

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 3 日現在

機関番号：37111

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2014

課題番号：23540512

研究課題名(和文) 熱帯上部対流圏における大規模波動の伝播および増幅過程の解明

研究課題名(英文) Data analysis on the propagation and amplification of the large-scale wave in the tropical upper troposphere

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) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：熱帯域上部対流圏から圏界面付近で卓越する波動、およびその励起源となる雲活動の特性について解析を行った。2011年9-12月の国際共同観測において取得されたデータを用いて波動と巻雲活動の関係を解析し、数日の周期をもつ顕著な変動を巻雲の分布に検出し、それが赤道捕捉慣性重力波によることを見いだした。また、熱帯収束帯付近でみられる特徴的な雲帯の大規模同時南北分割について、いくつかのデータを合わせ用いることによって、その特性をはじめて明らかにした。さらに、波動励起に関係の深い雲活動を高時空間分解能で検出できる静止衛星を用いた雲頂データベースを完成させ、インターネット上で公開した。

研究成果の概要(英文)：We analyzed large-scale tropical waves in the upper troposphere and around the tropopause and clarified the properties of cloud activity that can be sources of the tropical waves. With using the data obtained in the international special observation in September-December 2011, we detected the dominant variability of cirrus activity with the scale of several days and found that it is accompanied with the equatorial trapped inertial gravity waves. We also investigated the properties of large-scale simultaneous meridional separation of the cloud bands in the intertropical convergence zone with the combination of several datasets. Furthermore, we completed the database of cloud top height with using the geostationary satellite infrared data and opened on the internet.

研究分野：熱帯気象学

キーワード：熱帯気象 衛星計測 赤道波

1. 研究開始当初の背景

熱帯対流圏界面付近では大規模な風の流れや温度の構造が複雑なために、そこで見られる波動の解析は十分に進んでいるとはいえなかった。また、この領域は主に積雲活動によってもたらされる波動の源にごく近いことも、波動の解析を難しくしていると考えられていた。波源となる上部対流圏の雲活動を詳しく調べ、また波源近傍での波動の増幅や伝播の特性などの解析が求められていた。

2. 研究の目的

(1) 熱帯域の対流圏上部の波動やじょう乱の解析に必要な風や循環場の特性を明らかにすること。新しい衛星データを十分に使って、統計的な記述を行うとともに、その構造をもたらし機構についての力学的考察を行う。

(2) 大規模な赤道波動の解析を行う。熱帯の対流圏上部から成層圏下部にかけての圏界面領域(TTL)における波動が大きな振幅をもつ機構を明らかにし、また増幅した波動が物質循環や雲の活動にどのような影響をもつか調べる。

(3) 波動の励起に関係の深い、熱帯対流圏上部の雲活動を正しく記述できるようにする。対流活動の本体となる積乱雲や、それから発展する乱層雲、巻雲などのそれぞれについて、雲頂その他を精度よく把握できるデータセットを作製し、実際にそれを用いて雲活動の分析を行う。

3. 研究の方法

(1) 近年データが蓄積されてきた COSMIC 衛星の掩蔽法による精密温度データを中心に、既存の客観解析格子点データなどと組み合わせることによって、対流圏上部の平均的な循環場の3次元構造を記述する。

(2) 赤道波動や熱帯域の大規模擾乱について、客観解析、特別観測等のデータ、以下の(3)で作製する雲データなどを総合的に用いて波動を記述し、力学的な考察を行いながら、認められる現象の特性についての解析を行う。

(3) 静止衛星の赤外2チャンネルのデータを用いることによって、昼夜を問わず連続的に雲の変化を追跡できるデータを作製する。データセットは、自ら用いるのみならず、インターネット上で公開して、広く利用してもらえるように整備する。

4. 研究成果

当初の目的に沿って研究を行い、目的(2)(3)において、とくにまとまった成果が得られたので、以下にそれを示す。

(1) 熱帯圏界面付近の波動活動およびその巻雲分布との関係

熱帯の上部対流圏～対流圏界面遷移層に広く分布する巻雲は、成層圏に流入する空気塊の脱水メカニズムに寄与し、地球放射バラ

ンスに大きな影響をもたらす。その主な生成源としては、深い対流活動の雲頂付近からのたなびき(anvil)、および大規模な力学場の変動による氷晶核の形成が挙げられる。後者のうち、対流圏界面遷移層に卓越する赤道ケルビン波は、巻雲の生成と消滅に寄与することが報告されている。熱帯域には他にも様々な種類の波動擾乱が存在し、それらが巻雲の変動を生じさせていることが考えられるが、小さい時空間スケールの変動を考慮できる巻雲のデータや対流圏界面遷移層の水蒸気量データの不足から、生成・消滅に関する十分な調査は行われていない。

