

島根県江津市東部に分布する波積南テクトニック・メランジ

—— 地質・岩石・構造 ——

渡辺 暉夫*・千貫 浩**・小林 英夫***

The Hazumi-minami tectonic melange in the eastern Goutsu City,
Shimane Prefecture — geology, petrology and structure —

Teruo WATANABE*, Hiroshi SENGAN** and Hideo KOBAYASHI***

Abstract The Hazumi-minami tectonic melange, which is a fault-bounded and isolated unit of 3×6 km of the Sangun metamorphic rocks in the eastern Goutsu City, central Shimane Prefecture, Japan sea side of SW Japan, is composed of scattered blocks of mafic schist with comparatively wide range of metamorphic grade and matrices of pelitic schist and serpentinite.

Blocks of mafic schist vary in their shape and size ranging from a few ten centimeters to several hundred meters. Thin sheared zones are commonly observed between blocks of mafic schist and matrix of pelitic schist. The metamorphic facies series observed in the rocks and matrices is comparable to that of the Sanbagawa metamorphic belt and the grade ranges from the low temperature part of the chlorite zone to the low temperature part of the biotite zone. The higher grade rocks such as barroisite schist and garnet-bearing pelitic schist tend to distribute in and around a serpentinite body. On the other hand, low grade rocks such as lawsonite-bearing pelitic schist or winchite-bearing mafic schist are found in the southern part. However, mixing of varying metamorphic grade rocks is essential in the Hazumi-minami tectonic melange.

Diapir of serpentinite and flow of pelitic schists in the ductile shear zone related to underplating process, suggested by sheath fold of siliceous schist, contribute to the early stage of the formation of melange. Brittle deformation of the later stage is also significant for the melange-formation and suggests change of shear direction during the uplift of the Hazumi-minami tectonic melange. This whole disturbance seems to have occurred in Jurassic time judging from K-Ar ages for the metamorphic rocks.

はじめに

島根県江津市の東部には、江川を挟んで、三郡変成岩類が分布する。江川沿いに、変塩基性岩あるいは変斑れい岩と呼ばれる緑色普通角閃石を含む暗黒青色の片状～塊状の岩石が分布し、夜久野岩類に類

似するとされている(脇坂, 1985; 渡辺ほか, 1987)。この西には田ノ原川層(小林, 1979)と呼ばれた緑色の片状塩基性岩(アクチノ閃石, 緑れん石, 緑泥石, 曹長石と少量のパンペリ-石を産する)を主体とし、薄い泥質岩・珪質岩を挟む弱変成岩がある。この弱変成岩分布地域南部の泥質岩中にペルム紀中世の放散虫化石が発見されている(竹下ほか, 1987)。以上の岩石からは藍閃変成作用を被った証拠は報告されていない。

しかし、変塩基性岩の東側に断層で接する結晶片岩類は、藍閃石片岩を含んでおり、岩相も三郡変成

* 北海道大学理学部地質学鉱物学教室。Department of Geology and Mineralogy, Faculty of Science, Hokkaido University, Sapporo, 060 Japan.

** 神戸大学教育学部。現在新学社, Shingakusha Ltd., Yamashina-ku, Kyoto, 607 Japan.

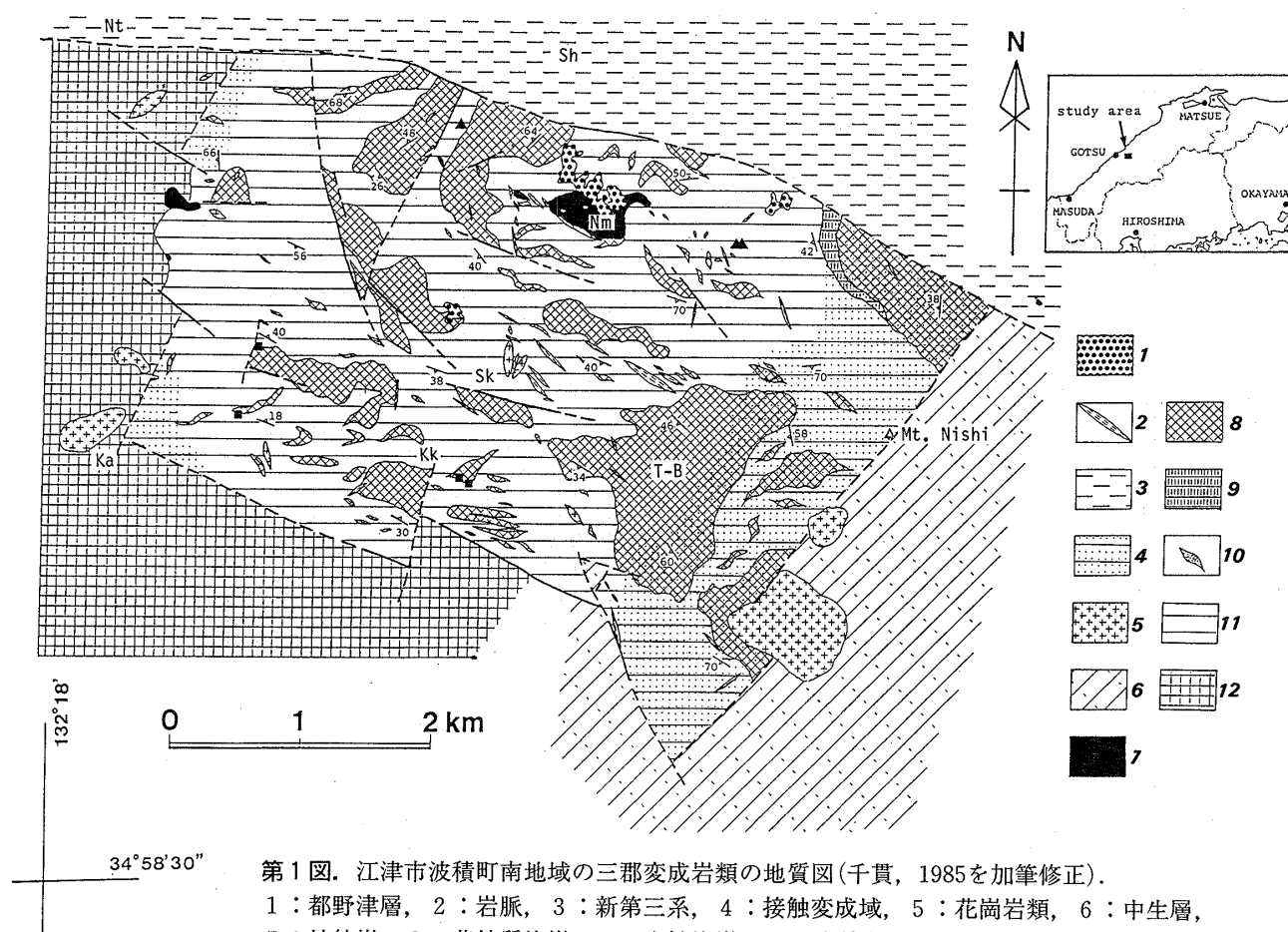
*** 島根大学。Shimane University, Matsue, 690 Japan.

岩の模式地の一つとされる山口県錦町-徳山市地域の都濃層群(NISHIMURA, 1971; 西村ほか, 1987)に類似している。江津市東部に緑れん石-“藍閃石”の組合せが出現することを初めて明らかにしたのは、著者らの知るかぎり、橋本(1972)であり、これは岡村の教示によるという。岡村自身は後に岡村・岡屋(1975)の論文のなかで、藍閃変成作用について言及した。岡村・岡屋(1975)はこの変成岩類を東部地域の変成岩と呼び、西部地域の変成岩とで変成条件に違いがあることを述べた。その後、嶋山(1978)、小林(1979)などの研究により、“藍閃石片岩”を挟み、泥質片岩を主体とする結晶片岩類と西側に分布する変塩基性岩類や片状塩基性岩主体の地層(田ノ原川層)との違いがさらに鮮明になり、小林(1979)は結晶片岩類の原岩層序・構造を一定程度明らかにしたうえで、波積南層の名称を与えた。また、アルカリ角閃石の主体はクロス閃石であることを明らかにした。

岡村・岡屋(1975)は波積南層分布地域の南部に向斜構造の存在を想定したが、千貫(1983)や小林ほか(1985)は北部地域で、西側に約40°前後で沈み込んでいる褶曲軸をもつ背斜・向斜状構造が推定できることを述べた。また、千貫(1983, 1985)は少なくとも2回の褶曲軸形成があり、微褶曲が互いに大きく斜交することを指摘した。

これらの成果と変成作用についての考察から、小林・渡辺(1985)、渡辺ほか(1987)は構造的メランジとしての特徴をもつ波積南層の地質と構造の概要を紹介している。しかし、上記の報告は結論についての紹介であり、構造・岩相分布・変成作用の具体的記載や変成岩の流動様式についての考察は十分ではない。

本稿では、千貫(1985)の記載を基礎にして、新たな知見を加え、結晶片岩類の岩相の分布・接触関係・変成作用・重複変形について報告し、波積南層を波積南テクトニック・メランジとして提案し直



第1図. 江津市波積町南地域の三郡変成岩類の地質図(千貫, 1985を加筆修正).

1: 都野津層, 2: 岩脈, 3: 新第三系, 4: 接触変成域, 5: 花崗岩類, 6: 中生層, 7: 蛇紋岩, 8: 苦鉄質片岩, 9: 中性片岩, 10: 砂質片岩, 11: 泥質片岩, 12: 変塩基性岩(西側部)および田ノ原川層(南側部), 黒四角: スチルプノメレン含有中性片岩, 黒三角: 砂質片岩, Ka: 上津井, Kk: 上上津井, Nm: 中向井, Nt: 中都治, Sh: 下本郷(波積町), Sk: 四熊, T-B: 高山岩体.

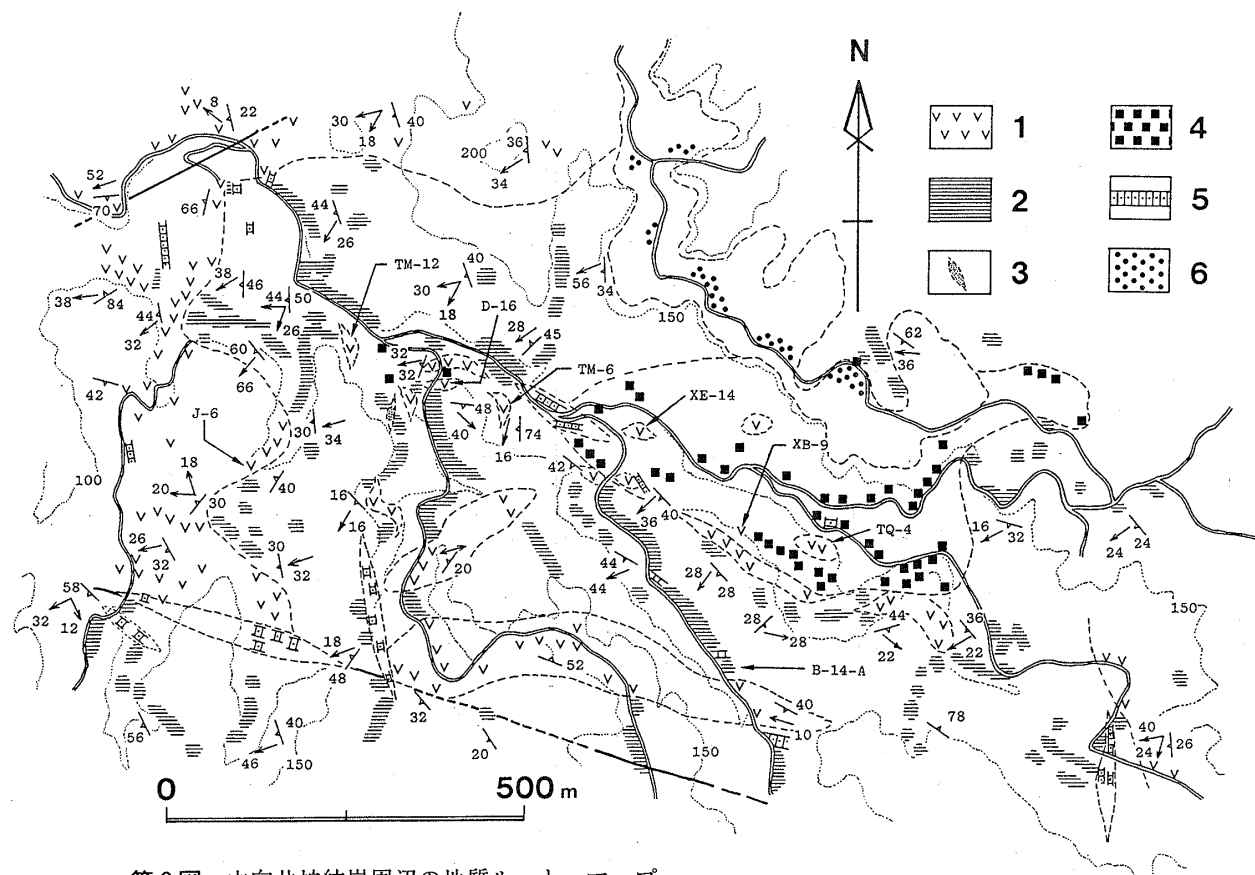
す。そして結晶片岩類の構造の特徴を明らかにし、この片岩類の上昇過程での運動像を明らかにすることを目的とする。

