

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——¹⁾

加賀美英雄・谷口 英嗣²⁾

はじめに

この論文はホルンフェルスの研究を始めて4年目になり、泥質岩の熱変成の状態を初めてまとめた結果である。そこで、今までの経過について若干の説明を加え、この研究の意図について述べる。城西大学が建っ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。飯能層の礫種の内、チャート礫の礫径分布は、この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。一方、ホルンフェルス礫の礫径分布は、南西方向に位置する関東山地から由来した傾向を示した。その方向に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こ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）。

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）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ので（松田，1992；松田ほか，1992），とりあえずその柳沢川流域の塩山市高橋付近を調べ、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）。次の年に、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、接触変成帯の調査ができ、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

1) 日本第四紀学会 2000 年大会（国立歴史民族博物館）にて講演

2) 駒沢大学高等学校

(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。こうして今回初めて、泥質のホルンフェルスを扱ったのである。

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、始めから手法通りに研究手順を踏まない、十分な理解が得られないことから、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であるが、飯能礫層は赤色モラッセと呼ばれるものと考えており、関東山地の隆起と深く関係している(加賀美, 1996)。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である。

塩山市落合付近の地質概要と試料の採集地点

多摩川上流の塩山市落合付近には柳沢川が流れており、やや下流で一之瀬川に南西から合流している。この辺りに分布する甲府深成岩体は 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もので、南北約 40 km、東西約 20 km の規模である。フィッシュトラック法年代測定によると、 12.5 ± 1.4 Ma の年代が与えられている (Ito et al., 1989)。

小仏層群下部は、酒井 (1987) によると、三頭山付近では盆堀川層であり、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る。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、異地性岩塊とみなされている。本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 (酒井, 1987)。

小仏層群上部の小伏層は、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 3500 m 程度である。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されている (酒井, 1987)。

山梨県地質図編集委員会 (1970) によると、落合付近東部の砂岩泥岩互層は小仏層群上部の小菅層としている。しかし、酒井 (1987) によれば、この砂岩泥岩互層は盆堀川層下部の層準で、上下を砂岩層に挟まれた中部に位置する砂岩泥岩互層であるとしている。本論文でも層厚などを考慮に入れて、これを盆堀川層の泥質部層とする。村田ら (1986) はこの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 (図 1)。砂岩泥岩互層の厚さは、地図上の分布幅から推定すると約 1 km ある。今回の調査では、この泥岩の試料を選択的に採集して分析した。なお、落合付近には砂岩優勢部層が卓越し、藤尾山の山頂にかけて広く分布している。その分布か

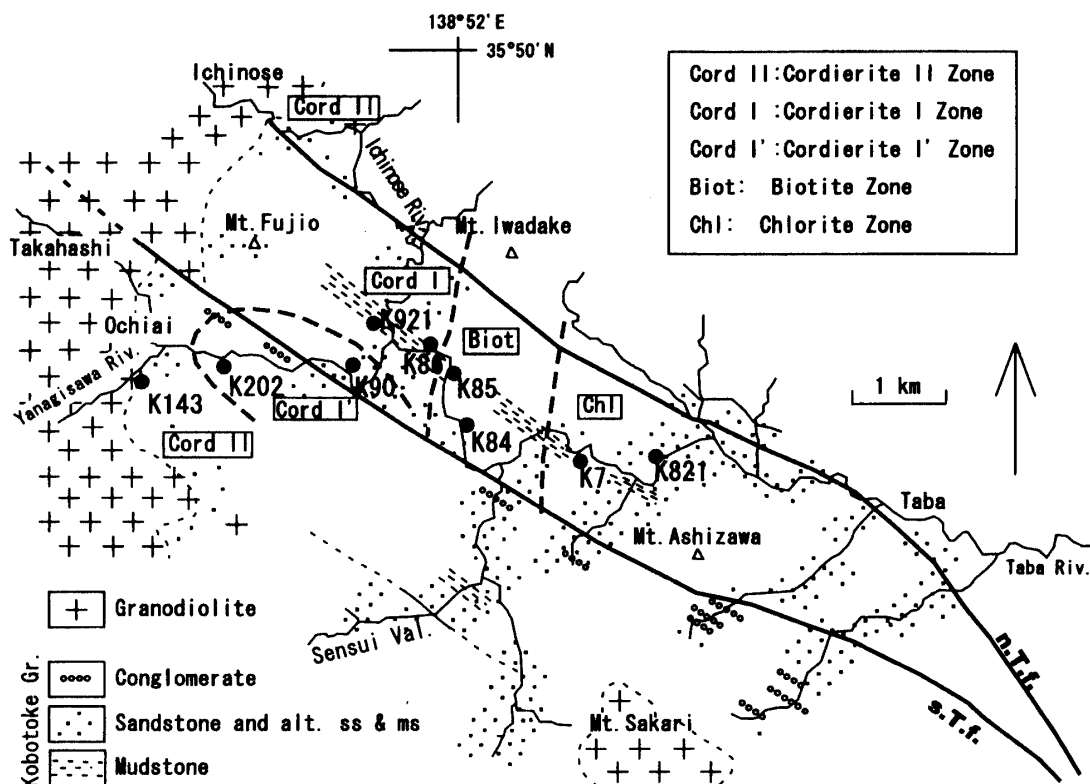


図1 塩山市落合付近のホルンフェルス変成分帯と試料採集地点
s.t.f.とn.t.f.は南・北鶴川断層。原図は村田ほか(1986)による。

らみると、中部の層準に来るはずの砂岩泥岩互層は西北に向かって砂岩中にせん滅しているようにみえる。

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、鶴川南断層として広瀬花崗閃緑岩に突き当たっている。村田ら(1986)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(図1)。

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、ホルンフェルス採集地点を並べて簡単な記載をし、変成分帯の分帯を試みた(図1)。まず、接触部から600 mまでがザクロ石を多産する堇青石Ⅱ帯である。それから、鶴川南断層をまたぐので距離はやや不正確な表現となるが、接触部から1500 mまでは堇青石が認められることから、600~1500 m間を堇青石Ⅰ'帯とする。本帯は、白雲母の斑状変晶が認められることから、堇青石帯から黒雲母帯にまで後退変成している可能性がある。以下1500 mから2700 mまでは“Mn ザクロ石”を含む堇青石Ⅰ帯、2700 mから4200 mまでは黒雲母帯である。そして、4200 m以遠は緑泥石帯となる。その分布を図1に示した。

以下において変成分帯の根拠となった変成鉱物を上げる。堇青石Ⅱ帯の鉱物組成は、石英、斜長石、アルカリ長石、白雲母、黒雲母、ザクロ石、堇青石である。斜長石は原岩より残留したと思われるラブラドライト(曹灰長石 An_{50-70})が主であり、アンデシン(中性長石 An_{30-50})も含

まれる。ザクロ石はアルマンディン（鉄ばんざくろ石）系である。

堇青石 I' 帯の鉱物組成は、石英、斜長石、アルバイト（曹長石）、アルカリ長石、マイクロクリン、黒雲母、白雲母、ザクロ石、堇青石であり、緑泥石も含まれる。斜長石はオリゴクレーズ（灰曹長石 An_{10-30} ）が主であり、アンデシンも含まれる。この帯は白雲母の斑状変晶で特徴付けられる。

次の堇青石 I 帯の鉱物組成は、石英、斜長石、アルバイト、黒雲母、白雲母、ザクロ石、堇青石である。斜長石はオリゴクレーズである。ザクロ石はスペッサルティン（満ばんざくろ石）系である。堇青石 I' 帯と I 帯の区別は、オリゴクレーズの組成パターンが I 帯では、いわゆる disorder であり、新しく形成されたものとみなされる。詳細は「4. アルカリ長石・斜長石の化学組成」の項で述べる。また、層状珪酸塩鉱物の分析で I 帯は黒雲母が主であり、I' 帯では白雲母が主である上に、緑泥石も含まれることなどから、より低温であることを示す。

黒雲母帯の鉱物組成は、石英、斜長石、アルバイト、アルカリ長石、マイクロクリン、黒雲母、白雲母である。斜長石はオリゴクレーズが主であり、アンデシンも含まれる。本帯にはアルバイトが多く含まれるのが特徴であり、これは源岩からの残留と考えられる。

なお、これらの変成帯を切って西北西・東南東方向に伸びる鶴川南断層が発達しており、この断層の存在が堇青石 I' 帯の変成過程に影響を与えたものとする。

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) 堇青石 II 帯

K14 (5 m)：落合小学校下の柳沢川の右岸の露頭である。サンプルの K141 は砂岩、K142 の一部、K143B は泥岩である。マイクロ蛍光 X 線分析装置（オミクロン）を使った（佐藤ほか、1999）全岩分析（以下 KOM 全岩分析という）によると、K141 は SiO_2 77.79 wt%， Al_2O_3 12.07 wt% を示し、かなり珪長質である。

その他に、K9 (5 m)、K8 (10 m)、K10 (80 m)、K18 (180m) などの試料があり、それらはこの帯の特徴的な鉱物を含むが、いずれも砂岩起源の岩石である。これらはすでに記載した（加賀美・谷口、1998）。

(2) 堇青石 I' 帯

K20 (800 m)：藤尾部落西側の山梨県水位観測所脇の柳沢川右岸に露出する砂岩泥岩互層である。泥層の厚さは 8 cm、砂層の厚さは 10 cm 程度の互層である。K201 は黒色泥岩、K202 は泥岩砂岩互層である。K202 の砂岩の KOM 全岩分析によると、 SiO_2 65.02 wt%， Al_2O_3 18.34 wt% を示し、あまり高い値ではないが珪長質である。

本帯の中央を切る鶴川南断層に接して、K23 (1200 m) の試料があるが、これは砂岩起源であ

る（加賀美・谷口，1998）。

K90（1800 m）：タキ沢対岸の柳沢川左岸の県道（青梅街道）の崖。泥質優勢部の南限に当たる。試料は暗色の泥岩。

(3) 堇青石 I 帯

K92（2000 m）：一之瀬林道入り口を入れて 200 m の地点。試料は塊状泥岩である。露頭では、泥岩中に黄鉄鉱の細粒が認められた。

K92 と K86 の間に、K89, K88, K87 の泥岩試料がある。

K86（2600 m）：一之瀬橋（柳沢川と一之瀬川の合流地点）より 450 m 下った県道。試料はやや灰色の黒色泥岩で、極めて堅い岩石である。

(4) 黒雲母帯

K85（3000 m）：一之瀬橋と三条橋の中間地点の県道。試料は灰色泥岩で、黄鉄鉱の団塊が含まれる。

K84（3300 m）：三条橋に近い県道の崖。試料は灰色泥岩である。

その他に K83 の泥岩試料がある。

(5) 緑泥石帯

K7（4400 m）：県道の丹波山トンネル東口の旧道の崖。泥岩優勢部層の東限に当たる。

K82（5100 m）：県道の羽根戸橋下流の河床。砂泥互層のうち、K822 は暗灰色中細粒砂岩で、KOM 全岩分析によると、 SiO_2 75.64 wt%， Al_2O_3 12.50 wt%を示し、かなり珪長質である。K821 は XRF や EPMA 分析に供した黒色泥岩である。

なお、小常木谷合流点（余慶橋）より下流の K6（5900 m）や K52（6100 m）は、盆堀川層基底に相当する、黒色石質岩片を含む中粒硬砂岩である。K6 試料については加賀美・谷口（1998）において記載した。

岩石薄片の顕微鏡観察

本地域の代表的な岩石として、緑泥石帯（K821）、黒雲母帯（K84）、堇青石 I 帯（K86）、堇青石 I' 帯（K90, K202）、堇青石 II 帯（K143）を選んで、鏡下にみられる主要鉱物の特徴を図示する（図 2）。

図 2-A に示したのは緑泥石帯の岩石（K821）で、砂岩泥岩互層の泥質部である。写真は横軸の長さが 1 mm、クロスニコルでの像である。その構成鉱物は、石英（qz）、アルバイト（ab）、

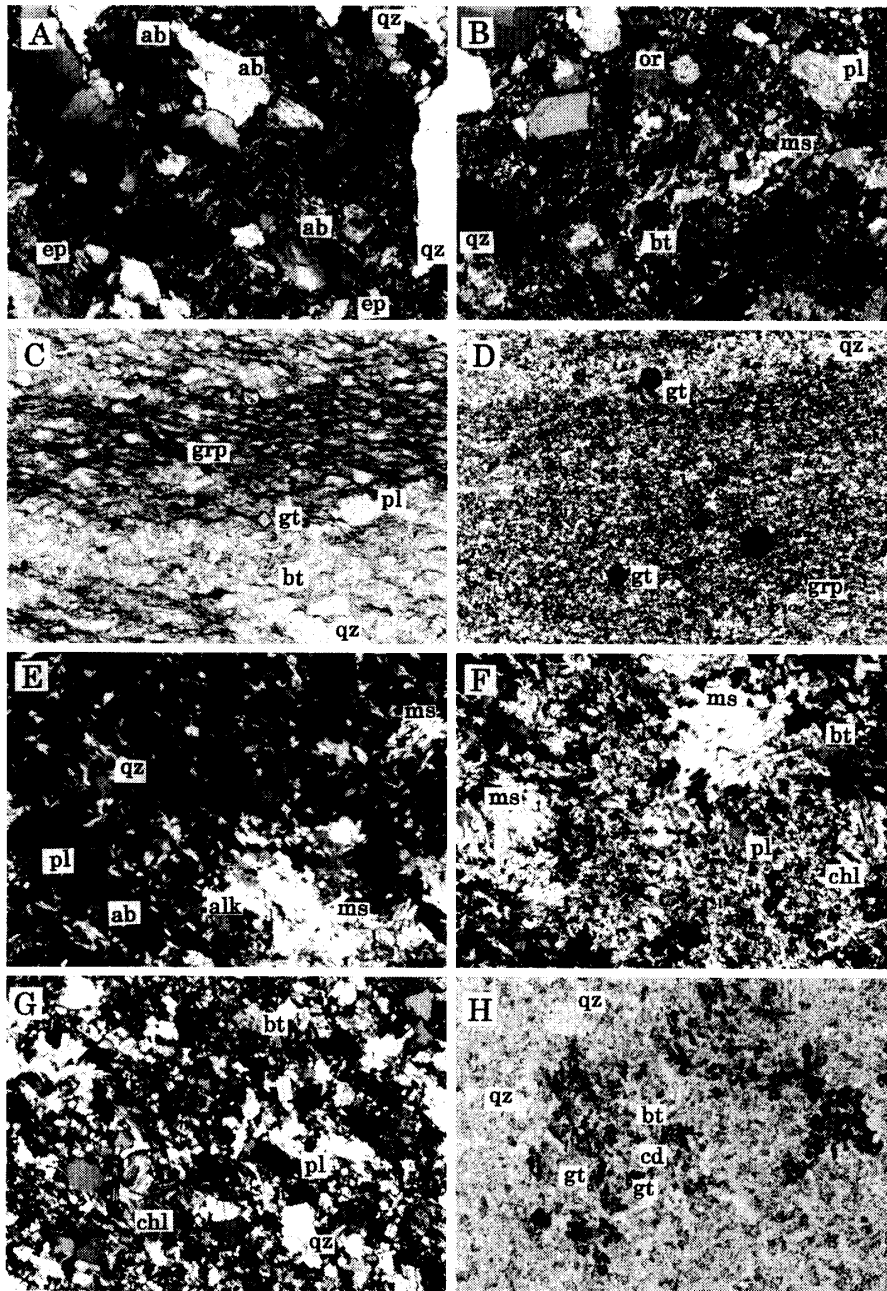


図2 ホルンフェルスの岩石顕微鏡写真

- 2-A: K821, クロスニコル 横幅 1 mm
 緑泥石帯の砂質泥岩。アルバイト, 緑泥石が多い。
- 2-B: K84, クロスニコル 横幅 1 mm
 黒雲母帯の砂質泥岩。
- 2-C: K86, オープンニコル 横幅 0.5 mm
 堇青石 I 帯の泥質と砂質部の互層。
- 2-D: K86, クロスニコル 横幅 1 mm
 堇青石 I 帯の泥質部にスペッサルティンが見られる。
- 2-E: K90, クロスニコル 横幅 0.5 mm
 堇青石 I' 帯の白雲母の斑状変晶。
- 2-F: K202, クロスニコル 横幅 1 mm
 堇青石 I' 帯の白雲母の斑状変晶が全面に形成されている。
- 2-G: K143, クロスニコル 横幅 1 mm
 堇青石 II 帯の堇青石を含む斑状変晶。
- 2-H: K143, オープンニコル 横幅 1 mm
 堇青石 II 帯のアルマンディンを含む斑状変晶。

