

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月19日現在

機関番号：82109

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20340129

研究課題名（和文）熱帯準二年振動が中高緯度の大気場・化学場の年々変動に及ぼす影響

研究課題名（英文）Effects of the quasi biennial oscillation in the tropics on interannual variations of atmosphere and chemistry in the extratropics

研究代表者

柴田 清孝 (SHIBATA KIYOTAKA)

気象庁気象研究所・環境・応用気象研究部・室長

研究者番号：50354494

研究成果の概要（和文）：気象研究所の化学-気候モデル（MRI-CCM）やERA-40再解析データ等を用いて熱帯準二年振動（QBO）が中高緯度の大気場・化学場の年々変動に及ぼす影響を調べた。MRI-CCMの過去再現実験データやERA-40再解析データから、熱帯QBOの中高緯度への影響は対流圏から伝播してくる惑星波に影響を与えて、それが極夜ジェットに影響を及ぼしていることが確認できた（Holton-Tan関係）。そのメカニズムは熱帯QBOと繋がった中緯度下部成層圏の領域においてQBO西風位相のとき惑星波は、これまで提唱されているのと逆に、下向き極向きになっていることがわかった。また、温暖化の将来予測実験からQBOとその中高緯度への影響の予測も行った。

研究成果の概要（英文）：Effects of the quasi biennial oscillation (QBO) in the tropics on interannual variations of atmosphere and chemistry in the extratropics were investigated with data of a chemistry-climate model (MRI-CCM) and the ERA-40 Reanalysis. It was found that the conventional Holton-Tan explanation that the equatorial winds in the lower stratosphere act as a waveguide for midlatitude planetary wave propagation cannot explain the winter circulation in either the ERA-40 data or the simulation. Although the composite differences in zonal wind and temperature show a slight yet statistically significant Holton-Tan effect, i. e., the stratospheric polar vortex is weaker and more disturbed under easterly QBO conditions, the EP-flux diagnostics do not show more poleward propagation in the midlatitude stratosphere. Rather, planetary waves propagate more equatorward as well as more upward during the easterly phase of the QBO. Further, future projection of the QBO and its effect on the extratropics was also investigated with the MRI-CCM.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	5,200,000	1,560,000	6,760,000
2009年度	3,200,000	960,000	4,160,000
2010年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2011年度	2,400,000	720,000	3,120,000
総計	13,200,000	3,960,000	17,160,000

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：大気現象、熱帯準二年振動（QBO）、成層圏、オゾン、年々変動、中高緯度

1. 研究開始当初の背景

熱帯成層圏において東西風がほぼ2年で風向

が入れ替わり、その変化がゆっくり（1km/月）と上部成層圏から100hPaまで下降する現象、

すなわち準二年振動 (QBO) は、観測では明瞭であるが大気大循環モデルでは長年にわたり再現されなかったが、ようやくそれらしき振動が再現されるようになってきていた。QBOの成層圏での影響は大気場だけでなく化学場でも大きく、特に冬季の中高緯度へは著しいことが解析されていた。しかし、そのメカニズムについては観測値の解析のみからでは不確定要素が大きく、それを解消するため、QBOを再現できる大気大循環モデルもしくはオゾンも予報変数として含む化学-気候モデルを使った研究が待ち望まれていた。

2. 研究の目的

QBO が季節進行と絡みながら対流圏から伝播してくる惑星波にどのような力学的仕組みで影響を及ぼしているか、また、その結果生じる子午面循環を通してどのようにオゾンなどの化学種の輸送に影響を与え、放射活性気体の化学種の放射効果がどのようにして大気場へフィードバックされるかを解き明かすことを目的としている。

3. 研究の方法

本研究はQBOの影響について、モデルの長期積分データを解析すること、および観測・再解析データの解析をすることの2つから成り立っている。長期積分はQBOを自励的に再現できる気象研究所の化学-気候モデル (MRI-CCM) に、観測された気候の強制力 (海面水温、海水、温室効果気体、フロンやハロン等のオゾン層破壊物質、太陽紫外線11年変動、火山エアロゾル) を与え、1960年代から現在まで積分する。さらに、シナリオに基づく強制力を与えて2100年までの将来予測も行う。観測・再解析データは風・温度・高度の大気場はERA40、NCEP-NCARの再解析データを使う。オゾン等の微量気体はSAGE、HALOE、SBUVなどの衛星データを欠測等の処理を適切に処理して整備する。

