関東山地北部の 2, 3 の塩基性溶岩における主要化学成分の分布

内 田 信 夫*

Compositional variations within some basic lavas from the
northern Kanto mountains, central Japan

Nobuo UCHIDA*

Abstract Compositional variations of three basic pillows (Iijimazawa) and a sheet (Ōtabu) of Permian age from the northern Kantō mountains in central Japan have been investigated in detail. When the bulk compositions of 15 Iijimazawa specimens and 9 Ōtabu specimens are compared with one another, the relations between H_2O and other oxides are as follows:

- a) oxides with positive relation to H_2O Ōtabu sheet..... FeO^* , MgO
- b) oxides with negative relation to H_2O Ōtabu sheet.... SiO_2 , CaO , Na_2O , K_2O

Assuming that the distribution of the elements in a pillow (or a sheet) was originally homogeneous, the above-mentioned oxides may have been regularly added to or leached from those pillows (or sheet) during hydration.

All oxides of the Iijimazawa pillows and the oxides other than the above-mentioned ones of the Ōtabu sheet have no regular relation to H_2O . Furthermore, except TiO_2 and Al_2O_3 among them, the oxides show large deviations from each oxide's average value respectively, so they have probably been irregularly transported during hydration.

On the other hand, TiO_2 and Al_2O_3 in both Iijimazawa pillows and Ōtabu sheet show very small deviations from each oxide's average value; therefore, they may not have been transported during hydration, but have maintained their original values.

は じ め に

関東山地北部に分布する三波川変成帯およびいわゆる“秩父古生層”帯には、当時の海底に噴出した溶岩(一部ピロー)や岩床が存在する。これらはいずれもその後の変質・変成作用をうけて、岩体内外において元素の移動が行われた形跡があるので、これらの現在の主化学組成をもって、現世の火山岩類との対比を論ずるのは多分に危険である。

これまで、溶岩における噴出時以降の元素移動については多数の報告がでているが、その移動の論拠についての方法論は、大別すると次のようになる。

(1) 1個のピローで、中心部の組成と縁辺部のそれとを比較する方法。

(2) 確からしい原岩を仮定したうえで、それと比較する方法。例えば(イ)大洋底の溶岩を海嶺(ridge)から得られた溶岩(を原岩とみなして)と比較したり、あるいは(ロ)かつては地向斜に埋没したと考えられる古期溶岩の希土類元素(REE)のパターンから、それと同型のパターンを示す現世の溶岩と比較する方法。

(3) 実験室または野外で、試料を海水・温泉水または地下水などと、ある条件下で一定時間反応させて変化をみる方法。

例えば、(1)の方法に属する報告としては、PASTER (1968 MS), CANN (1969), HEKINIAN (1971), SHIDO *et al.* (1974), HART, S. R. *et al.* (1974) など、(2)の(イ)に属するものとしては、HART, R. (1970) などがある。これらは主として大洋底からドレッジされた溶岩を対象としているので、時代は比較的若いものが多く、また元素移動の原因は、海底風化(海水との反応)によるとみられているようである。そして HART, S. R. の報告にこ

1979 年 5 月 7 日 受理

* 成蹊高等学校, Seikei High School, Musashino City, Tokyo, 180 Japan.

第1図 関東山地北部の地質略図および
試料採取位置。

[地層] Sm 三波川層,
Mi 御荷鉾層, Sk 坂原
層, Ks 柏木層, Mm 万
場層.

[試料] a 太田部岩床,
b 飯島沢ピロー, c 白
石ピロー, d 磐戸ピロー,
e 鮎川ピロー.

[地名] t-Si 下仁田町,
t-On 鬼石町, m-A 赤久
縄山, m-M 西御荷鉾山,
m-J 城峰山, r-Kb 鮎川,
r-Ay 鮎川, r-Kn 神流川.

これらの結果がまとめられているが、例外もあるが傾向としては、原岩にくらべて増加（たぶん添加の結果）している元素としては、 FeO^* , MnO , K_2O , H_2O など、減少（たぶん溶脱の結果）しているものとしては、 SiO_2 , CaO などで、 TiO_2 , Al_2O_3 , MgO , Na_2O などは両方のタイプがあるようである。もっとも HART, S. R. *et al.* (1974) によれば、HART, R. (1970) の深海底玄武岩のデータからは、時間の経過に応じて、変質の初期には減少しているのにとでは増加に転じたり (Al_2O_3)、また初期にはほとんど変化がみられないのにとでは増加したり (Na_2O , TiO_2 , P_2O_5 など) するらしいことが読みとれるという。

一方、古期（おそらく中・古生代）溶岩については、(1)の方法による BAIRY *et al.* (1964), VALLANCE (1965), HATTORI *et al.* (1972), 丸山 (1976) などの、また(2)の(ロ)の方法による HERRMANN & WEDEPOHL (1970) などの報告がある。ただ古期溶岩の場合、(1)の方法によって、ピローの縁辺部 (rim または margin) と内部 (core または middle) とを比較した場合、その内部自身における元素分布が、新期の溶岩内でのそれに比べては、相当バラつきが大きいようなので、比較すべき原岩としての化学組成が相当頼りないと思われる。

