

## 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25年6月3日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21340138

研究課題名（和文） GPS 電波掩蔽による大気構造と擾乱現象の解明

研究課題名（英文） Elucidation of atmospheric structure and disturbance phenomenon by GPS radio occultations

 研究代表者 津田 敏隆 (TSUDA TOSHITAKA)  
 京都大学・生存圏研究所・教授  
 研究者番号：30115886

## 研究成果の概要（和文）：

本研究は GPS や準天頂衛星による衛星測位データを大気科学に活用する「GPS 気象学」の一環であり、以下の3課題を実施した。1) 小型低軌道(LEO)衛星を用いた GPS 電波掩蔽により、高度分解能と精度が優れた気温・水蒸気プロファイルを解析する、2) GPS 掩蔽データと地上 GPS 観測による可降水量データをメソ数値予報モデルに同化し予報精度向上を評価する、および3) GPS 掩蔽データを用いて大気構造・擾乱の時間空間特性を解明する。

## 研究成果の概要（英文）：

This research project is concerned with GPS meteorology, which utilizes satellite positioning data, represented by GPS and QZSS (Quasi Zenith Satellite System), to the studies of the atmosphere. We carried out research in the following three themes: 1) retrieval of high-resolution temperature and water vapor profiles obtained by the GPS radio occultation (RO) mission with small LEO (low Earth orbit) satellites, 2) evaluation of the forecast improvement by assimilation of both GPS-RO and ground-based GPS-PWV (precipitable water vapor) data into a numerical weather prediction model, and 3) analysis of time and space variations of atmospheric structure and disturbance.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2010年度	4,400,000	1,320,000	5,720,000
2011年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
総計	13,800,000	4,140,000	17,940,000

研究分野：数物系科学 A

科研費の分科・細目：気象・海洋物理・陸水学

キーワード：衛星測位、GPS 気象学、電波掩蔽、数値予報モデル、大気波動、データ同化、気象擾乱、準天頂衛星

## 1. 本研究課題の背景

GPS 測位では一般に頭上の GPS 衛星の電波を受信して位置・時刻を定めるが、ここでは、低軌道 (LEO: Low Earth Orbit) 衛星から地平線に没する GPS 衛星を見る場合 (掩蔽現象) を想定する。GPS 電波が大気中を通過する際に屈折するため測位誤差が生じるが、この測位誤差から大気情報が得られる。具体的には、GPS 電波経路の偏角の時間変化から大気屈折率を求め、さらに対流圏・成層圏では気温と水蒸気のプロファイルを得る。

GPS 電波掩蔽はラジオゾンデと同等の高度分解能 (約 100m) を有する点が大変ユニークであり、海洋を含む全球で連日気球観測キャンペーンを実施するのと同様の豊富な大気情報が得られる。このデータを用いて、対流圏界面付近の温度変動、大気波動のグローバル特性、データ同化によるメソ数値予報モデルの予報精度向上等が研究された。

1995 年に米国・UCAR (大気科学大学連合) が世界初の GPS 掩蔽 (GPS/MET) を行った。2001 年以後、ドイツ、アルゼンチン等が追随したが、画期的なのは UCAR と台湾の NSPO (台湾宇宙局) が共同で 2006 年 4 月に打ち上げた 6 機の小型 LEO 衛星による COSMIC である。単機衛星では約 150/日だったデータ量が、COSMIC により約 2,000-2,500/日に急増した。我々は GPS/MET の初期からデータ解析を行っており、国際的に高い評価を得ている。これらの研究成果を基礎に、本課題では GPS 電波掩蔽データを用いて大気現象の科学解明と数値予報モデルの予報精度向上を目指す。

## 2. 研究目的

本研究課題の目的は、GPS 測位データを大気現象の科学解明、ならびに天気予報精度向上に活用することである。GPS 電波掩蔽で得られる気温・水蒸気プロファイル、ならびに地上 GPS 観測で得られる可降水量データを用いて、下記の 3 つのサブ課題を実施する。

