

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

氏 名 河原 弘和

論文題目 Formation process of Fe oxide bands and bleached spots by water-rock interaction (水-岩石反応による酸化鉄バンド及び溶脱スポットの形成プロセス)

論文審査担当者

主 査	名古屋大学博物館	教 授	吉田英一
副 査	名古屋大学大学院環境学研究科	教 授	竹内 誠
副 査	岐阜大学教育学部	准教授	勝田長貴
副 査	名古屋大学大学院環境学研究科	講 師	瀨瀨佑衣

論文審査の結果の要旨

本論文が対象とするのは、我々の生活環境においても最も幅広く活用されている元素の1つである鉄元素の岩石（地層）中での移動・濃集現象である。鉄は地殻中で4番目に豊富な元素であり、ほとんどの岩石中に普遍的に含まれている。しかし、岩石と地下水間の化学反応（水-岩石反応）に伴う鉄の移動・濃集メカニズムについて、未だ不明な点が多い。また近年では、火星で鉄コンクリーションが発見されたことに伴い、火星での水-岩石反応プロセスを知るアナログとして、地殻浅部の地層中での鉄の濃集メカニズムに着目した研究が展開されつつある。このような背景のもと、本研究では豪州北部キンバレー地域東部に分布する“ゼブラロック”と呼ばれる岩石に着目し、それらの研究成果と将来的な地球科学的応用性について言及している。

本論文は、4つの章から構成されている。第1章では、地殻中での鉄元素の濃集メカニズムのレビューを通して、その課題を整理するとともに、研究対象としたゼブラロックの地質背景のほか、ゼブラロックに関するこれまでの研究事例と問題点を論じている。ゼブラロックは、細粒のシルト質岩石で、酸化鉄鉱物からなる数mm~2cm幅の特徴的な赤褐色の‘ゼブラ模様’のバンド組織を伴う岩石である。このようなパターンは、岩石の風化・変質に伴って普遍的に生じることが確認されているものの、その形成メカニズムに関する先行研究は少ない。本研究の目的は、そのパターンの成因を明らかにし、岩石中での鉄元素の移動・濃集メカニズムを解き明かすとともに、金属鉱床探査技術等への応用性を示すことである。

第2章では、研究対象としたゼブラロックの地質学的及び鉱物学的特徴や、実施した調査内容の詳細が示されている。分析調査では、現地で採取した岩石を用いた数十の岩石試料に対して実施した、エックス線回折分析・エックス線元素組成分析・ラマン分光分析・エックス線顕微鏡元素マッピング・電子線マイクロアナライザ分析のほか、元素移動評価のための空隙率測定に関する手法および諸条件が詳述されている。

第3章では、これらの調査及び実験研究の結果がまとめられている。詳細な分析・調査の結果、ゼブラロック中の粘土鉱物組み合わせから、従来研究で報告されているカオリナイトに富むタイプと、明ばん石に富むタイプの2種類に分けられることを明らかにした。これらの粘土鉱物は、ゼブラロックが酸性変質を被ったことを示し、2タイプの鉱物組み合わせの違いは、原岩に浸透した流体の酸性度の違いを反映する。また鉄バンドの元素マッピングの結果、鉄バンド中の鉄濃度分布は一様ではなく、バンドの片側に一方向に偏在していることを確認した。これは、鉄元

素を豊富に含む流体が、一方向に持続的に供給・移動したことを示している。ゼブラロック中での鉄沈殿メカニズムは、ゼブラロックに酸化剤が認められないことから、鉄を含む酸性流体と原岩との中和反応（pH 緩衝）によるものであることを確認した。また、ゼブラロックの鉄バンド中に酸化鉄鉱物が分解してできた溶脱スポット（直径 100 μm ほど）を初めて発見した。溶脱スポットは中心にディッカイトからなる多角形結晶を伴っている。この中心結晶の初生鉱物が黄鉄鉱であり、初生黄鉄鉱の分解によって溶脱スポットが形成されたことを明らかにした。

第4章では、これらの結果に基づいて示されるゼブラロック及び溶脱スポットの成因と、それらから考えられる地球表層岩石中での鉄元素の移動・濃集プロセスについての特徴がまとめられている。岩石中の鉄元素の移動について、(1) 鉄元素の分布パターンから岩石中に浸透した流体の pH の変化をトレースできる可能性があり、また、鉄バンド中の鉄濃度分布の偏りは浸透した流体の浸透方向を示すため、その情報をマッピングすることで流体の移動・拡散経路の推測が可能である。(2) 先行研究で、ゼブラロック中の鉄バンドの間隔と岩石の拡散係数との関係からバンドの形成時間スケールを見積もることを示した。さらに、これと(1)の結果を組み合わせることで、鉄を含む流体の移動過程を時空間的に再現できる。(3) ゼブラロックの鉄バンドは鉄を含む流体の pH 変化によって形成し、最大 30%の鉄濃度を示す。pH 反応は地殻浅部において大規模・高品位の元素濃集をもたらす機構の一つとなる可能性があり、pH 変化をもたらすような地質的・地球化学的セッティングも金属鉱床探査におけるターゲットになると考えられる。(4) 鉄バンド中の鉄濃度の偏りから浸透方向の上流を調べることで、ゼブラロックに鉄の付加をもたらした流体のソースを推定できる可能性がある。この知見は金属鉱床探査に応用することができ、鉱床周辺に同様のバンド模様があれば、それを辿ることでより効率的に金属濃集部を発見できる可能性を有する。また、このような手法は、火星でも適用可能と考えられる。

本論文は、岩石中の酸化鉄バンド模様における鉄元素の移動・濃集メカニズムについて、ゼブラロックを事例に、その詳細を始めて明らかにしたものである。また、その形成プロセスを理解することで、鉄元素の濃集量や移動方向を推定できる地球化学的指標としても活用可能であることを示すに至った。このような岩石中の‘ゼブラパターン’の汎用性のある成因の理解のみならず、資源探査等の応用性に関する新規展開性を示す研究成果は、地球科学並びに応用地質学分野への新たな貢献として評価される。したがって、河原弘和さんは、博士（理学）の学位を授与される資格があると判断した。