HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	漁家経営の持続安定化に向けた小型底びき網漁業の省エネ・省力化に関する研究
Author(s)	酒井, 健一
Citation	北海道大学. 博士(水産科学) 甲第15247号
Issue Date	2023-03-23
DOI	10.14943/doctoral.k15247
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/89803
Type	theses (doctoral)
File Information	Kenichi_Sakai.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

漁家経営の持続安定化に向けた小型底びき網漁業の省エネ・省力化に関する研究

（Study on Energy saving and Labor Saving in Small Trawl Fishery for Sustainable Stabilization of the Fishery Household Economy）

北海道大学大学院水産科学院

海洋生物資源科学専攻

Division of Marine Bioresource and

Environmental Science

Graduate School of Fisheries Sciences

Hokkaido University

酒 井 健 一

Kenichi Sakai

2023 年

目次

緒言 1

第Ⅰ章　小型底びき網漁業の勢力と取り巻く環境 8

1-1　小型底びき網漁業の勢力 8

1-1-1　小型底びき網漁業経営体の全国分布と就業漁船のトン数階層 9

1-1-2　小型底びき網漁業の就業構造 9

1-2　漁労支出に占める燃料費および燃油価格の変遷 10

1-2-1　原油価格と国内の免税軽油価格の推移 10

1-2-2　漁労支出に占める燃料費 10

1-2-3　小型底びき網漁業と他の漁業種類の燃料消費量 11

1-3　小型底びき網漁業における海難発生状況 12

1-3-1　材料と方法 13

1-3-2　結果 13

1-3-3　考察 15

第Ⅱ章　ビーム式小型底びき網の漁具特性把握 27

2-1　材料と方法 28

2-1-1　網口高さの推定式 29

2-1-2　曳網の模型実験による漁具特性の計測 30

2-2　結果 34

2-2-1　曳網中の網口高さの推定値 34

2-2-2　模型実験による漁具特性 34

2-3　考察 35

第Ⅲ章　小型底びき網漁業における省エネ操業 53

3-1　材料と方法 54

3-2　結果　55
3-2-1　一般航行時の燃料消費実態　56
3-2-3　低速曳網による省エネ効果　57
3-3　考察　61
3-3-1　年間の燃料消費量および燃料費削減額　61
3-3-2　主機関出力の選択　62

第Ⅳ章　小型底びき網漁業における省力操業　81
4-1　材料と方法　82
4-1-1　九州北部沿岸におけるビーム式小型底びき網操業　83
4-1-2　漁労機械装備状況　82
4-1-3　供試漁船と操業方法　83
4-2　結果１　舷側投揚網式における従来型漁具に対する軽量型漁具の省力効果　85
4-2-1　投網作業および揚網作業時間　85
4-2-2　投網作業および揚網作業の煩雑さ　86
4-2-3　投網作業および揚網作業の身体的負担　86
4-3　結果２　舷側投揚網式に対するトロールウィンチ式の省力効果と作業変化　87
4-3-1　投網作業および揚網作業時間　87
4-3-2　投網作業および揚網作業場所　88
4-3-3　投網作業および揚網作業内容　88
4-3-4　投網作業および揚網作業の煩雑さ　90
4-3-5　投網作業および揚網作業の身体的負担　90
4-4　考察　90
4-4-1　漁具吊り上げ位置の検討　91
4-4-2　ビーム架け替え作業の検討　92
4-4-3　漁業者から得た操業漁船と航行船舶の安全にかかる情報　92

第Ⅴ章　漁家経営の持続安定化に向けた操業の省エネ・省力化に関する考察　116
5-1　曳網速度と掃過体積　116
5-2　低速曳網による水揚額への影響　117
5-3　低速曳網による曳網時間と曳網回数に関する提案　119
5-4　操業が身体に与える影響　120
5-5　今後の展望　122

謝辞　132

参考文献　133

緒論

島国である我が国の国土面積は約 38 万 km^2 であるが [1)]，周囲には約 447 万 km^2 におよぶ領海と排他的経済水域が拡がっている [2)]。本水域には寒流および暖流が流れ，その境界に好漁場が形成されるとともに，浅海から深海にいたる海洋環境下において，定着性魚類や高度回遊性魚類など様々な魚介類が生息している。それらの水産資源を活用するために沿岸各地には，2,780 におよぶ大小様々な漁港が点在しており [3)]，水産業を営む基点となっている。水産業は漁業と養殖業に分類されるが，このうち漁業は自然の生産力により生産された水産生物を採捕するものである。このため，漁業生産は自然条件に大きく左右され，漁業経営は農業や養殖業に比べて不安定という特徴を有する [4)]。しかし，適切な資源管理下において水産物を持続的に生産できる漁業は，国民への動物性タンパク質供給源であることはもとより，魚肉は健康面に優れ，かつ，各地特有の魚食文化が根付いている観点からも大変重要な産業である。

総務省統計局の資料 [5)]によると，2022 年の世界人口は 79 億 5,400 万人と報告されている。統計が開始された 1950 年の先進国と開発途上国の人口比は 32.1%と 67.9%であった。その後の開発途上国の人口増加は著しく，2022 年ではそれぞれ 16.1%と 83.9%となっており，今後も開発途上国の人口比が増加する傾向は継続すると見られている。この様な状況の中で，開発途上国では食料確保が大きな問題となっている。それらの国では，農業による生産性が低い上に，世界的な気候変動などの影響を受け，度重なる干ばつなどに見舞われ生産力が低下し，深刻な食料不安 [6)]が続く地域も多く見られる。また，先進国にあっても，国際競争力の変化は従来の食料確保に関する秩序に影響するものである。特に食料自給率の低い我が国においては，国内生産力の改善や海外からの食料確保は極めて重要な課題となっている。国内の食料需要に目を向けると，国民の食生活は多様化するとともに，嗜好の変化により，従来の和食から洋食を好む傾向が顕著となっている。魚肉から畜肉消費の増加が見られ魚介類の販売単価は伸び悩み，漁業就業者数減少の要因となり，生産量の減少につながっている。一方で，世界に目を向けると，食料確保や健康志向の高まりの

観点から，魚食文化の広がりが見られる。我が国においても水産物の輸出量増加による産業の活性化が期待される。しかし，水産物の貿易動向は，2019 年においては輸入が 1 兆 7,404 億円に対して輸出は 2,873 億円となっており [7]，水産物確保における海外製品への依存度が高い状況が続いている。従来は，豊かな経済力を背景として世界各地から水産物を優位に確保することが可能であった。しかし，国際競争力の変化は水産製品の価格高騰に連動しており，今後の食料確保に向けて大きな不安を生じている。国民へ健康・安全かつ多様な水産物を安定供給するためには，国内生産力の回復に向けた技術開発や就業者の確保とともに，漁労環境の改善など課題は多い。本論文では，特に漁労環境における課題が懸念されている，小型底びき網漁業に着目した。

小型底びき網漁業は，我が国の沿岸周辺に広く分布し，古くから漁業を基盤とする地方・地域において重要な産業の一つとして位置づけられている。また，同漁業の総生産量は，我が国の海面漁業生産量の約 13%を占める [8]とともに多種多様な魚介類を供給しており，その役割の大きさが伺える。一方で，小型底びき網漁業を取り巻く環境は，水産資源の低下，魚価安，燃油価格の高騰および漁業就業者の高齢化など数多くの問題のため悪化の一途をたどっている。このため，漁家経営の持続は大変厳しい状況にあり，経営体数は年々減少し，その存続が危惧されている。漁業経営体の減少は，国民への安定的な水産物の供給を脅かすとともに，地方・地域の衰退に直結した問題とも考えらえる。この様な状況の中，今後の漁家経営の持続安定化を図る方策の一つとして，小型底びき網漁業における省エネ・省力化技術の開発・普及が重要視されている。

燃料消費，漁船抵抗に関する課題と過去の研究事例

実際の漁船操業にあたっては，探魚，海底地形の把握や漁具・漁網を適切に操作するために水面下の様々な情報を収集する必要がある。このため，漁船の船底には魚群探知機，ソナーや潮流計などの音響測器の送受波部が数多く取り付けられている。こうした音響測器と漁船の相互作用に関する研究として，川島，三好ら [9-11]は，付加物の形状を適切化あるいは不要物を撤去するなどにより船体抵抗を軽減させた。また，漁船運航上の省エネと

して，減速航行や船底清掃による燃料消費量削減効果の現場実証や提案が見られる。例えば濵口ら[12)]は，大学の実験実習艇（12 GT）を用い，機関回転数に応じた燃料消費量と窒素酸化物（NO_X）排出量の関係性について調査を行った。同研究では船底汚損した供試船について，清掃段階に応じた省エネや環境負荷の低減効果を明らかにするなど船底清掃の有益性を実証した。

本研究で対象とする小型底びき網漁船などの小型漁船についても，操業の省エネ化に向けた海上実験が行われている。一般に小型漁船の運航者による燃料消費量の把握は，機関運転時間とタンク残量，給油量から推定するものである。このため，往復航走，操業，漁場移動などの各航海段階で，どれだけの燃料を消費しているかについて，詳細を知ることができない。長谷川，溝口[13-16)]らは，航海中の機関回転数に応じた燃料消費量を精査するために，小型漁船向けに燃料消費量計測システムを構築し，計測値をリアルタイムでモニターするとともにデータロガーに収録することを可能とした。加えて，溝口ら[17)]は，漁具改良として小型底びき網漁具の網口開口装置に高揚力オッターボード（HLTD）[18,19)]を使用した場合の燃料消費特性を明らかにした。また，永松，酒井[20)]は，カイト[18,19)]を使用して底びき網を曳網した場合の燃料消費特性について報告した。この他にも，様々な現場で燃料消費実態把握にかかる研究が行われている[21-25)]。

漁船内での労働環境に関する課題と過去の研究事例

漁船における労働は，陸上労働には見られない多くの特殊性を有している。これらは，限られた作業空間，生活空間，労働の継続時間，交代勤務などによる労働時間条件，および船体動揺や機関の振動による騒音，振動である[26)]。海上労働環境には，気象・海象影響で生じる船体動揺による人体影響が切り離せないものである。特に漁船は商船と異なり一般に小型であり，航行範囲も広く荒天に遭遇する機会も多いなどのため，船体運動は激しくなることが指摘されている[27)]。木村ら[28-30)]は，人間工学的手法により船体運動を入力，人体の応答を出力とした応答特性から，船上における人体の応答とバランス判定関数などについて研究し，作業の安全性について検討を行った。川崎ら[31)]は，大学の漁業練習船（716

GT）におけるオッター式底びき網操業について，ビデオカメラにより漁労作業を撮影し，3 次元動画分析により安全性・作業性向上に関する検討を進めた。久宗ら[32-34]は，底びき網，旋網漁業を対象とし，労働安全に向け漁労作業システムを分析した。同研究では，作業設備の改善に向けた示唆や作業時の注意点を提案し，労働安全とともに漁労技術習得のための教育に寄与した。また，三輪[35]は，海上労働について労務管理体制が形成されている遠洋漁船において，生産現場における漁船乗組員の技能形成を中心に，経営管理面から考察を行った。

全国の津々浦々で発展を遂げてきた沿岸漁業において，漁労作業評価を一律に論ずることは困難である。しかし，漁業種類，操業海域，または漁船の規模などによって漁船特有の性質を見いだし，身体負担の軽減や操業の安全性向上について検討を進めることは重要である。本研究で対象とする小型底びき網漁船などの小規模経営体における作業評価についても，根源的な作業内容把握や身体負担分析などの段階から調査を進める必要がある。これらは，事例研究（ケーススタディ）の積算により進められるものである。事例研究を行うにあたり適用する作業姿勢評価法には，全身評価として Posture targeting[36]，OWAS[37]，上肢評価として RULA[38]，包括的評価として AET[39]などが挙げられる。この中で OWAS は，フィンランドの製鉄会社の Karhu，Nasman および同国労働衛生研究所の Kuorinka らによって開発された作業姿勢評価法である[40]。同評価方法は，全身の姿勢評価を行うに際して，特別の用具を必要とせず，現場で即座に記録・解析ができることが特徴として挙げられ，調査実施時の導入性に優れている。瀬尾は，同評価方法に基づいた作業姿勢分析ソフトである JOWAS[41]を構築した。同ソフトは，OWAS における作業姿勢と取り扱い重量によるパラメータから求められる身体的負担度(AC)を算出・集計し，作業負担と改善要求度の決定を支援するソフトである。分析にあたっては，パソコン上での操作性にも優れ，様々な業種における身体的負担の把握，比較および負担の大きい危険な作業姿勢の洗い出しを進めさせた。OWAS による作業評価を漁業現場へ適用した事例として，長谷川[42]によるワカメ養殖を対象とした報告がある。これは，三陸沿岸各地におけるワカメ刈り取り作業時の作業負担を OWAS により評価したものである。船上でのワカメ刈り取り作業に潜

在する問題点として，舷側の高さや漁労機械の設置高さなどが作業負担を左右するものとして指摘した。OWAS による分析は，その後，多くの漁業現場における作業改善に向けた評価方法として用いられている。髙橋[43]は，各地で行われる小型底びき漁業について事例研究に基づいた労働実態の把握を行った。ここでは，投網，揚網作業などの漁具操作とともに，漁獲物選別作業を含めた操業全般における身体的負担の分析とともに行動分析が行われている[44,45]。作業改善の一例として，選別作業時の姿勢改善に向けた選別台導入や漁労作業への軽労化支援スーツ[46-48]の利用を提案した。さらに，作業動線の把握に基づいた甲板配置などへの提言を行うため，仮想空間シミュレーション手法[49,50]を用い総合的に作業改善に取り組んだ。

漁具の省エネ化，省力化の研究事例

小型底びき網漁業の省エネ化を図る手法としては，曳網速度の低減による燃料消費量削減が一例としてあげられる。また，省力化を図る手法としては，漁具軽量化による船上作業の身体的負担軽減が効果的であると考えられる。しかし，現用の漁具・漁法において，曳網速度を低下させると，海底泥土の大量入網により操業の効率と安全性が損なわれる。また，単に沈子重量を軽減させると接地性が阻害され，底びき網漁具の漁獲性能を十分に発揮できない。この様な状況を踏まえ，胡ら[51,52]は「平成 23，24 年度 新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業：小型底びき網漁業における省力・省エネ化技術の開発と普及」において，小型底びき網手繰第二種漁業に対する省力・省エネ化に関する技術開発を行った。現用漁具の網口開口装置である長大で重いビームに替えて，軽量な柔構造拡網装置（カイト）を導入することにより，曳網速度をこれまでの約 3.0 kt から約 2.2 kt まで低減させることが可能となった。その結果，漁獲物の種組成ならびに掃過体積あたりの漁獲量を維持しつつ, 機関回転数を約 15%, 燃料消費量を約 30%軽減させることができた。さらに，漁具の軽量化により船上作業時の労力を軽減させることにも成功している。しかし，カイト式底びき網は漁業法や各都道府県の漁業調整規則における漁業許可や規制に抵触しているため，現在の手繰第二種漁業（以後，ビーム式小型底びき網と呼ぶ）の操業許

可では利用できない。

これまでにも，漁具改良を背景とした省エネ化および省力化に関する技術開発は数多く行われてきた。多くの場合，省エネ化と省力化は独立して研究が進められてきたが，技術の現場導入，すなわち漁業者が受け入れられる技術としては，経済性，安全性，導入の容易さなどを含めた総合的な判断が必要となる。しかし，従来漁具と新規漁具の漁具特性，漁獲物特性，作業労力などについて多面的に評価を行った研究は，胡ら[51,52]や不破ら[53]による事例が見られるのみであり，未だ定量的に把握されていない。

本研究の目的と本論文の構成

以上から本研究では， ビーム式小型底びき網漁業を対象として，安全に低速曳網できる軽量型漁具を用い，燃油価格の高騰に伴い増加する燃料費を節減することによる経営収支改善と，高齢化の進む漁業現場における労力軽減と作業安全により，漁家経営の持続安定化を図ることを目的に，操業の省エネ・省力化に向け調査を行った。さらに，省エネ・省力操業の漁業現場への導入に向け，水揚額や操業の安全性など漁家経営への影響について併せて調査を行った。ここでの漁家経営の持続安定化の実現は，社会に安定して水産物を供給することにつながるばかりでなく，温室効果ガス排出量の低減によるカーボンニュートラル[54]の実現に向けた取り組みとともに，持続可能な開発目標（SDGs：Sustainable Development Goals）[55]における普遍的な課題目標に即したものである。

本研究では次の様な構成で論ずる。

第Ⅰ章においては，小型底びき網漁業を取り巻く環境として，当該漁業の分布，漁船勢力，就業者の構成，燃油価格の変遷を確認するとともに，就業者の安全や漁船など財産保護を目的として小型底びき網漁船における海難発生状況を調査した。

第Ⅱ章においては，曳網速度を低減させた場合の操業への影響を把握するために，推定式により網口高さを算出するとともに，大型回流水槽において模型実験を行い，漁具形状の観察と漁具抵抗を測定した。

第Ⅲ章においては，供試漁船に燃料消費量計測システムを設置し，操業時の燃料消費状況の詳細を把握した。海上において収集したデータをもとに，一般航走状態における燃料消費特性，底びき網の曳網工程における燃料消費特性について分析を行った。ここでは主に，低速曳網が可能な軽量型漁具を用い操業を行った場合の省エネ効果について論ずる。

第Ⅳ章においては，従来型漁具と軽量型漁具を用いた操業の作業労力を分析するとともに，漁労機械としてトロールウィンチを用いた場合の省力効果について論ずる。

第Ⅴ章においては，軽量型漁具を用いた低速曳網による漁家経営への影響を把握するために，従来型漁具と軽量型漁具による年間を通した水揚額を比較した。さらに，曳網速度や曳網時間の違いによる漁獲内容や操業時間への影響について調査し，小型底びき網漁業における漁家経営の持続安定化に向け考察する。

第Ⅰ章　小型底びき網漁業の勢力と取り巻く環境

小型底びき網漁業は，小型機船底びき網漁業として規制される都道府県知事許可漁業の通称であり，総トン数 15 トン未満の動力漁船で底びき網を用いて操業するものである。漁法や網口開口装置の種類により手繰第一種，第二種，第三種漁業，打瀬漁業およびその他の小型機船底びき網漁業に分類される。本論文で研究対象として取り扱う小型底びき網漁業は手繰第二種漁業（ビーム式小型底びき網漁業）であり，えび漕ぎ網などと称され瀬戸内海[56-58]をはじめとする西日本海域[59]で多く見られる。以下に小型機船底びき網漁業の許可種類を示す。

・手繰第一種漁業：網口開口装置を有しない網具を使用して行う手繰漁業
・手繰第二種漁業：ビームを有する網具を使用して行う手繰漁業
・手繰第三種漁業：桁を有する網具を使用して行う手繰漁業
・打瀬漁業
・その他の小型機船底びき網漁業：上記以外の小型機船底びき網漁業

本漁業における漁家経営の持続安定化に向け操業の省エネ化を検討する背景として，燃油価格高騰による経営収支の悪化があげられる。また，省力化を検討する背景として，長大で重い底びき網漁具の取り扱い負担による身体影響や労働負担を起因とする海難事故発生への懸念があげられる。本章では，本論文で小型底びき網操業の省エネ・省力化について研究を進めるにあたり，本漁業経営体の全国分布，就業漁船のトン数階層，就業構造，さらに経営収支への影響として燃油価格と漁労支出を確認するとともに，海難事故発生状況を調査した。これらにより，操業の省エネ・省力化が求められる小型底びき網漁業現場を取り巻く環境の現状把握を行った。

1-1　小型底びき網漁業の勢力

1-1-1　小型底びき網漁業経営体の全国分布と就業漁船のトン数階層

小型底びき網漁業は年々減少傾向にあるものの，農林水産省による 2018 年漁業センサス[60]によると 8,857 経営体により営まれている。Fig.1-1 に小型底びき網漁業経営体の全国分布を示す。本漁業は，海岸線を有する広域的地方公共団体のうち，東京都，沖縄県を除く 35 の道府県で在籍が確認されている。道府県別の経営体数は，北海道が最も多く 1,498 であり，次いで兵庫県 924，愛媛県 602，青森県 535，香川県 473，長崎県 453，三重県 451，山口県 401 の順に多い。全国における分布傾向は，北日本の北海道および青森県，太平洋側の三重県および千葉県，瀬戸内海に面する西日本の各府県などに多く見られる。日本海側は兵庫県，北陸地方の福井県および石川県で多いものの，その他の地域では少ない。小型底びき網漁業に使用される漁船の規模をトン数階層別に整理すると，1 トン未満 0.7%，1～3 トン 8.3%，3～5 トン 65.8%，5～10 トン 16.6%，10～15 トン 8.7%であり，3～5 トンの階層で過半数を超えるとともに，5 トン未満の階層で約 75%を占める状況にある。就業漁船の中には，沖合底びき網漁船に迫る規模のものも存在するが，ほとんどが小型の漁船による操業であり，経営規模も小さいものと考えられる。

1-1-2　小型底びき網漁業の就業構造

我が国の漁業就業者は，平成期を通して一貫して減少傾向にあり，1988 年から 2018 年までの 30 年間で 61%減少して 151,701 人となっている[61]。一方で，65 歳以上の割合は，同期間中に 12%から 38%に増加しており漁業就業者の高齢化が進んでいる（Fig.1-2）。漁業種類ごとの就業者数や年齢階層などの就業構造について，監督官庁により公表された統計はいくつか見られる。しかし，集計項目を統一した上で，長期にわたり統計が取られた事例はない。このため，小型底びき網漁業就業者数の推移について，統計的に把握することはできなかった。ここでは，2018 年漁業センサスにおける，「自家漁業のみ漁業就業者」にかかる統計のうち，「男女別・年齢階層別（海上作業日数 1 位の漁業種類別漁業就業者数）」データを最近の状況として用いた。統計で示される小型底びき網就業者数は 5,996 人であり，各年齢層の在籍数割合は，15～24 歳 1%，25～39 歳 8%，40～54 歳 22%，55～64 歳 22%，65 歳以上 47%となっていた。本統計は，会社経営体に雇用される漁業者を

含まないことを考慮する必要があるが，小型底びき網漁業は漁業界全体に比べて高齢化が進んでいると推察される。高齢化の進む漁業現場において，操業の省力化や安全性の検討を進めることは必須である。

1-2　漁労支出に占める燃料費および燃油価格の変遷

1-2-1　原油価格と国内の免税軽油価格の推移

Fig.1-3 に BP：The British Petroleum Company plc[62]による原油価格を示した。また，各年代における軽油取引税（2022 年現在：32.1 円/L）を考慮した上で，経済産業省資源エネルギー庁「石油製品価格調査」[63]データに基づき概算した免税軽油価格（漁業用の軽油価格）を示す。

原油価格は，1970 年代までは現在に比べて低位かつ安定していたが，その後，オイルショック，湾岸戦争，リーマンショックなどの社会情勢の影響を受け大きく変動している。軽油価格も原油価格に伴い変動するとともに，近年は価格高騰し高止まり傾向にもある。免税軽油価格は，1990 年代～2000 年代初頭は約 50 円/L で推移していたが，2022 年では約 120 円/L まで高騰し，漁家経営を圧迫する大きな要因となっている。現在，我が国では，原油価格が高騰し経済に影響を与えている状況に対して，ガソリンや軽油などの燃料小売価格に対して激変緩和措置が適用され価格が抑制されている。しかし，将来的な措置適用については不透明である。今後，漁船運航にかかる燃料使用量を削減させるために，研究サイドによる省エネ技術開発とともに，漁業者自身による運航方法の検討などの協同した努力が必要である。

1-2-2　漁労支出に占める燃料費

漁船漁業は多大なエネルギー消費に依存しており，省エネ化への転換が求められている（長谷川，2008）[64]。農林水産省による「令和 2 年度漁業経営統計調査」[65]では，事業支出内容を漁労支出，減価償却費，漁労外事業支出に大きく分類している。このうち漁業全体の漁労支出内訳は，雇用労賃が占める割合が最も多く 24.9%であり，次いで油費（以後，燃料費と呼ぶ）14.3%，修繕費 8.8%，漁船・漁具費 8.6%，販売手数料 7.2%，租税公課

諸負担 4.1%の順に多い。Fig.1-4 に漁業種類ごとのトン数階層別漁労支出の内訳を示す。漁労収入に対して燃料費の占める割合が多い漁業種類としては，いか釣り，小型底びき網漁業が指摘されている[64]。小型底びき網漁業の漁労支出に占める燃料費の割合は，トン数階層によりばらつきがあるが，5 トン未満の階層で最も多かった。これは規模の大きい経営体に比べ乗組員数が少ない，あるいは家族経営であり家族に対して雇用労賃が発生しない場合があることから，燃料費の占める割合が高くなったと考えられる。このため使用する漁船のトン数階層が低い経営体ほど，運航方法の検討や省エネ技術の導入により，収益改善効果が得られやすいとも考えられる。

1-2-3　小型底びき網漁業と他の漁業種類の燃料消費量

漁労支出に占める燃料費は，漁業経営統計調査により把握することができる。一方で，操業にかかる燃料消費量を確認するには，実海面における計測が欠かせない。ここに，沿岸漁業における既往の研究や，酒井らの行った調査で得た結果を燃料消費実態の一例として示す。

胡ら[18,19]の行った研究において，溝口ら[17]はオッター式小型底びき網漁業（その他の小型機船底びき網漁業）について，永松，酒井[20]はビーム式小型底びき網漁業（手繰第二種漁業）について曳網時の燃料消費量の計測を行った。また，永松，酒井は，同研究において 1 双ごち網漁業（手繰第一種漁業）を対象として投網から寄せ漕ぎ，揚網にかかる燃料使用量の計測も行った。前者は同研究においてオッター式小型底びき網漁船（6.3 GT，48 kW，曳網速度：2.8 kt，徳島県），（12.0 GT，77 kW，曳網速度：2.3 kt，徳島県）の燃料消費量を 12.8 L/h，18.0 L/h と報告した。後者はビーム式小型底びき網漁船（4.9 GT，170 kW，曳網速度：2.8 kt，福岡県）の燃料消費量を 11.8 L/h と報告した（永松，酒井の行った報告については，第Ⅲ章で詳細を示す）。京都府農林水産技術センター海洋センター[25]は，国立研究開発法人水産研究・教育機構水産工学研究所（2018 年 3 月当時）と共同でかけ廻し式小型底びき網漁船（手繰第一種漁業）（14 GT，610kW，曳網速度：不明，京都府），（14 GT，603 kW，曳網速度：不明，京都府）の燃料消費量を「魚漁」で 17.1 L/h，26.9 L/h，「かに漁」で 18.8 L/h，19.2 L/h と報告した。1 双ごち網漁船（7.98 GT，281 kW，

福岡県）の操業は，他の小型機船底びき網漁業に見られる様な曳網工程が見られない。また，1 網分の操業時間も短く投網から揚網までの所要時間は 20 分程度であった。この時の 1 網にかかる燃料使用量は 2.8 L であった。

梶川，酒井ら[66]は，ハロゲン灯で操業する沿岸いか釣り漁船（4.9 GT，254 kW，山口県）の燃料消費量を 3.8 L/h と報告した。また，酒井らは福岡県水産海洋技術センターと共同で，集魚灯消費電力 9 kW で操業する沿岸イカ釣り漁船（4.9 GT，325 kW，福岡県）の燃料消費量を 5.4 L/h, 集魚灯消費電力 37.8 kW で操業する沿岸イカ釣り漁船（9.1 GT，331 kW，福岡県）の燃料消費量を 10.5 L/h と計測結果を得た。なお，ここで示した沿岸いか釣り漁船は，自動イカ釣り機を搭載しない従来からの操業方式を採用するタイプであり，1 人の乗組員が 4～6 本の電動リール付ロッドを操作し操業するものである。それらの発電機は，主機関軸端より動力を取り出すベルト駆動タイプであった。

さらに，上記の小型底びき網漁業（4.9 GT，170 kW，曳網速度：2.8 kt，福岡県）と沿岸イカ釣り漁業（4.9 GT，325 kW，福岡県）に従事する漁船について，端境期にひき縄漁業に従事した場合の燃料消費量の計測も行った。ひき縄漁業に使用する漁具は，ライン，潜行板，疑似餌からなる構成であり，他の漁業種類に比べて軽微である。その時の曳航速度は 4 kt～5 kt 程度，燃料消費量は 3.6 L/h，3.2 L/h であり，今回示した漁業の中では燃料消費量が最も少なかった。

漁業種類間における燃料消費量は，船体規模，機関規模，漁具規模により異なるものであり，一律に比較することはできない。しかし，小型底びき網漁業は，ここで示す他の漁業種類に比べ操業にかかる燃料消費量が多い結果となった。

1-3　小型底びき網漁業における海難発生状況

小型底びき網漁船の操業海域は，船舶交通の輻輳する沿岸海域や外洋性の波浪影響を受ける海域など様々であり，漁業者には海面環境に応じた漁船運用が求められる。操業に使用する底びき網漁具は長大で重く，漁具操作にあたっては漁具や漁労機械への身体巻き込みや海中転落などへの注意を要す。下川，酒井，川崎ら[67-69]は，漁業全般を対象とした漁

船運航時の浮流物との接触や転覆，身体巻き込みなどの海難事故や労働災害の現状把握を行い，漁業者や関係機関に向け事故防止策を提案してきた。ここでは，小型底びき網漁船における操業安全に向けた資料を得ることを目的に事故事例を分析し，事故防止に向け考察した[70]。

1-3-1　材料と方法

国土交通省運輸安全委員会による船舶事故調査報告書[71]を基に，2008 年～2020 年までの海難データから小型底びき網漁船による海難事故を抽出し，確認された 238 件の事例を分析に用いた。分析には，海難発生時の状況として事故発生場所，気象，海象，運航状況，年齢階層などで整理し，海難発生傾向を把握するとともに事故防止に向け事故要因を抽出した。

1-3-2　結果

(1)　海難発生状況

Fig.1-5 に小型底びき網漁船による海難事故種類別割合を示す。事故種類は衝突海難が最も多く 45%であり，次いで死傷等 33%，転覆海難 10%の順に多く，これらの海難 3 種類で約 9 割を占めていた。Fig.1-6 に小型底びき網漁船による海難発生場所を示すとともに，Fig.1-7 に衝突海難，死傷等，転覆海難の事故発生場所を示す。事故は全国各地で発生しているが，特に瀬戸内海で海難が多く発生していた。これは，当該海域に小型底びき網漁船が多数在籍するとともに，船舶交通輻輳海域であり衝突海難の発生リスクが高いためと考えられる。死傷等と転覆海難については，衝突海難に比べて外洋性の波浪影響を受ける海域での事故が多いが，事故発生場所は様々な海域に広がっていた。

海難発生時の気象を確認すると，晴れが最も多く 7 割であり，風力は 3 以下の場合が 7 割，視程は良好と記されるものが 9 割であった。海象を確認すると，海上平穏と記されるものが最も多く 5 割であり，波高 1 m 以下と合わせると 8 割を占めた。一般に事故発生は気象，海象の関与が考えられる。しかし，荒天下における事故が少なかったことから，漁業者や関係機関により，出港や操業打ち切りなどの判断が適切に行われているものと考えられた。

(2)　衝突海難，死傷等，転覆海難における事故発生状況と事故要因

小型底びき網漁船における海難事故種類のうち，報告件数の多かった上位 3 種類について事故発生状況と事故要因を分析した。

1)　衝突海難

本海難発生時の運航状況は，曳網が最も多く 62%であり，次いで往航・復航，揚網，漁場移動各 10%，漁獲物選別 3%，投網 2%の順に多かった。相手船の船舶種類は，貨物船が最も多く 38%であり，次いで漁船 24%，タンカー15%，引船・押船 9%，プレジャーボート 7%の順に多かった。

事故分析の結果，事故発生の主要因は見張り不十分であり 59%（内訳：相手船が避けてくれる・衝突しないと思った・他船がいないと思ったなどによる思い込み（以下に，思い込み）53%，他船動静確認不足，甲板上作業各 11%，選別作業 9%，視界不良 6%，計器注視 5%，死角未確認，テレビ鑑賞各 3%）であった。見張りそのものが行われていない事例も 38%（内訳：思い込み 49%，選別作業 44%）見られた。相手船の操船不適切などの不可抗力は 4%にとどまった。

相手船の事故要因も見張り不十分が多く 68%（内訳：思い込み 54%，他船動静確認不良 25%，甲板上作業 11%，書類確認，視界不良各 7%，計器注視 6%，死角未確認 4%，携帯電話操作 3%）であった。見張りそのものが行われていない事例は 21%（内訳：思い込み 50%，甲板上作業 32%，書類確認，トイレ各 9%），小型底びき網漁船の操船不適切などの不可抗力は 7%，自船の操船不適切は 4%となった。

２）　死傷等

本海難発生時の運航状況は，揚網が最も多く 51%であり，次いで投網 34%，曳網 9%，漁場移動，往航・復航各 3%の順に多かった。

事故要因で最も多かったのは落水であり 55%（内訳：漁具捌き 30%，巻込まれ 28%，船体動揺 7%，足元確認不良 5%，意思疎通，漁具に乗った，点検不良各 2%）であった。次いで漁労機械巻込まれが多く 37%（内訳：漁具捌き 86%，巻きトラブル対処不良 21%，漁労機械操作不良，足元確認各 10%，不慣れ 7%），強打 8%となった。また，死亡や行方

不明のため死傷等にいたる過程が不明とされる事例も見られた。

3)　転覆海難

本海難発生時の運航状況は，揚網が最も多く 80%であり，次いで曳網，他船による牽引が各 10%となった。事故要因で最も多かったのは漁獲物・泥土などの大量入網時の取り扱い不良であり 55%, 次いで作業不良 20%, 漁具根掛かり 15%, 荒天 10%の順に多かった。

(3)　衝突海難，死傷等，転覆海難における年齢階層による事故発生状況

Fig.1-8 に小型底びき網漁業における就業者および海難種類別の年齢階層割合を示す。衝突海難と転覆海難については，40～59 歳の階層で事故が多い傾向となった。当階層は操業経験が豊富であるものの，慣れや収益確保のための無理を押した操業が事故につながるものと考えられた。死傷等は 20～29 歳，70 歳以上の階層で事故が多い傾向となった。

1-3-3　考察

小型底びき網漁業における海難防止に向け，衝突海難，死傷等，転覆海難，年齢による影響について検討を行った。

(1)　衝突海難防止に向けた検討

衝突海難については，小型底びき網漁船および相手船双方ともに見張り不十分が主要因となっていた。この時の運航状況は，曳網が最も多かった。これは，操業工程の中で最も所要時間が長いとともに，低速での移動であることから見張りに対する注意力が低下し，漫然と航行したり，他の作業に従事するなどが影響したと考えられる。事故の中には，相手船を認識していながら，そのうち避けてくれると思ったなどの事例も確認された。自船および航行環境の安全を維持するためにも，小型底びき網漁船および相手船ともに，海上衝突予防法第 5 条「見張り」，第 6 条「衝突のおそれ」，第 18 条「各種船舶間の航法」，第 38 条「切迫した危険のある特殊な状況」，第 39 条「注意などを怠ることについての責任」を遵守するなど,「船員の常務」を果たすことが求められる。その他，操業中の見張り補助として，航海計器などを作業場所で確認できる様に，マルチモニターの設置や一般商船向けに漁法や漁場を周知するなどの事故対策と予防も必要である。

漁具操作時の事故として，揚網 10%，投網 2%の様に確認された。同工程における海難

も，見張り不十分に帰結するものが大半である。しかし，長大で重い漁具の取り扱いや漁労機械の操作に注力し，またはそれら機械などのトラブル解消への対処により，十分な見張りや危険回避のための避航動作が取れなかったことも影響していた。本件防止には，漁具の取り扱いやすさ，漁労機械の導入などによる省力化が海難防止に寄与すると考えられた。

(2)　死傷等の防止に向けた検討

死傷等は，まさに漁具取り扱いや漁労機械操作時に発生するものである。漁業者の意見によると，漁具軽量化や漁労機械導入による省力化は，漁具操作時の身体負担が軽減され作業姿勢が改善されるばかりでなく，余裕を持った作業実施となり死傷等の事故防止に有効であることが把握された。また，ワープの乱巻きや漁具がらみなどのトラブル発生時は，漁具が軽量であるほどトラブル解消が容易となるため，適切な省力化は負傷などの防止にも有効と考えられる。このほかに，漁労機械への身体巻き込みを防止するための過巻防止装置の導入や，操舵，機関操作，漁労機械操作のためのリモコン装置を適宜配置し，漁具絡みなどのトラブル発生時に各所で操作できる様にすることも重要と考えられた。

(3)　転覆海難防止に向けた検討

転覆海難は，上位 3 海難の中では最も事故件数が少なく 10%であった。しかし，ひと度海難が発生すると，身体が船外に放り出される，船室に閉じ込められるなどによる人的損害や船体全損などの物的損害が甚大となる。小型漁船の復原性能は，造船メーカーにより GM などの基本性能が確保されているとともに，耐航性，凌波性を含め総合的に安全性が検討されている。さらに，国から委託を受けた検査機関（日本小型船舶検査機構）による検査・承認を経て初めて運航の用に供される。一方で，取り扱う漁具は長大で重く，それを操作するための漁労機械が積載されるなど，復原性管理について漁船特有の問題も生じる。このため，漁船の船長には厳重な船体重心管理などが求められる。今回の調査において，復原性能を脅かすほどの漁獲物・泥土などの大量入網，無理な漁具吊り上げによる過度の重心上昇，船体傾斜から生じた浸水などが見られた。過度の入網を防ぐには，機関運転音，燃料消費量をモニターする，または曳網速度の低下などを通して異常を察知し，直

ちに曳網を中止することが有効と考えられる。また，曳網速度を上げて泥土を網外に吐き出すことにより危険を回避できる場合もある。しかし，常時高負荷で機関運転する漁船にあっては，すでに機関運転に余裕が無いため曳網速度の上昇による対処は困難と考えられる。この場合の対策として，漁具を軽量化し低速曳網を可能とすることにより，機関運転に余裕を持たせておくことも検討の一つとして挙げられる。また，コッドエンド吊り上げや船内取り込み前にコッドエンドを開放したり，網切断により入網物を強制的に排出することも有効であると考えられる。

（4）　就業者の年齢に対する配慮

年齢階層による事故発生状況としては，死傷等において若年層と高齢層における事故発生傾向が顕著であった。これは，小型底びき網漁業にかかわらず漁業全体の傾向でもある。川崎，酒井ら[72)]は，JF 全漁連と協同して，全国の漁協，漁業者向けに労働災害・海難発生状況を継続して調査しており，調査結果のデーターベース化を行っている。その中で，作業種類では，若年層における漁具取り扱いや荷役作業中の労働災害発生が多かった。事故種類としては，若年層の挟まれ，巻き込まれ，高齢層では転倒や海中転落，滑るなどの事故が多く発生していることを報告した。事故対策としては，若年層では漁船で各作業に従事する際の作業方法や作業手順において，安全を確保する上で必要な知見などを対象に，現場研修や講習会により定期的に注意喚起を行うこと。高齢層では，船体動揺や床の滑りなど，漁船特有の作業環境下において，転落や転倒，滑るなどの災害が多く発生しており，漁船の作業環境を改善する上で，ハード面からの対応に加え，船体動揺による身体的な負荷も考慮した操業計画を立てるなど対応が必要であると考察された。

本研究における操業の省力化の取り組みは，特に高齢化の進む小型底びき網漁業において，ハード面の対応とともに動揺環境下における身体的な負荷軽減につながり，事故防止に有効と考えられる。

以上から，燃油価格が高騰する現状において，漁労支出項目において燃料費の占める割合の高い 5 トン未満の小型底びき網漁船においては，特に操業の省エネ化が重要な課題で

