

平成 22年 4月 23日現在

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2009

課題番号：19740283

研究課題名 (和文) 大気化学—気候結合モデルを用いた熱帯対流圏界面領域における輸送・光化学過程の研究

研究課題名 (英文) Study of transport and photochemistry around the tropical tropopause using Chemistry Climate Models

研究代表者

藤原 正智 (FUJIWARA MASATOMO)

北海道大学・大学院地球環境科学研究所・准教授

研究者番号：00360941

## 研究成果の概要 (和文)：

熱帯の対流圏界面領域の気温や風速等には、数日から数十日の時間スケールで非常に大きな変動がある。これは主として熱帯の組織化した積雲群から励起される各種赤道波や季節内振動である。これら熱帯圏界面擾乱は、成層圏対流圏間の輸送過程や成層圏水蒸気濃度決定過程に主要な役割を果たしていると考えられる。したがって、成層圏オゾンの将来予測をおこなう数値モデル (大気化学—気候結合モデル、Chemistry Climate Model) は、こうした擾乱活動度を適切に表現している必要がある。本研究では、世界の4機関のCCM (CCSRNIES, CMAM, MRI, WACCM) と5つの全球再解析データ (ERA40, ERA-Interim, JRA25, NCEP/NCAR (NCEP1), NCEP-DE0 AMIP-II (NCEP2)) について、熱帯100 hPaの気温・水平風速における波動活動度を、赤道対称—非対称分解による時空間スペクトル解析により調べ、比較した。

全てのデータセットについて、赤道ケルビン波、混合ロスビー重力波が見い出された。いわゆる季節内振動 (振動数 0.05 cycle/day 以下) は、今回の手法ではほとんど統計的に有意なシグナルとしては取り出せなかったが、全てのデータセットにおいてこの振動数領域が最も大きなパワーを持っていた。気温データにおける、赤道ケルビン波、混合ロスビー重力波、季節内振動 (赤道対称・東進のみ) について、パワースペクトル密度の領域積分として活動度を定義し、9つのデータセット間で比較した。その際、赤道ケルビン波と混合ロスビー重力波については統計的有意性を考慮した。一方、季節内振動の活動度は上限値である。その結果、まず5種の全球再解析データ間で波動・擾乱活動度に大きな違いがあることが判明した。ERA40/ERA-Interimにおける赤道ケルビン波と混合ロスビー重力波の活動度は、NCEP1/NCEP2の2-3倍であり、JRA25はそれらの中間に位置する。季節内振動の活動度 (の上限値) については、全球再解析データ間で大きな違いはない。一方、4種のCCMは基本的には全球再解析データ間のばらつきの範囲内に収まっていた。WACCMは赤道ケルビン波と混合ロスビー重力波の活動度が最大で、ERA40/ERA-Interimのそれと同程度であった。CCSRNIESは赤道ケルビン波活動度が最小で、MRIは混合ロスビー重力波活動度が最小であった。季節内振動の活動度については、CCSRNIES以外のCCMはいずれも全球再解析データよりも大きかった。

つまり、CCMの検証をおこなうべき全球再解析データに大きなばらつきがあり、現実がどの程度なのか現在利用可能な全球再解析データの範囲では判断がつかないということが分かった。今後、ラジオゾンデデータやGPS掩蔽による気温データなどの観測データに立ち返って、現実の波動・擾乱活動度を調べる必要がある。

## 研究成果の概要 (英文)：

There exists significant sub-seasonal variability in temperature and other parameters around the tropical tropopause. This is due to equatorial waves, intra-seasonal

oscillations (ISOs), and other disturbances that are generated by tropical organized convection. Therefore, appropriate representation of tropical convection and tropical disturbances is crucial even for the Chemistry Climate Models (CCMs) that simulate and project stratospheric ozone, since these waves significantly influence the stratosphere-troposphere transport processes and help determine the coldest temperatures, affecting the dehydration processes in the tropical tropopause region. In this study, the wave activity in temperature and zonal and meridional winds at 100 hPa in the tropics is analyzed for four CCMs that produced high time frequency winds and temperatures (CCSRNIES, CMAM, MRI, and WACCM) and for five reanalysis data sets (ERA40, ERA-Interim, JRA25, NCEP/NCAR (NCEP1), and NCEP-DEO AMIP-II (NCEP2)), using a zonal-wavenumber-frequency spectral analysis method with a equatorially symmetric-antisymmetric decomposition.

