

|      |       |
|------|-------|
| 課題番号 | GR098 |
|------|-------|

**先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム)  
実施状況報告書(平成23年度)**

本様式の内容は一般に公表されます

|                |   |
|----------------|---|
| 研究課題名          | 南極氷床コアからさぐる過去2千年の太陽活動に関する分野横断的研究                      |
| 研究機関・<br>部局・職名 | 独立行政法人理化学研究所<br>仁科加速器研究センター・望月雪氷宇宙科学研究ユニット・研究ユニットリーダー |
| 氏名             | 望月 優子   |

1. 当該年度の研究目的

本研究では、南極ドームふじ基地にて掘削された氷床コアに対して、太陽活動の新しい指標になると補助事業者らが考えている硝酸イオン濃度と、気温の指標となる酸素同位体比を分析し、過去2000年間の太陽活動とその気温との相関を実験的に探究する。具体的には、

(1) 氷床コアの最上部は雪質がもろいため、2001年に掘削された現有の2001コアでは、西暦1900年以降に相当する表層部分が掘削中に崩れて回収できていなかった。この未回収部分を他コアの情報で補填し、西暦1900～2001年に相当する氷床コアの深度と年代との関係(年代軸)の構築を工夫する。

(2) 最新掘削(2010年)のコア(2010コア)の配分を受け、共同研究者らと協力して、国立極地研究所低温室(-20℃、-50℃下)にて研究サンプルを作成する(全体で1週間×3回の作業予定のうち、最初の1回)。作成されたサンプルについて、時間分解能1年以下のイオン分析と、X線透過法によるコア密度の測定を遂行する(コア密度測定については一部)。過去の既知の火山噴火シグナルから年代推定を行い、これを基に密度の年縞年代が構築できるかどうかを、2001コアの結果もあわせて吟味する。(最新掘削コアが2011年コアから2010年コアに変更になった理由については、後述。)

(3) 最新鋭の安定同位体比( $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ ,  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ )分析システムを導入(10月末を予定)し、装置の立ち上げ、ならびにテスト分析を行う。

一方、現有の2001コアの分析から、硝酸イオンの濃度変動上に散発的にスパイクが生じることがわかっている。このスパイクの天体的な起源について、理論面から定量的な解明を試みる。具体的には、

(4) 化学反応動的計算モデルソフトウェアを導入し、ボックスモデルとよばれる近似にて100個以上の化学反応および放射線過程を組み込む。これにより、成層圏大気における典型的な化学組成を再現する。

(5) 太陽プロトン現象の高エネルギー陽子によって成層圏大気に付与されるエネルギーについて、比較的単純なモデル化を試みる。次に、今後の発展のため、衛星観測に基づいて、高エネルギー陽子およびX線、 $\gamma$ 線のスペクトルを詳細に吟味する。さらに、超新星爆発から放射されるX線・ $\gamma$ 線のエネルギーフラックスについて、理論的にモデル化する。

(6) 太陽プロトン現象の高エネルギー陽子によって成層圏に引き起こされる、窒素化合物やオゾン等の濃度変動を、上述(4)の化学反応動的計算モデルソフトウェアを用いて予備的に評価する。

