関東山地鬼石町東方の三波川変成帯の黒雲母帯

酒 井 千 尋*

Biotite zone in the Sambagawa metamorphic terrain east of
Onishi-machi, Kanto Mountains

Chihiro SAKAI*

Abstract Geological and petrological studies have been carried out in the Sambagawa metamorphic terrain of the northeastern Kanto Mountains. The geological structure of the studied area indicates an anticline with gentle dip angles. Its axis runs east-southeastwards through the summit of Mt. Jinmi. The area can be divided into three metamorphic zones on the basis of the progressive changes in the mineral assemblages. Alkali-amphibole and pumpellyite appear in basic schists in zone I. They are unstable in zone II, where green-biotite appears in the basic schists and garnet is present in the pelitic and psammitic schists. Zone III is characterized by the presence of hornblende in the basic schists and of brown-biotite in the pelitic and psammitic schists. Thus zone III is designated to be a biotite zone. Zones I, II and III belong to the glaucophane schist facies, the greenschist facies and the albite-epidote amphibolite facies, respectively. The metamorphic grade progressively changes nearly in harmony with the geological structure and increases toward the lower stratigraphic horizon.

はじめに

関東山地北部には、藍閃変成作用を受けた三波川変成帯が、西部の下仁田町から東部の小川町まで東西に広く分布している。SEKI (1958) は、この地域の南西部の鬼石町から小川町にわたる地域を調査し、ほとんど非変成の地層の分布する I 帯から緑色片岩相に属する VI 帯までを分帯した。その結果、地層は南にゆるやかに傾斜していること、そして変成度が下位の地層に向って層序とほぼ調和的に上昇することを確認した。TORIUMI (1975) は SEKI (1958) の調査地域の西方で、御荷鉾山を挟んで、それより南部にある秩父帯から、北部の三波川変成帯までを調査し、変成度が地質構造に調和的に上位の地層から下位の地層に向って累進的に上昇することを確認した。その後、徳田 (1976)、鈴木 (1977)、田辺 (1979) は、西部の下仁田町から鮎川流域までを調査し、下位の三波川変成帯から上位の御荷鉾帯までを変成分帯した。その結果、この地域でも変成度が、地質構造に対してほぼ調

和的に変化することが確認されている。一方、田中・福田 (1974) は、今回調査した地域を含む鬼石町から寄居町にわたる地域を調査し、変成分帯した。その結果、関東山地の三波川変成帯の最も高い変成度の泥質片岩中には、黒雲母が出現し、変成度がアルバイト-緑レン石角閃岩相まで達していることが明らかにされた。しかし、田中らの調査では、この地域の地層がほとんど水平な地質構造を呈するにもかかわらず、異なる変成度の境界面は、地図上ではほとんど直線的に表現されている。すなわち、変成度の変化が地質構造とは全く無関係であるかのように分帯図が描かれた。これは関東山地のみならず、三波川変成帯の他の地域でも記載されている一般的な傾向とは調和しないように思われる。そこで著者は今回の調査で、彼らの調査した地域で、再び地質調査を行って、再度変成分帯を試み、黒雲母帯の確認を行うとともに、変成度と地質構造との関係を調べてみた。

地 質

調査地域は、群馬県鬼石町の東方の埼玉県児玉町と長瀬町にわたる (第 1 図)。

この地域には、ほとんど全域に三波川変成岩が露出

1979 年 8 月 28 日

* 千葉大学理学部地学教室。現所属：金沢大学理学部地学教室。
Department of Earth Sciences, Kanazawa University, Kanazawa, 920 Japan.

し、北縁部（高柳—小平付近）では、三波川変成岩は、第三紀中部中新統の児玉層（渡部ほか，1950）と断層で接する。この断層は地質図ではほぼ東西に走っているが、高柳付近では南北方向の断層のためにずれが認められる。しかし、その変位は 500 m 以下である。また南西部では、田中・福田（1974）が記載した鬼石—黒谷断層によって跡倉礫岩層や第三紀層と接する。

（1）岩相記載

この地域の変成岩は、主に泥質片岩から成り、その中に厚さ 10 数 m の 3 枚の厚い塩基性片岩と数 m の厚さの石英片岩が数枚挟まれている。また一部には紅レン石石

