

平成 18 年度水産学技術賞

底曳網漁業の海洋生態系への影響緩和技術開発

松 下 吉 樹

長崎大学水産学部

Development of trawl fishing technology to mitigate impacts on marine ecosystem

YOSHIKI MATSUSHITA

Faculty of Fisheries, Nagasaki University, Nagasaki, Nagasaki 852-8521, Japan

わが国の底曳網漁業の生産量は 1972 年にピークを迎え、その後減少傾向にあるものの、2005 年でも海面漁業生産量の約 1/5 を生産する重要な漁業種である（農林水産省 Web : <http://www.maff.go.jp/tokei.html>）。底曳網漁業は、200 海里排他的経済水域の設定以降、生産量、漁船数ともに遠洋から沖合、沿岸が中心となりつつあるが、依然として遠洋底曳網漁業も存続している。

底曳網漁業は大陸棚上に分布する多様な底生生物資源を効率よく漁獲する方法として発展してきた。この発展過程において、効率的な大量漁獲および漁場拡大を目指して、化学繊維資材の導入、船尾式トロール漁法の導入、漁船、機関と漁具の大型化、および深海曳漁法と荒場曳漁法の開発などが進められてきた。このような発展は、実質的な漁獲努力量の増大をもたらした。しかし現在では、こうした漁獲努力量の増加に伴う漁獲圧力の増大によって、漁業資源の減少が懸念されるのみならず、海洋生態系に悪影響を及ぼすと考えられるいくつかの問題が提起されている。

そのひとつに漁獲された生物が投棄される問題がある。世界の漁業によって、1992 年から 2001 年の間に年間平均約 730 万トンの投棄が行われたと推定され、その半分以上はエビ類や魚類を対象とする底曳網漁業によるとされている。¹⁾ 国連食糧農業機関（FAO）は 1995 年に「責任ある漁業の行動規範」を発表し、全漁業について、努力量の管理、縮小とともに混獲量の削減を努力目標として掲げている。²⁾ このような問題を底曳網漁業の混獲・投棄問題と呼ぶ。

また、底曳網漁具が海底と接触しながら移動すると、通過した範囲に分布した生物を取り去るだけでなく、海底地形の改変³⁾や堆積物の再拡散⁴⁾など、底生生物群集の生息場を変化させる可能性も指摘されている。⁵⁾ この

ような問題を底曳網漁業の海底生息場への影響問題と呼ぶ。

これまでの底曳網漁業技術は効率と利益を重視し、より多くの魚を漁獲することを目標として産業界がリードするカタチで発展してきた。しかし、上記のような問題が懸念されている現在では、底曳網漁業は生物群集とそれを取り巻く環境、すなわち海洋生態系への悪影響を最小限に抑えながら生産活動を行う産業への変革を迫られている。本研究では、上記の 2 つの問題に関する悪影響を緩和する漁業技術を総称して、底曳網漁業の海洋生態系への影響緩和技術と呼ぶこととする。この技術の開発は公的機関がリードし、環境問題への懸念が高まった近年にようやく多くの成果が公表され、一部実用化されはじめている。

1. 底曳網漁業の混獲・投棄問題に対応する技術開発

底曳網漁業の混獲・投棄問題の対策として、漁獲物を網内で分離して必要な生物だけを漁獲できる技術の開発に取り組んだ。そのためには、漁業の実態を把握し、その実態に応じた技術の開発を行うことが望ましい。混獲・投棄される生物の種数や量は、各種底曳網漁業で異なる。その原因は操業する海域の生物種の多寡だけではなく、使用される漁具・漁法と漁獲される生物の市場価値など様々な要因に関係している。これらの要因を複合して考えると、まずわが国の底曳網漁業は少魚種を対象とする漁業と多魚種を対象とする漁業に大きく分けることができる。例えば北転船漁業はロシア 200 海里内の漁場において複数種を水揚げしているが、漁獲成績報告書の分析から、各曳網においては、位置を選定することで漁獲物中に単一種が優占するような魚種選択的な操業を行おうとしている。⁶⁾ このような操業実態からこの漁業

