

令和 3 年 4 月 30 日現在

機関番号：12501

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2020

課題番号：19K24379

研究課題名（和文）東アジアの猛暑時において地表面温度が極端化する異常地域の抽出と高解像度解析

研究課題名（英文）Extraction and High-Resolution Analysis of Anomalies in Land Surface Temperature during Extreme Heat in East Asia

研究代表者

山本 雄平（Yamamoto, Yuhei）

千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・特任助教

研究者番号：30845102

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：2018年夏季に日本・韓国周辺で発生した猛暑について、ひまわり8号データを用いて地表面温度を高頻度で推定し、異常高温が起こっていた地域を抽出して解析した。植生域に関しては、ひまわり8号で推定された地表面温度の日変化の波形が植生ストレスによって変化していたことが分かった。都市域に関しては、猛暑時に大きく昇温する地域は熱慣性が低い（温度変化が大きい）特徴を持つ土地利用種だけでなく、標高や沿岸からの距離、つまり気象要素によっても影響を受けることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

植生域の解析で得られた結果：ひまわり8号を用いた地表面温度の高頻度観測が、植生ストレスの検出に応用できる可能性を初めて示したものであり、森林・農地における「植生の健康診断」への貢献が期待できる。都市域の解析で得られた結果：猛暑で都市の熱環境がどれだけ悪化するかを、気温ではなく人間の体感温度に近い物理量である地表面温度で初めて調べた研究である。本成果は、今後地球温暖化によって発生頻度が増加する猛暑の影響が加わった際の都市の暑熱環境に関する重要な基礎資料となることが期待される。

研究成果の概要（英文）：Regarding the 2018 heat-wave that occurred around Japan and Korea, the land surface temperature (LST) were retrieved frequently (10 min) using Himawari-8 data, and the areas which had high anomaly of LST were extracted and analyzed. Regarding the vegetation area, it was found that the diurnal waveform of the LST retrieved from Himawari-8 changed due to vegetation stress. Regarding urban areas, it was found that areas where the temperature rises significantly during 2018 heat-wave were affected not only by land-use with low thermal inertia, but also by altitude and distance from the ocean, that is, meteorological factors.

研究分野：熱赤外リモートセンシング

キーワード：ひまわり8号 地表面温度 猛暑

1. 研究開始当初の背景

2018年7月から8月にかけて、東アジアでは日本や朝鮮半島を中心に近年類を見ない猛暑に見舞われた。日本の都市では熱中症で毎年約5万人が救急搬送されているが、2018年は9万人を超え2倍近くに及んだ。このような猛暑は、今は異常気象とされているものの、地球温暖化の進行に伴いより一層発生頻度が増加していくことが数値研究で示されている。そのため、今後の猛暑襲来に備えた2018年事例における熱環境の実態解明が急務である。

日々の熱環境把握においては、気温による評価が一般的であるが、生物にとっての体感温度は気温よりも日射や地表面からの輻射熱による影響が大きい。したがって、熱環境が極端化するような状況においては、地表面温度を用いた評価が非常に重要である。

地表面温度は気温のような地上観測網が敷かれておらず、主に極軌道衛星が利用される。極軌道衛星は、空間分解能は高い(0.1 km-1.1 km)が観測頻度に乏しい(16日-0.5日)という特徴をもつ。尚且つ、衛星による地表面温度観測は雲で覆われた地域は観測できないという厳しい制限があり、高頻度観測は非常に困難であった。

申請者は、地表面温度の高頻度観測を実現するため、アジア・オセアニア域を中心とした地球半球を10分間隔で観測可能な静止軌道衛星「ひまわり8号」を用いた地表面温度観測手法を開発した。さらに、観測された地表面温度が、都市環境特有の日変化を呈することを確認し、都市観測における有用性を示した。しかしながら、静止軌道衛星の空間分解能は新世代機のひまわり8号でも約2 kmと粗く、都市の複雑面における熱環境をマクロに捉えることはできても、街区スケールといった詳細な温度分布は依然として把握できない。

