山形県大滝粗粒玄武岩岩床の岩石学的研究*

Petrology of the Otaki dolerite sills, Yamagata Prefecture

青 木 謙一郎 (Ken-ichiro Aoki)**

Abstract : The Otaki dolerite sills, Yamagata Prefecture intrude in the middle part of the Kusanagi formation (middle Miocene age). Contact effects of the intrusions on the sediments are very weak and are confined to the immediate contact zone. After the intrusion, the magma formed dolerite pegmatite and felsic patch (granophyre) by crystallization differentiation *in situ*. Trends of the differentiation of the Otaki dolerite magma accord with that of Palisade diabase, Tasmanian dolerites, Karroo dolerites, Dillsburg dolerite and Semi quartz dolerite sills.

1. 緒 言

山形県新庄盆地北縁の地質については最近非常にくわしい研究が行われている¹⁾²⁾。この地域には、しばしば粗粒玄武岩岩床が認められ、その分布については今田の報告³⁾がある。筆者は 1954 年、大滝粗粒玄武岩岩床を研究する機会を得、野外調査と岩石学的研究を行い、1958 年、これらの岩石の化学分析を行つた。その結果をここに報告する。

この研究を行うにあたり懇切丁寧なる御指導、御助言を賜つた石井清彦前教授、河野義礼教授、八木健三教授、千藤忠昌助教授、加藤磐雄助教授、植田良夫助教授、田口一雄氏、阿部正宏氏、宇留野勝俊氏、谷田勝俊氏に謝意を表す。又アルカリの定量を行つて下さつた東京工業大学小沢竹二郎氏に厚く御礼申し上げる。なお、この研究には文部省科学研究費の一部を使用した。

2. 産 状

山形県新庄市の北部、最上郡真室川町大滝附近一帯には凝灰岩や角礫凝灰岩を夾む硬質シルト岩層が発達し、草薙層と名付けられ、その時代は中部中新世といわれている。この地層のほぼ中位に 3 枚の粗粒玄武岩岩床が貫入し、その露出は奥羽本線大滝駅一帯に認められる。

これらの岩床の厚さは上部のものから 10m, 90m, 30m であつて、岩床と接している上下両地層は数 10 cm にわたつて漂白され、又接触部の数 cm は熱の作用により焼

* 昭和 31 年 10 月 岩鉱学会総会に於て講演

** 東北大学理学部岩鉱教室

1) Kato, I. : Sci. Rep. Tohoku Univ., Ser. III, 5, 1~94, 1954~1955.

2) 加藤磐雄・阿部正宏 : 岩鉱, 40, 169~177, 1956; 41, 129~136, 1957.

3) 今田 正 : 岩鉱, 35, 11~15, 1951.

け、硬化しているが熱変成鉱物は認められない。一方岩床は接触部に約 50cm の急冷玄武岩を生成し、内部にゆくにつれて次第に粗粒となつている。岩床の中央部には晶出分化の進んだ時期に絞り出されて生じた多数の segregation vein が認められる。

3. segregation vein の産状

岩床中の上 2 枚の segregation vein は Walker の分類¹⁾に従えばすべて patch と呼ばれるものであつて、その厚さも薄く、その全厚は上部のもの数 cm、中部のものは 20 cm に過ぎない。しかし最下部の岩床には多数の segregation vein が発達し、特に 35cm と 17cm の schlieren の長さは 30 m を超えている。その他の segregation vein の長さは数 m、厚さも 10 cm 以下である。これらの segregation vein は粗粒玄武岩ベグマタイトによつて構成されているが、厚さ 1 cm 以下のものは粗粒玄武岩ベグマタイトとはかなり異つた構造を示すのでフェルシック・パッチ (felsic patch) と呼ぶことにした。

最下部岩床の segregation の全厚は石切場南側に於て 17 本、約 90 cm、岩床の厚さの 3% を占めているが、しかしこの岩床全体に対する segregation vein の割合は 1% 以下である。

4. 鏡下での観察

これらの粗粒玄武岩岩床は、構成鉱物の性質、組織及び化学組成から急冷玄武岩、粗粒玄武岩、粗粒玄武岩ベグマタイト及びフェルシック・パッチの 4 種に分類することが出来る。これらを鏡下で観察した結果を簡単に記載する。

i) 急冷玄武岩：斑晶として多量の斜長石 (25%) と少量の普通輝石 (0.5%) を含んでいる。斜長石は 2 mm 前後の短柱状自形結晶で、しばしば聚斑状構造を呈している。累帯構造は外縁部に於てや、著しい。すべて聚片双晶をなしている。普通輝石は長さ 0.6 mm の短柱状自形結晶である。累帯構造はあまり認められない。

