

関東山地北縁部小川町～神泉村地域の緑色岩メランジェ

坂 幸恭*・猿渡ふみよ**・大竹奈保†

Greenstone melange in the Ogawa-machi - Kamiizumi-mura area,
northern margin of Kanto Mountains

Yukiyasu Saka*, Fumiyo Saruwatari** and Naho Ohtake†

Abstract The Atokura Nappe rests on the Mikabu Greenstone Unit of the Sanbagawa Terrane running along the northern margin of the Kanto Mountains. It consists of, from north to south, Paleogene Yorii acidic rocks, Paleogene Yorii Formation, Permian Kinshozan Granodiorite and Tochiya Formation (equivalent to the Late Cretaceous Atokura Formation in the type area). The southern margin of the nappe is occupied by a greenstone melange (Ogawa-Kamiizumi Melange), in which blocks of several kinds of igneous and metamorphic rocks are contained in sheared greenstones and serpentinite.

Whether this melange belongs to the Mikabu Unit of the Sanbagawa Terrane or to the Kurosegawa Terrane of the Chichibu Terrane has long been in controversy. Close examination of petrography and petrochemistry of greenstones and serpentinite, constituting a major and a minor portion of the matrix, respectively, led to two contradictory results: i) Greenstones are characterized by chemical and mineralogical natures very close to those of the Mikabu Unit. ii) Most of serpentinite bear natures characteristic of the Kurosegawa Terrane, while a few examples bearing features close to those of the Mikabu Unit also exist.

In terms of petrography and petrochemistry as well as the tectonic situation of the Ogawa-Kamiizumi Melange, the interpretation which assigns it to the Kurosegawa Terrane can hardly, if not utterly, be accepted.

キーワード：小川-神泉メランジェ, 緑色岩メランジェ, 跡倉ナップ, 黒瀬川帯, 秩父帯, 関東山地

はじめに

関東山地において黒瀬川帯のもの目されている地質体には、十石峠付近で山中地溝帯南縁部 (以後、十石峠) に分布する蛇紋岩 (Yokoyama, 1987など), 名栗断層帯の火成岩・変成岩類 (小澤・小林, 1985; 坂ほか, 1989; Hisada and Arai, 1989; 島村ほか, 2003), 三波

川帯の跡倉ナップ南縁部を占める緑色岩メランジェ (平島, 1984; 竹内・牧本, 1995; 小川町史編さん委員会, 1999) がある (Fig. 1)。また山中地溝帯白亜系とその東方延長の高麗地域の白亜系 (渋谷・堀口, 1967) は黒瀬川帯と密接に関連するとされている。このように、これらの地質体は秩父帯中で1つの連続する帯をなしていないばかりでなく、三波川帯にまでまたがっている。

筆者らは、このうち西南日本の他の地域とは異なる特異な位置を占め、その帰属が問題とされている跡倉ナップ南縁部の緑色岩メランジェ (以下、小川-神泉メランジェと呼び、O-Kメランジェと略記) を検討した。このメランジェからすでに報告されている岩石以外の岩石を新

2004年10月5日受理

*早稲田大学教育学部地球科学教室

**早稲田大学大学院理工学研究科地質学部門修士課程 (2004年3月修了)

†早稲田大学大学院理工学研究科地質学部門修士課程

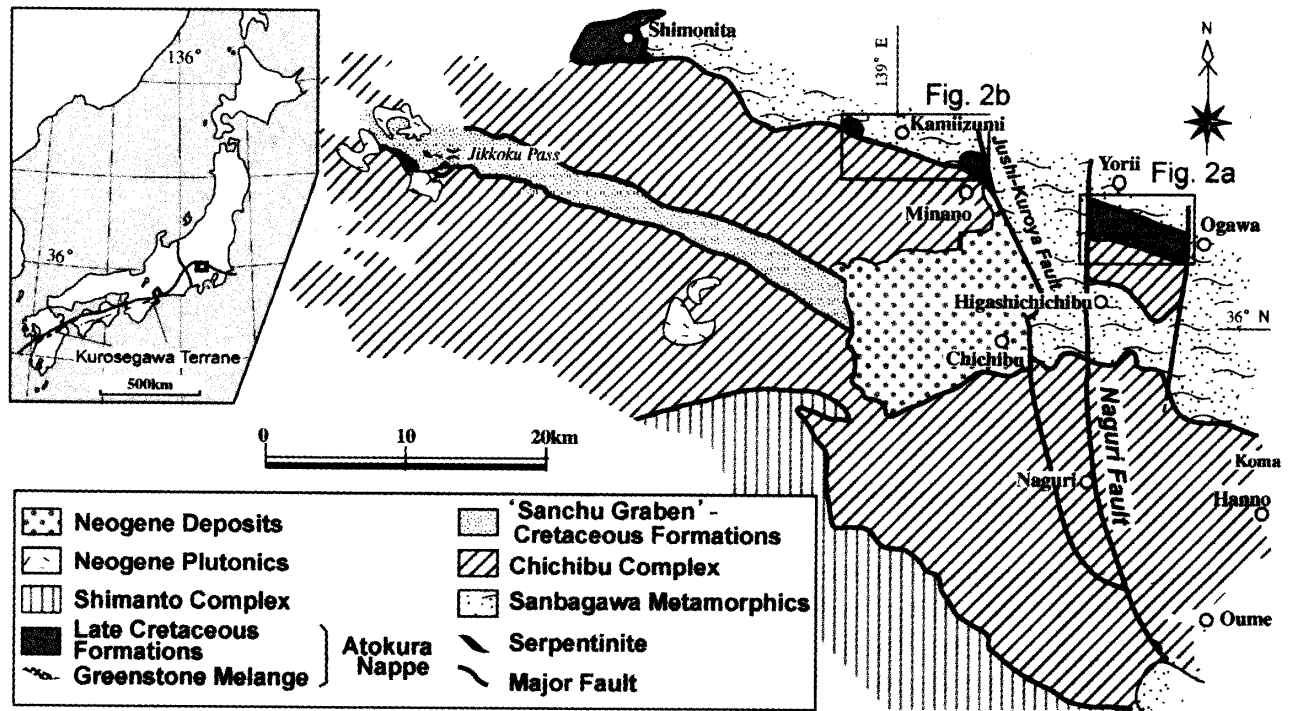


Fig. 1. Geological sketch map of Kanto Mountains. Partly modified after Hisada and Arai (1989).

たに発見するには至らなかったものの、各種岩石について、これまで記載が必ずしも十分とはいえない産出地点・産状を記載し、岩石学的特徴からその帰属を考察する。

地質概説

対象地域は埼玉県比企郡小川町から児玉郡神泉村にわたる (Fig. 1)。このうち小川町～寄居町地域には南北約30kmにわたって三波川帯御荷鉾ユニットの上位に跡倉ナップが分布する。このナップは北から南に、寄居酸性岩類 (古第三紀)、寄居層 (古第三紀)、金勝山石英閃緑岩 (ペルム紀)、栃谷層 (跡倉層相当) などで構成され (牧本・竹内, 1992) (Fig. 2a)、南縁部を占める栃谷層と秩父北帯 (一部は御荷鉾ユニット) との境界に各種の変成岩・火成岩を岩塊として含む構造性メランジェを伴う。平島 (1984) は、このメランジェが剪断された緑色岩を基質とし若干の蛇紋岩を伴う緑色岩メランジェであり、栃谷層・金勝山石英閃緑岩とともにぶどう石・パンペリー石相の変成作用を被っていることを根拠として、黒瀬川帯の構成メンバーをなすとみなした ('緑色岩メランジェ')。牧本・竹内 (1992) は同様の緑色岩メランジェが小川町～寄居町地域西方の皆野町更木地域と神泉村神山地域にも小規模に分布することを示した (Fig. 2b)。竹内・牧本 (1995) は '緑色岩メランジェ' 中の角閃岩に

ついて 400 ± 20 MaのK-Ar年代を得て、同メランジェが黒瀬川帯に帰属することを主張した。小川町史編さん委員会 (1999) は、岩塊として花崗岩・酸性凝灰岩・秩父帯由来の堆積岩、基質として剪断された砂岩を新たに認め、このメランジェ ('木呂子メランジェ') を栃谷層の基底礫岩とみなした。佐藤・久田 (2000) は、砂岩岩塊の碎屑粒子や蛇紋岩中のクロムスピネルが他地域の黒瀬川帯の砂岩・蛇紋岩中のものによく似た化学組成をもつことを示して、このメランジェを黒瀬川帯の東方延長とみなした。このように本メランジェが黒瀬川帯に属するとする見解が優勢である。

一方、跡倉ナップは群馬県甘楽郡下仁田町地域にも存在する (埼玉中・古生界シンポジウム世話人会, 1995)。その南縁部を占める緑色岩・超苦鉄質岩類は従来より御荷鉾ユニットに属するとされてきた (Tazaki, 1966)。竹内・田村 (1994) はこの地域の超苦鉄質岩体の1つ (黒内山岩体) を御荷鉾ユニットの上のナップとみなし、緑色岩からも高圧変成岩塊が報告されていること (Tanabe et al., 1982) を考慮して、全体として小川町～寄居町地域と同様の緑色岩メランジェであると考えた。これに対して竹内・牧本 (2002) は、このメランジェ (黒内山メランジェ帯) を、跡倉ナップが御荷鉾ユニットの上に定置した際にその一部を基質として取り込んだ構造帯と解釈している。

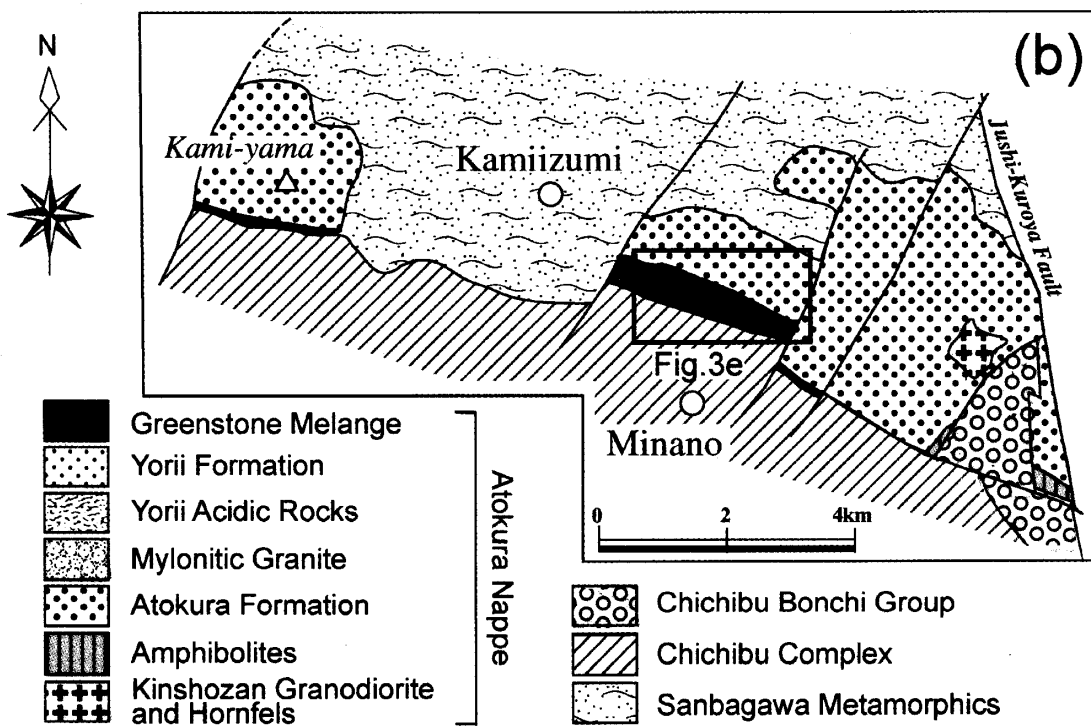
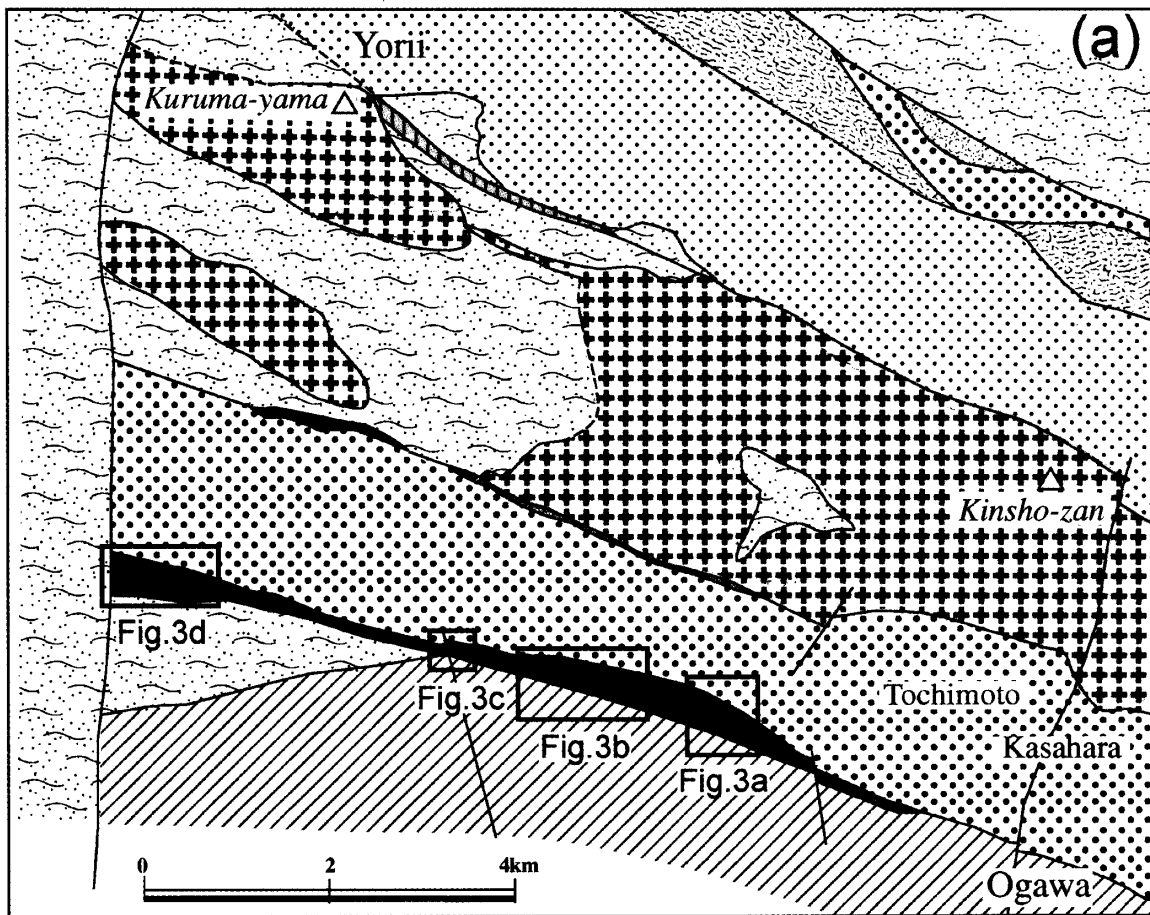


Fig. 2. a. Geological sketch map of the Ogawa-Yorii area; b. Geological sketch map of the Minano-Kamiizumi area. Partly modified after Makimoto and Takeuchi (1992).

