

## 四国三波川帯・瀬場地域の研究史： 高度変成地域の野外調査にまつわる諸事情

青矢睦月<sup>1</sup>

Mutsuki Aoya (2005) Research history of the Seba region in the Sambagawa metamorphic belt, central Shikoku, with special focus on its field-geological aspect. *Bull. Geol. Surv. Japan*, vol. 56 (3/4), p.137 - 146, 6 figs.

**Abstract:** In the Seba area of the Sambagawa belt it was previously proposed that eclogitic basic schists found in the area adjacent to a metagabbro body formed by solid-state contact metamorphism as a result of tectonic emplacement of the metagabbro. This explanation has been reexamined through later studies, which include discovery of a number of eclogitic basic schists (or their constituting mineral, omphacite) distant from the metagabbro and recognition of relationship between multiple deformation stages and growth of omphacite. The results indicate formation of all the eclogitic basic schists in the Seba area can be attributed to a single regional eclogite-facies metamorphism. This research history gives the following implications to field studies for high-grade metamorphic regions: 1) recognition of key metamorphic minerals and of its map distribution should be done with great care; and 2) multiple deformation stages and their associated structures should be classified in relationship to growth timing of metamorphic minerals.

**Keywords:** field geology, metamorphic geology, eclogite, Seba region, Besshi area, Sambagawa belt

### 要 旨

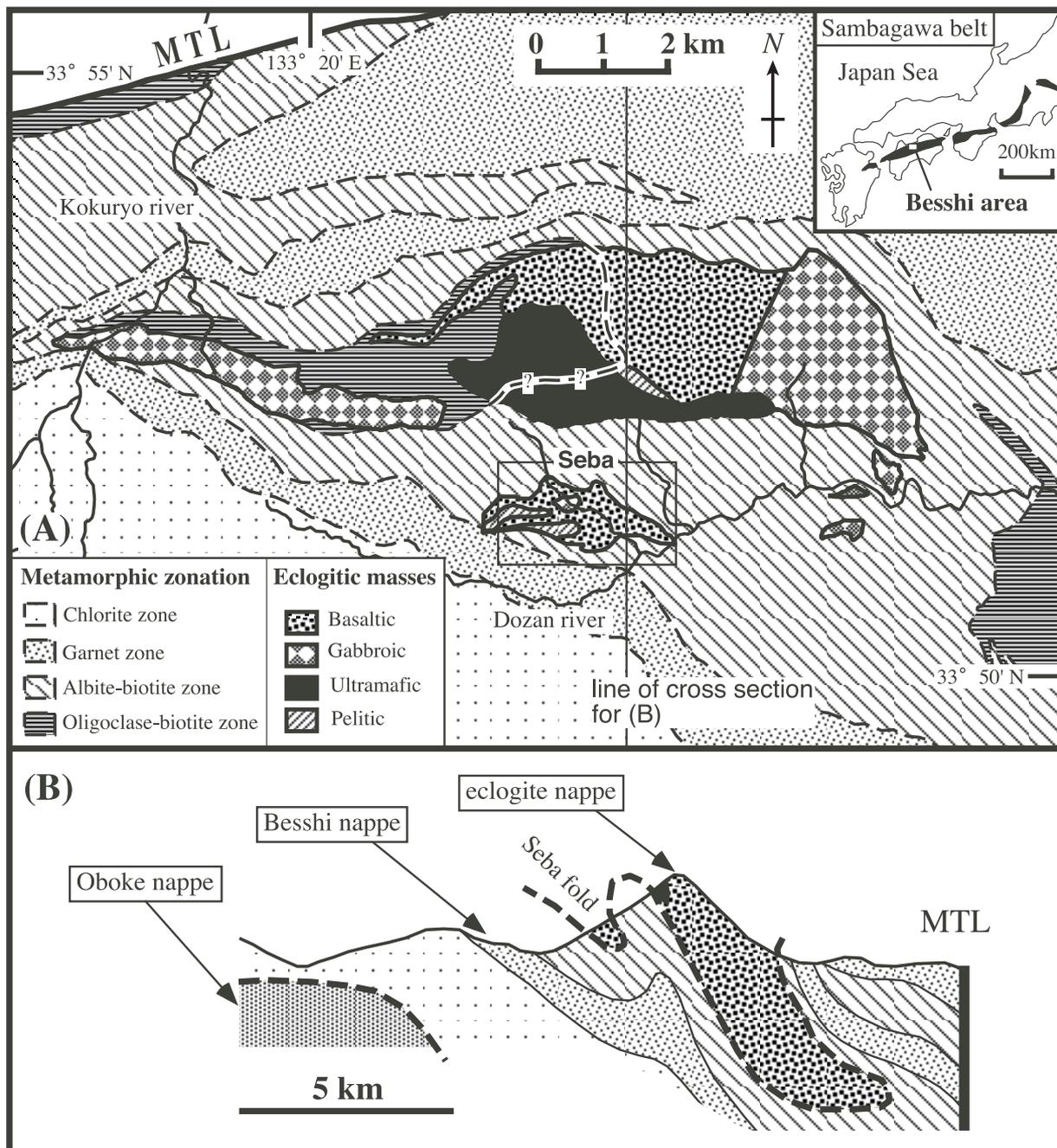
四国三波川帯・瀬場地域には、変斑れい岩の固体貫入に伴う接触変成作用によって生じたとされるエクロジヤイト質塩基性片岩が報告されていた。その後の調査研究により、エクロジヤイト質塩基性片岩（またはその構成鉱物であるオンファス輝石）が変斑れい岩から離れた地域にも多産すること、及び多重変形とオンファス輝石成長時期の関係が明らかにされた結果、瀬場地域のエクロジヤイト質塩基性片岩はすべて、単一の広域変成作用によって生じたものと考えられるようになった。この研究史から、高度変成地域の野外調査では：1) 変成履歴の鍵を握る鉱物の存否、特にその地質図スケールでの分布範囲の特定には細心の注意を払わなくてはならないこと；2) 岩石学に加えて、構造地質学の視点、特に多段階変形の正確な分類が必要となることが示唆される。

### 1. はじめに

著者は、地質学上最大の謎の一つとも言える「高圧変成岩の上昇機構の解明」を目標とし、四国別子地域三波川帯（第1図）の高圧変成岩、主にエクロジヤイトを対象とした研究を行ってきた。エクロジヤイトとは、岩型の定義で言えばガーネットとオンファス輝石を合わせたモード比が70%以上を占める岩石であるが（例えば Carswell, 1990）、本論では単にエクロジヤイト相

