

令和 4 年 6 月 6 日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2021

課題番号：18K13612

研究課題名(和文)地球大気の日周期変動が気象・気候システムに果たす役割の解明

研究課題名(英文)The role of diurnal cycle on the weather and climate system on the earth

研究代表者

坂崎 貴俊 (Sakazaki, Takatoshi)

京都大学・理学研究科・准教授

研究者番号：70723039

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：当初は、日周期の現象が、より短い時間スケールの変動現象に与える影響を明らかにすべく研究を始めた。ところが研究を進める中で、短周期変動そのものの理解が学術的に不十分であることが分かり、この点を詳しく調べた。最新の全球大気観測データを解析したところ、『大気自由振動』の明瞭なシグナルを多数発見した。これは全球大気の固有振動であり、時間スケールは数時間～数日程度、空間スケールは数千km～1万km程度である。さらにこれら自由振動は、微弱ながらも熱帯のグローバルスケールの地上降水変動を励起していることも明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

自由振動研究はおよそ二世紀にわたる長い歴史があり、その存在が理論的に予測されてきた。ところが現実大気中での検出は、これまでごく一部の長周期(数日～十数日スケール)なものに限られていた。本研究は、最新のデータを使って大気中の自由振動を広い周波数領域にわたって多数検出することに初めて成功したものである。これら自由振動の励起源としては熱帯の降水に伴う潜熱加熱が有力候補とされてきた。しかし、自由振動に伴う熱帯降水を調べたところ、降水はむしろ自由振動によって引き起こされたものと考えられ、励起源としての役割は弱いことが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Initially, we began our research to clarify how the diurnal cycle of the atmosphere affect the shorter time-scale variability. In the course of our research, however, we found that the understanding of short-period variability itself was academically inadequate, and we investigated this point in detail. We analyzed the latest global atmospheric dataset and found many clear signals of "atmospheric free oscillations". These are the intrinsic oscillations of the global atmosphere, with time scales ranging from a few hours to a few days, and spatial scales of several thousand to ten thousand kilometers. We also found that these free oscillations excite global-scale ground precipitation variability in the tropics, albeit weakly.

研究分野：大気科学

キーワード：自由振動 ノーマルモード 地上気圧 スペクトル 熱帯降水

1. 研究開始当初の背景

日周期性は地球大気の変動のうち最も基本的な鼓動であるが、観測の制約などからこれまで解明が遅れていた。申請者はこれまで一連の研究により、対流圏 - 中層大気にわたる広い領域において、その全貌を明らかにしてきた。

では、これら日周期変動は地球の気象・気候システムの中で、どのような能動的役割を演じているのだろうか？これが本研究計画を着想する背景となった学術的問いである。

2. 研究の目的

上記の問いに答えるべく、数値シミュレーションを実施し、日周期が様々な時間スケールの大気変動に与える影響の全体像とその物理プロセスを解明する。結果として、大気変動の生成過程について新しいメカニズムを提示し、自転惑星の気候形成メカニズムの理解深化にも繋げる。具体的目標は以下の通りであった：

- I. 日周期性の役割を定量化する数値シミュレーション手法の確立・実施
- II. 短周期変動（数時間スケール；豪雨・突風・乱流など）への影響解明
- III. IIの効果も考慮した、中・長期変動（数日～数ヶ月スケール）への影響解明

3. 研究の方法

まずは、気候モデルを用いて日周期あり/なしの数値シミュレーションを実施し、両者の差異を詳しく解析することで、日周期が気象・気候場（特に、数日スケール以下の短周期現象）に与える影響を調べた（上記の目標 I, II）。ところが研究を進める過程で、そもそも大気の短周期変動が具体的にどういった現象によって生じているのか、という根本的な問題が未解明であることに気が付いた。より明確に言えば、4 で示すように、『短周期の変動は空間スケールも小さい』という従来の認識が必ずしも正しくないことが分かってきた。この段階で本研究の計画を軌道修正し、「大気の短周期変動そのもの」について詳しく調べることにした。

短周期変動の研究には、最新の全球大気再解析データ（ERA5）(Herbach et al., 2020)を主に使用した。時間分解能は1時間であり、本研究でターゲットとしている変動を陽に解像することができる。また、降水量の変動を調べるにあたっては、全球降水量データ(GSMaP (Kubota et al., 2020), TRMM3B42 (Huffman et al., 2007))も併せて用いた。

