

四国東部三波川帯広石地域の地質と変成作用

馬 溯 映 美*

Geology and metamorphism of the Hiroishi area in the Sambagawa belt, eastern Shikoku, Japan

Emi Mabuchi

Abstract

The Sambagawa metamorphic belt in the Hiroishi area, eastern Shikoku, is divided into four geotectonic units based on the lithology in ascending order of the tectonic level i.e. the Units A, B, C and D. The Unit B is subdivided into the Units B1 and B2 on the basis of the size of the albite porphyroblasts. The boundary between the Units B1 and B2 is probably of fault contact. The lower part of the Units B2 shows the metamorphism of the upper chlorite zone to the gamet zone. The other portions of the Sambagawa schists of the Hiroishi area were suffered the chlorite zone metamorphism.

The basic schists in this area are divided into two types. One is basic schist with crossite or magnesio-riebeckite, and the other is that with glaucophane or crossite. The boundary between the distribution of two types of the basic schists is probably located close to the boundary between the Units B1 and B2. Based on the chemistry and the zonal structure of the alkali amphiboles in the basic schists above and beneath the boundary, two different P-T paths are suggested in this area.

1. はじめに

三波川帯は西南日本外帯の北縁部に、西は九州佐賀関半島から、東は関東山地まで延長約 800 Km にわたって帯状に分布する低温高压型変成帯である。広石地域は、四国東部高越山と眉山のほぼ中間地点に位置する。高越-眉山地域の地質、層序、構造については、Iwasaki (1963)、剣山研究グループ (1963)、Faure (1983)、眉山周辺については、岩崎 (1955)、岩崎ほか (1963)、また、高越山周辺については、大島ほか (1963) などの研究がある。

本研究では、広石地域の地質調査によって調査地域を 5 つのユニットに区分し、各ユニットの白雲母、ざくろ石をはじめとする変成鉱物について EPMA による化学分析を行った。またこれらの結果について、広石地域内での特徴を検討するとともに、他の地域の三波川帯との比較検討を行った。

2. 広石地域の三波川帯の地質概説とこれまでの研究

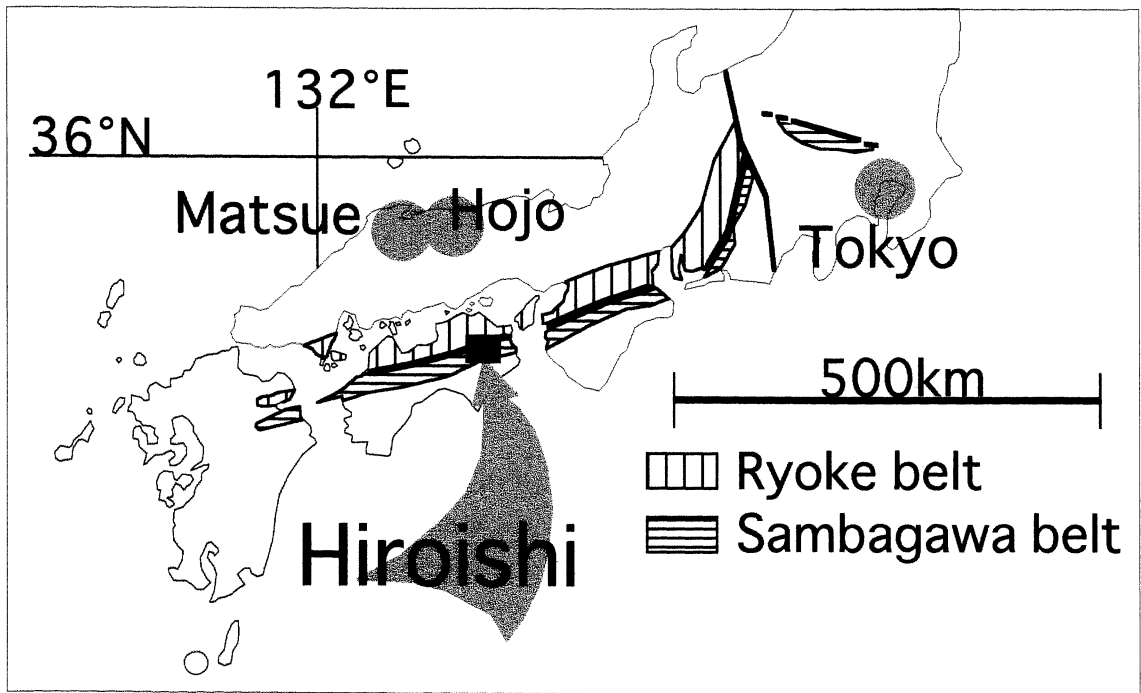
四国東部広石地域 (第 1 図) の三波川変成帯の構成岩類は下位より、弱変成古生層、木屋平層、野々脇層、焼山寺層、樫平層、川田山層、高越層、川田層の 8 層に区

分される。最下位の野々脇層の下半部は主に砂質片岩と泥質片岩の互層からなり、四国中央部の大歩危ナツプ (Takasu and Dallmeyer, 1990) を構成する小歩危層 (剣山研究グループ, 1984) に相当する。野々脇層の上半部から上位が別子ナツプ (Takasu and Dallmeyer, 1990) で、すべて三縄層に対比される。

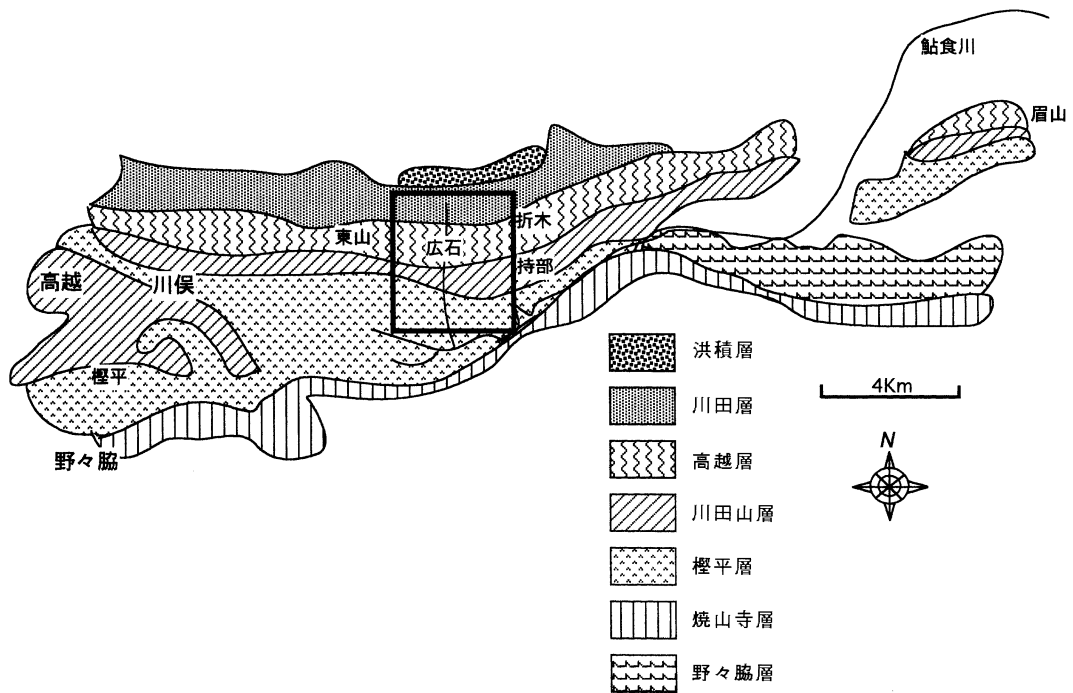
広石一帯の結晶片岩地域の地質、層序、構造については、岩崎 (1955)、岩崎ほか (1963)、Iwasaki (1963)、剣山研究グループ (1963)、Faure (1983)、眉山周辺については、岩崎 (1955)、岩崎ほか (1963)、高越山周辺については、大島ほか (1963) などの研究がある。それらをもとに、これまでの成果について以下に記述する。

広石地域の地質構造について、Iwasaki (1963)、岩崎 (1955)、岩崎ほか (1963) は、川又-入田線を境にしてその南と北で、傾斜方向が異なっているとしている。すなわち北側では地層は北に、南側では南に傾斜している。その傾斜角度はいずれも 40~60° である。入田-八万線の一つの背斜軸とする考え方もあったが、実際は野々脇を通る東西方向の背斜軸と久宋鉦山付近から南東に伸びた背斜軸とは鮎食川に沿う川又-入田線によって切られてしまう。野々脇の背斜軸は鮎食川の谷で、約 4~5 Km 北方にずれていることになる。全体を通じて線構造の方向はほぼ東西に近く、東に約 10~15° 落ちているが、時に高越層、川田山層の藍閃片岩において南北方

