阿武隈変成帯東縁の“井出川構造帯”(新称)——

II. “フェルサイト”岩脈群の成因*

渡辺 順**・高畑裕之**・内山幸二**・土屋 篁**

A proposal of the newly-established “*Idegawa Structural Belt*” in the Abukuma Eastern Marginal Belt, Fukushima Prefecture——

II. Petrogenesis of “felsite” dyke swarms*

Jun WATANABE**, Hiroyuki TAKAHATA**, Koji UCHIYAMA** and
Takamura TSUCHIYA**

Abstract Petrogenesis of the felsite dyke swarms found out in the afore-said *Idegawa Structural Belt* (WATANABE *et al.*, 1983) is discussed in this paper. Felsites, which contain various kinds of rock facies, have originally been generated from the pre-existing granitic rocks under extreme cataclasis in Late Palaeozoic Orogeny in Northern Japan (*Abean Orogeny*). The felsite whose initial glassy material is generated through strong pulverization of the pre-existing sheared granites under extreme cataclasis approaches chemically the minimum melt composition. This feature is possibly due to continuous melting of parent pulverized minerals. But after devitrification, the molten material seems to change into an association of albite, quartz and sanidine (orthoclase). The pulverization, which is a sort of mylonitization, results in molten state (*pulverizedmolten state*). This melt is finally removed to the upper level as dyke swarms of acidic volcanites (felsites). The molten material in felsites is completely devitrified to mineral assemblage composing of four types of albite, chalcedonic quartz and sanidine (orthoclase) association: spherulitic (A), spherulitic (B), graphic and microgranoblastic textures. Granitic remnant minerals in felsites generally contain 10 to 20 volume per cent and to 50 volume per cent in maximum. The changing trends from sheared granites to felsites projected onto the anhydrous base of normative Quartz-Plagioclase-Orthoclase, Quartz-Albite-Orthoclase, Orthoclase-Albite-Anorthite and Quartz-Feldspars-Femics tetrahedrons are shown in Figs. 2 to 5.

The pulverized-molten state mentioned above may be petrogenetically analogous to the so-called *pseudotachylite* which has been described from many parts of the world. Glassy materials and related felsites in question, are discussed with reference to *pseudotachylite*.

ま え が き

造山帯において、深部構造体(Tiefengebirge)を構成する花崗岩質岩石がどのような地質学的要因によって再活動し、その結果生じた酸性メルトがどのような造構運

動に規制されて、上部構造体 (Obergebirge)のどのような場所に、いつ貫入(活動)するのか、といった諸問題は岩石学上のみならず、ストックベルグ造構解析 (Stockwerkstektoniksanalysen) の面からも非常に興味のある素材を提供する。

既報のように(渡辺他, 1983), “井出川構造帯”は、(1) “三時期の変成作用 (Metamorphism I, II, III)をへた三階建のストックベルグ(Dreistockwerkstektonik)”を示している、(2)卓越して発達する“フェルサイト”

1982 年 12 月 27 日受理

* 日本地質学会第 89 年学術大会(1982, 新潟)で一部講演(高畑他, 1982)

** 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.

岩脈群、(3)その被貫入岩である閃緑斑岩(変成作用(Ⅲ)期)やスカン化岩(郭公山層, 変成作用(Ⅱ)期)中に基盤岩をなすと考えられる変成作用(Ⅰ)期の高度変成岩類や圧砕性花崗岩がブロック体として存在すること等の特徴をもつ構造帯である。このような複雑な地史を背景に、構造帯形成に主要な役割を果している諸岩石* のうち、とりわけ、圧砕性花崗岩・フェルサイトは密接不可分の成因関係をもち、造構運動の中での酸性メルトの発生という冒頭でのべた問題点に好素材を提供している。

本論文では、二者の岩石組織・化学組成の検討を中心に、この問題点に論及する。

圧砕性花崗岩・フェルサイトの特徴と 導き出される問題点

岩石記載に先だち、圧砕性花崗岩・フェルサイトのそれぞれの特徴とそこから導き出される問題点を最初に提起しておきたい。

(A) 圧砕性花崗岩: 強度のカタクラスチック・ミローナイト組織(Plate I, II, III)を呈している。これが極度に進行した場合には、石英・斜長石・正長石の粉状微細片・その変質微粒鉱物粒(エピドート・ゾイサイト・ザクロ石)および非晶質物質(ガラス)からなる密雑組織**が示されるようになる。この組織は極度のカタクラシスの終局組織である粉状化(pulverization)とその段階での部分的再溶融を示すもの、とみてよい。このカタクラシスは変成作用(Ⅲ)期に属するが閃緑斑岩・フェルサイト

* 閃緑斑岩は、圧砕性花崗岩—フェルサイト問題で重要な役割を果たす産状を示している。しかし、現在のところ十分な成因的解釈は与えられず、今後の課題としたい。したがって、本文では引用程度にとどめ、その記載は本文末尾に添付した。

** この組織にある状態を“pulverized-molten 状態”と呼ぶことにする。

Fig. 1. Petrofabric analysed bases on 1000 grains of C-axis (0001) of remnant quartz in felsite. Sp. No. JK-21. Loc. Koidegawa River.

A: Z-X pattern. C, F signifies crack surface, by which fabric axes X, Y and Z are settled. Solid lines mean symmetric faces of obtained diagram. B: X-Y pattern. C: Y-Z pattern.

As shown in obtained pattern respectively, it shows a typical mylonite girdle (X-Z girdle) perpendicular to crack surface, in which cracks ascribe to develop perpendicular to direction of mylonitic movement. Accordingly, it can hardly interpret as preferred alignment (flowage) due to fluidization of “pulverized-molten” materials.

Table 1. Chemical data of felsites, diorite porphyries and sheared granites.

Sample	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O(+)	H ₂ O(-)	Total
1 T-4	75.65	.06	13.66	.63	.36	.04	.12	.92	2.61	2.34	.12	2.54	1.04	100.09
2 T-9	75.17	.05	13.74	.80	.45	.04	.38	.64	2.47	2.88	.11	1.62	1.20	99.55
3 T-10	74.55	.04	13.94	.60	.53	.05	.12	1.06	2.48	2.40	.12	2.28	1.68	99.85
4 T-11	75.03	.03	14.21	2.52	.36	.04	.04	1.13	2.29	2.54	.12	1.34	.06	99.71
5 T-O36	74.60	.09	8.48	7.06	.68	.11	.24	4.94	.31	2.53	.14	.75	.08	100.01
6 W-76	74.99	.02	14.36	3.28	.55	.04	.12	1.20	2.30	2.57	.12	.26	.04	99.85
7 RK-215	76.12	.06	12.39	3.99	.35	.06	.79	1.04	2.54	1.66	.12	.54	.02	99.68
8 JK-21	75.60	.09	12.28	4.94	.68	.07	.20	1.38	2.15	2.53	.12	.28	.04	100.36
9 ID-9	58.64	1.31	17.63	2.86	4.43	.12	3.69	6.19	2.64	1.23	.23		.80	99.77
10 KDG-5	70.68	.49	15.63	1.57	1.35	.05	1.39	2.49	2.64	2.40	.15		.72	99.56
11 KDG-1	67.42	.86	16.06	1.96	2.05	.08	2.59	2.98	2.38	1.59	.17		.98	99.12
12 KDG-4	68.53	.54	16.13	2.79	2.03	.03	1.77	3.60	2.28	1.51	.16		.97	100.34

1-8: Felsites. Analyst J.Watanabe 9-10: Diorite porphyries. 9; diorite porphyry proper
10; marginal facies of diorite porphyry. Analyst H.Takahata 11-12: Sheared granites. Analyst H.Takahata

