長門構造帯産角閃岩類

AMPHIBOLITES FROM NAGATO TECTONIC ZONE, SOUTHWEST JAPAN

村 上 允 英 (Nobuhide Murakami)*

Newly found amphibolites occur as tectonic blocks and lenticular bodies in serpentinite in Nagato tectonic zone which has been known by the occurrence of orthogneisses and granites of about 400 million years in isotopic age. These amphibolites are composed mainly of amphibole, epidote minerals, and plagioclase, rarely accompanying clinopyroxene. In chemical composition, they range from basalt to andesite and resemble the high-alumina basalt series after Kuno (1960). Five amphiboles together with three epidote minerals and one clinopyroxene were analysed chemically. Of these, three amphiboles are rich in edenitic component, while two of them are pargasitic and rich in Ti and Ca than the former.

Detailed field and microscopic observations indicate the common occurrence of edenitic amphibole in these amphibolites and the equilibrated mineral association corresponding to epidoteamphibolite facies to lower part of almandine-amphibolite facies. Consequently, it is suggested that the pargasitic amphiboles are the relict minerals of higher-grade metamorphism prior to the Silurian age. This is confirmed by the compositional relation between amphiboles and coexisting epidote minerals, comparatively high Al-content in relict clinopyroxene and calcic core rimmed by clear sodic periphery in plagioclase.

1. は じ め に

長門構造帯は巾 0.1~2km, 延長 35km の, ほぼ NNE-SSW~NE-SW 方向に連なる小規模の構造帯で, 約 400×10^6 年の年代値を有する花崗岩質岩石の発見(河野・ほか, 1966)により黒瀬川構造帯などと共に, 本邦における基盤岩露出地域の一部と考えられるようになった。村上 (1971a) はこの花崗岩質岩石の多産する台地域**を調査し, 花崗岩質岩石が, 正片麻岩類と貫入性花崗岩類とに 2 大別されること, 正片麻岩類には白雲母に富むもの, 黒雲母に富みざくろ石を伴うものなどが存在し, ほぼ角閃岩相の低温部あるいは緑れん石角閃岩相に相当する変成をうけていることを明らかにした。上記の年代値は片麻岩類中の白雲母について得られた値であるので, この変成に関する考えが正しいならば, 正片麻岩の原岩である花崗岩の形成はさらに古くさかのぼらざる

* 山口大学教養部地学教室

(昭和 50 年 5 月 28 日受理)

** 構造帯はジュラ紀およびそれ以後の地層によりおおわれ, あるいは新しい時期の火成岩類に貫かれるため, 断続的分布を示す。主要な分布地は北より, 三隅, 台, 西市, 豊ヶ岳の 4 地区に区分される (Fig. 1)。

Fig. 1. Generalized geologic map of Nagato tectonic zone.

1: Jurassic Quaternary. 2: Triassic.
3: Palaeozoic. 4: Tectonic zone.

Fig. 2. Geologic map of Misumi area, Nagato tectonic zone.

1: Quaternary. 2: Post-Triassic intrusive rocks (granite, granite porphyry, quartz porphyry and porphyrite). 3: Upper Cretaceous Kwanmon group. 4: Sandstone and slate. 5: Green tuffaceous rocks. 6: Quartzite. 7: Limestone. 8: Sheared granites to diorites. 9: Amphibolites. 10: Serpentinite.

を得ない。しかも、最近、片麻岩を貫く花崗岩についても4億年に近いK-Ar年代値が得られた(植田 良夫による個人通信)ことから、複変成作用の可能性も想像されるようになった。

1972年秋に行なわれた総合研究「本州造山以前の日本の基盤岩類の研究」の現地討論会において、台地域の蛇紋岩体中に、新しく、変斑れい岩、変輝緑岩と共に角閃岩類の岩塊の含まれることが明らかにされ(鈴木, 1972), さらに類似岩体は三隅地域においても発見された。このような経緯から上記の変成作用に関する問題は、これらの角閃岩類の研究と相まって進められるようになった。

2. 角閃岩類の産状

角閃岩類は構造帯のうち、台、三隅の2地区にのみ産出が知られている。台地区に産する角閃岩類は蛇紋岩中に含まれる径10数cm～数10cmの角礫状岩体で、斑

れい岩、片麻岩、花崗岩、輝緑岩などと共産し、角礫状をなすことや、著しい破碎をうけていることなどから、構造運動により蛇紋岩中にもみこまれた捕獲岩塊と推定される。

一方、三隅地区産の角閃岩類は著しい擾乱をうけた古生層*あるいは蛇紋岩に伴われる巾数m～数10mのレンズ状岩体で、圧碎花崗岩類を伴うこともある(Fig. 2)台地区と同様に岩石には破碎構造が発達している。

