



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	無鰐魚の音響散乱特性に関する研究 [全文の要約]
Author(s)	閻, 乃箏
Description	この博士論文全文の閲覧方法については、以下のサイトをご参照ください。 https://www.lib.hokudai.ac.jp/dissertations/copy-guides/
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(水産科学)
Dissertation Number	甲第14183号
Issue Date	2020-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/80008
Type	doctoral thesis
File Information	Naizheng_Yan_summary.pdf



主論文の要約

博士の専攻分野の名称：博士（水産科学）

氏名：閻 乃箏

学位論文題目

無鰾魚の音響散乱特性に関する研究

【はじめに】

魚類などの海洋生物の量を調べるツールの一つに、超音波を用いた計量魚群探知機（以下、計量魚探機とする）がある。計量魚探機による資源調査を音響資源調査というが、これは、超音波を水中にパルス波として発射し、対象とする生物に当たって戻ってくる音の総量を測定して生物1個体あたりの超音波の反射量で除することで、生物の量を推定する手法である。この生物1個体あたりの音の反射量をターゲットストレングスと言い、音響手法を用いて精確に資源量を求めるためには対象生物に応じた適切なターゲットストレングスが必要である。しかしターゲットストレングスは、生物の大きさや体の構造（肉質、骨格、鰾など）、魚体の運動や姿勢、使用する超音波の周波数などで複雑に変化するため、各パラメータに対する特性を明らかにする必要がある。一般に、鰾のある魚のターゲットストレングスは、90%以上が鰾によるものと言われており、その研究例も多い。一方、鰾のない魚についての研究例は少なく、音響散乱特性に関する知見が少ない。

北海道周辺海域においては、ホッケ、イカナゴ、ソウハチ、キチジ、アブラコといった無鰾魚が生息しており、中でもホッケやイカナゴ、ソウハチは漁獲量も比較的多く、重要な水産資源である。しかし、これらの魚種に関する音響的知見は少なく、音響資源調査を行うための基礎データが不足している。

そこで本研究は、無鰾魚であるホッケ、イカナゴ、ソウハチについて、ターゲットストレングスの周波数特性やサイズ依存性などの音響散乱特性を把握し、その特性が何に起因するかを明らかにすることを目的とした。さらに、その特性を利用した現場海域における他魚種との音響判別の可能性を調べた。

【材料・方法】

本研究では、活魚を水槽内で自由に遊泳させてターゲットストレングスを測定する自由遊泳法、麻酔魚を水中に懸垂して精密にターゲットストレングスを測定する懸垂法、音響散乱モデルを用いてターゲットストレングスを推定する音響モデル法により、無鰾魚のターゲットストレングスを調べた。また、実海域における無鰾魚の音響調査を行い、他種との判別を行った。

1. 自由遊泳法による無鰾魚のターゲットストレングスと遊泳姿勢角の測定

実験は、2019 年 6 月、函館市国際水産・海洋総合研究センターの大型実験水槽（長さ 10 m、深さ 6 m、幅 5 m）において行った。魚を水槽に自由遊泳させ、水槽の上方から下向きに超音波を送受してターゲットストレングスを測定するとともに、スプリットビーム方式で計測した魚体位置の変化から遊泳方向を求めた。さらに、水槽の正面と側面にビデオカメラを設置し、水槽内で自由遊泳している魚の遊泳姿勢角を計測した。ターゲットストレングスの測定は、周波数 50～85 kHz の広帯域スプリットビーム式計量魚探機を用いた。実験対象は、ホッケ 4 個体（平均体長 33.8 cm）とソウハチ 10 個体（平均体長 26.9 cm）であり、それぞれの魚種別に実験を行った。

2. 懸垂法による無鰾魚のターゲットストレングス測定

実験は、2018 年と 2019 年に同センターの大型実験水槽において行った。水槽内深さ約 3m のところで水平方向に超音波を送受するようにトランスデューサを設置し、魚の背方向がトランスデューサに向くように魚の左側面を上側にして懸垂し、超音波の到来方向に対して頭を 30°下げたピッチ角-30°から逆に 30°あげた+30°まで魚体を回転させ、ターゲットストレングスを測定した。使用した周波数は、38kHz、45～90 kHz、80～120 kHz であった。ターゲットストレングス測定に用いた魚は、ホッケ 5 個体（27.2～38.0 cm）、イカナゴ 7 個体（13.4～20.0 cm）、ソウハチ 9 個体（15.8～31.5 cm）であった。さらに、無鰾魚の骨の音響反射を調べるために、ホッケ 2 個体とソウハチ 2 個体について、魚肉を取り除き、魚肉なしの状態ターゲットストレングス測定を行った。

