

室戸岬地域における中新世の海溝近傍火成活動

Miocene near-trench magmatism in the Cape Muroto area, Shikoku, SW Japan

Abstract

溝口秀治** 君波和雄*
今岡照喜* 亀井淳志**

*Shuji Mizoguchi ***, Kazuo Kiminami *,
Teruyoshi Imaoka * and
Atsushi Kamei ***

2008年4月9日受付.
2008年11月14日受理.

* 山口大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Engineering,
Yamaguchi University, 1677-1 Yoshida, Yamaguchi 753-8512, Japan

** 島根大学総合理工学部

Faculty of Science and Technology, Shimane University, Matsue 690-8504, Japan

† 現所属: サンコーコンサルタント株式会社

Present address: Sancoh Consultants Co. Ltd.,
1-8-9 Kameido, Koto-ku, Tokyo 136-8522, Japan

Corresponding author; K. Kiminami,
kimik@yamaguchi-u.ac.jp

The Early Miocene Shijujiyama Formation in the Cape Muroto area is presumed to have accumulated in a trench-slope basin formed on the Hioki accretionary complex. The lower part of the formation is dominated by mudstone intercalated with pillow lava, volcanic breccia, and volcanic sandstone. A dolerite (Shijujiyama dolerite), inferred to be a dyke, occurs in the mudstone, and a dyke (Maruyama dolerite) intrudes the Hioki melange along the Maruyama coast. The pillow basalt, volcanic breccia (basaltic andesite and dolerite clasts), and dolerite dykes are geochemically sub-alkaline basalt/andesite. The basaltic andesite breccia and pillow basalt (together referred to as the Shiina volcanic rocks), and Shijujiyama dolerite have geochemical affinities with island arc basalt, whereas the Maruyama dolerite and dolerite breccia have affinities with MORB. The MORB magmas originated from the subducting, shallowly buried, active spreading center of the Shikoku Basin. The genesis of the Shiina volcanic rocks, which involved being extruded upon the floor of a trench-slope basin, can be attributed to the assimilation of accreted mudstone by MORB magma and fractional crystallization. In conclusion, the Maruyama and Shijujiyama dolerites and the Shiina volcanic rocks of the Cape Muroto area could be explained as products resulting from near-trench magmatism related to ridge subduction at about 15 Ma.

Key words: Shimanto Belt, Miocene, Shijujiyama Formation, ridge subduction, forearc magmatism, geochemistry, Nd isotope, Kochi

はじめに

西南日本外帯から瀬戸内地域にかけては、15 Ma 頃の火成岩類が多数分布する。これらの火成岩類は、ソレアイト～アルカリ質の玄武岩・ドレライト・斑れい岩や珪長質火成岩類、高マグネシウム安山岩などから構成され、日本海の拡大に伴う西南日本の時計回りの回転 (Otofuji et al., 1985) とともに、フィリピン海における四国海盆の拡大と密接に関連して形成されたと推定されている (高橋, 1986; 新正ほか, 2003; Kimura et al., 2005)。

外帯の外縁部にあたる潮岬や室戸岬周辺には、熊野層群や四万十層群中に貫入したソレアイト質斑れい岩やドレライトが分布し (Yajima, 1972a, b; Miyake, 1985)、潮岬では珪長質岩を伴う。潮岬の火成岩類の形成年代は、周辺の堆積岩の化石年代から 16–15 Ma (Miyake, 1985)、珪長質岩のジルコン FT 年代から 15–13 Ma (星ほか, 2003) と推定されている。Miyake (1985) は、潮岬の塩基性岩が中央海嶺玄武岩 (MORB) に類似することを指摘し、前弧域において MORB が産出することの意義を指摘した。一方、室戸岬の斑れい岩 (以下、室戸岬斑れい岩) に伴うグラノフィアーの Rb-Sr 年代は 14.4 Ma である (浜本・酒井, 1987)。Yajima (1972b) および Yajima et al. (1977) は、室戸岬斑れい岩

と周辺のドレライト岩脈が、かんらん石ソレアイトマグマに由来するとし、それらが同年代に形成されたと推定した。三宅 (1983) は、室戸岬斑れい岩の地球化学的特徴が潮岬の塩基性岩のそれと同様に MORB に類似するとしている。Hibbard and Karig (1990) は、室戸岬斑れい岩やドレライトが四国海盆の MORB と類似した化学組成を示すことから、それらが四国海盆の拡大海嶺の沈み込みと密接に関連して形成されたと推定した。

室戸半島南部の四万十帯南帯は^{なばえ}菜生層群から構成され、同層群は^{ひおき}日沖メランジュ、^{しじゅうじやま}四十寺山層および^{つろ}津呂層に細分される (平ほか, 1980; Fig.1)。四十寺山層は、日沖メランジュ中に孤立して分布する。日沖メランジュからは後期漸新世の浮遊性有孔虫化石 (平ほか, 1980) が、四十寺山層からは後期漸新世～前期中新世の二枚貝化石 (酒井, 1981) や前期中新世の浮遊性有孔虫・放散虫化石 (石川, 1982) が、津呂層からは後期漸新世～前期中新世の放散虫化石 (平ほか, 1980) や前期中新世の浮遊性有孔虫化石 (Saito, 1980) が報告されている。平ほか (1980) は、四十寺山層が日沖メランジュ中の巨大なブロックもしくは日沖メランジュよりも新しい地層である可能性を指摘するとともに、室戸岬北東部の椎名付近の海岸に多数観察される枕状玄武岩や火山角礫岩の転石がもともと日沖メランジュに含まれていたと推定した。また、酒

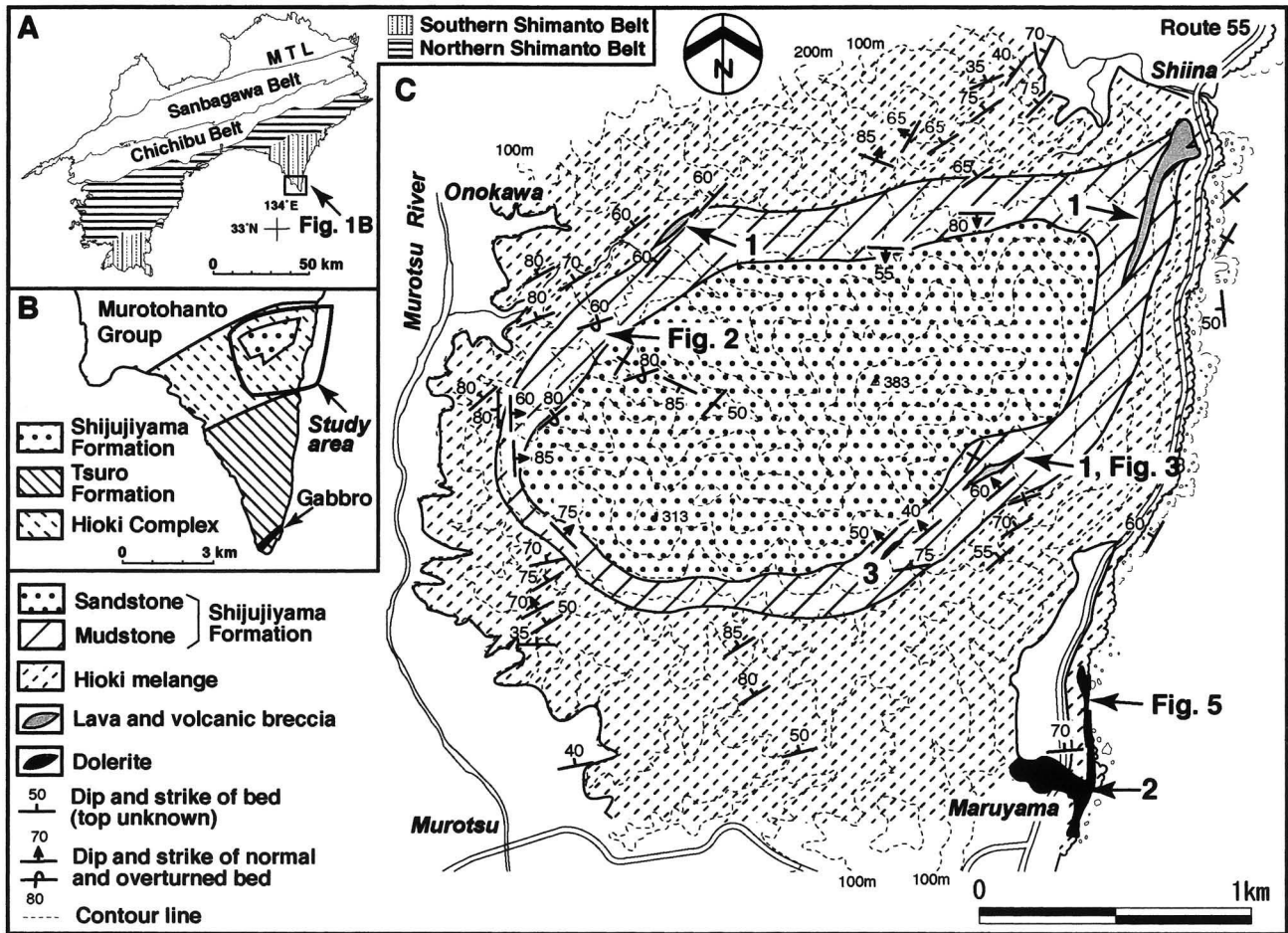


Fig. 1. Geologic divisions of Shikoku (A), simplified geologic map of the southern part of Muroto Peninsula (B; modified from Taira et al., 1980) and geologic map of the study area (C). 1: Shiina volcanic rocks, 2: Maruyama dolerite and 3: Shijuiyama dolerite.

井 (1981) は、四十寺山層が日沖メランジュ中の巨大なオリストリスであるとした。さらに、一部の枕状玄武岩は日沖メランジュ中のブロックであり、火山角礫岩が四十寺山層の南縁部に貫入しているとした。Hibbard and Karig (1990) は、四十寺山層が日沖メランジュを構造的に覆っているが、両者は本来不整合関係にあったと推定した。そして、玄武岩溶岩や火山角礫岩を椎名火山岩類と命名し、それらが四十寺山層の基底部をなすとした。本論でも椎名火山岩類の名称を基本的に踏襲する。さらに Hibbard and Karig (1990) は椎名火山岩類の地球化学的特徴を検討し、それらが島弧玄武岩に類似するとした。しかし、椎名火山岩類と室戸岬斑れい岩やドレライト岩脈との成因的な関連性や椎名火山岩類の起源に関しては言及していない。以上のように、四十寺山層とその周囲の日沖メランジュとの関係、および玄武岩溶岩と火山角礫岩の産状や帰属、起源に関しては見解の違いがあり、現在もまだ十分に明らかにされていない。

以上の研究経過を踏まえ、本研究では次の点を目的とした：1) 日沖メランジュと四十寺山層との関係の再検討、2) 椎名火山岩類（玄武岩溶岩や火山角礫岩）と周囲の地層との関係の解明、3) ドレライト岩脈と椎名火山岩類の岩石学

的・地球化学的特徴の検討と、両者の成因的關係の解明。

地 質

今回地質調査を行ったのは、室戸半島の東側海岸の椎名～丸山から室津川沿いの大の川～室津にかけての東西 3 km、南北 3 km の地域である (Fig. 1)。調査地域の南西部に標高 313 m の四十寺山が位置する。平ほか (1980) によれば、調査地域には菜生層群の日沖メランジュと四十寺山層が分布する。また、おもな火成岩としては、椎名火山岩類および丸山海岸のドレライト岩脈が認められる。丸山海岸のドレライト岩脈は、Yajima et al. (1977) の丸山斑れい岩コンプレックスや丸山ドレライト岩脈に相当すると思われるが、ここではこれを丸山ドレライトと呼ぶ。

1. 日沖メランジュ

室戸半島東海岸の丸山から椎名にかけて典型的に観察される。砂岩や泥岩の角礫や灰色～緑灰色泥岩のレンズ状ブロックを含む混合相であり、泥質基質には鱗片状劈開が発達する。また、泥質基質には微細な（長径 0.03 mm 程度）再結晶白雲母が全体にわたり形成されている。角礫はミリメートルサイズからメートルサイズまで様々な大きさである。一部の砂

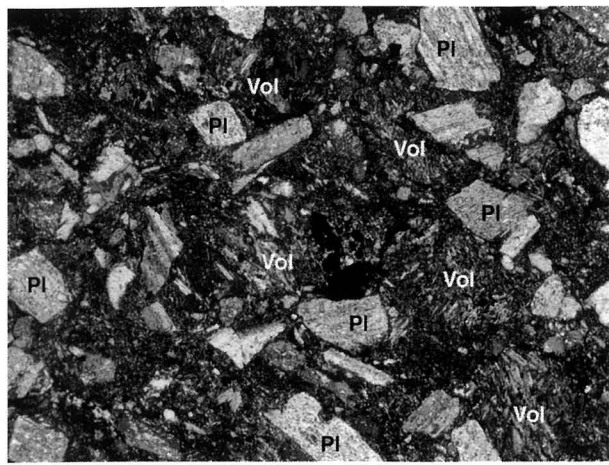


Fig. 2. Photomicrograph (crossed nicol) of volcanic sandstone intercalated within mudstone of the Shijuiyama Formation. See Fig. 1 for location. Pl: plagioclase and Vol: volcanic rock fragment. Scale bar = 0.3 mm.

