

中深層性魚類マイクロネクトンの音響計測に関する研究

誌名	日本水産學會誌
ISSN	00215392
著者名	安間,洋樹
発行元	日本水産學會
巻/号	77巻4号
掲載ページ	p. 585-588
発行年月	2011年7月

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



平成 22 年度水産学奨励賞

中深層性魚類マイクロネクトンの音響計測に関する研究

安間 洋 樹

京都府農林水産技術センター海洋センター

Acoustic biomass estimates of mesopelagic fishes in the western North Pacific

HIROKI YASUMA

*Fisheries Technology Department, Kyoto Prefectural Agriculture,
Forestry and Fisheries Technology Center, Miyazu, Kyoto 626-0052, Japan*

中深層性魚類マイクロネクトン(以下、中深層性魚類)は、海洋の中深層(200~1000 m)に生息し、主にハダカイワシ科, ヨコエソ科, ムネエソ科, ワニトカゲギス科などで構成される。これらの多くは体長10センチ程度の小型魚であるが、外洋における音響散乱層の主要な構成要素であり、膨大な生物量を有すると考えられている。また、多くの魚種が大規模な日周鉛直移動を行い、表層と中深層の物質循環において重要な役割を果たしている。

外洋の生態系構造を理解するうえで、これらの定量情報は非常に重要であるといえるが、動物プランクトンなどに比べ高い逃避能力を持つ中深層性魚類を正確に定量評価できる採集具は今のところ存在しない。このような現状において、中深層性魚類の定量化に最も期待されているのが、計量魚探深知機(以下、計量魚探)を用いる音響学的手法の適用である。

音響調査では、計量魚探で得られたエコーデータを尾数や重量に変換するためのスケールファクタとして、生物1個体の反射強度であるターゲットストレングス(TS)が必要となる。中深層性魚類は生息深度が深いためTSの直接計測が困難であり、現状では、鰾形状を基にした理論散乱モデルによる推定が有効的であると考えられている。このような背景のもと、著者らは中深層性魚類の鰾形態の観察とTS推定を行ってきた。本稿では、北太平洋における代表的な中深層性魚類であるハダカイワシ科魚類を例に、研究の概要を説明する。また、音響調査に適用された例として、北日本海域で最も優占的な魚種であるトドハダカの生物量推定を示す。

1. ハダカイワシ科魚類の鰾形態とターゲットストレングス¹⁻⁴⁾

方法

実験には、北太平洋の温帯域で優占的な10魚種(トドハダカ *Diaphus tehta*, ナガハダカ *Symbolophorus californiensis*, オオクチイワシ *Notoscopelus japonicus*, マメハダカ, *Lampanyctus jordani*, セッキハダカ *Stenobranchius nannochir*, コヒレハダカ *Stenobranchius leucopsarus*, オオメハダカ *Protomyctophum thompsoni*, ゴコウハダカ *Ceratoscopelus warmingii*, アラハダカ *Myctophum asperum*, ヒロハダカ *Diaphus garmani*)を用いた。これらは主に中層トロールにより採集し、採集時に生きていた個体のみを急速冷凍して保存した。冷凍サンプルは、研究室で24時間以上かけて解凍した後、実験に用いた。

鰾の有無や形状の観察は、軟X線照射システムにより撮影した魚体の側面、および背面方向の透過画像を用いて行い、その後解剖による確認を行った。次に、軟X線透過画像により得た鰾の形状パラメータを基に、理論散乱モデルを用いて各魚種の2周波(38, 120 kHz)のTSを推定した。懸垂法による実測値との比較結果に従い、²⁾有鰾個体においては鰾形状を回転楕円体モデル⁶⁾に、無鰾個体においては魚体形状を変形円筒モデル⁷⁾に適用し、遊泳姿勢1°毎のTSを計算した。両モデルにより得られた遊泳姿勢毎のTSは、平均0°(水平遊泳)、標準偏差±15°の遊泳姿勢分布を仮定して平均化し、⁷⁾平均化後のTSを用いて体長とTSの関係式を求めた。

