

令和 4 年 5 月 16 日現在

機関番号：12101

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K06307

研究課題名(和文)多バンドリモートセンシング画像を用いた耕作放棄地の抽出

研究課題名(英文)Extraction of abandoned farm land using multi spectral satellite images

研究代表者

木下 嗣基(Kinoshita, Tsuguki)

茨城大学・農学部・教授

研究者番号：10313008

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、複数時期の衛星画像を用いて、耕作放棄地の抽出方法を開発することを目的とした。そのために、大きく二つの課題を設定した。一つ目は、異なるセンサによる異なる時期の衛星画像の補正方法を確立することとし、二つ目は、本課題に適した分類器を開発することとした。画像補正では、既存の複数の手法に改良を加え結合した方法を開発した。得られた画像により耕作放棄地の抽出を行ったところ、既往の研究と比較して精度の高い結果が得られた。新たな分類器の開発では、ラフ集合理論に基づいた分類器の開発を行ったが、多バンド化による分類精度の向上が、既往の分類器と比較して小さいことが明らかになり、その問題点を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、目的達成のために二つの課題を設定した。第一の課題である異なるセンサによる異なる時期の衛星画像の補正方法を確立においては、単年度の画像を用いて、高解像度かつ高精度の分類を可能とした。今後の改良を行うことで、実用的な分類となることが期待され社会的意義があるものと考えられる。ラフ集合理論に基づいた分類器の開発では、多バンド化による分類精度の向上が小さいことが判明した。しかし、その原因も明らかとなったことにより、今後の精度向上が見込まれる。この分類器は他の分野にも適用可能と考えられ、学術的な意義を有すると思われる。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study was to develop a method for extracting abandoned farmland using satellite imagery from multiple time periods. To achieve this objective, two tasks were set. The first was to establish a correction method for satellite images taken at different times by different sensors, and the second was to develop a classifier suitable for this task. For image correction, we developed a method that combined several existing methods with improvements. The resulting images were used to extract abandoned farmland, and the results were more accurate than those obtained in previous studies. In the development of a new classifier, a classifier based on rough set theory was developed, but it became clear that the improvement in accuracy was small compared to existing classifiers when multiple bands were used.

研究分野：農業工学

キーワード：リモートセンシング 画像分類 土地利用

1. 研究開始当初の背景

日本の耕作放棄地は増加の一途をたどっており、その割合は2010年の時点で全国平均10%を超え、その後も増加をしている。この原因は、農家の減少にあるとされているが、その解消には至っておらず何らかの対応が必要とされている。耕作放棄地の増加は、食糧自給率が低い日本における食糧安全保障上の問題があるだけでなく、耕作放棄地(荒廃農地)が周囲の農地に与える損害、道路や水利施設等のインフラの維持管理の非効率化など複数の問題を引き起こし、農業の効率を低下させ、ひいては地域社会の衰退の原因ともなる。

耕作放棄地の再生に対する取り組みは、様々な方面からなされているが、その中にリモートセンシング技術を用いた耕作放棄地の抽出がある。これは、耕作放棄地の再生に向けては耕作放棄地の実態把握が重要である一方、その調査は各市町村の農業委員会が現地調査に基づいて行っており、その労力は小さくない。また、農地の荒廃度の把握は客観的に行い難いうえに、その状況は毎年のように変化をする。この問題を解決する手法の一つがリモートセンシング技術を用いた耕作放棄地の抽出である。この技術が確立すると、耕作放棄地の空間的分布農地の状況の把握が容易となり、その情報を用いることにより耕作放棄の再生に寄与することができる。

これまででも、リモートセンシング技術を用いた耕作放棄の把握に対する取り組みはいくつかのものが見られる。それぞれは特徴があるものの、日本の耕作放棄地の問題に対する適用性や精度を考えると十分とはいえない。日本の状況を考慮した、耕作放棄地の抽出方法の開発は非常に有用性が高いものといえる

2. 研究の目的

リモートセンシング技術を用いた耕作放棄地の抽出方法を開発するにあたり、耕作放棄地に関連した日本の農地の特徴を次のように整理する。

- ・ 一筆の大きさが数十メートル程度と諸外国と比較して小さい
- ・ 農地の空間分布のデータは存在する
- ・ 変化が急激である
- ・ 長期間放棄すると樹木などが成長し再生が困難になる