岩はブーディンや膨縮構造を示しながら走向方向に連続する。長径数 m の砂岩泥岩互層ブロックもときに観察される。泥岩基質はしばしば細礫～砂サイズの粒子を含み、不淘汰である。混合相の産状に関しては、酒井 (1981) が詳しく記載している。地層の走向は、大局的に NE-SW ~ NNE-SSW であるが、南部では E-W である (Fig. 1)。また、傾斜は、多くが高角度で北傾斜である。

2. 四十寺山層

本層は、調査地域の中央部に分布し、下部の泥岩と上部の中粒～粗粒塊状砂岩とから構成される (Fig. 1)。泥岩は厚さ 200 m 程度であり、塊状砂岩を取り囲むように分布する。この泥岩は、日沖メランジュの泥岩とは異なり、鱗片状劈開を示さず、再結晶白雲母もほとんど伴わない。風化した泥岩は、数 mm～1 cm サイズで四角～長方形に割れる。灰白色～灰黄色を呈した厚さ数 cm 以下の酸性凝灰岩をとこにより挟在する。酸性凝灰岩にはしばしば級化構造が観察される。また、厚さ数 cm の級化した火山性砂岩をまれに挟在する。この砂岩は、石英をほとんど伴わず、構成粒子の多くが斜長石と火山岩片からなり (Fig. 2)、石英と長石を主とした上部の塊状砂岩とは明瞭に異なる。また、径数 cm～数 10 cm の石灰質ノジュールを含むことがある。本層南縁部の泥岩中には、厚さ約 10 m の火山角礫岩が挟まれる。これに関しては、椎名火山岩類として次の項で説明する。また、1ヶ所だけであるが本層南部の泥岩中にドレライトが産出する (以下、四十寺山ドレライトと呼ぶ)。このドレライトと周辺の泥岩との関連は不明である。下部の泥岩から上部の塊状砂岩への岩相変化は急であるが、場所によっては厚さ数 10 cm～2 m の砂岩を泥岩中に何枚か挟在しながら塊状砂岩に移化する。本層の泥岩の走向・傾斜とフェーシングは、南縁部で NE-SW・高角北傾斜の北上位、西縁部で N-S・高角東傾斜の東上位、北西縁部で NE-SW・高角北傾斜の南上位、北縁部で E-W・高角南傾斜の南上位である。この事実、

四十寺山層が東側に高角度でブランチしたシンフォームを形成していることを示している。

3. 椎名火山岩類

前述したように、椎名付近の海岸には玄武岩溶岩や火山角礫岩、火山性砂岩の転石が多数観察され、それらのうち大きなものは長径 20～30 m に達する。一方、調査地域南部の四十寺山層の泥岩中には火山角礫岩が、また調査域北西部および北東部の四十寺山層と日沖メランジュとの境界部付近には火山岩や火山角礫岩が露頭として観察される。前述したように四十寺山層中には薄い火山性砂岩を挟在することがある。これらの事実は、椎名火山岩類が四十寺山層に属すること、海岸の火山岩類転石が四十寺山層起源であることを示している。ここでは、海岸での転石の観察を含め、玄武岩溶岩と火山角礫岩の産状を説明する。

a. 玄武岩溶岩 玄武岩溶岩は、調査地域北西部および北東部における日沖メランジュと四十寺山層との境界付近に観察される。北西部の玄武岩溶岩は、枕状溶岩からなり、火山角礫岩を伴う。一部の火山角礫岩はピローの破片を含む。この火山岩体は幅約 30 m にわたり露出する。その分布形態の詳細は不明であるが、周辺の地層の走向方向に伸張していると推定される。北東部の玄武岩溶岩は、枕状溶岩と少量の塊状溶岩とからなり、火山角礫岩を伴う。一部の火山角礫岩はピローの破片を含む。この岩体は、椎名から海岸線沿いの道路に沿って南南西方向に数 100 m 連続する。両地域の枕状玄武岩は、暗緑色から黒灰色を呈し、長径 30 cm～1 m のピローとハイアロクラスタイトのインターピローとから構成される。枕状玄武岩と周辺の堆積岩との直接的な関係は不明である。ピローの縁辺には冷却節理や急冷相がしばしば認められる。一般に発泡はほとんど認められず、あまり変形を被っていない。北東部では、塊状玄武岩と泥岩とが接している露頭がある。泥岩への熱的な影響は確認されないが、泥岩と接する玄武岩の縁辺部に急冷相と推定される部分が認められる。

b. 火山角礫岩 火山角礫岩は、単独でもしくは玄武岩溶岩と共存して産出する。火山角礫岩と周辺の堆積岩との関連が確認される露頭は、四十寺山層分布域南部の 1ヶ所のみである。ここでは、火山角礫岩が四十寺山層の泥岩中に挟まれる。この火山角礫岩は、厚さ約 10 m であり、下位には小断層を介して泥岩が産出する (Fig. 3)。この泥岩中には厚さ 2～3 cm の酸性凝灰岩が何枚か挟まれる。酸性凝灰岩は級化しており、N50°E・60°N の走向・傾斜で北上位を示す。上位層との直接的な関連は不明であるが、火山角礫岩のおよそ 10 m 北側には下位層と同様な酸性凝灰岩を伴った泥岩が産出する。火山角礫岩は上方に向かって細粒化している。最下部は巨礫サイズの火山角礫岩からなり、大礫～中礫サイズの火山角礫岩をへて、上部の火山性細礫岩～砂岩にいたる。火山角礫岩を構成する火山岩の組織は、様ではない。最上位の火山性細礫岩～砂岩の構成粒子の一部は円磨している (Fig. 4)。酒井 (1981) はこれを岩脈としたが、上位に向かって細粒化していることや粒子の一部が磨耗していることから、泥岩中に挟まれた堆積性の角礫岩と推定される。

玄武岩溶岩とともに産出する火山角礫岩は、巨礫岩～細礫

岩まであり、一部はピローの破片を含む。また、ほとんど同質の火山岩礫と基質から構成される水中自破碎溶岩状の角礫岩から、異なった岩相の火山岩礫からなる角礫岩まで認められる。角礫岩の多くは礫支持であり、その基質は火山岩の碎屑粒子からなる粗粒砂岩もしくは細礫岩である。火山礫の発

泡はあまり顕著ではない。

椎名付近の海岸では、様々な火山礫岩を転石として観察できる。礫岩は緑色、紫色、灰色～灰白色、褐色などの色をした斑状あるいは無斑晶質の玄武岩～安山岩と完晶質でオフィティック組織を示すドレライトの角～亜円礫から構成される。一部の礫岩を構成する礫は磨耗しており、陸上での侵食・運搬を示唆する。また、泥岩の礫を含む火山礫岩や泥岩を層状に挟在する礫岩が観察される。これらの泥岩には鱗片状劈開が認められない。泥岩礫の多くは未固結状態での変形を受けて複雑な形態をしている。これらの事実は、火山礫岩が泥質岩の堆積場で形成されたことを示す。

4. 丸山ドレライト

調査域南部の丸山付近には、海岸線に沿って長さ約 600 m にわたり日沖メランジュに貫入する丸山ドレライトが認められる。このドレライト岩脈は幅約 5 m であり、枝分かれも観察される。ドレライトの縁辺部には幅 10 cm 程度の急冷相が認められる。ドレライトと接する泥岩は、幅 30 cm 程度にわたり白く変色している (Fig. 5)。

岩石記載

1. 枕状玄武岩

枕状玄武岩は、肉眼では暗灰色～緑褐色を呈する。鏡下では顕著な斑状組織を示す (Fig. 6.A)。斑晶斜長石 (長径 0.3–1.5 mm) は自形～半自形の短柱状結晶で、明瞭な累帯構造と双晶を示す。変質して方解石、緑れん石、緑泥石、セリサイトに置き換えられているものもみられる。斑晶単斜輝石 (0.3–1.3 mm) は自形～半自形で、卓状を呈し、双晶を示すものもある。石基部はハイアロオフィティック組織を示し、針状の Fe-Ti 酸化鉱物を含む。

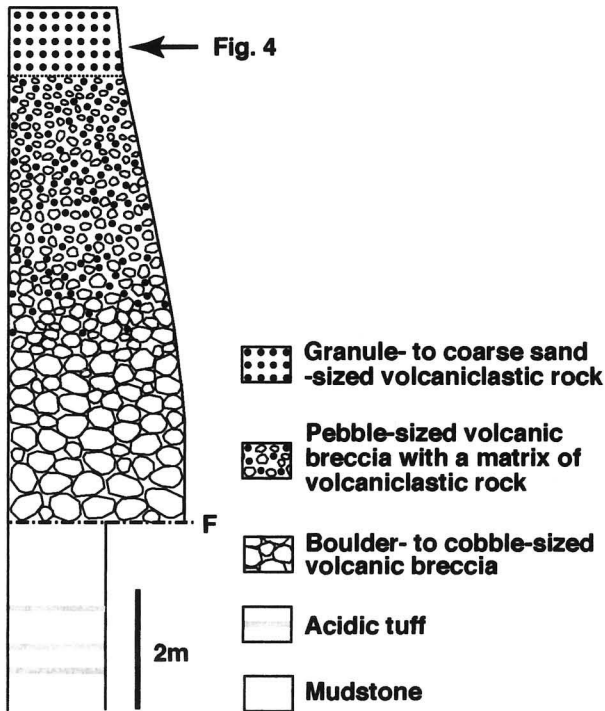


Fig. 3. Columnar section of a bed of volcanic breccia intercalated within the Shijuyiyama Formation. See Fig. 1 for location. F: fault.

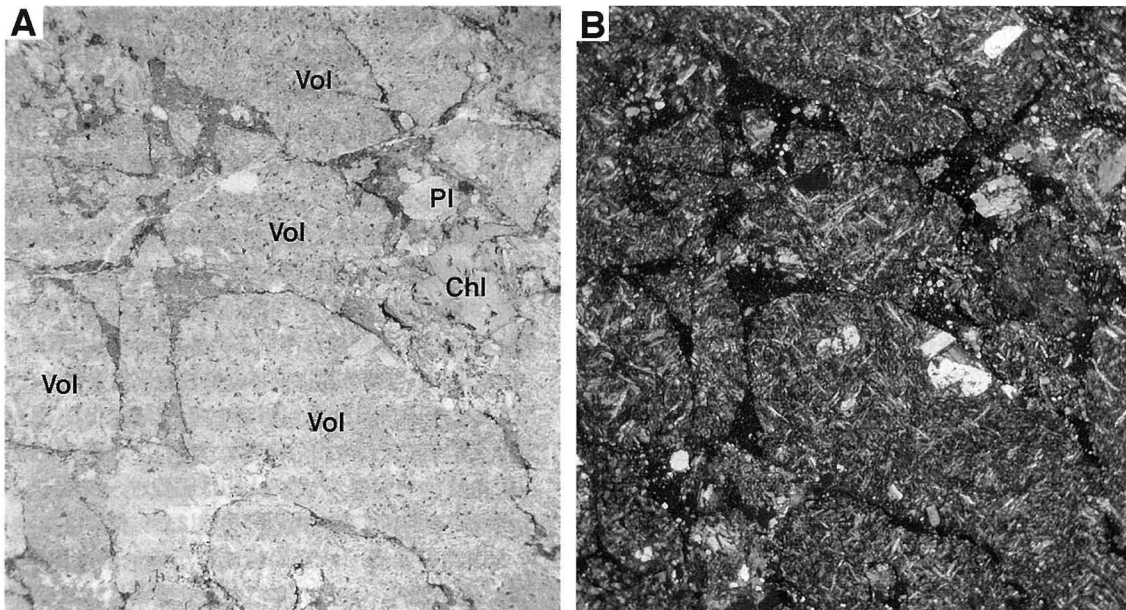


Fig. 4. Photomicrographs of granule-sized volcanic conglomerate from the uppermost part of volcanic breccia within the Shijuyiyama Formation. See Fig. 3 for location. A: open nicol, B: crossed nicol. Pl: plagioclase, Vol: volcanic rock fragment and Chl: chlorite. Scale bar = 1 mm.

