四国西部, 唐崎マイロナイトの構造解析と地体構造上の位置づけ

Structural analyses and geotectonic correlation of the Karasaki mylonites, western Shikoku

Abstract

吉村浄治*† 高木秀雄**

Joji Yoshimura*† and Hideo Takagi**

1998年8月13日受付.
1999年6月21日受理.

* 早稲田大学大学院理工学研究科地質学部門.
Division of Geology, Graduate School of
Science and Engineering, Waseda University,
Shinjuku, Tokyo 169-8050, Japan

† 現所属: 川崎地質株式会社大蘇出張所.
Present address: Kawasaki Geological Engi-
neering Co., Ltd., Oso Branch Office

** 早稲田大学教育学部地球科学教室.
Department of Earth Sciences, School of
Education, Waseda University, Shinjuku,
Tokyo 169-8050, Japan

The Karasaki mylonite unit crops out as a series of isolated klippen on the Sambagawa Belt, along its northern margin in western Shikoku. It mainly consists of strongly deformed amphibolites and subsidiary of pelitic and quartzo-feldspathic metamorphic rocks. This tectonic unit is distinguished on the basis of field occurrence, difference in metamorphic grade and in shear sense with respect to the underlying Sambagawa metamorphic rocks.

The chemical composition of garnet and hornblende suggests that the protolith of the Karasaki mylonite is amphibolite facies metamorphic rocks, that have been devoid of Sambagawa metamorphism. Hornblendes from amphibolitic mylonites yield the K-Ar ages of 104 ± 5 Ma, 119 ± 6 Ma and 122 ± 6 Ma. Accordingly, the Karasaki mylonite is possibly correlative to the Higo, Oshima, Yorui, Nishidohira and Takanuki metamorphic rocks of the latest Early Cretaceous age, which are considered to constitute the Paleo-Ryoke Belt interleaved between the Ryoke and Sambagawa Belts.

Key words: Karasaki mylonite, nappe, K-Ar age, Sambagawa Belt, Paleo-Ryoke Belt

はじめに

四国西部松山南部地域の三波川帯には、異地性岩塊として角閃石ボーフィロクラストが特徴的なマイロナイトが分布し、唐崎マイロナイトと呼ばれている。唐崎マイロナイトに関する研究は、秀ほか(1977)により始まった。秀ほか(1977)は愛媛県伊予郡双海町にあるホルンブレンド・微斜長石・ざくろ石などの碎屑粒子を特徴的に含む結晶片岩を双海層と定義した。武田ほか(1981a)は、双海層中のホルンブレンド砂岩・礫質泥岩を原岩とする結晶片岩のみを唐崎層と定義した。また、Takeda et al. (1981b)は唐崎層は双海ナップ中のメラランジュとし、武田ほか(1987)は、唐崎層が角閃岩・ざくろ石黒雲母片麻岩・珪長質片麻岩・石灰質片麻岩からなる高度変成岩がマイロナイト化したものであり、それらはテクトニック・ブロックをなすとした。原ほか(1991)は唐崎層を唐崎マイロナイトと呼び、Hara et al. (1992)では、唐崎マイロナイトが唐崎ナップを構成するものとした。その後、三好・高須(1993)は、同一の岩石中に2~3種の組成の異なる角閃石がほぼ同じ大きさの粒子として含まれていることなどから、唐崎層の一部はマイロナイト化する以前は種々の碎屑粒子や礫を含んでいた堆積岩であったと考えた。一方、唐崎マイロナイトの地体構造的な位置づけについては、黒瀬川-古領家陸塊の断片(原ほか, 1991; Hara et al., 1992)、大島変成岩や肥後片麻岩相当岩類(武田ほか, 1993; 武田,

1995)、古領家帯(高木・柴田, 1996)などの可能性が指摘されており、西南日本・東北日本の地体構造発達史を考える上でも、その帰属を解明することは重要である。

以上のように、唐崎マイロナイトの原岩の問題とその帰属についてはさまざまな議論がなされているものの、その基礎となるべき構造岩石学および年代学的検討については、未だ不十分である。そこで本論では、唐崎マイロナイトと三波川変成岩類との関係を、構造地質学および岩石学の観点から論じ、ホルンブレンドのK-Ar年代測定結果と合わせて、その地体構造的な位置づけを考察する。

地質概説

調査地域の愛媛県双海町周辺は、中央構造線によって内帯と外帯とに大きく二分される(Fig. 1)。内帯側の粒野・大南には、領家帯のカンパニアン階和泉層群向井原層(高橋, 1986)が分布する。中央構造線(以下、MTL)を挟んで外帯側は三波川帯に属し、三波川変成岩類、唐崎マイロナイト、始新統久万層群二名層(Nagai, 1957)が分布する。唐崎マイロナイトは主に角閃岩質マイロナイトからなり、北縁部で三波川変成岩類に取り囲まれるように分布する。調査地域の三波川帯の主に北側に点紋泥質片岩が、南側に塩基性片岩が分布する。塩基性片岩分布域は緑泥石帯、点紋泥質片岩分布域はざくろ石帯に相当する(武田ほか, 1985)と考えられているが、岩相が異なるため明確な分帯の境界を示すのは難し

Fig. 1. Geological map of the study area and sample locations.

い。三波川変成岩類は、犬寄に分布する二名層の礫岩に不整合で覆われる。石鎚層群 (Nagai, 1957) は、中新世の火成活動 (田崎ほか, 1993) に由来する流紋岩よりなり、内外両帯に小岩体をなして分布するほか、中央構造線沿いにも貫入している。

唐崎マイロナイトの分布と産状

唐崎マイロナイトは、調査地域内では、双海町閨住、唐崎、高見の3か所に分布し (Fig. 1)、それらの岩体は後述するようにクリッペをなすものと考えられることから、ここで各々閨住クリッペ、唐崎クリッペ、高見クリッペと呼ぶ。そのほか、径3mほどの小岩体が大栄南側に認められる。それらのうち、唐崎クリッペおよびその周辺のルートマップを Fig. 2 に示す。この図に示されているように、唐崎マイロナイトは三波川変成岩類に取り囲まれるように分布しており、その産状から Fig. 1 の A-B 断面を描くことができる。また、唐崎マイロナイトは、温泉郡重信町佐川にもその分布が知られている (武田, 1996)。

唐崎マイロナイトと三波川変成岩類の点紋泥質片岩の断層境界露頭は、双海町高見に存在する (Fig. 3)。境界断層は N 68° W 44° N の姿勢を持ち、断層破碎帯の幅は両側とも約 10 m に及ぶ。境界付近ではほかに断層が2本認められ、北側の角閃岩質マイロナイト中に存在する断層は N 64° E 70° N の姿勢を持ち、幅約 10 cm のガウジ帯が存在する。一方、南側の点紋泥質片岩中に存在する断層は N 88° W 80° N の姿勢を持ち、幅約 3 cm のガウジ帯が存在する。以上の3つの断層

のうち、岩相境界をなす断層の傾斜は中角であるが、ナップ基底断層そのものであるか否かの判断は難しい。

岩石記載

1. 三波川変成岩類

三波川変成岩類は、塩基性片岩、点紋泥質片岩、蛇紋岩よりなる。点紋泥質片岩は、斑状変晶として粒径 0.2~1.8 mm の曹長石、炭質物、石英、粒径 0.05~0.8 mm のざくろ石、アクチノ閃石、白雲母、電気石、スフェーンおよび黄鉄鉱が認められる。また、幅 0.7~1.5 mm の石英脈、方解石脈が認められる。塩基性片岩は、曹長石 (粒径 0.05~0.5 mm)、アクチノ閃石、トレモア閃石、緑簾石、緑泥石、石英、斜長石、赤鉄鉱および黄鉄鉱が認められる。

2. 唐崎マイロナイト

唐崎マイロナイトは、角閃岩質マイロナイト (ざくろ石-角閃岩質マイロナイトを含む) を主とし、ほかに石英長石質マイロナイト、泥質マイロナイトからなる。ポーフィロクラストと基質の面積比からすると、唐崎マイロナイトの大部分はマイロナイトに、一部ウルトラマイロナイトに相当する。

角閃岩質マイロナイトは、暗緑色部と白色部の数 cm 以下の組成縞が発達しているタイプ (Fig. 4a) と、帯緑明灰色から明灰色を呈し、1~2 mm のホルンブレンド、斜長石の粒子が点在するタイプ (Fig. 4b) とがあり、両者は漸移的に変化する。ポーフィロクラストとして、粒径 0.1~2.0 mm の Z 軸色が緑~褐色のホルンブレンド、粒径 0.2~2.0 mm の斜長石のほか、まれに緑簾石、褐簾石が存在する。上記のいずれ

Fig. 2. Route map in Karasaki and its vicinity.