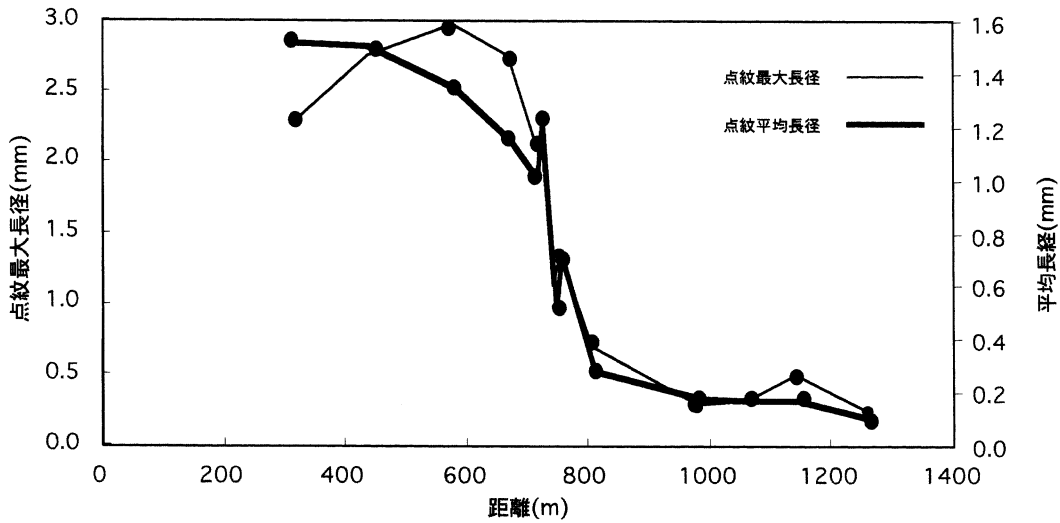
* 島根大学理学研究科地質学専攻



第1図 西日本外帯三波川変成帯分布図と調査地域



第2図 四国東部三波川帯地質図。剣山研究グループ（1963）を改変。枠内は調査地域



第3図 広石地域にみられる曹長石斑状変晶の平均長径と最大長径
 縦軸：曹長石斑状変晶の長径
 横軸：Unit B2と Unit Cの境界の塩基性片岩の下底からの累計距離

向に近い線構造が見いだされる。このような場合、南北方向に近い微褶曲も発達している。

また Faure (1983) は、蛇紋岩の小岩体や、マイロナイト、アクチノ閃石のノジュールなどから予想される構造的な不連続から、この地域の点紋帯と無点紋帯の境界に断層の存在を主張している。

Iwasaki (1963) は、この地域の秩父累帯から御荷鉾緑色片岩類の分布域をへて三波川帯までを、鉱物組み合わせをもとにI~IV帯に変成分帯した。I、II帯は緑帘石帯に、III、IV帯はざくろ石帯に相当する。

I帯：秩父類帯地域。ローソン石が存在し、アクチノ閃石が不安定なことで特徴づけられる。パンペリー石、緑帘石は安定である。

II帯：御荷鉾緑色岩類の分布域と、三波川帯の無点紋帯地域。アクチノ閃石が出現し、パンペリー石、緑帘石は安定である。

III帯：川田層を除く点紋帯地域。パンペリー石の消滅、ざくろ石、バロア閃石の出現で特徴づけられる。

IV帯：川田層の分布地域。Iwasaki (1963) は、IV帯にはバロア閃石は出現せず、かわりに藍閃石質アクチノ閃石が安定に存在しているとしている。

3. 広石地域の地質

調査地域は、広石鉱山を中心とする東西約3 Km、南北約3 Kmの地域で、Iwasaki (1963)、岩崎ほか (1963) における樫平層、川田山層、高越層、川田層が露出している。(第2図)

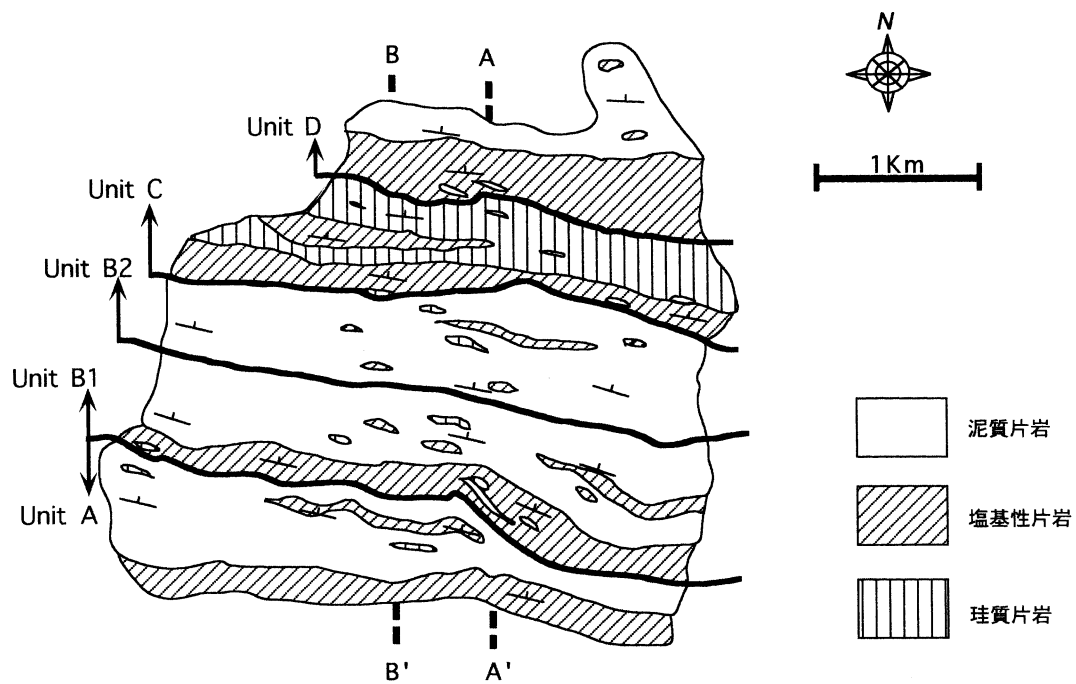
この地域の地質の特徴として、東西によく連続する塩

基性片岩層、泥質片岩層、珪質片岩層と数枚のレンズ状塩基性片岩、泥質片岩の薄層がみられる。珪質片岩層はおもに紅廉石片岩からなり、一部紅廉石を含まない珪質片岩との互層がみられるところもある。長戸から広石、折木にかけての地域の塩基性片岩層にはキースラーガー鉱床が含まれ、その付近には藍閃石片岩も見られる。

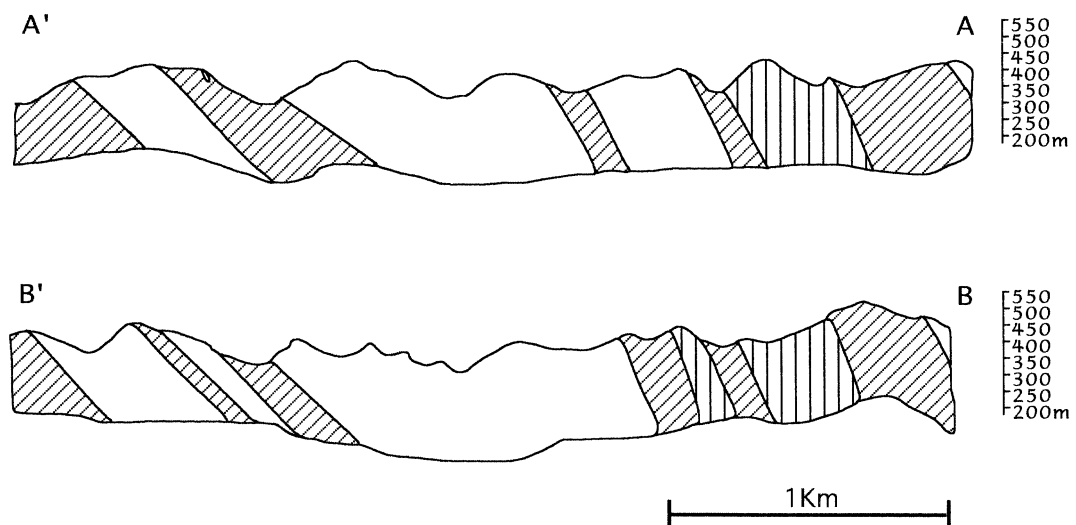
曹長石斑状片晶は石堂～持部にかけての地域の北部にみられる。Faure (1983) は、藍閃石片岩の多い厚い塩基性片岩層（高越層に相当）の下位にせん断帯があるとし、これが点紋片岩のナップと無点紋片岩のナップの境界にあたるとした。しかし、今回の地質調査ではせん断帯の存在は確認されなかった。

この付近のサンプルについて、その曹長石斑状変晶の長径を測定し、ヒストグラムと平均、最大長径についてのグラフ(第3図)を検討した。この結果、この境界付近にギャップの存在が考えられる。

今回の研究では、東西に連続する紅廉石片岩層が一枚しか見られなかったため、Iwasaki (1963)、岩崎ほか (1963)、剣山研究グループ (1963) によってなされた紅廉石片岩層を基準とする地層区分はできなかった。そこでこの地域の東西に連続する塩基性片岩の下底を基準として、見かけの下位よりそれぞれ Unit A, Unit B, Unit C, Unit D とし、Unit B については最大長径 2.0 mm 以上の曹長石斑状変晶を基準として、2.0 mm 以上の曹長石斑状変晶を含まないものを Unit B1, 2.0 mm 以上の曹長石斑状変晶を含むものを Unit B2 とした。以下本論では Unit A, Unit B1, Unit B2, Unit C, Unit D それぞれについて記述する (第4図, 第5図)。



第4図 広石地域の地質



第5図 広石地域の地質断面図

Unit A, B1 の流水庵から松尾, 北松尾, 船底, 黒木にかけての地域では, 泥質片岩層と塩基性片岩層の間にははっきりした境界は見られず, その変化は漸移的である。特に境界付近は, 塩基性片岩と泥質片岩の細かい互層が数 m 単位で観察される。泥質片岩は石英の薄層をはさんでいることが多い。Unit B の石堂から持部にかけての地域より北部では, 塩基性片岩, 泥質片岩, 珪質

片岩の境界は比較的是っきりしてくる。塩基性片岩と泥質片岩の境界が黒色に変色しているところもある。Unit A の流水庵付近の泥質片岩は特に濃い黒色を示す。また Unit A の北松尾から黒木にかけての地域では, 塩基性片岩層は淡緑色を呈し, その層厚は一定ではなく激しく変化する。

岩石の粒度は Unit A, B1 の流水庵から松尾, 北松尾, 船底, 黒木にかけての地域では, どの鉱物もほとんど肉

眼で識別できないが、Unit B2の石堂から持部にかけての地域より北部には、径2 mm以上の曹長石斑状変晶を肉眼で観察することができる。この点紋帯と無点紋帯の境界付近には蛇紋岩体がみられる。また、この付近の泥質片岩は褶曲が激しい。

