

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 13 日現在

機関番号：82626
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2021～2023
課題番号：21K12229
研究課題名（和文）気象衛星ひまわりデータ解析のための地上観測データを用いた大気補正アルゴリズム構築

研究課題名（英文）Development of atmospheric correction algorithm using ground-based data for Geostationary Meteorological Satellite Himawari products

研究代表者
山本 浩万（Yamamoto, Hirokazu）
国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・上級主任研究員

研究者番号：90344267
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）：気象衛星ひまわり8号/9号（H8/9）にはマルチスペクトルセンサーAHIが搭載されており、10分毎に観測することができるため、雲の影響を避け高精度な高次プロダクトを導出できる可能性がある。また、JAXAはH8/9 AHI高頻度エアロゾルプロダクト（L2ARP/L3ARP）を公開しており、大気補正処理に役立つと考えられる。
我々は地上観測エアロゾルパラメータと他衛星プロダクトを使用してH8/9 AHI L2ARP/L3ARPを検証し、BOA反射率から6sV2.1放射伝達コードを使用して、レイリー散乱およびH2O/O3吸収補正反射率とTOA反射率を算出し独自の大気補正アルゴリズムを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、地上観測データおよびH8/9 AHI L2ARP/L3ARPを用いた陸域や海域の物理量抽出のためのH8/9 AHIセンサーデータの大气補正アルゴリズム構築の提案を行なっている。一般的に、水蒸気を除き、オゾンなどの気体成分の吸収はほぼ補正可能であり、レイリー散乱は比較的計算が容易とされている。そこで、本研究は水蒸気分子による吸収およびエアロゾルによる吸収・散乱による影響量に着目して構築しているところに独自性および学術的意義がある。また、高精度の大气補正済反射率は気候変動などに重要なパラメータに関連する高次プロダクト精度の向上が期待できることから、社会的意義は高いと言える。

研究成果の概要（英文）：Japanese geostationary weather satellite, the Himawari-8/9 (H8/9) was developed by the Japan Meteorological Agency (JMA), and H8/9 satellites have multispectral sensors, Advanced Himawari Imager (AHI). AHI can observe the hemisphere at a high frequency every 10 minutes, and this characteristic is very useful for earth science research due to avoiding cloud contamination. JAXA provides H8/9 AHI aerosol products processed by the retrieval algorithms, which should be very useful for atmospheric correction.
On the other hand, we have long-term ground-based aerosol parameters over three validation sites in Japan, and validated H8/9 AHI aerosol products using ground-based aerosol parameters and the Terra and Aqua MODIS aerosol products. Moreover, we predicted Rayleigh scattering and H2O/O3 absorption corrected reflectance and TOA reflectance using BOA reflectance by using 6sV2.1 radiative transfer code and proposed atmospheric correction algorithm based on this predicted reflectance.

研究分野：衛星搭載型光学センサの校正検証

キーワード：気象衛星ひまわり 大気補正 エアロゾル 地上観測 SKYNET 地表面反射率

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) これまで気象衛星ひまわりは、気象観測や天気予報などに大きく貢献してきた。2014年10月7日に静止気象衛星ひまわり8号は気象庁に開発され打ち上げられ、2015年7月7日より正式運用を開始しデータも情報通信研究機構(NICT)や千葉大環境リモートセンシング研究センター(CEReS)より配布されている。ひまわり9号は2016年11月2日に打ち上げられ、軌道上で待機後、2022年から2022年12月13日から8号から9号に運用を交代した。

(2) ひまわり8号・9号は可視近赤外域、短波長赤外域、熱赤外域を観測できる多バンドセンサ可視赤外放射計(AHI: Advanced Himawari Imager)を搭載しており、一般的な可視域画像のほか、植生量や植生分布、海洋における植物プランクトンの分布や海表面温度、大気中のエアロゾルや火山噴火等で排出された火山ガス検出画像などの物理量について昼夜にわたって可視化を行うことが可能となった。

2. 研究の目的

(1) 通常、光学センサを用いて可視近赤外域、短波長赤外域の波長帯を用いて、陸域の砂漠・草地・森林・海洋の物理量を見るためには、適切な大気補正アルゴリズムを用いて地表面または海表面反射率を算出することが必須である。

