

「太陽活動の地球環境への影響に関する研究」

平成20年3月25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。

(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った。まず、シュペーラー極小期の放射性炭素濃度が増加を始める前からピークに至る年代を測定し、シュペーラー極小期の全体像を把握しようとした。その結果、極小期に入る以前にもシュワーベサイクルの周期長が伸びている可能性が見いだされ、さらなる検証測定の必要性を示した。また、昨年度入手した紀元前4世紀の太陽活動極小期と見られる年代の樹木試料を用いて、その年輪中の放射性炭素濃度の測定を引き続き行った。今年度は建物の耐震工事のため、名古屋大学の加速器質量分析計が通年では使えず、東京大学の加速器質量分析計を併用した。まずは、二つの装置で一致した結果が得られることを確認し、さらに測定を続けている。予備的な結果によれば、この時代の太陽活動周期は11年ではなく14年程度に伸び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。

また今年度は、昨年導入を始めた改良型放射性炭素試料調製システムの整備を行い、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。現在もまだ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

モニタリング観測を通して、大気組成の数年から十数年のタイムスケールでの変動から、太陽の11年周期に対応する変動を抽出し、太陽活動の大気組成変動に対する影響を調べるとともに、高感度ミリ波大気観測装置の開発を行っている。

チリ共和国のアタカマ高地(23S, 68W, 標高4,800m)において、ミリ波観測装置を用いた水蒸気同位体 $H_2^{18}O$ の連続観測を進めている。また、これまで2年間に取得された観測データから高度分布解析を行うための解析法の検討及び改良を行った。観測されるスペクトルのベースラインには装置の光学系部分で発生していると考えられるうねりが見られ、この補正を行うために多項式フィッティングによるベースライン補正法の効果について検討した。今後、うねりの性質に合わせた補正法の改良と自動処理プログラムを開発し、年間を通した南半球亜熱帯域における成層圏水蒸気の季節変動を明らかにする予定である。

南極昭和基地での観測を想定した、高感度超伝導受信機を用いた小型ミリ波受信装置の開発を行った。極低温(4K)動作と小型化のための新たな熱設計及び100GHzと200GHzに対する光学設計を行い、消費電力の小さい小型冷凍機を開発し、必要な性能を確認した。来年度以降、さらに光学系の正確な調整を進めることでビームのけられを減らし、受信感度の向上

をはかる。

新しいミリ波大気分子分光観測装置については、本年度、高等研究院5階実験室に設置し、その超伝導受信機の改良と、NO_x、HO_x をカバーする 250GHz 帯までの周波数帯域の拡張を行った。さらにビーム伝送光学系の最適化を行い、自作の観測プログラムを組み込み観測システムとしての最終調整を行った。改良した超伝導受信機は実験室において 250GHz 帯の受信機雑音温度 120K (DSB) を達成し、ビーム伝送光学系での伝送損失も調整の結果 0.25dB 以下まで低減することができた。これにより、スペクトル強度が微弱で従来の半導体受信器では検出が困難であった HO_x や NO_x の観測が可能となった。さらにバックエンド部に採用した最新のデジタル分光計も放熱機構の改良を施し、標高 5000m の高地で所期の性能が発揮できることを減圧チャンバーの実験により確認した。一方、来年度に本装置を移設予定の南米チリ共和国アタカマ高地の観測拠点に観測用コンテナハウスを設置し、インフラ整備を行った。アタカマ高地での定常連続観測により、これまでほとんど未開拓であった中間圏の微量成分（特にオゾン、H₂O、HO₂、NO、NO₂）の変動の実態が明らかにできると期待される。次の太陽活動期にむけて、ブラジル磁気異常帯での磁気嵐に伴う相対論的加速電子による解離・電離で生じる HO_x、や NO_x が引き起こす中間圏大気組成変動を明らかにすることで、太陽活動に伴う高エネルギー粒子の地球大気への影響を調べる。