今回、2011年9～12月に実施された国際集中観測 CINDY2011/DYNAMO へ観測参加し、そこで取得したデータをもちいて、熱帯インド洋上空の短周期の擾乱にともなう巻雲とその内部の水蒸気量の変動について、初めて明らかにした。

期間中、熱帯インド洋上空の対流圏界面遷移層では、約5日周期と約2週間の周期をもつ擾乱が観測された。このうち、約5日周期の擾乱は11/3-15に明瞭にみられ、対流圏界面付近に鉛直波長約5km、温度振幅2-3K程度の構造をもち、上方伝播することがわかった(図1)。この時期、降水をともなう対流雲はみられず、高度10km以上を雲頂とする巻雲がほぼ毎日観測された。なかでも、対流圏界面16km付近を雲頂とする巻雲は、約5日周期の温度擾乱と同期して出現しており、温度の負偏差域に出現し、正偏差域で消滅している。

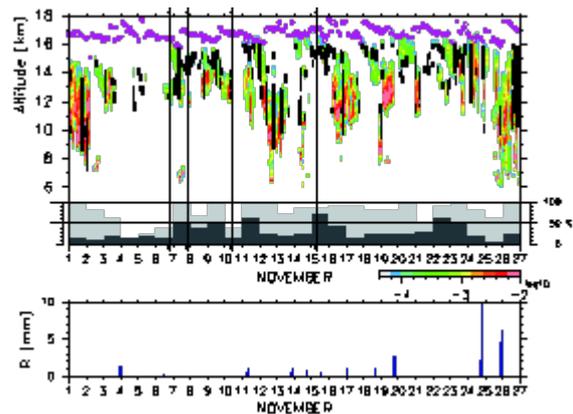


図1 雲(カラー)、低温度位置(丸印)、雲の存在率(グレー棒)および降水量(青棒)の時間分布図

図2は、11/6、7、10および15に飛揚した水蒸気ゾンデと、ゾンデ飛揚前後4時間の高スペクトル分解ライダーの鉛直プロファイルを示したものである。11/6の対流圏界面付近にある温度の負偏差は、11/7と11/10には高度を1kmずつ下げている。この温度負偏差は、前述の約5日周期の擾乱によるものである。このとき、過飽和(相対湿度RH_i>100)の状態にあった。また、1064nm後方散乱強度は相対湿度に対応したピークをもつ。なお、このとき、対流圏界面より下層には、温度逆転層は観測されなかった。

さらに、相当温位370K(最低気温高度付近)

における 11/6-10 を起日とした 3 日間の後方流跡線解析から、観測地点の東側には対流活動域がみられるが、観測地点付近は、ほぼ無風の状態であり、anvil のたなびきや空気塊がインドネシア付近の低温域を通過したことにより巻雲が発生した可能性は低い(図略)。また、周期フィルターをほどこした大規模場の解析から、約 5 日周期の温度擾乱は $n=0$ 東進慣性重力波と赤道ケルビン波、約 2 週間周期の温度擾乱は赤道ケルビン波によるものであることが分かった(図 3)。今回、赤道波では比較的小さい構造であることから、これまで注目されてこなかった $n=0$ 東進慣性重力波により巻雲が調節されていることを初めて観測的に明らかにした。