マイクロクリン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 (chl), アルバイト, 斜長石が量的には多い。量は少ないが緑れん石 (ep) も含まれる。石英やアルバイトの大きな粒子が含まれることから、全体に淘汰度が悪い。斜長石はオリゴクレーズが多いが、アンデシンも認められた。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2-Bに示したのは黒雲母帯 K84 の薄片である。写真は横軸の長さが 1 mm, クロスニコルでの像である。このホルンフェルスの構成鉱物は石英, 斜長石 (pl), アルバイト, アルカリ長石, マイクロクリン (or), 白雲母 (ms), および黒雲母 (bt) よりなる。白雲母は比較的大きな結晶よりなる。黒雲母は粒径は小さいが, チタン量の多い (>1.1 wt%) 茶色種である。斜長石はオリゴクレーズが主であるが, アンデシンも含まれる。

図2-Cに示したのは董青石 I 帯 K86 の薄片である。写真は横軸の長さが 0.5 mm, オープンニコルでの像である。この試料の構成鉱物は石英, 斜長石, 白雲母, 黒雲母, ザクロ石 (gt), 董青石である。写真の部分は, 一部石墨 (grp) 化した泥質層と石英・斜長石よりなる砂質部分が互層を示している。この段階では砂質部分にザクロ石や黒雲母が形成されている。

図2-Dに示したのは董青石 I 帯の K86 の薄片である。写真は横軸の長さが 1 mm, クロスニコルでの像である。上と同一地点であるが, 構成粒子はより細粒になっている。黒色八角形の鉱物はスペッサルティンである。

図2-Eに示したのは董青石 I' 帯の K90 の薄片である。写真は横軸の長さが 0.5 mm, クロスニコルでの像である。構成鉱物は石英, 斜長石, アルバイト, アルカリ長石 (alk), 黒雲母, 白雲母, 董青石よりなる。写真右下に見られるように, 白雲母の斑状変晶を形成している。

図2-Fは董青石 I' 帯の K202 の薄片である。写真は横軸の長さが 1 mm, クロスニコルでの像である。構成鉱物は石英, 斜長石, アルバイト, アルカリ長石 (alk), 黒雲母, 白雲母, 董青石よりなる。写真全面に見られるように, 白雲母の斑状変晶が発達している。特に, 白雲母が濃集しているところに ms のマークを付けた。この産状や Mg, Fe の値から白雲母は董青石から後退変成作用で変わったものと解釈した。あまり白雲母ができていないところには, 黒雲母や斜長石が形成されている。また, 緑泥石も認められた。斜長石はオリゴクレーズが主である。

図2-Gは董青石 II 帯に属する K143B の薄片である。写真は横軸の長さが 1 mm, クロスニコルでの像である。この試料の構成鉱物は石英, 斜長石, アルカリ長石, 黒雲母, 董青石 (cd), ザクロ石である。写真では暗色部の石墨などに囲まれた斜長石や董青石の斑状変晶が目立っている。

図2-Hは董青石 II 帯に属する K143B の薄片である。写真は横軸の長さが 1 mm, オープンニコルでの像である。この試料は上と同じ地点であるが, 構成鉱物のモードは上の写真と異なる。写真では暗色部が斑状変晶で, リムには石英が並んでいる。その中にザクロ石や董青石の結晶が

みられる。斜長石はラブラドライトである。黒雲母は色の濃い高チタン種 (1.4~3.0 wt% ; TiO_2) が主であるが、一部に低チタンの薄茶種 (0.8 wt%) も存在した。これらはザクロ石・黒雲母地質温度計の計算に使われた。

ホルンフェルスの変成鉱物の化学組成

1. 層状珪酸塩鉱物の組成

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砕し、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。粉砕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 RINT100V 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 2θ (単位は度) で示し、ピークの高さを x が最大で 1.0 とし () 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。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、白雲母のピークとみなした。

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。

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

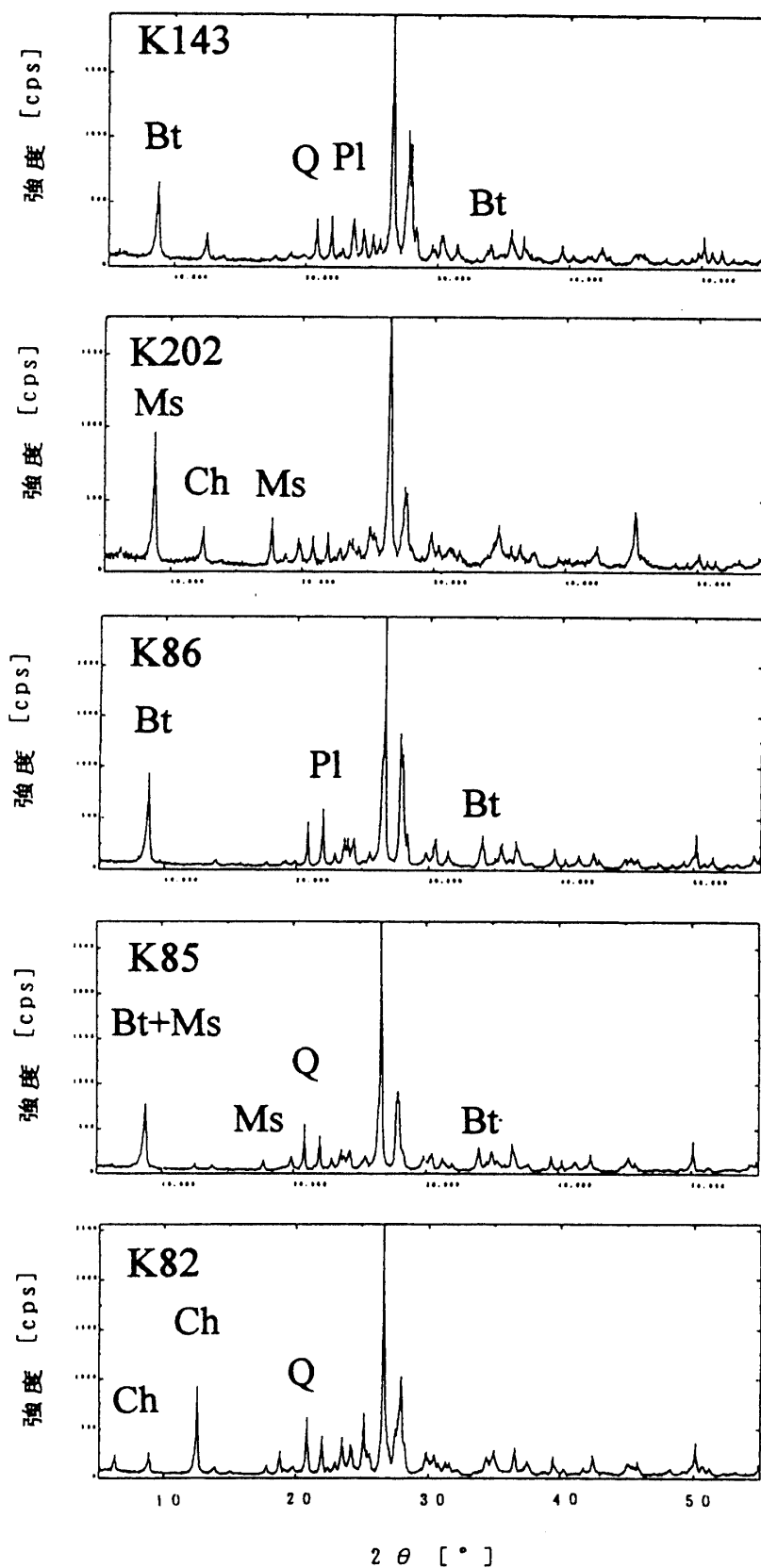


図3 層状珪酸塩鉱物の X 線回折図

2θ の範囲は $5-55^\circ$ 。

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

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もつ (Table 1)。

鉱物組合わせ	量比によるクラス	分帯
a 緑泥石 + 白雲母	6) 緑泥石 > 白雲母	緑泥石帯
	5) 白雲母 > 緑泥石	
b 緑泥石 + 白雲母 + 黒雲母	4) 黒雲母 > 白雲母 > 緑泥石	黒雲母帯
c 白雲母 + 黒雲母	3) 黒雲母 > 白雲母	堇青石 I 帯
b 白雲母 + 黒雲母 + 緑泥石	2) 白雲母 > 緑泥石 > 黒雲母	堇青石 I' 帯
	2') 白雲母 > 黒雲母 > 緑泥石	
d 黒雲母	1) 黒雲母	堇青石 II 帯

鉱物組合わせは、a~d の 4 種類しかないが、量比を考慮して並べると、6 組の組合わせ (カッコの番号) が識別できた。さらに、整理すると Table 1 右端のように、5 つの帯に分帯できた。

なお、この構成鉱物に石英と長石類を加えて考察すると、4), 5) の組では石英が最多組成であり、碎屑性堆積物が卓越する未変成の状態にあることを示している。一方、1), 3) の組では長石類が黒雲母について多産する。このことは、後で述べるようにオリゴクレーヌが変成鉱物として形成されていることを示している。

Table 1 層状珪酸塩鉱物の組成と変成分帯

Locality	Group No.	Min Assemb	Abundance (Intensity of peak; cps)	Remarks
K143A	1	Bi	Bi(600) > Pl(300) ≥ Q(300)	Cordierite II zone
K143B	1	Bi	Bi(600) > Pl(300) > Q(300)	
K202	2	Ms > Ch ≫ Bi	Ms(1000) > Ch(300) > Pl(200) > Q(200)	Cordierite I' Zone
K90	2'	Ms > Bi > Ch	Ms(400) > Bi(400) > Q(300) > Pl(300)	
K921	3	Bi > Ms	Bi(450) > Q(450) > Pl(300) > Ms(200)	Cordierite I Zone
K86	3	Bi ≫ Ms	Bi(800) > Pl(500) > Q(400) > Ms(100)	
K85	4	Bi > Ms ≫ Ch	Bi(500) > Q(500) > Pl(350) > Ms(200)	Biotite Zone
K84	4	Bi > Ms ≫ Ch	Q(700) > Pl(600) > Bi(150) > Ms(100)	
K7	5	Ms > Ch	Q(600) > Ms(450) > Pl(400) > Ch(400)	Chlorite Zone
K821	6	Ch ≫ Ms	Ch(900) > Q(600) > Pl(400) > Ms(100)	

3. 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 15KV, 照射電流 1.2×10^{-8} A およびビーム径 1~4 μ 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。1 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

各帯の長石類の組成を効率的に示すために、緑泥石帯の小仏層の泥岩、黒雲母帯のホルンフェルス、堇青石帯のホルンフェルスの順で、各帯から 1 地点を選び、その長石類を An-Ab-Or 三角ダイアグラムに表示した (図 4)。

緑泥石帯の泥岩は、K82 に代表され、アルバイトとアルカリ長石~マイクロクリンが多いことを特徴とする。その他に、斜長石は An₁₀₋₂₀ である。

黒雲母帯のホルンフェルスの特徴は K84 によって示される。緑泥石帯に多数認められた Or₂₀₋₈₀ の組成のアルカリ長石は数が少なくなり、代わりに Or₈₂₋₉₈ の組成域のマイクロクリンと、アルバイトが若干増加する。また、斜長石は An₁₀₋₄₀ と An 側に広がって分布するのが観察される。これは緑泥石帯の長石類が、例外としてアルバイト化しているためで、本帯の An₁₀₋₄₀ の斜長石が本来の原岩組成を保存していると判断される。

堇青石 I 帯の長石類の性質は、K86 に代表され、マイクロクリンとアルカリ長石がほとんどない。アルバイトと An₁₀₋₃₀ の斜長石つまりオリゴクレーズの領域に集中的な分布が見られることが特徴である。後で説明するが、Feldspar index 図において Si, Al, Ca, Na の値が系統的に変化しない、つまりバラバラに分布するものを 'いわゆる disorder' の性質を示す長石類と規定する。この性質を示すのはオリゴクレーズで、層状珪酸塩鉱物組成において斜長石 (オリゴクレーズ) のピークが大きく出現し、斑状変晶を作るなどの特徴があることを考慮すると、このオリゴクレーズは新たに形成されたものと判断される。参考のために K86 の長石類分析表を示す (Table 2)。もし、これが残留した斜長石であるならば、K84 の Feldspar index 図でみるような系統的組成変化を示すはずであるが、この場合それは認められなかった (図 5)。

堇青石 I' 帯の長石類の性質は、K90 に代表され、マイクロクリンとアルカリ長石が認められる。アルバイトもあるが、量的に多いのは An₂₀₋₄₀ の斜長石である。このような組成は、本質的に黒雲母帯と同じであり、後で説明するが、鶴川南断層の影響も否定できない。なお、K20 の斜長石は An₁₀₋₃₀ に集中する傾向を示し、Si, Al, Ca, Na の値は系統的に変化することから、こ

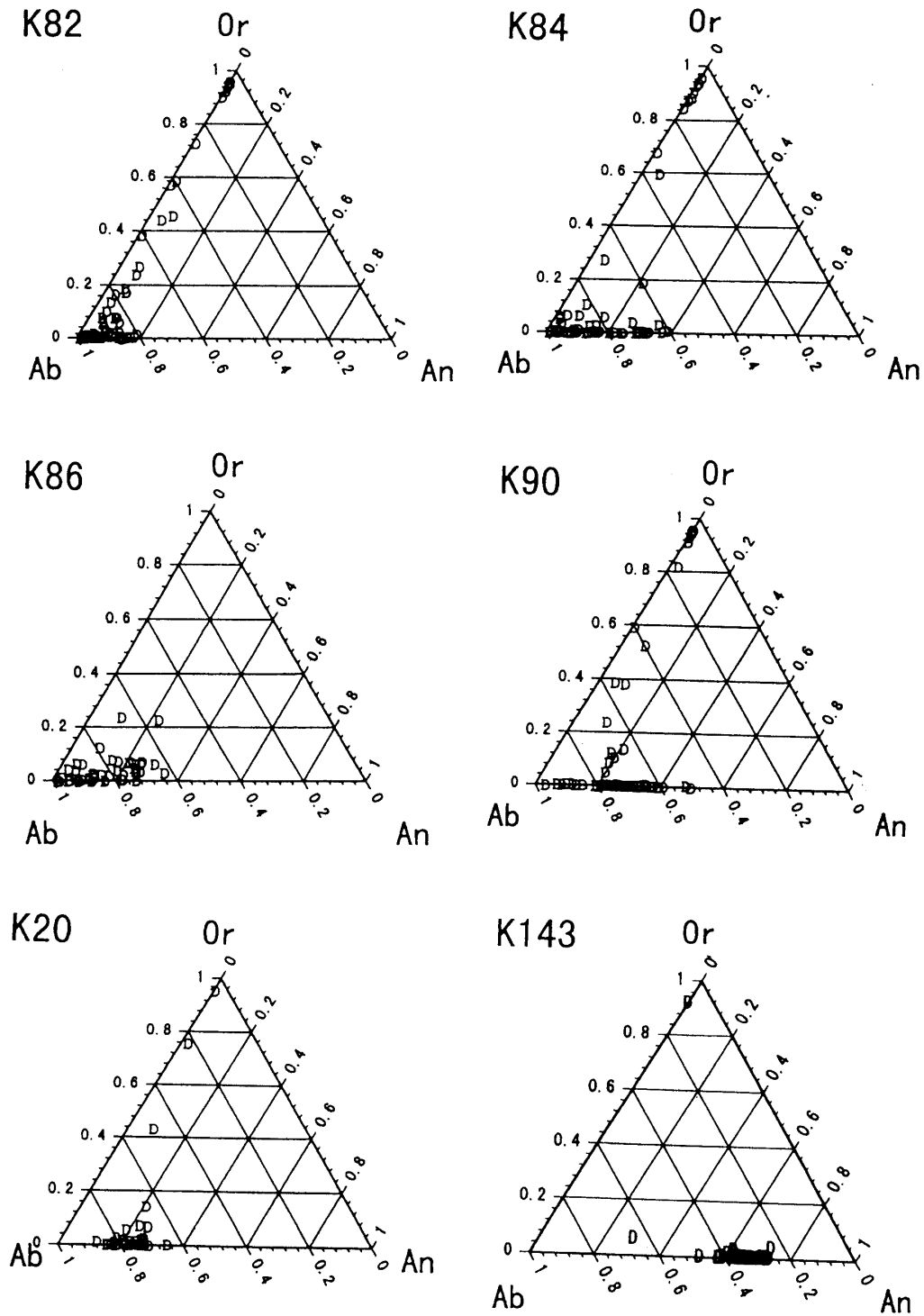


図4 長石類の An-Ab-Or 三角ダイアグラム

のオリゴクレーズは新たに形成されたものではない。

堇青石Ⅱ帯の長石類の性質は、K143に代表される。分析された斜長石の数は少ないが、 An_{32} が認められる。これはK86と同様に新たに形成されたものと解釈した。また、 An_{50-80} の斜長石、つまりラブラドライトの領域に集中的な分布が見られたが、このラブラドライトは塩基性火山岩の斜長石が残留していたものと判断される。