(2) しかしながら、これまでひまわり8号・9号画像を用いた研究は大気物理量や日射量の推定などの研究が大半であったが、地表面や海表面物理量のための大気補正アルゴリズムの研究開発は十分に行われていない。さらに、宇宙航空研究開発機構(JAXA)から『JAXA ひまわりモニタ』で反射率データも配布されているが、大気補正がなされていない大気上端反射率であり、そのまま物理量を導出することができない。

(3) そこで、本研究の目的はひまわり8号・9号AHIから陸域・海洋における物理量推定に大気補正アルゴリズムの開発を行い、地上観測データを用いて高精度化を目指す。

3. 研究の方法

(1) 使用したひまわり8号・9号AHIデータおよび地上観測データ

本研究では、千葉大学・環境リモートセンシング研究センターでアーカイブされている『ひまわり8/9号フルディスク(FD) gridded data (緯度経度直行座標系精密幾何補正済データ)』向けの大気補正アルゴリズムの開発および高精度化を行う。一般的に、大気補正アルゴリズムにおいては、レイリー散乱・オゾン吸収については、モデルや他衛星もしくは再解析プロダクトを用いることである程度の精度は確保できる。水蒸気量などの大気ガス吸収やエアロゾルについては、大きく精度が変わる場合が考えられる。特に、エアロゾルによる効果の除去は、空間変動や時間変動などにより非常に困難であることが知られている。

高精度な大気補正済反射率は、可能な限り地表面(海表面)反射率(以下、)と合致する必要があるが、ひまわり8号・9号AHIは静止軌道であるため、衛星直下点以外では一定の衛星天頂角が生じ、観測時間ごとに太陽天頂角、相対方位角が変化する。このため、双方向反射率分布関数(BRDF)の把握が必要となる。これは、大気補正アルゴリズム構築の上で極めてインパクトがあり困難さを伴う。また、AHIの空間分解能は0.5km~2kmであるため、画素内の雲量や雲の分布状態にも影響される。一方、JAXAでは4種の時間分解能(L2ARP, L3ARP Hourly, L3ARP Daily, L3 ARP Monthly)のひまわり8号AHIエアロゾルプロダクトが5km空間分解能で提供されており、大気補正処理においても入力データとして使用できる可能性がある。ひまわり8号AHIエアロゾルプロダクトの仕様を表1に示す。画素中の雲の混在はエアロゾルプロダクトの品質に悪影響を及ぼすが、時間で平均化することにより雲による影響を最小限に抑えることができることが期待される。

表1 ひまわり8・9号エアロゾルプロダクト

Product Name	Primary Parameters	Spatial Resolution	Temporal Resolution	Approximate Latency after Observation
L2ARP	<ul style="list-style-type: none">AOT at 500 nmAngstrom Exponent	0.05 deg	10 min	40 minutes
L3ARP Hourly	<ul style="list-style-type: none">Mean L2 AOT and AE within 1 hL2 AOT and AE with strict cloud screening (AOT_Pure, AE_Pure)Spatiotemporal interpolation of AOT_Pure and AE_Pure within 1 h (AOT_Merged, AE_Merged)	0.05 deg	1 hour	1 hour
L3ARP Daily	<ul style="list-style-type: none">Mean L2 and L3 AOT and AE within 1 day	0.05 deg	1 day	1 day
L3ARP Monthly	<ul style="list-style-type: none">Mean L2 and L3 AOT and AE within 1 month	0.05 deg	1 month	1 month

Note: Aerosol estimation cannot be retrieved at cloudy pixels, AOT = Aerosol Optical Thickness, AE = Angstrom Exponent

地上観測では、産業技術総合研究所では衛星観測データの品質管理のためリード社製POM02を岐阜大学環境社会共生体研究センター高山試験地(TKY)、富士北麓フラックス観測サイト(FHK)、筑波大学アイソトープ環境動態研究センター(TGF)に設置しており自動観測を行っている。POM02によって取得されたデータは、SKYNET(<https://skynet.irie-lab.jp/>)に転送・処理され、エアロゾル光学的厚さ(AOT)、単一散乱アルベド(SSA)、オングストローム指数(AE)、複素屈折率、粒子分布がSKYNETプロダクトとして提供されている。また、これらのサイトでは"Phenological

