

# 関東山地の四万十帯のホルンフェルス V

— 北都留郡小菅谷の泥質岩変成鉱物の産状と化学組成 —

加賀美英雄・谷口 英嗣<sup>1)</sup>

## はじめに

関東山地のホルンフェルス研究を始めて6年目になり、関東山地では多摩川支流の最南端に位置する谷に入ることになった。2001年夏には小菅村から大菩薩峠に到る尾根道のサンプリングをし、2002年夏には小菅川の妙見5段の滝を登破するルートの泥質岩熱変成状態を観察し、試料採集を行うことができたので、結果をまとめて報告する。

城西大学が位置している関東平野西縁の丘陵地帯には、関東堆積盆地を構成する上総層群の基底礫層、ないしは縁辺礫層が広範に分布している。この礫層のうち埼玉県坂戸市～飯能市付近に分布する礫層を飯能層または飯能礫層と呼んでいる。その飯能層の礫種の内、チャート礫の礫径分布を調べると、チャート礫が北西方向から由来したものであることを示した。北西延長方向には、秩父中・古生層が分布する関東山地北部が位置し、そこからチャート礫は古入間川を經由して運ばれたと考えられる。これに対して、ホルンフェルス礫の礫径分布を調べると、南西方向に位置する関東山地南部から由来したことを示す傾向があった。その方向には多摩川上流の甲府深成岩とその接触変成岩であるホルンフェルスが存在することから、ホルンフェルス礫はその辺りを起源とする可能性が指摘された（加賀美，1996）。

飯能層には、従来から花崗岩類やホルンフェルスの礫が存在することは知られていたが、その詳細な岩石学的性質は調べられていなかった。そこで一部のホルンフェルス礫の内容をEPMAを使って分析したところ、大部分は黒雲母帯のホルンフェルスであるが、堇青石帯のものも存在することが分かった（加賀美・谷口，1997；1998）。

飯能層のホルンフェルス礫が、関東山地の接触変成帯のどの辺りから由来したものか文献で調べたが、関東山地四万十南帯のホルンフェルスについては、甲斐駒ヶ岳の湯浅の報告（Yuasa, 1976）以外は殆ど無かった。しかし、熱変成に依って作られた斑状変晶分布の未発表資料が存在した（松田，1992；松田ほか，1992）。

その試料を手がかりに、1997年は手始めに柳沢川流域の塩山市一之瀬高橋付近を調べ、主と

---

1) 駒沢大学高等学校

して砂岩試料を採取して報告した（加賀美・谷口，1998：前出）。この試料中には流体による変成作用を示す貴重な資料が見つかった。1998年には、関東山地の笠取山に端を発する多摩川本流の一之瀬川の流域において、接触変成帯の調査を行ない、その結果を報告した（加賀美・谷口，1999）。この地域の四万十南帯に属する小仏層群下部は砂岩（一部に礫岩）が卓越し、甲府花崗岩体によって熱変成作用を受けていたが、層準的に最下部に相当し変成温度も本地域で最高温を示した。1999年は一之瀬川から柳沢川にかけての落合付近の泥質岩ホルンフェルスを選択的に採取して報告した（加賀美・谷口，2000）。マンガンザクロ石の存在が記録され、低温でもザクロ石相が出現することが示された。2000年には泥質岩が連続露出する泉水谷の堇青石相が確認され、本地域で初めて六連双晶の堇青石が記載された（加賀美・谷口，2001）。

この研究の発端は、飯能層の礫種の研究という極めて限られたものであるが、しかし関東山地の四万十帯では接触変成岩研究の例が少なかったので、出来る限り通常の変成岩研究を行うように努めた。ところで、飯能層の基底礫岩に何故興味があるかということ、筆者は飯能礫層はアルプスなどの赤色モラッセと呼ばれるものに相当すると考えており、関東山地の隆起と深く関係していると推定している（加賀美，1996：前出）。従って、関東山地のホルンフェルスの研究は、沈み込み帯のテクトニクスを考える上で極めて重要な問題の一つと認識している。

### 北都留郡小菅谷付近の地質概要と試料の採集地点

多摩川上流の奥多摩湖に掛かる深山橋を南にわたると小菅谷に入る。この谷をつめて、西に遡上すると山道の最高点である大菩薩峠（標高 1897 m）に達する。山道の 1600 m より高い山腹には、花崗閃緑岩が所々に露出している。また、小菅川を遡上して妙見の滝がある標高 1290～1440 m の辺りにも同岩体が分布する。ここに見られる甲府深成岩体は Shimizu (1986) の徳和岩体であり、また、角田 (1985) の広瀬花崗閃緑岩に当たる。それは甲府深成岩体の中では最大の大きさを持つ岩体で、南北約 40 km、東西約 20 km の規模である。田上らのフィッシュントラック法年代測定によると、 $12.5 \pm 1.4$  Ma の年代が与えられている (Ito et al., 1989)。

小菅谷に入って直ぐに大成という部落を通るが、ここは秩父累帯南帯に属する小河内層群最上部の大成層のタイプ地点である。酒井 (1987) によると、時代は白亜紀であるという。三頭山から北西に流れる玉川との合流点より手前で、五日市一川上構造線に切られて大成層は終わる。玉川合流点には、小仏層群下部の砂岩が露出している。

山梨県地質図編集委員会 (1970) によると、小仏層群は下部の丹波層と、上部の小菅層に分けられ、その境界は三頭山の南の鶴川から北西に延びて、本地域の小菅村池の尻を通り、丹波村に抜ける県道に沿って走る鶴川断層によって分けられ、断層東部の砂岩優勢部と、断層西部の泥岩優勢部に対応している。なお、酒井は山梨県地質図編集委員会の小仏層群全体を盆堀川層として

いる。盆堀川層は三頭山付近では、主として砂岩泥岩互層からなる部分が北傾斜の逆断層によって砂岩（礫岩）層と接している。一部に酸性凝灰岩や塩基性火山岩を挟む部分があり、層厚は1500 m 以上である。塩基性火山岩には枕状溶岩が含まれ、いわゆる異地性岩塊とみなされている。盆堀川層の時代は、含まれる放散虫化石群から白亜紀のアルビアンからカンパニアンにわたるとしている（酒井，1987）。

棚倉沢出会の手前付近には、珪質砂岩（チャート）が露出しているが、この岩相は、泉水谷での経験によると、小仏層群最上部に見られる特徴と似ている。棚倉沢出会からその西の、白糸の滝にかけては、泥岩優勢層が卓越する。泉水谷の例に倣えば、これは三倉層群に相当する。なお、酒井はこれを盆堀川層の泥岩優勢部にしている。

大菩薩峠に登る新登山道入り口は、赤沢川出会に作られているが、それを過ぎ、更に林道を南西に進むと、旧登山道入り口に達する。この付近に酒井の盆堀川層とその上位の小伏層の境界が引かれている。なお、酒井は盆堀川層と小伏層を合わせて小仏層群と再定義している。

小伏層は三頭山付近では、千枚岩質泥岩が主であるが、砂岩泥岩互層やチャート、塩基性火山岩などを挟む。火山岩はハイアロクラスタイトで、変成鉱物として緑れん石、アクチノ閃石を含んでいる。本層の層厚は3500m 程度と大変肥厚している。本層からは化石は未発見であるが、前後の関係から白亜紀後期としている（酒井，1987）。なお、酒井の盆堀川層と小伏層との境界は、山梨県地質図編集委員会（1970）によると、三倉層群の深城層と保川層との境界に相当する。

これより、登山道を上がっても、また小菅川を遡上しても、大菩薩峠を越えて甲府花崗閃緑岩に接するまで、三倉層群保川層または小伏層が分布する。

次に、著者らのサンプル地点で述べると、C2, C3 が丹波層、C4 が小菅層、C5～C18 が深城層、C19～C32 および M38～M41 が保川層に相当する。深成岩体の分布は、本地域と泉水谷との間にサカリ山（1541 m）があり、その山頂部には花崗閃緑岩が広く分布することが知られている。そこから大菩薩峠にかけての泉水谷と小菅谷を分ける分水嶺には、花崗閃緑岩が観察された。小菅村からの登山道が分水嶺に達するところ、丹波道会合点（1650 m）付近には花崗閃緑岩の円礫やマサが分布する（C22 と C23 の中間）。また、小菅川では、妙見の五段滝の三段と四段の中間地点（C33, C331；標高1290 m）から、天狗棚沢出会（C35；標高1440 m）までに、花崗閃緑岩が露出している。水平距離にして600 m、高度差にして150 m の岩脈である。ここでの熱変成としては Biotite～Cordierite 相までで、ザクロ石は形成されていない。

以下において、広瀬花崗閃緑岩との接触部からの距離に応じて、ホルンフェルスの採集地点を表示し、変成帯分帯を試みる（Fig.1）。なお、本論文ではコンタクト（接触点）を厳密に定義するのは難しいので、ザクロ石が出現する M411 をして、コンタクトからの距離0 m とした。同様に、M38～M41 も距離0 m とした。

累進変成作用の変成分帯の基準を Blackburn and Dennen（1994）によれば、Low と

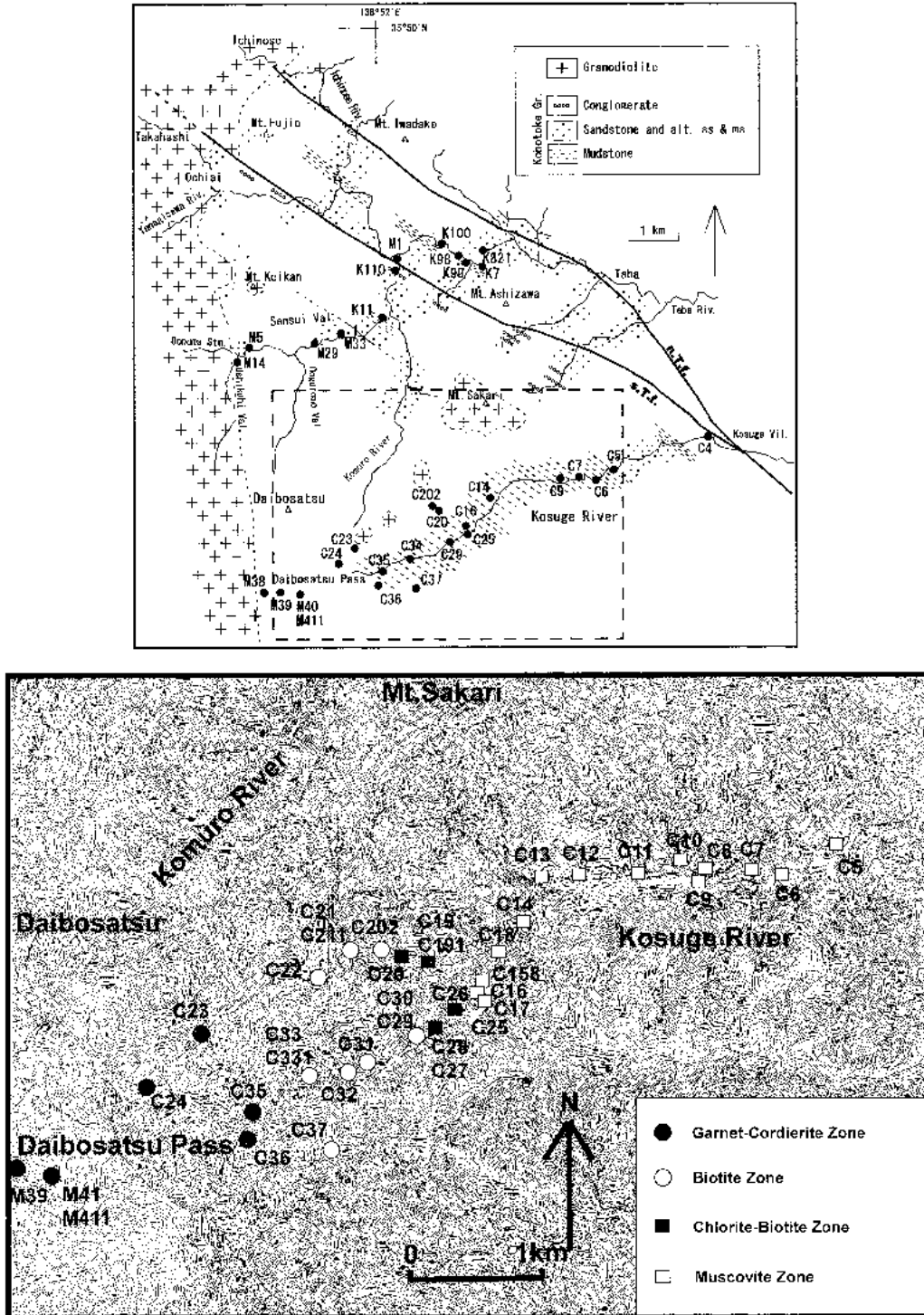


Fig. 1 Metamorphic zoning and sampling localities of hornfels along Kosuge Valley, Kitatsuru County, Yamanashi.

A part of Yanagisawa River area is modified from the map of Murata et al. (1986).

Medium Grade の境界は曹長石、緑泥石の消滅によって特徴付けられる。筆者らは層状珪酸塩鉱物の分類から、Garnet-Cordierite Zone, Biotite Zone, Chlorite-Biotite Zone, Muscovite Zone, Chlorite Zone の 5 帯に分類したが、そこで緑泥石が消滅するのは、C30 を例外として Biotite Zone に入ってからである。

前回の例にならって分帯すると、大菩薩峠の接触部の M411 にはザクロ石を産するから、(1) Garnet-Cordierite Zone (Medium Grade; 従来の堇青石Ⅱ帯) ということができる。この帯は正長石、灰曹長石、ザクロ石で特徴付けられ、随伴するのは黒雲母、白雲母である。その外側に 1600 m までに分布し、堇青石が多産することで特徴付けられる(2)Cordierite Zone (Medium Grade; 従来の堇青石Ⅰ帯) がくる。この帯は正長石、灰曹長石、堇青石の組み合わせで、随伴して黒雲母、白雲母がでる。次に(2)の外側 3100 m までに(3)Biotite Zone (Medium Grade; 従来の黒雲母帯Ⅰ) がくる。鉱物組み合わせは微斜長石、斜長石、黒雲母、白雲母、(曹長石) である。層状珪酸塩鉱物の量比から見ると、ここまでが Medium Grade 帯に区分することができた。そして、その外側に 3400 m までに(4)Chlorite-Biotite Zone (Low Grade; 従来の黒雲母帯Ⅱ) がくる。その鉱物組み合わせは緑泥石、白雲母、曹長石である。地層としてはここまでが保川層である。更に、その外側に 5500 m までに(5)Muscovite Zone (Very Low Grade; 従来の黒雲母帯Ⅲ) がくる。ここでは、黒雲母の有無で Low と Very Low Grade の区分をした。ここからは地層は深城層となる。

さらにその外側に(6)Chlorite Zone (Unmetamorphosed Zone) がくる。純粹でない長石類が多いのが特徴で、これを非変成の原岩としての緑泥石帯とする。

以上の各帯の分布を Fig. 1 に示した。

上述した変成分帯別に、試料採集地点をザクロ石産出地点からの距離を入れて示す (Table 1)。

#### (1) Garnet-Cordierite Zone (Medium Grade)

M411 (0 m) : 大菩薩峠の長兵衛山荘より東に上がる林道の大菩薩 2 号橋左岸。地層はここまではマサの上に転石状に露出しているが、ここでは基盤状に露頭を作る。標高 1640 m の林道の崖。

その他に、M38 (0 m), M39 (0 m), M40 (0 m), M41 (0 m) などの試料がある。

#### (2) Cordierite Zone (Medium Grade)

C24 (900 m) : 泉水谷と小菅谷を分ける分水嶺に、小菅村からの登山道が達するところは丹波道会合点 (1650 m) と言い、付近には花崗閃緑岩の円礫やマサが分布する (C22 と C23 の中間)。C24 は会合点から少し上がった標高 1810 m の地点で、サンプルは砂質頁岩である。

C23 (1300 m) : 小菅村登山道を丹波道会合点から少し下がったところで標高 1735 m に当た

**Table 1** Sampling localities with distances from appearance site of garnet

Site	Distance (m)	Formation Name	Comments
(Garnet-Cordierite Zone)			
M411	0	Hokawa Formation	Garnet
M38~M41	0		
C24	900		Dykes
C23	1300		
C36	1500		
C35	1600		
(Biotite Zone)			
C34, C37	2100		Dykes
C331, C33	2200		
C32	2400		
C22, C31	2600		
C211	2700		
C21	2800		
C30	3000		
C29, C202	3100		
(Chlorite-Biotite Zone)			
C28, C20	3100	Hokawa Formation	
C27	3200		
C261, C191	3300		
C26, C19	3300		
C25	3400		
(Muscovite Zone)			
C17	3500	Fukaki Formation	
C16	3600		
C158	3700		
C154	3800		
C18	3900		
C141	4100		
C14	4200		
C13	4400		
C121	4500		
C12	4700		
C11	5100		
C10, C9	5500		
(Chlorite Zone)			
C8	5500	Fukaki Formation Kosuge Formation Taba Formation Taba Formation	
C7	5900		
C6	6200		
C5	6600		
C4	8400		
C3	11100		
C2	12400		

るところ。サンプルは砂質頁岩である。

C35 (1600 m)：小菅川の妙見の五段滝の三段と四段の間地点 (C33, C331；標高 1290 m) から、天狗棚沢出会 (C35；標高 1440 m) までに、水平距離にして 600 m、高度差にして 150 m の花崗閃緑岩岩脈がある。C35 の黒色砂質頁岩はその直上に露出している。

その他に、C36 (1500 m) が含まれる。

### (3) Biotite Zone (Medium Grade)

C33 (2200 m)：小菅川の妙見の五段滝の三段と四段の間地点 (標高 1290 m) で、まさに花崗閃緑岩岩脈に接触している。サンプルは互層の泥質部に当たる。熱水の影響を受けた可能性が変成度に示されている。

C211 (2700 m)：小菅村登山道を分水嶺近くまで登ると、西にむかって登ってきたのが等高線に沿って南西に方向を変える。その変換点近くで、標高 1520 m の所。サンプルは黒色頁岩である。

C29 (3100 m)：小菅川林道終点より山越えして再度小菅川に出て遡上すると、わさび田がある。そこから 100 m 遡上すると、標高 1150 m になり南に上がる支流がある。その会合点である。サンプルは互層のなかの黒色頁岩。