英片岩も存在する。さらにこの泥質片岩は数枚の薄い砂質片岩を伴っている。この他には、石灰質片岩や石英スチルプノメレン片岩が塩基性片岩と石英片岩に伴って産出する。これらの砂質片岩や石英片岩の側方への連続性は良好で、地質構造を解明する上で有効な鍵層となる。この地域の片岩層の露出している部分の全体の厚さは、断面図および模式柱状図（第 1 図，2 図）からわかるように 400 m 以上と考えられる。

また、この地域には蛇紋岩化した超塩基性岩の小岩体が露出している。その大きさは、200 m × 300 m 程度のものが多く、そのうちのいくつかの岩体は、鬼石—黒谷

Fig. 1 Geological map and cross section in the area east of Onishi-machi, Kanto Mountains.

Fig. 2 Geological column of the studied area.

断層に沿って出現する。一般に蛇紋岩の岩体の周囲は、片状となっており、泥質岩または塩基性岩の層理と調和的に接している。

(2) 地質構造

片岩の層理は全体にE-Wの走向で、調査地域の中央部ではほぼ水平な構造を呈し、北部と南部の地域では最大20°の角度でそれぞれ北と南に傾斜している。すなわち、この地域には断面図(第1図)に示されるように榎峠-稲沢を結ぶ線を軸とする非常にゆるやかな傾斜をもつ背斜構造の存在が認められる。その褶曲軸の方向は線構造の方向とほぼ等しく、ほとんど水平である。

徳田(1976)、田辺(1979)は、関東山地の三波川変成帯の西縁部の地域で、横臥褶曲とスラストの存在を記載した。また鈴木(1977)は、今回調査した地域よりも西側の地域を調査し、一見ゆるやかな背斜構造と向斜構造のくり返しのように見えるのは、水平にちかい軸面をもつ大規模な横臥褶曲が存在することによるのかもしれないと述べている。しかし、今回の調査では、横臥褶曲やスラストの存在は確認されなかった。

変成分帯

調査地域において、泥質片岩と砂質片岩および塩基性片岩の鉱物組み合わせの累進的な変化に基づいて変成分帯を行った。第3図は研究地域の泥質片岩と砂質片岩および塩基性片岩中の変成鉱物の出現、消滅を示した図である。この図から、この地域は変成度の最も低いI帯から最も高いIII帯に向って変成度が累進的に上昇する三つの帯に分けることが可能である。第4図は、第3図に基づいて、塩基性片岩と泥質および砂質片岩中の指示鉱物

	Minerals	Zone I	Zone II	Zone III
Basic schists	Hornblende			
	Actinolite			
	Alkali amphibole			
	Pumpellyite	-----		
	Epidote			
	Biotite (green)		-----	
	Biotite (brown)			
	White mica			
	Chlorite			
	Albite			
	Calcite			
	Quartz			
	Hematite	-----		
	Magnetite			
	Pyrite			
	Sphene			
	Apatite	-----	-----	-----
Pelitic and psammitic schists	Epidote			
	Piemontite		-----	
	Garnet			
	Biotite			
	White mica			
	Stilpnomelane	-----		
	Chlorite			
	Tourmaline	-----		
	Sphene			
	Albite			
	Quartz			
	Calcite			
	Apatite	-----	-----	-----
	Graphite			
	Ore minerals			

Fig. 3 Mineralogical variation of the basic and pelitic-psammitic schists.

を含む鉱物組み合わせの変化を、地図上に示したもので、さらに第3図に示した各帯の境界も、1点鎖線によって地図上に示されている。図中の星印の記号で示した地点は、II帯とIII帯の一部にわたって、塩基性片岩中に出現する緑色黒雲母の採集地点である。この図で1点鎖線で示される各帯の間の境界線は、第1図で示した地層の層序とほぼ調和的になっていて、大きな角度で交差することはない。稲沢北部などでは、露頭が少なく、また新鮮な試料が得られなかったため、十分な数の薄片を鑑定することができなかった。しかし、これらの地域でも、再結晶鉱物の粒度の変化などからみて、変成度は南東部の地域と同様に地層の層序に対して、調和的に変化するものと考えられる。第4図の破線で示した部分はそうにして推定して描いたものである。第5図は、それらの結果に基づいて描かれた調査地域の変成分帯図である。層序的に上位の地層が出現している南部および北部の地域において変成度はより低く、中央部の下位層の露出している地域は最も高くなっている。この地域は背斜軸の通っている地域に相当する。変成分帯された各帯の境界

Fig. 4 Distribution map of the mineral assemblages in the crystalline schists in the studied area.

