

ドームふじ深層氷床コアから復元した過去 72 万年間の大気成分の変動

青木周司¹、川村賢二²、中澤高清¹、松本康志¹、仲田久和¹、松島寛久¹、
菊地佑斗¹、本山秀明²、藤井理行²、渡辺興亜²
¹ 東北大、² 極地研

Variations of atmospheric constituents over the past 720,000 years deduced from Dome Fuji deep ice core

Shuji Aoki¹, Kenji Kawamura², Takakiyo Nakazawa¹, Koji Matsumoto¹, Hisakazu Nakata¹, Hirohisa Matsushima¹,
Yuto Kikuchi¹, Hideaki Motoyama², Yoshiyuki Fujii² and Okitsugu Watanabe²
¹Tohoku University, ²National Institute of Polar Research

In order to reconstruct variations of atmospheric constituents over the past 720 kyr, a 3040m deep ice core drilled at Dome Fuji, East Antarctica was analyzed for concentrations of CH₄, N₂O and CO₂, δ¹⁵N of N₂, δ¹⁸O of O₂ and δ(O₂/N₂) of the extracted air, as well as total air content of the ice core, by using a wet extraction method. Total number of ice cores used for this study was 495. The DFO O₂/N₂ age scale was adopted throughout the ice core. The age difference between ice and air (Δage) were estimated by a model calculation. Based on these analytical and model studies, precise concentration variations of CH₄, N₂O and CO₂, δ¹⁵N of N₂, δ¹⁸O of O₂ and δ(O₂/N₂) with time resolutions of about 1.1 and 2.0 kyr were deduced for the respective periods of 0-330 kyrBP and 330-720 kyrBP. Dole effect, which is a proxy of terrestrial and marine production, was also deduced from atmospheric δ¹⁸O and δ¹⁸O of seawater from the deep-sea core.

過去 72 万年にわたる大気成分の変動を明らかにするために、我々はドームふじ基地で掘削された深層氷床コアから融解法を用いて空気を抽出し、主要温室効果気体である CH₄、N₂O、CO₂ の濃度や、大気主要成分の窒素および酸素の同位体 δ¹⁵N、δ¹⁸O、および酸素/窒素の濃度比 (δ(O₂/N₂)) の測定を行った。また、氷床コアの含有空気量の測定も実施した。各成分の測定精度は、CH₄、N₂O、CO₂ の濃度がそれぞれ ±6 ppbv, ±3 ppbv, ±1 ppmv であり、δ¹⁵N, δ¹⁸O, δ(O₂/N₂) がそれぞれ ±0.02 ‰, ±0.04 ‰, ±0.2 ‰、また空気含有量が ±0.6 ml_{STP} kg⁻¹ である。これまでに分析した氷床コア数は 495 個に達している。氷の年代は δ(O₂/N₂) 測定を基にした DFO O₂/N₂ 年代スケールを用いている (Kawamura et al., 2007)。また、氷と含有空気の年代差 (Δage) の決定には、Schwander ら (1997) によって開発されたフィルムの圧密モデルを用いた。彼らのモデルで与えられている式の定数を調整し、現在のドームふじ基地における気温と涵養率を適用したときのフィルムの密度プロファイルが実測に合うようにした。このようにして年代を精度良く求めることにより、上記の各種濃度や同位体比の変動を、現在から過去 33 万年までは平均時間分解能 1100 年で、過去 33 万年から 72 万年の期間は平均時間分解能 2000 年で明らかにした。また、氷床コアから求めた酸素の同位体 δ¹⁸O を海底コアから得られた海水の δ¹⁸O と組み合わせることにより、陸上植生と海洋の植物プランクトンの生産量の指標とされる Dole 効果も導出した。本研究で得られた様々な結果のうち、CH₄ と CO₂ 濃度の変動のみについて以下にまとめる。

CH₄ 濃度は、過去 72 万年にわたって氷期、間氷期といった大規模な気候変動に同期して 340~730ppbv の間で変動しており、全体的に見て気温ときわめて良い相関をもって変動してきたことが明らかになった。ドームふじコアから得られた CH₄ 濃度の変動は、他の南極深層氷床コアから得られたものと全体的にはよく似ている。例えば、最終氷期中に見られる際だった CH₄ 濃度のピークは Taylor Dome コアから得られた CH₄ レコードにも全部見られることがわかった。一方、注意深く比較すると、所々に違いも見られる。例えば、ドーム C コアから得られた CH₄ 濃度変動は、過去 40 万年前付近で小さいながら系統的な違いがあることが明らかになった。しかしながらこのような違いの原因は今のところ分からない。氷期から間氷期への移行期に着目すると、CH₄ 濃度は現在から 45 万年前までの期間と 45 万年前から 72 万年前の期間では様相が異なっており、前者では 360-420 ppbv から 700-730 ppbv に急増しており、後者では 340-400 ppbv から 620-650 ppbv に急増していた。間氷期が終わった後、CH₄ 濃度は 450-500 ppbv まで急激に下がり、その後は亜氷期や亜間氷期に同期した 100ppbv 程度の振幅の変動を何度も繰り返しながら、氷期最盛期の最低濃度に向かって徐々に低下したことが明らかになった。このことは、熱帯域や北半球に広く分布する自然界の CH₄ 放出源が気候変動に強く影響を受けていることを示している。氷床コアから得られた CH₄ 濃度変動から、24 万年前の氷期最盛期における CH₄ 放出源強度は、他の氷期最盛期に比べて 13%ほど大きかったことが分かった。さらに CH₄ 濃度を詳細に解析したところ、いくつかのピークは氷床コアか

