

落葉樹率を考慮した GCOM-C1 による 着葉・落葉マップの高精度化

1240128 林勇真

高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

地球温暖化などの気候変動によって植生がどのような影響を受けているのか把握するためには植生の生物季節観測が必要である。そのため、本研究室では GCOM-C1 のデータを用いて落葉樹の着葉・落葉マップの作成が行われてきた。しかし、常緑樹が多く含まれるピクセルでは判定の精度が不十分であった。そこで GCOM-C1 よりも分解能の高い Sentinel-2 のデータを用いて土地被覆分類を行い、GCOM-C1 の 1 ピクセルに含まれる落葉樹率を算出した。落葉樹率から NDVI を補正し、そのピクセルに含まれる落葉樹だけの NDVI がわかるようにした。それにより着葉・落葉の判定を行い、マップを作成した。その結果、常緑樹が含まれることで落葉時期が本来よりも遅く判定される事象が減った。しかし、補正したにも関わらず 1 年の最後の週にも落葉と判定されないピクセルも存在した。

Key Words : GCOM-C1, Sentinel-2, NDVI, 生物季節観測

1. はじめに

地球温暖化などの気候変動により植生がどのような影響を受けているか把握するには、人工衛星による高精度な植生の生物季節観測が必要である。生物季節観測に用いられる代表的な衛星データとして NOAA AVHRR や MODIS が挙げられる。

NOAA AVHRR のデータは過去に遡って約 40 年分存在するため、植生の長期的な変化を観測することができる。これまでの事例としては、NOAA AVHRR による日本全国の落葉樹(サクラ)の着葉時期の検出などが報告されている¹⁾。分解能は 1km 以上であるため、広域の観測には向いているが、詳細な観測には適さない。

一方 MODIS は Terra と Aqua に搭載されたセンサで、約 20 年の観測データがある。広域な観測が可能で、長期的な植生の変化を評価するのに向いている。Terra MODIS のデータを用いた事例では、樹種の違う森林の生物季節観測結果の差異から、樹種ごとの特性の違いの評価などが行われている²⁾。

しかし、これらの衛星データは、データの処理段階において幾何補正精度が 1 ピクセル以上の画像も存在する。これは植生の変化を見ていく上で除外または幾何

補正する必要がある。

植生の生物季節観測のために地表面の反射率を高い幾何精度で測定し、地球の気候変動を捉えることのできる衛星としては、GCOM-C1 が 2017 年に打ち上げられた。搭載されている SGLI センサは、植生観測に適した波長帯の測定が可能であり、地表面反射率のデータの測定を高い幾何精度で行うことができる。分解能は 250m である。

本研究室ではこれまでに GCOM-C1 のデータを用いて落葉樹の着葉・落葉マップの作成を行ってきた³⁾。8 日間統計処理画像レベル 2 プロダクトの地表反射率のデータのうち、赤と近赤外の 2 バンドのデータを使用している。植物の分光反射特性では、近赤外に対しては高い反射をし、可視光の赤では低い反射を示す。この特性を活かした、植物の活性度を示す指標となるバンド間演算である、NDVI (正規化植生指標)を用いて図 1 の範囲で落葉樹の着葉・落葉の判定を行っている。判定の閾値を 0.75 として作成された落葉マップを図 2 に示す。標高の低い川沿いの地点で、隣り合うピクセル同士で落葉時期が大きく離れている地点が存在している。また、本来であれば標高の高いところから順に落葉が進んでいくはずであるが、常緑樹など他の土地被覆

が多く含まれていることによって落葉判定が遅くなっている地点も多数存在していると考えられる. このような複数の土地被覆が含まれるピクセルのことをミクセルという. 図3は樹種ごとのNDVIの週変化グラフである. ミクセル内の落葉樹率が低く, 常緑樹率が高いと, 落葉の時期でもNDVIが高くなり, 本来の落葉の時期よりも遅く落葉が行われたと誤判定される. 高精度なマップの作成のためにはミクセルの中身を推定する必要がある.

ミクセル問題については, 低分解能衛星と高分解能衛星の画像を用いてミクセル内の植生・土壌・水の面積比率の推定や, ミクセル推定の推定精度の解析が行われている⁴⁾⁵⁾. 本研究ではミクセルの推定結果を用いて高精度な着葉・落葉マップの作成を行う.