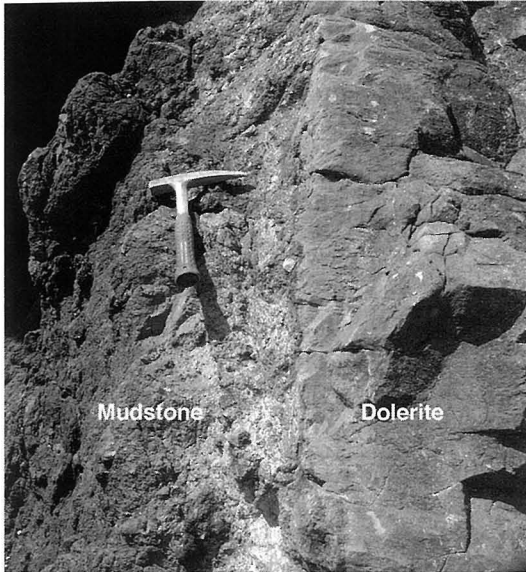


Fig. 5. Photo of the contact between mudstone of the Hioki melange and Maruyama dolerite, near the Maruyama coast. Note the mudstone of Hioki melange varies in color from black to whitish gray toward the contact with dolerite within 30 cm. See Fig. 1 for location.

2. 火山角礫岩

おもに玄武岩質安山岩礫から構成される角～亜円礫岩は、ときにドレライトの礫を含む。以下に火山角礫岩を構成する玄武岩質安山岩とドレライトを分けて説明する。

a. 玄武岩質安山岩 玄武岩質安山岩は、肉眼では褐色～灰色を呈する。鏡下では顕著な斑状組織を示す (Fig. 6.B)。斑晶斜長石 (長径 0.3–3.0 mm) は自形～半自形で、短柱状を示し、明瞭な累帯構造と双晶をもつ。変質して方解石、緑れん石、緑泥石、セリサイトに置き換えられているものもみられる。斑晶単斜輝石 (0.3–1.5 mm) は自形～半自形で、卓状を呈し、双晶を示すものもある。また、径 0.1 mm 程度の不透明鉱物を含む。石基は、バリオリティック～インターサータル組織を示し、繊維状斜長石、粒状の単斜輝石、不透明鉱物、およびそれらの間を充填するガラスなどからなる。まれに発泡痕が認められる。

b. ドレライト ドレライトは、肉眼では灰色～灰白色を呈し、鏡下ではオフィティック組織を示す (Fig. 6.C)。他形の単斜輝石 (2.0–4.0 mm) のなかに、短柱状～長柱状の自形～半自形斜長石 (長径 1.0–4.0 mm) を多く含む。斜長石は明瞭な累帯構造と双晶を示し、完全に曹長石化・緑れん石化している。双晶を示す単斜輝石もある。骸晶状の磁鉄鉱 (0.5–1.0 mm) を多く含み、そのウルボスピネル成分は 70～80% である。

3. 丸山ドレライト・四十寺山ドレライト

肉眼あるいは鏡下で両ドレライトを識別することはできない。肉眼では灰色～緑灰色を呈する。自形～半自形で曹長石化した斜長石と、それらの粒間を埋める完全に変質した苦鉄質鉱物や不透明鉱物からなる。シリカ鉱物で充填された発泡

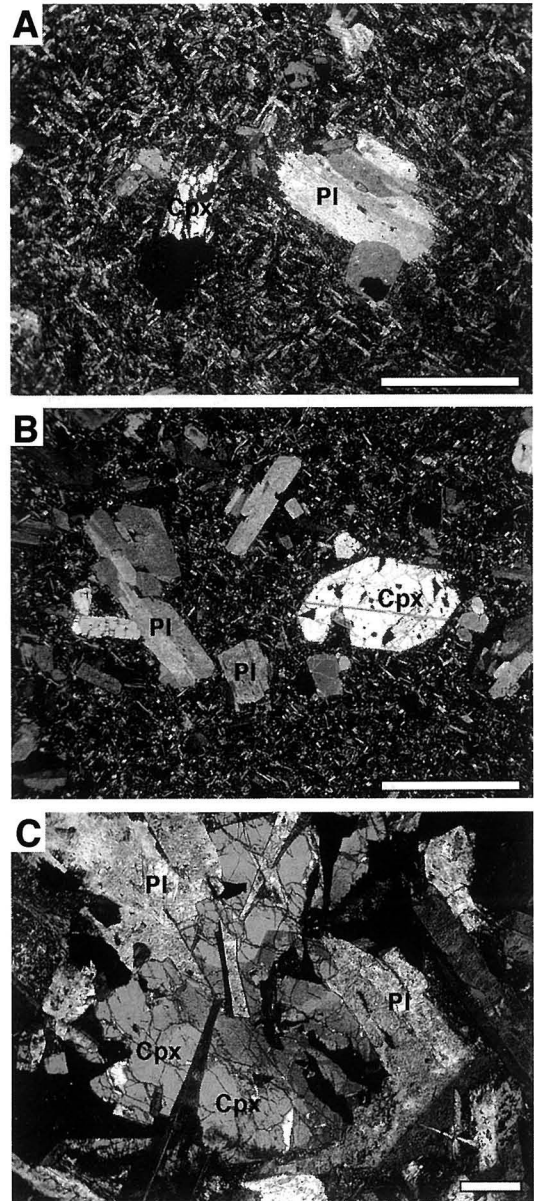


Fig. 6. Photomicrographs of pillow basalt (A), and breccia of basaltic andesite (B) and dolerite (C). Cpx: clinopyroxene and Pl: plagioclase. All scale bars = 1 mm.

痕をもつ。顕著な方解石化作用を被っており、初生的な鉱物組み合わせを推定することは困難である。

全岩化学組成

1. 分析試料と分析方法

今回検討した試料は、さまざまな程度に変質作用を被っているため、鏡下で原岩の組織が保存されている試料あるいは単斜輝石がある程度残存している試料を選び、次の岩石種について全岩の主成分および微量成分の分析を行った：露頭および転石の枕状玄武岩、露頭および転石の火山角礫岩を構成する玄武岩質安山岩礫・ドレライト礫、丸山ドレライト、および四十寺山ドレライト。なお、化学分析に関する議論では、

Table 1. Major and trace element and Nd isotopic compositions of the Shiina volcanic rocks and the dolerites.

| Unit | Shiina volcanic rocks | | | | | | | | | | Dolerite breccia | | | MD |
|--------------------------------------|-----------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------------------|---------|---------|------------------|---------|---------|---------|
| Rock type | Pillow basalt | | | | | | | Basaltic andesite breccia | | | | | | |
| Sp No. | M-1 | M-4 | M-6 | M-3 | M-36 | M-55 | G-3 | M-26 | M-46 | Z-26 | M-23 | M-35 | M-48 | Z-49 |
| <i>Major XRF (wt.%)</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| SiO ₂ | 53.18 | 53.62 | 52.65 | 55.25 | 54.12 | 50.20 | 47.42 | 54.16 | 53.61 | 59.47 | 52.87 | 53.71 | 51.88 | 46.29 |
| TiO ₂ | 0.75 | 0.77 | 0.74 | 0.77 | 0.78 | 0.73 | 0.62 | 0.51 | 0.75 | 0.80 | 2.01 | 2.00 | 1.67 | 1.40 |
| Al ₂ O ₃ | 15.35 | 16.26 | 15.42 | 16.79 | 15.02 | 15.49 | 16.43 | 13.45 | 14.82 | 13.10 | 14.12 | 13.29 | 13.26 | 16.42 |
| Fe ₂ O ₃ * | 10.21 | 10.47 | 9.83 | 10.21 | 8.88 | 9.67 | 9.13 | 8.39 | 11.38 | 9.56 | 11.87 | 12.42 | 12.12 | 8.31 |
| MnO | 0.16 | 0.17 | 0.16 | 0.15 | 0.15 | 0.14 | 0.16 | 0.16 | 0.28 | 0.17 | 0.24 | 0.20 | 0.16 | 0.12 |
| MgO | 3.83 | 4.01 | 3.64 | 3.80 | 2.42 | 3.34 | 4.65 | 7.37 | 5.34 | 3.67 | 3.95 | 3.81 | 5.03 | 5.51 |
| CaO | 4.40 | 2.67 | 2.27 | 2.20 | 4.99 | 4.46 | 7.79 | 5.82 | 3.64 | 3.69 | 4.40 | 4.47 | 5.45 | 9.04 |
| Na ₂ O | 5.23 | 4.71 | 5.41 | 6.52 | 4.54 | 3.26 | 6.13 | 4.15 | 4.42 | 5.76 | 5.11 | 4.65 | 4.23 | 2.91 |
| K ₂ O | 0.08 | 1.47 | 0.42 | 1.47 | 1.09 | 3.33 | 0.13 | 0.69 | 1.28 | 0.21 | 0.06 | 0.45 | 0.82 | 0.15 |
| P ₂ O ₅ | 0.23 | 0.22 | 0.21 | 0.22 | 0.23 | 0.25 | 0.37 | 0.12 | 0.16 | 0.27 | 0.25 | 0.21 | 0.17 | 0.12 |
| LOI | 4.58 | 2.71 | 3.25 | 2.95 | 5.91 | 7.41 | 8.27 | 2.54 | 2.26 | 3.09 | 1.96 | 1.81 | 1.85 | 9.57 |
| Total | 98.00 | 97.08 | 94.00 | 100.33 | 98.13 | 98.28 | 101.10 | 97.36 | 97.94 | 99.80 | 96.84 | 97.02 | 96.64 | 99.84 |
| <i>Trace XRF (ppm)</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| V | 351 | 317 | 327 | 299 | 270 | 322 | 259 | 189 | 357 | 180 | 408 | 399 | 405 | 261 |
| Cr | 34 | 34 | 35 | 34 | 10 | 42 | 75 | 397 | 5 | 5 | 5 | 9 | 13 | 252 |
| Ni | 22 | 15 | 17 | 21 | 9 | 27 | 57 | 70 | 33 | 17 | 10 | 21 | 37 | 96 |
| Cu | 281 | 216 | 262 | 260 | 352 | 350 | 359 | 179 | 46 | 22 | 249 | 44 | 51 | 89 |
| Zn | 74 | 72 | 86 | 97 | 63 | 44 | 76 | 80 | 51 | 54 | 115 | 128 | 98 | 87 |
| Ga | 18 | 15 | 16 | 14 | 16 | 15 | 14 | 13 | 14 | 14 | 17 | 15 | 15 | 19 |
| Rb | 15 | 30 | 11 | 32 | 31 | 64 | 16 | 13 | 24 | 14 | 4 | 10 | 13 | 9 |
| Sr | 290 | 457 | 326 | 349 | 279 | 199 | 252 | 174 | 160 | 321 | 219 | 202 | 216 | 277 |
| Y | 17 | 21 | 18 | 15 | 20 | 20 | 21 | 14 | 16 | 24 | 57 | 48 | 42 | 33 |
| Zr | 48 | 47 | 44 | 43 | 61 | 52 | 24 | 27 | 48 | 72 | 176 | 194 | 125 | 101 |
| Pb | 7 | 7 | 4 | 8 | 6 | 3 | 9 | 1 | 1 | 5 | 1 | 3 | 3 | 1 |
| <i>Trace ICP-MS (ppm)</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| Nb | 2.6 | 2.7 | 2.5 | 4.3 | 4.9 | 3.9 | 2.1 | 0.5 | 1.3 | 4.1 | 4.8 | 4.8 | 4.2 | 3.1 |
| Ba | 65 | 676 | 171 | 535 | 300 | 650 | 57 | 71 | 402 | 728 | 58 | 50 | 262 | 187 |
| La | 7.13 | 8.18 | 6.76 | 8.07 | 11.1 | 9.11 | 10.0 | 2.58 | 3.72 | 9.14 | 8.01 | 6.42 | 5.02 | 5.25 |
| Ce | 18.6 | 20.0 | 17.0 | 20.3 | 24.9 | 20.9 | 26.5 | 6.97 | 10.1 | 22.8 | 22.7 | 18.9 | 14.4 | 15.3 |
| Pr | 2.49 | 2.63 | 2.31 | 2.47 | 2.97 | 2.61 | 3.06 | 1.15 | 1.47 | 2.95 | 3.30 | 2.73 | 2.12 | 2.22 |
| Nd | 11.2 | 11.8 | 10.5 | 10.9 | 12.6 | 11.5 | 14.1 | 5.89 | 7.25 | 13.2 | 16.0 | 13.3 | 10.4 | 10.5 |
| Sm | 2.93 | 2.85 | 2.64 | 2.86 | 3.19 | 2.99 | 3.70 | 1.74 | 2.13 | 3.42 | 4.68 | 3.82 | 3.08 | 3.02 |
| Eu | 1.00 | 1.05 | 0.86 | 0.90 | 1.03 | 0.90 | 1.40 | 0.62 | 0.64 | 0.77 | 1.92 | 1.66 | 1.14 | 1.52 |
| Gd | 3.15 | 3.23 | 3.03 | 2.96 | 3.27 | 3.03 | 4.40 | 1.95 | 2.38 | 3.90 | 6.30 | 5.22 | 4.36 | 4.09 |
| Tb | 0.51 | 0.53 | 0.49 | 0.46 | 0.50 | 0.44 | 0.64 | 0.34 | 0.44 | 0.69 | 1.18 | 1.00 | 0.83 | 0.76 |
| Dy | 2.99 | 3.18 | 2.89 | 2.73 | 3.04 | 2.57 | 3.57 | 2.06 | 2.68 | 4.13 | 7.48 | 6.39 | 5.30 | 4.73 |
| Ho | 0.61 | 0.65 | 0.58 | 0.59 | 0.66 | 0.57 | 0.69 | 0.42 | 0.54 | 0.84 | 1.53 | 1.31 | 1.10 | 0.94 |
| Er | 1.84 | 1.97 | 1.74 | 1.85 | 2.01 | 1.68 | 1.91 | 1.26 | 1.64 | 2.54 | 4.59 | 3.99 | 3.31 | 2.80 |
| Tm | 0.28 | 0.31 | 0.27 | 0.28 | 0.29 | 0.24 | 0.27 | 0.20 | 0.25 | 0.40 | 0.69 | 0.61 | 0.50 | 0.43 |
| Yb | 1.89 | 1.99 | 1.78 | 1.73 | 1.87 | 1.46 | 1.66 | 1.29 | 1.66 | 2.59 | 4.45 | 4.00 | 3.24 | 2.78 |
| Lu | 0.29 | 0.28 | 0.27 | 0.26 | 0.29 | 0.22 | 0.26 | 0.20 | 0.25 | 0.39 | 0.66 | 0.60 | 0.49 | 0.41 |
| Hf | 1.50 | 1.50 | 1.40 | 1.60 | 1.90 | 1.50 | 1.00 | 0.80 | 1.20 | 2.00 | 3.70 | 3.90 | 2.70 | 2.50 |
| Ta | 0.21 | 0.21 | 0.19 | 0.21 | 0.25 | 0.19 | 0.09 | 0.04 | 0.10 | 0.37 | 0.39 | 0.42 | 0.33 | 0.24 |
| Th | 1.42 | 1.47 | 1.39 | 1.62 | 1.72 | 1.46 | 0.74 | 0.50 | 0.78 | 1.53 | 0.49 | 0.55 | 0.47 | 0.42 |
| U | 0.57 | 0.51 | 0.50 | 0.60 | 0.63 | 0.56 | 0.62 | 0.13 | 0.17 | 0.43 | 1.30 | 0.24 | 0.21 | 0.09 |
| <i>TIMS isotope ratios</i> | | | | | | | | | | | | | | |
| ¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴³ Nd | 0.1582 | 0.1460 | 0.1520 | 0.1586 | 0.1531 | 0.1572 | 0.1586 | 0.1786 | 0.1776 | 0.1566 | 0.1769 | 0.1737 | 0.1791 | 0.1739 |
| ¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd | 0.51292 | 0.51294 | 0.51293 | 0.51300 | 0.51299 | 0.51293 | 0.51271 | 0.51302 | 0.51298 | 0.51298 | 0.51312 | 0.51312 | 0.51311 | 0.51300 |
| Nd1 (15Ma) | 0.51290 | 0.51292 | 0.51292 | 0.51298 | 0.51297 | 0.51292 | 0.51269 | 0.51300 | 0.51296 | 0.51297 | 0.51311 | 0.51310 | 0.51309 | 0.51298 |

