

中近東フィールド・ノート⑥

アラビア盾状地のメタボルカニック・フォーメーション

高橋 清 (技術部)

アラビア盾状地の火山岩累層

1969年末に新しく調査団員として サウジアラビアに着任した大沢穠さんをジェッダ市の北西約 200 km の北サムラン地域に案内した時のことである。「グリーンタフ地域は自分の庭のようなものだけれど プレカンは未だ一度も見ていないから……」と不安がっていた大沢さんは ワジ・ハワラ (Wadi Hawalah) の火山岩累層を見て「これはグリーンタフとそっくりだ!」と大いにハッスルしたことを憶い出す。火山岩累層全体は広域変成作用により緑色片岩相にまで変成しているが 溶岩流・火山砕屑岩・砂泥岩互層などの識別は可能で 火山砕屑岩も凝灰角礫岩・ラピリ凝灰岩・細粒凝灰岩などの区別もつき 溶岩流の中には見事な枕状溶岩も見られるほど若々しい顔付きをしているが 局部的には角閃岩相に変成していたり 片理の強い片岩や片麻岩化している部分も見られる。このようにアラビア盾状地の火山岩累層は若々しくみえるが 盾状地の組織的な地質図幅調査のはじまった1950年末から1960年代の初め頃までは 始生代末から原生代に形成された安定地塊 (2500-1000 Ma) と考えられていた。これはアラビア盾状地の花コウ岩類の分布が全露出面積の40%を超えていることに原因があったらしい。多くの先カンブリア紀盾状地の造山運

動は 古生代以後の造山運動と全く性質を異にするという考えが 19世紀以来ごく最近まで大半の地質学者に信じられ とくに盾状地の中でも花コウ岩の分布がきわだって広かったり 岩石の変成度がいちぢるしく高い地域は 盾状地の中の古い時代にできて侵蝕剝脱のために地下深いところで形成された岩石が 現在地表に露出した地域だと考えられてきたからである。1950年以後多くの盾状地の岩石とくに花コウ岩や変成岩の年代測定が行われるようになって 先カンブリア紀盾状地の花コウ岩の量の多さや変成度の高さは 盾状地の年代の古さなどとは無関係であり しかも古生代以後の造山運動の性質と盾状地の造山運動のそれとは 現象的に比較しても本質的な違いのないことが次第に明らかになってきた。USGS の Brown 博士の努力でアラビア盾状地全域にわたる花コウ岩類の年代測定データが蓄積されるに及んでアラビア盾状地は見掛けよりかなり若く 原生代中期から古生代初め (1150-520 Ma) にかけての約6億年の間の造山運動の繰返しにより 形成された安定地塊であることが 明らかになってきた (Brown, 1970)。

プレート・テクトニクスが カナダ盾状地の造構運動説明に適用されて以来 (Wilson, 1966; Dietz・Holden, 1966

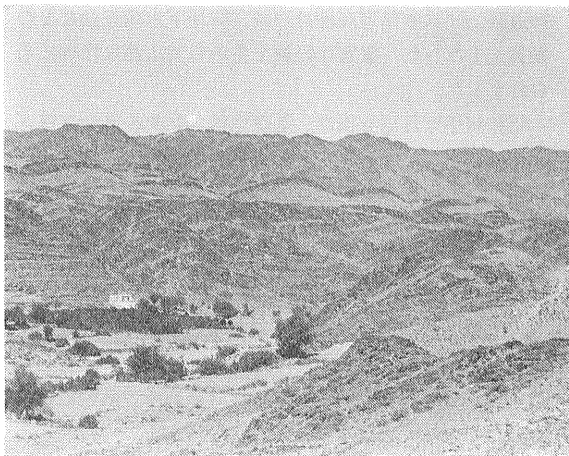


写真1 ヘジャーズ山脈南部のバハ層群 (Bahah Group) 海拔約 2,500 m のヘジャーズ・ハイウェイより写す 細粒のメタグレイワック・石墨片岩・チャート・マーブル・メタシルト岩からなる 層厚 10,000m にも及ぶフリッシュ相 タービダイトとみなされる バハ層群の砕屑岩は火山岩質のものだけからなり 大陸起源の深成岩質や珪長質物質を含まない

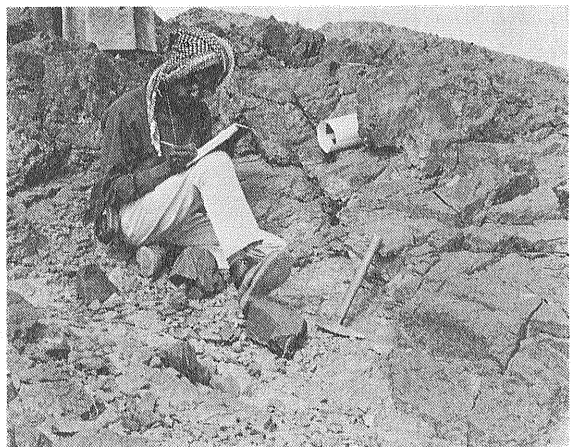


写真2 南ラニヤ地域のジェッダ層群 (Jiddah Group) の火山岩累層とこれを貫ぬく 花コウ岩との関係をスケッチしている 応用地質学センターの論文学生

など) 古生代末より古い時代 先カンブリア紀盾状地の造構運動も発散する二枚のプレートの境界(大洋底拡大・中央海嶺)や 収束するプレートの境界(海溝-島弧を含む造山帯)などのできごとと受け止めて解釈することが普通になってきた。 現在 プレート・テクトニクスは地球科学者の間で大流行で 実際きわめて多くの地質現象を明解に説明してくれる。 しかしプレート・テクトニクスの基礎となった地球物理学者により発見された証拠は 中生代より以後の時代に対して成り立ち それより前の時代については 中生代より古い海洋底が見付からない限り間接的な推論にすぎず プレートの移動・発散・収束などにより起こる現象は 中生代以降の比較的新しい時代に特有なものであるとする人達もいるが 古生代以前とくに先カンブリア紀にも新しい時代と同じくプレート・テクトニクスを適用できるとする「斉一観」をとる人達も増えてきている。

アラビア盾状地の地質図幅調査に従事していたUSGSの GREENWOOD, HADLEY, SCHMIDT, COLEMAN らは 積極的にプレート・テクトニクスを アラビア盾状地の造構発達史にとり入れ 層序と地史を組み立てた。 この造構発達史には BRGM の DELFOUR を中心とした地質屋応用地質学研究所のスタッフ A. MITCHELL 博士(現UNDP プロジェクト・マネージャー 在カタマンズ)らも議論に参加した。

アラビア盾状地の骨組みをつくっているのは6億年にわたって何回かの造山運動に伴って噴出した火山岩・火山砕屑岩および砂泥岩互層・石灰岩・チャートなどの堆積岩からなる厚い何層かの火山岩・堆積岩累層で これらを花コウ岩を主体とする深成岩類が貫ぬいている。 これらの火山岩累層の層序や岩石学的性質は盾状地のい

くつかの地域で詳細な調査が行われ また応用地質学研究所や USGS で火山岩累層の火山岩類の地球化学的研究から 当時のテクトニックな環境を推定しようとする試みがなされ BRGM も独自の方法で同様の研究を行っている。

今回は盾状地のような古い時代に噴出した火山岩の主成分および微量成分元素の分析データを使ってのテクトニックな環境推定はどのようにして行われており またどのような問題があるのか紹介するとともに アラビア盾状地の火山岩累層の火山岩への適用例を述べてみたい。

火山岩の地球化学の概略

最近の新生代の火山岩類の地球化学的データの蓄積とくに微量元素地球化学の発展は これら火山岩類の岩石系列を推定し 噴出時のテクトニックな環境と組み合わせることで種々の議論を可能にしてきた。

火山岩の主要な岩石系列として アルカリ系列と非アルカリ系列に分けられ 非アルカリ系列はソレイアイト系列とカルクアルカリ系列とに細分される。

プレート・テクトニクスでは プレートの境界に沿って火成活動や変成作用が起こるといわれる。 プレートの境界は

- ① 発散する二つのプレートの間の境界(大洋中央海嶺)
- ② 収束する二つのプレートの境界(海溝や弧状列島や火山弧いわゆる造山帯)
- ③ 横に動く二つのプレートの境界(トランスフォーム断層)

の3種類あり このほかに火成活動はプレートの内部(大洋地域あるいは大陸地域)のホットスポットと呼ばれる地点で起こることもある(都城・久城 1977. 岩石学III 共

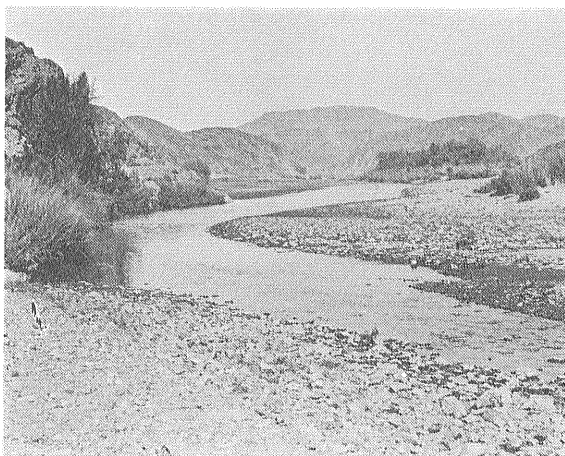


写真3 一年中清流の流れるワジ・ラニヤ(Wadi Ranyah) 下流でこの流れは伏流となり海に注ぐことはない

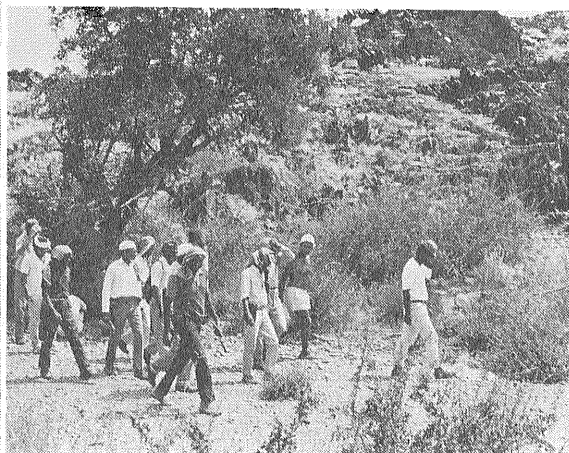


写真4 夏休み前(6月)の地質巡検で南ラニヤ地域のジェッタ層群を見学する応用地質学センターのスタッフと学生達 サウジアラビアの山地では植生は 1月-5月が緑の季節 6月に入ると暑さでほとんど枯れてしまう