Features commonly observed in all data sets are equatorial Kelvin waves and mixed Rossby gravity (MRG) waves. ISOs, at frequencies smaller than 0.05 cycle per day, are mostly not statistically significant with respect to the background spectra estimated here; however, largest power is found in these regions. The activity for equatorial Kelvin waves, MRG waves, and symmetric eastward-moving ISO is defined as the integration of power spectral density in the respective zonal-wavenumber-frequency region for each wave/disturbance. The statistical significance is considered only for Kelvin and MRG waves. The ISO activity here is the upper limit. Results indicate that five reanalysis data sets have very different wave activities. The Kelvin and MRG wave activities in ERAs are 2-3 times greater than those in NCEPs; those in JRA25 are close to the average. The ISO activity (the upper limit) is rather similar for the five reanalysis data sets. The wave activities in the four CCMs are generally within the range of those in the reanalysis data. WACCM shows the greatest Kelvin and MRG wave activities, which are comparable to those in ERAs. CCSRNIES shows the smallest Kelvin wave activity, and MRI shows the smallest MRG activity. The ISO activity (the upper limit) in the CCMs is greater than that in the five reanalysis data sets except for CCSRNIES.

The above results indicate that the reanalysis data currently available do not give the actual wave activities due to their large discrepancy. Analysis of radiosonde data and GPS occultation temperature data is necessary to investigate the actual wave activities.

#### 交付決定額

(金額単位：円)

|        | 直接経費       | 間接経費     | 合計         |
|--------|------------|----------|------------|
| 2007年度 | 1,600,000円 | 0円       | 1,600,000円 |
| 2008年度 | 800,000円   | 240,000円 | 1,040,000円 |
| 2009年度 | 800,000円   | 240,000円 | 1,040,000円 |
| 年度     |            |          |            |
| 年度     |            |          |            |
| 総計     | 3,200,000円 | 480,000円 | 3,680,000円 |

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学 気象・海洋物理・陸水学

キーワード：熱帯、対流圏界面、輸送、光化学、数値モデル

## 1. 研究開始当初の背景

熱帯の対流圏界面領域は、対流圏大気が成層圏へ入る主たる経路にあたる。地表から放出された物質は、この領域を通して成層圏に入りオゾン層の光化学過程を支配している。この領域のひとつの大きな特徴は極めて低温であることである。対流圏の湿った大気は成層圏へ入る直前にこの領域の気温値に従って凝結し乾燥する(脱水過程)。成層圏が極めて乾燥した状態に維持されている理由がここにある。対流圏から成層圏への輸送過程の解明の鍵は、成層圏の乾燥度を定量的に説明できる脱水過程を明らかにするところにあると考えられ、多くの研究がなされてきた。歴史的には、成層圏子午面循環の一部である熱帯でのゆっくりとした上昇流による輸送過程がはじめに着目されたが、その後、熱帯で局所的に発生する極めて背の高い積乱雲が注目されるようになってきた。しかし、いずれの過程も観測、数値実験とともに定量的な議論は容易ではないため、現在でも未だにその定量的な寄与の度合いは明らかになっていない。一方、近年になり、熱帯対流圏界面領域の気象力学的構造の見直しが進み、対流圏界面を“面”ではなく厚みを持った遷移層(Tropical Tropopause Layer, TTL)ととらえるべきであることが明らかになってきた。TTL内では第ゼロ近似では大規模・準水平移流が卓越し、積雲対流の影響は無視できる。熱帯における脱水過程を伴う輸送過程の主体は、TTL内におけるこのような水平移流とゆっくりとした上昇流である、という新たな仮説が提出された(Holton and Gettelman, *Geophys. Res. Lett.* (以下 GRL), 2001)。この仮説に従えば下部成層圏の水蒸気濃度の季節変動・年々変動は定量的に説明できる、とする研究もあるが、まだコンセンサスは得られていない。

しかし、上記の“TTL”はあくまで時空間平均した仮想的な描像にすぎない。現実の熱帯対流圏界面領域は、大気擾乱・波活動によって常に大きく変動している。最も大きく寄与している擾乱は、組織化した積雲群から励起される大規模東進重力波(赤道ケルビン波)である。本研究課題研究代表者(以下、研究代表者)は、この点に着目した独自の観測的・数値的研究に長年取り組んできた。主な観測的研究は、赤道ケルビン波の破碎に伴うオゾンの不可逆輸送現象の発見(Fujiwara et al., *J. Geophys. Res.* (以下 JGR), 1998)、効率

