

四国中央部三波川帯の地質構造の研究史に関する若干の考察

—地域構造地質学の方法論—

塩田次男*・原 郁夫**

Some Considerations on Research History of Geological Structure of the Sambagawa Belt in Central Shikoku —Methodology of Regional Structural Geology—

Tsugio SHIOTA* and Ikuo HARA**

* 徳島大学総合科学部物質科学講座地球科学研究室

Geology Department, Faculty of Integrated Arts and Sciences, The University of Tokushima, Tokushima
770-8502, Japan

**応用地質株式会社

OYO-Corporation, Tokyo 102-0073, Japan

Abstract Tectonics of the Sambagawa Belt was first comprehensively studied by Hara et al.(1977), distinguishing four main tectonic phases (in chronological order): formation of lithologic layering-parallel schistosity, Nagahama phase of folding with southward vergence associating formation of nappes, Ozu phase of folding with southward vergence, and Hijikawa phase of sinistral en echelon upright folding. The metamorphic facies analysis of the schists of the Sambagawa Belt and Northern Chichibu Belt in central Shikoku was first performed by Kurata & Banno (1974) and Higashino (1975), clarifying that the facies series of pelitic schists defined by minerals crystallized during the highest-temperature phase of metamorphism can be explained in terms of chlorite zone, garnet zone and biotite zone.

Banno et al. (1978), Banno and Sakai (1989), Wallis (1990,1995) and Wallis et al.(1992) have been regarded the distribution of the mineral zones as a thermo-mechanical continuum throughout all phases of deformation. However, Hara et al. (1988,1990,1992) and Hara and Shiota (1996) have pointed out that individual mineral zones are nappes which show distinct deformational and metamorphic histories, and that the highest-temperature metamorphism of the garnet zone nappe (Fuyunose nappe) occurred when the Fuyunose nappe schist had been coupled with the biotite zone nappes (Saruta nappe I and II) which were exhuming, and in addition, that the highest-temperature metamorphism of the chlorite zone nappe (Sogauchi nappe) occurred when the Sogauchi nappe schist had been coupled with the Fuyunose and Saruta nappe schists which were exhuming, and furthermore, that the Saruta ~ Sogauchi nappe schists had been exhumed onto an off-scraped sequence (Northern Chichibu Zone) along the mechanical boundary of consuming plates. The methodological differences between the students of the former and the students of the latter have been investigated in this paper with respect to Shimizu and Yoshida's (2004) comments on the research history of tectonics of the Sambagawa Belt.

Keywords: Sambagawa Belt, Northern Chichibu Belt, tectonics, research history, investigation method

はじめに

四国中央部三波川帯の地質構造は、現在では国際的な尺度から見ても、極めて良く研究されているところと言うことが出来よう。このため、若い研究者が、研究史に精通し、フィールドに精通するように、既往の研究成果を理解するだけでも、かなりの時間と努力を要するところとなっている。このような状況からであろうか、公表された論文は、成果が必ずしも研究者に共通のものとは

なっていないことを示している。明晰な形で記載された事実の膨大な累積は見られるのであるが、残念ながら、それらを包含して形成される共通の認識が、必ずしも研究者間に構築されてきているとは言い難い。1980年代以降の四国中央部三波川帯の研究では、成果が膨大で稔り豊かなものになるにつれて、研究者間での成果の理解の共通項が次第に失われていくという異常にねじれた状況が発生し、それが今日まで尾を引いているよう

に見えるのである。

公表論文には、膨大な情報の中から適当に選択し、それを基礎に必然的に恣意的となるモデルを提示する、あるいはそのようなモデルによって自分の得た情報を解釈するという姿勢のものがあるように見える。適当に選択がなされる理由には、いつも話し合いがもてる人たちが齎らす情報だけが充分理解出来たレベルにあり、それで間に合せるという意志の働きも関わっているであろう。都城が1973年、変成作用と変成帯に関する教科書(Miyashiro, 1973)を書いた時、三波川帯の変成作用と造構作用の説明は、当時の四国中央部三波川帯の研究成果に拠ってなされていた。しかし、都城の1994年の教科書(Miyashiro, 1994)では、四国中央部三波川帯の変成作用、造構作用いずれの側の研究成果も、ほとんど紹介されていない。研究は大きく前進し成果は膨大であるだけに奇異な印象を与えるこの変化は謎であるが、筆者らには、上記のような状況への戸惑いの反映であるように思える。責任を感じざるをえない。

このような状況の打開には、相互に公表論文の真摯な批判を行なうことにより、具体的で詳細な研究史の共有と、地域構造地質学的方法論の共有—これは誰もが同じ型の研究をするという意味ではない—を心がけることにのみ、解決の道があるように思われる。原・宮本(2001, 2003)が検討した例でも明らかのように、地域構造地質学では、他人の体系に入って論文を読取ることは、かなり困難な作業であり、相互の支援が必要なのである。そこで、ここでは、出版年月の最も新しいShimizu & Yoshida(2004)の論文を読み、その中に具体的に幾つかのテーマを求め、研究史を辿りながら考察を加え、改めて研究者が共通の土俵に立てる道筋を探りたい。本論文は、そのことを目的として書かれたものである。なお説明に正確さを欠くことがあってはならないため、多くを引用によって記述させて頂くことにする。引用は「」で括って記述する。

課題の設定

Shimizu & Yoshida(2004)の論文—以下では略して清水論文と記す—は、「Strain geometries in the Sanbagawa Metamorphic Belt inferred from deformation structures in metabasite」と題するものである。そして、この論文の中で、塩基性片岩に見られるpillow lavaの変形、pressure shadow、石英片岩のc-軸ファブリックなどの情報を基礎に、三波川変成帯の歪み像(strain picture=strain geometry)を検討している。検討の目的は、緒言にある「Finite strain analysis is ... crucial to understanding the deformation history during subduction and exhumation of the metamorphic belt」とする見方に由来するものと考えられる。

このことは、「Finite strain analysis is ... crucial to understanding the deformation history during subduction and exhumation of the metamorphic belt」と述べたあと、「Toriumi & colleagues (Toriumi, 1982, 1990; Toriumi &

Noda, 1986) concluded that the Sanbagawa Metamorphic Belt is characterized by uniaxial elongation, using strain analysis of deformed radiolarians ...」と紹介し、この鳥海ほかの成果は、大槻(1992)、Iwamori(2003)によって「mechanical models of viscous flow in the subduction wedge」の構築において引用されていることを指摘しながら、鳥海ほかの成果が三波川帯全域を包括する情報となるものではないとし、清水論文の研究が、それをカバーすることを目指すものであると表明していることから読み取れる。大槻(1992)、Iwamori(2003)の引用は、清水論文の「Finite strain analysis」の先にある目標を示すものであろう。

清水論文は、緒言の冒頭で、Faure(1983)の研究以来、三波川変成帯の構造解析の焦点は、「ductile deformation synchronous with high pressure-temperature (P-T) metamorphism」であったとし、Faure(1983, 1985a), Wallis, 1990)による幾種かの構造の観察を基礎に、Faure(1983, 1985a), Banno & Sakai(1989), Wallis(1990)によって、「several polyphase tectonic models, characterized by east-west-trending shear overprinted by north-south compression, have been proposed」というように四国中央部三波川帯の構造論を分節化している。そして、「uniaxial elongation parallel to the east-west-trending lineation」という鳥海ほかの成果が、「If the first deformation (east-west-trending shear) is close to simple shear」と仮定し、「north-south compression」(the second deformation)の重複がもたらす「the overall deformation is likely to be in the constriction field」という言葉で説明出来るものとしている。このことは、「Discussion」の項において、「superposition of the east-west-trending shear deformation and folding during north-south compression ... From this picture, constrictional strain ($k > 1$) is expected for the final state」, しかしながら、清水論文が記載した「the deformed pillows in the middle metamorphic grade zone of the Asemigawa route show deformation close to uniaxial flattening deformation ($k \sim 0$)」ものだという文章の流れにも明らかである。

清水論文の上記の四国中央部三波川帯の構造論は、多くの研究者による既往の膨大な研究成果の中から選択されたものである。しかし論文の別の箇所にも、「Although the timing of deformation and sense of shear are controversial (e.g. Wallis, 1990, 1998; Hara et al., 1992)」, 「Although classification and interpretation of the deformation stages differ across studies (e.g. Hara et al., 1977; Faure, 1983, 1985; Wallis, 1990; Wallis et al., 1992)」という但し書きが記されているのだが、清水論文にはこの但し書きに関する説明も考察もない。

三波川帯では上位高温下位低温という温度構造の逆転がある。この現象は四国中央部に限られず、関東山地に至るまで三波川帯全体を通して見られる現象である。このため、四国中央部三波川帯で逆転した温度構造を説明するモデルを構築するにおいては、三波川帯全体を視野においた

考察が必要なはずである。このような視点から見た時、清水論文が行なった分節選択が妥当なものかどうか。「Tectonic models for the inverted metamorphic zonation have been proposed by many authors (e.g. Banno & Sakai, 1989; Hara et al., 1990; Maruyama, 1997; Wallis, 1998), but this is beyond the scope of the present paper」と清水論文にある。しかし、「Tectonic models」によって歪み像を解釈しようと試みている以上、選択する「Tectonic models」の妥当性の検討は避けておれないことであるはずである。

そこで、原と共同研究者 (1977~) による四国中央部三波川帯の変形史区分と、Faure (1983, 1985), Banno & Sakai (1989), Wallis (1990, 1998), Wallis et al. (1992)らによるそれとの対応関係の検討を行なうことによって、清水論文が行なった分節選択が、現在の三波川帯の「Tectonic models」の研究成果に照らして妥当な議論を可能にするものかどうかを、本論文で検討すべき第一の課題とすることにしよう。

清水論文では、鳥海ほかの成果「uniaxial elongation parallel to the east-west-trending lineation」が、Faure (1983, 1985a), Banno & Sakai (1989), Wallis (1990, 1998) の「several polyphase tectonic models, characterized by east-west-trending shear overprinted by north-south compression」によって説明出来るものとしているのだが、それは可能性の話としてのみ示されており、具体的な現象解析の結—三波川変成岩の岩石構造の直接観察による現実の話—としては示されていない。ここには、変形史解析・運動像史解析を基礎とした歪み像解析の姿勢が見られるのだが、この直後に「therefore」として「Finite strain analysis is ... crucial to understanding the deformation history during subduction and exhumation of the metamorphic belt」と述べられている。この文章の急展開は筆者らには、ほとんど理解出来ないものである。岩石の具体的な運動像をすべて削ぎ落としてしまった結果にすぎない歪み像が、沈み込み帯チャンネルでの subduction—exhumation processes (運動像史・変形史) の理解に決定的につながるという、矛盾した論理が読み取れるからである。そこで、本論文では、この事がまた議論の対象とされる。

清水論文では、鳥海ほかの成果は肯定的に捉えられているのだが、「because radiolarian fossils are hard to recognize in high-grade metamorphic rocks, ... most of their (鳥海ほかの) data were taken from the Northern and Southern Chichibu belts」というように、鳥海ほかの試料採集位置がもたらす成果の限界が指摘されている。そして、この直後、「Faure and colleagues (Faure & Charvet, 1983; Faure, 1984, 1985; Guidi & Charvet, 1987) proposed that a large part of the Chichibu Belt constitutes a superficial nappe lying above the Sanbagawa schists that was transported from the Inner Zone...」と書き、鳥海ほかの資料のもつ束縛条件を示唆するための地質区分が示されている。清水論文では、地質区分に関わるこの極めて複雑な地域構造地質学

の議論が、放射年代学的情報のみを基礎にしてなされ、既往文献の地質平面図、地質断面が描きだす地質構造の言葉を排除するようにして行なわれている。結論の正否を越えて異常であると言わなければならない。ここでは、地域構造地質学の方法が課題であることから、このような問題の議論は極めて重要であり、本論文の検討課題とされる。

地域構造地質学の方法

A 変形史解析

先に述べたように、清水論文では、「classification and interpretation of the deformation stages differ across studies (e.g. Hara et al., 1977; Faure, 1983, 1985; Wallis, 1990; Wallis et al., 1992)」と書かれている。しかし、それがどのように異なるかは考察されていない。この比較では、原ほか論文と Faure 論文の間には 6 年の差があり、原ほか論文と Wallis 論文の間には 13 年の開きがある。Faure による四国三波川帯の研究成果の公表は、1983~1985 年に限られ、Wallis の場合は 1990 年から現在に及んでいる。他方、原ほかによる研究成果の公表は 1977 年から現在に及んでいる。Wallis と共同研究者にも原と共同研究者にも、この間の研究成果には変化がある。このため、清水論文の比較は奇異な比較だという印象は拭えない。この比較の共通項は、Wallis, Faure, 原のいずれにとっても、三波川帯の構造論に関する最初の論文だと言うことである。比較の上でそのことに意味があれば重要であるのだが、理解を越えている。

それはさておき、これらの研究者の四国三波川帯の変形史区分の比較は、原ほか (1994) によってなされている。まず、それを読むことから始めよう。

「Faure (1983, 1985), Banno & Sakai (1989, Fig. 5) は、三つの変形時相 D₁(F₁), D₂(F₂), D₃(F₃) が識別出来るとした。Banno & Sakai (1989, p.526) は [D₁ results from the flow of the metamorphic complex in an east-west direction. ... D₁ included all stages of porphyroblast growth (ざくろ石・斜長石) and some stages of retrograde mineral formation. ... the F₂ folding is responsible for the recumbent folding and thrusting which produced the major thermal structure in central Shikoku] と説明している。しかし、Wallis (1990, p.346-348) は、Banno & Sakai (1989) が D₁, D₂ とした褶曲そのものを解析して、彼らと Faure (1983, 1985) の D₁, D₂ は区別のない一連の変形作用で後退変成時のものであるとした。しかし四国東部も研究した Faure の F₂ は大洲時相を含んでいる。Faure (1983, 1985) は、肱川時相とともに大洲時相を認めている。したがって Banno & Sakai と同じように扱うことは出来ない。Wallis (1990) もまた三つの変形時相 D_s, D_t, D_u を識別している。Wallis は D_s を Banno & Sakai (1989) の D₁+D₂ であるとしたのである。D_u は肱川時相に対比しているが、D_t については既存の研究との対比を行っていない。しかし D_t は大洲時相にほぼ一致すると言えよう。後に Wallis et al. (1992b) は

Ds を D1 と名称変更し, D1 が原らの Sb1+Sb2-1+Sb2-2+Sb3 であると述べている。秀 (1972), 原ほか (1977) は主要変形作用を層面片理形成期, 長浜時相, 大洲時相, 肱川時相の 4 時相に区分したが, 長浜時相までが原ほか (1988), Hara et al.(1990a,1992)の Sic から Sb3 時相までに 対応する……」(原ほか, 1994,p95~97) (Table-1, Table-2)。これだけの説明では必ずしも理解が得られないで来たようであるから, いま少し詳しく順を追って説明しよう。

(1) 層面片理を基準構造とした変形史区分—原ほか (1977)・Faure(1983,1985)・Banno & Sakai(1989)の変形史区分

Faure (1983,p320-322)は「The tectonic phases are roughly similar to those defined by Hara et al.(1977), and Shiota(1981)(Table 1)……」, Table 1 では, 「P phase=pre-Nagahama phase (層面片理形成期), 2° phase=Ozu- Nagahama phase, 3° phase =Hijikawa phase」とし, 「the second phase is responsible, at least in Eastern Shikoku, for a post-metamorphic nappe, moving from North to South.…… This kind of feature, known in other parts of the Sanbagawa belt [e.g. Mt. Shirataki (Hide et al.,1956), Ozu-Nagahama (Hide,1972), Saruta nappe(Hara et al.,1977), Tsuji nappe (Shiota,1981)] has been described as large scale recumbent folding」と書いている。原ほか (1977) の変形史区分とその名称がそのまま使用されている。原ほか (1977) の長浜時相と大洲時相を一括して Ozu-Nagahama 時相としているのだが, 層面片理形成期を Pre-Nagahama 時相としていることから, 長浜時相に相当する変形作用が先であることは認めていることは明らかである。「moving from North to South」という基準で, Faure は, 単純に一括したということである。

成果をあげて帰国という時間の制約があったのであろう, Faure(1983,1985)は, 小構造は観察したが, 自ら鍵となる地域の地質図を作成し地質構造を解析することはなく, Iwasaki(1963), 剣山研究グループ (1963), 加治 (1975) や原と共同研究者 (e.g.秀, 1972; 原ほか, 1977; 塩田, 1976, 1981) による地質図や地質構造解析の結を, 原ほか (1977) の変形史区分に拠って解釈したに過ぎない。両者の間には変形史区分に関する限り, Faure も述べているように, Faure と原と共同研究者に間に相違を指摘する根拠はない。ここに敢えて相違を指摘し, 混乱をもたらす理由が問われるべきであろう。

Faure(1983)の研究以来, 三波川帯の構造解析の焦点は, 「ductile deformation synchronous with high pressure-temperature (P-T) metamorphism」であったと清水論文は述べるのであるが, このような課題は, 1950 年代の小島と共同研究者の研究 (e.g.Kojima & Hide, 1958,1958; Kojima & Suzuki,1958) にも明瞭であった。しかし, Faure(1983)が, 層面片理形成期の運動像を, 肉眼で見られる線構造に沿った顕微鏡組織から, 「shear sense」として求める作業を行なったことは確かであり画期的であった。

Table-1 Comparison of deformation history across studies.

