

「太陽活動の地球環境への影響に関する研究」

平成19年3月6日
プロジェクトリーダー 増田公明

実施状況

これまでに引き続いて、(1)過去の太陽活動とその地球環境への影響、(2)大気中微量成分への太陽活動の影響、(3)太陽活動が地球環境に与える影響の素過程の解明、の3つの分担課題を実施した。また今年度は特別教育研究経費により、プロジェクト3関係で「大気変動－太陽活動相関観測装置」を整備した。主な導入装置は、ミリ波大気分子観測装置、メタン・CO₂分光観測装置、放射性炭素試料調製装置である。

(1) 過去の太陽活動とその地球環境への影響

太陽活動の影響を受ける銀河宇宙線が地球大気で生成する放射性炭素を過去に遡って測定することにより、太陽活動の変遷を調べることができる。特に過去の太陽活動の周期性を調べるために、これまでマウンダーやシュペーラー極小期及び太陽活動通常期における年輪中の放射性炭素濃度の高精度測定を行い、マウンダー極小期で太陽活動変動の周期が11年ではなく14年であったことを見いだした。今年度はこれに加えて、紀元前4世紀の太陽活動極小期と見られる年代の樹木試料を入手し、その年輪中の放射性炭素濃度の測定を開始した。今年度は測定に使用する加速器質量分析計の稼働率が低く、まだ十分な測定が行われていない。予備的な結果によれば、この時代の太陽活動は11年ではなく14-15年程度の周期で変動していた可能性が高く、マウンダー極小期と同様の傾向である。今後はこの結果をさらに検証するとともに、周期が延びていないシュペーラー極小期について検証を行う。

また今年度は、改良型放射性炭素試料調製システムを導入し、年輪等から得られる放射性炭素試料作成の精度を向上させる試みをしている。現在システムを構築中であり、来年度にかけて最適なシステムを完成させる予定である。その上で、さらに過去2000年またはそれ以上の期間における異なる太陽活動極小期あるいは極大期について放射性炭素濃度測定を行い、太陽活動の周期性の変遷を調べていく。

(2) 大気中微量成分への太陽活動の影響

陸別観測所に設置されたフーリエ変換型赤外分光計 (FTIR) により、1995年5月から2005年3月まで10年間の807日分の太陽光吸収スペクトルから、O₃とHNO₃のカラム全量と高度分布の解析を行った。その結果、光化学反応の影響を受けやすい高度域で太陽活動の極大に向けて徐々に増加する傾向が見られた。増加量は過去のGCMによるモデル計算等よりも大きな増加率が得られており、今後さらに解析の精度を高めてモデルとの定量的な比較を検討する必要がある。

チリ共和国アタカマ高地における200GHz帯の水蒸気同位体比観測は、高度4,800mにおけるインフラ整備が完了し、定常的な観測が実行できる体制が整った。本年度のデータ取得期間は、年度後半の4ヶ月間だけであった。高度50km, 60kmでは、H₂OおよびH₂¹⁸Oともに9月初めから12月末の4ヶ月の間に大きな変化はなく、ほぼ一定で推移しているのに対し、高度40kmではH₂¹⁸Oは～4%/月程度の増加傾向、一方H₂Oは～0.9%程度の減少傾向を示しているのが大きな特徴である。この時間変化は南半球亜熱帯から中緯度帯にかけて春から夏にかけての特徴的な傾向を表すものと考えられる。今後定常観測を継続し長期にわたる成層圏水蒸気同位体の季節変動および経年変化の基礎データを取得する。

オゾンの短期変動は長期変動に対するモジュレーションとして、長期トレンドを抽出する上で考慮すべき重要なファクターである。国立環境研究所陸別成層圏総合観測室（名古屋大学陸別観測所と同一場所）に設置されたミリ波分光計によるオゾンスペクトルデータおよび

