

# 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——

加賀美英雄・谷口 英嗣<sup>1)</sup>

## はじめに

この論文は関東山地のホルンフェルス研究を始めて5年目になり、2000年夏に泉水谷にほぼ連続露出する泥質岩の熱変成状態を観察し、採集試料の化学分析をしたので、結果をまとめて報告する。この研究を始めた動機は、城西大学が存在している関東平野西縁の丘陵地帯には、関東堆積盆地を埋め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について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）。そこで、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ようとしたが、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）、と笹子峠付近の報告（Kuroda et al., 1978）以外は無かった。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ので（松田，1992；松田ほか，1992）、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、主として砂岩試料を採取して報告した（加賀美・谷口，1998：前出）。1998年には、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

1) 駒沢大学高等学校

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。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その結果を報告した（加賀美・谷口，2000）。

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のかということであるが、筆者は飯能礫層というの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。

### 塩山市泉水谷付近の地質概要と試料の採集地点

多摩川上流の一之瀬川が黒川山・鶏冠山に突き当たり北上する辺りに三条橋があり、ここから南西に向かって発達する谷が泉水谷である。この谷をつめて、西方に大沼沢を遡上すると青梅街道の最高点の柳沢峠（標高 1500 m）に達する。泉水谷をさらに南方につめ、牛首谷を遡上すると大菩薩嶺の北西尾根にある丸川峠に達する。いずれの谷も中腹で、花崗岩に接する。この辺りに分布する甲府深成岩体は Shimizu (1986) の研究した徳和岩体であり、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。田上らが行ったフィッシュ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)。

山梨県地質図編集委員会 (1970) によると、本地域より北には小仏層群下部の丹波累層が、泉水谷中部には小仏層群上部の小菅累層が分布し、泉水谷上部から南には三倉層群が分布している。

五日市図幅では、小仏層群下部は、三頭山付近では盆堀川層と呼ばれ、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（一部礫岩）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、本層の層厚は 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。盆堀川層の地質年代は、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 (酒井，1987)。

五日市図幅によれば小仏層群上部は、三頭山付近では小伏層と呼ばれ、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 3500 m 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。また、三倉層群を小仏層群上部の小伏層としている (酒井，1987：前出)。

落合付近東部の砂岩泥岩互層のうち、村田ら（1986）は泥岩優勢部の分布を羽根戸橋から一之瀬橋にかけて図示している。砂岩泥岩互層の厚さは、地図上の分布から推定すると約 1 km ある。なお、落合付近は砂岩優勢部層が卓越し、その続きは藤尾山の山頂にかけて広く分布している。その分布の北東の層準に来るはずの砂岩泥岩互層は一之瀬橋より西北に向かっては砂岩優勢部層中にせん滅するようにみえる。泉水谷に分布する厚い泥質岩はこの砂岩優勢部層の上位相当層である。

三頭山の南の鶴川から、北西に延びる鶴川断層は、本地域の柳沢川沿いに、鶴川南断層として砂岩優勢部層を切って、断層角礫岩帯を形成し、広瀬花崗閃緑岩に突き当たっている。村田ら（1986：前出）によれば、本断層は広瀬花崗閃緑岩の貫入以前に存在し、花崗閃緑岩体を明瞭に切っていることから貫入以後も活動したと述べている。

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、簡単な記載と変成帯分帯を試みる（図 1）。なお、本論文では累進変成作用の変成分帯の基準は、Blackburn and Dennen（1994）の表に基づいた。それによれば、変成度の Low と 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。

なお、筆者らは 'Grade' のなかに、地層の岩質の差による変成の違いを認めたので、それを考慮して、1 から 4 までに区分した。例えば、三倉層群の下部は粘土質の泥質岩が卓越するので、この部分を Pelitic 2 と呼び、火山灰層が頻繁に入る三倉層群中部の泥質岩を Pelitic 1 と区別した。やや砂質となる小仏層群上部の泥岩は Pelitic 3 と区分した。また、断層角礫岩が存在し、砂岩優勢互層が卓越する小仏層群中部は Pelitic 4 と区分した。

まず、泉水谷の接触部から 300 m までザクロ石を多産する(1)Pelitic 1 Medium Grade 帯（従来の堇青石 II 帯）が認められた。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 400 m から 1410 m まで分布し、堇青石が多産することで特徴付けられる(2)Pelitic 2 Medium Grade 帯がある（従来の堇青石 I 帯）。この帯は正長石、灰曹長石、堇青石の組み合わせで、黒雲母、白雲母が随伴する。それから、(1)とほぼ同じ距離（150～300 m）にあって、あるいは(1)と(2)の間にあるとみることのできる、やや低変成の傾向を示す(3)Pelitic 1 Low Grade 帯がある（従来はこれを Retrograde 帯と呼んだ）。鉱物組み合わせは微斜長石、斜長石、黒雲母、白雲母を主として、他に、緑泥石、曹長石が産する。この帯は構造的弱線に位置するもので、その産状から面的な広がりには示さないようであるから、厳密には帯とは呼べない。さらに(2)の外側に 1650 m から 3400 m までに(4)Pelitic 3 Low Grade 帯（従来の黒雲母帯）がある。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。今回、この比較的長距離にわたって分布するこの帯を層状珪酸塩鉱物の量比から 3 帯に細分することができた。そして、最も外側の 3400 m 以遠に(5)Pelitic 4 Very Low Grade 帯（従来の緑泥石帯）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。以上の各帯の分布

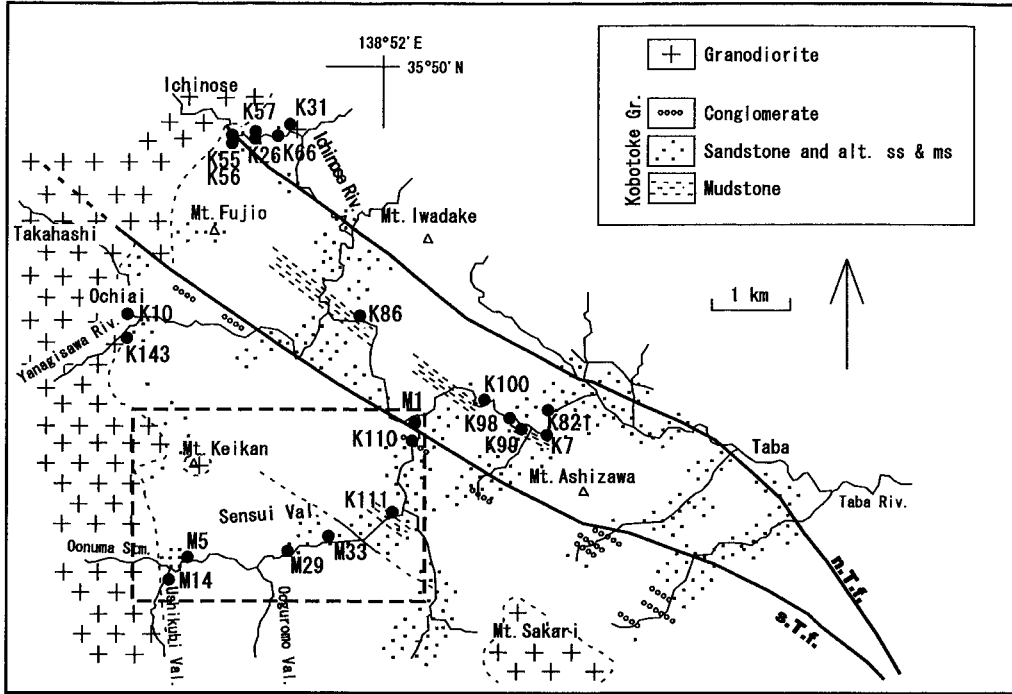


図 1A 多摩川上流の塩山市泉水谷付近の地質概念図・試料採取地点（村田ら，1986 を改変）  
括弧内は図 1B に示す

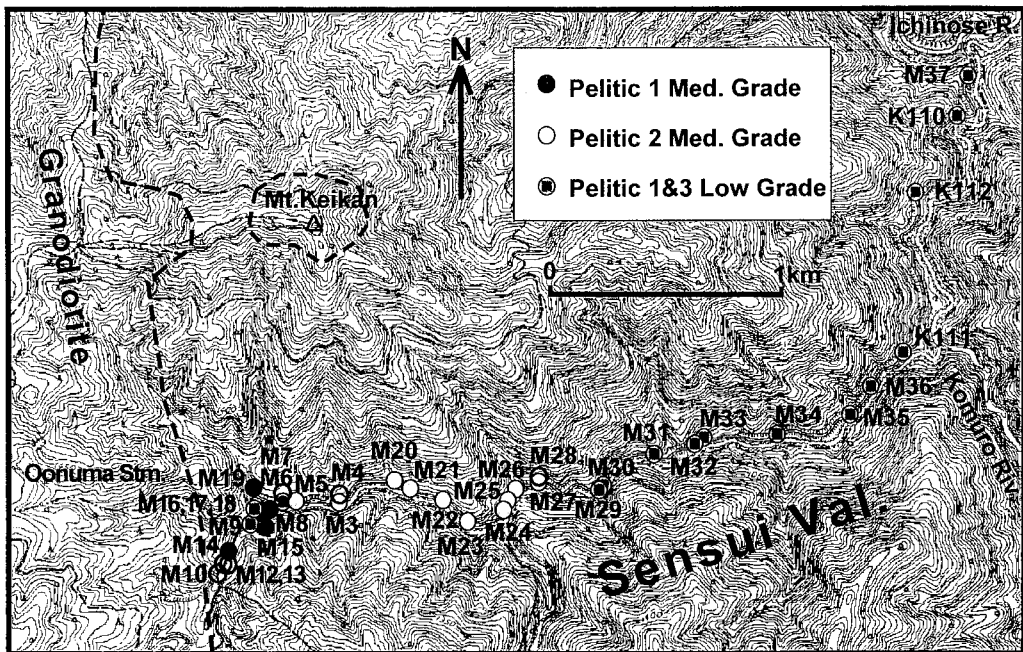


図 1B 塩山市泉水谷付近のホルンフェルス試料採取地点と変成分帯

を図 1B に示した。

次に、試料採集地点を変成分帯別に、花崗閃緑岩からの距離を入れて述べる。

(1) **Pelitic 1 Medium Grade 帯**

M14 (60 m)：大沼沢出会いの南。標高 1255 m の林道で、堰堤の直ぐ下にあたる。サンプルは火山灰の薄層が入るやや粗粒の泥岩。

その他に、M18 (210 m)、M15 (280 m)、M8 (300 m) などの試料がある。

(2) **Pelitic 2 Medium Grade 帯**

M5 (400 m)：牛首谷から来る谷の出会いで、滝となっているところ。標高 1190 m の林道に露出する泥岩互層である。ここには白色火山灰層が数枚認められた。なお、本地点から、この地域で初めての三連双晶の堇青石が発見された。

その他に、M3 (500 m)、M20 (800 m)、M21 (850 m)、M22 (1000 m)、M23 (1100 m)、M24 (1260 m)、M25 (1290 m)、M26 (1310 m)、M27 (1410 m) が含まれる。大部分が三倉層または小伏層に相当する。ただし、M27 は小仏層群最上部のチャート優勢部に属する。

(3) **Pelitic 1 Low Grade 帯**

M6 (300 m)：牛首谷から来る谷の出会いより上流。標高 1200 m の林道。サンプルは互層の泥質部に当たる。

その他に、M9 (150 m)、M16 (210 m) があげられる。数が少なく、帯とは呼べないが便宜的にここに上げた。

(4) **Pelitic 3 Low Grade 帯**

(4-1) 1650 m～2050 m にかけて分布する。ここでは、長石>石英であることから、変成鉱物として黒雲母のほかに長石類が寄与していることを示す。

M29 (1650 m)：大黒茂谷出会いより下流側の林道の崖。黒色頁岩。

そのほか、M30 (1700 m)、M31 (1940 m)、M32 (2050 m) があり、全て小仏層群に属する。

(4-2) ここまで (2140 m) くと、石英>>長石となり、微斜長石は認められなくなる。黒雲母と白雲母が変成鉱物として出現する。

M33 (2140 m)：ホウロク沢出会い下流の林道の崖。厚さ 10 m 以上の塊状粗粒泥岩(シルト岩)。

そのほか、M34 (2450 m)、M35 (2600 m)、M36 (2850 m) があり、小仏層群に属する。

(4-3) この帯は 3050 m から 3400 m にあり、黒雲母・白雲母の他に、層状珪酸塩鉱物に緑泥石が出現してくることから、(4-2) と識別される。黒雲母>緑泥石である。小仏層群の砂岩優勢部であり、村田ほか (1986：前出) の断層角礫岩状構造が分布する帯である。

K111 (3050 m)：小室川出会いの林道の崖。層状珪酸塩鉱物として黒雲母、白雲母、緑泥石が出現する。

そのほか、K112 (3150 m)、K110 (3300 m)、M37 (3400 m) がある。

### (5) Pelitic 4 Very Low Grade 帯

本地域は数度の熱的履歴を経ているようなので、緑泥石帯といっても黒雲母は生じている。しかし、緑泥石>黒雲母の関係は明らかである。

K100 (4400 m)：青梅街道の丹波山トンネルの西側。層状珪酸塩鉱物として、白雲母、緑泥石、黒雲母が出現する。

そのほかに、M1 (3400 m)、K98 (4900 m)、K99 (5000 m)、K821 (5300 m) がある。

## 岩石薄片の顕微鏡観察

本地域の代表的な岩石を選んで、変成分帯別に述べる。第1帯(1)のM14B, M14A, 第2帯(2)のM5, M21, M22, M24, 第3帯(3)のM6A, 第4帯(4)のM29, M33, そして第5帯(5)のK821を選んで、鏡下にみられる主要鉱物の特徴を示す(図2A, B)。

図2A-Fに示したのは(5)帯の岩石(K821C)で、砂岩泥岩互層の泥質部である。写真は横軸の長さが2mm, クロスニコルの像である。その構成鉱物は、石英、曹長石、微斜長石などのやや粒径の大きい、亜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、曹長石、斜長石、方解石が量的には多い。量は少ないが緑れん石も含まれる。石英や曹長石の大きな粒子が含まれることから、全体に淘汰度が悪い。斜長石は灰曹長石が多いが、中性長石も認められた。基質を構成するなかに、スフェーン、方解石なども認められた。

図2A-Eに示したのは(4)帯のM33Cの薄片である。写真は横軸の長さが0.5mm, クロスニコルの像である。写真には斑状変晶の黄白色の塊がみられるが、現在、これは白雲母、微斜長石、曹長石よりなる。ホルンフェルスの構成鉱物は石英、灰曹長石、曹長石、アルカリ長石、微斜長石、白雲母、および黒雲母よりなる。斜長石は灰曹長石が主であるが、中性長石も含まれる。

図2A-Dに示したのは(4)帯の最も接触部に近い側のM29Bの薄片である。写真は横軸の長さが0.5mm, オープンニコルの像である。写真右側には黒色の斑状変晶の塊がみられるが、このような変質の核の存在が後に変成鉱物に成長するものと思われる。現在はこれは白雲母、黒雲母、微斜長石、灰曹長石、ザクロ石よりなる。ホルンフェルスの構成鉱物は石英、灰曹長石、曹長石、アルカリ長石、微斜長石、ザクロ石、白雲母、および黒雲母よりなる。斜長石は灰曹長石が主であるが、中性長石も含まれる。

図2A-Cに示したのは(3)帯のM6Aの薄片である。写真は横軸の長さが1mm, クロスニコルの像である。白色の斑状変晶は堇青石であったものが、現在は白雲母、石英、微斜長石、黒雲母に変化していると考えられる。この試料の構成鉱物は石英、微斜長石、曹長石、灰曹長石、アルカリ長石、白雲母、黒雲母、堇青石である。基質の部分は、比較的大きい黒雲母が層状分布を持って形成されている。

