

平成 30 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2016～2017

課題番号：16H06720

研究課題名(和文) 静止気象衛星高頻度観測を利用した熱帯・亜熱帯域における積雲鉛直流の推定

研究課題名(英文) Estimation of cumulus cloud-top vertical velocity using geostationary satellite rapid-scan measurements in the tropics and subtropics

研究代表者

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：30550008

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,600,000円

研究成果の概要(和文)：最新の静止気象衛星ひまわり8号による観測データを用いて、積雲・積乱雲にともなう上昇流(積雲鉛直流)を推定する手法を開発した。さらに、開発した手法を2年間の観測データに適用して統計的解析を行った。

南緯15度～北緯15度の熱帯域では、積雲の検出数は北半球夏季で多く冬季で少なかった。海上の終端雲頂高度分布は、広く認識されている所謂trimodalな構造と整合的であった。高度別の積雲鉛直流分布は季節によらずロバストであることが示唆された。海上、陸上ともに、鉛直流は気温零度高度付近(高度約5km)でわずかに増加する傾向を示し、熱帯域の積乱雲の発達において雲粒の凍結による潜熱放出の重要性が示唆された。

研究成果の概要(英文)：An algorithm to estimate cloud-top vertical velocity associated with cumulus clouds by using so-called "rapid-scan" measurements from a Japanese geostationary satellite, Himawari-8, is developed. The algorithm is applied to 2-yr observation data, and statistical characteristics of the obtained cloud-top vertical velocity are examined.

In the tropics (15S-15N), the numbers of cumulus samples are higher/lower in the boreal summer/winter. The distribution of terminal cloud-top heights over the oceans is consistent with the so-called "trimodal characteristics" pointed out in the previous studies. The statistical distribution of the cloud-top vertical velocity is generally independent of the season. Over both land and the oceans, the cloud-top vertical velocities are slightly increased around the freezing level (~5km), probably indicating an importance of latent heat release by freezing of cloud droplets in the development of cumulus clouds in the tropics.

研究分野：衛星気象学

キーワード：鉛直流 積雲 積乱雲 静止衛星

1. 研究開始当初の背景

積雲・積乱雲に伴う上昇流（積雲鉛直流）は、雲の活動度そのものであり、また降水に直結する物理量であることから、雲・降水過程を理解する上で基本的かつ重要な物理量である。それにもかかわらず、積雲鉛直流の観測データは不足しており、雲・降水過程に関する科学的理解および数値モデル検証は十分に進んでいない。その主因は積雲鉛直流を広域で直接観測することが非常に難しく、既往の観測データが時空間的に極めて限られていることにある。

積雲の発達過程を連続的に、かつ全球的に捉えるには、人工衛星、特に静止衛星による観測が最も有効である。静止衛星の最大の特長は、広域において任意の地点を、比較的高い時間分解能で昼夜を問わず継続的に観測できることである。この特長を活かして、数多くの先行研究が雲・降水システムのライフサイクルの記述を試みてきた。しかし、ごく最近までは、静止衛星の定常観測の時間間隔は30分～1時間程度であり、発生から最大発達状態に至るまでの時間がたかだか数十分程度である積乱雲の発達過程を正しく捉えることは出来なかった。

近年、各国が運用する静止気象衛星の能力が大きく向上し、フルディスクの観測時間間隔は15-30分程度まで短くなっている。さらに、日本の気象庁が現業運用している「ひまわり8号」は、世界初の、全球10分間隔、日本域2.5分間隔という、画期的な観測性能向上を果たした。近年、この高頻度観測、いわゆる“ラピッドスキャン”を用いた研究も行われはじめたが、それらの大半は積雲急発達域の監視・検出など実利用目的であるか、顕著現象の事例解析的なものである。

静止衛星は基本的に雲頂付近しか観測できないが、雲頂高度の変化から積雲鉛直流を推定することができる。数分～10分間隔という高頻度連続観測があれば、変化の激しい積乱雲の発達過程を定量的に記述できる可能性がある。