札幌高層気象台のドブソン分光計によるオゾン絡む全量データを用い、オゾンの7日以内の短周期変動と力学的な輸送効果の相関について解析を行った。その結果、7日以下のオゾンの短期変動量の8割程度が力学的な輸送過程によって起きていると考えられることを重回帰解析から明かにした。また、オゾン変動に影響を与える力学的輸送過程は高度によって異なり、高度20kmでは鉛直置換が主要因であるのに対し、高度26kmでは鉛直置換と水平移流が同程度の寄与をしていることが明かになった。本年度の解析を通して、短期変動の効果を効率的にかつ定量的に抽出する手法を確立した。

アタカマで進めている200GHz帯の水蒸気同位体比観測と並行して、通常の水蒸気 H_2O の観測用の22GHz帯常温準ミリ波放射計の開発を進めている。200GHz帯の観測に対して、緯度帯や地域による違いなど全球的な変動を明らかにするためには、平地で観測可能な22GHz帯の観測が勝っており、互いに相補的である。一昨年度プロジェクトで購入した22GHz帯HEMT増幅器を核とした受信機に光学系、デジタル光学型分光計を新たに加え観測システムの試作器を製作した。受信器の最適化では、昨年度の評価実験測定値よりも約40K低い雑音温度160K程度の受信器雑音温度を達成することができ、フィールド観測に使用する上で十分な性能を達成し、試験観測では7時間ほどの積分で22GHz帯の水蒸気スペクトルの取得に成功した。来年度以降、スペクトルの強度較正の高精度化をはかり、水蒸気の高度分布を導出するための観測システムに完成させたい。

(3) 太陽活動が地球環境に与える影響の素過程の解明

太陽活動変動の顕著な現れである太陽紫外線の強度変動が大気組成に与える影響を解明するために、ラボ実験により反応素過程を明らかにし、モデル計算に反映させることを目的としている。

今年度は、高層大気における励起酸素原子 $O(^1S)$ の生成過程をラボ実験により解明した。真空紫外レーザーシステムを用いて高感度に励起酸素原子 $O(^1S)$ を検出するシステムを開発した。 $O(^1S)$ は夜間の微弱光発光に直接関連しており、その生成過程と実際の発光観測と関連づけて解明した。さらに、高層大気における亜酸化窒素 N_2O の光分解過程と、生成する高速の窒素原子 $N(^4S)$ の緩和過程についてラボ実験で解明した。これらの過程は熱圏下部における一酸化窒素 NO の生成量に大きく関連している。太陽光紫外線の変動によりこうした $O(^1S)$ および $N(^4S)$ の生成消滅が変動することが予測される。成層圏・中間圏・熱圏下部で起こっているオゾンや窒素酸化物の化学過程を明らかにする上で重要なデータである。とくに太陽光変動が大きい波長領域での光分解過程を調べており、太陽光変動が大気に及ぼす影響の解明に不可欠なものである。さらに、大気中のケトン類などの有機化合物と窒素原子との反応速度ならびに反応過程を明らかにした。

平成19年度は、真空紫外レーザーを用いた室内実験により高層大気中で太陽光変動により大きな影響を受ける反応過程について調べる。とくに、 $O(^1S)$ および $N(^4S)$ に関する反応過程を調べる。また、代替フロン類の大気反応過程について研究を行う。新しい分光学的手法により二酸化炭素の同位体の存在比を数秒で測定する装置の開発を行う。