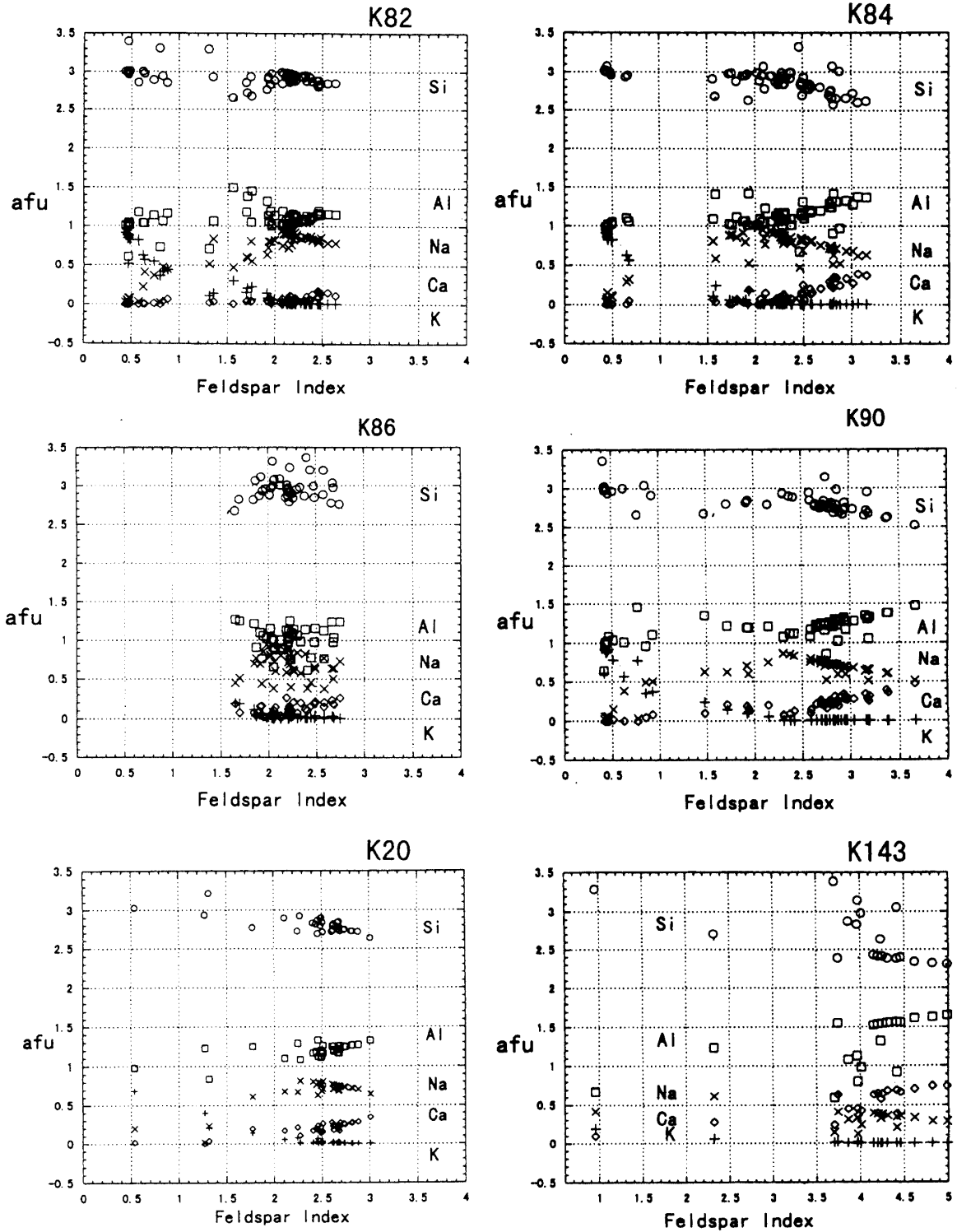


図5 長石類の Feldspar index と主要元素の関係

ここで、Feldspar index について述べる。花崗岩の組成を表現する方法として、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は、Duke et al. (1992) による $(Na+K+Ca)/[Al \times (Al+Si+Ti)]$ や $(Na+K+Ca)/(Al \times Si)$ などがあり、また Breaks and Moore, Jr (1992) による $(Al_2O_3)/(CaO+K_2O+Na_2O)$ 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ことができると、Or-Ab-An 三成分ダイアグラムで表示する代わりに、主要成分を関連付けて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式を用いて指数化することにした。これを仮に、Feldspar index と呼ぶことにし、次のように表す： $[Al \times (Al + Si)] / (Ca + 2Na + 10K)$ (図 5 参照)。この指数においては、0.44 あたりにマイクロクリンがプロットされ、2.0~2.3 あたりにアルバイトが、そして 5 付近にラブラドライトがプロットされる。この指数化によって初めて 'いわゆる disorder' のオリゴクレースの存在が K86 で確認されたのである。

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 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、各帯の記載をするが、フェンジャイト・トレンド (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。

まず、堇青石 II 帯の K143 では、 X_{Fe} が 0.48~0.50 で、PhT は 1.02~2.33 である。Mg の値は 0.11~0.18 で、Fe の値は 0.10~0.17 である。

堇青石 I' 帯の K202 では、 X_{Fe} が 0.52~0.63 で、PhT は 0.96~3.55 である。Mg の値は 0.49~0.62 で、Fe の値は 0.52~1.04 である。また、K90 では、 X_{Fe} が 0.50~0.60 で、PhT は 0.98~2.84 である。Mg の値は 0.45~0.88 で、Fe の値は 0.44~1.30 である。この帯の白雲母は斑状変晶を作るが、Mg の値が 1.06~1.11 (K202) や、0.83~0.88 (K90)、また Fe の値が 1.74~1.94 (K202) や、0.91~1.30 (K90) のように異常に大きなものがある。これらは堇青石が後退作用で白雲母に変成したものと考えられる。参考までに K202 の白雲母の分析値を示す (Table 3)。

堇青石 I 帯を代表する K86 の白雲母は表 6 に示したように少ないので、代わりに K87 をとることにする。K87 では、 X_{Fe} が 0.49~0.61 で、PhT は 1.26~5.38 である。Mg の値は 0.28~1.03 で、Fe の値は 0.30~1.64 である。Mg の値が大きいため、PhT の値が大きくなっている。

黒雲母帯の K85 では、 X_{Fe} が 0.55~0.61 で、PhT は 2.38~5.33 である。Mg の値は 0.90~1.05 で、Fe の値は 1.12~1.64 である。Mg の値が全般に大きいため、PhT の値が底上げされている。

以上みたように、堇青石 II 帯とその他の帯では X_{Fe} の範囲が異なり、堇青石 II 帯では X_{Fe} が

0.48~0.5 にあり、その他の帯では 0.5~0.63 に集中する。つまり、コンタクト近くで Mg-rich、遠方で Fe-rich となる。

構成元素の分布をみると、 X_{Fe} の増加に対応して Al の減少、Si の若干の増加が認められる。また、K が減少して Na が増加し、Mg, Fe が共に増加して Al の減少をカバーしている様子がみられる。このような変化は黒雲母帯で著しいことから、低温での変成で形成されたものと考えられる。これに対して、比較的高温の堇青石Ⅱ帯では、いわゆる白雲母は muscovite に近づいている様子がみられる。なお、 NaK_{-1} の変化は paragonite-muscovite 系の固溶体の変換としてみられるものである。

白雲母にみられる、もう一つの変化は Di-octahedral (白雲母構造) から Tri-octahedral (黒雲母構造) になる黒雲母置換現象がある (Monier and Robert, 1986)。それは、次のように表される。



ここで、 \square は octahedral vacancy であり、 $M=(Fe, Mg)$ である。この置換では tetrahedral layer は Si_3Al の基本組成を変えないが、octahedral site では白雲母構造の三価のカチオンから黒雲母構造の二価のカチオンに変化する。この変化が muscovite-leucophyllite に対応する eastonite $[K_2Al_2Mg_4Al_4Si_4O_{20}(OH)_4]$ -phlogopite $[K_2Mg_6Si_6Al_2O_{20}(OH)_4]$ になる訳で、その変化は上の(2)式で記述される。なお、 $PhT-Al_{tot}$ の図において PhT 値が実際には muscovite-leucophyllite の線上にのらないのは、2~3 価のカチオンの区別がされていないためであるといわれる (Guidotti, 1984) (図6)。

次に、コンタクトから異なる距離にある 5 地点で得られた白雲母の PhT の動向を示す。PhT は Mg, Fe, Al が関係する指標であり、白雲母の化学組成の中で変化が最も激しい性質があるので、指標とすることが出来る。PhT の値が 0~3.5 の領域にあるのが、いわゆる白雲母であり、3~6 の領域にあるのが黒雲母構造の白雲母である。

その分布をみると、黒雲母帯に属する K85 (距離は 3000 m) の白雲母の PhT 値は 2.38~5.33 である。PhT 値は 3 以下より、3 以上の方が多いので、最頻値は 3.7 付近である。

堇青石Ⅰ帯に属する K87 (距離は 2550 m) の白雲母の PhT 値は 1.26~5.38 と幅広い。最頻値は 3.3 付近を示しており、数値的にはフェンジャイトに属することを示す。

堇青石Ⅰ'帯に属する K202 (距離は 800 m) と K90 (1800 m) の白雲母 PhT 値の範囲は 0.96~3.55 と更に小さく、最頻値は 1.6 付近を示すことから、これは白雲母に属すると認められる。

堇青石Ⅱ帯に属する K143 (距離は 5 m) の白雲母の PhT 値範囲は 1.02~2.33 で、最頻値は 1.5 付近である。なお、層状珪酸塩鉱物では白雲母は確認されなかったもので、EPMA の分析にかかった大型の結晶は前の帯から残留したものかもしれない。

このように、白雲母の化学組成からみると、前に見てきたような堇青石Ⅰ'帯において温度が

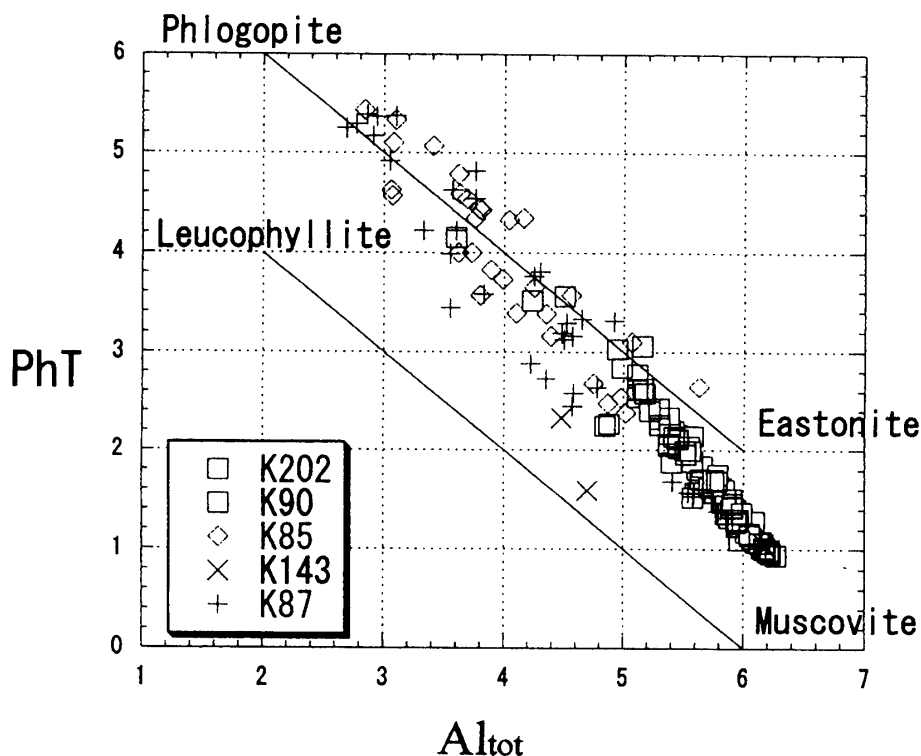


図6 白雲母の PhT と Al_{tot} の関係

muscovite, leucophyllite, eastonite, phlogopite はエンドメンバーを示す。

低下したという考えは成り立たないようにみえる。しかし、堇青石 I' 帯の白雲母が堇青石からの後退変成作用の結果出来たものということが事実であれば、白雲母は新たに形成された低温な環境を指示する指標となりえて、低温化を生じたと考えることは間違いではない。この問題は、単純には扱えないと思えるので、このことの解決には Mixed-layer Chlorite/Phengite 問題 (Shau et al., 1991) などを、将来的に取り上げなければならないだろう。

6. 黒雲母の化学組成

黒雲母の化学組成は Mg~Fe 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った。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7である。SI の値は 14~30 にわたり、幅広く分布している。これを X_{Mg} で示すと、0.3~0.55 の範囲に相当する。

堇青石 II 帯の K143 では、SI の値は 14~21 の範囲にわたり、17~18 に集中している。この帯では層状珪酸塩鉱物では緑泥石が少量認められたが、EPMA 分析では緑泥石ではなく黒雲母のフレームワークを示すことが確認された。このような例は、interstratified Chlorite/Biotite 結

