

論文の内容の要旨

論文題目 パイロライトの下部マントルにおける相関係の精密決定
- マントル上昇流のダイナミクスへの応用 -

氏名 幾島(西山) 宣正

マントルには地震波の高速度異常、低速度異常として観測される水平方向の不均質が存在していることが、マントルトモグラフィーにより、明らかにされている。高速度異常域は低温の沈み込む海洋プレートとして、低速度異常域は高温のマントルプルームとして解釈されている。マントルプルームには核 - マントル境界から地殻まで連続する大規模なものと同様にマントル遷移層に起源をもつ小規模なものが存在することが、地殻およびマントルに存在する地震学的不連続面の凹凸を考慮にいれた全マントルトモグラフィーにより、明らかにされつつある。

マントルプルームの主体を構成する岩石がどのような化学組成をもつのかは未解決の問題である。マントルプルームの主体を構成する岩石として以下の二つの岩石がその有力な候補である：第 1 に、下部マントルの大部分を構成していると考えられている未分化なマントル物質(パイロライト)；第 2 に、沈み込んだ海洋プレートによって地球深部に運ばれた枯渇したカンラン岩(ハルツバーガイト)。

これら 2 種類のマントルプルームの候補(パイロライト・プルームとハルツバーガイト・プルーム)の下部マントルから上部マントルに到る上昇プロセスを物質科学的な研究により推測し、それを全マントルトモグラフィーから得られているマントルプルームの描像と比較すれば、マントルプルームの化学組成に制約を与えられる可能性がある。

マントルプルームの上昇プロセスを推測するためには、マントルプルームと周囲のマントルの密度差を見積もる必要がある。マントルプルームの密度を見積もるためには、マン

トルプルームと周囲のマントルの間の温度差、マントルプルームの鉱物組み合わせとその構成比、マントルプルームを構成する鉱物の状態方程式が必要である。そこで、本研究ではパイロライト・プルームの上昇プロセスを推測するために2種類の実験を行った。

第1に、下部マントル最上部(深さ 670 km)とやや深部(深さ 806 km)に相当する圧力、平均的な下部マントルの温度分布よりも高い温度(1600°C 以上)において、パイロライトを出発物質とした急冷回収実験を行った。高温高压実験は KAWAI 型装置を用いて行った。回収試料の化学組成分析をエネルギー分散型組成分析装置のついた電子顕微鏡を用いて行った。さらに回収試料の微小領域 X 線回折実験を行い、構成鉱物の常温常圧下での格子体積を測定した。これらの測定にもとづき、それぞれの回収試料の鉱物構成比と常温常圧下での密度を決定した。この実験の結果から、以下のことが明らかになった。深さ 670 km に相当する圧力(24 GPa)・温度 1600 – 2000°C (100°C 間隔)の条件で行った実験の回収試料において、ガーネットの体積比は温度の上昇とともに急増し、マグネシウム珪酸塩ペロブスカイトとカルシウム・ペロブスカイトの体積比は減少する: 1600°C, マグネシウム珪酸塩ペロブスカイト(MPv) – 76 vol%, マグネシオウスタイト(Mw) – 16 vol%, カルシウム・ペロブスカイト(CPv) – 7 vol%, ガーネット(Gt) – 1 vol% ; 2000°C, MPv – 54 vol%, Mw – 16 vol%, CPv – 8 vol%, Gt – 25 vol%。それに対して、深さ 806 km に相当する圧力(30 GPa)・温度 1600 – 2200°C (200°C 間隔)の条件で行った実験の回収試料においては、鉱物構成比の温度依存性はほとんどない。