Sample	Or	Ab	An	Qz	Feld	Fem	Qz	Or	Ab	Qz	Or	Pl	C*	A/CNK*	k	mg
1 T-4	34.8	55.7	9.5	54.5	43.6	1.9	58.0	16.2	25.8	55.6	15.5	28.9	5.45	1.61	.37	.18
2 T-9	42.1	51.8	6.1	52.8	44.3	2.9	55.9	19.8	24.3	54.4	19.2	26.4	5.66	1.65	.43	.36
3 T-10	35.8	52.9	11.3	53.8	43.9	2.3	58.0	16.9	25.1	55.1	16.1	28.8	5.62	1.62	.39	.16
4 T-11	38.3	49.4	12.3	54.0	42.4	3.6	59.2	17.8	23.0	56.0	16.8	27.2	5.93	1.66	.42	.03
5 T-O36	47.0	8.2	44.8	55.0	32.1	12.9	75.7	20.7	3.6	63.1	17.3	19.6	0.00	.69	.84	.06
6 W-76	38.1	48.9	13.0	52.7	42.5	4.8	58.7	18.1	23.2	55.4	17.0	27.6	5.90	1.64	.42	.06
7 RK-215	27.5	60.2	12.3	55.1	37.8	7.1	62.4	11.8	25.8	59.3	11.2	29.5	4.81	1.58	.30	.26
8 JK-21	38.1	46.4	15.5	52.5	40.7	6.8	60.4	17.9	21.7	56.3	16.7	27.0	3.78	1.40	.44	.06
9 ID-9	12.3	38.0	49.7	19.2	60.2	20.6	38.7	15.0	46.3	24.1	9.4	66.5	1.25	1.04	.23	.48
10 KDG-5	29.6	46.7	23.7	41.3	50.8	7.9	51.6	18.8	29.6	44.8	16.3	38.9	4.52	1.36	.38	.47
11 KDG-1	21.8	46.6	31.6	40.3	46.6	13.1	55.8	14.1	30.1	46.3	11.7	42.0	5.41	1.45	.31	.54
12 KDG-4	19.8	42.9	37.3	41.5	47.5	11.0	58.2	13.2	28.6	46.6	10.6	42.4	4.58	1.35	.30	.41

: Normative corundum. A/CNK: Al₂O₃/(CaO+Na₂O+K₂O) Mol.percent. k & mg: Niggli's values

貫入以前の運動である(郭公山層起源の skarnized green phyllonite)にもこの粉状化はおよんでいる(Plate II)).

(B) フェルサイト: 閃緑斑岩の構造単位と調和的に発達する剪断帯に沿い貫入し岩脈群をなしている. 最大数 mm の花崗岩質の残晶(ないしはその集合体)を多量(最大 50%)に含んでおり, これらは前述の圧砕性花崗岩の構成鉱物に酷似している. フェルサイトは流理構造を示さない, 塊状(massive) 岩であるが, 構造岩石学的手法による検討ではフェルサイト中の残晶(岩片)組織はいちぢるしく強度の定向組織(ミローナイト組織, Fig. 1)を示しており, 典型的なテクトナイトであることを示唆している.

以上の事実および化学組成の検討から判断すると, このフェルサイト岩脈群は, “井出川構造帯” 形成の最終段階で, 圧砕性花崗岩の粉状化, 粉状化部分の一部再溶融そして流動化という過程を通して形成されたものと結論される.

次に, 圧砕性花崗岩・フェルサイトの記載を示し, この結論のうらづけを試みたい.

岩石記載*

a) 圧砕性花崗岩: 圧砕化の程度によって多様な岩相を示している. 弱圧砕化のものはほぼ塊状優白質(色指数 3~5)で, 原岩組織・原岩構成鉱物を保持しているが, 強圧砕岩相ではいちぢるしく粉状化され, 顕微鏡的あるいは超顕微鏡的な鉱物微細片および非晶質物質からなり, 外観的には優黒質となっている. 強弱圧砕化両岩相の関係は漸移的で, 弱圧砕岩相に網状ないしプール状に強圧砕岩相が方位性を示して発達している(Plate I—A). 圧砕の初源的形態を示す岩相は, 鏡下では一般に 3~4 mm の等粒完晶質で, 斜長石>石英>黒雲母>角閃石>正長石からなる. 斜長石: 3~4 mm, 卓状, いちぢるしく汚濁・粒状化(polygonized)され, 曹長石・絹雲母・方解石化している. 変形破碎(湾曲・撓曲・破碎)がいちぢるしい. 石英: 2~3 mm, 粒状, 波状消光が顕著でベーム・ラメラが普遍的に認められる. 黒雲母: 1~2 mm, dark brown~light brown の多色性を呈す

* 産状は既報(渡辺他, 1983)にのべたので, ここでは鏡下観察を中心にのべる.

Fig. 2. Normative Q—Pl (Ab+An)—Or

Fig. 3. Normative Q—Ab—Or.

Fig. 4. Normative Or—Ab—An.

Fig. 5. Normative Q—Feldspars—Femics.

Left diagram in each Figure (refer to chemical data and norm of Table 1) : open circle (Nos. 1—8) : felsites, solid triangle (Nos. 9—10) : diorite porphyries, solid circle (Nos. 11—12) : sheared granites. open square (A, B, C, E) : "older" granites (Ohno *et al.*, 1953). A : Chimishiro, Miyakoji Village, Tamura-Gun, Fukushima Pref, B : ditto, C : ditto, E : ditto. open square (D, F) : "younger" granites (Ohno *et al.*, 1953). D : Tamanoyu-type, Tamanoyu Spa, Ohkuma Town, Futaba-Gun, Fukushima Pref. F : Kidogawa-type, Kidogawa River, Naraha Town, Futaba-Gun, Fukushima Pref. Right : differentiation trend for rocks in question (arrows show the trends of differentiation for partial melting through pulverization from sheared granites to felsites and diorite porphyries respectively).

る。緑泥石化が顕著。角閃石:0.5 mm, 他形, light brownish green~light yellow の多色性を呈する。正長石:5~10%(量比)含む。0.5 mm 内外, 他形で充填状。

上記の弱圧砕岩相を圍繞し網状に強圧砕岩相が発達している(Plate I—A, I—B, III—A)。鏡下では, 0.05 mm 以下の微粉片(石英・斜長石・正長石)およびそれらを膠着する非晶質物質(ガラス)からなる密雑組織を呈する。非晶質物質は透明ないし淡褐色で, 現在はほぼ完全に脱ハリ化され, カルセドニー・石英・曹長石・サニディンに再結晶化されたモルタル~縫合(sutured)組織を呈している(Plate III—B, III—C)。

さらに圧砕化が強度に進んだ岩相では, 粉状化は一層進行し(0.01 mm 以下の微粒子よりなる), 一部で粉状化状態のまま上記の網状・プール状部分から“しぼり出され”て濃集し, 花崗岩の圧砕組織を明瞭に切って滞留(trapped)されることもある(Plate I—B)。このような部分では鏡下で鉱物種をほとんど識別できない*。散在する残晶はさらに少量(1~3% 以下)となり(残晶は粉状化過程の中で, 正長石・斜長石の順で消滅し, 石英は最後まで残る), 粒度も 0.5 mm 以下。基質の微粒子非晶質部分は, 特に各粒子境界部で脱ハリ・再結晶化し(石英・曹長石・サニディン), 境界は不明瞭な縫合組織を呈し, 一種の焼結(sintering)現象を示している。

b) フェルサイト: 外観的には残晶組織(blastoporphyrictic)を示し, その基質は細粒緻密塊状(流理構造は全く欠く), 暗灰~明灰色を呈し, また, 樹脂・陶器・フリント状光沢を呈する。微細なクラック(hair crack)が発達し brittle。