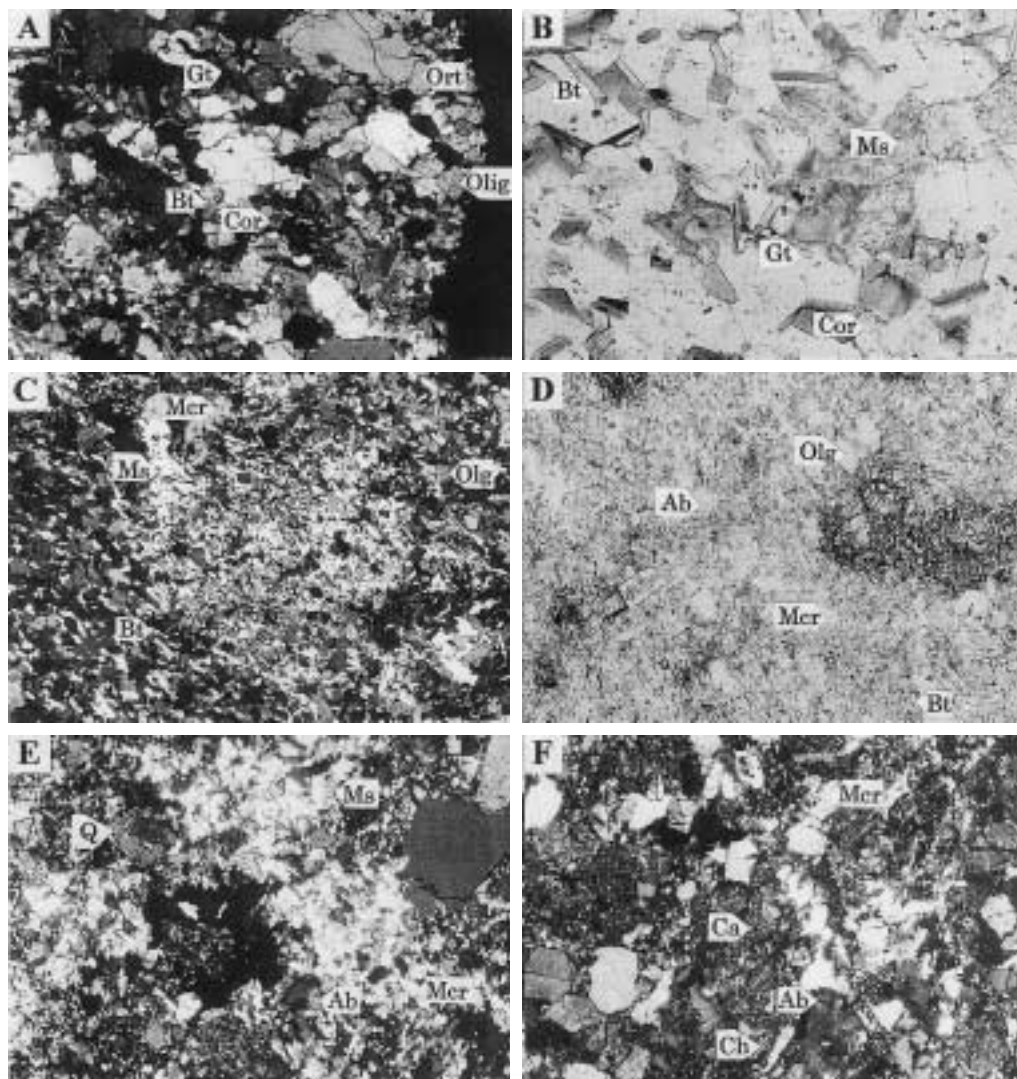


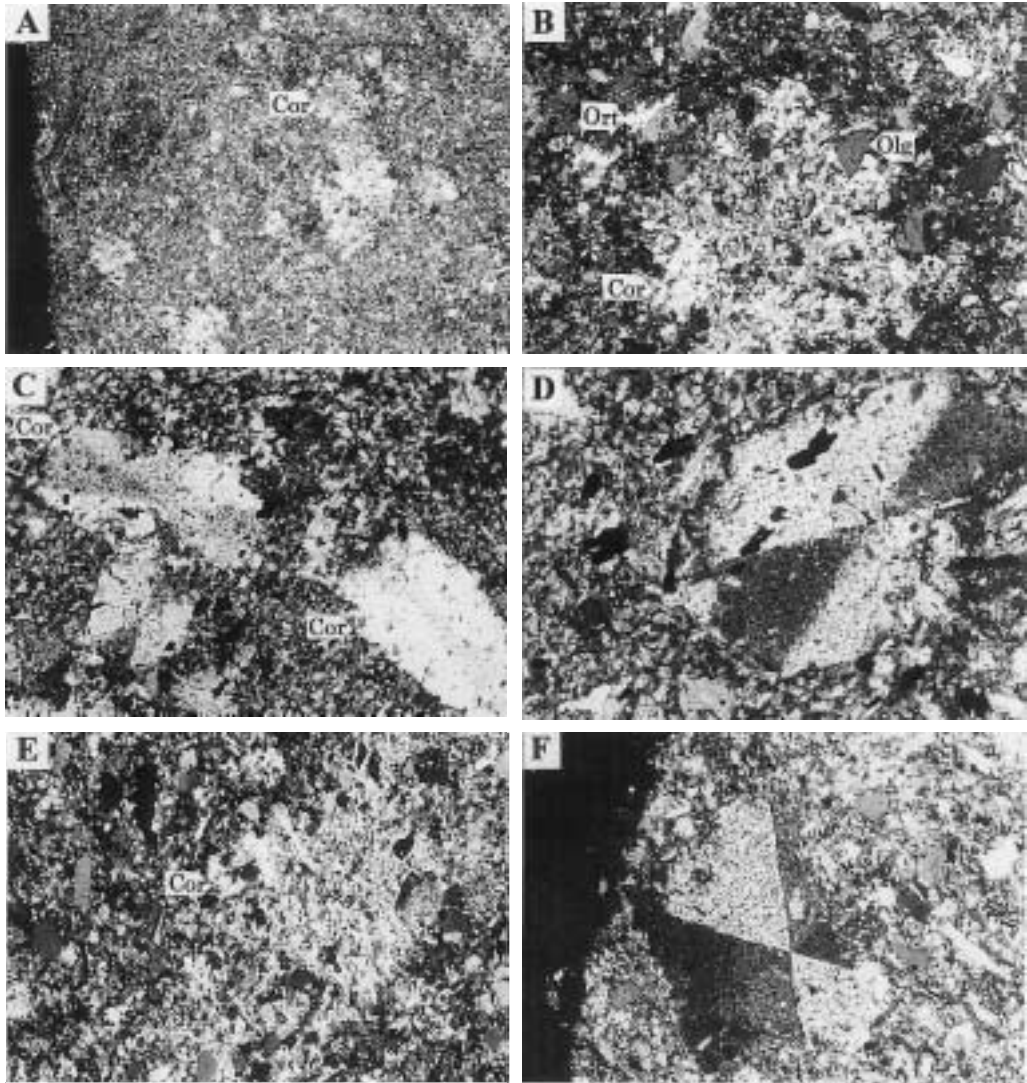
図2A ホルンフェルスの変成分帯毎の岩石顕微鏡写真

A=M14, B=M14, C=M6, D=M29, E=M33, F=K821, 詳細は本文参照

Gt ザクロ石, Cor 堇青石, Bt 黒雲母, Ms 白雲母, Ch 緑泥石, Ort 正長石, Mcr 微斜長石,  
Olg 灰曹長石, Ab 曹長石, Q 石英, Ca 方解石

図2A-Bに示したのは(1)帯のM14Aの薄片である。写真は横軸の長さが0.5mm、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に成長している。黒色短冊形の鉱物は黒雲母である。構成鉱物は石英、ザクロ石、堇青石、黒雲母、正長石、アルカリ長石、灰曹長石、白雲母、アパタイトである。

図2A-Aに示したのは(1)帯のM14Bの薄片である。写真は横軸の長さが2mm、クロスニコルの像である。正長石やアルカリ長石が大型の結晶に成長している。構成鉱物は石英、ザクロ石、堇青石、黒雲母、正長石、アルカリ長石、灰曹長石、白雲母、アパタイトである。黒色に見



**図 2B** 第 2 帯に産する堇青石の岩石顕微鏡写真  
 A, B=M22, C, D=M5, E=M21, F=M24, 詳細は本文参照  
 記号は図 2A と同じ

えるところは、一部はポイドであり、短冊形のところは黒雲母である。

次に、図 2B に (2) 帯の堇青石のみを図版にして示す。堇青石のみの図版を用意したのは、今回関東山地から初めて堇青石の三連双晶が発見されたからである。

図 2B-A, B は M22A の薄片である。写真の横軸の長さは、A が 2 mm, B が 0.5 mm で、クロスニコルの像である。B にみられる堇青石の斑状変晶は、A の中央やや右よりの上部に Cor のマークで示すものと同じものである。構成鉱物は石英、正長石、アルカリ長石、灰曹長石、黒雲母、白雲母、堇青石よりなる。写真 A に見られるように、堇青石の緩やかな塊としての斑状変



晶が全面に発達しているのが、この地点の特徴である。

図 2B-C, D は M 5B の薄片である。写真の横軸の長さは、C が 1 mm, D が 0.5 mm で、クロスニコルの像である。この試料では堇青石の見事な三連双晶を示している。また、写真 C の堇青石は Miyake (1989) の樹枝状結晶に似ていると見られないこともない。構成鉱物は石英、正長石、アルカリ長石、灰曹長石、黒雲母、白雲母、堇青石、ザクロ石、スフェーンである。

図 2B-E は M21A の薄片である。写真は横軸の長さが 1 mm, クロスニコルの像である。写真では堇青石のまばらな核形成が作る斑状変晶が認められる。構成鉱物は石英、正長石、灰曹長石、黒雲母、白雲母、ザクロ石、堇青石、アパタイトである。

図 2B-F は M24B の薄片である。写真は横軸の長さが 1 mm, クロスニコルの像である。写真では堇青石の見事な三連双晶が見られる。構成鉱物は石英、正長石、灰曹長石、黒雲母、白雲母、ザクロ石、堇青石である。

## 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 20 g 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 (1/256 mm) 以下の粘土のみよりなる懸濁液を分離する。その懸濁液を遠心分離器にかけて、固相部分を取り出し、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 RINT100 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 (図 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。26.8 ( $x$ ) は石英の 26.6 ( $x$ ) と重複し、27.6 (0.8) は

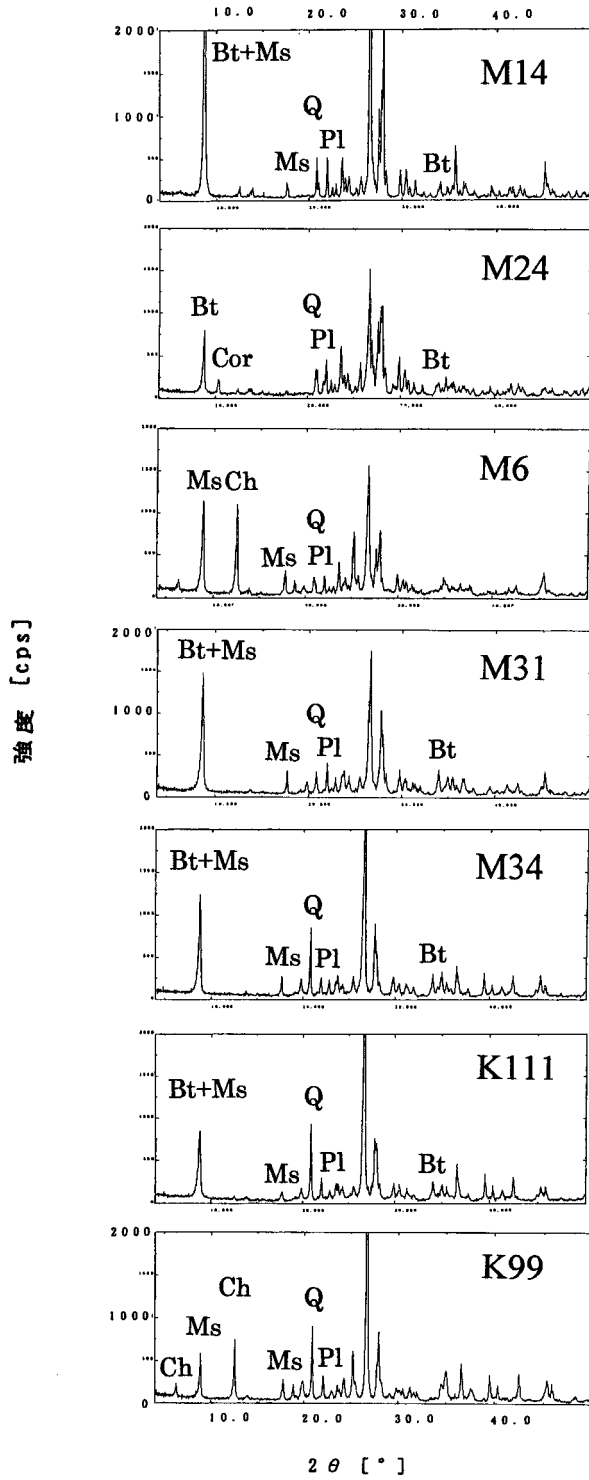


図3 層状珩酸鈹物のX線回折図

Bt: 黒雲母, Ms: 白雲母, Ch: 緑泥石, Cor: 堇青石, Pl: 長石類, Q: 石英

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、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 (表 1)。今回の X 線回折の分析では (2) 帯に堇青石のピークが明瞭に識別されたことが特筆される。その例として、図 3 に M24 の堇青石のピークを示した。

なお、次に示す文中の表では「分帯」は 2 章で述べた変成分帯による。「鉱物組合わせ」は層状珪酸塩鉱物を量の多い順に列らべたもの。その際、量が格段に少なくなるところに / のマークを入れて示した。また、「主要構成鉱物」は顕微鏡観察の結果である。

分帯	鉱物組合わせ	主要構成鉱物
(1)	黒雲母 白雲母/緑泥石 黒雲母 緑泥石/白雲母	正長石 灰曹長石 ザクロ石
(2)	黒雲母/白雲母 緑泥石 堇青石 黒雲母/白雲母 堇青石 緑泥石	正長石 灰曹長石 堇青石
(3)	緑泥石 白雲母/黒雲母 緑泥石/黒雲母 白雲母	微斜長石 斜長石 曹長石
(4)	黒雲母 白雲母 白雲母 黒雲母 黒雲母 白雲母 緑泥石	微斜長石 斜長石
(5)	緑泥石 白雲母 黒雲母 白雲母 緑泥石 黒雲母	曹長石

「分帯」の(1)と(4の3番目)の鉱物組み合わせは、黒雲母 白雲母 緑泥石と一見似ている

が、石英・長石の量比を考慮すると、異なるグループであると識別できた。同様に、(3)と(5)の鉱物組合わせは緑泥石 白雲母 黒雲母と似ているが、異なるグループであることが表1から読みとれる。なお、この鉱物組合わせに石英と長石類を加えた考察を示すと、分帯の(4-2)以降と(5)の組では石英が最多組成であり、未変成陸源物質の状態が卓越することを示している。一方、(2)と(4-1)の組では長石が石英より量比が多く、正長石や微斜長石が灰曹長石と共に変成鉱物として形成されていることを示している。

表1 層状珪酸塩鉱物と石英、長石より成る鉱物組成の接触部からの距離別分布と変成分帯

GROUPING OF CLAY MINERALS				
Zone	Loc	Distance (m) From Contact	Mineral Assemblage	Previous Name
1	M14	60	Bi Ms/Q F Ch	[Cordierite II zone]
	M18	210	Bi Ch/F Ms Q	
	M15	280	Bi Ch/Ms F Q	
	M8	300	Bi/Q F Ch Ms	
3	M9	150	Ch Ms/Q F Bi	[Retrograde zone]
	M16	210	Ch/F Bi Q Ms	
	M6	300	Ch Ms/F Q Bi	
2	M5	400	Bi/F Q Ms Ch	[Cordierite I zone]
	M3	500	Bi/F Q Ch Ms	
	M20	800	Ms/Ch Q F Bi	
	M21	850	Bi/Q F Ms Ch	
	M22	1000	Bi/F Q Cor Ms	
	M23	1100	Bi/Q F Ch Ms	
	M24	1260	Bi/F Q Ms Cor	
	M25	1290	Bi/F Q Ms Cor	
M26	1310	Bi/Ms Q F Cor		
4-1	M29	1650	Ms Bi/F Q	[Biotite zone]
	M30	1700	Bi/Ms F Q	
	M31	1940	Bi Ms/F Q	
	M32	2050	Ms Bi/Q F	
4-2	M33	2140	Q Bi/F Ms	
	M34	2450	Q Bi Ms/F	
	M36	2850	Q/Bi Ms F	
4-3	K111	3050	Q/Bi Ms F Ch	
	K112	3150	Q/Bi F Ms Ch	
	K110	3300	Q/Ch F Ms Bi	
	M37	3400	Q/Bi Ms F Ch	
5	M1	3400	Q/Ch Ms F Bi	[Chlorite zone]
	K100	4400	Q/Ms Ch F Bi	
	K98	4900	Q/Ch Ms F Bi	
	K99	5000	Q/Ch Ms F Bi	
	K821	5300	Ch Q F/Ms	

### 3. 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 JCSA-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  $1 \sim 4 \mu\text{m}$  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。

### 4. アルカリ長石・斜長石の化学組成

長石類の組成を効率的に示すために、(1)帯の M14, (2)帯の M22, (3)帯の M6, (4-1) 帯の M29, (4-2) 帯の M33, および(5)帯の代表として K821 を選んで、長石類の An-Ab-Or 三角ダイアグラムと、主要組成を Feldspar index で表示した図を並べて掲げた (図 4A, B)。

なお、Feldspar index は、花崗岩の組成を表現するのに Si と Al の主構造にアルカリやアルカリ土類金属の比をとって指数化する手法があるが、それをまねたものである。Duke et al. (1992) の  $(\text{Na} + \text{K} + \text{Ca}) / [\text{Al} \times (\text{Al} + \text{Si} + \text{Ti})]$  や  $(\text{Na} + \text{K} + \text{Ca}) / (\text{Al} \times \text{Si})$  などがあり、また Breaks and Moore, Jr (1992) による  $(\text{Al}_2\text{O}_3) / (\text{CaO} + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$  などの手法も提案されている。このインデックス法を長石類に当てはめると、主要成分をプロットすることが可能となる。そこで、上述の式を参照して次のように指数化することにした： $[\text{Al} \times (\text{Al} + \text{Si})] / (\text{Ca} + 2\text{Na} + 10\text{K})$  (図 4A, B 参照)。これを仮に、Feldspar index と呼ぶことにした。この長石指数においては、0.44 あたりに正長石が、1.9~2.1 あたりに曹長石が、そして 3~4 付近に中性長石がプロットされる。

M14 の長石類は、図から明らかなように、正長石 ( $\text{Or}_{80-93}$ ) と灰曹長石 ( $\text{Ab}_{70-85}$ ) の二極に分化して集中している。これは変成鉱物として形成されたことを示している。アルカリ長石が多いことを特徴とするが、かつては正長石側に繋がっていたとみられる。

M22 の長石類は適当に散らばって分布している。斜長石は  $\text{Ab}_{58-90}$  と存在するが、灰曹長石  $\text{Ab}_{80}$  付近からアルカリ長石を経て正長石  $\text{Or}_{80-93}$  に連続するように見える。アルカリ長石が正長石に連続するのは、高温の証拠であり、この事実から  $\text{Or}_{80-93}$  は正長石とした。斜長石のうち、中性長石一亜灰長石は原岩組成が残留したものと判断される。

M6 の長石類は、微斜長石  $\text{Or}_{80-100}$  と灰曹長石に集中する。曹長石も多いのが特徴である。この集中的分布から、これらは変成鉱物として形成されたものと判断し、またその形成温度は比較的低かったと判断した。アルカリ長石は Feldspar index 図において諸元素の値が系統的に変化して微斜長石に連続する様子が観察されたが、その分布は部分的である。

