

氏名	あお や む つき 青 矢 睦 月
学位(専攻分野)	博士(理学)
学位記番号	理博第2306号
学位授与の日付	平成13年3月23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	Structural and metamorphic evolution of the Seba eclogite unit, central Shikoku: implications for the nappe tectonics of the Sambagawa metamorphic belt (四国三波川帯, 瀬場エクロジャイトユニットの変形・変成史とその三波川ナップテクトニクスに対する意義)
論文調査委員	(主査) 教授 小畑正明 教授 嶋本利彦 助教授 平島崇男

論文内容の要旨

エクロジャイトに代表される高圧変成岩類はかつて地下数十 km もの深部に達した証拠を内在する岩石だが、紛れもない事実として現在の地表面、主にプレート収束域に露出している。この事はプレート収束域において地下数十 km から地表まで岩石を上昇させるなんらかのメカニズムが働いていた事を示している。しかし、高圧変成作用によって高密度化した岩石がプレート収束に伴う沈み込みに逆らって上昇してくるという一見矛盾に満ちたプロセスを理解することは容易ではなく、この問題は現在もなお地質学が解決すべき謎として残存している。三波川帯は比較的単純な海洋地殻の沈み込み場で形成した高圧変成帯であり、こういった場における高圧変成岩の上昇機構を抽出するのに適した地域である。中でも四国中央部の別子地域は最高圧のエクロジャイト岩体も含め、様々な変成圧力を記録した岩石を胚胎するため、高圧変成帯上昇の包括的な運動像を理解する上で重要な鍵を握る地域である。ところが、エクロジャイト相よりも低変成圧力部に関してはこれまでに別子ナップ、大歩危ナップという2枚のナップが提唱されるなど、上昇に関わるテクトニクスがかなり活発に論じられているのに対し、エクロジャイトを含むような最高圧の岩体群だけは近年まで三波川帯中の「異物」、すなわちテクトニックブロックであると考えられていた。理由は、エクロジャイト岩体群が一般の三波川変成岩よりも有意に高い変成圧力を示すこと、岩体ごとに異なる温度・圧力履歴が提案されていること、またこれらの岩体群が地質図上でばらばらに存在するかのように見えること等である。しかし、沈み込み帯に特徴的に見られるはずのエクロジャイトだけが沈み込み帯テクトニクスの枠から離れたものであるというのは釈然としない理屈である。この観点から、申請者は主に別子地域の瀬場エクロジャイトに着目し、構造地質学、岩石学、熱モデル計算という3つの手法を総合することで三波川帯のエクロジャイト変成作用の見直しとそのテクトニックな意味付けを行った。

(第1章) 瀬場エクロジャイトのP-T-D径路の導出

瀬場エクロジャイトの原岩が凝灰岩・玄武岩といった地表近辺のものであることから、このエクロジャイト変成が沈み込みに伴うものであることは Aoya & Wallis (1999) ですでに論じられている。申請者はこれをさらに拡張し、岩石学と構造地質学の情報を融合することで瀬場エクロジャイトのP-T-D径路(圧力・温度・変形履歴)の導出を行った。

まず、単斜輝石中のひすい輝石成分に着目することで、瀬場エクロジャイトとその周囲に産する三波川変成岩(別子ナップ)の間に2kbar以上の変成圧力のギャップが存在することがわかった。つまり両者の間には大規模な構造境界が存在し、変成履歴は定置以前は別、定置以後はほぼ共通ということになる。

一方、瀬場エクロジャイトのP-T-D径路は; 1) エクロジャイト相までの沈み込み; 2) エクロジャイト相から縁簾石角閃岩相までの上昇—別子ナップへの定置; 3) 別子ナップと一体の上昇; とおおまかに三段階のテクトニックイベントに分けられ、各段階はこれまでに認識されている三つの変形段階(D₀, D_A, D_B)とそれぞれ対応する。エクロジャイト中のざくろ石はD_A(減圧期変形)同時成長を示し、包有するオンファス輝石との地質温度計が温度上昇を示すことから、2)

