

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：13201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2017

課題番号：25400463

研究課題名(和文) 赤道波と雲・降水の結合メカニズムの解明

研究課題名(英文) Investigations on the Convectively Coupled Equatorial Waves

研究代表者

安永 数明 (Yasunaga, Kazuaki)

富山大学・大学院理工学研究部(理学)・教授

研究者番号：50421889

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、赤道波の種類毎に波と雲・降水との結合メカニズムがどう異なるかを、大気中の鉛直積算水蒸気量(可降水量)の変動に着目し、衛星観測データを利用しながら調べた。波の伝搬に関して、水平移流が鉛直移流よりも重要な波(赤道ロスビー波、熱帯低気圧(TD)擾乱)と、逆に鉛直移流が水平移流よりも重要な波(慣性重力波、混合ロスビー重力波、ケルビン波)と、同程度に重要な擾乱(Madden-Julian 振動(MJO))に分類することができた。また水蒸気の維持に関して、放射加熱はいずれの波においても、水蒸気を維持する方向に働いているが、定量的には低周波数の波擾乱でより本質的に重要であることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Budgets of column-integrated moisture are analyzed, making use of satellite retrieved precipitable water and ERA-Interim reanalysis data. In terms of the propagation (or migration), horizontal advection is more important than vertical advection for equatorial Rossby wave and tropical depression type disturbances, which contrasts with inertial-gravity, mixed-Rossby-gravity, Kelvin wave disturbances (Vertical advection is more significant for such divergent wave family). Madden-Julian oscillation (MJO) is unique because both terms are equally important.

Radiative heating plays a significant role of amplification of column water anomalies for all types of the disturbance. Furthermore, quantitative evaluations reveal that radiative heating is essentially important for lower-frequency wave disturbances such as MJO, equatorial Rossby waves etc.

研究分野：熱帯気象

キーワード：積雲対流 熱帯季節内変動 赤道波

1. 研究開始当初の背景

赤道域では、コリオリの効果は中緯度に比べて非常に小さい。一方で、コリオリ因子の緯度変化は赤道上で最大となる。このような特徴により、赤道波と総称される特別な波が赤道域に存在し、この赤道波によって熱帯の雲・降水の発達に大きく影響を受けていることが指摘されている (Takayabu 1994 や Wheeler and Kiladis 1999)。しかし、「赤道波による風や温度の変動が、雲・降水の発達をどうコントロールしているか」、逆に「降水に伴う加熱が、元々の赤道波にどう影響を与えているか」については分かっていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、「赤道波と雲・降水の結合メカニズムの解明」であり、衛星観測データを統計的に解析したり、数値モデルを用いたシミュレーションを行ったりすることで、特に、(A)「熱帯で卓越する様々な赤道波によって、異なる特徴の雲・降水が発達するメカニズム」、(B)「赤道波に伴って発達した雲・降水が、元々の赤道波に与える影響」を明らかにすることである。

3. 研究の方法

衛星データを中心とした観測データを用いた解析によって、(A)「様々な赤道波によって、異なる特徴の雲・降水が発達するメカニズム」について調べた。ここでは、衛星から推定された全球の降水データを元に、慣性重力波、ケルビン波とよばれる波の活動度を調べ、それを指標にしながら、特に速く伝搬する成分、遅く伝搬する成分のそれぞれが、卓越する場合の気象場を、コンポジット解析とよばれる手法で明らかにした。

次に、再解析データとよばれる客観解析データを用いた解析によって、(B)「赤道波に伴って発達した雲・降水が、元々の赤道波に与える影響」を調べた (当初は、数値モデルを利用することを想定していたが、有効な解析方法を研究実施期間中に思いついた為、方針を転換して、客観解析データを用いた解析とした)。ここでは、大気中の鉛直積算水蒸気量 (可降水量) の方程式に注目し、そこに含まれる各項を全て波数・周波数分解し、フーリエ変換が線型操作であることを利用して、降水に関わる水蒸気変動への寄与を、クロススペクトル、コヒーレンススペクトル、位相スペクトルを用いて評価した。

4. 研究成果

上記 (A) に関して

(A1) 西進慣性重力波においては、速く伝搬する擾乱は、遅く伝搬する擾乱に比べて、対流性降水の変動がより大きい (層状性降水の変動がより小さい) こと、

(A2) ケルビン波や東進慣性重力波では、速く伝搬する擾乱と、遅く伝搬する擾乱とで、対流性降水や層状性降水の変動に差が無い

こと、が明らかになった。また、衛星によるマイクロ波観測データから見積もった降水と水蒸気データを、統計的に解析することで、(A3) 前者の西進慣性重力波においては、擾乱に伴う降水に対して下層の水蒸気だけが有意に変動しており、赤道波と雲・降水の結合メカニズムとしては、「Stratiform Instability」とよばれる不安定が重要で、(A4) 後者のケルビン波や東進慣性重力波では、擾乱に伴う降水に対して、下層の水蒸気だけでなく中層の水蒸気も有意に変動しており、赤道波と雲・降水の結合メカニズムとしては、「Moisture-Stratiform Instability」とよばれる不安定が重要との考察を行った。以上の成果を、論文として投稿し、受理・出版された。