地質の概要

波積南層は江川の支流、都治川、上津井川と都治川支流の南川上流域、波積町本郷・波積町南・上津井にかけて、東西約6 km、南北約3 kmの矩形に近い地域内に分布している(第1図)。波積町南はほぼ地域の中央にある。地域西側および南側は断層によって変塩基性岩あるいは田ノ原川層と接している。北側も中新世の火山性碎屑岩と断層で接する。東側はいわゆる白亜紀の火砕岩と断層で接したり、花崗岩類に貫入されている。このため、波積南層の東側は1 km以上にわたって、泥質岩に黒雲母を、苦鉄質岩には緑色角閃石を生ずるような接触変成域が見られる。また、西側の一部などにも同様の接触変成岩が見られる。北側を画する断層は中新世の地層を切っており、新しくかつ連続性がよく、山陰沖の海底にも追跡される(島根県地質図編集委員会, 1982)。波積南層には、幅数m以下の安山岩質ないし流紋岩質

の岩脈が各所にN-S性あるいはWNW-ESE性方向で貫入する。岩脈に並走する断層もあり、破碎帯にはマイロナイトが見られることがある。薄いマイロナイト様岩は苦鉄質片岩と泥質片岩の境界に見られることもある(後述)。

第1図から明らかなように、波積南層の主体は泥質片岩であり、不定形の苦鉄質片岩が泥質片岩中に、特定の層準を選ぶことなく散在している。まれに、砂質片岩や珪質片岩(厚さ1 m以下のものが多い)が見られる。また、中性片岩(後述)と称すべき岩石も見られる。調査地域の中央北部には、比較的大きい蛇紋岩体があり、この付近を中心に散在する第四紀の都野津層(礫層など)が波積南層を不整合で覆う。結晶片岩類では、とくに泥質片岩に微細な褶曲構造が見られ、後述するように複雑な変形史の記録をとどめている。2種類以上に分類される微褶曲軸も、ほとんどが大局的に、西あるいは北西側へ中角度で沈む。苦鉄質片岩の複雑な分布にもかかわらず、結晶片岩類の葉理面(S_1)のトレンドはWNW-ESEあるいはNW-SE性である。



第2図. 中向井蛇紋岩周辺の地質ルート・マップ。

1: 苦鉄質片岩, 2: 泥質片岩, 3: 珪質片岩, 4: 蛇紋岩, 5: 岩脈, 6: 都野津層。

結晶片岩類の岩相・鉱物組合せ・構造の特徴

1. 泥質片岩

おもに石英・曹長石よりなる優白質の層と白色雲母・炭質物よりなる暗黒色の層とが縞状構造をつくる。剝理性に富み、微褶曲・線構造がよく発達する。

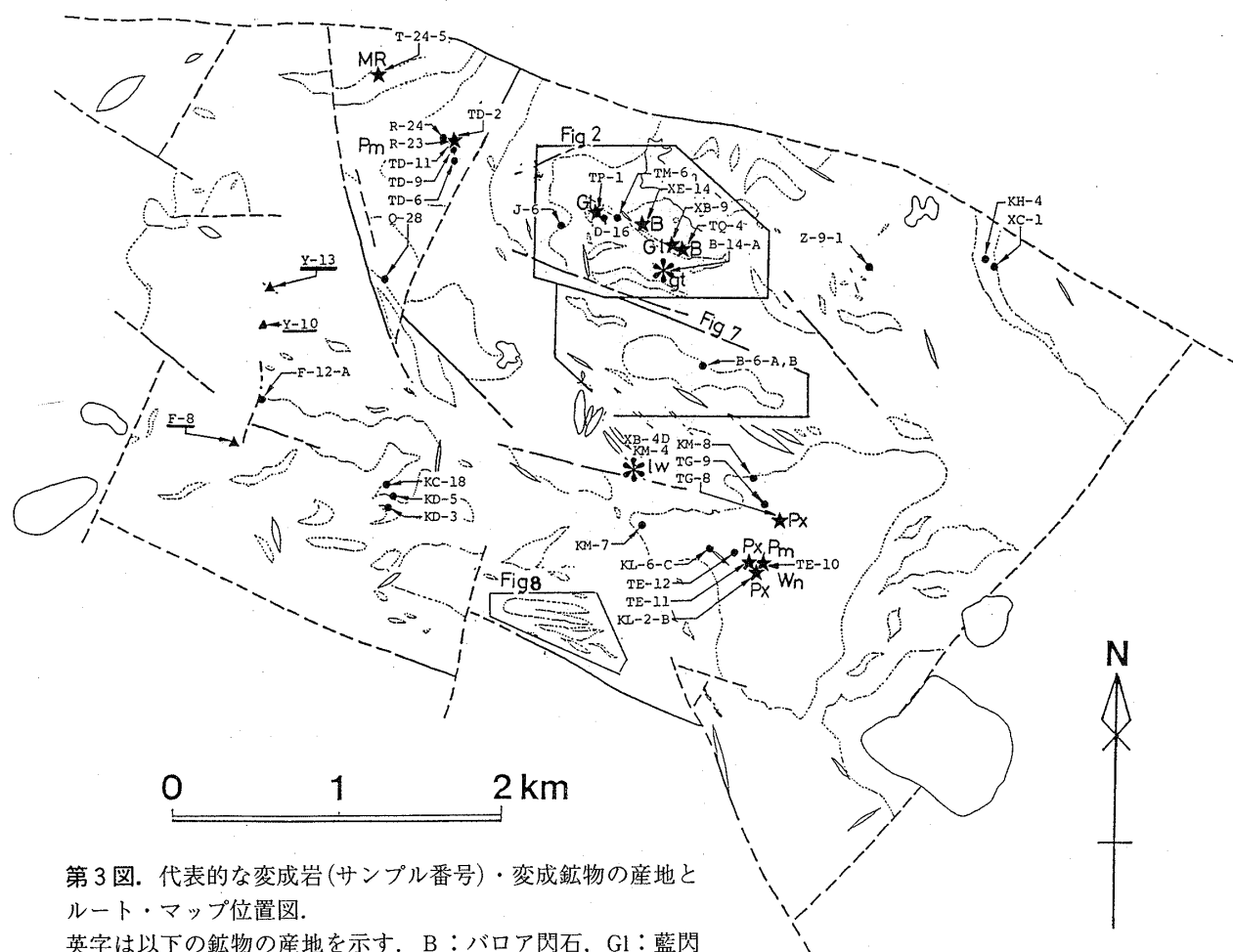
鉱物組合せは全体的には単調であり、白色雲母・石英・曹長石・緑泥石・チタナイト・アパタイト・不透明鉱物(炭質物・黄鉄鉱など)を含む。方解石・電気石・緑れん石を含むことも多い。ローソン石・曹長石を含む泥質片岩の産地は1箇所(四熊)知られているにすぎないが(WATANABE *et al.*, 1983), 径0.5 mm以上のザクロ石斑状変晶を含む泥質片岩の露頭は数箇所知られている。ザクロ石を含む片岩は曹長石の微斑状変晶をもち、中向井の蛇紋岩の周辺に分布する傾向がある(第2図中のB-14-Aの産地と周辺)。この付近に見られる泥質片岩の粒度は比較

的粗粒である。また、中向井の蛇紋岩の西には、最大径5 mmの曹長石の粗粒な結晶を含む泥質片岩(TP-1)が分布する。この泥質片岩は一見、三波川帯の点紋泥質片岩に似る。しかし、曹長石の周囲にプレッシャー・シャドウが見られないこと、曹長石の粒度が不揃いであること、しかも周囲の鉱物との粒度差がありすぎること、かつその分布が著しく不均一であること、曹長石結晶中のみ特定の鉱物が包有されること、この包有物の配列方向が結晶粒ごとにばらついていること等々の点で三波川帯の曹長石斑状変晶とは違いがある。また、TP-1の泥質片岩中の曹長石は長柱状の藍閃石(X=無色, Y=淡紫色, Z=淡青色, $2V_X=28^\circ$, $c^\wedge Z=4^\circ$, 組成はMg, Alに富む狭義の藍閃石である—渡辺, 1985の第1表参照)を包有する。このほかには本地域では狭義の藍閃石は、後述するように、苦鉄質片岩中のアルカリ角閃石の一部(おもに中心部)に認められる

第1表. 泥質片岩の化学組成.