角閃岩類は肉眼で緑黒～緑色で、明瞭な葉理構造が認められる。しかし、この葉理構造は三隅地区ではやや弱く、台地区ではやや顕著である。肉眼では無数の破碎脈がこの葉理面を切っており、破碎の著しい部分では炭酸塩鉱物、緑れん石-斜ゆうれん石、緑泥石脈が発達するばかりでなく、後に述べるように角閃石の緑閃石化が進んでいる。このことから、破碎作用は葉理構造を生じた変成作用より後期に行なわれたと結論される。

1: Type I. 2: Type II. 3: Type III.

H: Amphibole. Ep: Epidote. Px: Pyroxene. Ch: Chlorite. Pl: Plagioclase.

* 最近、古生層中の石灰岩礫岩中の礫より二疊紀前期を示す紡錘虫化石が発見された(村上允英・三上貫彦, 1975)。

Table 1. Modal compositions of amphibolites

	71112106	71112104	71112103	74032403	73101418	74031903	74031903X	74032405
Pyroxene				4.2				
Amphibole	81.8	60.7	71.5	94.6	53.2	35.4	84.9	57.6
Chlorite		5.1	3.0		16.5	15.6	2.9	8.6
Epidote	17.1	23.8	18.5		1.8	15.2	4.9	4.8
Plagioclase	0.7	5.6	0.3		19.5	31.2	3.6	28.4
Quartz					1.6			
Carbonate					6.8	0.5	2.9	
Titanite	0.4	3.7	1.4			0.0	0.0	
Opaque min.		1.1	5.4	0.4	0.4	1.7	0.8	0.4
Others	0.0	0.0	0.0	0.9	0.2	0.4	0.0	0.2

Fig. 3. Diagram showing the difference in modal compositions between amphibolites from Dai area (solid circles) and those from Misumi area (solid triangles). Amph: Amphibole. Ep: Epidote-Clinzoisite. Chl: Chlorite. Px: Pyroxene. Fe: Feldspar. Q: Quartz.

角閃岩と随伴する他の岩体との関係は野外では確認し難い。ただ、台地区では花崗岩に貫かれる角閃岩の露頭が観察されており、また、角閃岩の葉理面は周囲の蛇紋岩や片麻岩の葉理面と平行していることが多い。

3. 角閃岩類のタイプ

含有鉱物および、それらの量比より、次の3タイプに区分される。

タイプ (I) : ほとんど角閃石と緑れん石一斜ゆうれん石よりなり、少量～微量の斜長石を伴うもの。

Table 2. Pyroxene analysis

SiO ₂	52.00	Si	1.926
TiO ₂	0.24	Al ^{iv}	0.074
Al ₂ O ₃	4.17	Al ^{vi}	0.108
Fe ₂ O ₃	3.90	Ti	0.007
FeO	3.55	Fe ³⁺	0.109
MnO	0.06	Fe ²⁺	0.110
MgO	13.86	Mn	0.002
CaO	18.42	Mg	0.765
Na ₂ O	2.42	Ca	0.731
K ₂ O	0.16	Na	0.174
H ₂ O	0.80	K	0.008
T.	99.58		

Analyst: N. Murakami

Atomic ratios calculated on the basis of 6 (O).

タイプ (II) : ほとんど角閃石と少量の単斜輝石よりなるもの。

タイプ (III) : 角閃石、緑れん石一斜ゆうれん石のほか、比較的少量の斜長石を含むもの。

これら3タイプ間における鉱物組成の差異を Fig. 3 に、容量比を Table 1 に示す。

1) タイプ (I)

台地区にのみ発見される。細粒～中粒で、角閃石、緑れん石一斜ゆうれん石のほか、約6%以下の斜長石、ほぼ等量の緑泥石、少量の不透明鉱物、チタン石～リュウコキシンを伴う。緑れん石一斜ゆうれん石は単独の結晶あるいは細粒の集合体で、破碎の著しい部分では細脈

状をして産することもある。

角閃石は葉理面に平行の細長い結晶の集合体で、いわゆるネマトプラスティック組織をつくる。後に述べるようにその成分範囲は広く、パーガサイト質からエデナイト質におよび、破碎の著しい部分では緑閃石質になっている。一般にパーガサイト質のものは、エデナイト質のものに交代され、エデナイト質のものは更に緑閃石質のものに交代されている。

