

氏名	みず 水 かみ 上 とも 知 ゆき 行
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第2827号
学位授与の日付	平成16年5月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科地球惑星科学専攻
学位論文題目	Tectonics of the Higashi-akaishi Peridotite Body: Structural and Petrological Constraints on Mantle Evolution in Subduction Zones (東赤石カンラン岩体のテクトニクス: 構造地質学と岩石学による沈み込み帯マントル履歴への制約)
論文調査委員	(主査) 教授 小畑 正明 教授 平島 崇男 教授 嶋本 利彦

論 文 内 容 の 要 旨

海洋プレートがマントル内部まで潜り込む沈み込み帯は、地殻物質とマントル物質の相互作用の場となっている。プレート収束域における地質現象の要因は、多くはこの相互作用に関係すると考えられている。この相互作用を理解するためには、エクログナイトなどの地殻起源高压変成岩とともに、マントル物質の力学的、化学的挙動を理解することが必要である。この課題に対する有効な方法の一つは、地表に産する深部起源カンラン岩の直接観察から実証的な情報を引き出すことである。しかし、その重要性に反して、ザクロ石カンラン岩を含むような沈み込み帯深部に由来する岩体は世界中を見渡しても非常に少ない。このことは、海洋プレートが沈み込む収束境界の深部における相互作用について、特にマントル側からの具体的な議論を困難にしていた。

最近の岩石学的研究により、四国三波川帯に産する東赤石カンラン岩体が、その稀有な例の一つである可能性が見えてきた。すなわち、ザクロ石カンラン岩を含み、100km以深に相当する超高压条件を記録する岩体として、深部マントルの直接的な情報が期待できる。ところが構造地質学的な研究の不足により、岩体のテクトニック履歴や周囲の三波川変成岩との関係がほとんど不明であった。テクトニック履歴の制約はカンラン岩体の持つ地質学的特徴がいつ、どこで、どのような過程で獲得されたかという基本的な情報の解明につながる。本研究では、東赤石カンラン岩体のテクトニクスの解明と、岩体が内包する沈み込み帯マントルに関する情報を抽出することを目指して、構造地質学と岩石学の手法を組み合わせ研究を行なった。その内容は大きく次の2つのテーマに分かれる。

1. 流れに垂直な a 軸集中を持つカンラン石格子定向配列の天然の例

マントル流動によるカンラン石定向配列(LPO)はマントル地震波速度異方性の主要因と考えられ、マントルカンラン岩で最も注目される性質の一つである。一般的なリソスフェアでは、プレート運動方向に a 軸が平行となる LPO パターンが地震波観測から推定され、無水の実験やオフィオライトなどの天然の観察もこれに整合的である。一方沈み込み帯マントルウェッジには、流動方向に垂直に a 軸が配列する異常な異方性が観測されており、これに対しては、無水 LPO を仮定して複雑なマントル流動を推定する説が主流であった。ところが、最近、変形実験の結果に基づき、 H_2O の活動度が大きい条件で支配的になる「流れに垂直な a 軸集中を持つ B-タイプ LPO」を沈み込み帯の地震波異方性異常の原因とする説が提案された。しかし、その具体的な産例がほとんど知られていないために、実際の分布に関しては懐疑的な声も少なくなかった。

東赤石カンラン岩体の主変形 D_2 は動的再結晶によるポーフィロクラスティック組織で定義される。この D_2 同時形成のネオプラストの LPO を測定したところ、B タイプ LPO が岩体全域に形成された事実が明らかとなった。さらに D_2 同時形成の微細包有物について顕微ラマン分光分析を行なった結果、蛇紋石が含まれることが判明した。これは H_2O に富む環境において変形が起こった証拠である。また、ザクロ石-斜方輝石の平衡を利用した岩石学的制約から、 D_2 変形と同時期の鉱物化学組成変化が、700-800°C のほぼ等温でおおよそ 2GPa から 3GPa へ圧力が上昇した温度圧力経路で説明できることも