Unit Cの長戸から折木にかけての地域には東西によく連続する紅廉石片岩層がある。この下位の塩基性片岩層中にはキースラーガー鉱床がはい胎しており、鉱床の層厚は数cm～数10cmである。これは広石鉱山跡地で現在も採鉱跡が残っている。剣山研究グループ(1963)は、キースラーガーが高越層と川田山層との境界の紅廉石-石英片岩層を上盤または下盤としては胎するとしている。この付近には黄鉄鉱、黄銅鉱の転石が多く見られ、鉱石のくず(ずり石)の山が、250m四方、高さ40mにわたって形成されている。キースラーガーを含む塩基性片岩は濃緑色を呈し、よく発達した点紋が観察される。また藍閃石片岩が含まれてくるが、この岩石は濃青色を示し点紋は見られない。

Unit A, B1の流水庵から松尾、北松尾、船底、黒木にかけての地域では、走向N40~75°W、傾斜30~52°N、線構造はS58~75°Eに9~12°前後プランジしている。Unit C, Dの長戸から広石、石堂、持部、折木、梨の峠、六坊付近の地域では、走向N66~85°W、傾斜54~82°N、線構造はS65~88°Eに2~10°前後プランジしている。南から北に向かって、傾斜はしだいに急になる傾向がある。

4. 岩石記載

Unit A

1) 塩基性片岩

主要構成鉱物は白雲母、緑簾石、緑泥石、曹長石、石英で一部の岩石に方解石がみられる。緑簾石に富む層と石英、曹長石に富む層が層状構造を示す。白雲母に富む層の幅は最大0.6 mmである。緑簾石は最大径1 mmであるが、大きさはさまざまである。バイレフリンゼンスは、コアが高くリムで低い傾向がある。白雲母は最大径0.5 mmで、定向配列して緑泥石とともに片理を形成している。白雲母に富む層の幅は最大0.6 mmである。緑泥石は最大径0.3 mmで、白雲母とともに定向配列して片理を形成している。X'=淡緑色、Z'=無色～淡黄色。伸長は(-)である。黄褐色の異常干渉色を示す。斜長石は長径0.2 mmで、石英とともに基質部を形成している。石英は最大径0.2 mmで波状消光を示す。方解石は最大径0.2 mmで、石英、曹長石に富む層中に点在する。

2) 泥質片岩

主要構成鉱物は石英、曹長石、白雲母で、その他少量

の炭質物がみられる。白雲母の定向配列による片理が見られる。白雲母に富む層の幅は0.2~0.4 mmである。

石英は最大径0.2 mmで、波状消光を示す。曹長石とともに基質を形成している。曹長石は最大長径0.2 mmである。

Unit B1

1) 塩基性片岩

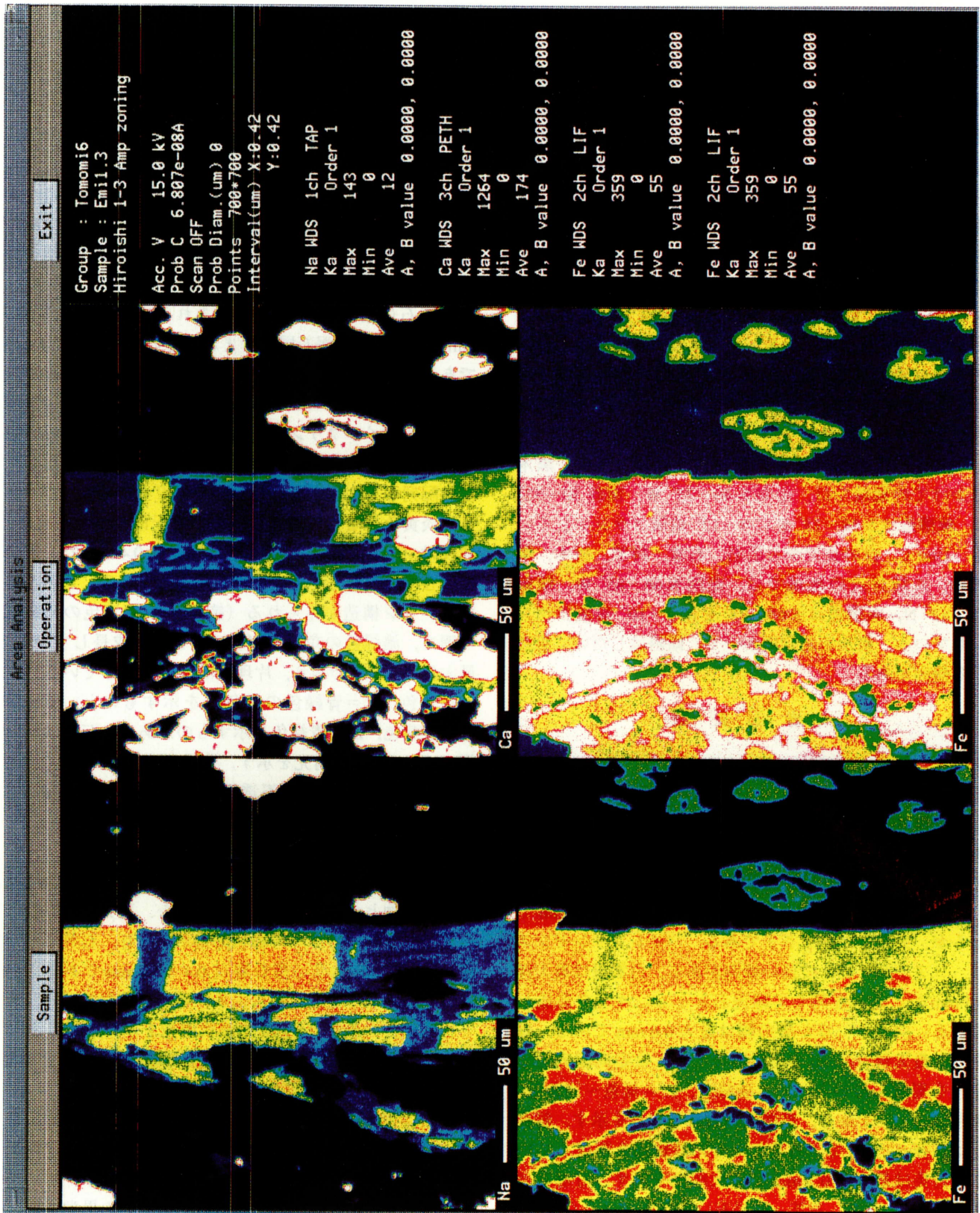
主要構成鉱物は緑簾石、緑泥石、白雲母で、その他角閃石、石英、曹長石、また少量の不透明鉱物を含む。石英に富む層と、角閃石、緑泥石に富む層の縞状構造が見られる。石英に富む層は幅1 mm、角閃石緑泥石に富む層の幅は最大2 mmである。白雲母、緑泥石が片理を形成している。

緑簾石は石英に富む層に含まれるものは最大径0.6 mm、角閃石、緑泥石層に含まれるものは最大径0.1 mmであり、いずれも自形～半自形を示す。また曹長石中に包有されているものは最大径0.1 mmで、半自形～他形を示す。バイレフリンゼンスはコアが高くリムで低い傾向がある。緑泥石は最大径0.6 mmで、白雲母とともに定向配列して片理を形成している。X'=淡緑色、Z'=無色～淡黄色。暗青色～暗褐色の異常干渉色が見られる。伸長は(-)である。白雲母は最大径0.4 mmで、定向配列して緑泥石とともに片理を形成している。角閃石はブーディン構造が見られる(第6図)。濃青色の角閃石の間を、濃緑色の角閃石が埋めるように成長している。最大長径1 mmであり、片理に沿って配列している。X'=淡黄色、Z'=青緑色の多色性を示すものと、X'=紫色～淡紫色、Z'=青緑色を示すものがある。石英は最大径1 mmで、波状消光を示す。曹長石は径0.5 mmで、緑簾石を包有している。不透明鉱物は径0.4 mmであり、主に鉄鉱が見られる。

2) 泥質片岩

主要構成鉱物は石英、白雲母で、その他曹長石、緑泥石、炭質物と少量の不透明鉱物を含む。石英に富む層と白雲母に富む層の2つの縞状構造が見られ、石英に富む層は1 mm、白雲母に富む層は0.4~0.6 mmである。白雲母、緑泥石の定向配列による片理が発達している。

石英は最大長径0.5 mmで波状消光を示す。曹長石とともに基質部を形成している。白雲母は最大径0.1 mmで、定向配列して緑泥石とともに片理を形成している。曹長石は最大長径0.5 mm。石英とともに基質を形成している。緑泥石は径0.1 mmで、白雲母とともに定向配列して片理を形成しているが、非常に少ない。X'=淡緑色、Z'=無色～淡黄色。暗青色～暗褐色の異常干渉色が見られる。伸長は(-)である。不透明鉱物は径0.5 mmである。白雲母は最大径0.5 mmである。



第 6 図 Unit B1にみられる角閃石のカラーマッピング

3) 珪質片岩

主要構成鉱物は、石英、白雲母、斜長石である。白雲母が片理を形成している。石英は最大径 0.2 mm で、波状消光を示し、斜長石とともに基質部を形成している。斜長石は最大長径 0.2 mm。石英とともに基質部を形成している。白雲母は最大径 0.4 mm で、定向配列して片理を形成している。

Unit B2

1) 塩基性片岩

主要構成鉱物は緑簾石、白雲母、緑泥石で、その他曹長石、石英を含む。また、一部の岩石にざくろ石が含まれる。白雲母、緑泥石が定向配列して片理を形成している。曹長石斑状変晶は最大長径 0.8 mm 程度である。

