

学 位 論 文 題 名

音響手法を用いたカタクチイワシ (*Engraulis japonicus*)

仔魚の分布推定に関する研究

学位論文内容の要旨

カタクチイワシ *Engraulis japonicus* は日本の沿岸から沖合にかけて広く分布しており、様々なステージで漁獲の対象となっている。なかでも仔魚期にあたるシラスは太平洋側を中心にシラス漁場が形成され、その生産額は成魚を大きく上回る。また、サワラ *somberomorus niphonius* やタチウオ *Trichiurus lepturus* など魚食性の強い魚や海獣類、海鳥など、様々な高次捕食者の餌料としても大きな役割を果たしており、海洋生態系や食物連鎖を考える上で非常に重要な位置を担っている。日本近海に分布するカタクチイワシのなかでもっとも大きな資源を誇るのが九州太平洋系群である。日本南方沿岸域から黒潮域において産卵された本系群の卵・仔魚は、黒潮によって東方へ輸送され、黒潮続流域から黒潮親潮移行域に到達する。この卵稚仔が輸送される過程でその一部が沿岸海域に接岸し、漁場が形成される。これまで、黒潮の離接岸と漁場形成に関する研究が多く行われており、ネットサンプリングとともに漁況予報に関する情報として注目されている。しかしながら、沿岸海域に來遊したシラスの分布特性や周囲環境との関係について明らかにされた例は少ない。そこで本研究では、水平的・鉛直的な魚群情報を迅速かつ広範囲で取得することができる音響手法に着目し、その手法をシラスに適用することでシラス魚群の分布推定を試みた。また、黒潮の離接岸がシラス漁場の形成に大きく影響する紀伊水道海域を対象に本手法を用いたモデル研究を実施した。

音響手法による水産資源推定を行う場合、スケールファクターであるターゲットストレングス (TS) が必要となる。本研究ではこの TS を理論モデルにて推定した。まず、モデル計算に必要な音響インピーダンス (密度比 g 音速比 h) について実験を行い、それぞれの知見を得た ($g:1.053\sim1.079$, $h:1.015\sim1.091$)。さらに、この音速比・密度比および背方向からの魚体形状を基に TS を推定し、その姿勢角特性について検討した。無鰾状態となる昼間のシラスは姿勢角のわずかな違いであっても TS が大きく変動することが明らかとなった。次に、この姿勢角に関する知見を得るため、2008 年 1 月および 12 月の 2 期間において、定置網内で捕獲したシラスを対象に遊泳行動を観察した。この実験から、シラスは頭部を上向きにした状態で遊泳する傾向が強く (Avg.: 12.8° S.D.: 22.1)、一般的な浮魚類と異なった姿勢角分布をもつことが明らかとなった。ここで得た姿勢角分布と TS の姿勢角特性の積をとることで平均化 TS (TS_{avg}) を算出し、TS - SL ($18.0\sim35.7\text{mm}$) の関係式を得たことで密度推定を行う際のスケールファクターとしての TS が整備された ($TS_{avg} = 60.5 \log [\text{SL}] - 170.8$)。

計量魚探より得られた野外データを扱う際に、その反射強度や密度の誤差となる要因として吸収減衰が挙げられる。そこで本研究では、Francois and Garrison の式を用いその補正方法について検討した。まず、深度 1m 毎の水温・塩分データを基に算出した減衰値を真値とし、表層から海底付近までの平均水温および塩分を各深度帯に適用して算出

した吸収減衰値と比較した。その結果、水温や塩分濃度の成層が進む夏季においても両者の間に差はほとんどみられず、補正方法の違いによる密度への影響は小さいと判断された。そのため本研究では、平均水温および塩分濃度を利用した吸収減衰値で体積散乱強度 (SV) を補正し、それぞれの魚群を対象にその平均 SV 値を算出した。また、音響調査と直接採集法を併用し、曳網深度内におけるシラス魚群の平均 SV 値と採集量を比較することで、2 周波法による判別精度とその推定量の妥当性について検証した。その結果、2 周波法によるシラス魚群判別の精度は高く、ここから推定される密度は実際の現存量を良く反映しているものと判断された。