M29の微斜長石  $Or_{82-96}$  は量が少ないが存在はする。量的に多いのは  $Ab_{60-100}$  の斜長石である。これは曹長石、灰曹長石、中性長石である。このうち中性長石は原岩組成が残留したものと判断される。アルカリ長石はその分布がバラバラで、一部は残留したものかもしれない。

M33の長石類は、 $Ab_{60-100}$  に代表される斜長石である。微斜長石が存在しないことから、変

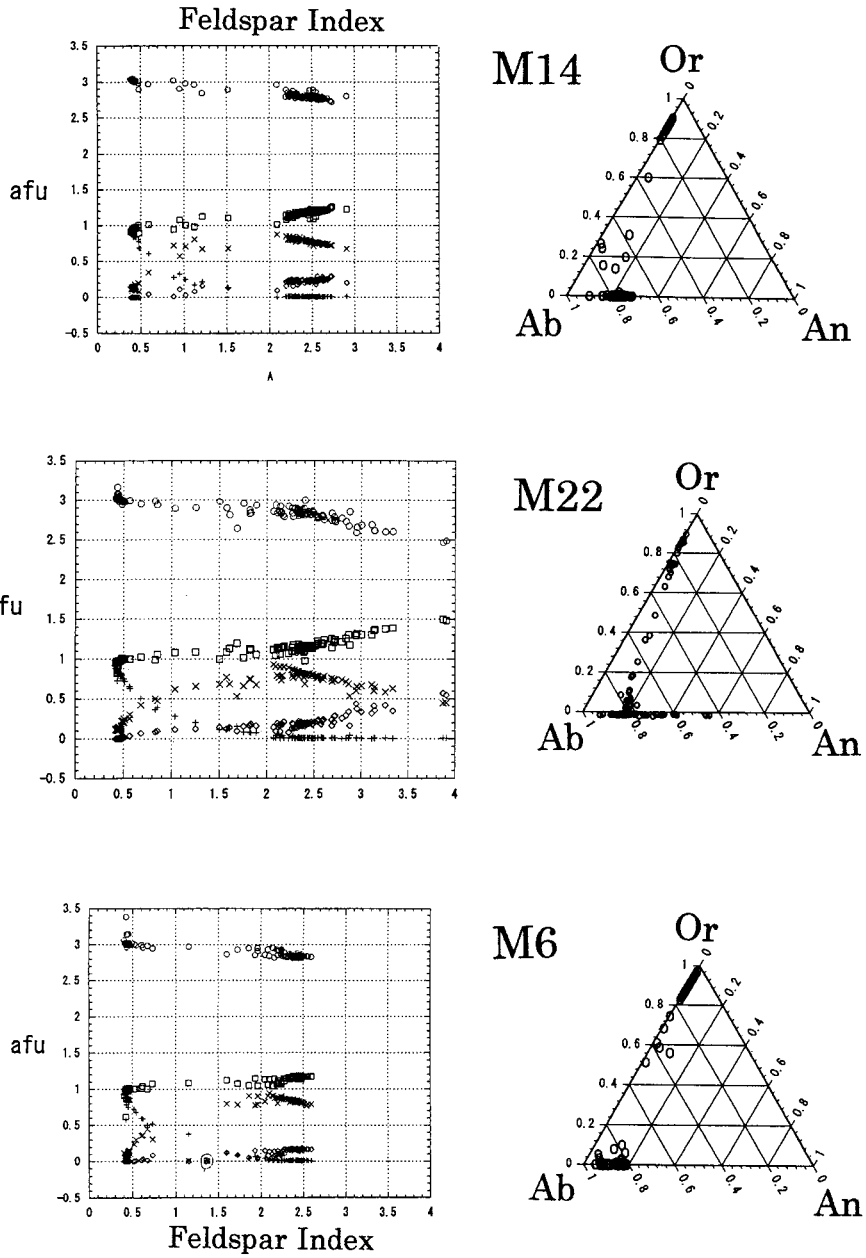


図 4A 長石類の Feldspar index と主要元素の関係図と An-Ab-Or 三角ダイアグラム  
 (記号は丸：Si, 四角：Al, ×：Na, 菱形：Ca, 十字：K)

成鉱物は曹長石だけであり、他は残留したものと判断した。

K821 の長石類は、少々例外で、微斜長石と灰曹長石が少量形成されている。花崗岩体より遠方にあったにも係わらず、多分局地的に熱の影響が在ったものと思われる。しかし、これを除くと曹長石のみの構成となる。

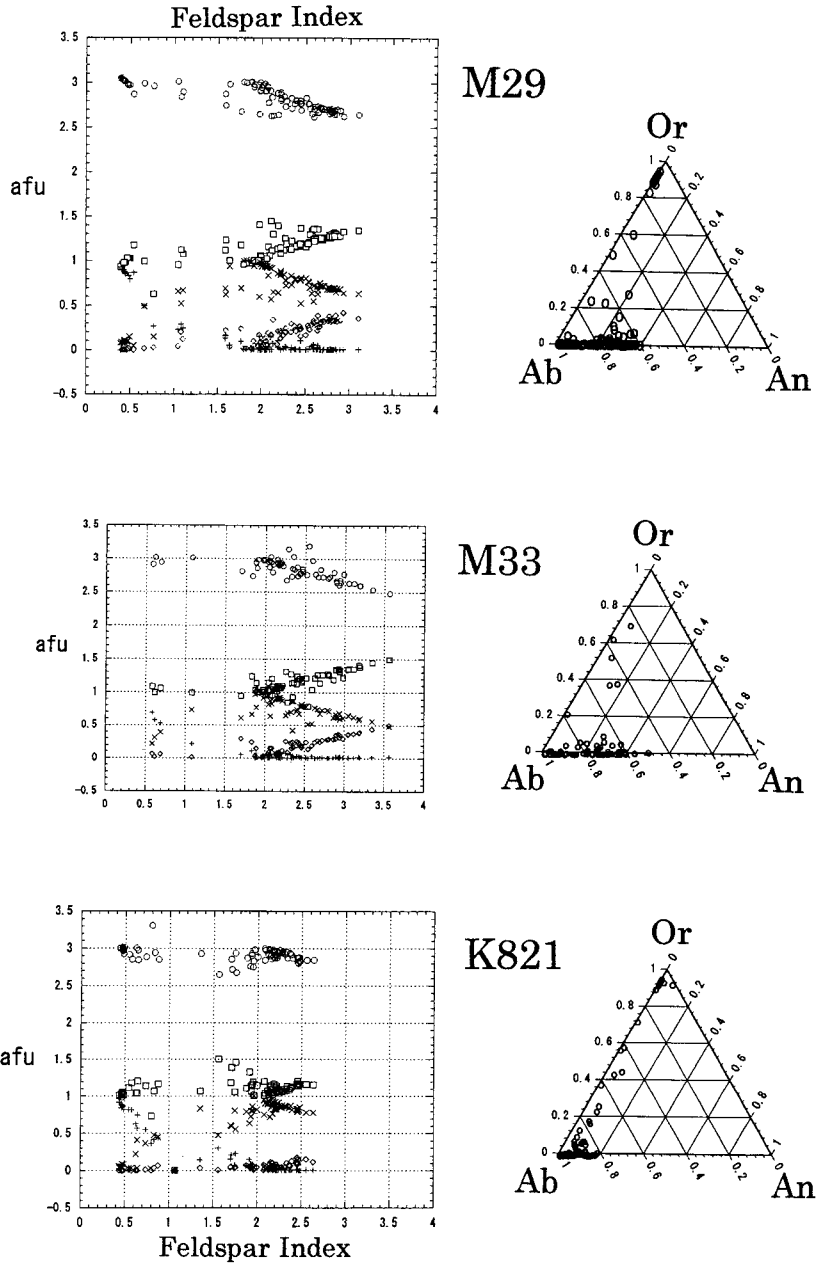
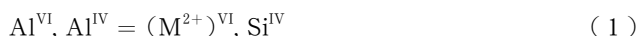


図 4B 長石類の Feldspar index と主要元素の関係図と An-Ab-Or 三角ダイアグラム  
(記号は図 4A と同じ)

## 5. 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。

次に、Phengite Trend (以下 PhT と表す) の説明をする。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という。これは Mg, Fe の量的インデックスとして使える。

白雲母の分析値を代表的な 3 地点, M14, M22, M30 について示す (表 2—29p. に示す, 図 5)。まず、(1) 帯の M14 では、大部分の  $X_{Fe}$  が 0.3~0.45 にあり、2 個のみが 0.55~0.6 にある。主体をなす白雲母の PhT 値は 1.03~2.00 で、Mg の値は 0.12~0.56 afu, Fe の値は 0.09~0.32 afu である。後者の 2 個の PhT は 2.3~3.8 と高い値を示し、Mg の値は 0.75~1.43 afu で、Fe の値は 0.95~2.03 afu である。この高い Mg, Fe, PhT の値から、後者の 2 個の白雲母は (2) 帯からの残留と考えた。それを除けば、M14 では Mg, Fe の値が低く、Al が変化していないことから Tschermak 置換は生じていない。

M22 では、 $X_{Fe}$  が 0.45~0.65 で、PhT は 1.06~4.53 と高い値を示す。Mg の値は 0.10~1.38 afu で、Fe の値は 0.11~2.37 afu である。高い PhT, Mg, Fe 値を取るのが特徴である。この高い Mg, Fe 値の分だけ Al 値 (□) が減少しており、いわば、Tschermak 置換が生じている。しかし、Si 値には大きな変化がないように読みとれる。

また、M30 では、 $X_{Fe}$  が 0.50~0.65 で、PhT は 1.04~2.90 である。Mg 値は 0.09~0.77 afu で、Fe 値は 0.11~1.34 afu である。 $X_{Fe}$  が 0.65 付近で Mg, Fe 値がやや高くなるが、これを除くとその他は極めて低い値である。この帯の白雲母は、Mg, Fe 値の変化が少ない分、Al 値の減少を Si 値の増加でバランスとる Tschermak 置換を行っている。Tschermak 置換に関しては Miyashiro and Shido (1985) の理論的考察が行われているが、このように Tschermak 置換には 2 種類の過程があることが示された。

以上みたように、M14 とその他の M22, M30 では  $X_{Fe}$  の範囲が異なる。M15 では  $X_{Fe}$  が 0.3~0.45 にあり、その他の帯では 0.5~0.65 に集中する。つまり、接触部近くで白雲母は Mg-rich となり、遠方では Fe-rich となる。この変化は、黒雲母の  $X_{Fe}$  値の変化と同じであり、後



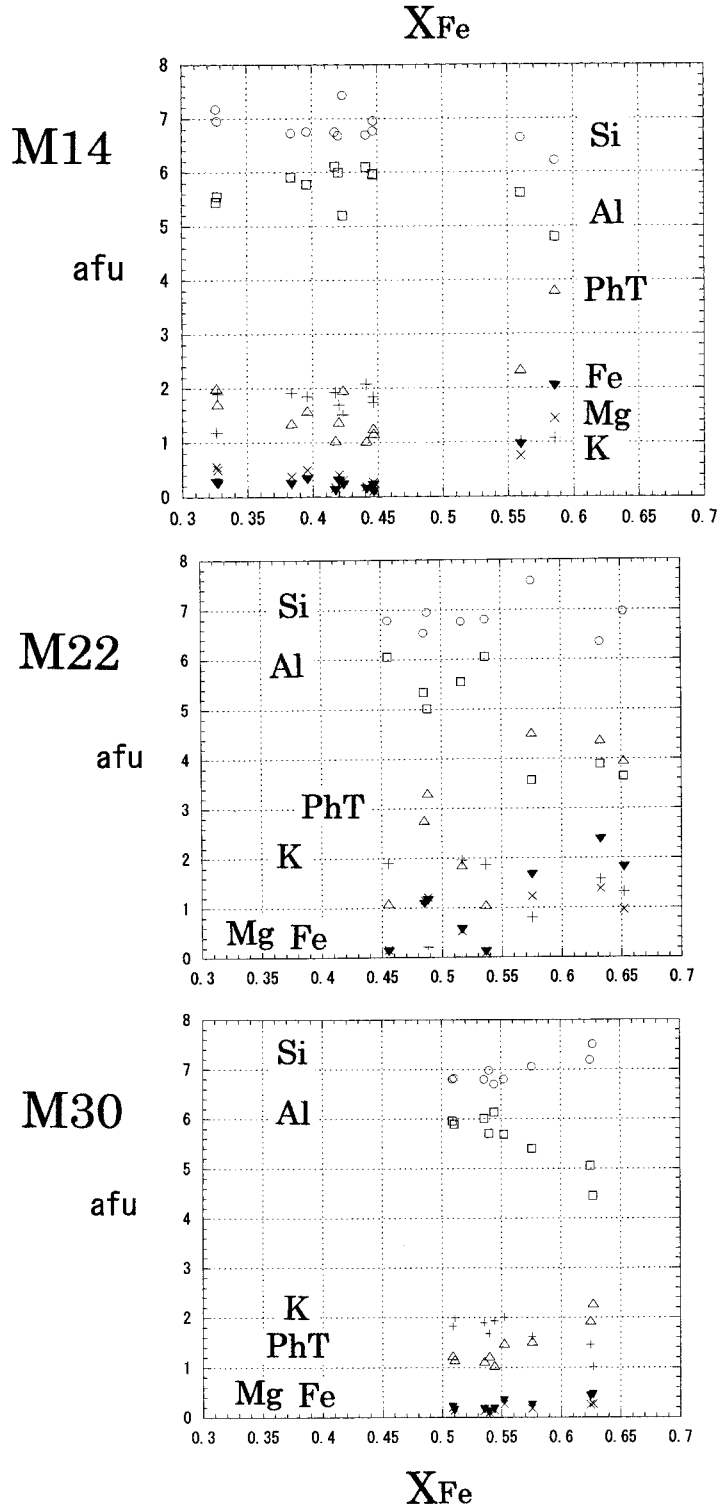


図5 白雲母の  $X_{Fe}$  と主要元素の関係

章の鉱物共生のところでもとめて議論する。

## 6. 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、それを黒雲母に適応したのである。SI を x 軸に、それに対応する黒雲母の化学組成を y 軸にプロットしたのが図 6 である。SI の値は 15~23 にわたり幅広く分布している。これを  $X_{Mg}$  でみると 0.3~0.5 の範囲に相当する。

M14 の SI の値は 20~23 の範囲にわたり集中している。これは高い  $X_{Mg}$  を示す領域である。Al 含有量は 3.6 afu 以下で、低 Al 黒雲母である。Ti の含有量は 0.5 afu 以上の、いわゆる高チタン黒雲母である。

M22 の SI の値は 16~19.5 の範囲を示している。 $X_{Mg}$  としては中位よりやや低い領域に属する。Al 含有量は 3.6 afu 以上の高 Al 黒雲母である。チタンに関しては概して高チタン黒雲母である。

M6 の SI の値は 16~22 にわたるが、集中がみられるのは 18~19 である。これは中位の  $X_{Mg}$  の領域に相当する。ばらつきがあるが、Al 含有量に関しては概して低 Al 黒雲母である。チタンに関しては概ね高チタン黒雲母である。

M29 の SI 値は 18~23 にわたるが、19~21.5 に集中がみられる。これは高い  $X_{Mg}$  を示す領域である。Al 含有量は低アルミ黒雲母であることを示す。チタンに関しては概ね低チタン黒雲母である。

M33 の SI 値は、16~20 と範囲は広いが、18~20 に集中がみられる。 $X_{Mg}$  としては中位よりやや低い領域に属する。Al 含有量は概ね高アルミ黒雲母である。チタンに関しては概ね低チタン黒雲母である。

K822 の SI 値は数が少ないので正確には分からないが 20~23 の範囲を示し、高アルミ、低チタン黒雲母であることを示している。

## 7. 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 M5, M14, M21, M22, M24, M25 だけである (表 3—30p. に示す)。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図 7 に示す (Pereira and Bea, 1994)。これをみると、 $X_{Mg}$  の値が集中するのは 0.48~0.53 であり、それを示す地点は M5 (□), M22 (×) である。M5 では三連双晶の見事な結晶がみられた (図 2B-C, D)。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

