

平成 30 年 5 月 21 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2017

課題番号：26660151

研究課題名(和文) 海洋トワイライトゾーンに生息する動物プランクトンの定量モニタリング手法の開発

研究課題名(英文) Development of quantitative monitoring method for zooplankton inhabiting the ocean twilight zone

研究代表者

向井 徹 (MUKAI, TOHRU)

北海道大学・水産科学研究院・教授

研究者番号：60209971

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本申請は、深度200m～500mの海洋トワイライトゾーンに生息する動物プランクトンの定量化を音響的手法と光学的手法を併用して行う手法の開発を目的とした。音響的手法では、今まで数多くの測定例があるオキアミ以外の、カイアシ類、タンキョク類についても、定量化の際のスケールファクターとなる音響反射率の測定を行うことができた。一方光学的手法では、汎用のデジタルカメラと外部フラッシュを用いて深度100mまでの動物プランクトンの撮影を行うことができるようになった。さらに大深度での撮影は、機器のトラブルにより成功しなかった。

研究成果の概要(英文)：This application was aimed at developing a method of quantifying zooplankton inhabiting the ocean twilight zone with depths of 200 to 500 meters using a combination of the acoustic and the optical method. Using the acoustic method, besides krill, which has many examples of measurements up to now, it was also possible to measure the acoustic scattering cross-section which is the scale factor in quantification for copepods and amphipods. On the other hand, with the optical method, it was possible to photograph zooplankton at depths of up to 100 meters using a general-purpose digital camera with external flash. Further shooting at greater depths could not be realized due to troubles in the equipment.

研究分野：水産音響学

キーワード：トワイライトゾーン 動物プランクトン デジタルカメラ 音響的手法 光学的手法 定量化

1. 研究開始当初の背景

(1)申請者らは、平成 21～23 年度の挑戦的萌芽研究『カイアシ類の超音波反射特性の解明-カイアシ類の音響資源調査実現への第一歩として-』によって、体長 5～10mm 程度のカイアシ類の音響反射を、少ないながらも水槽内で極めて正確に測定することに成功した。そして、音響散乱モデルによる推定値と実測値とが良く一致することを示した。

(2)一方、親潮域に生息するカイアシ類の中には、季節的に深度約 500m の深層へ移動し休眠・越冬する種がいる。このような中深層において動物プランクトンを音響的に捉えようとする場合、高周波数では音波の減衰が大きく、船底に装備された送受波器では音波がそこまで届かず、音響調査が行えない。

(3)そこで、送受波器ともども魚探機を耐压ケースに入れ、バッテリー駆動のロガー式とし、魚探機自体をトワイライトゾーンへ垂下することで、積極的に動物プランクトンとの距離を縮め、船底装備の送受波器では到底探知できないトワイライトゾーンにおける動物プランクトンの分布や量の推定を行う方法を考えた。また、中深層ではカイアシ類以外にも動物プランクトンが生息する。その種やサイズの確認には、決められた時間間隔でフラッシュ撮影するインターバル機能付きのデジタルカメラをステレオ式にして用いる。このフラッシュの間隔を魚探のパルスの発射と同期させることで、音響・画像データの完全同期取得が可能となる。

(4)将来的にはこの音響・画像機器と汎用 CTD を組み合わせることで、塩分(C)・水温(T)・深さ(D)・プランクトン(P)の同時迅速観測が可能となる機器 CTDP として発展させることを考えた。

2. 研究の目的

海洋中の深度 200m～500m の中深層には多くの動物プランクトンが生息し、多くの魚類の生活を支えている。この深度層は海のトワイライトゾーンと言われ、光のみならず、魚群探知機で使われる超音波も届きづらい。中でも特に、動物プランクトンの探知に有効な高周波数の超音波は、距離減衰が大きく調査船からではトワイライトゾーンには届かず、動物プランクトンの探知が困難になっている。そこで本申請は、観測機器自体を積極的にトワイライトゾーンに持ち込むことで高周波数での動物プランクトンの探知を有効にし、かつ、種類の判別やサイズ、浮遊状態などの把握にデジタルカメラを併用することで、いまだかつて行われていない中深層の動物プランクトンの定量化を迅速に行う手法を開発することを目的とした。

