

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 14 日現在

機関番号：82723

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24710024

研究課題名(和文) 積乱雲が成層圏に輸送する水蒸気量の推定

研究課題名(英文) Estimation of water vapor budget from troposphere to stratosphere by cumulonimbus

研究代表者

岩崎 杉紀 (Iwasaki, Suginori)

防衛大学校(総合教育学群、人文社会科学群、応用科学群、電気情報学群及びシステム工・その他部局等・准教授)

研究者番号：30535274

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：雷雲とも言われる積乱雲は、その雲の頂きの直接観測が非常に危険で難しいため、直上の成層圏に及ぼす役割は知られていない。本研究では、成層圏まで達する極度に発達した積乱雲が成層圏にどれほど物質(水蒸気など)を運搬するのか最新の人工衛星のデータ解析により調べた。

まず観測センサによる積乱雲の見え方の差を比較した。また、激しい上昇流によって雲頂の温度が1分間でも変わることも分かった。これらは世界に先駆けて論文として発表した。これらの研究を経て、積乱雲そのものではなく、積乱雲から派生した雲(国内では無名の特殊な雲)が成層圏に物質を運んでいることを示す傍証が得られ、これは今後の研究課題となった。

研究成果の概要(英文)：Roles of cumulonimbus for transportation of substances, such as water vapor, from troposphere into stratosphere are not known since its observation is too dangerous to implement. Our research goal is thus estimate of the substance budget by use of satellites data.

The different characteristics of cumulonimbus by using different sensors were compared. We found temperature at the cumulonimbus top is variable even for one minute due to strong updraft. These results were published in the international journals. Through these studies, our results also imply that a cloud generated from cumulonimbus, which is not known even among Japanese MET society, may effectively transport the substances from troposphere to stratosphere. This cloud is the target of our future research.

研究分野：リモートセンシング

キーワード：積乱雲 成層圏 水蒸気 人工衛星

1. 研究開始当初の背景

水蒸気は、代表的な温室効果気体であり、オゾン層破壊の媒質のような役割を果たす極成層圏雲を生成するなど、気候学的に重要な気体である。高度 15km 以上にある成層圏では、低緯度から高緯度に空気が流れている。このため、熱帯における対流圏と成層圏の水蒸気量の収支を把握しようと長年多くの研究が行われてきた。

高度 17km 付近の熱帯の成層圏の下端まで達する積乱雲（オーバーシュート）は、成層圏の水蒸気量を調整する機構の 1 つとして考えられている。しかし、オーバーシュートは「成層圏を加湿する」と「成層圏を乾燥させる」という相反する説が提唱されている。矛盾する説がある最大の理由は、オーバーシュートやその近傍の成層圏の水蒸気量の観測が困難であるからである。オーバーシュートは積乱雲の最も活発な場所であるため、航空機などで直接観測することは難しいからである。このため、感度の良い人工衛星による観測が待ち望まれていた。

2006 年から、同一軌道を時間差無く飛び複数の衛星（A-train）による多測器同時観測によって、大気現象を今までに無い高分解能・高感度できるようになった。A-train はオーバーシュート研究の転機になると思われる。

2. 研究の目的

(1) オーバーシュートの辞書的な定義は「浮力を失う高度より高い位置にある積乱雲の上部（雲頂）」である。しかし、雲頂の高さは測器の感度に依存し、浮力を失う高度を観測から求めることは不可能である。各種観測データや数値計算からその高度を推定することもできるが、高さ分解能が粗いためオーバーシュート研究に用いることはできない。このため、今までのオーバーシュートの観測的研究では、論文や使われる測器によりその定義が異なっており、論文同士の結果の比較が出来なかった。本研究では、過去のオーバーシュート研究で用いられた異なる判定式を A-train のデータから再現・比較することにより、色々な論文の研究結果の比較出来るようにすることを最初の目的とした。

(2) ところで、考え方を変えれば、それぞれの判定基準（雲頂高度、下部成層圏の量、対流の活発さを考慮した判定式）は、オーバーシュートの特徴を違う角度で見ている。オーバーシュートの全体像を捉えるため、多くの異なる判定式で同一のオーバーシュートを解析し、それぞれの結果で成層圏を加湿（乾燥）を矛盾なく説明出来れば、1 つの判定式を用いた結論よりも確度が高くなる。こ