（第2図）の変成作用を被った岩石をエクロジヤイトと呼ぶ。1990年代までの三波川帯研究では、高圧変成岩の象徴とも言えるエクロジヤイトの大部分は異地性岩塊（テクトニックブロック）とされ、沈み込み帯の大規模物質循環システムからやや切り離された扱いを受けていた（例えば Kunugiza *et al.*, 1986; Takasu, 1989; Takasu *et al.*, 1994）。理由は、エクロジヤイト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（第1図A）、エクロジヤイト岩体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（第2図）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ヤイトだけが、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。著者の初期の研究は、三波川エクロジヤイトに対して提唱されていたテクトニックブロック説を見直し、整理し直す作業となった。その結果、エクロジヤイト岩体群もやはり、三波川帯の広域変成作用によって生じたものとみなされるようになった。そして、三波川エクロジヤイト岩体群は全体として単一のユニット、エクロジヤイトナップとして再評価されるに至った（第1図B）。こういった一連の研究は、四国中央部・別子地域内の「瀬場」というごく狭い地域（第1図A）から発信されたものである。本論では著者らが瀬場地域で行ってきた研究の、主に野外調査の側面に注目し、研究の過程でどのようにエクロジヤイト岩体の捉え方が変化したのかを紹介する。また、なぜそのように見方が覆ったのかについても考察を加え、瀬

<sup>1</sup>地質情報研究部門(Institute of Geology and Geoinformation, GSJ)



第1図 (A) 四国三波川帯・別子地域の地質概要図、及び瀬場地域の位置。エクロジャイト岩体の分布とその他の片岩類に対する変成分帯(泥質岩の鉱物共生に基づく:Higashino, 1990)が示されている。(B) 別子地域の南北地質断面図(Hara *et al.*,1992; Aoya, 2002に基づく)。断面線は(A)に示されている。

Fig. 1 (A) Geological summary map of the Besshi area with locality of the Seba region. Distribution of eclogitic masses and metamorphic zonation for other schistose lithologies based on pelitic mineral assemblages (Higashino, 1990) are presented. (B) N-S cross section of the Besshi area along the line shown in (A) based on Hara *et al.* (1992) and Aoya (2002).

場地域の例から、変成岩の調査研究が抱える問題点やおもしろさの一端を現場レベルで描き出すことを試みる。

## 2. 瀬場地域の研究史

### 2.1 固体接触変成説 (Takasu,1984)

従来の三波川帯研究では、エクロジャイトの産出は、

変斑れい岩・変かんらん岩といった比較的粗粒の岩相中に限られるものと考えられていた。そして、三波川帯の大部分を占める片岩類の変成度は最高でも緑簾石角閃岩相、または角閃岩相低温部までにとどまるとされていた(第2図)。このような状況の中、Takasu (1984)は瀬場地域の塩基性片岩(瀬場塩基性片岩)中にエクロジャイト(以後片岩エクロジャイトと呼ぶ)

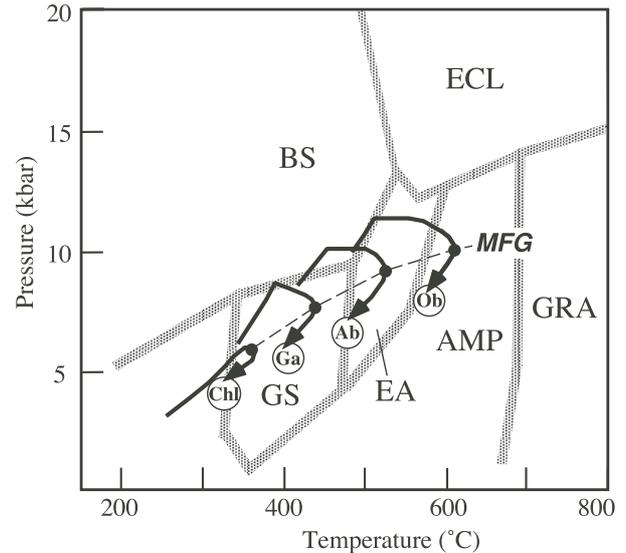
を発見した(第3図)。瀬場地域にはエクロジャイトを含む小規模の変斑れい岩(瀬場変斑れい岩)が存在する。そして, Takasu (1984) によって記載された片岩エクロジャイトの分布は, 瀬場変斑れい岩の近傍に集中していた(第3図A)。このような調査結果を一つの根拠とし, Takasu (1984) は瀬場塩基性片岩のエクロジャイトは, 瀬場変斑れい岩の固体貫入に伴う接触変成作用によって生じたと考えた(第3図C)。

この説のもう一つの重要な根拠は, 片岩エクロジャイト中でエクロジャイト相鉱物が呈する組織であった。エクロジャイトはガーネットとオンファス輝石の共生によって特徴付けられる岩石であるが, Takasu (1984) の片岩エクロジャイトでは, オンファス輝石は片理面を横切って無方向に成長している(第3図B右)。またオンファス輝石は基質を構成する鉱物に比べて有意に粗粒(最長1 cm)であり, 時に肉眼でも結晶形を確認できるほどである。このような組織もまた, 瀬場塩基性片岩のエクロジャイトが, 接触変成に伴う静的な温度上昇によって形成したことを支持するものとされた。以後, 無方向なオンファス輝石を持つ片岩エクロジャイトを R(random) タイプエクロジャイトと呼ぶ。

瀬場地域で提案された固体接触変成作用説は, 三波川帯のエクロジャイト岩体をテクトニックブロックとする考えの旗手ともいえる学説であった。つまり, 瀬場変斑れい岩に代表される比較的小規模のエクロジャイト岩体群が, なんらかの形でより低圧の岩相中をくぐり抜けて上昇し, 現在の位置に定置した証拠と捉えられた(第3図C)。このテクトニックブロック説の枠組みでは, 泥質片岩・珪質片岩・塩基性片岩といった主要な岩相が沈み込んだ海洋底物質を代表するのに対し, 変斑れい岩・変かんらん岩などのエクロジャイト岩体の多くはマントルウェッジ周辺からもたらされた異地性物質と解釈された。

## 2.2 固体接触変成説への微修正(高須・加治,1985)

その後, 高須・加治(1985)は瀬場地域内で変斑れい岩から離れた場所にも片岩エクロジャイトが存在することを報告した(第3図A)。この発見は本来, 瀬場の片岩エクロジャイトが変斑れい岩近傍に集中的に産出するという Takasu (1984) の考えに疑問を投げかけるものであった。ただし, ここで新たに発見されたエクロジャイトの組織は, 固体接触変成によって生じたと考えられる Rタイプエクロジャイトと全く異なっていた。つまり, オンファス輝石は細粒の基質鉱物として産出し, 片理面に沿った強い定向配列を示している(第3図B左)。このような組織を今後, L(lineated)タイプと呼ぶ。Lタイプの組織はごく普通の広域変成岩を彷彿とさせる。こういった組織の違いから, 高須・加治(1985)は, 瀬場塩基性片岩には異なる2種類の成因を持った



