

同位体顕微三次元観察法の開発

坂本 尚義 [北海道大学大学院理学研究院 / 教授]
倉本 圭 [北海道大学大学院理学研究院 / 准教授]
伊藤 正一 [北海道大学大学院理学研究院 / 助教]

背景・目的

同位体は互いの化学的性質が非常に似ているため、化学反応や物質の起源・移動を明らかにするトレーサーとして有効であり、反応機構解明にも用いられる。したがって、同位体は、化学・物理学はもとより、宇宙科学・地球科学・環境科学等の自然を対象とする分野はもちろんのこと、生命科学・医学・農学等の生物を対象とする分野や物質科学等の工業的分野にわたるひろい科学分野の研究に利用されている。本研究の目的は、その同位体顕微鏡を用いて、地球・宇宙・環境・生命科学にわたる物質に応用可能な同位体顕微三次元観察法を開発することである。

内容・方法

本研究開発では、申請者が独自に設計開発した同位体顕微鏡を用いた3次元同位体観察法を開発する。この同位体顕微鏡は、金属試料において視野100ミクロン四方の領域の同位体分布を空間分解能0.3ミクロンで観察できる。また、原理的に水素からウランまでの全元素の同位体を観察できる。本研究開発では、この性能を金属だけでなく広く固体天然物質に適用できる観察法を開発する。

同位体顕微鏡観察法が研究レベルにおいても実用化されおらず、また、それを実現できる可能性を持つ同位体顕微鏡の開発に成功しているのは申請者たちのグループだけであることから、本研究開発の新規性、独自性は第一級のものであると信じる。また実現の可能性は、本研究開発が申請者たちが開発適用してきた天然試料の二次イオン質量分析の実績（過去の研究・技術開発実績欄参照）の素直な延長線上にあることから十分高いと信じる。

結果・成果

同位体顕微鏡を使った以下のような新しい同位体顕微三次元観察法を開発した。箇条書きする。

- (1) 固体天然試料は、鉱物のような結晶あるいは細胞のような生体である。これらの試料の新しい薄片・切片化技術を確立した。特に収束イオンビームを用いた微細部切り出し法が有効に働くことが判明した。
- (2) 固体天然試料は、金属とは異なり、電気的絶縁体である。分析時の帯電現象を中和するため低エネルギー電子を重畳照射し、歪みのない同位体画像の取得条件を確立した。
- (3) 独自開発の二次イオン半導体撮像素子を高速動作させる回路とソフトウェアを開発し、多数回読み出し法を適用した、それによりS/N比が読み出し回数の1/3乗に比例し

向上することが判明し、高精度観察法が確立できた。

- (4) 二次イオン半導体撮像素子の非破壊読みだし法と二重相関サンプル法を組み合わせ、測定中に起こった不安定画像の抽出除去を行い、誤差を最小化する画像処理法と測定中の画像シフトを補正する画像処理法を開発した。
- (5) 同位体画像の解像度を劣化させないスムージング処理法を開発し最適化を行ったところ、誤差を理論誤差まで最小化するアルゴリズムが開発できた。
- (6) 上記の方法で同位体二次元観察法を確立した上で、イオンパツタ法を併用することにより、深さ方向の同位体分布観察を加え三次元観察法を開発した。この時、三次元観察法を画像化する為に必要な画像処理技術の基礎部分を開発した。

上記の研究開発を隕石分析、珊瑚分析に応用し、宇宙化学・環境科学における以下のテーマについて論文発表した。

- (1) 普通コンドライト中のプレソーラー粒子の種類と存在度について。
- (2) エンスタタイトコンドライト中のプレソーラー粒子の種類と存在度について。
- (3) 地球・太陽系を作った材料の起源について。
- (4) 生命活動に起因した珊瑚骨格中の同位体変動の三次元分布について。
- (5) 惑星の材料物質について。
- (6) CHコンドライト中のコンドリユールの酸素同位体変動について。
- (7) 高感度二次イオン検出による結像型二次イオン質量分析法について。
- (8) 内惑星領域における酸素同位体の進化について。
- (9) 岩石と鉱物における同位体分布の顕微鏡法について。
- (10) マイクロチャンネルプレートと積層型固体撮像素子を組み合わせた高感度イオンイメージング検出器の開発について。
- (11) アレンデ炭素質隕石中CAIのMgとK同位体比について
- (12) コンドリユール中の酸素同位体組成から見た太陽系の酸素同位体貯蔵庫の進化について。

今後の展望

本研究開発の主な応用分野である宇宙化学、環境科学、生命科学に分け、以下に箇条書きする。

- (1) 宇宙化学:隕石中から太陽系形成前の星間空間に存在していたプレソーラー粒子を多数発見し、太陽系誕生で止まっていた我々の歴史観の実証を太陽系誕生まで遡らせ、宇宙史に位置づける。つまり、人類の自然観の拡張という文化的効果がある。
- (2) 環境科学:魚の耳石同位体研究により、これまで不明であった魚の稚魚の生態解析が可能になる。これにより、地球温暖化や人類の生活による環境破壊をトレースすることが可能になり、快適な生活環境維持の指針を得ることがで

きる。

(3) 生命科学:細胞の同位体観察により、機能が正常な場合と異常になった場合の微量元素の分布の差異が観察されるはずである。この観察結果のデータベースは、癌等の早期発見に役立ち、また、病理メカニズムの解明にも有用である。