五島列島, 対馬に分布する塩基性および
中性深成岩類について*

On the basic and intermediate plutonic rocks from
Goto Islands and Tsushima Island

北 井 恒 雄 (Tsuneo Kitai)**

Abstract: The petrographic description of the basic and intermediate plutonic rocks from Goto Islands and Tsushima Island in south-western Japan is given in this report, with special attention to the optical properties and chemical compositions of the pyroxenes and the feldspars.

The calcium concentration between the coexisting plagioclase and clinopyroxene is discussed on the basis of the petrographic facts and experimental petrology. As the result, the content of H_2O molecule in magma seems to be very significant for the distribution of calcium between the two minerals.

1. 緒 言

北西部九州の塩基性および中性深成岩類については、長崎県五島列島および対馬に分布する貫入岩体に関する多少の記載的報告がある。すなわち対馬の北部千俣峠に露出する輝緑岩は佐藤伝蔵 (1908) により餅盤として報告され、構成鉱物種が記載された。五島列島の中通島の丹那山および同列島の姫島に露出する「はんれい岩」ならびに平島の閃緑岩は神津俣祐 (1910) により記載され、平島の閃緑岩については層序学的研究もある (Ueda, 1961)。

一方、実験岩石学の分野では、熔融岩漿中での H_2O 分子の作用の重要性が指摘され、Goranson (1931) は熔融花崗岩中への H_2O の溶解量を実験的に決定し、さらに、正長石- H_2O と曹長石- H_2O の両系の実験データに基づいて、結晶晶出温度と水蒸気圧との関係を議論し、後者が増加するとともに前者は低下する事を指摘しており、Yoder (1953 ~ 1954) は、水蒸気圧が 5kb, 10kb の下での灰長石および透輝石の融点の低下を報告し、Shaw (1954) は、 H_2O の存在下で珪酸塩鉱物の融点が降下する現象を統計熱力学的方法で定性的に説明している。他方、Wasserburg (1957) は、Flory (1942) により導入された統計熱力学の方程式を用いて、ある仮定の下に、 H_2O の存在下での曹長石融点降下の現象を定量的に考察している。筆者は五島列島および対馬のはんれい岩・閃緑岩類など 5 つの岩体について、その岩石学的性状を詳細にしらべ、これらの岩石中の斜長石と単斜輝石の間には Ca 含有量について注目すべき関係があることに気付いたので、上述のよう

* 日本地質学会西日本支部第 67 回例会 (1968 年 12 月 1 日) において講演

** 九州大学理学部地質学教室

(昭和 44 年 4 月 1 日受理)

な実験的, 理論的考察によって検討を施し, 水蒸気圧下の母岩の $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 値と斜長石・単斜輝石についての $\left(\frac{\text{An 分子数比}}{\text{An 分子数比} + \text{Ab 分子数比}} \right) / \left(\frac{\text{Wo 分子数比}}{\text{Wo 分子数比} + \text{En 分子数比}} \right)$ 値との関連性について推論を試みた。ここに報告して諸賢の御教示を得たいと考える次第である。

謝 辞

本研究にあたり, 終始御指導を賜った種子田定勝教授に深く感謝いたします。また, 有益な御助言と激励を与えて下さった九州大学理学部岩石学講座をはじめ, 地質学教室の諸先生に厚く御礼申し上げます。特に化学分析は石橋澄学士の御指導をうけた。この研究に要した費用の一部は文部省科学研究費によった。記して当局に謝意を表わす。

なお本研究のうち中通島に関する一部は 西南日本内帯総合研究の一環として 種子田定勝・松本恒夫・石橋 澄・北井恒雄・竹下 寿・笠間太郎・吉村恒寛によって行なわれたもので, 本研究に使用した中通島のデーターの一部は 1967 年 10 月の 5 学会連合学術大会ですでに公表されている。

2. 各 岩 体 の 産 状

1. 千俵蔦輝緑岩 (S-1, 2, 3, 4, 5, 7, 8)

当岩体は長崎県北県郡の北端部の千俵蔦山 (海拔 287m) の北東山麓 (Fig. 2) で砂質頁岩中に貫入した厚さ約 500m の岩床状の岩体で周囲の岩石に約 10cm ほどの範囲の接触変成作用を与えている。壁岩との境の面は走向 $\text{N}70^\circ\text{E}$ 傾斜 50°S 当岩体に接近するにつれて, 壁岩には著しい小規模の褶曲が発達しているが, 接触面は千俵蔦周辺の堆積岩の大局的な走向傾斜と良く一致している。

2. 平島両輝石閃緑岩 (HR-1, HR-3)

この岩体は平島の南西部に主に露出し, 同島北西部まで追跡できる。当岩は壁岩の砂岩頁岩互層・頁岩・凝灰岩と調和的に貫入した岩床と考えられ, その厚さは南西部で約 45m, 北西部で約 7.5m と推定される。北西部の露頭では岩床の底部に厚さ 15cm の安山岩質岩の縁辺部相が存在するが, これはその他の露頭では観察されない。

3. 丹那山深成岩体 (TN-7, 8, 9, 10)

これは五島列島中通島有川町の北西約 319km の丹那山 (海拔 369m) 山頂に露出している。本岩体は岩床の産状を示し, 少くとも, はんれい岩, 閃緑岩, 細粒花崗閃緑岩, 文象斑岩の 4 つの岩相からなる複合岩体である。野外におけるこれら 4 つの岩相の相互関係は明らかでない。

4. 高井旅細粒閃緑岩 (TK-5)

五島列島中通島の南部に位置する福見・高井旅間に岩脈として露出している。この地域には, 巾が約 45m と 69m の 2 つの岩脈が存在するが, 当研究に用いた岩石は前者に属する***。

5. 姫島はんれい岩 (HM-1, 2)

はんれい岩は五島列島福江島の北方約 7km に位置する姫島に露出している。この岩体

*** 試料を提供して下さいった竹下寿氏に感謝する。

には火山岩およびひん岩が捕獲されている。ひん岩が同源的なものか、外来的なものかは不明である。

Fig. 1. Map showing distribution of igneous intrusions.

