

最先端・次世代研究開発支援プログラム
事後評価書

| | |
|------------|---|
| 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・部局・職名 | 独立行政法人理化学研究所・仁科加速器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 |

【研究目的】

気候変動において、人為的な要因（CO₂の増加）と自然的な要因（主に太陽活動）のどちらが主因であるか、国際的にも国内的にも科学者のあいだで大きく議論が割れている。国民の立場からすれば、どちらを信じればよいのかよくわからない。不一致がおきる理由は、信頼のおける過去の気温や太陽活動強度の指標データが限られていることも一因である。実際には、自然変動による気温の変動に人為的に引き起こされた気温上昇が上乗せされているはずである。地球温暖化を真に理解するために、従来研究とは異なる指標を用いた過去の太陽活動の基礎データが喫緊に望まれている。特に、現代機器による観測結果や歴史上の記録がある過去2000年間についての基礎データが重要である。

本研究は、課題採択時に審査委員会より「気候変動研究における重要課題を対象にした研究」との所見を受けた、実験・理論の両課題からなる研究である。実験的課題では、南極大陸の日本の基地「ドームふじ」にて2010年に掘削された氷床コア（DFS10コア）に対して、時間分解能1年で過去2000年にわたる硝酸イオン（NO₃⁻）濃度と、水の酸素同位体比（¹⁸O/¹⁶O、以下、 $\delta^{18}\text{O}$ ）とを分析する。NO₃⁻濃度は過去の太陽活動の代替指標となり得、 $\delta^{18}\text{O}$ より過去の気温が復元できる。これらから過去2000年にわたる太陽活動と気温変動を復元し、太陽活動と気温との相関関係を探る。ここで、氷床コアとは、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。深度と年代とが対応しているため、氷床コア中の化学成分を解析すれば、過去の大気組成の変動がわかる。

補助事業者のこれまでの研究から、氷床コア中のNO₃⁻濃度変動プロファイルに散発的に“ピーク”が生じることがわかっている。このピークは巨大な太陽プロトンイベント（太陽フレアと呼ばれる太陽表面での爆発に伴い、高エネルギーの陽子が成層圏を直撃する現象：以下 SPE）、もしくは銀河系内の超新星爆発の痕跡である可能性が指摘されているが、どちらかよくわかっていない。本研究の理論的課題では、このNO₃⁻ピークが生成される背景の理解を目指す。

具体的な研究目標は、以下のとおりである。

- (1) DFS10コア、および2001年に掘削された氷床コア（DF01コア）について、詳細な年代決定を行い、NO₃⁻濃度が過去の太陽活動の指標となり得るかどうか検証する。

- (2) DFS10 コアの ^{18}O から過去 2000 年にわたる気温変動を復元する。望遠鏡による太陽黒点の連続観測データがある 1750 年以降について、復元された気温変動の周期と、太陽活動との関係を検証する。
- (3) DFS10 コアについて、難易度の高い超低濃度（ベースライン）変動の NO_3^- 中の窒素同位体比分析 ($^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ 、以下、 $\delta^{15}\text{N}$) に初めて挑戦し、 NO_3^- との相関を検証する。この結果から $\delta^{15}\text{N}$ が、 NO_3^- と異なる新しい太陽活動の指標になり得るかどうかについて考察する。
- (4) 氷床コアデータに現れる NO_3^- ピークの理論的な理解を目指す。このため、
- ① 巨大 SPE が大気高度 20-75km（成層圏・中間圏）にて引き起こす、窒素酸化物 (NO_x) の濃度上昇やオゾン層の破壊の度合いを調べるボックス・モデルを構築する。観測結果のある SPE に適用してモデルの妥当性を検証する。
 - ② 国際的なアセスメントで評価の高い国立環境研究所の 3D 化学気候（大気大循環）モデルを用い、成層圏で十分な量の NO_x 上昇があった場合、ドームふじ上空で硝酸濃度が有意に高くなるケースがあるかどうか調べる。
 - ③ 超新星爆発から放出される X 線・ γ 線のスペクトルと継続時間を数値計算する。これを参考に超新星爆発の場合、 NO_3^- ピークの形成が可能かどうかエネルギー論的に吟味する。
- (5) コア密度を測定し、「年縞（夏層と冬層の密度の差）」が観測されるかどうか検証する。観測された場合、「年縞カウント法」によるさらに詳しい年代が部分的に構築可能か検討する。