2. 研究の目的

東アジアの2018年猛暑発生時において、地表面温度が極端化する異常地域の実態解明を最終目的とする。この目的達成のため、1) 雲による観測ノイズ・欠損問題の緩和と2) 猛暑発生時における地表面温度の異常地域の抽出と定量化、3) 機械学習技術を用いた地表面温度異常地域の高解像度解析の3つの研究項目を掲げる。

3. 研究の方法

(1) 雲による観測ノイズ・欠損問題の緩和

ひまわり8号データを用いた地表面温度推定は晴天域に限られており、晴天画素に雲が混入すると地表面温度推定においてノイズや欠損が生じる。また、ひまわり8号の観測姿勢のゆらぎによる投影位置のずれによってもノイズが生じる。そこで本研究では、まずひまわり8号の地理位置精度(geolocation)の検証を行い、その後熱力学モデル(Diurnal Temperature Cycleモデル: DTCモデル)を用いたノイズと欠損の補間を行った。地理位置精度の検証では、気象庁で配布されているひまわり標準データ(JMAデータ)と千葉大学環境リモートセンシング研究センターで配布されている位置合わせ処理後のデータ(CEReSデータ)との地理位置精度を比較し、両データのずれ量の大きさと発生頻度を調べた。DTCモデルを用いたノイズと欠損の補間では、ひまわり8号データから10分間隔で1日分推定した地表面温度データにDTCモデルをフィッティングさせるわけであるが、フィッティングの際に欠損数を1から66(11時間分)まで様々な時間帯で発生させ、フィッティング精度の不安定性をRMSEで評価した。

(2) 猛暑発生時における地表面温度の異常地域の抽出と定量化

(1)で得られたフィッティングのノウハウを基に、DTCモデルを日本・朝鮮半島周辺地域に適用するシステムを構築した。解析領域は120°E-149°E, 26°N-46°Nとし、期間は2018年7月15日から8月5日までの22日間とした。また、2018年との比較対象として2015年から2019年までの同時期(22日間×4年分)においても同様の解析を行った。使用データはひまわり8号データの他にVIIRS EVI・NDVIデータ、MODIS 土地被覆データ、韓国の地上フラックス観測サイト3地点(CRK: Cheorwon Rice paddy, GCK: Gwangreung Coniferous forest, GDK: Gwangreung Deciduous forest)にて2018年7月15日から8月5日に観測された上向き長波放射・総一次生産量(Gross Primary Production: GPP)・潜熱フラックスデータを使用した。

DTCモデルの適用によって得られる5つのフィッティングパラメータ(以降、DTCパラメータとする。 T_{max} : 日最高LST、 DTR : 日較差、 k : 減衰定数、 t_m : T_{max} に達した時刻、 t_s : 大気による冷却が始まった時刻)の空間分布特性や猛暑時の変動について調べた。なお、フィッティングは一日で85時刻以上観測できた日(即ち雲被覆の少ないよく晴れた日)にのみ行い、更にもその中からフィッティング誤差(RMSE)が0.5°C未満の日を解析に用いた。

猛暑によるDTCパラメータの変動の特徴を調べるため、2015年から2019年の期間における平均からの変動量を地域別(日本と朝鮮半島)と土地被覆別(植生、農地、都市)に分けて集計し、確率密度関数を推定した。また、EVIとNDVIの変動量についても同様に推定し、DTCパラメータとの対応を調べた。

DTCパラメータがどの植生タイプのどの活動と関係しているのかを調べるため、CRK(水田)・GCK(針葉樹林)・GDK(落葉混合樹林)の3サイトで観測された上向き長波放射・総一次生産量・潜熱フラックスとDTCパラメータとを比較した。

