

学 位 論 文 題 名

スケトウダラの音響資源量調査における
面積後方散乱係数の昼夜変動に関する研究

学位論文内容の要旨

目 的

漁獲制限のある TAC 管理下では、従来の VPA など漁業情報を利用する間接的な資源評価法では偏りを含む可能性が指摘されており、漁業情報に依存しない、直接的な資源評価法が重要視されることとなった。この直接的な資源評価法として注目されているのが、計量魚群探知機を用いた、音響資源量推定である。

一方、本論文の対象魚であるスケトウダラ *Theragra chalcogramma* は、我が国の TAC 指定魚種であり、底曳き網漁業や沿岸刺網、延縄漁業の漁獲対象となる重要産業魚種である。

スケトウダラ音響資源量調査における問題で、スケトウダラの日周行動によってもたらされる、面積後方散乱係数 S_A の昼夜変動がある。これは音響資源量調査における昼夜間誤差ということができる。本論文では、スケトウダラ音響資源量調査の昼夜間における推定誤差の減少、そして推定精度の向上への指針を示すことを目的とした。

材料および方法

1. S_A の昼夜変動の観測 実験は道立稚内水試調査船北洋丸を用いて行った。使用した計量魚探は SIMRAD EK500 で、周波数 38kHz、ビーム幅 6.8° 、パルス幅 1ms である。実験は 1996 年 8 月に武蔵堆で、1997 年 10 月に積丹沖で行った。武蔵堆西部の大陸棚斜面部分に、水深 280m, 450m, 800m の

各等深線に沿ったトランセクトを設定し、船速約 10kt で昼間と夜間で同じコースを航走して魚探データを収集した。また、積丹沖では、等深線に直角および平行なトランセクトで構成した、長方形周回コースを設定し、日没をはさむ 15 時から 21 時にかけて 5kt で航走し、3 周分の魚探データを収集した。

2. TS の昼夜変動の影響 実験は 2001 年 7 月 3 日～6 日に道東太平洋の水深およそ 70m の地点で、(株)日本海洋所属、第 3 開洋丸を錨泊させて行った。TS 測定は、57 時間連続して行った。本実験では、トランスデューサを搭載した Remotely Operated Vehicle(ROV)を降ろし、TS 測定を実施した。使用した魚探は SIMRAD EK60 科学魚探で、周波数 70kHz、パルス幅 0.512ms、ビーム幅 11° で使用した。得られた音響データは、EK60 内蔵のハードディスクに保存し、後日データ収録解析ソフト SIMRAD BI500 を用いて再生、解析を行った。また、7 月 7、8 日に TS 測定地点で離底および着底トロールを実施し、魚種と体長組成の確認を行った。

3. 微小生物の積分加入の影響 実験は 1999 年 10 月、道立稚内水試調査船北洋丸による、スケトウダラ音響調査の中で行った。この調査で昼夜同一ラインを航走してそれぞれの音響データを得た。使用した魚探は同船装備の SIMRAD EK500 で、周波数 38kHz、ビーム幅 6.8°、パルス幅 1.0ms で用いた。魚探データは SIMRAD BI500 解析装置を用いて記録し、調査終了後スクルーティナイズ処理を施した。この処理において、積分閾値を -94dB、-85dB、-76dB、-66dB の 4 通りに設定し、それぞれ S_A 値を算出した。さらにその S_A 値の比をとり、閾値設定の影響を調べ、微小生物の積分加入について考察した。

4. 海底デッドゾーンの影響 最初に、Mitson の理論に従い、海底デッドゾーン体積を求め、スケトウダラの日周鉛直移動に伴う S_A への影響を理論計算で求めた。次に 1999 年 10 月の北洋丸による音響調査で得られたデータを用いて、実測値と理論値の比較を行い、海底デッドゾーンが S_A の昼夜変動に及ぼす影響について考察した。

結果と考察

1. S_A の昼夜変動の観測 武蔵堆で 280m, 450m, 800m それぞれの等深線の S_A を算出したところ、昼夜変動が観測された。いずれの調査線においても昼間よりも夜間の方が大きいという結果であった。この結果より、着底魚群については、海底デッドゾーンが S_A の昼夜変動に寄与しているものと推察された。さらに、積丹沖の調査においては、海底デッドゾーンの影響を少なくするために、等深線に直角な調査線を設定した。しかし、中層魚群においても昼夜変動が観測された。

