

氏名(本籍)	佐久間 東陽		
学位の種類	博士(社会工学)		
学位記番号	博甲第 9828 号		
学位授与年月日	令和 3 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	農業・鉱業による環境影響の評価および対策に向けた 土地利用時空間変化の衛星リモートセンシングに関する研究		
主査	筑波大学 連携大学院教授	博士(理学)	山野 博哉
副査	筑波大学 教授	博士(農学)	村上 暁信
副査	筑波大学 准教授	博士(学術)	甲斐田 直子
副査	筑波大学 准教授	博士(農学)	奈佐原 顕郎
副査	東京大学 特任研究員	農学博士	井上 吉雄

## 論文の要旨

審査対象論文は、生物多様性に多大な影響を与える土地利用の時空間変化に対して、サトウキビ農業によるサンゴ礁の劣化、ニッケル採掘による熱帯林の劣化の問題をとりあげ、それぞれの現象と原因を把握し、対策の立案を行うために衛星リモートセンシング技術の効果的な適用を検討したものである。

1章においては、生物多様性の劣化を環境問題としてとりあげ、それに土地利用が多大な影響を与えていることを示し、中でも高い生物多様性のあるサンゴ礁と熱帯林に対するサトウキビ農業及びニッケル鉱業の影響を対象とすることが述べられている。それぞれの現象と原因を把握し、対策の立案に対して提言を行うという本論文の枠組みが示されている。

2章においては、土地利用の時空間変化を把握するために衛星リモートセンシングが効果的であることと、各応用場面における既存研究のレビューを行った上でこれまで運用されている衛星センサーが整理され、本研究で扱う衛星データの選定根拠が示されている。

3章においては、サトウキビ農業にともなう農地からの土砂流出の海域への拡散を衛星データでとらえ、沿岸のサンゴ礁に与える影響を評価している。沖縄に代表される小島嶼では土砂流出が短期間(数時間以内)に起こる場合が多く、海域への濁度の拡散を把握するのはこれまで非常に困難であった。2章でレビューを行い、多数の小型衛星により高頻度・高空間分解能観測を行う「衛星コンステレーション」を用いて、海域への濁度の拡散をとらえることができた。室内実験によって濁度と反射スペクトルとの関係を求め、衛星データに適用し、濁度のサンゴ礁内への拡散を定量化し、短期間のイベントでもサンゴに深刻な影響を与えることを示している。

4章においては、土砂流出の発生源となる農地に着目した解析を行っている。サトウキビの作型にはいくつかのパターンがあり、特に夏植え前の裸地の状態の時期は沖縄の梅雨や台風襲来の時期と一致するため、土砂の発生源となる農地を抽出するためには、作型のパターンを把握することが重要となる。そのためには、農事暦を適切に把握する必要があり、ここでも衛星コンステレーションが必要とされる。本章では2年以上にわたって衛星コンステレーションにより得られたデータを解析し、現地調査結果とあわせて高精度の作付及び作型分類図を作成したことが示されている。さらに、データ数が限られる場合に分類に効果的な画像取得時期についても示されている。

5章においては、土砂流出の対策で効果的と考えられているサトウキビのマルチングに着目し、マルチングが施された農地を検出する手法開発が検討されている。ここでも衛星コンステレーションを用いて、現場で取得したスペクトルとあわせて、サトウキビ収穫後のマルチングの検出を効率的に行うことが可能となったことが示されている。

6章においては、ニッケル採掘による熱帯林の破壊に関して、ニッケル採掘領域を適切に把握する手法開発について述べられている。ニッケル鉱山の周辺の土地利用はさまざまであり、多時期の衛星データを解析して、周辺の植生の変化とニッケル採掘領域の変化を比較することによって、土地利用区分ごとの検出の可能性と限界が示されている。開発した手法が適用できない場合は目視判読でのデータを加え、全球のニッケル採掘領域について土地改変面積を明らかにしている。

7章においては、6章で得られた土地改変面積の結果とニッケルの統計データを用いて、ニッケルの品位等を考慮した、土地利用強度を定量化している。このことにより、資源調達において、熱帯林帯でのニッケル採掘の影響を緩和するためのサプライチェーンの設計に関する提言が行われている。

8章においては、3章から7章までの成果をまとめ、サトウキビ農業によるサンゴ礁の劣化、ニッケル採掘による熱帯林の劣化の問題に対し、現象と原因を把握して対策の立案を行うために適切な衛星の選定と、そこから得られるデータの解析に関する技術開発を行ったこと、それらによって変化を把握する精度を向上させることができたことが示されている。また、今後の展望として、他地域や他の対象への展開可能性が議論されている。

9章においては、各章で得られた成果を概観し、生物多様性に多大な影響を与える土地利用の時空間変化において、問題を現象・原因・対策に構造化し、適切な衛星の選定を含む技術開発が可能になったことと対策に向けた方向性を示している。

## 審査の要旨

### 【批評】

本論文は、生物多様性に多大な影響を与える土地利用の時空間変化に対して、サトウキビ農業によるサンゴ礁の劣化、ニッケル採掘による熱帯林の劣化の問題をとりあげ、それぞれの現象と原因を把握し、対策の立案を行うために衛星リモートセンシング技術の効果的な適用を検討したものである。

研究の設計においては、テーマを一貫した土地利用の時空間変化が生物多様性に与える影響としてまとめ、高い生物多様性を持つ熱帯域の生態系への影響評価に活用できるデータの提示のみならず、対策に向けた提言や対策状況の把握への衛星リモートセンシングの活用を示している。

各章においては、課題に対して適切な衛星データの選定とそれを用いた解析技術開発が行われ、現象と原因の把握から対策に向けた提言まで、衛星リモートセンシングの活用が示されている。衛星コンステレーションや Google Earth Engine など、最新のデータや解析プラットフォームの積極的な活用を行うとともに、現地調査も着実にっており、データ解析とフィールド調査両方による分類精度の向上など高度な成果が示されている。

本論文の 8・9 章で展望されている通り、今後も衛星データはさらに充実することが見込まれており、環境問題の大きな課題の一つである土地利用変化と生物多様性劣化に対して、本論文で提示された技術や考え方をを用いた原因究明や対策への展開が期待されるものである。

成果は 4 章が論文として出版されているが、各章からまとまった成果が得られているため、さらなる公表を期待する。論文の表現に関して推敲が必要な箇所が散見されたため、さらなる研鑽を求め、今後の論文化の際の糧としていただきたいと考えている。

### 【最終試験の結果】

令和 3 年 1 月 29 日、リモートにて、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（社会工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。