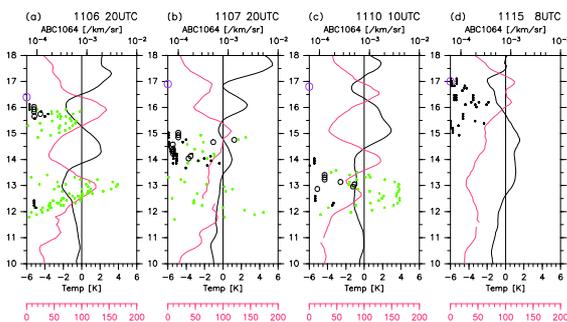


図 2 : 温度、相対湿度(折れ線)と雲(点)の高度分布

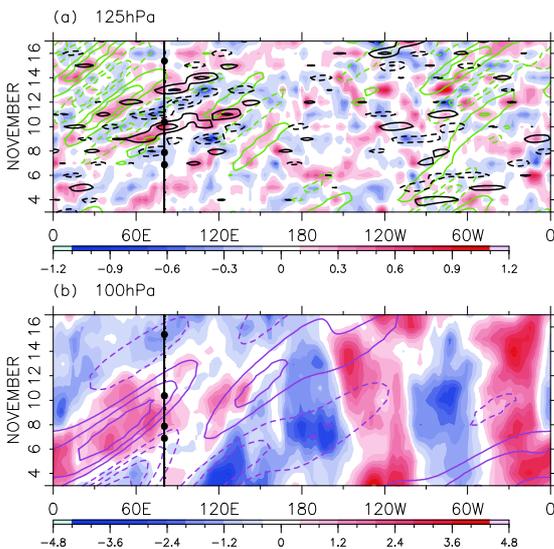


図 3 : 温度でみた波の分布図。(a)7 日未満成分(b)7 日以上成分

(2) 熱帯収束帯付近でみられる大規模雲域南北分割の解析

西部赤道太平洋上では、東西数千 km にわたって長く発達した雲帯がほぼ同時に 2 または 3 つの雲帯に分割され、分割された雲帯が 1 日以上も持続するという現象が見られる。この現象について行ってきた研究をまとめて雑誌に発表した。本研究では、1993 年に行われた Tropical Ocean Global Atmosphere Coupled Ocean-Atmosphere Response Experiment (TOGA-COARE) Intensive

Observing Period (IOP)中に見られた 4 つの分割事例について事例解析を実施し、分割現象に共通する特徴を見いだした。

分割された雲帯の北側および南側の雲域は線状の微細構造を持っていた。これら線状雲の走向は雲頂高度付近の水平風とよく一致しており、上部対流圏の巻雲性の雲であることを示唆する。中央の雲帯における対流活動が衰退した後も上部対流圏には強い南北風が残っており、分割された雲帯を南北へ移流している。

全ての分割現象は対流活動が最盛となったおよそ半日後に起こっており、分割開始時刻は夕刻から深夜にかけてであった。これらの事実は、西部赤道太平洋上における典型的な日周期対流活動が雲帯の分割現象に関わっている可能性を示唆する。分割の間、雲帯の西側には活発な西進雲クラスターが観測されており、対流と結合した赤道捕捉波との関係も示唆された。

熱帯域の対流活動の多彩な組織化を理解するために、この成果は今後大きな役割を果たすと考えられる。

(3) 静止衛星赤外データを用いた雲活動データベースの作製と公開

赤道波が上部対流圏の雲活動に与える影響を研究するにあたり、雲活動の高時間分解能データを整備する必要があった。その目的のために、静止衛星観測のみから雲頂高度などの雲パラメーターを数 km の精度で毎時提供するデータベースを完成させた。推定には、衛星 CloudSat の雲レーダーによる直接観測を静止衛星 MTSAT の赤外 2 チャンネルの輝度温度(TB)で回帰したルックアップテーブルを用いた。推定原理は、Hamada and Nishi (2010, 以下 HN10)によるが、手法の実際の適用にはいくつかの工夫が必要であった。当データベースは、利用に当たっていくつかの注意が必要ではあるが、高時間分解能をもつ広域データとして十分有用なものである。

2006 年に打ち上げられた衛星 CloudSat に搭載された雲レーダーによって雲層のほぼ全体にわたる直接観測ができるようになり、雲頂高度や雲の光学的厚さなどがわかるようになったが、これらの情報は衛星の直下点だけに限られるため、興味をもった特定の雲システムのデータが得られる可能性は大きくないし、またある雲の時間変化を続けて追うこともできない。静止衛星の観測は主に可視や赤外の放射観測に限られるため、雲のパラメーターを直接に観測することはできないが、高い時間分解能や、広域を一度に観測できる長所がある。私たちは主にその手法に基づいて、雲頂高度などのデータベース(CTOP)を作成して公開を行った。データベース CTOP は、2012 年に version 1 が公開されて、2013 年 9 月に version 2 が公開された。

CTOP の version 1 作製時には、CloudSat によって雲がないと判断される点で、TB 値が

晴天時の値とは考えにくい低値をとるサンプルが相当数あることが判明した。11 μ m 帯 TB 値が 260-280K, 11 μ m 帯 TB と 12 μ m 帯 TB の差が 3-6K を示すパラメタ領域にそれらの点の多くは分布した。今回の観測領域の大部分を占める海上では、湿度にも依存するが晴天時の TB 値は 280K より高いと考えられる。したがって、このようなパラメタ領域の点では何らかの雲があると考えるのが自然である。これらの点に対して CloudSat が雲なしとなる理由は主に 2 つ考えられる。ひとつは、前節で述べたような幾何位置のずれによって、雲存在の場所が少しずれているために、特に雲の縁辺部で過誤が生じるということであり、もうひとつは CloudSat では検出できないような雲が実際に存在しているという可能性である。Version 1 では、このような点に対して、CloudSat の雲頂を 0km(地面) であるとして回帰を行った。しかし、推定誤差を示すための標準偏差も非常に大きくなっており、事実上推定が困難となっている。そこで version 2 では CloudSat で雲なしと判断されたサンプルを除外して回帰を行った。その結果、推定誤差は減少し、雲ありと判定された雲頂高度にかなり近い推定値を得ることができた。

このデータは自分たちの研究はもちろん、インターネット上からの配布により、研究や観測のモニターなどに広く用いられている。

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 4 件)

Hamada, A., N. Nishi, and H. Kida, 2013: Separation of zonally elongated large cloud disturbances over the western tropical Pacific. *J. Meteor. Soc. Japan*, 91, 375-389, 査読あり, DOI:10.2151/jmsj.2013-309.