Sample No.	XB-4-D	KM-4	B-14-A	XB-4-B	XB-4-C	XB-7	I-28-A	Z-8
SiO ₂	62.87	63.43	61.03	65.10	62.57	63.15	67.19	70.51
TiO ₂	0.58	0.56	1.00	0.70	0.78	0.69	0.56	0.50
Al ₂ O ₃	14.73	14.46	15.15	16.44	18.01	17.40	14.03	13.39
Fe ₂ O ₃	1.16	1.21	2.64	1.81	1.92	1.81	2.68	1.20
FeO	3.13	3.08	3.96	3.39	3.74	4.15	4.41	2.02
MnO	0.06	0.05	0.18	0.07	0.08	0.19	1.10	0.04
MgO	1.93	1.97	3.37	1.96	2.08	1.94	1.76	1.47
CaO	4.28	4.75	4.36	0.17	0.22	0.68	0.52	1.19
Na ₂ O	4.17	4.35	3.11	2.41	2.60	2.32	1.08	3.20
K ₂ O	1.87	1.42	1.93	3.51	3.86	3.59	3.35	2.60
P ₂ O ₅	0.04	0.03	0.18	0.08	0.13	0.06	0.17	0.09
H ₂ O ⁺ +CO ₂	5.21	4.53	3.32	3.83	3.61	3.50	2.47	2.62
H ₂ O ⁻	0.11	0.11	0.19	0.10	0.14	0.10	0.28	0.20
Total	100.14	99.95	100.40	99.57	99.74	99.58	99.60	99.03
C.I.P.W. norm								
Q	18.81	19.57	19.98	32.90	27.58	29.30	41.64	36.56
or	11.05	8.39	11.41	20.74	22.81	21.22	19.80	15.37
ab	35.29	36.81	26.32	20.39	22.00	19.63	9.14	27.08
an	15.95	15.74	20.45	0.32	0.24	2.98	1.47	5.32
C	-	-	0.43	8.56	9.47	8.60	8.09	3.36
di	4.13	6.26	-	-	-	-	-	-
wo	2.10	3.19	-	-	-	-	-	-
en	1.12	1.73	-	-	-	-	-	-
fs	0.91	1.35	-	-	-	-	-	-
hy	6.72	5.65	12.16	8.59	9.32	10.17	11.38	5.63
en	3.69	3.18	8.39	4.88	5.18	4.83	4.38	3.66
fs	3.03	2.48	3.77	3.70	4.14	5.34	7.00	1.97
mt	1.68	1.75	3.83	2.62	2.78	2.62	3.88	1.74
il	1.10	1.06	1.90	1.33	1.48	1.31	1.06	0.95
ap	0.09	0.07	0.42	0.19	0.30	0.14	0.39	0.21
Total	94.82	95.31	96.90	95.64	95.99	95.98	96.85	96.22

分析者: 千貫



第3図. 代表的な変成岩(サンプル番号)・変成鉱物の産地とルート・マップ位置図。

英字は以下の鉱物の産地を示す。B：バロア閃石，GI：藍閃石，MR：マグネシオ・リーベック閃石，Px：アルカリ輝石，

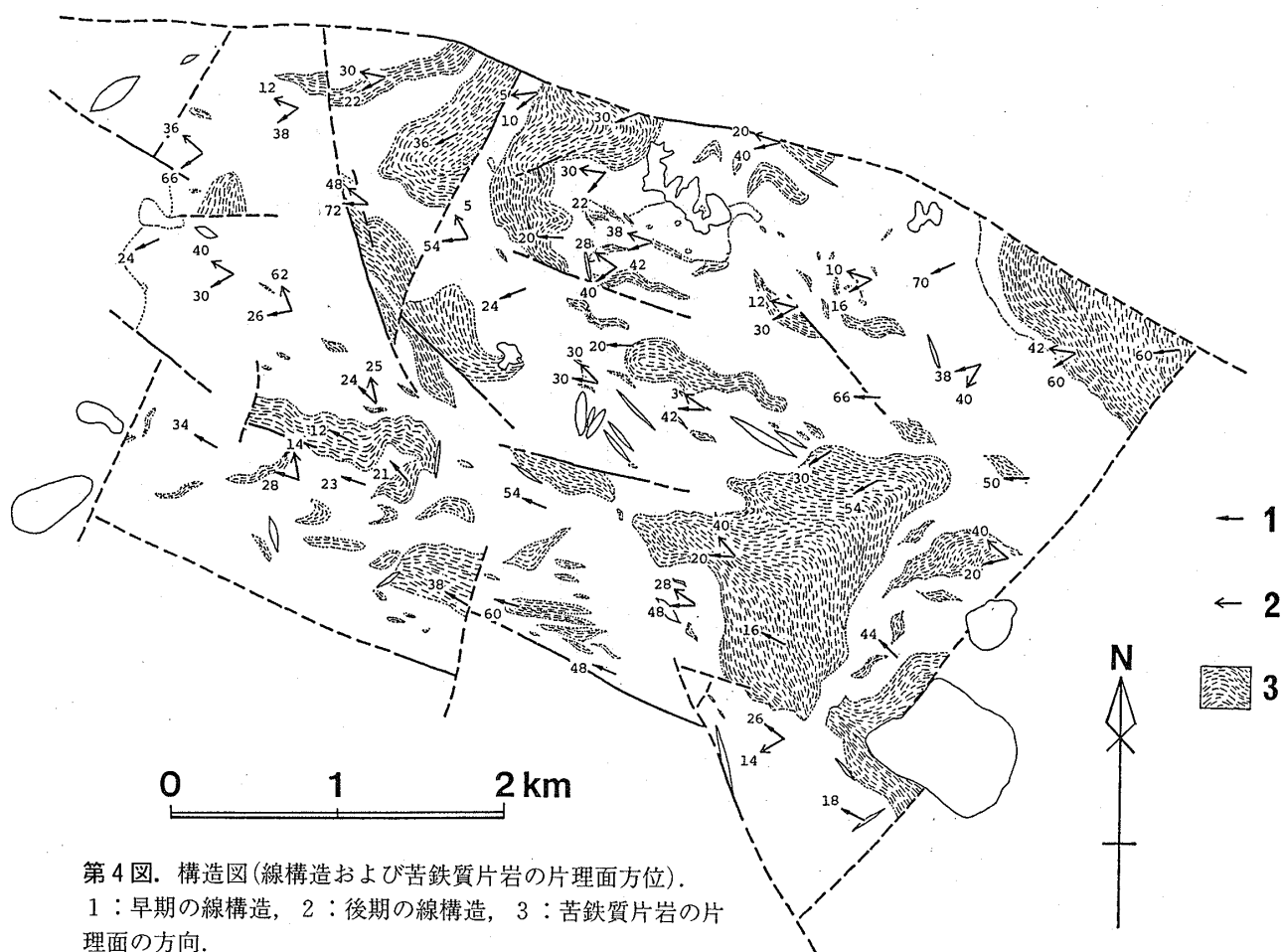
Pm：パンベリー石，Wn：ウィンチ閃石(以上苦鉄質片岩)，gt：Fe質ザクロ石，lw：ローソン石(以上泥質片岩)。下線のあるサンプル番号は第Ⅱ・Ⅲ図版に示したもの。

だけである。曹長石はまた、白色雲母(TP-1の基質を構成する白色雲母に比べ Al_2O_3 に富み、 MgO に乏しい)・クリノゾイサイト・石英・チタナイト・緑泥石・不透明鉱物も包有する。したがって、この曹長石の粗粒結晶は、再結晶作用により周囲の部分とともに生成・成長された斑状変晶とは考えられず、何らかの理由で泥質片岩中に取り込まれた、残存「変晶」と呼ぶべきものであろう。おそらく、後に述べるテクトニック・メランジ形成過程で、曹長石粗粒結晶の残存「変晶」が形成されたのであろうが、詳しいことはわからない。

泥質片岩の全岩化学組成を第1表に示す。ローソン石を含む片岩(XB-4-D, KM-4)とザクロ石を含む片岩(B-14-A)は、他の片岩に比べ、 CaO に富み、 Al_2O_3 量は多くはないが、ノルムAn値は高いという特徴がある。したがって、ローソン石・ザクロ石の出現には全岩化学組成の影響がある。しかし、ロー

ソン石とザクロ石を含む片岩の組成は類似するから、これらの鉱物の有無の違いは変成度の違いに帰することができよう。ローソン石は、四国中央部の三波川帯では、緑泥石帯の低温側に産する(WATANABE & KOBAYASHI, 1984)。また、ザクロ石を含む岩石(B-14-A)はとくに MnO に富むわけではないので、三波川帯を例にとれば、緑泥石帯よりは高温のザクロ石帯に相当すると考えられる。つまり、南北1 kmの距離(上述2種の泥質片岩の産地の距離—第3図参照)で明瞭な変成度の差が認められ、中向井周辺が変成度が高い。

泥質片岩にはしばしば斜交する2種の線構造が認められる(第4図)。線構造の交わる角度は、ときに 90° に近いこともある。第4図には、珪質片岩の例も含めて線構造の方位を示した。2種の線構造には明らかに形成の前後関係があるが、この点については、後に検討を加える。



第4図. 構造図(線構造および苦鉄質片岩の片理面方位).

1: 早期の線構造, 2: 後期の線構造, 3: 苦鉄質片岩の片理面の方向.

2. 砂質片岩

泥質片岩に比べ優白色で、縞状構造はあまり発達しない。数箇所で1.5~4mの薄い層として、泥質片岩中に整合的に挟まれている。おもに、石英・曹長石・白色雲母よりなり、少量のザクロ石・緑泥石・アパタイト・炭質物・電気石・緑れん石などを伴う。白色雲母の量は泥質片岩より少ない。

3. 苦鉄質片岩

第1図に示すように、泥質片岩中に大小さまざまなサイズのブロックとして産する。一般に葉状構造が顕著であるが、南部の高山岩体は比較的塊状な部分が多く、ハイアロクラスティック・プレッチャーの構造を残している場合がある。また、残存単斜輝石もしばしば見られる。溶岩岩片を含む層はたかだか数mの厚さで、葉状構造の発達する苦鉄質片岩に何枚か挟まれているにすぎないので、苦鉄質片岩の原岩の主体は、KAWACHI *et al.* (1982)の指摘したリワークされたハイアロクラスタイトであろう。苦鉄質片岩の岩相・変成度は変化に富んでおり、変成度の異なる苦鉄質片岩が泥質片岩中に不規則に散在し

ていることによって、調査地域のメランジが特徴づけられている。記載の便宜上、これらをバロア閃石片岩・青色片岩・緑色片岩に分け、以下にそれぞれの特徴を述べる。

A. バロア閃石片岩

中向井の蛇紋岩中に小ブロック(30×60 m 以下)として2箇所に産する(第2, 3図)。暗緑青色で比較的塊状である。部分的に曹長石の斑状変晶が卓越する。おもにバロア閃石・緑れん石・曹長石よりなり、少量の藍閃石・チタナイト・アパタイト・白色雲母・石英・緑泥石・不透明鉱物、まれにザクロ石を含む。バロア閃石(第2表, TQ-4)は藍閃石を置き換えることがある。バロア閃石片岩の詳細については別に報告する。

B. 青色片岩

アルカリ角閃石を含み、青色を呈するもので、緑色片岩とは互層することが多い。厚さ数mmの緑れん石の縞あるいは脈状構造が目立つアルカリ角閃石に富む片岩も、都城(1965)の紹介(p. 293)に従い、青色片岩として扱う。一部に褶曲の著しいものもあ

第2表. おもな角閃石の化学組成.