の段階の初期が昇温減圧の履歴を持っていたことがわかる。また斜長石の産状に着目してエクロジャイト上と別子ナップの変形段階(Dr, Ds)を対応させることにより、エクロジャイトが安置以後の上昇期(3の段階)にも別子ナップと同様の昇温減圧を経験していることがわかった。つまり、三波川エクロジャイトはエクロジャイト相、縁簾石角閃岩相という二回の温度ピークを経験していることになる。

さらに重要なことは、瀬場エクロジャイト形成同時期の変形であるD_A(上昇を伴う)が別子ナップ沈み込み期の変形Drと対応することである。これはエクロジャイト変成と別子ナップの沈み込みがほぼ同時期に起こったこと、つまりエクロジャイト変成が三波川広域変成作用の一部として理解できることを示している。

(第2章—a) 三波川帯の大構造における瀬場ユニットの位置付け

瀬場エクロジャイトを含む主に塩基性片岩から成るユニット(瀬場ユニット)は、地質図上で他のエクロジャイト岩体群から孤立しているように見える。しかし、三波川エクロジャイト変成が広域的なものであるとすれば、すべてのエクロジャイト岩体は一定の構造的な位置を占めるはずである。この観点から、申請者は瀬場ユニットと他のエクロジャイト岩体(西五良津岩体)との構造関係を褶曲のフェルゲンツ逆転等の手法を用いて調査した。その結果、瀬場塩基性片岩が大規模なD_B(別子ナップにおけるD_S)期褶曲の鼻にあたり、構造上、他の含エクロジャイト岩体群と連続することが明らかになった。つまり、別子地域のエクロジャイト岩体群はこれまで考えられていたように空間的にばらばらなのではなく、三波川帯最上位に位置するひと固まりのユニットを形成していることになる。瀬場エクロジャイト等の広域のエクロジャイトを含むこと、及び下位の別子ナップとの間に大規模な構造境界が存在することを考え合わせると、このユニットは三波川帯における新たなナップ(エクロジャイトナップ)として認識できる。またこのエクロジャイトナップの提案により、複雑多様と考えられている三波川帯のエクロジャイト変成作用が単一の広域変成によって説明できる可能性が示唆される。

(第2章—b) 沈み込み変成帯におけるナップ境界と広域変形の関係

エクロジャイトナップと別子ナップの境界が周辺岩にどのような変形を及ぼしているかを知るため、申請者は瀬場ユニット内部において露頭スケールから顕微鏡スケールに及ぶ変形構造の分布を詳しく調べた。まず露頭スケールの変形構造の変化を押えることで、ナップ境界形成に伴う変形(D_A)がナップ境界から離れるほど弱くなることがわかった。またエクロジャイトガーネットの内部微細構造の変化から、ナップ境界を核としてD_A剪断帯の拡大が起こっていたことがわかった。これらのことは、D_Aという1変形段階の変形がナップ境界に強く支配された形で起こったことを示すと同時に、ナップの付加によって沈み込み境界が移動した場合、変形の核も移動し、新しい沈み込み境界を核とした新しい変形段階が始まることを示唆する。第2章—aの議論から、三波川帯にはエクロジャイトナップ、別子ナップ、大歩危ナップという3枚のナップが存在することになるが、三波川帯の各変形段階はそれぞれこれらのナップ境界に関係したものであった可能性が示唆される。

(第3章) 三波川ナップテクトニクスの運動像とその熱的影響

第1章・第2章の議論と過去の研究を総合すると次のことが言える。

- i) 三波川帯のエクロジャイト岩体群は構造上の最上位に位置するひと固まりのナップとして認識できる。つまり三波川帯は総計3枚のナップから成ることになり、沈み込み帯の高圧変成岩上昇においてナップテクトニクスが重要な役割を果たす事が推測される。
- ii) 先行付加したナップの上昇は次に付加するナップの沈み込みと同時期にすでに起こっている。この事は沈み込みの停止や新たなナップの付加を高圧変成岩上昇の引き金とするモデルとは相容れない。