その他に、C32 (2400 m)、C31 (2600 m)、C202 (3100 m) があげられる。

### (4) Chlorite-Biotite Zone (Low Grade)

C191 (3300 m)：小菅村登山道を西に向かって登り、標高 1300 m に達した地点。サンプルは砂質黒色頁岩。

C25 (3400 m)：小菅川林道終点より山越えしてすぐの尾根上の露頭。標高 1110 m の地点。砂泥互層の黒色泥岩。

そのほか、C30 (3000 m)、C27 (3200 m)、C261 (3300 m)、C26 (3300 m) があり、ここまですが保川層に属する。

### (5) Muscovite Zone (Very Low Grade)

C16 (3600 m)：小菅川林道終点手前の、日向沢出会の林道の崖。サンプルは塊状頁岩で、この辺りには黄白色の火山灰がしばしば挟まれる。標高 1035 m。

C18 (3900 m)：小菅村登山道を西からとりつき、合流点手前の標高 1145 m の地点。サンプルは黒色泥岩。

その他に、C158 (3700 m)、C154 (3800 m)、C141 (4100 m)、C13 (4400 m)、C121 (4500 m)、C11 (5100 m)、C10 (5500 m)、C9 (5500 m) などがあり、ここからは深城層になる。

## (6) Chlorite Zone (Unmetamorphosed Zone)

C8 (5500 m)：小菅川林道の白糸の滝手前にある，中黒茂沢出会の崖。標高は 850 m。サンプルは黒色泥岩。

C5 (6600 m)：小菅川林道の棚倉沢出会の崖。サンプルは黒色泥岩である。なお，ここが深城層基底に相当する。

そのほかに，C7 (5900 m)，C6 (6200 m)，C5 (6600 m)，C3 (11100 m) がある。

### 岩石薄片の顕微鏡観察

本地域の代表的な岩石として，(1)Garnet-Cordierite 帯の M411，(2)Cordierite 帯の C24，(3)Biotite 帯の C211，(4)Chlorite-Biotite 帯の C26，(5)Muscovite 帯の C16，さらに(6)Chlorite 帯の C8 を選んで，鏡下にみられる主要鉱物の特徴を写真で示す (Fig. 2)。

Fig. 2-A に示したのは M411 の薄片である。写真横幅の長さが 1 mm，オープンニコルの像である。写真中央左にあるザクロ石は右上から伸びてくる石英脈の先端に成長したように見える。左側にある大型結晶 2 個は堇青石である。それらを囲むように短冊形の結晶が成長しているのは黒雲母である。構成鉱物はザクロ石，堇青石，黒雲母，灰曹長石，石英である。

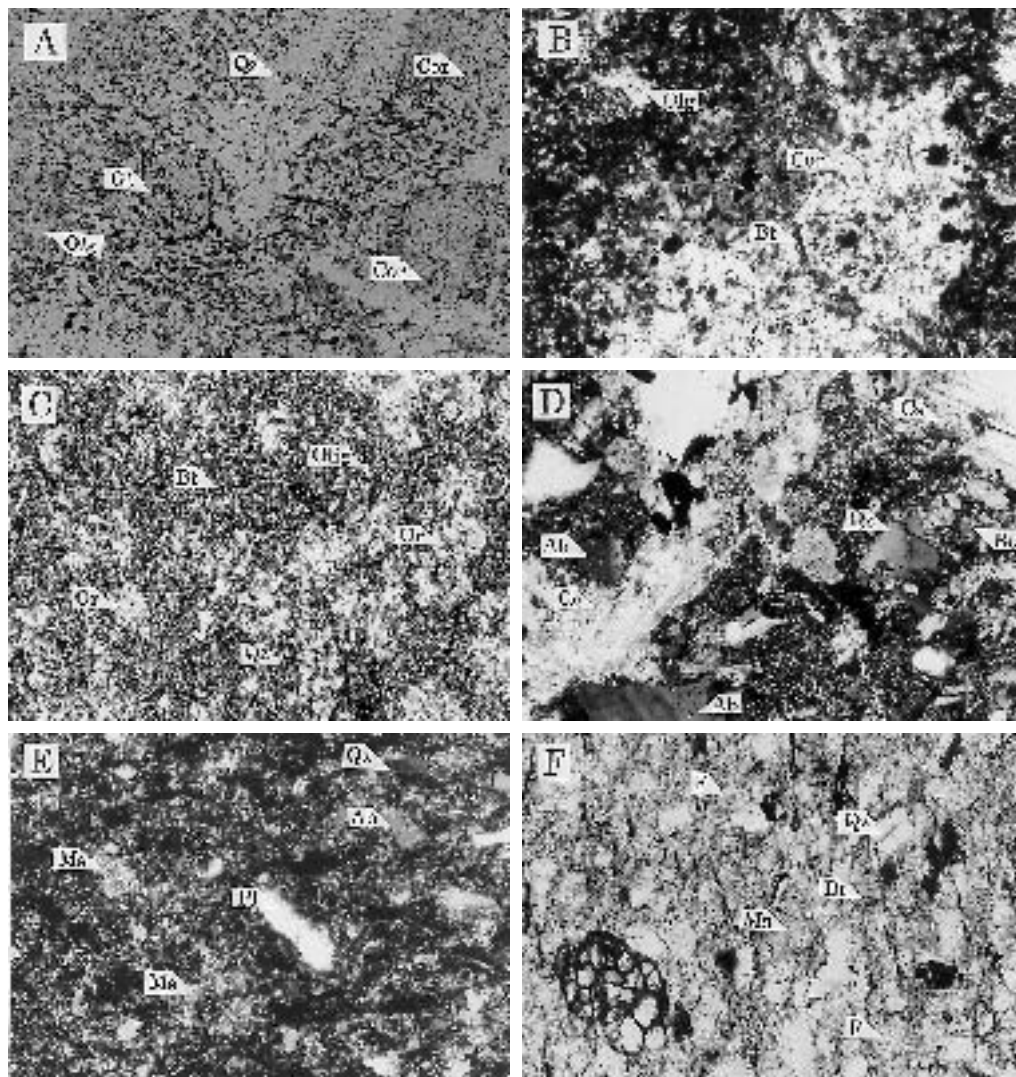
Fig. 2-B に示したのは C24 の薄片である。写真横幅の長さが 0.5 mm，クロスニコルの像である。画面中央の白色の斑状変晶は堇青石である。この堇青石の左上半部が，暗色を呈しているが，それは双晶であることを示している。中央に棒状の小結晶が見られるが，それは黒雲母である。この試料の構成鉱物は灰曹長石，アルカリ長石，白雲母，黒雲母，石英，堇青石である。

Fig. 2-C に示したのは C211 の薄片である。写真横幅の長さが 2.1 mm，クロスニコルの像である。写真全面に白色の斑状変晶が散るが，これを構成する鉱物は主に微斜長石，灰曹長石によるものである。ホルンフェルス基質の構成鉱物は灰曹長石，曹長石，アルカリ長石，微斜長石，白雲母，黒雲母，石英よりなる。この斑状変晶を造るために，石英が著しく消費されている様子が Table 4 から読みとれる。

Fig. 2-D に示したのは C26 の薄片である。写真横幅の長さが 1 mm，クロスニコルの像である。写真右上隅と，中央上から左下隅にかけて見られる黄白色の結晶は方解石である。ホルンフェルスの構成鉱物は石英，特に後述する Impure Quartz が著しく増加している。また，曹長石も多くなる。その他，アルカリ長石，微斜長石，白雲母，緑泥石，黒雲母よりなる。方解石の存在に反比例して黒雲母，白雲母の量が激減している。

Fig. 2-E に示したのは C16 の薄片である。写真横幅の長さが 0.5 mm，クロスニコルの像である。この写真は黒色の基質の上に全面に白雲母の変成鉱物が形成されている様子が見られる。黒





**Fig. 2** Microscopic observation of thin sections prepared for EPMA analysis. Refer to the text. Qz: quartz, Cor: cordierite, Gt: garnet, Olg: oligoclase, Bt: biotite, Or: orthoclase, Ab: albite, Ca: calcite, Ms: muscovite, Pl: plagioclase, F: impure feldspar

く見える部分でも、Impure アルカリ長石が識別されている。構成鉱物は、石英、曹長石、微斜長石などのやや粒径の大きい、歪角状の形状を示す鉱物が目立つが、基質をなす細粒の緑泥石、白雲母、曹長石が量的には多い。

Fig. 2-F に示したのは C8 の薄片である。写真横幅の長さが 0.5 mm、オープンニコルの像である。写真から明らかなように、構成粒子はより粗粒で、歪角状鉱物を多量に含んでいる。右下の黒色格子形の物体は微化石である。中央右側の短冊形鉱物は黒雲母であり、原岩構成物の一つである。構成鉱物は白雲母、緑泥石が含まれるが、Impure 長石類、特に微斜長石、アルカリ長

石が70%を占めている。

## ホルンフェルス変成鉱物の化学組成

### 1. 層状珪酸塩鉱物の鉱物組成

泥質岩の構成鉱物はきわめて細粒のため、EPMA分析に適さない部分が多いので、粉末法 X線回折によって層状珪酸塩鉱物の組成を決めた。

鉱物の濃集や分離は以下の手順に従った。サンプル約20gをタングステンカーバイド被覆の乳鉢で良く粉碎し、メノウ製のボールミル(Fritsch社)で約20分間かけて細粉化する。粉碎されたサンプルを蒸留水中に拡散し、沈降法に従い8ファイ(1/256mm)以下の粘土のみよりなる懸濁液を分離する。その懸濁液を自然沈殿させて、固相部分を自然乾燥させて試料とした。

分析装置は、城西大学理学部の理学 X線回折装置 RINT 100 V型を使用した。

分析結果のグラフ打ち出し図を示したが、同定した鉱物種は石英、斜長石、黒雲母、白雲母、緑泥石、堇青石である。各鉱物の特徴的な回折ピークを次に示す (Fig. 3)。

黒雲母：特徴的な回折ピークの位置を  $2\theta$  (単位は度) で示し、ピークの高さは  $x$  が最大でそれを 1.0 として括弧内に示した。まず、 $8.7(x)$  は黒雲母の主ピークであるが、白雲母が存在するときは重複する値を示す。次の  $26.4(x)$  は石英と重複するので使えない。結局、 $34.1(0.8)$  が重要な回折ピークで、白雲母が存在しても利用できた。このピークの高さを使い相対的量比を推定し、 $8.7$  ピークから黒雲母の量比を算出した。

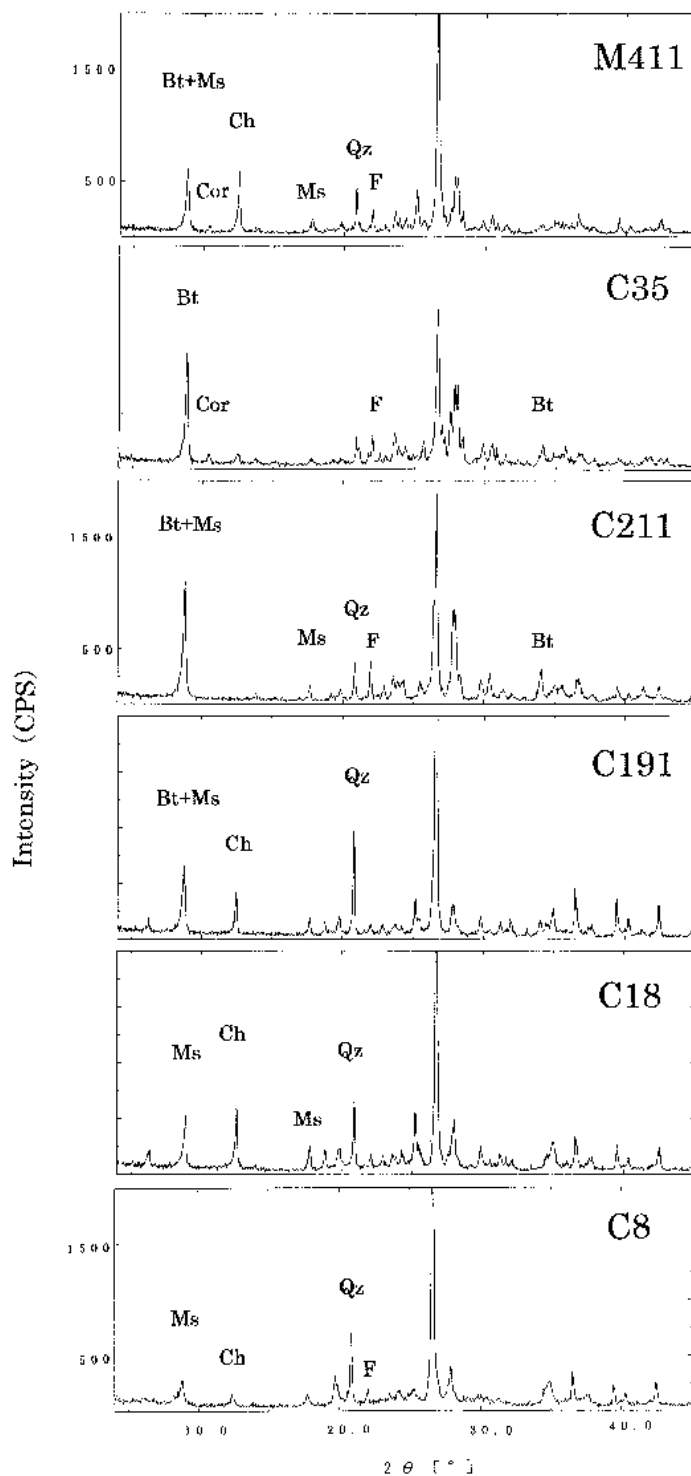
白雲母： $8.9(x)$  が主ピークであるが、上述したように黒雲母と重なる。次の  $17.8(0.8)$  と  $19.8(x)$  が他の鉱物と重複しない独自のピークである。このピークを使い相対量比を推定し、 $8.9$  ピークから白雲母の量比を計算した。その他、 $26.8(x)$  は石英の  $26.6(x)$  と重複し、 $27.6(0.8)$  は斜長石の  $28.0(x)$  と重複する。また、 $34.9(x)$  は斜長石の  $35.1(0.6)$  と一部重複するが、 $(0.6)$  とピーク高が小さいので、白雲母のピークと見なした。

緑泥石： $12.5(x)$  が主ピークで、他との重複がないので量比が算定できる。その他、 $6.3(0.8)$  や  $18.7(0.3)$  のピークが出るのが特徴である。

堇青石：2帯のほとんどの試料に堇青石のピークが認められた。主ピークは  $10.35(x)$  であり、他の鉱物と重複することがないので、明瞭に識別される。

石英：主ピークは  $26.6(x)$  であるが、黒雲母、白雲母と重複するので、 $20.8(0.3)$  を使い相対量比を推定した。ここには白雲母の  $20.6(0.2)$  が重なるが白雲母は量的に多くないので、石英のピークとみなした。

斜長石：主ピークは  $28.0(x)$  であるが、白雲母の  $27.6(0.8)$  と重複するので、 $22.0(0.8)$  を使って量比を推定した。ここには白雲母の  $22.4(0.2)$  が重なるが、その値  $(0.2)$  が大きくないので、



**Fig. 3** X-ray diffraction analysis of phyllosilicate minerals  
 Bt: biotite, Ms: muscovite, Ch: chlorite, Cor: cordierite, Pl: plagioclase, Qz: quartz

斜長石のピークとみなした。

## 2. 泥質変成岩の層状珪酸塩鉱物による鉱物組合わせ

本地域の泥質変成岩の細粒部分は次のような鉱物組合わせを示す (Table 2)。この鉱物組合わせは層状珪酸塩鉱物の量比の多い順に列べて、その出現の仕方から判断した。

**Table 2** Mode of occurrences of phyllosilicate minerals  
B: biotite, M: muscovite, Ch: chlorite, Co: cordierite

M411	(Garnet-Cordierite Zone) Ch570, M360, B230, Co70	
C24	(Cordierite Zone) B490, M270, Co170	
C23	B420, M200, Co80	
C36	Ch300, M290, B210, Co70	
C35	B700, M270, Ch100, Co100	Contact dykes
C33	(Biotite Zone) B1000, M790, Ch80	Contact dykes
C32	M550, B390	
C31	B520, M510	
C211	B730, M330	
C202	B300, M220	
C29	B430, M400	
C30	(Chlorite-Biotite Zone) Ch300, M120, B80	
C27	B580, M360, Ch170	
C261	Ch420, B190, M170	
C191	Ch390, M330, B270	
C26	Ch910, M210, B180	
C25	Ch440, M350, B60	
C16	(Muscovite Zone) M660, Ch500, B20	
C158	Ch720, M390	
C154	Ch600, M300, B20	
C18	Ch550, M480	
C141	Ch1270, M190	
C13	Ch710, M270, B20	
C121	Ch720, M520	
C11	Ch450, M40	
C10	Ch390, M310, B20	
C9	Ch260, M220	
C8	(Chlorite Zone) M420, Ch220	Broad muscovite peaks looks like illite
C7	M300, Ch120	
C6	M340, Ch70	
C5	M220, Ch110	
C3	M110, Ch70	

分帯	鉱物組合せ	主要構成鉱物
----	-------	--------

(1) 緑泥石 白雲母 黒雲母 灰曹長石 ザクロ石

本帯では、堇青石の反射ピークが認められるのが特徴である。花崗閃緑岩の底盤上に載る M411 の産状から考えて、また、緑泥石や白雲母の量比が増加している事実もあり、これは流体の変成作用の影響と考えられる。

(2) 黒雲母／白雲母 堇青石 灰曹長石 アルカリ長石 堇青石

本帯では、堇青石の反射ピークが認められるのが特徴である。小菅川に貫入している花崗閃緑岩岩脈の上盤に当たる C35 と C36 において、緑泥石や白雲母の量比が増加している。これは流体の変成作用の影響と考えられる。

(3) 黒雲母 白雲母 灰曹長石 アルカリ長石 微斜長石

小菅川に貫入している花崗閃緑岩岩脈の下盤に当たる C33 と C32 において、緑泥石や白雲母の量比が増加している。これは流体の変成作用の影響と考えられる。

(4) 緑泥石 白雲母 黒雲母 曹長石 アルカリ長石 灰曹長石

C27 と C261 で黒雲母の量比が増加しているが、何らかの熱的影響があったものと考えられる。曹長石化作用が見られる。緑泥石と曹長石が見られることから、Low Grade Zone に分類される。

(5) 緑泥石 白雲母 曹長石 灰曹長石

本帯では、黒雲母が殆ど見られなくなる。Impure feldspar にアルカリ長石が多産するのが目立った特徴である。

(6) 白雲母 緑泥石

非変成帯のもので、白雲母と表記しているが、ピークは幅広い Illite 的反射記録を示す。なお、A'KF 図にプロットするとこの白雲母は緑泥石の領域に入るもので、かつて Chlorite-type muscovite として報告した（加賀美・谷口，1999）。Impure feldspar は多量の微斜長石とアルカリ長石を含んでいる。