岩石の産状

O-Kメランジェ帯で緑色岩以外の岩石が見られる地域ごとにその産出地点と産状を記載する。

小川町笠原南方

山道沿いに孤立した酸性凝灰岩が断続して露出する。最大幅は100mであるが、個々の露頭が1つの岩体をなしているとみなすと、東西300m、南北100mに及ぶ。最大の凝灰岩露頭の北側には、栃谷層の砂岩との間に幅1-2mの表土を挟んで著しく剪断された蛇紋岩（幅<10m）が2カ所で露出する（Plate I-a, b）ことから、凝灰岩は蛇紋岩に含まれる岩塊と考えられる。この露頭の西方には片状を呈する砂岩、泥岩、チャートとともに長径数10mの石灰岩が露出する。

小川町栃本

上栃本の沢上流に角閃岩（幅5m）が露出する。一部に塊状部を残して大部分が著しく破碎されている。また沢沿いの林道と上流の沢床にメタガブロが露出する。いずれも孤立岩塊（それぞれ、20×1.5m、幅5m）で、20-30m北側には栃谷層の砂岩が露出する。本地域には緑色岩や蛇紋岩は認められない。

小川町勝呂 (Fig. 3a)

勝呂南西方の沢沿いに緑色岩が広く分布し、蛇紋岩と角閃岩が露頭あるいは転石として数地点で確認された。1つの露頭で角閃岩が20×0.6mの岩塊として緑色岩中に含まれている（Plate I-c, d）。これ以外の角閃岩は孤立しているが、近傍の露頭はいずれも緑色岩あるいは蛇紋岩からなる。緑色岩に発達する剪断面は走向N60W~E-Wで北または南に急傾斜する。緑色岩メランジェは南側で秩父北帯のものと考えられる片状~塊状の泥岩（緑色岩岩塊を含む）とN70W, 90の断層で接し（Plate I-e, f）、数10cm大の泥岩岩塊を取り込んでいる。これより南側には緑色岩メランジェの要素は皆無である。北側では蛇紋岩と近接して泥岩、さらに北側にチャートが露出するが、その帰属は定かでない。メランジェの分布幅は約150mである。

小川町木呂子南方 (Fig. 3b)

牧本・竹内（1992）による‘緑色岩メランジェ’の模式地。緑色岩と蛇紋岩が広く分布し、角閃岩、メタガブロ、メタバサルト、単斜輝石岩を確認した。角閃岩（≦10m）はほとんどが孤立しているが、片状を呈し風化し

た緑色岩と考えられる岩石に囲まれているものもある。露出幅が最大（30m）のメタガブロは、南側で蛇紋岩（Plate II-a）と、北側で粘板岩（Plate II-b）と接する。この粘板岩は北側で蛇紋岩にとり囲まれているので、メタガブロと粘板岩は蛇紋岩中の岩塊とみなせよう。メタバサルトはほとんどが数m以下の孤立岩塊である。単斜輝石岩は蛇紋岩中に転石として見いだされた。緑色岩に発達する剪断面の走向・傾斜はN80E~E-W, 50-70Nである。メランジェの南北幅は100-200mで、他の地質体との関係は不明である。牧本・竹内（1992）によれば、林道中央部で蛇紋岩が低角断層を介して泥岩上の上りしており、この泥岩が秩父北帯のものであればメランジェは秩父北帯にも衝上していることになる。この‘泥岩’は泥質細粒砂岩でぶどう石脈を含む（Plate IV-h）。緑色岩メランジェ付近の秩父北帯にはぶどう石が認められないとする平島（1984）に従えば、‘泥岩’は秩父北帯のもではなく、上記の見解は成立しない。

寄居町西ノ入 (Fig. 3c)

南方の沢沿いに緑色岩と超苦鉄質岩（一部は完全に蛇紋石化）が露出し、5×3mの孤立したメタドレライトが認められた。緑色岩は剪断面の発達が弱く、塊状のものが多く、東部では走向N18W, 傾斜46Wの接触面をもって緑色岩が超苦鉄質岩の見かけ上位に重なっている（Plate II-c）。メランジェの南北幅は100mで、周囲の地質体との関係は不明である。

東秩父村堂平・居用 (Fig. 3d)

緑色岩と超苦鉄質岩に随伴して、角閃岩（緑色岩中の10cmの岩塊）、メタガブロ（≦50m）、メタバサルト（100×5m）、メタチャート（50×5m）が露出する。後三者はいずれも孤立岩塊をなす。南部の県道沿いに露出するハイアロクラストイト起源の緑色岩は御荷鉾ユニットに属すると考えられる。

皆野町浦山 (Fig. 3e)

緑色岩が広く分布し、超苦鉄質岩（一部は完全に蛇紋石化）、南東部の沢には角閃岩（5×7m）、緑色片岩（15×10m）が見られる。この沢が合流する川で超苦鉄質岩に近接して帰属不明の片状の泥岩やチャートが露出する。緑色岩の剪断面の走向・傾斜はN50W~N20E, 20-70S (W) で、かなりばらついている。北西部における緑色岩と超苦鉄質岩の接触面の走向・傾斜はN10W, 80Wである。メランジェの南北幅は200-300mで、周囲の地質体との関係は不明である。

神泉村神山

神山南麓の林道，山道沿いに緑色岩と角閃岩が幅2-3mで孤立して露出する。南西麓の沢左岸では5×10mの範囲内で，緑色岩が走向N36W，傾斜60Wの断層を介して超苦鉄質岩の上に重なっている (Plate II-d)。メランジェの南北幅は50m±で，周囲の地質体との関係は不明である。メランジェ帯の北側には粗粒砂岩（おそらく跡倉層）が，南側には泥岩とチャート（秩父北帯）が分布する。

小川-神泉メランジェをなす火成岩・変成岩と構成鉱物

緑色岩（アクチノ閃石岩）

O-Kメランジェの主体をなす。主にアクチノ閃石と緑泥石からなり，少量のチタン石（細粒状，20-30 μ m），不透明鉱物を伴う。細粒のアクチノ閃石（<0.2mm）中に，緑泥石，やや大きいアクチノ閃石（0.2-0.3mm），曹長石，緑色角閃石がこの順の出現頻度で1種類以上のさまざまな組合せをもつプール状の集合体（1-2mm）をなしている (Plate III-a)。全体が強く剪断変形されている場合には周囲のアクチノ閃石は定向配列し，集合体もそれと調和的に伸張した形態を示す (Plate III-b)。ハイアロクラスタイトに特徴的な発泡組織のつぶれた組織が見られることがある。鉱物組合せと組織から源岩は塩基性の火砕岩あるいは火山岩と考えられる。

超苦鉄質岩

KR090404（勝呂）：ほぼ完全に蛇紋石化し，長柱状の鉱物を伴う。蛇紋石は無色，細粒（<0.1mm）の板状結晶をなす。長柱状の鉱物は淡褐～灰青緑色の多色性，直消光，正の伸張性を示す。微細な不透明鉱物（<数 μ m）が元の鉱物（形態から判断してかんらん石）の周縁部や割れ目に沿って生じている。また滑石が細粒状の不透明鉱物（数10 μ m）の周縁部に，あるいは脈（20-100 μ m）として産する。鉱物組合せと組織から源岩はダナイトと考えられる。

KR120301（木呂子）：完全に蛇紋石化し明瞭な網目状構造を呈する。初生鉱物として少量認められるクロムスピネル（ \leq 1mm，自形～半自形）中にかんらん石（0.1mm±）が包有されている。蛇紋石化に伴って少量の磁鉄鉱（数10 μ m）が生成している。源岩はダナイトと考えられる。

KR072810（木呂子）；NN081301（寄居）：ほぼ単斜輝石（1-4mm）のみからなる単斜輝石岩で，少量の緑泥石と不透明鉱物を含む。NN081301では単斜輝石の周縁

部に若干の蛇紋石が生じている。全体としてカタクラスティック変形を受けている。

NN081303（寄居；Plate III-c）：部分的に蛇紋石化しているものの源岩の組織や鉱物を残している。主にかんらん石（0.5-2mm，半自形），単斜輝石，蛇紋石，クロムスピネル（0.1-0.5mm，自形～半自形），角閃石，磁鉄鉱からなる。単斜輝石は他形で，大きい結晶中にかんらん石を取り込んだポイキリティック組織を示す。その30%程度が脈状（幅4-5mm）に蛇紋石化している。角閃石（Tiに富むパーガス閃石， \leq 0.5mm）は淡褐～褐色の多色性を示し，かんらん石の粒間を埋めて産し，全体の5%程度を占める。源岩はダナイト～ウェールライトと考えられる。

DH092301（東秩父）：主に蛇紋石からなり，初生鉱物は単斜輝石のみが認められる。蛇紋石（20-100 μ m）は網目状構造を呈し，かんらん石の仮像を示す。単斜輝石（ \leq 2mm，半自形，短柱状）は全体の30%程度を占める。周縁部や割れ目に沿って一部が蛇紋石化している。源岩はウェールライト～レールゾライトと考えられる。

DH090404-1（東秩父）：主に単斜輝石，斜方輝石，滑石，角閃石からなり，バスタイトが全体の半分程度を占める。輝石（1mm±，半自形～他形）は周縁部や割れ目に沿って一部が蛇紋石化している。バスタイトは主に滑石からなり，その形態から元は輝石であったと考えられる。角閃石（0.2-0.4mm）は淡褐～褐色の弱い多色性を示し，輝石の周縁部や粒間を埋めている。源岩はウェブステライトと考えられる。

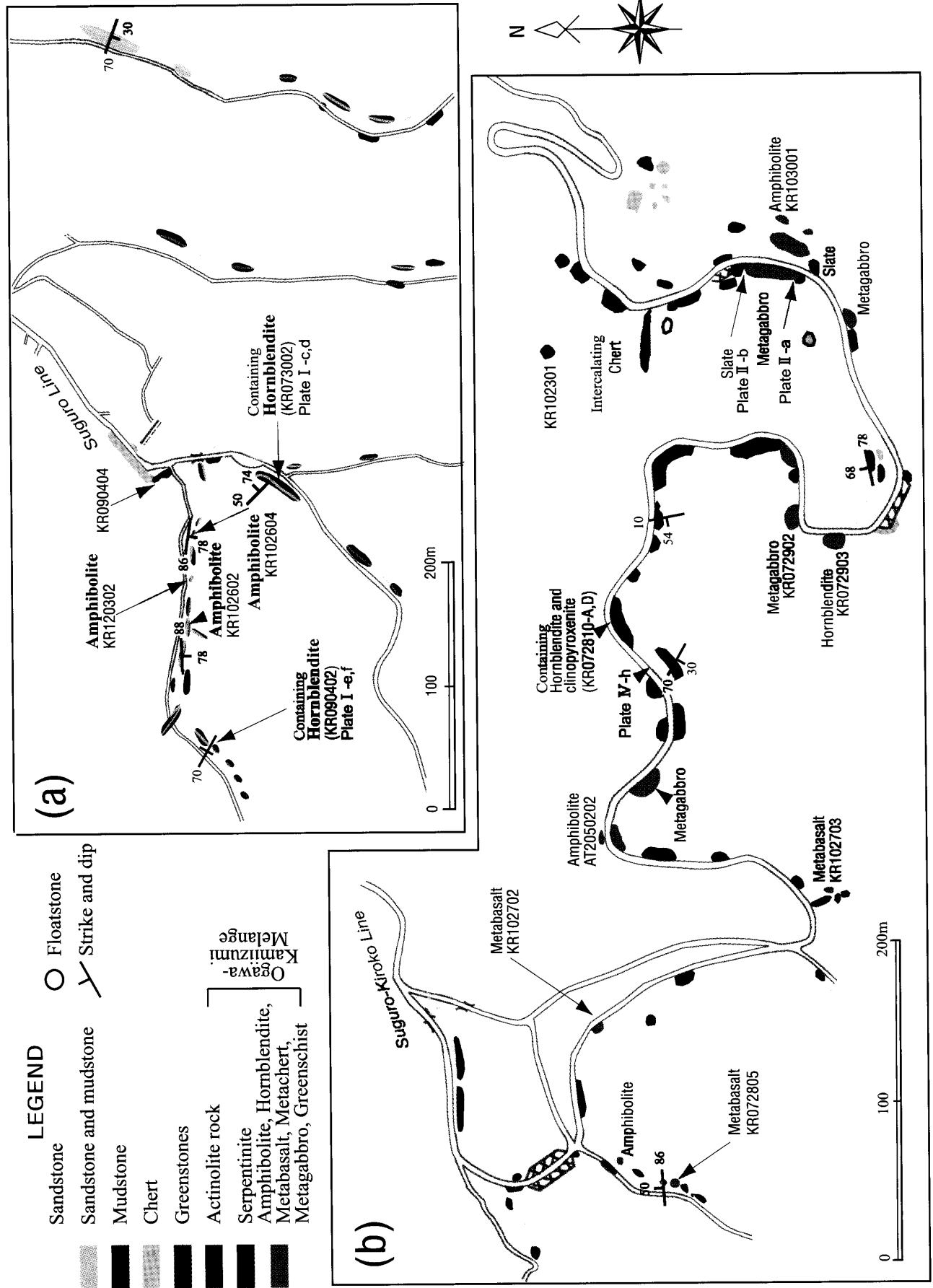
UY102008（皆野）：網目状構造を示す蛇紋石からなり，初生鉱物として少量のクロムスピネル（0.2-0.5mm，半自形）を含む。蛇紋石化に伴う細粒の磁鉄鉱の生成が著しい。源岩はダナイトと考えられる。

UY102102（皆野）：大部分が滑石からなり，少量のクロムスピネル（ \leq 1.5mm，自形～半自形），蛇紋石，不透明鉱物を含む。滑石は微細結晶（数 μ m）の集合体であるが，部分的に1-2mmの長柱状結晶も認められる。

UY102104（皆野）：主に単斜輝石（1-2mm，半自形～他形）と蛇紋石（全体の30%±，網目状構造）からなる。

角閃岩・角閃石岩

TM120201（栃本；Plate III-d）：主要構成鉱物は角閃石（エデン角閃石）と単斜輝石で，少量の緑簾石（<0.1mm），チタン石（数10 μ m），石英，斜長石，不透明鉱物を伴う。角閃石（0.5mm）は全体の約85%を占め，淡黄緑～緑色の多色性を示し，針状あるいは長柱状でネ



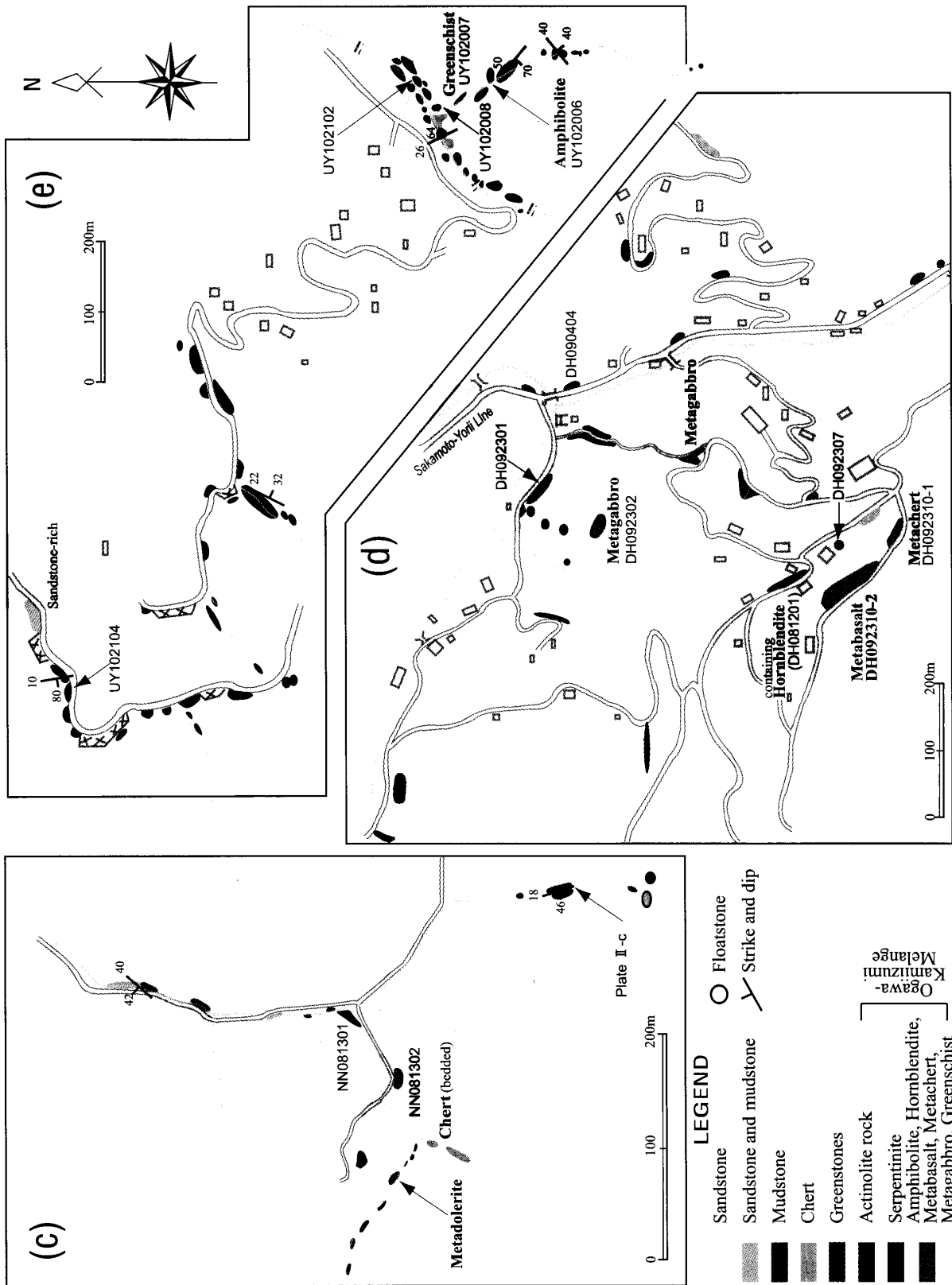


Fig. 3. Route maps. a. Suguro, Ogawa-machi; b. Kiroko, Ogawa-machi; c. Nishinoiri, Yorii-machi; d. Dodaira-Iyo, Higashichichibu-mura; e. Urayama, Minano-machi.

