

氷期サイクルにおける気候変動 Climate change in the glacial cycles

藤井理行[1]
Yoshiyuki Fujii[1]

[1] 極地研
[1] NIPR

1. 地球環境のタイプカプセル

南極およびグリーンランドの氷床には、海洋、森林、砂漠、火山などを起源とするさまざまな物質が大気循環によって運ばれ、雪と共に堆積する。宇宙線によってできる成層圏起源の物質や、宇宙塵などの宇宙起源物質も積もる。また、積雪は年々降り積もる雪の重みで密度を増し次第に氷になるが、その過程で空気も気泡として氷の中に取り込まれる。また、氷を構成する酸素と水素の同位体は、気温の良い指標である。このように、氷床は、過去数十万年にもおよぶ地球規模の気候や環境の変化を示すさまざまなシグナルを保存するので、優れた地球環境のタイムカプセルと言える。

2. 南極ドームふじコアが示す過去 34 万年の気候・環境変化

(1) **氷床深層コア掘削と解析**：氷床コア(氷の柱状サンプル)による過去の気候や環境の復元には、流動の影響がない氷床頂上で掘削されたコアを用いるのが良い。1995~96年、南極観測隊(越冬隊)は、南極氷床の頂上に位置するドームふじ(図1)で、新たに開発したメカニカルドリルを用いて深さ 2503m までの氷床コアを掘削した。2004/2005 年から4回の南極の夏、第二期ドームふじ氷床深層コア掘削計画を始め、2007年1月、岩盤に近い深さ 3035m までの掘削に成功した。第二期計画の氷床コアは、極地研や大学等の研究者の共同研究として、学際的な研究が進められているので、ここでは第一期計画で得られたコアの解析結果を紹介する。

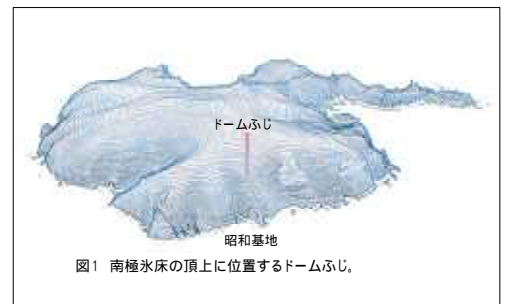


図1 南極氷床の頂上に位置するドームふじ。

(2) **気温と CO₂ の変動**：図 2 は、過去 34 万年の気温変化 (Watanabe et al., 2003) とともに CO₂ の変動を示している。この 34 万年の気温変化は、現在より 8~10 度の低い気候が約 10 万年間続いた氷期と、現在に近い気候が約 1 万数千年続いた間氷期が繰り返して起こっていたことを明瞭に示している。その他、4 万年と 2 万年のミランコビッチサイクルが気温変動に読み取れる。また、CO₂ 濃度は、気温と極めて類似した変化を示しており、気温と温室効果ガスである CO₂ の間に密接な関係があることが分かる。現在の CO₂ 濃度 380ppmv は、過去 34 万年で例を見ない高濃度であることを示している。

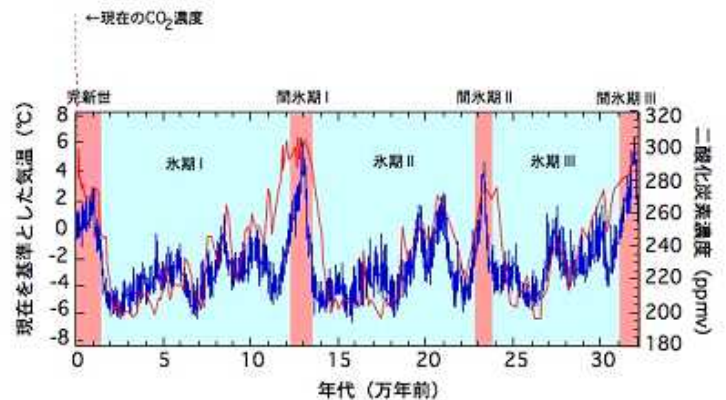


図2 南極ドームふじコアに記録された過去 34 万年の気温 (Watanabe et al., 2003 を編集) と CO₂ (Kawamura et al., 2008 を編集)。

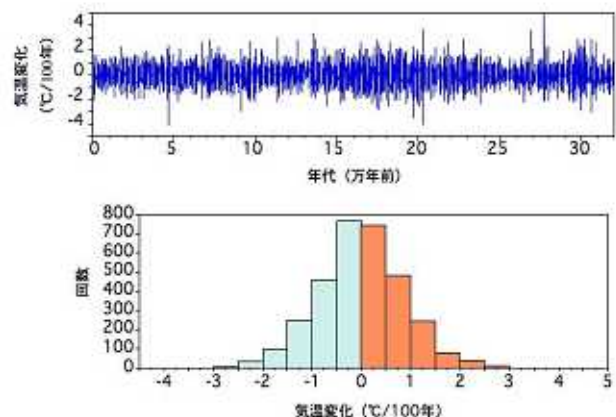


図3ドームふじコアに記録された過去 34 万年の気温変化速度とその頻度分布

最近の研究 (Kawamura et al., 2007) は、アイスコアの O₂/N₂ がドームふじの日射量に同期して変動したことを明らかにするとともに、この関係から、アイスコア年代を精度良く求める手法を示した。さらに、アイスコアの年代が精度良く求まったため、地球軌道要素の変化による日射量の変化と、ドームふじの気温と CO₂ との比較が可能となった。その結果、北半球高緯度の夏季日射量の変動が、氷期・間氷期サイクルの気候変動のきっかけであるとのミランコビッチ理論を支持する結果を得た。

