

学位論文題名

魚類のターゲットストレングスの精密推定に関する研究

学位論文内容の要旨

目 的

計量魚群探知機等を用いる音響水産資源調査は、漁獲統計を利用する VPA 手法などとは異なり、直接的に魚類資源の現存量を推定する方法である。そのため、漁獲量を規制した TAC 制度下においても正確な現存量を推定することが可能である。計量魚群探知機は魚群全体からのエコー強度を測定し、それを魚一個体当たりのエコー強度で割ることにより魚群密度を算出する。この魚一個体当たりのエコー強度をデシベル表記したものがターゲットストレングスである。したがって、TS は音響水産資源調査の精度を左右する重要な鍵であり、対象魚種の TS 値を正確に知ることは必要不可欠である。

魚類の TS 推定はこれまでに多くの研究がなされてきているが、変動特性が複雑であり未だに研究すべき課題を多く残している分野である。そこで本論文では、現在用いられている TS 推定手法に改良を加えることにより、より精密な TS の推定手法を構築することを第一の目的とした。さらに、得られた手法を用いて我が国の TAC 指定魚種であり、世界的にも重要魚種であるスケトウダラの若齢魚の TS を推定することを第二の目的とした。

方 法

1. 魚類のターゲットストレングスの精密推定に関する研究

- 1) 活魚および保存魚の TS 測定 海水水槽における遊泳活魚の TS 測定および懸垂法による冷凍保存魚のピッチ角特性の測定を、マサバ、クロダイおよびスズキに対して行い、活魚と保存魚の TS に違いが生じるかを検討した。
- 2) サンプルの取り扱い方法の違いによる TS のピッチ角特性の変動 空气中において冷凍保存を行う空中冷凍魚、海水の中に入れた状態で冷凍保存を行う水中冷凍魚および冷凍保存を行わない活魚を用いて懸垂

法による TS のピッチ角特性の精密測定を行い、サンプルの取り扱い方法の違いによる TS パターンへの影響を検討した。対象とした魚種はウスメバル、クロダイおよびスケトウダラである。

- 3) 魚体形状および鰾形状の観察 魚体形状が異なるマサバ、ゴマサバ、アジ類、クロダイ、スズキ、メバル、ウマヅラハギ、ウスメバル、スケトウダラの 9 魚種について、魚体形状および有鰾魚の音響散乱の主要散乱体となる鰾形状の精密測定を行い、魚体の成長に伴う鰾形状の変動や最適な鰾形状観察の方法を検討した。
- 4) 音響理論モデルを用いた TS の推定 観察によって得られた魚体形状および鰾形状を用いて、Kirchhoff-Ray Mode(KRM)モデルにより TS パターンの推定を行った。さらに、実測により得られた TS パターンとの比較を行い、理論モデルの有効性を検討した。

2. スケトウダラ若齢魚のターゲットストレングスの精密推定

実験に用いたスケトウダラ若齢魚は、北海道南茅部町(現函館市)臼尻沖の定置網にて漁獲されたものである。軟 X 線を用いた鰾形状の観察と懸垂法による TS のピッチ角特性の精密測定は水産工学研究所において行った。鰾形状の観察は、麻酔をかけたスケトウダラ若齢魚を海水中に入れた状態において、側面方向および背方向から行った。その後、一度も空気に触れないようにして TS 測定水槽に魚を懸垂し、周波数 38kHz において TS パターンの測定($\pm 50^\circ$)を行った。得られた TS のピッチ角特性から、最大 TS と遊泳姿勢角分布(-5, 15)を仮定した平均 TS を求めた。また、実測の TS パターンを理論的に検証するために、KRM モデルを用いて TS パターンの理論推定を行った。

さらに、スプリットビーム式の計量魚群探知機を用いてスケトウダラ若齢活魚の TS の測定を行った。測定に用いた周波数は 70kHz および 120kHz であり、魚はトランスデューサの直下に釣り糸を用いて半自由に遊泳できるように懸垂した。得られたデータは後日、EchoView を用いて単体探知したエコー信号を抽出し、最大 TS と平均 TS の算出を行った。

結果および考察

マサバおよびスズキにおいては活魚と保存魚で得られた TS 値に大きな差は見られなかった。一方、クロダイ活魚で得られた TS 値は、保存魚で得られた値と比較すると約 1.5dB~6dB 小さくなった。クロダイにおける活魚と保存魚の TS