は、地質構造にほぼ調和的であり、異なる帯の境界面が地層の境を切る場合でも、それは SEKI (1958) や TORIUMI (1975) と同様に低角度である。たとえば、調査地域の北部の飯倉、高柳地域では、第1図の断面図に示されているように、分帯の境界面は層理面と明らかに低角度で交差している。

この地域には、アルバイトの斑状変晶を含む点紋片岩が出現する。それらは、変成度の高いⅡ帯とⅢ帯に限られているが、Ⅲ帯のうち特に地質図で背斜軸を示してある地域では顕著にアルバイト点紋が成長している。

変成分帯の結果、低変成度のⅠ帯とⅡ帯の分布と鉱物組み合わせは、SEKI (1958) や田中・福田 (1974) の結果とほとんど一致している。しかし、変成度の高いⅢ帯の分布と鉱物組み合わせは、田中ほか (1974) の結果とは異なる。そのため、Ⅰ帯とⅡ帯については概略的に述べ、特にⅢ帯について詳細に述べる。

Ⅰ帯 (緑泥石帯)

この帯は塩基性片岩にアルカリ角閃石とパンペリ石が出現することによって特徴づけられ、調査地域の北縁部

に沿って分布する(第5図)。塩基性片岩の主な鉱物組み合わせは以下のとおりである。

- 1) アルバイト+石英+緑泥石+緑レン石+アクチノ閃石、
- 2) アルバイト+石英+緑泥石+緑レン石+アクチノ閃石+アルカリ角閃石、
- 3) アルバイト+石英+緑泥石+緑レン石+アクチノ閃石+パンペリ石。

副成分鉱物として少量のスチルプノメレンとリン灰石を伴い、前者はアルカリ角閃石を含む薄片中に多量に含まれているが、全く含まれない場合もある。ローソン石は見られず、パンペリ石は非常に稀である。

泥質片岩と砂質片岩の主な鉱物組み合わせは以下のとおりである。

- 1) アルバイト+石英+緑泥石+白雲母+グラファイト、
- 2) アルバイト+石英+緑泥石+緑レン石+白雲母+グラファイト。

副成分鉱物としてスフェーン、電気石、リン灰石、方解

Fig. 5 Metamorphic zonal map in the area east of Onishi-machi, Kanto Mountains.

石を伴う。スチルプノメレンは、稀に出現する。再結晶した鉱物の粒度は一般に小さい。

II 帯 (ザクロ石帯)

この帯は調査地域の北部と南部に分布し(第5図)、泥質片岩中にザクロ石が出現することで特徴づけられる。塩基性片岩の主な鉱物組み合わせは以下のとおりである。

- 1) アルバイト+石英+白雲母+緑泥石+緑レン石,
- 2) アルバイト+石英+白雲母+緑泥石+緑レン石+アクチノ閃石,
- 3) アルバイト+石英+緑泥石+緑レン石+アクチノ閃石+緑色黒雲母。

副成分鉱物としてスフェーン、スチルプノメレン、方解石を伴う。不透明鉱物は大部分が黄鉄鉱で少量の黄銅鉱を伴い、赤鉄鉱は少ない。

泥質片岩、砂質片岩の主な鉱物組み合わせは以下の通りである。

- 1) アルバイト+石英+白雲母+緑泥石+グラファイト±緑レン石,
- 2) アルバイト+石英+白雲母+緑泥石+ザクロ石+グラファイト±緑レン石。

副成分鉱物は、スフェーン、電気石、リン灰石、方解石である。

III 帯 (黒雲母帯)