石基は細粒完晶質である。主成分鉱物は斜長石、単斜輝石、磁鉄鉱、緑泥石様鉱物、副成分鉱物は石英、アノソクレス、チタン鉄鉱、黒雲母、鱗灰石である。

ii) 粗粒玄武岩：ophitic texture を示し、構成鉱物は急冷玄武岩と同様であるが、アノソクレスは石英と micrographic intergrowth をなし、微ベグマタイトとして存在している。

石基斜長石は斑晶斜長石の間隙を埋める短冊状結晶として存在し、上下の接触帯から中央部に向つて次第に大きくなり、急冷玄武岩では平均の長さは 0.15 mm であるが、中央部では 0.4 mm、1 mm に達するものもある。累帯構造は外縁部に於て著しく発達している。双晶としてアルバイト、カールスバット、ペリクリン等が認められるが、双晶をしていないものも多い。普通輝石は急冷玄武岩に於ては 0.1 mm の粒状結晶であるが、中央部では平均 0.4 mm、稀に 1 mm に達する。ophitic form を呈し、色は淡緑色、ごく弱い多色性を示すものがある。累帯構造を示すものがあり、中心部から外縁部に向つて消光角と光軸角が小さくなつてゆく。ビジオン輝石は普通輝石より小さく、単独結晶又は普通輝石の周りに rim を作つて存在する。ビジオン輝石の量は少く、普通輝石の 10% 以下

1) Walker, F.: Am. Jour. Sci., 251, 41~60, 1953.

Table 1. Optical properties of plagioclases and clinopyroxenes from Otaki dolerite sills.

	Dolerite		Dolerite pegmatite		
	Phenocryst	Groundmass	504	505	813
Plagioclase	$n_1=1.576-1.561$ An 92-61	$n_1=1.563-1.547$ An 66-38	$n_1=1.556-1.538$ An 53-19	$n_1=1.555-1.541$ An 51-25	$n_1=1.555-1.540$ An 51-23
Clinopyroxene	$\beta=1.691-1.698$ $2v_\gamma=47^\circ-37^\circ$ $c \wedge Z=43^\circ$ $Wo_{40}En_{43}Fs_{17}$ $\rightarrow Wo_{36}En_{39}Fs_{26}$	$\beta=1.695-1.707$ $2v_\gamma=48^\circ 35' \sim 23^\circ-0^\circ$ $c \wedge Z=43^\circ-41^\circ$ $Wo_{40}En_{39}Fs_{21}$ $\rightarrow Wo_{10}En_{44}Fs_{46}$	$\beta=1.699-1.718$ $2v_\gamma=50^\circ-0^\circ$ $c \wedge Z=45^\circ-43^\circ$ $Wo_{41}En_{36}Fs_{23}$ $\rightarrow Wo_9En_{36}Fs_{55}$	$\beta=1.699-1.718$ $2v_\gamma=43^\circ-0^\circ$ $c \wedge Z=44^\circ-41^\circ$ $Wo_{37}En_{38}Fs_{25}$ $\rightarrow Wo_9En_{36}Fs_{55}$	$\beta=1.704-1.719$ $2v_\gamma=45^\circ-0^\circ$ $c \wedge Z=44^\circ-40^\circ$ $Wo_{37}En_{34}Fs_{29}$ $\rightarrow Wo_9En_{35}Fs_{56}$
	Dolerite pegmatite		Felsic patch		
	507	508	801	503	
Plagioclase	$n_1=1.554-1.539$ An 50-20	$n_1=1.555-1.540$ An 51-23	$n_1=1.554-1.538$ An 50-19	$n_1=1.555-1.542$ An 51-25	
Clinopyroxene	$\beta=1.704-1.720$ $2v_\gamma=48^\circ-0^\circ$ $c \wedge Z=44^\circ-41^\circ$ $Wo_{38}En_{33}Fs_{29}$ $\rightarrow Wo_8En_{35}Fs_{57}$	$\beta=1.704-1.720$ $2v_\gamma=47^\circ-0^\circ$ $c \wedge Z=44^\circ-41^\circ$ $Wo_{38}En_{33}Fs_{29}$ $\rightarrow Wo_8En_{35}Fs_{57}$	$\beta=1.705-1.719$ $2v_\gamma=45^\circ-0^\circ$ n. d. $Wo_{33}En_{33}Fs_{29}$ $\rightarrow Wo_9En_{35}Fs_{56}$	n. d. $2v_\gamma=50^\circ-0^\circ$ n. d.	

504; 35 cm. schliere, 505; 3 cm. patch, 813; 8 cm. schliere, 507; 4 cm. patch,
508; 17 cm. schliere, 801; 1 cm. patch, 503; 1 cm. patch.

Table 2. Modal compositions of dolerites, dolerite pegmatites and felsic patches from Otaki dolerite sills.