4. 研究成果

MRI-CCMの1980-2004年の過去再現アンサンブル実験 (5メンバー) からQBOの位相と惑星波の伝搬 (EP-flux) や北半球の極渦の強度の関係を調べた。熱帯においてモデルは、QBOの振幅は少し小さい (特に下部成層圏) が、下降速度や西風位相が下部成層圏で時として停滞する特徴など ERA-40 再解析データと良く似たQBOを再現している (図1)。

QBOの位相の影響を調べるために、熱帯50hPaの冬季 (12-2月の3カ月平均) のQBOの位相に応じてコンポジットし、両者の差を描いた。図2は西風位相時から東風位相時の差の帯状平均風と惑星波の伝播を表すEP-fluxである。

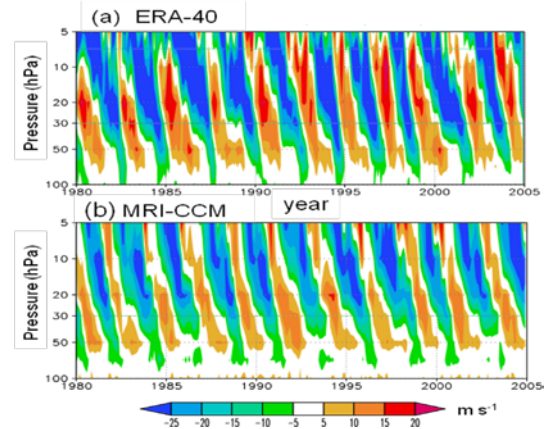


図1. 熱帯 (5S-5N 平均) 成層圏 (100-5hPa) の帯状平均風の推移 (1990-2004年)。季節変動は差し引いている。(上) ERA-40、(下)MRI-CCM。

QBOが下部成層圏で西風位相のとき、10hPa付近には東風位相があり、さらに3hPaより上層では再び西風位相になって熱帯では鉛直に3相構造をとっている。一方、中高緯度成層圏には西風が正偏差の領域があり (極夜ジェットが強い)、いわゆる Holton-Tan の関

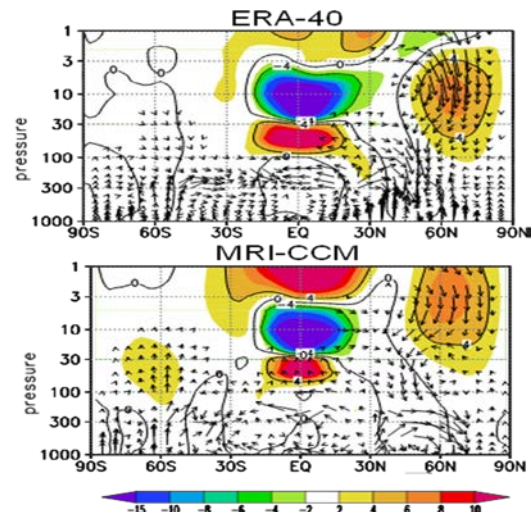


図2. QBO (熱帯50hPa) 西風位相と東風位相の帯状平均東西風とEP-fluxのコンポジットの差。シェーディングは95%有意 (t-test) な領域を表す。(上) ERA-40、(下)MRI-CCM。

係があることを示している。このとき、40N、100 hPa 付近の領域で、QBO西風位相時にEP-fluxは下向き、極向きになっており、QBOに由来する下部成層圏の東西風が対流圏から伝播してくる惑星波の伝搬をそのままコントロールしているわけではない、つまり、中緯度の下部成層圏の風が惑星波のダクトとして働き、西風位相時により赤道向き・上向きではないことを意味している。同様の関係は ERA-40 等の客観解析データでも解析さ

