

同位体のイメージング : isotopography

坂本尚義
北海道大学

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る(図 1)。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。光学顕微鏡や電子顕微鏡が、物質の微細な構造や組成を観察できるように、物質中の微細な同位体の組成分布を観察できる顕微鏡、同位体顕微鏡、があれば同位体の有用性はもっと大きくなると考えられる。しかし、同位体顕微鏡は現在でも一般的ではない。

その原因として次のような理由が考えられる。(1)ほとんどの元素は一つの同位体の存在度が卓越し、それ以外の同位体存在度は極めて小さい。(2)化学的性質が似ているため天然における同位体変動は小さく、天然の化学反応においては普通%オーダー以下である。これらの理由のため同位体顕微鏡の実現には、(1)高感度計測、(2)広ダイナミックレンジ計測、(3)高精度計測を同時に満足することを要求される。現在のところ、これらの要求をマイクロ領域で満足する可能性を持つ同位体分析法は二次イオン質量分析法 SIMS をおいて見当たらない。

最近 10 年間の二次イオン分析法 SIMS はマイクロメータ領域の点分析にはじまり、線分析、面分析へと発展してきた。その結果、サブミクロンの分解能をもつ同位体顕微鏡が開発され、質量分析も岩石顕微鏡や電子顕微鏡、EPMA 等による元素顕微鏡のような有用な顕微鏡の一つとなりつつある(図 2)。同位体顕微鏡は微量元素顕微鏡としても機能する。SIMS は高感度な微量元素分析法でもあるからである。このことは、地球化学においても、固体中の組織と同位体・微量元素分布との対応を問題解決の重要な情報源とできる時代がきた事を意味している。我々はこの同位体で見る固体組織をアイソトポグラフィ(同位体組織学)と名づけている(図 1)。

アイソトポグラフィは、酸素同位体異常の発見以来宇宙化学者を悩ませ続けている隕石中に観察される金属元素と酸素同位体のパラドックスを解消しつつある。その結果、原始太陽系星雲には酸素同位体比が異なる 2 種類の気相が存在していた事が明らかになってきた。そして、太陽系起源論は従来の静的なものからダイナミックなものへと転換されはじめた。また、この研究の過程で、太陽系の原料となるプレソーラー粒子や、太陽系の始原水を記録した宇宙シンプレクタイトの発見という副産物を生み出し、太陽系起源研究のフロンティアを広げつつある。

本発表では同位体顕微鏡の原理を紹介する。そして、同位体顕微鏡で隕石の組織を観察するとどのような新しいイメージが見えてき、惑星科学的ブレークスルーがおこるかを「火星の水(図 3)」と「プレソーラー粒子(図 4)」を例に挙げ紹介する。我々は同位体顕微鏡により原始太陽系を解剖すべく研究を進めている(図 5)。

参考文献

- Greenwood J. P., Itoh S., Sakamoto N., Vicenzi E. P. and Yurimoto H. (2008) Hydrogen isotope evidence for loss of water from Mars through time., *Geophys. Res. Lett.* 35, L05203.
- Sakamoto N., Seto Y., Itoh S., Kuramoto K., Fujino K., Nagashima K., Krot A. N. and Yurimoto H. (2007) Remnants of the early solar system water enriched in heavy oxygen isotopes. *Science* 317, 231–233.
- Nagashima K., Krot A. N. and Yurimoto H. (2004) Stardust silicates from primitive meteorites. *Nature* 428, 921–924.
- Yurimoto H., Nagashima K. and Kunihiro T. (2003) High precision isotope micro-imaging of materials. *Appl. Surf. Sci.* 203–204, 793–797.
- Yurimoto H. (2006) Star dusts–Precursors of Planets–. In *Origin of Matter and Evolution of Galaxies*, Vol. CP847 (ed. S. Kubono, W. Aoki, T. Kajino, T. Motobayashi, and K. Nomoto), pp. 319–323. American Institute of Physics.