Sample No.	TM-6		XB-9	TQ-4						D-16				Z-9-1	
SiO ₂	56.70	57.68	57.63	48.05	48.24	48.11	47.76	47.85	56.82	56.77	56.98	56.19	55.13	59.38	56.64
TiO ₂	-	-	-	0.19	0.20	0.18	0.21	0.21	0.01	0.04	0.03	0.00	0.00	0.00	0.02
Al ₂ O ₃	7.59	10.42	9.16	8.50	8.72	8.69	9.09	8.72	10.25	9.26	9.10	8.04	3.67	4.72	6.35
Fe ₂ O ₃	4.26	0.44	1.63	2.94	4.06	3.11	3.00	2.17	1.94	3.94	4.44	3.33	8.47	11.09	9.91
FeO	12.40	13.68	13.49	16.40	15.35	16.14	16.13	16.82	14.53	13.51	13.31	14.65	14.57	0.00	6.52
MnO	0.21	0.19	0.19	0.29	0.32	0.27	0.28	0.29	0.15	0.15	0.14	0.00	0.00	0.75	0.36
MgO	8.12	7.78	8.04	8.49	8.38	8.31	8.31	8.38	6.78	6.89	6.70	7.46	7.43	15.67	10.26
CaO	1.09	0.13	0.48	8.40	7.99	7.95	8.30	8.31	1.08	0.79	0.49	0.13	0.83	0.41	0.31
Na ₂ O	6.39	8.04	7.68	3.52	3.42	3.74	3.47	3.71	6.78	6.64	6.62	8.35	7.39	6.73	7.02
K ₂ O	0.01	-	-	0.37	0.38	0.34	0.41	0.40	0.03	0.05	0.03	0.00	0.00	0.13	0.01
Total	97.77	98.36	98.30	97.15	97.06	96.84	96.96	96.86	98.38	98.04	97.84	98.15	97.49	98.88	97.40

Si	8.110	8.020	8.049	7.177	7.183	7.194	7.137	7.172	7.963	7.989	8.024	7.979	8.045	8.002	7.947
Al ^{IV}	-	-	-	0.823	0.817	0.806	0.863	0.828	0.037	0.011	-	0.021	-	-	0.053
	8.110	8.020	8.049	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.024	8.000	8.045	8.002	8.000
Al ^{VI}	1.257	1.708	1.508	0.673	0.713	0.725	0.738	0.714	1.656	1.525	1.511	1.325	0.631	0.749	0.997
Ti	-	-	-	0.021	0.022	0.020	0.024	0.023	0.001	0.004	0.003	0.000	0.000	0.000	0.002
Fe ³⁺	0.450	0.046	0.172	0.331	0.454	0.350	0.337	0.245	0.205	0.417	0.471	0.356	0.930	1.125	1.046
Fe ²⁺	1.458	1.591	1.575	2.048	1.911	2.018	2.015	2.019	1.703	1.591	1.567	1.740	1.778	0.000	0.766
Mn	0.024	0.022	0.022	0.037	0.040	0.034	0.035	0.036	0.017	0.017	0.017	0.000	0.000	0.086	0.043
Mg	1.701	1.613	1.674	1.890	1.860	1.853	1.851	1.873	1.418	1.446	1.407	1.579	1.616	3.149	2.146
	4.890	4.980	4.951	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	4.976	5.000	4.955	5.109	5.000
Ca	0.164	0.019	0.072	1.344	1.274	1.273	1.329	1.335	0.162	0.119	0.074	0.020	0.130	0.059	0.046
Na	1.743	2.167	2.080	1.018	0.986	1.083	1.006	1.079	1.843	1.810	1.809	2.300	2.091	1.758	1.911
K	0.001	-	-	0.070	0.073	0.064	0.079	0.076	0.005	0.007	0.005	0.000	0.000	0.023	0.002
	1.908	2.186	2.152	2.432	2.335	2.420	2.414	2.490	2.010	1.936	1.888	2.320	2.221	1.840	1.959

Fe₂O₃ は構造式から, $\text{Fe}^{3+} = 13 - (\text{Si} + \text{Al} + \text{Ti} + \text{Fe}^{2+} + \text{Mn} + \text{Mg})$ に基づいて計算.

第2表. (続き)

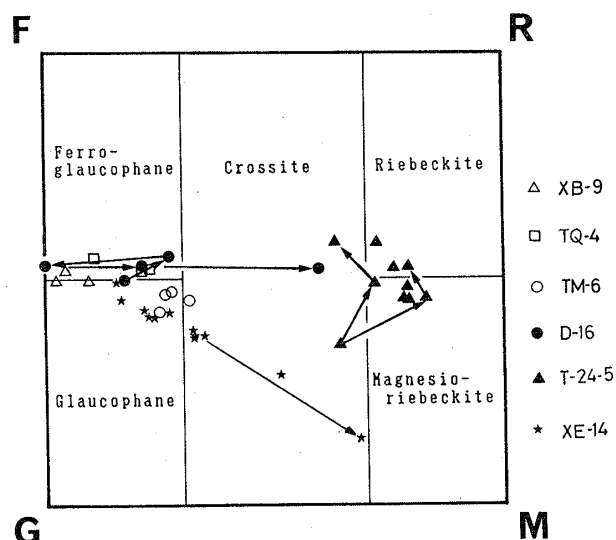
Sample No.	XE-14															T-24-5												
SiO ₂	54.63	55.83	54.38	57.84	51.34	53.48	55.34	54.96	53.07	53.04	54.36	54.18	53.35	51.76	52.82													
TiO ₂	0.07	0.02	0.06	0.00	0.07	0.04	0.05	0.08	0.21	0.04	0.03	0.01	0.03	0.03	0.06													
Al ₂ O ₃	9.57	8.24	8.16	9.05	8.93	9.23	8.26	8.29	3.03	2.70	4.68	3.36	3.20	3.89	3.20													
Fe ₂ O ₃	3.56	6.15	5.22	2.84	14.81	10.39	4.11	-	12.51	12.81	10.62	11.29	13.42	14.30	13.30													
FeO	11.64	9.71	10.03	12.22	3.33	6.91	11.99	14.72	13.33	11.88	9.26	12.99	12.06	10.59	11.30													
MnO	0.17	0.14	0.18	0.15	0.39	6.91	0.16	0.25	0.46	0.54	0.34	0.40	0.47	0.47	0.60													
MgO	9.01	9.21	9.60	8.35	10.87	9.70	9.13	9.69	6.87	7.98	9.49	7.56	7.29	7.16	7.54													
CaO	3.71	1.58	2.85	1.29	3.18	2.26	3.38	6.43	1.91	2.95	2.09	1.87	1.86	2.13	1.92													
Na ₂ O	5.24	6.36	5.79	6.43	5.41	6.12	5.51	3.95	6.09	5.34	6.11	6.31	6.02	5.38	5.93													
K ₂ O	0.00	0.01	0.02	0.01	0.29	0.08	0.02	0.04	0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.03	0.00													
Total	97.60	97.25	96.29	98.18	98.62	98.45	97.97	98.41	97.50	97.31	97.02	97.99	97.71	95.74	96.67													
Si	7.725	7.876	7.783	8.048	7.225	7.504	7.819	7.783	7.841	7.820	7.844	7.903	7.829	7.730	7.818													
Al ^{IV}	0.275	0.124	0.217	-	0.775	0.409	0.181	0.217	0.159	0.180	0.156	0.097	0.171	0.270	0.182													
Al ^{VI}	8.000	8.000	8.000	8.048	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000													
Ti	1.320	1.246	1.159	1.484	0.706	1.030	1.198	1.167	0.368	0.289	0.640	0.482	0.383	0.415	0.375													
Fe ³⁺	0.007	0.002	0.006	0.000	0.007	0.005	0.005	0.008	0.024	0.004	0.003	0.001	0.003	0.003	0.007													
Fe ²⁺	0.376	0.653	0.563	0.298	1.568	1.097	0.437	-	1.391	1.421	1.154	1.239	1.482	1.607	1.482													
Mn	1.376	1.145	1.201	1.422	0.392	0.811	1.417	1.743	1.646	1.465	1.120	1.585	1.480	1.322	1.399													
Mg	0.020	0.017	0.002	0.017	0.047	0.028	0.019	0.030	0.058	0.068	0.042	0.049	0.058	0.059	0.075													
Ca	1.899	1.937	2.049	1.731	2.280	2.029	1.924	2.047	1.518	1.753	2.041	1.644	1.594	1.594	1.663													
Na	5.000	5.000	5.000	4.952	5.000	5.000	5.000	4.995	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000													
K	0.562	0.239	0.437	0.193	0.400	0.340	0.511	0.976	0.303	0.465	0.322	0.293	0.293	0.340	0.305													
	1.437	1.741	1.607	1.734	1.476	1.665	1.509	1.085	1.744	1.526	1.709	1.785	1.712	1.557	1.700													
	0.000	0.002	0.003	0.002	0.052	0.015	0.003	0.007	0.004	0.005	0.003	0.003	0.002	0.006	0.000													
	1.999	1.982	2.047	1.929	2.008	2.020	2.023	2.068	2.051	1.996	2.034	2.081	2.007	0.903	2.005													

第3表. 苦鉄質片岩の化学組成.

Sample No.	TD-2	R-24	TD-11	TD-9	TD-6	Q-28	J-6	XE-14	B-6-A	KC-18	KD-5	KD-3	KM-8
SiO ₂	44.06	49.58	48.15	45.06	47.11	50.17	49.70	48.02	49.57	48.11	48.25	49.80	49.31
TiO ₂	1.26	1.05	0.37	2.07	0.49	1.23	2.00	1.98	1.64	0.29	2.63	3.15	3.52
Al ₂ O ₃	11.96	15.52	19.83	14.10	21.09	16.97	14.37	14.87	14.10	19.74	18.65	16.89	15.27
Fe ₂ O ₃	5.66	3.86	2.92	8.60	3.43	7.43	8.51	6.72	5.83	1.76	4.24	3.06	3.88
FeO	3.62	5.14	2.21	4.64	2.87	3.62	4.73	7.38	5.80	4.32	3.33	5.12	6.68
MnO	0.16	0.15	0.09	0.24	0.07	0.29	0.19	0.40	0.21	0.08	0.17	0.61	0.19
MgO	4.75	8.98	6.76	5.23	6.21	4.60	6.29	6.73	7.25	8.80	5.37	4.90	4.29
CaO	16.20	11.18	12.57	13.74	11.70	11.63	7.96	8.75	11.11	9.05	6.96	5.75	8.15
Na ₂ O	0.76	2.13	2.64	1.76	2.46	0.72	2.49	2.04	2.20	3.10	2.41	4.25	2.80
K ₂ O	0.58	0.00	0.28	0.00	0.19	0.00	1.12	0.26	0.00	0.42	3.50	1.37	1.37
P ₂ O ₅	0.17	0.09	0.04	0.17	0.04	0.14	0.13	0.18	0.13	0.01	0.65	0.74	0.73
H ₂ O ⁺ +CO ₂	11.03	2.56	4.16	4.37	4.61	2.66	2.56	2.82	2.41	4.45	3.80	5.08	4.24
H ₂ O ⁻	0.27	0.15	0.09	0.19	0.02	0.12	0.02	0.32	0.07	0.38	0.23	0.17	0.40
Total	100.48	100.39	100.11	100.17	100.49	99.58	100.25	100.47	100.32	100.51	100.19	100.89	100.83

C.I.P.W. norm													
Q	7.19	2.67	-	5.94	-	17.56	7.87	6.89	6.47	-	-	1.18	6.63
or	3.42	-	1.65	-	1.12	-	6.62	1.54	-	2.48	20.68	8.10	8.10
ab	6.43	18.02	22.34	14.89	20.82	6.09	21.07	17.26	18.62	26.23	20.39	35.96	23.69
an	27.51	32.79	41.43	30.57	45.94	43.03	24.72	30.65	28.60	38.71	29.73	22.96	25.05
C	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
di	25.88	17.55	16.21	28.10	9.32	10.67	10.83	9.28	20.36	4.89	0.43	0.58	8.51
wo	13.86	9.22	8.63	15.07	4.94	5.72	5.81	4.84	10.72	2.56	0.23	0.30	4.43
en	1.83	6.85	7.07	13.03	3.93	4.95	5.02	3.35	8.07	1.82	0.20	0.23	3.05
fs	0.19	1.47	0.15	-	0.45	-	-	1.09	1.57	0.51	-	0.05	1.03
wo	7.75	-	-	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-
hy	-	18.84	6.18	-	11.53	6.51	10.65	17.79	11.94	6.38	12.74	14.73	10.21
en	-	15.51	5.76	-	10.35	6.51	10.65	13.41	9.99	4.98	12.74	11.98	7.64
fs	-	3.33	0.41	-	1.18	-	-	4.38	1.95	1.40	-	2.75	2.57
ol	-	-	3.02	-	0.94	-	-	-	-	13.87	0.31	-	-
fo	-	-	2.80	-	0.83	-	-	-	-	10.59	0.31	-	-
fa	-	-	0.22	-	0.10	-	-	-	-	3.28	-	-	-
mt	8.21	5.60	4.23	9.74	4.93	9.05	10.07	9.74	8.45	2.55	3.66	4.43	5.63
il	2.39	1.99	0.70	3.93	0.93	2.33	3.80	3.76	3.11	0.55	4.99	5.98	6.68
hm	-	-	-	1.88	-	1.19	1.57	-	-	-	1.71	-	-
ap	0.39	0.21	0.09	0.39	0.09	0.32	0.30	0.42	0.30	0.02	1.51	1.71	1.69
Total	89.17	97.67	95.85	95.60	95.66	96.79	97.50	97.33	97.85	95.68	96.15	95.63	96.19

り, 2 方向の線構造が認められたりする(第4図). 青色片岩は調査地域(とくに北半部)の苦鉄質片岩の主体を占める. 鉱物組合せはアルカリ角閃石・緑れん石・緑泥石・曹長石・石英と少量の白色雲母・アパタイト・チタナイト・不透明鉱物(赤鉄鉱など)であり, アクチノ閃石・方解石を含むこともある. アルカリ角閃石(第2表)はクロス閃石であることが多いが, 第5図に示すように藍閃石からマグネシオ・リーベック閃石まで, その組成には変化がある. アルカリ角閃石は累帯構造を持つことが多く, 第5図には代表的な組成変化の様子を示した. 調査地域南部にはウィンチ閃石からクロス閃石への累帯構造が認められる(TE-10). 累帯構造は粗粒なアルカリ角閃石に認められるが, 同一薄片中でも細粒のアルカリ角閃石には累帯構造が認めがたい. 青色片岩の中



第5図. アルカリ角閃石の組成図.
矢印はアルカリ角閃石周縁部への組成変化を示す.