(7) 太陽プロトン現象による化学組成変動を適宜、想定して、3次元化学気候モデルのテスト計算に着手する。

## 2. 研究の実施状況

上述の項目順に、実施状況を述べる。

- (1) 1998年掘削のコア上部の陰イオン濃度を分析し、特に硫酸イオン濃度変動に着目することで、2001コアの未回収部分を1998コアのデータを用いて接続・補完することに成功した。
- (2) アイスコア・コンソーシアム(氷床コアを管理する研究者組織)にて審査・承認を受け、2010コアの配分を受けた(9月)。最新掘削コアとしては、2010年と2011年掘削の2本から選ぶことができた。ここで、掘削責任者から、2010年コアの最上部は通常80%程度のところ運良くほぼ100%の回収率であったので2010コアを選ぶべきとの助言があったため、2010年コアを最新掘削コアとして選択した。配分後、直ちに1週間かけ上部41mのサンプル処理を遂行した。ここで、南極大陸現地で回収率がほぼ100%であった2010コアにおいても、日本までの輸送中に、もろい最上層部に一部崩れが起き、過去100年に相当する結果を出すことは当初想定していたほどには簡単ではないことが判明した。(但し、本報告書の提出時点では、ピットと呼ばれる表面から2m強の深度までの同2010年雪サンプルについて、さらに時間分解能の良い分析が終了し、2010コアの崩れた上部はこれによって補填できることがわかったので、問題は解決した)。新サンプルのイオン分析は、分析上の理由から上層部から深部に向け、約400年分を慎重に進めた。また新サンプル約7mのX線透過法による密度測定を行い、年縞についての検討を進めた。
- (3) 予定どおり平成23年10月末に、米国製の安定同位体比質量分析システムが研究所に導入され、装置の立ち上げとテスト分析を行った。平成24年2月に酸素同位体測定部について納品時の検出器の初期不良が判明し、業者技師陣による調整に3月中旬まで時間がかかったが、南極ドームふじ雪サンプルならびに2001コアの古いサンプルのテスト分析で、非常に良い精度で酸素同位体測定に成功した。
- (4) 博士研究員を雇用(10月)し、基礎知識の獲得と下調べの上、化学反応動的計算モデルソフトウェアを導入した。これを用い、窒素化合物やオゾンなどの主要な化学組成を再現することに、ほぼ成功した。
- (5) 先行研究で国際的に行われている比較的単純な太陽プロトンのモデル化を参考に、大気へのエネルギー付与を見積もった。あわせて共同研究者により、衛星観測に基づいた太陽プロトン、X線・ $\gamma$ 線フラックスの吟味がなされ、将来的により詳細なインプットモデルへの見通しが得られた。超新星爆発からのX線・ $\gamma$ 線放射については、基盤となる理論計算が終了した。
- (6) 太陽プロトン現象が引き起こす化学組成変動について、初期的な成果を得た(国際ワークショップにて発表)。
- (7) 太陽プロトン現象によって主要化学種の濃度が一気に10倍に増加すると仮定して、3次元化学気候モデルが問題なく計算できることが共同研究者により確かめられた。

3. 研究発表等

|                      |   |
|----------------------|---|
| <p>雑誌論文<br/>計3件</p>  | <p>(掲載済み一査読有り) 計3件</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. M. Igarashi, Y. Nakai, <u>Y. Motizuki</u>, K. Takahashi, H. Motoyama, K. Makishima: “Dating of the Dome Fuji shallow ice core based on a record of volcanic eruptions from AD 1260 to AD 2001”, Polar Science, 5 (2011), 411–420, doi:10.1016/j.polar.2011.08.001.</li> <li>2. R. N. Boyd, M. A. Famiano, B. S. Meyer, <u>Y. Motizuki</u>, T. Kajino, and I. U. Roederer: “The r-process in metal-poor stars and black hole formation”, The Astrophysical Journal Letters, 744 (2012), 1, L14–L17, doi:10.1088/2041-8205/744/L14.</li> <li>3. <u>望月優子</u>:「氷床コアを用いた天文学」の構築へ向けて(招待原稿、総説), Japan Geoscience Letters 7 (2011), 1, 7–9.</li> </ol> <p>(掲載済み一査読無し) 計0件</p> <p>(未掲載) 計0件</p>   |
| <p>会議発表<br/>計26件</p> | <p>専門家向け 計24件</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <u>Y. Motizuki</u> and Y. Nakai and K. Takahashi: “Nitrate ion concentrations observed in an Antarctic Dome-Fuji ice core and its implication for solar activity cycles”, The 2nd Int. Nagoya Workshop on the Relationship Between Solar Activity and Climate Changes, Nagoya, Japan, Jan. 16–17, 2012, STEL, Nagoya Univ.</li> <li>2. K. Sekiguchi, Y. Nakai, <u>Y. Motizuki</u>, T. Imamura, H. Akiyoshi: “A simulation study of stratospheric chemical reactions induced by astronomical ionizing events”, The 2nd Int. Nagoya Workshop on the Relationship Between Solar Activity and Climate Changes, Nagoya, Japan, Jan. 16–17, 2012, STEL, Nagoya Univ.</li> <li>3. Y. Nakai, S. Kikuchi, K. Takahashi, <u>Y. Motizuki</u>: “Verification of significance for solar cycles in 14C-concentration variation by consideration of measurement uncertainty”, The 2nd Int. Nagoya Workshop on the Relationship Between Solar Activity and Climate Changes, Nagoya, Japan, Jan. 16–17, 2012, STEL, Nagoya Univ.</li> <li>4. <u>Y. Motizuki</u>, K.Takahashi, Y. Nakai, H. Motoyama, K. Suzuki: “Supernova footprints revisited with newly-derived chronology of Dome Fuji shallow ice core”, The 2nd Int. Symposium on Polar Science, Tachikawa, Japan, Nov. 14–18, 2011, National Institute of Polar Science.</li> <li>5. K. Tanabe and <u>Y. Motizuki</u>: “Symbiotic nova eruption of R Aquarii: A geological remnant?”, Int. conference on the Golden Age of Cataclysmic Variables and Related Objects, Palermo, Italy, Sep. 12–17, 2011.</li> <li>6. <u>望月優子</u>:「南極氷床コアからさぐる過去2000年の太陽活動に関する分野横断的研究～プロジェクト紹介と火山噴火年代～」, 第1回NEXT(最先端・次世代)合同ミーティング「南極氷床コアからさぐる過去2000年の太陽活動に関する分野横断的研究」(自ら企画・主催)、和光、2012年3月13–14日.</li> </ol> |