鏡下では, 花崗岩質起源の鉱物片(最大量比 50%)が含まれていることを特徴とする。また, 石基の結晶化状態によって次の4タイプに区分できる。

(A) 球顆組織(曹長石—カルセドニック石英—サニディンによる放射状球顆組織)。

(B) 球顆組織(曹長石—カルセドニック石英—サニディンによる放射状~herring-bone 組織)。

(C) 文象組織(曹長石—石英またはサニディン(正長石)—曹長石—石英による文象組織)。

(D) 完晶質微等粒組織(曹長石—石英—サニディン—ザクロ石による microgranoblastic 組織)。

上記の4タイプは同一薄片内でも相互に共存することも多く, 野外産状での区別はつけ難い。ザクロ石は(D)タイプに特徴的に形成されている**。各タイプはいずれ

も Qz: Ab: Sanidine(orthoclase)比は 2:2:1 ないし 1:1:1 である。また, (D)タイプ中の残晶石英微粒子の構造岩石学的解析では, 明瞭な異方性組織(anisotropic pattern, Fig. 1)が示される。これは flowage による石英の偏方位性として考えるよりは粉状化に伴われる tectonic deformation pattern であると理解される。

鏡下観察

(A)タイプ: 残晶は 1~1.5 mm の斜長石・石英・正長石(まれ)・黒雲母・角閃石(まれ)よりなる。花崗岩片がしばしば認められる。これら岩片・残晶の全体に占める量は 20~30%。斜長石: 卓状または他形で累帯組織はない。石英: 他形, 溶蝕形態を呈する。いちぢるしい波状消光, ベーム・ラメラが特徴的。正長石: 微斜長石・パーサイトで変質がいちぢるしい。これらを圍繞し, または核として径 1 mm 内外の球顆が密に発達。球顆は針状の曹長石—カルセドニック石英—サニディン(正長石)の放射状共生である(Plate IV—B)。球顆間を(D)タイプの 0.1 mm 以下のモルタル石英・サニディン(他形)・曹長石(他形)の集合体(三者の量比は 1:1:1)が充填している。

(B)タイプ: 残斑晶の鉱物組成・特徴は(A)タイプと全く同じ。残晶を圍繞し, または核として 0.5~0.6 mm の球顆が密に発達。球顆を構成する鉱物は(A)と同じだが, それらの共生組織が herring-bone 組織をもつことが特徴である(Plate V—B)。

(C)タイプ: 同様に斜長石・石英・正長石の 1 mm 内外の残斑晶を 20~30% 含有する。斜長石: 累帯組織を示さない。石英: 溶蝕形態を示し, 波状消光・ベーム・ラメラの発達が顕著。これらを圍繞ないし核として曹長石—石英またはサニディン(正長石)—曹長石—石英からなる文象組織が発達している(Plate IV—A)。

(D)タイプ: 1~1.5 mm 大の斜長石・石英残斑晶が 10% 程度散在。斜長石: 量的に石英より少量で, また累帯組織は全くない。変質がいちぢるしい。石英: 溶蝕形態を示し, 波状消光・ベーム・ラメラの発達が顕著。石基は 0.02~0.05 mm の粒状石英—曹長石—サニディンの密集体で, モルタル~微等粒組織を示す。Qz: Ab: Sanidine 比は 2:2:1 である。0.1 mm 大の再結晶黒雲母(dark brown~light greyish yellow の多色性)・白雲母を伴う。0.2~0.5 mm の初生ザクロ石を伴う(almandine—spessartine; Plate V—E, Table 2, Fig. 7)。また, プール状ないし細脈状に累帯ザクロ石(grossular; Plate V—F, Table 2, Fig. 7)を伴う。

* X線の検討では, 石英・斜長石・正長石・エビドート・ゾイサイト・ザクロ石および非晶質物質と同定された。

** (A), (B), (C)タイプそれぞれに共存する微等粒組織部分にも微粒ザクロ石が一般に伴われている。

Fig. 6. Diagram showing $(A/CNK - 1.1)$ versus SiO_2 (Mol. ratio $\times 1000$).

Ordinate: "Aluminum Value" $(A/CNK - 1.1)$.

Abscissa: SiO_2 Mol. ratio $\times 1000$.

Upper broken line signifies variation curve of "Aluminum Value" of diorite porphyries, sheared granites and felsites in question versus SiO_2 Mol. ratio $\times 1000$.

Lower broken line means a rough trend of "Aluminum Value" of "younger" and "older" granites (OHNO *et al.*, 1953) located in the vicinity of the "Idegawa Structural Belt".

化学組成の検討

フェルサイト・閃緑斑岩・圧砕性花崗岩の化学分析値を Table 1 に示す。既述のように、圧砕性花崗岩からフェルサイトが生成されたとすれば、次のような化学組成上の特徴を導びくことができるだろう。

(1) 平均重量比でみると、フェルサイト* は圧砕性花崗岩に対し、 SiO_2 の大幅な増加、Alkali の微増、 Fe_2O_3 , FeO , MgO , CaO の激減といった酸性化傾向を示している。

(2) ノルム組成による比較を Fig. 2~Fig. 5 に示した。これらによると、フェルサイトと圧砕性花崗岩との間には次のような特徴が認められる。Q—Pl—Or 図 (Fig. 2) でフェルサイトは Q: 増大, Pl: 減少, Or: 微増, Q—Ab—Or 図 (Fig. 3) でも Q: 増大, Ab: 減少, Or: 微増である。Or—Ab—An 図 (Fig. 4) でみるとフ

エルサイトは Or: 増大, Ab: 微増, An: 激減, Q—Feldspars—Femics (Fig. 5) で Q: 増大, Feldspars: 減少, Femics: 減少の傾向が示される*。また、残斑晶(主に石英・斜長石)の量比(10~30%, 上述)を勘案し、それに相応する化学組成を差し引いて得られたフェルサイトの補正化学組成は、ほぼ完全に圧砕性花崗岩の化学組成に一致(特に Fig. 4 Q—Ab—Or 図)している。このことはフェルサイトの成因を考察する上で重要なことである。

(3) 過剰アルミニウム問題: ノルムコランダムはフェルサイトで 4~6%, 圧砕性花崗岩で 4~5% で微増傾向を示す。これは(2)でのべたノルム Q, Or の増大傾向とよく対応している。このことを明示するために CHAPPEL *et al.* (1974) や CLARK (1981) による A/

* Sp. No. 5 はザクロ石—エピドート—ゾイサイト細脈を含むので除外。

* これらの傾向に対して、閃緑斑岩 (Sp. No. 9) のノルム組成は Fig. 2~Fig. 5 において全く逆のトレンドを示している。その急冷周縁相 (Sp. No. 10) がフェルサイトに酷似した化学組成をもっていることは注目される。

Table 2. Chemical data of two kinds of garnets in felsites.

