

## ジオスペース研究センター・プロジェクト3 平成17年度報告書

### 「太陽活動の地球環境への影響に関する研究」

平成18年3月14日

プロジェクトリーダー 増田公明

#### 実施状況

今年度も引き続き、(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、これまで測定してきたマウンダーやシュペーラー極小期の試料に加えて、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った。試料の屋久杉を1年ごとに化学処理し、生成したグラファイト・ターゲットを加速器質量分析計で測定した。その結果、シュペーラー極小期とマウンダー極小期間の太陽活動通常期及び9世紀から10世紀にかけての通常期において、10-11年/22年の周期性があることを見だし、近代の太陽活動とほぼ同様の周期性であったことを明らかにした。従って太陽活動は少なくとも最近1000年のオーダーでは通常活動期には11年/22年ベースの周期活動をしてきたこと、極小期によってはその周期長が長くなること、太陽磁場反転が起こっていたと考えられることなどが明らかになった。

平成18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予定である。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る。

#### (2) 大気中微量成分への太陽活動の影響

##### ・チリ共和国における183GHz帯水蒸気試験観測

昨年に引き続き、チリ共和国の標高4,800mのアタカマ高地において、水蒸気同位体用のミリ波観測装置を立ち上げ調整と試験観測を行った。試験観測では、183GHz帯のH<sub>2</sub>Oスペクトルの観測を重点的に行ったが、高度角スイッチング法や冷却黒体スイッチング法など種々の観測法を試し、対流圏の吸収が多い水蒸気に関しては、冷却黒体スイッチング法が最も適していることが明らかになった。また、水蒸気混合比の鉛直分布を求めるため、取得したスペクトルデータに対してリトリーバル解析を行ったが、強度較正に用いる大気の厚みの測定値がファクター5程度小さくでており、混合比の絶対値を精度良く抑えることはできなかった。これは、受信器が水蒸気スペクトルの周波数だけでなく、4GHz離れた179GHz帯のイメージバンドにも感度を持っているため、このイメージバンドからの寄与により大気の厚みを小さく算出したことが原因と考えられる。

平成18年度は、現在開発中のサイドバンド分離型超伝導ミキサを実用化し、大気の厚みの測定精度を高め、水蒸気混合比鉛直分布の精度向上を目指す。さらに多目的ミリ波観測装置を導入し、アタカマ高地に設置する予定である。現在環境研で110GHz帯のオゾン観測で使用されているものに加えて、

我々のグループで開発した超伝導受信器を使える仕様とし、オゾンに限らず、オゾン破壊に係わるClOや大気輸送のよいトレーサである $N_2O$ 、また中間圏のNO、 $HO_2$ などの観測にも使用できるようにする。これにより、これまで進めてきた水蒸気の観測データだけでなく、オゾン破壊の光化学に対する水蒸気の影響や中間圏における高エネルギー粒子によるイオン化学に関連するデータを取得できるようにし、成層圏・中間圏における水蒸気・オゾンに関わる化学反応を総合的にモニターし、それらの化学反応に対する太陽活動の影響を包括的にとらえることを計画している。

・陸別ミリ波オゾン放射計データによるオゾン短期変動の解析

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からオゾン高度分布の再解析を行った。この再解析データを使ってオゾンの数日から数週間程度の周期の短期変動について研究を行った。成層圏ではオゾンの化学的寿命が数ヶ月程度と非常に長いため、力学的な輸送効果が大きく現れる。そこで、力学的輸送とオゾン大気変動との関連を調べた。力学的輸送については、鉛直方向への移動と水平方向への移流の2成分に分けてオゾン混合比との相関を調べた。鉛直移動は主に気圧の変化による断熱変化、水平移流は等温位面上の輸送である。鉛直移動の指標として各高度における温位、水平移流の指標として各高度に近い温位面でのポテンシャル渦度（渦位）を用い、それぞれとオゾン混合比との相関を調べたところ、高度22kmではオゾンは渦位の変化よりも温位の変化との相関が見られるのに対して、高度26kmでは渦位との相関が良いことがわかった。このことは、オゾンの短周期変動は高度によって異なったプロセスによることを示唆している。本成果については2005年12月に行われたアメリカ地球物理学連合秋季年会（サンフランシスコ）においてポスター発表を行った。

平成18年度は、各高度でのオゾンと温位および渦位について重回帰分析を行い、鉛直および水平移流の与える影響について定量的な評価を行う予定である。

・水蒸気観測用22GHz帯常温準ミリ波放射計の基礎開発

アタカマで進めている180GHz、200GHz帯の水蒸気同位対比観測と並行して、水蒸気観測用の22GHz帯常温準ミリ波放射計の開発を進めている。180GHz帯の水蒸気スペクトルは22GHz帯の水蒸気スペクトルに対し2～3桁強度が強いが、対流圏水蒸気による吸収が大きいので、標高が低い平地では検出できない。そのため、同位対比の高度別時間変動のような高精度の観測を必要とする場合は180GHz帯の観測が勝っているが、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。

