

失われた貯蔵庫の主成分元素組成と初期地球の分化 Major element composition of the missing reservoir: Implication for the early Earth differentiation

近藤 望^{1*}; 芳野 極²; 松影 香子³; 吉田 健太⁴; 小木 曾 哲¹

KONDO, Nozomi^{1*}; YOSHINO, Takashi²; MATSUKAGE, Kyoko³; YOSHIDA, Kenta⁴; KOGISO, Tetsu¹

¹ 京都大学大学院人間・環境学研究科, ² 岡山大学地球物質科学研究センター, ³ 神戸大学大学院理学研究科, ⁴ 京都大学大学院理学研究科

¹ Graduate school of Human and Environmental Studies, Kyoto University, ² Institute for Study of the Earth's Interior, ³ Graduate School of Science, Kobe University, ⁴ Graduate school of Science, Kyoto University

地球はコンドライト質の材料物質が集積し、形成したと考えられている。そのため、マントル・地殻の総和 (bulk silicate Earth: BSE) は、難揮発性かつ核に入らない親石元素において、コンドライト的な存在度を持つはずである。しかしながら一部の親石元素において、現在手に入る地球の珪酸塩部分 (accessible silicate Earth: ASE) はコンドライトと異なる同位体比や微量元素比を持つことが明らかになってきた (例えば $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, Nb/Ta)。したがって BSE をコンドライト質と考えるならば、ASE とコンドライトの差を説明する貯蔵庫が、未だ発見されず何処かに存在しているはずである。このような未発見の貯蔵庫が「失われた貯蔵庫」と呼ばれている。 $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ においては、ASE がコンドライトよりも有意に高い値を持つことが明らかになっている (Boyet & Carlson, 2005)。Sm は Nd よりも液相濃集性が弱く、 ^{142}Nd の親核種 ^{146}Sm は半減期の短い (6800 万年) 消滅核種である。ゆえに、ASE とコンドライト間の $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ の差は、地球史の初期に $^{146}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ の小さなメルトが分化し、その後マントル対流から孤立していることを示唆している。これまで幾つもの先行研究がこの失われた貯蔵庫の形成とゆくえについてシナリオを提案してきた (Boyet & Carlson, 2005; Lee et al., 2007; Labrosse et al., 2007; Korenaga et al., 2009; Nebel et al., 2010) が、いまだ決定的なシナリオは現れていない。その理由のひとつは、失われた貯蔵庫のゆくえを知るには、その元となったメルトのマントル中での浮沈が重要となるにもかかわらず、そのメルト密度が制約されていないことである。密度は主成分元素組成に依存する。ゆえに、本研究では失われた貯蔵庫の主成分元素組成を推定し、その密度を計算した。そして、失われた貯蔵庫の形成とゆくえについて、より有りうるシナリオを提案する。

我々は Kondo & Kogiso (2014) において、ASE とコンドライト間の $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ の差から両者間の Sm/Nd の差を求め、この Sm/Nd の差をつくるような失われた貯蔵庫の形成年代と部分融解度を推定した。推定された形成年代は太陽系形成から 3350 万年以内、そして部分融解度は上部マントル圧力において極微小 (1 GPa: <2.8%, 3 GPa: <2.5%, 7 GPa: <1.0%) となった。本研究では、その微小な部分融解度のメルト (ソリダスメルト) の主成分元素組成を未分化カンラン岩の融解実験を用いて決定した。初期地球ではマントルは現在よりも高温であることが予想されるため、高温高压でのソリダスメルト組成を知ることが必要となる。しかし、3 GPa 以上でソリダスメルト組成を決定した先行研究はない。そのため、我々は Hirschmann & Dasgupta (2007) が提唱した修正版繰返しサンドイッチ法 (Modified Iterative Sandwich Experiment: MISE) を行い、7 GPa でのソリダスメルト組成を決定した。結果として、ソリダスメルト組成は鉄に富むコマチアイト組成であることが明らかとなった。そして、我々はこの主成分元素組成を用い、Matsukage et al. (2005) の手法で 7 GPa ソリダスメルトの密度を計算した。結果、ソリダスメルトの密度は未分化カンラン岩の密度よりも小さくなった。ゆえに、7 GPa ソリダスメルトはマントル中を上昇する。また、本研究で推定した失われた貯蔵庫の形成年代は、先行研究で推定された最後の巨大衝突の年代よりも早い。巨大衝突は全マントルを融解させると考えられており、失われた貯蔵庫がマントル内部で孤立していた場合、失われた貯蔵庫も融解し周囲のマントルと混ざり合ってしまう可能性が高い。したがって、より有りうるシナリオは次のようになる。初期地球において、高温高压で形成されたソリダスメルトはマントル中を上昇し、コマチアイト地殻を形成した。そしてそのコマチアイト質地殻は巨大衝突時に宇宙空間へと飛び散り、地球から失われた。こうして、ASE はコンドライトとは異なる組成を持つようになった。

キーワード: 隠された貯蔵庫, $^{142}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, 冥王代, ソリダスメルト, 融解実験

Keywords: missing reservoir, $^{144}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, Hadean, solidus melt, melting experiment