|  |   |
|--|---|
|  | <p>7. 高橋和也、<u>望月優子</u>、中井陽一:「DF2001浅層コア(7.7m-88.65m)の陽・陰イオン分析のまとめ」、第1回NEXT(最先端・次世代)合同ミーティング「南極氷床コアからさぐる過去2000年の太陽活動に関する分野横断的研究」(自ら企画・主催)、和光、2012年3月13-14日.</p> <p>8. <u>望月優子</u>、高橋和也、中井陽一:「DF2010浅層コアのトレンチ状況のまとめと水同位体比分析の現状報告」、第1回NEXT(最先端・次世代)合同ミーティング「南極氷床コアからさぐる過去2000年の太陽活動に関する分野横断的研究」(自ら企画・主催)、和光、2012年3月13-14日.</p> <p>9. 島田藍、<u>望月優子</u>、高橋和也、中井陽一:「DF2010浅層コア陰イオン分析の現状」、第1回NEXT(最先端・次世代)合同ミーティング「南極氷床コアからさぐる過去2000年の太陽活動に関する分野横断的研究」(自ら企画・主催)、和光、2012年3月13-14日.</p> <p>10. 高橋和也、<u>望月優子</u>:「氷床コア試料中の硝酸の同位体比測定への挑戦」、第1回NEXT(最先端・次世代)合同ミーティング「南極氷床コアからさぐる過去2000年の太陽活動に関する分野横断的研究」(自ら企画・主催)、和光、2012年3月13-14日.</p> <p>11. 堀彰、<u>望月優子</u>、中井陽一、高橋和也、本山秀明、本堂武夫:「DF2010浅層コアの密度測定の実況～X線透過法による密度測定とこれまでの研究～」、第1回NEXT(最先端・次世代)合同ミーティング「南極氷床コアからさぐる過去2000年の太陽活動に関する分野横断的研究」(自ら企画・主催)、和光、2012年3月13-14日.</p> <p>12. 中井陽一、<u>望月優子</u>:「放射線過程と大気中のエネルギー吸収」、第1回NEXT(最先端・次世代)合同ミーティング「南極氷床コアからさぐる過去2000年の太陽活動に関する分野横断的研究」(自ら企画・主催)、和光、2012年3月13-14日.</p> <p>13. 熊谷紫麻見、古宮尚、<u>望月優子</u>:「超新星のX線・ガンマ線放射(放射性元素起源)」、第1回NEXT(最先端・次世代)合同ミーティング「南極氷床コアからさぐる過去2000年の太陽活動に関する分野横断的研究」(自ら企画・主催)、和光、2012年3月13-14日.</p> <p>14. 関口健太郎、中井陽一、今村隆史、秋吉英治、<u>望月優子</u>:「爆発性天体イベントが引き起こす成層圏大気の化学組成変動について:ボックスモデルによる吟味の現状」、第1回NEXT(最先端・次世代)合同ミーティング「南極氷床コアからさぐる過去2000年の太陽活動に関する分野横断的研究」(自ら企画・主催)、和光、2012年3月13-14日.</p> <p>15. <u>望月優子</u>、本山秀明、飯塚芳徳、藤田秀二、藤田耕史、保科 優:「ドームふじ雪ピットのSEP痕跡の一次探索とシグナルが見えない理由」、第1回NEXT(最先端・次世代)合同ミーティング「南極氷床コアからさぐる過去2000年の太陽活動に関する分野横断的研究」(自ら企画・主催)、和光、2012年3月13-14日.</p> <p>16. <u>望月優子</u>:「雪や氷の成分は宇宙のどこで、いつ生まれたのか?」、日本雪氷学会雪氷化学分科会2012年雪合宿、松本、2012年2月21-23日.</p> <p>17. <u>望月優子</u>、本山秀明、飯塚芳徳、藤田秀二、藤田耕史、保科 優:「ドームふじ地域の積雪に太陽プロトン現象の痕跡はあるか?」、北海道大学低温研究所シンポジウム「ドームふじコアを用いた新しい古環境復元法」、札幌、2011年12月13-15日.</p> <p>18. <u>望月優子</u>:「南極氷床コアからさぐる過去2000年の太陽活動に関する分野横断的研究—プロジェクト紹介」、北海道大学低温研究所シンポジウム「ドームふじコアを用いた新しい</p> |
|--|---|

