

平成 30 年 6 月 22 日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26400470

研究課題名(和文) 熱帯域雲気候データベースの構築およびそれを用いた大規模雲活動の解析

研究課題名(英文) Development of a climatic database of tropical clouds and its application to the analysis of large-scale cloud activities

研究代表者

西 憲敬 (NISHI, Noriyuki)

福岡大学・理学部・准教授

研究者番号：00222183

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：雲頂高度などの雲パラメータについて、静止衛星の赤外観測だけを使うことによって、高い時空間分解能を有するデータセットを作製することを目指した。衛星搭載のライダー-CALIPSOを教師データとするルックアップテーブルを新しく作製することができた。CALIPSOの雲頂高度をそのまま使うのではなく、雲頂からの光学的厚さが0.2程度の高度を推定するというので、赤外観測に十分な感度のない圏界面付近の希薄な雲による問題を避けながら、巻雲高度の実用的なテーブルを作ることができた。さらに、データセットの中緯度拡張性を示すことができ、熱帯圏雲についての解析もおこなった。

研究成果の概要(英文)：We developed a method for the estimation of cloud-top height using only split-window channels of infrared observations from geostationary satellites. Lookup tables (LUTs) were constructed based on regression of them with direct observations of cloud top height from the Cloud-Aerosol Lidar and Cloud Profiling Radar onboard CALIPSO. Our previous estimation scheme using cloud radar underestimated the top heights of cirriform cloud. Using CALIPSO data, we succeeded in reducing the underestimation of the height of cirriform clouds. Although CALIPSO can detect optically thin clouds around the tropopause, their top heights cannot be estimated well using split-window observations. By defining the altitude at which the optical depth from the top had a specified value  $\min (= 0.2)$  as the cloud-top height, we could create a practical LUT. We also extended our dataset to the mid-latitude and conducted the analysis of the tropical cirrus.

研究分野：熱帯気象学

キーワード：衛星計測 熱帯気象 雲

## 1. 研究開始当初の背景

熱帯域では、強い太陽入射と豊富な水蒸気によって、積乱雲を中心とする活発な雲活動が展開しており、自律的な組織化による多彩な形態がみられる。その気象・気候に対する影響は大きく、中期天気予報や将来気候予測などでも、その理解が要となると考えられている。

近年、雲レーダーやライダー搭載衛星が打ち上げられ、熱帯の雲についても高度や厚さなどに関する高精度の情報をもたらすようになった。しかし、これらの衛星は基本的に衛星直下の狭い領域のみを観測しているため、そのデータは時空間的に粗くて連続的なデータを得ることができない。また観測期間もまだ数年と短いため、統計的研究に用いるには不足である。

これまで主に静止衛星のデータを用いた雲頂高度などの雲パラメータ推定方法を研究してきた。静止衛星の観測は20年以上におよぶため、この観測を用いると長期間の雲活動を知ることができる。意外なことだが、これまで静止衛星を用いた本格的な雲頂高度データベースはほとんどなかった。よく高度別雲気候データとして用いられる International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP) データの高度推定も、簡易的方法によるために精度や適用高度に限界があり、また衛星の代替わりに対する対応も十分でない。中上部対流圏の雲を対象を限定するという明確な割り切りを導入することによって、実用的な推定精度をもつ雲頂高度データ CTOP を作製することに成功し(文献、以下 HN10)、現在京都大学生存圏データベースの一部として公開され広く利用されている (URL を報告書後半に記述)。

CTOP は研究開始時には、雲レーダー-CPR を教師データとした、静止衛星 MTSAT によるプロダクトのみだけが作製されていた。巻雲によい感度をもつ衛星搭載ライダー CALIOP を教師データに用いることによる改良、中緯度へのデータベースの拡張、過去の衛星データを活用した気候データベースの作製など、CTOP をベースにしたさまざまな発展が期待されていた。また、CTOP そのものや作製時に得られた所見にもとづく、熱帯の雲に関する研究も期待されていた。

