

島根県美都町北東部の三郡変成岩中のアルカリ角閃石の 産状と共生関係

渡辺暉夫*・小林英夫*・安達 浩**

Occurrence and Paragenesis of Alkali Amphibole from the Sangun
Metamorphic Rocks in the Northeastern Part of Mito-cho,
Shimane Prefecture, Japan

Teruo WATANABE, Hideo KOBAYASHI and Hiroshi ADACHI

(Received September 4, 1982)

Abstract

Outline of geology in the studied area is given and original rocks of greenschists distributed in 8 horizons are estimated to be mainly volcanic sand/mudstones. A metamorphosed sheet showing bostonitic texture under the microscope is found in this area and its chemical composition is similar to that of mugearite and its differentiation products.

The chemical compositions of greenschists are not necessarily basic. Mineral assemblages in greenschists are listed in this paper.

Two kinds of composite amphibole-grains are recognized in the greenschists. One of them is zoned amphibole, in which Al-poor crossite is usually rimmed by actionolite. The other kind of composite amphibole-grain is composed at least of three parts, i.e., magnesian hastingsitic hornblende, actionolite, and winchite. Although this amphibole grain is optically homogeneous at a glance, back-scattered electron observation reveals chemical heterogeneity in micron scale. The result of line scanning analysis for some major elements shows that the chemical heterogeneity in the amphibole is more complicated, especially in MgO and total FeO contents. On the basis of stability fields of amphibole proposed by BANNO and OTSUKI (1982), P-T condition of the Sangun Metamorphism in this area is tentatively estimated.

This chemical heterogeneity in amphibole in micron scale may be a new mode as to chemical heterogeneity in amphibole.

まえがき

島根県西部の美都町に分布する三郡変成岩類の広域変成作用にみられる岩石学的特徴は、

* 島根大学理学部地質学教室

** 明治コンサルタント株式会社札幌支店

三郡変成岩についての総括的報告(橋本, 1972)を別にすれば金属鉱物探鉱促進事業団による広域調査報告とこれに基く岡村他(1975)による記載が公表されるまで、ほとんど明らかにされていなかった。それは岩相変化の乏しい泥質片岩や砂質片岩を主とし、時にそれらに狭まれる緑色片岩も肉眼的に特徴の乏しい単調な岩相であったためであろう。そして、花崗岩による接触変成作用の影響と考えられるものを除いては野外で観察される顕著な岩相変化は認められない。

岡村他(1975)は美都町を含む益田地域の三郡変成岩類を三隅層群と呼び、下位より都茂・二川・黒沢の三累層に分けた。そして二川累層東部には泥質片岩中にまれに緑色片岩が狭まれること、この緑色片岩中にアルカリ角閃石の一種である“藍閃石”及びパンペリー石を産することなど緑色片岩中の鉱物組合せを明らかにした。しかし、二川累層の広域変成作用については上記の報告以外に詳しいものはなく、“藍閃石”についても岡村他(1975)は、顕微鏡による軸色等の観察から、クロス閃石に相当すると述べたが詳しいデータは出ていない。したがって変成条件に関する考察は不十分なままであった。

本論文の調査地域は美都町北東部の六良木辻を中心とする丸茂川・矢原川で囲まれた地域である。本地域には岡村他(1975)で報告されていないアクチノ閃石—アルカリ角閃石の組合せが見つげられた。この組合せについてのより詳細な解析は三郡変成岩の変成相系列について新たな重要な知見を与える。これまでほとんど得られていない鉱物学的データを得ることも重要であり、本論文では“藍閃石”の産状を中心に緑色片岩中の鉱物共生関係を明らかにする。また、これまで恐らく報告されていないであろう特殊な共生関係・産状を示す青色角閃石があることを述べる。

地質の概要

変成岩類の層面片理面の走向は大局的に東西性であり、北傾斜である。傾斜角は 20° – 60° と変化に富んでいる。主体は泥質片岩であり、チャートラミナイト(吉田, 1981)起源のものが多い。この種のチャートラミナイト源の片岩は微褶曲(波長10 cm以下)が特に発達し、褶曲軸面に劈開が発達することがある。また西部の丸茂川では砂質岩のレンズ状(長さ1~5 cm大のものが多い)偽礫を含む泥質片岩が見られる。ここでは泥質片岩と互層する10数枚の砂質片岩が見られるが、層厚は東にむかって急に減じ、丸茂川の東1 km付近で大部分の砂質片岩は相ついで尖滅する。このすぐ東方から、緑色片岩が出現しですが、見かけ上、下位から上位へ(つまり南から北へ) G_1 – G_8 の8層準の緑色片岩が区別できる。東部の養老谷近くでは2枚の珪質片岩が見られるが、その連続性は悪い。養老谷付近では、層面片理面は南北性に近くなる。一般に東側の地域ほど、北西—南東の方向性が卓越する。これらの三郡変成岩類を貫いて、酸性から塩基性までの各種岩脈が分布している(第1図)。