あることが確認された。また，長大な漁具の取り扱い負担は，長期的に見たときの身体影響ばかりでなく，海難事故や労働災害につながる危険性を併せ持っていると考えられる。操業や作業の安全に向け省力化の検討を併せて進めることは，就業者確保や漁家経営の持続安定化に寄与するものであり，ひいては社会への水産物の安定供給に貢献するものと考えられる。

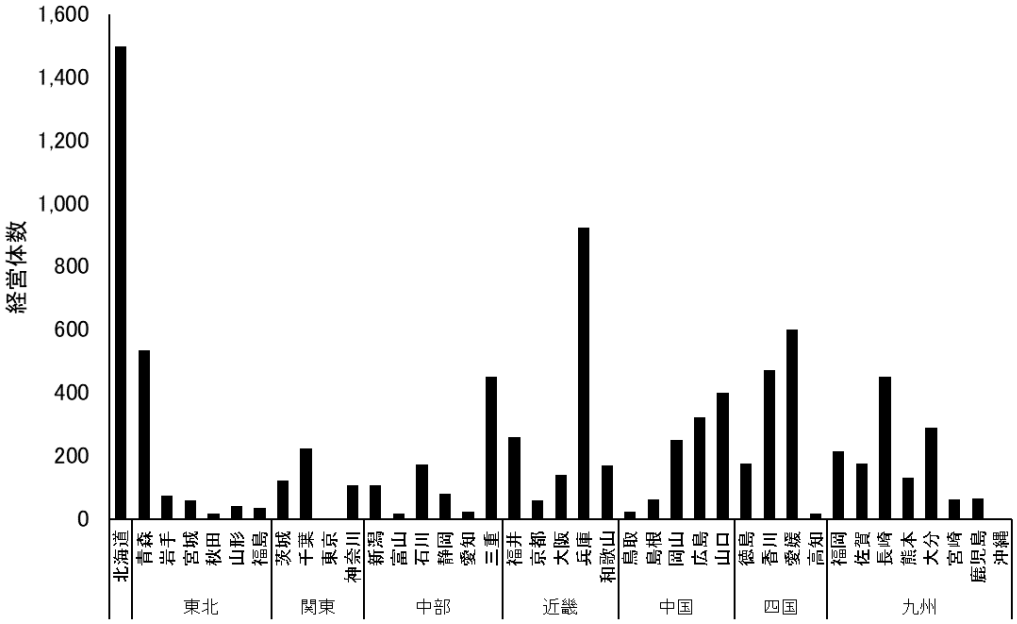


Fig.1-1　小型底びき網漁業経営体の全国分布

（2018 年漁業センサスをもとに作成）

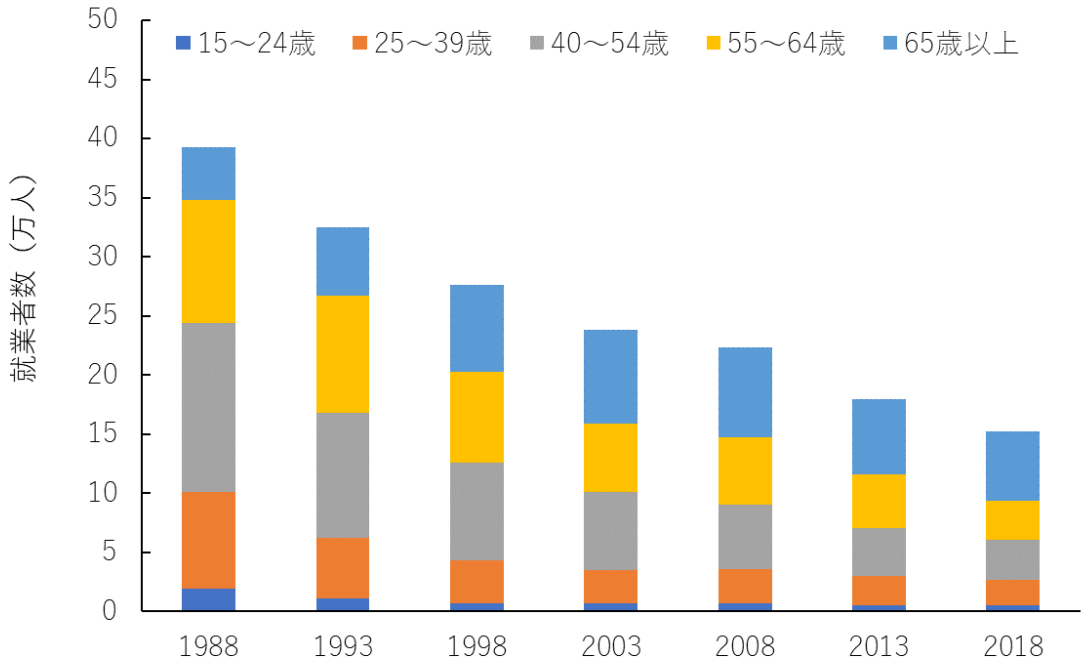


Fig.1-2　年齢階層ごとの漁業就業者数の推移

（令和元年度水産白書を改変）

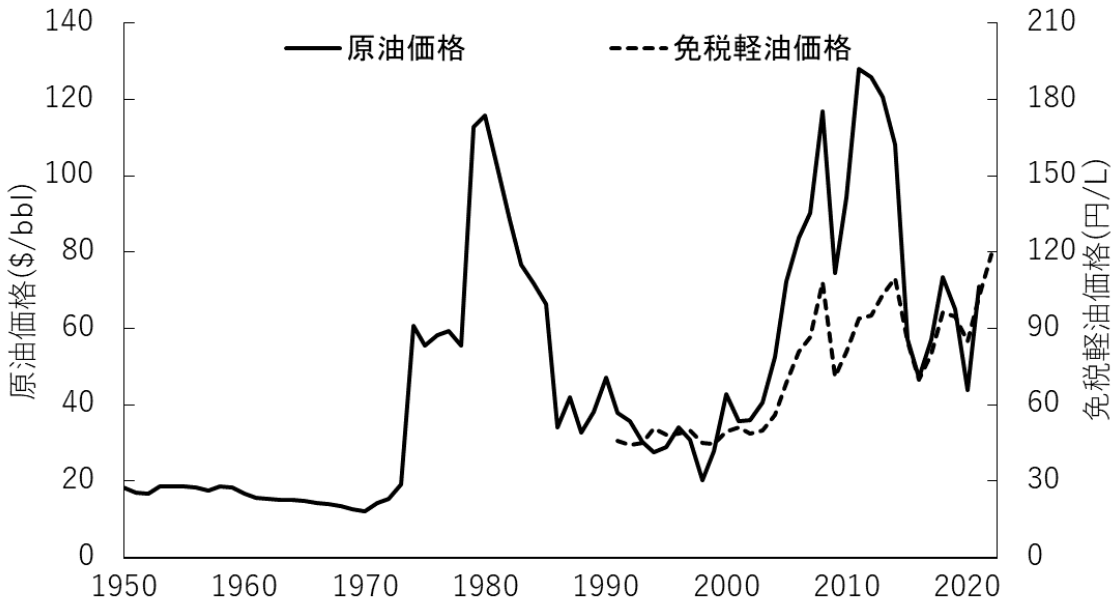


Fig.1-3　原油価格と国内の免税軽油価格の推移

（経済産業省資源エネルギー庁. 「石油製品価格調査」に軽油取引税を加味,

BP. “Satatistical Review of World of Energy-all data,1965-2021”を改変）

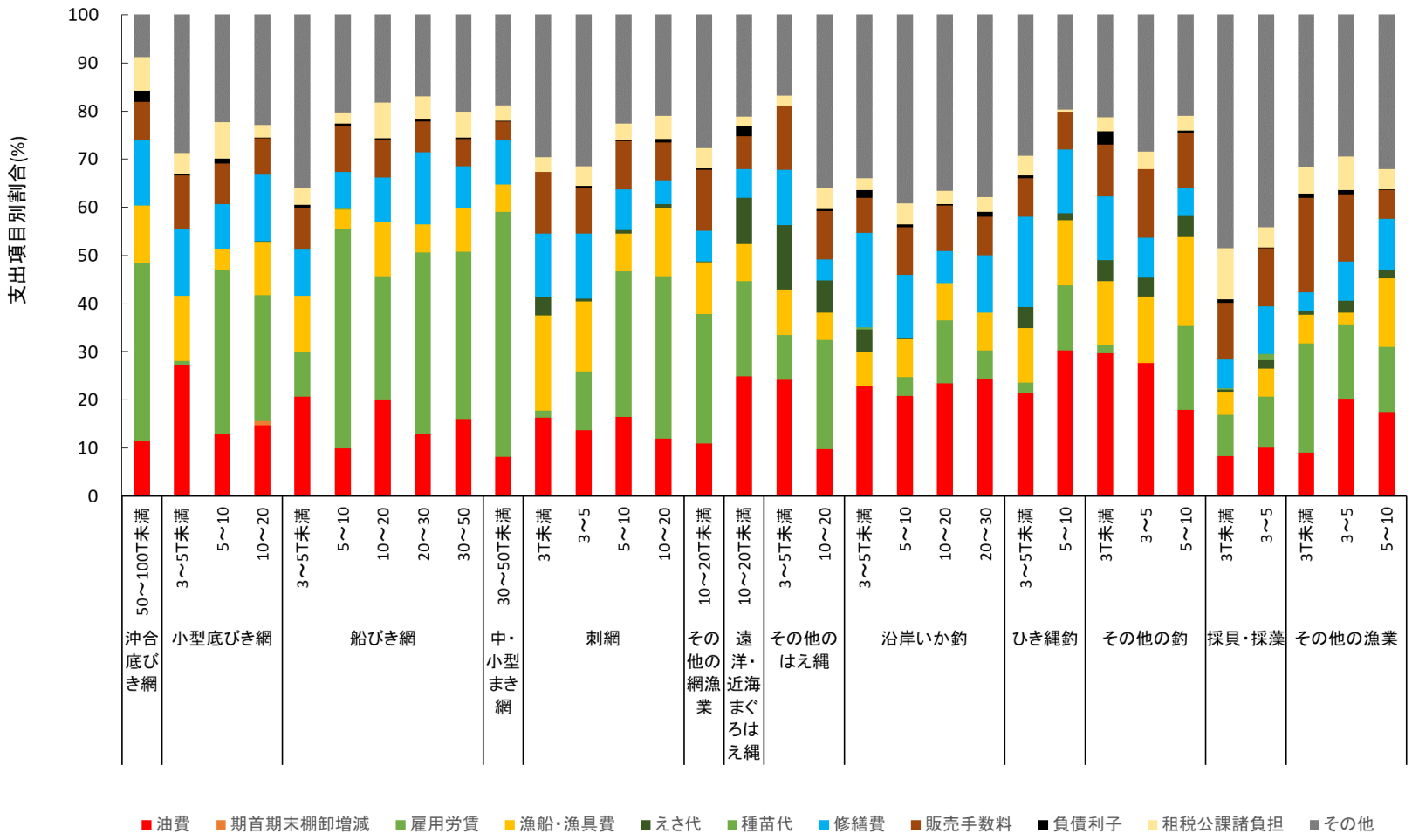


Fig.1-4　漁業種類ごとのトン数階層別漁労支出の内訳

（令和２年度漁業経営統計調査をもとに作成）

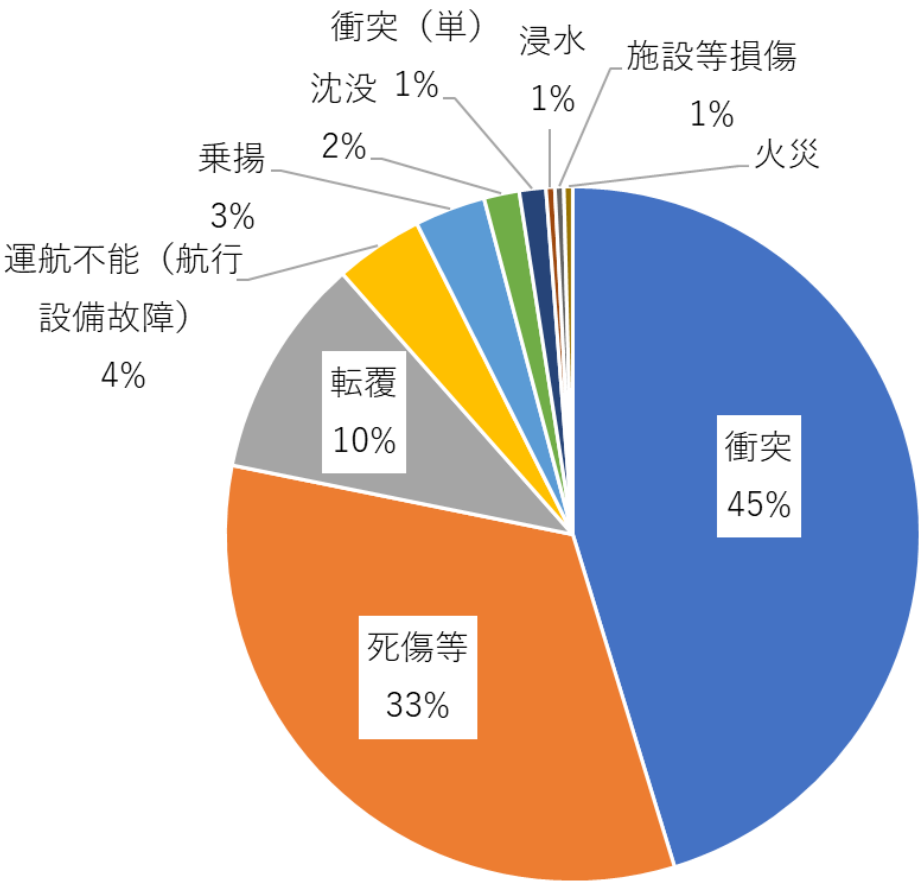


Fig.1-5　小型底びき網漁船による海難事故種類別割合

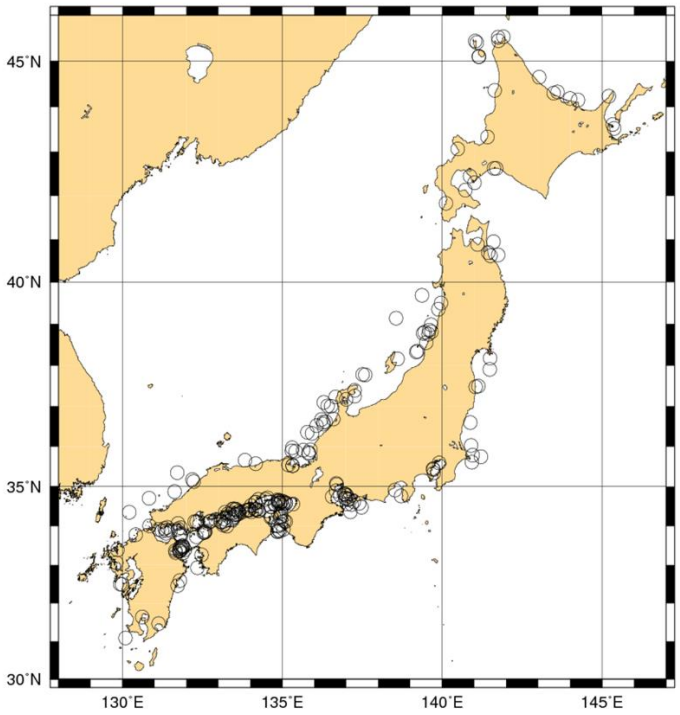
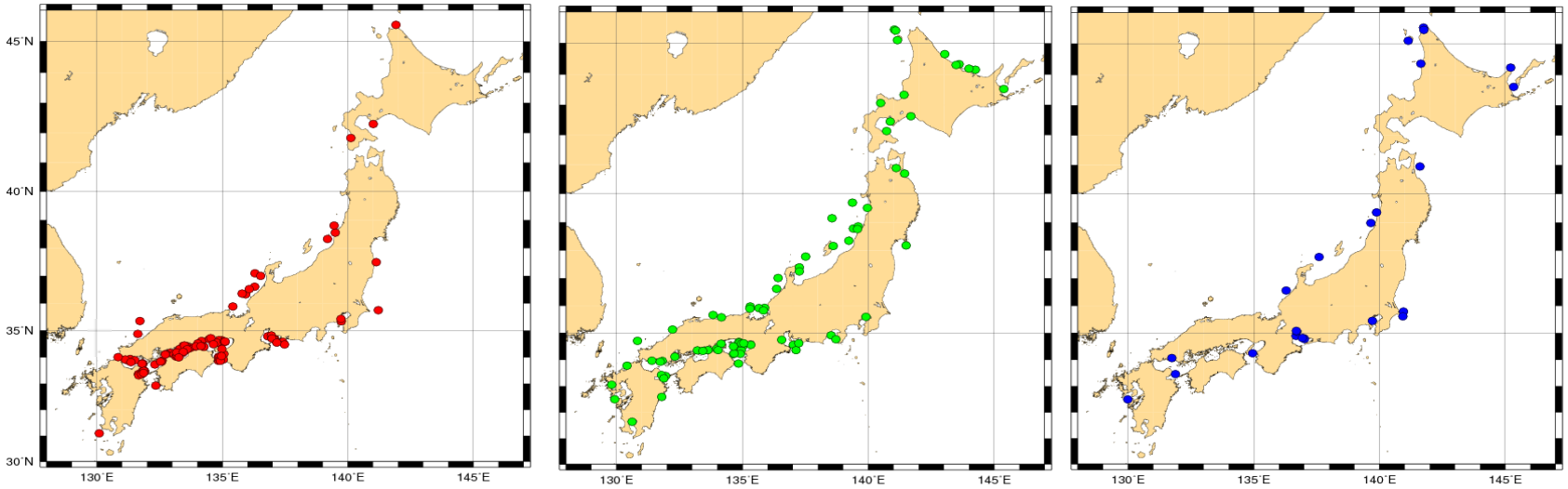


Fig.1-6　小型底びき網漁船による海難発生場所



(a)衝突海難　　(b)死傷等　　(c)転覆海難

Fig.1-7　小型底びき網漁船の主な海難種類の発生場所

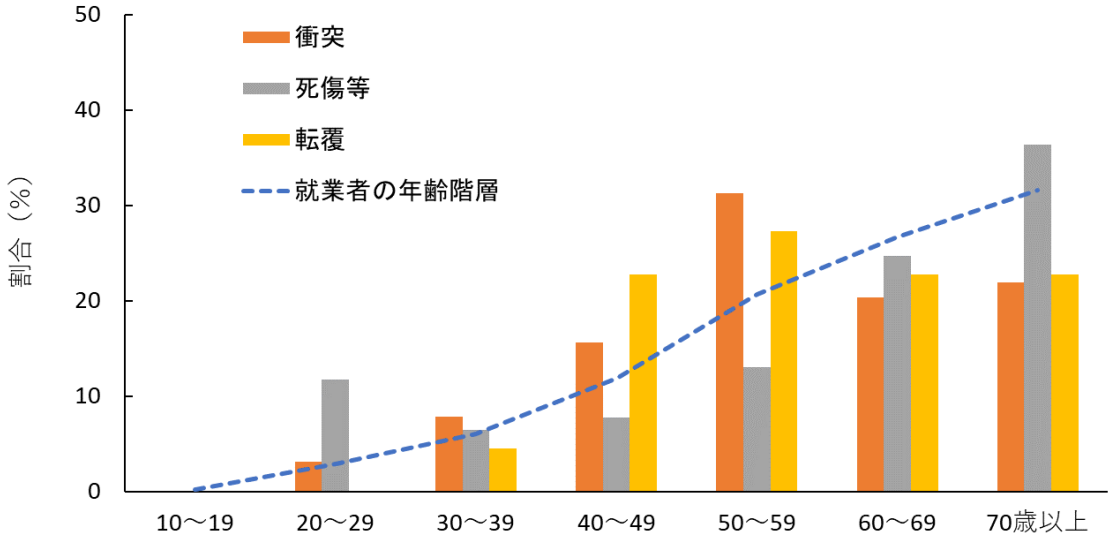


Fig.1-8　小型底びき網漁業における就業者および海難種類別の年齢階層

第Ⅱ章　ビーム式小型底びき網の漁具特性把握

曳網漁具にかかる流体抵抗は曳網速度の上昇とともに増大する。その際に，網地が後方に引かれ網口高さは低くなる傾向がある。曳網漁具においては，袖先間隔とともに網口高さも漁獲性能の重要な要素となる。しかし，現場で使用される漁具は漁業者が試行錯誤を重ねて自作したものであり，曳網中の漁具形状がどの様なものかは，漁獲結果などによって想像されているに過ぎない[73]。

曳網，旋網や定置網など漁業に使われている漁網の多くはその規模が大きく，複雑な形状で，外力の影響によって容易に形状が変化することから，漁具形状や流体力特性を把握する上で，数値解析を要する。また，模型網を作成し，実物と模型との間にある決まった相似法則にかなった水槽実験がしばしば行われている[74]。模型網による実験は相似法則に基づいた制限のもとに得られる結果であるが，実海面における実験時の懸念材料である漁獲物影響や流れ場の影響を取り除いた環境条件で測定することができる。

また，網形状の把握に向けては，漁具設計段階において網口高さを推定する方法について多くの研究がある。その中で谷口は，実物網を用いた海上実験の結果を基に，底びき網の網口高さを把握する推定式を提案した[75]。谷口の式は，漁具の設計図面が手元に無い場合でも，推定式が要求するパラメータを現場計測するとともに，曳網の袖先展開角が得られれば，比較的容易に網口高さの概略を算出できることから，現在も漁具設計段階において曳網中の形状を推定する場合に用いられている。

各地で使用される曳網漁具は，各都道府県の漁業調整規則に従い網口開口装置の種類，目合規制や機関出力などの制限に基づいて作成される。曳網漁具においては，漁船に搭載される機関出力の制限下において，曳網し得る範囲で大型に作成されるとともに，曳網速度は高速寄りで操業が行われる傾向があると考えられる。この様な中で漁獲効率を考えたとき，曳網速度を低減させると単位時間当たりの掃過面積が減少することはマイナス要因である。一方で，網の流体抵抗が低下するために網口高さが高くなることは，海底付近を遊泳する魚介類の入網機会が高まると期待される。

本章では，省エネ・省力操業に向け曳網速度を低減させた場合の漁具形状と網抵抗の変化傾向を水槽実験によって計測し，漁獲効率に与える影響や燃料消費量削減に向けた基礎的な知見を得ることを目的に調査を行った。

2-1　材料と方法

本研究で，省エネ・省力操業および漁家経営への影響を調査するにあたって協力を得た漁船 A 丸は，福岡県糸島漁業協同組合加布里支所所属のビーム式小型底びき網漁船（えびこぎ網）である。A 丸が使用する漁具は，所属する漁協および隣県を含めた周辺地域から得られた情報を基に，漁業者が改良を重ね作成したものである。その漁具構成や形状は，同地域において標準的な仕様であることを確認している。Fig.2-1 に当該漁具の各部名称を示す。

谷口の式により網口高さを推定するとともに模型網を作成するために，供試漁船が使用している曳網漁具一式について設計図面を作成した。図面の作成に当たっては，福岡県水産海洋技術センターおよびニチモウ株式会社の協力を得た。Fig.2-2 に漁具構成を示す。当該漁具は，曳綱（ワープ）の先端を船首甲板上に設置される「たつ」と呼ばれるビットに取り付け，曳網時の漁具抵抗を同支柱で受けている。船尾方向に延びる曳綱は，船尾甲板上にも設置される「たつ」の外側に沿う様に配置される。このため，曳網針路変更時の旋回などに際して，「たつ」を越えて船尾甲板上に曳綱が入り込むことはなく，漁業者や船体上部構造物などとの接触は起こらない。曳綱は網口開口装置であるビーム（FRP 製，長さ 8 m，空中重量 40kg）に接続する。長大なビームは，漁業者による取り扱い負担と操作性を考慮し，水中で浮力を得る様に両端を閉鎖し中空となっている。ビームの後方には股綱が取り付けられている。その中間部にはビームを沈降させるために重錘（当地で，どんぶり石：金属製，空中重量 25.0kg/個，水中重量 21.8kg/個）が両舷に 1 個ずつ取り付けられている。股綱の後方には袖股綱が設置されており，袖網前端を上下に拡げるために取り付けられる手木（樫木または金属製）に接続する。Fig.2-3 に漁具設計図面を示す。当該漁具は，一般のトロール網と同様に，袖網部分を荒手，先袖で構成される。次いで身

網部である両奥袖に接続し，その上側を天井網が覆う。以後，上方を上網，側方を脇網，下方を下網で囲い，袋網に続く各パネルを縫合した 4 枚仕立網となっている。Fig.2-4 に供試漁具を陸上において展張した様子を示す。身網には，「かえし網」が取り付けられ入網物の逃避行動を抑制するための工夫がなされている。また，袋網前方には当地で「ガラとり」と呼ぶ，入網物を生物以外の不要物（ガラ）と漁獲物に分離する仕組みが確認される。この分離機構は，コッドエンド内における「ガラ」と漁獲物のスレを軽減させるとともに，選別にかかる作業時間や作業労力軽減を狙ったものである。

2-1-1　網口高さの推定式

網口高さの推定に用いられる谷口の式を式(2-1)に示す。

$$H_n = k \cdot (D/L)_m \cdot H^* \cdot V^{-0.8} \tag{2-1}$$

H_n：網口高さ [m]

k：比例定数（トロール網 4 枚仕立網 ≒ １６）

$(D/L)_m$：各網部における加重平均値

D：網糸直径 [mm]

L：脚長さ [mm]

$$H^* = \frac{1}{2}\,(B_s + 2B_{ws} - 2L_b \cdot sin\,\beta) \quad [m] \tag{2-2}$$

B_s：天井網前縁の網幅 [m]

B_{ws}：奥袖網前縁の網幅 [m]

L_b：身網の長さ（ただし，天井網含む） [m]

β：両袖網の展開角の 1/2 [deg]

V：曳網速度 (m/s)

式(2-1)の比例定数 k は底びき網の 2 枚仕立網では k ≒ 8 程度，4, 6, 8 枚仕立網では k ≒ 16 程度， 2 そう曳 では k≒ 10～12 程度の値を用いる。D, L は設計図面から読み取るか実測することにより得るが，全体の把握は困難であるので主要部の値で代表も可とされている。次いで，式(2-2)の H^* の算出にかかる両袖網の展開角が得られれば，各数値により漁業者自身でも比較的容易に網口高さを推定することができる。網口を開くためにビームを用いるビーム式小型底びき網においては，展開角を算出する上で適用する三角関数の正弦（sin）にかかる対辺の寸法は，ビームの長さの半分の値となる。ここでは，曳網することにより生じるビームの多少のたわみは無視することとした。斜辺はビームから袋網後端までの直線距離であり図面記載値または実測することにより得られる。なお，式(2-1)にかかる各項目の適用範囲などは Fig.2-5 に示す。

2-1-2　曳網の模型実験による漁具特性の計測

供試漁船の漁具設計図面をもとに，模型網を作成し水槽実験を行った。なお，供試漁具において身網に取り付けられている「かえし網」は，今回の実験では設置していない。また，網口開口装置であるビームおよび股綱中間に取り付けられる重錘は剛体であり，網地との相似法則が異なるため，今回の実験では設置していない。

田内則の適用

網漁具の模型実験を行う場合，厳密な模型法則を考えても，これを実行しようとすると多くの困難が伴う。このため，適当な仮定のもとに近似や省略を行って，実用的な模型法則を考えていくことになる。網漁具の模型法則は多くの研究者によって示されているが，本研究では田内による法則（田内則）に基づいて模型網を作成し実験を行った。

ここでは，次の 4 つの仮定を設けた。

1) 網糸などの長さは伸び縮みを無視する。

2) 網糸などは完全に曲がりやすいもので硬さがないものとする。

3) 網糸が密になりすぎない。

4) 網具の各部に働く流体抵抗は流速の 2 乗に比例するものとし，潮流や外力を受けて

起こる網の変形は急激でなく徐々に起こるものとする。

これらの制限事項に注意しながら，以下(1)～(5)を考慮して網具模型を製作した。なお，以下に模型の値に添字 m，実物の値に添字 p を付けて表す。

(1) 網具全体の縮尺比

縮尺比は以下の式から求められる。

$$l_m / l_p = \lambda \tag{2-3}$$

l：物体の基準長

なお，実験施設の観測部サイズに対して可能な限り大きくなる様に決め，各部の網地や綱類などの長さは全てこの割合で縮尺する。

(2) 網糸の太さの比および目合比

網糸の太さの比と目合比は等しくなる様に，以下の式から設定した。

$$D_m / D_p = L_m / L_p = \sigma \tag{2-4}$$

D：網糸の太さ

L：目合

この目合比（直径比）σ は網具全体の縮尺比 λ と一致させる必要はなく，入手できる網地の目合寸法などを考えて決めるのが一般的である。また，直径比と目合比を同時に満足させることが困難な場合には目合比を優先させることとする。

(3) 流速比

流速比は縮尺と目合比から，以下のように算出される。

$$u_m/u_p = \sqrt{\frac{L_m(\rho'_m-1)}{L_p(\rho'_p-1)}} = \sqrt{L_m/L_p} = \sqrt{\sigma} \tag{2-5}$$

u：速度

ρ：流体の密度

ただし，$\rho'_m \fallingdotseq \rho'_p$ とする（ρ' は網糸などの密度）

(4) 目数の比

目数の比は以下の式から算出される。

$$H_m/H_p = \frac{l_m/l_p}{L_m/L_p} = \lambda/\sigma \tag{2-6}$$

(5) 力 F の比

網具の任意点に働く力 F の比は以下の式から求められる。

$$F_m/F_p = \left(l_m/l_p\right)^2 \cdot \left(u_m/u_p\right)^2 = \lambda^2 \cdot \sigma \tag{2-7}$$

上記制限事項に従うとともに観測部の壁面との境界域を考慮し横幅を決定し，これに対応する形でパラメータを以下の通り決定した。

まず，(1)模型網の縮尺比（λ）（式 2-3）は 1/5 とした。これは，本実験装置の観測部

サイズ L と B のうち，模型網の横幅を実験に際して壁面との間で生じる摩擦や流れの不連続性の影響がない様に境界域（10%以上）を考慮した上で，長さ方向が最大となる様に検討した結果である。

続いて，(2)目合比（σ）（式 2-4）は入手できる網地の目合寸法などを考慮し，目合を優先させ 1/4 とした。

以上の縮尺比と目合比に対応して，(3)流速比（式 2-5），(4) 目数の比（式 2-6），(5) 力の比（式 2-7）はそれぞれ，0.5，0.8，0.01 となった。

田内則に従って作成した模型網について，Fig.2-6 に漁具構成を示す。Fig.2-7 には模型網の漁具設計図面を示す。

水槽実験施設の要目と計測方法

漁具の模型実験には，曳航水槽と回流水槽が使われるのが一般的である。曳航水槽は，トロール網の模型実験には実際の操業とほぼ似た条件で実験ができる一方で，網形状を観察または測定することは難しい[74]。本章では，曳網速度に応じた漁具形状と網抵抗の変化傾向を把握することを目的として，回流水槽において実験を行った。

実験には，Fig.2-8 に示す国立研究開発法人水産研究・教育機構水産大学校の 1 インペラ水平循環型の大型回流実験水槽を用いた。各要目は，観測部サイズ：L 6,000×B 2,200×H 1,200 mm，水量：50 m^3，流速：0.0～1.2 m/s であり，インバータ制御により流速を自在に調整できる。流速分布の性能は±4%（1.0 m/s 時）となっている。模型網のグランドロープの重量は，初期段階では浮子の浮力（211 gf）に対して，僅かに沈降性を優位にした水中重量 215 gf で実験を行った（NET-1）。もう一方は，漁具の沈降性を増すことによる漁具特性を比較するために，グランドロープ重量を倍にしたものである（NET-2）。網形状の観察には，デジタルカメラ（COOLPIX B700　株式会社ニコン）

を用い固定撮影することにより行った。網口高さの計測は，静水中で天井網と袖先付近にあて尺を水中直下させ，これを写真撮影し各所における高さ方向の基準とした。その後，Fig.2-9 に示す模型法則に応じ発生させた流速下で撮影した網形状の写真上に，同尺の画像を重畳させ網口高さを読み取った。また，袖先間隔を計測するために箱眼鏡を介して水中下の様子を写真撮影し，計測に用いた。袖先間隔の計測には，大型回流水槽観測部の水底に記されている 10 cm ごとの格子線を基準に用いた。流体抵抗の計測には，大型回流水槽のトラバーサー上部に設置される張力計（左舷：LU-5KA　株式会社共和電業，右舷：LU-10KA　株式会社共和電業）および動ひずみ測定器（DPM-611B　株式会社共和電業）を用い，10 Hz ごとにデータロガー（GL 900-8　グラフテック株式会社）に収録した。

2-2　結果

2-2-1　曳網中の網口高さの推定値

福岡県糸島市加布里地先で行われる，ビーム式小型底びき網漁船による曳網速度は約 2.8 kt である。今後の軽量型漁具による省力操業および低速曳網による省エネ操業に向け，漁具形状の変化傾向を推定するために，谷口の式に 6 段階（1.75 kt～3.00 kt）の曳網速度を代入し，網口高さを算出した（Fig. 2-10）。同図から，網口高さは各流速帯において低速から高速にかけて連続性をもって形状変化していた。式(2-1)において，今回は同一の曳網を用いているため，曳網速度以外の項目は固定されている。したがって，曳網速度の変化に着目した場合のアウトプットは，曳網速度の 0.8 乗に逆比例することになる。今回の上限である 3.00 kt では網口高さが 116.5 cm と算出されたが，下限である 1.75kt では 175.5 cm であり 50%上昇していた。曳網速度を低下させることによる各速度段階における網口高さの上昇率は，3.00→2.75 kt　7.3%，2.75→2.50 kt　8.0%，2.50→2.25 kt　8.5%，2.25→2.00 kt　9.9%，2.00→1.75 kt　11.3%であった。

2-2-2　模型実験による漁具特性

本章で作成した模型網（縮尺比：1/5）を田内則に適用した場合の流速比は 0.5 であり，実験流速は 45.01～77.17 cm/s（実物換算：1.75 kt～3.00 kt）となる。この条件下で模型網に流れを与え，流速段階ごとに網成りを撮影し，袖先の高さ（手木高さとした）と網口高さを計測した。

計測の結果，袖先の高さは，1.75 kt 相当では 169 mm であったが，流速が大きくなるにしたがって手木は内傾し，3.00 kt 相当では 161 mm に減少した。袖先間隔は，箱眼鏡を介して撮影した画像を確認した結果，各速度段階において変化は認められず約 1,400 mm であった。

Fig.2-11 に模型網の網口高さの計測結果を示す。これまでに示された知見や谷口の式で算出した結果と同様に，曳網速度が速くなるにしたがって網口高さは低下した。NET-1 とグランドロープ重量を増加させた NET-2 の計測値に大きな差は見られなかった。また，谷口の式による推定値と田内則を適用した模型実験において，網口高さの変化傾向は概ね一致した（Fig.2-12）。

模型網の流体抵抗値を Table 2-1 に，流体抵抗の変化傾向を Fig.2-13 にそれぞれ示した。抵抗値は流速が速くなるにしたがって増加し，NET-1 において，2,022.0 gf（1.75 kt）～4,932.9 gf（3.00 kt），NET-2 において，2,155.7 gf（1.75 kt）～5155.6 gf（3.00 kt）で推移していた。 NET-1 と NET-2 による流体抵抗の計測結果は，低速から高速にかけて同様の変化傾向を示した。ただし，NET-2 の各流速段階における流体抵抗値は，NET-1 と比較して 3.6～6.6%（平均 4.7%）大きかった。これは，グランドロープに見立てチェーンを追加したことにより，漁具の投影面積が増加し，流体抵抗に影響したためと考えられる。高速曳網（3.00 kt）から低速曳網（1.75 kt）に変更した場合，曳網速度は 42%減少するのに対し, NET-2 において網口高さは 50%増加，流体抵抗は 58%減少した。

2-3　考察

模型実験を行った結果，袖先高さは曳網速度が速くなるにしたがって内傾し，垂直高さが僅かに減少したが，網地形状全体に大きな変化は見られなかった。これは，袖網前端に

剛体である手木を取り付けることにより，曳網速度上昇による袖先高さの減少率を抑止できたためと考えられる。漁業現場において手木は，円柱状または楕円形状であり，供試漁具では高さ 85 cm であった。手木による袖網前端の上端と下端の張り合わせは網口高さ確保に有効であり，漁業者が取り扱える範囲内で長さを大きくする様に調整することは，網口高さ確保の観点から有効と考えられた。また，手木の形状を円柱あるいは楕円状から雨滴型に近づけることができれば漁具の総抵抗が軽減するものと期待される。一方で，手木の長さや形状については，取り扱い時の作業性，身体負担や資材の強度に影響することから，今後改めて検討する必要がある。

NET-1 と NET-2 により模型実験を行った結果，網口高さは両者に明確な差は認められなかった。回流水槽での実験は，袖網前方の股綱をトラバーサー下部のプーリで係止するため，袖網の接地性が増すと考えられる。このため，グランドロープ重量による接地性や網口高さへの影響を観察することはできなかった。今後，接地性などの検討を進めるにあたっては，曳航水槽による実験を要すものと考えられる。

曳網速度を減少させることは，単位時間当たりの掃過面積の低下につながる。一方で，低速で曳網した場合，網口高さを大きく取れることから網口形状は増加する傾向となった。単位時間当たりの掃過体積ベースで見ると，掃過面積ベースで生じる損失をある程度カバーできるものと考えられる。網口高さが増加することは，海底付近を遊泳する魚介類の遊泳層を広く網羅することにつながり，入網魚種の多様化につながると考えられる。

ただし，上記の掃過体積を推定する上で基準となる網口形状の測定は困難を伴う。ここでは模型実験により得られた網口高さと袖先間隔を縦横方向の基準として，網口形状を半楕円に見立てて掃過体積の概略を算出した。Table 2-2 に曳網速度に応じた模型網の網口高さ，袖先間隔を示す。表中の掃過面積は，袖先間隔と曳網速度を乗じ推定した値を示す。また，同表の掃過体積は，半楕円と仮定した網口面積に曳網速度を乗じ推定したものである。曳網速度と掃過面積は比例関係にあり，曳網速度を 3.00 kt から 1.75 kt に低下させた場合の掃過面積の減少率は 42%となる。単位時間当たりの掃過体積を比較すると，NET-2 において，曳網速度を 3.00 kt から 1.75 kt に低下させた場合の単位時間当たりの

掃過体積の減少率は 13%となった。ここで，曳網速度を低減させると，単位時間当たりの掃過面積は 42%減少するが，網口高さは 50%増加するため，掃過体積の減少率は 13%に留まると算出された。したがって，曳網速度を低減することにより掃過面積は損失するものの掃過体積が増加することにより，漁獲量を確保するとともに入網物の多様性が増すことが期待できる。低速曳網で網口高さが増加することは，単位時間当たりの掃過面積の減少による漁獲量低下への懸念を，網口高さにより補うことができると示唆された。また，流体抵抗の減少率は曳網速度の減少率を大きく超える結果であり，このことは，曳網速度低下に伴う機関回転数の減少による，燃料節減効果が得られるものと期待される。

Table 2-1　模型実験による網抵抗の計測結果

NET-1

実物		模型		NET-1-1 (gf)			NET-1-2 (gf)			NET-1 Average (gf)		
kt	m/s	cm/s	Fr	Left	Right	Total	Left	Right	Total	Left	Right	Total-1
3.00	1.54	77.17	37.83	2,561.6	2,376.7	4,938.4	2,550.5	2,376.9	4,927.4	2,556.1	2,376.8	4,932.9
2.75	1.41	70.74	34.68	2,174.1	2,017.4	4,191.5	2,220.2	2,018.5	4,238.7	2,197.2	2,017.9	4,215.1
2.50	1.29	64.31	31.52	1,842.1	1,696.7	3,538.8	1,837.9	1,688.7	3,526.7	1,840.0	1,692.7	3,532.7
2.25	1.16	57.88	28.37	1,547.9	1,409.6	2,957.5	1,544.3	1,393.3	2,937.6	1,546.1	1,401.5	2,947.6
2.00	1.03	51.44	25.22	1,295.5	1,177.6	2,473.0	1,303.8	1,164.1	2,468.0	1,299.6	1,170.9	2,470.5
1.75	0.90	45.01	22.06	1,042.8	966.0	2,008.8	1,064.9	970.1	2,035.1	1,053.9	968.1	2,022.0