2) タイプ (II)

弱い葉理構造を有する粗粒の岩石で、三隅地区にのみ産する。少量の単斜輝石と不透明鉱物のほかは、すべて緑色角閃石よりなる。角閃石の粒径は0.2~0.7cmに達し、後に述べるようにエデナイト質組成を有する。単斜輝石は角閃石に包有され、粒状あるいは不規則な輪廓をして産する。しばしば角閃石による交代が明瞭に認められ、その産状より角閃石化をまぬがれた残存鉱物と考えられる。その化学組成はTable 2に示すとおりで、約4%の Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、2.4%の Na_2O を含む。これらの値はKushiro (1962)の計算法によればAc 6.1%, Jd 4.1%, Tsch 3.1%の端成分に相当する。

3) タイプ (III)

三隅地区にのみ産する。葉理構造は弱く、塊状の外観

を有することもある。斜長石に富み、その量が多い場合には31%に達する。このほか、緑泥石、緑れん石、炭酸塩鉱物、少量の石英、不透明鉱物が伴われるが、緑れん石量はタイプ (I) に比べて少なく、緑泥石、炭酸塩鉱物は逆に多く含まれる。No. 73101418 中の炭酸塩鉱物、No. 73101418・74631903・74032405 中の緑泥石は、とくにその量が多い。

斜長石はAn 10~20の外縁部とAn 28~37~?の内核とを有する。外縁部は一般に包有物を欠き鮮明であるが、内核は汚濁しており、とくに最内核は汚濁化の著しいため組成の推定が困難である。緑泥石は単独の他形晶あるいは粒状の集合体で、緑れん石と密接に伴って産する。緑れん石は $a=1.733\sim1.740$ の屈折率を有し、タイプ (I) 中のものに比べてFeに富んでいると考えられる。角閃石と連晶をして産することがある。また、石英は空隙充填をして少量伴われる。

角閃石は後に述べるようにエデナイト質でタイプ (I)・(II) 中のものに比べFeに富む。

4. 角閃岩類の化学組成

角閃岩類の化学組成をTable 3に示す。この表より明らかなように各タイプの角閃岩類の間には、明瞭な化学

Table 3. Chemical compositions of amphibolites

	71112106	71112104	71112103	74032403	73101418	74031903	74031903X	74032405
SiO ₂	39.13	43.02	47.41	49.78	52.64	59.52	49.32	53.84
TiO ₂	0.29	0.23	0.12	0.13	0.19	0.48	0.61	0.34
Al ₂ O ₃	16.87	16.01	16.95	9.49	14.69	14.77	14.15	15.99
Fe ₂ O ₃	4.73	4.70	1.85	2.54	1.84	3.61	2.77	3.11
FeO	12.01	9.35	4.79	6.38	6.62	5.03	11.22	7.67
MnO	0.17	0.18	0.18	0.24	0.05	0.14	0.27	0.12
MgO	9.83	10.57	12.41	16.52	9.85	3.36	5.30	5.46
CaO	9.79	8.39	11.75	9.74	4.08	5.18	6.85	5.80
Na ₂ O	2.51	3.03	1.96	2.75	3.34	3.43	3.30	3.81
K ₂ O	0.13	0.23	0.14	0.34	0.24	0.37	0.47	0.62
P ₂ O ₅	0.12	0.11	0.07	0.22	0.11	0.08	0.07	0.02
H ₂ O(+)	3.88	3.48	1.75	1.43	6.40	3.94	4.83	2.17
H ₂ O(-)	0.22	0.40	0.22	0.00	0.22	0.04	1.12	0.40
T.	99.68	99.69	99.60	99.56	100.27	99.95	100.28	99.35
FeO _T /MgO	1.65	1.28	0.52	0.52	0.84	2.46	2.59	1.92
C.R.*	0.28	0.33	0.28	0.28	0.22	0.42	0.20	0.29
Type	I	I	I	II	III	III	III	III

* $Fe_2O_3/(Fe_2O_3+FeO)$

Analyst: N. Murakami

Fig. 4. Alkali-silica diagram for amphibolites and related rocks. Solid circles: Amphibolites. Open circles: Sheared granites to gabbros. Small solid circles: Plutonic inclusions from Cenozoic volcanic rocks (Murakami, 1971b).

Fig. 5. A-F-M diagram of amphibolites. Symbols are the same as those in Fig. 4.