緑色片岩の岩相

淡緑色ないし緑色の弱い片状を呈する岩石をここでは一括して緑色片岩と呼ぶ。細かな

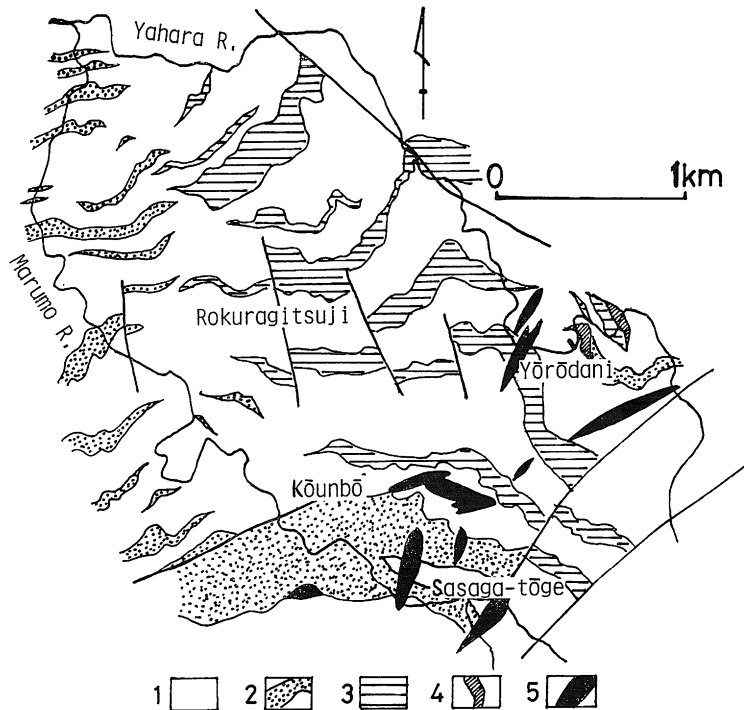


Fig. 1. Geological map of the northeastern part of Mito-cho.

1: pelitic schist 2: psammitic schist 3: greenschist 4: siliceous schist 5: dyke rocks (quartz porphyry, porphyrite, andesite, and basalt)

mm 単位の縞状構造が認められる場合があったり、まれに火山性角礫岩の構造が認められることがある。角礫岩の礫質部と基質は顕微鏡下でも明瞭な組織の違いがある。つまり礫質部は全体に変成鉱物の粒度も細かく、しばしば火成岩の組織が残されるが、基質には比較的粗粒な緑泥石・曹長石の集合部が見られ、残存鉱物も少なく、原岩の組織もあまり残されていない。明らかに基質の方が再結晶作用が進んでいる。当地域にはこの基質部に類似する組織をもった緑色片岩が多い。基質部の粒度は火山性砂岩* ないし泥岩* に相当するから、この緑色片岩の源岩もやはり火山性砂岩ないし泥岩であろうと類推される。他に火成岩構造を良く残した岩石が見つけれられるが、産状について今後の検討が必要である。変成した火山性砂岩、角礫岩* 及び岩床として産する変成火成岩の顕微鏡写真を Plate I に示す。

緑色片岩は G_1 - G_8 の 8 層準が認められるが、同一層準の緑色片岩が全て単一の源岩から成り立っているわけではないし、緑色片岩は必ずしも塩基性ではない。 G_1 - G_8 の分布を第 2 図に示す。以下に比較的産状のわかっている G_1 から G_4 までの緑色片岩及び岩床状岩体の特徴を中心にして述べる。

* 成因に関係しない火砕岩の名前として使用する。

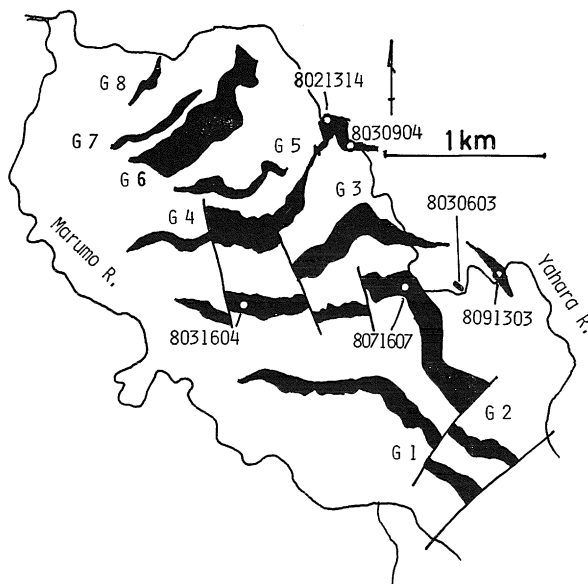


Fig. 2. Distribution map of greenschist and localities of samples described in this paper.

