

### 中近東フィールド・ノート④

# アラビア半島の新生代火山岩類

高橋 清 (技術部)

## アラビアの台地玄武岩

昼間アラビア湾から西へ向ってアラビア半島を飛行機で横切っていると 白っぽい砂漠・赤茶けた土漠の単調な色彩が急に真黒な影に変わって驚かされる。一瞬 雲の影かと空を見ても雲一つない。影は延々と続き この影が途切れたところで紅海が見えはじめ 飛行機はジェッダへの着陸態勢に入る。この真黒な影がアラビア半島の台地玄武岩 (Plateau basalts) である。この台地玄武岩はアラビア語でハラット (Harrat) と呼ばれ 南はアデン付近から北はトルコ—イラク国境付近まで広く分布し 総面積は10万km<sup>2</sup>を超えている。火山活動は漸新世のイエメン・トラップ・シリーズで始まり現世まで続いている。

台地玄武岩といえば 印度デカン高原の溶岩台地 (面積52万km<sup>2</sup> 白亜紀—第三紀初期) や アメリカ合衆国北部のコロンビア河台地 (面積22万 km<sup>2</sup> 中新世) をすぐ思い浮かべるが アラビア半島に10万km<sup>2</sup>にも及ぶ大溶岩台地が広く分布していることは余り知られていない (ちなみに日本の総面積は約37万 km<sup>2</sup>)。

この台地玄武岩の活動は 紅海の断裂生成を含むアラビア半島のアフリカ大陸からの分離や 東アフリカ地溝帯の形成 紅海・東アフリカ地溝帯・アデン湾の接合点にあたるアフー低地の形成などのテクトニックな大事件と密接な関係があると考えられている。それゆえ アラビア半島の台地玄武岩の成因や岩石学的・化学的性質 これらの活動時期は東アフリカ地溝帯・アフー低地・エチオピア高原に広く分布している火山岩類と切り離しては考えられない (図1)。

ところがこのアラビアの台地玄武岩の研究はつい最近まで全くといってよい程行われていなかった。米国地質調査所 (USGS) の援助で1960年代の初めからアラビア半島 特にサウジ・アラビアの50万分の1の地質図幅の作製が行われたが 台地玄武岩については検鏡による簡単な岩石学的記載と一部の試料について K—Ar 法による年代測定が行われたにすぎなかった。これらの結果は Brown (1970) にまとめられている。また1970年以降 USGS とフランスの BRGM およびサウジ・アラビア政府の鉱物資源局 (DGMR) により精力的にアラビア

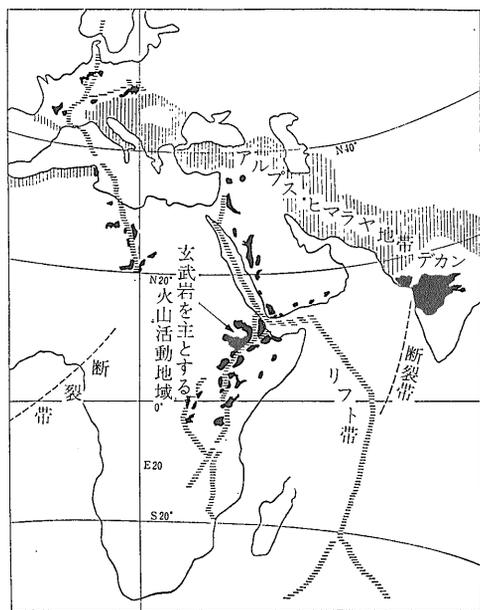


写真1 アラビア半島南西部の溶岩台地 (ワジ・ビダ) 溶岩の基底部では柱状節理が 上部では水平の板状節理が発達する 溶岩流の間にはほとんど火砕岩を挟まない

図1 ヨーロッパ・アラビア・アフリカのリフト帯に関連した新生代火山岩の分布 (牛来 1973より) Ma=100万年

盾状地について 10万分の1の地質図幅調査が行われいくつかの図幅では半分以上も台地玄武岩で占められているのに その記載はいずれも簡単なものであった。

紅海中軸帯の海嶺玄武岩や 紅海南部のいくつかの火山島の火山岩類については 紅海の断裂に伴うテクトニクスを明らかにするため 詳しい研究が行われているが アラビア半島内陸部の台地玄武岩の研究は これまでなぜ行われなかったのだろうか？ いくつか理由は考えられるが その主なものを挙げれば