4. 研究成果

(1) 大気自由振動モード群の網羅的同定

ERA5 の地上気圧データを用いて、時空間スペクトル解析を行った。図 1 は、熱帯(10S-10N)の東西波数 - 時間周波数スペクトルである。まず時間周波数が 1, 2, ... (サイクル毎日)のところにライン上のピークが見られるが、これは(良く知られた)日周期変動である。今回新たに見つかったのは、それ以外のところに孤立状に多数現れるピークである。

図 1 に 印で重ねて描いたのは、大気力学理論から予測される自由振動の固有振動数である。

自由振動はあらゆる力学系に現れる基本的な固有（共鳴）振動現象であり、例えば楽器によって生み出される美しい音色はその一例である。地球大気自由振動は、ラプラスを嚆矢とする大気力学理論の中で二百年も前からその存在が予測されてきた。各々の自由振動モードは固有の空間構造・周波数を持ち(Longuet-Higgins, 1968)、4つの形態（ロスビー波・ケルビン波・重力波・ロスビー重力波）に分類される(Matsuno, 1966; 図1)。ところがこれら理論的予測の一方で、現実大気中における自由振動の検出は、観測時間分解能の制約もあり、これまでごく一部の長周期モード（主に、図の青で示すロスビーモード数例）に限られてきた。

図1から分かるように、観測データにみられるスペクトルピークは、自由振動の固有振動数と非常に良く一致している。すなわち本研究は、大気中の共鳴振動を広い周波数領域にわたって多数検出し、2世紀前のラプラス理論を観測的に裏付けることに成功した。また、これらの空間スケールは数千～1万km、時間周期が数日以下であり、『短周期変動は空間スケールも小さい』という従来の気象学的常識が必ずしも正しくないことを示している。

本研究成果は国際ジャーナル論文として公開し(Sakazaki and Hamilton, 2020, Journal of the Atmospheric Sciences) 海外の複数のメディアにも取り上げられた。

(2) 大気自由振動に伴う降水量変動の検出

さらにこれら自由振動に伴う力学的変動が、微弱ながらも熱帯のグローバルスケールの地上降水変動を励起していることも明らかにした。これまで自由振動はむしろ降水変動によって引き起こされていると考えられてきたが、本成果はその理解に疑問符を投げかけるものでもある。また、同様の降水誘因メカニズムは、半日周期潮汐に伴う降水変動のメカニズムと同じであることを指摘した。この成果も国際ジャーナル論文(Sakazaki, 2021, Journal of the Atmospheric Sciences)として公表した。

(3) 今後の展望など

当初の計画では全く想定していなかったことだが、自由振動モード群の初検出という、グローバル大気の変動に関わる大きな成果を得ることができた。その後の展開として、やはり大気内部変動による非線形効果(エネルギー順・逆カスケード)が大気自由振動の励起源として重要ではないかという報告も出ている(Zurita-Gotor and Held, 2021)。ここで本研究の当初の計画に話が戻るが、日周期加熱によるエネルギー注入が自由振動の励起源となっている可能性がある、代表者は考えている(予備的なモデル実験でもそれを示唆する結果を得ている)。今後は、日周期変動と自由振動という、グローバル大気の周期性を支配する両者のメカニズムについて、互いの関係にも注目しながらより詳しく調べていきたい。