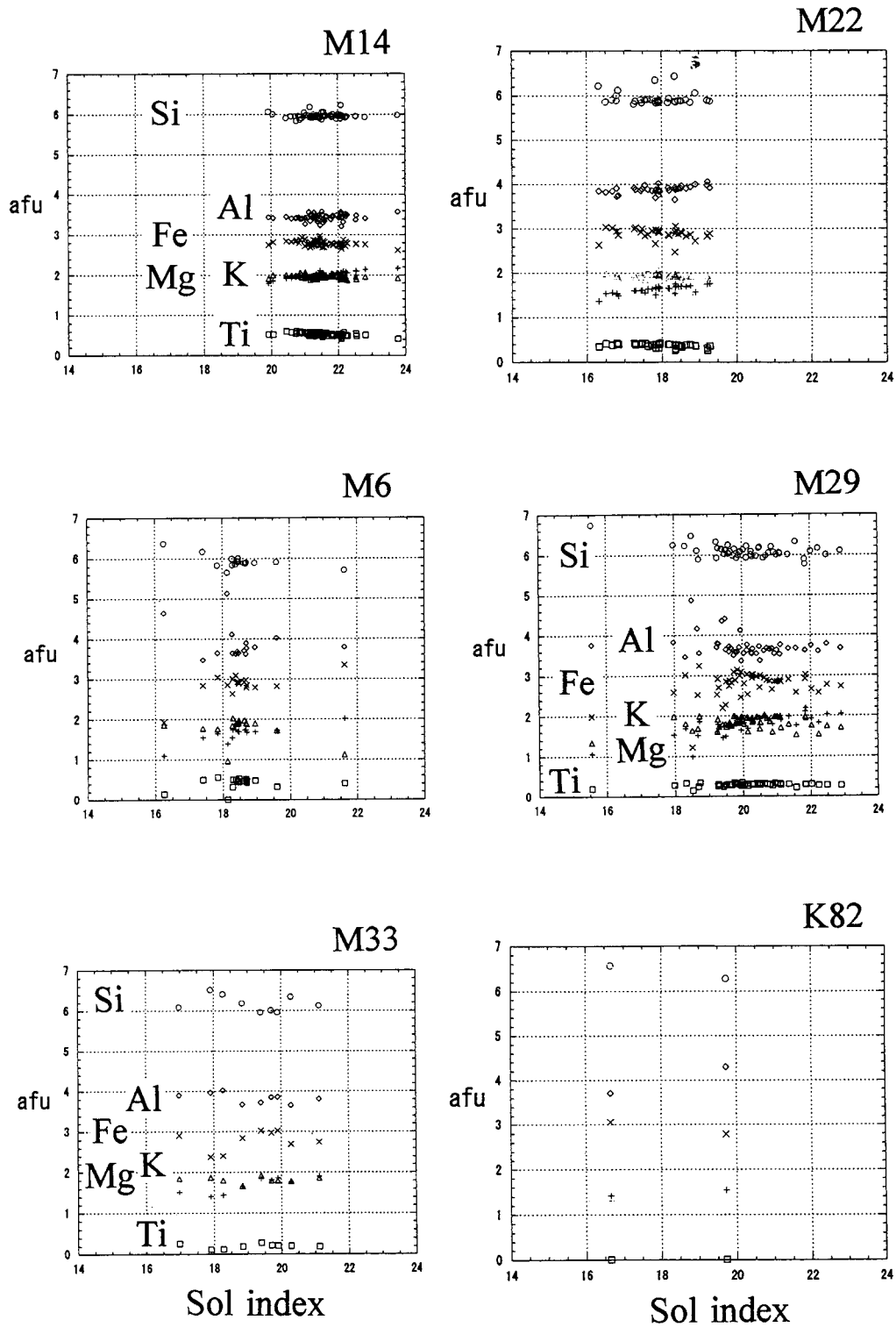


図6 黒雲母の Solidification Index と主要元素の関係

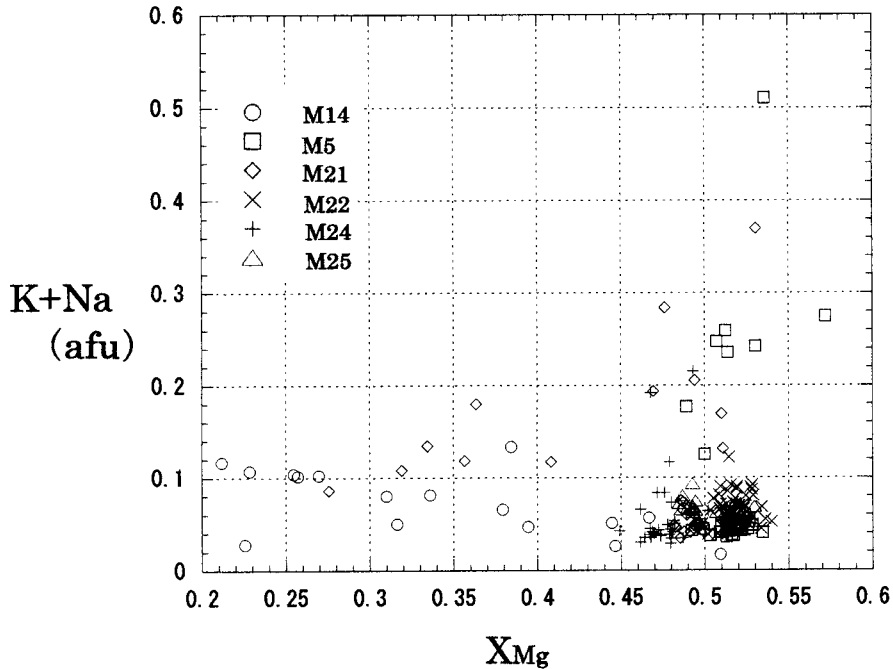


図7 堇青石の  $X_{Mg}$  とチャンネルカチオン (Na+K) との関係

議論がある。同様な大きさの三連双晶は M24 でも観察された (図 2B-F)。また、まばらな核形成が集まった堇青石斑状変晶の例として M21, M22 の写真を示す (図 2B-E, A, and B)。

今までに落合・一之瀬地域で得られた全ての堇青石をとり上げ、接触部に近い側から数えると、K10, K143, K55, K56, K57, K26, K66, K31, の 8 地点となる。それに飯能層の堇青石 (SR) も含めて考察する。このうち最も Fe-rich なのは今回得られた M14 で、 $X_{Mg}$  は 0.2~0.4 を示す。これを今までの最も高い K56 と比較すると、0.47~0.48 であることから、著しく Fe-rich であることが分かる。

一方、関東山地で最も 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。

ところで、飯能層の堇青石は得られた試料中で最も Mg に富み、この特徴を持つものは今のところ一之瀬地域の K55 が最もそれに近いが、岩質的には一致しない。

## 8. 緑泥石の組成と細分

緑泥石の組成を、各帯を代表する地点を選んで検討した。利用した地点は、(1) 帯の M18, (2) 帯の M20, (3) 帯の M6, および (5) 帯の K82 である。

M18 では、10 試料のうち  $Si > 5.6$  の酸化緑泥石の領域に入るものが 8 試料あり、 $X_{Fe}$  の値が

0.5 より大きいことから Brunsvigite と同定した。

M20 では、試料 30 中 23 試料が Brunsvigite である。

以上の 2 例から、変成が進むと酸化緑泥石になることが示された。Deer et al. (1982: 前出) によると、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  が 4% 以上を含むものを酸化緑泥石としている。

次に、M6 では、8 試料中 6 試料が  $\text{Si} < 5.6$  の Ripidolite である。しかし、この試料中には酸化緑泥石を多く含む部分もあり、両者の混合という見方もできる。

K82 では、5 試料中 4 試料が Ripidolite であった。これは通常もっとも一般的な産状を示す緑泥石鉱物といわれるものである。

## 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、花崗閃緑岩接触面に近い (1) 帯の M14 と、M18 である。(2) 帯、(3) 帯からも産するが、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、M14 のザクロ石は Fe に富む (94%) アルマンディン (鉄ばんザクロ石) 系である。また、M18 のザクロ石は Mg (29%) を含むアルマンディン-パイロープ系である (図 8)。

M14 ではザクロ石の  $X_{\text{Mg}}$  の値は 0.10 と Fe-rich になっている。共存している黒雲母の化学組成をみると、Mg, Fe の値は 1.947, 2.700 afu というように、相対的に Mg-rich の領域になっている (Sol index 21.53)。また、Ti の値は 0.460 afu と明らかに高チタン種である。一般的に接触帯に近づくとザクロ石は Fe-rich に、黒雲母は Mg-rich に片寄り、Fe-Mg 交換反応が平衡に達しているとみられる。

また、M18 の黒雲母は、Mg, Fe の値は 2.035, 2.932 afu というように、相対的に Mg-rich になっている (Sol index 21.153)。また、Ti の値も 0.397 afu と高チタン種になっている。M14 と M18 の黒雲母の性質は殆ど同じと言ってよい。

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 (表 4)。表には K86 ザクロ石の分析値も示した。M14 の分配係数  $K_D$  の値は 0.15 で、その温度は  $510^\circ\text{C}$  が得られた。M14 の温度が  $510^\circ\text{C}$  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。

M18 はパイロープ成分 43% と多いために分配係数  $K_D$  の値が大きくなりすぎ温度の推定は不可能であった。また、M5, M22, M23 のザクロ石もパイロープ成分が 30, 25, 37% と多いために推定できなかった。

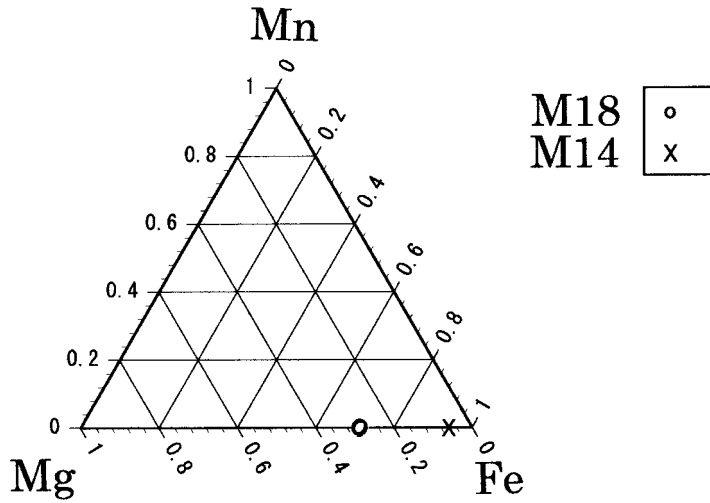


図8 ザクロ石の Fe-Mg-Mn 三角ダイアグラム

表4 ザクロ石—黒雲母地質温度計の分配係数  $K_D$  の計算

Loc.	K86	M14LRE1		M18		M5L	M22L	M23L
No.	7	164	164ReC	11	11ReC	144	86	84
SiO <sub>2</sub>	36.77	35.629	38.527	30.309	33.676	37.777	38.115	34.277
TiO <sub>2</sub>	0.11	0.024	0.026	0.546	0.607	0	1.001	0.375
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20.77	25.046	27.083	18.519	20.576	29.227	33.639	20.725
FeO	15.57	28.306	30.608	27.541	30.600	10.728	7.071	24.738
MnO	25.55	0.116	0.125	0.213	0.237	0.123	0	0.363
MgO	0.67	1.771	1.915	11.234	12.482	6.358	5.563	9.568
CaO	1.03	0.779	0.842	0.191	0.212	0.33	0.532	0.339
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.194	0.21	0.505	0.561	0.033	1.749	1.393
K <sub>2</sub> O	0.00	0.458	0.495	0.836	0.929	0.744	0.112	0.377
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.06	0	0	0.025	0.028	0	0.018	0.006
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.00	0.066	0.071	0.08	0.089	0.023	0.108	0.012
NiO	0.00	0.09	0.097	0.004	0.004	0.036	0.024	0.057
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0	0	0	0.000	0	0	0.021
Total	100.55	92.479	100	90.003	100.000	85.38	87.931	92.251
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24
Si	5.99	5.96	5.96	5.37	5.37	6.18	5.94	5.75
Ti	0.01	0.00	0.00	0.07	0.07	0.00	0.12	0.05
Al	3.99	4.94	4.94	3.87	3.87	5.64	6.18	4.10
Fe	2.12	3.96	3.96	4.08	4.08	1.47	0.92	3.47
Mn	3.53	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.00	0.05
Mg	0.16	0.44	0.44	2.96	2.96	1.55	1.29	2.39
Ca	0.18	0.14	0.14	0.04	0.04	0.06	0.09	0.06
Na	0.00	0.06	0.06	0.17	0.17	0.01	0.53	0.45
K	0.00	0.10	0.10	0.19	0.19	0.16	0.02	0.08
Cr	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
Ni	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	16.00	15.64	15.64	16.80	16.80	15.08	15.12	16.41
Pyrope	2.71	7.85	7.85	43.71	43.71	30.54	25.36	37.35
Almand	35.33	86.51	86.52	49.95	49.95	64.72	62.09	52.56
Spessa	58.88	0.29	0.29	0.47	0.47	0.34	0.00	0.81
Grossu	3.01	2.48	2.48	0.53	0.53	1.14	1.74	0.95
X <sub>Mg</sub> Gar	0.07	0.10	0.10	0.42	0.42	0.51	0.58	0.40
X <sub>Fe</sub> Gar	0.93	0.90	0.90	0.58	0.58	0.48	0.42	0.59
Bt No.	K86-21	M14-23	M14-23	M18-6	M18-6	M5-30	M22-26	M23-92
Sol Ind	21.17	21.53	21.53	21.15	21.15	19.47	17.93	21.38
X <sub>Mg</sub> Bt	0.41	0.42	0.42	0.41	0.41	0.38	0.36	0.42
X <sub>Fe</sub> Bt	0.59	0.58	0.58	0.59	0.59	0.62	0.64	0.58
K <sub>D</sub>	0.11	0.15	0.15	1.05	1.05	1.72	2.49	0.95

一方、K86 では 410~440°C と低温を示した。この低温は 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 の例が参考になる (Mahar et al., 1997)。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。

## 2. A'KF および AFM 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；

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

$$K = K_2O$$

$$F = FeO + MgO + MnO$$

ここで、各帯での鉱物共生を考える上で、黒雲母、白雲母の  $X_{Fe}$  値の分布は重要である。(1) 帯の M14 では、黒雲母、白雲母の  $X_{Fe}$  値は Mg-rich と示された。共生する堇青石、ザクロ石の  $X_{Fe}$  は Fe-rich であったから、交換反応は正常に進行したとみることができる。この場合原岩にあった (多分、緑泥石の形で) Mg は、黒雲母、白雲母に入ったものと考えられる。

(2) 帯の M22 では、黒雲母、白雲母の  $X_{Fe}$  値は Fe-rich とでた。共生する堇青石、ザクロ石の Fe-Mg 比は Mg-rich であったから、交換反応は正常に進行したとみることができる。この場合、原岩にあった (多分、緑泥石の形で) Mg は、堇青石、ザクロ石へ入ったものと考えられる。

(4) 帯の M30 では、黒雲母、白雲母の  $X_{Fe}$  値は Fe-rich と示された。多分、Mg は黒雲母、白雲母が作られたときに共生する緑泥石に入るにより平衡にあるのであろう。

このような鉱物共生関係を見るために、A'KF 三角ダイアグラムと AFM 三角ダイアグラムを列べて示す (図 9)。AFM 三角ダイアグラムの底辺は  $MgO/(MgO+FeO)$  で、また A の値は  $(Al_2O_3 - 3K_2O)/(Al_2O_3 - 3K_2O + MgO + FeO)$  を使った (Hutchison, 1974)。

まず、(1) 帯については、M14 の白雲母、黒雲母、堇青石、ザクロ石をプロットした。EPMA 分析、X 線回折法によれば緑泥石は認められなかった。A'KF 三角ダイアグラムでみると、黒雲母と白雲母を結ぶ線から F 側に堇青石、ザクロ石が共生するという関係が読みとれる。一方、AFM 三角ダイアグラムでみると、黒雲母が中心になり、そこから A 側にザクロ石と堇青石が分かれてプロットされるという共生関係がみられる。

また、(2) 帯については、M22 の白雲母、黒雲母、堇青石をプロットした。緑泥石は質の悪い試料しか認められなかったので、近傍にある M20 の値を借用してプロットした。A'KF 三角ダイアグラムから読みとれる共生関係は、緑泥石と白雲母を結ぶ線から K 側に黒雲母が、F 側に

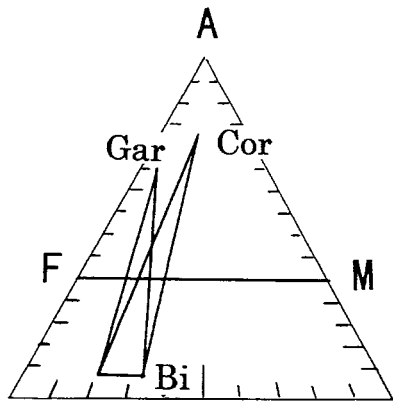
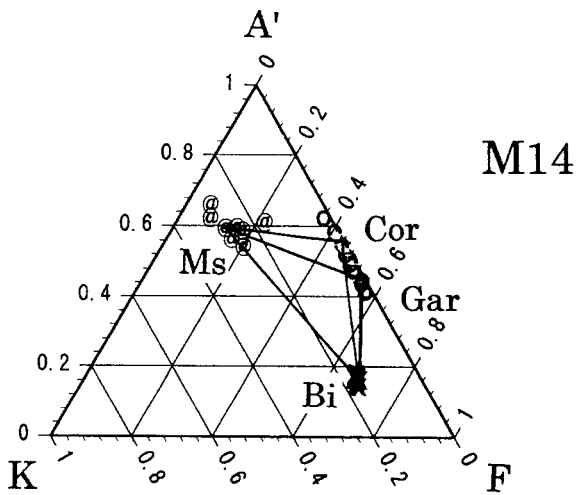
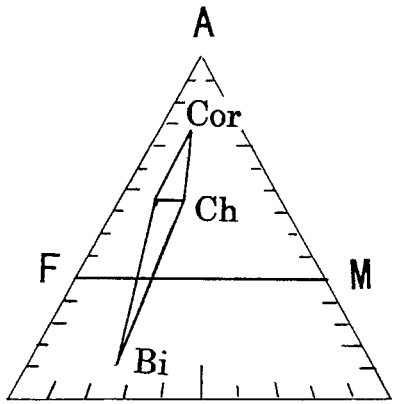
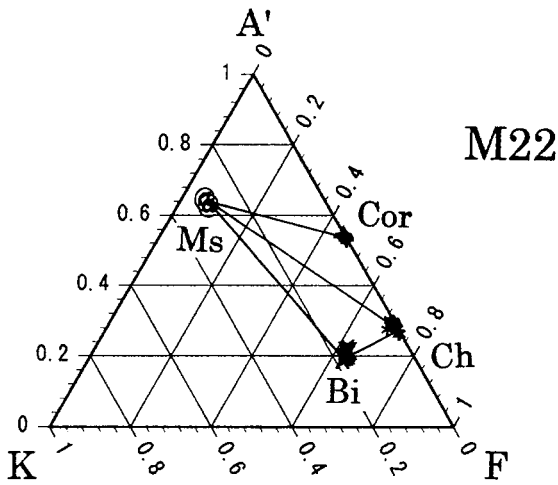
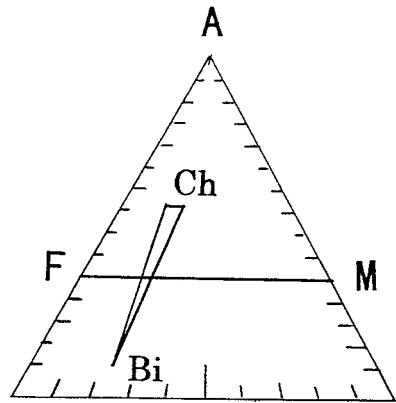
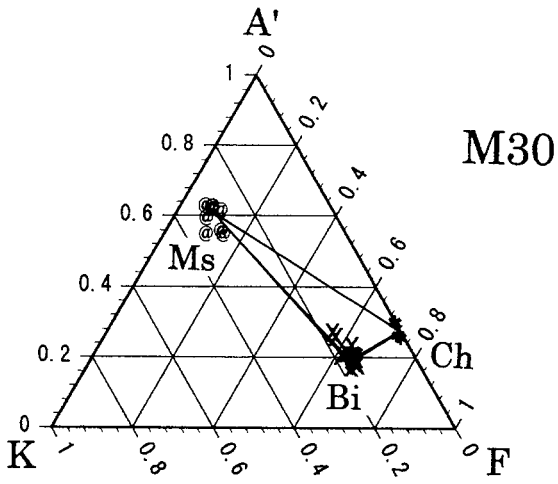