発表論文

- Kasai, J. Y., C. Takahashi, J. Urban, S. Hoshino, **K. Takahashi**, J. Inatani, M. Shiotani, and H. Masuko, Stratospheric ozone isotope enrichment studied by sub-millimeter wave heterodyne radiometry: The observation capabilities of SMILES, *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, *44*, 676-693, 2006.
- Koike, M., N. B. Jones, P. I. Palmer, H. Matsui, Y. Zhao, Y. Kondo, **Y. Matsumi**, and H. Tanimoto, Seasonal variation of carbon monoxide in northern Japan: Fourier transform IR measurements and source-labeled model calculations, *J. Geophys. Res.*, *111*, D15306, 2006 (10.1029/2005JD006643).
- Kono, M., **K. Takahashi**, and **Y. Matsumi**, Kinetic study of the collisional quenching of spin-orbitally excited atomic chlorine, $\text{Cl}(^2\text{P}_{1/2})$, by H_2O , D_2O and H_2O_2 , *Chem. Phys. Lett.*, *418*, 15-18, 2006.
- Nakayama, T.**, **K. Takahashi**, **Y. Matsumi**, and H. Fujiwara, Laboratory study of $\text{O}(^1\text{S})$ formation process in the photolysis of O_3 and its atmospheric implications, *J. Atmos. Chem.*, *53*, 107-122, 2006.
- Nakayama, T.**, **K. Takahashi**, **Y. Matsumi**, A. Toft, M. P. Sulbaek Andersen, O. J. Nielsen, R. L. Waterland, R. C. Buck, M. D. Hurley, and T. J. Wallington, Atmospheric chemistry of $\text{CF}_3\text{CH}=\text{CH}_2$ and $\text{C}_4\text{F}_9\text{CH}=\text{CH}_2$: Products of the gas-phase reactions with Cl atoms and OH radicals, *J. Phys. Chem. A.*, *111*, 909-915, 2007.
- Takahashi, K.**, E. Iwasaki, **T. Nakayama**, **Y. Matsumi**, and T. J. Wallington, Vacuum ultraviolet laser-induced fluorescence kinetic study of the reactions of Cl atoms with fluoroalkenes ($\text{C}_x\text{F}_{2x+1}\text{CH}=\text{CH}_2$, $x=1,2,4,6$, and 8) at low pressures, *Int. J. Chem. Kinet.*, in press, 2007.
- Takahashi, K.**, E. Iwasaki, **Y. Matsumi**, and T. J. Wallington, Pulsed laser photolysis vacuum UV laser-induced fluorescence kinetic study of the gas-phase reactions of $\text{Cl}(^2\text{P}_{3/2})$ atoms with C_3 - C_6 ketones, *J. Phys. Chem. A.*, *111*, 1271-1276, 2007.
- Taketani, F.**, **Y. Matsumi**, T. J. Wallington, and M. D. Hurley, Kinetics of the Gas Phase Reactions of Chlorine Atoms with a Series of Ketones, *Chem. Phys. Lett.* *431*, 257-260, 2006.
- Miyahara, H.**, **K. Masuda**, **Y. Muraki**, H. Kitagawa, and T. Nakamura, Variation of solar cyclicity during the Spörer minimum, *J. Geophys. Res.*, *111*, A03103, 2006 (10.1029/2005JA011016).
- Nakamura, T., **H. Miyahara**, **K. Masuda**, **H. Menjo**, **K. Kuwana**, K. Kimura, M. Okuno, M. Minami, H. Oda, A. Rakowski, T. Ohta, A. Ikeda, and E. Niu, High precision ^{14}C measurements and wiggle-match dating of tree rings at Nagoya University, *Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. B*, in press.
- Miyahara, H.**, **K. Masuda**, **K. Nagaya**, **K. Kuwana**, **Y. Muraki**, and T. Nakamura, Variation of solar activity from the Spörer to the Maunder minima indicated by Radiocarbon content in

tree-rings, *Adv. Space Res.*, to be published.

Nagahama, T., A. Mizuno, H. Maezawa, H. Nakane, Y. Fujinuma, A. Morihira, H. Ogawa, and Y. Fukui, Continuous Measurements of the Stratospheric and Mesospheric Ozone by Using Ground-based Millimeter-wave Radiometers, *Proceedings of the International Conference on Submillimeter Science Technology (ICSST 04)*, 2006.