上記 (B) に関して

(B1) MJO では、降水に伴う水蒸気の消費に対して、放射加熱と水平移流が水蒸気量を維持するのに重要である一方で、鉛直移流は水蒸気を減少させる働きがあり、水平移流が東向き伝搬に主要な役割を果たしていることが分かった。

(B2) 赤道ロスビー波では、水蒸気量の維持における各項の寄与の程度は MJO とほぼ同様であったが、伝搬に関して、水平移流の役割が MJO と反対で、水平移流が西向き伝搬を妨げる役割を果たしていることが分かった。

(B3) ケルビン波では、水蒸気量の維持における水平移流の役割は無視できる程度である一方で、放射加熱が維持に最も重要な役割を果たしていた。東向き伝搬に関しては、鉛直移流と放射過程が同程度に重要であることが分かった。

(B4) 混合ロスビー重力波では、水蒸気量の維持における各項の寄与に関して MJO と同様に放射加熱と水平移流が重要であった。また伝搬に関して、鉛直移流が西向き伝搬に主要な役割を果たしていることが分かった。

(B5) 西向き慣性重力波では、ケルビン波と同様に放射加熱が水蒸気量の維持に最も重要な役割を果たしていた。伝搬に関して、鉛直移流が最も重要であった一方で、放射過程の重要性はケルビン波に比べて低かった。

上記の結果をまとめて論文として投稿するための作業を行い、投稿した (査読中)。

(C) 副次的な成果

熱帯の様々な赤道波に伴う積雲対流から生じる加熱の大気応答を調べたところ、上記 (A) と (B) の副次的な成果として、熱帯低気圧や熱帯中緯度相互作用に関する、興味深い下記の結果が得られた。

(C1) 台風を含む熱帯低気圧擾乱では、対流発達に伴う加熱応答による周りの循環場の変化が、自分自身の進路に大きく影響を与えていることが明らかになった。

(C2) インド洋域の降水活動に伴う加熱応答が、熱帯だけにとどまらず、中緯度に位置す

る日本の北陸の初冬季における降水量に有意な影響を与えていることが明らかになった。また、インド洋域の降水活動は最近強化傾向にあり、それに対応して、日本の北陸の初冬季における降水量も増加傾向にあることが分かった。

以上を、いずれも論文として投稿し、受理・出版された。

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6件)*全て査読付き

- Yasunaga, K., and B. Mapes, 2014: Differences between Faster vs. Slower Components of Convectively Coupled Equatorial Waves, *Journal of the Atmospheric Science*, 71, 98 - 111.
- Bellenger, H., K. Yoneyama, M. Katsumata, T. Nishizawa, K. Yasunaga, and R. Shirooka, 2015: Observation of Moisture Tendencies Related to Shallow Convection, *Journal of the Atmospheric Science*, 72, 641 - 659.
- Yasunaga, K., T. Miyajima and M. Yamaguchi, 2016: Relationships between tropical cyclone motion and surrounding flow with reference to longest radius and maximum sustained wind, *Scientific Online Letters in the Atmosphere (SOLA)*, 12, 277-281.
- Yanase, A., Yasunaga, K., and H. Masunaga, 2017: Relationship between the Direction of Diurnal Rainfall Migration and the Ambient Wind over the Southern Sumatra Island, *Earth and Space Science*, 4, DOI: 10.1002/2016EA000181.
- Yokoi, S., S. Mori, M. Katsumata, B. Geng, Yasunaga, K., F. Syamsudin, Nurhayati, and K. Yoneyama, 2017: Diurnal cycle of precipitation observed in the western coastal area of Sumatra Island: offshore preconditioning by gravity waves, *Monthly Weather Review*, 145, 3745-3761.
- Yasunaga, K., and M. Tomochika, 2017: An increasing trend in the early-winter precipitation during recent decades along the coastal areas of the Sea of Japan, *Journal of Hydrometeorology*, 18, 2893-2906.

[学会発表](計25件)

国際学会

- Yasunaga, K., 2013: Moisture Transport by Transient Eddies within an MJO, American Geophysical Union's 46th annual Fall Meeting (San

Francisco, California, USA).