3. 研究の方法

音響手法を用いて生物のサイズや量を推定するときのスケールファクターである音響反射率の測定を、研究分担者が所属する水産工学研究所にて行った。測定システムを図 1 に示す。本システムでは、測定対象生物を水槽内に固定し、超音波を送受する送受波器が生物を中心として同心円状に回転することでいろいろな角度における超音波反射率を測定することができるようになっている。本申請では主に、ヤムシ類とタンキヤク類の測定を考えた。過去に、同水槽においてカイアシ類や小型のカイアシ類についての実測を成功させているので、そのノウハウを活用することで両種の音響反射測定も問題なく実施できると考えられた。

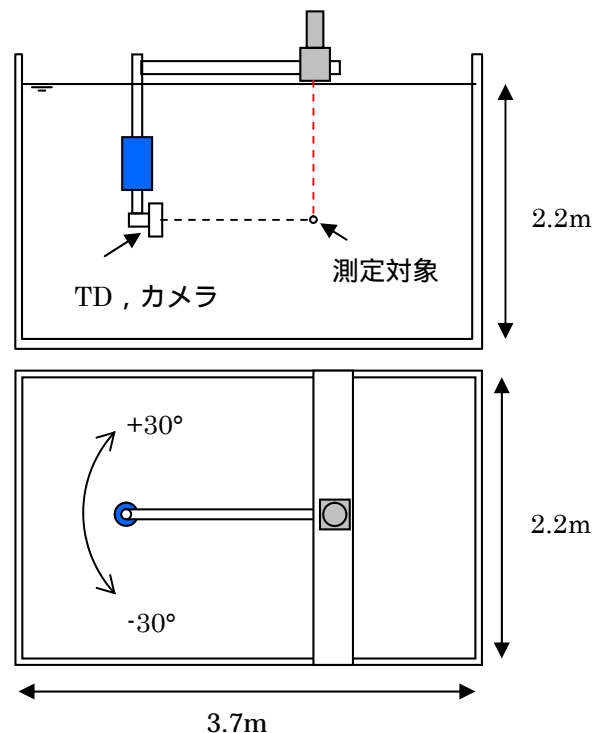


図 1. 動物プランクトンの音響反射率測定システム (上)横から見た図 (下)上から見た図

また、ヤムシ類およびタンキヤク類の生体密度・体内通過音速をそれぞれ図 2, 3 のシステムで測定し、音響理論モデルにより音響反射特性を推定し、実測値と比較することでその妥当性の検証を行った。本研究では、動物プランクトンの形状をたくさんの薄片円筒の集まりとして近似する DWBA モデルを用いて音響反射特性を推定した。

一方、光学的手法による動物プランクトンの種やサイズの確認については、できるだけ汎用の廉価なものを用いてシステム構築を行うべく機種を選定と試用を行った。デジタルカメラの機能としては、最低限一定間隔で撮影を行うインターバル撮影機能が付いたものとし、水中で使えるハウジングがオプションで用意されており、かつ、レンズの F 値が出来るだけ小さいもの、すなわち明るいレンズのものを選定することとした。さらに、

内蔵のフラッシュではマリンスノーの映り込みが激しいため、外部フラッシュを使えることも条件の一つとした。また、最終的には深度 200m~500m において写真撮影を行うため、耐圧ハウジング(目標 500m)を用いた撮影ができるようなシステム開発を目指した。

Density Bottle(デンシティー・ボトル)法

密度間隔 0.002g/cm^3 で作成した海水とグリセリンの混合溶液中に、麻酔したプランクトンを入れ、浮いた密度と沈んだ密度の平均を生体の密度とする。下図の場合は 1.063g/cm^3

