

地球観測衛星 GCOM-C1 を用いた 新緑・紅葉経過マップの作成

高木 方隆* 高見 海都 村井 亮介

(受領日：2021 年 3 月 31 日)

高知工科大学システム工学群
〒782-8502 高知県香美市土佐山田町宮ノ口185

* E-mail: takagi.masataka@kochi-tech.ac.jp

要約：現在、日本の各地で温暖化に伴う異常気象や生態系の変化が起きており、気候変動の様子や植生変化を捉えることは重要である。JAXA が2017年に運用を開始した GCOM-C1 は、宇宙から地球の環境変動を長期にわたってグローバルに観測することを目的とした人工衛星である。地球表面の様々な物理量を全球で継続的に観測している。本研究は、GCOM-C1 から得られる陸域反射率のデータを用いて、週ごとに变化する植生の状態から、四国における新緑・紅葉時期の経過マップを作成することを目的とした。正規化植生指標 (NDVI) の1年間の周期的な変化と教師データを使って、落葉エリアの抽出を行った。NDVI = 0.75 を閾値として新緑、落葉の判定を行い、新緑・紅葉マップを作成した。2018、2019年の高知県香美市のべふ峡周辺の紅葉状況の写真を用いて精度検証を行ったところ、週単位での落葉時期の精度が確認できた。

1. はじめに

現在、日本の各地で温暖化に伴う異常気象が頻発し、生態系の変化も起きている。気候変動に関しては、米国の気象衛星 NOAA や MODIS、欧州の Sentinel-3 などによって観測・解析されている。全球での植生に関するプロダクトとして、気象衛星 NOAA は1982年より16kmの空間分解能で配信しており¹⁾、MODIS は2000年より空間分解能10kmの分解能で配信している²⁾。配信されているプロダクトの空間分解能は低いですが、いずれも気候変動に伴う環境モニタリングにおいて極めて高い貢献をしている。日本では、2012年に水循環変動観測衛星 GCOM-W (しずく)、2017年に気候変動観測衛星 GCOM-C1 (しきさい) が運用を開始した。GCOM-C1 に搭載されている画像センサ SGLI は、近紫外・可視、近赤外13バンド、短波長赤外から熱赤外の6バンド合計19バンドの観測波長帯を持つ。空間分解能は250mであり、観測幅は1150kmと広く、同地点を2、3日に1回程度の頻度で観測している。米国の気象衛星に比べて、運用開始時期は遅かった

が、空間分解能、スペクトル分解能ともにデータの品質は高い。

GCOM-C1 のような高品質のデータを用いた植生解析においては、植物フェノロジーの観測が期待されている。フェノロジーとは、生物季節を意味し、着葉、開花、落葉などの時期を長期間にわたって記録することが求められる。GCOM-C1 の空間分解能は250mなので、樹木ごとのフェノロジー観測はできないが、群落ごとの新緑や紅葉時期のモニタリングは可能である。そこで本研究は、GCOM-C1 SGLI データを利用し、四国を対象エリアとして、植生解析のための処理フローを確立するとともに、群落単位での新緑・紅葉経過マップの作成を試みた。

2. 使用データ

2.1 衛星データ GCOM-C1

新緑・紅葉経過マップの作成には、JAXA が提供している8日統計処理画像であるレベル2統計プロダクト地表面反射率を使用した。衛星による各観測シーンには雲域が存在し、陸域全てを常に観測できているわけではない。8日統計量データは、8日

表 1. GCOM-C1 SGLI センサの仕様

バンド	観測波長 (nm)	観測波長幅 (nm)	最大放射量 (W/m ² /sr/μm)
VN2	412.0	10	250
VN3	443.0	10	400
VN6	565.0	20	90
VN7	673.5	20	62
VN8	673.5	20	210
VN10	868.5	20	30
VN11	868.5	20	300

間分の全シーンを用いて、雲域のない画像を生成したものである。本研究では8日を1週間として扱い、1年の第何週目であるかをWOY (Week of Year) で表す。1月1日を基準とすると、12月の最終週は、WOY = 46となる。今回は、2018年と2019年のデータを利用した。衛星データは、JAXAの衛星観測データ提供システムGPortal³⁾よりFTPを利用して一括ダウンロードを行った。データは観測バンドごとにHDF形式のデータフォーマットでアーカイブされている。植生観測に限定する場合、GCOM-C1 SGLI データのうち、全てのバンドを利用する必要はないので、本研究では7バンドのデータのみダウンロードした。利用した各バンドの観測仕様を表1に示す。