れにより、相反する説の検証を行うことを次の目的とした。

3. 研究の方法

A-train に搭載された複数センサによるオーバーシュート同期観測をさまざまなオーバーシュート判定式で区別し、判定式を重複して満たすオーバーシュートの出現頻度の割合の比を求める。各判定式でオーバーシュートの性質が断片的に分かるので、多くの判定式の組み合わせで行えば、オーバーシュート全体の性質が分かる。また、radar-lidar 法から、オーバーシュートの単位体積あたりに含まれる雲の氷水量が求められるので、オーバーシュートが成層圏の空気とどの程度混ざれば成層圏を加湿するのかが分かる。

4. 研究成果

最初に Iwasaki et al., (2012, JGR) の解析結果の 1 例を示す。図 1 は、積乱雲の高さとその雲頂の温度の 2006 年から 2010 年のデータを出現回数で色分けしたものである。観測データやモデルから推定（ECMWF）された最も低い気温の高さ（CPH）より積乱雲の雲頂が高いものが図 1a、雲頂が低いものが図 1b である。通常、対流は CPH より上では減衰する。このため、図 1a は、発達して CPH を通り越し、対流の勢いが無くなった積乱雲のグループ、図 1b がまだ勢いを失っていない積乱雲のグループを表している。注目すべき点は、図 1b は高度に比例して雲頂の温度が下がっていくのに対し、図 1a は高い高度では比例していないことである。これは、積乱雲が成長し続けているうちは周りと同じ空気とのやり取りが少なく（断熱過程）、勢いを失った積乱雲には周囲の温かい成層圏の空気が混ざっていることを示唆する。気象学者の間でも、「オーバーシュートは成層圏の空気とは混ざらず冷たい空気のままなので、暖かい成層圏の空気より重いためすぐにオーバーシュートは解消する」と想像している方が多い中、オーバーシュートでは非断熱過程が卓越している可能性を示唆する画期的な結果である。

次に、同じ測定原理の衛星搭載赤外イメージャ（カメラ）の IIR と MODIS で同じ積乱雲でもその（赤外）温度が異なることに気がついた。IIR の開発グループ以外この差は知られていなかった。MODIS は全世界的に使われており、その測器の校正研究も多量にやられている。しかし、MODIS に比べ歴史が浅く低性能の IIR はいまだにほとんど使われていない。このため、当初は IIR の校正を疑いつつ両センサの温度の差を検討した。が、その差だけでは両センサの温度の差（特に -80 以下

の低温側)を説明できなかった。この温度差は撮影時間のわずかな差(1分程度)によって積乱雲の状態が異なることで発生することが分かった。通常の雲ではそんな短時間で大きく温度が変わることは無いので、積乱雲のように激しい上昇気流が起こる現象特有のものと思われた。同時期に類似研究していた Luo 氏とともにこの現象をまとめ、それを Luo et al., (2014, GRL)にまとめた。

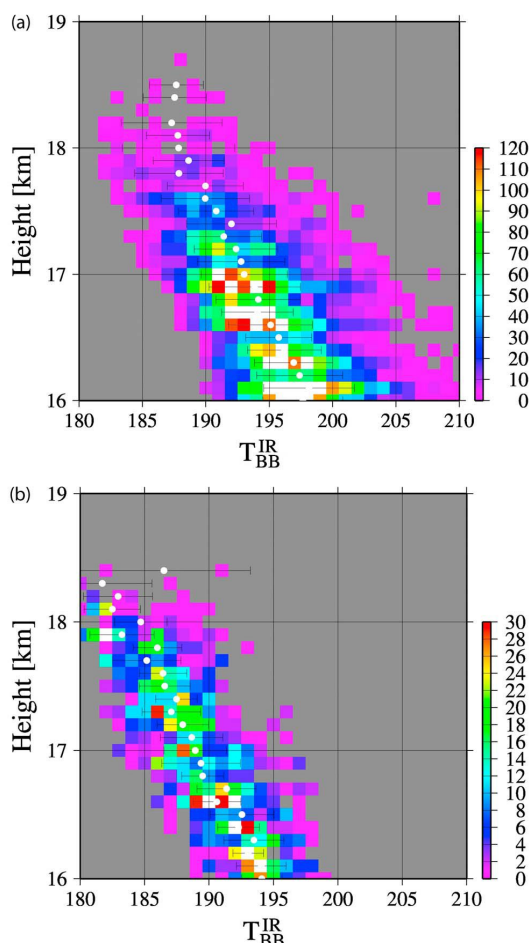


図1 衛星搭載赤外カメラ IIR の積乱雲の雲頂の温度(横軸)と衛星搭載雲レーダ CloudSat の積乱雲のエコーの高さ(縦軸)の関係。詳細は本文参照。Iwasaki et al., (2012, JGR)の図6から転載。

