西南北海道寿都半島の新第三紀火山岩類

岡 村 聡*

Neogene volcanic rocks from Suttsu Peninsula, southwest Hokkaido

Satoshi OKAMURA*

Abstract Neogene volcanic rocks extensively distributed in the Suttsu Peninsula consist mainly of basalt, andesite and dacite, all of which belong to the calc-alkaline rock series. Two different rock groups are recognized; A-group rocks are characterized by a higher gradient of K_2O concentration with progress of fractional crystallization while those of B-group contain smaller amount of K_2O . The rocks of A-group are predominant in this district, and the occurrence of B-group is restricted to the earlier volcanic sequence. Andesites of B-group characteristically contain inclusions of hornblende gabbro. The composition of clinopyroxene in A-group rocks is diopside-augite, while that in B-group rocks is salite-augite. The hornblende in A-group rocks is common hornblende, whereas that in B-group rocks is pargasite. Early fractionation of hornblende which incorporates much K_2O may result in the low gradient of K_2O concentration in B-group rocks. Such fractional crystallization may have taken place under more hydrous condition compared with A-group.

はじめに

西南北海道は、新第三紀以降、グリーンタフ層をはじめ火山岩・火砕岩類が広く分布する地域である。とくに後期中新世から鮮新世にかけては、フォッサマグナ地域とならんで、この地方は火山活動がもっとも盛んな地域の1つである(島津, 1975)。西南北海道の後期中新世～鮮新世火山岩類については、これまで松井(1955)による構造発達史上の位置づけ、秋葉(1958)による鉱床と火成活動の関連性、また、山岸(1973)および YAMAGISHI (1979)による火山岩類の産状についての研究などがある。一方、本地域の火山岩類の従来の岩石学的研究は、第四紀火山岩類については MASUDA *et al.* (1975), KATSUI *et al.* (1978) などによって、主化学成分・微量元素・同位体比などの検討から東北日本弧と同様な典型的島弧火山岩の性質を示すことが明らかとなった。後期中新世～鮮新世火山岩類については、秋葉(1958)によ

てこの時期の火山活動が、ほとんど一様な岩質の輝石安山岩の噴出によって特徴づけられる、と指摘されて以降見るべきものはない。したがって、後期中新世～鮮新世火山岩類の岩石学的検討は、第四紀火山岩類との関係を明らかにし、島弧火山活動の成因を探る上で重要な意義をもつと考えられる。

筆者はさきに寿都半島に分布する後期中新世～鮮新世の火山噴出物の層序を確立し、火山構造を復元した(岡村, 1984)。その結果、この地域の火山岩類は安山岩質ハイアロクラスタイトを主体としており、これらは放射状岩脈群を伴う中心噴火により噴出したもので、時間とともに玄武岩～安山岩質から安山岩～デイサイト質に変化していることなどが明らかとなった。

本論文では、これらの火山岩類について岩石記載を行い、これらをもたらしただマグマの結晶分化作用のプロセスを検討する。

地質概説

寿都半島の地質については、岡村(1984)による報告がある(第1図)。

1985年1月17日受付。1985年12月9日受理。

* 北海道教育大学札幌分校地学教室。Institute of Earth Science, Sapporo College, Hokkaido University of Education, Sapporo, 064 Japan.

第1表 寿都半島地域の層序表. 数字は最大層厚.

地質時代	地 層 区 分	
第四紀	第2段丘堆積物	
	第1段丘堆積物	
	歌 島 層 (300m)	
鮮新世	月越火砕岩層—III (Tu—III) (1000m)	
中新世	島牧層 (500m)	月越火砕岩層—II (Tu—II) (1000m)
	折川層 (400m)	月越火砕岩層—I (Tu—I) (900m)

新第三系は下位より、折川層、島牧層および月越火砕岩層の3累層に区分される(第1表). 折川層は上部中新統、島牧層と月越火砕岩層は上部中新統—鮮新統と考えられる. 各累層の間は整合関係である. 月越火砕岩層の中下部層は折川層・島牧層と一部指交関係を示す. 折川層は硬質頁岩を主体とし、細粒凝灰岩と互層することが多い. 島牧層は無層理の泥岩からなり、植物化石片や貝化石を産する. 月越火砕岩層はハイアロクラスタイトおよびその二次堆積物よりなり、寿都半島のほぼ全域をおおい、最大層厚 2900 m 以上に達する. 月越火砕岩層は下位から、月越火砕岩層—I (Tu—I 部層), —II (Tu—II 部層), —III (Tu—III 部層) の3部層に細分される. Tu—I 部層は玄武岩—安山岩質ハイアロクラスタイトを主体とする. Tu—II 部層は二次的火山性砕屑岩類を主体とし、玄武岩—安山岩質ハイアロクラスタイトを伴う. Tu—III 部層は二次的火山性砕屑岩類を主体とし、火山円礫岩に富む. 安山岩—デイサイト質ハイアロクラスタイトおよび同質溶岩流を伴う. 月越火砕岩層の火山岩類は一般に新鮮であるが、半島東部では局部的に変質

第1図 寿都半島地域の地質図と岩石試料採集地点 (A1~B4). 岡村(1984)を簡略化.

1: 第2段丘堆積物, 2: 第1段丘堆積物,
3: 歌島層, 4~6: 月越火砕岩層(4: Tu—III 部層, 5: Tu—II 部層, 6: Tu—I 部層), 7: 島牧層, 8: 折川層, 9: 貫入岩類,
a: 断層, b: 褶曲軸.

し、寿都湾付近の角閃石安山岩およびデイサイト質貫入岩体の周囲では、鉍化・変質作用を受けている. 寿都半島南西部では Tu—III 部層の基底部に、泥岩や軽石凝灰岩を礫とする巨礫層が分布する.

岩 石 記 載

月越火砕岩層のハイアロクラスタイトおよび貫入岩類として産する火山岩類は一般に斑状組織を示す. 第2表に化学分析を行った岩石のモード組成を示す. 斑晶の構成鉱物はかんらん石, 単斜輝石, 斜方輝石, 角閃石, 黒雲母, 斜長石, 石英および磁鉄鉱である. 斑晶では斜長石がもっとも多く、最大 29 vol. % に達する. 月越火砕岩層の火山岩類は以下で述べるように、斑晶鉱物の組み合わせ・化学組成および全岩化学組成、とくに K_2O-SiO_2 図から2つの岩群に区分される. A岩群は玄武岩・安山岩・デイサイトよりなり、本地域火山岩類の大部分を占める. B岩群は角閃石はんれい岩を特徴的に包有する安山岩よりなり、月越火砕岩層の下部層(Tu—I 部層)に少量産するにすぎない. 以下に代表的な岩石について記載する.

A 岩群

A. 普通輝石・かんらん石玄武岩

Tu—I・II・III 部層中のハイアロクラスタイト, Tu—I・II 部層を貫く岩脈として産する. 暗黒色緻密な岩石で、斑晶はかんらん石, 単斜輝石, 斜長石からなる. かんらん石は長径 1 mm—1.5 mm で、最大長径 4 mm に達し半自形新鮮で、反応縁を欠き、暗褐色粒状のスピネルを多数包有する. スピネルは普通輝石斑晶にも包有される. 単斜輝石は最大長径 3 mm, 自形—半自形で、顕著な累帯構造を示し、核から周縁部へ透輝石→普通輝石に変化する. 単斜輝石は不透明鉱物, 斜長石およびかんらん石を包有することが多い. 斜長石は長径 1 mm—2 mm の自形—半自形長柱状で、周縁部で顕著な正累帯構造を示す. 石基はインターサータル組織を示し、かんらん石, 単斜輝石, 磁鉄鉱, 斜長石および少量の暗褐色ガラスからなる. 石基輝石は普通輝石, サブカルシック普通輝石からなり、ときに砂時計構造を呈する.

B. シソ輝石・かんらん石・普通輝石玄武岩

Tu—I・II・III 部層中のハイアロクラスタイトとして産する. 暗灰色のやや緻密な岩石で、斑晶はかんらん石, シソ輝石, 普通輝石, 斜長石および少量の磁鉄鉱よりなる. かんらん石は長径 1 mm—1.5 mm で、緑色の二次鉱物に交代されていることが多い. シソ輝石の反応

第2表 月越火砕岩層の火山岩類のモード組成 (vol. %).