これらを踏まえ、本研究の到達目標を次の通り定める。まず抽出の解像度を10メートル未満とする。次に分類の対象地として、各自治体が把握している農地を対象とする。これは、非農地である樹林地や草地などに対しては分類を行わないということである。また、変化が急激であることから、単年のリモートセンシング画像により耕作放棄の抽出を行う。最後に、耕作放棄の度合い(荒廃度)についても分類を行う。

以上を鑑み、高解像度、高頻度のリモートセンシング画像データを用いて農地を対象として耕作放棄地分類を行う。そのために以下の2つの目的を設定する。

- (1) 高頻度のリモートセンシング画像の一貫性を確保するための補正方法を開発し、1年内の複数の画像を用いた耕作放棄地抽出方法を開発する
- (2) 高頻度の画像を使用することに伴う多バンドの画像を分類する方法を開発する

これらを通してリモートセンシング画像を用いた耕作放棄地の抽出方法を確立する。なお、対象地は、日本国内において水田および畑地の双方が存在し、農地面積割合が高く、かつ耕作放棄地の割合が高い地域が対象として適していると考え、茨城県南部を選定した。

3. 研究の方法

(1) 複数のリモートセンシング画像を用いた耕作放棄地の抽出方法の開発

耕作放棄地の抽出において、一枚の画像を用いて抽出する方法もあるが、これは水田に特化したものである。耕作放棄地は水田よりも畑地の方が多いことから、1年内の複数時期の画像を使用する方法を選定した。このような複数の画像を用いることで、分光反射率だけでなく、その季節変化も考慮できるため、耕作放棄地の抽出に適用可能だと考えた。まず、1年内の複数時期の画像の取得について検討を行う。候補として、高所(山)からリモートセンシング用カメラを用いて取得する、UAVを使用して画像を取得する、既存の衛星リモートセンシング画像を用いる、以上の3つについて検討を行う。

次に、得られた複数時期の画像の一貫性の補正方法について検討を行う。実際上は不変である場所についても、複数時期の画像では、輝度または文光反射率が異なる。これは、時期が異なることにより太陽光の状況や、大気の状態、センサの状態が異なるためである。この、土地被覆の状態の変化に伴わない画像の変化を除去することが重要となる。

最後に、耕作放棄地の分類方法の検討を行う。耕作放棄地の分類は、一般に土地被覆分類の分野に属する。土地被覆分類は様々な手法が提案されているが、多時期の多バンド画像での適用の例はない。複数の分類器を用いて効果的な分類手法の検討を行う。

(2) 多バンドの画像分類に適応した画像分類方法の開発

一般に、一時期の画像を用いて土地被覆分類を行う場合、画像のバンド数(取得する電磁波の波長域の数)を属性情報として用いる。その数は4~200程度である。複数時期の画像を用いた

分類では、属性情報の数が画像の枚数増えることになるため、少なくとも数十、多い場合は数百から数千の属性情報を用いることになる。このような多数の属性情報を用いる例として、ハイパースペクトル画像を用いた分類が挙げられるが、その実用例は多くない。そこで、本研究ではラフ集合理論に基づいた土地被覆分類方法の開発・改良を行い、多バンド画像への適用性の検討を行う。具体的には、従来は、属性情報をカテゴリカルデータとして扱っていたが、本研究では連続値を扱える分類器として開発を行う。この開発に併せて、多バンド画像を扱うことが可能となるようなアルゴリズムを開発する。

