

世界が寒冷化に向かうとき **Gabriel J. Bowen, Nature, 445, 607-608, 2007.**

新生代において最初の大規模な氷河作用の時に、大量の氷床が南極で成長したが、北半球の大陸も寒冷化し、乾燥化した。このタイミングの一致は、気候変動の原因が地域的というよりは全球的であることを暗示する。

地球に大規模な大陸氷床がなかったのは、3400 万年前以前である。漸新世の始まる 3370 万年前以前には、南極は数千万年間、緑の茂った大陸であり、地球上の氷の塊はおそらく南極の高山や北極海およびその周辺にしかなかった。その後、漸新世の最初の 30 万年間に 2 度の短いパルスで、氷床は南極の大半を覆った。それ以来ずっと、南極大陸はかなりの氷に覆われていた(Fig. 1)。しかし、南半球高緯度で起きた激しいイベントは、全球の他の地域に影響を与えたのだろうか？そしてもしそうならば、いかに？本誌に掲載された Dupont-Nivet ほかと Zanazzi ほかは、漸新世初期における中央アジアと北アメリカの気候変動と生物相の変化を述べるが、これらは両半球の変化の駆動として大気中の二酸化炭素濃度の低下を暗示する。

漸新世初期のイベントの極の気候変化への重要性を考えると、その全球への影響に関する理解が不十分なことは驚くべきことかもしれない。実際に、大陸を覆う薄い堆積層に保存された記録は、暖かい始新世から寒冷な漸新世への変換期に、気候、植物群集、動物群集に様々な変化があったことを示す。しかし、陸成層の年代決定精度の不十分さと異なる方法を用いて得られた結果に見られる矛盾で、これらの記録の解釈には疑問が残る。さらに、北半球の気候変動に関する証拠は、漸新世初期の南極の氷河作用の原因に関する、広く行渡っている説明、すなわちオーストラリアと南アメリカの南極からのテクトニックリフティングによる、周南極海流の開始に伴う南極の気候的孤立、と調和しない。コンピューターモデルでは、このような海洋循環の変化は、北半球の大陸を寒冷化よりは温暖化させるとしている。

Dupont-Nivet ほかは精度の高い年代決定法を導入し、漸新世初期の南極の氷河作用と同時期に中央アジアで気候変動が起きたことを示した。彼らのデータはチベット高原の北縁の Xining 堆積盆から由来し、(その堆積盆の) 厚い堆積層は漸新世以前には間欠的に浸水していた湖(プラヤ湖堆積物と河成ファン末端堆積物の互層)が突然消滅したことを記録している。これらの堆積物の堆積時の地球磁場の変化の詳細な記録を用いて、著者らは Xining 堆積盆の堆積層を南極の氷床の形成を記録する海底堆積物の記録と時間的にリンクさせた。

さらに磁場の記録は、漸新世の乾燥化イベントの前には、Xining 堆積盆では浸水と乾燥が散発的(episodic)にかつ、最新(recent)の氷河時代のペースメーカーである地球軌道の形の 10 万年周期の変化と調和して起きたことを示す。これらの浸水サイクルの数の計測は、著者らに、海洋記録に対する Xining 堆積盆の乾燥化(イベント)の正確な年代をもたらした。アジアの乾燥化の増加は、基本的に南極の氷河作用と同調する。その上、この時に中央アジアの乾燥化に伴って哺乳類の大規模なターンオーバーが起きており、Dupont-Nivet と同僚の年代学的研究は、この変化と全球規模の漸新世初期のイベントとの関連を強固にし

た初めてのものである。

第二の論文では, Zanazzi ほかは, 通常の地球化学的テクニックに画期的な工夫を施して, 北アメリカの気候変化の新しい記録を報告する。彼らは, 当時の鉱物の安定酸素同位体比 ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) の相対的比率を測定した。この同位体比は 2 つの要因, 鉱物を晶出した母液の酸素同位体比と形成時の水温, に決定される。もしこれら 2 つの値のうち片方が分かれば, もう一方を換算することができる。陸域の古気候を研究する研究者にとってのチャレンジは, 通常, (これらの) パラメータを知ることができないことにある。