Fig. 3. Route map across the boundary between the Karasaki mylonite and the spotted pelitic schist of the Sambagawa metamorphics at Takami. Topographic map inset is parts of 1:50,000 map sheets "Kaminada" and "Nakayama" of Geographical Survey Institute.

のタイプにも、褐色と緑色のホルンブレンドが存在する。ホルンブレンドボーフィロクラストには、しばしば伸長割れ目、将棋倒し構造が発達し、割れ目はアクチノ閃石で充填されている。ボーフィロクラスト両側にはアクチノ閃石、石英および一部に黄鉄鉱からなるプレッシャー・シャドウが存在する (Fig. 4c)。また、周縁部が部分的にアクチノ閃石に交代されている、もしくは、成長しているものもある (Fig. 4c)。斜長石ボーフィロクラストはアルバイト化が著しい。比較的新鮮な試料でも EPMA による分析値で $\text{Ab}_{92}\text{An}_8$ 程度の組成を示す。基質として、曹長石、緑簾石、石英、アクチノ閃石、緑泥石、白雲母、スフェーン、燐灰石、方解石、リューコキシ化したチタン鉄鉱および粒径 0.3 mm 前後の

ざくろ石が存在する。特に、石英は細粒集合体をなし、その粒径は 10~50 μm と極めて細粒で、50 μm を超えるものはほとんどない。緑簾石の極細粒集合体がしばしばシームをなす。これらの引き伸ばされた集合体が、幅 0.1~1 mm の fluxion banding を構成している (Fig. 4f)。また、白色部は主に細粒の石英、斜長石からなり、幅 0.8~1.5 mm の石英脈が挟在される。したがって、それらの原岩は、角閃岩よりも、むしろ角閃石片麻岩と呼ぶべきものである。

石英長石質マイロナイトは、双海町本郷および奥で産出する (Fig. 2)。本岩はマイロナイト化に伴う fluxion banding として、灰色部と白色部が互層しており、その間隔は 0.1 mm ~ 5 mm である (Fig. 5a)。また、剝離された面構造上には

Fig. 4. Photographs of amphibolitic mylonite. a, b : Rock slices of banded amphibolitic mylonites (a : sample no. E 3-18 ; b : sample no. E3-17). c : Hornblende porphyroclast with actinolite rim (act) and asymmetric pyrite (py) shadows (sample no. D2-13), PPL (plane polarized light). d : Shear bands (Ss) (sample no. E3-15), PPL. e : Shear bands (sample no. E3-19), PPL. f : Backscattered electron (BSE) image of the boxed area of e. The contrast of brightness is related to the differences of the mean atomic number of constituent minerals ; sphene (spn), epidote (ep), chlorite (chl), albite (Ab). Scale bars of a and b are 1 cm.

ridge-in-groove タイプの線構造が認められる (Fig. 5b). この線構造は、ポーフィロクラスト周囲の引き伸ばされたテイルやプレッシャー・シャドウの凹凸が表れたものである (Fig. 5a と b を対照). ポーフィロクラストとして粒径 0.1~

10 mm のカリ長石 (Fig. 5c-e) が存在するが、斜長石が認められない点特徴的である。基質として、粒径 0.04 mm 前後の石英、曹長石、緑簾石、褐簾石、緑泥石、ざくろ石、燐灰石、ジルコン、ルチルが存在する (Fig. 5f). ざくろ石は粒状

Fig. 5. Photographs of quartzo-feldspathic mylonite (sample no. D2-24). a: Rock slice of quartzo-feldspathic mylonite with stretched large K-feldspar porphyroclasts and fluxion bands. b: Foliation surface (top surface of a) with ridge-in-groove type lineation. Fan-shaped clast-tail system (arrow) suggests a top-to-the-west sense of shear. c: Asymmetric pressure shadows around K-feldspar porphyroclasts. Dark seam is granulated and comminuted garnet (grt) aggregates. PPL. d: δ type asymmetric pressure shadows around a K-feldspar porphyroclast. PPL (top), XPL: crossed polarizer (bottom). e, f: BSE images showing K-feldspar porphyroclast with extensional crack and asymmetric tails. Constituent minerals are rutile (rt), epidote (ep), K-feldspar (Kf), muscovite (ms) and quartz (qtz). Scale bars of a and b are 1 cm.

化が著しく、細粒集合体が面構造と平行に引き伸ばされて、シームをなす (Fig. 5c). 原岩は含ざくろ石珪長質片麻岩と考えられる。

泥質マイロナイトは双海町本郷で産出する (Fig. 2). 本岩は褐色を呈し、0.5~2mm の斜長石、カリ長石および褐れん石のポーフィロクラストが点在する (Fig. 6a). 基質として粒径 0.5mm 前後の石英、黒雲母、緑簾石、白雲母、ざくろ石、ジルコンおよび燐灰石が存在する。斜長石ポーフィロクラストはアルバイト化、ソーシユライト化、絹雲母化が著しい。比較的新鮮な試料で $Ab_{85}An_{15}$ 程度の組成を示す。ソーシユライト部の緑簾石細粒集合体が面構造とほぼ平行に引き伸ばされて、シームをなす (Fig. 6b の筋状暗色部)。

構造解析

1. 構造要素

調査地域を西から閩住、唐崎、高見の3地域に区分し、それぞれを岩相により、唐崎マイロナイト、唐崎マイロナイトを取りまく点紋泥質片岩の卓越する地域、その南の塩基性片岩が卓越する地域の3つに分け、さらにそれぞれを唐崎マイロナイトの分布域 (閩住クリッペ、唐崎クリッペ、高見クリッペ) の3つに分割した。これら計9つの地域について、面構造の極と線構造をそれぞれシュミットネット下半球に投影した (Fig. 7). その結果、面構造の走向は東西で、線構造は水平ないしは東または西方向に浅く沈下しているものが多いが、各岩体・地域において次のような差異がある。すなわち、1. 唐崎マイロナイトは、閩住クリッペと高見クリッペの面構造が点集中を示し、その傾斜が北に中~高角度であるのに対し、唐崎クリッペでは弱い点集中を示し、その傾斜が低角度であること、2. 高見クリッペ周辺の点紋泥質片岩は、面構造の極がガードル分布をなすことである (Fig. 7). また、閩住クリッペの海岸の露頭では、半波長数 10cm のマイロナイト面構造の褶曲が観察され、その一部に軸面劈開が発達している。

2. 剪断センス

今回、剪断センスを判定するため、面構造に垂直、線構造に平行な XZ 薄片をすべて南から北へ向かって観察する形で作成した。したがって、薄片での左ずれは上盤西を、右ずれは上盤東を意味する。また、唐崎マイロナイトすべてと三波川結晶片岩のうちのセンスの明確な数試料については、線構造に垂直な YZ 薄片を作成し、下記の非対称構造が線構造に対して単斜対称をなすことを確認した。

唐崎マイロナイトに認められる非対称微小構造として、角閃岩質マイロナイトではシアバンド (Fig. 4d, e), ホルンブレンドの非対称ブーディンまたはフィッシュ、非対称プレッシャー・シャドウ (Fig. 4c) が存在する。一部のプレッシャー・シャドウ部には黄鉄鉱が充填しており、両側で非対称の位置関係を示すものや (Fig. 4c), リューコキシニ化したチタン鉄鉱が非対称ブーディンを示すものがある。石英長石質マイロナイトでは非対称プレッシャー・シャドウ、テイル (Fig. 5c-f), 引きずり褶曲またはシアバンドなどが、泥質マイロナイトではシアバンド (Fig. 6b), 非対称プレッ

シャー・シャドウおよびマイカフィッシュが認められる。

三波川結晶片岩に認められる非対称微小構造として、点紋泥質片岩ではシアバンド (Fig. 6c), 非対称プレッシャー・シャドウおよびスフェーンのフィッシュ (Fig. 6d) が、塩基性片岩ではシアバンド、アクチノ閃石のフィッシュ (Fig. 6e) および一部にプレッシャー・フリンジ (Fig. 6f) が認められる。ただし、このプレッシャー・フリンジのみでは、剪断センスが不明確である。なお、唐崎マイロナイトと三波川結晶片岩には、石英の斜交形態ファブリックもしばしば存在するが、他の剪断センス指標と逆センスを示すこともあり、その有効性には疑問が残る (高木ほか, 1998) ので、今回はセンスの判定に使用していない。また、シアバンドによるセンスと曹長石の包有物の配列によるセンスが異なることがある (Fig. 6c). その場合、後者は基質中の細粒鉱物との連結が不明瞭であるため、曹長石斑状変晶中の包有物の S 字状配列については、センスの決定に使用していない。