NET-2

実物		模型		NET-2-1 (gf)			NET-2-2 (gf)			NET-2 Average (gf)		
kt	m/s	cm/s	Fr	Left	Right	Total	Left	Right	Total	Left	Right	Total-2
3.00	1.54	77.17	37.83	2,516.5	2,541.2	5,057.7	2,539.0	2,714.3	5,253.3	2,527.8	2,627.8	5,155.5
2.75	1.41	70.74	34.68	2,149.2	2,271.6	4,420.8	2,173.9	2,232.7	4,406.6	2,161.5	2,252.2	4,413.7
2.50	1.29	64.31	31.52	1,797.1	1,989.7	3,786.8	1,829.3	1,701.2	3,530.5	1,813.2	1,845.5	3,658.7
2.25	1.16	57.88	28.37	1,468.5	1,686.6	3,155.1	1,499.6	1,515.7	3,015.4	1,484.0	1,601.2	3,085.2
2.00	1.03	51.44	25.22	1,237.9	1,339.6	2,577.5	1,265.4	1,291.0	2,556.4	1,251.6	1,315.3	2,566.9
1.75	0.90	45.01	22.06	1,030.4	1,125.2	2,155.6	1,037.9	1,117.8	2,155.8	1,034.1	1,121.5	2,155.7

Table 2-2　模型実験による漁具形状から推定した掃過面積と掃過体積

実物		模型	網口高さ		袖先間隔		掃過面積		網口面積		掃過体積	
kt	m/s	cm/s	m	比率	m	比率	m^2/hr	比率	m^2	比率	m^3/hr	比率
3.00	1.54	77.17	1.17	1.00	7.00	1.00	38,892	1.00	6.4	1.00	35,738	1.00
2.75	1.41	70.74	1.25	1.07	7.00	1.00	35,651	0.92	6.9	1.07	35,000	0.98
2.50	1.29	64.31	1.35	1.15	7.00	1.00	32,410	0.83	7.4	1.15	34,364	0.96
2.25	1.16	57.88	1.47	1.26	7.00	1.00	29,169	0.75	8.1	1.26	33,677	0.94
2.00	1.03	51.44	1.59	1.36	7.00	1.00	25,928	0.67	8.7	1.36	32,378	0.91
1.75	0.90	45.01	1.75	1.50	7.00	1.00	22,687	0.58	9.6	1.50	31,182	0.87

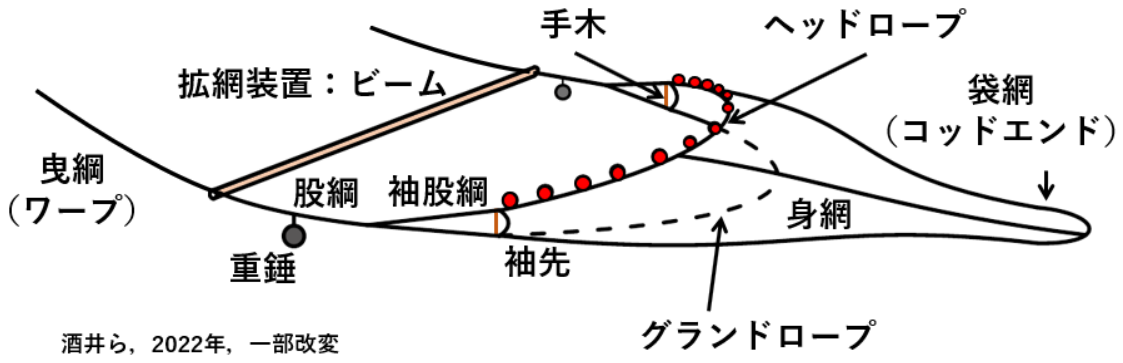
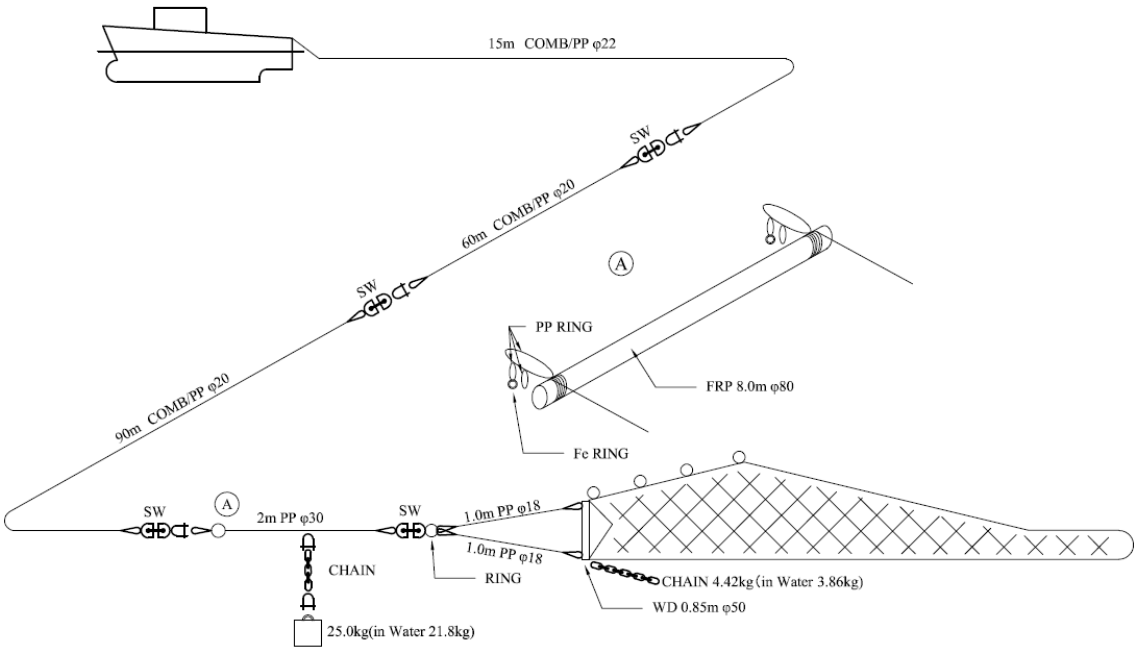
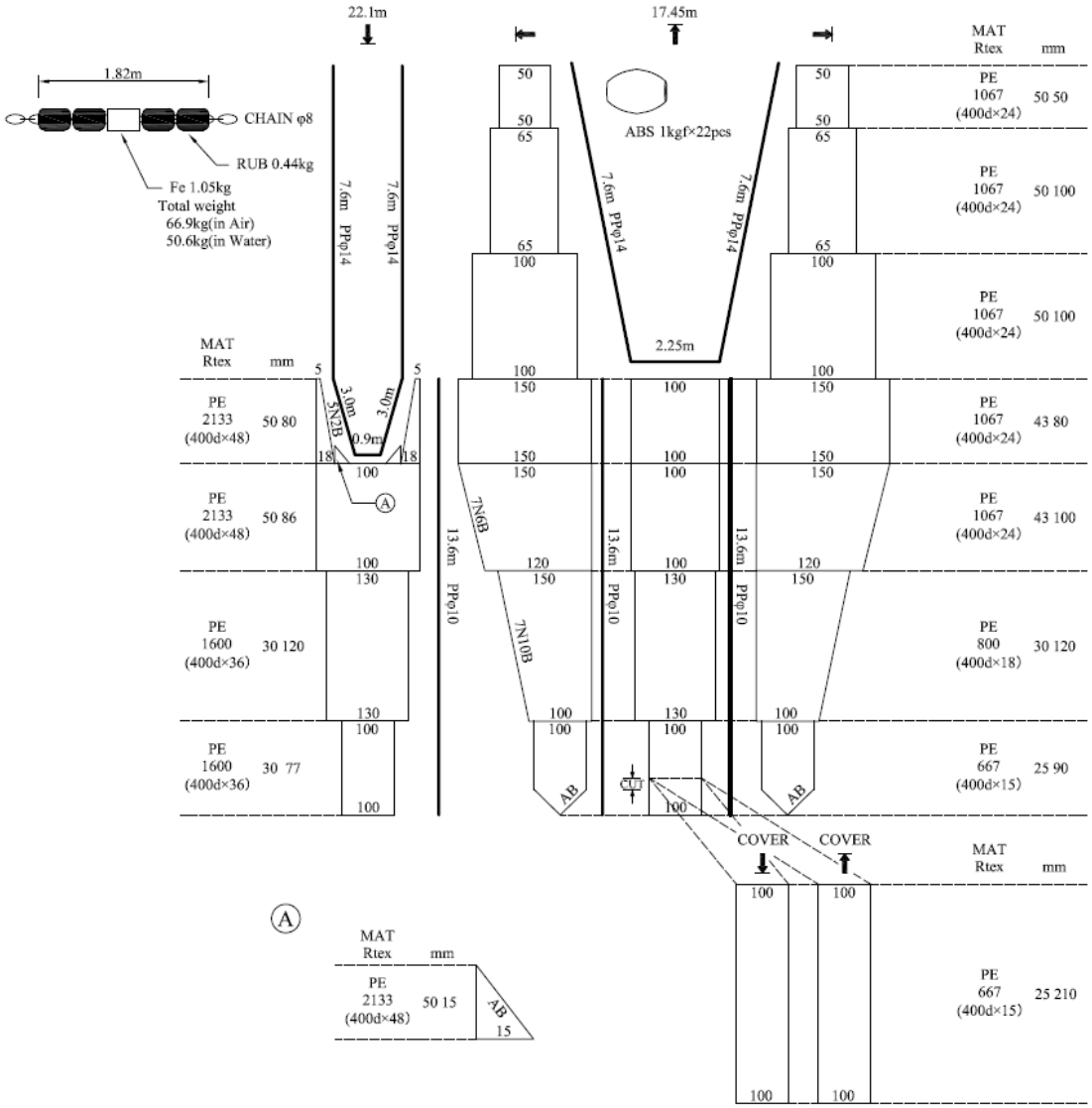


Fig.2-1　ビーム式小型底びき網の各部名称



作図：ニチモウ株式会社

Fig.2-2　A 丸の漁具構成（従来型漁具）

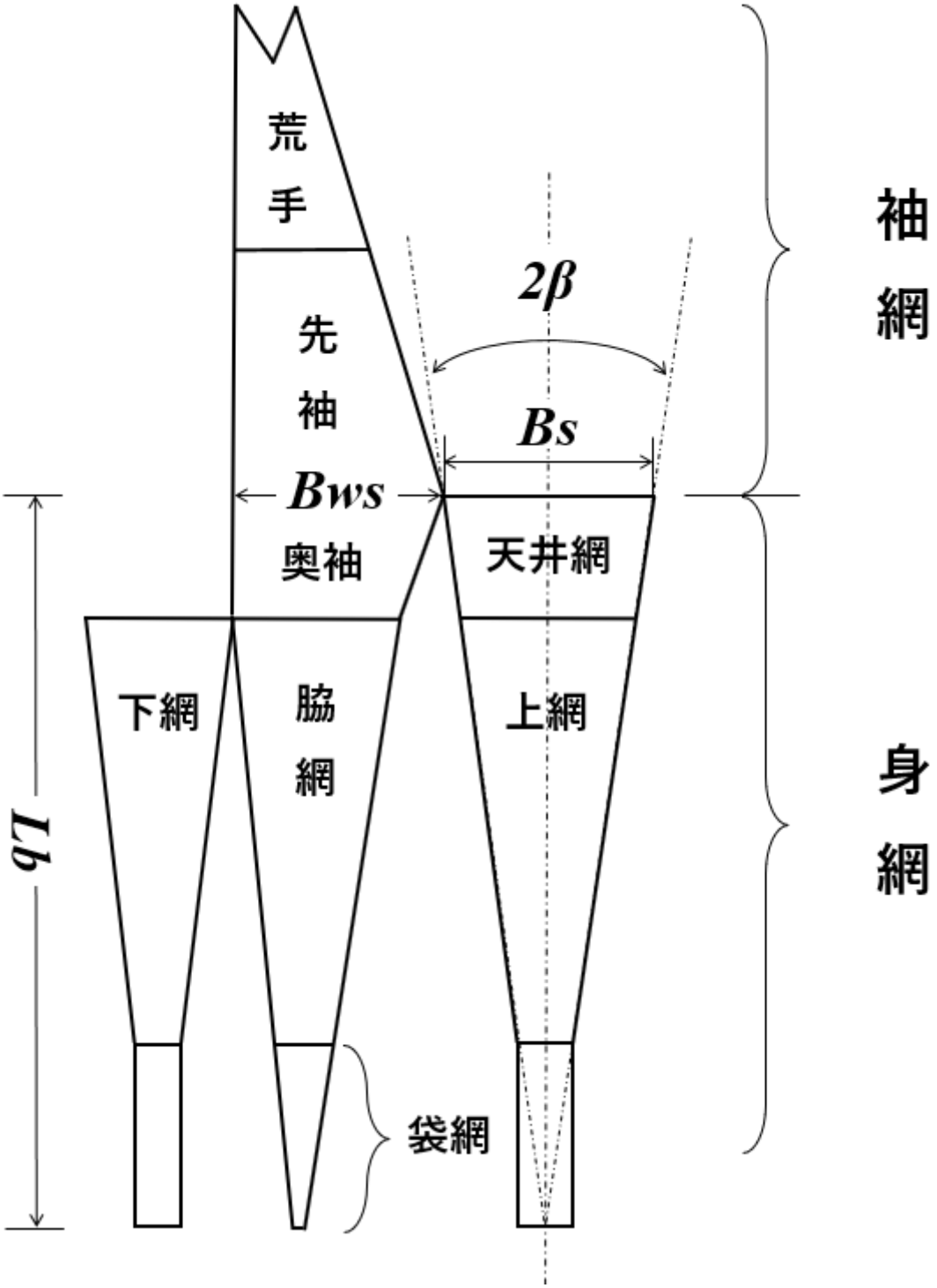


作図：ニチモウ株式会社

Fig.2-3　A 丸の漁具設計図面（従来型漁具）

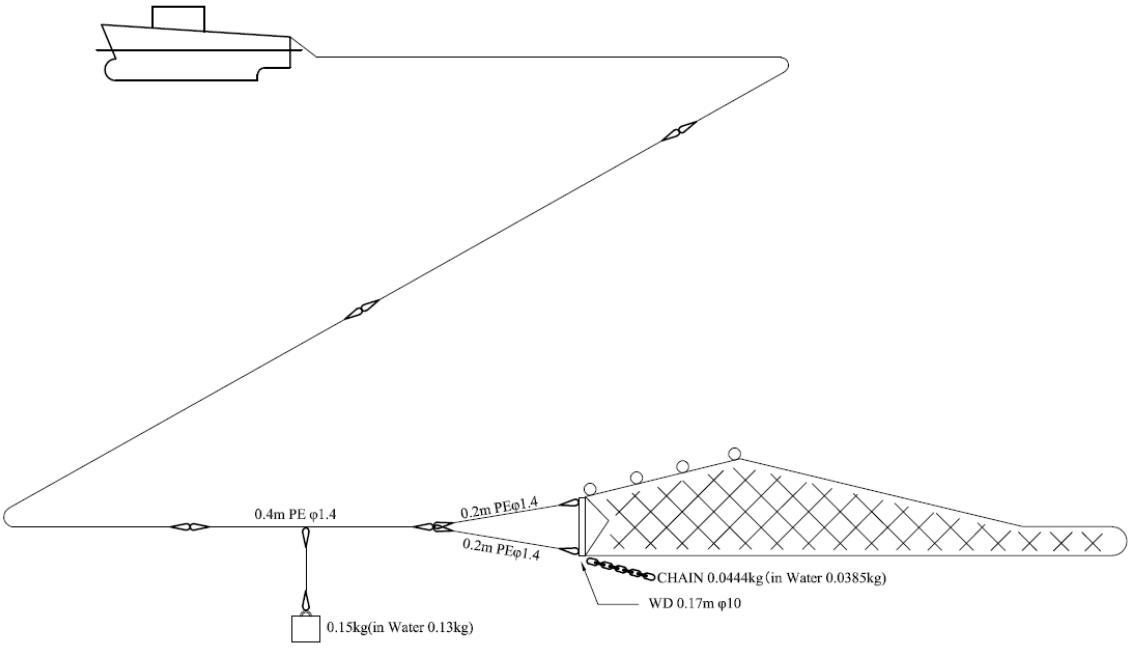
左)全体形状，右上)かえし網，右下)袋網とガラ取り

Fig.2-4　曳網の形状（A 丸）



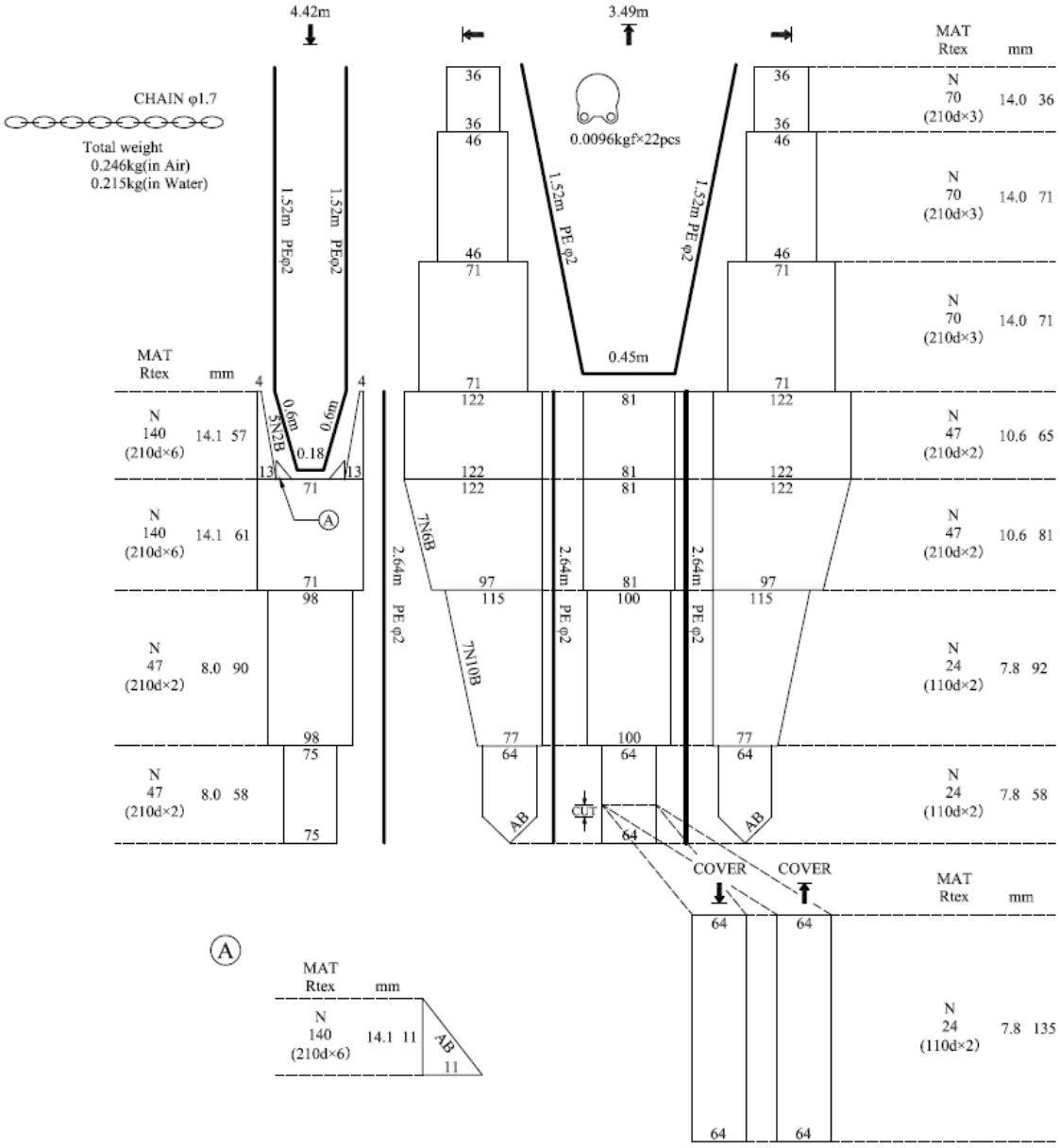
谷口，1984，改変

Fig.2-5　網口高さ推定式（谷口）に適用する項目範囲



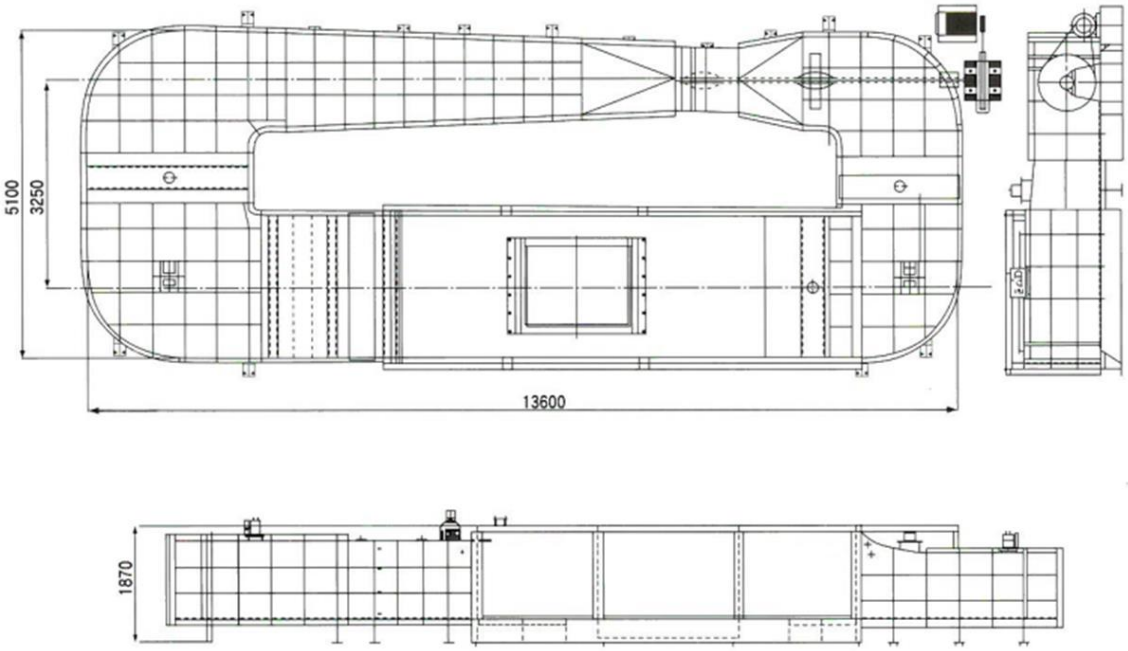
作図：ニチモウ株式会社

Fig.2-6　A 丸の漁具構成（模型網）



作図：ニチモウ株式会社

Fig.2-7　A 丸の漁具設計図面（模型網 NET-1）



出典：水産大学校大型回流水槽図面，単位 mm

Fig.2-8　回流水槽の水平面図と側面図

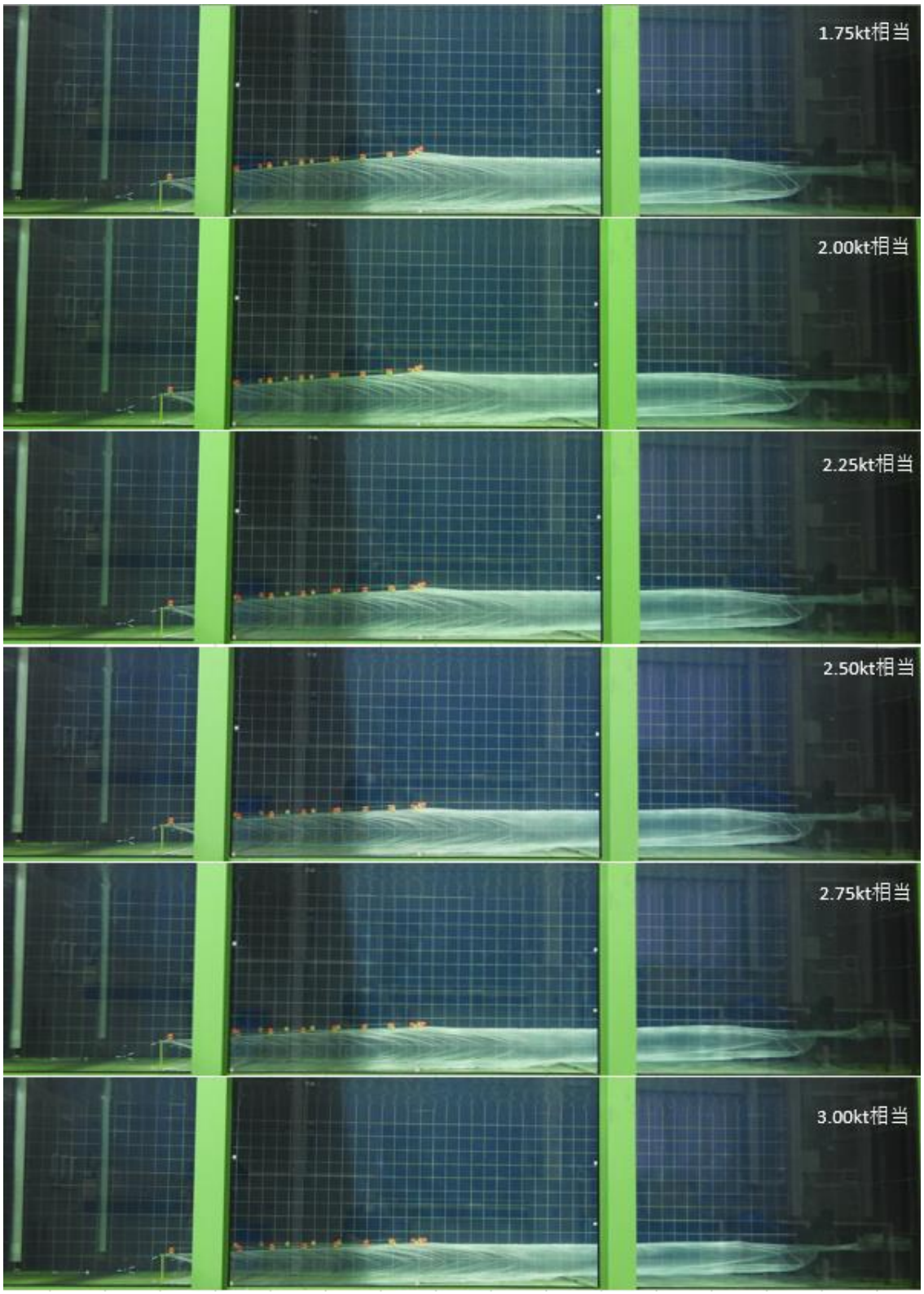


Fig.2-9　実験流速に応じた網形状の変化

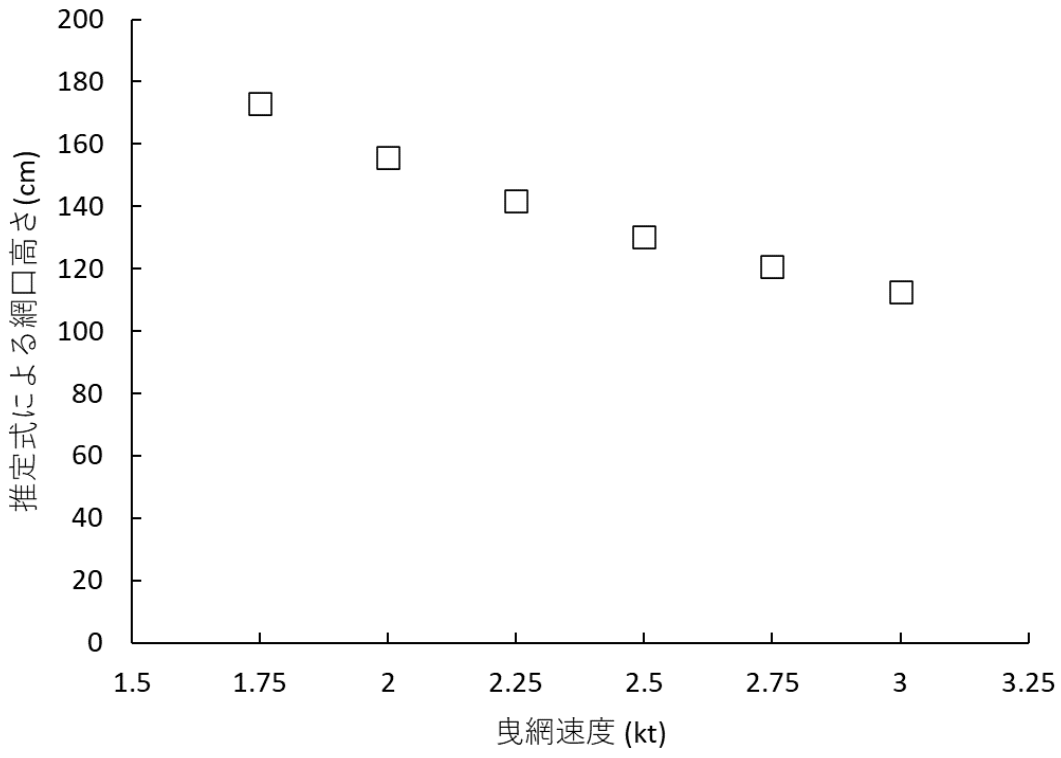


Fig.2-10　推定式（谷口）による網口高さ

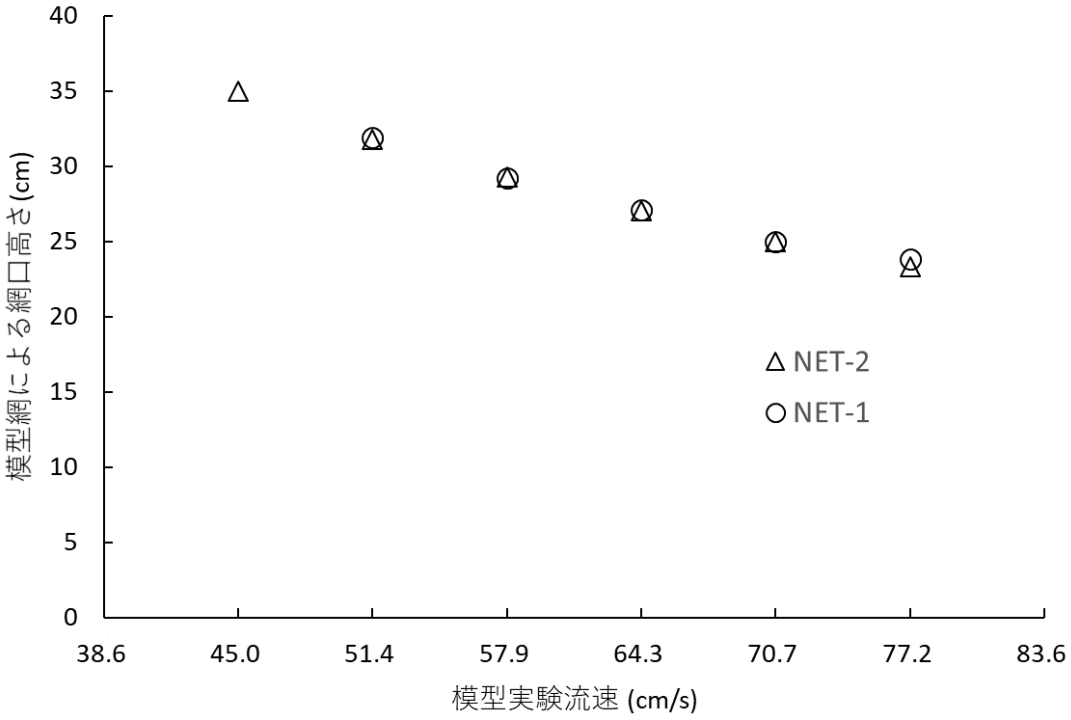


Fig.2-11　模型網による網口高さ

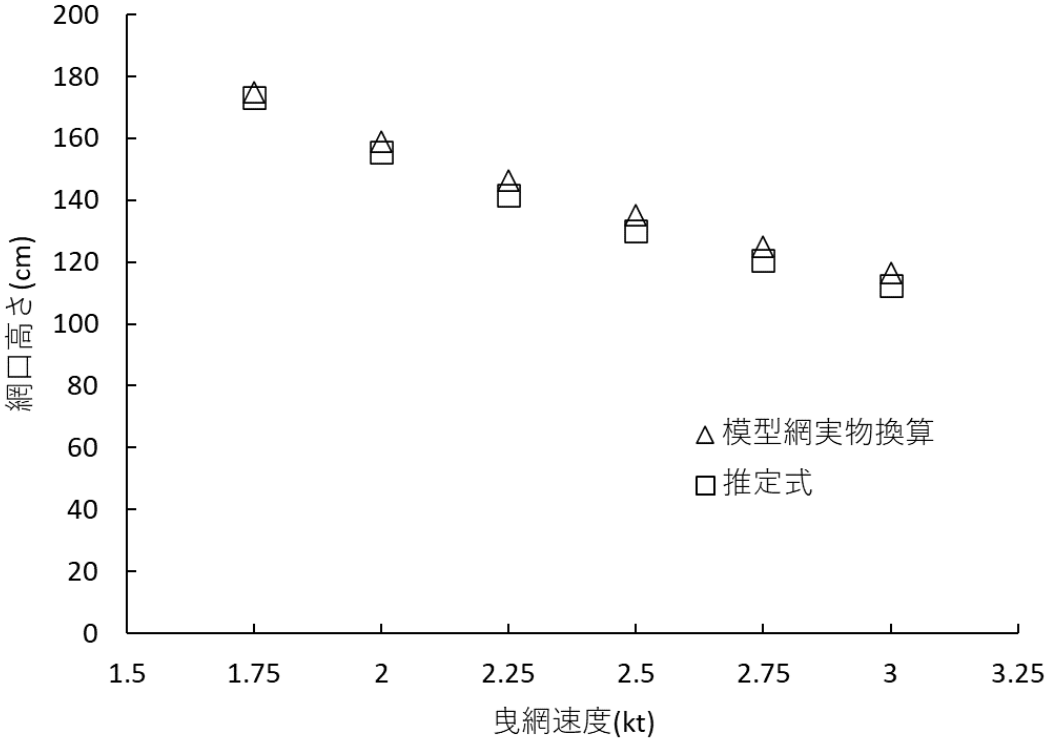


Fig.2-12　推定式（谷口）と模型網による網口高さ

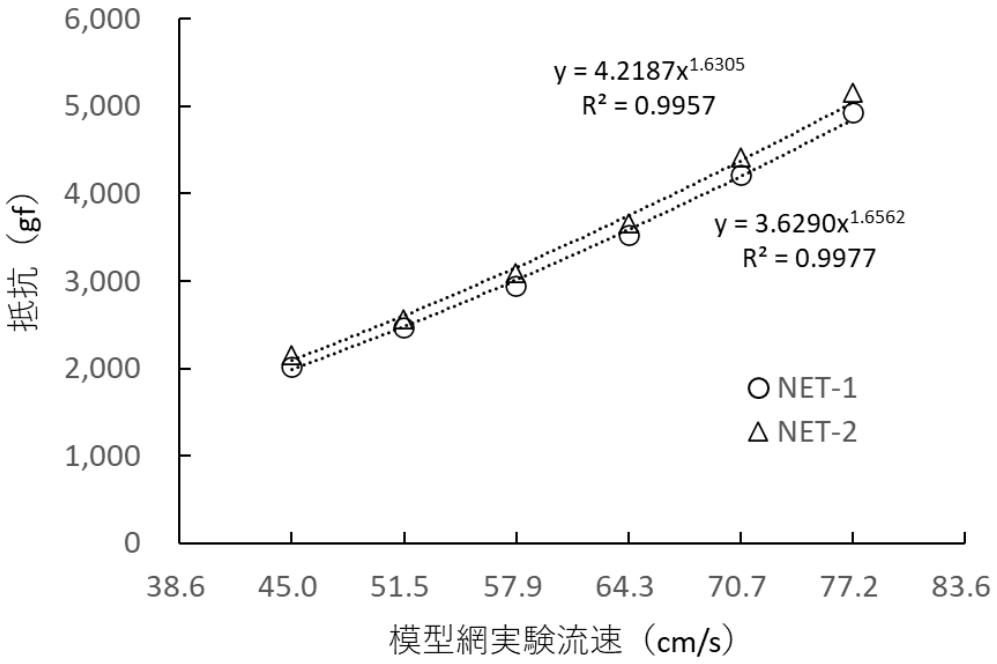


Fig.2-13　模型実験による網抵抗の計測結果

第Ⅲ章　小型底びき網漁業における省エネ操業

社会から求められる漁業の省エネ化は，燃油となる化石燃料の資源量減少および内燃機関運転時に排出する温室効果ガス（GHG）や窒素酸化物（NO_X）による地球環境悪化を背景とする。これらは，温室効果ガスの排出量から吸収量を差し引いた，合計を実質ゼロにするカーボンニュートラル[54]や持続可能な開発目標（SDGs）[55]に対応したものである。一方で，漁業経営者や漁業者は，日々の操業にかかる燃料消費量を抑制する燃料費節減を目的とする省エネが，漁船漁業を経営する上で直面する現実的な課題である。漁家経営における燃料費については，燃油価格が低位かつ十分な水産資源や安定した魚価に裏打ちされた収益が確保できる状況では，漁獲や販売に比べて経営影響についてあまり問題視されることはなかった。しかし，近年の様に燃油価格が高騰するとともに高止まりする場合は，収益悪化の大きな要因となり，経営におよぼすマイナス影響について危惧されている。

漁船漁業における操業の省エネ化を図るにあたっては，漁船運航中の詳細な燃料消費データの取得が欠かせない。しかし，漁業の分野では，各漁船の船体規模，漁業種類と搭載する機関の組み合わせや漁労機械などの設備状況が様々であるため，特別に試験を実施する場合を除き，漁業者が自船の燃料消費データを知り得ることは困難である。一方で，燃料費節減は切実な課題であり，近年においても減速航行などによる燃料消費量を節減する取り組みが行われ，航走方法の指針が示されてきた[23,76,77]。しかし，底びき網の曳網などの様に，船体以外の物体が水中に存在する操業中については，実際に油量を計測しない限り傾向を把握することすら困難である。

小型底びき網操業は，漁具の曳網速度を維持して海底を曳くため，常に主機関が運転されている。船体規模，漁具規模に対する主機関の性能と曳網速度により異なるが，操業中は長時間にわたり主機関に負荷がかかり続けるため燃料消費量が多くなる傾向がある。このため，主な漁業種類の中でも漁労支出に占める燃料費の割合が高く，燃油価格の高騰が漁家経営に与える影響が大きいとされる。漁業現場からは，小型底びき網漁業の漁家経営の持続安定化に向けて，燃料費を削減しつつ水揚収入も確保できる漁具の開発や操業方

法が求められている。

小型底びき網漁業の省エネ化を図る手法としては，曳網速度の低減による燃料消費量軽減が効果的であると考えられる[18,51,52,78-85]。しかし，現用の漁具・漁法において，曳網速度を低下させると漁具が海底をせん掘することにより，海底の泥土が多量に入網する事態が発生し，操業の安全性の低下が危惧される。また，せん掘を防ぐために単に漁具重量を軽減させると着底が阻害されるため，曳網速度に対応した漁具の適切な軽量化が求められる。

本章では，第II章で示したビーム式小型底びき網漁具により操業する漁船を用い，低速曳網を可能とする軽量型漁具による操業の省エネ効果を実証することを主な目的として，海上調査を行った。