- (1) これらの台地玄武岩の大部分は アルカリ・カンラン石玄武岩からなり そのマグマの分化物として少量のミュージアライト・粗面岩・フォノライト・コメンダイトなどがでてくるにすぎず このような分化生成物を除けば 台地玄武岩はきわめて一様の組成をもっているように見えた。
- (2) 台地玄武岩からなるこれらの溶岩台地は広大で その周辺の侵蝕解析された急崖以外では 試料の採取や観察がむずかしく さらに新しい時代の噴火口や噴石丘群が溶岩台地の中心部付近で見られるが 車でのアプローチはきわめて困難でヘリコプターの使用が必須となる など色々あるが
- (3) 結局は図幅調査を含めてこれまでの調査の主流は先カンブリア紀アラビア盾状地の鉱物資源調査であり 鉱物資源の胚胎母体である盾状地を広く覆っている台地玄武岩は邪魔物でこそあれ 調査研究対象

にはなり得なかったというのが偽らざる理由であろう。

その後 英国オープン大学の GASS 教授らによるマディナ市の北のハラット・ハイバル (Harrat Khaybar) の新期噴石丘群である ジャバル・アビヤッド (Jabal Abyad) の酸性火山岩類の研究 (BAKER, BROSSET, GASS & NEARY, 1973) や USGS の COLEMAN 博士らの中新世初期のソレイアイト質平行岩脈群の活動 (COLEMAN, FLECK, HEDGE & GHENT, 1975) の論文に刺激され 応用地質学センターの学生達の修士論文のフィールドにいくつかの台地玄武岩が選ばれ 二・三の研究が行われ始めた。一般に 何枚も重なりあった台地玄武岩溶岩の周縁部は基盤岩の風化解析により大小のブロックに砕かれ “自破碎溶岩” のようにみえ 岩塊が累々と重なりあっており溶岩中にとりこまれている超塩基性ゼノリスを比較の見付けやすい。一人の学生はジェッダ市の近くのハラット・ラハットのアルカリ・カンラン石玄武岩溶岩中に入ってきている超塩基性ゼノリス (主としてレールゾライト・ハルツパージャイト) を研究テーマに取り上げたのも一つの例である。

### 新生代火山活動史

アラビア半島の台地玄武岩とテクトニックな意味で密接な関係をもつ東アフリカ地溝帯・エチオピア高原・アフアー低地・アデン湾および紅海の火山岩類は アラビア半島の火山岩類にくらべて比較的良好に研究されている。すなわち

- (1) 東アフリカ地溝帯とくにケニア地溝帯周辺の台地玄

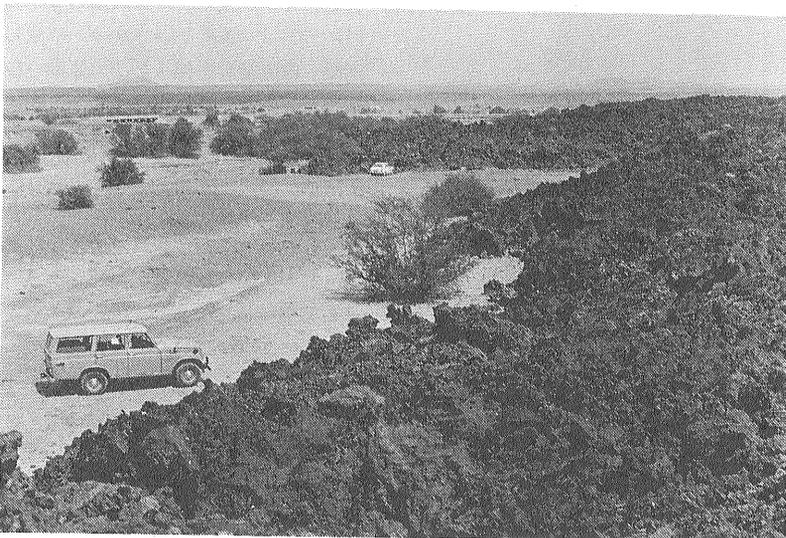


写真2  
アラビアの鬼押し出し  
アラビア半島最大の台地玄武岩であるハラット・ラハットは中新世から現世まで活動が続いている。最後の活動は14世紀でマディナ市の郊外まで流れてきた。マディナータブーク街道沿いの「鬼押し出し」はマディナ市民の悪いの地になっている。

玄武岩を含む火山岩類は 旧宗主国の英国東アフリカ地質研究施設 (the East African Geological Research Unit) を中心に研究が進められ KING 博士らによりまとめられている (KING & CHAPMAN, 1972).

