

GCOM-C1 を用いた新緑・紅葉判定のためのミクセル解析

Mixed pixel analysis to detect the tender green and autumn colour

using GCOM-C1

高知工科大学大学院  
工学研究科基盤工学専攻  
社会システム工学コース  
国土情報処理工学研究室  
1267002 藤原崇真

指導教員 高木方隆  
副指導教員 赤塚慎  
論文副審査 佐藤慎司

2025 年 3 月

## 論文要旨

近年、地球温暖化や森林破壊に起因する海面上昇や洪水豪雨、陸上生態系の損失などが大きく問題視されている。植物フェノロジーは気候や環境変化に左右されやすく、気温の推移と共に観測を行うことで、精度の高い温暖化の影響予測が可能になると考えられており、現状の気候変動の把握と将来に及ぶ影響の予測を行い、国際的な環境施策を議論していく上で重要視されている。一般に人工衛星を用いることが全球で植生フェノロジーを観測するためには最も有効な手法とされ、これまでも米国 NOAA /AVHRR に始まり、国を超えて観測が続けられてきた。

高知工科大学 国土情報処理工学研究室では、JAXA の打ち上げた地球観測衛星 GCOM-C1 の SGLI データを利用し、四国を対象エリアとして、植生解析のための新緑・紅葉経過マップを作成してきた。GCOM-C1 は同一軌道上から、広い観測幅で、高頻度で、グローバルな観測データを均質に取得することが可能である。GCOM-C1 よりも高分解能な観測データを提供できる衛星は多々存在する。しかし、分解能と観測幅はトレードオフの関係がある。観測したデータを地上基地局に転送する際に、転送スピードがボトルネックとなり分解能の高いデータを取得すると観測幅が狭くなる。均質なデータを高解像度で高頻度で取得することは現在実現されていない。そのため、現状では植生フェノロジーの観測にとって広域、高頻度で均質性のある GCOM-C1 の観測データが優れている。しかしながら、GCOM-C1 の空間分解能が 250 m であるために、群落ごとの観測になってしまい、異なる群落の境界線や、山林と平地部の境界線において、1 ピクセルの中に複数の土地被覆を含むミクセル状態となっている。

土地被覆の反射係数と、その土地被覆の面積の線型結合で、そのピクセルの反射係数を表現できる。求めた、その土地被覆の反射係数はピュアピクセルの反射率に相当する。その反射係数を求めるには、 $n$  種類の土地被覆を分類するのであれば  $n$  バンド以上の反射係数がないと求まらない。しかしながら、新緑・紅葉マップは可視域の赤バンドと近赤外バンドの 2 バンドを用いた NDVI の値で作成しており、これまでの落葉樹の着葉状態を表す NDVI 閾値を求めた研究成果としても、新たな解析手法としても、簡便に行うために一貫して 2 バンドを使用する。そこで本研究では、その土地被覆の反射係数を求めるにあたって、1 ピクセルに対して  $n$  バンドを用いる代わりに  $n/2$  ピクセル(多ピクセル)を用いたミクセル解析手法の構築を目的とした。

多ピクセルを用いたミクセル解析により、落葉樹のみのピュアピクセルの反射率から NDVI 値を求めた。GCOM-C1 の 8 日間統計量データより求めた、落葉樹率が 80%以上で落葉樹のピュアピクセルに最も近いピクセルの NDVI 値との比較によって、多ピクセルを用いたミクセル解析の手法が、GCOM-C1 のミクセル状態のピクセルから地物の純粋な反射率を取得することに有効であることを示した。しかしミクセル解析では、それぞれの教師エリア全体の 新緑・紅葉判定は可能であるが、1 ピクセルずつの判定が行えない問題がある。

そこで、1pixel ずつの新緑・紅葉時期を判定するために、多ピクセルを用いたミクセル解析を行う際に作成した GCOM-C1 の 1 ピクセルあたりの落葉樹率を元に NDVI を補正し、落葉樹ピュアピクセルの NDVI を推定する手法を試みた。これにより、最終週に落葉したと誤判定されるピクセルにおいて、常緑樹の影響により NDVI が落葉期も落ち切らなかった点が考慮され、新緑・紅葉マップの明確な誤判定が無くなった。GCOM-C1 の 1 ピクセルあたりの落葉樹率を用いて NDVI を補正した結果から得た判定結果の妥当性が高いことは、高分解能の土地被覆のデータを元に作成していくことで、新緑・紅葉マップの更なる精度向上が図れることを示せた。今回、落葉樹率と NDVI の関係を求め、1 つのピクセルに対して落葉樹のみの NDVI を推定した。このことは、NDVI から落葉樹率を推定することにも繋がる。しかし、落葉樹率と NDVI の関係は標高による影響を大きく受ける。標高が違えば落葉状況も異なり、今回使用した教師エリアでは狭く、解析範囲全体に対応できるとは言えない。落葉樹が、いつ落葉したかを知るためには新たに閾値設定が必要となるため、現状では落葉樹率を必要としない手法の構築は難しい。新緑紅葉マップの精度はいまだ十分でない。検証するためには分類精度の高い土地被覆のデータ作成が必要である。