### (1) GPS 掩蔽データ解析システム :

COSMIC による GPS 掩蔽データを独自に処理し、大気屈折率および気温・水蒸気プロファイルを高高度分解能で導出して、その精度を検証する。

### (2) 数値予報モデルへのデータ同化 :

GPS 掩蔽データおよび GPS 可降水量をメソ数値予報モデルに同化実験し、定常気球観測が希薄な海洋上やアジア赤道域等における大気現象の予報精度向上を実証する。

### (3) 気温・水蒸気の分布・擾乱特性 :

熱帯や極域を中心に、大気波動に伴う気温擾乱の特性、ならびに大気波動の励起・伝搬・減衰過程を研究する。また、局地的な気象擾乱に伴う水蒸気変動の特性解明を目指す。

## 3. 研究の方法

### (1) GPS 掩蔽データ解析システム

GPS 電波掩蔽について、従来から用いられていた幾何学的解法に比べて高度分解能が格段に優れているホログラフィ法の一つである FSI (Full Spectrum Inversion) 法による解析手法を開発する。解析結果を気球観測データ (ラジオゾンデ) と比較して精度検証するとともに、成層圏における気温擾乱特性を大気重力波の飽和鉛直波数スペクトルモデルと比較し、全球分布特性を解明する。

### (2) 数値予報モデルへのデータ同化

GPS 掩蔽で得られる屈折率プロファイルを、4 次元変分法および局地アンサンブル変換カルマンフィルター手法を用いてメソ数値予報モデルに同化し、対流圏中・下層の解析精度向上を図る。具体的には、集中豪雨や台風の発生・進路、あるいは太平洋からの下層冷気の侵入により東北地方に冷害をもたらすヤマセの予報精度向上を目指す。一方、地上の全国 GPS 受信機網 (GEONET) で得られる可降水量 (PWV) も利用する。

### (3) 気温・水蒸気の分布・擾乱特性

GPS 掩蔽で得られる優れた高度分解能の屈折率、気温、水蒸気データを用いて、対流圏・成層圏における大気構造と変動に関して、他の衛星観測等では達成しがたいユニークな研究を目指す。特にラジオゾンデ観測が乏しい海洋上、熱帯域、極域において、対流圏の水蒸気分布と変動や対流圏界面付近の温度構造・変動について解析を進める。観測結果を数値シミュレーションと比較し、定量的理解を進める。

## 4. 研究成果

### (1) GPS 掩蔽データ解析システム

GPS 掩蔽データ解析システムを開発し京大内に設置した。米国 UCAR が公表する GPS 掩蔽の基礎データを取得し、FSI 法による気温プロファイル等を算出し、サブ課題 (2)、(3) に提供した。日本、米国およびマレーシアにおける定常気球観測で得られる高高度分解能の気温データを入手し、FSI による解析結果と比較して気温測定精度を検証した。気温の鉛直波数スペクトルを解析し、FSI 解法による気温の高度分解能が約 100m と、衛星観測としては格段に優れていること、また、その上限高度が約 30km であることを明らかにした (Tsuda et al., 2011)。大気重力波の飽和スペクトルの全球分布を解析し、その特性が地形、ジェット気流等と相関があることを明らかにした。

### (2) 数値予報モデルへのデータ同化

① データの希薄な海洋上の解析精度を高める目的で、2007 年 8 月 2 日に九州を通過した台風 0705 号 (Usagi) の発生に関する同

化予測実験を行い、台風発生・発達 の環境場に関する考察を行った。24 時間同化をメソ 4 次元変分法 (4D-Var) で行い、その後水平 10km 格子の非静力学モデル (NHM) を用いて予測実験を行った。通常のデータを同化した実験よりも、GPS 掩蔽データを同化に加えた実験の方が、よりベストトラックに近い USAGI の発生・発達を予測できた。観測データの希薄な海洋上での GPS 掩蔽データの利用が、台風予測を改善することを示した。(Kunii et al., 2012)