図9 共生鉱物の A'KF, AFM 三角ダイアグラム



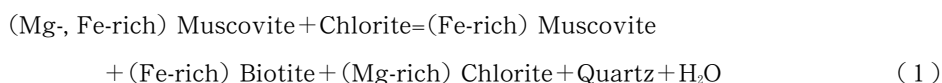
堇青石が作られたという関係である。一方、AFM 三角ダイアグラムでみると、緑泥石を中心として A 側に堇青石がプロットされ、マイナス側に黒雲母がプロットされる共生関係がみられる。

(4) 帯の M30 については、黒雲母、白雲母、緑泥石をプロットした。A'KF 三角ダイアグラム上では、白雲母と緑泥石を結ぶ連結線が引け、その K 側に黒雲母が結ばれるという共生関係がみられた。AFM 三角ダイアグラムでは、緑泥石と黒雲母の共生関係が引かれる。

### 3. 反応関係の考察

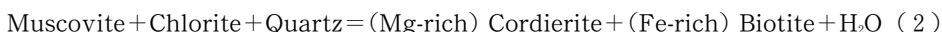
ホルンフェルス各帯の構成鉱物について、層状珪酸塩鉱物、長石類、雲母類、ザクロ石の組成変化を考察した。K82 は (5) 帯の岩石を代表する。層状珪酸塩鉱物は緑泥石が主で、鉱物種も Si の値が小さい Ripidolite 系である。白雲母の緑泥石が存在するのも、この帯の特徴である。K82 の白雲母の一部は A'KF 計算をすると緑泥石の位置にプロットされた。これを緑泥石的白雲母と呼んでおく。緑泥石的白雲母を含めると K82 の変成鉱物は殆どが緑泥石ということになる。

(4) 帯では、下部はまだ石英に代表される砕屑性物質のモード組成が大きい、上部になると黒雲母、白雲母が形成されるほかに、微斜長石、灰曹長石が作られ始める。緑泥石は本帯に入ると激減する。既に述べた Fe-Mg 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



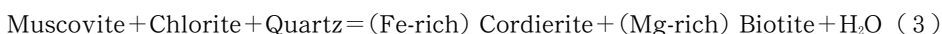
が生じていることは確かであろう。

(2) 帯では、堇青石、黒雲母、白雲母のほかに、はっきりと正長石、灰曹長石が変成鉱物として形成されている。この鉱物変化を Fe-Mg 交換反応を考慮して記述するには、Pattison and Tracy (1991) の式を改変して

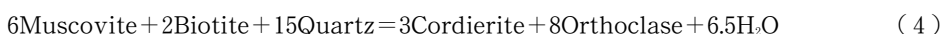


のように堇青石と黒雲母が共生する反応が考えられる。

また、(1) 帯では、ザクロ石、堇青石、黒雲母、白雲母と正長石、灰曹長石が変成鉱物として形成された。この鉱物変化を Fe-Mg 交換反応を考慮して記すと、上式の (2) は

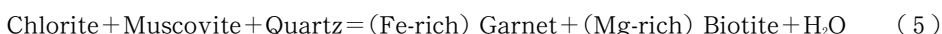


のようになり、堇青石の章で述べたように著しく Fe-rich な堇青石が作られた。2 式から 3 式への変化は、まさに温度変化そのものを示している。また、



のように堇青石と長石類が共生する反応も考えられる (Pattison and Harte, 1991)。

同様に、ザクロ石の Fe-Mg 交換反応を考慮して 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、(3)帯では、断層運動の影響で再び(1)式の反応が進んだものとする。

本地域では、深成岩体の接触部付近を詳細に探したが、今までの所  $\text{Al}_2\text{SiO}_5$  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、スコットランドの Buchan Zone でみられたように、KMnFMASH システムで温度圧力が低く、かつ Fe 含有量が低い場合に、出現する鉱物は緑泥石、黒雲母、ザクロ石、堇青石が安定であるという Mahar et al. (1997: 前出) の見方が、本地域でも当てはまるように思える。また、接触したときの花崗閃緑岩の温度が低かったのかもしれない。

## 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、大沢進の諸氏には種々教えていただき、心からお礼を申し上げます。城西大学学生の菅谷勝則氏には、野外調査を手伝っていただいた。

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、宮前博氏にお世話になった、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。科学技術庁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質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、通商産業省地質調査所の奥山康子氏、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変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。

本論文は、角田謙朗氏に読んでいただき、多くの示唆に富む指摘を頂戴した、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. AAA Brown Publ., Oxford, 413p.
- Breaks, F. W. and J. M. Moore, Jr. (1992) The Ghost Lake batholith, Superior Province of northwestern Ontario: a fertile, S-type, peraluminous granite-rare-element pegmatite system. *Canadian Mineralogist*, 30, 835-875.

- Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J. (1982) An Introduction to The Rock-forming Minerals. Longman, Harlow, England, 528p.
- Duke, E. F., J. J. Papike and J. C. Laul (1992) Geochemistry of a Boron-rich peraluminous granite pluton: the Calamity Peak layered granite-pegmatite complex, Black Hills, South Dakota. *Canadian Mineralogist*, 30, 811-833.
- 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.
- 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.
- Kuroda, Y., Kubota, T., Suzuoki, T. and Matsuo, S. (1978) Hydrogen isotope study on the contact aureole of the plutonic mass in the vicinity of the Sasago tunnel, Yamanashi Prefecture, Japan. *J. Japan Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, 73, 380-387.
- 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. Petrology*, 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), p. 31
- 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.
- Miyake, A. (1990) Dendric cordierite in argillaceous hornfels from the Toki area, Gifu Prefecture, central Japan. *Contrib. Mineral Petrol.*, 104, 390-396.
- Miyashiro, A. and Shido, F. (1985) Tschermak substitution in low-and middle-grade pelitic schists. *J. Petrology*, 26, 2, 449-487.
- 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.
- 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.
- Pattison, D. R. M. and R. J. Tracy (1991) Phase equilibria and thermobarometry of metapelites. in

- Voll, G. et al. ed., *Equilibrium and Kinetics in Contact Metamorphism*. Springer-Verlag, Berlin, 105-205.
- 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, p.75
- Shimizu, M. (1986) The Tokuwa Batholith, Central Japan. *University Musium Bull.*, Tokyo University, 28, 146pp.
- Spear, F. S. (1988) Metamorphic practional 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., 799p.
- 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 pulton in the northern part of Akaishi Mountains, Central Japan. *J. Japan. Assoc. Min. Petr. Econ. Geol.*, 71, 157-176.

(11 月 20 日受付, 12 月 18 日受理)

表 2 白雲母の化学分析値 M14, M22, M30

M14Ms												
No.	5	71	72	85	123	88	89	185	151	152	219	222
SiO <sub>2</sub>	49.227	46.789	46.436	40.346	45.394	45.696	46.197	45.807	45.614	43.595	47.03	49.655
TiO <sub>2</sub>	0.038	0.147	0	1.174	0.062	0	0.073	0	0.087	0.062	0.039	0.015
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.762	33.938	35.343	26.465	33.816	35.075	34.558	32.848	30.914	33.671	34.207	29.496
FeO	2.215	2.659	2.442	15.747	1.898	0.965	1.749	7.831	1.923	1.117	0.757	1.816
MnO	0.044	0.003	0.058	0.221	0.035	0	0.07	0.086	0.033	0	0	0.03
MgO	2.567	2.278	1.892	6.247	1.71	0.756	1.217	3.459	2.219	0.794	0.526	1.388
CaO	0.004	0	0	0.133	0	0	0	0.071	0	0	0	0
Na <sub>2</sub> O	0.13	0.241	0.457	0.347	0.428	0.55	0.571	0.366	0.265	0.486	0.45	0.213
K <sub>2</sub> O	6.385	10.025	9.216	5.445	10.1	10.216	9.863	5.495	9.776	10.582	9.202	7.891
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.082	0.051	0.099	0.003	0	0.013	0	0	0	0.011	0	0
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.015	0	0.011	0	0	0	0	0	0	0.005	0.009
NiO	0	0	0.011	0	0.077	0.012	0	0.03	0	0.015	0.008	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.008	0.013	0.016	0	0.027	0.008	0	0	0	0	0.011	0.021
Total	92.461	96.159	95.969	96.137	93.548	93.291	94.298	95.993	90.831	90.333	92.234	90.533
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Si	7.174	6.759	6.684	6.213	6.734	6.753	6.770	6.647	6.954	6.700	6.953	7.431
Ti	0.004	0.016	0.000	0.136	0.007	0.000	0.008	0.000	0.010	0.007	0.004	0.002
Al	5.454	5.777	5.995	4.802	5.911	6.108	5.968	5.616	5.553	6.098	5.959	5.201
Fe	0.270	0.321	0.294	2.027	0.235	0.119	0.214	0.950	0.245	0.144	0.094	0.227
Mn	0.005	0.000	0.007	0.029	0.004	0.000	0.009	0.011	0.004	0.000	0.000	0.004
Mg	0.557	0.490	0.406	1.433	0.378	0.166	0.266	0.748	0.504	0.182	0.116	0.309
Ca	0.001	0.000	0.000	0.022	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.037	0.067	0.127	0.104	0.123	0.157	0.162	0.103	0.078	0.145	0.129	0.062
K	1.187	1.847	1.692	1.069	1.911	1.925	1.843	1.017	1.900	2.074	1.735	1.506
Cr	0.009	0.006	0.011	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
V	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001
Ni	0.000	0.000	0.001	0.000	0.009	0.001	0.000	0.003	0.000	0.002	0.001	0.000
P	0.001	0.002	0.002	0.000	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003
Total	14.700	15.287	15.219	15.836	15.315	15.232	15.24	15.105	15.249	15.352	14.993	14.746
Xfe	0.326	0.396	0.420	0.586	0.384	0.417	0.446	0.560	0.327	0.441	0.447	0.423
Sol	22.723	14.984	13.508	22.483	12.097	6.054	9.082	20.168	15.645	6.118	4.810	12.274
Tot Y	5.465	5.364	5.386	6.64	5.269	5.146	5.235	5.971	5.270	5.131	5.126	5.175
Phen Tr	2.006	1.586	1.384	3.809	1.354	1.038	1.258	2.344	1.713	1.033	1.167	1.969

M22Ms

No.	3	4	31	66	78	192	220	223
SiO <sub>2</sub>	41.234	45.878	44.88	51.98	45.262	49.736	46.691	47.178
TiO <sub>2</sub>	2.499	1.998	0.065	0.635	0.011	0	0.207	0.359
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21.435	20.388	31.284	20.784	31.425	30.464	35.338	35.59
FeO	18.413	14.255	4.477	13.631	8.954	9.865	1.034	0.941
MnO	0.055	0.081	0.043	0.178	0.099	0.361	0.013	0
MgO	6.004	4.268	2.349	5.653	5.33	5.802	0.694	0.456
CaO	0.415	1.074	0.031	0.044	0.294	0	0	0
Na <sub>2</sub> O	1.803	3.51	0.308	0.162	0.252	0.382	0.37	0.349
K <sub>2</sub> O	8.007	6.788	10.196	4.312	6.122	1.177	10.262	10.158
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0.071	0.02	0	0.102	0.068
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.103	0.08	0	0.016	0	0.02	0	0.069
NiO	0.026	0	0	0	0	0.074	0	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.002	0.021	0	0.032	0.047	0	0	0.038
Total	99.997	98.341	93.633	97.498	97.815	97.88	94.711	95.206
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24
Si	6.346	6.962	6.763	7.573	6.537	6.951	6.788	6.808
Ti	0.289	0.228	0.007	0.070	0.001	0.000	0.023	0.039
Al	3.887	3.646	5.555	3.568	5.348	5.017	6.054	6.051
Fe	2.369	1.808	0.564	1.660	1.081	1.153	0.126	0.114
Mn	0.007	0.010	0.005	0.022	0.012	0.043	0.002	0.000
Mg	1.376	0.965	0.527	1.227	1.147	1.208	0.150	0.098
Ca	0.068	0.175	0.005	0.007	0.045	0.000	0.000	0.000
Na	0.538	1.032	0.090	0.046	0.071	0.103	0.104	0.098
K	1.571	1.313	1.959	0.801	1.127	0.210	1.902	1.869
Cr	0.000	0.000	0.000	0.008	0.002	0.000	0.012	0.008
V	0.013	0.010	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000	0.008
Ni	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.008	0.000	0.000
P	0.000	0.003	0.000	0.004	0.006	0.000	0.000	0.005
Total	16.469	16.151	15.477	14.986	15.377	14.696	15.16	15.096
Xfe	0.633	0.652	0.517	0.575	0.485	0.488	0.455	0.537
Sol	17.542	14.809	13.555	23.794	25.801	33.682	5.615	3.831
Tot Y	6.275	5.619	5.422	6.119	6.126	6.372	5.142	5.109
Phen Tr	4.381	3.963	1.862	4.529	2.766	3.312	1.087	1.058

表 2 (つづき)

No.	32	34	35	36	2	13	126	135	185	185
SiO <sub>2</sub>	47.332	45.691	49.568	47.109	44.444	48.482	43.453	46.629	51.501	51.501
TiO <sub>2</sub>	0.512	0.327	0.367	0.327	0.751	0.492	0.461	0.649	0.581	0.581
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32.889	35.5	36.853	35.335	31.544	31.482	31.893	27.815	25.915	25.915
FeO	0.859	1.358	1.782	1.321	2.58	1.96	1.132	3.266	3.698	3.698
MnO	0	0	0.026	0.017	0	0.061	0	0.064	0.052	0.052
MgO	0.411	0.639	0.965	0.643	1.174	0.81	0.609	1.101	1.235	1.235
CaO	0.594	0	0	0	0.051	0.798	0.158	1.138	1.866	1.866
Na <sub>2</sub> O	1.572	0.342	0.473	0.415	0.505	2.202	0.667	1.852	4.645	4.645
K <sub>2</sub> O	8.907	10.346	10.443	10.322	10.292	8.708	9.968	7.397	5.468	5.468
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0.049	0	0.01	0.049	0.049
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.066	0.007	0.064	0.09	0.059	0.035	0	0.024	0.023	0.023
NiO	0.064	0	0	0.05	0	0.023	0	0	0.001	0.001
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.001	0	0.001	0.006	0	0.007	0.027	0	0
Total	93.206	94.211	100.541	95.629	91.406	95.101	88.348	89.972	95.035	95.035
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Si	6.975	6.701	6.799	6.796	6.800	7.056	6.816	7.190	7.503	7.503
Ti	0.057	0.036	0.038	0.035	0.086	0.054	0.054	0.075	0.064	0.064
Al	5.711	6.135	5.957	6.006	5.687	5.399	5.895	5.054	4.449	4.449
Fe	0.106	0.167	0.204	0.159	0.330	0.238	0.148	0.421	0.450	0.450
Mn	0.000	0.000	0.003	0.002	0.000	0.008	0.000	0.008	0.006	0.006
Mg	0.090	0.140	0.197	0.138	0.268	0.176	0.142	0.253	0.268	0.268
Ca	0.094	0.000	0.000	0.000	0.008	0.124	0.027	0.188	0.291	0.291
Na	0.449	0.097	0.126	0.116	0.150	0.621	0.203	0.553	1.311	1.311
K	1.674	1.935	1.827	1.899	2.008	1.616	1.994	1.454	1.016	1.016
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.001	0.006	0.006
V	0.008	0.001	0.007	0.010	0.007	0.004	0.000	0.003	0.003	0.003
Ni	0.008	0.000	0.000	0.006	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.004	0.000	0.000
Total	15.17	15.211	15.157	15.168	15.344	15.304	15.279	15.205	15.368	15.368
Xfe	0.540	0.544	0.509	0.536	0.552	0.576	0.511	0.625	0.627	0.627
Sol	3.498	5.037	7.063	5.063	8.068	5.921	4.921	8.086	8.208	8.208
Tot Y	4.939	5.178	5.198	5.137	5.170	4.930	5.055	5.001	4.741	4.741
Phen Tr	1.228	1.043	1.238	1.129	1.484	1.524	1.161	1.939	2.286	2.286

