

学 位 論 文 題 名

音響手法を用いた海中林の分布推定に関する研究

(Spatial estimation of sea forest distribution using acoustic method)

学位論文内容の要旨

海中林は、沿岸生態系において一次生産の場、栄養循環の場、水質浄化の場、魚類や藻食性動物の餌場や隠れ場として重要な役割を果たしている。また、コンブ科植物によって構成される海中林（コンブ林）は、藻体そのものが有用な水産物であり、沿岸漁業にとっても重要な役割を果たしている。このように生態系に備わった人類が利用できる価値のある機能を生態系サービスという。海中林の生態系サービスの経済価値は地球上の生態系のなかでもトップクラス（1.9万ドル / ha / 年）と見積もられている。海中林の保護や保全、持続的利用は、今後の沿岸環境を未来にわたって価値ある生態系サービスの場として利用するためにも重要な課題とされている。しかしながら、海中林の分布に関する基礎的情報を広範囲に取得することは、目視や潜水などの従来の調査方法では多大な時間、労力、費用がかかるので困難とされている。そこで本研究では、魚類資源の推定などを広範囲に行うことができる音響手法に着目し、その手法を海中林に適用することで広範囲を対象とした海中林の分布推定を試みた。また、知床半島のコンブ林を対象に本手法を用いたモデル研究を実施した。

まず、音響手法による海中林の高さの計測について検討した。検討では、音響手法で得られた高さとは直接計測で得られた高さを比較し、それらの平均二乗誤差（RMSE）を求めた。計測値は、2009年7月24日に知床半島で海中林が繁茂していた32地点で得た。音響機器は、反射強度を255段階に分割（Lv.1-255）して計測することのできる簡易魚探（界面レベル計、株式会社ソニック）を用いた。音響情報は界面レベル計の送受波器を舷側から深度1 mの海中に設置し、1秒ごとに鉛直分解能6 cmで収集した。海中林は、海中林の層と海底の層の境界（Lv. 255）及び海中林の層と海水の層の境界（Lv. 4）に挟まれた領域とし、その幅を音響手法で得られる海中林の高さとした。一方、直接計測では、海底からの高さが刻まれた棒を界面レベル計の送受波器の真横から投下し、海中林上端の値を小型ROVで確認し海中林の高さとした。直接計測で得られた海中林の高さは、36-126 cmであった。これに対し各地点で得られた音響手法と直接計測の高さの違いは、8割以上が6 cm以下であり、RMSEは6 cmと小さかった。音響手法による海中林の計測は有効であることが示された。

次に、音響手法により得られる情報を空間統計学的手法により補間することで、海中林の水平分布と高さの推定を試み、実用性を検証した。水平分布はProbability Kriging、高さはOrdinary Krigingを用いて推定した。音響情報は、知床半島でコンブ林が繁茂している沿岸海域（0.12 km²）において、定線間隔50 m、100 m、250 m、500 mの4通りで得られたコンブ林の有無及び高さとした。水平分布の推定精度は、定線間隔50 mの音響手法で得られた海中林の有無（n = 975）を真値と仮定し、推定された海中林の有無と真値との一致率により検証した。一方、海中林の高さの推定精度は、定線間隔50 mの音響手法により得られた高さを

真値と仮定し、推定された高さとのRMSEを求めて検証した。定線間隔50 m、100 m、250 m、500 mで推定された海中林の水平分布面積は、それぞれ0.03 km²、0.03 km²、0.04 km²、0.05 km²であった。定線間隔が広くなるにつれて推定面積が広くなる傾向を示した。海中林の有無の一致率はそれぞれ92 %、85 %、81 %、72 %、海中林の高さのRMSEはそれぞれ29 cm、31 cm、34 cm、39 cmであった。どちらも定線間隔が広いほど推定精度が低くなることを表しているが、定線間隔50 mとその10倍である500 mとの精度の違いは、コンブ林の有無の一致率が20 %、高さのRMSEが10 cmであった。空間統計学的手法による分布推定は、定置網などの漁具や浅瀬などを回避するために定線間隔を広げざるおえない場合が多々ある沿岸調査でも、極端な精度低下を起こすことなく分布推定が可能であると考えられた。

