

論文内容の要旨

Plio-Pleistocene reconstruction of East Antarctic Ice Sheet fluctuations (鮮新世 - 更新世の東南極氷床変動復元)

山根 雅子

1. 背景

地球史を通じて新生代は寒冷化の時代であり、これは極域氷床の形成・発達と深く関係している。現在、未来も含め新生代の地球システムを考える上で、極域氷床は重要な要素の一つである。過去 530 万年間の鮮新世 - 更新世 (Plio-Pleistocene) には、三つの全球的な気候イベントがおきた。530 – 300 万年前の Pliocene climate optimum (PCO) は、気温、海水温、海水準、大気中 CO₂ 濃度が現在と同じか、現在よりも高く (例えば, Dowsett *et al.*, 1996; Haywood *et al.*, 2010; Lunt *et al.*, 2010; Pagani *et al.*, 2010; Seki *et al.*, 2010)、気候変動に関する政府間パネル 第四次報告書 (IPCC AR4) で予想された今世紀末の地球環境と類似しているとされる時期である。300 – 270 万年前の Late Pliocene transition (LPT) は、北半球氷床の発達に伴い、全球的な寒冷化傾向が一段と顕著になった時期である。140 – 80 万年前の Mid-Pleistocene transition (MPT) には、氷期 - 間氷期サイクルが 4.1 万年周期から 10 万年周期に変化し、その振幅も大きくなった。これらの気候イベントは、全球気候システムの重要な再編期であり、南極氷床の発達史とも密接に関わっていると考えられる。しかし、過去の南極氷床の変動は、地理的に遠い、過去の氷床変動の記録が陸上に残っていない、南大洋では有孔虫がほとんど産出しないなど、南極特有の問題のため、十分に明らかにされていない。本博士論文は、鮮新世 - 更新世における東南極氷床変動の復元、および、全球的気候変動との関連の解明を目的に、岩石の露出年代測定と海洋堆積物中の生物源珪酸塩酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{silica}}$) 測定を行った。それにより、露出年代からは東南極氷床の氷厚と底

面状態を明らかにし、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{silica}}$ からは氷床融解イベントを検出した。

2. 表面照射年代法を用いた研究

手法：表面照射年代法は、地表面に含まれる元素と二次宇宙線との相互作用により生成される宇宙線照射生成核種の濃度 (^{10}Be , ^{26}Al など) を測定し、その濃度と単位時間当たりの核種生成率、放射性核種の場合は核種壊変定数から地表面が宇宙線にさらされた期間 (露出年代) を直接求めることができる手法である。また、同一試料から複数核種の測定を行えば、露出史 (simple exposure もしくは complex exposure) を知ることができ、これは試料採取地点を最後に覆った氷床の底面状態を間接的に表す。氷床底面が圧力融解点に達している場合 (warm-based)、基盤岩表面は融氷水によって浸食されるため、すでに生成されていた核種は削剥され基盤岩表面はリセットされる (simple exposure)。一方、氷床底面が圧力融解点に達していない場合 (cold-based)、基盤岩表面は浸食されないため、すでに生成されていた核種は保存されるが、放射性核種は放射壊変し、核種により存在量は異なる (complex exposure)。

試料：東南極ドロンイング・モードランドのセール・ロンダーネ山地から採取された試料の ^{10}Be と ^{26}Al の測定を行い、露出年代を算出した。これに加え、現在までに報告されている東南極5地域 (コートランド、ドロンイング・モードランド、マック・ロバートソンランド、プリンセス・エリザベスランド、ビクトリアランドおよび南極横断山脈) の露出年代データのコンパイルと一部データの再計算を行い、地域ごとにまとめた。

結果・考察：(1) 300 万年前以前の東南極氷床は現在よりも少なくとも 600 m 以上厚い氷床であった、(2) 300 – 100 万年前にかけて内陸から沿岸へ徐々に氷床が薄くなった、(3) 160 – 80 万年前に底面が融解状態から凍結状態に変化した、ということが明らかになった。また、この東南極氷床の変化の時期は、全球的な気候変動 (PCO, LPT, MPT) の時期と同期していたことが明らかになった。

3. 生物源珪酸塩酸素同位体比測定を用いた研究

手法：生物源珪酸塩酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{silica}}$) は、有孔虫の酸素同位体比と同じように、海水温と海水の酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{sea water}}$) の影響を受ける。有孔虫が産出しない海域での有力な古海洋学ツールであるが、従来の測定法では反応性の高い薬品の使用や煩雑な前処理、多量の試料 (mg オーダー) が必要であった。本研究では、安全・簡単・微量 (< 100 μg) 測定可能な誘導高温炭素還元法に連続フロー型質量分析を組み合わせた新手法を用いた。

試料：2010 年 1 月から 3 月にかけて行われた、統合国際深海掘削計画 第 318 次航海 (IODP Exp.318) で掘削された東南極ウィルクスランド沖のコア U1361A ($64^{\circ}24.57'\text{S}$, $143^{\circ}53.20'\text{E}$, 水深 3465.5 m) の鮮新世 - 更新世に相当するコアの上部 122.5 m を用いた。試料は過酸化水素処理を行った後、20 μm と 63 μm のふるいを用いて > 63 μm 、20 – 63 μm 、< 20 μm の各フラクションに分けた。放散虫 (*Spongotrochus glacials*) は、> 63 μm のフラクションから、顕