	1-A	1-B	1-C	1-D	1-E	1-F	1-G	1-H	2
SiO ₂	37.48	36.68	36.41	36.79	35.76	36.21	36.07	34.99	36.87
TiO ₂	.08	.05	.04	.05	.01	.03	.02	.02	.04
Al ₂ O ₃	20.48	21.04	20.28	20.52	20.21	20.81	20.73	20.39	20.85
Cr ₂ O ₃	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
FeO(FeO)	32.99	36.01	35.85	35.25	34.51	33.61	32.82	33.93	35.37
MnO	6.00	5.39	5.73	6.00	5.09	6.46	6.84	7.43	5.42
NiO	.11	.00	.00	.01	.38	.19	.23	.13	.00
MgO	.82	.89	.93	.90	.89	.86	.70	.61	.72
CaO	.73	.57	.51	.49	.49	.46	.46	.47	.61
Na ₂ O	.00	.03	.01	.05	.06	.04	.00	.05	.00
K ₂ O	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Total	98.69	100.66	99.76	100.06	97.40	98.67	97.87	98.02	99.88
Almandine	79.6	82.1	81.3	80.7	82.3	79.4	78.5	78.0	82.4
Andradite	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
Spessartine	14.6	12.4	13.3	13.9	12.1	15.4	16.6	17.7	12.8
Pyrope	3.5	3.6	3.8	3.7	3.7	3.6	3.0	2.6	3.0
Grossularite	2.3	1.7	1.5	1.4	1.5	1.4	1.4	1.4	1.8

	3-A	3-B	3-C	3-D	3-E	3-F	3-G	3-H	4
SiO ₂	38.03	37.06	37.68	37.35	37.12	37.99	37.65	37.07	37.23
TiO ₂	.08	.09	.02	.18	.11	.26	.37	.29	.17
Al ₂ O ₃	13.97	15.22	13.38	14.31	13.46	13.63	14.26	12.69	14.25
Cr ₂ O ₃	.00	.00	.00	.09	.00	.00	.00	.05	.04
FeO(FeO)	10.58	10.24	12.10	10.31	11.24	9.74	11.05	12.57	10.53
MnO	2.64	2.73	2.52	2.31	1.36	1.77	.76	2.13	3.01
NiO	.00	.00	.00	.00	.02	.00	.00	.15	.01
MgO	.03	.01	.00	.01	.00	.02	.01	.01	.02
CaO	33.14	33.47	33.52	33.42	32.83	33.74	33.90	34.10	33.18
Na ₂ O	.00	.04	.03	.02	.06	.03	.14	.00	.03
K ₂ O	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00	.00
Total	98.47	98.87	99.25	98.00	96.20	97.18	98.14	99.06	98.47
Almandine	.0	.0	.0	.0	1.7	.6	1.7	.0	.0
Andradite	33.0	30.5	36.9	32.3	33.9	31.9	33.4	39.7	32.3
Spessartine	5.9	6.0	6.0	5.7	3.1	3.9	1.7	4.7	6.7
Pyrope	.1	.0	.0	.1	.0	.1	.0	.0	.1
Grossularite	61.0	63.2	57.4	62.1	60.9	63.3	63.1	55.3	60.8
Uvarovite				.2					

Nine data of Point Nos. 1-A, 1-B, 1-C, 1-D, 1-E, 1-F, 1-G, 1-H and 2 were obtained from two grains of garnets from Sp. No. JK-21 as shown in Fig. 7, Nine data of Point Nos. 3-A, 3-B, 3-C, 3-D, 3-E, 3-F, 3-G, 3-H and 4 were also obtained from two grains from Sp. No. T-036 associated with epidote and zoisite as shown in Fig. 7.

CNK* で示せば, Table 1 中の数値が得られる. A/CNK > 1.1 の岩石を 過剰アルミニウム岩 (peraluminous rock) とする規定 (CLARK, 1981) にしたがえば, 圧砕性花崗岩・フェルサイト共にこの範ちゅうに入る**. これを SiO₂ Mol. ratio との関係で示したのが Fig. 6 である. 図で明らかなように, SiO₂ vs. (A/CNK-1.1) は正の相関関係を示す (上の点線). すなわち, SiO₂ 増大のフェルサイト側では A/CNK-1.1 は最大値 +

0.56 を示す. 参考のために 井出川構造帯周辺の新古期花崗岩のトレンドを同図に示した (下の点線). 圧砕性花崗岩とフェルサイトの関係はすでに鏡下観察やノルム組成変化図でみたように, フェルサイトではノルム Pl が生成されがたい条件下で, しかも本来 Pl に固定されるべき Al カチオンがノルムコランダムで出現していることを示している.

(4) ザクロ石問題: フェルサイトには普遍的にザクロ石を産するが, 既述のように主に (D) タイプに多産する. ザクロ石の産状には二つのタイプがある. 第 1 のものは他形粒状の斑晶 (ないしは斑状変晶) で (Plate V-E), 光学的に異常消光や累帯組織を示さない. その化

* $\text{Al}_2\text{O}_3 / (\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ Mol. per cent.

** 閃緑斑岩では急冷周縁相 (Sp. No. 10) も同様. Sp. No. 5 (T-036) はザクロ石-エピドート-ゾイサイト細脈を含むもので, A/CNK -1.1 = -0.41 を示す.

Fig. 7. Chemical data of two kinds of garnets in felsite plotted on andradite—grossular—almandine+spessartine—pyrope (See Table 2). Sp. Nos. JK—21 and T—036.

Left figure (An—Gr—Al+Sp) : nine data from Sp. No. T—036 associated with epidote and zoisite.

Right figure (Al+Sp—Gr—Py) : nine data from Sp. No. JK—21.

学組成* を Table 2 と Fig. 7 に示す. almandine(80% 前後), spessartine(12—17%), pyrope(3% 程度), grossular (1.5% 程度) 組成成分を示し, したがって almandine+spessartine ザクロ石と称してよい. Fig. 7 にみるように単結晶内での成分変化による累帯は認められない. 第2のタイプはエピドット・ゾイサイト・石英と共生し細脈またはプール状に産し, 光学的異常と累帯組織が顕著で(Plate V—F), 自形性が強い. 化学組成**を Table 2 と Fig. 7 に示す. andradite(30 数%), grossular(60% 前後)組成成分にとみ, spessartine(数%), almandine(0~1.7%)組成成分に乏しく, 明らかに第1のタイプと異なる. それぞれのザクロ石の母岩を比較すると, 明らかに Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO で大きな違いがあり, 母岩の化学組成の差異がザクロ石組成成分に反映している. それにも関わらずフェルサイト中のザクロ石の成因や上述の almandine+spessartine と grossular+andradite 成分の二種のザクロ石が共存する理由など未だ不明の点が多い.

酸性火山岩にザクロ石(almandine-pyrope)を初生的に含有する例は多い(EDWARDS, 1936; OLIVER, 1956;

MAKAROV *et al.*, 1964; GREEN *et al.*, 1968; GREEN, 1972; FITTON, 1972; WOOD, 1974; ALLAN *et al.*, 1981). また, この種の酸性岩にはザクロ石と堇青石の共生する例(BIRCH *et al.*, 1974)もあり, 両者の平衡条件の実験岩石学的研究(HENSEN *et al.*, 1971, 1972, 1973; GREEN, 1976, 1977)も行われている. また, ザクロ石を含まず, 堇青石のみを含む火山岩(森本他, 1949; 渡辺他, 1981)が記述されている.

フェルサイトの成因とそれにまつわる討論

以上のべてきた事柄から, 筆者らはフェルサイトの成因を“変成作用(Ⅲ)期前半期の強烈なカタクラシスによって既存(変成作用(Ⅰ)期)の花崗岩が圧砕・粉状化され, 発生した摩擦熱(frictional heat)により部分的に熔融し酸性メルトを生じた(pulverized-molten 状態). これが変成作用(Ⅲ)期後半期に浅部(Obergebirge)に形成された破砕剪断帯に移動・貫入をくり返し, フェルサイト岩脈群を形成したもの”と考える.

すでに岩石記載でみたように, 圧砕性花崗岩中に認められる pulverized-molten 状態の岩石とフェルサイトとの間には, 花崗岩質残晶片を多数含有すること, 脱ハリ再結晶鉱物の組合せなど多くの共通点が認められる.

* 母岩は Table 1 の Sp. No. 8(JK—21).