れ、MRI-CCM が現実大気の QBO が中高緯度大気 に及ぼす影響を再現していることを示している。

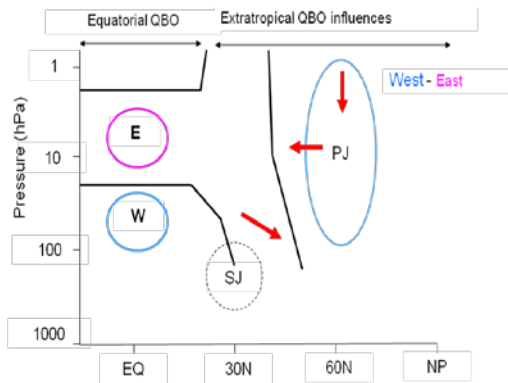


図 3. QBO と中高緯度の関係の模式図。惑星波の伝播は赤矢印で表す。E と W は東風、西風を表し、PJ と SJ は極夜ジェットと亜熱帯ジェットを表す。

この関係をスキマティックに示したのが図 3 である。QBO は西風位相 (50hPa) のとき、その上層に東風領域があり、それが中緯度の下部成層圏へと下降しながら延びており、この東風領域で惑星波は下向き極向きになっており、高緯度では極夜ジェットは強化されている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 35 件) (すべて査読有)

1. Shibata, K. and M. Deushi (2012), Future changes in the quasi-biennial oscillation under a greenhouse gas increase and ozone recovery in transient simulations by a chemistry-climate model, *Greenhouse Gases - Emission, Measurement and Management*, Dr. Guoxiang Liu (Ed.), 355-386, ISBN: 978-953-51-0323-3, InTech (<http://www.intechopen.com/books/howto-reference/greenhouse-gases-emission-measurement-and-management/future-changes-in-the-quasi-biennial-oscillation-under-a-greenhouse-gas-increase-and-ozone-recovery>).
2. Naoe, H. and K. Shibata (2012), Future changes in the influence of the quasi-biennial oscillation on the northern polar vortex simulated with an MRI chemistry climate model, *J. Geophys. Res.*, 117, D03102, doi:10.1029/2011JD016255.
3. Mitchell, D. M., K. Shibata (10 番目), 他 10 名 (2012), The nature of Arctic

polar vortices in chemistry-climate models. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, DOI:10.1002/qj.1909.

4. Kobayashi, C. and K. Shibata (2011), Evaluation of dynamical contribution to lower stratospheric ozone trends in northern mid-latitudes over the last three decades (1980-2006) using a chemical transport model, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 89, 363-376.
5. Hardiman, S. C., K. Shibata (15 番目), 他 13 名 (2011), Improved predictability of the troposphere NAO using stratospheric final warmings, *J. Geophys. Res.*, 116, D18113, doi:10.1029/2011JD015914.
6. Strahan, S. E., K. Shibata (28 番目), 他 30 名 (2011), Using transport diagnostics to understand Chemistry Climate Model ozone simulations, *J. Geophys. Res.*, 116, D17302, doi:10.1029/2010JD015360.
7. Bais, A. F., K. Shibata (24 番目), 他 24 名 (2011), Projections of UV radiation changes in the 21st century: impact of ozone recovery and cloud effects, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 11, 10769-10797, doi:10.5194/acpd-11-10769-2011.
8. Kodera, K., N. Eguchi, J-N. Lee, Y. Kuroda, and S. Yukimoto (2011), Sudden changes in the tropical stratospheric and tropospheric circulation during January 2009, *J. Meteorol. Soc. Jpn.*, 89, 283-290, doi:10.2151/jmsj.2011-308.
9. Kuroda, Y., and H. Mukougawa (2011), Role of medium-scale waves on the Southern Annular Mode, *J. Geophys. Res.*, 116, D22107, doi:10.1029/2010JD016293.
10. Deushi, M. and K. Shibata (2011), Impacts of increases in greenhouse gases and ozone recovery on lower stratospheric circulation and the age of air: Chemistry-climate model simulations up to 2100, *J. Geophys. Res.*, 116, D10302, doi:10.1029/2010JD01536.
11. Kodera, K., H. Mukougawa, and Y. Kuroda (2011), A general circulation model study of the impact of a stratospheric sudden warming event on tropical convection, *SOLA*, 7, 197-200, doi:10.2151/sola.2011-050.
12. Yoshida, K., and K. Yamazaki (2011), Tropical cooling in the case of

