

氷床コアの総合解析による様々な時間スケールの地球環境変動の解明

Study on the global environmental change with the various time scales by the various analysis of ice cores

本山 秀明 (MOTOYAMA HIDEAKI)

情報・システム研究機構 国立極地研究所・研究教育系・教授



研究の概要

南極氷床ドームふじから採取した深さ 3035mの氷床コアの年代を 72 万年前まで高精度に決定し、氷床コアから抽出した気候・環境シグナルに正確な時間軸をつける。これが地球環境史研究の基準となる。様々な時間スケールで解析することで、地球規模の気候・環境変動システムのメカニズム及び変遷を明らかにし、将来予測の精度向上に寄与する。

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学・環境動態解析

キーワード：環境変動、氷床コア

1. 研究開始当初の背景

過去 100 万年間には様々な時間スケールで大規模に気候や環境が変動した。10 万年スケールの氷期-間氷期があり、この氷期には、北極と南極で数千年スケールの温暖化イベントが何度もあったが、温暖化と寒冷化のタイミングが同期しない。このように様々な時間スケールを持つ過去の気候変動システムを明らかにすることで、現在の地球温暖化に代表される気候・環境変動が、将来どうなるかの予測の精度をあげることに寄与する。

2. 研究の目的

南極ドームふじから採取した深さ 3035mの氷床コアは過去 72 万年までの地球規模の気候・環境変動を保存している。この氷床コアの年代を高精度に決定し、他の氷床コアや海底コアなど、地球環境史研究の基準となる気候・環境変動記録を提供する。さらに時間スケールに区別して研究を進め、地球環境変動システムのメカニズム及びその変遷を明らかにする。研究終了後、速やかにデータを公開し、地球環境変動研究に貢献する。

3. 研究の方法

南極ドームふじから採取した深さ 3035mの氷床コアの年代を、含有気体の窒素と酸素の量比から高精度に決定し、過去 72 万年までの気候・環境変動の時間スケールに注目して研究を進め、地球環境変動システムの変遷を明らかにする。気候・環境要素が積雪に取り込まれて氷床に保存される過程や、現在の物質循環についても研究を進める。

4. これまでの成果

・コアデータのデータセットを作成した。ドームふじ深層コアが 2 本あるため、それぞれのデータを用いた。過去 34 万年間の第 1 期コアデータセットについては、おおむね 50 年平均の酸素同位体比、200 年に 1 データの主要イオン濃度と固体微粒子（ダスト）濃度である。過去 72 万年をカバーする第 2 期コアデータセットについては、2400 m - 3028 m について、10cm 間隔の連続サンプルを作成し、5 つ飛びに測定してまとめた。概ね 500 年間隔になる。ドームふじアイスコアコンソーシアム内で限定公開した。現在、DF2 コアの 2400m 以深を 10cm 間隔連続分析している。

・氷床コア含有気体の窒素と酸素の量比の 2000 年間隔の深部データが完成したので、これを用いてミランコビッチ・サイクルに基づく新たな年代決定を行っている。作業年代としては EPICA Dome C の EDC3 年代を適用し、同位体ピークのマッチングで作成して研究を進めている。

・ドームふじ深層コアのイオン分析データを用いて、海塩性ナトリウムイオン（海塩エアロゾルの指標）、非海塩性カルシウムイオン（ダストの指標）、非海塩性硫酸イオン（海洋生物活動の指標と考えられている）のフラックス変動の復元を行った。非海塩性硫酸イオンのフラックスは、オービタルスケールの変動を示すものの、海塩性ナトリウムや非海塩性カルシウムとは異なり、気温と単純な逆相関の関係を示していなかった。本研究の結果から、氷期の寒冷期に、陸域のダスト起源

の非海塩性硫酸イオンが増えた可能性が示唆された。

・数千キロ離れたドームふじとドーム C の氷床コアデータの比較で、起源の異なるエアロゾルの変動パターンとブラックスレレベルが 72 万年間を通じてほぼ同じであった。南極氷床内陸の高原域では、数千年から数万年の時間スケールで、大気中のエアロゾルの濃度が均一になるメカニズムが働いていることが示唆された。