この帯は、調査地域で稲沢から陣見山にわたる中央部

の広い範囲に分布し、泥質片岩中に褐色黒雲母が出現することで特徴づけられる。この帯は、田中ら(1974)のIII帯に一致し、SEKI(1958)のVI帯のさらに変成度の高い部分に相当する。褐色黒雲母の出現し始める地点は、塩基性片岩にホルンブレンドが出現し始める地点とほぼ等しい。この帯は、調査地域では地層の最下位に属するために中央部の背斜軸の部分や、地形的に高度の低い小山川や稲沢などの沢ぞいに分布する。またII帯との境界が層序とかなり調和的であるため、分帯図では、その境界線はほぼ同じ高さの所を走っている。塩基性片岩の主な鉱物組み合わせは、以下のとおりである。

- 1) アルバイト+石英+緑泥石+緑レン石+アクチノ閃石+褐色黒雲母,
- 2) アルバイト+石英+緑泥石+緑レン石+アクチノ閃石+褐色黒雲母+ホルンブレンド,
- 3) アルバイト+石英+緑泥石+緑レン石+アクチノ閃石+ホルンブレンド,
- 4) アルバイト+石英+緑泥石+緑レン石+アクチノ閃石。

白雲母はII帯よりも少なく、散在する。不透明鉱物は主に黄鉄鉱と磁鉄鉱で、赤鉄鉱と黄銅鉱は少ない。副成分鉱物は、スフェーン、方解石、リン灰石である。緑レン石は多量に含まれ、顕著な果帯構造を呈する。黒雲母は、X=淡黄色、Y=Z=暗褐色を呈し、白雲母や緑泥石と

共存する。カルシウム角閃石は、アクチノ閃石と、Z＝淡青緑色の軸色を呈するホルンブレンドが共存し、両者は独立した結晶として、片理面にそって伸長している。

泥質片岩、砂質片岩の主な鉱物組み合わせは以下のとおりである。

- 1) アルバイト＋石英＋白雲母＋緑泥石＋緑レン石＋グラファイト、
- 2) アルバイト＋石英＋白雲母＋緑泥石＋ザクロ石＋グラファイト、
- 3) アルバイト＋石英＋白雲母＋緑泥石＋緑レン石＋ザクロ石＋褐色黒雲母＋グラファイト。

緑レン石は少ない。アクチノ閃石は、稀に出現する。副成分鉱物として、スフェーン、電気石、方解石および少量のルチルが存在する。ルチルは、微細な針状結晶でアルバイト中の包有物として出現する。褐色黒雲母は、この帯ではじめて出現し、ザクロ石や緑泥石と共存し、片理面に沿って配列している。

SEKI (1958) も述べている様に、鉱物組み合わせの変化から、I帯は藍閃石片岩相、II帯は緑色片岩相に属する。一方、II帯とIII帯の境は泥質片岩中に褐色黒雲母が出現し始めるところで定義される。これは塩基性片岩でホルンブレンドが出現し始めるところとほぼ等しい。したがってIII帯はアルバイト-緑レン石角閃岩相に属すると考えられる。

黒雲母帯の鉱物の特徴

1) 褐色黒雲母

褐色黒雲母は、粉末X線法によって $10.1\text{\AA}$ の底面反射が認められることから、スチルプノメレンと明瞭に区別される。第1表にこの地域のII帯の一つの典型的な緑色黒雲母とIII帯の一つの典型的な褐色黒雲母の屈折率と軸色を示す。この表から褐色黒雲母の方が、緑色黒雲母よりも屈折率がやや高いことがわかる。これらの黒雲母の量は同じ帯の中でも岩相や分布地域によって異なり、

Table 1 Refractive indices and axial colors of green-biotite and brown-biotite.

Zone	II	III
	green biotite	brown biotite
β	1.636 ± 0.001	1.648 ± 0.001
X	pale yellow	pale yellow
Y	green-dark green	dark brown
Z	green-dark green	dark brown

褐色黒雲母は塩基性片岩で最大1%、泥質片岩で2%程度含まれる。これらの黒雲母は白雲母や緑泥石と接して共存している (Plate I-1)。このことから、黒雲母は変成度の上昇に伴って白雲母と緑泥石との反応によって形成されたと考えられる (MATHER, 1970)。またIII帯の泥質片岩中には黒雲母がザクロ石を虫食い状に交代して

Table 2 Chemical analyses of calciferous amphiboles and a zoned epidote in a basic schist from the zone III (Sample No. CS 78040513). Fe_2O_3^* and FeO^* mean total iron as Fe_2O_3 and FeO , respectively. H_2O^{**} was determined by stoichiometry.