### 3. 石英の X-ray 強度に関する予察的データ

Murata and Norman (1976) は、石英質岩の X 線回折において、 $2\theta$  が  $67.74^\circ$  に現れる石英 212 面のピーク強度を  $b$  とし、 $67.82^\circ$  に見られる鞍部からの高さを  $a$  として石英結晶度  $CI = a/b \times 10$  となると提案した。三上ら (2002) の論文によると CI 値と石英平均粒径の相関は比較的良好に見える。

そこで、小菅川の試料について計測したのが Table 3 である。これを見ると、石英 100 面でははっきりしなかったのに、石英 212 面では M35 と、C191 および C261 のところで強度 ( $b$ ) が著しく大きくなっている。さらに、CI 値でははっきりしないのであるが、そのような所で値が

**Table 3** Peak intensity of quartz

	Quartz 100 Intensity	Quartz 212 Intensity b	Quartz 212 Intensity a	Quartz CI a/b×10
M411	400	480	350	7.3
C24	380	340	280	8.2
C23	320	400	270	6.8
M35	270	930	720	7.7
C211	320	300	230	7.7
C29	510	490	370	7.6
C261	780	690	440	6.4
C191	920	900	670	7.4
C25	500	530	390	7.4
C16	620	660	490	7.4
C18	600	620	480	7.7
C8	330	280	220	7.9

小さくなると予測できるのではないかと見ている。いずれにしても、このような変化が観察される場所が、後に述べるように流体の影響とみられるなら興味深い。

#### 4. 電子線源 X 線マイクロアナライザー (EPMA) 分析

ホルンフェルスの主要構成鉱物の化学分析は、東京大学海洋研究所の波長分散型 EPMA (日本電子製 JCXA-733) を用いて行った。分析方法は谷口・小川 (1990) に従って行った。分析条件は加速電圧 15 KV, 照射電流  $1.2 \times 10^{-8}$  A およびビーム径 1~4  $\mu$ m であった。分析に際しては、主要 13 元素 (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Cr, V, Ni, P) の酸化物について標準試料を再測定して精度を確認した。一回の分析における測定は 10 秒間で、3 回計測している。分析値から各鉱物の分類・検証には Deer et al. (1982) を参照した。

#### 5. 全石英の化学組成と産出頻度

従来、EPMA 分析の結果、100% に満たぬものや Fe などの混入がみられる分析値は排除してしまい、発表されなかった。著者らは石英の研究に、これら不純物を含んだ資料が使えないものか検討した結果、産出頻度としては十分に意味があると判断するようになった。特に、EPMA のライン・アナリシス法を使った産出頻度の検討は、鉱物共生を考慮する上で避けて通れないと確信している。

不純物を含んだ石英 (Impure quartz) を Fe の含有量によって、0.3 より少ないものは長石の inclusion になると考え、斜長石 (Pl), アルカリ長石 (Ak), 曹長石 (Ab), 正長石 (Or) と

区別した。Fe が 1.0 より大きい場合は、雲母類 (Mi) として区分した。尚、数は少ないが、燐灰石やチタン鉄鉱の可能性のある inclusion はその他 (Ot) として区分した (Table 4)。なお、この区分は将来において試料数が充分多くなった時点で、慎重に再検討されるものとする。

Table 4 の 1 列目は各変成帯の代表的なサンプル、2 列目は純粋な石英の産出頻度 (%) を示す。これを見ると、C261 から C23 にかけて石英は 20% 以上と多産する。しかし、C211 と C35 は石英が少ない。これは全岩分析値で K が異常に多い地点であり、石英が長石に変わったためであると考えられる。特に、C33 から C23 は Impure quartz と比べて石英の方が多くなるのであるから、Impure quartz を消費して石英が造られたと言って良いであろう。これに対して Impure quartz は C18 から C29 にかけて著しく多くなることが、3 列目から読みとれる。なお、2 列目と 3 列目を加算したのが、4 列目の合計 (Sum) である。3 列目の値が C261 において、最大の 35% に達する。これは 5 列目の母集団 (Population) が 162 に対しての 35% であるから、大変な数である。しかも、その組成を見ると雲母類 (10%)、微斜長石 (9%)、アルカリ長石 (8%) となっている。これは、変成作用の初期にこれらの inclusion が急速に造られ始めていることを示していると考えられる。このような情報を Impure quartz は与えてくれるので、貴重な資料といえる。なお、この辺りにおける石英の量的増加の一部は、長石類の分解による寄与もあり得ると考えている。

最右翼の 6 列目に全石英 (石英 + Impure quartz) に対する Impure quartz の割合を示している。これをみると、変成度が進むと石英が多くなり、その分だけ Impure quartz が減少する様子が読みとれる。

Table 4 Mode of occurrence of quartz

	Normal Quartz	Impure Quartz						Sum Impure Qz / Whole Qz	Population	Impure Quartz Ratio
		Pl	Ak	Ab	Or	Mi	Ot			
M411	1	1					1	2/3	201	63
C24	10		2		1			3/13	255	21
C23	25		2			3		5/30	216	17
C35	4	1	1		1	2		5/9	134	58
C33	25	1			2	1		5/30	169	14
C211	7	1	3		4	1		9/16	243	55
C29	20	1	8	1	4	6	1	21/41	177	51
C261	24	4	8	3	9	10		35/59	162	59
C25	7		6	1	2	8	1	17/24	191	72
C16	10		6	1	6	14		27/37	255	73
C18	5		2		3	11		16/21	176	76
C8	2		3		2	4		9/11	185	84

## 6. アルカリ長石・斜長石の化学組成と産出頻度

長石類の産出頻度を見るため Table 5 を示した。石英と同じ考えで、純粋な長石類と不純物を含む長石類 (Impure feldspar) を区別し、各々の割合を示している。まず、(6)帯 C8 の Impure feldspar が 64% であり、(1)帯の M411 のそれが 16% と全体的に減少する傾向が見られる。これに対して、C8 の長石類は 11% であるのに、M411 のそれは 48% と増加していることから、変成に伴って Impure feldspar を消費して純粋な長石類が造られていることは明らかである。

その変化を、(6)帯の方から見てみると、同帯では Impure feldspar が圧倒的に多く、微斜長石 (37%) やアルカリ長石 (23%) の合計が全母集団の 64% に達している。この傾向は次の(5)帯でも継続するが、C16 になると、やや曹長石と斜長石が増加する傾向が見られる。(4)帯では曹長石、斜長石、アルカリ長石が多く、An-Ab-Or 三角ダイアグラムでは曹長石のコーナーに集中する様子が見られる (Fig. 4)。Impure feldspar には、アルカリ長石が多い。(3)帯にはいると一転して正長石が多くなり、ついで斜長石が多くなる。Impure feldspar では、前半で曹長石が後半で正長石とアルカリ長石が多くなる。(2)帯では、C24 に見られるように斜長石が多く、ついでアルカリ長石が多くなる傾向を示す。しかし、C35 では斜長石が減り代わってアルカリ長石が増加している。この場所は花崗閃緑岩岩脈の直上に当たるので、その影響を受けたものと考えられる。(1)帯になると斜長石のみに変化する。

長石類の組成変化を視覚的に示すために、(1)帯の M411、(2)帯の C24、(3)帯の C29、(4)帯の C261、(5)帯の C16、および(6)帯の代表として C8 を選んで、長石類の An-Ab-Or 三角ダイアグラムで表示した図を掲げた (Fig. 4)。

**Table 5** Mode of occurrence of feldspar

	Normal				Sum	Impure				Sum/Total	Popula- tion	Impure Feldspar Ratio
	Pl	Ak	Ab	Or		Pl	Ak	Ab	Or			
M411	48				48	15	1			16/64	201	25
C24	22	18	5	2	47	2	4	1	2	9/56	255	17
C23	20	13	1	1	35	4	2		0.4	6/41	216	16
C35	12	29	4	4	49	1	3		1	5/54	134	10
C33	19	2	1		22	4	2			6/28	169	23
C211	15	6	5	9	35	9	15	1	16	41/76	243	32
C29	2	8	5	9	24	2	5	12	5	24/48	177	49
C261	7	5	12	3	27	2	3	1	3	9/36	162	25
C25	8	9	7	5	29	5	15	3	7	30/59	191	50
C16	9	2	8	1	20	3	16	1	8	28/48	255	58
C18	2	0.5	5	3	11		14	1	19	34/45	176	78
C8	2	3	4	2	11	1	23	3	37	64/75	185	79



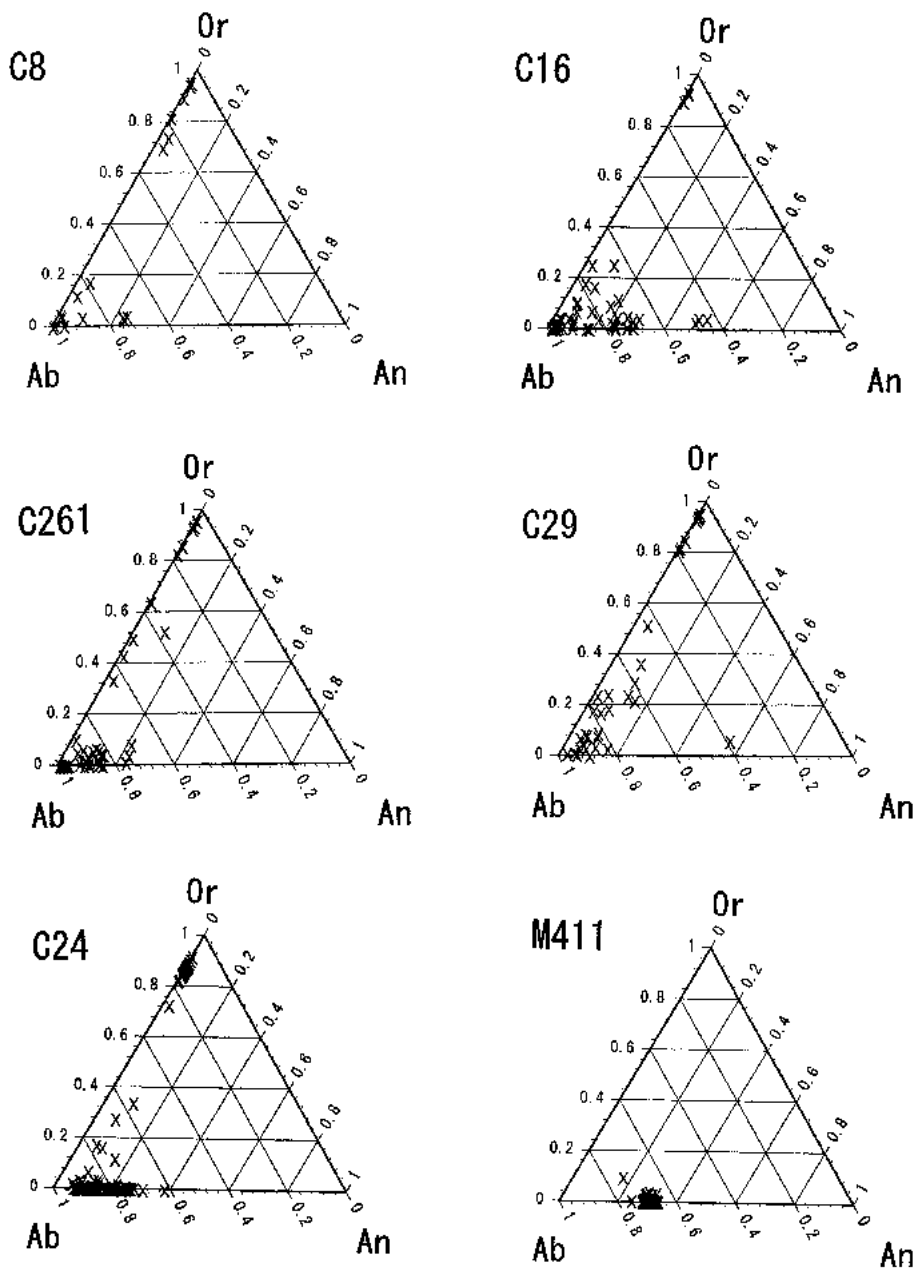


Fig. 4 An-Ab-Or diagram of feldspar

### 7. EPMA による“全岩分析値”

EPMA 分析で、Impure quartz と Impure feldspar の有効性が確認され、その産出頻度 (Mode of occurrence) が全母集団に対して議論できるようになったので、次に“全岩分析”と

しての有効性を述べることにする。

著者らは薄片の顕微鏡観察をして、代表的な範囲について EPMA のライン・アナリシスを行った。測定間隔は 75  $\mu\text{m}$  で、最大 255 測点である。途中にボイドがあればそれは除くので、測定数は場所によって異なる。なお、酸素量は最も多い長石類に合わせて 8 とした。こうして得られた分析値を、代表的な元素、Si, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K の 8 種について合計し、測定数 100 に換算したものを Table 6 に示す。横軸にサンプル地点を、縦軸に主要 8 元素（単位は afu）と Si-Al, Fe-Mg などを示した（Table 6）。

上から見て行くと、まず Si であるが、この元素は Al と組み合わせた Si+Al の値を見ても分かるように、390 台とほぼ一定している。ただ、C261 において Si が 335 と桁はずれに大きくなっており、ここでは Impure quartz の量も増えている。

Fe+Mg であるが、C23 の値が大きい、ここでは鉄鉱物がたまたま引掛かったためと考える。これを除くと次に大きいのが M411 である。M411 では Mn の値も他の 2 倍は多く注目される。この Mn はザクロ石に入ることで消費された。

次に Ca であるが、C261 と M411 において他の数倍ほども多くなっている。C261 では明らかに方解石岩脈を形成しており、そのような外的寄与があったものと考えられる。

そして Ca の増加分だけ Fe+Mg が減少している。M411 でも Ca は多いが、ここではアパタイトとして基質中に含まれている。

Na はほぼ全サンプル様に 20 程度の値を示しているのであるが、M411 において他の 2 倍の多さを示しており、他の成分 Ca, Mn などと共に特異である。

最後に K であるが、C35 において他の 2 倍弱の増加振りである。この地点は小菅川花崗閃緑岩岩脈の直上に当たるので予想された地点であるが、K が増加してアルカリ長石を多量に形成している。これら K, Na, Ca はいずれも Volatile 成分であるから、これらの元素が多く含ま

Table 6 'Whole rock analysis' by EPMA

	Chl Zone	Mus Zone			Chl-Bio Zone		Biotite Zone			Cordierite Zone			Gar Zone
	C8	C18	C16	C25	C261	C29	C211	C33	C35	C23	C24	M411	
Si	282.35	292.13	319.13	299.49	335.40	321.88	288.44	291.30	274.46	294.84	281.49	258.42	
Al	114.65	98.58	76.59	94.15	52.51	71.34	99.85	99.01	117.21	85.20	109.47	119.80	
Fe	15.75	24.08	12.91	11.95	6.09	14.10	18.21	19.48	20.08	37.79	18.05	24.75	
Mn	0.47	0.46	0.12	0.18	0.27	0.16	0.22	0.37	0.33	0.29	0.37	0.81	
Mg	10.73	14.51	7.02	9.41	3.74	6.79	12.62	12.50	15.25	9.97	11.97	15.91	
Ca	4.20	1.52	4.54	8.11	23.09	3.41	5.94	5.84	3.93	7.89	6.44	21.81	
Na	18.52	13.80	22.43	24.45	23.19	25.24	29.77	22.73	20.73	22.36	32.37	47.94	
K	29.96	21.09	15.15	21.63	9.77	18.01	32.01	24.38	41.30	19.58	29.79	14.03	
Si+Al	397.00	390.72	395.72	393.64	387.92	393.22	388.29	390.31	391.67	380.05	390.96	378.21	
Fe+Mg	26.48	38.59	19.93	21.35	9.83	20.89	30.82	31.98	35.33	47.76	30.02	40.66	
An	0.08	0.04	0.11	0.15	0.41	0.07	0.09	0.11	0.06	0.16	0.09	0.26	
Ab	0.35	0.38	0.53	0.45	0.41	0.54	0.44	0.43	0.31	0.45	0.47	0.57	
Or	0.57	0.58	0.36	0.40	0.17	0.39	0.47	0.46	0.63	0.39	0.43	0.17	

れることは、流体による変成がおこなわれた証拠と判断される。

このように“全岩分析値”の利用は、大変効果的であり、本地域には C261 の Ca, C35 の K, それに M411 の Na と、それぞれ性質の違う 3 か所の流体貫入の存在が見えてきたのである。

## 8. 白雲母の化学組成

白雲母の化学式は  $K_2Al_4Si_6Al_2O_{20}(OH)_4$  と表せる。白雲母は同じ dioctahedral グループの leucophyllite  $[K_2Mg_2Al_2Si_8O_{20}(OH)_4]$  ~ celadonite  $[K_2Fe_2Al_2Si_8O_{20}(OH)_4]$  と固溶体関係にある。白雲母ではこの間に、



の置換が生じている。ここに  $M=Mg, Fe$  であり、この置換を Tschermak 置換といい、phengite 系の白雲母を形成する。Tschermak 置換のうち、Mg, Fe 比に着目すれば、この系は  $X_{Fe}$  で記述することができる。また、(1)式に従えば左辺の全アルミ量は置換の程度を知ることができる。

次に、フェンジャイト・トレンド（以下 PhT と表す）であるが、PhT は  $[Fe+Mg+Ti+(Si-6)]$  と表し、その範囲は 0 付近から 6 にわたる (Garcia-Casco et al., 1993)。PhT=0 が白雲母であり、PhT=6 でリュウコフィライトとなる。これは Mg, Fe の量的インデックスとして使える。この二つを組み合わせ示したのが Fig.5 である。

白雲母の PhT の値を変成帯毎に、C8, C18, C26, C211, C24, M411 の 6 地点について示す。

まず、(6)帯の C8 では、主体をなす PhT 値は 1.5~3.5 で、Al の値は 4.0~5.8 afu である。Tschermak 置換は全般にもれなく生じているといえる。

(5)帯の C18 では、PhT は 1.8~5.0 と高い値を示し、その分 Al の値は 3.5~5.4 afu と小さくなっている。Tschermak 置換がさらに進んでいるといえる。

(4)帯の C26 では、PhT は一転して 1.6~2.0 と集中し、かつ小さな値となる。Al の値は 5.2~5.6 afu に集中し、純粋な白雲母に近づく。

(3)帯の C211 では、PhT は 2 つに分かれる。1 つは 1.0~1.6 とさらに純粋な白雲母に近づくものと、PhT の値が 3.0~5.0 とフェンジャイト化したものである。前者の Al の値は 5.6~6.2 afu、後者の範囲は 3~5 afu となっている。

(2)帯の C24 では、PhT 値が 0.8~1.0 と限りなく白雲母になり、一方フェンジャイト化したものは Phlogopite-Eastonite 線上に近づくことが読みとれる (Monier and Robert, 1986)。

