

令和 2 年 5 月 26 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K07916

研究課題名(和文) 混獲防除のための底曳網の分離漁獲機構に関する生物行動学的・漁具力学的研究

研究課題名(英文) Study on species/size separation mechanism of bottom trawl for reducing bycatch

研究代表者

三橋 廷央 (Mituhasi, Takahisa)

鹿児島大学・農水産獣医学域水産学系・助教

研究者番号：30623954

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：底曳網の漁具選択性向上に寄与するため、以下の調査を行った。底曳網の操業実験資料の分析とビデオ映像解析から、網口における生物の行動特性を検討し、ヒラツメガニでは網口中央に駆集されることなく網口を通過して入網・漁獲されると考えられた。簡易底曳網を用いてコッドエンド網目展開装置の操業実験を行い、ビデオ撮影によりその機能を確認した。洋上での水中撮影を成功に導くツールとして、水中カメラの設定感度(ISO)と水中環境照度データに基づき、適宜のシャッタースピードを選択可能にする関係式を構築した。さらに、深度と暗所視照度の関係を実験海域で計測することで、無照明撮影可能な限界水深も予測可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

東シナ海の底曳網で多獲されるヒラツメガニの網口付近における行動特性(入網経路)について基礎的な情報を得ることができた。カメラの設定感度(ISO)と水中環境照度データに基づき、適宜のシャッタースピードを選択可能にする関係式を構築した。簡便な光センサーを用いた計測口ガーを使用し、本研究と同様の分析を行い、各種関係式を求めておくことは、貴重な洋上での試験時間を利用して行う水中撮影をより高い成功率で実施するために有益な方法と考えらる。

研究成果の概要(英文)：Reaction behaviour and entry pathway of target and non-target species to bottom trawl were investigated to contribute to improvement of bycatch reduction technology. A simple device for opening codend meshes of trawl was tested onboard in order to improve mesh selectivity of codend.

We also constructed a relational expression which allowed selection of appropriate shutter speed (exposure time) of camera based on sensitivity (ISO) of the camera and environmental irradiance in water. Shutter speed selection by camera at different ISO sensitivity settings were able to explained by the scotopic luminous flux. We suggest that simple and portable luminous measuring device aids successful photography underwater. Simple and portable luminous measuring device aids successful photography underwater. Our result also suggests that 10-20lx in scotopic luminous flux is about a threshold to record images under non-illuminated condition when use high sensitivity camera (ISO51200).

研究分野：漁業学

キーワード：底曳網 漁具選択性 分離漁獲 水中環境照度 混獲削減 シャッタースピード 高感度デジタルカメラ 暗所視照度

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

底曳網の資源管理方策の1つに漁具選択性を利用した幼稚魚等の混獲防除の取り組みがある。こうした取り組みでは、コッドエンド網目の拡大や混獲生物を分離する装置を装着により漁獲できる魚の大きさや種を制御する方法が取られることが多い。これまでの研究から、技術開発に関わる成果と共に、こうした混獲防除技術が、漁獲対象生物と混獲生物の分離に一定の効果を得られることも報告されているが、同時に漁業現場での操作性の改善の必要性、生物種ごとに異なる分離機構を検討する必要性等、更なる技術改善や生物の対漁具行動特性の解明が求められている。漁業従事者の減少や高齢化を背景に、船上での漁獲物選別作業の軽減による操業の省力・効率化や漁獲物の品質向上を考える上でも、実用的な混獲防除技術の開発と漁業現場への実装は重要な課題である。

