学位論文題名

スキャニグソーナーを用いた
資源量推定に関する基礎的研究

学位論文内容の要旨

【目的】

音響を用いた資源量調査法は、漁獲統計を用いた従来の方法に比べ、広域を短時間で調査できる直接的手法として注目されている。一般に、音響資源量調査では計量魚群探知機(以下、計量魚探とする)が用いられる。しかしながら、通常の計量魚探では鉛直ビームが用いられるため、表層の探知範囲が狭く、海面近くに探知不能領域ができるほか、魚群の船体逃避による資源量の過小推定の危険もある。そのため、表層を広範囲に探知できるソーナーを用いた資源量推定法の開発が求められている。

一方、ソーナーは音響ビームを水平方向に向けて送受波するので、資源量調査に応用するためには、いくつかの問題点を解決しなければならない。これらはその原因から、生物的、物理的および技術的特性に基づく3つの要素に分類される。まず、生物的要素として、魚の船体逃避の影響と横方向ターゲットストレングスの不確実性があげられる。次に物理的要素として、音速の鉛直勾配に基づく音波の屈折とソーナーのビーム形状に由来する探知不能領域(ブラインドゾーン)の発生があげられる。一般にソーナービームは水平方向に向けられるので、音波の屈折が起りやすく、またビーム縁辺の上下は探知不能領域となり、特に表層魚種の調査ではその影響が大きい。また、技術的要素としては、距離減衰を補償するための適切な TVG 関数の決定法や船体動揺に伴うソーナービームの安定化などがあげられる。

ソーナーを用いた魚群量推定法として、ソーナー画面上に写し出された魚群計数法、魚群面積測定法、魚群体積測定法、およびエコー積分法が考えら

れる。魚群計数法は、ソーナー以外の特別な装置が必要ないため測定が容易であるが、魚群の大きさが異なる場合は、誤差が大きくなる。それに比べ、面積測定法および体積測定法は、魚群量に比例した値を得ることができるが、魚群の面積・体積測定時に観測者による個人差が生じやすいという欠点がある。

本研究は、自動化が容易であり、かつ魚群の分布状態の如何にかかわらずに魚群量の定量化が可能なエコー積分法を取り上げ、魚群計数法、魚群面積測定法、および魚群体積測定法といった幾何学的魚群量指標と比較するとともに、ソーナーを用いた資源量推定法の問題点について検討したものである。

【方法】

実験は、北海道噴火湾において北海道大学水産学部研究調査船うしお丸を用いて行った。使用したソーナーは同船装備の半周型スキャニングソーナーである。ソーナー映像は、ビデオスキャンコンバータユニットを通してNTSCビデオ信号に変換後、ビデオテープレコーダーに録画し、解析に用いた。

ビデオテープに収録されたソーナー映像は、多機能汎用画像解析ソフトウェアを用いて、1フレーム/秒の静止画像としてパソコンに取り込み、ハードディスクに保存した。その後、ソーナー画像上の自船位置を中心とした左右各々40°方向の放射線上を通過する魚群を目視で計数し、その数を魚群の数とした。また、計数した魚群について、魚群の方位方向長さおよび距離方向長さを測定し、方位分解能と距離分解能による誤差を補正した。このようにして補正した魚群の方位方向の長さおよび距離方向の長さを用いて、各魚群の面積を求めた。最後に、ソーナー画像上の自船位置を中心とした、左右各々40°方向の放射線上のピクセル輝度の2乗値を求め、海面および海底反射の影響を含まない区間について積分したものをエコー積分値として各魚群量指標と比較した。

次に、ソーナー画像から計測した魚群体積と、同じ魚群を計量魚探で測定した面積後方散乱係数との比較を行い、魚群体積を用いた魚群量推定法の是非について検討した。

また、魚群の船体からの逃避行動を調べるため、ソーナービームを船首方向へ向け、魚群を捕捉してから探知方位と俯角を調整して魚群を追尾した。その後、5秒毎の魚群形状と魚群の幾何学中心位置を用いて遊泳行動を分析し、船舶の接近に伴う魚群形状と遊泳行動の変化を調べた。

【結果】

ソーナーを用いた魚群量推定法として、魚群計数法、魚群面積測定法、魚群体積測定法、およびエコー積分法を取り上げ、実際に海上実験で得られたデータを解析して以下の結論を得た。

1. ソーナー画像から計数法で得られた魚群の数は、エコー積分法によるピクセル輝度の2乗積分値の0.37~0.44乗に比例した($r=0.67\sim 0.77$)。しかし、魚群計数法は魚群の規模に関係なく魚群を計数するため、誤差が大きいと考えられた。

2. ソーナー画像から面積測定法で計測された魚群面積は、エコー積分法によるピクセル輝度の2乗積分値の1.44~1.62乗に比例し、有意な相関($r=0.78\sim 0.84$)を示したことから、魚群量指標として利用可能と考えられた。

3. ソーナー画像から体積測定法で計測された魚群体積は、計量魚探で測定した面積後方散乱係数 S_A の2.70乗に比例し、有意な正の相関($r=0.76$)が認められ、魚群量指標として利用可能と考えられた。

4. 音響資源調査で問題となる魚群の船体逃避行動について、ソーナー画像上に現れた魚群形状や魚群行動の変化を定量化して解析したところ、極端な逃避行動は認められなかった。

