

(続紙 1)

京都大学	博士 (情報学)	氏名	田中 広太郎
論文題目	Spatio-temporal variation of dugongs' habitat use and vessel traffic revealed by underwater acoustics information: Toward harmonized coastal management (水中音響情報によるジュゴンの生息地利用と船舶航行の時空間変動の解明: 調和のとれた沿岸域マネジメントに向けて)		
(論文内容の要旨)			
<p>ジュゴン (Dugong dugon) はIUCN レッドリストにおいて危急種に指定されている草食性の海産哺乳類であり、浅海域に繁茂する海草を餌とするため沿岸域を主な生息域としている。ジュゴンの保全と人間活動を両立させる沿岸域マネジメントについて検討するためには、両者の海域利用を可能な限り詳細な時空間スケールで継続的に観察する必要がある。本論文は、タイ国のタリボン島において実施した詳細なスケールかつ連続的な音響観察の結果を基に、ジュゴンの生息地利用と船舶航行を時空間的に可視化し、その情報に基づく有効な沿岸域マネジメントの方策を提案するものである。</p> <p>第一章では、本研究の対象動物であるジュゴンの生態、保全やその社会的意義に関するこれまでの関連研究領域における位置づけを示し、この研究の目的と採用するアプローチの必要性を論じている。</p> <p>第二章では、長期・多地点での音響観察を実現するため、本研究の対象音であるジュゴン鳴音と船舶音の自動検出・分類ソフトウェアの開発に取り組んだ。ジュゴン鳴音について、機械学習を用いて誤検出の原因となる狭帯域ノイズを分類する手法を開発した。特徴量として対象信号のコンター情報やメル周波数ケプストラム係数を抽出して分類に用いることで、再現率84.4%、適合率93.5% という分類性能を得た。広帯域音である船舶音については周波数方向のエントロピーを用いて自動検出を行った。また、ある一地点における参考値としてではあるものの、検出した船舶音の周波数特性と持続時間から船舶種の分類も試み、頻繁に観察された船舶種に対して再現率89.8%、適合率90.7%という分類性能を得た。これらの開発した手法を以降のデータ解析に用いた。</p> <p>第三章では、タイ・タリボン島におけるジュゴン鳴音の時空間分布について調べた。雨期・乾期それぞれの約1か月間、のべ11地点に水中録音機を設置し、取得した水中音 (雨期 1933時間、乾期2719時間) から2章で開発した手法を用いてジュゴン鳴音 (雨期 21,340 回、乾季 16,337 回) を検出した後、発声頻度 (1時間あたりの鳴音数) を計算することでその時空間変化を可視化した。その結果、雨期・乾期ともに観察範囲内の限られた3-4地点において頻繁に鳴音が観察され、そのうちの数地点は現行の地域ベースの保護区の外側に位置することが分かった。また、時間変化のパターンは生息地内で同一ではなく、観察地点ごとに異なることが明らかになった。目視観察などほかの調査手法から得られる情報とも組み合わせることで、これらの時間・場所にも保護努力を分配することが期待される。</p> <p>第四章では、航行船舶の時空間分布について調べた。ジュゴン鳴音と同時に船舶音 (雨期 1,968 分、乾期 4,265 分) も検出し、その時空間分布を調べたところ、港周辺や航路にあたる地点において活発な航行が見られた。ジュゴンとは異なり時間変化については雨期・乾期ともに地点間でおおむね共通して昼間に多いという結</p>			

果が得られた。また、島北部の1地点において船舶種の分類を行ったところ、潜在的な攪乱のリスク（騒音・衝突）が大きいスピードボートは13時ごろから15時ごろに航行が集中していることが分かった。この地点・時間帯においては、航路付近にジュゴンが存在しないか注意を払う、速度を落とすなどの対応が攪乱リスク低減のために有効となる可能性がある。