## Abstract

In recent years, issues such as sea level rise, heavy rainfall and flooding, and the loss of terrestrial ecosystems, caused by global warming and deforestation, have been of increasing concern. Plant phenology is highly sensitive to climate and environmental changes, and it is believed that by observing its progression along with temperature trends, it is possible to make highly accurate predictions of the impacts of global warming. Understanding the current state of climate change and predicting its future impacts are crucial for discussing international environmental policies. Satellite observation is generally considered the most effective method for globally monitoring vegetation phenology. Observations have been continuously conducted across national borders, beginning with the United States' NOAA/AVHRR satellite.

At the Laboratory of Geomatics Information Processing Engineering at Kochi University of Technology, we have utilized data from the SGLI sensor on the Earth observation satellite GCOM-C1, launched by JAXA, to create tender green and autumn colour progression maps for vegetation analysis in Shikoku. GCOM-C1 is capable of uniformly acquiring global observation data with wide observation swaths and high-frequency observations from the same orbital path.

Although many satellites provide higher-resolution observation data than GCOM-C1, there is a trade-off between resolution and observation width. The data transfer speed becomes a bottleneck when transferring observed data to ground stations, meaning that acquiring high-resolution data results in a narrower observation width. Currently, it is not feasible to acquire high-resolution, high-frequency, and uniform data simultaneously.

Therefore, at present, GCOM-C1's observation data, which is extensive, frequent, and uniform, is superior for vegetation phenology observation. However, since GCOM-C1 has a spatial resolution of 250 m, observations are conducted at the community level. As a result, at the boundaries between different plant communities or between forests and flatlands, multiple land cover types are included within a single pixel, leading to a mixed-pixel state.

The reflectance coefficient of a land cover can be expressed as a linear combination of the reflectance coefficients of its land cover components and their respective areas within the pixel. The calculated reflectance coefficient of a land cover corresponds to the reflectance of a pure pixel. To determine this reflectance coefficient, at least  $n$  bands of reflectance coefficients are required when classifying  $n$  types of land cover. However, tender green and autumn colour maps are created using NDVI values derived from only two bands: the red band in the visible spectrum and the near-infrared band. In both previous studies that established NDVI thresholds representing the leafing status of deciduous trees and new

analytical methods, two bands were consistently used for simplicity. Therefore, this study aims to develop a mixed pixel analysis method that uses multiple pixels instead of n bands per pixel to determine land cover reflectance coefficients.

Using multiple pixels in mixed pixel analysis, the NDVI value was derived from the reflectance of pure pixels containing only deciduous trees. By comparing these values with the NDVI values of pixels that were closest to pure deciduous pixels, having at least 80% deciduous tree coverage, derived from GCOM-C1's 8-day statistical data, it was demonstrated that the mixed pixel analysis method using multiple pixels is effective in extracting pure surface reflectance from GCOM-C1's mixed-pixel state pixels. However, mixed pixel analysis allows for tender green and autumn colour determination across entire training areas but does not enable determination at the single-pixel level.

To address this limitation and determine tender green and autumn colour timing for each pixel, we attempted a method that corrects NDVI based on the deciduous tree ratio per GCOM-C1 pixel, derived during mixed pixel analysis, to estimate the NDVI of pure deciduous pixels. This approach eliminated clear misclassifications in the tender green and autumn colour maps by accounting for pixels mistakenly classified as defoliated in the final week, where evergreen trees influenced NDVI, preventing it from fully declining during the defoliation period. The validity of the classification results obtained by correcting NDVI using the deciduous tree ratio per GCOM-C1 pixel indicates that further improvement in tender green and autumn colour map accuracy can be achieved by utilizing high-resolution land cover data.

In this study, we established the relationship between the deciduous tree ratio and NDVI, estimating the NDVI of purely deciduous pixels for individual pixels. This relationship also allows for the estimation of the deciduous tree ratio from NDVI. However, the relationship between the deciduous tree ratio and NDVI is significantly influenced by elevation. As leaf shedding patterns vary with elevation, the training areas used in this study were limited and cannot be assumed to represent the entire study area. Determining when deciduous trees shed their leaves requires new threshold settings, making it currently difficult to develop a method that does not require deciduous tree ratio information. The accuracy of the tender green and autumn colour maps is still insufficient, and to further validate them, high-accuracy land cover data creation is necessary.

