

## 高解像 GCM データを用いた中間圏における不安定構造の研究 A Study on the Structure of Instability in the Mesosphere Using a High Resolution General Circulation Model

佐藤 薫<sup>1</sup>; 増田 陽洋<sup>1\*</sup>; 岡本 功太<sup>1</sup>  
SATO, Kaoru<sup>1</sup>; MASUDA, Akihiro<sup>1\*</sup>; OKAMOTO, Kota<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻  
<sup>1</sup>Dept Earth & Planetary Sci., The University of Tokyo

It is well known that in the winter mesosphere, a necessary condition of barotropic and/or baroclinic instability, i.e., negative latitudinal gradient of potential vorticity (PV), is frequently satisfied. This study examines dynamical mechanism of the formation of such instability condition in boreal winter using high-resolution general circulation model data. This model does not include gravity wave (GW) parameterizations and hence all GWs are resolved, allowing us to analyze GWs directly. This is a strong advantage of our study because GWs are quite important for the momentum budget in the mesosphere. First, the 2-d TEM analysis was made. It is shown that the negative PV gradient is regarded as an enhanced PV maximum. This maximum is due to the poleward shift of the westerly jet in associated with strong EP-flux divergence caused by planetary waves from the troposphere. Strong GW drag slightly above the westerly jet shifts poleward as well, which can be understood by a selective GW-filtering mechanism. It seems that this GW-drag shift induces strong upwelling in the middle latitudes and adiabatically cools the middle mesosphere. Resultant enhanced static stability is the main cause of the PV maximum in the upper mesosphere. Because of the dominance of planetary waves during this event, this process may not be zonally uniform. Thus, the 3-d analysis was made using recent theoretical formula by Kinoshita and Sato (2013). As expected, the GW drag is distributed depending on the longitude. The zonal structure of PV maximum is consistent with the GW drag distribution. An interesting fact is that the spatial distribution of GW drag is not largely correlated with that of the zonal wind at the same level but highly correlated with that in the stratosphere. This result indicates that the mesosphere reflects the zonal structure of the stratosphere via the selective GW filtering.

## 昭和基地で観測された多重圏界面構造のメカニズム Dynamical mechanism of multiple tropopause structure observed over Syowa Station

澁谷 亮輔<sup>1\*</sup>; 佐藤 薫<sup>1</sup>  
SHIBUYA, Ryosuke<sup>1\*</sup>; SATO, Kaoru<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学 理学系研究科 地球惑星科学専攻

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo

Multiple tropopauses which are determined following the definition by the World Meteorological Organization (WMO) were detected in winter at Syowa Station (69.0S, 39.6E). It is shown that the multiple tropopause structures were observed along with a descent of the first (i.e., lowest) tropopause five times in the autumn period from 1 April and 16 May 2013. A detailed analysis using data from the PANSY radar and radiosonde observations was performed for a typical case in 8-11.

The mechanism of the multiple tropopause structure was analyzed using the PANSY radar and radiosonde observations. It is shown that the multiple tropopause structure was regarded as strong temperature fluctuations with a vertical length of about 3 km. Moreover, it is seen that the temperature fluctuations were out of phase with vertical wind fluctuations observed by the PANSY radar by 90°. This feature is consistent with the linear inertia-gravity wave theory. Thus, it is likely that the multiple tropopause structure above the first tropopause was due to the temperature fluctuations associated with an inertia-gravity waves (IGW) having a vertical length of about 3 km. The hodograph analysis also indicates that the multiple tropopause structure above the first tropopause is due to a monochromatic IGW.

To examine the dynamical mechanism and three-dimensional structure of this phenomenon, a numerical simulation was performed by NICAM without using any gravity wave parameterization. The model simulation period is from 0000 UTC 7 April 2013 to 0000 UTC 12 April 2013.

A close look at the time-height cross section of the zonal wind velocity and the static stability over Syowa Station indicates that the multiple tropopause structures together with the descent of the first tropopauses and associated wind disturbances were successfully simulated. A polar front jet strongly meanders in the time period from 8 April to 10 April and a tropopause folding structure is developed near Syowa Station. This means that the descent of the first tropopause was likely caused by the passage of a developing tropopause folding over Syowa Station. The IGW parameters were also consistent with those estimated by the hodograph analysis using the PANSY radar data.

Next, possible sources of the IGWs observed over Syowa Station were examined using data from the NICAM simulation. As a result, it was shown that wave packets observed over Syowa Station include gravity waves both excited by the steep topographic effect and the spontaneous adjustment process.

This mechanism is quite different from mechanisms which previous studies examined in the monsoon region or midlatitude, which is closely related to stratosphere-troposphere exchange (e.g. Randel et al. 2007). It is suggested this enable us to interpret a part of a significant seasonal sensitivity in the poles discussed by Anel et al. (2008). The static stability in the winter lower stratosphere in the Antarctic is particularly weaker than in other latitudes (Gettleman et al., 2011). It is likely because ozone heating is absent due to polar night. Based on the radiosonde observations, Tomikawa et al. (2009) also shows that the static stability in the lower stratosphere over Syowa Station is minimized in April through July. Temperature fluctuations associated with gravity waves are observed as fluctuations of the static stability. Thus, when the background static stability is sufficiently weak such as in the polar lower stratosphere, the temperature fluctuations associated with gravity waves can make local minima of the static stability which are detected as thermal tropopauses. Therefore, it is likely that multiple tropopause events due to IGWs are considered to occur frequently in the Arctic / Antarctic region in winter.

キーワード: 多重圏界面, 対流圏界面, 重力波  
Keywords: Tropopause, Multiple tropopause, Gravity wave

## 高分解能 GCM データにおける熱帯 non-migrating tides Tropical non-migrating tides appearing in a high vertical resolution GCM

坂崎 貴俊<sup>1\*</sup>; 佐藤 薫<sup>2</sup>; 河谷 芳雄<sup>3</sup>; 渡邊 真吾<sup>3</sup>

SAKAZAKI, Takatoshi<sup>1\*</sup>; SATO, Kaoru<sup>2</sup>; KAWATANI, Yoshio<sup>3</sup>; WATANABE, Shingo<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 京都大学 生存圏研究所, <sup>2</sup> 東京大学 大学院理学研究科, <sup>3</sup> (独) 海洋研究開発機構

<sup>1</sup>Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University, <sup>2</sup>Graduate School of Science, The University of Tokyo, <sup>3</sup>JAMSTEC

Atmospheric tides are global scale waves with periods that are harmonics of a solar day. They are primarily excited in the troposphere and the stratosphere, and then, propagate upward. Tides are generally classified into two components: migrating (Sun-synchronous) and non-migrating (non-Sun-synchronous) tides. Although migrating tides were examined by many previous studies, a much fewer studies considered non-migrating tides particularly in the troposphere and the stratosphere. The purpose of this study is to reveal the horizontal and vertical structure of non-migrating tides and its seasonal variations in the region from the troposphere to the mesosphere, as well as to clarify the underlying physical processes.

In this study, data from a high-resolution (T213L256) global spectral climate model (Watanabe et al., 2008) are analyzed. This model covers quite a wide height range from the ground surface to the upper mesosphere (80 km in altitude), enabling us to investigate the full tidal coupling between the lower and upper atmosphere. Also, the vertical resolution is ~300 m in the vertical, which is almost sufficient to simulate realistic propagation and momentum deposition of gravity waves including tides. We compared the model data with data from COSMIC GPS-RO measurements and TIMED/SABER satellite measurements, and confirmed that the model captures the observed characteristics at least qualitatively.

In the model data, we clearly see that non-migrating tides are mainly excited over the two large continents: over Africa and South America. The excited tides are propagating three-dimensionally like internal inertia-gravity waves. During the propagation, tides with small wavenumbers are filtered out by background zonal wind (e.g., stratospheric semiannual oscillation (SAO)). Thus, both excitation and filtering processes are important for understanding the tidal variability.

キーワード: 潮汐, 太陽非同期, KANTO, SABER, COSMIC

Keywords: nonmigrating tides, KANTO, SABER, COSMIC

AAS21-04

会場:313

時間:4月30日 09:45-10:00

## 成層圏ジオエンジニアリング Stratospheric Geoengineering

渡邊 真吾<sup>1\*</sup>  
WATANABE, Shingo<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構  
<sup>1</sup> Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Overview of stratospheric geoengineering simulations proposed by GeoMIP (Geoengineering Model Intercomparison Project) will be presented with emphasis on impact of anthropogenic stratospheric aerosols on stratospheric ozone and surface UV.