## 2. 研究の目的

雲頂高度の情報を中心とする、雲の長期データの作成に向け、手法を確立する。静止衛星の観測チャンネルは次第に増加しており、そのようなマルチチャンネルをすべて使えば、より精度のよい推定は可能になるであろう。しかしそのような多くのチャンネルは過去の衛星には搭載されていない。ここでは、過去約20年にわたるほとんどの衛星に搭載されている赤外窓領域(10-12  $\mu\text{m}$ )内の2つの波長におけるスプリットウィンドウ観測だけを用いて雲のパラメータを推定する手法を

開発することを目指す。さまざまな拡張のうち、CALIOP を用いて巻雲の推定精度を向上させること、中緯度でも使えるようにすることを優先的な課題とすえてプロダクトを作製することをめざしていった。その中では常に長期データベースの基礎であることを意識していくことが求められていた。

## 3. 研究の方法

これまで開発してきた方法を改良しながら、静止衛星のスプリットウィンドウチャンネルだけで雲頂高度などを推定するルックアップテーブル(LUT)を改良する。その際に、上部対流圏の雲の性質についてもていねいな解析をおこなって、その性質を明らかにする。

まず、衛星搭載ライダー-CALIOP を教師データとして用いた LUT を作製する。ライダーは光学的に薄い巻雲を観測できるため、圏界面付近にあるごく薄い雲も観測にかかる。この領域は静止衛星のスプリットウィンドウ観測には適さないため、その扱いをどうするか試行錯誤する必要がある。

次に中緯度へのプロダクトの拡張を試す。温度場の高度プロファイルが時間・空間方向に大きく変化するので、それを考慮に入れて良い推定のできるテーブルを作ることをめざす。

## 4. 研究成果

### (1) ライダーを教師データとした雲データベースの作製

推定テーブルを作製するときの教師データとしては、CloudSat に搭載されている雲レーダー-CPR のデータと、CALIPSO に搭載されているライダー-CALIOP のデータの両方が考えられるが、それらの使用には一長一短がある。HN10 以来、われわれが雲レーダーデータを使っていた積極的な理由は、雲頂の定義が容易であるという点がある。熱帯の雲の雲頂を決めるというのはかなり難しいことである。積乱雲などからの直接のアウトフローは凝結物を多く含んでいる。雲レーダーはこのような雲にしか感度がないので、その上限高度を決めることは比較的容易である。しかし、鉛直方向に温度が最低となる圏界面(16-18km)付近では、対流圏で大きな鉛直スケールをもつ雲の生成過程とは別の成因で作られた雲や、その付近の湿った空気が対流活動にともなう重力波の上昇流に持ち上げられて生成する雲など、積雲活動の結果とはいえ積乱雲からの直接のアウトフロー起源ではない雲がかなりの頻度で認められる。これらのアウトフロー起源でない雲はおおむね光学的厚さが薄い。ライダーではこのような雲もすべてとらえてしまう。さらに、圏界面付近では温度分布が高度方向に一価でないため、残念ながら温度が鉛直方向に単調に下がることを利用して温度分布を高度分布に読み替える赤外による推定手法では、