的な脱水メカニズムの発見(Fujiwara et al., GRL, 2001)、乱流強度増大の観測(Fujiwara et al., GRL, 2003)である。最近では、脱水過程の結果である対流圏界面領域の巻雲のふるまいを共同研究者とともに次々と明らかにした(Fortuin et al., JGR, 2006; Shibata et al., JGR, 2006; Immler et al., JGR, 2006)。また、新たな巻雲観測結果を、筆頭著者として論文にまとめていた。数値的研究としては、日本の大気大循環モデル(GCM)に簡略化したオゾン光化学過程を組み込んだものを用いた先駆的なものがある(Fujiwara and Takahashi, JGR, 2001)。破碎しつつ伝播する赤道ケルビン波によるオゾン・水蒸気の不可逆輸送メカニズムの詳細を明らかにするとともに、対流圏界面における赤道ケルビン波の活動度の季節・経度依存性をはじめ明らかにした。

自身の一連の研究により、対流圏界面領域を伝播する赤道ケルビン波に伴う輸送過程・脱水過程の特徴が明らかになってきた。さらに近年、他の研究者たちによって、ケルビン波だけでなく、赤道ロスビー波、夏季のアジア上に発達するモンスーン(水平)循環、亜熱帯域における中緯度ロスビー波なども、熱帯における対流圏から成層圏への輸送過程に寄与する可能性が議論されるようになってきた。

一方、研究代表者は2003~2004年に、先に紹介した論文 Holton and Gettelman (2001) の Andrew Gettelman 氏(米国大気研究センターNCAR 所属)とともに、熱帯対流圏界面領域の放射加熱率分布に関する共同研究を行った(Gettelman, Forster, Fujiwara et al., JGR, 2004)。この Gettelman 氏は、この分野をリードしている科学者のひとりであるとともに、NCAR の最新の大気化学-気候結合モデル WACCM の開発にたずさわっており、今年、熱帯対流圏界面領域の力学的構造に関する予備的実験を成功裏に終えている。WACCM3 の登場により、熱帯対流圏界面領域の輸送過程を包括的に調べるのが可能になったと同時に、これまでほとんど定量的な研究がなされていなかったこの領域の光化学過程についても、はじめて本格的に考察できるようになったといえる。そこで、応募者のこれまでの大規模擾乱研究の経験を生かし、また、Gettelman 氏との間で築いてきた密接な協力関係を生かして、最新モデル WACCM の出力データを用いて、熱帯対流圏界面領域における各種大規模

擾乱に伴う輸送過程とオゾン層光化学に寄与する諸物質のふるまいについて研究する本計画を着想するに至った。

## 2. 研究の目的

研究開始当初の研究目的は、NCARの大気化学-気候結合モデル WACCM による数値計算を実施し、出力データの解析により、熱帯対流圏界面領域の輸送過程（大規模赤道波、夏季のモンスーン循環、亜熱帯域における中緯度ロスビー波の破碎、それぞれによるもの）、およびオゾンを中心とした光化学過程を明らかにすることにあつた。しかし、2年目に状況が変わり、2010年に世界気象機関(WMO)により出版される予定の新しいオゾン層アセスメントレポートの準備として、世界各国の大気化学-気候結合モデル(Chemistry Climate Model, CCM)を比較検証する国際的な活動 CCMVal が始動し、自身も参加することになった。そこで、解析対象のCCMとして、WACCMだけでなく、カナダのCMAM、東京大学-国立環境研究所のCCSRNIES、気象庁気象研究所のMRIの3種も扱うこととし、さらに比較のため、現在世界で気候データセットとして広く使われている全5種の全球再解析データ(JRA, ERA40, ERA-Interim, NCEP/NCAR (NCEP1), NCEP-DEO AMIP-II (NCEP2))も扱うこととした。さらに、解析対象は、各種基本的な気候場と熱帯の対流圏界面(100 hPa)の波動活動度にしぼることとした。したがって、あらたな研究目的は、上記全9種のデータセットについて、気候場の比較をした上で、熱帯対流圏界面の波動活動の比較をおこなう、ということとなった。