顕微鏡：元素 vs 同位体

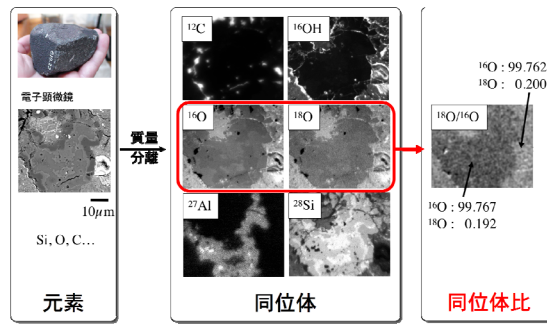


図 1: 元素分布と同位体分布の比較例。

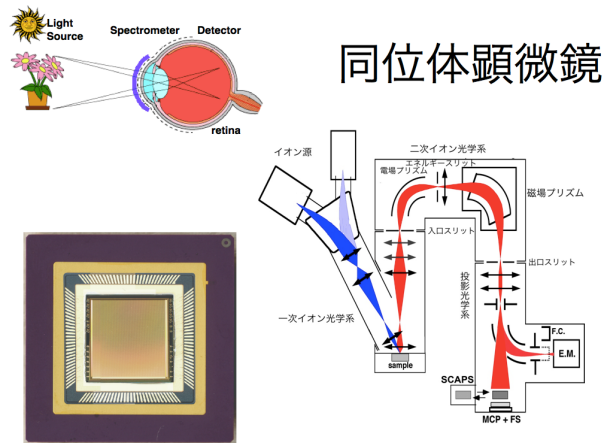
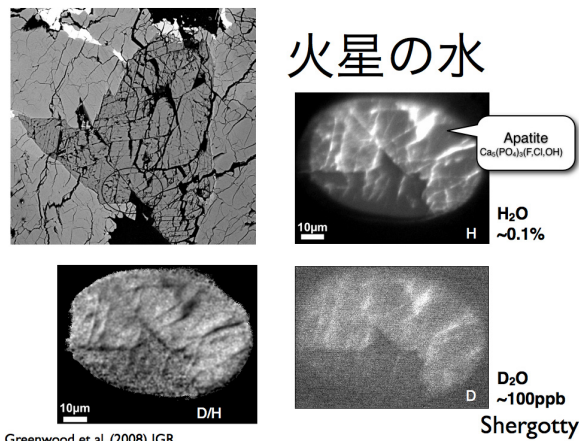


図 2: 同位体顕微鏡を実現するイオン光学系と 2 次元検出器 SCAPS。



Greenwood et al. (2008) JGR
 図 3: 火星からきたシャーゴッティ隕石中の水分分布とその同位体分布。

隕石中のプレソーラー粒子

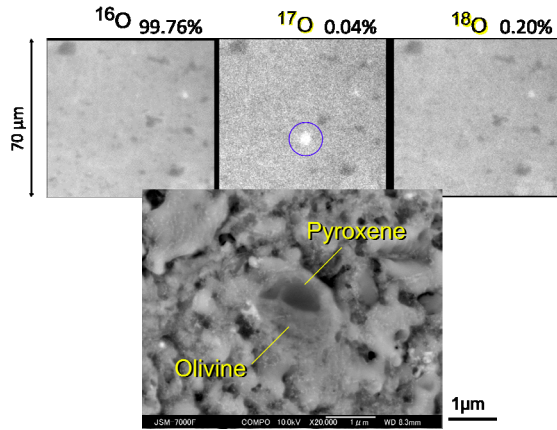


図 4: 隕石中のプレソーラー粒子の観測例。

原始太陽系の解剖学

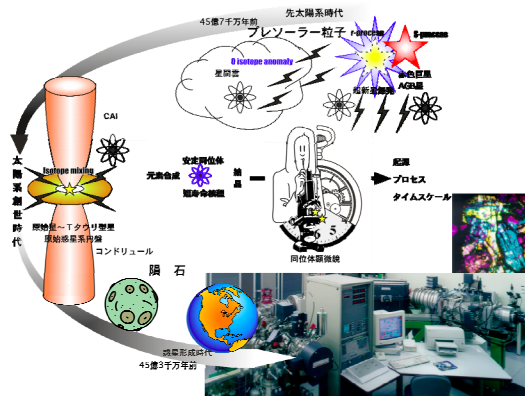


図 5: 原始太陽系の解剖学研究の模式図。