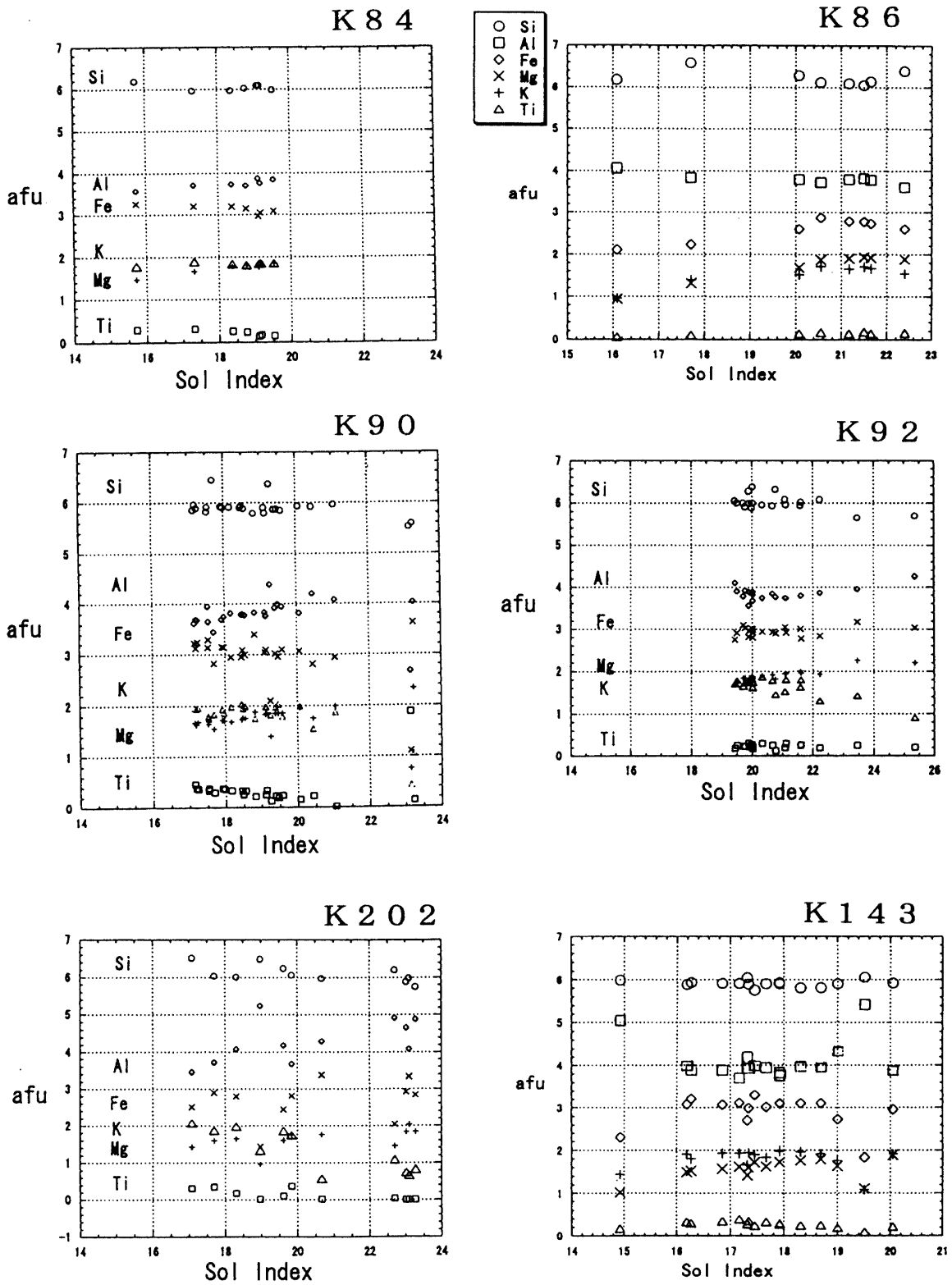


図7 黒雲母の SI と主要元素の関係

晶 (Xu et al., 1996) にみられるもので、将来は量的な取り扱いができると良いと思われる。

堇青石 I' 帯の K202 では、17~23 の範囲を示し、19~20 に集中がみられる。K90 では、17~23 を示し、18~19 に集中がみられる。堇青石 I 帯の K92 では、19~24 の範囲を示し、20~21 に集中がみられる。K86 では、16~23 と範囲は広いが、20~22 に集中がみられる点では K92 と同じである。そして黒雲母帯の K85 では 20~23 の範囲を示し、21 が中心である。K84 では、16~20 と範囲は比較的低い値を示している。中央値も 18 と低い値である。

SI 値に関して、前回に述べたことであるが、SI が 26 付近で、Fe と Mg の値は 2.3 afu の位置で交差した後、SI のより小さい方で Fe は 3.3 afu まで微増し、Mg は 1.4 afu まで減少する。この Fe と Mg の交差現象から、SI が 14~20 の範囲の黒雲母を Fe-rich biotite と呼び、SI が 20~30 の黒雲母を Mg-rich biotite と呼んだ。Fe-rich の黒雲母は高温側で annite 成分に振れているということである (加賀美・谷口, 1999)。この見方によれば、黒雲母帯の K85 は Mg-rich biotite であり、K84 は Fe-rich biotite である。

次に、コンタクトからの距離に応じて黒雲母の SI 値が変化する状態を述べる。図 8 で縦の棒が SI の範囲を示し、そこから小さな横線が出ているところが最頻値の所在である。コンタクトに向かって SI 値が概括的にみて系統的に低下して行く傾向が読みとれる。ところが、その中でこの傾向に反するところが二カ所に認められる。一つは K20 の地点であり、他の一つは K83 (K84) の地点である。

各地点の SI 値の範囲を、コンタクトからの距離を横軸にとってプロットすると、図 8 のよう

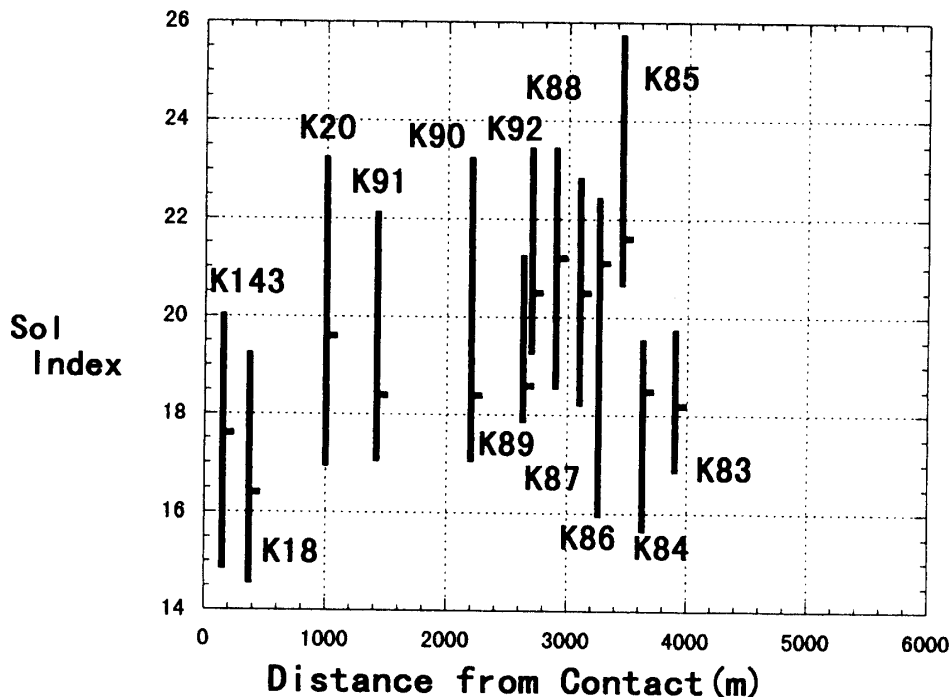


図 8 黒雲母の SI の変化とコンタクトからの距離の関係
小横線は最頻値を示す。

(加賀美・谷口, 1999)。その次に Fe が多いのは K57 である。

一方、関東山地で最も Mg-rich の傾向を示すのが K55 である。黒雲母の SI 値分布から判断して、この地点では接触している花崗閃緑岩から Mg が供給された可能性がある。K26 と K66 の堇青石は Mg に関しては、中間的な値であるが、チャンネルカチオンの量が大変多いという異常を示す。この性質を Pereira and Bea (1994) はマグマ性の影響であるとしたが、本地域ではそのような地質的事実は認められない。しかし、少なくともこれらはホルンフェルス化変成作用としては、Fe-poor (K66) で、 P_2O_5 や CaO に富む (K26) 異常なグループであることは確かである。

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、この特徴を持つ変成帯は関東山地ではまだ発見されていない。

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

ザクロ石が多産する地点は、花崗閃緑岩接触面に近い堇青石Ⅱ帯の K143 と、接触点から 2600 m 離れた堇青石Ⅰ帯に属する K86 の 2 地点である。Mn-Fe-Mg 三角ダイアグラムにプロットしてみると、K143 のザクロ石は Fe に富む (90%) アルマンディン (鉄ばんざくろ石) 系である。一方、K86 のザクロ石は Mn に富む (60%) スペッサルティン (満ばんざくろ石) 系である (図 10)。なお、一之瀬の堇青石Ⅱ帯のザクロ石も相対的に Mn-rich な性質を示す (加賀美・谷口, 1999)。

泥質変成岩の全岩 $MnO/(FeO+MgO+MnO)$ 比は普通は 0.01~0.04 くらいの値を持つという

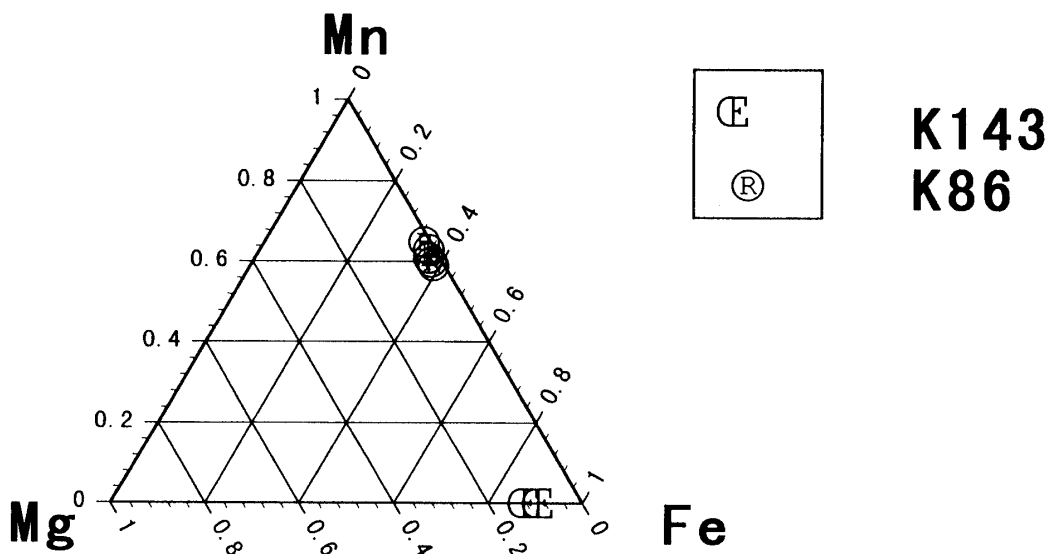


図 10 ザクロ石の Fe-Mg-Mn 三角ダイアグラム

(都城, 1994)。本地域の X_{Mn} 値も Table 4 によればその範囲に入るが, K86 はその中で一番大きく, 0.041 を示す。このことが K86 において, スペッサルティンが形成された理由であると考ええる。

ザクロ石に対応して, 共存している黒雲母の化学組成をみってみる。K143 の場合, Mg, Fe の値は 1.72, 3.09afu というように, Fe-rich になっている (Sol index 17.92)。また, Ti の値は 0.30afu と明らかに高チタン種である。黒雲母は一般的に堇青石Ⅱ帯に入ると赤味を帯びた褐色を呈するが, これはやや TiO_2 に富むためである。一方, K86 では, Mg, Fe の値は 1.90, 2.79afu というように, 相対的に Mg-rich になっている (Sol index 21.17)。また, Ti の値も 0.14afu と低チタン種になっている。

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 5)。K143 ザクロ石の分析値は現状では不十分な値であったので割愛して, ここでは K143 の近傍にあり, かつコンタクトからの距離も等しい K9-6 の KD 値を表示した。KD の値は, 20~22 が中心で, その温度範囲は 600~650°C が得られた。一方, K86 では 410~440°C と低温を示した。この低温はコンタクトから 2600 m も離れているから妥当という考えもあるが, それに加えて上述した成分の問題が関与していると考ええる。それはつまり, 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 に比定できるからである (Mahar

Table 4 XRF による全岩分析値

	K7	K143A	K143B	K201	K202	K821	K83	K84	K85	K86	K90	K921
SiO ₂	70.17	72.08	72.21	64.47	59.65	75.49	74.43	78.52	70.08	67.39	71.58	68.74
TiO ₂	0.58	0.32	0.27	0.72	0.83	0.36	0.45	0.37	0.66	0.66	0.42	0.73
Al ₂ O ₃	17.78	15.16	16.5	19.58	22.2	13.97	13.23	11.71	15.72	15.95	15.25	17.24
Fe ₂ O ₃	1.21	0.81	0.89	1.16	1.27	0.68	0.85	0.44	1.55	1.42	0.84	1.39
FeO	3.62	2.43	2.68	3.47	3.80	2.05	2.54	1.32	4.64	4.26	2.51	4.16
MnO	0.1	0.04	0.04	0.08	0.09	0.05	0.06	0.04	0.15	0.32	0.03	0.08
MgO	1.39	0.84	0.89	1.35	1.6	0.88	0.87	0.35	1.93	1.85	0.82	1.53
CaO	0.34	3.86	4.51	1.95	1.72	1.2	1.46	1.28	0.89	1.85	1.65	1.21
Na ₂ O	2.71	1.57	1.56	2.41	2.52	3.66	3.14	3.77	2.35	3.26	2.69	2.43
K ₂ O	3.17	2.21	1.91	4.68	5.12	3.08	2.37	1.4	3.25	2.76	3.86	3.42
P ₂ O ₅	0.07	0.05	0.05	0.18	0.14	0.05	0.05	0.05	0.11	0.07	0.05	0.08
Total	101.11	99.36	101.51	100.05	98.93	101.47	99.43	99.23	101.32	99.79	99.71	101.02
F	0.24	0.24	0.24	0.23	0.22	0.23	0.26	0.19	0.32	0.33	0.22	0.28
K	0.15	0.16	0.13	0.22	0.21	0.24	0.18	0.16	0.16	0.15	0.26	0.17
A'	0.61	0.60	0.63	0.55	0.57	0.53	0.55	0.65	0.52	0.52	0.52	0.56
X_{Mn}	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.04	0.01	0.01
A/FM	0.62	0.72	0.75	0.53	0.56	0.62	0.64	0.82	0.48	0.56	0.52	0.55
Xmg	0.28	0.26	0.25	0.28	0.30	0.30	0.26	0.21	0.29	0.30	0.25	0.27
Co	6	9	7	11	12	9	7	8	15	13	9	12
Cr	26	5	4	28	24	14	15	11	44	48	9	37
Ni	10	12	15	21	21	13	15	16	40	30	20	30

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。

このように Mn-rich の組成に由来する堇青石 I 帯の変成作用は低温で進行する特徴があったのに加えて、村田ほか (1986) が述べたように、その南側には鶴川南断層が存在していることから、その構造運動の再活動により地域全体に低温化が加速された可能性がある。本地域では堇青石の十分に成長した三連双晶が知られていないが、それは化学組成依存性 (北村・尾崎, 1998) 以外に温度状態が安定していなかったことも原因の一つと考えられる。

2. A'KF および AFM 三角ダイアグラムによる鉱物共生の推定

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 は次の通りである。

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

$$K = K_2O$$

$$F = FeO + MgO + MnO$$

各サンプルの全岩分析値を、XRF を使って行った結果に基づいて述べる。分析結果を Table 4 に掲げ、さらに A'KF 三角ダイアグラムにプロットしたものを示す (図 11)。それによると、緑泥石帯の K821 では K の値が大きく、A' の値が小さい。後者の理由は Al_2O_3 が少なく、 K_2O と Na_2O が多いためである。それに対して黒雲母帯のホルンフェルス (K85) の全岩分析値は F の値が大きいという特徴が見られる。これは FeO と MgO が多いためである。堇青石 I 帯のホル

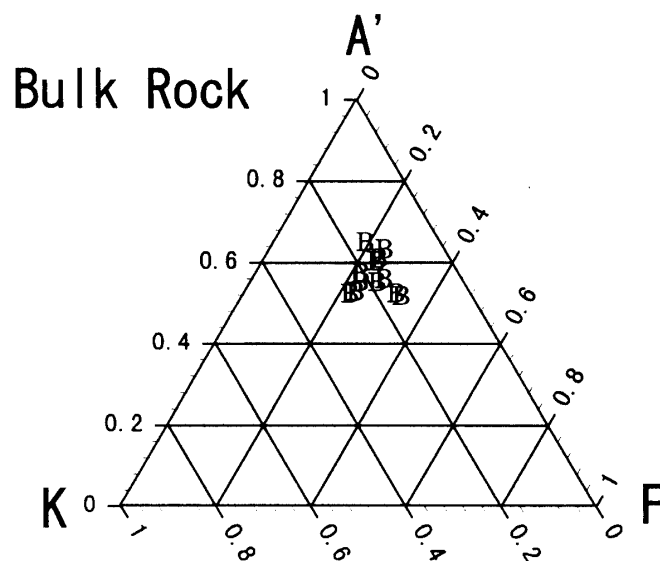


図 11 全岩分析値の A'KF 三角ダイアグラム
詳細は Table 4 を参照。

ンフェルス (K86) の全岩分析値は K85 と殆ど同じ組成であるが、MnO の値が 0.32 wt% と一桁以上大きいのが特徴である。董青石Ⅱ帯の K143A, K143B は K 値が小さい。これは K_2O と Na_2O が少なく、代わりに CaO が多いという性質を示している。このように多少の出入りはあるものの、全体としてプロットした範囲は比較的一カ所に集合しており、原岩の組成変化に大きな変化はないといえる。

