

学 位 論 文 題 名

ドップラー流向流速計（ADCP）を用いた
音響散乱層の生物密度推定と種判別に関する研究

学位論文内容の要旨

目 的

ADCP は、遊泳力を持たない海中浮遊物からの音響散乱波のドップラー周波数変移を測定して、海流の流速場を測定することを目的としているため、通常は音響散乱波の強度情報が利用されることはない。しかしながら、散乱波強度は生物密度に比例するため、これを積極的に利用して、生物密度を推定できる可能性がある。そのためには ADCP で測定される散乱波強度を体積後方散乱強度（MVBS）として定量化する必要があるが、ADCP は空間分解能が低く、また斜交させた特殊な音響ビームを使用しているので、その較正方法にも工夫が必要である。

一方、散乱体が遊泳力を持つ生物の場合、ADCP のドップラー変移には海流の流速場と共に、生物の移動速度成分が含まれる。したがって、これらを分離することができれば生物の移動速度を推定することが可能である。

そこで、本研究では現在多くの船舶に搭載されている ADCP を用いて、海流の流速場を知ると共に、音響散乱層の生物密度を推定し、さらに生物の移動速度や遊泳速度を知って生物種を判別する方法について検討した。

方 法

実験は、北海道噴火湾周辺海域に分布する音響散乱層を対象とし、船底装備型および海底設置型 ADCP を用いて、音響データを取得した。

船底装備型 ADCP は、北海道大学水産学部練習船うしお丸に設置された 4 ビームタイプの RDI 社製 Ocean Surveyor で、周波数は 153.6kHz、音響ビームは鉛直線から

30°傾けて送波される。ピングレートは毎秒 1 回とし、30 秒から 2 分間の平均エコー強度を、流向流速データや GPS、ジャイロ情報とともに収録した。

一方、海底設置型 ADCP は、周波数 307.2 kHz であり、4 本の音響ビームが鉛直線から 20°傾けて上向に送波される。これを噴火湾湾央部の水深 84 m の地点に設置し、2003 年 4 月 19 日から 5 月 6 日まで連続的にデータを収録した。データの平均時間は 10 分間隔で 1 秒毎のデータを 50 ピング分平均したデータを内蔵メモリーに保存した。

これらのデータをもとに、ADCP の製造会社から提供された変換式を用いて、エコー強度を MVBS に変換し、計量魚探機を用いてこの値の評価を行った。

その後、ADCP で測定された MVBS を用いて音響散乱層の主要構成生物であるオキアミの密度推定を行ない、計量魚探機(EK60)やフレームトロールによる生物採集により推定した密度との比較を行った。

次に、船底装備型 ADCP と海底設置型 ADCP を用いて、周波数ドップラー検出による音響散乱層の動特性を調べた。

最後に、ADCP で測定した 3 次元速度ベクトルとエコー強度を用いて、音響散乱層に混在する魚群とプランクトンの移動速度を測定し、周辺海域の流速場と比較して魚群の遊泳速度を推定した。また、移動する魚群の遊泳速度から種判別の可能性を検討した。

結 果

ドップラー流向流速計(ADCP)を用いて、噴火湾湾外部における音響散乱層の生物密度を推定し、さらにドップラー情報から音響散乱層の移動速度および混在する魚群の遊泳速度を推定して、生物種を識別する方法を検討した。本研究で得られた知見をまとめると以下のようになる。

1. ADCP の流向流速測定の精度を評価するためのエコー強度出力を用いて、距離減衰を補正したうえ、ビーム間校正と計量魚探機出力との比較校正を行なうことにより、平均体積後方散乱強度(MVBS)を定量化することができた。
2. 音響散乱層を対象にして ADCP による MVBS(153.6 kHz)と計量魚探機による MVBS(38, 120, 200 kHz)を比較したところ、両者の間には高い相関が得られた

が、両者間には最大 10 dB の偏差が認められた。これは対象生物の周波数特性によるものと判断された。

3. フレームトロールを用いて音響散乱層の生物採集をおこなったところ、主構成生物はオキアミであった。DWBA 理論モデルを用いてオキアミのターゲットストレングスを推定し、その周波数特性を調べたところ、200 kHz の MVBS は 38 kHz のそれより 10 ~ 25 dB 大きく、153.6 kHz よりも 0 ~ 3 dB 大きいことがわかった。
4. そこで、これらの周波数特性を利用して、オキアミのエコーを抽出し、その MVBS とネットサンプリングで推定した生物密度との関係を調べたところ、両者には高い相関が認められ、ADCP のエコー強度出力を用いた生物密度推定が可能であることがわかった。
5. 音響散乱層は、昼間は中層に分布し、夜間は表層に移動するという日周鉛直移動を行なうことが、船底装備の ADCP のエコーグラムにも明確に記録された。また、日出没前後の音響散乱層の鉛直移動が、ADCP のドップラー周波数の鉛直速度成分として検出され、他の散乱体と区別することが可能であった。
6. 音響散乱層の鉛直移動は、海底設置型 ADCP のエコーグラムにおいても明確に記録された。さらに鉛直移動速度がドップラー鉛直速度成分として直接計測されたが、その最大値と平均値には大きな偏差が認められた。フレームトロールを用いた生物採集の結果、鉛直速度のばらつきは構成生物種の違いに起因すると考えられた。
7. 船底装備の ADCP を用いて、音響散乱層の水平移動速度成分が検出された。海流の流速場と比較したところ、音響散乱層が海流と異なる方向に移動していた。フレームトロールによる生物採集の結果、主要生物がオキアミ類であったことから、これはオキアミ群の移動によるものと考えられた。
8. 音響散乱層の近傍には、時おり、強い散乱エコーが観測され、それらから海流の流速場とは明らかに異なる大きな速度成分が検出された。フレームトロールによる生物採集の結果、これらがサンマ魚群であることがわかった。ADCP による水平速度成分から、サンマの平均遊泳速度は 88.6 cm/s と推定され、体長基準速度は 4.19 BL/s であった。また、ハダカイワシが採集された音響散乱層の水平速度成分から、ハダカイワシの平均遊泳速度は 28.0 cm/s と推定され、その体