音響手法を用いたシラス魚群の探索とその分布推定のモデル研究として紀伊水道西岸海域で実施した。2004 年から 2008 年の 5 年間に紀伊水道と播磨灘の一部で得た音響データからシラス魚群 ($n=2267$) を抽出し、魚群毎にその密度や分布深度、魚群の規模 (幅と高さ) について解析した。シラス魚群の SV 値は $-77.5\text{dB} \sim -47.0\text{dB}$ の範囲に分布し、個体数密度に換算すると $3 \text{ 個体}/\text{m}^3$ から $4000 \text{ 個体}/\text{m}^3$ であった。また、その分布深度は春季発生群 (4-6 月) および夏季発生群 (7-9 月) は海底付近に集中するのに対し、秋季発生群は表層から海底付近まで広く分布する傾向が示された。一方、2004 年のように春季発生群が高水準期となった場合、その分布深度が鉛直方向に大きく広がる傾向が示された。次に、それぞれのシラス魚群が分布する深度に対応する水温を抽出し、その季節変化を検討した。春季発生群は $10.8 \sim 21.8^\circ\text{C}$ の範囲に分布し、紀伊水道内の水温が上昇するとともに、その分布環境が徐々に高くなった。夏季発生群はその 90% 以上が 20°C より高い水温帯に分布していた。しかしながら、2005 年のように海底付近に低水温帯が形成された年はその影響を受け、分布環境が 20°C を下回る魚群も存在した。秋季発生群は、 $15^\circ\text{C} \sim 25^\circ\text{C}$ の範囲に分布し、春季発生群とは対照的にその分布環境は徐々に低くなった。最後に、シラス魚群の分布域と非分布域の水温の違いについて比較・検討した。結果、夏季発生群でその両海域における水温差が非常に高いことが明らかとなり、表層や中層に形成される高水温帯を避けて海底付近に分布していたと考えられた。

以上より、本研究で示した音響手法を適用することで、その分布域が広範囲に広がり、かつパッチ状に魚群を形成するシラスの分布を推定することが可能となった。また、シラス魚群の鉛直方向における分布が明らかとなり、分布深度に応じた周囲環境を得ることができ、より詳細に両者の関係を把握することが可能となった。

本研究成果はシラス魚群の自動判別を可能とし、広域モニタリングシステムとしてシラスの来遊量や漁場の形成状況などその漁況予報に大いに貢献していくことが期待される。

学位論文審査の要旨

主 査	准教授	宮 下 和 士
副 査	教 授	山 羽 悦 郎
副 査	教 授	仲 岡 雅 裕
副 査	教 授	飯 田 浩 二 (大学院水産科学研究院)
副 査	教 授	藤 森 康 澄 (大学院水産科学研究院)
副 査	教 授	濱 野 明 (水産大学校 海洋生産管理学科)

学 位 論 文 題 名

音響手法を用いたカタクチイワシ (*Engraulis japonicus*)

仔魚の分布推定に関する研究

カタクチイワシ *Engraulis japonicus* は日本の沿岸から沖合にかけて広く分布しており、様々なステージで漁獲の対象となっている。仔魚期にあたるシラスは沿岸漁業における重要な水産資源であり、その生産額は成魚を大きく上回る。また、魚食性魚類や海獣類、海鳥など、様々な高次捕食者の餌料としても重要な位置を担っている。太平洋側では、黒潮流域にて産卵・ふ化した個体が黒潮によって東方へと輸送される過程でその一部が沿岸海域に接岸し、漁場が形成される。これまで、この漁場形成とその要因について多くの研究が成されており、ネットサンプリングを中心とした調査が実施されている。しかしながら、ネットサンプリングや海洋観測には多大な労力や時間が必要である。また、採集個体が漁獲対象となるまでにタイムラグが生じ、この期間の生残率によって漁況予報が大きく変動する。そこで本研究では、水平的・鉛直的な魚群情報を迅速かつ広範囲で取得することができる音響手法に着目し、その手法をシラスに適用することでシラス魚群の分布推定を試みた。また、黒潮の離接岸がシラス漁場の形成に大きく影響する紀伊水道海域を対象に本手法を用いたモデル研究を実施した。