3. 音響モデルを用いた無鰾魚のターゲットストレングス推定

懸垂法で TS 測定を行った無鰾 3 魚種の魚体や骨の形状を用い、ホッケとイカナゴには DC (Deformed Cylinder), DWBA (Distorted-Wave Born Approximation), KRM (Kirchhoff-Ray Mod) モデル、ソウハチには DWBA, KRM モデルを用いてターゲットストレングスの理論推定を行った。ここで DC, DWBA モデルでは魚肉のみ、KRM では魚肉、骨、両者を考慮

した魚体の音響散乱特性を推定した。そして、実測値と理論推定値から無鰭魚の音響散乱特性を調べた。

4. 北海道噴火湾における無鰭魚であるソウハチの音響判別

実験は、2015～2019 年の 4 月と 5 月に噴火湾周辺海域において、北海道大学附属練習船うしお丸（179 トン、39.39m）を用いて行った。音響データは 38, 120, 200 kHz の計量魚探機を用い収録した。また、エコーグラム上に現れた反応の構成生物を確認するため、竿釣りまたはフレームトロールで採集を行った。

【結果・考察】

1. 自由遊泳法で測定したホッケとソウハチのターゲットストレングスは、周波数 50 kHz～85 kHz において、周波数が高くなるほど大きくなる傾向が見られた。また、ソウハチのターゲットストレングスはホッケより大きかった。
2. 海水水槽でビデオカメラにより観察した自由遊泳状態のホッケの遊泳姿勢角分布は、正規分布を仮定し平均値、標準偏差で表現すると $N(5.1^\circ, 20.7^\circ)$ であった。ソウハチの遊泳姿勢角分布は、2 峰性となり、平均 7.9° 、標準偏差 24.7° であった。一方、計量魚探機で計測した遊泳方向分布は、ホッケについては $N(5.8^\circ, 22.7^\circ)$ であり、ソウハチは 2 峰性で、平均 6.7° 、標準偏差 27.9° となった。ホッケとソウハチそれぞれで 2 つの方法の結果に違いが見られなかったため、音響手法による遊泳方向分布を遊泳姿勢角分布とみなしても良いと考えられた。
3. 懸垂法により求めた周波数 38 kHz, 45～120 kHz のターゲットストレングスを用いて、各個体毎にターゲットストレングスの最大値や姿勢平均値を求め、魚種毎に体長 L (cm)、波長 λ (cm) との関係式を求めたところ次のようになった。

ホッケ ($8 < L/\lambda < 30$) :

$$TS_{\max} = 55.43 \log L - 35.43 \log \lambda - 117.98 \quad (R^2 = 0.84)$$

$$TS_{\text{ave}} = 48.48 \log L - 28.48 \log \lambda - 116.22 \quad (R^2 = 0.90)$$

イカナゴ ($4 < L/\lambda < 11$) :

$$TS_{\max} = 16.2 \log L + 3.80 \log \lambda - 73.14 \quad (R^2 = 0.46)$$

$$TS_{\text{ave}} = 17.07 \log L + 2.93 \log \lambda - 83.21 \quad (R^2 = 0.54)$$

ソウハチ ($5 < L/\lambda < 22$) :

$$TS_{\max} = 33.53 \log L - 13.53 \log \lambda - 82.54 \quad (R^2 = 0.82)$$

$$TS_{\text{ave}} = 29.28 \log L - 9.28 \log \lambda - 84.97 \quad (R^2 = 0.77)$$

4. イカナゴのターゲットストレングスの実測値は、魚体を魚肉のみで考えたモデル (DC モデル, DWBA モデル, KRM モデルの魚体のみ) が実測値とよく一致した (L/λ が 4~11)。ソウハチでは背骨の影響を考えた KRM モデルが実測値とよく一致した (L/λ が 5~22)。一方、ホッケに関しては、低周波数 (L/λ が 8~15) で魚体のみのモデルと一致し、高周波数 (L/λ が 15~30) になると、背骨を考慮した KRM モデルが実測値とよく一致した。従って、 L/λ が大きくなると、無鰾魚のターゲットストレングスに対し、背骨の影響を考える必要がある。

5. 現場において、周波数 38, 120, 200 kHz を用いて無鰾魚であるソウハチの音響反応を調べたところ、エコーは主に中層にパッチ状に分布していた。また、周波数特性は $SV(120) - SV(38) = 3.5$ dB, $SV(200) - SV(120) = 1.8$ dB, $SV(200) - SV(38) = 5.2$ dB であり、懸垂法による結果から求めたターゲットストレングスの差分値とほぼ一致した。これらの差分値を用いてソウハチの音響判別が可能であることがわかった。

以上の知見から、無鰾魚であるホッケ、イカナゴ、ソウハチの音響散乱特性が明らかになり、音響調査中の種判別、体長推定、生物量推定に重要な知見を得ることができた。本研究で得られた成果が今後無鰾魚の音響資源調査に貢献することを期待する。