HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	計量スキャニングソナーを用いた魚群の行動と音響散乱特性に関する研究［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	高橋, 竜三
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(水産科学)
Dissertation Number	甲第11324号
Issue Date	2014-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/55379
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Ryuzo_Takahashi_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称：博士（水産科学）　　氏名：高　橋　竜　三

学 位 論 文 題 目

計量スキャニングソナーを用いた魚群の行動と音響散乱特性に関する研究

諸言

計量魚群探知機を用いた魚群量推定の原理は，船下の魚群からの後方散乱係数を測定し，これを対象1個体あたりの散乱強度であるターゲットストレングス（TS）の線形値で割って，個体数密度を算出するものである。計量魚群探知機で用いるTSは，魚のpitch角方向のTSと姿勢分布を考慮した平均TSが必要となる。

一方，近年開発された計量スキャニングソナー(計量ソナー)は，水平方向に音響ビームを走査して探索範囲を一段と拡大するとともに，魚群の後方散乱強度を定量化する機能を有しており，魚群量推定への応用が期待されている。しかし，計量ソナーでは水平方向入射になるため，TSのyaw角特性が必要であり，また，魚の水平面姿勢も未知なので，魚群量推定に用いる適当な平均TSが簡単に得られない。

そこで本研究では，まず，漁船に搭載した計量ソナーを用いて魚群を追跡することにより，魚群の移動進路と移動速度を推定した。さらに，異なる方位から魚群の後方散乱強度を連続的に測定することにより，魚群の後方散乱強度の指向特性を推定した。次に，この魚群の後方散乱強度の指向特性を基に魚群内の魚の水平面姿勢分布を推定した。最後に推定された魚群の移動方向と魚の姿勢分布から，時々刻々と変化する魚群の適応平均TSを求める手法を考案し，これを用いることにより，従来の方法に比べて魚群量推定の精度が向上することを明らかにしたものである。

方法

実験は，計量ソナーFSV-30R(古野社製，24kHz)を用いて2007，2009～2011年に東北沿岸の太平洋で旋網漁船第一惣宝丸(99t)に乗船し，また，2007年にバレンツ海で旋網漁船Zeta(2218t)に乗船し行った。解析は，専用ソフトウェアScientificSonar(古野社製)を用いて，船位，魚群位置，魚群の後方散乱強度などを抽出し解析に用いた。対象とした魚種は，サバ，アジ，カタクチイワシ，イナダ，capelinの表層性魚種である。

魚群行動の推定

計量ソナーによって測位された魚群位置を用いて魚群の移動進路，移動速度を算出し，それらを，魚種・昼夜別に，船舶の進路，流向との相対進路の違いを見ることで，船舶からの逃避行動や潮流に対する行動の違いを見た。また，昼夜別に計測できた魚種については，ウィルコクソン順位和検定を用いて，魚群の平均移動速度に昼夜間の差があるか検定を行った

魚群の後方散乱強度の指向特性の推定

計量ソナーで計測される魚群の後方散乱強度は，鉛直ビームの拡がりと魚群の分布水深との関係により距離依存性が生じる。そのため，鉛直ビームの拡がりと船舶から魚群までの距離に応じて魚群の後方散乱強度を使い分けることで，距離に依存しない魚群の後方散乱強度を算出し，魚群への音波の入射方位 φ_0 の変化による魚群の後方散乱強度の変化を見たところ，魚群の進路と直角方向に強い単峰性を示したので，魚群の後方散乱強度の指向特性を 2 次関数で近似し，魚群の移動進路との関係を見た。

魚群内の魚の水平面姿勢分布の推定

魚群の後方散乱強度の指向特性は，魚群内の魚の水平面姿勢分布と TS の指向性関数との積で表される。そのため，TS の指向性関数を魚種・体長を仮定して回転楕円体モデルを用いて推定し，さらに，魚群内の魚の水平面姿勢分布を魚群の移動進路を平均とする正規分布に従うと仮定して，魚群後方散乱強度の指向性をモデル化した。さらに，最小２乗法を用いて，モデルによる指向特性が計測された魚群の後方散乱強度の指向特性に最も近似するように，水平面姿勢分布の標準偏差 *sd* を推定した。

適応平均ターゲットストレングスを用いた魚群量推定

推定された魚群内の魚の水平面姿勢分布を用いて，時々刻々変化する魚群の適応平均 TS(T_{S_HOD}) を求め，従来の方法との魚群量推定の精度を比較検証した。従来の方法は，TS の yaw 角特性を全周平均して求めた $TS_{_AVE}$，TS の yaw 角特性である $TS_{_DIR}$ であり，それらと，適応平均 TS を用いて魚群への音波の入射方位 φ_0 の変化により推定される魚群量の変化をみた。

結果と考察

魚群行動について

昼間のサバ魚群については潮流に向かう向流行動が見られ，夜間計測されたサバ魚群と，イナダ魚群については船舶と同方向に移動する行動が見られた。また，昼夜間のサバ魚群の移動速度には有意な差があり，夜間のサバ魚群の移動速度は，昼間のサバ魚群の移動速度よりも速かった。これらから，夜間に計測されたサバ魚群とイナダ魚群には逃避行動が生じていると考えられ，夜間の魚群の計測では船舶による断続的なノイズが原因で逃避行動が生じると推察された。

魚群の後方散乱強度の指向特性

魚群への音波の入射方位 φ_0 の変化により，魚群の後方散乱強度の指向特性を得ることができ，それを，魚群行動と伴に解析した結果，魚群の後方散乱強度の指向特性は，7 魚群中 5 魚群で魚群の移動進路と直角方向で最大値を示した。これは，魚群内の魚の TS の yaw 角特性を反映していると示唆され，また，同魚種でも魚群の後方散乱強度の指向特性の鋭さの違いが生じていたことから，魚群の後方散乱強度の指向特性の鋭さは，魚群内の魚の水平面姿勢分布の違いによるものと考えられた。

魚群内の魚の水平面姿勢分布の推定

capelin3 魚群とカタクチイワシ 3 魚群の魚群内の魚の水平面姿勢分布の推定を行ったところ，魚の水平面姿勢分布の標準偏差 *sd* は，capelin 魚群で 14°～36°，カタクチイワシ魚群で 1°～12°と推定された。また，カタクチイワシ魚群の方が，capelin 魚群よりも移動速度が速く，魚群の移動速度が速いほど，魚群内の魚の水平面姿勢分布が一様に近づく傾向が示された。

適応平均ターゲットストレングスを用いた魚群量推定

適応平均 TS(T_{S_HOD})を用いて，移動中の魚群の魚群量を推定したところ，yaw 角特性を全周平均した $TS_{_AVE}$ や，魚群の移動進路のみを考慮した $TS_{_DIR}$ を用いて推定された魚群量に比べて，その標準偏差はおよそ半分以下となり，魚群への音波の入射方位が変化した場合でも高精度の魚群量推定が可能であることが示された。そのため適応平均 TS を用いた魚群量推定の有効性が明らかとなった。