

Evolutionary History of Planetesimal Surface Layers in the Early Solar System: Petrological and Isotopic Signatures as Records of Brecciation and Energetic Particle Irradiation

飛松, 優

<https://hdl.handle.net/2324/7363593>

出版情報 : Kyushu University, 2024, 博士 (理学) , 課程博士

バージョン :

権利関係 : Public access to the fulltext file is restricted for unavoidable reason (3)



氏 名	飛松 優			
論 文 名	Evolutionary History of Planetesimal Surface Layers in the Early Solar System: Petrological and Isotopic Signatures as Records of Brecciation and Energetic Particle Irradiation (初期太陽系における天体表層進化過程：角礫岩化と高エネルギー粒子照射の履歴としての岩石学・同位体的特徴)			
論文調査委員	主 査	九州大学	准教授	岡崎 隆司
	副 査	九州大学	教授	奈良岡 浩
	副 査	九州大学	教授	山本 順司
	副 査	名古屋大学	教授	日高 洋

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究者は、衝突角礫岩コンドライト隕石の希ガス同位体組成にもとづいて太陽系初期の天体衝突に関する物質科学的研究を行った。

太陽系の岩石天体は相互衝突による合体と破壊を繰り返している。衝突後の天体が合体するか破壊は、天体同士の相対速度、強度、天体自己重力によって左右される。このような岩石天体の物理的及び物質学的パラメータは太陽系進化と密接に関与しており、天体衝突を経験した衝突角礫岩や衝突溶融岩の隕石物質を対象とした様々な物質学的研究がなされている。また、物質学的研究だけでなく、小惑星や衛星などの地上および探査機による観測、理論的研究、室内衝突再現実験など、様々な観点からも研究が行われており、惑星科学の中心的テーマの一つである。

太陽系天体進化は、直径数十キロメートルの小天体同士の衝突合体に始まり、その後、木星や地球型惑星（および原始惑星）の形成とそれらの軌道進化・共鳴によって擾乱され、小天体の相対速度は上昇したと考えられている。このような小天体相対速度の進化過程に関して、衝突時の温度・圧力、および衝突のおきた時期とその継続時間等に関する定量的情報は極めて重要である。本研究者は、定量的な情報を得るため、天体表層物質と宇宙空間に存在する高エネルギー粒子との相互作用に着目した。小天体表層物質は他天体起源の衝突だけでなく、太陽起源のプラズマ粒子（太陽風および太陽高エネルギー宇宙線）や太陽系外起源の高エネルギー粒子（銀河宇宙線）に晒されている。これら 3 種の高エネルギー粒子は、運動エネルギーおよびフラックスが異なるため、隕石物質中の希ガス同位体組成に異なる痕跡を示す。先行研究では、岩石鉱物学的研究と同位体組成分析を密接に関連させて行ったものはほとんど無い。このため、天体表層起源の隕石物質が経験した衝突破碎及び加熱の影響を岩石鉱物学的手法から評価し、同時に希ガス同位体組成に基づく高エネルギー粒子相互作用の定量的評価を行うという、天体表層物質の進化に関する新しい物質学的研究を行った。

本研究者は、岩石鉱物学的手法と同位体分析を融合させるため、以下の研究を行った。

電子顕微鏡を用いた観察および主要元素分析を行うため、隕石試料の薄片作成を行った。試料は当該研究室所蔵のものに加え、NASA キュレーションへの試料申請を本研究者本人が行った。電子顕微鏡による岩石鉱物学的研究では、6 つのすべての隕石試料が衝突角礫岩に属するが、構成する

岩片は隕石ごとに異なることを発見した。岩片の化学組成および粒子サイズに基づいた記載・分類を詳細に行い、岩石鉱物学的先行研究の定義に従って隕石分類を再決定した。また、隕石母岩に含まれる粗粒なケイ酸塩物質（コンドリュール）の形状による衝突破砕程度の評価、および細粒物質（マトリックス）の化学組成に基づく熱変成度の評価を行った。これらの結果、衝突に関与した天体種の推定、衝突による物質学的影響を明らかにした。

次に、上述の岩石鉱物学的研究で用いた試料に対して、その試料表面を機械的切削を行い、切削粉体試料の作成を行った。この粉体試料を用いて、希ガス同位体分析を行った。試料からの希ガス抽出には、高温真空炉をもちいて段階的に（800, 1200, 1800℃）加熱を行い、異なる温度でのガス放出率および同位体組成を測定した。その結果、3つの隕石試料には太陽風起源の希ガスが含まれていることがわかったが、2つの試料には太陽風は含まれていないことがわかった。天体表層での衝突に伴う角礫岩化作用が進行している際、原始太陽系星雲が散逸している場合は太陽風が表層物質にインプラントされるが、角礫岩隕石が必ずしも太陽風を含んでいるのではないことを発見した。先行研究では、太陽風インプランテーション後の加熱による希ガス放出がその要因とされていたが、段階加熱希ガス分析により、太陽風放出をもたらすような加熱は経験していないことが明らかとなった。そのため、太陽風が角礫岩隕石に含まれない要因として、あらたに2つの仮説が立てられた。一つは、角礫岩化作用が起こっている際も、まだ原始太陽系星雲が存在しており、太陽風を遮蔽していたとするものである。もう一つは、角礫岩化作用に伴う表層物質の攪拌では、ごく表層の太陽風を含む物質がより深部には持ち込まれなかったというものである。

これらの2つの仮説を検証すること、また、天体表層物質の攪拌が起こった時間（攪拌継続期間）を決定することを目的として、新たに希ガス局所同位体分析を行った。コンドライト隕石は、直径数百ミクロンのコンドリュールと細粒物質の集合体であるマトリックスから主に構成される。コンドリュール内部には、太陽風が到達せず、その影響は残らない。一方、太陽光エネルギー粒子や銀河宇宙線はコンドリュール内部にも影響を及ぼし、新たなヘリウムやネオン原子を生成する。この宇宙線生成各種のヘリウムとネオン存在濃度をコンドリュール1つ粒ずつ測定することで、仮説の検証及び年代情報取得を目指した。その結果、太陽風を含まない角礫岩隕石は、太陽風を含まない深部の物質から構成されている可能性が高いことが判明した。また、攪拌継続期間として、約1千万年から2千5百万年という年代情報を世界で初めて取得することに成功した。

以上の結果、本研究者の研究によって、衝突角礫岩コンドライト隕石の進化過程に関して新たな定量的情報が得られた。その一つである角礫岩作用継続時間という年代情報は、太陽系進化における命題の一つである「原始惑星系円盤の散逸時期」に対して新たな制約条件を与えるため、惑星科学において極めて重要なものである。本研究の成果は、「Noble gas compositions in brecciated unequilibrated ordinary chondrites（仮題）(Y. Tobimatsu and R. Okazaki)」および「Lifetime of regolith of the ordinary chondrite parent body inferred from noble gas isotopes（仮題）(Y. Tobimatsu and R. Okazaki)」の2編の論文として投稿予定である。

よって、本研究者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。