表1 火山岩系列とテクトニックな環境

	カルクアルカリ系列	ソレイアイト系列	アルカリ系列
1. 造山帯			
大陸縁	++	(+)	(+)
よく成長した弧状列島	++	++	(+)
未成長の弧状列島	(+)	++	
2. 安定な大陸			
台地玄武岩	(+)	++	++
リフト		(+)	++
3. 海山や大洋のなかの島			
ふつうの海山			++
多くの火山島			++
ハワイ		++	+
アイスランドとガラパゴス		++	++
4. 大洋中央海嶺			
ふつうの海底部分		++	
断裂帯		+	+

++多い +すくない (+)ときにある。
 (都城・久城 1977. 岩石学III p. 150 表28.1より)

立全書). これらのテクトニックな環境で噴出する火山岩の岩石系列には規則性があり 例えばアルカリ系列の火山岩の噴出は造山帯特有のものであり 大洋地域ではカルクアルカリ系列の火山岩は見られない. 造山帯とくに弧状列島では未成長な島弧 例えばトンガやケルマデック 伊豆・小笠原弧などは ソレイアイト系列の玄武岩・安山岩を主体とし 島弧が成長するとともにソレイアイト系列の火山岩の噴出は減り カルクアルカリ系列の安山岩・流紋岩主体となる. 火山岩系列とテクトニックな環境との関係は 表1 に示される. ソレイア

イト系列火山岩はふつうの海山や火山島を除く あらゆるテクトニックな環境で噴出している. いくつかの主成分あるいは微量成分含量を用いて テクトニックな環境の異なるソレイアイトすなわち 造山帯のソレイアイト・安定な大陸や ハワイなどの海洋島のソレイアイト・大洋中央海嶺のソレイアイトを区別する試みも 成功をおさめている.

このような変質・変成を受けていない新生代の火山岩の地球化学的データから これら火山岩の岩石系列を推定し テクトニックな環境を組合わせた結果を基礎にして アラビア盾状地の火山岩のような広域変成作用を受けた時代の古い火山岩類の地球化学的データを集め 新生代の火山岩データと比較して テクトニックな環境を推定しようとする試みは 1965年以来行われてきている. (WILSON ほか 1965; BARAGAR, 1966, 1968; GOODWIN, 1968; GLIKSON, 1970 などのカナダとオーストラリア盾状地の研究). 日本でも杉崎らの名古屋大学グループの古生代地向斜玄武岩の優れた研究がある (SUGISAKI ほか 1971; SUGISAKI ほか 1972 など).

ここではまず古い時代の火山岩の地球化学的研究から テクトニックな環境を推定する基礎となっている 新しい火山岩の主成分および微量成分含量を用いて それらの岩石系列を区分する方法について紹介し さらに火山岩が変質あるいは変成した場合の元素の移動の問題などに触れてみよう.

化学組成による火山岩系列の区分

(1) アルカリ系列と非アルカリ系列

アルカリ系列でも非アルカリ系列でも 火山岩の SiO₂ 含量はさまざまに変化し得るが 同じ SiO₂ 含量の岩石を比較した場



写真5 盾状地中央部の平原化したハラバン層群 (Halaban Group) 高度約 2,000m から撮影 岩脈状にみえるのは火山岩累層中に夾在する石灰岩層 細かな断層がよくわかる

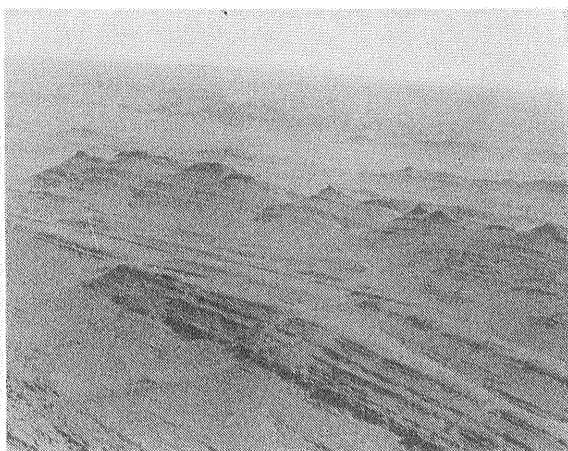


写真6 ヘジャーズ山脈のバハ層群 (Bahah Group) の南北性の片理 高度約 2,000m から撮影

表2 新生代非アルカリ系列の火山岩の平均化学組成

	海嶺ソレイアイト	島弧ソレイアイト			大陸ソレイアイト	カルクアルカリ火山岩				
	玄武岩	玄武岩	安山岩	石英安山岩	玄武岩	玄武岩	安山岩	石英安山岩	流紋岩	
SiO ₂	49.8	51.1	57.3	66.8	50.3	50.2	59.5	64.9	74.0	SiO ₂
TiO ₂	1.5	0.83	0.58	0.2	2.2	1.0	0.70	0.60	0.25	TiO ₂
Al ₂ O ₃	16.0	16.1	17.4	18.2	14.3	17.7	17.2	16.0	13.3	Al ₂ O ₃
Fe ₂ O ₃	2.0	3.0	2.5	1.3	3.5	3.9	2.5	3.2	1.3	Fe ₂ O ₃
FeO	7.5	7.3	2.7	1.0	9.3	6.3	5.0	1.0	0.5	FeO
MgO	7.5	5.1	3.5	1.5	5.9	5.4	3.4	1.7	0.3	MgO
CaO	11.2	10.8	8.7	3.2	9.7	9.8	7.0	4.7	1.5	CaO
Na ₂ O	2.8	2.0	2.6	5.0	2.5	2.7	3.7	4.2	4.0	Na ₂ O
K ₂ O	0.14	0.30	0.7	1.0	0.8	0.9	1.6	1.8	3.5	K ₂ O
Cr	300	50	40	5	100	50	55	10	2	Cr
Zn	75	80	60		90	80	80			Zn
Cu	70	80	50		100	80	30			Cu
Co	32	20	20	8	100	30	30			Co
Ni	100	25	15	1	40	40	24	15	3	Ni
Rb	1	5	10	15	100	50	18	8	1	Rb
Sr	135	225	200	200	30	10	30	40	100	Sr
Zr	100	60	90	80	350	300	385	500	150	Zr
Ba	11	60	100	250	200	100	110	100	160	Ba
Cs	0.02	0.05	0.1	0.2	200	100	270	400	900	Cs
Y	30	20	23	25	30	0.5	0.7	1	3	Y
La	3.5	3.9	3	6	27	23	20	30	10	La
Ce	12	7	6.8	15	140	9.2	12	15	30	Ce
Sm	3.9	2.2	2.5	2	8.2	25	25	26	70	Sm
Eu	1.5	0.9	1	0.7	2	3.6	3	2.9	5.5	Eu
Tb	1.2	0.4	0.5	0.6	1.1	1.3	1	1	1.5	Tb
Yb	3	2	2.7	2	2.5	0.8	0.7	1	1.1	Yb
Lu	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	2.5	1.9	1.4	3.5	Lu
K/Rb	1200	700	580	800	200	350	440	400	250	K/Rb
K/Ba	100	42	58	35	40	30	49	35	32	K/Ba
Sr/Ba	12	4	2	0.8	2	3	1.5	1.3	0.2	Sr/Ba
La/Yb	1.2	2	1.1	3	10	8	6.3	12	10	La/Yb
Ni/Co	3	1.3	0.75	0.13	2.5	1.3	0.75	0.5	0.2	Ni/Co

(CONDIE (1976) Table III IV V より)

合 Na₂O+K₂O 含量は アルカリ岩のほうが非アルカリ岩より高い傾向がある。多くの場合アルカリ系列と非アルカリ系列の区分に SiO₂-(Na₂O+K₂O) 図を使い ハワイのアルカリ玄武岩とソレイアイトの境界線 (McDONALD, KATSURA 1964) か 日本の火山岩のなかのアルカリ岩と非アルカリ岩との境界線 (KUNO, 1966) を用いている。C. I. P. W. ノルム値を計算するとアルカリ系列の玄武岩では少量ながらノルム *ne* が現われ SiO₂ に飽和なためノルム *q* は現われないが非アルカリ系列の玄武岩では SiO₂ に飽和しているためノルム *q* とノルム *hy* が現われるのが普通である。また玄武岩中に含まれる単斜輝石の組成が アルカリ系列と非アルカリ系列とで異なるため 変質した玄武岩の岩石系列区分に残存単斜輝石斑晶を用いている例も多い。

火山岩が変質したり変成されたりした場合 主成分元素・微量元素成分元素の中でもっとも動きやすく 原岩組成との差異が大きいのはアルカリ元素 (Na, K, Rb, Cs, Li) といわれ そのため SiO₂-(Na₂O+K₂O) 図が意味をなさない場合もあるが しかしアルカリ-非アルカリ系列の火山岩の区分には かなりの変質作用や広域変成作用を受けていても SiO₂-(Na₂O+K₂O) 図を普通に使っている。

(2) 非アルカリ系列火山岩の区分

非アルカリ系列の火山岩はソレイアイト系列とカルクアルカリ系列とに分けられる。ソレイアイト系列の火山岩は ソレイアイト玄武岩-安山岩-石英安山岩-流紋岩と分化する系列でソレイアイト系列の火山岩は普通斑晶として角閃石や黒雲母を含まない。ソレイアイト系列の火山岩は分化作用が進むにつれて 残液の SiO₂ があまり増加しないで 鉄含有量 (FeO) が増加する系列であり カルクアルカリ系列は残液の SiO₂ が

急速に増加して鉄含量は減少する系列である。それゆえこの二つの系列の違いを表現するのに MgO-(FeO+Fe₂O₃)-(Na₂O+K₂O) 三角図を WAGER・DEER (1939) は使い MF A 図といわれ広く使われている。BARAGAR と GOODWIN はカナダ盾状地のオンタリオ-ケベック地域の変成火山岩累層の研究において ソレイアイト系列とカルクアルカリ系列の区分に MgO-FeO 図を用いた。