(3)による方法としては、荒牧・原村 (1966), 小坂 (1968), HAJASH (1975), BISCHOFF & DICKSON (1975), SEYFRIED & BISCHOFF (1977) などの報告がある。

本域では、当時（二疊～石炭紀）の海底に噴出したピロー溶岩や、あるいは同時代に貫入したと思われる岩床

などは、その後の変質・変成作用を受けた結果、原岩の組成を保持していると考えられる未変質のものは皆無のようであるから、こういう古期溶岩における元素移動を論ずるにはどういう方法をとればよいかということになる。上記(2)の(ロ)のような方法もあるが、本稿では、いくつかのピロー個体内部における、または1枚の岩床の内部における主要成分の分布変異から、これらの噴出固結時以降の元素移動の有無、その方向性（添加か溶脱か）などを考えてみる。

地 質 略 説

本域の地質学的研究は、藤本 (1935 a, b), 秩父団研グループ (1961), 内田 (1966), 大久保・堀口 (1969), INOUE (1974), TORIUMI (1975) らによって行われ、その層序は、人により地層名は少しずつ異なっているが、下位から上位へと、(1)三波川層、(2)御荷鉾層、(3)坂原層、(4)柏木層、(5)万場層、(6)上吉田層の順であることは、ほぼ一致した見解であった* (第1図)。

その後、佐藤ほか (1977) は、上記(3)の坂原層の石灰岩から三疊紀後期のコノドントを発見し、この坂原層を南方の上吉田層と同時異相のものとみなし、神流湖琴平橋付近の詳しい構造解析から、下位から上位へ万場層—柏木層—坂原層（ただし後2者を一括して坂原層と命名）の順とみなし、従来の層序・構造観を一挙にくつが

* ただし、藤本は上記(1)(2)を長瀬系と呼び、(3)～(6)のいわゆる秩父系とは断層（御荷鉾線）関係にあるとし、両者を同層相とみなし、多分時代も同じものとみていたようである。

えた。

筆者は、佐藤ほか (1977) の報告に触発されて、1978 年から 1979 年前半にかけて、本域の地質構造の再検討を行ったが、現在のところ以下のような考えに達している。

(1) 柏木層や坂原層内のドラッグフォールドには、本域の地層の一般走向 (N70°W, これを 1 次構造と呼んでおく) に斜交する軸 (おそらく第三紀以降の変動によるもの、2 次構造と呼ぶ) をもつものがあり、これが露頭の切り方いかんによっては、1 次構造にとって normal にみえたり reverse にみえたりするので、注意を要する。

(2) 上記の 2 次的ドラッグを排除して、1 次的ドラッグ (つまり軸がほぼ東西性のもの) のみを目安にして構造を考えてみると、なるほど佐藤ほかのいうとおり、柏木・坂原層とも相当褶曲のくり返しが見られる。

(3) しかし大局的にみると、柏木層の上位に万場層が位置することはほとんど疑いない (太田部沢、馬立沢、柏木部落付近)。また柏木層と坂原層との関係は、一部断層関係のところ (赤土橋～河原橋) もあるが、本来は整合に前者が上位にのっているところ (扇屋沢) もあることなどから、佐藤ほかの結論は構造的には肯定できない。従来どおり下位から上位へ御荷鉾層―坂原層―柏木層―万場層の順である。

(4) したがって、万場層の時代が従来いわれてきたとおり二畳紀ならば、佐藤ほかの発見した三畳紀のコノドントを含む石灰岩などは、サンドウィッチ状に坂原層内にはさまれているものではないだろうか。

いずれ、詳しい報告は別の機会に発表する予定であるが、一応ここでは、万場層の時代は二畳紀、御荷鉾層はそれ以前 (おそらく石炭紀) のものとみなしておく。

試料採取法および分析結果

前節でのべた本域の各地層のうち、特に万場層と御荷鉾層とは、主として火山性物質 (溶岩や岩床および火山砕屑物) からなる。ここでは万場層に属する 1 枚の岩床* (太田部岩床と呼ぶ。第 1 図参照) の、ある断面から数 cm おきに拳大 (200~300 g) の 9 個のサンプルをとり、また同じく万場層に属するピローの重なり (飯島沢ピロー群) のうち、互いに隣接する 3 個のピローのおのおのから、それぞれ 4 個 (D-1 ピロー)、4 個 (D-2 ピロー)、7 個 (D-3 ピロー) のサンプルをとって、主要 14 成分を分析し、第 1 表 (a) および (b) にそれぞれ示しておく。また第 2 図 (a) (b) にそれらの採取位置図

* 野外の観察では、岩床かどうかははっきりしないが、鏡下の観察からは、ophitic 組織を示すことから、そう判断される。

第 2 図 各ピローおよび岩床内での試料番号図。

a 太田部岩床, b 飯島ピロー群,
c 白石ピロー, d 磐戸ピロー。

を示す (写真は、内田 (1976**) を参照されたい)。

さらに、万場層に属するピロー 2 個 (白石ピローおよび磐戸ピロー) および御荷鉾層に属するピロー 1 個 (鮎川ピロー) では、ピローの縁から中心へ向ってほぼ一直線上に沿って 5~6 ヶ所から 30~40 g のサンプルをとり、 Na_2O , K_2O , $\text{H}_2\text{O}(+)$ の 3 成分のみの値を求め、その結果を第 1 表 (c) に示しておく。また以上のうち白石ピローと磐戸ピローにおける試料採取位置図を、同じく第 2 図の (c) (d) に示しておく (写真は内田 (1968) を参照)。