これらの薄い雲の雲頂を精度良く推定することは難しい。しかし、ライダーのデータを

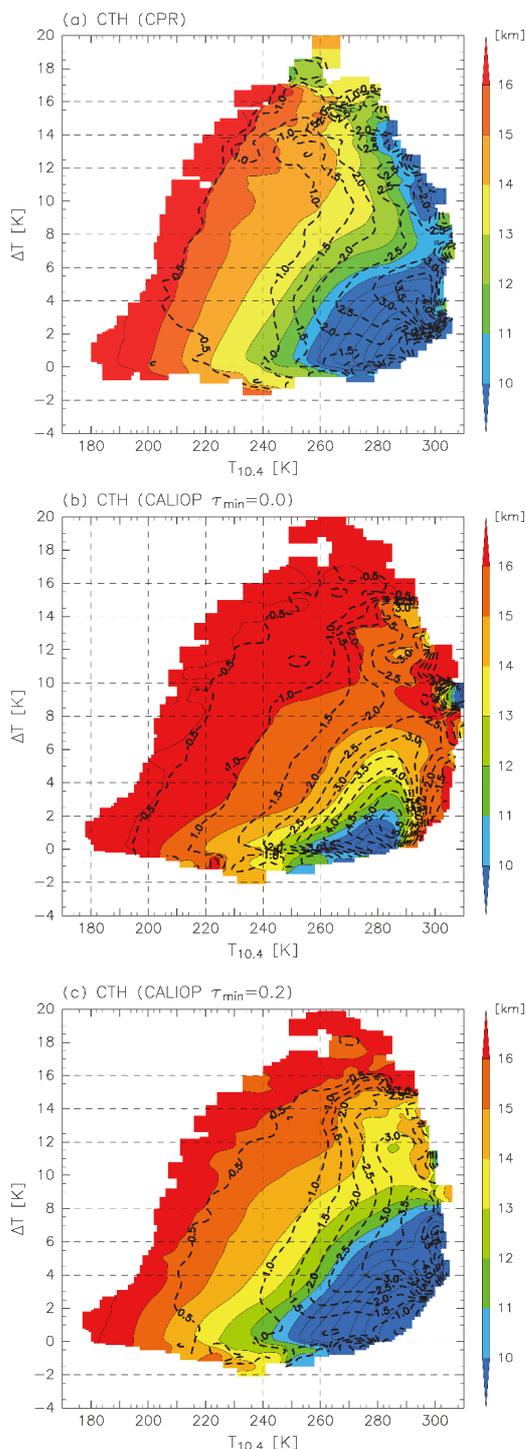


図 1 雲頂推定高度(CTH(km): 濃淡および細実線)とサンプルのCTHに関する標準偏差(km, 破線). CPRとCALIOPのすべての使用可能なサンプルでHimawari-8の $T_{10.4}$ と $\Delta T$ を回帰した結果である. 等値線間隔は推定高度について1.0 kmで、標準偏差について0.5 kmである。(a) CPRの結果, (b) CALIOPの結果( $\tau_{min} = 0.0$ ), (c) CALIOPの結果( $\tau_{min} = 0.2$ ).

使っても、対象をある程度以上の光学的厚さのある雲だけに限ると、実用的な推定テーブルを作ることができることがわかった。

LUTの作製に使用したデータ期間は、静止衛星MTSAT-1R, 2, Himawari-8のそれぞれについて、2007年1月~2009年12月、2010年7月~2015年6月、2015年7月~2016年6月である。スプリットウィンドウ法は大気窓領域にあたる波長帯から2つのチャンネルを用いる。Himawari-8は窓領域に3つの観測波長をもっていて、Band13, 14, 15がそれぞれ10.4, 11.2, 12.3  $\mu\text{m}$ に対応している。これまでのスプリットウィンドウ観測との対応がよいのがBand13と15であり、また波長間隔の大きい組み合わせのほうが手法上好ましいので、これらのうちBand13と15を用いることとした。以下、Himawari-8についての結果を示し、これらのBandでの等価黒体温度を短い方を $T_{10.4}$ 、 $T_{12.4}$ と呼び、これらの差を $\Delta T = T_{10.4} - T_{12.4}$ で表すことにする。