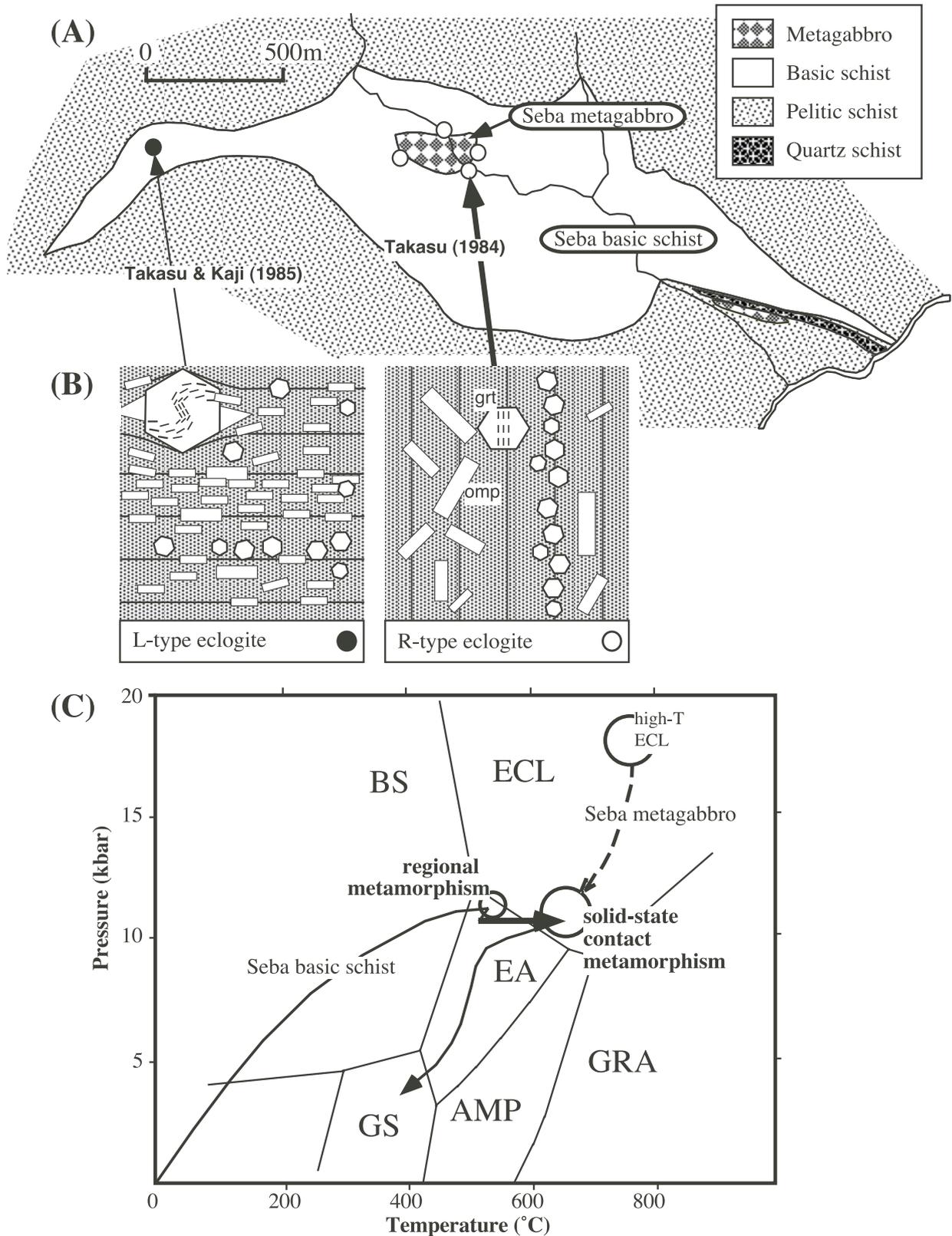
第2図 三波川帯の一般的な片岩類が辿った圧力・温度履歴(Otsuki and Banno,1990; Enami *et al.*,1994に基づく)。変成相区分図は Peacock (1993) に基づく。Chl: 緑泥石帯; Ga: ガーネット帯; Ab: 曹長石-黒雲母帯; Ob: 灰曹長石-黒雲母帯; MFG: フィールド圧力・温度曲線; ECL: エクロジャイト相; BS: 青色片岩相; GS: 緑色片岩相; EA: 緑簾石角閃岩相; AMP: 角閃岩相; GRA: グラニュライト相。

Fig. 2 P-T paths of non-eclogitic Sambagawa schists based on Otsuki and Banno (1990) and Enami *et al.* (1994). Metamorphic facies boundaries are taken from Peacock (1993). Chl: chlorite zone; Ga: garnet zone; Ab: albite-biotite zone; Ob: oligoclase-biotite zone; MFG: metamorphic field gradient. ECL, BS, GS, EA, AMP and GRA represent eclogite, blueschist, greenschist, epidote-amphibolite, amphibolite and granulite facies, respectively.

片岩エクロジャイトが存在すると考えた。すなわち, 固体接触変成によって生じたものと, 三波川帯の広域変成作用によって生じたものという二者である(第3図C)。この考えの背景には, Lタイプエクロジャイトは確かに存在するものの, 瀬場塩基性片岩の中では依然としてまれであるという認識があった。つまり, まれにLタイプの片岩エクロジャイトが産出するものの, 瀬場塩基性片岩の広域変成度はせいぜい緑簾石角閃岩相とエクロジャイト相の境界付近であろうという考えである(第3図C)。そして, このような広域変成作用を被った瀬場塩基性片岩に斑れい岩が貫入し, その周囲には接触変成による Rタイプエクロジャイトが形成したというのである。

## 2.3 片岩エクロジャイトの多産(猶原・青矢,1997)

著者の瀬場地域の研究は, 熱流方程式に基づいたモデル計算により, Takasu (1984) の固体接触変成説を検証することに始まった。このモデル計算の結果, 固体接触変成作用を起こすには瀬場変斑れい岩が年間数10 cm~数10 mもの異常な高速で上昇しなければなら



第3図 (A) Takasu (1984)と高須・加治 (1985) による瀬場塩基性片岩内のエクロジャイトの分布図。地質図は高須・牧野 (1980) に基づく。(B) 片岩エクロジャイトの微細組織を示した概念図。(C) Takasu(1984)の固体接触変成作用説を要約した圧力・温度図。Takasu (1986)より抜粋、改訂。変成相の略称は第2図と同様。

Fig. 3 (A) Distribution of eclogite in the Seba basic schist compiled from Takasu (1984) and Takasu and Kaji (1985). Geological map is based on Takasu and Makino (1980). (B) Schematic illustrations showing microstructure of schistose eclogites. (C) P-T diagram summarizing the solid-state contact metamorphism of Takasu (1984) slightly modified from Takasu (1986). Abbreviations for metamorphic facies are the same as those in Fig.2.

