

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 16 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25287117

研究課題名(和文) 衛星搭載イメージャを用いた巻雲の物理・光学特性の実態解明

研究課題名(英文) Study on physical and optical properties of cirrus cloud using satellite-based imager

研究代表者

岩渕 弘信 (Iwabuchi, Hironobu)

東北大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：80358754

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：地球の放射収支に重要な上層雲の変動実態を全球規模で把握するため、衛星データから上層雲の特性を推定する手法を開発し、雲量と光学特性、微物理特性の変動を解析した。熱帯域では光学的に厚い上層雲の分布は対流活動が活発な地域とよく対応していた。巻雲の分布域は対流雲の分布域よりも高緯度側に広がっており、対流活動の活発な地域の季節変動に対応して、巻雲も変動していた。上層雲の雲量と雲頂高度の経年変動は特にエルニーニョ南方振動と密接に結びついていることがわかった。また、静止気象測衛星ひまわり8号のデータを用いた雲解析アルゴリズムを開発し、雲の時間的な変化を詳細に捉えられるようになった。

研究成果の概要(英文)：In order to capture the spatial and temporal variations of the upper clouds, which play important roles in determining the radiation balance of the earth, we have developed methods to retrieve the upper cloud properties from the satellite data. Variations of cloud amount and optical and microphysical properties were investigated. In the tropics, distribution of the optically thick upper cloud is well associated with areas of high convective activity. The distribution of the cirrus cloud spreads to the higher latitudes than that of the convective cloud, and the cirrus cloud distribution also fluctuated corresponding to the seasonal cycle of the convective activity. The interannual variation of the upper cloud is closely related to the ENSO. In addition, we developed a cloud analysis algorithm using the Himawari-8 data, and it became possible to capture the temporal variation of clouds with frequent observation of the Himawari-8.

研究分野：大気科学

キーワード：気候 巻雲 衛星観測

1. 研究開始当初の背景

(1) 巻雲は地球表面の約 30%を覆っており、地球の放射収支を決める上で重要な役割を果たしている。巻雲の微物理特性、特に粒子サイズは放射収支にとって重要であり、その全球規模の変動実態は十分に把握されていない。全球規模の観測には衛星観測データの利用が不可欠であるが、光学的に薄い巻雲を昼夜を問わず解析するために、赤外観測を用いる手法の適用が望まれる。赤外観測の衛星データを解析して上層雲の長期変動実態を明らかにすることで、巻雲の生成・維持・消滅の機構と気候影響の理解および気候予測モデルにおける雲の表現の改良に役立つと期待される。

(2) また、本研究の開始当初は、日本の静止地球環境観測衛星ひまわり 8 号は 2015 年 7 月から運用開始予定であったため、ひまわり 8 号のデータを用いた雲解析アルゴリズムの開発も優先課題であった。ひまわり 8 号の多バンド観測により、従来よりも高精度の雲特性推定が期待されていた。

2. 研究の目的

(1) 本研究では、人工衛星に搭載された多チャンネルイメージャによる観測データを用いて、雲の特性を抽出する高精度なアルゴリズムを開発し、地球観測衛星や静止気象衛星の観測データの解析に適用して上層雲の物理・光学特性の分布、日変化、季節変動、年々変動の実態を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 雲の衛星観測手法は様々あるが、赤外を用いる手法は特に巻雲の観測に適しているため、まずは赤外 3 バンドを用いる手法を用いて Aqua 衛星搭載可視-赤外イメージャ MODIS のデータ解析を行った。上層雲の物理・光学特性の地理分布、季節変動、年々変動を解析した。

(2) また、ひまわり 8 号により得られる赤外の 8~10 個の多チャンネルのデータおよびモデル再解析データ等を用いて、雲の特性を抽出するより高度なアルゴリズムの開発を行った。地上観測や他の衛星観測結果と比較し、アルゴリズムを検証した。

4. 研究成果

(1) 赤外 3 バンド解析アルゴリズムの改良：MODIS の 3 つの赤外窓領域バンドを用いた巻雲の解析アルゴリズムの改良を行い、雲特性の推定品質を診断できるようにした。精度向上のため、海面温度の日変化の影響を考慮して MODIS の 8 日平均値を昼と夜別々に用いることにした。気温と湿度のプロファイルについては大気再解析データから時間と空間について内挿することにした。太陽反射光を用

いる他の手法と比べると、光学的に薄い雲の画素をより多く解析できており、巻雲の解析に適している事が確認された。検証のため、九州大学の能動型センサーを用いて求められた微物理特性との比較や東北大学にて運用中のライダーによる雲頂高度との比較を行い、統合的な結果を得た。