緑簾石は径 0.2 mm 以下で非常に細粒であり、半自形から他形を示す。バイレフリンゼンスはコアが高くリムで低い傾向がある。白雲母は径 0.4 mm 以下で、定向配列して緑泥石とともに片理を形成している。緑泥石は径 0.3 mm 以下である。X' = 淡緑色、Z' = 無色～淡黄色の多色性を示す。暗青色～暗褐色の異常干渉色が見られる。伸長は (-) である。曹長石は最大長径 0.8 mm で、石英とともに基質部を形成している。石英は最大径 0.4 mm で、波状消光を示す。ざくろ石は最大径 1.5 mm で、自形から半自形を示し、一般に無色である。

2) 泥質片岩

主要構成鉱物は石英、白雲母、曹長石、緑泥石で、その他炭質物と少量の不透明鉱物、また一部の岩石にスフェーンが含まれる。白雲母、緑泥石の定向配列による片理が発達し、白雲母、緑泥石に富む層の幅は 1.5～2.0 mm である。曹長石の斑状変晶が発達し、最大長径 2.5 mm である。石英は最大径 0.7 mm で、波状消光を示す。基質部を構成する。白雲母は最大径 1 mm である。緑泥石は最大径 1 mm である。X' = 淡緑色、Z' = 無色～淡黄色の多色性を示す。暗青色～暗褐色の異常干渉色が見られる。伸長は (-) である。曹長石は最大長径 2 mm の曹長石斑状変晶が発達し、炭質物、石英を包有している。この包有物は斑状変晶中で配列がみられる。ざくろ石は最大径 0.2 mm で、自形～半自形を示す。不透明鉱物は最大長径 1 mm である。スフェーンは最大径 0.2 mm で、自形を示す。

3) 珪質片岩

主要構成鉱物は石英で、そのほか白雲母、緑泥石、曹長石を含み、一部の岩石にはスフェーン、電気石、少量の不透明鉱物のほか、ざくろ石も見られる。白雲母、緑泥石が片理が発達している。

石英は最大径 0.3 mm で、波状消光を示す。斜長石と

ともに基質部を形成している。曹長石は最大長径が 1 mm 程あるものも見られるが、曹長石斑状変晶は見られない。白雲母は最大径 0.2 mm である。緑泥石は最大径 0.6 mm で、白雲母とともに定向配列して片理を形成している。X' = 淡緑色、Z' = 無色～淡黄色の多色性を示す。暗青色～暗褐色の異常干渉色が見られる。伸長は (-) である。ざくろ石は最大径 0.5 mm で、自形～半自形を示す。不透明鉱物は径 1 mm である。電気石は自形で、X' = 淡緑色、Z' = 褐色の多色性を示す。

Unit C

1) 塩基性片岩

主要構成鉱物は緑簾石、緑泥石で、その他に曹長石、角閃石、白雲母、石英と少量の不透明鉱物を含む。また、一部の岩石にスフェーン、電気石が含まれる。曹長石斑状変晶が大きく発達し、最大長径が 3 mm に達するものもある。大きく分けて角閃石、石英に富む層と、緑簾石、角閃石、緑泥石に富む層が縞状構造を形成し、いずれも 3～5 mm の幅である。緑泥石、白雲母が定向配列して片理を形成している。

緑簾石は 2 種類見られ、角閃石に富む層では最大径 0.3 mm、緑泥石に富む層では最大径 0.5 mm と大きさに違いがある。いずれも自形～半自形である。曹長石斑状変晶中に包有されているものは半自形～他形を示し、大きさは最大径 0.3 mm である。バイレフリンゼンスはコアが高くリムで低い傾向がある。緑泥石は最大径 0.5 mm で、白雲母とともに定向配列して片理を形成している。X' = 淡緑色、Z' = 無色～淡黄色の多色性を示す。暗青色～暗褐色の異常干渉色が見られる。伸長は (-) である。曹長石は斑状変晶をなし、最大長径 3 mm で、緑簾石、白雲母を包有している。この緑簾石や白雲母は曹長石の斑状変晶中で配列がみられる。角閃石は角閃石、石英に富む層中では最大長径 1 mm で片理に沿って配列している。緑簾石、角閃石、緑泥石に富む層中では最大長径 0.3 mm のものが密集している。いずれも自形で累帯構造を示し、コアで X' = 紫色～淡紫色、Z' = 青緑色を、リムで X' = 淡黄色、Z' = 青緑色の多色性を示す。緑簾石中に包有されている場合もあり、半自形を示す。大きさは最大長径 0.3 mm で、X' = 紫色～淡紫色、Z' = 青緑色を示す。白雲母は最大径 0.4 mm で、緑泥石とともに定向配列をして片理を形成している。石英は最大長径 0.6 mm で波状消光を示す。不透明鉱物は鉄鉱が見られる。スフェーンは最大長径 0.4 mm、自形～半自形で屈折率が高い。電気石は自形で、X' = 淡緑色、Z' = 褐色の多色性を示す。

2) 泥質片岩

主要構成鉱物は石英、白雲母で、その他曹長石、緑泥石と少量の炭質物、不透明鉱物を含み、一部の岩石には燐灰石、電気石が含まれる。ざくろ石を含むものと含まないものがある。ざくろ石を含むものは縞状構造がはっきりしないが、白雲母による片理がよく発達している。曹長石斑状変晶が見られ、ざくろ石を多数包有している。

石英は最大径 0.2 mm で、波状消光を示す。基質部を形成している。白雲母は最大径 0.3 mm である。緑泥石は最大径 0.2 mm である。X' = 淡緑色、Z' = 無色～淡黄色の多色性がみられる。暗青色～暗褐色の異常干渉色が見られる。伸長は (－) である。曹長石は最大長径 2 mm の斑状変晶が発達し、ざくろ石のほか、不透明鉱物、石英、緑泥石、炭質物、燐灰石、電気石を包有している。ざくろ石は最大径 0.3 mm で、自形を示す。特に曹長石斑状変晶中に多く包有されている。不透明鉱物は最大径 0.4 mm。電気石は自形で、径 0.3 mm。累帯構造が見られる。曹長石の斑状変晶中に包有されている。燐灰石は最大径 0.4 mm で、曹長石斑状変晶中に包有されている。

ざくろ石を含まないものは、主要構成鉱物が石英、白雲母、曹長石、緑泥石、炭質物で、少量の電気石を含む。ざくろ石を含むものと同様に曹長石斑状変晶が発達し、白雲母、緑泥石の片理がよく発達している。石英は最大径 0.3 mm で、波状消光を示し、基質部を形成している。白雲母は最大径 0.6 mm である。曹長石は最大長径 1.5 mm の斑状変晶が発達している。緑泥石は最大径 0.5 mm である。X' = 淡緑色、Z' = 無色～淡黄色の多色性がみられる。暗青色～暗褐色の異常干渉色が見られ、伸長は (－) である。電気石は径 0.2 mm で、自形を示し、X' = 淡緑色、Z' = 褐色の多色性を示す。

3) 珪質片岩

紅廉石片岩と石英片岩がある。紅廉石片岩の主要構成鉱物は石英で、その他曹長石、白雲母を含み、少量の紅廉石が見られる。石英は最大径 0.3 mm で、波状消光を示す。白雲母は最大径 0.3 mm で、定向配列して片理を形成している。曹長石は最大長径 0.2 mm で、石英とともに基質部を形成している。紅廉石は片理に沿ってブーディン構造をとる。X' = 黄色、Y' = 赤紫色、Z' = 桃色の多色性を示す。大きさは最大長径 0.1 mm である。

石英片岩の主要構成鉱物は石英で、そのほか白雲母、少量の曹長石、炭質物が含まれ、一部ざくろ石のみられるものもある。白雲母が定向配列による片理を形成している。石英は径 0.1 mm 以下で、波状消光を示す。白雲母は最大径 0.5 mm で、定向配列して片理を形成している。曹長石は長径 0.5 mm で、非常に少ない。ざくろ石は最大径 0.3 mm の自形のものがみられる。

Unit D

1) 塩基性片岩

主要構成鉱物は緑簾石、緑泥石でその他曹長石、角閃石、白雲母、石英と、少量の不透明鉱物を含む。方解石は一部の岩石に存在する。白雲母、緑泥石が片理を形成し、白雲母に富む層の幅は最大 0.5 mm である。曹長石は斑状変晶をなし、最大径は 2 mm である。

緑簾石は最大長径 0.4 mm の細かい自形のものが基質部を形成している。バイレフリンゼンスは、コアが高くリムで低い累帯構造を呈することが多い。曹長石中に包有されているものは、径 0.1 mm 以下と細粒で他形である。緑泥石は最大径 0.6 mm で、基質部にみられ、一部白雲母とともに片理を形成している。X' = 淡緑色、Z' = 無色～淡黄色の多色性がみられる。暗青色～暗褐色の異常干渉色が見られ、伸長は (－) である。曹長石は最大長径 1.5 mm の斑状変晶が多く見られる。緑簾石、角閃石を包有し、これらの包有物にハリサイト構造はみられない。角閃石は最大長径 0.6 mm で、X' = 淡黄色、Z' = 青緑色。曹長石斑状変晶中の角閃石は最大長径 0.3 mm で、針状である。X' = 淡黄色、Z' = 青緑色。白雲母は最大径 0.6 mm で、定向配列をしており、緑泥石とともに片理を形成している。石英は最大径 0.4 mm で、波状消光を示す。基質部を構成している。不透明鉱物は主に鉄鉱がみられ、大きさは最大径 0.3 mm である。方解石は最大径 0.5 mm で、全体に点在する。