原ほか(1977)	Faure(1983,1985)
層面片理形成期	Pre-Nagahama phase (D1)
長浜時相	Nagahama-Ozu phase (D2)
大洲時相	
肱川時相	Hijikawa phase (D3)

Table-2 Comparison of deformation history across studies.

原ほか(1988) Hara et al.(1983,1990,1992)	Wallis (1990) Wallis et al.(1992)
Sic-Spm [prograde]	
Sb1-Sb3 [retrograde]	Ds(D1) [retrograde]
大洲時相	Dt (D2)
肱川時相	Du (D3)

Table-3 Comparison of deformation history across studies.

原ほか(1988) Hara et al.(1983,1990,1992) 原・塩田(1996)	Wallis(1998)
Sic-Spm [prograde]	Dr [prograde]
Sb1-Sb3	Ds [retrograde]
大洲時相	Dt
肱川時相	Du

Banno & Sakai(1989, Fig.5)は、三つの変形時相 D₁(F₁), D₂(F₂), D₃(F₃) が識別出来るとした。彼らも、層面片理を基準構造としたため、原ほか(1977)との類似性は高い。彼らの D₁(F₁) は層面片理形成期であり、その運動像は Faure(1983)にしたがって「east-west-trending shear」であるとした。D₃(F₃) は肱川時相である。D₂(F₂)は長浜時相であって大洲時相を含まない。理解を得るうえでは、これには、歴史を追った説明が必要であろう。

四国中央部～東部～紀伊半島西部の三波川帯では、斜長石斑状変晶を含まない低変成度岩の上位に位置する斜長石斑状変晶を含む高変成度岩は、南側に御荷鉾緑色岩類があつて、それより南に広がるようには分布しない。この理由が、1970年代初頭頃の研究者がもった、三波川変成帯の構造論上の大きな課題であつた。この理由として、斜長石斑状変晶を含む高変成度岩を核とし、斜長石斑状変晶を含まない低変成度岩をマントルとする、南で閉じる大横臥褶曲が発達する可能性が考えられた。このような課題を頭に置きながら、四国中央部三波川帯の地質構造を研究していた秀(1972)は、このような南で閉じる大横臥褶曲の発達を示唆する地質構造、あるいは別の型でも斜長石斑状変晶を含む高変成度岩が御荷鉾緑色岩類分布域の北側で消滅することを示唆する地質構造の存否は、四国中央部では明らかに出来ないと考えて、斜長石斑状変晶を含む高変成度岩を四国西部まで追跡した。斜長石斑状変晶を含む高変成度岩は、四国中央部までは幅広く分布するのであるが、西へ向かって急激にその分布範囲は狭くなり、中央構造線に沿って点々と認められる程度の分布となるが、長浜付近において分布範囲はやや広くなる。そして、秀(1972)は、ここで、斜長石斑状変晶を含まない低変成度岩の間に、層面片理に沿って南へ向かって打ち込まれたクサビのように、斜長石斑状変晶を含む高変成度岩が分布することを確認した。秀(1972)は、斜長石斑状変晶を含む高変成度岩のこのクサビ状分布が、問題の大横臥褶曲であると考え、長浜横臥褶曲と呼んだのである。

この問題と関連する研究には、かなりの苦闘を強いられたと言わなければならない。例えば、四国東部の御荷鉾緑色岩類分布域の近い矢筈山山頂において、向斜軸部(現在の下名一津根山向斜; Hara et al., 1992, Fig.14 参照)に斜長石斑状変晶を含む高変成度岩が確認された時、秀は、この軸部を、四国中央部の高変成度岩を核とする横臥褶曲の先端であると見做し強く主張したという歴史的な経緯もあるほどである(原・秀, 1974)。

四国中央部三波川帯の鉱物分帯は、Kurata & Banno (1972), 東野 (1975) によって行なわれ、小島ほか (1956) によって明らかにされてきた岩層の重なりに平行するように、下位から緑泥石帯、ザクロ石帯、黒雲母帯、ザクロ石帯と分布するとされた。東野 (1975) は、黒雲母帯を核、ザクロ石帯をマントルとする大横臥褶曲の発達を想定した。核と見做された黒雲母帯は北側で消滅し、マントルと見做された下位のザクロ石帯と上位

のザクロ石帯は北側で接合する—このような鉱物分帯の分布のみを基礎とするのであれば、北で閉じる横臥褶曲を想定すべきである (Hara et al., 1990; Wallis et al., 1992) —のであるが、Banno et al. (1978), Banno & Sakai (1989) は、この横臥褶曲を南で閉じる南フェルゲンツの構造であると想定した。この想定背景には、秀 (1972) が追跡した斜長石斑状変晶を含む高変成度岩が御荷鉾緑色岩類分布域の北側で消滅することに関わる上記のような地質構造論上の問題があつたはずである。Banno & Sakai (1989) の「recumbent folding and thrusting which produced the major thermal structure in central Shikoku」という記述の中の「thrusting」は、原ほか (1977) が、黒雲母帯以上の地質体は一つのナップ(猿田ナップ)であるとし、黒雲母帯下底はスラストであるとしたことを受けての説明である。このように東野 (1975), Banno et al. (1978), Banno & Sakai (1989) の想定した横臥褶曲は、秀 (1972) の長浜時相に対比される構造なのである。

しかし、秀 (1972) の長浜横臥褶曲についても、東野 (1975) の横臥褶曲についても、原ほか (1977) は岩石構造から見て否定的であつた。前者については、横臥褶曲の軸部に相当する構造が肉眼では全く認められないからであつたが、後に Takeda et al. (1991), Hara et al. (1992) によって、この長浜横臥褶曲の核を構成するとされた斜長石斑状変晶を含む高変成度岩は、一つのナップの下底部に位置する地質体であることが明らかにされた。

東野 (1975) の見方は、1990年代の Wallis (1990, 1998), Wallis et al. (1992a, Fig.29) によっても採用された見方であるが、「しかし、温度構造は傍証となりえることがあつても、それのみから直接フェルゲンツをも指定して地質構造を決定することは出来ない。原ほか (1977) は、坂野らによって仮定された横臥褶曲の軸部に特有の両翼での反対のセンスをもつ寄生褶曲群のような構造が見出だせないことから、横臥褶曲は存在しないとされた。原ほか (1983) はまた次のような事実から横臥褶曲の存在を否定した: 白滝第一、第二、第三角閃片岩層は、白滝付近で黒雲母帯下底近くに位置するのに対してそのすぐ西側では南北走向で黒雲母帯を横断し二つ岳の東斜面で上位のざくろ石帯に近接して発達し (原ほか, 1977), 白滝角閃片岩層は問題の横臥褶曲に対応する形で褶曲を形成しないで黒雲母帯を斜断して発達する。白滝角閃片岩層が上記のような構造・分布を示すことは金属鉱物探査促進事業団 (MMEAJ, 1968, 1969, 1970) にも示されていて、すでに当時の研究者の共通認識であつた」(原ほか, 1994)。

このような共通認識があり、しかもまた Kawachi (1968) が示した小褶曲群の資料からも「横臥褶曲の軸部に特有の両翼での反対のセンスをもつ寄生褶曲群のような構造が見出だせない」、パンペリーのルール (Price & Cosgrove, 1996; 原, 1998 参照) からすれば小褶曲群はむしろ上位のザクロ石帯を核とする横臥

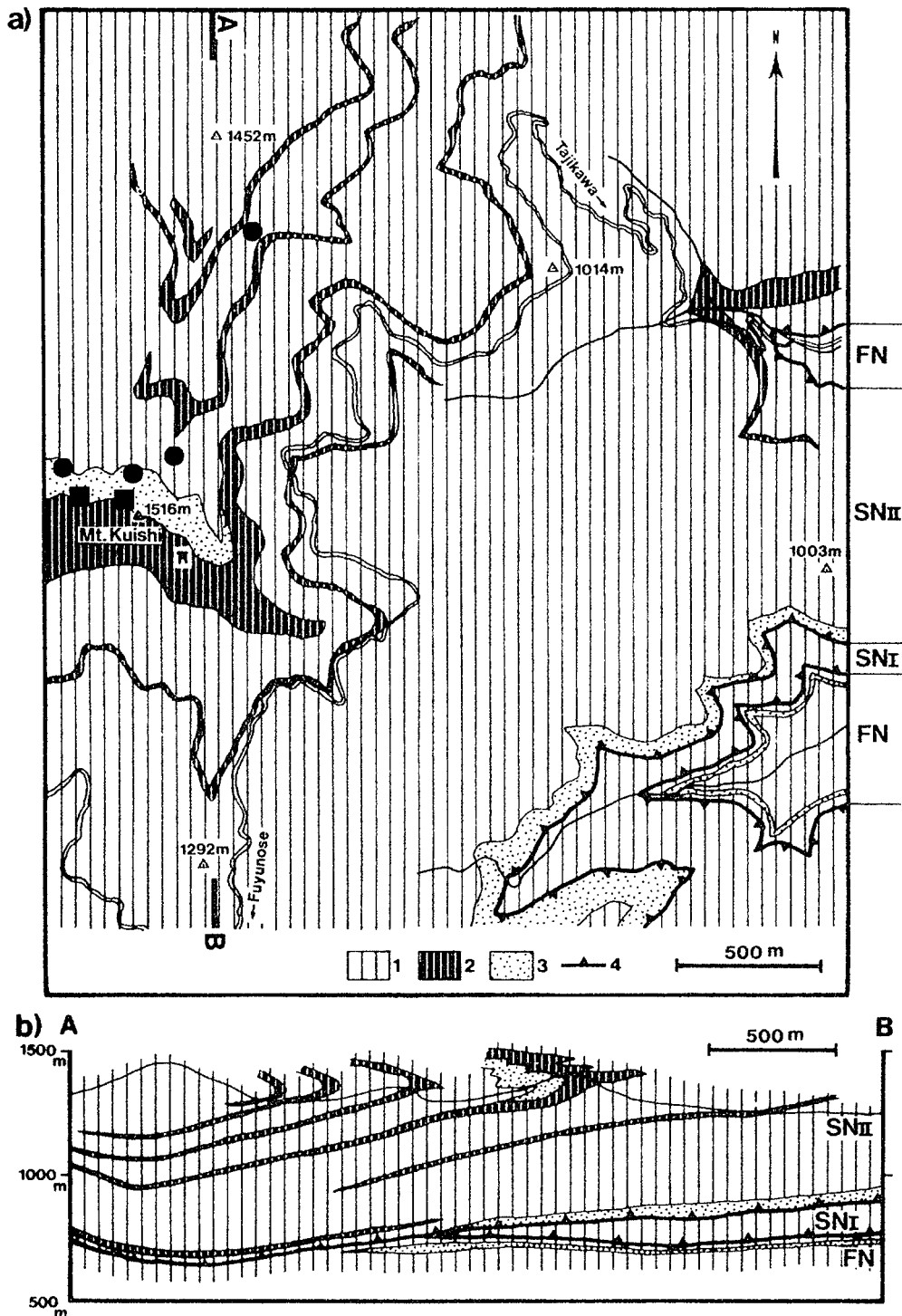


Fig. 1 Geological map (a) and profile (b: A -B line) the Sambagawa Belt in the Mt. Kuishi district. 1: pelitic schist with psammitic schist, 2: siliceous schist with basic schist, 3: basic schist, 4: nappe boundary, SNII: Saruta nappe II, SNI: Saruta nappe I, FN: Fuyunose nappe, solid circles: localities where amphiboles such as magnesio-hornblende, magnesio-katopholite, edenite, edenitic hornblende, magnesio-hastingsitic hornblende and ferroan pargasitic hornblende have been found in basic schists. Solid squares: localities where biotite has been found in pelitic schists. (after Shiota & Hara, 1996).

褶曲を示唆している(原ほか, 1977; 猿田横臥褶曲)にも拘らず、ピーク変成時の最高温度部を核とする一つの横臥褶曲—記述の便宜上から、ここでは、岩石構造から想定されてきた猿田横臥褶曲と識別するため、猿田温度横臥褶曲と呼ぶことにする—が発達するとして東野(1975)の見方が生まれ、今日まで支持されてきたことには、多様な意味で一原(1990)が考察したような意味を含めてのことだが—日本の地質学のレベルを考えさせるところがある。

このような奇妙な状況を打開するためには、研究者間の相互理解と上位のザクロ石帯の地質構造の再検討が重要であることは明らかである。そこで、塩田・原(1996,1998)は今日まで、上位のザクロ石帯において、地質構造・岩石構造ばかりでなく、ピーク変成時相の変成鉱物の検討を行なってきた。

東野(1975,1990)によれば、工石山山頂は上位のザクロ石帯である。塩田・原(1996)は、工石山山頂に分布する塩基性片岩にはホルンブレンド、塩基性片岩と珪質片岩に挟まれた泥質片岩に黒雲母が含まれることを明らかにした(Fig. 1)。藤原地域とその少し北側で銅山川の支流中尾川に沿った領域は、東野(1975,1990)によって、上位のザクロ石帯であるとされてきた。塩田・原(1996,1998)は、これらの領域の塩基性片岩のすべてからホルンブレンドを発見した(Fig. 2)。これによって、東野(1975,1990)によって、上位のザクロ石帯であるとされてきた領域内の地質図に記載された塩基性片岩層のすべてが、ホルンブレンドを含むことが明らかにされてきたことになる。これらの事実は、Banno & Sakai(1989)、東野(1990)の鉱物分帯基準からすれば、上位のザクロ石帯は、ザクロ石帯ではなく黒雲母帯であることを示すものと考えられる。

この上位の「ザクロ石帯」は、後退変成時の変形作用が強く、泥質片岩中のザクロ石の破碎と変質が顕著であり、この領域における東野(1975)によるザクロ石—緑泥石間のMg—Fe分配の解析結果は、ザクロ石が安定な条件の情報である保証は全く無いと考えられるほどである。塩田・原(1996)は、工石山山頂に分布するコンピテントな塩基性片岩と珪質片岩に挟まれた泥質片岩にのみ黒雲母が残存し、コンピテントな塩基性片岩にホルンブレンドが残存することになったと説明している。佐々連尾では「ザクロ石帯」のほぼ中央に位置する珪質片岩から黒雲母が発見された。東野(1975)以来のピーク変成時の温度構造を基礎とする地質構造は、その基礎を失ったことは明らかである。

上位の「ザクロ石帯」は、かつて小島ほか(1956)によって大生院層とされた層準の上部に位置し、泥質片岩主体の岩相である。その中のいくつかの地域に、地質図に記載出来る層厚の塩基性片岩と珪質片岩が分布する。塩田・原(1996,1998)は、工石山地域と玉取山地域において、このような塩基性片岩と珪質片岩を追跡することによって、上位の「ザクロ石帯」の地質構

造を明らかにすることを試みてきた。それによって、上位の「ザクロ石帯」を核とする横臥褶曲、即ち原ほか(1977)の猿田横臥褶曲、が想定可能であることが明らかにされてきた。ちなみに、塩田・原(1996)が示した工石山山頂の横臥褶曲を形成する塩基性片岩・珪質片岩層は、東野(1975,1990)の鉱物分帯からすれば、上半部が上位のザクロ石帯、下半部が黒雲母帯であることになる(Fig. 1)。塩田・原(1996)は上半部の塩基性片岩、珪質片岩層、泥質片岩からホルンブレンド、黒雲母を発見したということである。

秀(1972)の長浜横臥褶曲、東野(1975)、Banno et al.(1978)以来の黒雲母帯を核とする猿田温度横臥褶曲などの長浜時相の大横臥褶曲群は、今日では、このようにして、その存在が否定されている。このことは、Banno & Sakai(1989)のD₂(F₂)が、現在では根拠を失っていることを示すものである。先に記したように、Wallis(1990)は、Banno & Sakai(1989)がD₁、D₂として識別した小褶曲群そのものを解析して、それらを一括してD_s時相の産物であるとしている。