Fig. 2. Map showing locality of diabase at Mt. Senbyomaki.

Table 1. Chemical compositions and norms of plutonic and hypabyssal rocks from northwestern Kyushu.

Loc. Sp.No.	Senbyomaki							Hsimeshima I..		
	S-1	Mt. S-2	S-3	S-4	S-6	S-7	S-8	HM-1	HM-2	
SiO ₂	47.98	44.53	47.18	47.84	47.69	46.33	43.35	50.70	50.43	
TiO ₂	1.08	1.10	1.10	1.16	1.16	0.83	1.08	0.74	0.72	
Al ₂ O ₃	19.26	18.14	18.91	21.33	18.30	17.69	16.82	20.47	21.12	
Fe ₂ O ₃	3.50	1.71	3.31	3.77	2.94	3.22	2.12	2.83	2.64	
FeO	5.70	7.54	5.94	5.56	6.65	6.13	6.00	5.09	5.08	
MnO	0.13	0.18	0.17	0.13	0.12	0.16	0.11	0.13	0.12	
MgO	4.08	2.77	3.81	3.68	4.20	3.87	2.88	2.19	2.14	
CaO	7.98	10.78	8.67	8.26	7.64	8.14	11.91	11.19	11.33	
Na ₂ O	4.02	3.30	4.57	3.96	4.63	4.11	3.05	3.23	3.36	
K ₂ O	1.09	0.39	1.20	0.72	0.88	1.19	0.28	0.78	0.73	
P ₂ O ₅	0.11	0.10	0.15	0.16	0.15	0.33	0.16	0.09	0.08	
H ₂ O ⁺	3.95	8.95	4.50	3.10	4.79	6.46	11.67	1.25	1.61	
H ₂ O ⁻	0.75	0.16	0.35	0.68	0.52	0.42	0.18	0.67	0.19	
Total	99.63	99.65	99.86	100.35	99.67	98.88	99.61	99.36	99.55	
Anal.	T. K	T. K	T. K	T. K	T. K	T. K	T. K	T. K	T. K	
Normative minerals	Or	6.43	2.30	7.07	4.24	5.19	7.02	1.65	4.60	4.30
	Ab	33.98	27.89	31.21	33.47	35.05	33.41	25.78	27.30	28.40
	An	31.26	33.50	27.52	38.27	26.53	26.28	31.35	39.02	40.36
	Ne			4.02		2.22	0.72			
	Mt	5.08	2.48	4.81	5.47	4.27	4.67	3.08	4.11	3.83
	Wo	2.59	7.28	5.43	0.10	4.35	4.40	10.27	5.82	5.53
	En	2.80	1.64		4.57			3.36	5.43	5.30
	Fs	1.67	2.62		2.12			3.62	7.25	7.37
	Fo	5.12	3.66	6.61	3.88	7.29	6.72	2.65		
	Fa	3.37	6.44	6.56	2.55	6.25	6.87	3.15		
	Ap	0.26	0.23	0.35	0.37	0.35	0.78	0.37	0.21	0.19
	Il	2.05	2.09	2.09	2.20	2.20	1.57	2.05	1.40	1.37
	Qz								2.54	1.29

T. K : T. Kitai

S-2 and S-8 : Marginal parts (basalt) of diabase intrusion from Mt. Senbyomaki Tsushima Island.

S-1, S-3, S-4, S-6 and S-7 : diabase from Mt. Senbyomaki, Tsushima Island.

HM-1 and HM-2 : Two pyroxene gabbro from Himeshima Island.

Table 2. Chemical compositions and norms of plutonic rocks from northwestern Kyushu.