は少魚種を対象とした漁業と考えられ、混獲・投棄実態を調査したところ水揚げ対象種の小型個体の混獲・投棄が主な問題であることが明らかとなった。このような漁業では、適当なサイズ以上の水揚げ対象種だけを漁獲できるような技術が求められる。一方、マレーシアの沖合底曳網漁業において調査を行ったところ、この漁業では漁獲物中に多くの生物種が出現し、多魚種を対象とした漁業と考えられた。⁷⁾そして混獲・投棄された種は未利用種と水揚げ対象種の小型個体の両方であった。この漁業では、多様な生物群を種とサイズの両方を分離できる技術が必要となる。

漁獲物を網内で分離する技術開発に利用できる基本要素は、網目などが持つふるい分け効果と考えられる機械的分離機能と、遊泳層や網内での反応行動、運動能力など、生物の行動特性を利用した分離機能に大別できる。⁸⁾これらの基本要素を利用して、混獲・投棄問題を緩和するための技術開発は世界中で実施されている。しかし技術開発の中には、一部の地域の成功例を単純に導入し、対象となる漁業の実態に適応しないために普及に至らなかった例も多い。基本要素となる分離機能を適切に用いて技術開発を行うためには、入網する生物のサイズや形状などの特徴や、遊泳層や網内での反応行動あるいは運動能力などの情報が必要になる。

北転船漁業において、混獲・投棄問題の魚種、スケトウダラ *Theragra Chalcogramma* の網内各部における遊泳行動を水中ビデオカメラで観察したところ、スケトウダラは接近してくる漁具部位に対して反応を起こすことはほとんど無かった。⁹⁾また、筋収縮時間の測定からスケトウダラの最大遊泳速力を推定したところ、北転船が操業するような低水温の漁場では、曳網速力よりも速く遊泳することはできないとの結果を得た。¹⁰⁾したがって技術開発に生物の行動特性を利用した分離機能を利用することは難しく、機械的分離機能を利用することが望ましい。そこで、北転船漁業ではコードエンドの網目選択性の改善を図った。この漁業で使用されるコードエンドは、呼称目合 110 mm の菱目網を 2 重に重ねた構造であったが、1 重構造に変更するだけでもスケトウダラの小型個体の混獲・投棄を減少できることがわかった。¹¹⁾また、大量漁獲時にも網目の展開形状を維持しやすい角目網で作成されたコードエンドの網目選択性を調べたところ、従来の菱目網に比べて選択性スパンが小さくなり、鋭いサイズ選択性を得ることができた。角目網コードエンドの網目選択性は、網目の内周長とスケトウダラの胴周長の比で表すことができ、漁場や季節によって異なると考えられるスケトウダラの体長と胴周長の関係を求めれば、その漁場や季節における適正な角目網コードエンドの目合を決定できる。¹²⁾

一方、千葉県的小型底曳網漁業は、前述のマレーシア

の沖合底曳網漁業と同様に漁獲物中に多くの生物種が出現し、未利用種と水揚げ対象種の小型個体の混獲・投棄が問題であった。この漁業で漁獲される種はサイズや形状が多様で、また小型のエビ類を漁獲するために比較的小さい目合の網地をコードエンドに使用していることもあり、網目の目合や展開形状の調節だけでは種やサイズの分離を行うことは困難であった。この漁業においても網内における生物の行動を水中ビデオカメラで観察したところ、網内での遊泳層や遊泳の有無により種ごとに異なる行動特性に分類することができた。この行動特性の利用を想定して、コードエンドを上下 2 層に仕切り、上層の天井網の一部に、従来使用されている網地（目合約 27 mm）の約 2 倍の目合の網地（目合約 60 mm）を備えた漁具を開発した。この構造により、底曳網に入網した生物はまず、網内における遊泳層と関係して上下どちらかのコードエンドに分離される。そして上層のコードエンドに入網した生物群のうち、ある程度の遊泳能力を持ち、上方向へと逃避行動を行う生物だけが従来の 2 倍の目合の網地に遭遇し、この網目を通過できるサイズの生物だけが漁具から逃避できることになる。この漁具を試用した結果、サルエビ *Trachysalambria curvirostris* など小型の対象種の漁獲はほとんど減少せず、同時にチダイ *Evynnis japonica* のような網内で活発に遊泳する種の、市場価値を持たないサイズの個体の混獲防止に有効であった。¹³⁾この漁具構造は現在、千葉県の外房海域で操業する小型底曳網漁業に普及し、全船で使用されている。

