

2020年度 一般社団法人日本リモートセンシング学会 九州支部 研究発表会

日時：2021年2月24日 14:30 - 16:00

研究発表プログラム

14:30 - 14:50	地表面温度を用いた農地解析 本田裕明, 森山雅雄 (長崎大)	1
14:50 - 15:10	衛星を用いた五島列島の樺林検知アルゴリズム開発 大山知起, 森山雅雄 (長崎大)	3
15:10 - 15:30	合成開口レーダを用いた長崎県の農耕地モニタリング 永尾俊樹, 森山雅雄 (長崎大)	5
15:30 - 15:50	GCOM-C 衛星による自然及び農地環境モニタリングについて 小川春菜, 多炭雅博 (宮崎大), 森山雅雄 (長崎大)	7

地表面温度を用いた農地解析

長崎大学 本田裕明・森山雅雄

1.はじめに

1.1 本研究の背景・目的

気象変動観測衛星 GCOM-C (しきさい) の SGLI センサーは、2日に1回の昼間観測が可能であり、観測幅は1200 kmである。また、250m分解能の熱赤外観測帯域を持つセンサーであり、他種の同型センサーと比較して分解能が高く、地表を高頻度でより細かく観測できる。本研究の目的は、SGLI センサーの持つ、高度分解能熱赤外センサーの有効利用のため、農作物生育期の蒸発散量と地表面温度の関係を明らかにする。

2. 植物と地表面温度

2.1 地表面温度について

地表面温度 (LST) は、地中と大気の熱拡散方程式(1.1)を満たすように決まる。

$$S + L = \sigma T^4 + H + IE + G \quad (1.1)$$

S:日射吸収量, L:下向きの大気放射吸収量, σT^4 :長波放射量, H:顕熱, G:地中への伝道熱, IE:潜熱

図1に熱収支方程式の収支について示した。地表面温度を求めるには、式中(1.1)の入力(右辺)と出力(左辺)のつり合うように決まる。左辺は、入力放射量であり、これに釣り合うように右辺の出力が決まる。このうち潜熱(IE)は、温度依存性がない。このため、同じ入力放射のもとでは、潜熱の多い場所ほど、地表面温度が低くなる。地表面温度は、地表の水の状態を表していると言える。

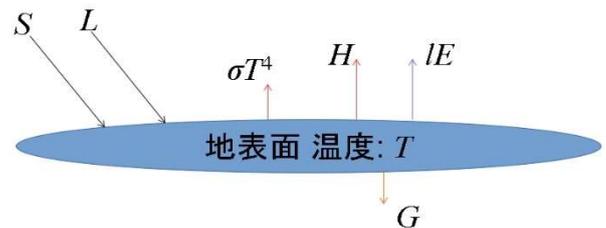


図1 熱収支方程式について

2.2 植物の光合成について

植物の光合成は、葉緑素と水と二酸化炭素と太陽エネルギーから有機物を生成される。植物は、光合成を行う時、日射量に応じて気孔が開かれる。気孔が開くほど、多量の光合成が行われ、水も蒸発散される。

2.3 正規化植生指数 (NDVI; Normalized Difference Vegetation Index) について

植生は、青色と赤色の光をよく吸収し、光合成が行われる。その一方で、近赤外域では、葉が多くなるに連れて反射率が高くなる。この特徴的な反射特性から赤域と赤外域の反射光を観測することで植生の分布や成長を評価できるという原理である。本研究では、植生の存在を表す指数である、正規化植生指数 (NDVI) を用いる。

3. データ処理

3.1 アメリカ西部地区農地データについて

今回分析に利用したデータは、アメリカ西部地区のとうもろこし畑 (MAIZE) 4ヶ所 (US-DFC, US-Ro5, US-Ro6, US-CS3) で図-3、図-4のような環境で観測された、SGLI データと潜熱顕熱のデータを使用する。18年19年の2年間を年別ごとに潜熱(IE)、地表面温度 (LST)、NDVI、 ϵ (Evaporative fraction: $IE/(H+IE)$) を図5のようにまとめた。



図2 光合成の仕組み³⁾



図-3 US-Ro6



図4

US-Ro6(Google Earth)⁴⁾

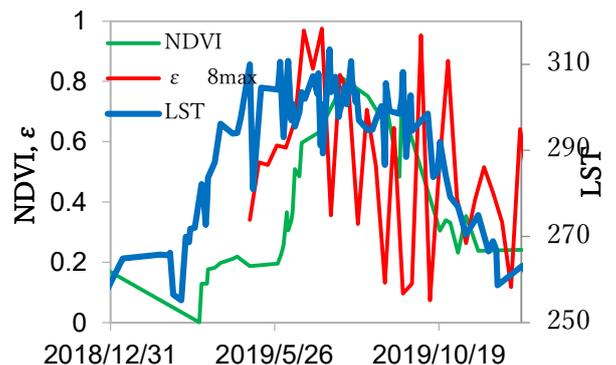


図-5 US-DFC,2019

3.2 農地データ

次に, 4 か所の値を図-6 のように, 第一縦軸を NDVI, ε , 第二縦軸を LST に揃えて各年にまとめたものになる. データがまとめられている地点においては, NDVI の上昇期途中で ε の最大値を迎えており, 光合成により水分が利用されているが, NDVI 上昇途中で ε の値が下降している. 全ての地点において, 同じような傾向が見られた. 下降した原因を推察するために, 下記の図 4 を, ε を縦軸, LST を横軸にして, NDVI の上昇し始めから, その年の NDVI 最大値までの期間の値をグラフ化した. US-Ro6,2018 においては, ε が 1 に近づいた後, 地表面温度が 300K を迎えたあたりで, ε の値が下降し始めている. US-DFC を除いて, 300K を超えたあたりで, ε の値が下降し始めている. グラフから, 300K を超えた時に, 光合成に使用できる水が減少し, 蒸発散量が減少していることがわかる. また, US-DFC (図-8) だけは, ε が下がらないことが分かる. この畑, US-DFC においては, 水分管理が畑全体に行われていることが分かる.

4. まとめ

とうもろこし畑において見てみるなら, NDVI 上昇期においては, 入力放射量の増加に伴い, 光合成がたくさん行われる. その結果, 潜熱の上昇されることがわかった. しかし, とうもろこし畑において, 300K を超えるときにおいて, 潜熱の下降が見られ, 水分を十分にいきわたらないときは, とうもろこしの成長が抑制されることが明らかになり, 生長過程で地表面温度が光合成の程度を表すものであることが明らかになった. これらのことから, 地表面温度を用いて, とうもろこしの生育状況をモニタリングする可能性が示された.

