

審査の結果の要旨

氏名 中村 謙太郎

本論文は、西オーストラリア、ピルバラ地塊、マーブルバー地域に分布する初期太古代 (3.5 Ga) の緑色岩を詳細な地質調査をもとに系統的に採取し、光学顕微鏡による岩石組織および造岩/変質鉱物の観察、EPMAによる鉱物の化学組成分析、XRFとICP-MSによる主成分・微量元素分析、カーボンディターミネータによるCO₂含有量測定、同位体質量分析計による炭素・酸素同位体分析を行い、その結果にもとづいて、大気-海洋系のCO₂濃度が非常に高かった太古代の地球において海洋地殻の炭酸塩化作用が主要なCO₂シンクであったことを明らかにした。

本研究地域から採取された試料は、鏡下における火成岩組織の違いから、ドレイイトと玄武岩に大別される。ドレイイトは比較的変質が少なく、初生的な造岩鉱物である単斜輝石が一部残存しているが、玄武岩は全ての造岩鉱物が変質鉱物によって完全に置換されている。ドレイイトの変質鉱物組み合わせは、一般的な緑色片岩相の変質鉱物組み合わせ (緑泥石+緑簾石+アクチノ閃石+石英+曹長石) を示すのに対して、玄武岩は炭酸塩鉱物を含む変質鉱物組み合わせ (炭酸塩鉱物+緑泥石+石英+白雲母) で特徴付けられる。EPMAによる鉱物化学組成の分析から、これらの炭酸塩鉱物が方解石、アンケライト、シデライトであることが確認された。炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$) は、0‰付近をピークとした狭い範囲の値を示す。このことから、これらの炭素が海水に由来するものであることが明らかにされた。

玄武岩の炭酸塩化作用は、CO₂に富んだ熱水 (海水) と、玄武岩中のCa, Fe, Mgを含む鉱物との反応によって説明できることが示された。反応の温度条件は、アクチノ閃石の出現温度から、300°C以上であったと予想される。また、炭酸塩化作用の圧力条件と熱水のCO₂濃度は、熱力学的な解析から、それぞれ200bar以上 (水深にして>2000m)、1 mol%以上であったと見積もられた。この結果から、太古代の熱水 (海水) のCO₂濃度が現在よりも100倍以上高かったために、海洋地殻の炭酸塩化が進んだことが明らかにされた。また、反応に関与する岩石中のCaと熱水中のCO₂のマスマランスから、この反応に必要な水/岩石比は、少なくとも2.6以上であったと見積もられた。

玄武岩の全岩化学組成は、K, Rb, Baに富み、Naに乏しい。これは、炭酸塩化作用に伴う斜長石の分解と白雲母の生成に伴って、K, Rb, Baが熱水から付加され、Naが熱水中に溶脱されていったことを示す。また、これらの玄武岩には炭酸塩鉱物の生成に伴ってCO₂の顕著な付加が認められるが、それに伴うCaの増加は認められない。このことから、太古代の炭酸塩化作用において、海洋地殻がそれ自身の持つCaを用いて海水中のCO₂を固定していたことが明らかとなった。

この炭酸塩化作用によって太古代の海洋地殻に炭酸塩鉱物として固定されたCO₂のフラックスは、本研究によって得られた地質学的、地球化学的データから0.71~14×10¹³ mol/yrと見積もられた。このフラックスは、現在の地球における総CO₂フラックス (炭酸塩堆積物の沈殿と有機炭素の埋没によって固定されるフラックス) と同等か、もしくはそれよりも大きい。このことから、大気中の二酸化炭素濃度が非常に高かった太古代初期の地球表層において、海洋地殻の炭酸塩化作用が主要なCO₂シンクであったと結論された。太古代に比べて大気・海洋のCO₂濃度が低い現在の海洋地殻では炭酸塩化は起こっておらず、炭素固定能力はほとんど使われていない。本研究から、今後人類がCO₂の処分を考えていく際に、この海洋地殻の持つポテンシャルの利用を考える価値があることが示唆された。

よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。