

## 「太陽活動の地球環境への影響に関する研究」

平成22年3月18日  
プロジェクトリーダー 増田公明

### 実施状況

太陽活動がどのように地球環境へ影響するかを調べるために、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、過去の地球大気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。我々は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、シュワーバサイクル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。平成21年度は、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結果の解析と、さらに特徴的な年代である紀元前7世紀の樹木年輪試料中の放射性炭素濃度測定を行った。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。詳細な解析の結果、紀元前4世紀の太陽活動極小期における活動周期が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ことが確実となった。極小期に周期長が長くなるメカニズムの解明が必要である。紀元前7世紀の極小期についてはさらに測定を継続して、周期長の変化の有無を調べる予定である。

新しく導入した改良型放射性炭素試料調製システムについては、その性能が従来型と同等以上であることを確認し、2台の装置を用いることによって試料調製の効率が良くなった。

太陽活動と地球気候の関係を調べるためにJAMSTECとの共同研究として平成20年度に開始した、宇宙線による雲生成仮説の検証実験は、放射線源による大気電離とエアロゾル生成の関係を明らかにすべく準備が進んでいる。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。

一方、宇宙線生成核種の一つであるベリリウムの大気中での挙動を調べることと、現在の太陽活動に対して宇宙線生成核種がどのように振る舞うかを調べるために、山形大学と共同で、地球上のいくつかの地点でのベリリウム7の測定を開始した。今年度は特に、南半球の高山であるポリビア・チャカルタヤ山にエアサンプラーを設置して試験観測を始めるとともに、北半球高緯度のアイスランドの設備を更新して観測網を整備しつつある。

今後はこれらの測定、観測を次期計画へ継続していく予定である。

#### (2) 大気中微量成分への太陽活動の影響

南米チリ・アタカマ高地(23S, 68W, 4800 m a.s.l.)において、200 GHz帯及び250 GHz帯の2台のミリ波観測装置を用いた一酸化塩素(CIO)、水蒸気同位体及び二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)の連続観測を進めた。200 GHz帯受信器システムを用いたCIOスペクトルの連続観測では、昼間の6時間積分によりS/N~10程度のCIOスペクトルが定常的に観測され、CIOの高度分布とその時間変動を得た。さらに、観測されたCIO高度分布とAURA/MLS衛星によるアタカマ上空でのCIOデータとの比較・検証を行い、また昨年9月に国際宇宙ステーションに搭載されたJEM/SMILESによるCIOデータの検証のために、アタカマ上空でのCIO高度分布

の相互比較を開始した。今後、ClO の観測を継続して行い、日変化から季節変化までの様々な時間スケールの変動機構、オゾントレンドとの関連等の研究を進める。水蒸気同位体については、これまでに行ってきた H<sub>2</sub><sup>18</sup>O に加えて、250 GHz 帯ミリ波観測装置による HDO の観測を行いスペクトルの検出に成功した。今後、H<sub>2</sub><sup>18</sup>O と HDO の同時観測を行い、成層圏の水蒸気同位体比の高度別時間変動から南半球亜熱帯域における成層圏水蒸気の季節変動のメカニズムの解明を進める。NO<sub>2</sub>については、昨年度設置した 250 GHz 帯受信システムを用いて、中間圏 NO<sub>2</sub>の連続観測を行った。その結果、スペクトルのベースラインの非定常な不規則うねりのため、NO<sub>2</sub> スペクトルの連続検出が困難であることがわかった。非定常なうねりは、受信システムの非線型性及びデジタル分光計の内部クロックから発生するノイズの影響であることが考えられるため、今後、実験室において原因の特定と対策を進める。

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引き続き進めている。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。昨年度シミュレーションを用いて設計・製作した 200 GHz 及び 250 GHz 周波数帯の電磁ホーンと楕円鏡、放物面鏡について、今年度は設計通りに正確な位置調整を行うための調整機構を組み込み、光学系の最適化を行った。光学系の任意の位置でのビームサイズ測定システムを製作し、これを用いた最適化の結果、シミュレーション結果と矛盾のないビーム形状を持つ光学系を実現できた。今後、観測システムとして完成させるために、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、実験室内にて N<sub>2</sub>O ガスセルを用いた模擬観測試験により性能評価を行い、昭和基地への移設を行う。

南極オゾンホールが中緯度地帯のオゾン層に与える影響とそのメカニズムの解明を目指し、チリ・アタカマで稼働中の 200 GHz 帯ミリ波観測装置を南米最南端に近いアルゼンチン共和国リオガジェゴス (52S, 69W, 40 m a.s.l.) へ移設する計画を進めた。アタカマにおいて、2010 年 1 月にミリ波装置の稼働を停止し、解体した後、装置を輸送コンテナに格納してリオガジェゴスへ陸路で輸送した。リオガジェゴスにおいては、ミリ波装置を設置するためのコンテナハウスを購入・設置し、必要な電源工事を行った。今後、コンテナハウス内で装置の調整を行った後に、テスト観測を経て 2010 年南半球春期までに成層圏オゾンの高度分布連続観測を開始する予定である。