	Sample	Plagio- clase	Clino- pyroxene	Ortho- pyroxene	Olivine	Horn- blende	Biotite	Quartz
A-group rocks	A1 (77091330)	11.88	1.41	-	5.31	-	-	-
	A2 (78071803)	15.58	3.41	-	5.80	-	-	-
	A3 (77073126)	5.68	5.82	1.11	2.91	-	-	-
	A4 (78062835)	20.36	1.07	-	4.46	-	-	-
	A5 (77082512)	24.45	3.59	1.66	-	-	-	-
	A6 (78072107)	3.96	1.32	-	0.44	-	-	-
	A7 (77062505)	16.92	5.12	2.41	-	-	-	-
	A8 (77082509)	19.18	5.42	2.64	0.44	-	-	-
	A9 (78062837)	14.55	2.76	-	3.01	-	-	-
	A10 (78071801)	12.17	1.38	-	1.13	-	-	-
	A11 (780719A)	23.65	3.89	1.73	-	-	-	-
	A12 (77062306)	8.87	3.40	0.32	1.95	0.57	-	-
	A13 (77073040)	29.32	5.95	1.31	-	-	-	-
	A14 (77082025)	24.18	5.10	3.88	-	-	-	-
	A15 (77081706)	13.20	2.57	0.48	-	-	-	-
	A16 (78062841)	9.25	0.85	0.85	-	-	-	-
	A17 (77073003)	24.57	1.43	0.21	-	0.63	0.10	3.34
	A18 (77062501)	17.59	5.09	2.55	-	1.39	-	-
	A19 (77083111)	21.33	2.80	0.70	-	8.57	-	-
	A20 (77072807)	18.09	0.93	-	-	3.19	0.53	1.73
B-group rocks	B1 (78072105)	19.36	0.20	-	-	0.89	-	-
	B2 (77091338)	20.28	2.81	-	-	2.50	-	-
	B3 (80072716)	17.52	0.76	-	-	4.08	-	-
	B4 (80072507)	20.17	2.07	-	-	6.21	0.86	-

縁をもち、暗褐色粒状のスピネルを多数包有する。シソ輝石は最大長径 0.5 mm の半自形～他形結晶で、普通輝石にとり囲まれている。普通輝石は最大長径 2 mm, 自形～半自形で累帯構造を示すことが多く、核から周縁部へ Fe/(Fe+Mg) 比が増加する。斜長石は自形～半自形柱状で、長径は 1 mm—1.5 mm で、周縁部で顕著な正累帯構造を示す。石基はインターサータル～ハイアロピリティック組織を示し、シソ輝石、普通輝石、磁鉄鉱、斜長石、シリカ鉱物および淡褐色ガラスからなる。

C. シソ輝石・普通輝石安山岩

Tu—I・II・III 部層中のハイアロクラスタイト、Tu—I・II・III 部層および島牧層・折川層を貫く岩脈として産する。灰～暗灰色細粒岩と黒色多孔質ガラス質岩に大別される。斑晶はシソ輝石、普通輝石、磁鉄鉱および斜長石よりなる。シソ輝石は長径 0.5 mm—1 mm で自形～半自形柱状結晶である。普通輝石は長径 0.5 mm—1 mm で最大 2 mm の自形～半自形結晶で、まれに累帯構造を示す。シソ輝石の外側に普通輝石が平行連

晶することがある。斜長石は長径 0.5 mm—1.5 mm で自形～半自形短柱状結晶である。ごくまれに他形のピジョン輝石を包有する。しばしばシソ輝石+普通輝石+磁鉄鉱+斜長石の集斑晶が含まれる。石基は灰～暗灰色細粒岩ではピロタキシティック、黒色ガラス質岩ではハイアロピリティック組織を示す。石基はシソ輝石、普通輝石、磁鉄鉱、斜長石、シリカ鉱物よりなり、黒色ガラス質岩では淡褐色ガラスを含む。

D. 黒雲母・シソ輝石含有角閃石・普通輝石安山岩

Tu—III部層中のハイアロクラスタイト・溶岩、Tu—I・II・III部層を貫く岩株として産する。灰色のやや粗粒な岩石で、他の岩石に比べ斑晶に富む。斑晶はシソ輝石、普通輝石、角閃石、黒雲母、磁鉄鉱、斜長石および石英よりなる。シソ輝石は長径 0.2 mm—0.5 mm の柱状で自形～半自形を呈する。普通輝石は長径 0.5 mm—1 mm の自形～半自形結晶で、しばしばシソ輝石の外側に平行連晶する。角閃石は自形～半自形で最大長径 2 mm に達し、X'=淡褐色、Z'=緑褐色を呈し、周縁部

Magnet- ite	Ground- mass	Rock type	Stage
-	81.41	augite-olivine basalt	Tu-I
-	75.21	augite-olivine basalt	Tu-I
-	84.49	hypersthene-olivine-augite basalt	Tu-III
-	74.11	augite-olivine basalt	Tu-III
0.41	69.89	hypersthene-augite andesite	Tu-II
-	94.29	olivine-bg. augite andesite	Tu-I
1.20	74.40	hypersthene-augite andesite	Tu-II
-	72.33	olivine-bg. hypersthene-augite andesite	Tu-II
0.13	79.55	augite-olivine andesite	Tu-III
-	85.32	olivine-augite andesite	Tu-I
1.30	69.44	hypersthene-augite andesite	Tu-I
0.53	84.36	hypersthene-hornblende-bg. olivine-augite andesite	Tu-I
1.02	62.41	hypersthene-augite andesite	Tu-III
0.36	66.48	hypersthene-augite andesite	Tu-III
0.78	82.97	hypersthene-bg. augite andesite	Tu-II
0.15	88.90	augite-hypersthene andesite	Tu-III
1.18	68.54	biotite-hypersthene-bg. hornblende-augite andesite	Tu-III
1.16	72.22	hornblende-hypersthene-augite andesite	Tu-II
2.10	64.51	hypersthene-augite-hornblende andesite	Tu-III
1.73	73.80	biotite-bg. augite-hornblende dacite	Tu-III
0.05	79.50	augite-bg. hornblende andesite	Tu-I
2.18	72.23	hornblende-augite andesite	Tu-I
0.76	76.89	augite-hornblende andesite	Tu-I
1.38	69.31	biotite-augite-hornblende andesite	Tu-I

はオパサイト化している。黒雲母は最大長径 1mm の自形～半自形結晶で、周縁部がオパサイト化している。斜長石は自形～半自形で最大長径 3mm、累帯構造が顕著で反復累帯構造を示す。中心部またはほぼ全体にわたって蜂巢状に無色～淡褐色のガラスを包有することが多い。石英は最大長径 1mm で融食形である。石基はハイアロピリティック組織を示し、シソ輝石、普通輝石、磁鉄鉱、斜長石、シリカ鉱物および無色ガラスよりなる。

E. 黒雲母含有普通輝石・角閃石デイサイト

Tu—III 部層中のハイアロクラスタイト・溶岩、Tu—I 部層を貫く岩株として産する。灰色～青灰色の緻密な岩石である。斑晶は普通輝石、角閃石、黒雲母、磁鉄鉱、斜長石および石英よりなる。角閃石は長径 1mm—1.5mm の自形～半自形結晶で、X' = 淡褐色、Z' = 緑褐色を呈し、周縁部が薄くオパサイト化し、しばしば斜長石、磁鉄鉱を包有する。黒雲母は長径 0.5mm 以下で自形～半自形である。斜長石は長径 0.5mm—1mm で、

最大 2mm に達し自形～半自形で、一般に正累帯構造、まれに反復累帯構造を示す。石英は最大長径 3mm の融食形である。石基はハイアロピリティック組織を示し、シソ輝石、普通輝石、磁鉄鉱、斜長石、シリカ鉱物および無色ガラスよりなる。

B 岩群

A. 黒雲母・普通輝石・角閃石安山岩

Tu—I 部層中のハイアロクラスタイトとして産する。灰色のやや多孔質な岩石で、角閃石は細かい岩塊(直径 1~20 cm)を特徴的に包有する。斑晶は単斜輝石、角閃石、磁鉄鉱および斜長石よりなり、まれに黒雲母を含む。単斜輝石は長径 0.4mm—0.8mm の自形～半自形結晶で累帯構造を示すことが多く、核から周縁部ヘサライト→普通輝石に変化する。単斜輝石は緑泥石に交代されていることがある。角閃石は最大長径 2mm の自形～半自形で、X' = 淡褐色、Z' = 緑褐色のパーガサイト～パーガサイト質普通角閃石で、周縁部がオパサイト化し、ごくまれに普通輝石を包有する。斜長石は長径