平成18年度は専用の光学系を設計・製作し、スペクトルの試験観測を行う予定である。本システムが完成後は名古屋大学陸別観測所（国立環境研究所陸別成層圏総合観測室と同一場所）に設置し、名古屋大学太陽地球環境研究所FTIRおよび国立環境研究所のミリ波オゾン観測データと組み合わせ、北海道におけるオゾン混合比変動と水蒸気混合比変動の相関の長期的なモニタリングを行う。

(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窒素原子 $N(^4S)$ を検出するシステムを開発した。このレーザーシステムを用いたラボ実験により、亜酸化窒素 $N_2O$ の紫外193nmでの光分解過程を解明し、亜酸化窒素 $N_2O$ の光分解で生成する $N(^4S)$ の量子収率を決定した。さらに下部熱圏での一酸化窒素(NO)生成に影響を及ぼす高速の $N(^4S)$ 原子の衝突緩和過程を解明した。また、

オゾン破壊物質である CFC 化合物の成層圏での光分解過程で生成する塩素原子  $\text{Cl}(^2\text{P}_f)$  の量子収率を明らかにした。これらは、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。

平成18年度は、高層大気における励起酸素原子  $\text{O}(^1\text{S})$  の生成過程をラボ実験により解明する。 $\text{O}(^1\text{S})$  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する。さらに、高層大気における亜酸化窒素  $\text{N}_2\text{O}$  の光分解過程と、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ラボ実験で解明する。これらの過程は熱圏下部における一酸化窒素  $\text{NO}$  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  $\text{O}(^1\text{S})$  および  $\text{N}(^4\text{S})$  の生成消滅が変動することが予測される。また、亜酸化窒素およびメタンの高感度の計測装置を開発し、それを用いて大気中の計測を行う。これらの気体は地球温暖化の温室効果気体であり、その精密で速いレスポンスの測定方法の開発が重要である。

H18 年度以降、サブグループ間の連携を考慮しながら、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していく。

## 発表論文

- 1) F. Taketani, K. Takahashi, and Y. Matsumi; Quantum Yields for  $\text{Cl}(^2\text{P}_j)$  Atom Formation from the Photolysis of Chlorofluorocarbons and Chlorinated Hydrocarbons at 193.3 nm, *J. Phys. Chem. A* 109, 2855-2860 (2005).
- 2) F. Taketani, K. Takahashi, Y. Matsumi, T. J. Wallington; Kinetics of the Reactions of  $\text{Cl}^*(^2\text{P}_{1/2})$  and  $\text{Cl}(^2\text{P}_{3/2})$  Atoms with  $\text{CH}_3\text{OH}$ ,  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ,  $n\text{-C}_3\text{H}_7\text{OH}$ , and  $i\text{-C}_3\text{H}_7\text{OH}$  at 295K, *J. Phys. Chem. A* 109, 3935-3940 (2005).
- 3) F. Taketani, A. Yamasaki, K. Takahashi, and Y. Matsumi; Laser-induced fluorescence study of the quenching of  $\text{Cl}(^2\text{P}_{1/2})$  in collisions with  $\text{N}_2$  molecules and rare gas atoms, *Chem. Phys. Letters*, 406, 259-262 (2005).
- 4) K. Takahashi, Y. Takeuchi, and Y. Matsumi; Rate constants for  $\text{O}(^1\text{D})$  reactions with  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  and  $\text{N}_2\text{O}$  at 295 K, *Chem. Phys. Lett.*, 410, 196-200 (2005).
- 5) T. Nakayama, K. Takahashi, Y. Matsumi, H. Fujiwara; Laboratory study of  $\text{O}(^1\text{S})$  formation process in the photolysis of  $\text{O}_3$  and its atmospheric implications, *J. Atmospheric Chemistry*, in press (2006).
- 6) T. Nakayama, K. Takahashi, and Y. Matsumi; Quantum yield for hydrogen atom formation from  $\text{H}_2\text{O}_2$  photolysis in the range 193 - 240 nm, *International Journal of Chemical Kinetics*, 37(12), 751-754 (2005).
- 7) T. Nakayama, K. Takahashi, Y. Matsumi, and K. Shibuya;  $\text{N}(^4\text{S})$  formation following 193.3 nm ArF laser irradiation of  $\text{NO}$  and  $\text{NO}_2$  and its application to kinetic studies of  $\text{N}(^4\text{S})$  reactions with  $\text{NO}$  and  $\text{NO}_2$ , *J. Phys. Chem. A*, 109, 10897-10902 (2005).
- 8) M. Kono, K. Takahashi, Y. Matsumi; Kinetic study of the collisional quenching of spin-orbitally excited atomic chlorine,  $\text{Cl}(^2\text{P}_{1/2})$ , by  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{D}_2\text{O}$ , and  $\text{H}_2\text{O}_2$ , *Chem. Phys. Lett.*, 418, 15-18 (2006).
- 9) T. Nakayama, K. Takahashi, and Y. Matsumi; Thermalization cross-sections of suprathermal  $\text{N}(^4\text{S})$  atoms in collisions with atmospheric molecules, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L24803, doi:10.1029/2005GL024609 (2005).
- 10) H. Miyahara, K. Masuda, Y. Muraki, H. Kitagawa and T. Nakamura; Variation of solar cyclicity during the Spörer Minimum, *J. Geophys. Res.*, in press (2006).

以上