研 究 報 文

山形県温海, 波渡崎アルカリ粗粒玄武岩々床の岩石学

Petrology of Hatozaki alkali dolerite sheet,
Atumi, northeastern Japan

青 木 謙一郎 (Ken-ichiro Aoki)*

水 越 泰 子 (Yasuko Mizukoshi)**

Abstract: The Hatozaki alkali dolerite sheet which is about 200 m thick and a well-differentiated sheet occurs in the northern end of the Atumi dolerite district, Japan Sea coast. The age of intrusion is thought to be the late Miocene in time (Kushiro, 1964). Although the dolerite is rather homogeneous, many dolerite-pegmatite, analcime monzonite, and analcime syenite veins and patches (up to 3 cm thick) are found in the coarse-grained main body subparallel to the contact.

Seventeen representative rocks have been chemically analysed (Table 1). The compositions of the dolerite-analcime syenite vary widely with the fractionation, showing the clear increase of silica and alkalis. The crystallization trend of the Hatozaki magma as shown in $\text{MgO}-\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ diagram moves directly from Mg-rich side to alkali-rich side without iron concentration in the middle stage and follows that of the upper and lower Kayaoka and lower Sumiyoshizaki alkali dolerites of the same district (Kushiro, 1964).

The mafic mineral assemblages of the Hatozaki sheet are very unusual, namely olivine, hypersthene and augite in dolerite, olivine, pigeonite and augite in monzonite and augite and soda-augite or aegirine-augite in syenite. It is considered that these are extremely rare exception in the alkaline rock series.

1. 緒 言

山形県西田川郡温海地方の日本海沿岸には第三紀中新世後期に貫入したと考えられる粗粒玄武岩々床が南北約15kmにわたって多数露出している。それらの岩床のうち最も厚

* 東北大学理学部岩石鉱物鉱床学教室

** 東北大学理学部岩石鉱物鉱床学教室 (現住所・日本ソフトウェアエンジニアリング株式会社) (昭和46年6月4日受理)

いものは 300 m にも達する。岩床の主部を構成している粗粒玄武岩は久城 (1964) によるとアルカリ岩系と高アルミナ岩系に属する。玄武岩マグマは貫入後、その場所における晶出分化作用により粗粒玄武岩ペグマタイト、モンゾニー岩、閃長岩、石英閃長岩等の晩期生成物を生じている。

温海地方の粗粒玄武岩類については、最近久城 (1964) により非常に秀れた岩石学的研究がなされている。

こゝでは久城 (1964) により詳細な記載のなされなかった山形県鶴岡市波渡崎付近の海岸に露出している厚さ約 200 m と推定されるアルカリ粗粒玄武岩々床を対象に選り岩石学的研究をおこなった。

この研究において野外調査と顕微鏡観察は青木、水越、化学分析は水越、論文のまとめは青木がおこなった。

この研究に当り波渡崎岩床について懇切丁寧な教示を与えられた東京大学久城育夫助教授に深く感謝の意を表はす。

2. 産 状

波渡崎アルカリ粗粒玄武岩々床は温海地方に分布する粗粒玄武岩類の分布地域の最北端に位置している。この岩床は鶴岡市波渡崎から五十川にかけての海岸に約 1.5 km にわたって露出している。走向はほぼ $N20^{\circ}E$ 、傾斜は $30^{\circ}W$ であり、厚さは約 200 m と推定される。波渡崎岩床は主として泥岩から成る鼠ヶ関層中にほぼ平行に貫入するシル (sill) であり、その貫入時期は中新世後期とされている (Kushiro, 1964)。

波渡崎岩床の上下部の泥岩との接触部は発見することができなかった。しかしながら、下部接触部から数 m 以内 (多分 1 m 以内) と推定される場所は波渡崎燈台の東、数 10 m の地点において、一方上部接触部から 1 m 以内と推定される場所は波渡燈台の南西約 1.2 km の海岸で発見される。

この岩床は接触部から中心部に向って急速に岩体を構成する粗粒玄武岩の粒度が高くなり、中心部は、はんれい岩様の外観を呈する。晶出分化作用により生成された粗粒玄武岩ペグマタイト、方沸石モンゾニー岩、方沸石閃長岩の薄い脈やパッチはところどころに認められ、厚さ数 mm から 3 cm、長さ数 m から 10 m 位である。その方向は岩床の傾斜方向とほぼ平行していることが多い。