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
|                                  | <p>古環境復元法」、札幌、2011年12月13-15日。</p> <p>19. 高橋和也、中井陽一、望月優子:「DF2001浅層コアの陽・陰イオン分析のまとめ」、北海道大学低温研究所シンポジウム「ドームふじコアを用いた新しい古環境復元法」、札幌、2011年12月13-15日。</p> <p>20. 中井陽一、望月優子、高橋和也:「DF2001浅層コアの硝酸イオン周期解析」、北海道大学低温研究所シンポジウム「ドームふじコアを用いた新しい古環境復元法」、札幌、2011年12月13-15日。</p> <p>21. 堀彰、望月優子、中井陽一、高橋和也、本山秀明、本堂武夫:「ドームふじ浅層コアの高分解能密度測定と年層解析」、北海道大学低温研究所シンポジウム「ドームふじコアを用いた新しい古環境復元法」、札幌、2011年12月。</p> <p>22. 堀彰、望月優子、中井陽一、高橋和也、本山秀明、本堂武夫:「DF2001浅層コアの高分解能密度測定とDFS1年代を用いた年層解析の試行研究」(ポスター発表)、第2回極域科学シンポジウム、立川、2011年11月14-18日、国立極地研究所。</p> <p>23. 望月優子:「南極氷床コアからさぐる過去2千年の太陽活動探索プロジェクト」、日本天文学会2011年秋季年会、鹿児島、2011年9月。</p> <p>24. 望月優子、中井陽一、高橋和也、五十嵐誠、本山秀明、鈴木啓助:「ドローニング・モードランド氷床コア中の火山噴火シグナルとの同期から決定した新しいドームふじ浅層コア年代」、2011年日本地球惑星科学連合大会、千葉、2011年5月20-25日。</p> <p>一般向け 計2件</p> <p>25. 望月優子:「雪氷コアからさぐる天文・宇宙のサイエンス」、神奈川県立横浜翠嵐高等学校分野別職業講話(NEXTプログラム「国民との科学・技術対話」)、横浜、2012年3月9日、神奈川県立横浜翠嵐高等学校。</p> <p>26. 望月優子:「わたしたちは星のこども～宇宙と生命とのつながり～」、第3回全国同時七夕講演会(NEXTプログラム「国民との科学・技術対話」)、二本松(被災地支援出前授業)、2011年7月10日、日本天文学会。</p> |
| <p>図書<br/>計1件</p>                | <p>1. 望月優子:『アイスコアー地球環境のタイムカプセル』(共著)、藤井理行・本山秀明編著、pp.185-202(「銀河系内超新星爆発の痕跡」、成山堂書店、2011、(ISBN:978-4-425-57011-9 極地研ライブラリー)。</p>  |
| <p>産業財産権<br/>出願・取得状況<br/>計0件</p> | <p>特になし</p>   |
| <p>Webページ<br/>(URL)</p>          | <p>望月優子のホームページ: <a href="http://ribf.riken.jp/~motizuki/">http://ribf.riken.jp/~motizuki/</a><br/>研究室のホームページ: <a href="http://ribf.riken.jp/~ag/">http://ribf.riken.jp/~ag/</a> (構築中)</p>   |

