

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年3月31日現在

機関番号：14602

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22510012

研究課題名（和文）地球観測衛星データを用いた雲頂及び雲底高度の導出-その全球解析と検証

研究課題名（英文）Retrieval of cloud top and bottom heights with earth observing satellite - global data analysis and validation

研究代表者

久慈 誠（KUJI MAKOTO）

奈良女子大学・自然科学系・准教授

研究者番号：90260653

研究成果の概要（和文）：地球観測衛星によるリモートセンシングデータを解析し、雲頂高度と雲底高度の全球分布を導出した。さらに日本付近における解析結果を地上設置型雲レーダと比較したところ、雲頂高度はおおむね整合的である一方で、雲底高度を過小評価する傾向のある事が分かった。これは雲自身の不均質性に起因する可能性がある。また、雲底高度と地表面における下向き赤外放射量に良い相関がある事を確認した。

研究成果の概要（英文）：Satellite remote sensing data were analyzed so as to retrieve cloud top and bottom heights on a global basis. Comparing the retrieved results to the ground-based cloud radar observation around Japan, it turned out that the top height was consistent, but the bottom one was underestimated. This is attributable to the cloud inhomogeneity. It is confirmed that cloud bottom height was well correlated with the downward thermal radiation at surface.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,500,000	450,000	1,950,000

研究分野：環境情報学

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：地球温暖化

## 1. 研究開始当初の背景

地球の気候を考える上で、雲は放射エネルギー収支のみならず、水循環、エネルギー循環においても重要な役割を果たしている。しかし、その時間的・空間的な変動が大きいため、地球規模での理解が得られるまでには到っていない。一方、気象学・気候学や海洋物理学の各分野の素過程が次第に明らかになるにつれて、それらを統合する大気-海洋結合大循環モデルが多数開発されてきた。さ

らに近年、雲解像モデルや、エアロゾルあるいは大気化学のコンポーネントを取り込んだより精緻な全球モデルが実用段階に入っている。これらにより、気候システムにおいて、雲の果たす役割が定量的に明らかになりつつある。

しかしながら、これらの数値モデルのはじき出す地上気温の予測には、依然として無視し得ないばらつきが生じている。この原因の一つとして、雲の温室効果を支配している、

雲頂高度や雲底高度といった雲層の幾何学的特性量の不確かさがあげられる。

そこで、研究代表者は、酸素の吸収帯と熱赤外波長帯の両方の情報を組み合わせて、リモートセンシングデータから雲頂高度と雲底高度を同時に推定する手法の開発を行ってきた。これは既に開発してある、雲の光学的厚さ、粒径、そして雲水量についての情報を導出する手法を、拡張するものとなっている。すなわち、この推定手法は、可視域、酸素の吸収帯、近・中間赤外域、及び熱赤外域の波長帯の放射観測データから、雲層の光学的、幾何学的、及び微物理的特性量の全てを同時に推定するものである。また現在、それらすべての波長帯に感度を持つ地球観測衛星データ Advanced Earth Observing Satellite-II / Global Imager (ADEOS-II / GLI) の解析を進めており、既に初期解析結果を得ている。

ところで、雲高度をリモートセンシングデータから推定する手法は、本研究の他にも幾つか提案されている。まず、本研究と同様に酸素の吸収帯の情報を用いるものとして、SCHIAMACHY 観測データを用いたヨーロッパのグループの研究があるが、実際には一画素の解像度が数 10km と粗いため、一画素内が全て雲で覆われていると仮定することが難しく、必ずしも信頼性は高くないとされている。尚、本研究で用いる観測データの画素の大きさは約 1km であり、十分な解像度がある。一方で、近年 NASA の A-Train 衛星群の一つである CloudSat 衛星に搭載された雲レーダ Cloud Profiling Radar (CPR) を用いた研究が盛んになっている。これは衛星直下の鉛直断面構造を導出することが出来るという画期的な物であるが、その反面、直下の狭い範囲の情報しか得られないとも言える。

現実の雲は、水平方向に数 100km 程度の広がりをもつことを考えると、本研究で使用する観測データの様に、約 1600km という広範囲の観測幅を 1km の詳細な解像度で観測がなされていることは大きな利点である。さらに、本研究で使用する推定手法は可視域から熱赤外域までの、いわゆる放射収支に直結した波長帯を使用する。このことも、もう一つの大きな利点であると言える。

さらに雲頂高度と雲底高度を広範囲にわたり同時に推定することにより、雲層からの上向きと下向きの赤外放射量を、同時に評価することが出来るようになる。これによって、大気上端での放射エネルギー収支のみならず、地表面での放射エネルギー収支をより正確に見積もることが出来るようになる。このことにより、現在、現地観測、衛星観測、及び数値モデルの間で最も不整合が大きいとされる、地表面放射収支の推定精度の向上に貢献すると期待される。さらにそれらと整合