(1)帯の M411 では、PhT 値が 3~4.5 と純粋な白雲母が消えてしまい、フェンジャイトのみとなる。それに伴って、Al 値も 3.4~4.0 と極めて小さな値をとっている。

以上みたように、白雲母が環境変化に伴い明瞭に変化しているので、有効に利用できた。雲母類の産出頻度は Table 7 に、EPMA データは Table 8 (後出) に示す。

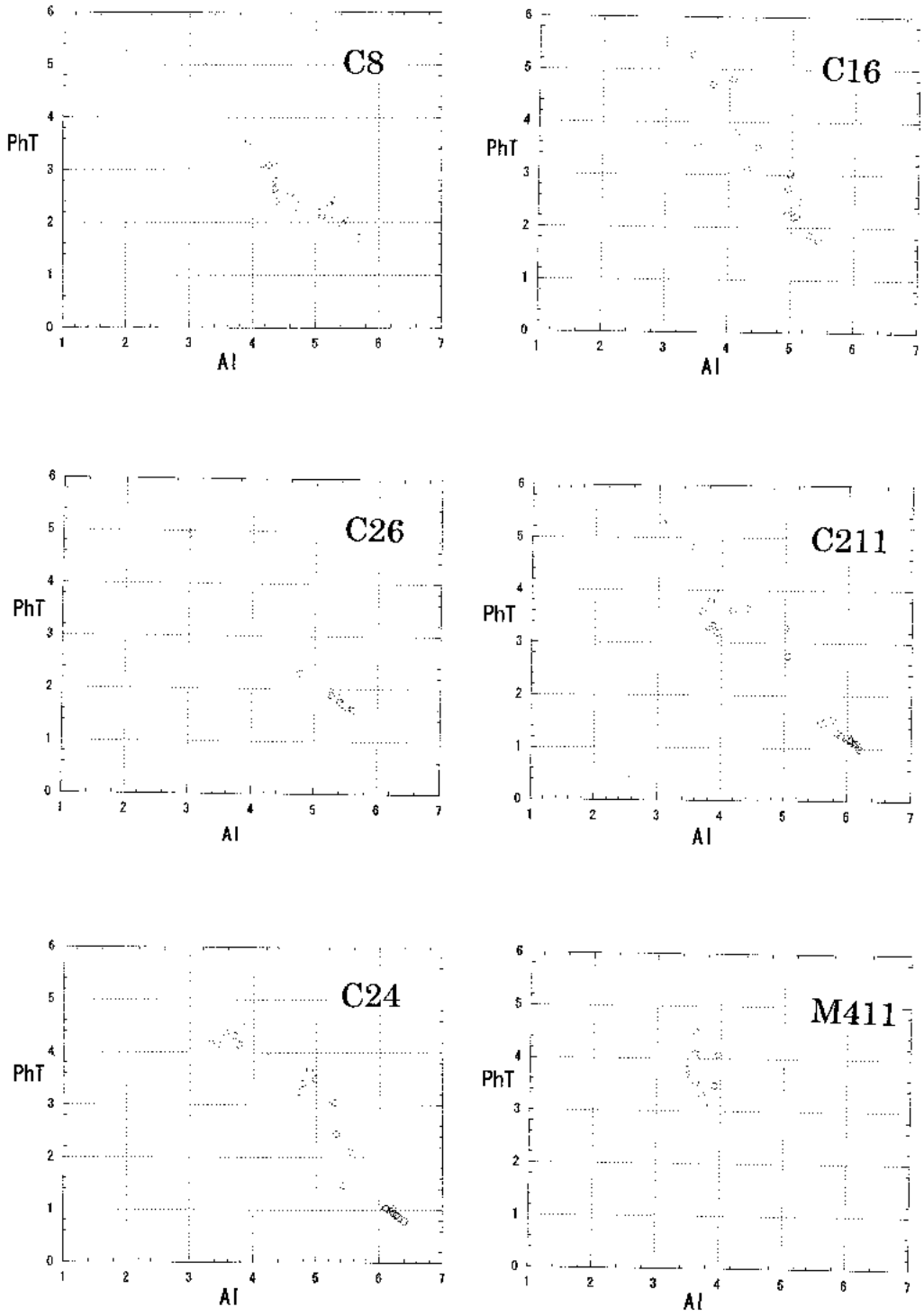


Fig. 5 PhT versus Al relationship of muscovite

**Table 7** Mode of occurrence of micas and other minerals

	Normal					Sum	Impure						Sum	Popula- tion	Impure Mineral Ratio
	Bi	Ms	Ch	Co	Gr		Bi	Ms	Ch	Co	Gr	Ot			
M411	11	6		1	1	19	6	2	1	2	2	0.4 <sup>1*</sup>	13	201	41
C24	2	11	1	9		23	1	3		1	1	1 <sup>2*</sup>	7	255	23
C211	3	9				12	11	6	2	1			20	243	63
C26	1	5	3			9	1	2	2			2 <sup>3*</sup>	7	190	45
C18		13	1			14	5	8	3		1	1 <sup>4*</sup>	18	176	56
C8		18	1			19	3	13	3		1		21	185	52

1\*: Apatite 2\*: Irons 3\*: Calcite 4\*: Irons

### 9. 黒雲母の化学組成

黒雲母の化学組成は Fe-Mg 固溶体変化に比例して変化する。この変化は  $X_{Mg}$  によって記述するのが普通であるが、黒雲母の Solidification Index (Lalonde and Bernard, 1993; 以下 SI と省略する) と良い相関を示すことから、本論文では  $SI = (MgO \times 100) / (MgO + FeO + Fe_2O_3 + Na_2O + K_2O)$  を用いて記述することにする。SI は元来火山岩などの累進的結晶化作用を示す指数であるが、それを黒雲母に適用したのである。

また、Al は雲母類の骨格を構成する主要な元素であるので、その Al と SI を x 軸と y 軸にプロットしたのが Fig. 6 である。SI の値は 18~22 と比較的一定の値に分布している。これに Ti (便宜的に 100 倍にしてある) を加えた図にしてある。

C26 を見ると、高アルミナ (3.7~4.0) で、低チタン (<0.22) であることが分かる。黒雲母のアイソグラッド付近では、白雲母的な性質であることを示している。

C211 になると、Al 値の分布はばらけてくるが、なお主体は 3.7~4.0 にあり高アルミナといえる。チタンはやや増え 25~33 と中間の値を示す。

C33 を見ると、前の例から考えて 3 種の黒雲母があるといえる。Al の値が 3.9~4.2 で、チタンの値が <2.5 の高アルミナ、低チタンの第 1 グループ。Al の値が 3.6~3.8 で、Ti の値が 0.23~0.32 にかけての中間型の第 2 グループ。Al の値が 3.4~3.7 で、Ti の値が 0.35~0.46 の低アルミナ、高チタンの第 3 グループである。

C24 では様子が一変する。ここでは高アルミナのみ (3.8~4.1) となり、チタンの値も低チタン~中間型 (0.15~0.37) となる。堇青石を作る作用は、黒雲母を白雲母化するのであろうか。

M411 にいたり、本地域の黒雲母は黒雲母本来の性質を示すようになる。Al の値は 3.4~3.7 と低アルミナとなり、Ti の値は 0.37~0.47 と高チタンの安定な結晶を示している。

黒雲母の EPMA データは Table 9 (後出) に示す。

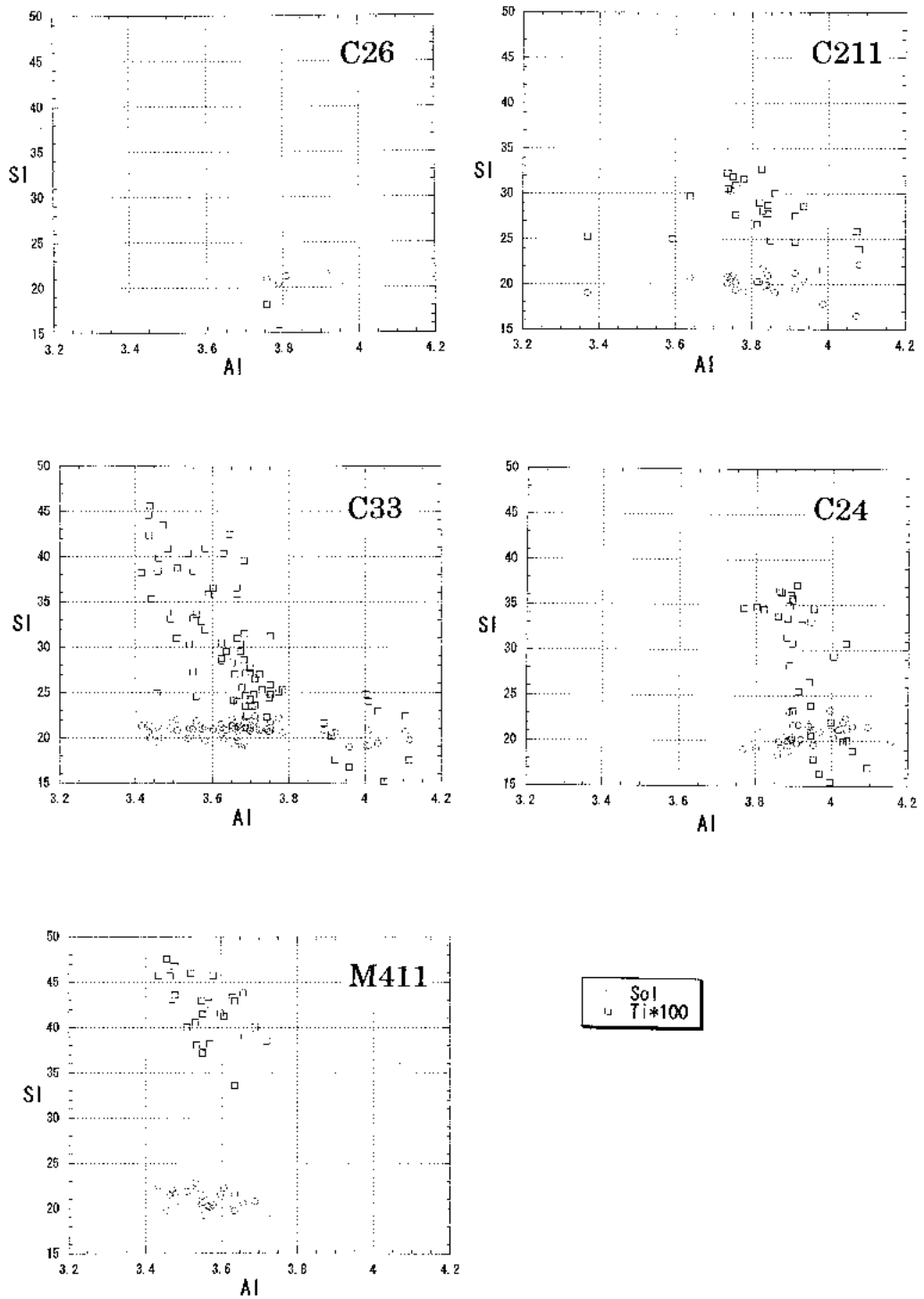


Fig. 6 SI and Ti content versus Al of biotite

10. 堇青石の  $X_{Mg}$  とチャンネルカチオン (Na+K)

今回の調査によって堇青石が得られた地点は M411, C24, C23, C35 の 4 地点である (Table 10 : 後出)。この表に載せた分析値から  $X_{Mg}$  とチャンネルカチオン (Na+K) をプロットしたものを Fig. 7 に示す (Pereira and Bea, 1994)。これを見ると、 $X_{Mg}$  の値が集中するのは 0.47~0.56 であり、特に C24 は Mg に富んでいると言える。少なくとも多摩川系の関東山地では Mg に富んでいる方といえる。

M411 では三連双晶の結晶がみられた。このような扇形回転双晶 (sector trilling) の形成については北村・尾崎 (1998) の議論がある。まばらな核形成が集まった堇青石斑状変晶の例として C24 の写真を示す (Fig. 2-B)。

今までに落合、一之瀬、泉水谷地域で得られた全ての堇青石採集地点を上げると、K10, K143, K55, K56, K57, K26, K66, K31, M5, M14, M21, M22, M24, M25 の 14 地点となる。このうち最も Fe-rich なのは M14 で、 $X_{Mg}$  は 0.2~0.4 を示す。次に高いのは K56 で、0.47~0.48 である。

一方、多摩川系関東山地で、今まで最も Mg-rich の傾向を示すのが K55 で、 $X_{Mg}$  は 0.54~0.57 を示す。この地点の黒雲母の SI 値から Mg-rich が示されており、Mg が何らかの形で堇青石に濃集された可能性がある。これに次ぐのが今回の C24 である。

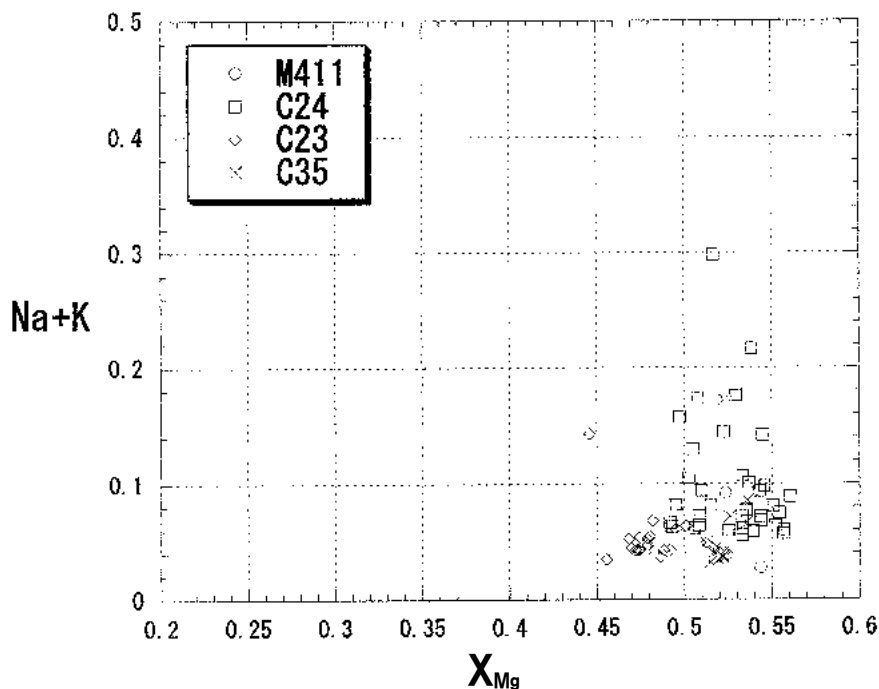


Fig. 7  $X_{Mg}$  versus channel cation (Na+K) of cordierite

ところで、飯能層の堇青石 (SR) は得られた試料中で最も Mg に富み、 $X_{Mg}$  は 0.6 を示す。この特徴を持つものは今のところ本地域には見つかっていない。

## ホルンフェルスの変成温度と鉱物共生関係

### 1. ザクロ石の化学組成と変成温度

ザクロ石が産する地点は、花崗閃緑岩接触点に当たる M411 である。その他の地点からもザクロ石は産するが、分析値の合計が 85 wt% 台と不安定で、溶解しかかっている試料しか得られなかった。Mn-Fe-Mg 三角ダイアグラムにプロットしてみると、M411 のザクロ石は Fe (69~71%) に富むアルマンディン (鉄ばんザクロ石) 系ではあるが、また、Mn (14~19%) を含むスペッサルティン (満ばんザクロ石) 要素も含んでいる。

ザクロ石—黒雲母地質温度計法については、中村 (1996) の詳細な議論があるが、ここでは Spear (1993) によるザクロ石—黒雲母地質温度計法によりホルンフェルスの変成温度を推定する (Table 11)。M411 の分配係数 KD の値は 0.184~0.240 であるが、中心に 0.200 に近い値が 6

Table 11 Garnet geothermometer calculation  
M411Gar

No.	2	3	4	5	11	13	14	15	16	17	18	19	20	21	L2
SiO <sub>2</sub>	37.410	37.372	37.406	37.339	37.253	37.634	37.444	37.486	37.677	37.226	37.403	37.635	36.914	37.663	41.558
TiO <sub>2</sub>	0.039	0.061	0.049	0.030	0.049	0.065	0.057	0.024	0.044	0.060	0.020	0.088	0.040	0.060	0.028
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.573	20.769	20.625	20.54	20.815	20.876	20.776	20.703	20.651	20.793	20.736	20.700	20.783	20.821	19.763
FeO	30.781	30.799	30.796	29.908	30.291	30.804	30.197	29.867	30.586	31.198	30.66	30.879	30.988	31.124	29.908
MnO	7.986	7.550	7.823	8.356	8.489	6.574	6.949	7.386	6.914	6.694	6.539	6.794	6.899	6.284	7.772
MgO	2.273	2.393	2.321	2.192	2.143	2.610	2.777	2.657	2.381	2.410	2.732	2.356	2.396	2.738	2.113
CaO	1.052	1.015	0.945	0.978	0.959	1.158	1.101	1.111	1.222	1.168	1.194	1.227	1.171	1.299	0.983
Na <sub>2</sub> O	0.018	0.025	0.012	0	0.012	0	0	0.020	0	0.057	0	0	0.035	0.016	0
K <sub>2</sub> O	0	0.020	0.020	0	0	0	0	0	0.003	0	0.010	0	0	0.001	0
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0.019	0	0.006	0	0	0	0.004	0.007	0	0.047	0	0
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.038	0.026	0.013	0.038	0.028	0.032	0	0.008	0.012	0	0.044	0.019	0.002	0.034	0.004
NiO	0	0.059	0.021	0.114	0	0.067	0	0	0	0.113	0	0	0.080	0.030	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.025	0.037	0.066	0.034	0.049	0.020	0.036	0.001	0.034	0	0.016	0.002	0	0.053	0
Total	100.196	100.127	100.096	99.549	100.088	99.846	99.338	99.262	99.526	99.722	99.359	99.700	99.355	100.124	102.129
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Si	6.052	6.039	6.050	6.069	6.031	6.068	6.063	6.079	6.098	6.035	6.061	6.086	6.012	6.058	6.482
Ti	0.005	0.007	0.006	0.004	0.006	0.008	0.007	0.003	0.005	0.007	0.002	0.011	0.005	0.007	0.003
Al	3.921	3.954	3.931	3.934	3.971	3.966	3.964	3.956	3.938	3.972	3.959	3.945	3.989	3.946	3.632
Fe	4.163	4.161	4.164	4.064	4.100	4.152	4.088	4.049	4.138	4.229	4.154	4.175	4.220	4.185	3.900
Mn	1.094	1.033	1.071	1.150	1.164	0.898	0.953	1.014	0.948	0.919	0.897	0.930	0.951	0.856	1.026
Mg	0.548	0.576	0.559	0.531	0.517	0.627	0.670	0.642	0.574	0.582	0.659	0.568	0.581	0.656	0.491
Ca	0.182	0.176	0.164	0.170	0.166	0.200	0.191	0.193	0.212	0.203	0.207	0.213	0.204	0.224	0.164
Na	0.006	0.008	0.004	0.000	0.004	0.000	0.000	0.006	0.000	0.018	0.000	0.000	0.011	0.005	0.000
K	0.000	0.004	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.006	0.000	0.000
V	0.005	0.003	0.002	0.005	0.004	0.004	0.000	0.001	0.002	0.000	0.006	0.002	0.000	0.004	0.000
Ni	0.000	0.008	0.003	0.015	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.010	0.004	0.000
P	0.003	0.005	0.009	0.005	0.007	0.003	0.005	0.000	0.005	0.000	0.002	0.000	0.000	0.007	0.000
Total	15.978	15.974	15.968	15.949	15.968	15.935	15.940	15.943	15.920	15.980	15.951	15.929	15.991	15.952	15.699
Pyrope	9.174	9.668	9.392	8.962	8.674	10.591	11.285	10.802	9.706	9.757	11.097	9.576	9.731	11.050	8.615
Almand	69.355	69.844	69.731	68.744	68.939	70.865	69.446	68.777	70.680	71.137	70.282	71.140	70.737	70.677	70.491
Spessa	18.323	17.339	17.995	19.419	19.533	15.165	16.052	17.068	16.022	15.406	15.099	15.698	15.927	14.416	18.013
Grossu	3.053	2.948	2.749	2.875	2.791	3.379	3.217	3.247	3.582	3.400	3.487	3.586	3.419	3.769	2.882
X <sub>Mg</sub> Gar	0.094	0.100	0.096	0.092	0.089	0.110	0.117	0.112	0.101	0.102	0.115	0.100	0.101	0.115	0.091
X <sub>Fe</sub> Gar	0.717	0.721	0.719	0.707	0.709	0.731	0.716	0.710	0.731	0.738	0.727	0.736	0.734	0.735	0.720
Bt No.	M411L135	M411L135	M411L135	M411L135	M411L135	M411L135	M411L135	M411L135	M411L135	M411L135	M411L135	M411L135	M411L135	M411L135	M411L135
Sol Ind	20.663	20.663	20.663	20.663	20.663	20.663	20.663	20.663	20.663	20.663	20.663	20.663	20.663	20.663	20.663
X <sub>Mg</sub> Bt	0.406	0.406	0.406	0.406	0.406	0.406	0.406	0.406	0.406	0.406	0.406	0.406	0.406	0.406	0.406
X <sub>Fe</sub> Bt	0.594	0.594	0.594	0.594	0.594	0.594	0.594	0.594	0.594	0.594	0.594	0.594	0.594	0.594	0.594
K <sub>D</sub>	0.192	0.203	0.196	0.191	0.184	0.221	0.240	0.232	0.203	0.201	0.232	0.199	0.202	0.229	0.184