第3表 火山岩類の化学組成

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12
SiO ₂	48.34	50.36	51.34	52.58	52.85	52.87	52.97	53.28	53.39	53.39	54.93	55.36
TiO ₂	0.80	0.79	0.77	0.75	0.82	1.24	0.79	0.83	0.86	0.88	0.76	0.77
Al ₂ O ₃	18.58	17.58	16.74	18.58	17.64	17.60	17.33	18.19	18.77	18.37	17.44	17.09
Fe ₂ O ₃	2.55	2.17	4.44	2.27	2.75	4.13	3.03	3.37	2.63	2.70	2.76	2.28
FeO	5.07	5.71	3.42	4.82	4.28	4.07	5.18	3.74	4.63	5.15	3.98	4.13
MnO	0.17	0.18	0.12	0.15	0.14	0.14	0.15	0.14	0.15	0.18	0.18	0.16
MgO	7.40	8.18	5.93	5.96	4.91	3.39	5.44	4.63	4.07	3.68	4.37	4.19
CaO	10.41	9.91	9.80	8.68	9.31	8.47	9.24	9.24	8.84	8.37	8.35	7.66
Na ₂ O ₃	2.55	2.89	2.60	3.28	2.75	3.57	2.91	2.77	3.68	3.43	3.30	4.00
K ₂ O	0.43	0.64	0.89	1.32	1.30	1.21	1.13	1.28	1.37	1.11	0.71	1.59
P ₂ O ₅	0.30	0.30	0.20	0.33	0.30	0.37	0.29	0.30	0.34	0.28	0.33	0.37
H ₂ O ⁺	1.50	1.39	2.26	1.34	1.72	1.95	0.77	1.86	1.50	1.61	1.71	1.99
H ₂ O ⁻	1.57	0.78	1.33	0.43	1.37	1.22	1.06	1.13	0.64	0.93	1.17	0.95
Total	99.67	100.88	99.84	100.49	100.14	100.23	100.29	100.76	100.87	100.08	99.99	100.54

	A13	A14	A15	A16	A17	A18	A19	A20	B1	B2	B3	B4
SiO ₂	55.81	55.82	56.34	59.69	60.26	60.97	61.74	72.05	57.59	60.67	64.17	66.55
TiO ₂	0.89	0.90	0.93	0.97	0.60	0.83	0.63	0.35	0.66	0.70	0.43	0.44
Al ₂ O ₃	16.81	16.98	18.44	16.62	16.76	17.54	15.91	13.04	17.43	17.53	17.19	15.69
Fe ₂ O ₃	2.55	2.70	3.08	2.11	2.49	2.51	2.94	1.61	3.65	-	-	-
FeO	5.27	4.83	4.10	3.90	3.81	2.65	2.93	1.01	2.59	6.64*	5.87*	4.35*
MnO	0.16	0.16	0.17	0.16	0.15	0.13	0.15	0.08	0.15	0.18	0.16	0.21
MgO	4.22	3.64	3.07	2.03	2.68	1.81	2.45	0.64	2.60	3.40	2.43	3.22
CaO	7.63	7.84	7.58	5.41	6.78	5.78	5.94	3.29	7.09	7.72	5.12	5.30
Na ₂ O	3.26	3.41	3.60	4.19	3.57	2.91	3.17	4.23	4.04	3.04	3.84	3.46
K ₂ O	1.82	1.79	1.76	2.47	1.76	2.22	2.01	1.97	0.60	1.03	1.70	1.69
P ₂ O ₅	0.28	0.20	0.45	0.45	0.20	0.29	0.24	0.18	0.35	-	-	-
H ₂ O ⁺	1.60	1.53	1.17	1.92	0.90	1.50	2.19	0.67	2.13	-	-	-
H ₂ O ⁻	0.47	0.31	0.28	0.41	0.23	0.21	0.12	0.87	1.97	-	-	-
Total	100.77	100.11	100.97	100.33	100.19	99.35	100.42	99.99	100.85	100.91	100.75	100.91

B2, B3, B4: Microprobe analyses. *: Total Fe as FeO.

0.5 mm—1 mm で、最大長径 2.5 mm に達し自形〜半自形柱状で、正累帯構造を示し、周縁部で反復累帯構造を呈することがある。石基はハイアロピリティック組織を示し、シソ輝石、普通輝石、磁鉄鉱、斜長石、シリカ鉱物および淡黄褐色ガラスよりなり、まれにビジョン輝石を含む。

B. 角閃石はんれい岩

Tu—I 部層の黒雲母・普通輝石・角閃石安山岩質ハイアロクラスタイト中に包有物として産する。細粒〜中粒岩石で、集積鉱物として単斜輝石・斜長石・磁鉄鉱、間隙充填鉱物として角閃石からなり、異付加集積岩 (heteradcumulate, WAGER *et al.*, 1960) の組織を示す。単斜輝石は長径 1 mm 以下の半自形〜他形結晶である。組成はサーライトで累帯構造はみられない。斜長石は長径 0.5 mm—2 mm の自形〜半自形結晶で、累帯構造はほとんど認められない。まれに周縁部で幅の狭いリムを持ち正累帯構造を示すことがある。磁鉄鉱は長径 0.5 mm 以下で他形粒状である。角閃石は 5 mm 大のポイキリティックな結晶で、X'=淡褐色、Z'=緑褐色を呈し、組成はパーガサイト〜パーガサイト質普通角閃石である。まれに粒間物質として針状角閃石、短柱状斜長石、二次鉱物としての方解石を含む。

全岩の化学組成

本地域の代表的な火山岩類 24 個(すべて月越火砕岩層中のハイアロクラスタイトの本質岩片)を化学分析した(第3表)。分析試料の採集地点、層準は第1図、第2表に示す。分析方法は、SiO₂、TiO₂、Al₂O₃、ΣFe₂O₃、CaO、K₂O はケイ光X線法、FeO は過マンガン酸滴定、MnO は原子吸光法、MgO はキレート滴定、Na₂O は炎光法、P₂O₅ は比色法、H₂O は重量法によった。Fe₂O₃ は ΣFe₂O₃—FeO として求めた。なお、3 試料の分析は EPMA によった*。ケイ光X線分析は粉末試料に Na₂B₄O₇ の融剤を加え高周波炉で溶融してガラス円板を作製し、東芝製 AFV-777 で計測した。EPMA による分析は福山・柵山(1976)の方法にしたがい、溶融ガラスを作り JEOL 製 JXA-5 型で計測した。

本地域の火山岩類は第2図の FeO*-FeO*/MgO 図に示すように、大部分が MIYASHIRO(1974)のカルクアルカリ岩系列(CA)の領域に点示される。K₂O-SiO₂ 図(第3図)に示すように、本地域の大部分の火山岩を占めるA岩群と角閃石はんれい岩を特徴的に包有するB岩群

第2図 FeO*-FeO*/MgO 図。

白丸は A 岩群、黒四角は B 岩群。実線は MIYASHIRO(1974)によるカルクアルカリ系列(CA)とソレライト系列(TH)の境界。

第4表 かんらん石の化学組成。

	A2-1	A2-2	A4-1	A4-2
SiO ₂	41.05	39.50	38.24	37.57
TiO ₂	0.01	n.d.	n.d.	n.d.
Al ₂ O ₃	0.04	0.03	n.d.	0.02
Cr ₂ O ₃	0.01	0.07	0.07	n.d.
FeO*	13.41	17.37	19.44	26.10
MnO	0.22	0.27	0.29	0.52
MgO	44.93	42.46	42.11	35.40
CaO	0.05	0.33	0.13	0.18
Na ₂ O	0.28	n.d.	0.04	0.01
Total	100.00	100.03	100.32	99.80
Structure formula (O=4)				
Si	1.021	1.003	0.980	0.999
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.001	0.001	0.000	0.001
Cr	0.000	0.001	0.002	0.000
Fe	0.279	0.369	0.417	0.581
Mn	0.005	0.006	0.006	0.012
Mg	1.665	1.607	1.609	1.403
Ca	0.001	0.009	0.004	0.005
Na	0.014	0.000	0.002	0.000
Mg/Mg+Fe	0.856	0.813	0.794	0.707

*: Total Fe as FeO.

A2-1, A4-1; core of phenocryst, A2-2, A4-2; rim of phenocryst.