Mineral	amphibole			epidote	
	1	2	3	core	rim
SiO_2	51.28	49.32	54.24	39.17	38.02
TiO_2	0.16	0.10	0.05	0.11	0.07
Al_2O_3	5.43	7.22	2.32	28.63	25.15
Fe_2O_3^*	-	-	-	7.66	12.24
FeO^*	13.47	16.75	11.06	-	-
MnO	0.19	0.21	0.24	0.18	0.19
MgO	15.40	12.35	17.66	0.03	0.01
CaO	11.73	9.13	12.29	23.57	23.33
K_2O	0.19	0.43	0.04	-	0.01
Na_2O	0.97	2.38	0.52	-	-
H_2O^{**}	2.09	2.04	2.11	-	-
Total	100.91	99.92	100.74	99.35	99.04
O=	22.0	22.0	22.0	13.0	13.0
Si	7.353	7.248	7.646	3.120	3.096
Ti	0.017	0.011	0.005	0.007	0.004
Al ^{IV}	0.648	0.752	0.304	-	-
Al ^{VI}	0.271	0.499	0.083	2.688	2.414
Fe^{3+}	-	-	-	0.459	0.750
Fe^{2+}	1.616	2.059	1.312	-	-
Mn	0.023	0.026	0.029	0.012	0.013
Mg	3.292	2.705	3.734	0.003	0.001
Ca	1.801	1.437	1.868	2.011	2.036
K	0.034	0.081	0.008	-	0.001
Na	0.270	0.677	0.142	-	-
OH	2.000	2.000	2.000	-	-
Total	17.323	17.495	17.180	8.300	8.316

1,2=actinolitic hornblende, 3=actinolite.

Fig. 6 Composition of calciferous amphibole plotted on the diagram after LEAKE (1978).

いる組織が見られる (Plate I-2). このことから、一部の褐色黒雲母はザクロ石の分解によっても形成されたと考えられる (東野, 1975).

2) カルシウム角閃石

Ⅲ帯でアクチノ閃石と共存するホルンブレンドを分析した. 分析は地質調査所の EPMA (JAX-5A) によって行われ, データの補正は, BENCE & ALLEE (1968) と SWEATMAN & LONG (1969) に基づいている. 分析値は第 2 表に示されている. この表において, H_2O の値はアクチノ閃石とホルンブレンド中の OH の化学量を仮定することによって計算で得られている. 分析の結果, 後者は LEAKE (1978) の分類による *actinolitic hornblende* に属することがわかる (第 6 図). アクチノ閃石とホルンブレンドは, 同じ岩中に独立した結晶として共存しており (Plate I-3), アクチノ閃石をとりまいてホルンブレンドが生じているような組織や, またその逆の関係を示す組織は観察した限りでは見られない.

3) 緑レン石

緑レン石の累帯構造には, TORIUM (1972) の記載した *normal zoning* と *complex zoning* の二つのタイプが存在する (第 2 表). 前者の累帯構造はⅠ帯からⅢ帯までの塩基性片岩中に一般に見られるが, 後者はⅡ帯とⅢ帯のみに限られ, 特にⅢ帯に多い. 観察した限りにおいては, アルバイトの斑状変晶中に含まれる緑レン石の累帯構造は, 変成度に関係なく *normal zoning* のものに限られている.

結 論

1) 調査地域において, 結晶片岩の分布から導き出された地質構造は, 田中・福田 (1974) の調査結果とほと

んど等しい. すなわちこの地域には泥質片岩が広く分布し, その中に幾枚かの塩基性片岩と石英片岩が挟まれていて, ほぼ東西の方向に軸をもつゆるやかな背斜構造を形成している. 片理面は, 層理面とほぼ等しく, 線方向は大小の褶曲軸の方向とおおむね一致する.