GCOM-C1は、極軌道により全球観測を行っている。8日統計処理は、全球をEQA (sinusoidal equal area) 図法に従って分割したタイルと呼ばれる区画ごとに行われている。本研究の対象エリアである四国が含まれているタイルは、V05H29というタイルID番号で割り振られている。HDFから画像部分を抽出して表示したものを図1に示す。四国は、左端に投影されていて、EQA図法特有の歪みがあるが、1ピクセルの面積は250×250mで、空間的には均質なデータである。

2.2 教師データ

目視による樹種別座標データ

今回の植物フェノロジーの観測対象となるのは、群落単位である。GCOM-C1による観測対象群落は、落葉広葉樹、常緑広葉樹、常緑針葉樹とした。1ピクセル250m四方の空間で、単一群落とみなせるエリアを教師データとして扱う。GoogleMapを利用し、目視により計25箇所のポイントを選定した。各ポイントの緯度経度の情報がcsv形式で保存されている。

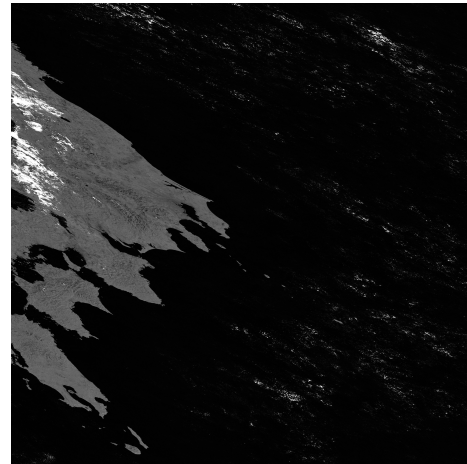


図 1. GCOM-C1 SGLI 画像 VN10 の例

表 2. Sentinel2 MSI センサの仕様

バンド	波長 (nm)	波長幅 (nm)	分解能 (m)
B3	560	35	10
B4	665	30	10

衛星データ sentinel-2

sentinel-2は、2015年より運用されている欧州の地球観測衛星である。可視4バンド、近赤外6バンド、短波長赤外3バンドの合計13バンドの観測波長帯を持ち、空間分解能は10mと高く、観測幅は290kmである。空間分解能は高く、2機体制で運用されているものの、観測周期が5日であることから、新緑・落葉時期の判定は困難な観測周期である。本研究では、これを教師データとして利用する。表2に今回使用したsentinel-2における観測バンドの仕様を示す。新緑と紅葉の状況把握のため、可視バンドの緑と赤を利用した。

落葉樹林の多い剣山周辺が撮像されている2018年3月30日と2018年11月5日のsentinel-2の衛星データ(図2)をダウンロードした⁴⁾。着葉しているか否かを緑被率で判定する。緑被率は、(B3-B4)/(B3+B4)で算出後、正の値であれば着葉、負の値であれば紅葉あるいは落葉しているとみなし、2値化した。

2値化した画像は、GCOM-C1の1ピクセル内に含まれる25×25ピクセルのうち、3月30日の画像は着葉ピクセル数の割合、11月5日の画像は紅葉ピクセル数の割合を算出し、教師データとして使用した。