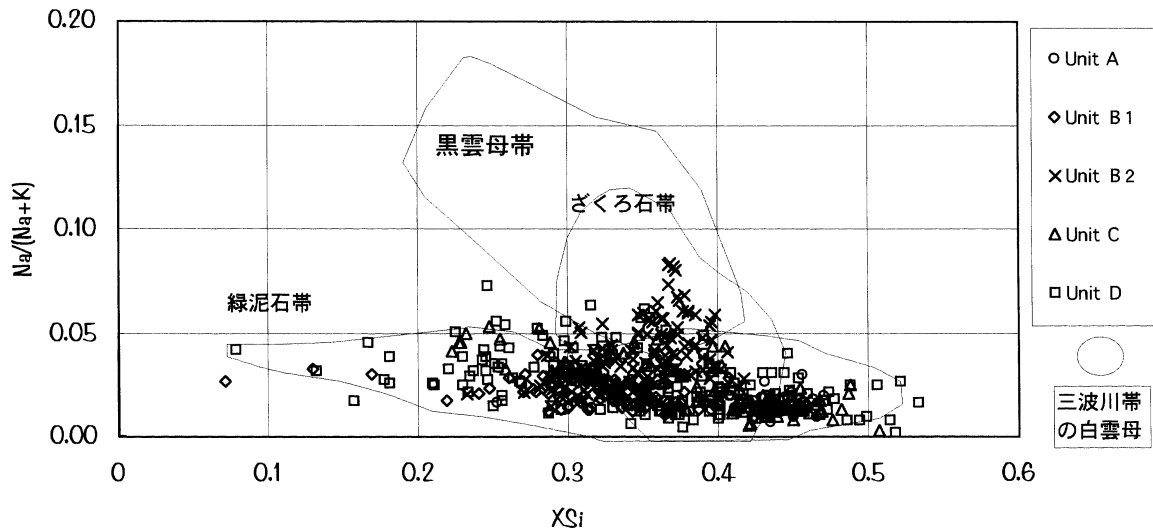
2) 泥質片岩

主要構成鉱物は石英、白雲母、曹長石で、その他緑泥石と少量のざくろ石、炭質物、少量の不透明鉱物を含み、また一部の岩石にはスフェーンが含まれる。曹長石斑状変晶が大きく発達し、最大長径 2.5 mm である。白雲母と石英の 2 種類の縞状構造が見られ、白雲母、緑泥石が片理を形成している。白雲母層、石英層の幅はいずれも最大 1 mm である。

石英は最大径 0.5 mm で、波状消光を示す。基質部を形成している。斜長石は最大長径 2.5 mm の斑状変晶が発達し、スフェーンを包有している。白雲母は最大径 0.8 mm である。緑泥石は最大長径 0.5 mm である。X' = 淡緑色、Z' = 無色～淡黄色の多色性がみられる。暗青色～暗褐色の異常干渉色が見られる。伸長は (－) である。ざくろ石は最大径 0.4 mm で、自形から半自形を示す。スフェーンは最大径 0.4 mm で自形を示す。曹長石斑状変晶中に包有されている。

5. 変成鉱物の化学組成

四国東部広石地域の泥質片岩中の白雲母、ざくろ石、緑泥石、塩基性片岩中の角閃石類と緑簾石、鉄鉱について



第7図 広石地域の泥質片岩中の白雲母の化学組成

て EPMA による化学分析を行った。EPMA 分析には、島根大学汽水域研究センター設置の日本電子社製波長分散型 EPMA JEOL JXA-8800 M を用いた。また、分析は加速電圧 15 kV、試料電流 2×10^{-8} A、ビーム径 5 μ m で行った。補正計算は、Bence and Albee (1968) の方法に従った。

1) 白雲母

白雲母の FeO は Unit A で 2.6~6.4 wt. % (0.30~0.50), Unit B1 で 2.2~4.7 wt. % (0.25~0.54), Unit B2 で 2.2~4.3 wt. % (0.29~0.57), Unit C で 1.9~5.1 wt. % (0.27~0.59), Unit D で 0.1~5.0 wt. % (0.30~0.56) である。

Na₂O は Unit A で 0.1~0.2 wt. % (0.02~0.05), Unit B1 で 0.1~0.3 wt. % (0.03~0.08), Unit B2 で 0.1~0.6 wt. % (0.05~0.16), Unit C で 0~0.4 wt. % (0.04~0.11), Unit D で 0.1~0.6 wt. % (0.05~0.10) である。

縦軸に Na/(Na+K) を、横軸に $X_{Si} = (Si/2) - 3$ をとって、第7図に示した。馬淵 (1994) の、四国中央部三波川帯のものとの全体的に比較して見ると、四国東部三波川帯、広石地域の白雲母は、ざくろ石帯~緑泥石帯の範囲に分布していることがわかる。ユニットごとにみると、Unit A は X_{Si} は 0.25~0.47, Na/(Na+K) は 0.01~0.04 で、緑泥石帯に相当している。Unit B では B1 と B2 に大きな違いが見られる。Unit B2 は X_{Si} は 0.23~0.41, Na/(Na+K) は 0.02~0.08 を示し、緑泥石帯からざくろ石帯に相当する。一方、Unit B1 は X_{Si} は 0.07~0.45, Na/(Na+K) は 0.02~0.04 で、緑泥石帯に相当する。Unit C では X_{Si} は 0.22~0.51, Na/(Na+K) は 0.01~0.06 を示し、全体的

には Unit D と同じ緑泥石帯に相当する。Unit C ではざくろ石を含むもの (Sample No.117) と、含まないもの (Sample No.164-1) があり、相対的には Sample No.164-1 のほうが Na/(Na+K) が高い。Unit D では X_{Si} は 0.07~0.54, Na/(Na+K) は 0.01~0.07 を示し、全体的に緑泥石帯に相当する。

2) ざくろ石

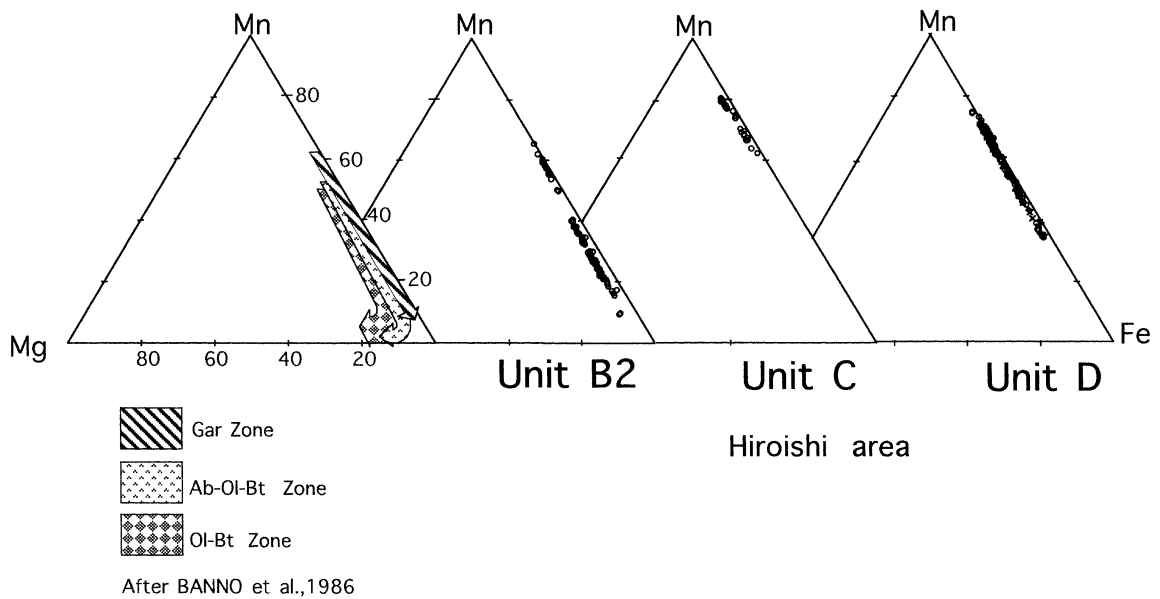
泥質片岩中のざくろ石は Unit B2, Unit C, Unit D で見られる。

MnO は、Unit B2 でコア 7.1~14.8 wt. % (0.62~1.05), リム 2.6~9.6 wt. % (0.18~0.61), Unit C でコア 31.7~33.6 wt. % (2.12~2.35), リム 25.3~31.7 wt. % (1.86~2.18), Unit D でコア 17.0~26.2 wt. % (0.95~1.79), リム 10.1~24.7 wt. % (0.63~1.68) である。

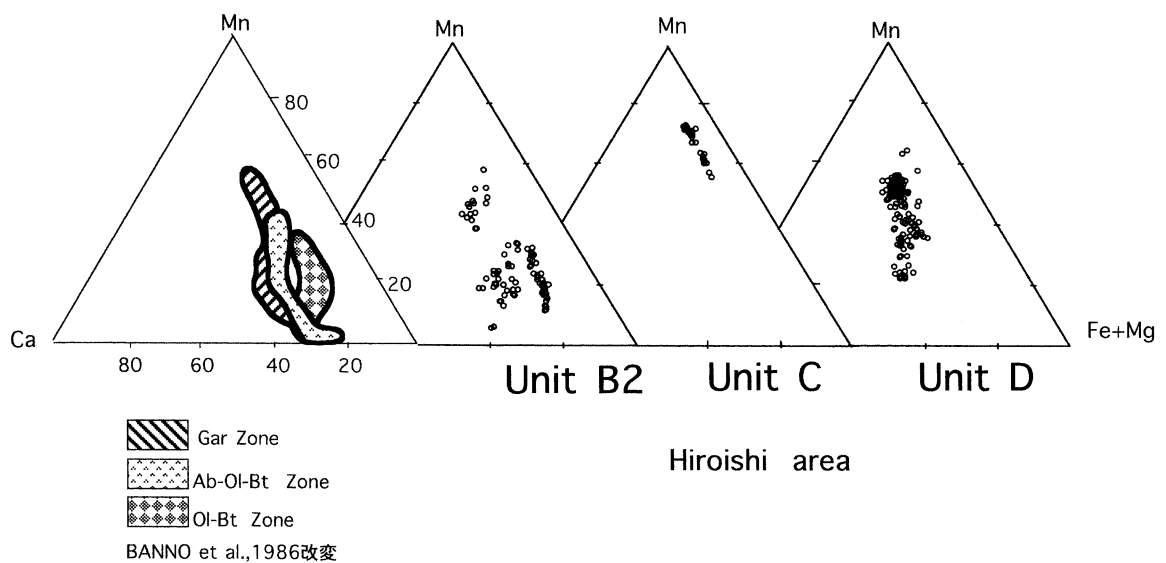
MgO は Unit B2 でコア 0.5~0.6 wt. % (0.06~0.08), リム 0.5~0.8 wt. % (0.06~0.10), Unit C でコア 0.5~0.6 wt. % (0.06~0.06), リム 0.2~0.6 wt. % (0.04~0.06), Unit D でコア 0.1~0.3 wt. % (0.02~0.03), リム 0.1~0.4 wt. % (0.02~0.04) である。