マトプラスチック組織を呈する。単斜輝石 ($\leq 1\text{mm}$) は短冊状で割れ目に沿って部分的に角閃石に交代されている。石英と斜長石は微細結晶で、 0.5mm 程度のプール状集合体をなす。

KR120302 (勝呂) : 角閃石 ($0.5\text{-}1\text{mm}$, 長柱状, 多色性は淡黄緑~緑色) が全体の95%以上を占める。少量の斜長石, 石英, アクチノ閃石, チタン石が微細結晶のプール状集合体をなす。チタン石は細粒状結晶 (数 $10\mu\text{m}$) として全体に散在するが, 集合体では径 1mm 程度であることが多い。他にパンペリー石が認められる。

KR090402 (勝呂) : ほぼ角閃石からなり, 不透明鉱物とプール状をなす緑泥石がごくわずかに認められる。角閃石は淡褐~褐色の弱い多色性を示し, 部分的に数 $10\mu\text{m}$ の針状結晶の集合体に置換されている。

KR102602 (勝呂; Plate III-e) : 主要構成鉱物は角閃石, 緑泥石, 石英, 斜長石である。角閃石 (エデン閃石~バーガス閃石, $0.5\text{-}1\text{mm}$) は淡褐~濃褐色の多色性を示し, 部分的または完全に淡緑~緑褐色のアクチノ閃石に置換されている。後者の一部は水色~淡青紫色の鉄ウインチ閃石~藍閃石に交代されている。他に不透明鉱物, 緑簾石, チタン石が認められる。

KR073002 (勝呂) : 角閃石 (1mm , 多色性は淡褐~濃褐色) が95%以上を占める。石英とチタン石 ($< 0.1\text{mm}$) が少量伴われる。

KR102604 (勝呂) : 淡黄緑~緑色の多色性を示す角閃石 (0.5mm , 短柱状, エデン閃石~バーガス閃石), 微細結晶の集合体をなす石英・アクチノ閃石からなり, 少量のチタン石と不透明鉱物を伴う。

AT2050202 (木呂子) : 主に角閃石 (0.5mm 程度, 板状) および石英と斜長石 (いずれも $0.2\text{-}0.3\text{mm}$, 他形) からなり, 少量のチタン石 (数 $10\mu\text{m}$, 細粒状) と燐灰石 (0.1mm , 長柱状) を伴う。角閃石は弱いネマトプラスチック組織が発達し, 淡黄緑~緑色の多色性を示す。斜長石にはセリサイト化したものやアルバイト式双晶を示すものがある。

KR072810-D (木呂子) : 主に角閃石 (0.5mm 程度, 石英 ($0.2\text{-}0.3\text{mm}$, 他形), 斜長石 ($\leq 2\text{mm}$) からなり, 少量の緑泥石 (角閃石の周縁部) と不透明鉱物を伴う。角閃石は全体の約70%を占め, 淡褐~褐色の多色性を示す。周縁部は緑色の角閃石に交代されていることがある。斜長石は長柱状を呈するが, 大部分はぶどう石の放射状集合体に置換されている。一部はアルバイト式双晶を示す。

KR072903 (木呂子; Plate III-f) : 角閃石 ($1\text{-}2\text{mm}$, 短冊状) が95%以上を占め, 淡褐~褐色の多色性を示す。周縁部あるいは虫食い状に無色~淡緑色あるいは淡青色

の針状角閃石と緑泥石の集合体に交代されており, さらにその周縁部に淡緑~青緑色の角閃石が生じていることがある。褐色角閃石はエデン閃石~マグネシオホルンブレンド, 淡緑色角閃石はアクチノ閃石, 淡青色角閃石はウインチ閃石である。チタン石 ($< 0.1\text{mm}$) が全体的に散在する。石英と斜長石が角閃石の粒間にごくわずかに含まれる。

KR103001 (木呂子) : 主に角閃石 (全体の70%) と斜長石からなる。ともに 1mm 程度, 他形で等粒状組織をなす。角閃石は淡褐~緑褐色の多色性を示すが, 部分的あるいは完全に淡黄緑~淡緑色の角閃石に交代されている。斜長石はアルバイト式双晶を示すものがあり, 全体的に変質している。他に少量の燐灰石 (0.2mm , 自形, 長柱状~六角形) と不透明鉱物が含まれる。

DH081201 (東秩父) : 角閃石が95%以上を占め, $0.1\text{-}0.2\text{mm}$, 短~長柱状で, 淡黄緑~緑色の多色性を示す (一部は核部が褐色)。少量のチタン石と緑泥石が認められる。

UY102006 (皆野) : ほぼ角閃石 (1mm) のみからなる。無色~淡緑色の多色性を示すものと褐色のものがある。後者は虫食い状に緑色角閃石・緑泥石・パンペリー石の集合体に交代されていることがある。

KY102801 (神泉; Plate IV-a) : 角閃石 ($0.5\text{-}1\text{mm}$) が90%以上を占める。淡褐~緑色の多色性を示し (エデン閃石~バーガス閃石), 長柱状でネマトプラスチック組織を示す。これが部分的に淡青色の角閃石 (鉄藍閃石~ウインチ閃石) に交代されている。他に少量のチタン石, 緑簾石, 石英, 斜長石, 不透明鉱物が含まれる。

以上の角閃岩の源岩は, いずれも鉱物組合せから塩基性岩と考えられる。

メタガブロ

TM120301 (栃本) ①, KR072902 (木呂子; Plate IV-b) ②, DH092302 (東秩父; Plate IV-c) ③ : 主要構成鉱物は単斜輝石, 斜長石, 角閃石 (②で欠く), 石英 (①のみ) である。いずれにもチタン石と不透明鉱物が少量含まれる。単斜輝石 (① $\leq 2\text{mm}$, ② $0.5\text{-}1\text{mm}$, ③ $0.2\text{-}0.3\text{mm}$) は②の30-40%を占める。①と②では周縁部や割れ目に沿って緑泥石化している。斜長石 (① $1\text{-}3\text{mm}$, ③ $0.2\text{-}0.3\text{mm}$) はアルバイト式双晶を示し (②と③), ①と②ではセリサイト化が著しく一部がぶどう石に変質している。角閃石 ($0.2\text{-}0.3\text{mm}$) は③では短柱状をなすが, ①では細粒化した結晶が集合体をなす。多色性は淡緑~緑色 (①) または淡褐~濃褐色 (③) である。

いずれも鉱物組合せから源岩は塩基性岩と考えられる。

なお②は全体としてカタクラスティック変形を受けている。

メタドレライト

NN081302 (寄居; Plate IV-d) : 角閃石 (0.5-1mm) が全体の30%±を占め、長柱状で淡緑～濃青色の多色性を示す。緑泥石、緑簾石、チタン石が集合体をなし、角閃石を交代したような形態を示す。石英と斜長石が他の鉱物の周囲を埋めている。組織と鉱物組合せから源岩はドレライトと考えられる。

メタバサルト

KR072805 (木呂子) : 主に斜長石、緑泥石、緑簾石からなる。斜長石 (1-2mm) は自形、短冊状で散在する。斑晶は緑泥石や緑簾石に交代されており、1mm±の長柱状の形態を残している。

KR102702 (木呂子) : 斑晶は単斜輝石と角閃石、石基はアクチノ閃石 (針状, <数μm), 斜長石 (≦0.1mm), 緑泥石 (板状), チタン石からなる。単斜輝石 (0.2-1mm) が全体の40%程度を占め、短～長柱状で部分的に褐色角閃石に、周縁部が緑色角閃石に交代されていることがある。角閃石は淡褐～濃褐色の多色性を示し、周縁部には無色～淡緑色の角閃石が成長している。

KR102703 (木呂子) : 斑晶をなす斜長石 (1-1.5mm) は短冊状で、アルバイト式双晶を示す。石基は大部分が斜長石 (0.1-0.3mm) と緑簾石 (20-50μm) からなり、緑泥石と石英がわずかに認められる。

DH092310-2 (東秩父; Plate IV-e) : 斑晶 (0.5-1mm) は短冊状の斜長石と短～長柱状の単斜輝石からなる。石基は長柱状の斜長石と針状のアクチノ閃石の結晶 (0.2-0.3mm) からなる。少量含まれる緑泥石とパンペリー石が0.5mm±のプール状集合体をつくっている。

いずれも組織と鉱物組合せから源岩は玄武岩と考えられる。

メタチャート

DH092307 (東秩父; Plate IV-f) : 細粒状 (20-30μm) の石英が約半分を占め、淡褐～濃赤褐色の多色性を示すスティルプノメレン (0.1-0.2mm, 長柱状) と青紫～濃青色の多色性を示す角閃石 (≦0.3mm, 長柱状) を伴う。スティルプノメレンと角閃石の配列は不規則であるが、2方向に卓越するようにも見える。

DH092310-1 (東秩父) : 主に石英、曹長石、白雲母からなる。白雲母は定向配列する。石英・曹長石に富む部分と白雲母に富む部分とが厚さ1mmで互層をなす。全

体として弱いカタクラスティック変形を受けており、鉱物の細粒化、片理面の微褶曲が認められる。

緑色片岩

UY102007 (皆野; Plate IV-g) : 主に緑泥石、セリサイト、石英、チタン石からなり少量の不透明鉱物を含む。セリサイトは針状または繊維状、緑泥石は板状とともに定向配列し片状構造を呈する。チタン石は細粒状で散在する。構成鉱物から源岩は塩基性岩と考えられる。

鉱物および全岩の化学組成

鉱物は、早稲田大学教育学部地球科学教室の日本電子製EPMA (JXA733), NORM製エネルギー分散型検出器VOYAGERを用い10元素 (Si, Ti, Al, Cr, Fe, Mg, Mn, Ca, Na, K) について分析した。分析条件は、加速電圧15kv, 試料電流0.4nA, ビーム径10μm, 計測時間100秒。補正計算はBence and Albee (1968) の方法によった。角閃石についてはLeake et al. (1997) に従い、最小Fe³⁺値と最大Fe³⁺値との平均値を用いてFe³⁺とFe²⁺を見積もり分類した。クロムスピネルについては、Tiはすべてウルボスピネル (Fe²⁺2TiO₄) 成分をなすものとし、Fe³⁺はスピネルのストイキオメトリーを仮定して計算により求めた。MnはMn²⁺とみなしてFe²⁺に加えた。クロムスピネル (名栗断層帯産のものも併記) ・角閃石・かんらん石の分析値をTables 1, 2, 3に、組成の特徴をFigs. 4, 5に示す。クロムスピネルについてはMg# = Mg / (Mg + Fe²⁺), Cr# = Cr / (Cr + Al) と表す。

さらに緑色岩、角閃岩、超苦鉄質岩について、主成分はガラスビード法で、微量成分は粉末プレス法で全岩化学組成分析を行った。蛍光X線装置は理学電気製システム3070Eを用い、測定条件は加藤 (1995) などに従った。その結果をTable 4に、これより作成した各種ダイアグラムをFig. 6に示す。

考 察

1. 従来の報告との比較

緑色岩メランジェを栃谷層基底礫岩とする小川町史編さん委員会 (1999) の見解を裏づける事実は認められなかった。礫岩の基質をなすとされる剪断された砂岩は小川町笠原においてメランジェと栃谷層の境界付近に見られる。しかし砂岩が他の岩塊を包有している状態は確認されていない。基底礫岩の礫とされた石灰岩は、笠原に露出する酸性凝灰岩の西端に位置する。その西方では石灰岩が砂岩・泥岩・緑色岩とともに秩父北帯の堆積性メランジェをなしていることから、この石灰岩は秩父北帯

に属するものと判断される。岩塊として含まれることが確認されているものを含めて、堆積岩は他の地質体との境界付近のみで認められる。その帰属は現段階では不明であるが、これらが秩父帯由来の岩塊であるとしても、O-Kメランジェが定置した際にもみ込まれたものと考えの方が、栃谷層の基底礫岩の礫と考えるよりも自然であろう。さらに、小川町から神泉村までの範囲全体にわたって緑色岩と蛇紋岩は広く分布するが、剪断された砂岩は一般的ではない。露出状態が不良であるため、緑色岩や蛇紋岩と他の岩石との接触関係を確認できないことが多いが、数地点で緑色岩や蛇紋岩が岩塊を包有している露頭が見られる。以上のように‘木呂子メランジ’を栃谷層の基底礫岩とみなすには無理があると考えられる。

O-Kメランジェと秩父北帯の岩石が高角断層を介して接することは確認された。北側の栃谷層との関係は確認していないが、平島(1984)や小川町史編さん委員会(1999)によれば高角断層とされている。したがってO-Kメランジェは南北ともに高角断層で限られていることになる。

2. 他の構造的メランジェとの比較

下仁田地域の緑色岩メランジェ：このメランジェは跡倉ナツ南縁部に分布する緑色岩(ざくろ石角閃岩・含むすい輝石メタバサルト・メタグプロを含む)と超苦鉄質岩に対して認定されている。本メランジェとO-Kメランジェとの共通点は次の2点である。i) 跡倉ナツ南縁部に存在, ii) 緑色岩中に変成度の異なる岩塊が含まれる。一方、従来からの報告によれば本メランジェは以下の特徴をもつ。i) 基質は緑色岩(アクチノ閃石岩に限らない)のみで、蛇紋岩は伴わない(新井宏嘉, 私信), ii) 黒内山岩体をなす超苦鉄質岩はダナイト〜ウェールライトで、かんらん石がFeに富む(Fo値=81-83)(Tazaki, 1966), iii) 超苦鉄質岩の蛇紋石化が軽微で、そのK-Ar年代から火成活動時期が御荷鉾ユニットと関連づけられている(Ozawa et al., 1997), iv) 黒瀬川帯を示唆する年代が報告されていない。以上を総合すると、下仁田地域の緑色岩メランジェはO-Kメランジェよりも御荷鉾ユニットにより近い性質をもつようである。

真穴蛇紋岩メランジェ：O-Kメランジェを四国西部三瓶地域の真穴ナツ(武田ほか, 1993; 武田, 1995; 新井ほか, 2000など)の真穴蛇紋岩メランジェに対比する見解がある。両メランジェの共通点は次の3点である。i) ナツ南縁部に位置, ii) 変成度の異なる岩石の岩塊が含まれる, iii) 黒瀬川帯岩石を示唆する年代の岩石を伴う。一方、後者は次の点で前者とは異なる。i) 蛇紋岩

が基質として広く分布しており、緑色岩は知られていない, ii) その蛇紋岩が御荷鉾ユニットのものに似る(鈴木, 1977a; Yokoyama, 1987), iii) 南限に黒瀬川帯の古期岩類が分布する, iv) 秩父北帯由来の岩塊を含む。

このように、O-Kメランジェと下仁田地域の緑色岩メランジェ、真穴蛇紋岩メランジェには共通点も多いが、基質に若干の相違が認められる。以下でO-Kメランジェの基質および岩塊の岩相と化学組成を吟味して、その帰属を検討する。

3. O-Kメランジェ

緑色岩：全域にわたって分布し基質をなすと考えられる緑色岩は、ほとんどがアクチノ閃石と緑泥石からなり残存鉱物を欠くアクチノ閃石岩である。全岩組成はMORBに相当し、強く剪断変形を受けて一部は片状化している。全岩化学分析から得たNb-Zr図ではNb/Zr比が低く(≥ 0.005) (Fig. 6f), スパイダー図でNb~Yにおいてフラットである (Fig. 6b)。この特徴は四国西部から関東山地までの御荷鉾ユニットの主体をなす緑色岩(小澤ほか, 1999)の特徴に極めて近い。MgO-SiO₂-Al₂O₃図では1試料を除いてMgOに富む御荷鉾型凝灰岩(Uchida, 1981)に相当する (Fig. 6a)。御荷鉾型凝灰岩にもアクチノ閃石・緑泥石の鉱物組合せをもつ岩石が多く認められている。このように基質のアクチノ閃石岩は御荷鉾緑色岩に極めて近い性質を有する。黒瀬川帯からは基質としても岩塊としてもアクチノ閃石岩は報告されていないので比較することはできない。

超苦鉄質岩：基質をなすと考えられる超苦鉄質岩の一般の特徴として、i) 量的には緑色岩の半分以下, ii) 完全に蛇紋石化しているものと初生鉱物として単斜輝石や角閃石が認められるもの、新鮮なかんらん石を含むものがあり、単斜輝石岩もある, iii) 源岩としてダナイト〜ウェールライトが多い。一方、御荷鉾ユニットの超苦鉄質岩に共通する特徴は次の通りである (Research Group of Peridotite Intrusion, 1967)。i) 蛇紋石化が軽微, ii) ダナイト〜ウェールライトからなる, iii) Feに富む, iv) ガプロや角閃岩を伴う。このように源岩による黒瀬川帯岩石と御荷鉾ユニットの判定は困難であるが、全岩組成におけるFe/Mg比の違いが指摘されている(林, 1968; 平野・飯泉, 1973; 鈴木, 1977b)。O-Kメランジェ蛇紋岩のMgO/(MgO+FeO)は、4試料(KR090404, KR120301, UY102008, NN081303)のうち前3試料でそれぞれ0.83, 0.82, 0.80で黒瀬川帯蛇紋岩の領域に入るが、最後の試料のみが0.70というやや低い値を示して御荷鉾ユニットの領域に入る (Table 4)。前者がほぼ完全に蛇