Fe₂O₃* is total Fe as Fe₂O₃. MD= Maruyama dolerite.

椎名火山岩類に少量含まれるドレライト礫を分けて記述する。分析には、山口大学総合科学実験センター機器分析施設に設置の全自動蛍光 X 線分析装置 RIX3000 を使用し、分析方法は梅本ほか (2000) に従った。希土類元素やいくつかの微量元素の定量は、カナダの Actlabs で ICP-MS によって行

われた。枕状玄武岩、玄武岩質安山岩礫、ドレライト礫および丸山ドレライトの代表的な分析結果を Table 1 に示す。

2. 分析結果

本地域の椎名火山岩類およびドレライトを構成する斜長石は、既述のように曹長石化、緑れん石化、方解石化などの変

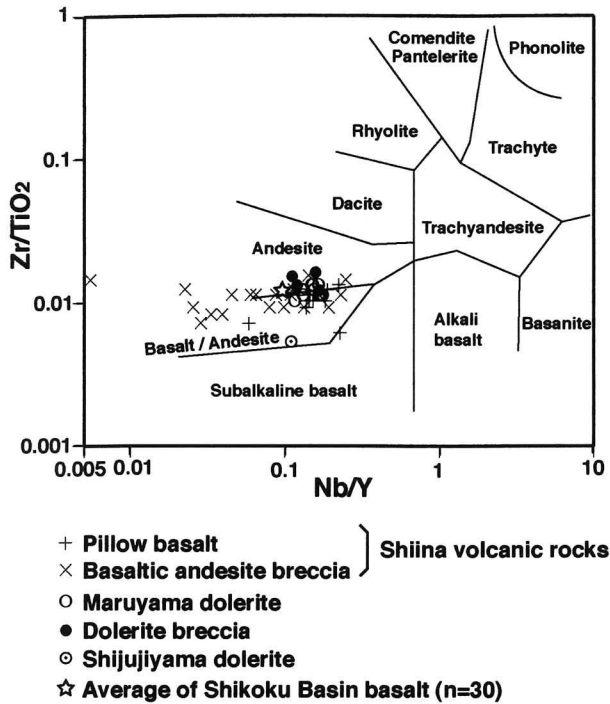


Fig. 7. Zr/TiO₂-Nb/Y diagram (after Winchester and Floyd, 1977) for the Shiina volcanic rocks, the dolerites and average of Shikoku Basin basalt. Data of Shikoku Basin are from Wood et al. (1980), Siena et al. (1993) and Hickey-Vargas (1998).

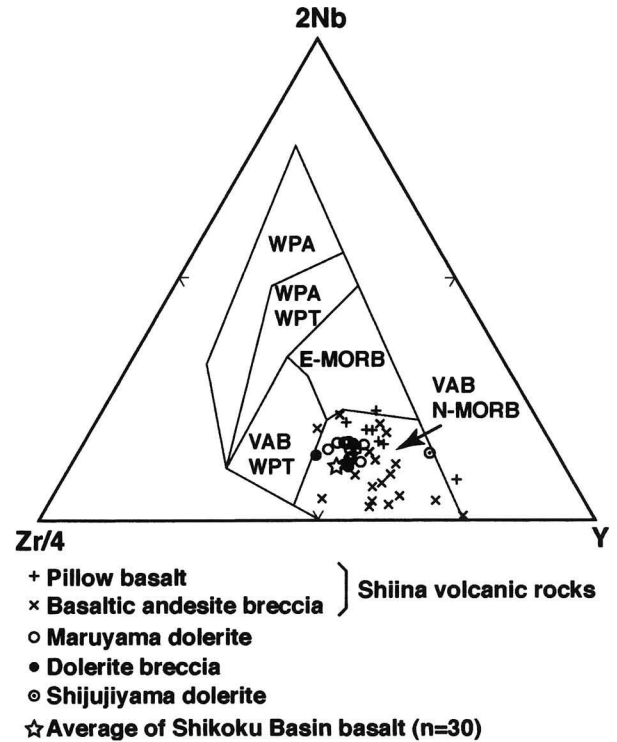


Fig. 8. 2Nb-Zr/4-Y diagram (after Meschede, 1986) for the Shiina volcanic rocks, the dolerites and average of Shikoku Basin basalt. Data of Shikoku Basin are from Wood et al. (1980), Siena et al. (1993) and Hickey-Vargas (1998). WPA: within-plate alkali basalt, WPT: within-plate tholeiite and VAB: volcanic-arc basalt.

質作用を被っており、全岩の LOI (loss on ignition) も多い。鏡下観察の結果と併せ考えると、このような岩石はアルカリ元素を含む LIL 元素 (large ion lithophile elements) のみならず、ほかの元素においても初生的な化学組成を保っていない可能性が高い。一方、Ti や Zr, Y, Nb などの HFS 元素 (high field-strength elements) は、変質過程での移動が少なく、もし移動したとしてもそれらの量比がほとんど変化しないと考えられている (Cann, 1970; Pearce and Cann, 1973; Winchester and Floyd, 1976; Ludden et al., 1982)。そこで本論ではおもにこれらの元素を用いて議論する。しかし、これらのうち Y は変質作用に対して常に安定であるとは限らないといった報告もある (Bienvenu et al., 1990; Allan and Gorton, 1992)。

Fig. 7 の Nb/Y-Zr/TiO₂ 図 (Winchester and Floyd, 1977) は、今回の分析試料がすべて非アルカリ岩系の玄武岩や安山岩であることを示している。Fig. 8 の 2Nb-Zr/4-Y 図 (Meschede, 1986) 上では、ほとんどの分析試料が、VAB (火山弧玄武岩) と N-MORB とからなる領域にプロットされる。Mullen (1983) の TiO₂-10MnO-10P₂O₅ 図 (Fig. 9) は、SiO₂ 量が 45 ~ 54 % の玄武岩と玄武岩質安山岩に指定されているので、SiO₂ が 54 % 以下の試料をこの図にプロットした。Fig. 9 図上では、椎名火山岩類の多くと四十寺山ドレライトが島弧ソレライトの領域に、そのほかのドレライトの多くが MORB の領域にプロットされる。Fig. 10 の Hf/3-Th-Ta 図 (Wood, 1980) 上では、椎名火山岩類と四十寺山ドレ

イトが火山弧玄武岩の領域に、丸山ドレライトとドレライト礫が N-MORB の領域にプロットされる。

以上のようにいくつかの判別図を用いると、椎名火山岩類と四十寺山ドレライトは島弧玄武岩に、丸山ドレライトとドレライト礫は MORB に判別される。

単斜輝石の化学組成

比較的新鮮な鉱物を残している枕状玄武岩 (2 試料)、玄武岩質安山岩礫 (2 試料)、ドレライト礫 (2 試料) を選び、単斜輝石の化学組成を検討した。分析には山口大学総合科学実験センター機器分析施設の島津製作所製 EPMA V6 を使用した。分析条件は、加速電圧 15 kV、試料電流 18 nA、ビーム径 5 μm である。補正計算には ZAF 法を用いた。

単斜輝石の代表的な分析結果を Table 2 に示す。単斜輝石の Mg 値は、枕状玄武岩が 70-88、玄武岩質安山岩礫が 81-88、ドレライト礫が 62-70 であり、椎名火山岩類とドレライトにおいて明瞭な違いが認められる。Fig. 11 に Ca-Mg-Fe 図を示す。椎名火山岩類の単斜輝石はオージャイトの領域からエンディオプサイトの領域に、ドレライト礫の単斜輝石はオージャイトの領域のみに分布する。また、それぞれが異なったトレンドを示している。