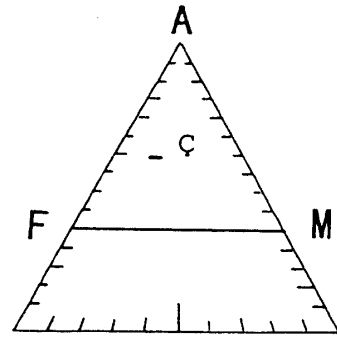
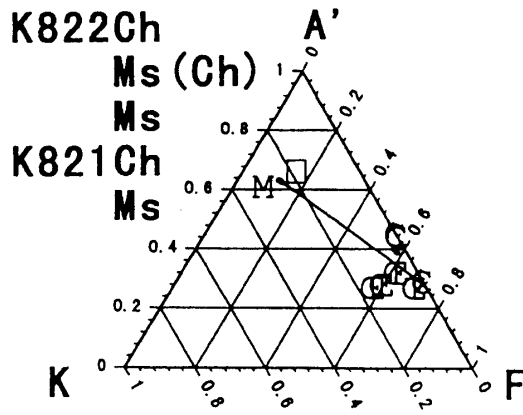
次に、各帯の鉱物共生関係を見るために、 $A'KF$ 三角ダイアグラムと AFM 三角ダイアグラムをペアで示す。AFM 三角ダイアグラムの底辺は $MgO/(MgO+FeO)$ で、また A の値は $(Al_2O_3-3K_2O)/(Al_2O_3-3K_2O+MgO+FeO)$ を使った (Hutchison, 1974)。まず、緑泥石帯の K821, K822 の白雲母、緑泥石をプロットすると図 12 のようになる。使用した鉱物と、計算結果を Table 6 に示す。注目すべきことは、K822 の白雲母の一部は $A'KF$ 計算をすると緑泥石の位置にプロットされた。これを緑泥石的白雲母と呼んでおく。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。 $A'KF$ 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る。一方、AFM 三角ダイアグラムでは、緑泥石のみがプロットされるが、この緑泥石は $FeO > MgO$ であるので、F 側に寄って示される。緑泥石は Si の値が小さい Corundophilite 種である。

次にあげる K202 は董青石Ⅰ'帯に属するので、本来は黒雲母帯の例ではないが、構成鉱物からみると K202 は黒雲母、白雲母、緑泥石からなり、黒雲母帯を仮に代表すると見てもおかしくない。 $A'KF$ 三角ダイアグラムにプロットすると黒雲母の位置がかなり高い場所に示されるという不明確な点はあるが、この三者の共生関係は明らかである。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。緑泥石は Corundophilite と、Si の値がやや大きい Ripidolite であり、両者はほぼ半々存在する。

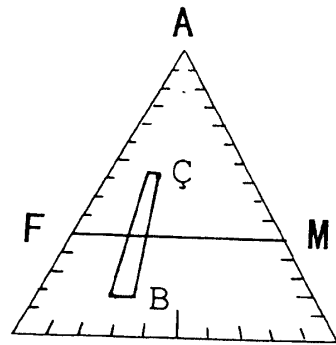
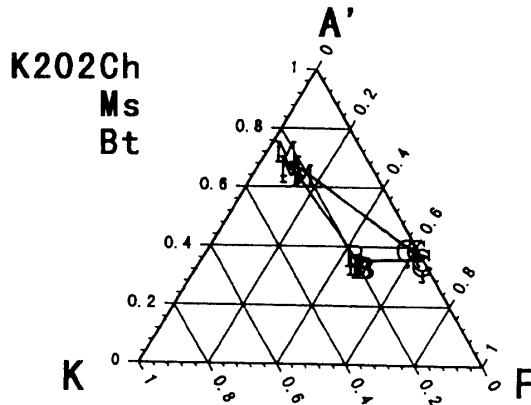
また董青石Ⅰ帯については、K86 の白雲母、黒雲母、ザクロ石をプロットした。 $A'KF$ 三角ダイアグラムでみると、ザクロ石の位置のやや F よりに存在した緑泥石が完全に消失して、代わりにザクロ石ができています。図から読みとれる共生関係は、緑泥石と白雲母から黒雲母とザクロ石が作られたという関係である。一方、AFM 三角ダイアグラムでみると、MgO に富む白雲母が緑泥石としてプロットされている。この図からザクロ石と白雲母的緑泥石は別々に黒雲母と結ばれる共生関係がみられる。

董青石Ⅱ帯については、K143 の白雲母、黒雲母、董青石、ザクロ石をプロットした。層状珪酸塩鉱物では緑泥石が識別されたが、EPMA 分析によれば緑泥石とみられる鉱物は黒雲母のフレームワークを保持した後退変成の産物であって、緑泥石ではないと判定した。 $A'KF$ 三角ダイアグラムでみると、ザクロ石はほとんど緑泥石と同じ所にプロットされ、緑泥石は完全に消化されたとみる。そして、緑泥石と白雲母から黒雲母と董青石、ザクロ石が作られた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、そこからザクロ石と

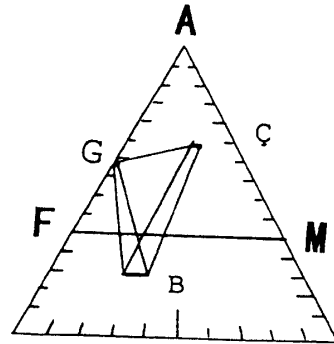
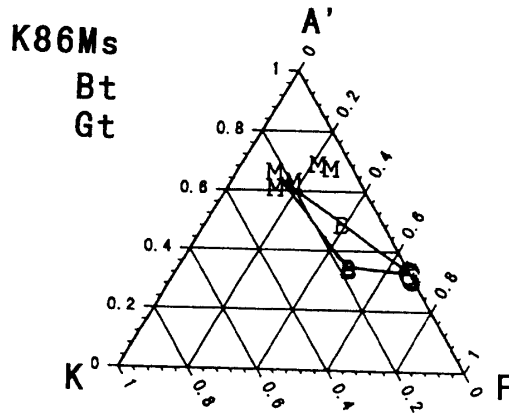
C
⊕
M
⊖
□



⊖
M
B



M
B
G



⊖
M
B
□
S

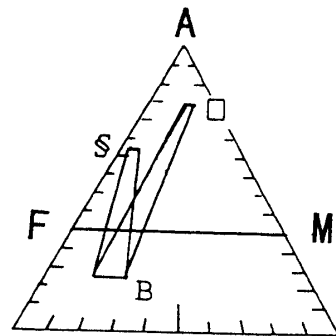
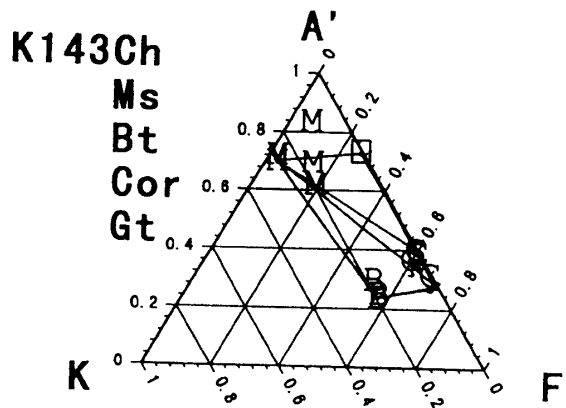


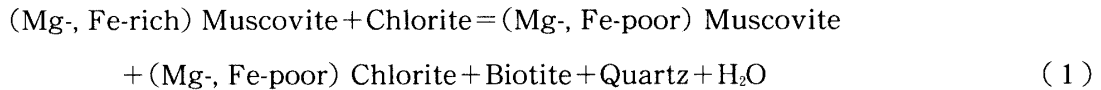
図12 共生鉱物の A'KF, AFM 三角ダイアグラム

堇青石が分かれてプロットされる共生関係がみられる。

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。K7, K82 は緑泥石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 Corundophilite 系である。白雲母的緑泥石が存在するのも、この帯の特徴である。

黒雲母帯では、まだ石英に代表される碎屑性物質のモード組成が大きい、黒雲母、白雲母が形成され始める。緑泥石は本帯に入ると激減する。このような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

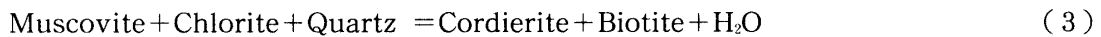


が生じていることは確かであろう。

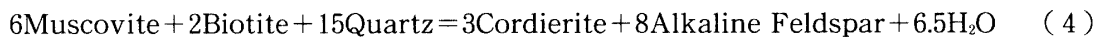
堇青石 I 帯では緑泥石が消滅し、黒雲母、白雲母のほかに、はっきりとオリゴクレーヌが変成鉱物として形成されている。ザクロ石 (スペッサルティン) も作られている。この鉱物変化を記述するには、Spear (1988) による



のようにザクロ石と黒雲母が共生するもの、または



のように堇青石と黒雲母が共生するもの (Pattison and Tracy, 1991) が考えられる。また、堇青石 II 帯と同じように、上記(2), (3)式の他に

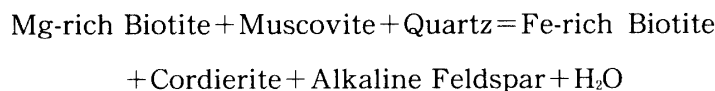


のように堇青石と長石類が共生するものが追加されていると考えられる (Pattison and Harte, 1991)。

なお、堇青石 I' 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。

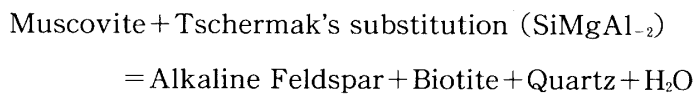
堇青石 II 帯では、(2), (3), (4)の反応が生じたものとする。

次に、黒雲母の化学組成に着目すると黒雲母帯 (K85) では Mg が 1.65~2.1afu 前後、Fe が 2.4~2.9afu であるのに対して、堇青石帯 II (K143) では Mg が 1.11~1.84afu、Fe が 2.3~3.3afu 前後と変化しており、Fe-Mg 比に関して幅広い固溶体を形成していることを示す。すなわち、Mg-rich Biotite から Fe-rich Biotite への変化に関して Hayama (1964) の関係は次のように示され、



この関係は本域にも当てはまると考えられる。

一方、白雲母の化学組成に着目すると黒雲母帯 (K85) では Mg が 0.9~1.05afu で、Fe が 1.12~1.64afu であるのに対して、董青石 I' 帯 (K202) では Mg が 0.49~0.62afu で、Fe が 0.52~1.04afu となり、両成分共に減少する。この減少分を Al が 3~5afu から 5~6afu 前後へ増加する、いわゆる Tschermak 置換を行って、黒雲母帯での phengite から、董青石 I' 帯での muscovite に変成していることを示している。さらに董青石 II 帯 (K143) では Mg が 0.11~0.18afu で、Fe が 0.10~0.17afu となり、層状珪酸塩鉱物では白雲母は消失し、黒雲母のみとなる。この変化は Thompson (1982) によれば、次のように記され、本域での変化を示していると考えられる。



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、今までの所 Al_2SiO_5 鉱物は発見できなかった。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、董青石が安定であるという Mahar et al. (1997) の見方が、本地域でも当てはまるように思える。

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、大沢進の諸氏には種々教えていただき、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った。この分析が海洋研の共同利用プログラム No. 40 (1997) 以降によったことを記し、感謝の意を表す。また、マイクロ蛍光 X 線分析に際しては同研究所の佐藤暢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、佐藤雅浩の諸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る。

本論文は、奥山康子、角田謙朗の諸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る。

引用文献

- 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.
- Guidotti, C. V. (1984) Micas in metamorphic rocks. in *Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy*, 13, 357-468.
- Hayama, Y. (1964) Progressive metamorphism of pelitic and psammitic rocks in the Komagane district, Nagano Pref., central Japan. *J. Faculty Sci., Univ. Tokyo, Section 2*, 15, 321-369.
- 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—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) 飯能層に礫を供給した関東山地の泥質ホルンフェルスについて. 日本第四紀学会講演要旨集, 30, 114-115.
- 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), 31p.
- 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.

- 都城秋穂 (1994) 変成作用. 岩波書店, 256p.
- Monier, G. and J. L. Robert (1986) Muscovite solid solution in the system KMFASH: an experimental study at 2 kbar P_{H_2O} 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.
- 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) 五田市地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅). 地質調査所, 75p.
- 佐藤暢・石井輝秋・金山晋司 (1999) マイクロ蛍光 X線岩石表面走査法による全岩化学組成—海洋底産噴出岩類を例にして. 日本地質学会第106年年会予稿集.
- Shau, Y. H., M. E. Feather, E. J. Essene and D. E. Peacor (1991) Genesis and solvus relation of submicroscopically intergrown paragonite and phengite in a blueschist from northern California. *Contrib Mineral Petrol*, 106, 367-378.
- Shimizu, M. (1986) The Tokuwa Batholith, Central Japan. *University Museum Bull., Tokyo University*, 28, 146pp.
- Spear, F. S. (1988) Metamorphic prograde crystallization and internal metasomatism by diffusional homogenization of zoned garnet. *Contrib. 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.
- Thompson Jr., J. B. (1982) Reaction space: an algebraic and geometric approach. In *Mineralogical Society of America, Review in Mineralogy*, 10, 33-52.
- 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-Hoogranodiorite pluton in the northern part of Akaishi Mountains, Central Japan. *Jour. Japan. Assoc. Min. Pet. Econ. Geol.*, 71, 157-176.
- Xu, H., Y. Zhang and D. R. Veblen (1996) Periodic and nonperiodic interstratification in the chlorite-biotite series. *American Mineralogist*, 81, 1396-1404.

(11月7日受付, 11月25日受理)

Table 2 K86 の長石類の分析値

No.	81	95	96	99	102	106	2	9	17	19	22	24	27	33	36	41	47	50	55	69	75
SiO ₂	68.024	68.146	66.805	66.782	68.75	63.164	68.193	69.33	66.581	64.844	74.991	68.217	67.51	65.253	75.794	68.755	64.166	65.429	67.639	57.383	63.16
TiO ₂	0.014	0.003	0	0.027	0	0	0.037	0.063	0.076	0.078	0.119	0	0.9	0.058	0.055	0.017	0.023	0	0.049	0.217	0.037
Al ₂ O ₃	20.047	19.358	22.024	22.692	20.992	24.001	18.666	19.197	20.374	21.887	14.793	20.076	20.706	21.965	15.389	20.662	21.612	21.602	18.956	23.095	23.051
FeO	0.062	0.069	0.087	0.252	0.134	0.045	0.1	0.151	0.639	0.361	0.499	0.333	0.201	0.211	0.492	0.1	0.208	0.09	0.807	2.959	0.589
MnO	0	0	0	0	0	0	0	0.028	0.06	0.063	0	0.017	0.003	0.011	0.023	0.003	0	0.02	0.003	0.104	0.071
MgO	0.015	0	0.007	0.136	0.013	0	0.068	0.096	0.247	0.252	0.392	0.249	0.127	0.102	0.171	0	0.091	0.028	0.285	1.409	0.439
CaO	3.728	0.285	3.262	0.852	1.501	5.605	3.866	2.591	3.326	1.194	2.613	0.457	0.523	2.578	4.535	1.763	5.603	2.716	4.183	3.718	1.586
Na ₂ O	7.527	10.784	9.212	9.814	10.119	8.638	5.813	8.467	8.881	9.34	4.796	11.256	10.214	9.708	4.619	10.706	6.784	10.749	6.697	5.024	8.105
K ₂ O	0.167	0.067	0.088	1.152	0.181	0.126	0.497	0.422	0.393	1.09	0.766	0.285	0.781	0.243	0.403	0.059	1.098	0.095	0.588	3.256	2.05
Cr ₂ O ₃	0	0.01	0	0	0.056	0.022	0	0.055	0	0	0	0	0	0	0.042	0	0.09	0.038	0.031	0.058	0.017
V ₂ O ₅	0	0.034	0	0	0	0	0	0.007	0	0.018	0.04	0.008	0.018	0.021	0	0	0	0.007	0.022	0	0
NiO	0	0	0	0	0	0.02	0.037	0.016	0	0.009	0	0.039	0	0	0.074	0	0.01	0.052	0	0	0.035
P ₂ O ₅	0	0	0	0.013	0	0	0	0	0	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total	99.583	98.757	101.486	101.721	101.746	101.62	97.277	100.423	100.576	99.137	99.029	100.938	100.983	100.15	101.598	102.065	99.686	100.825	99.259	97.223	99.14
O No.	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2.97	3.01	2.89	2.88	2.95	2.76	3.04	3.01	2.92	2.88	3.24	2.96	2.93	2.87	3.20	2.95	2.85	2.87	2.98	2.68	2.82
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Al	1.03	1.01	1.12	1.15	1.06	1.23	0.98	0.98	1.05	1.14	0.75	1.03	1.06	1.14	0.77	1.04	1.13	1.11	0.99	1.27	1.21
Fe	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.03	0.12	0.02
Mn	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.10	0.03
Ca	0.17	0.01	0.15	0.04	0.07	0.26	0.18	0.12	0.16	0.06	0.12	0.02	0.02	0.12	0.21	0.08	0.27	0.13	0.20	0.19	0.08
Na	0.64	0.92	0.77	0.82	0.84	0.73	0.50	0.71	0.75	0.80	0.40	0.95	0.86	0.83	0.38	0.89	0.58	0.91	0.57	0.45	0.70
K	0.01	0.00	0.00	0.06	0.01	0.01	0.03	0.02	0.02	0.06	0.04	0.02	0.04	0.01	0.02	0.00	0.06	0.01	0.03	0.19	0.12
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	4.83	4.95	4.94	4.98	4.94	4.99	4.74	4.86	4.94	4.98	4.60	5.00	4.96	4.98	4.61	4.97	4.91	5.03	4.82	5.00	4.98
An	21.25	1.43	16.28	4.26	7.50	26.21	25.82	14.07	16.75	6.16	21.41	2.16	2.62	12.62	33.91	8.31	29.21	12.19	24.61	22.28	8.49
Ab	77.62	98.16	83.19	88.87	91.43	73.09	70.23	83.20	80.90	87.15	71.11	96.24	92.71	85.97	62.50	91.35	63.98	87.30	71.28	54.48	78.46
Or	1.13	0.40	0.52	6.86	1.08	0.70	3.95	2.73	2.36	6.69	7.47	1.60	4.67	1.42	3.59	0.33	6.81	0.51	4.12	23.24	13.06
Fel Index	2.08	1.76	2.01	1.99	1.91	2.06	2.21	1.90	1.88	1.99	2.13	1.71	1.84	1.96	2.08	1.79	2.02	1.79	2.02	2.23	2.10