### 2. 研究の目的

底曳網の混獲防除技術は、物理的分離機能と生物の行動特性を利用した分離機能のいずれか単独で、または両者が組み合わされて構成される。物理的分離機能とは、網目などに生物が接触した際にそれぞれの大きさや形状の相対的な関係でふるい分ける機能のことで、生物が網目等に接触して初めて作用する。このため、混獲防除機能を向上させるには、網目拡大などによる物理的分離機能の改善だけでなく、生物が分離装置に接触する機会を高めることを合わせて検討する必要がある。本研究では、底曳網の混獲防除技術の向上への寄与するため、種ごとの入網時および網内での行動解明と複雑な構造を伴わない分離装置(コッドエンド網目展開装置)の開発を目的とした。行動解明は、水中カメラによる観察に加えて、過去に実施した操業実験データの解析も合わせて行う。また、カメラによる生物行動や漁具挙動の水中観察の効率化に寄与するため、カメラ設定感度と水中環境照度に基づき適宜のシャッタースピードを選択可能にする方法の確立を目指す。

### 3. 研究の方法

本学練習船による東シナ海での底曳網操業の主な漁獲種のうち、遊泳力の低いヒラツメガニと遊泳力が高いマアジを主要漁獲生物として選び、これらの遊泳生態の異なる生物をモデルとして底曳網の分離漁獲機能の向上を検討した。

(1)水中カメラの設定感度(ISO)と水中環境照度データに基づき、適宜のシャッタースピードを選択可能にする関係式を構築する。東シナ海で、メモリー式深度計付きの耐圧筐体に収納した分光放射照度計(CL-500A、KONICAMINOLTA)及び市販の高感度デジタルカメラ(SONYα6300:CMOSセンサー、ISO範囲100~51200)を水深150mまで垂下して、異なる深度における環境分光放射照度の測定と静止画インターバル撮影(1秒間隔)を行った。照度計データおよび静止画撮影データから、水中放射照度の変化に応じてカメラの露出時間(シャッタースピード)がどのように変化するかを検討する。

(2)種ごとの入網時の行動を水中ビデオ映像および操業実験資料の分析により解明し、分離漁獲機能の改善に寄与する知見を得る。操業実験資料は、練習船かごしま丸が2015年10月に東シナ海陸棚域において、網口下部から入網した生物を保持するために3カ所に補助網を装着した底曳網(図1)で実施した操業実験資料(計4回)を用いた。コッドエンド及び補助網それぞれで保持された生物の種類および尾数の比較検討により、入網時の種別生物行動(入網経路)を推測した。その結果に基づき、ヒラツメガニの排除に効果的な分離装置の装着位置を検討した。

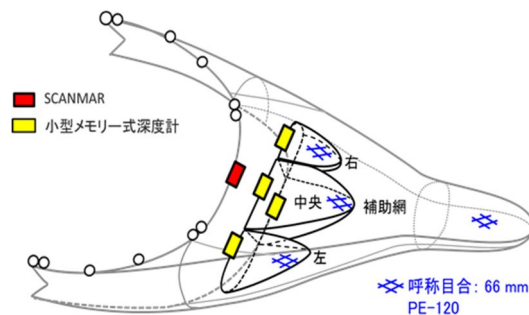


図1 補助網を装着した試験用底曳網の模式図

(3)底曳網コッドエンドの網目選択性の向上に寄与することを目的として、簡易な構造の網目展開装置を試作し、練習船による操業試験を実施し、水中カメラ観察によりその効果を評価した。近年、曳網の拡網装置として実用化されているキャンバスカイト(帆布製)を参考にして試作した網目展開装置は、ナイロンベルトで補強したターポリン(塩ビ樹脂を塗布したポリエステル布)製のカイトをコッドエンド前端またはファンネル(コッドエンドと身網を接続する部分)の外周(上下・左右計4枚)に装着し、この4枚の後端に通したロープを絞ることでカイトに迎え角を付け、曳網時の水流で生じるカイトの揚力によってコッドエンド網目を展開できるか検討した。操業試験は、当初、東シナ海で本学の大型練習船の底曳網を用いて実施を計画していたが、台風による航海計画の変更のため実施できなかった。このため、中型練習船が保有する標準採集用の簡易型底曳網(LC net)を使用して鹿児島沿岸で実施した。操業実験では、網口およびコッドエンドに装着した水中カメラで撮影したビデオ画像により、展開装置の有無による網目展開状態を比較評価した。