キーワード: ジオエンジニアリング, 成層圏, エアロゾル  
Keywords: geoengineering, stratosphere, aerosol

## 地形が対流圏界面付近の気温変動に与える影響に関する研究 Influence of topography onto the temperature variation around the tropical tropopause layer

久保川 陽呂鎮<sup>1\*</sup>; 藤原 正智<sup>2</sup>; 那須野 智江<sup>3</sup>; 三浦 裕亮<sup>4</sup>; 山本 真之<sup>5</sup>; 佐藤 正樹<sup>1</sup>

KUBOKAWA, Hiroyasu<sup>1\*</sup>; FUJIWARA, Masatomo<sup>2</sup>; NASUNO, Tomoe<sup>3</sup>; MIURA, Hiroaki<sup>4</sup>; YAMAMOTO, Masayuki<sup>5</sup>; SATOH, Masaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 東京大学 大気海洋研究所, <sup>2</sup> 北海道大学 大学院環境科学院, <sup>3</sup> 独立行政法人 海洋研究開発機構, <sup>4</sup> 東京大学 大学院理学研究科, <sup>5</sup> 京都大学 生存圏研究所

<sup>1</sup> Atmosphere Ocean Research Institute, The University of Tokyo, <sup>2</sup> Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University, <sup>3</sup> Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>4</sup> Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, <sup>5</sup> Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

対流圏界面領域 (Tropical Tropopause Layer: TTL) は、対流圏の水蒸気を含んだ空気塊が成層圏に流入する前に通過する領域である。この領域は、平均的に極めて低温であることから、圏界面付近で水蒸気の凝結が生じ、気候学的にも大きな影響をもつ、巻雲が生成されていると考えられる。この領域で、ケルビン波などの波が観測される時には、更なる大きな気温変動が生じ、巻雲の生成がおこると期待される。全球非静力学大気モデル Non-hydrostatic ICosahedral Atmospheric Model (NICAM) の 2006 年 12 月実験 (Miura et al. 2007) を用いて、圏界面付近の気温変動を調べたところ、インドネシア山岳上で、ケルビン波の通過に伴い、圏界面付近の気温が大きく変動していた。興味深い点は、その変動が、同緯度の海洋上に比べ 2 倍程度の振幅を持っていたことである。こういった現象は、モデルの問題かもしれないが、仮に現実に存在するならば、面白い発見である。また、モデルの問題ならばどういった要因に伴っているかは重要な課題となろう。本件研究では、NICAM の出力データ、Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere, and Climate (COSMIC) 衛星データ、いくつかの再解析データ、現地観測データといった様々なデータを用いて、インドネシア海洋大陸上の標高の高い山岳が、TTL の気温変動に与える影響を調べた。COSMIC 衛星データを用いて、2006 年から 2010 年における冬季の圏界面付近の気温の変動を調べたところ、山岳付近で分散値が高くなっていることが見られた。統計的には有意ではあるが、山岳付近で得られるデータ数は少ないといった問題点はある。再解析データを用いたところ、モデルの水平解像度が上がるにつれ、山岳付近での気温の分散値は大きくなっていった。特に、水平解像度が  $0.125^\circ$  の European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) の Year of Tropical Convection (YOTC) データを用いたところ、ケルビン波が通過した時、山岳上と海洋上で気温の振幅が 2 K ほど異なっていることがわかった。実際、山岳上の気温の 7-12 日のパワースペクトルは、海洋上に比べ大きくなっていった。2001 年 11 月のインドネシアの Jambi と Kototabang (より山岳付近) の観測データも比較してみた。しかし、2 つの観測所の気温変動に明確な違いは見られなかった。気温の分散は、日変動などの局所的な影響に伴い、Kototabang の方がわずかに大きい。波の活動度の変化によるものではなかった。本研究では、モデルや衛星観測データで、山岳上において気温の変動が大きいことが観測されたが、より明確な証拠を示すための更なるデータや解析が必要である。当日の発表では、以上のような点について報告するとともに、本研究の今後の可能性についても議論したい。



## 全球非静力学大気モデル NICAM の中層大気への拡張 Constructing the Middle-Atmosphere Version of Non-hydrostatic Global Atmospheric Model NICAM

小玉 知央<sup>1\*</sup>; 那須野 智江<sup>1</sup>; 渡辺 真吾<sup>1</sup>; 久保川 陽呂鎮<sup>2</sup>; 佐藤 正樹<sup>2</sup>

KODAMA, Chihiro<sup>1\*</sup>; NASUNO, Tomoe<sup>1</sup>; WATANABE, Shingo<sup>1</sup>; KUBOKAWA, Hiroyasu<sup>2</sup>; SATOH, Masaki<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 東京大学

<sup>1</sup> Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, <sup>2</sup> University of Tokyo

大気重力波は地形や対流活動・前線・ジェットなどによって励起され、収束することで対流圏および中層大気の基本場形成に大きな影響を与える。励起・伝搬・収束のプロセスを GCM (大気大循環モデル) で陽に表現することは難しく、多くの場合は重力波抵抗スキームが用いられる。Watanabe et al. [2008] は水平 60 km、鉛直 300 m という高解像度の GCM を用いて、重力波抵抗スキームを用いずに現実的な重力波と中層大気基本場を再現することに成功した。しかし、重力波の分散関係は静力学系と非静力学系で異なり、静力学系に基づく GCM では重力波の伝搬特性の再現性に問題がある。また、GCM では重力波の励起源の一つである対流を陽に解像できない。

著者らは全球非静力学大気モデル NICAM (Non-hydrostatic Icosahedral Atmospheric Model) のモデルトップを拡張した中層大気版 NICAM を構築している。水平解像度は 220 km、56 km、又は 14 km である。鉛直座標は中層大気で座標面がほぼ平面になる hybrid-z\* を用い、モデルトップは 80 km としている。鉛直層の間隔は中層大気で一定とし、2 km (61 層)、1 km (91 層)、500 m (162 層)、又は 300 m (261 層) で実験を行っている。重力波抵抗スキームは使用していない。これ以外の設定は、主に対流圏研究で用いられている標準的な NICAM 設定とほぼ同等である。

本発表では中層大気版 NICAM の基本場の再現性について初期結果を報告する。全体的に、対流圏・中層大気の大気温度およびジェットの基本構造はよく再現されている。極夜ジェットの軸は極側へずれているが、鉛直解像度を高めることで軸の傾きはやや改善される。夏半球の東風ジェットの強さや熱帯下部成層圏の QBO 的構造も、鉛直解像度が高い方が現実的に再現される。一方、冬半球極域の成層圏上部・中間圏において低温バイアスが顕著であり、極夜ジェットが過大に再現されている。現状では水平解像度・鉛直解像度を高めると数値不安定を起こしやすいという問題がある。当日の発表では以上のような点について報告するとともに、非静力学モデルを用いた今後の全大気層研究の可能性について議論したい。

キーワード: 非静力学全球大気モデル, 大気重力波, 中層大気, 熱帯対流

Keywords: nonhydrostatic global atmospheric model, atmospheric gravity wave, middle atmosphere, tropical convection

## くりこみ群の方法を用いた重力波の自発的放射メカニズムの物理的解釈 Physical interpretation on the mechanisms of spontaneous gravity wave radiation using the renormalization group method

安田 勇輝<sup>1\*</sup>; 佐藤 薫<sup>1</sup>; 杉本 憲彦<sup>2</sup>  
YASUDA, Yuki<sup>1\*</sup>; SATO, Kaoru<sup>1</sup>; SUGIMOTO, Norihiko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学 大学院理学系研究科 地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> 慶應義塾大学 法学部 日吉物理学教室  
<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo, <sup>2</sup>Department of Physics, Keio University

Gravity waves (GWs) are categorized into orographic ones and non-orographic ones. The mechanisms for non-orographic GW radiation are not clear, because the dynamics is quite nonlinear and complicated unlike orographic GWs. Recently it has been revealed that GWs are spontaneously radiated from an approximately-balanced flow, especially in the jet/front systems (e.g., O'Sullivan and Dunkerton 1995). The balanced adjustment theory proposed by Plougonven and Zhang (2007) is considered to be the most likely to describe the spontaneous radiation. However, their theory does not give physical interpretations on GW sources and radiation mechanisms. In this study, we derived a new theory and made physical interpretations.

Using the renormalization group (RG) method (Chen et al. 1996), which is a singular perturbation method, the interaction between the vortical flow and the Doppler-shifted GWs which both have slow time-scales is formulated for the hydrostatic Boussinesq equations on the  $f$  plane. In general, the RG method enables us to extract slowly-varying components systematically and naturally from the system containing multiple timescale motions. The derived time evolution equations (RG equations, referred to as RGEs) describe the spontaneous radiation of GWs from the components slaved to the vortical flow through a quasi-resonance together with the GW radiation reaction on the large-scale vortical flow. The quasi-resonance occurs when the space and time scales of slaved components are comparable to those of GWs (quasi-resonance condition).