- ② GPS 掩蔽観測において、地表付近の境界層上端等で屈折率の鉛直勾配が強くなり、いわゆる超屈折 (Super Refraction) 状態となると、それより下層で GPS 掩蔽による屈折率が過小評価される (Sokolovskiy, 2003)。また、大気を水平に貫くリム測定法であるため、水平分解能は対流圏下層では数百 km となり、ある特定の位置における値として扱うと代表性誤差が大きくなる。近年、屈折角の第一推定値を計算して同化に用いる手法の研究開発が進んでいる。一次元屈折角演算子と呼ばれ、Healy and Thépaut (2006) が ECMWF での全球同化に適用している。この一次元屈折角演算子について、フォワード演算子を作成し、気象庁メソ解析 (MA) を利用して量的な評価を行った。

超屈折が発現している領域では GPS 掩蔽法による屈折指数は 10% もの過小評価が起こることが確認できた。ただし、MA の全領域で平均した相対差は標高 3 km 以下の高度でも 1% 未満である。また、超屈折に起因する屈折指数の対流圏下層における過小評価は、屈折角の段階で生じている場合が多いことが示唆された。さらに、鉛直勾配から推定した大気境界層の高度は MA と GPS 掩蔽法によるものに違いがあることがわかった。現在、気象庁では全球モデルに GPS 掩蔽データを同化しているものの、対流圏下層のデータは利用していない。今回の結果は、対流圏下層の GPS 掩蔽データを同化する際、品質管理に利用できる。また、GPS 掩蔽により、海洋上の大気境界層の動態の研究の可能性を示唆している。

- ③ 観測データが希薄な熱帯域等でのデータ同化を目的に、全球の GPS 準リアルタイム解析システムを構築した。具体的には、Shoji et al. (2009) の成果を応用し、IGS 予測暦に記述されている衛星時計の補正を全球規模で行った。こうして得られる衛星時計情報を利用して、熱帯域での GPS 準リアルタイム解析を実施し、ラジオゾンデや数値予報解析値との比較を行った。

熱帯での準リアルタイム解析で得られた PWV を、近傍のゾンデ観測点と比較したところ、平均差は  $-1.07$  mm、RMS で  $1.98$  mm

と、精密暦を用いた解析と同等の一致度を示した。一方、全球モデルとの比較したところ、平均差  $+1.91$  mm で RMS は  $5.53$  mm となった。これは熱帯域での全球モデルに乾燥バイアスがあり、精度にも改善の余地があることを示している。

- ④ GPS 視線遅延量を用いて、水蒸気の非一様性に関する指標の導出を行った。2011 年 8 月に、算出された指標と降水量の関係を調査した。その結果、非一様性の指標は、PWV に比べ、強い雨との関連が強いことが分かった。現在気象庁では GPS から得られる PWV のメソ数値モデルへの同化を行っているが、モデルの高解像度化に伴い、視線遅延量を同化することで、より詳細な大気の情報と同化できることを示唆している。
- ⑤ 日本版測位衛星にあたる準天頂衛星初号機「みちびき」の技術実証実験が 2010 年度より JAXA を中心に実施されている。それにあわせて、我々は京都府南部地域に稠密に展開した GNSS 観測網を利用した高分解能水蒸気水平分布監視システムの構築に向けた実証実験を実施した。既存の衛星では高仰角に滞在する時間が短くなるため、水平解像度を高めることは難しかったが、今回準天頂衛星を用いることによって、8 時間以上高仰角に滞在することが水平分解能  $1\sim 2$  km の水蒸気の動態を把握するために非常に有効であることが確かめられた (Sato et al., 2013)。
- ⑥ 準天頂衛星による遅延量データが、GPS 衛星と同様に得られるとしたときに、準天頂衛星が、降水予報に与えるインパクトを調べた。準天頂衛星で得られる視線遅延量の効果を、観測システムシミュレーション実験で調べると、多くの GPS 衛星が見える場合には、インパクトは小さいものの、同化により降水予報が改善する事例があることが分かった。また、2011 年 7 月 31 日のヤマセの事例について、COSMIC による掩蔽データを同化し、ヤマセに伴う下層雲へのインパクトを調べたが、観測された掩蔽データの位置が雲域付近になく、そのため、インパクトは小さかった。
- ⑦ 雲解像非静力学 4 次元変分法データ同化システムを用いて、GPS 視線遅延量データ同化手法を開発し、GPS 天頂遅延量、可降水量データをそれぞれ同化した場合と比較を行った。その結果、視線遅延量データ同化による予報が最も精度よく、その有用性を確認できた。
- ⑧ 全球モデルの精度改善を目的に、国際 GNSS サービス (IGS) が運用する全球の GPS 点における PWV 解析を行い、2010 年 8 月について連続同化実験を実施し、結果を考察した。低分解能 GSM を用いたサイクル実験では、GPS 可降水量を同化することにより、