組成上の差が存在する。すなわち、タイプ (III) はもっとも SiO_2 に富み、また、 TiO_2 及びアルカリ、特に K_2O に富む傾向を有する。 FeOt/MgO 比も高いが、 CaO 、 Al_2O_3 には乏しい。これに対しタイプ (I) は CaO 、 Al_2O_3 には、やや富むが、 SiO_2 、 TiO_2 、 K_2O 等には乏しく、 FeOt/MgO 比も低い。タイプ (II) は MgO に富むばかりでなく P_2O_5 にも富む特徴を有する。 Al_2O_3 値は逆に低く、タイプ (I)・(III) とはかなり異なった組成を示している。その原岩についてのデータは乏しいが、残存輝石の存在および化学組成より、少量の斜長石を含むウェブステライト質岩石であった可能性が考えられる。またタイプ (I)、(III) についてはその組成より玄武岩質～安山岩質のものであることは明瞭であるが、Kuno (1960) による SiO_2 -Alkali 図 (Fig. 4) ではほぼ高アルミナ玄

Fig. 6. Relation between TiO_2 and Al_2O_3 in amphibolites. Straight line from Chayes (1965). See text.

武岩系列に相当する組成を有することが明らかである。このことは A-F-M 図 (Fig. 5) から、ほぼ知ることができる。

これらの角閃岩類の特徴の1つとして、Table 3より明らかのように TiO_2 に比較的乏しいという事実があげられる。Fig. 6 は Al_2O_3 と TiO_2 との関係を示す図で、

Fig. 7. Variation of FeO_t/MgO ratio with SiO_2 in amphibolites (solid circles). Plutonic inclusions from Cenozoic volcanic rocks (small solid circles) are also shown.

Fig. 8. Variations of MgO (solid circles) and Al_2O_3 (open circles) with FeO_t/MgO in amphibolites and plutonic inclusions from Cenozoic volcanic rocks.
Large circles: Amphibolites. Small circles: Inclusions.

角閃岩類が TiO_2 に乏しく逆に Al_2O_3 に富んでいる事実を示している。図中の直線は Chayes (1965) による環太平洋型玄武岩（直線より上部）と大洋型玄武岩（直線より下部）との境界線であるが、角閃岩類の組成はむしろ青木 (1970), Hubard (1969) などの指摘しているように海嶺産ソレライトに類似している。 Al_2O_3 と TiO_2 とが1個の例外（タイプ(II)）を除いて逆の相関を示し

ている (Hubard, 1969) 点も海嶺産ソレライトとの類似性を強調している。

なお、角閃岩類の主成分は SiO_2 (Fig. 7) や DI (Thornton and Tuttle, 1960) よりも FeO_t/MgO との相関がつよい。すなわち Fig. 8・9 に示すように FeO_t/MgO の増に伴う MgO の減少、 TiO_2 の増加の傾向が明瞭に認められるばかりでなく、 Al_2O_3 の変化線も FeO_t/MgO

Fig. 9. Variation of TiO_2 with FeO_t/MgO ratio in amphibolites. Symbols are the same as those in Fig. 8.

比 1.7 の位置に最大値を有するなめらかな線で示される。Miyashiro *et al.* (1969) は大西洋中央海嶺産玄武岩類を低アルミナソレアイトと高アルミナソレアイトに 2 分したが、上記の角閃岩類の組成はこの両者とも多少異なり、その系列はむしろ両者をつなぐ傾向を有している。

5. 角閃石の性状

Table 4 は角閃岩類中の角閃石の光学的性質を示す。この表に示されるとおりタイプ (III) の角閃岩類中の角閃石は他に比べて屈折率が著しく高く、しかも光軸角が小さい。また、多色性も他と異なり帯青緑色である。これに対しタイプ (I)・(II) 中の角閃石は青色味を欠き、屈

Fig. 10. Relation between $2V_x$ and γ -index in amphibolites.