The RGEs are validated using numerical simulations of the vortex dipole by Japan Meteorological Agency Nonhydrostatic Model. The flow near the dipole center is quite strong due to the confluence, which is similar to a localized jet stream in the atmosphere. GW distribution obtained by the RGE integration accords well with the numerical simulation. This result supports the validity of our theory.

The main GW sources in the vortex dipole can be classified into two groups by using the RGEs. The GW sources in the first group are the slaved components produced by the horizontal divergence of acceleration of the vortical flow near the dipole center (Fig. A). The acceleration can be regarded as the sum of Coriolis and pressure gradient forces. This fact indicates that the GW sources express the horizontal compression of fluid. The horizontal compression can produce vertical motion, which radiates GWs when its space and time scales satisfy the quasi-resonance condition. This radiation mechanism corresponds to the velocity-variation mechanism proposed by Viúdez (2007).

The slaved component in the other group is mainly produced by the vortical flow over the deformed potential temperature surfaces (Fig. B). The deformation of potential temperature surfaces can be attributed to the Bernoulli effect due to the strong vortical flow near the dipole center. The vortical flow over the deformed potential surfaces can produce vertical motion, which radiates GWs when its space and time scales satisfy the quasi-resonance condition. In other words, the deformed potential temperature surfaces act like a mountain as in the radiation process of orographic GWs. This radiation mechanism corresponds to the mountain-wave-like mechanism proposed by McIntyre (2009).

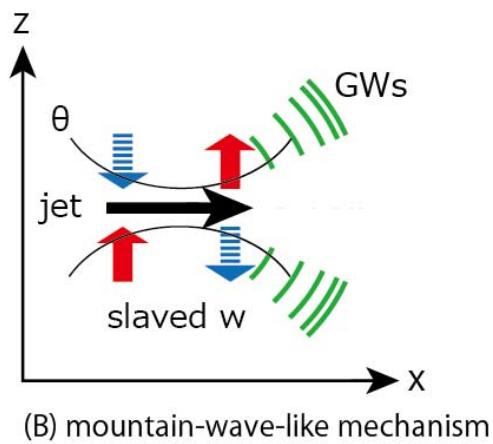
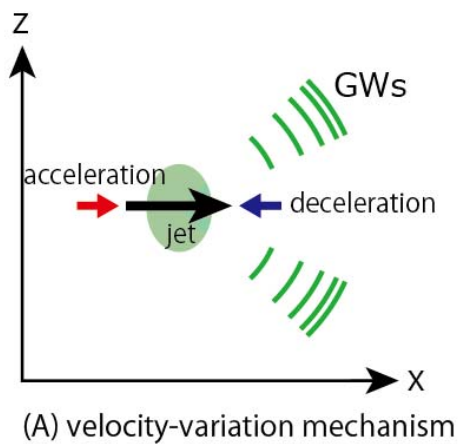
キーワード: 重力波, ジェット気流, 自発的放射, くりこみ, 波, 特異摂動法

Keywords: gravity wave, jet stream, spontaneous radiation, renormalization, wave, singular perturbation method

AAS21-07

会場:313

時間:4月30日 11:00-11:15





## 2次元湿潤対流モデルで得られた放射対流準平衡状態における QBO 的振動 QBO-like oscillation in a radiative-convective equilibrium state obtained with a two-dimensional moist convection model

余田 成男<sup>1\*</sup>; Bui Hoang-Hai<sup>2</sup>; 西本 絵梨子<sup>1</sup>  
YODEN, Shigeo<sup>1\*</sup>; BUI, Hoang-hai<sup>2</sup>; NISHIMOTO, Eriko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科 地球惑星科学専攻, <sup>2</sup> ハノイ科学大学

<sup>1</sup>Division of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University, <sup>2</sup>Hanoi University of Science

QBO (準2年周期振動) は赤道域成層圏に卓越する内部変動であり、対流圏から成層圏に伝播してきた波動が平均流と相互作用することにより生じている。20年以上前に Held et al.(1993) は2次元湿潤対流モデルで得られる放射対流平衡状態について研究し、QBO 的な振動を得た (約2か月分積分したのみ)。彼らのモデルは非回転系の2次元周期境界モデルで極度に理想化されたものであるが、QBO の基本的力学要素を包含している。本研究では、ARW(Advanced Research WRF) モデルを用い2年以上の長期間積分を行って、Held らが得た QBO 的振動を再検討する。また、計算領域や分解能、境界条件 (上端での東西風や海面温度など) を変えて感度実験を行って、QBO 的振動がどれだけロバストであるかを調べる。

コントロール実験は基本的に Held らと同じである。すなわち、水平に 640km の領域で分解能は 5km、鉛直 130 層でモデル上端は 26km に置く。積雲対流パラメタリゼーションは使用せず、雲微物理過程のみを入れる。短波放射、長波放射、地表フラックス、惑星境界層、乱流拡散、上端付近でのレイリー散逸などの物理過程は標準的なものを使う。時間積分すると、スピニアップの後に平均帯状流は周期 120.6 日の明瞭な QBO 的振動を示す。観測される QBO と異なり、QBO 的振動は対流圏でも明瞭であり、湿潤対流や重力波励起を変調させている。対流で励起された重力波は成層圏に伝播し、流れと相互作用して QBO 的振動を生んでいる。一方、対流圏では、組織化した対流システムの強さや伝播が対流圏内の平均帯状流の変動と同期して変動し、帯状平均した降水量も QBO 的振動の周期変動成分をもつ。

キーワード: QBO, 放射対流平衡, 波-平均流相互作用, 2次元湿潤対流モデル, 成層圏-対流圏力学結合

Keywords: QBO, radiative-convective equilibrium, wave-mean flow interaction, two-dimensional moist convection model, stratosphere-troposphere dynamical coupling

## 成層圏突然昇温により引き起こされる半年周期振動の年々変動 Interannual changes of the semiannual oscillation induced by stratospheric sudden warming events

大羽田 剛史<sup>1\*</sup>; 飯田 千尋<sup>1</sup>; 廣岡 俊彦<sup>3</sup>; 江口 菜穂<sup>2</sup>  
OHATA, Tsuyoshi<sup>1\*</sup>; IIDA, Chihiro<sup>1</sup>; HIROOKA, Toshihiko<sup>3</sup>; EGUCHI, Nawo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州大学大学院理学府, <sup>2</sup>九州大学応用力学研究所, <sup>3</sup>九州大学大学院理学研究院

<sup>1</sup>Graduate School of Science, Kyushu University, <sup>2</sup>Research Institute for Applied Mechanics, Kyushu University, <sup>3</sup>Faculty of Science, Kyushu University

赤道域中層大気に見られる半年周期振動は、成層圏界面付近と中間圏に独立した極大を持ち、両者はほぼ逆位相の関係にあることが知られている [例えば Andrews et al., 1987]。成層圏界面付近では夏至・冬至の頃に東風極大、春分・秋分の頃に西風極大を取り、中間圏ではそれとは逆の位相となる。半年周期振動の励起機構は、成層圏界面付近と中間圏とでは幾分異なることが知られており、それらの年々変動機構についても同様であると考えられる。本研究では、Aura MLS による衛星観測データを格子点データに変換し、半年周期振動に関わる気温場、風系場の力学的解析を行った。その結果、北半球の冬至の時期に、半年周期振動の振幅には顕著な年々変動が見られ、それが成層圏突然昇温の生起と関連していることが明らかとなった。突然昇温に伴う残差平均子午面循環の形成により、赤道域成層圏の低温偏差と中間圏の高温偏差が引き起こされ、それらが赤道域の温度風平衡を通し、成層圏界面付近で東風加速、中間圏で西風加速をもたらし、結果的にそれぞれの領域で半年周期振動を強めるものと考えられる。

キーワード: 半年周期振動, 成層圏突然昇温, MLS データ

Keywords: semiannual oscillation, stratospheric sudden warming, MLS data

**Recent variability and zonal asymmetry in upper troposphere and lower stratosphere observed with GPS radio occultation m**  
**Recent variability and zonal asymmetry in upper troposphere and lower stratosphere observed with GPS radio occultation m**

MEHTA, Sanjay<sup>1\*</sup>; TSUDA, Toshitaka<sup>1</sup>; FUJIWARA, Masatomo<sup>2</sup>; SCHMIDT, Torsten<sup>3</sup>; VERNIER, Jean-paul<sup>4</sup>  
MEHTA, Sanjay<sup>1\*</sup>; TSUDA, Toshitaka<sup>1</sup>; FUJIWARA, Masatomo<sup>2</sup>; SCHMIDT, Torsten<sup>3</sup>; VERNIER, Jean-paul<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University, Japan, <sup>2</sup>Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University, Japan, <sup>3</sup>GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Germany, <sup>4</sup>NASA Langley Research Center, Hampton, VA 23666, USA.