特に大気下層において比湿プロファイル  
を改善する可能性があることが分かった。  
また、水蒸気を同化することにより、  
500hPa 高度においてよいインパクトを  
与えることが明らかになった。気象庁の  
全球モデル精度向上に、地上 GPS が  
貢献できることが示された。

また、GPS 掩蔽データの利用方法を  
改良することにより、初期値の改善  
だけでなく、全球モデルの予報精度  
が向上することを確認し、2012年  
12月18日より気象庁の数値予報  
システムに適用した。

### (3) 気温・水蒸気の分布・擾乱特性

- ① COSMIC による気温プロファイル  
を用いて、熱帯域および極域を  
中心に大気重力波による波動エ  
ネルギーの時間・空間変動および  
大気重力波の飽和鉛直波数スペ  
クトルの特性を調べた(津田, 2011)。
- ② COSMIC の掩蔽観測の頻度  
が高い極域に着目し、北半球冬  
季の極域成層圏の大気重力波  
および極渦の構造と変動を調べ  
た。特に、気温の三次元構造を  
調べる新手法を開発した。まず、  
なるべく生に近い形で構造が  
把握できるよう、鉛直プロファイル  
から得られた擾乱の振幅や適  
当な高度での気温を地図投影で  
表示し検討した。さらに、任意  
の鉛直-水平断面が表示できる  
よう、画像上から任意の点群を  
選び、その中心等を通る多数の  
大円上に射影して可視化する  
ことで、多角的に構造を探った。

空間構造の解析においては、隣  
接した掩蔽プロファイルを活か  
したフィルタリングも行った。  
鉛直プロファイルからの擾乱  
成分抽出は、何らかのバック  
グラウンドを差し引くことで  
行われる。本研究では、一定  
時間に一定の水平距離以内で  
得られた掩蔽データを平均し  
たバックグラウンドを用いたり、  
後述する空間構造を考慮し  
たりして最適なバックグラ  
ウンドを決めた。なお、本  
研究では水平の位置関係や  
距離はすべて球面幾何学  
に基づく。

得られた知見を様々なデータ  
と比較したが、客観解析とし  
ては、米国環境予測セン  
ター(NCEP)による再解析  
(NCEP-NCAR 再解析, NCEP-  
DOE 再解析 2) ならびに  
気象庁気候データ同化シ  
ステム JCDAS のデータ  
を用いた。また、他の衛  
星観測との比較として  
Aqua 衛星に搭載され  
た超多チャンネル赤  
外サウンダー AIRS  
のデータを用いた。

冬季極域成層圏では、成層  
圏突然昇温に伴って大気  
重力波の振幅が増大する  
ことが報告されてきた  
(Ratnam et al. 2004,  
Wang and Alexander 2009  
など)。しかし、この  
増大に貢献する重力波  
の特性(分散関係  
パラメータ等)と起  
源は明らかになっ  
てい

ない。Wang and Alexander (2008)  
は伝搬条件の変化により山岳波  
が増大することで説明できると  
したが、極渦付近での重力波  
生成を指摘する研究もある。  
本研究では、COSMIC データ  
を用いて空間構造の同定を  
試みた。