Loc. Sc. No.	Hirashima Is.		Mt. Tanna				Takaitabi	
	HR-1	HR-3	TN-7	TN-8	TN-9	TN-10	TK-5	
SiO ₂	52.69	53.26	70.25	52.34	76.77	47.46	52.22	
TiO ₂	0.69	0.71	0.30	0.62	0.32	0.30	0.40	
Al ₂ O ₃	18.49	19.04	14.63	21.14	12.27	23.24	23.33	
Fe ₂ O ₃	2.26	2.24	0.81	1.48	0.97	1.96	2.95	
FeO	6.38	6.06	3.29	7.17	1.61	5.55	3.72	
MnO	0.14	0.12	0.06	0.15	0.08	0.14	0.10	
MgO	2.72	2.57	0.85	3.30	0.82	4.95	1.63	
CaO	9.71	9.57	2.09	10.01	2.68	13.27	10.41	
Na ₂ O	3.10	2.94	3.53	2.74	2.13	1.96	2.66	
K ₂ O	1.32	1.05	3.13	0.80	2.34	0.29	1.28	
P ₂ O ₅	0.07	0.10	0.12	0.05	0.10	0.08	0.12	
H ₂ O ⁺	2.18	1.27	0.42	0.21	0.08	0.39	0.71	
H ₂ O ⁻	0.22	0.20	0.29	0.09	0.01	0.21	0.22	
Total	99.97	99.13	99.77	99.83	100.18	99.80	99.75	
Anal.	T. K.	T. K	K. I	K. I	K. I	K. I	K. I	
Normative minerals	Or	7.79	6.19	18.46	4.73	13.79	1.67	7.56
	Ab	26.20	24.85	29.82	23.11	17.97	16.56	22.48
	An	32.61	35.63	9.65	42.98	12.65	53.71	47.87
	Mt	3.28	3.25	1.16	2.13	1.39	2.83	4.27
	Wo	5.59	1.51		2.68		4.88	1.28
	C			1.93		1.59		
	En	6.74	6.37	2.12	7.57	2.05	8.16	4.07
	Fs	8.97	9.50	4.98	11.18	1.77	5.48	3.72
	Fo						2.95	
	Fa						2.19	
	Ap	0.16	0.23	0.27	0.10	0.24	0.17	0.27
	Il	1.31	1.35	0.56	1.17	0.61	0.56	0.76
	Qz							6.42
	T.K : T.Kitai		K. I : K. Ishibashi					

HR-1 and Hr-3 : Two pyroxene diorite from Hirashima Island.

TN-7 : Micro grano-diorite from Mt. Tanna, Nakadori Island.

TN-8 : Hornblende Clinopyroxene diorite from Mt. Tanna, Nakadori Island.

NT-9 : Granophyre from Mt. Tanna, Nakadori Island.

NT-10: Clinopyroxene gabbro from Mt. Tanna, Nakadori Island.

TK-5 : Clinopyroxene fine grained diorite from Takaitabi, Nakadori Island.

3. 岩 石 記 載

各岩体のモードならびに主要構成鉱物の光学性・化学組成は一括して Table 3.4 に示してあるとおりである。次に、各岩体毎に注意すべき点を述べる。

1 千俣蔭の輝緑岩 (S-1, 2, 3, 4, 6, 7, 8)

岩体の代表的な試料7個を Fig. 3 に示す地点より採取した。この貫入岩体は上下に急冷相を有し、その下部のものは厚さ 50cm に達する。上下急冷相は肉眼的に斑晶を含まない。上部急冷相：斜長石 ([010] の最大対称消光角 $\approx 40^\circ$, An 70mol. %, $2V_z=82^\circ\sim 85^\circ$) が主な構成鉱物であり、0.01mm $\sim$ 0.6mm の大きさ (稀れに 1.2mm 程度のものも存在する) を示し、アルバイト式双晶、カルルスバッド式双晶が発達している。これらの斜長石には多数の割れ目が発達し、それを方解石が充填している。有色鉱物 (普通輝石またはカンラン石) より生じたと考えられる緑泥石および磁鉄鉱が存在する。下部急冷相：斜長石は上部相のそれより小型である点、割れ目が著しくは発達していない点以外は上部相のものと同じ特徴を示す。磁鉄鉱が少量存在する。岩体の主部：変質した自形斜長石、普通輝石、緑泥石様鉱物、磁鉄鉱より構成されボイキリテック組織を示す。緑泥石様鉱物は外形が普通輝石に良く似、斜長石をボイキリテックに包有しており、一方普通輝石のあるものは劈開に沿って、あるいは葡萄房状に緑泥石様鉱物に変化しているので、緑泥石様鉱物は普通輝石より変質したものと考えられる。変質の著しい部分では斜長石はプレーナイトに変質している。このような鉱物構成は当岩体が全般的に H_2O^+ 富んでいる事と調和する。但し、Table 1 では CO_2 も H_2O^+ として表示されている。この岩体は本来斜長石、普通輝石、磁鉄鉱より構成されていたであろう。顕微鏡下の観察では岩体の中心部に近い部分程斜長石は大型で著しく変質作用をうけている。

Fig. 3. Map showing the sample localities for the diabase. Broken lines show boundary between diabase and wall rock.

2 平島の両輝石閃緑岩 (HR-1, HR-3)

本岩は肉眼的に均質細粒であるが、顕微鏡下では特に粗粒で大型の両輝石を含む部分がある (HR-1)。一般に斜長石、普通輝石および斜方輝石が主成分鉱物で緑泥石、黒雲母、褐色角閃石等が少量含まれている。斜方輝石・単斜輝石平行連晶が見られ、前者が後者の中に包有されていることがある。両輝石は変質作用をうけているが、黒雲母、褐色角閃石、緑泥石は両輝石の縁辺部に発達している。磁鉄鉱のあるものはミルメカイト状あるいは斑点状に存在し緑泥石と密接に関連しているので、両輝石より離溶したと考えられる。一般に斜長石はアルバイト式あるいはカルルスバッド式双晶をなし、HR-1 では時にベリ

Table 3. Constituent minerals optical properties and from northwestern Kyushu.