折率・光軸角も異なる。すなわち、73112404 と 73112106 中の角閃石は屈折率においてはタイプ (III) 中のものと大差がないが、光軸角が大きく、73112103, 74032403 では上記のものに比べて屈折率は低く光軸角が大きい。このような差は、後述のようにタイプ (III) 中の角閃石が高い Fe/Mg 比を有することに原因していると考えられる。なお、Fig. 10 に示すように 73112106 および 73112103 では主体をなす角閃石は、より屈折率の低く光軸角の大きい角閃石に交代されている。これは光学的

Table 4. Optical properties of amphiboles

	71112106H	71112104H	71112103H	74032403H	74032405H	74031903H
α	(1.664 1.636)	1.657	(1.636 1.634)	1.638	1.658	1.661
β	(1.680 1.651)	1.672	(1.650 1.649)	1.653	1.676	1.678
γ	(1.687 1.658)	1.680	(1.657 1.654)	1.663	1.681	1.683
$2V_x$	(67° 72°)	69°	(72° 84°)	76°	55°	53.5°
X	(pale yellow pale yellow)	pale yellow	(pale yellow pale yellow)	pale yellow	pale yellow	pale yellow
Y	(yellowish green yellowish green)	yellowish green	(yellowish green pale yellow- ish green)	yellowish green	bluish green	bluish green
Z	(green with bluish tinge green)	green with bluish tinge	(green pale green)	green	deep bluish green	deep bluish green

Table 5. Amphibole analyses

	71112106H	71112104H	71112103H	74032403H	74032405H
SiO ₂	41.78	42.75	50.28	47.55	47.88
TiO ₂	1.18	0.76	0.22	0.34	0.36
Al ₂ O ₃	14.34	12.98	9.91	9.78	9.74
Fe ₂ O ₃	3.65	2.82	0.83	3.20	5.52
FeO	14.53	14.82	6.38	6.53	11.56
MnO	0.18	0.19	0.17	0.25	0.26
MgO	8.52	10.24	16.92	17.32	9.03
CaO	10.71	10.25	9.94	9.69	10.20
Na ₂ O	2.21	1.86	2.08	3.17	1.94
K ₂ O	0.30	0.36	0.22	0.36	0.27
H ₂ O(+)	2.32	2.50	1.36	1.28	2.97
H ₂ O(-)	0.04	0.05	0.03	0.03	0.03
T.	99.76	99.58	99.34	99.50	99.76
Si	6.214	6.335	7.209	6.877	6.923
Al ^{iv}	1.786	1.665	0.791	1.123	1.077
Al ^{vi}	0.728	0.602	0.884	0.544	0.583
Ti	0.132	0.085	0.024	0.037	0.039
Fe ³⁺	0.409	0.314	0.090	0.348	0.601
Fe ²⁺	1.807	1.837	0.765	0.790	1.398
Mn	0.023	0.024	0.021	0.031	0.032
Mg	1.889	2.262	3.615	3.733	1.946
Ca	1.709	1.628	1.527	1.502	1.580
Na	0.637	0.534	0.578	0.889	0.544
K	0.057	0.068	0.040	0.066	0.050
OH	2.302	2.471	1.301	1.235	2.865
FeO _t /MgO	2.09	1.70	0.42	0.54	1.83

Analyst: N. Murakami

Atomic ratios calculated on the basis of 24 (O+OH).

性質および後述の化学組成より、前者においてはパーガサイト質組成のものがエデナイト質組成のものに、後者においてはエデナイト質組成のものが緑閃石質組成のものに交代されていることを示していると考えられる。

上記角閃石中台地域のもの3ヶ、三隅地帯のもの2ヶの化学組成を Table 5 に示す。Fig. 11 は Deer *et al.* (1963) による図に上記の角閃石の組成を点示したものである。この図より明らかなように分析した角閃石類

は、ほぼパーガサイト質からエデナイト質の組成を有する。すなわち、タイプ (II)・(III) 中の角閃石はいずれもエデナイト質であるが、タイプ (I) 中の角閃石は1ヶを除いてパーガサイトに近い組成である。Table 5 に示されているようにパーガサイト質角閃石は、エデナイト質角閃石に比べて Al^{IV} ばかりでなく Al^{VI}, Ti, Ca にも富み、Si に乏しい。

Fig. 11. Diagram showing the difference in chemical compositions of amphiboles among three types of amphibolites.

6. 角閃岩類の成因に関する一考察

既述のように長門構造帯産角閃岩類中の角閃石は、大きくパーガサイト質のものとエデナイト質のものとに2分される。もし、これらの角閃石がその生成された変成条件下において平衡に達していたならば、前者はより高変成度において生成されたもので、後者はより低変成度において生成されたものと考えられる。村上 (1971a) は台地域産片麻岩類中における鉱物組み合わせおよび鉱物の化学組成より、これらが角閃岩相の低温部あるいは緑れん石角閃岩相に相当する変成相の産物であることを推定した。この推定は、その後片麻岩中に含まれるざくろ石の組成 (Table 6) が著しくスペッカルタイト分に富むことから確認 (Miyashiro, 1953) された。