No.	82	87	102	104	105	111	116	117	118	120	125	128	130	146	149	157	165	171	180	193	203
SiO ₂	68.828	69.087	74.956	76.673	64.064	69.978	64.487	69.276	70.119	62.246	65.962	67.398	64.916	79.97	71.265	72.666	62.048	70.615	72.501	68.498	64.614
TiO ₂	0.035	0.061	0.058	0.099	0.105	0.049	0.095	0	0.012	0.08	0.061	0.019	0.058	0.322	0.095	0.012	0.075	0.046	0.113	0.014	0.097
Al ₂ O ₃	19.984	19.189	15.438	12.814	20.77	14.596	21.871	20.142	19.809	23.509	20.739	21.517	22.274	12.299	17.787	18.039	23.665	17.815	17.518	20.709	24.244
FeO	0.326	0.148	0.223	0.643	0.864	2.488	0.854	0.091	0.106	0.243	0.622	0.186	0.361	0.228	0.384	0.148	0.216	0.667	0.463	0.161	0.603
MnO	0.011	0.011	0.017	0.069	0.06	0.054	0	0	0.08	0	0	0	0.017	0.069	0.037	0.026	0.04	0.009	0.092	0	0.037
MgO	0.088	0.109	0.127	0.317	0.472	0.714	0.58	0.014	0.013	0.163	0.365	0.113	0.266	0.101	0.233	0.033	0.076	0.339	0.305	0.053	0.387
CaO	2.152	3.997	3.467	2.351	3.241	3.383	4.511	1.123	0.432	4.899	4.273	2.269	4.541	2.349	2.085	0.892	2.75	0.927	3.136	1.842	1.608
Na ₂ O	9.604	7.784	5.494	4.568	8.016	5.108	6.957	11.359	11.441	7.346	7.267	9.355	7.438	4.69	8.629	9.812	7.944	9.145	7.309	10.45	6.062
K ₂ O	0.229	0.143	0.366	0.714	1.281	0.883	1.054	0.107	0.056	0.627	0.809	0.526	0.664	0.258	0.373	0.077	1.326	0.646	0.617	0.136	3.401
Cr ₂ O ₃	0	0.013	0	0	0	0	0	0.024	0	0.051	0	0	0.018	0.023	0.027	0	0	0.041	0	0.041	0.058
V ₂ O ₅	0	0.03	0.006	0	0	0.004	0.035	0	0.032	0.002	0.031	0	0	0.041	0.022	0.042	0	0	0	0.032	0.003
NiO	0.018	0.033	0	0	0	0	0.07	0.032	0	0	0.003	0.02	0.035	0.003	0.019	0.046	0.063	0	0.007	0	0.021
P ₂ O ₅	0	0	0	0	0	0.684	0	0	0	0.002	0	0	0.009	0	0	0.108	0	0	0	0	0
Total	101.275	100.605	100.153	98.246	98.873	97.94	100.515	102.169	102.022	99.249	100.131	101.403	100.595	100.355	100.957	101.793	98.311	100.249	102.062	101.936	101.135
O No.	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Si	2.97	3.00	3.21	3.32	2.87	3.12	2.84	2.97	3.00	2.77	2.90	2.91	2.84	3.37	3.07	3.09	2.79	3.07	3.09	2.94	2.82
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al	1.02	0.98	0.78	0.65	1.10	0.77	1.13	1.02	1.00	1.23	1.07	1.10	1.15	0.61	0.90	0.90	1.25	0.91	0.88	1.05	1.25
Fe	0.01	0.01	0.01	0.02	0																

Table 3 K202 の白雲母の分析値

No.	4	5	9	10	13	15	16	17	18	19	21	22	23	24	25	27	29	30	31
SiO ₂	42.40	48.83	45.88	45.70	47.98	46.18	42.47	47.74	48.23	48.13	46.09	48.23	47.18	47.89	47.04	47.96	47.84	46.92	46.17
TiO ₂	0.26	0.58	0.05	0.25	0.14	0.01	0.78	0.58	0.37	0.13	0.05	0.38	0.26	0.30	0.21	0.21	0.26	0.24	0.05
Al ₂ O ₃	28.80	24.14	33.73	31.31	32.74	34.68	24.35	35.71	35.18	36.42	30.56	36.54	36.40	36.98	36.45	36.85	37.06	35.77	34.92
FeO	12.54	12.29	4.01	6.57	2.83	3.06	13.22	1.13	0.97	0.81	7.17	1.44	0.88	0.83	1.67	0.82	1.00	1.52	2.71
MnO	0.05	0.05	0.01	0.06	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.04
MgO	4.40	2.95	1.89	2.61	1.15	1.13	4.51	0.67	0.75	0.55	2.90	0.73	0.59	0.54	0.55	0.68	0.67	1.37	1.19
CaO	0.15	0.23	0.00	0.06	0.36	0.00	0.19	0.00	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.18	0.14	0.18	0.12	1.07	0.50	0.10	0.31	0.36	0.40	0.27	0.32	0.44	0.35	0.38	0.38	0.43	0.37	0.39
K ₂ O	6.61	7.82	9.58	8.96	8.91	8.96	8.48	8.98	8.83	9.20	9.01	8.59	9.35	9.53	9.38	9.41	9.45	9.46	9.72
Cr ₂ O ₃	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04	0.07	0.08	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
V ₂ O ₅	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.17	0.12	0.01	0.00	0.09	0.20	0.15	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00
NiO	0.00	0.01	0.02	0.03	0.03	0.00	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.05	0.00	0.03	0.00	0.05
P ₂ O ₅	0.06	0.00	0.00	0.01	0.02	0.05	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.01
Total	95.50	97.03	95.34	95.69	95.22	94.57	94.25	95.36	94.88	95.76	96.27	96.33	95.36	96.57	95.81	96.35	96.76	95.67	95.26
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Si	6.44	7.27	6.72	6.75	6.97	6.75	6.67	6.83	6.92	6.85	6.79	6.82	6.76	6.77	6.74	6.79	6.76	6.74	6.72
Ti	0.03	0.06	0.01	0.03	0.02	0.00	0.09	0.06	0.04	0.01	0.01	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03	0.01
Al	5.16	4.23	5.82	5.45	5.60	5.97	4.51	6.02	5.95	6.10	5.31	6.09	6.15	6.16	6.15	6.17	6.05	5.99	
Fe	1.59	1.53	0.49	0.81	0.34	0.37	1.74	0.14	0.12	0.10	0.88	0.17	0.11	0.10	0.20	0.10	0.12	0.18	0.33
Mn	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
Mg	1.00	0.65	0.41	0.57	0.25	0.25	1.06	0.14	0.16	0.12	0.64	0.15	0.12	0.11	0.12	0.14	0.14	0.29	0.26
Ca	0.02	0.04	0.00	0.01	0.06	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.05	0.04	0.05	0.03	0.30	0.14	0.03	0.09	0.10	0.11	0.08	0.09	0.12	0.09	0.11	0.10	0.12	0.10	0.11
K	1.28	1.48	1.79	1.69	1.65	1.67	1.70	1.64	1.62	1.67	1.69	1.55	1.71	1.72	1.71	1.70	1.70	1.73	1.80
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
P	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	15.60	15.31	15.29	15.36	15.19	15.16	15.84	14.95	14.92	14.97	15.43	14.91	15.03	15.01	15.07	15.01	15.04	15.13	15.23
Xfe	0.62	0.70	0.54	0.59	0.58	0.60	0.62	0.49	0.42	0.45	0.58	0.53	0.46	0.46	0.63	0.40	0.46	0.38	0.56
Sol	18.54	12.71	12.04	14.30	8.25	8.28	17.15	6.06	6.83	5.03	15.01	6.58	5.20	4.80	4.61	6.05	5.83	10.79	8.51
Tot Y	6.23	5.75	5.45	5.62	5.18	5.34	6.07	5.19	5.18	5.18	5.65	5.27	5.17	5.18	5.24	5.20	5.21	5.29	5.31
Phen Tr	3.06	3.51	1.63	2.16	1.57	1.37	3.55	1.17	1.23	1.07	2.32	1.18	1.02	1.02	1.08	1.05	1.05	1.24	1.32

No.	33	34	45	48	49	50	52	54	57	61	63	64	65	68	71	72	73	74	75
SiO ₂	46.69	45.92	46.58	46.20	46.19	47.61	46.94	47.18	46.08	45.76	50.91	47.37	46.26	45.60	43.26	47.57	48.01	47.02	46.75
TiO ₂	0.02	0.17	0.06	0.09	0.00	0.05	0.03	0.02	0.03	0.12	0.00	0.02	0.13	0.07	0.05	0.12	0.05	0.26	0.03
Al ₂ O ₃	33.67	31.13	34.02	36.33	35.59	36.67	33.44	35.04	33.52	33.03	33.42	34.42	32.34	32.40	31.71	37.11	36.54	35.58	35.84
FeO	3.93	6.39	4.03	1.43	2.42	1.19	3.75	2.42	3.91	4.23	1.19	2.96	4.60	5.08	7.81	0.96	0.94	2.46	3.44
MnO	0.02	0.03	0.08	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.05	0.06	0.00	0.00	0.04	0.04	0.11	0.02	0.00	0.00	0.00
MgO	1.70	2.74	1.70	0.53	1.28	0.75	1.64	1.50	1.79	2.22	0.78	1.59	1.86	2.01	3.17	0.52	0.62	0.67	0.56
CaO	0.03	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.09	0.00	0.00	0.00	0.01	0.07
Na ₂ O	0.17	0.20	0.19	0.33	0.28	0.39	0.22	0.38	0.20	0.15	0.37	0.32	0.15	0.20	0.21	0.35	0.39	0.35	0.34
K ₂ O	9.25	8.53	9.36	9.62	9.20	9.44	9.44	9.39	9.30	9.76	9.35	10.06	9.33	9.00	10.00	9.73	9.21	9.38	8.38
Cr ₂ O ₃	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.03	0.03	0.08	0.01	0.02	0.01	0.00
V ₂ O ₅	0.00	0.01	0.00	0.03	0.01	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	0.07	0.00
NiO	0.00	0.08	0.07	0.04	0.03	0.06	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.05	0.06	0.05	0.00	0.05	0.00	0.00	0.07
P ₂ O ₅	0.00	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.01	0.02	0.05	0.02	0.00	0.00
Total	95.48	95.31	96.09	94.63	94.99	96.19	95.49	95.93	94.92	95.35	96.05	96.79	94.89	94.58	96.41	96.52	95.80	95.79	95.49
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Si	6.80	6.79	6.75	6.71	6.70	6.77	6.83	6.78	6.76	6.72	7.21	6.80	6.82	6.76	6.46	6.75	6.83	6.77	6.74
Ti	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00
Al	5.78	5.42	5.81	6.22	6.09	6.15	5.73	5.94	5.79	5.72	5.58	5.82	5.62	5.66	5.58	6.20	6.13	6.03	6.09
Fe	0.48	0.79	0.49	0.17	0.29	0.14	0.46	0.29	0.48	0.52	0.14	0.35	0.57	0.63	0.98	0.11	0.11	0.30	0.41
Mn	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.37	0.60	0.37	0.11	0.28	0.16	0.36	0.32	0.39	0.49	0.17	0.34	0.41	0.44	0.71	0.11	0.13	0.14	0.12
Ca	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01
Na	0.05	0.06	0.05	0.09	0.08	0.11	0.06	0.10	0.06	0.04	0.10	0.09	0.04	0.06	0.06	0.10	0.11	0.10	0.10
K	1.72	1.61	1.73	1.78	1.70	1.71	1.75	1.72	1.74	1.83	1.69	1.84	1.75	1.70	1.90	1.76	1.67	1.72	1.54
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Ni	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
Total	15.19	15.31	15.23	15.11	15.14	15.06	15.20	15.16	15.24	15.34	14.89	15.25	15.25	15.28	15.72	15.06	14.99	15.09	15.03
Xfe	0.57	0.57	0.57	0.60	0.51	0.47	0.56	0.48	0.55	0.52	0.46	0.51	0.58	0.59	0.58	0.51	0.46	0.67	0.77
Sol	11.27	15.34	11.11	4.43	9.74	6.39	10.92	10.94	11.77	13.56	6.69	10.63	11.69	12.34	14.97				

Table 3 K202 の白雲母の分析値 (つづき)