この分析結果をもとに Mn-Fe-Mg 比を三角ダイアグラムにプロットした。特徴として、広石地域のざくろ石はいずれもコアで Mn が高く、リムで低い傾向が見られる。比較のために四国中央部三波川帯のざくろ石の組成 (Banno et al., 1986 を改変) を示した。(第8-1図)

広石地域の Unit B2 は Banno et al. (1986) のざくろ石帯に比較される。Unit C では、紅廉石片岩層に挟まれる泥質片岩にざくろ石を確認した。このざくろ石の Fe は



第 8-1 図 広石地域の泥質片岩中のざくろ石の化学組成 (Fe-Mn-Mg)



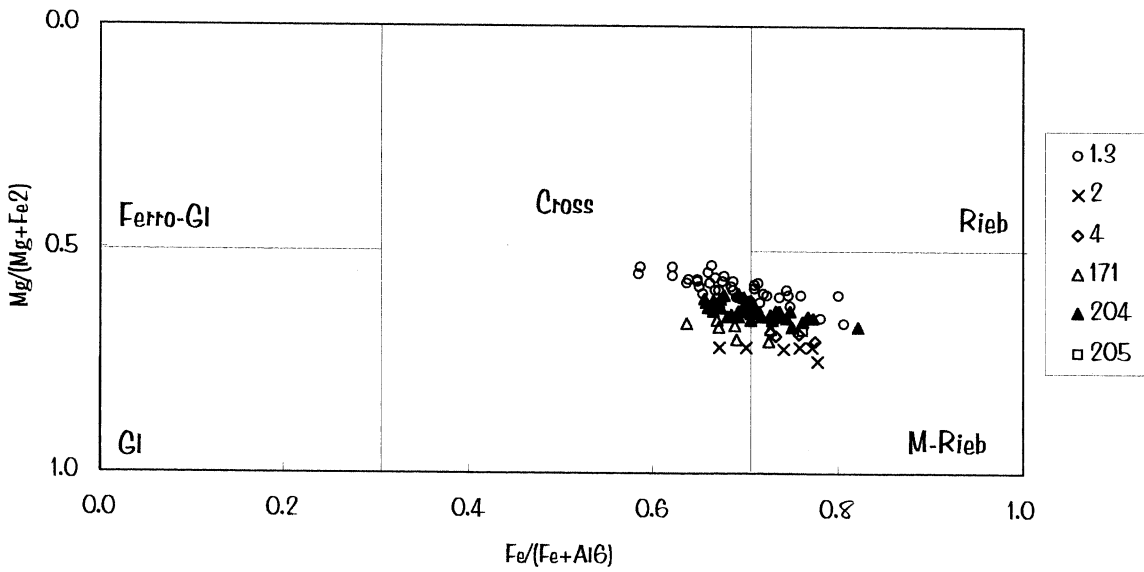
第 8-2 図 広石地域の泥質片岩中のざくろ石の化学組成 (Fe+Mg-Mn-Ca)

Mn-Fe-Mg の 3 成分系において 36.7% 以下であり, Banno et al. (1986) のざくろ石帯の組成範囲よりも Mn に富む領域にプロットされる。Unit D では, Banno et al. (1986) のざくろ石帯に比較される。

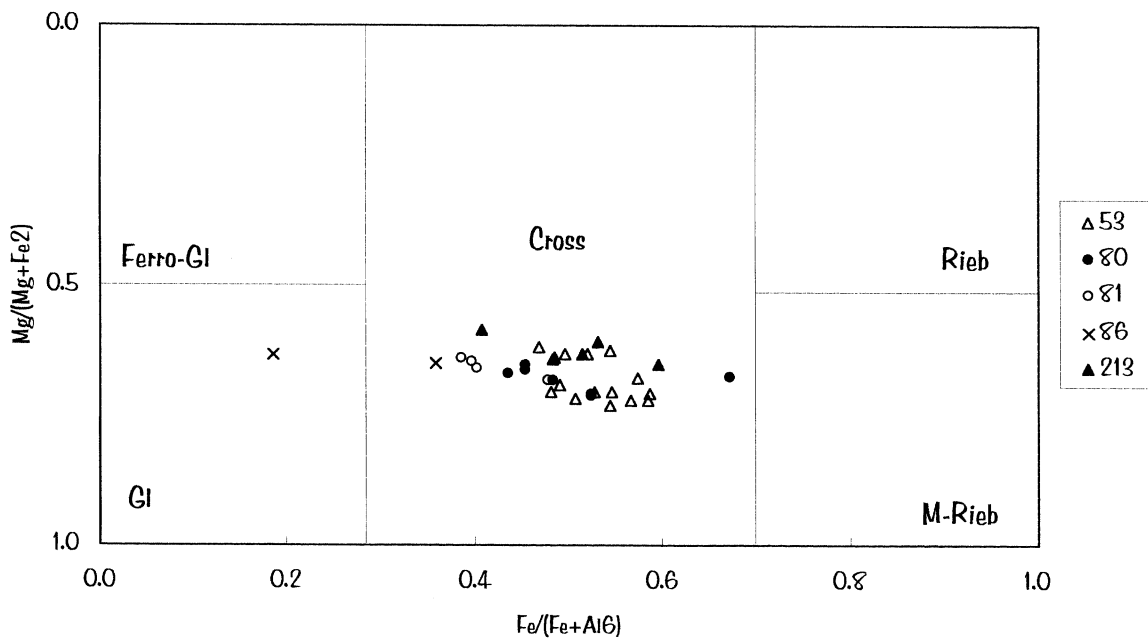
Mn-Ca-(Fe+Mg) 比についても三角ダイアグラムにプロットした。また比較のために四国中央部三波川帯のざくろ石の組成 (Banno et al., 1986 を改変) を示した (第 8-2 図)。

3) 角閃石

Unit B2, Unit C, Unit D の角閃石について定量分析をおこない, これをもとに角閃石を分類した。分類方法, 及び Fe_2O_3 の計算方法は Leake (1978) に従った。これにより Unit B2, Unit C ではカルシウム角閃石, ナトリウム-カルシウム角閃石, アルカリ角閃石が, Unit D ではカルシウム角閃石が見られた。Unit B1 ではクロス閃石-マグネシオリーベック閃石-ウィンチ閃石-アクチ



第9図 Unit B1にみられるアルカリ角閃石の化学組成



第10図 Unit Cにみられるアルカリ角閃石の化学組成

ノ閃石, クロス閃石-マグネシオリーバック閃石-アクチノ閃石-ウィンチ閃石, マグネシオリーバック閃石-クロス閃石-アクチノ閃石, マグネシオリーバック閃石-ウィンチ閃石, アクチノ閃石-ウィンチ閃石, アクチノ閃石-マグネシオリーバック閃石-ウィンチ閃石の累帯構造がみられた。

Al_2O_3 はカルシウム角閃石で0.1~2.8 wt. % (Al_{VI} 0.13~0.43, Al_{VI} 0~0.11), ナトリウム-カルシウム角閃石で1.7~6.7 wt. % (Al_{IV} 0.08~0.30, Al_{VI} 0.11~0.41), アルカリ角閃石で2.4~4.6 wt. % (Al_{IV} 0.00~0.31, Al_{VI} 0.26~0.69) である。

CaOはカルシウム角閃石で9.0~11.4 wt. % (1.39~

1.73), ナトリウム-カルシウム角閃石で 4.3~8.5 wt. % (0.66~1.32), アルカリ角閃石で 0.8~5.3 wt. % (0.14~0.63) である。

Na₂O はカルシウム角閃石で 1.1~2.7 wt. % (Na_A 0.00~0.24, Na_B 0.27~0.62), ナトリウム-カルシウム角閃石で 2.7~6.5 wt. % (Na_A 0~0.19, Na_B 0.70~1.33), アルカリ角閃石で 5.1~7.1 wt. % (Na_A 0~0.19, Na_B 1.37~1.84) である。

Unit C はコアからリムへ, 藍閃石-クロス閃石-ウィンチ閃石-アクチノ閃石, クロス閃石-ウィンチ閃石-アクチノ閃石, ウィンチ閃石-アクチノ閃石の累帯構造がみられる。

Al₂O₃ はカルシウム角閃石で 1.2~5.1 wt. % (Al_{IV} 0.04~0.41, Al_{VI} 0.16~0.23), ナトリウム-カルシウム角閃石で 3.2~8.9 wt. % (Al_{IV} 0.01~0.35, Al_{VI} 0.30~0.77), アルカリ角閃石で 3.9~9.9 wt. % (Al_{IV} 0.03~0.30, Al_{VI} 0.83~1.57), である。

CaO はカルシウム角閃石で 7.3~11.8 wt. % (0.56~1.80), ナトリウム-カルシウム角閃石で 1.7~8.5 wt. % (0.65~1.28), アルカリ角閃石で 0.4~4.3 wt. % (0.12~0.16) である。