つほどあるので、それを使い温度を推定すると、600°C が得られた。M411 の温度が 600°C と決まったことにより、この帯が Medium Grade 帯に属することが傍証付けられた。

M411 が流体の影響下で形成されたと述べてきたが、かつて、マグマに貫入されたと述べた K9-6 の温度が 600°C であったことから、本地域の流体の温度は、ほぼ 600°C であったと考えられる。

Mn が含まれると低温でも変成が進行するというスコットランドの Buchan Zone の例 (Mahar et al., 1997) が参考になるが、彼らによると、KFMASH のシステムに Mn が追加されると、ザクロ石は温度圧力の広範な領域と成分範囲において安定的に形成されると指摘している。M411 の全岩組成を Table 6 にみると、Mg+Fe の値は 40 を越す大きさで、これは源岩の 1.5 倍と域内第 2 の多さであり、また、Mn は 2 倍の多さである。このような条件でのみ、ザクロ石が形成されるとすると、本域はザクロ石にとって形成され難い所ではないかと考えられる。その意味で、Mn が流体によって追加されたことの意義は大変大きいと考えられる。

## 2. A'KF 三角ダイアグラムによる鉱物共生の表示

多成分系の変成岩の組成を三成分系にまとめて、二次元の三角形にプロットすることにより、相平衡の関係を示すテクニックは古くから行われてきた。A'KF 三角ダイアグラムは Eskola に依って提唱されたもので、雲母類やカリ長石の組成—共生図として相平衡を論ずるのに適している。ここで A', K, F は次のようにとる。

$$A' = Al_2O_3 + Fe_2O_3 - (Na_2O + K_2O + CaO)$$

$$K = K_2O$$

$$F = FeO + MgO + MnO$$

なお、作図の仕方は Hutchinson (1974) に従った。

各帯での鉱物共生を Fig. 8 にまとめて示した。源岩の C8 を見ると、緑泥石から白雲母にむかって連続してプロットされる分布が見られる。主体が占める白雲母の位置もかなり緑泥石寄りであることが分かる。このような白雲母を、緑泥石型白雲母と呼んだ。C18 を見ると、C8 と殆ど同じ緑泥石型白雲母が形成されている。白雲母を作る K はカリ長石より供給されたとして表現した。事実、Table 5 の長石類の産出頻度を見ると、C8 から C18 にむかって激減していることが示されている。

C26 を見ると、ここは黒雲母がかろうじて拾い集める程度に産出し始めるところであるが、共生する白雲母の結晶度は一段と良くなる様子が表現されている。純粋でない白雲母と緑泥石をもとにした交換反応により、純粋な白雲母や低アルミナの黒雲母を作ったものと考えられる。

C211 を見ると、白雲母はさらに A'-K 線に近づき、黒雲母はチタン中間型になる。この帯では互いにより純粋な形になるように両極に集中する傾向を示す。

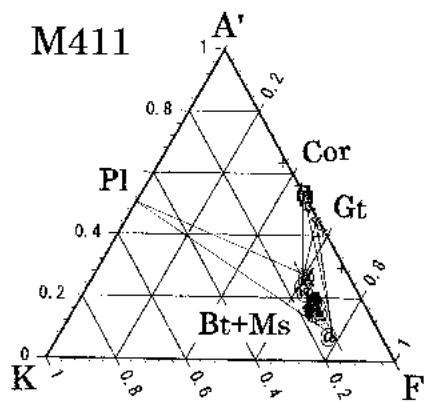
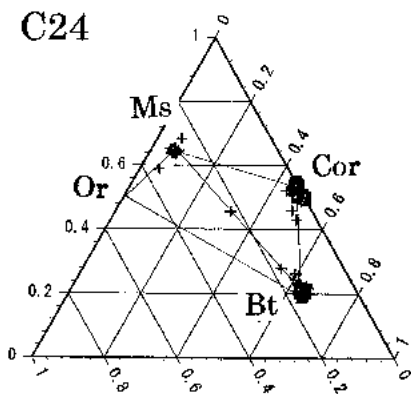
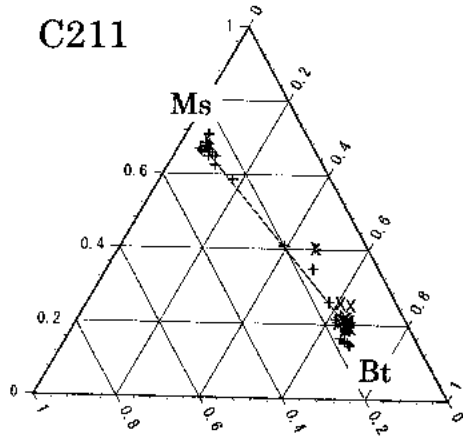
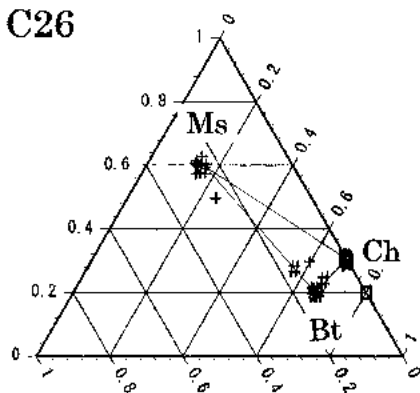
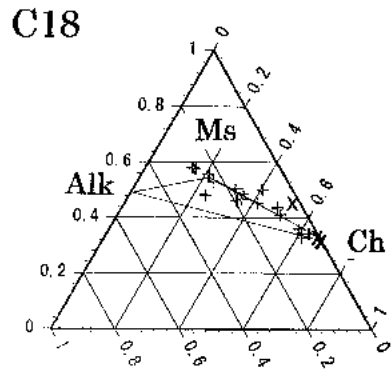
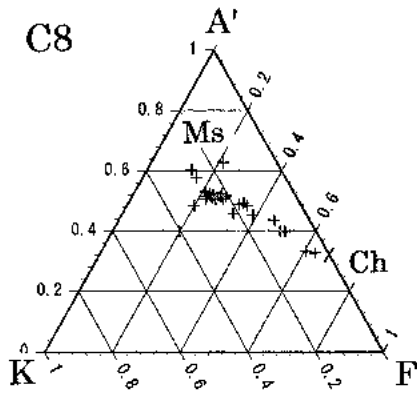


Fig. 8 Mineral paragenesis during the hornfelsic change on A'KF diagram

C24になると、純粋に近づいた黒雲母、白雲母から共生する堇青石が作られるようになる。多分、Table 4の石英の産出頻度が示すように、この帯以上で石英が激減することから、上記の交換反応には石英が関係し K を利用してアルカリ長石を作るものと考えられる。

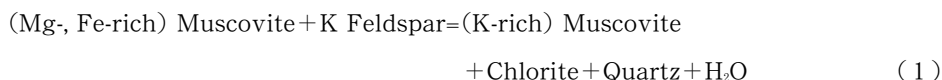
M411になると、それまで正常に進行したとみることができる白雲母が黒雲母化し、また黒雲母は全て高チタン型となる。この黒雲母、白雲母から堇青石、ザクロ石が作られたが、この反応には石英が関係し斜長石を作るものと考えられる。

### 3. 反応関係の考察

ホルンフェルス各帯の構成鉱物について、層状珪酸塩鉱物、長石類、雲母類、ザクロ石の組成変化を考察した。

まず、(6)帯の C8 は源岩を代表する。層状珪酸塩鉱物は白雲母、緑泥石が主である。緑泥石型白雲母が存在するのもこの帯の特徴である。この白雲母の一部は A'KF 計算をすると緑泥石の位置にプロットされる。これを緑泥石型白雲母と呼んだが、本帯を緑泥石帯とするのは、緑泥石型白雲母を含めるということに由来する。

(5)帯の C18 では、白雲母が大量に形成され始めるほかに、緑泥石が作られ始める。代わって Impure な長石類は本帯に入ると激減する。このよう交換反応を記述するには、スコットランドの Dalradian 地方での Mather (1970) による式を改変して



が生じていることは確かであろう。なおここで、Mg-, Fe-rich Muscovite は緑泥石型白雲母のことである。

(4)帯の C26 では、黒雲母がではじめる。この変化は、Dalradian 地方での Mather (1970) による式が使える。



または、



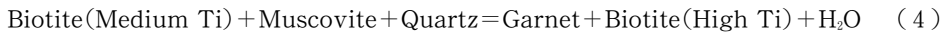
(3)帯の C211 では、共生関係では白雲母と黒雲母だけである。両鉱物が純粋な成分になるように、両サイドに拡がった時期と考えられる。

(2)帯の C24 では、黒雲母、白雲母のほかに、堇青石が出現する。この共生関係を記述するには、Pattison and Harte (1991) の式に従い



のように堇青石と黒雲母のほかにカリ長石が共生する反応が考えられる。これは Table 5 に示したように、カリ長石の産出頻度が顕著に増加していることから存在したものと認められる。

最後に、(1)帯の M411 では、ザクロ石、堇青石、黒雲母、白雲母と灰曹長石が變成鉱物として形成された。この鉱物変化を Spear (1988) による式を改変して



のようにザクロ石と黒雲母が共生する変化も考えられる。なお、堇青石を作る反応は (3) の式が進んだものとする。その場合は、灰曹長石が變成鉱物として形成された。

本地域では、深成岩体のコンタクト付近を詳細に探したが、今までのところ  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  鉱物は発見できなかった。つまり、High Grade 帯は認められなかった。その理由は、M411 の温度推定で  $600^\circ\text{C}$  という Medium Grade 内の変成であったためである。

## 謝 辞

本研究を進めるに際して、多くの方々から貴重なご援助を与えられた。

まず、飯能礫層研究グループの岡野裕一、力田正一、松本昭二の諸氏、ならびに関東平野西縁丘陵団体研究グループの倉川博、大沢進の諸氏には初期に本研究の手引きをしていただいたことに、心からお礼を申し上げる。

EPMA 分析に関しては、東京大学海洋研究所の石井輝秋氏に大変お世話になり、心から感謝する。この分析は海洋研の共同利用プログラム No. 40 (1997 以降) によったが、その間に同研究所の佐藤暢・町田嗣樹の両氏にお世話になった。

粉末法 X 線回折分析に関しては、城西大学理学部化学教室の日原五郎、宮前博の両氏にお世話になった、また学生の朝井春樹氏にはお世話して頂いた、記して感謝の意を表す。

関東山地のホルンフェルス情報に関しては、日本大学文理学部地球システム科学科の小坂和夫氏に教えていただいた。防災科学技術研究所の松田達生氏には広瀬花崗閃緑岩に伴う斑状変晶の分布に関する未公表資料を見せていただいた。甲府花崗岩類の地質や化学組成に関しては山梨大学教育人間科学部自然科学科地学教室の角田謙朗氏に多くの文献を見せていただいた。京都大学理学部地質学鉱物学教室の小畑正明氏・尾崎淳氏、産総研の奥山康子氏、湯浅真人氏、岡山大学理学部地球科学科の浅見正雄氏には變成岩関係の文献を頂いた。以上の方々に記して感謝の意を表す。

小菅川の調査に関しては、小菅村の「多摩川源流研究所」の中村文明所長に同行して頂き、滝登りのご指導を頂いた。これなくしては、小菅川のサンプリングは不可能であった。同氏に対して心からお礼を申し上げる。

最後に、本研究が著しく進捗したのはオレゴン大学の Sam Boggs 教授との会話と、以後のメールでの意見交換により多くの示唆に富む指摘を頂戴したことによる、記して感謝の意を表す。

## 引用文献

- Blackburn, W. H. and W. H. Dennen (1994) Principles of Mineralogy. Wm. C. Brown Publ., Oxford, 413 p.
- Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J. (1982) An Introduction to The Rock-forming Minerals. Longman, Harlow, England, 528 p.
- Garcia-Casco, A., Sanchez-Navas, A. and Torres-Roldan, R. L. (1993) Disequilibrium decomposition and breakdown of muscovite in high P-T gneisses, Betic alpine belt (southern Spain). *American Mineralogist*, 78, 158-177.
- Hutchinson, C. S. (1974) Laboratory Handbook of Petrographic Techniques. John Wiley and Sons, New York.
- Ito, H., R. B. Sorkhabi, T. Tagami and S. Nishimura (1989) Tectonic history of granitic bodies in the South Fossa Magna region, central Japan: new evidence from fission-track analysis of zircon. *Tectonophysics*, 166, 331-344.
- 加賀美英雄 (1996) 加治丘陵西部の飯能層と関東山地の接峰面について. 城西大学研究年報 (自然科学編), 20, 59-78.
- 加賀美英雄・谷口英嗣 (1997) 加治丘陵の飯能礫層中のホルンフェルスの化学組成. 城西大学研究年報 (自然科学編), 21, 11-33.
- 加賀美英雄・谷口英嗣 (1998) 関東山地の四万十帯のホルンフェルス—塩山市落合付近の産状と変成鉱物の化学組成—. 城西大学研究年報 (自然科学編) 22, 23-74.
- 加賀美英雄・谷口英嗣 (1999) 関東山地の四万十帯のホルンフェルス—塩山市一之瀬付近の産状と変成鉱物の化学組成—. 城西大学研究年報 (自然科学編) 23, 1-56.
- 加賀美英雄・谷口英嗣 (2000) 関東山地の四万十帯のホルンフェルスⅢ—塩山市落合付近の泥質岩変成鉱物の産状と化学組成—. 城西大学研究年報 (自然科学編) 24, 11-47.
- 加賀美英雄・谷口英嗣 (2001) 関東山地の四万十帯のホルンフェルスⅣ—塩山市泉水谷の泥質岩変成鉱物の産状と化学組成—. 城西大学研究年報 (自然科学編) 25, 1-37.
- 北村雅夫・尾崎淳 (1998) 天然における準安定相の生成と消滅. 鉱物学雑誌, 27, 129-135. Lalonde, A. E. and Bernard, P. (1993) Composition and color of biotite from granites: Two useful properties in the characterization of plutonic suites from the Hepburn internal zone of Wopmay Orogen, Northwest Territories. *Canadian Mineralogist*, 31, 203-217.
- Mahar, E. M., J. M. Baker, R. Powell, T. J. B. Holland and N. Howell (1997) The effect of Mn on mineral stability in metapelites. *J. metamorphic Geol.*, 15, 223-238.
- Mather, J. D. (1970) The biotite isograd and the lower greenschist facies in the Dalradian rocks of Scotland. *J. Petrol.* 11, 253-275.
- 松田達生 (1992) 鶴川断層の熱変成分帯による構造解析. 早稲田大学教育学部理学科地学専修特別研究 (手記), 31 p.
- 松田達生・田中秀実・坂幸恭 (1992) 熱変成分帯による鶴川断層の構造解析. 日本地質学会学術講演会予稿集, 347.
- 三上禎次・向井健一・戸倉則正・井本伸広 (2002) 丹波帯層状チャートの石英結晶度, 石英粒径およびコノントカラーインデックスの関係について. 地質学雑誌, 108, 806-812.
- Monier, G. and J. L. Robert (1986) Muscovite solid solution in the system KMFASH: an experimental study at 2 kbar PH<sub>2</sub>O and comparison with natural Li-free white micas. *Mineralogical Magazine*, 50, 257-266.
- 村田明広・小坂和夫・狩野謙一 (1986) 甲府深成岩体との関係からみた鶴川断層の活動時期. 地質学雑誌, 92, 12, 905-908.
- Murata, K. J. and Norman, II, M. B. (1976) An index of crystallinity for quartz. *Amer. J. Sci.*, 276, 1120-1130.
- 中村大輔 (1996) ザクロ石—黒雲母温度計について—三波川変成岩と大文字接触変成岩への適応とその評価—. 岩鉱, 91, 165-176.
- Pattison, D. R. M. and Harte, B. (1991) Petrography and mineral chemistry of pelites. in Voll, G. et al.,

- ed., Equilibrium and Kinetics in Contact Metamorphism. Springer-Verlag, Berlin, 135-179.
- Pereira, M. D. and Bea, F. (1994) Cordierite-producing reactions in the Pena Negra Complex, Avila Batholith, Central Spain: The key role of cordierite in low-pressure anatexis. *Canadian Mineralogist*, 32, 763-780.
- 酒井彰 (1987) 五日市地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅). 地質調査所, 75 p.
- Shimizu, M. (1986) The Tokuwa Batholith, Central Japan. University Museum Bull., Tokyo University, 28, 146 pp.
- Spear, F. S. (1988) Metamorphic proactional crystallization and internal metasomatism by diffusional homogenization of zoned garnet. *Contr. Mineral. Petrol.* 99, 507-517.
- Spear, F. S. (1993) Metamorphic phase equilibria and pressure-temperature-time paths. Mineralogical Society of America Monograph, Washington, D. C., 799 p.
- 谷口英嗣・小川勇二郎 (1990) 三浦半島に分布するアルカリ玄武岩質岩類とそのテクトニクス上の意義. 地質学雑誌, 96, 101-116.
- 角田謙朗 (1985) 甲府北部深成岩類について (その5). 山梨大学教育学部研究報告, 36, 69-76.
- 山梨県地質図編集委員会 (1970) 山梨県地質図, 2葉, 1:100,000.
- Yuasa, M. (1976) Contact metamorphic aureole around the Kaikoma-Hoo granodiorite pluton in the northern part of Akaishi Mountains, Central Japan. *Jour. Japan. Assoc. Min. Pet. Econ. Geol.*, 71, 157-176.