定点観測画像

高知県香美市の香美市役所のホームページには、

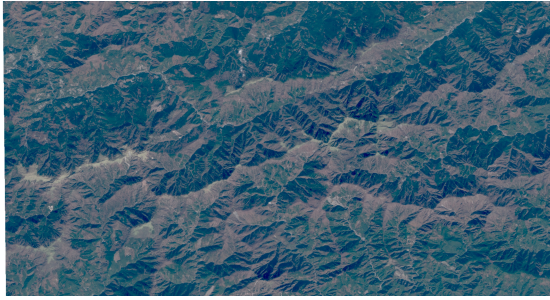


図 2. Sentinel 画像の例



図 4. 幾何変換後の GCOM-C1 SGLI 画像の例

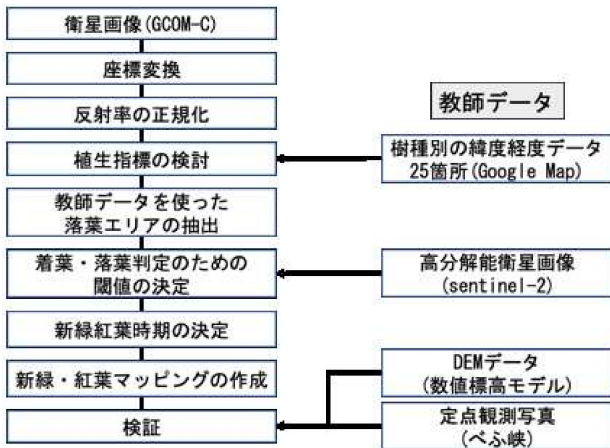


図 3. マッピングフロー

べふ峡（錦帯橋周辺）の紅葉情報が毎年掲載されており³⁾、10月上旬から11月下旬まで2-4日に一度の定点観測の写真がpdf形式でまとめられている。そこで、本研究では検証用に使用した。

3. マッピング手法

本研究における新緑・紅葉経過マップ作成のフローを図3に示す。本章では、各項目ごとの具体的な処理内容について解説する。

3.1 座標変換

G-Portal からダウンロードして作成した画像は、投影法がEQA 図法である。座標変換を行うことにより公共測量で使われる座標系と重ね合わせて利用することができる。GCOM-C データ利用ハンドブック⁶⁾の変換式を利用して座標変換を行った。変換後に四国のエリアを切り取り、geotiff形式で保存した。変換した画像の例を図4に示す。VN10、VN7、VN6の各バンドデータをRGBに割り当ててカラー化したものである。近赤外バンドが赤に割り当てられているため、森林が赤く表現されている。

3.2 反射率の正規化

人工衛星のセンサが受光している放射量は、光源や地形、大気等の影響を受けている。本研究ではそれらの影響を小さくするために次式を用いて正規化反射率⁷⁾に変換する処理を行なった。

$$R_e(i) = \frac{r_e(i)}{\sum_{i=1}^N R_e(i)} \quad (1)$$

R_e : 正規化反射率, r_e : 反射率
 N : バンド数, i : バンド番号

正規化に用いたバンドは、可視域バンドであるVN2, VN3, VN6, VN7と、近赤外バンドであるVN10の計5バンドを使用した。

座標変換と正規化を行った画像は、バンドごとに1年46週分のデータを一つのファイルに結合させた。

3.3 教師データを使った落葉樹マスクの作成

今回の対象群落において、新緑・落葉のイベントが発生する群落は、落葉広葉樹のみである。そこで落葉樹群落のマスク画像を作成した。一般的な衛星画像を用いた植生解析には、正規化植生指標(NDVI)、拡張植生指標(EVI)、緑被率など様々な指標が利用されている。今回は、これらの植生指標を比較・検討した。その結果、GCOM-C1画像においては、正規化植生指数(NDVI)が最も値域が広く、着葉状態の分類に適していると判断された。NDVIの演算式は、次のとおりである。植物の葉に含まれるクロロフィルは、近赤外バンド(VN10)を強く反射し、可視の赤バンド(VN7)はあまり反射しない性質を利用している。