結果

鰾の状態と形状 鰾の状態は次の3つに大別された。

a) 気泡で満たされた鰾を持つ, b) 鰾の組織はあるが, 著しく萎縮し気泡を含まない, c) 鰾の組織自体を持たない。音響反射においては鰾内の気泡の有無が重要なので, 以後の解析では a の状態のみを有鰾魚として扱い, 鰾内の気泡形状を鰾形状として計測した。

オオクチワシは鰾組織を持たず, セッキハダカとコヒレハダカでは鰾内に気泡を含まなかった(無鰾魚)。一方, マメハダカは全ての体長範囲で気泡を含む鰾を有していた(有鰾魚)。他の6魚種では, 成長段階に応じて有鰾個体と無鰾個体に別れた(有鰾魚→無鰾魚)。これらの多くは, 未成魚期においては鰾を有したが, 成熟体長に達した成魚では, 鰾内に脂肪の蓄積が進み, 気泡を持たない個体の割合が多くなった。

全ての有鰾魚において, 鰾の形状はアスペクト比の小さい卵型(長軸=短軸)で, 魚体積に占める鰾体積の割合は1%以下であった。これらの鰾体積は, 表層性魚種(鰾体積が魚体積の5%程度)に比べ大幅に小さいことが判明した。

有鰾魚のうち, トドハダカとマメハダカにおいては, 鰾長は体長と比例的に増加したが, 他の5魚種においては, 鰾長が体長より速い成長(正のアロメトリー成長⁸⁾)を示した。また, アラハダカにおいては体長約5 cmを境に鰾長が小さくなる退行現象が確認された。

ターゲットストレングス 鰾のアスペクト比が小さいことから, 有鰾魚では, 遊泳姿勢によるTS値の変化はほとんど見られなかった。一方, 無鰾魚では姿勢によりTS値が20 dB以上変動した。姿勢平均化後のTSを体長1 cmあたりに基準化した値(TS_{cm})は全ての有鰾個体で-65 dB以下を示し, 他の有鰾魚類に比べてかなり低いことが分かった。これは体体積に占める鰾体積の割合が非常に低いためであると考えられる。さらに, 無鰾魚の TS_{cm} は同体長の有鰾魚の値と比べ, 10 dB以上低くなることも判明した。

TSと体長との関係において, トドハダカの有鰾個体とマメハダカ, および全ての無鰾個体ではTS値が体長の2乗に比例して増加し, これらの魚種においては, 一般的な魚類と同じようにTSを体長の2乗で基準化⁹⁾できることが判明した。一方, 鰾のアロメトリー成長が確認された他の有鰾魚種では, TSが体長の約4~5乗に比例して増加した。さらに, 鰾の退行現象が見られたアラハダカ(>5 cm)では, TSが成長とともに低くなる特異な現象も確認された。⁴⁾

2周波のTS値を比較した結果, 鰾径が2 mm未満の有鰾個体(e.g. トドハダカ未成魚<60 mm)では, 鰾共振の影響を受け, TSの周波数差($\Delta TS = TS_{at\ 120\ kHz} - TS_{at\ 38\ kHz}$)が>-4 dBになることが分かった。また,

鰾径が2 mm以上の個体(e.g. トドハダカ成魚>60 mm)では, ΔTS は-4から2 dBの範囲内にあることが分かった。

2. 北海道東部太平洋域におけるトドハダカの音響調査^{10,11)}

方法

北海道東部太平洋海域(以下, 道東海域)において, トドハダカを対象に, エコーグラム上での魚種判別, 鉛直分布密度の昼夜差の計測, 調査海域におけるバイオマス推定を行った。

調査は2005年9月に行い, 北海道区水産研究所所属の北光丸に搭載された計量魚群探知機(EK-60, SIM-RAD社製)を用いて, 2周波(38, 120 kHz)による深度400 mまでの体積後方散乱強度(S_V)を昼夜別に収録した。また, MOCNESS(多段開閉式ネット)による生物サンプリングを随時行い, 生物種, 体長組成等の確認に用いた。エコーグラム上でのトドハダカの魚群抽出には, 38 kHzと120 kHzにおけるTS値の差を用いる2周波法を適用した。