以上のように、漁獲物を網内で分離する技術の開発は、分離の対象を明らかにするために漁業と混獲・投棄の実態を把握し、生物の行動に影響すると考えられる漁場の環境に応じて進めることが望ましい。漁獲物を網内で分離する技術は、水揚げ対象となる生物と投棄される生物の、サイズや形状などの物理的な特徴や行動特性の違いを利用して開発される。ここで、機械的分離機能と生物の行動特性を利用した分離機能は技術開発に組み込むべき基本要素であり、これらの機能の組み合わせによりこの問題の緩和が可能となる。したがってこうした技術開発は、少魚種対象や多魚種対象あるいはサイズ分離や種分離などにかかわらず、水揚げ対象生物と投棄される生物の異なる部分を探し、適切な基本要素を組み合わせる作業となる。このような技術開発の取り組み方によって、近年問題となっているエチゼンクラゲによる漁業被害の問題にも対応を行い、漁獲物を保持しながらエチゼンクラゲを網から排除できる底曳網漁具の開発を行った。¹⁴⁾

2. 底曳網漁業の海底生息場への影響問題に対応する技術開発

この問題については近年、欧州や北米で盛んに研究されているが、わが国では懸念や推論は聞かれるものの、科学的な知見は限られている。著者らはサイドスキャンソナーを使用して、桁網漁具が通過する前後の東京湾内の底曳網漁場の海底地形を比較した。その結果、漁具が通過した距離の6.5%にわたって海底が漁具によって掘り下げられた跡を観察し、わが国でもこの問題が生じている可能性を確認した。¹⁵⁾

伊勢湾で操業する愛知県の小型底曳網漁業で、漁具の一部を離底させ、海底との接触面積を低減させる技術開発を行った。実は、沖合・遠洋トロール漁業のなかには、中層トロール漁具を用いて、漁具全体が海底と接触する着底曳と漁具の一部が海底と接触する離底曳を行うものがいた。¹⁶⁾ この中層トロール漁具は、離底曳を行った場合に鉛直方向の開きが大きくなるので、これを利用して、対象生物の鉛直分布に応じて網口の断面形状を多少変えることができる。このような対象生物の分布層に応じて漁具を離着底できる技術を使用すれば、離底曳することで、海底から離れた層に分布する生物の漁獲を従来の漁具よりも期待できる。また、着底曳により海底周辺に分布する対象種の漁獲にもある程度対応できる。すなわち、海底周辺に分布する生物とその生息場を保護すべき水域や時期、または海底から離れた層に分布する生物を対象とする水域や時期に応じて、離底曳と着底曳を使い分けることで海底周辺に分布する生物やそれらの生息場への影響を緩和できる。一方漁業者にとっては、水域や時期ごとに漁獲対象とする生物の選択範囲が広がり、経営の安定化につながる可能性がある。伊勢湾で操業する愛知県の小型底曳網漁業では主対象種であるシャコ *Oratosquilla oratoria* とアマナゴ *Conger myriaster* の資源状態が懸念されている。また、海底から離れた層に分布する生物（アジ類やカマス類など、離底種と呼ぶ）の漁獲も多い。¹⁷⁾ 離底種の漁獲の増加を図ることで、漁具の海底との接触状態の悪化に伴う経済的な損失も補填できる可能性もある。