第3表. (続き)

Sample No.	TG-9	TG-8	KL-6-C	KM-7	TE-10
SiO ₂	48.83	48.60	47.43	49.95	52.11
TiO ₂	2.07	2.64	1.93	3.85	2.90
Al ₂ O ₃	13.12	14.92	15.53	15.48	15.29
Fe ₂ O ₃	5.48	4.64	5.09	4.49	5.19
FeO	4.60	6.41	6.25	5.84	5.46
MnO	0.37	0.15	0.13	0.13	0.07
MgO	8.86	8.16	7.11	4.84	3.38
CaO	10.59	5.99	9.22	6.38	4.63
Na ₂ O	1.61	2.54	3.08	3.42	3.41
K ₂ O	1.67	2.34	0.19	2.53	3.69
P ₂ O ₅	0.44	0.63	0.28	0.78	1.04
H ₂ O ⁺ +CO ₂	2.46	3.24	3.08	2.48	1.99
H ₂ O ⁻	0.42	0.03	0.28	0.28	0.35
Total	100.52	100.56	99.60	100.45	99.96
C.I.P.W. norm					
Q	3.49	0.58	0.69	2.82	5.11
or	9.87	13.83	1.12	14.95	21.81
ab	13.62	21.49	26.06	28.94	28.85
an	23.64	22.40	27.99	19.41	15.51
C	-	-	-	-	-
di	20.38	2.54	12.68	5.60	0.52
wo	10.87	1.34	6.65	2.98	0.28
en	9.02	1.01	4.84	2.44	0.22
fs	0.49	0.19	1.16	0.18	0.02
wo	-	-	-	-	-
hy	13.75	22.98	16.01	10.34	10.38
en	13.05	19.32	12.86	9.62	9.32
fs	0.70	3.66	3.14	0.72	1.06
ol	-	-	-	-	-
fo	-	-	-	-	-
fa	-	-	-	-	-
mt	7.94	6.73	7.38	6.15	7.52
il	3.93	5.01	3.67	7.31	5.51
hm	-	-	-	-	-
ap	1.02	1.46	0.65	1.81	2.41
Total	97.64	97.02	96.25	97.69	97.62

分析者: 千貫

には、累帯構造が認められないアルカリ角閃石だけを含むものもある。アルカリ角閃石の累帯構造については、後で再び考察する。青色片岩の全岩化学組成は緑色片岩に比べ、Fe₂O₃/FeO 比が高い傾向にあるが、アルカリ成分などにはとくに大きな違いはない(第3, 7表)。

C. 緑色片岩

南部の高山岩体周辺部では緑色片岩が多くなる。淡緑～暗緑色で剥離性に富み、青色片岩中に薄く挟まれ互層する。アクチノ閃石・緑泥石・緑れん石・石英・曹長石を主とし、少量の白色雲母・アパタイト・チタナイトを含み、方解石・電気石・不透明鉱物を含むことがある。また、パンペリー石が2箇所(R-23, TE-11)で、エジリン・オージャイト(KL-2-B, TE-11, TG-8)も3箇所で見いだされる

第4表. パンペリー石の化学組成.

Sample No.	R-23	TE-11 av.	range
SiO ₂	38.37	37.80	(36.44 - 38.34)
TiO ₂	-	0.16	(0.06 - 0.81)
Al ₂ O ₃	25.00	21.45	(20.18 - 22.40)
FeO	2.38	7.02	(6.07 - 7.77)
MnO	-	0.47	(0.37 - 0.61)
MgO	3.49	2.70	(1.88 - 3.04)
CaO	22.15	22.25	(22.06 - 22.44)
Na ₂ O	0.15	0.18	(0.15 - 0.21)
K ₂ O	-	0.01	(0.00 - 0.02)
Total	91.54	92.04	
Si	6.184	6.254	(6.178 - 6.432)
Ti	-	0.020	(0.007 - 0.101)
Al	4.750	4.183	(4.013 - 4.346)
Fe ²⁺	0.321	0.971	(0.847 - 1.096)
Mn	-	0.066	(0.052 - 0.085)
Mg	0.839	0.666	(0.473 - 0.753)
Ca	3.825	3.944	(3.858 - 4.011)
Na	0.047	0.058	(0.047 - 0.069)
K	-	0.002	(0.000 - 0.004)

第5表. エジリン・オージャイトの化学組成.

Sample No.	KL-2-B	TE-11
SiO ₂	52.52	52.29
TiO ₂	n.d.	0.14
Al ₂ O ₃	1.71	2.05
Fe ₂ O ₃	14.89	12.19
FeO	5.87	8.20
MnO	0.14	0.23
MgO	4.25	4.70
CaO	13.60	13.46
Na ₂ O	6.93	6.41
K ₂ O	0.09	0.01
Total	100.00	99.68
Si	2.000	2.000
Al	0.077	0.092
Ti	-	0.004
Fe ³⁺	0.427	0.351
Fe ²⁺	0.187	0.262
Mn	0.005	0.007
Mg	0.241	0.268
Ca	0.555	0.552
Na	0.512	0.475
K	0.004	0.000

Fe₂O₃ は構造式から、Si=2.000として計算。

(第3図)。パンペリー石はアクチノ閃石・石英と共生する。TE-11のパンペリー石は淡褐色～褐色の多色性を示し、全鉄の含有量が多い(第4表)。R-23のパンペリー石の多色性は微弱(無色～淡緑色)で、全鉄の含有量は少ない(第4表)。パンペリー

第6表. 中性片岩の化学組成.

Sample No.	XC-1	KH-4	F-12-A
SiO ₂	63.38	69.20	62.70
TiO ₂	0.56	0.65	0.46
Al ₂ O ₃	16.69	14.31	11.49
Fe ₂ O ₃	2.03	1.26	10.62
FeO	4.34	2.70	0.72
MnO	0.26	0.03	3.10
MgO	0.84	1.45	1.71
CaO	0.86	1.55	2.73
Na ₂ O	4.43	2.92	3.06
K ₂ O	4.63	3.35	0.64
P ₂ O ₅	0.13	0.14	0.21
H ₂ O ⁺ +CO ₂	1.28	1.82	1.72
H ₂ O ⁻	0.34	0.30	1.07
Total	99.77	99.68	100.23

	C.I.P.W. norm		
Q	14.50	32.99	34.65
or	27.36	19.80	3.78
ab	37.49	24.71	25.89
an	3.42	6.77	12.17
C	3.14	3.40	1.30
hy	7.94	6.51	-
en	2.09	3.61	4.26
fs	5.85	2.90	4.26
mt	2.94	1.83	11.07
il	1.06	1.23	0.87
hm	-	-	2.96
ap	0.30	0.32	0.49
Total	98.15	97.56	97.44

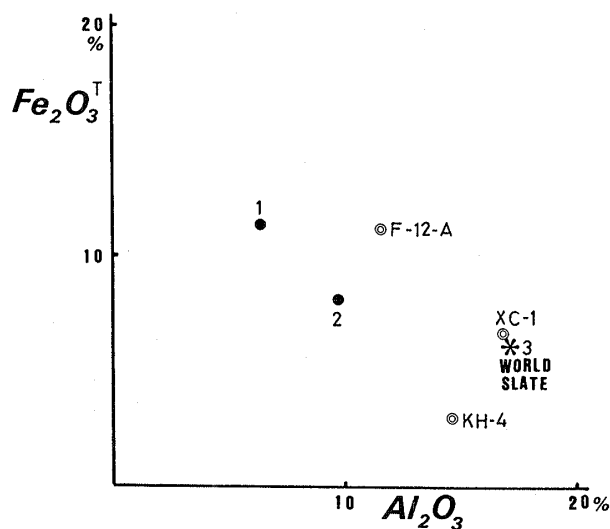
分析者：千貫

石の安定領域は鉄の含有量が少ないほど高温側に広がる (SCHIFFMAN & LIOU, 1980) から、このバンペリー石の全鉄含有量の違いは、変成温度にかなりの幅があることを暗示し、前述の泥質片岩の場合と調和的である。

エジリン・オージャイトは鮮やかな淡緑色～緑色の多色性を有し、溶岩岩片の気泡中 (TE-11) あるいは残存斜輝石 (KL-2-B) の周辺部に見られる。このうち、TE-11のエジリン・オージャイトを含む気泡中に石英が認められる。このエジリン・オージャイト中のヒスイ輝石分子含有量は約9%である (第5表)。

4. 珪質片岩

苦鉄質片岩の周辺部や泥質片岩中の薄い挟みとして、少量見いだされる。泥質片岩中のものは過褶曲し、斜交する微褶曲軸が見られる。このうち早期の変形による褶曲は、後述するように、curviplanar ないし sheathlike 褶曲の一部である可能性が大きい。変成鉱物組合せは概して単調で、石英のほか少量の白色雲母・緑泥石・アパタイト・緑れん石・ザ

第6図. 中性片岩の Al₂O₃-Fe₂O₃図.

