

南極氷床コア分析と気候モデリングに基づく氷期・間氷期の 気候変動メカニズムの解明

Mechanisms of glacial-interglacial climatic changes explored
with Antarctic icecore analyses and climate modeling

川村 賢二 (KAWAMURA KENJI)

国立極地研究所・研究教育系・准教授



研究の概要

南極ドームふじ氷床コアの気体を分析し、主要な温室効果ガスであるCO₂、CH₄、N₂Oや海水温の指標となるKrやXeを対象として、過去70万年間の温暖期（間氷期）とその前後の気候遷移期間における変動を復元する。氷床コアにO₂/N₂データを用いた正確な年代を与え、気候モデルと連携して氷期・間氷期の気候変動に関するメカニズムの理解を進める。

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・気候変動・南極氷床コア・温室効果ガス・物質循環

1. 研究開始当初の背景

近年、温室効果ガスが人間活動に伴って増加しており、将来的に気候が大きく変化する懸念がある。気候予測の高精度化には、現在気候の研究だけでなく、過去の地球上で起こった気候変動の把握とメカニズムの解明が重要である。しかしながら、地球史上で最大級である氷期・間氷期変動に関する現在の理解は全く不十分であり、早急に推進すべき学術的課題として国際的な関心事となっている。

2. 研究の目的

氷期・間氷期の気候変動に伴って変動する温室効果ガスであるCO₂、CH₄、N₂Oの濃度や全球海水温の新しい指標として期待されるKrやXeの濃度、および関連諸気体の時間変動を復元したうえで正確に年代決定する。得られたデータの時系列を解析するとともに気候モデルへの入力データとして提供し、氷期・間氷期の変動メカニズムについて定量的理解を得る。

3. 研究の方法

我が国が掘削した南極ドームふじ氷床コアは、過去の大気を閉じこめたタイムカプセルである。この空気を変質させることなく抽出し、精密に計測することにより、温室効果ガスや希ガスおよび関連要素の過去の変動を正確に復元する。また、将来予測にも用いられる全球気候モデルや氷床モデルを利用

し、氷床コア分析から得られた結果を解析することにより、氷期・間氷期の気候変動の原因やメカニズム、および気候と温室効果ガス変動との関連を明らかにする。

4. これまでの成果

(1) ガスクロマトグラフや空気抽出装置を用いた高精度分析手法の開発を進め、氷床コア分析を実施する研究環境を構築した。高い精度を保ちつつ試料量を減らすために数々の改良を施し、多種成分の同時分析を5ml以下という僅かな試料量で行うことに成功した。

(2) 第2期ドームふじコアの深部(2800-3029m)における気体成分の基本解析を推進した。その結果、ドームふじコアの最深部に至るまで、空気中のO₂/N₂データに夏期日射のシグナルを明瞭に認めた。このことは、ドームふじコアが70万年まで遡って正確な年代を提供できることを示している。このデータを用いたコア年代の計算のため、氷床内部における各層の圧縮率を求める手法を適用し、初期結果を得た。

(3) 上記の基本解析において、CO₂、CH₄、N₂Oの濃度、重力分離効果の補正に必要なN₂の同位体比、過去の水循環や生物生産の指標となるO₂の同位体比の分析も実施した。ドームふじコアの深部のデータは全体的にドームCコアのデータと整合的であったが、一部に違いが見られることも明らかになった。特に、CO₂濃度に最大で20ppm程度の差が認め

られた。この原因を探るため、さらなる詳細解析を実施するための準備を進めた。

(4) フランスの共同研究機関が所有する高速分析装置により、 CH_4 濃度に特化して詳細分析を実施し、1 万年前～5 万年前にかけて、突然の気候変動に対応して CH_4 濃度が急増する現象を明瞭に復元した。

(5) 氷期-間氷期の CH_4 循環の解明のため、ドームふじコアを用いて最終間氷期から現在にかけての CH_4 濃度と水素・炭素同位体比の分析を実施し、気候変動に伴う CH_4 放出源強度の変動を推定した。その結果、氷床の盛衰に伴って高緯度湿地帯や森林火災といった CH_4 放出源が変動していたことを明らかにした。