	Dolerite			Dolerite-pegmatite				Felsic patch	
Sample number	481	482	480	504	505	508	813	513	503
Plagioclase	56.1	54.6	60.7	40.8	33.2	35.1	32.4	46.5	36.4
Quartz and Micro-pegmatite	3.7	4.4	7.8	12.8	18.9	22.2	21.7	15.1	26.1
Clinopyroxene	18.6	20.6	15.3	17.1	20.4	17.7	19.2	16.8	8.4
Magnetite	5.1	4.8	4.0	9.5	8.0	7.6	5.3	9.0	6.1
Chloritic mineral	16.3	15.1	11.6	18.8	19.5	16.3	20.3	11.1	22.6
Apatite	0.2	0.4	0.6	1.0	0.8	1.1	1.0	1.4	0.5
Average length of plagioclase (mm)	0.2	0.3	0.4	1.3	0.7	1.1	0.7	0.4	0.5
Max. length of plagioclase (mm)	0.6	0.7	1.0	2.6	2.3	2.5	2.6	0.9	1.2
Average length of clinopyroxene (mm)	0.06	0.07	0.4	1.0	0.6	0.6	0.6	0.4	0.2
Max. length of clinopyroxene (mm)			1.0	2.7	1.7	2.3	1.6	1.5	0.4
Average size of magnetite (mm)	0.06	0.09	0.2	0.4	0.1	0.1	0.1	0.08	0.03
Max. size of magnetite (mm)			0.5	0.8	0.2	0.4	0.4	0.3	0.2

481; 1m. below upper contact, 482; 1.5m. below upper contact, 480; 18m. below upper contact, 504; 35cm. schlier, 505; 3cm. patch, 508; 17cm. schlier, 813; 8cm. schlier, 513. 1cm. patch, 503; 1cm. patch.

である。石英と微ペグマタイトは斜長石と単斜輝石の間を不規則な形をなして埋めている。磁鉄鉱は骸晶又は粒状結晶で、斜長石や単斜輝石と同様に急冷玄武岩より中央部にゆくにつれて急速にその大きさを増している。

iii) 粗粒玄武岩ペグマタイト：構成鉱物は粗粒玄武岩と同一であるが、主成分鉱物の量、化学組成、結晶の大きさ及び組織に著しい相違が認められる。

斜長石は主として柱状自形をなし、長さは稀に 2.6mm に達するが平均 1.2mm である。大きな結晶は単斜輝石と graphic intergrowth をなしている。累帯構造は外縁部に於て著しい。鉄普通輝石-鉄ビジオン輝石は subophitic form をなし、*c*-軸方向に著しく伸長し、時々彎曲している。鉄普通輝石-鉄ビジオン輝石は個々の結晶又は前者から後者へ連続的或は不連続的に累帯する結晶として存在する。鉄普通輝石の (001) に平行に、しばしばビジオン輝石の極めて細い exsolution lamellae が認められ、又鉄ビジオン輝石にも稀に普通輝石の exsolution lamellae が認められる。石英と微ペグマタイトはその量が粗粒玄武岩に比して著しく増加している。磁鉄鉱は骸晶又は粒状結晶で、しば

Table 3. Chemical compositions of chilled basalt and dolerite-pegmatites from Otaki dolerite sills.

	1	1'	2	3	4	5
SiO ₂	50.22	54.4	53.80	55.24	57.12	59.04
TiO ₂	1.10	1.6	1.57	1.36	1.26	1.26
Al ₂ O ₃	18.88	14.9	13.11	12.93	13.27	12.88
Fe ₂ O ₃	4.52	6.3	5.82	6.29	7.11	5.38
FeO	5.52	7.7	7.75	6.42	5.39	5.45
MnO	0.12	0.1	0.16	0.15	0.19	0.16
MgO	3.48	4.8	2.50	2.32	2.06	1.80
CaO	8.60	6.3	6.23	5.26	4.91	4.72
Na ₂ O	2.67	3.2	3.46	3.62	3.73	3.54
K ₂ O	0.36	0.5	1.19	1.30	1.41	1.63
H ₂ O+	1.67	—	1.00	1.27	1.10	1.04
H ₂ O-	2.50	—	2.74	2.46	2.28	2.12
P ₂ O ₅	0.10	0.1	0.38	0.69	0.59	0.57
Total	99.74	99.9	99.71	99.31	100.42	99.59

Analyst : K. Aoki. Alkalies are determined by Ozawa.

1. Chilled basalt, upper contact.
- 1'. Calculated groundmass composition of chilled basalt.
2. Dolerite pegmatite, 35cm. schliere (504).
3. Dolerite pegmatite, 8cm. schliere (813).
4. Dolerite pegmatite, 17cm. schliere (508).
5. Dolerite pegmatite, 4cm. patch (507).