上にのべたピローはすべて、肉眼的には縁辺部 (rim) の存在は明瞭ではない。これらの岩石名および構成鉱物は以下のとおりである。

a) 太田部岩床……“Diabase” (k-1469). ophitic 組織を示す。残留鉱物は Ti-輝石 (多数)。変成鉱物は緑泥石 (+)***・絹雲母・楣石・ラン閃石・曹長石。脈鉱物は方解石。

b) 飯島沢ピロー……“Variolitic olivine basalt” (k-1553). 残留鉱物は、オリビン (仮像)・羽状単斜輝石・スピネル。変成鉱物は (オリビン) →パンペリー石 + 緑泥石 (-) に変化。他にパンペリー石・楣石・曹長石・緑泥石 (-)・絹雲母。脈鉱物は、方解石 + 絹雲母 + 緑泥石 (-) + 曹長石。

c) 白石ピロー……“Variolitic olivine basalt” (k-841). 残留鉱物は、オリビン (仮像)・羽状単斜輝石。

** 内田 (1976) の第 1 表の 4 個体の分析値のうち、三沢溶岩と万場高裏ピロー様溶岩とは、その後の検鏡の結果、凝灰岩の疑いができたので、本稿では省いた。この件については橋本光男氏の御教示を得た。

*** 記載中の緑泥石 (+), (-) は光学性の正負を示す。(+) は $\text{Mg}/\text{Fe} > 1$, (-) は $\text{Mg}/\text{Fe} < 1$ 。

変成鉱物は (オリビン)→緑泥石+アクチノ閃石に変化。
他にアクチノ閃石・絹雲母・楣石。

d) 磐戸ピロー……“Basalt” (US-3228). 残留鉱物は
単斜輝石。変成鉱物は、パンペリー石・絹雲母・緑泥石
(+)・方解石・曹長石・石英・赤鉄鉱。

e) 鮎川ピロー……“Actinolite-chlorite schist” (US-
3304). 変成鉱物のみからなる。アクチノ閃石・緑泥石
(+)・楣石。脈鉱物として曹長石+緑レン石。

考 察

第1表にみるとおり、これらのピローおよび岩床の組成は、現世のものに比べて、いずれも $H_2O(+)$ 、または $H_2O(\pm)$ が多い*。現世の溶岩では陸上噴出のものは勿論、海底噴出のものでも、ごく表面の風化をうけたところは別として、新鮮な内部では H_2O は少ない (1例として MIYASHIRO *et al.*, 1969; SHIDO *et al.*, 1974) ので、この表にみられるような相当量の H_2O は、それら

第1表(a) 太田部岩床の主化学組成。1~9は第2図(a)参照 (分析者: 大森江い)。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Ave.
SiO ₂	43.23	44.68	44.68	44.55	45.28	45.23	46.03	44.38	42.08	44.46
TiO ₂	1.43	1.49	1.53	1.45	1.54	1.61	1.53	1.54	1.63	1.53
Al ₂ O ₃	12.34	12.59	12.74	11.81	12.72	13.47	12.24	12.66	11.42	12.44
Fe ₂ O ₃	2.92	3.61	3.53	3.67	3.66	2.93	4.21	3.54	3.89	3.55
FeO	8.08	7.29	7.84	6.95	8.08	7.98	7.29	7.98	8.59	7.79
MnO	0.21	0.19	0.20	0.19	0.21	0.20	0.20	0.24	0.24	0.21
MgO	13.80	11.40	12.36	12.49	12.87	12.95	12.87	13.77	14.43	12.99
CaO	8.76	9.03	8.05	9.40	7.28	7.12	7.28	7.23	8.06	8.02
Na ₂ O	2.76	3.22	2.96	3.02	3.07	3.33	3.15	2.87	2.69	3.01
K ₂ O	0.20	0.78	0.78	0.60	0.52	0.30	0.76	0.56	0.15	0.52
H ₂ O -	4.52	3.76	4.20	3.98	4.41	4.50	4.13	4.35	4.89	4.30
+										
P ₂ O ₅	0.16	0.19	0.18	0.17	0.18	0.18	0.18	0.18	0.22	0.18
CO ₂	1.61	1.88	1.03	1.92	0.38	0.41	0.19	0.16	1.17	0.97
Total	100.02	100.11	100.08	100.20	100.20	100.21	100.06	99.46	99.46	99.97
FeO*	10.71	10.54	11.02	10.25	11.37	10.62	11.08	11.17	12.09	10.99