<sup>1</sup>Research Institute for Sustainable Humanosphere (RISH), Kyoto University, Japan, <sup>2</sup>Faculty of Environmental Earth Science, Hokkaido University, Japan, <sup>3</sup>GFZ German Research Centre for Geosciences, Potsdam, Germany, <sup>4</sup>NASA Langley Research Center, Hampton, VA 23666, USA.

Tropical upper troposphere and lower stratosphere (UTLS) variability and zonal asymmetry are explored using global positioning system radio occultation (GPS-RO) measurements. GPS-RO offers global monitoring of fine structures of the UTLS temperature variability. GPS-RO continuous measurements from CHAMP (2001-2006) and COSMIC (2006-2013) for about 13 years allows us to study the interannual variability, trends (over the last decade) and its fine zonal structures. The warming of UTLS temperatures between 100 and 50 hPa, warming of tropopause and decrease in its height have been observed over the last decade. The possible reasons for such changes linking to the recent moderate volcanic eruptions and dynamical changes involving changes in sea surface temperature and Brewer Dobson circulation will be discussed. The variability and structure observed in GPS-RO will be compared with existing conventional radiosonde and reanalysis datasets.

キーワード: UTLS Temperature, Zonal Assymetry, GPS Radio Occultation, Moderate Volcanic Eruptions, Dynamical Changes  
Keywords: UTLS Temperature, Zonal Assymetry, GPS Radio Occultation, Moderate Volcanic Eruptions, Dynamical Changes

## 南半球成層圏オゾン減少による気候変化に対する中緯度海洋フロントの役割 The role of the mid-latitude oceanic front in the ozone-induced climate change in the Southern Hemisphere

小川 史明<sup>1</sup>; OMRANI Nour-Eddine<sup>2</sup>; 西井 和晃<sup>1\*</sup>; 中村 尚<sup>1</sup>; KEENLYSIDE Noel<sup>3</sup>  
OGAWA, Fumiaki<sup>1</sup>; OMRANI, Nour-eddine<sup>2</sup>; NISHII, Kazuaki<sup>1\*</sup>; NAKAMURA, Hisashi<sup>1</sup>; KEENLYSIDE, Noel<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東京大学先端科学技術研究センター, <sup>2</sup>GEOMAR, University of Kiel, <sup>3</sup>Geophysical Institute, University of Bergen  
<sup>1</sup>RCAST, University of Tokyo, <sup>2</sup>GEOMAR, University of Kiel, <sup>3</sup>Geophysical Institute, University of Bergen

The Southern Hemisphere Annular Mode (SAM) is the dominant mode of low-frequency atmospheric variability in the extratropical Southern Hemisphere, exerting substantial impacts on regional distributions of temperature and precipitation. Its multi-decadal trend in the troposphere observed in late 20th century has been related to the lower-stratospheric changes induced by the ozone depletion. Known as a manifestation of meridional shift of the eddy-driven polar-front jet (PFJ), which is collocated with the storm-track, the SAM variability may be sensitive to the near-surface baroclinicity associated with the midlatitude oceanic frontal zone.

In the present study, aqua-planet atmospheric general circulation model experiments are conducted with two different zonally symmetric profiles of sea-surface temperature (SST) whose frontal gradient in midlatitudes is retained or eliminated. A comparison of the tropospheric response to the assigned stratospheric ozone depletion between the two SST profiles reveals critical importance of the frontal SST gradient for the intensified stratospheric polar vortex, which is due to the ozone depletion, in triggering and keeping positive phase of the tropospheric SAM in late spring through summer.

We also reveal that the SAM trend in late 20th century simulated in CMIP3/5 models is sensitive to the position and intensity of the mid-latitude oceanic frontal zone. Specifically, a model that simulates the zonal-mean frontal zone at higher latitude tends to simulate the maximum positive trends in the zonal-mean westerlies and midlatitude precipitation also at higher latitudes than another model with the oceanic frontal zone at lower latitude. This relationship is more obvious in a subset of the models with the relatively strong oceanic fronts.

キーワード: オゾンホール, 環状モード, 海洋フロント

Keywords: Ozone hole, Annular mode, Oceanic front

## 9種の再解析データにおける大規模火山噴火に対する全球気候応答 Global response to the major volcanic eruptions in 9 reanalysis datasets

藤原 正智<sup>1\*</sup>; 日比野 敬司<sup>1</sup>; Mehta Sanjay<sup>2</sup>; Gray Lesley<sup>3</sup>; Mitchell Daniel<sup>3</sup>; Anstey James<sup>3</sup>  
FUJIWARA, Masatomo<sup>1\*</sup>; HIBINO, Takashi<sup>1</sup>; MEHTA, Sanjay<sup>2</sup>; GRAY, Lesley<sup>3</sup>; MITCHELL, Daniel<sup>3</sup>; ANSTEY, James<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 北大・環境, <sup>2</sup> 京大・生存, <sup>3</sup> オックスフォード大  
<sup>1</sup>EES, Hokkaido Univ., <sup>2</sup>RISH, Kyoto Univ., <sup>3</sup>Oxford Univ.

The global climate response to the eruptions of Mount Agung in 1963, El Chichón in 1982 and Mount Pinatubo in 1991 is investigated using 9 reanalysis datasets (ERA-40, ERA-Interim, JRA-25/JCDAS, JRA-55, MERRA, NCEP/NCAR, NCEP/DOE, NCEP-CFSR, and 20CR). Multiple linear regression is applied to the zonal and monthly mean time series of key dynamical variables by considering the components of linear trends, seasonal variations, the Quasi-Biennial Oscillation (QBO), solar cycle, and El Niño Southern Oscillation (ENSO). The residuals are used to define the volcanic signals. Latitude-altitude distributions of the volcanic signals and of the regression coefficients are compared and discussed among the different reanalyses. In response to the Mount Pinatubo eruption most reanalyses show statistically significant negative and positive temperature anomalies in the tropical troposphere and in the tropical lower stratosphere, respectively. The signals are similar for the El Chichón eruption, with a statistically insignificant tropospheric response. The response to the Mount Agung eruption is asymmetric about the equator with significant warming in the Southern Hemisphere midlatitude upper troposphere to lower stratosphere. This work is a contribution to the SPARC Reanalysis Intercomparison Project (S-RIP).

キーワード: 火山噴火, 気候, 再解析, 成層圏, 対流圏  
Keywords: volcanic eruption, climate, reanalysis, stratosphere, troposphere

## ピナツボ火山噴火に伴う成層圏エアロゾル変化のシミュレーション Simulation of stratospheric aerosol changes after the Pinatubo eruption

関谷 高志<sup>1\*</sup>; 須藤 健悟<sup>1</sup>  
SEKIYA, Takashi<sup>1\*</sup>; SUDO, Kengo<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学 環境学研究科

<sup>1</sup> Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University

An explosive volcanic eruption can inject a large amount of SO<sub>2</sub> into the stratosphere, which is oxidized to form sulfate aerosol. Such aerosol has an impact on the Earth's radiative budget by enhancing back-scattering of the solar radiation, and causes stratospheric ozone depletion through heterogeneous chemical reactions. This study investigates spatiotemporal changes in the volcanic aerosol after the 1991 Pinatubo eruption. We particularly focus on impacts of (1) heating due to volcanic ash, (2) injection height, and (3) temporal evolution of the aerosol radius, on transport and distribution of the volcanic aerosol. We conducted a control simulation and three sensitivity simulations using the MIROC-ESM-CHEM chemistry — climate model. In the control simulation, 20 Mt of the SO<sub>2</sub> and 30 Mt of the ash were injected into the altitudes between 16 km and 18 km over the Mt. Pinatubo on June 15th 1991. The radius of stratospheric sulfate aerosol is prescribed by the data estimated from SAGE II in the control simulation. The first sensitivity simulation injected only the SO<sub>2</sub> into the altitudes between 16 km and 18 km. The second sensitivity simulation injected the SO<sub>2</sub> into the altitudes between 17 km and 26 km. In the third sensitivity simulation, the radius of the sulfate aerosol was fixed to 0.08 μm. The control simulation reproduced a general feature of the observed aerosol optical depth (AOD) derived from SAGE II and AVHRR, although the simulated residence time of the aerosol is longer than the observed one. The sensitivity simulations show the following: (1) heating due to the ash causes an anomalous upward and equatorward transport of the volcanic aerosol during 4 — 5 days after the eruption, (2) the SO<sub>2</sub> injection into the altitudes of 17 — 26 km does not represent the anomalous transport due to the heating which is caused by long-wave absorption of the ash, (3) the temporal evolution of the aerosol radius slightly facilitates the removal of the aerosol from the stratosphere.