参考文献

- 1) 山本, 市井, Kang, 静止気象衛星ひまわり 8 号を用いた 2018 年猛暑時における地表面温度の高頻度解析 (日本リモートセンシング学会第 69 回学術講演会論文集, 43-46, 2020)
- 2) JAXA 「しきさい(G-COM-C)ミッションについて」: https://www.satnavi.jaxa.jp/project/gcom_c1/index.html
- 3) 「施設園芸.com」: <https://shisetsuengei.com/farm-equipment/it-environmental-control-equipment/it-environmental-control-equipment->
- 4) Google earth : <https://earth.google.com/web/@0,0,0a,22251752.77375655d,35y,0h,0t,0r>

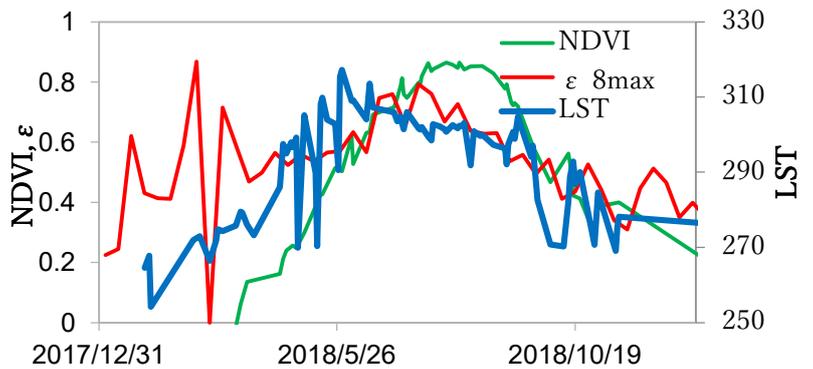


図 6 US-Ro6,2018

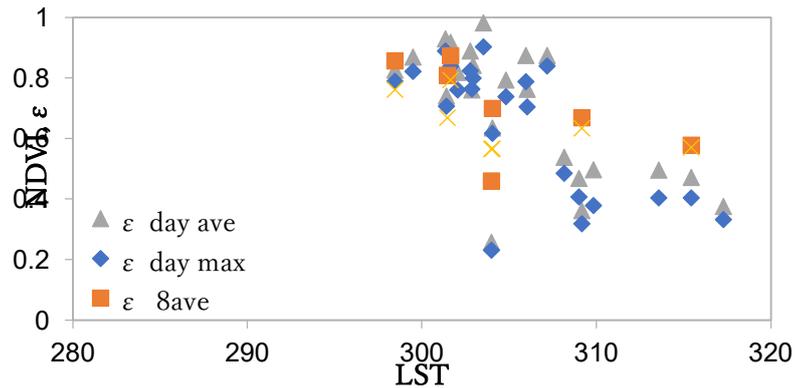


図 7 US-Ro6,2018

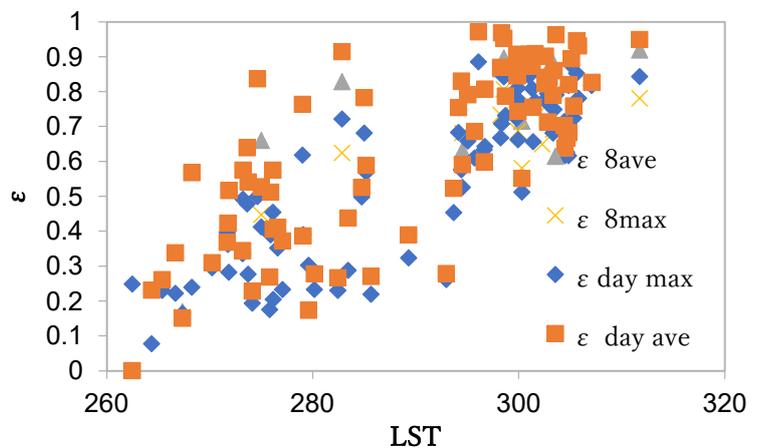


図 8 US-DFC,2019

衛星を用いた五島列島の椿林検知アルゴリズム開発

長崎大学 大山知起
森山雅雄

1. 背景と目的

五島の椿は全国シェア約40%を誇っており、資生堂のヘアケア製品に使われている椿油は100%五島産である。平成24年には五島列島は椿による活性化特区に設定されている。しかし、それにもかかわらず収穫が不安定という問題も持っており、年間豊凶比率は10倍程度となっている。そこで、長崎県農林技術センタでは、椿林の把握、椿の植栽適地把握、椿の実の豊凶要因の把握の3点を重点課題としており、森山研では、2010年から椿林の把握と椿の実の豊凶要因把握の2点で協力している。本研究は椿林の把握について取り組む。

本研究は高空間分解能衛星データを用いて、椿林を検出するアルゴリズムの確立を目的とする。対象範囲は長崎県五島列島である。五島の森林およそ45,000haのうち、植栽の椿林が40haしかないのに対して、自生の椿林は510haもあると言われている。自生椿林の領域を把握することにより、凶作時の補助的収穫場および遺伝子サンプルを確保することが可能となる。

2. 椿検知アルゴリズム

2.1 椿の葉の分光特性

物体はそれぞれ固有の分光特性を持っている、特に活性な植物の葉は、光合成で利用される青と赤の放射を吸収し葉内水分の温度上昇を抑制するため、液体水の吸収が大きい近赤外放射を葉内に透過させないように葉の最外殻の近赤外反射率が大きいという特徴的な反射率を有している。その中でも椿は、他の広葉樹とは異なり、一枚の葉でできる限り多くの放射を吸収するよう水平な葉面であるため、近赤外の反射率の高い最外殻が厚いという特徴をもつ。このため椿の葉は特に近赤外の反射率が最も高い植物として知られている。

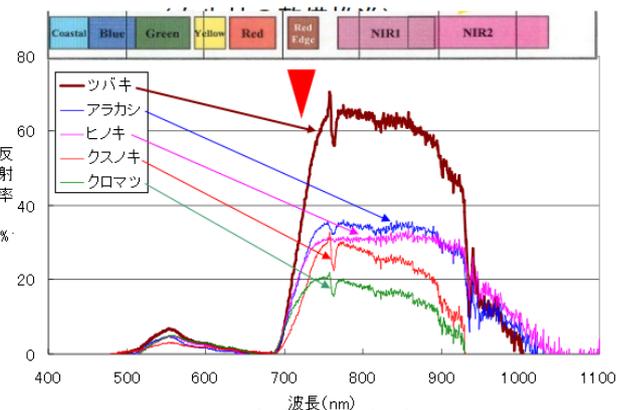


図 1 物体の反射率

2.2 衛星データの処理

2.2.1 大気補正プロダクトと地形効果の抑制

空気中には、エアロゾルといわれる大気中の塵があり、それらは太陽の光を散乱させてしまうため画像は霞んで見えてしまう。また、太陽高度が変化すると、地表に入射する太陽放射量が変化する。近年ではそれらを補正し、地表面反射率を推定した大気補正済反射率プロダクトが各機関から公開されているため、本研究では大気補正プロダクトを利用する。しかし、大気補正プロダクトは、水平面を仮定して作られているため、傾斜地では、入射放射量が地形依存となり、正しい地表面反射率が得られないという問題が残存している、これを地形効果という。地形効果は波長に依存しない乗法性雑音であるため、これを抑制するために、複数の観測バンドで得られた地表面反射率の比を用いることが多い。これをバンド間演算と呼ぶ。植生観測向けのバンド間演算として以下の式で定義される NDVI(Normalized Deferential Vegetation Index)が広く使われている。NDVIは画素内の活性な葉の面積比率に対応した量であり、この値が大きい場合は植生を多く含んでいることを意味する。

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_r}{\rho_{nir} + \rho_r}$$

ここで ρ_{nir} は近赤外の反射率, ρ_r は赤の反射率である.