また MIYASHIRO (1974) は島弧-海溝地域の火山岩について二系列の区分に SiO₂-全 FeO/MgO 図 全 FeO-全 FeO/MgO 図 TiO₂-全 FeO/MgO 図の三図を組み合わせ使用している。オーストラリア国立大学の JAROS & GILL (1976, 1972) は 非アルカリ系列の火山岩を区別するために 種々のソースからカルクアルカリ系列の火山岩・島弧のソレイアイト系列の火山岩・大洋中央海嶺のソレイアイトの主成分と 微量元素成分元素の平均組成を算出し 希土類元素 (REE) は カルクアルカリ系列とソレイアイト系列の火山岩の区別に極めて有効であるが 島弧と大洋中央海嶺のソレイアイトは類似の REE 存在度パターンをとるので区別しにくいと述べている。その後 PHILPOTTS ほか (1971) や田中剛らは REE 存在度パターンにおける Ba の位置に注目した。

田中剛 (1977) は 日本の古生代・中生代の地向斜玄武岩類の希土類元素・Ba および Sr の定量を行い 地向斜玄武岩の成因を考察したが その中で次のようにまとめている。

- (1) 希土類 (REE) 存在度をコンドライト隕石中の REE 存在度で規格化した存在度パターンは 大きく液体型(軽 REE 濃縮型) と固体型 (軽 REE 非濃縮型) に区分できる。

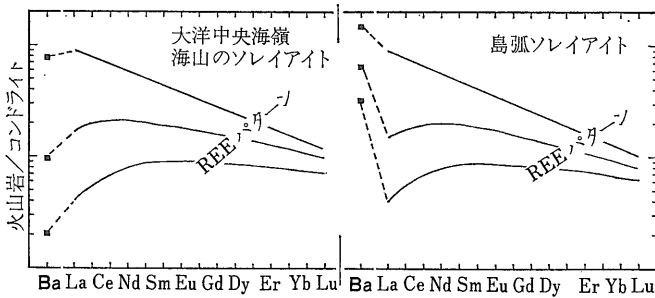


図1 希土類元素存在度パターンにおける Ba の位置を示す模式図 (田中剛 1977 第10図より)

- (2) REE 存在度パターンは主化学成分とも密接に関係し 固体型パターンをもつ火成岩は液体型パターンをもつものにくらべて MgO・CaO に富み TiO₂・Na₂O・K₂O・P₂O₅・Sr および Ba に乏しい。
- (3) 固体型パターンは大洋中央海嶺ソレイアイトと島弧のソレイアイト質玄武岩でみられるが REE 存在度パターン上での Ba の位置は大洋中央海嶺ソレイアイトで低く 島弧ソレイアイト質玄武岩で高い。Ba の位置のちがいはマグマ生成時の含水鉱物の有無・多少に関係すると考えられている (図 1)。
- (4) 液体型パターンは アリカリ系列およびカルクアルカリ系列の火成岩で普通にみられる。

表2は CONDIE (1976) によりまとめられた非アルカリ系列の火山岩の平均化学組成で JAKES と GILL (1970) の平均組成にかなりの改変が加えられている。この表で明らかなように 島弧ソレイアイト質火山岩は 中央海嶺ソレイアイトとくらべて SiO₂ 含量で広くバラつき K₂O, Rb, Ba, Cs, Sr 含量はずっと高く MgO, TiO₂, Cr, Ni, Co, Zr, Y 含量は低い。K/Rb 比は中央海嶺ソレイアイト (1200) 島弧ソレイアイト (700) 大陸ソレイアイト (300) と大きな差異があり K/Ba 比と Sr/Ba 比もほぼ同様の傾向を示す。軽 REE の La と重 REE の Yb の比 (La/Yb 比) は さきに述べたように中央海嶺ソレイアイトと 島弧ソレイアイトとでは差はないが 大陸ソレイアイトとカルクアルカリ系列の火山岩ではいちぢるしい

表3 深海底変質作用・低度変成作用の火山岩中の主成分・微量成分元素への影響

濃縮する元素	ほとんど変化しない元素	減少する元素
Fe ³⁺ , K, Cs, Rb, H ₂ O, 全Fe	Ti, Y, Zr, Zn, Cr, V, Sr, Sc, Hf, Co, Nb, REE, Ni	Si, Ca, Al, Mg

主要な文献: FREY ほか (1968), HART (1969), HATTORI ほか (1972), CHRISTENSEN ほか (1973), HERMANN ほか (1974), HART ほか (1974). (CONDIE (1976) より)

軽 REE の濃縮がみられる。イギリスの PEARCE と CANN は早くからこれらの元素存在量のちがいに着目して 中央海嶺ソレイアイトと思われるオフィオライト中の溶岩を Ti, Zr, Y を用いて分類を試みたり (1971) 異なったテクトニックな環境の 200 以上の玄武岩中の Ti, Zr, Y, Nb, Sr の分析を行い Ti-Zr-Y 図 Ti-Zr 図 Ti-Zr-Sr 図および Y/Nb 比を用いてこれらの玄武岩のテクトニックな環境の同定を行い (1973) また TiO₂-K₂O-P₂O₅ 三角図による海嶺および海山ソレイアイトと大陸の玄武岩との区分を行った (PEARCE ほか1975)。これらの PEARCE らの分類法は いろいろな問題を残しながらも REE 存在度パターンとともに広く使われている。

(3) 変質および変成作用の火山岩化学組成への影響 新生代の全く変質や変成を受けていない新鮮な火山岩の主成分および微量成分元素含量と 古い時代の続成作用や埋没変成作用・広域変成作用などにより変質 変成している火山岩の化学組成とを比較する場合 このような変質や変成作用により 主成分および微量成分元素がどの程度変化移動し 原岩のこれら元素含量からどの程度逸脱したかが大きな問題となる。

最近 カナダ・オーストラリア・南アフリカなどの始生代 (Archean) のグリーンストーン帯の変成火山岩のテクトニックな環境を探る研究が精力的に行われており 変質・変成作用による火山岩の化学組成への影響もかなり良く判ってきた。カナダの BARAGAR や GOODWIN オーストラリアの GLIKSON らは 変質作用は火山岩の鉱物組合せ上変化をもたらすが その総化学組成を変えなかったとして 始生代のグリーンストーン帯の造構発達史を グリーンストーンの化学組成をもとに論じた (BARAGAR, 1966; 1968; BARAGAR & GOODWIN, 1969; GLIKSON, 1971; 1972)。HATTORI ほか (1972) など名古屋大学・地質調査所の研究グループは日本の古生代の地向斜玄武岩の化学組成を仔細に研究し 地向斜玄武岩の海水による変質は考え難く H₂O の付加以外には出入りした化学成分には 系統的にも有意なもの認められなかった。大洋海嶺ソレイアイトの海底変質による元素の移動の研究も行われ (HART, 1969; HART ほか 1974; CHRISTENSEN ほか 1973) また最も動き難い安全な元素群である REE についても詳細に検討された。表3 でみられるようにアルカリ元素 とくに K, Rb, Cs と Fe の濃縮 H₂O の付加が目立ち 主成分元素の Si, Al, Ca, Mg が減少している。ほとんど変質・変成作用の影響を受けず変化しない元素は PEARCE・CANN らがテクトニックな環境推定に使った元素群 (Ti, Zr, Y, Nb, Sr) のほかに Cr, Co, Ni の遷移元素さらには REE が挙げられる。変質や変成を受けた火山岩の現在の主化学成分から原岩を論ずることはできないとする人達も多いが これらの研究者らも REE など一部の微量成分元素や同位体組成は変質・変成過程を通じて保存されているという立場をとっているようである。

あるグリーンストーン帯の火山岩は変質や変成などの二次過程によって Rb や Sr の移動は認められるが Sr 同位体分布は変化していない (JAHN・SHIH, 1974; JAHN・CONDIE, 1975 など)。PEARCE・CANN 流の分類法も何人かの研究者により適

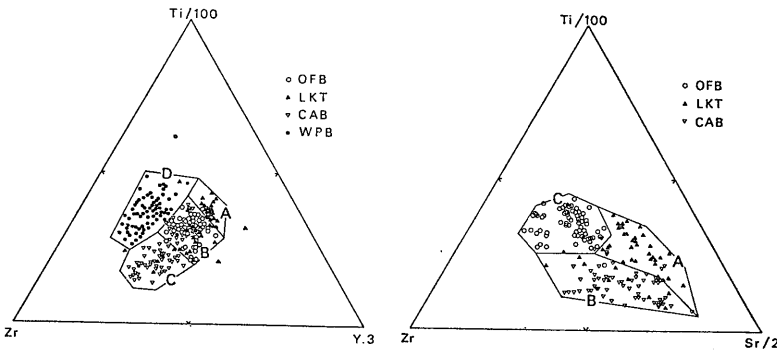
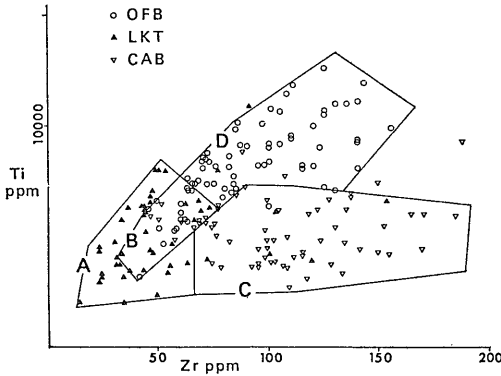


図2
Ti-Zr 図 Ti/100-Zr-Y×3 三角図
Ti/100-Zr-Sr/2 三角図を用いた非アルカリ
系列玄武岩の区分

OFB: 大洋底玄武岩
LKT: 低K含量ソレイアイト
CAB: カルクアルカリ玄武岩
WPB: プレート内玄武岩 (大陸および海
洋島)
(PEARCE & CANN, 1973)

