瀬戸川付加体中の緑色岩類の起源とそのテクトニクス上の意義

坂本隆之*・小川勇二郎**・中田節也***

Origin of the greenstones in the Setogawa accretionary complex and their tectonic significance

Takayuki Sakamoto*, Yujiro Ogawa** and Setsuya Nakada***

Abstract The Setogawa Terrane occupies the outer part of the Shimanto Belt in Shizuoka and western part of Yamanashi Prefectures, central Japan, and is composed of seven thrust sheets of middle Eocene to lower Miocene age. Greenstones in one of the sheets, the Takizawa thrust sheet, were geochemically studied for major and trace elements.

The greenstones are classified into two types based on field occurrence: 1) slabs; and 2) blocks. The slab-type greenstones are relatively continuous and overlain successively by pelagic limestone and chert, the bottom being cut by a thrust. They are basaltic pillow lavas and breccias. The block-type greenstones are basalt, dolerite, and gabbro of sizes ranging from a few centimeters to some hundred meters, and are embedded within a mudstone matrix. The greenstones contain phenocrysts of olivine, clinopyroxene, and plagioclase, although clinopyroxene occurs only in the blocks.

Geochemically the slab-type greenstones are tholeiitic basalts, whereas block-type greenstones are both basalts and andesites, mainly alkalic, but rarely of tholeiitic and calc-alkalic types. The slab-type greenstones have lower Nb/Y ratios and the chemical characteristics are similar to mid-ocean ridge basalts or to back-arc basin basalts like those of the Mariana Trough. Alkalic rocks of the block-type greenstones have chemical affinities with hot spot basalts such as the Hawaiian volcanic rocks, although tholeiitic rocks of block-type chemically resemble those of the slab-type.

From these geochemical and geologic considerations, it is concluded that the slab-type greenstones originated from ocean-floor basalts, whereas block-type ones are fragments of seamount, arc-volcano, and ocean-floor basalts which were mixed with trench-fill sediments. Slices of both units were subsequently accreted to the front of the continental arc.

Key words: Setogawa accretionary complex, greenstone, trace element, MORB, hot spot basalt, back-arc basin basalt

1992 年 5 月 13 日受付, 1992 年 10 月 16 日受理.

*, **, *** 九州大学理学部地球惑星科学教室, Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Kyushu University 33, Fukuoka 812, Japan.

* 現在: 株式会社アイ・エヌ・エー, (Present address) INA Corporation, 1-44-10, Sekiguchi, Bunkyo-ku, Tokyo 112, Japan.

** 現在: 筑波大学地球科学系, (Present address) Institute of Geoscience, University of Tsukuba, Tsukuba 305, Japan.

はじめに

緑色岩類(変質・変成した玄武岩質岩石), 石灰岩, チャートは, 付加体と考えられる地質体にしばしば含まれる構成メンバーであるが, それが含まれる岩体は複合岩体や混在岩の一部として一括される傾向にある。これら三者は, たとえ断片的な産状を呈したとしてもまったくランダムには出現せず, 下位から上位へ緑色岩類から石灰岩を経てチャートに至るという基本的な層序をもつことが多い(平ほか, 1980; Lash, 1985; Taira *et al.*, 1988; Osozawa, 1988)。また, これらは周囲の砂岩・泥岩のもつ面構造(foliation)の走向方向に連続的に伸び, 10 km 以上追跡できるスラブ状のものもある。一方, 一露頭においてすら緑色岩類, 石灰岩, チャートがそれぞれ独立して径数 cm~数 m の礫状のブロックとして泥質岩マトリックス中に産することもある。これらの石灰岩やチャートは, 複合岩体や混在岩中の形成過程を論ずる上で時間スケールを与えるものとして重要であり, これらに関する詳細な研究は多い(平ほか, 1980; Taira *et al.*, 1988; Sano, 1988a, b; Osozawa *et al.*, 1990)。しかし, それらに伴う緑色岩類の起源は, 複合岩体・混在岩の形成過程を理解する上で重要であるにもかかわらず十分に研究されていないように思える。

1970 年代の後半にこうした本邦の緑色岩類は“オフィオライト”の研究の一貫として産状と化学組成について研究がなされた(例えば, 岩崎, 1979; 土谷ほか, 1979; 坂井・勘米良, 1981)。しかし, これらのうち, 付加体中の緑色岩類は, 変質・変成作用による元素の再移動を種々の程度に受けており, 源岩の性質を推定し, それらの起源を求めることは, 主成分元素の化学組成からは困難であった。現在提唱されている, 多くのかつての付加体の形成モデルの中では, 石灰岩やチャートの基盤をなす緑色岩類について, 化学組成に基づいてその起源について説明した例は, 本邦では本田ほか(1986)の希元素(REE)組成を用いたもの, Mackenzie (1989), 小川・谷口(1989), Ogawa & Taniguchi (1989), および君波・宮下(1992)による微量元素を用いたものがある程度であり, また外国でも, いわゆるオフィオライトについての研究例は多いものの, 付加体の成因に関して緑色岩をとりあげた研究は北米西岸のフランシスカン帯(Macpherson *et al.*, 1990)などで試みられているだけである。

本研究では, 付加体の玄武岩類の例として四万十付加体の一つと考えられる静岡県瀬戸川帯(Setogawa Terrane)中の瀬戸川層群中に含まれる緑色岩類につい

Fig. 1. Index map showing the location of the Setogawa Terrane, and the distribution of the Shimanto Belt (black).

て, 主として微量元素組成を用いてその起源を推定し, 産状との関連でエンプレイスメントを議論し, 構造発達史を考察する試みを行う。瀬戸川帯の主体をなす瀬戸川層群は付加体と考えられており, 瀬戸川付加体と呼ばれている(Osozawa, 1988)。この地域は現在ユーラシア, 北アメリカ, フィリピン海の三つのプレート境界付近に位置するという, 特異な構造場にある(Fig. 1)。瀬戸川層群の地質は古くから研究されている(千谷, 1931; 槇山, 1950, 1963)。最近では Naka (1988), 杉山ほか(1982), Osozawa (1988), 杉山・下川(1989), Osozawa *et al.* (1990)などの研究があり, 構造や年代に関する情報がそろっている。また, そこではスラブとブロックの明確な配列関係が認められている(杉山・下川, 1989)。

瀬戸川付加体中の緑色岩の搬入機構(エンプレイスメント)のモデルはこれまでいくつか提唱されている。Naka (1985, 1988)は海溝における海山の崩壊による付加を, Osozawa (1988), Osozawa *et al.* (1990)は中央海嶺の沈み込みに伴う付加を考えた。特に Osozawa *et al.* (1990)はその中央海嶺は Kula-Pacific 海嶺であると, 瀬戸川付加体形成期間中に次第に海溝に近づき, つ

Fig. 2. Simplified geologic map of the Setogawa Terrane after Sugiyama and Shimokawa (1989). t.s. in the profile means thrust sheet.

Fig. 3. Route and locality map around Mt. Chibasan.

Fig. 4. Geologic map and cross sections of the Setogawa Belt in the Mt. Chibasan area.

いにそこから沈み込んだと考えた。杉山・下川(1989)も海洋地殻の付加を、瀬戸川付加体の形成モデルとして挙げている。ただし、Naka(1985, 1988)を除く論文は緑色岩類の岩石学的および化学組成上の特徴をほとんど考慮していない。また、Naka(1988)も微量元素に基づく検討を行っていない。

そこで、本論では瀬戸川付加体中の、特に“滝沢衝上帯”(Osozawa, 1988)における緑色岩類についてその産状を記載するとともに、主成分元素と微量成分元素組成を示し、それらに基づいてその起源を考察する。そして、これらの化学組成の特徴からスラブとブロックのエンプレズメントのプロセスについても議論する。

地 質 概 略

瀬戸川帯は中部山岳の赤石山地東部に位置し、四万十帯の南帯に属する(Fig. 1)。その東は、糸魚川-静岡構造線によって、砂岩泥岩互層からなる上部中新統(茨木, 1981)の静岡層群と境をなし、西は、笹山構造線によって、砂岩泥岩互層・緑色・黒色泥岩からなる白亜系-漸新統の三倉層群(Matsumoto, 1966, 1971)と境をなす。瀬戸川帯の主要部分を構成しているのは瀬戸川層群と呼ばれる地層群であって、中部地方以西の四万十帯における四万十層群と同様に、その大部分を占めるのは砂岩泥岩である。それらに挟まれて、緑色岩類、石灰岩、チャートを含む地層群が何帯かに分かれ南北に細長く帯状配列をなしている。これらのそれぞれの帯は、下底面に衝上断層を伴っている。そのうちの変位の大きいと考えられる断層によって瀬戸川帯は7つ(杉山・下川, 1989)、または5つ(Osozawa, 1988; Osozawa *et al.*, 1990)の衝上帯に区分されている(Fig. 2)。

今回検討した緑色岩類は、静岡県島田市の北方、大井川の東に位置する千葉山周辺のもので、そこでは杉山・下川(1989)の7つの衝上体のうち西から3番目の滝沢衝上体が広く分布する(Fig. 2)。ここは Osozawa *et al.* (1990)の Zone B に属する。その地域の岩相図をFig. 3に、模式的な地質図をFig. 4に示した。

滝沢衝上体の構成岩類は、蛇紋岩、緑色岩類、石灰岩、チャート、多色頁岩、これらのブロックを含んだ頁岩および砂岩泥岩互層である。砂岩泥岩互層の地層面とブロックを含んだ頁岩の面構造(foliation)(ただしこれは剪断面と考えられるので以下剪断面を使う)の走向方向は、ともに北東-南西である。ブロックを含んだ頁岩の剪断面は、千葉山の南側では45°~90°の北傾斜を示し、山の北側では45°~90°の南傾斜を示す。断層系は剪断面の走向に平行に発達する(Fig. 4)。中央部の緑色

Fig. 5. Schematic columnar section in the Takizawa thrust sheet in the Mt. Chibasan area.