(1月20日受付, 2月28日受理)

**Table 8** EPMA data of muscovite

C8Ms															
No.	22	29	31	33	41	48	52	54	55	57	58	68	75	81	90
SiO <sub>2</sub>	52.545	52.703	53.703	44.442	50.153	49.291	47.314	47.99	49.589	45.689	46.195	48.887	52.409	51.927	49.166
TiO <sub>2</sub>	0.242	0.266	0.213	0.352	0.197	0.281	0.597	0.046	0.1	0.296	0.166	0.198	0.182	1.582	0.106
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28.051	26.89	27.645	28.803	26.177	29.347	21.876	21.818	23.261	31.428	33.131	25.431	24.948	23.324	18.1
FeO	3.096	4	3.479	7.103	2.752	3.241	12.246	11.345	7.57	5.317	1.544	10.262	2.394	6.28	17.95
MnO	0.003	0.064	0.038	0.118	0.025	0.017	0.091	0.125	0.097	0.039	0	0.077	0.047	0.071	0.201
MgO	1.792	1.823	1.645	2.583	1.378	1.93	4.154	3.332	2.901	2.505	1.323	2.978	1.353	1.836	4.628
CaO	0.149	0.072	0.181	0.19	0.08	0.082	0.402	0.308	0.418	0.1	0.053	0.358	0.074	1.366	0.127
Na <sub>2</sub> O	0.413	0.527	3.157	0.287	0.344	0.526	0.174	6.766	4.778	0.272	0.139	2.775	0.501	0.589	0.204
K <sub>2</sub> O	8.614	7.934	6.055	7.28	9.434	8.647	3.956	1.186	3.059	8.337	9.267	3.879	11.294	4.797	2.966
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.011	0.013	0	0.048	0.033	0.029	0.044	0.015	0.032	0.033	0.039	0.062	0.025	0.006
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.009	0	0.02	0.011	0.037	0.002	0.031	0.023	0.012	0.044	0.011	0.023	0.019	0.052	0.022
NiO	0.015	0	0	0.04	0	0.024	0.029	0.053	0	0.008	0	0	0	0.007	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.121	0.115	0.109	0.393	0.132	0.097	0.407	0.081	0.279	0.117	0.015	0.425	0.13	0.366	0.178
Total	95.05	94.406	96.259	91.603	90.759	93.518	91.305	93.119	92.079	94.186	91.876	95.331	93.413	92.222	93.652
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Si	7.568	7.650	7.610	6.828	7.615	7.264	7.337	7.331	7.493	6.785	6.901	7.215	7.794	7.718	7.604
Ti	0.026	0.029	0.023	0.041	0.022	0.031	0.070	0.005	0.011	0.033	0.019	0.022	0.020	0.177	0.012
Al	4.761	4.599	4.616	5.215	4.684	5.096	3.997	3.928	4.142	5.500	5.832	4.423	4.372	4.085	3.298
Fe	0.373	0.485	0.412	0.912	0.349	0.399	1.588	1.449	0.956	0.660	0.193	1.266	0.298	0.780	2.321
Mn	0.000	0.008	0.005	0.015	0.003	0.002	0.012	0.016	0.012	0.005	0.000	0.010	0.006	0.009	0.026
Mg	0.384	0.394	0.347	0.591	0.312	0.424	0.960	0.758	0.653	0.554	0.294	0.655	0.300	0.407	1.066
Ca	0.023	0.011	0.027	0.031	0.013	0.013	0.067	0.050	0.068	0.016	0.008	0.057	0.012	0.217	0.021
Na	0.115	0.148	0.867	0.085	0.101	0.150	0.052	2.003	1.399	0.078	0.040	0.794	0.144	0.170	0.061
K	1.582	1.468	1.094	1.426	1.827	1.625	0.782	0.231	0.589	1.579	1.765	0.730	2.142	0.909	0.585
Cr	0.000	0.001	0.001	0.000	0.006	0.004	0.004	0.005	0.002	0.004	0.004	0.005	0.007	0.003	0.001
V	0.001	0.000	0.002	0.001	0.005	0.000	0.004	0.003	0.001	0.005	0.001	0.003	0.002	0.006	0.003
Ni	0.002	0.000	0.000	0.005	0.000	0.003	0.004	0.007	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
P	0.015	0.014	0.013	0.051	0.017	0.012	0.053	0.010	0.036	0.015	0.002	0.053	0.016	0.046	0.023
Total	14.851	14.808	15.018	15.203	14.954	15.024	14.928	15.797	15.363	15.234	15.061	15.230	15.113	14.528	15.021
Xfe	0.492	0.552	0.543	0.607	0.528	0.485	0.623	0.656	0.594	0.544	0.396	0.659	0.498	0.658	0.685
Sol	12.878	12.763	11.475	14.971	9.908	13.455	20.234	14.724	15.846	15.246	10.780	14.969	8.705	13.598	17.974
Tot Y	5.113	5.165	5.013	5.602	4.986	5.217	5.963	5.487	5.268	5.537	5.240	5.900	4.790	5.176	6.327
Phen Tr	2.352	2.558	2.392	2.372	2.299	2.118	3.954	3.544	3.114	2.032	1.407	3.158	2.412	3.082	5.003

C8Ms

No.	94	119	122	130	132	136	140	147	154	178	179	180
SiO <sub>2</sub>	52.185	52.184	43.588	46.184	49.426	45.161	50.825	51.217	52.554	48.64	45.771	49.793
TiO <sub>2</sub>	0.244	0.205	0.262	0.081	0.19	0.298	0.263	0.255	0.235	0.297	0.247	0.222
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	24.754	24.439	28.882	31.841	29.084	30.14	30.666	27.292	25.431	30.052	31.872	23.513
FeO	3.498	3.368	8.254	2.839	2.947	4.484	2.718	2.804	5.125	3.436	4.032	7.248
MnO	0.024	0.004	0.08	0.047	0	0.048	0.011	0.016	0.068	0.055	0.009	0.093
MgO	1.767	1.492	2.443	1.154	2.311	2.082	2.023	1.361	2.209	2.239	1.665	2.174
CaO	0.244	0.276	0.144	0.004	0.072	0.075	0.066	0.375	0.134	0.041	0.258	0.473
Na <sub>2</sub> O	1.764	2.255	0.452	0.317	0.152	0.597	0.201	2.704	1.817	0.186	0.191	1.702
K <sub>2</sub> O	6.091	5.763	6.787	9.165	8.547	8.795	9.302	7.28	6.754	9.15	5.918	5.011
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.045	0	0.015	0.041	0	0	0	0	0.014	0	0.012	0.002
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.042	0	0.057	0	0.04	0.056	0.041	0	0.037	0.031	0.034	0.012
NiO	0.009	0.001	0.028	0.059	0	0.077	0.044	0	0	0.05	0.022	0.026
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.178	0.161	0.19	0.001	0.06	0.035	0.081	0.169	0.113	0	0.09	0.072
Total	90.844	90.148	91.181	91.732	92.83	91.847	96.242	93.474	94.491	94.177	90.121	90.341
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Si	7.808	7.857	6.764	6.964	7.309	6.886	7.261	7.520	7.665	7.151	6.926	7.641
Ti	0.027	0.023	0.031	0.009	0.021	0.034	0.028	0.028	0.026	0.033	0.028	0.026
Al	4.364	4.336	5.281	5.658	5.068	5.415	5.162	4.722	4.371	5.207	5.683	4.252
Fe	0.438	0.424	1.071	0.358	0.364	0.572	0.325	0.344	0.625	0.422	0.510	0.930
Mn	0.003	0.001	0.011	0.006	0.000	0.006	0.001	0.002	0.008	0.007	0.001	0.012
Mg	0.394	0.335	0.565	0.259	0.509	0.473	0.431	0.298	0.480	0.490	0.375	0.497
Ca	0.039	0.045	0.024	0.001	0.011	0.012	0.010	0.059	0.021	0.006	0.042	0.078
Na	0.511	0.658	0.136	0.093	0.044	0.176	0.056	0.769	0.514	0.053	0.056	0.506
K	1.162	1.106	1.343	1.762	1.612	1.710	1.695	1.363	1.256	1.715	1.142	0.981
Cr	0.005	0.000	0.002	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000
V	0.005	0.000	0.007	0.000	0.005	0.007	0.005	0.000	0.004	0.004	0.004	0.001
Ni	0.001	0.000	0.003	0.007	0.000	0.009	0.005	0.000	0.000	0.006	0.003	0.003
P	0.023	0.020	0.025	0.000	0.008	0.005	0.010	0.021	0.014	0.000	0.012	0.009
Total	14.780	14.804	15.262	15.122	14.950	15.305	14.988	15.126	14.985	15.095	14.783	14.936
XMg	0.526	0.559	0.655	0.580	0.417	0.547	0.430	0.536	0.566	0.463	0.576	0.652
Ch. Cat	13.468	11.586	13.621	8.564	16.558	13.047	14.202	9.619	13.889	14.916	14.103	13.474
Tot Y	5.034	4.974	5.722	5.255	5.271	5.386	5.208	4.914	5.175	5.310	5.524	5.357
Phen Tr	2.667	2.638	2.430	1.591	2.203	1.965	2.044	2.190	2.796	2.097	1.840	3.093









C24Ms Table 8 (つづき)

No.	86	95	99	102	145	164	165	176	203	250	252
SiO <sub>2</sub>	42.396	46.835	46.692	42.036	41.003	45.28	46.298	48.226	40.124	44.431	47.865
TiO <sub>2</sub>	2.421	0.218	0.045	2.118	1.716	1.172	0.541	0.017	2.146	0.815	0.004
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.408	35.641	31.281	18.578	22.324	17.478	35.642	35.891	20.807	28.33	31.571
FeO	17.215	0.803	8.566	16.439	14.71	12.821	1.151	0.789	20.291	12.991	9.065
MnO	0.069	0	0.181	0.033	0.051	0.021	0.003	0	0.015	0.304	0.25
MgO	5.629	0.455	6.117	4.285	5.484	4.048	0.628	0.506	6.137	6.792	6.087
CaO	0.661	0	0.069	0	0.002	0	0	0.217	0.21	0.013	0.061
Na <sub>2</sub> O	3.007	0.403	0.501	0.383	0.093	0.516	0.397	1.351	1.987	0.249	0.448
K <sub>2</sub> O	6.938	10.07	2.025	10.478	8.627	12.119	10.058	10.285	8.298	3.205	1.911
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.073	0	0	0.056	0.024	0.025	0	0.102	0.069	0.021	0.015
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.209	0.007	0.039	0.115	0.277	0.048	0.014	0.015	0.669	0.08	0
NiO	0	0.01	0	0.022	0.015	0.023	0.094	0.057	0.037	0.03	0.026
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.025	0.041	0	0	0.038	0.067	0	0	0.017	0	0
Total	99.05	94.483	95.516	94.542	94.364	93.617	94.826	97.456	100.806	97.262	97.304
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Si	6.532	6.802	6.708	6.839	6.534	7.320	6.726	6.824	6.222	6.508	6.751
Ti	0.280	0.024	0.005	0.259	0.206	0.142	0.059	0.002	0.250	0.090	0.000
Al	3.705	6.099	5.295	3.561	4.192	3.329	6.102	5.984	3.802	4.890	5.247
Fe	2.217	0.097	1.029	2.236	1.960	1.733	0.140	0.093	2.631	1.591	1.069
Mn	0.009	0.000	0.022	0.005	0.007	0.003	0.000	0.000	0.002	0.038	0.030
Mg	1.292	0.098	1.309	1.038	1.302	0.975	0.136	0.107	1.418	1.482	1.279
Ca	0.109	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.033	0.035	0.002	0.009
Na	0.898	0.113	0.139	0.121	0.029	0.162	0.112	0.370	0.597	0.071	0.122
K	1.363	1.865	0.371	2.174	1.753	2.498	1.863	1.856	1.641	0.599	0.344
Cr	0.009	0.000	0.000	0.007	0.003	0.003	0.000	0.011	0.008	0.002	0.002
V	0.026	0.001	0.004	0.015	0.035	0.006	0.002	0.002	0.083	0.009	0.000
Ni	0.000	0.001	0.000	0.003	0.002	0.003	0.011	0.006	0.005	0.004	0.003
P	0.003	0.005	0.000	0.000	0.005	0.009	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000
Total	16.443	15.106	14.893	16.258	16.028	16.184	15.151	15.289	16.696	15.286	14.857
Xfe	0.632	0.498	0.440	0.683	0.601	0.640	0.507	0.467	0.650	0.518	0.455
Sol	17.167	3.879	35.545	13.567	18.967	13.720	5.133	3.913	16.716	29.229	34.761
Tot Y	6.036	5.121	6.367	5.938	6.200	5.503	5.163	5.010	6.325	6.599	6.377
Phen Tr	4.322	1.022	3.050	4.372	4.002	4.170	1.061	1.026	4.521	3.671	3.100

M411Ms

No.	9	11	94	115	118	121	136	185	187	193
SiO <sub>2</sub>	52.385	44.14	44.505	44.757	42.338	48.232	48.742	50.874	44.513	50.664
TiO <sub>2</sub>	1.352	2.282	2.534	1.734	2.598	1.778	1.392	1.68	1.882	1.967
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.137	22.296	19.931	19.018	19.841	20.487	22.713	22.074	20.107	20.332
FeO	7.986	15.326	13.84	10.789	16.932	10.516	10.668	9.371	13.937	10.951
MnO	0.119	0.248	0.173	0.223	0.238	0.18	0.145	0.101	0.158	0.111
MgO	3.069	5.485	5.323	4.015	6.507	3.626	4.237	3.51	5.36	4.315
CaO	3.315	1.103	2.086	3.083	1.407	3.2	1.997	3.723	2.135	2.673
Na <sub>2</sub> O	5.271	1.897	3.068	5.198	1.865	4.766	4.04	4.933	3.378	3.941
K <sub>2</sub> O	3.723	5.871	5.743	4.051	6.72	3.951	5.025	4.089	5.283	4.872
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.032	0.061	0	0.06	0	0.049	0.021	0	0.03
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.043	0.066	0.011	0.041	0.048	0.024	0	0.013	0.045	0.054
NiO	0.023	0	0.01	0	0	0.014	0.014	0.05	0	0.017
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.008	0.001	0	0	0	0.018	0.136	0.003	0
Total	100.421	98.753	97.285	92.907	98.553	96.774	99.038	100.574	96.802	99.926
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Si	7.389	6.654	6.818	7.072	6.538	7.221	7.114	7.260	6.841	7.334
Ti	0.143	0.259	0.292	0.206	0.302	0.200	0.153	0.180	0.217	0.214
Al	3.846	3.960	3.598	3.541	3.610	3.614	3.906	3.712	3.642	3.468
Fe	0.942	1.931	1.773	1.425	2.186	1.316	1.302	1.118	1.791	1.325
Mn	0.014	0.032	0.022	0.030	0.031	0.023	0.018	0.012	0.021	0.014
Mg	0.645	1.232	1.215	0.945	1.497	0.809	0.921	0.746	1.227	0.930
Ca	0.501	0.178	0.342	0.522	0.233	0.513	0.312	0.569	0.351	0.414
Na	1.441	0.554	0.911	1.591	0.558	1.383	1.143	1.364	1.006	1.105
K	0.670	1.129	1.122	0.816	1.323	0.754	0.935	0.744	1.035	0.899
Cr	0.000	0.004	0.007	0.000	0.007	0.000	0.006	0.002	0.000	0.003
V	0.005	0.008	0.001	0.005	0.006	0.003	0.000	0.001	0.006	0.006
Ni	0.003	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.002	0.006	0.000	0.002
P	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.016	0.000	0.000
Total	15.597	15.941	16.103	16.153	16.290	15.838	15.813	15.731	16.138	15.716
Xfe	0.594	0.611	0.593	0.601	0.594	0.619	0.586	0.600	0.593	0.588
Sol	15.307	19.192	19.028	16.692	20.319	15.862	17.676	16.025	19.172	17.920
Tot Y	4.979	6.068	5.718	5.219	6.163	5.184	5.414	5.028	5.739	5.285
Phen Tr	3.119	4.076	4.097	3.648	4.522	3.546	3.489	3.304	4.077	3.803