* EPMA 分析を行った試料については、H₂O± の分析をしていないので、岩石学的考察のさいには、全ての分析値を無水にして再計算した値を用いる。

第3図 K_2O - SiO_2 図. 凡例は第2図に同じ. 破線(C)は渡島大島・渡島小島・ニセコ火山岩の領域, 点線(n)は有珠・恵山火山岩などの領域, いずれも KATSUI *et al.* (1978) による.

第4図 かんらん石斑晶の $Mg/(Mg+Fe)$ 比のヒストグラム.

との間には, K_2O 含有量に差が認められる. すなわち, B岩群はA岩群に比べ, SiO_2 の増加に伴う K_2O の増加傾向が相対的に乏しい特徴をもつ. ただし, A岩群中にも K_2O にやや乏しい火山岩(試料番号 A11, A20)があるが, それらは後述するように, 斑晶鉱物の組み合わせや化学組成の特徴からA岩群に含まれると考えられる. 両岩群の差異は, 他の主成分元素では顕著でない.

鉱物の化学組成

主な火山岩および角閃石はんれい岩包有物の造岩鉱物につき EPMA による分析を行った. 分析値は第4表から第9表に示す. 分析条件は, 加速電圧 15 kV, ビーム径 5 μ , 試料電流 0.02 μ A で JEOL 製 JXA-5 型を使用した. 補正計算は BENCE & ALBEE (1968) の方法で行った.

A岩群のみに出現する鉱物

かんらん石

普通輝石・かんらん石玄武岩ではかんらん石は斑晶と

第5表 斜方輝石の化学組成.

	A16-1	A16-2	A17-1	A17-2
SiO_2	52.50	52.87	52.76	53.10
TiO_2	0.23	0.26	0.24	0.27
Al_2O_3	1.96	1.03	2.20	1.17
Cr_2O_3	n.d.	0.03	n.d.	n.d.
FeO^{*3}	18.70	19.35	16.62	21.63
MnO	0.79	0.72	0.42	0.88
MgO	23.95	23.71	24.95	21.85
CaO	1.79	1.49	2.19	1.33
Total	99.92	99.46	99.38	100.23

Structure formula (O=6)

	A16-1	A16-2	A17-1	A17-2
Si	1.937	1.964	1.935	1.972
Al^{IV}	0.063	0.036	0.065	0.028
Al^{VI}	0.022	0.009	0.030	0.023
Ti	0.006	0.007	0.007	0.008
Cr	0.000	0.001	0.000	0.000
Fe	0.577	0.601	0.510	0.672
Mn	0.025	0.023	0.013	0.028
Mg	1.318	1.313	1.364	1.210
Ca	0.071	0.059	0.086	0.053
Ca	3.6	3.0	4.4	2.7
Mg	67.0	66.5	69.6	62.5
Fe	29.3	30.5	26.0	34.7

*: Total Fe as FeO .

A16, A17; core of phenocryst.

石基に産し, 輝石反応縁を欠く. シソ輝石・かんらん石・普通輝石玄武岩ではかんらん石は斑晶のみにみられ, シソ輝石反応縁をもつ. 代表的なかんらん石斑晶の組成を第4表に示し, 第4図に $Mg/(Mg+Fe)$ 比のヒストグラムを示した. 斑晶かんらん石の Fo% は, 普通輝石・かんらん石玄武岩では 87—74, シソ輝石・かんらん石・普通輝石玄武岩では 82—70 である. 前者のかんらん石の CaO 量は 0.05—0.33 wt% で変化に富み, 核から周縁部へ Fa 成分とともに CaO が増加する傾向がある(第4表). 普通輝石・かんらん石玄武岩の石基か

第6表 スピネルの化学組成.

	A2-1	A2-2	A2-3	A12-1	A12-2	A12-3
TiO ₂	0.48	0.50	4.03	0.52	9.75	10.32
Al ₂ O ₃	33.19	26.75	11.72	36.18	4.89	3.95
Cr ₂ O ₃	26.07	31.80	19.49	20.29	0.19	n.d.
Fe ₂ O ₃	11.43	12.07	32.74	10.58	45.95	45.80
FeO	12.39	15.56	23.42	19.35	35.76	36.08
MnO	0.76	0.60	0.37	0.52	0.35	0.39
MgO	16.02	13.49	8.78	11.73	3.16	3.07
Total	100.34	100.77	100.55	99.17	100.05	99.61
Cr/(Cr+Al)	0.35	0.44	0.53	0.27	0.03	0.00
Fe ³⁺ /(Cr+Al+Fe ³⁺)	0.13	0.14	0.46	0.12	0.85	0.88
Mg/(Mg+Fe ²⁺)	0.70	0.61	0.40	0.52	0.14	0.13

Ferric and ferrous iron calculated from total Fe assuming ideal spinel formula. A2-1, 2 ; enclosed in olivine, A2-3 ; enclosed in augite, A12-1 ; enclosed in olivine, A12-2, 3 ; in groundmass.

第7表 単斜輝石の化学組成.

	A2-1	A2-2	A16	B1	G-1	G-2
SiO ₂	49.12	51.39	51.52	49.71	49.11	46.73
TiO ₂	0.66	0.26	0.47	0.58	0.58	1.29
Al ₂ O ₃	5.69	2.34	1.63	4.39	5.70	6.96
Cr ₂ O ₃ *	0.65	0.48	0.06	0.11	0.23	0.03
FeO	5.97	6.63	9.28	7.97	6.88	9.70
MnO	0.15	0.15	0.34	0.18	0.10	0.18
MgO	15.01	16.48	14.75	14.43	14.03	12.00
CaO	21.76	21.85	21.54	22.74	23.02	22.49
Na ₂ O	0.24	0.24	0.23	0.20	0.20	0.29
Total	99.25	99.82	99.82	100.31	99.85	99.67

Structure formula (O=6)

	A2-1	A2-2	A16	B1	G-1	G-2
Si	1.835	1.908	1.936	1.852	1.829	1.772
Al ^{IV}	0.165	0.092	0.064	0.148	0.171	0.228
Al ^{VI}	0.086	0.011	0.008	0.045	0.079	0.083
Ti	0.019	0.007	0.013	0.016	0.016	0.037
Cr	0.019	0.014	0.002	0.003	0.007	0.001
Fe	0.186	0.206	0.291	0.248	0.214	0.307
Mn	0.005	0.005	0.011	0.006	0.003	0.006
Mg	0.836	0.912	0.826	0.801	0.779	0.678
Ca	0.871	0.869	0.867	0.908	0.919	0.913
Na	0.017	0.017	0.017	0.014	0.015	0.021
Ca	46.0	43.6	43.7	46.4	48.1	48.1
Mg	44.2	45.8	41.6	40.9	40.7	35.7
Fe	9.8	10.6	14.7	12.7	11.2	16.2

* : Total Fe as FeO.

A2-1, 2, A16, B1 ; core of phenocryst, G-1, 2 ; core of pyroxene from gabbro inclusion.

んらん石の Fo% は 84—70 である.

斜方輝石

第5表に斜方輝石の代表的分析値を示した. 斜方輝石

は斑晶・石基ともシソ輝石の領域に入る. 斑晶斜方輝石の組成は玄武岩では $\text{Ca}_{4.8}\text{Mg}_{65}\text{Fe}_{30.2}\sim\text{Ca}_{3.7}\text{Mg}_{62.8}\text{Fe}_{33.5}$ で, 安山岩では $\text{Ca}_3\text{Mg}_{71}\text{Fe}_{26}\sim\text{Ca}_2\text{Mg}_{63}\text{Fe}_{35}$ である. 石

第5図 スピネルの Cr-Al-Fe³⁺ 図.

1, 2: シン輝石・角閃石含有かんらん石・普通輝石安山岩 (A 12) (1: 石基, 2: かんらん石斑晶中の包有物), 3~5: 普通輝石・かんらん石玄武岩 (A 4) (3: 石基, 4: 普通輝石斑晶中の包有物, 5: かんらん石斑晶中の包有物), 6, 7: 普通輝石・かんらん石玄武岩 (A 2) (6: 普通輝石斑晶中の包有物, 7: かんらん石斑晶中の包有物), C: 鳥海山 カルクアルカリ安山岩 (NAGAO *et al.*, 1980), M: Mid Atlantic Ridge basalt (SIGURDSSON & SCHILLING, 1976), GC: Guam calc-alkali basalt (白木 ほか, 1977), GT: Guam tholeiite (白木 ほか, 1977), B: boninite (KURODA & SHIRAKI, 1975).

第6図 単斜輝石の Ca-Mg-Fe 図.