示した。

以上の東赤石岩体のデータは、B-タイプLPOが沈み込み境界に相当する物理条件で大規模形成されたことを示す天然の証拠である。このLPOがマントルウェッジに分布すると考えれば、地震波観測から推定される異常な弾性異方性は、プレートの沈み込み運動に誘発される、いわゆるコーナー流のような単純な流れで説明でき、従来の説のように複雑なマントル流を考えなくともよい。

2. 東赤石カンラン岩体のテクトニック履歴：構造地質学と岩石学による制約

東赤石カンラン岩体は、典型的な沈み込み型変成帯である三波川帯の最高変成度域（およそ600°C, 1GPaのピーク条件）に地殻起源岩類に接して分布する。また、内包されるザクロ石カンラン岩等を用いた温度圧力見積りによれば、圧力のピークは3GPaにも達する。ところが、東赤石カンラン岩体が超高压条件を獲得したプロセスと、その後2GPaもの圧力差を超えて定置したプロセスの二つの大規模テクトニクスに関する地質学的情報が明確でなかった。そこで本研究では、東赤石岩体のテクトニック履歴の解明を目指して、構造地質学と岩石学の手法を組み合わせる研究を行なった。

まず、野外の構造と微細組織の詳細な観察に基づき、東赤石カンラン岩体の変形履歴がD₁, D₂, D₃, D₄の4つの変形段階で定義されることを明らかにした。この変形史は有用な時間軸となる。そこに各変形段階の温度圧力条件の制約を加味して、東赤石カンラン岩体の圧力(P)-温度(T)-変形(D)履歴を確立した。温度圧力条件の制約は、(1)ザクロ石-斜方輝石温度圧力計の適用(D₂ステージ)、(2)構造解析と岩石学を組み合わせ、周囲のP-T-D履歴との対応関係の解明(D₃およびD₄ステージ)によって行なった。

P-T-D履歴から得られた重要な示唆の一つは、D₂の変形が超高压条件への圧力上昇と同時に、冷却傾向の地温勾配変化を伴ったことである。D₂に伴うP-T変化を数値モデルによる熱計算の結果と比較すると、海洋プレートの沈み込み開始から熱的定常状態に向かう冷却過程で説明できる。つまり、東赤石カンラン岩体の熱史は、沈み込み作用の初期の状況を記録している可能性がある。

D₃時に周囲の地殻起源変成岩ユニットに定置したこと、その後の変成・変形履歴がカンラン岩体と三波川全体とで共通すること、そして超高压条件のD₂変形構造をD₃が直ちに上書きしていることから、引き続き上昇に対応する変形ステージは蛇紋石安定条件で始まったD₃であると制約できる。東赤石岩体の履歴の中で蛇紋石形成と上昇イベントが時期的に重なることから、蛇紋石形成が岩石に正の浮力と流動性、剝離性を生み出し、上昇の引き金となったことが示唆される。

1. と2. の研究から、東赤石岩体がD₁変形を除いた主要な変形をH₂Oの存在する環境で被った事実が示された。このような状況は、スラブ内部の脱水反応によってH₂Oが供給される沈み込み境界直上のマントルの条件に合致する。東赤石岩体が三波川帯地殻起源変成岩に対して上位に位置すること、定置に関わる変形が周囲の沈み込み時の変形に収れんすることからも、東赤石カンラン岩は一連の三波川沈み込み作用において上盤のマントルウェッジを構成していたと考えられる。

論文審査の結果の要旨

本研究は日本の代表的な、プレート沈み込み変動帯である四国三波川変成帯の中軸部に産するカンラン岩-東赤石岩体について、構造地質学的手法と岩石学的手法を組み合わせることにより、プレート収束域における地殻物質とマントル物質の相互作用を解明することをめざしたものである。海洋プレートがマントル内部まで潜り込む沈み込み帯は、地殻物質とマントル物質の相互作用の場で、プレート収束域における地質現象の多くは、この相互作用に起因すると考えられているが、その具体的なプロセスについてはまだ不明のことが多い。本研究は、沈み込みプレートの上盤のマントル（ウェッジマントル）に由来し、変成帯に取り込まれ上昇してきたカンラン岩体の変成、変形履歴を詳細に解析することを通して、沈み込み帯深部の変動プロセスの理解を進めようとした。論文は次の2つの部分からなる。