G₁ 層：約20 m 前後の層厚で笹ヶ峠付近から光雲坊北方にまで分布する。一部には火山性角礫岩質の構造を残す部分があるが、主体は火山性砂岩ないし泥岩起源の片岩である。西部では淡灰緑色の石灰質な緑色片岩になる。

変成鉱物組合せは、

chlorite—albite—calcite—quartz—sphene—opaque mineral

G₂ 層：層厚は変化に富み 50–90 m である。淡緑色ないし緑色の片岩で前者は方解石に富み後者は緑泥石に富む。全体的に単斜輝石や斜長石（現在は曹長石に変わっている）を残晶として含む火山性砂岩よりなる。アルカリ角閃石を産する。

観察された変成鉱物組合せは、

chlorite—carbonate mineral*—albite—sphene—opaque mineral±(actinolite, alkali amphibole, white mica, quartz, epidote, aegirine-augite)**

東部の **G₂ 層** と **G₃ 層** の間に、曹長石化した長石の残晶が火成岩組織を示していて、Mugearite の組成に近い岩石が見られる（第 1 表 2，サンプル番号 8030603）。その長石質の部分は Bostonitic 組織 (JOHANNSEN, 1939, p 48) を示す (Plate Ic)。有色鉱物は全て緑泥石に置きかえられていると思われる。他に少量の白色雲母，方解石，スフェーンを産する。

* 大部分は calcite であるが、極めて細粒の結晶が集合を作っていることがあり、これは後に述べるように残る単斜輝石の周囲に産することが多い。これらの集合が calcite か否か判定しがたいので、当面はここでは総称としての carbonate mineral という言葉を使用した。

** 括弧内の鉱物は所によって出現したり、しなかったりすることを示す（以下同様）。

G₃層：淡緑色を呈するものが多いが、残晶としてまれに単斜輝石が見られる。曹長石の砂粒状集合は斜長石片であったと思われる。一部に火山性角礫岩の構造が見つけれられるが源岩の大部分は火山性砂岩～泥岩である。

アルカリ角閃石およびパンペリー石を産する緑色片岩の化学組成を第1表4に示す(サンプル番号8091303)。この緑色片岩は塩基性ではない。このように塩基性の化学組成をもたない緑色片岩は少なくないと思われる。

変成鉱物組合せは、

chlorite—albite—sphene—opaque mineral±(actinolite, alkali amphibole, carbonate mineral, white mica, pumpellyite, aegirine-augite)

G₄層：六良木辻において局所的に厚くレンズ状を呈して分布し、層厚は最大80mに達する。火山性砂岩を源岩とするが比較的粗粒な砂岩や一部に火山性角礫岩が多い。この層には特徴的にアルカリ角閃石が出現する。

変成鉱物組合せは、

chlorite—albite—actinolite—alkali amphibole—sphene—opaque mineral±(white mica, calcite, quartz, epidote, stilpnomelane)

G₅～G₈層：風化が激しかったり、分布が小さいため現在までのところ詳しいことはわかっていないが、斜長石斑晶を主とする酸性のほぼ完晶質火成岩を源岩とする変成岩も含まれている。この種の岩石については別の機会に報告する。

Table 1. Bulk chemical compositions of mugearite and greenschists (XRF. analysis)
(Analytical method is mentioned in KOBAYASHI *et al.*, 1981)

	1	2	3	4
SiO ₂	48.34	47.20	59.01	56.49
TiO ₂	2.20	2.32	n. d.	2.16
Al ₂ O ₃	16.14	17.54	18.49	11.54
Fe ₂ O ₃	14.32	15.74	2.56	10.18
MnO	0.23	0.05	0.0	0.12
MgO	3.16	2.00	0.53	9.41
CaO	6.54	4.94	4.36	3.82
Na ₂ O	5.24	4.98	7.41	2.03
K ₂ O	2.01	0.43	1.61	0.99
P ₂ O ₃	1.50	1.17	n. d.	0.25
H ₂ O±	1.07	n. d.	n. d.	n. d.
Total	100.75	96.37		96.99

1 Mugearite (BENSON, 1942), from Turner & Verhoogen (1960), p. 168. Total iron is re-calculated as Fe₂O₃.

2 Metamorphosed sheet, sample number: 8030603, mafic part

3 same as above, felsic part. partial analysis

4 pumpellyite bearing greenschist, sample number: 8091303

アルカリ角閃石の産状

本地域のアルカリ角閃石はアクチノ閃石と累帯することが多い。また、同一薄片中に伸長方向が正と負のアルカリ角閃石がしばしば見られる。この正負の伸長方向を示すアルカリ角閃石は $b=z$ のクロス閃石の特徴であるが、本地域の場合はクロス閃石であるためだけではない(後述)。

アルカリ角閃石は次の4試料に典型的に見出される。源岩はいずれも火山性砂岩である。各試料中の鉱物組合せと主要鉱物の産状は次の通りである。

- (1) **8031604***, G_2 層; actinolite-alkali amphibole-chlorite-albite-carbonate mineral-sphene-(opaque mineral)**-(aegirine-augite)-(epidote)