** 母岩は Table 1 の Sp. No. 5(T—036).

しかしながら、筆者の結論の前半部と後半部、すなわち、“酸性メルト生成の場とそれが移動・貫入した場とは異なる”ことは説明出来ても^{*}、両者を結びつける中間現象、すなわち、*in situ*に生成されたメルトが“しぼり出される”ように流動し始める初期現象(たとえば *trapping*^{**} や *branching* 現象など)が容易に見出されていない困難さがある。それに関わらず、両者の間にある多くの共通点から判断して、*pulverized-molten* 状態の岩石とフェルサイトの間には岩石学的あるいは岩石化学的に密接な成因関係があると考えられる。

既存岩石が機械的破壊(*cataclasis*, *mylonitization*, *pulverization*)をへて最終的にその一部がメルト化しハリ質岩を形成するといった実例は世界各地で古くから知られており、その過程や生成岩石に対し種々の名称が与えられてきた。最初にこの岩石に注目した MACCULLOCH (1819)は *Trap-shotten*(*trap-injected*) *gneiss* という名称を与え、KING *et al.* (1864)に引きつがれた。Pseudotachylite あるいは *flinty crushed-rock* は SHAND (1916)によって与えられ、HALL *et al.* (1925), HAMMER (1930), ANGEL (1931), WILLEMSE (1937), SALOP (1949), REYNOLDS (1954), CHRISTIE (1960), DREVER (1961), PARK (1961), PHILPOTTS (1964), WILSHIRE (1971), ERMANOVICS *et al.* (1972), MASCH (1973), SIBSON (1975), WENK (1978), SINHA-ROY (1981), BECKHOLMEN (1982)に引きつがれた。また、*Fritted or fused mylonite* は CLOUGH *et al.* (1909), *Flaser rock* は TYRRELL (1926), *Hartschiefer* は HOLMQUIST (1910), *QUENSEL* (1916), *TYRRELL* (1926), *Hyalomylonite* は SCOTT *et al.* (1953), *Frictional fusion* は SCOTT *et al.* (1953), *Aufschmelzungsgestein* は WURM (1935), *Mylonite* は LAPWORTH (1885), TEALL (1918), WATERS *et al.* (1935), ARMSTRONG (1941), *Primary and secondary mylonites* は CHRISTIE (1960, 1963), *Ultramylonite* は STAUB (1915), *QUENSEL* (1916), SUTTON *et al.* (1950), *Ultracataclasisite* は GRUBENMAN *et al.* (1924), *TYRRELL* (1926), *Blastomylonite* は SANDER (1911), *KNOPF* (1931), *Phyllonite or phyllite-mylonite* は SANDER (1911), *KNOPF* (1931), *Augen schist* は LAPWORTH (1885), *Mylonite-gneiss* は QUENSEL (1916), SINHA-ROY (1977), *Layered mylonite* は PRINZ *et al.* (1964), *Pseudo-cataclastic*

texture は ANDERSON (1934), *Gangmylonite* は BEARTH (1933) によって使用された。他に一般的に記述した Hsu (1955), CHRISTIE (1963), BHATTACHARJEE (1964), SPRY (1969)や *mylonitic microtexture* に関する SINHA-ROY (1977), 地震・断層・溶融・クレータ・Impact 変成に関する CHAO (1967), STÖFFLER (1971), MCKENZIE *et al.* (1972)などがある。

このように、その過程や生成岩石に対する名称は種々ではあるが、研究者らがその対象とした岩石の産状・性状には共通して次のような特徴をもつことが指摘されよう。

(1) 造構的背景をもつ特定の地域、すなわち構造帯(ナッペ・ミローナイト帯・スラスト帯・破碎剪断帯・断層帯)に限って産出する。

(2) 既存岩石の種類を問わず、それらは強度の圧砕・ミローナイト化を受けている。圧砕の強度に進行したもので、顕微鏡下規模の超微岩片の密雑集合となる粉状化が認められる。

(3) 超微岩片は半溶融(ガラス化)し、互に膠結した焼結(*sintering*)の状態になる。ガラスの形成量は最大80~90%にも達することがある。ガラスのうちに種々の程度に脱ハリ化される。

(4) この半溶融物は流動性を帯びて(*fluidization*: REYNOLDS, 1954)移動し、*trapping*, *branching*, *pool* 状形態を示す細脈(幅数 *m*, 延長数 10*m*)群として発達する。(1)~(4)の状態に対し、上述のように種々の岩石名がつけられているが、最も使用頻度の高いのは *pseudotachylite* である。この岩石はその周辺の粉状化帯(幅数 100*m*)に比べ小規模な発達を示すに過ぎない。

(5) *pseudotachylite* は種々の既存岩石を出発岩としており、したがって生成されるガラス・*pseudotachylite* の化学組成は出発岩の化学組成により多様にわたっている(Fig. 8)。

pseudotachylite の成因については多くの考え方があがあるが、多くの研究者は上述の(1)~(5)を認めながらも結局は既存岩石を溶融させた熱の発生要因は何かといった点に的をしぼって議論している。PHILPOTTS (1964)は *pseudotachylite* 問題を二つの成因説: 第1は *extreme cataclasis-mylonitization* 説(REYNOLDS, 1954; WILSHIRE, 1971; WENK, 1978), 第2は *fault-shock deformation-impact metamorphism* による *frictional fusion* 説(SHAND, 1916; SCOTT *et al.*, 1953; PHILPOTTS, 1964; SIBSON, 1975; STRONG *et al.*, 1981), に総括した。これに対し BECKHOLMEN (1982)は、PHILPOTTS の二つの

* メルト生成場とメルト貫入場とのギャップの説明として、深部レベルでメルトが発生し、構造運動の推移と共に浅部レベルに移動・貫入するという考え(WALLACE, 1976; SINHA-ROY, 1981; BECKHOLMEN, 1982)もある。

** Plate I-B の現象は *trapping*, *branching* であろう。

n : PST, o : hornblende gneiss ; Zahn—Joch (MASCH, 1974), p : PST, q : PST, r : mylonitic Haukenes gneiss, s : mylonitic Haukenes gneiss ; Major Bergen Arc (SINHA-ROY, 1981).

Fig. 8. Normative ratio of "pseudotachylites" described already in the world.

1 : sheared granites, diorite porphyries and felsites in this study (correlated to Figs. 2 to 5). 2 : pseudotachylites (Abbrev. PST). 3 : original rocks of pseudotachylites.

a : PST, b : granite ; Parijs (HALL & MOLENGRAAFF, 1925), c : PST in nepheline—syenite, d : PST in gabbro, e : PST in quartzite ; Vredefort—Bergland (HALL & MOLENGRAAFF, 1925), f : PST from paragneiss, g : PST from amphibolite ; Tiroler—Grenze (HAMMER, 1923), h : Bimsstein, Köfels, i : Muskovitgneiss ; Maurachschlucht (MAIER, 1933), j : PST, k : amphibolite ; Lawenskapf (MASCH, 1974), l : PST, m : augengneiss ; Pfannknecht (MASCH, 1974),

成因説は基本的に相対立するものではなく、応力持続時間の長短差および応力場での岩石の plasticity-elasticity (ductile-brittle deformation : 弾性反撥説もこれに基づく) 条件の違いによるものと考え、結局は母岩のミローナイト・圧砕化過程で生ずる摩擦熱による“摩擦熱溶融”であると論じた。また、この系が anhydrous とするもの (SIBSON, 1977 ; WENK, 1978) や hydrous 説 (SCOTT *et al.*, 1953 ; PHILPOTTS, 1964 ; BECKHOLMEN, 1982) がある。後者は pseudotachylite 中にしばしば認められる bubbly amygdale を構成する vesicle-volatile 相の起源を出発岩中の黒雲母・角閃石・方解石からの H_2O , CO_2 等揮発成分の離脱に求めている。