Eyes Network (PEN)"とよばれる陸上植生の季節変動・長期変動に関する長期観測網により、様々な地上観測がなされており、全天空画像も含まれる。

(2) 大気補正アルゴリズムの構築方法

本研究では地上観測データを元に比較的補正が容易なレイリー散乱・オゾン吸収・水蒸気吸収補正済反射率(以下、 r)をベースに、エアロゾルによる影響も補正した反射率、すなわち r との差を補正する LUT を用いたアルゴリズムとする。よって、まずは地上観測データおよび他衛星センサのプロダクトを用いたひまわり 8 号・9 号 AHI エアロゾルプロダクトの精度評価を示し、さらに大気補正アルゴリズムに入力した際の影響評価などを行うことにより上記 LUT を作成することとする。すなわち、本研究ではひまわり 8 号・9 号 AHI 自身から生成されるエアロゾルプロダクトを用いた大気補正アルゴリズムの構築を目指す。

本研究では、L2ARP, L3ARP Hourly, L3ARP Daily の日別平均までを対象として、2021 年 1 年間の上記 TGF, TKY, FHK サイトで提供されている全天空写真の目視確認により、1 ヶ月間に快晴日と確認できる 1 日を選んで、L2ARP, L3ARP Hourly, L3ARP Daily プロダクトの検証を行なった。ただし、気象研で POM02 基準器との相互比較観測(校正)を行う 12 月のデータを除くため、1 サイトあたり 1 月から 11 月までの 11 点のデータとなる。また、本研究の比較するエアロゾルパラメータとしては、光学的厚さ(500nm)とオングストローム指数とした。

また、ひまわり 8 号が打ち上げられた 2014 年以降の FHK, TGF, TKY サイトにおける SKYNET データ、Terra/Aqua 衛星搭載 MODIS 大気プロダクト MOD08_D3/MYD08_D3、Aura 衛星搭載 OMI OMT03e オゾン全量プロダクトを用いて、大気補正アルゴリズムのパフォーマンスを評価した。

4. 研究成果

(1) ひまわり 8 号・9 号 AHI エアロゾルプロダクトの精度評価

図 1 に 3 ヶ所の検証サイトにおける SKYNET データとひまわり 8 号 AHI エアロゾルプロダクト L2ARP, L3ARP Hourly, and L3ARP Daily の比較結果を示す。光学的厚さ(500nm)とも最も相関が良かったのは L3ARP Daily であり、L2ARP が最も相関が悪かった。この原因として考えられるのは、エアロゾルプロダクトの空間解像度が 5km と大きいため、太陽天頂角による地表面被覆の不均一性、地表面の傾斜、樹冠などから生じる双方向反射分布関数(BRDF)や陰影が占める割合などの影響などが考えられ、特に 10 分おきに取得されている L2ARP についてはばらつきが大きくなってしまふことが考えられる。また、オングストローム指数が低い値では黄砂の影響とみられるが、地上観測 POM02 で捉えられていると思われる黄砂が L2ARP, L3ARP で現れていないと思われる。これは黄砂のようにダストが卓越すると空間的な不均一性から、地上観測値とひまわり 8 号・9 号の空間分解能との違いの影響があらわれたものと思われる。また L3ARP Daily AOT@500nm は MOD08_D3/MYD08_D3 とはよく一致する。AE はほとんど相関がなかった。MODIS AE では 1.5 未満の値がないが、これは fine-mode aerosol のみの結果を比較したため coarse-mode と合わせた評価が必要と思われる。今後は、全天空画像による雲スクリーニングにより比較データセット(検証データセット)を増やしていく。