## 3. 研究の方法

4種のCCMについては、1990年から2000年の期間について観測された海表温を用いたシミュレーション(オゾン層アセスメントレポート等ではREF-B1と呼ばれる実験設定)を各研究協力者に実施してもらった。全9種の1990年から2000年の11年分のデータセットについて、まず気候場に関する各種の基本的な作図をおこない、比較した。その上で、熱帯対流圏界面(100 hPa)の気温、東西風、南北風について、赤道対称-非対称分解による時空間スペクトル解析をおこない、季節内振動(Intra-Seasonal Oscillation, ISO)や各種赤道波(特に、赤道ケルビン波と混合ロスビー重力波)の活動度を求め、比較した。さらに、これら熱帯の大規模擾乱の励起源は熱帯の組織化した積雲群であることがよく知られているため、積雲活動の指標である外向き

長波放射(Outgoing Longwave Radiation, OLR)についても、観測データ(NOAA OLR と呼ばれるデータセット)と4種のCCMについて、同様の時空間スペクトル解析をおこなった。なお、時空間スペクトル解析の統計的有意性を調べるための背景の赤色ノイズスペクトル推定の具体的な手法については、本研究期間第2年目にあらたな提言をしている論文が2つ出版されたので、それらを踏まえたうえで、独自のアイデアを盛り込んだ新しい解析手法を考案し、計算プログラムを作成した。

## 4. 研究成果

ここでは、気温データの解析に絞って結果を紹介する。全てのデータセットについて、赤道ケルビン波、混合ロスビー重力波が見い出された。いわゆる季節内振動(振動数0.05 cycle/day以下)は、今回の手法ではほとんど統計的に有意なシグナルとしては取り出せなかったが、全てのデータセットにおいてこの振動数領域が最も大きなパワーを持っていた。赤道ケルビン波、混合ロスビー重力波、季節内振動(赤道対称・東進のみ)について、パワースペクトル密度の領域積分として活動度を定義し、9つのデータセット間で比較した。その際、赤道ケルビン波と混合ロスビー重力波については赤色ノイズスペクトルに対する統計的有意性を考慮した。一方、季節内振動の活動度は上限値である。得られた波動・擾乱活動度について、5種の全球再解析データの平均値で割り算した値を表1に示す。

表1: 9種のデータセットにおける、赤道ケルビン波、混合ロスビー重力波、季節内振動(赤道対称・東進のみ)の活動度。5種の全球再解析データの平均値(0.184 K<sup>2</sup> for Kelvin waves, 0.0311 K<sup>2</sup> for MRG waves, and 0.209 K<sup>2</sup> for the ISO)に対する比として示す

|             | Kelvin waves | MRG waves | ISO   |
|-------------|--------------|-----------|-------|
| ERA40       | 1.46         | 1.21      | 1.10  |
| ERA-Interim | 1.48         | 1.28      | 1.03  |
| JRA25       | 1.12         | 0.997     | 1.22  |
| NCEP1       | 0.524        | 0.826     | 0.859 |
| NCEP2       | 0.421        | 0.684     | 0.786 |
| CCSRNIES    | 0.344        | 0.416     | 0.716 |
| CMAM        | 1.22         | 0.799     | 1.34  |
| MRI         | 1.04         | 0.234     | 1.50  |
| WACCM       | 1.44         | 1.43      | 1.31  |

表1より、まず5種の全球再解析データ間で波動・擾乱活動度に大きな違いがあること

が判明した。ERA40/ERA-Interim における赤道ケルビン波と混合ロスビー重力波の活動度は、NCEP1/NCEP2 の 2-3 倍であり、JRA25 はそれらの中間に位置する。季節内振動の活動度（の上限値）については、全球再解析データ間で大きな違いはない。一方、4 種の CCM は基本的には全球再解析データ間のばらつきの範囲内に収まっていた。WACCM は赤道ケルビン波と混合ロスビー重力波の活動度が最大で、ERA40/ERA-Interim のそれと同程度であった。CCSRNIES は赤道ケルビン波活動度が最小で、MRI は混合ロスビー重力波活動度が最小であった。季節内振動の活動度については、CCSRNIES 以外の CCM はいずれも全球再解析データよりも大きかった。

つまり CCM の検証をおこなうべき全球再解析データに大きなばらつきがあり、現実がどの程度なのか現在利用可能である全球再解析データの範囲では判断がつかないことが分かった。今後、ラジオゾンデデータや GPS 掩蔽による気温データなどの観測データに立ち返って、現実の擾乱活動度を調べる必要がある。