ないことがわかった(Aoya, 1998)。つまり、物理的には固体接触変成説にはかなりの無理がある。一方、ほぼ同じ時期には既に、猶原(1995)が瀬場塩基性片岩中の2箇所から、新たに片岩エクロジヤイトを発見していた。こういった状況から、猶原氏も著者も固体接触変成説に疑問を感じ、少なくとも瀬場地域にはまだまだ多くの片岩エクロジヤイトが見つかるはずだという見通しを持つに至っていた。その後、二人の継続的な調査の結果、猶原・青矢(1997)では、変斑れい岩近傍を除いた10箇所から片岩エクロジヤイトが発見されるに至った。更に、著者はその後も調査を続け、最新の分布図(Aoya and Wallis, 2003)ではもはや変斑れい岩の近傍にエクロジヤイトが集中しているという見方は全く成り立たない(第4図A)。つまり、瀬場塩基性片岩は全体としてエクロジヤイト相に達していたのである。珪質片岩・泥質片岩と互層し、誰もが海洋底起源を疑わない塩基性片岩から、まとまったエクロジヤイトの産出が報告されたことは、沈み込み起源の三波川広域変成作用がエクロジヤイト相にまで拡張できることを端的に示唆していた。

#### 2.4 片岩エクロジヤイトの組織の解釈(Aoya and Wallis, 1999)

瀬場塩基性片岩が全体としてエクロジヤイト相に達していたことはわかったものの、この場合、RタイプやLタイプといった組織の違いはどのように説明できるのだろうか。特に瀬場地域の場合、Rタイプというエクロジヤイトの組織そのものが固体接触変成説の根拠となっている以上、組織の違いが起こった原因を説明しなければ話は完全には片付かない。ここにおいて、著者らが行ってきた構造地質学に根ざした調査が役に立つこととなった。

広域変成帯は広域変形帯でもある。三波川帯のような広域変成帯を構成する岩石の多くは、一般に沈み込みや上昇といったテクトニックプロセスを通じ、複数段階の変形を被っている(例えばPasschier and Trouw, 1996)。瀬場塩基性片岩では、褶曲のオーバープリントパターンに基づいた多重変形解析の結果、古い方から順にD0->DA->DBという、3つの異なる変形ステージが認識された。そして、S0(D0期に形成した片理)とSA(DA期に形成した片理)という二種類の面構造が存在している(第4図B)。瀬場塩基性片岩を横断する連続的な構造調査の結果、Rタイプエクロジヤイトでオンファス輝石に横切られている片理はS0であり、Lタイプエクロジヤイトでオンファス輝石の定向配列を伴う片理はより新しい面構造SAであることがわかった(第4図B,C)。よって、全てのオンファス輝石の成長はD0終了後からDA同時期までに起こった単一のエクロジヤイト変成に帰結できる。また、Lタイプエ

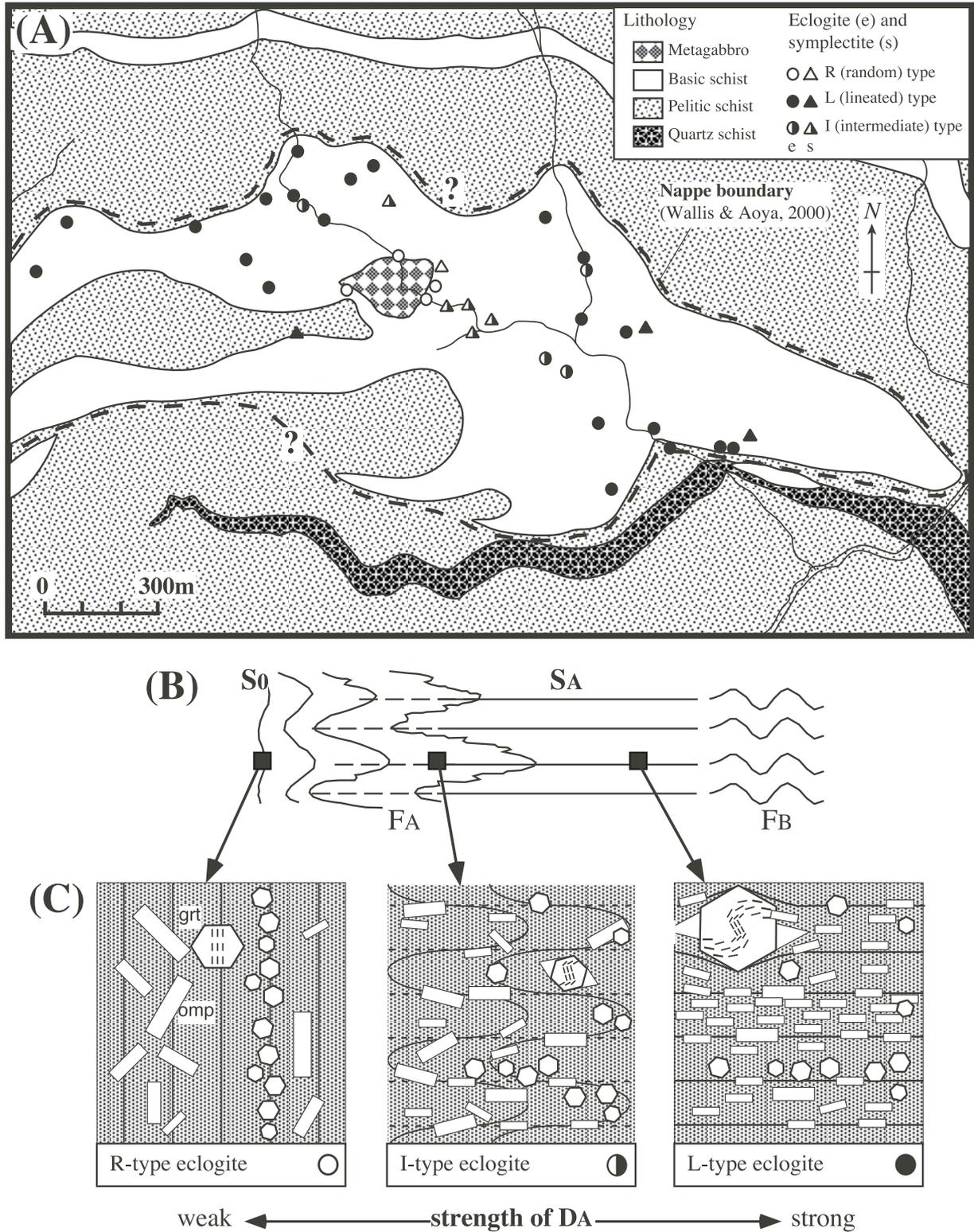
クロジヤイトはDA変形を強く被った岩石であり、RタイプエクロジヤイトはDA変形の影響が弱かった岩石であるという解釈が成り立つことになる(第4図C)。この考えは、S0が支配的な瀬場変斑れい岩直近部と、SAが支配的な瀬場塩基性片岩南縁部との間に、中程度のDA変形を示す片岩エクロジヤイト、I(intermediate)タイプエクロジヤイトが見つかったことで決定的となった(第4図A,C)。すなわち、Rタイプ、Iタイプ、Lタイプといった片岩エクロジヤイトの組織の違い(第5図)はDA変形の様々な強弱によって生じたのであって、「接触変成」や「広域変成」といった成因の違いを示すものではない。