Fig. 12. A, B, C は、Leterrier et al. (1982) の単斜輝石の組成に基づく判別図である。Fig. 12.A の (Ca + Na)-Ti 図では、分析試料の全てがソレライト~カルクアルカリ玄武

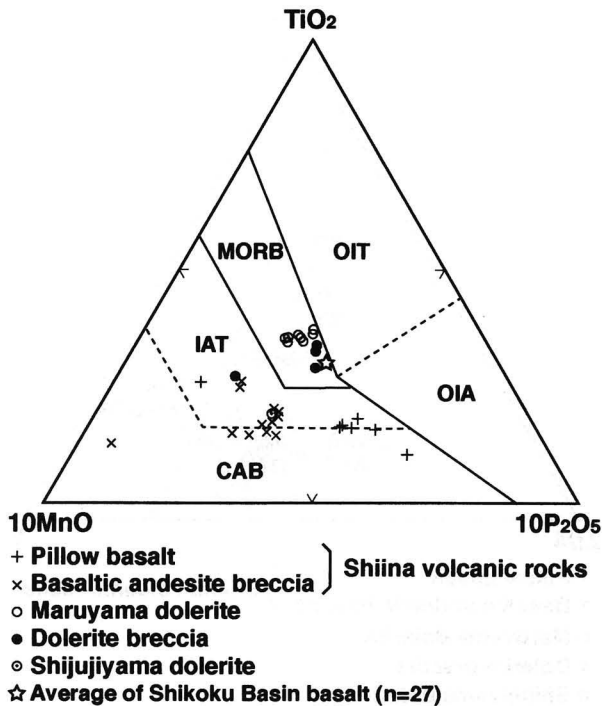


Fig. 9. TiO_2 - 10MnO - $10\text{P}_2\text{O}_5$ diagram (after Mullen, 1983) for the Shiina volcanic rocks, the dolerites and average of Shikoku Basin basalt. Data of Shikoku Basin are from Wood et al. (1980) and Siena et al. (1993). OIT: ocean-island tholeiite, OIA: ocean-island alkali basalt, IAT: island-arc tholeiite and CAB: island-arc calc-alkaline basalt.

岩の領域にプロットされる。Fig. 12.BのCa-(Ti + Cr)図では、椎名火山岩類の単斜輝石が火山弧玄武岩の領域に、ドレライト礫の単斜輝石がMORBや海洋島ソレライトの領域にプロットされる。また、椎名火山岩類の単斜輝石は、Al-Ti図(Fig. 12.C)上では島弧ソレライトの領域にプロットされる。

以上のように単斜輝石組成を用いた判別図によると、椎名火山岩類は島弧玄武岩に、ドレライト礫はMORBに判別される。

Ndの同位体比

枕状玄武岩(7試料)、玄武岩質安山岩礫(3試料)、ドレライト礫(3試料)および丸山ドレライト(1試料)の全岩におけるNd同位体比の測定を行った。Ndの抽出は、山口大学総合研究棟のクリーンルームで行った。Nd同位体比の測定には、島根大学総合理工学部のFinnigan MAT262型質量分析計を使用し、測定方法は飯泉(1996)に従った。この方法によるNd同位体用の標準試料(La Jolla)や地質調査所(GSJ)の標準試料の測定結果は、Iizumi et al. (1995)に報告されている。試料の測定期間中に、Nd同位体標準試料La Jollaの測定を1回行った。La Jollaの $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 値が0.511854であったので、測定されたデータについては推奨値(0.511848)により補正を行った。測定中の $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 値は、 $^{146}\text{Nd}/^{144}\text{Nd} = 0.7219$ で規格化している。測定結果を

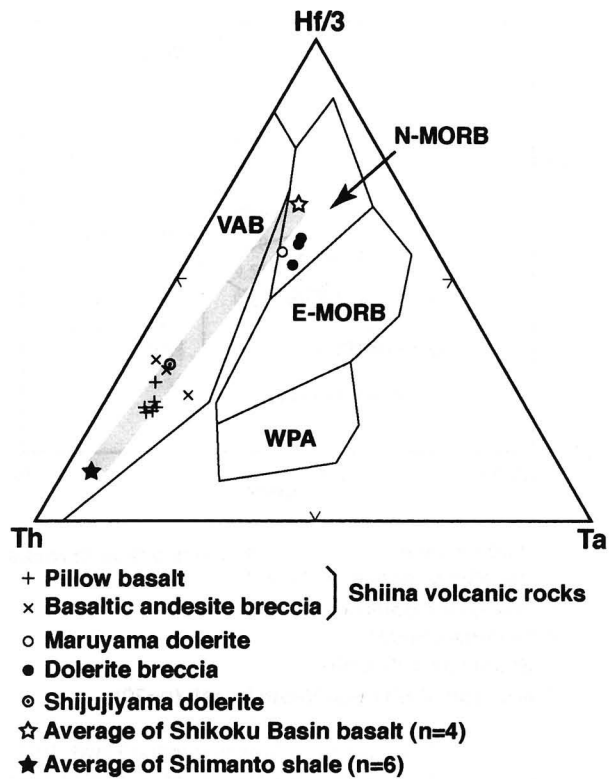


Fig. 10. $\text{Hf}/3$ -Th-Ta diagram (after Wood, 1980) for the Shiina volcanic rocks, the dolerites, average of Shikoku Basin basalt and average of Shimanto shale. Data of Shikoku Basin are from Hickey-Vargas (1998); data of Shimanto shale are from Sano (1999). VAB: volcanic-arc basalt and WPA: alkaline within-plate basalt.

Table 1に示す。

調査地域の火成岩類の形成年代がおよそ15 Maと推定されることから、15 MaにおけるNd同位体比初生値(以下、NdI値)を求めた。NdI値は、枕状玄武岩のうち6試料が0.51290-0.51298の範囲にあるが、1試料は0.51269と低い。また、玄武岩質安山岩礫、ドレライト礫および丸山ドレライトのNdI値は、それぞれ0.51296-0.51300, 0.51309-0.51311および0.51298である。全般的に椎名玄武岩類よりもドレライトの方が高い。

考 察

1. 日沖メランジュと四十寺山層との関係

前述したように、日沖メランジュと四十寺山層との関係は、四十寺山層が日沖メランジュ中の巨大なオリストリスであるとする見解(酒井, 1981)や、日沖メランジュを基盤とするより若い年代の地層である可能性(平ほか, 1980)が示されてきた。Hibbard and Karig (1990)やHibbard et al. (1992)は、構造変形の違いから四十寺山層が日沖メランジュよりもより若い地質体であると推定した。そして、両者がかもともと不整合関係にあったが、現在は構造的に接触している可能性を指摘した。今回の野外調査においても両者の接触関係を観察することはできなかった。しかし、日沖メランジュの泥質岩に鱗片状劈開が発達し、再結晶白雲母が普遍的に

Table 2. Electron-microprobe analyses of clinopyroxenes of the Shiina volcanic rocks and the dolerites.

| Unit Rock type | Shiina volcanic rocks | | | | | | | | | | Dolerite breccia | | | | |
|--------------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|-------|-------|------------------|--------|-------|--------|-------|
| | Pillow basalt | | | | | Basaltic andesite breccia | | | | | | | | | |
| Sp No. | M-1 | M-1 | M-4 | M-1 | M-4 | M-26 | M-26 | M-26 | M-26 | M-35 | M-35 | M-35 | M-35 | M-35 | M-23 |
| Point: | 1-4 | 1-8 | 2-5 | 2-6 | 2-7 | 1-2 | 2-7 | 1-8 | 2-9 | 3-1 | 1-3 | 5-1 | 2-2 | 3-3 | 1-2 |
| SiO ₂ wt. % | 52.75 | 52.23 | 51.04 | 50.41 | 50.63 | 53.11 | 52.71 | 52.40 | 51.97 | 50.85 | 48.72 | 50.88 | 47.99 | 50.43 | 50.16 |
| TiO ₂ | 0.21 | 0.29 | 0.44 | 0.46 | 0.53 | 0.19 | 0.20 | 0.24 | 0.39 | 0.82 | 1.49 | 1.15 | 1.92 | 0.93 | 1.24 |
| Al ₂ O ₃ | 2.22 | 2.82 | 2.65 | 2.57 | 2.92 | 1.13 | 1.88 | 1.98 | 3.39 | 1.81 | 3.58 | 2.75 | 4.46 | 2.06 | 2.57 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.19 | 0.03 | 0.06 | 0.07 | 0.04 | 0.26 | 0.39 | 0.36 | 0.36 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.11 |
| FeO* | 4.21 | 5.52 | 9.41 | 9.75 | 10.73 | 4.82 | 5.74 | 6.45 | 7.39 | 11.27 | 11.37 | 12.10 | 12.48 | 13.63 | 13.49 |
| MnO | 0.00 | 0.14 | 0.33 | 0.24 | 0.30 | 0.17 | 0.16 | 0.21 | 0.23 | 0.33 | 0.35 | 0.35 | 0.31 | 0.45 | 0.36 |
| MgO | 17.50 | 16.70 | 15.82 | 15.50 | 15.32 | 18.07 | 17.61 | 17.94 | 17.46 | 15.23 | 13.68 | 14.25 | 13.79 | 14.69 | 12.81 |
| CaO | 21.91 | 21.85 | 19.71 | 19.86 | 18.84 | 21.20 | 20.73 | 19.40 | 18.32 | 18.77 | 19.83 | 18.99 | 18.48 | 17.84 | 18.36 |
| Na ₂ O | 0.11 | 0.13 | 0.23 | 0.22 | 0.22 | 0.11 | 0.13 | 0.14 | 0.14 | 0.25 | 0.36 | 0.32 | 0.38 | 0.36 | 0.31 |
| K ₂ O | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| Total | 99.11 | 99.71 | 99.69 | 99.09 | 99.53 | 99.06 | 99.55 | 99.13 | 99.65 | 99.35 | 99.39 | 100.79 | 99.82 | 100.42 | 99.42 |
| O = | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| Si | 1.940 | 1.922 | 1.907 | 1.901 | 1.902 | 1.958 | 1.940 | 1.937 | 1.912 | 1.920 | 1.852 | 1.900 | 1.820 | 1.902 | 1.910 |
| Ti | 0.006 | 0.008 | 0.012 | 0.013 | 0.015 | 0.005 | 0.006 | 0.007 | 0.011 | 0.023 | 0.043 | 0.032 | 0.055 | 0.026 | 0.036 |
| Al | 0.096 | 0.122 | 0.117 | 0.114 | 0.129 | 0.049 | 0.081 | 0.086 | 0.147 | 0.081 | 0.160 | 0.121 | 0.199 | 0.092 | 0.115 |
| Cr | 0.006 | 0.001 | 0.002 | 0.002 | 0.001 | 0.007 | 0.011 | 0.011 | 0.011 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.003 |
| Fe | 0.129 | 0.170 | 0.294 | 0.308 | 0.337 | 0.149 | 0.177 | 0.199 | 0.227 | 0.356 | 0.361 | 0.378 | 0.396 | 0.430 | 0.430 |
| Mn | 0.000 | 0.004 | 0.010 | 0.008 | 0.009 | 0.005 | 0.005 | 0.007 | 0.007 | 0.010 | 0.011 | 0.011 | 0.010 | 0.014 | 0.011 |
| Mg | 0.960 | 0.916 | 0.881 | 0.872 | 0.858 | 0.993 | 0.966 | 0.989 | 0.958 | 0.857 | 0.776 | 0.794 | 0.780 | 0.826 | 0.727 |
| Ca | 0.863 | 0.861 | 0.789 | 0.802 | 0.758 | 0.837 | 0.818 | 0.768 | 0.722 | 0.759 | 0.808 | 0.760 | 0.751 | 0.721 | 0.749 |
| Na | 0.008 | 0.009 | 0.017 | 0.016 | 0.016 | 0.008 | 0.009 | 0.010 | 0.010 | 0.018 | 0.027 | 0.023 | 0.028 | 0.026 | 0.023 |
| K | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.001 | 0.000 | 0.000 |
| Wo | 44.22 | 44.24 | 40.17 | 40.5 | 38.82 | 42.31 | 41.71 | 39.27 | 37.86 | 38.5 | 41.54 | 39.35 | 38.97 | 36.47 | 39.3 |
| En | 49.15 | 47.04 | 44.86 | 43.99 | 43.93 | 50.18 | 49.28 | 50.54 | 50.22 | 43.46 | 39.88 | 41.09 | 40.48 | 41.79 | 38.15 |
| Fs | 6.63 | 8.72 | 14.97 | 15.52 | 17.25 | 7.51 | 9.01 | 10.18 | 11.92 | 18.05 | 18.58 | 19.57 | 20.55 | 21.75 | 22.54 |
| mg# | 88.1 | 84.4 | 75.0 | 73.9 | 71.8 | 87.0 | 84.5 | 83.2 | 80.8 | 70.7 | 68.2 | 67.7 | 66.3 | 65.8 | 62.9 |

FeO* is total Fe as FeO. mg# = 100Mg/(Mg+Fe).