上記の結果を、各国の CCM を比較検証する国際的な活動 (CCMVal) のアセスメントレポートの Chapter 7.4.6 (Intra-seasonal Variability/Waves) にまとめた。本レポートは 2010 年 4 月現在、査読過程が全て終了し、印刷待ち状態にある (SPARC CCMVal (2010), SPARC CCMVal Report on the Evaluation of Chemistry-Climate Models, V. Eyring, T. G. Shepherd, D. W. Waugh (Eds.), SPARC Report No. 5, WCRP-X, WMO/TD-No. X; 次の website にて受理原稿が公開されている: <http://www.atmosp.physics.utoronto.ca/SPARC/>)。さらに、このレポートの Chapter 7 の一部 (7.4.6 は含まず) を、共著者のひとりとして投稿論文 (タイトル: Multi-model assessment of the Upper Troposphere and Lower Stratosphere: Tropics and Trends) にまとめ、Journal of Geophysical Research (JGR) 誌に投稿し、2010 年 4 月に受理された (Gettelman et al.)。また、以前から進めてきていた熱帯対流圏界面領域の巻雲観測に関する研究について、国際学会で発表 (招待講演) するとともに論文化した (Fujiwara et al., 2009)。さらに、他にも 4 件、熱帯対流圏界面領域に関する論文を共著者の立場で出版した (Yoneyama et al., 2009; Takashima et al., 2009; Immler et al., 2009; Inai et al., 2010)。さらに、1993 年から 2009 年にかけての熱帯下部成層圏の水蒸気ゾンデ観測データを用いた季節変動・年々変動・十年規

模変動の解析、および、全球非静力学モデル (Non-hydrostatic ICosahedral Atmospheric Model, NICAM) の出力データの熱帯対流圏界面領域における対流雲の役割に注目した解析をおこない、それぞれ論文化して JGR 誌に投稿した (Fujiwara et al., Seasonal to decadal variations of water vapor in the tropical lower stratosphere observed with balloon-borne cryogenic frostpoint hygrometers; Kubokawa, Fujiwara et al., Analysis of the tropical tropopause layer using the Nonhydrostatic ICosahedral Atmospheric Model (NICAM): Aqua-planet experiments)。2010 年 4 月現在、前者は査読過程中、後者は受理後印刷待ちである。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 6 件)

藤原正智, 山崎孝治, 成層圏対流圏結合, 天気, 54, 597-600, 2007.

Yoneyama, K., M. Fujita, N. Sato, M. Fujiwara, Y. Inai, and F. Hasebe (2008), Correction for radiation dry bias found in RS92 radiosonde data during the MISMO field experiment, *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, 4, 13-16, doi:10.2151/sola.2008-004.

Takashima, H., M. Shiotani, M. Fujiwara, N. Nishi, and F. Hasebe (2008), Ozone-sonde observations at Christmas Island (2N, 157W) in the equatorial central Pacific, *Journal of Geophysical Research*, 113, D10112, doi:10.1029/2007JD009374.

Immler, F., K. Krüger, M. Fujiwara, G. Verver, M. Rex, and O. Schrems (2008), Correlation between equatorial Kelvin waves and the occurrence of extremely thin ice clouds at the tropical tropopause, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8, 4019-4026.

Fujiwara, M., S. Iwasaki, A. Shimizu, Y. Inai, M. Shiotani, F. Hasebe, I. Matsui, N. Sugimoto, H. Okamoto, N. Nishi, A. Hamada, T. Sakazaki, and K. Yoneyama (2009), Cirrus observations in the tropical tropopause layer over the western Pacific, *Journal of Geophysical Research*, 114, D09304, doi:10.1029/2008JD011040.

Inai, Y., F. Hasebe, K. Shimizu, and M. Fujiwara (2009), Correction of radiosonde pressure and temperature measurements using simultaneous GPS height data, *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, 5, 109-112, doi:10.2151/sola.2009-028.

Kubokawa, H., M. Fujiwara, T. Nasuno, and M. Satoh (2010), Analysis of the tropical tropopause layer using the Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model (NICAM): Aqua-planet experiments, *Journal of Geophysical Research*, in press (accepted, October 2009).