キーワード: 成層圏エアロゾル, 火山噴火, 化学気候モデル

Keywords: stratospheric aerosol, volcanic eruption, chemistry-climate model



## SMILES データを用いた中層大気科学についての最近の成果 Recent Results for Middle Atmospheric Sciences using Data from SMILES

塩谷 雅人<sup>1\*</sup>  
SHIOTANI, Masato<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京都大学生存圏研究所

<sup>1</sup> Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

The Superconducting Submillimeter-Wave Limb-Emission Sounder (SMILES) aboard the Japanese Experiment Module (JEM) of the International Space Station (ISS) made atmospheric measurements of minor species in the stratosphere and mesosphere for about six months from October 2009 to April 2010. Data for scientific community are now provided from DARTS (Data ARchives and Transmission System) of ISAS/JAXA (<http://darts.isas.jaxa.jp/iss/smiles/>). In this talk, we will present recent results from the SMILES measurements in association with middle atmospheric chemistry and dynamics. The main topics to be highlighted are as follows.

[Diurnal ozone variations in the stratosphere] The SMILES observations have revealed the global pattern of diurnal ozone variations throughout the stratosphere. The peak-to-peak difference in the stratospheric ozone mixing ratio reaches 8% over the course of a day, suggesting careful consideration when merging ozone data from different satellite measurements (Sakazaki et al., 2013).

[Ozonesonde bias suggested from comparisons with SMILES] The SMILES ozone data have been extensively compared with other satellite data sources (Imai et al., 2013a). Further comparisons of SMILES ozone profiles with those from ozonesondes show that the agreement was generally good, but at low latitudes the SMILES ozone data showed larger values than those at middle and high latitudes. To explain this bias, we examined an issue of the ozonesonde's response time, and found a negative bias in ozonesonde measurements more than 7% at 20 km in the equatorial latitude (Imai et al., 2013b).

[Mesospheric ozone variations during the solar eclipse] During the annular solar eclipse on 15 January 2010, SMILES successfully captured temporal changes in ozone concentration. We found that in the lower mesosphere ozone amounts get closer to the normal nighttime average, and the mechanism is detailed with use of an atmospheric chemistry box model (Imai et al., 2014).

Keywords: Middle Atmosphere, Ozone, Satellite Observation

## JEM/SMILESにより成層圏ClO観測について Stratospheric ClO observation by JEM/SMILES

鈴木 睦<sup>1\*</sup>; 眞子 直弘<sup>2</sup>; 光田 千紘<sup>3</sup>; 今井 弘二<sup>1</sup>; 尾関 博之<sup>4</sup>; 坂崎 貴俊<sup>5</sup>; 塩谷 雅人<sup>5</sup>  
SUZUKI, Makoto<sup>1\*</sup>; MANAGO, Naohiro<sup>2</sup>; MITSUDA, Chihiro<sup>3</sup>; IMAI, Koji<sup>1</sup>; OZEKI, Hiroyuki<sup>4</sup>; SAKAZAKI, Takatoshi<sup>5</sup>  
; SHIOTANI, Masato<sup>5</sup>

<sup>1</sup>宇宙研, <sup>2</sup>千葉大/CEReS, <sup>3</sup>富士通 FIP, <sup>4</sup>東邦大学理学部, <sup>5</sup>京都大学生存研研究所

<sup>1</sup>JAXA/ISAS, <sup>2</sup>Chiba U./CEReS, <sup>3</sup>Fujitsu FIP.Corporation, <sup>4</sup>Faculty of Science, Toho University, <sup>5</sup>Kyoto U./RISH

SMILES operated on the ISS from Oct. 12, 2009 to Apr. 21, 2010. Since the detector (Superconductor-Insulator-Superconductor: SIS mixer) was cooled down to 4K, SMILES showed system noise figure,  $T_{sys} \sim 250K$ , or spectral noise floor  $\sim 0.4K$ , which gave one order better signal to noise ratio compared to previous sub-mm observations from space (Aura/MLS and Odin/SMR).

Aura/MLS have been measuring ClO with a 0.1 ppbv precision at 25-50km altitude. Theoretical precision of SMILES has been reported to be about 0.01 pptv at 30 km. This value can be verified from bin-width of histogram of nighttime ClO, which should be almost zero below 35km at the background atmosphere. We obtained actual bin-width, or ClO random error, to be 0.015 pptv, which is slightly larger than the theoretical value. It has been estimated that

the additional random error might come from IFOV pointing error, a priori pressure error, or baseline fitting error.

In tropical region (N10-S10), difference between day and night profiles was 792 pptv at 25km. This result agreed quite well with reproductive calculated value (nearby 80 pptv) by using Chemical Transport Model (SD-WACCM). On the other hand, in middle latitude (N30-50) during Mar. 13-25, 2010, SMILES value were 712 pptv at 22km, and 352 pptv at 19 km. These value were significantly larger than reported as 10 pptv by airplane and balloon observation in 1986. SMILES mid-latitude value is about 3-7 times higher than the past observation, however, agrees with reproductive calculated value like as tropical region. These discrepancy in the mid-latitude between SMILES and past observation can be explained partly by the historical increase of total Clx from 2.4 pptv in 1968 to the present value,  $\sim 3.0$  ppbv.

キーワード: 一酸化塩素, 成層圏, 国際宇宙ステーション, サブミリ波, オゾン

Keywords: Chlorine monoxide, Stratosphere, International Space Station, submm, ozone, SMILES

## SMILESによって観測された下部成層圏でのオゾンとHClの相関 Correlation between O<sub>3</sub> and HCl in the lower stratosphere as observed by SMILES

杉田 考史<sup>1\*</sup>; 笠井 康子<sup>2</sup>; 寺尾 有希夫<sup>1</sup>; 林田 佐智子<sup>3</sup>; 佐川 英夫<sup>2</sup>; 鈴木 睦<sup>4</sup>; 塩谷 雅人<sup>5</sup>  
SUGITA, Takafumi<sup>1\*</sup>; KASAI, Yasuko<sup>2</sup>; TERAOKA, Yukio<sup>1</sup>; HAYASHIDA, Sachiko<sup>3</sup>; SAGAWA, Hideo<sup>2</sup>; SUZUKI, Makoto<sup>4</sup>  
; SHIOTANI, Masato<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 国立環境研究所, <sup>2</sup> 情報通信研究機構, <sup>3</sup> 奈良女子大学, <sup>4</sup> 宇宙航空研究開発機構, <sup>5</sup> 京都大学  
<sup>1</sup>NIES, <sup>2</sup>NICT, <sup>3</sup>Nara Women's Univ., <sup>4</sup>JAXA, <sup>5</sup>Kyoto Univ.

上部対流圏におけるオゾンはそこでの放射強制力に寄与している。対流圏ではオゾンの光化学的な生成のみならず、成層圏からの輸送による寄与もより定量的に把握することが重要である。近年のモデル研究からは成層圏から対流圏へ400から700 Tg/yr程度の寄与があると見積もられている(光化学的な生成に対して最大2割程度)。したがって上部対流圏で観測的に成層圏起源オゾンの割合を見積もることは重要である。Marcyら(2004)は下部成層圏でオゾンとHClにはコンパクトな正相関関係があり、上部対流圏にはHClのソースが殆ど無いことに着目し、航空機観測結果から成層圏起源オゾンの割合を見積もることを提案した。しかし下部成層圏でのオゾン/HClの相関関係の報告はこれまで非常に少なく、これを確立することは重要である。本研究では国際宇宙ステーション搭載の超伝導サブミリ波リム放射サウンダ(SMILES)からのオゾンとHClのデータを解析し、限られた期間ではあるが南半球の中高緯度で相関関係を明らかにした。また、同季節での北半球の相関関係との比較を行ない、同じオゾン濃度に対して南半球の方が北半球よりもHCl濃度がわずかに高いことも示した。これらのオゾン/HCl相関は中高緯度における近年の貴重なリファレンスとして位置づけられる。