気温の変化速度を図3に示した。今後 100 年の温暖化予測として、IPCC (2007) は、第四次評価報告書で持続的発展型社会の温室効果ガスの排出シナリオの場合、1.8 を示した。この温暖化速度は、図3から、2%程度の頻度で起こった極めてまれな速い温暖化と言える。

(3) **陸海域起源物質の変動**: 図4に、気温変化(^{18}O)、陸海域起源物質変動プロファイル、海水準変化を示す。氷に含まれている直径数ミクロンメートル以下の微小なダストの大部分は、乾燥地に由来する。ダスト濃度(Fujii et al.,2003)は、氷期の特に寒冷な時期にピークを示すが、これは、氷期の海面低下に伴う大陸棚の露出だけでは説明がつかない。大陸棚の拡大とダスト濃度が比例しないダスト量を、風速の増大によると考えることから、過去の風速を復元することができる。これによると、最終氷期末期の寒冷期には、現在に比べ風速は、1.5倍程強かった。また、海洋起源物質である Na^+ のフラックスは、気温と逆相関を示すように変化している。氷期には、海水が発達し開水域からの輸送距離が大幅に増大していたことを考えると、この氷期の海塩フラックスの増大も、主として風速の増大に起因する。

(4) **気候変動シナリオ**: 気温の長期変動には、10万年、4万年、2万年の卓越した周期が読み取れる。地球の公転軌道や自転要素の変動に起因した日射量変動の周期、すなわち、ミランコビッチ周期である。しかし、公転軌道の10万年周期による日射量の変化は小さく、氷期から間氷期への8~10もの気温変動は説明がつかない。そこで、 CO_2 フィードバックなど、多くの気候変動シナリオが提唱されている。「生物ポンプ」もその一つである。これは、寒冷化の場合、「多量のダストの発生 海洋への降下 海洋植物プランクトンへの栄養塩と鉄の供給 植物プランクトンの大増殖 光合成による二酸化炭素の吸収 温室効果気体の減少 寒冷化」というシナリオである。ドームふじコアの分析結果は、ダストとともに海洋植物プランクトン起源のメタンスルホン酸とダストのピークが一致していないので、「生物ポンプ」シナリオを支持していないように見える。

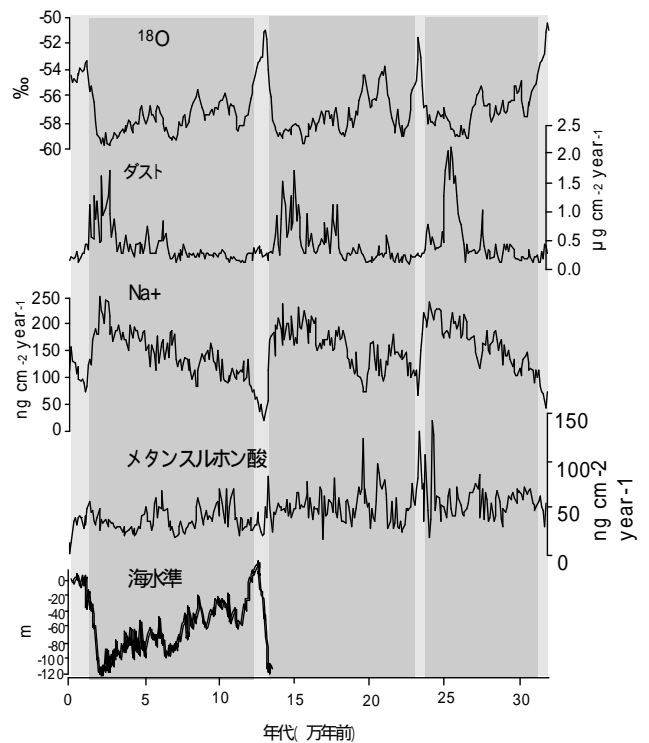


図4 ドームふじコアに記録された気温(^{18}O)と、陸域(ダスト)及び海域(Na^+ 、メタンスルホン酸)起源物質濃度の変化。海水準の変化も示した。

参考文献

- Fujii, Y., Kohno, M., Matoba, S., Motoyama, H. and Watanabe, O. (2003): A 320 k-year record of microparticles in the Dome Fuji, Antarctica ice core measured by laser-light scattering. Mem. Natl Inst. Polar Res., Special Issue, 57, 46-62.
- Kawamura, Kenji, Fran ois Parrenin, Lorraine Lisiecki, Ryu Uemura, Fran oise Vimeux, Jeffrey P. Severinghaus, Manuel Hutterli, Takakiyo Nakazawa, Shuji Aoki, Jean Jouzel, Maureen E. Raymo, Koji Matsumoto, Hisakazu Nakata, Yoshiyuki Fujii and Okitsugu Watanabe (2007): Northern Hemisphere forcing of climatic cycles over the past 360,000 years implied by absolute dating of Antarctic ice cores. Nature, 448, no.7156, 912-917, doi:10.1038/nature06015.
- Watanabe, O., J. Jouzel, S. Johnsen, F. Parrenin, H. Shoji, and N. Yoshida. 2003. Homogeneous climate variability across East Antarctica over the past three glacial cycles. Nature, 422, 509-512.