図1 対象範囲

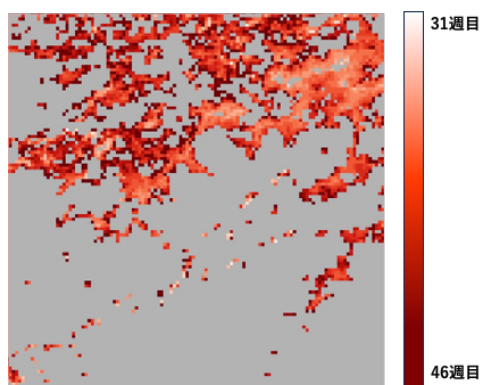


図2 2020年落葉マップ(対象範囲全体)(藤原作成)³⁾

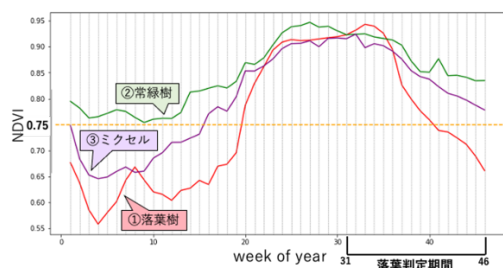


図3 NDVI 週変化

2. Sentinel-2 による落葉樹率の算出

2.1 Sentinel-2

Sentinel-2 は ESA(欧州宇宙機関)の運用している衛星で, 分解能は 10m と GCOM-C1(分解能 250m)に比べて高い分解能であるという特徴がある. レベル 2 プロダクトの大気補正された表面反射率のうち青, 緑, 赤, 近赤外の 4 バンドのデータをダウンロードし, 土地被覆の分類に利用した. (図4)

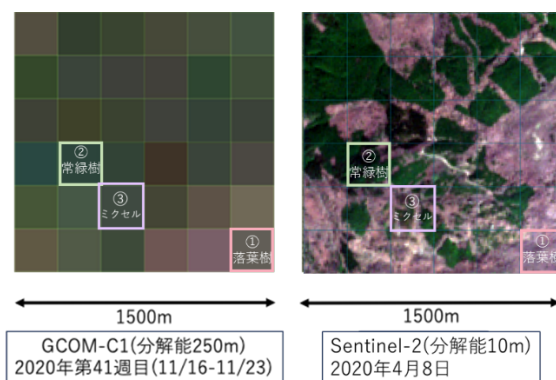


図4 GCOM-C1 と Sentinel-2 のトゥルー画像の比較 (範囲①)

2.2 テンプレートマッチングによる精密幾何補正

GCOM-C1 と Sentinel-2 の画像を正確に重ね合わせるために正規化相互相関によるテンプレートマッチングを行った. GCOM-C1 の分解能を Sentinel-2 の分解能に合わせるために最近傍法を用いて 250m から 10m に変更した. その後 GCOM-C1 の NDVI 画像をテンプレート画像, Sentinel-2 の NDVI 画像を入力画像とし, テンプレート画像を 10m ずつ平行移動させ, 入力画像と最も相関が高くなる地点に重ね合わせ, 補正を行った. (図5)

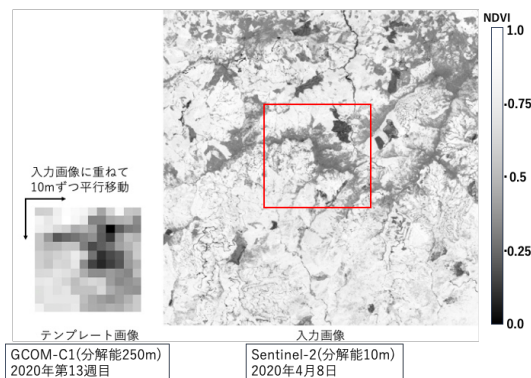


図5 テンプレートマッチングのイメージ(範囲②)

2.3 土地被覆分類

GCOM-C1 のミクセルの中身を推定するために土地被覆の分類を行った。土地被覆の分類項目は裸地・水域、草、落葉樹、常緑樹の 4 種類とした。分類にはそれぞれの土地被覆の反射率の違いを利用するため、最初にその代表となる教師データを取得する必要がある。教師データの取得地点の決定には Google Maps を利用した。Google Maps は分解能が高いため、画像を拡大することで目視により裸地・水域、草、落葉樹、常緑樹の教師データを取得した。4 種の反射率の値を、Sentinel-2 の青、緑、赤、近赤外の 4 バンドから、2020 年 4 月 8 日と 2020 年 8 月 16 日の 2 時期、計 8 バンド分取得した。