新たに開発する漁具（網とオッターボード）では、現用漁船の曳網能力の範囲内で設計速力と網の水平方向の開き（袖先間隔）を現在使用している漁具の値に近づけ、そして網の垂直方向の開き（網口高さ）を可能な限り大きくすることで網の濾水容積を現用の網よりも増大させることを目標にした。そのために開発した網は、中層トロール網と着底トロール網の双方の特徴を持ち合わせている。この網に既存のオッターボードを連結して曳網実験を行ったところ、オッターボードから後ろの漁具全体が海底と接触する着底曳時には、現用の網とあまり変わらない形状、曳網速力、漁具抵抗で曳網できた。次にオ

ッターボードが離底して網だけが海底と接触する離底曳時には、曳網速力は着底曳時と変わらないものの網口高さは大きく増加し、袖先間隔は網口高さの増加に伴い減少した。その結果、開発した網の掃過面積は現用の網よりも小さくなり、濾水容積は顕著に大きくなった。しかし漁具抵抗はオッターボードが離底して網口高さが大きく増加した際に目標とした値を若干上回った。そこでこの抵抗の増大を抑えることができる新しいオッターボードの設計、製作も実施した。その際にも底部形状を変更することで海底と接触する面積を小さくできるよう配慮した。これらの漁具の設計の詳細とその性能については、松下ら¹⁸⁾と山崎ら¹⁹⁾を参照されたい。

底曳網漁業が海底に与える影響を緩和するためには、このような漁具が海底を圧す面を小さくする「漁具と海底との接触面積の低減」の他にも、海底を圧す力を減少させる「漁具の軽量化」、あるいはこれらをすべて無くす「漁具と海底との非接触化」などが技術的な対応策として考えられる。どの対応策を採用するかは、問題の深刻さと経済性に依りて、「軽量化」で許されるのか、「漁具と海底との接触面積の低減」まで必要なのか、それとも完全に「漁具と海底との非接触化」でなければいけないのかを判断する必要がある。わが国では、オッターボードやグランドロープの揚力や沈降力をキャンバス製のカイトの揚力で置き換えることによる漁具の軽量化²⁰⁾や、漁具と海底との非接触化につながる中層トロール網の運動を精密に制御する技術の研究²¹⁾などが行われた。しかし、漁具の海底との接触は、効率的な漁獲の目安として重要視されてきた。例えばオッターボードや索具が海底と接触して起こす砂煙が対象生物を網口に駆集させることが良く知られている。²²⁾したがって上述の対応策は、本来、底曳網漁業技術に期待される、海底周辺の対象生物の効率的な漁獲に対して負の方向にはたらくことが予想される。実用的な技術として産業に普及するためには、対象生物の漁獲の減少をできるだけ抑えるような技術の研究開発も同時に進める必要もある。

3. おわりに

以上、本研究では底曳網漁業の混獲・投棄問題と海底生息場への影響問題に対して、いくつかの調査、実験を実施し、その結果をもとに底曳網漁業の海洋生態系への影響緩和技術開発について総合的な考察を行った。わが国の底曳網漁業の特徴は、少数種が卓越する水域から多数種が混在する水域の広きに渡って、様々な漁具・漁法を用いて操業が行われていることである。このような多種多様な底曳網漁業に応じて、海洋生態系への影響緩和技術もまた様々な対応が必要と考えられる。わが国の底曳網漁業の多様性を考えた場合、海洋生態系への影響緩和技術が従来の漁業技術と同じように個別の漁業に適用

できるようになるためには、評価と調整、あるいはノウハウの蓄積に基づくさらなる技術開発が必要となるであろうが、その際も本研究で示した知見はその基礎資料となると考える。

謝 辞

本研究は国内外の大学、試験研究機関、漁業・漁具会社の方々の多大なご協力により実施することができた。特に、東京海洋大学、鹿児島大学水産学部、水産総合研究センター水産工学研究所、長崎大学水産学部の関係者の皆さまからは格段のご指導、ご助言をいただいた。ここに記し、感謝申し上げる。