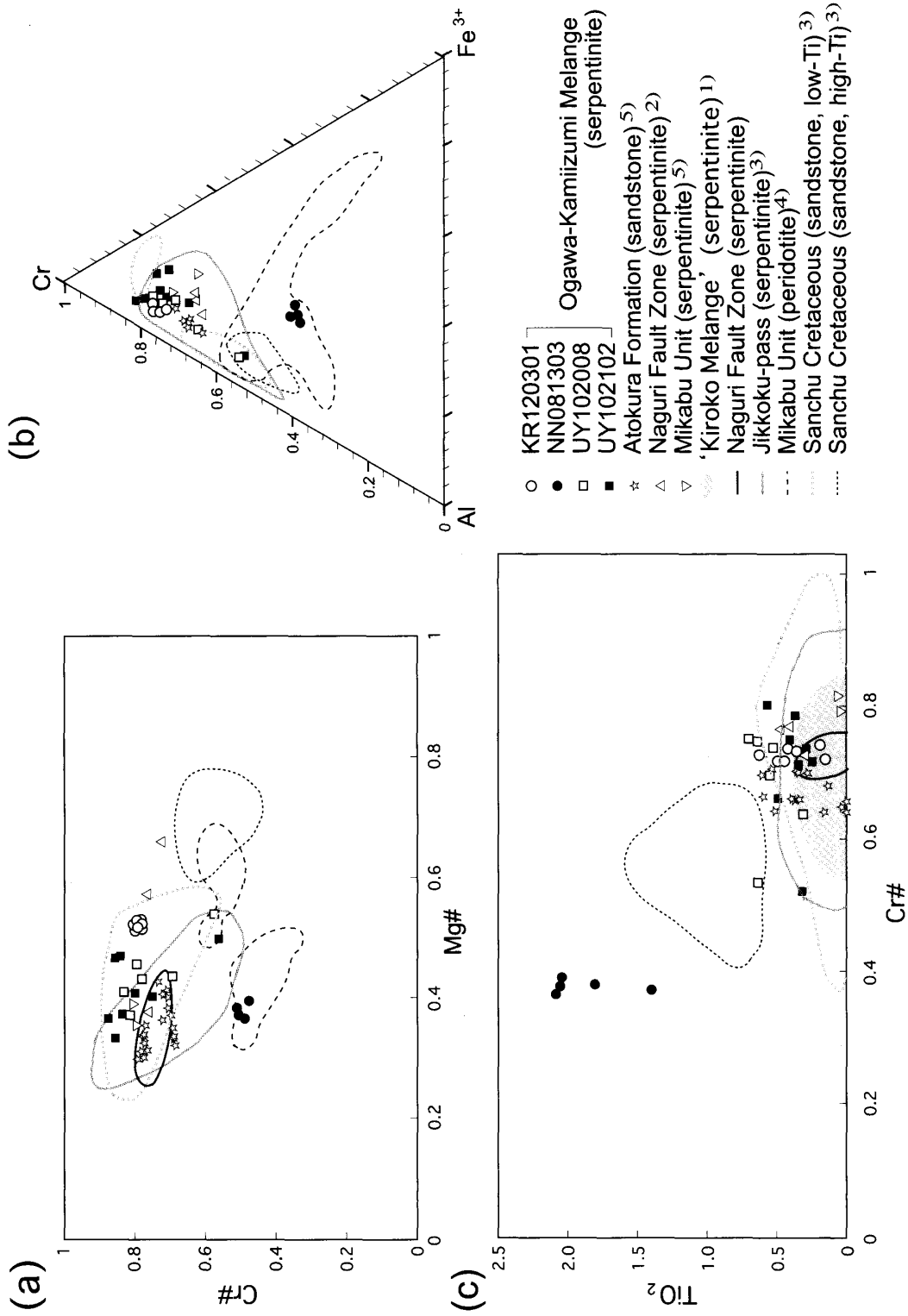


Fig. 4. Chemical composition of chromian spinel. a. Mg#-Cr# diagram; b. Cr-Al-Fe diagram; c. Cr#-TiO₂ diagram. ¹⁾ Sato and Hisada (2000); ²⁾ Hisada and Arai (1989); ³⁾ Arai and Hisada (1991); ⁴⁾ Uesugi and Arai (1990); ⁵⁾ Hisada et al. (1997).

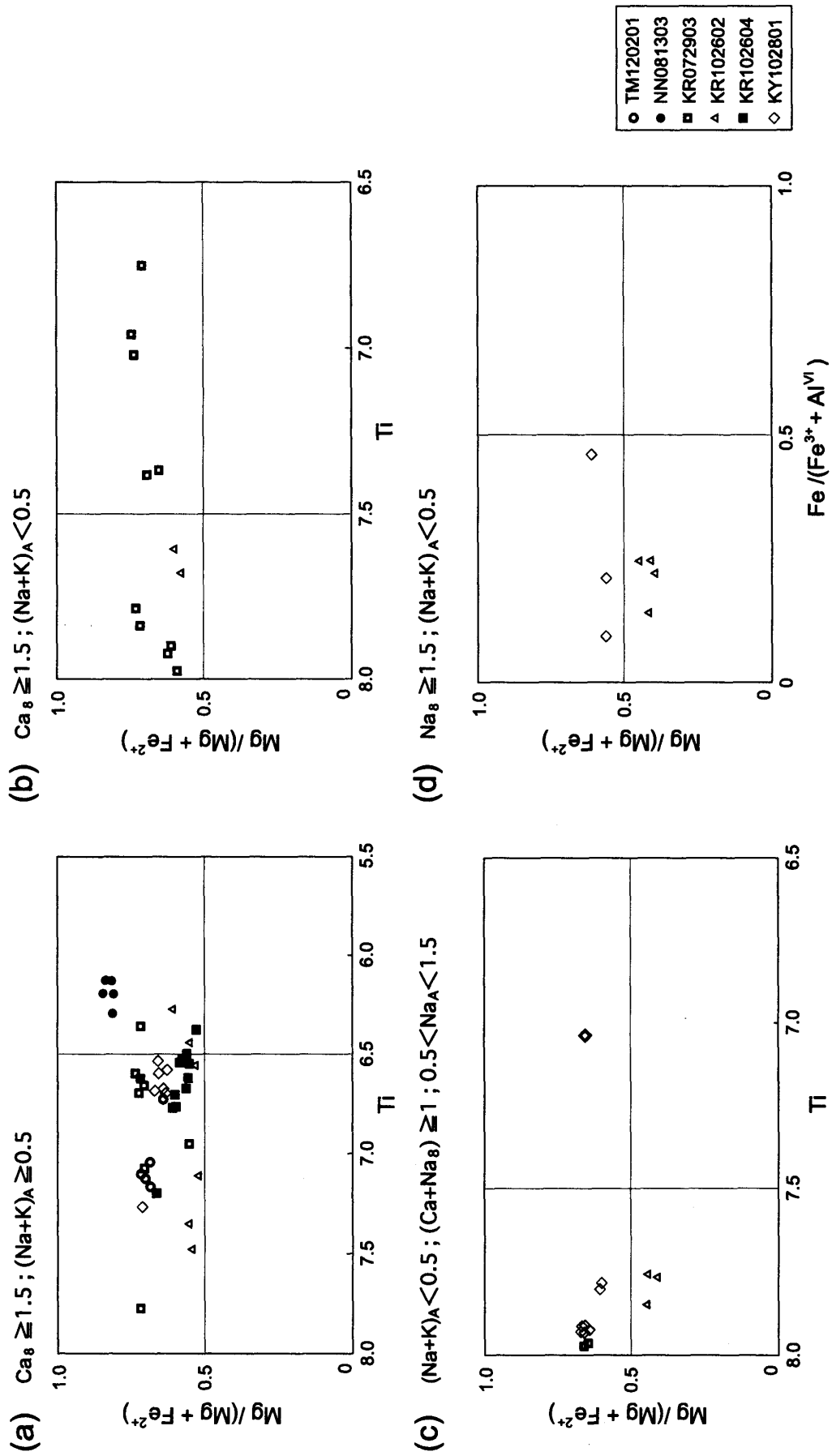


Fig. 5. Chemical composition of amphibole. Classification after Leake et al. (1997). a, b. Calcic amphibole; c. Sodic-calcic amphibole; d. Sodic amphibole.

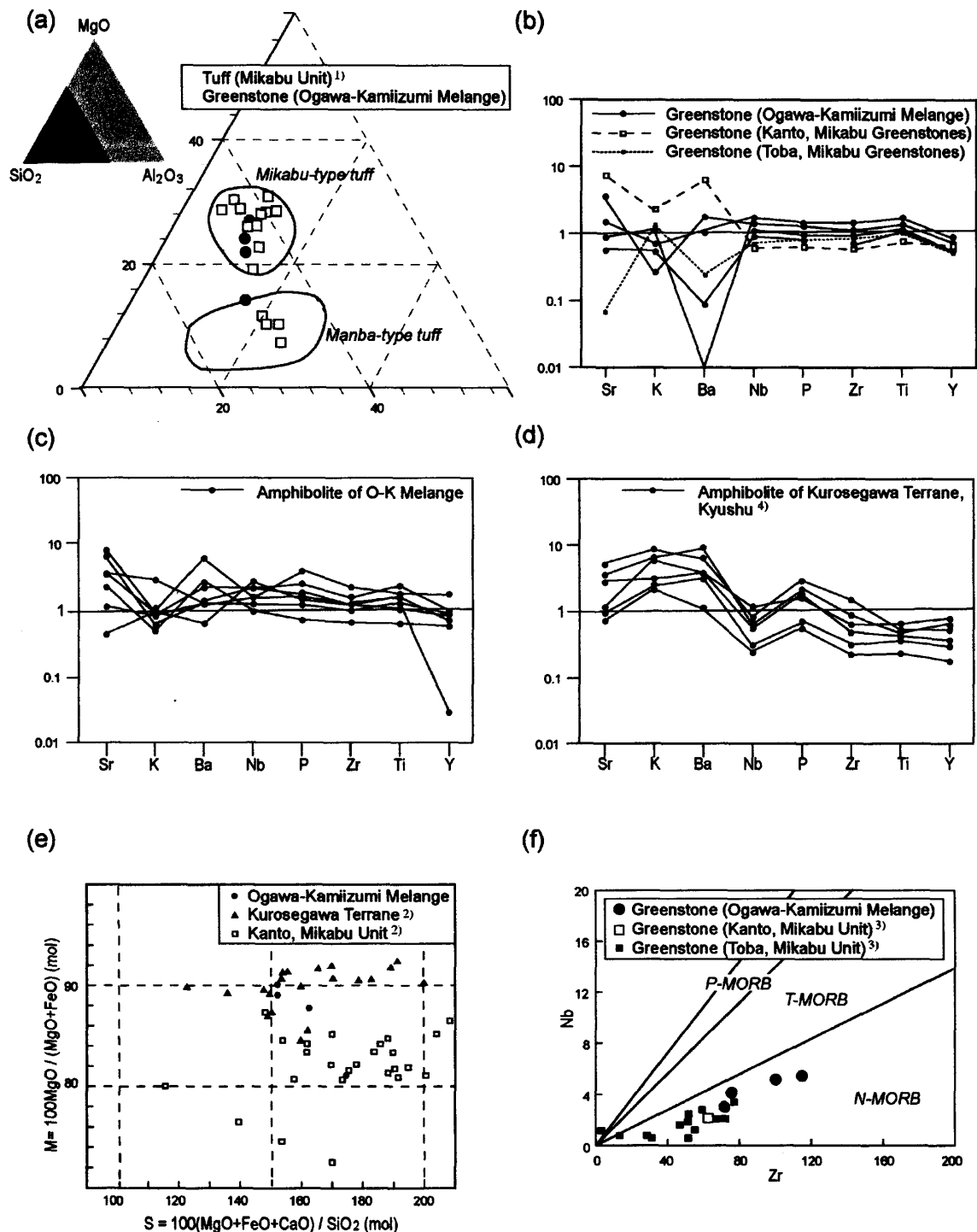


Fig. 6. Whole rock chemical composition. **a.** MgO-SiO₂-Al₂O₃ diagram; **b, c, d.** Spider diagrams (MORB-normalized after Pearce, 1983); **e.** S-M diagram; **f.** Nb-Zr diagram. ¹⁾Uchida (1981); ²⁾Hirano and Iizumi (1973); ³⁾Ozawa et al. (1997); ⁴⁾Osanaï et al. (2000); ⁵⁾Hisada et al. (1997).

紋石化しているのに対して、後者は初生鉱物を多く残していることが影響しているのかもしれない。NN081303は鉱物組成の点でも他とは異なる傾向を示す。クロムスピネルについては、他の3試料 (KR120301, UY102008, UY102102) がTiO₂に乏しく (それぞれ, <0.62, 0.32-0.70, 0.26-0.57wt%), Cr#が高く (0.77-0.79, 0.57-0.82, 0.56-0.87), 佐藤・久田 (2000) のいう黒瀬川帯蛇紋岩の特徴に調和的である。これに対して, NN081303はTiO₂にいくらか富み (1.2-2.1wt%), Cr#が低く (0.47-0.50), 他の3試料とはかけ離れた領域を占める (Fig. 4c)。Mg#-Cr#図 (Fig. 4a), Cr-Al-Fe図 (Fig. 4b) でも, 他の3試料は十石峠蛇紋岩または山中白亜系砂岩中のものの領域に入るのに対して, NN081303は御荷鉾ユニットかんらん岩の領域に入る。NN081303の角閃石は他の9試料よりもTiに富み, パーガス閃石であって (Fig. 5a), Tiに乏しい黒瀬川帯の角閃石よりも御荷鉾ユニットのもの (Inomata and Tazaki, 1974; Takeda, 1980) に近い。かんらん石は本地域ではこの試料とKR120301に認められるのみであるが, 前者はFo値が82.7-83.7でFeに富む (Table 3)。Fo値は黒瀬川帯岩石で ≥ 90 , 御荷鉾ユニットでは80-88のものが多いとされている (Research Group of Peridotite Intrusion, 1967; 平野・飯泉, 1973; Yokoyama, 1987)。

以上, 本地域の超苦鉄質岩の多くが黒瀬川帯のものに近い性質をもつが, 一部に御荷鉾ユニットのものに対比されるものも含む, と要約される。Hisada et al. (1997) は下仁田地域における御荷鉾超苦鉄質岩クロムスピネルが一般的な御荷鉾超苦鉄質岩のものとは異なる傾向の分析値を示すことを指摘している。それはこの岩石が完全に蛇紋石化していることに起因するのかもしれない。もしそうであれば, 御荷鉾型とされたもの (NN081303) 以外のO-Kメランジェ超苦鉄質岩も, 下仁田地域の場合と同様に一般的傾向を示さない御荷鉾超苦鉄質岩である可能性がある。

角閃岩 (角閃石岩) : O-Kメランジェ中に含まれる角閃岩はざくろ石などの特徴的な鉱物を含まないため, 黒瀬川帯の角閃岩との詳細な比較はできない。全岩化学組成は九州黒瀬川帯の角閃岩と異なる傾向を示すようにみえるが (Figs. 6c, d), 黒瀬川帯の角閃岩がすべて同じ傾向の化学組成を有するとは限らないので, このことをもって黒瀬川帯への帰属の当否を断定することはできない。御荷鉾ユニット中に産する角閃岩の岩石学的性質については報告例が乏しく, これとの関係も論じることができない。結局, O-Kメランジェの角閃岩が黒瀬川帯に帰属することを示唆する事実は, その 400 ± 20 Maという年代

(牧本・竹内, 1995) のみである。

まとめ

1. 小川町～神泉村地域の緑色岩メランジェ (O-Kメランジェ) は, 緑色岩およびそれより少量の蛇紋岩を基質とし, 岩塊として角閃岩, メタガプロ, メタドレライト, メタバサルト, メタチャート, 緑色片岩, 酸性凝灰岩を含む。
2. O-Kメランジェと秩父北帯とは高角断層で境される。
3. 基質をなす緑色岩の岩石学的性質は本メランジェが御荷鉾ユニットに近縁であることを示唆している。蛇紋岩は多くが黒瀬川帯蛇紋岩に近い性質を有しているが, 一部に他地域の黒瀬川帯では見られない (御荷鉾ユニットに近い) 特徴を有するものが存在する。
4. 少なくともO-Kメランジェ全体が黒瀬川帯の構成メンバーをなすと考えることは困難である。

謝辞: 岩石の鑑定, 記載に関して早稲田大学教育学部地球科学教室の高木秀雄教授, 新井宏嘉博士に, 試料調整・分析に際して同技術職員の米持賢治氏, 岩崎一郎博士に多大なご指導を賜った。本研究に要した費用の一部に早稲田大学特定課題研究助成費 (2002年度, 課題番号2003A-536; YS) を充てた。記して当局に謝意を表す。

引用文献

- 新井宏嘉・村上眞二郎・高木秀雄, 2000, 関東山地跡倉層の後背地. 地質学論集, no.56, 123-136.
- 荒井章司・久田健一郎, 1991, 関東山地, 山中白亜系石堂層中の碎屑性クロムスピネル. 岩鉱, 86, 540-553.
- Bence, A.E. and Albee, A.L., 1968, Empirical correction factors for the electron microanalysis of silicates and oxides. *Jour. Geol.*, 76, 382-403.
- 林 正男, 1968, 四国地方蛇紋岩の化学的特徴. 岩鉱, 59, 60-72.
- 平島崇男, 1984, 関東山地北部, 寄居地域の緑色岩メランジェ. 地質雑, 90, 629-642.
- 平野英雄・飯泉 滋, 1973, 関東山地北西部, 秩父帯の超苦鉄質岩. 岩鉱, 68, 132-137.
- Hisada, K., Aihara, K. and Arai, S., 1997, Significance of detrital chromian spinel from the Cretaceous Atokura Formation, Kanto Mountains, central Japan. *Mem. Geol. Soc. Japan*, no.48, 85-91.
- Hisada, K. and Arai, S., 1989, Itsukaichi serpentinites in the Kanto Mountains, central Japan - possibility of eastern extension of Kurosegawa Tectonic Zone. *Ann. Rep. Inst. Geosci. Univ. Tsukuba*, 15, 78-82.
- Inomata, M. and Tazaki, K., 1974, Phlogopite and Ti-pargasite-bearing ultramafic rocks from the Mikabu Zone, central