2.2.2 WDRVI (Wide Dynamic Range Vegetation Index)

WDRVI は, 濃い植生域での植生量の微小変化を捉えるために開発された因子である. 本研究は濃い植生域での近赤外反射率の変化を捉えるために WDRVI を利用する. 図 2 はアラカシと椿が混在する画素で, 椿の面積比率を 0~1 まで変化させた場合, NDVI, WDRVI がどのように変化するかを示したものである. NDVI が, 椿の増加に対して鈍感であるのに対し, WDRVI は NDVI の 2 倍以上の変動幅を示した. このため, 本研究では WDRVI が, ある閾値以上であれば椿であるというアルゴリズムを構築する.

WDRVI は以下の式で定義される.

$$WDRVI = \frac{\alpha \rho_{nir} - \rho_r}{\alpha \rho_{nir} + \rho_r}$$

このとき, α は 0.1 or 0.2 である.

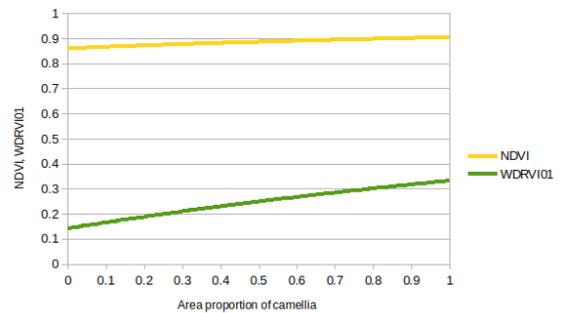


図 2 椿の葉の NDVI と WDRVI

2.2.3 利用した衛星データ

本研究では, 10 日毎に観測する Sentinel-2 衛星に搭載された MSI センサの分解能 10m の赤と近赤外の観測バンドを用いて WDRVI を計算した. 本研究では, 落葉樹が落葉している 11 月から 3 月にかけての雲が少なく, エアロソルの少ない 5 時期のデータを用い, 椿検知の閾値を決定した. 既に分かっている椿林と, 実際に五島に行き観測してきた椿の場所と椿でない場所から半径 50m 以内の区域に, 椿と判定がされるか, 椿以外の区域に椿ではないと判定されるかどうかを WDRVI のしきい値を変えながら一つずつ検証していく. その結果から椿林が検出可能なしきい値を決定する.

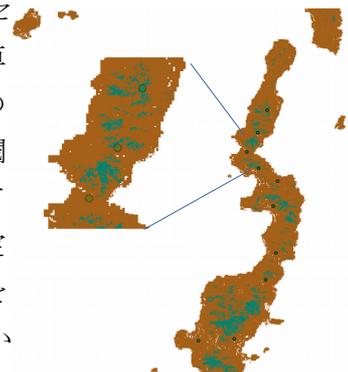


図 3 既知の椿林の場所

3. 結果

WDRVI のしきい値は 0.23~0.25 であるということが明らかとなった. 図 2 からこれは椿が 50%以上存在する画素に相当するものである. 5 時期のデータから, 画素毎に, 観測機会が椿と判定された回数 (星取表) を計算し, この値が大きな画素は椿である可能性が高いという画像を作成した.

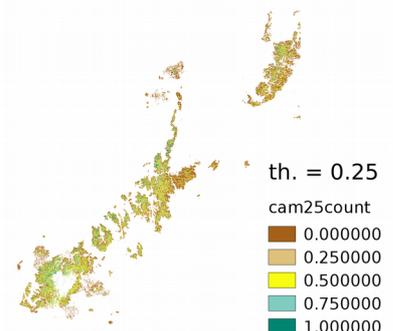


図 4 結果の図

4. 結論

衛星から五島列島にある椿林の検出をするためには WDRVI の値を 0.23~0.25 で設定することで, 椿林を検知することが可能であるというアルゴリズムを開発することができた. この結果は長崎県農林技術開発センタに送られ, 高評価を得た.

参考文献

- 1) J-Stage : https://www.jstage.jst.go.jp/article/rssj/33/1/33_56/_pdf 2020.2.6 閲覧
- 2) Google Cloud : <https://cloud.google.com/storage/docs/public-datasets/sentinel-2?hl=ja> 2020.2.4 閲覧

合成開口レーダを用いた長崎県の農耕地モニタリング

長崎大学 永尾俊樹, 森山雅雄

1. 背景と目的

1.1 背景

農作物は大きさや構成が一年間で大きく変化するが、光学センサは雲がある時間は観測できないため、重要な変化の時期を観測できないという問題があった。しかし、2015年に全天候観測が可能な合成開口レーダを搭載し、10m分解能で12日毎に観測するSentinel-1が運用開始したことで、天候に左右されずに農作物の分類ができる可能性が出てきた。

1.2 目的

本研究の目的は、農耕地分類のため、合成開口レーダから得られた後方散乱係数の時系列データを用いた分類法を確立することである。

2. 分類方法と手順

2.1 分類方法

農作物は他の植物と違い、播種から収穫までの間に後方散乱係数が大きく変化する。また、農作物の種類によってその変化パターンが違っているため、合成開口レーダから得られた後方散乱係数の一年分の時系列データを独立変数として分類する。

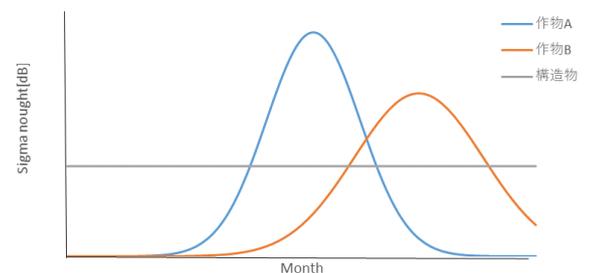


図 2.1 農作物における後方散乱係数の時間的変化

2.2 クラスタリング

クラスタリングは教師なし分類の一つである。分類の仕方により、分類した集団の内部をさらに小さな集団に段階的に分類していく階層的な手法と、全体をいくつかの集団に分類する非階層的な手法がある。本研究では、フリーの GIS ソフトウェアである GRASS に内蔵された非階層的な手法である ISODATA 法を用いて、サンプリングされた独立変数から分類クラスを決定し、その後 GRASS に内蔵された最尤法により全画素の分類を行った。

2.2.1 ISODATA 法

ISODATA 法は k 個のクラスターの平均値を使って画像を分類する方法である k -means 法に初期クラスター数の決定、結合条件、分割条件を加えたものである。

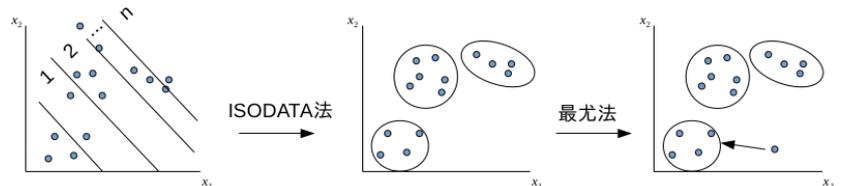


図 2.2 ISODATA 法と最尤法

2.2.2 最尤法

最尤法は、各セルすべてのクラス確率を計算して、確率が最も高いクラスにセルを割り当てる方法である。

3. 利用データ

3.1 Sentinel-1 搭載 C バンド合成開口レーダ

合成開口レーダは、衛星からマイクロ波を斜方射出し、地表からの反射波の強弱を画像化する。表面が平滑であれば鏡面反射により反射波は極小さいが、表面粗度が大きければ、乱反射により反射波は大きくなる。この反射強度は表面粗度に対応しており、その大小で地形や地物を判別する。Sentinel-1 は ESA/EC (欧州宇宙機関) が運用している回帰周期 12 日の地球観測衛星で、波長 5cm の C バンド合成開口レーダを搭載している。本研究では、Sentinel-1 が長崎県全域を 1 日で観測した 2020 年 1 月～2020 年 12 月までの 31 時期のデータを用いる。

