

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月31日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2009～2011

課題番号：21658068

研究課題名（和文）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-

研究課題名（英文）Investigation on the acoustic scattering signatures of Copepods

- The first step to conducting acoustic survey on copepods -

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・准教授

研究者番号：60209971

研究成果の概要（和文）：

海洋に生息する動物プランクトンの中でも一番量が多いカイアシ類について、超音波反射特性（ターゲットストレングス：TS）を調べた。水槽における実測、理論モデルによる推定に用いる音響パラメータの測定とそれを用いた TS 推定を行い、両者を比較した。その結果、理論モデルで良く推定できる個体と全く合わない個体が確認された。その違いを調べたところ、前者は体内に油球を持たない個体、後者は持っている個体であった。今後、この違いについて精査する。

研究成果の概要（英文）：

Properties of the animal's acoustic scattering (Target Strength: TS) were investigated in copepods which have the highest population among zooplanktons living in the ocean. TS of copepods were measured in a sea-water tank, and estimated using the theoretical model by measuring the acoustic parameters. Both TS were compared. As a result, it was confirmed that TS estimates matched the actual measurements of some individuals well while entirely differed with other individuals. When the differences were investigated, it was found that the former individuals did not have oil sac into the copepods body while the latter individuals had oil sac. We will further investigate this difference in detail.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	0	1,700,000
2010年度	500,000	0	500,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	270,000	3,370,000

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：水中音響，魚群探知機，カイアシ類，超音波散乱特性，ターゲットストレングス，体内通過音速，生体密度，音響資源調査

## 1. 研究開始当初の背景

イワシ類，サンマ，サバ類，サケ類などの水産物は，自給可能，健康的，かつ，美味な食料として極めて重要な資源である。しかし，多獲性魚類の代表であるマイワシの資源変

動は極めて大きく，その変動の原因を知り，予測する技術の開発が必要である。変動原因の一つとして，マイワシの稚魚期に，食料となる動物プランクトン（主としてカイアシ類）の量が十分でない可能性が指摘されてい

る。カイアシ類の量・分布調査は、主に採集による手法で行われているが、より客観的で広域・迅速な調査が可能な音響調査の導入を考えた。この手法でカイアシ類の分布を調べるためには、音響調査結果を量に換算するのに必要な、生物1個体あたりの音響反射強度（ターゲットストレングス：TS）の情報が必要となる。しかし、比較的サイズの大きなオキアミ類に関しては徐々に解明されつつあるが、カイアシ類についてはほとんど手付かずである。

このような中、申請者らは、体長20mm程度のオキアミ類の姿勢による音響反射特性（TSパターン）を水槽内で極めて精密に測定することに成功した。生物体内の音速や生体密度といった物理パラメータを測定し、形状・物理パラメータを使った理論計算を行い、実測値と極めて良く一致することを示した（Sawadaら、2006, J. Acoust. Soc. Am, 120, 3108, 向井他、2007, 水産学会講演要旨集）。

さらに、申請者らは、周波数ごとに測定可能なTSと体長を推定できる設計ダイアグラムを開発した（澤田・向井他、2007, 水産学会講演要旨集）。そこでこのダイアグラムを用いて、大型のカイアシ類（5mm～10mm）を測定するのに最適な送受波器の周波数・大きさを決定し、それを用いて未だかつて計測されたことのない生きたカイアシ類のTSパターンを実測し、カイアシ類の音響資源調査実現への第一歩とするものである。

## 2. 研究の目的

世界の海洋中に生息するカイアシ類を、多様性魚類の餌として、また、分布海域、量およびライフサイクルの長さの面から環境変動のマーカーとして重要な種と考え、カイアシ類の分布・量を迅速に調べるべく、音響調査手法の導入を考えた。その第一歩として、音響基礎パラメータであるターゲットストレングス（TS：一個体あたりどのくらい音を跳ね返すか）を精密に調べ、その大きさや周波数特性などを調べることを目的とした。具体的には3年間で、