キーワード: SMILES, ISS, オゾン, 塩素  
Keywords: SMILES, ISS, ozone, chlorine

## FTIRで観測されたつくば上空HCl, HF全量の再増加 Reincrease of total columns of HCl and HF observed with FTIR at Tsukuba

村田 功<sup>1\*</sup>; 中島 英彰<sup>2</sup>; 森野 勇<sup>2</sup>; 秋吉 英治<sup>2</sup>  
MURATA, Isao<sup>1\*</sup>; NAKAJIMA, Hideaki<sup>2</sup>; MORINO, Isamu<sup>2</sup>; AKIYOSHI, Hideharu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東北大学大学院環境科学研究科, <sup>2</sup> 国立環境研究所

<sup>1</sup>Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University, <sup>2</sup>National Institute for Environmental Studies

東北大学と国立環境研究所では、国立環境研究所所有の高分解能フーリエ変換型赤外分光計 (FTIR) を用いて、つくばにおいて1998年12月よりオゾンをはじめとする大気微量成分の地上観測による研究を行っている。今回はHCl, HF全量の経年変化について新たな傾向が見られたので報告する。HCl, HFはそれぞれ塩素、フッ素の主なりザーバー分子であり、ともにフロン類の分解が主な生成要因で成層圏に多く分布する。そのためフロン規制によるこれらの成分の変化、特にHClの変化はオゾン層回復の観点から注目されている。

観測は期間によって異なる分光計を使用しているが、波数分解能はいずれも $0.0035\text{cm}^{-1}$ で解析にはスペクトルフッティングプログラムSFIT1を用いている。各スペクトルから求めた全量は観測日毎に平均し、この経年変化を調べた。

観測結果はHCl, HFとも春極大・秋極小の季節変化を示すが、経年変化に注目すると、HClは1999年から2001年にかけてはやや増加しているように見えるが、2003年以降は減少し、2007年頃から再び増加している。HFは1999年から2002年にかけてはやや増加しているように見え、2003年からはほぼ横ばい、そして2007年頃以降は明らかに増加している。そこで、2001-2006年と2007-2013年の2つの期間に分けてサイン関数(季節変化)と直線(経年変化)でフィッティングしてみると、HClはそれぞれ $-1.8\%/yr$ ,  $+1.0\%/yr$ , HFはそれぞれ $+0.3\%/yr$ ,  $+2.5\%/yr$ の経年変化となった。

2000年代に入ってから成層圏HClの減少はHALOEやACEなどの衛星観測でも見られており、フロン規制による成層圏塩素量の減少が観測されたものと考えられているが、将来予測では成層圏の塩素量はそのまま減少し続けるとされており、これが再び増加に転じたとなるとオゾン層回復が遅れることにもつながると考えられる。

HCl, HFが増加に転じた原因としては、ひとつには大気輸送の変化が考えられる。全球化学輸送モデルを用いたシミュレーションによれば、気象場を観測値に固定しないモデルでは2000年代を通してHClコラムが減少し続けるのに対し、気象場にERA-interimを用いると2008年頃から減少が止まる結果が得られており、大気輸送に何らかの変化があったようである。近年ブリューワードブソン循環に変化が見られるという報告もあるが、こういったものとの関連があるのかなど具体的なメカニズムについてはまだ不明である。もうひとつには代替フロンとして使われているHCFC (Cl, Fを含む) やHFC (Fのみ含む) の排出量が増加しているため、これらが対流圏で分解されないうちに成層圏まで運ばれる量が増加したことも考えられるが、こちらについてはまだ証拠となるような観測はない。

キーワード: フーリエ変換型分光計, 大気微量成分, フロン  
Keywords: FTIR, Trace Species, CFCs

## RS80 ラジオゾンデ気圧バイアスに起因する高度誤差のオゾン・気温プロファイルへの影響 The impact of altitude mis-estimation caused by Vaisala RS80 pressure bias on ozone and temperature profile data

稲飯 洋一<sup>1\*</sup>; 塩谷 雅人<sup>1</sup>; 藤原 正智<sup>2</sup>; 長谷部 文雄<sup>2</sup>  
INAI, Yoichi<sup>1\*</sup>; SHIOTANI, Masato<sup>1</sup>; FUJIWARA, Masatomo<sup>2</sup>; HASEBE, Fumio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大生存研, <sup>2</sup> 北海道大地球環境  
<sup>1</sup>RISH, Kyoto Univ., <sup>2</sup>EES, Hokkaido Univ.

Non-biased meteorological data are necessary for studies for detecting long-term climate change. Vaisala RS80 radiosonde is widely used for operational and scientific observations. It has been known, however, that the RS80 has pressure bias. The pressure bias affects height information of the profile in a traditional way where the geometric height (or geopotential height in some cases) is calculated from the hydrostatics equation. In addition, the pressure measurements affect the mixing ratio values of any chemical species because the calculation needs air pressure value. The RS80 pressure bias is estimated to be  $-0.3 \pm 0.2$  hPa,  $-0.4 \pm 0.1$  hPa, and  $-0.4 \pm 0.1$  hPa ( $1\sigma$ ) at 20 km, 25 km, and 30 km, respectively from the observations using RS80 together with global positioning system (GPS) sensor in the Soundings of Ozone and Water in the Equatorial Region (SOWER) project during from December 2004 to January 2010. Since ozone mixing ratio and temperature are also measured simultaneously, the impact of the mis-estimated altitude on observed profiles of ozone and temperature was evaluated. The net biases of  $-1.3 \pm 1.4\%$ ,  $-0.5 \pm 0.7\%$ , and  $3.1 \pm 1.9\%$  ( $1\sigma$ ) at 20 km, 25 km, and 30 km, respectively for ozone mixing ratio and that of  $-0.1 \pm 0.2$  K,  $-0.2 \pm 0.3$  K, and  $-0.4 \pm 0.7$  K ( $1\sigma$ ) at 20 km, 25 km, and 30 km, respectively for temperature are estimated as impacts from RS80 pressure bias. Those ozone and temperature biases can result in artificial variation in the long-term meteorological records when there is a radiosonde change from or to RS80. Especially, sign-reversed biases of ozone and temperature appear as artificial variations when the instrument is changed from RS80 to non-pressure-biased radiosonde (for example GPS sonde).

キーワード: ゾンデ観測, 観測誤差, 成層圏オゾン, 成層圏気温, 成層圏長期変動

Keywords: sonde observation, observational bias, stratospheric ozone, stratospheric temperature, stratospheric long-term variation



リオ・ガジェゴス (アルゼンチン) 上空における 2009 年 11 月の長期間のオゾン全量低下について—化学輸送モデルによる計算と解析—  
Total ozone reduction over Rio Gallegos (Argentina) in November 2009 simulated by MIROC3.2 Chemical Transport Model

秋吉 英治<sup>1\*</sup>; 門脇 正尚<sup>1</sup>; 中村 東奈<sup>2</sup>; 杉田 考史<sup>1</sup>; 中村 哲<sup>3</sup>; 水野 亮<sup>4</sup>  
AKIYOSHI, Hideharu<sup>1\*</sup>; KADOWAKI, Masanao<sup>1</sup>; NAKAMURA, Haruna<sup>2</sup>; SUGITA, Takafumi<sup>1</sup>; NAKAMURA, Tetsu<sup>3</sup>; MIZUNO, Akira<sup>4</sup>

<sup>1</sup> 国立環境研究所, <sup>2</sup> 富士通 FIP, <sup>3</sup> 国立極地研究所北極観測センター, <sup>4</sup> 名古屋大学太陽地球環境研究所  
<sup>1</sup>NIES, <sup>2</sup>Fujitsu FIP, <sup>3</sup>Arctic Environment Research Center, NIPR, <sup>4</sup>STEL, Nagoya University

科学技術振興機構 (JST) および国際協力機構 (JICA) の地球規模課題対応国際科学技術協力事業 (SATREPS) 「南米における大気環境リスク管理システムの開発」(代表: 水野亮) では、先端的観測施設の空白域である南米地域での地上大気観測網を、アルゼンチンおよびチリの研究者らと協力しながら整備し、その観測結果から迅速に地域社会へのアラート(警報・注意喚起)を発信するための社会システムを構築することを目指している。この課題の中で、南米地域へのオゾンホールの影響についての研究を開始した。アルゼンチンおよびチリ南部のパタゴニア地区は南極の極渦の通り道にあり、オゾンホール直下の紫外線被害にさらされる危険性が高い。本研究では、国立環境研究所で開発を行った MIROC3.2 ナッジング化学輸送モデルを用いて、2009 年 11 月に南米で観測された比較的長期間にわたるオゾン全量減少 (de Laat et al., Geophys. Res. Lett., 2010) の再現計算を行い、そのようなオゾン減少が続いた時の大気の力学場および化学場の解析を行った。