結果

生物サンプリングの結果, 調査海域におけるトドハダカは20~80 mmの有鰾個体で占められていることが分かった。前述のTS推定の結果と合わせ, 本海域のトドハダカは体長約60 mmを境に2つのTS周波数差の範囲に分けられることがわかった。また, これらの範囲は, 他の優占生物であるオキアミ類($2 < \Delta TS < 16$ dB)とは異なるため,²⁾2周波法を用いることにより, 現場で得られたエコーからトドハダカを成魚(>60 mm)と未成魚(<60 mm)に分けて抽出できることが判明した。

抽出処理後のトドハダカのエコーグラム(成魚と未成魚を合成)を図1に示す。日中, トドハダカの魚群は水深約200~300 mの陸棚斜面で出現し始めた。その後は, 散乱層の中心を深度約300 mに保ち, 沖合まで広く分布していた。一方, 夜間においては魚群が鉛直的に分散し, 水面付近で比較的濃い魚群反応が見られた。

2周波法により抽出した成魚と未成魚の S_V を120

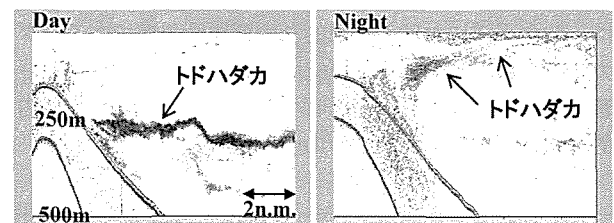


図1 2周波法による抽出処理後のトドハダカの昼夜別エコーグラム(120 kHz)

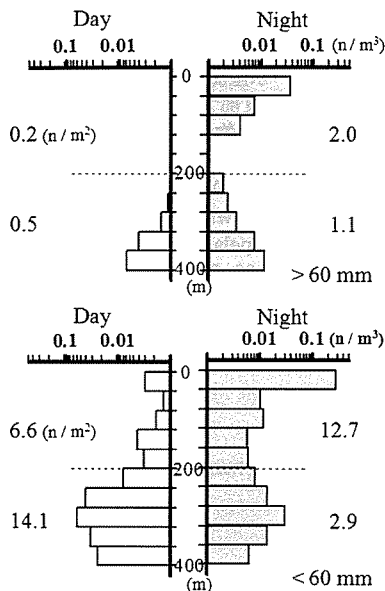


図2 20 m 深度層毎の成魚(上)と未成魚(下)の鉛直分布密度 (number/m³)
 図中の数値はそれぞれ0~200 m, 200~400 m 深度層の合計値 (number/m²) を示す。

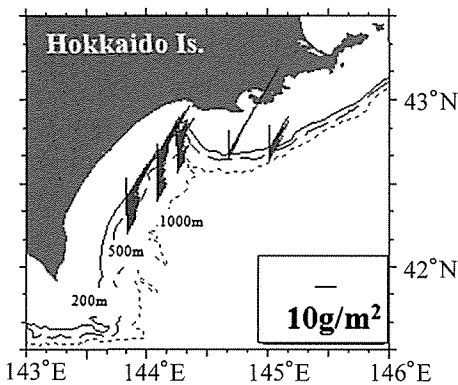


図3 音響調査ラインにおけるトドハダカの水平分布密度 (g/m²)

kHz の TS ($TS = 28.8 \log L - 95.6^3$) で割ることにより得た昼夜の 20 m 層毎の鉛直密度分布 (尾/m²) を、図2に示す。解析の結果、散乱層の魚群のほとんどは、未成魚で占められていたことが分かった。また、日中では、本種は 200~400 m 層に多く、この層において成魚、未成魚を合わせ約 15 尾/m² が分布していた。一方、夜間においては、多くが 0~200 m の表層に移動し、この層では分布密度が昼間の数倍に及ぶことが分かった。

調査海域における日中の重量密度分布 (g/m²) を図3に示す。本種は、200 m 以深の大陸棚より沖に広く分布していた。分布密度は大部分で 10~20 g/m² の範囲にあったが、陸棚斜面付近では特に高く、50 g/m² 以上

