

## 同位体比と地球内部構造モデル：何が問題か？

Isotope signatures and models of the Earth's inner structure: what are problems?

# 兼岡 一郎[1]

# Ichiro Kaneoka[1]

[1] 東大地震研

[1] ERI, Univ. Tokyo

地球内部構造に関するモデルはこれまでにさまざまな形で提出されてきているが、近年の地震波トモグラフィの結果に重点をおいて構築された地球物理学的モデルに対して、物質科学的な根拠に基づいて構築された地球化学的モデルとの間にはそのままでは整合性のとれない要素が残されている。本講演では、地球化学的モデルを構築する際に主要な制約条件を与えている同位体比についてその意味するところを総括した上で、なぜ同位体比が与える制約条件が無視できないかについて論証し、両者が融合しえるモデルを検討する。

地球物理学的モデルでは、地震波トモグラフィでみるとスラブのうちには下部マントルまで到達しているように見えるものがあることから、地球内部ではマントル全体に対流がおよんでいると考える全対流モデルが支配的になっている。一方地球化学の分野では、中央海嶺玄武岩(MORB)と海洋島玄武岩(OIB)などが示す Sr, Nd, Pb, Os, 希ガスなどの同位体比が系統的に異なることから、それぞれのマグマ源物質は異なっているはずであり、それに基づいてさまざまなモデルが提唱されてきた。しかし基本的には物質的に異なったマントル部分を想定することから、それから期待される対流は全体流モデルとは相容れないものになることが多い。特に MORB と OIB のマグマ源をそれぞれ上部マントル、下部マントルに相当するとして考えられたモデルでは、対流としては二層対流となることが予想される。しかし固体元素の同位体比からの要請は、MORB のマグマ源は液層濃集元素に乏しく、OIB のそれは相対的に多いということであり、それらの分布形態に関しては制約を与えるものではない。しかし希ガス同位体比については固体元素の同位体比のみからでは特定できない要件が付加され、そのことが地球化学的モデルにとって大きな制約条件を与えている。

希ガス同位体比として地球内部構造モデルを構築する際に対象とされる因子としては、大気成分からの影響がほとんど無視できる  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比が多くもちいられる。各大洋地域の MORB が大気中の  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比の 8 倍前後の均一な値を示すのに対し、OIB ではそれよりも高いものが多く最大で約 40 倍にも達する。これに対する最も素直な解釈は、OIB のマグマ源では始源的希ガスの  $^3\text{He}$  が MORB のマグマ源より多量に残っていると考えることである。このことは、OIB のマグマ源が MORB のそれよりも始源的であることを要請し、そのことから OIB のマグマ源は脱ガスの少ない下部マントルに相当するという地球化学的なマントル二層構造モデルを支える大きな根拠となっていた。しかしそのことは地球物理学的な全対流モデルとは一致せず、それを解決するさまざまな試みがされてきている。しかしいずれのモデルも、希ガス同位体比から与えられる制約条件を十分に満足させているとはいえない。ここ数年来 D. Anderson などのグループは、MORB, OIB とも基本的には  $^3\text{He}/^4\text{He}$  としてそれらより高い値をもつ物質と低い値をもつ物質との混合の結果であり、その均質性はマグマ生成の際の部分溶融の程度を反映しているというモデルを主張し、これによって地球物理学的モデルと地球化学的モデルの差は解消されるとしている。しかしこのモデルでも多くの問題点が残されている。たとえば実際に観察されている OIB などの  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比の分布には明らかに構造場を反映しているような地域差があり、想定しているような高い値をもつ岩石・鉱物試料がマントル捕獲岩でも見出されていない。また MORB の各大洋地域を通じての均一性を説明することも難しい。高い  $^3\text{He}/^4\text{He}$  比をもつ物質は相対的に少なく、マントル内にパッチ状ないし細かいすじ状の存在すると想定しているが、このような部分に He のように化学反応性がなく移動しやすい始源的希ガスが、地球形成後現在まで保持されてるとは非常に考えにくい。

He から推定される制約条件は、Ne, Ar, Xe などほかの希ガス同位体比からも同様に得られる。希ガス同位体比の制約条件を満足するためには、マントル深部で、ある程度量的にまとまった部分に存在する可能性が大きく、その部分には揮発性元素などが残されていてもおかしくない。しかし下部マントル全体がそのような性質をもつのではなく、下部マントル下部に不規則な形で始源的部分が存在するとすれば、地球物理学的モデルとも矛盾することはない。