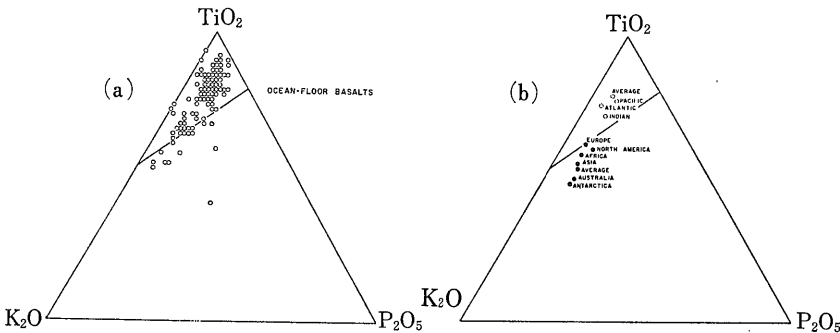


図3
TiO₂-K₂O-P₂O₅ 三角図による大洋底
玄武岩と大陸玄武岩との区分

(a) 222 大洋底玄武岩
(b) MANSON (1967) の玄武
岩のデータ
○大洋底玄武岩
●大陸玄武岩
(PEARCE ほか 1975)

否が検討されている。例えば Ti-Zr 図と Ti-Zr-Y 図へのプロットはこれらの元素比が 変成作用後でも相対的に一定に保たれており 玄武岩のテクトニックな環境区分に十分役立つが Ti-Zr-Sr 図や TiO₂-K₂O-P₂O₅ 図 (図 2・3) のように K や Sr (アルカリおよびアルカリ土類金属元素) を含むプロットは バラツキがひどく明らかに変成による影響を受けており 環境区分には余り役立たないことを 葡萄石・パンペリー石グレイワック相に変成した一枚の玄武岩溶岩からのサンプリングで示している (SMITH・SMITH, 1976)。

また火山岩中の Cr は遷移元素中で最も動き難いとされ Ti-Zr 図と同じように 海嶺ソレイアイトと島弧ソレイアイト玄武岩との区分に Ti-Cr 図もよく使われている (PEARCE, 1975)。

ハワイ大学の GARCIA などは 変成した火山岩を使って海嶺ソレイアイトと島弧ソレイアイトとを区別する唯一の化学的基準は 島弧ソレイアイトの低 Cr・低 Ti 含量を用いての Ti-Cr

図だけであるといっている (図 4)。

これまで述べた PEARCE や CANN らの手法を主体とした微量成分元素含量を用いた火山岩の岩石系列や テクトニックな環境を推定する方法は 数多くのデータを統計的に処理したいうなれば定性的な議論であり 本当の定量的な微量成分地球化学による岩石成因論は MASUDA (1962) 一神戸大学増田彰正教授—と M. I. T. の WINCHESTER 教授—門の仕事 (CORYELL, CHESSE, WINCHESTER, 1963) (すなわち岩石の稀土類元素 (REE) 存在量を同位体稀釈法と放射化分析により正確に測定し これらの存在量をコンドライト隕石中の存在量と比較した時 その REE 存在度パター

ンが岩石の成因のちがいにより規則的に変化することを見出した
 した)で始まり、亡くなった Paul Gast 博士により軌道
 に乗せられた (Gast, 1968) と "Trace Element Geo-
 chemistry" 特集号で Alrègre・Minster (1978) は述べ
 微量成分元素の分析精度が高くなれば統計は必要なくな
 り、議論は定量的になると強調し、質量分析計を用いた
 同位体希釈法による分析精度の向上が微量元素地球化学
 に革命をもたらしたのだと繰返し述べている。Paul
 Gast 博士は岩石中の鉱物と溶融体間の元素の分配係数
 の概念を、上部マントル物質の"部分溶融"モデルに導
 入して、火成岩の成因を定量的に説明し、また微量元素
 地球化学と同位体比とを岩石成因論でうまく結びつけた。

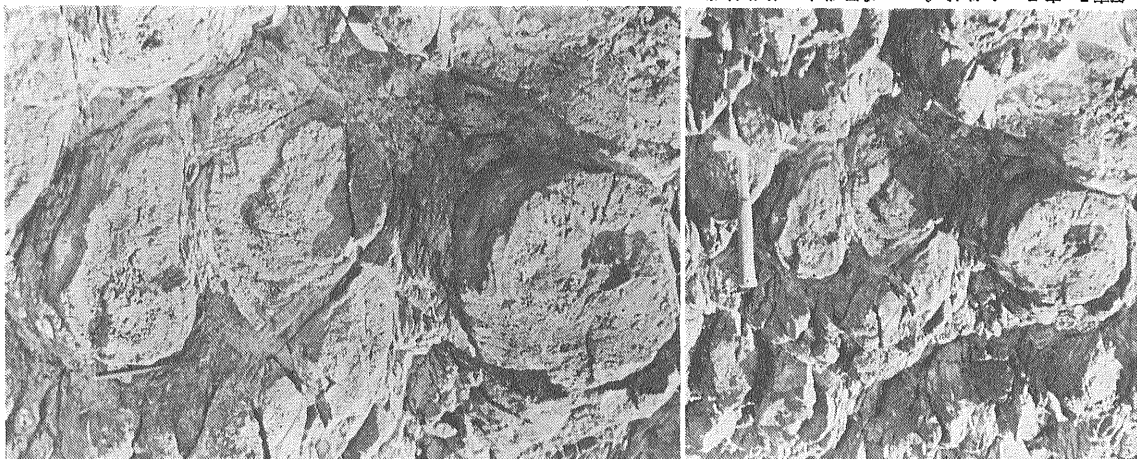


写真7 南ラニヤ地域シムズ層群中の枕状溶岩 写真8 写真7の拡大写真

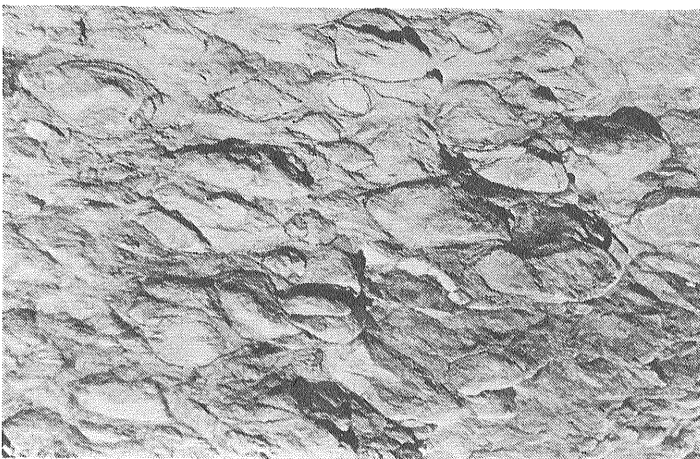


写真9 写真7の延長部 集塊岩様に変化する(岩塊の長径約25cm)

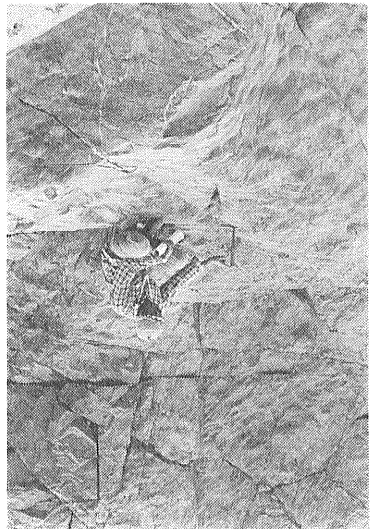


写真10 枕状溶岩の延長約200mで塊状溶岩に変る

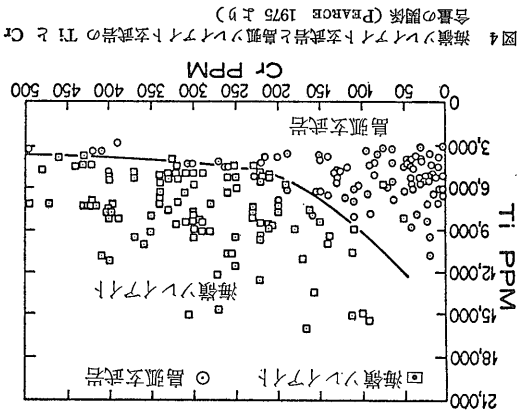


図4 海嶺ソルイアト玄武岩と島弧ソルイアト玄武岩の Ti と Cr 含量の関係 (Pearce 1975 より)

PEARCE や CANN らが議論に用いた Ti, Zr, Y, Cr, Sr, K, P などの元素の組み合わせによる分類法と GAST 流の数少ない試料の REE 存在量や Rb, Sr, Ba などをきわめて正確に測定し また Sr 同位体比と組み合わせで展開する岩石成因論とは内容の質を異にするが 古い変成を受けた火山岩類への応用例では 後者が優れているようである。

話を本題に戻す前に火山岩中のある元素の組合せによる分類と GAST 流の希土類元素存在量を用いた定量的な火成岩成因論についての主な文献をリスト・アップしてみた。I は火山岩中の TiO₂ 含量により環大洋火山岩と 大洋内の火山岩の区分を行った CHAYES (1964) のパイオニア的仕事に始まり II の希土類元素存在量による火成岩成因論は MASUDA (1962) と CORYELL ほか (1963) の仕事で始まっている。

I 火山岩中のある元素群の組合せによってテクトニックな環境や岩石系列を特長づける試み

現世の新鮮な火山岩では Rb, Sr, K などのイオン半径の大きな元素-LIL 元素-がテクトニックな環境や岩石系列をししば特長づけるが 古い火山岩では LIL 元素は変質や変成により動き易い。