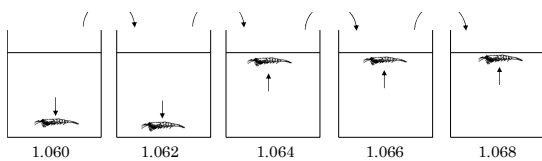


図 2 . 動物プランクトンの生体密度測定法



図 3 . 動物プランクトンの体内通過音速の測定法

4 . 研究成果

(1)音響的アプローチ

図 1 に示すシステムで測定したオキアミ類、カイアシ類、タンキヤク類、ヤムシ類の超音波反射率の測定例を図 4 ~ 7 に示す。いずれも横軸が超音波の入射角、縦軸が超音波反射率を表すターゲットストレングス (dB) というものである。図 4 はオキアミ類の結果であり、図中の黒点が実測値、黒実線は DWBA モデルによる推定値である。±20° のメインローブにおいては、実測値とモデル推定値が非常によくあっているのがわかる。次に図 5 についても、図中の黒点が実測値、黒実線が DWBA によるモデル推定値、黒破線がカイアシ類の形状を球とみなして流体球モデルで推定した結果である。DWBA モデルによる推定値が実測値と良く一致した。続いて図 6 はタンキヤク類の結果である。黒点が実測値、赤線が DWBA によるモデル推定値である。この種においてもほぼ DWBA モデルで推定できることがわかる。最後に、ヤムシ類の図 7 についてであるが、実測値とモデル推定との乖離が

見られる。メインローブが推定できていないが、サイドローブの推定は出来ていると思われる。

以上、ヤムシ類以外については DWBA モデルによる推定が可能となった。ただし、ここでは示していないが、カイアシ類のオイルサックに油を満した個体については DWBA による推定ができなかった。ヤムシ類の検討とともに課題として残された。