Na₂O はカルシウム角閃石で 0.8~2.3 wt. % (Na_A 0~0.04, Na_B 0.20~0.60), ナトリウム-カルシウム角閃石で 2.7~4.8 wt. % (Na_A 0~0.01, Na_B 0.67~1.31), アルカリ角閃石の Na₂O で 5.1~7.2 wt. % (Na_A 0~0.06, Na_B 1.60~1.86) である。

Unit D ではカルシウム角閃石しかみられなかった。

Al₂O₃ は 0.8~6.3 wt. % (Al_{IV} 0.18~0.69, Al_{VI} 0.03~0.42), CaO は 8.3~12.2 wt. % (1.40~1.90), Na₂O は 0.4~3.4 wt. % (Na_A 0.10~0.32, Na_B 0.12~0.59) である。

これらの角閃石の分析結果をもとに, カルシウム角閃石について, 縦軸に Mg/(Mg+Fe²⁺) を, 横軸に Si をとってプロットした。これにより Unit D のカルシウム角閃石はアクチノ閃石, アクチノ閃石質ホルンブレンド, フェロアクチノ閃石, フェロアクチノ閃石質ホルンブレンドに分類される。また Unit B1, Unit C のカルシウム角閃石はアクチノ閃石に分類される。

次にナトリウム-カルシウム角閃石について縦軸に Mg/(Mg+Fe²⁺) を, 横軸に Si をとってプロットした。これにより Unit B1, Unit C のナトリウム-カルシウム角閃石はウィンチ閃石に分類される。アルカリ角閃石については縦軸に Mg/(Mg+Fe²⁺) を, 横軸に Fe/(Fe+Al_{VI}) をとってプロットした。これにより Unit B1 ではクロス閃石~マグネシオリーベック閃石に, Unit C ではクロス閃石~藍閃石に分類された。これらすべての角閃石について, 縦軸に Na_B を, 横軸に Al_{VI} をとり, その圧力の比較を

おこなった (第 11 図)。

4) 緑簾石

緑簾石のピスタサイト成分 (Fe³⁺/(Fe³⁺+Al)) についてユニットごとの大きな違いはみられなかったが, 個々の結晶についてみるとピスタサイト成分はわずかだがコアで高くリムで低い傾向がみられた。

5) 鉄鉱

塩基性片岩中の鉄鉱について定量分析を行った。この結果いずれも赤鉄鉱である。

6. 変 成 作 用

1) 白雲母の化学組成と変成作用

広石地域にみられる泥質片岩中の白雲母の化学組成をもとにした, Na/(Na+K) と X_{Si}=(Si/2)-3 によるグラフから考察した。(第 7 図)

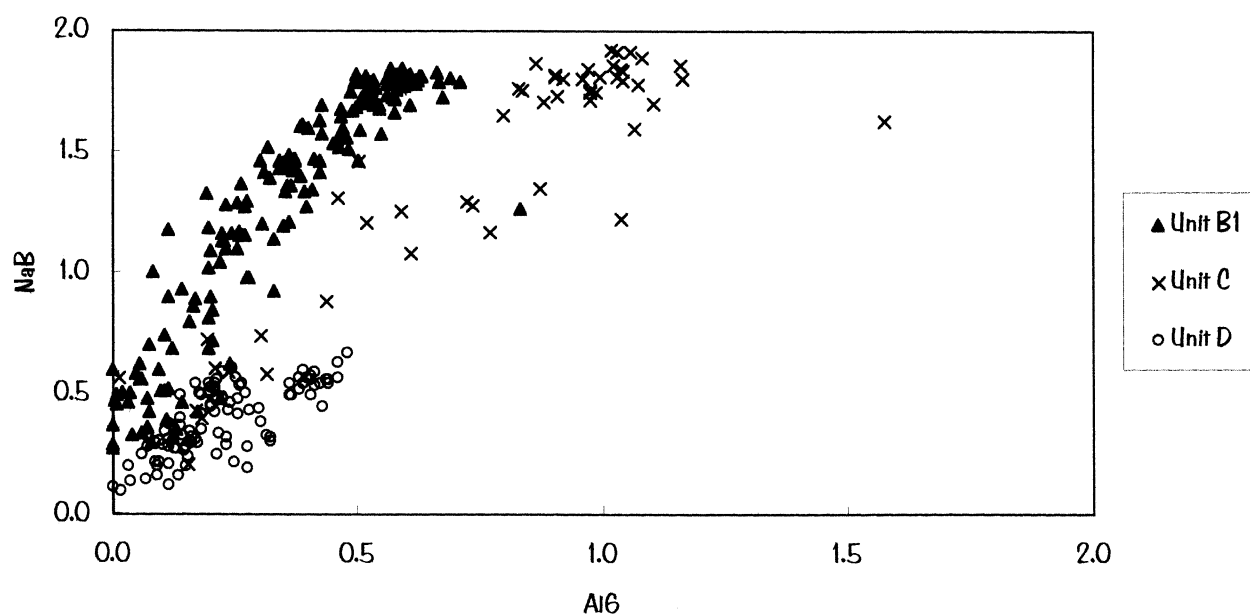
馬淵 (1994) の, 四国中央部三波川帯のものとの全体的に比較して見ると, 広石地域の白雲母は, ざくろ石帯~緑泥石帯の範囲にあり, ユニットごとにもみると, Unit D では全体的に緑泥石帯に比較される。Unit C は Unit D とほぼ同じ緑泥石帯の範囲に相当している。B1 と B2 には大きな違いが見られ, B2 は緑泥石帯からざくろ石帯, B1 は緑泥石帯の範囲に相当している。Unit A は緑泥石帯に相当している。この結果から Unit B2 の下部, すなわち曹長石の斑状変晶にみられる地層のギャップ付近で四国中央部三波川帯の緑泥石帯上部~ざくろ石帯に相当し, そのほかの部分には緑泥石帯に相当することがわかる。

2) ざくろ石の化学組成と変成作用

広石地域の Unit B2, C, D にみられる泥質片岩中のざくろ石の化学組成について, Unit B2 の下部に見られるざくろ石の Fe は Mn-Fe-Mg の 3 成分系で最大 85.7% を示す。これは Banno et al. (1986) の四国中央部三波川帯の緑泥石帯上部~ざくろ石帯に相当する。

3) ざくろ石と緑泥石の分配係数

Higashino (1990) は, ざくろ石と緑泥石間の Mg-Fe 分配を検討した。これによるとざくろ石帯, 曹長石-黒雲母帯, 灰曹長石-黒雲母帯と変成度が上昇するに従い, 分配係数 K も上昇する。これをもとに広石地域のものを検討した。ざくろ石は自形のものリムの分析値を使い, 各々のサンプルについて平均をとった。Mg-Fe 分配については $K = \frac{(Mg/Fe)_{\text{gr}}}{(Mg/Fe)_{\text{chl}}}$ でもとめられ, Unit B2 で 0.048 (sample. 243), Unit C で 0.069 (sample. 117), Unit D で 0.042 (sample. 57), 0.038 (sample. 64), 0.025 (sample. 72) が得られた。しかしざくろ石中の Mg の含有量は非常に少なく, これだけでの検討は難しいため, Fe/Mn についても検討してみた。Fe-Mn 分配につ



第11図 Unit B1, Unit C, Unit D にみられる角閃石を Na_B と Al_6 についてプロットしたもの

いては $K = (Fe/Mn)_{\text{car}} / (Fe/Mn)_{\text{chl}}$ でもとめられ, Unit B2 で 0.03 (sample. 243), Unit C で 0.024 (sample. 117), Unit D で 0.029 (sample. 57), 0.024 (sample. 64), 0.018 (sample. 72) が得られた. これにより, B2 での変成度が他のユニットより高いことがうかがえる.

4) 角閃石の化学組成と変成作用, 変成履歴

広石地域の塩基性片岩はいずれも赤鉄鉱を含んでおり, アルカリ角閃石, ナトリウム-カルシウム角閃石, カルシウム角閃石が見られるが, 特に Unit C と Unit B1 に見られるアルカリ角閃石の化学組成がかなり違うということが分かった. Unit C のアルカリ角閃石は藍閃石~クロス閃石に属し, Unit B1 のアルカリ角閃石はクロス閃石~マグネシオリーベック閃石に属する. この組成の違いは, 曹長石斑状変晶の最大長径と平均長径のグラフ (第3図) の結果と同様, Unit B2 と Unit B1 の境界付近のギャップの可能性を高めている.

角閃石類の Al_{VI} - Na_B についての検討の結果については, Unit C と Unit B1 の角閃石類はその圧力条件が異なっており, Unit C の角閃石類の方が Unit B1 の角閃石類よりも高圧の圧力条件のもとで形成されたであろうということが推測できる.