- (2) エチオピア高原の台地玄武岩 (面積75万 km<sup>2</sup> 漸新世) は アジスアベバの地球物理観測所に勤務していた MOHR 博士 (現米国スミソニアン天文物理観測所) により精力的に研究が行われ 世界最大のエチオピア・トラップ・シリーズの性質が明らかにされ アラビア半島のイエメン・トラップ・シリーズと対比された (MOHR, 1970ほか).
- (3) つい十年前前までは全く未知の地であったアフアー低地 (エチオピア北東部にあり 紅海とアデン湾そして東アフリカ地溝帯が接する三角地帯) は TAZIEFF 博士をリーダーとするフランス・イタリア調査隊により 地質・地球物理・地球化学を含む総合調査が 1967年より行われ全貌が明らかにされた. とくに BARBERI および VARET の伊・仏の両博士はアフアー低地の火山岩類の研究により国際火山学会より 「Walker Prize」 を1975年に授与された (BARBERI & VARET, 1970ほか). またこのフランス・イタリア隊とは全く別個に西独はアフアー低地を西独のジェオダイナミックス・プロジェクト (GDP) のフィールドに選び その成果は1974年西独の Bad Bergzabern で行われた「アフアー・シンポジウム」で公表された (PILGER & RÖSLER, ed. 1975).
- (4) 紅海は海洋底の拡大により生成し中軸帯には海嶺ソレイイト玄武岩の噴出がみられる. 1974年のグ

ローマー・チャレンジャー号による DSDP 計画第23節の掘削により更に新しく海嶺玄武岩の採取が行われている (CHASE, 1969; COLEMAN, 1974). また紅海の南に散在する火山島の火山岩類 (ジャバル・アッタイル ズベール諸島 ズクールおよびハニッシュ群島) を紅海中軸帯の海嶺玄武岩と関係付けようとする研究も行われた (GASS, MALLICK & COX, 1973).

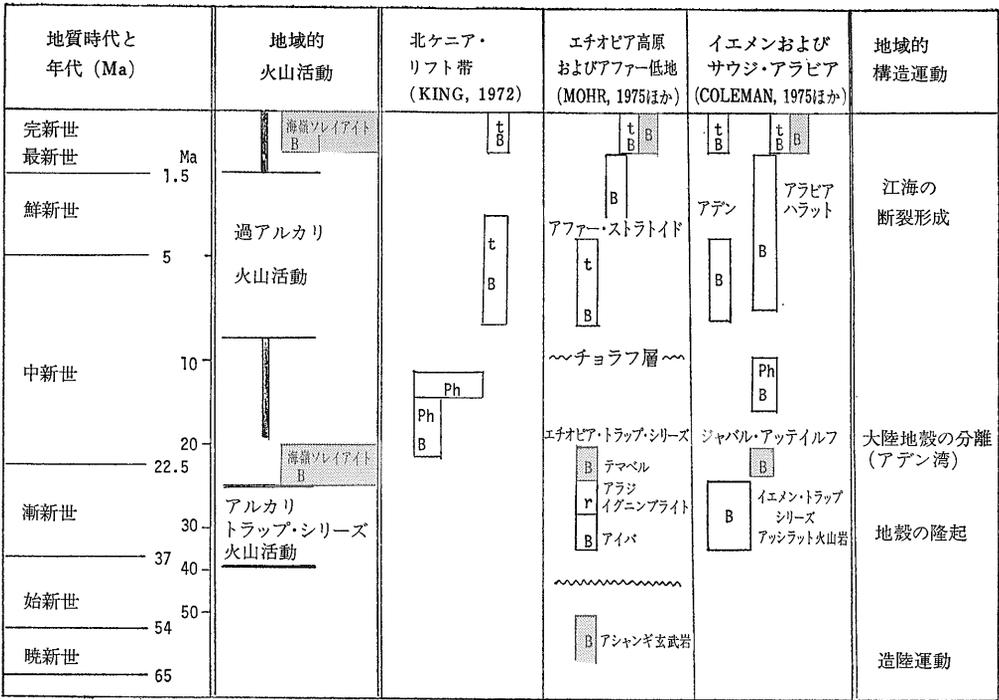
- (5) アラビア半島南端の南イエメンでは小規模な成層火山群のアデン火山列の分布が知られ アデンから英国軍が撤退するまで王立協会の援助で英国の多くの地球科学者がアデン火山岩類の研究にたずさわった (GASS, MALLICK & COX, 1965 ほか).