- Japan. *Jour. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, **69**, 205-214.
- 加藤 潔, 1995, 紀伊半島東部, 三重県度会町～大宮町東部の秩父累帯. *地質雑*, **101**, 128-139.
- Leake, B.E. *et al.*, 1997, Nomenclature of amphiboles: report of Subcommittee on amphiboles of the Intern. Min. Assoc. Commission on new minerals and mineral names. *Mineral. Mag.*, **61**, 295-321.
- 牧本 博・竹内圭史, 1992, 寄居地域の地質. *地域地質研究報告* (1/5万地質図幅), 地質調査所, 136p.
- 小川町史編さん委員会, 1999, 小川町の歴史 別編 小川町の自然地質編. *ぎょうせい*, 東京, 283p.
- 小山内康人・濱本拓志・加々美寛雄・大和田正明・堂山太助・安東 努, 2000, 九州黒瀬川帯に産するザクロ石-単斜輝石-グラニューライトおよびザクロ石角閃岩の原岩と同位体年代. *地質学論集*, no.56, 199-212.
- 小澤大成・元山茂樹・井上宗弥・加藤泰浩・村田 守, 1999, 四国東部みかぶ緑色岩の岩石学的特徴. *地質学論集*, no.52, 217-228.
- Ozawa, H., Murata, M. and Itaya, T., 1997, Early Jurassic volcanism of the Mikabu belt: Evidence from K-Ar age of picritic basalt, Kurouchi ultramafic mass, Kanto Mountains, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **103**, 1089-1092.
- 小澤智生・小林文夫, 1985, 関東山地南部の中・古生層の層序と地質構造. *兵庫教育大紀要*, **6**, 103-141.
- Pearce, J. A., 1983, The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins. *In* Hawkesworth, C.J. and Norry, M. eds., *Continental basalt and mantle xenoliths*. Shiva, 230-249.
- Research Group of Peridotite Intrusion, 1967, Ultrabasic rocks in Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **73**, 543-553.
- 埼玉総会中・古生界シンポジウム世話人会, 1995, 関東山地の中・古生界研究の現状と課題. *地球科学*, **49**, 271-291.
- 坂 幸恭・平 明夫・小笠原義秀, 1989, 関東山地東縁部, 秩父帯の名栗断層-黒瀬川構造帯の東端 (?). *地質雑*, **95**, 339-342.
- 佐藤幸江・久田健一郎, 2000, 関東山地北東部に分布する木呂子メランジェの帰属. *構造研1999年度冬の例会演旨*, 32-33.
- 渋谷 紘・堀口万吉, 1967, 関東山地東縁部に白亜紀層の発見. *地質雑*, **73**, 593-595.
- 島村哲也・藤田和弘・猿渡ふみよ・松田将志・坂 幸恭, 2003, 関東山地東縁部の黒瀬川地帯-名栗断層帯. *地質雑*, **109**, 116-132.
- 鈴木堯士, 1977a, みかぶオフィオライトの火成活動の様式. 秀 敬編「三波川帯」, 広島大出版会, 153-164.
- 鈴木堯士, 1977b, 四国における黒瀬川構造帯と秩父帯. 秀 敬編「三波川帯」, 広島大出版会, 153-164.
- Takeda, K., 1980, Geological and petrological studies of Mikabu greenstones in Eastern Shikoku, Southwest Japan. *Jour. Hiroshima Univ., Ser. C*, **8**, 221-282.
- 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年大会見学旅行案内書*. 31-46.
- 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-構成と地体構造的な位置づけ-. *地質雑*, **99**, 255-279.
- 竹内圭史・牧本 博, 1995, 関東山地跡倉ナップ, 蛇紋岩メランジェ中の角閃岩岩塊のK-Ar年代. *地調月報*, **46**, 419-423.
- 竹内圭史・牧本 博, 2002, 関東山地北縁の緑色岩メランジェと御荷鉾緑色岩類の構造関係. *日本地質学会第109年大会演旨*, 282.
- 竹内圭史・田村直宏, 1994, 関東山地三波川帯黒内山超苦鉄質岩体の跡倉ナップへの帰属. *日本地質学会第101年大会演旨*, 48.
- Tanabe, K., Tomioka, N. and Kanehira, K., 1982, Jadeite-aragonite-bearing rocks from the Sanbagawa Metamorphic Terrane in the Kanto Mountains. *Proc. Japan. Acad.*, **58**, 199-203.
- Tazaki, K., 1966, Ultrabasic rocks in the northern Kwanto Mountains, central Japan. *Earth Sci.*, **84**, 14-25.
- Uchida, N., 1981, Major-element petrochemistry of lavas and tuffs from the Sanbagawa and Chichibu Terranes. *Seikei Ronso*, no.22, 1-138.
- 上杉次郎・荒井章司, 1990, 長野県みかぶ帯, 塩川かんらん岩体: プレート内マグマからの集積岩. *地質学論集*, no.52, 229-242.
- Yokoyama, K., 1987, Ultramafic rocks in the Kurosegawa Tectonic Zone, Southwest Japan. *Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, **82**, 319-335.

Table 1. Composition of chromian spinel (O=4)

wt. %	KR120301								NN081303				
SiO ₂	0.08	0.15	0.12	0.13	0.03	0.00	0.15	0.13	0.01	0.20	0.20	0.00	
TiO ₂	0.34	0.48	0.16	0.46	0.20	0.43	0.62	1.39	2.03	1.80	2.05	2.06	
Al ₂ O ₃	9.67	10.51	10.42	10.05	9.98	9.82	9.77	19.93	19.72	18.79	18.85	20.98	
Cr ₂ O ₃	54.73	53.65	53.86	53.66	55.84	54.89	53.74	28.06	29.68	28.41	28.55	28.05	
FeO*	22.85	22.71	22.35	22.88	21.58	22.47	22.74	41.20	40.01	41.44	41.98	39.51	
MnO	0.06	0.00	0.19	0.30	0.00	0.00	0.29	0.30	0.12	0.12	0.00	0.45	
MgO	10.61	10.53	10.38	10.62	10.56	10.39	10.45	7.61	8.03	8.01	8.29	8.64	
CaO	0.14	0.00	0.27	0.20	0.11	0.11	0.12	0.09	0.14	0.22	0.06	0.04	
Na ₂ O	1.83	1.84	2.31	1.94	1.65	1.57	2.00	1.46	0.31	1.22	0.31	0.46	
K ₂ O	0.00	0.09	0.00	0.07	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.13	0.00	
Total	100.31	99.96	100.06	100.30	99.93	99.67	99.95	100.16	100.04	100.20	100.42	100.19	
atomic ratio													
Si	0.002	0.005	0.004	0.004	0.001	0.000	0.005	0.004	0.000	0.006	0.006	0.000	
Ti	0.008	0.012	0.004	0.011	0.005	0.011	0.015	0.033	0.049	0.043	0.049	0.049	
Al	0.374	0.406	0.403	0.388	0.387	0.382	0.379	0.749	0.741	0.707	0.706	0.780	
Cr	1.419	1.391	1.398	1.389	1.453	1.434	1.399	0.707	0.748	0.717	0.717	0.699	
Fe ²⁺	0.156	0.144	0.146	0.162	0.121	0.135	0.151	0.449	0.406	0.462	0.465	0.415	
Fe ³⁺	0.471	0.479	0.468	0.465	0.472	0.485	0.475	0.649	0.660	0.644	0.650	0.627	
Mn	0.002	0.000	0.005	0.008	0.000	0.000	0.008	0.008	0.003	0.003	0.000	0.012	
Mg	0.519	0.515	0.508	0.518	0.518	0.512	0.513	0.362	0.382	0.381	0.392	0.406	
Ca	0.005	0.000	0.009	0.007	0.004	0.004	0.004	0.003	0.005	0.008	0.002	0.001	
Na	0.116	0.117	0.147	0.123	0.105	0.100	0.127	0.090	0.019	0.075	0.019	0.028	
K	0.000	0.004	0.000	0.003	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	
Total	3.073	3.073	3.092	3.078	3.066	3.064	3.080	3.055	3.013	3.046	3.013	3.018	
Mg#	0.524	0.518	0.521	0.527	0.523	0.513	0.519	0.358	0.366	0.372	0.376	0.393	
Cr#	0.791	0.774	0.776	0.782	0.790	0.789	0.787	0.486	0.502	0.504	0.504	0.473	
Cr3#	0.728	0.717	0.718	0.717	0.741	0.735	0.725	0.371	0.395	0.380	0.380	0.369	
Al3#	0.192	0.209	0.207	0.200	0.197	0.196	0.196	0.393	0.391	0.375	0.374	0.412	
Fe3#	0.080	0.074	0.075	0.083	0.062	0.069	0.078	0.236	0.214	0.245	0.246	0.219	

wt. %	UY102008							UY102102						
SiO ₂	0.09	0.20	0.27	0.39	0.20	0.41	0.25	0.18	0.39	0.07	0.43	0.19	0.18	0.17
TiO ₂	0.70	0.32	0.63	0.64	0.53	0.55	0.51	0.57	0.26	0.41	0.37	0.35	0.30	0.35
Al ₂ O ₃	7.89	14.76	8.34	21.28	9.52	10.10	11.07	7.18	9.07	5.39	7.49	5.94	7.62	22.03
Cr ₂ O ₃	54.09	48.03	53.50	41.81	54.03	50.94	48.65	57.88	52.30	53.47	57.11	50.63	52.88	40.99
FeO*	26.39	25.95	27.69	22.02	24.30	27.38	29.38	22.62	27.44	31.08	23.14	33.74	28.95	24.22
MnO	0.49	0.00	0.00	0.34	0.78	0.15	0.17	0.00	0.08	0.72	0.00	0.46	0.47	0.07
MgO	7.99	8.87	7.25	11.37	8.95	8.55	8.03	9.27	7.98	6.88	9.25	6.36	7.11	10.61
CaO	0.08	0.16	0.00	0.05	0.12	0.06	0.03	0.28	0.11	0.22	0.03	0.13	0.18	0.05
Na ₂ O	2.10	1.87	2.05	1.69	1.72	1.64	1.32	1.87	2.04	1.76	2.02	1.66	2.04	1.84
K ₂ O	0.14	0.05	0.00	0.00	0.00	0.06	0.14	0.00	0.01	0.05	0.01	0.08	0.00	0.09
Total	99.96	100.20	99.72	99.58	100.14	99.85	99.54	99.85	99.68	100.07	99.85	99.53	99.72	100.41
atomic ratio														
Si	0.003	0.007	0.009	0.012	0.007	0.014	0.008	0.006	0.013	0.002	0.014	0.006	0.006	0.005
Ti	0.018	0.008	0.016	0.015	0.013	0.014	0.013	0.014	0.006	0.011	0.009	0.009	0.008	0.008
Al	0.314	0.565	0.333	0.783	0.373	0.396	0.435	0.285	0.359	0.218	0.296	0.242	0.306	0.808
Cr	1.445	1.234	1.435	1.032	1.419	1.339	1.282	1.538	1.389	1.451	1.513	1.380	1.423	1.008
Fe ²⁺	0.165	0.146	0.157	0.117	0.145	0.196	0.226	0.107	0.191	0.273	0.125	0.323	0.213	0.133
Fe ³⁺	0.581	0.558	0.628	0.458	0.530	0.565	0.593	0.529	0.580	0.619	0.523	0.650	0.612	0.497
Mn	0.014	0.000	0.000	0.009	0.022	0.004	0.005	0.000	0.002	0.021	0.000	0.014	0.014	0.002
Mg	0.403	0.430	0.366	0.529	0.443	0.424	0.399	0.464	0.400	0.352	0.462	0.327	0.361	0.492
Ca	0.003	0.005	0.000	0.002	0.004	0.002	0.001	0.010	0.004	0.008	0.001	0.005	0.006	0.002
Na	0.138	0.118	0.135	0.102	0.111	0.106	0.085	0.122	0.133	0.117	0.131	0.111	0.135	0.111
K	0.006	0.002	0.000	0.000	0.000	0.003	0.006	0.000	0.000	0.002	0.000	0.003	0.000	0.004
Total	3.089	3.073	3.080	3.058	3.067	3.062	3.053	3.076	3.077	3.076	3.075	3.069	3.083	3.069
Mg#	0.409	0.435	0.368	0.536	0.455	0.429	0.402	0.467	0.408	0.362	0.469	0.335	0.371	0.497
Cr#	0.821	0.686	0.812	0.569	0.792	0.772	0.747	0.844	0.795	0.869	0.836	0.851	0.823	0.555
Cr3#	0.751	0.634	0.745	0.534	0.733	0.693	0.660	0.797	0.716	0.747	0.782	0.710	0.733	0.517
Al3#	0.163	0.291	0.173	0.405	0.192	0.205	0.224	0.147	0.185	0.112	0.153	0.124	0.157	0.414
Fe3#	0.086	0.075	0.082	0.060	0.075	0.102	0.116	0.055	0.098	0.140	0.065	0.166	0.110	0.068

*Total Fe as FeO

Table 1. (continued)

wt. %	NG-1						NG-2						
	SiO ₂	0.33	0.34	0.18	0.04	0.26	0.22	0.16	0.15	0.02	0.00	0.14	0.12
TiO ₂	0.39	0.35	0.00	0.40	0.60	0.14	0.01	0.53	0.33	0.17	0.00	0.32	0.30
Al ₂ O ₃	13.65	13.17	13.72	13.64	13.11	12.72	14.48	14.50	14.92	14.40	14.58	9.87	10.21
Cr ₂ O ₃	48.62	48.96	49.25	49.13	48.82	50.49	48.46	47.31	47.31	47.77	47.70	52.54	50.89
FeO*	26.35	27.86	26.57	25.89	26.10	25.02	27.18	27.88	28.59	29.05	28.59	29.65	29.56
MnO	0.51	0.55	0.45	0.15	0.73	0.60	0.00	0.34	0.76	0.28	0.45	0.17	0.54
MgO	7.52	7.16	7.87	8.29	7.99	8.29	7.34	6.88	6.21	6.62	6.45	5.77	6.49
CaO	0.06	0.07	0.00	0.19	0.00	0.05	0.04	0.11	0.00	0.18	0.00	0.00	0.09
Na ₂ O	2.10	1.91	1.80	2.09	2.48	2.13	2.17	1.90	2.03	1.97	1.80	1.61	2.13
K ₂ O	0.00	0.00	0.03	0.00	0.15	0.06	0.12	0.19	0.05	0.00	0.17	0.07	0.00
Total	99.52	100.37	99.87	99.83	100.24	99.72	99.95	99.79	100.22	100.44	99.86	100.11	100.37
atomic ratio													
Si	0.011	0.011	0.006	0.001	0.009	0.007	0.005	0.005	0.001	0.000	0.005	0.004	0.006
Ti	0.010	0.009	0.000	0.010	0.015	0.003	0.000	0.013	0.008	0.004	0.000	0.008	0.007
Al	0.533	0.512	0.533	0.529	0.509	0.496	0.563	0.566	0.582	0.560	0.570	0.395	0.405
Cr	1.273	1.278	1.283	1.279	1.271	1.320	1.264	1.239	1.239	1.247	1.252	1.411	1.353
Fe ³⁺	0.129	0.150	0.149	0.134	0.141	0.135	0.131	0.128	0.129	0.149	0.143	0.146	0.185
Fe ²⁺	0.601	0.619	0.583	0.579	0.577	0.557	0.619	0.644	0.663	0.653	0.651	0.696	0.646
Mn	0.014	0.015	0.013	0.004	0.020	0.017	0.000	0.010	0.021	0.008	0.013	0.005	0.015
Mg	0.371	0.352	0.387	0.407	0.392	0.409	0.361	0.340	0.307	0.326	0.319	0.292	0.325
Ca	0.002	0.002	0.000	0.007	0.000	0.002	0.001	0.004	0.000	0.006	0.000	0.000	0.003
Na	0.135	0.122	0.115	0.134	0.159	0.137	0.139	0.122	0.130	0.126	0.116	0.106	0.139
K	0.000	0.000	0.001	0.000	0.006	0.002	0.005	0.008	0.002	0.000	0.007	0.003	0.000
Total	3.079	3.071	3.070	3.084	3.099	3.084	3.088	3.080	3.082	3.080	3.074	3.066	3.085
Mg#	0.382	0.363	0.399	0.413	0.405	0.423	0.368	0.345	0.316	0.333	0.329	0.296	0.335
Cr#	0.705	0.714	0.707	0.707	0.714	0.727	0.692	0.686	0.680	0.690	0.687	0.781	0.770
Cr3#	0.658	0.659	0.653	0.659	0.662	0.677	0.646	0.641	0.635	0.637	0.637	0.723	0.696
Al3#	0.275	0.264	0.271	0.273	0.265	0.254	0.287	0.293	0.299	0.286	0.290	0.202	0.208
Fe3#	0.067	0.077	0.076	0.069	0.074	0.069	0.067	0.066	0.066	0.076	0.073	0.075	0.095