また、Iwasaki et al., (2012, JGR)の延長で、衛星センサを用いオーバーシュートから1-2kmの上の成層圏に入り込んだ高度に雲を発見した。いくつも見つかったのだが、中には2層の上下に分かれたものもあった。ある環境下での数値実験では、(オーバーシュートの冷たい空気と成層圏の暖かい空気が不均一に混ざる不安定さよって)オーバーシュートから雲が飛び出して2層の雲が成層圏に作られる可能性が指摘されている。

数値実験の条件と結果が、衛星データで見つかったものと酷似していた。これにより、非断熱過程で成層圏に雲(水蒸気)が供給されることが示唆された。また、オーバーシュートから成層圏に飛び出した雲の出現分布を見てみると、アジアのモンスーンの時期の前(プレモンスーン期)に起きやすいことが分かった。この時期の対流の背は高くなることが知られている。このため、背の高い積乱雲が成層圏に雲を投げ込んでいることが分かった。なお、この雲は1982年に藤田博士により発見されて以来、観測例がほとんどなかったため、全く無名の雲である。今は無名であっても、非断熱過程で生成されるので、効率的に水蒸気を運ぶことが出来るため、近い将来は良く知られるようになるであろう。これらの結果は岩崎ら(2014, 秋の気象学会)で発表した。

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. Luo, Z. J., J. Jeyaratnam, S. Iwasaki, H. Takahashi, and R. Anderson (2014), Convective vertical velocity and cloud internal vertical structure: An A-Train perspective, *Geophys. Res. Lett.*, 41, 723-729, doi:10.1002/2013GL058922. (査読あり)
2. Iwasaki, S., T. Shibata, H. Okamoto, H. Ishimoto, and H. Kubota, 2012: Mixtures of stratospheric and overshooting air measured using A-train sensors, 2012: *Journal of Geophysical Research*, 117, D12207, doi:10.1029/2011JD017402. (査読あり)

[学会発表](計9件)

1. 岩崎杉紀, 柴田隆、久保田尚之、岡本創、石元裕史、下部成層圏のかなとこ雲、日本気象学会秋季大会、福岡、2014年10月。
2. Iwasaki, S., T. Shibata, H. Kubota, H. Okamoto, and H. Ishimoto, Characteristics of anvil cloud in the lower stratosphere, *EarthCARE Workshop 2014*, Tokyo, September 2014.
3. Iwasaki, S., and N. Doi, Simulation of enhancement of sea surface reflectance by use of the air lubrication method, *American Geophysical Union Fall meeting*, San Francisco, CA, USA, December 2013.

4. Kitagawa, K., M. Nakanishi, and S. Iwasaki, Roles of tropical overshooting convection in variation of stratospheric water vapor: A numerical study using the WRF Model, American Geophysical Union Fall meeting, San Francisco, CA, USA, December 2013.
5. **岩崎杉紀**, 久保田尚之、柴田隆、岡本創、石元裕史、熱帯の成層圏の巻雲、第39回リモートセンシングシンポジウム、東京、2013年11月。
6. 北川裕也、中西幹郎、**岩崎杉紀**、熱帯域の深い対流に伴うオーバーシュートの再現と下部成層圏水蒸気量変化への影響、日本気象学会秋季大会、仙台、2013年11月。
7. 北川裕也、中西幹郎、**岩崎杉紀**、深い対流で起こるオーバーシュートの再現実験日本気象学会春季大会、東京、2013年5月。
8. **岩崎杉紀**、久保田尚之、柴田隆、岡本創、石元裕史、オーバーシュート解析におけるMODISとHIRの輝度温度の違い、日本気象学会秋季大会、札幌、2012年10月。
9. **岩崎杉紀**、久保田尚之、柴田隆、岡本創、石元裕史、中高緯度の対流圏界面まで達する深い対流、日本気象学会春季大会、つくば、2012年5月。

〔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：
 出願年月日：
 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

岩崎 杉紀 (IWASAKI Suginori)

研究者番号：30535274

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

北川 裕也 (KITAGAWA Yuya)