下記の文献は変質や変成により動きにくい元素 すなわち P, Ti, Zr, Y, Nb, Cr などの元素群を使った試み。

- CHAYES, F. (1964): A petrographic distinction between Cenozoic volcanics in and around the open oceans. *J. Geophys. Res.*, vol. 69., 1573-1588.
- HUBBARD, N. J. (1969): A chemical comparison of oceanic ridge, Hawaiian tholeiitic and Hawaiian alkali basalts. *Earth planet. Sci. Lett.*, vol. 5, 346-352.
- JAKŠ, P. & GILL, J. (1970): Rare earth elements and the island arc tholeiitic series. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 9, 17-28.
- CANN, J. R. (1970): Rb, Sr, Y, Zr, Nb in some ocean floor basaltic rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 10, 7-11.
- PEARCE, J. A. & CANN, J. R. (1971): Ophiolite origin investigated by discriminant analysis using Ti, Zr and Y. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 12, 339-349.
- NICHOLLS, G. D. & ISLAM, M. R. (1971): Geochemical investigations of basalts and associated rocks from the ocean floor and their implications. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond.* vol. 268, 469-486
- JAKŠ, P. & WHITE, A. J. R. (1972): Major and trace element abundances in volcanic rocks of orogenic areas. *Geol. Soc. America Bull.*, vol. 83, 29-40.
- BLOXAM, T. W. & LEWIS, A. D. (1972): Ti, Zr and Cr in some British pillow lavas and their petrogenetic affinities. *Nature (Phys. Sci) Lond.* vol. 237, 134-136.
- PEARCE, J. A. & CANN, J. R. (1973): Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 19, 290-300.
- RIDLEY, W. I. et al. (1974): Basalts from Leg 6 of the Deep-Sea Drilling Project. *J. Petrol.*, vol. 15, 140-159.
- PEARCE, J. A. (1975): Basalt geochemistry used to investigate past environments on Cyprus. *Tectonophysics*, vol. 25, 41-67.
- FLOYD, P. A. & WINCHESTER, J. A. (1975): Magma type and tectonic setting discrimination using immobile elements. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 27, 211-218.
- PEARCE, T. H. GORMAN, B. E. & BIRKETT, T. C. (1975): The TiO₂-K₂O-P₂O₅ diagram: a method of discriminating between oceanic and non-oceanic basalts. *Earth Planet. Sci. Lett.* vol. 24. 419-426.
- WINCHESTER, J. A. & FLOYD, P. A. (1976) Geochemical magma type discrimination: Application to altered and metamorphosed basic igneous rocks. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 28, 459-469.
- SMITH, R. E. & SMITH, S. E. (1976): Comments on the use of Ti, Zr, Y, Sr, K, P and Nb in classification of basaltic magmas. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 32, 114-120.
- MORRISON, M. A. (1978): The use of "immobile" trace elements to distinguish the paleotectonic affinities of metabasalts: Applications to the Paleocene basalts of Mull and Skye, Northwest Scotland. *Earth Planet. Sci. Lett.* vol. 39, 407-416.

II 火成岩中の希土類元素存在量を用いた定量的火成岩成因論

MASUDA, A. (1962): Regularities in variation of relative abundances of lanthanide elements and an attempt to analyse separation-index patterns of some minerals. *J. Earth Sci., Nagoya Univ.*, vol. 10, 173-187.

CORYELL, C. D., CHASE, J. W. & WINCHESTER, J. W. (1963): A procedure from geochemical interpretation of terrestrial rare-earth abundance pattern. *J. Geophys. Res.*, vol. 68, 559-566.

SCHILLING, J. G. & WINCHESTER, J. W. (1966): Rare earths in Hawaiian basalts. *Science*, vol. 153, 867.

GAST, P. W. (1968): Trace-element fractionation and the origin of tholeiitic and alkaline magma types. *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 32, 1057-1086.

SCHILLING, J. G. (1969): Red Sea floor origin: rare-earth evidence. *Science*, vol. 165, 1357-1360.

SCHILLING, J. G. (1971): Sea-floor evolution: rare-earth evidence. *Phil. Trans. Roy. Soc. London, Ser. A*, vol. 268, 663-706.

SCHILLING, J. G. (1973): Iceland mantle plume: geochemical study of Reykjanes ridge. *Nature*, vol. 242, 565-571.

TANAKA, T. (1975): Geological significance of rare earth elements in Japanese geosynclinal basalts. *Contr. Mineral. Petrol.*, vol. 52, 233-246.

CONDIE, K. C. (1976): Trace-element geochemistry of Archean greenstone belts. *Earth-Science Reviews*, vol. 12, 393-417.

田中 剛 (1977): 本邦古生界地向斜玄武岩の希土類元素存在度とその地質学的意義. *地調月報* vol. 28, 529-559.

ALLÈGRE, C. J. & HART, S. R. edited (1978): Trace elements in igneous petrology. A Volume in Memory of Paul W. Gast. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 38, 1-272. 12編の火成

岩の微量成分元素および同位体組成を駆使して 定量的火成岩成因論をくりひろげている。Elsevier (オランダ) より単行本として出版されている。

DRAKE, M.J. & HOLLOWAY, J.R. edited (1978): Experimental trace element geochemistry. Proceedings of an international conference held in Sedona, Arizona, 12-16 September 1977. *Geochim. Cosmochim. Acta.* vol. 42, 657-943. セドナ国際集会で発表された微量成分元素・同位体の地球化学についての21篇の論文集。

III 火山岩のアルカリ系列と非アルカリ系列の区分
KUNO, H. (1959): Origin of Cenozoic petrographic provinces of Japan and surrounding areas. *Bull. volcanol.*, vol. 20, 37-76.

KUNO, H. (1964): Dike swarm in Hakone Volcano. *Bull. volcanol.*, vol. 27, 1-7.

MACDONALD, G. A. & KATSURA, T. (1964): Chemical composition of Hawaiian lavas. *J. Petrol.*, vol. 5, 82-133.

IRVINE, T. N. & BARAGAR, W. R. A. (1971): A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. *Can. J. Earth Sci.*, vol. 8, 523-548.

SCHWARZER, R. R. & ROGERS, J. J. W. (1974): A worldwide comparison of alkali olivine basalts and their differentiation trends. *Earth Planet. Sci. Lett.* vol. 23, 286-296.

IV ソレイアイト系列とカルクアルカリ系列火山岩の区分

MIYASHIRO, A. (1973): The Troodos ophiolitic complex was probably formed in an island arc. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 19, 218-224.

MIYASHIRO, A. (1974): Volcanic rock series in island arcs and active continental margins. *Am. J. Sci.*, vol. 274, 321-355.

盾状地の火山岩の研究

日本のように温帯の湿潤気候の下におかれ風化侵食が激しく また豊かな植生のため連続露頭の少ない地域では 地質屋は岩相分布図を作ることがまず第一の大仕事である。ところがアラビア盾状地では 熱帯の乾燥気候のため風砂をかぶった一部の地域を除いて全山露頭で盾状地をカバーしている 1/60,000 の航空写真を使って研究室に居ながらにして 相当以上の岩相分布図を作ることができる。フィールドでは諸岩相の相互関係のチェックのため断層・不整合・貫入・岩脈群などを調べ研究は次の段階からスタートすることが出来る。しかし露出が良すぎるためにフィールドでの観察が目的よりはるかに徹視的になり 結果として混乱をまねくことも多い。例えば 盾状地東端のアル・アマール (Al Amar) 地域のハラバン層群の中・上部層は安山岩・石英安山岩溶岩や これらの厚い火砕岩層からなっているが 数多くの剪断帯が観察される。これらの剪断帯は各種の無数の岩脈群で切られ 観察した全露頭の 80%

以上も岩脈で占められ 原岩はわずかしか見えない場合すらあった。応用地質学研究所の修士論文学生ファルク・ブカリ君は この地域の剪断帯に分布する鉍化帯の研究をテーマに マッピングして大混乱におちいっていたことを思い出す。また多くの学生は逆に露出の良さに馴れてしまって 一つの露頭で時間をかけての詳細な観察を怠り つい研究調査地域を広くとり広く浅い観察に陥り勝ちであった。調査地域内のトラバースは露出が良いので 1/15,000か 1/30,000 に引き伸ばした航空写真に物差しで直線を引いて歩き 日本のように沢を歩くことは余りしない。

盾状地各地に分布する火山岩・堆積岩累層も露出はきわめて良く 詳細な構造の観察や火山岩溶岩試料の採取は比較的容易である。われわれが採取した火山岩試料は 注意深く薄片と分析試料用に選ばれたが 当時日本から送られてきた地質ニュースの服部仁さんの“地角斜玄武岩①②③”(地質ニュース215号 1972; 216号 1972; 229号 1973)が大変参考になり また励ましにもなった。分析する成分元素は色々意見もあったが まず主化学成分にしぼり いくつかの研究所の助力を得て除々にその他の微量成分元素の分析に手を広げていった。

前回(地質ニュース No. 297)でも述べたが アラビア盾状地の火山岩・堆積岩累層の層序と地史を復習してみよう(表4)。

(1) ベイシュー・バハ層群とジェツダ層群 —Baish-Bahah, Jiddah Groups— (1000~800 Ma)

アラビア盾状地の変成した火山岩・堆積岩累層中の火山岩類の主成分と一部の微量成分元素を分析して これらのデータと岩石学的データを組み合わせて テクトニックな環境を推定しようとして最初に試みたのは 英国のインペリアル・カレッジの博士論文学生だった Barry JACKAMAN だった。JACKAMAN は1968年から1970年にかけて ヘジャーズ山脈のワジ・ビダ(Wadi Bidah)地域のベイシュー・バハ層群中に分布する硫化物鉍床の成因をテーマにUSGSのEARHART博士の指導でフィールドを歩き この地域の火山層序図をつくり上げ ベイシュー・バハ層群中の溶岩を中心に化学分析を行った。その後JACKAMANのフィールドの南部地域を応用地質学研究所の修士論文学生のAL KOLAKとMAWADが地質図をつくり 累層中の火山岩類の地球化学的研究が行われた。(EARHART, 1970; JACKAMAN, 1971, 1972; ALKOLAK, 1976; MAWAD, 1976)

アラビア盾状地で最も古い火山岩累層であるベイシュー・バハ層群の標式地は ワジ・ビダから西の地域で 急峻な地形のためにかつては調査に大変な苦勞を伴ったが 1970年に海拔2,000m~2,500mのこの地域を南北に貫くヘジャーズ・ハイウェイが完成し さらにこの地域と周辺に1/10万の地質図幅が刊行されてからは 格好の夏の巡検地となっている。ベイシュー・バハ層群は玄武岩—石英安山岩溶岩と厚い火山岩質のタービ