FeO* は FeO に換算
した全鉄 (以下(b)
についても同じ)。

第1表(b) 飯島沢ピローの主化学組成。1~15は第2図(b)参照 (分析者: KAS)。

	D-1				D-2				D-3							Ave.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
SiO ₂	51.55	46.35	49.71	49.46	48.22	47.67	48.91	46.56	51.71	51.28	48.59	47.93	48.04	47.55	48.72	48.82
TiO ₂	0.69	0.60	0.69	0.66	0.63	0.51	0.62	0.60	0.67	0.66	0.76	0.60	0.56	0.68	0.65	0.64
Al ₂ O ₃	15.53	14.55	15.59	15.23	15.23	15.02	14.92	14.83	16.01	15.06	15.88	15.79	14.96	15.59	15.54	15.30
Fe ₂ O ₃	3.99	4.79	4.19	4.33	4.32	5.00	4.75	4.91	4.08	4.29	5.26	4.13	4.09	5.37	5.21	4.58
FeO	6.03	5.23	5.75	5.99	6.38	4.50	5.46	5.34	5.60	6.43	7.03	5.58	5.80	5.87	6.53	5.83
MnO	0.15	0.15	0.16	0.16	0.16	0.14	0.15	0.15	0.13	0.17	0.18	0.15	0.14	0.17	0.15	0.15
MgO	5.43	4.33	4.37	4.65	4.71	3.91	4.12	3.73	5.37	5.08	6.12	3.99	4.37	4.94	6.08	4.75
CaO	5.52	12.47	12.65	10.43	9.60	14.08	12.53	14.11	4.26	10.14	5.87	13.70	13.77	10.96	4.81	10.33
Na ₂ O	3.11	3.01	2.29	3.92	3.02	2.12	3.22	2.31	3.30	1.85	2.44	1.50	2.44	2.26	1.77	2.57
K ₂ O	3.10	3.91	0.35	0.42	1.46	0.32	0.28	0.33	4.21	0.73	3.16	0.41	0.13	0.59	4.65	1.60
H ₂ O -	1.02	0.58	0.64	0.68	0.50	0.73	0.44	0.58	0.75	0.70	1.09	0.56	0.80	1.06	0.70	0.72
+	4.18	2.76	2.47	3.36	4.93	4.58	3.73	5.01	4.43	2.99	3.59	4.73	3.72	4.41	4.24	3.94
P ₂ O ₅	0.23	0.47	0.46	0.42	0.18	0.23	0.20	0.37	0.10	0.16	0.15	0.43	0.55	0.22	0.06	0.28
CO ₂	0.16	0.15	0.15	0.15	0.14	0.26	0.06	0.08	0.06	0.12	0.06	0.09	0.21	0.17	0.16	0.13
Total	100.69	99.35	99.47	99.66	99.48	99.07	99.39	98.91	100.68	99.66	100.18	99.59	99.58	99.84	99.27	99.64
FeO*	9.62	9.54	9.52	9.89	10.27	9.00	9.74	9.76	9.27	10.29	11.76	9.30	9.48	10.70	11.22	9.95

* CO₂ は肉眼的になるべく脈 (万場層のものでは、ほとんど方解石よりなる) の少ないところを選んだせいか割合に少ない。

第1表(c) 白石・磐戸・鮎川ピローのアルカリと $H_2O(+)$. Shiraishi 1~5, Iwado 1~6 は, それぞれ第2図(c), (d) 参照 (分析者: 白石ピローは分析化学研究所, 他は KAS).

	1	2	3	4	5	6
Shiraishi						
Na_2O	4.09	1.64	2.16	2.95	3.20	
K_2O	1.65	6.08	3.29	2.70	2.50	
$H_2O(+)$	3.30	4.70	3.97	4.09	3.76	
Iwado						
Na_2O	4.38	4.07	4.50	4.35	4.31	5.69
K_2O	0.68	1.26	1.37	2.21	2.54	1.97
$H_2O(+)$	4.29	4.23	3.54	7.11	3.65	3.68
Ayukawa						
Na_2O	2.56	2.38	2.10	1.99	1.72	2.60
K_2O	0.19	0.14	0.14	0.17	0.10	0.12
$H_2O(+)$	3.46	4.15	4.19	3.87	4.85	4.89

第3図(a) $H_2O(\pm)$ と他の酸化物との関係。

1 太田部岩床, 2 飯島沢ピロー。

の固結後に侵入してきたものとみなしてよいであろう。そして各岩体にとって, H_2O 侵入前後の総重量はほぼ不変だったとみなせば, 当然その侵入に伴って他の元素の溶脱(元素によっては添加)があったとみてよいだろう。

そこで, 第3図(a)および(b)のように $H_2O(\pm)$ または $H_2O(+)$ を横軸に, 他の酸化物を縦軸にとって, お互いの関連性をみてる (飯島沢ピローはD-1およびD-2 ピローのサンプル数がおのおの4個ずつと少ないので, D-3 ピローも含めて全部一緒にして扱っておく)。

(イ) H_2O と正の相関をもつもの

太田部岩床 FeO^* , MgO

白石ピロー K_2O

(ロ) H_2O と負の相関をもつもの

太田部岩床 SiO_2 , CaO , Na_2O , K_2O

白石ピロー Na_2O

磐戸ピロー K_2O

鮎川ピロー Na_2O

上記以外のものは, H_2O に対して正または負の相関性が明瞭でないが, そのうちでも

(ハ) 上下幅が広いもの, つまり H_2O との関連性が全くデタラメなものが多い (飯島沢ピローは仮にD-1, D-2, D-3の各個体毎に分けてプロットしてみても, このことはほぼ成り立つ)。

