

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)

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

太陽系岩石天体は原始太陽系円盤の固体物質が集積することで形成した。その形成・進化過程において天体衝突は不可避であり、その頻度や天体表層物質に与える影響は、天体の軌道や物性、大きさに依存する。これらは天体進化だけでなく、太陽系星雲の物理状態とも密接に関連している。したがって、隕石に残された衝突の痕跡をたどることで、太陽系進化に関する情報を得ることができる。これまで激しい衝突に関する年代情報は広く研究されてきたが、小規模な衝突に関しては、物理条件や年代に関する情報を得ることは不可能であった。小規模な衝突により形成される角礫岩隕石は、岩石組織変化以外にも貴ガス同位体組成が非角礫岩隕石とは大きく異なることが報告されている。星雲散逸後の大気のない小天体表面には、太陽風 (solar wind, SW)、太陽宇宙線 (solar cosmic rays, SCRs)、銀河宇宙線 (galactic cosmic rays, GCRs) といった、起源やエネルギー、フラックスの異なる高エネルギー粒子が照射されている。これらの粒子線は天体表層物質との相互作用により、上述の貴ガス同位体組成の変化をもたらす。先行研究では、不均一な岩石組織を示す角礫岩隕石に対して、岩石鉱物学的観察とミリメートルサイズの試料を用いた貴ガス分析が行われてきたが、岩石組織と貴ガス組成との単純な関連性は得られていなかった。そこで、本研究では岩石鉱物学的観察と局所希ガス分析を行うことで、太陽系初期の小天体表面で起こった小規模衝突過程に関する年代情報および衝突環境の定量的議論を行うことを目指した。研究対象としては、未分化な角礫岩始原隕石であるタイプ 3 普通コンドライトとした。これらは、天体での熱変成及び水質変質の影響をほとんど受けておらずその約 8 割は角礫岩化しており、本研究の目的に最も適する。

本研究ではタイプ 3 角礫岩普通コンドライトである DOM 10556 (L3.6)、LEW 97221 (L3-6)、Willard (b) (H3.6)、NWA 7985 (LL3-5)、Richfield (LL3.7) を用いた。各試料について研磨厚片を作成し、FE-SEM (JSM-7001F, JEOL)、EDS (INCA 250XT, OXFORD)、EPMA (JXA-8530F, JEOL) を用いて岩石鉱物学的観察および主要元素組成分析を行った。また、DOM 10556、NWA 7985、Willard (b) の観察した試料に対して、レーザーを用いたコンドリュール 1 粒ずつ (15-30 粒) とマトリックス領域 (3-5 領域) の局所貴ガス同位体分析を行った。1 度の測定に用いたレーザー抽出試料量は 0.1 ~ 数 μg 程度である。さらに、DOM 10556、LEW 97221、NWA 7985、Richfield の 4 試料から採取した 0.1 mg から 1 mg の試料に対して、抵抗加熱真空炉を用いた全岩貴ガス同位体分析を行った。

試料観察によりいずれも角礫岩化しているが、破碎の程度や、隕石中に含まれる母岩と異なる熱変成度・化学組成をもつ岩片の種類が異なることがわかった。また、マトリックスの化学組成から平衡度を求めた。これらから得られた角礫岩化の程度と、全岩貴ガス分析による太陽風起源のガス量には単純な相関が見られなかった。

レーザー局所分析では、太陽風は細粒のマトリックス部に濃集していることが判明した。コンドリュール中の He および Ne の同位体組成は、天体表層での宇宙線照射によって生成されたもの (cosmogenic) であった。いずれの隕石についても、コンドリュール中の cosmogenic ^{21}Ne 含有量は、コンドリュールごとに大きく異なり、この ^{21}Ne のばらつきは、天体表層での衝突にともなう破碎・

攪拌を受けた期間(regolith exposure duration, RED)に生成した核種量に相当すると解釈できる。また、 ^{21}Ne の最小値は、天体離脱から地球落下までの間に受けた照射期間(space exposure duration, SED)の上限値に相当する。

照射期間や照射を受けた天体深さを精密に推定するため、cosmogenic ^3He と ^{21}Ne の生成率を異なる天体サイズ・照射深度に対して計算した。その結果、cosmogenic $^3\text{He}/^{21}\text{Ne}$ 比は先行研究で利用されてきた cosmogenic $^{22}\text{Ne}/^{21}\text{Ne}$ 比よりも、天体サイズおよび照射深度に対する依存性が大きいことがわかった。本研究では、これをもとに角礫岩化作用時の照射深度を推定し、その値から cosmogenic ^3He および ^{21}Ne の生成速度を従来よりも精密に求めた。その結果、RED は約 40Ma の期間、天体表層から 1m ほどの攪拌が継続していたことがわかった。

LHB と現在の小惑星軌道を説明するため提案されたグランドタックモデルでは、原始惑星系星雲の散逸以前に木星と土星が太陽から 1.5 AU の位置まで近づいた後、太陽から遠ざかる方向に移動方向を転換することで大規模な小天体の軌道擾乱を引き起こしたとされる。本研究で得られた RED は、普通コンドライト母天体形成後(4.563 Ma)、天体表層での小規模な衝突活動が少なくとも約 40 Ma 継続したことを示す。一方、グランドタックは太陽系形成直後から起こったと言われている。本研究で用いた隕石をはじめとする多くの角礫岩コンドライトは激しい衝突による熱的な影響は受けておらず、グランドタック以前の小規模衝突によるものと考えられる。したがって、本研究の結果は、激しい衝突が起きる前の期間を示し、グランドタックが起きた時期に大きな制約を与えることができた。