センスが明確なものは、唐崎マイロナイトでは 33 試料中 19 試料、点紋泥質片岩では 27 試料中 15 試料、塩基性片岩では 34 試料中 7 試料である。その判定の結果、唐崎マイロナイトについては、高見クリッペでは上盤東ずれ、唐崎クリッペでは上盤東ずれと西ずれが半々、閩住クリッペでは上盤東ずれ優勢を示す (Fig. 8). 一方、唐崎マイロナイト周辺の点紋泥質片岩、塩基性片岩では、例外なく上盤西ずれである。このことより、唐崎マイロナイトと唐崎マイロナイト周辺の三波川結晶片岩では、基本的に剪断センスが異なることが明らかになった。

鉱物組成

1. 試料および分析方法

角閃岩質マイロナイト (ざくろ石-角閃岩質を含む) のポーフィロクラストを構成するホルンブレンドと角閃岩質マイロナイトのプレッシャー・シャドウ部、ざくろ石-角閃岩質マイロナイト、泥質マイロナイトおよび石英長石質マイロナイトのざくろ石の主成分元素について EPMA (日本電子 JXA 733) による分析を行った。補正計算は Bence and Albee 法で行った。分析条件は、15kV, 350pA または 400pA, ビーム径 10 μ m である。また比較のために三波川変成岩類である塩基性片岩のポーフィロブラストをなすアクチノ閃石と、点紋泥質片岩のざくろ石、寄居変成岩 (高木, 1991) の角閃岩中の角閃石、大島変成岩 (高木, 1991; 武田ほか, 1993) の角閃岩中の角閃石についても分析を実施した。角閃石の Fe^{2+} と Fe^{3+} ならびに M1~M4 サイトの分配計算は、Mogessie et al. (1990) によった。

2. 結果

角閃石の分析値の一部を Table 1 に、また Leake et al. (1997) による角閃石の分類に基づくプロットを Fig. 9 に示す。累帯構造は、ざくろ石-角閃岩質マイロナイトのホルンブレンドポーフィロクラストの一部にそれが認められるものを除き、一般に認められない (Table 1). Raase (1974) の Ti 量の関係から、角閃岩質マイロナイトは中~高程度の角閃岩相、ざくろ石角閃岩質マイロナイトは高程度の角閃岩相の領

Fig. 6. Photographs of pelitic mylonite (a, b), spotted pelitic schist (c,d) and basic schist (e, f). a: Rock slice of pelitic mylonite including stretched porphyroclasts with shadow/tail systems (scale:1 cm), (sample no. D2-26). b: Porphyroclasts of K-feldspar (Kf), allanite (aln) and albite (Ab), and asymmetric pressure shadows and tails. Stretched dark aggregates are composed of saussurite (fine grained aggregates of epidote). (sample no. D2-26), PPL. c: Shear bands clearly show sinistral sense, and in contrast, Z-shaped inclusion alignments in albite porphyroblast suggest opposite sense (see text in detail) (sample no. D1-4), PPL. d: Fish-shaped sphene and shear bands in a pelitic schist (sample no. D1-4), PPL. e: Actinolite fish (act) and shear band (Ss) in a basic schist (sample no. E3-12), XPL. f: Quartz pressure fringe around an euhedral hematite clast in a basic schist, by which we cannot clearly determine the sense of shear (sample no. D2-18), XPL.

Fig. 7. Equal-area lower hemisphere projection of poles to foliation planes (■) and lineations (○).

Fig. 8. Distribution of shear direction in the Karasaki mylonite and Sambagawa metamorphic rocks.

域に含まれる (Fig. 10a). また, Rasse (1974) の Al^{VI}/Si 図表では, おおむね 5 kb 以下に位置づけられる (Fig. 11a). 次に, ざくろ石の分析値の一部を Table 2 に, プロットを Fig. 12 a に示す. Fig. 12 a の $Mn-Mg-Fe^{2+}$ 三角図を, Miyashiro (1953) による各変成度の領域と対比してみると, ざくろ石-角閃岩質マイロナイト, 泥質マイロナイト, 石英長石質マイロナイトとも緑簾石角閃岩相から角閃岩相の領域に含まれる. また, Fig. 12a の $Mn-Mg-Ca$ 三角図では, ざくろ石-角閃岩質マイロナイト, 泥質マイロナイトは比較的 Ca に富み, 石英長石質マイロナイトは Mn に富む.

以上を総合すると, 唐崎マイロナイトの原岩をなす変成相は, 中～高程度の角閃岩相である.

また, マイロナイト化の時期に再結晶したと考えられる角閃岩質マイロナイトのプレッシャー・シャドウ部に存在するアクチノ閃石は, 三波川変成岩の塩基性片岩中のアクチノ閃石より藍閃石成分 Na^{M4} 量が少ない. 角閃岩質マイロナイトのプレッシャー・シャドウ部にあるアクチノ閃石の Na^{M4} 量は 0.00 であり, 一方三波川変成岩の塩基性片岩中のアクチノ閃石の Na^{M4} 量は, 0.21~0.37 である. これは, 三好・高須 (1993) でも指摘されているように, 唐崎マイロナイトのマイロナイト化時の変成圧力が三波川変成岩形成時の圧力より低い可能性を示唆している.

唐崎マイロナイトの K-Ar 年代

1. 方法

今回 K-Ar 年代測定の対象とした試料は, 角閃岩質マイロナイトの薄片 40 枚の中から最も新鮮な 3 試料を選択した. それらは, 角閃岩質マイロナイト 2 試料 (試料番号 E3-17 の緑～褐色ホルンブレンドと試料番号 F1-18 の褐色ホルンブレンド) および, ざくろ石-角閃岩質マイロナイト 1 試料 (試料番号 D1-12 の緑～褐色ホルンブレンド) である. 各試料の新鮮な部分を粉砕し, 80~145 メッシュに分級した. その後, 緑泥石を取り除くために 6N-HCl で 2 時間煮沸し, 超音波洗浄機で十分に洗浄・乾燥した後, アイソダイナミックセパレーターと重液を用いて角閃石を分離した. K-Ar 年代測定はテレダイン・アイソトープ(株)に依頼した. 測定誤差は 1σ で示した. 壊変定数は次の通りである: $^{40}Ar_{16} = 4.962 \times 10^{-10}/\text{年}$, $^{40}Ar_{16} = 0.581 \times 10^{-10}/\text{年}$, $^{40}K/K = 0.01167 \text{ atom\%}$. なお, 本論で引用される古い壊変定数を用いた年代値は, すべて上記の壊変定数を用いて計算し直したものである.

2. 結果

K-Ar 角閃石年代測定結果を Table 3 に示す. 角閃岩質マイロナイトの K-Ar 角閃石年代は, $119 \pm 6 \text{ Ma}$ と $122 \pm 6 \text{ Ma}$ であり, ざくろ石-角閃岩質マイロナイトの K-Ar 角閃石年代は, $104 \pm 5 \text{ Ma}$ となった. 従来, 武田ほか (1987) は, 角閃岩質マイロナイト中の褐色角閃石の K-Ar 年代として $160 \pm 8 \text{ Ma}$, $107 \pm 5 \text{ Ma}$, また, 坂島ほか (1998) は, 石英長石質岩のジルコンの SHRIMP 年代として $105.4 \pm 3.9 \text{ Ma}$ を報告している. 今回の結果と合わせて考えると, 少なくとも白亜紀前期 ($122 \sim 104 \text{ Ma}$) に原岩の変成作用を受けているといえる. 一方, 武田ほか (1987) によって報告された角閃石 K-Ar

Karasaki mylonite

- Hornblende porphyroclasts in amphibolitic mylonite
- △ Actinolite in pressure shadows of hornblende porphyroclast
- ◇ Hornblende porphyroclasts in garnet amphibolitic mylonite

Sambagawa metamorphic rocks

- △ Actinolite in basic schist

Fig. 9. Composition of amphiboles (Si-mg diagrams) after Leake et al. (1997) from the Karasaki mylonite and Sambagawa basic schists.

年代値の 1 つ (160 Ma) についての意味については, 現段階では不明である.

議 論

1. 唐崎ナップの認定と移動時期

唐崎マイロナイトは角閃岩相の変成岩である角閃岩や角閃石片麻岩が延性剪断変形に伴って, 角閃石ポーフィロクラストと珪長質基質部からなる典型的なマイロナイト組織を形成したものである. 角閃石ポーフィロクラストが碎屑粒子の残存物である (武田ほか, 1981a; 三好・高須, 1993) という証拠はとくに認められない. また, マイロナイト化に伴う後退変成作用により, プレッシャーシャドウやポーフィロクラス

Table 1. Chemical analyses of hornblendes in the Karasaki mylonite and the Sambagawa basic schist.