しかし, よく注意してみると

(ニ) 上下幅が狭く, ほぼ水平に近く並んでいるもの

第3図(b) $H_2O(+)$ とアルカリとの関係。

1 白石ピロー, 2 磐戸ピロー,

3 鮎川ピロー。

が以下のとおりある。

太田部岩床 TiO_2

飯島沢ピロー TiO_2

(実は, Al_2O_3 もそうだが, これについてはあとで
うであるゆえんを検討する. また鮎川ピローの K_2O
はあまりにも重量 % が小さいので議論の対象から
省く)

以上の(イ)(ロ)にとりあげた例に飯島沢ピローのものが1つもはいていない. つまり飯島沢の各酸化物の分布は H_2O との相関性が全くないのだが, その理由がよく分らない.

(a) 以上のような溶岩内部における元素分布は最初からそういう分布をしていたのか, あるいは固結時以降の移動の結果そうになったのか, を考察するには, 現世の溶岩の固結時における元素分布と比較したうえでないと議論できない.

現世の海底に噴出したピローの内部における化学組成については, 中央大西洋海嶺から得られたいくつかについての SHIDO *et al.* (1974) の報告があるが, ガラス質の辺縁部や風化を受けたものは別として, 新鮮な内部においては組成上わずかな不均質が認められるとはいえ, 本域の古期溶岩について考えようとする場合, その差異は殆んど無視できる位で, それらはほぼ均質であるとみなして少しも差支えない. それで本域のものも当初の固結時においてはほぼ均質であったと仮定すると, 上記(イ)(ロ)(ハ)のような元素はその後移動した(溶岩内部においてか, あるいは外部との間においてかは今は問わないとして)ことを示していることになる.

しかし, 一方現世のものでも不均質な例も知られている. 八木 (1974) が報告したアイスランドのピロー(湖底に噴出した)では, 早期晶出のカンラン石の重力沈積の結果, 例えば MgO は1個のピローの上部で 9.9%, 下部で 14.5% と差があるという. それで本域の例を検討するに, 太田部岩床ではカンラン石(の仮像)は鏡下で見当たらないが, 残留鉱物の Ti-augite は相当量あり, しかしその量には採取位置の上方下方での差異が殆んどないので, むしろ固結時にはほぼ均質であったとみなしてよいようである. 飯島沢ピローはカンラン石の仮像をもつが, ただ鏡下でそうだとはいきり同定できないのもあるので, ピロー内部でのカンラン石の量差をうんぬんするのは危険である. それで一步譲って, 飯島沢ピローのおおののは固結時においてアイスランドの例のように不均質(下部が MgO に富むという)であって, その後

第4図 SiO_2 -($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)図 (H_2O および CO_2 free 値).

1 太田部岩床 (9 個), 2 飯島沢 D-1 ピロー (4 個), 3 飯島沢 D-2 ピロー (4 個), 4 飯島沢 D-3 ピロー (7 個).

破線は, ハワイにおけるアルカリ岩系とソレイト系との境界を示すマクドナルド-桂の線.

現在に到るまで元素の移動がなかったとすれば, 現在の元素分布にそれが保持されていなくてはならない. ところが第2図(b)にみるとおり, 各ピローで下部(飯島沢ピローは逆転はしていないようである)から得られたサンプルは, D-1 ピローの1, D-2 ピローの5, D-3 ピローの11と14であるが, それらの MgO 量を第1表(b)でみると, D-1ピローとD-2ピローのそれは, たしかに他の位置(より上部の)のものより多い. D-3ピローでは11も最高値をもつが, 14については, これより MgO が多いものが上部に3ヶ所ほど存在する. したがって MgO のみについてはあるが, 飯島沢ピローは固結時に既に不均質であったとしても(均質であったなら勿論のこと), その後元素の移動はあったとみなしてよいことになる.

以上のような検討の結果, ともかくも上記(ニ)以外の元素群は, H_2O との相関性の有無にかかわらず“移動した元素”であるといえるであろう.

したがって, これら古期溶岩のどこからか拳大の1個のサンプルを採取して, その分析値から例えば, SiO_2 -($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)図にプロットして岩系を論ずるのは, 移動量の絶対値が分らない限り相当危険なことであろう. もっとも, 太田部岩床の場合, SiO_2 も $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ もともに H_2O と負の相関(傾斜は異なるが)にあるので, 第2図にみるとおり9個のデータはハワイのアルカリ岩系とソレイト系との境界を示す, いわゆるマクドナルド-桂の線にほぼ平行に並び, どの1個のサンプルをプロットしてもアルカリ岩系だろうことはいえる. し

かし飯島沢ピローの場合は、3個のピローのどの1個をとっても、それらのおのおのの内部自身においてすら、採取位置いかんによりアルカリ岩系と出たりソレアイト系と出たりする。また分化系列を示す $\text{MgO-FeO}^*-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 3成分図を描く場合でも、太田部岩床の場合、 MgO と FeO^* とは H_2O に対して正の、 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ は負の相関にあるのでやはり危険である。飯島沢ピローの場合も、 $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ の分布域があまりにも上下に開きすぎている。