(2) 赤外 3 バンド解析アルゴリズムによる巻雲の解析：上記 (1) で開発したアルゴリズムを用いて、2007 年 1 年間の MODIS のデータを解析し、巻雲特性の地理的分布と季節変動を明らかにした。その結果、巻雲は特に熱帯域で多く出現し、中緯度でも出現頻度が高かった。熱帯域では対流活動の活発な地域で頻度が高く、特に光学的に厚い上層雲は深い対流雲と考えられ、降水量の多い場所とよく対応していた。対流活動の活発な熱帯収束帯の季節変動に対応して、巻雲の分布も変動していた (図 1)。ただし、対流雲の分布域よりも巻雲の分布域はより高緯度側に広がっていた。雲粒有効半径の全球平均値は約 30 μm であり、衛星観測による過去の研究ともほぼ一致していた。

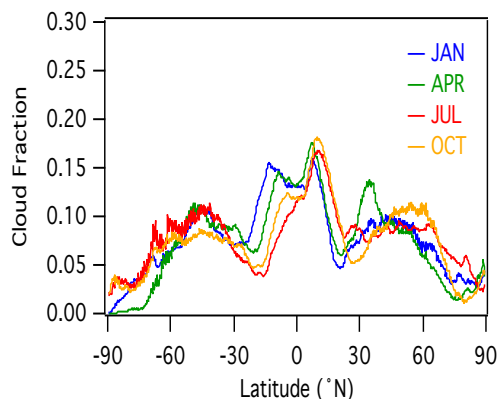


図 1. 巻雲雲量の緯度分布の季節変化：1 月 (JAN), 4 月 (APR), 7 月 (JUL), 10 月 (OCT)

(3) 上層雲の長期変動解析：MODIS のデータ解析システムを用いて、2003 年から 2014 年の Aqua 衛星搭載 MODIS データの解析を行い、巻雲特性と放射収支の経年変動を明らかにした。上層雲の雲量と雲頂高度の変動は熱帯域の対流活動やエルニーニョ南方振動 (ENSO) と密接に結びついており、12 年間のトレンドもエルニーニョ南方振動のトレンドに強く支配されていることが示された。雲タイプによって ENSO との関係性に違いが見られた。光学的に厚い雲の雲量は熱帯収束帯で ENSO と高い相関を示し、巻雲は対流雲の周辺に広がっているため、熱帯収束帯よりも高緯度側へ広がった領域で ENSO と高い相関が得られた。光学的に厚い雲の雲頂高度は、西部から中部の太平洋域で ENSO と高い相関が見られ、巻雲はさらに西部太平洋域周辺で ENSO と高い相関が見られた。ENSO に対応した雲頂温度の変化と共に氷晶有効半径も変動していた。解析した 12 年間は徐々にラニ

ーニャに向かう傾向があったため、熱帯の雲量と雲頂高度にもトレンドが見られた。ENSOの指標の1つである Oceanic Nino Indixe (ONI) と負(正)の相関が得られた領域では上層雲は増加(減少)傾向であった。放射観測の衛星データも解析した結果、熱帯域の放射収支も上述の雲の変動と対応して変動していた。