A 岩群: 黒丸は普通輝石・かんらん石玄武岩 (A 2) 中の単斜輝石斑晶, 白丸は普通輝石・かんらん石安山岩 (A 9) 中の単斜輝石斑晶, 黒三角は黒雲母・シン輝石含有角閃石・普通輝石安山岩 (A 17) 中の単斜輝石斑晶, 白四角は普通輝石・シン輝石安山岩 (A 16) 中の単斜輝石斑晶.

B 岩群: 白丸は普通輝石含有角閃石安山岩 (B 1) 中の単斜輝石斑晶, 黒丸は角閃石はんれい岩包有物中の単斜輝石.

BJ; Black Jack sill (WILKINSON, 1956), GE; Garbh Eilean sill (MURRAY, 1954), BU; Bushveld intrusion (ATKINS, 1969), SK; Skaergaard intrusion (BROWN, 1957).

基斜方輝石は $\text{Ca}_{3.5}\text{Mg}_{70.5}\text{Fe}_{26} \sim \text{Ca}_{2.5}\text{Mg}_{61.5}\text{Fe}_{36}$ である.

A, B 両岩群に出現する鉱物

スピネル

磁鉄鉱は A, B 両岩群に含まれ, 玄武岩, 安山岩およ

第8表 角閃石の化学組成.

	A17	B1	G
SiO ₂	46.25	40.40	42.58
TiO ₂	1.08	2.30	2.47
Al ₂ O ₃	7.27	11.64	12.88
Cr ₂ O ₃	0.04	0.02	0.09
FeO	17.17	13.77	11.50
MnO	0.68	0.20	0.12
MgO	13.07	13.20	13.87
CaO	10.89	11.88	12.52
Na ₂ O	1.20	1.98	2.25
K ₂ O	0.30	0.29	0.35
Total	97.95	95.68	98.63

Structure formula (O=23)

Si	6.922	6.151	6.200
Al ^{IV}	1.078	1.849	1.800
Al ^{VI}	0.206	0.240	0.410
Ti	0.122	0.263	0.270
Cr	0.005	0.002	0.010
Fe	2.149	1.754	1.400
Mn	0.086	0.026	0.015
Mg	2.917	2.996	3.010
Ca	1.747	1.937	1.953
Na	0.349	0.585	0.635
K	0.057	0.057	0.066

*: Total Fe as FeO.

A17, B1; core of phenocryst, G; core of amphibole from gabbro inclusion.

びデイサイトの斑晶と石基の両方に産するが、A岩群の普通輝石・かんらん石玄武岩では石基のみにみられる。Al, Cr に富むスピネルは、A岩群のみに出現し、シソ輝石・角閃石含有かんらん石・普通輝石安山岩や普通輝石・かんらん石玄武岩のかんらん石と単斜輝石斑晶に包有される。代表的なスピネル組成を第6表に示し、第5図に Cr-Al-Fe³⁺ 図を示した。スピネルの Cr/(Cr+Al) 比は 0.53~0.27 で Al に富む。スピネルの TiO₂ 量は 0.52~0.28 wt% と乏しく、全岩の低 TiO₂ 量と調和的である。Fe³⁺/(Cr+Al+Fe³⁺) 比は 0.88~0.12 の広範囲にわたる。かんらん石斑晶中のスピネルは Fe³⁺ に乏しいものが多いが、Fe³⁺ に富むものも含む。単斜輝石斑晶中のスピネルはかんらん石斑晶中のものに比べ、Fe³⁺ に富む傾向がある。石基に産するものはいずれも Fe³⁺ に富む。

単斜輝石

第7図 角閃石の Al^{IV}-(Na+K) 図.

A岩群: 1; 黒雲母・シソ輝石含有角閃石・普通輝石安山岩 (A17) および黒雲母含有普通輝石・角閃石デイサイト (A20) 中の角閃石斑晶.

B岩群: 2; 普通輝石含有角閃石安山岩 (B1) 中の角閃石斑晶, 3; 角閃石はんれい岩包有物中の角閃石.

4: 長野県柵の角閃石はんれい岩質捕獲岩中の角閃石 (YAMAZAKI *et al.*, 1966), 5: 新潟県鯨波の角閃石はんれい岩質捕獲岩中の角閃石 (河野, 1943; YAMAZAKI *et al.*, 1966), 6: 一の目湯の角閃石はんれい岩質捕獲岩中の角閃石 (ONUKI, 1965).

単斜輝石は斑晶では透輝石、普通輝石、サーライトの領域に入る。代表的な単斜輝石組成を第7表に示し、第6図に Ca-Mg-Fe 図を示した。A岩群の斑晶単斜輝石の組成は、玄武岩では Ca_{46.4}Mg_{45.9}Fe_{7.7}~Ca₃₉Mg_{45.4}Fe_{15.6}, 安山岩では Ca₄₃Mg_{45.8}Fe_{11.2}~Ca₄₂Mg_{38.7}Fe_{19.3}である。玄武岩では Cr₂O₃ 含有量が最大 1.0~1.4 wt% のクロム透輝石斑晶が認められ、この斑晶は Al₂O₃ にも富み (3.5~7.0 wt%), 周縁部では Mg/(Mg+Fe) 比の減少とともに Al₂O₃ が急減する (第7表)。A岩群の黒雲母・シソ輝石含有角閃石・普通輝石安山岩では、ごくまれに Ca に富む半自形の単斜輝石斑晶が存在する (第6図)。この単斜輝石は Al, Cr 量に富み (Al₂O₃=4 wt%, Cr₂O₃=0.6 wt%), Mg/(Mg+Fe) 比も高い (0.80)。B岩群の安山岩の斑晶単斜輝石の組成は Ca_{48.2}Mg_{39.1}Fe_{12.7}~Ca_{39.8}Mg_{43.2}Fe₁₇ であり、角閃石はんれい岩包有物中の単斜輝石とともにサーライト~普通輝石

第 8 図 角閃石の TiO_2 — $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ 図. 凡例は第 7 図に同じ. 黒四角は HELZ (1973) が Kilauea olivine tholeiite を使って実験で得られた角閃石の組成, 数字は 晶出温度 ($^{\circ}\text{C}$) を示す. A 岩群の角閃石斑晶のうち, Ti に富むものは, 捕獲結晶とみられるので考察の対象からはずした. 詳細は本文参照.

で Ca に富む特徴がある. 石基単斜輝石は普通輝石 ($\text{Ca}_{43}\text{Mg}_{42.5}\text{Fe}_{14.5} \sim \text{Ca}_{39.5}\text{Mg}_{38}\text{Fe}_{22.5}$) で, まれに, A 岩群の普通輝石・かんらん石玄武岩ではサブカルシック輝石, B 岩群の安山岩ではピジョン輝石・サーライトの領域に入るものがある.

角閃石

本地域の火山岩中の角閃石は LEAKE (1968) の分類によると, マグネシウムホルンブレンド, チェルマックait 質ホルンブレンド, 鉄パーガサイト, 鉄パーガサイト質ホルンブレンドの領域に入る. 第 8 表に角閃石の代表的分析値を示し, 第 7 図に $\text{Al}^{\text{IV}}-(\text{Na}+\text{K})$ 図を示した. 角閃石の組成は本地域火山岩類の岩質の差とのおおまかな対応関係を示す. すなわち, A 岩群の安山岩・デイサイト中の斑晶は普通角閃石の領域に入り, B 岩群の角閃石はんれい岩包有物とその母岩の安山岩中の斑晶は Al^{IV} , $\text{Na}+\text{K}$ に富むパーガサイト～パーガサイト質普通角閃石の領域に入る. ただし, A 岩群中の黒雲母・シソ輝石含有角閃石・普通輝石安山岩でも, ごくまれにパーガサイト質普通角閃石斑晶が存在する (第 7 図). B 岩群中の角閃石は A 岩群中のものに比べ $\text{Mg}/(\text{Mg}+\text{Fe})$ 比が大きく, TiO_2 に富む (第 8 図).