- stratospheric sudden warming in January 2009: focus on the tropical tropopause layer, *Atmos. Chem. Phys.*, 11, 6325–6336, doi:10.5194/acp-11-6325-2011.
13. Oman, L. D., K. Shibata, (32番目) 他 33 名 (2010), Multi-model assessment of the factors driving stratospheric ozone evolution over the 21st century, *J. Geophys. Res.*, 115, D24306, doi:10.1029/2010JD014362.
 14. Hegglin, M. I., K. Shibata (42 番目) 他 44 名 (2010), Multi-Model Assessment of the Upper Troposphere and Lower Stratosphere: Extra-tropics, *J. Geophys. Res.*, 115, D00M09, doi:10.1029/2010JD013884.
 15. Ray, E. A., K. Shibata (15 番目), 他 14 名 (2010), Evidence for Changes in Stratospheric Transport and Mixing Over the Past Three Decades Based on Multiple Datasets and Tropical Leaky Pipe Analysis, *J. Geophys. Res.*, 115, D21304, doi:10.1029/2010JD014206.
 16. Austin, J., K. Shibata (32 番目), 他 33 名 (2010), The decline and recovery of total column ozone using a multi-model time series analysis, *J. Geophys. Res.*, 115, D00M10, doi:10.1029/2010JD013857
 17. Son, S.-W, K. Shibata, (37 番目), 他 39 名 (2010), The Impact of stratospheric ozone on southern hemisphere circulation change: A multimodel assessment, *J. Geophys. Res.*, 115, D00M07, doi:10.1029/2010JD014271.
 18. Austin, J., K. Shibata (35番目) 他36 名 (2010), Chemistry-climate model simulations of spring Antarctic ozone, *J. Geophys. Res.*, 115, D00M11, doi:10.1029/2009JD013577.
 19. Charlton-Perez, A. J., K. Shibata (27 番目) 他 28 名 (2010), Quantifying uncertainty in projections of stratospheric ozone over the 21st century, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 9473-9486, doi:10.5194/acp-10-9473-2010.
 20. Eyring, V., K. Shibata (27番目) 他33 名 (2010), Multi-model assessment of stratospheric ozone return dates and ozone recovery in CCMVal-2 models, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 9451-9472, doi:10.5194/acp-10-9451-2010.
 21. Gettelman, A., K. Shibata (35 番目) 他 36 名 (2010), Multi-model assessment of the upper troposphere and lower stratosphere: Tropics and global trends, *J. Geophys. Res.*, 115, D00M08, doi:10.1029/2009JD013638.
 22. Kuroda, Y., and K. Yamazaki (2010), Influence of the solar cycle and QBO modulation on the Southern Annular Mode, *Geophys. Res. Letters*, 37, L12703, doi:10.1029/2010GL043252.
 23. Morgenstern, O., K. Shibata (28 番目), 他 32 名 (2010), Anthropogenic forcing of the Northern Annular Mode in CCMVal-models, *J. Geophys. Res.*, 115, D00M03, doi:10.1029/2009JD013347.
 24. Morgenstern, O., K. Shibata (3 番目), 他 38 名 (2010), Review of the formulation of present generation stratospheric chemistry-climate models and associated external forcings, *J. Geophys. Res.*, 115, D00M02, doi:10.1029/2009JD013728.
 25. Butchart, N., K. Shibata (28 番目), 他 28 名 (2010), Chemistry-climate model simulations of 21st century stratospheric climate and circulation changes, *J. Clim.*, 23, 5349-5374, doi:10.1175/2010JCLI3404.1.
 26. Naoe, H. and K. Shibata (2010), Equatorial quasi-biennial oscillation influence on the northern winter extratropical circulation, *J. Geophys. Res.*, 115, D19102, doi:10.1029/2009JD012952.
 27. Morgenstern, O., K. Shibata (3 番目) 他 30 名 (2010), Chemistry climate models and scenarios, Chapter 2 in *SPARC CCMVal Report on the Evaluation of Chemistry-Climote Models*, V. Eyring, T. G. Shepherd, D. W. Waugh (Eds.), SPARC Report No. 5, WCRP-132, WMO/TD-No. 1526, 17-70, 434pp.
 28. Yoshida, K., and K. Yamazaki (2010), Role of vertical eddy heat flux in the response of tropical tropopause temperature to changes in tropical sea surface temperature, *J. Geophys. Res.*, 115, D01108, doi:10.1029/2009JD012783.
 29. Cagnazzo, C., M. Deushi (9 番目), K. Shibata (17 番目) (2009), Northern winter stratospheric temperature and ozone responses to ENSO inferred from an ensemble of Chemistry Climate Models, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 8935-8948.

