

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：12401

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2023

課題番号：20K20005

研究課題名（和文）ユーザーの目的に応じた土地被覆分類作成システムの基盤構築

研究課題名（英文）Developing a land cover classification system for users

研究代表者

堤田 成政（Tsutsumida, Narumasa）

埼玉大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：20650352

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、柔軟な土地被覆の分類定義への対応と地上参照データ作成に関する手法開発に取り組んだ。分類図に影響を与える分類クラスの事前定義に対し、異なる分類定義を柔軟に再構築する手法を開発した。これは、Decision Fusionを利用したもので、ユーザーの目的に応じた分類システムの基盤を提供する。

また、地図製作者間のバイアス低減と地上参照データ作成の効率化にも取り組んだ。ベイズ統計を利用し、異なる地図製作者の分類確率を統合する手法を提案した。さらに、街路風景写真から土地被覆を推定する深層学習モデルを開発した。これらの成果により、土地被覆分類の精度および信頼性の向上に貢献した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

土地被覆分類図は社会・環境基盤情報として不可欠であるが、その事前定義により使用用途が限定されるため、ユーザーの目的に応じた柔軟な分類設計が難しかった。本研究では、異なる土地被覆分類図を統合することで、その定義を変更可能とする手法を提案しており、ユーザー需要に即した分類図作成への展開が期待される。また、地図製作者間のバイアスを低減する新たな手法の提案により、より定量的な土地被覆情報の地図化と信頼性の向上が期待される。さらには、街路風景写真から土地被覆を推定する深層学習モデルの開発により、地上参照データ作成の省力化と効率化の実現が期待され、土地被覆分類図を通じた社会・環境の定量化に寄与する。

研究成果の概要（英文）：In this study, we worked on developing methods for the classification definition of land cover and the creation of ground reference data. We developed a method to flexibly reconstruct different classification definitions in response to the pre-definition of classification classes that affect the classification diagram. This is based on decision fusion, providing a foundation for a classification system tailored to the user's purpose. We also worked on reducing bias between map makers and improving the efficiency of ground reference data creation. Using Bayesian statistics, we proposed a method to integrate the classification probabilities of different map makers. Furthermore, we developed a deep learning model to estimate land cover from street view photos. These achievements have contributed to improving the accuracy and reliability of land cover classification.

研究分野：地理情報科学

キーワード：土地被覆 クラス分類 不確実性 バイアス 地上風景写真 深層学習モデル Decision fusion

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

土地被覆は広域の陸域環境を表す基盤の地理情報として「正確な記述」が求められてきた。土地被覆情報は生物多様性の保全、生態系サービスの定量化、人為的な環境変化の把握、防災計画の策定、気候変動による陸域環境への影響予測などのため、IPCC、IPBES、FAO、UNFCCCなどの国際的な組織が注目しており、土地被覆クラスの規格化および統一化が取り組まれてきた。しかしながら、既存データの分類クラスが必ずしもデータ利用者の使用目的に即しているとは限らない点が課題となっている。土地被覆データの制作側の課題(規格化および統一化など)は数多くの研究が進められてきたが、利用者側の課題はこれまで注目されてこなかった。このように利用者の視点に立ち、個々の目的に応じて土地被覆データをオーダーメイドして作成することはできないだろうか。またそのためには、どのようにして多様な利用者が望む土地被覆データの作成はどのようにして実現できるだろうか。近年 Landsat や Sentinel など膨大な量の衛星画像がオープンジオビッグデータとなり、かつ衛星画像解析クラウドツールである Google Earth Engine(GEE)をはじめとする分析ツールが開発されてきた。このようなデータのオープン化および情報処理環境の発展により、土地被覆情報のオーダーメイド化が実現可能な環境が整ってきた。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、利用者の視点にたった土地被覆情報の「多様な記述」を実現する理論とシステムの提案とした。これまで、全球レベルで土地被覆分類クラスを統一する試みが国際機関を中心に進められてきたが、利用者のニーズは多様であり、必ずしも標準化が有用であるとは限らない。このように、これまで見過ごされてきた土地被覆分類クラスの定義の多様性を重視し、利用者にとっての「多様な記述」を提供できる仕組みをデザインする。

### 3. 研究の方法

ケーススタディにとらわれない土地被覆分類に関する分析的研究に加え、日本国内の中でも広大な土地の利用と保全がなされ、土地被覆の広域情報が求められる北海道室蘭市を主な対象地域とした。はじめに、土地被覆を分類するために必要な参照データ作成の効率化に着手した。位置情報付きの地上風景写真から土地利用土地被覆を推定するための深層学習モデルを開発した。また、作成された地上参照データと衛星画像を用いて土地被覆分類モデルを開発した。最後に、他の土地被覆分類データプロダクトや、道路・建物といった地理情報データを統合するための data fusion 手法を提案し、ユーザーが任意に定義した土地利用土地被覆分類クラスに再定義するためのシステムを開発した。