#### 2.5 その後の展開-エクロジヤイトナップの提案へ

その後、Rタイプ、Iタイプ、Lタイプという全てのタイプの片岩エクロジヤイト(第5図)について鉱物化学組成が検討され、ガーネットやオンファス輝石の化学組成が組織の違いに関わらず、ほぼ一致していることがわかった(Aoya, 2001)。この結果は、瀬場塩基性片岩の3タイプの片岩エクロジヤイトが全て単一の変成作用によって形成したことを支持する。また、片岩エクロジヤイトの微細構造観察から、オンファス輝石が斜長石と非共存であったことが示され、瀬場塩基性片岩の経験したエクロジヤイト相変成が緑簾石角閃岩相よりも有意に高圧であることも判明した(Aoya, 2001)。つまり、沈み込み起源の三波川広域変成作用は、明らかにエクロジヤイト相にまで拡張できる。更にその後、瀬場塩基性片岩を含めた別子地域のエクロジヤイト岩体群がすべて同様の構造位置を占めることが示され、三波川エクロジヤイト岩体群は単一の広域的変成ユニット、エクロジヤイトナップとして再評価された(Wallis and Aoya, 2000; Aoya, 2002; 第1図B)。エクロジヤイトナップの正確な分布範囲、特に泥質片岩部への拡張問題は今後の課題として残されている(例えばZaw Win Ko *et al.*, 2005a,b)。

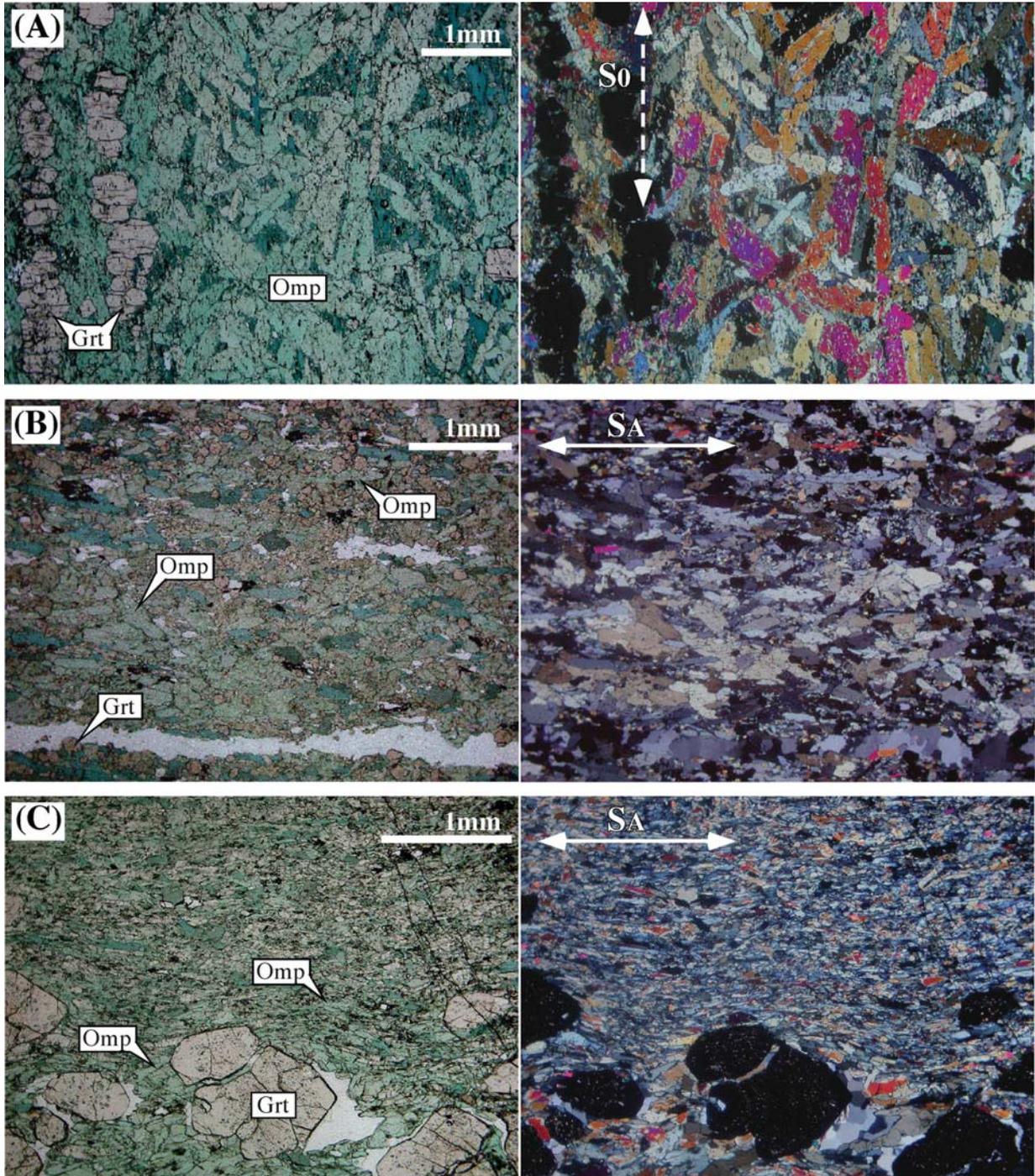
### 3. 瀬場地域の研究史が意味すること -野外調査に照らして

ここまでに紹介した瀬場地域の研究史は、変成岩の野外調査を行う上での教訓をいくつか含んでいるように思える。既に述べたように、固体接触変成説の成立においては：(i)瀬場変斑れい岩の周囲に片岩エクロジヤイトの産出が集中していたこと；及び、(ii)片岩エクロジヤイト中のオンファス輝石が片理を横切る無方向な産状を示していたこと；という二点が重要な根拠となっていた。これを踏まえ、以下、なぜ固体接触変成説が成立し、なぜ否定されるに至ったのかを野外調査の側面から簡単に考察する。なお、著者の勝手な推測