波渡崎アルカリ粗粒玄武岩々床の模式柱状図と実験に用いた試料採集位置は第 1 図に示した。

3. 顕 微 鏡 観 察

波渡崎アルカリ粗粒玄武岩々床を構成している岩石種は、産状、顕微鏡観察及び化学分析から次の 5 種に大別される：急冷アルカリ玄武岩 (方沸石玄武岩)、アルカリ粗粒玄武岩 (方沸石粗粒玄武岩或いはテッシェン岩)、アルカリ粗粒玄武岩ペグマタイト、方沸石モンゾニー岩及び方沸石閃長岩。

a) アルカリ玄武岩：斑晶としてかんらん石、普通輝石及び斜長石を含む。下部接触部のものはかんらん石に富み、斜長石が殆んどないのが特徴である。石基は細粒～粗粒完

Fig. 1. Columnar section of Hatozaki sheet. Numbers correspond to those of analysed rock specimens.

晶質，少量のガラスを含む。主成分鉱物は斜長石，かんらん石，普通輝石及び磁鉄鉱，副成分及び微量成分鉱物はアルカリ長石，紫蘇輝石，チタン鉄鉱，燐灰石及び黒雲母である。

かんらん石，紫蘇輝石及びガラスは完全に，主として緑泥石に変質している。部分的に斜長石は方沸石になっている。石基鉱物，特に普通輝石の大きさは上下接触部から中心部に向って急激に生長している。

b) アルカリ粗粒玄武岩：オフィティク組織を示し，接触部に近いところのものは(20m 以内) 少量の未変質の褐色ガラスを含む。構成鉱物はアルカリ玄武岩と同様であるが，稀に褐色普通角閃石とくさび石が認められることもある。また方沸石の量が増加し，斜長石を置換し或いは他鉱物の間隙をうめて存在している。時々最晩期に晶出した放射状のトムソナイトがメソスタシス中に認められることもある。なおかんらん石は多くの場合完全に緑泥石と鉄鉱に変質しているが，時々新鮮な結晶が岩体中央部において認められることもある。

接触部から中心部に向って普通輝石の大きさは顕著に増大し，急冷玄武岩から粗粒玄武岩に移化した部分ではその大きさ(c 軸方向最長)約2mm から中央部のもの6mm まで変化する。

c) アルカリ粗粒玄武岩ペグマタイト：下部接触部付近でのみ発見されるアルカリ粗粒玄武岩ペグマタイトの細脈はオフィティク組織を示し，その構成鉱物は粗粒玄武岩と同一であるが，後者とは次の様な相異がある。1) 構成鉱物がより粗粒であり，特に普通輝石が著しく，長さが7mm にも達する。2) 普通輝石の多くはオフィティクであるが，サブ・オフィティクや柱状他形を示すものもある。3) 放射状のトムソナイトの量が非常に多い。また粗粒玄武岩ペグマタイトは分化の早期にしばり出され，液が岩体主部

から移動するときに少量の斑晶斜長石、かんらん石及び普通輝石を伴ったのが特徴である。この様な例は大流粗粒玄武岩々床でも認められる（青木, 1959）。

d) 方沸石モンソニー岩：中粗完晶質，等粒状組織を示す。モンソニー岩では粗粒玄武岩でみられたような普通輝石の異常な成長がないので，肉眼的には後者よりも細粒質の岩石にみえる。構成鉱物の量比も粗粒玄武岩とは大幅に異なる。主成分鉱物はアルカリ長石，斜長石，普通輝石，ビジオン輝石，磁鉄鉱，チタン鉄鉱，方沸石及びトムソナイト，副成分～微量成分鉱物はかんらん石（変質），褐色普通角閃石，黒雲母及び燐灰石である。普通輝石はオフィティツク・フォームを全く示さず，半自形～他形，柱状～長柱状（長さ3mm以下）である。この岩石の最も大きな特徴の一つはビジオン輝石が存在することであり，半自形柱状をなしている。

e) 方沸石閃長岩：この岩石はモンソニー岩よりも更に有色鉱物の量が少ない。非常に不均質であり，1つの脈やバッチにおいても組織や主成分鉱物の量比に著しい相異がある。細粒～中粒完晶質，主成分鉱物はアルカリ長石，斜長石，普通輝石，方沸石，トムソナイト及び鉄鉱，副成分鉱物～微量成分鉱物は燐灰石，褐色普通角閃石，くさび石，黒雲母等である。試料番号 03-4 は普通輝石のほかに，長柱状～針状半自形のソーダ普通輝石を含む。これは普通輝石よりも明らかに遅れて晶出し，沸石類とは平行晶出している。21-1 の普通輝石は非常に薄い緑色を示し，普通輝石よりもやゝアクマイト分子が多いと思われる，また他の閃長岩に比し，非常に方沸石の量が少ない。