	Pyroxene		Feldspar
	C-Px	O-Px	
S-8	Non	Non	Max. ext. angle : 40° 2Vz: 85°, An: 70, Ab: 30
S-2	Non	Non	Max. ext. angle : 40° 2Vz : 82°, 83°, An: 70, Ab : 30
S-7 Diabase	2Vz : 47.2° 1.6960 < β < 1.6970 Wo ₃₉ En ₃₈ Fs ₂₂	Non	An : 43.76 An : 50.77 Ab : 42.43 Ab : 49.22 Or : 13.80
S-6 Diabase	2Vz : 47.0° 1.6960 < β < 1.6980 Wo _{38.6} En _{37.8} Fs _{23.6}	Non	An : 26.41 An : 28.91 Ab : 64.90 Ab : 71.08 Or : 8.68
S-4 Diabase	2Vz : 47.5° 1.6980 < β < 1.7000 Wo _{37.7} En ₃₆ Fs _{26.3}	Non	An : 65.91 An : 69.56 Ab : 28.83 Ab : 30.43 Or : 5.24
HR-1 C-px, O-px diorite	2Vz : 43.9° β : 1.6978 Wo _{35.6} En _{38.4} Fs _{26.0}	2Vz : 61.0° β : 1.6885 α : 1.6820 En _{69.5} Fs _{30.5}	An : 48.50 An : 54.24 Ab : 40.91 Ab : 45.75 Or : 10.58 $\Delta 2\theta$: 1.85
HM-3 C-px, O-px diorite	2Vz : 45.0° 1.6967 < β < 1.6978 wo _{37.5} En _{38.4} Fs _{24.1}	2Vz : 62.2° β : 1.6880 α : 1.6822 En ₇₀ Fs ₃₀	An : 58.55 An : 65.83 Ab : 30.39 Ab : 34.16 Or : 11.05 $\Delta 2\theta$: 2.11

五島列島，対馬に分布する塩基性および中性深成岩類について
modal compositions of plutonic and hypabyssal rocks

25

Hornblende	Others	Modal composition (%)
Non	Calcite	
Non	Chlorite Calcite. Mica (?)	
Non	Chlorite Magnetite	Pl. : 58.25 PX. : 7.52 Chl. : 31.21 Mt. : 1.45 Others: 1.54
Non	Chlorite Magnetite Calcite	Pl. : 62.41 Px. : 10.83 Chl. : 23.58 Mt. : 1.13 Ohters : 2.52
Non	Chlorite Magnetite	Pl. : 66.90 Px. : 10.83 Chl. : 1.82 Mt. : 1.36 Others : 19.07
Altered product from pyroxenes	Chlorite Magnetite	Pl. : 71.98 C-px. : 10.50 O-px. : 11.33 Hbl. : 5.03 Chl. : Mt. : 1.33
Altered product from pyroxenes	Biotite Chlorite Magnetite Calcite	Pl. : 66.57 C-px. : 12.01 O-px. : 15.19 Bio. : 1.32 Hbl. : 1.55 Mt. : 3.55 Cal. : tr.

	Pyroxene		Feldspar
	C-Px	O-Px	
HM-1 O-px, C-px gabbro	2Vz : 43.8° 1.6954 <β< 1.6967 Wo _{36.0} En _{40.5} Fs _{23.5}	2Vz : 64.8° β : 1.6972 α : 1.6910 En _{72.5} Fs _{27.5}	An : 59.36 An : 61.29 Ab : 37.47 Ab : 38.70 Or : 3.15 Δ 2θ : 2.15

$$\Delta 2\theta : 2\theta (131) - 2\theta (131)$$

Pl : Plagioclase, Bio : Biotite, Hbl : Hornblende,
Chl : Chlorite, Cal : Calcite, Mt : Magnetite,

クリン式双晶が見られる。

3 丹那山深成岩体 (TN-7, 8, 9, 10)

イ. はんれい岩 (普通輝石はんれい岩) 質の部分 (TN-10)

主な構成鉱物は粗粒半自形の斜長石と他形の普通輝石で、少量の石英、磁鉄鉱、緑泥石を伴う。斜長石はアルバイト式双晶をなし、累帯構造は著しくない。普通輝石は常に異斜石構造を呈し、裂開面に沿って緑泥石に変化している。磁鉄鉱には普通輝石の裂開面を埋めるものと、斜長石・普通輝石間を充填するものがある。前者はその形態より判断して、普通輝石から離溶したものと思われる。石英も磁鉄鉱の後者と同様に他の鉱物粒間を埋めている。

ロ. 閃緑岩質の部分 (TN-8)

本岩は斜長石、サーライト、褐色角閃石、緑泥石、磁鉄鉱、石英よりなり、稀に少量の黒雲母を含む。斜長石には正規累帯構造および集片双晶が認められ、時にサーライトの微細な結晶を包有している。大部分のサーライトは部分的にあるいは全体的に褐色角閃石に変化している。この褐色角閃石が緑泥石と磁鉄鉱に分解していることもある。磁鉄鉱は稀にサーライトの劈開を埋めている。石英は他の鉱物の間を埋めている。

ハ. 細粒花崗閃緑岩質の部分 (TN-7)

細粒優白質で、大きさ 1mm 以下の斜長石・カリ長石・褐色角閃石・黒雲母磁鉄鉱からなる。斜長石は自形ないし半自形で累帯構造は著しくない。カリ長石は常に他形を示し string perthite 構造が著しい。石英は充填状に存在する。褐色角閃石は稀に自形を示し、黒雲母と密接に関連し、時には縁辺部が黒雲母に包まれている。緑色角閃石は褐色角閃石の縁辺部に存在する。磁鉄鉱は不規則な形の粒として角閃石類と黒雲母に包有されている。