| 【総合評価】 | |
|--------------------------|----------------|
| <input type="radio"/> | 特に優れた成果が得られている |
| <input type="checkbox"/> | 優れた成果が得られている |
| <input type="checkbox"/> | 一定の成果が得られている |
| <input type="checkbox"/> | 十分な成果が得られていない |

| 【所見】 | |
|--|------|
| ① | 総合所見 |
| <p>DFS10 コアに対して、初めて過去 2000 年分の $\delta^{18}\text{O}$ が時間分解能 1 年以下で分析され、$\delta^{18}\text{O}$（気温指標）に太陽周期と同じ約 10 年と約 20 年の振動周期があり、気温が太陽黒点変動と連動していることを発見したことは高く評価される。また、技術的に難易度の高い $\delta^{15}\text{N}$ の超微量分析に南極氷床コアとしては世界で 2 番目に成功し、NO_3^- ピークでは相関係数 0.82 という強い正の相関があることを、世界で初めて見出したことも特筆される。今後、未解析のデータの解析を進め、更なる成果が上がることを期待する。</p> | |

| | |
|--|---------|
| ② | 目的の達成状況 |
| <p>・所期の目的が <input checked="" type="checkbox"/> 全て達成された ・ <input type="checkbox"/> 一部達成された ・ <input type="checkbox"/> 達成されなかった</p> | |
| <p>当初計画した目的は、すべて遂行したといえる。中間評価で指摘されたように、平</p> | |

成 24 年後半、25 年度には外部機関を含む会合を多く（合計 11 回以上）重ね、経験豊富な共同研究者との有意な分野横断的議論を行ったことも評価される。

想定外の成果として、NEXT の研究を日欧米の国際共同研究に発展させることができたことも注目される。

③ 研究の成果

・これまでの研究成果により判明した事実や開発した技術等に先進性・優位性が
(ある ・ ない)

・ブレークスルーと呼べるような特筆すべき研究成果が
(創出された ・ 創出されなかった)

・当初の目的の他に得られた成果が (ある ・ ない)

DFS10 コアに対して、初めて過去 2000 年分の $\delta^{18}\text{O}$ が時間分解能 1 年以下で分析され、 $\delta^{18}\text{O}$ (気温指標) に太陽周期と同じ約 10 年と約 20 年の振動周期があり、気温が太陽黒点変動と連動していることを発見したことは高く評価される。また、氷床コアの $\delta^{15}\text{N}$ の超微量分析は世界で 2 番目になされたことであり、特筆すべき成果である。

④ 研究成果の効果

・研究成果は、関連する研究分野への波及効果が
(見込まれる ・ 見込まれない)

・社会的・経済的な課題の解決への波及効果が
(見込まれる ・ 見込まれない)

気候変動に太陽活動が大きく貢献していることはこれまで指摘されてきた。しかし、産業革命以降の気候変動にも人為的な CO_2 の増加のみでなく、太陽活動が大きく貢献していることを提示できれば、IPCC などにおける気候変動の議論にきわめて有用と思われる。酸素同位体比変動は太陽周期などの理解に重要であり、地球温暖化に関する将来予測精度をあげることができると期待される。

本研究は太陽活動に関する重要な基礎研究であるものの、宇宙の理解および気候変動に関する国民の科学的理解を深め、ひいては環境行政にも貢献すると期待される。

⑤ 研究実施マネジメントの状況

・適切なマネジメントが (行われた ・ 行われなかった)

研究開発のマネジメントは概ね適切に行われている。助成金も有効に使用されている。

研究体制において、ベテランの研究者や研究機関が多数参加され、分野横断的研究を目指した。当該研究期間において経験豊かな共同研究者と真の分野横断的議論を重ね、有意な示唆の下に研究目的が達成されたことは高く評価される。