M14Cor

表 3 堇青石の化学分析値 M14, M5, M21, M22, M24, M25

No.	2	6	9	1	57	61	69	70	78	79	10	85	113	177	193	197	205	86	226
SiO <sub>2</sub>	41.057	48.201	40.8	43.681	44.885	40.468	40.635	42.62	41.469	44.33	44.928	40.883	40.339	41.123	41.747	41.758	47.701	40.401	44.38
TiO <sub>2</sub>	0.016	0.03	0.031	0	0.143	0	0	0.029	0.014	0	0	0.019	0.004	0.036	0.068	0.069	0.011	0.15	0.004
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	25.972	27.724	20.801	24.968	33.58	22.364	24.63	25.424	25.357	26.371	24.756	29.482	27.146	30.755	28.747	26.216	29.789	29.959	25.425
FeO	15.412	9.74	10.344	11.915	2.76	19.578	14.952	13.318	15.23	12.195	10.127	10.111	15.996	8.878	12.036	14.876	4.548	5.834	4.904
MnO	0.183	0.173	0.228	0.105	0.017	0.142	0.071	0.116	0.071	0.045	0.1	0.06	0.137	0.134	0.199	0.2	0.087	0.045	0
MgO	3.887	3.417	5.519	2.285	0.784	2.117	2.486	2.76	2.296	2.369	3.474	4.577	2.615	5.172	3.126	1.45	2.234	2.132	2.201
CaO	0.91	0.972	1.129	0.944	0.541	1.439	1.005	1.015	0.937	1.073	0.183	0.289	0.512	0.167	0.439	0.89	0.962	0.747	1.274
Na <sub>2</sub> O	0.049	0.125	0.053	0.07	0.006	0.085	0.083	0.064	0.114	0.053	0.119	0.029	0.074	0.051	0.085	0.12	0.056	0.089	0.064
K <sub>2</sub> O	0.313	0.509	0.216	0.391	0.399	0.605	0.373	0.396	0.383	0.419	0.771	0.339	0.293	0.176	0.607	0.319	0.785	0.525	0.618
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.075	0.007	0.017	0	0.018	0.037	0.001	0.074	0.007	0	0	0.034	0	0.038	0	0.026	0.02	0.019	0.026
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.014	0.009	0.045	0	0.037	0.036	0	0.005	0	0.035	0.005	0	0.006	0	0.001	0.014	0	0	0
NiO	0.026	0.022	0.066	0.017	0	0.056	0	0.056	0.083	0	0	0.04	0.019	0	0	0.151	0.051	0.059	0.052
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0	0.063	0	0.009	0.007	0	0.039	0.015	0	0	0	0.005	0	0.038	0.004	0	0.026	0
Total	87.922	90.93	79.314	84.376	83.18	86.935	84.236	85.915	85.976	86.89	84.464	85.863	87.148	86.53	87.092	86.095	86.244	79.986	78.95
O No.	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Si	6.647	7.214	7.141	7.166	7.006	6.827	6.846	6.950	6.842	7.067	2.426	2.183	2.197	2.160	2.222	2.285	2.432	2.254	2.483
Ti	0.002	0.003	0.004	0.000	0.017	0.000	0.000	0.004	0.002	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.003	0.003	0.000	0.006	0.000
Al	4.955	4.889	4.290	4.827	6.176	4.446	4.889	4.885	4.930	4.954	1.575	1.855	1.742	1.904	1.803	1.691	1.789	1.969	1.676
Fe	2.086	1.219	1.513	1.634	0.360	2.761	2.106	1.816	2.101	1.625	0.457	0.451	0.728	0.390	0.536	0.681	0.194	0.272	0.229
Mn	0.025	0.022	0.034	0.015	0.002	0.020	0.010	0.016	0.010	0.006	0.005	0.003	0.006	0.006	0.009	0.009	0.004	0.002	0.000
Mg	0.937	0.762	1.439	0.558	0.182	0.532	0.624	0.670	0.564	0.563	0.279	0.364	0.212	0.405	0.248	0.118	0.170	0.177	0.183
Ca	0.158	0.156	0.212	0.166	0.090	0.260	0.181	0.177	0.166	0.183	0.011	0.017	0.030	0.009	0.025	0.052	0.053	0.045	0.076
Na	0.015	0.036	0.018	0.022	0.002	0.028	0.027	0.020	0.036	0.016	0.012	0.003	0.008	0.005	0.009	0.013	0.006	0.010	0.007
K	0.065	0.097	0.048	0.082	0.079	0.130	0.080	0.082	0.081	0.085	0.023	0.020	0.012	0.041	0.022	0.051	0.037	0.044	
Cr	0.010	0.001	0.002	0.000	0.002	0.005	0.000	0.010	0.001	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001
V	0.002	0.001	0.006	0.000	0.005	0.005	0.000	0.001	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000
Ni	0.003	0.003	0.009	0.002	0.000	0.008	0.000	0.007	0.011	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.002	0.003	0.002
P	0.001	0.000	0.009	0.000	0.001	0.001	0.000	0.005	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.001	0.000
Total	14.906	14.403	14.725	14.472	13.924	15.023	14.763	14.643	14.746	14.504	4.819	4.902	4.945	4.894	4.896	4.883	4.701	4.777	4.703
XMg	0.31	0.38	0.49	0.25	0.34	0.16	0.23	0.27	0.21	0.26	0.38	0.45	0.23	0.51	0.32	0.15	0.47	0.39	0.44
Ch. Cat	0.08	0.13	0.07	0.10	0.08	0.16	0.11	0.10	0.12	0.10	0.07	0.03	0.03	0.02	0.05	0.03	0.06	0.05	0.05

M5Cor

表 3 (つづき)

No.	1	2	3	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14
SiO <sub>2</sub>	45.211	47.628	47.583	44.08	47.273	47.455	47.491	48.745	46.721	47.4	49.586	47.277	47.59
TiO <sub>2</sub>	0.018	0.068	0	0.036	0	0.03	0.008	0	0.039	0.016	0.047	0	0.009
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	29.891	31.977	31.493	29.607	31.62	31.658	31.625	31.029	31.788	30.613	29.627	31.744	31.992
FeO	10.183	10.851	10.505	10.749	10.449	10.712	10.696	10.256	10.853	10.43	10.393	10.837	10.573
MnO	0.27	0.177	0.259	0.27	0.201	0.343	0.282	0.309	0.253	0.23	0.302	0.305	0.265
MgO	6.036	6.454	6.287	5.848	6.496	6.449	6.506	6.45	6.412	6.088	6.166	6.536	6.479
CaO	0.002	0.021	0.001	0.032	0.021	0.004	0.016	0.009	0	0	0	0.033	0
Na <sub>2</sub> O	0.168	0.204	0.186	0.195	0.185	0.203	0.218	0.236	0.227	0.224	0.222	0.25	0.21
K <sub>2</sub> O	0.056	0.002	0	0	0.047	0.014	0.016	0.004	0	0	0.121	0.016	0
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.043	0.014	0.004	0	0	0.04	0	0.032	0.008	0.011	0	0	0.035
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.007	0	0	0	0	0	0.003	0.033	0	0	0.004	0	0.017
NiO	0	0	0	0	0.03	0	0	0.013	0.042	0.005	0	0	0.077
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0	0.004	0	0	0	0	0.046	0.013	0	0.012	0	0
Total	91.885	97.396	96.322	90.817	96.321	96.908	96.86	97.161	96.355	95.018	96.48	96.997	97.247
O No.	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Si	5.046	5.015	5.056	5.000	5.027	5.024	5.028	5.125	4.982	5.104	5.248	5.006	5.016
Ti	0.002	0.005	0.000	0.003	0.000	0.002	0.001	0.000	0.003	0.001	0.004	0.000	0.001
Al	3.931	3.967	3.943	3.957	3.962	3.949	3.946	3.844	3.994	3.885	3.695	3.960	3.973
Fe	0.950	0.955	0.933	1.019	0.929	0.948	0.947	0.901	0.967	0.939	0.920	0.959	0.932
Mn	0.026	0.016	0.023	0.026	0.018	0.031	0.025	0.028	0.023	0.021	0.027	0.027	0.024
Mg	1.004	1.012	0.995	0.988	1.029	1.017	1.026	1.010	1.018	0.977	0.972	1.031	1.017
Ca	0.000	0.002	0.000	0.004	0.002	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000
Na	0.036	0.042	0.038	0.043	0.038	0.042	0.045	0.048	0.047	0.047	0.046	0.051	0.043
K	0.008	0.000	0.000	0.000	0.006	0.002	0.002	0.001	0.000	0.000	0.016	0.002	0.000
Cr	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.003	0.001	0.001	0.000	0.000	0.003
V	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.001	0.004	0.000	0.000	0.000	0.007
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000
Total	11.007	11.016	10.990	11.040	11.014	11.019	11.022	10.968	11.040	10.975	10.929	11.041	11.016
XMg	0.514	0.515	0.516	0.492	0.526	0.518	0.520	0.528	0.513	0.510	0.514	0.518	0.522
Ch. Cat	0.044	0.042	0.038	0.043	0.044	0.044	0.047	0.049	0.047	0.047	0.062	0.053	0.043

M5Cor

No.	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
SiO <sub>2</sub>	49.468	45.704	47.384	67.813	52.952	46.453	47.265	47.62	46.432	46.848	47.7	47.344	47.413
TiO <sub>2</sub>	0.046	0.016	0	0.083	0	0.195	0.005	0.016	0.005	0.043	0.001	0.04	0.004
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.93	30.457	31.641	18.382	27.408	30.715	31.577	31.754	30.842	31.437	31.686	31.697	31.916
FeO	10.531	10.419	10.27	6.707	9.762	11.08	10.738	10.547	10.624	10.734	10.401	10.58	10.688
MnO	0.294	0.305	0.317	0.147	0.21	0.258	0.189	0.233	0.267	0.305	0.25	0.361	0.297
MgO	6.33	6.284	6.409	3.814	5.677	6.217	6.512	6.416	6.299	6.343	6.374	6.383	6.373
CaO	0.025	0	0.028	0.074	0.02	0.012	0.029	0.014	0.04	0.018	0.02	0.027	0.003
Na <sub>2</sub> O	0.165	0.195	0.238	0.192	0.18	0.205	0.187	0.212	0.182	0.17	0.213	0.201	0.182
K <sub>2</sub> O	0.029	0.068	0.023	0	0.033	0.6	0.044	0.034	0.031	0.006	0.027	0.021	0.043
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0	0	0.038	0	0	0	0.022	0	0	0
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.004	0	0.006	0	0.046	0	0	0.025	0	0.007	0	0
NiO	0.025	0	0	0.014	0	0	0.021	0.05	0.83	0	0.024	0.005	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.016	0	0	0	0.025	0	0	0.004	0	0	0	0
Total	97.841	93.467	96.311	97.231	96.242	95.845	96.567	96.897	95.58	95.926	96.702	96.66	96.919
O No.	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Si	5.165	5.020	5.036	6.784	5.562	5.008	5.021	5.035	5.010	5.013	5.048	5.023	5.016
Ti	0.004	0.001	0.000	0.006	0.000	0.016	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000	0.003	0.000
Al	3.806	3.942	3.962	2.167	3.392	3.902	3.953	3.956	3.921	3.964	3.951	3.962	3.979
Fe	0.919	0.957	0.912	0.561	0.857	0.999	0.954	0.932	0.958	0.960	0.920	0.938	0.945
Mn	0.026	0.028	0.029	0.012	0.019	0.024	0.017	0.021	0.024	0.028	0.022	0.032	0.027
Mg	0.985	1.028	1.015	0.568	0.888	0.998	1.030	1.010	1.012	1.011	1.005	1.009	1.004
Ca	0.003	0.000	0.003	0.008	0.002	0.001	0.003	0.002	0.005	0.002	0.002	0.003	0.000
Na	0.033	0.042	0.049	0.037	0.037	0.043	0.038	0.043	0.038	0.035	0.044	0.041	0.037
K	0.004	0.010	0.003	0.000	0.004	0.082	0.006	0.005	0.004	0.001	0.004	0.003	0.006
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000
V	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.000
Ni	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.004	0.072	0.000	0.002	0.000	0.000
P	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	10.947	11.030	11.009	10.145	10.762	11.081	11.025	11.010	11.048	11.019	10.999	11.015	11.015
XMg	0.517	0.518	0.526	0.503	0.509	0.500	0.519	0.520	0.514	0.513	0.522	0.518	0.515
Ch. Cat	0.037	0.051	0.052	0.037	0.041	0.125	0.044	0.048	0.042	0.036	0.047	0.044	0.043

## M5Cor

表3 (つづき)

No.	65	66	69	76	77	134	138	222	234	235	240
SiO <sub>2</sub>	42.176	41.449	46.565	44.837	42.672	42.186	44.206	44.098	46.927	45.666	46.644
TiO <sub>2</sub>	0.001	0.001	0.05	0.027	0.008	0.012	0.005	0	0.026	0	0.278
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.686	31.266	28.55	31.658	31.008	27.638	31.058	27.526	31.465	30.298	18.666
FeO	5.678	5.474	5.316	3.909	5.726	6.863	6.328	9.833	10.415	10.598	12.098
MnO	0.107	0.156	0.117	0.093	0.162	0.176	0.156	0.366	0.334	0.331	0.132
MgO	3.351	3.247	3.447	2.932	3.627	3.688	3.656	5.501	6.708	6.304	6.543
CaO	0.678	1.168	1.533	0.771	0.798	1.138	0.482	0.215	0.097	0.029	0.528
Na <sub>2</sub> O	0.102	0.059	1.594	0.063	0.036	0.078	0.063	0.147	0.197	0.17	4.186
K <sub>2</sub> O	1.543	1.46	1.076	1.767	1.556	1.012	1.586	0.071	0	0.119	0.533
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.018	0.01	0.007	0.04	0	0.007	0.025	0.014	0.053	0	0.02
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.013	0.047	0.005	0	0	0	0.029	0.018	0.03	0.043	0.031
NiO	0	0	0	0.003	0.03	0.027	0	0	0.076	0.091	0.012
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.397	0	0.05	0	0	0	0	0.036	0.015	0
Total	84.355	84.733	88.259	86.15	85.624	82.824	87.594	87.79	96.363	93.664	89.672
O No.	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Si	5.052	4.946	5.331	5.188	5.040	5.180	5.106	5.153	4.998	5.017	5.534
Ti	0.000	0.000	0.004	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.025
Al	4.331	4.396	3.851	4.317	4.316	3.999	4.227	3.790	3.948	3.922	2.610
Fe	0.569	0.546	0.509	0.378	0.565	0.705	0.611	0.961	0.927	0.973	1.200
Mn	0.011	0.016	0.011	0.009	0.016	0.018	0.015	0.036	0.030	0.031	0.013
Mg	0.598	0.577	0.588	0.505	0.638	0.675	0.629	0.958	1.064	1.032	1.156
Ca	0.087	0.149	0.188	0.096	0.101	0.150	0.060	0.027	0.011	0.003	0.067
Na	0.024	0.014	0.354	0.014	0.008	0.019	0.014	0.033	0.041	0.036	0.962
K	0.236	0.222	0.157	0.261	0.234	0.158	0.234	0.011	0.000	0.017	0.081
Cr	0.002	0.001	0.001	0.004	0.000	0.001	0.002	0.001	0.004	0.000	0.002
V	0.001	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.003	0.004	0.003
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.003	0.000	0.000	0.007	0.008	0.001
P	0.000	0.040	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.001	0.000
Total	10.910	10.911	10.994	10.779	10.923	10.908	10.901	10.972	11.038	11.044	11.655
XMg	0.513	0.514	0.536	0.572	0.530	0.489	0.507	0.499	0.534	0.515	0.491
Ch. Cat	0.259	0.236	0.511	0.275	0.243	0.177	0.248	0.044	0.041	0.053	1.043

## M21Cor

No.	122	123	126	127	128	132	156	182	183	184	185	186	208	209	214
SiO <sub>2</sub>	48.807	49.866	49	48.36	49.022	43.141	48.513	48.282	48.918	48.781	49.114	48.167	49.182	48.703	47.149
TiO <sub>2</sub>	0	0	0.019	0	0	0	0.032	0.037	0.069	0.03	0	0.223	0.005	0	0.015
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32.179	30.426	31.927	31.212	30.545	31.853	32.365	31.533	32.258	32.97	32.646	32.29	32.867	32.371	31.992
FeO	11.086	10.276	11.274	11.169	10.068	7.421	11.535	10.408	11.004	11.426	11.423	10.95	11.657	11.453	10.632
MnO	0.18	0.219	0.245	0.304	0.133	0.107	0.23	0.219	0.192	0.207	0.257	0.216	0.23	0.219	0.26
MgO	6.195	5.245	6.242	6.106	5.366	4.066	6.011	5.522	5.914	6.28	5.979	5.986	6.224	6.064	6.201
CaO	0.092	0.043	0.072	0.044	0.822	0.526	0.01	0.653	0.268	0.004	0.125	0	0.01	0.028	0.069
Na <sub>2</sub> O	0.201	0.385	0.228	0.218	0.218	0.132	0.222	0.264	0.244	0.224	0.21	0.196	0.208	0.172	0.221
K <sub>2</sub> O	0.067	1.539	0.023	0.027	0.212	1.199	0.026	0.155	0.078	0.038	0.037	0.039	0	0	0.062
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.014	0.017	0.004	0	0	0	0	0.064	0.02	0	0.039	0	0	0.06
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0	0.049	0	0	0	0	0	0.002	0.049	0.003	0	0	0	0.008
NiO	0.01	0	0.047	0	0.055	0	0.035	0.027	0.049	0.005	0	0	0	0	0.018
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.006	0.028	0	0.015	0	0.021	0.002	0	0.007	0.003	0	0	0	0	0
Total	98.823	98.041	99.144	97.461	96.442	88.465	98.98	97.099	99.067	100.038	99.795	98.105	100.384	99.01	96.686
O No.	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Si	5.064	5.231	5.074	5.094	5.196	4.964	5.038	5.096	5.065	5.009	5.053	5.033	5.033	5.050	5.003
Ti	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.003	0.005	0.002	0.000	0.018	0.000	0.000	0.001
Al	3.934	3.761	3.896	3.874	3.815	4.319	3.960	3.922	3.936	3.989	3.957	3.976	3.963	3.955	4.000
Fe	0.962	0.901	0.976	0.984	0.892	0.714	1.001	0.918	0.953	0.981	0.982	0.957	0.997	0.993	0.943
Mn	0.016	0.019	0.021	0.027	0.012	0.010	0.020	0.020	0.017	0.018	0.022	0.019	0.020	0.019	0.023
Mg	0.957	0.820	0.963	0.958	0.847	0.697	0.930	0.868	0.912	0.961	0.916	0.932	0.949	0.937	0.980
Ca	0.010	0.005	0.008	0.005	0.093	0.065	0.001	0.074	0.030	0.000	0.014	0.000	0.001	0.003	0.008
Na	0.040	0.078	0.046	0.044	0.045	0.029	0.045	0.054	0.049	0.045	0.042	0.040	0.041	0.035	0.045
K	0.009	0.206	0.003	0.004	0.029	0.176	0.003	0.021	0.010	0.005	0.005	0.005	0.000	0.000	0.008
Cr	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.002	0.000	0.003	0.000	0.000	0.005
V	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
Ni	0.001	0.000	0.004	0.000	0.005	0.000	0.003	0.002	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002
P	0.001	0.002	0.000	0.001	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	10.993	11.026	10.998	10.991	10.933	10.976	11.004	10.978	10.987	11.016	10.992	10.982	11.005	10.990	11.020
XMg	0.499	0.476	0.497	0.493	0.487	0.494	0.481	0.486	0.489	0.495	0.483	0.493	0.488	0.485	0.510
Ch. Cat	0.049	0.284	0.049	0.048	0.073	0.205	0.048	0.075	0.059	0.050	0.047	0.045	0.041	0.035	0.054