一酸化塩素 (ClO) は成層圏オゾンの破壊過程に最も深く関連する。人為起源のフロン等を起源とした塩素によるオゾン層破壊は、オゾン長期トレンドに最も大きな影響を与える要因であり、太陽活動との関連を調べる上でも重要である。その ClO の分布と時間変動を理解するとともに、2009 年秋に打ち上げが予定されている JEM/SMILES (JEM 搭載型超伝導サブミリ波リム放射サウンダ) よって観測される ClO データの検証実験への利用の可能性を検討する必要がある。そのために、チリ・アタカマ高地のミリ波観測装置搭載するための、ClO 観測に特化した 200GHz 帯超伝導受信機的设计・製作を行い、受信器雑音 110 K (DSB) で E 面に対して 2.9 度、H 面に対して 6.0 度のビーム幅をもつ 200GHz 超伝導受信器システムを開発した。また、アタカマ高地に既設のミリ波観測装置を用いて ClO の予備観測を行い、6 時間積分で電波強度約 50mK の ClO スペクトルを検出することができた。本年度開発を行った ClO 観測用受信器システムを用いて、今後連続的に観測を行い、ClO 高度分布と時間変動及びオゾン長期変動との関連を調べるための時系列データを取得する。

(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、真空紫外レーザーシステムを用いて高感度に並進励起窒素原子 N(⁴S)を検出した。高層大気における亜酸化窒素 N₂O 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とモデル計算で解明した。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 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塩素原子との反応速度ならびに反応過程を明らかにした。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テストを行った。

平成 20 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。また、不飽和炭化水素類の大気反応過程について研究を行う。大気中の二酸化炭素の同位体の変動を速いレスポンスでリアルタイム計測が可能なレーザー分光を用いた計測装置で行う。

発表論文

- Zhang, P., V. Kharchenko, A. Dalgarno, **Y. Matsumi**, **T. Nakayama**, and **K. Takahashi**, Approach to thermal equilibrium in atomic collisions, *Phys. Rev. Lett.*, 100, 103001, 2008
- Iwasaki, E.**, **F. Taketani**, **K. Takahashi**, **Y. Matsumi**, T. J. Wallington, and M. D. Hurley, Mechanism of the gas phase reaction of chlorine atoms with butanone, *Chem. Phys. Lett.*, 439, 274-279, 2007.
- Iwasaki, E.**, **Y. Matsumi**, **K. Takahashi**, T. J. Wallington, M. D. Hurley, J. J. Orlando, and E. W. Kaiser, Atmospheric Chemistry of Cyclohexanone: UV Spectrum and Kinetics of Reaction with Chlorine Atoms, *Int. J. Chem. Kinet.*, 40, 223-229, 2008.
- Iwasaki, E.**, **T. Nakayama**, **Y. Matsumi**, **K. Takahashi**, T.J. Wallington, M. D. Hurley, and E. Kaiser, Kinetics and Mechanism of the Reaction of Chlorine Atoms with n-Pentanal, *J. Phys. Chem. A* 112, 1741-1746, 2008.
- 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**, **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 $\text{C}_3\text{-C}_6$ ketones, *J. Phys. Chem. A.*, 111, 1271-1276, 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.*, 39, 328-332, 2007.
- Nagahama, T.**, H. Nakane, Y. Fujinuma, A. Morihira, **A. Mizuno**, H. Ogawa, and Y. Fukui, Ground-Based Millimeter-Wave Radiometer for Measuring the Stratospheric Ozone over Rikubetsu, Japan, *J. Meteorological Soc. Japan*, 85, 495-509, 2008.
- 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*, 259, 408-413, 2007.
- Miyahara, H.**, **K. Masuda**, **K. Nagaya**, **K. Kuwana**, **Y. Muraki**, and T. Nakamura, Variation of solar activity from the Spoerer to the Maunder minima indicated by Radiocarbon content in tree-rings, *Adv. Space Res.*, 40, 1060-1063, 2007.