・氷床コアから気温変動復元を高精度化するために、同位体モデルを用いた気温復元を行った。過去の研究結果とは異なり、水蒸気起源水温変動が有意に大きい推定値を得た。

・ダスト濃度については、数年以下スケールでその変動をとらえることができた。気候ステージ毎にダストの構成鉱物種が異なる可能性が示唆された。

・氷期・間氷期サイクルとエアロゾル変動の対応に着目して、エアロゾルの濃度だけでなく組成という新しい古環境プロキシに着目した解析をしてきた。-50°C で氷を昇華して不揮発性のエアロゾルを抽出する手法を開発した。この手法の開発によって、氷 1g 程度に数百個のエアロゾル粒子が含まれていること、それらエアロゾル粒子の組成を分析することが可能になった。

・イオン濃度から硫酸塩濃度を復元し、その濃度が氷期間氷期スケールの気温変動と負の相関関係があることを明らかにした。この負の相関は硫酸塩が負の放射強制力として氷期間氷期スケールの気温変動に作用している可能性を示唆する。

・元素の同位体比測定については、元素の単離法の検討と、磁場型多重検出型誘導結合プラズマ質量分析(ICP-MS)法の適用の可能性を検討した。それにより、試料量の確保が難しい極域雪氷試料のストロンチウム同位体比($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)、ネオジウム同位体比($^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$)の測定が可能となり、雪氷試料に含まれる大陸起源粒子状物質の起源に関する情報が得られた。

・元素濃度測定については、四重極型(Q)誘導結合プラズマ質量分析(ICP-MS)装置について、高感度化と分析操作の効率化に関する検討を行った。試料導入系および光学系の変更、最適化を行うことで、サブ pg オーダーの分析が可能となった。南極雪氷試料に極微量存在する希土類元素の全元素の測定が、試料の濃縮操作を行わずに可能となり、希土類元素存在度パターンが得られた。

・トラジェクトリモデル及び客観解析気象データを用いた南極氷床への大気輸送起源の分布を、現在気候場における年平均および季節変化に着目し、沿岸域と内陸部での大気輸送の違いや各コア掘削点での特徴を得た。

5. 今後の計画

・過去 72 万年間の連続データセット作成のため、氷床コアの分析を継続する。

・氷床コア年代を高精度に決定するため O_2/N_2 の分析と年代モデルの開発を継続する。

・過去 72 万年間の気温復元、エアロゾル組成復元に取り組むとともに、大陸起源粒子状物質の発生源についての研究を進める。

・氷床表面での気候シグナル形成の物理過程の研究を行う。

・世界の地球環境史研究の基準となる気候・環境変動記録を提供し、得られたデータをすみやかに公開する。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

Iizuka, Y., A. Tsuchimoto, Y. Hoshina, T.

Sakurai, M. Hansson, T. Karlin, K. Fujita, F. Nakazawa, H. Motoyama, and S.

Fujita: The rates of sea salt sulfatization in the atmosphere and surface snow of inland Antarctica, *J. Geophys. Res.*, 117, D04308, doi:10.1029/2011JD016378, 2012.

Ryu Uemura, Valérie Masson-Delmotte,

Jean Jouzel, Hideaki Motoyama, Barbara Stenni: Ranges of moisture-source

temperatures estimated from Antarctic ice core stable isotope records over the

glacial-interglacial cycles. *Clim. Past Discuss.*, 8, 391-434, 2012,

doi:10.5194/cpd-8-391-2012.

Ryu Uemura, Osamu Abe, Hideaki

Motoyama: Determining the $^{17}\text{O}/^{16}\text{O}$ ratio of water using a water- CO_2 equilibration

method: application to glacial-interglacial changes in ^{17}O -excess from the Dome Fuji

ice core, Antarctica. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 74, 4919-4936, 2010.

本山秀明: 氷床コアに記録された気候・環境

変動. *エアロゾル研究*, 25(3), 247-255, 2010.

Yoshinori Iizuka, Takayuki Miyake,

Motohiro Hirabayashi, Toshitaka Suzuki, Sumito Matoba, Hideaki Motoyama,

Yoshiyuki Fujii and Takeo Hondoh:

Constituent elements of insoluble and non-volatile particles during the Last

Glacial Maximum of the Dome Fuji ice core. *Journal of Glaciology*, 55, 552-562,

2009.

日本気象学会堀内賞 平成 21 年 11 月

藤井理行、渡辺興亜、本山秀明

平成 23 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰

科学技術賞 研究部門 平成 23 年 4 月

藤井理行、本堂武夫、本山秀明

ホームページ等

<http://polaris.nipr.ac.jp/~icc/NC/htdocs/>