岩体の下底には衝上断層が推定される。千葉山の北側の沢(Fig. 3, ルート N. 10, 11, 12)においては、剪断面を切る 40°~20° 南傾斜の小断層が多数見られる(Fig. 3)。

Fig. 5 に千葉山周辺の滝沢衝上体の模式柱状図を示す。最下位には主に枕状溶岩とピロープレッチャからなる緑色岩類があり、それを覆ってシート状溶岩、塊状溶岩が分布する。これらの緑色岩類の厚さは総計約 130 m に達する。緑色岩類から上位に向っては、ミクライト質石灰岩(厚さ約 25 m)、灰色層状チャート(厚さ約 40 m)、珪質泥岩(厚さ約 40 m)、ブロックを含む凝灰質頁岩、さらには、砂岩泥岩互層と積み重なっている。灰色層状チャートに挟まれる石灰岩の単層から Ibaragi (1984)は中期始新世の Blow(1969)の P 14 を示す有孔虫を見いだしている。また、ブロックを含む泥質岩基質からは、北里(1980)が前期中新世の放散虫化石を見いだしている。Osozawa *et al.*(1990)によると、これらの Zone B では玄武岩質および石灰質砂岩とミクライト質石灰岩は中期ないし後期始新世を示し、チャートは漸新世を示す。Osozawa *et al.*(1990)によると、玄武岩および玄武岩直上の堆積物は Zone B を中心にして陸側および海側へ向かって古くなる。しかも、その堆積物の種類はゾーンごとに異なる。

Fig. 6. Sketch of the pillow lavas of the slab-type greenstones in the Mt. Chibasan area. The pillows show well-developed elongate shapes.

緑色岩類の産状

滝沢衝上体の緑色岩類は、瀬戸川付加体の他の衝上体と同様に、側方に 2 km 以上の連続性をもち石灰岩やチャートを伴うスラブ状(Fig. 4)のものと、数 100 m 以下で泥質岩中に含まれる単独のブロック状のものとに分けられる。ここでは、スラブ状とブロック状なる用語を以下のように用いる。

“スラブ状”: 下位から緑色岩、石灰岩、チャートのうち二種以上の組み合わせからなる連続する層状岩体であり、その下底を衝上断層によって切られている。

“ブロック状”: 数 cm～数 100 m の規模の緑色岩、石灰岩、チャートがそれぞれ単独で泥質岩にとり囲まれて産出する。これらは、衝上断層を伴わない。

スラブ状緑色岩類は玄武岩のみからなり、ブロック状緑色岩類はハンレイ岩、ドレライト、玄武岩からなる。

1. スラブ状緑色岩類

スラブ状緑色岩類は主に枕状溶岩とピローブレッチャから構成されており、わずかに塊状溶岩とシート状溶岩も見られる。これらはすべて玄武岩質で暗赤色を示す。

a: 枕状溶岩

枕状溶岩の形態は長く引き延ばされた elongated pillow (Ballard & Moore, 1977) で、枕状チューブの長径は 50～80 cm である。枕状溶岩の間には、インターピロー石灰岩が見られる (Fig. 6)。また、枕状チューブの中にも明瞭なホロー構造を示す赤色のイントラピロー石灰岩が見られる。これらの枕状溶岩は、もとの構造をよく保存しており、枕状のローブがフォアセットに重なる

部分も見られる。枕状チューブの伸びの向きはほぼ一定しており、西ないし南西である。気泡はほとんど見られず、枕状溶岩の噴出深度は Moore (1970a, b) に基づくとかなり深かったと考えられる。このことは、深海で溶岩が噴出した地域での例のように枕状溶岩が close-packed タイプであることやハイアロクラスタイトがほとんど見られないことと調和的である。

b: ピローブレッチャ

一般に暗赤色を呈するが、一部に暗緑色を呈する角礫状ドレライトも見られる。角礫の大きさは径約 5～15 cm であり、枕の形態を残しているものが多い。その枕は、枕状溶岩に比べ小さく円筒状の外形 (径 20～50 cm) をもつ枕状溶岩と同じく気泡は認められない。このピローブレッチャの隙間には、蛇紋岩と輝石の粒子が方解石でセメントされたオフィカルサイト状の物質がつまっている。蛇紋岩片の多い部分は緑色に見える。これらのピローブレッチャはこのようなオフィカルサイトを伴うことを特徴とする。蛇紋岩の角礫は鋭いエッジを持つ。大きな輝石結晶 (0.8 mm 大) も同様の破片を形成しており、同じ露頭で観察される。これらは、細粒の斜長石斑晶 (0.1 mm 以下) を含むガラス質玄武岩の岩片と共存することもある。

2. ブロック状緑色岩類

泥質岩中にブロックとして含まれる緑色岩類には玄武岩、ドレライト、ハンレイ岩が見られる。すべて暗緑色を呈する。玄武岩にはスラブ状の緑色岩類と異なり、気泡が見られる。ブロック状の玄武岩、ドレライト、ハンレイ岩はともに塊状を呈し、泥質岩に対し岩脈やシル状に貫入しているものはない。泥質岩基質中にはマンガンジュール、ミクライト質石灰岩、赤色頁岩、酸性凝灰岩、凝灰質砂岩、蛇紋岩などのブロックも含まれている (Figs. 7 & 8)。

なお、本研究でブロック状としたものの中には、まれに周囲の基質との直接の接触関係が不明のものもある。もし、より良好な露出が得られれば、明瞭な産状が判明するものもあろうが、今回は露頭の状況からそれらはブロック状と判定した。

緑色岩類の岩石記載

Table 1 に緑色岩類の岩石学的特徴をまとめた。スラブ状の枕状溶岩、ピローブレッチャはカンラン石玄武岩または無斑晶玄武岩からなる。ブロック状緑色岩類は主に、カンラン石輝石玄武岩、カンラン石輝石ドレライト、カンラン石輝石ハンレイ岩からなる。構成鉱物では、スラブ状緑色岩類が単斜輝石斑晶をまったく含まな

Fig. 7. Fault contact between serpentinite and mudstone containing various kinds of blocks which include gabbro, manganese nodules, red shale, tuffaceous sandstone, acidic tuff and serpentinite at locality No. 60,

Fig. 8. Mode of occurrence of various blocks of bedded tuffaceous limestone and other kinds of rocks at locality No. 97.

Table 1. Summary of petrography for greenstones in the Mt. Chibasan area.

rock type		phenocryst			groundmass		
		pl	ol	cpx	pl	ol	cpx
pillow lava	olivine basalt	⊙	○	—	⊙	○	⊙
	aphyric basalt	△	△	—	○	○	⊙
pillow breccia	olivine basalt	⊙	○	—	⊙	○	⊙
	aphyric basalt	△	△	—	○	○	⊙
block	olivine basalt	⊙	○	—	⊙	○	⊙
	olivine pyroxene basalt	—	○	○	⊙	—	—
	spilitite	⊙	—	○	⊙	—	—
	olivine pyroxene dolerite	⊙	○	○	—	—	—
	olivine pyroxene gabbro	⊙	⊙	○	—	—	—

⊙: abundant, ○: common, △: rare, —: absent.

pl, plagioclase; ol, olivine; cpx, clinopyroxene; double circle, abundant; circle, common; triangle, rare; dash, absent.

い点でブロック状緑色岩類と異なる。

枕状溶岩は、斑晶としてカンラン石と斜長石をもつカンラン石玄武岩で、カンラン石のまわりに単斜輝石との

反応縁はみられない。斜長石斑晶は、すべて曹長石化作用をうけており、斜長石のものと双晶は不明瞭になりモザイク組織を呈する。枕状溶岩の周縁部にはバリオリティック組織が認められる。枕状溶岩を貫く岩脈は暗緑色を呈し、枕状溶岩と同一の鉱物組み合わせと組織をもつ。ただし、斑晶粒がわずかに大きくカンラン石は蛇紋石化作用を受け、斜長石は曹長石化作用を受けている。

シート状溶岩と塊状溶岩は、ともに無斑晶質玄武岩で、まれにカンラン石、斜長石の斑晶を含む。斑晶粒径は枕状溶岩や岩脈よりも細粒である。ピロープレッチャはカンラン石玄武岩と無斑晶質玄武岩が主体をなす。石基の単斜輝石は無色である。

一方、ブロック状の玄武岩の多くは、カンラン石輝石玄武岩である。斑晶単斜輝石は無色である。気泡は緑泥石で充填されている。ハンレイ岩は、カンラン石の結晶に富む。単斜輝石はカンラン石の周囲に成長している。斜長石は曹長石化作用を受けており、斜長石の双晶はほ

Fig. 9. Map showing locality of samples and outcrops.