3-1　材料と方法

調査操業は，2011，2012，2014，2015 年に Fig.3-1 に示す唐津湾東部の福岡県糸島市加布里地先の水深 15m～20 m の海域で，糸島漁業協同組合加布里支所所属のビーム式小型底びき網漁船 A 丸（L×B×D：10.8×2.57×0.80 m，4.9 GT，170 kW/2,600 rpm），B 丸（同左），C 丸（同左）により操業調査を行った。当該地区における主要漁獲対象種は，クマエビ，クルマエビなどの大型エビ類やサルエビ，アカエビなどの小型エビ類であり，ヒラメ，カマス，コウイカなどの魚介類とともに鮮魚または活魚として出荷される。

Fig.3-2 (a)に A 丸の側面図を，Fig.3-2 (b)に B 丸，C 丸の側面図を示す。A 丸はトロールウィンチを搭載しない，従来から行われる操業を実施するタイプである。B 丸，C 丸は，省力化を図るためにトロールウィンチを搭載し操業を行うタイプである。両タイプでは，投網作業，揚網作業方法が異なるものの，漁具を船尾から曳網する船尾トロールタイプであることに変わりはない。操業方法や作業内容などの詳細は第IV章に示す。

漁具重量や曳網速度の違いによる比較実験の主対象漁船は A 丸である。B 丸，C 丸は，A 丸と船殻および機関仕様が同様であるが， 漁具全長が A 丸漁具に対して 10 m 程度長い。このため，漁具全長の違いによる曳網中の燃料消費量への影響の調査に用いた。調査

に供した漁具は，A 丸が使用しているビーム式小型底びき網（全長 26.4 m，ヘッドロープ長 17.4 m）である（Fig.2-1～Fig.2-4）。網口開口装置であるビームは FRP 製であり，長さ 8 m，空中重量 40 kg である。ビームと網を結着するブライドルの中央部には，網本体のグランドロープの接地性を良くするために空中重量 25 kg（片側）の重錘が取り付けられていたが，これらを 14 kg（片側）に削減し約 44%の軽量化を図った。さらに，グランドロープ中央部付近に配置装着されていたウエイトの一部（約 10 kg）を取り外した。今後，軽量化を施す前の漁具を「従来型」，軽量化を施した漁具を「軽量型」と呼ぶ。

操業中の燃料消費量を調べるために，主機関に回転計（小野測器製：LG-930）と燃料流量計（オーバル製：フローペット EG）を設置した。なお，燃料流量計の装着にあたっては，長谷川[13]，溝口ら[14]の方法にしたがった。各計測器から出力された電圧信号は，1 秒ごとにデータロガー（GL220　グラフテック株式会社）に記録すると同時に，各計測値を船橋に表示し曳網速度に応じた変化を確認した。また，操業中の船位および曳網速度を計測するために，GPS ロガー（GL-50S　San Jose Technology Inc.）を船橋上部に設置し，1 秒ごとに記録した。本研究で設置した燃料消費量計測システムの概略を（Fig.3-3）に示す。

3-2　結果

福岡県糸島市加布里地区における一般的な操業サイクルを示す。出港後，日没前に漁場に到着すると底びき網を海中に投入し，曳網速度約 3 kt で海底を曳網する。曳網時間は 1～3 時間，1 日当たりの曳網回数は 2～4 回である。曳網時間と曳網回数は各船長の判断による。それらの判断は，市況に応じた水揚げ量の確保とともに時間経過が魚体に与える影響を考慮し，高水温期は短く，低水温期は長い傾向がある。曳網終了後，漁獲物を甲板上に取り込み魚倉に収納すると，再び投網し曳網することを繰り返し行う。その後，出荷時間に合わせ帰港し水揚げを行う。

Fig.3-4 に A 丸による操業調査時の GPS 航跡の一例を示す。当該地区では，限られた海面で操業が行われるため，直進曳網と旋回曳網が繰り返し行われる。漁場により，直進曳

網距離が長い場合や漁獲ポイントに沿って曳網針路が刻々と変更されるなど様々である。曳網速度は，直進曳網ではほぼ一定である。これは，漁具仕様に応じた適切な曳網速度帯を維持するためである。帯域を超え高速となると漁具は離底し十分な漁獲が行えず，また低速になると沈子類で海底をせん掘し，網内への泥土混入による漁獲物の品質低下や破網など漁具事故の懸念が生じる。旋回曳網では直進曳網に対して曳網速度が 2 倍に達する事例も確認された。これは，漁具が斜め曳きとなり，一時的に漁具の流体抵抗が減少し曳網速度が増加するためと考えられる。

3-2-1　一般航行時の燃料消費実態

内燃機関の燃料消費量は，機関出力に比例して変動する。機関は製造メーカーによって性能試験が実施され，機関回転数に応じた出力と燃料消費量などの計測が行われる。性能試験による結果は，陸上の試験設備において機関の軸端に，ある負荷がかけられて得られるものである。一方で，海上で使用される機関（マリンエンジン）は，条件の異なる様々な漁船に搭載されるものである。このため，船型や排水量が異なるため，燃料消費量は性能試験の通りとはならない。本章での取り組みは，小型底びき網漁業における低速曳網による省エネ効果を実証するものであるが，曳網試験の前に一般航走時の主機関回転数に応じた燃料消費量の計測を行い，実海面における A 丸の基礎的な燃料消費特性を把握した。

(1)　海上における航走実験

2011 年 11 月 16 日に実施した操業試験において，主機関回転数に応じた船速と燃料消費量の計測を行った。当時の気象・海象は，風向 North，風力 1，海況 1 であり，唐津湾東部に位置する船越湾内の水深 7m～10 m の穏やかな海面で航走実験を行った。主機関回転数の下限は，供試漁船で針路を維持することのできる 800 rpm とし，そこから連続定格出力付近の 2,650 rpm に至るまで，9 段階に機関回転数をセットし計測を行った。Fig.3-5 に主機関回転数に応じた GPS 船速と燃料消費量の計測結果を示す。今後，A 丸の主機関出力を推定する際には，連続定格回転数付近の 2,650 rpm 時に得られた燃料消費量 49.9 L/h を基準とした。なお，機関出力は，燃料消費量∝負荷の関係性から推定することができる。A 丸における実測値を基準とした，負荷率 4/4（2,650 rpm, 15.4 kt，49.9 L/h）

に対する主要な負荷率の機関回転数と船速は，Fig.3-6 から次の様に算出した。負荷率 1/4（1,627 rpm, 8.7 kt，12.5 L/h），負荷率 2/4（2,057 rpm, 11.0 kt，25.0 L/h），負荷率 3/4（2,382 rpm, 13.1 kt，37.4 L/h）。

一般に，燃料消費量は船速の約 3 乗に比例することが知られている。つまり，2 倍の速度を得るのに必要な燃料消費量は 8 倍となる。低回転・低速状態より徐々に機関回転数を上げ速度が上昇すると，燃料消費量の増加傾向は右肩上がりとなる。この時，機関回転数の上昇とともに船速も上昇するが，燃料消費量の増加率がそれを上回る。このため，高回転になるにしたがってグラフの曲線が右傾する。

3-2-2　低速曳網による省エネ効果

(1)　操業航海中の燃料消費状況と従来型漁具による操業中の燃料消費量

供試漁船 A 丸の，出港→往航→漁場着→操業→復航→入港にいたる，操業調査時の主機関回転数，GPS 船速，燃料消費量の計測結果の一例を示す（Fig.3-7）。航海中，最も船速が高くなるのは往航・復航工程であり，当該漁船において燃料消費量は 20 L/h 程度まで上昇する。燃料消費量が最も多くなる工程は網洗いであった。本工程は，最終曳網後に行われるもので，曳網をとおして網目に付着した泥土や網と魚体のスレにより生じた鱗，ぬめりなどの魚体由来の残渣を除去するために行う。この際，高速で航走することにより身網に水流を当て，コッドエンドを洗浄し，網目汚損による燃費悪化を防いでいる。さらに，残渣が網目に残留することによる腐敗を防ぐため，衛生管理上欠かせないものであり各船で行われている。投網作業や旋回曳網時には一時船速が上昇していることが確認できる。直進曳網中は，船速，機関回転数，燃料消費量のいずれも安定しているが，操業中最も長い工程であり操業にかかる燃料消費量の増加に大きく影響するものである。

従来型漁具による操業中の投網，揚網，曳網時の計測結果を示す（Table 3-1）。投網時の燃料使用量は 0.3 L（範囲：0.2 L ～0.5 L），揚網時は 0.5 L（範囲： 0.4 L～0.6 L）であり，投網・揚網に要する燃料使用量は少量であった。曳網時の燃料消費量は，11.8 L/h（範囲： 11.2 L/h～12.2 L/h）であった。曳網時の燃料消費量は時間当たりの消費量を示しており，実際には 1.5 時間程度の曳網を複数回実施するため燃料使用量は多く，本工程

の省エネ化を推進させる必要性が伺える。

(2)　低速曳網が可能な軽量型漁具による燃料消費量の試算

低速曳網が可能な軽量型漁具を用い曳網した場合，主機関回転数の低下とともに燃料消費量も軽減することが期待される。海上実験による実証を行う前に，アドミラリティ係数（Cadm）による推定式(式 3-1)を用い，機関回転数を低減させた場合の馬力を試算した。アドミラリティ係数を用いた推定式は，類型船間においてはアドミラリティ係数がほぼ一定と仮定した中で，船速や排水量をパラメータとして馬力を推定する場合に，造船設計の基礎段階において利用される。

$$Cadm = \left(\Delta^{2/3} \times VK^3\right) / HP \qquad (3\text{-}1)$$

$Cadm$：アドミラリティ係数

Δ：排水量(t)

VK：船速(kt)

HP：馬力(ps)

式に一定の排水量（Δ）を与えた上で，船速（VK）をパラメータとして従来の曳網速度 2.8 kt に対して，軽量型漁具による曳網速度の目標値を 2.2 kt として連立方程式を解く。なお，排水量の推定には，漁船建造メーカーの協力を得て建造資料として保管されている排水量等曲線図の利用許可を得て算出したものである。本研究における同図の利用は，実験に際して必要なパラメータを読み出すことを目的としており，本船の復原性能を評価するものではない。排水量の算出には，出港準備を終え岸壁に係留中の A 丸の船首尾喫水と漁港内の海水比重（ρ:1.025）を計測し，排水量を 7.0t と推定した。なお，船体がほとんど等喫水であったためステム修正，トリム修正，また河川水影響がなかったため比重修正は行なわなかった。さらに，船体が小型であることから，ホグサグ修正は無視して排水量を求めた。

式（3-1）より，従来操業（2.8 kt，11.8 L/h）時の曳網中の機関負荷率は 23.6%と算出した。この時の馬力は 61.5 ps と推定できる。2.8 kt で曳網した場合の推定馬力を基に，曳網速度を 2.2 kt に低減させた場合の馬力を計算した。計算の結果，馬力は 61.5 ps から 29.8 ps に大幅に低減すると算出され，燃料消費量軽減による省エネ効果について期待の持てる試算結果が得られた。しかし，アドミラリティ係数による推定式は，船体以外に漁具などの抵抗体を付加した場合の計算結果を保証するものではないため，海上における実証実験による確認を要する。

（3） 低速曳網が可能な軽量型漁具による燃料消費量

従来型漁具の曳網速度は 2.8 kt であった。前述のとおり，軽量型漁具の曳網速度は当該漁場における既往の知見と，漁業者の意見を合せて判断し，従来型漁具に対して約 20%低い 2.2 kt とした[51,52,78-85]。

軽量型漁具による操業中の投網，揚網，曳網時の計測結果を示す（Table 3-2）。投網時の燃料使用量は 0.2 L（範囲：0.2 L～0.3 L），揚網時は 0.5 L（範囲： 0.5 L～0.6 L）であった。Table 3-1 に示した従来型漁具による結果と比較すると，両漁具において投網，揚網に要す燃料使用量は少量であり，ほぼ同等であった。

両漁具による曳網中の機関回転数と曳網速度，燃料消費量の関係を Fig.3-8 に示す。また，曳網速度に応じた燃料消費量の関係を Fig.3-9 に示す。図中，軽量型漁具については，試行時の曳網速度（2.0 kt～2.5 kt）も含めて示している。従来型漁具と軽量型漁具の曳網速度に対する回転数および燃料消費量の変化は，同じ曲線上に位置する傾向が認められた。前述したとおり，曳網速度は，従来型漁具では 2.8 kt，軽量型漁具では 2.2 kt であり，それぞれの主機関回転数の範囲は 1,349 rpm～1,387 rpm，軽量型漁具は 1,152 rpm～1,195 rpm であった。この場合の燃料消費量の平均値は，従来型漁具では 11.8 L /h（範囲：11.2 L /h～12.5 L /h），軽量型漁具では 8.2 L /h（範囲：7.8 L /h～8.7 L /h）であり曳網速度を約 20%減速した軽量型漁具の燃料消費量は，従来型漁具と比較して約 30%軽減した。

（4） 曳網速度以外の燃料消費量への影響

漁具規模

供試漁船 A 丸は，トロールウィンチを搭載しないタイプの小型底びき網漁船である。B 丸，C 丸は，A 丸と同型船であるが，省力化を図るために船尾甲板上にトロールウィンチを搭載した漁船である。供試漁船が操業する九州北部沿岸の小型底びき網漁船の多くが，福岡県福岡市から佐賀県唐津市にいたる漁港に在籍している。当該地域における漁船の甲板配置を目視で確認する限り，コッドエンドの取り込み位置は船首甲板となっている。このため，トロールウィンチ搭載船にあっても，揚網の最終段階でコッドエンドを船首甲板に移行する必要があり，取り回しのために身網丈を長く（B 丸，C 丸で 10 m 程度）している。これらの操業方法については，第Ⅳ章で詳細を示す。

Fig.3-10 に供試漁船 A 丸, B 丸, C 丸による曳網中の機関回転数と曳網速度，燃料消費量の関係を示す。また，曳網速度に応じた燃料消費量の関係を Fig.3-11 に示す。A 丸の使用漁具に比べて，漁具全長が 10 m 長い漁具を使用する B 丸, C 丸においても，曳網速度が低下すると A 丸と同様に燃料消費量が減少する傾向が確認された。一方で，A 丸に比べて曳網時の漁具抵抗が増大することが影響して，B 丸, C 丸の燃料消費量は A 丸の燃料消費曲線の上方に現れた。その時の燃料消費量増加率は 12%～18%であった。

船底の状態

船舶の船底は清浄に保ち，海洋生物の付着などにより増大する摩擦抵抗や渦抵抗を抑制する必要がある。海洋生物付着防止には，高性能を有す自己研磨型や加水分解型の船底塗料の塗布が見られるが，商船に比べて停泊時間の長い漁船では海洋生物が付着しやすい。このため，年に数回は漁港の船台を利用して船体を陸上に引揚げ，かき殻や海藻類をそぎ落とし船底塗料を再塗装する必要がある。小型漁船における船底清掃の有効性について調査した事例としては，濱口ら [12] の研究が見られる。同研究は，一般航行する場合の船底状態に応じた速度，燃料消費量，窒素酸化物（NO_X）の差について言及したものである。しかし，船底状態が底びき網漁具曳網時の燃料消費量に与える影響を調査した事例は見当たらない。

Fig.3-12 に，これまでに示した B 丸，C 丸の燃料消費曲線図上に，同船が船底汚損した

状態で曳網した場合の曳網速度と燃料消費量をプロットした。また，曳網速度に応じた燃料消費量の関係を Fig.3-13 に示す。船底が汚損した状態の計測値は，船底が清浄な状態時に計測した燃料消費曲線よりも上方に現れた。2.5 kt～2.8 kt にかける速度帯で 8%～10%燃料消費量が増加しており，速度の低い曳網時においても船底清掃の有益性が確認される結果となった。

Fig.3-14，Fig.3-15 に各状態における機関回転数に応じた燃料消費量を，Fig.3-16 に船速，曳網速度に応じた燃料消費量をそれぞれ参考に示す。

3-3　考察

3-3-1　年間の燃料消費量および燃料費削減額

今回の調査に供した小型底びき網漁船の 1 日あたりの曳網中の燃料消費量および年間操業日数（操業許可期間：5 月～12 月）を基に，軽量型漁具による燃料消費量軽減効果を試算した。供試漁船の 1 回の曳網時間は，概ね 1.5 時間であり，1 日の曳網回数は 3 回程度である。この場合の燃料消費量削減量は 1 日あたりでは約 19 L であり，これを年間（A 丸で 120 日操業）に換算すると約 2.3 kL の削減が可能となる。これは，漁労支出を軽減するばかりでなく，温室効果ガスの排出量を年間約 5.9 トン抑制することにもつながり，カーボンニュートラルに向けた貢献も期待できる（平成 25 年 12 月改正「地球温暖化対策の推進に関する施行令第三条」）。

続いて，燃料消費量削減量に免税軽油販売単価を掛けて，燃料購入費の軽減状況を試算する。第 I 章で示した様に，1990 年代～2000 年代初頭までの免税軽油価格は，50 円/L 程度であったが，近年では 80～90 円/ L で高止まりしている。さらに，世界的な新型コロナウィルス感染症の拡大や東欧における軍事影響とともに急激な円高も相まって，2022 年には免税軽油の販売価格が 120 円/ L を超えるまで高騰した。免税軽油価格が 50 円/ L，85 円/ L，120 円/ L であった場合，曳網にかかる燃料削減量約 2.3 kL に対する燃料費削減金額は次の通りである。50 円/ L の場合は 115,000 円であるが，85 円/ L の場合は 195,500 円，120 円/ L の場合は 276,000 円節減できるものである。特に，燃油価格が

高騰する時代にあっては，低速曳網による省エネ操業の影響が大きく現れる。今回の低速曳網による燃料費削減は，経営そのものを大きく改善できるとは言い難い。しかし，水揚げの有無にかかわらず生じる燃料費を確実に低減させるものであり，小規模経営の漁家に対しては一定の収支改善効果が得られたものと考えられた。

3-3-2　主機関出力の選択

今回の実験において各船の燃料消費量を計測することにより，機関負荷率を推定することができた。A 丸において 2.8kt で曳網する場合の機関負荷率は 23%であり，負荷率 1/4 を下回る低負荷により操業が行われていた。同船が 2.2 kt に曳網速度を低下させた場合の機関負荷率は 15%まで低下すると推定される。長時間の低負荷運転は，長期的に見た際に機関に不具合を生じさせるおそれがある。今後の建造や機関換装時には，曳網に必要な機関出力を考慮した主機関選択が望まれる。従来よりも出力が低減した機関の搭載につながれば，機関購入経費の抑制による経費軽減が期待される。また，出力低下に伴う搭載機関の小型化が排水量軽減にもつながれば，同程度の速度を得るのに必要な燃料消費量軽減による省エネ効果も併せて期待できる。一方で，網内に海底の泥土が混入した際に，曳網速度を上昇させ内容物の排出を促す様な機関操作を要す場合に向けて，ある程度機関出力に余裕を持たせることも考慮しておく必要がある。

これまでに，往復航走時の航行速度を低下させる，船底清掃を適切に行う，不要物件を除去し排水量を軽減するなど，運航時の燃料消費量を削減させる必要性が指摘されてきた。それらの取り組みとともに，底びき網の曳網に関する省エネ技術の有用性を啓発する機会を増やすことも重要であり，今後，包括的な省エネ操業に向け議論を活性化させることが必要であると考えられる。

Table 3-1　従来型漁具による操業各段階における燃料消費状況（A 丸）

試験漁具	試験日	燃料使用量		主機関回転数	曳網速度	燃料消費量
		投網（L）	揚網（L）	（rpm）	（kt）	曳網（L/h）
ビーム式従来型漁具	2011.11.15	0.2	0.4	1,380	2.8	11.6
		0.2	0.4	1,387	3.0	12.1
	2012. 6. 5	0.4	0.4	1,368	2.7	12.0
		0.2	0.5	1,363	2.7	12.2
	2012.10. 9	0.2	0.5	—	—	—
		0.3	0.5	—	—	—
	2012.11.22	0.2	0.4	1,350	2.7	11.2
		0.5	0.6	1,349	2.7	11.5
平均		0.3	0.5	1,366	2.8	11.8

Table 3-2　軽量型漁具による操業各段階における燃料消費状況（A 丸）

試験漁具	試験日	燃料使用量		主機関回転数	曳網速度	燃料消費量
		投網（L）	揚網（L）	（rpm）	（kt）	曳網（L/h）
ビーム式軽量型漁具	2014.11.18	0.2	0.5	1,173	2.3	7.8
		0.2	0.5	1,195	2.4	8.3
	2014.11.19	0.2	0.5	1,162	2.3	7.8
		0.3	0.6	1,190	2.3	8.7
平均		0.2	0.5	1,180	2.3	8.2

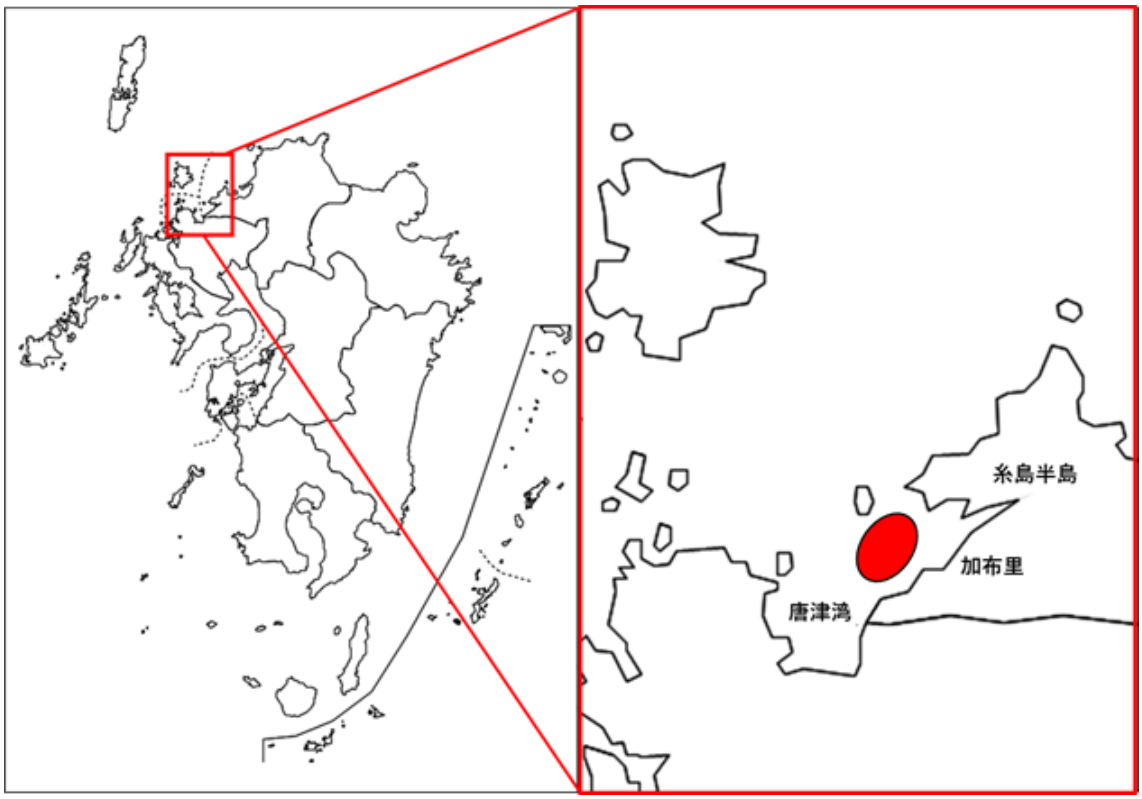
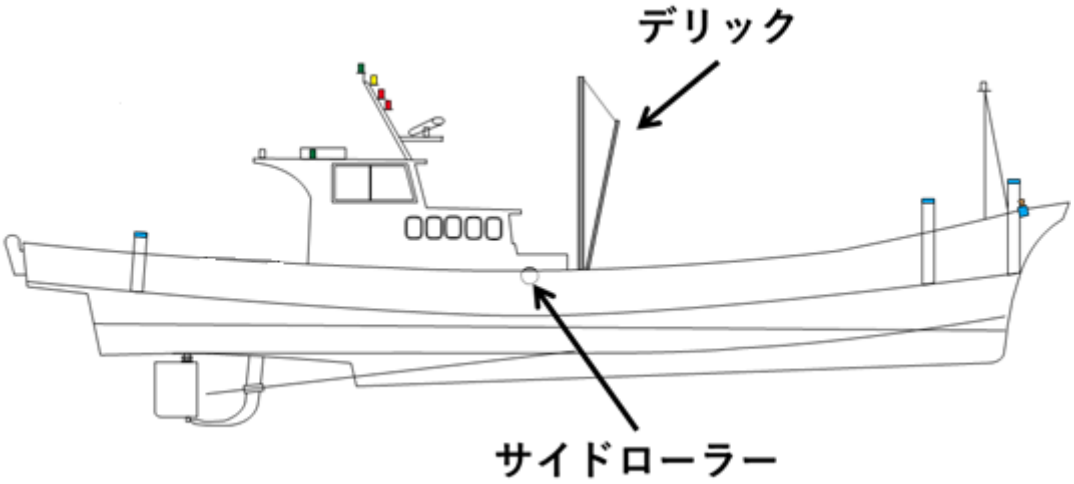
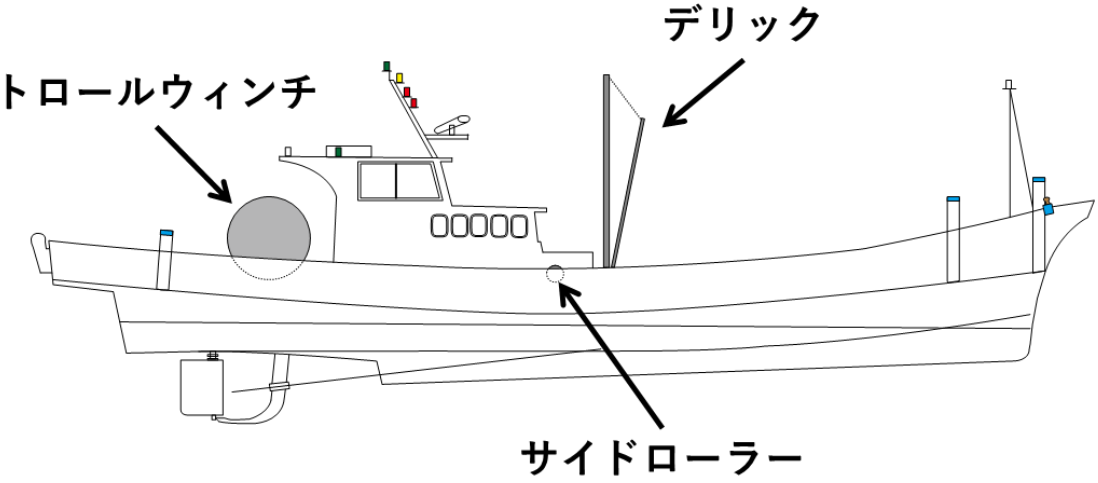


Fig.3-1　供試漁船の操業海域（赤丸：水深 15m～20m）



(a)



(b)

(a)　小型底びき網漁船 A 丸，(b)　小型底びき網漁船 B 丸，C 丸（トロールウィンチ搭載型）

Fig.3-2　供試漁船の側面図

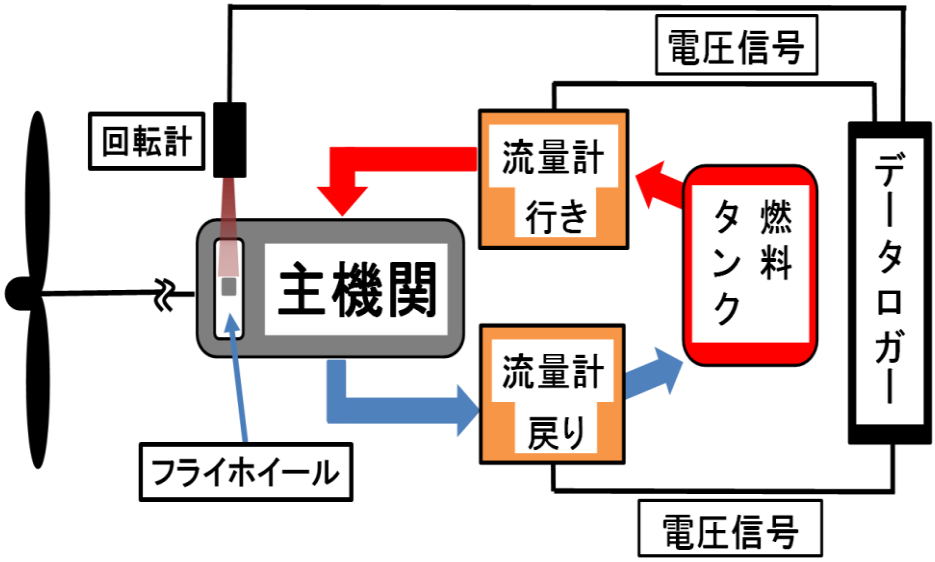
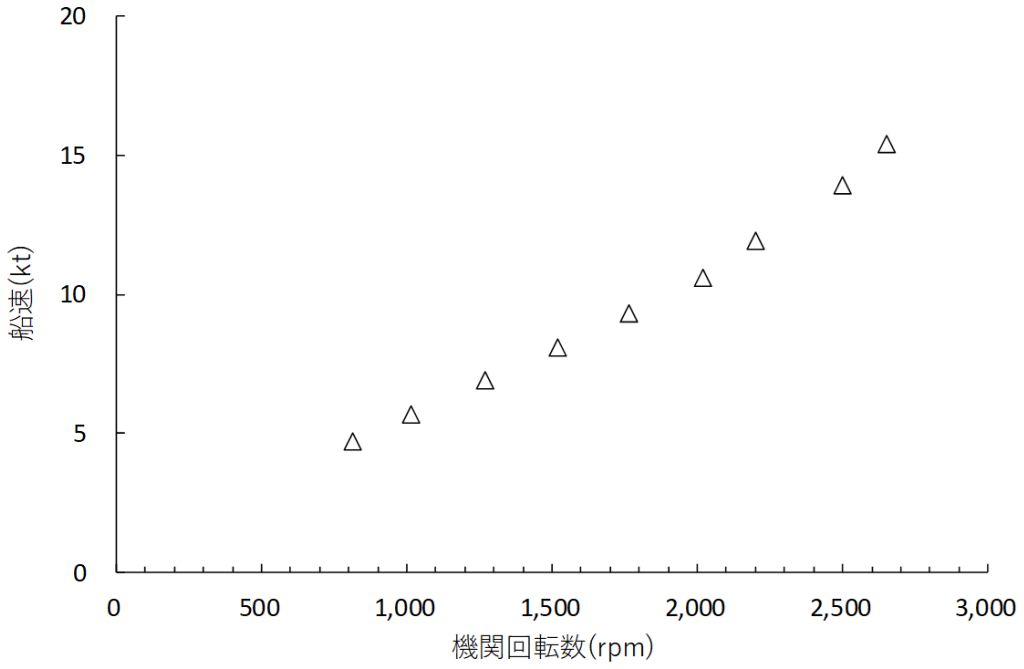


Fig.3-3　燃料消費量計測システムの概略

Fig.3-4　小型底びき網漁船 A 丸の操業調査時の GPS 航跡

（地図：国土地理院資料を一部改変）



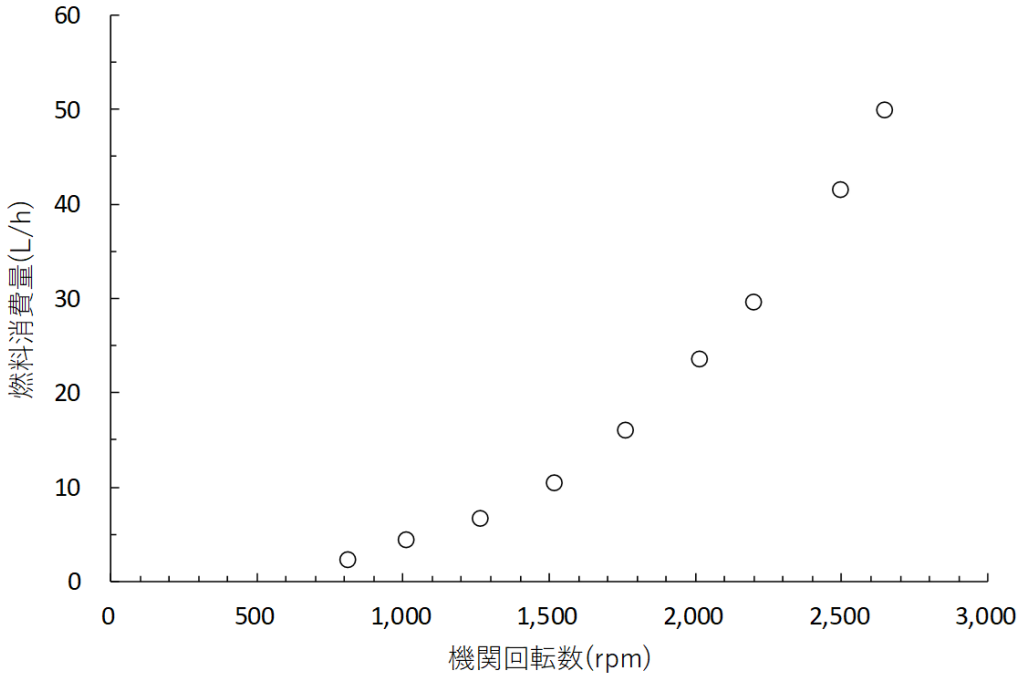


Fig.3-5　小型底びき網漁船 A 丸の機関回転数に応じた船速と燃料消費量

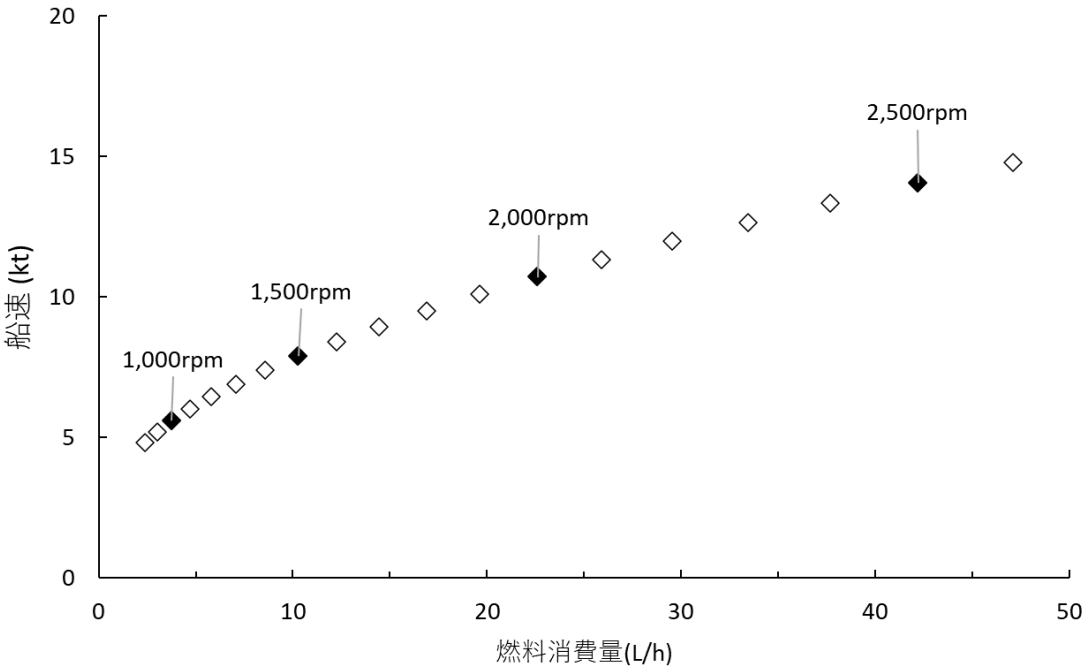


Fig.3-6　小型底びき網漁船 A 丸の船速と燃料消費量の関係

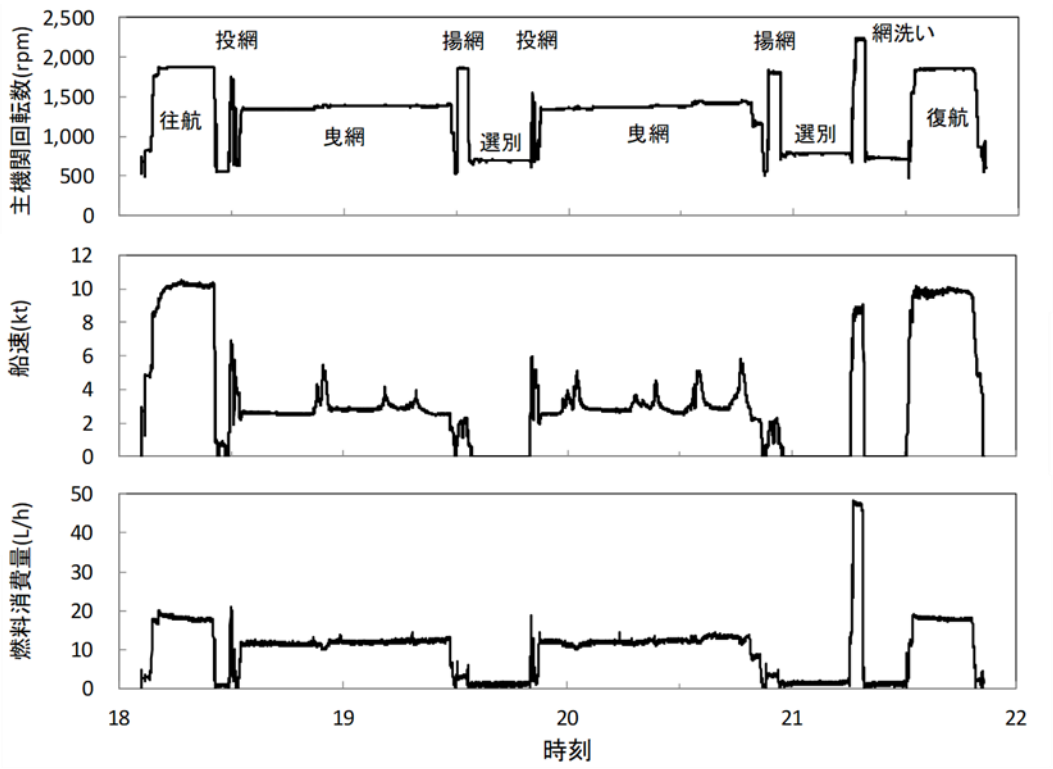
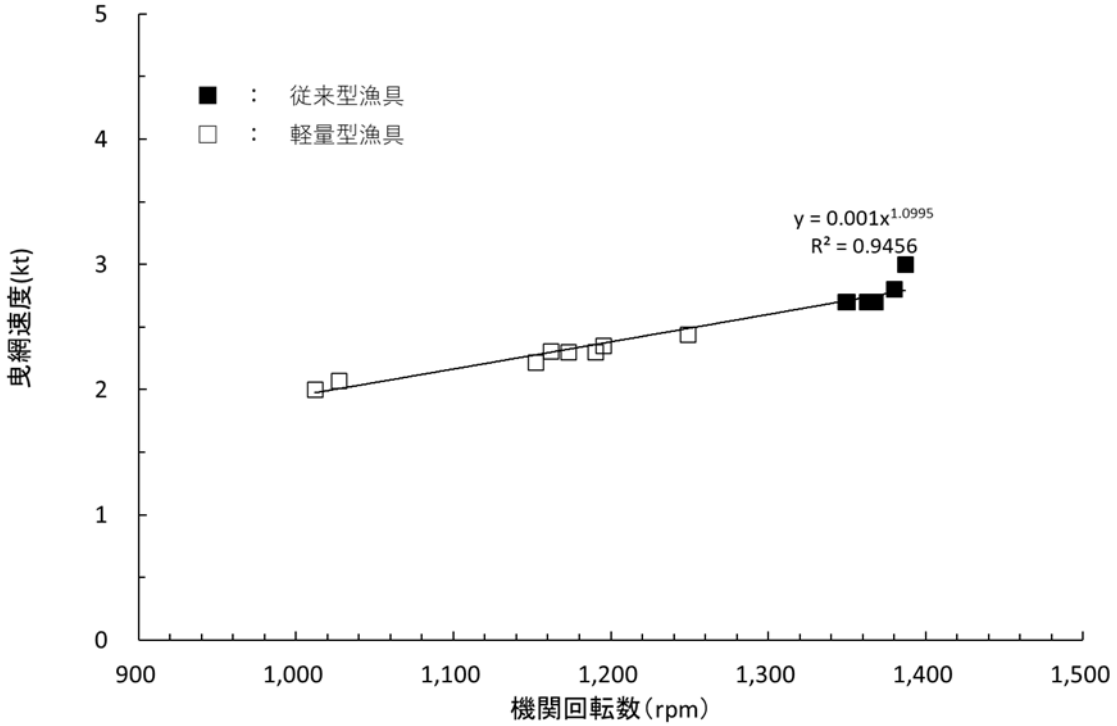


