

GIA-based sea level change due to Marinoan snowball Earth deglaciation

入江, 芳矢

<https://doi.org/10.15017/4060001>

出版情報 : 九州大学, 2019, 博士 (理学), 課程博士
バージョン :
権利関係 :



氏 名 : 入江 芳矢

論 文 名 : GIA-based sea level change due to Marinoan snowball Earth
deglaciation
(マリノアンスノーボールアースの氷床融解に伴う固体地球変動
による海水準変動)

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

約 6 億 3500 万年前 (635 Ma) のマリノアン氷河時代は地球の表面全体が氷床と海氷によって覆われた (スノーボールアース) と考えられている。この時代の氷河堆積物はキャップドロストーンと呼ばれる炭酸塩岩に覆われている。スノーボールアースになると火山活動で放出された二酸化炭素が大気中に蓄積される。その温室効果で気温が上昇し氷床が急速に融解する。氷床融解後、二酸化炭素が消費され地球が温暖な環境に戻る過程でキャップドロストーンが形成される。キャップドロストーンは、地球環境がスノーボールアースから回復する過程を記録している。

南中国のマリノアン氷河堆積物を覆うキャップドロストーンの層序学的研究によると、スノーボールアース後の海水準変動は 3 つのステージに区分される。(1) 融氷水が海洋へ流れ込み、海水準の上昇による海進が起き、キャップドロストーンが堆積した。(2) 氷床の荷重の減少に伴う地殻の隆起が引き起こす海水準の低下 (海退) が起き、キャップドロストーンがカルスト化した。(3) 二回目の海進が起き、ドロストーンの堆積が再開した。つまり、氷床融解中に海進、氷床融解後に海退→海進が起きたと解釈される。この海水準変動は他地域 (カナダ、カルフォルニア、西アフリカ) に分布するキャップドロストーンからも解釈されることから、これらの海水準変動は汎世界的な現象であった可能性があり、スノーボールアース後の海水準変動は、氷床融解に伴う固体地球変動 (Glacial isostatic adjustment, GIA) の影響が顕著であったと考えられる。

本研究では、マリノアンスノーボールアースの GIA に伴う海水準変動を求め、キャップドロストーンから解釈されるスノーボールアースに関連した海水準変動、特に南中国で観測されている氷床融解後の海退→海進 (nonmonotonic postdeglacial sea level change)、を評価することを目的とする。このような海退→海進は、最終氷期最盛期以降の氷床融解後 (7 千年前以降) において観測されていない。つまり、最終氷期最盛期以降の氷床融解後の海水準変動より長い時間スケールの GIA の応答である可能性がある。また、GIA に伴う海水準変動をモデリングすることで、地球の粘性率構造と氷床融解史 (ここでは氷床融解期間) を制約できる可能性がある。さらに、氷床融解後の海退から海進に切り替わる時期を評価することで、キャップドロストーンの堆積期間を制約できる可能性がある。

南中国における氷床融解後の海退→海進は GIA に伴う地球回轉變動 (自転軸の移動) の効果を反映し、上部マントルの粘性率に関わらず深部マントルの粘性率が $\sim 5 \times 10^{22}$ Pa s で氷床融解期間が 2 万年以下のとき説明できる。地球回轉變動の効果は中緯度で卓越する。つまり、南中国が当時中緯度に位置していたことが重要である。主に深部マントルの粘性率に依存する理由は、地球回轉變動

が空間波長の長い変形（球面調和関数展開の2次）によって引き起こされるためである。また、氷床融解期間が2万年より長くなると、氷床融解中にGIAの緩和現象が進み、氷床融解後の海水準変動の振幅が小さくなる。

南中国の海水準変動を説明できるGIAモデルは、635 Maの古地理の不確実性を考慮すると、他地域（カナダ、カルフォルニア、西アフリカ）で観測される氷床融解後の海退→海進も説明可能である。これらの地域は地球回転変動の効果が小さく、海岸線の形状による効果が重要である。具体的には以下に示す空間スケールの異なる2つの条件を満たしていれば海退→海進を説明可能である。(i)大陸に囲まれた海に面している。(ii)局所的に半島のような地形がある。深部マンツルの粘性率が大きいとき、2つの空間スケールの変動速度のコントラストが大きくなり、氷床融解後の海退→海進がより明瞭になる。

635 Maの地球内部の平均温度は現在より~50 K程度高かったと推定されている。この推定値を用いるとマリノアン時代の地球内部の粘性率は現在の値の~1/2である。つまり、本研究で推定されるマリノアン時代の深部マンツルの粘性率 5×10^{22} Pa sは最終氷期最盛期以降のGIAによる推定値~ 10^{23} Pa sと調和的である。

南中国における海水準変動について、数値計算と層序学的研究の結果を比較し、マリノアン氷床融解後の環境変動について考察する。キャップドロストーンの堆積期間の上限は、海退から2回目の海進に切り替わる時期によって決めることができ、計算結果からモデル依存性を考慮して~5万年と見積もられる。キャップドロストーンの上位のドロストーン中に、 ^{17}O に枯渇するバライトが観察されている。これはMarinoan ^{17}O depletion (MOSD)と呼ばれ、スノーボールアース後の二酸化炭素濃度が高い状態から回復することと関連している。MOSDを示すドロストーンとキャップドロストーンの厚さが同程度であることから、両堆積物の堆積速度が一定であると仮定すると、MOSDの期間は~5万年と見積もられる。