Part 1はカンラン岩中のカンラン石結晶の格子定向配列(LPO)に焦点を当てた研究である。マントル流動によるカンラン石定向配列(LPO)はマントル地震波速度異方性の主要因と考えられていた。一般的なリソスフェアでは、プレート運動方向にカンラン石のa軸が集中するLPOパターンが地震波観測から推定され、このことは変形実験やオフィオライトなどの天然の観察からも支持されていた。一方、沈み込み帯の上部マントルでは、a軸が流動方向に垂直に配列する異常な異方性パターンが存在することが地震学的に観測されており、この解釈を巡って種々の論争があった。最近のカンラン石の

変形実験で、 H_2O の活動度が大きい条件ではこのような異常なパターンが実現することが見出されていたものの、天然の実例はまだ知られていなかった。申請者は東赤石カンラン岩体の変形史を解析する過程で、この実験的に見出されていたB-タイプLPOのパターンが実現している事をはじめで見出し、天然の最初に実例として提示することができた。また顕微ラマン分光分析によりカンラン石の流体包有物なかに H_2O が存在する事を確認し再結晶が水の存在下で起こったことも示すことができた。

Part 2は東赤石カンラン岩体の変形史とテクトニック履歴について、より包括的な構造地質学的、岩石学的な研究を行った結果をまとめたものである。東赤石カンラン岩体は、典型的な沈み込み型変成帯である三波川帯の最高変成度域（およそ $600^{\circ}C$ 、 $1GPa$ のピーク条件）に地殻起源の岩石に接して分布する。また、内包されるザクロ石カンラン岩等を用いた温度圧力見積りによれば、再結晶作用の圧力のピークは $3GPa$ にも達する。ところが、東赤石カンラン岩体が超高压条件を獲得したプロセスと、その後 $2GPa$ もの圧力差を超えて定置したプロセスの二つの大規模テクトニクスに関する地質学的情報が明確でなかった。申請者は東赤石カンラン岩体の変形履歴を4つの変形段階、 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 に分けた。そして各変形段階の温度圧力条件の制約を加味し、ザクロ石-斜方輝石温度圧力計の適用により、東赤石カンラン岩体の圧力(P)-温度(T)-変形(D)履歴を確立した。このP-T-D履歴から、 D_2 変形が超高压条件への圧力上昇と同時に、冷却傾向の地温勾配変化を伴ったこと、 D_2 に伴うP-T変化を数値モデルによる熱計算の結果と比較することにより、海洋プレートの沈み込み開始から熱的定常状態に向かう冷却過程で説明できることを示した。また東赤石カンラン岩体の熱史は、沈み込み作用の初期の状況を記録している可能性を論じた。さらに、 D_3 時に周囲の地殻起源変成岩ユニットに定置したこと、その後の変成・変形履歴がカンラン岩体と三波川全体とで共通すること、そして超高压条件の D_2 変形構造を D_3 が直ちに上書きしていることから、引き続き上昇に対応する変形ステージは蛇紋石安定条件で始まった D_3 であると結論した。また東赤石岩体の履歴の中で蛇紋石形成と上昇イベントが時期的に重なることから、蛇紋石形成が岩石に正の浮力と流動性、剥離性を生み出し、上昇の引き金となった可能性を議論した。

以上のように、本研究はカンラン岩及びその周辺の地質状況の詳細な研究をとおして三波川変成帯の構造発達史の理解を進めるとともに、沈み込みプレートと上盤のウエッジマンタルの相互作用のプロセスの具体的な内容、流動変形するマンタルでのLPOパターン形成過程について新知見を加えるものである。よって、本論文は博士(理学)の学論文として価値あるものと認める。また、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。