

(論文内容の要旨)

本論文は、地球環境問題の改善に資する有益な情報や知見を獲得することを目的とした、地理空間データ分析手法の開発と応用に関する一連の研究成果をまとめたものであり、8章から構成されている。

第1章は序論であり、地球規模の環境変化が問題視されるようになった背景を整理するとともに、地球規模の環境問題に取り組むうえでの環境空間情報工学の役割について述べている。さらに、複雑な地球環境問題に対処するためには、各問題の個別の事情を踏まえた実践的な地理空間データ分析手法の開発と応用が必要であることを論じている。そして、近年特に問題視されている2つの地球環境問題、すなわち、「急速に減少する野生生物種の生息地保全」と「地球温暖化影響に対する小島嶼国の国土保全」という具体的な問題を事例として取り上げ、問題毎に異なる背景や利用可能なデータの性質に配慮した、問題対応型の地理空間データ分析手法の開発と応用を通じて、各問題の改善に資する有益な情報や知見を獲得することを、本論文の研究目的として位置づけている。

第2章では、実世界の現象を地理空間データとして捉え分析するうえでの留意点について整理している。また、既往の地理空間データ分析手法を4つの枠組み、すなわち、「地理空間データ操作」、「地理空間統計分析」、「地理空間統計モデリング」および「地理空間ネットワーク分析」に大別し、各枠組みを構成する分析手法の集合体について概説している。さらに、本論文で用いた空間クラスタ分析手法、ネットワーク分析手法および空間統計モデリング手法の関連手法について、それらの理論的背景を解説するとともに、具体的な応用例を最近の研究動向を踏まえながら整理している。

第3章は、「急速に減少する野生生物種の生息地保全」に関連した事例研究であり、ここでは、国境を越えて移動する渡り鳥の野生個体群とその生息地の保全に関する研究を展開している。具体的には、繁殖地と越冬地の間を季節移動する13羽のコウノトリの位置データから、広範囲に点在する生息地の位置を客観的かつ効率的に推定する一連のデータ分析手法を開発している。開発手法には、位置データからの誤差伝搬を考慮した間接計測値の精度管理手法、移動速度と方向角の経時変化に着目した鳥の移動状態判別手法、さらに、位置データの不確実性と不完全性を考慮した空間クラスタ分析手法の3つが含まれる。既往研究では、得られた点群の目視判読や位置データに内在する問題点を無視した多変量解析によって、生息地の位置推定が行われてきた。一方、本研究では、従来法の問題点を踏まえつつ、客観性、再現性および効率性の点でより優れた一連の分析手法を開発し、これらを適用することにより、これまで把握されていなかったコウノトリの生息地の空間分布を詳細に明らかにした。

第4章では、第3章の研究成果を応用しながら、渡り鳥の生息地の保全優先順位を効率的に評価する、空間ネットワーク分析手法を開発している。生息地の保全優先順位は、これまで、現地調査によって得られる渡来数や滞在期間に基づいて評価されてきた。しかし、広範囲に点在する生息地の網羅的な現地調査は極めて困難であるため、詳細な現地調査を前提とした従来法のみでは、遠く離れた生息地や一時的に利用される生息地の現地調査が行われないうえに、その重要性が見過ごされる危険性がある。開発手法は、地理的に離れた生息地全体の結び付きを、ノードとリンクから構成される非平面有向グラフで表現し、ノードの消失にともなうグラフの連結性強度の損失量を定量化することにより、生息地全体の連結性を維持するうえで重要な役割を果たしている生息地を探索するものである。開発手法を適用することにより、中国東部の沿岸湿地が、繁殖地と越冬地の連結性を維持するうえで重要な中継地であることを明らかにした。そして、コウノトリの野生個体群の存続のためには、繁殖地と

越冬地に偏った既往の保全策だけでなく、生息地全体の連結性を維持することを目指した、より広い視野での協調的な保全策が必要であると提言している。

第5章は、「地球温暖化影響に対する小島嶼国の国土保全」に関連した事例研究である。ここでは、狭く低平な地形である環礁州島を国土としたツバルやモルジブ、マーシャル諸島などのインド・太平洋域の環礁小島嶼国に焦点を絞り、地球温暖化に伴う海面上昇や台風激化などの環境変化が、これらの国々の国土保全にどのような影響を与えるかを検討するための基盤データを整備している。具体的には、州島地形の形成維持過程に関与する気象や海象などの諸要因についての観測データと再解析データを整備するとともに、州島地形を国土とする国や地域の社会経済状況に関するデータを網羅的に収集し、全球規模の地理空間データベースを構築している。近年、地球規模の地理空間データの整備が盛んであるが、個々のデータは、特定の目的に特化した仕様で整備されることが多く、異なる目的においては直ちに利用できるとは限らない。本研究で整備した地理空間データベースは、州島地形の規模や形成維持要因の地域差を効率的に把握できる最も包括的な地理空間データベースである。