wt. %	NG-3						
	SiO ₂	0.00	0.00	0.07	0.13	0.23	0.19
TiO ₂	0.17	0.60	0.35	0.35	0.53	0.36	0.34
Al ₂ O ₃	10.39	10.32	10.17	9.96	10.24	10.46	9.67
Cr ₂ O ₃	52.68	50.50	50.89	51.53	51.14	51.06	54.73
FeO*	28.37	29.39	29.99	29.35	29.75	29.52	22.85
MnO	0.00	0.10	0.00	0.53	0.54	0.85	0.06
MgO	6.63	6.93	6.41	5.94	5.89	5.95	10.61
CaO	0.07	0.11	0.00	0.28	0.14	0.04	0.14
Na ₂ O	2.06	1.85	1.88	1.72	1.77	1.76	1.83
K ₂ O	0.18	0.00	0.02	0.07	0.00	0.02	0.00
Total	100.55	99.79	99.78	99.84	100.22	100.19	100.31
atomic ratio							
Si	0.000	0.000	0.002	0.004	0.008	0.006	0.002
Ti	0.004	0.015	0.009	0.009	0.013	0.009	0.008
Al	0.412	0.410	0.406	0.399	0.408	0.416	0.374
Cr	1.400	1.346	1.362	1.384	1.367	1.363	1.419
Fe ³⁺	0.144	0.181	0.181	0.160	0.159	0.166	0.156
Fe ²⁺	0.653	0.648	0.668	0.674	0.682	0.667	0.471
Mn	0.000	0.003	0.000	0.015	0.015	0.024	0.002
Mg	0.332	0.348	0.324	0.301	0.297	0.299	0.519
Ca	0.003	0.004	0.000	0.010	0.005	0.001	0.005
Na	0.134	0.121	0.123	0.113	0.116	0.115	0.116
K	0.008	0.000	0.001	0.003	0.000	0.001	0.000
Total	3.089	3.077	3.076	3.073	3.070	3.070	3.073
Mg#	0.337	0.350	0.326	0.309	0.303	0.310	0.524
Cr#	0.773	0.766	0.771	0.776	0.770	0.766	0.791
Cr3#	0.716	0.695	0.699	0.712	0.707	0.701	0.728
Al3#	0.211	0.212	0.208	0.205	0.211	0.214	0.192
Fe3#	0.074	0.093	0.093	0.082	0.082	0.085	0.080

*Total Fe as FeO

Table 2. Composition of amphibole (O=23)

wt. %	TM120201-2										KR102604										KR102602-1										KR102602									
	48.35	51.65	48.69	48.70	49.05	45.19	48.98	45.69	46.10	42.44	43.48	45.58	43.54	43.43	44.46	44.21	43.37	53.43	53.50	53.65	54.54	54.38	53.65	53.19	49.73	47.12														
SiO ₂	0.37	0.23	0.53	0.20	0.33	0.53	0.32	0.49	0.28	0.61	0.23	0.61	0.47	0.78	0.56	0.25	0.73	0.35	0.43	0.49	0.10	0.11	0.22	0.06	0.49	0.44														
TiO ₂	6.93	4.12	5.67	6.34	6.96	8.96	6.14	10.13	9.72	12.40	11.89	9.98	11.18	11.36	11.24	10.44	10.72	6.77	6.59	5.90	7.00	6.66	7.17	6.69	2.92	5.80														
Al ₂ O ₃	0.13	0.45	0.38	0.00	0.26	1.44	0.00	0.10	0.10	0.19	0.23	0.00	0.26	0.13	0.36	0.06	0.05	0.35	0.05	0.10	0.46	0.11	0.00	0.18	0.33	0.00														
Cr ₂ O ₃	12.51	11.23	12.16	11.94	11.03	12.80	12.75	14.35	14.52	16.28	15.55	15.00	15.95	15.37	15.12	15.18	15.09	20.17	21.07	20.12	19.55	21.14	19.04	20.32	18.26	18.60														
FeO*	0.08	0.06	0.16	0.33	0.31	0.37	0.46	0.20	0.47	0.26	0.42	0.09	0.04	0.00	0.07	0.16	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.03	0.22	0.37	0.09	0.35														
MnO	14.62	15.78	15.38	14.27	14.31	12.76	13.70	11.72	12.19	10.10	10.65	12.15	10.98	10.48	10.44	10.91	11.42	7.57	7.12	7.69	7.60	6.83	7.06	6.79	12.26	10.81														
MgO	12.59	12.60	12.47	12.69	13.26	12.47	12.64	11.81	12.17	11.95	11.67	12.14	11.90	11.98	12.12	12.36	12.26	2.90	3.14	3.22	1.94	2.56	2.75	2.20	10.84	11.53														
CaO	2.06	1.91	2.09	2.19	1.85	2.38	2.13	2.93	2.63	3.40	3.22	2.71	2.60	2.95	2.97	2.67	2.69	6.29	6.24	5.70	6.87	6.48	6.38	6.62	1.97	2.25														
Na ₂ O	0.19	0.00	0.12	0.13	0.22	0.33	0.00	0.15	0.33	0.23	0.35	0.18	0.25	0.12	0.15	0.24	0.15	0.04	0.15	0.05	0.06	0.20	0.13	0.09	0.17	0.36														
K ₂ O	97.83	98.02	97.65	96.79	97.59	97.23	97.11	97.56	98.52	97.84	97.70	98.42	97.18	96.59	97.48	96.49	96.47	97.87	98.46	96.91	98.12	98.48	96.61	96.50	97.06	97.25														
Total	7.050	7.435	7.100	7.168	7.132	6.721	7.204	6.764	6.772	6.376	6.499	6.703	6.525	6.627	6.672	6.543	7.765	7.776	7.862	7.854	7.877	7.874	7.851	7.476	7.120															
atomic ratio	0.950	0.565	0.900	0.832	0.868	1.279	0.796	1.236	1.228	1.624	1.501	1.297	1.475	1.450	1.373	1.328	1.457	0.235	0.224	0.138	0.146	0.123	0.126	0.149	0.517	0.880														
Si	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	7.993	8.000														
Al ^{IV}	0.242	0.133	0.075	0.268	0.325	0.291	0.268	0.530	0.455	0.572	0.593	0.432	0.499	0.569	0.602	0.529	0.448	0.924	0.905	0.881	1.041	1.014	1.114	1.014	0.000	0.152														
Al ^{VI}	0.041	0.025	0.058	0.022	0.036	0.059	0.035	0.054	0.031	0.069	0.026	0.067	0.053	0.088	0.063	0.028	0.083	0.039	0.046	0.053	0.011	0.012	0.024	0.006	0.055	0.049														
Ti	0.037	0.000	0.105	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.037	0.007	0.058	0.063	0.137	0.000	0.000	0.041	0.324	0.282	0.316	0.320	0.269	0.165	0.314	0.000	0.106															
Fe ²⁺	0.015	0.051	0.044	0.000	0.030	0.169	0.000	0.012	0.012	0.022	0.027	0.000	0.031	0.016	0.043	0.007	0.006	0.040	0.005	0.011	0.053	0.012	0.000	0.021	0.039	0.000														
Cr	3.177	3.366	3.344	3.132	3.101	2.829	3.003	2.586	2.670	2.261	2.374	2.663	2.452	2.355	2.321	2.455	2.568	1.639	1.542	1.679	1.632	1.474	1.544	1.494	2.748	2.434														
Mg	1.488	1.352	1.373	1.469	1.342	1.592	1.568	1.777	1.746	2.038	1.885	1.775	1.827	1.939	1.885	1.916	1.853	2.034	2.210	2.059	1.943	2.218	2.153	2.150	2.156	2.244														
Fe ³⁺	0.000	0.008	0.000	0.042	0.039	0.047	0.057	0.025	0.049	0.031	0.036	0.000	0.000	0.000	0.008	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015														
Mn	5.000	4.956	5.000	4.933	4.873	4.988	4.932	4.985	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	4.966	4.921	4.955	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000														
sum C	0.001	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.006	0.034	0.000	0.000	0.008	0.093	0.059	0.091	0.092	0.073	0.020	0.044	0.137	0.000															
Fe ²⁺	0.010	0.000	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.002	0.017	0.011	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.025	0.000	0.004	0.004	0.027	0.046	0.011	0.030															
Mn	1.967	1.943	1.948	2.001	2.066	1.988	1.993	1.874	1.916	1.923	1.869	1.913	1.910	1.936	1.937	1.999	1.982	0.452	0.488	0.506	0.299	0.387	0.433	0.348	1.746	1.867														
Ca	0.022	0.057	0.028	0.000	0.000	0.012	0.007	0.126	0.074	0.075	0.115	0.069	0.051	0.064	0.063	0.001	0.010	1.455	1.428	1.404	1.609	1.526	1.521	1.562	0.105	0.103														
Na	2.000	2.000	2.000	2.001	2.066	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000														
sum B	0.561	0.475	0.564	0.626	0.520	0.674	0.601	0.714	0.674	0.915	0.818	0.704	0.704	0.799	0.796	0.780	0.777	0.318	0.330	0.216	0.308	0.293	0.295	0.332	0.470	0.557														
Na	0.035	0.000	0.022	0.023	0.041	0.062	0.000	0.028	0.062	0.044	0.067	0.033	0.049	0.023	0.028	0.047	0.028	0.007	0.027	0.010	0.011	0.036	0.024	0.018	0.032	0.070														
K	0.595	0.475	0.586	0.649	0.561	0.735	0.601	0.741	0.736	0.960	0.886	0.737	0.752	0.822	0.823	0.827	0.805	0.325	0.357	0.226	0.320	0.329	0.318	0.349	0.502	0.627														
sum A	15.595	15.431	15.586	15.584	15.501	15.723	15.533	15.726	15.736	15.960	15.886	15.737	15.752	15.788	15.745	15.782	15.805	15.325	15.357	15.226	15.320	15.329	15.318	15.349	15.495	15.627														
Total	0.681	0.715	0.708	0.681	0.698	0.640	0.657	0.593	0.605	0.526	0.557	0.599	0.568	0.548	0.552	0.562	0.580	0.435	0.405	0.439	0.445	0.392	0.415	0.405	0.545	0.520														
Mg/(Mg+Fe ²⁺)	0.132	0.000	0.583	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.075	0.012	0.089	0.127	0.216	0.000	0.000	0.000	0.085	0.260	0.244	0.264	0.235	0.210	0.129	0.237	1.000	0.410														
Fe ²⁺ /(Fe ²⁺ +Al ^{VI})																																								
Mineral**	Ed	Mg-Hlb	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Prg	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Ed	Fe-Wnc	Fe-Wnc	Fe-Wnc	Fe-Wnc	Gln	Gln	Gln	Gln	Ed														

*Total Fe as FeO, **Ed; edenite, Mg-Hlb; magnesianhornblende, Prg; pargasite, Fe-Wnc; ferrowinchite, Gln; glaucophane, Krs; kaersutite, Wnc; winchite, Act; actinolite

Table 2. (continued)

wt. %	KR102602										KR072903																	
	42.01	42.02	51.13	42.81	49.82	51.74	43.06	46.29	48.51	50.82	48.44	48.38	46.21	53.98	54.39	54.38	54.70	45.68	53.86	43.33	50.94	44.82	54.55	53.39	55.97	54.24		
SiO ₂	3.86	4.59	0.52	3.06	0.30	0.13	3.65	1.55	0.72	0.88	0.69	0.85	1.57	0.34	0.54	0.20	0.30	1.94	0.19	2.56	0.47	2.05	0.00	0.14	0.29	0.00		
TiO ₂	10.11	10.44	2.76	8.55	4.05	2.48	9.81	8.55	6.97	5.21	6.28	6.15	8.30	1.17	0.85	0.44	0.52	8.26	1.24	10.81	4.32	9.28	1.32	0.60	0.86	0.65		
Al ₂ O ₃	0.12	0.03	0.00	0.00	0.21	0.08	0.00	0.19	0.03	0.38	0.61	0.74	0.05	0.50	0.30	0.11	0.00	0.00	0.01	0.24	0.38	0.00	0.64	0.00	0.05	0.00		
Cr ₂ O ₃	14.69	15.35	15.55	17.01	18.17	16.40	15.69	14.04	13.94	13.39	12.84	12.85	13.88	11.27	14.62	15.55	13.96	13.51	11.25	11.69	13.31	12.54	11.44	16.04	13.65	16.48		
FeO*	0.31	0.30	0.20	0.23	0.20	0.03	0.46	0.00	0.49	0.42	0.17	0.34	0.16	0.26	0.00	0.15	0.13	0.43	0.34	0.33	0.19	0.22	0.16	0.12	0.09	0.16		
MnO	11.87	11.54	12.76	10.37	11.93	12.54	10.61	14.33	14.95	13.59	14.45	15.04	13.95	15.93	13.86	14.13	14.65	14.24	16.45	13.83	14.74	14.11	16.11	13.90	15.10	13.14		
MgO	11.10	11.18	11.58	10.41	11.32	11.78	11.23	10.11	10.93	10.77	11.00	11.21	10.94	11.60	7.73	10.80	9.52	10.96	12.37	11.35	10.98	10.03	11.26	10.33	8.55	10.24		
CaO	3.44	3.65	2.12	3.39	2.36	1.77	3.42	3.04	2.06	2.58	2.45	2.18	2.15	2.57	4.25	2.20	3.03	2.89	1.44	3.09	2.30	3.33	2.13	1.99	3.28	2.52		
Na ₂ O	0.24	0.24	0.04	0.20	0.37	0.09	0.16	0.22	0.14	0.19	0.21	0.08	0.20	0.15	0.07	0.06	0.26	0.35	0.00	0.20	0.25	0.07	0.13	0.17	0.06	0.08		
K ₂ O	97.74	99.34	96.65	96.03	98.72	97.02	98.09	98.33	98.74	98.22	97.12	97.83	97.40	97.77	96.60	96.03	97.06	98.25	97.14	97.53	97.89	96.44	97.75	96.67	97.89	97.42		
Total	6.281	6.210	7.607	6.558	7.363	7.679	6.443	6.689	6.957	7.367	7.088	7.017	6.754	7.782	7.966	7.920	7.977	6.664	7.788	6.359	7.386	6.601	7.835	7.899	7.987	7.976		
Si	1.719	1.790	0.393	1.442	0.637	0.321	1.557	1.301	1.043	0.633	0.912	0.983	1.246	0.189	0.034	0.076	0.023	1.336	0.211	1.641	0.614	1.399	0.165	0.101	0.013	0.024		
Al ^{IV}	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000		
sum T	0.962	0.929	0.091	1.02	0.069	0.114	0.172	0.156	0.136	0.257	0.172	0.069	0.183	0.000	0.112	0.000	0.067	0.085	0.000	0.246	0.125	0.212	0.059	0.003	0.132	0.070		
Al ^{VI}	0.434	0.511	0.058	0.353	0.033	0.014	0.411	0.169	0.078	0.096	0.076	0.093	0.172	0.037	0.059	0.022	0.033	0.213	0.020	0.282	0.051	0.227	0.000	0.015	0.031	0.000		
Ti	0.114	0.067	0.000	0.109	0.084	0.000	0.000	0.479	0.501	0.022	0.215	0.338	0.406	0.000	0.079	0.000	0.007	0.329	0.000	0.201	0.150	0.384	0.000	0.019	0.240	0.000		
Fe ³⁺	0.014	0.003	0.000	0.000	0.024	0.009	0.000	0.022	0.004	0.044	0.070	0.084	0.006	0.056	0.034	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.028	0.043	0.000	0.073	0.005	0.000		
Cr	2.646	2.542	2.830	2.368	2.629	2.773	2.366	3.092	3.195	2.936	3.152	3.250	3.039	3.423	3.026	3.068	3.184	3.096	3.546	3.026	3.186	3.099	3.449	3.067	3.213	2.879		
Mg	1.723	1.630	1.935	2.068	2.150	2.035	1.963	1.082	1.085	1.601	1.315	1.165	1.184	1.358	1.689	1.894	1.695	1.277	1.360	1.217	1.444	1.078	1.374	1.895	1.378	2.027		
Fe ²⁺	0.007	0.019	0.025	0.000	0.000	0.004	0.058	0.000	0.000	0.045	0.000	0.000	0.000	0.032	0.000	0.003	0.014	0.000	0.042	0.000	0.000	0.000	0.020	0.000	0.000	0.020		
Mn	5.000	5.000	4.938	5.000	5.000	4.949	4.970	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	4.907	5.000	5.000	5.000	5.000	4.969	5.000	5.000	5.000	4.975	5.000	4.997	5.000		
sum C	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.138	0.085	0.000	0.041	0.055	0.097	0.000	0.022	0.000	0.000	0.042	0.000	0.000	0.016	0.019	0.083	0.000	0.011	0.000		
Fe ²⁺	0.032	0.019	0.000	0.029	0.025	0.000	0.000	0.000	0.060	0.006	0.021	0.042	0.020	0.000	0.000	0.016	0.002	0.053	0.000	0.041	0.023	0.027	0.000	0.015	0.010	0.000		
Mn	1.778	1.770	1.845	1.709	1.792	1.874	1.800	1.568	1.679	1.673	1.724	1.742	1.713	1.792	1.213	1.685	1.488	1.713	1.916	1.785	1.707	1.582	1.733	1.638	1.307	1.613		
Ca	0.190	0.211	0.155	0.260	0.181	0.126	0.200	0.294	0.176	0.321	0.215	0.161	0.170	0.208	0.764	0.300	0.510	0.193	0.084	0.158	0.251	0.308	0.267	0.278	0.672	0.387		
Na	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000		
sum B	0.806	0.835	0.456	0.747	0.494	0.382	0.792	0.558	0.396	0.405	0.480	0.451	0.439	0.511	0.442	0.322	0.346	0.625	0.318	0.722	0.397	0.643	0.327	0.293	0.234	0.332		
Na	0.046	0.045	0.008	0.039	0.071	0.016	0.030	0.041	0.025	0.035	0.038	0.015	0.037	0.027	0.014	0.011	0.048	0.065	0.000	0.037	0.046	0.013	0.023	0.032	0.011	0.015		
K	0.852	0.881	0.465	0.786	0.564	0.398	0.822	0.600	0.421	0.440	0.518	0.467	0.476	0.538	0.455	0.333	0.394	0.690	0.318	0.759	0.443	0.656	0.350	0.325	0.246	0.347		
sum A	15.852	15.881	15.403	15.786	15.564	15.347	15.792	15.600	15.421	15.440	15.518	15.467	15.476	15.426	15.455	15.329	15.394	15.680	15.287	15.759	15.443	15.656	15.325	15.325	15.246	15.344		
Total	0.606	0.581	0.594	0.534	0.550	0.577	0.546	0.717	0.732	0.647	0.699	0.727	0.702	0.716	0.639	0.618	0.653	0.701	0.723	0.711	0.685	0.727	0.715	0.609	0.698	0.587		
Mg/(Mg+Fe ²⁺)	0.647	0.699	0.000	0.518	0.577	0.000	0.000	0.754	0.786	0.078	0.557	0.831	0.689	0.000	0.412	1.000	0.100	0.796	1.000	0.451	0.546	0.644	0.000	0.852	0.646	0.000		
Fe ³⁺ /(Fe ³⁺ +Al ^{VI})	<p>*Total Fe as FeO. **Ed: edenite, Mg-Hbl: magnesiohornblende, Prg: pargasite, Fe-Wnc: ferrowinchite, Gln: glaucophane, Krs: kersantite, Wnc: winchite, Act: actinolite</p>																											
Mineral**	Prg	Krs	Act	Ed	Ed	Act	Prg	Ed	Mg-Hbl	Mg-Hbl	Ed	Mg-Hbl	Mg-Hbl	Ed	Wnc	Act	Wnc	Ed	Act	Ed	Act	Ed	Act	Act	Wnc	Act	Act	