$$NDVI = \frac{VN10 - VN7}{VN10 + VN7} \quad (2)$$

目視による樹種別座標データを用いて、常緑広葉樹・常緑針葉樹・落葉広葉樹それぞれのNDVIの1年間の変化をグラフ化した(図5、6、7)。教師

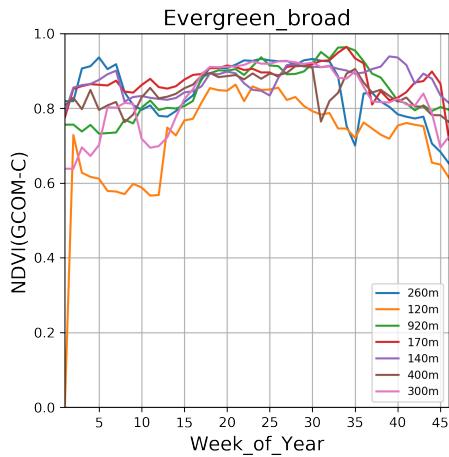


図 5. NDVI の時系列変化（常緑広葉樹）

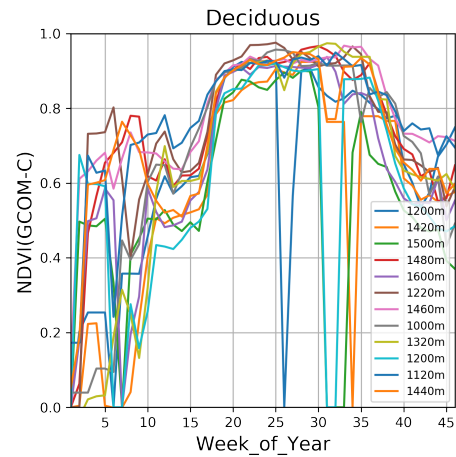


図 7. NDVI の時系列変化（常緑広葉樹）

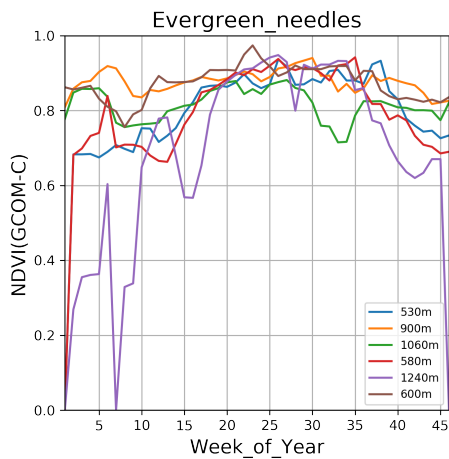


図 6. NDVI の時系列変化（常緑針葉樹）

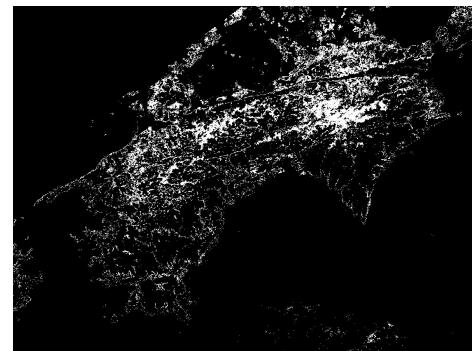


図 8. 落葉樹マスク画像

葉広葉樹マスク画像を図 8 に示す。

データごとの NDVI の変化を表しており、凡例は教師データの標高値を示している。いくつかの教師データで、NDVI=0 となる時期が存在するが、8 日間統計処理のデータでも雲域が除去できなかった地点である。

図 7 より、落葉広葉樹において最も葉の量が多いと考えられる WOY = 25 から WOY = 31 の期間は、NDVI の値が 0.8 を超えるピクセルがほとんどである。逆に葉がないと考えられる WOY = 2 から WOY = 8 は NDVI が 0.75 を下回るものがほとんどである。そこで WOY = 2 から WOY = 8 までの各週の NDVI のうち 0.75 を下回った回数と WOY = 25 から WOY = 31 までの各週の NDVI のうち 0.75 を上回った回数をピクセルごとにカウントし、足し合わせた和が 12 以上ならば落葉広葉樹ピクセル、11 以下なら常緑ピクセルとした。この手順で作成した落

3.4 新緑・紅葉判定のための NDVI の閾値の検討

新緑と紅葉時期を決定する上で、着葉と落葉の判定が必要である。落葉樹を分類するときを利用した閾値 NDVI=0.75 が、着葉落葉の判定に使えるか検討した。その検討には、教師データである sentinel-2 の二値化画像を利用した。

図 9 は、2018 年 3 月 30 日の Sentinel2 の緑被率による着葉割合と GCOM-C1 の NDVI の関係を示したものである。1 年の中でも最も葉の少ない時期での状況を示している。多くのピクセルが NDVI=0.75 を下回ったが、NDVI=0.75 を上回るピクセルも存在する。GCOM-C1 の空間分解能が 250m であり、1 ピクセルの中に常緑針葉樹が混在していることや、落葉樹の林床に常緑樹が繁茂していることもあり、このバラツキは許容できると判断し、着葉の閾値として NDVI=0.75 を採用することにした。

図 10 は、2018 年 11 月 5 日の Sentinel2 の緑被率による紅葉割合と GCOM-C1 の NDVI の関係を示し

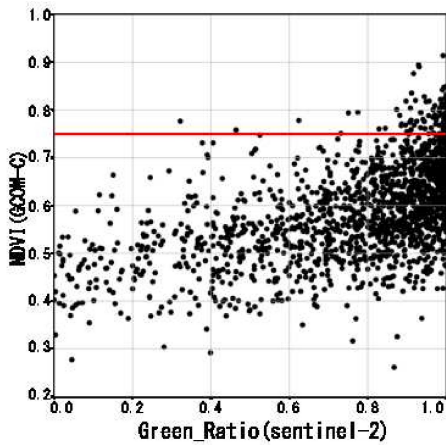


図9. Sentinel-2による着葉割合とGCOM-C1のNDVIとの関係(2018年3月30日)