しかし、オキアミ以外の 3 種に関して超音波反射率の角度特性を調べた例は世界的にまだなく、今後さらにデータを増やすことで貴重な基礎データとなりえる。

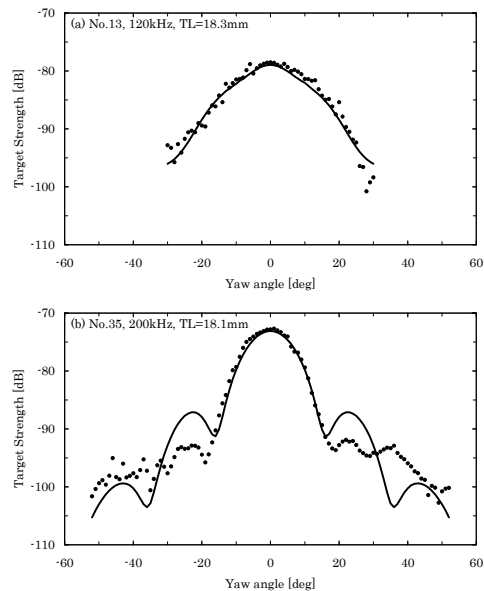


図 4 . オキアミ類の超音波反射率の角度特性

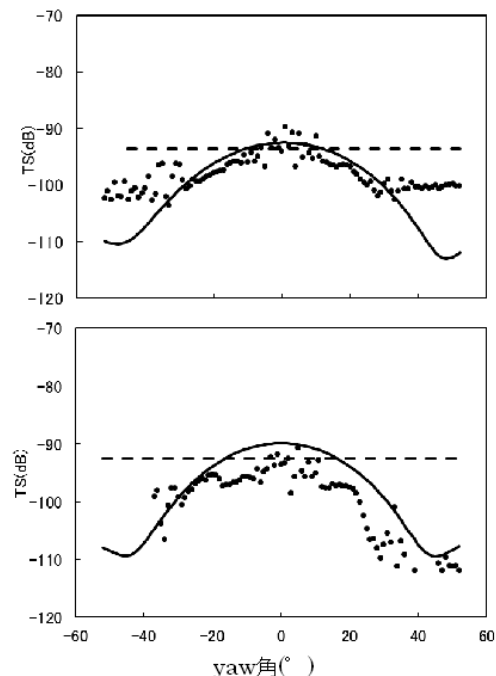


図 5 . カイアシ類の超音波反射率の角度特性

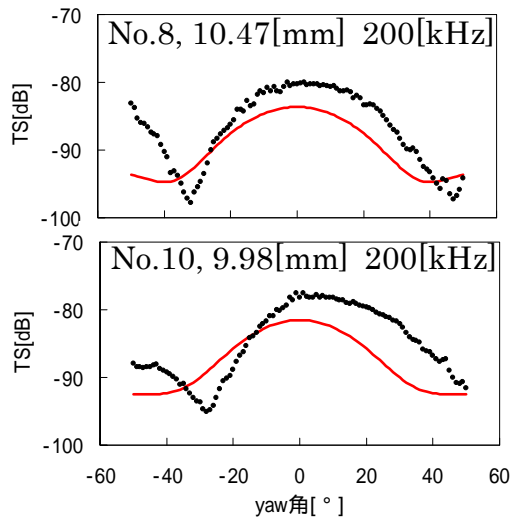


図6．タンキヤク類の超音波反射率の角度特性

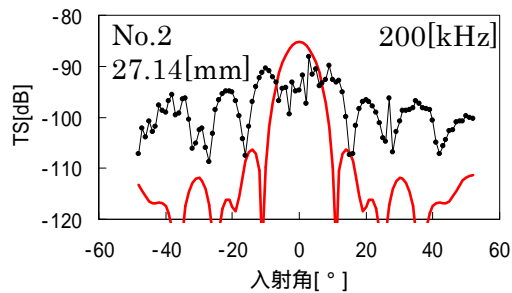


図7．ヤムシ類の超音波反射率の角度特性

(2) 光学的アプローチ

汎用型デジタルカメラを用いた光学システムの構築

民生用のデジタルカメラを調べ、O社のカメラとR社のカメラを選択した。これらを耐圧ハウジングに収容し、L型アングルで作成した架台に取り付け撮影を試みた。ハウジングに収容し、外部フラッシュを取り付けたカメラを架台に取り付けた様子を図8に、実際に海中におろすときの様子を図9に示す。