2008年1-2月に起きた複数  
の突然昇温について解析した  
ところ、個別の鉛直プロ  
ファイルからは Wang and  
Alexander (2008) の結果  
を再現し、突然昇温時に下部  
成層圏で「重力波のエネルギー」  
が増大することが示された。  
しかし、温度擾乱の空間構造  
を解析したところ、この増大  
はいずれも重力波ではなく日  
スケールで継続する数千 km  
スケールの前線状の温度構造  
によることが明らかになった。  
この構造を考慮してバック  
グラウンドの気温を定義すると、  
振幅増大の大半は失われた。

成層圏の大規模前線の存在は、  
90年代にシミュレーション  
で存在の可能性が指摘されて  
いた (Fairlie et al, 1990)  
が、これまで注目されてこ  
なかつた。本研究では  
COSMIC 等のデータを調べ、  
以下を明らかにした。

- ・この前線(以後極成層圏前線)  
は、突然昇温に伴い発生する  
(小昇温でも)。特に vortex  
displacement タイプの昇温  
時に顕著である。
  - ・Aqua AIRS 観測では前線は  
なまる。一般に nadir 型の  
衛星観測では、極成層圏前  
線はなまりがちと考えられ  
る。これが従来注目されな  
かつた原因の一つと考えら  
れる。
  - ・NCEP 再解析では前線は大  
きくなまる。しかし NCEP  
同様に GPS データを使わ  
ない JCDAS においては、  
おそらくはモデル内で前線  
が生成されるため、再現性  
が良い。
  - ・極成層圏前線は、渦位で  
みた極渦の端に発生する。  
長波放射を通じて渦位を減  
ずる効果があり、極渦を小  
さくすることに貢献する。
  - ・極成層圏前線は大きな非  
地衡流成分を伴うが、これ  
までのところ前線からの顕  
著な重力波発生は捉えられ  
ていない。
- ③ 非地形性重力波パラメ  
タリゼーションを用い  
ずに QBO を再現可能な  
高解像度気候モデルを用  
いて、大気波動および QBO  
のシミュレーションを行  
った。気候モデルの利点  
を生かした解析を行うと  
ともに、観測データの解  
釈にモデルデータを活用  
した。  
この気候モデルを用い  
て、現在気候実験及び  
温暖化気候実験を行い、  
両者を比較した。現在  
気候実験に比べ温暖化  
気候実験では QBO の  
周期が長く、振幅は弱  
くなり、位相が下部成  
層圏まで下り難くなる  
様子が得られた。QBO  
変化のメカニズムを以  
下に簡単に述べる。温  
暖化に伴う温度・東西風

の変化と対応し、中緯度ロスビー波及び山岳起源重力波による東風加速領域の位置が変わる。結果として赤道から中緯度へ向かう残差子午面循環を強化させ、赤道域の上昇流が強まる。一方、温暖化に伴う赤道域降水量の増加により、重力波がより多く励起されるが、QBO 駆動に効果的な位相速度領域では顕著な増加がない。つまり温暖化に伴って、励起される重力波と赤道域上昇流は共に増えるが、QBO が存在する高度では上昇流の効果が上回るため、上述したQBO の変化が引き起こされる。

さらに現在の二酸化炭素濃度と海面水温の影響を個別に調べるための理想実験を行った。その結果、将来のQBO 変化に対する海面水温と二酸化炭素濃度変化の役割は3対1であり、海面水温変化の影響が大きいことが分かった。

#### 5. 主な発表論文等 (研究代表者、研究分担者、連携研究者に下線)

[学術雑誌論文] (計7件)