表4 アラビア盾状地の層序と地史

年代 Ma	地層名	岩相	貫入深成岩体	火山活動	造構環境		
520	Jubaylah	礫岩・砂岩・頁岩 石灰岩(火山岩)		安山岩 A 玄武岩	グラーベン型堆積層		
535	—U—				第 III 期	ナジト断層系形成 (540Ma) 安定地塊の浅海盆 (大陸的環境)	
	Shammar	流紋岩 イグニンプライト 火砕岩	過アルカリ花こう岩 カルクアルカリ花こう岩 (570-550Ma)	流紋岩 CA + 安山岩 (A)			
	Murdama	石灰岩・砂岩 シルト岩・礫岩 火砕岩	グラノファイア	(流紋岩) CA + 安山岩 (A)			
600	—U—				へ ジ ヤ ー ズ 造	第 II 期	
	Halaban	上部層: 珪長質火砕岩 石灰岩 礫岩	花こう岩 花こう閃緑岩 閃緑岩 ハンレイ岩 石英モンゾニ岩 (650-600Ma)	流紋岩 CA + (粗面岩) (A) 安山岩			
		下部層: 安山岩質火砕岩 シルト岩・砂岩 石灰岩・礫岩		安山岩 CA + 玄武岩 TH			
680	—U—				山 輪 廻	第 I 期	
	Ablah	火山岩・火砕岩 石灰岩・礫岩	花こう閃緑岩 閃緑岩・ハンレイ岩 (800Ma)	石英安山岩 CA + 安山岩 TH			
800	—U—						
960	Jiddah	安山岩 石英安山岩 (頁岩・石灰岩)	閃緑岩 ハンレイ岩 石英モンゾニ岩 石英閃緑岩 (960Ma)	安山岩 TH + 玄武岩 CA	第 I 期	未発達な島弧系の活動 に似ている ソレイ アイト系の火山活動 砕屑岩中には深成岩質 および珪長質物質を含まない (海洋的環境)	
	—U?—						
	Bahah	緑泥石・グラフアイト セリサイト片岩 クオルツアイト 大理石 チャート	石英矽岩 輝緑岩	(玄武岩) TH			
	Baish	玄武岩 苦鉄質火砕岩 グレイワッケ (チャート・大理石)		安山岩 TH 玄武岩			
1000~1200	—U—				ア シ ー ル 造 山		
	Hali	結晶片岩 角閃岩	石英閃緑岩 同質片麻岩				
	Khamis Mushayt Gneiss	正片麻岩 混成岩					

USGS (1975), BRGM (1975) DGMR (1976) のデータより編集
 TH:ソレイアイト系列 A:アルカリ系列 CA:カルクアルカリ系列

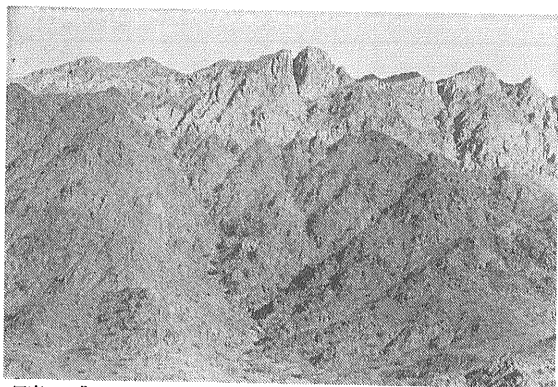


写真11 北サムラン地域ワジ・ハワラ (Wadi Hawarah) のハラバン層群の険阻な地形 尾根付近の白色部は火山砕屑岩層中に夾在する石灰岩層

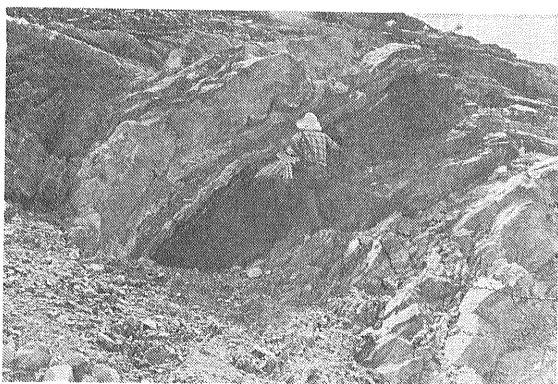


写真12 ファティマ層 (Ablah 層群) のコンピーtentな石灰岩層 (上)と インコンピーtentなシルト岩層(下)の非調和褶曲 ジェッダ市の南東 40km のワジ・ファティマのジャバル・アボバクルの北斜面

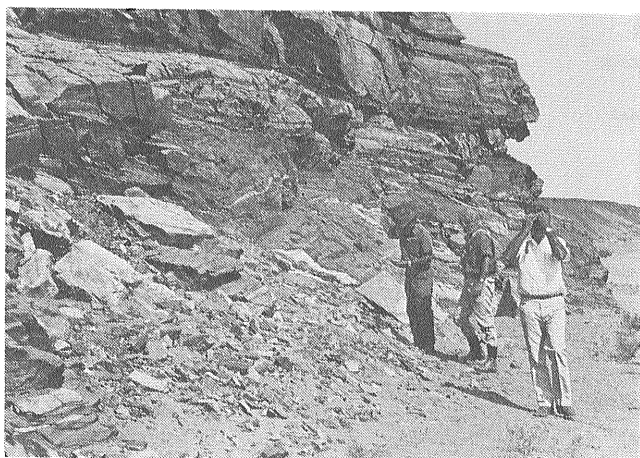


写真13 北サムラン地域のワジ・シタラ (Wadi Shitarah) 沿いのハラバン層群の緑泥石片岩中に層々注入により生成した片麻岩 右の遠景は新生代台地玄武岩

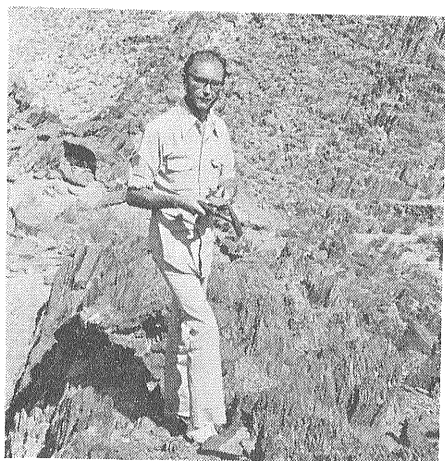


写真14 ワジ・ビダ (Wadi Bidah) 上流でバハ層群のフリッシュ相を見るミッチェル博士 (A. H. MITCHELL, 現 UNDP のプロジェクト・マネジャーとして在カタマンズ) 1974年と1975年の2年にわたってプレート・テクトニクスの集中講義を応用地質学センターで開いてくれた

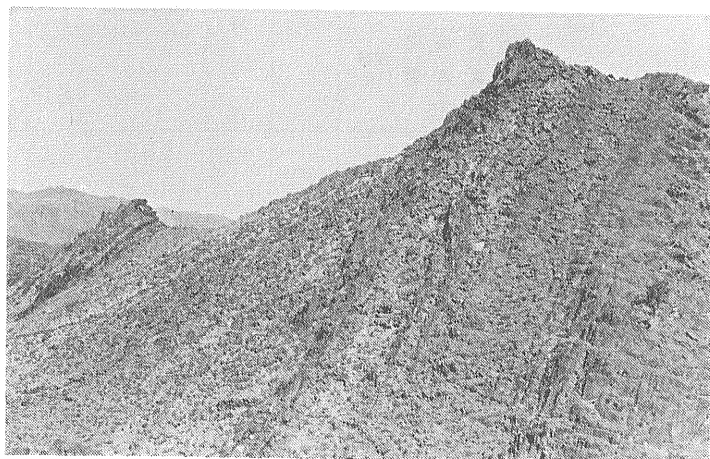


写真15 盾状地北西部のジャバル・サイード近くのハラバン層群 ピークをつくっているのは夾在する石灰岩層



写真16 盾状地東端のアルアマル・イドサス地域のハラバン層群の火山岩・堆積岩累層

ダイトとされている堆積岩層で特徴付けられ 何枚かの玄武岩溶岩には 十億年前のものとは思えないように美しい枕状溶岩が見られる。ワジ・ビダで観察される枕状溶岩を含む溶岩流は2枚あり ピローの直径は30 cm から1 m を超えるものである。枕状溶岩部分の露頭は余り連続的ではなくせいぜい10m~20mで塊状溶岩に移行したり 細粒の凝灰岩部に移行したりして数 km 追跡された。枕状溶岩を含む玄武岩—安山岩溶岩はベイシューバハ層群のほかには 南ラニヤ地域などのジェッダ層群中でも観察されるが ハラバン層群やマルダマ層群中の溶岩流では余り見られない。火山岩質の厚い砂泥互層中には 級化成層やスランピングなどの堆積構造が普通に見られまたアルカリ長石は全く見られず夾在する多源質礫層中には大陸起源の花コウ岩類の礫はなく 全部が火山岩礫でその大部分は玄武岩質である。このことからベイシューバハ層群の火山岩類は 大陸から遠く離れた未成長の島弧の火山活動の産物で 火山岩質の厚い堆積岩層は乱泥流の堆積物であることを示唆している (HADLEY, SCHMIDT, 1978 ほか)。

(2) ハラバン層群 (Halaban Group, 800-600 Ma)

USGS によりハラバン層群と呼ばれている層群を BRGM チームはフライファ層群と呼んでいる。盾状地中央部のハラバンを標式地とし名付けられたが 下部層が欠除しているので BRGM ではマディナ市の北のフライファ付近で完全な層群がみられるとしてこの名を付けた。(ここでは便宜上ハラバン層群を使っている)。このハラバン層群は 盾状地の金属鉱床の主要胚胎層準なので 古くからよく調べられており とくに北西部のフライファ—ヌグラ—ジャバルサイド地域と 盾状地東端のアル・アマール—イドサス地域 ジェッダ市の北東200km の北サラムン地域のハラバン層群は 多くの地質屋により検討されている。

この層群の火山岩類の地球化学はフライファ—ヌグラ—ジャバル・サイド地域は DELFOUR ほかの BRGM チーム アルアマール—イドサス地域では BRGM チームのデータを基礎にして応用地質学研究所の論文学生達 北サラムン地域は SKIBA 博士の指導で DGMR の地質屋とロンドンのインベリアル・カレッジの論文学生達が火山岩類の主化学成分と いくつかの微量元素成分元素のデータを積み上げ 詳しい火山層序と組合わせて議論を進めてきた。最近盾状地中央部のハラバン層群の火山岩類について希土類元素存在量 Sr 同位体組成を含む詳しい地球化学的研究が USGS の DODGE 博士を中心に始められた。DODGE 博士らは ハラバン火山岩類は新生代のカルクアルカリ系列の島弧火山岩類に化学的傾向が似ており 米国西部のカスケードの火山岩類そっくりであると述べている。例えばビル・ジュクジュク地域のハラバン層群は 玄武岩質安山岩—流紋岩溶岩流 火山砕屑岩 砕屑堆積岩からなり 緑色片岩相に変成している。この地域の安山岩溶岩の Rb-Sr 全岩年代は 760~775 Ma で Sr 同位体比初生値は 0.7018-0.7028 希土類元素存在量パターンは軽 REE 濃縮型を示す (コンドライト隕石値と比較して La—軽 REE—49~90倍 Lu—重 SEE—9~15倍) (DODGE ほか 1978)