Table 9 EPMA data of biotite

C26Bio							
No.	40	41	43	64	65	66	L105
SiO <sub>2</sub>	39.036	37.095	35.704	36.441	33.978	35.635	37.468
TiO <sub>2</sub>	0.741	0.713	1.093	1.182	1.068	1.438	0.568
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23.308	20.485	19.122	19.5	19.752	18.973	19.804
FeO	16.717	21.338	21.898	22.293	24.391	21.668	21.303
MnO	0.23	0.274	0.278	0.305	0.331	0.268	0.248
MgO	6.089	8.008	7.279	7.94	7.993	8.004	8.15
CaO	0.056	1.412	0.026	0.035	0.054	0.038	0.304
Na <sub>2</sub> O	0.098	0.067	0.065	0.087	0.037	0.066	0.061
K <sub>2</sub> O	8.688	7.734	8.351	8.5	6.156	8.459	8.785
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.006	0	0	0.069	0.036	0.022	0
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.046	0.011	0.06	0.03	0.031	0.049	0.06
NiO	0.022	0.029	0	0	0.006	0	0.022
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.006	0	0.021	0.022	0	0	0
Total	95.043	97.166	93.897	96.404	93.833	94.619	96.774
O No.	24	24	24	24	24	24	24
Si	6.270	6.015	6.044	6.009	5.777	5.988	6.116
Ti	0.089	0.087	0.139	0.147	0.136	0.182	0.070
Al	4.412	3.914	3.815	3.789	3.957	3.757	3.809
Fe	2.245	2.893	3.099	3.073	3.467	3.044	2.907
Mn	0.031	0.038	0.040	0.043	0.048	0.038	0.034
Mg	1.457	1.934	1.836	1.950	2.024	2.004	1.982
Ca	0.010	0.245	0.005	0.006	0.010	0.007	0.053
Na	0.031	0.021	0.021	0.028	0.012	0.021	0.019
K	1.780	1.599	1.803	1.787	1.335	1.813	1.829
Cr	0.001	0.000	0.000	0.009	0.005	0.003	0.000
V	0.006	0.001	0.008	0.004	0.004	0.007	0.008
Ni	0.003	0.004	0.000	0.000	0.001	0.000	0.003
P	0.001	0.000	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000
Total	16.335	16.751	16.813	16.847	16.777	16.864	16.830
Xfe	0.606	0.599	0.628	0.612	0.631	0.603	0.595
Sol	19.274	21.558	19.363	20.453	20.720	20.955	21.280
Tot Y	6.505	6.880	6.973	7.010	7.410	7.013	6.918
Phen Tr	4.062	4.928	5.118	5.178	5.405	5.218	5.075

C211Bio

C211Bio													
No.	1	2	4	7	8	9	10	14	15	16	17	22	26
SiO <sub>2</sub>	33.319	35.794	35.57	36.043	36.574	33.682	34.319	37.519	40.593	35.557	34.582	39.826	35.273
TiO <sub>2</sub>	2.225	2.3	2.414	2.316	2.068	2.512	2.348	1.987	1.198	2.226	2.447	2.06	2.183
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.695	20.196	18.831	19.768	20.777	18.753	19.267	21.689	27.145	19.624	18.676	17.524	18.924
FeO	21.432	20.685	20.581	20.951	20.947	21.162	21.556	20.57	13.307	21.723	21.135	20.877	21.845
MnO	0.201	0.271	0.248	0.149	0.152	0.205	0.181	0.14	0.13	0.219	0.184	0.239	0.225
MgO	7.676	7.509	7.638	7.828	5.676	7.127	7.189	7.904	4.491	7.552	7.041	6.848	7.31
CaO	0.05	0.088	0.057	0	0.025	0.001	0	0.205	0.138	0.008	0.022	0.03	0.031
Na <sub>2</sub> O	0.079	0.042	0.072	0.061	0.075	0.053	0.05	0.142	0.066	0.001	0.106	0.112	0.05
K <sub>2</sub> O	8.645	8.381	8.412	8.524	7.625	8.806	8.938	6.987	6.353	8.707	8.484	8.13	8.549
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.008	0.068	0.007	0.013	0.019	0.004	0.009	0	0	0.029	0	0.03	0.089
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.097	0.094	0.078	0.119	0.11	0.162	0.145	0.029	0.072	0.095	0.051	0.051	0.066
NiO	0	0.002	0	0.029	0	0	0.01	0	0.027	0.039	0.02	0.024	0.044
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.038	0	0.035	0	0.023	0	0.032	0.017	0.028	0.02	0	0.01	0.021
Total	92.467	95.431	93.944	95.801	94.071	92.467	94.044	97.189	93.548	95.802	92.75	95.761	94.609
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Si	5.778	5.919	5.990	5.946	6.085	5.831	5.837	5.990	6.354	5.905	5.938	6.500	5.944
Ti	0.290	0.286	0.306	0.287	0.259	0.327	0.300	0.238	0.141	0.278	0.316	0.253	0.277
Al	3.820	3.936	3.737	3.843	4.074	3.825	3.861	4.080	5.007	3.840	3.779	3.370	3.758
Fe	3.107	2.860	2.898	2.889	2.914	3.063	3.065	2.745	1.741	3.016	3.034	2.849	3.078
Mn	0.030	0.038	0.035	0.021	0.021	0.030	0.026	0.019	0.017	0.031	0.027	0.033	0.032
Mg	1.983	1.850	1.916	1.924	1.407	1.838	1.821	1.880	1.047	1.868	1.801	1.665	1.835
Ca	0.009	0.016	0.010	0.000	0.004	0.000	0.000	0.035	0.023	0.001	0.004	0.005	0.006
Na	0.027	0.013	0.023	0.019	0.024	0.018	0.016	0.044	0.020	0.000	0.035	0.035	0.016
K	1.912	1.767	1.806	1.793	1.618	1.944	1.938	1.422	1.268	1.844	1.858	1.692	1.837
Cr	0.001	0.009	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.004	0.000	0.004	0.012
V	0.013	0.012	0.011	0.016	0.015	0.022	0.020	0.004	0.009	0.013	0.007	0.007	0.009
Ni	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.001	0.000	0.003	0.005	0.003	0.003	0.006
P	0.006	0.000	0.005	0.000	0.003	0.000	0.005	0.002	0.004	0.003	0.000	0.001	0.003
Total	16.975	16.707	16.738	16.743	16.427	16.899	16.892	16.460	15.635	16.807	16.800	16.418	16.812
Xfe	0.610	0.607	0.602	0.600	0.674	0.625	0.627	0.594	0.624	0.618	0.628	0.631	0.626
Sol	20.290	20.507	20.810	20.951	16.537	19.185	19.052	22.200	18.545	19.883	19.151	19.040	19.362
Tot Y	7.008	6.889	6.881	6.909	6.760	6.914	6.911	6.952	6.308	6.937	6.893	6.670	6.923
Phen Tr	5.158	4.915	5.109	5.046	4.665	5.058	5.023	4.853	3.284	5.066	5.088	5.267	5.133







Table 9 (つづき)

No.	1	2	3	4	5	6	16	17	21	22	32	33
SiO <sub>2</sub>	34.536	34.854	35.053	34.279	35.482	34.839	35.585	35.088	35.361	34.472	34.323	34.319
TiO <sub>2</sub>	1.572	1.639	1.853	1.575	1.527	1.355	2.699	2.753	1.235	1.274	1.886	1.738
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.308	20.018	19.773	20.266	20.921	20.768	19.688	19.218	20.374	19.688	19.871	20.083
FeO	20.199	20.758	20.816	20.72	20.692	20.51	20.887	20.467	19.897	20.652	21.254	20.731
MnO	0.131	0.006	0.133	0.042	0.074	0.012	0.044	0	0.122	0.104	0.092	0.059
MgO	8.264	8.436	8.244	8.003	8.244	8.117	6.745	7.024	8.779	7.828	8.099	8.034
CaO	0	0	0	0	0	0	0	0	0.007	0	0	0
Na <sub>2</sub> O	0.086	0.142	0.1	0.063	0.177	0.091	0.062	0.101	0.109	0.065	0.058	0.044
K <sub>2</sub> O	8.956	9.033	8.789	9.009	9.039	8.903	8.927	9.042	8.8	8.709	9.035	9.169
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0.013	0	0	0	0.115	0.211	0	0	0.053	0.028
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.067	0.033	0.027	0.055	0.025	0.648	0.775	0.036	0	0.037	0
NiO	0.015	0	0	0	0.048	0	0	0.102	0.039	0.006	0.031	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.031	0	0.024	0.003	0.014	0	0.034	0	0	0	0	0.019
Total	94.097	94.954	94.832	93.985	96.273	94.62	95.435	94.782	94.758	92.798	94.739	94.224
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Si	5.816	5.831	5.865	5.799	5.835	5.828	5.918	5.890	5.885	5.897	5.782	5.798
Ti	0.199	0.206	0.233	0.200	0.189	0.170	0.337	0.347	0.155	0.164	0.239	0.221
Al	4.030	3.946	3.898	4.040	4.054	4.094	3.858	3.801	3.996	3.969	3.945	3.998
Fe	2.844	2.903	2.912	2.930	2.845	2.868	2.904	2.872	2.768	2.954	2.993	2.928
Mn	0.019	0.001	0.019	0.006	0.010	0.002	0.006	0.000	0.017	0.015	0.013	0.008
Mg	2.073	2.102	2.055	2.017	2.019	2.023	1.671	1.756	2.176	1.995	2.032	2.022
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Na	0.028	0.046	0.032	0.021	0.056	0.029	0.020	0.033	0.035	0.022	0.019	0.014
K	1.923	1.927	1.875	1.943	1.895	1.899	1.893	1.935	1.868	1.900	1.941	1.975
Cr	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.015	0.028	0.000	0.000	0.007	0.004
V	0.000	0.009	0.004	0.004	0.007	0.003	0.086	0.104	0.005	0.000	0.005	0.000
Ni	0.002	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.014	0.005	0.001	0.004	0.000
P	0.004	0.000	0.003	0.000	0.002	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003
Total	16.939	16.972	16.899	16.960	16.919	16.917	16.714	16.780	16.911	16.915	16.981	16.971
Xfe	0.578	0.580	0.586	0.592	0.585	0.586	0.635	0.621	0.560	0.597	0.596	0.592
Sol	22.034	21.986	21.724	21.175	21.608	21.576	18.418	19.173	23.358	21.013	21.066	21.154
Tot Y	6.981	6.990	6.981	6.992	6.952	6.985	6.695	6.666	6.997	6.993	7.005	6.975
Phen Tr	4.932	5.043	5.064	4.946	4.888	4.890	4.830	4.865	4.985	5.009	5.047	4.969

## C24Bio

No.	34	107	108	110	111	112	113	115	119	120	121	122
SiO <sub>2</sub>	34.039	35.31	34.369	37.64	36.218	33.881	34.88	35.684	35.734	34.77	35.674	33.801
TiO <sub>2</sub>	1.68	2.451	2.701	2.203	2.652	2.807	2.845	2.28	2.526	2.701	2.346	2.805
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.228	20.537	19.213	20.925	20.227	19.034	19.598	20	19.922	19.102	20.447	18.909
FeO	21.077	18.249	20.027	19.234	20.024	20.129	19.946	19.938	20.288	19.611	18.857	19.607
MnO	0.086	0.059	0.139	0.092	0.021	0.08	0.143	0.12	0.015	0.056	0.12	0.163
MgO	8.203	7.948	6.772	7.889	7.334	7.016	7.282	8.578	7.661	7.732	7.217	7.135
CaO	0	0	0	0.155	0.033	0	0	0.023	0	0	0.241	0.018
Na <sub>2</sub> O	0.097	0.105	0.203	0.847	0.264	0.106	0.135	0.366	0.126	0.133	0.839	0.144
K <sub>2</sub> O	9.265	9.051	8.849	8.489	8.728	9.173	8.921	8.08	9.135	8.89	8.471	8.9
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.052	0.063	0.114	0.126	0.106	0.119	0.09	0.136	0.102	0.16	0.08
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.053	0.077	0.05	0.095	0.044	0.084	0.05	0.044	0.115	0.11	0.032	0.098
NiO	0	0.032	0	0.011	0.046	0	0.034	0	0.012	0	0.083	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.038	0.026	0.024	0	0.013	0.013	0.02	0.006	0	0	0.016
Total	94.738	93.91	92.412	97.718	95.716	92.429	93.964	95.221	95.675	93.207	94.488	91.677
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Si	5.739	5.890	5.903	6.015	5.956	5.843	5.879	5.889	5.909	5.903	5.929	5.858
Ti	0.213	0.307	0.349	0.265	0.328	0.364	0.360	0.283	0.314	0.345	0.293	0.365
Al	4.018	4.037	3.888	3.940	3.919	3.868	3.892	3.889	3.882	3.821	4.005	3.862
Fe	2.971	2.545	2.876	2.569	2.753	2.902	2.811	2.751	2.805	2.783	2.620	2.841
Mn	0.012	0.008	0.020	0.012	0.003	0.012	0.020	0.017	0.002	0.008	0.017	0.024
Mg	2.060	1.975	1.733	1.878	1.796	1.802	1.828	2.109	1.887	1.955	1.787	1.842
Ca	0.000	0.000	0.000	0.027	0.006	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.043	0.003
Na	0.032	0.034	0.068	0.262	0.084	0.035	0.044	0.117	0.040	0.044	0.270	0.048
K	1.992	1.925	1.938	1.730	1.830	2.017	1.917	1.700	1.924	1.795	1.787	1.967
Cr	0.000	0.007	0.009	0.014	0.016	0.014	0.016	0.012	0.018	0.014	0.021	0.011
V	0.007	0.010	0.007	0.012	0.006	0.012	0.007	0.006	0.015	0.015	0.004	0.014
Ni	0.000	0.004	0.000	0.001	0.006	0.000	0.005	0.000	0.002	0.000	0.011	0.000
P	0.001	0.005	0.004	0.003	0.000	0.002	0.002	0.003	0.001	0.000	0.000	0.002
Total	17.045	16.748	16.793	16.729	16.703	16.870	16.781	16.779	16.801	16.812	16.796	16.837
Xfe	0.591	0.563	0.624	0.578	0.605	0.617	0.606	0.566	0.598	0.587	0.595	0.607
Sol	21.228	22.482	18.889	21.638	20.176	19.262	20.069	23.208	20.589	21.262	20.396	19.938
Tot Y	7.013	6.762	6.769	6.679	6.755	6.790	6.791	6.937	6.799	6.815	6.651	6.792
Phen Tr	4.982	4.717	4.860	4.726	4.833	4.910	4.878	5.031	4.915	4.986	4.629	4.906



C24Bio Table 9 (つづき)

No.	125	126	127	128	129	130	L16	40	44	72	75	185
SiO <sub>2</sub>	34.05	36.422	36.922	35.164	35.655	35.38	35.846	33.91	36.918	34.699	34.529	34.348
TiO <sub>2</sub>	2.893	2.792	2.952	2.613	2.677	2.87	2.262	1.384	2.789	1.995	2.405	0.808
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19.403	20.352	20.693	19.333	20.33	19.986	22.942	19.425	19.362	19.559	19.447	20.941
FeO	20.068	19.348	19.519	18.377	19.684	20.556	18.166	20.352	19.298	19.497	20.013	21.754
MnO	0.128	0.054	0.063	0.072	0.069	0.078	0.075	0.068	0.107	0.053	0.104	0.157
MgO	7.175	6.897	8.38	6.875	7.845	7.561	7.572	7.869	6.742	8.009	7.381	7.645
CaO	0.004	0.036	0.142	0.357	0	0.055	0	0	0.149	0	0	0
Na <sub>2</sub> O	0.126	0.146	0.355	0.714	0.123	0.121	0.147	0.151	0.995	0.218	0.099	0.092
K <sub>2</sub> O	9.005	8.871	9.053	8.376	9.255	8.785	8.547	8.732	8.352	9.058	9.057	8.882
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.107	0.082	0.082	0.141	0.178	0.162	0.056	0.097	0.061	0	0.151	0.064
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.057	0.085	0.061	0.109	0.059	0.072	0.086	0.051	0.19	0.099	0.231	0.033
NiO	0.02	0.055	0.011	0.005	0.014	0.03	0	0.027	0.073	0	0	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.021	0.012	0	0	0.046	0.003	0.022	0	0	0.007	0
Total	93.037	95.161	98.243	92.134	95.888	95.7	95.702	92.088	95.036	93.188	93.421	94.723
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Si	5.821	6.002	5.900	5.993	5.870	5.852	5.815	5.856	6.097	5.892	5.869	5.785
Ti	0.372	0.346	0.355	0.335	0.331	0.357	0.276	0.180	0.346	0.255	0.307	0.102
Al	3.908	3.952	3.897	3.883	3.944	3.896	4.386	3.952	3.768	3.913	3.895	4.156
Fe	2.868	2.666	2.608	2.619	2.709	2.843	2.464	2.938	2.664	2.768	2.844	3.063
Mn	0.019	0.008	0.009	0.010	0.010	0.011	0.010	0.010	0.015	0.008	0.015	0.022
Mg	1.827	1.693	1.995	1.745	1.924	1.863	1.830	2.024	1.659	2.026	1.869	1.918
Ca	0.001	0.006	0.024	0.065	0.000	0.010	0.000	0.000	0.026	0.000	0.000	0.000
Na	0.042	0.047	0.110	0.236	0.039	0.039	0.046	0.051	0.318	0.072	0.033	0.030
K	1.963	1.864	1.845	1.820	1.943	1.853	1.768	1.923	1.759	1.961	1.963	1.908
Cr	0.014	0.011	0.010	0.019	0.023	0.021	0.007	0.013	0.008	0.000	0.020	0.009
V	0.008	0.011	0.008	0.015	0.008	0.010	0.011	0.007	0.025	0.013	0.031	0.004
Ni	0.003	0.007	0.001	0.001	0.002	0.004	0.000	0.004	0.010	0.000	0.000	0.000
P	0.000	0.003	0.002	0.000	0.000	0.006	0.000	0.003	0.000	0.000	0.001	0.000
Total	16.845	16.616	16.763	16.742	16.803	16.764	16.614	16.960	16.695	16.907	16.847	16.997
Xfe	0.611	0.612	0.567	0.600	0.585	0.604	0.574	0.592	0.616	0.577	0.603	0.615
Sol	19.726	19.559	22.462	20.019	21.256	20.422	21.991	21.208	19.052	21.774	20.194	19.923
Tot Y	6.814	6.667	6.762	6.586	6.788	6.821	6.780	6.960	6.549	6.860	6.799	7.047
Phen Tr	4.887	4.707	4.857	4.692	4.834	4.915	4.385	4.997	4.766	4.940	4.889	4.868