	Karasaki mylonite												Sambagawa basic schist			
	Amphibolitic mylonite								Garnet amphibolitic mylonite				Amphibolitic mylonite		A1-3	
	E3-1		D2-13		F1-19		D2-16		D1-12		D1-12		E3-1			
	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	core	rim	pressure	shadow		
SiO ₂	43.68	43.29	42.20	42.18	42.15	41.00	43.56	42.80	42.52	43.54	41.95	41.57	55.20	54.36	52.96	55.66
TiO ₂	0.60	0.48	1.30	1.39	1.37	0.88	1.35	1.76	2.15	0.28	1.92	1.53	0.00	0.23	0.00	0.03
Al ₂ O ₃	13.15	12.08	12.27	12.87	11.53	12.75	12.61	12.78	12.93	14.32	12.85	13.42	1.78	1.12	3.14	0.97
FeO*	14.65	15.42	17.38	16.29	17.02	17.99	19.36	17.98	18.79	18.64	19.76	19.01	13.56	12.47	13.61	11.66
MnO	0.18	0.25	0.48	0.40	0.41	0.53	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.43	0.28	0.67	0.24	0.06
MgO	11.65	12.99	10.31	10.18	10.93	9.98	7.22	7.95	7.13	6.19	6.37	6.35	15.01	15.49	17.48	17.19
CaO	10.30	10.57	11.17	11.45	11.50	11.70	11.59	11.80	10.99	11.52	11.28	11.62	13.04	12.91	10.17	11.85
Na ₂ O	3.46	3.17	3.04	3.00	2.53	2.59	1.60	1.33	2.44	2.39	1.91	2.11	0.24	0.25	1.38	1.20
K ₂ O	0.37	0.42	0.70	0.69	1.51	1.56	0.63	1.38	1.50	0.92	1.92	1.54	0.13	0.00	0.00	0.03
Total	98.04	98.67	98.85	98.45	98.95	98.98	97.91	97.76	98.45	97.82	97.95	97.58	99.24	97.50	98.97	98.66

Numbers of ions on the basis of 23 (O)																
Si	6.344	6.223	6.234	6.266	6.254	6.127	6.454	6.559	6.407	6.555	6.402	6.361	7.848	7.854	7.298	7.851
Ti	0.070	0.052	0.142	0.152	0.152	0.099	0.200	0.154	0.245	0.027	0.220	0.174	0.000	0.025	0.000	0.000
Al ^{IV}	1.656	1.777	1.766	1.734	1.746	1.873	1.546	1.441	1.593	1.445	1.598	1.639	0.152	0.146	0.514	0.149
Al ^{VI}	0.596	0.272	0.374	0.515	0.270	0.372	0.729	0.794	0.706	1.096	0.713	0.779	0.146	0.044	0.000	0.012
Fe	1.781	1.858	2.149	2.026	2.114	2.245	2.266	2.434	2.371	2.342	2.523	2.436	1.612	1.507	1.566	1.374
Mn	0.026	0.035	0.062	0.054	0.053	0.063	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.056	0.034	0.081	0.025	0.008
Mg	2.522	2.783	2.273	2.258	2.418	2.228	1.785	1.619	1.602	1.392	1.449	1.443	3.181	3.337	3.595	3.612
Ca	1.605	1.625	1.767	1.821	1.829	1.877	1.903	1.873	1.774	1.853	1.844	1.902	1.987	1.998	1.500	1.789
Na	0.978	0.882	0.877	0.865	0.722	0.754	0.389	0.470	0.715	0.696	0.569	0.626	0.066	0.069	0.373	0.331
K	0.070	0.078	0.133	0.134	0.285	0.296	0.263	0.118	0.289	0.181	0.376	0.303	0.023	0.000	0.000	0.008

*Total iron as FeO

トの伸張割れ目をアクチノ閃石が充填している。また、斜長石のアルバイト化が進んでいることや、基質中に 30 μ m 以下の緑簾石が生じていることから、唐崎マイロナイトのマイロナイト化は緑色片岩相の条件で進行したものと考えられる。ただし、上記のアクチノ閃石の藍閃石成分 Na^{M4} 量が三波川塩基性片岩中のアクチノ閃石のそれと明瞭に異なることから、当地域の唐崎マイロナイトと周囲の三波川結晶片岩と面構造の姿勢や剪断センスが異なることから、唐崎マイロナイトは三波川変成作用の影響を受けてはいないと考えられる。また、このことは、唐崎マイロナイトと三波川変成岩類との接合が、三波川変成作用がほぼ終了した後であることを意味している。露頭が1つしか確認できなかったものの、両者の関係が脆性的な断層であることも、このことを示唆している。

上に述べたとおり、唐崎マイロナイトと三波川変成岩との接合が三波川変成作用の後であるという今回の結果から、唐崎マイロナイトが三波川変成岩の原岩の付加に伴ったメランジュ中のブロックとは考えられない。

以上から、武田ほか (1987) が記載した唐崎マイロナイトの“ブロック”としての産状は、ナップ基底断層付近のテクトニックスライスとしてみなすことが、今回の結果を説明する上で最も可能性が高いものであると判断される。ナップ基底部の複雑な幾何学は、例えば小林 (1994) の跡倉ナップ基底部でも知られており、リーデルシアなどの副次的剪断面の組み合わせによっては、ナップの上盤と下盤が局所的に逆転している場合も知られている。

武田 (1995) は、唐崎ナップが始新世以降の砥部時階の MTL としての犬寄断層 (永井, 1970) を介して、和泉層群の

衝上を受けており、その活動以前にはナップの移動が完了していることから、その移動時期が白亜紀末～暁新世である可能性を指摘している。したがって、唐崎マイロナイトのマイロナイト化の時期は、110 Ma 前後の原岩の変成作用の後である白亜紀後期の可能性がある。

2. 唐崎マイロナイトの帰属

三波川帯の構造的上位に位置するナップを構成する唐崎マイロナイトと同様に、白亜紀前期 (110 Ma 前後) の高度変成岩類で、構造的な位置づけが類似するものとして、四国西部三波川帯御荷鉾ユニットに位置する大島変成岩 (武田ほか, 1993) と、関東山地三波川帯御荷鉾ユニットに位置する寄居変成岩 (高木, 1991) が存在する。この両者は、産状、原岩構成、年代値、ざくろ石の組成、随伴する地質体などにおいて、極めて良く似ている (武田, 1995; 高木・柴田, 1996)。一方、武田ほか (1993) によって、大島変成岩は九州中西部の肥後変成岩に、また、小野 (1990)、高木 (1991) によって、寄居変成岩は阿武隈帯の竹貫変成岩に対比されている。それらを含めて、年代値のみからみると、110 Ma 前後の値を示すものとして、肥後変成岩 (モナズ石 CHIME: 118~126 Ma: 鈴木ほか, 1998, 角閃石 K-Ar: 107 Ma: 永川ほか, 1997, 白雲母 K-Ar: 107, 110 Ma: 永川ほか, 1997, 黒雲母 K-Ar: 98~108 Ma: Shibata and Yamamoto, 1965, 中島ほか, 1995, 永川ほか, 1997, 黒雲母 Rb-Sr: 94~105 Ma: 早瀬・石坂, 1967, 山口・南新, 1986, 中島ほか, 1995, 濱本ほか, 1995), 九州東部臼杵川石英閃緑岩に伴う角閃岩 (角閃石 K-Ar: 124 Ma: 高木ほか, 1997), 大島変成岩 (ジルコン SHRIMP: 109 Ma: 坂島ほか, 1998, 角閃石 K-Ar: 94~123 Ma: 鹿野ほか, 1990, 武田ほか, 1993, 白雲母 K-Ar: 114

Fig. 10. Histogram of Ti contents (Raase, 1974) of hornblende in the Karasaki mylonite (a) and in the Early Cretaceous metabasites (b). References are: (1) Kano (1979), (2) Takeda et al. (1993), this paper (3) Karakida and Yamamoto (1982), Yamamoto (1962), (4) this paper.

Ma: 武田ほか, 1993, 黒雲母 K-Ar: 91, 96 Ma: 鹿野ほか, 1990, 武田ほか, 1993), 寄居変成岩 (角閃石 K-Ar: 105~113 Ma: 小野, 1985, 1990, 高木ほか, 1989), 西堂平片麻岩 (黒雲母 K-Ar: 103~121 Ma: 植田ほか, 1969), 竹貫変成岩 (ジルコン SHRIMP: 110, 112 Ma: Hiroi et al., 1998) などが挙げられる (Fig. 13).