性のある副産物として、雲の光学的、幾何学的、及び微物理的特性量が、同時に導出されることになる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は地球観測衛星によるリモートセンシングデータを解析する事で、雲頂高度と雲底高度の全球分布を導出するものである。対象とする地球観測衛星データは、ADEOS-II / GLI である。この ADEOS-II 衛星は 9 ヶ月の短命に終わったが、GLI センサの観測データは健全なものであると考えられている。本研究はこれまでに科研費補助金によって遂行した先行研究で得られた雲頂および雲底高度の全球分布の初期結果を踏まえ、全 9 ヶ月間の GLI データに対して解析を行うことがその中心課題である。その解析結果の検証として、地上からのリモートセンシングデータとの比較を行う。

## 3. 研究の方法

まず、これまでに航空機観測データを用いて開発された推定手法を、過去約 9 ヶ月間観測が行われた ADEOS-II / GLI データセットに適用し、全球解析を行う。その結果を地表面におけるリモートセンシング観測データと比較し検証を行った。

ここで、雲頂・雲底高度推定アルゴリズムの概要は以下の通りである (図 1)。可視 (Visible)、近赤外 (Near Infrared)、熱赤外 (Thermal Infrared)、そして酸素の吸収帯 (Oxygen A-band) の 4 つの波長帯 (Spectral Regions) の放射輝度から、雲層の光学的厚さ ( $\tau_c$ )、有効半径 ( $r_e$ )、幾何学的厚さ ( $\Delta Z$ ) として雲頂高度 ( $Z_t$ ) の 4 つの雲特性量を直接推定する。その際、オゾン量 ( $O_3$ )、相対湿度 (RH)、気温 (TZ)・気圧 (PS) プロファイルを補助データとして使い、放射伝達シミュレーション (Theoretical Calculations) を行い、参照表 (Look-up Tables) を作成する。直接推定された 4 つの特性量から、雲層の鉛直積算雲水量 (LWP)、消散係数 ( $\sigma_{cc}$ )、雲底高度 ( $Z_b$ )、雲水濃度 (LWC)、そして雲粒数濃度 ( $N_c$ ) が、副産物 (By-Products) として導出される。

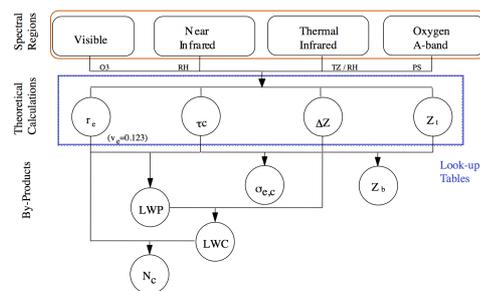


図 1 雲頂・雲底高度導出手法の模式図。

本研究に必要な人工衛星 ADEOS-II / GLI データを収集し、解析用の計算機システム (PC) に整備した。また、解析補助者として、UNIX 上でのプログラミング等の基礎を習得している本学学生を雇い上げた。

一方、現在使用している解析ツールは、補助データとなる大気プロファイルの部分の取り扱いにおいて、いくつかの簡単な大気モデルを仮定している。そこで、この部分については 2003 年 2 月から 10 月までの ADEOS-II / GLI の運用期間の気象データ (客観解析データ等) を利用するために、気象データを収集整備するとともに、そのための解析ツールが必要である。これは研究代表者が作成し、解析補助者とともに調整した。

検証データとしては、まず、地上からのリモートセンシングデータを収集整備する。これに付いても初期解析の段階で利用させて頂いた、雲レーダによる観測データを使わせて頂ける事になっている。具体的には 2003 年春季に奄美大島を基点に行われた Asian Atmospheric Particle Environmental Change Studies (APEX)-E3 集中観測時のデータである。

#### 4. 研究成果

地球観測衛星 ADEOS-II に搭載された GLI センサから推定された雲頂高度と雲底高度の全球分布を図 2 に示す。

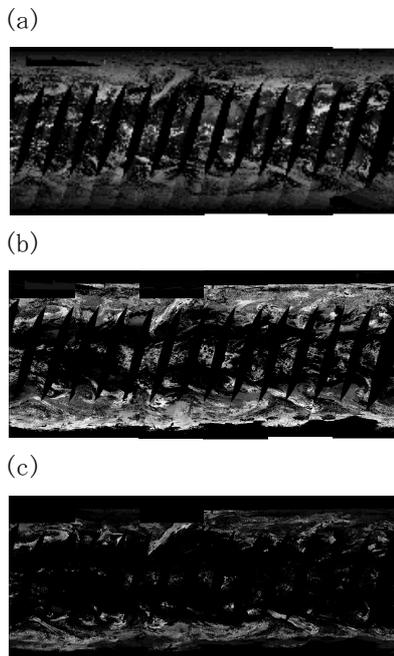


図 2 2003 年 3 月 20 日に ADEOS-II / GLI で観測されたデータから推定された雲頂高度と雲底高度の全球分布: (a) チャンネル 13 (可視; 678nm)、(b) 雲頂高度、(c) 雲底高度。