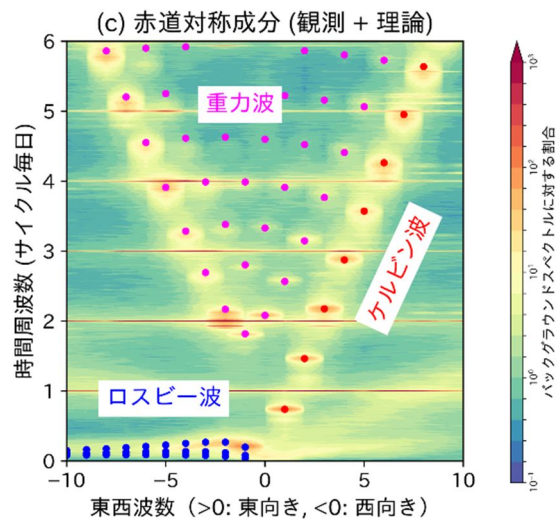


図1：(陰影) 熱帯の地上気圧データに対する、東西波数-時間周波数の二次元スペクトル（赤道対称成分）。●は理論で予測される自由振動ピークの位置で、異なる色は異なるモードを示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sakazaki, T., and K. Hamilton	4. 巻 77(7)
2. 論文標題 An Array of Ringing Global Free Modes Discovered in Tropical Surface Pressure Data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Atmospheric Sciences	6. 最初と最後の頁 2519 - 2539
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1175/jas-d-20-0053.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Sakazaki, T.	4. 巻 78(4)
2. 論文標題 Tropical Rainfall Variability Accompanying Global Normal Mode Oscillations	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Atmospheric Sciences	6. 最初と最後の頁 1295 - 1316
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1175/JAS-D-20-0288.1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 M. Shiotani, A. Saito, T. Sakazaki, S. Ochiai, P. Baron, T. Nishibori, M. Suzuki, T. Abe, H. Maezawa, S. Oyama	4. 巻 なし
2. 論文標題 A Proposal for Satellite Observation of the Whole Atmosphere - Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder (Smiles-2)	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium	6. 最初と最後の頁 8788-8791
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/IGARSS.2019.8898423	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 P. Baron, S. Ochiai, E. Dupuy, R. Larsson, H. Liu, N. Manago, D. Murtagh, S. Oyama, H. Sagawa, A. Saito, T. Sakazaki, M. Shiotani, and M. Suzuki	4. 巻 13
2. 論文標題 Potential for the measurement of mesosphere and lower thermosphere (MLT) wind, temperature, density and geomagnetic field with Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder 2 (SMILES-2)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Atmospheric Measurement Techniques	6. 最初と最後の頁 219-237
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5194/amt-13-219-2020	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 坂崎貴俊
2. 発表標題 ERA5地上気圧データで同定された高周波自由振動モード
3. 学会等名 日本気象学会2020年度春季大会 【予稿集のみ】
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takatoshi Sakazaki
2. 発表標題 An Array of Ringing Global Free Modes Discovered in Tropical Surface Pressure Data
3. 学会等名 CEDAR Virtual meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂崎貴俊
2. 発表標題 熱帯地上気圧データで同定されたグローバル大気の共鳴振動モード
3. 学会等名 大槌シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂崎貴俊
2. 発表標題 熱帯海洋上大気の 気温太陰潮汐シグナルの検出
3. 学会等名 2019年度大槌シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 坂崎貴俊
2. 発表標題 ドローンを用いた大気境界層の時間発展の観測
3. 学会等名 日本気象学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takatoshi Sakazaki
2. 発表標題 Daily Cycle of the Earth's Atmosphere: Local and Global
3. 学会等名 3rd UK-Japan FoS Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takatoshi Sakazaki
2. 発表標題 Laplace's atmosphere: An Array of Ringing Modes Discovered in Global Data
3. 学会等名 WCRP/SPARC SATIO-TCS joint workshop on Stratosphere-Troposphere Dynamical Coupling in the Tropics (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂崎貴俊
2. 発表標題 ERA5地上気圧データで同定された高周波自由振動モード
3. 学会等名 2019年度PANSY研究集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 坂崎貴俊
2. 発表標題 熱帯海洋域における地上気温の太陰潮汐シグナルの検出
3. 学会等名 日本気象学会2018年春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takatoshi SAKAZAKI
2. 発表標題 Is there a stratospheric pacemaker controlling the daily cycle of tropical rainfall?
3. 学会等名 AOGS 15th annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takatoshi SAKAZAKI
2. 発表標題 Discovery of a lunar air temperature tide over the ocean: A diagnostic of air-sea coupling
3. 学会等名 AOGS 15th annual meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takatoshi SAKAZAKI
2. 発表標題 Tropospheric response to downward propagating tide from the stratosphere
3. 学会等名 The SPARC 6th General Assembly (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takatoshi SAKAZAKI
2. 発表標題 Tropospheric response to downward propagating tide from the stratosphere
3. 学会等名 National Taiwan University?Kyoto University workshop on tropical meteorology (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

個人HP http://www-mete.kugi.kyoto-u.ac.jp/zaki/Research_map https://researchmap.jp/takatoshi_sakazaki
--

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------