以上の年代の対比から, 唐崎マイロナイトと肥後変成岩, 大島変成岩, 寄居変成岩, 竹貫-西堂平変成岩とを, 角閃岩中の角閃石 (Figs. 10b, 11b) と泥質変成岩中のざくろ石 (Fig. 12b) の化学組成, 岩相, 圧力型, 変成相, 年代, ざくろ石のセクト構造および随伴する花崗岩類の特徴などの点から比較

し, Table 4 に示した. なお, 鉍物の化学組成データなどの引用文献は各図の注釈に示す. Raase (1974) の Ti 量の関係から, 各変成岩とも高程度の角閃岩相に達している (Fig. 10b). また, Raase (1974) の Al^{VI}/Si 図表によると, 竹貫変成岩が 5 kb 以上のものが多いが, 他の変成岩は 5 kb 以下に位置づけられる (Fig. 11b). また, ざくろ石の Mn-Mg-Fe²⁺ 三角図においては, 各変成岩とも緑簾石角閃岩相から角閃岩相の領域に含まれる (Fig. 12b). ざくろ石の Ca-Mg-Mn 三角図においては, 唐崎マイロナイトは, 竹貫変成岩, 寄居変成岩の一部と同様に Ca に富む (Fig. 12b). ただし, これらの変成岩をより厳密に比較するためには, 全岩組成の影響,

Fig. 11. a. Relation between Al^{VI} and Si of amphiboles (Raase, 1974) in the Karasaki mylonite and Sambagawa metabasites. References are: (1) Otsuki and Banno (1990), Takasu and Dallmeyer (1990), Higashino et al. (1981), Takasu (1984), Banno (1964). b. Relation between Al^{VI} and Si of amphiboles (Raase, 1974) in metabasites and its correlation to the Early Cretaceous metabasites. (1) Kano (1979), Tagiri et al. (1993), (2) Takeda et al. (1993), (3) Karakida and Yamamoto (1982), Yamamoto (1962), (4) this paper.

Table 2. Chemical analyses of garnets in the Karasaki mylonite.

	Peliitic mylonite			Garnet amphibolitic mylonite		Quartzo-feldspathic mylonite	
	D2-26			D1-12		D2-24	
	1	2	3	1	2	1	2
SiO ₂	37.60	37.93	37.91	37.71	38.18	37.03	38.14
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	21.18	20.91	20.70	20.31	20.78	20.40	21.49
FeO*	28.74	28.49	28.02	26.45	24.88	19.79	21.48
MnO	3.44	3.11	3.50	3.80	4.27	14.13	11.91
MgO	2.57	1.85	2.15	2.70	2.17	1.96	2.01
CaO	6.60	6.84	7.39	9.54	9.22	6.43	6.64
Total	100.13	99.13	99.67	100.66	99.50	99.74	101.67
Numbers of ions on the basis of 12(O)							
Si	2.997	3.045	3.003	2.979	3.035	2.984	3.002
Al ^{IV}	0.003	0.000	0.000	0.021	0.000	0.016	0.000
Al ^{VI}	1.985	1.978	1.949	1.870	1.947	1.921	1.993
Fe ^{3+*}	0.015	0.022	0.051	0.121	0.053	0.079	0.007
Ti	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000
Fe ²⁺	1.901	1.890	1.820	1.626	1.601	1.254	1.407
Mg	0.306	0.222	0.256	0.319	0.257	0.236	0.236
Mn	0.232	0.211	0.237	0.254	0.288	0.964	0.794
Ca	0.563	0.589	0.633	0.808	0.785	0.555	0.560
Alm	63.3	64.9	61.8	54.1	54.6	41.7	47.0
Sps	7.7	7.3	8.0	8.5	9.8	32.0	26.5
Prp	10.2	7.6	8.7	10.6	8.8	7.8	7.9
Grs	18.0	19.1	18.9	20.4	24.1	14.5	18.3
And	0.7	1.1	2.6	6.5	2.7	3.9	0.3

* Total iron as FeO.

** Fe³⁺: Calculated iteratively on the basis of 12O and 2 cations for octahedral site.

Fig. 12. a. Composition of garnets in the Karasaki mylonite. References are: (1) Teraoka et al. (1997), Enami (1983, 1988), Higashino et al. (1981, 1984), Higashino (1975), Banno and Kurata (1972), (2) Teraoka et al. (1997), Miyashita (1996), Ikeda (1993), Enami (1988), Takagi and Nagahama (1987), Kutsukake (1977), Hayama (1964). b. Composition of garnets in metapelites and its correlation to the Early Cretaceous metapelites. References are: (1) Tagiri et al. (1993), Hiroi (1990), Hiroi and Kishi (1989), Kano (1979), Kano and Kuroda (1973), Tagiri (1973), (2) Takagi (1991), Hayama (1991), (3) Takeda et al. (1981 a), this paper, (4) Takeda et al. (1993), Shikano et al. (1990), (5) Yamamoto (1962, 1983).

Table 3. K-Ar hornblende ages from the Karasaki mylonite.

Sample No.	Rock	Mineral	K (%)	^{40}Ar rad (scc/gm $\times 10^{-5}$)	Atm. ^{40}Ar (%)	Age (Ma)
E3-17	Amphibolitic mylonite	Hornblende	0.57	0.275	66.4	119 $\pm$ 6
			0.57	0.270	59.0	
F1-18	Amphibolitic mylonite	Hornblende	0.44	0.215	63.9	122 $\pm$ 6
			0.44	0.217	65.0	
D1-12	Garnet amphibolitic mylonite	Hornblende	0.69	0.276	77.0	104 $\pm$ 5
			0.68	0.295	76.2

Fig. 13. Age distribution diagram of the Early Cretaceous metamorphic rocks. Initials, H: hornblende, B: biotite, M: muscovite, Z: zircon. References are: (1) Shibata and Yamamoto (1965), Hayase and Ishizaka (1967), Hamamoto et al. (1995), Nagakawa et al. (1997), (2) Shikano et al. (1990), Takeda et al. (1993), Sakashima et al. (1998), (3) Takeda et al. (1987), Sakashima et al. (1998), this paper, (4) Ono (1985; 1990), Takagi et al. (1989), (5) Ueda et al. (1969), (6) Ueno (1977), Hiroi et al. (1998).

泥質変成岩中のホルンブレンドや緑簾石の量比の影響を考慮しなければならない。一方、唐崎マイロナイトの岩相や原岩構成および、マイロナイト化が強いことなどは他の変成岩と必ずしも一致しない (Table 4)。このように、唐崎マイロナイトには、他の 110 Ma 前後の変成岩と異なる点もあるが、三波川帯に位置する異地性岩体としての産状を考慮に入れると、かつて領家帯と三波川帯の間に存在していたと想定されている古領家帯 (高木・柴田, 1998) に属していた可能性がある。この、古領家帯の構成要素として、110 Ma 前後の高度変成岩・花崗岩類とペルム紀花崗岩類が存在し、それらは各々阿武隈帯構成岩類と南部北上帯薄衣礫岩中の花崗岩礫に對比されることから、それらの東北日本構成要素が、領家帯と三波川帯の間に挟まれて九州肥後帯まで延びていたと考えられている (柴田・高木, 1989; 高木・柴田, 1998)。この対比を今後さらに検討するためには、ジルコンの SHRIMP 年代など、より閉鎖温度の高い手法を用いて、各々の岩体を比較する必要がある。

ま と め

- 唐崎マイロナイトは、周囲の三波川変成岩類の構造的上位に位置するナップを構成しており、その分布域から閨住クリッペ、唐崎クリッペ、高見クリッペに区分される。
- 唐崎マイロナイトは上盤東ずれ優勢の剪断センスを示すが、周囲の三波川結晶片岩は上盤西ずれのセンスを示し、両者の剪断センスが異なる。
- 角閃岩質マイロナイトの角閃石ポーフィロクラストと、泥質マイロナイトのざくろ石の EPMA 分析から、唐崎マイロナイトの原岩をなす変成相は、中～高程度の角閃岩相を示し、三波川変成作用の影響は受けていない。
- 唐崎マイロナイトの大半を占める角閃岩質マイロナイトから分離した角閃石の K-Ar 年代は、104 $\pm$ 5 Ma, 119 $\pm$ 6 Ma および 122 $\pm$ 6 Ma である。
- 年代値、産状、変成相などから、唐崎マイロナイトは、白亜紀前期 110 Ma 前後の変成岩である肥後変成岩、大島変

Table 4. Correlation of the Early Cretaceous metamorphic rocks in Japan.