No.	76	68	72	83	84	85	86	91	93	108	111	112	113	122	129	131	132	137
SiO ₂	47.49	45.67	46.28	43.42	50.53	47.18	49.28	45.99	43.79	53.72	48.38	47.46	46.07	47.83	47.52	45.99	47.60	46.60
TiO ₂	0.20	0.21	0.10	0.14	0.10	0.25	0.08	0.15	0.29	0.14	0.16	0.54	0.11	0.07	0.05	0.01	0.15	0.01
Al ₂ O ₃	37.21	31.29	31.90	28.60	32.01	31.83	34.25	30.82	27.49	28.98	35.42	36.02	33.64	34.78	34.51	33.97	35.18	34.73
FeO	0.74	6.26	5.05	10.16	2.95	5.37	2.89	6.44	11.18	2.62	1.94	1.02	3.91	2.42	1.79	3.71	1.88	2.44
MnO	0.03	0.08	0.05	0.17	0.04	0.06	0.00	0.09	0.10	0.01	0.00	0.00	0.04	0.02	0.01	0.05	0.00	0.01
MgO	0.51	2.52	2.30	3.85	1.27	2.17	1.41	2.50	3.86	1.41	0.60	0.67	1.93	1.50	1.07	2.00	1.08	1.39
CaO	0.00	0.07	0.06	0.01	0.08	0.12	0.05	0.15	0.21	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.37	0.12	0.15	0.16	0.15	0.18	0.15	0.14	0.12	0.33	0.26	0.32	0.16	0.33	0.31	0.33	0.29	0.44
K ₂ O	9.71	9.46	9.12	9.03	7.96	8.99	8.51	8.27	7.86	8.74	9.48	9.21	9.65	8.71	10.08	9.28	9.34	9.16
Cr ₂ O ₃	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.09	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V ₂ O ₅	0.01	0.00	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.13	0.00	0.01	0.03	0.00	0.07	0.01
NiO	0.01	0.04	0.00	0.00	0.02	0.00	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.02	0.00	0.06	0.00	0.03
P ₂ O ₅	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03	0.04	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02
Total	96.30	95.70	95.01	95.60	95.12	96.16	96.69	94.60	94.88	96.00	96.36	95.47	95.54	95.73	95.38	95.41	95.61	94.86
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Si	6.74	6.76	6.82	6.60	7.24	6.87	6.98	6.83	6.69	7.62	6.89	6.79	6.73	6.85	6.87	6.71	6.83	6.77
Ti	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	0.02	0.03	0.01	0.02	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00
Al	6.23	5.45	5.54	5.12	5.40	5.46	5.72	5.40	4.95	4.85	5.94	6.07	5.79	5.87	5.88	5.84	5.95	5.95
Fe	0.09	0.77	0.62	1.29	0.35	0.65	0.34	0.80	1.43	0.31	0.23	0.12	0.48	0.29	0.22	0.45	0.23	0.30
Mn	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
Mg	0.11	0.56	0.50	0.87	0.27	0.47	0.30	0.55	0.88	0.30	0.13	0.14	0.42	0.32	0.23	0.44	0.23	0.30
Ca	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na	0.10	0.03	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.09	0.07	0.09	0.05	0.09	0.05	0.09	0.09	0.08	0.13
K	1.76	1.78	1.71	1.75	1.45	1.67	1.54	1.57	1.53	1.58	1.72	1.68	1.80	1.59	1.86	1.73	1.71	1.70
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
V	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	15.05	15.40	15.27	15.72	14.80	15.23	14.94	15.25	15.59	14.77	15.01	14.98	15.28	15.04	15.15	15.28	15.06	15.16
Xfe	0.45	0.58	0.55	0.60	0.57	0.58	0.54	0.59	0.62	0.51	0.64	0.46	0.53	0.48	0.48	0.51	0.49	0.50
Sol	4.49	13.75	13.83	16.59	10.30	13.00	10.84	14.42	16.77	10.78	4.89	5.99	12.30	11.60	8.10	13.08	8.58	10.37
Tot Y	5.19	5.57	5.51	5.91	5.28	5.49	5.34	5.61	5.99	5.10	5.21	5.19	5.44	5.35	5.20	5.45	5.26	5.32
Phen Tr	0.96	2.11	1.96	2.77	1.88	2.02	1.63	2.20	3.03	2.25	1.26	1.11	1.64	1.47	1.32	1.60	1.31	1.37

No.	139	140	141	153	162	166	173	174	175	176	177	178	193	209	220	225	226	233
SiO ₂	48.06	48.35	46.49	45.97	46.85	44.41	46.18	44.98	44.71	44.62	45.61	45.80	46.52	45.72	46.50	46.96	46.61	48.28
TiO ₂	0.14	0.15	0.03	0.14	0.20	1.28	0.33	0.15	0.10	0.28	0.35	0.18	0.14	0.09	0.26	0.20	0.09	0.06
Al ₂ O ₃	35.22	36.27	34.81	31.88	34.08	19.52	29.26	30.54	31.36	29.04	29.45	31.80	34.16	33.72	33.54	30.95	33.59	35.89
FeO	1.64	0.83	3.17	4.55	2.07	14.86	8.39	7.76	6.36	7.89	8.97	5.43	2.95	4.24	3.73	6.09	4.14	2.27
MnO	0.00	0.00	0.03	0.06	0.03	0.13	0.07	0.06	0.07	0.07	0.04	0.00	0.04	0.04	0.00	0.03	0.03	0.00
MgO	0.84	0.84	2.00	2.17	1.18	4.75	2.80	2.80	2.30	2.45	3.11	2.28	1.69	2.61	1.78	2.07	1.90	1.22
CaO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.14	0.78	0.03	0.28	0.06	0.13	0.10	0.05	0.00	0.03	0.00	0.17	0.00	0.03
Na ₂ O	0.37	0.33	0.19	0.15	0.59	3.23	0.16	0.16	0.15	0.13	0.14	0.11	0.33	0.37	0.30	0.10	0.15	0.31
K ₂ O	9.31	9.46	9.90	9.18	9.47	6.55	9.10	7.96	8.89	8.89	7.94	8.67	9.37	8.99	9.30	7.87	9.17	8.46
Cr ₂ O ₃	0.02	0.01	0.00	0.00	0.04	0.13	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.03	0.00	0.09	0.00	0.07	0.00
V ₂ O ₅	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00
NiO	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.05	0.00	0.06	0.04	0.00	0.02	0.07	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.03
P ₂ O ₅	0.00	0.02	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.03	0.04	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	95.59	96.27	96.62	94.15	94.66	95.81	96.31	94.76	94.08	93.56	95.75	94.38	95.23	95.82	95.54	94.43	95.78	96.55
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Si	6.89	6.85	6.69	6.83	6.83	6.95	6.85	6.73	6.72	6.81	6.79	6.80	6.77	6.66	6.77	6.94	6.77	6.83
Ti	0.02	0.02	0.00	0.02	0.02	0.15	0.04	0.02	0.01	0.03	0.04	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01
Al	5.95	6.05	5.91	5.58	5.86	3.60	5.12	5.38	5.55	5.22	5.16	5.56	5.86	5.79	5.76	5.39	5.75	5.99
Fe	0.20	0.10	0.38	0.57	0.25	1.94	1.04	0.97	0.80	1.01	1.12	0.67	0.36	0.52	0.45	0.75	0.50	0.27
Mn	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	0.18	0.18	0.43	0.48	0.26	1.11	0.62	0.62	0.51	0.56	0.69	0.50	0.37	0.57	0.39	0.46	0.41	0.26
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.13	0.01	0.05	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00
Na	0.10	0.09	0.05	0.04	0.17	0.98	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.09	0.10	0.08	0.03	0.04	0.08
K	1.70	1.71	1.82	1.74	1.76	1.31	1.72	1.52	1.70	1.73	1.51	1.64	1.74	1.67	1.73	1.48	1.70	1.53
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00
V	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ni	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
P	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	15.03	15.00	15.29	15.26	15.18	16.23	15.44	15.34	15.36	15.43	15.36	15.24	15.20	15.32	15.22	15.10	15.21	14.97
Xfe	0.52	0.36	0.47	0.54	0.50	0.64	0.63	0.61	0.61	0.64	0.62	0.57	0.49	0.48	0.54	0.62	0.55	0.51
Sol	6.90	7.35	13.09	13.50	8.88	16.17	13.67	15.01	12.97	12.65	15.42	13.80	11.77	16.12	11.77	12.85	12.39	9.97
Tot Y	5.22	5.20	5.42	5.47	5.22	5.77	5.67	5.72	5.60	5.63	5.80	5.55	5.37	5.55	5.40	5.56	5.45	5.35
Phen Tr	1.28	1.14	1.51	1.89	1.36	4.15	2.54	2.34	2.04	2.40	2.63	1.99	1.51	1.75	1.64	2.17	1.70	1.37

Table 5 ザクロ石-黒雲母地質温度計の常数KDの計算

Loc.	K9-6													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	24	26	27	210
SiO ₂	37.85	37.5	37.66	37.46	36.89	36.96	37.45	37.34	37.38	37.26	37.55	37.45	37.15	37.42
TiO ₂	0.03	0.02	0.03	0.06	0	0.01	0.03	0.07	0.08	0	0.05	0.05	0	0
Al ₂ O ₃	20.53	20.33	20.46	20.65	20.55	20.4	20.59	20.57	20.39	20.11	20.48	20.39	20.5	20.61
FeO	36.07	36.53	35.84	35.75	34.98	36.2	36.26	35.46	35.41	36.56	36.12	36.15	35.93	35.15
MnO	3.39	3.73	3.25	3.44	3.4	3.24	3.31	3.33	3.47	3.56	3.4	3.47	3.65	4.32
MgO	2.39	1.96	2.2	2.44	2.37	2.11	2.06	2.35	2.42	2.09	2.34	2.38	1.82	1.98
CaO	0.8	0.84	0.77	0.84	0.92	0.85	0.81	0.82	0.85	0.81	0.84	0.84	0.92	0.92
Na ₂ O	0.01	0.01	0	0.03	0.01	0.02	0	0	0	0.01	0.02	0.01	0.02	0
K ₂ O	0.01	0.04	0	0	0.01	0.02	0.01	0	0	0	0	0.01	0.03	0
Cr ₂ O ₃	0.08	0.02	0.07	0.05	0	0.03	0	0.04	0.02	0.03	0.02	0	0.05	0.01
V ₂ O ₅	0.01	0	0	0	0	0	0	0.01	0.03	0.03	0.01	0.04	0.04	0.03
NiO	0.04	0.04	0	0	0.02	0.03	0	0	0	0.03	0	0	0	0
P ₂ O ₅	0	0.01	0.01	0.06	0.07	0.05	0	0.06	0	0.02	0.03	0.03	0.02	0.05
Total	101.2	101.03	100.29	100.78	99.22	99.92	100.52	100.04	100.05	100.51	100.86	100.82	100.11	100.48
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Si	6.07	6.06	6.09	6.03	6.03	6.02	6.06	6.05	6.06	6.05	6.05	6.04	6.04	6.05
Ti	0	0	0	0.01	0	0	0	0.01	0.01	0	0.01	0.01	0	0
Al	3.88	3.87	3.9	3.92	3.96	3.92	3.92	3.93	3.9	3.85	3.89	3.88	3.93	3.93
Fe	4.84	4.93	4.84	4.81	4.78	4.93	4.9	4.8	4.8	4.96	4.86	4.88	4.89	4.75
Mn	0.46	0.51	0.45	0.47	0.47	0.45	0.45	0.46	0.48	0.49	0.46	0.47	0.5	0.59
Mg	0.57	0.47	0.53	0.59	0.58	0.51	0.5	0.57	0.58	0.5	0.56	0.57	0.44	0.48
Ca	0.14	0.14	0.13	0.14	0.16	0.15	0.14	0.14	0.15	0.14	0.15	0.15	0.16	0.16
Na	0	0	0	0.01	0	0.01	0	0	0	0	0.01	0	0	0
K	0	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0
Cr	0.01	0	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0
V	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.01	0.01	0
Ni	0.01	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P	0	0	0	0.01	0.01	0.01	0	0.01	0	0	0	0	0	0.01
Total	15.98	16.01	15.95	15.99	15.98	16.01	15.98	15.97	15.98	16.02	15.99	16.01	15.99	15.97
Pyrope	9.56	7.85	8.92	9.87	9.70	8.51	8.38	9.56	9.70	8.35	9.35	9.50	7.37	8.05
Almand	80.37	81.14	81.31	79.77	79.77	81.30	81.74	80.37	79.77	81.14	80.30	80.17	81.41	79.36
Spessa	7.72	8.51	7.58	7.86	7.86	7.51	7.54	7.72	8.03	8.18	7.68	7.83	8.38	9.90
Grossu	2.35	2.34	2.19	2.34	2.68	2.50	2.35	2.35	2.51	2.34	2.50	2.50	2.68	2.68
X ₉₆ Gar	0.10	0.08	0.09	0.10	0.10	0.09	0.09	0.10	0.10	0.08	0.10	0.10	0.08	0.08
X ₁₈ Gar	0.82	0.83	0.83	0.82	0.82	0.84	0.84	0.82	0.82	0.83	0.83	0.82	0.84	0.82
Bt No.	K9-6-22	K9-6-181	K9-6-181	K9-6-22	K9-6-22	K9-6-181	K9-6-181	K9-6-22	K9-6-22	K9-6-181	K9-6-22	K9-6-22	K9-6-181	K9-6-181
Sol Ind	18.92	15.49	15.49	18.92	18.92	15.49	15.49	18.92	18.92	15.49	18.92	18.92	15.49	15.49
X ₉₆ Bt	0.37	0.31	0.31	0.37	0.37	0.31	0.31	0.37	0.37	0.31	0.37	0.37	0.31	0.31
X ₁₈ Bt	0.62	0.68	0.68	0.62	0.62	0.68	0.68	0.62	0.62	0.68	0.62	0.62	0.68	0.68
KD	0.20	0.21	0.24	0.21	0.20	0.23	0.22	0.20	0.20	0.22	0.19	0.20	0.20	0.22

Loc.	K86															
	1	2	3	4	5	6	7	8	11	12	13	14	15	16		
SiO ₂	36.25	37.08	36.67	37.13	37.85	36.85	36.77	36.63	36.71	37.04	36.76	37.40	37.30	37.65		
TiO ₂	0.04	0.19	0.10	0.07	0.12	0.10	0.11	0.14	0.14	0.10	0.09	0.07	0.07	0.08		
Al ₂ O ₃	20.70	20.99	20.55	20.70	20.68	20.93	20.77	20.82	20.84	20.84	19.89	20.75	20.91	20.92		
FeO	16.12	15.17	15.53	15.13	14.44	15.62	15.57	14.41	13.79	14.71	15.06	15.22	15.27	15.72		
MnO	25.32	26.08	25.63	25.91	26.05	25.42	25.55	26.81	27.31	26.75	25.18	25.87	25.91	25.21		
MgO	0.66	0.63	0.69	0.64	0.62	0.62	0.67	0.60	0.56	0.61	0.53	0.64	0.61	0.63		
CaO	1.01	1.13	1.02	0.87	1.02	1.07	1.03	1.01	1.14	1.07	0.94	1.01	1.09	0.98		
Na ₂ O	0.00	0.00	0.05	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.12	0.04	0.01	0.02		
K ₂ O	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.06	0.01	0.01	0.03		
Cr ₂ O ₃	0.00	0.03	0.00	0.02	0.06	0.04	0.06	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01		
V ₂ O ₅	0.01	0.00	0.05	0.03	0.00	0.01	0.00	0.04	0.05	0.06	0.00	0.00	0.02	0.07		
NiO	0.00	0.01	0.01	0.08	0.03	0.03	0.00	0.00	0.02	0.06	0.03	0.06	0.05	0.03		
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.02	0.04	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01		
Total	100.11	101.31	100.32	100.64	100.91	100.69	100.55	100.48	100.56	101.24	98.66	101.07	101.25	101.35		
O No.	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24		
Si	5.95	5.99	6.00	6.04	6.11	5.99	5.99	5.98	5.98	6.00	6.10	6.05	6.03	6.06		
Ti	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01		
Al	4.01	4.00	3.96	3.96	3.93	4.01	3.99	4.00	4.00	3.98	3.89	3.96	3.98	3.97		
Fe	2.21	2.05	2.12	2.06	1.95	2.12	2.12	1.97	1.88	1.99	2.09	2.06	2.06	2.12		
Mn	3.52	3.57	3.55	3.57	3.56	3.50	3.53	3.70	3.77	3.67	3.54	3.54	3.55	3.44		
Mg	0.16	0.15	0.17	0.15	0.15	0.15	0.16	0.14	0.13	0.15	0.13	0.15	0.15	0.15		
Ca	0.18	0.20	0.18	0.15	0.18	0.19	0.18	0.18	0.20	0.19	0.17	0.17	0.19	0.17		
Na	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.01	0.00	0.01		
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01		
Cr	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
V	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01		
Ni	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00		
P	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
Total	16.04	15.98	16.01	15.97	15.91	15.99	16.00	16.00	16.00	16.00	15.97	15.97	15.98	15.94		
Pyrope	2.66	2.54	2.79	2.61	2.54	2.50	2.71	2.42	2.25	2.45	2.19	2.57	2.44	2.54		
Almand	36.07	34.49	34.83	34.69	33.96	35.77	35.33	32.81	31.44	33.11	34.90	34.80	34.87	36.42		
Spessa	58.32	59.70	59.12	59.96	60.34	58.53	58.88	61.79	62.98	61.32	59.25	59.48	59.41	57.98		
Grossu	2.95	3.27	2.97	2.53	2.99	3.13	3.01	2.95	3.31	3.11	2.81	2.93	3.15	2.86		
X ₉₆ Gar	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07		
X ₁₈ Gar	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.94	0.93	0.93	0.93		
Bt No.	K86-21	K86-21	K86-21	K86-21	K86-21	K86-21	K86-21	K86-21	K86-21	K86-21	K86-21	K86-21	K86-21	K86-21		
Sol Ind	21.17	21.17	21.17	21.17	21.17	21.17	21.17	21.17	21.17	21.17	21.17	21.17	21.17	21.17		
X ₉₆ Bt	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41	0.41		
X ₁₈ Bt	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59	0.59		
KD	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11	0.11	0.10	0.11	0.09	0.11	0.10	0.10		

