



同位体顕微鏡の開発 ～月面基地に設置するために～

地球惑星科学およびその関連分野



研究者所属・職名 : 創成研究機構・助教

ふりがな さかもと なおや

氏名 : 坂本 直哉

主な採択課題 :

- [基盤研究\(B\)「水素の高ダイナミックレンジ定量イメージング」\(2020-2023\)](#)
- [若手研究\(B\)「隕石含水鉱物におけるOH基の酸素の起源」\(2013-2014\)](#)
- [挑戦的萌芽研究「投影型同位体イメージングによる細粒CAIの鉱物アイソクロン」\(2012-2012\)](#)

分野 : 宇宙惑星科学、固体地球科学

キーワード : 同位体、イメージング、太陽系、水、隕石、宇宙探査

課題

● **なぜこの研究をおこなったのか？ (研究の背景・目的)**

太陽系形成史を解明するために、隕石や月の石、小惑星探査機はやぶさ、はやぶさ2 試料など地球外物質の同位体組成を3次元的に可視化する同位体顕微鏡を開発してきた。科研費では、主要素技術である二次元荷電粒子検出器に関する基礎的な研究をサポートして頂き、2021年度採択の創発的研究支援事業「クライオ同位体顕微鏡による太陽系水進化の解明」や特別推進研究「超高压実験による地球コアの軽元素組成の解明」などへと発展している。

● **研究するにあたっての苦労や工夫 (研究の手法)**

太陽系を形成したイベントは、大規模な溶融や蒸発、凝縮、混合過程を伴い、その痕跡は同位体組成に記録されている。しかし、天然の同位体存在度は4桁以上に及ぶにも関わらず、その変動は‰オーダー以下である。さらに、宇宙の試料は希少で小さく、地球上に豊富に存在する水や有機物などで容易に汚染される。そのため、同位体組成を解明する同位体イメージングシステムの開発には、検出器の広いダイナミックレンジや自動化、クライオ化などの堅牢性と柔軟性が必要であった。



図1 同位体顕微鏡



同位体顕微鏡の開発 ～月面基地に設置するために～

地球惑星科学およびその関連分野

研究成果

●どんな成果がでたか？どんな発見があったか？

同位体顕微鏡の静電レンズなど200強の装置パラメータを遠隔で操作可能とする制御ソフトウェアを開発した。試料に照射するセシウムイオン源のパウダー化、酸素イオン源の負イオン取り出し機構の改良により、メンテナンスなしで長時間安定して稼働させることに成功した。イオンに対して画素当たり4桁半のダイナミックレンジを持つ二次元荷電粒子検出器の読み出し方式を工夫し、同一分析視野内に8桁以上の濃度差のある試料を分析可能とした。これらの要素開発により、同位体顕微鏡の自動化が達成され、サブミクロン空間分解能でパーミルオーダー精度を持つミリメートルスケールの同位元素イメージングが可能となった。また、凍結したまま表面出し、平滑化、導電膜塗布した試料を、超高真空中にある冷却ステージに導入して分析するクライオ化を行った。これにより、同位体顕微鏡の分析対象が大幅に拡大し、水などの揮発成分や鉄中の水素の三次元分布を直接観察可能となった。開発した同位体顕微鏡システムを用いて、小惑星探査機はやぶさ2帰還試料を分析し、地球物質と異なる同位体組成を持つ有機物やSiCなどの特異的な炭素質物質を発見した。さらに、水素やボロンに富む粒子や外縁部がナトリウムに富むことなどを見出した(図2)。

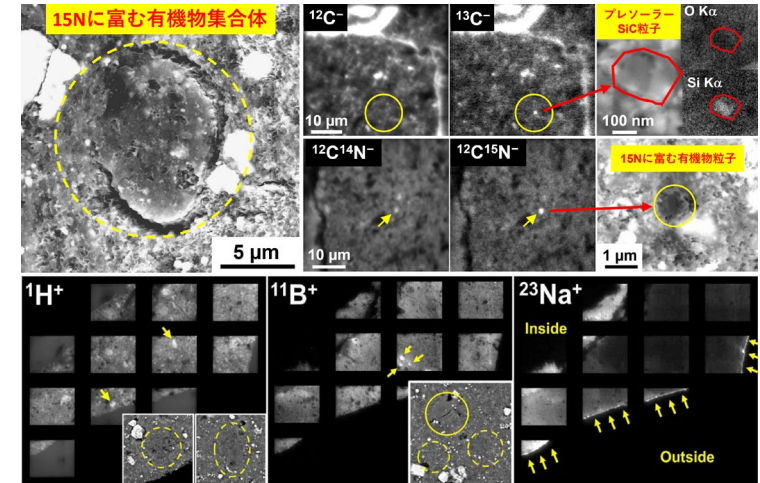


図2 同位体顕微鏡を用いることで、小惑星探査機はやぶさ2帰還試料から、地球より窒素同位体15Nを多く含む有機物の集合体や炭素同位体13Cに富むSiC粒子などが発見された。(坂本ら、日本地球惑星科学連合2022年大会)

今後の展望

●今後の展望・期待される効果

宇宙開発は、月面での水の探索を中心に急速に活発化と思われる。そこで、宇宙の水を分析するためのクライオ試料前処理装置群とその関連技術(図3)をより充実させる。地球は、水や有機物が豊富に存在するため、本来、水の分析に向かない。試料カプセルの大気圏突入に伴う危険もある。そこで、同位体顕微鏡を月面に設置して分析する際には、本研究を通して得た些細で細かなノウハウや知見が必ず役に立つと考えている。



図3 クライオ試料前処理装置群