2. 研究の目的

最新の静止気象衛星ひまわり8号によるラピッドスキャン観測データを用いて、積雲鉛直流を推定する手法を確立して統計的解析を行い、熱帯・亜熱帯の広域にわたる積雲鉛直流の高度分布を定量的に記述することを達成目標とする。

3. 研究の方法

代表者らが開発済みであった、静止気象衛星ひまわり6号による高頻度連続観測（ラピッドスキャン）データを用いて雲頂高度の時間変化率から積雲鉛直流を推定するアルゴリズムを、ひまわり8号による現業観測に適用できるように改良する。改良したプログラム群を、2016年1月～2017年12月までの2年間の全球観測データに適用して統計的解

析を行い、熱帯・亜熱帯の広域にわたる積雲鉛直流の高度分布を定量的に記述する。特に、これまでその重要性に比して定常的な広域観測が得られなかった、赤道西太平洋暖水域における積雲を統計的に解析し、その発達過程の定量的な記述を目指す。

ひまわり8号観測データは、千葉大学環境リモートセンシングセンターが提供する、空間分解能0.04度の緯度経度格子点データを利用した。本研究では特に、バンド13（10.4マイクロメートル帯）およびバンド15（12.4マイクロメートル帯）のフルディスクデータを用いた。

4. 研究成果

(1) データ解析プログラム群の改良

ひまわり6号の特別観測データを対象として開発済みであった積雲トラッキングプログラム群を、ひまわり8号現業観測データに適用できるように改良した。ひまわり6号とひまわり8号は観測時間間隔および空間分解能が異なり、ひまわり6号は衛星直下で約4km、昼間のみ5分ごとの観測であるのに対し、ひまわり8号は衛星直下で約2km、昼夜通した10分ごとの観測である。この違いに対処するため、プログラム群のデータ入出力部に変更を加え、発達する積雲の雲頂部分を時間的に追跡するアルゴリズムの改良を行った。積雲は水平風の鉛直シアが強い場合など、鉛直直上ではなく斜め上方に発達することが多い。これまでは観測輝度温度の極小点が翌観測で同一または隣接するピクセルにある場合に同一の積雲であると見なしていたが、空間分解能が向上した一方で時間分解能が低下したひまわり8号通常観測では、翌観測で2ピクセル以上離れてしまうことが多くなった。しかし、極小点を探索する範囲を単純に広くすると、異なる積雲を誤って追跡してしまう副作用がある。このため、対象時刻を中心とする連続した3観測を用いて、3観測間で極小点が動かない、またはほぼ同一方向に移動している場合のみ追跡を行うことで、過誤を抑えることとした。

(2) 積雲鉛直流分布の統計分布

ひまわり8号に適用できるように改良したデータ解析プログラム群を、2016年1月から2017年12月までの2年間のひまわり8号フルディスク観測に適用し、積雲鉛直流分布の統計解析を行った。

ここでは赤道西太平洋暖水域を含む熱帯域（南緯15度～北緯15度）における統計解析の結果を述べる。検出された積雲サンプルの数は、北半球夏季で多く冬季で少なく、この傾向は海上よりも陸上で顕著であった。海上における終端雲頂高度（トラッキングされた各積雲サンプルの最高到達高度）の頻度分布を図1に示す。ただし縦軸は気温に換算している。海上では290K付近の境界層上端高度、270K付近の気温零度高度、および200～230