第五章では、ジュゴン鳴音の時空間分布と環境要因・船舶航行との関係を調べた。地点ごとに一般化加法モデルを当てはめたところ、発声頻度の変化と有意に関係する要因は地点間で異なっていた。また、多くの鳴音が観察された地点と海草藻場や岸との距離といった地理的要因の影響は明確に認められなかった。この結果から、活発に発声行動を行う時間・場所を環境要因や船舶航行の特徴から一般的な知見として推定することは適切ではないことが示唆された。別の言い方をすれば、本研究のように詳細なスケールで生息地利用特性の観察を実施することの重要性が提起された。

第六章では、調査・研究で得られた結果をもとに考えられるマネジメントについて検討し、施策の立案において必要な項目として次のことを示した。(1) 鳴音を用いた社会行動を活発に行う場所を保全するための空間計画は効果的であり、優先的に取り組まれるべきであること (2) 時間情報の加味は有効だが詳細なスケールでの音響観察が必要となること。この研究を通して、水中音響を用いた連続観察は、特に地方の沿岸域において、調和のとれた海洋空間計画を検討するうえで、発音性海洋生物と船舶航行の海域利用特性に関する時空間情報を連続的かつ詳細なスケールで提供できる有効な手法であることが示された。また、海洋空間計画の検討に当たっては、本研究で示した方法が空間的な側面のみならず時間的なフレキシビリティも考慮することでより有効なものとしてできる可能性があることも示唆された。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、絶滅が危惧される海産哺乳類のジュゴンを対象とし、タイ国のタリボン島において実施した時空間的に詳細な水中音響観察の結果を基に、本種の生息地利用と船舶航行を時空間的に可視化し、その情報に基づく有効な沿岸域マネジメントの方策を提案するものである。得られた主要な成果の詳細は以下の通りである。

ジュゴンの生息場所と船舶航行の実態把握に必要な長期・多地点での音響観察を実現するため、ジュゴン鳴音と船舶音の自動検出・分類ソフトウェアを新たに開発した。このソフトウェアは、再現率84.4%、適合率93.5%という十分な分類性能を発揮した。また、検出した船舶音の周波数特性と持続時間から船舶種の分類も試み、頻繁に観察された船舶種に対しては、再現率89.8%、適合率90.7%という高い分類性能を得ることができた。

上記ソフトウェアを用い、タイ・タリボン島におけるジュゴン鳴音の時空間分布について調べた。その結果、雨期・乾期ともに観察範囲内の限られた3~4地点において頻繁に鳴音が観察され、そのうちの数地点は現行の地域ベースの保護区の外側に位置することが分かった。これにより、目視観察などほかの調査手法から得られる情報とも組み合わせることで、保護区以外の場所にも保護努力を分配する必要があることが示唆された。

ジュゴン鳴音と船舶音の同時観測によって、その時空間分布を調べたところ、船舶は港周辺で活発な航行が認められ、ジュゴンとは異なり時雨期・乾期ともに昼間に頻度が高かった。また、島北部の1地点において船舶種の分類を行ったところ、潜在的な攪乱のリスク(騒音・衝突)が大きいスピードボートの航行が集中する時間が明らかになり、ジュゴンの活動を攪乱するリスクを低減する対策を具体化するための情報が得られた。

ジュゴン鳴音の時空間分布と環境要因、船舶航行との関係を解析したところ、発声頻度の変化と有意に関係する要因は地点間で異なっており、多くの鳴音が観察された地点と海洋環境要因(海草藻場や岸との距離など)との間に明確な関係は認められなかった。この結果から、活発に発声行動を行う時間・場所を環境要因や船舶航行の特徴から安易に推定することは適切ではないことが示唆された。

以上の調査・研究の結果を踏まえ、ジュゴンが生息する沿岸海域の管理について、以下のような提言を行った。(1) 鳴音を用いた社会行動を活発に行う場所を保全するための空間計画は効果的であり、優先的に取り込まれるべきであること(2) 時間情報の加味は有効だが詳細なスケールでの音響観察が必要となること。本研究で開発した水中音響を用いた連続観察は、上記の提言に沿った沿岸域マネジメントを行う上で、有効な手法であると考えられる。

以上のことから、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和5年7月12日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。また、本論文のインターネットでの全文公表についても支障がないことを確認した。