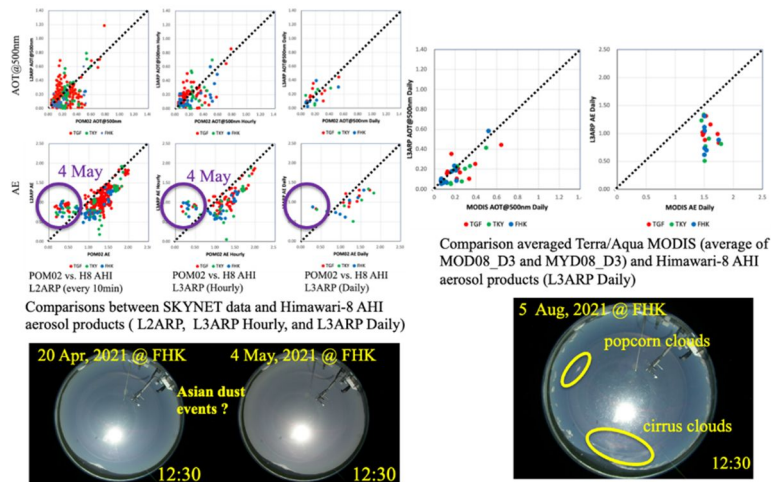


図1 SKYNETデータとひまわり8/9号エアロゾルプロダクト(L2ARP, L3ARP Hourly, and L3ARP Daily)との比較

(2) 大気補正アルゴリズムにおけるエアロゾルの影響量評価

各サイトにおける 2014 年～2023 年における Aura 衛星搭載 OMI センサプロダクト OMT03e の各サイトのオゾン全量、Terra/Aqua MODIS 大気プロダクト MOD08_D3/MYD08_D3 の水蒸気量(地上観測値との検証済)、実測値である SKYNET のエアロゾル光学的厚さ(AOT@500nm)およびオングストローム指数(AE)の取り得る値を推定し、放射伝達コード 6sV2.1 に r を入力し夏至と冬至における水蒸気、オゾン、エアロゾルの違いによる大気上端反射率を算出し、さらにエアロゾル有り無しでの大気補正を施して r と r の違いから影響量の評価を行なった(図 2)。入力する r は、BRDF の影響などを考慮して、実測のものではなく、既存のスペクトルライブ

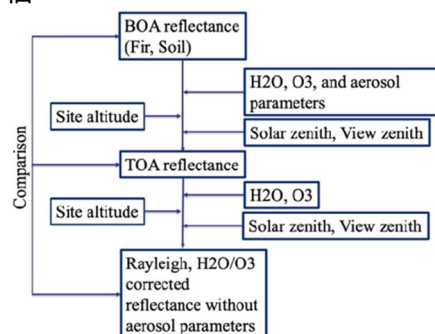


図2 フローチャート

ラリのものを使った。夏至においては森林植生のスペクトル(Fir_Tree IH91-2 (USGS Digital Spectral Library splib05a))、冬至においては土壌のスペクトル(Brown fine sandy loam (ECOSTRESS Spectral Library Version 1.0))を用いて評価した。6sV2.1に含まれる太陽照度モデルは Neckel and Labs(1984)から Kurucz2005 に変更した。また SKYNET で公開されている AOT@500nm はオングストローム指数を用いて AOT@550nm に変換して入力した。エアロゾル粒径分布はユング分布を仮定し、複素屈折率は、シミュレーションの簡素化のため、SKYNET の各サイトのデータから複素屈折率実部を 1.47、虚部を-0.008 の固定値として計算した。衛星天頂角、太陽天頂角、相対方位角は各サイトの夏至・冬至における値を計算した。本報告では TKY での結果のみを図3に示す。

まず、オゾン吸収、水蒸気分子による吸収についてはひまわり8号・9号 AHI のバンド応答関数からも明らかなように、影響は極めて小さいと思われる。エアロゾルについては AOT@550nm が大きくなると影響が大きくなることは当然ではあるが、AE 値が小さいと特に近赤外域で大きな誤差が出る可能性があり、AE 値が大きいと可視域で少しではあるが影響が出る事が明らかとなった。ただし、エアロゾル粒径分布と複素屈折率(実数部と虚数部)を固定しているが、異なったエアロゾルタイプであると AE 値による影響が異なる可能性があることも分かった。