音響手法による量推定には、スケールファクターであるターゲットストレングス (TS) が必要となる。本研究ではこのTSを理論モデルにて推定した。まず、モデル計算に必要な密度比 g 、音速比 h を計測し、その知見を得た ($g: 1.053 \sim 1.079$ 、 $h: 1.015 \sim 1.091$)。次に、TSの姿勢角特性について検討した結果、無鰾状態である昼間のシラスは姿勢角のわずかな違いであってもTSが大きく変動することが明らかとなった。そこで、2008年1月および12月の2期間において、定置網内で捕獲したシラスを対象に遊泳行動を観察した。その結果、シラ

スは頭部を上向きにした状態で遊泳する傾向が強く (Avg.: 12.8° S.D.: 22.1)、一般的な浮魚類と異なった姿勢角分布をもつことが明らかとなった。ここで得た姿勢角分布を基に平均化TS (TS_{avg}) を算出し、TS - SLの関係式から密度推定を行う際に必要なTSを得た ($TS_{avg} = 60.5 \log [SL] - 170.8$)。

計量魚探より得られた野外データを扱う際に、その反射強度や密度の誤差となる要因として吸収減衰値が挙げられ、本研究ではその補正方法について検討した。まず、深度1m毎の水温・塩分データを基に算出した減衰値を真値とし、表層から海底付近までの平均水温および塩分を各深度帯に適用して算出した吸収減衰値と比較した。その結果、水温や塩分濃度の成層が進む夏季においても両者の間に差はほとんどみられず、補正方法の違いによる密度への影響は小さいと判断された。次に、音響調査と直接採集法を併用し、曳網深度内におけるシラス魚群の平均SV値と採集量を比較することで、2周波法によるシラス魚群の判別精度とその推定量の妥当性について検証した。その結果、判別精度は高く、ここから推定される密度は実際の現存量を良く反映しているものと判断された。

音響手法を用いたカタクチイワシ仔魚の分布推定の事例として紀伊水道西岸海域に來遊するシラス魚群の分布推定を実施した。2004年から2008年の5年間に紀伊水道と播磨灘の一部で得た音響データからシラス魚群 ($n=2267$) を抽出した。その鉛直的な分布は各発生群で様々であり、春季発生群 (4-6月) および夏季発生群 (7-9月) は海底付近に集中して分布、秋季発生群は表層から海底付近まで広く分布する傾向が示唆された。また、春季発生群は50 m以深となる海域から徐々に浅海域へ、夏季や秋季発生群は浅海域から深い海域へと移し、各発生群の中でも各月によってその水平的な分布域の移行が示唆された。最後に、各発生群とその分布環境について検討した結果、春季発生群は黒潮が接岸基調となり、暖水塊 (18-20℃) が流入した場合、この水塊を分布の中心として水道内へと來遊すると考えられた。一方、離岸基調となった場合、水道内の水温は低く (15-17℃)、その分布の中心は水道入口や水道外であり、卵稚仔が水道外へと輸送されたためと考えられた。夏季及び秋季発生群はそれぞれの來遊時期における水温が漁獲量及び魚群の出現数に大きな影響を与えていると考えられた。

以上のとおり、申請者は音響手法によるシラスの分布推定方法を提案するとともに、紀伊水道に來遊する仔魚群の分布に関する新知見を得た。このことは、今後のカタクチイワシ仔魚の量推定や漁況予報に対して貢献するところ大なるものがある。よって、申請者は博士 (環境科学) の学位を受けるのに十分な資格が有るものと判定した。