(b) 以上の話は、古期溶岩内部の1ヶ所から拳大のサンプルをとって分析値を出す場合の危険性をいっているのだが、これらすべての分析値を平均してしまったときの値、あるいはピローのある断面から相当数のサンプルをとって混合粉碎した試料を分析に供した場合の値ならどうか、についてはふれていない。つまり上記の諸元素の移動が外部との間に行われたのか、あるいは溶岩内部でのみ行われたのかを考えてみなければならない。もし後者だったらそういう平均値 (H_2O -free 値に補正した) は原岩の組成を示していることになる。

この件に関しては、本節の始めの方にふれておいたように、 H_2O が3~6%もある以上、その見返りとしていずれかの元素の溶脱(元素によっては添加?)があったはずだと考えるほかないであろう。

しかし、外部との移動はなくて、 H_2O の流入のみが行われたのでは? という疑問に対しては、飯島沢ピロー群のように、隣接するピロー同士の平均組成を比較してみる(固結時には各ピローとも同一組成であったとの仮定のもとにだが)のも1つの検証法となる。ただし今回は飯島沢の D-1, D-2 ピローともサンプル個数が少なすぎるので、ここでは検証をさけるが、その結果互いに相当異なった組成が得られれば、外部とのやりとりの結果とみなしてよいであろう。

いずれにしても、その個体の各分析値の平均値で何かを議論しようとしても不安は残りそうである。

(c) 次に、外部との間で元素の移動があったとして、その方向性(H_2O の流入に伴って溶脱した元素は確実にあったとして、反対に添加されたものはないのか? といった)について考えてみる。

荒牧・原村(1966)は鹿児島県三船の流紋岩質ガラスをオートクレイブに入れて 250°C で約 40 時間加熱した試料を原試料と比べて、 H_2O が増加し、 Na_2O が減少していることを報告している。SEYFRIED & BISCHOFF (1977) は Juan de Fuca Ridge の玄武岩質ガラスを 260°C , 500 bar 下の人工海水中で 2,400 時間反応さ

せた結果を原試料と比べて、生成物への H_2O および Mg の添加、原試料から海水中への SiO_2 , Ca などの溶脱を報告している。以上の実験では、いずれも得られた生成物は1個のみのデータなので、 H_2O 量と上記の元素の量とが、途中で直線的に比例または反比例しているのかどうかは分らないのだが、荒牧・原村の報告では別に分析した三船の同一(天然)岩体中でのいくつかのサンプルでは $\text{H}_2\text{O}(+)$ と Na_2O とは負の相関をもっているというから、たぶん実験物体でも両者は途中の段階で正または負の相関性を保っていたとみなしてよいようである。また試料はいずれもガラス質で、本域のような溶岩または岩床とは条件(物質のみならず温度・圧力・水の組成など)が大いに異なっているようだが、以上の結果を参考にすると、本域の場合、

- 本節のはじめにみた(イ)のような H_2O と正の相関性を示す元素は、たぶんそこに侵入定着した H_2O の量に比例して外部から添加されたもの(もちろん一部は始めから含まれていたもの)。

- また同じく(ロ)のような負の相関性をもつものは H_2O の侵入通過に伴って溶脱して行ったもの(そして残部がそこに定着した H_2O 量に反比例して残った)ということがいえよう。一方、

- (ハ)のような場合、これらの元素が外部とのやりとりを行った結果、こういう H_2O と無関係な分布を示すようになったのだらうということはいえても、どの元素が溶脱したのか、あるいは添加されたのか、については全く判定の手段がない。

太田部岩床の場合、不思議と現世の火山岩の岩系や分化系列を議論するさいに使用する元素群 (SiO_2 , $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$, FeO^* , MgO) がいずれも H_2O と正または負の相関をもつので、こういうものでは、第3図(a)から、 H_2O 量 0.5~1% 位の値に外挿した各値を原岩の組成として利用すればよいかも知れない*。しかし、他の個体の例も考え合わせてみると、例えば K_2O は H_2O と正(白石ピロー)の相関にも、負(太田部岩床、磐戸ピロー)の相関にもあるし、また飯島沢ピローでは大部分の元素がデタラメであるし、本域の古期溶岩における各元素の H_2O との相関性、ひいては溶脱・添加といった方向性を一般化することはとてもできそうにもない。

(d) 本節のはじめで、各個体の分析値から H_2O と他の元素との関連性を検討したさい、 H_2O 量の大小と無関係で、かつ上下幅が狭い元素、つまり個体内部でのバ

* もっとも、0.5~1% の位置まで、第3図にみられる直線関係を保っているかどうかは保証の限りではない。

第5図(a) 各酸化物の偏り図。

横軸：真の差 $(= \frac{x_i - \bar{x}}{\bar{x}} \times 100)$ 。ただし $\bar{x}$ は各酸化物の平均値) の絶対値を5%毎に区切ったもの。