井出川構造帯のフェルサイトの産状・岩質に酷似し、形成過程もまた同様のものと推論される例が、阿武隈変成帯内の次の地域に筆者らによって見出されている。すなわち、

1. 日立地域：大雄院圧砕性花崗岩中。
2. 茨城県久慈郡里美村横川：圧砕性花崗岩中。
3. 茨城県久慈郡里美村永戸：圧砕性花崗岩中。
4. 茨城県原町市社地神：圧砕性花崗岩中。
5. 福島県相馬市山上：山上型圧砕性花崗岩。

これらは、いずれも構造帯(ミローナイト・破碎剪断帯)に属し、極度に圧砕・粉状化された花崗岩中に脈岩として産する。これら脈岩類(フェルサイト)とその圧砕化母岩との関係は、以上のべてきた問題にきわめて興味ある好素材を提供している。これについては別の機会にのべることにする。また、それ以外の地域では、北海道北見地方の白滝構造線と上支湧別構造線の交錯地域に貫入した含堇青石流紋岩(置戸流紋岩)が、白滝型圧砕性花崗岩を起源とする溶融貫入岩体の好例として詳しく記載されている(渡辺他, 1981)。

ま と め

“井出川構造帯”に関する筆者らの二つの論文(既報および本論)で得られた知見にもとづき、フェルサイト岩脈群の成因を概略し本論文のまとめとする。

(1) “井出川構造帯”形成史は、いわゆる“阿武隈東縁構造帯”造構史の前半史を占めており、ほぼ安倍族造山運動史に対応される。

(2) “井出川構造帯”は造構史よりみれば三時期の変成作用(I, II, III)をへた、いわば“三階建のストックベルク(Dreistockwerkstektonik)”構造帯である。す

Appendix Fig. A (Left). Projection of optical constants of plagioclases from diorite porphyry (Sp. No. ID—9).

Appendix Fig. B (Right). Projection of optical constants of plagioclases from chilled margin of diorite porphyries (Sp. Nos. 8142102 T and KDG—5).

なわち,

変成作用(I)期: 高度変成岩類形成と圧砕性花崗岩活動.

変成作用(II)期: 郭公山層の噴出・堆積とそれを起源とする skarnized green phyllonite の形成.

変成作用(III)期: 強度の Cataclasis・圧砕性花崗岩再活動・ダイアフトライト形成・火成岩活動(トータル岩・閃緑斑岩・フェルサイト).

(3) 変成作用(III)期は Bruchtektonik (断裂・破碎・剪断・変形運動を主とする) で特徴づけられ, 安倍族造山運動 Subsequent 期に対応される. この期の特徴的な地質学的事変は, 強度の圧砕(変形)によるダイアフトライト形成・圧砕性花崗岩の再活動(熔融)・フェルサイト岩脈群の形成である.

(4) 深部構造体(Tiefengebirge)での圧砕性花崗岩の強烈な圧砕・粉状化・摩擦熱発生による粉状部の部分的熔融(pulverized-molten 状態).

(5) 酸性メルトの移動・上部構造体(Obergebirge)の破碎剪断帯への貫入・フェルサイト岩脈群形成.

“井出川構造帯”形成史の中で, 以上のようなフェルサイト岩脈群形成過程の概略を読みとることができよう.

Appendix

閃緑斑岩は, “井出川構造帯”を構成する岩石のうちで最も広い分布を示す. これは, ドーム・ベースン構造を示すいくつかの構造单元をなして貫入しており, 構造单元境界に発達した破碎剪断帯に沿ってフェルサイト岩脈群が形成されている. 閃緑斑岩と他岩石との関係(産状)は, この岩石が圧砕性花崗岩からのフェルサイトの形成に密接に関連していることを示唆している. 産状は既報にのべたので今回は省略する.

鏡下観察

斜長石・ポイキリチック角閃石による完晶質斑状組織を示す. 単斜輝石・黒雲母・石英・正長石を含む. 斜長石*: 7~8 mm, 自形卓状, 累帯組織を示す(App. Plate—A). また, しばしば chess-board 組織**を示す(App. Plate—F). 角閃石: 7~8 mm, ときにポイキリチック. light brown~pale light brown (周縁は light green~pale green) の多色性を呈し, 中に斜長石ラス, 0.2 mm 大の粒状単斜輝石を含む. 黒雲母: 0.1 mm, フレーク状で dark brown~light yellow の多色性を示す. 石英: 石基にみ

* An 組成は Appendix Fig. に示した.

** 正長石主体—斜長石客体 またはその逆, 石英主体—斜長石客体 など, 種々のケースが認められる.

られ他形，波状消光・ベーム・ラメラは認められない。

正長石：石基に少量認められる。

閃緑斑岩の急冷周縁相は App. Plate—E にみるように，石英>斜長石の斑状組織(溶蝕石英)，石基は潜微晶質で脱ハリ化し緻密な微細石英集合体となっている。斜長石斑晶は累帯組織を示し，その周辺に文象組織(App. Plate—C, D)が発達することがある。黒雲母・角閃石は0.5 mmで大部分緑泥石化されている。閃緑斑岩は郭公山層に対し熱変成作用を与えていない。