形成されているのに対して、四十寺山層の泥岩にはこれらが認められない。この事実は、Hibbard and Karig (1990) が指摘するように、日沖メランジュが付加体であり、四十寺山層がその上に形成された海溝斜面堆積盆の堆積体であることを示唆する。シンフォームをなす四十寺山層の縁辺にほぼ同じ厚さの泥岩が分布することは、もともとの不整合関係が保存されている可能性もあることを示す。

2. 火成岩類と堆積岩との関係

四十寺山層下部の泥岩は、級化した火山性砂岩や上方細粒化する火山角礫岩を挟む。これらの火山砕屑岩は、重力流堆積物であり、四十寺山層下部の堆積場で形成されたと考えられる。転石の火山角礫岩に含まれる泥岩礫や火山角礫岩に挟まれる泥岩にほとんど鱗片状劈開が認められないことも、これらの火山角礫岩が四十寺山層堆積場で形成されたことを示唆する。四十寺山層と日沖メランジュとの境界付近に分布する枕状玄武岩-火山角礫岩も、四十寺山層の堆積場で噴出したマグマに由来すると推定される。枕状玄武岩は、発泡があまり顕著でないことから、ある程度深い海底で噴出した可能性がある。しかし、級化した火山性砂岩が泥岩中に観察されることや、転石ではあるが摩耗した火山岩礫から構成される礫岩が認められることは、一部の火山岩が堆積場近傍の陸上で噴出していたことを示唆する。

一方、ドレイイト岩脈の貫入が確認されているのは日沖メ

ランジュのみである。しかし、周辺の泥岩との直接的な関係が不明ながら、四十寺山層中にドレイイトが産出することは四十寺山層の泥岩にもドレイイトが貫入している可能性を示唆する。また、椎名海岸の火山角礫岩転石がドレイイト礫を含むことは、角礫の形成とドレイイトの貫入が年代的に近いことを示唆する。丸山海岸のドレイイトと接する泥岩は、幅30 cm程度にわたり白く変色している。類似の産状は、日高累層群や白亜紀四万十累層群中のドレイイト・玄武岩と泥質岩との境界部でも観察されている(君波・宮下, 1992, 今中・宮下, 1999; 川端・君波, 1999; 君波・大野, 1999)。泥質岩のこのような白色化は、水を含んだ堆積物とマグマとの接触により、炭質物が消失するとともに珪化を受けて形成されたと考えられている。また、三宅(1983)は、室戸岬斑れい岩の縁辺部に貫入した砕屑岩脈の存在を指摘するとともに、この事実から、地層が脱水・固結する以前にマグマの貫入があったと推定した。これらは、日沖メランジュの付加、海溝斜面堆積盆の形成(四十寺山層の堆積)、椎名火山岩類の噴出、ドレイイト岩脈の貫入が比較的短期間に進行したことを物語っている。

3. 海嶺沈み込みと海溝近傍火成活動

火山角礫岩を構成する火成岩礫は、玄武岩質安山岩礫とドレイイト礫に区分される。枕状玄武岩と玄武岩質安山岩礫からなる椎名火山岩類、および丸山・四十寺山ドレイイトとド

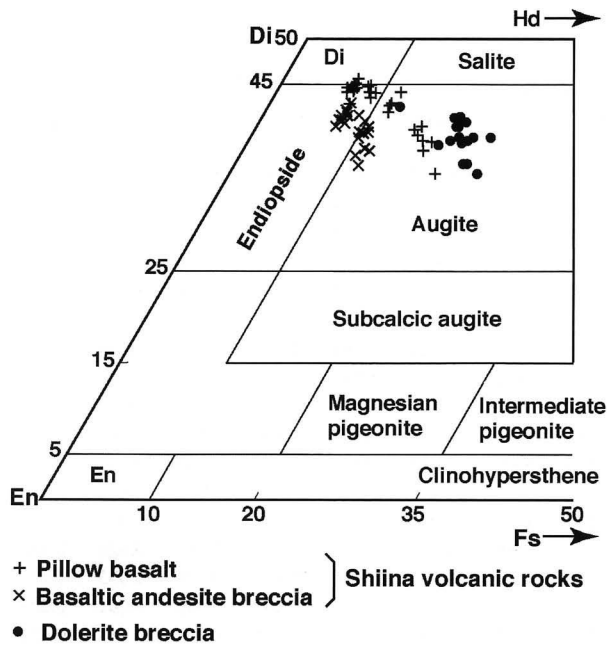


Fig. 11. Ca-Mg-Fe diagram for clinopyroxene from the Shiina volcanic rocks and the dolerites. Di = diopside, En = clinoenstatite, Hd = hedenbergite and Fs = clinoferrosilite.

レライト礫は、非アルカリ岩系列に分類される。二次的な変質作用などで動きにくいとされる元素および単斜輝石組成を用いた判別図において、椎名火山岩類と四十寺山ドレライトは島弧玄武岩に、丸山ドレライトとドレライト礫はN-MORBに判別される。

Hibbard and Karig (1990) や Kimura et al. (2005) は、およそ 30–15 Ma の四国海盆の拡大 (Okino et al., 1994) に伴って形成された活動的海嶺の沈み込みに関連して室戸岬周辺の MORB 組成を示す斑れい岩やドレライトが形成されたことを指摘している。Figs. 7, 8, 9 の判別図において、DSDP で採取された四国海盆玄武岩 (Wood et al., 1980; Siena et al., 1993; Hickey-Vargas, 1998) は、丸山ドレライトやドレライト礫に近い位置にプロットされる。Fig. 13 に希土類元素 (REE) の濃度をコンドライト隕石の値で規格化した REE パターンを示す。椎名火山岩類の多くや四十寺山ドレライトは、重希土類元素に対して軽希土類元素に富む左上がりのパターンを示す。これに対して丸山ドレライトやドレライト礫は相対的に平坦なパターンを示す。四国海盆の玄武岩 (Hickey-Vargas, 1998) は、丸山ドレライト・ドレライト礫と類似したパターンを示すとともに、濃度もほぼ同じである。また、室戸岬斑れい岩の急冷周縁ドレライト (赤塚ほか, 1999) もほぼ平坦なパターンを示すことから、すでに Yajima et al. (1977) に指摘されているように丸山ドレライトと同源のマグマに由来する同年代の岩体と推定される。上に述べた事実は、これまで指摘されているように、海溝近傍の前弧域において沈み込んだ海嶺からマグマが直接供給され、ドレライトの多くが形成されたことを示唆している。活動的海嶺の沈み込みに伴う海溝近傍の前弧域における MORB

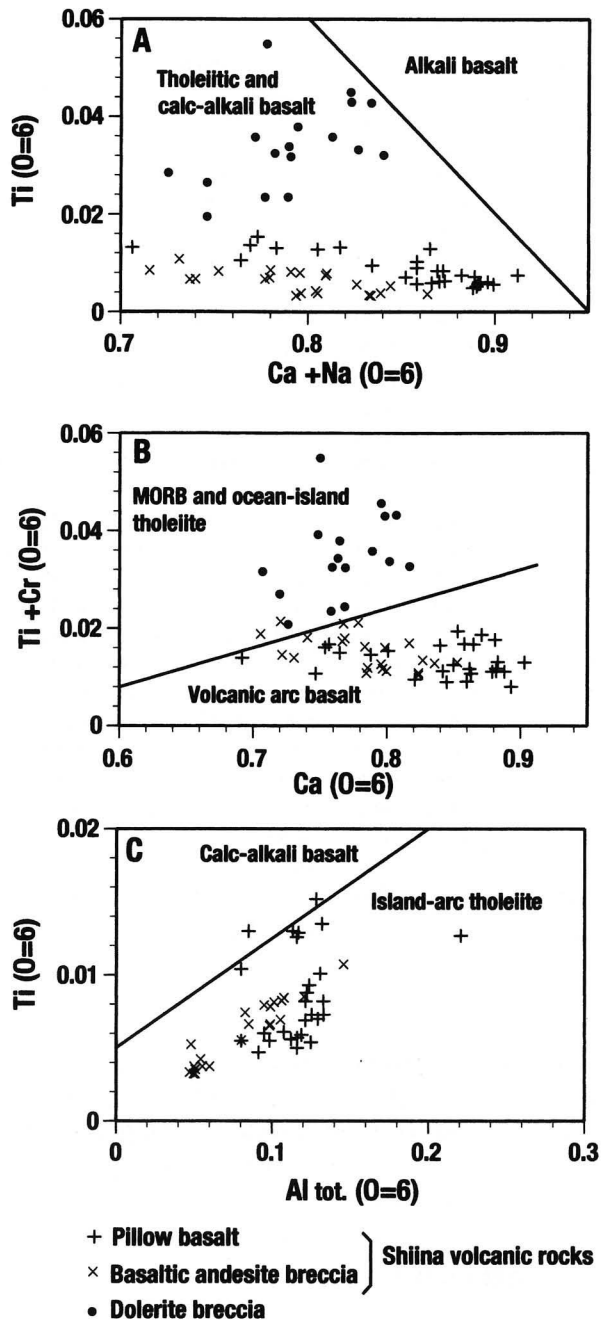


Fig. 12. (Ca + Na)-Ti (A), Ca-(Ti + Cr) (B) and total Al-Ti (C) diagrams (after Leterrier et al., 1982) for clinopyroxenes from the Shiina volcanic rocks and the dolerites.

の噴出・定置は、漸新世のカリフォルニア (Johnson and O'Neil, 1984; Cole and Basu, 1995) や鮮新世のタイタオ半島 (チリ) (Forsythe et al., 1986; Lagabriele, et al., 1990) などでも知られている。

一方、Hibbard and Karig (1990) は、椎名火山岩類が島弧玄武岩と組成的に類似することを指摘するとともに、椎名火山岩類と丸山ドレライトが異なったマグマソースに由来すると考えた。しかし、椎名火山岩類の形成過程は不明であるとしている。Ohkura (2000) は、地震動記録の解析から現

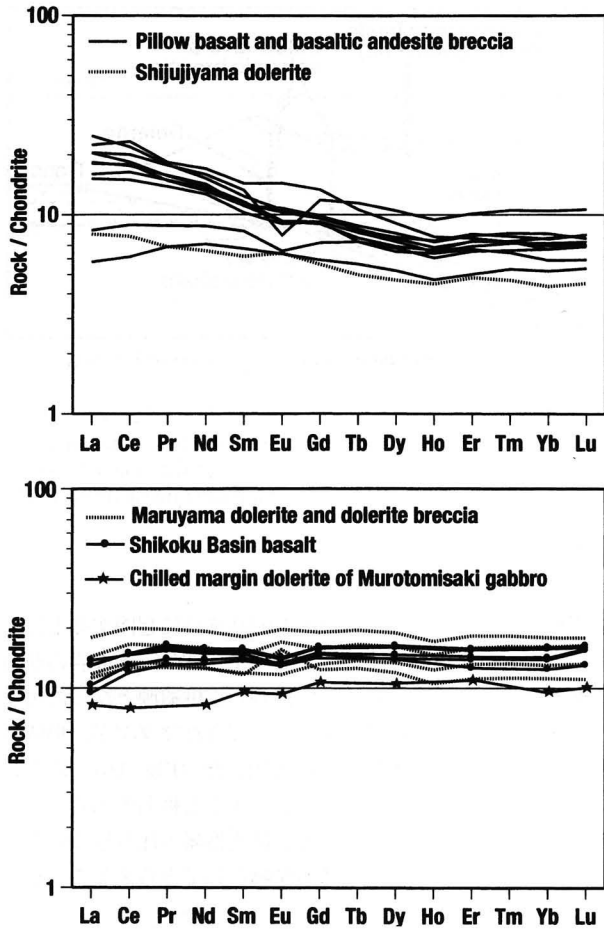


Fig. 13. Chondrite-normalized rare earth element abundance patterns. Data of Shikoku basin basalt are from Hickey-Vargas (1998); data of chilled margin dolerite of the Murotomisaki gabbro are from Akatsuka et al. (1999). Values of chondrite are taken from Anders and Grevesse (1989).

