



Title	衛星リモートセンシングを利用した土地利用変化および森林火災による二酸化炭素放出量の推定手法の開発 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	白石, 知弘
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	乙第7152号
Issue Date	2022-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/85605
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Shiraishi_Tomohiro_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称: 博士(農学)

氏名 白石 知弘

衛星リモートセンシングを利用した 土地利用変化および森林火災による二酸化炭素放出量の推定手法の開発

森林は大気中の二酸化炭素を吸収し有機物として隔離するため、大気中の二酸化炭素濃度の緩和のために重要な役割を担っている。陸域と大気間の炭素収支を理解することは、2015年にパリ協定で締結された世界の平均気温上昇を抑制する目標を達成し、気候変動の緩和と適応を実現するために極めて重要である。しかし、地球規模の炭素循環を理解するためには、森林生態系の炭素収支における不確実性が大きいことが問題である。また、増加する人口と食料消費を解決するために森林から農地への転換が熱帯域を中心に加速し、森林の減少や劣化が進んでいる。1990年から2007年の森林破壊や劣化によって大気中に放出された二酸化炭素量は、森林による炭素蓄積量よりも大きいことが示唆されたが、これらの報告による炭素収支の不確実性は大きく、年々変化する森林域と森林の炭素収支を理解するためのシステム構築が急務である。

本研究の目的は、土地利用変化および森林火災による二酸化炭素放出量の推定手法を開発することである。森林減少や劣化を招く主要な原因である土地利用変化と森林火災による二酸化炭素放出量を推定することは、森林の炭素収支を理解するために不可欠である。本研究では、広域が観測でき周期的に均質な観測情報が入手可能である人工衛星の地球観測データを利用する。また、大量のデータを長期間にわたって繰り返し処理する必要があるため、人手を介さずに自動処理が可能なアルゴリズムを構築する。本論文では目的を達成するために5つの課題を設け開発した。

1. 合成開口レーダデータを使用した土地利用の分類手法開発

2009年のインドネシア・スマトラ島中央域の土地利用図を作成するために、2007年から2009年に観測されたLバンド合成開口レーダデータを用いて土地利用図を作成し評価した。土地利用図の作成手法は、合成開口レーダ特有のスペックルノイズの影響を抑制するためのオブジェクト分類法、単バンドデータから最大限の情報を得るための特徴量の生成、機械学習に適した特徴量を選別する特徴量選択処理などにより構成した。また、土地利用分類に適した機械学習アルゴリズムを決定するために、先行研究をもとに5種類のアルゴリズムを比較・評価した。作成した中で最も高い土地利用図の精度は64.1%、森林/非森林図の精度は90.0%であった。機械学習アルゴリズムは、分類精度と処理速度の両面でランダムフォレストが土地利用分類に適したアルゴリズムであることが明らかになった。

2. 光学データを使用した年次土地利用変化の検出手法開発

2000年から2016年のスマトラ島の年次土地利用図を作成するために、また、2001年から2016年の年次土地利用変化を検出するためにMODISセンサで観測された光学データを用いた土地利用図を作成し評価した。土地利用図の作成手法は、光学データの短所である被雲域を補完するためのMODISデータの日別データによるコンポジット処理、多バンドデータの長所を活用するための特徴量の生成、成熟した農園を森林と区別するための処理などにより構成した。土地利用変化は、年次間で土地利用種別が変化した面積を集計することにより算出した。作成した2000年から2016年の土地利用図の平均精度は92.0%、森林/非森林図が94.5%であった。2001年から2016年の年間森林減少率は0.6% year⁻¹であり、先行研究と比較し

た中で最も低い減少率であった。また、土地利用分類に利用する特徴量は分類対象画素の周囲情報、MODIS の Band1, 4, 6, 7 データが重要であることが明らかになった。

3. 森林火災による二酸化炭素放出量の推定手法開発

2000 年から 2020 年における全世界の森林火災による二酸化炭素放出量の推定手法を開発し評価した。推定手法は従来の燃焼領域法をもとにして、先行研究で不確実性要因の 1 つであったバイオマス密度を最新の地上バイオマスプロダクトを使用することにより改善し、火災発生ごとに燃焼したバイオマスを評価する処理を追加した。また、入力データが二酸化炭素放出量の推定結果に与える影響を評価した。2001 年から 2020 年における 20 年間の森林火災からの平均年次二酸化炭素放出量と標準偏差は $8.40 \pm 0.70 \text{ Pg CO}_2 \text{ year}^{-1}$ であり、入力データによる不確実性は大きかった。比較した先行研究の 4 種類中 3 種類の平均年次二酸化炭素放出量が本研究結果の標準偏差内であり、構築した手法の妥当性を示した。

4. オーストラリアの大規模火災による二酸化炭素放出量推定へ適用

2019 年から 2020 年にかけてオーストラリアで発生した大規模火災による二酸化炭素放出量を推定するため 3 で開発した推定手法を適用し、火災が大規模化した理由を考察した。二酸化炭素放出量の推定値は、入力データの偏りを低減するために、入力データの組み合わせによって得られる 8 種類の推定結果の平均値とした。2019 年のオーストラリア全域の年次二酸化炭素放出量と標準偏差は $674 \pm 57.6 \text{ Tg CO}_2 \text{ year}^{-1}$ であり、2001 年から 2018 年の平均年次二酸化炭素放出量の 2.4 倍であった。二酸化炭素放出量と降水量は有意な負の相関を示し、少ない降水量が火災の大規模化の一因であることを明らかにした。

5. ボルネオ島における土地利用変化と森林火災による二酸化炭素放出量の推定手法開発

2001 年から 2016 年のボルネオ島における土地利用変化、森林火災、泥炭火災、泥炭の酸化分解による二酸化炭素放出量の推定手法を開発し、推定結果を先行研究と比較・評価した。推定手法は、土地利用変化による二酸化炭素放出量推定のために 2 の手法、森林火災による二酸化炭素放出量推定のために 4 の手法、さらに泥炭火災と泥炭の酸化分解による二酸化炭素放出量の推定手法を加えて開発した。この手法は、先行研究で考慮されていなかった自然林のバイオマス成長、非森林域の二酸化炭素収支、入力データの偏りを低減するために複数データを使用した点に特徴を持つ。土地利用変化による正味の平均年次二酸化炭素放出量と標準偏差は $0.03 \pm 0.39 \text{ Pg CO}_2 \text{ year}^{-1}$ 、森林火災による放出量は $0.22 \pm 0.17 \text{ Pg CO}_2 \text{ year}^{-1}$ 、泥炭の酸化分解による放出量は $0.19 \pm 0.01 \text{ Pg CO}_2 \text{ year}^{-1}$ であった。本研究の推定結果は、土地利用変化による二酸化炭素放出量が従来の推定よりも小さく、森林火災や泥炭火災による二酸化炭素放出量が従来の推定よりも大きい可能性を示した。

本研究によって開発した手法は、高精度な土地利用図、森林火災からの二酸化炭素放出量インベントリ、熱帯泥炭域の土地利用変化および森林火災による二酸化炭素放出量インベントリの作成を可能にした。本論文では、土地利用図、土地利用変化および森林火災による二酸化炭素放出量インベントリは熱帯泥炭域を対象に開発したが、これらの手法は森林火災からの二酸化炭素放出量インベントリと同様に全球規模に拡張することが可能である。しかし、これらの手法において課題は残されており、今後ますます充実するリモートセンシングデータを有効活用し、地球の炭素循環の理解と不確実性の低減、そして気候変動の緩和のために持続的な開発が必要である。