Table 6 鉱物共生図 A'KF, AFM に使用した鉱物と計算結果

Loc.	K821						K84						K86						
	Ch		Ms	Ms			Bt			Ms				Bt					
	No.	67	60	69	96	58	114	98	99	100	102	104	76	86	100	68	100	66	21
SiO ₂	25.37	25.07	44.13	40.22	46.29	44.71	36.29	35.25	36.24	35.46	35.49	48.09	48.69	45.03	46.83	49.22	36.74	37.16	37.58
TiO ₂	0.06	0.05	2.87	0.77	2.07	1.79	1.12	1.19	1.33	1.82	2.00	0.44	0.44	0.63	0.46	0.47	0.50	1.17	1.20
Al ₂ O ₃	20.68	21.56	25.81	17.98	15.84	18.49	19.63	19.26	19.01	18.53	18.86	29.90	23.25	28.11	19.15	22.59	20.51	19.64	19.64
Fe ₂ O ₃	6.50	6.60	3.57	5.22	4.92	4.52	1.50	1.50	1.50	1.60	1.70	3.64	4.96	4.42	14.51	10.86	3.92	5.32	5.23
FeO	21.72	22.39	1.32	14.83	13.90	12.79	19.69	20.24	20.16	20.55	21.00	1.34	1.83	1.63	3.78	2.80	11.10	15.03	14.79
MnO	0.57	0.67	0.11	0.30	0.25	0.24	0.27	0.30	0.36	0.38	0.22	0.15	0.15	0.20	0.70	0.66	12.15	0.67	0.73
MgO	10.79	10.86	3.02	6.90	5.84	4.45	7.04	7.36	7.18	7.05	7.05	2.24	2.74	3.35	7.24	6.01	3.79	7.80	7.90
CaO	0.11	0.15	3.13	0.00	0.01	1.52	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	1.12	2.13	0.06	0.41	0.24	0.58	0.35	0.31
Na ₂ O	0.05	0.05	0.77	0.05	0.10	2.04	0.02	0.04	0.03	0.03	0.10	1.90	4.51	0.56	1.53	0.75	0.25	0.78	0.57
K ₂ O	0.04	0.02	5.34	8.60	7.41	5.89	8.58	8.54	8.60	8.34	8.53	7.72	4.89	9.20	2.68	3.68	4.48	7.91	7.99
Cr ₂ O ₃	0.02	0.08	0.04	0.00	0.02	0.02	0.10	0.04	0.02	0.04	0.05	0.06	0.00	0.04	0.02	0.04	0.05	0.06	0.02
V ₂ O ₅	0.00	0.02	0.05	0.10	0.03	0.06	0.07	0.08	0.07	0.09	0.09	0.01	0.03	0.04	0.00	0.04	0.04	0.05	0.10
NiO	0.00	0.02	0.00	0.05	0.00	0.08	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.15	0.00
P ₂ O ₅	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total	85.90	87.56	90.15	95.01	96.69	96.59	94.31	93.83	94.49	93.95	95.09	96.60	93.62	93.27	97.31	97.38	94.10	96.08	96.05
A'	0.45	0.46	0.68	0.32	0.33	0.37	0.26	0.25	0.25	0.25	0.25	0.67	0.64	0.62	0.68	0.70	0.50	0.34	0.34
K	0.00	0.00	0.18	0.19	0.18	0.16	0.18	0.18	0.18	0.17	0.18	0.23	0.19	0.25	0.06	0.09	0.12	0.17	0.17
F	0.55	0.54	0.15	0.48	0.49	0.47	0.56	0.57	0.57	0.58	0.58	0.10	0.17	0.13	0.26	0.21	0.39	0.49	0.49
A/FM	0.39	0.39	0.69	-0.56	-0.48	0.05	-0.30	-0.30	-0.33	-0.31	-0.32	0.65	0.65	0.09	0.50	0.57	0.32	-0.22	-0.23
Xmg	0.33	0.33	0.70	0.32	0.30	0.26	0.26	0.27	0.26	0.26	0.25	0.63	0.60	0.67	0.66	0.68	0.25	0.34	0.35

Loc.													K202						
			Gt					Plag					Ch				Ms		
	No.	42	135	1	7	8	22	23	81	96	106	2	9	6	14	32	35	60	68
SiO ₂	39.82	37.02	36.25	36.77	36.63	37.30	37.08	68.02	66.81	63.16	68.19	69.33	28.56	28.42	26.92	25.75	26.15	45.67	46.28
TiO ₂	1.17	1.50	0.04	0.11	0.14	0.00	0.14	0.01	0.00	0.00	0.04	0.06	0.07	0.06	0.05	0.07	0.12	0.21	0.10
Al ₂ O ₃	20.42	19.84	8.28	8.31	8.33	8.29	8.21	20.05	22.02	24.00	18.67	19.20	21.26	18.20	18.78	21.14	21.16	31.29	31.90
Fe ₂ O ₃	5.15	5.32	0.35	0.34	0.31	0.33	0.33	0.06	0.09	0.05	0.10	0.15	2.40	2.73	2.94	2.61	2.60	4.66	3.65
FeO	14.57	15.00	15.77	15.23	14.10	14.88	15.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.45	25.53	27.48	24.38	23.95	1.60	1.40
MnO	0.66	0.78	25.32	25.55	26.81	25.08	25.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.33	0.19	0.27	0.39	0.33	0.08	0.05
MgO	7.17	7.95	0.66	0.67	0.60	0.67	0.64	0.02	0.01	0.00	0.07	0.10	9.71	10.27	9.80	11.78	11.81	2.52	2.30
CaO	0.58	0.13	1.01	1.03	1.01	1.15	0.99	3.73	3.26	5.61	3.87	2.59	0.22	0.37	0.22	0.04	0.06	0.07	0.06
Na ₂ O	1.31	0.53	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	7.53	9.21	8.64	5.81	8.47	0.03	0.04	0.04	0.00	0.00	0.12	0.15
K ₂ O	7.54	8.17	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.17	0.09	0.13	0.50	0.42	1.79	0.50	0.15	0.10	0.27	9.46	9.12
Cr ₂ O ₃	0.10	0.05	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.06	0.00	0.04	0.06	0.04	0.18	0.00	0.00
V ₂ O ₅	0.07	0.02	0.01	0.00	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.06	0.06	0.00	0.07	0.00	0.00
NiO	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.04	0.02	0.06	0.05	0.00	0.01	0.01	0.04	0.00
P ₂ O ₅	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
Total	98.57	96.36	100.11	100.55	100.48	100.19	100.29	99.58	101.49	101.62	97.28	100.42	86.87	86.45	86.74	86.32	86.70	95.70	95.01
A'	0.36	0.34	0.32	0.32	0.34	0.32	0.32	0.98	0.99	0.99	0.94	0.94	0.39	0.36	0.36	0.39	0.39	0.66	0.67
K	0.17	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.05	0.05	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.24	0.23
F	0.48	0.48	0.68	0.68	0.66	0.68	0.67	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.58	0.64	0.63	0.60	0.60	0.10	0.09
A/FM	-0.11	-0.26	0.34	0.34	0.36	0.35	0.34	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.33	0.32	0.33	0.37	0.36	0.41	0.55
Xmg	0.33	0.35	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.30	0.29	0.26	0.33	0.33	0.61	0.62

Table 6 鉱物共生図 A'KF, AFM に使用した鉱物と計算結果 (つづき)

Loc.	K202														K143B					
	Min	Bt								Gt	Pl				Ch					
		No.	83	84	85	7	119	148	165		229	221	79	95	106	121	133	44	45	129
SiO ₂	43.42	50.53	47.18	39.09	36.18	36.75	36.36	36.82	39.39	62.32	64.25	61.24	64.40	62.70	22.72	27.42	27.76	25.30	26.87	
TiO ₂	0.14	0.10	0.25	0.82	1.38	0.04	2.95	2.83	0.03	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.72	0.14	0.09	
Al ₂ O ₃	28.60	32.01	31.83	22.26	20.86	26.51	18.71	19.23	17.88	24.15	23.38	24.18	20.78	21.85	9.92	13.32	20.11	21.81	23.14	
Fe ₂ O ₃	7.96	2.25	3.97	4.78	5.26	5.66	5.26	5.66	0.65	0.06	0.07	0.79	0.17	0.13	12.11	8.60	2.73	2.81	2.76	
FeO	2.20	0.70	1.40	13.51	14.89	16.02	14.91	15.47	23.53	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	43.94	31.17	25.43	26.27	25.90	
MnO	0.17	0.04	0.06	0.17	0.20	0.28	0.21	0.23	0.36	0.01	0.01	0.03	0.00	0.02	0.06	0.05	0.31	0.56	0.25	
MgO	3.85	1.27	2.17	6.71	6.62	7.88	7.05	6.51	9.56	0.06	0.02	0.15	0.05	0.02	0.03	0.04	7.13	10.59	10.23	
CaO	0.01	0.08	0.12	0.04	0.02	0.12	0.17	0.13	0.04	5.22	4.67	5.48	3.49	3.98	0.45	0.60	0.14	0.05	0.15	
Na ₂ O	0.16	0.15	0.18	0.08	0.06	0.11	0.10	0.25	0.11	8.09	8.95	8.32	7.81	8.20	0.02	0.06	0.01	0.00	0.01	
K ₂ O	9.03	7.96	8.99	9.12	9.34	4.17	8.19	8.91	0.35	0.45	0.36	0.55	0.98	0.21	0.08	0.09	1.70	0.08	0.01	
Cr ₂ O ₃	0.00	0.01	0.00	0.00	0.14	0.01	0.15	0.19	0.05	0.00	0.00	0.11	0.00	0.01	0.04	0.05	0.00	0.00	0.03	
V ₂ O ₅	0.08	0.00	0.00	0.04	0.09	0.06	0.43	0.51	0.01	0.05	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.04	
NiO	0.00	0.02	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00	0.08	0.07	0.04	0.01	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.06	
P ₂ O ₅	0.00	0.00	0.02	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.08	0.11	0.00	0.00	0.00	
Total	95.60	95.12	96.16	96.67	95.07	97.62	94.50	96.83	92.02	100.43	101.73	100.92	97.72	97.12	89.48	81.51	86.08	87.61	89.52	
A'	0.64	0.72	0.68	0.38	0.35	0.50	0.34	0.34	0.35	0.95	0.96	0.94	0.89	0.98	0.33	0.40	0.38	0.40	0.42	
K	0.21	0.22	0.23	0.19	0.20	0.07	0.18	0.19	0.01	0.04	0.04	0.05	0.10	0.02	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	
F	0.14	0.05	0.09	0.43	0.45	0.43	0.48	0.47	0.64	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.67	0.59	0.59	0.60	0.58	
A/FM	0.20	0.80	0.58	-0.34	-0.50	0.37	-0.36	-0.52	0.34	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	0.18	0.29	0.32	0.37	0.39	
Xmg	0.64	0.64	0.61	0.33	0.31	0.33	0.32	0.30	0.29	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.22	0.29	0.28	

Loc.	K143B															
	Min	Ms					Bt					Cor			Gt	
		No.	21	41	138	226	269	11	22	40	46	126	12	13		16
SiO ₂	50.47	46.24	48.11	45.45	47.99	39.78	36.61	37.43	36.18	35.38	46.25	45.38	45.53	45.28	49.09	33.64
TiO ₂	0.00	0.89	0.13	0.00	1.33	0.81	0.00	1.60	2.65	2.73	0.01	0.05	0.00	0.02	0.00	0.04
Al ₂ O ₃	37.22	25.89	37.16	35.46	18.47	30.25	31.54	23.32	20.49	19.69	38.66	40.16	39.25	31.17	31.94	21.23
Fe ₂ O ₃	3.37	6.59	0.76	1.22	12.00	1.01	1.35	1.44	1.54	1.53	0.13	1.85	2.75	4.27	4.32	0.66
FeO	0.51	1.00	0.12	0.19	2.00	13.41	18.04	19.27	20.58	20.43	1.97	2.71	4.02	6.23	6.32	29.48
MnO	0.16	0.04	0.04	0.02	0.22	0.14	0.34	0.17	0.20	0.20	0.00	0.00	0.00	0.48	0.54	0.05
MgO	1.89	2.28	0.53	0.80	3.85	4.89	7.85	6.96	6.68	6.31	0.09	0.09	0.06	5.64	6.03	0.08
CaO	0.29	7.59	0.00	0.00	3.00	0.24	0.14	0.00	0.00	0.03	0.48	0.59	0.66	0.13	0.04	1.06
Na ₂ O	0.13	3.46	0.44	0.44	1.04	0.17	0.18	0.22	0.23	0.13	0.09	0.07	0.18	0.30	0.35	0.07
K ₂ O	3.97	3.87	9.46	9.71	6.00	5.59	2.14	8.75	8.80	9.05	0.17	0.21	0.16	0.03	0.02	0.13
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.03	0.04	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02	0.04
V ₂ O ₅	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.03	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01
NiO	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.09	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
P ₂ O ₅	0.04	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.03	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.05	0.13
Total	98.04	97.87	96.77	93.30	95.93	96.33	98.29	99.24	97.45	95.53	87.96	91.20	92.61	93.55	98.72	86.62
A'	0.85	0.71	0.73	0.71	0.63	0.51	0.52	0.31	0.27	0.25	0.94	0.93	0.91	0.75	0.74	0.41
K	0.09	0.16	0.25	0.26	0.19	0.11	0.04	0.17	0.18	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	0.06	0.13	0.02	0.03	0.18	0.37	0.44	0.52	0.56	0.56	0.05	0.06	0.09	0.25	0.26	0.59
A/FM	0.91	0.81	0.93	0.86	0.08	0.42	0.49	-0.13	-0.28	-0.39	0.95	0.93	0.90	0.72	0.72	0.41
Xmg	0.79	0.70	0.81	0.81	0.66	0.27	0.30	0.27	0.25	0.24	0.04	0.03	0.02	0.48	0.49	0.00

Occurrence and Chemical Composition of Metamorphic
Minerals of Muddy Hornfels in the Shimanto
Zone of the Kanto Mountain: III
Ochiai, Enzan City in the Central Japan

Hideo KAGAMI¹⁾ and Hidetsugu TANIGUCHI²⁾

Abstract

Thermal metamorphic aureole of the muddy Shimanto formations intruded by the Hirose Granodiorite is observed near Ochiai, Enzan City, and is divided into four hornfels zones; biotite zone, cordierite I zone, cordierite I' zone, and cordierite II zone, which will be described as follows.

Layered silicate (phyllosilicate) minerals are identified by X-ray diffraction method. They are chlorite, muscovite, and biotite. Five groups are recognized from their assemblages. Chlorite zone is composed of chlorite > muscovite. Biotite zone is composed of biotite > muscovite > chlorite. Cordierite I zone is biotite > muscovite. Cordierite I' zone is muscovite > biotite > chlorite. And, Cordierite II zone is composed of biotite only.

In this area, low temperature Mn-garnet characterizes the cordierite I zone, which is similar to Scottish low temperature Buchan Zone.

The cordierite I' zone is characterized by abundant occurrence of muscovite porphyroblasts, which indicate retrograde pseudomorphs of cordierite. A large scale retrograde reaction might be caused by reactivation of the Tsurukawa-South Fault which is running amid of this zone.

The cordierite II zone, a direct contact zone to granodiorite intrusion, is characterized by isograd of almandine garnet and cordierite assemblage without andalusite.

It seems to be natural that Oligoclase is newly formed in both garnet zones (Cordierite I and II zones). On 'feldspar index' figure of K86, it is clear that disorder distribution of cations is identified. This may indicate that mineral paragenesis is composed of cordierite and feldspar, beside of garnet and biotite in this zone under relatively low temperature condition.

Cordierites in the Kanto Mountain so far studied have wide X_{Mg} values but are apparently lower in Mg value than that of Hanno Formation. From these data, the hornfels near Ochiai village is not considered an exact supply area for gravels in the Hanno Formation.

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

2) Komazawa University High School