## 地球観測衛星 GCOM-C1 を用いたミクセル解析

## 1200165 山田 史博

#### 高知工科大学 システム工学群 建築・都市デザイン専攻

近年,グローバルな気候変動や,人工林の伐採,シカの食害等を背景に植生は変化しており,植生変化の実態を把 握する上で人工衛星による長期的な観測が重要である. JAXA が 2017 年に打ち上げた気候変動観測衛星 GCOM-C1 は, 宇宙から地球の環境変動を長期に渡って,グローバルに観測することを目的とした人工衛星であり,地球規模で の気候変動メカニズムの解明のため、地球上の様々な物理量を全地球規模で継続的に観測している.そこで本研究 では,GCOM-C1 から得られる陸域反射率を用いて,月毎に変化する土地被覆の状態が衛星画像にどのような影響を 与えているか検討することを目的とした.250m の空間分解能である衛星画像は,1 ピクセル内に複数の土地被覆項 目が存在するミクセル(mixed pixel)状態となる.そこで分解能 10m の教師データから1 ピクセルにおける分類項 目の割合を抽出し,衛星画像の反射率と合わせて連立式を立て,最小二乗法を用いることで各分類項目の反射係数 を求めた.そして,その反射係数を利用してミクセル分解を試みた.分類項目は,落葉広葉樹,常緑広葉樹,常緑針葉 樹である.対象時期を2018 年とし,大豊町と香美市を対象エリアとして検証データと比較し,精度検証を行った.そ の結果,落葉時期である2月は約 65%の精度が得られ,着葉時期である7月は約 50%の精度であった.

Key Words: GCOM-C1, 土地被覆分類, ミクセル解析, 教師データ

#### 1. はじめに

近年, グローバルな気候変動や, 人工林の伐採, シカ の食害等を背景に, 植生は変化しており, 植生変化の実 態を把握する上で人工衛星による長期的な観測が重要 である. 現在では, 様々な地球観測衛星が打ち上がって おり, 無償で提供されるものも多い.

Sentinel-2 は,2015 年より運用された欧州の地球観 測光学衛星で,可視 4 バンド,近赤外 6 バンド,短波長 赤外 3 バンド合計 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 290 km であり,2 機体制 で 5 日に 1 回程度の頻度で観測点を観測可能である.

GCOM-C1は 2017 年より運用された日本の地球観測 衛星であり,搭載されているセンサ 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,全地球を 2,3 日 に1回程度の頻度で観測している. 図-1 に Sentinel-2 と GCOM-C1 の観測波長帯と空間分解能を示す.



植生観測をする上で、GCOM-C1は、Sentinel-2をはじ め他の人工衛星に比べて観測頻度が高いことが利点で ある.しかし空間分解能が低いため、図-2のように1ピ クセル中に複数の土地被覆分類項目が存在するミクセ ル(mixed pixel)となる.空間分解能が低い衛星画像を 用いて土地被覆分類を行うためには、1ピクセル中の分 類項目の面積割合を考慮した解析が必要となる.

そこで本研究では、空間分解能の高い Sentinel-2 に よる教師データを用いて、GCOM-C1 におけるミクセル解 析を行い、月毎に変化する土地被覆の状態が衛星画像 にどのような影響を与えているか検討することを目的 とした.



**図-2** ミクセル概念図

## 2. 対象エリア・使用データ

#### 2.1 対象エリア

本研究の対象エリア は、高知県中部に位置す る大豊町と香美市を含 む、36.20km×27.15kmの 範囲とした.対象エリア を図-3に示す.



図−3 対象エリア

### 2.2 使用データ

本研究で使用する GCOM-C1の仕様を表-1 に示す. 本研究では1ヶ月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.対象時期 は2018年1月から12月の12時期とした.使用す るデータはJAXAの衛星観測データ提供システム GPortal<sup>1)</sup>より FTP を利用し一括のダウンロード を行った.データは HDF5 形式で提供されているも のを,フォーマット変換ツール<sup>2)</sup>を用いて画像化 した(図-4).投影法は EQA (sinusoidal equal area)図法である.

	GCOM-C1					
打ち上げ	2017年12月23日					
軌道高度	798km(太陽同期,回帰日数16日,98分/1周回)					
+>>+	スンで来伯	波長	波長幅	公報能(m)		
2/ /	八ノ「田勺	VNR, SWI: (nm) TIR: ( $\mu$ m)		73 7H HE (111)		
	VN1	380	10			
	VN2	412	10			
	VN3 🕁	443	10			
	VN4 🕁	490	10			
	VN5 🕁	530	20			
可視・近赤外放	VN6 🕁	565	20	250		
射計部	VN7	673.5	20			
(SGLI-VNR)	VN8 🕁	673.5	20			
	VN9	763	12			
	VN10 🕁	868.5	20			
	VN11	868.5	20			
	P1	673.5	20	1000		
	P2	868.5	20	1000		
	SW1	1050	20	1000		
去从主本协时计	SW2	1380	20	1000		
小7NE直成射計 却	SW3	1630	200	250		
	SW4	2210	50	1000		
(SGLI-IRS)	T1	10800	740	250		
				200		

表-1 GCOM-C1 の仕様



図-4 GCOM-C1 1 ヶ月統計処理画像(2018年3月 VN3)

## 3. 衛星画像の前処理

#### 3.1 幾何精度の確認

衛星画像には幾何学的な歪みが含まれている.地図 や他の衛星画像と重ねるためには補正をする必要があ る.