- Yasunaga, K., 2014: Advection of Dry Air by Transient Eddies within an MJO, 31th Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology (San Diego, California, USA).
- Yasunaga, K., 2014: Moisture Advection by Rotational and Divergent Winds Associated with an MJO, CINDY/DYNAMO International Workshop (Sapporo, Japan).
- Yasunaga, K., 2014: Dry Air Advection by Transient Eddies within an MJO, AOGS 11th Annual Meeting (Sapporo, Japan).
- Yasunaga, K., 2014: Dependence of convective and stratiform rainfall fractions on precipitable water, Tropical Meteorology Workshop in Toyama (Toyama, Japan).
- Yasunaga, K., 2015: Characteristics of Rainfall and Snowfall on the Japan Sea Coastal Region during the Winter Monsoon Season, PMM Workshop 2014 (Tokyo, Japan).
- Yasunaga, K., and A. Yanase, 2015: Seasonal Modulations of the Diurnal Precipitation Cycle Over the Maritime Continent, AOGS 12th Annual Meeting (Singapore).
- Yasunaga, K., and N. Nishi, 2016: Characteristics of Rainfall and Snowfall on the Japan Sea Coastal Region during the Winter Monsoon Season, PMM Workshop 2015 (Tokyo, Japan).
- Yasunaga, K. and T. Miyajima, 2016: Relationships between tropical cyclone motion and surrounding flow with reference to the maximum sustained wind and longest radius, 32nd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology (San Juan, Puerto Rico).
- Yasunaga, K. and K. Nakae, 2017: Numerical simulations of a diurnal cycle of precipitation during Pre-YMC field campaign, JpGU-AGU Joint Meeting 2017 (Makuhari, Japan).
- Yasunaga, K. and M. Tomochika, 2018: An increasing trend in the early-winter precipitation during recent decades along the coastal areas of the Sea of Japan, AMS 98th Annual Meeting (Austin TX, US).

国内学会

- 安永数明, 2013: MJO 内部の総観規模スケールの渦擾乱による水蒸気輸送, 日本気象学会秋期大会, D159

- 安永数明, 2013: CINDY 期間中の HSRL と CALIPSO 搭載ライダーによる観測プロファイルの比較, 日本気象学会秋期大会, A364
- 安永数明, 2014: MJ0 における風の回転成分による水蒸気輸送の効果, 日本気象学会春期大会, A154
- 安永数明, 2014: MJ0 の発達期・衰退期における水平風による水蒸気輸送の効果, 日本気象学会秋期大会, A104
- 安永数明 他, 2015: 北西太平洋域における台風と指向流の統計的關係性, 日本気象学会春期大会, D454
- 安永数明 他, 2015: 近年の日本海沿岸域の初冬期における降水量の増加傾向に関して, 日本気象学会春期大会, D165
- 安永数明, 2015: 北陸地域における冬季の降水パターンの時・空間変動に関する研究, 日本気象学会秋期大会, A212
- 友近 全志, 安永数明, 2015: 初冬期の北陸地域における降水量増加傾向について, 平成 27 年度日本気象学会中部支部研究会 (静岡).
- 安永数明, 2016: 「みらい」MR15-04 で観測された下層雲と上層雲の日変動, 日本気象学会春期大会, C403
- 友近 全志, 安永数明, 2016: 冬季北陸地域における降水量の変動, 日本気象学会春季大会, 109, P201
- 安永数明, 2016: Warm Pool 域における水蒸気変動特性に関する研究, 日本気象学会秋期大会, D105
- 友近 全志, 安永数明, 2016: 冬季北陸における初冬季の降水量の増加傾向と熱帯インド洋の降水活動との関係, 日本気象学会秋季大会, 110, D358
- 飯田大晴, 安永数明, 2017: 熱帯域東インド洋における地域による水蒸気変動特性の違い, 日本気象学会春季大会, 111, P223
- 飯田大晴, 安永数明, 2017: 熱帯域東インド洋における地域による降水特性の違い, 日本気象学会秋季大会, 112, P369

〔図書〕(計 1 件)

- FENICS「100 万人のフィールドワーカー」シリーズ 第 13 巻 フィールドノート古今東西 (古今書院) 第 4 章担当

〔産業財産権〕

出願状況 (計 0 件)

該当なし

取得状況 (計 0 件)

該当なし

〔その他〕

ホームページ等

- 中緯度の気候にも影響を与える、MJ0 とよばれる低緯度域における雲の集団化
<http://www.sci.u-toyama.ac.jp/topic>

[s/topics41.html](http://www.sci.u-toyama.ac.jp/topic/s/topics41.html)

- 熱帯低気圧 (台風) の進路
<http://www.sci.u-toyama.ac.jp/topics/topics82.html>
- 熱帯の雨が北陸に雪を降らせる? (前編)
<http://www.sci.u-toyama.ac.jp/topics/topics93.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

安永数明

(富山大学大学院理工学研究部・教授)

研究者番号: 50421889