3.2 農地データ

農林水産省が出している、農地区画情報（筆ポリゴン）を用いる。

4. 分類結果

分類結果は以下の通りである。

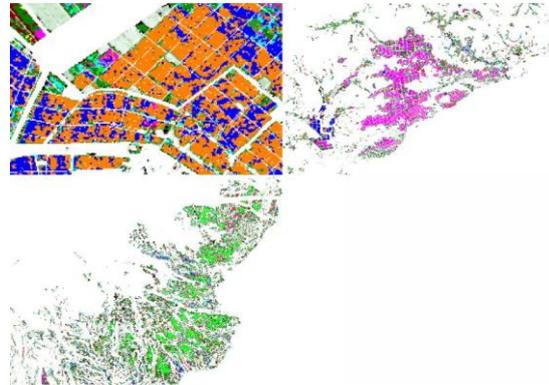
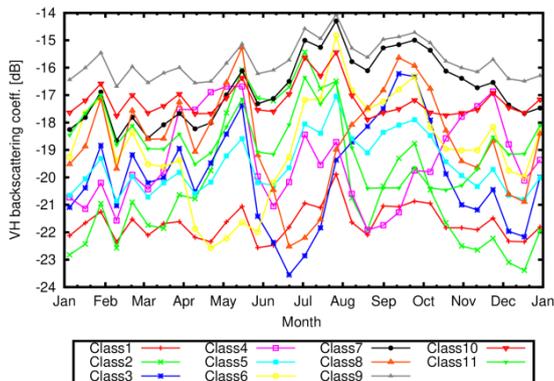


図 4.1 後方散乱係数の時間的変化(class1~11)

図 4.2 分類結果(左上:class3, 8 右上:class4 左下:class2)

5. 考察

時間的変化の大きいクラスは農作物、少ないクラスは農作物でないと考えられ、それぞれのクラスの意味付けを、クラス平均のグラフと Google Earth を用いて実施した。一例として、class3, 6, 8, 13 は稲, class2 は春小麦, class4 はジャガイモであるとする。その他のクラスは特徴的な変化が見られないため、農作物ではないと考える。

6. 結論

合成開口レーダから得られた後方散乱係数の時系列データから、耕作地の分類を行うことができた。農林水産省の農地データは曖昧な部分が多く、Google Earth で確認すると、農地以外のデータも含まれていた。今後、分類の精度を高めるためには、できるだけ不要なデータを取り除く必要があると考える。場所によっては Google Earth の画像が少ないため、現地での目視による確認を行うことも精度を高める要因になると考える。また、本研究は長崎県農林技術開発センター農産園芸研究部門に高く評価していただいた。

参考文献

- 1) GRASSビギナーズマニュアル・GIS実習オープン教材
<https://gis-oe.github.io/gitbook/book/materials/GRASS/GRASS.html>
- 2) リモートセンシング画像処理教師なし分類
http://rs.aoyaman.com/img_pro/b8.html
- 3) Sentinel-1A / 1B / 1C / 1D | 一般財団法人リモート・センシング技術センター
<https://www.restec.or.jp/satellite/sentinel-1-a-1-b.html>
- 4) 干渉SARの原理 | 国土地理院
https://www.gsi.go.jp/uchusokuchi/sar_mechanism.html
- 5) 合成開口レーダ(SAR)のキホン～事例,分かること,センサ,衛星,波長～
<https://sorabatake.jp/3364/>
- 6) 農地の区画情報(筆ポリゴン)の提供：農林水産省
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/polygon/index.html>

GCOM-C 衛星による自然及び農地環境モニタリングについて

Monitoring for natural and agricultural environment via GCOM-C satellite

○小川春菜¹・多炭雅博¹・森山雅雄²

Haruna Ogawa, Masahiro Tasumi, Masao Moriyama

Abstract : This study investigates the operational frequency of NDVI and the land surface temperature by GCOM-C, for environmental and agricultural monitoring. The locations for investigation were set as Miyazaki, Japan from temperate climatic region; Twin Falls, Idaho, USA from semi-arid climatic region, and Bangkok, Thailand from tropical climatic region. The operational observation frequency depends largely on the cloud cover. However, land and vegetation conditions and the changes within a year were successfully observed in all location, although the frequency degrades in rainy seasons. Cloud contamination can degrade data quality both in NDVI and surface temperature. NDVI can be over and under-estimated by the cloud contamination. Surface temperature is always underestimated. The inclusion of cloud-contaminated data can make noise on the land observation dataset. This study also points out a value of evapotranspiration estimation using surface temperature data. Evapotranspiration data provides valuable information for environmental and agricultural monitoring. In addition, a popular strategy of compositing multiple images applied for evapotranspiration estimation models may be regarded as a tool of compositing the instantaneous observation of surface temperature data, although the information is switched from temperature to water, during the compositing process.

Keywords : NDVI, land surface temperature, evapotranspiration, GCOM-C

1. はじめに

2017年12月に打ち上げられたJAXAのGCOM-C衛星(和名:しきさい)は、可視近赤外放射計と赤外走査放射計の両方を備え、最大250mの空間分解能と概ね2日に1回以上の時間分解能で地球全体を観測できる。実際の空間分解能は観測時のセンサ角に依存するものの、概ね250-300m程度で観測できる場合が多い(図1)。自然環境や農業モニタリングにおいては、植生情報と熱赤外情報を同時に、250m-300m程度の分解能で高頻度観測できる唯一の人工衛星である。

実務上の地表面観測頻度は雲量に大きく依存する。例えばMortonら(2012)の解析によると、人工衛星が2日に1回の頻度で午前観測を行う場合、アメリカ合衆国の大部分では最低でも1か月に1回以上の晴天日観測が可能であるが、雲量の多いフロリダ州やテキサス州東部では1か月に1回の晴天日観測ができる確率が概ね50%程度にまで落ちる。すなわち、雲量の多い地域においては、2日ごとの衛星観測頻度であっても地表面の可視・近赤外・熱赤外情報を1か月以上把握できない場合も多く発生し、データ欠測期間が数か月にわたる場合もある。このような実務上の地表面観測頻度は、衛星を利用した自然環境及び農業モニタリングを計画する上で重要な情報である。そこで本研究では、2018年以降

データ蓄積が進むGCOM-C衛星について、宮崎市、アメリカ合衆国アイダホ州ツインフォールズ市、タイ国バンコク市周辺の3地域に注目し、地表面データ取得の頻度と品質に関する調査を行った。