Wallis(1990)のBanno & Sakai(1989)の変形史区分に対する上記の指摘は、四国中央部三波川帯の構造解析が、既に全く新しい段階に入っていたことを示すものであるが、このような新たな研究の段階は、筆者らにとっては、原ほか(1977)が、これまでは層面片理をform surfaceとする構造を解析してきたが、これから後は層面片理の持つ構造の内容を解析することになると書いた時に始まる。筆者らの最初の成果からすれば、層面片理を構成する角閃石と斜長石斑状変晶のSi—Se関係と化学組成の比較から、斜長石斑状変晶の形成時期を解析したTakagi & Hara(1979)の論文からのことになる。この研究の端緒となる記述は既に原ほか(1977,p.337-340)にある。

(2) 変成鉱物のSi—Se関係による変形史区分—一原と共同研究者による1983年~1985年の変形史区分次に、Faure(1983,1985)の変形史区分と同時期に行なわれた原と共同研究者によるそれを比較することによって、変形史区分の展開、研究の流れを読み取ることにしてみよう。この時期における原と共同研究者による層面片理を構成する変成鉱物のSi—Se関係とSi—Se関係とSe—Se関係の化学組成の比較研究(Maeda & Hara,1983; Hara et al.,1983; Tokuda & Hara,1983; 前田・原,1984; 原ほか,1984)は、黒雲母帯において行なわれたが、そのなかでの変形史区分に関わる重要な成果は次のように要約されよう(Table-2)。

Hara et al.(1983)は層面片理を構成する角閃石と斜長石斑状変晶のSi—Se関係と化学組成の比較から、斜長石斑状変晶は核、マントル内縁、マントル外縁に区分されること、核は累進変成期に既往の斜長石を消費しつつしながら結晶した。マントル内縁はピーク変成時に結晶したこと、マントル外縁は後退変成過程に、Se—Se片理(=現在観察される層面片理)の基本特性が形成される中で結晶

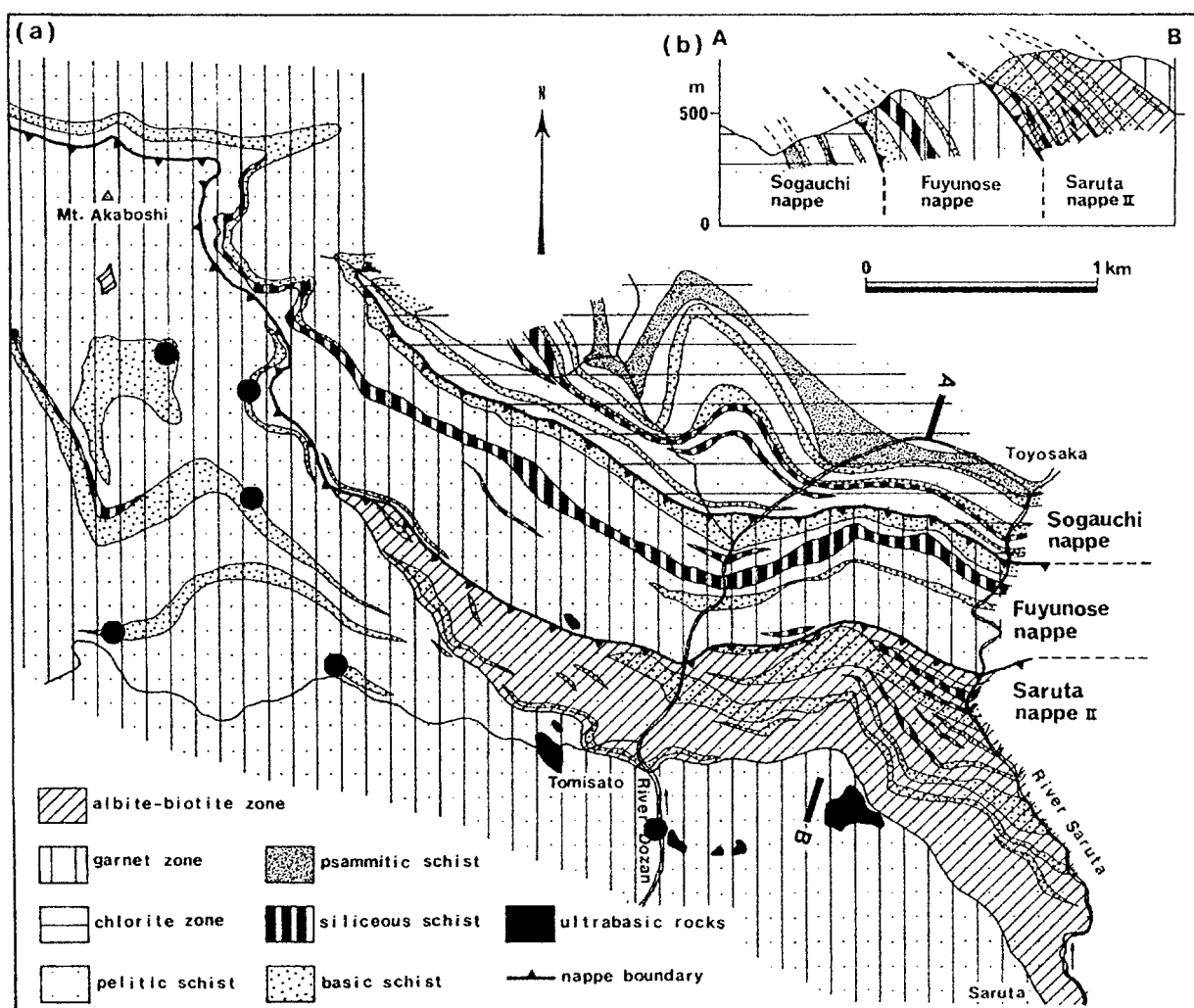


Fig. 2 Geological map (a) and profile (b) of the Tomisato district. Solid circles: localities where amphiboles such as magnesio-hornblende, edenitic hornblende, magnesio-hastingsitic hornblende, tschermakitic hornblende and pargasitic hornblende are found in basic schists. (after Shiota & Hara, 1996, 1998, this study).

したことを明らかにした。

前田・原 (1984), 原ほか (1984) は, 斜長石斑状変晶とザクロ石の Si-Se 関係を検討して, 斜長石斑状変晶核はザクロ石のマントル内縁と同時期に変形のない静的な条件下で結晶したこと, 斜長石斑状変晶マントル内縁はザクロ石のマントル外縁と同時期 (ピーク変成時) に結晶したこと, Maeda & Hara (1983) もまた斜長石斑状変晶核が変形のない静的な条件下で結晶したことを明らかにした。そして, Maeda & Hara (1983), 前田・原 (1984) は, 斜長石斑状変晶核, ザクロ石マントル内縁の Si 片理もまた層面片理であったことを明らかにした (Table 4)。

Faure (1983, 1985) は, 層面片理はピーク変成時の産物であると見做していた。しかし, 上記のような研究—変形史と変成史の総合—を通して, 1983~1985 年当時, 原と共同研究者は, 四国中央部三

波川帯黒雲母帯の変形史区分を Table-2 のように纏めており, 現在観察される層面片理の基本特性は後退変成期の産物であることを明らかにしてきたことによって, 同時期の両者の変形史区分は大きく異なるものとなった (Table 1, Table 2, Table 3, Table 4 の比較)。

(3) 広域的地質構造調査の進展を背景とした変形史区分—原と共同研究者の変形史区分

これより後の四国中央部三波川帯の変形史区分は, 変形構造の形成史と変成鉱物の成長史をからませるようにして読み解かれた層面片理のもつ構造の内容と広域的な地質構造からの情報とを総合することによって展開するものであった。これは当然のことではあったが, しかし, 1980 年代初頭の三波川帯の研究は, それを可能にする状況にはなかった。歴史を追って理解を頂くために, まず 1960

年代当時の三波川帯の研究を、Dalradian 変成帯の研究と比較検討した原 (1995) の文章を引用しよう。「多くの研究者が、Dalradian 変成帯の地質構造とその形成史、つまり変形史、を明らかにし、更に地質構造発達の流れの中に変成作用の歴史を読み込んでいくという作業を行ってきた。1960 年代中頃にはすでに、今日の研究者のための骨格がほぼできあがっていたことは、1979 年、Harris ほかの編集によって Geological Society of London が出版した "The Caledonides of the British Isles, Reviewed" との比較によって読み取ることができる。Dalradian 変成帯で構造地質学が手法とされたものは、小島が三波川帯の構造地質学の研究で手法としようとしたものであった。しかし、1960 年代当時、Dalradian 変成帯と三波川帯では、構造地質学が同じ文脈にそって展開していたとしても、研究の歴史と到達点においてほぼ半世紀の差があったように見える。確かに都城秋穂は、1961 年、日本の変成帯について Eskola(1939)のいう Hauptmineralbildung 時相の鉱物群の変成相解析の成果を背景に、対の変成帯の概念を示し、三波川帯の地体構造論的位置を明示した (Miyashiro,1961)。しかし、三波川帯は Dalradian 変成帯がすでに手に入れていたような変成帯全体を統一的、総合的に眺めうる、そして、すべての情報を構造上の位置の言葉によって或いは構造発達史上の位置の言葉によって記述出来る地質構造図と構造発達の内容としてとらえられた時間の尺度をまだもたなかった。小島を中心としたグループによって漸く研究が軌道にのったところであったのである」。1980 年代初頭以降においても事情はかわらず (原ほか, 1994 参照), 上記のように Faure (1983,1985)も地質構造図の作成に参加することはなく、小構造の解析は行なったが、地質構造は既往文献資料の解釈に終始した。

原と共同研究者による 1985 年頃以降の研究から、変形史区分が、変形構造の形成史と変成鉱物の成長史をからませるようにして層面片理のもつ構造の内容を読み解き、それを広域的な地質構造からの情報と総合することが可能となるところにまで展開してきた流れを見て頂こう。

原ほか (1977), 武田ほか (1977) による三波川帯とその周辺地帯の地質構造の総括により、三波川帯とその周辺地帯の地質構造がナップを含むものである可能性が見えてきたことから、いまだに地質構造が十分な精度をもって作成されていないことが、原と共同研究者に強く意識され、詳細な地質図作成作業が開始された。他方では、プレートの沈み込みによる付加体・高圧変成岩類の形成という見方の確立 (e.g.Miyashiro,1973 参照) と、微化石に基づく年代確定の進歩に大きく支援されて、三波川帯の周辺地帯において地質図作成による付加単元の区分が進められてきていた。日本において岩相の追跡による地質図の作成と微化石に基づく時代確定とが総合され付加単元が初めて厳密な形で解明されたのは、丹波帯における石賀 (1983) の研究においてである。これ以後、三波川帯とその周辺地帯においても、地質図の作成によって明らかにされたナ

ップ群が、微化石に基づく時代の確定により、次々と付加単元として捉えられるようになってきていた (e.g.Hada & Kurimoto,1990 ; 原, 1993 参照)。

このような研究の成果は、三波川帯、御荷鉾岩類、秩父帯付加体群、四万十帯付加体群の構造的関係の理解を大きく変えた: 四国三波川帯では、Fig. 3 のようにナップ群が識別されてきたが、最下位の大步危ナップは四万十帯最上位の白亜紀付加体の連続体であること、その直上の坂本ナップは秩父帯のジュラ紀付加体 (仁淀ナップ) の連続体であること、三波川帯の高圧変成岩類のナップは北側では大步危ナップ南側では坂本ナップを被覆して発達することを明らかにしてきた (Hara et al.,1990a,1992)。これらの研究成果については後頁における他の課題の検討と関連して更に論ずることになる。

三波川帯の高圧変成岩類については、原ほか (1977) は、黒雲母帯以上の地質体は一つのナップ (猿田ナップ) としたが、原と共同研究者は、更に鍵となる地域で地質図を作成し、その根拠を明白にした: 例えば、高木ほか (1981) と Hara et al.(1992) による富郷地域 (Fig. 2) と、Hara et al.(1990b,1992) による須領地域。原ほか (1977, 1983) は、白滝角閃片岩層は黒雲母帯を斜断するとしたが、この異常な構造的関係を、古山ほか (1985) が城師-白滝北斜面地域において、地質図の作成と鉱物分帯を行うことによって検討した。それによって、この異常な構造的関係は、東側で上位に位置する地質体の岩層 (層面片理) のトレンドが西側で下位に位置する白滝角閃片岩層 (層面片理) によって切断される関係であること、東側で上位に位置する灰曹長石黒雲母帯が西側で下位に位置する曹長石黒雲母帯によって切断される関係であることが明らかにされ、猿田ナップが上位の猿田ナップ II と下位の猿田ナップ I に 2 分されると説明した。

東野 (1975) は、坂野と共同研究者 (Banno et al., 1978 ; Toriumi,1982 ; Banno & Sakai,1989) とともに、四国三波川帯を構成する地質体 (最下位の大步危ナップから最上位の猿田ナップ II までの地質体) は、ピーク変成時から一つの連続体であったとする考えであったが、その後更に詳細に鉱物分帯の調査を進める中で、この連続体説に疑問をもつようになり、東野 (1990) は次のように述べている。「Banno et al.(1978)は彼らが明らかにした四国中央部三波川帯の温度構造を説明するため、黒雲母帯中に軸面を有する横臥褶曲を想定した。その当時明らかになった温度構造を説明するには合理的な説明の一つではあったが、……原ほか (1977, 1983) や高木ほか (1981) ・古山ほか (1985) ・Faure(1985)などの構造地質学的研究は、四国中央部三波川帯の地質構造はナップが基本であることを示すと共に、それまで明らかになった温度構造をナップ構造で説明した。ナップ構造は変成度の極大がいくつかの層準に存在することや鉱物の消滅をよく説明する。……今回明らかにした鉱物帯の分布も三波川帯の変成史をナップ構造をもとに組み立てる必要があることを示すものである」。

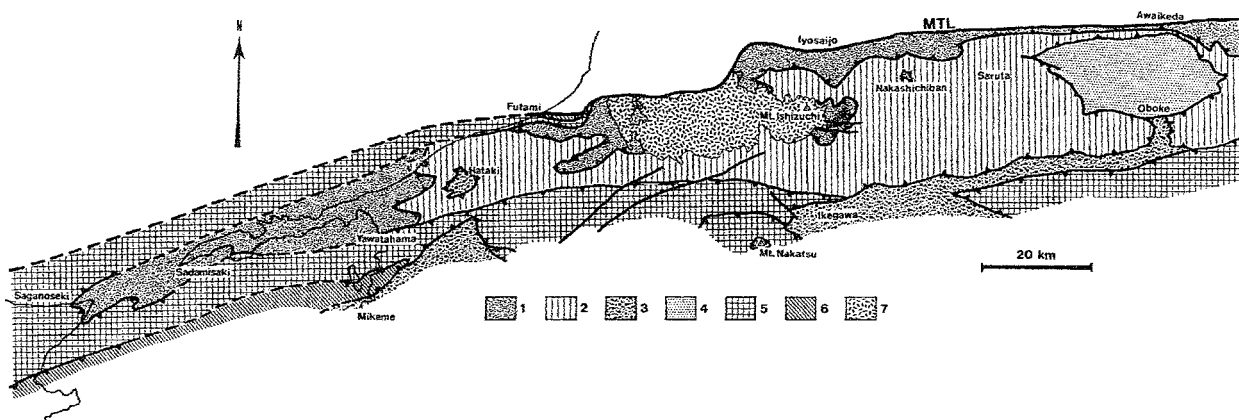


Fig. 3 Diagram showing the division of geological unit of the Sambagawa belt of eastern Kyushu - central Shikoku. 1 and 2: nappes of the Sambagawa megaunit (1: upper member, 2 lower member containing the Saruta nappe II, Saruta nappe I, Fuyunose nappe and Sagauchi nappe), 3: Chichibu megaunit I containing Sakamoto nappe-Niyodo nappe, 4: Oboko nappe (Shimanto megaunit), 5: nappes of the Kurosegawa-Koryoke continent, 7: Ishizuchiyama Tertiary System, MTL: Median Tectonic Line. (after Hara & Shiota, 1996).