石英は確認できない。残存単斜輝石が見出され、その周囲や割れ目は細粒の炭酸塩鉱物の集合でふちどられている。エヂリン・オージャイト (X' =yellowish green, Z' =yellow) が単斜輝石の一部をわずかに置きかえていることもある。角閃石類は単斜輝石の一部を取り囲むようにして炭酸塩鉱物のすぐ外側に産する。他に細い長柱状ないし針状の角閃石が全体に散在するが、しばしば緑泥石に取り囲まれた比較的粗粒の角閃石が見出される。緑れん石の量は少なく、しかも細粒である。

- (2) **8071607**, G_2 層; actinolite-alkali amphibole-chlorite-albite-carbonate mineral-quartz-sphene-(opaque mineral)-(epidote)-(white mica)

細粒炭酸塩鉱物集合部の周辺にアルカリ角閃石と少量のアクチノ閃石が見られる。この産状から炭酸塩鉱物集合部は前出8081604に残存していた単斜輝石が全て炭酸塩鉱物に置きかえられたものと考えられる。曹長石結晶中に細粒の緑れん石、白色雲母、方解石が見られる。ガラス質破片の再結晶したと思われる部分に角閃石が見出される。

- (3) **8091303**, G_3 層; actinolite-alkali amphibole-chlorite-albite-carbonate mineral-pumpellyite-white mica-sphene-(quartz)-(opaque mineral)-(aegirine-augite)-(epidote)

残存単斜輝石が見られ、周囲に少量のエヂリン・オージャイト、炭酸塩鉱物、角閃石が形成されている。現在曹長石となっている斜長石残晶上にはパンペリー石が方解石、白色雲母と共に産する。

- (4) **8030904**, G_4 層; actinolite-alkali amphibole-chlorite-white mica-epidote-sphene-(quartz)-(opaque mineral)

残存単斜輝石の周辺及び変成した火山ガラスあるいはガラス質火山片と思われる部分に角閃石が多く、特に後者の部分には繊維束状の角閃石が見られる。この角閃石集合部の一部(多くの場合中心付近)に、わずかに青色を帯びた角閃石が存在するが、その境界、アクチノ閃石との関係は細い繊維状結晶であるためはっきりしない。

* 後に述べるように、本岩中にはマグネジアンヘスチングサイト質角閃石が見出されるが鏡下ではアルカリ角閃石と同一の結晶粒の一部であり、軸色からアルカリ角閃石と見えるので、ここでの記載は便宜上アルカリ角閃石としておく。

** 括弧内は少量の産状を示す(以下同様)。

以上述べたようにアルカリ角閃石はアクチノ閃石と複合し、針状—繊維状ないし長柱状結晶として産する。これらアルカリ角閃石の産状を Plate II c と第 3 図のスケッチに示した。

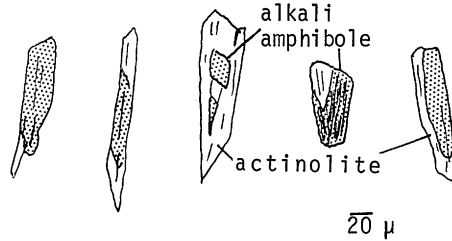


Fig. 3. Some examples of zoned amphibole grains.

アルカリ角閃石の EPMA 分析*と 反射電子像観察

(1) 8031604, (2) 8071607 (以上 G₂ 層), (4) 8030904 (G₄ 層) のアルカリ角閃石について観察と分析を行なった。

これらの試料中にクロス閃石 (b=Z, X=purplish blue, Y=blue-greenish blue, Z=colourless-faint yellow, c^Y≅5°, 2V_X=45°-50°) が認められた。部分分析** の 1 例を第 2 表に示す。Al₂O₃ に乏しく, FeO も多くないので組成上マグネシオ・リーベック閃石に近い。一部に緑青色の多色性を示すアルカリ角閃石もあるので今後の検討が必要である。多くの場合アルカリ角閃石を包み, あるいはその縁にアクチノ閃石が生成されている (アクチノ閃石の

Table 2. EPMA analyses of amphibole.

	1a	1b	1c	2	3
SiO ₂	42.11	55.14	55.14	n. d.	n. d.
Al ₂ O ₃	15.74	0.89	1.22	3.32	0.56
FeO	15.91	14.58	19.56	16.87	9.22
MnO	0.47	0.65	0.52	n. d.	n. d.
MgO	9.29	13.62	10.45	n. d.	n. d.
CaO	10.89	10.53	5.41	1.25	11.92
Na ₂ O	2.68	1.69	4.34	7.63	0.61
K ₂ O	0.54	0.08	0.09	n. d.	n. d.
Total	97.63	97.18	96.73		

