

「太陽活動の地球環境への影響に関する研究」

平成21年3月17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

地球大気中の放射性炭素（炭素14）は、銀河宇宙線と大気原子核の核反応によってつくられる。地球に到達する銀河宇宙線強度は太陽活動による惑星間空間磁場によって変調を受けるので、過去の大气中放射性炭素濃度の測定から、その時代の宇宙線強度及び太陽活動等に関する知見を得ることができる。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、シュペーラー極小期の周期長が通常期には現在と同じ11年であったことや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。今年度はまず、周期が伸びていないシュペーラー極小期について検証を行い、シュペーラー極小期が始まる前の周期を調べ、極小期に入る前の2-3サイクルの周期長が13年程度であったことを示した。また、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の年輪中の放射性炭素濃度の測定を引き続き行った。放射性炭素濃度の測定は、名古屋大学年代測定研究センターの加速器質量分析計と東京大学工学研究科の加速器質量分析計を併用した。予備的な結果によれば、この時代の太陽活動周期もマウンダー極小期と同様に、11年ではなく14年程度に伸びていた可能性が高い。現在測定データの詳細解析中である。

また今年度は、昨年導入し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。システムはほぼ完成し、今後その性能確認を行う予定である。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。

太陽活動と地球気候の関係を調べるために、宇宙線による雲生成仮説の検証実験の準備を始めている。今後、放射線源と模擬大気の組み合わせにより雲核の元となるエアロゾルの生成率がどのように変化するかを調べる予定である。

(2) 大気中微量成分への太陽活動の影響

ミリ波大気分子分光観測装置のビーム伝送光学系及び受信機系の改良を行い、 NO_x 、 HO_x のスペクトルをカバーする250GHzの周波数帯での観測に装置を最適化した。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結果、250GHz帯で受信機雑音温度100 K (DSB)を達成し、ビーム伝送光学系での伝送損失を0.20 dB以下まで低減することができた。システムは30秒以上にわたって出力のドリフトが無視できるほど小さく、十分に安定していることがわかった。そこで亜酸化窒素 (N_2O) をガスセルに封入し、その放射スペクトルを模擬観測したところ、セル内気圧に比例した線幅を持つ N_2O スペクトルが検出できた。この装置をチリ・アタカマ高地(23S, 68W, 4800 m a.s.l.)へ移設し、成層圏・中間圏微量分子の観測を行った。アタカマ高地への輸送後、電波強度校正用液体窒素の製造装置の設置、ビーム伝送光学系及び受信機系の設置・調整等を行い、実験室における性能の再現を確認した後、大気微量分子の試験観測を行い、オゾン、 N_2O 、 NO_2 のスペクトルの検出に成功した。これらにより、中間圏化学で重要な役割を果たしているが、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 の定常連続観測が可能であることが確認され、来年度以降、これまでほとんど未開拓であった中間圏までの微量分子の組成変動の実態が明らかになると期待される。

昨年度に引き続き、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進めた。昭和基地等の電力事情が十分でない場所で観測装置を稼働させるためには、観測装置の省電力化と小型化はミリ波による観測を極地等、広く全球に展開するための重要な課題である。装置の小型化を図るため、小型冷凍機に対応した光学系及び局部発信系（LO系）について、アンテナシミュレータGRASP及び軸対称ホーン設計シミュレータCHAMPを用いた光学系のビーム形状シミュレーションを行い、200 GHz及び250 GHzの周波数帯で電磁ホーンと各ミラーの形状と配置の最適化を行った。またこれに合わせて電磁ホーン、楕円鏡、放物面鏡を再設計・製作した。来年度以降、光学系の最適化を実現して受信感度の向上をはかり、電波強度校正機構やデジタル分光計を組み込んで観測システムとして立ち上げ、 N_2O ガスセルを用いた模擬観測試験により性能評価を行う。

チリ・アタカマ高地において、ミリ波観測装置を用いた水蒸気同位体 H_2^{18}O 及び一酸化塩素（ClO）の連続観測を進めた。 H_2^{18}O データについては、これまで3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改良を行った。観測されたスペクトルのベースラインのうねりと中心周波数のずれの補正を同時に行うために、Levenberg-Marquardt法を用いた非線型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を行い、ベースラインのうねりと周波数のずれがほぼ全てのケースで同時に補正できることがわかった。今後、この補正法を自動処理プログラムに組み込むことで、精度よく成層圏の水蒸気高度分布を求めることが可能となり、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。ClOについては昨年度新規開発した受信器システムをアタカマのミリ波観測装置に搭載してClOスペクトルの連続観測を行った。昼間の6時間積分で電波強度約50 mKのClOスペクトルを定常的に観測することができ、今後、得られたスペクトルから高度分布を求め、その時間変動を検出する。また、2009年9月に打ち上げが予定されているJEM/SMILESの観測データの検証に利用可能な精度であるかを引き続き検討する。

(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。

平成20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 $\text{N}(^4\text{S})$ を検出した。高層大気で生成する高速の窒素原子 $\text{N}(^4\text{S})$ の緩和過程について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 $\text{N}(^4\text{S})$ の生成消滅が変動することが予測される。成層圏・中間圏・熱圏下部での窒素酸化物の生成過程を明らかにする上で重要である。さらに、真空紫外レーザーシステムを用いて高感度に塩素原子 $\text{Cl}(^2\text{P}_{3/2})$ を検出した。大気中における塩素原子と有機物の反応過程についてラボ実験で解明した。これらの過程は大気中の有機物の酸化過程に大きく関連している。また、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を活用して、植物の光合成の様子や名古屋市内での二酸化炭素の同位体の時間変動を調べた。

平成21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。

来年度は、サブグループ間で連携しながら、太陽からの紫外線放射とその変動、成層圏・中間圏における紫外線の反応過程、その地球環境への影響の解明を進め、過去の太陽活動と気候変動の関連を検討する。

発表論文

- Miyahara, H., Y. Yokoyama and K. Masuda, Possible link between multi-decadal climate cycles and periodic reversals of solar magnetic field polarity, *Earth Planet Sci. Lett.* 272, 290-295 (2008).
- Miyahara, H., K. Nagaya, K. Masuda, Y. Muraki, H. Kitagawa and T. Nakamura, Transition of solar cycle length in association with the occurrence of grand solar minima indicated by radiocarbon content in tree-rings, *Quart. GeoChronology* 3, 208-212 (2008).
- Kuwahara, T., A. Mizuno, T. Nagahama, H. Maezawa, A. Morihira, N. Toriyama, S. Murayama, M. Matsuura, T. Sugimoto, S. Asayama, N. Mizuno, T. Onishi, and Y. Fukui, “Ground-based millimeter-wave observations of water vapor emission (183 GHz) at Atacama, Chile”, *Advances in Space Research*, 42, 1167–1171 (2008).
- 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, *Intern. J. Chemical Kinetics*, 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(8), 1741-1746 (2008).
- 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).
- Takahashi, K., E. Iwasaki, Y. Matsumi, Vacuum UV laser-induced fluorescence study of the collisional removal of Br($^2P_{1/2}$) atoms by small molecules, *Chem. Phys. Lett.* 463, 50-53 (2008).
- Ide, T., T. Nakayama, K. Takahashi, Y. Matsumi, Thermal decomposition rate of N₂O₅ Measured by cavity ring-down spectroscopy, *Intern. J. Chemical Kinetics*, 40, 679-684 (2008).