### 4. 研究成果

本研究成果は土地被覆分類手法、土地被覆変化、土地被覆分類精度評価、の3つに分類される。

#### (1) 土地被覆分類手法

土地被覆分類図は、基盤情報として正確さが求められているが、多様なプロダクトが公開されている。空間解像度が10メートルといった詳細に土地被覆が記述される全球レベルのプロダクトが入手可能であるが、このようなデータをローカルスケールで使用する際には、精度上の課題があった。そこで Zhao and Tsutsumida (2020, Remote Sensing)では、全球土地被覆プロダクトに対して農村部の都市域 (Impervious surface areas) クラスの土地被覆分類を対象に調査した結果、都市域分類が大幅に見過ごされていることを明らかにした。そのうえで、機械学習手法を効果的に適用するための手法を提案することで、精度向上を達成した事例を示した。

土地被覆分類には多くの場合、衛星画像を解析することで実現するが、その際に不可欠な地上参照データの収集に大きなコストが発生していた。特に、高解像度衛星画像を用いた参照データの収集では、区別の難しい土地被覆間の差異を目視で判読することができない事象が多く発生していた。そこで Tsutsumida et al. (2022, IGARSS), Tsutsumida et al. (2024, Ecological Research)は、車載カメラ画像を用いて土地被覆を判読する手法を開発した。車載カメラ画像は street-level imagery と呼ばれ、衛星観測と比較して土地被覆をより近接的に把握することが可能である。このような画像に対して、土地被覆分類に特化した深層学習モデルを開発し適用することで、車載カメラ画像から直接土地被覆を分類することに成功した。

このように正確な土地被覆分類を実現するには、衛星画像解析のみならず、既存の地理情報データと組み合わせることで精度を向上することができると期待される。しかしながら、種類の異なる地理情報データをどのようにして統合するかといった技術的な課題が残っていた。そこで、Tsutsumida et al. (2023, IGARSS)では従来の決定木ベースの機械学習手法による土地被覆分類に、Dynamic WorldというConvolutional Neural Network (CNN) が推定した分類確率マップを統合するためのDecision Fusion手法を提案した。具体的には、空間解像度が10メートルであるSentinel-1, Sentinel-2の画像に対して、別途用意した地上参照データとともに決定木ベースの機械学習手法であるXGBoost classifierを適用することで土地被覆分類確率を求める。これに対し、Dynamic Worldから得られるCNNモデルの分類確率を、Dempster-Shafer Theoryにより統合するというものである。Dempster-Shafer Theoryは、異なる分類定義を有する2つの分類確率を、事前定義したルールに則って統合することを可能とするDecision Fusion手法の一つである。これにより、XGBoost classifierで分類したクラス定義と、Dynamic Worldが定義するクラスを統合し、ユーザーが独自に定義した土地被覆分類クラスを設計することが可能となった。さらに、XGBoost classifierで多く発生するノイズ誤差を低減する効果も見られた。Tsutsumida et al. (2023, AGU)ではこれをさらに拡張し、道路・建物データと、農地データを順次統合するDecision Fusion Chainを提案した。これにより、多種のデータ統合の実現可能性を示した。

## (2) 土地被覆変化

土地被覆はその地点に代表的な分類クラスを示す静的分類図と、時間軸上でのクラス変化を明らかにする土地被覆変化がある。多くの先行研究では2時点の土地被覆分類図を比較し、その差異を分析する分類結果比較法が主流である。しかしながら、土地被覆分類に誤分類が含まれている場合、分類結果比較法は期待した結果を得ることができない。堤田 (2020, 農村計画学会誌)ではシミュレーションデータを使って、分類結果比較法の課題を定量的に評価した。完全に正確な土地被覆分類図の作成は難しい現状において、分類結果比較法の適用は注意をもって実施すべきであると主張した。

また、森林被覆域など、季節変化する特徴を有する土地被覆はそのような季節変動(フェノロジー)を考慮する必要がある。Tsutsumida et al. (2022, Remote Sensing)では日本でみられる紅葉現象を把握するための手法を比較し、衛星観測データのみでは特徴を捉えることが現状では難しいことを主張した。土地被覆を把握するためにフェノロジー情報を正確に把握することの重要性を述べた。

## (3) 土地被覆分類精度評価

正確な土地被覆分類を実現するため、土地被覆分類を評価することは重要な研究課題である。従来の手法では混合行列を作成し、全体精度、ユーザー精度、プロデューサー精度、カッパ係数などの評価指標により精度を評価することが一般的である。しかし、土地被覆分類結果はfuzzy理論で表現し、分類の確度を表現することが可能である。Comber and Tsutsumida (2023, International Journal of Remote Sensing)では、fuzzy理論で表現された土地被覆分類の確度を、地理的加重法を適用することにより空間不均一性を加味した空間精度評価として発展させた手法をまとめた。これにより、混合行列から算出された精度評価に比べて、より柔軟に精度を表現でき、かつ空間的に精度評価を実現することが可能となった。