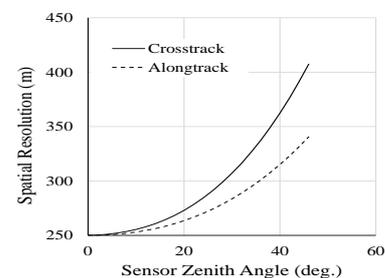


図1: GCOM-C 衛星の観測センサ角と空間分解能との関係

2. 調査地および使用データ

2-1. 気象データ

雲量と関係の深い降水量データを見ると、本研究で対象とした宮崎市、ツインフォールズ市、バンコク市の2019年の年間降水量は、それぞれ3,046mm、266mm、903mmであった。宮崎市を含む九州南部では、2019年7月に梅雨前線停滞に伴う1,000mm規模の記録的な豪雨を経験し、これがこの年の年間降水量を平年値よりかなり多いものになっている。一方でバンコクでは2019年は10年規模の深刻な干ばつ年で、年降水量は平年値よりかなり少ない。ツインフォールズ市の2019年の降水量は平年並であった。降水量データとして、宮崎市は気象庁宮崎地方気象台の観測データ、ツインフォールズ市はアメリ

¹ 宮崎大学農学部
(〒889-2155 宮崎県宮崎市学園木花台1-1)
(連絡先 Tel: 0985-58-7991、
E-mail: gb17008@student.miyazaki-u.ac.jp)

² 長崎大学大学院工学研究科

カ干拓局ツインフォールズ気象観測所データ、バンコク市は Bangkok Port 気象観測所観測データをそれぞれ使用した。3 地点における月別降水量を図 2 にまとめる。宮崎市とツインフォールズ市については日射量観測データも入手できたため、以降の考察には日射量観測データを用いた雲量の指標 (R_s/R_{so} : 実日射量と晴天日日射量の比) も利用する。

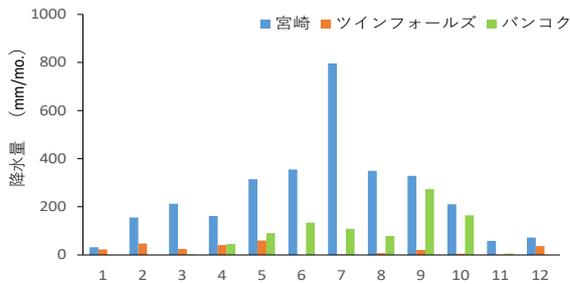


図 2 : 3 地点における月別降水量 (2019 年)

2-2. 衛星データ

衛星データには 2019 年の GCOM-C 衛星観測 NDVI および地表面温度 (LST) プロダクトを使用した。GCOM-C 衛星観測データは標準プロダクト (Ver.1) の公開が 2018 年 12 月と新しく、現在 Ver.2 に現在進行形でアップデートが進んでいる。そのため本研究では概ね Ver.2 相当のデータを独自に準備し使用した。NDVI、LST とそれぞれ独自のアルゴリズムでの雲判別が行われ、雲と判別されたピクセル値は欠測扱いになっている。図 3 に使用した NDVI 及び LST 画像の例を示す。

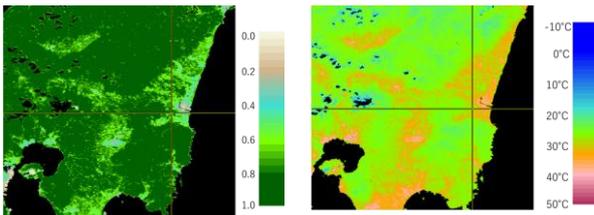


図 3 : 2019/9/17 における宮崎市を含む広域の NDVI 画像 (左) と LST 画像 (右)

3. 地表面観測頻度及びデータ品質

3-1. 宮崎市

図 4 は宮崎市周辺に位置する常緑林ピクセル (1 ピクセル) の NDVI と LST の時系列推移である。無観測日、および観測日であっても雲による欠測扱いとなっている日はグラフ上では数値をゼロとして表している。このピクセルでは、2019 年の 1 年間に NDVI は 100 日分、地表面温度は 129 日分のデータが得られた。ただし地表面観測の頻度は時期によって大きく異なる。NDVI データの場合、3~4 月では

平均概ね 3 日に 1 回程度の観測ができていたのに対し、6~7 月の梅雨期では平均して概ね 9 日に 1 回まで観測頻度が落ちる。また LST については、欠測となっていないデータの中にもある程度の割合で雲の影響を受けた観測値が混在している。雲の影響を受けた LST データは実際の地表面温度を表さないため、実務上は欠測と扱うのがふさわしい。この実務上のデータ欠測期間を地上観測日射量データ等を利用して確認したところ、このピクセルでは最大で 6/22~7/26 日の 35 日間、LST 情報が得られていなかった可能性がある。

データ品質に関して、NDVI 値は年間を通して約 0.7~0.9 の間で概ね安定して推移していた。その中で 2/6 と 2/12 の NDVI 値は、同時期の観測日の中で目立って低い値を取っていた。地上観測気象データと衛星観測 LST 画像による雲 (=低温部) の分布状況から推測すると、両日ともおそらく雲の影響で NDVI 値が見かけ上低くなっている。地表面温度については、GCOM-C の場合は観測時刻がセンサ角に依存してある程度変化するものの、図 4 で示した密な常緑林では晴天日の地表面温度は年間を通して夏に高く冬に低いサインカーブを取ることが見込まれる。この図において LST 観測値の高い値をつないだサインカーブから大きく外れる低い LST 観測値は、雲の影響を強く受けている可能性が高い。

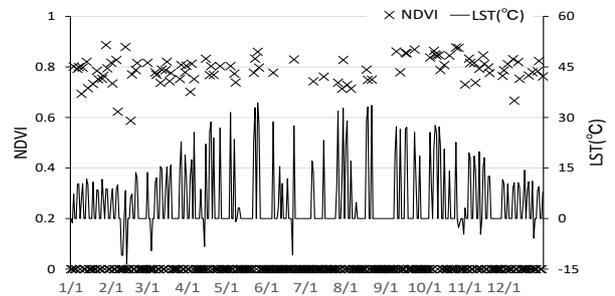


図 4: 宮崎市周辺の常緑林ピクセルにおける NDVI と地表面温度観測データ

図 5 に宮崎市周辺に位置する裸地ピクセル (1 ピクセル) における NDVI と LST の時系列推移を示す。この図から読み取れる観測頻度、データ品質情報とも、図 4 の場合とほぼ同様であった。

図 6 は宮崎市周辺に位置する農地ピクセルの場合である。農地ピクセルは常緑林や裸地表面に比べて NDVI や LST の時系列変化が大きいことが見込まれる。高時間分解能の GCOM-C 衛星でどの程度、作物の成長や圃場の温度変化が読み取れるのかを確認した。宮崎市近辺の農地は圃場面積が小さい。衛星画像ピクセルの位置の少しのズレや、図 1 に示すセンサ角による観測データごとの空間分解能の違いもあるため、図 6 に示すデータは厳密に同じ圃場

(群) の情報を反映したデータではないものの、例えば NDVI のピークが年間 2 回あり二毛作が行われているらしいことも含め、対象圃場における 1 年を通じた作物の生育状況がよく読み取れる。