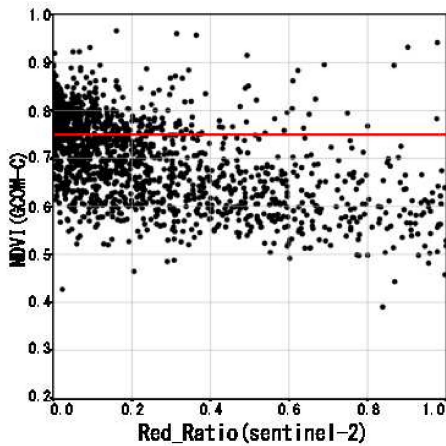


図10. Sentinel-2による紅葉割合とGCOM-C1のNDVIとの関係(2018年11月5日)

たものである。標高1000m以上の高地では落葉し、それ未満の中腹では紅葉が見頃となっている時期である。紅葉状態でも葉はクロロフィルを含んでいるため、近赤外バンドを利用したNDVIの値は、落葉時期に比べると高い傾向にある。NDVI=0.75をそのまま閾値とすると、紅葉状態の判定には厳しくなると考えられたが、実際にNDVI=0.75の閾値で二値化したGCOM-C1の紅葉マップとSentinel-2の画像を目視で比較したところ、大きな差異は認められなかったため、紅葉の閾値としてもNDVI=0.75を採用することにした。

3.5 新緑・紅葉時期の決定

新緑紅葉時期の決定は、まずWOYごとにNDVIが0.75を上回る着葉ピクセルを1、NDVIが0.75を下回る落葉ピクセルを0として集計する。表3は、ある2地点を例にその状況を示したものである。

表3. 新緑時期の判定

WOY	7	8	9	10	11	12	13	新緑時期
Point1	0	0	1	1	1	1	1	8
Point2	0	0	1	0	1	1	1	9

表4. 落葉時期の判定

WOY	32	33	34	35	36	37	38	紅葉時期
Point1	1	0	1	0	0	0	0	33
Point2	1	1	1	0	0	0	0	34

Point1においては、WOY = 9以降は全て1なのに対して、Point2においては、WOY = 10において0に戻っている。GCOM-C1の8日間統計量データは、撮像日時ごとに大気の状態や位置精度の誤差が含まれるため、判定結果のバラツキは止むを得ない。そこで新緑時期の判定は、次のルールに基づいて決定することにした。

- WOY = 7からWOY = 25までの期間を対象とする
- 落葉と判定された回数をカウントする
- そのカウント数に6を足し合わせた値を新緑時期WOYとする

Point1において、着葉はWOY = 9からであるが、その時点では確実に葉が終わっていると判断され、新緑が始まったのはWOY = 8と考えられる。また、Point2のように判定にバラツキがあったとしてもWOY = 9、10においては、微妙な判定状況だったことが考えられる。しかし判定カウントの数は、誤差が相殺されていることを期待し、このようなルールを適用した。

落葉時期についてもWOYごとにNDVIが0.75を上回る着葉ピクセルを1、NDVIが0.75を下回る落葉ピクセルを0として集計する(図4)。

紅葉時期の決定についても新緑時期と同様に、次のルールを適用した。

- WOY = 32からWOY = 46までの期間を対象とする
- 落葉と判定された回数をカウントする
- WOY = 46からそのカウント数を引いた値を紅葉時期WOYとする

最終的な新緑・紅葉経過マップは、ピクセルごとに新緑・紅葉時期のWOYを入力する。桜前線や紅葉前線など、等高線でその時期を示す方法が一般的だが、全てのピクセルにその時期が入力されている方が、前年度との比較や他の画像との重ね合わせも