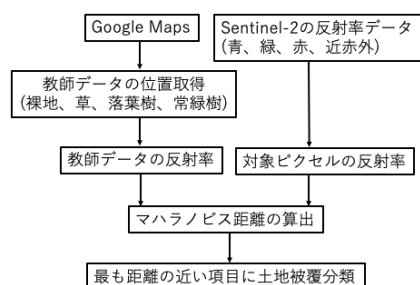


図 6 土地被覆分類のフロー

土地被覆の分類は、4 種の教師データの反射率と、対象地域の Sentinel-2 の 1 ピクセル(10m) ごとの反射率の値とのマハラノビス距離を求めることにより行った。4 種の分類項目ごとに得られたマハラノビス距離のうち、1 番距離の近いものをそのピクセルの土地被覆として分類した。対象範囲の分類結果を図 7 に示す。

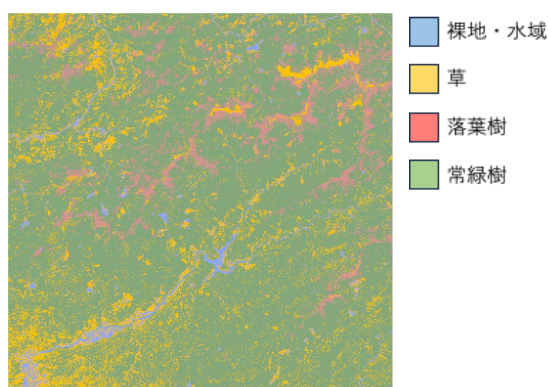


図 7 土地被覆分類マップ(対象範囲全体)

2.4 落葉樹率の算出

マハラノビス距離により土地被覆の分類をしたマッ

プから、250m 四方の中に含まれる落葉樹ピクセルの割合を求めた。図 8 に示すマップは落葉樹率により色分けをしており、色が濃いほど 250m 四方の中に含まれる落葉樹が多いことを示す。これにより GCOM-C1 の 1 ピクセル(250m) ごとに含まれる落葉樹の割合がわかる。

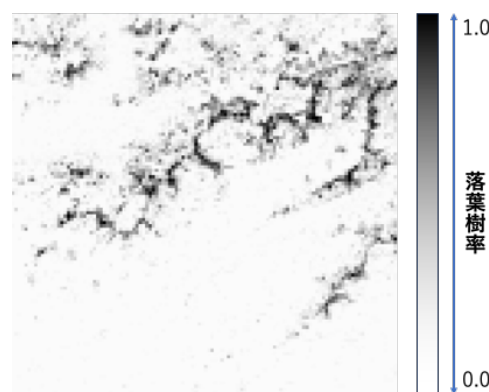


図 8 落葉樹率マップ(対象範囲全体)

3. 落葉樹率を考慮した着葉・落葉マップの作成

3.1 NDVI の補正

GCOM-C1 のピクセルごとの落葉樹率と NDVI から、補正式を用いてピクセルに含まれる落葉樹だけの NDVI を推定することができる。まず落葉樹率と NDVI の散布図から、最小二乗法により回帰式を求めた。(図 9) その際、落葉樹率が 0.2 を下回るピクセルは、落葉樹の季節変化による NDVI の変動が反映されにくいと判断し、常緑樹として扱った。落葉樹率が 0.2 以上の値を用いて求められた回帰式(a)を NDVI 補正式(b)に当てはめることで、落葉樹率に合わせて補正された $NDVI_{new}$ が求められる。

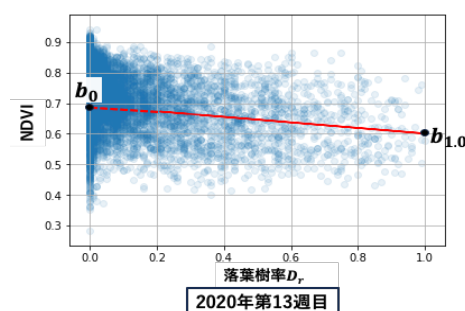


図 9 落葉樹率と NDVI の散布図と回帰直線

$$NDVI_{cal} = aD_r + b_0 \quad \dots(a)$$

$NDVI_{cal}$: 最小二乗法によって求められたNDVI
 D_r : 落葉樹率
 b_0 : 落葉樹率が0%のときのNDVI

$$NDVI_{new} = NDVI_{ori} - NDVI_{cal} + b_{1.0} \quad \dots(b)$$

$NDVI_{new}$: 補正NDVI
 $NDVI_{ori}$: もとのNDVI
 $b_{1.0}$: 落葉樹率が100%のときのNDVI

3.2 閾値の決定

着葉・落葉の判定に用いるNDVIの閾値0.75は、補正後の $NDVI_{new}$ においても妥当であるか検証するために、別府峡の紅葉と落葉の経過を捉えた風景写真から落葉の時期を特定し、落葉となった時期の $NDVI_{new}$ を確認した。それにより閾値を今回のマップ作成においても0.75が妥当であることが確認できた。

