

## 沈み込み帯におけるマグマ研究と今後の展望

○田村 芳彦（独立行政法人海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域）

我々はマリアナ弧の NW Rota-1 火山で、一つの火山に二つの初生玄武岩マグマを見いだした (Tamura et al., 投稿中)。この事実を沈み込み帯の広範囲の火山において検証し、島弧マグマおよび大陸地殻の成因にパラダイムシフトをおこしたい。アメリカの実験岩石学者 N.L. Bowen は、地球上のすべてのマグマはただ一つの玄武岩マグマから出発して、その結晶分化作用によってできたという説を展開した (Bowen, 1928)。反応原理に基づいたその理論の美しさは多くの研究者を魅了した。その後、テクトニックなセッティングの違い(海洋中央海嶺、島弧、ホットスポット)により性質の違う玄武岩マグマが生じることが明らかになってきた。しかしながら、Bowen の没後 50 年を経た今、多くの研究者は依然として Bowen の体系に取り付かれている。その典型的な例が沈み込み帯のマグマの成因である。

(1) 一つの島弧火山は多様な岩石から構成されているが、すべてはただ一つの初生玄武岩マグマから出発した。(2) 初生玄武岩マグマの結晶作用と、マントルから地表に達するまでの地殻との反応によりマグマの著しい多様性が生みだされた。多くの人はこの二つの前提の上に立って議論し、この前提が検討された事例はきわめてまれである。1960 年代後半から実験岩石学者久城育夫は、「含水鉱物を含む上部マントルに遊離した  $H_2O$  が存在すると、部分融解により安山岩質マグマが生じる」と主張した。しかし、残念なことに、このような可能性は沈み込みの初期に産するボニナイトという特殊な岩石に限られ、沈み込み帯で普遍的におこっているのではない、という考えが現在の「常識」である。久城の学生であった田村は伊豆弧の通常の火山において、マントル由来の安山岩マグマが存在することを主張してきた (Tamura, 1994; Tamura, 1995; Tamura; 1996; Tamura & Tatsumi, 2002 など)。しかし、一般に、マントルの融解で生じた最初のマグマ(初生マグマ)は地上まで上昇してくる途中で結晶作用をおこない、その組成を著しく変化(分化)させる。よってそのような分化した火山岩を用いてマントルの融解を議論する方法はユニークであったが、説得力に欠けた。

どうすれば Bowen の呪縛をとき、パラダイムシフトを引き起こすことができるか。(1) 何らかの理由で、マントル上部から地表までかんらん石しか晶出しなかったマグマ、つまり未分化の火山岩を探し出す。(2) 未分化な火山岩から Tamura et al. (2000) の手法等で初生マグマを求める。(3) 初生マグマの多様性とその原因を解明する。沈み込み帯の火山において未分化な岩石は稀であるが、我々はマリアナ弧の NW Rota-1 海底火山でそれらを見だし、初生マグマが二つ存在することを示したのである (Tamura et al., 投稿中)。NW Rota-1 火山はグアム島の北 100 km に位置する海底の活火山である。本火山において斑晶に乏しい(総斑晶  $< 5\%$ ) 未分化な玄武岩溶岩 (8-10 wt. % MgO) を見いだした。興味深いことに顕微鏡観察により二種のマグマに分けられる。ひとつはかんらん石 (olivine) と、単斜輝石 (cpx) を斑晶に持つ cpx-olivine basalt (COB) であり、もう一方はかんらん石と斜長石 (pl) を斑晶に持つ pl-olivine basalt (POB) である。COB と POB およびそれらから導き出された初生マグマは、主要元素組成、微量元素組成、かんらん石-スピネルの鉱物化学組成、Sr-Nd-Pb 同位体比組成、微量元素比のすべてが系統的に異なっている。同じ火山のすぐ近傍に産する溶岩であるが、COB のマントル源は POB のそれよりも部分融解度が大きく枯渇しており、そのうえ沈み込むスラブから供

給されたサブダクション成分およびH<sub>2</sub>Oをより多く含むことが示された。しかし、なぜCOBとPOBが一つの火山に共存するのか、マントルでどのようにして両者を同時に作り出すのかという問題がのこっている。伊豆小笠原マリアナ弧（IBM弧）は典型的な海洋性島弧である。その利点は地殻が薄いことである。よってマントルで生成されたマグマが地殻を通過して噴出するとき、地殻との反応は最小限と考えてよい。IBM弧において（1）未分化な溶岩に対して、記載岩石学的手法および鉱物組成分析より、マグマの結晶作用による組成変化をたどり、その源の初生マグマを導く。初生マグマの多様性、つまりCOBとPOBが共存していることを明らかにする。また（2）分化した溶岩に対して、結晶作用によって変化しないSr-Nd-Pb-Hf同位体比組成、微量元素比を比較検討することによって、初生マグマの多様性を明らかにする。以上の二点の検証作業をIBM弧のできるだけ多くの火山において実行する。我々はすでにマントルと共存できる二つの初生マグマをNW Rota-1から求めている。サイエンスは多数決ではないが、パラダイムシフトを引き起こすためには、一つの事例では不十分であり、より多くの事例を挙げ、より多くの研究者を納得させる必要がある。IBM弧は全長2800kmの典型的な島弧である。ここでCOBとPOBがそれぞれの火山に共存していることを示すことができれば、沈み込み帯マグマ成因論は確実に新しいパラダイムへと進化する。玄武岩マグマの成因は地球惑星科学において最も本質的な問題の一つであり、人類がすべてを知り得たと考えていた問題の一つである。しかし、一つの島弧火山においてCOBとPOBの二つの初生玄武岩マグマが存在するというのは全く新しい知見である。

初生マグマが一つでも二つでも所詮玄武岩ではないか、だからたいした問題ではない、と批判される方がおられるかもしれない。しかし、これはパラダイム崩壊の最初である。その先には、「二つの玄武岩マグマで十分なのか。それ以外に初生マグマは存在しないのか」、というような疑問が当然起きてくる。久城育夫が主張した初生安山岩マグマは実は島弧の下に普遍的に存在しているのではないだろうか。これが事実であれば、沈み込み帯のマントルウエッジにおいて、一火山の下のせいぜい20-30kmの限定された場所の部分融解により、化学組成の異なる玄武岩やさらに初生安山岩マグマまで生成されることになる。従来のマントルウエッジ対流のモデル及びシミュレーションは一つの玄武岩マグマが生成することを想定している。多様な初生マグマが一つの火山の下で生産されるというようなことは誰も考えなかった。これは従来の制約を解き放ち、より自由なマントル融解の可能性を広げ、新しいマントルウエッジモデルを生み出すことが期待される。

万世一系玄武岩パラダイムの崩壊はさらに「安山岩と大陸地殻の成因」に直結するのである。大陸地殻は著しい化学組成の多様性を持ち、太陽系では地球に固有の物質である。よって大陸地殻の成因は我々の地球の理解にとって本質的なものの一つである。惑星に共通の玄武岩マグマから出発して大陸ができるのではなく、出発点の多様性が「我々の地球にユニークな大陸地殻」をつくりだしているのかもしれない。惑星科学にとっても新しい知見である。

本研究のきっかけは溶岩の中の鉱物組み合わせの違い（COBとPOB）に気付いたことである。近年の地球科学、特に地球化学では自分の目で見える観察の重要性を強調しているものは少ない。サイエンスが観察から始まる良い例としての本研究の継続と発展は教育的効果も大きいだろう。