(1) 大型カイアシ類の音響探知に最適な周波数を設計ダイアグラムにより選択し、水槽内で測定可能なシステムを構築する。

(2) 大型カイアシ類の音響反射特性を推測するための物理パラメータ（体内の音速、密度）を精密に測定する。

(3) 音響反射特性を水槽内で精密測定し、形状と物理パラメータを用いた音響理論モデルの妥当性を検討する。

これらを通して、実測と理論モデルの一致が得られれば、理論モデル計算により、音響調査に必要な体長と音響反射強度との関係を算出することができる。理論モデル計算では、周波数、体長、形状等をほぼ自由に選ぶ

ことができる。そこで、将来的には調査船装備の計量魚探機を用いた音響測定結果と計算で得られるTSを用いて、カイアシ類のサイズ別の量推定ならびに分布推定の可能性を調べる。

## 3. 研究の方法

申請者らがカイアシ類よりサイズが大きいオキアミ類で良好な結果を得ている測定システムを用いて、カイアシ類の音響反射を測定した。つまり、研究分担者が所属する研究所に設置されている、図1に示したような海水水槽において、オキアミ同様カイアシ類を水中に吊り下げ、送受波器を精密に回転させることで音響反射の姿勢角特性を調べた。オキアミ類での測定結果例を図2に示す。これは周波数120kHzにおける測定例である。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。

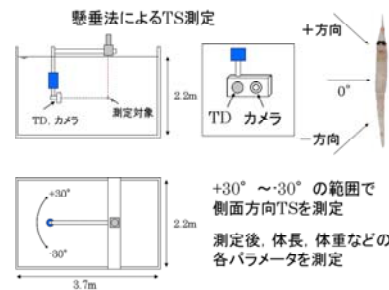


図1. オキアミ類のTS測定用海水水槽

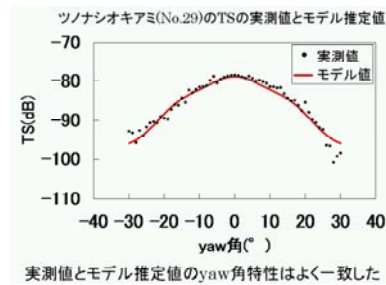


図2. オキアミ類のTSの実測値とモデル推定値

この測定システムを用いて生きたカイアシ類の音響反射の測定を試みた。実測に当たり、オキアミ類よりさらに小型の生物種の測定なので種々の工夫を施した。

一方、研究代表者が長年研究フィールドとしてきた北海道噴火湾において、生きたカイアシ類をサンプリングし、カイアシ類の体内通過音速ならびに生体密度などの音響物理パラメータの測定を行った。体内通過音速の測定は伝搬時間計測法を採用し、生体密度の測定にはデンシティボトル法を採用した。これらの手法はオキアミ類で既に有効性を実

証済みのものであり、これらの測定を、カイアシ類が表層近くに生息している春から夏にかけて行った。そしてこれら音響物理パラメータを用いて、音響散乱モデルによりカイアシ類の TS 推定を行うとともに、上記測定システムを用いた TS の実測を行った。

#### 4. 研究成果

(1) 設計ダイアグラムに基づき、カイアシ類の TS 測定が可能な周波数を 200kHz 以上とし、ビーム幅を 8.5 度と選定した。これは既存の送受波器で実現可能であり、測定距離を 1m とした。このように選定した周波数、ビーム幅、設定距離で既存のシステムにつなげ、各種テグスの音響反射を測定し、測定精度の検証を行ったところ、非常に微弱になると推測されるカイアシ類の音響反射を十分捉えられることがわかった。また、生きたカイアシ類を水槽に懸垂するに当たり、当初計画の人間の髪の毛ではなく、現存する最細の 0.08 号の釣り用テグスを用いることとした。この太さにおいても微弱な音響反射は認められたが、カイアシ類+テグス+背景ノイズの信号からテグス+背景ノイズの信号をコヒーレント減算することでカイアシ類のみの反射信号を得ることができた。この方法で、複数のカイアシ類について音響反射の予備測定を行ない、生きた状態での TS の実測が可能であることが確認できた。

(2) 北海道噴火湾において生きたカイアシ類を採集し、その体内通過音速や生体密度の測定を行い、音響物理パラメータの収集を行った。これは毎年 4 月、5 月、6 月に行った。カイアシ類の中には体内にオイルを貯め込む種があり、そのオイルの有無により音速や密度が大きく変化することが分かり、これはまた、音響反射の強さにも影響することが示唆された。