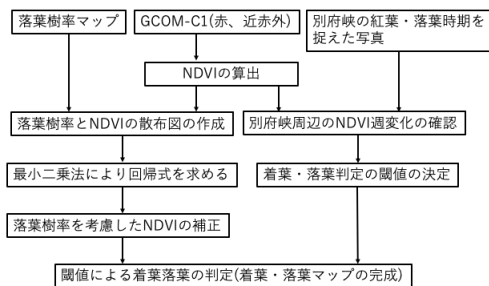
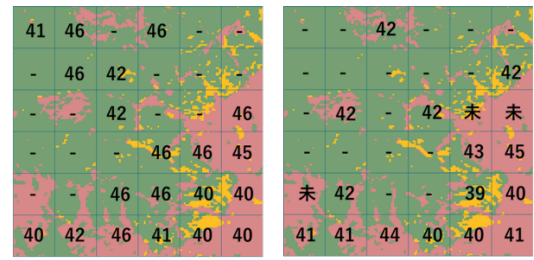


図10 着葉・落葉マップの作成フロー

4. 結果と考察

図11から、落葉樹率に応じてNDVIを補正したことで、常緑樹が多く含まれていることにより46週目に落葉と判定された地点の落葉時期が早まったことがわかる。また、隣り合うピクセル同士で落葉時期が大きく離れる事象が減り、誤判定が減ったと考えられる。落葉樹率を考慮して作成した落葉マップを図12に示す。落葉樹率を考慮し、落葉樹率が0.2を下回るピクセルを除外したことで、判定の対象となるピクセル数が減った。しかし、落葉樹率が0.2を超えるピクセルでも、NDVIを補正したにも関わらず、1年の最後の週にも落葉と判定されなかった地点が存在した。これは標高の違いによる落葉時期の違いのほかに、樹種の違いによる落葉時期の違いが示唆される。今後、より精度の高い着葉・落葉マップを作成していくためには、対象地域への定点カメラの設置や、衛星コンステレーションによる高分解能観測データなど、着葉・落葉の経過を検証できるデータを増やす必要があると考える。



NDVI補正前の落葉時期(藤原作成) NDVI補正後の落葉時期(林作成)

■ 裸地・水域 ■ 草 ■ 落葉樹 ■ 常緑樹

図11 土地被覆分類マップと落葉週(範囲①)

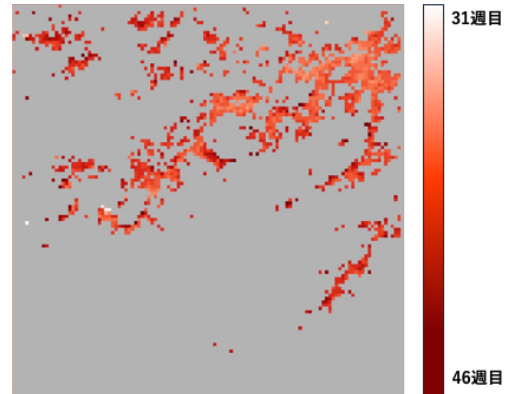


図12 2020年落葉マップ(対象範囲全体)(林作成)

参考文献

- 1) 大吉慶, 竹内渉, 安岡善文, 2008, NOAA AVHRR を用いた北東アジア落葉樹林におけるフェノロジー観測手法の提案, 写真測量とリモートセンシング, 47巻5号 p. 53-62
- 2) 長谷川大輔, 浅沼市男, 原慶太郎, 朴鍾杰, 富田瑞樹, 2017, Terra/MODIS を用いた北海道道東地方における落葉期のカラマツ人工林と落葉広葉樹林の植生フェノロジーの差異の検出, 写真測量とリモートセンシング, 56巻1号 p. 4-13
- 3) 藤原崇真, 2022, 地球観測衛星 GCOM-C1 を用いた新緑・紅葉判定アルゴリズム開発
- 4) 杉田幹夫, 安岡善文, 2000, NOAA/AVHRR データとLANDSAT/TM データのスケーリングによる土地被覆の画素内面積比率推定, 日本リモートセンシング学会誌, 20巻1号 p. 32-42
- 5) 伊藤征嗣, 小黒剛成, 2011 衛星画像における非線形モデルと近傍画素フィルタを適用した混合画素推定法, 電気学会論文誌C(電子・情報・システム部門誌), 131巻, 6号, p. 1233-1240