Metamorphics	Lithofacies	Sector zoning of garnet	Baric type	Metamorphic facies	Ages (Ma)	Associated granitic rocks
Takanuki metamorphics	Pelitic-psammitic gneisses with subordinate crystalline limestones, lateritic rocks and basic rocks. Mylonitized along the Tanakura Tectonic Line. (1)(2)	+ (3)(4)	Low~medium pressure? (firstly medium pressure?) (3)(5)(6)	Higher grade amphibolite~granulite (7)	110, 112 (Zrn/SHRIMP) (4) 97 (B/Rb-Sr) (8) 200~280 (Zrn/SHRIMP) (4)	Mid-Cretaceous granites in Abukuma belt age: 89~111 Ma (B/K-Ar) (13)(14)(15)(16) 85~118 Ma (B/Rb-Sr) (17)(18) 96~119 Ma (Hb/K-Ar) (14)(15)(16) Srl: 0.7047~0.7058 (17)(18)(19)
Nishidohira gneisses	Hornblende-biotite gneisses, garnetiferous mica gneisses, garnet-diopside amphibolites, andalusite-kyanite-sillimanite bearing mica schists and amphibolites. (9)	+ (10)	Low~medium pressure (firstly medium pressure?) (5)(11)	Epidote amphibolite~amphibolite (12)	103~121 (B/K-Ar) (13)	
Yorii metamorphics	Amphibolites, garnet amphibolites, pelitic gneisses, hornblende gneisses, psammitic gneisses and crystalline limestones. Partly mylonitized. (20)(44)	+ (20)	Low~medium pressure? (20)	Higher grade amphibolite (44)	105~113 (Hb/K-Ar) (21)(22)(23)	Tonalite~granodiorite age: 92~112 Ma (Hb/K-Ar) (22)(23) Srl: 0.7052 (24)
Karasaki mylonite	Amphibolitic mylonites with subordinate garnet amphibolitic mylonites, pelitic mylonites and quartzo-feldspathic mylonites. (44)		Low~medium pressure? (44)	Higher grade amphibolite (44)	105 (Zrn/SHRIMP) (25) 104~122, 160 (Hb/K-Ar) (26)(44)	
Oshima metamorphics	Biotite-garnet gneisses, amphibolites, garnet amphibolites, epidote amphibolites and quartzo-feldspathic shists with subordinate siliceous gneisses, calcareous gneisses, garnet-biotite schists, silvery schists and crystalline limestones. Partly mylonitized with pseudotachylite. (27)(28)(29)		Low~medium pressure? (27)(28)	Epidote amphibolite~higher grade amphibolite (27)(28)	109 (Zrn/SHRIMP) (25) 94~123 (Hb/K-Ar) (27)(30) 114 (Ms/K-Ar) (27) 91, 96 (B/K-Ar) (30)	Granitic mylonite? age: 98 Ma (Ms/K-Ar) (27)
Higo metamorphics	Psammitic-pelitic gneisses with subordinate siliceous rocks, amphibolites, garnet amphibolites, crystalline limestones, leucocratic rocks and migmatites with lesser amounts of ultrabasic rocks. (31)(32)	+ (33)	Low~medium pressure? (firstly medium pressure?) (31)(34)	Greenschist~amphibolite~granulite (35)	118~126 (Mnz/CHIME) (36) 107 (Hb/K-Ar) (37) 107, 110 (Ms/K-Ar) (37) 98~110 (B/K-Ar) (37)(38)(39) 229, 235 (Rb-Sr) (40)(41) 258 (Zrn/SHRIMP) (42) 239~282 (Sm-Nd) (42)	Shiraishino granodiorite age: 103 Ma (B/K-Ar) (39) 108 Ma (Sm-Nd) (43) Srl: 0.7049 (43)

References are : (1) Koshiya (1986), (2) Hiroi (1990), (3) Hiroi and Kishi (1988), (4) Hiroi et al. (1998), (5) Kano and Kuroda (1968), (6) Hiroi and Kishi (1989), (7) Kano (1979), (8) Ueno (1977), (9) Tagiri (1971), (10) Hiroi and Kobayashi (1996), (11) Hiroi and Kobayashi (1995), (12) Kuroda (1956), (13) Ueda et al. (1969), (14) Shibata and Uchiumi (1983), (15) Kawano and Ueda (1965), (16) Kubo and Yamamoto (1990), (17) Shibata (1987), (18) Shibata and Ishihara (1979), (19) Shibata and Tanaka (1987), (20) Takagi (1991), (21) Ono (1985), (22) Ono (1990), (23) Takagi et al. (1989), (24) Shibata and Takagi (1989), (25) Sakashima et al. (1998), (26) Takeda et al. (1987), (27) Takeda et al. (1993), (28) Takeda (1995), (29) Komatsu et al. (1997), (30) Shikano et al. (1990), (31) Karakida and Yamamoto (1982), (32) Obata et al. (1994), (33) Yoshimura and Obata (1995), (34) Kano and Urano (1995), (35) Karakida et al. (1992), (36) Suzuki et al. (1998), (37) Nagakawa et al. (1997), (38) Shibata and Yamamoto (1965), (39) Nakajima et al. (1995), (40) Yamaguchi and Minamishin (1986), (41) Osanai et al. (1993), (42) Osanai et al. (1998), (43) Kamei et al. (1997), (44) this paper.

成岩，寄居變成岩，竹貫-西堂平變成岩と対比される可能性があり，古領家帯の構成メンバーの可能性もある。

謝 辞

本研究を進めるにあたり，研究当初，山口大学教育学部武田賢治教授に現地を案内していただいた。また，2名の査読者からは，適切かつ詳細な指摘を賜った。記して厚く御礼申し上げる。また，早稲田大学地球科学教室の大森聡一博士，澤口 隆氏にはEPMA分析の測定等で助力いただいた。なお，本研究は平成9年度文部省科学研究補助費（課題番号09640551）の補助を受けた。