ニ. 文象斑岩質の部分 (TN-9)

当岩は非変質の閃緑岩中に巾 5mm 程度の脈として存在する。主な構成鉱物はカリ長石、斜長石、石英で少量の褐色角閃石、磁鉄鉱が存在する。斜長石と一部の磁鉄鉱以外の鉱物は他形を示す。カリ長石は string perthite 構造を示す。石英はカリ長石と intergrowth

Hornblende	Others	Modal composition (%)
Altered product from pyroxenes	Calcite	Pl. : 75.37
	Chlorite	C-px. : 16.85
	Magnetite	O-px. : 3.16
		Hbl. : 1.57
		Mt. : 3.03
		Chl. : tr.
		Cal. : tr.

O-px. : Orthopyroxene, Px., C-px. : Clinopyroxene,
Localities are the same as those in Table 1 and
Table 2.

関係にあり，微細な褐色角閃石や磁鉄鉱を包有する。斜長石はアルバイト式双晶弱い正規累帯構造を示し包有物は存在しない。磁鉄鉱は自形を示すが一部角閃石中に粒状に存在する。

4 高井旅の細粒閃緑岩 (TK-5)

本岩は斜長石，普通輝石，緑泥石が主成分鉱物である。方解石，褐色角閃石，磁鉄鉱が少量存在する。肉眼的には各々の鉱物粒は判別不可能であるが鏡下では等粒状組織を示す。斜長石は量的に最も多く，半自を示し，アルバイト式，カルルスバッド式，時にペリクリン式の双晶をなす。まれに方解石と曹長石に分解している。特に大型の結晶では弱い波動累帯構造や patchy zoning を示す。普通輝石は他形で結晶粒の一部分が褐色角閃石に変質している。時には褐色角閃石が更に緑泥石と磁鉄鉱に分解し，後者はミルメカイト状に存在している。磁鉄鉱は，細かい粒子として変質部分に散在するものと，結晶粒間を埋めているものの二種類存在する。

5 姫島の両輝石はんれい岩 (HM-1, HM-2)

当岩体には少なくとも2つの岩相 (HM-1, HM-2) が存在し，HM-1 はビジョン輝石を含まない点で HM-2 と区別され，化学組成と結晶粒度にも若干の差がある。以下 HM-1 についてその特徴を述べる。斜長石，普通輝石，斜方輝石が主な鉱物で少量の磁鉄鉱と緑泥石，極微量の方解石が存在する。斜長石は半自形を示し粒度も庁範囲に変化している。アルバイト式，カルルスバッド式双晶が発達し，稀に多数の割れ目が発達し，累帯構造は顕著でない。ほとんどの普通輝石は他形を示し斜長石結晶の粒間を埋め，それらの一部は異剥石構造を示し，稀に，この裂開面は同一結晶内で同心円状に多くの帯を形成する。

4. 化 学 組 成

各岩体の代表的な岩石について化学分析を行なった。結果は Table 1, 2 に示すとおりである。これをスケルガード岩体 (Wager & Deer, 1931)，世界のカルクアルカリ岩質火山岩の「ディリーの平均値」(Daly, 1914)，日本の「花崗岩類」の「種子田の平均値」

Table 4. Constituent minerals, optical properties and modal compositions of plutonic rocks from northwestern Kyushu.

	Pyroxene Clinopyroxene	Feldspar	Hornblende	Others	Modal composition (%)
TK-5 C-px fine grained diorite	2Vz : 49° 1.6950 < β < 1.6957 Wo _{40.5} En _{38.5} Fs _{21.9}	Max. ext. angle 42°~43° An : 75.5, $\Delta 2\theta$: Ab : 24.5 2.18	Altered product from pyroxene 2Vx : 58°, 82°	Chlorite Magnetite Calcite	Pl. : 86.61 Mt. : 2.91 Px. : 4.58 Chl. : 3.78 Cal. : 0.51 Hbl. : 1.65
TN-7 Micro grano diorite	Non	Max. ext. angle 26°~29° An : 47~48 Ab : 53~52 Orthoclase	Brown Hbl 2Vx : 52°~80° Green Hbl 2Vx : 52°	Quartz Magnetite Biotite X' : Yellow Z' : Brown	Qz. : 11.01 Mt. : 1.13 Or. : 15.21. Pl. : 61.26 Bio. : 3.28 Hbl. : 8.04
TN-8 Hbl, C-px diorite	2Vz : 59.5° 1.6955 < β < 1.6994 Wo _{49.0} En _{32.4} Fs _{18.6}	{An : 64.08 Ab : 32.01 Or : 3.89 An : 66.68 Ab : 33.31 $\Delta 2\theta$: 2.07	Brown Hbl 2Vx : 67.5°~69.5° 1.6675 < β < 1.6681	Quartz Magnetite Chlorite	Qz. : 2.46 Pl. : 68.25 Px. : 17.89 Chl. : 1.83 Hbl. : 6.24 Mt. : 3.30
TN-9 Grano- phyre	Non	2Vz : 88°, 79° An : 5, 15 Ab : 95, 85 Orthoclase	Brown Hbl 2Vx : 82° CZ' : 18.5°	Quartz Magnetite	Qz. : 13.44 Mt. : 0.95 Or. : 42.42 Pl. : 40.99 Hbl. : 2.19
TN-10 C-px gabbro	2Vz : 49° 1.6903 < β < 1.6944 Wo _{40.6} En _{41.0} Fs _{18.4}	{An : 70.69 Ab : 25.57 Or : 3.73 An : 73.43 Ab : 26.56 $\Delta 2\theta$: 2.15	Non	Quartz Magnetite Chlorite	Qz. : 2.91 Pl. : 66.39 Px. : 23.06 Chl. : 6.20 Mt. : 1.40