文 献

- ALLAN, B. D. and CLARKE, D. B., 1981 : Occurrence and origin of garnets in the South Mountain Batholith, Nova Scotia. *Canad. Miner.*, **19**, 19—24.
- ANDERSON, G. H., 1934 : Pseudo-cataclastic texture of replacement origin in igneous rocks. *Am. Miner.*, **19**, 5, 185—193.
- ANGEL, F., 1931 : Einige neuere Pseudotachylit funde in den österreichischen Zentralalpen. *Verh. Geol. Bundesanst. Wien*, 143—153.
- ARMSTRONG, E. J., 1941 : Mylonitization of hybrid rocks near Philadelphia, Penn. *Bull. Geol. Soc. Am.*, **52**, 667—693.
- BEARTH, P., 1933 : Über Gangmylonite der Silvretta. *Schweiz. Miner. Petr. Mitt.*, **XIII**, 347—355.
- BECKHOLMEN, M., 1982 : Mylonites and pseudotachylites associated with thrusting of the Kôli Nappes, Tännforsfältet, central Swedish Caledonides. *G. F. F.*, **104**, 1, 23—32.
- BHATTACHARJEE, C. C., 1964 : Late structural and petrological history of the Meall Deise area north of Gairloch, Ross-shire. *Trans. Geol. Soc. Glasg.*, **25**, 1, 31.
- BIRCH, W. D. and GLEADOW, A. J. W., 1974 : The Genesis of Garnet and Cordierite in Acid Volcanic Rocks : Evidence from the Cerberean Cauldron, Central Victoria, Australia. *Contr. Min. and Petrol.*, **45**, 1—13.
- CHAO, E. C., 1967 : Impact Metamorphism, In : P. H. ABELSON, *Researches in Geochemistry*, **2**, 204—233, John Wiley and Sons, Inc., N. Y.
- CHAPPEL, B. W. and WHITE, A. J. R., 1974 : Two contrasting granite types. *Pacific Geol.*, **8**, 173—174.
- CHRISTIE, J. M., 1960 : Mylonitic Rocks of the Moine Thrust Zone in the Assynt District, North West Scotland. *Trans. Geol. Soc. Edinb.*, **18**, 79.
- , 1963 : Moine Thrust Zone in the Assynt Region, North West Scotland. *Univ. Calif. Publ. Geol. Sci.*, **40**, 6, 345.
- CLARKE, D. B., 1981 : Peraluminous Granites. *Canad. Miner.*, **19**, 1, 1—216.
- CLOUGH, C. T., MAUFE, H. B. and BAILEY, E. B., 1909 : The Cauldron-Subsidence of Glen-Coe, and the Associated Igneous Phenomena. *Q. J. Geol. Soc. London.*, **65**, 611—678.
- DREVER, H. I., 1961 : Pseudotachylite of the Gairloch district, Ross-shire. *Am. J. Sci.*, **259**, 542—550.
- EDWARDS, A. B., 1936 : On the occurrence of almandine garnets in some Devonian igneous rocks of Victoria. *Proc. Roy. Soc. Victoria*, **49**, 40—50.
- ERMANOVICS, I. F., HELMSTEAD, H. and PLANT, A. G., 1972 : An occurrence of Archean pseudotachylite from SE Manitoba. *Canad. J. Earth Sci.*, **9**, 257—265.
- FITTON, J. G., 1972 : The Genetic Significance of Almandine-Pyrope Phenocrysts in the Calc-Alkaline Borrowdale Volcanic Group, Northern England. *Contr. Min. and Petrol.*, **36**, 231—248.
- GREEN, T. H. and RINGWOOD, A. E., 1968 : Origin of Garnet Phenocrysts in Calc-Alkaline Rock. *Contr. Min. and Petrol.*, **18**, 163—174.
- , 1972 : Crystallisation of garnet-bearing rhyodacite under high-pressure hydrous condition. *J. Geol. Soc. Australia*, **19**, 203—212.
- , 1976 : Experimental generation of cordierite- or garnet-bearing granitic liquids from a pelitic composition. *Geology*, **4**, 85—88.
- , 1977 : Garnet in silicic liquids and its possible use as a P-T indicator. *Contr. Min. and Petrol.*, **65**, 59—67.
- GRUBENMAN, U. and NIGGLI, P., 1924 : *Gesteinmetamorphose*. Borntraeger, Berlin, 1924.
- HALL, A. L. and MOLENGRAAFF, G. A., 1925 : The Vredefort Mountain Land in the Southern Transvaal and the northern Orange Freestate. *Verh. Koninkl. Akad. Wetenschappen Amsterdam*, **24**, 3, 93—113.
- HAMMER, W., 1930 : Pseudotachylite in der Ostalpen. *Jb. Geol. Bundesanst.*, **80**, 571—585.
- HENSEN, B. J. and GREEN, D. H., 1971 : Experimental Study of Cordierite and Garnet in Pelitic Composition at High Pressures and Temperatures. I. Compositions With Excess Alumino-silicate. *Contr. Min. and Petrol.*, **33**, 309—330.
- , and ———, 1972 : Experimental Study of Cordierite and Garnet in Pelitic Compositions at High Pressures and Temperatures. II. Compositions Without Excess Alumino-silicate. *Contr. Min. and Petrol.*, **35**, 331—354.
- , and ———, 1973 : Experimental Study of the Stability of Cordierite and Garnet in Pelitic Compositions at High Pressures and Temperatures. III. Synthesis of Experimental Data and Geological Applications. *Contr. Min. and Petrol.*, **38**, 151—166.
- HOLMQUIST, P. J., 1910 : Die Hochgebirgsbildungen am Torne Träsk in Lappland. *G. F. F.*, **32**, 913.
- Hsu, H., 1955 : Granulites and mylonites of the San Gabriel Mtns. *Univ. Calif. Publ. Geol. Sci.*, **30**, 44.

- KING, W. and FOOTE, R. B., 1864 : On the Geological Structure of the Districts of Trichinopoly. *Salem. Mem. Geol. Surv. India*, **IV**, 223—377.
- KNOPE, E. B., 1931 : Retrogressive metamorphism and Phyllonitization. *Am. J. Sci.*, **21**, 1—27.
- LAPWORTH, C., 1885 : The Highland controversy in British geology. *Nature*, **32**, 558.
- MACCULLOCH, J., 1819 : *A description of the Western Islands of Scotland*. Hurst, Robinson and Co., London.
- MAKAROV, N. N. and Suprychev, V. A., 1964 : Xenogenic garnet (pyrope-almandine) from volcanic rocks of the Crimea. *Doklady Akad. Nauk, S. S. R.* (Eng. transl.), **157**, 64—67.
- MASCH, L., 1973 : Untersuchung der Aufschmelzung und Deformation der Pseudotachylite der Silvretta (Österreich, Schweiz). *N. Jb. Min. Mh.*, 485—509.
- McKENZIE, D. and BRUNE, J. N., 1972 : Melting on fault planes during large Earthquakes. *Geophys. J. R. Astron. Soc.*, **29**, 65—78.
- 森本良平・湊 秀雄, 1949 : 鹿児島県肝属郡垂水町早崎咲花平産堇青石の産出状態. 岩鉱, **33**, 51—61.
- OLIVER, R. L., 1956 : The origin of garnet in the Borrowdale volcanic series and associated rocks, English Lake District. *Geol. Mag.*, **93**, 121—139.
- 大野勝次・砥川隆二・渡辺岩井・柴田秀賢, 1953 : 北部阿武隈高原東南地域の地質——阿武隈高原の地質学的岩石学的研究(其の5)——東京文理大研究報告, **2**, 79—89.
- PARK, R. G., 1961 : Pseudotachylite of the Gairloch district, Ross-shire. *Am. J. Sci.*, **259**, 542—550.
- PHILPOTTS, A. R., 1964 : Origin of pseudotachylites. *Am. J. Sci.*, **262**, 1008—1035.
- PRINZ, M. and POLDERVAART, A., 1964 : Layered mylonite from Beartooth Mountains, Montana. *Bull. Geol. Soc. Am.*, **75**, 741.
- QUENSEL, P., 1916 : Zur Kenntnis der Mylonitbildung erläutert an Material aus dem Kebnekaisegebiet. *Bull. Geol. Instn. Univ. Uppsala*, **15**, 91—116.
- REYNOLDS, D. L., 1954 : Fluidization as a geological process, and its bearing on the problem of intrusive granites. *Am. J. Sci.*, **252**, 577—614.
- SALOP, L. I., 1949 : Pseudotachylites from the cis-Baikal and western trans-Baikal regions and the problems of their genesis. *Akad. Nauk SSSR, Izv., Ser. Geol.*, **5**, 40—56.
- SANDER, B., 1911 : Über Zusammenhänge zwischen Teilbewegung und Gesteinen. *Tschermaks Min. Petrogr. Mitt.*, **30**, 281.
- SCOTT, J. S. and DREVER, H. I., 1953 : Frictional fusion along the Himalayan Thrust. *Proc. Roy. Soc. Edinb.*, **65**, 121—140.
- SHAND, S. J., 1916 : Pseudotachylite of Parijs (Orange Free State) and its Relation to 'Trap-Shotten Gneiss' and 'Flinty Crush-Rock'. *Q. J. Geol. Soc. London*, **72**, 198—221.
- SIBSON, R. H., 1975 : Generation of pseudotachylite by ancient seismic faulting. *Geophys. J. Roy. Astron. Soc.*, **43**, 775—794.
- , 1977 : Fault rocks and fault mechanisms. *J. Geol. Soc. Lond.*, **133**, 191—213.
- SINHA-ROY, S., 1977 : Mylonitic microtextures and their bearing on the development of mylonites—example from deformed trondhjemite from Bergen Arc region, SW Norway. *Geol. Mag.*, **14**, 445—458.
- , 1981 : Pseudotachylite from a thrust zone in mylonitic gneisses of Major Bergen Arc, South West Norway. *N. Jb. Min. Abh.*, **141**, 2, 150—160.
- SPRY, A., 1969 : *Metamorphic textures*. Pergamon Press, Oxford.
- STAUB, R., 1915 : Petrographische Untersuchungen im westlichen Berninagebirge. *Vjschr. Natur f. Ges. Zurich*, **60**, 71.
- STÖFFLER, D., 1971 : Progressive metamorphisms and classification of shocked and brecciated crystalline rocks at impact craters. *J. Geophys. Res.*, **76**, 5541—5551.
- STRONG, D. F. and HANMER, S. K., 1981 : The leucogranites of southern Brittany: Origin by faulting, frictional heating, fluid flux and frictional melting. *Canad. Miner.*, **19**, 163—176.
- SUTTON, J. and WATSON, J., 1950 : Pre-Torridonian history of the Loch Torridon and Scourie areas in the North-West Highlands. *Q. J. Geol. Soc. London*, **106**, 241—307.
- 高畑裕之・渡辺 順・土屋 簗・内山幸二, 1982 : 阿武隈変成帯東縁の“フェルサイト”岩脈群. 日本地質学会第 89 年学術大会講演要旨, 399.
- TEALL, J. J. M., 1918 : Dynamic metamorphism. *Proc. Geol. Ass. Lond.*, **29**, 1.
- TYRRELL, G. W., 1926 : *Principles of Petrology*. Methuen and Co., London.
- WALLACE, R. C., 1976 : Partial melting along the Alpine Fault Zone, New Zealand. *Bull., Geol. Soc. Am.*, **87**, 1225—1228.
- 渡辺 順・長谷川潔, 1981 : 置戸町西方の含堇青石流紋岩(置戸流紋岩)——I. 形成過程の概要. 地下資源調査所報告, **53**, 1—61.
- ・高畑裕之・内山幸二・土屋 簗, 1983 : 阿武隈変成帯東縁の“井出川構造帯(新称)”——I. 構造帯設定の根拠とその意義. 地質雑, **89**, 331—346.
- WATERS, A. C. and CAMPBELL, C. D., 1935 : Mylonites from the San Andreas Fault Zone. *Am. J. Sci.*, **29**—473.
- WENK, H. R., 1978 : Are pseudotachylites products of fracture or fusion? *Geology*, **6**, 507—511.
- WILLEMSE, J., 1937 : On the granite of the Vredefort region and some of its associated rocks. *Trans. Geol. Soc. S. Africa*, **40**, 43.