フライファ—ヌグラ—ジャバル・サイド地域ではハラバン層群の層厚は10,000mを超え 下部層 (Afna 層; BRGM) は玄武岩質安山岩溶岩流 厚い火山砕屑岩層からなり 浅いサブ・ボルカニックな貫入岩体である斑レイ岩・輝緑岩(シルの形で)

表 5 弧状列島 大陸火山弧 大洋海盆 大洋の島々とアフリカのリフト帯における火砕岩の容量比

	火砕岩の容量比	岩石系列
弧状列島:	(Volume %)	
アリューシャン—アラスカ	95	CA
伊豆—小笠原	85	CA+TH
インドネシア	99	CA
小アンティル	95	CA+Alk
マリアナ	90	TH
大陸火山弧:		
アンデス	97	CA
キャスケード	90	CA
中央アメリカ	99	CA
大洋地域:(海盆)		
太平洋	3	TH
大西洋	6	TH
インド洋	3	TH
大洋の島々:		
アイスランド	39	TH
ハワイ	1~2	TH+Alk
カナリー諸島	20	Alk
アフリカ:	4	Alk

TH:ソレイアイト系列 CA:カルクアルカリ系列 Alk:アルカリ系列 (GARCIA, 1978, Tabel I より)

ソーダ流紋岩・石英クラファイアー (ストックの形で) が普通に見られる。上部層(Nuqra 層; BRGM) は安山岩や流紋岩質の火山砕屑岩からなり 溶岩流の容量比は全体の5%に満たない。硫化鉱物の鉱化作用は上部層の下位の流紋岩の活動と関連し日本の黒鉄鉱床のそれと良く似ていると考えられている。(DELFOUR, 1975; ROUTHIER・DELFOUR, 1974) ハラバン層群の多源質礫中には ベイシューバハ層群の場合とちがって 火山岩質の礫とともに花コウ岩質の礫に富み また砕屑岩中にもアルカリ長石が普通に見られるようになる。またハラバン層群全般を通じて 石灰岩やドロマイト層に富み中浅海性の堆積環境を示唆している。

(3) マルダマ層群とシャンマル層群

(Murdama-Shammar Groups, 530-600 Ma)

主として盾状地北部に広く分布し ハラバン層群を形成した島弧の火成活動・堆積が終った後のいわゆる後造山期活動の産物で マルダマ層群は安定地塊内の堆積盆の堆積相 シャンマル層群はアルカリ流紋岩溶岩と イグニングライトの活動で特徴づけられる火山岩相で 両層群は同時異相と考えられている。マルダマ層群は層厚変化がいちじるしく 下部層は流紋岩や安山岩さらに火砕岩を夾在している礫層 中部層は石灰岩と泥岩の互層 上部層は浅海堆積を示す堆積構造が数多くみられる砂岩 グレイワッケ 泥岩の厚い堆積層で 中部および下部層にも数多くの礫層を夾んでいる。マルダマ層群の砂泥互層では斜層理が特徴的であるが級化成層はほとんど見られない。ベ

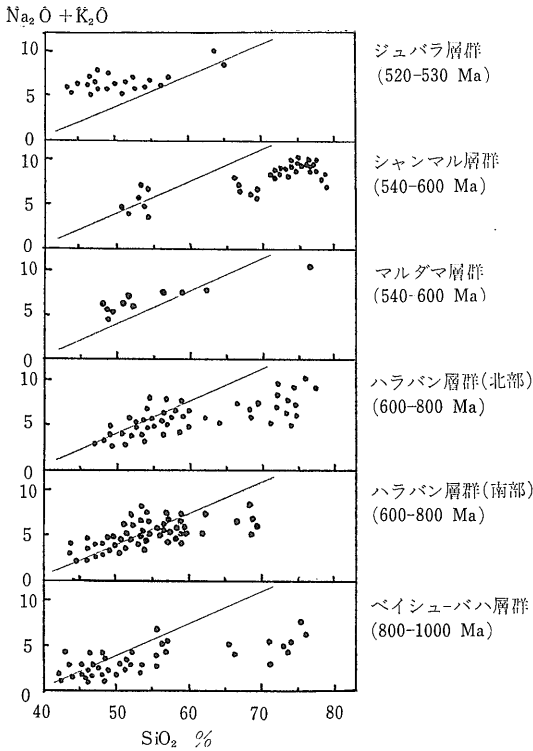


図5 アラビア盾状地 火山岩・堆積岩累層の火山岩の $\text{SiO}_2 : (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 組成比 斜線はハイ火山岩のソレイト質火山岩 (下部) とアルカリ火山岩の境界線 (Mc DONALD・KATSURA 1964)

イシューバハ層群やハラバン層群の堆積相がフリッシュ型であるのに対して マルダマ層群の堆積相はモラッセ型である。火山岩類はマルダマ層群では余り活動的でない。 シャンマル層群を特徴づけているアルカリ流紋岩とイグニンプライトの化学組成は同時期に貫入した過アルカリ花こう岩に良く似て Na

に富む。

(4) ジュバラ層群 (Jubaylah Group, 535-520 Ma)
ヘジャーズ造山の最末期に形成された北西-南東方向のナジド大断層系中のグラーベン型堆積層で 夾在する溶岩はアルカリ系列の玄武岩と粗面安山岩である。

アラビア盾状地の火山岩・堆積岩累層の堆積相はベイシューバハ層群とジェッダ層群 (800-1000 Ma) のように基性の火山岩質の碎屑岩のみからなるフリッシュ型の深海堆積相 ハラバン層群 (600-800 Ma) のように火山岩質の碎屑岩とともに花こう岩質のものも含む フリッシュ型の中浅海の堆積相から マルダマ層群 (530-600 Ma) やジュバラ層群 (520-535 Ma) のように モラッセ型の浅海盆堆積相と推移している。 またベイシューバハ ジェッダ層群とハラバン層群の溶岩流と火山碎屑岩類の比率は 火山碎屑岩類が容量比で90~97%を占めている。表5 でみられるように弧状列島と大陸火山弧では火山碎屑岩の比率は非常に高く (85-99%) 大洋地域では溶岩の比率が高いが アラビア盾状地の主要な累層はこの点でも島弧あるいは大陸火山弧に似ていることが判る。

前回でも述べたように海洋プレート同志の衝突により島弧-海溝が形成され (ベイシューバハ層群) 島弧が生長して激しい火山活動・深成活動により次第に安定地塊化し (ハラバン層群) 小さな堆積盆でのモラッセ型堆積物とアルカリ流紋岩の活動 (マルダマ-シャンマル層群) ナジド断層系の形成 (540 Ma) によるグラーベンへの堆積 (ジュバラ層群) で安定地塊化したとする造構発達史が提唱され マルダマ-シャンマル層群の形成末期 (550-570 Ma) に貫入したカルク・アルカリおよび過アルカリ・花こう岩の Sr 同位体比初生値が異常に高くなっている

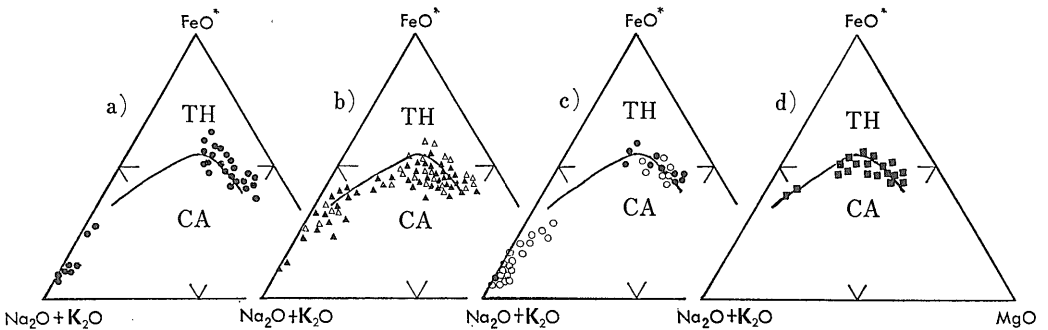


図6 アラビア盾状地火山岩・堆積岩累層中の火山岩の $\text{FeO}-(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})-\text{MgO}$ 組成比 (種々のソースより編集) 三角図中の曲線は IRVINE・BARAGAR (1971) によるソレイト系列とカルクアルカリ系列の境界線 上部: ソレイト系列 下部: カルクアルカリ系列
a) ベイシューバハ層群火山岩 (800-1000 Ma)
b) ハラバン層群火山岩 (600-800 Ma) ▲ 盾状地北部 △ 盾状地南部
c) マルダマ-シャンマル層群火山岩 (540-600 Ma) ● マルダマ層群 ○ シャンマル層群
d) ジュバラ層群火山岩 (520-530 Ma) (FeO^* は $(\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3)$ を FeO として計算)
TH: ソレイト系列 CA: カルクアルカリ系列