とんど残っていない。

緑色岩類の化学組成

1. 測定条件

滝沢衝上体中の緑色岩類の岩石試料 48 個について主成分元素の化学分析を行った。Fig. 9 には試料採集地点を示した。このうち 43 個の岩石試料については Ti および微量元素(Rb, Sr, Nb, Y, Zr)の分析も行い、岩石化学的性質の検討を試みた。

岩石試料はできる限り新鮮なものを選び、粉碎する際には脈や杏仁を作る方解石やシリカ鉱物からなる二次鉱物を取り除くようにした。

主成分元素は、Link 社のエネルギー分散型マイクロプローブを備えた日本電子製電子顕微鏡 JSM-T100 を用いた。粉末試料は、丸山・堀田(1980)によるイリジウムはく溶融法に従いガラスに調整した。補正計算には ZAF 法(Link 社製 'ZAF/FLS' プログラム)を用いた。その分析値を Appendix Table 1 に示した。分析に際しては、同様にして調整した地質調査所の標準試料 JB-1 の分析を平行して行い、分析精度を確かめた。その分析値 100 個の平均値と Ando *et al.*(1974)による JB-1 の推奨値は非常に一致を示す(Appendix Table 2)。

微量元素は中田(1987)の方法に従い、理学電機製 3063P 型蛍光 X 線装置を使用した。分析精度は Nb を除いて数～数 10 ppm 以内、Nb については数 ppm 程度である。詳細については中田(1987)および Nakada & Kamata(1991)を参照されたい。微量元素の分析値を Appendix Table 3 に示した。

2. 変質・変成の影響

付加体中に産する緑色岩類の多くは種々の程度の海底風化、変質および変成作用の影響を受けており、そのため元の化学組成を保持していないことが知られている。Hart(1970)および内田(1979)は、海底風化した海嶺玄武岩の化学組成はアルカリ岩になるため、アルカリ-シリカ図で元の組成を論ずる危険性を指摘している。このため、緑色岩類の化学的性質を議論する場合には、上記の二次的作用に対して移動しにくい元素を用いるべきである。比較的動きにくい元素として、主成分元素では、 TiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO^* 、 MgO を挙げることができる(Hart, S. H., 1969; Cann, 1970; Hart, R., 1973; Miyashiro, 1974, 1975; Scott & Hajash, 1976)。微量成分元素では、Y, Zr, Nb が挙げられる(Cann, 1970; Pearce & Cann, 1973)。

滝沢衝上体に産する緑色岩類のアルカリ-シリカ図を Fig. 10 に示した。スラブ状の玄武岩は SiO_2 45～53%

Fig. 10. $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ versus SiO_2 diagram for the Setogawa greenstones. Boundary between SA (sub-alkalic) and A (alkalic) series for the Hawaiian volcanic rocks after MacDonald and Katsura (1964) is shown as a dashed line.

であるが、ブロック状のものは SiO_2 47～61% と広い幅にわたり、一部は玄武岩でないものも含む。一部非アルカリ領域にプロットされるものの、大部分はアルカリ岩の領域にプロットされる。Fig. 11 は Miyashiro (1975)による $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ - $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 図である。V-V'の線は世界中の新第三紀から第四紀の新鮮な火山岩について示した $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 量に対する $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比の上限(Miyashiro, 1975)である。この線を越えるものはアルカリ元素が移動したため $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ に対して異常に高い $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ 比をもつに至ったと考えられる。今回、全岩分析を行った岩石試料のうち、約半分の試料がアルカリ量の異常値を示す(Fig. 11)。このため、本地域の緑色岩類の多くは二次的作用によってアルカリ元素の移動が起こっている見込みが極めて強いといえる。

3. 岩系区分

Winchester & Floyd(1977)の Nb/Y 比を用いた区分に従えば、滝沢衝上体の緑色岩類はアルカリ岩と非アルカリ岩とに分けられる(Fig. 12)。スラブ状の枕状溶岩とピローブレッチャは、すべて SiO_2 が 53% 以下の非アルカリ玄武岩の領域にプロットされる。Nb/Y 比は 0.15 以下である。ブロック状の緑色岩類は、アルカリ岩の領域と非アルカリ岩の二つの領域に分かれて分布する。前者の Nb/Y 比は 0.7 以上、後者のそれは 0.2 以下である。

Nb/Y- SiO_2 図で非アルカリ岩の領域にプロットされるもののみについて、 FeO^* (全鉄を 2 価)/ MgO 比に対する SiO_2 、 FeO^* 、 TiO_2 の変化を検討した(Fig. 13)。

スラブ状の枕状溶岩とピローブレッチャは FeO^*

Fig. 11. $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ versus $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ diagram for greenstones of the Setogawa Terrane. Line V-V' is after Miyashiro (1975), representing the upper limit of $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ for fresh volcanic rocks.

/MgO 比の増加に対して SiO_2 はほぼ 50% 前後で一定であり、ソレライト系列の領域に落ちる。この時 FeO^* と TiO_2 はほぼ一定である。これは、ソレライト系列に見られる特徴(Miyashiro, 1974)である。一方、ブロック状の緑色岩類は FeO^*/MgO 比の増加に伴い、一般に SiO_2 が増加する傾向にあり、 FeO^* と TiO_2 は減少する。これは、カルク・アルカリ岩系列の特徴である(Miyashiro, 1974)。

スラブ状とブロック状緑色岩類の産状の違いは化学組成の違いとしても現れている。スラブ状緑色岩類の枕状溶岩、ピロープレッチャはすべてソレライト岩系であり、ブロック状の緑色岩類はアルカリ岩系、カルク・アルカリ岩系、ソレライト岩系を含む。分析したブロック状緑色岩類の中で各岩系の占める割合は、アルカリ岩が最も多く 64% で、カルク・アルカリ岩系とソレライト岩系がそれぞれ 29% と 7% である。

4. 微量元素組成に基づく起源

Pearce & Cann(1973)は、Ti, Y, Zr, Srなどの微量元素組成比を用いて玄武岩の生成の場(かれらはそれを

Fig. 12. The Setogawa greenstones plotted on the Nb/Y- SiO_2 discrimination diagram of Winchester & Floyd (1977). All pillow lavas and pillow breccias are plotted in the field of sub-alkaline basalt. Blocks of greenstones within mudstone are plotted in four different fields.

tectonic setting と呼んでいる)を特定する試みを行った。それによりプレート内玄武岩(WPB)、海洋底玄武岩(OFBすなわち中央海嶺玄武岩, MORB)、低カリウムソレライト(LKT)(すなわち初期島弧玄武岩)、およびカルクアルカリ玄武岩(CAB)(発達した島弧玄武岩)に区別することが可能であったとした。この区分は多くの研究者によって採用されてきた(例えば, Pearce, 1982; Wood *et al.*, 1982; Bloomer, 1983; Thirlwall & Bluck, 1984 など)。

最近, Meschede(1986)は上記の元素に Nb を加えてより詳しい区分が可能としている。それによると, WPB にアルカリ岩(WPA)とソレライト(WPT)の区別が可能, また MORB にブルームタイプのもの(P-MORB)と一般のもの(N-MORB)の区別が可能としている。また, 彼は島弧の玄武岩を VAB として一括した。これらの判別図では二つ以上の tectonic setting のどちらかであることを明確にできないこともある。しかし, これらの方法は, 主成分元素組成では知り得ない玄武岩生成の場を示す可能性がある。

滝沢衝上帯に産する緑色岩類の組成を Pearce & Cann

Fig. 13. SiO_2 , TiO_2 , FeO^* versus FeO^*/MgO diagrams for greenstones of the Setogawa Terrane. FeO^* means total iron as FeO . The diving line separating calc-alkaline (CA) and tholeiitic rocks (TH) is after Miyashiro (1974).