(3) (独) 水産総合研究センター・水産工学研究所において構築したカイアシ類音響反射測定システムを用いて、生きたカイアシ類の TS 測定をカイアシ類の姿勢を変化させながら行い、TS の姿勢角特性 (TS パターン) を調べた。結果の一例を図 3 に示す。この図でもみられるように、体内にオイルを貯め込んだ個体とオイルを持たない個体では TS パターンに大きな違いが見られ、また、音響反射の大きさにも違いがあることがわかった。体内にオイルを貯め込んでいない個体の TS の実測値については、従来用いられてきた音響散乱モデルによる TS 推定値と比較的よく一致したが、オイルを貯め込んだ個体の TS 実測値は、全く異なった。

一方、将来的にカイアシ類のサイズ別の密度推定を行うべく広帯域音響システムの開発も本課題と並行して行った。既存の広帯域システムを用いて、まずカイアシ類よりサイ

ズの大きいオキアミ類で、その広帯域散乱特性を調べた。その結果、固定周波数での測定結果と同様、オキアミ類については音響散乱モデルによる広帯域特性とほぼ同様の特性を示すことがわかった。カイアシ類についても広帯域音響散乱特性を調べた。今後、オイルを持つ個体の音響特性が解明され次第、広帯域の散乱特性に対する妥当性も検証する予定である。

以上、生きたカイアシ類の TS 測定、音響パラメータの測定などは世界的にも例を見ず貴重なものである。今後さらに測定例を増やし、カイアシ類の音響調査のための基礎データとして精度を高めていく。

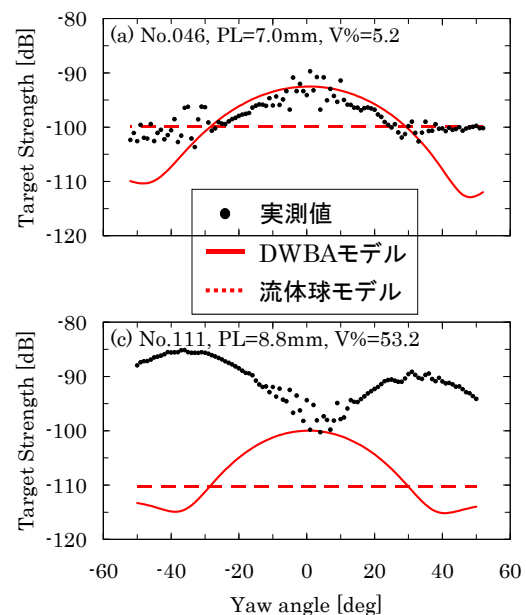


図 3. カイアシ類の TS 実測値とモデル推定値体内に (a) オイル多、(b) オイル少

#### 5. 主な発表論文等

(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 1 件)

① 福田美亮, 向井徹, 澤田浩一, 飯田浩二, 懸垂法を用いたツノナシオキアミ *Euphausia pacifica* の側面方向ターゲットストレングス測定, 日本水産学会誌, 査読あり, 78 巻, 2012, 388-398

〔学会発表〕 (計 4 件)

① 甘糟和男・三島由夏・宮城亜紀・向井徹・澤田浩一・笹倉豊喜, 積層圧電素子を使用した広帯域送受波器による測定実験, 日本水産学会, 2011 年 09 月 30 日, 長崎大学 (長崎)  
② 向井徹・澤田浩一・他 3 名, 動物プランク

トンの音響調査に必要なターゲットストレングス (TS) 測定, 第 22 回海洋工学シンポジウム, 2011 年 08 月 02 日-03 日, 日本大学 (東京都)

③三島由夏・甘糟和男・澤田浩一・向井徹・笹倉豊喜, 超広帯域送受波器の試作, 海洋音響学会, 2011 年 05 月 30 日-31 日, 東京工業大学 (東京都)

④福田美亮・向井徹・澤田浩一・飯田浩二, 広帯域超音波を用いた動物プランクトンのターゲットストレングス, 海洋音響学会, 2011 年 05 月 30 日-31 日, 東京工業大学 (東京都)

## 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・准教授  
研究者番号 : 60209971

### (2) 研究分担者

澤田 浩一 (SAWADA KOUICHI)

(独) 水産総合研究センター・水産工学研究所・研究員

研究者番号 : 30372080