開発された分類器と既存の分類器との比較を行い、その分類精度や特徴の分析を行い、将来性について考察を行う。

4. 研究成果

(1) 複数のリモートセンシング画像を用いた耕作放棄地の抽出方法の開発

使用画像の選定

上述したように3種類の画像についての検討を行った。まず、リモートセンシング用カメラを用いて筑波山の山頂より撮影を行った。この方法の長所は任意の日時において画像の取得ができることである。画像の分析を行ったところ、対象地との距離が大きくなると、撮影の角度が浅くなることによる実解像度低下の問題が大きいことが分かった。また、撮影地点から、農地との距離が異なると大気の影響も異なり、この補正についても困難が伴うことが判明した。撮影地点から近い範囲では有効な方法であると思われるが、今回の研究対象地では不利と考えられた。次にUAVについて検討を行った。UAVを用いる方法は、山頂から画像を取得する方法で発生した問題を回避できる。しかし、研究対象地の面積と、UAVの撮影能力の関係を検討すると、1回の撮影に要する時間が大きいという問題点があった。また、安全性の確保などの点から画像取得には慎重になる必要があり、今回の研究での利用には適切でないと判断した。ただし、今後の発展には有力な方法であると結論づけた。最後に既存のリモートセンシング画像を用いる方法を検討した。リモートセンシング画像は、解像度、観測頻度、観測範囲、バンド数は相反する要素であり、すべての要素を高いレベルで両立させることは困難である。様々な検討を行ったところ、近年発達している、同一仕様の多数の衛星を用いた観測である、衛星コンステレーション技術による画像では、今回の研究対象が必要とする解像度や観測頻度を満たすことが判明した。問題点は、同一仕様の衛星センサを用いても、センサの劣化やバラツキによって、同一地点の輝度または分光反射率が異なる点である。この点については、画像の一貫性確保を慎重に行うことで対応可能と考え、衛星コンステレーションの一つであるPlanetScopeの画像を用いることとした。

画像の一貫性の確保

前項で述べたように、衛星コンステレーションを用いた場合、異なる画像を使用した場合の一貫性確保が必要となる。また、異なる時期の画像についても一貫性の確保が必要となる。これを自動的かつ、正確に行う手法の選定と開発をおこなった。今回、衛星画像を用いるため、雲の影響が避けられない。PlanetScopeの画像は、ほぼ毎日撮影されているが、雲の影響がない画像の頻度は高くない。これらの点から、複数の手法を組み合わせた。まず、画像間の明るさなどの影響を除去するために、自動正規化手法の適用を行った。これは基準画像を設定し、その画像から文光反射率が不変と考えられる地点を自動抽出し、補正画像が基準画像と一致するように回帰式を作成し適用するものである[引用文献1]。これを改良したものをを用いた。次に雲の画像を除去するためにNDVI (Normalized Difference Vegetation Index) にたいしてMVC (Maximum Value Composite)を適用した。コンポジット期間は12日が最適であった。このMVCによって得られた画像では、十分に雲の影響を取り除けたとは言えなかった。しかし、コンポジット期間を長く設定すると、植生の変化が十分得られないため、BISE (Best Index Slope Extraction) [引用文献2]を改良したものを適用し、雲があって不適切と考えられるピクセルを取り除き、改めて補間をすることとした。これらの手法により、不変と考えられるピクセルの季節変化は非常に小さいものとなった。

分類器の検討

で述べた方法で作成された画像を用いて、耕作放棄地の分類を行った。分類カテゴリは、水田、畑地、放棄農地(軽度)、放棄農地(重度)の3種類である。放棄農地(重度)は樹木が生え始めて再生が困難と考えられる農地である。分類方法を検討するにあたり、精度の観点から教師あり分類器を候補とした。用いた分類器は、SVM (Support Vector Machine)、RF (Random Forest)、GRS (Grade-added Rough Set)の3種類である。カッパ係数で比較を行ったところ、統計的有意ではないもののSVMの精度が高く、GRSの精度が低い結果となった。ただし、精度のばらつきについては、GRSが小さく、RF、SVMは大きいものとなった。現時点では分類器としてSVMを用いることが適切であると考えられる。これは、耕作放棄地の抽出では、各分類クラスの条件属性の分離性が低く、そのような問題に対してはSVMが精度の点で有利であることが原因と考えられた。

耕作放棄地の抽出結果

~ の検討の元で作成された手法を用いた分類結果の精度を表.1に示す。結果は既往の研究と比較も併せて行った。既往の研究は、分類対象や分類方法、分類項目が異なるので単純な比較はできないが、単年度のデータを用いた分類器の中では最も精度が高い。放棄農地のレベルの