(1973)の Ti-Zr-Y 図に示した (Fig. 14). それらの緑色岩類は、2つの領域にプロットされる。すなわち、プレート内玄武岩 (WPB) の占める領域内と、海洋底玄武岩 (OFB)、低カリウムソレイト (LKT) およびカルク・アルカリ岩 (CAB) が占める領域である。スラブ状の枕状溶岩とピロープレッチャは後者の領域のみに、ブロック状緑色岩類は両領域にまたがる。

後者の三種の玄武岩類がつくる領域に落ちるもののみについて、さらに Meschede (1986) の Nb-Zr-Y 図上 (Fig. 15) で検討すると、スラブ状の枕状溶岩とピロープレッチャはすべて N-MORB と VAB の重なった領域にプロットされる。一方、ブロック状の緑色岩類は WPB (Fig. 15 では WPA と WPT) にプロットされるものと N-MORB と VAB の重なる領域にプロットされる

ものがある。

そのほかの判定図 (例えば, Ti-Zr 図) を用いても上の結果と矛盾しない結果が得られる。以上のことより、微量元素組成の比較から推定される千葉山の緑色岩類の生成の tectonic setting は以下のように解釈される。

スラブ状の緑色岩類は中央海嶺または島弧で生産された。一方、ブロック状緑色岩類はプレート内部で生産されたものと、中央海嶺または島弧で生産されたものとがある。

考 察

1. 瀬戸川付加体の緑色岩類の比較

瀬戸川付加体に分布する緑色岩類の主成分化学組成は、これまでに、Tiba (1966), Ohashi (1980), 大橋・

Fig. 14. The Setogawa greenstones plotted on the Ti-Zr-Y basalt discrimination diagram. WPB = within plate basalts; LKT = low potassium tholeiites; CAB = calc-alkaline basalts; OFB = ocean-floor basalts. The domain boundaries are after Pearce & Cann (1973).

Fig. 15. The Setogawa greenstones plotted in the Nb-Zr-Y discrimination diagram. N-MORB = oceanic basalt from normal mid-ocean ridge environment; P-MORB = basalt from plume-influenced regions; WPT = within-plate tholeiite; WPA = within-plate alkali basalt; VAB = volcanic arc basalt. The domain boundaries are after Meschede (1986).

白木(1981), 杉山ほか(1982), Naka(1988)によって報告されている。これらによると, その緑色岩類の大部分はソレイト質玄武岩からなり(Ohashi, 1980), その

ほかアルカリカンラン石玄武岩, 安山岩, 閃緑岩, 高マグネシア・高シリカ岩が存在する。ただし, Naka(1988)を除き測定試料数は少なく, 微量元素の分析値はない。Figs. 14, 15 で見たように, 滝沢衝上体の緑色岩類に量的にはソレイト質玄武岩が圧倒的に多いことは, Ohashi(1980)の見解と一致する。

本地域のスラブ状のソレイト質玄武岩では他の瀬戸川付加体中の緑色岩類に比べて, 比較的移動しにくい TiO_2 量は低い。滝沢衝上帯の北方延長の高山衝上帯の緑色岩類には TiO_2 量のきわめて高いものと低いものがある(Naka, 1988)。その TiO_2 量が高いものはほとんどアルカリ岩系のドレイト質であり, 枕状溶岩を貫く岩脈である(Naka, 1988)。本研究の調査地域では TiO_2 量の高いドレイト質のアルカリ岩は泥質岩に囲まれたブロック状緑色岩類としてのみ産する。

最近, 筆者のうちの一人小川は Naka(1988)が分析した高山衝上帯に分布する岩石試料(PL05, BP11, 051014-01, 052510-06, 060207)の微量成分元素組成を測定した。それらは, アルカリ岩と非アルカリ岩からなる。その非アルカリ岩はスラブ状のもので N-MORB 起源の領域に, また, アルカリ岩はそれらを貫くハンレイ岩岩脈であり WPB の領域に落ちる。高山衝上帯に見られる緑色岩類のこのような特徴は, 滝沢衝上体の緑色岩類の起源を考える上で参考になる。

大橋・白木(1981)は瀬戸川付加体の最北西部の大岳衝上帯の緑色岩類中に高い MgO 量を示す中性岩を見だし, 島弧由来の岩石が存在することを指摘した。彼らはそれらは小岩体であるとし, その多くが蛇紋岩体中かそれに接して産するとしている。本地域では, カルク・アルカリ岩はすべてブロック状に産出するため, 両地域の島弧由来の岩石の産出状況はよく似ているといえる。

2. スラブ状緑色岩類の起源

スラブ状のピローブレッチャは蛇紋岩や輝石の破片を多量に伴うが, 陸源物質を伴わない。また緑色岩類の上位の石灰岩, チャート中にも陸源砕屑片は確認できない。Osozawa(1988)によると, 瀬戸川付加体の玄武岩・石灰岩・チャートの形成には約2000万年を要している。このような数千万年にわたり陸源砕屑片が流入しない堆積環境が, 発達した島弧で生じるとは考えにくい。

スラブ状緑色岩類は MORB と島弧の両方の特徴を示す微量元素組成をもっている。このような相対的に Nb に乏しい組成の玄武岩は背弧型のものでも報告されている(Wood *et al.*, 1982; Saunders & Tarney, 1984)。Wood *et al.*(1982)が報告したマリアナトラフ Hole456

の玄武岩は Zr-Y-Nb 図でスラブ状緑色岩類と同じ領域に落ちる。また、その TiO_2 量もよく似ている (Fig. 13)。背弧であってもスラブ状の緑色岩類の生成環境を説明し得るかもしれない。以上のことから、スラブ状緑色岩類は背弧型の MORB 起源である可能性が残るといえる。

これまで本調査地域から産出した化石の年代では、玄武岩の直上の石灰岩の年代は中期始新世である (Ibaragi, 1984) (Fig. 4)。一方、日本海溝の太平洋プレートでは、チャートの最上部の年代は後期白亜紀を示す (Barron *et al.*, 1980)。また、第一鹿島海山から得られた火山岩の年代は約 120 MaBP、石灰岩は前期ないし後期白亜紀のパレミアン～セノマニアンを示す (Konishi, 1989)。マリアナトラフの東に位置する太平洋プレートも後期白亜紀を示す (Kling, 1982)。このように、現在の太平洋プレートの北西縁部には白亜系が存在し、古第三系のもはそのずっと東側にある。その部分は西方に向かって年代が古くなる。よって、このことから、瀬戸川付加体の緑色岩の起源を現在の太平洋プレートに求めることはかなり難しい。瀬戸川付加体の形成された第三紀のある時期に現在の太平洋プレートと同時代またはより新しいものが、瀬戸川付加体の前面に存在していたとすると、それはトランスフォーム断層によって分離された、当時としては若い太平洋プレートか (Hibbard & Karig, 1990)、太平洋プレートとは別のプレート (“嶺岡プレート”; 小川・谷口, 1989) であると考えられる。

Osozawa *et al.* (1990) は、瀬戸川付加体形成時に沈み込んだ中央海嶺を Kula-Pacific 海嶺と考えたが、Engelbreton *et al.* (1984) のプレート相対運動に基づく Maruyama & Seno (1986) によると、その海嶺は白亜紀-第三紀境界頃に日本の周辺を通過しているので、彼らが考えた中新世前期頃にこの付近に存在していた見込みは薄い。

先に述べた瀬戸川付加体の玄武岩類・石灰岩・チャートの形成時間や堆積環境からは、そのような場をユーラシアプレートなどの、すでに島弧を有していたプレートに求めることもできない。Seno & Maruyama (1984)、Seno (1985) はフィリピン海プレートの発達を詳しく論じ、48~40 MaBP 頃に背弧海盆としての West Philippine Basin が形成されていたことを示した。この背弧海盆の縁辺の海溝周辺は瀬戸川付加体の堆積時間・環境をうまく説明する可能性がある。しかし、Kinoshita (1980) の示した古地磁気の結果からは、West Philippine Basin は赤道を挟んで北上したとされており、第三紀にははるか南方にあったこととなり、瀬戸川付加体中

の緑色岩の起源としては考えにくい。

一方、小川・谷口 (1987)、谷口・小川 (1989) は、始新世の頃に北に沈み込む “嶺岡プレート” を想定しており、それを Seno & Maruyama (1984)、Seno (1985) の北ニューギニアプレートの対として考えた。小川・谷口 (1989) は嶺岡プレートを房総半島の嶺岡帯の玄武岩類、関東山地の小仏層群および瀬戸川付加体の玄武岩類の属していたプレートと考えている。ただし、これが Jolivet *et al.* (1989)、Hibbard & Karig (1990) の考えたような太平洋プレートの一部であった可能性はある。

以上のように瀬戸川付加体のスラブ状緑色岩類は太平洋プレートか嶺岡プレートのどちらかの大洋を構成していた海洋プレートに由来することが考えられる。しかし、化学組成に基づく考察からは、背弧海盆的なものであった可能性も否定できない。

3. 瀬戸川付加体の形成モデル

瀬戸川付加体の緑色岩のエンプレイスメントを説明する形成モデルについて、従来二つの提案がある。一つは Naka (1985, 1988) の海山の付加モデル、もう一つは Osozawa (1988)、Osozawa *et al.* (1990) および 杉山・下川 (1989) の、海洋地殻がスラストによって切られ覆瓦状に配列するモデルである。Osozawa *et al.* (1990) はそれに加えて、海嶺や海山からのマグマの噴出が海溝付近で起こったことも考えている。しかし、我々が調査した限りにおいてはそのようなことを支持する積極的証拠は見つからなかった。