音響手法を用いた海中林の分布推定のモデル研究として知床半島におけるコンブ林の分布推定を実施した。まず、東側西側のコンブ林の推定を行い知床半島のコンブ林の特徴を明らかにした。調査は、2007年8月11－15日に実施した。調査エリアは、水深30 mまでの東側（知床岬から羅臼、23.74 km²）と西側（知床岬からウトロ、19.58 km²）とした。船速は4－5 knotとし、計測ラインは沿岸に対して垂直または水平になるように航行した。また、エコーグラムに海中林の反応が現れた際は、船上からの目視や小型ROVによる直接観察により海中林の種類を判別した。分布推定にはコンブ林の音響情報のみを用いた。推定されたコンブ林の分布（高さの幅）は、東側で3.49 km²（34－91 cm）、西側で0.39 km²（34－75 cm）であった。知床半島のコンブ林は東側に多く分布し、西側には殆ど分布していないことが明らかになった。また、東側のコンブ林は西側よりも比較的高く連続的で、分布構造も複雑であることが示された。この東西の違いは、東側と西側でコンブ林を形成しているコンブ科植物の種の違いや、海洋環境の違いが原因となっている可能性が考えられた。

次に、コンブ漁の直前と直後にコンブ林の分布推定を行い、コンブ漁によって変化する知床半島のコンブ林の分布とその特徴を明らかにした。調査は、コンブ漁直前の2008年7月23－24日とコンブ漁直後の2008年8月21－22日の2回実施した。調査エリアは、知床半島東側とした。その他は前項の東西の分布推定と同様である。推定された漁前漁後のコンブ林の分布（高さの幅）は、それぞれ5.64 km²（33－132 cm）、2.73 km²（35－105 cm）であった。漁前から漁後にかけてコンブ林の分布は2.90 km²減少し、その高さも低くなっていた。特にコンブ林の減少は調査エリアの南側でみられた。これは、コンブ漁が高さの高いコンブ林を優先的に採取していることや、コンブ漁が南側で盛んに行われていることなどの実態を明確に示していると考えられた。

年変動が激しい海中林分布の空間的、時間的変化に関する知見は、長期的な資源管理の計画にとって有益な情報である。そこで、本手法を用いて海中林のモニタリングを行ったモデル研究として、2007年漁後－2009年漁後までの2年間の知床半島東側のコンブ林の分布変化について明らかにした。分布変化は2007年漁後－2008年漁前－2008年漁後を1年目、2008年漁後－2009年漁前－2009年漁後を2年目として解析した。2009年漁前漁後の分布はそれぞれコンブ漁直前の7月3－4日、直後の8月20－21日に調査し推定した。1年目の分布変化は、2007年漁後－2008年漁前は増加（2.15 km²）し、その後の2008年漁前－漁後は減少（2.91 km²）した。2年目の分布変化もこの増減の傾向は同じで、2008年漁後－2009年漁前は増加（3.77 km²）し、その後の2009年漁前－漁後は減少（4.47 km²）した。しかし、その増減の量については1年目よりも2年目の方が約2倍も大きかった。これは、2年目の方がコンブ林の成長がよく、コンブ漁が活発に行われたことを意味していると考えられた。この成長の違いを生み出した原因の一つは、コンブ林を海底から剥がしとる流氷が、1年目では調査海域全域に流れ着いたのに対し、2年目には殆ど流れ着かなかったという違いにあると示唆された。

以上より、本研究で示した音響手法を適用することで、日本各地に形成されている海中林の分布とその特徴を広範囲を対象として明らかにできると期待される。

学位論文審査の要旨

主 査 准教授 宮 下 和 士

副 査 教 授 仲 岡 雅 裕

副 査 教 授 山 羽 悦 郎

副 査 教 授 濱 野 明 (水産大学校

海洋生産管理学科)

副 査 准教授 小 松 輝 久 (東京大学

大気海洋研究所)

学 位 論 文 題 名

音響手法を用いた海中林の分布推定に関する研究

(Spatial estimation of sea forest distribution using acoustic method)

海中林は、沿岸生態系において一次生産の場、魚類や藻食性動物の餌場や隠れ場として重要な役割を果たしている。また、コンブ科植物によって構成される海中林（コンブ場）は、そのものが有用な水産物として重要である。こうした海中林の分布に関する情報を広範囲に取得することは、目視や潜水などの従来の調査方法では多大な時間、労力、費用がかかるので困難とされている。そこで、本研究では音響手法に空間統計学的手法を用いて広範囲の海中林の分布推定を試みた。また、知床半島のコンブ場を対象に本手法を用いた事例研究を実施した。