アルゼンチンのリオ・ガジェゴス (51S, 69W) では、ライダーによるオゾン濃度の鉛直分布の観測が行われており (Wolfram et al, 5th SPARC General Assembly, Queenstown, New Zealand, 2014)、2009 年 11 月 13~14 日頃に 675K 付近の温位面でオゾン濃度が低下、その後の 11 月 22~23 日頃にはそれより下層の 475K 付近でオゾン濃度が低下したことが報告されている。675K および 475K のそれぞれの温位面において、10 日程度異なる日付でオゾンホールの影響を受けた極渦がリオ・ガジェゴスの上空あるいはその近辺に位置したことが 2009 年 11 月の比較的長い期間のオゾン全量低下をもたらしたと考えられる。環境研の化学輸送モデル (MIROC3.2 大循環モデルをベースに構築) を用いたオゾン全量や渦位の計算からもこれを裏付ける結果が得られた

今後は、2009 年以外の年についての解析を進め、2009 年の南極周辺大気の力学場および化学場の特異性を明らかにしていく予定である。

キーワード: アルゼンチン, オゾンホール, 化学輸送モデル, 極渦, 地球規模課題対応国際科学技術協力事業, 2009 年 11 月  
Keywords: Argentina, ozone hole, CTM, polar vortex, SATREPS, November 2009



## 南極域の波動活動とオゾン全量およびオゾン破壊過程との関係 Relationship between total ozone and wave activities in Antarctic region

門脇 正尚<sup>1\*</sup>; 秋吉 英治<sup>1</sup>; 山下 陽介<sup>1</sup>; 中村 哲<sup>2</sup>

KADOWAKI, Masanao<sup>1\*</sup>; AKIYOSHI, Hideharu<sup>1</sup>; YAMASHITA, Yousuke<sup>1</sup>; NAKAMURA, Tetsu<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人国立環境研究所, <sup>2</sup> 国立極地研究所北極観測センター

<sup>1</sup>National Institute for Environmental Studies, <sup>2</sup>Arctic Environment Research Center, National Institute of Polar Research

オゾンホール大きさ・深さは、大気中のハロゲン量や大気波動の影響を受ける。例えば、2002年のオゾンホールは、成層圏の塩素濃度がほぼピークであったにもかかわらず、波動活動が大きかったため、オゾンホールの規模は小さかった。また、南極上空では波数1の定常波と波数2の非定常波が卓越するが、平年と比較してどちらがより卓越するかによって、そのオゾン破壊過程への影響に違いが生じると考えられる。波数2の非定常波が平年より極端に卓越した場合、引き延ばされた極渦が南極中心に回転することで、極渦内外の混合が進み、極渦外からの高濃度NO<sub>x</sub>やオゾンの極渦内への流入によってClO濃度は低下し、オゾンホールが縮小することが考えられる。熱輸送による気温上昇も不均一反応の進行を抑え、オゾンホールを縮小する方向に働く。また、波数1の定常波のみが卓越した場合、NO<sub>x</sub>やオゾンの混合が大きくなるのではなく、気温が上昇して不均一反応の進行を抑えるであろう。その一方で、極渦の中心が南極点からずれて存在するので、春分前では極渦がより日射に曝される状況となり、日射に曝された領域ではよりオゾン破壊が進むことも予想される。

TOMSおよびOMIのオゾン全量データからオゾン全量が220DU以下になる面積を9月7日~10月13日の期間で計算し、その最大値をオゾンホール面積の年最大値とした。また、オゾン全量最低値は同期間での最低値をオゾン全量の年最低値とした。本研究では、ERA-Interimの客観解析データ(東西風、南北風、気温)をナッジングした化学輸送モデル計算の結果を用いた。オゾンホールが十分発達した1985-2011年の期間において、南半球中・高緯度の波動活動とオゾンホール面積、オゾン全量最低値及びオゾン破壊に係わる量成分分布との関係を調べた。本発表では波動活動がどのような過程を通してオゾンホール大きさに影響するのかについて解析結果を報告する。

キーワード: 成層圏オゾン, 波活動, 化学輸送モデル

Keywords: stratospheric ozone, dynamics, chemical transport model

## AIRS 高解像温度データを用いた重力波の年々変動及び季節内変動の解析 Interannual and intraseasonal variability of gravity waves revealed from high resolution AIRS observations

土屋 主税<sup>1</sup>; 佐藤 薫<sup>1\*</sup>; Alexander M. Joan<sup>2</sup>; Hoffmann Lars<sup>3</sup>  
TSUCHIYA, Chikara<sup>1</sup>; SATO, Kaoru<sup>1\*</sup>; ALEXANDER, M. joan<sup>2</sup>; HOFFMANN, Lars<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 東大院理, <sup>2</sup> ノースウエスト研究所, <sup>3</sup> ユーリヒ総合研究機構

<sup>1</sup>University of Tokyo, <sup>2</sup>NorthWest Research Associates, <sup>3</sup>Forschungszentrum Juelich

An analysis was made of high-resolution temperature data from satellite onboard Atmospheric Infrared Sounder (AIRS) over eight years from 2003/2004 to 2010/2011 to examine gravity wave (GW) characteristics around an altitude of 40 km in terms of the interannual and intraseasonal variability in austral summer (DJF). AIRS is a nadir-view instrument and sensitive to the temperature fluctuations with vertical wavelengths greater than 15 km. The S-transform was applied to the data series in both cross-track or along-track directions to estimate GW characteristics. First, the DJF-mean time series of GW amplitudes and precipitation were regressed to the sea surface temperature time series in NINO.3 region. It is shown that both GW amplitudes and precipitation are large to the northeast (southwest) of the South Pacific convergence zone (SPCZ) in the El Nino (La Nina) phase. Second, the intraseasonal variation of GWs were examined in terms of the Madden-Julian Oscillation (MJO). Ten-day-mean time series was examined as a function of the longitude for GW amplitudes and precipitation that were averaged over the latitudes of 0-20S. Large GW amplitudes are observed in association with the eastward migrating precipitation of MJO, which is more clearly described by a regression to the Real-time Multivariate MJO Index. Another interesting finding is that the GW amplitudes are significantly weak when the zonal wind at 100 hPa is eastward regardless of the precipitation amount. These results suggest that the interannual and intraseasonal variations of GWs in the subtropical middle stratosphere are modified largely by ENSO and MJO through the precipitation as GW sources and the zonal wind around the tropopause regulating GW vertical propagation.

キーワード: 重力波, ENSO, MJO, QBO

Keywords: gravity waves, ENSO, MJO, QBO

## 南極昭和基地における下部成層圏水蒸気観測 Balloon-borne observations of lower stratospheric water vapor at the Antarctic Syowa Station

富川 喜弘<sup>1\*</sup>; 佐藤 薫<sup>2</sup>; 堤 雅基<sup>1</sup>; 中村 卓司<sup>1</sup>; 平沢 尚彦<sup>1</sup>  
TOMIKAWA, Yoshihiro<sup>1\*</sup>; SATO, Kaoru<sup>2</sup>; TSUTSUMI, Masaki<sup>1</sup>; NAKAMURA, Takuji<sup>1</sup>; HIRASAWA, Naohiko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 国立極地研究所, <sup>2</sup> 東京大学

<sup>1</sup>National Institute of Polar Research, <sup>2</sup>The University of Tokyo

下部成層圏水蒸気量の変化は、大きな放射強制力を持つ。1980~90年代の下部成層圏水蒸気量の増加、および2000年以降の減少は、それぞれの期間の地表気温トレンドを3割程度増減させたと考えられている。しかし、水蒸気量は対流圏界面近傍で高度と共に大きく変動するため、鉛直分解能の低い衛星観測では捉えることができない。ゾンデや航空機によるin-situ観測も、多くは中低緯度域で実施され、極域で実施された例は少ない。南極昭和基地では、2013年に第54次日本南極地域観測隊(JARE54)により3回の水蒸気ゾンデ観測が実施され、高度25km付近までの水蒸気量の高精度・高鉛直分解能データの取得に成功した。本発表では、これらの水蒸気ゾンデ観測の初期結果を報告し、今後の南極昭和基地での定常的な水蒸気ゾンデ観測の必要性について議論する。

キーワード: 水蒸気, ゾンデ, 南極, 下部成層圏

Keywords: water vapor, sonde, Antarctic, lower stratosphere

## El Nino 期、La Nina 期に見られる熱帯域と中高緯度におけるプラネタリー波活動の 3 次元構造に関する研究 Three dimensional structure of planetary wave activity from tropical to extratropical regions in ENSO