中層魚群の S_A 変動の要因として、TS の昼夜変動が予想されたため、武蔵堆、積丹沖、それぞれの調査で得られた *in situ* TS を解析したところ、 S_A の昼夜変動を説明できるような TS の昼夜変動は認められなかった。しかし、スケトウダラの分布深度が深いため、北海道西部日本海における *in situ* TS の測定精度に関しては疑いが持たれ、さらなる調査が必要とされた。

TS の昼夜変動以外の、中層魚群 S_A の昼夜変動要因として考えられるのが、微小生物の積分加入による昼夜変動である。微小生物は、計量魚探を用いた音響調査において、音響散乱層(SSL)として、しばしば観測される。この SSL はスケトウダラ同様に日周期的に分布を変えることが知られており、スケトウダラ音響調査の結果に影響をおよぼすことが考えられた。

2. TS の昼夜変動の影響 道東太平洋において、測定条件を向上させた状態で、スケトウダラの *in situ* TS 測定を行ったところ、TS の昼夜変動が観測された。この変化は、昼間の TS が大きく、夜間の TS は小さいという、日本海の S_A 変動とは逆の結果であった。これは、測定対象となったスケトウダラの年齢や、環境の違いで、行動が異なるためと考えられた。そこで、*in situ* TS 測定が行われた付近で得られた S_A を調べたところ、昼間の S_A が大きくなっていた。このことより、TS の昼夜変動が S_A の昼夜変動に寄与することが示唆された。

3. 微小生物の積分加入の影響 積分閾値を変化させて解析することにより、-76dB 未満の弱い反応が S_A の昼夜変動におよぼす影響は小さいことが示された。また、弱い反応が S_A に占める割合は夜間よりも昼間の方が大き

く、仮に積分加入するとするならば、夜間よりも昼間ということになる。しかし、 S_A の昼夜変動に寄与する微小生物の影響はあまり大きいとは考えられず、無視できる程度であった。

4. 海底デッドゾーンの影響 理論計算によりデッドゾーンの体積を算出し、それが S_A の昼夜変動に与える影響について考察した。この計算によると、海底デッドゾーンの存在による S_A の昼夜変動への影響は、非常に大きいことが分かった。また、実際の調査で得られた S_A の昼夜変動にデッドゾーンの影響をあてはめたところ、海底デッドゾーンのマスキング効果で S_A の昼夜変動を説明できた。このように、計量魚探で得られた音響データを、理論的に解析することによって、 S_A の昼夜変動を補正することが可能になると考えられた。

5. 今後の音響調査への指針 以上の結果を総合すると、中層魚群の S_A 変動は TS の昼夜変動に起因するものと考えられ、着底魚群の S_A 変動は海底デッドゾーンの影響によって発生すると考えられる。

TS については、状況に応じた基礎データの蓄積が重要になるであろう。今後は、簡便にかつ精度の高い *in situ* TS を得られる技術を発展させていく必要がある。

海底デッドゾーンについては、その影響が大きいため、あらかじめ調査計画段階での配慮が重要である。影響の予想も可能と考えられるため、その海域を夜間航走するような調査計画を立てることで、推定精度の向上につながるができるであろう。

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

スケトウダラの音響資源量調査における 面積後方散乱係数の昼夜変動に関する研究

国連海洋法条約締結以降、我国では漁獲可能量(TAC)の割り当てによる資源管理が実施されるようになり、漁業情報に依存しない直接的な資源評価法が求められている。本論文は我国の代表的TAC指定魚種であるスケトウダラについて、その直接的資源評価法である音響資源調査においてしばしば問題となるスケトウダラの面積後方散乱係数(SA)の昼夜変動現象を、①ターゲットストレンジス(TS)の昼夜変動、②微小生物の濃縮によるエコー積分への加入、③スケトウダラの日周鉛直移動に伴う海底デッドゾーンの影響、の3つの仮説からその検証を試み、音響資源調査における昼夜間誤差の減少、および推定精度の向上について考察したものである。