しば単斜輝石と graphic intergrowth をなしている。

iv) フェルシック・パッチ：構成鉱物は粗粒玄武岩ベグマタイトと同様であるが，ophitic texture を示さず，trachytic texture に最も近く，斜長石の長軸方向が，schliere の方向とほぼ平行に並んでいる。結晶の大きさは粗粒玄武岩ベグマタイトよりも小さく，急冷玄武岩に近い。斜長石は長柱状自形～半自形であつて長さとの比の平均は 10，稀に 30 にも達し，時々彎曲している。単斜輝石は長柱状自形～半自形で ophitic form は示していない。磁鉄鉱，石英及び微ベグマタイトは粗粒玄武岩ベグマタイトと同様である。

最下部岩床の急冷玄武岩，粗粒玄武岩，粗粒玄武岩ベグマタイト及びフェルシック・パッチの斜長石と単斜輝石の光学的性質を Table 1 に，モード組成を Table 2 に，急冷玄武岩と粗粒玄武岩ベグマタイトの化学組成を Table 3 に示した。

5. 晶 出 分 化 作 用

大滝粗粒玄武岩 マグマの石基組成と世界各地のソレーアイト質マグマの化学組成とを比較してみると，SiO₂，total FeO 及び Na₂O が多く，MgO 及び CaO が非常に少ない。これは本源マグマから多量の斜長石，橄欖石，単斜輝石，斜方輝石及び磁鉄鉱の晶出分別が行われ，晶出分化の中期に達している為であると考えられる。

本邦のソレーアイト質マグマは Al₂O₃ 及び CaO に富み，Na₂O と K₂O に乏しい

のが特徴であるが、大滝粗粒玄武岩マグマの本源マグマも伊豆・箱根地方ソレーアイト質マグマの組成¹⁾に近いものであつたと推定される。貫入当時の大滝粗粒玄武岩マグマは本源マグマの約 55% が固結し、橄欖石、単斜輝石、斜方輝石及び磁鉄鉱の全部(単斜輝石のみは極く少量残存)と斜長石の一部が取り去られたものと考えられる。そして貫入後このマグマは *in situ* にて更に晶出分化作用を行い粗粒玄武岩ペグマタイト及びフェルシック・パッチを生成している。

Fig. 1. Trends of the crystallization differentiation of the Otaki dolerite magma (solid circles) compared with those of the pigeonitic rock series of the Izu and Hakone districts (P). Open circle:- assumed composition of the original magma of the Otaki dolerite.

MgO-FeO+Fe₂O₃-Na₂O+K₂O 三角図形に大滝粗粒玄武岩石基、粗粒玄武岩ペグマタイト及び推定した本源マグマの組成を点示し、比較の為、伊豆・箱根地方ビジオン輝石質岩系¹⁾の分化径路を示した (Fig. 1)。大滝粗粒玄武岩マグマの *in situ* に於ける分化径路は伊豆・箱根地方ビジオン輝石質岩系のものと一致し、且つ急冷玄武岩の石基組成は伊豆・箱根地方ビジオン輝石質岩系の鉄に濃集した中期を示す位置に点示される。この図からも本源マグマの晶出分化の進んだ中期のマグマである事が判る。貫入後の晶出分化作用により、更に鉄の濃集を続けるが、余り著しくはなく、間もなく鉄の濃集は終り、Na₂O+K₂O の濃集が始まり、MgO には著しい変化は認められないが total FeO は減少する。そして Na₂O+K₂O に向つて分化が進む。大滝粗粒玄武岩岩床の晩期を示すフェルシック・パッチ (グラノファイアーの組成に相当する) はその量が少く、分析する事が出来ない為、晩期の分化径路は正確には判らないが、そのモード組成から、粗粒玄武岩ペグマタイト 507 の位置より更に Na₂O+K₂O に近い位置に点示されると考えられる。

大滝粗粒玄武岩マグマの分化径路は Palisade²⁾, Tasmania³⁾, Karroo⁴⁾, Dillsburg⁵⁾, 瀬見⁶⁾ 等の粗粒玄武岩岩床の分化径路とはほぼ一致している。

1) 久野 久 : 火山及び火山岩, 1954.

2) Walker, F. : Bull. Geol. Soc. Am., **51**, 1059~1106, 1940.

3) Edwards, A. B. : Jour. Geol., **50**, 451~480, 579~610, 1942.

4) Walker, F. and Poldervaart, A. : Bull. Geol. Soc. Am., **60**, 591~706, 1949.

5) Hotz, P. E. : Bull. Geol. Soc. Am., **64**, 675~704, 1953.

6) Kuno, H., et al. : Jap. Jour. Geol. Geogr., **28**, 179~218, 1957.