モンソニー岩と閃長岩はその組織や構造からは，深成岩の範疇には属さず，半深成岩或いは完晶質粗粒火山岩であるが，こゝでは便宜的に上記の岩石名を用いた。

4. 化学分析

波渡崎岩床の主部を構成しているアルカリ粗粒玄武岩 9 個，アルカリ粗粒玄武岩ベグマタイト 2 個，方沸石モンソニー岩 2 個及び方沸石閃長岩 4 個，計 17 個の化学分析値を第 1 表にノルム（100% に再計算）と共に示した。これらの化学的性質は久城（1964）により詳細に研究された上，下部住吉崎岩床と下部萱岡岩床のものと非常に類似している。第 2 図には波渡崎岩床の下部接触部からの高さと酸化物の関係を示した。化学的性質については次章で述べる。

5. 温海玄武岩類の岩石学的特徴

東北日本の日本海沿岸地域には中新世後期に活動した玄武岩質岩類が熔岩流或いは貫入岩床として分布している。それらの代表的な地域として山形県温海や佐渡島小木を挙げることができよう。これらの玄武岩質岩類はいわゆるアルカリ玄武岩系列か高アルミナ玄武岩系列に属し，ソレアイト系列やカルク・アルカリ玄武岩系列は見出されていない（Kushiro, 1964, 山川，茅原, 1968）。化学的性質から玄武岩類がどの系列に属しているかを大まかに知るには $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ 図が最も便利である。温海地域の分析値をこの図に示したのが第 2 図である。図にはガラバゴスのアルカリ岩系とソレアイト岩系（厳密にはかんらん石ソレアイト岩系或いは高アルカリソレアイト岩系）及び日本のアルカリ岩系と高アルミナ玄武岩系の境界線を示した。ハワイの境界線はガラバゴスと日本のもの

Fig. 2. Major oxide variations of Hatozaki sheet. Open circle: analcime syenite, double circle: analcime monzonite, half solid circle: dolerite-pegmatite.

Table 1. Chemical analyses and norms of alkali dolerites and their

	1	2	3	4	5	6	7	8
Rock name	Alkali dolerite							
Specimen number	13	16-5	19-1	21-2	22-1	10-1	09-5	25-1
Height*(m)	<3	5	10	20	40	110	130	160
SiO ₂	45.67	46.48	46.06	48.00	46.34	46.60	45.54	46.24
TiO ₂	1.02	0.94	0.84	0.78	0.92	1.15	1.01	1.06
Al ₂ O ₃	16.23	18.06	20.51	19.67	20.47	18.05	19.39	18.54
Fe ₂ O ₃	3.50	2.65	2.81	2.92	2.53	2.88	1.97	3.16
FeO	5.06	5.89	4.17	4.08	4.16	5.63	5.55	4.65
MnO	0.09	0.09	0.10	0.09	0.11	0.06	0.12	0.09
MgO	10.13	7.31	6.12	5.57	5.38	6.30	6.95	7.02
CaO	8.16	10.69	9.99	11.19	10.39	9.80	8.79	10.24
Na ₂ O	2.57	2.75	3.70	3.05	3.84	3.52	4.22	2.60
K ₂ O	0.71	0.37	0.25	0.80	0.77	0.47	0.50	0.57
H ₂ O ⁺	4.31	3.06	4.45	2.77	4.12	3.37	4.76	2.15
H ₂ O ⁻	1.85	1.04	1.16	0.87	1.32	1.25	1.05	3.20
P ₂ O ₅	0.21	0.34	0.28	0.24	0.24	0.26	0.06	0.31
Total	99.51	99.67	100.44	100.03	100.59	99.34	99.91	99.83
Or	4.47	2.27	1.58	4.90	4.79	2.93	3.12	3.59
Ab	23.31	24.35	29.44	26.75	24.83	31.43	25.83	23.25
An	32.84	37.49	40.71	39.02	38.17	33.85	34.53	39.41
Ne			1.93		5.01		6.57	
C								
Wo	3.77	6.54	4.01	7.06	5.97	6.56	4.76	5.09
En	13.42	8.77	2.87	6.84	4.17	3.15	3.14	5.84
Fs	2.59	3.49	0.78	1.94	1.31	1.23	1.29	3.07
Fo	9.52	7.20	9.25	5.33	6.94	9.40	10.69	4.30
Fa	2.02	3.16	2.77	1.67	2.53	4.08	4.87	1.17
Mt	5.43	4.02	4.29	4.40	3.84	4.40	3.03	4.85
Il	2.08	1.87	1.68	1.54	1.84	2.31	2.03	2.14
Hm								
Ap	0.54	0.85	0.71	0.59	0.60	0.64	0.14	0.78