M21Cor

表3 (つづき)

No.	258	20	21	22	31	32	40	51	52	53	55	56	57	63
SiO <sub>2</sub>	47.781	44.799	40.791	47.73	39.878	48.425	47.872	39.371	39.686	40.398	42.438	48.843	40.768	44.51
TiO <sub>2</sub>	0.007	0.003	0	0	0.59	0.067	0.046	0.014	0.024	0.025	0.055	0	0.042	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.85	31.469	31.994	32.834	31.076	32.436	31.965	29.83	28.094	30.169	26.298	35.662	31.439	30.489
FeO	10.933	7.135	7.652	11.382	7.763	11.187	10.512	9.649	10.292	10.405	10.447	3.845	9.199	7.15
MnO	0.308	0.187	0.178	0.248	0.094	0.213	0.257	0.137	0.163	0.067	0.116	0.118	0.047	0.07
MgO	5.928	2.764	4.469	6.292	4.927	6.276	6.164	3.095	2.903	3.237	2.231	1.012	4.568	3.895
CaO	0.014	1.426	0.883	0.028	0.501	0.043	0.198	0.733	0.795	0.98	1.048	1.338	0.45	0.371
Na <sub>2</sub> O	0.194	0.112	0.098	0.245	1.582	0.194	0.537	0.088	0.099	0.065	0.045	0.128	0.059	0.027
K <sub>2</sub> O	0.006	0.635	0.979	0.011	0.041	0.011	0.164	1.01	0.691	0.674	0.476	0.598	1.203	0.373
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.018	0.024	0.021	0	0	0	0.017	0.021	0	0.003	0	0	0	0
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.036	0.004	0.034	0.055	0	0.04	0.03	0	0.019	0	0	0.006	0
NiO	0.006	0.039	0.033	0	0.056	0	0	0.011	0	0.027	0	0.121	0.102	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.126	0.05	0	0.015	0.01	0	0.017	0.028	0.079	0.061	0	0.192	0.011	0.023
Total	96.171	88.679	87.103	98.819	86.573	98.852	97.789	84.015	82.826	86.13	83.154	91.856	87.894	86.909
O No.	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Si	5.094	5.113	4.797	4.968	4.732	5.027	5.026	4.856	4.972	4.865	5.266	5.234	4.792	5.154
Ti	0.001	0.000	0.000	0.000	0.053	0.005	0.004	0.001	0.002	0.002	0.005	0.000	0.004	0.000
Al	3.876	4.232	4.434	4.027	4.345	3.967	3.955	4.336	4.147	4.281	3.845	4.503	4.355	4.160
Fe	0.974	0.681	0.752	0.990	0.770	0.971	0.923	0.995	1.078	1.048	1.084	0.344	0.904	0.692
Mn	0.028	0.018	0.018	0.022	0.009	0.019	0.023	0.014	0.017	0.007	0.012	0.011	0.005	0.007
Mg	0.941	0.470	0.783	0.976	0.871	0.970	0.964	0.569	0.542	0.581	0.412	0.162	0.800	0.672
Ca	0.002	0.174	0.111	0.003	0.064	0.005	0.022	0.097	0.107	0.126	0.139	0.154	0.057	0.046
Na	0.040	0.025	0.022	0.049	0.364	0.039	0.109	0.021	0.024	0.015	0.011	0.027	0.013	0.006
K	0.001	0.092	0.147	0.001	0.006	0.001	0.022	0.159	0.110	0.104	0.075	0.082	0.180	0.055
Cr	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
V	0.000	0.003	0.000	0.003	0.005	0.000	0.003	0.003	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000
Ni	0.001	0.004	0.003	0.000	0.005	0.000	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000	0.010	0.010	0.000
P	0.011	0.005	0.000	0.001	0.001	0.000	0.002	0.003	0.008	0.006	0.000	0.017	0.001	0.002
Total	10.970	10.819	11.069	11.041	11.224	11.005	11.054	11.057	11.007	11.040	10.850	10.543	11.121	10.794
XMg	0.491	0.408	0.510	0.496	0.531	0.500	0.511	0.364	0.334	0.357	0.276	0.319	0.469	0.493
Ch. Cat	0.041	0.117	0.169	0.051	0.370	0.040	0.131	0.180	0.134	0.119	0.086	0.108	0.194	0.061

M22Cor

No.	34	35	37	41	42	43	44	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
SiO <sub>2</sub>	49.52	50.819	47.991	48.23	48.355	47.474	47.8	51.824	47.372	47.413	47.592	46.28	47.905	48.322	45.721	49.313	47.196
TiO <sub>2</sub>	0.004	0.003	0.011	0.04	0	0.034	0	0.053	0	0	0	0	0	0.043	0.021	0.018	0.015
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.184	29.994	32.132	32.56	32.278	32.173	32.21	29.189	32.026	32.032	32.184	30.899	31.843	32.221	30.86	32.664	31.678
FeO	10.341	10.069	10.361	10.525	10.269	10.626	10.459	10.282	10.738	10.862	10.609	10.024	10.591	10.552	10.637	10.468	10.799
MnO	0.407	0.453	0.404	0.375	0.317	0.4	0.352	0.308	0.329	0.384	0.426	0.359	0.362	0.342	0.33	0.33	0.374
MgO	6.391	6.126	6.518	6.55	6.658	6.434	6.448	5.948	6.445	6.461	6.417	6.279	6.278	6.388	6.199	6.586	6.448
CaO	0.014	0.048	0.036	0.031	0.02	0.04	0.007	0.059	0.052	0.039	0.02	0.018	0.061	0.037	0.029	0.044	0.031
Na <sub>2</sub> O	0.258	0.27	0.282	0.27	0.272	0.292	0.322	0.19	0.303	0.245	0.34	0.425	0.358	0.428	0.403	0.463	0.448
K <sub>2</sub> O	0.018	0.011	0.002	0.011	0	0	0.006	0.006	0.011	0.022	0.013	0	0.091	0.008	0.036	0.004	0
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0	0.016	0.031	0.019	0.004	0	0	0	0.015	0.008	0	0	0	0.047	0.07
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.019	0.02	0	0	0.006	0.022	0.01	0.04	0.031	0.018	0	0.001	0	0.009	0	0
NiO	0.001	0	0	0	0.009	0	0.027	0.054	0.082	0.062	0	0.058	0.008	0.01	0.064	0.038	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.006	0.014	0.028	0	0	0	0	0.05	0	0.029	0.013	0	0.007	0	0	0	0
Total	98.144	97.826	97.785	98.607	98.21	97.499	97.656	97.973	97.4	97.579	97.648	94.349	97.504	98.352	94.31	99.975	97.059
O No.	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Si	5.153	5.289	5.025	5.010	5.035	4.996	5.015	5.378	4.996	4.993	5.001	5.027	5.040	5.035	4.990	5.049	5.000
Ti	0.000	0.000	0.001	0.003	0.000	0.003	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.001	0.001
Al	3.824	3.678	3.965	3.986	3.961	3.990	3.982	3.569	3.980	3.975	3.985	3.955	3.947	3.956	3.969	3.941	3.955
Fe	0.900	0.876	0.907	0.914	0.894	0.935	0.917	0.892	0.947	0.956	0.932	0.910	0.932	0.919	0.971	0.896	0.956
Mn	0.036	0.040	0.036	0.033	0.028	0.036	0.031	0.027	0.029	0.034	0.038	0.033	0.032	0.030	0.030	0.029	0.034
Mg	0.991	0.950	1.017	1.014	1.033	1.009	1.008	0.919	1.012	1.014	1.005	1.016	0.984	0.991	1.008	1.004	1.018
Ca	0.002	0.005	0.004	0.003	0.002	0.005	0.001	0.007	0.006	0.004	0.002	0.002	0.007	0.004	0.003	0.005	0.004
Na	0.052	0.054	0.057	0.054	0.055	0.060	0.065	0.038	0.062	0.050	0.069	0.089	0.073	0.086	0.085	0.092	0.092
K	0.002	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.003	0.002	0.000	0.012	0.001	0.005	0.001	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.004	0.006
V	0.000	0.002	0.002	0.000	0.000	0.001	0.002	0.001	0.003	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002	0.005	0.007	0.005	0.000	0.005	0.001	0.001	0.006	0.003	0.000
P	0.001	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000	0.003	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	10.961	10.897	11.016	11.021	11.011	11.035	11.026	10.846	11.044	11.040	11.038	11.039	11.028	11.027	11.069	11.024	11.065
XMg	0.524	0.520	0.528	0.526	0.536	0.519	0.523	0.508	0.517	0.515	0.519	0.527	0.514	0.519	0.509	0.529	0.515
Ch. Cat	0.054	0.056	0.057	0.056	0.055	0.060	0.066	0.039	0.063	0.053	0.071	0.089	0.085	0.087	0.090	0.092	0.092

表3 (つづき)

M22Cor

No.	56	57	58	59	60	62	63	64	72	73	75	77	78	81	82	83	85
SiO <sub>2</sub>	48.015	47.275	48.796	49.162	49.466	47.609	47.452	46.693	47.836	47.955	47.721	48.137	49.329	47.754	46.971	46.726	47.162
TiO <sub>2</sub>	0.003	0.018	0.027	0.018	0	0.025	0.081	0.017	0.032	0	0.07	0	0.004	0.017	0.018	0	0.053
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32.253	31.179	30.753	32.735	32.348	32.399	31.305	31.602	32.464	31.512	31.821	31.781	31.276	32.552	32.286	31.962	32.028
FeO	10.563	10.419	10.306	10.535	10.73	10.663	10.202	9.881	10.85	11.071	10.327	10.391	10.153	10.441	10.605	10.523	10.071
MnO	0.329	0.279	0.388	0.284	0.391	0.371	0.305	0.308	0.287	0.423	0.32	0.336	0.369	0.355	0.323	0.33	0.385
MgO	6.635	6.285	6.491	6.52	6.601	6.378	6.288	6.507	6.41	6.298	6.291	6.47	6.298	6.317	6.38	6.299	6.47
CaO	0.058	0.045	0	0.042	0.055	0.041	0.047	0.001	0.023	0.008	0.005	0.029	0.024	0.051	0.012	0.066	0.015
Na <sub>2</sub> O	0.412	0.362	0.333	0.361	0.304	0.321	0.251	0.245	0.305	0.296	0.258	0.244	0.244	0.245	0.291	0.231	0.219
K <sub>2</sub> O	0.026	0.016	0.094	0.065	0.037	0	0.022	0.007	0.006	0.027	0.126	0	0.055	0.005	0.015	0.016	0
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0	0.062	0	0	0.035	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.035	0.004	0	0	0.016	0	0	0.009	0.007	0	0.016	0	0	0	0.041	0.023
NiO	0	0.007	0	0.035	0	0.017	0	0	0.022	0.021	0.019	0	0.062	0	0.039	0	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.012	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.013	0.002	0	0.008	0.029	0.054	0.044
Total	98.308	95.919	97.253	99.756	99.932	97.875	95.953	95.262	98.244	97.619	96.97	97.407	97.814	97.746	96.969	96.248	96.47
O No.	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Si	5.009	5.052	5.135	5.044	5.070	4.992	5.059	5.011	4.997	5.050	5.040	5.057	5.148	5.003	4.971	4.980	5.001
Ti	0.000	0.001	0.002	0.001	0.000	0.002	0.006	0.001	0.003	0.000	0.006	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.004
Al	3.965	3.926	3.813	3.958	3.907	4.003	3.933	3.996	3.996	3.910	3.960	3.934	3.846	4.018	4.026	4.014	4.002
Fe	0.921	0.931	0.907	0.904	0.919	0.935	0.909	0.887	0.948	0.975	0.912	0.913	0.886	0.914	0.938	0.938	0.893
Mn	0.029	0.025	0.035	0.025	0.034	0.033	0.028	0.028	0.025	0.038	0.029	0.030	0.033	0.031	0.029	0.030	0.035
Mg	1.031	1.000	1.017	0.996	1.008	0.996	0.999	1.040	0.997	0.988	0.990	1.012	0.979	0.986	1.006	1.000	1.022
Ca	0.006	0.005	0.000	0.005	0.006	0.005	0.005	0.000	0.003	0.001	0.001	0.003	0.003	0.006	0.001	0.008	0.002
Na	0.083	0.075	0.068	0.072	0.060	0.065	0.052	0.051	0.062	0.060	0.053	0.050	0.049	0.050	0.060	0.048	0.045
K	0.003	0.002	0.013	0.009	0.005	0.000	0.003	0.001	0.001	0.004	0.017	0.000	0.007	0.001	0.002	0.002	0.000
Cr	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
V	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.004	0.002
Ni	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.002	0.002	0.000	0.005	0.000	0.003	0.000	0.000
P	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.001	0.003	0.005	0.004
Total	11.050	11.021	10.994	11.016	11.009	11.036	10.995	11.015	11.033	11.027	11.008	11.000	10.957	11.011	11.041	11.028	11.009
XMg	0.528	0.518	0.529	0.524	0.523	0.516	0.523	0.540	0.513	0.503	0.520	0.526	0.525	0.519	0.517	0.516	0.534
Ch. Cat	0.087	0.077	0.081	0.080	0.065	0.065	0.055	0.052	0.063	0.064	0.070	0.050	0.057	0.050	0.062	0.050	0.045

M22Cor

No.	86	87	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	104
SiO <sub>2</sub>	47.902	47.929	47.736	47.2	50.151	48.249	47.986	48.235	47.055	49.868	48.958	47.97	48.417	47.829	49.922	48.199	47.89
TiO <sub>2</sub>	0.014	0	0	0	0	0.026	0	0	0.004	0.008	0	0	0.025	0	0.034	0	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	32.329	32.377	32.185	32.014	30.902	32.669	32.378	32.376	31.015	31.39	32.724	32.51	32.677	32.448	29.817	32.315	31.963
FeO	10.537	10.837	10.64	10.457	10.641	10.777	10.925	10.873	10.458	10.434	10.83	11.256	10.363	10.956	10.398	10.597	10.534
MnO	0.378	0.387	0.349	0.304	0.388	0.346	0.384	0.362	0.371	0.256	0.368	0.361	0.432	0.442	0.384	0.371	0.252
MgO	6.512	6.658	6.472	6.309	6.276	6.417	6.358	6.626	6.453	6.277	6.509	6.557	6.668	6.572	5.801	6.364	6.224
CaO	0.051	0.032	0.035	0.073	0.041	0.054	0.03	0.055	0.031	0.029	0.021	0.077	0.041	0.028	0.068	0.063	0.033
Na <sub>2</sub> O	0.328	0.35	0.229	0.285	0.221	0.292	0.307	0.28	0.196	0.26	0.299	0.352	0.321	0.28	0.244	0.362	0.344
K <sub>2</sub> O	0.024	0	0.029	0.006	0	0.027	0.031	0.008	0.014	0.004	0.011	0	0.028	0	0	0	0.005
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.05	0	0.012	0.007	0	0	0.073	0	0	0	0	0	0.004	0	0	0.02	0.012
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0	0	0.025	0	0	0.074	0	0	0.001	0	0.011	0.018	0	0	0	0
NiO	0	0	0.002	0	0.066	0	0	0	0	0.014	0	0.142	0.024	0	0.061	0.018	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0	0.047	0.01	0.02	0	0.041	0	0	0	0.021	0.008	0.048	0.016	0.021	0	0
Total	98.124	98.57	97.737	96.69	98.706	98.85	98.587	98.816	95.598	98.541	99.742	99.245	99.066	98.571	96.75	98.309	97.258
O No.	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Si	5.006	4.994	5.008	5.004	5.193	5.006	5.000	5.010	5.047	5.164	5.030	4.978	5.005	4.986	5.265	5.026	5.042
Ti	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.003	0.000	0.000
Al	3.981	3.975	3.979	3.999	3.770	3.994	3.976	3.963	3.919	3.830	3.962	3.975	3.981	3.986	3.706	3.970	3.966
Fe	0.921	0.944	0.933	0.927	0.921	0.934	0.952	0.944	0.938	0.903	0.930	0.977	0.896	0.955	0.917	0.924	0.927
Mn	0.033	0.034	0.031	0.027	0.034	0.030	0.034	0.032	0.034	0.022	0.032	0.032	0.038	0.039	0.034	0.033	0.022
Mg	1.014	1.033	1.011	0.996	0.968	0.992	0.987	1.025	1.031	0.968	0.996	1.014	1.027	1.021	0.911	0.988	0.976
Ca	0.006	0.004	0.004	0.008	0.005	0.006	0.003	0.006	0.004	0.003	0.002	0.009	0.005	0.003	0.008	0.007	0.004
Na	0.066	0.071	0.047	0.059	0.044	0.059	0.062	0.056	0.041	0.052	0.060	0.071	0.064	0.057	0.050	0.073	0.070
K	0.003	0.000	0.004	0.001	0.000	0.004	0.004	0.001	0.002	0.001	0.001	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.001
Cr	0.004	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001
V	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.012	0.002	0.000	0.005	0.002	0.000
P	0.000	0.000	0.004	0.001	0.002	0.000	0.004	0.000	0.000	0.002	0.001	0.004	0.001	0.002	0.002	0.000	0.000
Total	11.035	11.054	11.021	11.024	10.942	11.026	11.034	11.037	11.015	10.946	11.016	11.068	11.029	11.047	10.901	11.025	11.010
XMg	0.524	0.523	0.520	0.518	0.512	0.515	0.509	0.521	0.524	0.517	0.517	0.509	0.534	0.517	0.499	0.517	0.513
Ch. Cat	0.070	0.071	0.050	0.059	0.044	0.062	0.066	0.057	0.043	0.053	0.061	0.071	0.068	0.057	0.050	0.073	0.071