第4図 (A) Aoya and Wallis (2003)による瀬場塩基性片岩内のエクロジャイトの分布図。オンファス輝石仮像(曹長石十角閃石のシンプレクタイト)を含む岩石は三角で示されている。地質図は猶原・青矢(1997)に基づき、Wallis and Aoya (2000)によるエクロジャイトナップの境界が合わせて示されている。(B)瀬場塩基性片岩で観察される多重変形の概念図。(C)片岩エクロジャイトの微細組織を示した概念図。

Fig. 4 (A) Distribution of eclogite in the Seba basic schist taken from Aoya and Wallis (2003). Rocks with omphacite pseudomorph represented by albite-hornblende symplectite are shown by triangles. Geological map is based on Naohara and Aoya (1997) with outer boundary of the eclogite nappe proposed by Wallis and Aoya (2000). (B) Schematic illustration showing multiple deformations observed in the Seba basic schist. (C) Schematic illustrations showing microstructure of schistose eclogites.



第5図 瀬場地域の片岩エクロジャイトの薄片写真(左列:オープンニコル;右列:クロスニコル)。Grt:ガーネット;Omp:オンファス輝石。(A) Rタイプエクロジャイト。(B) Iタイプエクロジャイト。(C) Lタイプエクロジャイト。

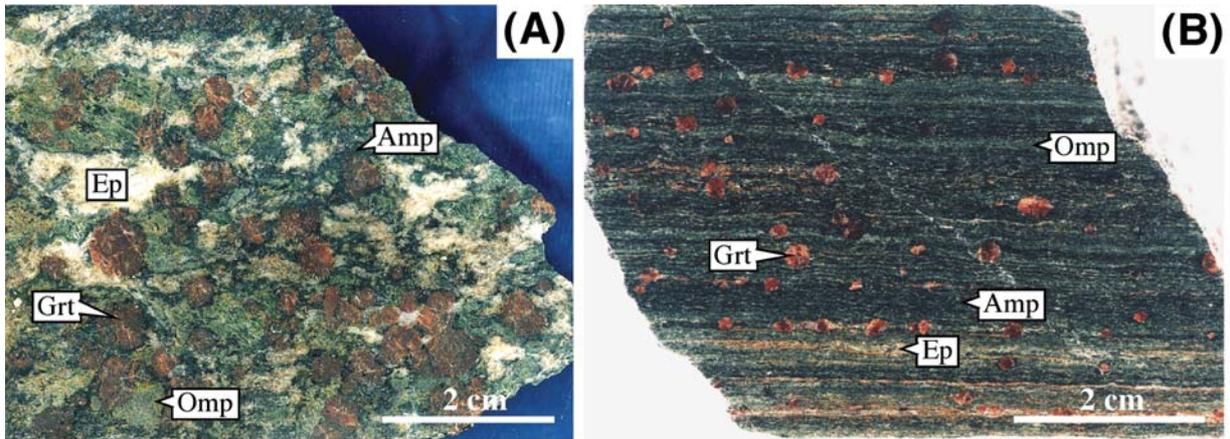
Fig. 5 Photomicrographs of schistose eclogite from the Seba region (left: open nicol; right: crossed nicols). Grt: garnet; Omp: omphacite. (A) R-type eclogite. (B) I-type eclogite. (C) L-type eclogite.

も一部に含まれるであろうことをお許しいただきたい。

### 3.1 マッピングの規模:ユニット境界の追跡に伴う危険

Takasu (1984) で固体接触変成説が提案された際、基本となった瀬場地域の地質図は高須・牧野 (1980) から採られていた。1980年当時には、まだ別子地域の詳

細な岩相分布が明らかになっておらず、その意味において、高須・牧野 (1980) の広域地質図は、以後の別子地域の研究基盤を成す重要な貢献であった。さて、高須・牧野 (1980) による調査がおおむね南北5 km × 東西15 kmという広い範囲を扱っていたのに対し、猶原・青矢 (1997) による調査は瀬場地域に集中し、その範囲



第6図 瀬場地域のエクロジャイトのスラブ写真。Grt：ガーネット；Omp：オンファス輝石；Amp：角閃石；Ep：緑簾石。(A) 変斑れい岩のエクロジャイト。淡緑色のオンファス輝石は粗粒で、肉眼でも容易に識別できる。(B) 塩基性片岩のLタイプエクロジャイト。オンファス輝石の存在は肉眼では非常にわかりにくい。

Fig. 6 Slab photos of eclogites taken from the Seba region. Grt: garnet; Omp: omphacite; Amp: amphibole; Ep: epidote. (A) Eclogite from the metagabbro. Omphacite is coarse-grained and easily recognizable by naked eye. (B) L-type eclogite from the basic schist. Omphacite is hard to recognize by naked eye.

はせいぜい南北3 km×東西3 km程度であった。こういったマッピングの規模の違いは、しばしば地質図の精度の違いとなって現れてくる。第3図Aと第4図Aを見比べてみるとわかるように、猶原・青矢(1997)を基本とした地質図(第4図A)では、瀬場塩基性片岩西部に泥質片岩が複雑に入り込んだ産状を記述するなど、高須・牧野(1980)の図に対する若干の修正が行われている。一方、瀬場変斑れい岩の形状については、ほとんど修正の必要がなかった。このことは、高須・牧野(1980)がエクロジャイトを含む変斑れい岩の地質学的意義を強く認識し、変斑れい岩と塩基性片岩の境界をていねいに追跡したことを示唆している。つまり、瀬場塩基性片岩の中でも、変斑れい岩周囲の部分では特に高い注意を払った調査が行われていたと推測される。ところがこの場合、変斑れい岩の直近部で片岩エクロジャイトが発見される確率は当然高くなる。固体接触変成説が生まれた背景には、我々が当たり前に行っている調査の作法も深く関係していそうである。