40% 以上は1括して×印とした。

縦軸：試料個数。

1 太田部岩床, 2 飯島沢ピロー。

第5図(b) (a) に同じ。

1 白石ピロー, 2 磐戸ピロー,

3 鮎川ピロー。

ラつきが小さい元素として、太田部岩床、飯島沢ピローとも TiO_2 が共通に浮かび上ってきた。そして第3図(a)をみる限りは一見 TiO_2 のみのように見える。しかし、図は縦軸を各元素とも同一間隔にとっているの、この上下幅の狭い広い、つまりバラつきの小さい大きいということも見かけ上のことも知れない。例えば、 TiO_2 はいずれも1~2%前後の値であるから狭く見えるのかも知れない。逆に SiO_2 は飯島沢ピローの場合、最低48%台から最高54%台と6%も差があり、バラつきが大きいように見えるが、これも50%前後における差である。

それで、真のバラつき工合をみるために、各酸化物毎の平均 $\bar{x}$ (第1表(a)~(c)の最右欄)と、個々の値 x_i との差 $x_i - \bar{x}$ (偏差 deviation) の、 $\bar{x}$ に対する百分比、

つまり $(x_i - \bar{x} / \bar{x} \times 100)$ を出し、その値(ここでは絶対値のみをみればよい)を5%毎に区切って横軸にとり、縦軸にその個数を示したものが、第5図(a)(b)である。つまりこの図で左方に黒丸が集中している酸化物ほど、個々の岩体内での真のバラつきが小さいことを示している。

この図をみると、実は SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , FeO^* の4種が、比較的真のバラつきが小さい酸化物であることが分かる。ところがこのうち、 SiO_2 と FeO^* の2つは、本節のはじめでみたように、太田部岩床の場合、 H_2O とははっきりした相関性がある、 H_2O の流入に伴って移動した元素である疑いが濃い。しかし、残りの Al_2O_3 と TiO_2 とは、(1) H_2O との関連性が認められないし、(2)かつ真のバラつきも小さいということから、これらは多分に移動しにくかった元素で、原岩の組成を保持しているとみなしてよさそうである。

もちろん、移動しなかったといっても、あくまで相対的な問題で、現世の新鮮な溶岩内部に比べては、はるかに大きいバラつきをもっているのだが、古期溶岩内では、他の元素に比べては割合にバラつきが小さいということである。また、この結論も、万場層に属するわずかな2個体に関するデータから得られたものである。例えば SMITH (1968) はオーストラリアのデボン紀の基性の溶岩について、数 m の範囲内での多数の分析値を報告しているが、それによると Al_2O_3 はあまりバラついていないが、 TiO_2 は相当バラついているようである。本稿でのべたような方法でのっと多数のデータが欲しいものである。

また、 Al_2O_3 と TiO_2 が本域では、なぜ比較的動かなかったかは、今のところその理由はよく分らない。小坂(1968)によれば、原岩と反応関係にある温泉水や地下水の pH いかんによって、例えば、強酸性のときは Si が弱酸性および中性のときは Al が、アルカリ性の場合 Fe が溶解しにくいという。あるいは本域の場合も、反応に与かった水の pH が関係しているのかも知れない。

ま と め

関東山地北部に分布する万場層(二疊紀)に属する1枚の岩床(太田部)から9個の、また互いに隣接する3個のピロー(飯島沢)からは15個の試料をとり、おのおのの全岩組成を出してみた。さらに白石ピロー、磐戸ピロー(以上万場層)および鮎川ピロー(御荷鉢層—多分石炭紀—)からは5~6個の試料をとり、おのおのについて、 Na_2O 、 K_2O 、 $\text{H}_2\text{O}(+)$ の3成分を出してみた。これらについて個体毎に H_2O に対する他の酸化物の関係を検討してみると

1. H_2O と正の相関にあるものは、太田部岩床の MgO 、 FeO^* 、白石ピローの K_2O 。また負の相関にあるものは、太田部岩床の SiO_2 、 CaO 、 Na_2O 、 K_2O 、白石ピローおよび鮎川ピローの Na_2O 、磐戸ピローの K_2O であった。おそらく前者は H_2O の侵入に伴って規則的に外部からその一部が添加されたもので、後者は規則的に溶脱して行ったその残りであろう。

2. 上記以外の元素は、 H_2O との相関性がないが、そのうちでも Al_2O_3 と TiO_2 を除く他の元素は、おのおのの個体内部でのバラつきが大きい。たぶんこれらは H_2O の流入に伴って不規則的に移動したものであろう。しかしどれが添加されたものか、あるいは溶脱して行った残りかは分らない。

3. したがって、上記1, 2からみて本域のような古期溶岩の全岩分析値から、例えば $\text{SiO}_2-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ 図などで岩系を論ずるのは相当危険なことであろう。

4. 一方、 Al_2O_3 と TiO_2 とは、太田部岩床でも飯島沢ピローでも、 H_2O の量と相関がなく、かつそのバラつきも比較的小さい。多分この2元素は固結時以降、 H_2O の侵入量と無関係に岩体内であまり移動しなかった元素と考えられる。

謝辞 本研究の遂行に当り、いろいろな方々のお世話になった。野外調査では荒牧重雄・豊原富士夫・滝沢茂の諸氏、化学分析では山田久夫・服部 仁・原村 寛・大森江い・KAS の方々にお世話になった。薄片鑑定は橋本光男氏の手をわずらわした。また坪井誠太郎先