- WILSHIRE, H. G., 1971 : Pseudotachylite from Vredefortring, South Africa. *J. Geology*, **79**, 195—206.
- WOOD, C. P., 1974 : Petrogenesis of garnet-bearing rhyolites from Canterbury, New Zealand. *N. Z. J.*

- Geol. and Geophys.*, **17**(4), 759—787.
- WURM, A., 1935 : Über tektonische Aufschmelzungsgesteine und Bedeutung. *Zeits. f. Vulkanologie*, **XVI**, 98—119.

Explanation of Plates

■ Plate I. Polished specimens showing an intensely pulverized appearance superimposed on sheared granite.

- A : Very intensely pulverized part in Photo (grey to black part) consists of finely-powdered remnant fragments of the granite and glassy material fused in situ from them (now devitrified to newly-formed quartz, albite, potash feldspar and spherulite. Refer Plate III—A, III—B). Against such a behavior, the authors propose a term ; “pulverized-molten state”. Sp. No. A. Loc. Koidegawa River.
- B : It seems to be sure for a part of pulverized-molten materials (black part of Photo) to be removed and trapped into intensely sheared granite with a sharp boundary. Sp. No. B. Loc. Koidegawa River.

Plate V. Photomicrographs of various kinds of felsites.

- A : Felsite (type B) with dendritic (herring-bone) texture around corroded potash feldspar and corroded quartz. Crossed nicols. Sp. No. T—4. Loc. Shiitakezawa near Yokoyama Village.
- B : Felsite (type A and B) with dendritic (herring-bone) and graphic textures around remnant plagioclases. Crossed nicols. Sp. No. T—11. Loc. South branch of Tomiokagawa River.
- C : Felsite (type D) including garnet grains replacing plagioclase, with holocrystalline microgranoblastic or mosaic texture. It consists chiefly of quartz, albite and sanidine. Crossed nicols. Sp. No. JK—21. Loc. Koidegawa River.
- D : Felsite (type D) showing holocrystalline microgranoblastic texture. It consists also of quartz, albite and sanidine. Crossed nicols. Sp. No. RH—6. Loc. Kainosaka Village.
- E : Almandine-spessartine garnet in felsite (type D) from the above-shown photomicrograph C in Plate V. See Table 2 and Fig. 7. Open nicols. Sp. No. JK—21. Loc. Koidegawa River.
- F : Grossular garnet in felsite (type D) that shows a zonal texture with idiomorphic form. See Table 2 and Fig. 7. Crossed nicols. Sp. No. T—036. Loc. 1 km south of Kakinokidaira Village.

Appendix Plate. Photomicrographs of diorite porphyry.

- A : Typical feature of diorite porphyry, in which large phenocrysts of plagioclase are porphyritic and show zonal texture. Crossed nicols. Sp. No. JK—7. Loc. Tokorokura, Kawauchi Village, Futaba-Gun.
- B : Same appearance of diorite porphyry, in which phenocrysts of hornblende as well as plagioclase also are common. Groundmass consists mainly of plagioclase and hornblende with minor amounts of quartz, potash feldspar and biotite. Crossed nicols. Sp. No. ID—9. Loc. Idegawa River.
- C : Graphic texture formed around phenocrysts of plagioclase is very often found out. Crossed nicols. Sp. No. RH—24. Loc. Koidegawa River.
- D : Graphic texture formed around granitic fragments also is found out. Sp. No. KDG—5. Loc. Koidegawa River.
- E : Chilled margin of diorite porphyry intruding to skarnized green phyllonite (left half of Photo). Sometimes, corroded quartz grains are found out in the groundmass that shows cryptocrystalline texture. Crossed nicols. Sp. No. RH—24. Loc. Koidegawa River.
- F : Phenocrysts of plagioclase showing a chess-board texture also occur often in the diorite porphyry. Crossed nicols. Sp. No. 8141902 T. Loc. Koidegawa River.

Plate II. Sheared granite and skarnized rock crumbled very intensely to powder or dust materials. An action that reduces the rock to powder or dust is known as pulverization. Sheared granite and skarnized rock, on which an intense pulverization is superimposed, are smashed, demolished, crushed and reduced to powder and/or dust (left half of Photo). At weakly sheared part remnant blocks of granite, more or less pulverized, can be seen (right half). Sp. No. KDG—3a. Loc. Koidegawa River. A : Open nicols. B : Crossed nicols.

Plate III. Photomicrographs of an initial stage of pulverization on sheared granite.

- A : Sheared granite escaped from the action (lower left part), and weakly pulverized part (upper right part). Crossed nicols. Sp. No. KDG—4. Loc. Koidegawa River.
- B : Enlarged photomicrograph of squared part of Photo A. Pulverulent part consists of dusty materials of granite and amorphous constituent (glass). Devitrification is clear and the part is superseded by aggregation of chalcedonic quartz, albite and sanidine. The texture resembles that of a type of felsites. Open nicols.
- C : Crossed nicols.

Plate IV. Photomicrographs of various kinds of felsites.

- A : Felsite (type C) having granitic fragments (upper half of Photo), around which graphic texture is formed. Granitic fragments consist of dusty, non-zoned plagioclase, quartz and potash feldspar together with minor amounts of biotite. While, the matrix shows a graphic and/or spherulitic texture that consists of quartz, albite and potash feldspar, and clots of idiomorphic sanidine crystals are formed at the outermost part of the texture. Crossed nicols. Sp. No. T—10. Loc. South branch of Tomiokagawa River.
- B : Felsite (type A) having spherulite around corroded quartz. Crossed nicols. Sp. No. T—4. Loc. Shiitakezawa near Yokoyama Village.
- C : Felsite (type A and B) with spherulitic or dendritic (herring-bone) texture around corroded potash feldspar and corroded quartz. Crossed nicols. Sp. No. T—9. Loc. South branch of Tomiokagawa River.