### 4. 研究成果

(1)水中環境照度データに基づく水中撮影のための撮影条件選択方法の確立

東シナ海の実験海域における深度別の分光放射照度を図 1 に示す。海面で計測した太陽光スペクトルの減衰は、光波長 600nm (赤波長帯) 以上の長波長で著しく、深度 20m 以深においては計測に使用した機器の計測精度以下であった。波長 420nm (紫波長帯) 以下の短波長光の減衰も大きい特徴が示された。深度 100m の分光放射照度分布は波長 495nm (青緑波長帯) 帯にピークを示し、450-570nm の光の透過性が高いことが明らかであった。図 3 に示した、各深度の波長別分光放射照度から波長 450nm、500nm、550nm、600nm における計測値を抽出し計測深度との関係を図 2 に示した。水中伝搬する光のエネルギー減衰は下式(1)のランベルト・ベールの式により表される。

$$I_d = I_0 e^{-cd} \quad (1)$$

ここでは、 $d$  は水中での光の伝搬距離、 $I_0$  および  $I_d$  はそれぞれ伝搬距離が 0m および  $d$ m の位置での放射照度、 $c$  は減衰係数 (消散係数、 $m^{-1}$ ) を示す。図 2 に示したように、波長 500nm の光の透過性が最も高く、減衰係数は  $0.083m^{-1}$  と推定した。450nm および 550nm の光は概ね同等の減衰傾向を示し、減衰係数はそれぞれ  $1.08m^{-1}$ 、 $1.03m^{-1}$  であった。長波長の 600nm の伝搬距離に対する減衰率は最も大きく、減衰係数は  $0.248m^{-1}$  であった。深深度での水中撮影を無照明で試みようとする場合、撮影機器のイメージセンサー (CMOS や CCD 等) の分光感度特性を考慮する必要があるが、水中光の分光分布特性からは、特に RGB の G チャンネルで受光される光波長帯が卓越することが明らかであった。

次に、本研究で使用した高感度デジタルカメラを対象に、無照明撮影を行う場合の水中照度 (暗所視照度) とシャッタースピードの関係を求め、図 4 に示した結果を得た。暗所視照度 ( $lx=lm/m^2$ ) とは照明器具の輝度を表すのに用いられ、ヒトの眼の明環境下および暗環境下での分光視感度関数を輝度値 (物理量) に乗じ、心理物理量として求められる値である。暗所視照度  $L'$  は下式が定義されている。

$$L' = K'_m \int L_\lambda V'_\lambda d\lambda \quad (2)$$

ここでは、 $K'_m$  は最大感度の理論値で暗所視感度の場合  $1745lm/W$  が与えられている。 $L_\lambda$  は  $V'_\lambda$  はそれぞれ計測した光の分光放射照度と国際照明委員会 (CIE、1951) の勧告による暗所視視感度関数。参考のため、図 5 に CIE の勧告した明所視感度関数と暗所視感度関数を示した。最大感度波長は明所視で 555nm、暗所視で 507nm と定義されている。図 2 および図 3 に示した通り、海域における波長別分光透過特性は波長 500nm 帯にピークが見られた。そこで分光放射照度計による計測値から 507nm に最大感度を持つ関数で補正した暗所視照度を求め、シャッタースピードとの関係を分析した。図 4

に示すように、両者の関係は有意な指数関数式で表すことができた。すなわち、任意の ISO 感度および F 値の設定下において、許容できる最長のシャッタースピードを実験者が決めることで撮影限界照度を導き出すことができる。さらに、図 6 に示した深度と暗所視照度の関係を実験海域で計測することで、無照明撮影可能な限界水深も予測可能であることが明らかであった。本実験に用いたカメラの感度(ISO)を 51200 に設定した場合、生物行動に影響を与えない無照明で撮影