Suzuki, J., M. Fujiwara, T. Nishizawa, R. Shiroya, K. Yoneyama, M., Katsumata, I. Matsui, and N. Sugimoto, 2013: The occurrence of cirrus clouds associated with $n = 0$ eastward inertio-gravity equatorial waves and equatorial Kelvin waves in November 2011 during the CINDY2011/DYNAMO campaign, *J. Geophys. Res.*, 118, 12941-12947, 査読あり, doi: 10.1002/2013JD019960.

Fujiwara, M., J. Suzuki, A. Gettelman, M. I. Hegglin, H. Akiyoshi, and K. Shibata, 2012: Wave activity in the tropical tropopause layer in seven reanalysis and four chemistry climate model data sets, *J. Geophys. Res.*, 117, D12105, 査読あり, doi:10.1029/2011JD016808.

Moteki, Q., K. Yoneyama, R. Shiroya, H. Kubota, K. Yasunaga, J. Suzuki, A. Seiki, N. Sato, T. Enomoto, T. Miyoshi., and S. Yamane, 2011; The influence of observations propagated by convectively coupled equatorial waves. *Q.J.R. Meteorol. Soc.*, 137: 641-655 査読あり, doi: 10.1002/qj.779.

[学会発表](計 18 件)

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), (ロイトン札幌(札幌市), 31 July 2014)

Nishi, N., A. Hamada, H. Itoh, and M. Ohigawa, 2013: Separation of zonally elongated large-scale cloud disturbances over the western tropical Pacific, American Geophysical Union (AGU) Fall meeting (San Francisco, USA, 9 Dec 2013).

Nishi, N., A. Hamada, and H. Hirose, 2013: Top height of the upper tropospheric cloud over the tropical Pacific observed by geostationary satellites. WCRP regional workshop on stratosphere-troposphere processes and their role in climate. (京都大学(京都市), 2 Apr 2013).

Suzuki J., M. Fujiwara, T. Nishizawa, R. Shiroya, K. Yoneyama, I. Matsui, and N. Sugimoto, 2013: The occurrence of cirrus clouds associated to the $n = 0$ eastward inertial gravity waves and equatorial Kelvin waves over the tropical Indian Ocean in November 2011 during the CINDY2011/DYNAMO campaign, MJO Data and Analysis Workshop, (Hawaii, America, March 2013).

Nishi, N., and A. Hamada, 2012: Temporal variation of the cloud top height over the tropical Pacific observed by geostationary satellites. American Geophysical Union (AGU) Fall meeting (San Francisco, USA, 5 Dec 2012).

Suzuki J., M. Fujiwara, T. Nishizawa, R. Shiroya, K. Yoneyama, I. Matsui, and N. Sugimoto, 2012: The occurrence of thin cirrus clouds with the equatorial waves over the tropical Indian Ocean during CINDY2011/DYNAMO, AGU Fall Meeting, (San Francisco, USA, December 2012).

Nishi N., A. Hamada, M. Ohigawa, and S. Shige, 2011: Analysis of tropical cloud systems using a new cloud-top height data by geostationary satellite splitwindow measurements trained with CloudSat data. American Geophysical Union (AGU) Fall meeting (San Francisco, USA, 6 Dec 2011).

Suzuki, J., M. Fujiwara, A. Hamada, F. Hasebe, J. Yamaguchi, Y. Inai, R. Shirooka, T. Takano, and SOWER (Soundings of Ozone and Water in the Equatorial Region) group: Cloud-top height variability associated with equatorial Kelvin Wave in the tropical tropopause layer during the Mirai Indian Ocean cruise for the Study of MJO-convection Onset (MISMO) campaign. WCRP Open Science Conference, (Denver, USA, October 2011).

〔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

京都大学生存圏研究所・生存圏データベース
<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：00222183

(2) 研究分担者

鈴木 順子 (SUZUKI, Junko)

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：50512878

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

塩谷 雅人 (SHIOTANI, Masato)

京都大学・生存圏研究所・教授

重 尚一 (SHIGE, Shoichi)

京都大学・大学院理学研究科・准教授

濱田 篤 (HAMADA, Atsushi)

東京大学・大気海洋研究所・特任研究員