Tsutsumida et al (2020, IGARSS)では、各グリッドで一つのクラスを与える従来の土地被覆分類ではなく、複数のクラスの存在を表現することが可能な比率データとして表現した土地被覆分類比率データに対し、その誤差をAitchison距離により表現し、地理的加重法を適用した手法を提案した。これは、比率データが空間的に不均一に分布する特性を表現したものであり、どのような場所において誤差が大きい/小さいか、を比率の観点から評価することを可能にした。

以上のように、本研究はコロナ禍における研究の遅延があったものの、概ね当初の研究計画に沿って順調に進み、土地被覆情報の「多様な記述」を実現するための研究基盤構築をという目的を一定程度達成したと考えられる。柔軟なクラス定義の実現のための方法論のみならず、正確な土地被覆分類に向けたアプローチの提案や、土地被覆変化分析のための評価、精度評価手法の開発にも従事した。将来的には、本研究で確立した方法論を実展開し、日本国内外でのケーススタディを通じて、柔軟な分類定義を用いた土地被覆分類図の作成を実践していきたいと考える。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 3件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Tsutsumida Narumasa, Zhao Jing, Nasahara Kenlo, Tadono Takeo	4. 巻 -
2. 論文標題 Land Cover Classification from Street-Level Photos	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IGARSS 2022 - 2022 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium	6. 最初と最後の頁 5524-5526
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/IGARSS46834.2022.9883194	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shin Nagai, Katsumata Chifuyu, Miura Tomoaki, Tsutsumida Narumasa, et al.	4. 巻 6
2. 論文標題 Perspective: Improving the accuracy of plant phenology observations and land-cover and land-use detection by optical satellite remote-sensing in the Asian tropics	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Frontiers in Forests and Global Change	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/ffgc.2023.1106723	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Tsutsumida, N.; Shin, N.; Miura, T.	4. 巻 14
2. 論文標題 Evaluation of Land Surface Phenology for Autumn Leaf Color Change Based on Citizen Reports across Japan	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 2017
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/rs14092017	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Tsutsumida Narumasa, Yoshida Takahiro, Murakami Daisuke, Nakaya Tomoki	4. 巻 -
2. 論文標題 A Geographically Weighted Total Composite Error Analysis for Soft Classification	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IGARSS 2020 - 2020 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium	6. 最初と最後の頁 874-876
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/IGARSS39084.2020.9323939	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Zhao Jing, Tsutsumida Narumasa	4. 巻 12
2. 論文標題 Mapping Fragmented Impervious Surface Areas Overlooked by Global Land-Cover Products in the Liping County, Guizhou Province, China	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1527 ~ 1527
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/rs12091527	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Rustiadi Ernan, Pravitasari Andrea Emma, Setiawan Yudi, Mulya Setyardi Pratika, Pribadi Didit Okta, Tsutsumida Narumasa	4. 巻 111
2. 論文標題 Impact of continuous Jakarta megacity urban expansion on the formation of the Jakarta-Bandung conurbation over the rice farm regions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Cities	6. 最初と最後の頁 103000 ~ 103000
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cities.2020.103000	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 堤田成政, 吉田崇紘, 村上大輔, 中谷友樹	4. 巻 1
2. 論文標題 地理的加重法の研究動向と今後の展望	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 GIS -理論と応用-	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 堤田成政	4. 巻 39
2. 論文標題 分類結果比較法による土地被覆・土地利用変化抽出の課題	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 農村計画学会誌	6. 最初と最後の頁 286-289
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsutsumida Narumasa, Nasahara Kenlo, Tadono Takeo, Birch Tanya, Erickson Tyler	4. 巻 -
2. 論文標題 10-Meter Resolution Land Cover Classification Mapping Using Sentinel-1 & 2 and Dynamic World	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IGARSS 2023 - 2023 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IGARSS52108.2023.10282556	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 5件)

1. 発表者名 Tsutsumida N., Zhao J., Nasahara K. and Tadono T.
2. 発表標題 Land Cover Classification from Street-Level Photos
3. 学会等名 IGARSS2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tsutsumida N. and Mochizuki R.
2. 発表標題 Uncertain Vegetation Trends by Index Selections
3. 学会等名 Geo for Good Summit at Google (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tsutsumida N., Zhao J., Nasahara K. and Tadono T.
2. 発表標題 Estimating Land Cover from Geo-tagged Street-level Photos
3. 学会等名 AGU Fall meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堤田成政
2. 発表標題 土地被覆分類データの空間精度・空間誤差
3. 学会等名 第109回日本写真測量学会関西支部テクニカルセミナー（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tsutsumida Narumasa, Yoshida Takahiro, Murakami Daisuke, Nakaya Tomoki
2. 発表標題 A Geographically Weighted Total Composite Analysis for Soft Classification
3. 学会等名 IGARSS2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 堤田成政
2. 発表標題 地理的加重モデルの開発と空間データ解析
3. 学会等名 ROIS-DS 成果報告会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tsutsumida Narumasa, Nasahara Kenlo, Tadono Takeo, Birch Tanya, Erickson Tyler
2. 発表標題 10-Meter Resolution Land Cover Classification Mapping Using Sentinel-1 & 2 and Dynamic World
3. 学会等名 IGARSS2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------