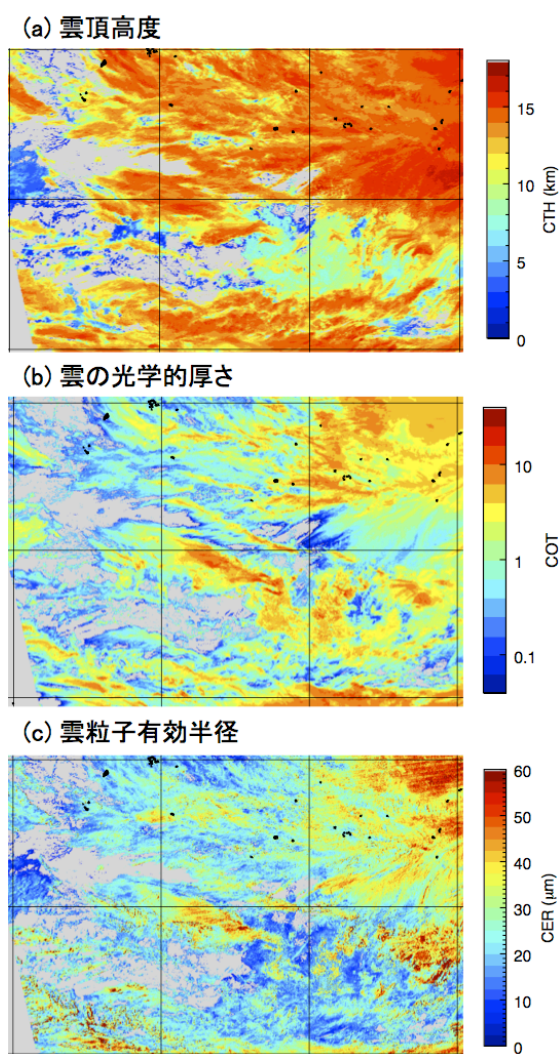


図 2. 雲解析システムによる熱帯の雲系の解析例

(4) ひまわり 8 号用のアルゴリズム開発：静止気象衛星ひまわり 8 号搭載 AHI のデータを用いて雲の解析研究を行うため、上述の(1)のアルゴリズムを拡張し、赤外域の 8~10 個のバンドを用いて、雲特性を推定する統合型雲解析システム (Integrated Cloud Analysis System; ICAS) を新たに開発した。使用するチャンネルを増やすために、赤外波長帯の観測値を高速かつ高精度に再現するフォワードモデルを開発した。このモデルにより多層雲や水雲などより広範な雲の状態を表現できるようになった。上雲の物理・光学特性や温度や厚さ、背景大気の成層構造や地表面状態等の各種の要因に起因する感度

とモデル化誤差を詳細に評価することで、高精度の推定ができるようにし、2層の雲が重なっている場合の検知と特性の推定、水雲と氷雲が識別可能となった。

始めに MODIS に適用し、MODIS 標準プロダクトとの比較により検証を行った(図 2)。標準プロダクトと比較して、ICAS を用いると光学的薄い雲の雲頂高度や光学特性をより正確に推定可能であることが示された。また、ひまわり 8 号の高頻度観測から特定の雲の時間変化を捉えるために、パターンパッチングに基づく雲追跡手法を開発した。雲頂高度によって雲の動きが異なるため、雲頂高度によって異なる高度帯に分けて、それぞれの雲集団を個別に追跡するようにした。熱帯海上の大規模なメソ対流系の解析を行い、発生から消滅まで雲群を追跡し、雲高度や光学的厚さ、微物理特性などが変化している様子が捉えられた。これらの手法は今後ひまわり 8 号の高頻度観測データを用いた、雲ライフサイクルや日変化の研究に役立つと期待される。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 5 件)

- ① Saito, M., H. Iwabuchi, P. Yang, G. Tang, M. D. King and M. Sekiguchi, Ice particle morphology and microphysical properties of cirrus clouds inferred from combined CALIOP--IIR measurements, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 査読有, 122, 2017, DOI: 10.1002/2016JD026080
- ② Iwabuchi, H., M. Saito, Y. Tokoro, N. S. Putri, M. Sekiguchi.: Retrieval of radiative and microphysical properties of cloud from multispectral infrared measurements. *Progress in Earth and Planetary Science*. 査読有, 3:32, 2016. DOI 10.1186/s40645-016-0108-3
- ③ Yamada, K., T. Hayasaka, and H. Iwabuchi: Variation in Radiative Contribution by Clouds to Downward Longwave Flux. *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 査読有, 92A, 2014, 125-140. DOI:10.2151/jmsj.2014-A08.
- ④ Bi, L., P. Yang, C Liu, B Yi, B. A. Baum, B. van Diedenhoven, and H. Iwabuchi, 2014: Assessment of the accuracy of the conventional ray-tracing technique: Implications in remote sensing and radiative transfer involving ice clouds. *J. Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer*, 査読有, 146, 2014, 158-174, doi:10.1016/j.jqsrt.2014.03.017
- ⑤ Iwabuchi, H., S. Yamada, S. Katagiri, P. Yang, H. Okamoto: Radiative and microphysical properties of cirrus

cloud inferred from the infrared measurements made by the Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Part I: Retrieval method. J. Appl. Meteorol. Climatol., 査読有, 53, 2014, 1297-1316, doi: 10.1175/JAMC-D-13-0215.1

[学会発表] (計 15 件)