M411Bio

No.	5	31	35	38	39	50	53	96
SiO <sub>2</sub>	37.446	35.638	36.045	35.989	34.837	35.143	36.146	35.725
TiO <sub>2</sub>	1.369	3.471	3.15	3.717	3.158	3.621	3.444	3.455
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.68	18.562	18.743	18.154	17.679	18.08	18.142	18.667
FeO	18.99	21.225	20.921	21.399	21.26	21.356	20.6	20.531
MnO	0.427	0.318	0.33	0.344	0.283	0.205	0.309	0.305
MgO	7.457	7.718	8.082	8.139	8.457	7.678	7.603	8.129
CaO	0.008	0	0.06	0.014	0.138	0.019	0.22	0
Na <sub>2</sub> O	0.221	0.112	0.136	0.1	0.271	0.12	0.39	0.203
K <sub>2</sub> O	7.205	8.675	8.567	8.846	8.693	8.544	8.58	8.919
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.064	0	0.054	0.01	0.022	0.037	0.041
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.021	0.073	0.041	0.061	0.074	0.105	0.086	0.062
NiO	0	0	0.021	0	0.091	0.024	0	0.024
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.007	0	0	0.013	0.023	0	0.028	0.01
Total	95.832	95.856	96.096	96.828	94.974	94.916	95.586	96.071
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24
Si	6.022	5.914	5.946	5.921	5.869	5.902	5.998	5.904
Ti	0.165	0.433	0.391	0.460	0.400	0.457	0.430	0.429
Al	4.298	3.630	3.643	3.519	3.510	3.578	3.547	3.635
Fe	2.553	2.945	2.885	2.943	2.994	2.998	2.858	2.837
Mn	0.058	0.045	0.046	0.048	0.040	0.029	0.043	0.043
Mg	1.786	1.908	1.986	1.995	2.122	1.921	1.879	2.001
Ca	0.001	0.000	0.011	0.002	0.025	0.003	0.039	0.000
Na	0.069	0.036	0.043	0.032	0.088	0.039	0.125	0.065
K	1.477	1.836	1.802	1.856	1.868	1.830	1.815	1.880
Cr	0.000	0.008	0.000	0.007	0.001	0.003	0.005	0.005
V	0.003	0.010	0.005	0.008	0.010	0.014	0.011	0.008
Ni	0.000	0.000	0.003	0.000	0.012	0.003	0.000	0.003
P	0.001	0.000	0.000	0.002	0.003	0.000	0.004	0.001
Total	16.434	16.765	16.762	16.793	16.944	16.778	16.755	16.812
Xfe	0.588	0.607	0.592	0.596	0.585	0.610	0.603	0.586
Sol	22.015	20.456	21.434	21.149	21.863	20.367	20.453	21.516
Tot Y	6.883	6.875	6.897	6.886	6.936	6.885	6.755	6.849
Phen Tr	4.527	5.200	5.208	5.319	5.386	5.278	5.164	5.172

Table 9 (つづき)

No.	97	98	111	124	125	135	146	159
SiO <sub>2</sub>	35.566	36.006	39.487	35.486	36.436	38.351	36.621	39.841
TiO <sub>2</sub>	3.452	3.51	3.134	3.277	3.091	3.06	3.699	2.779
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.569	18.694	18.695	17.896	18.329	18.638	17.723	19.185
FeO	20.665	20.166	18.115	20.777	21.186	19.191	20.313	17.634
MnO	0.212	0.337	0.23	0.311	0.321	0.3	0.282	0.242
MgO	8.108	7.526	6.341	7.853	8.567	7.377	8.492	6.376
CaO	0.027	0.028	1.175	0.052	0.049	0.663	0.02	1.173
Na <sub>2</sub> O	0.201	0.156	1.476	0.129	0.116	1.021	0.181	1.162
K <sub>2</sub> O	8.684	8.731	7.04	8.372	8.754	8.113	8.784	7.128
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.023	0.06	0.009	0.025	0.026	0.007	0.009	0.027
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.116	0.043	0.094	0.082	0.051	0.028	0.072	0.06
NiO	0.033	0.004	0.042	0.011	0.023	0.013	0.006	0.025
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0	0.01	0.009	0.048	0	0.009	0
Total	94.655	95.26	95.849	94.28	96.997	96.762	96.212	95.632
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24
Si	5.975	5.978	6.366	5.975	5.964	6.200	6.023	6.406
Ti	0.436	0.438	0.380	0.415	0.380	0.372	0.457	0.336
Al	3.478	3.657	3.551	3.551	3.535	3.550	3.435	3.635
Fe	2.902	2.799	2.442	2.925	2.899	2.594	2.793	2.370
Mn	0.030	0.047	0.031	0.044	0.044	0.041	0.039	0.033
Mg	2.029	1.861	1.523	1.970	2.089	1.776	2.081	1.527
Ca	0.005	0.005	0.203	0.009	0.009	0.115	0.004	0.202
Na	0.065	0.050	0.461	0.042	0.037	0.320	0.058	0.362
K	1.860	1.848	1.447	1.798	1.827	1.672	1.842	1.461
Cr	0.003	0.008	0.001	0.003	0.003	0.001	0.001	0.003
V	0.016	0.006	0.012	0.011	0.007	0.004	0.009	0.008
Ni	0.004	0.001	0.005	0.001	0.003	0.002	0.001	0.003
P	0.000	0.000	0.001	0.001	0.007	0.000	0.001	0.000
Total	16.804	16.698	16.424	16.745	16.805	16.647	16.745	16.347
Xfe	0.589	0.601	0.616	0.598	0.581	0.594	0.573	0.608
Sol	21.531	20.575	19.231	21.149	22.181	20.663	22.483	19.740
Tot Y	6.850	6.780	6.293	6.879	6.913	6.534	6.829	6.307
Phen Tr	5.342	5.076	4.710	5.284	5.333	4.942	5.354	4.639

KosugeCor

Table 10 EPMA data of cordierite

No.	M411	7	20	28	C24	12	22	23	53	58	73	80	161	173	174	177
SiO <sub>2</sub>		40.865	48.782	46.312		47.618	47.408	44.144	47.37	47.632	47.956	49.842	46.457	48.416	47.526	48.076
TiO <sub>2</sub>		3.063	0.05	0		0.001	0.032	0.805	0	0.001	0	0.286	0.022	0.067	0.017	0.041
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		21.439	32.758	30.796		32.02	30.653	31.911	32.255	32.14	32.24	22.349	31.276	32.067	31.383	32.591
FeO		19.325	10.002	10.414		9.574	10.107	7.122	9.689	9.693	9.713	14.078	10.699	10.773	10.6	10.504
MnO		0.303	0.942	0.99		0.359	0.362	0.067	0.316	0.35	0.35	0.173	0.401	0.377	0.29	0.377
MgO		6.672	6.686	6.417		6.757	6.616	3.007	6.671	6.773	6.839	6.971	7.653	6.17	6.135	6.731
CaO		0.396	0.026	0.065		0.027	0.04	0	0.043	0.041	0.014	1.347	0.014	0.122	0.027	0.015
Na <sub>2</sub> O		1.027	0.138	0.417		0.293	0.496	0.248	0.366	0.319	0.247	5.519	0.361	0.467	0.317	0.305
K <sub>2</sub> O		8.008	0	0.035		0	0.836	9.933	0.043	0.071	0.048	0.423	0.107	0.267	0.799	0.076
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0.045	0.007	0.027		0	0	0.044	0	0.015	0	0	0.016	0	0.004	0.011
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0.102	0.009	0.009		0.043	0	0.092	0	0.011	0	0.05	0	0.001	0.017	0.016
NiO		0	0.013	0		0.054	0	0.087	0	0.018	0	0	0	0	0	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0.046	0	0		0	0.019	0.01	0	0	0.033	0.052	0	0	0	0.015
Total		101.291	99.412	95.482		96.746	96.569	97.47	96.753	97.065	97.442	101.092	97.031	98.727	97.115	98.757
O No.		18	18	18		18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Si		4.674	5.022	5.001		5.024	5.057	4.868	5.001	5.014	5.023	5.304	4.937	5.041	5.042	4.991
Ti		0.263	0.004	0.000		0.000	0.003	0.067	0.000	0.000	0.000	0.023	0.002	0.005	0.001	0.003
Al		2.889	3.974	3.918		3.981	3.853	4.147	4.013	3.986	3.979	2.802	3.916	3.934	3.923	3.987
Fe		1.848	0.861	0.940		0.844	0.901	0.657	0.855	0.853	0.851	1.252	0.950	0.938	0.940	0.912
Mn		0.029	0.082	0.091		0.032	0.033	0.006	0.028	0.031	0.031	0.016	0.036	0.033	0.026	0.033
Mg		1.137	1.025	1.032		1.062	1.051	0.494	1.049	1.062	1.067	1.105	1.211	0.957	0.970	1.041
Ca		0.049	0.003	0.008		0.003	0.005	0.000	0.005	0.005	0.002	0.154	0.005	0.014	0.003	0.002
Na		0.228	0.028	0.087		0.060	0.103	0.053	0.075	0.065	0.050	1.138	0.074	0.094	0.065	0.061
K		1.168	0.000	0.005		0.000	0.114	1.397	0.006	0.010	0.006	0.057	0.014	0.035	0.108	0.010
Cr		0.004	0.001	0.002		0.000	0.000	0.004	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001
V		0.009	0.001	0.001		0.004	0.000	0.008	0.000	0.001	0.000	0.004	0.000	0.000	0.001	0.001
Ni		0.000	0.001	0.000		0.005	0.000	0.008	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P		0.004	0.000	0.000		0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.003	0.005	0.000	0.000	0.000	0.001
Total		12.302	11.000	11.085		11.014	11.120	11.709	11.032	11.029	11.011	11.860	11.147	11.052	11.081	11.044
XMg		0.381	0.544	0.523		0.557	0.538	0.429	0.551	0.555	0.556	0.469	0.560	0.505	0.508	0.533
Ch. Cat.		1.396	0.028	0.092		0.060	0.216	1.450	0.081	0.075	0.057	1.195	0.089	0.130	0.173	0.071



Table 10 (つづき)

KosugeCor

No.	61	67	73	74	104	123	129	130	135	136	139	142	196	197	211
SiO <sub>2</sub>	47.649	48.312	47.757	47.363	48.649	47.558	48.837	48.39	47.89	48.413	48.37	48.368	48.38	48.894	47.807
TiO <sub>2</sub>	0.003	0	0.004	0.144	0.013	0.016	0.013	0.014	0.029	0	0.013	0.014	0.009	0.046	0.014
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32.009	32.119	31.831	31.184	32.312	31.709	32.158	32.201	32.006	32.359	32.163	32.077	32.459	32.645	32.036
FeO	11.215	11.828	11.556	12.404	11.424	11.334	11.636	11.222	11.167	11.437	11.429	11.54	11.744	10.816	10.669
MnO	0.481	0.435	0.442	0.338	0.286	0.4	0.419	0.312	0.316	0.452	0.309	0.316	0.198	0.449	0.407
MgO	5.685	5.558	5.749	5.602	5.898	5.882	5.87	6.093	5.763	6.126	6.078	5.84	5.901	6.383	6.005
CaO	0.048	0.005	0.013	0.031	0.025	0.038	0.031	0.074	0.073	0.006	0.034	0	0.037	0.018	0.167
Na <sub>2</sub> O	0.262	0.172	0.212	0.308	0.234	0.247	0.211	0.186	0.232	0.211	0.183	0.208	0.201	0.231	0.268
K <sub>2</sub> O	0.002	0	0.007	0.59	0	0.029	0	0.04	0.04	0	0	0.004	0.017	0.021	0.065
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.024	0	0.043	0.044	0	0.04	0	0.044	0	0	0	0	0.06	0.021
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.013	0.012	0	0.027	0.005	0	0.004	0.002	0	0.015	0.009	0.01	0.011	0
NiO	0	0.05	0.027	0.017	0.024	0.07	0.01	0.003	0	0	0.035	0	0	0	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.026	0.013	0	0	0	0.005	0	0.024	0.007	0	0	0	0.022	0
Total	97.354	98.54	97.625	98.024	98.935	97.287	99.232	98.54	97.586	99.01	98.629	98.374	98.957	99.596	97.458
O No.	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Si	5.032	5.049	5.037	5.020	5.051	5.032	5.062	5.043	5.041	5.028	5.040	5.053	5.029	5.033	5.033
Ti	0.000	0.000	0.000	0.011	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.000	0.001	0.001	0.001	0.004	0.001
Al	3.983	3.955	3.956	3.894	3.953	3.953	3.928	3.954	3.970	3.960	3.949	3.949	3.975	3.959	3.974
Fe	0.990	1.033	1.019	1.099	0.992	1.003	1.008	0.978	0.983	0.993	0.996	1.008	1.021	0.931	0.939
Mn	0.043	0.038	0.039	0.030	0.025	0.036	0.037	0.028	0.028	0.040	0.027	0.028	0.017	0.039	0.036
Mg	0.894	0.865	0.903	0.884	0.912	0.927	0.906	0.946	0.904	0.948	0.943	0.909	0.914	0.979	0.942
Ca	0.005	0.001	0.001	0.004	0.003	0.004	0.003	0.008	0.008	0.001	0.004	0.000	0.004	0.002	0.019
Na	0.054	0.035	0.043	0.063	0.047	0.051	0.042	0.038	0.047	0.042	0.037	0.042	0.040	0.046	0.055
K	0.000	0.000	0.001	0.080	0.000	0.004	0.000	0.005	0.005	0.000	0.000	0.001	0.002	0.003	0.009
Cr	0.000	0.002	0.000	0.004	0.004	0.000	0.003	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.002
V	0.000	0.001	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.000
Ni	0.000	0.004	0.002	0.001	0.002	0.006	0.001	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
P	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000
Total	11.003	10.986	11.005	11.091	10.992	11.017	10.992	11.001	10.994	11.012	11.002	10.992	11.004	11.003	11.009
XMg	0.475	0.456	0.470	0.446	0.479	0.480	0.473	0.492	0.479	0.488	0.487	0.474	0.472	0.513	0.501
Ch. Cat.	0.054	0.035	0.044	0.143	0.047	0.055	0.042	0.043	0.053	0.042	0.037	0.043	0.043	0.049	0.063

KosugeCor

No.	C35	9	10	23	24	29	30	33	46	47	56	62	69	88	95
SiO <sub>2</sub>		47.904	47.337	48.594	48.192	49.02	49.043	46.939	47.846	50.212	48.448	48.521	48.67	49.582	49.604
TiO <sub>2</sub>		0.013	0	0.021	0	0.027	0.085	0	0.014	0.096	0.037	0.035	0.021	0.015	0.002
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		32.643	31.98	32.724	32.396	32.766	32.923	31.534	31.767	33.96	32.106	32.276	32.207	32.746	32.73
FeO		10.681	10.414	10.734	10.93	10.543	10.569	10.361	10.474	9.135	9.942	10.511	10.694	10.775	10.908
MnO		0.326	0.321	0.333	0.382	0.354	0.388	0.38	0.412	0.328	0.416	0.349	0.424	0.323	0.326
MgO		6.425	6.441	6.61	6.512	6.51	6.232	6.457	6.776	5.619	6.448	6.31	6.546	6.507	6.618
CaO		0.017	0.072	0	0.014	0.014	0.196	0.183	0.032	0.336	0.029	0.115	0.051	0.026	0.048
Na <sub>2</sub> O		0.164	0.154	0.169	0.144	0.164	0.174	0.199	0.155	0.199	0.206	0.187	0.16	0.206	0.164
K <sub>2</sub> O		0.047	0.091	0.016	0.019	0.054	0.111	0.223	0.258	1.032	0.332	0.021	0.034	0.037	0.012
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		0.028	0.019	0.009	0.012	0	0	0	0.035	0.004	0.04	0	0	0.011	0.002
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0	0	0	0	0	0	0.009	0.022	0	0.033	0.006	0.015	0	0.017
NiO		0	0	0	0	0.015	0	0	0.019	0	0	0.081	0.019	0.012	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0.006	0.024	0	0.028	0.029	0	0.007	0.02	0.026	0	0	0	0	0.003
Total		98.254	96.853	99.211	98.631	99.495	99.722	96.293	97.831	100.947	98.037	98.413	98.842	100.239	100.434
O No.		18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Si		4.997	5.008	5.017	5.013	5.040	5.036	5.006	5.021	5.073	5.056	5.048	5.046	5.062	5.057
Ti		0.001	0.000	0.002	0.000	0.002	0.007	0.000	0.001	0.007	0.003	0.003	0.002	0.001	0.000
Al		4.012	3.987	3.981	3.971	3.969	3.983	3.963	3.928	4.043	3.948	3.957	3.935	3.939	3.932
Fe		0.931	0.921	0.926	0.950	0.906	0.907	0.924	0.919	0.772	0.867	0.914	0.927	0.920	0.930
Mn		0.029	0.029	0.029	0.034	0.031	0.034	0.034	0.037	0.028	0.037	0.031	0.037	0.028	0.028
Mg		0.998	1.015	1.017	1.009	0.997	0.953	1.026	1.059	0.846	1.002	0.978	1.011	0.990	1.005
Ca		0.002	0.008	0.000	0.002	0.002	0.022	0.021	0.004	0.036	0.003	0.013	0.006	0.003	0.005
Na		0.033	0.032	0.034	0.029	0.033	0.035	0.041	0.032	0.039	0.042	0.038	0.032	0.041	0.032
K		0.006	0.012	0.002	0.003	0.007	0.015	0.030	0.035	0.133	0.044	0.003	0.004	0.005	0.002
Cr		0.002	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.003	0.000	0.000	0.001	0.000
V		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.003	0.001	0.001	0.000	0.001
Ni		0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.007	0.002	0.001	0.000
P		0.001	0.002	0.000	0.002	0.003	0.000	0.001	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total		11.013	11.016	11.008	11.013	10.990	10.991	11.047	11.042	10.980	11.008	10.991	11.003	10.990	10.993
XMg		0.517	0.524	0.523	0.515	0.524	0.512	0.526	0.535	0.523	0.536	0.517	0.522	0.518	0.519
Ch. Cat.		0.039	0.044	0.036	0.032	0.040	0.049	0.071	0.066	0.172	0.086	0.040	0.037	0.046	0.034

# Occurrence and Chemical Composition of Metamorphic Minerals of Muddy Hornfels in the Shimanto Zone of the Kanto Mountain: V

Kosuge Valley, Kitatsuru County, Yamanashi in the Central Japan

Hideo KAGAMI<sup>1)</sup> and Hidetsugu TANIGUCHI<sup>2)</sup>

## Abstract

Thermal metamorphic aureole of the muddy Shimanto formations intruded by the Hirose Granodiorite is studied along Kosuge Valley, and is divided into five hornfelsic zones; Garnet-cordierite medium grade zone, Cordierite medium grade zone, Biotite medium grade zone, Chlorite-biotite low grade zone, Muscovite very low grade zone and Chlorite unmetamorphosed zone.

By using garnet-biotite geothermometer, we obtained 600°C for the garnet-cordierite zone at the contact with granodiorite. This is the reason we have observed the medium grade hornfels in this area.

We counted whole mineral assemblage consisting of quartz, feldspar and micas, evaluating impure minerals as an inclusion, or precursor of metamorphosed mineral. In this way, we can get correct mode of occurrence and understand true mineral paragenesis during hornfelsic metamorphism.

Further more, we can use line analysis of EPMA to get a whole rock analysis in a conventional way. We obtained three extraordinary chemical values. They are all volatiles; K, Na, and Ca, suggesting their fluid flow origin. The volatile rich sites are C261 in the chlorite-biotite zone, C35 in the cordierite zone and M411 in the garnet-cordierite zone. Sites C35 and M411 are directly contacted with granodiorite dyke or batholith, and therefore, it is assumed that they are affected by fluid flows. We observed many calcite veins at Site C261.

We shall discuss the hornfelsic problems of fluid flow in near future.

---

1) Institute of Geology, Faculty of Science, Josai University

2) Komazawa University High School