- ① Sato, K., E. Realini, T. Tsuda, M. Oigawa, Y. Iwaki, Y. Shoji, and H. Seko, A High-Resolution Precipitable Water Vapor Monitoring System Using a Dense Network of GNSS Receivers, *Journal of Disaster Research*, 査読有, Vol. 8, No. 1, Feb. 2013, pp. 37-47, 2013
- ② Kunii, M., H. Seko, M. Ueno, Y. Shoji, and T. Tsuda, Impact of Assimilation of GPS Radio Occultation Refractivity on the Forecast of Typhoon Usagi in 2007, *J. Meteorol. Soc. Japan.*, Vol. 90 (2012) No. 2, pp255-273, doi:10.2151/jmsj.2012-207, Released: May 25, 2012.
- ③ Kawatani, Y., K. Hamilton, and A. Noda, The effects of changes in sea surface temperature and CO2 concentration on the quasi-biennial oscillation, *J. Atmos. Sci.*, 査読有, 69, 1734-1749, 2012.
- ④ Tsuda, T., L. Xian, H. Hayashi, and Noersomadi, Analysis of vertical wave number spectrum of atmospheric gravity waves in the stratosphere using COSMIC GPS radio occultation data, *Atmos. Meas. Tech.*, 査読有, 4, 1627-1636, doi:10.1594/amt-4-1627-2011, 2011.
- ⑤ 津田敏隆, MU レーダーと GPS 掩蔽で観測された大気重力波の特性 (Characteristics of atmospheric gravity waves observed with the MU (Middle and Upper atmosphere) radar and GPS radio occultation), *ながれ*, 査読有, 30, 5, 377-384, 2011.
- ⑥ Kawatani, Y., K. Hamilton, and S. Watanabe, The Quasi-biennial oscillation in a double CO2 climate, *J.*

*Atmos. Sci.*, 査読有, 68, 265-283, 2011.

- ⑦ 小司禎教・岩淵哲也・畑中雄樹・瀬古弘・市川隆一・大谷竜・萬納寺信崇, GPS 気象学: GPS 水蒸気情報システムの構築と気象学・測地学・水文学への応用に関する研究, *測地学会誌*, 査読有, 55, 17-38, 2009.

[学会発表] (計35件) 主要なもののみ掲載

- ① Realini E., Sato K., Tsuda T., Oigawa M., Iwaki Y., Precipitable water vapor monitoring at a local scale using GPS and QZSS observations from a dense network of receivers, 4th Asia Oceania Regional Workshop on GNSS, 8-10 December, 2012, Malaysia
- ② Sato, K., An Observation Campaign of Precipitable Water Vapor with a GPS Network in Indonesia, 4th Asia Oceania Regional Workshop on GNSS, 8-10 December, 2012, Malaysia
- ③ Tsuda, T., N. V. Rao, S. Gurubaran, D. M. Rigin, R. Vincent, Long-term Variability of Mean Winds in the MLT Region at Low Latitudes, AOGS2012, 13-17 August, 2012, Singapore
- ④ Yabuki, M., K. Takahashi, T. Hayashi, C. Miyawaki, M. Matsuda, and T. Tsuda, Air quality measurements with Lidar, SODAR and tethered balloon profiling in the surface boundary layer over Shigaraki, Japan", 13<sup>th</sup> workshop on Technical and Scientific Aspects of MST Radar, 19-23 March 2012, Germany
- ⑤ Seko, H., Y. Shoji, M. Kunii, and T. Tsuda, Data assimilation experiments of radio occultation data and ground-based GPS data using JMA Meso-4dvar system, - Impacts on Heavy Rainfall in Japan-, The Second Asia/Oceania Meteorological Satellite Users' Conference, 6-9 December 2011, Tokyo, Japan
- ⑥ Kawabata, T., Y. Shoji, H. Seko, K. Saito, Impact of the assimilation of GPS slant total delay observations on a local heavy rainfall forecast, using JMA Meso-4dvar system, - Impact on Heavy Rainfall in Japan-, The Second Asia/Oceania Meteorological Satellite Users' Conference, 6-9 December 2011, Tokyo, Japan
- ⑦ Tsuda, T., A Proposal for a Real-Time Monitoring System of Precipitable Water Vapor (PWV) Using a Dense GNSS Receiver Network for QZSS, 3<sup>rd</sup> Asia Oceania Regional Workshop on GNSS, 2-3 November 2011, S. Korea.
- ⑧ Seko, H., M. Kunii, Y. Shoji, and T.

Tsuda, Data assimilation experiments of GNSS-PWV and data system simulation experiments of QZSS, The third Asia Oceania Regional Workshop on GNSS, 1-3 November 2011, S. Korea.