以上の結果から、ひまわり8号・9号 AHI の大気補正アルゴリズムとして、衛星天頂角、太陽天頂角から比較的算出が容易な r を生成し、エアロゾルパラメータ(AOT@500nm, AE)の変動による影響量のみを補正する LUT を用いて を算出する大気補正アルゴリズムを構築した。今後はエアロゾル粒径分布と複素屈折率(実数部と虚数部)の違いによる影響量、および生成される地表面反射率プロダクトの検証について進めていく予定である。

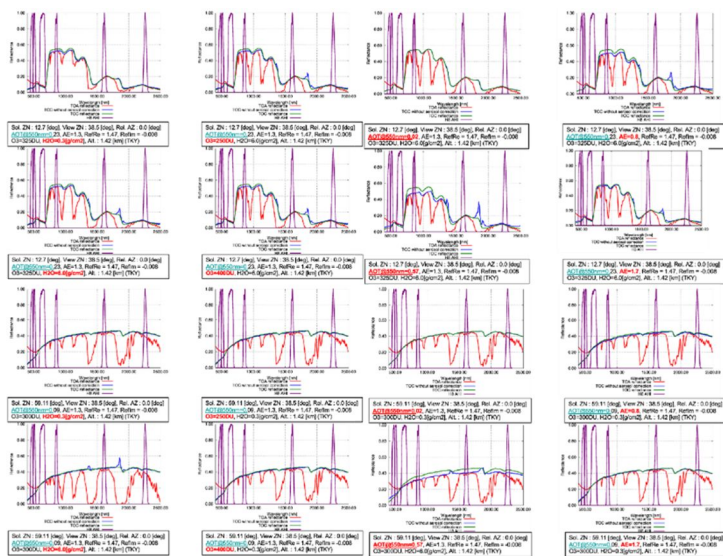


図3 エアロゾル補正あり反射率(地表面反射率)、エアロゾル補正なし反射率、大気上端反射率

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Hirokazu YAMAMOTO and Hitoshi IRIE
2. 発表標題 Performance study of generic atmospheric correction for Himawari-8 AHI reflective solar bands data using satellite-based aerosol products and ground-based sunphotometer data.
3. 学会等名 JpGU Meeting
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hirokazu YAMAMOTO and Hitoshi IRIE
2. 発表標題 Validation of Himawari-8 AHI Level-2 And Level-3 Aerosol Products with MODIS And Ground-Based Data Under Clear-Sky Conditions.
3. 学会等名 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hirokazu YAMAMOTO and Hitoshi IRIE
2. 発表標題 Evaluation of atmospheric correction algorithm using HIMAWARI-8/9 AHI aerosol products for VNIR-SWIR spectral imageries over land.
3. 学会等名 AGU Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Hirokazu Yamamoto and Hitoshi Irie
2. 発表標題 Evaluation of Himawari-8 AHI Aerosol Products with Ground-Based SKYNET Measurements
3. 学会等名 International Symposium on Remote Sensing 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hirokazu Yamamoto and Hitoshi Irie
2. 発表標題 EVALUATION OF THE AEROSOL EFFECT ON THE SURFACE REFLECTANCE RETRIEVAL USING HIMAWARI-8 AHI IMAGES OVER LAND
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 市井和仁, 山本雄平, 楊 偉, 樋口篤志, 吉岡博貴, 松岡真如, 小畑建太, 山本浩万
2. 発表標題 静止気象衛星観測網を用いた超高頻度陸面モニタリングに向けて
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 山本 浩万, 入江 仁士
2. 発表標題 陸域大気補正のためのSKYNETデータを用いたHimawari-8 AHIエアロゾルプロダクト検証
3. 学会等名 日本リモートセンシング学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Hirokazu Yamamoto and Hitoshi Irie
2. 発表標題 EVALUATION OF HIMAWARI-8 AHI AEROSOL PRODUCTS WITH GROUND-BASED SKYNET MEASUREMENTS
3. 学会等名 International Symposium on Remote Sensing 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022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
---------	---------