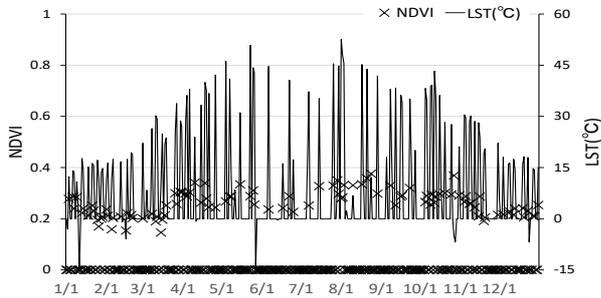


図 5：宮崎市周辺の裸地ピクセルにおける NDVI と地表面温度観測データ

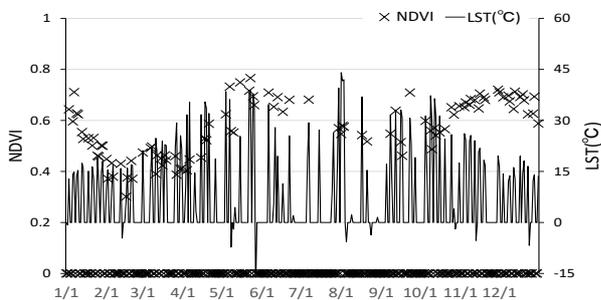


図 6：宮崎市周辺の農地ピクセルにおける NDVI と地表面温度観測データ

高時間分解能衛星である GCOM-C のメリットを確認するため、農地モニタリングによく利用される Landsat 8 衛星 (回帰日数 16 日) と比較した。図 7 に 2019 年における南九州の Landsat 8 画像の雲被覆率と、夏場において比較的雲の被覆率の少ない 3 画像のスナップショットを示す。Landsat 画像全体での雲被覆が 60-65% と案内されている 2 画像については、宮崎市周辺の雲被覆 (目視確認) はいずれもほぼ 100% で、地表面の状況を知るのは不可能だった。27% と案内されている 1 画像も、宮崎市周辺で地表面情報を持つピクセルがある程度存在はするものの、細かい雲が全体にたくさん散らばり、実務上非常に使いづらい画像であった。結果として Landsat 8 では、2019 年は 3 月中旬から 11 月初旬までの約 8 か月間、宮崎市周辺の地表面観測が全く不可能あるいはかなり困難だったことがわかる。Landsat 8 と比べて空間分解能は落ちるものの、GCOM-C では図 4~6 に示すように年間の地表面状態の推移をよく捉えることができおり、高時間分解能衛星の利点を確認できた。

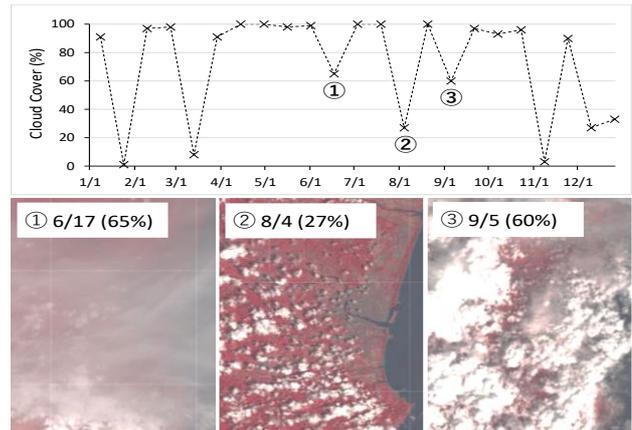


図 7：宮崎市周辺の Landsat 8 画像の観測日と雲量および夏季 3 画像のスナップショット

3-2. ツインフォールズ市およびバンコク市

図 8 にツインフォールズ市周辺の農地、図 9 にバンコク市周辺の農地の NDVI と地表面温度の観測データを示す。ツインフォールズ市周辺農地は冬場に積雪があり、この期間の NDVI がマイナスの値を取っている。また冬季には地表面温度が氷点下を取る場合も十分考えられる。図 8 からは、2 月の一時期を除いて高頻度で地表面観測データが得られていたことが読み取れた。この対象圃場では NDVI のピークが 2 回あることから、春と秋に二毛作が行われていることが伺える。2 種の作物の入替時期である 6 月中旬から 7 月中旬にかけて NDVI 値の比較的高い観測日が存在する (7/4, 7/6, 7/7) が、地上観測日射量データからは、この NDVI 値は雲の影響を受けた異常値である可能性が高い。図 4 の常緑林においては雲の混在が見かけの NDVI 値を下げる方向に作用したが、図 8 に示す農地の無作付期間においては雲が見かけの NDVI 値を上げる方向に作用した。

図 9 のバンコク市周辺農地の例では、雲量の多い熱帯地域において、雨季には観測頻度が落ちるものの、GCOM-C は年間を通して地表面状態や作物の成長を概ね観測できていたことがわかった。ただし今回対象とした 2019 年は渇水年であったため、今後平年や多雨年における追加調査も必要である。

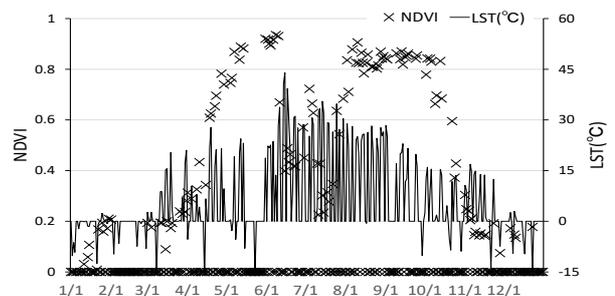


図 8：ツインフォールズ市周辺の農地ピクセルにおける NDVI と地表面温度観測データ

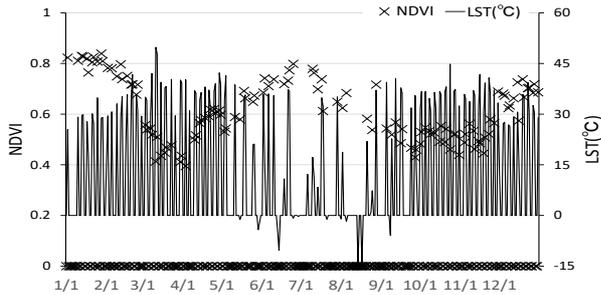


図9: バンコク市周辺の農地ピクセルにおけるNDVIと地表面温度観測データ

4. 雲除去のためのコンポジット処理

高時間分解能衛星観測によるNDVIデータの雲除去コンポジット手法としては、Maximum Value Composite (MVC; Holben, 1986) が有名である。MVC法では雲の影響を受けたピクセルのNDVI値が雲の無い場合に比べて低めに算出される傾向を利用し、各ピクセルにおいて単位期間内の最高NDVI値をその期間におけるNDVI代表値として採用する。設定した単位期間内に晴天日観測データが含まれる必要があるため、期間設定は5日から、雲量の多い熱帯地域では1か月以上を取る場合もある (van Leeuwen et al., 1999)。本研究ではNDVIデータの雲除去コンポジット手法としてMVC法を採用し、また単位期間には多様な気候条件下における一律利用を考え1か月に設定した。ただし、図4~9に示すように、1か月を単位期間としたMVC法による月毎NDVIマップは、常緑林や裸地など変化の少ない自然環境モニタリングには支障がないものの、作物の生育状況把握には単位期間としては粗すぎる。個別の実務利用上は、用途や目的、気象環境等によりコンポジット手法を検討する必要がある。