30. Austin, J., K. Shibata (17 番目), 他 20 名 (2009), Coupled chemistry climate model simulations of stratospheric temperatures and their trends for the recent past, *Geophys. Res. Lett.*, 36, L13809, doi:10.1029/2009GL038462.
 31. Gettelman, A., K. Shibata (11 番目) 他 15 名 (2009), The tropical tropopause layer 1960–2100, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 1621–1637.
 32. Mukougawa, H., T. Hirooka and Y. Kuroda (2009), Influence of Stratospheric Circulation on the Predictability of the Tropospheric Northern Annular Mode, *Geophys. Res. Letters*, 36, L08814, doi:10.1029/2008GL037127.
 33. Shibata, K. and M. Deushi (2008), Long-term variations and trends in the simulation of the middle atmosphere 1980–2004 by the chemistry–climate model of the Meteorological Research Institute, *Annales Geophysicae*, 26, 1299–1326.
 34. Kuroda, Y. (2008), Effect of stratospheric sudden warming and vortex intensification on the tropospheric climate, *J. Geophys. Res.*, 113, D15110, doi:10.1029/2007JD009550.
- [学会発表] (計 29 件)
1. Kuroda, Y.: Impact of stratospheric sudden warming on the predictability of tropospheric NAM variability, Workshop on stratospheric sudden warming and its role in weather and climate variations, Workshop on stratospheric sudden warming and its role in weather and climate variations, 2012. 2. 24. Kyoto, Japan.
 2. Shibata, K. and M. Deushi, Impacts of global warming and ozone recovery on stratospheric sudden warming in transient simulations of a chemistry–climate model, Workshop on stratospheric sudden warming and its role in weather and climate variations, 2012. 2. 24. Kyoto, Japan.
 3. Kuroda, Y.: Role of Ultra-violet radiation on the stratosphere–troposphere coupling of the Southern Annular Mode, 2nd Nagoya workshop on the relationship between solar activity and climate change, 2012. 1. 17. Nagoya, Japan.
 4. Shibata, K.: Solar signals in MRI–CCM simulations under transient forcings for SST and GHGs but a perpetual solar max condition, 2nd Nagoya workshop on the relationship between solar activity and climate change, 2012. 1. 16. Nagoya, Japan.
 5. Shibata, K. and M. Deushi: Effects of greenhouse gas increase and ozone recovery on lower stratospheric circulation and the age of air as revealed by chemistry–climate model simulations up to 2100, 11th EMS Annual Meeting, 2011. 9. 12, Berlin, Germany.
 6. Naoe, H. and K. Shibata: Future change in the quasi-biennial oscillation influence on the northern polar vortex simulated with an MRI chemistry climate model, IUGG General Assembly, 2011. 7. 6., Melbourne, Australia.
 7. Shibata, K., M. Deushi, and C. Kobayashi: Evaluation of the separate effects of stratospheric ozone assimilation and total ozone assimilation, and their impacts on the predictability of stratospheric and tropospheric ozone, 8th SPARC Data Assimilation workshop, 2011. 6. 20, Brussels, Belgium.
 8. Shibata, K. and M. Deushi: Gravity wave drag effects on the future quasi-biennial oscillation in the tropical stratosphere under greenhouse gas increase up to year 2100: Simulations with a chemistry–climate model, AGU Chapman Conference on Atmospheric Gravity Waves and Their Effects on General Circulation and Climate, 2011. 3. 2. Honolulu, USA.
 9. Yoshida, K. and K. Yamazaki: Tropical cooling in the case of stratospheric sudden warming in January 2009: focus on the tropical tropopause layer, 2010 AGU Fall meeting, 2010. 12. 15. San Francisco, USA.
 10. Shibata, K., and M. Deushi: Projection of future behavior of the quasi-biennial oscillation in the tropical stratosphere under the greenhouse gas increase, SPARC DynVar Workshop, 2010. 11. 4. Boulder, USA.
 11. Shibata, K., and M. Deushi: Effects of the greenhouse gas increase to the quasi-biennial oscillation in the