本論で述べた滝沢衝上体の緑色岩類の産状と起源の多様性は、上のような単純な形成モデルでは説明困難な点が多い。ここで提唱するモデルは海洋地殻と海山および島弧由来の岩石が別々のメカニズムで付加するとするモデルである。現在までの各種の知識を総合するとそのシナリオは次のようになる (Fig. 16)。

瀬戸川付加体のスラブ状緑色岩類は 48~42 MaBP 以前に海洋プレートまたは背弧海盆玄武岩として形成された。この玄武岩は MORB に近い組成であった。マグマの噴出は、陸源砕屑片の届かぬ深海であったため、玄武岩マグマは発泡せず、石灰泥中に流れた。このため、枕状溶岩のピローどうしの隙間やピロー内部の空洞を石灰泥が充填した。枕状溶岩の形成後、放散虫遺骸を含むミクライト質石灰岩の堆積が始まり、42 MaBP 頃層状チャートが堆積しはじめた。これらの石灰岩とチャートの堆積には約 2000 万年を要した。これらを乗せたプレートが日本に近づく間に海山を作るホットスポットタイプの火成活動がプレート内に起こり、アルカリ岩質のドレライトやハンレイ岩を形成した。この海洋プレート

Fig. 16. Schematic model of accretionary complex thought to have developed in the Setogawa Terrane. The incorporation of greenstones of three different origins are illustrated.

の沈み込みは前期中新世以後に起こった。この際島弧ではカルク・アルリ岩系の玄武岩質マグマや凝灰岩を作った酸性マグマの活動が起こっており、それに由来する岩石が多量に海溝へ供給された。一方、海側斜面からは、海山の崩壊物が供給され、泥質岩とともに海溝充填堆積物となった。このため、ブロック状緑色岩類中にはアルカリ岩やカルク・アルカリ岩など種々の岩系のものが含まれるようになった。これらの海溝充填堆積物はスライス状に陸側に付加された。さらにスラブ状緑色岩類は、海洋プレートが衝上断層によって、付加された海溝充填堆積物の下面にさらに底付け付加作用によって陸側に付け加わった。

瀬戸川付加体に見られる玄武岩、石灰岩、チャートのスラブ状とブロック状の緑色岩の帯状配列構造はこのような形成過程をへたものと考えられる。

ま と め

瀬戸川付加体の滝沢衝上体の緑色岩類は、産状の違いから“スラブ状”と“ブロック状”に分けられる。この異なった産状の緑色岩類は鉱物組成も異なり、スラブ状緑色岩類は単斜輝石斑晶をまったく含まない。化学組成からはスラブ状緑色岩類は MORB に類似しており、ブロック状緑色岩類にはホットスポットタイプの海山、あるいは島弧の玄武岩、MORB などに類似しているものを含む。このため滝沢衝上体の緑色岩類は複数の異なる構

造場に由来したと考えられる。MORB 類似の玄武岩は背弧にも生じ得るため、今回研究したものは背弧的な海洋プレートを構成した海嶺型玄武岩を示す可能性もある。一方、ブロック状緑色岩は海嶺型玄武岩の上に生じた海山の玄武岩および島弧玄武岩の混合したものと考えようまく説明がつく。このように、緑色岩類の産状と化学的性質から緑色岩類の由来した場所を特定することは、付加体の形成メカニズムを考える上で極めて重要である。

Ogawa & Taniguchi(1989)は本邦の過去の付加体中の緑色岩について同様の検討を行い、一般的に比較的深所での底付けによって付加したと考えられるものは海洋プレートを構成していた MORB 類似のものであり、一方比較的浅所での引きはがしで付加したまたは海溝からの滑落と考えられるものは海山を構成していたホットスポットタイプのものであることを明らかにした。本研究もこれを大筋では支持するものではあるが、この種の検討は岩石学的および地球化学的にまだ不十分であり、今後の一層の研究が待たれる。

謝辞 本研究を進めるにあたり九州大学理学部の柳 哮教授には蛍光 X 線装置の使用を許可していただいた。瀬戸川帯北部の緑色岩類のサンプルは海洋科学技術センターの仲 二郎博士からお借りした。North Carolina State University の Jim Hibbard 博士には英文要旨と図、表の説明文の校閲をお願いした。これらの方々に心

から感謝する。研究費の一部に小川に与えられた文部省科学研究費(一般 A62420014)と坂本に与えられた松本研究奨励金を用いた。当局と松本達郎名誉教授に感謝する。

文 献

- Ando, A., Kurashima, H., Ohmori, T. and Takeda, E., 1974, Complication of data on the GSJ geochemical reference samples JG-1 granodiorite and JB-1 basalt. *Geochem. Jour.*, **8**, 175-192.
- Ballard, R. D. and Moore, J. G., 1977, *Photographic Atlas of the Mid-Atlantic Ridge Valley*. Springer-Verlag, New York, 114 p.
- Barron, J. A., Harper, H. E., Keller, J. R. G., Reynolds, R. A., Saksi, T., Shaffer, B. L. and Thompson, P. R., 1980, Biostratigraphic summary of the Japan trench transect, Legs 56 and 57, Deep Sea Drilling Project. In Scientific Party, *Init. Rep. Deep Sea Drilling Project*, **56** and **57**, 505-520.
- Bloomer, S. H., 1983, Distribution and origin of igneous rocks from the landward slopes of the Mariana trench: Implications for its structure and evolution. *Jour. Geophys. Res.*, **88**, 7411-7428.
- Blow, W. H., 1969, Late Middle Eocene to Recent planktonic foraminiferal biostratigraphy. *Proc. 1st. Int. Conf. Plankt. Microfossils*, **1**, 199-429.
- Cann, J. R., 1970, Rb, Sr, Y, Zr and Nb in some ocean-floor basaltic rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **10**, 7-11.
- 千谷好之助, 1931, 7 万 5 千分の 1 地質図幅「静岡」及び同説明書。地質調査所, 48 p.
- Engelbreton, D. C., Cox, A. and Gordon, R. G., 1984, Relative motions between oceanic plates of the Pacific basin. *Jour. Geophys. Res.*, **89**, 10291-10310.
- Hart, R., 1970, Chemical exchange between sea water and deep ocean basalt. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **9**, 269-279.
- , 1973, A model for chemical exchange in the basalt-seawater system of oceanic layer II. *Can. Jour. Earth Sci.*, **10**, 799-815.
- Hart, S. H., 1969, K, Rb, Cs contents and K/Rb, K/Cs ratios of fresh and altered submarine basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **6**, 295.
- Hibbard, J. P. and Karig, D. E., 1990, Alternative plate model for the early Miocene evolution of the southwest Japan margin. *Geology*, **18**, 170-174.
- 本田雅健・永井尚生・中曽根友朗・久保木満・須藤正久・三宅輝海・谷口英嗣, 1986, 玄武岩中の希土類元素の分布。日大文理自然研紀要(総合科学), **21**, 1-23.
- 茨木雅子, 1981, 浮遊性有孔虫による南部フォッサマグナ新第三系の地質年代。地質雑, **87**, 47-49.
- Ibaragi, M., 1984, Middle-late Eocene planktonic-foraminiferal faunas from limestones of the Setogawa Group, central Japan. *Trans. Proc. Palaeont. Soc. Japan*, N. S., no.135, 401-414.
- 岩崎正夫, 1979, 特集「日本のオフィオライト研究」。地質雑, **85**, 277-278.
- Jolivet, L., Huchon, P. and Rangin, C., 1989, Tectonic setting of Western Pacific marginal basins. *Tectonophysics*, **160**, 23-47.
- 君波和雄・宮下純夫, 1992, 上部白亜系四万十累層群榎峰層(九州)中の緑色岩の産状と化学組成。地質雑, **98**, 391-400.
- Kinoshita, J., 1980, Details of magnetic-polarity transitions recorded in sediment cores from Deep Sea Drilling Project Site 445, Philippine Sea. In Ingle, J., Kobayashi, K. et al., eds., *Init. Rept. Deep Sea Drilling Project*, U.S. Govnt. Printing Office, Washington, D.C., **58**, 765-768.
- 北里 洋, 1980, 瀬戸川層群からの深海性底生有孔虫化石群集。四万十帯の地質学と古生物学—甲藤次郎教授還暦記念論文集一, 219-225.
- Kling, S. A., 1982, Radiolarians from the Mariana Trough and Trench region: Deep Sea Drilling Project Leg 60. In Hussong, D. M., Uyeda, S., et al., eds., *Init. Repts. Deep Sea Drilling Project*, U.S. Govnt. Printing Office, Washington, D.C., **60**, 537-555.
- Konishi, K., 1989, Limestone of the Daiichi-Kashima Seamount and the fate of a subducting guyot: fact and speculation from the Kaiko "Nautile" dives. *Tectonophysics*, **100**, 249-265.
- Lash, G. G., 1985, Accretion-related deformation of an ancient (early Paleozoic) trench-fill deposit, central Appalachian orogen. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **96**, 1167-1178.
- Macdonald, G. A. and Katsura, T., 1964, Chemical composition of Hawaiian lavas. *Jour. Petrology*, **5**, 82-133.
- Macpherson, G. J., Phipps, S. P. and Jeffrey, N., 1990, Diverse sources for igneous blocks in Franciscan melanges, California Coast Ranges. *Jour. Geol.*, **98**, 845-862.
- Mackenzie, J. S., 1989, Geochemical study of the greenstones of the Cretaceous and Paleogene Shimanto accretionary complex in eastern Kyushu: Implications for origin and mode of emplacement. *Jour. Min. Pet. Econ. Geol.*, **84**, 278-292.
- 榎山次郎, 1950, 日本地方地質誌「中部地方」。朝倉書店, 241 p.
- , 1963, 掛川地方地質図及び同説明書。地質調査所, 30 p.
- 丸山茂徳・堀田幸信, 1980, マイクロプローブによる全岩化学分析の為の均質ガラス作成法—Ir 薄版上での空気雰囲気下直接融解法(Nicolls, 1974)一。富山大教育紀要, **28**, 39-44.
- Maruyama, S. and Seno, T., 1986, Orogeny and relative plate motions: Example of the Japanese Islands. *Tectonophysics*, **127**, 305-329.
- Matsumoto, E., 1966, Geology of the Palaeogene and lower Neogene formations in the lower course of River Ooigawa, Shizuoka Prefecture, central Japan. *Mem. Coll. Sci., Univ. Kyoto, Ser. B*, **33**, 115-133.
- , 1971, Oligocene molluscs from the Setogawa Group in central Japan. *Bull. Nat. Sci. Mus. Tokyo*, **14**, 661-669.
- Meschede, E., 1986, A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalt and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chem. Geol.*, **56**, 207-281.
- Miyashiro, A., 1974, Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *Amer. Jour. Sci.*, **274**, 321-355.
- , 1975, Classification, characteristics, and origin of ophiolites. *Jour. Geol.*, **83**, 249-281.