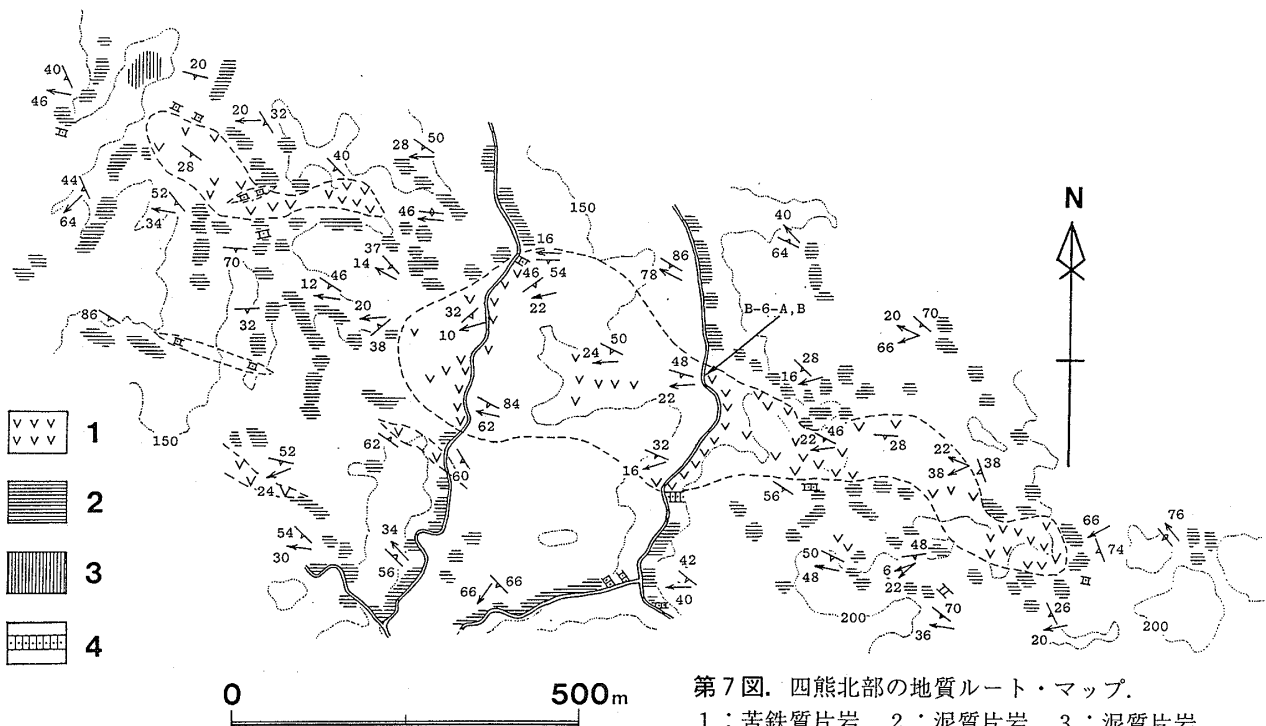
1, 2, 3 : WATANABE & YUASA (1979) より引用.

クロ石・不透明鉱物を含む。方解石・アルカリ角閃石・スチルプノメレンを含むこともある。ザクロ石は Mn に富む (MnO=37~38%)。アルカリ角閃石には無色藍閃石 (Z-9-1) が見られることもある。無色藍閃石については別に詳しく報告する予定である。

5. 中性片岩

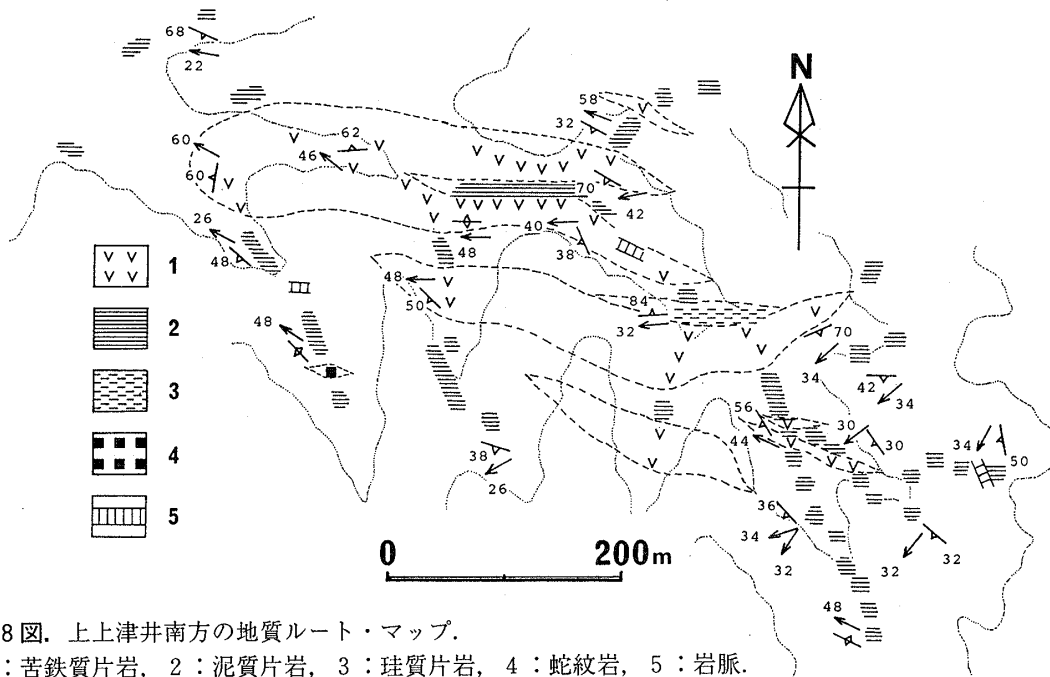
炭質物を含まず、SiO₂ が 60% 前後の片岩を指すことにする。量は多くないものの、苦鉄質片岩に伴って産出する (第6表)。代表的岩相に、ザクロ石-スチルプノメレン片岩と中性緑色片岩がある。前者はほかに石英・曹長石・緑れん石・緑泥石・アパタイトを含み、全岩化学組成では Al₂O₃ にやや乏しく、Fe₂O₃ と MnO に富む。このような組成はキプロスのアンバーを伴うラジオラリア頁岩 (ROBERTSON & HUDSON, 1973) や伊那地方の三波川帯の“中性青色片岩” (WATANABE & YUASA, 1979) に似ている (第6図)。関東山地みかぶ緑色岩から見いだされた、スチルプノメレン・エジリン・リーベック閃石を含む青色片岩 (牧本, 1987) より、SiO₂ に富み、ΣFeO が少ない。これらの岩石は玄武岩溶岩を伴う海底火山活動に関与した特殊な堆積物に由来すると考えられている。波積町南地域のザクロ石-スチルプノメレン片岩は厚さ 10~100 cm の薄層である。この片岩は苦鉄質片岩から漸移する部分に見いだされるから、原岩の形成環境は上記の岩石と類似し、玄武岩質岩石の形成の直後に連続的に堆積したのかもしれない。

中性緑色片岩 (後者) は石英・曹長石・緑泥石・白



第7図. 四熊北部の地質ルート・マップ.

1: 苦鉄質片岩, 2: 泥質片岩, 3: 泥質片岩 (転石), 4: 岩脈.



第8図. 上上津井南方の地質ルート・マップ.

1: 苦鉄質片岩, 2: 泥質片岩, 3: 珪質片岩, 4: 蛇紋岩, 5: 岩脈.

色雲母を主要構成鉱物としている。玄武岩質岩と珪質岩の原岩堆積時の混合のために中性になったのかもしれないが、起源はわかっていない。接触変成作用を受けた岩石では青緑色角閃石を含む。

苦鉄質片岩体の産状

—— とくに泥質片岩との接触関係 ——

第1図に示すように苦鉄質片岩は大小さまざまな

サイズのブロックとして、泥質片岩中に産する。泥質片岩との接触部では両者の片理が斜交し、境界面が剪断帯であることもある(第I図版-aと-b, 幅数cmの剪断破壊を受けた泥質岩のマイロナイトが見られることもある)。地質図上には表現できないような、小さなレンズ状岩(2×1m以下のものが多い)もあちこちで見うけられる。また、長さ数100m規模の岩体でも、分布から、周囲の泥質片岩中

に取り囲まれ個別に分離したレンズ状ないし不定形の岩体であることがわかる(第2, 7, 8図). このような苦鉄質岩の分布は, この岩石が泥質片岩の層序に coherent に累重・配列されているのではないことを示す.

変成度の検討

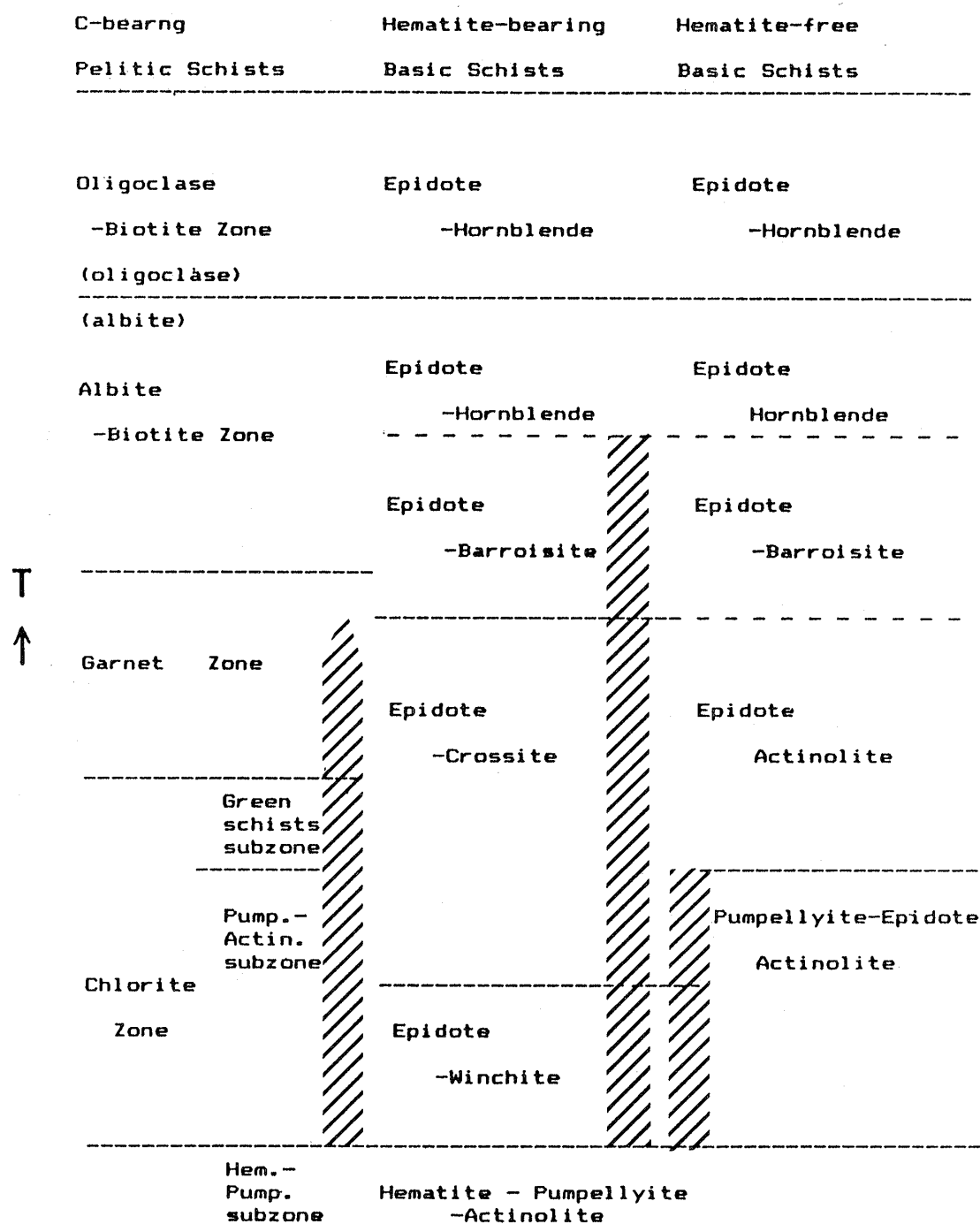
前述の苦鉄質片岩の鉱物組合せを, 代表的サンプルごとに, 第7表に示す. この鉱物共生に見られる変成相系列は, これまで橋本(1972)などによって指摘されていたものと調和的で, 三波川帯のそれに一致する. 三波川帯の変成相は四国中央部で HIGASHINO *et al.* (1981) や坂野(1984), BANNO (1986) によってまとめられている. 彼らのまとめ, とくに坂野(1984)の分帯図をもとに波積町南地域の変成岩の変成度を考察すると(第9図), 本地域の変成岩はパンペリー石-アクチノ閃石片岩相以上の変成岩によって構成され, 三波川帯の緑泥石帯の低変成度からザクロ石帯の高変成度ないし黒雲母帯の低変成度の岩石に相当する. 高変成度岩は中向井蛇紋岩の周囲にブロックとして産すること(第2図)を考慮すれば, 低変成度の岩石が調査地域南部に分布するとは