地表面温度データの場合はNDVIに比べて雲除去のためのコンポジット処理の難易度が高く、またコンポジット処理画像の科学的意味自体も曖昧になる。例えばNDVIで表される植生量の場合、農作物の収穫や災害等の特殊な場合を除けば、数日単位で急激に植生量が増減するものではない。植生量は日中と夜間、また晴天・曇天・雨天などの日々の気象によって急激に変化せず、ある衛星観測日時における植生量の瞬時値は、一定期間 (例えば1週間) の植生量の平均値と近似すると期待できる。一方で地表面温度は1日の中でも時間単位で大きく変化し、日々の気象にも大きく左右される。そのため衛星の瞬時値観測データを合成したコンポジットデータの作成が難しい。また、作成したデータの持つ意味も定まらない。例えばMODISの8-day地表面温度コンポジットデータは、8日間の衛星観測データ中の雲の影響を受けていないと判断された観測値の

平均値マップである (Wan, 2013)。これは地表面温度の時間空間特性を表現する情報ではあるものの、その温度情報はあくまで「期間内に観測ができた温度データの瞬時値の平均」なので、科学的な意味としては曖昧なものとなる。

衛星による熱赤外観測データの陸域における主要用途は、火山/火災監視と蒸発散/水ストレス推定である (Sobrino et al., 2016)。GCOM-C蒸発散指標推定アルゴリズム (Tasumi et al., 2016 a,b) では晴天日LSTの瞬時値観測から蒸発散効率の指標である蒸発散指数を算出し、コンポジット処理を行ったうえでデータ欠測日を含む期間全体の蒸発散指数や蒸発散量推定につなげている (図10)。コンポジット手法としてはMVC法と類似の方法を採用し、単位期間は16日を取っている。このアプローチではコンポジット処理の過程でデータ特性を温度から水に変換することで、LSTの瞬時値観測データを使った蒸発散指数の雲除去コンポジット処理を実現している。

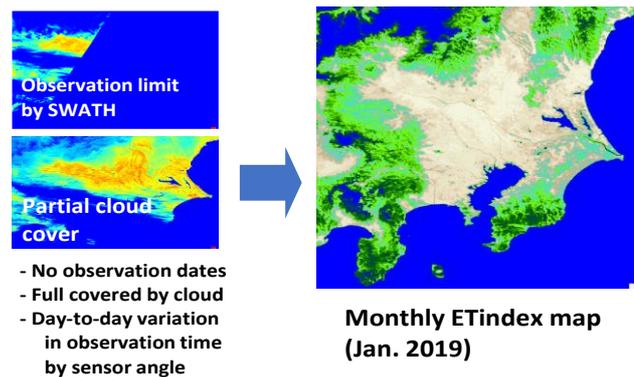


図10: 晴天日の地表面温度瞬時値観測を水分指標に変換して合成した月蒸発散指標マップ

5. データ利用

GCOM-C観測データから算出した月毎NDVIマップの例 (ツインフォールズ市を含む広域) を図11に、GCOM-C蒸発散指数推定アルゴリズムにより地表面温度を蒸発効率の指標に変換した「蒸発散指数」マップを図12に、実蒸発散量マップの例を図13に示す。ツインフォールズ市の緯度は北海道程度で、冬は寒冷で山地を中心に積雪期間が長い。図11において12月~3月までのマイナスのNDVI値は山地における積雪を反映している。半乾燥地であるが、12月~5月にかけて一定の降水量があり、春には広い範囲で荒地が草原化する。6月以降は降雨がほとんど無く、画像中央部の灌漑農地と山地の一部以外は植生量が少なくなる一方、灌漑農地ではトウモロコシ等作物の盛んな生育を反映して高いNDVI値を示す。

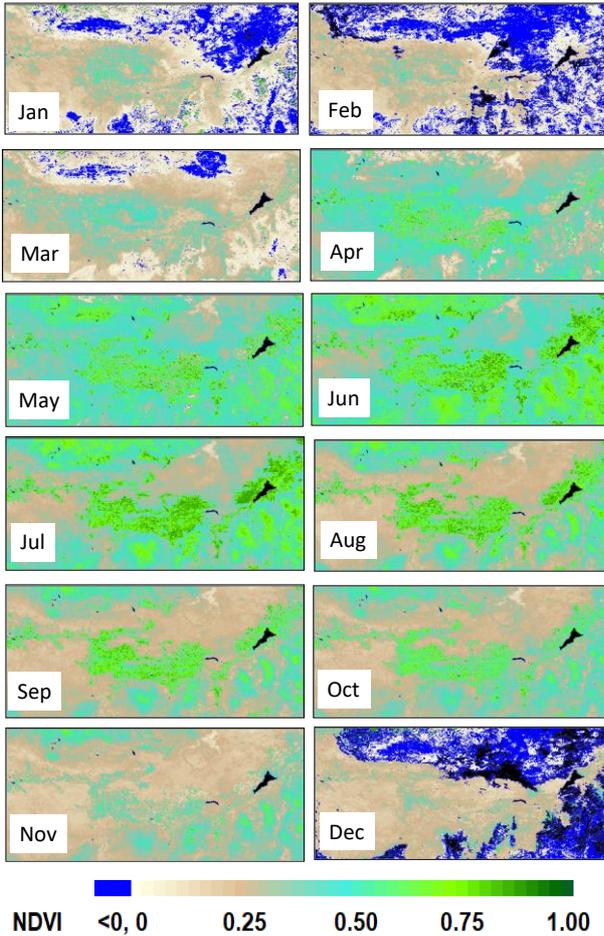


図 11：月毎 NDVI マップ

図 12 に示す蒸発散指数は LST を主要入力データとする蒸発散効率の相対指標で、土壌水分マップとある程度近い意味合いを持つ。12 月～4 月にかけては画像全域で湿潤状態が保たれている。荒地においては 5 月以降乾燥化が進み、一方で灌漑農地では大規模スプリンクラー灌漑により蒸発散指数が更に上昇する。これは図 11 に示した NDVI の時間空間分布と整合性が取れている。

図 12 の蒸発散指数マップでは冬場に画像全体で高い指数を取る（すなわち湿潤している）にもかかわらず、この期間、図 13 に示す蒸発散量は少ない。これは冬場には日射が弱く、蒸発散の原資となるエネルギーが不足するためである。地表面エネルギー入射量大きい夏場に湿潤状態が保たれる灌漑農地は、夏季および年間での蒸発散量が大きくなる。

NDVI に代表される植生状況と蒸発散指数あるいは蒸発散量を併用することにより、自然環境や農地環境モニタリング分野で有用な情報が得られることが期待できる。例えば Takaku et al. (2020) は衛星蒸発散量データを灌漑計画に利用する例を紹介している。農地において作物の生育状況は NDVI 等の植生指標を通して把握できるが、それに地表面温度

から推定した蒸発散量情報が加わることで、例えば作物の生育状況の悪さが水環境によるものなのか、病害虫など他の要因によるものなのか、水環境による場合はどこでどの程度の水が不足しているのか、などが解析でき、地域水資源計画につなげることができる。