文 献

- Banno, S., 1964, Petrology of Sanbagawa crystalline schists in the Bessi-Ino district. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo, Ser. II*, **15**, 203-319.
- Banno, S. and Kurata, H., 1972, Distribution of Ca in zoned garnet of low-grade pelitic schists. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **78**, 507-512.
- Enami, M., 1983, Petrology of pelitic schists in the oligoclase-biotite zone of the Sanbagawa metamorphic terrane, Japan: phase equilibria in the highest grade zone of a high-pressure intermediate type metamorphic belt. *Jour. Metamorphic Geol.*, **1**, 141-161.
- 榎並正樹, 1988, 領家變成帯に産するざくろ石の化学組成. 名古屋地質学, **50**, 71-80.
- 濱本拓志・小山内康人・加々美寛雄, 1995, 肥後變成帯における泥質グラニュライトの變成史. 日本地質学会第102年学術大会演旨, 288.
- 原 郁夫・櫻井康博・奥平敬元・早坂康隆・大友幸子・柳原信夫, 1991, 領家帯のテクトニクス. 日本地質学会第98年学術大会見学旅行案内書, 1-20.
- Hara, I., Shiota, T., Hide, K., Kanai, K., Goto, M., Seki, S., Kaikiri, K., Takeda, K., Hayasaka, Y., Miyasaka, Y., Miyamoto, T., Sakurai, Y. and Ohtomo, Y., 1992, Tectonic evolution of the Sambagawa schists and its implications in convergent margin process. *Jour. Sci., Hiroshima Univ., ser. C*, **9**, 495-595.
- Hayama, Y., 1964, Progressive metamorphism of basic rocks of the Ryoke metamorphic belt in the Komagane district, Nagano pref., central Japan. *Japan. Jour. Geol. Geogr.*, **35**, 163-174.
- 端山好和, 1991, 古領家古陸の復元. 地質雑, **97**, 475-491.
- 早瀬一一・石坂恭一, 1967, Rb-Srによる地質年齢(I), 西南日本. 岩鉱, **58**, 201-212.
- 秀 敬・鈴木堯士・鹿島愛彦, 1977, 四国西部の三波川帯・みかぶ帯・秩父帯. 日本地質学会第84年々会地質巡検案内書 **5**, 30.
- 東野外志男, 1975, 四国中央部白髪山地方三波川變成帯の黒雲母帯. 地質雑, **81**, 653-670.
- Higashino, T., Sakai, C., Kurata, H., Enami, M., Hosotani, H., Enami, M. and Banno, S., 1984, Electron microprobe analyses of rock-forming minerals from the Sanbagawa metamorphic rocks, Shikoku. Part II. Sazare, Kotu and Bessi areas. *Sci. Rept. Kanazawa Univ.*, **29**, 37-64.
- Higashino, T., Sakai, C., Otsuki, M., Itaya, T. and Banno, S., 1981, Electron microprobe analyses of rock-forming minerals from the Sanbagawa metamorphic rocks, Shikoku. Part I. Asemi River area. *Sci. Rept. Kanazawa Univ.*, **26**, 73-122.
- 廣井美邦, 1990, 阿武隈變成帯，横川の同一露頭に見られる高圧および低圧で安定な鉱物組み合わせ一變成史の解析. 岩鉱, **85**, 207-222.
- Hiroi, Y. and Kishi, S., 1988, P-T evolution of Abukuma metamorphic rocks in north-east Japan: metamorphic evidence for oceanic crust obduction. In Daly J.S., Cliff R.A. and Yardley B.W.D., eds., *Evolution of metamorphic belts*, Geol. Soc. Spec. Pub., no. 43, Geol. Soc. London, 481-486.
- 廣井美邦・岸 智, 1989, 阿武隈變成帯，竹貫泥質片麻岩中の十字石と藍晶石. 岩鉱, **84**, 141-151.
- Hiroi, Y., Kishi, S., Nohara, T., Sato, K. and Goto, J., 1998, Cretaceous high-temperature rapid loading and unloading in the Abukuma metamorphic terrane, Japan. *Jour. Metamorphic Geol.*, **16**, 67-81.
- 廣井美邦・小林栄一, 1995, 阿武隈變成帯，日立西方地域における十字石の新産地. 岩鉱, **90**, 247-256.
- 廣井美邦・小林栄一, 1996, 阿武隈高原南端部に分布する西堂平泥質變成岩中の紅柱石-藍晶石-珪線石集合体の成因と温度-圧力経路. 岩鉱, **91**, 220-234.
- Ikeda, T., 1993, Compositional zoning patterns of garnet during prograde metamorphism from the Yanai district, Ryoke metamorphic belt, southwest Japan. *Lithos*, **30**, 109-121.
- 亀井淳志・大和田正明・小山内康人・濱本拓志・加々美寛雄, 1997, 熊本県肥後變成帯に散する深成岩類の形成年代と冷却年代. 岩鉱, **92**, 316-326.
- 加納 博, 1979, 中・南部阿武隈高原の變成作用，とくに角閃石の化学組成とざくろ石・董青石地質温度計. 加納 博教授記念号刊行委員会編集，日本列島の基盤，加納 博教授記念論文集，東光印刷，秋田，431-481.
- Kano, H. and Kuroda, Y., 1968, On the occurrence of staurolite and kyanite from the Abukuma Plateau, northeastern Japan. *Proc. Japan. Acad.*, **44**, 77-82.
- Kano, H. and Kuroda, Y., 1973, On the chemistry of coexisting garnet and biotite in pelitic-psammitic metamorphic rocks, central Abukuma, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **79**, 621-641.
- 加納 博・宇留野勝敏, 1995, 肥後變成帯（川砂）から藍晶石発見一あわせてジルコンおよびザクロ石について一. 日本地質学会第102年学術大会演旨, 288.
- 唐木田芳文・早坂祥三・長谷義隆, 1992, 日本の地質9「九州地方」. 共立出版，東京，372 p.
- 唐木田芳文・山本博達, 1982, 中九州肥後變成帯のざくろ石角閃岩. 地質学論集, no. 21, 173-187.
- 河野義礼・植田良夫, 1965, 本邦産火成岩のK-Ar dating (Ⅲ) —阿武隈山地の花崗岩類—. 岩鉱, **54**, 162-172.
- 小林健太, 1994, 跡倉ナップ内部の展張型覆瓦構造. 構造地質, no. 40, 71-83.
- 小松正幸・宮下由香里・米虫 聡, 1997, 四国西部，八幡浜大島變成岩のシュードタキライト. 日本地質学会第104年学術大会演旨, 171.
- 越谷 信, 1986, 棚倉破砕帯の断層活動. 地質雑, **92**, 15-29.
- 久保和也・山元孝広, 1990, 阿武隈山地東縁原町地域の白亜紀貫入岩類—岩石記載およびK-Ar年代. 地質雑, **96**, 731-743.
- Kuroda, Y., 1956, On the Mg-Fe metasomatism in the Hitachi district, Northeastern Japan. *Sci. Rep. Tokyo Kyoiku Daigaku, sec. C*, **5**, 57-80.
- Kutsukake, T., 1977, Petrological studies on the Ryoke metamorphic rocks in the Toyone-mura area, Aichi Prefecture, Japan. *Mem. Fac., Sci., Kyoto Univ., ser. B*, **43**, 49-110.
- Leake, B.E., Woolley, A.R., Arps, C.E.S., Birch, W.D., Gilbert, M.C., Grice, J.D., Hawthorne, F.C., Kato, A., Kisch, H.J., Krivovichev, V.G., Linthout, K., Laird, J., Mandarino, J.A., Maresch, W.V., Nickel, E.H., Schumacher, J.C., Smith, D.C., Stephenson, N.C.N., Ungaretti, L., Whittaker, E.J.W. and Youzhi, G., 1997, Nomenclature of amphiboles: report of the subcommittee on amphiboles of the international mineralogical association, commission on new minerals and mineral names. *Canadian Mineral.*, **35**, 219-246.
- Miyashiro, A., 1953, Calcium-poor garnet in relation to metamorphism. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **4**, 179-208.
- 宮下由香里, 1996, 柳井南部地域領家變成帯におけるざくろ石斑状変晶の形成と変形時相. 地質雑, **102**, 84-104.
- 三好壮一郎・高須 晃, 1993, 四国西部三波川帯中に分布する唐崎マイロナイトの岩石学とその地質学的意義. 日本地質学会第100年学術大会演旨, 602.
- Mogessie, A., Tessadri, R. and Veltman, C.B., 1990, EMP-AMPH-A