CALIPSOのライダーCALIOPを教師データとして用いた雲頂推定を試み、それを前節で述べたCloudSatのCPRを教師データとする方法による結果と比較しながら評価していく。まずCALIOPで検出されるすべての雲を用いたLUTを示す(図1b)。消散係数の値にかかわらず雲ありだと判断された一番高い高度と、Himawari-8データの赤外スプリットウィンドウデータを用いて回帰を行ってテーブルを作成した。CPRを用いたLUT(図1a)と比べると、 $T_{11}$ が大きい領域(図の右側)でかなり高い高度が推定されている。たとえば、 $\Delta T = 8 \text{ K}$ だとテーブル上ほとんどの領域で15 km以上の推定値となっている。このような事情があるため、CALIOP雲頂をそのまま用いることは、多くの目的に対しては適切でないとみられる。そこで、LUT作製時にCALIOPで検出されるすべての雲頂ではなく、雲頂からの光学的厚さがある閾値( $\tau_{min}$ )となる高度を雲頂とみなしたことにして、その雲頂高度の推定を行った(図1c)。図1cは、CPRを用いた図1aとよく似た分布を示しており、CALIPSOの光学的厚さ0.2という基準で作ったLUTの実用性を示している。さらに、図の上半分での高度の過小見積もりがCPRを用いたものよりも軽減されており、懸案となっていた巻雲については、よりよい精度が実現したと言える。

## (2) 中緯度へのデータベースの拡張

中緯度へのデータベースの拡張も試みた。中緯度では高度によって気温が一定だという熱帯での前提が使えないため、雲頂高度に替えて雲頂温度の推定を行い、客観解析の温度鉛直分布を併用して雲頂高度へと焼き直した。このデータを西日本周辺における梅雨期の降水システムの研究に適用して、西日本付近の特徴的な雲頂高度分布を見いだすことができた。このデータと、マイクロ波による降水量のデータを組み合わせることによって、中緯度の海上における雲降水システムの研究が進むと期待される。

## (3) 熱帯域における地点観測データとの比較

2015年11~12月にインドネシア・スマトラ島で実施した観測中の雲について解析をおこなった。この時期に雲データベースCTOPには、観測地付近に高度15~16 kmを雲頂とする雲が頻繁にみられる。ラジオゾンデ観測からは、この雲頂高度のすぐ上にある温度逆転層を検出でき、雲より上層にある温度擾乱により雲頂が規定されることが分かった。CTOPの雲頂高度は、高度分解能の優れたラジオゾンデとよい対応をしていることが確認できた。地上からの観測とは異なり、雲頂より下層の気象状況に左右されず、海上・陸域いずれについて解析可能なのが、CTOPの最大の利点である。今後、時間・空間ともに連続的なCTOPの蓄積により、雲より上層にある大気と雲頂の関係に関する研究の発展が見込まれる。

<引用文献>

Hamada, A., and N. Nishi, 2010: Development of a cloud-top height estimation method by geostationary satellite split-window measurements trained with CloudSat data. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 49, 2035-2049

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1 件)

Nishi, N., A. Hamada, and H. Hirose, 2017: Improvement of cirrus cloud-top height estimation using geostationary satellite split-window measurements trained with CALIPSO data. *SOLA*, 13, 240-245, doi:10.2151/sola.2017-044.

[学会発表](計 16 件)

西憲敬, 濱田 篤, 広瀬民志, 2017: CALIOP および静止衛星赤外データを用いた巻雲の解析, 日本気象学会 2017 年秋季大会, 札幌, 112, 2017/11/2.

西憲敬, 秦弘典, 濱田 篤, 三浦祐亮, 佐藤正樹, 2017: 熱帯 ITCZ 領域にみられる帯状雲域の変形過程, 日本気象学会春季大会, 東京, 111, 2017/5/25.

鈴木順子, 山本衛, 橋口浩之, 阿保 真, Hubert Luce, Shafrijon, 2017: 2015 年 12 月に実施した赤道大気観測所における大気観測, 生存圏ミッションシンポジウム, 京都, 2017/2/23.

Nishi, N., A. Hamada, H. Hirose, S. Hotta, and J. Suzuki, 2016: Analysis of Clouds and Precipitation during Baiu Period over the East China Sea with a Cloud Database CTOP and Precipitation Database GSMaP, American Geophysical Union (AGU) Fall meeting (San Francisco, USA, 12 Dec 2016).