在の四国の外帯地下にはマントルウェッジが存在せず、沈み込むフィリピン海プレートが大陸地殻と直接接しているとしている。中新世においても室戸半島の深部には、マントルウェッジが存在しなかった可能性が高い。このような地質的背景の中で島弧玄武岩と判別される椎名火山岩類が形成された原因として、沈み込んだ海嶺から発生した MORB に付加プリズムを構成する堆積物が同化した可能性を考えることができる。Fig. 10 の Hf/3-Th-Ta 図は、丸山ドレライトとドレライト礫に近い位置に Hickey-Vargas (1998) に報告された四国海盆玄武岩がプロットされ、四国海盆玄武岩と佐野(1999)に報告された四万十帯頁岩とを結ぶ線上やその近傍に椎名火山岩類と四十寺山ドレライトが位置することを示す。Fig. 14 の NdI-¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd 図には、椎名火山岩類と丸山ドレライト・ドレライト礫の組成とともに、四国-パレスベラ海盆の玄武岩の組成 (Hickey-Vargas, 1991, 1998; Siena et al., 1993) と四万十帯頁岩の組成 (Terakado et al., 1988) をプロットした。丸山ドレライト・ドレライト礫は四国海盆玄武岩の近くに、椎名火山岩類の多くはそこからさらに離れた位置にプロットされる。また、椎名火山岩類と丸山ドレライ

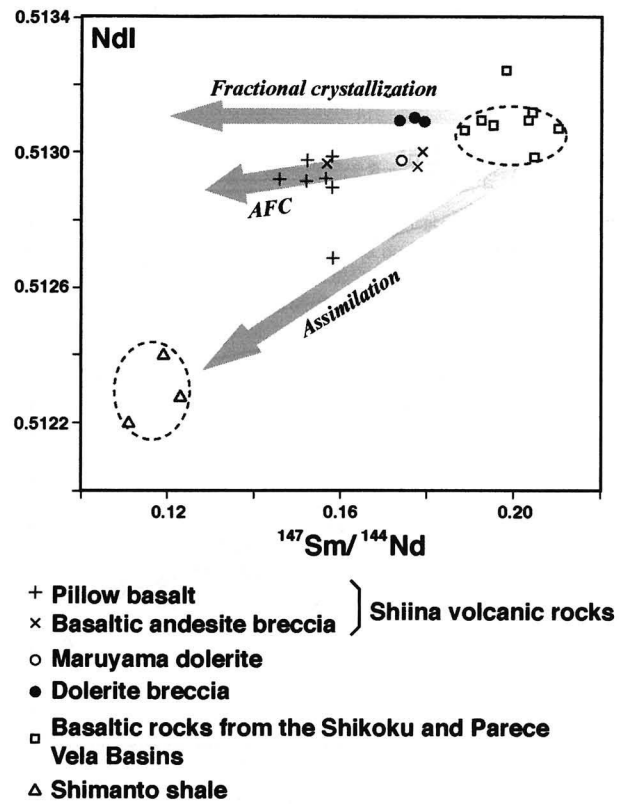


Fig. 14. NdI-¹⁴⁷Sm/¹⁴⁴Nd diagram for the Shiina volcanic rocks and the dolerites. Data of Shikoku and Parece Vela Basins are from Hickey-Vargas (1991, 1998) and Siena et al. (1993); data of Shimanto shale are from Terakado et al. (1988). AFC = Assimilation and fractional crystallization.

ト・ドレライト礫は、四国-パレスベラ海盆玄武岩の結晶分画化トレンドと四万十帯頁岩の同化トレンドとの間に分布する。これらの事実は、MORB に堆積物 (頁岩) が同化して椎名火山岩類が形成されたとする上記の可能性を支持するとともに、椎名火山岩類とドレライトの形成に同化分別結晶作用 (AFC) が深く関わっていたことを示唆する。Fig. 15 に NdI と Nd を用いて、同化分別結晶作用の計算結果を示した。端成分として四国-パレスベラ海盆の最も未分画と推定される MORB と四万十帯頁岩の平均値を用いた。図中には四万十帯頁岩と MORB との単純混合曲線も加えた。玄武岩質安山岩礫の 1 試料をのぞき、分別結晶作用の直線と単純混合曲線との間にプロットされる。ドレライト礫は分別結晶作用の直線上にプロットされる。玄武岩質安山岩 1 試料は単純混合曲線付近にプロットされるが、ほかの試料の多くは同化作用と分別作用の比が 0.1 から 0.3 の AFC 曲線の範囲に含まれており、多くが 30% 以下の同化率で説明できる。以上の結果は、椎名火山岩類や一部のドレライトの形成に付加堆積物の同化と分別結晶作用が深く関わっていたことを示している。漸新世のカリフォルニアや鮮新世のタイタオ半島においても海嶺沈み込みに由来する MORB マグマの同化分別結晶作用によって島弧的なマグマが形成されたとされている (Kaeding et al., 1990; Lagabriele et al., 1990; Cole and Basu, 1995).

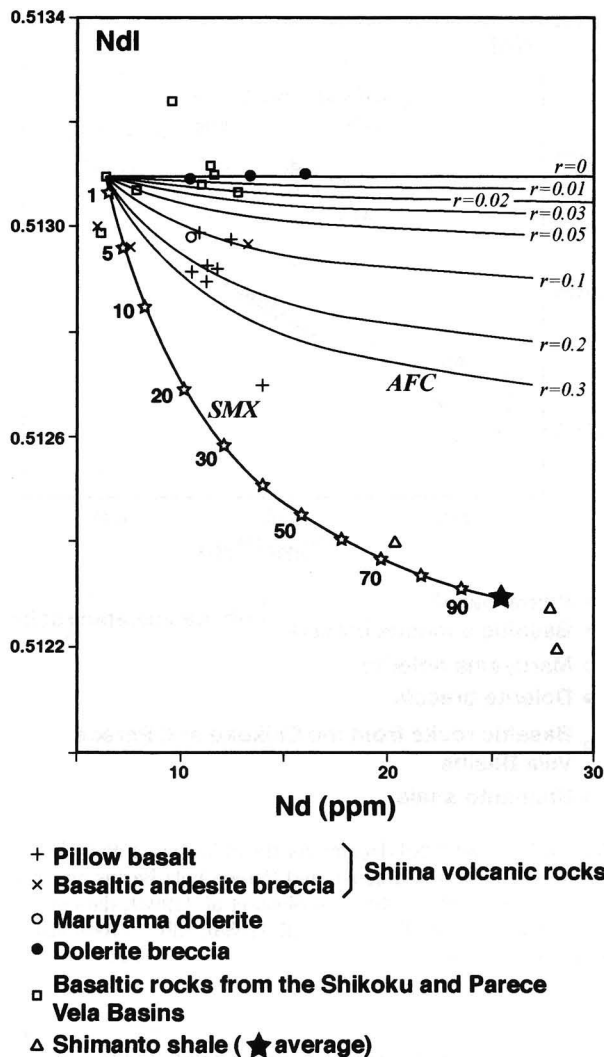


Fig. 15. NdI-Nd diagram for the Shiina volcanic rocks and the dolerites. SMX = calculated simple mixing trajectory between the most primitive basalt from the Shikoku and Parece Vela Basins (Hickey-Vargas, 1991, 1998; Siena et al., 1993) and the average of Shimanto shales (Terakado et al., 1988). Numbers on simple mixing trajectory correspond to the weight percentage of average Shimanto shale. AFC = trajectories of fractional crystallization with assimilation of the average Shimanto shale. r = ratio of assimilation to crystallization rates.

以上の検討に基づき、室戸岬周辺の15Ma前後におけるテクトニクスを次のように整理することができる。四国海盆の拡大海嶺が海溝から沈み込み、海溝近傍の前弧域において海嶺の軸部付近もしくはスラブウィンドウから MORB 組成のドレライトや室戸岬斑れい岩が四万十付加体に貫入した (Fig. 16)。さらに、その近傍においては、MORB 組成のマグマが付加プリズム下底付近の泥質岩を同化するとともに、結晶分化しながら組成的に島弧玄武岩と判別されるマグマを形成した。一方、何らかの原因により前弧域に生じた地形的高まりの内側に堆積盆が形成され、そこに四十寺山層の泥岩や砂岩が堆積した。久富・三宅 (1981) は、四国や紀伊半島におけるこの時期の前弧海盆 (海溝斜面堆積盆) の形成が火

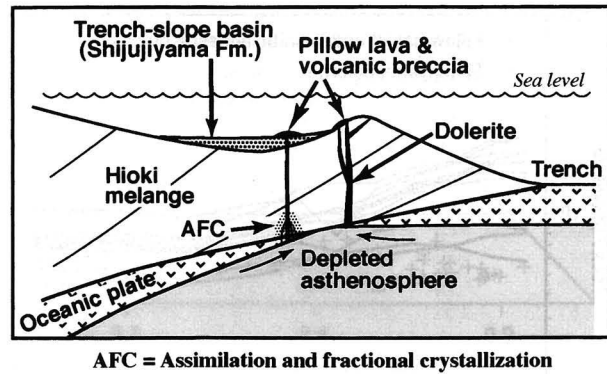


Fig. 16. Schematic diagram showing the relationship between the Shijuiyama Formation and the Hioki melange, and origin of emplacement of the Shiina volcanic rocks and Maruyama dolerite in relation to subduction of active Shikoku Basin ridge at about 15 Ma. Not to scale.

成岩類の貫入によってできた地形的高まりに起因している。地形的高まりの一部は海面にまで達し、火成岩の垂角～垂円礫を主とする礫岩や火山性砂岩の供給源となった可能性がある。同化分別結晶作用によりできたマグマが、形成されて間もない海溝斜面堆積盆に噴出した (Fig. 16)。以上のように、この地域に分布するドレライトと椎名火山岩類とともに室戸岬斑れい岩は、四国海盆拡大海嶺の沈み込みに関連した海溝近傍火成活動の一連の産物としてとらえることができる。

ま と め

室戸半島南東部の四万十帯の地質調査とともに、火山角礫岩を構成する火成岩類とドレライト岩脈の岩石学的・地球化学的検討を行い、以下の結論を得た。

1. 調査地域の中央部には泥岩と中粒～粗粒塊状砂岩から構成される四十寺山層が、その外側には砂岩泥岩混合相で特徴付けられる日沖メランジュが分布する。四十寺山層は、付加体をなす日沖メランジュの上に形成された海溝斜面堆積盆の堆積体と推定される。
2. 四十寺山層の泥岩堆積場において、枕状玄武岩の噴出や火山角礫岩の形成、火山性砂岩の堆積があった。
3. 枕状玄武岩、火山角礫岩中の玄武岩質安山岩礫・ドレライト礫、丸山ドレライト、および四十寺山ドレライトは、非アルカリ岩系の玄武岩～安山岩に分類される。椎名火山岩類 (枕状玄武岩と玄武岩質安山岩礫) と四十寺山ドレライト、およびドレライト礫と丸山ドレライトは、微量元素と単斜輝石組成を用いた判別図でそれぞれ島弧玄武岩および MORB に判別される。Nd 同位体と Nd 量を用いたモデリングから、椎名火山岩類と四十寺山ドレライトを形成したマグマは、四国海盆を形成した MORB マグマによる四万十帯泥岩の同化作用と分別結晶作用 (AFC) により生成したと推定される。
4. 室戸岬周辺の 15 Ma 前後におけるテクトニクスは、次のように整理される：1) 四国海盆の拡大海嶺が海溝から

沈み込み、海溝軸もしくはスラブウィンドウから付加体中に玄武岩質マグマ (MORB) が貫入した、2) やがてこのマグマによる泥質堆積物の同化作用と分化作用が同時に進行した、3) 堆積物をあまり同化しなかったマグマが MORB 組成の丸山ドレライトとして日沖メランジュに貫入した、4) 海溝近傍の前弧域に形成された海溝斜面堆積盆では四十寺山層の泥岩や砂岩が堆積し、AFC によって生成したマグマができて間もない海溝斜面堆積盆に噴出し、椎名火山岩類を形成した。

