

論文内容の要旨

論文題目 Estimation of pressure, temperature and X_{CO_2} paths of the Sambagawa metamorphic rocks based on Gibbs method

ギブス法を用いた三波川変成岩の圧力・温度・ X_{CO_2} 経路の推定

氏名 藪部美穂子

三波川変成帯をはじめとする、プレートの沈み込みに伴って形成された高圧型変成岩の温度・圧力履歴 (P-T path) は、沈み込みとその後の上昇のテクトニクスを理解するために不可欠な情報である。最近の三波川変成岩の研究によって、三波川変成岩は若い海洋地殻の沈み込みによって形成され (Peacock and Wang, 1999; Iwamori 2000)、ざくろ石の組成累帯構造は変成岩の沈み込み過程 (Inui and Toriumi, 2002) を、角閃石の組成累帯構造は上昇過程 (Okamoto and Toriumi, 2001; 2004) を記録していることが明らかになった。しかし、異なる温度帯であるざくろ石帯、曹長石 - 黒雲母帯、灰曹長石 - 黒雲母帯のそれぞれの岩石の沈み込み経路はまだ明らかにされていない。そこで、本研究では四国三波川帯の汗見川・猿田川地域における温度帯 (変成分帯) と温度・圧力経路の関係を明らかにし、三波川変成岩の沈み込み過程に制約を与える。また変成流体は物質を輸送し、流体組成の変化は鉱物の平衡関係に大きな影響を与える。三波川変成岩では、高変成度の岩石中にチタナイトに代わってルチルが出現することから、高変成度部の流体は X_{CO_2} が高かったことが示されているが (Itaya and Banno, 1980)、 X_{CO_2} がどのように変化したかについては

明らかにされていない。最近の研究では、沈み込み帯深部で形成された岩石の流体包有物としてREEが存在することから、これらは流体中に溶けて沈み込み帯の深部を移動していたことが明らかにされている(Phillipot and Selverstone, 1991)。Y, HREEはざくろ石に濃集しやすいため、Y, HREEを含む流体の移動がおこれば、ざくろ石中にそれが記録されているだろう。そこでざくろ石成長間のY, HREEの組成変化を明らかにし、また温度・圧力経路とともに XCO_2 経路を明らかにした。

三波川変成岩は西南日本外帯北縁部に東西延長約 800km にわたって分布している高圧変成帯である。原岩は主に付加体堆積物で、白亜紀のプレート収束境界で変成作用を受けてきた。四国中央部は変成度の低い順に、緑泥石帯、ざくろ石帯、曹長石 - 黒雲母帯、灰曹長石 - 黒雲母帯に変成分帯されている(Higashino, 1990)。変成分帯図は、最高変成度の灰曹長石 - 黒雲母帯は構造の中軸に位置し、その上位と下位にむかって変成度が連続的に低下することを示す。汗見川・猿田川地域には、別子地域にしばしば存在するエクロジャイト相の変成作用を受けたテクトニック・ブロックは確認されていない。

ざくろ石は、温度・圧力条件の変化に応じて主要元素(Mg, Mn, Fe, Ca)の化学組成を変化させながら成長し、化学組成の累帯構造を形成する。研究地域のざくろ石はMnに富むコアをもち、リムに向かってFe, Mgに富むようになる。変成度の違いによるざくろ石の主要元素組成の主要な違いは、高変成度の岩石ほどリムはMgに富むことである。これはBanno et al., (1986)が報告したものと同じであったが、Banno et al., (1986)が指摘した、変成度ごとのコアからリムまでのMg/Fe比の系統的な変化は確認されなかった。ざくろ石は、同じ薄片中で同じ組成累帯構造をもち、結晶成長間にほぼ平衡が保たれていたと推定できる。またざくろ石は自形の成長面を保っていること、また粒径の大きいものと小さいものの組成が同じであることから、元素拡散による組成累帯構造の改変は少ないと考えられる。温度・圧力・ XCO_2 の経路は、ギブス法(Spear et al., 1982; Spear and Selverstone, 1983)という、ざくろ石を含む以下の系のインバージョンによって推定された。

