

# 同位体顕微鏡を月面に設置する

○坂本直哉<sup>1</sup>

(<sup>1</sup>北海道大学創成研究機構)

## はじめに

宇宙開発が激烈に進展している。アポロ以来、月面に人間を送るアルテミス計画も始動し、収斂された巨大企業間の競争がさらに拍車をかけている。砂粒だった小惑星探査機はやぶさ試料は、10年後の後継機はやぶさ2でたくさんの小石となり、来年帰還するOSIRIS-RExではkgに迫ろうかという状況で、我々は何をすべきか？

本講演では、月面に同位体顕微鏡を設置することを提案する。理由は、(1) 水素からウランまでの全元素を高感度にイメージング可能で、(2) 探査機はやぶさ、はやぶさ2の分析でも活用した実績を有し、(3) 地球上では水や大気、有機物が豊富に存在するためにコンタミを回避するのが困難だからである。また、(4) 月面で試料カプセルを回収することで、地球の大気圏突入にかかる危険がなくなり、(5) 月の試料はその場で分析できるという利点もある。彗星に行ったロゼッタは、探査機用に設計された二重収束型のかなり本格的な質量分析装置を搭載していたが、彗星の酸素同位体組成を解明するには、まだ精度が一桁足りなかった。そこで、性能を落とさないフルスペックの同位体顕微鏡を月面に設置するために取り組んでいる装置開発について紹介する。

## 同位体顕微鏡の自動化

同位体顕微鏡は、投影型二次イオン質量分析装置と二次元荷電粒子検出器を組み合わせ、固体表面の同位元素分布を三次元的に可視化する装置である。隕石中の同位体組成やアポロ試料中の水、探査機帰還試料の分析などに用いられている[1]。自動化には、分析を自動で行う装置制御だけでなく、長時間の分析を可能とするプローブイオン源の安定化と堅牢な検出システムが必要となる(図1)。例えば、水素や酸素、窒素同位体の分析に用いるセシウムイオン源は、原料の炭酸セシウムをペレットから粉末状にした所、低い加熱温度でも長時間安定してプローブ電流が得られた。これは粉末化により表面積が増加して昇華効率が上昇し、原料の消費が抑えられたことが要因と考えられる。

## 同位体顕微鏡のクライオ化

月面では、地球上で行っている普段の試料調整はおそらく難しい。そこで、試料を切断して表面出しを行い、研磨して導電膜を塗布した後、同位体顕微鏡の凍結ステージ上で分析するまでの一連の工程を、全て凍結環境下で行うシステムを開発した。クライオ化したシステムは、凍結した生体中の水分分布の可視化だけでなく、極低温下では元素の動きが制限されるため、超高温高圧実験試料の鉄中の水素の定量などに活用されている。

## おわりに

想像してほしい。貴方の手元にある装置を月面で使うには何をしなければならないか。電気は太陽光発電でなんとかかなりそうだ。真空だからむしろポンプはいらないだろう。月での水は貴重なので冷却水の無駄使いはできない。試料はどうやって準備しようか？ 消耗部品の交換は？ どこまで遠隔操作できる？ 溶媒は？ ガスは？ 修理は？

少し考えるだけでも、待ち構える恐ろしい困難に身震いしてくるが、近い将来、誰かがやらなければならないことである。宇宙開発は、まず科学的意義を旗印に進行する。月面基地に分析センターができるとき、私は真っ先に手を挙げるつもりで準備している。



図 1. 自動化した同位体顕微鏡の主な開発要素とクライオ試料前処理装置群の外観

[1] 坂本直哉, “同位体顕微鏡で探る太陽系”, 日立ハイテク Scientific Instrument News, 6・2 (2021).

Isotope microscope on the Moon

\*N. Sakamoto<sup>1</sup> (<sup>1</sup>Hokkaido Univ.)