1 8031604, a: magnesian hastingsitic hornblende

b: actinolite

c: winchite

2 8030904 partial analysis, Na amphibole

3 same as above, actinolite

* JXA 733 (島根大学・農学部設置) による。分析法については別の機会に述べる予定。

** 分析済の角閃石とスタンダード試料を用いて分析した。

部分分析値も第2表に示す)。両角閃石の境界は鏡下で鮮明であることが多く、通常はベッケ線が認められる。

サンプル番号8030904中の累帯構造をもった角閃石複合結晶の EPMA による Na と Ca についての線分析の例を第4図*に示す。アクチノ閃石の部分は明らかに均質ではなく、中央部にむかって Na が増加し、Ca は減少する。このように組成勾配を示すように見える理由は現在のところよくわかっていない。

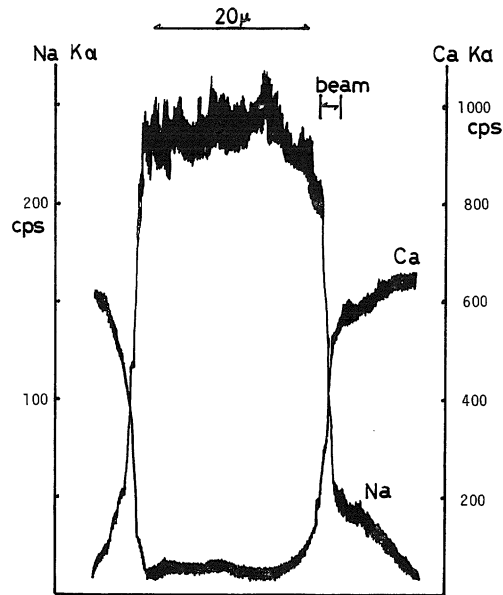


Fig. 4. Line scanning profile of Na and Ca K_{α} lines of a zoned amphibole grain in sample number 8030904.

アルカリ角閃石にはこの他に常に正の伸長方向を示す角閃石 (X' = colourless – faint yellow, Z' = blue) があり、特に8031604中には比較的粗粒な長柱状角閃石が見られる。この角閃石は完全に消光しないという特徴をもつが、干渉色・多色性はほぼ一様であって、鏡下では著しい組成上の不均質があるようには見えない。

しかし反射電子像 (加速電圧 25 kv) による観察ではこの角閃石は Plate II d に示すように、平均原子番号の違いによって帯状の3つの部分 (a・b・c) に分けられる。顕微鏡写真を Plate II e に示すが鏡下ではほぼ均一の組成をもっているように見える。この角閃石を帯状の縞目に高角度で斜交するような線をとって、線分析した結果を第5図に示す (分析位置は X から Y を結ぶ線)。縦軸のスケールは各元素ごとに異なっており、濃度の相対的違いが表現されているだけである。ビーム径は Na の場合でも約3ミクロンである。第5図の a・b・c

* ビーム径は2~3ミクロンである。核部を占めるアルカリ角閃石はわずかに組成の不均質があるかもしれないが詳しいことは別の機会に述べる予定である。

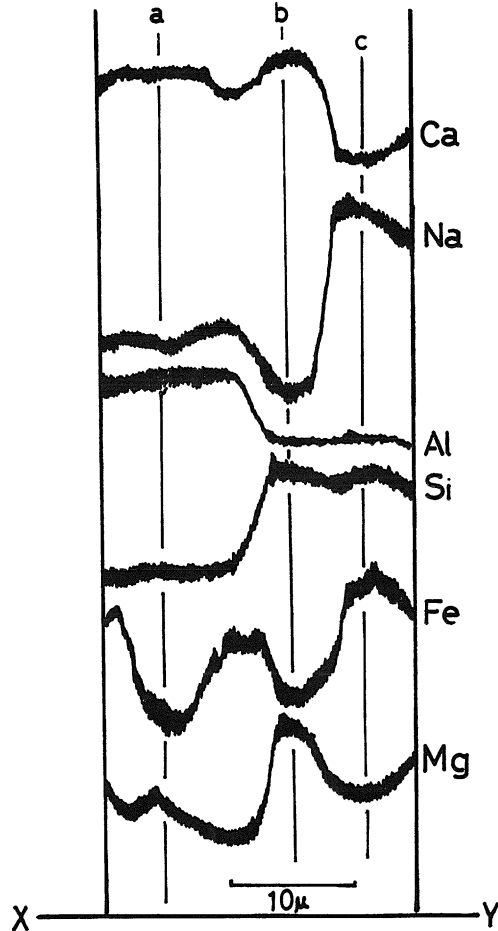


Fig. 5. Intensity profile based on line scanning profile of Ca, Na, Al, Si, Fe, and Mg K_{α} lines of a composite amphibole grain in sample number 8031604.