- ① 岩渕 弘信・所 悠香・齊藤 雅典・Nurfiana Sagita Putri・片桐 秀一郎, 関口 美保: ひまわり 8 号の高頻度観測データを用いた雲の解析, 日本気象学会 2016 年春期大会, 国立オリンピック記念青少年総合センター (東京都), May 18-21, 2016.
- ② 岩渕 弘信・所 悠香・齊藤 雅典・Nurfiana Sagita Putri: ひまわり 8 号の高頻度観測データを用いた氷雲のライフサイクルの解析, 日本気象学会 2016 年秋期大会, 名古屋大学東山キャンパス (愛知県名古屋市), Oct. 26-28 (26 日発表), 2016.
- ③ 岩渕 弘信・所 悠香・齊藤 雅典・Nurfiana Sagita Putri・片桐 秀一郎, 関口 美保: ひまわり 8 号のデータを用いた氷晶雲の解析, 日本気象学会 2015 年春期大会, つくば国際会議場 (茨城県つくば市), May 21-24, 2015. (口頭)
- ④ Iwabuchi, H., Y. Tokoro, M. Saito, N. S. Putri, S. Katagiri, M. Sekiguchi: Retrieval of multilayer cloud physical and optical properties from infrared measurements. The Sixth Asia/Oceania Meteorological Satellite Users' Conference (AOMSUC), 9-13 November 2015, Tokyo International Exchange Center / Plaza Heisei Meeting Facilities (東京都) (Oral)
- ⑤ Iwabuchi, H., Y. Tokoro, M. Saito, N. S. Putri, S. Katagiri, M. Sekiguchi: Multilayer cloud detection and retrieval of cloud physical and optical properties from thermal infrared measurements. AGU Fall Meeting, Moscone Center, San Francisco (USA), 14-18 Dec, 2015. (Oral)
- ⑥ Iwabuchi, H., Y. Tokoro, M. Saito, N. S. Putri, S. Katagiri, M. Sekiguchi: Ice cloud analysis using Himawari-8 data. Invited (A-AS01 Advances in Atmospheric Remote Sensing Techniques), May 27, 2015, Makuhari (Chiba), Japan Geoscience Union Meeting 2015 (日本地球惑星科学連合 2015 年大会), May 24-28, 2015, 幕張メッセ国際会議場 (千葉県幕張市), (Oral)
- ⑦ Iwabuchi, H. and S. Katagiri: Cirrus cloud properties inferred from multispectral imager and lidar measurements. AGU Fall Meeting 2014,

San Francisco (USA), 15-19 Dec, 2014.

- ⑧ Iwabuchi, H., S. Katagiri, S. Hioki: Cirrus Cloud Properties Inferred from Infrared Imager and Lidar Measurements. AS48-A018, Asia Oceania Geoscience Society 11th Annual Meeting (AOGS2014), 28 Jul-01 Aug, 2014, 札幌国際会議場(北海道札幌市).
- ⑨ Iwabuchi, H., S. Yamada, S. Katagiri: Cirrus Cloud Properties Inferred from MODIS Measurements. International Conference on Clouds and Aerosol, June 16-18, 2014, Nanjing (China) (invited).
- ⑩ 岩渕 弘信・山田 壮一郎・片桐 秀一郎: MODIS 赤外バンドから推定した氷晶雲の統計的性質. 日本気象学会 2014 年秋期大会, 福岡国際会議場(福岡県博多市), Oct. 21-23, 2014.
- ⑪ 岩渕弘信, 山田壮一郎, 早坂忠裕, 片桐秀一郎:MODIS 赤外バンドから導出した巻雲の特性の全球分布. 日本気象学会 2013 年春季大会, 2013 年 5 月 15-18 日, 国立オリンピック記念青少年総合センター(東京都).
- ⑫ Iwabuchi, H.: Radiative and microphysical properties of contrails. IFAR Alternative Fuels Workshop, Jul. 18-19, 2013, Washington, DC (USA).
- ⑬ Iwabuchi, H., Satellite remote sensing of cirrus cloud optical and microphysical properties: Climatology and validation. Fourth Joint Project Meeting on "Interannual variations of upper tropospheric humidity (UTH) and radiation budget over the North Pacific High". June 10, 2013, Tokai University, Space Information Center (TSIC)(熊本県熊本市).
- ⑭ Iwabuchi, H., S. Yamada, S. Katagiri, P. Yang, H. Okamoto: Radiative and microphysical properties of cirrus cloud inferred from the MODIS infrared split-window measurements. AGU Fall Meeting, Dec. 9-13, 2013, San Francisco (USA).
- ⑮ Iwabuchi, H. and Yamada, S., S. Katagiri: Retrieval of optical and microphysical properties of cirrus cloud from MODIS infrared window bands. The 3rd International Symposium on Atmospheric Light Scattering and Remote Sensing (ISALSaRS' 13), 2013. 7. 29-8. 2, 名古屋大学 (愛知県名古屋市).

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩渕 弘信 (IWABUCHI, Hironobu)
東北大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：80358754

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

早坂 忠裕 (HAYASAKA, Tadahiro)
東北大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号：40202262

岡本 創 (OKAMOTO, Hajime)
九州大学・応用力学研究所・教授
研究者番号：10333783

片桐 秀一郎 (KATAGIRI, Shuichiro)
東北大学・大学院理学研究科・学術研究員
研究者番号：20358724

(4) 研究協力者

なし