- Moore, J. G., 1970a, Water content of the basalt erupted on the ocean floor. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **28**, 272-279.
- , 1970b, Submarine basalt of the Revillagigedo Islands region, Mexico. *Marine Geol.*, **9**, 331-345.
- Naka, J., 1985, Broken seamount fragments in the Setogawa subduction complex. In Nasu, N. et al., eds., *Formation of Active Ocean Margins*. TERRAPUB, Tokyo, 747-773.
- , 1988, Volcanostratigraphic sequence of greenstones in the Setogawa terrain, Central Japan. *Modern Geol.*, **12**, 234-282.
- 中田節也, 1987, 珪酸塩岩石中の微量元素の X 線による定量(その 2). 九大理研報(地質), **15**, 37-44.
- Nakada, S. and Kamata, H., 1991, Temporal change in chemistry of magma source under central Kyushu, Southwest Japan: progressive contamination of mantle wedge. *Bull. Volcanol.*, **53**, 182-194.
- 小川勇二郎・谷口英嗣, 1987, 前弧域のオフィオリティック・メランジェと嶺岡帯の形成. 九大理研報(地質学), **15**, 1-23.
- , 1989, 微量元素組成と産状からみた本邦の付加体および構造帯中の玄武岩類の起源とエンプレキシメントのプロセス. 地学雑, **98**, 118-132.
- Ogawa, Y. and Taniguchi, H., 1989, Origin and emplacement of basaltic rocks in the accretionary complexes in SW Japan. *Ophiolite*, **14**, 177-193.
- Ohashi, F., 1980, An alkali olivine basalt and its related rocks from the Setogawa Group, Shizuoka City. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **86**, 799-815.
- 大橋不三男・白木敬一, 1981, 瀬戸川オフィオリイトの高マグネシア・高シリカ火山岩. 岩鉱, **76**, 69-79.
- Osozawa, S., 1988, Accretionary process of the Tertiary Setogawa and Mikasa Groups, Southwest Japan. *Jour. Geol.*, **96**, 199-208.
- , Sakai, T. and Naito, T., 1990, Miocene subduction of an active mid-ocean ridge and origin of the Setogawa ophiolite, central Japan. *Jour. Geol.*, **98**, 763-771.
- Pearce, J. A., 1982, Trace element characteristics of lavas from destruction plate boundaries. In Thorpe, R. S. ed., *Andesites*, John Wiley and Sons, N.Y., 525-548.
- and Cann, J. R., 1973, Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **19**, 290-300.
- 坂井 卓・勘米良亀齡, 1981, 宮崎県北部四万十帯の層序ならびに緑色岩の層序・構造的位置. 九大理研報, (地質), **14**, 31-48.
- Sano, H., 1988a, Permian oceanic rocks of Mino Terrane, central Japan. Part I. Chert facies. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **94**, 697-709.
- , 1988b, Permian oceanic-rock of Mino Terrane, central Japan. Part II. Limestone facies. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **94**, 963-976.
- Saunders, A. D. and Tarney, J., 1984, Geochemical characteristics of basaltic volcanism within back-arc basins. In Kokelaar, B. P. and Howell, M. F., eds., *Marginal Basin Geology*. Geol. Soc. London, Spec. Publ., **16**, 59-76.
- Scott, R. B. and Hajash, A. J., 1976, Initial submarine alteration of basaltic pillow lavas: a microprobe study. *Amer. Jour. Sci.*, **276**, 480-501.
- Seno, T., 1985, Was there a North New Guinea plate? *Geol. Surv. Japan Rept.*, **263**, 29-42.
- and Maruyama, S., 1984, Paleogeographic reconstruction and origin of the Philippine Sea. *Tectonophysics*, **102**, 53-84.
- 杉山雄一・下川浩一, 1989, 赤石山地四万十帯における前期中世付加体(瀬戸川帯)の形成過程. 構造地質, no. 34, 173-188.
- ・———・坂本 亨・秦 光男, 1982, 静岡地域の地質. 地域地質研究報告(5 万分の 1 図幅), 地質調査所, 82 p.
- Taira, A., Katto, J., Tashiro, M., Okamura, M. and Kodama, K., 1988, The Shimanto Belt in Shikoku, Japan-Evolution of Cretaceous to Miocene accretionary prism. *Modern Geol.*, **12**, 5-46.
- 平 朝彦・岡村 真・甲藤次郎・田代正之・斎藤靖二・小玉一人・橋本光男・千葉とき子・青木隆弘, 1980, 高知県四万十帯北帯(白亜系)における“メランジェ”の岩相と時代. 平 朝彦・田代正之編四万十帯の地質と古生物. 林野弘済会高知支部, 179-214.
- 谷口英嗣・小川勇二郎, 1989, 伊豆-小笠原弧・マリアナ弧の発達と日本海形成頃の南部フォッサマグナ. 月刊地球, **11**, 552-559.
- Thirlwall, M. F. and Bluck, B. J., 1984, Sr-Nd isotope and chemical evidence that the Ballantrae 'ophiolite', SW Scotland, is polygenetic. In Gass, I. G., Lippard, S. J. and Shelton, A. W. eds., *Ophiolites and Oceanic Lithosphere*. Geol. Soc. London Spec. Pub., **13**, 215-230.
- Tiba, T., 1966, Petrology of the alkaline rocks of the Takusayama district, Japan. *Sci. Rept. Tohoku Univ.*, **9**, 541-610.
- 土谷信之・坂井 卓・勘米良亀齡, 1979, 九州耳川中流域における四万十帯緑色岩類の産状と岩石学的特徴. 地質雑, **85**, 435-444.
- 内田信夫, 1979, 関東山地北部の 2, 3 の塩基性熔岩における主要化学成分の分布. 地質雑, **85**, 381-390.
- Winchester, J. A. and Floyd, P. A., 1977, Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.*, **21**, 325-343.
- Wood, D. A., Marsh, N. G., Tarney, J., Joron, J. L., Fryer, P. and Treuil, M., 1982, Geochemistry of igneous rocks recovered from a transect across the Mariana trough, arc, fore-arc and trench, Sites 453 through 461, DSDP, Leg 60. In Hussong, D.M., Uyeda, S. et al. eds., *Init. Rep. Deep Sea Drilling Project*, U.S. Govnt. Print. Office, Washington, D.C., **60**, 611-633.

(要 旨)

坂本隆之・小川勇二郎・中田節也, 1993, 瀬戸川付加体中の緑色岩類の起源とそのテクトニクス上の意義. 地質雑, 99, 9-28. (Sakamoto, T., Ogawa, Y. and Nakada, S., 1993, Origin of the green-stones in the Setogawa accretionary complex and their tectonic significance. *Jour. Geol. Soc. Japan*, 99, 9-28.)

