

学 位 論 文 題 名

音響的手法を用いたキュウリエソ資源の
定量的モニタリングに関する研究

学位論文内容の要旨

本研究の背景と目的

多くの水産資源が崩壊した原因として、資源管理において生態系の生物間作用や状態変化が考慮されてこなかったことがあげられる。このことから、近年、生態系ベースの資源管理（Ecosystem-based management）を行う必要性が論じられている。

Ecosystem-based management を行うためには、生態系の主要構成生物を定量的にモニタリングすることが不可欠である。これらの生物の中で、遊泳力を持つマイクロネクトンの定量化は従来困難であったが、音響的手法はこれを可能にする手段として期待されている。音響的手法を生物量推定に適応するためには、対象生物の音響反射特性を明らかにし、音響的に対象生物を判別する手法を確立することが必要となる。

本研究では、日本海の生態系で重要な役割を果たしている魚類マイクロネクトン、キュウリエソ（*Maurolicus japonicus*）を対象とし、その音響による定量的モニタリング手法を確立し、これまで不明であった本種の分布特性を明らかにすることを目的とする。さらに、本種の資源量推定、資源の長期的な変動を基に、本種の定量的モニタリングを行う意義について Ecosystem-based management の観点から議論する。

音響的手法によるモニタリングの課題①—ターゲットストレングス

音響的手法では、分布密度を知るために、体長との関数として一個体あたりの音波の反射強度（ターゲットストレングス：TS）を把握することが重要となる。TS は、同じ個体でも周波数や姿勢により変化するため、調査で適用する周波数について姿勢の影響を考慮した体長-TS の関係式を求める必要がある。本研究では、最も使用頻度の高い 38kHz と 120kHz の 2 周波数について、実験的な方法と理論的な方法を併用することにより、姿勢が TS に及ぼす影響および体長と TS の関係を調べた。その結果、キュウリエソは鰻の大きさと形状の特性から、38、120kHz では姿勢が TS に及ぼす影響が少ないことが明らかとなった。また、TS の深度特性を考慮した理論的な方法により、本種の生息深度帯別の体長-TS の関係式を求めることができた。

音響的手法によるモニタリングの課題②—魚種判別

現場で収集された音響データは、様々な海洋生物からの反射情報を含んでおり、その中から対象生物の反射情報を抽出しなければならない。したがって、対象生物を抽出する方法（魚種判別）が必要となる。キュウリエソについては、反射強度に一定の閾値を設定し、複数の条件設定を行う方法が用いられていた。しかし、この方法では季節によって魚群密度が変化した場合に対応できない。そこで、本研究では魚群密度の変化に対応する方法として海中の反射強度の最大値を信号毎に抽出し、その 10 分の 1 の反射強度を閾値として設定する判別方法を考案し、従来の手法と比較した。その結果、本手法は、あらゆる周波数への対応が可能であり、異なる海域や季節において使用するのに適している点で従来の方法より優れていると判断された。

隠岐諸島周辺海域におけるキュウリエソの分布特性

本研究で求めた体長-TS の関係式と魚種判別法を用いて、2000～2005 年の、主に春季と夏季に隠岐諸島周辺海域で収集した音響データから、隠岐諸島を挟んだ東西海域、沿岸と沖合のキュウリエソの水平的な分布特性を調べた。その結果、両季節に共通して、隠岐諸島の東側の分布密度は、西側に比べて 1.2～4.6 倍高かった。また、沿岸と沖合の分布には明確な季節変化がみられ、春季は沿岸に集中、夏季は沿岸から沖合に魚群が広く分散した。さらに、これにともない本種の分布密度は、沿岸よりの陸棚斜面部で、沖合に比べて 1.1～20.3 倍高くなった。こうした水平的な分布特性は、隠岐諸島の東側海域の複雑な海洋環境と、本種の主餌生物となる動物プランクトンの分布域の季節変化の影響を受けたものと考えられる。