 $\Delta 2\theta : 2\theta (131) - 2\theta (131)$

Qz. : Quartz, Or. : Alkali feldspar, Pl. : Plagioclase, Bio. : Biotite, Hbl. : Hornblende, O-px. : Orthopyroxene, Px., C-px. : Clinopyroxene, Chl. : Chlorite, Cal. : Calcite, Mt. : Magnetite, .

Localities are the same as those in Table 2.

(種子田, 1962a) とともに $\text{MgO}-\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 三角図 (Fig. 4) に示した。同図において、丹那山深成岩類はスケルガード岩体と「種子田の平均値」およびディリーの平均値との中間 (つまり、日本の花崗岩類平均値よりも ($\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ 寄り) の比較的スムーズな分化経路を示している。TN-9 (細岩脈であるが、試料に壁岩の輝石が混入) が MgO 側にづれているほかは、姫島, 高井旅, 平島いづれの岩体もほぼ丹那山深成岩体の分化経路に沿って分布している。しかし千俵蔭の輝緑岩体は上記の4岩体とは若干異なり、丹那山深成岩体の分化経路と種子田の日本の花崗岩類平均値との間に分散し、縁辺部相 (S-2, S-8) は最も $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ 側に寄っている。千俵蔭岩体は、全般的な傾向として、しだいに鉄に乏しくなるように分化していると見ることができる。次に各岩体の酸化状態を知る為に $\text{SiO}_2-\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 図を作成した (Fig. 5)。千俵蔭岩体は全般的に (スケルガードのものより) 強い酸化状態にあったと考えられ、丹那山岩体は後期に比較的強い酸化状態にあったと考えられる。高井旅岩体は、他の4つの岩体に比較し最も強い酸化状態を示し、ディリーの平均値の近くに位置している。平島岩体は種子田の日本の花崗岩類平均値に近い値を示し、姫島岩体はやや低い値を示す。

Fig. 4. Diagram showing relation of $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}-\text{MgO}$ of analysed rocks.

Fig. 5. Diagram showing relation of SiO_2 - $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ of analysed rocks. All other symbols the are same as those in Fig. 4.

5. 千俵時岩体の変質について

岩石記載の項で当岩体は、その中心部程斜長石、普通輝石の変質が著しい事実を指摘したが、これは S-4, S-6, S-7 の変質斜長石中の $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$ wt %****, 変質普通輝石および非変質普通輝石のモード (Fig. 6) などにも現われている。これらの変質現象は、ある程度水を含んだ岩漿の結晶分化作用の過程で、水がガス相として岩体の中心より外に発散するならば大まかな説明がつく。今日までの知識によれば、 P_{O_2} = 一定の時は温度が低下するにつれて $\text{Fe}^{II}/\text{Fe}^{III}$ 値は減少し、温度 = 一定の時は P_{O_2} が減少するにつれて $\text{Fe}^{II}/\text{Fe}^{III}$ 値は増大する (Johanston, 1964)。また、鉄の酸化に用いられる酸素が水の解離によって生ずるとすれば、岩漿中の水の量が一定の時は温度が低下するにつれて P_{O_2} は減少する。そこで、 $P_{\text{H}_2\text{O}}=2\text{kb}$ の岩漿の温度が 1100°C から 850°C まで低下すると、 P_{O_2} の減少による $\text{Fe}^{II}/\text{Fe}^{III}$ 値の増大は温度低下により生ずる $\text{Fe}^{II}/\text{Fe}^{III}$ 値の減少の約半分に相当する (Johanston, 1964, 都城, 1964)。それゆえ、液相中の水の濃度が一定または増加の時に岩漿の温度が単純に低下すると $\text{Fe}^{II}/\text{Fe}^{III}$ 値はしだいに減少すると考えられる。

**** S-4 : 2%, S-6 : 3.3%, S-7 : 3.5%。 CO_2 は変質斜長石中の方解石に含まれている。方解石はプレーナイトに比較し少量である為 $\text{H}_2\text{O}+\text{CO}_2$ の大部分は H_2O による。

Fig. 6. Diagram showing modal value of original clinopyroxene (residual clinopyroxene+altered clinopyroxene) and relation between relative distance from marginal part of diabase and alteration of clinopyroxene and plagioclase.

Fig. 7. Diagram showing relation between oxidation grade of rock and Ca content of clinopyroxene and plagioclase. Symbols are the same as those in Fig. 4.