瀬戸川帯の滝沢衝上体の緑色岩類について産状と化学組成の対応関係を検討した. 付加体中の緑色岩類はスラブ状とブロック状に分けられる. スラブ状緑色岩類は玄武岩質の枕状溶岩とピローブレッチャからなる. その下底面はスラストによって切られ, 上位は石灰岩, チャートに覆われる. ブロック状緑色岩類は玄武岩, ハンレイ岩, 安山岩からなり, 礫岩状をなして泥質岩中に産する. 主成分元素組成と微量元素組成から, スラブ状緑色岩類は MORB 型マグマの起源をもつ. ブロック状緑色岩類は島弧型マグマとホットスポット型マグマの少なくとも二つ以上の起源をもつ. インコンパティブル元素の挙動もブロック状緑色岩類の多様な起源を支持する. 瀬戸川帯においてスラブ状とブロック状緑色岩類の産状の違いはそのエンプレイスメントの違いを示すものであろう.

Appendix

Table 1. Major element contents of representative rock-types from the Setogawa Terrane (in wt. %). FeO* means total iron as FeO.

Sample No.	OI-61	OI-64	OI-86	OI-87	OI-88	OI-90	OI-91	OI-95	OI-96	OI-97
Loc. N.	b	b	b	b	pb	pb	pb	pb	pb	pb
	27	27	47	48	49	49	49	49	49	49
SiO ₂	57.38	55.63	49.41	51.26	50.49	51.57	49.88	52.86	50.69	53.08
TiO ₂	0.61	0.78	3.45	2.98	1.24	1.27	1.16	1.20	1.29	1.29
Al ₂ O ₃	18.09	18.94	13.19	14.13	16.44	16.42	15.54	18.01	18.44	18.22
FeO*	7.88	5.95	12.33	9.97	7.44	8.16	9.46	9.85	10.63	10.10
MnO	0.32	0.20	0.14	0.17	0.23	0.25	0.18	0.31	0.13	0.19
MgO	3.69	2.61	6.04	5.69	8.97	6.90	6.89	3.52	1.47	1.52
CaO	6.02	9.01	8.72	8.31	9.68	10.32	11.14	6.89	8.42	5.73
Na ₂ O	4.43	5.63	4.27	5.37	4.08	4.08	4.49	4.68	5.40	5.41
K ₂ O	1.65	0.80	0.38	0.22	0.00	0.17	0.54	2.07	2.16	2.07
Cr ₂ O ₃	0.02	0.02	0.13	0.05	0.06	0.13	0.04	0.11	0.03	0.07
V ₂ O ₃	0.03	0.03	0.08	0.10	0.03	0.08	0.11	0.05	0.03	0.06
NiO	0.00	0.02	0.02	0.08	0.04	0.12	0.06	0.09	0.06	0.09
P ₂ O ₅	0.41	0.26	0.23	0.16	0.04	0.07	0.06	0.15	0.87	0.92
Total	100.53	99.88	98.39	98.49	98.74	99.53	99.53	99.77	99.61	98.75
FeO*/MgO	2.14	2.28	2.04	1.75	0.83	1.18	1.37	2.80	7.23	6.64

Sample No.	OI-101	OI-103	OI-105	OI-106	OI-107	OI-108	OI-109	OI-113	OI-114	OI-115
Loc. N.	pl	pl	pl	d	d	d	d	pl	pl	pb
	50	50	50	50	50	50	50	50	50	51
SiO ₂	49.95	50.19	48.75	50.16	48.28	49.92	49.82	49.58	52.71	51.93
TiO ₂	1.17	1.24	1.20	1.21	1.18	1.14	1.14	1.28	1.21	1.25
Al ₂ O ₃	17.28	17.78	16.83	17.76	17.17	17.56	18.32	16.57	16.13	16.19
FeO*	9.18	9.53	9.48	8.34	9.08	8.51	7.83	8.96	8.41	8.49
MnO	0.19	0.33	0.10	0.19	0.15	0.09	0.27	0.19	0.18	0.20
MgO	5.22	4.49	5.34	7.12	5.73	7.72	7.93	4.51	6.36	5.12
CaO	11.79	10.50	12.92	12.09	14.45	11.52	11.63	13.91	9.32	8.98
Na ₂ O	4.01	4.74	4.03	3.16	3.36	3.41	3.51	4.77	5.39	6.64
K ₂ O	0.54	0.51	0.35	0.04	0.34	0.06	0.01	0.24	0.15	0.55
Cr ₂ O ₃	0.02	0.04	0.14	0.08	0.05	0.03	0.13	0.15	0.08	0.04
V ₂ O ₃	0.03	0.03	0.08	0.04	0.06	0.07	0.01	0.08	0.06	0.04
NiO	0.12	0.06	0.11	0.03	0.04	0.12	0.02	0.06	0.00	0.06
P ₂ O ₅	0.02	0.11	0.11	0.10	0.06	0.06	0.10	0.07	0.07	0.23
Total	99.51	99.55	99.45	100.33	99.97	100.20	100.71	100.38	100.08	99.72
FeO*/MgO	1.76	2.12	1.78	1.17	1.58	1.10	0.99	1.99	1.32	1.66

FeO* means total iron as FeO. pl=pillow lava. d=dyke. pb=pillow breccia.
b=block.

(Continued from p. 26)

Sample No.	OI-160	OI-169	OI-170	OI-174	OI-175	OI-261	OI-262	OI-263	OI-264	OI-266
Loc. N.	b 62	b 74	b 75	b 80	b 81	pb 165	pb 165	pl 166	pl 166	pl 167
SiO ₂	61.11	48.44	48.07	55.62	55.11	51.67	49.96	49.51	49.53	50.43
TiO ₂	0.97	0.76	1.93	1.77	0.92	1.20	1.23	1.14	1.30	1.15
Al ₂ O ₃	15.74	21.10	18.78	15.95	20.40	16.80	16.32	18.47	19.63	17.84
FeO*	8.95	4.94	11.23	8.09	8.46	8.94	9.29	9.23	9.68	9.47
MnO	0.15	0.66	0.41	0.24	0.12	0.24	0.20	0.15	0.16	0.13
MgO	3.90	1.86	2.38	4.78	5.65	5.81	10.21	3.67	3.95	2.12
CaO	1.91	16.91	9.96	5.06	2.93	9.47	8.10	9.43	7.11	10.79
Na ₂ O	5.38	3.75	5.71	6.57	6.09	4.80	3.68	4.01	4.05	5.54
K ₂ O	0.10	1.51	0.61	0.45	0.19	0.46	0.05	2.33	2.49	0.71
Cr ₂ O ₃	0.08	0.06	0.02	0.04	0.05	0.03	0.06	0.09	0.08	0.13
V ₂ O ₃	0.07	0.02	0.02	0.05	0.04	0.10	0.04	0.06	0.05	0.03
NiO	0.10	0.12	0.18	0.10	0.10	0.07	0.08	0.06	0.05	0.06
P ₂ O ₅	0.28	0.25	0.62	0.61	0.10	0.08	0.15	0.14	0.15	0.18

Total 98.74 100.39 99.91 99.33 100.16 99.68 99.37 98.29 98.23 98.58

FeO*/MgO 2.29 2.66 4.72 1.69 1.50 1.54 0.91 2.51 2.45 4.47

Sample No.	OI-291	OI-295	OI-297	OI-298	OI-299	OI-301	OI-305	OI-306	OI-314	OI-316
Loc. N.	ml 186	ml 188	pb 191	pb 191	pl 192	pb 193	b 200	pb 201	b 205	sl 207
SiO ₂	49.29	49.49	49.96	48.14	50.99	49.99	47.55	53.02	50.50	47.47
TiO ₂	1.13	1.13	1.17	1.09	1.21	1.17	2.63	1.20	2.89	1.17
Al ₂ O ₃	18.22	18.40	17.38	18.95	20.39	18.88	14.20	16.21	18.23	16.84
FeO*	9.89	10.33	8.99	7.60	9.20	8.75	11.38	8.85	7.01	8.71
MnO	0.31	0.21	0.14	0.15	0.15	0.14	0.12	0.23	0.34	0.25
MgO	4.58	4.10	3.19	7.70	1.90	5.26	15.54	5.97	4.06	5.54
CaO	10.72	9.85	11.35	12.66	8.78	11.96	4.95	9.35	10.92	14.91
Na ₂ O	2.88	3.97	4.97	2.90	5.11	3.66	2.48	5.31	5.22	3.95
K ₂ O	1.60	1.08	0.98	0.00	1.70	0.24	0.22	0.14	0.34	0.24
Cr ₂ O ₃	0.13	0.10	0.06	0.08	0.04	0.06	0.10	0.09	0.03	0.02
V ₂ O ₃	0.04	0.06	0.07	0.04	0.06	0.04	0.07	0.09	0.05	0.06
NiO	0.04	0.11	0.07	0.14	0.02	0.02	0.08	0.08	0.13	0.10
P ₂ O ₃	0.13	0.24	0.23	0.01	0.23	0.01	0.05	0.01	0.09	0.14

Total 98.96 99.06 98.56 99.46 99.78 100.17 99.37 100.55 99.81 99.40

FeO*/MgO 2.16 2.52 2.82 0.99 4.84 1.66 0.73 1.48 1.73 1.57

FeO* means total iron as FeO. pl=pillow lava. pb=pillow breccia. b=block. ml=massiv lava. sl=sheet lava.