Shido (1958), Seki (1958), Hietanen (1974) などにより論じられているように、一般に広域変成帯中の塩基性岩では、変成度の上昇と共に角閃石の組成は、緑閃石質 (緑色片岩相) からエデナイト質 (緑れん石角閃岩相)、さらにパーガサイト質 (角閃岩相～グラニュライト相) へと変化するといわれている。したがって長門構造帯産角閃岩類中片麻岩類と同じ変成条件を示すものは、エデナイト質角閃石を含む角閃岩類と考えられる。このことは当然パーガサイト質角閃石は、より高変成度における変成鉱物の残存物ということの意味する。筆者は以上の推論のほかに次のようなデータより、角閃岩類が複変成作用の産物であると推定している。

1) 既述のように角閃岩類中の斜長石は、大部分酸性灰曹長石質であるが、しばしば中性長石質の内核を含んでいる。後者は一般に汚濁化がすすみ、新鮮な酸性の斜

Table 6. Electron microprobe analysis of garnet in biotite gneiss from Dai area

SiO ₂	38.97	Si	3.049	Pyr.	12.4
Al ₂ O ₃	21.70	Al	2.001	Alm.	50.6
TiO ₂	0.12	Ti	0.007	Spe.	17.9
FeO	22.34	Fe	1.462	Ugr.	19.1
MnO	7.80	Mn	0.517		
MgO	3.06	Mg	0.357		
CaO	6.57	Ca	0.551		
Na ₂ O	0.00	Na	0.000		
K ₂ O	0.00	K	0.000		
T.	100.56				

Analyst: H. Kano & T. Maruyama

Atomic ratios calculated on the basis of 12 (O).

長石にかこまれている。類似の塩基性内核を含む斜長石は、片麻岩類においても観察されている (村上, 1971a)。

2) パーガサイト質角閃石は、しばしばエデナイト質角閃石に交代されている (Fig. 10)。

3) 多くの変成帯において認められているように、変成岩中における角閃石の組成は、温度、圧力などのほかにそれを含む母岩の化学組成にも大きく影響される。Fig. 12, 13 は上記角閃石と母岩の角閃岩における化学組成の関係を検討した図である。Fig. 12 より角閃石の FeO/MgO 比は母岩の FeO/MgO 比に大きく影響されていることが明らかである。しかし Al₂O₃ 量を比較した結果 (Fig. 13) はこれと異なる。すなわち、パーガサイト質角閃石2ケを除き、エデナイト質角閃石3ケ中の

Fig. 12. Diagram showing the relation in FeO_t/MgO ratio between whole rocks and constituent amphiboles.

Fig. 13. Diagram showing the relation of Al_2O_3 content between whole rocks and constituent amphiboles.

Al_2O_3 は母岩の Al_2O_3 とは必ずしも関係なく、いずれも 10% 前後のほぼ一定値を有している。これはエデナイト質角閃石中の Al_2O_3 量が母岩中の Al_2O_3 量に影響されず、おそらくその生成時の条件（主として温度、圧力）に支配されたことを物語っている。なお、角閃岩中に産する緑閃石質角閃石は量も少なく、破碎部に多いことから、破碎作用に伴う熱水変質の産物と考えられる。

4) 上述のようにパーガサイト質角閃石がより高変成度の残存鉱物であるとする、変成度の低下によってエデナイト質角閃石に変化する場合、この中のシエルマカイト分子は次式に従って透角閃石分子になると共に、斜ゆうれん石成分を放出すると考えられる。

Fig. 14. Al_2O_3 in amphibole/ Al_2O_3 in whole rocks against $\text{Al}^{\text{VI}}/\text{Al}^{\text{VI}}+\text{Fe}^{3+}+\text{Ti}$ in epidote minerals.

このことはパーガサイト質角閃石がエデナイト質角閃石化する場合、放出される斜ゆうれん石—緑れん石の組成が次第に Al に富む可能性を示している。Fig. 14 はこのような観点から母岩の組成に大差のない 3 ケの角閃岩について、共存する角閃石と斜ゆうれん石—緑れん石 (Table 7) 間における Al 量の関係を示したものである。この図は明らかに、角閃石の組成が Al 分に乏しくなるにつれて、斜ゆうれん石—緑れん石の組成が Al に富む傾向を示している。斜ゆうれん石—緑れん石の組成は母岩における Al/Fe^{3+} 比、変成時における酸素分圧 (Holdaway, 1972; Liou, 1973)、斜ゆうれん石と緑れん石間における不混和間隙 (Strens, 1963・1965; Hietanen, 1974) など多くの因子に影響されるが、分析に用いた 3 ケの角閃岩ではその酸化比に大差が認められないので、上記の斜ゆうれん石—緑れん石における組成の差は、共存する角閃石の組成の変化と関連していると推定される。

