

氷床コアに残された 地球環境変動の軌跡

藤井理行

総合研究大学院大学教授極域科学専攻/国立極地研究所教授



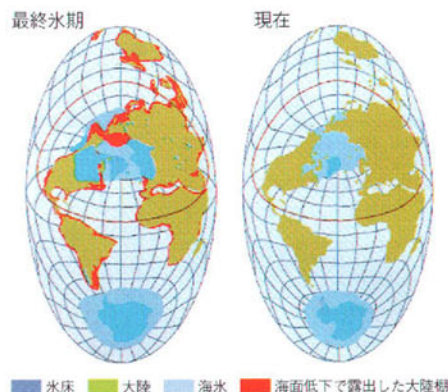
南極氷床コアの偏光写真

南極氷床とグリーンランド氷床

現在、「氷床」とよばれる大規模な氷河は、南極とグリーンランドに位置している。それぞれ地球上の氷の90%、9%を占め、残り1%がヒマラヤやアルプスなどの山岳地帯に氷河として存在している。しかし、約1万年前に終わった最後の氷期には、北極を中心に大規模な氷床が発達していた。北米大陸では、ハドソン湾を中心に南は五大湖を含む広範囲な地域をローレnciaイド氷床が、また、北欧にはスカンジナビア半島を中心としたスカンジナビア氷床が存在した。その規模は、それぞれ1300万km²、670万km²である。一方、南極での氷床の規模は安定しており、現在の1360万km²とそれほど変わっていなかったと考えられている(下図)。同じ極地でありながら、どうしてこのような差異がみられるのか。氷床コアの探査を手がかりに考えてみたい。

地球環境のタイムカプセル

南極やグリーンランドの氷床は、過去の地球環境を記録した天然のタイムカプセルである。



セルである。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の循環によって運ばれ、雪とともに堆積する。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氷床に積もる。なかでも雪は、とけることなく年々積もって氷に変化するが、その過程で空気も気泡として氷の中に取り込む。いわば極地の氷床は、過去数十万年におよぶ地球規模の気候や環境のタイムカプセルといえる。

そのようなタイムカプセルとしては、ほかに、樹木の年輪、サンゴ、湖沼や海の堆積物、鐘乳石などがあげられるが、極地の氷は、時間分解能が高いこと、過去数十万年前までの連続した記録であること、大気環境の情報を直接記録していること、さらに過去の大気を水中に気泡として取り込んでいることなど、記録媒体として非常に優れている。このタイムカプセルから気温の変化を解読するには、氷を構成している酸素や水素の同位体の量を正確に調べればよい。「降水中の重い酸素同位体は、気温が高くなるほど組成比が大きくなる」という性質を利用するのである。

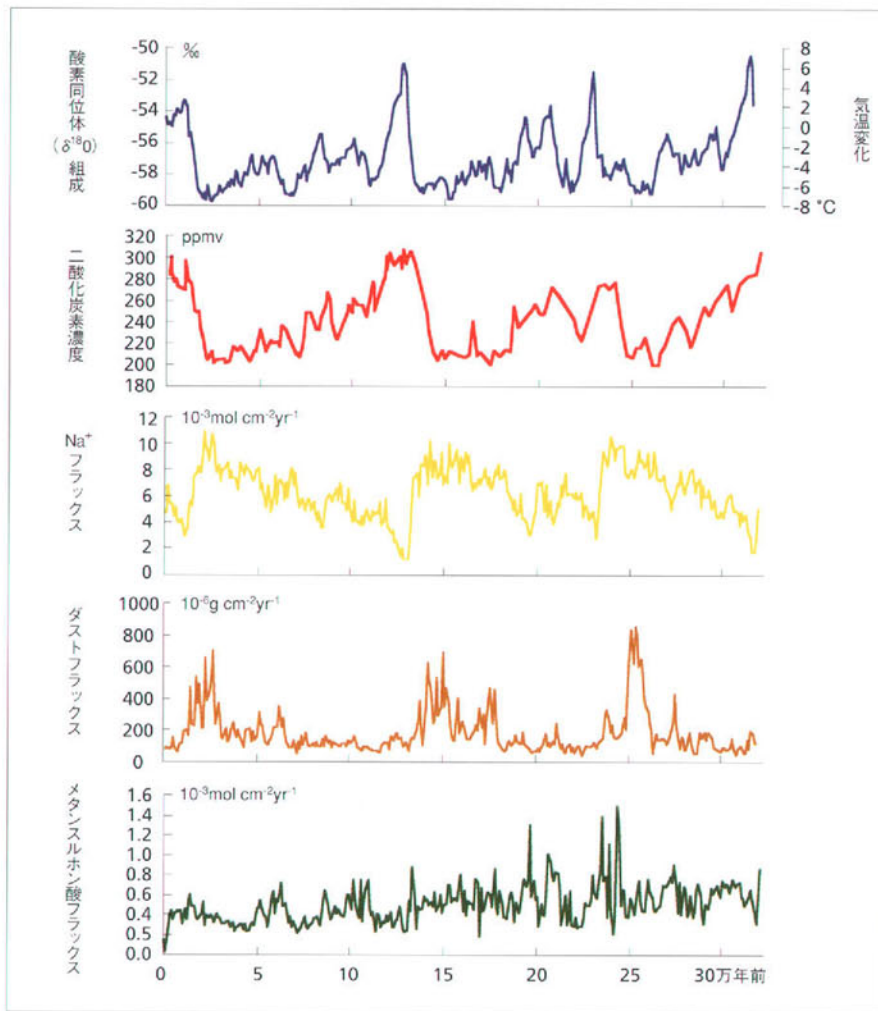
グリーンランド氷床に記録されていた氷期の急激な気温変動

グリーンランド氷床の深層コアは、氷期に経験した急激な気温上昇を数多く記

最終氷期と現在の氷床分布
最終氷期末期の、北半球には北米大陸北部やスカンジナビア半島を中心に氷床が発達していた。一方、南極氷床の氷床は最終氷期から現在まで大きな変化はなかったと考えられている。