いえ, 南北3 kmほどの地域が明瞭に分帯できるとは思われない. またアルカリ角閃石を含む苦鉄質片岩については, 鉱物組合せや鉱物組成に一定の制約を設ければ, 藍閃石分子含有量は圧力のインディケーターとなる(BROWN, 1977; MARUYAMA *et al.*, 1986; 坂野・芝草, 1988). 波積町南地域ではアルカリ角閃石-緑れん石-緑泥石-石英-曹長石の組合せが一般的なので, BROWN (1977) と MARUYAMA *et al.* (1986) の方法を応用すると, 藍閃石分子含有量の違いは圧力の違いを示すことになる. 角閃石の M_4 サイト Na は中向井蛇紋岩に南接する苦鉄質片岩(XB-9)で最も多く, 推定圧力は7kbを越える. また, アルカリ角閃石の Al_2O_3 量は3%前後(T-24-5: 調査地北縁)のものから, 10%前後(XB-9)のものまである. これらの岩石は少量ながらアクチノ閃石を含むので, 温度を300℃前後として MARUYAMA *et al.* の方法を用いると, 4.5~7 kbの圧力レンジが得られる. このような圧力見積りはアルカリ角閃石の累帯構造の組成変化にも適用できるであろう. つまり, 第5図のアルカリ角閃石の組成変化は本地域内の圧力の変化を示しており, アルカリ角閃石の周辺部がマグネシオ・リーベック閃石分子に富むという累帯構

第7表. 波積町南地域の代表的な苦鉄質片岩変成鉱物組合せ表.

	T-24-5	TD-2	R-23	R-24	TD-11	TD-9	TD-6	Q-28	J-6	D-16	TM-6	XB-9	XE-14
quartz	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
albite	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
alkali amphibole	X	Xm							X	X	X	X	X
calcic amphibole	Xm		X	X	X		X	X			X	Xm	X
alkali pyroxene													
epidote	X	X	X		Xm		X		X	X			X
pumpellyite			X		X								
chlorite	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
white mica		X	X	Xm	X		Xm		Xm	X	Xm	X	Xm
stilpnomelane													
	B-6-A	B-6-B	KC-18	KD-5	KD-3	KM-8	TG-9	TG-8	KL-6-C	TE-11	TE-10	KL-2-B	KM-7
quartz	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
albite	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
alkali amphibole		X		Xm							X	X	Xm
calcic amphibole	X	Xm	X	Xm			Xm		X				
alkali pyroxene								X	X	X	X	X	X
epidote	X	X					X	X		X			
pumpellyite										X		X	
chlorite	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
white mica			Xm	X	X		X	X		X	X	X	
stilpnomelane		X								X	Xm	X	

m : minor



第9図. 三波川帯との変成度の対応図. 坂野(1984)の四国中央部の三波川帯の変成分帯区分を利用. 斜線部が波積町南地域に認められる変成岩の変成度を示す.

造の組成変化は圧力の減少を示すと考えられる. さらに, 前項で述べた苦鉄質片岩の産状も考えあわせれば, 波積町南地域の三郡変成岩は, 変成度の異なる岩石が混在している, メランジ(SILVER & BEUTNER, 1980)である. 本地域の三郡変成岩は, 小林(1979)により周辺の変成岩類から区別され波積南層とされた. このことに因み, また後に述べるように, メランジの形成には変成岩の変形過程が重要な役割を果

たしていると考えられるので, COWAN(1974)の定義を参考にし, 本層を波積南テクトニック・メランジと呼ぶことにする.

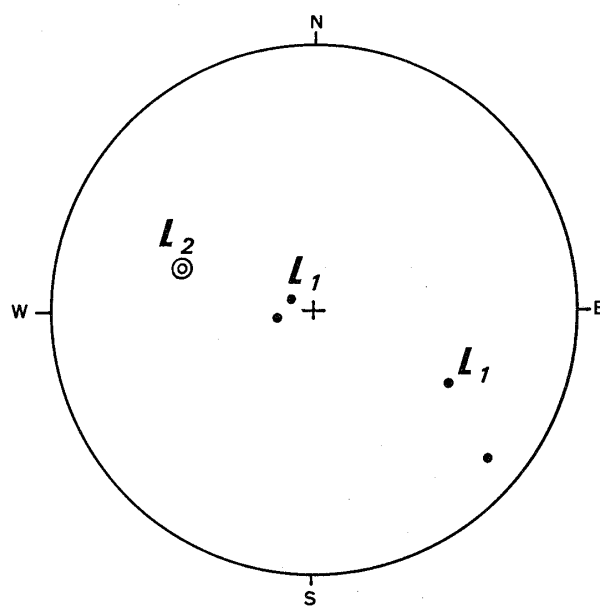
考 察

—— メランジの形成と変成岩の流動 ——

すでに繰り返し述べてきたように, 波積町南地域の苦鉄質片岩は泥質片岩中に大小さまざまなブロッ

クとして認められ、異なる変成度の岩石が混在している。バロア閃石片岩などの高変成度岩のブロックが中向井の蛇紋岩中あるいは周辺に見られるので、これらは蛇紋岩のダイアピル―上昇に伴う固体流動―によって相対的に低変成度の岩石中に運び込まれたものと考えられる。一方、泥質片岩はどのような流動変形を行ったであろうか？ 泥質片岩に挟まれる珪質片岩の変形からこの問いに対する解答が得られる。第Ⅱ図版-a, -b には、早期に形成された流れ褶曲の軸にはほぼ直交する後期の褶曲軸と線構造の存在が示されている。第Ⅱ図版-c は同一サンプル(Y-10)を裏返して見たものである。ここでは curved hinge をもっている curvilinear あるいは sheathlike 褶曲が認められる。この褶曲は第Ⅱ図版-a, -b の早期の褶曲軸と一部で同一方向となる。この種の褶曲は ductile shear zone で形成されることが QUINQUIS *et al.* (1978) によって指摘されている。また、simple shear による sheath 褶曲の形態については、COBBOLD & QUINQUIS (1980) などによって考察が進められた。わが国では三波川帯で FAURE (1983) が、三郡帯でも FAURE & CHARVET (1987) が sheath 褶曲を記載し、ナップ形成の造構過程を論じている。sheath の形態自身は軸面の走向が大きく斜交する褶曲の重複などによっても形成されるが (RAMSAY & HUBER, 1987), FAURE & CHARVET (1987) の記載した例やここで示す比較的平滑な片理面をもつ変成岩中に見られる sheathlike 褶曲は ductile shear の産物であろう。サンプル(Y-10)の予想される shear の方向は sheath の伸びている方向(第Ⅱ図版-c の矢印方向で、後期の微褶曲軸方向に一致)である。第Ⅱ図版-d, -e には、上で予想された shear の方向に平行な薄片(d)と直交する薄片(e)の顕微鏡写真を示す。石英粒の伸長方向は予想された shear の方向にほぼ平行(第Ⅱ図版-d)であり、simple shear による curvilinear 褶曲の生成を否定しない。白色雲母の屈曲が見られる後期の gentle 褶曲の shear の方向はその褶曲軸に直交すると考えると、早期と後期の褶曲形成にあたり、shear の方向に転換があったことになる。FAURE & CHARVET (1987) は山口県の三郡変成帯で、同じ shear 方向のもとで後期の褶曲も形成される例を示している。変形史と shear 方向の解析には今後検討されるべき点が多い。

Y-10の場合と同じように早期と後期の褶曲が認



第10図. Y-10の褶曲軸(早期のもの = L_1 , 後期のもの = L_2)のシュミット・ネット投影(下半球).

められ、しかも早期の等斜褶曲の軸の方向・傾斜が大きく変化し(第10図), sheath 褶曲の存在を予想させる露頭(Y-13)写真を第Ⅲ図版-a, -b に示す。

第Ⅲ図版-c は別のサンプル(F-8)で, shear に平行する方向(X-Z方向)から sheath 褶曲を観察したものである。軸の方向は $N 70^\circ E$ であるが軸の傾斜は sheath 褶曲の一部を構成するため一定ではない。この露頭では再褶曲構造が明らかであるが、これは simple shear による変形がかなり進んだ段階になって一部に生成されるものである (QUINQUIS *et al.*, 1978 の Fig. 3 の b, 2' 参照)。この露頭では北側(右)の上方への動きを伴う shear が想定される。

以上みてきたように、コンピーテントな珪質片岩には simple shear による強い変形の様子が残されている。インコンピーテントな泥質片岩には早期の変形の痕跡は線構造として残されているものの、強い変位を受けたため sheath 褶曲を復元することは至難である。

泥質片岩中の後期の変形は、多少脆性的であったので、肉眼で確認できる粗い軸面劈開(破断)を伴っていると思われる。しかし、褶曲形成が全体的な特徴であるので、その変形は依然として可塑性流動であった。この一連の岩石の流動は蛇紋岩や周辺の高変成度岩石の貫入・移動を伴ったのであろう。しかし、既述のように苦鉄質片岩と泥質片岩の境界には、マイロナイトを形成するという脆性的破壊を伴うこ

ともあるから、メランジは変成帯が上昇し、塑性変形から脆性変形に変わる長い変形の期間をつうじて、形成されたものと考えられる。

FAURE & CHARVET (1987) は sheath 褶曲の形成を衝突帯の比較的表層部でのナップの移動に結びつけ、形成時期を造山運動に関係するペルム紀とした。しかし、著者らは、波積南テクトニック・メランジが変成度の異なる高圧変成岩を含んでいるという考察から、彼らとは異なる見解—ジュラ紀のサブダクション・ゾーンでの高圧変成岩の再構成の過程・高圧変成帯内の流動—を現在持っている。

サブダクション・ゾーンでの岩石の流動とメランジの形成については CLOOS (1982) あるいは PAVLIS & BRUHN (1983) の研究、関連するテクトニクスについては 笹倉・丸山 (1985) や 丸山・笹倉 (1988) の紹介がある。彼らの紹介にもあるとおり、CLOOS (1982) は頁岩から青色片岩 (100~250 °C, 2~8 kb の温度・圧力範囲で形成された岩石) を対象に flow melange を議論しているので、本調査地域のメランジの議論には適さない。パンベリー石-アクチノ閃石片岩相以上の変成岩によって構成される波積南テクトニック・メランジの形成過程には早期に塑性流動変形の証拠があるから、ductile flow がほぼ 15 km (あるいは 10~20 km : 熱流量の大小に依存する) 以深で発生するという、PAVLIS & BRUHN (1983) の考えを支持すると思われる。早期の変形の shear の方向は N-S 性であるらしいが、その角度は E-W 性の後期の変形によって変位してしまっている。また、苦鉄質片岩と泥質片岩の剪断面は大局的には E-W 性である。このことはメランジを形成しながら変成岩が上昇し、その過程で流動の方向が転換したことを示す。流動方向の転換についての考察は別の機会にゆずるが、PLATT (1987) が連続的な underplating により、サブダクション・ウェッジの後方では圧縮場から張力場への転換が発生し、変成帯の上昇をもたらすと述べていることは示唆に富む(もっとも、同様の発想—萌芽的な—は 70 年代の初期に幾つかの文献に現われているが)。サブダクション・ゾーンでのさらに不均質な流動や P-T path の違いを鳥海 (1988) は考察している。筆者らは鳥海の言う不均質な流動がかなり小規模にも起こり、さらに脆性破壊の場まで変成岩が連続的に持ち込まれて、波積南テクトニック・メランジが形成された可能性もあると考えている。波積南テクトニック・メランジの形成時期