Zanazzi ほかは, 化学的に異なった歴史(chemical histories)をもつ 2 つの鉱物を分析することによって, この限界に挑んだ。彼らは, 哺乳類の化石から得た, 高密度で化学的に接着性のある歯のエナメル質の酸素同位体比を測定し, 合衆国の北グレート平原の研究地域の当時の水の酸素同位体比を求めた。歯の鉱物は, 哺乳類のほぼ一定の体温下で成長し, そして, その高密度であることから, 堆積後の同位体組成の変化はまずないだろうから, 著者らは動物の体内の水の $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ を, その動物の飲んだ水の同位体比に密接に関連するとした。水の同位体比を知ることで, 彼らは気温を復元するために, 化石の骨の $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ —骨は小穴が多く, 土壌に埋没した後に, 周囲の温度での酸素同位体を獲得する—を使った。

Zanazzi と同僚のデータは, 従来の研究に対して複雑な状況を提示する。彼らは, 平均年温度が実質的に 8 度低下したという確固とした証拠を与える。これは, 従来の研究の中で最も温度変化の大きいデータに近く, そして著者らの大陸の研究地域は中緯度の海洋で起きた低温化よりもはるかに大きい低温化があったことを暗示する。また著者らは, この気温変化を漸新世初期の北アメリカの動物相の一気に起こるターンオーバーと関連付け, 主に冷血動物—急速な気温の低下に敏感である—において絶滅の波が起きたと記している。しかしながら, 他の同位体比—気候の関係を使って, 彼らのデータをさらに分析したが, 著者らは他の研究で推定されている気温の季節較差の変化や乾燥の変化に関する証拠を見出していない。

これらの 2 つの研究は, とともに, 漸新世初期の気候と生物相の変化の全球的特性を納得のいくように明示する。それらは漸新世初期のイベントに関する海洋循環仮説へのチャレンジを強く支持し, そして全球的な強制力, 例えば大気中の温室効果ガス濃度の低下, が南極の氷床の形成のトリガーに役割を演じたことを示唆する。しかし, 観察された気候変化と全球の強制力との関連は未解明である。

例えば, Zanazzi と同僚の北アメリカの大きな寒冷化に伴う乾燥の変化に関する証拠の欠如は悩ましい問題であり, なぜならば, 乾燥化に関する既存の証拠の範囲内にあり (the range of existing evidence for aridification), かつ大陸の寒冷化は大陸内への水蒸気運搬のキャパシティーを減少させるからである。しかしながら, 彼らのデータは北半球の乾燥化に関する明瞭なサポートを提供しないが, これらのデータの解釈は, 歯と骨を合わせた同位体測定よりも不自然ではないし, そして彼らのデータが先行研究に示された変化と完全に不一致であるわけではないかもしれない。

アジアでは、二酸化炭素レベルの減少に起因する気候寒冷化が、この地域の乾燥化を本
当に説明できるかを気候モデルシミュレーションでテストする必要がある。シミュレーシ
ョンでそうならないのならば、漸新世初期のアジアの乾燥化と他の地域の気候変動は、直
接にはリンクしていないことになる。まだテストされていない1つの可能性は、地域的な
テクトニックイベント（すなわちヒマラヤの隆起）が、中央アジアで観察された乾燥化と
遥かに離れた南極と北アメリカの気候変化をもたらしたというものである。始新世―漸新
世境界付近でのヒマラヤの隆起のパルスは、雨蔭(rain shadow)を生み出すかあるいはその
地域の降水の季節較差を増加することによって、中央アジアの乾燥化をもたらすことがで
きた。同時に、大気から二酸化炭素を除去する山脈の風化の増加を通じた大気中の二酸化
炭素濃度の全球的な減少のトリガーとなったかもしれない。

これらの2つの研究は、漸新世初期は南極ばかりでなく地球全体にとってのターニング
ポイントだったことを示唆することは明白である。イベントを指針と使うならば、大気中
の二酸化炭素レベルが惑星の気候を、ますます温暖化、さらには氷床のない状態に向かわ
せるということは、ただ単なる極の氷だけの問題ではない。