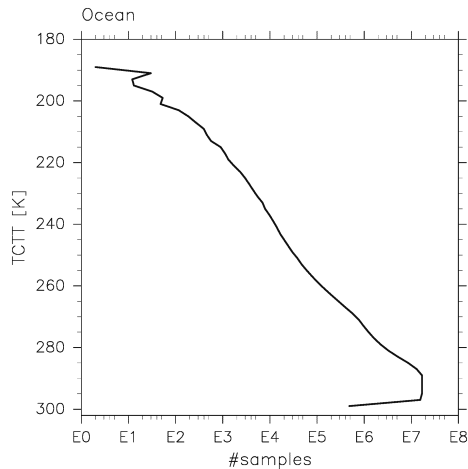


図1 終端雲頂高度の高度別頻度分布。南緯15度～北緯15度の海上の結果。横軸は常用対数表示。

Kの上部対流圏の3つに緩やかなピークが認められ、先行研究で指摘されて広く認識されている、所謂 trimodal な構造と整合的である。

高度別の積雲鉛直流の確率分布には明確な季節変化は認められず、季節によらずロバストであることが示唆された。図2は、積雲鉛直流の高度分布を2次元結合ヒストグラムで示したものである。海上、陸上ともに、気温零度高度付近（高度約5km）で鉛直流がわずかに増加する傾向を示しており、熱帯域の積乱雲の発達における、雲粒の凍結による潜熱放出の重要性が示唆された。終端雲頂高度別の平均的な鉛直流高度分布（図略）には、慣例的な考え方である「終端雲頂高度が高いほど、どの高度でも鉛直流は強い」という傾向が見られず、大変興味深い。ただし、現在用いている輝度温度から雲頂高度を決定する手法では、この傾向を定量的に検証するには不確実性が大きすぎるため、今後もアルゴリズムを改良していく必要がある。

(3)今後の展望

静止衛星から積雲鉛直流を高精度で推定する手法を確立できれば、例えば雲力学のプロセス研究、数値気象・気候モデルの検証、データ同化を通じた気象予報精度の向上など、多岐にわたる応用が期待され、学術的・実用的価値が非常に高い。特に、大気大循環の駆動域として最も重要である赤道西太平洋暖水域における積雲鉛直流の統計的特性が得られることで、雲・降水過程の理解が大幅に進むことが期待される。

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2件)

1. Nishi, N., A. Hamada, and H. Hirose,

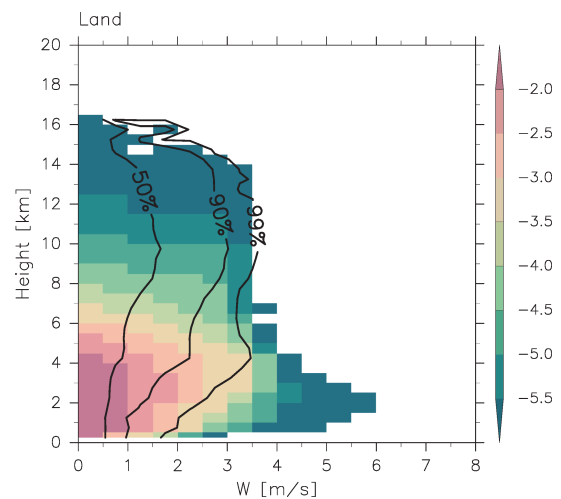
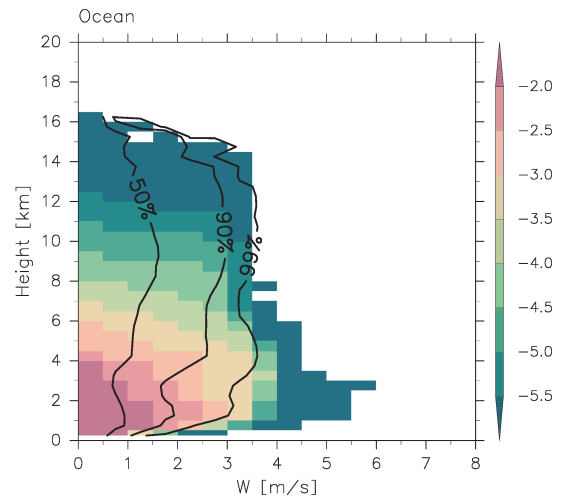


図2 積雲鉛直流の高度別頻度分布を、2次元結合ヒストグラムで示したものの。南緯15度～北緯15度の(上段)海上、(下段)陸上の結果。色は総数を1とした各格子点における相対頻度の常用対数。黒実線は、各高度における負値を除く頻度分布から求めた、50、90、99パーセンタイル点。

2017: Improvement of cirrus cloud-top height estimation using geostationary satellite split-window measurements trained with CALIPSO data. SOLA, Vol. 13, pp. 240-245. (査読あり)