斜長石

代表的な斜長石組成を第 9 表に示した. A 岩群の斑晶斜長石の $\text{An}\%$ は, 玄武岩では 92~72, 輝石安山岩では 88~62, 角閃石安山岩では 94~44, デイサイトでは 66~35 であり, デイサイト以外は 90 前後の斜長石を特徴的に含む. 大部分が正累帯構造を示し, しばしば最外

殻部で顕著な反復累帯構造を示す. A 岩群の黒雲母・シソ輝石含有角閃石・普通輝石安山岩では, 正累帯構造を示すもののほかに逆累帯構造を示すものがあり, $\text{An } 50$ 前後の核部から $\text{An } 80$ 前後の周縁部へ変化する (第 9 図). B 岩群の安山岩の斑晶斜長石の $\text{An}\%$ は 92~58 で, A 岩群の玄武岩, 角閃石安山岩と同様に 90 以上の斜長石を含む. 明瞭な正累帯構造が認められる. 石基斜長石の $\text{An}\%$ は, 玄武岩では 77~65, 安山岩～デイサイトでは 70~35 である. B 岩群の角閃石はんれい岩包有物の斜長石は, $\text{An}\%$ は 93~88 で均質であるが, 最外殻部でわずかに An 成分が減少する.

2つのトレンドをもつ火山岩類

A 岩群の火山岩類は玄武岩, 安山岩, デイサイトからなり, 全岩化学組成のうえからは SiO_2 含有量は 48 wt% から 72 wt% まで変化し, その変化につれて他の酸化物もほぼ連続的に変化している. これら火山岩類の斑晶鉱物の組み合わせは, 玄武岩からデイサイトへつぎのように変化する:

かんらん石+単斜輝石+斜長石

かんらん石+単斜輝石+斜方輝石+斜長石

単斜輝石+斜方輝石+磁鉄鉱+斜長石

単斜輝石+斜方輝石+角閃石+黒雲母+磁鉄鉱+石英+斜長石

単斜輝石+角閃石+黒雲母+磁鉄鉱+石英+斜長石

かんらん石・単斜輝石・斜方輝石・角閃石・黒雲母斑晶は, より塩基性な岩石から酸性な岩石にかけて $\text{Mg}/$

第9表 斜長石の化学組成.

	A2-1	A2-2	A17-1	A17-2	B1-1	B1-2
SiO ₂	45.95	50.64	44.19	54.82	52.85	55.22
Al ₂ O ₃	33.19	29.73	34.66	27.27	29.07	27.73
FeO*	0.57	0.82	0.51	0.30	0.35	0.34
MgO	0.05	0.22	0.08	0.01	0.04	0.01
CaO	18.05	14.67	19.87	11.48	13.43	11.64
Na ₂ O	1.61	3.20	0.71	5.57	3.38	4.69
K ₂ O	0.05	0.11	0.04	0.37	0.11	0.12
Total	99.47	99.39	100.06	99.82	99.23	99.75

Structure formula (O=32)

Si	8.542	9.318	8.211	9.964	9.652	9.987
Al	7.274	6.448	7.591	5.842	6.258	5.911
Fe	0.089	0.126	0.080	0.046	0.054	0.052
Mg	0.013	0.060	0.020	0.003	0.010	0.002
Ca	3.596	2.892	3.955	2.235	2.628	2.255
Na	0.579	1.141	0.257	1.962	1.196	1.643
K	0.011	0.027	0.010	0.085	0.026	0.029
Ca/Ca+Na+K	0.859	0.712	0.937	0.522	0.683	0.574

*: Total Fe as FeO.

A2-1, A17-1, B-1; core of phenocryst, A2-2, A17-2, B1-2; rim of phenocryst.

第9図 斜長石斑晶の逆累帯構造パターン.

試料は黒雲母・シソ輝石含有角閃石・普通輝石安山岩(A17)中の斑晶.

(Mg+Fe)比が順次減少する. 一方, B岩群の火山岩類は SiO₂ 含有量が 57 wt% から 66 wt% まで変化する安山岩からなり, 前述のように K₂O—SiO₂ 図において A岩群とは異なるトレンドを形成している. これら火山岩類の斑晶鉱物の組み合わせは, 単斜輝石+角閃石+磁

鉄鉱+斜長石±黒雲母である. 第10表には, 全岩の分析値から斑晶鉱物の化学組成を, モードより求めた量比にしたがって差し引いた石基の化学組成を示した. 斑晶鉱物の化学組成は, それぞれの火山岩に含まれる斑晶鉱物の分析値の平均値を用いた. 第10-a, -b, -c 図の

第 10 表 石基化学組成. 上段: 斑晶鉱物の平均化学組成とモード組成. A17 試料の斜長石斑晶は組成幅が他の試料に比べ広いため 2 つに分けて示した. 下段: 計算によって求められた石基化学組成.

Sp. Number	A2	A14	A15	A16	A17
Phenocrysts extracted:					
Plagioclase	An ₈₇ 15.58%	An ₆₃ 24.18%	An ₈₉ 13.20%	An ₆₅ 9.25%	An ₉₅ An ₄₆ 1.81% 22.76%
Clinopyroxene	Ca ₄₃ Mg ₄₆ Fe ₁₁ 3.41%	Ca ₄₁ Mg ₃₉ Fe ₂₀ 5.10%	Ca ₄₃ Mg ₄₃ Fe ₁₄ 2.57%	Ca ₄₂ Mg ₄₃ Fe ₁₆ 0.85%	Ca ₄₄ Mg ₄₀ Fe ₁₇ 1.43%
Orthopyroxene	-	Ca ₃ Mg ₆₂ Fe ₃₅ 3.88%	Ca ₂ Mg ₆₄ Fe ₃₄ 0.48%	Ca ₃ Mg ₆₇ Fe ₃₀ 0.85%	Ca ₃ Mg ₆₄ Fe ₃₃ 0.21%
Olivine	Fa ₁₈ 5.80%	-	-	-	-
Hornblende	-	-	-	-	0.63%
Biotite	-	-	-	-	0.10%
Quartz	-	-	-	-	3.34%
Magnetite	-	0.36%	0.78%	0.15%	1.18%
SiO ₂	53.94	59.42	59.79	62.56	62.13
TiO ₂	1.07	1.29	1.12	1.11	0.86
Al ₂ O ₃	16.54	15.48	17.19	16.01	14.91
FeO*	8.68	8.17	7.04	6.20	6.77
MnO	0.21	0.19	0.18	0.17	0.21
MgO	6.95	3.22	3.13	1.95	3.47
CaO	8.59	5.58	5.60	4.56	5.78
Na ₂ O ₃	3.63	3.78	4.21	4.40	3.29
K ₂ O	0.87	2.69	2.16	2.84	2.49
P ₂ O ₅	0.41	0.31	0.55	0.52	0.30
Total	100.89	100.13	100.97	100.32	100.21

K₂O—SiO₂ 図, Al₂O₃—SiO₂ 図, CaO—MgO 図に全岩化学組成とともに石基化学組成を示した. このようにして求めた石基化学組成は, 同一 SiO₂ 量を示す全岩化学組成とくらべると, Al₂O₃, CaO の含有量がやや乏しく, TiO₂, FeO*, MgO の含有量にやや富む他はどの成分もほぼ等しい含有量である. 第 10-a 図の K₂O—SiO₂ 図に示すように, A・B 両岩群中の石基の K₂O 量は, それぞれの岩群の全岩の K₂O トレンド上にプロットされ明瞭な K₂O 量の差が認められる. したがって, A・B 両岩群の火山岩類の化学組成の変化は, 各火山岩の斑晶鉱物組み合わせの分別結晶作用によって形成されることは可能と思われる. ただし, まれに A 岩群中には K₂O 量に乏しく, 全体の K₂O トレンドからややはずれるものがある (A11, A20). 既述のように, この火山岩類は, 斑晶鉱物の組み合わせ, 化学組成などの特徴から A 岩群に含めるのが妥当であり, これらの生成にあたっては別の成因, 例えば何らかの原因による斑晶鉱物の選択的な分別作用などを考える必要があるかもしれ

ない. また, 第 10-b, -c 図に示すように, 全岩化学組成と石基化学組成を結んだ線は全岩化学組成のトレンドにやや斜交し, 石基の Al₂O₃ 量, CaO 量が相対的にやや乏しい傾向がある. このことから, 実際に分別される鉱物の量比は斑晶鉱物の量比とはやや異なり, とくに斜長石の分別される量比は斑晶の斜長石の量比よりやや小さかった可能性がある.

B 岩群は前述のように角閃石はんれい岩包有物を特徴的に含み, (1) 安山岩の斑晶とはんれい岩の鉱物組み合わせが, とくに角閃石, 単斜輝石, 斜長石および磁鉄鉱からなり, (2) とくに角閃石はパーガサイト〜パーガサイト質普通角閃石で, 単斜輝石はサーライトであり, 共通した組成をもつ. このような鉱物学的共通性と既述の産状・組織から, 角閃石はんれい岩包有物は母岩の安山岩と同源のものと考えられる. 以下, これらの構成鉱物のうち角閃石と単斜輝石について検討する.