しかし,本研究で用いる GCOM-C1の衛星画像は,幾何 補正済みの処理画像であるため,月毎に基準点残差を 見ることで幾何精度を確認した.画像座標を緯度経度 に変換するために,データ利用ハンドブック<sup>3)</sup>で提供 された式を用いた.幾何精度の確認にはアフィン変換 式(*a*)<sup>4)</sup>を用いた.

$$\begin{cases} x = au + bv + c \\ y = du + ev + f \end{cases}$$
(a)

u,v:変更前座標 x,y:変更後座標

画像基準点の画像座標を足摺岬,室戸岬,鳴門,今治の4ヶ所に選定し,地上基準点の緯度経度は国土地理院地図を用いた.12時期の基準点平均残差を表-2に示す.精度は分解能の1/5である50m程度となった.したがって各時期を個別に幾何変換せず解析を行うこととした.

基準点	残差(m)
足摺岬	28.1
室戸岬	40.9
鳴門	28.7
今治	16.0

## 表-2 基準点平均残差

#### 3.2 反射率の正規化

人工衛星のセンサが受光する放射量は光源や大気, 地形の影響を受けている.そこで,本研究では,光源や 大気,地形による影響を補正するために式(b)<sup>5)</sup>を用い て正規化した反射率に変換する処理を行った.今回の 解析に用いた観測波長帯は,可視域バンドである VN3, VN4, VN5, VN6, VN8,近赤外域バンドである VN10の 計6バンドを使用した.

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

R<sub>e</sub>: 正規化反射率 r<sub>e</sub>: 反射率 N: 総バンド数 i: バンド番号

# 4. 教師データを用いたリニアミクスチャー解析 4.1 教師データ

本研究では,花井<sup>6)</sup>が Sentinel-2 を用いて,機械学 習によって作成した分解能 10m の 2018 年度土地被覆 分類マップを教師データとして用いた.分類マップの 精度は 90%となっている(図-3).

花井が分類に用いた 11 ヶ所,計 4300 ポイントを, GCOM-C1 の分解能 250m 程度に間隔を合わせ,選定をし 直し,11 ヶ所,計 78 点の教師データを分類マップから 取得した.



図-3 Sentinel-2 分類マップ

## 4.2 取得した反射率の月別変化

教師データと同じポイントで GCOM-C1 の反射率を取 得する際に,変換による誤差を考慮する必要がある.そ のため,変換して得られた画像座標の周囲 3×3 ピクセ ルの反射率を近傍平均として取得した.近傍平均値は GCOM-C1 の分解能が 250m のため,750m×750m の反射率 平均である.教師データの 11 ヶ所の各ポイントで得ら れる反射率を近傍平均し,12 ヶ月の反射率の変化を図 -4,5,左に折れ線グラフとして示す.また,右円グラフ では,反射率を取得した点における教師データの分類 項目の面積割合を示した.図は例として佐岡と三嶺に おける反射率の変化と面積割合を示した.



図-4 佐岡における反射率の月別変化と面積割合



図-5 三嶺における反射率の月別変化と面積割合

## 4.3 リニアミクスチャーモデル

1ピクセル内の各分類項目の面積割合を推定する手法として一般的にリニアミクスチャーモデルが適用されている.正規化反射率は,教師データから得られた面積割合をもとにバンド毎に線形変換式(c)で表すことが出来る<sup>7)</sup>.

GCOM-C1 から得られた正規化反射率と全ての教師デ

ータを用いて最小二乗法により解を求めることで,各 バンドの分類項目別の反射係数を推定することが出来 る.

$R_{e(i)1} = \frac{C_d A_{d1}}{C_d A_{d1}} + \frac{C_e A_{e1}}{C_n A_{n1}} + \frac{C_b A_{b1}}{C_b A_{b1}} \cdots (1)$						
$R_{e(i)2} = C_{e}$	$A_{d2} + C$	$C_e A_{e2} + c$	$C_n A_{n2} + c$	$C_b A_{b2} \cdots (2)$	2)	
	•	•	•	•		
•	•	•	•	•		
•	•	•	•	•	(c)	

 $R_{e(i)78} = \frac{C_d A_{d78} + C_e A_{e78} + C_n A_{n78} + C_b A_{b78} \cdots (78)}{(78)}$ 

i:バンド番号

 $C_{d}$ =落葉広葉樹反射係数(未知数), $A_{d}$ =落葉広葉樹面積割合,  $C_{e}$ =常緑広葉樹反射係数(未知数), $A_{e}$ =常緑広葉樹面積割合,  $C_{n}$ =常緑針葉樹反射係数(未知数), $A_{n}$ =常緑針葉樹面積割合,  $C_{b}$ =裸地反射係数(未知数) , $A_{b}$ =裸地面積割合

なお,式(*c*)で用いた*C<sub>d</sub>*,*C<sub>e</sub>*,*C<sub>n</sub>*,*C<sub>b</sub>*の4つの反射係数は, 分類項目を落葉広葉樹,常緑広葉樹,常緑針葉樹,裸地 の4つとした.