Sample No.	OI-317	OI-319	OI-320	OI-329	OI-337	OI-338	OI-340	OI-343	OI-344	OI-349
Loc. N.	pb 207	pb 208	pb 209	f 220	f 226	f 227	f 229	f 232	f 233	f 235
SiO ₂	50.90	50.50	50.53	50.52	53.20	54.40	54.28	53.48	54.77	54.94
TiO ₂	1.34	1.10	1.17	1.34	1.41	0.71	1.33	0.63	0.97	1.28
Al ₂ O ₃	19.38	20.40	15.25	16.99	16.40	16.81	15.06	17.15	15.87	17.45
FeO*	10.22	8.39	8.97	7.83	11.08	9.06	10.77	9.15	11.28	10.12
MnO	0.22	0.15	0.16	0.17	0.24	0.12	0.18	0.15	0.23	0.21
MgO	2.20	2.47	7.97	7.89	4.86	5.52	3.30	7.83	5.97	3.15
CaO	8.81	12.27	11.29	12.01	4.48	7.67	6.46	5.47	4.35	6.56
Na ₂ O	4.30	3.97	3.46	3.78	3.83	5.17	5.45	3.92	4.24	6.10
K ₂ O	1.69	1.12	0.06	0.16	3.48	0.00	1.62	2.54	2.21	0.47
Cr ₂ O ₃	0.04	0.08	0.06	0.06	0.05	0.02	0.03	0.08	0.05	0.09
V ₂ O ₃	0.04	0.08	0.06	0.10	0.02	0.08	0.05	0.04	0.04	0.01
NiO	0.05	0.15	0.07	0.02	0.02	0.10	0.06	0.15	0.12	0.05
P ₂ O ₃	0.77	0.01	0.06	0.01	0.13	0.10	0.21	0.00	0.13	0.06

Total 99.97 100.69 99.11 100.88 99.20 99.76 98.80 100.59 100.23 100.49

FeO*/MgO 4.65 3.40 1.13 0.99 2.28 1.64 3.26 1.17 1.89 3.21

Sample No.	OI-350	OI-354	OI-359	OI-381	OI-382	OI-398	OI-399	OI-400
Loc. N.	f 236	f 177	f 163	b 237b	b 237b	b 247	b 248	b 248
SiO ₂	53.97	49.19	50.84	51.81	48.18	58.00	56.85	56.59
TiO ₂	0.82	0.80	1.23	1.29	1.25	1.45	1.22	1.13
Al ₂ O ₃	16.22	20.47	18.17	15.85	16.44	15.66	16.46	15.97
FeO*	9.68	7.72	9.64	9.71	9.75	8.50	8.51	8.05
MnO	0.18	0.27	0.13	0.24	0.31	0.16	0.15	0.16
MgO	7.33	4.18	4.29	7.93	6.77	6.44	6.45	5.92
CaO	4.95	13.94	11.90	9.65	9.88	3.73	4.89	4.88
Na ₂ O	5.19	1.84	3.75	3.61	5.55	6.10	5.83	5.21
K ₂ O	0.82	0.99	0.89	0.08	0.21	0.44	0.61	0.70
Cr ₂ O ₃	0.03	0.03	0.08	0.05	0.12	0.04	0.07	0.07
V ₂ O ₃	0.08	0.11	0.05	0.08	0.03	0.05	0.09	0.07
NiO	0.15	0.01	0.02	0.08	0.09	0.10	0.09	0.10
P ₂ O ₃	0.06	0.11	0.13	0.14	0.00	0.00	0.08	0.14

Total 99.48 99.66 101.12 100.52 98.58 100.67 101.30 98.99

FeO*/MgO 1.32 1.85 2.25 1.22 1.44 1.32 1.32 1.36

FeO* means total iron as FeO. pb=pillow breccia. f=float.

Table 2. Comparison between the chemical analysis of JB-1 in this study (M. V., mean value ; S. D. standard deviation) and recommended value by Ando *et al.* (1974).

	Present Value M.V. (S.D.)	Recommended Value
SiO ₂	53.66 (0.46)	53.36
TiO ₂	1.34 (0.12)	1.37
Al ₂ O ₃	14.80 (0.27)	14.86
FeO*	8.16 (0.27)	8.28
MnO	0.16 (0.10)	0.15
MgO	7.91 (0.25)	7.92
CaO	9.40 (0.15)	9.45
Na ₂ O	2.87 (0.31)	2.86
K ₂ O	1.25 (0.11)	1.47
P ₂ O ₅	0.20 (0.15)	0.27
Total	99.75	99.99

FeO* means total iron as FeO. M.V. and (S.D.) represent mean value and standard deviation of 100 duplicate analyses, respectively.

Table 3. Minor element contents of representative rock-types from the Setogawa Terrane (in ppm).

Sample No.	OI-87	OI-160	OI-169	OI-170	OI-174	OI-175	OI-305	OI-314	OI-381	OI-382
	b	b	b	b	b	b	b	b	b	b
Loc. N.	48	62	74	75	80	81	200	205	237b	237b
Ti	19446	6363	3968	12895	10425	6060	14605	14224	7134	6903
Nb	21	3	1	36	31	-	18	27	1	1
Zr	232	82	42	224	236	93	205	272	70	70
Y	28	23	21	32	17	27	24	31	24	25
Sr	362	69	312	645	437	180	191	552	457	554
Rb	2	-	46	13	5	4	-	2	-	12
Nb/Y	0.750	0.130	0.048	1.125	1.824	0.028	0.750	0.872	0.042	0.040
Sample No.	OI-398	OI-399	OI-400	OI-329	OI-337	OI-340	OI-343	OI-344	OI-350	OI-354
	b	b	b	f	f	f	f	f	f	f
Loc. N.	247	248	248	220	226	229	232	233	236	177
Ti	9395	7419	7347	7366	6710	7854	3018	4773	4227	4167
Nb	15	11	11	1	1	4	1	2	-	-
Zr	108	88	89	96	69	87	31	60	53	35
Y	14	12	10	24	25	27	12	19	15	17
Sr	421	540	503	540	171	96	196	148	124	185
Rb	6	9	11	4	54	16	38	30	10	17
Nb/Y	1.071	0.917	1.100	0.042	0.040	0.148	0.083	0.105	0.050	0.044
Sample No.	OI-359									
	f									
Loc. N.	163									
Ti	6922									
Nb	2									
Zr	81									
Y	28									
Sr	315									
Rb	17									
Nb/Y	0.071									
b=block : f=float										
Sample No.	OI-101	OI-103	OI-105	OI-113	OI-114	OI-264	OI-266	OI-317	OI-291	OI-295
	pl	pl	pl	pl	pl	pl	sl	sl	ml	ml
Loc. N.	50	50	50	50	50	166	167	207	186	188
Ti	6725	7178	6722	6547	6814	7035	7221	8032	6492	6402
Nb	-	-	3	1	2	2	1	1	3	1
Zr	82	86	76	80	84	74	74	87	55	53
Y	27	26	24	27	26	26	24	55	29	31
Sr	284	384	296	335	372	219	173	226	173	128
Rb	8	9	4	4	1	35	12	33	31	23
Nb/Y	0.028	0.029	0.125	0.037	0.077	0.077	0.042	0.018	0.103	0.032
Sample No.	OI-106	OI-107	OI-108	OI-109	OI-88	OI-90	OI-91	OI-95	OI-96	OI-97
	d	d	d	d	pb	pb	pb	pb	pb	pb
Loc. N.	50	50	50	50	49	49	49	49	49	49
Ti	7183	6269	7044	6806	6969	7090	6850	7540	7364	7792
Nb	3	2	2	4	4	1	2	-	-	1
Zr	82	76	78	81	73	72	68	72	73	75
Y	26	25	26	26	27	27	25	43	66	78
Sr	168	207	156	273	202	248	259	272	292	289
Rb	1	2	-	-	1	3	7	44	44	38
Nb/Y	0.115	0.080	0.077	0.154	0.148	0.037	0.080	0.017	0.011	0.013
Sample No.	OI-115	OI-261	OI-262	OI-297	OI-298	OI-301	OI-320	OI-61	OI-64	OI-86
	pb	pb	pb	pb	pb	pb	pb	b	b	b
Loc. N.	51	165	165	191	191	193	209	27	27	47
Ti	7434	7332	7248	6320	5796	6498	6557	3142	4336	19576
Nb	1	2	2	1	1	3	2	2	2	23
Zr	87	79	76	67	67	73	56	30	48	228
Y	32	27	24	23	23	23	27	10	12	28
Sr	220	308	208	191	117	158	90	205	290	307
Rb	12	8	-	14	-	2	1	62	22	7
Nb/Y	0.031	0.074	0.083	0.043	0.043	0.130	0.074	0.200	0.167	0.821