分類を行ったうえでも高い精度を確保しており、総合的に、もっとも精度が高いといえる放棄農地の分類方法の開発が行えたと言える。

表1 研究成果の既往の研究との比較

	本研究	先行研究1 [4]	先行研究2 [5]	先行研究3 [6]
対象地域	茨城県阿見町	ヨーロッパ	ロシア・ジョージア	茨城県つくば市
農地スケール	80m 未満	80m ~ 1km	80m ~ 1km	80m 未満
衛星・センサ	PlanetScope	MODIS Terra/Aqua	Landsat TM/ETM	ALOS AVNIR-2
データの期間	単年	複数年	複数年	単年
空間分解能	4m	~232m	30m	10m
分類の対象	農地	すべての土地被覆	農地	水田
荒廃度の識別	あり	なし	なし	なし
分類単位	ピクセル	ピクセル	農地オブジェクト	ピクセル
分類精度	Kappa 係数 0.81	平均総合精度 90.10%	総合マッピング精度 97%	Kappa 係数 0.75

(2) 多バンドの画像分類に適応した画像分類方法の開発

新たな分類器の開発

本研究では耕作放棄地の抽出に複数時期の画像から得られる多バンドの情報を利用する。このような多バンドの画像の土地被覆への利用については十分な知見が無い。そこで、ラフ集合理論[引用文献6]に基づいた土地被覆分類方法の開発を行った。従来のラフ集合理論に基づく土地被覆分類では、条件属性である輝度値(または分光反射率)をカテゴリカルデータとして扱っている。そのため、離散化が不可欠となる。本研究では、条件属性を連続値として扱うGRSを開発した。GRSでは、離散化などのデータの前処理が必要なく、ハイパーパラメータの設定も必要ないという特徴を持つ。このGRSを既存のラフ集合理論に基づいた分類器と比較したところ、同等以上の分類精度を有することがわかった。また、既存の分類器であるSVMとの比較を行ったところ、分類精度は同等であるが、分類カテゴリの変更を行った場合や、教師データを変更した場合の分類精度の変化が小さいという特徴を有する分類器であった。問題点としては、計算時間が大きくかかることであることが判明した。

多バンドへの対応

GRSの開発は成功をしたが、問題点として計算時間が大きいということが判明した。この計算時間の問題は、条件属性(バンド数)が増加するとより深刻になる。そこでGRSを改良し、多バンドの問題に対しても実用可能とすることに取り組んだ。従来のGRSでは、分類に関する中間データをメモリ上に保持することになる。この中間データは、条件属性が多くなると指数関数的に大きくなり、その中間データへのアクセスの時間が大きくなるのが問題であることが判明した。そこで、分類プログラムの見直しを行い、中間データを保持しない分類プログラムの構築を行った。この新たに開発した分類プログラムは条件属性値が10以上になると従来の分類プログラムより高速になる。また、新たな分類プログラムは並列化およびベクトル化による加速が大きく、それらを導入することで多バンドの入力データでの計算時間を実用の範囲内に収めることが可能となった。

GRSの特徴の分析

開発したGRSは、取り扱いが容易であるにもかかわらず、従来の分類器と同等の精度を示すことが多い。しかし、多バンドのデータに適用すると、SVMなどの分類器と比較すると精度が低くなる傾向が判明した。GRSを改良することを目的とし、分類精度がSVMと比較して劣る場合の分析を行った。様々な分析を行ったところ、特徴空間において複数の分類クラスが重複するような、分離性が低いケースにおいて分類精度が劣ることが判明した。この問題を解決するために、GRSの理論的な見直しを行い、GRSにおける下近似と上近似の再定義を行った。この再定義に沿った分類プログラムの改良を行い、一部のケースにおいてGRSの分類精度が向上した。今後は、他のケースについても適用を行い、その有効性を検証することより精度の高い分類器の構築が可能となると考えられる。