長基準速度は 4.26 BL/s であり，自然遊泳中の魚類の遊泳速度として妥当なものであると考えられた。

9. ADCP で観測された魚群の移動速度や方向は，対象生物の行動パターンを表し，それらの違いから，海流とオキアミ，サンマとハダカイウシの判別が可能であり，生物種の識別に有効であることが示された。

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	教授	三宅	秀男
副査	助教授	向井	徹

学位論文題名

ドップラー流向流速計 (ADCP) を用いた 音響散乱層の生物密度推定と種判別に関する研究

ADCPは、遊泳力を持たない海中浮遊物からの音響散乱波のドップラー周波数変移を測定して、海流の流速場を測定することを目的としているため、通常は音響散乱波の強度情報が利用されることはない。しかしながら、散乱波強度は生物密度に比例するため、これを積極的に利用して、生物密度を推定できる可能性がある。そのためにはADCPで測定される散乱波強度を体積後方散乱強度 (MVBS) として定量化する必要がある。

一方、散乱体が遊泳力を持つ生物の場合、ADCPのドップラー変移には海流の流速場と共に、生物の移動速度成分が含まれる。したがって、これらを分離することができれば生物の移動速度を推定することが可能である。

本研究は現在多くの船舶に搭載されているADCPを用いて、海流の流速場を知ると共に、音響散乱層の生物密度を推定し、さらに生物の移動速度や遊泳速度を知って生物種を判別する方法について実験と解析をおこなったものである。

実験は2003年および2004年、北海道噴火湾周辺海域において、北海道大学練習船うしお丸に装備されたADCPおよび噴火湾中央部の海底に設置された固定式ADCPを用いて、同海域における音響散乱層を対象に音響データの収集と生物採集を行ない、以下の結果を得た。

1. ADCP のエコー強度出力を用いて、ビーム間較正と計量魚探機出力との比較較正を行なうことにより、平均体積後方散乱強度(MVBS)を定量化することができた。
2. 音響散乱層の ADCP による MVBS(153.6 kHz)と計量魚探機による MVBS(38, 120, 200 kHz)を比較したところ、両者には高い相関が認められたが、両者間には最大 10 dB の偏差があった。これは対象生物の周波数特性によるものと判断された。
3. フレームトロールを用いて音響散乱層の生物採集をおこなったところ、主構成生物はオキアミであった。理論モデルを用いてオキアミのターゲットストレンジスを推

定し、その周波数特性を調べたところ、200 kHz の MVBS は 38 kHz のそれより 10~25 dB 大きく、153.6 kHz よりも 0~3 dB 大きかった。

4. そこで、これらの周波数特性を利用して、オキアミのエコーを抽出し、その MVBS とネットサンプリングで推定した生物密度との関係を調べたところ、両者には高い相関が認められ、ADCP のエコー強度出力を用いた生物密度推定が可能であることがわかった。
5. 音響散乱層の日周鉛直移動が船底装備の ADCP のエコーグラムにも明確に記録された。さらに、日没前後の音響散乱層の鉛直移動が、ADCP のドップラー周波数の鉛直速度成分として検出され、他の散乱体と区別することができた。
6. 船底装備の ADCP を用いて、音響散乱層の水平移動速度成分が検出された。海流の流速場と比較したところ、音響散乱層が海流と異なる方向に移動していた。フレームトロールによる生物採集の結果、主要生物がオキアミ類であったことから、これはオキアミ群の移動によるものと考えられた。
7. 音響散乱層の近傍には、時おり、強い散乱エコーが観測され、それらから海流の流速場とは明らかに異なる大きな速度成分が検出された。フレームトロールによる生物採集の結果、これらがサンマ魚群であることがわかった。ADCP による水平速度成分からサンマの平均遊泳速度は 88.6 cm/s であり、体長基準速度は 4.19 BL/s と推定された。また、ハダカイワシが採集された音響散乱層の水平速度成分からハダカイワシの平均遊泳速度は 28.0 cm/s であり、体長基準速度は 4.26 BL/s と推定された。
8. ADCP で観測された魚群の移動速度や方向の違いから、海流とオキアミ、サンマとハダカイワシの判別が可能であり、生物種の識別に有効であることが示された。

審査員が特に評価した点は次の通りである。

1. 音響散乱層を用いて ADCP から得られる 4 ビームの平均体積後方散乱強度 (MVBS) を較正する方法を考案したこと。
2. 理論モデルで推定した生物のターゲットストレングスの周波数特性を利用して、オキアミのエコーを抽出し、ADCP のエコー強度出力を用いた生物密度推定が可能であることを示したこと。
3. 音響散乱層の日周鉛直移動が、船底装備や海底設置の ADCP のドップラー変移として検出され、他の散乱体と区別することができたこと。
4. 海流の流速場とは明らかに異なる魚群の速度成分が検出されたこと。これから、サンマの平均遊泳速度は 88.6 cm/s、4.19 BL/s、ハダカイワシの平均遊泳速度は 28.0 cm/s、4.26 BL/s と推定されたこと。
5. 魚群の移動速度や方向から、海流とオキアミ、サンマとハダカイワシの判別が可能であり、生物種の識別に有効であることを示したこと。

本研究は、ADCPを用いた海洋調査に生物情報を加えるための重要な知見を与えるものと評価し、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。