このようにして、広域的な地質構造調査によって、ナップ群の存在が明らかにされてきたことは、必然的にナップ群の形成と接合を变形史の中に位置付けることを課題としてもつことであった。それには各ナップについてのピーク変成時の変成条件の確定、接合時の変成条件の確定、接合以降の変成条件の変化の確定が必要であった。そのことはまた、必然的に鉱物分帯（黒雲母帯、下位のザクロ石帯、緑泥石帯）間の境界におけるピーク変成時の変成条件の確定を求めることにもなった。このような変成帯研究は、岩石学者と構造地質学者の共同研究を必然的に要請するものであった。このため、筆者ら（原と共同研究者）にとっては、坂野と共同研究者がもたらす岩石学的情報とその進歩は極めて重要で、その受容が常に緊急の課題としてあり続けた。このような経験から、坂野と共同研究者が1980年代の終わり頃、構造地質学者としてのWallis氏を共同研究者に加えた事情は、筆者らには良く理解出来ることであった。

そして、このような研究から、下位のザクロ石帯は一つのナップ（冬ノ瀬ナップ）であることが明らかになり、冬ノ瀬ナップと坂本ナップ（秩父帯帰属）-大歩危ナップ（四万十帯帰属）の間に位置する緑泥石帯を構成するナップは沢ケ内ナップと呼ばれることになった（原ほか, 1988; Hara et al., 1990b, 1992; 原・塩田, 1996）(Fig.3 参照)。Banno & Sakai(1989)は、黒雲母帯→ザクロ石帯→緑泥石帯と移るにつれて、ヘマタイトを含む塩基性片岩にピーク変成時に現われる角閃石は、ホルンブレンド→バロワサイト→クロス閃石→ウインチ閃石→アクチノ閃石と変化する、この変化は変成場における温度圧力条件の連続的変

化を反映したものであるとした。これに対して、原と共同研究者は、黒雲母帯/ザクロ石帯境界、ザクロ石帯/緑泥石帯境界において、塩基性片岩にピーク変成時に現われる角閃石は、Banno & Sakai(1989)が指摘するような連続した変化を示さないこと、ナップは異なる変形史と変成史をもつ地質体であることを示唆する多くの情報を記載してきた（原ほか, 1988, 1995; Hara et al., 1990a, b, 1992, 1995; 原・塩田, 1996）。3つの情報を記しておこう：(1) 斜長石は、黒雲母帯においてと同様、下位のザクロ石帯においても斑状変晶である。先に述べたように、黒雲母帯の斜長石斑状変晶核は累進変成期に成長している。これに対して下位のザクロ石帯の斜長石斑状変晶核は後退変成期に出現したものである。(2) 下位のザクロ石帯上部には黒雲母帯低圧部由来の巨大岩片が混在しザクロ石帯のピーク変成作用を受けている。(3) 上位のナップ（鉱物帯）はピーク変成作用の後、直下のナップ（鉱物帯）のピーク変成作用に連続する後退変成作用を受けている（Fig. 4）。後頁においてより具体的に触れることになろう。

上記のような成果の総合を通して、四国三波川帯における層面片理形成期の変形史区分は、Table-4のように纏められることになった（Hara et al., 1992; 原ほか, 1994; 原・塩田, 1996）。このような変形史区分には、多くの研究者が関わった放射年代測定の結果（e.g. Itaya & Takasugi, 1988; Takasu & Dallmeyer, 1990; Hara et al., 1992）がまた重要な情報であった。露頭では層面片理をもって累重し連続体であるか見え地質体が、異なる変成変形史、異なるピーク変成年代をもつナップ群で構成されているという情報は、研究者自

Table-4 Deformation history of the Sambagawa schists in central Shikoku (after Hara et al. 1992).

Deformation	Events	Ages
Sic deformation	deformation related to the formation of Si schistosity in cores of garnet of the Saruta unit	
Bic deformation	deformation related to the formation of snow-ball structures of cores of garnet of the Saruta unit	
Sim deformation	deformation related to the formation of Si schistosity in inner mantles of garnet of the Saruta unit	
Bim deformation	folding of Sim schistosity	
Nd phase	crystallization of garnet inner mantles and plagioclase porphyroblasts cores of the Saruta unit under non-deformational condition	
Som deformation	deformation related to the formation of Si schistosity in garnet outer mantles and plagioclase porphyroblast inner mantles of the Saruta unit	
Wd phase	crystallization of garnet outer mantles and plagioclase porphyroblast inner mantles under non-deformational condition	
Spm phase	peak metamorphism of the Saruta unit	
Sb1 deformation	deformation related to the coupling of the Saruta nappes and the Fuyunose unit; beginning of retrograde metamorphism of the Saruta nappes and peak metamorphism of the Fuyunose unit	94-88Ma
Sb2-1 deformation	beginning of exhumation of the Saruta and Fuyunose nappes and their coupling with the Sogauchi unit beginning of subduction of the Kula-Pacific ridge	88-85Ma
Sb2-2 deformation	exhumation of the Saruta, Fuyunose and Sogauchi nappes and their coupling with the Chichibu megaunit I	85-82Ma
Sb3 deformation	exhumation of the Saruta, Fuyunose, Sogauchi and Chichibu megaunit I nappes and their coupling with the Oboke unit (Shimanto megaunit)	82-74Ma
Ozu deformation	collapse of initial pile nappe structures of the Saruta, Fuyunose, Sogauchi, Chichibu megaunit I and Oboke nappe	
Tsuji stage	formation of the Tsuji nappe, Inouchi melange zone and Ojoin melange zone, accompanying exhumation of the Oboke nappes.	74-63Ma
Futami stage	thrusting of the Chichibu megaunit II and Kurosegawa-Koryoke continent onto the Sambagawa megaunit and Chichibu megaunit I. exhumation of medium P/T type metamorphics (Tatsuyama unit) produced in the subduction zone owing to the subduction of the Kula-Pacific ridge.	62-?Ma
Hijikawa-Oboke deformation	formation of a series of sinistral en echelon upright folds	> 50Ma

身の感覚にとっても、なかなか受け入れにくいものであるが、中部地方天竜川ぞいの三波川帯での解析例（上位の高圧変成岩ナップ／下位の中圧型に近い変成岩ナップの接合；Hara et al.,1992；後藤，1996 参照）は、このような感覚を打破するうえでの重要な役割をはたすものと想像された情報である。先にも述べたように、上位高温下位低温という温度構造の逆転現象は、四国中央部に限られず、関東山地に至るまで三波川帯全体を通

して見られる現象である。このため、逆転した温度構造を説明するモデルを構築するにおいては、このような中部地方天竜川地域における例も視野においた考察が必要不可欠である。

(4) 対立する構造論と変形史区分—原と共同研究者・Wallis と共同研究者の変形史区分

上記のように、1990 年代初頭の四国中央部三波川帯の構造論には、2つの対立した構造論

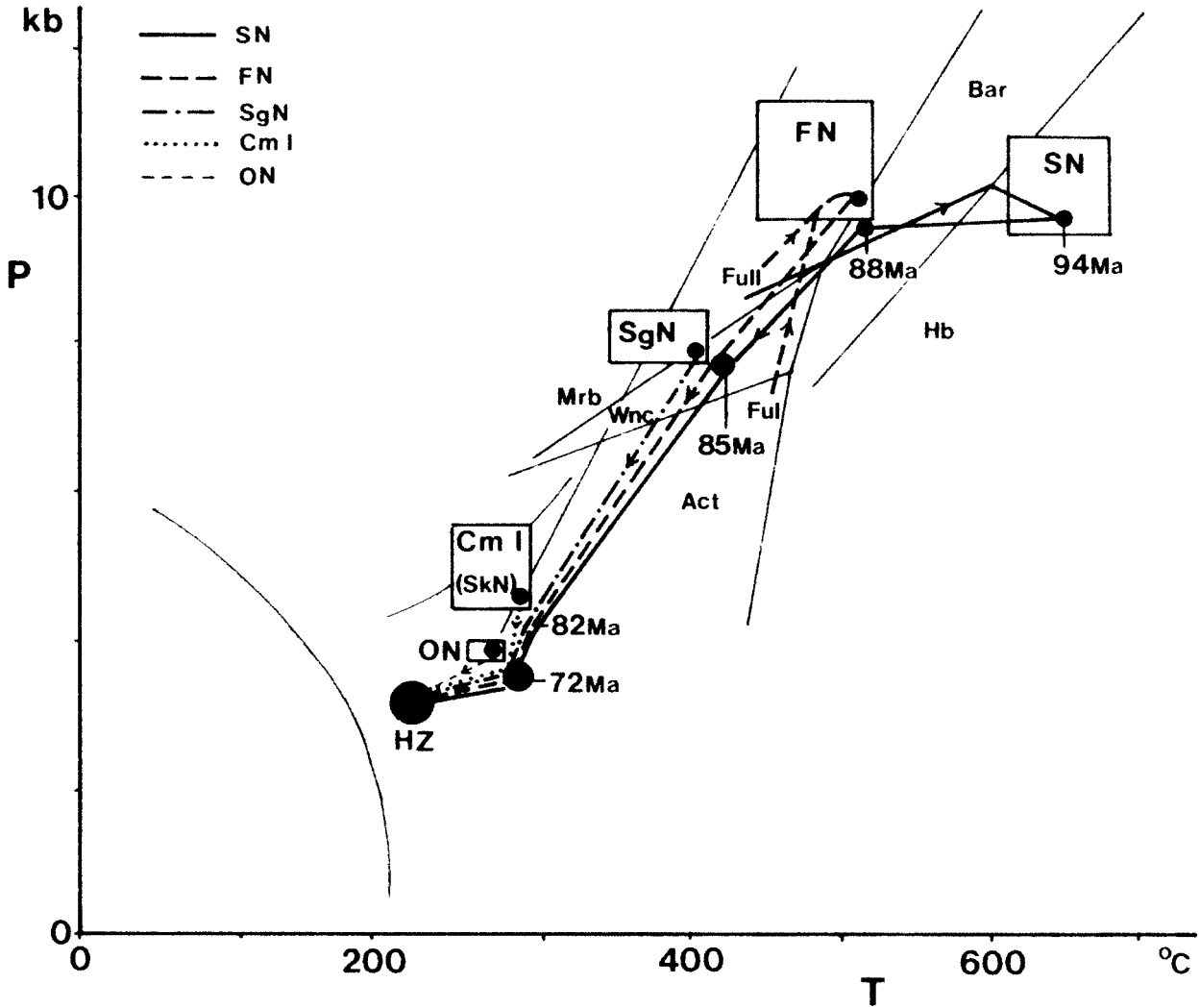


Fig. 4 P-T-t path of the Sambagawa megaunit in central Shikoku. SN: Saruta nappes, FN: Fuyunose nappe (Ful: Fuyunose subunit I for the prograde phase, Full: Fuyunose subunit II for the prograde phase), SgN: Sogauchi nappe, CmI: Chichibu megaunit I (SkN: Sakamoto nappe), ON: Oboke nappe, HZ: Hijikawa phase, Hb: hornblende, Bar: barroisite, Mrb: magnesio-riebeckite, Wnc: winchite, Act: actinolite, P: pressure, T: temperature. (after Hara et al. 1992).

(坂野と共同研究者の構造論, 原と共同研究者の構造論)があった。坂野と共同研究者の構造論 (e.g. Banno et al., 1978; Banno & Sakai, 1989) は, 修正を加えながら, Wallis et al. (1992) に受け継がれた。原と共同研究者のナップ構造論に対して, 当時, Wallis et al. (1992, p182) は, 「In contrast the authors consider the S_1 foliation to have formed as part of a continuous tectonic process that is all related to the east-west flow of the belt. The difference (原らとの違い) is largely one of philosophy. D_1 in the present nomenclature corresponds to Sb_1, Sb_2-1, Sb_2-2 and Sb_3 of Hara et al. (1990b). The most important

point, which is in agreement with Hara et al. (1990b), is that the main tectonic fabric of the Sanbagawa Belt formed during retrograde conditions」と述べ, 理由は読み取れないが, 変形史区分での「原らとの相違は大部分哲学の相違」であると曖昧であった。

Wallis et al. (1992) のこの曖昧な「哲学の相違」という説明に対して, 後で引用するように原ほか (1994) は強く反論した。その後, Wallis (1998) は, 原ほか (1994) の見方と同様に, 「Most workers in the region emphasize discontinuity, and define a series with nappes that have distinct deformational and metamorphic histories (e.g. Hara et al., 1977,

1990, 1992; Faure, 1983, 1985; Higashino, 1990). In contrast, other workers have treated the region essentially as a thermo-mechanical continuum (Banno et al., 1978; Toriumi, 1985; Otsuki, 1992; Wallis et al., 1992a; Wallis, 1995) と説明するようになる。ここには引用がないが、Banno & Sakai (1989)は、後者のグループに入る。

Wallis et al. (1992)の「大部分哲学の相違」という理解に対する、原ほか (1994)の反論は次のようなものであった。同一年代の論文であるが、「Wallis et al. (1992)と Hara et al. (1992)が層面片理に付した言葉の違いは深刻な意味をもつものである。三波川帯のほぼ水平な地質構造は、層面片理を構成する鉱物群でみた時、高压の位置にあった地質体が低圧の位置にあった地質体と、下位の地質体ほど低圧となる関係および圧力の不連続変化を示しながら、累重する構造である (Banno & Sakai, 1989; Seki et al., 1993; 原・塩田, 1996)。層面片理を構成する白雲母の放射年代は、最大値で比較する時、秩父メガユニット I を除いて下位の地質体ほど不連続的に若くなっている (Itaya & Takasugi, 1988; Takasu & Dallmeyer, 1990; Hara et al., 1992)。三波川帯はいくつかの圧力差と履歴差のある地質体の積層する構造体である。圧力差と履歴差のある地質体の積層する過程は、変形組織の中で読み取られなければならないものである。このような視点と解決への意志が Sb₁ 以下の言葉を生んだ。Hara et al. (1992), Seki et al. (1993)の Sb₁, Sb₂₋₁, Sb₂₋₂, Sb₃ とそれらにまつわる多様な言葉 (前段参照—Table—4, Fig. 4) は、現在なお充分ではないとしても、subcretion—exhumation の過程を構築するに至る具体的な道を示すものと考ええる。しかし、運動像を求める時、Wallis らにおいては層面片理をもって積層する三波川変成岩の示す上記のような多様な構造内容は消滅して一様な地質体の一様な exhumation となり、D₁ の言葉だけが現われるのである。Wallis et al. (1992b, p.184)は、だから、[It is, however, likely that a shear zone (brittle or ductile) is located at the base of the garnet zone or within the chlorite zone to account for the emplacement of the high-grade units over the low-grade chlorite zone]と説明することになる—これで私達 (原ほか, 1977; Hara et al., 1990b) がナップ境界とした位置に構造不連続が存在することが、坂野らによっても何らかの形で説明されたことになる [猿田ナップ I—II 境界: 東野 (1990), 猿田ナップ—冬ノ瀬ナップ境界: Banno & Sakai (1989), 冬ノ瀬ナップ—沢ケ内ナップ境界: Wallis et al. (1992b), 沢ケ内ナップ—大歩危ナップ境界: Takasu & Dallmeyer (1990)]。しかし、このように地質体内部の shear zone を推定した場合には、その形成時相が前後の変形時相と区別され、温度・圧力を含む具体的な言葉で記述されなければならない。

Wallis (1998)論文は、筆者らには、Wallis et al. (1992)が「大部分哲学の相違」とした理解への原ほか (1994)の強い反論に対する、丁寧な回答であるように読むことが出来た。Wallis (1998)は、「Most workers ... define a series with nappes that

have distinct deformational and metamorphic histories (e.g. Hara et al., 1977, 1990, 1992; Faure, 1983, 1985; Higashino, 1990). In contrast, other workers have treated the region essentially as a thermo-mechanical continuum (Banno et al., 1978; Toriumi, 1985; Otsuki, 1992; Wallis et al., 1992a; Wallis, 1995) というように述べ、自身の構造論の根拠 (= 原と共同研究者の構造論に反対する根拠) を説明している。しかし、その根拠は筆者らには受け入れにくいものであった。変形史区分に関わる幾つかの点について、以下に簡潔に指摘してみよう。

Wallis (1998, p.88)は、「The best evidence for the lack of major post-metamorphic thrusts in the region comes from detailed studies of indicators of metamorphic grade (e.g. Sakai et al., 1985; Fig. 5) and radiometric ages (Itaya & Takasugi, 1988; Takasu & Dallmeyer, 1990; Fig. 5). If, as suggested by most workers, the metamorphic zonal boundaries within the Besshi-Asemi region coincide with thrusts then these should correspond to sudden jumps in metamorphic grade...」と述べている。しかし、先に記したように、原ほか (1988, 1995), Hara et al. (1990, 1992), 原・塩田 (1996) の解析結果からすれば、ピーク変成時の変成度の不連続性は明白である。簡潔に述べておこう。黒雲母帯でも下位のザクロ石帯でも、変成作用は北側ほど高压で起こっており、ヘマタイトを含む塩基性片岩中にピーク変成時に結晶した角閃石は、北側の黒雲母帯ではマグネシオ・ホルンブレンド、パーガシティック・ホルンブレンドであり、北側のザクロ石帯ではクロッサイト、グロウコヘンであってバロワサイトではない。不連続性は明白である。鉱物帯境界 (= ナップ境界) における変成度の連続性は、上位の鉱物帯 (ナップ) が後退変成期に入り下位の鉱物帯 (ナップ) がピーク変成期に達した時以降に認められるようになる。ここでは、ピーク変成時にマグネシオ・ホルンブレンド、パーガシティック・ホルンブレンドが結晶していた上位の黒雲母帯に、後退変成期にクロッサイトが結晶している。Wallis (1998) が引用し根拠とした Sakai et al. (1985) の研究では、変成鉱物の成長史に関する研究が明晰ではなく、清水 (2003) が指摘したように、彼らの楕円型ザクロ石の成長に関する説明も成立しない。