5. ソーナーを用いたエコー積分法で特に問題となる、魚の横方向ターゲットストレングスについて、ソーナー画像の解析から、魚群の相対方位を計算したところ、船に対する特別な方向性は示さなかった。このことは魚の横方向ターゲットストレングスが大きく変動することを意味し、エコー積分法の弱点と考えられた。

6. ソーナーを用いた表層の探知で問題とされる音波の屈折は、噴火湾湾

外部において、水温勾配の急な夏が大きく、ついで春、冬と減少し、秋に最小を示した。音波の屈折は表層魚群の発見頻度や出現深度、および遊泳速度の計算などに誤差を与えるため、表層魚群の調査には屈折の影響が少ない季節、海域、時間帯およびビームの俯角などを充分吟味する必要がある。

7. 全周型スキャニングソナーのビーム形状は一般に傘形であり、船の下方とビームの縁辺以浅が探知不能領域(ブラインドゾーン)となるので、表層については俯角を小さくするほど、探知確率が増加する。ソナービームの安定化を図ることにより、表層の探知確率を上げ、海面反射を減らしてエコー対雑音比を向上させることができる。

8. ソナーの距離減衰補正(TVG)関数の特性は、面積測定法および体積測定法では $40\log R$ を用い、エコー積分法ではビーム内の魚群規模に応じて $20\log R$ から $40\log R$ の間で設定するのが適当である。

今後、計量ソナーの開発に際し、各定量化法の特長を取り入れたハイブリッド方式を検討する必要があると考えられた。

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

スキャニグソーナーを用いた 資源量推定に関する基礎的研究

音響資源量調査では、一般に計量魚群探知機が用いられるが、計量魚探は鉛直ビームを用いているので表層の探知範囲が狭い。サケ、マス、サンマなどの回遊魚は表層に分布するので、表層を広い範囲に探知できるソーナーを用いた資源量推定法の開発が求められている。

ソーナーは音響ビームを水平方向に向けて送受波するので、資源量調査に応用するためには、いくつかの問題点を解決しなければならない。これらは、生物的、物理的および技術的特性に基づく3つの要因に分類される。まず、生物的要因として魚群の船体逃避と横方向ターゲットストレングスの不確定性があげられる。物理的要因として、音速の鉛直勾配に基づく音波の屈折とソーナーのビーム形状に由来する探知不能領域(ブラインドゾーン)の発生があげられる。一般にソーナービームは水平方向に向けられるので、音波の屈折が起こりやすく、またビーム縁辺の上下は探知不能領域となり、特に表層魚種の調査ではその影響が大きい。さらに、技術的要素として、距離減衰を補償するための適切なTVG関数の決定法や船体動揺に伴うソーナービームの安定化があげられる。

そこで本研究は、実際に海上実験で得られたソーナーデータを解析し、魚群計数法、魚群面積法、魚群体積法、エコー積分法を用いて定量化した魚群量指標値を比較し、ソーナーを用いた各資源量推定法の特徴、精度、問題点について論じたものである。

実験は、北海道噴火湾において北海道大学調査船うしお丸と同船装備の半周型スキャニグソーナーを用いて行なった。まず、ソーナー画像上の自船位置を中心とした左右各々

40° 方向の放射線上を通過する魚群を目視で計数した。次に計数した魚群について、魚群の方位方向の長さと同距離方向の長さおよび船速などを用いて、各魚群の面積および体積を求めた。さらに、ソナー画像上の自船位置を中心とした、左右各々40° 方向の放射線上のピクセル輝度の2乗値を求め、海面および海底反射の影響を含まない区間について積分したものをエコー積分値として、他の幾何学的魚群量指標と比較した。

また、魚群の船体からの逃避行動を調べるため、ソナービームを船首方向へ向け、魚群を捕捉してから探知方位と俯角を調整して魚群を追尾し、5秒毎の魚群形状と魚群の幾何学中心位置を用いて遊泳行動を分析し、逃避行動の有無を検証した。

本研究で得られた知見は以下の通りである。

1. 計数法による魚群の数は、エコー積分法によるピクセル輝度の2乗積分値の0.37～0.44乗に比例した($r=0.67\sim 0.77$)。しかし、魚群計数法は魚群の規模に関係なく魚群を計数するため、誤差が大きい。
2. 面積測定法で計測された魚群面積は、エコー積分法によるピクセル輝度の2乗積分値の1.44～1.62乗に比例し、有意な相関($r=0.78\sim 0.84$)を示したことから、魚群量指標として利用可能である。
3. ソナー画像から体積測定法で計測された魚群体積は、計量魚探で測定した面積後方散乱係数 S_A の2.70乗に比例し、有意な正の相関($r=0.76$)が認められ、魚群量指標として利用可能である。
4. 音響資源調査で問題となる魚群の船体逃避行動について、魚群形状や魚群行動の変化から判別することが可能である。しかし、実際の魚群で船体逃避行動を示した魚群は少なく、またその行動は異常なものでなかった。
5. ソナーによる表層探知において、音波の屈折の度合いは水温勾配の急な夏が大きく、ついで春、冬と減少し、秋に最小になる。
6. 全周型スキャニングソナーではビーム形状に由来する探知不能領域が存在し、ビームの安定化と半周ビームの併用が必要である。

審査員一同は、本研究が、水平ソナーを用いた表層魚種の資源調査法の開発に、極めて有効な知見を得たものと認め、申請者が博士(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。