

希ガス同位体比に基づいた地球内部における大規模循環物質の存在の証拠

Evidence for the occurrence of recycled materials on a global scale in the Earth's interior based on noble gas isotopes

兼岡 一郎 [1]

Ichiro Kaneoka [1]

[1] 東大地震研

[1] ERI, Univ. Tokyo

地球物質の希ガス同位体比は、表層成分としての大気（海水）成分、地殻成分、地球深部を反映したMORBのマグマ源成分、ホット・スポット地域のOIBなどに代表される成分などの端成分の混合として説明できる。これらのうちOIBなどには、上記の端成分から外れて表層成分の寄与が認められる希ガス同位体比を示すものが見いだされている。試料の検討からその原因が浅所における地殻や大気成分の混合作用とは考えられず、プレートの沈み込みなどにより表層物質が地球深部にもたらされた結果と考えざるを得ないものが存在するが、このことは大規模な循環物質の存在を示唆する。

希ガスは化学的に不活性で、放射性起源同位体や安定同位体を含む。その同位体比変化は、放射壊変などによる親核種と娘核種の比と時間による変化や、異なった物質同士の混合などによる物理過程に支配されるが、元素分配や結晶分化などの化学的過程の影響は受けない。その特性を活かすことにより、希少元素存在度や安定同位体などとは異なった視点から、地球内部における大規模な物質循環を探るための指標とすることができる。その基本的な原理は、これまでに得られている各種の地球物質の希ガス同位体システムテックスにおいて、地球深部の状態を代表しているものと、地殻ないし地表物質・海水・大気などにおける希ガス同位体比を反映している各種の試料の希ガス同位体比の値からその端成分を推定する。それらを基に、本来地球深部においては存在する可能性が考えにくい地表物質の存在を示唆するデータが地球深部に由来するマグマなどによって形成された岩石・鉱物中に見いだされる時、その原因を検討して、大規模循環物質によるのかそれ以外の原因によるものかを明らかにできる筈である。

これまでに得られている地球物質の希ガス同位体比では、Kr以外のHe, Ne, ArおよびXeの同位体比が、大気・海洋を含めた表層物質と地球内部物質で異なっていると考えられている。特に大気・海水（地下水を含む）中の希ガス同位体比は最も均質な値をもち、地球物質に関する希ガス同位体比の典型的な端成分を構成している。またMORB（中央海嶺玄武岩）の急冷ガラスから推定されるマグマ源物質中の成分についても $3\text{He}/4\text{He}$ 比などはかなり均質で、Neより重い希ガス同位体比は大気・海水中の大気端成分とMORBのマグマ源の予測端成分の混合によって説明できる。またホット・スポット地域などのOIB（海洋島玄武岩）のマグマ源に見られる希ガス同位体比は、MORBなどよりもさらに始源的成分に富んだ希ガス同位体比を示すことが特徴的であるが、大陸地殻などを構成する岩石・鉱物などでは、一般的には放射性起源希ガス同位体の寄与が大きい傾向を示す。

大洋地域の試料で得られたデータで、上記の傾向から外れる希ガス同位体比を示すものが見いだされている。大洋地域を構成している地殻中の希ガス同位体比は、海水や堆積物などの影響を受けていない場合にはMORBの値と大差がないことが予想されている。これらのことを前提条件としてこれまでに得られている各種試料の同位体比を検討すると、大規模循環物質の存在を示唆する希ガス同位体比として次のような現象が挙げられる。（1）OIBなどにおいて、 $3\text{He}/4\text{He}$ 比がMORBより低い値を示すものが存在すること（例、HIMU地域）。（2） $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ - $^{21}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ 図において、同じ $^{20}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ 比の値に対する異なった海洋島のOIBの $^{21}\text{Ne}/^{22}\text{Ne}$ 比の値の変動。（3） $^{129}\text{Xe}/^{130}\text{Xe}$ - $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 図において、OIB中の超塩基性捕獲岩で

$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比が数1000以上を示すのに、 $^{129}\text{Xe}/^{130}\text{Xe}$ 比が大気の値と同様の傾向を示すものが存在（例、サモア、ハワイ島の試料）。（1）については、トリスタン・ド・クーニャ島やガウ島などの玄武岩ではその $3\text{He}/4\text{He}$ 比がMORBより低い値を示すことが分かっており、その原因としてマグマ源物質への循環物質の寄与ないし浅所における古い地殻成分の寄与が可能性として挙げられている。しかし大西洋のセント・ヘレナ島や南太平洋のツブアイ島などのHIMU玄武岩でも同様にMORBより低い $3\text{He}/4\text{He}$ を示し、しかも多くの試料で同じような値を示す。このことは浅所での混合作用では説明できず、上部・下部マントル境界付近に沈み込んだプレート物質の影響としか考えられない。（2）についても大気成分の影響を除いたマグマ源についての推定値として、OIBの各マグマ源へ異なった割合の核反応起源の ^{21}Ne の付加が原因と考えられ、地球深部で核反応を生じるUなどが不均質に存在しているのは、循環物質などに起因すると考えるのが最も受け入れやすい。（3）については、試料が示す高い $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ 比は大気Arの影響が非常に小さいことを示すが、そのような試料が大気と同様の $^{129}\text{Xe}/^{130}\text{Xe}$ 比を示すことは、そのマグマ源がかつて大気と平衡になったことを示し、循環物質の存在を示唆する。しかし超塩基性捕獲岩でもMORBの端成分と大気成分の混合による傾向を示す試料も存在するので、これらの違いがどのような原

因で生じたのかを明らかにすることは今後の課題である。