は第2表 a・b・c の化学組成を示す点分析を行なった場所である。第5図の Na 含有量に注目すれば、この角閃石はほぼ3つの部分に分けられることが明らかで、反射電子像の濃淡の帯状模様と対応している。しかし、Mg と Fe の含有量の変動からは、この角閃石はさらに細かなスケールで組成上の不均質さをもっていることがわかる。Mg や Fe の線分析プロファイル上には組成上の平坦面が得られない。このことは Mg や Fe の含有量がビーム径とあまり変わらないスケールでの不均質性をもつため、線分析図中に濃度一定を示す確実な平坦面が得られないのだと思われる。このような細かな組成不均質性を示す角閃石の各部分について、正確な定量分析を行なうことは通常は困難であり、加速電圧を下げ、さらに補正計算についても工夫する必要がある。しかし、BENCE & ALBEE 法を用いて補正計算をするためには指定された加速電圧でなければならないから、今回の点分析は加速電圧 15 kv で十分にしほりこ

んだビームを用いて行なった。分析点は第5図 a・b・c の3点であるが、すでに述べたように第5図中に完全な濃度上の平担面が得られないので、分析値には多少の不正確さが含まれる。目的とする分析点上にビームがあることを確認するために、絶えず1つのチャンネルで Fe あるいは Na の濃度をモニターとして用いた。得られた結果を第2表に示す。a の部分はマグネシアン・ヘスチングサイト質角閃石 (LEAKE, 1978), b はアクチノ閃石, c の部分はウィンチャイト (LEAKE, 1978) に相当する。

考 察

アルカリ角閃石を含む角閃石の累帯構造あるいは類似する構造は古くは関 (1957) や, IWASAKI (1963) によって三波川変成帯中から報告された。その後, 同変成帯中の累帯構造や類似の構造をもつ角閃石について, EPMA を用いた組成の分析と解析あるいは記載が TORIUMI (1974) や WATANABE (1977) によって行なわれた。最近では世界各地の代表的青色片岩中に産するアルカリ角閃石の累帯構造について WOOD (1980) の考察がある。すなわちアルカリ角閃石の累帯構造自身は普通に見られる現象であるが, 三郡変成帯ではこの点について従来十分な記載はない。累帯構造は変成作用の温度・圧力・酸化状態等の変化について情報を与えてくれる。今回得られた結果は予察的なものであるので詳しい解析は今後の課題とするが, 累帯構造の核部を占めることの多いアルカリ角閃石がマグネシオ・リーベック閃石組成に近いクロス閃石であるところから, 当地域の変成作用はアルカリ角閃石を生ずる変成作用のうちでも比較的低圧の条件下で進行したものと思われる。これはウィンチャイトが出現する事実とも調和的である。ただし本地域では両角閃石が同一薄片中に見出されるが, このことの意味はわかっていない。クロス閃石からアクチノ閃石への変化は温度上昇のためかもしれないが, パンペリー石が安定なので温度は緑色片岩相の温度には達していないと思われる。わずかな温度上昇でアクチノ閃石が形成されるのは圧力条件が, クロス閃石やウィンチャイトを形成する範囲内で, もっとも低圧側の条件であったためかもしれない (第6図参照)。

本論文は角閃石の累帯構造に加え, 鏡下で一見均一に見える角閃石が実は少なくとも3種類の角閃石から形成されていることを報告した。似たような例は渡辺・小林・横山 (1982) によって岡山県勝山地方の緑色片岩中の角閃石にも認められた。この場合は Cr を含むアクチノ閃石と含まないア

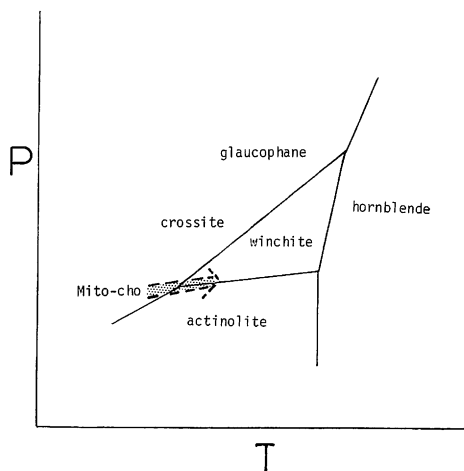


Fig. 6. Tentatively estimated P-T condition of the Sangun Metamorphism in the studied area. Relationship among amphibole stability fields in this figure is proposed by BANNO and OTSUKI (1982).

クチノ閃石がまだら状に組み合っていることが、反射電子像観察で明らかにされた。組成を異にする2種類の角閃石が不規則なパッチ状組織を作る例は知られているが (GHOSE, 1981), 離溶組織も全く作らずに、しかもミクロンのオーダーで組成の不均質な角閃石を作る、上述したような三郡変成岩中の角閃石の例はこれまで知られていない。

ま と め

今回、本研究で明らかになったことをまとめてみると以下の通りである。

1. 本地域の緑色片岩は火山性砂岩～泥岩源のものが多い。化学組成上塩基性ではないものが含まれている。

岡村他 (1975) は本地域の緑色片岩の鉱物組合せについて報告し変成条件を推察したが、少なくとも本地域ではこの鉱物組合せの考察は、ほぼ等化学組成をもった塩基性岩石に対して行なわれたとはいいがたい。緑れん石が少量で稀にしか産しないのはこのためである。この地域ではすでにアクチノ閃石やパンペリー石が安定に出現する条件には達していた。第6図に出現する角閃石を中心に当地域の変成作用の圧力・温度条件を推定した。