録していた。その酸素同位体組成の解析結果は、過去25万年間にわたる気候変動の詳細を明らかにするとともに、氷期における24回もの温暖期を示した。こうした温暖期は、数十年で5~7℃という急激な気温上昇により始まり、500~2000年かけて徐々に寒冷化する特徴をもつ。このような急激な気候の変動は、「ダンスガード・オシュガー・サイクル(D-Oサイクル)」とよばれている。D-Oサイクルは、今後100年に予想される温暖化の速度をはるかに上回る急激な温暖化である。この温暖化は、北大西洋の海底コアとの対比研究から、「氷床-海洋-大気」をつなぐダイナミックな相互作用の結果であることが分かってきた。

北大西洋の海底コアには、氷床から分離し北大西洋に流出した氷山がもたらした粗粒な氷河性堆積物の層が多数見いだされている。また、海水温度の指標となるコア中の有孔虫の量比は、北大西洋への氷山群の流出直後に、グリーンランド氷床コアに記録された急激な気温上昇に同期して、北大西洋の海底コアでも海水温の急上昇がおきたことを示していた。この変動シナリオとして、「ローレnciaイド氷床の異常前進(サージ)→北大西洋への氷山の多量排出/サージ後に氷床底面から排出される水の枯渇→海洋表層の高塩分化、低温化→海洋の熱塩深層循環の起動→メキシコ湾流の北上→北大西洋での海水温と気温の上昇」といったストーリーが提唱されている。このことは、北大西洋地域の気候および氷床の形成が、海洋の大規模な循環に大きく依存していることを示唆している。



南極ドームふじで掘削された2503mの氷床深層コアの分析結果が示す過去32万年間の気温、二酸化炭素濃度、陸海域環境指標要素の変化 (Watanabe et al. 1999など)。Na⁺は海洋起源物質、ダストは陸域起源物質、メタンスルホン酸 (MSA) は海洋生物起源物質である。二酸化炭素濃度を除く各プロファイルは、1000年以下の変動を除去したものである。

海洋中の植物プランクトンは、大気中に硫化ジメチルという磯の香りとして知られる物質を放出するが、これは酸化されてメタンスルホン酸 (MSA) に変化する。ドームふじコアの分析により、ダストとともにメタンスルホン酸の変動も明らかになった。左のグラフは、氷期末期のダストのピークの終焉とともに二酸化炭素濃度が上昇し、気温も上昇したことを示している。上述した「鉄の仮説」と「生物ポンプ」による気候変動シナリオは、一見検証されたようにみえるのだが、海洋中の植物プランクトンの活動指標と考えられるメタンスルホン酸のピークとダストのピークは、グラフの上では必ずしも一致していない。

南極ドームふじのコアが示す過去32万年の気候・環境変化

南極ドームふじで掘削された2503mの氷床コアの研究は、国立極地研究所と多くの大学との共同研究として進められている。上図は、過去32万年の気温変化(酸素同位体組成)とともに、二酸化炭素、陸海域起源物質の変動を示している。この32万年の気温変化から、3回の氷期サイクルがあり、それぞれの氷期サイクルからは、2万年、4万年、10万年のミランコビッチサイクルで特徴づけられる類似した気温変化のパターンが読み取れる。また、繰り返されてきた気温変動傾向から、現在は、1万年前の最温暖期をピークに氷期に向かって寒冷化しているところであることがわかる。温室効果ガスである二酸化炭素濃度の変動は、氷期サイクルのスケールで眺めると、気温の変化と調和的である。しかし、現在の濃度は

過去32万年間にみられなかった370ppmを超えている。果たして地球の気候は、温暖化に向かうのか？ 氷期に向かうのか？ 数百年以上先の地球の気候をシミュレートするのに、「氷期に向かう地球」は考慮すべき事態であろう。

気候変動のシナリオは、数多く提唱されている。「鉄の仮説」や「生物ポンプ」に基づくものもその一つである。これは、寒冷化に向かう場合にみられるシナリオで、「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必須元素である鉄の供給→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→温室効果ガスの減少→寒冷化」となっている。大増殖した植物プランクトンは、有機物の粒子となり海底に沈降することで大気中の二酸化炭素を効果的に海底に移送するので、「生物ポンプ」とよばれている。

第Ⅱ期ドーム計画

南極ドームふじの氷床の厚さは、アイスレーダー観測により、3030mほどであることがわかっている。氷床の水は自重による塑性変形を起こし、層の厚さは、深さとともに薄くなる。2500mよりも深い氷の年代は、2600mで40数万年前、2800mで80数万年前と推定される。3030mの氷床最深部には、南極氷床の原形ともいべき数百万年以上前の古い氷が存在する可能性がある。

2003/2004年夏から開始する第Ⅱ期ドーム計画における氷床深層掘削では、3030mの氷床全層掘削を目標としている。第四紀における10万年周期の氷期サイクルは、80万年ほど前に始まったと考えられている。「いつから」「なぜ」この氷期サイクルが始まったか、南極氷山が氷に覆われるようになったのはいつか？ など地球気候変動史の未解明な課題解明に貢献することが期待される。