西憲敬, 濱田 篤, 広瀬民志, 堀田祥, 鈴木順子, 2016: 雲データベース CTOP および GSMaP データを用いた梅雨期東シナ海における雲と降水の解析, 日本気象学会

2016 年秋季大会, 名古屋, 2016/10/26.

鈴木順子, 荻野慎也, 城岡竜一, 米山邦夫, 橋口浩之, 阿保真, 柴田泰邦, 2016: Pre-YMC 期間中にコトタバで観測された波動にともなう水蒸気・オゾン変動, 日本気象学会 2016 年度秋季大会, 名古屋, 2016/10/26.

鈴木順子, 荻野慎也, 城岡竜一, 橋口浩之, 阿保真, 柴田泰邦, 2016: 2015 年 12 月にコトタバで観測された波動にともなう水蒸気・雲変動, 第 10 回 MU レーダー・赤道大気レーダーシンポジウム, 京都, 2016/9/8.

西憲敬, 濱田 篤, 広瀬民志, 向川均, 2016: Climatological Cloud Database Estimated by Geostationary Satellite Split-Window Measurements. 日本地球惑星科学連合大会, 千葉幕張, 2016/5/23.

鈴木順子, 荻野慎也, 城岡竜一, 米山邦夫, 橋口浩之, 山本衛, 2016: Pre-YMC 期間中に Kototabang で観測された熱帯対流圏界層の脱水過程, ブルーアース 2016, 横浜, 2016/3/9.

西憲敬・濱田 篤・広瀬民志・向川均, 2016: 静止衛星赤外観測を用いた雲データベースの中緯度への拡張, 大気圏シンポジウム, 29. 神奈川県相模原市, 2016/3/7

西憲敬, 濱田 篤, 広瀬民志, 向川均 2015: 静止衛星データを用いた長期雲データベースの作製(2), 日本気象学会 2015 年秋季大会, 京都, 2015/10/30

西憲敬, 濱田 篤, 広瀬民志, 2015: Cloud-top Height Estimation Method by Geostationary Satellite Split-Window Measurements Trained with CALIPSO and CloudSat data, 日本地球惑星科学連合大会, 千葉幕張, 2015/5/27

Nishi, N., A. Hamada, and H. Hirose, 2015: Cloud-top height estimation method by geostationary satellite split-window measurements trained with CALIPSO and CloudSat data. European Geosciences Union (EGU) General Assembly (Vienna, Austria, 14 April 2015).

西憲敬・濱田 篤・広瀬民志, 2014: 静止衛星赤外データによる雲頂高度気候セットの作製, 大気圏シンポジウム, 28. 神奈川県相模原市, 2014/12/8

西憲敬, 濱田 篤, 広瀬民志, 2014: 静止衛星データを用いた長期雲データベースの作製(序報), 日本気象学会 2014 年秋季大会, 福岡, 106, 2014/10/21

Nishi, N., A. Hamada, and H. Hirose, 2014: Cloud-top database with only geostationary satellites (CTOP) and its application to the tropical cloud disturbances. 11th Annual General Meeting, Asia Oceania Geosciences

Society (AOGS 2014), (Sapporo, 31 July 2014)

〔その他〕ホームページ等:

<http://database.rish.kyoto-u.ac.jp/arch/ctop/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

西 憲敬 (NISHI, Noriyuki)

福岡大学・理学部・准教授

研究者番号: 0 0 2 2 2 1 8 3

### (2) 研究分担者

鈴木 順子 (SUZUKI, Junko)

国立研究開発法人海洋研究開発機構・大気  
海洋相互作用研究分野・技術研究員

研究者番号: 5 0 5 1 2 8 7 8

### (3) 連携研究者

濱田 篤 (HAMADA, Atsushi)

東京大学・大気海洋研究所・特任助教

研究者番号: 3 0 5 5 0 0 0 8