Fig.3-7　従来型漁具による操業調査時の燃料消費特性（A 丸）



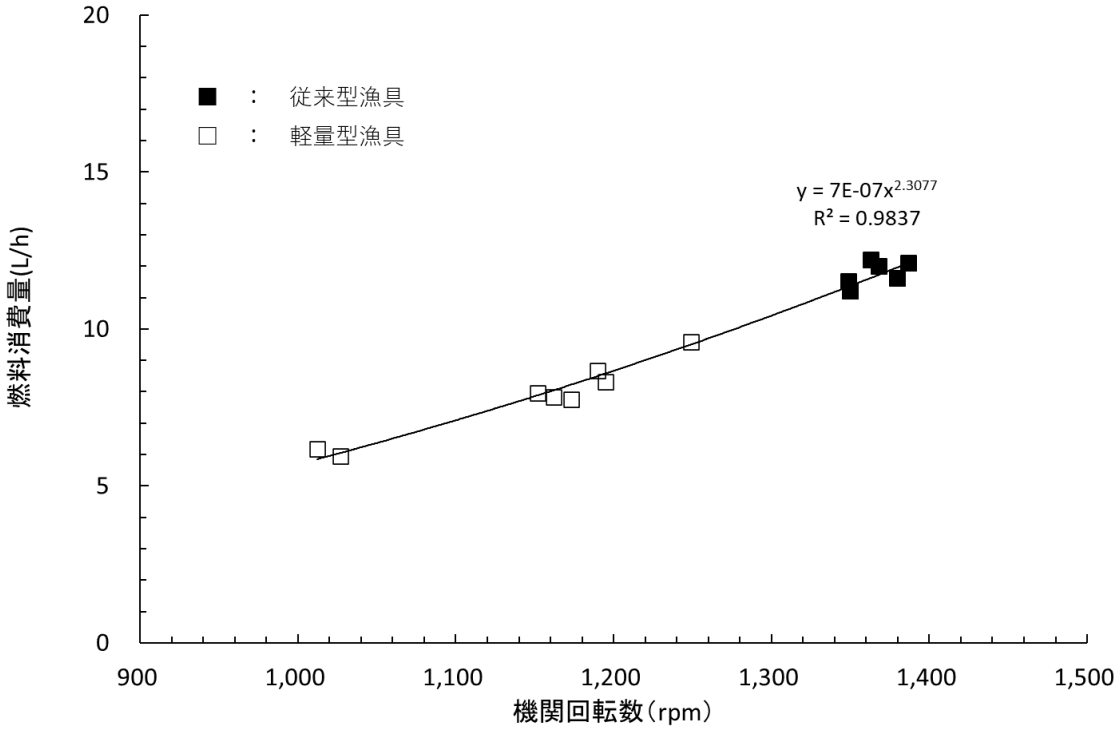


Fig.3-8　機関回転数に応じた曳網速度と燃料消費量（A 丸）

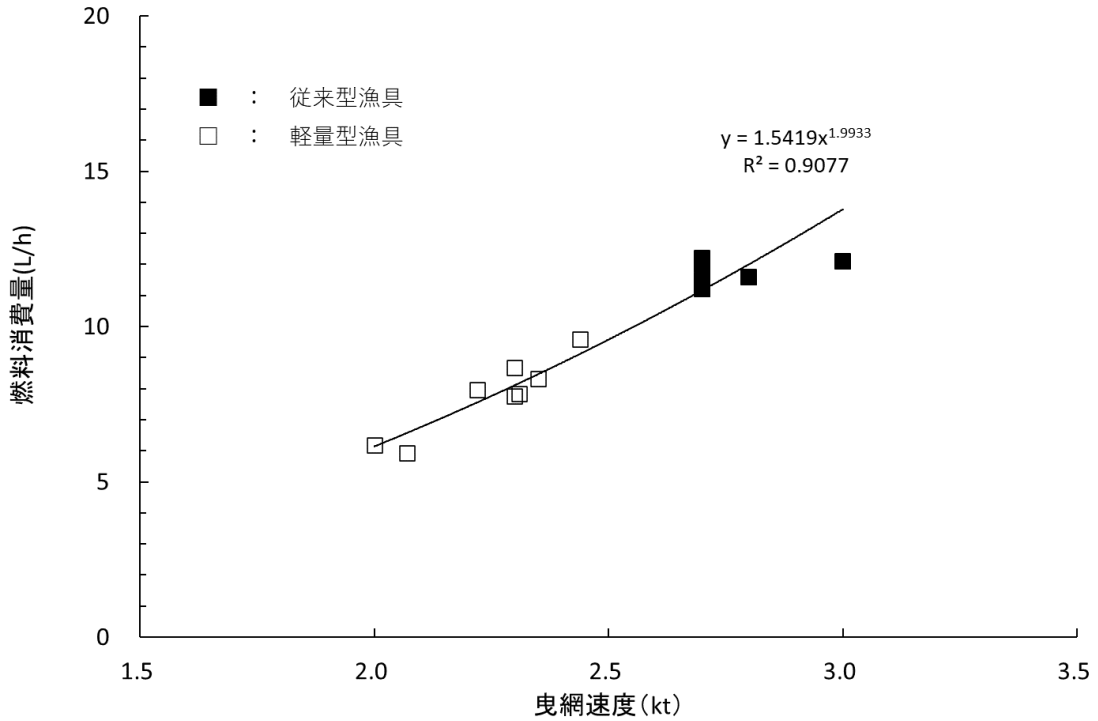
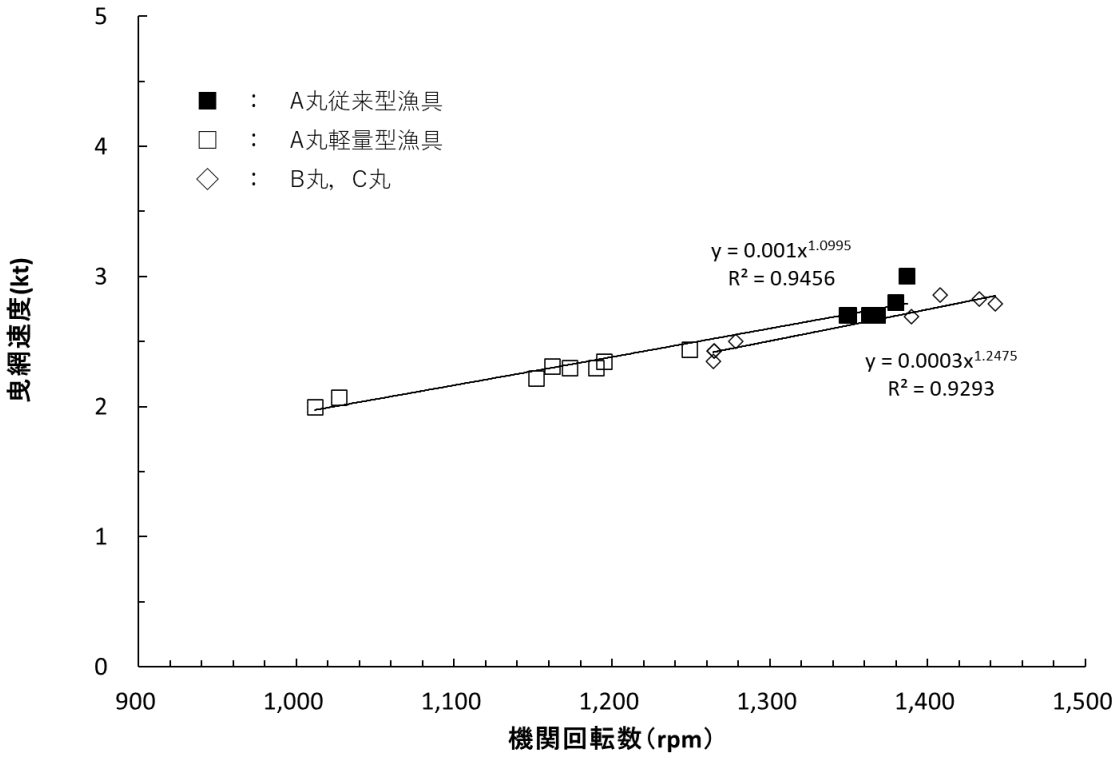


Fig.3-9　曳網速度に応じた燃料消費量（A 丸）



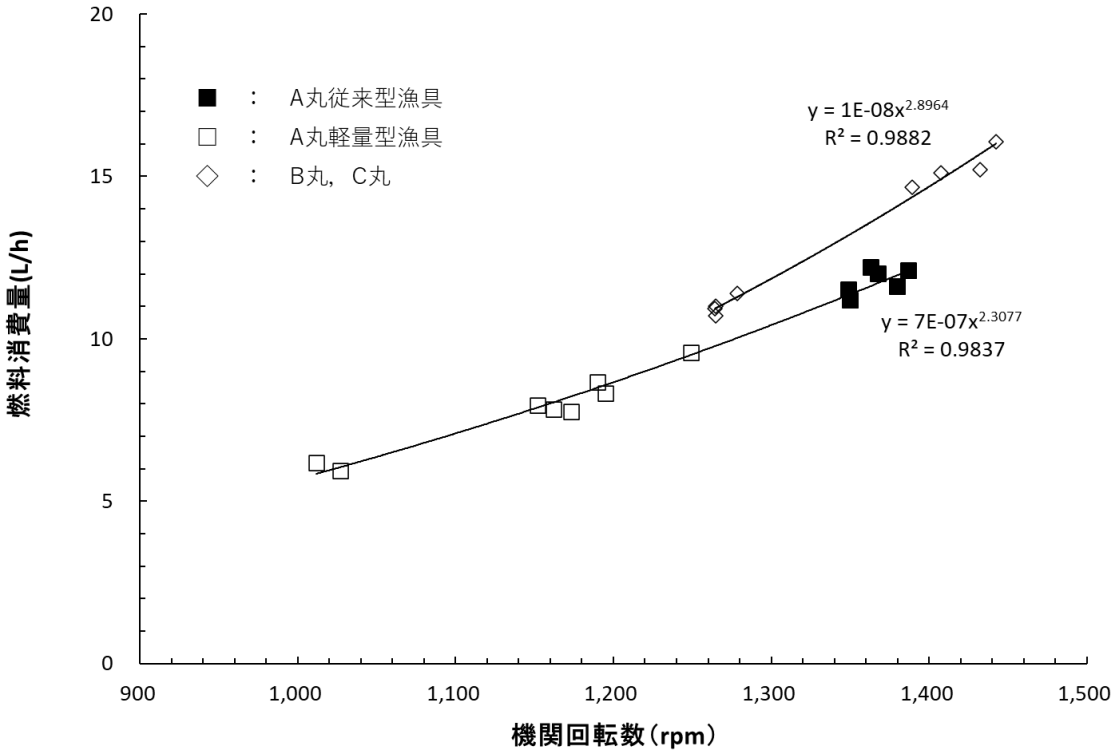


Fig.3-10　機関回転数に応じた曳網速度と燃料消費量（A 丸，B 丸，C 丸）

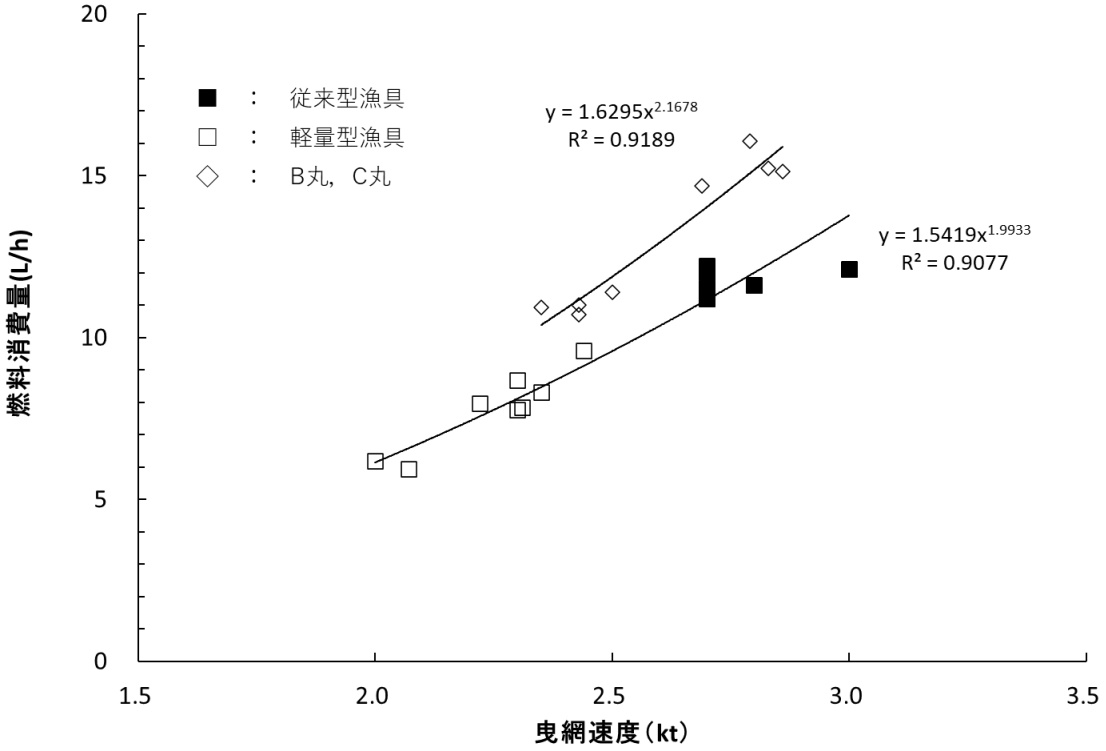
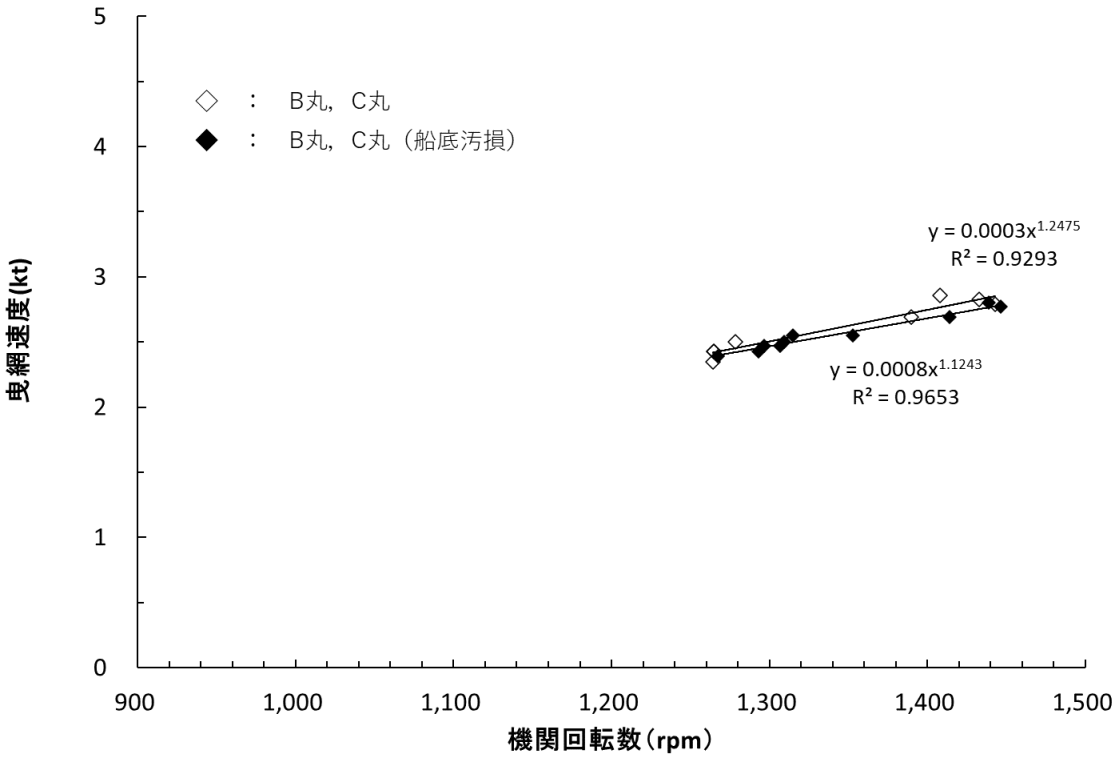


Fig.3-11　曳網速度に応じた燃料消費量（A 丸，B 丸，C 丸）



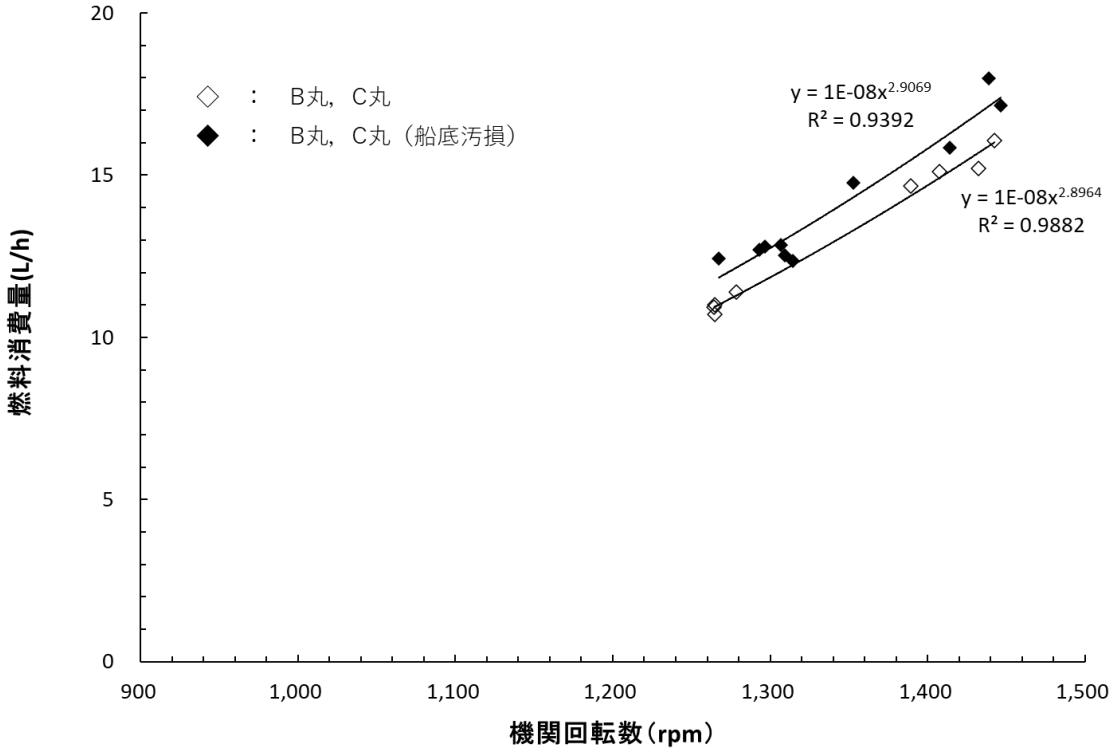


Fig.3-12　船底汚損状況を含む機関回転数に応じた曳網速度と燃料消費量（B 丸，C 丸）

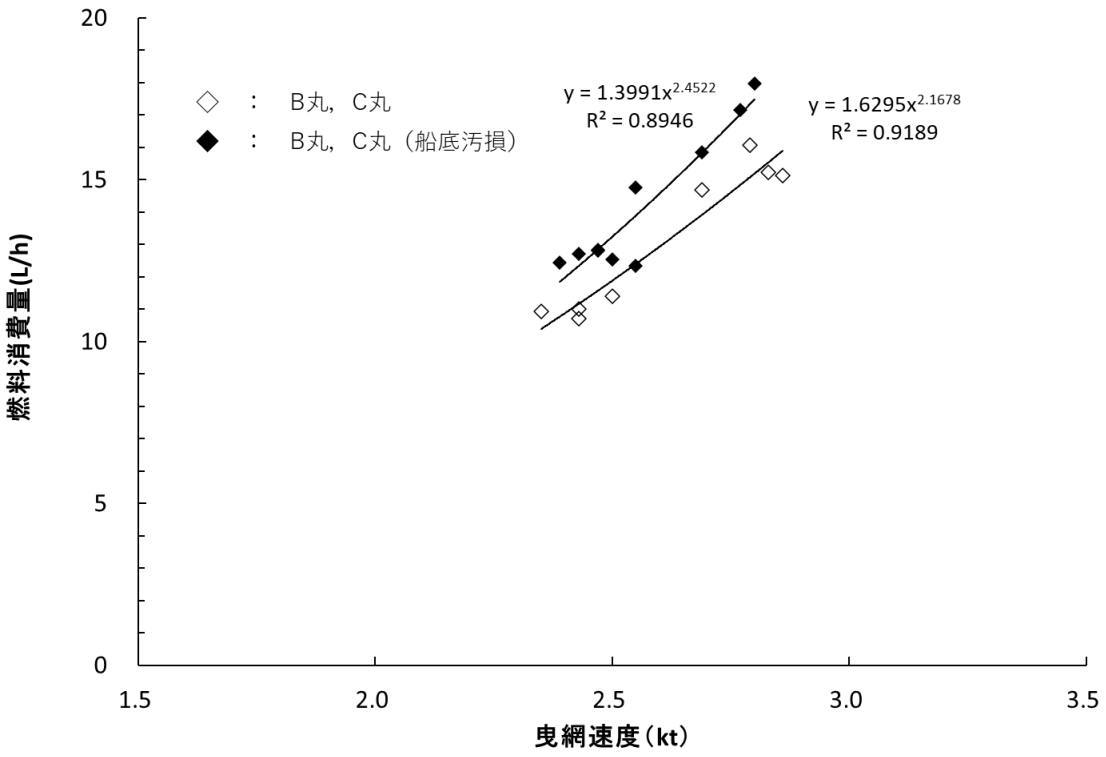


Fig.3-13　船底汚損状況を含む曳網速度に応じた燃料消費量（B 丸，C 丸）

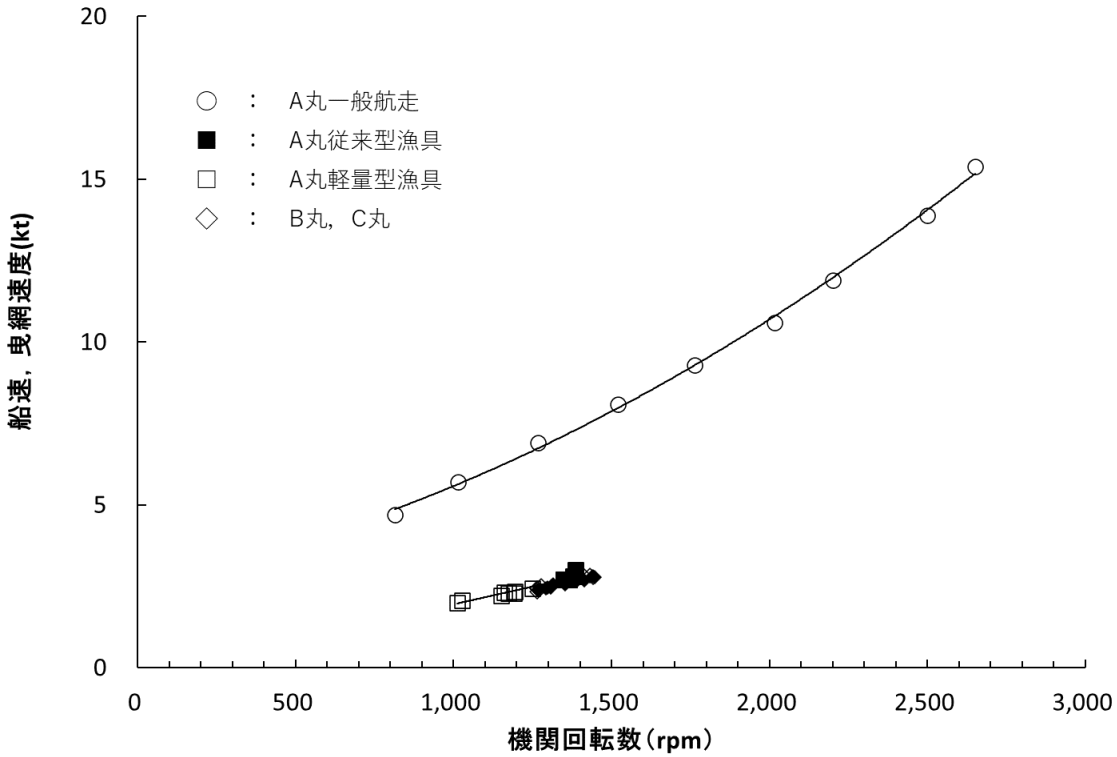


Fig.3-14　各状態における機関回転数に応じた船速，曳網速度（A 丸，B 丸，C 丸）

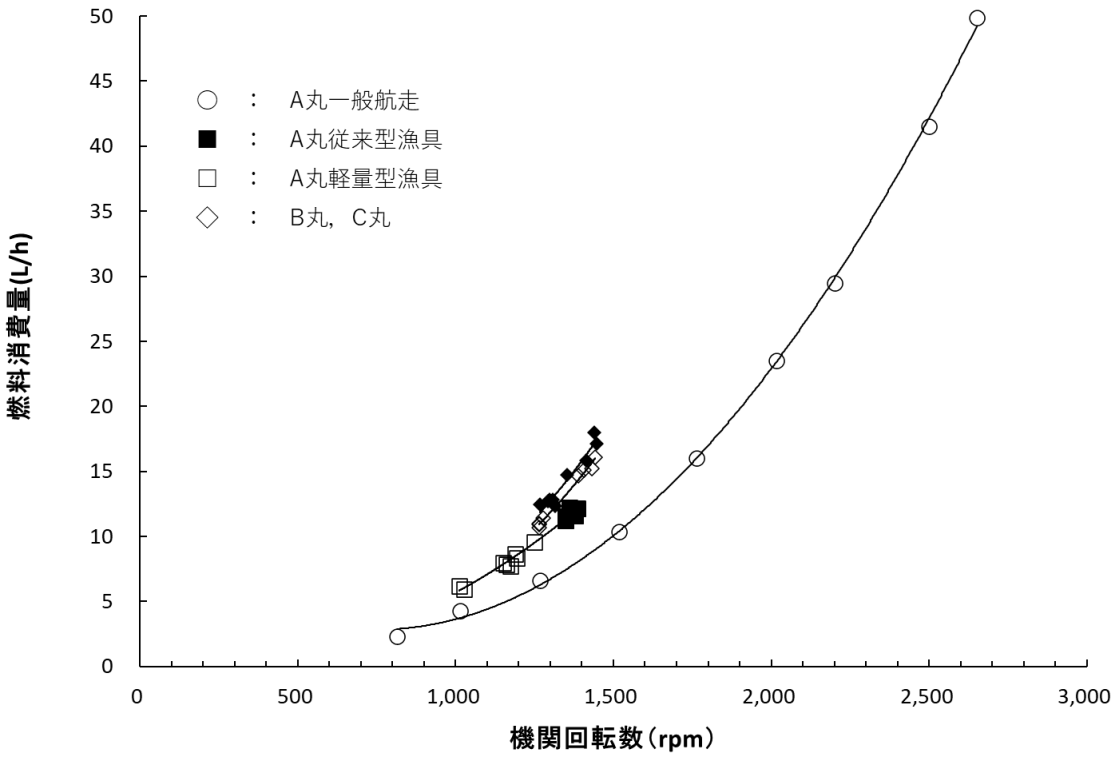


Fig.3-15　各状態における機関回転数に応じた燃料消費量（A 丸，B 丸，C 丸）

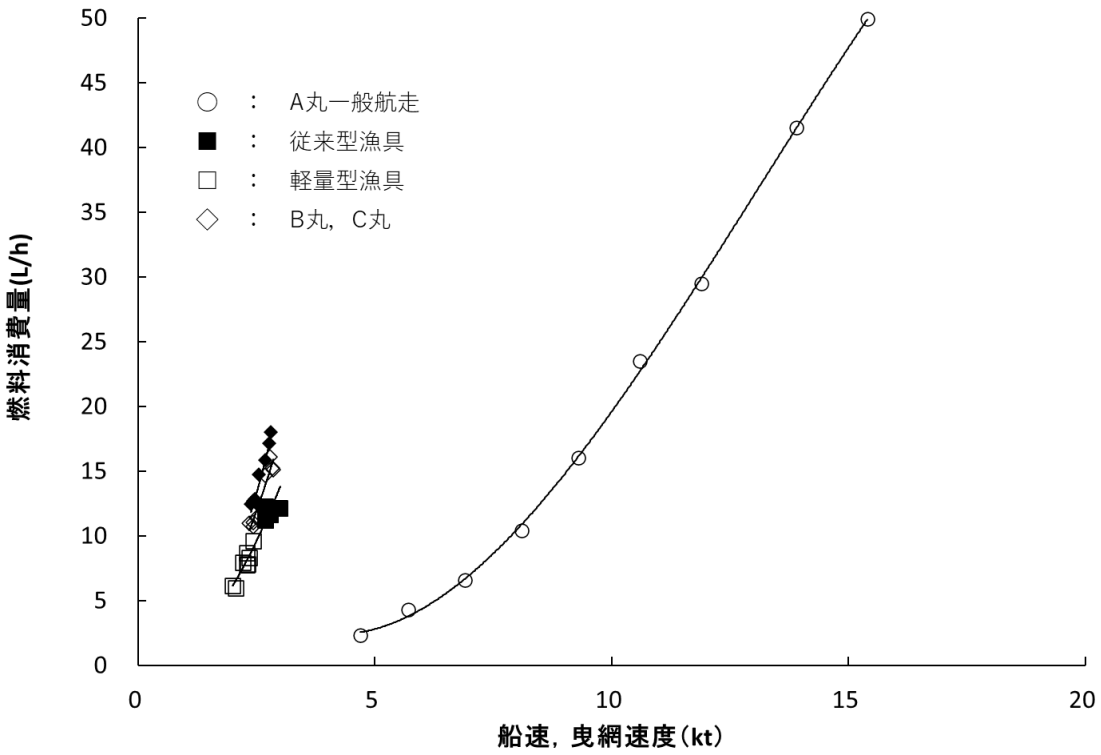


Fig.3-16　各状態における船速，曳網速度に応じた燃料消費量（A 丸，B 丸，C 丸）

第Ⅳ章　小型底びき網漁業における省力操業

漁船における労働は，陸上労働には見られない多くの特殊性を有している（川崎，1999）[86]。また，海上労働環境には，気象・海象影響で生じる船体動揺による人体影響が切り離せないものであることも指摘されている（濵口，1996）[27]。漁業者は，この様に指摘される特殊な労働環境下で漁労を行い，水産物を採捕することにより生計を立てている。Table 4-1 に，国土交通省「船員災害疾病発生状況報告（船員法第 111 条）集計書」（2013 年～2018 年）をもとに作成された，船員および陸上労働災害発生状況を千人率で示す。表中，林業が最も多く 22.4～31.2‰/年であった。次いで漁船が多く 11.6～13.5‰/年であった。漁船と同様に海上労働を行う一般船舶が 5.6～7.3‰/年であることと比較すると，小型の船型で大型の漁具や漁労機械を取り扱う漁船の労働環境の厳しさが伺える。

底びき網漁業は，長大な漁具を利用して効率よく漁業を行うものである。一方で，漁具重量が大きくなる傾向があり，漁具操作時の身体的負担が大きいとともに，網具が甲板上を勢いよく移動するため作業には危険を伴う。高橋は，各地における小型底びき網漁業[44,45]の労働実態の把握と改善について研究[43]を行った。投網，揚網，漁獲物選別工程における作業内容とともに，OWAS 法を用い作業が腰部におよぼす影響を明らかにし，身体負担軽減に向け作業姿勢の改善を提唱した。また，加藤ら[87]は，OWAS 法および腰部椎間板圧迫推定法を用い曳網漁業を対象として就業状況を調査し，作業負担は重さと移動距離が大きく影響し，特に腰部に負担が集中すると指摘した。

農林水産省は，令和元年度水産白書において，「漁業労働環境の改善に向けた取組」として次のような記述を行っている[88]。*「漁業労働における安全性の確保は，人命に関わる課題であるとともに，漁業に対する就労意欲にも影響します。これまでも，技術の向上などにより漁船労働環境における安全性の確保が進められてきましたが，漁業労働にはなお，他産業と比べて多くの危険性が伴います。このため，引き続き，安全に関する技術の開発と普及を通して，より良い労働環境づくりを推進していくことが重要です」*。記述のうち，特に就労意欲にかかる指摘部分の問題は，新規就業者の獲得や就業者の働きがいがにも影

響を及ぼすと考えられる。これらの改善がなされなければ，さらなる生産力の減少が危惧される。しかし，底びき網漁具の取り扱いは，依然として危険を伴う状況が続いている。また，長期的には身体的負担を蓄積させ腰部に障害をもたらすおそれを排除できない。今後，現場の要望に即した実効性のある省力化技術の導入とともに，安全性を向上させる研究を推進させる必要がある。

小型底びき網漁船による操業は，外海から内海の航路筋や港口周辺でも行われ，航行船舶との遭遇機会も多い。同漁業の労働実態に関する研究[43]によると，乗組員数は少数であり船長単独で操業を行うものも見られる。操業中の船長は，操船と漁具操作を並行して行うため，作業は煩雑であり身体的負担も大きい。底びき網漁具の投網作業および揚網作業にかかる身体的負担の軽減を図る方策として，漁具の軽量化や漁労機械などの利用があげられる。

前章までに，ビーム式小型底びき網漁具の模型実験を行い，曳網速度ごとの漁具特性について基礎的な知見を得るとともに，低速曳網を可能とする軽量型漁具による操業の省エネ効果を明らかにした。本章では，省力化を検討した第Ⅲ章に引き続き，九州北部沿岸において従来型漁具を用いて操業を行う漁船に対して省力化を図るために，従前の軽量型漁具により試験操業を実施し，作業労力などを評価した。さらに，操業の省力化を進めるためにトロールウィンチを搭載する漁船の操業実態を調査し，投網作業と揚網作業における船長の作業内容や作業場所の変化と省力効果について分析した[89]。

4-1　材料と方法

4-1-1　九州北部沿岸におけるビーム式小型底びき網操業

当該操業は，関門海峡西口に拡がる響灘，玄界灘，壱岐水道周辺とともに福岡湾湾口，唐津湾湾内などにおいて行われている。それらの操業海域は，沿岸の航路筋とともにアジア各方面およびロシアに続く海上交通路と接している。

ビーム式小型底びき網漁船に装備される主な漁労機械は，Fig.3-2 に示すサイドローラーおよびトロールウィンチである。その他に漁具吊り上げのためのデリックが装備される。

従来操業では，底びき網を曳網するためのワープの巻き取りや漁具吊り上げ用のロープ操作にサイドローラーを使用する。トロールウィンチを搭載し省力化を進める操業では，ワープおよび漁網の送出・巻き取りに同機械を使用する。漁具吊り上げ用のロープ操作には，前者と同じくサイドローラーを使用する。

4-1-2　漁労機械装備状況

2019 年 12 月，福岡県福岡市から佐賀県唐津市にいたる 12 漁港（志賀島，弘，奈多，伊崎，姪浜，芥屋，加布里，深江，福吉，唐房，湊，神集島）において，ビーム式小型底びき網漁船の甲板上装備を目視調査した。調査項目は，サイドローラー，トロールウィンチおよびデリックの装備状況とともにデリックについては設置位置も確認した。

在港していた小型底びき網漁船全 57 隻のうち，44 隻（77%）が漁労機械としてサイドローラーのみを装備する従来操業タイプであり，トロールウィンチを装備する漁船は 13 隻（23%）にとどまっていた。本ウィンチ装備の漁船にはサイドローラーも併せて装備されていた。デリックは全船に装備されており，設置位置は全船で船首甲板であった。

漁網操作位置は，従来操業は舷側および船首甲板である。トロールウィンチを装備する操業の同操作位置は主に船尾甲板であるが，一部の作業を舷側および船首甲板で行う。今後，前者を「舷側投揚網式」，後者を「トロールウィンチ式」と呼ぶ。なお，本章前半で「舷側投揚網式」における従来型漁具に対する軽量型漁具による操業の省力効果を，本章後半で「舷側投揚網式」（軽量型漁具）に対する「トロールウィンチ式」による省力効果と作業内容の変化について述べる。

4-1-3　供試漁船と操業方法

2011，2012，2014，2015 年に，Fig.3-1 に示す唐津湾東部の福岡県糸島市加布里地先の水深 15m～20 m の海域で，前章までに用いたビーム式小型底びき網漁船 A 丸（舷側投揚網式，乗組員数 2 名）および B 丸（トロールウィンチ式，乗組員数 2 名）により操業調査を行った。両船は前章までに示す供試漁船である。各船には航海中の動静と船上作業を記録するために，GPS ロガー（GL-50S　San Jose Technology Inc.）およびビデオカメラ（HDR-CX700V, DCR-SR87　SONY）を設置し全航程を計測した。操業方式ごとに，

作業内容および身体的負担を調べるために，収録した動画は 1 秒ごとに静止させ作業判定に用いた。両船の漁具構成のうち網口開口装置であるビームは，FRP 製，長さ 8 m，空中重量 40 kg であり，ワープ長は 150 m 程度で同等であった。底びき網の袖先から魚捕部であるコッドエンドにいたる網全長は， A 丸が約 20 m， B 丸が約 30 m であった。Fig.4-1(a)に舷側投揚網式（A 丸）の漁具配置概要を，Fig.4-1(b)にトロールウィンチ式（B 丸）のそれを示す。

(1)　舷側投揚網式の操業方法

Fig.4-2 に舷側投揚網式の投網方法を，Fig.4-3 に揚網方法を示す。なお，舷側投揚網式に示す従来型漁具と軽量型漁具の操業方法に差異はない。投網作業は，船底への漁具の潜り込みを防止するために作業舷を風上とし，機関による推進力を生じさせない様にクラッチ中立の漂泊状態で開始する。人力により舷側から重錘，グランドロープ，ヘッドロープ，身網およびコッドエンドを投入する（Fig.4-2-①）。その後，急速に左旋回するとともに前進力により得られた水流を利用し漁網を展張する（Fig.4-2-②）。このときの旋回直径は 40 m 程度であり，漁具は旋回内方に存在し船体も内方傾斜する。網成りが整い曳網針路に向首すると，舷側に吊り下げているビームのストッパーを開放し，ビームを自重で投下する。その後，漁具を船尾に移行するように操船する（Fig.4-2-③）。さらに，船尾甲板上にコイルダウンされているワープを船の前進力で送出し，所定の長さにセットして船尾曳網する（Fig.4-2-④）。なお，ワープ送出時の船速は最大で 8 kt 程度となった。