* Hight in meters above base.

differentiation products in the Hatozaki sheet

9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Dolerite pegmatite		Analcime monzonite		Analcime syenite			
07	16-3	19-2	16-2	09-2	21-1	09-3	09-4	26-1
> 195	5	10	5	130	20	130	130	170
46.05	45.90	45.18	48.78	49.99	56.69	51.91	53.58	50.94
0.92	1.67	0.91	2.16	2.17	1.32	2.37	1.84	2.35
18.84	17.62	17.35	14.13	14.60	15.52	15.26	15.69	16.53
2.78	3.60	3.24	3.82	6.36	4.12	5.35	3.89	5.68
5.10	4.88	3.87	4.70	3.66	3.80	3.68	3.67	2.93
0.10	0.14	0.10	0.15	0.21	0.16	0.16	0.11	0.16
8.63	6.35	8.08	5.68	4.52	2.34	3.53	2.74	2.83
7.90	10.50	13.45	7.07	5.96	4.89	3.67	4.55	4.15
1.82	3.44	2.48	2.66	4.76	6.38	5.94	6.88	4.89
2.00	0.58	0.20	4.28	3.21	2.51	3.91	2.81	4.88
4.03	4.08	3.99	4.42	3.24	1.41	3.48	2.64	3.56
1.76	0.91	0.88	1.32	0.83	0.34	0.56	0.77	0.47
0.36	0.26	0.26	0.25	0.25	0.22	0.22	0.25	0.23
100.29	99.93	99.99	99.42	99.76	99.70	100.04	99.42	99.60
12.49	3.63	1.23	26.97	19.82	15.17	24.04	17.27	30.16
16.31	30.64	22.04	24.00	34.41	55.06	38.70	45.78	30.94
39.02	32.57	37.45	14.93	9.38	6.44	3.59	3.79	9.16
				4.15		7.37	8.04	6.67
0.17								
	8.57	12.92	8.67	8.26	7.02	5.77	7.51	4.52
12.20	1.73	4.86	6.35	7.14	4.41	4.99	6.02	3.90
3.27	0.38	0.75	0.98		1.28		0.59	
7.37	10.46	11.41	6.13	3.24	1.08	2.92	0.76	2.43
2.17	2.54	1.94	1.05		0.35		0.08	
4.26	5.51	4.94	5.90	6.48	6.09	5.74	5.89	3.32
1.85	3.34	1.82	4.38	4.31	2.55	4.70	3.64	4.67
				2.17		1.61		3.66
0.89	0.64	0.64	0.65	0.64	0.55	0.56	0.64	0.56

Analyst: Y. Mizukoshi

Fig. 3. $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ - SiO_2 diagram. A: boundary between olivine-tholeiite and alkali basalt series of Galapagos (Aoki, 1967), B: boundary between Japanese high alumina basalt and alkali basalt series (Kuno, 1965).

の中間にくる。複雑な玄武岩類の組成を単純な $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ - SiO_2 図に示すため、岩石区の違いにより境界線にある程度の違いがあるのは当然考えられるが、しかしながら3岩石区の境界線は比較的良く一致している。この図から明らかなように温海地域、上下部萱岡と波渡崎岩床の玄武岩類はいずれも日本のアルカリ岩区域に点示されるが、一部のものはガラバゴスと日本の境界線の間に点示され、アルカリ玄武岩ではあるがかんらん石ソレイトへの漸移型であることを表わしている。上部住吉崎岩床のものは混成作用を受けているので図に示さなかったが未分化のマグマは高アルミ玄武岩系列に属すと久城は述べている (Kushiro, 1964)。

温海の4つのアルカリ粗粒玄武岩の貫入学時の化学組成を第2表に示した。波渡崎岩床のものは粗粒玄武岩9個の平均である。化学的に温海アルカリ玄武岩はアルカリ玄武岩としては SiO_2 と Al_2O_3 が高く、 TiO_2 と P_2O_5 が少ないのが特徴である。久城 (1964) も指摘しているようにアルカリ玄武岩として Al_2O_3 が18%を超えるようなものは世界中で見出されていない。