謝 辞

野外調査の宿泊にあたっては、国立室戸青少年自然の家に種々便宜をはかっていただいた。また、著者の一人である溝口が修士論文を作成するにあたっては、山口大学理工学研究科地球科学教室の諸先生にご指導いただくとともに、同輩・後輩の諸兄にお世話になった。EPMA 分析にあたっては、山口大学機器分析実験施設の森福洋二技官にご指導いただいた。酒井治孝氏 (京都大学) および新正裕尚氏 (東京経済大学) には粗稿を査読していただき、多くの有益なご指摘をいただいた。角井朝昭氏 (産業技術総合研究所) には編集幹事の労を執っていただくとともに、適切なご指摘をいただいた。以上の方々および機関に厚くお礼を申し上げる。

文 献

- 赤塚貴史・小畑正明・横瀬久芳, 1999, 室戸岬斑れい岩体の層状構造, 特にピクライト質斑れい岩層の成因について—結晶の集積・分別効果の定量的検討—. *地質雑*, **105**, 771-788.
- Allan, J. F. and Gorton, M. P., 1992, Geochemistry of igneous rocks from Legs 127 and 128, Sea of Japan. *Proc. Ocean Drill. Program Sci. Results*, **127/128**, 905-928.
- Anders, E. and Grevesse, N., 1989, Abundances of the elements: Meteoritic and solar. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **53**, 197-214.
- Bienvenu, P., Bougault, H., Joron, J. L., Treuil, M. and Dmitriev, L., 1990, MORB alteration: Rare-earth element/non-rare-earth hygromagnaphile element fractionation. *Chem. Geol.*, **82**, 1-14.
- Cann, J. R., 1970, Rb, Sr, Y, Zr and Nb in some ocean floor basaltic rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **10**, 7-11.
- Cole, R. B. and Basu, A. R., 1995, Nd-Sr isotopic geochemistry and tectonics of ridge subduction and middle Cenozoic volcanism in western California. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **107**, 167-179.
- Forsythe, R. D., Nelson, E. P., Carr, M. J., Kaeding, M. E., Herve, M., Mpodozis, C., Soffia, J. M. and Harambour, S., 1986, Pliocene near-trench magmatism in southern Chile: A possible manifestation of ridge collision. *Geology*, **14**, 23-27.
- 浜本礼子・酒井治孝, 1987, 室戸岬ハンレイ岩体に伴う文象斑岩の Rb-Sr 年齢. 九大理研報 (地質), **15**, 131-135.
- Hibbard, J.P. and Karig, D.E., 1990, Structural and magmatic responses to spreading ridge subduction: an example from Southwest Japan. *Tectonics*, **9**, 207-230.
- Hibbard, J. P. and Karig, D.E. and Taira, A., 1992, Anomalous structural evolution of the Shimanto accretionary prism at Murotomisaki, Shikoku Island Japan. *Island Arc*, **1**, 133-147.
- Hickey-Vargas, R., 1991, Isotopic characteristics of submarine lavas from the Philippine Sea: implications for the origin of arc and basin magmas of the Philippine tectonic plate. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **107**, 290-304.
- Hickey-Vargas, R., 1998, Origin of Indian Ocean-type isotopic signature in basalts from Philippine Sea plate spreading centers: An assessment of local versus large-scale processes. *Jour. Geophys. Res.*, **103**, 20963-20979.
- 久富邦彦・三宅康幸, 1981, 紀伊半島・潮岬地域の隆起運動と火成活動. *地質雑*, **87**, 629-639.
- 星 博幸・岩野英樹・檀原 徹・吉田武義, 2003, 紀伊半島, 潮岬火成複合岩類のフィッション・トラック年代測定. *地質雑*, **109**, 139-150.
- 飯泉 滋, 1996, 表面電離型質量分析計, MAT262 による岩石・鉱物の Sr, Nd 同位体組成の測定. 島根大地球資源環境学研報, no. 15, 153-159.
- Iizumi, S., Morris, P. A. and Sawada, Y., 1995, Nd isotope data for GSJ reference samples JB-1a, JB-3 and JG-1a and the La Jolla standard. *Mem. Fac. Sci. Shimane Univ.*, **29**, 73-76.
- 今中里華子・宮下純夫, 1999, 海嶺玄武岩と未固結堆積物との相互反応—日高帯トムラウシ緑色岩体における例—. *地質学論集*, no. 52, 125-137.
- 石川照久, 1982, 高知県室戸半島に分布する四万十帯南帯 (第三系) の放散虫. 大阪化石研究会誌特別号, no. 5, 399-407.
- Johnson, C. M. and O'Neil, J. R., 1984, Triple junction magmatism: a geochemical study of Neogene volcanic rocks in western California. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **71**, 241-262.
- Kaeding, M., Forsythe, R. D. and Nelson, E. P., 1990, Geochemistry of the Taitao ophiolite and near-trench intrusions from the Chile Margin Triple Junction. *Jour. South Amer. Earth Sci.*, **3**, 161-177.
- 川端清司・君波和雄, 1999, 奄美大島の四万十帯名瀬層中の現地性玄武岩—玄武岩の産状と珪化頁岩の化学組成—. *地質学論集*, no. 52, 139-150.
- 君波和雄・宮下純夫, 1992, 上部白亜系四万十帯累層群槇峰層 (九州) 中の緑色岩の産状と化学組成. *地質雑*, **98**, 391-400.
- 君波和雄・大野幸則, 1999, ビトリナイト反射率からみた付加体中の現地性玄武岩類による熱変成: 九州の後期白亜紀槇峰層を例として. *地質学論集*, no. 52, 243-253.
- Kimura, J., Stern, J. R. and Yoshida, T., 2005, Reinitiation of subduction and magmatic responses in SW Japan during Neogene time. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **117**, 969-986.
- Lagabriele, Y., Moigne, J. Le, Maury, R. C., Cotton, J. and Bourgois, J., 1990, Volcanic record of the subduction of an active spreading ridge, Taitao Peninsula (southern Chile). *Geology*, **22**, 515-518.
- Letierrier, J., Maury, R. C., Thonon, P., Girard, D. and Marchal, M., 1982, Clinopyroxene composition as a method of identification of the magmatic affinities of paleo-volcanic series. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **59**, 139-154.
- Ludden, J. N., Gelinis, L. and Trudel, P., 1982, Archaean metavolcanics from the Rouyn-Noranda district, Abitibi, Greenstone Belt, Quebec. 2. Mobility of trace elements and petrogenetic constraints. *Can. Jour. Earth Sci.*, **19**, 2276-2287.
- 三宅康幸, 1983, 前弧堆積盆内に形成された室戸岬斑れい岩体. *Magma*, no. 69, 10-14.
- Miyake, Y., 1985, MORB-like tholeiites formed within the Miocene forearc basin, Southwest Japan. *Lithos*, **18**, 23-34.
- Meschede, M., 1986, A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chem. Geol.*, **56**, 207-218.
- Mullen, E. D., 1983, MnO/TiO₂/P₂O₅: a minor element discriminant for basaltic rocks of oceanic environments and its implications for petrogenesis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **62**, 53-62.
- Ohkura, T., 2000, Structure of the upper part of the Philippine Sea plate estimated by later phases of upper mantle earthquakes in and around Shikoku, Japan. *Tectonophysics*, **321**, 17-36.
- Okino, K., Shimakawa, Y. and Nagaoka, S., 1994, Evolution of the Shikoku Basin. *Jour. Geomag. Geoelectr.*, **46**, 463-479.
- Otofuji, Y., Matsuda, T. and Nohda, S., 1985, Opening mode of the Japan Sea inferred from the paleomagnetism of the Japan arc. *Nature*, **317**, 603-604.
- Pearce, J. A. and Cann, J. R., 1973, Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analysis. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **19**, 290-300.
- Saito, T., 1980, The Lower Miocene planktonic foraminifera from Sakamoto, Muroto City, Kochi. In Taira, A. and Tashiro, M. eds., *Geology and Paleontology of the Shimanto Belt*, Rinyakosai Press, Kochi, 227-234.

- 酒井治孝, 1981, 室戸半島南端部四万十帯のオリストストロームとメランジェ. 九州大理研報 (地質), **14**, 81-101.
- 佐野 栄, 1999, 沈み込み過程での堆積物および緑色岩中の微量元素の挙動. 地質学論集, no. 52, 195-204.
- 新正裕尚・角井朝昭・折橋裕二, 2003, 西南日本弧の海溝寄り地域における中新世中期火成活動—熱い四国海盆沈み込みとの関連—. 月刊地球, 号外 no. 43, 31-38.
- Siena, F., Coltorti, M., Saccari, E. and Vaccaro, C., 1993, Petrology of the basaltic rocks of the Nankai Trough basement. *Proc. Ocean Drill. Program Sci. Results*, **131**, 197-207.
- 平 朝彦・田代正之・岡村 真・甲籐次郎, 1980, 高知県四万十帯の地質とその起源. 四万十帯の地質学と古生物学—甲籐次郎教授還暦記念論文集, 319-389.
- 高橋正樹, 1986, 日本列島拡大前後の“島弧” マグマ活動. 科学, **56**, 103-111.
- Terakado, Y., Shimizu, H. and Masuda, A., 1988, Nd and Sr isotopic variations in acidic rocks formed under a peculiar tectonic environment in Miocene Southwest Japan. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **99**, 1-10.
- 梅本研吾・今岡照喜・山崎 徹・大和田正明, 2000, 混合融剤 (A12) を使用した岩石の蛍光 X 線分析. 山口大機器分析センター報告, no. 8, 16-23.
- Winchester, J. A. and Floyd, P. A., 1976, Geochemical magma type discrimination; application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **28**, 459-469.
- Winchester, J. A. and Floyd, P. A., 1977, Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.*, **20**, 325-343.
- Wood, D. A., 1980, The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **50**, 11-30.
- Wood, D. A., Joron, J.-L., Marsh, N. G., Tarney, J. and Treuil, M., 1980, Major- and trace-element variations in basalts from the north Philippine Sea drilled during Deep Sea Drilling Project Leg 58: A comparative study of back-arc basin basalts with lava series from Japan and mid-ocean ridges. *Init. Repts. DSDP*, **58**, 873-894.
- Yajima, T., 1972a, Petrology of the Murotomisaki gabbroic complex. *Jour. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, **67**, 218-241.
- Yajima, T., 1972b, Petrochemistry of the Murotomisaki gabbroic complex. *Jour. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, **67**, 247-261.
- Yajima, T., Kajima, M. and Naganuma, Y., 1977, On the role of the igneous activities in the tectonic movement, with special reference to the Muroto peninsula igneous zone. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **83**, 395-409.

(要 旨)

溝口秀治・君波和雄・今岡照喜・亀井淳志, 2009, 室戸岬地域における中新世の海溝近傍火成活動. 地質雑, **115**, 17-30. (Mizoguchi, S., Kiminami, K., Imaoka, T. and Kamei, A., 2009, Miocene near-trench magmatism in the Cape Muroto area, Shikoku, SW Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **115**, 17-30.)

室戸岬地域の前期中新世四十寺山層は, 日沖メランジェの上に堆積した海溝斜面堆積物と推定される. 四十寺山層下部の泥岩は, 枕状溶岩や火山角礫岩, 火山性砂岩を挟在し, 四十寺山ドレライトを含む. 日沖メランジェには丸山ドレライトが貫入する. 枕状玄武岩, 火山角礫岩中の玄武岩質安山岩礫・ドレライト礫, 丸山・四十寺山ドレライトは, 非アルカリ岩系の玄武岩—安山岩に分類される. 微量元素組成と単斜輝石組成を用いた判別図において, 丸山ドレライトとドレライト礫は MORB に, 枕状玄武岩や玄武岩質安山岩礫 (椎名火山岩類), 四十寺山ドレライトは島弧玄武岩に判別される. 沈み込んだ四国海盆の活動的の海嶺から付加体にマグマが直接供給されてドレライトの多くが形成された. 椎名火山岩類の形成は, MORB マグマによる四万十帯泥岩の同化作用と分別結晶作用に由来する. ドレライトと椎名火山岩類は, 海嶺の沈み込みに関連した海溝近傍火成活動の産物である.