第2に、KAWAI 型装置を用いた高温高压下における X 線回折実験を行い、鉄とアルミニウムの固溶がマグネシウム珪酸塩ペロブスカイトの熱弾性的性質に与える影響を評価した。この実験では、鉄とアルミニウムが固溶したマグネシウム珪酸塩ペロブスカイト(FeAl-MgPv)と MgSiO₃ 組成のペロブスカイト(MgPv)を同一の高温高压セル内で合成したので、これら二つのペロブスカイトの V/V₀ を同一の温度圧力条件下において直接比較することができた。本研究で測定した FeAl-MgPv の熱弾性的性質と MgPv のそれは、実験の誤差範囲内で区別できない: FeAl-MgPv, K_{300,0} = 250 ± 4 GPa, 圧力 24 GPa における温度 298 – 1000 K までの平均の熱膨張率(<α>) = 2.05 ± 0.12 × 10⁻⁵ K⁻¹; MgPv, K_{300,0} = 249 ± 7 GPa, <α> = 2.01 ± 0.11 × 10⁻⁵ K⁻¹。このことは、パイロライト組成の下部マントルに存在すると考えられる鉄とアルミニウムを固溶したマグネシウム珪酸塩ペロブスカイトの状態方程式を MgSiO₃ 組成ペロブスカイトのそれで近似し、その状態方程式を用いて下部マントルのダイナミクスに関する考察をおこなうことの正当性を保証する。

以上のパイロライトの鉱物構成比とマグネシウム珪酸塩ペロブスカイトの熱弾性的性質の実験結果にもとづき、深さ 670 km と深さ 806 km におけるパイロライトの密度とバルク音速の温度依存性を算出した。深さ 806 km におけるバルク音速の温度依存性とマントルトモグラフィから得られている下部マントルにおけるバルク音速の低速度異常から、パイロライト・プルームの周囲のマントルに対する温度差を約 400°C と見積もった。ハルツバーライト・プルームの周囲のマントルに対する温度差も 400°C であると仮定して、これら 2

種類のマントルプルームの密度プロファイル(上昇にともなう密度変化)を、本研究の結果、およびこれまでに行われているパイロライトとハルツバーガイトの相平衡実験の結果、さらに構成鉱物の状態方程式を用いて算出した。その密度プロファイルを周囲のマントルの密度と比較し、パイロライト・プルームとハルツバーガイト・プルームの上昇プロセスを推測した。

マントル遷移層 - 下部マントル境界をなすオリビンのスピネル - ポストスピネル相転移境界が負の勾配をもつため、この境界はマントルプルームの上昇を妨げる。下部マントル深部から温度差に起因する浮力により上昇してきたパイロライト・プルームが下部マントル最上部に達すると、プルーム内で低密度相であるガーネットが急増する。これにより、パイロライト・プルームの密度は大幅に低下する。この密度低下は、パイロライト・プルームに大きな浮力を与え、かつマントル遷移層 - 下部マントル境界における抵抗力を小さくする。したがって、パイロライト・プルームは、その浮力がマントル遷移層 - 下部マントル境界における抵抗力を上回ると考えられるため、マントル遷移層 - 下部マントル境界を突破して下部マントル深部から地殻まで滞ることなく上昇すると推測した。

一方、ハルツバーガイト・プルームは下部マントル深部から化学組成差と温度差に起因する浮力により上昇してくる。ハルツバーガイトはアルミニウムに乏しいため、下部マントル条件下において、ガーネットの安定領域をもたない。よって、ハルツバーガイト・プルームがマントル遷移層 - 下部マントル境界で受ける抵抗力は、パイロライト・プルームのそれに比べて大きい。したがって、ハルツバーガイト・プルームはマントル遷移層 - 下部マントル境界で受ける抵抗力に打ち勝てずに、そこに滞留すると推測した。マントル遷移層 - 下部マントル境界に滞留したハルツバーガイト・プルームは熱境界層を作り出し、そこからの熱拡散と元素拡散により、二次的なプルームを生成する可能性がある。

最近のマントルトモグラフィー[Zhao, 2001]によって明らかにされた、核 - マントル境界から地殻まで連続する大規模なマントルプルーム(ハワイ・アイスランド・南太平洋・東アフリカの直下)とマントル遷移層に起源をもつ小規模なマントルプルーム(西アフリカ、南アメリカの直下)は、それぞれ、マントル遷移層-下部マントル境界を突破するパイロライト・プルームと、熱境界層 - ハルツバーガイト・プルームがマントル遷移層最下部に作り出した - に起源をもつ二次的なプルームに対応している可能性がある。マントルには、化学組成と規模が異なる2種類のマントルプルームが存在しているのかもしれない。