放射年代値の示す意味の読み取りは、一般にかなり困難なものである。鉱物帯境界 (ナップ境界) における変成度の連続性が、上位の鉱物帯 (ナップ) が後退変成期に入り下位の鉱物帯 (ナップ) がピーク変成期に達した時以降に認められるようになる地質体のなかで、白雲母は再結晶作用を連続して受けているはずである。そのことは、白雲母の示す大きな組成変化に明瞭である (原・塩田, 1996, Fig. 70)。白雲母には、各鉱物帯 (ナップ) それぞれのピーク変成時の放射年代を刻印したとしても、後退変成期における再結晶作用を通して若返った放射年代を示すことになる白雲母が現われるはずである。このことは各鉱物帯 (ナップ) 内部における放射年代の分散に明瞭で

ある (Itaya & Takasugi, 1988 ; Wallis, 1998, Fig. 5)。後退変成期における白雲母の再結晶作用は、変形が集中するナップ境界で最も顕著であるはずである。Itaya & Takasugi (1988) の成果は、筆者らには、上記のような点を考慮して、黒雲母帯→ザクロ石帯→緑泥石帯というように下位のナップほど、放射年代は若くなるトレンドを明瞭に示しているように読める。Wallis (1998) のように、鉱物帯群を通して「similar radiometric ages」とは決して読み取れないと言うことである。

Wallis (1998) は、「The main arguments used to support the proposed importance of thrusts in the high grade part of the Sanbagawa belt are :(i) the lateral cutting-out and local obliquity of some lithological layers with respect to others (Hara et al., 1990)」と述べ、「Lateral cutting-out of lithological layering may be related to the presence of thrusts but it indicates nothing about the timing of such deformation」、それは「accretion-related structures」であると反論している。しかし、例えば、富郷地域における高木ほか (1981)、Hara et al. (1992)、原ほか (1995) と原・塩田 (1996) の記載 (黒雲母帯/下位のザクロ石帯境界、下位のザクロ石帯/緑泥石帯境界) においても、中七番一國領川地域における原ほか (1995) と原・塩田 (1996) の記載 (下位のザクロ石帯/緑泥石帯境界) においても、岩相の斜交は層面片理の切断・変形、ピーク変成時の温度構造不連続として現われている。

例えば、Wallis (1998) は、極めて顕著な層面片理が形成され、更にそれを曲げて別子鉱床の巨大な同斜状褶曲 (Kojima & Hide, 1958) が形成される大変成条件下で、その直下のザクロ石帯/緑泥石帯境界に見られる層面片理の斜交を「accretion-related structures」の反映として、更にこの境界での角閃石の化学組成の不連続変化と炭質物のグラファイト化度の不連続変化 (原ほか, 1995 ; 原・塩田, 1996) を、「thermo-mechanical continuum」の言葉で説明可能だと考えていることになる。このように、いずれの境界も「accretion-related structures」では説明不可能な不連続であるが、これらの事実について Wallis (1998) の具体的な言及はない。自ら地質図を作成し、帯境界における地質構造—岩石構造を実感し、視る過程をもってサンプリングと顕微鏡組織の観察に反映させる行為のない構造地質学の方法は、筆者らには、理解しえないものである (原, 1996 参照)。

Wallis と共同研究者は、Wallis (1998) の論文にも明らかなように、それ以前の研究においても同様であるが、黒雲母帯、ザクロ石帯、緑泥石帯を連続体と見做して研究を開始したためであろうか、各帯の変成鉱物成長史を相互に比較し成長の時刻合わせをするという作業を行っていない。この経験の欠如からであろうか、Wallis (1998) の論文には、原と共同研究者が明らかにしてきた、鉱物帯境界 (= ナップ境界) における変成度の連続性は、上位の鉱物帯 (ナップ) が後退変成期に入り下位の鉱物帯 (ナップ) がピーク変成期に達した時以降に認められるようになるという現象に

関わる組織群、斑状変晶群の Si-Se 関係などを読み取っていない。

ここで記しておくべき更に重要なことは、論文における記載はどうあるべきかという点である。観察されたことを出来るかぎり克明に記載するのか、モデル設定 (執筆者の描く物語) に関わる部分だけを選択して記載するのか。筆者は前者のような記載であるべきだと考えている。執筆者以外の研究者が論文を読み、執筆者の物語をなぞることを可能にするだけの記載ではまずかろう—しかし、かなり以前から日本の地域構造地質学の論文には、このようなものが多くなっており、それには、一つには膨大な記載を可能にする大学紀要の評価を低くしたことが関わり、いま一つには研究者の姿勢が関わり、記載満載の学位論文が安易な物語論文への転換と並行して観察記載の能力の低下をもたらしたことがある。これでは同一地域を同じような目的で研究している研究者以外には、物語の正否の判断は困難である。執筆者以外の研究者が、地質図、掲載された写真、分析値などの多様な資料を眺め読み、独自の考察が可能となるように、出来るかぎり多くの情報の提供を心がけることが必要であろう。原と共同研究者による斑状変晶の組織の記載が詳細になるのは、他方では、誰一人現場を見たことのない未知の世界としての沈み込み帯チャネルでの出来事である限り、地質体の動きに関わる組織は可能な限り捉え記載すべきであり、まずは何が起きているのかをじっくり見るべきであり、どの組織が重要な動きの反映であると言うような判断はまだ先のことになる、しかし、その中から一応現在の判断を示してみようとするからである。

斜長石斑状変晶核とザクロ石マントル内縁が変形のない静的な条件下で結晶したことを示す組織を観察した時は驚きであった (Maeda & Hara, 1983 ; 前田・原, 1984)。沈み込み帯チャネルの中のかかなり広域にわたって存在する地質体が、変形のない静的な条件下にあった期間 (斜長石斑状変晶とザクロ石マントル内縁が成長する期間) は、時間にしてどのくらいになるのだろうか。このような時期のプレートの運動はどのようなものであったろうか。ザクロ石が成長の過程に圧力溶解を受けるような変形環境があった (原・塩田, 1996, Fig. 3)。ザクロ石マントル内縁成長期とは異なり、外縁成長期は多くの変形エピソードを刻印するのであるが (原ほか, 1988 ; Hara et al., 1992 ; 原・塩田, 1996)、このような期間のプレートの運動はどのようなものであったろうか。累進変成期にも後退変成期にも、岩石の変形は、変成鉱物の形態格子配列の形成 (= 層面片理の出現) とその破壊 (rootless intrafolial folds の形成と片理平行~亜平行石英脈群の形成) を繰り返すように起こっている (Maeda & Hara, 1983 ; 原ほか, 1988 ; Hara et al., 1992 ; 原・塩田, 1996)。などなど、斑状変晶の組織の読み取りとの関連で得られる情報は、沈み込み帯チャネルの中での地質体の未知の動きに想像をかきたてる (原・塩田, 1996, p. 59-73, Fig. 88)。もっときめ細かな観察記載が必要であろう。

しかし、「the fabric relationships revealed by studies of porphyroblasts, can be explained by a much simpler deformational scheme」と Wallis(1998,p.89)は書いている。原と共同研究者による斑状変晶の組織の記載を読む時の Wallis (1998, p. 89)の困惑は、彼の「thermo-mechanical continuum」という見方「scheme」があつて、筆者らの体系に入つて考えることの困難さを露呈しているようでもあるが、未知の世界であるが故に観察されるものは何でも書いてしまうべきだとする筆者らの記載の仕方由来する部分もあるように思える。確かに「哲学の相違」が関わっているのであろう。原と共同研究者による斑状変晶の組織の記載のもつ意味は、歪み像解析の項でも示されることになる。

以上の分析から明白になったことは、1990年代以降広域的な地質構造の理解の仕方が、坂野と共同研究者と、原と共同研究者の間で、以前よりも更に大きく異なるものになったことである。その理由が読み取れたことであろう。

議論は、清水論文から遠く離れたものになってしまったかのごとくに見えるのであるが、理由は、Faure(1983)の研究以来三波川変成帯の構造解析の焦点は、「sense of shear」の解析としての「ductile deformation synchronous with high pressure-temperature (P-T) metamorphism」であつたという、清水論文の分析ほどには単純なものではなかったことにある。運動像解析としての「sense of shear」の解析は、各変形時相について地質構造の領域を区分(均質領域の設定)するように行なわれるべき作業である(原・塩田, 1996)。このことは、後頁における分析でより具体的に示されよう。

B 歪み像解析と岩石構造

三波川帯一秩父帯では殆どの場所で、層面片理は、何回もの重複変形作用を受けていても、厳然として存在する岩石構造である(原ほか, 1988; Hara et al., 1992; 原・塩田, 1996)。鳥海ほかの論文で、 $k = \infty$ 放散虫試料採集地域でもそれほどシャープではないが層面片理が観察される。薄片に見られる組織は、変形の長い歴史を通して層面片理は厳然と存在し続けていたことを示している。歪みのXY面は、層面片理として固定されていたことを示している。このことから明らかなことは、岩石構造スケールでは、pillow lava・放散虫・礫などをマーカーとした歪み像解析が不要なほどに、三波川帯一秩父帯の岩石の「overall deformation」による歪み像(平均歪み)が、flattening typeであるということである。既に、原ほか(1995)の下記のような指摘がある。

「Toriumi (1982) は、放散虫化石と見られるものの変形形態の解析を行い、三波川帯の変形特性として帯にそう1軸伸長を指摘した。しかし、三波川変成岩類の変形の基本特性は層面片理の形成である。片理(へき開)がかすかに肉眼で認められるようになった時点で岩石は約30%の圧縮ひずみを受けていると推定されている(Cloos, 1947)。三波川変成岩類の層面片理は極め

て顕著であり、岩層境界に垂直な方向における圧縮歪み量が極めて大きいものであることは明らかである・・・」。したがって、このような層面片理の浸透的な発達と放散虫化石の示す歪み像 $k = \infty$ との間にある矛盾に言及する、具体的な観察を基礎としてこの矛盾に言及することなしには、鳥海ほかの論文の成果(放散虫化石を歪み像分析のツールとした解析結果)を取り上げた議論一例えば、大槻(1992)、Iwamori(2003)によつて「mechanical models of viscous flow in the subduction wedge」の構築においてなされた議論一は成立しないのである。

清水論文には、大槻(1992)、Iwamori(2003)においても同様であるが、層面片理の浸透的な発達という山で何時も見ていたものが消え、数値(k 値)だけが頭に残る(信頼の対象となる)奇妙さが見える。鳥海ほかの議論でも同じ現象が起こっている。この奇妙さを考察することもまた、日本の地域構造地質学の極めて重要な課題である。地域構造地質学は現場を離れては成立しない。この問題は、膨大な記載の学界からの消滅、10数頁たらずの国際誌掲載論文を物語的に記述するような状況の出現とは無関係ではないと考えている。地質学という学問を健全に保つことの難しさを考えるべきであろう。関連問題は後頁において再度議論されよう。

清水論文では、放散虫化石の「uniaxial elongation parallel to the east-west-trending lineation」は、Faure, 1983, 1985, Banno & Sakai(1989), Wallis(1990)の「superposition of the east-west-trending shear deformation and folding during north-south compression・・・From this picture, constrictional strain ($k > 1$) is expected for the final state」ことから説明されるとされている。しかし、この文章には、緒言とは異なり、「Although the timing of deformation and sense of shear are controversial (e.g. Wallis, 1990, 1998; Hara et al., 1992)」という但し書きが付けられている。しかし、清水論文には、この但し書きのもつ意味の説明はない。何故であろうか。清水論文は、選択に関わる議論をすべて省略して、一般の論文が踏むべき手順を放棄して、自分たちの信念の宣言から、議論を始めている感がある。少し具体的に検討してみよう。

放散虫化石は堆積時から岩石に含まれていたものであることからすれば、三波川変成岩中の放散虫化石の「uniaxial elongation parallel to the east-west-trending lineation」は、三波川変成岩が堆積時から肱川時相までの間に受けた変形作用の全過程(overall deformation)の結果としての歪み像(平均歪み)であるはずである。しかし、清水論文が取り扱う「first deformation」は、Faure, 1983, 1985, Banno & Sakai(1989), Wallis(1990)の「east-west-trending shear deformation」である。この運動像は三波川変成岩の沈み込み過程を含むものではない。Faure, 1983, 1985, Wallis(1990)が、「east-west-trending shear deformation」の根拠とした組織を見れば、容易に読み取れることである。

Wallis(1990)の「east-west-trending shear」は、Wallis et al.(1992,p.183)の「in these studies (see also Hara et al. (1988, 1990b; Wallis, 1990)) the dominant sense of shear in central Shikoku was found to be top to the west」という記述に対応するものでしかない。彼らが根拠としている組織は、現在の層面片理の基本特性の形成に関わる変形作用の産物である。沈み込み過程、累進変成過程は含まれていない。

仮に清水論文の first deformation が、沈み込み過程を含めたものと仮定して、その全過程を「east-west-trending shear deformation」と見做す根拠はあるのだろうか。累進変成時相の変形作用の研究については、原ほか(1994,1995)による纏めがある。ここではまず原ほか(1995)の要約から見て頂くことにしよう。

「猿田ナップで見られる最も古い面構造はザクロ石核の Si 片理である。この片理 (Si 片理) の岩層境界に対する配置は必ずしも明らかではない。これに対して、Bim 褶曲を形づくる面構造はどこでも層面片理として観察される。したがって層面片理は Sim 時相には既に発達していたとすることが出来る。Sim 片理を構成する鉱物群が、変形ファブリックとして格子定向配列を示すものであることは、斜長石斑状変晶中の Si 鉱物群のファブリック解析から明らかにされてきた (Takagi & Hara,1979;原ほか, 1980 ; Tokuda & Hara,1983; Hara et al.,1989,1992; Sakakibara et al.,1992)。Bim 褶曲を形づくる層面片理にそって石英脈がしばしば観察される (Maeda & Hara,1983; 前田・原, 1984)。Sim 時相の変形作用は、鉱物群の格子・形態定向配列をもたらす変形作用 (層面片理の形成) と層面片理にそう破断 (石英脈の形成) という様式で進行したとすることが出来る。Sim 時相の変形作用は、Bim 褶曲作用によって伴われている。Bim 褶曲は同斜状であり、その軸面は層面片理に平行である。斜長石斑状変晶中の Si 組織から、Bim 褶曲は一般に rootless intrafolial folds であると言いが出来る (前田・原, 1984 ; Hara et al.,1992)。即ち、Bim 褶曲作用は、それを rootless にして、それを取り巻く新しい層面片理の形成へと進行している」。

層面片理の形成に関わるさまざまな時相の変形作用の平均歪みが、 $0 < k < 1$ であることが、原と共同研究者によって、さまざまな手法で明らかにされてきた。大歩危ナップの層面片理 (Sb3 時相) : 大歩危礫岩片岩の礫 (原ほか, 1973) と碎屑石英粒子の pressure shadow (Hara et al.,1966)。Sb2-2 時相 = pressure shadow (Hara et al.,1992)。Sb2-1 時相 = 斜長石斑状変晶中の石英の格子配列 (Hara et al.,1992)。Sb1 時相 = ザクロ石中の石英の格子配列 (Hara et al.,1992) — k が 1 より僅かに大きいと見られる Sb1 時相の歪み像を、原ら (1994b) がザクロ石中の石英の格子配列から記載している。Sim 時相 = 斜長石斑状変晶中の角閃石、緑簾石、石英の格子配列 (Takagi & Hara,1979 ; Tokuda & Hara,1983 ; Hara et al.,1989,1992)。

ここで更に重要なことは、Hara et al.(1992)、原・塩田 (1996) は、歪みの主軸 X ・ 鉱物線構

造 (stretching lineation) の方位が、変形時相によって異なることを明らかにしていることである。猿田ナップにおいては、Sb1 時相の鉱物線構造が多くの場所で「east-west-trending」である (Hara et al.,1992, Fig.64) のに対して、Sim-Bim 時相の鉱物線構造は多くの場所で「north-south trending」である (Hara et al.,1992, Fig.48)。Sim 時相 (斜長石斑状変晶核中) の鉱物線構造と Som 時相 (斜長石斑状変晶マントル内縁中) の鉱物線構造が直交する例も記載されている (Hara et al.,1992, Fig.35)。同様の例は、解釈は異なるのであるが、竹下ほか (2003) によっても記載されてきた。