揚網作業は，減速し機関による推進力を生じさせない様にクラッチ中立とした漂泊状態で開始する。サイドローラーを使用し船尾からワープを巻き上げる（Fig.4-3-①）。ワープは次の投網に備えて船尾甲板上にコイルダウンする。この時の船の進行方向は，漁具抵抗が優勢であり船尾方向となる。ワープを半分程度巻き上げると，コッドエンドを船首甲板に揚収することを見据え左旋回する。その後，漁具巻き上げ位置を舷側に移行する（Fig.4-3-②，③）。引き続き，船尾甲板上にワープをコイルダウンするが舷側へのビーム取り付け（Fig.4-3-④），コッドエンドの取り込みは，舷側と船首甲板で行う（Fig.4-3-⑤）。コッドエンドの取り込みには，サイドローラーとデリックを使用し，その時船体は漁具側に横傾斜する。舷側投揚網

式の投網作業および揚網作業の様子をそれぞれ Fig.4-4，Fig.4-5 に示す。

(2)　トロールウィンチ式の操業方法

Fig.4-6 にトロールウィンチ式の投網方法を，Fig.4-7 に揚網方法を示す。投網作業は機関を前進にかけ投網針路に向首させ開始する。その後，船尾よりコッドエンドを投入し（Fig.4-6-①），トロールウィンチのブレーキ操作を行いながら船の前進力によりグランドロープやヘッドロープを含む漁網を送出する。この時の船速は最大で 7 kt 程度となった。漁具送出を進め袖先が船尾端に達するとブレーキをかけ，一旦送出を停止する。続いて，トロールウィンチを逆転させながらビームを片舷ずつワープに取り付ける（Fig.4-6-②）。両舷のワープにビームを取り付け終わると，再度ブレーキ緩めながら漁具を送出し，ワープを所定の長さにセットした後，船尾曳網する（Fig.4-6-③）。

揚網作業は，減速し機関による推進力を生じさせない様にクラッチ中立とした漂泊状態で開始する。トロールウィンチでワープを巻き取り（Fig.4-7-①），ビームに達すると投網とは逆の要領で片舷ずつビームを取り外す（Fig.4-7-②）。この時の船の進行方向は，漁具抵抗が優勢であり船尾方向となる。続いて，漁具の船底への潜り込みを防止するために微速前進をかけながら，ヘッドロープ，グランドロープと身網の一部をトロールウィンチに巻き取る。その後，舷側投揚網式と同様に，コッドエンドを船首甲板に揚収するために左旋回する（Fig.4-7-③）。トロールウィンチ式で網全長が 10 m 長い理由は，本工程で余裕をもって漁網を船首甲板に移行させるためである。コッドエンドの取り込みには，サイドローラーとデリックを使用し，その時船体は漁具側に横傾斜する（Fig.4-7-④）。一般に船尾トロール漁法を採用する場合，揚網作業を船尾甲板で行うと考えられる。しかし，当該漁船を含む九州北部沿岸域で操業する漁船は，コッドエンドを船首甲板に取り込むものであり，そのための工程数と作業時間を要していた。トロールウィンチ式の投網作業および揚網作業の様子をそれぞれ Fig.4-8，Fig.4-9 に示す。

4-2　結果 1　舷側投揚網式における従来型漁具に対する軽量型漁具の省力効果

4-2-1　投網作業および揚網作業時間

漁具ごとの投網作業時間および揚網作業時間をそれぞれ Fig.4-10，Fig.4-11 に示す。投網作業時間は，漁具投入開始からワープを所定の長さにセットし曳網開始するまでの時間とした。揚網作業時間は，曳網終了後，ワープ巻き取り開始からコッドエンドを甲板上に取り込むまでの時間とした。投網作業時間は，従来型漁具で 262～354 秒（平均 305 秒），軽量型漁具で 277～311 秒（平均 291 秒）であり，軽量型漁具で作業時間が短い結果となった。揚網作業時間は，従来型漁具で 551～582 秒（平均 566 秒），軽量型漁具で 525～568 秒（平均 542 秒）であり，軽量型漁具で作業時間が短い結果となった。投網作業については，作業時間に有意差はなかった（U 検定，$p>0.05$）。一方で，揚網作業については，作業時間に有意な差が見られた（U 検定，$p<0.05$）。

4-2-2　投網作業および揚網作業の煩雑さ

投網および揚網時の作業の煩雑さを確認するために，不破ら [53]の方法に従って煩雑度（C）式（4-1）を算出した。煩雑度は作業内容に示す何らかの操作を行った延べ作業時間（t_i）を作業開始から終了までの時間（T）で除して，全作業時間に占める実作業時間の比として算出したものである。

$$C = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{T} \tag{4-1}$$

船長による作業の煩雑度は，従来型漁具で投網 0.83，揚網 0.81 であり，軽量型漁具で投網 0.85，揚網 0.87 であった。船長は投網作業および揚網作業において，航海安全上の見張りを維持するとともに，操業特有の作業対応を要しており何らかの作業を行う割合が 8～9 割に上った。

4-2-3　投網作業および揚網作業の身体的負担

身体的負担の判定として，漁業現場における作業評価 [42-45,51,52,80,87,89]にも用いられてきた OWAS 法（Ovako Working Posture Analysing System）により，筋骨格系にかかる負担度（AC：Action Category）を算出した。負担度は背部の姿勢，上肢の状態，下肢の状

態，重さまたは力の 4 項目のパラメータによって算出される。判定は，「AC 1：改善は不要である」，「AC 2：近いうちに改善すべき」，「AC 3：できるだけ早期に改善すべき」，「AC 4：ただちに改善すべき」の 4 段階に評価される。すなわち，AC 値が大きいほど投網作業および揚網作業にかかる身体的負担が大きいと判断できる。作業による負担度の算出には OWAS 法解析支援ソフトの JOWAS[41]を使用した。1 秒ごとに求めた負担度を一連の作業において集計し，作業に要した時間で除した値を AC 平均値として検討に用いた。

投網作業および揚網作業のうち，ビームからコッドエンドにいたる漁具操作時の負担度(AC)を算出した。Fig.4-12，Fig.4-13 に漁具方式ごとに算出された負担度を示す。投網作業時の AC 平均値は，従来型漁具で AC 1.48～1.74（平均 1.64）であり，重錘，グランドロープの投入時に身体負担が大きくなっていた。軽量型漁具では， AC 1.48～1.57（平均 1.54）であり，身体的負担が低い結果となった。揚網作業時の AC 平均値は，従来型漁具で AC 1.35～1.55（平均 1.44），軽量型漁具で AC 1.17～1.25（平均 1.21）であり，軽量型漁具の身体的負担が低い結果となった。いずれの作業についても軽量型漁具で AC 平均値が低く，省力効果が確認された。

4-3　結果 2　舷側投揚網式に対するトロールウィンチ式の省力効果と作業変化

4-3-1　投網作業および揚網作業時間

操業方式ごとの投網作業時間および揚網作業時間をそれぞれ Fig.4-14，Fig.4-15 に示す。ここで示す舷側投揚網式の対象漁具は，省力効果の確認された軽量型漁具である。投網作業および揚網作業時間の範囲は，4-2-1 に示す同作業時間と同様である。

投網作業時間は，舷側投揚網式（軽量型漁具）で 277～311 秒（平均 291 秒），トロールウィンチ式で 162～215 秒（平均 188 秒）であり，トロールウィンチ式で作業時間が短い結果となった。揚網作業時間は，舷側投揚網式（軽量型漁具）で 525～568 秒（平均 542 秒），トロールウィンチ式で 638～742 秒（平均 677 秒）であり，舷側投揚網式（軽量型漁具）で作業時間が短い結果となった。いずれの作業についても両方式の作業時間に有意な差が見られた（U 検定，$p<0.01$）。

4-3-2　投網作業および揚網作業場所

トロールウィンチの導入による投網作業と揚網作業における船長の作業場所を把握するために，甲板上のスペースを「船橋，船橋後方，船尾甲板，船首甲板，舷側」に区分（Fig.4-16）し 1 秒ごとに記録した。ここで「船橋後方」とは，船橋後部の出入口外側を示す。同スペースには，舷側投揚網式では遠隔操船装置が設置されている。トロールウィンチ式では操船とトロールウィンチ操作を並行して行うことができる様に，遠隔操船装置や操作ハンドルなどが集約されている。

船長の作業場所を分析した結果を Table 4-2 に示す。投網作業において，舷側投揚網式における作業場所は，舷側 28.3%，船首甲板 28.2%，船橋後方 18.3%の順に多かった。トロールウィンチ式では，船橋後方が大半を占め 80.4%であり，次いで船尾甲板が 16.2%であった。揚網作業において，舷側投揚網式における作業場所は，船尾甲板が過半数を占め 53.5%，次いで舷側が 27.8%であった。トロールウィンチ式では，船尾甲板が過半数を超え 63.6%であり，次いで船橋後方が 22.6%であった。

さらに，トロールウィンチを搭載することによる，操業方式ごとの投網作業場所と揚網作業場所の変化の確認を進めた。Table 4-2 に示す舷側投揚網式とトロールウィンチ式における投網作業場所（船橋，船橋後方，船尾甲板，船首甲板，舷側）と揚網作業場所（船橋後方，船尾甲板，船首甲板，舷側）の累計(s)についてカイ二乗検定を行うとともにクロス集計表の残差分析を行った。カイ二乗検定を行った結果，操業方式ごとの投網作業および揚網作業場所に有意な差が見られた（$p<0.01$）。残差分析（$p<0.05$）を行った結果，投網作業は，舷側投揚網式で舷側，船首甲板，船橋における作業が有意に多かった。トロールウィンチ式では船橋後方，船尾甲板での作業が有意に多かった。揚網作業は，舷側投揚網式で舷側，船首甲板における作業が有意に多かった。トロールウィンチ式では，船橋後方，船尾甲板での作業が有意に多かった。トロールウィンチ式において，作業場所が船尾甲板と船橋後方に集約されていたことは，同装備の利用により船長が甲板上を移動する負担を軽減させる効果もあると推定された。

4-3-3　投網作業および揚網作業内容

トロールウィンチを設置することによる投網作業および揚網作業における船長の作業内容を把握するために，「操船，トロールウィンチ，操船・トロールウィンチ（の並行操作），重錘，グランドロープ，ビーム，ワープ・ロープ，漁網」に区分し 1 秒ごとに記録した。なお，重錘は舷側投揚網式のみに取り付けられていた。ワープ・ロープ操作はサイドローラーまたはトロールウィンチを介して行うものである。

操業方式ごとの投網作業および揚網作業内容を分析した結果を Table 4-3 に示す。投網作業において舷側投揚網式（軽量型漁具）は，操船 36.1%，漁網 22.1%，グランドロープ 19.8%，ワープ・ロープ 16.9%の順に多かった。トロールウィンチ式では，操船・トロールウィンチが大半を占め 70.7%となった。揚網作業において舷側投揚網式（軽量型漁具）は，ワープ・ロープが大半を占め 76.3%であり，次いで漁網が 17.9%であった。トロールウィンチ式は，ワープ・ロープ 45.1%，トロールウィンチ 33.4%の順に多かった。

さらに，トロールウィンチを搭載することによる，操業方式ごとの投網作業内容と揚網作業内容の相違点について確認した。Table 4-3 に示す舷側投揚網式（軽量型漁具）とトロールウィンチ式における投網作業内容（操船，トロールウィンチ，操船・トロールウィンチ，重錘，グランドロープ，ビーム，ワープ・ロープ，漁網）と揚網作業内容（操船，トロールウィンチ，操船・トロールウィンチ，ビーム，ワープ・ロープ，漁網）の累計(s)についてカイ二乗検定を行うとともにクロス集計表の残差分析（$p<0.05$）を行った。カイ二乗検定を行った結果，操業方式ごとの投網作業および揚網作業内容に有意な差が見られた（$p<0.01$）。残差分析を行った結果，投網作業は舷側投揚網式（軽量型漁具）で，操船，グランドロープ，漁網，ワープ・ロープ，重錘が有意に多く作業が多岐にわたっていた。トロールウィンチ式では，操船・トロールウィンチ，トロールウィンチ，ビーム操作が有意に多かった。揚網作業は舷側投揚網式（軽量型漁具）で，ワープ・ロープ，漁網，操船が有意に多かった。トロールウィンチ式では，トロールウィンチ，操船・トロールウィンチ，ビーム操作が有意に多かった。トロールウィンチ式で，漁具に直接触れる作業がトロールウィンチ操作に置き換えられるなど作業内容に変化が見られた。一方で，トロールウィンチ式でビーム操作が有意に多く，トロールウィンチの設置により，ビームの操作

時間が増加していることが伺えた。

4-3-4　投網作業および揚網作業の煩雑さ

船長による作業の煩雑度（式（4-1））は，舷側投揚網式で投網 0.85，揚網 0.87 であり，トロールウィンチ式で投網 0.92，揚網 0.74 であった。船長は投網作業および揚網作業において，航海安全上の見張りを維持するとともに，操業特有の作業対応を要しており何らかの作業を行う割合が 7～9 割に上った。

4-3-5　投網作業および揚網作業の身体的負担

投網作業および揚網作業のうち，ビームからコッドエンドにいたる漁具操作時の負担度(AC)を算出した。Fig.4-17，Fig.4-18 に，操業方式ごとに算出された負担度を示す。投網作業時の AC 平均値は，舷側投揚網式（軽量型漁具）で AC 1.48～1.57（平均 1.54）であり，重錘，グランドロープや網の投入時に身体負担が大きくなっていた。トロールウィンチ式では，人力に頼る漁具操作が大幅に解消され AC 1.04～1.19（平均 1.13）であり，身体的負担が低い結果となった。揚網作業時の AC 平均値は，舷側投揚網式（軽量型漁具）で AC 1.17～1.25（平均 1.21），トロールウィンチ式で AC 1.08～1.12（平均 1.10）であり，トロールウィンチ式の身体的負担が若干低い結果となった。いずれの作業についてもトロールウィンチ式で AC 平均値が低く省力効果が確認された。

4-4　考察

九州北部沿岸の福岡県糸島市加布里地先において，ビーム式小型底びき網操業について舷側投揚網式における従来型漁具と軽量型漁具ならびに舷側投揚網式（軽量型漁具）とトロールウィンチ式の操業方法などの実態調査を行った。軽量型漁具の投網作業および揚網作業は，従来型漁具と同様の漁具構成であるため，既存の漁労設備を用いて支障なく作業を行なうことができた。投網作業に要す時間は従来型漁具では 305 秒，軽量型漁具は 291 秒であり，揚網作業に要す時間はそれぞれ 566 秒，542 秒であった。

一連の投網作業，揚網作業において，身体的負荷が最大となる作業内容としてはビームに装着された重錘の投入，揚収作業であった。この作業のみを OWAS 法により解析す

ると，従来型漁具では AC3 に分類され，軽量型漁具では AC2 に分類された。これらの影響を受け，この作業における AC 平均値は，従来型漁具では 2.2 であったのに対して，軽量型漁具のそれは 1.8 であった。今回の軽量型漁具における作業労力軽減効果については，ビームに装着される重錘重量とグランドロープ重量を軽減した要因が影響したと考えられる。一連の作業時間の中に占める重錘重量の影響を受ける作業時間は僅少であるが，作業者に対しては持ち上げる物体の重量を軽減することは有効であると考えられる。グランドロープ取り扱い作業時は，重量の軽減が作業労力を改善させるばかりでなく，同部分の海中への送出速度が低下すると作業安全にも寄与するものと考えられた。

投網作業および揚網作業においてトロールウィンチ式では，舷側投揚網式に比べて投網作業時間が短く，また投網作業および揚網作業場所の集約が確認され，船長の甲板上移動負担が軽減されたと推定された。さらに，作業時の身体的負担の軽減が確認され，漁労機械（トロールウィンチ）利用による省力効果が認められた。一方で，揚網作業時間は舷側投揚網式が短い結果となり，トロールウィンチ利用により，むしろ作業時間が長くなった。しかし，トロールウィンチ式において，網全長が舷側投揚網式の約 1.5 倍であったことを考慮すると，その差は縮小すると考えられる。両操業方式ともに投網に比べると揚網作業時の AC 平均値が低い結果となった。これは，漁具投入に比べ本質的に負荷が大きい巻き上げ工程において，身体的負担が過大とならない様に人力に頼ることをできるだけ避け，サイドローラーとトロールウィンチを適切に使用したためと考えられる。

ここでは，トロールウィンチ使用による省力効果をさらに向上させるために，以下の検討を行った。併せて，航海と操業の安全に関して漁業者から得られた意見の一部を紹介する。

4-4-1　漁具吊り上げ位置の検討

本研究で目視調査した漁船の漁具吊り上げ位置は，全て船首甲板であった。トロールウィンチ式の揚網作業において，漁網の巻き取り位置を船尾から船首に移行する作業に着目すると，移行に要した時間は 37～46 秒（平均 41 秒）であった。したがって，他の地域で見られるようにデリックの設置位置（Fig.4-19）を船尾とし，漁具巻き取りを同甲板で

完結させると，作業時間を約 1 割減少できるものと期待される。これは，作業位置移行のための旋回により生ずる船体動揺や，作業を中断し操船する煩わしさを改善させることにもつながる。さらに，舷側からコッドエンドを吊り上げることにより生ずる船体傾斜を軽減させ，操業の安全性が向上すると考えられる。

4-4-2　ビーム架け替え作業の検討

投網作業および揚網作業において，トロールウィンチ式による省力効果が確認された。一方で，網口開口装置であるビームの架け替え作業に着目すると，その作業時間は舷側投揚網式（軽量型漁具）では投網 1～2 秒（平均 2 秒），揚網 2～11 秒（平均 6 秒）であったのに対して，トロールウィンチ式ではそれぞれ 43～58 秒（平均 53 秒），81～99 秒（平均 89 秒）であり，トロールウィンチ式で作業時間が長かった。長大で重いビームの取り扱いに時間を要すことは，作業負担の増大や本作業に注力することによる周囲の航行環境への注意力の低下などが懸念される。本工程の作業改善には，網口開口装置を棒状のビームから，トロールウィンチに直接巻き取ることのできるキャンバス製のカイトと呼ばれる柔構造拡網装置 [18-20,51-53,78,79,90-92]の導入が効果的と考えられる。同装置は，中層トロール網や漁業資源調査用トロール網において，網口開口装置として現場利用されている。また，大学の漁業練習船において，網口開口装置をビームからカイトに転換した場合の省力効果[53]も報告されている。しかし，現行の漁業法や各都道府県の漁業調整規則などよる規制により，現状ではビーム式小型底びき網漁業への導入は困難である。今後，適切な資源管理を前提とした，産官学の連携に基づいた導入への検討が期待される。

4-4-3　漁業者から得た操業漁船と航行船舶の安全にかかる情報

漁労に従事する船舶と付近航行船舶間に見合い関係や衝突のおそれが生じた場合，海上衝突予防法などの関係法令に基づいて適切な動作をとる必要がある。操船者は，各種船舶間の航法遵守とともに，操船判断を行う上で事前に漁法などに関する知識を入手していることは重要である。操業漁船と遭遇し何らかの操船判断を要す際には，自身の経験の他に，船長・熟練船員からの助言，既往の資料 [93-95]や操業図などを活用しているものと考えられる。ここでは，小型底びき網漁船操業と航行船舶の安全にかかる相互理解を進める

ことを目的に，当該漁業者から得た操業の特殊性にかかる情報の一部について紹介する。

・投網および揚網時の船長は，操船とともに漁具操作を行っており作業が煩雑である。船長の安全に対する意識は，周囲航行環境とともに甲板上の乗組員および漁具に向けられており，注視対象が多岐にわたっている。
・操業中は，漁具のプロペラへの絡みや漁具事故を防止するために，急激な針路変更や減速は困難である。特に機関を後進に入れることは極めて危険である。
・曳網中の漁具仕様に対する大幅な減速は，沈子類で海底の泥土をせん掘する恐れを生じる。大量の泥土が入網すると漁獲物の商品価値低下を招くばかりでなく，漁具揚収が極めて困難となり，漁具事故・海難事故につながる恐れを生じる。
・漁具を吊り上げる際に，他船の引き波による影響を受けると船体傾斜が増大する。甚だしい場合は，甲板上への海水流入や海中転落の恐れを生じる。
・甲板上に遠隔操船装置を設置している場合も見られる。船橋に人影が無い場合でも針路，速度が変更されることがある。
・ワープの延びる船尾付近を通過されると不安である。特に投網および揚網時は漁網が海面近くに浮遊している場合もあり，航行船舶の推進器に接触する恐れもある。

一般航行船舶は，航行中に小型底びき網漁船に遭遇した場合，本研究に示す結果や操業の特殊性などを理解した上で操船判断ができれば，両者の安全性が高まると考えられる。

Table 4-1　業種ごとの労働災害発生状況

単位：千人率（‰）

年度		2013	2014	2015	2016	2017	2018
陸上労働者（全産業）		2.3	2.3	2.2	2.2	2.2	2.3
	林業	28.7	26.9	27.0	31.2	32.9	22.4
	鉱業	12.0	8.1	7.0	9.2	7.0	10.7
	運輸業（陸上貨物）	8.3	8.4	8.2	8.2	8.4	8.9
	建設業	5.0	5.0	4.6	4.5	4.5	4.5
船員（全船種）		9.5	9.7	8.7	8.5	7.9	8.4
	漁船	13.5	13.5	11.9	12.8	11.6	12.7
	一般船舶	7.1	7.3	7.0	6.5	6.2	5.6

資料：国土交通省「船員災害疾病発生状況報告（船員法第 111 条）集計書」

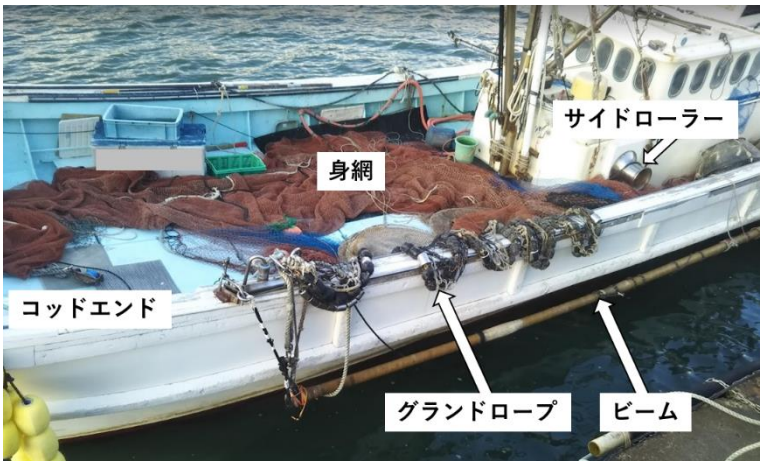
水産白書掲載資料をもとに作成

Table 4-2　投網作業および揚網作業における船長の作業場所

	作業場所	舷側投揚網式（軽量型）（6回）			トロールウィンチ式（6回）		
		累計(s)	平均(s)	比率(%)	累計(s)	平均(s)	比率(%)
投網	船橋	226	38	13.0	0	0	0.0
	船橋後方	319	53	18.3	905	151	80.4
	船尾甲板	212	35	12.2	182	30	16.2
	船首甲板	492	82	28.2	38	6	3.4
	舷側	493	82	28.3	0	0	0.0
揚網	船橋	0	0	0.0	0	0	0.0
	船橋後方	131	22	4.0	918	153	22.6
	船尾甲板	1,740	290	53.5	2,585	431	63.6
	船首甲板	479	80	14.7	525	88	12.9
	舷側	904	151	27.8	34	6	0.8

Table 4-3　投網作業および揚網作業における船長の作業内容

	作業内容	舷側投揚網式（軽量型）（6回）			トロールウィンチ式（6回）		
		累計(s)	平均(s)	比率(%)	累計(s)	平均(s)	比率(%)
投網	操船	538	90	36.1	93	16	9.0
	トロールウィンチ	―	―	―	77	13	7.4
	操船・トロールウィンチ	―	―	―	735	123	70.7
	重錘	66	11	4.4	―	―	―
	グランドロープ	295	49	19.8	0	0	0.0
	ビーム	10	2	0.7	87	15	8.4
	ワープ・ロープ	252	42	16.9	16	3	1.5
	漁網	329	55	22.1	31	5	3.0
揚網	操船	131	22	4.6	84	14	2.8
	トロールウィンチ	―	―	―	1,010	168	33.4
	操船・トロールウィンチ	―	―	―	111	19	3.7
	重錘	0	0	0.0	―	―	―
	グランドロープ	0	0	0.0	0	0	0.0
	ビーム	33	6	1.2	93	16	3.1
	ワープ・ロープ	2,159	360	76.3	1,364	227	45.1
	漁網	506	84	17.9	362	60	12.0



(a)

(b)

(a) 舷側投網式の船首甲板・舷側配置（A 丸），(b) トロールウィンチ式の船尾甲板配置（B 丸）

Fig.4-1　供試漁船の主な甲板上配置

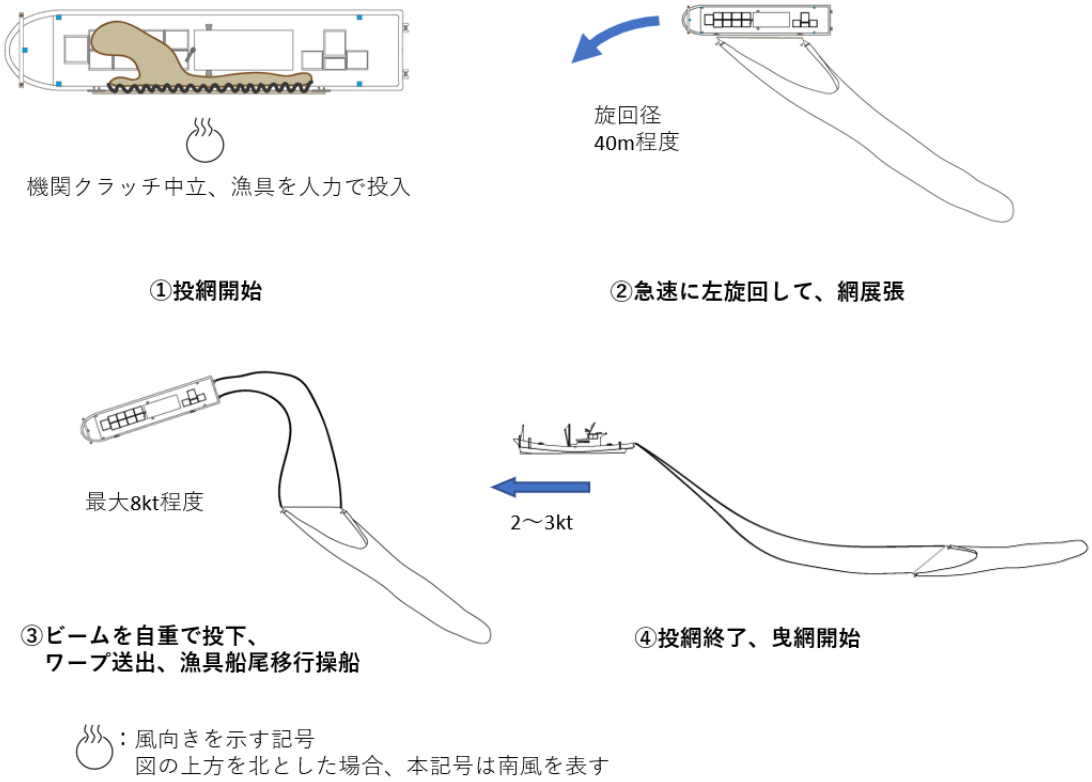


Fig.4-2　舷側投揚網式の投網方法（A 丸）

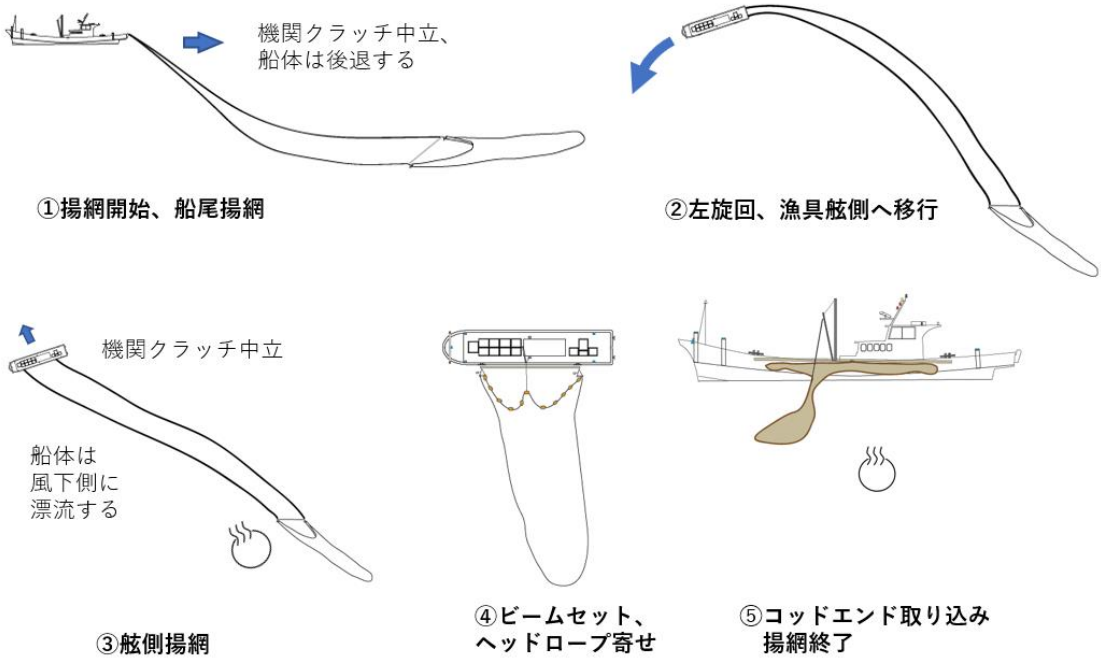


Fig.4-3　舷側投揚網式の揚網方法（A 丸）

①重錘投入，②グランドロープ投入，③身網，コッドエンド投入，④ビームを自重で投下

Fig.4-4　舷側投揚網式の投網作業の様子（A 丸）

①ビームセット，②身網引き寄せ，③コッドエンド取り込み，④グランドロープ取り込み，⑤重錘取り込み

Fig.4-5　舷側投揚網式の揚網作業の様子（A 丸）

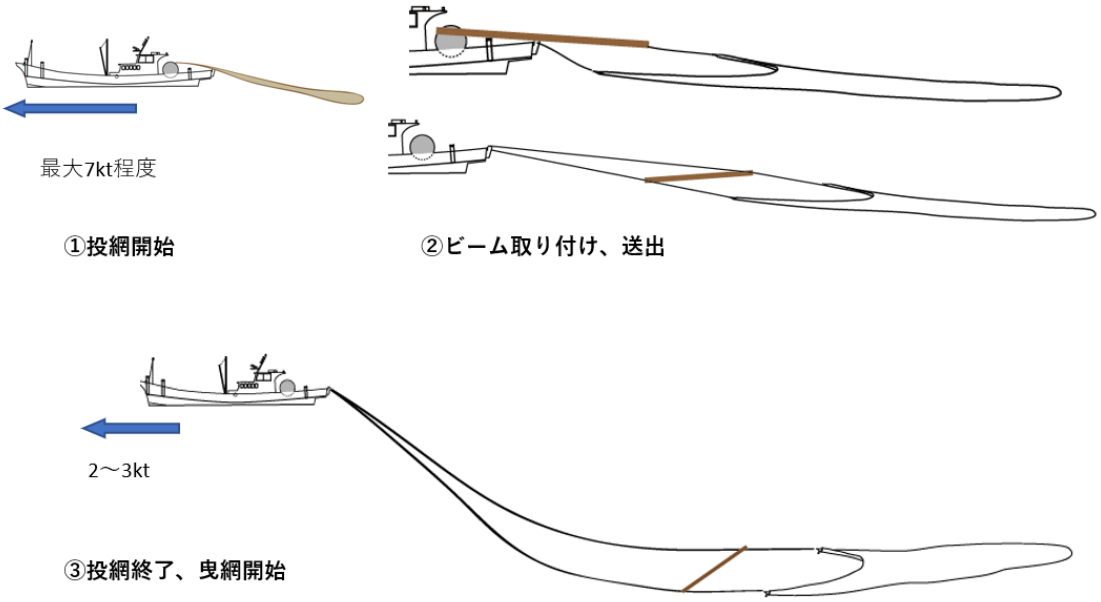


Fig.4-6　トロールウィンチ式の投網方法（B 丸）

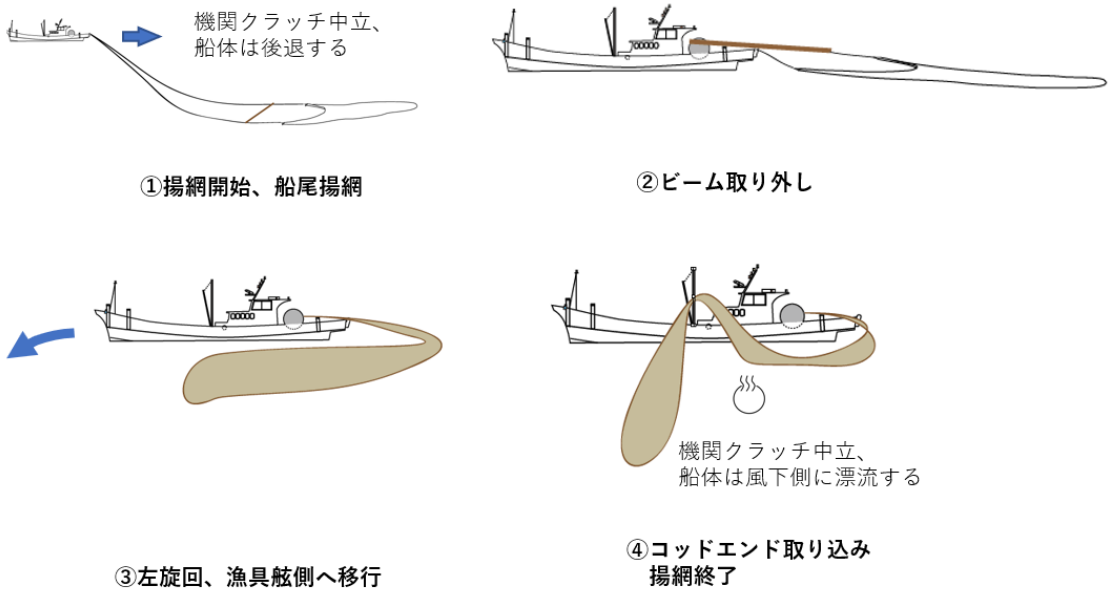
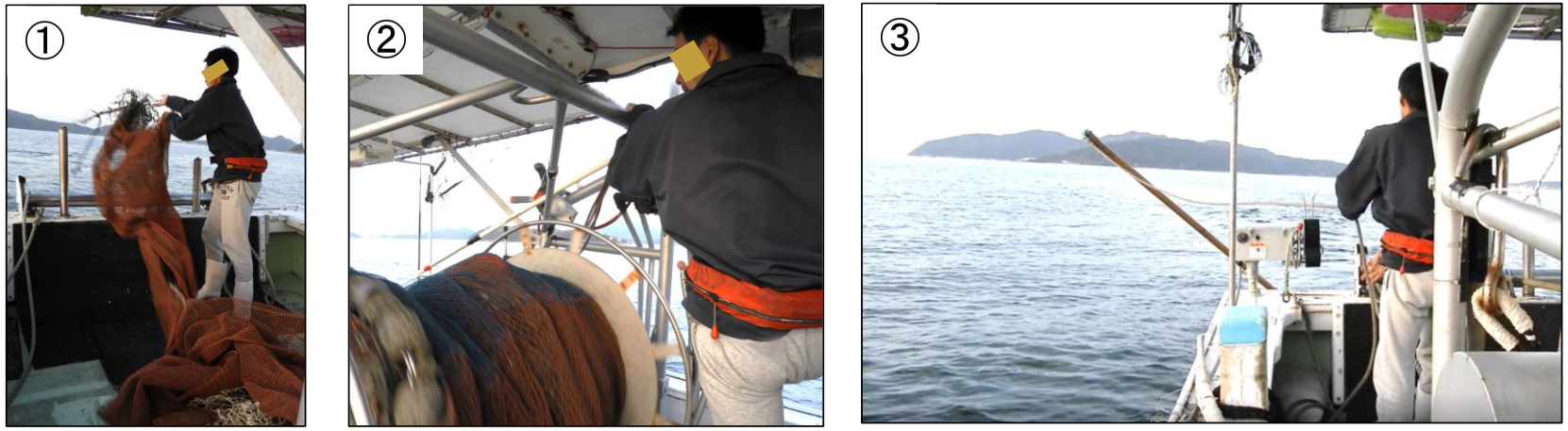