温海アルカリ粗粒玄武岩床では有色鉱物の晶出順序をみると、上下部萱岡及び下部住吉崎岩床において、玄武岩マグマから、かんらん石、普通輝石に続いて紫蘇輝石が晶出し、更にビジオン輝石が現われている。アルカリ玄武岩の分化ではこの様な例は知られておらず、高アルミ玄武岩や石英ソレイト岩系のものと一致する (Kushiro, 1964)。一方波渡崎岩床では粗粒玄武岩マグマからかんらん石、普通輝石について少量ではあるが紫蘇

Table 2. Chemical analyses of the original magmas of Atumi sheets

	1	2	3	4
SiO ₂	48.89	50.39	49.26	50.05
TiO ₂	1.01	1.06	0.74	1.22
Al ₂ O ₃	19.89	18.09	19.87	18.40
Fe ₂ O ₃	2.95	1.05	3.68	1.31
FeO	5.19	6.99	5.25	6.92
MnO	0.09	0.13	0.18	0.14
MgO	7.44	9.00	7.90	8.51
CaO	10.21	9.00	7.33	8.02
Na ₂ O	3.29	3.17	4.30	4.43
K ₂ O	0.76	0.95	1.24	0.70
P ₂ O ₅	0.27	0.17	0.24	0.29

1. Hatozaki sheet (average of nine dolerite).
2. Lower Kayaoka sheet (Kushiro, 1964).
3. Upper Kayaoka sheet (Kushiro, 1964).
4. Lower Sumiyoshizaki sheet (Kushiro, 1964).

輝石が晶出し、更に分化の晩期に方沸石モンゾニー岩マグマからビジオン輝石が現われ、最晩期の方沸石閃長岩マグマからはソーダ輝石が現われている。この場合紫蘇輝石やビジオン輝石はかんらん石とは反応関係は認められず平行晶出をしている。通常 SiO₂ に飽和した玄武岩マグマではビジオン輝石は分化の中期に現われる。したがって波渡崎マグマの輝石の晶出作用をみると分化の初期と中期はカルク・アルカリ岩、晩期はソレイト、最晩期はアルカリ岩系列のものと一致するという全く異常な現象を示す。

通常玄武岩の岩系は構成鉱物の組合せと化学組成の両者から決定する。この方法は一般的には特に矛盾は生じないが、温海アルカリ玄武岩のような例外の場合は、化学組成からのみ決定せざるを得ない。

6. 分 化 作 用

第2図に示したように波渡崎岩床では貫入後、非常に厚い岩体であるにも拘らず上下部萱岡岩床や下部住吉崎岩床でみられるような鉄苦土鉱物の沈降集積による顕著な分化作用は認められず、いづれの酸化物も高さによる変化は乏しい。むしろかんらん石の沈降と斜長石の浮上は貫入直後に固結した下部接触部直上のものにのみ認められる。しかしながら晶出作用の晩期ないし最晩期に岩体からしほり出された方沸石モンゾニー岩と方沸石閃長岩マグマの組成は粗粒玄武岩よりも SiO₂ とアルカリに富み、一方 Al₂O₃、MgO 及び CaO に乏しい、しかし total FeO はほとんど一定で変化していない。

4つの温海アルカリ玄武岩々床の分化経路の特徴をみるため、それらの組成を MgO-total FeO-Na₂O+K₂O 図に点示した。波渡崎マグマは他の3つと同様、分化の初期から最晩期まで、Black Jack のテッセン岩 (Wilkinson, 1958) にみられる様な鉄の濃

Fig. 4. $\text{MgO}-\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ diagram. Symbols are the same as those given in Fig. 3.

集は認められず、 $\text{MgO}-\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ 線にはほぼ平行に変化しているのが特徴である。

引用文献

- 青木謙一郎 (1959) 山形県大滝粗粒玄武岩々床の岩石学的研究, 岩鉱, **43**, 135~140.
- Aoki, K. (1967) Petrography and petrochemistry of latest Pliocene olivine-tholeiites of Taos area, northern New Mexico, U.S.A., *Contr. Mineral. and Petrol.*, **14**, 190~203.
- Kuno, H. (1965) Fractionation trends of basalt magmas in lava flows. *Jour. Petrol.*, **6**, 302~321.
- Kushiro, I. (1964) Petrology of the Atumi dolerite, Japan. *Jour. Fac. Sci., Tokyo Univ., Sec. II*, **15**, 135~202.
- Wilkinson, J.F.G. (1958) The petrology of a differentiated teschenite sill near Gunnedah, New South Wales. *Am. Jour. Sci.*, **256**, 1~39.
- 山川 稔, 茅原一也 (1968) 佐渡島小木玄武岩の岩石学的研究 (その 1. 岩石化学的性質). 新潟大, 理, 地鉱研究報告 2 号, 41~79.