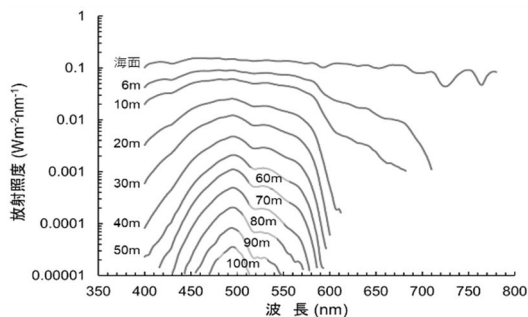


図 2 計測深度別の分光放射分布

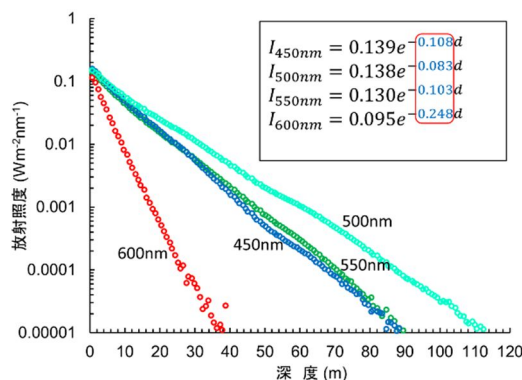


図 3 深度と放射照度の関係

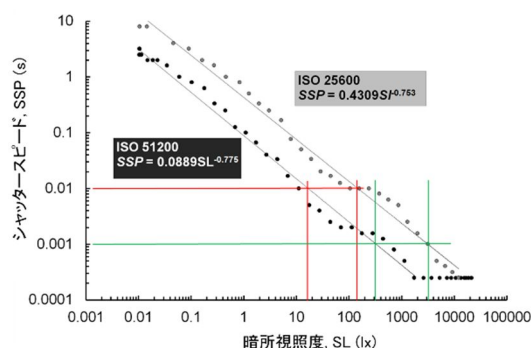


図 4 暗所視照度とシャッタースピードの関係

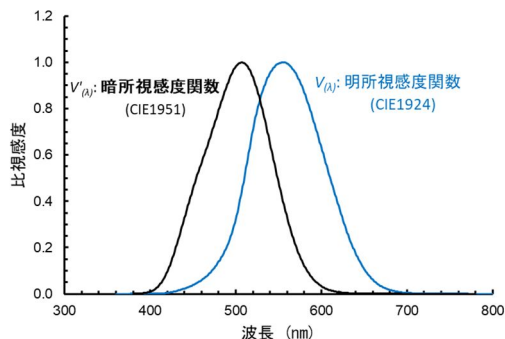


図 5 標準比視感度関数



可能な暗所視照度は 10-20lx であると評価した (シャッタースピード 1/100s を許容限界とした場合)。上述の撮影可否判断を現場で実施するには、分光放射照度或いは暗所視照度を実験海域で簡便に計測する機器開発が課題となる。本研究では暗所視照度を求めシャッタースピードとの有意な関係式を得たが、他波長帯との関係を求めたとしても有意な関係式を得られることは図 3 の結果からも明らかである。簡便な光センサーを用いた計測口ガーを使用し、本研究と同様の分析を行い、各種関係式を求めておくことは、貴重な洋上での試験時間を利用して行う水中撮影をより高い成功率で実施するために有益な方法と考えられた。