系成分：SiO₂-Al₂O₃-Fe₂O₃-MgO-FeO-MnO-CaO-Na₂O-K₂O-H₂O-CO₂

鉱物組み合わせ：ざくろ石 - 緑泥石 - 白雲母 - 斜長石 - 緑れん石 - 方解石 - 石英 - 流体

ギブス法は、以上の鉱物が平衡を保っていたことを仮定し、自由度と同じ数の変数を与えることによって残りの変数 (dT, dP, dX) を得る方法である。この系の自由度は 5 であるため、斜長石、緑れん石の組成を固定し、ざくろ石のコアからリムへの組成変化を与えることによって、ざくろ石成長間の温度・圧力・流体組成の変化を計算した。初期条件は後退変成作用の影響を除くために、ざくろ石中の包有鉱物の組成 (Inui and Toriumi, 2002) を用いた。従来の研究の変成温度の推定では、変成度の異なる岩石の変成温度の推定に、異なる温度計が使用されてきたが、本研究では 1 つの基準となる温度・圧力・鉱物および流体組成 (初期条件) からすべての計算をおこなっているため、温度計の違いによって生じる温度見積もりの誤差を考えなくてもよい。流体はH₂O-CO₂の混合物として取り扱っている。流体のフュガシティーはHolland and Powell (1990)、アクティビティは、Powell and Holland (1985)のsubregular(asymmetric)溶液モデルを使用している。

ギブス法を用いた計算の結果、汗見川・猿田川両地域のざくろ石は、温度・圧力・XC₂Oの単調増加に伴って成長し、P-T pathはdP/dTがおよそ 0.5GPa/100 であることがわかった。この結果は、Inui and Toriumi (2002) が示したP-T path と調和的であるが、Enami (1998) の示した減圧・昇温過程をもつP-T path とは一致しない。変成度の違いによるP-T pathの違いは最高温度・圧力条件以外はみられなかった。汗見川地域のP-T pathと猿田川地域のP-T pathを比較したところ両者は同じP-T pathをもつことがわかった。また、Inui and Toriumi (2002) が示した四国中央部別子地域のP-T pathとも同じであった。四国中央部三波川変成岩の汗見川地域、猿田川地域、別子地域のP-T pathが一致することは、沈み込みの間これらの岩石は薄い板状に存在していたことを示唆している。

研究地域のざくろ石中には主要元素の累帯構造のほかに、Y, HREE に関する累帯構造が存在する。ざくろ石のコアはY, HREE に富み、リムに向かって急速に減少する。その間に、マ

ントル部でしばしば自形の帯状に Y, HREE が濃集しているのが多くのざくろ石に確認された。一つのざくろ石中に複数の Y, HREE 濃集帯をもつものも存在する。その中で、主要元素の Mn の増加、Ca の減少を伴う Y, HREE 濃集帯に注目した。この Y, HREE 濃集帯は 20 ~ 30 μm 程度の幅をもち、曹長石黒雲母帯、灰曹長石黒雲母帯のざくろ石に一般的に見られるが、ざくろ石帯のざくろ石には一例を除き確認されなかった。

ざくろ石の微量元素累帯構造から、ざくろ石中の Y, HREE 濃集帯の成因を議論した。ざくろ石中の微量元素濃度を支配する要因は、ざくろ石とマトリックス鉱物間の全岩分配係数と、有効全岩組成がある。全岩分配係数は、温度・圧力の変化によって変化するが、Y, HREE 濃集帯形成の前後の P-T path をみると、微量元素濃度変化に匹敵するような、急激な温度・圧力の変化を示さず、単調に温度・圧力が増加しているために、これらの微量元素の濃集は、全岩分配係数の変化によるものではないと考えられる。有効全岩組成に関しては、(1) ざくろ石の融食-再成長。(2) Y, HREE に富む鉱物の分解。(3) Y, HREE を含む流体の流入。によって岩石中に Y, HREE が供給され、ざくろ石の Y, HREE 濃集帯が形成したことが考えられる。Y, HREE 濃集帯は自形を示すこと、Y, HREE 濃集帯形成の前後で鉱物組み合わせの変化がないことから、ざくろ石中の Y, HREE 濃集は、Y, HREE を含む流体の流入を記録していると考えられる。ギブス法によって Y, HREE 濃集帯の形成温度・圧力・流体組成を推定した結果、約 500-530 $^{\circ}\text{C}$, 0.8-1.0 GPa の温度・圧力条件で形成し、そのときの流体の X_{CO_2} は約 0.04-0.06 であったことがわかった。このような高温・高圧・高 X_{CO_2} 条件に達していないざくろ石帯のざくろ石には Y, HREE 濃集帯は見られない。このことから、薄い板状に存在していた岩石のうち、より深い場所に位置していた曹長石 - 黒雲母帯、灰曹長石 - 黒雲母帯の岩石は、大規模に Y, HREE を含む流体の流入を受けたが、浅部に存在していたざくろ石帯の岩石は流体流入を受けなかったと考えられる。また、ざくろ石が Y, HREE 濃集帯をもつ岩石の流体組成は高 X_{CO_2} であることから、Y, HREE を含む流体は高 X_{CO_2} の流体と関係があるのかもしれない。