Fig.4-7　トロールウィンチ式の揚網方法（B 丸）



①コッドエンド投入，②漁具送出，トロールウィンチ操作，③ビーム取り付け

Fig.4-8　トロールウィンチ式の投網作業の様子（B 丸）

①漁具巻き揚げ，トロールウィンチ操作，②グランドロープ巻き揚げ，③身網引き寄せ，④コッドエンド取り込み

Fig.4-9　トロールウィンチ式の揚網作業の様子（B 丸）

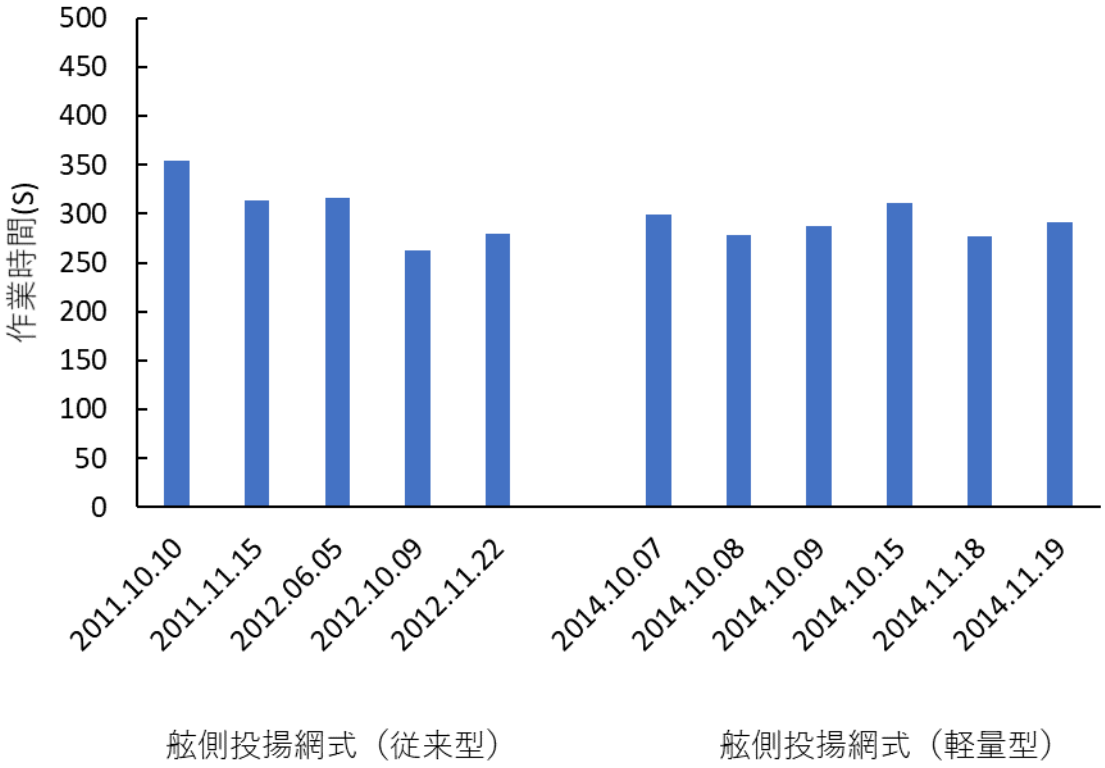


Fig.4-10　漁具ごとの投網作業時間

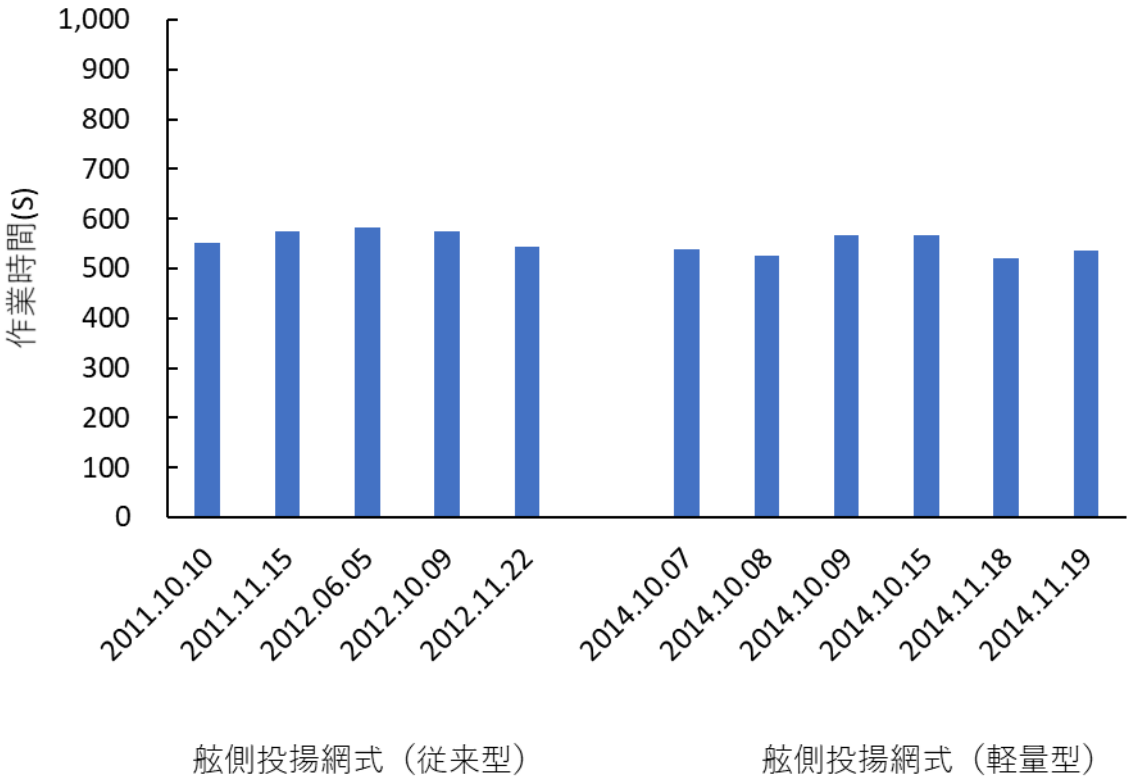


Fig.4-11　漁具ごとの揚網作業時間

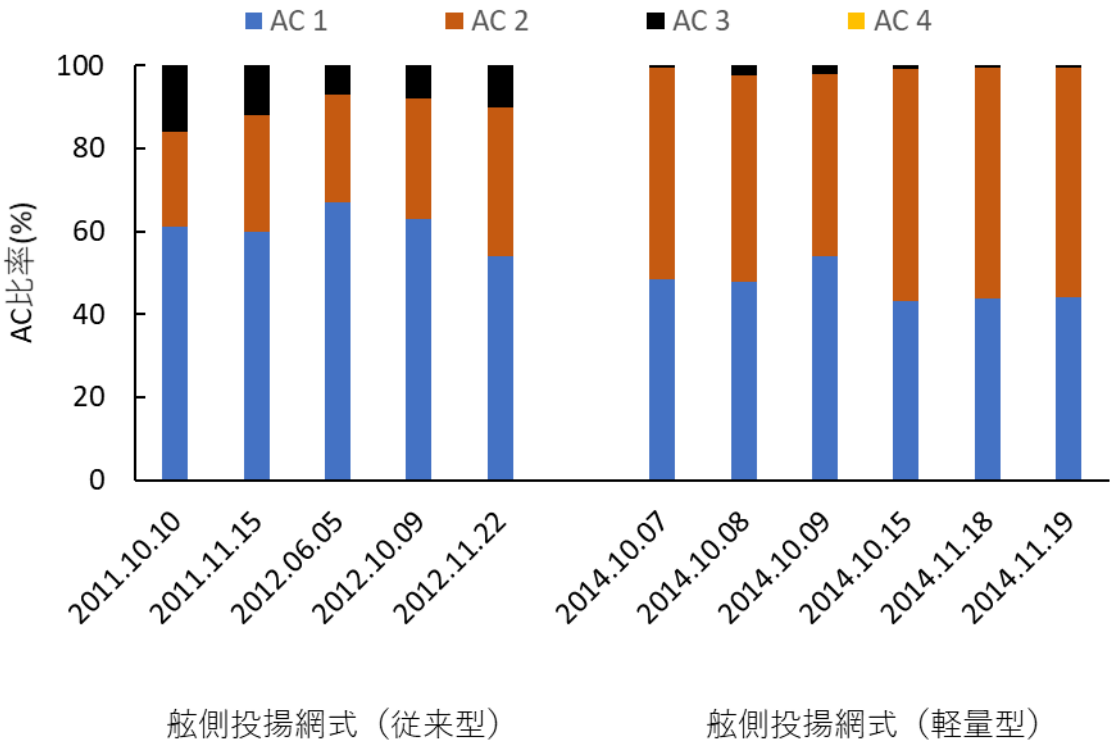


Fig.4-12　漁具ごとの投網作業における船長の負担度（AC）

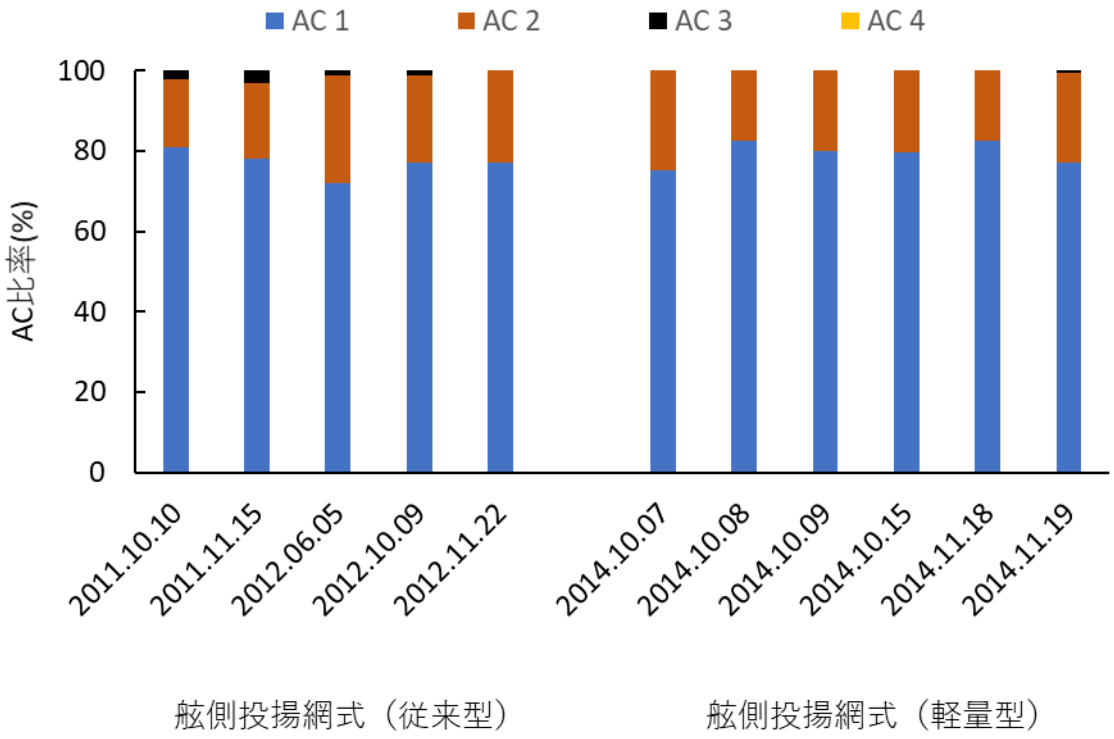


Fig.4-13　漁具ごとの揚網作業における船長の負担度（AC）

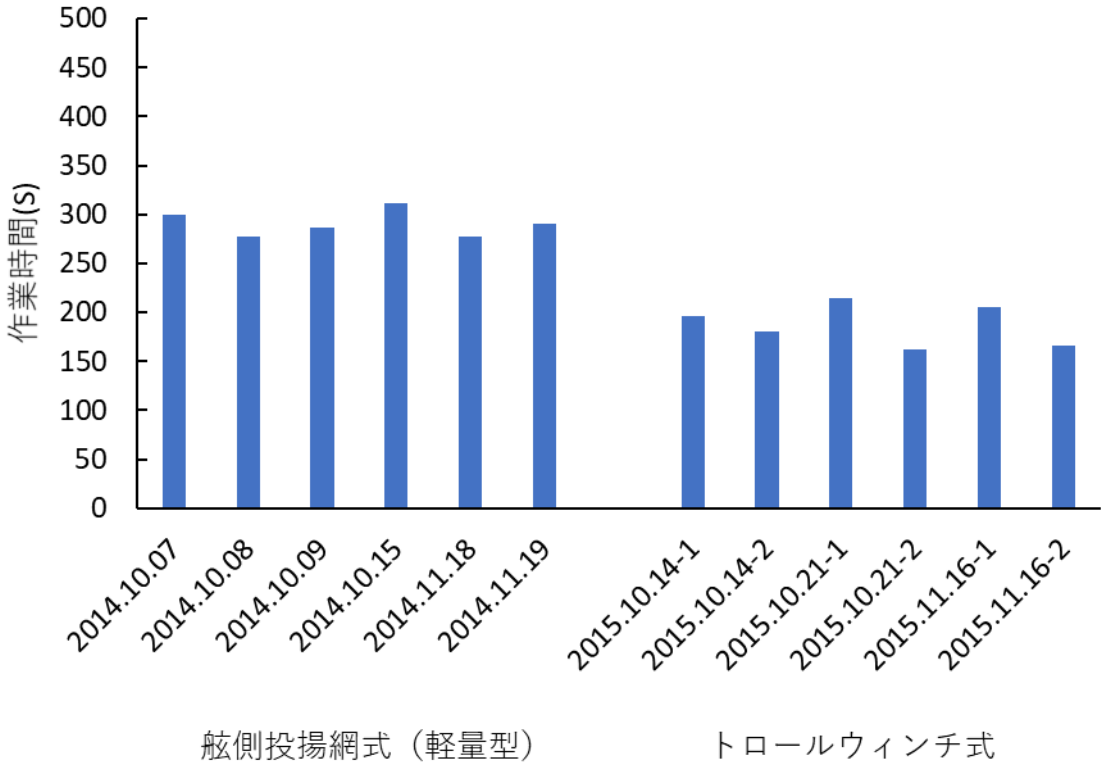


Fig.4-14　操業方式ごとの投網作業時間

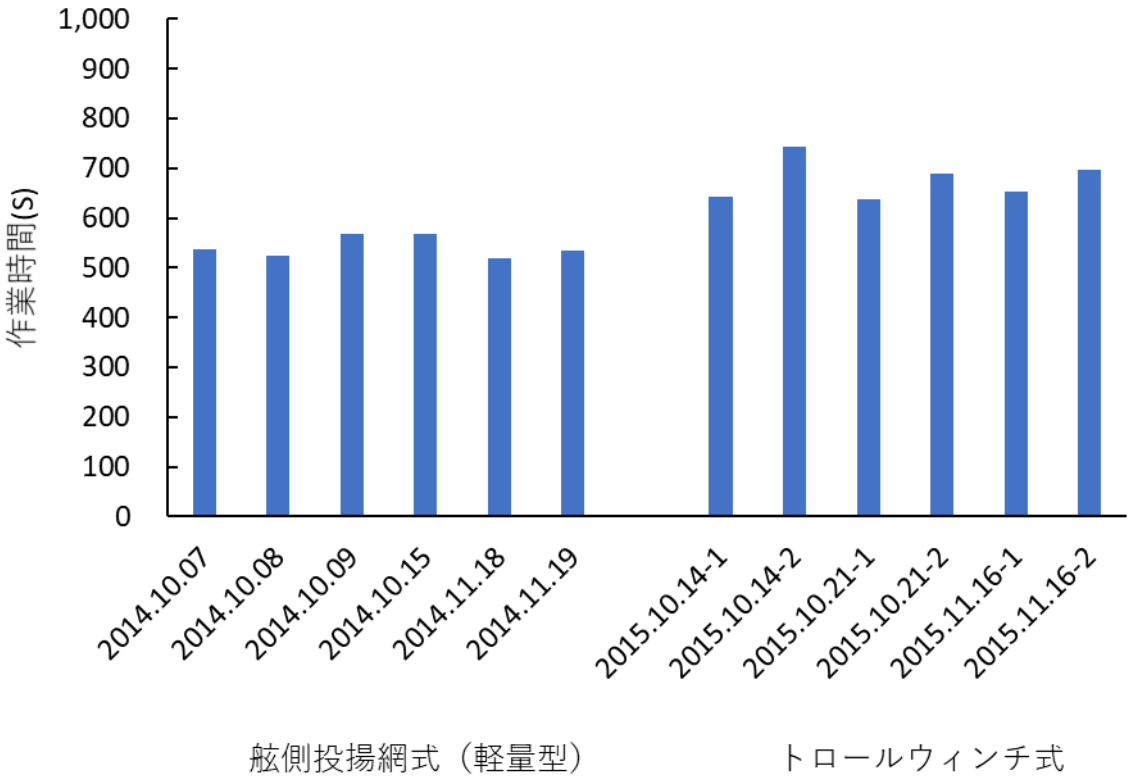


Fig.4-15　操業方式ごとの揚網作業時間

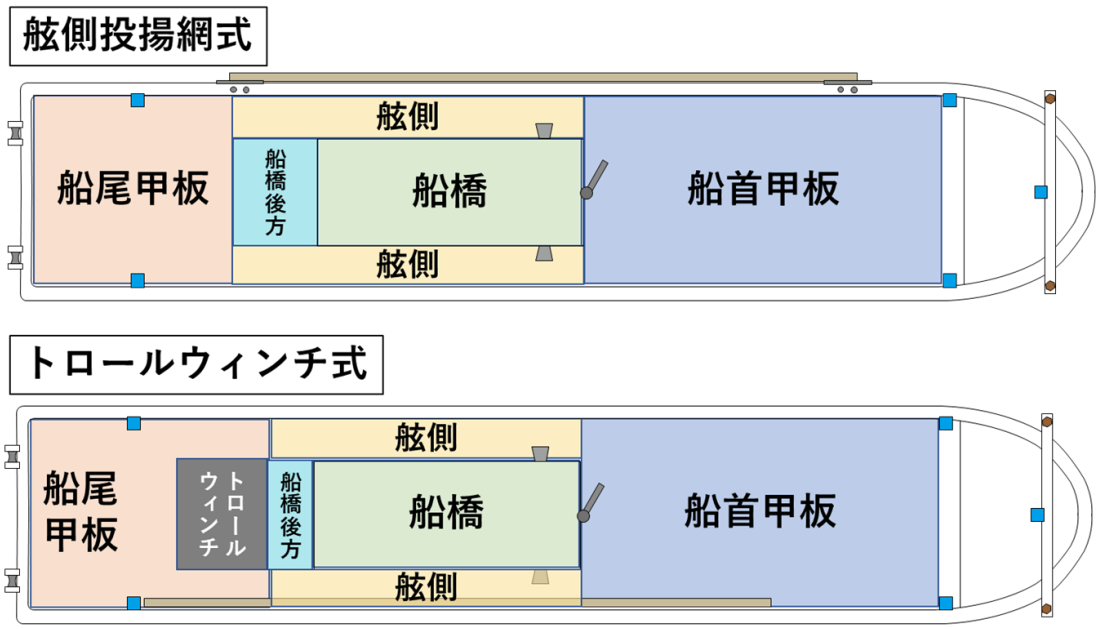


Fig.4-16　甲板上の作業場所配置

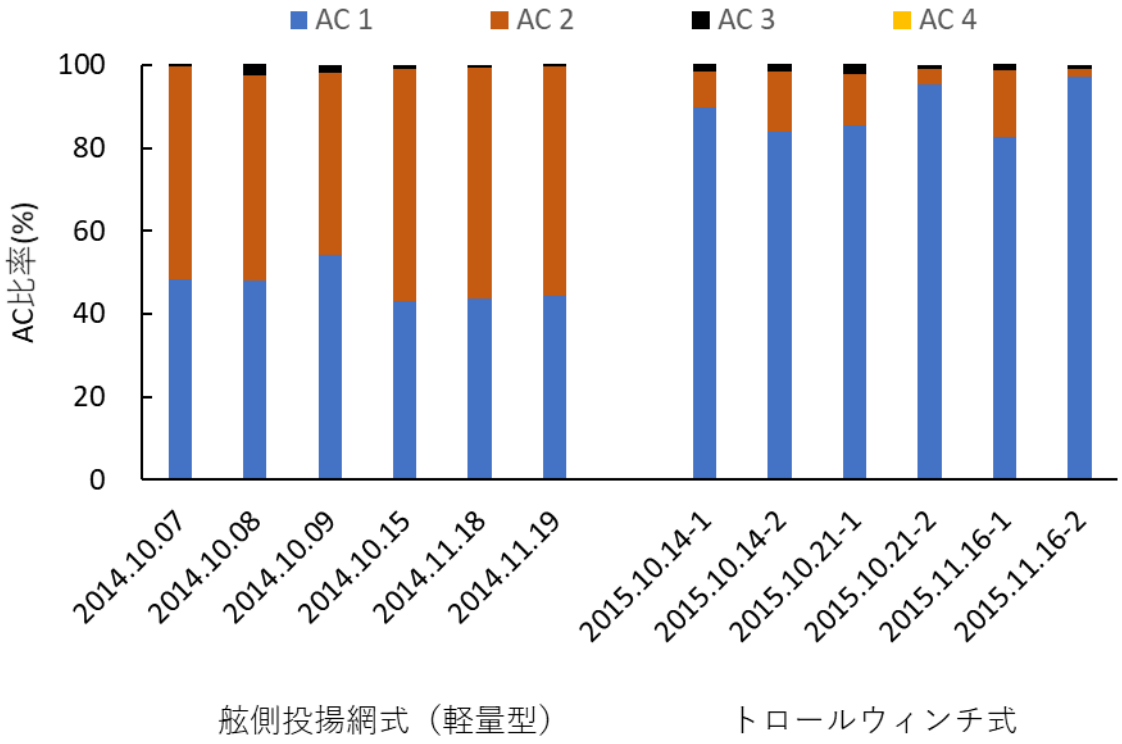


Fig.4-17　操業方式ごとの投網作業における船長の負担度（AC）

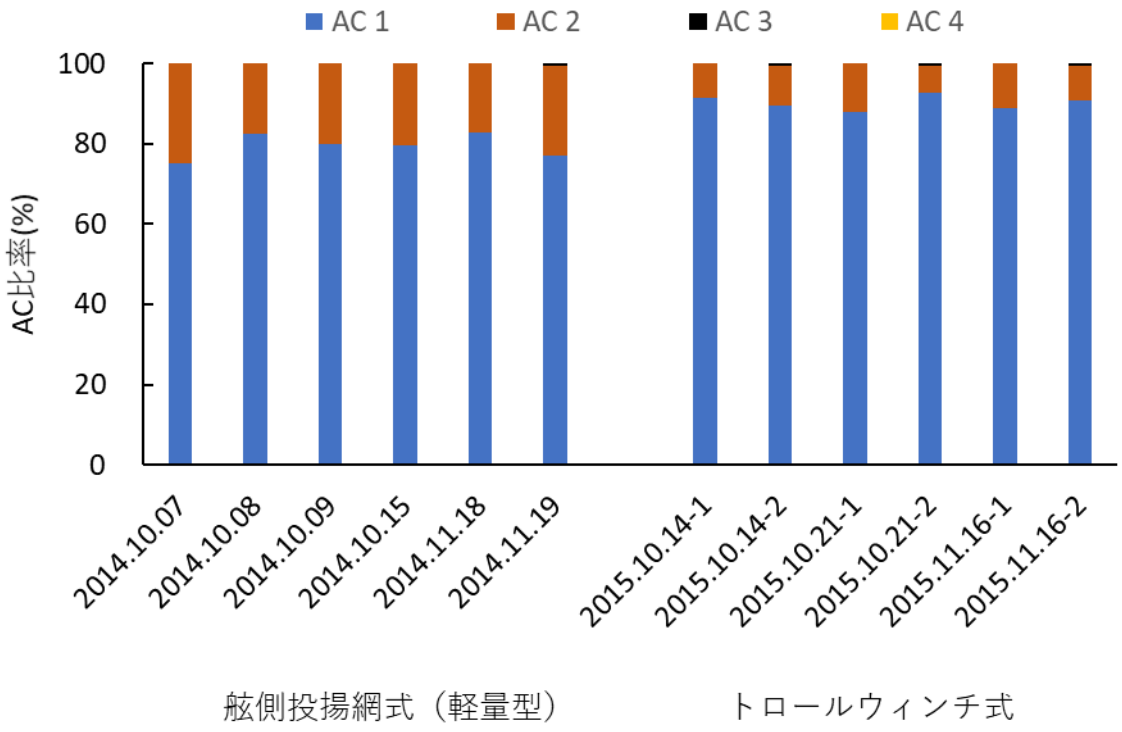


Fig.4-18　操業方式ごとの揚網作業における船長の負担度（AC）

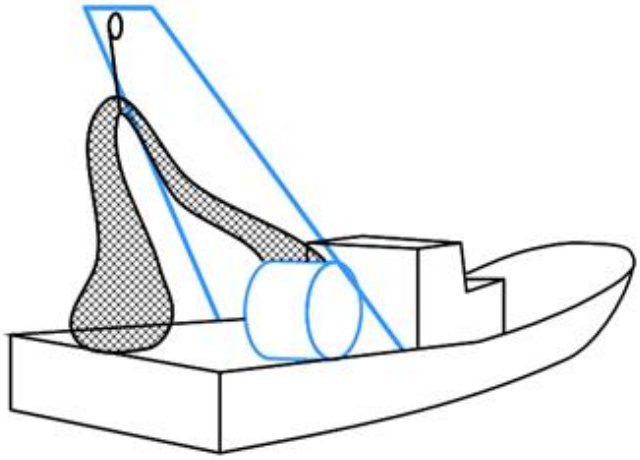


Fig.4-19　デリックを船尾に備えるタイプ

第Ⅴ章　漁家経営の持続安定化に向けた操業の省エネ・省力化に関する考察

昨今の燃油価格高騰や漁業者の高齢化などの状況に対する小型底びき網操業の省エネ・省力化に向けた取り組みは，漁船，漁具，漁法について現行の法令などの規制を満たすものであり，実効性を持って現場導入できることが前提である。さらに，操業環境や漁家経営との兼ね合いをつけた，現場に受け入れられる技術であることが最終的な条件となる。本研究における軽量型漁具による操業は，既存の漁労設備を用い，通常の漁場において従来通りの操業が行えることから，操業環境との親和性は高いと考えられる。一方で，漁家経営への影響という観点から本研究で得られた省エネ・省力に関する取り組みを捉えると，様々な検討すべき課題が挙げられる。

5-1　曳網速度と掃過体積

第Ⅱ章において，供試漁船 A 丸の模型網を作成し，大型回流水槽で網形状と漁具抵抗を計測した。底びき網の網口高さは曳網速度とともに変化する。また，低速曳網により網内の流体抵抗が低下すると，網地が後方に引かれる力も減少する。このため網口高さは，低速で高く，高速で低い傾向となる。曳網速度が低下すれば単位時間当たりの掃過面積は減少する反面，網口高さが高くなることにより網口面積は大きくなる。ここでは，第Ⅱ章において模型実験により得た網口高さから，網口面積を概算した。曳網速度を 3.00 kt から 1.75 kt に低下させた場合，単位時間当たりの掃過面積は 42%低減するが，網口高さは 50%増加するため，掃過体積の減少率は 13%に留まると算出された。

供試漁船 A 丸における従来の曳網速度は，約 2.8kt であった。低速曳網が可能な軽量型漁具による曳網速度は約 2.2kt であり，この範囲における網口高さ，袖先間隔，掃過面積，網口面積，掃過体積について再集計した（Table 5-1）。また， 2.80kt で曳網する際の掃過面積と同等の掃過面積になるように各速力段階で曳網させた場合の掃過体積を確認した。この時，曳網速度 2.80 kt による 1 日（曳網時間：1 時間，曳網回数：3 回）の掃過体積は 105,453m^3 と算出したのに対して，曳網速度 2.20 kt では 126,482m^3 であり，網口高さに

応じて約 20%大きくなる。このことは，海底付近を遊泳する魚介類の入網機会が増え収益確保につながるものと期待される。

5-2　低速曳網による水揚額への影響

供試漁船が所在する福岡県は，福岡市および北九州市に規模の大きい魚市場を有するとともに，県内各所に水産物直売所 [96] が点在している。漁業者は出荷方法を，従来の市場出荷とともに直売所出荷 [97,98] あるいは両者への出荷といった選択肢を有している。供試漁船が活動する糸島市は，自然豊かな地域性を活かした独自の取り組みとともに九州地方最大都市である福岡市に隣接し，生産と販売面において立地的条件に恵まれている。これらの条件を受け，直売所は集客力に優れ，観光客ばかりでなく料理人や周辺住民の利用まで客層が広く好評を得ている。供試漁船 A 丸および B 丸は，漁獲物の殆どを漁協が運営する直売所へ出荷している。直売所への出荷は，パック詰めや加工などの手間はかかるものの，販売価格を漁業者自身により設定することができるため，魚価変動の影響を受けにくい。また，直売所および所属漁協に納める販売手数料以外の経費は，出荷時に使用するパック代と自家用車のガソリン代に限定される。

このため，市場出荷の場合に得られる水揚金額と同程度の水揚額を得るのに必要な出荷量は少なく済む。このことは，海上労働時間の短縮にもつながり身体負担を軽減させるとともに，海難遭遇率が減少すると推察される。また，直売所出荷であるため市場規模の予測がつきやすく，大漁時は売れ行きに応じて出荷日を調整するなどが行われている。これらにより，水産資源への負荷を抑制しつつ売れ残りなどが殆ど生じない無駄の少ない経営を実行できる。さらに，ロットの揃いにくい魚種やサイズの小さいあるいは傷の入ったもの，その他の未利用魚が投棄されることなく販路に上げやすいことは，漁業者および資源活用の両面に対する直売所利用の大きなメリットである。

軽量型漁具による操業が漁家経営に与える影響を調べるために，糸島漁業協同組合と当該漁業者（A 丸）ならびに福岡県水産海洋技術センターの協力を得て，2012 年度および 2014 年度の水揚伝票（直売所出荷の場合，出荷内容は記録されていない）をもとに，

出漁日数，燃料消費量，水揚額などについて聞き取り調査を行った。2012 年度は従来型漁具を使用した操業であり，2014 年度は軽量型漁具を使用した省エネ・省力を目指した操業である。なお，2013 年度は，軽量型漁具を用いた低速曳網への移行，調整期間も含まれるため，今回の比較対象から除外した。

2012 年度と 2014 年度の年間操業日数（漁期：5 月～12 月）は，それぞれ 127 日，118 日であった。ここでは水揚額に関する詳細は伏せるが，従来型漁具を基準とした場合，軽量型漁具における年間水揚額比率は 102%であり同等，燃料消費量は 80%であり 20%減少となり，燃料 1 L あたりの水揚額比率は 128%であり約 30%増加となった。漁家経営の立場から考えると，支出に対する収入，すなわち燃料消費量あたりの水揚額は重要な指標であり，軽量型漁具の有用性が示された。

さらに，収益性を確認するために固定費を 2012 年度に，燃油価格を 2012 年度における燃油単価に標準化した上で，水揚額，変動費と損益分岐点の関係性を Fig.5-1 に示す。投資に対する利益の回収点となる損益分岐点を確認すると，従来型漁具では操業開始 5.75 日目であるが，軽量型漁具では 5.41 日目と損益分岐点が下がった。さらに両漁具による収益の比率は，軽量型漁具は従来型漁具の 1.07 となり，低速曳網による省エネ操業に収支改善効果があることが確認された。これは，一連の実験で，収益が向上する要因として，低速曳網により網口が立つことにより，海底付近を遊泳する魚介類の入網機会が増えたことが影響したと推察される。また，低速曳網による漁具の接地性向上も要因の一つとして考えられる。漁業者によると，従来型漁具の操業では，旋回曳網時や船体，漁具に何らかの外力がかかり漁具速度が低下した場合，また，柔泥性で凹凸が激しい海底を曳網した場合などに漁具が海底をせん掘すると，泥土が大量に入網し漁具揚収が困難となることがしばしば見られた。この場合，泥土を漁具から吐き出すために，その都度，機関運転のスロットルを操作し曳網速度を上げて操業する傾向があった。この様な場合，漁具は海底から離れる傾向があるため，接地性が低下する可能性が考えられる。また，曳網速度の上昇は燃料消費量の増加にもつながる。一方で，軽量型漁具を用いた低速曳網による操業は，曳網中の様々な要因により曳網速度が低下する場合でも，漁具のせん掘が起こりにく

い。せん掘を生じる傾向が見られる場合でも，低速曳網の場合は機関運転に余力を残しているため，わずかな船速上昇により危険を回避することができる。これらにより，操業の安全性が高まり，安心して操業が行えるという意見を漁業者から聞くことができた。また，漁具のせん掘は，漁獲や作業効率を低下させるばかりでなく，漁具揚収時に通常よりも大幅な重心上昇を招き，船体の大角傾斜を生じることによる転覆や漁業者の海中転落などの海難事故発生の懸念を生じる[68,70]。さらに，破網などの漁具事故を伴う場合は，帰港後の漁具修繕に時間を要し，休息時間を減少させるとともに，甚だしい場合は，漁具修繕のための出漁見合わせや漁具資材購入による出費などにもつながり，生産量と収益減少を招く事態となる。このことより，低速曳網が可能な軽量型漁具による操業は，経済性と安全性の観点から見て，漁家経営の持続安定化に向け好影響を与えるものと考えられた。

5-3　低速曳網による曳網時間と曳網回数に関する提案

曳網速度を低減させると単位時間当たりの掃過面積は減少するが，網内の流体抵抗が軽減するため入網魚体へのストレスが減少することが期待される。このことは，低速曳網を行う軽量型漁具の曳網時間を従来型漁具より延長しても，入網魚体の品質低下による販売単価への影響が小さいと期待される。第Ⅳ章で示すように，投網作業および揚網作業には一定の時間を要し身体負担と作業上の危険を生じる。従来型漁具による高速曳網に対して，低速曳網する軽量型漁具により，1 回の曳網時間を延長させつつも 1 日の曳網回数を減ずることができれば，危険な作業工程を少しでも排除することが可能となる。強いては，漁業者の身体負担軽減と海難遭遇率の減少につながると考えられる。さらに，操業に要す総時間が同程度となるのであれば，曳網回数の減少は，心理的な負担軽減にもつながり，働きやすさの向上につながると考えれることから，操業方法について次のように試算した。

従来型漁具による操業（2.8 kt）の曳網時間を 1 時間，曳網回数を 3 回と見立て固定し，それ以下の曳網速度で同等の掃過面積を得て操業を行う場合と（Table 5-2），2 回の曳網で同等の掃過面積を得るように操業する場合にかかる総時間を試算した（Table 5-3）。なお，投網，揚網，選別作業に要す時間には，諸々の付帯作業を含めたものとして，漁業者

から聞き取った結果を一律に用いている。試算の結果，2.2 kt で曳網する場合に，2.8 kt で 3 時間曳網する場合の掃過面積と同等とするために要す時間は 3 時間 49 分となる。このため，3 回に分けて曳網する場合の 1 回の曳網時間は 1 時間 16 分となる（Table 5-2）。2 回曳網とする場合には，1 回の曳網時間は 1 時間 54 分となり曳網時間は延長される（Table 5-3）。一方で，曳網回数が 1 回減じられることで投網作業と揚網作業を 1 回ずつ減じることができるため，操業にかかる総時間としては，2.8 kt の 4 時間 48 分に対して 2.2 kt では 5 時間 1 分であり，その差は小さい。

2021 年 10 月に供試漁船 B 丸を用い，曳網時間の別による操業の総時間と水揚額について，通常の操業を利用し， 2.5 kt，2.2 kt 各 2 回，計 4 回の現場実証を実施した。なお，当初 A 丸により，2.8 kt から 2.2 kt に減じた場合の対比を行う予定であったが，同船の運航上の理由により対象船を B 丸に差し替えた。B 丸の使用する漁具は 2.2 kt から 2.5 kt で曳網する仕様となっていたため，2.5 kt（曳網時間：1 時間/回，曳網回数：3 回）を基準とした場合に対して，2.2 kt（曳網時間：1 時間 42 分/回，曳網回数：2 回）で曳網した場合の比較とした。試験の結果，2.5 kt で 3 回曳網した場合の総時間は，4 時間 51 分，4 時間 56 分（平均 4 時間 54 分）であり，2.2 kt で 2 回曳網した場合の総時間は，4 時間 51 分，4 時間 47 分（平均 4 時間 49 分）であった。実施回数が少ないため統計的な処理はできなかったが，一連の実験ではほとんど同程度の時間で操業を行うことが確認できた。また，その時の水揚額は，2.5 kt 操業では，36,470 円，50,070 円（平均 43,270 円），2.2 kt 操業では，49,040 円，65,250 円（平均 57,145 円）であり，軽量型漁具の水揚額の方が高かった。Fig.5-2 に主な水揚げ内容を示す。漁獲物のうちガンゾウビラメは，当該漁場の漁業者間で漁具の接地性の指標に用いられている。当該魚種の水揚額が 2.2 kt 曳網で高いことは，低速曳網を可能とする軽量型漁具は，漁具性能として重要である接地性に優れていることを示唆している。また，魚体の傷みやすいスエビ，シバエビなどの水揚額が 2.2 kt 曳網で高いことから，入網量ばかりでなく 1 回の曳網時間延長を受けてもなお，魚体の品質が確保されていると考えた。

5-4　操業が身体に与える影響

漁家経営においては，漁獲技術や漁労収支にかかる経済活動がクローズアップされる。一方で，社会で働き方改革が叫ばれる様に，漁家経営を持続安定化するためには，操業が漁業者の生活サイクルの中に負担なく組み込まれているかについても検討すべきである。第Ⅳ章で示したとおり，投網にかかる身体的負担度（AC）は，舷側投揚網式の従来型漁具 AC 1.64，軽量型漁具 AC 1.54，トロールウィンチ式は AC 1.13 であった。揚網では，舷側投揚網式の従来型漁具 AC 1.44，軽量型漁具 AC 1.21，トロールウィンチ式では AC 1.10 であり，漁具の軽量化や漁労機械の導入による省力効果が認められた。さらに一連の作業が，漁業者の生活にどの様に組み込まれているかについて，当該地区で聞き取り調査を行うとともに，一日の心拍数を計測し，生活全般における漁労作業の位置づけを確認した。Fig.5-3 に漁業者より得た情報をもとに，当該地区における小型底びき網操業にかかる 1 日の生活サイクルを示す。また，供試漁船 B 丸船長の同意を得た上で，同氏の手首に時間・心拍数などを計測・収録できるスマートウォッチ（vívoactive HR　Garmin）を装着し，出港前から翌日の出港直前までの間の心拍を 1 秒ごとに計測した。得られた結果は，次のカルボーネンの式により運動強度に換算し，漁ろう作業が与える身体的負担を心拍数から連続的に把握した。

運動強度（%）＝（運動時心拍数－安静時心拍数）÷（最大心拍数－安静時心拍数）×100

Fig.5-4 に 1 日（2021 年 10 月 21 日～10 月 22 日）を通した運動強度を示す。Fig.5-5(a)に 2.5 kt（2021 年 10 月 5 日，曳網時間：1 時間/回，曳網回数：3 回）による操業を，Fig.5-5(b)に 2.2 kt（2021 年 10 月 6 日，曳網時間：1 時間 42 分/回，曳網回数：2 回）による操業を実施した場合の運動強度を示す。図中，漁船操業には潜在的に厳しい作業も多く，運動強度が上がる局面が多く見られた。第 1 回目の網から最終網の曳網終了までの間の運動強度は，2.5 kt 曳網では平均 48%（2021 年 10 月 5 日），38%（2021 年 10 月 21 日）であり，2.2 kt 曳網では平均 29%（2021 年 10 月 6 日），24%（2021 年 10 月 23 日）であった。今回の調査において，1 回の曳網時間が長く曳網回数の少ない 2.2 kt 操業で

は，投網，揚網，選別作業間にも適度に休息がとれていた。2.5 kt 操業に対して運動強度が低下していたことから，働きやすさも併せて得られたと期待される。

5-5　今後の展望

2023 年現在，燃油価格は高騰するとともに高止まり傾向となっており，経営収支を悪化させている。また，就業者の高齢化が進行しており，今後の生産力維持が危惧されるとともに，重い漁具の取り扱いは大きな負担を生じ，安全性が阻害されている。重い漁具は海難事故を引き起こす可能性を高め，事故が発生した場合にも重大化する危険性も高まる。こうした過酷な労働条件は新規就業者確保や就業後の定着にも悪影響をおよぼすと考えられる。低速曳網を可能とする軽量型漁具の利用は，操業にかかる燃料消費量を軽減させるとともに労働負担を軽減させ，作業上の危険を回避する観点からも軽量化の意義は大きい。また，既存の漁労設備を使用することができるため，操業の転換のための費用が少額であることも，漁業者に受け入れられ易い要因となるものと考える。

漁具の接地性を高めるために沈子重量を重くしていた従来型漁具は，体力に優れる若年就業者では取り扱いが可能であった。さらに，一定の掃過面積を短時間で得るために高速曳網を行っていたが，これは漁具重量を増加させることの裏返しでもあった。重い漁具による曳網は，海底のせん掘のおそれが大きいため，機関回転数を上げて曳網速度を増加する傾向が把握された。曳網速度を増加させるためには，船体抵抗や漁具の流体抵抗が大きく影響し，速度が上がるにしたがって総抵抗が顕著に増加する。このため，高速帯に移行するほど，所定の曳網速度を得るのに必要な燃料消費量が増加する。就業者の年齢が若く体力的に優勢であるとともに燃油価格が低位である場合は，従来の操業方法からの省エネ・省力化の要求の度合いと改善の必要性は低かった。しかし，小型底びき網漁業を取り巻く厳しい環境を受け，漁獲効率を高めることを主題として確立されてきたこれまでの操業形態が，就業環境を厳しいものとするとともに，現状の燃油価格や魚価では必ずしも収益が高いとは限らないことを提言できたと考える。

底びき網漁業の性質上，漁具と海底とのある程度の接触は想定される。しかし，曳網

による過度の海底接触は，生物多様性や生物資源の再生産サイクルを悪化させるおそれが生じる。また，グランドロープや漁網などの漁業資材の消耗を進行させ，修繕費や修繕作業時間の増加を招いてきた。軽量型漁具による低速曳網を採用する操業は，グランドロープが海底に接する際に生じる衝撃を緩和させ，海底環境とともに経営や就労状況の改善にもつながる。