B 岩群の安山岩の斑晶とはんれい岩包有物を構成する角閃石の組成は, 既述のように A 岩群の安山岩, デイサ

B1	B2
An ₆₉	An ₇₉
19.36%	20.28%
Ca ₄₅ Mg ₄₀ Fe ₁₆	Ca ₄₈ Mg ₃₉ Fe ₁₃
0.20%	2.81%
-	-
-	-
0.89%	2.50%
-	-
-	-
0.05%	2.18%
62.32	64.69
0.85	0.60
15.45	15.19
7.45	5.74
0.19	0.22
3.21	3.58
5.68	5.50
4.48	3.12
0.76	1.37
0.46	-
100.85	100.01

*: Total Fe as FeO.

イトの斑晶角閃石が普通角閃石であるのと対照的である。ただし、A岩群の黒雲母・シソ輝石含有角閃石・普通輝石安山岩ではごくまれにパーガサイト質普通角閃石が認められる(第7図)。この角閃石はA岩群中の他の角閃石斑晶に比べ、Al^{IV}、Na、K、Tiに富みB岩群中の角閃石組成に類似することから、B岩群火山岩からの捕獲結晶の可能性がある。第8図には角閃石のTiO₂-Mg/(Mg+Fe)図を示した。B岩群の角閃石はA岩群のものに比べMg/(Mg+Fe)比が大きく、TiO₂に富み最大3.5 wt%に達する。角閃石のTiO₂量は、晶出温度、fo₂、マグマの組成に支配される(HELZ, 1973)。すなわちTiO₂量は、fo₂の増加とともに減少し、温度の上昇とともに直線的に増加する。HELZ(1973)の実験では組成依存性のうち、出発物質の組成差は角閃石にはあまり影響せず、その理由としてHELZは、角閃石の晶出とともにチタン鉄鉱がつねに晶出しており、そのために液のTiO₂量のちがいがbufferされている、と考えている。本地域火山岩類ではチタン鉄鉱は晶出していないので、組成依存性についてHELZの実験を直接比較することは

第10図 a: K₂O-SiO₂ 図, b: Al₂O₃-SiO₂ 図, c: CaO-MgO 図. 黒丸・黒四角はそれぞれA岩群・B岩群の全岩化学組成, 白丸・白四角はそれぞれA岩群・B岩群の石基化学組成.

できない。一方、角閃石のMg/(Mg+Fe)比はfo₂、マグマの組成、晶出温度によって規制され、fo₂の増加、マグマのMg/(Mg+Fe)比の増大につれて増大する。温度効果については、900°C付近では温度上昇とともに増大するが、1000°C付近では逆に減少する(HELZ, 1973)。A・B両岩群中の不透明鉱物は、磁鉄鉱のみならず両岩群生成時のfo₂を見積もることはできないが、B岩群中の角閃石は、A岩群のものよりMg/(Mg+Fe)比とともにTiO₂量にも富むことから、両者の晶出条件の差のうち、fo₂依存性は重要な支配要因ではないと考えられる。第8図に示した火山岩のうち、高TiO₂・Mg/(Mg+Fe)比の角閃石を斑晶としてもつB岩群の普通輝石含有角閃石安山岩(B1)と、低TiO₂・Mg/(Mg+Fe)比の角閃石を含むA岩群の黒雲母・シソ

第 11 図 角閃石および母岩の K_2O-SiO_2 図。

1, 2: 全岩化学組成 (1: A 岩群, 2: B 岩群), 3, 4: B 岩群中の角閃石組成 (3: 普通輝石含有角閃石安山岩 (B1) 中の斑晶, 4: 角閃石はんれい岩包有物中の角閃石)。

一点鎖線は他地域の全岩化学組成, 実線は角閃石組成 (Vi: St. Vincent; ASPINALL *et al.*, 1973; LEWIS, 1973, Ku: 鯨波; 河野, 1943; YAMAZAKI *et al.*, 1966, Sh: 柵; TAKESHITA, 1975; YAMAZAKI *et al.*, 1966, Yo: 米山; 佐藤・米山 団体研究グループ, 1975, Os: 渡島大島; YAMAMOTO, 1984, Us: 有珠; OBA *et al.*, 1983)。

輝石含有角閃石・普通輝石安山岩 (A17) では, 全岩化学組成の $MgO/(MgO+FeO^*)$ 比がいずれも 0.307 と等しく, 計算で求めた石基化学組成 (第 10 表) の $MgO/(MgO+FeO^*)$ 比はそれぞれ 0.301, 0.339 で, 後者の方が高いので組成依存性についてはこの場合無視できる。したがって両岩群における角閃石の組成差は, 主として温度条件の違いを反映しているものと推定され, B 岩群の角閃石は, A 岩群の角閃石よりも高温で晶出したのであろう。

B 岩群の安山岩中の斑晶および角閃石はんれい岩包有物中の単斜輝石はサーライト～普通輝石であり Ca 量に富む (第 6 図)。一方, A 岩群の玄武岩と安山岩中の斑晶単斜輝石は透輝石～普通輝石である。ただし, 既述のように, A 岩群の安山岩ではごくまれに Ca に富む単斜輝石が認められる (第 6 図)。この単斜輝石は安山岩中の他の普通輝石斑晶に比べ, Al, Cr 量に富み, $Mg/(Mg+Fe)$ 比も高く, 本地域火山岩類のうち玄武岩の斑晶単斜輝石組成に類似することから, 玄武岩質マグマから晶出した捕獲結晶とみなしうる。Ca にとくに富む単斜輝石を含む非アルカリ岩としては, 本地域の B 岩群のほか, St. Vincent のカルクアルカリ岩にともなう深成岩岩塊 (LEWIS, 1973), 長野県の 鮮新世カルクアルカリ岩中の角閃石はんれい岩質捕獲岩 (YAMAZAKI *et al.*, 1966) などがある。これらはいずれも高水蒸気圧条件下で形成されたと考えられており, 単斜輝石とともに角閃石が晶出し, しかも角閃石の組成は高 $TiO_2 \cdot Mg/(Mg+Fe)$ 比を示すパーガサイトである点で B 岩群の性質とよく似

ている (第 7, 8 図)。HELZ (1973) によれば, $PH_2O=5$ kb, QFM buffer での非アルカリ岩の熔融実験では, 角閃石と共生する単斜輝石は, 無水条件に比べ Ca に富みアルカリ岩に産する単斜輝石に類似する。また, 単斜輝石の Ca 量, Mg/Fe 比は同条件下では温度の上昇とともに増大する。したがって B 岩群中の単斜輝石は, 高水蒸気圧条件下において角閃石と共生して出現したものと考えられる。

つぎに A・B 両岩群の全岩化学組成の相違をもたらした原因について検討する。一般に K は incompatible element としてふるまい, 結晶作用の過程で残液に選択的に濃集する元素である。しかし, K の角閃石と液との分配係数 (K_D) は, 他の主要造岩鉱物 (かんらん石, 輝石, 斜長石) に比べ高いことが知られている ($K_D=0.33 \sim 1.40$: ARTH, 1976)。B 岩群の安山岩類は同源の角閃石はんれい岩を包有し, このはんれい岩の構成鉱物は B 岩群の安山岩質マグマの初期晶出相と考えられる。また, B 岩群の角閃石は A 岩群の角閃石に比べ, より高温条件で晶出していたと考えられる。したがって, B 岩群の K_2O に乏しい分化トレンドは, 角閃石の分別結晶作用がより高温条件下から行われることによって生成されたのであろう。

第 11 図には全岩の K_2O-SiO_2 図とともに角閃石はんれい岩包有物および母岩の安山岩の角閃石斑晶の組成を図示した。比較のために各地の角閃石はんれい岩包有物の角閃石 (米山 および 有珠火山は火山岩中の斑晶角閃石) とその母岩の火山岩類の組成も示した。角閃石の