第6章では、第5章の研究成果を応用することにより、州島地形の立地環境を客観的に類型化し、現地調査地点を選定する意思決定過程に対して有用な基礎情報を提供している。広域を対象とした研究を行う場合、現地調査地点の数と配置の妥当性が常に問題となる。本研究では、インド・太平洋域の広範囲に点在する400以上の環礁の中から、立地環境の類似性と特異性の観点から最も代表性の高い環礁を現地調査地点として選定する必要がある。そのため、州島地形の形成維持に関与する諸要因のデータの確率分布を混合分布モデルで近似し、立地環境の類型区分の問題を、区分数を未知パラメタとしたモデル選択の問題に帰着させることにより、客観的な類型区分処理を行った。そして、類型区分の結果を全球地図として表現し、これと環礁位置とを対応させることにより、立地環境の観点から環礁間の類似性と特異性を明らかにした。

第7章では、第5章の研究成果に対して、誤差要因の空間構造を考慮した空間統計モデリング手法を適用することにより、州島地形の形成維持確率に対する諸要因の効果を評価するとともに、将来の海面上昇にともなう州島地形の形成維持確率の変化を予測している。その結果、台風が激化しても州島地形の形成維持確率にはほとんど影響がないこと、海面上昇に対する応答には地域差があること、局所規模での環境管理によって州島地形の形成維持確率を制御できる可能性があること、などが示唆された。最終的には、海岸浸食に対する人工護岸や浸水危険地域からの移住といった既往の対策だけでなく、足元を見据えた地域規模での適切な環境管理によって、海岸浸食を抑制する海浜植生を保全すること、また、砂礫の由来となるサンゴや有孔虫などの造礁生物の生息環境を保全することが、環礁小島嶼国の国土保全を進めるうえで重要であると提言している。

第8章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、地球環境問題の改善に資する有益な情報や知見を獲得することを目的とした、地理空間データ分析手法の開発と応用に関する一連の研究成果をまとめたものである。この中では、近年特に問題視されている2つの地球環境問題を事例として取り上げ、それぞれの問題の背景と利用可能なデータの性質に配慮した実践的な研究を展開している。研究の概要と主要な成果は次の通りである。

第1の問題「急速に減少する野生生物種の生息地保全」に関しては、国境を越えて移動する渡り鳥に焦点を絞り、広範囲に点在する生息地の位置を客観的かつ効率的に推定するための、空間クラスタ分析手法を開発している。また、生息地全体の連結性を維持することが重要であるとの観点から保全すべき生息地の優先順位を評価する、空間ネットワーク分析手法を開発している。さらに、開発した一連の手法を、東アジアに生息する絶滅危惧種コウノトリの保全研究に応用し、これまで把握されていなかった生息地の空間分布を詳細に特定するとともに、中継地として利用される中国東部の沿岸湿地の重要性を明らかにした。そして、コウノトリの野生個体群の存続のためには、繁殖地と越冬地に偏った従来型の保全策だけでなく、中継地として利用される重要生息地をも考慮した、生息地全体の連結性を見据えた協調的な保全が必要であると提言している。

第2の問題「地球温暖化影響に対する小島嶼国の国土保全」に関しては、極端に狭く低平な地形である環礁州島を国土としたインド・太平洋域の小島嶼国に焦点を絞り、州島地形の形成維持に関与する諸要因の観測データと再解析データを網羅した包括的な地理空間データベースを構築している。さらに、諸要因のデータ発生機構に混合分布モデルを仮定した空間クラスタ分析を行い、立地環境の地域性を客観的に類型化することにより、現地調査地点の合理的な選定を支援している。また、誤差要因の空間構造を考慮した空間統計モデリング手法を応用し、州島地形の形成維持確率に対する諸要因の効果を評価するとともに、海面上昇に対する州島地形の応答を予測している。その結果、海面が上昇した場合でも、局所規模での環境管理によって州島地形の形成維持確率を制御できる可能性があることを示した。そして、海岸浸食に対する護岸や浸水危険地域からの移住といった既往の対策だけでなく、地域規模での適切な環境管理によって、海岸浸食を抑制する海浜植生を保全し、さらに、砂礫の由来となる造礁生物の生息環境を保全することが、環礁小島嶼国の国土保全にとって重要であると提言している。

以上のように、本論文は、地理空間データ分析手法の開発と応用を通じて、地球環境問題の改善に資する有益な情報や知見を提示しており、環境情報学ならびに空間情報工学の発展に貢献するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成21年7月27日、論文内容とそれに関連した事項についての口頭試問を行った結果、合格と認めた。