生、木村敏雄・都城秋穂の諸兄、東大地質学教室第1講座の方々にはいろいろ御教示頂き、精神的な御援助も得た。文部省科学研究費(代表岩崎正夫氏)および成蹊学園当局からの経済的援助も受けた。以上の方々に心から感謝の意を表する次第である。

文 献

- 荒牧重雄・原村 寛, 1966: 火山ガラスの加水に伴う Na_2O の溶脱—実験的研究—。地質雑, **72**, 69—73.
- BAILEY, E. H., IRWIN, W. P. and JONES, D. L., 1964: Franciscan and related rocks, and their significance in the geology of western California. *Bull. Div. Mines Geol. Calif.*, **183**, 1—177.
- BISCHOFF, J. L. and DICKSON, F. W., 1975: Seawater-basalt interaction at 200°C and 500 bars: Implications for origin of sea-floor heavy-metal deposits and regulation of seawater chemistry. *Earth Planet. Sci. Letters*, **25**, 385—397.
- CANN, J. R., 1969: Spilitite from the Carlsberg Ridge, Indian Ocean. *Jour. Petrol.*, **10**, 1—19.
- 秩父団研グループ, 1961: 神流川流域の秩父古生層について。地球科学, no. 57, 1—11.
- 藤本治義, 1935a: 関東山地北部の地質学的研究。地質雑, **42**, 137—151.
- , 1936b: 関東山地北部の地質学的研究。同上, **42**, 163—181.
- HAJASH, A., 1975: Hydrothermal processes along mid-ocean ridge: an experimental investigation. *Contr. Miner. Petrol.*, **53**, 205—226.
- HART, R., 1970: Chemical exchange between sea water and deep ocean basalt. *Earth Planet. Sci. Letters*, **9**, 269—279.
- HART, S. R., ERLANK, A. J. and KABLE, E. L. D., 1974: Sea floor basalt alteration: some chemical and Sr isotopic effects. *Contr. Miner. Petrol.*, **44**, 219—230.
- HATTORI, H., SUGISAKI, R. and TANAKA, T., 1972: Nature of hydration in Japanese Paleozoic geosynclinal basalt. *Earth Planet. Sci. Letters*, **15**, 271—285.
- HEKINIAN, R., 1971: Chemical and mineralogical differences between Abyssal hill basalts and ridge tholeiites in the Eastern Pacific Ocean. *Marine Geol.*, **11**, 77—91.
- HERRMANN, A. G. and WEDEFOHL, K. H., 1970: Untersuchungen an spilitischen Gesteinen der variskischen Geosynkline in Nordwestdeutschland. *Contr. Miner. Petrol.*, **29**, 255—274.
- INOUE, M., 1974: Geologic structure of the Chichibu terrain in the Kanto mountainous land, Japan. *Jour. Fac. Sci. Univ. Tokyo*, **19**, 1—25.
- 丸山茂徳, 1976: 四国東部秩父帯中の沢谷緑色岩コンプレックスの化学的性質。地質雑, **82**, 183—197.
- MIYASHIRO, A., SHIDO, F. and EWING, M., 1969:

- Diversity and origin of abyssal tholeiite from the mid-atlantic ridge near 24° and 30° north latitude. *Contr. Miner. Petrol.*, **23**, 38—52.
- 大久保雅弘・堀口万吉, 1969: 万場地域の地質, 地域地質研究報告 (5 万分の 1 図幅). 1—66. 地質調査所.
- 小坂文予, 1968: 火山温泉地域における岩石の変質現象について. 地熱, **17**, 65—79.
- PASTER, T. P., 1968 MS: Petrologic variations within submarine pillows of the South Pacific-Antarctic Ocean. *Ph. D. Thesis. Florida State Univ., Tallahassee.*
- 佐藤 正・滝沢 茂・古田士俊夫, 1977: 群馬県鬼石町の坂原模式地付近の層序と構造の改訂. 地質雑, **83**, 631—637.
- SEYFRIED, W. and BISCHOFF, J. L., 1977: Hydrothermal transport of heavy metals by seawater: the role of seawater/basalt ratio. *Earth Planet. Sci. Letters*, **34**, 71—77.
- SHIDO, F., MIYASHIRO, A. and EWING, M., 1974: Compositional variation in pillow lavas from the mid-atlantic ridge. *Marine Geol.*, **16**, 177—190.
- SMITH, R. E., 1968: Redistribution of major elements in the alteration of some basic lavas during burial metamorphism. *Jour. Petrol.*, **9**, 191—219.
- TORIUMI, M., 1975: Petrological study of the Sambagawa metamorphic rocks. *Univ. Museum. Univ. Tokyo*, **9**, 1—99.
- 内田信夫, 1966: 関東山地北部の地質に関する 2, 3 の事実. 成蹊論叢, **5**, 3—22.
- , 1968: 2, 3 の枕状溶岩におけるアルカリと $H_2O(+)$ の分布について. 同上, **7**, 3—13.
- , 1976: 古期溶岩の面分析値. 同上, **15**, 3—20.
- VALLANCE, T. G., 1965: On the chemistry of pillow lavas and the origin of spilites. *Min. Mag.*, **34**, 471—481.
- 八木健三, 1974: アイスランド, ニュージーランドおよび北アメリカの枕状溶岩. 海洋科学, **6**, 29—34.