5) White (1964) は単斜輝石の組成が火成岩、グラニュライトおよび玄武岩中の超苦鉄岩捕獲岩、エクログイト間で大差のあることを示した。Fig. 15 はタイプ (II) の角閃岩中に含まれる残存輝石の組成をこの White (1964) の図に点示したものである。図上に示されるとおり、この単斜輝石はグラニュライトフィールド内にあり、村上 (1971b) による西中国の新生代火山岩に含

Table 7. Chemical compositions of clinozoisite-epidotes

	71112103	71112104	71112106
SiO ₂	39.02	38.10	39.41
TiO ₂	0.11	1.28	1.34
Al ₂ O ₃	31.44	24.58	22.67
Fe ₂ O ₃	3.31	10.53	11.93
FeO	0.11	0.25	0.23
MnO	0.01	0.12	0.14
MgO	0.17	0.08	0.18
CaO	22.52	21.40	20.94
Na ₂ O	0.17	0.59	0.45
K ₂ O	0.06	0.11	0.04
H ₂ O(+)	2.71	2.51	2.39
H ₂ O(-)	0.00	0.00	0.00
T.	99.63	99.55	99.72
Si	2.962	2.987	3.089
Al ^{iv}	0.038	0.013	—
Al ^{vi}	2.775	2.258	2.095
Ti	0.006	0.075	0.079
Fe ³⁺	0.189	0.621	0.704
Fe ²⁺	0.007	0.016	0.015
Mn	0.001	0.008	0.009
Mg	0.019	0.009	0.021
Ca	1.832	1.797	1.759
Na	0.025	0.090	0.069
K	0.006	0.011	0.004
OH	1.372	1.312	1.250

Analyst: N. Murakami

Atomic ratios calculated on the basis of 13 (O+OH).

まれるグラニュライト質捕獲岩中の単斜輝石に類似の組成を示している。

上記のいくつかのデータより、既述のとおりパーガサイト質角閃石は高変成作用の残存鉱物であると推定され

Fig. 15. Al^{VI}-Al^{IV} diagram for clinopyroxene (solid circles) from amphibolites and those (small solid circles) in granulitic inclusions from Cenozoic volcanic rocks (Murakami, 1971b). Tsch: Tschermak's component.

Fig. 16. Variation of Al^{VI} with Si in amphiboles. Dashed line from Raase (1974).

る。このことは Raase (1974) の強調しているように、パーガサイト質角閃石がエデナイト質角閃石に比べ Ti に富む事実* からも推論できる。

* この事実は Raase (1974) の述べているように温度差に原因しているものであろう。しかし Fig. 16 に示すように、パーガサイト質角閃石とエデナイト質角閃石の間には Al^{VI} の量に関しては必ずしも規則的關係が認められない。Raase (1974) の述べているようにこの事実が圧力差に影響するか否かはさらに検討の余地があると思われる。

したがって長門構造帯産角閃岩類は片麻岩類と共に、もと高変成度の変成作用をうけたものが、その後の低下変成作用をうけて現在の緑れん石角閃岩相～角閃岩相低温部の変成相を示すにいたったものと解釈される。片麻岩中の白雲母が示す4億年の年代値が、この復変成作用の行なわれた時代を示すものとする、より高い変成作用の行なわれた時代はさらに古く遡らざるを得ない。

よく知られているように、長門構造帯に類似の構造帯は、近畿から九州に断続する黒瀬川構造帯である。この黒瀬川構造帯産の変成岩類についても最近復変成作用の証拠が指摘(唐木田, 1974; 宮地, 1969; 端山, 1959)されており、原岩の時代を先カンブリア紀とする説もある。しかし時代論については現在のところこれを確認するデータに乏しく、今後の検討にまたざるを得ない。

謝 辞

稿を終るにあたって、この研究のきっかけを与えられ、野外で御討論をいただいた総合研究「本州造山以前の日本の基盤岩類の研究」代表者岡山大学瀧木輝一教授および分担者の方々に厚く御礼申し上げる。また、構造帯産花崗岩の同位体年代値の測定結果を御知らせいただいた東北大学植田良夫教授、片麻岩中のざくろ石のEPMA分析をしていただいた秋田大学加納博教授・丸山孝彦博士に衷心よりの謝意を表する。