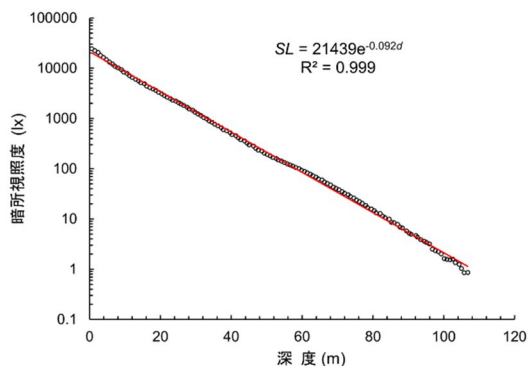


図 6 深度と暗所視照度の関係

(2) 種ごとの入網時の行動解析およびヒラツメガニの排除に効果的な分離装置の検討

東シナ海で実施した計 4 回の底曳網操業を実施した。曳網速度 3~4 ノット (対地)、1 操業あたり曳網時間は 49~66 分であった。底曳網の網成りは袖先間隔約 24m、網口高さ 2.8~3.2m、補助網の網口高さは底曳網のグランドロープから 0.7~1.1m の範囲であった。補助網のコッドエンドには、底曳網コッドエンドと同規格の目合 66mm (呼称) 網地を用いた。コッドエンド、中央補助網、左右補助網の漁獲物を別々に扱い、それぞれ種別の個体数及び重量を測定・記録すると共に、主要魚種の体長測定を行った。

コッドエンドと補助網で保持された主要種の漁獲尾数を表 1 に示す。魚類と頭足類では、イボダイ、タチウオ、マアジ、カイワリ、ケンサキイカはコッドエンドの漁獲割合が大きかった。このことから、これらの魚種は主に網口上部~中央を通過して入網すると考えられた。漁具に遭遇すると上方へ逃げるといったこれらの種の行動特性を反映している可能性もある。一方、カナガシラ類、アカムツ等はコッドエンドと補助網の両方で漁獲された。これは、これらの魚種は海底への依存度がイボダイ等よりも強いが、海底近くで離底して分布しているためと考えられた。海底への依存が強いと考えられるヨロイイタチウオ、ホウボウ、マトウダイの漁獲は補助網で多かった。甲殻類では、ヒラツメガニ、ヤドカリ類ともにコッドエンドで保持された個体が多かった。ヒラツメガニは遊泳脚を持ち、カニの仲間の中で遊泳能力が高い種である。実際、揚網中に、ヒラツメガニが遊泳脚を使って泳ぎながら、コッドエンドに入る様子を水中カメラ映像で確認している。以上より、コッドエンドで保持されたヒラツメガニは、漁具に遭遇した後、補助網ヘッドロープより高い位置を遊泳しながら入網したものと考えられた。しかし、遊泳力を持たないと考えられるヤドカリ類の漁獲が補助網よりコッドエンドで多かったことから、遊泳力以外の要因の存在可能性もあり、今後、曳網中の網口部のビデオ観察等により、その要因を探っていく必要がある。

表 1 コッドエンドと補助網の魚種別漁獲尾数

魚種	コッドエンド	補助網
イボダイ	1756	60
タチウオ	194	3
マアジ	92	10
カイワリ	63	8
ケンサキイカ	418	13
カナガシラ属	54	51
アカムツ	53	58
キダイ	30	23
ウマヅラハギ	20	20
ヨロイイタチウオ	7	22
マトウダイ	43	76
ホウボウ	40	92
ヒラツメガニ	6500	3332
ヤドカリ類	128	76

補助網で保持された主要種の個体数を補助網位置 (中央、左+右) 毎に表 2 示した。左右の補助網で保持された個体数は合算して扱った。ホウボウ、カナガシラ類では中央と左右の補助網でほぼ同数が漁獲されたのに対し、アカムツ、イボダイ、ウマヅラハギは左右の補助網での漁獲割合が大きかった。魚は底曳網グランドロープに接触すると、次第に網口中央へと駆集されて入網することが知られている。上記のように魚種毎に保持された補助網位置が異なったことは、これらの種々の対漁具行動の相違を反映している可能性がある。