M22Cor

表3 (つづき)

No.	105	106	107	108	109	110	7	72	81	83	95	96	97	191
SiO <sub>2</sub>	47.183	48.041	47.713	47.441	47.816	52.549	47.804	50.334	50.074	48.103	48.598	48.484	48.189	49.995
TiO <sub>2</sub>	0	0.013	0	0	0.059	0	0.006	0.006	0	0	0.045	0.062	0.013	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.467	32.407	31.578	31.883	32.193	27.845	31.741	29.649	30.857	31.555	31.79	31.737	31.406	30.532
FeO	11.012	10.979	10.753	10.632	10.441	9.988	10.9	10.157	10.755	10.633	10.744	10.705	10.179	10.528
MnO	0.314	0.342	0.32	0.307	0.468	0.356	0.297	0.384	0.327	0.384	0.347	0.311	0.331	0.347
MgO	6.307	6.377	6.283	6.443	6.446	5.647	6.401	6.122	6.331	6.301	6.548	6.284	6.055	6.328
CaO	0.055	0.058	0.047	0.045	0.039	0.039	0.039	0.045	0.052	0.022	0.043	0.038	0.049	0.025
Na <sub>2</sub> O	0.371	0.388	0.329	0.379	0.287	0.19	0.277	0.35	0.252	0.278	0.249	0.279	0.274	0.227
K <sub>2</sub> O	0.006	0.024	0	0.093	0.015	0	0.019	0	0.012	0.007	0.002	0.023	0.491	0
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.081	0.028	0	0.035	0	0.032	0	0	0	0.048	0.008	0.028	0.004
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0.027	0	0	0.019	0.037	0	0.011	0	0	0.026	0.01	0	0.01
NiO	0	0	0	0.008	0	0.028	0.079	0	0	0	0	0.064	0	0.047
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.011	0	0	0.009	0.013	0.01	0.016	0.034	0	0	0	0	0	0
Total	96.726	98.736	97.049	97.239	97.832	96.689	97.611	97.092	98.659	97.283	98.441	98.004	97.015	98.043
O No.	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Si	5.017	5.000	5.044	5.009	5.011	5.509	5.030	5.283	5.189	5.067	5.061	5.070	5.091	5.208
Ti	0.000	0.001	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.005	0.001	0.000
Al	3.942	3.975	3.934	3.967	3.975	3.440	3.935	3.667	3.768	3.917	3.901	3.911	3.910	3.748
Fe	0.979	0.955	0.950	0.938	0.915	0.875	0.959	0.891	0.932	0.936	0.935	0.936	0.899	0.917
Mn	0.028	0.030	0.029	0.027	0.042	0.032	0.026	0.034	0.029	0.034	0.031	0.028	0.030	0.031
Mg	0.999	0.989	0.989	1.013	1.006	0.882	1.003	0.957	0.977	0.989	1.016	0.979	0.953	0.982
Ca	0.006	0.006	0.005	0.005	0.004	0.004	0.004	0.005	0.006	0.002	0.005	0.004	0.006	0.003
Na	0.076	0.078	0.067	0.078	0.058	0.039	0.056	0.071	0.051	0.057	0.050	0.057	0.056	0.046
K	0.001	0.003	0.000	0.013	0.002	0.000	0.003	0.000	0.002	0.001	0.000	0.003	0.066	0.000
Cr	0.000	0.007	0.002	0.000	0.003	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.004	0.001	0.002	0.000
V	0.000	0.002	0.000	0.000	0.002	0.003	0.000	0.001	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.001
Ni	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.002	0.007	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.004
P	0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	11.049	11.047	11.021	11.052	11.023	10.787	11.028	10.913	10.953	11.003	11.008	10.999	11.013	10.940
XMg	0.505	0.509	0.510	0.519	0.524	0.502	0.511	0.518	0.512	0.514	0.521	0.511	0.515	0.517
Ch. Cat	0.077	0.081	0.067	0.090	0.060	0.039	0.059	0.071	0.052	0.058	0.051	0.060	0.122	0.046

M24Cor

No.	19	20	22	27	28	29	30	41	42	45	46	47	48	22
SiO <sub>2</sub>	46.675	47.501	53.043	47.345	47.933	48.997	48.976	46.195	45.363	48.793	46.671	47.081	46.99	45.492
TiO <sub>2</sub>	0.005	0.001	0	0.008	0.031	0	0.005	0.019	1.718	0.057	0	0.231	0.017	0.212
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30.862	31.062	27.694	30.969	31.361	29.571	29.76	30.44	29.452	28.684	30.335	30.781	30.836	32.134
FeO	11.301	11.072	10.314	11.06	10.077	11.016	11.208	11.255	12.154	10.539	10.947	10.95	10.934	10.875
MnO	0.257	0.315	0.27	0.367	0.243	0.318	0.327	0.248	0.374	0.356	0.272	0.332	0.33	0.289
MgO	5.596	5.779	4.965	5.727	4.974	5.425	5.521	5.809	5.561	5.279	5.584	5.625	5.666	5.61
CaO	0.056	0.029	0.02	0.027	0.057	0.016	0.038	0.042	0.045	0.005	0.032	0.036	0.039	0.164
Na <sub>2</sub> O	0.185	0.253	0.322	0.183	0.343	0.16	0.217	0.166	0.188	0.397	0.396	0.234	0.341	0.554
K <sub>2</sub> O	0.017	0.005	0	0.044	0.887	0.037	0	0.025	0.019	0	0	0	0.013	0.006
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.018	0.053	0	0.007	0	0.052	0	0	0.007	0.003	0.077	0.043	0.028
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.031	0	0.041	0	0.009	0.046	0.039	0.016	0.028	0.025	0.007	0.017	0	0
NiO	0	0	0	0	0	0.046	0.072	0.058	0.086	0	0	0	0	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.04	0	0	0	0.02	0	0.013	0	0.029	0.005	0	0	0.004	0
Total	95.026	96.035	96.72	95.731	95.943	95.635	96.227	94.274	95.018	94.147	94.248	95.366	95.213	95.364
O No.	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Si	5.053	5.079	5.560	5.080	5.123	5.246	5.220	5.046	4.963	5.298	5.089	5.071	5.071	4.917
Ti	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.002	0.141	0.005	0.000	0.019	0.001	0.017
Al	3.937	3.914	3.420	3.915	3.950	3.731	3.738	3.918	3.797	3.670	3.897	3.907	3.921	4.092
Fe	1.023	0.990	0.904	0.992	0.900	0.986	0.999	1.028	1.112	0.957	0.998	0.986	0.986	0.983
Mn	0.024	0.029	0.024	0.033	0.022	0.029	0.030	0.023	0.035	0.033	0.025	0.030	0.030	0.026
Mg	0.902	0.920	0.775	0.915	0.792	0.865	0.877	0.945	0.906	0.854	0.907	0.903	0.911	0.903
Ca	0.006	0.003	0.002	0.003	0.007	0.002	0.004	0.005	0.005	0.001	0.004	0.004	0.005	0.019
Na	0.039	0.052	0.065	0.038	0.071	0.033	0.045	0.035	0.040	0.084	0.084	0.049	0.071	0.116
K	0.002	0.001	0.000	0.006	0.121	0.005	0.000	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001
Cr	0.000	0.002	0.004	0.000	0.001	0.000	0.004	0.000	0.000	0.001	0.000	0.007	0.004	0.002
V	0.003	0.000	0.003	0.000	0.001	0.004	0.003	0.001	0.002	0.002	0.001	0.001	0.000	0.000
Ni	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.006	0.005	0.008	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
P	0.004	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.001	0.000	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	10.992	10.990	10.759	10.984	10.992	10.905	10.927	11.012	11.014	10.903	11.004	10.977	11.002	11.077
XMg	0.469	0.482	0.462	0.480	0.468	0.467	0.467	0.479	0.449	0.472	0.476	0.478	0.480	0.479
Ch. Cat	0.041	0.053	0.065	0.044	0.192	0.038	0.045	0.039	0.043	0.084	0.084	0.049	0.073	0.117

表3 (つづき)

M24Cor

No.	25	145	146	147	148	165	166	173	193	213	216	232	233	255
SiO <sub>2</sub>	50.229	48.86	47.946	48.222	54.829	48.281	48.278	47.506	47.662	46.938	46.401	46.761	47.668	47.392
TiO <sub>2</sub>	0.025	0.022	0.014	0.038	0.014	0	0.009	0.188	0.05	0.022	0.505	0	0.007	0.005
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.335	31.677	31.909	31.989	28.103	31.294	32.356	32.13	31.937	31.05	31.04	30.938	31.939	31.831
FeO	11.561	10.456	11.601	11.805	10.47	11.768	11.508	11.172	11.482	11.483	12.113	11.308	11.607	11.157
MnO	0.301	0.295	0.376	0.309	0.311	0.26	0.292	0.422	0.252	0.289	0.321	0.275	0.33	0.24
MgO	5.62	5.709	6	5.931	5.204	5.805	5.96	6.321	5.971	5.996	5.827	5.71	5.865	5.945
CaO	0.061	0.56	0.019	0.036	0.018	0.009	0.133	0.202	0.043	0	0.058	0.021	0.017	0.002
Na <sub>2</sub> O	0.149	1.008	0.14	0.201	0.175	0.147	0.15	0.22	0.165	0.143	0.144	0.165	0.175	0.168
K <sub>2</sub> O	0.043	0.089	0.003	0.018	0.039	0.037	0.028	0.142	0.056	0.151	0	0.017	0.016	0
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0	0.018	0	0	0	0.072	0	0.024	0	0	0	0	0.014	0
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.011	0	0.012	0.024	0	0.052	0.007	0.004	0	0.007	0.054	0.007	0	0
NiO	0	0	0.033	0	0.075	0.015	0.002	0	0.035	0	0	0.034	0	0.04
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.021	0	0	0	0	0.004	0.108	0	0.013	0.034	0	0	0.001	0
Total	99.355	98.694	98.053	98.573	99.238	97.744	98.833	98.332	97.665	96.113	96.463	95.234	97.639	96.78
O No.	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Si	5.182	5.087	5.033	5.038	5.595	5.084	5.022	4.979	5.021	5.033	4.978	5.051	5.025	5.029
Ti	0.002	0.002	0.001	0.003	0.001	0.000	0.001	0.015	0.004	0.002	0.041	0.000	0.001	0.000
Al	3.809	3.886	3.947	3.938	3.379	3.883	3.966	3.968	3.965	3.923	3.924	3.938	3.968	3.980
Fe	0.997	0.910	1.018	1.031	0.893	1.036	1.001	0.979	1.011	1.029	1.087	1.021	1.023	0.990
Mn	0.026	0.026	0.033	0.027	0.027	0.023	0.026	0.037	0.022	0.026	0.029	0.025	0.029	0.022
Mg	0.864	0.885	0.938	0.923	0.791	0.911	0.923	0.987	0.937	0.958	0.931	0.919	0.921	0.940
Ca	0.007	0.062	0.002	0.004	0.002	0.001	0.015	0.023	0.005	0.000	0.007	0.002	0.002	0.000
Na	0.030	0.203	0.028	0.041	0.035	0.030	0.030	0.045	0.034	0.030	0.030	0.035	0.036	0.035
K	0.006	0.012	0.000	0.002	0.005	0.005	0.004	0.019	0.008	0.021	0.000	0.002	0.002	0.000
Cr	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000
V	0.001	0.000	0.001	0.002	0.000	0.004	0.001	0.000	0.000	0.001	0.005	0.001	0.000	0.000
Ni	0.000	0.000	0.003	0.000	0.006	0.001	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000	0.003	0.000	0.003
P	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.000	0.001	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000
Total	10.926	11.075	11.006	11.010	10.734	10.986	10.997	11.053	11.011	11.024	11.031	10.998	11.008	10.998
XMg	0.464	0.493	0.480	0.472	0.470	0.468	0.480	0.502	0.481	0.482	0.462	0.474	0.474	0.487
Ch. Cat	0.035	0.215	0.029	0.043	0.040	0.035	0.034	0.064	0.041	0.050	0.030	0.037	0.038	0.035

M25Cor

No.	56	57	58	59	60	66	67	69	71	72	46	201
SiO <sub>2</sub>	47.574	47.021	47.411	47.276	47.899	48.034	47.469	47.49	48.715	51.043	49.608	48.427
TiO <sub>2</sub>	0.027	0.013	0.018	0.005	0.009	0	0.016	0	0.01	0.048	0	0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	31.493	31.47	31.203	31.475	31.583	31.328	31.888	31.595	30.752	31.233	32.093	31.839
FeO	10.579	10.861	10.754	10.506	10.772	10.6	11.026	10.758	10.621	10.542	9.616	10.481
MnO	0.346	0.407	0.41	0.302	0.349	0.311	0.378	0.381	0.405	0.379	0.467	0.388
MgO	5.766	5.965	5.902	5.733	5.813	5.642	5.824	5.868	5.636	5.746	6.074	6.055
CaO	0.095	0.067	0.002	0.056	0.044	0.025	0.031	0.045	0.028	0.03	0.133	0.04
Na <sub>2</sub> O	0.414	0.347	0.25	0.277	0.313	0.373	0.345	0.331	0.301	0.33	0.318	0.289
K <sub>2</sub> O	0.059	0.02	0.093	0.032	0.022	0.027	0.006	0	0.025	0	0.035	0.026
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.027	0	0	0	0.018	0.011	0.071	0.003	0	0.004	0.038	0.024
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	0	0	0	0	0	0.018	0.022	0.018	0	0.006	0.001
NiO	0.06	0.028	0.106	0.011	0.032	0.029	0.075	0	0.059	0.018	0	0
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.003	0	0	0	0	0.033	0	0.011	0.026	0.004	0	0
Total	96.442	96.2	96.15	95.673	96.855	96.413	97.147	96.506	96.594	99.376	98.389	97.57
O No.	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Si	5.061	5.025	5.064	5.061	5.071	5.102	5.024	5.049	5.162	5.237	5.133	5.079
Ti	0.002	0.001	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001	0.004	0.000	0.000
Al	3.948	3.963	3.927	3.971	3.940	3.921	3.977	3.958	3.840	3.776	3.913	3.935
Fe	0.941	0.970	0.960	0.940	0.954	0.941	0.976	0.956	0.941	0.904	0.832	0.919
Mn	0.031	0.037	0.037	0.027	0.031	0.028	0.034	0.034	0.036	0.033	0.041	0.034
Mg	0.914	0.950	0.939	0.914	0.917	0.893	0.918	0.929	0.890	0.878	0.936	0.946
Ca	0.011	0.008	0.000	0.006	0.005	0.003	0.004	0.005	0.003	0.003	0.015	0.004
Na	0.085	0.072	0.052	0.057	0.064	0.077	0.071	0.068	0.062	0.066	0.064	0.059
K	0.008	0.003	0.013	0.004	0.003	0.004	0.001	0.000	0.003	0.000	0.005	0.003
Cr	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.006	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002
V	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.002	0.002	0.002	0.000	0.000	0.000
Ni	0.005	0.002	0.009	0.001	0.003	0.002	0.006	0.000	0.005	0.001	0.000	0.000
P	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.000
Total	11.008	11.030	11.003	10.984	10.990	10.973	11.018	11.003	10.946	10.903	10.942	10.983
XMg	0.493	0.495	0.494	0.493	0.490	0.487	0.485	0.493	0.486	0.493	0.530	0.507
Ch. Cat	0.093	0.075	0.064	0.062	0.067	0.080	0.072	0.068	0.065	0.066	0.068	0.062

Occurrence and Chemical Composition of Metamorphic  
Minerals of Muddy Hornfels in the Shimanto  
Zone of the Kanto Mountain: IV  
Sensui Valley, Enzan City 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 observed along Sensui Valley, Enzan City, and is divided into five hornfels zones; Pelitic 1 medium grade zone (1), Pelitic 2 medium grade zone (2), Pelitic 1 low grade zone (3), Pelitic 3 low grade zone (4), and Pelitic 4 very low grade zone (5).

The medium grade hornfels is characterized by mineral assemblage consisting of orthoclase, alkali-feldspar, oligoclase, cordierite, with or without garnet. Alkali-feldspars seem to connect between orthoclase and oligoclase end-member as seen in M22. Low grade hornfels consists of albite, chlorite, biotite, muscovite, with or without microcline. Maximum temperature observed at M14 near the contact is deduced to be 510°C from the garnet-biotite geothermometer.

Layered silicate (phyllosilicate) minerals are identified by X-ray diffraction method. They are chlorite, muscovite, and biotite. Other identified minerals are cordierite, quartz and plagioclase. Five groups are recognized from their assemblages. No. 5 (Chlorite) group is composed of chlorite > muscovite. No. 4 (Biotite) group is composed of biotite > muscovite > chlorite. No. 2 (Cordierite) group is biotite > muscovite. And, No. 1 (Garnet) group is composed of biotite > muscovite. Cordierite is abundantly recognized on X-ray diffraction pattern in No. 2 group. Beautiful crystals with sector trilling twins are observed at two localities, M5 and M24.

Muscovites show Tschermak substitution in two ways. One is that successive increase of Mg plus Fe causes decrease of Al. Another is that decrease of Al is balanced by Si without obvious change in Mg plus Fe.

From the Fe-Mg exchange reaction in biotite and muscovite versus cordierite and garnet, it is found that Mg goes into chlorite in (4) zone, into cordierite and garnet in (2) zone, and into biotite and muscovite in (1) zone. Using these Fe-Mg reactions, mineral paragenesis in (1), (2), and (4) zones are described.

---

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

2) Komazawa University High School