Table 2. (continued)

wt. %	NN081303															KY102801														
	42.77	41.92	42.55	42.65	43.51	45.65	44.68	56.08	46.18	55.46	48.74	55.60	44.81	54.57	49.01	54.52	55.26	55.05	45.36	49.83	45.45	55.25	56.61	54.70	54.58					
SiO ₂	3.18	3.48	3.76	3.9	3.55	0.50	0.46	0.34	0.45	0.00	0.53	0.15	0.72	0.00	0.44	0.28	0.00	0.13	0.44	0.00	0.66	0.72	0.12	0.20	0.24					
TiO ₂	11.71	11.89	11.99	12.05	11.34	10.45	11.30	2.89	11.30	2.84	9.93	4.88	11.48	1.88	7.86	1.67	2.10	1.49	11.20	5.06	10.61	7.07	8.10	8.06	8.32					
Cr ₂ O ₃	1.13	0.33	0.15	0.62	1.17	0.30	0.10	0.00	0.00	0.07	0.11	0.05	0.22	0.00	0.45	0.38	0.21	0.00	0.02	0.05	0.16	0.11	0.22	0.25	0.05					
FeO*	6.88	6.8	7.62	7	6.91	13.92	14.84	13.63	15.01	14.89	14.23	17.23	14.59	14.66	14.27	13.43	14.39	13.84	14.05	12.26	13.82	15.56	14.23	13.10	12.95					
MnO	0.26	0	0.36	0.17	0.2	0.19	0.47	0.28	0.00	0.28	0.23	0.02	0.19	0.40	0.22	0.46	0.31	0.34	0.31	0.22	0.15	0.50	0.15	0.20	0.28					
MgO	16.22	16.21	16.19	15.58	15.75	12.73	11.78	13.74	12.19	13.14	11.75	10.16	12.32	13.57	12.83	14.02	13.86	14.43	12.75	15.44	12.18	9.52	9.42	10.48	10.27					
CaO	11.49	11.82	11.84	11.56	11.41	10.99	10.71	7.84	10.26	7.68	8.38	2.04	10.57	8.32	9.81	8.96	8.51	9.01	11.36	12.11	10.86	1.76	2.02	4.33	3.33					
Na ₂ O	3.46	4.02	3.81	3.39	3.5	2.50	3.09	4.23	2.92	4.03	3.52	6.55	2.87	3.48	3.27	3.17	3.65	3.15	2.84	2.21	2.95	7.07	6.69	5.88	6.39					
K ₂ O	0.08	0.28	0.13	0.15	0.12	0.20	0.19	0.03	0.33	0.00	0.23	0.01	0.32	0.19	0.07	0.13	0.00	0.12	0.31	0.04	0.35	0.07	0.18	0.05	0.14					
Total	97.18	96.75	98.4	97.07	97.46	97.43	97.62	99.04	98.64	98.39	97.65	96.67	98.07	97.06	98.23	97.01	98.28	97.56	98.64	97.20	97.19	97.63	97.74	97.25	96.53					
<i>atomic ratio</i>																														
Si	6.197	6.126	6.128	6.198	6.295	6.686	6.584	7.940	6.681	7.931	7.044	7.969	6.542	7.937	7.096	7.924	7.923	7.942	6.584	7.273	6.704	7.866	7.977	7.792	7.811					
Al ^{IV}	1.803	1.874	1.872	1.802	1.705	1.314	1.416	0.060	1.319	0.069	0.956	0.031	1.458	0.063	0.904	0.076	0.077	0.058	1.406	0.727	1.296	0.134	0.023	0.208	0.189					
sum T	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000					
Al ^{VI}	0.197	0.174	0.163	0.262	0.228	0.490	0.547	0.421	0.607	0.409	0.736	0.793	0.517	0.260	0.438	0.210	0.278	0.196	0.512	0.142	0.548	1.052	1.323	1.146	1.214					
Ti	0.347	0.383	0.407	0.426	0.386	0.055	0.051	0.036	0.049	0.000	0.058	0.016	0.079	0.000	0.048	0.031	0.000	0.015	0.048	0.000	0.074	0.077	0.013	0.022	0.026					
Fe ³⁺	0.146	0.087	0.087	0.022	0.019	0.307	0.291	0.015	0.350	0.116	0.297	0.649	0.369	0.123	0.220	0.035	0.093	0.091	0.252	0.103	0.151	0.263	0.115	0.023	0.063					
Cr	0.129	0.038	0.017	0.071	0.134	0.035	0.012	0.000	0.000	0.008	0.012	0.005	0.026	0.000	0.052	0.043	0.023	0.000	0.002	0.005	0.018	0.013	0.024	0.028	0.006					
Mg	3.503	3.532	3.476	3.375	3.397	2.780	2.587	2.899	2.629	2.802	2.531	2.170	2.680	2.943	2.770	3.036	2.962	3.104	2.762	3.359	2.679	2.021	1.979	2.225	2.190					
Fe ²⁺	0.678	0.744	0.831	0.829	0.817	1.333	1.513	1.599	1.365	1.665	1.367	1.329	1.659	1.473	1.597	1.633	1.580	1.422	1.390	1.422	1.390	1.574	1.545	1.538	1.486					
Mn	0.000	0.000	0.019	0.015	0.019	0.000	0.000	0.030	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.047	0.011	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	0.016					
sum C	5.000	4.958	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000					
Fe ²⁺	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.065	0.025	0.000	0.100	0.000	0.057	0.049	0.083	0.000	0.036	0.000	0.000	0.000	0.034	0.002	0.025	0.015	0.015	0.000	0.000					
Mn	0.032	0.000	0.025	0.006	0.005	0.023	0.059	0.004	0.000	0.033	0.028	0.002	0.023	0.035	0.027	0.010	0.026	0.026	0.038	0.027	0.018	0.060	0.017	0.006	0.018					
Ca	1.784	1.851	1.827	1.800	1.768	1.725	1.691	1.189	1.591	1.176	1.298	0.313	1.653	1.296	1.522	1.395	1.308	1.393	1.770	1.893	1.717	0.269	0.305	0.662	0.510					
Na	0.175	0.149	0.148	0.194	0.226	0.187	0.226	0.807	0.309	0.791	0.617	1.636	0.241	0.669	0.415	0.595	0.666	0.581	0.158	0.078	0.240	1.656	1.663	1.332	1.472					
sum B	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000					
Na	0.797	0.990	0.915	0.761	0.756	0.521	0.656	0.354	0.511	0.327	0.370	0.185	0.571	0.313	0.502	0.297	0.348	0.301	0.644	0.547	0.605	0.296	0.166	0.291	0.301					
K	0.015	0.052	0.024	0.028	0.022	0.038	0.036	0.005	0.061	0.000	0.042	0.002	0.059	0.035	0.012	0.023	0.000	0.022	0.057	0.008	0.065	0.013	0.032	0.008	0.025					
sum A	0.812	1.042	0.939	0.789	0.778	0.559	0.692	0.359	0.572	0.327	0.412	0.187	0.630	0.348	0.514	0.321	0.348	0.323	0.701	0.555	0.670	0.308	0.198	0.300	0.327					
Total	15.812	16.000	15.939	15.789	15.778	15.559	15.692	15.359	15.572	15.327	15.412	15.187	15.630	15.348	15.514	15.321	15.348	15.323	15.701	15.555	15.670	15.308	15.198	15.300	15.327					
Mg/(Mg+Fe ²⁺)	0.84	0.83	0.81	0.80	0.81	0.665	0.627	0.645	0.642	0.627	0.640	0.605	0.655	0.639	0.647	0.655	0.645	0.663	0.655	0.707	0.633	0.560	0.559	0.591	0.596					
Fe ³⁺ /(Fe ³⁺ +Al ^{VI})	0.43	0.33	0.35	0.08	0.08	0.386	0.347	0.035	0.366	0.221	0.288	0.450	0.417	0.322	0.335	0.144	0.251	0.316	0.330	0.420	0.216	0.200	0.080	0.019	0.050					
Mineral**	Prg	Prg	Prg	Prg	Prg	Ed	Ed	Wnc	Ed	Wnc	Bar	Gln	Ed	Wnc	Ed	Wnc	Wnc	Wnc	Ed	Ed	Ed	Gln	Gln	Wnc	Wnc					

*Total Fe as FeO, **Ed: edenite, Mg-Hbl: magnesiohornblende, Prg: pargasite, Fe-Wnc: ferrowinchite, Gln: glaucophane, Krs:kaersutite, Wnc: winchite, Act: actinolite

Table 3. Composition of olivine (O=4)

<i>wt. %</i>	KR120301	NN081303			
SiO ₂	42.55	40.03	40.28	39.72	39.55
TiO ₂	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.11	0.01	0.03	0.00	0.05
Cr ₂ O ₃	0.17	0.27	0.00	0.04	0.27
FeO	5.21	15.80	14.88	15.93	15.14
MnO	0.20	0.19	0.62	0.00	0.24
MgO	50.61	42.37	42.54	43.29	43.56
CaO	0.03	0.11	0.10	0.04	0.01
Na ₂ O	1.34	1.33	1.24	1.34	1.52
K ₂ O	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	100.50	100.10	99.68	100.36	100.33
<i>atomic ratio</i>					
Si	1.018	1.011	1.018	1.001	0.996
Al	0.003	0.000	0.001	0.000	0.002
Ti	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.003	0.005	0.000	0.001	0.005
Mg	1.806	1.596	1.602	1.627	1.636
Fe ²⁺	0.104	0.334	0.315	0.336	0.319
Mn	0.004	0.004	0.013	0.000	0.005
Ca	0.001	0.003	0.003	0.001	0.000
Na	0.062	0.065	0.061	0.065	0.074
K	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	3.007	3.018	3.012	3.031	3.037
Fo*	94.555	82.702	83.593	82.886	83.682
Fa*	5.445	17.298	16.407	17.114	16.318

*Fo=100×Mg/(Mg+Fe), Fa=100×Fe/(Mg+Fe)

Table 4. Whole rock composition

Rock Number Locality	Serpentinite				Actinolite rock			
	KR090404 Suguro	KR120301 Kiroko	NN081303 Yorii	UY102008 Minano	KR090401 Ogawa	NN120402 Yorii	DH120401 Higashichichibu	UY092401 Minano
(Wt%)								
SiO ₂	44.905	44.213	40.000	44.647	45.436	46.961	47.846	46.407
TiO ₂	0.020	0.010	0.250	0.050	1.919	1.469	2.259	1.449
Al ₂ O ₃	0.310	0.170	1.659	0.449	8.547	7.647	10.727	7.246
FeO	8.320	8.759	15.578	10.897	13.906	13.784	14.136	13.313
MnO	0.056	0.072	0.200	0.068	0.178	0.174	0.181	0.176
MgO	41.120	40.219	36.851	42.360	14.636	17.113	9.507	19.650
CaO	0.120	0.110	1.539	0.250	9.757	9.366	10.477	8.416
Na ₂ O	0.010	0.040	0.080	0.010	1.480	1.190	2.799	1.199
K ₂ O	0.000	0.000	0.000	0.003	0.100	0.090	0.040	0.160
P ₂ O ₅	0.004	0.004	0.019	0.003	0.146	0.105	0.152	0.098
L.O.I	0.122	0.128	0.078	0.118	0.031	0.041	0.029	0.049
Total	94.986	93.724	96.253	98.855	96.135	97.940	98.154	98.165
(ppm)								
Ba	0.00	89.40	30.40	8.50	42.90	29.50	42.30	74.30
Cr	456.13	467.28	449.19	465.34	445.04	419.92	347.82	418.45
Cu	8.50	58.37	17.37	0.00	186.72	76.31	157.91	131.03
Nb	4.41	6.13	5.54	2.53	4.01	1.45	4.81	6.21
Ni	202.71	204.50	199.13	202.29	178.82	182.47	139.73	203.94
Rb	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Sr	0.00	0.00	5.99	0.00	190.08	130.19	253.81	157.50
Y	0.00	0.00	0.00	0.00	12.40	10.81	10.95	9.37
Zn	40.00	59.30	71.50	31.60	92.70	81.90	95.30	81.10
Zr	13.09	5.95	27.82	12.57	82.95	86.92	58.03	72.49

Rock Number Locality	Amphibolite						
	KR102602 Suguro	KR120302 Suguro	KR102604 Suguro	KR073002 Suguro	DH0923022 Higashichichibu	UY102006 Minano	KY102801 Kamiiizumi
(Wt%)							
SiO ₂	45.248	46.761	44.177	48.044	49.909	45.361	47.169
TiO ₂	2.869	1.620	1.400	1.910	2.329	0.870	1.890
Al ₂ O ₃	14.576	10.218	14.406	7.819	12.967	14.774	9.578
FeO	14.306	11.868	13.936	13.788	13.657	10.206	13.677
MnO	0.199	0.165	0.168	0.189	0.216	0.171	0.178
MgO	4.949	10.338	8.088	15.898	4.539	9.236	10.877
CaO	9.278	10.498	10.637	10.519	8.668	13.154	10.118
Na ₂ O	3.639	2.390	2.709	1.580	5.029	2.059	2.839
K ₂ O	0.080	0.110	0.120	0.130	0.350	0.070	0.120
P ₂ O ₅	0.236	0.132	0.140	0.161	0.412	0.078	0.194
L.O.I	0.026	0.019	0.029	0.012	0.022	0.042	0.023
Total	95.406	94.118	95.809	100.050	98.098	96.021	96.663
(ppm)							
Ba	40.91	22.71	12.21	5.10	110.94	41.05	23.43
Cr	0.00	891.36	188.41	369.17	36.66	596.61	754.64
Cu	19.38	231.43	139.54	127.42	60.00	19.40	173.67
Nb	6.79	4.40	7.43	0.21	4.64	3.44	4.63
Ni	4.40	312.48	177.72	156.11	28.41	251.64	328.42
Rb	0.00	0.00	0.00	0.00	5.77	0.00	0.00
Sr	695.33	51.12	831.20	107.21	365.84	261.69	387.56
Y	24.06	0.80	21.50	26.61	46.24	16.51	23.51
Zn	92.31	77.67	87.36	7.00	90.19	64.39	86.85
Zr	106.72	84.03	93.57	0.00	168.40	57.40	100.65