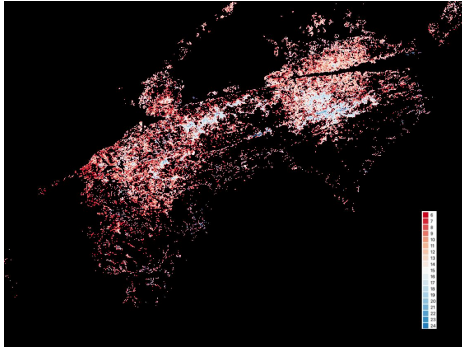


図 11. 2018 年の新緑マップ

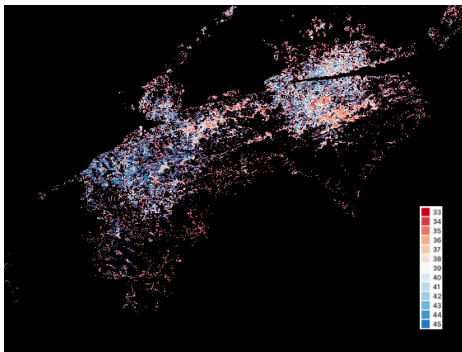


図 12. 2018 年の紅葉マップ

容易であることから、この形式を採用した。

4. マッピング結果

落葉広葉樹マスク画像を利用し、対象ピクセルにおける新緑時期・落葉時期の WOY を画像化した。図 11 は、2018 年における新緑時期の状況、図 12 は、2018 年における落葉時期の状況を示したもので、WOY で色分けしている。

べふ峡の緯度経度 (33.77627,134.02963) に対応する GCOM-C1 の画像座標の紅葉時期 WOY は、2018 年が 39 で 2019 年が 40 であった。2018 年は正確な紅葉時期となっており、2019 年は 1 週間遅れた判定結果となった。

5. おわりに

GCOM-C1 の 8 日間統計量データを用いて、新緑・落葉経過マップの作成を試みた。JAXA が提供しているデータを変換し、他の地理情報と重ね合わせが可能となる仕組みを構築した。GCOM-C1 データを用いて着葉と落葉を判定するためには、正規化植生指標 (NDVI) の閾値 0.75 を用いることが有効であった。この閾値を用いて新緑紅葉経過マップ作成の手法を考案した。べふ峡での定点観測写真で精度の確認を行なった結果、2018, 2019 年ともに 1 週間

ほどの精度が得られた。

今回、2018 年と 2019 年の新緑・紅葉経過マップの作成を行ったが、両年で比較すると、時期的な差が一樣ではなく、空間的な差異もみられた。落葉広葉樹という分類項目での評価であったが、樹種による違いや地形による気象状況の違いなども含めて検討する必要がある。今後は、継続的な新緑・紅葉経過マップの作成とともに、10m 分解能の衛星画像やドローンによる観測画像を用いた詳細な評価が求められる。

文献

- 1) NOAA STAR, <https://www.star.nesdis.noaa.gov/smcd/emb/vci/VH/>
- 2) NASA Earth Observations, <https://neo.sci.gsfc.nasa.gov/view.php>
- 3) JAXA G-Portal, <https://gportal.jaxa.jp/gpr/?lang=ja>
- 4) Copernicus Open Access Hub, <https://scihub.copernicus.eu/dhus/>
- 5) べふ峡の紅葉, <https://www.city.kami.lg.jp/soshiki/36/befukouy.html>
- 6) 気候変動観測衛星「しきさい」(GCOM-C) データ利用ハンドブック pp.53
- 7) 小野朗子・小野厚夫, バンド和で正規化した分光反射率を用いた落葉針葉樹カラマツ林の植生解析, 日本リモートセンシング学会誌 Vol. 33 No. 3 (2013), pp. 200-207

Mapping Tender Green and Autumn Color using Earth Observation Satellite GCOM-C1

Masataka Takagi* **Kaito Takami** **Ryosuke Murai**

(Received: March 31st, 2021)

School of Engineering, Kochi University of Technology
185 Miyanokuchi, Tosayamada, Kami City, Kochi 782–8502, JAPAN

* E-mail: takagi.masataka@kochi-tech.ac.jp

Abstract: Nowadays, extreme weather and ecosystem change due to global warming are occurring. Monitoring climate change and its influence are very important. JAXA launched the earth observation satellite GCOM-C1 in 2017 with the mission of monitoring climate change. Currently, GCOM-C1 offers various physical data on the earth's surface as a commodity. The 8-day statistics data are very useful for land surface analysis.

The objective of this study is mapping tender green and autumn color using land reflectance data from GCOM- C1. The test area selected was Shikoku, JAPAN and the mapping method was based on the NDVI (normalized difference vegetation index) threshold. If the NDVI indicator is greater than 0.75, there are many leaves in the pixel. Firstly, the deciduous forest areas were classified using the NDVI. The period of tender green and autumn color were determined by the change in the NDVI. Then comparing the validation data, the accuracy of the results were shown for one week.