これらの事実は、清水論文の first deformation が、Faure,1983,1985), Banno & Sakai(1989), Wallis(1990) の「east-west-trending shear deformation」という言葉、「simple shear」という仮定だけでは説明出来ないものであることを明らかにしている。清水論文が但し書きを付けながら、なんら議論検討がないことは理解しにくく不思議なことで、信念の吐露としか言いようがないという筆者らの分析が理解されよう。堆積時から岩石に含まれていたマーカーによる「overall deformation」の平均歪みの解析であるかぎり、原と共同研究者による記載事実からも明らかのように、「east-west-trending shear deformation」, 「simple shear」を出発点とした議論に妥当性はないのである。

念のために記せば、清水論文の「...sense of shear are controversial (e.g. Wallis,1990, 1998;Hara et al.,1992)」は、Wallis (1990, 1998) とは異なり、Hara et al. (1992) が「east-west-trending shear deformation」には西向きセンスと東向きセンスがあると述べていることを指した指摘なのであろう。両者の違いは、変形史区分の考慮と解析量の差の反映にすぎない (原ほか, 1995 ; 原・塩田, 1996)。ちなみに、解析個数の少なかった時期には、Wallis et al.(1992,p.183)が述べているように、「in these studies (see also Hara et al.(1988,1990b; Wallis,1990) the dominant sense of shear in central Shikoku was found to be top to the west」であった。Faure(1983,1985)がすべて「top to the east」と記した報告は、筆者らには当時から論外だという評価があったのだが、Wallis (1990, 1998) の資料にも首を傾げざるをえない。この相違を評するに、「controversial」という言葉は適切ではない。ここでも、「much simpler deformational scheme」と言うわけにはいかないのである。

以上の分析から、「subduction and exhumation of the metamorphic belt」のプロセスの理解には、まずは Hara et al.(1992)、原・塩田 (1996) が試みたような変成史を 加味した運動像史の解析こそが必須であることが理解されよう。それなくしては、「overall deformation」の平均歪みのもつ意味の理解に到達出来ない。「Finite strain analysis」だけでは、抽象にすぎて「deformation history during subduction and exhumation of the metamorphic belt」を解明するという目的は達成出来ない、具体性をもたずに 目的から遠いところを回っているだけになる。

原ほか(1977)年の論文で、これまでは層面片理を *form surface* とする構造を扱ってきたが、これから後は層面片理の問題を扱うことになる。書いた時、筆者らが考えていたことは、単純な構造に見える層面片理のもつ、あまりにも複雑な変形内容の解析、これにアプローチしないで、軽はずみなことは出来ないと言うことであった。このことは、原と共同研究者による Takagi & Hara(1979)から Hara et al.(1992)、更に原・塩田(1996, 1998)に至る研究の流れ、原ほか(1994,1995)、原(1996)による研究史分析および上記の研究史分析から読み取れよう。手順が問題なのである。Faure (1983,1985)論文は、日本の研究者に大変良い影響をもたらしたことは明らかだが(原, 1996)、Dalradian 変成帯やヨーロッパの変成帯ほどに深化した研究段階にはなかった、それより遥かに遅れた、日本の研究の現状—地質構造さえ確定していなかった—を無視して時計を早く回しすぎたというのが筆者らの評価である。率直に書けば、ヨーロッパの研究に見合った成果を早くあげて帰国しなければならぬ人間と、日本の研究者とでは、対象に対するスタンスが違うのが当然なのだが、それを考えた若い研究者はいなかった。

このため、原ほか(1994,p100)は、「変成帯の構造地質学の構築においては、それらを体系的に理解するために必要な優れた枠組み(文脈)を得なければならないことを忘れてしまうようにすら見える。単一成分的情報(化石、放射年代、石英のc軸ファブリック、黒雲母帯の分布など)のみによって分節化された場を、変成帯の構造地質学であるとする誤解があるようにも見える。……先進国という意気込みで変成帯の問題を扱っている からは、イギリスの変成帯やアルプスの研究者がはるか以前に手に入れており、彼らがすべて単一成分的情報を有機的に関連づけるための基礎としている地質構造(すべての研究の根幹となる柱)を、日本の変成帯研究者が未だに手に入れていないことへの恥ずかしさと焦燥感が、研究者の間に何故生まれてこないのか、これほど不思議な光景はなんと私達には思える」と訴えたのである。

清水論文には次のような記述がある。「The regional geology and petrology in central Shikoku along the Asemigawa River have been extensively studied (e.g. Higashino, 1990)。東野(1990)の研究は鉱物分帯であり「petrology」である。地質体を構成する岩石群、それらの地質平面図・地質断面図、それらの形成する地質構造、それらの形成年代・形成順序などが記述される、そのような研究の流れがあつてはじめて、「regional geology」が研究されてきたと言うことになる。ここでは地質構造は、岩石構造の追跡と岩相の追跡によって決定されることが求められ、小沢(1926)が描いた地質断面図や Banno et al.(1978)、Banno & Sakai(1989)の猿田温度横臥褶曲は地質構造ではないという認識が求められる(原, 1990 参照)。日本の地域構造地質学は、かなり以前から危険な位置にあるように思える。このことは、次のセク

ションでより明瞭になるであろう。

C 三波川帯、秩父帯、三波川変成作用、三波川変成帯

清水論文では、三波川帯、秩父帯、三波川変成作用の問題は、議論の対象ではないが、自分たちの資料解析の拠り所としている西南日本の地質構造論が、Faureと共同研究者のものであることが述べられている。それは、「Faure and colleagues (Faure & Cahrvet, 1983; Faure, 1984, 1985b; Guidi & Charvet, 1987) proposed that a large part of the Chichibu Belt constitutes a superficial nappe lying above the Sanbagawa schists that was transported from Inner Zone」というものである。清水論文ではついで、放射年代学的情報により、「metamorphism in the lower part of the Belt (秩父帯北帯) is considered to be synchronous with the Cretaceous Sanbagawa metamorphism, while the upper part suffered older metamorphism and is regarded to be a lateral equivalent to the Tanba-Mino Belt Inner Zone (Isozaki & Maruyama, 1991; Isozaki, 1997), or an extension of the Kuma nappe lying over the Sanbagawa schists (Dallmeyer et al., 1995)」としている。これ以上の議論はなく、信念の吐露と見るしかないものである。

清水論文が引用する磯崎・丸山(1991)は、西南日本のナップ構造論は、Faure(1985)に始まるとした。しかし、Faure(1985)以前の日本の研究者が行なったナップ研究に、どのようなものがあり、どのように展開していたかについてはふれていない。小構造は観察したが地質図を作成しなかった Faure(1985)のナップ構造論は、先にも述べたように文献解釈学的なものであった。Faure(1985)以前の日本の研究者が、交通手段もままならない時代から、膨大な時間と研究費を投入して行なってきた地質構造解析とそれを基礎にして進めてきたナップ研究がある。西南日本のナップ構造論については、原(1993)による研究史分析があるので参考にして頂きたい。ここでの対象である外帯の Faure 来日頃までの研究成果については、その多くの部分を担ってきた筆者らの若い共同研究者の名誉のために—磯崎(2004)のいう「愛」のために—一次に引用させて頂こう。

「1970年代後半から、三波川変成岩はナップを形成する(塩田, 1976; 徳田, 1976; 原ら, 1977; 徳田・原, 1980; 高木ら, 1981)、みかぶ帯は三波川帯の上のナップである(武田ら, 1977; 原ら, 1977; 徳田・原, 1979, 1980)、秩父帯はナップで構成される(横山ら, 1979; 佃・原, 1979; 富永ら, 1979, 1981; 富永・原, 1980; 大和大峰グループ, 1981)、みかぶ帯/三波川帯ナップの下位に位置する秩父帯ナップとみかぶ帯の上に重なる秩父帯ナップが区分される(佃ら, 1981)、黒瀬川帯はナップとして秩父帯の上に重なる地質体である(前島, 1978; 富永ら, 1979)ことなどが各地で明らかにされ、外帯のナップ構造論がはじまる」(原, 1993, p.205)。上記のような多くの既往の研究成果を無視した磯崎・丸山

(1991)のみの引用により、地域地質構造論を議論する清水論文には、磯崎・丸山と同様に、多くの研究者が国費を使用し明らかにしてきた情報を共有しながら、共同して地域地質構造論の展開を可能にする共通の土俵を構築しようとする姿勢が見られない。

具体的な検討に入ろう。まず清水論文の関東山地三波川帯-御荷鉾帯-秩父帯の説明を見よう。関東山地では、「The major part of the Northern Chichibu Belt, including the Manba and Kamiyoshida units, together with the 'Mikabu greenstones' at their type locality, were regarded as a superficial nappe by Guidi et al.(1984), Guidi and Charvet (1987), and Charvet et al.(1989); the superficial nappe was thought to be free from the Sanbagawa metamorphism characterized by an east-west trending stretching deformation. However, a detailed structural study reveals the presence of major discontinuity at the base of the Kamiyoshida unit, . . . (Shimizu, 1988). This means that the postmetamorphic nappe is much more narrow than Guidi and colleagues considered, and is restricted to the Kamiyoshida unit alone」と説明している。

清水論文は、このナップは、東西系の鉛直褶曲作用に参加しないことから、ナップ運動は、鉛直褶曲作用後の現象であるとしている。この鉛直褶曲作用は、原ほか(1977)の肱川時相の褶曲作用に相当する。しかし、原ほか(1977)も指摘しているように、既往調査の地質図は、秩父帯の全地層群が肱川時相の褶曲作用に参加していることを示唆している。そこで、筆者らは、上吉田ユニットに東西系の鉛直褶曲作用の痕跡があるかどうかを調査した。上吉田ユニットの泥質岩の片状構造は、下部ではかなり明瞭で層面片理に近い特徴を示すところがあるが、上部へ向かって急激に弱くなって殆ど認められなくなっている。肱川時相の褶曲作用によって形成された緩やかな鉛直褶曲と付随する軸面へき開としての微褶曲群は、片状構造が極めて微弱な上吉田ユニット上部では観察されないのだが、下部の片状構造がかなり明瞭な領域で観察される(Fig. 5)。清水論文の指摘とは違って、上吉田ユニットが肱川時相の褶曲作用に参加していることは明らかである。

清水論文は、関東山地秩父帯北帯の「superficial nappe」は、上記のように上吉田ユニットであるとしたが、四国中央部については言及していない。何故に西南日本の大構造運動であるはずの「superficial nappe」の形成を、四国中央部の秩父帯北帯を含めた西南日本全体の外帯の地質構造に言及することなく、関東山地の上吉田ユニット下底に顕著な構造不連続面があるというだけで、上吉田ユニットだけを「superficial nappe」だと結論出来るのであろうか。このような地域構造地質学の方法は考えにくい。

上吉田ユニット相当の付加体は、四国の秩父帯北帯付加体群の中にも認められている(松岡ほか, 1998)。四国では、上吉田ユニット相当の付加体を含めて秩父帯北帯付加体群のすべてが肱川時相の褶曲作用に参加している(原ほか,

1977; Hara et al., 1992, Figs. 2 & 7; 松岡ほか, 1998, Fig. 2)。最上位に位置するペルム紀付加体ナップ\黒瀬川岩類のナップもまた、肱川時相の褶曲作用に参加している(Hara et al., 1992, Figs. 2 & 7)。何故に、このような情報をも含め総合的に検討することなく、結論を急ぐのであろうか。

清水論文には、「the Sanbagawa Metamorphic Belt is used for all structural units which underwent the Cretaceous Sanbagawa metamorphism, the extent of which is still debated (Matsuoka et al., 1998; Sakakibara et al., 1998)」という記述があるのだが、関東山地の上吉田ユニットを内帯飛来と結論した時、四国中央部の上吉田ユニット相当の付加体をこのような視点から検討し、翻って関東山地の上吉田ユニットの帰属を再検討することの必要性が、何故に考えられなかったのであろうか。四国中央部池川-地蔵寺間に分布する上吉田ユニット相当の付加体(松岡ほか, 1998, Fig. 2)は、Hara et al.(1990, 1992)の仁淀-坂本ナップなのである。先に述べたように、仁淀-坂本ナップは三波川変成岩類の下位に位置する地質体である(Fig. 3)。清水論文の議論の仕方は、西南日本の大構造の形成に関わる地域構造地質学の方法としては考えにくいものである。

ここで、Wallis (1998)による四国三波川帯-御荷鉾帯-秩父帯北帯の構造論を検討しよう。清水論文では手順を踏んだ議論が放棄された上吉田ユニット相当の付加体の四国における構造論的位置づけを、研究の歴史分析とWallis (1998)の見方の検討をからませながらを議論するためである。

Wallis(1998)は、やはりここでも地質図に拠るのではなく、四国三波川帯-御荷鉾帯-秩父帯北帯の鉱物分帯の模式平面図と模式断面図を示しながら、その地質構造を次のように論じている:

「To the south, the Sanbagawa belt is underlain by the lithologically distinct Northern Chichibu belt」, 御荷鉾緑色岩類もまた三波川帯の下位に位置する地質体であり、「I define the Sanbagawa metamorphic belt to encompass all three units」。そして、四国三波川帯-御荷鉾帯-秩父帯北帯を構成する地質体は、上位の「high-pressure Besshi nappe」と下位の「low-pressure Oboke nappe」に区分され、下位の大步危ナップは大步危ユニット/御荷鉾帯ユニット/秩父帯北帯ユニットからなっていると説明している。「Sandstone unit belonging to the Oboke unit can be traced to an area between the Mikabu unit and the higher grade nappes(KFC, 1977). . . . I suggest . . . that although the Oboke and Mikabu units are very different lithologies, they are in a similar tectonic position」と述べている。そして、大步危ユニット/御荷鉾帯ユニット/秩父帯北帯ユニットという累重関係をもって北へ向って緩やかとなる地質構造を形成するとし、「the Oboke nappe . . . lay within the main body of the former accretionary complex」と

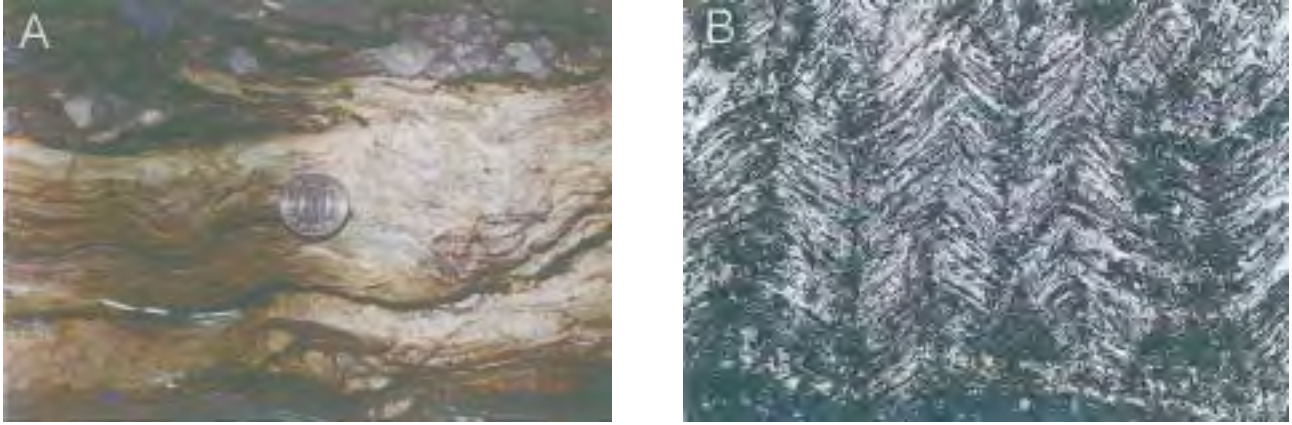


Fig. 5 A: mesoscopic folds of the Hijikawa phase in the lower part of the Kamiyoshida unit found in the west of Manba, Kanto Mountainland, B: microphotograph of axial plane cleavage (crenulation cleavage) of the Hijikawa phase folds of Fig. 5A.