(3) 機械学習技術を用いた地表面温度異常地域の高解像度解析

関東、東海、関西の都市域において地表面温度情報の高解像度化を行う予定であったが、解析期間における教師データの入手が困難であったため、まずはそのままの解像度で解析した。2015年-2020年における7月と8月の日中(11:00-14:00)と朝方(4:00-6:00)の地表面温度を推定した。2018年分のデータに関しては、2ヶ月間の上位5位の平均値を各画素で収集したものを「猛暑データ」として使用した。それ以外の年のデータに関しては、各年の中央値を各画素で求めて5年分で平均し、「平年データ」として使用した。地表面温度の平年値、猛暑時の偏差、土地利用割合、標高に基づいてクラスタリング(Ward法)を行い、猛暑時における地表面温度の空間分布特性を調べた。

4. 研究成果

(1)

JMAデータのズレは南北・東西方向ともに概ねバンド3(衛星直下で約0.5km解像度)の2画素以内であり、2km解像度の赤外バンドの利用においては十分な位置精度をもつことを確認した。JMAデータは時折発生する衛星観測システムの障害等によって観測位置が不安定となる一方で、CEReSデータは運用開始から長期にわたって一貫した位置精度を維持し続けていたことが分かった(図1)。安定性の検証により、ひまわり標準データでみられる突発的で大きな(バンド3で2画素以上のズレ)が、CEReSの位置合わせシステムで改善できていることを示した。

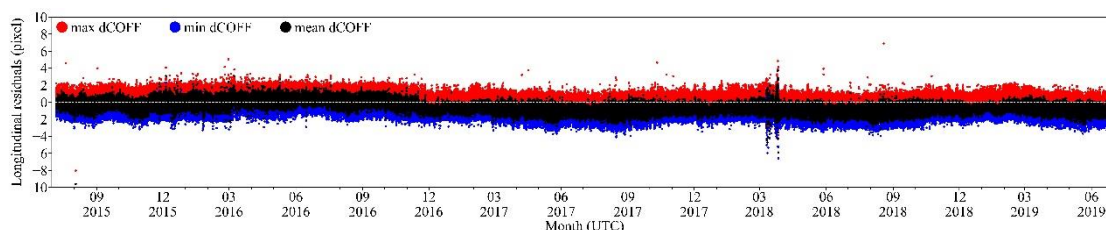


図1. CEReSデータを基準としたJMAデータの東西方向のずれ(dCOFF)の時系列変化。

日変化の振幅が大きいと、カーブフィッティングにおいて日最大値を反映しづらいことが分かった(図2左上)。午前に欠損が多いケースでは、朝方に数時刻分の地表面温度が観測されていれば、4時間ほど雲がかかってもDTCモデルで欠損の補間が可能であることが分かった(図2右上)。朝方に地表面温度が観測されていないと、DTCモデルは朝方の地表面温度を極端に低く推定していた(図2右下)。午後に欠損が多いケースでは、午後の温度降下は午前の温度上昇よりも緩やかなので、多少欠損があってもフィッティングは安定していた。画素内に雲が混入することによって地表面温度推定に大きな揺らぎが生じると、それに引きずられてDTCモデルはやや過小推定してしまうが、その影響は1°C未満と非常に小さく、むしろその頑強性を利用して雲検出に使えることがわかった(図2左下)。フィッティングによって得られるDTCパラメータは各画素の熱慣性に近い熱的特性を表現できている可能性が示唆された。この結果は、地表面の湿潤状態の変化の検出に利用できる可能性がある。