- hypercard program to determine the name of an amphibole from electron microprobe analysis according to the International Mineralogical Association scheme. *Computer and Geosciences*, **16**, 309-330.
- Nagai, K., 1957, The Upper Eocene Flora of the Kuma Group, in the Ishizuchi Range, Shikoku, Japan. *Mem. Ehime Univ.*, ser. 2, **2**, 73-82.
- 永井浩三, 1970, 四国西部犬寄峠付近の中央構造線. 愛媛大紀要自然科学, **6**, 35-41.
- 永川勝久・小畑正明・板谷徹丸, 1997, 肥後変成帯の K-Ar 年代. 地質雑, **103**, 943-952.
- 中島 隆・永川勝久・小畑正明・内海 茂, 1995, 肥後変成帯とそれに伴う花崗岩類の Rb-Sr および K-Ar 年代. 地質雑, **101**, 615-620.
- Obata, M., Yoshimura, Y., Nagakawa, K., Odawara, S. and Osanai, Y., 1994. Crustal anatexis and melt migrations in the Higo metamorphic terrane, west-central Kyushu, Japan. *Lithos*, **32**, 135-147.
- 小野 晃, 1985, 関東山地皆野町山形の角閃岩相の変成岩類と K-Ar 年代. 地質雑, **91**, 19-25.
- 小野 晃, 1990, 関東山地北縁部の三波川帯に阿武隈変成岩類の発見. 日本地質学会 97 年学術大会演旨, 575.
- 小山内康人・正尾 敏・加々美寛雄, 1993, 中部九州内帯花崗岩類の Rb-Sr 全岩アイソクロン年代. 地質学論集, no. 42, 135-150.
- Osanai, Y., Hamamoto, T., Maishima, O. and Kagami, H., 1998, Sapphirine-bearing granulites and related high-temperature metamorphic rocks from the Higo metamorphic terrane, west-central Kyushu, Japan. *Jour. Metamorphic Geol.*, **16**, 53-66.
- Otsuki, M. and Banno, S., 1990, Prograde and retrograde metamorphism of hematite-bearing basic schists in the Sanbagawa belt in central Shikoku. *Jour. Metamorphic Geol.*, **8**, 425-439.
- Raase, P., 1974, Al and Ti contents of hornblende, indicators of pressure and temperature of regional metamorphism. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **45**, 231-236.
- 坂島俊彦・寺田健太郎・日高 洋・佐野有司・高橋嘉夫・竹下徹・早坂康隆, 1998, SHRIMP による肥後帯深成岩類の U-Pb 年代. 日本地質学会 105 年学術大会演旨, 214.
- 柴田 賢, 1987, 阿武隈山地北端部, 丸森地域の花崗岩類の Rb-Sr 全岩年代. 岩鉱, **82**, 36-40.
- Shibata, K. and Ishihara, S., 1979, Rb-Sr whole rock and K-Ar mineral ages of granitic rocks in Japan. *Geochem. Jour.*, **13**, 113-119.
- 柴田 賢・高木秀雄, 1989, 関東山地北部の花崗岩類の年代, 同位体からみた中央構造線と棚倉構造線との関係. 地質雑, **95**, 687-700.
- 柴田 賢・田中 剛, 1987, Nd・Sr 同位体からみた阿武隈山地石川複合岩体の形成年代. 岩鉱, **82**, 433-440.
- 柴田 賢・内海 茂, 1983, 南部北上山地花崗岩類の角閃石 K-Ar 年代. 岩鉱, **78**, 405-410.
- Shibata, K. and Yamamoto, H., 1965, Potassium-argon age determination on the Higo metamorphic rocks. *Bull. Geol. Surv. Japan*, **16**, 283-284.
- 鹿野久米豊・板谷徹丸・中村栄三, 1990, 愛媛県八幡浜市大島の変成岩の鉱物組み合わせと K-Ar 年代. 岩鉱, **85**, 19-26.
- 鈴木和博・足立 守・高木秀雄・小山内康人, 1998, 肥後変成帯の CHIME モナザイト年代. 日本地質学会第 105 年学術大会演旨, 214.
- Tagiri, M., 1971, Metamorphic rocks of the Hitachi district in the southern Abukuma plateau, Japan. *Jour. Japan. Assoc. Mineral. Petrol. Econ. Geol.*, **65**, 77-103.
- Tagiri, M., 1973, Metamorphism of paleozoic rocks in the Hitachi district, southern Abukuma plateau, Japan. *Sci. Rep., Tohoku Univ. III*, **12**, 1-67.
- Tagiri, M., Sato, H., Matsumura, E. and Nemoto, H., 1993, Late Mesozoic low-P/high-T metamorphism preceding emplacement of Cretaceous granitic rocks in the Gosaisho-Takanuki district, Abukuma metamorphic belt. *The Island Arc*, **3**, 152-169.
- 高木秀雄, 1991, 寄居変成岩 - 関東山地北縁部の異地性変成岩体 その 1. 泥質片麻岩中のざくろ石の化学組成について. 早稲田大教育学学術研究「生物学・地学編」, **40**, 9-25.
- 高木秀雄・長濱裕幸, 1987, 関東山地北縁部比企丘陵の領家帯. 地質雑, **93**, 201-205.
- 高木秀雄・澤口 隆・島田耕史・阿部龍巳, 1998, 剪断センスの指標を使用する際の留意点—とくに形態ファブリックについて—. 月刊地球, **20**, 113-119.
- 高木秀雄・柴田 賢, 1996, 古領家帯の復元. 嶋本利彦・早坂康隆・塩田次男・小田匡寛・竹下 徹・横山俊治・大友幸子編「テクトニクスと変成作用」(原 郁夫先生退官記念論文集), 創文, 東京, 211-219.
- 高木秀雄・柴田 賢・鈴木和博・田中 剛・上田 寛, 1997, 九州東部, 臼杵-八代構造線沿いの臼杵川石英閃緑岩の同位体年代とその地質学的意義. 地質雑, **103**, 368-376.
- 高木秀雄・柴田 賢・内海 茂・藤森秀彦, 1989, 関東山地北縁部の花崗岩類の K-Ar 年代. 地質雑, **95**, 369-380.
- 高橋治郎, 1986, 愛媛県松山市周辺地域の“中央構造線”. 愛媛大教育学紀要, 第三部, 自然科学, **6**, 1-44.
- Takasu, A., 1984, Prograde and retrograde eclogites in the Sanbagawa metamorphic belt, Besshi district, Japan. *Jour. Petrol.*, **25**, 619-643.
- Takasu, A. and Dallmeyer, R.D., 1990, ⁴⁰Ar/³⁹Ar mineral age constraints for the tectonothermal evolution of the Sambagawa metamorphic belt, central Shikoku, Japan: a Cretaceous accretionary prism. *Tectonophysics*, **185**, 111-139.
- 武田賢治, 1995, 四国西端部の真穴帯と黒瀬川帯. 日本地質学会第 102 年学術大会見学旅行案内書, 31-46.
- 武田賢治, 1996, 四国松山南東部の中央構造線の始新世-中新世テクトニクス. 嶋本利彦・早坂康隆・塩田次男・小田匡寛・竹下徹・横山俊治・大友幸子編「テクトニクスと変成作用」(原 郁夫先生退官記念論文集), 創文, 東京, 233-240.
- 武田賢治・秀 敬・原 郁夫, 1981 a, 四国西部三波川帯から角閃岩・黒雲母片麻岩・花崗岩の碎屑物を含む結晶片岩の発見. 地質雑, **87**, 689-692.
- 武田賢治・秀 敬・原 郁夫, 1987, 四国西部三波川帯唐崎層中のマイロナイト様岩石. 日本地質学会第 94 年学術大会演旨, 495.
- 武田賢治・秀 敬・原 郁夫・塩田次男, 1985, 四国西部三波川帯の地質構造とざくろ石帯の分布様式. 日本地質学会第 92 年学術大会演旨, 377.
- Takeda, K., Hide, K., Makisaka, S. and Sonoda, K., 1981 b, Depositional environment of the original rocks of Sambagawa metamorphic rocks. In Hara, I., ed., *Tectonics of paired metamorphic belts*, Tanishi Print Kikaku, Hiroshima, 95-100.
- 武田賢治・横坂 敏・板谷徹丸・西村祐二郎, 1993, 四国西端部三瓶地域の真穴帯—構成と地体構造的位置づけ—. 地質雑, **98**, 255-279.
- 田崎耕市・加々美寛雄・板谷徹丸・永尾隆志, 1993, 四国北西部の中央構造線に沿う酸性火山岩の起源と K-Ar 年代. 地質学論集, no. 42, 267-278.
- 寺岡易司・鈴木盛久・林 武広・川上久美, 1997, 大野川地域の中・古生界砂岩に含まれる碎屑性ザクロ石. 広島大教育学紀要, 第 II 部, **19**, 87-101.
- 植田良夫・山岡一雄・大貫 仁・田切美智雄, 1969, 本邦変成岩の K-Ar dating (II) —南部阿武隈山地, 日立変成岩類. 岩鉱, **61**, 92-99.
- Ueno, N., 1977, Rb-Sr and K-Ar isotopic investigations of granodiorites and the associated metamorphic rocks in the Abukuma Plateau, Japan. *Chikyū Kagaku (Earth Science)*, **31**, 49-54.
- 山口 勝・南新真裕, 1986, 変成作用の過程と変成岩で測定される同位体年代との対応—肥後変成岩の例—. 九大理研報(地質), **15**, 137-151.
- Yamamoto, H., 1962, Plutonic and metamorphic rocks along the Usuki-Yatsushiro Tectonic Line in the western part of cen-

tral Kyushu. *Bull. Fukuoka Gakugei Univ.*, **12**, Pt. III, 93-172.
 山本博達, 1983, 肥後変成帯のグラニュライト相. 福岡教育大紀要第
 三分冊, no. 33, 73-85.
 Yoshimura, Y. and Obata, M., 1995, Sector structure and com-

positional zoning of garnets from the Higo metamorphic
 rocks, west-central Kyushu, Japan. *Jour. Japan. Assoc. Mineral.
 Petrol. Econ. Geol.*, **90**, 80-92.

(要 旨)

吉村浄治・高木秀雄, 1999, 四国西部, 唐崎マイロナイトの構造解析と地体構造上の位置づけ. 地質雑, **105**, 739-756. (Yoshimura, J. and Takagi, H., 1999, Structural analyses and geotectonic correlation of the Karasaki mylonites, western Shikoku. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **105**, 739-756.)

四国西部三波川帯北縁部に分布する唐崎マイロナイトの構造解析と K-Ar 年代測定が行われた. 本岩体は三波川変成岩類の構造的上位に位置し, ナップを構成するものと考えられる. また, 唐崎マイロナイトは上盤東ずれ優勢の剪断センスを示すが, 周囲の三波川結晶片岩は上盤西ずれのセンスを示す. 唐崎マイロナイトの大半を占める角閃岩質マイロナイトの角閃石ポーフィロクラストや, 泥質マイロナイトのざくろ石などの EPMA 分析から, 唐崎マイロナイトの原岩をなす変成相は, 中～高程度の角閃岩相を示し, 三波川変成作用とは異なる. また, 角閃岩質マイロナイトの角閃石 K-Ar 年代は, 104 ± 5 Ma, 119 ± 6 Ma および 122 ± 6 Ma である. この結果と産状より, 唐崎マイロナイトは, 白亜紀前期 110 Ma 前後の肥後, 大島, 寄居, 竹貫-西堂平変成岩と対比され, 領家帯と三波川帯の間に挟まれて分布する古領家帯を構成していた可能性がある.