様式19 別紙1

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <p>国民との科学・技術対話の実施状況</p> | <p>1. 「雪氷コアからさぐる天文・宇宙のサイエンス」、神奈川県立横浜翠嵐高等学校平成23年度分野別職業講話、横浜、2012年3月9日、対象：高校1～2年生、110名（webに講演感想集を掲載）。</p> <p><u>内容</u>：アイスコアとは、南極大陸などに降り積もった雪が固まった氷床から円柱状に切り出した氷の試料である。雪が降った当時の大気を含み、氷の深さと年代とが対応しているので、アイスコア中の同位体元素やイオンなどの濃度を分析すれば、いつ、どのような大気成分の変動が起きたか知ることができる。一般に過去の気候変動の研究に用いられるが、講演者らのグループでは、特に過去の太陽活動に着目して研究を進めている。氷中の硝酸イオンの濃度を精密に分析することによって、望遠鏡が発明される前の時代の太陽活動周期がわかってきつつある。そして過去の太陽周期がわかると、その時代の太陽の活動強度が推測できる。太陽活動の強さは、気候変動や、人類の文明の盛衰にさえも影響を与えてきたと考えられている。また、太陽や月に関係する宇宙の周期（リズム）は、地球上の生命の進化の過程で、人間をはじめあらゆる動植物に体内時計として組み込まれている。このように私たちは宇宙とつながっており、地球上で決して孤立して生きているわけではないことについても言及する。</p> <p>2. 「わたしたちは星のこども～宇宙と生命とのつながり～」、第3回全国同時七夕講演会、二本松（二本松市市民交流センター、被災地支援出前授業）、2011年7月10日、対象：小学生～一般、18名（webに講演感想集を掲載）。</p> <p><u>内容</u>：宇宙開闢から今ここまで137億年の元素誕生の歴史、そうやって生まれた多様な元素をとりこんで進化した地球上の生命、それら生命が太陽や月といった宇宙のリズムに従って命を刻んでいることを知り、わたしたちと宇宙とのつながり、生命のかけがえのなさについて一緒に考える。</p> |
| <p>新聞・一般雑誌等掲載計0件</p>    | <p>特になし</p>   |
| <p>その他</p>              |   |

4. その他特記事項

本プログラムへの採択をきっかけに、平成23年7月1日付で、研究室（望月雪氷宇宙科学研究ユニット）を主宰することとなった。研究ユニットリーダーとしての審査、新研究室の場所の確保、ならびにレイアウト（居室・実験室）設計、整備工事の進捗管理、移転、人事マネージメントを並行して行った。また平成24年3月に、本プログラムに関わる2日間の研究集会を企画・主催した（講演 20 件、参加者 24 名）。

## 実施状況報告書(平成23年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されます

## 1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

|      | ①交付決定額      | ②既受領額<br>(前年度迄の<br>累計) | ③当該年度受<br>領額 | ④(=①-②-<br>③)未受領額 | 既返還額(前<br>年度迄の累<br>計) |
|------|-------------|------------------------|--------------|-------------------|-----------------------|
| 直接経費 | 126,000,000 | 78,400,000             | 0            | 47,600,000        | 0                     |
| 間接経費 | 37,800,000  | 23,520,000             | 0            | 14,280,000        | 0                     |
| 合計   | 163,800,000 | 101,920,000            | 0            | 61,880,000        | 0                     |

## 2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

|      | ①前年度未執<br>行額 | ②当該年度受<br>領額 | ③当該年度受<br>取利息等額<br>(未収利息を除<br>く) | ④(=①+②+<br>③)当該年度<br>合計収入 | ⑤当該年度執<br>行額 | ⑥(=④-⑤)<br>当該年度未執<br>行額 | 当該年度返還<br>額 |
|------|--------------|--------------|----------------------------------|---------------------------|--------------|-------------------------|-------------|
| 直接経費 | 78,390,001   | 0            | 0                                | 78,390,001                | 63,184,863   | 15,205,138              | 0           |
| 間接経費 | 23,520,000   | 0            | 0                                | 23,520,000                | 23,520,000   | 0                       | 0           |
| 合計   | 101,910,001  | 0            | 0                                | 101,910,001               | 86,704,863   | 15,205,138              | 0           |

## 3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

|         | 金額         | 備考                      |
|---------|------------|-------------------------|
| 物品費     | 55,687,108 | 安定同位体比質量分析システム等         |
| 旅費      | 2,343,040  | 研究成果発表旅費、会議開催旅費等        |
| 謝金・人件費等 | 4,886,408  | 博士研究員および研究補助パートタイマー人件費等 |
| その他     | 268,307    | 研究試料移送費等                |
| 直接経費計   | 63,184,863 |                         |
| 間接経費計   | 23,520,000 |                         |
| 合計      | 86,704,863 |                         |

## 4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

| 物品名                   | 仕様・型・性能<br>等 | 数量 | 単価<br>(単位:円) | 金額<br>(単位:円) | 納入<br>年月日  | 設置研究機関<br>名      |
|-----------------------|--------------|----|--------------|--------------|------------|------------------|
| 安定同位体比質量<br>分析システム    |              | 1  | 47,407,500   | 47,407,500   | 2011/10/27 | 独立行政法人<br>理化学研究所 |
| 南極氷床コア保管<br>用超低温冷凍庫   |              | 1  | 2,272,969    | 2,272,969    | 2011/10/31 | 独立行政法人<br>理化学研究所 |
| 化学反応動的モデ<br>リングソフトウェア |              | 1  | 1,155,000    | 1,155,000    | 2011/12/28 | 独立行政法人<br>理化学研究所 |