6. 斜長石, 単斜輝石中の Ca について

斜長石の Ca と単斜輝石の Ca の比と母岩の $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 値との関係を Fig. 7 に示した。ただし CaPl は灰長石分子数比/(灰長石分子数比+曹長石分子数比), $\text{Ca}^{\text{C-Px}}$ は珪灰石分子数比/(珪灰石分子数比+頑火輝石分子数比)を表している。Fig. 7 では $\text{CaPl}/\text{Ca}^{\text{C-Px}}$ 値は $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 値が増加するにつれて, 減少する傾向を示している。つまり, 千俵岩体およびその他の岩体では鉄が酸化される状態では Ca は単斜輝石よりも

Table 5. CaO , Na_2O and K_2O compositions of plagioclases.

Number of host rock	Elements	Wt. %	Mol. number.	An-Ab-Or mol. %	An : Ab mol. ratio
HM-1	CaO	12.43	0.2219	An 59.36	An 61.29
	Na ₂ O	4.35	0.1401	Ab 37.47	Ab 38.70
	K ₂ O	0.56	0.0118	Or 3.15	
HR-1	CaO	10.09	0.1801	An 48.50	An 54.24
	Na ₂ O	4.71	0.1519	Ab 40.91	Ab 45.75
	K ₂ O	1.85	0.0393	Or 10.58	
HR-3	CaO	11.16	0.1992	An 58.55	An 65.83
	Na ₂ O	3.21	0.1034	Ab 30.39	Ab 34.16
	K ₂ O	1.77	0.0376	Or 11.05	
TN-8	CaO	13.81	0.2466	An 64.08	An 66.68
	Ka ₂ O	3.82	0.1232	Ab 32.01	Ab 33.31
	K ₂ O	0.71	0.0150	Or 3.89	
TN-10	CaO	15.48	0.2764	An 70.69	An 73.43
	Na ₂ O	3.10	0.1000	Ab 25.57	Ab 26.56
	K ₂ O	0.69	0.0146	Or 3.73	
S-4	CaO	18.15	0.3241	An 65.91	An 69.56
	Na ₂ O	4.40	0.1418	Ab 28.83	Ab 30.43
	K ₂ O	1.22	0.0258	Or 5.24	
S-6	CaO	7.12	0.1269	An 26.41	An 28.91
	Na ₂ O	9.67	0.3118	Ab 64.99	Ab 71.08
	K ₂ O	1.96	0.0417	Or 8.68	
S-7	CaO	9.57	0.1706	An 43.76	An 50.77
	Na ₂ O	5.13	0.1654	Ab 42.43	Ab 49.22
	K ₂ O	2.53	0.0538	Or 13.80	

Analyst, T. Kitai

CaO is analysed by graviational method and alkalis are determined by flame-photometry. S-4, S-6 and S-7 are very strongly altered.

斜長石の方に入りやすい事が示されている。次に鉄を酸化させる要素の中でどれが最も有力であったかを考察したい。鉄の酸化, 還元に影響を及ぼす要素として温度, 水の解離によって生ずる酸素圧の2つが考えられる。そこで, もし温度の影響を強く受けているとすれば各岩体は非常に異なった温度で固結したことになる。この点を考察する為に, 千俵時以外の各岩体の斜長石について, $An \text{ mol. } \% - \Delta 2\theta [= 2\theta(131) - 2\theta(131)]$ 図を作成した (Fig. 8)。Mackenzie (1957) の実験結果によると, 曹長石は一定温度保持時間が長い程安定な結晶構造に近づき, また, 水蒸気圧が高い程安定な結晶構造に達しやすい。各岩体の岩石の FeO/Fe_2O_3 値の変異は岩漿中の水と関係があると推察され, また, いずれも深成岩および半深成岩であることから冷却速度が比較的遅かったと考えてよいであろう。

以上の事項より Fig. 8 に示された斜長石はある温度でほぼ安定な状態にあったと思われる。Fig. 8 では HR-1 を除く5つの斜長石は合成斜長石 line より $\Delta 2\theta$ の大きい側にあるが, HR-1 はかなり小さい側にある。HR-1 以外の斜長石は, おそらく高温型長石の狭い区域に点示され, ほとんど同じ温度の下で結晶したと理解される (HR-1 はそれよりかなり低温)。それゆえ, Fig. 7 に表われた傾向は主に岩漿中の水の量によるものと考えられる。そこで岩漿中の水の影響で Ca がより多く斜長石に入る可能性を考えたい。Goranson (1938) は曹長石熔融体に溶解する水の量を決定した。Yoder (1953~54) は水を含む系で透輝石と灰長石の相関係を決定した。これらの実験結果を用いて曹長石・灰長

Fig. 8. Diagram showing relation between $\Delta 2\theta [= 2\theta(131) - 2\theta(131)]$ of plagioclase and An, mol. % $\left[= \frac{\text{An, mol. number}}{\text{An, mol. number} + \text{Ab}} \times 100 \right]$ of plagioclase.