隠岐諸島東海域では、2000～2002 年の春季、夏季および秋季のデータを用いて昼夜の鉛直分布特性を調べた。この結果、昼間キュウリエソは 150～200m を中心として分布していることがわかった。一方、夜間ではこれより浅い深度帯に本種が出現し、全ての季節で日周鉛直移動（Diurnal Vertical Migration: DVM）が確認された。ただし、春季には、DVM の有無が異なるパターンが見られた。DVM を行わない魚群は 1 歳以上の個体の占める割合が高く、成熟段階が DVM のパターンに影響を及ぼす可能性が高いと考えられた。

日本海のキュウリエソの資源量とその年変動

春季にキュウリエソが陸棚上に集中する傾向を示したことから、水深 200m の等深線を基準としてこの集中分布の範囲を推測し、陸棚斜面部で観察された平均分布密度（ $15.5 \sim 63.4 \text{ g/m}^2$ ）を用いて、日本海全域の本種の資源量を推定した。この結果、2000～2005 年のキュウリエソの資源量は 87～356 万トンと推定された。また、2000～2005 年の春季と夏季の同一海域で観察された平均分布密度は、年によって平年値から 0.4～1.5 倍の範囲で変動した。

日本海的主要生物でキュウリエソと同じ栄養段階にあるカタクチイワシ（*Engraulis japonicus*）の 2000～2005 年における資源量推定値は、41～103 万トンである。また、キ

キュウリエソと並ぶ中深層性のマイクロネクトンであるホタルイカ (*Watasenia scintillans*) の資源量推定値は、1986～1989 年において 8.2～13.6 万トンという報告がある。これらのことから、キュウリエソは日本海の三次生産者として最も資源量の大きい生物であると考えられた。

日本海の Ecosystem-based management において本種のモニタリングを行う意義

日本海南西海域において、1978～2005 年の秋季に得られたキュウリエソの卵出現数を解析した結果、1987 年を境として、卵採集数がそれ以前の約 2 倍の水準へ移行し、本種の資源が大規模で長期的な変動を示すことが明らかとなった。1987 年を境とした資源水準の変動は、他の有用水産生物（スルメイカ、マイワシ、スケトウダラ）にも見られ、気候変動に連動した生態系の状態変化（レジームシフト）に関連したものと考えられる。

音響的手法により隠岐諸島周辺海域で近年 5 年に観察したキュウリエソの分布密度の年変動と水準は、卵の出現傾向と良く一致していた。このことから、今後音響的手法により本種の資源状態をモニタリングすることは、レジームシフトを予測し、この影響を受ける有用魚種を管理する上で大きな貢献をすると考えられる。また、主要な第三次生産者である本種の音響的手法を用いたモニタリングを実施することにより、これまで推測の域を脱しなかった生物間の餌をめぐる競合関係や、低次生産と高次生産の関係を定量的に評価することが可能となり、海洋生態系の理解に大きく寄与すると期待される。

学位論文審査の要旨

主 査	助教授	宮 下 和 士
副 査	教 授	桜 井 泰 憲
副 査	教 授	三 浦 汀 介
副 査	教 授	飯 田 浩 二
副 査	教 授	青 木 一 郎 (東京大学)

学 位 論 文 題 名

音響的手法を用いたキュウリエソ資源の 定量的モニタリングに関する研究

本研究の背景と目的

多くの水産資源が崩壊した原因として、資源管理において生態系の種間作用や状態変化が考慮されてこなかったことがあげられる。このことから、近年、生態系ベースの資源管理 (Ecosystem-based management: EBM) を行う必要性が論じられている。

EBM を行うためには、生態系の主要構成生物を定量的にモニタリングすることが不可欠である。本研究では、日本海の生態系で重要な役割を果たしているキュウリエソ (*Maurolicus japonicus*) を対象とし、本種の音響による定量的モニタリング手法を確立し、これまで不明であった本種の分布特性を明らかにすることを目的とする。さらに、本種の資源量推定、資源の長期的な変動から、本種の定量的モニタリングを行う意義について EBM の観点から議論する。