ら得られた南極の気温変動と相関がないことも明らかになった。このことは、熱帯域や北半球の気候変動が、南極域の気候変動とかなり異なっていた時期があることを示唆している。

ドームふじコアから得られた過去 72 万年にわたる CO₂ 濃度の変動は、Dry extraction 法を用いた他の南極深層氷床コアから得られたものと全体的にはよく似ていることが明らかになった。ドームふじコアの場合には先に示したように融解法によって空気を抽出しているため、この結果は、これまで通説となっていた融解法では CO₂ 濃度が正しく再現されないという常識を覆したことになる。ドームふじコアから得られた CO₂ 濃度と他の南極深層氷床コアから得られたものとの差を取って、ドームふじコア中に含まれる Ca²⁺と比較したが、有意な相関は見られなかった。したがって、地表起源の炭酸カルシウムが大気を通して南極まで運ばれドームふじ地点に沈着するまでに、大部分は中性化されたのか、または我々が融解法で空気を抽出する際、わめて短時間で空気回収が進むため、融解水と炭酸カルシウムが反応して CO₂ を発生させる影響が最低限に抑えられているかのいずれかである可能性が考えられる。ドームふじアから得られた過去 72 万年間の CO₂ 濃度は、氷期・間氷期を通して 190 ppmv から 300 ppmv の範囲で変動しており、Vostok コアやドーム C コアから得られた変動によく似た変動を繰り返してきた。しかしながら、ドームふじアから得られた CO₂ 濃度は、いくつかの期間について Vostok コアやドーム C コアから得られた濃度より最大 20ppmv ほど高い場合や低い場合が見つかった。しかし、このような濃度の差は Ca²⁺濃度や微量不純物濃度および酸性度とは明確な相関が得られなかった。

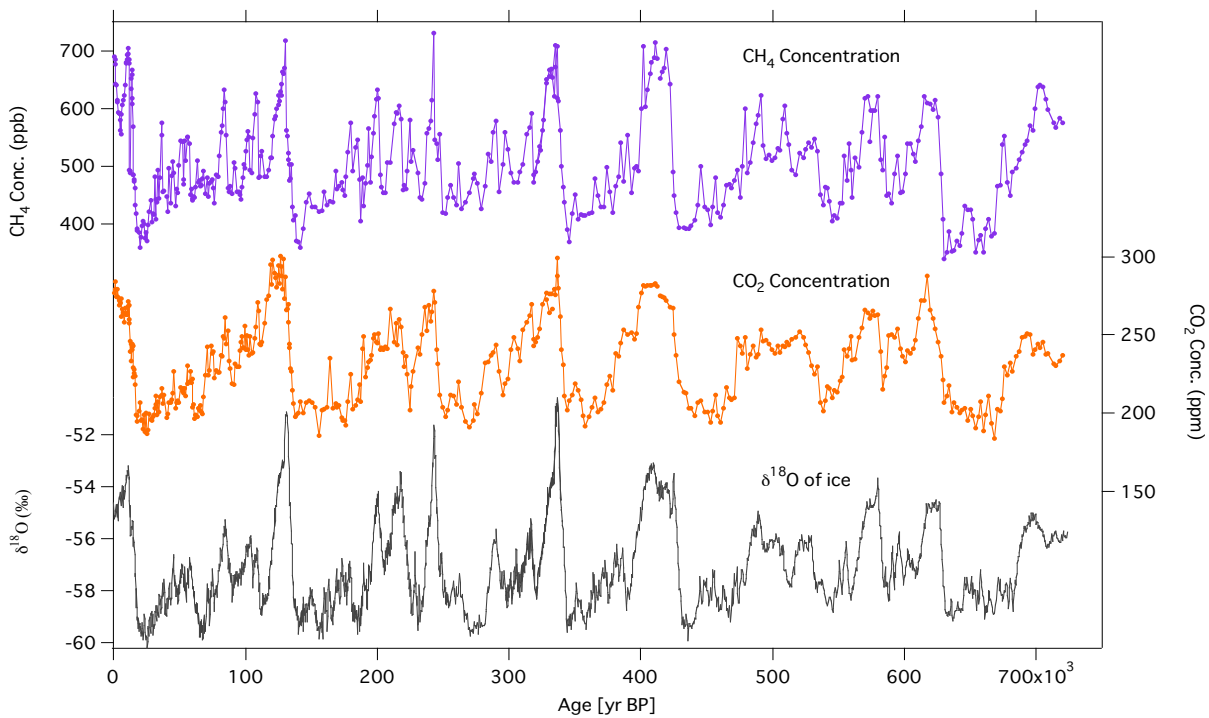


図 1. ドームふじ深層氷床コアから得られた過去 72 万年間の CH₄ 濃度 (紫色の点) と CO₂ 濃度 (オレンジ色の点) の変動。下部に氷の $\delta^{18}\text{O}$ も示す。

References

- Kawamura, K., F. Parrenin, L. Lisiecki, R. Uemura, F. Vimeux, J. P. Severinghaus, M. A. Hutterli, T. Nakazawa, S. Aoki and J. Jouzel, Northern Hemisphere forcing of climatic cycles in Antarctica over the past 360,000 years, *Nature*, 448(7156), 912-916, 2007.
- Schwander, J., T. Sowers, J. M. Barnola, R. Blunier, A. Fuchs and B. Malaize, Age scale of the air in the Summit ice: implication for glacial- interglacial temperature change, *J. Geophys. Res.*, **102**(D16), 19483-93, 1997.