SPARC CCMVal (2010), SPARC CCMVal Report on the Evaluation of Chemistry-Climate Models, V. Eyring, T. G. Shepherd, D. W. Waugh (Eds.), SPARC Report No. 5, WCRP-X, WMO/TD-No. X, available online at <http://www.atmosp.physics.utoronto.ca/SPARC/> (藤原は Chapter 7 の co-author のひとり)

Gottelman, A., M. I. Hegglin, S-W. Son, J. Kim, M. Fujiwara, T. Birner, S. Kremser, M. Rex, J. A. Añel, J. Austin, J. F. Lamarque, H. Akiyoshi, D. Plummer, T. G. Shepherd, J. Scinocca, M. Michou, H. Teysseire, M. Dameris, H. Garny, C. Brühl, P. Jöckel, S. Pawson, S. Bekki, K. Shibata, D. Smale, E. Rozanov, E. Mancini, G. Pitari, O. Morgenstern, M. Chipperfield, S. Dhomse, W. Tian, N. Butchart, S. C. Hardiman, P. Braesike, J. A. Pyle, D. E. Kinnison, Multi-model assessment of the upper troposphere and lower stratosphere: Tropics and trends, *Journal of Geophysical Research*, submitted, December 2009; revised, April 2010; accepted, April 2010.

[学会発表] (計 13 件)

Fujiwara, M., 他 14 名, Cirrus observations in the tropical tropopause layer over the western Pacific, 日本地球惑星科学連合 2007 年大会, 2007 年 5 月 3 日, 千葉市幕張メッセ

Fujiwara, M., 他 13 名, Cirrus observations in the tropical tropopause layer over the western Pacific, 14th Conference on the Middle Atmosphere, 2007 年 8 月 20-24 日, Portland, USA

藤原正智・他 13 名, 熱帯西太平洋の対流圏界面領域における Cirrus の観測, 日本気象学会秋季大会, 2007 年 10 月 14-16 日, 北海道大学

Fujiwara, M., 他 13 名, Cirrus observations in the tropical tropopause layer over the western Pacific, AGU fall meeting, 2007 年 12 月 12 日, San Francisco, USA

藤原正智・他 8 名, 熱帯西太平洋域における水蒸気・オゾンゾンデ観測キャンペーン (2007 年 1 月・2008 年 1 月), 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 2008 年 5 月 25 日~30 日, 千葉市幕張

メッセ

森岡浩・藤原正智・他 4 名, SHADOZ データによる熱帯オゾンの季節変動と年々変動, 日本地球惑星科学連合 2008 年大会, 2008 年 5 月 25 日~30 日, 千葉市

Fujiwara, M., Observations of ozone, water vapor, and cirrus in the tropical tropopause layer over the Pacific, SPARC 4th General Assembly, 2008 年 9 月 4 日, ポローニャ, イタリア

藤原正智・他 12 名, 西太平洋の熱帯対流圏界層 (TTL) における cirrus の観測, 第 2 回赤道大気レーダーシンポジウム・第 105 回生存圏シンポジウム, 2008 年 9 月 25 日~26 日, 宇治市

藤原正智・他 8 名, 熱帯下部成層圏における水蒸気の変動 (1), 日本気象学会 2008 年度秋季大会, 2008 年 11 月 19 日~21 日, 仙台国際センター(仙台市青葉区青葉山)

藤原正智・他 11 名, 気球搭載水蒸気計により観測された熱帯下部成層圏の水蒸気の季節~長期変動, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 2009 年 5 月 21 日, 千葉市幕張メッセ

M. Fujiwara, 他 11 名, Seasonal to long-term variations of water vapor in the tropical lower stratosphere observed with balloon-borne hygrometers, 17th Conference on Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics and 15th Conference on Middle Atmosphere, 8-12 June 2009, Stowe, VT, USA

藤原正智・他 12 名, 気球搭載水蒸気計により観測された熱帯下部成層圏の水蒸気の季節~長期変動, 第 3 回赤道大気レーダーシンポジウム・第 129 回生存圏シンポジウム, 平成 21 年 9 月 11 日, 京都大学宇治

M. Fujiwara, 他 11 名, Seasonal to decadal variations of water vapor in the tropical lower stratosphere observed with balloon-borne frost-point hygrometers, IGAC-SPARC Joint Workshop, 2009 年 10 月 25-26 日, 京都市

[図書] (計 0 件)

[産業財産権] (計 0 件)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

藤原 正智 (FUJIWARA MASATOMO)

北海道大学・大学院地球環境科学研究院・准教授

研究者番号: 00360941