述べている。ここでの Wallis(1998)の記述は、解釈学的物語であって、既往の多くの研究者が提示してきた構造地質学的な情報を分析しながら、自らも地質図を作成して構築した研究成果ではない。少し研究の歴史を追って問題を検討してみよう。

大歩危ナップは、砂質片岩・泥質片岩主体であるが塩基性片岩・珪質片岩を伴い岩相からも付加体であり、Hara et al. (1990,1992) によって、四万十帯最上部に位置するセノマニアン—チュロニアン付加体の高圧部である可能性が示された地質体である。砂質片岩に伴われる礫岩片岩中の酸性火成岩礫の放射年代測定が行なわれ、酸性火成岩礫は白亜紀前期であることが明らかにされ(真部ほか, 1996), 大歩危ナップ構成岩類が四万十帯最上部相当であるとする見方が支持されてきた。そうであるとすれば、Wallis(1998)が示唆した大歩危ユニット/御荷鉾帯ユニット/秩父帯北帯ユニットという累重関係は、付加の時代が下位ほど古いことになる(Hara et al.,1992参照)。Wallis(1998)による、この点についての検討はない。Wallis(1998)の想定する構造は、紀伊半島東部以東の地質構造の枠組み(原ほか, 1977; Hara et al.,1992) 一後頁でも検討一との比較によって考えると、四国では「high-pressure Besshi nappe」との接合時には、秩父帯北帯ユニット/御荷鉾帯ユニット/大歩危ユニットという当初の構造的関係が、全体として逆転していたことになる。

では、Wallis(1998)の地質構造の枠組みに従えば、秩父帯北帯のどの構造的位までが、この逆転に参加していることになるのであろうか。しかし、彼は、このような問題を議論していない。また、このような重要な意味をもつ構造論の設定において、既往の多くの研究者の観察結果を検討していない。奇妙な構造論である。

武田ほか(1977)は、御荷鉾帯が周囲の三波川帯、秩父帯北帯とどのような構造的関係にあるかを議論するにあたり、既往資料の検討と鍵となる地域を選定し、改めて地質図を作成し地質構造

を解明することから始めている。この構造的関係の地質図の作成を基礎とする検討は、その後も続けられてきた(Hara et al.,1992; 原・宮本, 2000)。Wallis(1998)が扱ったような地域構造地質学上の問題の検討では、これが当然踏むべき一般的な手順であろうと筆者らは考える。言葉以外に根拠が示されていない論文は、空虚な作文に等しいと考えるべきであろう。結論が重要なのではない、妥当な手順が踏まれて研究がなされているかどうかの問題である。地域地質学のような模糊とした部分のある学問では、特に手順こそが問われるべき問題なのである。

議論を前に戻そう。関東山地では、Koto (1888) 以来、三波川変成岩の上に、御荷鉾緑色岩類\秩父帯岩類(最近の付加単元区分によれば、柏木ユニット\万場ユニット\上吉田ユニット)が発達することは知られてきたことである。このような構造的関係は紀伊半島東部までたどれるが、紀伊半島西部以西では、三波川変成岩、御荷鉾緑色岩類、秩父帯の岩類の構造的関係には、しばしば、転倒した関係が見られる。このことから、原ほか(1977)は、紀伊半島東部以東の三波川変成岩、御荷鉾緑色岩類、秩父帯の岩類の構造的関係を authchthonous な関係、紀伊半島西部以西の関係を二次的改変による alochthonous な関係と呼んで区分した。関東山地で二ヶ所、中部地方で一ヶ所、紀伊半島東部一ヶ所、紀伊半島西部で二ヶ所、四国で六ヶ所と、鍵となる地域で地質図の作成による構造解析を行い、その後も地質図作成の調査を続けてきたのである(e.g.原ほか, 1977; Takeda,1993; Hara et al.,1992; 原・宮本, 2000)。

四国中央部では、武田ほか(1977)、佃ほか(1981a,b) 以後においても、秩父帯北帯付加体は、御荷鉾緑色岩類の上位に位置するものと下位に位置するナップがあることが、多くの研究者によって一研究者によって詳細は異なるとしても一確認されてきた(e.g.Hada & Kurimoto,1990; Hara et al.,1990,1992; 松岡ほか, 1998; 原・宮本, 2000)。武田ほか(1977)、佃ほか(1981a,b)、原・宮本(2000)は、御荷鉾緑

色岩類の上位に位置する秩父帯北帯付加体は、御荷銓緑色岩類と一緒に一つ一つのナップ（御荷銓 ナップ）を構成する付加単元と、御荷銓ナップの上に位置するいま一つのナップ（中津山ナップ）に区分されることを明らかにした (Fig. 3)。この過程において、原・宮本 (2000) は、地質構造と小構造の関係の解析などを通して検討し、四国中西部の御荷銓緑色岩類と秩父帯北帯の地質構造に関する山北 (1998) の見解を否定し、武田ほか (1977)、佃ほか (1981a,b) の見解を支持した。

武田ほか (1977)、Hara et al. (1992) は、関東山地と同様に紀伊半島西部以西においても、御荷銓ナップは三波川変成岩の上位に位置する関係にあることを地質図の作成を基礎に議論している。Hada & Kurimoto (1990)、松岡ほか (1998) は、放散虫化石を研究し、御荷銓緑色岩類の上位の中津山ナップとその下位のナップ（仁淀ナップ）が、ほぼ同じ付加年代を示すことを明らかにした。そして、Hara et al. (1990, 1992)、原・塩田 (1996) は、仁淀ナップの広がりや北へ向って追跡し、三波川帯においては大歩危ナップの直上に坂本ナップ（坂本-仁淀ナップ）として発達すること (Fig. 3)、上位の三波川変成岩類が上位高温であるのに対して、坂本-仁淀ナップ/大歩危ナップでは下位高温の温度構造を示すことを明らかにしてきている。

この坂本-仁淀ナップという、三波川帯下部層準と秩父帯北帯下部層準を一連のものとして見做す調査結果は、目新しいものではない。小島ほか (1956)、小島 (1961) は、四国中央部で御荷銓緑色岩類分布域の少しばかり北側で、後に大洲時相に対比される褶曲群が顕著に発達する領域を清水構造帯（断層）と呼び、ここに三波川変成岩の南限があると見做し、それより南側の御荷銓緑色岩類を中心とし秩父帯北帯の一部を含む領域を三波川南縁帯と呼んでいる。地向斜造山論の時代には、御荷銓緑色岩類が欠如する池川-地蔵寺間で三波川南縁帯と秩父帯北帯の構造的関係が検討された。ここには、一つの背斜構造が発達し、その軸に沿うように断層（上八川-池川構造線）があり、この断層の北側が三波川南縁帯、南側が秩父帯北帯とされてきた（小島, 1961; Suzuki, 1965）。この背斜は地向斜内部の隆起帯で、御荷銓緑色岩類は、この隆起帯に沿った海底火山列であると見做された（鈴木, 1967; 岩崎, 1969; 鈴木ほか, 1971; 市川ほか, 1972; 木村, 1973）。後に、上八川-池川構造線は、新生代酸性岩脈が貫入し、池川以西、地蔵寺以东には発達しない局所断層であることが明らかにされた（武田ほか, 1977; Hara et al., 1992）。このようにして、清水構造帯から南側では、三波川南縁帯と秩父帯北帯下部層準は一連のものとして見做されていたのである。Miyashiro (1973) は清水構造帯を slab surface fault と見做して、小島 (1961) と同様ここに三波川変成岩の南限があると見ていたようである。

しかし、原ほか (1977) により、清水構造帯は大洲時相の褶曲群が顕著に発達するところにすぎないことが明らかにされた。そして、Hara et

al. (1990, 1992) により、この連続体としての「三波川南縁帯-秩父帯北帯下部層準」が、清水構造帯とされていた位置から北へどこまで広がるかが検討され、Fig. 3 のように付加単元としての坂本-仁淀ナップの構造的な位置づけと分布範囲が明らかにされてきたのである。

所属を異にする研究者の間での共通する認識も見られる上記のような既往文献の地質情報が、清水論文でも Wallis 論文でも一切検討されていない。三波川帯-御荷銓帯-秩父帯の構造の枠組みに関わるモデルを提示しながらである。かといって独自の地質図が作成されたわけでもない。普通の手順を踏まない奇異な地域構造地質学であると言わざるを得ない。

関東山地では、三波川変成岩の上位に御荷銓帯\秩父帯が重なる関係にあり、三波川変成岩分布域では大枠としては上位に高温の三波川変成岩、下位に低温の三波川変成岩が発達している (e.g. 原ほか, 1977)。したがって、三波川帯-御荷銓帯-秩父帯の構造的関係は、allochthonous である四国にも酷似した特徴が保持されていると言えよう。四国大歩危を通る南北断面では、関東山地に比してより深い構造的な位置までが露出する。そして坂本-仁淀ナップ相当の地質体が分布せず、三波川変成岩類最下部層準と接合する四万十帯の最上部層準以下の地層群が広く露出する紀伊半島西部~中部では、更に深い構造的な位置が露出しているように見える (Hara et al., 1992)。

清水論文では、上記のように、四国において御荷銓緑色岩類の下位に秩父帯北帯上吉田ユニット相当岩類/四万十帯相当岩類が、'Sanbagawa Belt' の北端付近まで分布することの意味を考察することなく、「the 'Sanbagawa Belt' is used in a narrow sense, representing a unit of crystalline schists exposed to the north of the Mikabu greenstones... and distinguished from the 'Northern Chichibu Belt'」とされている。このような議論の姿勢はまた、「the upper part (秩父帯北帯) is regarded to be a lateral equivalent to the Tanba-Mino Belt in the Inner Zone (Isozaki & Maruyama, 1991; Isozaki, 1997)」という見方を、近年の情報により再検討することなしに引用することとしても現われている。

四国中央部中津山地域において、黒瀬川-古領家陸塊由来のナップと見做されている地質体の直下のジュラ紀付加体（中津山ナップ; Hara et al., 1992）は、松岡ほか (1998) によって上吉田ユニット相当付加体/柏木ユニット相当付加体であるとされた。御荷銓緑色岩類のナップはその下位にあり、三波川変成岩類のナップ群の位置は、その下位にあつていま一つのナップ（仁淀-坂本ナップ）として発達する秩父帯北帯上吉田ユニット相当岩類との間にある (Fig. 3)。清水論文が内帯から飛来した地質体とした上吉田ユニット相当付加体は、このような二つの構造層準に発達している。このことは先に歴史を追って検討したが、この構造関係のもつ意味については、プレートの力学境界への三波川変成岩類の上昇を示唆した Hara et al. (1992)、原・塩田 (1996) によ

る検討がある。ここでは、これ以上の言及はしない。

このような外帯の構造論上の問題自体は、清水論文の主要な目的ではないとしても、他の目的を達成するための議論を進めるうえでの基礎情報として引用したのであれば、引用には妥当な手順が踏まれなければならないはずである。これは、日本列島の地質構造発達史を考えるうえで最も重要な内帯と外帯の構造的関係に関わる問題でもあり、近年多くの議論がある黒瀬川-古領家帯問題に関わる問題でもあることを考えるべきであった (e.g. 原・宮本, 2001, 2003; 原・塩田・宮本, 2003 参照)。黒瀬川-古領家帯と三波川帯間の問題については、猿田ナップを構成する変成岩がクロス閃石安定領域からホルンブレンド安定領域へほぼ等圧的に累進変成作用を受けたこと (Fig. 4) の説明と関連して、Hara et al. (1992, p. 495-496) による次のような指摘もある。

「The hanging wall of the Kurosegawa-Koryoke continent, which was placed at the depth of ca. 15-17 kb, thrust onto the Saruta unit at the depth ca. 10-11 kb, accompanying intermingling of constituent rocks of the former and the latter and also mixing of various depth parts of the latter. The highest temperature metamorphism of the Saruta unit, which appears to have occurred under metamorphic condition of lower P/T than under that related to the formation of the general type of high P/T type metamorphic rocks, is ascribed to a contact metamorphism related to the overthrusting of the Kurosegawa-Koryoke continent. The thrusting of the Kurosegawa-Koryoke continent is ascribed to its collision with the Hida continent」。

内帯-外帯問題に関わるこのような問題群の研究についての、さらなる歴史分析と議論は、中央構造線 MTL-III 問題の検討とともに別稿にゆずろう。

おわりに

清水論文は、三波川変成岩中の pillow lava の歪み像解析を目的としたものではあるが、三波川帯-秩父帯の構造論について、自らの見方を示した論文であった。この地帯の構造論の見方を、清水論文は、既往の諸論文の検討を避け、あたかも信念を吐露するような形で提示していることに、問題があると筆者らは考える。地域地質構造論の方法としては適切なものではない。

三波川変成岩類が付加体となる以前からもっていたマーカーを選択しながら、歪み像の解析において考慮すべき「first deformation」を、Faure (1983, 1985), Banno & Sakai (1989), Wallis (1990) の「east-west-trending shear」としたことは、清水論文が拠り所とする構造論選択に議論を避けたことが関わっている。彼らの「first deformation」は、後退変成時相の変形作用ではない (e.g. Hara et al., 1983, 1992; 原ほか, 1988; Wallis, 1990; Wallis et al., 1992 参照)。Hara et al. (1992), 原・塩田 (1996) の解析例だけでも明らかのように、運動像史、歪み像史はもっと複雑

であり、あまりにも議論が単純化されすぎている。

三波川帯-秩父帯の構造論は、この地帯の地質体がサーペンティン・メランジュではないという幸運もあって、沈み込み帯における地質体の挙動に関わる極めて豊かな情報を提供するものとして構築出来るはずである。適当に選択された物語に沿った情報の記載と議論ではなく、多くの研究者が、観察されるものを可能な限り記載し、可能な限り多様な視点から議論する姿勢が必要であろうと考える。

引用文献

- Banno, S., Higashino, T., Otsuki, M., Itaya, T. and Nakajima, T., 1978, Thermal structure of the Sanbagawa metamorphic belt in central Shikoku. *Jour. Phys. Earth*, 26, Suppl., 345-356.
- Banno, S. and Sakai, C., 1989, Geology and metamorphic evolution of the Sanbagawa metamorphic belt. In Daly, J.S., Cliff, R.A. and Yardly, B.W. eds., *Evolution of Metamorphic Belts*, *Geol. Soc. Spec. Pub. no. 43*, 519-532.
- Charvet, J., Guidi, A. and Faure, M., 1989, New insight on the superficial nappe of the Mesozoic orogen of SW Japan. *Bull. de la Societe Geol. de France*, 8, 1081-1085.
- Faure, M., 1983, Ductile shear during the early deformation phase in the Sambagawa Belt. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 89, 319-329.
- Faure, M., 1984, Structural division of the Outer belt of the Mesozoic orogeny in SW Japan, from the Example of Shikoku island. *Comptes Rendus de l'Academie Des Sciences, Paris, Ser. II*, 289, 757-762 (in French with english abstract).
- Faure, M., 1985a, Microtectonic evidence for eastward ductile shear in the Jurassic orogen of SW Japan. *Jour. Struct. Geol.*, 7, 1745-1786.
- Faure, M., 1985b, The pre-Cretaceous structure of the Outer belt of southwest Japan. *Tectonophysics*, 113, 139-162.
- Faure, M. and Charvet, J., 1983, Tangential tectonics in the Chichibu zone from the example of E. Shikoku. *Proc. Japan Academy*, 59, 117-120.
- 古山 清・原 郁夫・秀 敬, 1985, 四国中央部別子橋地域三波川帯の地質構造. 吉田博直先生退官記念文集, 386-390.
- 後藤益己, 1996, 天竜川地域三波川帯の地質. 嶋本利彦編「テクトニクスと変成作用」, 創文, 70-77.
- Guidi, A. and Charvet, J., 1987, A new structural interpretation of the Kanto Mountains, northwest of Tokyo, Southwest Japan. *Bull. de la Societe Geol. de France*, 8, 843-853.
- Guidi, A., Charvet, J. and Sato, T., 1984, Finding of granitic plitolith and pre-Cretaceous radiolarians in the northwestern Kanto Mountains, Gunma Prefecture, Central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 90, 853-856.
- Hada, S. and Kurimoto, C., 1990, Northern Chichibu