は K-Ar 年代 (渡辺ほか, 1987) からジュラ紀前~中世と考えている。このジュラ紀の変動は中国地方に複雑なテレン (terrane) 構成を作り出したようである (WATANABE *et al.*, 1987)。

ところで、ductile shear は圧縮場に限らず、張力場でも起こりうる (MALAVIEILLE, 1987)。波積南テクトニック・メランジ形成の場と過程はサブダクション・ゾーンのシェーマの枠内だけで考える必要もない。ジュラ紀のサブダクション・ゾーンが三波川帯で代表されるように西南日本の外帯側に発達していたとするなら、外帯側に古生代島弧 (舞鶴帯?) が部分的に存在したかも知れない三郡帯は、サブダクション・ゾーンの後方に位置し、幾つかの terrane の衝突・横ずれ・回転等の生ずる場にあったかもしれない。横ずれに伴う張力場での変動等を検討することは課題として残されている。

ま と め

小林 (1979) によって波積南層と呼ばれた三郡変成岩類はテクトニック・メランジを構成する単位である。その特徴は主体をなす泥質片岩基質中に、大小さまざまなサイズのレンズ状ないし不規則な形態の苦鉄質片岩がブロックとして存在し、かつ三波川帯の緑泥石帯低温部からザクロ石帯高温部ないし黒雲母帯低温部に相当する変成岩ブロックが、3 × 6 km の狭い地域に混在していることである。このメランジは蛇紋岩と shear zone での泥質片岩の流動 (珪質片岩では sheath 褶曲を伴う) によって形成されはじめ、変成岩が脆性破壊を起こすようになるまで、継続して作り上げられた。この高圧変成帯の岩石配置の再構成を伴う変形はジュラ紀前~中世に行われた。変成岩の形成はサブダクション・ゾーンで行われたと思われるが、ジュラ紀の三郡帯の位置を考慮するとサブダクション・ゾーン後方の張力場での変形による岩石配置の再構成も今後検討されるべきであろう。

謝辞：本研究は渡辺が島根大学在職中に小林・渡辺による千貫の卒論指導を契機として開始された。その後、千貫は神戸大学教育学部大学院修士課程在学中に中島和一教授・田結庄良昭助教授に御指導・御教示いただいた。島根大学飯泉 滋教授には蛍光 X 線分析装置の使用に関して、大変お世話になった。三郡団研に参加された諸氏には現地で討論していただいたり、御援助していただいた。さらに江津市上

津井の赤水旅館の皆様には、野外調査でさまざまな便宜をはかっていただいた。また、茨城大学橋本光男教授・京都大学坂野昇平教授・山口大学西村祐二郎教授・東京大学鳥海光弘助教授には草稿を読まれ、貴重な御意見・御批判をいただき、内容の改善に有益であった。北海道大学教養部地学教室の平間正男氏には、図版の作成の一部を担当していただいた。以上の方々に厚くお礼申し上げる。

文 献

- 坂野昇平, 1984: 三波川変成岩の変成相系列. 内帯高压変成帯, no. 2, 33-36.
- BANNO, S., 1986: The high-pressure metamorphic belt of Japan: A review. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, **164**, 365-374.
- 坂野昇平・芝草英彦, 1988: Pumpellyite の組成・共生関係の温度・圧力変化. 岩鉱, **83**, 111.
- BROWN, E. H., 1977: The crossite content of Ca-amphibole as a guide to pressure of metamorphism. *Jour. Petrol.*, **18**, 53-72.
- COBBOLD, P. R. and QUINQUIS, H., 1980: Development of sheath folds in shear regimes. *Jour. Struct. Geol.*, **2**, 119-126.
- COWAN, D. S., 1974: Deformation and metamorphism of the Franciscan subduction complex, northwest of Pacheco Pass, California. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **85**, 1623-1634.
- CLOOS, M., 1982: Flow melanges: Numerical modeling and geologic constraints on their origin in the Franciscan subduction complex, California. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, **93**, 330-345.
- FAURE, M., 1983: Eastward ductile shear during the early tectonic phase in the Sanbagawa belt. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **89**, 319-329.
- and CHARVET, J., 1987: Late Permian/early Triassic orogeny in Japan: piling up of nappes, transverse lineation and continental subduction of Honshu block. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **84**, 295-308.
- 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**, 767-775.
- HIGASHINO, T., SAKAI, C., OTSUKI, M., ITAYA, T. and BANNO, S., 1981: Electron microprobe analyses of rock-forming minerals from the Sanbagawa metamorphic rocks, Shikoku. Part I. Asemi River area. *Sci. Rept. Kanazawa Univ.*, **26**, 73-123.
- KAWACHI, Y., WATANABE, T. and LANDIS, C. A., 1982: Origin of mafic volcanogenic schists and related rocks in the Sambagawa belt, Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **88**, 797-817.
- 小林英夫, 1979: 江津北東部の変塩基性岩中の RODINGITE. 島根大理紀要, **13**, 145-159.
- ・渡辺暉夫, 1985: 三郡変成岩のテクトニックメランジェ. 日本地質学会第92年学術大会講演要旨, 22-23.
- ・千貫 浩, 1985: 江津地域. 島根県の地質, 38-40, 島根県.
- 牧本 博, 1987: 関東山地御荷鉾緑色岩中の Fe に富む堆積岩. 地質雑, **93**, 701-704.
- MARUYAMA, S., CHO, M. and LIOU, J. G., 1986: Experimental investigations of blueschist-greenschist transition equilibria: Pressure dependence of Al_2O_3 contents in sodic amphiboles—A new geobarometer. *Geol. Soc. Amer. Mem.*, **164**, 1-16.
- 丸山茂徳・笹倉嘉人, 1988: フランシスカン変成帯. 月刊地球, **10**, 411-416.
- 都城秋穂, 1965: 変成岩と変成帯. 岩波書店, 458p., 東京.
- MALAVIEILLE, J., 1987: Extensional shearing deformation and kilometer-scale "a"-type folds in a Cordilleran metamorphic complex (Raft River Mountains, north-western Utah). *Tectonics*, **6**, 423-448.
- NISHIMURA, Y., 1971: Regional metamorphism of the Nishiki-cho district, Southwest Japan. *Jour. Sci. Hiroshima Univ.*, [C], **6**, 203-268.
- 西村祐二郎・武田賢治・古田茂樹, 1987: 三郡変成岩, 山口県錦町-徳山市地域-都濃層群. 猪木幸男・村上允英・大久保雅弘編: 日本の地質7, 中国地方, 14-16, 共立出版, 東京.
- 岡村義彦・岡屋 勉, 1975: 島根県江津地域の三郡変成岩類, 山口大教研論叢, **23**, 39-45.
- PAVLIS, T. L. and BRUHN, R. L., 1983: Deep-seated flow as a mechanism for the uplift of broad forearc ridges and its role in the exposure of high P/T metamorphic terranes. *Tectonics*, **2**, 437-497.
- PLATT, J. P., 1987: The uplift of high-pressure-low-temperature metamorphic rocks. In OXBURGH, E. R., YARDLEY, B. W. D. and ENGLAND, P. C., eds.: *Tectonic Setting of Regional Metamorphism*, 87-103, The Royal Soc., London.
- QUINQUIS, H., AUDREN, CL., BRUN, J. P. and COBBOLD, P. R., 1978: Intense progressive shear in Ile de Groix blueschists and compatibility with subduction or obduction. *Nature*, **273**, 43-45.
- RAMSAY, J. G. and HUBER, M., 1987: *The Techniques of Modern Structural Geology*, vol. 2: *Folds and Fractures*. 700p., Academic Press, London.
- ROBERTSON, A. H. F. and HUDSON, J. D., 1973: Cyprus umbers: chemical precipitates on a Tethyan ocean ridge. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **18**, 93-101.
- 笹倉嘉人・丸山茂徳, 1985: フランシスカン層群のオリストストローム. 月刊地球, **7**, 398-408.
- SCHIFFMAN, P. and LIOU, J. G., 1980: Synthesis and stability

- relations of Mg-Al pumpellyite, $\text{Ca}_4\text{Al}_5\text{MgSi}_6\text{O}_{21}(\text{OH})_7$. *Jour. Petrol.*, **21**, 441-474.
- 千貫 浩, 1983: 江津北東部の三郡変成岩類の岩石学的研究. 島根大理卒論(手記).
- , 1985: 江津市波積地域の三郡変成岩類(岩石記載). 島根大地研報, no. 4, 41-59.
- 島根県地質図編集委員会, 1982: 島根県地質図(20万分の1). 国土地図, 東京.
- 嶋山育男, 1978: 江津市江川北方の三郡変成岩類について. 島根大文理卒論(手記).
- SILVER, E. A. and BEUTNER, E. C., 1980: Melanges. *Geology*, **8**, 32-34.
- 竹下浩征・渡辺暉夫・石賀裕明, 1987: 島根県江津市田ノ原川層(三郡変成岩)からのペルム紀放散虫化石の発見. 地質雑, **93**, 435-438.
- 島海光弘, 1988: 三波川変成作用と大規模塑性流動. 月刊地球, **10**, 383-388.
- 脇坂安彦, 1985: 変塩基性岩. 島根県の地質, 40-43, 島根県.
- 渡辺暉夫, 1985: 三郡変成帯の年代論と変成岩に関するノート. 島根大地研報, no. 4, 33-39.
- , 1987: 三郡帯の変成史の一考察—江津地方を例として—. 地団研第41回総会シンポジウム要旨集(広島), 209-212.
- ・猪木幸男・武田賢治, 1987: 三郡変成岩, 江津市東部. 猪木幸男・村上允英・大久保雅弘編: 日本の地質7, 中国地方, 18-19, 共立出版, 東京.
- WATANABE, T. and KOBAYASHI, H., 1984: Occurrence of lawsonite in pelitic schists from the Sanbagawa metamorphic belt, central Shikoku, Japan. *Jour. Metam. Geol.*, **2**, 365-369.
- , ——— and SENGAN, H., 1983: Lawsonite from quartzofeldspathic schist in the Sangun metamorphic belt, Shikuma, Shimane Prefecture. *Mem. Fac. Sci., Shimane Univ.*, **17**, 81-86.
- , TOKUOKA, T. and NAKA, T., 1987: Complex fragmentation of Permo-Triassic and Jurassic accreted terranes in the Chugoku region, southwest Japan and formation of the Sangun metamorphic rocks. In LEITCH, E. C. and SCHEIBNER, E. eds.: *Terrane Accretion and Orogenic Belts*. Amer. Geophys. Union Monograph, *Geodynamic Series*, no. **19**, 275-289.
- and YUASA, M., 1979: Origin of the blueschists and lawsonite-bearing greenstones in the Mikabu greenstones, Ina district, central Japan. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **85**, 331-337.

図 版 説 明

第Ⅰ図版

- a. 苦鉄質片岩と泥質片岩の接触部. 片理面が斜交している.
- b. 同上

第Ⅱ図版

- a. 重複変形の例 (Y-10).
- b. 同上
- c. 同上. curvilinear 褶曲 (褶曲軸のカーブに注意).
- d. Y-10 の顕微鏡写真. shearに平行.
- e. 同上. shear に直交.

第Ⅲ図版

- a. Y-13 露頭の一部に見られる早期の褶曲 (sheath 褶曲を予想させる).
- b. 同上露頭と後期の褶曲.
- c. F-8 露頭, sheath 褶曲の一部に見られる再褶曲構造 (X-Z 方向からの観察).