文 献

- 1) Kelleher K. Discards in the world's marine fisheries. An update. *FAO Fish. Tech. Paper* 2005; **470**: 131.
- 2) Code of Conduct for Responsible Fisheries. FAO, Rome, 1995; 41.
- 3) Caddy JF. Underwater observations on tracks of dredges and trawls and some effects of dredging on a scallop ground. *J. Fish. Res. Board Can.* 1973; **30**: 173-180.
- 4) Churchill JH. The effect of commercial trawling on sediment resuspension and transport over the Middle Atlantic Bight continental shelf. *Cont. Shelf Res.*, 1989; **9**: 841-864.
- 5) Auster PJ. A conceptual model of the impacts of fishing gear on the integrity of fish habitats. *Conserv. Biol.*, 1998; **12**: 1198-1203.
- 6) 松下吉樹, 井上喜洋. ロシア 200 海里内漁場で操業する北転船の漁獲特性について. *日水誌* 1998; **64**: 957-965.
- 7) Matsushita Y, Rosidi A. Investigation of trawl landings in Malaysia for the purpose of reducing the capture of non target species and sizes of fish. *Fish. Res.* 1997; **29**: 133-143.
- 8) 松下吉樹. 曳網漁業における混獲防除技術. *日水誌* 2000; **66**: 261-268.
- 9) Inoue Y, Matsushita Y, Arimoto T. The reaction behaviour of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*) in a deep/low-temperature trawl fishing ground. *ICES Mar. Sci. Symp.* 1993; **196**: 77-79.
- 10) Arimoto T, Xu G, Matsushita Y. Muscle contraction time of captured walleye pollock *Theragra chalcogramma*. *Nippon Suisan Gakkaishi* 1991; **57**: 1225-1228.
- 11) 松下吉樹, 井上喜洋, Shevchenko AI. 一重, 二重網地コッドエンドの漁獲選択性. *日水誌* 1996; **62**: 78-82.
- 12) 松下吉樹, 井上喜洋. スケトウダラ *Theragra chalcogramma* の体型による角目網コッドエンドの漁獲選択性の変化. *日水誌* 1997; **63**: 23-29.
- 13) 松下吉樹, 井上喜洋, 信太雅博, 野島幸治. 沿岸底曳網漁業における混獲防除ウインドーを備えた2階式コッドエンドの開発. *日水誌* 1999; **65**: 673-679.
- 14) 松下吉樹, 本多直人, 河村智志. 曳網漁具に装着する大型クラゲ混獲防除装置 JET (Jellyfish Excluder for Towed fishing gear) の試作と操業実験. *日水誌* 2005; **71**: 965-967.
- 15) Matsushita Y, Erickson DL, Fujita K. Observation of seabed trenches left by a beam trawl in Tokyo bay. *Tech. Rep. Nat. Res. Inst. Fish. Eng.* 2001; **23**: 71-75.
- 16) Johnson T. アメリカ西海岸における中層トロールの設計, 「世界の中層トロール漁法」(三宅康松訳). 海洋水産資源開発センター, 東京, 1984, 51-60.
- 17) 玉越紘一. 愛知県の底びき網漁業のあゆみ. *愛知水試研報* 2000; **7**: 17-41.
- 18) 松下吉樹, 熊沢泰生, 富山 実, 稲田博史, 武内要人, 藤田 薫, 山崎慎太郎. 小型底びき網漁船で使用する離着底兼用トロール網の開発. *日水誌* 2006; **72**: 734-742.
- 19) 山崎慎太郎, 松下吉樹, 川島敏彦, 富山 実, 熊沢泰生, 平山 完. 伊勢湾底びき網漁業に用いられるオッターボードの性能評価と新型オッターボードの提案. *日水誌* 2007; **73**: 220-225.
- 20) 財全国底曳網漁業連合会, 財漁船協会. 平成6年度漁業新技術開発事業(漁業再編整備推進新技術開発事業)海底環境保全型底曳網漁法の開発報告書. 財全国底曳網漁業連合会, 東京. 1995; 71.
- 21) 胡夫祥, 東海 正, 松田 峻. 中層トロールシステムの網位置制御シミュレーション. *日水誌* 2001; **67**: 226-230.
- 22) Main J, Sangster GI. A study of the sand clouds produced by trawl boards and their possible effect on fish capture. *Scot. Fish. Res. Rep.* 1981; **20**: 20.