2. 田村真紀夫, 2017: 上位0.1%の極端降雨を宇宙から観測する. 環境浄化技術, 第16巻第2号, pp. 91-98. (インタビュー記事; 査読なし)

[学会発表](計13件)

1. 西 憲敬, 濱田 篤, 広瀬 民志, 2018: CALIOP データを教師データとして用いた静止衛星スプリットウィンドウ観測のみによる雲頂推定方法の開発. 第9回熱帯気象研究会, 福岡, 2018年3月6-7日.
2. Takayabu, Y. N., A. Hamada, C. Yokoyama, H. Tsuji, H. Nakamura, T. Ose, T. Horinouchi, T. Nozawa, Y. Kawatani, and R. Shirooka, 2018: Project introduction FY2017: Toward an

- understanding of precipitation changes in the East Asia. The 3rd International Workshop on "Climate Change and Precipitation in the East Asia", Tokyo, 22-23 February 2018.
3. Hamada, A., and Y. N. Takayabu, 2017: Convective cloud-top vertical velocity estimated from geostationary satellite rapid-scan measurements. 2017 AGU Fall Meeting, New Orleans, 11-15 December 2017.
 4. 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 年度秋季大会, 札幌, 2017 年 10 月 30-11 月 2 日.
 5. Hamada, A., and Y. N. Takayabu, 2017: Convective cloud-top vertical velocity estimated from geostationary satellite rapid-scan measurements. Workshop on Aerosol Observation and its Impact in East and Southeast Asia, Toyama, 19-20 October 2017.
 6. Hamada, A., and Y. N. Takayabu, 2017: Convective cloud-top vertical velocity estimated from geostationary satellite rapid-scan measurements. Workshop for Typhoon, cloud and climate study, Taipei, 22-24 August 2017.
 7. 濱田 篤, 高菺 縁, 2017: 静止衛星高頻度観測を用いた積雲鉛直流の推定. 日本気象学会 2017 年度春季大会, 東京, 2017 年 5 月 25-28 日.
 8. Hamada, A., and Y. N. Takayabu, 2017: Convective cloud-top vertical velocity estimated from geostationary satellite rapid-scan measurements. Japan Geoscience Union Meeting 2017, Makuhari, 20-25 May 2017.
 9. Hirose, H., A. Higuchi, T. Mega, T. Ushio, M. K. Yamamoto, S. Shige, and A. Hamada, 2017: Seasonal or regional dependence of rain estimation from the Himawari-8. Japan Geoscience Union Meeting 2017, Makuhari, 20-25 May 2017.
 10. 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 cloud database CTOP and precipitation database GSMaP. 2016 AGU Fall Meeting, San Francisco, 12-16 December 2016.
 11. Hamada, A., 2016: Contribution from spaceborne precipitation radar measurements to the understanding of the global precipitation characteristics. Workshop on Global Precipitation System 2016 "Diversity and Future Outlook of Weather and Climate Models", oral, Yokohama, 28-29

- November 2016. (Invited)
12. 濱田 篤, 2016: 衛星降水レーダ観測による降水プロセス研究への貢献. 日本気象学会 2016 年度秋季大会, 名古屋, 2016 年 10 月 26-28 日. (Invited)
 13. 広瀬 民志, 樋口 篤志, 妻鹿 友昭, 山本 宗尚, 重 尚一, 濱田 篤, 2016: ひまわり 8 号観測データを用いた機械学習による強い雨の強度推定. 日本気象学会 2016 年度秋季大会, 名古屋, 2016 年 10 月 26-28 日.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況 (計 0 件)
取得状況 (計 0 件)

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織
(1) 研究代表者
濱田 篤 (Atsushi Hamada)
東京大学・大気海洋研究所・特任助教 (現:
富山大学・都市デザイン学部・准教授)
研究者番号: 30550008

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者
高菺 縁 (Yukari N. Takayabu)
東京大学・大気海洋研究所・教授

樋口 篤志 (Atsushi Higuchi)
千葉大学・環境リモートセンシング研究センター・准教授