表 2 補助網位置ごとの魚種別漁獲尾数

魚種	中央	左+右
ホウボウ	41	51
カナガシラ属	24	27
ヨロイイタチウオ	10	12
キダイ	9	14
マアジ	2	8
タチウオ	2	1
カイワリ	0	8
アカムツ	10	48
イボダイ	8	52
マトウダイ	4	62
ウマヅラハギ	2	18
ケンサキイカ	6	7
ヒラツメガニ	359	2973
ヤドカリ類	46	30

ヒラツメガニは左右の補助網での漁獲が圧倒的に多かった。これは、ヒラツメガニは、魚類と異なり、グランドロープ等により駆集されず、漁具に遭遇すると袖網やグランドロープに沿って入網したためと考えられた。遊泳脚を持たないズワイガニの場合、底曳網グランドロープに接触し

ても、これに駆集されることなく入網するとの研究報告もある。

これらの結果から、底曳網からヒラツメガニを排除するための分離装置は、網口中央よりも網口の左右（奥袖）に配置するのが効果的と考えられた。なお、補助網とコッドエンドで漁獲されたヒラツメガニの甲幅組成に有意な違いは見られなかった。本研究では、ヒラツメガニの総漁獲尾数の3割強が補助網で、残りがコッドエンドで漁獲された。このことは、分離装置を網口下部左右に装着した場合も、入網したヒラツメガニの半数以上がコッドエンドに入る可能性を示唆している。ヒラツメガニの排除率向上には、漁具構造が複雑化を回避しつつ、ヒラツメガニを分離装置に誘導する仕組みの追加やコッドエンドでの分離漁獲についても合わせて検討することが有効と考えられた。漁獲資料から推定したヒラツメガニ等の入網過程を検証するために、底曳網操業時に水中カメラを網口等に装着してビデオ撮影を実施した。しかし、漁場海底は砂泥であり、海底を曳かれる底曳網漁具が巻き上げる海底の土砂などのため、生物の行動特性の解明に適した映像記録はまだ十分とは言えず、引き続き、底曳網操業時にビデオ撮影を継続中であり、今後、映像の分析により推定された入網経路の検証を行う必要がある。

### (3)コッドエンド網目の強制展開方法の確立

網目展開装置の操業実験は、2020年1月13日～14日、練習船南星丸の標本採集用の簡易型底曳網（LC net）を用いて、開聞岳沖（水深100m）と鹿児島湾内（水深80m）でそれぞれ2回実施した。コッドエンドの外周に計4枚のカイトを装着し、曳網中の水流によってカイトに生じる揚力により、コッドエンド網目が弛んだ状態を解消させて網目を展開することを試みた。網内2カ所にカメラを設置し、曳網中の網目の展開状態や網成りを撮影した。その際、本研究の項目(1)で構築した、水中撮影時のシャッタースピード選択方法の検証も併せて実施した。操業実験の結果、簡易な構造のカイトの装着により、曳網中のコッドエンド網目の弛みが解消され、網目を安定的に開くことが水中映像から確認できた。しかし、実験に使用した網は生物標本採集用の小型のものであり、大型の底曳網でも簡易な構造のカイトの装着によって同様の網目展開効果が得られるか確認する必要がある。今後、練習船による東シナ海での底曳網操業実習等の機会を利用して、大型底曳網を使った実験の実施と水中撮影による資料の蓄積および効果の確認に取り組むと共に、網目強制展開による底曳網の漁具選択性の変化の有無についても検討していく計画である。



図7 簡易な構造の網目展開装置の洋上実験

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Takahisa Mitsuhashi, Kazuhiko Anraku, Masaki Uchiyama, Takafumi Azuma, Ryuji Fukuda, Akimasa Habano, Keigo Ebata
2. 発表標題 Relationship between underwater spectral irradiance and limit of photography under non-illumination condition
3. 学会等名 International Conference on Fisheries Engineering 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	安樂 和彦  (Anraku Kazuhiko)  (50274840)	鹿児島大学・農水産獣医学域水産学系・教授    (17701)	