に達するところも見られた。調査海域 1,880 km² における推定バイオマスは約 3.1 万トンで、採集具などを用いた従来の方法による推定値の 10 倍近くに及んでいた。

まとめ

中深層性魚類の TS に関する報告はこれまで僅かしか無く、音響手法による定量的研究は、散乱層の反射強度やその変化を相対的に観察するものが殆どであった。これに対し本研究では、実験的・理論的に求めた TS 値を適用することにより、散乱層内の分布密度や調査海域でのバイオマスを算出することを可能とした。特にハダカイワシ科魚類では、音響計測により生物量が示された最初の例であり、高度なネット逃避能力をもつ中深層性魚類の数少ない定量情報として、非常に重要なものと考えられる。

本稿では、太平洋の温帯域に生息するハダカイワシ科魚種を例に TS 推定と音響調査への適用例を示した。本科魚種においては、ベーリング海や太平洋亜熱帯域の優占種においても、同様の手法により TS とその周波数特性が明らかとなっており、音響調査への適用も始まっている。^{2,4)} また、ヨコエソ科やムネエソ科など、他の中深層性魚類においても同様の研究が進行中で、特に、日本海のキュウリエソ (*Maurollicus japonicas*) では、分布パターンや生物量が詳細に報告されている。¹²⁾

中深層生態系の量的概念は、音響手法による定量化が確立することで大きく変化すると、古くから考えられてきた。著者らの研究においても、それらの予想を裏付ける結果が得られ始めている。今後、計測精度の向上や対象種の拡張に伴い、中深層性魚類の研究領域の一つとして音響手法による定量化が定着することで、海洋生態系に対するより深い理解の発展が期待される。

文献

- 1) Yasuma H, Sawada K, Ohshima T, Miyashita K, Aoki I. Target strength of mesopelagic lanternfishes (family Myctophidae) based on swimbladder morphology. *ICES J. Mar. Sci.* 2003; **60**: 584-591.
- 2) 安間洋樹. 音響手法を用いたハダカイワシ科魚類の資源量推定に関する研究. 博士論文, 東京大学, 東京. 2004.
- 3) 安間洋樹, 澤田浩一, 宮下和士, 青木一郎. 北日本海域におけるハダカイワシ科魚類の鰾形態とターゲットストレングス. *海洋音響学会誌* 2008; **35**: 17-28.
- 4) Yasuma H, Sawada K, Takao Y, Miyashita K, Aoki I. Swimbladder condition and target strength of myctophid fish in the temperate zone of the Northwest Pacific. *ICES J. Mar. Sci.* 2010; **67**: 135-144.
- 5) Furusawa M. Prolate spheroidal models for predicting general trends of fish target strength. *J. Acoust. Soc. Jap.* 1988; **9**: 13-24.
- 6) Ye Z, Hoskinson E, Dewey RK, Ding L, Farmer DM. A method for acoustic scattering by slender bodies. *J. Acoust. Soc. Am.* 1997; **102**: 1964-1976.

- 7) Foote KG. Averaging of fish target strength functions. *J. Acoust. Soc. Am.* 1980; **67**: 504-515.
- 8) Saenger RA. Bivariate normal swimbladder size allometry models and allometric exponents for 38 mesopelagic swimbladdered fish species commonly found in the North Sargasso Sea. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1989; **46**: 1986-2003.
- 9) McClatchie S, Macaulay GJ, Coombs R. A requiem for the use of $20 \log_{10}$ Length for acoustic target strength with special reference to deep-sea fishes. *ICES J. Mar. Sci.* 2003; **60**: 419-428.
- 10) 安間洋樹. 音響手法を用いたハダカイワシ科魚類の定量的モニタリング. *水産海洋研究* 2007; **71**: 297-298.
- 11) 安間洋樹. 北海道東部太平洋域におけるトドハダカ *Diaphus theta* の音響生物量推定. *日水誌* 2010; **76**: 362-369.
- 12) Fujino T, Sadayasu K, Abe K, Kidokoro H, Tian Y, Yasuma H, Miyashita K. Swimbladder morphology and target strength of a mesopelagic fish, *Maurolicus japonicus*. *J. Acoust. Soc. Jpn.* 2009; **36**: 241-249.