また第1章で導出されたP-T径路にテクトニックな解釈を与えるため、申請者らはナップの付加をも組み入れた沈み込み帯の熱モデル計算を行った(参考文献2:共同研究なので本論から外した)。その結果、数km規模の厚さを持つナップが付加した場合、継続的な沈み込みの最中でもナップの内部では付加後に有意な温度上昇が起こることがわかった。これにより、今まで謎とされてきた時計回りP-T径路における最高圧力以後の温度上昇の説明が可能になる。つまり、第1章で導出されたエクロジャイトのP-T径路における2回の温度ピークはそれぞれエクロジャイトナップ、別子ナップの付加に引き続く温度上昇によるものと解釈できることになる。

第2章—bの議論も合わせると、比較的厚いナップの付加とそれに伴う沈み込み境界の移動によって生じる現象に関して

次のことが言える。

- i) ナップの付加に伴って変形の核が移動し、変形段階の更新が起こる。
- ii) ナップ付加以後の温度構造の改変により、ナップ内部の岩石は温度上昇を経験する。

上記の熱計算を応用することで、ナップテクトニクスに対していくつかの制約条件を与えることが可能である。例えば精度よく求められたP-T径路に計算をフィットさせることで、ナップの上昇速度を知ることができる。別子ナップの場合、上昇速度は数mm オーダーと見積もられた。また上記の熱計算から、付加後のP-T路がナップの厚さによって異なってくることが予想される。つまり一連の変成帯の内部でこういったP-T径路の変化が認められる場合、変成帯の3次元構造に制約を与えられる可能性が出てくる。つまり熱モデル計算を介して岩石学、構造地質学という異なる手法がリンクし、互いに制約を与えあう事が可能になったと言える。本申請論文とその一連の参考論文は結論として三波川帯の形成テクトニクスに数々の制約を与えるのと同時に、複数の手法を融合して一つの結論を導くやりかたについていくつかの具体例を呈示するものである。

論文審査の結果の要旨

エクロジャイトに代表される高圧変成岩の上昇機構は現在もなお未解決の問題が残された重要な地質学上の問題である。三波川帯は比較的単純な海洋地殻の沈み込み場で形成した典型的な高圧変成帯であり、この問題を研究するに適した地域である。なかでも四国中央部の別子地域は、最高圧力のエクロジャイト岩体も含め、様々な変成圧力を記録した岩石が産するため、高圧変成帯上昇の包括的な運動像を理解する上で重要な鍵を握る地域である。しかし、エクロジャイト相よりも低変成圧力部に関してこれまでに上昇のテクトニクスが活発に論じられているのに対し、エクロジャイト岩体群だけは近年まで異質なテクトニックブロックであると考えられていた。しかし、沈み込み帯に特徴的に見られるはずのエクロジャイトだけが沈み込み帯テクトニクスの枠から離れたものであるとして扱うのは問題があった。この観点から、申請者は主に別子地域の瀬場谷周辺のエクロジャイトに着目し、構造地質学、岩石学、熱モデル計算という3つの手法を総合することで三波川帯のエクロジャイト変成作用の見直しとそのテクトニックな意味付けを行った。

第1章では、沈み込み起源の瀬場エクロジャイトについて、岩石学と構造地質学の情報を融合することでP-T-D径路(圧力・温度・変形履歴)の導出が行われている。ここではざくろ石、オンファス輝石、斜長石といった指標鉱物と、微細構造の關係に着目して変成・変形イベントの前後関係を明らかにすると同時に、地質温度圧力計を組み合わせ、包括的な議論を行っている。これにより、1) 瀬場塩基性片岩と周囲の岩石(別子ナップ)の間に大規模な構造境界が存在する事、2) 瀬場エクロジャイトがエクロジャイト相、緑簾石角閃岩相という二回の温度ピークを経験していること、3) 瀬場塩基性片岩の主変形が周囲の岩石の主変形よりも古い段階のものである事、4) エクロジャイト変成と別子ナップの沈み込みがほぼ同時期に起こった事、等が明らかになった。