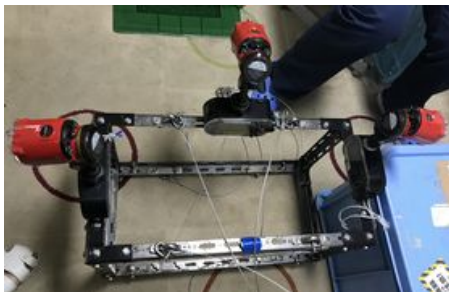


図8 L型アングルの架台に取り付けたデジタルカメラと外部フラッシュ

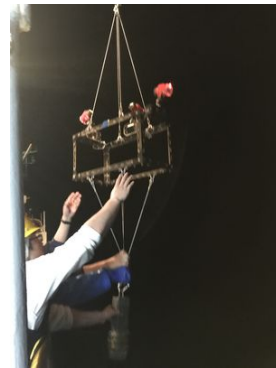


図9 L型アングルの架台に取り付けた光学システムを海中に吊り下げる様子

このようなシステムで撮影された画像の例を図10と図11に示す。

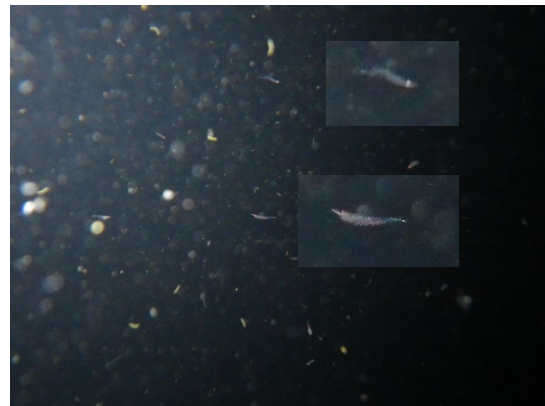


図10．光学システムで撮影されたオキアミ類

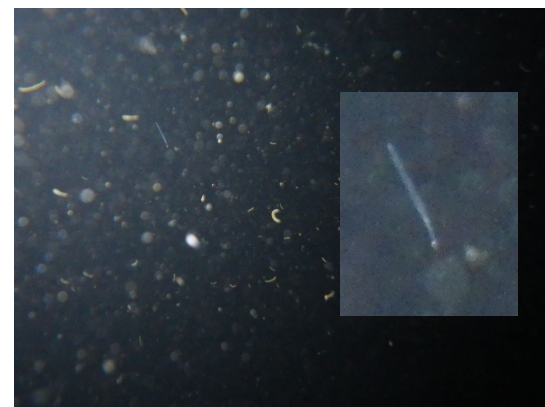


図11．光学システムで撮影されたヤムシ類

多少、ピントがあまいものの動物プランクトンの種類や大きさがわかる程度の画像の取得が可能となった。

大深度カメラシステム

大深度カメラシステムは、ステンレス製のL型フレーム(長さ1m)の前端にカメラ部とフラッシュ部を固定し、後端に黒色のプラ

スチック板（高さ 33cm、幅 45cm）を取り付け、カメラ部が流れ場に安定して上流を向く姿勢となるように設計した（図 1 2）。カメラ部には、インターバル撮影とレンズの交換が可能なデジタルカメラ（Nikon V3, Nikon 製）にマクロレンズ（AF-S Nikkor 60mm, Nikon 製）を装着し、円筒形の耐圧容器（直径 16 cm、長さ 24 cm）内にセットした。ストロボ部には、小型ストロボ（PE-20S, Panasonic 製）を円筒形耐圧容器（直径 10 cm、長さ 26 cm）にセットし、カメラ部の下部からレンズ先数十 cm を照らすように固定した。用いたカメラには、外部ストロボ用のシンクロケーブル接続がなく、外部ストロボを連動させることができない。そこでストロボ内の閃光センサー（Slave 発光モード時に他のストロボからの閃光を感知する）のケーブルをカメラ容器内まで伸長し、カメラのストロボ発光を感知させ、ストロボ部内の Slave モードに設定したストロボを発光させた（図 1 3）。本システムを用いた観測は、2015 年 10 月に北海道大学水産学部附属練習船おしよる丸で実施した日本海実習で行った。しかしながら、観測の準備段階ではカメラ部とストロボ部の同期がとれていたものの、観測直前に同期がとれなくなり観測することができなかった。その後、復旧を試みたが同期をとることができず、観測を断念した。

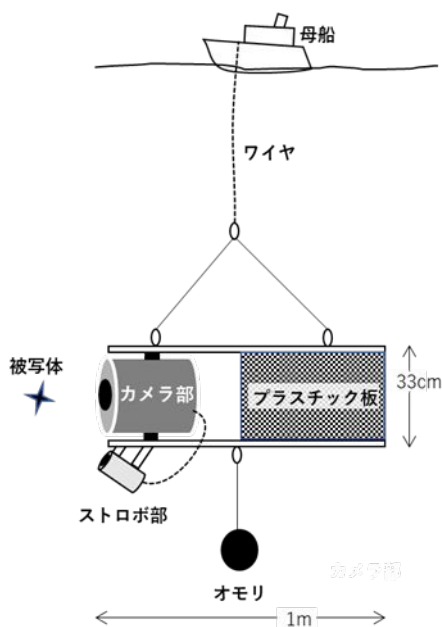


図 1 2 . 大深度カメラシステムの概要。母船からワイヤで吊り下げ、インターバル撮影でレンズ先数十 cm に浮遊する被写体を撮影する。カメラ部（直径 16 cm、長さ 24 cm）、ストロボ部（直径 10 cm、長さ 26 cm）、プラスチック板（高さ 33 cm、長さ 45 cm）

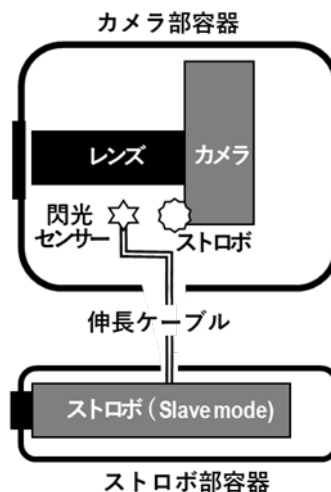


図 1 3 . カメラ部とストロボ部との接続の概要。ストロボ (Slave mode: 他のストロボの閃光を感知して発光する) の閃光センサーケーブルをカメラ部容器内まで伸長し、カメラ内蔵ストロボの発光に同期させてストロボ部内のストロボを発光させる。

5 . 主な発表文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔雑誌論文〕(計 0 件)

〔学会発表〕(計 1 件)

Y. Fukuda, K. Sawada and T. Mukai, Target strength measurement of euphausiid, copepod and amphipod by the tethered method. ICES Symposium, Marine Ecosystem Acoustics-Observing the Ocean Interior in Support of Integrated Management. 25-28 May 2015, Nantes (FRANCE).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

〔その他〕
ホームページ等

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

向井 徹 (MUKAI, Tohru)

北海道大学・大学院水産科学研究院・教授
研究者番号：60209971

(2) 研究分担者

澤田 浩一 (SAWADA, Kouichi)

国立研究開発法人水産研究・教育機構・水産工学研究所・グループ長
研究者番号：30372080

山本 潤 (YAMAMOTO, Jun)
北海道大学・北方生物圏フィールド科学セ
ンター・助教
研究者番号：10292004