

周期表で考える安定同位体地球化学

○大野 剛¹
(¹ 学習院大学)

元素の同位体組成は、同位体間の物理化学的違いに起因する同位体効果を反映して変動する。安定同位体地球化学では、この同位体組成の変動を検出し、試料が形成された環境を推定する。水素、炭素、窒素、酸素、硫黄などの軽元素については天然の同位体組成やそれぞれの物理化学反応における同位体分別係数が測定されているため、古環境の推定や物質の循環過程を探る上で、広く応用されている。最近の分析化学の進歩、特に MC-ICP-MS や TIMS の高精度化により、重元素についても高精度同位体分析が可能になり、周期表のほぼ全ての元素を用いた安定同位体地球化学が進みつつある。

安定同位体地球化学では同位体比の変動を検出することに加え、同位体分別がなぜ起こるのか、またどのように変動するのかを理解する必要がある。一般に、同位体効果は同位体交換反応における平衡論的同位体効果と同位体間の反応速度の違いに起因する速度論的同位体効果に分けられる。

平衡論的同位体効果は、原子核の質量の違いに起因する分子振動状態の差と原子核の体積の違いに起因する電子状態の差によって起こるとされている(Bigeleisen, 1996)。質量数の大きい重元素は、同位体間の相対質量差が小さいため、同位体組成変動は小さいと考えられてきたが、陽子数の増加に伴い、相対論的量子力学効果が大きくなるため、原子番号の増加により核体積の違いが大きな同位体効果をもたらすことが示唆されている(e.g. Abe et al., 2008)。

一方、速度論的同位体効果は質量の違いに起因する同位体間の反応速度の差や核スピンのもつ奇数同位体の磁気同位体効果などが挙げられる。磁気同位体効果は紫外線により誘発されるゲルマニウム、スズ、水銀などのラジカル反応に伴って観察されている(e.g. Bergquist and Blum, 2007)。ただし、これらの同位体比変動は紫外線の波長によっても異なっており、まだ不明な点が多い。

同位体分析法については、MC-ICP-MS や TIMS の改良により、この 10 年で測定誤差は 1/10 まで小さくなった。また、多くの元素について分析前処理法も体系化され(e.g. Makishima, 2016)、分析装置の性能を十分に発揮できるようになってきた。元素の性質や周期性などの無機化学的な知見に基づき、周期表を俯瞰した安定同位体地球化学を展開できる時代となった。本講義では、安定同位体地球化学の基礎的な内容から重元素同位体効果の新しい理解について紹介し、今後の新しい安定同位体地球化学の可能性について議論する予定である。

Stable isotope geochemistry inspired by the periodic table.

T. Ohno^{1*} (¹Gakushuin Univ.)