第2章の前半部では、瀬場エクロジャイトを含む主に塩基性片岩から成るユニット(瀬場ユニット)と他のエクロジャイト岩体(西五良津岩体)との構造関係を、褶曲のフェルゲンツ逆転等の手法を用いて論じている。その結果、瀬場塩基性片岩が大規模な褶曲の鼻にあたり、構造上、他の含エクロジャイト岩体群と連続することが明らかになった。つまり、別子地域のエクロジャイト岩体群はこれまで考えられていたように空間的に散在しているのではなく、三波川帯最上位に位置するひとかたまりのユニットを形成していることになる。この事から、申請者は三波川帯における新たなナップ(エクロジャイトナップ)を提案した。またこのエクロジャイトナップの提案により、複雑多様と考えられている三波川帯のエクロジャイト変成作用が単一の広域変成によって説明できることを示した。

第2章の後半部では、エクロジャイトナップと別子ナップの境界が周辺岩にどのような変形を及ぼしているかを明らかにするため、瀬場ユニット内部において露頭スケールから顕微鏡スケールに及ぶ変形構造の分布を論じている。そして、特にエクロジャイトガーネットの内部微細構造の変化から、ナップ境界を核として剪断帯の拡大が起こっていたことが示された。このことは、ある変形段階の変形がナップ境界に強く支配された形で起こったことを示すと同時に、ナップの付加によって沈み込み境界が移動した場合、変形の核も移動し、新しい沈み込み境界を核とした新しい変形段階が始まることを示唆する。第2章前半の議論から、三波川帯にはエクロジャイトナップ、別子ナップ、大歩危ナップという3枚のナップが存在するこ

とになるが、三波川帯の各変形段階はそれぞれこれらのナップ境界に関係したものであった可能性を論じた。

第3章では、三波川ナップテクトニクスの運動像とその影響についてまとめられている。まずは第2章までの議論を踏まえ、沈み込み帯の高圧変成岩上昇においてナップテクトニクスが重要な役割を果たす事、また、ナップの上昇が継続的な沈み込みの最中に起こる事を論じた。またこれに加え、ナップの付加を組み入れた沈み込み帯の熱モデル計算を視野に入れた議論を展開した。この熱計算では、数 km 規模の厚さを持つナップが付加した場合、継続的な沈み込みの最中でも、ナップの内部では付加後に有意な温度上昇が起こること明らかになった。これにより、第1章で導出されたエクロジタイトの P-T 径路における2回の温度ピークはそれぞれエクロジタイトナップ、別子ナップの付加に引き続く温度上昇によるものと解釈される。つまり、ナップの付加は変形段階の更新のみならず、ナップ内部の岩石に温度上昇をも引き起こす事になる。一方、上記の熱計算を応用し、ナップテクトニクスに対するいくつかの制約条件を論じている。例えば精度よく求められた P-T 径路に計算をフィットさせることで、ナップの上昇速度を知ることができる。別子ナップの場合、上昇速度は数 mm オーダーと見積もられた。また上記の熱計算から、付加後の P-T 径路がナップの厚さによって異なってくる事が予想され、一連の変成帯の内部でこのような P-T 径路の変化が認められる場合、変成帯の3次元構造に制約を与えられる可能性が出てくる。

以上のように本申請論文とその一連の参考論文は、構造地質学、岩石学、熱モデル計算という、異なった分野の手法を融合した総合的なアプローチにより、三波川変成帯、特にそのエクロジタイトの成因の解明をとおしてこの分野の研究を大きく推進するとともに、世界の高圧変成作用のテクトニクス一般の問題にも大きく貢献したと評価できる。このことにより本審査委員会は本論文を博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。なお主論文に報告されている研究業績を中心として関連する研究分野について口頭試問を行った結果、これについても合格と認めた。