(6) ドームふじコアやGISP2 コア試料について、 Kr/N_2 や Xe/N_2 、 Kr と Xe の同位体比の分析を米国の共同研究機関において実施した。その結果、18,000 年前から 16,000 年前にかけて Kr/N_2 と Xe/N_2 が上昇したことを見いだした。この期間に海水温が約 2°C 上昇したことに相当する。これと大気中 CO_2 の増加開始が同時であったことも判明した。また、 Kr と Xe の同位体比データから、氷期のフィルン内の対流混合層の推定値 (約 40m) が現実と大きくかけ離れている可能性を見いだした。

(7) ドームふじ近傍において雪層からの空気の採集と浅層掘削、および孔温度の測定を実施した。その分析のため質量分析計の調整を進めた。これと平行して、米国の共同研究機関においてフィルン空気の希ガスを分析し、結果を1次元フィルン空気拡散モデル検証の国際プロジェクトに供した。

(8) ドームふじコアのデータを気候・氷床モデルに強制力として入力し、過去 40 万年間のシミュレーションを実施した。また、二酸化炭素濃度を一定とした実験を行った。その結果、入力する二酸化炭素データの年代が氷期サイクルの再現に重要であることや、わずか 20 ppm 程度の差で 10 万年周期の発現有無が決定されることが示唆された。

(9) 10 万年周期の氷期-間氷期サイクルが生み出されるメカニズムを探るため、暫定的な O_2/N_2 年代を用いた過去 7 回の退氷期のタイミングと、歳差および地軸傾斜の変動との間の関連性を、統計検定によって調べたところ、現在支持されている地軸傾斜の変動ではなく、歳差運動が決定的に重要である可能性が示された。退氷期のプロセスとして南北両極間の気候のつながり (バイポーラーシーズン) が重要であるとの説を検証するために 70 万年間の水同位体比データを解析するとともに、大気-海洋結合モデルで淡水実験を実施し、データの特徴を説明することができた。

5. 今後の計画

ドームふじ氷床コアの分析を継続し、温室効果ガスの濃度や O_2/N_2 、希ガス、および関連要素のデータの蓄積を図り、それを基に氷期・間氷期に伴う気候や大気組成の変動の実態を明らかにする。得られたデータから気候・環境変動の前後関係を明らかにするとともに、気候モデルへの入力データや検証データとして提供することにより、氷期・間氷期変動のメカニズムや温室効果ガスの循環の変化について理解を得る。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

(1) Witrant, E., P. Martinerie, C. Hogan, J. C. Laube, K. Kawamura, E. Capron, S. A. Montzka, E. J. Dlugokencky, D. Etheridge, T. Blunier, and W. T. Sturges, A new multi-gas constrained model of trace gas non-homogeneous transport in firn: evaluation and behavior at eleven polar sites, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 11, 23029-23080, doi:10.5194/acpd-11-23029-2011, 2011.

(2) Severinghaus, J.P., M. R. Albert, Z. R. Courville, M. A. Fahnestock, K. Kawamura, S. A. Montzka, J. Mühle, T. A. Scambos, E. Shields, C. A. Shuman, M. Suwa, P. Tans, R. F. Weiss, Deep air convection in the firn at a zero-accumulation site, central Antarctica, *Earth and Planetary Science Letters*, 293, 360-368, doi:10.1016/j.epsl.2010.03.003, 2010.

(3) Masson-Delmotte, V. et al. (23 authors including K. Kawamura), An abrupt change of Antarctic moisture origin at the end of Termination II, *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 107, 12091-12094, 2010.

(4) 川村賢二, 氷床コアから探る第四紀後期の地球システム変動, *第四紀研究*, 48, 109-129, 2009.

他 5 編の論文、2 冊の著書、11 件の招待講演、17 件の国際会議発表

受賞

2011 年度 日本雪氷学会 平田賞
2011 年度 東北大学理学部物理系同窓会
-泉菘会-学術賞「森田記念賞」

ホームページ等

<http://polaris.nipr.ac.jp/~icc/NC/htdocs/>
[http://polaris.nipr.ac.jp/~kawamura/](http://polaris.nipr.ac.jp/~kawamura/kawamura@nipr.ac.jp)
kawamura@nipr.ac.jp