石の融解温度の水蒸気圧に対する変化を図示すると Fig. 9 のようになる。一方 Shaw (1954) は珪酸塩熔融体の中では、原子は H_2O , $CaAl_2Si_2O_8$ のような分子として行動し、これらの分子は liquid crystalline lattice に位置しているとの考えに基づいて、水の存在下での珪酸塩熔融体の融点降下の現象を定性的に説明した。また、曹長石熔融体では珪素と酸素の結合が OH イオンにより切断される為水存在下では曹長石の融点が低下するとの仮定の下に、Wasserburg (1957) は、Flory (1942) により導入された統計熱力学的方程式を用いて、曹長石の融点降下を計算した。この理論値は Goranson (1938) の実験値と良く一致している。これらの考えに基づき Fig. 9 を解釈すると、灰長石分子の四面体における珪素あるいはアルミニウムと酸素との結合は曹長石のそれに比較して切断されにくいと考えられる。したがって水蒸気圧が高まるにつれて、曹長石分子は灰長石分子以上に破壊され、その為、晶出する斜長石は低水蒸気圧の時より灰長石分存に富むと考えられる。単斜輝石の2つの端成分についても同じ考察が必要であるが、珪灰石、頑火輝石の水蒸気圧と融点の関係が不明である。要するに千俵峠以外の岩体の Fig. 7 に表われた傾向は温度よりむしろ岩漿中の水の影響をより強く受けていると思われる。すなわち単斜輝石、斜長石えの Ca の分布に岩漿中の水分子が密接な関係を有していると考えられるのである。千俵峠岩体の岩石は斜長石の変質が著しくX線的研究が困難である。他の岩体と異なった千俵峠岩体の Fig. 7 における位置および傾斜角は温度の違い、および岩漿中の水分子の比較的多かったことによるであろう。

Fig. 9. Diagram showing relation between water vapour pressure and freezing point depression of albite and anorthite. The curves of albite and anorthite are compiled from the data of Goranson (1938) and Yoder (1953~54) respectively.

7. 要 約

五島列島のはんれい岩、閃緑岩、花崗閃緑岩、花崗岩、文象斑岩は $FeO+Fe_2O_3-Na_2O+K_2O-MgO$ 図ではスケルガード岩体と日本の花崗岩類の分化経路の間に位置し、スムーズな曲線を示す。これに対し、対馬千俵峠の輝緑岩は大局的には $FeO+Fe_2O_3$ 頂点からしだいに遠ざかるように分化している。この輝緑岩はノルムでかすみ石、かんらん石を生ずる。共存する斜長石と単斜輝石の間には、母岩の FeO/Fe_2O_3 値が増加すると、

両鉱物間の $\left(\frac{\text{灰長石分子数比}}{\text{灰長石分子数比} + \text{曹長石分子数比}} \right) / \left(\frac{\text{珪灰石分子数比}}{\text{珪灰石分子数比} + \text{頑火輝石分子数比}} \right)$ 値が減少する傾向がある。これは、斜長石の構造が OH イオンによって破壊されるとの考えに基づく理論的な考察によれば、岩漿中の水に関係があると考えられる。岩漿の水蒸気圧の増大が斜長石と単斜輝石の $\left(\frac{\text{灰長石分子数比}}{\text{灰長石分子数比} + \text{曹長石分子数比}} \right) / \left(\frac{\text{珪灰石分子数比}}{\text{珪灰石分子数比} + \text{頑火輝石分子数比}} \right)$ 値の増加を来す事も考えられる。

引 用 文 献

- Daly, R. A. (1914), *Igneous rocks and their origin*, McGraw Hill Co. Inc., 19~27.
- Flory, P. J. (1942), The thermodynamics of high polymer solutions, *Jour. Chem. Phys.*, **10**, 51~61.
- Goranson, R. W. (1931), The solubility of water in granite magmas, *Am. Jour. Sci.*, **22**, 481~502.
- Goranson, R. W. (1938), Silicate-Water systems: Phase equilibria in the NaAlSi₃O₈-H₂O and KAlSi₃O₈-H₂O systems at high temperatures and pressures, *Am. Jour. Sci.*, 5th. **35A**, 71~91.
- Johanston, W. D. (1964), Oxidation-Reduction equilibria in iron-containing glass, *Jour. Amer. Cera. Soc. Abstracts*, **47**, 198~201.
- 神津倣祐 (1910), 五島列島地形及び地質の一瞥, *地質雑*, **22**, 739~744.
- Mackenzie, W. S. (1957), The crystalline modifications of NaAlSi₃O₈, *Am. Jour. Sci.*, **225**, 481~516.
- 松本恒夫・種子田定勝・石橋 澄・北井恒雄・笠間太郎・吉村 寛・竹下 寿 (1968), 五島中通島の火山岩類, *地質*, **74**, 102.
- Miyashiro, A. (1964), Oxidation and reduction in the earth's crust with special reference to the role of graphite, *Geochim. Acta*, **28**, 717~729.
- 佐藤伝蔵 (1908), 上県図幅地質説明書.
- Shaw, H. R. (1964), Theoretical solubility of H₂O in silicate melts quasi-crystalline models, *Jour. Geol.*, **72**, 601~617.
- 種子田定勝 (1962a), 本邦の花こう岩類および火山岩類の化学成分上の類似性子報, *地質雑*, **68**, 118~124.
- Ueda, Y. (1961), A study of the Goto group, 九大理学部研究報告地質学之部, **5**, 52~61.
- Wager, L. R., and Deer, W. A. (1939), The petrology of the Skaergaard intrusion, Kangerdlugssuak, east Greenland, *Medd. om Grnland*, **105**, 1~352.
- Wasserburg, G. J. (1957), The effects of H₂O in silicate systems, *Jour. Geol.*, **65**, 15~23.
- Yoder, H. S. (1953-1954), The system diopside-anorthite-water, *Ann. Rep. Director Geophys. Lab., Carnegie Inst.*, 106~107.