広域的な地質調査では、ある地質ユニットの境界部でより注意深い調査が行われるのはむしろ当然であり、必要なことである。ただ、境界付近に特有の事象を認定するには、調査の密度も含め、その他の地域との注意深い比較に立ち返る姿勢が必要なのだろう。

### 3.2 岩相把握の繊細さ

冒頭で述べたように、エクロジャイトとは岩型の定義で言えば、ガーネットとオンファス輝石を合わせたモード比が70%以上を占める岩石のことだが、瀬場地域で発見された片岩エクロジャイトの大部分は、それほど多くのガーネットやオンファス輝石を含むものではない。本論で述べているエクロジャイトとは、エク

ロジャイト相相当の高温・高圧条件(第2図)を経験していた岩石のことであり、その基準となる鉱物組み合わせはガーネット+オンファス輝石+石英、加えてアルバイトの非共存である。この鉱物組み合わせが認識できれば、エクロジャイト相を経験していた岩石と言える。岩石の形成条件に関して言えば、ガーネットとオンファス輝石のモード比は最も本質的な要素ではない。

さて、瀬場塩基性片岩の主岩相の鉱物組み合わせは、実際は角閃石(主にパロア閃石)+緑簾石、加えて少量のガーネット+フェンジャイト+石英であり、岩型的にはいわゆる緑簾石角閃岩である。しかし、角閃石、緑簾石、ガーネットといった鉱物は広い温度・圧力条件下で安定なため、この鉱物組み合わせだけでは岩石の形成条件を絞り込むことが難しい。つまり、瀬場塩基性片岩中の岩石をエクロジャイトと呼べるかどうかの分かれ目は、オンファス輝石を認識できるかどうかにある。ところが、このオンファス輝石が非常に見つけにくい。オンファス輝石は美しい淡緑色の結晶で、粒度さえ大きければ肉眼で容易に識別できる(第6図A)。ところが、比較的細粒の瀬場塩基性片岩では、濃緑の角閃石、淡黄の緑簾石が入り交じった層も似たような淡緑色を呈するため、一見してオンファス輝石の存在を認識するには相当の慣れが必要である(第6図B)。これは本当に慣れの次元の話である。強いて言うなら、オンファス輝石の緑色は角閃石・緑簾石互層の示す緑色よりも鮮やかで“高貴な”感じがする。

片岩エクロジャイトの組織のタイプに関して言えば、粗粒のオンファス輝石を伴うRタイプ(第5図A)は最も見つけやすい。対照的に、オンファス輝石が細粒化し、片理に埋もれた状態のLタイプは相対的に見つけ

にくい(第5図C;第6図B)。Takasu (1984) でまずRタイプエクロジヤイトが集中的に見つかった背景には、組織上の見分けやすさも関係していたのだろう。

一方、高度変成岩の野外調査とはなんと危険な作業であろうかと感じずにはいられない。瀬場塩基性片岩に関して言えば、こんなにも見つけにくいオンファス輝石を見逃すかどうかで、岩石の辿った変成履歴に対する解釈ががらりと変わってしまう。瀬場地域の研究史は、三波川帯も含めた世界中の高圧変成帯に、未確認の片岩エクロジヤイトがまだまだ埋もれていることを示唆していると思う。実際、著者が瀬場で目を慣らした後は、別子から80 km東方に位置する高越地域からも、新たにLタイプの片岩エクロジヤイトを発見することができた(Wallis and Aoya, 2000)。このエクロジヤイトは三波川帯の形成史に関わる重要な岩石学的情報を握っていたが(Aoya *et al.*, 2003)、このあたりの話は青矢(2004)で解説されている。

### 3.3 多角的な視点の必要性

研究の成り行き上、著者はLタイプエクロジヤイトの識別にかなり熟練することになったが、実際にはLタイプエクロジヤイトは既に高須・加治(1985)により見いだされていた(第3図)。しかし、その発見にも関わらず、固体接触変成説の見直しに至らなかった。この見直しには、構造地質学的な視点での更なる検討が必要であった。つまり、高須・加治(1985)は、Lタイプでオンファス輝石が配列する片理とRタイプでオンファス輝石に切られる片理を同一のものとして扱ったのである。この場合、Lタイプのオンファス輝石は片理の形成以前に存在し、Rタイプのオンファス輝石は片理形成以後に成長したことになるので、広域変成、接触変成という二つの異なる変成イベントが必要になる。ところがその後、Aoya and Wallis (1999)の構造解析の結果、LタイプエクロジヤイトとRタイプエクロジヤイトの片理は新旧異なる変成ステージに形成したものであることがわかり、固体接触変成という物理的に困難な現象(Aoya, 1998)を引き合いに出す必要がなくなった。このいきさつは、広域変成帯の野外調査では岩石学のみならず、構造地質学的な視点も必要となることを示している。

変成岩とひとくくりに言っても、その源岩は堆積岩・火成岩であるから、調査においては、本来こういった生の岩石に関する基礎知識が必要である。また、そういった様々な源岩が高温・高圧を経験すると、どのような鉱物の成長、どのような組織が期待されるのかという、岩石学的知見はもちろん不可欠である。更に、広域変成岩の多くは同時に変形岩でもあるから、どのような変形履歴を経てきたのかという、構造地質学の視点も必要である。つまり、変成岩の調査では、好む

と好まざるとに関わらず、地質学における様々な分野の知識が必要となってしまう。

## 4. まとめ

瀬場地域の研究史に対する考察から、変成岩の野外調査では：1) 変成履歴の鍵を握る鉱物の存否、特にその地質図スケールでの分布範囲の特定には細心の注意を払わなくてはならないこと；2) 岩石学のみならず、構造地質学の視点、特に多段階変形の正確な分類が必要となることがわかる。どちらも一見、調査をする上でのストレスを増幅させるような内容である。欲を言い出せば、瀬場地域で20年以上の時間をかけて起こった研究上の変遷が、野外調査の現場で逐次取り扱われることが理想であろう。しかし、Lタイプエクロジヤイトの肉眼観察に慣れ、岩石学・構造地質学という両者の視点で調査を進め、また、こういった高精度の調査を広範囲に渡って持続しつつ、一度構築した学説を随時考え直す、というようなことすべてを、単一の調査期間の中で消化してゆくのは容易なことではない。したがって、著者はむしろ逆転の発想で瀬場地域の研究史を捉えたい。よくよく考えてみると、瀬場地域では過去の研究における記載事実がほぼ全て、新しい研究の部分要素として生かされている。Takasu (1984)の研究成果の上に、新たな視点や手法を組み合わせた結果として、一種の進化の流れが起こっていると思う。その意味では、どの手法を軸にするにしろ、正確な記載さえ心がければ、それは後の研究の重要な基礎情報として生かされるはずである。ただ、異なる視点からの研究成果も同等に受け入れる準備さえあればいいのである。変成岩の調査研究には確かに潜在的な難しさが伴う。しかし、その多様性の各要素を有機的に捉える姿勢を持てば、必ず意味のある成果が得られるだろう。