また, 混交林の面積割合は 1/3 ずつ落葉広葉樹, 常緑 広葉樹, 常緑針葉樹に割り振った. 例として第8バンド と第10バンドの解析結果のグラフを図-6,7に示す.



図-6 第8バンドにおける各反射係数の月別変化





## 4.4 GCOM-C1 のミクセル分解

最小二乗法により決定した各バンドの反射係数を用いて,反射率が求まると,各ピクセルにおける面積割合が推定出来る.しかし,連立式による解は,バンド間相関が高い場合に不安定なものとなる<sup>4)</sup>.そこで本研究では, *A<sub>d</sub>*, *A<sub>e</sub>*, *A<sub>n</sub>*, *A<sub>b</sub>*の値に1刻みで整数値を代入し,逐次計算(*d*)による組み合わせ処理を行った.GCOM-C1 画像1ピクセルの正規化反射率と逐次計算ごとに得られる推定正規化反射率との差を算出し,各バンドの差の絶対値をとり,総和が最小となる時の*A<sub>d</sub>*, *A<sub>e</sub>*, *A<sub>n</sub>*, *A<sub>b</sub>*の

組み合わせを解とした.教師データの残差の確認をし たところ,常緑針葉樹と裸地の面積割合の精度が低く なってしまったため,常緑針葉樹と裸地の面積割合は 教師データの割合を用いて,既知なものとして解析を 行った.

$$R_{e(i)} = C_d A_d + C_e A_e + C_n A_n + C_b A_b \qquad (d)$$

i:バンド番号

 $C_{d}$ =落葉広葉樹反射係数, $A_{d}$ =落葉広葉樹面積割合(未知数),  $C_{e}$ =常緑広葉樹反射係数, $A_{e}$ =常緑広葉樹面積割合(未知数),  $C_{n}$ =常緑針葉樹反射係数, $A_{n}$ =常緑針葉樹面積割合,  $C_{b}$ =裸地反射係数,  $A_{h}$ =裸地面積割合

#### 4.5 解析結果,精度検証

精度検証では,12 時期の面積割合を算出した結果を 教師データの分類マップと比較した.面積割合画像は R を落葉広葉樹に,G を常緑広葉樹に,B を常緑針葉樹に 割り当てた.

次に,教師データの分類マップを検証データとして 用いるために,GCOM-C1の分解能に合わせる必要があ る.250m グリッドで近傍平均をとり,落葉広葉樹,常緑 広葉樹,常緑針葉樹の面積割合が100%となるよう に,また RGB の合計値が255となるように検証画像 を作成した(図-8).

そして,解析した各ピクセルにおいて落葉広葉樹, 常緑広葉樹,常緑針葉樹の面積割合が 100%となる ように,また RGB の合計値が 255 となるように算出 し,12 時期の面積割合画像を作成した(図-9).精度検 証として算出された値と検証画像との差を求め,分類 正解率80%以上のピクセルが全体の何割を占めるかで 検証をした.検証結果を表-3 に示す.

また,算出された値と検証画像との差を求め,落葉広 葉樹と常緑広葉樹の差の絶対値で単バンドグレー残差 画像を作成した(図-10).単バンドグレー残差画像は面 積割合の精度が良いほど黒に近いピクセルとなる.



**図-8** 検証用画像



図-92月の面積割合画像

表-3 分類正解率 80%以上の割合

月	1	2	3	4	5	6
割合	57.2%	65.1%	60.4%	62.7%	54.4%	57.4%
月	7	8	9	10	11	12
割合	50.3%	57.1%	52.2%	56.2%	63.2%	61.5%



**図-10**2月の単バンドグレー残差画像

### 5. 考察

本研究では、Sentinel-2 を用いた土地被覆分類マッ プを教師データとして GCOM-C1 のミクセル解析を行い、 各分類項目における反射係数の変化を導いた.次に、そ の反射係数を用いて各分類項目の面積割合を算出した.

その結果,2月の落葉期における分類は約65%の精度 が得られたが,7月など着葉期においては約50%の精度 となった.着葉期において落葉広葉樹と常緑広葉樹の 反射係数の差が近いことから,衛星画像に与える影響 は近いものがあり,ミクセル分解において誤分類が発 生したと考えられる.また,標高による落葉周期のズレ を考慮していないため,同時期に同じ落葉樹でも標高 に応じて落葉した樹木と着葉している樹木が分布して いると考えられる.

#### 参考文献

- 1) G-Portal JAXA
- 2) SGLI User Tool (Ver.1.03)
- 3) 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 4-15
- 4) 高木方隆 国土を測る技術の基礎 p93, p277-278
- 5) 鈴木滉一 衛星画像を用いた中山間地域の土地被 覆変化抽出 2017 年度学士論文
- 6) 花井洋昭 人工衛星を用いた 10 年間の植生変化 2018 年度学士論文