K₂O 量は母岩の K₂O 量に規制されることはよく知られている。本地域の角閃石の K₂O 量は渡島大島、鯨波、柵および米山に比べ乏しく、有珠、St. Vincent に類似している。一方、母岩の火山岩類の K₂O 量をみると、A 岩群中の玄武岩や B 岩群中の SiO₂ 量に乏しい安山岩の K₂O 量は、同じ SiO₂ 量で比較すると、有珠、St. Vincent と比較的類似して乏しい。しかし、SiO₂ 量の増加にともなう K₂O 量の変化量は、有珠、St. Vincent のものより急増傾向を示し、その傾きは渡島大島、柵のものに類似する。本地域火山岩類と有珠、St. Vincent の火山岩類で、異なる K₂O トレンドを持つことの原因としては、分別される鉱物の組み合わせ、量比などの相違によると考えられるが、この点については今後、さらに検討する必要がある。いずれにしても、本地域火山岩類の K₂O 量の特徴から、A・B 両岩群がともに有珠・St. Vincent のような K₂O 量に比較的乏しい同一のマグマに由来したと仮定することは可能かもしれない。もしそうだとすれば、B 岩群の火山岩類は、火山活動の初期に何らかの原因で局所的に高 PH₂O 条件下におかれ生成されたであろう。しかしながら、A・B 両岩群の初生マグマが同源か否か、どのような原因で PH₂O の高い条件が生じたのかについて直接確かめる積極的根拠は今のところない。今後は微量元素、同位体比などの方面から検討していく必要があろう。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、新潟大学の島津光夫教授には終始、御指導をいただいた。北海道大学の勝井義雄教授、新井田清信博士、山元正継博士、山口大学の永尾隆志博士には有益な御助言と粗稿の校閲をいただいた。全岩分析にさいしては、北海道農試のケイ光 X 線分析器を使用させていただき、北海道大学の宮下純夫博士にお世話になった。以上の方々に厚く御礼申し上げる。

文 献

- 秋葉 力, 1958: 北海道西南部における鉱床区。新生代の研究, no. 27, 22-31.
- ARTH, J. G., 1976: Behavior of trace elements during magmatic processes—a summary of theoretical models and their applications. *Jour. Res. U. S. Geol. Surv.*, **4**, 41-47.
- ASPINALL, W. P., SIGURDSSON, H. and SHEPHERD, J. B., 1973: Eruption of Soufriere Volcano on St. Vincent Island, 1971-1972. *Science*, **181**, 117-124.
- ATKINS, F. B., 1969: Pyroxenes of the Bushveld intrusions, South Africa. *Jour. Petrol.*, **10**, 222-249.
- BENCE, A. E. and ALBEE, A. L., 1968: Empirical correction factors for the electron microanalysis of silicates and oxides. *Jour. Geol.*, **76**, 382-403.
- BROWN, G. M., 1957: Pyroxenes from the early and middle stages of fractionation of the Skaergaard magmas. *Miner. Mag.*, **31**, 511-543.
- 福山博之・柵山雅則, 1976: マイクロプロブによる岩石の全岩化学分析。地質雑, **82**, 345-346.
- HELZ, R. T., 1973: Phase relations of basalts in their melting range at PH₂O=5 kb as a function of oxygen fugacity, Part 1, Mafic phases. *Jour. Petrol.*, **14**, 249-302.
- KATSUI, Y., ŌBA, Y., ANDO, S., NISHIMURA, S., MASUDA, Y., KURASAWA, H. and FUJIMAKI, H., 1978: Petrochemistry of the Quaternary volcanic rocks of Hokkaido, North Japan. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ.*, [4], **18**, 449-484.
- 河野義礼, 1943: 鯨波海岸産角閃石の化学成分。地学雑, **55**, 285-295.
- KURODA, N. and SHIRAKI, K., 1975: Boninite and related rocks of Chichi-jima, Bonin Islands, Japan. *Rep. Fac. Sci., Shizuoka Univ.*, **10**, 145-155.
- LEAKE, B. E., 1968: A catalog of analyzed calciferous and subcalciferous amphiboles together with their nomenclature and associated minerals. *Geol. Soc. Amer. Spec. Paper*, no. 98, 1-210.
- LEWIS, J. F., 1973: Mineralogy of the ejected plutonic blocks of the Soufriere Volcano St. Vincent: olivine, pyroxene, amphibole and magnetite paragenesis. *Contr. Miner. Petrol.*, **38**, 197-220.
- MASUDA, Y., NISHIMURA, S., IKEDA, T. and KATSUI, Y., 1975: Rare-earth and trace elements in the Quaternary volcanic rocks of Hokkaido, Japan. *Chem. Geol.*, **15**, 251-271.
- 松井 愈, 1955: 西南北海道の新第三紀層の層序と構造(要旨)。地質雑, **61**, 333.
- MIYASHIRO, A., 1974: Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *Amer. Jour. Sci.*, **274**, 321-355.
- MURRAY, R. J., 1954: The clinopyroxenes of the Garbh Eilean sill, Shiant Isles. *Geol. Mag.*, **91**, 17-31.
- NAGAO, T., YAMAMOTO, M. and ONUMA, K., 1980: Crystallization trend of chromian spinel in some alkali basalts and calc-alkali andesites from Japanese Island. *Jour. Japan. Assoc. Min. Petrol. Econ. Geol.*, **75**, 44-54.
- ŌBA, Y., KATSUI, Y., KURASAWA, H., IKEDA, Y. and UDA, T., 1983: Petrology of historic rhyolite and dacite from Usu volcano, North Japan. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ.*, [4], **20**, 275-290.
- 岡村 聡, 1984: 西南北海道寿都半島における新第三系と火山活動。地質雑, **90**, 383-391.
- ONUKE, H., 1965: Petrochemical research on the Horoman and Miyamori ultramafic intrusives, northern Japan. *Sci. Rep. Tohoku Univ.*, [4], **9**, 217-276.

- 佐藤隆春・米山団体研究グループ, 1975 : 新潟県米山地域の火山岩類. 地球科学, **29**, 211-226.
- 島津光夫, 1975 : 新生代変動と島弧形成. 海洋科学, **7**, 14-19.
- 白木敬一・湯佐泰久・黒田 直・石岡孝吉, 1977 : マリアナ島弧グアム島玄武岩のクロム・スピネル. 地質雑, **83**, 49-57.
- SIGURDSSON, H. and SCHILLING, J. G., 1976 : Spinel in Mid-Atlantic Ridge basalts : chemistry and occurrence. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **29**, 7-20.
- TAKESHITA, H., 1975 : Petrological studies on the volcanic rocks of the Northern Fossa Magna Region, central Japan (Part 2). *Pacific Geology*, no. 10, 1-32.
- WAGER, L. R., BROWN, G. M. and WADSWORTH, W. J., 1960 : Types of igneous cumulates. *Jour. Petrol.*, **1**, 73-85.
- WILKINSON, J. F. G., 1956 : Clinopyroxenes of alkali olivine-basalt magma. *Amer. Miner.*, **41**, 724-743.
- 山岸宏光, 1973 : 新第三紀中新世水中溶岩の一例. 火山, 第2集, **18**, 11-18.
- YAMAGISHI, H., 1979 : Classification and features of subaqueous volcanoclastic rocks of Neogene age in Southwest Hokkaido, Japan. *Rept. Geol. Surv. Hokkaido*, **51**, 1-20.
- YAMAMOTO, M., 1984 : Origin of calc-alkaline andesite from Oshima-Oshima volcano, North Japan. *Jour. Fac. Sci., Hokkaido Univ.*, [4], **21**, 77-131.
- YAMAZAKI, T., ONUKI, H. and TIBA, T., 1966 : Significance of hornblende gabbroic inclusions in calc-alkali rocks. *Jour. Japan. Assoc. Min. Petrol. Econ. Geol.*, **55**, 87-103.

(要 旨)

岡村 聰, 1986 : 西南北海道寿都半島の新第三紀火山岩類. 地質雑, **92**, 91-108. (OKAMURA, S., 1986 : Neogene volcanic rocks from Suttu Peninsula, southwest Hokkaido. *Jour. Geol. Soc. Japan*, **92**, 91-108.)

寿都半島に分布する新第三紀後期中新世～鮮新世火山岩類は, 岩石学的特徴から A・B 2つの岩群に区分される. 前者は本地域の大部分を占める玄武岩・安山岩・デイサイトよりなり, SiO_2 の増加に伴い K_2O に富むトレンドを示す. 後者は火山活動の初期に少量しか噴出せず, 角閃石は入れい岩包有物を特徴的に含む安山岩よりなり, K_2O にあまり濃集しない. 両岩群は構成鉱物の組み合わせ・化学組成においても明瞭な差が認められる. B岩群は局所的な高水蒸気圧条件下で角閃石が分別されたことによって生じたと考えられる. 角閃石は入れい岩包有物はその沈積岩と考えられる.