1. S_A の昼夜変動現象の証明

本研究ではまず、スケトウダラのSAの昼夜変動現象を明らかにするため、日本海武蔵堆西部の大陸棚斜面部分に、水深280m, 450m, 800mの各等深線に沿ったトランセクトを設定し、船速約10ktで昼間と夜間で同じコースを航走して魚探データを収集した。さらに、積丹半島沖において、等深線に直角および平行なトランセクトで構成した、長方形周回コースを設定し、昼夜連続の魚探データを収集した。

武蔵堆における各等深線の S_A を算出したところ、いずれの調査線においても昼間よりも夜間の方が約3倍大きいSA変動が観測された。また、積丹沖の調査においては、中層魚群においても昼間より夜間の方が約1.4倍大きいSAの昼夜変動が観測された。

2. TSの昼夜変動について

次にスケトウダラのTSの昼夜変動を明らかにするため、道東太平洋の水深約70mの地点に錨泊し、ROVを用いてトランスデューサを魚群に近づけるなど、測定条件を向上させてスケトウダラのTS測定を行ったところ、TSの昼夜変動が観測された。しかし、この変化は、昼間のTSが夜

間より大きく、日本海のSAの変化とは逆の現象であった。そこで、観測点付近で得られたSAを調べたところ、昼間のSAの方が大きかった。このことから、TSの昼夜変動がSAの昼夜変動に寄与することが明らかとなった。

3. 微小生物の積分加入の影響

次に、動物プランクトンなどが夜間に濃縮し、鉛直移動する結果、エコー積分値が増加する微小生物の積分加入の現象を調べるため、日本海において昼夜同一ラインを航走して音響データを得た。解析は、積分閾値を-94dB、-85dB、-76dB、-66dBの4通りについてSA値を求め、さらにそれらの比をとり、閾値設定の影響を調べた。

結果は積分閾値を通常より低く設定してもSAの変化はあまり見られず、また、弱い反応がSAに占める割合は夜間よりも昼間の方が大きく、微小生物加入の仮説とは逆の結果を呈した。しかし、-76dB未満の弱い反応がSAの昼夜変動におよぼす影響は小さく、微小生物がSAの昼夜変動に与える影響は無視できる程度と考えられた。

4. 海底デッドゾーンの影響

最後にスケトウダラの日周鉛直移動が海底エコーにマスキングされる現象(デッドゾーン効果)の影響の度合いを検証した。まず、デッドゾーン体積を求め、スケトウダラの日周鉛直移動に伴うSAへの影響を理論計算で求めた。次に実際の音響調査で得られたデータを用いて、実測値と理論値の比較を行い、海底デッドゾーンがSAの昼夜変動に及ぼす影響について考察した。

理論計算の結果、海底デッドゾーンの存在によるSAの昼夜変動への影響は、非常に大きいことが分かった。また、実際の調査で得られたSAの昼夜変動にデッドゾーンの影響をあてはめたところ、海底デッドゾーンのマスキング効果でSAの昼夜変動を合理的に説明できた。したがって、計量魚探で得られた音響データを、理論的に解析することによって、SAの昼夜変動を補正することが可能であると考えられた。

審査員一同が評価した点は以下の通りである。

1. 道西日本海の武蔵堆と積丹沖において、往復および周回コースを設定し昼夜連続観測を実施した結果、夜間のSAが昼間より1.4～3倍大きいことを明らかにした点。
2. 道東太平洋において、特殊プラットフォームを用いてスケトウダラの *in situ* TS測定を行ったところ、昼間のTSが夜間より約5dB大きく、TSの変化を用いてSAの昼夜変動現象を説明することができた点。
3. 計量魚探の積分閾値を変化させて、魚類以外の微小生物のSAへの寄与率を調べたところ、-76dB未満の弱い反応がSAの昼夜変動に与える影響が小さいことを明らかにした点。
4. 海底デッドゾーンが着底魚群のSAの寄与に及ぼす影響は非常に大きいことを示した点。
また、デッドゾーン仮説をもとに理論計算し、海底デッドゾーンのマスキング効果でSAの

昼夜変動を説明することができ、SAの昼夜変動を補正できる可能性を示した点。

審査員一同は本研究が、今後の音響資源量調査の設計に重要な指針を示すものと高く評価し、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