母子里観測所に設置されている高分解能フーリエ変換型赤外分光器 (FTIR) を用い、温室効果気体のモニタリングを開始した。母子里観測所では高分解能 FTIR による成層圏・対流圏の大気組成測定を 1996 年より継続して行ってきたが、一昨年度より温室効果気体である二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 及びメタン (CH<sub>4</sub>) の近赤外領域での吸収スペクトルモニタリング観測を目指して、InGaAs 検出器の搭載、ビームスプリッタの交換 (KBr から CaF<sub>2</sub> 素材へ)、観測制御ソフトのアップデート等を進めてきた。昨年度は、背景光源となる太陽を計算機制御により高精度で自動的に追尾する太陽追尾装置を購入した。これにより、太陽光球面の 1 点を精度良く追尾できるようになり、太陽自転による太陽フランフォーファ線のドップラーシフトの変動を最小限にすることが可能となる。その結果、CO<sub>2</sub> や CH<sub>4</sub> の吸収スペクトル上に混入するフランフォーファ線の除去が容易となり、より高い精度で CO<sub>2</sub> や CH<sub>4</sub> の測定することができる。今後、名古屋において追尾精度の確認の後、母子里観測所に設置する。

また、2009 年 8 月下旬に母子里観測所において温室効果気体観測衛星「いぶき」のデータ検証キャンペーン観測を、国立環境研究所、京都大学と共同で実施した。高分解能 FTIR に加えて近赤外光スペクトラムアナライザ (京大)、スカイラジオメータ (環境研)、Mie 偏向 Lidar (名大環境学) を観測所内に設置し、「いぶき」衛星データの検証に必要な温室効果気体とエアロゾルの集中観測を行った。また、期間中に CO<sub>2</sub> ゾンデ (STE) 及び GPS ゾンデ (環境研) による CO<sub>2</sub> と気温・気圧・湿度・風の高度分布観測も行った。初期解析の結果、「いぶき」衛星による CO<sub>2</sub> データと地上観測データとは、1%程度の精度で整合していることがわかった。今後も、1年に1回程度の集中観測を継続して行い、「いぶき」衛星のミッション期間中のデータ検証を行う予定である。

### (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 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た。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。不飽和炭化水素類の大気反応過程について研究を行った。大気中のエアロゾルの成分をリアルタイムで計測する装置を開発し、エアロゾルの成分と光学特性を調べることにより気候への影響を考察した。また、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った。

次期計画においては、各分担課題の活動を強化して引き続き成果を出しながら、分担課題間で連携しながら、太陽からの紫外線放射や粒子強度とその変動、成層圏・中間圏における紫外線と粒子の反応過程、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（査読あり）

K. Masuda, K. Nagaya, H. Miyahara, Y. Muraki and T. Nakamura, Cosmogenic radiocarbon and solar activity, *J. Phys. Soc. Jpn Suppl.* 78, 1-6 (2009).

H. Ohyama, I. Morino, T. Nagahama, T. Machida, H. Suto, H. Oguma, Y. Sawa, H. Matsueda, N. Sugimoto, H. Nakane, and K. Nakagawa, Column-averaged volume mixing ratio of CO<sub>2</sub> measured with ground-based Fourier transform spectrometer at Tsukuba, *J. Geophys. Res.*, 114, D18303, doi:10.1029/2008JD011465 (2009).

J. Matsumoto, M. Narukawa, K. Takahashi, Y. Matsumi, A. Yabushita, A. Shimizu, I. Matsui, and N. Sugimoto, Internal mixing of pollutants for submicron particles observed during springtime in Japan, *Asian J. Atmos. Environ.*, 3, 27-41 (2009).

Y. Kondo, L. Sahu, M. Kuwata, Y. Miyazaki, N. Takegawa, N. Moteki, J. Imaru, S. Han, T. Nakayama, N. T. Kim Oanh, M. Hu, Y. J. Kim, and K. Kita, Stabilization of the mass absorption cross section of black carbon for filter-based absorption photometry by the use of a heated inlet, *Aerosol Sci. Technol.*, 43, 741-756 (2009).

Y. Sakamoto, A. Yabushita, M. Kawasaki, T. Nakayama, and Y. Matsumi, Optical properties and chemical compositions of iodine-containing aerosols produced from the atmospheric photolysis of methylene iodide in the presence of ozone, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, 82, 910-913 (2009).