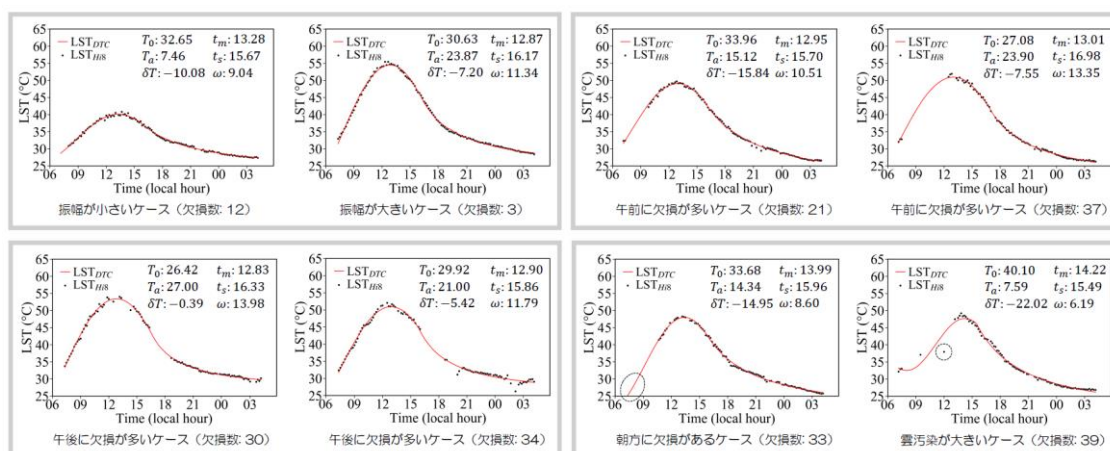


図2. 様々な欠損ケースを想定した際のDTCモデルの適用例。

(2)

猛暑時における日最高温度の上昇は特に朝鮮半島で顕著であったことが示された(図3上)。更に植生域では乾燥化を示唆する日較差の大きな変動が確認された(図3下)。朝鮮半島では、

2018年の猛暑時において、全ての土地被覆で T_{max} と DTR の増大傾向を示す正への分布の偏りがみられ、特に森林で顕著であった。またこれと整合する EVI の低下傾向もみられた。日本では、 T_{max} は全ての土地被覆で弱い増大傾向を示した一方で、 DTR は森林と農地のみ増大傾向を示した。また地上フラックス観測との比較を行ったところ、DTC パラメータと総一次生産量や潜熱フラックスとの相関がみられ、その相関の良し悪しは植生タイプによって異なっていたことが明らかとなった。

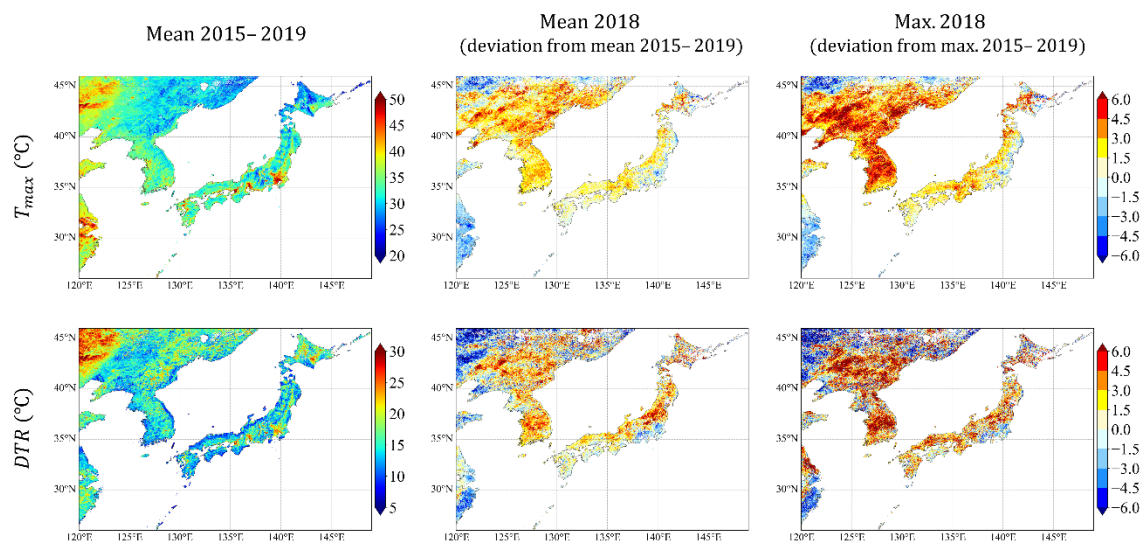


図3. T_{max} と DTR の空間分布。左は平年値、中央が猛暑時の平均コンポジット（平年値からの偏差）、右は猛暑時の最大値コンポジット。

(3)