2. 残存単斜輝石の周辺に少量のエヂリン・オーゾイトが形成されている。

3. Mugearite 及びその分化物に対応するような化学組成を持ち、Bostnitic 組織を示す変成された火成岩 (産状は岩床状) が存在することが明らかになった。

4. アルカリ角閃石について以下のことが新たに明らかになった。マグネシオ・リーベック閃石の組成に近いクロス閃石がアクチノ閃石と共に出現し、累帯構造を作る。一般にクロス閃石が核部を占める。

5. 光学的にはほぼ均質組成をもつと見られた角閃石を反射電子像観察した結果、数ミクロン幅の組成不均質性が認められ、マグネジアン・ヘスチングサイト質角閃石、アクチノ閃石、ウィンチャイトの少なくとも三種の角閃石部分よりなる角閃石複合結晶であることが明らかになった。今日報告したこの角閃石における組成不均質性はこれまで注目されてこなかった現象である。

謝 辞

本論文を書くにあたり地質学教室山口佳昭助教授には草稿を続けていただき、御教示を受けた。同教室学生千貫浩氏には室内作業の一部を手伝っていただいた。EPMA は全学共同利用として農学部内に設置された JXA 733 を使用し、運営責任者の後藤輝男農学部教授及び改良木材学研究室の方々にお世話になった。以上の方々に厚く御礼を申し上げる。本研究の費用の一部は文部省科学研究費補助金一般 C (課題番号56540504) によった。

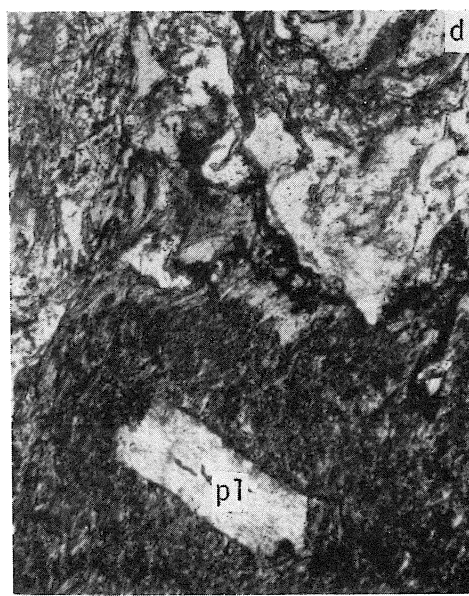
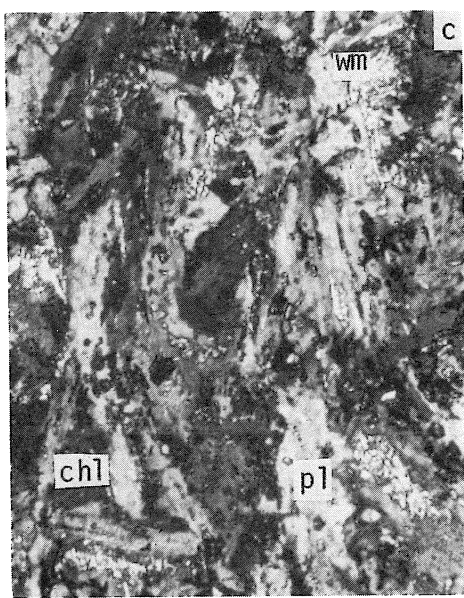
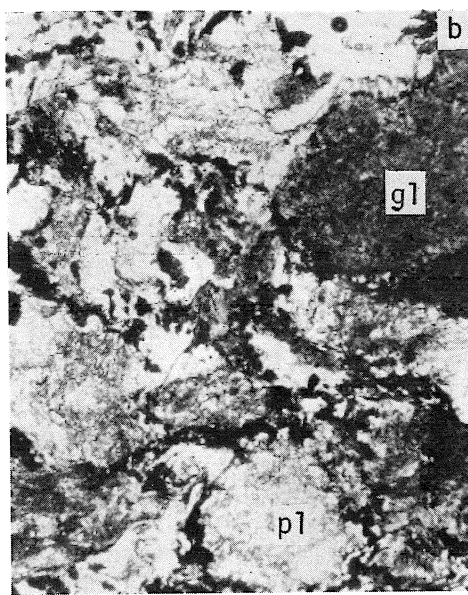
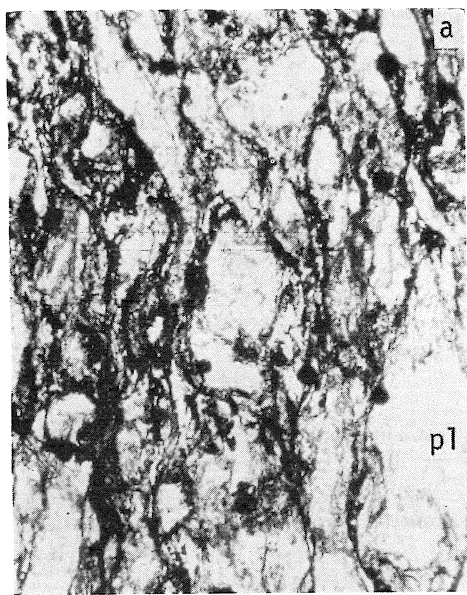
文 献