顕微鏡下で拾い出しを行った。珪藻は、20–63 μm のフラクシオンから、水比によって珪藻を分け、その後、顕微鏡下で珪藻以外の混入の有無の確認を行った。

結果・考察：(1) 珪藻の酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$) の平均値より放射虫の酸素同位体比 ($\delta^{18}\text{O}_{\text{radiolite}}$) の平均値の方が 1.8 ‰軽かった。これは、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ は南極表層水の情報、 $\delta^{18}\text{O}_{\text{radiolite}}$ は南極中層水の情報を持っているためと考えられる。(2) 鮮新世 - 更新世を通して $\delta^{18}\text{O}_{\text{diatom}}$ の長期トレンドは見られなかった。一方、底生有孔虫の $\delta^{18}\text{O}$ は更新世に比べ鮮新世の値は軽く (Lisiecki and Raymo, 2005)、予想される南極氷床の量は鮮新世の方が少ない (Pollard and DeConto, 2009)。したがって、この海域の $\delta^{18}\text{O}$ は更新世に比べ鮮新世の方が相対的に重く、融氷水の流入減少が原因として考えられる。このことは、ウィルクスランドが氷床に覆われていなかった時期が鮮新世温暖期の中にあつた可能性を示唆している。

4. 東南極氷床変動と全球的気候変動

図 1 (a) で示すように、温暖な鮮新世の東南極氷床は厚く、底面が融解している流動が激しい氷床であった。このような氷床が存在し続けるには、降雪量の増加、すなわち水循環の強化が必要である。この時代は海水温が上昇していたとされるので、これに伴う蒸発量の増加が寄与していたと考えられる。また、流動が激しい東南極氷床では、南大洋への融け水の供給が増加する。融氷水の増加は、 CO_2 を取り込む南極底層水の形成の減少を招き、大気中 CO_2 濃度上昇の原因になったと示唆される。したがって、長期間持続した鮮新世の温暖環境および高 CO_2 濃度に、現在とは異なった姿の東南極氷床が寄与していた。

南極の氷厚減少が始まった 300 万年前頃は、全球的な寒冷化が顕著になった LPT と同時期である。寒冷化に伴い、海面からの蒸発量は減り、南極へ運ばれる水蒸気量も減少した。この結果、南極の降雪量は減少を続け、氷厚も減少し続けたと考えられる (図 1 (b))。南極氷床は薄くなっていき、氷床底が圧力融解点に達することがなくなった 160 – 80 万年前に流動性が激しい氷床から安定な氷床へ変化した。氷床の形が変わり、氷床末端が海に接するようになった結果、南極氷床の変動は海水準変動の影響を強く受けるようになったと考えられる。この時期は MPT と一致しており、南極氷床が海水準変動を通して北半球氷床と同期するようになったことが、氷期 - 間氷期サイクルの振幅増大に影響を与えたと示唆される。

5. まとめ

本研究の結果、鮮新世 - 更新世を通して、東南極氷床は流動が激しい氷床から安定な氷床に変化したことが明らかになった。また、東南極氷床の挙動は海洋循環・炭素循環を通して、全球的な気候に寄与していた可能性が示唆された。この結果は氷床モデルの改良やモデルによる将来予測の向上に有用であるモデルの動作特性の検証に大きく貢献できると考えられる。

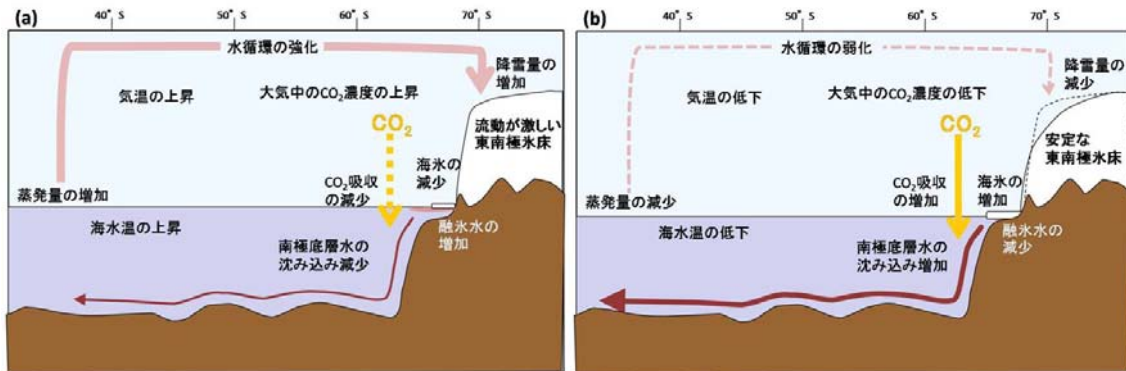


図 1 (a) 鮮新世“温暖期”における気候システム、(b) 更新世“寒冷期”における気候システムの模式図.