- ⑨ Tsuda, T., A Real-Time Monitoring System of Precipitable Water Vapor (PWV) with a Dense GNSS Receiver Network, International Symposium on Earth-Science Challenges (ISEC) - The 2<sup>nd</sup> Summit between the University of Oklahoma and Kyoto University, 14-16 September 2011, USA.
- ⑩ Kawatani, Y., K. Hamilton and S. Watanabe, The Quasi-biennial oscillation in a double CO2 climate, IUGG2011, 5 July 2011, Australia.
- ⑪ Shoji, Y., M. Kunii, H. Seko, T. Tsuda, and K. Saito, Mesoscale Data Assimilation of Tropical Cyclones with GPS Atmospheric Information, Japan Geoscience Union Meeting 2011, 25 May 2011, Chiba.
- ⑫ Yabuki, M., T. Tsuda, T. Nakamura, M. Shiobara, K. Takahashi and J. Furumoto, Rayleigh-Mie-Raman Lidar for Simultaneous Measurements of Aerosol Optical Properties, Atmospheric Temperature, and Water Vapor in the Troposphere, Thermodynamic Profiling Technologies Workshop, April 12-14, 2011, USA
- ⑬ Tsuda, T., L. Xian, H. Hayashi, and Noersomadi, Analysis of vertical wave number spectrum of atmospheric gravity waves in the stratosphere using COSMIC GPS radio occultation data, AA-JSPS Seminar "RECENT ADVANCES IN OBSERVATIONAL STUDIES OF THE TROPICAL ATMOSPHERE AND IONOSPHERE", 27-29 March 2011, India.
- ⑭ Kawatani, Y., K. Hamilton and S. Watanabe, The Quasi-biennial oscillation in a double CO2 climate, 3<sup>rd</sup> International Workshop on Global change projection: modeling, Intercomparison, and impact assessment jointly with 4<sup>th</sup> international workshop on KAKUSHIN program, 11 March 2011, Tsukuba
- ⑮ Horinouchi, T., Analysis of spatial structure of gravity waves using GPS occultation data, American Geophysical Union Chapman Conference, 28 February - 4 March 2011, USA.
- ⑯ Kawatani, Y., K. Hamilton and S. Watanabe, The Quasi-biennial oscillation in a double CO2 climate, AGU

Chapman conference on atmospheric gravity waves and their effects on general circulation and Climate, 2 March 2011, USA.

- ⑰ Seko, H., Y. Shoji, M. Kunii, and T. Tsuda, Data assimilation experiments of radio occultation data using the JMA Meso-4dvar system - Impacts on the heavy rainfalls in Japan and the generation of typhoon-, Occultation for Probing Atmosphere and Climate 2010, 7 September 2011, Australia

〔図書〕(計1件)

- ① 石原正仁、津田敏隆, 「最先端の気象観測」, シリーズ新しい気象技術と気象学第6巻, 東京堂出版, ISBN:9784490207613, 2012年10月10日出版

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

津田 敏隆 (TSUDA TOSHITAKA)

京都大学・生存圏研究所・教授

研究者番号: 30115886

### (2) 研究分担者

堀之内 武 (HORINOUCI TAKESHI)

北海道大学・地球環境科学研究所・准教授

研究者番号: 50314266

小司 禎教 (SHOJI YOSHINORI)

気象庁気象研究所・気象衛星・観測システム研究部・室長

研究者番号: 70354446

瀬古 弘 (SEKO HIROMU)

気象庁気象研究所・予報研究部・主任研究官

研究者番号: 60354445

河谷 芳雄 (KAWATANI YOSHIO)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球環境変動領域・研究員

研究者番号: 00392960

矢吹 正教 (YABUKI MASANORI)

京都大学・生存圏研究所・助教

研究者番号: 80390590

### (3) 連携研究者

佐藤 一敏 (SATO KAZUTOSHI)

京都大学・学際融合教育研究推進センター・特定助教

研究者番号: 30437372

川畑 拓矢 (KAWABATA TAKUYA)

気象庁気象研究所・予報研究部・主任研究官

研究者番号: 80354447

國井 勝 (KUNII MASARU)

気象庁気象研究所・予報研究部・研究官

研究者番号: 70370327