坂野昇平, 大槻正行, 1982: Hematite-Winchite の組合せの安定領域 日本地質学会第89年学術大会・

- 講演要旨 p. 468.
- GHOSE, S., 1981; Subsolidus reactions and microstructures in amphibole. *Amphiboles and other hydrous pyroxenes — mineralogy (reviews in mineralogy vol. 9A)* p 325-372. *Mineralogical Society of America*.
- 橋本光男, 1972: 中国地方の三郡変成岩の鉱物相概観, 国立科博研報 15, p 767-775.
- IWASAKI, M., 1963; Metamorphic rocks of the Kōtu-Bizan area, Eastern Shikoku. *Jour. Fac. Sci. Tokyo Univ., Ser. 2*, 15, p 1-90.
- JOHANNSEN, A., 1939; *A descriptive Petrology of the Igneous Rocks* vol. 1. 318 p. *The University of Chicago Press*.
- 小林英夫, 渡辺暉夫, 飯泉 滋, 1981: 珪酸塩岩石主成分元素の螢光 X 線による全自動分析. 島根大学理学部紀要 15, p 115-124.
- LEAKE, B. E., 1978; Nomenclature of amphiboles. *The American Mineralogist*. vol. 63, p 1023-1052.
- 岡村義彦・西村祐二郎・長谷 晃・添田 晶・沖村雄二・広渡文利・本村慶信・赤塚政美・井上多津男・安居院弘輔・大谷顕一・弧島章一郎, 1975: 島根県益田地域の三郡変成岩類 山口大学教育学部研究論叢 25巻第2部 p 19-36.
- 関陽太郎, 1957: 関東山地東部のアルカリ角閃石とその産状 岩石鉱物鉱床学会誌42巻 p 128-135.
- TORIUMI, M., 1974; Actinolite-alkali amphibole miscibility gap on an amphibole composite grain in a glaucophane schist facies rock, Kanto Mountain, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*. vol. 80, p 75-80.
- TURNER, F. J., and VERHOOGEN, J., 1960; *Igneous and Metamorphic Petrology*. McGraw-Hill, New York, 694 p.
- WATANABE, T., 1977; Metamorphism of the Sambagawa and Chichibu Belts in the Oshika district, Nagano prefecture, Central Japan. *Jour. Fac. Sci. Hokkaido Univ., Ser IV*, vol. 17, p 629-694.
- 渡辺暉夫・小林英夫・横山 博, 1982: 三郡変成岩中の角閃石一その1, 勝山地方を中心にして, 日本地質学会第89年学術大会, 講演要旨 p 449.
- WOOD, R. M., 1980; Compositional zoning in sodic amphiboles from the blueschist facies. *Mineralogical Magazine*, vol. 43, p 741-752.
- 吉田鎮男, 1981: チャートラミナイト: 岩石学的記載と本邦地向斜における産状. 地質学雑誌 87巻 p 131-141.

Explanation of Plate I

- Plate I.** Photomicrograph of textures of metamorphosed volcanoclastic rocks and igneous rock.
- a volcanic sandstone, sample number 8071607. pl: plagioclase (albite), polarizer only.
- b volcanic sandstone, sample number 8030904. pl: plagioclase (albite), gl: metamorphosed glassy volcanic rock fragment, polarizer only.
- c Bostonitic texture in a metamorphosed sheet, sample number 8030603. pl: plagioclase (albite), chl: chlorite, wm: white mica, crossed polars.
- d volcanic breccia, sample number 8021314. Lower half part is a fragment of metamorphosed volcanic rock. pl: albitized plagioclase phenocryst. Upper half part is metamorphosed matrix of breccia. polarizer only.
- Length of a bar in each photomicrograph is 0.2 mm.



Explanation of Plate II

Plate II.

- a Pumpellyite replacing a part of plagioclase grain in sample number 8091303. Plagioclase is albitized. crossed polars. cc: calcite, ab: albite, pum: pumpellyite
- b Same as above, polarizer only.
- c An occurrence of zoned amphibole in sample number 8031604. act: actionlite, Na amp: Al-poor crossite, polarizer only.
Length of a bar in each photomicrograph of a, b, and c of Plate II is 0.2 mm.
- d Back-scattered electron image for a composite amphibole-grain in sample number 8031604. a: magnesian hastingsitic hornblende, b: actionolite, c: winchite.
(X — Y) shows line-scanning position.
- e The same composite amphibole-grain under the optical microscope. polarizer only.
(X — Y) shows line-scanning position.
Length of a bar in each photomicrograph of Plate II d and e is 0.02 mm.