- tropical stratosphere up to year 2100 as simulated with the chemistry-climate model of Meteorological Research Institute, 10th EMS Annual Meeting, 2010. 9. 15. Zurich, Switzerland.
12. Shibata, K. and H. Naoe: Effects of quasi-biennial oscillation on the northern winter extratropical circulation, 38th COSPAR Scientific Assembly, 2010. 7. 25, Bremen, Germany.
 13. Shibata, K. and M. Deushi: Effect of sea surface temperature on the solar signal in the stratosphere and troposphere as revealed by chemistry-climate model simulations from 1960 to 2006, SCOSTEP Symposium STP12, 2010. 7. 15. Berlin, Germany.
 14. Kuroda, Y. and K. Yamazaki: Influence of the solar cycle and QBO modulation on the Southern Annular Mode, SCOSTEP Symposium STP12, 2010. 7. 13, Berlin, Germany.
 15. Shibata, K., and M. Deushi: Projection of the ozone quasi-biennial oscillation in the tropical stratosphere up to year 2100 as simulated with the chemistry-climate model of Meteorological Research Institute, 12th Symposium of the CACGP and 11th Science Conference of IGAC Project, 2010. 7. 13. Halifax, Canada.
 16. Naoe, H. and K. Shibata: The equatorial QBO influence on the northern winter extratropical circulation, 90th AMS Annual Meeting, 2010. 1. 19. Atlanta, USA.
 17. Deushi, M., T. Sekiyama, and K. Shibata: Ensemble Kalman filter assimilation of atmospheric chemical constituents data with a MRI chemistry-climate model: OSS Experiment, 5th WMO International Symposium on Data Assimilation, 2009. 10. 7. Melbourne, Australia.
 18. Deushi, M. and K. Shibata: Development of an MRI chemistry-climate model coupled with data assimilation system for ozone forecast, MOCA-09, the Joint Assembly of IAMAS, IAPSO and IACS, 2009. 7. 22. Montreal, Canada.
 19. Yoshida, K. and K. Yamazaki: Role of the vertical eddy heat flux in the tropical tropopause temperature response to tropical sea surface temperature changes, EGU 2009 General Assembly, 2009. 4. 21. Vienna, Austria.
 20. Shibata, K., and M. Deushi: Duration of NAM in the simulation of a chemistry-climate model driven by observed forcings, EGU 2009 General Assembly, 2009. 4. 22. Vienna, Austria.
 21. Kuroda, Y. and K. Yamazaki: Influence of solar cycle and QBO modulation on the Southern Annular Mode, SOLARIS 2009 Workshop, 2009. 3. 11. Potsdam, Germany.
 22. Deushi, M. and K. Shibata: Effects of the eruption of Mount Pinatubo on the quasi-biennial oscillation as revealed with MRI chemistry-climate model, SPARC 4th General Assembly, 2008. 9. 4. Bologna, Italy.
 23. Shibata, K. and M. Deushi: Spatial structure of the quasi-biennial oscillation in zonal wind and ozone simulated with the MRI-CCM, SPARC 4th General Assembly, 2008. 9. 4, Bologna, Italy.
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
柴田 清孝 (SHIBATA KIYOTAKA)
気象庁気象研究所・環境・応用気象研究部・室長
研究者番号：50354494
 - (2) 研究分担者
黒田 友二 (KURODA YUHJI)
気象庁気象研究所・気候研究部・主任研究官
研究者番号：80343888

山崎 孝治 (YAMAZAKI KOHJI)
北海道大学・地球環境科学研究所・教授
研究者番号：70270791
 - (3) 連携研究者
出牛 真 (DEUSHI MAKOTO)
気象庁気象研究所・環境・応用気象研究部・研究官
研究者番号：00354499