(3) 多バンドリモートセンシング画像を用いた耕作放棄地の抽出

本研究で得られた大きな成果は、既往の研究と比較して有効な耕作放棄地の分類方法の確立が行えたことである。当初の計画では想定していなかった衛星コンステレーション技術を中心に研究を進めることになったが、想定以上の成果が得られたと考える。他バンド画像に対応した新たな分類器の作成では、既往の分類器と同等の分類器を構築することができたが、耕作放棄地の分類においては利点を見出すことができなかった。しかし、新しい分類器の特徴の検討を行ったところ、既往の分類器を上回る精度が見込まれることが期待される。

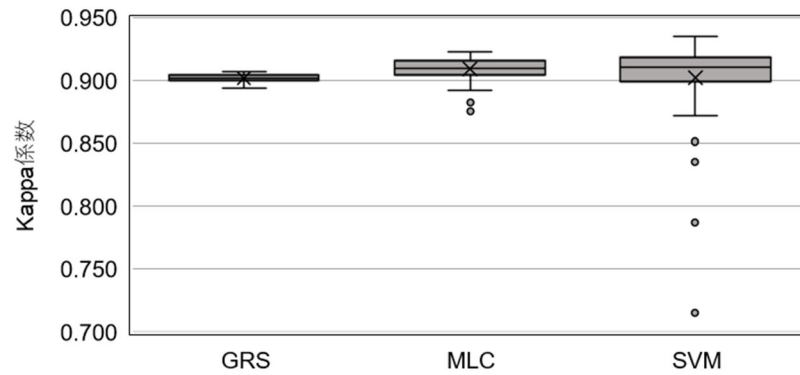


図1 分類器の精度比較 (GRS : 本研究、MLC : 最尤法、SVM : Support Vector Machine)

< 引用文献 >

- [1] Canty, M.J., Nielsen, A.A., & Schmidt, M. "Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery," *Remote Sens. Environ.*, 91(3-4), 441-451, 2004.
- [2] Viovy, N., Arino, O., & Belward, A.S. "The Best Index Slope Extraction (BISE): A method for reducing noise in NDVI time-series," *Int. J. of Remote Sensing*, 13(8), 1585-1590, 1992.
- [3] Estel, S., Kuemmerle, T., Alcántara, C., Levers, C., Prishchepov, A., & Hostert, P. "Mapping farmland abandonment and recultivation across Europe using MODIS NDVI time series," *Remote Sens. Environ.*, 163(15), 312-325, 2015.
- [4] Yin, H., Prishchepov, A. V., Kuemmerle, T., Bleyhl, B., Buchner, J., & Radeloff, V. C. "Mapping agricultural land abandonment from spatial and temporal segmentation of Landsat time series," *Remote Sens. Environ.*, 210, 12-24, 2018.
- [5] 瑞慶村 知佳, 本岡 毅, 奈佐原 顕郎. 人工衛星を用いた水田地帯における耕作放棄地の判別. *日本リモートセンシング学会誌*, 31(1), 55-62, 2011.
- [6] Pawlak, Z. "Rough Sets," *Int. J. Comput. Inf.*, 11, 341-356, 1982.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 1件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yoshie Ishii, Hasi Bagan, Koki Iwao, Tsuguki Kinoshita	4. 巻 -
2. 論文標題 A New Land Cover Classification Method Using Grade-Added Rough Sets	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LGRS.2020.2965297	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 該当する

1. 著者名 Ishii Yoshie, Iwao Koki, Kinoshita Tsuguki	4. 巻 13
2. 論文標題 Global Land Cover Assessment Using Spatial Uniformity Validation Dataset	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 2950 ~ 2950
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/rs13152950	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 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yoshihiko Kobayashi and Tsuguki Kinoshita
2. 発表標題 Improve Temporal Consistency of Satellite Constellation Image Time-series for Farmland Abandonment Detection
3. 学会等名 The 41st Asian Conference on Remote Sensing（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yoshihiko Kobayashi, Tsuguki Kinoshita
2. 発表標題 Method to Map Agricultural Land Abandonment Using High Spatial And Temporal Resolution Images
3. 学会等名 The 40th Asian Conference on Remote Sensing（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石井順恵、岩男弘毅、木下嗣基
2. 発表標題 ラフ集合理論を用いた新しい地図統合手法の提案
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会 第67回学術講演会
4. 発表年 2019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