本研究による取り組みは，燃油となる化石燃料使用量を削減するものであり，操業時の温室効果ガス排出量を削減させる。このことは，カーボンニュートラルの実現に向けた取り組みに寄与するものである。働きやすい環境，適切な漁獲とフードロス軽減につながる経営体系の維持は，持続可能な開発目標（SDGs）における普遍的な取り組みにおいて，社会，経済，環境の 3 側面による計 17 の目標（ゴール）のうち，目標 8［経済成長と雇用］，目標 12［持続可能な消費と生産］および目標 14［海洋資源］に果たす役割に相当する。これらの行動目標と本研究における小型底びき網漁業の省エネ・省力化による漁家経営の持続安定化に関する取り組みは一致しており，本研究で得られた成果を底びき網漁業へと還元していくことで，持続可能な水産業の構築に貢献できるものと期待される。

Table 5-1　曳網速度に対する漁具形状と掃過面積・掃過体積

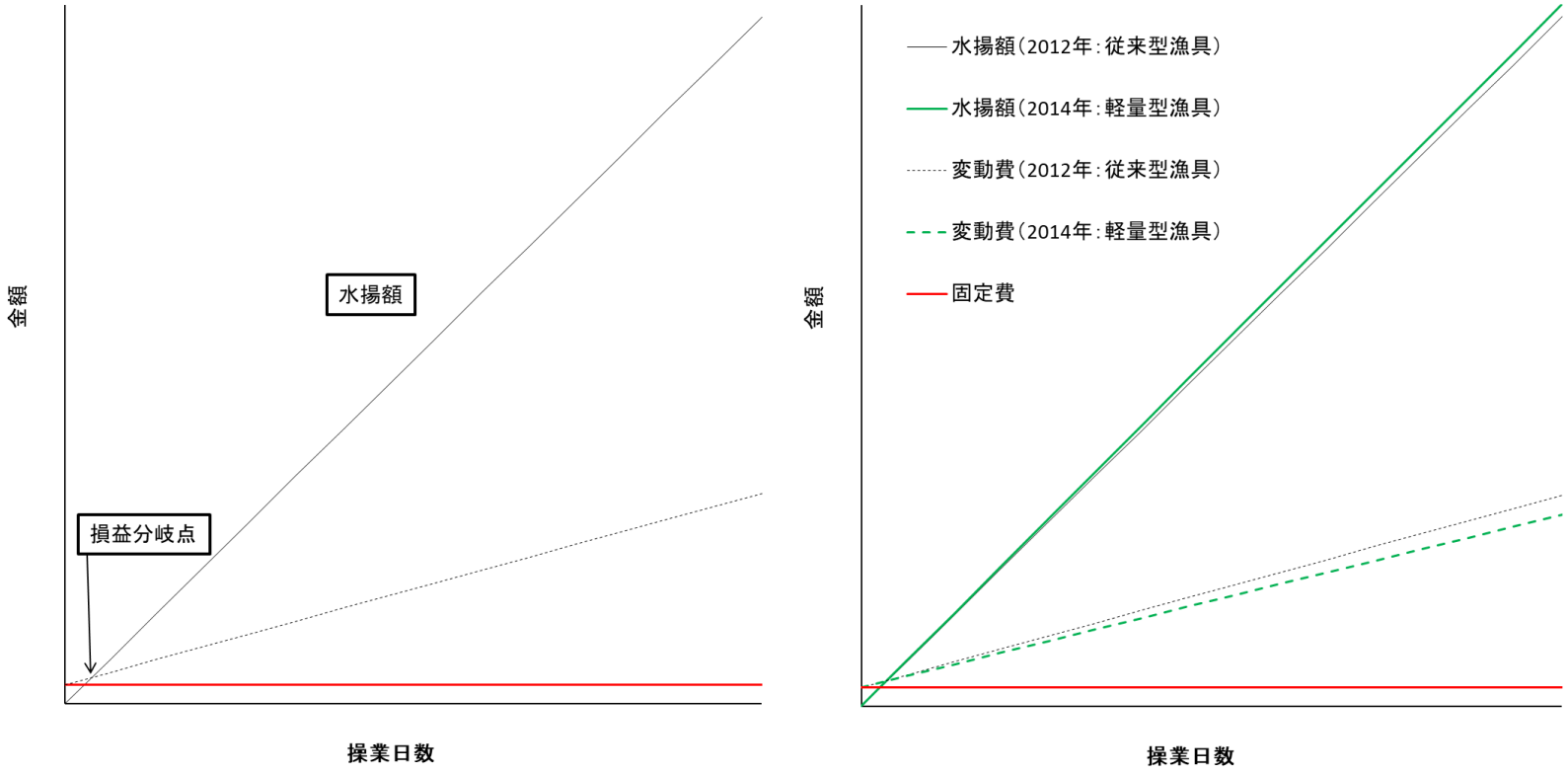
実物		模型	網口高さ		袖先間隔		掃過面積		網口面積		掃過体積			
kt	m/s	cm/s	m	比率	m	比率	m^2/hr	比率	m^2	比率	m^3/hr	比率	m^3/1日操業あたり	比率
2.80	1.44	72.02	1.23	1.00	7.00	1.00	36,299	1.00	6.8	1.00	35,151	1.00	105,453	1.00
2.70	1.39	69.45	1.27	1.03	7.00	1.00	35,003	0.96	7.0	1.03	34,838	0.99	108,385	1.03
2.60	1.34	66.88	1.30	1.06	7.00	1.00	33,706	0.93	7.2	1.06	34,516	0.98	111,513	1.06
2.50	1.29	64.31	1.34	1.09	7.00	1.00	32,410	0.89	7.4	1.09	34,185	0.97	114,860	1.09
2.40	1.23	61.73	1.38	1.12	7.00	1.00	31,114	0.86	7.6	1.12	33,843	0.96	118,451	1.12
2.30	1.18	59.16	1.43	1.16	7.00	1.00	29,817	0.82	7.9	1.16	33,491	0.95	122,313	1.16
2.20	1.13	56.59	1.48	1.20	7.00	1.00	28,521	0.79	8.1	1.20	33,126	0.94	126,482	1.20

Table 5-2　曳網速度 2.8kt 時の掃過面積を基準とした場合の各速度段階における操業時間への影響

曳網速度(kt)	投網1	曳網1	揚網1	投網2	曳網2	揚網2	投網3	曳網3	揚網3	曳網合計時間	比率	操業総時間
2.8	0:06	1:00	0:30	0:06	1:00	0:30	0:06	1:00	0:30	3:00	1.00	4:48
2.7	0:06	1:02	0:30	0:06	1:02	0:30	0:06	1:02	0:30	3:06	1.04	4:54
2.6	0:06	1:04	0:30	0:06	1:04	0:30	0:06	1:04	0:30	3:13	1.08	5:01
2.5	0:06	1:07	0:30	0:06	1:07	0:30	0:06	1:07	0:30	3:21	1.12	5:09
2.4	0:06	1:10	0:30	0:06	1:10	0:30	0:06	1:10	0:30	3:30	1.17	5:18
2.3	0:06	1:13	0:30	0:06	1:13	0:30	0:06	1:13	0:30	3:39	1.22	5:27
2.2	0:06	1:16	0:30	0:06	1:16	0:30	0:06	1:16	0:30	3:49	1.27	5:37

Table 5-3　曳網速度 2.8kt 時の掃過面積を基準とした場合に掃過面積を同等とし曳網回数を違えた時の操業時間への影響

曳網速度(kt)	投網1	曳網1	揚網1	投網2	曳網2	揚網2	投網3	曳網3	揚網3	曳網合計時間	比率	操業総時間
2.8	0:06	1:00	0:30	0:06	1:00	0:30	0:06	1:00	0:30	3:00	1.00	4:48
2.7	0:06	1:33	0:30	0:06	1:33	0:30	—	—	—	3:06	1.04	4:18
2.6	0:06	1:36	0:30	0:06	1:36	0:30	—	—	—	3:13	1.08	4:25
2.5	0:06	1:40	0:30	0:06	1:40	0:30	—	—	—	3:21	1.12	4:33
2.4	0:06	1:45	0:30	0:06	1:45	0:30	—	—	—	3:30	1.17	4:42
2.3	0:06	1:49	0:30	0:06	1:49	0:30	—	—	—	3:39	1.22	4:51
2.2	0:06	1:54	0:30	0:06	1:54	0:30	—	—	—	3:49	1.27	5:01



(a)従来型漁具による操業　　(b) 従来型漁具と軽量型漁具による操業

Fig.5-1　供試漁船 A 丸における損益分岐点の概要

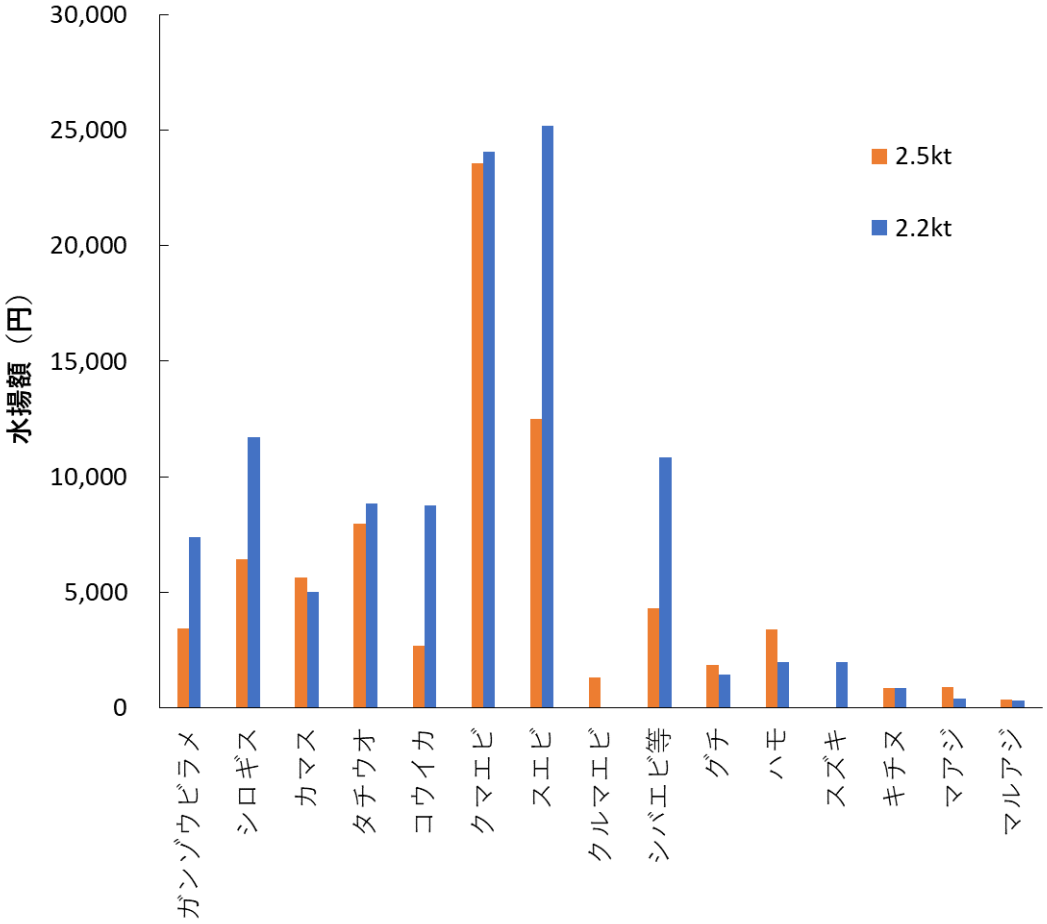


Fig.5-2　曳網速力ごとの主な水揚げ金額（B 丸）

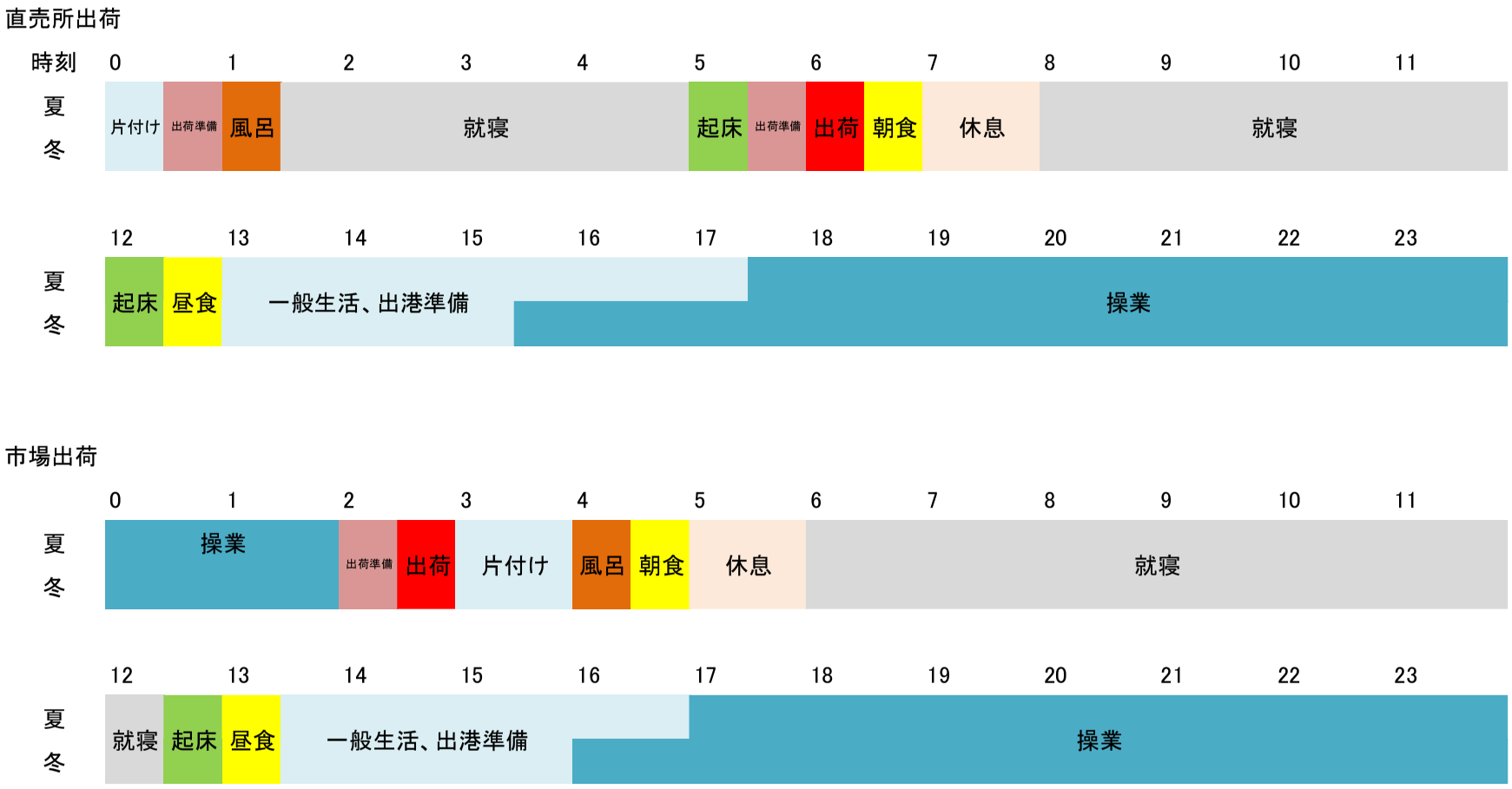


Fig.5-3　供試漁船における操業と生活サイクル

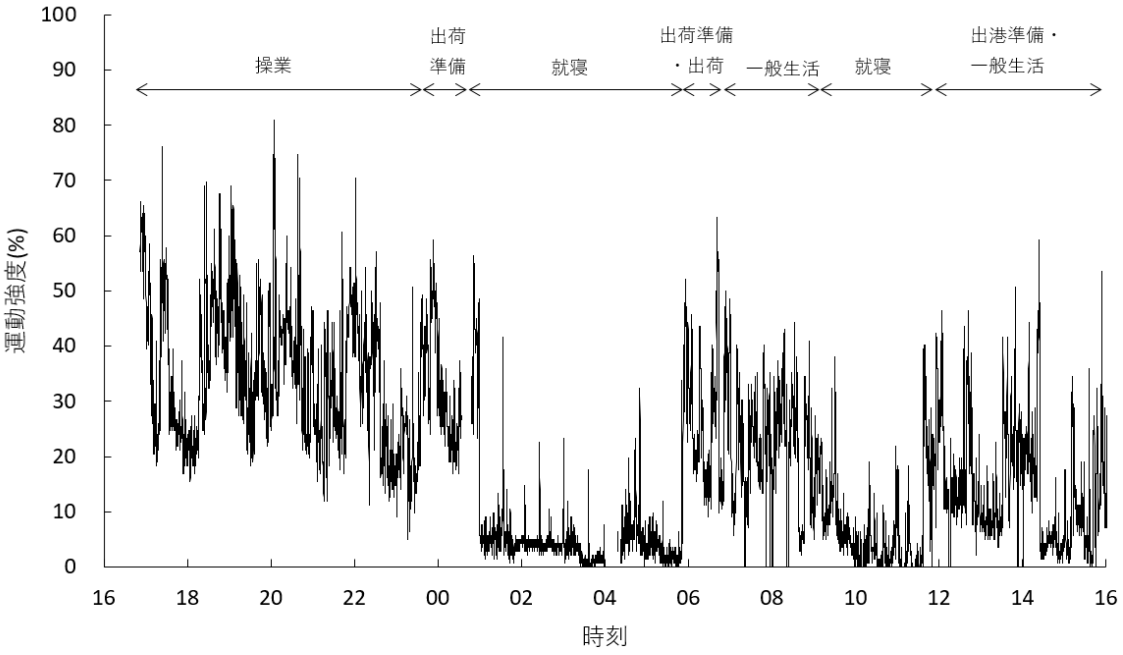
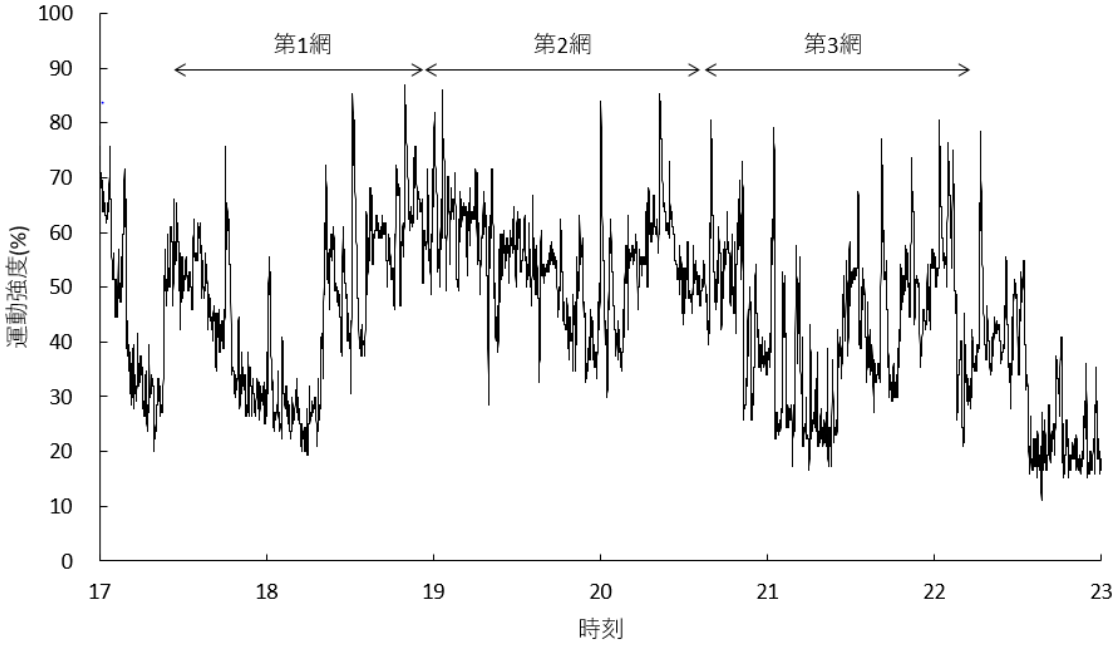
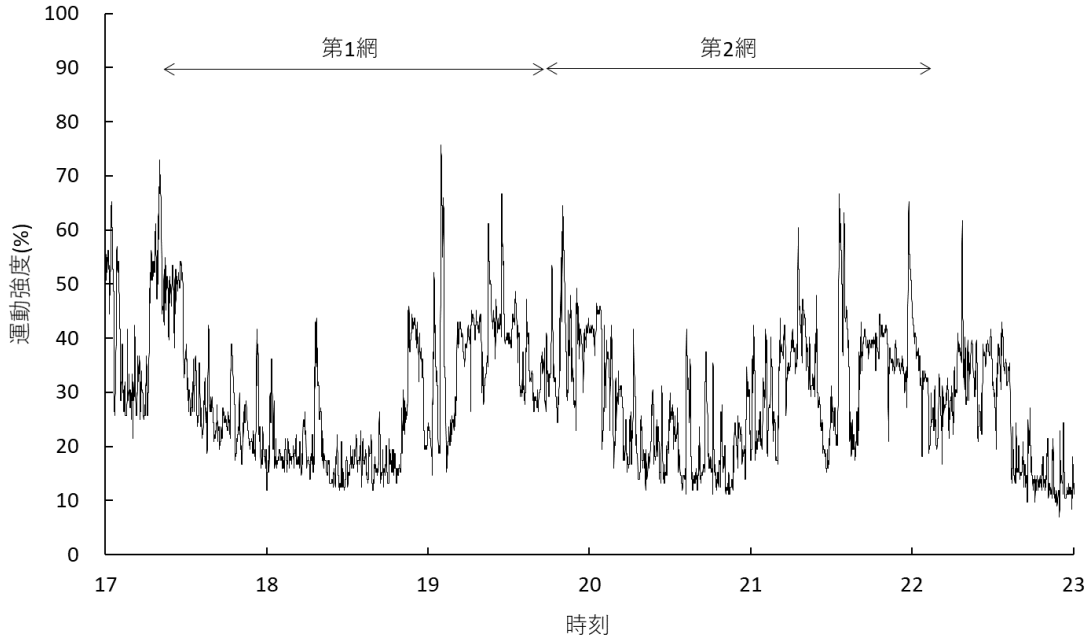


Fig.5-4　小型底びき網漁業従事者の運動強度の一例（B 丸船長）



(a)



(b)

(a)2.5kt，3 回曳網，(b) 2.2kt，2 回曳網

Fig.5-5　小型底びき網漁業従事者の曳網回数による運動強度（B 丸船長）

謝辞

本研究を実施するにあたり，終始懇切丁寧なご指導をいただきました，北海道大学大学院水産科学研究院海洋生物資源科学部門水産工学講座 木村暢夫教授に心から感謝申し上げます。

本論文をまとめるにあたりご指導，ご協力をいただきました北海道大学大学院水産科学研究院 藤森康澄教授，安間洋樹准教授，高橋勇樹助教，水産大学校海洋生産管理学科 川崎潤二教授に心より感謝の意を表します。

また，現場における研究の実施に当たって様々なご協力やご助言をいただきました，東京海洋大学学術研究院海洋生物資源学部門 胡夫祥教授，水産大学校海洋生産管理学科 下川伸也教授，永松公明教授，同水産流通経営学科 甫喜本憲教授，福岡県水産海洋技術センター 杉野浩二郎研究員（当時），ニチモウ株式会社研究開発室 熊沢泰生博士に深謝の意を表します。資料収集，解析に際し，ご協力いただきました水産大学校海洋生産管理学科 梶川和武准教授，同学科漁船運用学研究室学生の皆様に感謝の意を表します。

福岡県水産海洋技術センターの皆様には，調査の実施にあたり便宜を図っていただきました。福岡県糸島漁業協同組合加布里支所，同福吉支所，遠賀漁業協同組合芦屋支所，宗像漁業協同組合本所の皆様には，本研究における省エネ・省力操業にかかるデータ収録にご協力をいただきました。

本調査は，2011，2012 年度新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「小型底びき網漁業における省力・省エネ化技術の開発と普及」および 2014，2015 年度，2019～2021 年度水産大学校学内横断プロジェクト推進費のご支援をいただきました。ここに記して関係各位に感謝いたします。

最後に，最大の理解者である妻と，支えてくれた家族に心より感謝します。

参考文献

1. 総務省統計局．2022．人口・面積．世界の統計 2022，21-26.
2. 国土交通省海上保安庁海洋情報部．日本の領海等概念図．管轄海域情報～日本の領海～，https://www1.kaiho.mlit.go.jp/JODC/ryokai/ryokai_setsuzoku.html（2022 年 12 月 19 日最終閲覧）
3. 農林水産省水産庁．2022．漁港一覧．漁港・漁場・漁村に関する情報，https://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozyo/g_zyoho_bako/gyoko_itiran/attach/pdf/sub81-5.pdf（2022 年 12 月 19 日最終閲覧）
4. 野村正恒．1994．最新漁業技術一般．成山堂書店，1-420.
5. 総務省統計局．2022．世界人口の推移．世界の統計 2022，12.
6. 国際連合食糧農業機関（FAO）駐日連絡事務所．2022．世界の食料安全保障と栄養の現状（2022 年報告），https://www.fao.org/japan/portal-sites/foodsecurity/jp/
7. 農林水産省水産庁．2019．我が国の水産物の需要・消費をめぐる動き．令和元年水産白書，194-199.
8. 農林水産省大臣官房統計部．2022．令和 3 年度漁業・養殖業生産統計．農林水産統計，1-54.
9. 川島敏男，三好潤．2009．漁船の船体付加物の改良による省エネ技術の開発：研究の栞．独立行政法人水産総合研究センター，16.
10. 三好潤，川島敏男．2010．漁船の送受器カバーの流力特性と省エネ形状：研究の栞．独立行政法人水産総合研究センター，8.
11. 川島敏男，三好潤，土井康明，陸田秀実，西本仁．2011．平成 21，22，23 年度新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「漁船の船体リニューアルによる省エネ技術の開発」．農林水産技術会議.
12. 濵口正人，下川伸也，内田知良，前田和幸．1996．小型漁船の船底清掃による燃料消費量と NO_X 排出量の低減効果．水産工学，32(3)：181-187.

13. 長谷川勝男．2007．小型底曳網漁船の燃料消費量計測．平成 19 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集，217-220.
14. 溝口弘泰，芳賀圭悟，長谷川勝男．2009．小型底曳き網漁船の燃料消費量について．平成 21 年度日本水産工学会学術講演会講演論文集，225-226.
15. 長谷川勝男．2013．漁船の省エネ 燃料消費を「見える化」する．FRA News，36：8-10.
16. 溝口弘泰，長谷川勝男，山越康行，小田健一，明田定満，渡部俊広，伏島一平．2014．漁船の燃料油消費量の見える化による省エネルギー機運の醸成．水産工学，51(2) ：147-151.
17. 溝口弘泰，藤田薫．2013．小型底びき網の技術開発による燃油削減効果．日本水産学会誌，79(6)：1050.
18. 胡夫祥，熊沢泰生ら．2012．平成 23，24 年度新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「小型底びき網漁業における省力・省エネ化技術の開発と普及」研究実績報告書.
19. 胡夫祥，熊沢泰生，不破茂，永松公明，藤森康澄，東海正．2013．小型底びき網漁業における省エネ・省力化を目指した技術開発．日本水産学会誌，79(6)：1044.
20. 永松公明，酒井健一．2013．拡網装置にカイトを用いた小型底びき網の漁具特性．日本水産学会誌，79(6)：1047.
21. 酒井久治，坂本牧夫，坂下武志．1995．小型イカ釣り漁船の集魚灯使用時における機関の燃料消費特性．水産工学，32(2)：105-110.
22. 酒井久治，坂本牧夫．1999．小型イカ釣り漁船の集魚灯用発電機形式による燃料消費量の節減効果．水産工学，35(3)：235-239.
23. 独立行政法人水産総合研究センター水産工学研究所・開発調査センター．2013．漁船漁業の省エネルギーに向けて，1-46.
24. 松下吉樹．2016．小型イカ釣り漁船のエネルギー収支．水産工学，52(3)：189-195.

25. 京都府農林水産技術センター海洋センター．2018．底びき網漁船の燃料消費量の削減．京都府季報：110．1-11.
26. 川崎潤二．2012．漁船労働の特徴と労働環境改善に向けた今後の課題．水産工学，48(3) ：223-230.
27. 濵口正人．大中型まき網漁船の実操業中における耐航性能に関する研究．1996．北海道大学水産学部博士論文，1-156.
28. 木村暢夫，天下井清，川崎 潤二，甫喜本司．1993．船上における人体の応答とバランス判定関数について．日本航海学会論文集，88：1-9.
29. 木村暢夫，甫喜本司，天下井清．1994．船体運動が身体機能に与える影響について－船酔い，疲労と船体運動との関係－．日本航海学会論文集，90：377-385.
30. 木村暢夫．2004．船体動揺の評価法と作業環境の改善－船酔いしない漁船への挑戦－．水産工学，40(3)：235-241.
31. 川崎潤二，下川伸也，奥田邦晴．2010．漁労作業を対象とした動作・時間研究．水産大学校研究報告，58(4)，233-238.
32. 久宗周二，加藤和彦．1999．船員労働の人間工学的研究－Ⅰ－まき網漁業における漁ろう作業の動作分析－．日本航海学会論文集，101：327-334.
33. 久宗周二．1999．船員労働の人間工学的研究－Ⅱ．－沖合底曳網漁船における漁ろう作業の動作分析－．日本航海学会論文集，101：253-258.
34. S. Hisamune，K. Amagai，N. Kimura．2005．Ergonomic Evaluation in a Case Study of the Behavior on Purse Seine Fishing Vessel Workers．水産工学，42(1)：9-17.
35. 三輪千年．2000．現代漁業労働論．成山堂書店，1-144.
36. E. N. Corlett，S. J. Madeley，I. Manenica．1978．Posture Targeting：A Technique for Recording Working Postures．Ergonomics，22(3)：357-366.
37. O. Karhu，P. Kansi，I. Kuorinka．1977．Correcting working postures in industry : A practical method or analysis. Applied Ergonomics，8(4)：199-201.
38. L. McAtamney，E. Nigel Corlett．1993．RULA：a survey method for the

investigation of work-related upper limb disorders．Applied Ergonomics，24(2)：91-99.

39. W. Rohmert．1985．AET - a new job-analysis method．Ergonomics，28(1)：245-254.

40. 長岡労働衛生コンサルタント事務所．OWAS：Ovako 式作業姿勢分析システム．http://nrec.sakura.ne.jp/OWAS.htm

41. 瀬尾明彦．JOWAS 姿勢解析ソフトとデータ，www.cc.miyazaki-u.ac.jp/mitarai/room707/soft OWAS.thml （2021 年 12 月 28 日最終閲覧）

42. 長谷川勝男．2006．三陸沿岸における養殖ワカメ刈取り作業の労働負担分析．水産工学，43(2)：179-184.

43. 髙橋秀行．2014．小型底曳網漁業の労働実態の把握と改善に関する研究．北海道大学大学院水産科学院博士論文，1-125.

44. 高橋秀行．2009．千葉県銚子市における小型機船底曳網漁業の漁労作業分析，水産工学，46(1)：1-8.

45. 高橋秀行，佐伯公康，渡辺一俊．2012．愛知県南知多郡における小型機船底曳網漁業の漁労作業分析，水産工学，49(2)：133-140.

46. 水産工学研究所水産業システム研究センター．2017．漁労作業定量評価手法及び漁業用軽労化スーツの開発．水産総合研究センター年報，50.

47. 高橋秀行，田丸修，土屋圭央，田中孝之．2017．着脱性の向上をはかった漁業用軽労化支援スーツの試作．平成 29 年度日本水産工学会学術講演会要旨集，172-175.

48. 高橋秀行，田中孝之，峰江卓也，鈴木善人．2018．漁業用サロペットと一体化した漁業用軽労化支援スーツの試作．平成 30 年度日本水産工学会学術講演会要旨集，119-122.

49. 髙橋秀行，野澤良弘，伏屋玲子，渡部一俊．仮想空間シミュレーション手法を用いた漁船の甲板上配置の改善効果の定量予測．2012．日本航海学会論文集，127：89-

94.

50. 髙橋秀行，三好潤，髙橋竜三，安田健二．仮想空間シミュレーション手法を用いた小型底びき網漁船の甲板上配置の検討．2021．日本航海学会論文集，145：1-11.

51. 胡夫祥，熊沢泰生，他研究グループ．2013．小型底びき網漁業における省エネ・省力化を目指した技術開発．日本水産学会誌，79(6)：1045-1050.

52. 胡夫祥，熊沢泰生，他研究グループ．2014．小型底びき網漁業における省力・省エネ化技術の開発と普及．新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業／研究紹介．農林水産省，159-160.

53. 不破茂，熊沢泰生，工藤嵩，平山完，木下弘実．2010．トロール漁具性能の多面的比較．水産工学，47(2)：119-128.

54. 環境省．2020．カーボンニュートラルとは．環境省脱酸素ポータル．https://ondankataisaku.env.go.jp/carbon_neutral/about/

55. 外務省．JAPAN SDGs Action Platform. https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/sdgs/about/index.html

56. 東海正．1993．瀬戸内海における小型底びき網漁業の資源管理－投棄魚問題と網目規制－．南西海区水産研究所研究報告，26：31-106.

57. 木村博．2009．山口県瀬戸内海における小型機船底びき網漁業の経営実態について．山口県水産研究センター研究報告，7：1-10.

58. 木村博，中村圭吾．2009．山口県瀬戸内海における小型機船底びき網漁業の操業実態について．山口県水産研究センター研究報告，7：11-18.

59. 九州・山口ブロック水試漁業分科会編，大島泰雄・宮崎千博監修．1971．西日本海域における小型底曳網漁業．恒星者厚生閣，1-177.

60. 農林水産省．2018 年漁業センサス，https://www.maff.go.jp/j/tokei/census/fc/2018/2018fc.html （2022 年 12 月 6 日最終閲覧）

61. 農林水産省．令和元年度水産白書，

https://www.jfa.maff.go.jp/j/kikaku/wpaper/r01_h/trend/1/t1_f2_3.html（2022 年 12 月 6 日最終閲覧）

62. BP．2022．Statistical Review of World of Energy-all data,1965-2021. https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/downloads.html（2022 年 8 月 31 日最終閲覧）

63. 経済産業省資源エネルギー庁．石油製品価格調査, https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/petroleum_and_lpgas/pl007/results.html（2022 年 9 月 7 日最終閲覧）

64. 長谷川勝男．2008．我が国の漁船の燃油消費量．水産工学研究所技報，30：9-15.

65. 農林水産省．令和 2 年度漁業経営統計調査, https://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/gyokei/（2022 年 12 月 1 日最終閲覧）

66. Y. Kajikawa, K. Sakai, T. Nakamura, T. Watanabe．2019．Fish catch effect and energy saving effect by introduction of LED fishing lamps to coastal squid fisheries. ICFE：221-224.

67. 下川伸也，川崎潤二，酒井健一，松本浩文．2012．浮流物による漁船海難の現状について．日本航海学会論文集，126：153-160.

68. 酒井健一，下川伸也，川崎潤二，松本浩文，仁井谷真．2015．漁船の転覆海難に関する一考察．水産大学校研究報告，64(1)：47-56.

69. 川崎潤二，下川伸也，酒井健一，三好潤．2013．事例調査による漁船の労働災害防止策に関する考察．水産大学校研究報告，62(1)：47-54.

70. 酒井健一，中村公彦，川崎潤二，下川伸也，木村暢夫．2022．小型底びき網漁船の海難発生状況と事故要因に関する一考察．2022 年度日本水産工学会学術講演会論文集．8-9.

71. 国土交通省．運輸安全委員会船舶事故調査報告書．https://jtsb.mlit.go.jp/jtsb/ship/（最終閲覧：2022 年 3 月 31 日）

72. 川崎潤二，酒井健一，下川伸也，藤田真悟．2022．漁船海難・労働災害の特徴につ

いて－全国の漁業協同組合を通じたアンケート調査による分析－．2022 年度日本水産工学会学術講演会論文集．18-19.

73. 松下吉樹，熊沢泰生，冨山実，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．日本水産学会誌：71(3)，　318-327.

74. 松田皎（編著），胡夫祥．2001．漁具物理学第 4 章「漁網の模型相似則」成山堂書店，64-81.

75. 谷口武夫．1984．設計図面から各種 2 艘曳並びにトロール網の抵抗および網口高さを求める近似式について．水産大学校研究報告：32(1・2)，1-14.

76. 独立行政法人水産総合研究センター水産工学研究所・開発調査センター．2013．漁業操船者用パンフレット，http://nrife.fra.affrc.go.jp/seika/syouene/pamph.pdf

77. 独立行政法人水産総合研究センター水産工学研究所・開発調査センター．2013．Dr. 省エネ，http://ecofish.fra.go.jp/（2022 年 12 月 6 日最終閲覧）

78. 熊沢泰生，胡夫祥，永松公明，酒井健一，不破茂，平山完，伊藤翔．2014．底びき網漁業の省コスト化に繋がる新たな漁具・漁法技術．JATAFF ジャーナル，2(6)：28-32.

79. 熊沢泰生，平山 完，伊藤 翔．2014．漁船漁業の省コスト化に繋がる新たな漁具漁法技術－底びき網漁業における事例－．水産工学，51(2)：153-163.

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

81. 酒井健一，永松公明．2015．小型底びき網漁業の省エネ・省力操業に関する研究．海洋水産エンジニアリング，123：69-74.

82. 酒井健一，永松公明．2016．底びき網漁業における省エネルギー技術とその普及－低速曳網による省エネルギー－．漁業懇話会報，67：20-25.

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

84. 酒井健一，永松公明，甫喜本憲．2016．小型底びき網漁業における減速操業の省エネ効果について（補足資料）－燃料消費量節減に向けて－．香川県水産業改良普及活動業績集，38：54-55.

85. 甫喜本憲，酒井健一，永松公明．2016．小型底びき網漁業の省エネ，省力化操業に向けて－福岡県糸島漁協加布里支所での実験－．漁業と漁協，636：16-19.

86. 川崎潤二，三輪千年，大橋信夫．1999.「働きやすい漁船」についての一考察．人間工学，35(2)：82-83.

87. 加藤信崇，木本正治，近藤健雄．2003．大阪湾における漁業就労環境に関する研究－船曳網漁業を例としたOWAS法および腰部椎間板圧迫力推定法による分析－．環境情報科学論文集，17：151-154.

88. 農林水産省．2019．漁業労働環境をめぐる動向「漁船労働環境の改善に向けた取組」．令和元年度水産白書，144.

89. 酒井健一，下川伸也，永松公明，木村暢夫．2022．九州北部沿岸におけるビーム式小型底びき網操業と漁労機械による省力効果．日本航海学会論文集，146：40-50.

90. 井上喜洋．1996．キャンバスカイトを応用した小型底びき網漁具　平成7年度漁業新技術開発事業（漁業再編整備推進事業）海底環境保全型底曳網漁法の開発．社団法人全国底曳網漁業連合会，社団法人漁船協会，67-76.

91. 熊沢泰生，胡夫祥，渡部俊広，木下弘実，東海正．2010．カイト式表中層トロールの開発．水産工学，46(3)：197-204.

92. 木下弘実，熊沢泰生．2011．柔構造拡網装置（カイト）を用いたトロール漁具の開発．水産工学，48(2)，89-98.

93. 橋本進．1983．漁船漁具避航図説，成山堂書店，1-315.

94. 金田禎之．2005．日本の漁業と漁法 ：和文・英文【改訂版】，成山堂書店，1-214.

95. 金田禎之．2016．日本漁具・漁法図説 【四訂版】，成山堂書店，1-670.

96. 福岡県水産海洋技術センター．地魚関連イベント情報「朝市夕市・直売所マップ」．じざかなび福岡．　https://jizakanavi-fukuoka.jp/events/#LinkSectionB

97. 徳田眞孝，日高健，濱田豊市，佐藤利幸．2011．直売所への水産物出荷が漁家経営に与える影響．地域漁業研究，51(3)：105-123.

98. 日高健. 2018. 漁業の６次産業化とビジネスモデル. フードシステム研究, 24(4)：351-355.