木下 武也<sup>1\*</sup>; 佐藤 薫<sup>2</sup>; Hitchman Matthew, H.<sup>3</sup>  
KINOSHITA, Takenari<sup>1\*</sup>; SATO, Kaoru<sup>2</sup>; HITCHMAN, Matthew, H.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 情報通信研究機構, <sup>2</sup> 東京大学 大学院理学系研究科, <sup>3</sup> ウィスコンシン大学

<sup>1</sup>Ntnl. Inst. of Information Comm. Tech., Japan, <sup>2</sup>Graduate School of Science, The University of Tokyo, <sup>3</sup>University of Wisconsin, Madison

El Nino Southern Oscillation (ENSO) に伴う熱帯域の対流活動のシフトに伴い、中高緯度域のオゾン分布が変調されることが知られている (Hitchman and Rogal 2010a,b)。この現象は、「熱帯域の対流に伴う上部対流圏の極向きの流れ」、「低渦位の極向き輸送に伴う亜熱帯高気圧の強化」、「中高緯度における総観規模擾乱活動の変調」といった 10 ~ 20 日スケールの応答によるものと考えられている。一方で、プラネタリースケールの擾乱活動の寄与も示唆されているが、まだ確認されていない。そこで本研究では、Kinoshita and Sato (2013a, 2013b)、Sato et al. (2013) により導出された波動平均流相互作用を 3 次元に記述可能な方程式系と解析手法を用い、上部対流圏から成層圏における ENSO に伴うプラネタリー波活動の変化について解析した結果を報告する。

まず、ERA Interim 再解析データを使用する。解析期間は 8~10 月とし、NOAA の Ocean Nino Index に基づき El Nino 期として 1991, 1997, 2002, 2004, 2006, 2009 年を、La Nina 期として 1998, 1999, 2000, 2007 年を選んだ。本研究で解析対象のプラネタリー波は、東西波数 1~3 の 30 日以上周期を持つ擾乱とした。このプラネタリー波活動を記述する 3 次元波活動度 flux 及びその収束発散を計算したところ、アジアンモンスーン域では、La Nina 期でプラネタリー波活動が大きく、熱帯上部対流圏から南半球高緯度成層圏に伝播している様子が見られ、El Nino 期では逆の応答が見られた。一方、太平洋東部では、El Nino 期でプラネタリー波活動が大きく、上記と同様の伝播が見られ、La Nina 期では逆の応答が確認できた。またどちらの領域・期間においても、高緯度対流圏におけるプラネタリー波は熱帯域上部対流圏から伝播してくる波とは異なる励起源の可能性が示唆された。今後は、上記結果に伴う物質輸送の 3 次元構造を明らかにし、Hitchman and Rogal (2010a,b) が示したメカニズムに伴う輸送と比較する予定である。

キーワード: 中層大気, プラネタリー波, 波活動度フラックス, 残差循環

Keywords: middle atmosphere, planetary wave, wave activity flux, residual mean circulation

## A study of Antarctic ozone variation by using FORMOSAT-3/COSMIC observation A study of Antarctic ozone variation by using FORMOSAT-3/COSMIC observation

HSIAO, Chun-chieh<sup>1</sup> ; LIU, Jann-yenq<sup>1\*</sup> ; YU, Shiann-jeng<sup>1</sup>  
HSIAO, Chun-chieh<sup>1</sup> ; LIU, Jann-yenq<sup>1\*</sup> ; YU, Shiann-jeng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>National Space Organization

<sup>1</sup>National Space Organization

The Formosa Satellite 3, also named as the Constellation Observing System for Meteorology, Ionosphere, and Climate (abbreviated as FORMOSAT-3/COSMIC, F3/C), is a constellation of six micro-satellites, designed to monitor weather and space weather. The constellation was launched into an initial circular low-Earth orbit at an altitude of 512 km on 15 April 2006. The six micro-satellites have deployed to six mission orbits at around 800 km altitude with 30-degrees separation in longitude for evenly distributed global coverage. The major payload onboard F3/C, GPS occultation experiment (GOX) instrument daily provides more than 2000 soundings of atmospheric vertical temperature profile. By binning radio occultation observations, the three-dimensional temperature structure can be obtained to monitor Antarctic temperature variation. Real-time measurements of vertical temperature structures over the Antarctic region are important for monitoring the formation of polar stratospheric clouds (PSCs) which is a critical factor in the ozone variation. On the other hand, the Ozone Monitoring Instrument (OMI) in the Aura mission observes for total ozone and other atmospheric parameters related to ozone chemistry and climate. The instrument observes Earth's backscattered radiation with a wide-field telescope feeding two imaging grating spectrometers. In this work, more than 5 years observation will be used to make a quantitative comparison of ozone and atmospheric temperature variation in Antarctic.

キーワード: FORMOSAT 3/COSMIC, ozone, Antarctic

Keywords: FORMOSAT 3/COSMIC, ozone, Antarctic

## 衛星観測と気候モデルを用いた成層圏水蒸気の年々変動 Interannual variations of stratospheric water vapor in microwave limb sounding observations and climate model simulation

河谷 芳雄<sup>1\*</sup>; ジャエリー<sup>3</sup>; ハミルトン ケビン<sup>2</sup>  
KAWATANI, Yoshio<sup>1\*</sup>; JAE, Lee<sup>3</sup>; HAMILTON, Kevin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 独立行政法人海洋研究開発機構, <sup>2</sup> メリーランド大学, <sup>3</sup> ハワイ大学国際太平洋研究センター  
<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>University of Maryland, <sup>3</sup>IPRC, Univ. Hawaii

Using the almost decade-long record of water vapor (H<sub>2</sub>O) measurements now available from the Microwave Limb Sounder (MLS) instrument on the NASA AURA satellite, the time-height structure of interannual variations in H<sub>2</sub>O content are investigated. The interannual anomalies display upward propagation below about 10 hPa in a manner analogous to the seasonal tape recorder, but at higher levels the anomalies in H<sub>2</sub>O appear to propagate downward. An explanation for this effect is sought by examining stratospheric water vapor in simulations of a fine horizontal and vertical resolution (T106L72) version of the MIROC-AGCM. This model is notable for its rather realistic simulation of the quasi-biennial oscillation (QBO) in the tropical stratosphere. The interannual anomalies in simulated stratospheric H<sub>2</sub>O display a similar propagation as seen in the MLS data. Further analysis shows that the upward propagation in the lower stratosphere is related to the mean advection of interannual water content anomalies induced by the QBO at the tropopause, while the downward propagation is due to the advection of the mean vertical gradient of water content by QBO's interannual fluctuations in the vertical wind. This conclusion is supported by additional experiments run with a modified MIROC that had a significantly different the mean vertical H<sub>2</sub>O gradient in the middle and upper stratosphere. Also analyzed are global warming simulations in both the MIROC model and in several other global models included in the recent Coupled Model Intercomparison Project 5 (CMIP5). The upward propagating interannual H<sub>2</sub>O variations are projected to become weaker in all these models because of a weakened QBO amplitude in the lowermost stratosphere.

キーワード: 赤道準 2 年振動

Keywords: quasi-biennial oscillation



## 気象庁 1 ヶ月ハインドキャスト実験における予報スキル変動の基本特性 Basic characteristics of forecast skill variations in JMA 1-month hindcast experiments

田口 正和<sup>1\*</sup>  
TAGUCHI, Masakazu<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 愛知教育大学  
<sup>1</sup> Aichi University of Education

This study investigates basic characteristics of stratospheric predictability in the Northern Hemisphere using 1-month hindcast (HC) experiment data of the Japan Meteorological Agency for 1979-2009. We describe characteristics of forecast properties of spread, error (root mean square error), and anomaly correlation, contrasting the stratosphere and troposphere for different seasons, as well as explore the so-called spread-skill relationship for the winter stratosphere. We also examine the role of stratospheric sudden warmings (SSWs) in variations in the forecast skills. Our results show that for lead times shorter than about 10 to 15 days, the forecast skills of the HC data are higher on average and more variable in the stratosphere than in the troposphere especially for Northern winter. This is reflected in larger average and variability in predictable time limit, or characteristic time scale of useful predictions, for the winter stratosphere. We also reveal that the spread-skill relationship for the Northern winter stratosphere is characterized by the existence of notable outliers from their expected linear distribution; the outliers have markedly large errors, or low skills, for given spreads. Most of the outliers are contributed by HC sets initialized before observed major SSWs. Such HC data fail to reproduce the strength and/or shape of the stratospheric polar vortex including both onset and recovery phases of SSWs. The HC data tend to yield too strong vortex and shorter-than-average predictable limit.