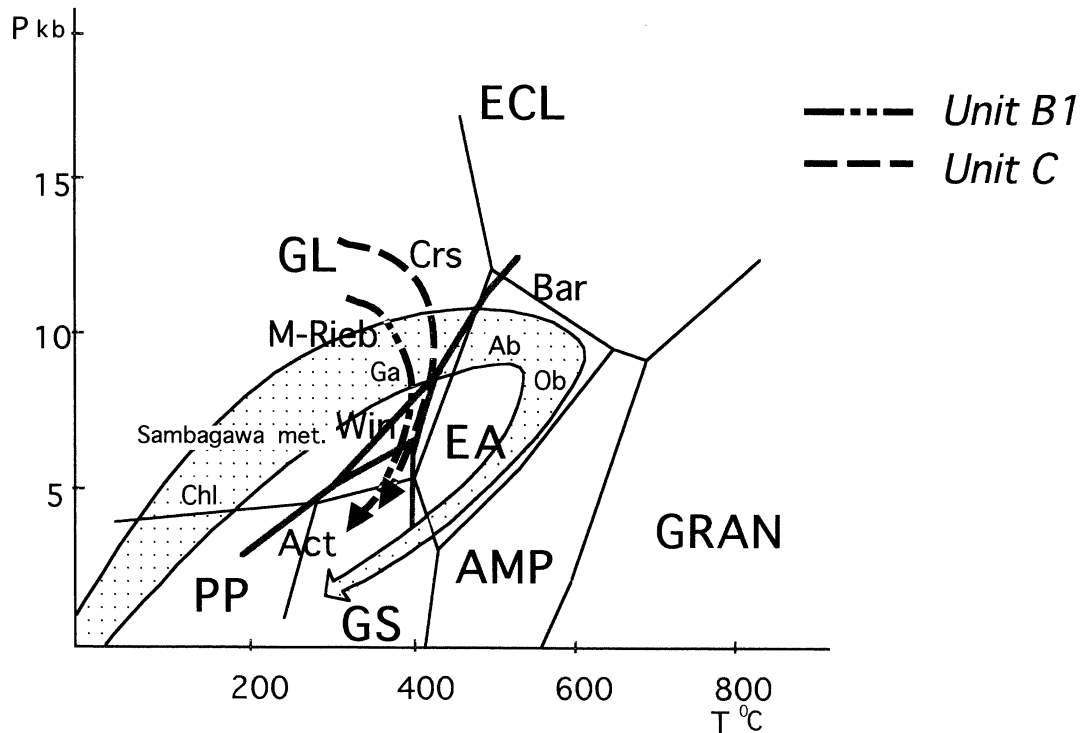
角閃石類の累帯構造については, Unit C ではコアからリムへ藍閃石-クロス閃石-ウィンチ閃石-アクチノ閃石, クロス閃石-ウィンチ閃石-アクチノ閃石, ウィンチ閃石-アクチノ閃石の累帯構造が, Unit B1 ではクロス閃石-マグネシオリーベック閃石-ウィンチ閃石-アクチノ

閃石, クロス閃石-マグネシオリーベック閃石-アクチノ閃石-ウィンチ閃石, マグネシオリーベック閃石-クロス閃石-アクチノ閃石, マグネシオリーベック閃石-ウィンチ閃石, アクチノ閃石-ウィンチ閃石, アクチノ閃石-マグネシオリーベック閃石-ウィンチ閃石の累帯構造が見られた. これらを Otsuki and Banno (1990) と比較すると, 緑泥石帯下部のクロス閃石 (Al -poor)-ウィンチ閃石-アクチノ閃石, 緑泥石帯上部~ざくろ石帯下部のクロス閃石-ウィンチ閃石-アクチノ閃石に一致するものがそれぞれあり, Unit C は緑泥石帯上部~ざくろ石帯下部に, Unit B1 は緑泥石帯下部に比較されると考えられる.

また, これらの累帯構造から Unit C と Unit B1 の塩基性片岩層に見られる後退変成作用時の温度-圧力経路を想定することができる. すなわち, Unit C では, 藍閃石を含む累帯構造から, 藍閃石-クロス閃石-ウィンチ閃石-アクチノ閃石の安定フィールドを通る温度-圧力経路が考えられ, Unit B2 では, マグネシオリーベック閃石を含む累帯構造から, マグネシオリーベック閃石-ウィンチ閃石-アクチノ閃石の安定フィールドを通る温度-圧力経路が考えられる (第12図).

7. 結 論

今回の研究ではこの地域の東西によく連続する塩基性片岩の下位を基準として, それぞれ Unit A, Unit B, Unit C, Unit D とし, 岩石学的に比較検討と考察を行った. また, 点紋のヒストグラムと平均長径, 最大長径につい



第 12 図 Unit B1, Unit C の温度圧力経路

ECL: エクロジャイト相, GL: 藍閃石片岩相, EA: 緑簾石角閃岩相, AMP: 角閃岩相, GRAN: グラニュライト相, GS: 緑色片岩相, PP: ぶどう石-パンペリー石相, 斜線部: 三波川帯のフィールド温度圧力経路, Chl, Ga, Ab, Ob: 泥質片岩による変成分帯, それぞれ緑泥石帯, ざくろ帯, 曹長石-黒雲母帯, 灰曹長石-黒雲母帯. (Takasu, 1986 に加筆)

て検討した結果, この境界付近 (Unit B1 と Unit B2 の境界) に推定断層の可能性が指摘された. これは, Faure (1983) の提案ともほぼ一致する. このため Unit B については, 最大長径 2.0 mm 以上の曹長石斑状変晶を基準として, 2.0 mm 以上の曹長石斑状変晶を含まないものを Unit B1, 2.0 mm 以上の曹長石斑状変晶を含むものを Unit B2 とした.

広石地域における泥質片岩中の白雲母およびざくろ石の化学組成を検討した結果, Unit B2 の下部で緑泥石帯上部~ざくろ石帯に相当する. その他は緑泥石帯に相当する.

広石地域の塩基性片岩はいずれも赤鉄鉱を含んでおり, アルカリ角閃石, ナトリウム-カルシウム角閃石, カルシウム角閃石が見られるが, 特に Unit C と Unit B1 に見られるアルカリ角閃石の化学組成がかなり異なることが分かった. Unit C のアルカリ角閃石は藍閃石~クロス閃石に属し, Unit B1 のアルカリ角閃石はクロス閃石~マグネシオリーベック閃石に属する. この組成の違いは Unit B1 と Unit B2 の境界に推定した断層の存在の可能性

を高めている. 角閃石類の累帯構造については, Unit C で藍閃石を含む累帯構造から藍閃石-クロス閃石-ウインチ閃石-アクチノ閃石の安定フィールドを通る温度-圧力経路が考えられ, Unit B1 でマグネシオリーベック閃石を含む累帯構造からマグネシオリーベック閃石-ウインチ閃石-アクチノ閃石の安定フィールドを通る温度-圧力経路が考えられる.

8. 謝 辞

この論文を作成するにあたり, 次の方々へ感謝の意を表します.

宿と食事の提供, 及び調査へのおしめない協力をしてくださった阿部重卓氏, 千恵子氏, 鶴一氏, 岡美登子氏ご一家, 同じく阿部洋平氏, 千尋氏, 松井香織氏, 理香氏, また島根大学理学部の舌間洋二氏, 阿部嘉彦氏, そして特に島根大学総合理工学部の高須晃教授には色々な面でサポートしていただきました. 本当にありがとうございました.

9. 参 考 文 献

- Banno, S., Sakai, C. and Higashino, T. (1986) Pressure-temperature trajectory of the Sanbagawa metamorphism deduced from garnet zoning. *Lithos*, **19**, 51-63
- Bence, A.E. and Albee, A. L. (1968) Empirical correction factors for the electron microanalysis of silicates and oxides. *Journal of Geology*, **76**, 382-403
- Faure, M. (1983) Eastward ductile shear during the early tectonic phase in the Sambagawa belt, *Journal of the Geological Society of Japan*. Vol **89**, No.6, P.319-329
- Hara, I., Shiota, T., Hide, K., Okamoto, K., Takeda, K., Hayasaka, Y. & Sakurai, Y. (1990) Nappe structure of the Sambagawa belt. *J.metamorphic Geol.*, **8**, 441-456
- 東野外志男 (1990) 四国中央部三波川変成帯の変成分帯. *地質学雑誌*, **96**, 703-718
- Higashino, T. (1990) The higher grede metamorphic zonation of the Sambagawa metamorphic belt in central Shikoku, Japan. *J. metamorphic Geol.*, **8**, 413-423
- 岩崎正夫 (1995) 徳島市眉山の藍閃片岩類 (第1報). *徳島大学学芸紀要 VI*, 27-40
- 岩崎正夫, 加治敦次, 安田治男, 笠井正也, 小川棋文 (1963) 徳島市周辺藍閃片岩地域の地質と岩石 (第2報). *徳島大学学芸紀要 13 卷*, 55-63
- Kawauchi, Y. (1968) Large-scale overturned structure in the Sambagawa metamorphic zone in central Shikoku, Japan. *J.Geol.Soc.Japan*, **74**, 607-616
- 剣山研究グループ (1963) 四国東部結晶片岩地域の地質. *地球科学*, **69**, 16-19
- 剣山研究グループ (1984) 四国中央部大歩危地域の三波川帯の層序と地質構造. *地球科学*, **38**, 53-63
- 小島丈児 (1951) 四国中央部結晶片岩地域の層序と構造. *地質学雑誌*, **57**, 117-190
- 小島丈児, 秀敬, 吉野言生 (1956) 四国三波川帯におけるキースラーガーの層序的位置. *地質学雑誌*, **62**, 30-45
- Leake, B.E. (1978) Nomenclature of amphibole. *American Mineralogist*, **63**, 1023-1052
- 馬淵映美 (1995) 四国四万十帯大山岬層中の変成岩礫の起源. *島根大学地質学研究報告*, 第14号, 21-35
- 大嶋恒彦, 岩崎正夫, 中山勇 (1963) 徳島県高越鉦山周辺三波川帯の層序と構造. *地質学雑誌*, **69**, 243-251
- Otsuki, M. and Banno, S. (1990) Prograde and retrograde metamorphism of hematite-bearing basic schists in the Sambagawa belt in central Shikoku. *J. metamorphic Geol.*, **8**, 425-439
- Takasu, A. (1984) Prograde and retrograde eclogites in the Sambagawa metamorphic belt, Bessi district, Japan. *J. Petrol.*, **25**, 619-643
- Takasu, A. (1989) P-T histories of peridotite and amphibolite tectonic blocks in the Sanbagawa metamorphic belt, Japan. *Geol. Soc. Spec. Pub.*, **43**, 533-538
- Takasu, A. and Dallmeyer, R.D. (1990) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ mineral age constraints for the tectonothermal evolution of the Sambagawa metamorphic belt, central shikoku, Japan: A Cretaceous accretionary prism. *Tectonophysics*, **185**, 111-139