値の違いは、活魚の遊泳行動や保存魚で得られた TS パターンが活魚と異なることが原因であると考えられた。

ウスメバル、クロダイおよびスケトウダラの空中冷凍魚、水中冷凍魚および活魚の TS パターンを比較すると、空中冷凍魚の TS パターンは落ち込みがランダムに現れ、最大 TS が得られるピッチ角も大きくばらついたのでに対し、水中冷凍魚や活魚における TS パターンは比較的安定していた。特に活魚においては個体間の差はほとんどなかった。空中冷凍魚の TS パターンにおいてランダムに現れる落ち込みは、気泡の混入が原因として挙げられた。そのため、懸垂法による TS 測定に用いるサンプルは、なるべく冷凍保存を行っていない個体を用いるべきであり、最低でも水中冷凍を行った個体について測定をする必要があることが示された。

観察した鰾形状から、有鰾魚の鰾は冷凍保存により萎縮することが明らかとなり、麻酔等を行った活魚状態において鰾形状の観察を行う必要があることが示された。また、鰾形状は個体差が比較的大きいことが示され、幅広い体長範囲において数多くの観察を行う必要があることが示唆された。

KRM モデルを用いて得られた TS パターンは、空中冷凍魚によって得られた実測の TS パターンとは異なったが、水中冷凍魚や活魚において得られた実測の TS パターンとはよく一致した。このことは、有鰾魚における TS はほぼ鰾のみによって決まるという知見を支持する結果であり、また、音響理論モデルによって推定される TS パターンは、正確な鰾形状が得られれば、比較的高精度に推定可能であることが明らかになった。また、KRM モデルを用いて気泡混入の影響をシミュレーションすることによって、TS パターンに生じるランダムな落ち込みは気泡の影響であることを理論的に説明できた。

スケトウダラ若齢魚の鰾形状を精密測定した結果、鰾の相対成長率が尾叉長 10cm 前後で変化することが明らかになり、尾叉長と TS の関係に影響を及ぼしていることが示唆された。また、活魚を用いて得られたスケトウダラ若齢魚の TS パターンは、過去の知見で見られたようなランダムな落ち込みは生じず、最大 TS は過去の知見と比較すると約 5~10dB 小さかった。TS パターンの個体間の差はほとんどなく、ピッチ角に対する TS の変動は、尾叉長の増加とともに大きくなった。スケトウダラ若齢魚における尾叉長と TS の関係は、尾叉長 10cm 前後で異なり、その原因は鰾の相対的な大きさが変化するためであることが示された。一方、鰾長さおよび背方向から見た鰾断面積と TS の関係は一定であり、鰾が音響散乱の主要因であることが示された。

本研究において得られた懸垂法によるスケトウダラ若齢魚の TS は、KRM モ

デルにより得られた理論値や遊泳活魚によって得られた結果とほぼ一致していることから、妥当な値であると言える。鰾の相対成長率が変化する屈曲点を考慮した場合、スケトウダラ若齢魚の尾叉長範囲 5.0cm～20.0cm における尾叉長と最大 TS および平均 TS の関係は以下のようになった。

$$\text{MAX.TS}(< 10\text{cm}) = 30.57\log[\text{FL}] - 76.39 \quad (R = 0.98) \quad (1)$$

$$\text{MAX.TS}(> 10\text{cm}) = 21.36\log[\text{FL}] - 67.00 \quad (R = 0.96) \quad (2)$$

$$\text{AVG.TS}(< 10\text{cm}) = 26.57\log[\text{FL}] - 74.03 \quad (R = 0.98) \quad (3)$$

$$\text{AVG.TS}(> 10\text{cm}) = 16.05\log[\text{FL}] - 63.46 \quad (R = 0.97) \quad (4)$$

学位論文審査の要旨

主査	教授	飯田	浩二
副査	教授	三浦	汀介
副査	教授	齊藤	誠一
副査	助教授	向井	徹

学位論文題名

魚類のターゲットストレングスの精密推定に関する研究

音響資源調査に不可欠な魚類のターゲットストレングス (TS) は魚体形状、鰾の状態、姿勢、周波数等で大きく変化するため、これらの変動特性を明らかにして精密なTSを推定する必要がある。本論文は、現在用いられている様々なTS推定手法の問題点を明らかにし、それらを改良して精密なTSの推定手法を構築すると共に、得られた手法を用いて我が国のTAC指定魚種であるスケトウダラ若齢魚のTSの推定に応用したものである。