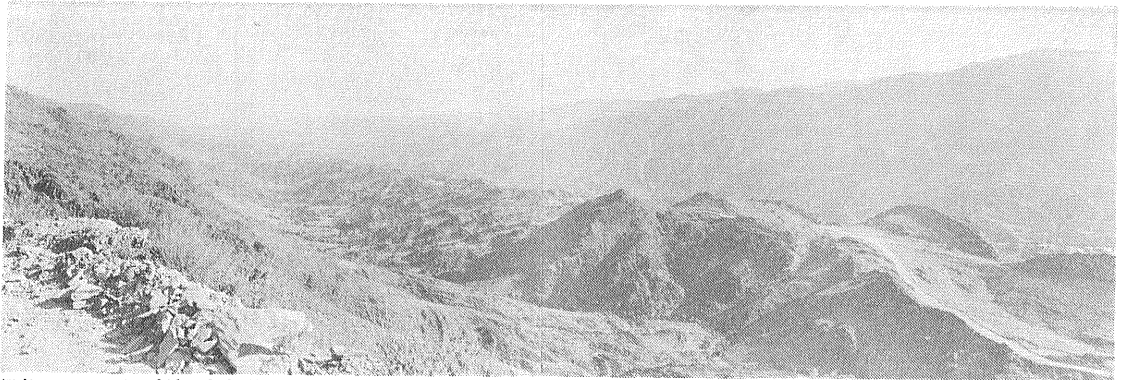


写真17 アル・バハ (Al Bahah) 付近のヘジャーズハイウェイよりワジ・ビダを眺望 手前はバハ層群・中間隆起部は枕状溶岩を含む溶岩・火砕岩層 遠景の山なみは 貫入した花こう閃緑岩 (約9億年)

(0.707-0.712) という理由でこの島弧とアフリカ大陸プレートの衝突があったとする人達もいる。さてこれら火山岩・堆積岩累層中の火山岩の化学組成はどうであろうか？

盾状地火山岩の化学的特徴

(1) $SiO_2-(Na_2O+K_2O)$ 組成比

アルカリ系列と非アルカリ系列の火山岩の区分に

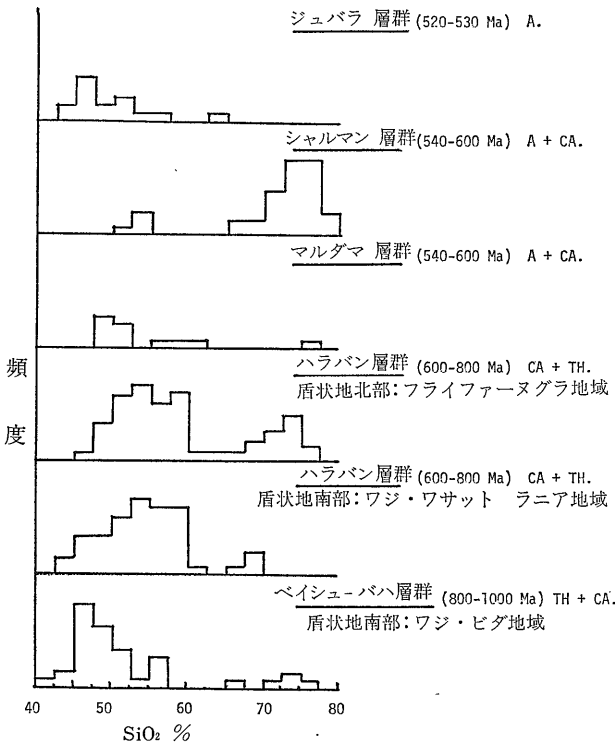


図7 アラビア盾状地火山岩・堆積岩累層の火山岩の SiO_2 頻度分布
A: アルカリ系列 CA: カルカルカリ系列
TH: ソレイアイト系列

$SiO_2-(Na_2O+K_2O)$ 組成比図が一般に用いられている。アラビア盾状地の各火山岩・堆積岩累層の火山岩についての $SiO_2-(Na_2O+K_2O)$ 図は ベイシュー-バハ層群では大半が非アルカリ系列に ハラバン層群では約 2/3 が非アルカリ系列にプロットされるが マルダマ-シヤルマン層群の玄武岩—安山岩とジュバラ層群の火山岩は明らかにアルカリ系列に属することを示している。ベイシュー-バハ層群とハラバン層群の火山岩でアルカリ系列に属するのは スピライト化のような Na 富化作用によるものと考えられ これらの火山岩の Na_2O/K_2O 比は非アルカリ系列にプロットされた火山岩にくらべて 著しく大きく なっている(図 5)。

(2) $FeO-(Na_2O+K_2O)-MgO$ 組成比

非アルカリ系列の火山岩のうちソレイアイト系列とカルカルカリ系列の区分には 古くからこの $FeO-(Na_2O+K_2O)-MgO$ 三角図が使われている。ベイシュー-バハ層群の玄武岩質火山岩はほとんどがソレイアイト系列の領域に入るが ハラバン層群の火山岩は南部のワジ・ワサットの玄武岩質のものを除いてカルカルカリ系列の領域に入っている(図 6)。マルダマ・シヤルマン層群の玄武岩質火山岩は アルカリ系列であるがシヤルマン層群の流紋岩は カルカルカリ系列であろう。この三角図からベイシュー-バハ層群のソレイアイト系列の玄武岩の活動で始まったアラビア盾状地の火山活動は カルカルカリ系列のハラバン層群の火山岩の噴出で最盛期を迎え マルダマ-シヤルマン層群の

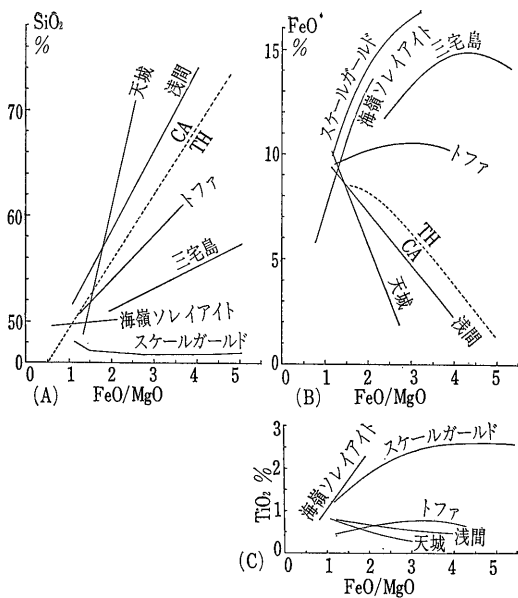


図 8 a スケールガード貫入岩体(グリーンランド) 海嶺ソレイアイト(大洋中央海嶺) 三宅島(伊豆・小笠原弧) トファ島(トンガ弧) 浅間火山および天城火山のソレイアイトおよびカルクアルカリ系列の火山岩 FeO*: 全 Fe を FeO で表示 点線は両系列の境界 (MIYASHIRO, 1973)

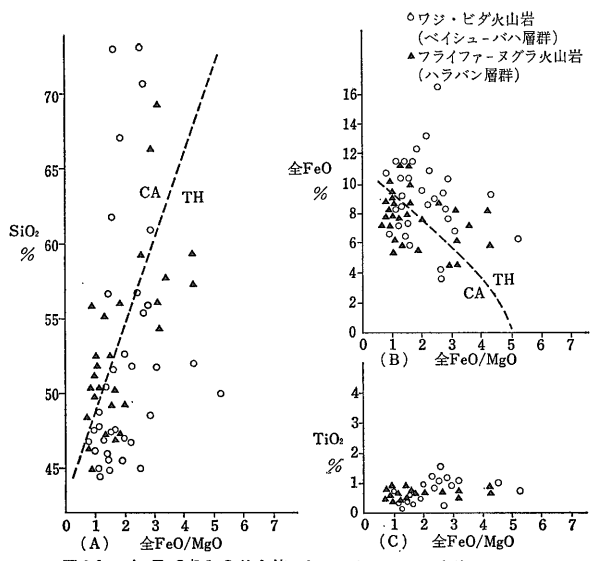


図 8 b 全 FeO/MgO 比を使ったカルクアルカリ系列とソレイアイト系列の火山岩の区分図 (MIYASHIRO, 1974) アラビア盾状地火山岩の例

アルカリ系列の玄武岩とジャンマル層群の流紋岩・イグニンプライトの活動で終りを告げ 局部的にナジド断層の形成に伴ってできたグラーベンにアルカリ系列の安山岩・玄武岩の噴出があった(ジュバラ層群)と考えられる。図 7 は各層群の火山岩の SiO₂ 含量の頻度分布図で上記の考えを裏書きしている。

(3) 全 FeO/MgO 比

MIYASHIRO (1974) は 現世の非アルカリ系列火山岩をソレイアイト系列とカルクアルカリ系列に分ける目安として全 FeO/MgO 比を使っている。SiO₂-全 FeO/MgO 図では カルクアルカリ系列の火山岩はソレイアイト系列のそれとくらべて SiO₂ が多く全 FeO の少ない領域に分布する。またソレイアイト系列が全 FeO と TiO₂ を分化過程で濃縮することを利用して 全 FeO-全 FeO/MgO 図と TiO₂-全 FeO/MgO 図を同じようにソレイアイト系列とカルクアルカリ系列の火山岩の区分に用いている。図 8 a) は現世の火山岩をこれらの関係図でまとめたもの 図 8 b) はアラビア盾状地のベイシューバハ層群のワジ・ビダ火山岩とハラバン層群のフライファ-ヌグラ火山岩に適用したものである。ワジ・ビダ火山岩の安山岩質および玄武岩質の火山岩はソレイアイト系列の領域を占め フライファ-ヌグラ火山岩はカルクアルカリ系列の特徴を示している。

(4) 希土類元素存在量や他の微量成分元素

最近のデータではベイシューバハ層群の玄武岩はいわゆる固体型の希土類元素存在量パターンを示すが Ba 含量は高い島弧ソレイアイト玄武岩の特徴を示し 一方ハラバン層群の安山岩は ビル・ジュクシクの例で見られるように軽 REE 濃縮型(液体型)パターンを示しカルクアルカリ系列の特徴を示している (DODGE ほか 1978)。応用地質学研究所の学生達は これら火山岩の TiO₂-Cr₂O₃ 組成比からテクトニックな環境を推定しようとしているが いずれも島弧玄武岩の領域に入り海嶺ソレイアイトの領域にプロットされる火山岩は見付かっていないとのことである。

おわりに

アラビア盾状地の火山岩・堆積岩累層の地質学的・地球化学的研究は ほとんどが USGS や BRGM の現地でのタイプ印刷のオープン・ファイル報告と 応用地質学研究所の修士論文で報告されているため 余り目につかないが IGCP の新テーマ “Pan African crustal evolution” の報告集会在 毎年 2 月にジェッダ市で行われることに決ったので より良い新しいデータがどんどんでてくることであろう。

今回は層状斑レイ岩貫入岩体とオフィオリイトの話を書いてみたい。(文獻は次回に一括する予定)