引用文献

- 青木 斌 (1970): 海底山脈と海山. 深海地質学. 東海大学出版会, 東京.
- Chayes, F. (1965): Titania and alumina content of oceanic and circumoceanic basalt. *Min. Mag.*, **34**, 126-131.
- Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J. (1963): Rock-forming minerals. Volume 2. Chain silicates. Longmans, London.
- 端山好和 (1959): 三滝火成岩類に伴う片麻状柘榴石角閃岩. 地質雑, **65**, 80-89.
- Hietanen, A. (1974): Amphibole pairs, epidote minerals, chlorite and plagioclase in metamorphic rocks, northern Sierra Nevada, California. *Am. Mineral.*, **59**, 22-40.
- Holdaway, M.J. (1972): Thermal stability of Al-Fe epidote as a function of f_{O_2} and Fe content. *Contr. Min. Petr.*, **37**, 307-340.
- Hubard, N.J. (1969): A chemical composition of oceanic ridge, Hawaiian tholeiitic and Hawaiian alkalic basalts. *Ear. Planet. Sci. Lett.*, **5**, 346-352.
- 唐木田芳文 (1974): 八代片麻岩類のざくろ石. 総研「島弧基盤の地質学および岩石学的研究」連絡紙, **1**, 23-28.
- 河野義礼・植田良夫・村上允英 (1966): 山口県美禰市産花崗岩質岩の K-A 年代. 岩鉱, **56**, 183-186.
- Kuno, H. (1960): High-alumina basalt. *Jour. Petr.*, **1**, 121-145.
- Kushiro, I. (1962): Clinopyroxene solid solutions. Part 1. The $CaAl_2SiO_6$ component. *Jap. Jour. Geol. Geogr.*, **33**, 213-220.
- Leake, B.E. (1965): The relationship between tetrahedral aluminium and the maximum possible octahedral aluminium in natural calciferous and sub-calciferous amphiboles. *Am. Mineral.*, **50**, 843-851.
- Liou, J.G. (1973): Synthesis and stability relations of epidote, $Ca_2Al_2FeSi_2O_{12}$ (OH). *Jour. Petr.*, **14**, 381-413.
- 宮地貞恵 (1969): 八代片麻岩中の aluminous pyrope. 九大理研報告, 地質, **9**, 67-72.
- Miyashiro, A. (1953): Calcium-poor garnet in relation to metamorphism. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **4**, 179-208.
- , Shido, F. and Ewing, M. (1969): Diversity and origin of abyssal tholeiite from the Mid-Atlantic ridge near 24 and 30 north latitude. *Contr. Min. Petr.*, **23**, 38-52.
- 村上允英 (1971 a): 長門構造帯地域の蛇紋岩類に伴われる花崗岩質岩類の岩石学的研究. 松下久道教授記念論文集, 57-66.
- (1971 b): 西中国の酸性岩類に関する 2, 3 の問題. *Magma*, **26**, 13-16.
- , 三上貴彦 (1975): 長門構造帯より紡錘虫化石の発見. 地質雑, **81**, 331-332.
- Raase, P. (1974): Al and Ti contents of hornblende, indicators of pressure and temperature of regional metamorphism. *Contr. Min. Petr.*, **45**, 231-236.
- Seki, Y., Aiba, M. and Kato, C. (1959): Edenite in Sambagawa crystalline schists of the Sibukawa district, Central Japan. *Jap. Jour. Geol. Geogr.*, **30**, 233-243.
- Shido, F. (1958): Plutonic and metamorphic rocks of the Nakoso and Iritono districts in the central Abukuma Plateau. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo. Sec. II*, **11**, 131-217.
- Strens, R.G.J. (1963): Some relationships between members of the epidote group. *Nature*, **198**, 80-81.
- (1965): Stability and relations of the Al-Fe epidotes. *Min. Mag.*, **35**, 464-475.
- 鈴木盛久 (1972): 長門構造帯地集會報告. 総研「本州造山以前の日本の基盤岩類の研究」連絡紙, **1**, 23-28.
- Thornton, C.P. and Tuttle, O.F. (1960): Chemistry of igneous rocks. 1. Differentiation in-

dex. *Am. Jour. Sci.*, **258**, 664-684.
White, A.J.R. (1964): Clinopyroxenes from

eclogites and basic granulites. *Am. Mineral.*,
49, 883-888.