音響的手法によるモニタリングの課題①—ターゲットストレングス

音響的手法では、分布密度を知るために、一個体あたりの音波の反射強度 (ターゲットストレングス: TS) を把握することが重要となる。TS は、同じ個体でも周波数や姿勢により変化するため、調査で適用する周波数について姿勢の影響を考慮した体長-TS の関係式を求める必要がある。本研究では、38kHz と 120kHz の 2 周波数について、実験的な方法と理論的な方法を併用することにより、姿勢が TS に及ぼす影響および体長と TS の関係を調べた。その結果、キュウリエソは鰹の大きさと形状の特性から、38、120kHz では姿勢が TS に及ぼす影響が少ないことが明らかとなった。また、TS の深度特性を考慮した理論的な方法により、本種の生息深度帯別の体長-TS の関係式を求めた。

音響的手法によるモニタリングの課題②—魚種判別

実際の調査から得られた音響データは、様々な海洋生物からの反射情報を含んでいるため、対象生物の反射情報を抽出（魚種判別）することが必要となる。本研究では魚群密度の変化に対応する方法として海中の反射強度の最大値を信号毎に抽出し、その 10 分の 1 の反射強度を閾値として設定する判別方法を考案し、従来の手法と比較した。その結果、本手法は、あらゆる周波数への対応が可能であり、異なる海域や季節において使用するのに適している点で従来の方法より優れていると判断された。

隠岐諸島周辺海域におけるキュウリエソの分布特性

2000～2005 年の、主に春季と夏季に隠岐諸島周辺海域のキュウリエソの水平的な分布特性を調べた結果、両季節に共通して、隠岐諸島の東側の分布密度は、西側に比べて高かった。また、沿岸と沖合の分布には明確な季節変化がみられ、春季は沿岸に集中、夏季は沿岸から沖合に魚群が広く分散した。

隠岐諸島東海域では、2000～2002 年の春季、夏季および秋季のデータを用いて昼夜の鉛直分布特性を調べた。この結果、夏季と秋季は夜間の分布深度や日中より浅くなる日周鉛直移動（Diurnal Vertical Migration: DVM）が確認された。ただし、春季には浅い水深帯で DVM が無いパターンが見られた。

日本海のキュウリエソの資源量

春季にキュウリエソが陸棚上に集中する傾向を利用し、陸棚斜面部で観察された平均分布密度を用いて、日本海全域の本種の資源量を推定した。この結果、2000～2005 年のキュウリエソの資源量は 87～356 万トンと推定された。

日本海でキュウリエソと同じ栄養段階にある主要生物のカタクチイワシ（*Engraulis japonicus*）の資源量推定値は、本種と同水準かそれ以下、また、中深層性のマイクロネクトンであるホタルイカ（*Watasenia scintillans*）の資源量推定値は、本種の 1/10 程度であった。

日本海の EBM において本種のモニタリングを行う意義

日本海南西海域において、1978～2005 年の秋季に得られたキュウリエソの卵出現数を解析した結果、本種の資源水準が大規模で長期的な変動を示すことが明らかとなった。本種の資源水準の変動は、他の有用水産生物にも見られ、気候変動に連動した生態系の状態変化（レジームシフト）に関連したものと考えられる。

音響的手法により隠岐諸島周辺海域で近年 5 年に観察したキュウリエソの分布密度の年変動と水準は、卵の出現傾向と良く一致していた。今後は音響的な手法を用いて、キュウリエソの資源量をモニタリングすることにより、生態系の中の種間作用を定量的に検討やレジームシフトに応じた順応的な管理を実際に行うことが可能になると考えられる。

これらの成果に対して審査員一同は申請者が博士（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。