定係数  $r^2$ =0.86) で表され、この回帰直線の傾きは 1

Section of the footrope			Operation No.								
Section of the loc	uope		1	2	3	. 4	5	6	7	Total	
	-	Entered on the net <sup>*1</sup>	2	3	1	2	1	0	12	21	
	Behavioal	Escaped under the footrope <sup>*1</sup> V Framed out <sup>*1</sup> Unidentified <sup>*1</sup>		16	9	22	12	6	56	144	
	patterns of snow			0	0	5	0	1	0	6	
	crabs			0	0	0	0	0	5	5	
Dally		Total	25	19	10	29	13	7	73	176	
Belly		No response <sup>*2</sup>	11	14	4	29	0	2	10	70	
	Responses of	Moving when they apperaed <sup>*3</sup>	9	3	5	0	8	1	29	55	
	snow crabs	Moved after they had appeared <sup>*4</sup>	5	2	1	0	5	4	34	51	
		Total	25	19	10	29	13	7	73	176	
		Entry ratio <sup>*5</sup>	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0	0.2		
		Entered on the net <sup>*1</sup>	1	2	0	4	2	1	1	11	
	Behavioal	Escaped under the footrope*1	16	20	3	30	3	5	9	86	
	patterns of snow	Framed out <sup>*1</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	
	crabs	Unidentified <sup>*1</sup>	0	0	0	0	0	0	0	0	
T		Total	17	22	3	34	5	6	10	97	
Lower wing guss	t i i i i i i i i i i i i i i i i i i i	No response <sup>*2</sup>	8	17	0	26	2	3	4	60	
	Responses of	Moving when they apperaed <sup>*3</sup>	8	5	2	8	3	2	3	31	
	snow crabs	Moved after they had appeared <sup>*4</sup>	1	0	1	0	0	1	3	6	
		Total	17	22	3	34	5	6	10	97	
		Entry ratio <sup>*5</sup>	0.1	0.1	0	0.1	0.4	0.2	0.1		
		Entered on the net <sup>*1</sup>	4	4	9	14	5	1	24	61	
	Behavioal	Escaped under the footrope <sup>*1</sup>	9	12	11	5	2	0	15	54	
	patterns of snow	Framed out <sup>*1</sup>	8	11	18	11	11	1	16	76	
	crabs	Unidentified <sup>*1</sup>	0	0	0	0	0	0	2	2	
XX / ···· -		Total	21	27	38	30	18	2	57	193	
wing		No response <sup>*2</sup>	8	22	17	12	2	0	19	80	
	Responses of	Moving when they apperaed <sup>*3</sup>	2	1	7	1	2	0	5	18	
	snow crabs	Moved after they had appeared <sup>*4</sup>	11	4	14	17	14	2	33	95	
		Total	21	27	38	30	18	2	57	193	
		Entry ratio <sup>*5</sup>	0.3	0.3	0.5	0.7	0.7	1	0.6		

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

<sup>\*1</sup> 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 appered in the footage

<sup>\*4</sup>Crabs moved after they had appeared in the footage

<sup>\*5</sup> 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  $Q_L$ =0.87 $Q_B$  ( $r^2$ =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ンドロープの 前方 1m ~ 2m までの範囲であった。従ってグランド 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 ネン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 ネント、ブライドル、網ペンネン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ほ

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の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のける泥とともに 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 ロープに引っ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 なら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 いため、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), 歩脚で移動するやズワイガニ類は 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).

プ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。

Type of footrope	Conventional (32.	.7mm dia.)	Test (61.3mm dia.)			
Part	Material	Weight (kg) <sup>*</sup>	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		

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

\* 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)をコッ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 ビラメ Pseudorhombus cinnamoneus, アカシタビラ メ Cynoglossus joyneri, クロウシノシタ Paraplagusia japonica, ネズッポ属 Callionymidae, ホウボウ Chelidonochthys 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) はコッド 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えており、全長1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1の変化に応じて変化するが、 y 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 y 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yに近づいた後に減少する。

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

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

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

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

ここで、a、 $\beta$ 、 $\gamma$ 及び $\delta$ 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 $\Phi_l$ として次式で定義した。

$$\Phi_l = \frac{t_l}{t_l + c_l} \tag{5}$$

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, t,

$$t_l = u \cdot q \cdot r(l) \cdot R_l \tag{6}$$

現用網で漁獲された全長1の測定個体数 c<sub>l</sub>は,

$$c_l = (1 - u) \cdot s \cdot R_l \tag{7}$$

式 (5) に式 (1), (6), (7) を代入すると,  $\phi_i$ は,

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

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

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

で表せる。式(5)に式(3),(6),(7)を代入する と、*Φ*<sub>1</sub>は、

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

で表せる。式(5)に式(4),(6),(7)を代入する と、*Φ*<sub>1</sub>は、

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

で表せる。

全長階級 *lj* (*j*=1, 2, 3, …, *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)。

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

抽出率 $q \ge s$ はそれぞれの曳網で一定でなかったの で,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<sup>\*1</sup>のソルバーを用いた。選択され たモデルの適合度は $\chi^2$ 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

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

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

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充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 $\phi_l$ 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 ×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長の関



**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,  $\Phi I = t_f/(t_f + c_f)$ .  $t_f$ : Number of test net samples in the length class *l*.  $c_f$ : Number of control net catches in the length class *l*.

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

Table 7. Estimated parameter values for the selected models





**Fig.21.** Selectivity curves with test net for the selected models. A dotted line shows the length class *I* 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×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 で網目選択性の影響を受けると考えられるネズッポ属 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個体ほど海底と 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、大型個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こえやすいためと考察した。 その後に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 は遊泳力のある個体(通常,大型個体)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個体が多数見られ 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、その傾向は大型個体 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個体 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個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、特に太さなど 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,添綱によって フィッシングラインに直接取り付けられている。添綱 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の入網 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、部位ごとの入網個体数を推定した。 そして、部位別の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

## 4-3-1 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.

# 4-3-3 漁獲効率の推定

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<sup>2</sup>=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.

# Kaoru FUJITA

Model	Belly	Lower wing gusset	Wing	Total AIC*
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 <sup>*2</sup>	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

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

<sup>\*1</sup> 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
Botton	n depth(m)	600	490	670	540	550	680	550	690	480	650	
Towing	g duration	32min41s	30min23s	31min35s	34min15s	32min51s	20min31s	29min45s	20min00s	30min20s	30min09s	
Camera	a 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 <sup>*1</sup>	0.3	0.12	0.29	0.08	0	0.3	0.2	-	0	-	0.13*2
	Number of crabs entered/Observed swat	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 betwee	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

<sup>\*2</sup> 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,コッ 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(*b*>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 fo	G + 1 · · · · · *1		
	Belly	Belly Lower wing gusset Wing		Total	- Catching efficiency
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

<sup>\*1</sup> 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のけてい 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 が泥を押しの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 纒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 ことにより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 れまでに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がある。 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 グランドロープ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 ランドロープが細いため、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 査を十分に繰りかえ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プ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プ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,映像から甲幅別の 入網率を推定してグランドロープ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プの 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,この部位間の 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,さらに部位別の入網率やグランドロープの太さの 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プの袖部におい て観察箇所を増やし,グランドロープの太さと曳網方 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、グランドロープ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プ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 木元克則氏に感 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 区水産研究所 北川大二博士並びに同機構北海道区水 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 Kindom 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 භ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 multilevel 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使用さ れる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 codend 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.南西海 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.南西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.