**謝辞：**三波川エクロジヤイトの先駆的研究を行い、筆者の研究の礎・動機を築いて下さった高須 晃氏に敬意をこめて感謝いたします。また、地質学の素人同然だった筆者を我慢強く指導して下さったSimon Wallis氏と、葛尾山荘で活発に議論し、時には調査にも同行してくれた猶原亮介氏には親意をこめて感謝いたします。

## 文 献

- Aoya, M. (1998) Thermal calculation for high-pressure contact metamorphism: application to eclogite formation in the Sebadani area, the Sambagawa belt, SW Japan. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **160**, 681-693.
- Aoya, M. (2001) P-T-D path of eclogite from the Sambagawa belt deduced from combination of

- petrological and microstructural analyses. *J. Petrol.*, **42**, 1225-1248.
- Aoya, M. (2002) Structural position of the Seba eclogite unit in the Sambagawa belt: supporting evidence for an eclogite nappe. *Island Arc*, **11**, 91-110.
- 青矢睦月 (2004) 三波川エクロジャイトの沈み込みP-T経路の導出とそのテクトニックな意味付け: 包括的岩石学への布石として. *地学雑誌*, **113**, 664-677.
- Aoya, M. and Wallis, S. R. (1999) Structural and microstructural constraints on the mechanism of eclogite formation in the Sambagawa belt, SW Japan. *J. Struct. Geol.*, **21**, 1561-1573.
- Aoya, M. and Wallis, S. R. (2003) Role of nappe boundaries in subduction-related regional deformation: spatial variation of meso- and microstructures in the Seba eclogite unit, the Sambagawa belt, SW Japan. *J. Struct. Geol.*, **25**, 1097-1106.
- Aoya, M., Uehara, S., Matsumoto, M., Wallis, S. R. and Enami, M. (2003) Subduction-stage pressure-temperature path of eclogite from the Sambagawa belt: Prophetic record for oceanic-ridge subduction. *Geology*, **31**, 1045-1048.
- Carswell, D. A. (1990) Eclogites and the eclogite facies: definitions and classifications. In Carswell, D. A. ed., *Eclogite Facies Rocks*, Chapman and Hall, New York, 1-13.
- Enami, M., Wallis, S. R. and Banno, Y. (1994) Paragenesis of sodic pyroxene-bearing quartz schist: implications for the P-T history of the Sanbagawa belt. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **116**, 182-198.
- Hara, I., Shiota, T., Hide, K., Kanai, K., Goto, M., Seki, S., Kaikiri, K., Takeda, K., Hayasaka, Y., Miyamoto, T., Sakurai, Y. and Ohtomo, Y. (1992) Tectonic evolution of the Sambagawa schists and its implications in convergent margin processes. *J. Sci. Hiroshima Univ. (Series C)*, **9**, 495-595.
- Higashino, T. (1990) The higher grade metamorphic zonation of the Sambagawa metamorphic belt in central Shikoku, Japan. *J. Metamorphic Geol.*, **8**, 413-423.
- Kunugiza, K., Takasu, A. and Banno, S. (1986) The origin and metamorphic history of the ultramafic and metagabbro bodies in the Sanbagawa metamorphic belt. *Geol. Soc. Am. Mem.*, **164**, 375-385.
- 猶原亮介 (1995) 四国中央部三波川帯瀬場谷地域に新しく見いだされたエクロジャイト. 島根大学地質学研究報告, **14**, 117-125.
- 猶原亮介・青矢睦月 (1997) 四国中央部三波川帯瀬場谷地域の塩基性片岩中に産する累進的エクロジャイト. 島根大学総合理工学部紀要(シリーズA), **30**, 63-73.
- Otsuki, M. and Banno, S. (1990) Prograde and retrograde metamorphism of hematite-bearing basic schists in the Sanbagawa belt in central Shikoku. *J. Metamorphic Geol.*, **8**, 425-439.
- Passchier, C. W. and Trouw, R. A. J. (1996) *Microtectonics*. Springer-Verlag, 289p.
- Peacock, S. M. (1993) The importance of the blueschist -> eclogite dehydration reactions in subducting oceanic crust. *Geol. Soc. Am. Bull.*, **105**, 684-694.
- Takasu, A. (1984) Prograde and retrograde eclogites in the Sambagawa metamorphic belt, Besshi district, Japan. *J. Petrol.*, **25**, 619-643.
- Takasu, A. (1986) Resorption-overgrowth of garnet from the Sambagawa pelitic schists in the contact aureole of the Sebadani metagabbro mass. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **92**, 781-792.
- Takasu, A. (1989) P-T histories of peridotite and amphibolite tectonic blocks in the Sambagawa metamorphic belt, Japan. In Daly, J. S., Cliff, R. A. and Yardley, B. W. D. eds., *Evolution of Metamorphic Belts*, Geological Society Special Publication, **43**, 533-538.
- 高須 晃・加治敦次 (1985) 三波川変成帯中のエクロジャイト相の存在 - 四国, 高越・別子地域より新たに見いだされたエクロジャイト -. 日本地質学会第92年学術大会講演要旨, p.374.
- 高須 晃・牧野州明 (1980) 四国別子地域の三波川帯の層序と構造 - とくに横臥褶曲構造の再検討 -. 地球科学, **34**, 16-26.
- Takasu, A., Wallis, S. R., Banno, S. and Dallmeyer, R. D. (1994) Evolution of the Sambagawa metamorphic belt. *Lithos*, **33**, 119-134.
- Wallis, S. and Aoya, M. (2000) A re-evaluation of eclogite facies metamorphism in SW Japan: proposal for an eclogite nappe. *J. Metamorphic Geol.*, **18**, 653-664.
- Zaw Win Ko, Enami, M. and Aoya, M. (2005a) Chloritoid and barrosite-bearing pelitic schists from the eclogite unit in the Besshi district, Sanbagawa metamorphic belt. *Lithos*, **81**, 79-100.
- Zaw Win Ko, Enami, M. and Aoya, M. (2005b) Chloritoid-bearing basic schists from Sanbagawa metamorphic belt, central Shikoku, Japan: their petrologic significance and evidence for presence of major tectonic boundary. *J. Mineral. Petrol. Sci.*, **100**, 43-54.

(受付: 2005年2月8日; 受理: 2005年5月19日)