ここで図 2a は可視の波長帯での観測画像であり、等緯度経度座標にマッピングされている。上端と下端がそれぞれ北極と南極であり、赤道が中段になる。画像の中心が経度 0 度で右と左がそれぞれ東経と西経に相当する。ADEOS-II / GLI は 4 日で全球を覆うため、2003 年 3 月 20 日の一日では、赤道付近で観測が抜けている部分がある。一方、図 2b と c はそれぞれ推定された雲頂高度と雲底高度である。また、グレースケールはそれぞれのパネルの最大値と最小値で規格化されている。図 2c の画像を見ると緯度が高くなるに従って雲底高度が低くなっている事が見て取れる。

このようにして推定された雲頂高度と雲底高度の結果を検証するために、地上観測データの収集並びに解析を進めた。ここで、雲頂並びに雲底高度の検証には、地上雲レーダ観測が有効である。ADEOS-II/GLI が運用されていた 2003 年春季に鹿児島県奄美大島を起点に APEX-E3 観測キャンペーンが行われた。この集中観測では、千葉大学の研究グループによる雲レーダ (Frequency Modulated Continuous Wavelength (FMCW); 95GHz) による観測が行われていた。そこで ADEOS-II / GLI 観測期間の雲レーダ観測データを頂いた。但し、残念なことに数値データは残っておらず、画像データのみを入手することができたので、画像処理などの手法によって雲頂・雲底高度を決定した。さらに衛星観測と地上雲レーダの観測時刻にずれがあり、完全なマッチアップが取れなかったため、ある程度の時間・領域の統計値について比較を行ったところ、両者の雲頂高度はおおよそ整合的であったものの、雲底高度については衛星観測が過小評価となった。これは雲の不均質性に伴う photon path (光子の経路) の変化によるものであると考えられるため、モンテカルロシミュレーション等を用いた誤差評価が今後必要であると考えられる。

また、雲底高度と地表面における下向き赤外放射量との関係を調べたところ、両者にはおおよそ良い相関が確認された。その一例を図 3 に示す。図 3 は 2008 年 1 月 1 日の Ny-Ålesund における雲底高度と地表面下向き赤外放射量との関係である。プロットの色の違いは観測時間帯を示している; 赤が 00:00~06:00 と 09:00~22:00、青が 06:01~08:59、そして緑が 22:01~23:59 (UTC) である。橙は回帰直線であり、相関係数は  $-0.781$  となった。また、プロット数は 246 個である。この図では雲底高度はライダから推定されたものであるが、今後は衛星観測データから推定された雲底高度を用いて、地表面における下向き赤外放射量に対する影響を調べる必要がある。

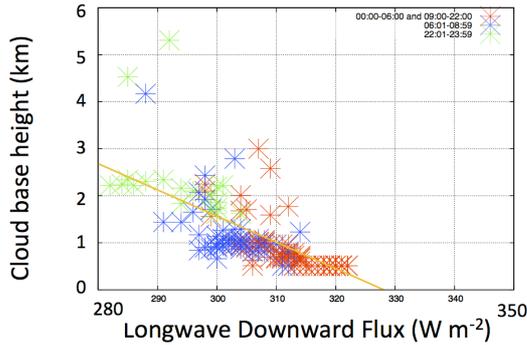


図3 雲底高度と地表面における下向き赤外放射量の関係。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

- ① Makoto Kuji, Retrieval of cloud top and bottom heights using advanced Earth observing satellite / global imager (ADEOS-II / GLI) data, AIP Conf. Proc. 1531, pp. 336-339, 査読有, doi:<http://dx.doi.org/10.1063/1.4804775>, 2013.

[学会発表] (計4件)

- ① 久慈 誠、井上 梓、受動型衛星観測データ解析による雲層高度の推定とその検証、日本気象学会秋季大会、2012年10月5日、北海道大学。
- ② Makoto Kuji, Retrieval of cloud top and bottom heights using advanced Earth observing satellite / global imager (ADEOS-II / GLI) data, International Radiation Symposium (IRS) 2012, 8 August 2012, Berlin, Germany.
- ③ Makoto Kuji, Retrieval of Cloud Geometrical Properties Using ADEOS-II/GLI Data, Progress In Electromagnetics Research Symposium (PIERS) 2012, 30 March 2012, Kuala Lumpur, Malaysia.
- ④ Makoto Kuji, Global cloud geometrical properties retrieved from ADEOS-II / GLI data, The 3rd Asia Pacific Radiation Symposium (APRS), 25-27 August 2010, Seoul, Korea.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

久慈 誠 (KUJI MAKOTO)

奈良女子大学・自然科学系・准教授