1. 活魚と保存魚のTSの比較

本研究はまず、マサバ、クロダイおよびスズキを用いて遊泳活魚のTS測定および懸垂法による冷凍保存魚のピッチ角特性の測定を行い、活魚と保存魚のTSの相違について検討した。その結果、マサバとスズキにおいては大きな差は見られなかったが、クロダイ活魚のTSは、保存魚より約1.5dB～6dB小さかった。

また、ウスメバルの活魚、水中冷凍魚および空中冷凍魚によって得られたTSパターンの比較を行い、TSに及ぼすサンプル状態の影響を調べた。活魚や水中冷凍魚のTSパターンは、安定した結果が得られたが、空中冷凍魚のTSパターンはランダムに現れる落ち込みが見られ、個体間のばらつきが大きくなった。このことから、空中冷凍標本においては、体内に混入した気泡がTSに影響を及ぼすことが明らかになった。

2. 軟X線を用いた鰾形状の観察

次に有鰾魚の音響散乱に影響を及ぼす鰾の形状特性を明らかにするため、軟X線を用いた観察を行った。魚体形状が異なる9魚種について鰾形状の精密測定を行い、魚体の成長に伴う鰾形状の変動や最適な鰾形状観察の方法を検討した。観察した鰾形状から、有鰾魚の鰾は冷凍保存により萎縮することが明らかとなり、麻酔等を行った活魚状態において鰾形状の観察を行う必要があることが示された。

3. 音響理論モデルを用いたTSの推定

次に、観察によって得られた鰾形状を用いて、Kirchhoff-Ray Mode(KRM)モデルによりTSパターンの推定を行い、実測により得られたTSパターンとの比較により理論モデルの有効性を検討した。KRMモデルを用いて得られたTSパターンは、空中冷凍魚によって得られた実測のTSパターンとは異なったが、水中冷凍魚や活魚において得られた実測のTSパターンとはよく一致した。音響理論モデルによって推定されるTSパターンは、正確な鰾形状が得られれば、比較的高精度に推定可能であることが明らかになった。

4. スケトウダラ若齢魚のTSの推定

最後に、得られたTSの精密測定手法をスケトウダラ若齢魚に適用した。活魚について軟X線を用いた鰾形状の観察と懸垂法によるTSのピッチ角特性の精密測定を行った。鰾形状の観察は、麻酔をかけた状態において行った。その後、空気に触れないようにTS測定水槽に魚を懸垂し、周波数38kHzにおいてTSパターンの測定を行った。また、KRMモデルを用いてTSパターンの理論推定を行い、実測値の理論的な検証を行った。

スケトウダラ若齢魚の鰾形状を精密測定した結果、鰾の相対成長率が尾叉長10cm前後で変化した。また、活魚を用いて得られたスケトウダラ若齢魚のTSパターンは、KRMモデルによる理論値とほぼ一致し、鰾が音響散乱の主要因であることが明らかになった。さらに、スケトウダラ若齢魚における尾叉長とTSの関係は、尾叉長10cm前後で異なり、その原因は鰾の相対的な大きさが変化するためであることが示された。

審査員一同が評価した点は以下の通りである。

1. 活魚と保存魚のTSを比較したところ、マサバとスズキにおいては大きな差は見られなかったが、クロダイ活魚のTSは、保存魚より約1.5dB～6dB小さかった。この理由として空中冷凍標本に見られる、体内に混入した気泡であることを明らかにした点。
2. 軟X線で観察した鰾の形状から、有鰾魚の鰾は冷凍保存により萎縮することを明らかにし、正確なTSの測定には麻酔した活魚を用いる必要があることを指摘した点。
3. 理論モデルを用いて得られたTSパターンは、空中冷凍魚によって得られた実測のTSパターンとは大きく異なったが、水中冷凍魚や活魚において得られた実測のTSパターンとはよく一致し、正確な鰾形状が得られれば、魚のTSが高精度に推定可能であることを示した点。
4. スケトウダラ若齢魚の各成長段階におけるTSの測定結果は理論モデルによる推定結果とよく一致し、鰾が音響散乱の主要因であることを明らかにした点。
5. スケトウダラ若齢魚の鰾の相対成長率は尾叉長約10cmで変化することを明らかにし、変化点の前後における最大TSおよび平均TSの推定式を導いた点。

本研究で得られた知見は、音響資源調査における資源量推定の精度向上に大きく貢献するものであり、よって審査員一同は、本論文が博士（水産科学）の学位を授与される資格のあるものと判定した。