朝と昼における地表面温度の平年値と昼における猛暑時の偏差（図4）を用いてグルーピングした結果、3都市で共通して土地利用と標高、沿岸からの距離でおおよそ説明できることが分かった（図5）。猛暑時に昇温が大きかったのは内陸であり、低層建物で占められる地域であった。標高による違いに関しては、関東では低地で昇温が大きかった一方で、東海では高地で昇温が大きくなる傾向が見られた。計画当初は「猛暑で熱くなる地域は、低い熱慣性を持つ（熱しやすく冷めやすい）土地利用である」と予想していたが、実際はそうはならず、気象要素による影響も複雑に相まって、標高や沿岸からの距離に応じた分布を形成していたことが分かった。

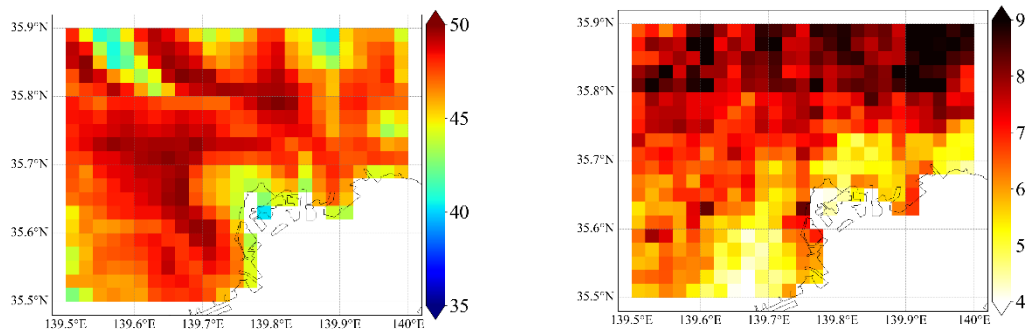


図4. 関東の都市域における地表面温度の平年値（左）と猛暑時の昇温（右）の空間分布。

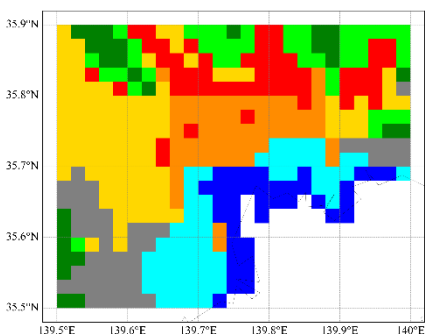


図5. 関東の都市域におけるグルーピング結果。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yamamoto Yuhei, Ichii Kazuhito, Higuchi Atsushi, Takenaka Hideaki	4. 巻 12
2. 論文標題 Geolocation Accuracy Assessment of Himawari-8/AHI Imagery for Application to Terrestrial Monitoring	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Remote Sensing	6. 最初と最後の頁 1372 ~ 1372
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/rs12091372	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Yuhei Yamamoto, Kazuhito Ichii
2. 発表標題 An analysis of land surface temperature during summer clear-sky days focusing on the diurnal change characteristics using Himawari-8 data
3. 学会等名 JpGU and AGU Joint Meeting 2020 Virtual, July 2020（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本雄平, 市井和仁, Minseok Kang
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会 第69回（令和2年度秋季）学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本雄平, 市井和仁
2. 発表標題 2018年の東アジア猛暑時における地表面温度の高頻度解析
3. 学会等名 日本気象学会2020年度秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yuhei Yamamoto, Kazuhito Ichii
2. 発表標題 High-Frequency estimation of the land surface temperature using next-generation geostationary satellite data
3. 学会等名 AsiaFlux2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuhei Yamamoto, Kazuhito Ichii
2. 発表標題 Reduction of outliers and missing values caused by cloud contamination in retrieving land surface temperature from Himawari-8 data
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本雄平
2. 発表標題 ひまわり8号地表面温度観測において雲の混入がもたらすノイズ・欠損の軽減
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------