

# 論文審査の結果の要旨

氏名 西澤 学

太古代の表層環境の解明は地球の大気・海洋・生命の起源と進化を解明するうえで重要である。中でも岩石試料の同位体地球化学的研究は、未だ詳細が不明な太古代の大気・海洋での物質循環の復元において極めて有効である。すでに太古代岩石の炭素・硫黄の同位体比が精力的に測定されてきたが、生物必須元素の一つである窒素については試料中での存在度が低いため測定例が限られている。従って生命誕生期の窒素循環については定説がない。本研究では静作動型質量分析計を用いたナノモル量の窒素同位体測定法を測定例が極めて少ない太古代の岩石試料に適用し、上述の難問の解明を試みた。その結果、太古代の岩石試料の窒素・炭素の同位体比、アパタイトのウラン-鉛年代、および希土類元素の濃度が測定された。得られたデータをもとに太古代の原始生命の痕跡や生息環境そして太古代地球表層における窒素循環を評価した。本論文は6章からなり、各章の概要を以下に示す。

第一章では、太古代の地球表層環境に関する従来の研究のレビューを行い、問題点の整理がなされている。その中で、太古代の地球表層における窒素の挙動が重要であることを指摘し、主要な研究目的を明示している。さらに、この目的のために有効な分析試料および分析手法の選択についての概要が紹介されている。

第二章では、本研究で分析した岩石試料について、採取地域（西グリーンランド及び西オーストラリア）の地質と岩石の特質に関する詳細が述べられている。

第三章では、本研究で行った測定法について概要が述べられている。

第四章では、西グリーンランドに産する地球最古（38億年前）の堆積岩にたいして二次イオン質量分析計を用いた局所分析法によるアパタイトの希土類元素存在度やウラン-鉛年代の測定、段階加熱法による炭素・窒素の同位体測定（炭素・窒素の同時測定は世界初）を行い、試料の堆積環境や変成度の推定と初期的に含まれる炭素・窒素の検出とその起源の推定をしている。一連の測定の結果から、縞状鉄鉱層は38億年前の海底熱水系付近で堆積したこと、この縞状鉄鉱層には38億年前の生命に由来する初生的炭素・窒素が高温でも分解しないマグネタイト中に保存されている可能性が示唆された。これは初期生命が海底熱水系で誕生したという近年の仮説を裏付けており、堆積岩試料の希土類元素存在度や窒素・炭素同位体比という地球化学的証拠を得た点において本研究の独創性が認められる。

第五章では、太古代地球表層における窒素循環を解明する基盤となる太古代大気の窒素同位体比を西オーストラリアの 35 億年前の玄武岩質緑色岩に貫入するメノウ脈の流体包有物の窒素同位体比から推定した。地質学的証拠は、この流体包有物が 35 億年前の海底熱水の痕跡であることを示している。本章前半 (5-1) ではこのメノウ脈と同時期に形成された石英脈に産するアパタイトのウラン-鉛年代測定を行い、流体包有物の年代と流体包有物中の窒素の起源を考察している。本章後半 (5-2) では流体包有物の化学組成、窒素・アルゴン同位体比のデータを組み合わせて太古代の大気窒素同位体比を推定した。アパタイトのウラン-鉛年代の結果から、流体包有物には 35 億年前もしくは 32-35 億年前の海水に溶解した大気由来の窒素が端成分として保存されていると推定された。また流体包有物の  $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$  比、窒素同位体比そして  $\text{N}_2/^{36}\text{Ar}$  比から 30 億年前以前の海水にはアンモニアが大量 (海水に溶解平衡で存在する  $\text{N}_2$  と同程度) に溶解していたと考察している。これは当時の海洋が現在の海洋に比べて還元的な雰囲気下にあったことを示唆する。また 30 億年以前の大気の窒素同位体比 ( $\delta^{15}\text{N}$  値) が 4‰以下であると推定され、同時代のケロジェンの窒素同位体比との違いから当時の窒素循環が解読可能であることを示した。

第六章では、本研究のまとめが述べられている。

第四章、第五章の前半部分は共著として公表及びに公表予定 (印刷中) である。第四章は、本人が第一著者である International Geology Review 誌で印刷中の論文に加筆・修正を行った。投稿論文の著者には 6 名の共著者が含まれるが、地質試料の提供を受けた他は測定、論文執筆ともに本人が行った。また第五章前半部は、本人が第一著者である Geochemical Journal 誌に掲載された論文に加筆・修正を行った。投稿論文の著者には 3 名の共著者が含まれるが、地質試料の提供を受けた他は測定、論文執筆ともに本人が行った。本論文は最先端の窒素同位体分析法とウラン-鉛年代測定法を西グリーンランドと西オーストラリアの太古代の試料に適用し、原始生命の痕跡や生息環境、表層における窒素循環、大気の窒素同位体比の推定を行った点が独創的であり創意に富むと評価されるので、博士 (理学) を授与するに値すると審査委員全員は認める。