まず、音響手法による海中林の高さ計測の有効性について検討した。検討では、音響手法で得られた高さとは直接計測で得られた高さを比較し、それらの平均二乗誤差 (RMSE) を求めた。計測値は、2009年7月24日に知床半島で海中林が繁茂していた32地点で得た。音響機器は、反射強度を255段階に分割 (Lv.1-255) して計測することのできる界面レベル計 (株式会社ソニック) を用いた。音響情報は、送受波器を深度1mの海中に設置し、1秒ごとに鉛直分解能6 cmで収集した。海中林の高さは、海中林の層と海底の層の境界 (Lv. 255) 及び海中林の層と海水の層の境界 (Lv. 4) に挟まれた領域とした。一方、直接計測の高さは、海底からの高さが刻まれた棒を送受波器の真横から投下し、ROVを用いて読み取った海中林上端の値とした。音響計測と直接計測の高さの違いは、観測した地点の8割以上が6 cm以下であった。また、求められたRMSEは6 cmで、界面レベル計の鉛直分解能と同じ値であった。音

響手法による海中林の計測は有効であることが示された。

次に、空間統計学的手法により、海中林の有無と高さを推定した場合の精度について検証した。有無は確率クリギング、高さは通常クリギングを用いて推定した。音響情報は、知床半島でコンブ場が繁茂している沿岸海域（0.12 km²）において、定線間隔50 m、100 m、250 m、500 mの4通りで得られたコンブ場の有無及び高さとした。有無の推定精度は、定線間隔50 mの音響手法で得られた海中林の有無を真値と仮定し、推定された有無と真値との一致率により検証した。一方、高さの推定精度も、定線間隔50 mの音響手法により得られた高さを真値と仮定し、推定された高さのRMSEを求めた。定線間隔50 m、100 m、250 m、500 mで推定された海中林の有無の一致率はそれぞれ92、85、81、72 %、高さのRMSEはそれぞれ29、31、34、39 cmであった。音響情報の定線間隔が狭いほど高い推定精度となることが明らかになった。

音響手法を用いた海中林の分布推定の事例として、知床半島におけるコンブ場の分布推定を実施した。まず、知床半島のコンブ場の分布の特徴を明らかにした。調査は、2007年8月11－15日に実施した。調査エリアは、水深30 mまでの東側（知床岬から羅臼、23.74 km²）と西側（知床岬からウトロ、19.58 km²）とした。音響手法によって推定されたコンブ場の分布（高さの幅）は、東側で3.49 km²（34－91 cm）、西側で0.39 km²（34－75 cm）であった。知床半島のコンブ場は東側に多く分布し、西側には殆ど分布していないことが明らかになった。この東西の違いは、コンブ場を形成している種の違いや、海洋環境の違いが原因となっていると考えられた。

次に、コンブ漁によって変化する知床半島のコンブ場の分布とその特徴を明らかにした。調査は、コンブ漁直前の2008年7月23－24日とコンブ漁直後の2008年8月21－22日の2回実施した。調査エリアは、知床半島東側とした。音響手法によって推定された漁前漁後のコンブ場の分布（高さの幅）は、それぞれ5.64 km²（33－132 cm）、2.73 km²（35－105 cm）であった。漁前から漁後にかけてコンブ場の分布は2.90 km²減少していた。特にコンブ場の減少は調査エリアの南側でみられた。これは、コンブ漁が高さの高いコンブ場を優先的に採取していることや、コンブ漁が南側で盛んに行われていることなどを示していると考えられた。

知床半島東側において2007年漁後－2009年漁後のコンブ場の分布変化を音響手法により明らかにした。分布変化は、生長期と漁期に注目した。2007年漁後－2008年漁前を一年目生長期、2008年漁後－2009年漁前を二年目生長期とした。また、2008年漁前－漁後を2008年漁期、2009年漁前－漁後を2009年漁期とした。推定された生長期の分布変化は、一年目生長期が2.15 km²増加、二年目生長期が3.77 km²増加であった。一年目生長期よりも二年目生長期の方が1.8倍多く増加していた。一方、漁期の分布変化は、2008年漁期が2.91 km²減少、2009年漁期が4.47 km²減少であった。2008年漁期よりも2009年漁期の方が1.5倍多く減少していた。二年目生長期の方がコンブ場の生長が良かったため、2009年漁期はコンブ場が盛んに実施されたと考えられた。この生長の違いの原因の一つは、2008年と2009年のコンブ場を海底から剥がしとる流

氷量の違いにあると示唆された。

以上のとおり、申請者は海中林の新たな分布推定方法を提案するとともに、知床半島のコンブ場の分布に関する新知見を得たものである。今後の海中林の持続的利用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を有するものと判定した。