- Terrane. In Ichikawa, K. et al. eds., Pre-Cretaceous Terranes of Japan. Pub. of IGCP, 224, 165-183.
- 原 郁夫, 1990, 日本の地質学の将来と学会の役割を考える—壮年は何を残すか. 添田 晶先生退官記念文集, 144-148.
- 原 郁夫, 1993, 中国帯—領家帯—三波川帯—秩父帯の構造論(1971-1992). 日本地質学会編, 82-86.
- 原 郁夫, 1995, 第二次大戦後における三波川帯の構造地質学の進展. 地質雑, 101, 795-812.
- 原 郁夫, 1996, 「研究の回顧」. 嶋本利彦編「テクトニクスと変成作用」, 創文, 13-43.
- 原 郁夫, 1998, 褶曲の見方. Fukadaken Library, 11.
- Hara, I., Enoki, M., Shiota, T. and Suzuki, Y., 1995, Discovery of biotite-bearing schists blocks in the garnet zone of the Sambagawa belt— an evidence of tectonic erosion of hanging wall rocks by subducting sediments. Jour. Sci. Hiroshima Univ. Ser. C, 10, 379-391.
- 原 郁夫・藤井俊介・西村祐次郎・塩田次男・森山宏一, 1973, 大歩危礫岩片岩における礫の形態定向配列. 梅垣嘉治先生退官記念文集, 103-111.
- 原 郁夫・秀 敬, 1974, 中央構造線の時代論. 基盤岩類, 5, 5-11.
- 原 郁夫・秀 敬・前田 勝, 1983, 四国中央部三波川帯猿田ナップの内部構造. 日本地質学会第 90 年学術大会講演要旨, 382.
- 原 郁夫・秀 敬・塩田次男, 1994, 四国中央部三波川帯の構造地質学—第二次大戦後の展開の批判的レビュー. 構造地質, 40, 85-105.
- 原 郁夫・秀 敬・武田賢治・佃 栄吉・徳田満・塩田次男, 1977, 三波川帯の造構運動, 秀敬編集, 三波川帯, 広島大学出版研究会, 307-390.
- 原 郁夫・宮本隆実, 2000, 四国西部秩父帯北帯の地質構造. 日本地質学会第 107 年学術大会講演要旨集, 60.
- 原 郁夫・宮本隆実, 2001a, 古領家帯の研究史に関する若干の考察(1). 構造地質, 47, 1-12.
- 原 郁夫・宮本隆実, 2001b, 古領家帯の研究史に関する若干の考察(2). 構造地質, 47, 21-31.
- 原 郁夫・宮本隆実, 2003, 古領家帯の研究史に関する若干の考察(3). 構造地質, 49, 1-12.
- 原 郁夫・塩田次男・宮本隆実, 2003, 沈み込み抵抗としての市之川時階の中央構造線. 日本地質学会第 112 年学術大会講演要旨集, 132.
- 原 郁夫・宮岡広法・瀬尾孝文・前田 勝・塩田次男・秀 敬, 1984, 変成相解析のための組織解析—三波川泥質片岩を例として. 構造地質, 30, 41-54.
- Hara, I., Nishimura, Y. and Isai (Shiota), T., 1966, On the difference in deformation behaviour between phenocryst and groundmass quartz of deformed rhyolite pebbles in the Oboke conglomerate schist. Jour. Sci. Hiroshima Univ. Ser. C, 5, 179-216.
- 原 郁夫・塩田次男, 1996, 沈み込み帯 35km—10km 深度のテクトニクス. 広島大学地学研究報告, 28.
- Hara, I., Shiota, T., Hide, K., Kanai, K., Goto, M., Seki, S., K aikiri, 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. Jour. Sci. Hiroshima Univ., Ser. C, 9, 495-595.
- Hara, I., Shiota, T., Hide, K., Okamoto, K., Takeda, K., Hayasaka, Y. and Sakurai, Y., 1990, Nappe structure of the Sambagawa belt. Jour. Metamorphic Geol., 8, 441-456.
- 原 郁夫・塩田次男・秀 敬・武田賢治・竹下徹・関 幸代・金井賢次・榊原信夫・中村夫佐裕・田上雅彦・鈴木靖子・川口小由美・直本啓裕・榎木美奈・田中健吾, 1995, 四国中央部三波川帯の岩石構造とテクトニクス. 日本地質学会 102 年学術大会, 見学旅行案内書, 1-29.
- 原 郁夫・塩田次男・姜 志勲・榊原信夫・竹下徹, 1994, 三波川変成岩の異常形ざくろ石. 地質雑, 100, 631-634.
- 原 郁夫・塩田次男・武田賢治・秀 敬, 1988, 三波川帯のテクトニクス. 月刊地球, 10, 372-377.
- Hara, I., Shiota, T., Takeda, K., Okamoto, K. and Hide, K., 1990b, The Sambagawa Terrane. In Ichikawa, K. et al. eds., Pre-Cretaceous Terrane of Japan, Pub. of IGCP, 224, 137-163.
- Hara, I., Shiota, T., Takeda, K., Okamoto, K., Kanai, K. and Hide, K., 1989, Subduction zone tectonics inferred from tectono- metamorphic processes of the Sambagawa schists. DELP Pub. no. 28, 73-82.
- Harris, A.L., Holland, C.H. and Leak, B.E., 1979 eds., The Caledonides of the British Isles Reviewed. Geol. Soc. London, Spec. Pub. no. 8.
- 秀 敬, 1972, 四国西部長浜大洲地方三波川変成帯における二つの横臥褶曲の発見とその意義—別子横臥褶曲の再検討(1). 広島大学教養部紀要, III, 自然科学, 5, 35-51.
- 秀 敬・吉野言生・小島丈児, 1956, 別子点紋片岩帯の地質構造—序説. 地質雑, 62, 574-584.
- 東野外志男, 1975, 四国中央部白髪山地方三波川帯の黒雲母帯. 地質雑, 81, 653-670.
- 東野外志男, 1990, 四国中央部三波川変成帯の変成分帯. 地質雑, 96, 703-718.
- 市川浩一郎・松本 隆・岩崎正夫, 1972, 日本列島のおいたち. 科学, 42, 181-191.
- Isozaki, Y., 1997, Jurassic accretion tectonics of Japan. Island Arc, 6, 25-51.
- 磯崎行雄・丸山茂徳, 1991, 日本におけるプレート造山論の歴史と日本列島の新しい地体構造区分. 地学雑, 100, 697-761.
- Itaya, T. and Takasugi, H., 1988, Muscovite K-Ar ages of the Sambagawa schists, Japan and argon depletion during cooling and deformation. Contr. Min. Petr., 100, 281-290.

- Iwamori, H., 2003, Viscous flow and deformation of regional metamorphic belts at convergent plate boundaries. *Jour. Geophys. Resear.*, 108, (B6)2321, DOI:10.1029/2002JB001808.
- Iwasaki, M., 1963, Metamorphic rocks of the Kotu-Bizan area, eastern Shikoku. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Sec. II*, 15, 1-90.
- 岩崎正夫, 1969, 三波川帯と秩父帯との境界にある変成岩類—いわゆる“みかぶ帯”の岩石. *地質学論集*, 4, 41-50.
- 加治敦次, 1975, 四国東部三波川結晶片岩地域の堆積盆の変化(その2). *地団研専報*, 19, 77-80.
- Kawachi, Y., 1968, Large-scale overturned structures in the Sambagawa metamorphic zone in central Shikoku, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 74, 607-616.
- 剣山研究グループ, 1963, 四国東部結晶片岩地域の地質. *地球科学*, 69, 16-19.
- 木村敏雄, 1973, オフィオライトと構造発達史. *海洋科学*, 5, 708-713.
- 小島丈児, 1961, 三波川帯. 高知県地質産図説明書. 高知県, 14-19.
- Kojima, G. and Hide, K., 1957, On new occurrence of aegirine augite-amphibole quartz schists of the Besshi-Shirataki district, with special reference to the preferred orientation of aegirine-augite and amphibole. *Jour. Sci. Hiroshima Univ., Ser. C*, 2, 1-20.
- Kojima, G. and Hide, K., 1958, Kinematic interpretation of the quartz fabric of triclinic tectonites from Besshi, central Shikoku, Japan. *Jour. Sci. Hiroshima Univ., Ser. C*, 2, 195-226.
- 小島丈児・秀敬・吉野言生, 1956a, 四国三波川帯におけるキースラーガーの層序学的位置. *地質雑*, 62, 30-45.
- Kojima, G. and Suzuki, T., 1958, Rock structure and quartz fabric in a thrusting shear zone: The Kiyomizu Tectonic Zone. *Jour. Sci. Hiroshima Univ. Ser. C*, 2, 173-193.
- 小島丈児・吉田博直・甲藤次郎・市川浩一郎・石井健一, 1956b, 四国西条—上八川路線に沿う三波川帯の地質(予土路線に沿う地質, その1). *地質雑*, 62, 317-326.
- Koto, B., 1888, On the so-called crystalline schists of Chichibu. *Jour. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo*, 2, (2), 77-141.
- Kurata, H. and Banno, S., 1974, Low-grade progressive metamorphism of pelitic schists of the Sazare area, Sanbagawa metamorphic terrain in central Shikoku. *Jour. Petr.*, 15, 361-382.
- Maeda, M. and Hara, I., 1983, Growth condition of plagioclase porphyroblasts in the Sambagawa schist from central Shikoku, Japan. *Jour. Sci. Hiroshima Univ. Ser. C*, 8, 131-134.
- 前田勝・原郁夫, 1984, 四国中央部猿田川地域三波川帯の先長浜褶曲. *地質雑*, 90, 73-89.
- 前島渉, 1978, 紀伊半島西部湯浅北方地域の秩父帯北帯における結晶片岩の構造的産状. *地球科学*, 32, 175-184.
- 真部由華・吉倉紳一・Gabites, J., 1996, 大歩危礫質片岩中の珪長質火成岩礫のジルコン U-Pb 年代. 日本地質学会第103年学術大会講演要旨, 300.
- Maruyama, S., 1997, Pacific-type orogeny revisited: Miyashiro-type orogeny proposed. *Island Arc*, 6, 91-120.
- 松岡篤・山北聡・榊原正幸・久田健一郎, 1998, 付加体地質の観点に立った秩父累帯のユニット区分と四国西部の地質. *地質雑*, 104, 634-653.
- Miyashiro, A., 1973, Metamorphism and Metamorphic Belt. George Allen & Unwin.
- Miyashiro, A., 1994, Metamorphic Petrology. UCL Press.
- MMEAJ(金属鉱物探鉱促進事団), 1968, 1969, 1970, 「白髪山地域」広域・精密調査報告書. 金属鉱物探鉱促進事業団.
- 大槻憲四郎, 1992, プレーートの斜め沈み込みによる高圧変成帯の上昇とそのせん断変形—準3次元 lubricant モデルによる検討. *地質雑*, 98, 435-444.
- 小沢儀明, 1926, 四国の結晶片岩系の層位と構造. *地質雑*, 33, 297-304, 309-347.
- Price, N.L. and Cosgrove, J.M., 1996, The analysis of geological structures. Cambridge Univ. Press.
- Sakakibara, N., Hara, I., Kanai, M., Kaikiri, K., Shiota, T., Hide, K. and Paulitsch, P., 1992, Quartz microtextures of the Sambagawa schists and their implications in convergent margin processes. *Island Arc*, 1, 186-197.
- 榊原正幸・大山ゆかり・梅木美妙・榊原光・正野英憲・後藤真一, 1998, 四国西部における北部秩父帯の地体構造区分と広域変成作用. *地質雑*, 104, 604-622.
- Seki, S., Hara, I., and Shiota, T., 1993, The baric structure and exhumation processes of the Sogauchi unit in the Sambagawa belt. *Jour. Sci. Hiroshima Univ. Ser. C*, 9, 705-714.
- Shimizu, I., 1988, Ductile deformation in the low-grade part of the Sambagawa metamorphic belts in the Northern Kanto Mountains, Central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 94, 609-628.
- 清水以知子・奥平敬元, 2003, 多成分多相系の非静水圧熱力学と非調和圧力溶解. 日本地質学会第110年学術大会講演要旨, 167.
- Shimizu, I. and Yoshida, S., 2004, Strain geometries in the Sanbagawa Metamorphic Belt inferred from deformation structures in metabasite. *Island Arc*, 13, 95-109.
- 塩田次男, 1976, 徳島県井川町辻地域の三波川結晶片岩の地質構造. 小島丈児先生還暦記念文集, 154-159.
- 塩田次男, 1981, 四国東部池田—三加茂地方三波川結晶片岩の構造地質学および岩石学的研究. 徳島大学学芸紀要, 自然科学, 32, 29-65.
- 塩田次男・原郁夫, 1996, 四国中央部三波川帯

- のザクロ石帯の再検討. 嶋本利彦編「テクトニクスと変成作用」, 創文, 56-61.
- 塩田次男・原 郁夫, 1998 四国中央部三波川帯猿田ナップIIの地質構造. 徳島大学総合科学部, 自然科学, 11,33-40.
- Suzuki, T., 1965, On the Kamiyagawa-Ikegawa Tectonic Line. *Geol. Rep. Hiroshima Univ.*, 14,293-306.
- 鈴木僥士, 1967, 四国におけるみかぶ緑色岩類ーとくに, 凝灰集塊質岩石の分布と産状について. *地質雑*, 73,207-216.
- 鈴木僥士・杉崎隆一・田中 剛, 1971, 伊予大洲市に分布するみかぶ緑色岩類の地向斜火成活動. *地質学論集*, 6,121-136.
- Takagi, K. and Hara, I., 1979, Relationship between growth of albite porphyroblasts and deformation in a Sambagawa schist, central Shikoku. *Tectonophysics*, 58, 113-125.
- 高木 清・前田 勝・原 郁夫, 1981, 四国中央部三波川帯における黒雲母帯の分布と猿田ナップ. *中生代造構作用の研究*, 3,143-148.
- Takasu, A. and Dallmeyer, R.D., 1990, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ mineral age constraints for the tectonothermal evolution of the Sambagawa metamorphic belt, central Shikoku, Japan: a Cretaceous accretionary prism. *Tectonophysics*, 185, 111-139.
- 竹下 徹・石井和彦・金川久一, 2003, 斜長石斑状変晶中のインクルージョンファブリックに記録された三波川変成岩の沈み込みと上昇剪断流動. *日本地質学会第 110 年学術大会講演要旨*, 169.
- 徳田 満, 1976, 群馬県甘楽町梅の木平地域の三波川帯の地質構造. 小島丈児先生還暦記念文集, 286-289.
- 徳田 満・原 郁夫, 1979, みかぶ緑色岩類下底のメランジュ帯の地質. *中生代造構作用の研究*, 1,51-57.
- 徳田 満・原 郁夫, 1980, 関東山地大霧山ー皆野ー寄居地域の地質構造. *中生代造構作用の研究*, 2,15-20.
- Tokuda, M. and Hara, I., 1983, Epidote porphyroblasts in the Sambagawa schists of central Shikoku. *Jour. Sci. Hiroshima Univ. Ser. C*, 8, 123-129.
- Toriumi, M., 1982, Strain, stress and uplift. *Tectonics*, 1, 57-72.
- Toriumi, M., 1990, The transition from brittle to ductile deformation in the Sambagawa metamorphic belt, Japan. *Jour. Metamorphic Geol.*, 8, 401-411.
- Toriumi, M. and Noda, H., 1986, The origin of strain patterns resulting from contemporaneous deformation and metamorphism in the Sambagawa metamorphic Belt. *Jour. Metamorphic Geol.*, 4, 409-421.
- Takeda, K., Hide, K., Makisaka, S. and Sonoda, K., 1981, Deposition environment of the original rocks of the Sambagawa metamorphic rocks. In Hara, I. ed., *Tectonics of Paired metamorphic Belts*. Tanishi Print Kikaku, 95-100.
- 武田賢治・佃 栄吉・徳田 満・原 郁夫, 1977, 三波川帯と秩父帯の構造的関係. 秀敬編集, 三波川帯, 広島大学出版研究会, 106-151.
- 富永良三・原 郁夫, 1980, 四国西部大野ヶ原西方地域の秩父帯の地質構造. *中生代造構作用の研究*, 2,43-48.
- 富永良三・原 郁夫・桑野幸夫, 1979, 愛媛県三滝山付近の黒瀬川構造帯とその北縁の地質構造. *中生代造構作用の研究*, 1,31-38.
- 富永良三・原 郁夫・横山忠正・宮本隆実, 1981, 四国東部坂洲北方地域の4億年高圧変成岩類を含む蛇紋岩体の構造状態. *中生代造構作用の研究*, 3,49-59.
- 佃 栄吉・原 郁夫, 1979, 高知県横倉山北方の秩父帯北帯の地質構造. *中生代造構作用の研究*, 1,25-29.
- 佃 栄吉・原 郁夫・富永良三, 1981a, 四国西半部地域の秩父帯の地質構造について. *構造地質*, 26,127-134.
- 佃 栄吉・原 郁夫・富永良三・徳田 満・宮本隆実, 1981b, 四国西部の秩父帯の地質構造. *中生代造構作用の研究*, 3,49-69.
- Wallis, S.R., 1990, Timing of folding and stretching in the Sambagawa Belt. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 14, 271-280.
- Wallis, S.R., 1995, Vorticity analysis and recognition of ductile extension in the Sanbagawa belt, SW Japan. *Jour. Struc. Geol.*, 17, 1077-1093.
- Wallis, S.R., 1998, Exhuming the Sanbagawa metamorphic belt: the importance of tectonic discontinuities. *Jour. Metamorphic Geol.*, 16, 83-95.
- Wallis, S.R., Enami, S., Takasu, A., Banno, S. and Ikeda, T., 1992a, Paired metamorphic belts in southwest Japan. 29th IGC Field Trip Guide Book, 5, 133-135.
- Wallis, S.R., Banno, S. and Radvanec, M., 1992b, Kinematic, structure and relationship to metamorphism of the east-west flow in the Sanbagawa belt. *Island Arc*, 1, 176-185.
- 山北 聡, 1998, 四国西部北部秩父帯のナップ構造の再検討. *地質雑*, 104, 578-589.
- 大和大峰グループ, 1981, 紀伊半島中央部の中・古生界. 第35回地団研大阪総会巡検案内書, 88p.
- 横山忠正・富永良三・原 郁夫・桑野幸夫, 1979, 徳島県沢谷地域の黒瀬川構造帯北縁の地質構造解析. *中生代造構作用の研究*, 1,9-20.