2) 調査地域は, 塩基性片岩および泥質片岩と砂質片岩の鉱物組み合わせの累進的な変化によって, 低変成度のⅠ帯から高変成度のⅢ帯まで分帯される. Ⅰ帯は藍閃石片岩相, Ⅱ帯は緑色片岩相, Ⅲ帯はアルバイト-緑レン石角閃岩相に相当する. 変成度は層理的に下位の地層に向かって上昇し, 変成度の変化は層序にかなり調和的である. そのため, 全体的にみると, 分帯の境界は地層の境とほぼ平行であり, 地層の境を切る場合でも低角度である. したがって, 田中・福田 (1974) の分帯図とは異なる分帯図が描かれた.

3) これまでの調査結果 (SEKI, 1958; 田中・福田, 1974; TORIUM, 1975; 鈴木, 1977; 田辺, 1979) および今回の調査から, 関東山地の三波川変成帯の北部には, 変成度が最高に達した下位層が東西にのびて出現していることが明らかになった. その変成度はアルバイト-緑レン石角閃岩相に相当する.

謝辞 この研究で, 終始ご指導を賜わり, またこの論文を読んでいただいた千葉大学の兼平慶一郎教授と, 有効な助言と討論をいただいた森 健助教授および田辺克幸氏には深く謝意を表する. また国立科学博物館の橋本光男氏には, この論文を読んでいただいて, 貴重なご意見を賜わった. さらに室内実験では, 千葉大学の高井憲治助手にお世話になった. ホルンブレンドと緑レン石の分析は, 地質調査所の EPMA をお借りして, 住鉱コンサルタント (株) の今泉真之氏によって行われた. 地質

調査所の奥村公男氏には EPMA の使用に関してお世話になった。ここに以上の方々に対して厚くお礼を申し上げます。

文 献

- BENCE, A. E. and ALBEE, A. L., 1968 : Empirical correlation factors for the electron microanalysis of silicate and oxides. *Jour. Geol.*, **76**, 382—402.
- 東野外志男, 1975 : 四国中央部白髪山地方三波川変成帯の黒雲母帯. 地質雑, **81**, 633—670.
- LEAKE, B. E., 1978 : Nomenclature of amphiboles. *Am. Min.*, **63**, 1023—1053.
- MATHERS, J. D., 1970 : The biotite isograd and the lower greenschist facies in the Dalradian rocks of Scotland. *Jour. Petol.*, **11**, 253—275.
- SEKI, Y., 1958 : Glaucophanitic regional metamorphism in the Kanto Mountains, central Japan. *Japan, Jour. Geol. Geogr.*, **29**, 233—258.
- 鈴木盛久, 1977 : 関東山地西部地域の三波川変成帯. 三波川帯 (秀敬編), 207—215.
- SWEATMAN, T. R. and LONG, J. V. P., 1969 : Quantitative electron probe microanalysis of rock-forming minerals. *Jour. Petrol.*, **10**, 332—379.
- 田辺克幸, 1979 MS : 群馬県下仁田町東方の三波川変成岩. 早稲田大学教育学部卒業論文 (手記).
- 田中耕平・福田正光, 1974 : 関東山地の三波川変成帯北縁部の地質構造と変成分帯. —とくに黒雲母の現出について—. 岩鉱, **69**, 313—323.
- 徳田 満, 1976 : 群馬県甘楽郡梅ノ木平地域の三波川変成帯の地質構造. 小島丈児還暦記念論文集, 286—289.
- TORIUMI, M., 1972 : Microprobe study of zoned epidote in the Sambagawa metamorphic rocks from the Kanto Mountains. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **78**, 545—548.
- , 1975 : Petrological study of the Sambagawa metamorphic rocks. *The Univ. Mus., the Univ. Tokyo, Bull.*, **9**, 99p.
- 渡部景隆・菅野三郎・高野 貞・村上猪久馬, 1950 : 関東山地東縁部第三紀層の地学的研究 (寄居—小川—松山—児玉地域). 秩父自然博研報, no. 1, 93—146.

1. Brown biotite in a pelitic schist of the zone III. (Bio:brown biotite, Mu:muscovite)

2. Replacing texture showing partial replacement of brown biotite after garnet. (Bio:brown biotite, Gar:garnet)

3. Hornblende associated on actinolite in a basic schist of the zone III. (Hb: hornblende, Act: actinolite)