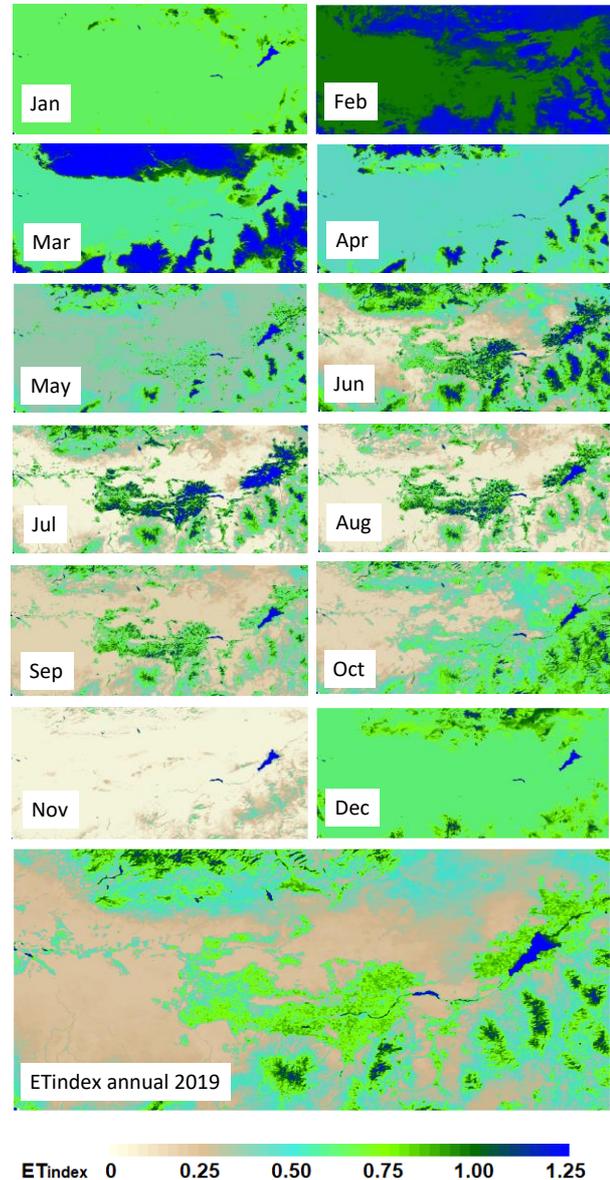


図 12：月毎および年間平均蒸発散指数マップ

6. おわりに

本調査では GCOM-C が観測した NDVI と LST について、宮崎市、ツインフォールズ市、バンコク市周辺の晴天日観測頻度を調査した。2019 年においては、半乾燥地域のツインフォールズのみならず、熱帯地域に位置するバンコクや、宮崎の梅雨時期においても、地表面観測頻度は落ちるものの地上の植生状況とその時系列推移を確認することが可能であ

った。ただし雲の混在により NDVI 値や LST データが過小または過大に報告される例も一部で見受けられた。同時に、農地においては作物の成長速度が速く、MVC 法により作成した月毎 NDVI データでは、単位期間が作物状態の変化に対して長すぎるため、詳細な農地観測が難しいことも確認できた。LST に関しては、その特性上、複数観測日にまたがるコンポジット画像の作成が難しいが、温度情報を蒸発散指標等の水文指標に変換すると、変換後の水文指標のコンポジット処理は可能である。GCOM-C は 250-300m 程度の空間分解能で植生と熱情報を同時に高頻度観測できる唯一の衛星であり、この特性は植生指数と蒸発散情報を組み合わせた自然環境や農地環境モニタリングに有用であると考えられる。

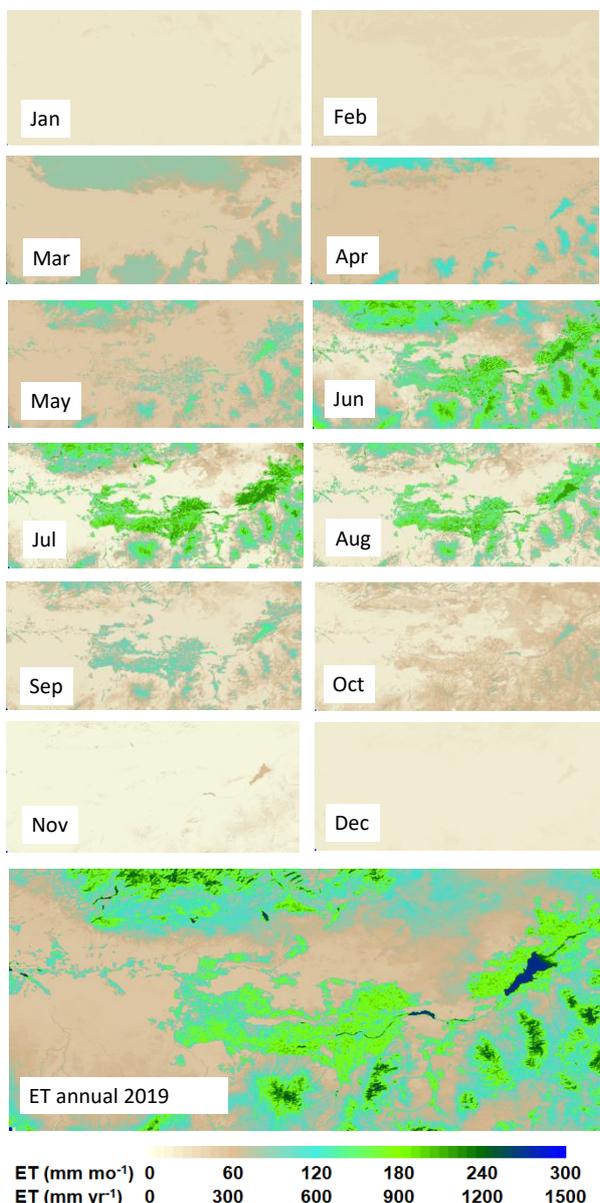


図 13：月毎および年間積算蒸発散量マップ

謝辞

本研究は JAXA 地球観測研究公募共同研究「GCOM 陸圏プロダクトとしての全球蒸発散指数推定アルゴリズムの開発」による研究費助成を受けて行われた。

引用文献

- 1) Morton, C., Huntington, J., Allen, R. 2012. *Maps of the probability of a cloud free Landsat scene during the growing season*, University of Idaho, Internet Article.
- 2) Holben, B.N., 1986. Characteristics of Maximum Value Composite images from temporal AVHRR data, *International Journal of Remote Sensing*, 7:1417-1434.
- 3) van Leeuwen, W.J.D., Huete, A.R., Laing, T.W. 1999. MODIS Vegetation Index Compositing Approach: A Prototype with AVHRR Data. *Remote Sensing of Environment*, 69:264-280.
- 4) Wan, Z. 2013. *Collection-6 MODIS Land Surface Temperature Products Users' Guide*. USGS LP DAAC, Internet Article.
- 5) Sobrino, J.A., Del Frate, F., Drusch, M., Jimenez-Munoz, J.C., Manunta, P., Regan, A. 2016. Review of thermal infrared applications and requirements for future high-resolution sensors. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54:2963-2972.
- 6) Tasumi, M., Kimura, R., Allen, R.G., Moriyama, M., and Trezza, R. (2016a): Development of the GCOM-C global ETindex estimation algorithm, *Journal of Agricultural Meteorology*, 72:85-94.
- 7) Tasumi, M., Moriyama, M., Hirakawa, K. and Fujii, A. (2016b): Evaluation of the GCOM-C global ETindex estimation algorithm, *Journal of Agricultural Meteorology*, 72:151-158.
- 8) Takaku, R., Shimasaki, A., Fuji, H., Tasumi, M., Muraki, Y. 2020. *Irrigation performance assessment using satellite remote sensing: Insights from Tajikistan*. ADB Briefs No.152, Asian Development Bank.