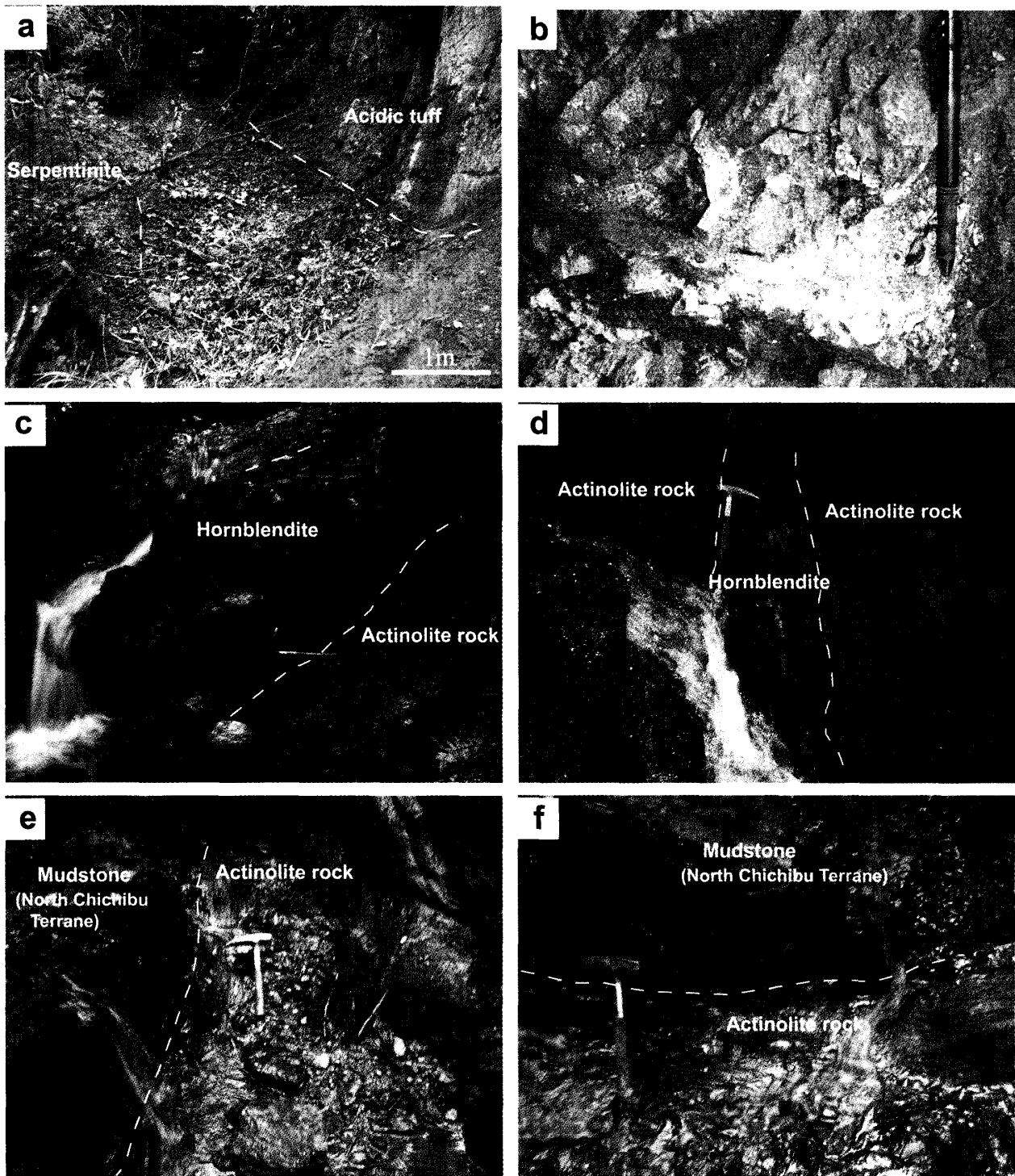


Plate I

- a . Serpentinite and acidic tuff with a narrow soil interval in between (Kasahara, Ogawa-machi).
- b . *Ibid* (close-up).
- c . Amphibolite block contained in greenstone (viewed upstream) (Suguro, Ogawa-machi).
- d . *Ibid* (right bank of the brook).
- e . Greenstone in contact with mudstone of the North Chichibu Terrane (Suguro, Ogawa-machi).
- f . *Ibid* (close-up).

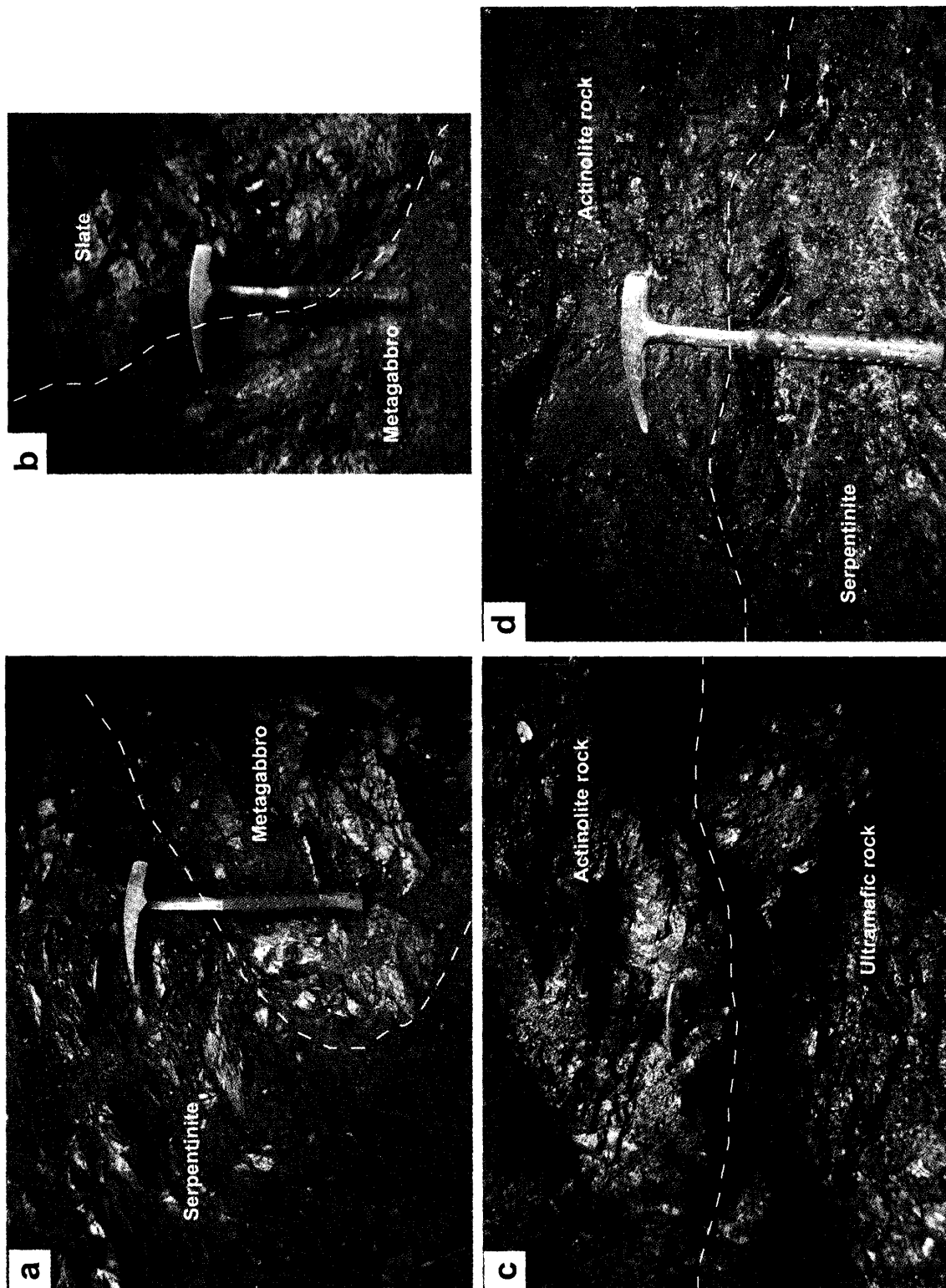


Plate II

- a . Metagabbro block contained in serpentinite (Kiroko, Ogawa-machi).
- b . Metagabbro in contact with slate (*ibid*).
- c . Boundary between serpentinite and greenstone (Nishinoiri, Yorii-machi).
- d . *Ibid* (Kamiyama, Kamiizumi-mura).

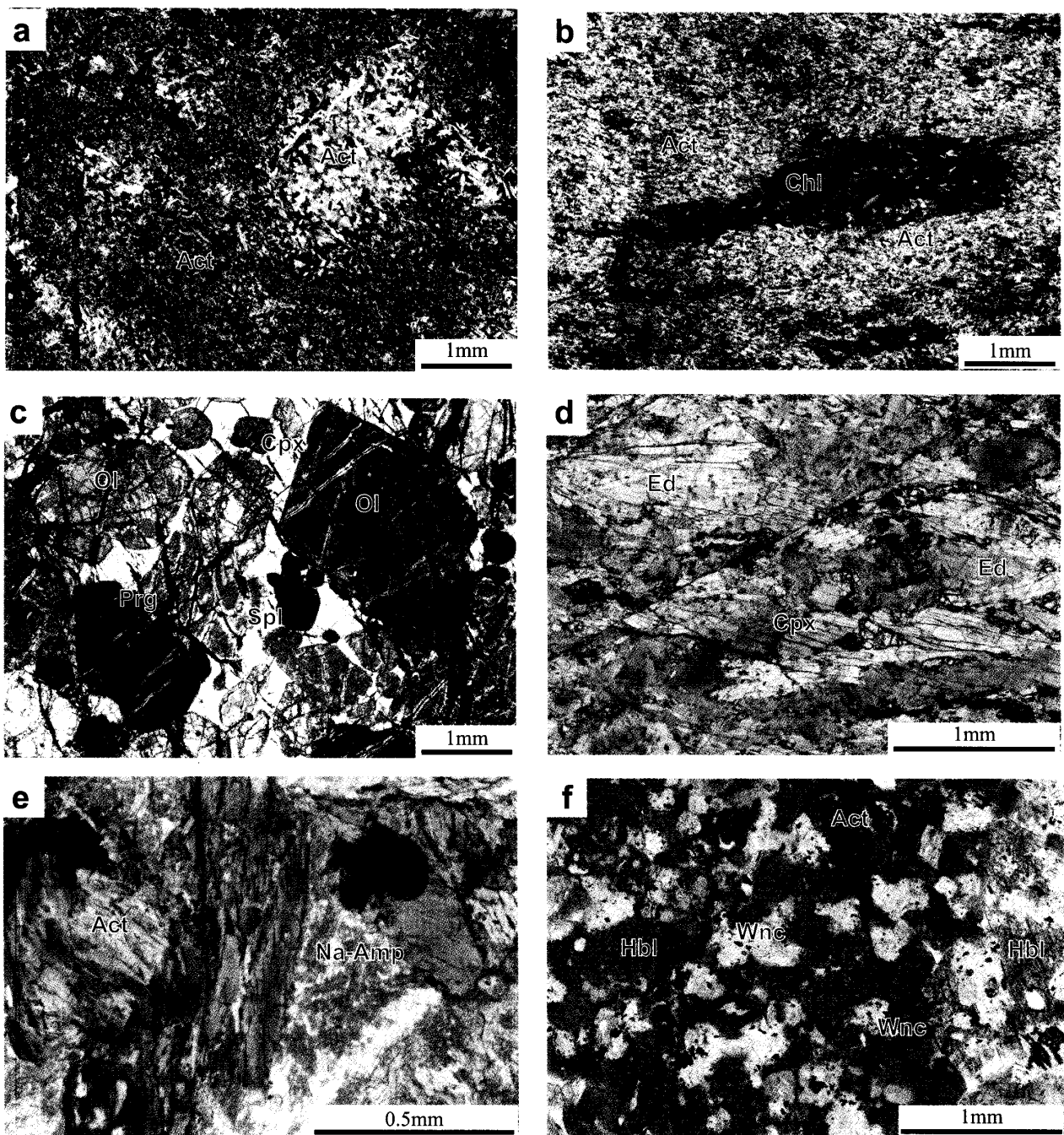


Plate III

- a . UY092401. Massive actinolite-rock (cross polar).
- b . KR090403. Sheared actinolite-rock showing schistosity (cross polar).
- c . MM081303(ultramafic rock). Poikilitic texture in which clinopyroxene surrounds olivine crystals (cross polar).
- d . TM120201 (amphibolite) containing clinopyroxene(open polar).
- e . KR102602 (amphibolite) showing green-colored amphibole partly replaced by sodic amphibole (open polar).
- f . KR072903 (amphibolite). Brown-colored amphibole is partly replaced by green-colored amphibole and pale blue-colored amphibole (open polar).

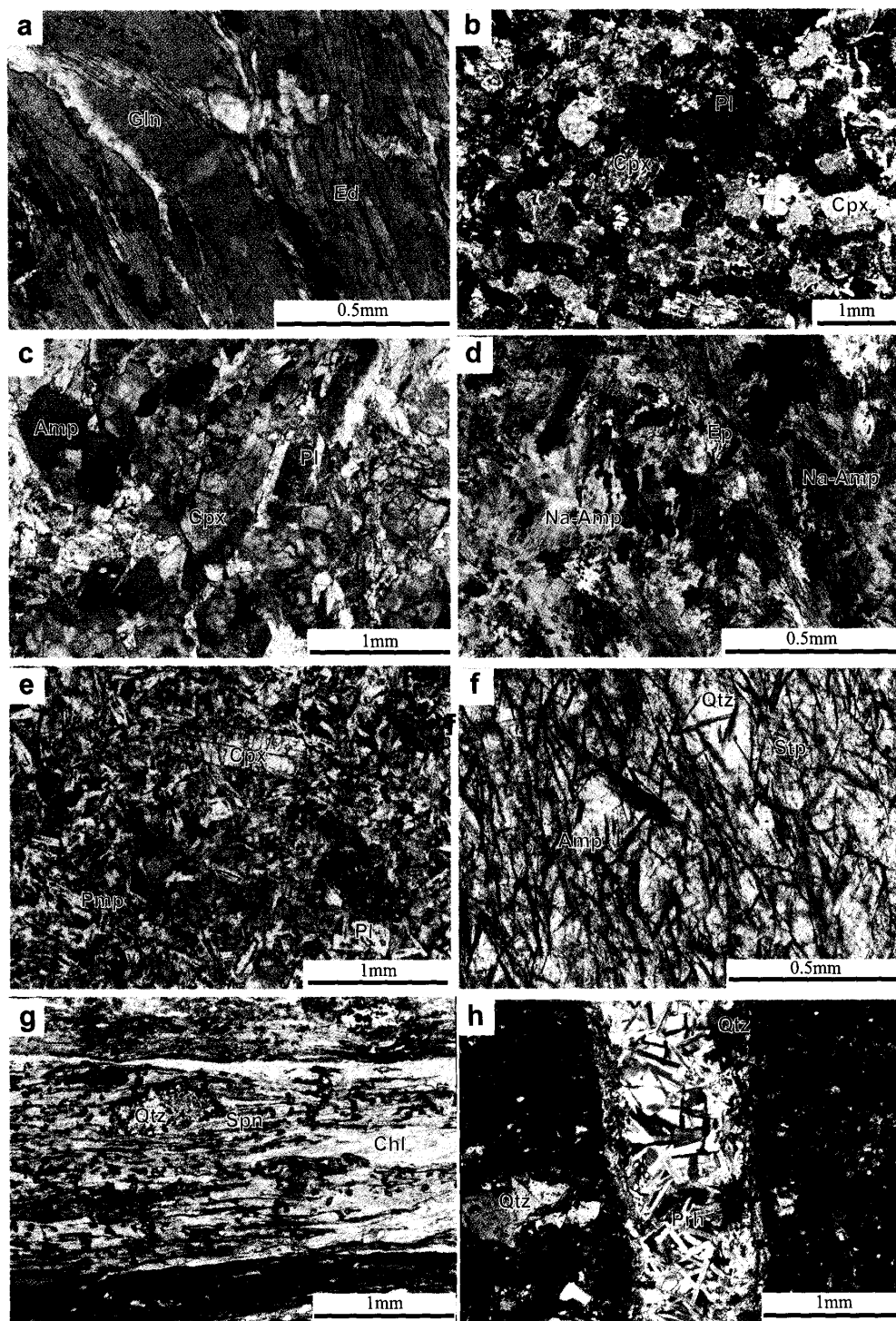


Plate IV

- a . KY102801. Brown-colored amphibole is partly replaced by pale blue-colored amphibole (open polar).
- b . KR072902. Clinopyroxene-bearing metagabbro (cross polar).
- c . DH092302. Metagabbro containing pale brown-colored amphibole and brown-colored amphibole (open polar).
- d . NN081302. Metadolerite containing deep blue-colored amphibole (open polar).
- e . DH092310-2. Metabasalt containing pumpellyite (open polar).
- f . DH092307. Metachert containing stilpnomelane and deep greyish blue-colored amphibole (open polar).
- g . UY102007. Green schist (open polar).
- h . Sandstone penetrated by a prehnite vein (cross polar) (Kiroko, Ogawa-machi).