東アフリカ地溝帯・エチオピア高原・アフアー低地それにアラビア半島の溶岩台地の広さは 全部あわせると 80万 km<sup>2</sup>にも達し またその厚さもエチオピアやイエメン・トラップ・シリーズでは 2,000m を超す. 1969年3月に英国王立協会の主催で「紅海の地殻構造と地史的発展および紅海・アデン湾・エチオピア地溝帯分岐点の性質」に関するシンポジウムが開かれ (FALCON, GASS, GIRDLER & LAUGHTON, ed., 1970) さらに1974年4月に西独パッド・ベルグツァベルンで行われた「エチオピアのアフアー低地」についてのシンポジウム (PILGER & RÖSLER, 1975) などの国際的な最近の研究成果は これら新生代火山岩類の活動時期の対比や 岩石化学的性質の比較を可能にし 成因的な考察も行われるようになってきている. このアフローアラビア・リフト帯周辺の新生代火山活動の時期と 火山岩の岩石化学的性質を種々のソースから編集してみた (図2). アフローアラビア大陸は先カンブリア紀末のカタンガ変動期(7億年—4.5億年パン・アフリカ変動ともいわれる) の激しい火山活動 深成活動を伴った造山運動の後 火山活動は途絶え 白亜紀末まで全く静穏でこの地域は準平原化し 一部が海侵により白亜紀堆積物を薄く堆積した以外は何のできごともし起こらなかった. ところが マントル・ブルームかホット・スポットか何らかの原因によりこの大陸地域に隆起が起り (造陸運動) さらに漸新世に入って 現在のエチオピア高原と北イエメン地域に莫大な量のアルカリ玄武岩とその分化生成物を噴出した. この広大な台地を形成した火山岩類はトラップ・シリーズ (Trap Series) と呼ばれている. (図3)

トラップ・シリーズの活動後 中新世初期



写真3 エチオピア高原のトラップ・シリーズ デシー (Dessie) の北 (PILGER, RÖSLER 編集 Afar Depression of Ethiopia, 1975 より)



□ : アルカリ岩系 B : アルカリ玄武岩 t : 粗面岩 ph : フォノライト r : アルカリ流紋岩  
 ▨ : ソレイアイト岩系 B : ソレイアイト玄武岩 Ma=100万年

図2 アフロアラビア・リフト帯周辺の火山活動の対比 GASS (1970) を主体とし 種々のソースより編集

にアデン湾を中心として大陸地殻の分離が始まり ほぼ同時期にアデン湾断裂の延長部にあたるエチオピア高原にソレイアイト質玄武岩の噴出(テマベル玄武岩) 紅海沿いにソレイアイト質ハンレイ岩 輝緑岩平行岩脈群の活動(ジャバル・アッティルフ)があり いずれも海嶺型活動帯と密接な関係があり COLEMAN 博士は 紅海の最初の断裂はこの時期に起こったとする「紅海二回断裂モデル」を提唱した (COLEMAN ほか, 1975). 一方 現在の東アフリカ地溝帯では トラップ・シリーズにややおくられて中新世に入ってフォノライトで特徴づけられる大規模なアルカリ火山岩の噴出があった.

中新世末から鮮新世にかけて アフロアラビア・リフト帯全域にわたって 過アルカリないしアルカリ火山岩の活動がおこり アラビア半島では小規模ながら南端のアデン火山岩類 内陸部では莫大な量のアルカリ・カンラン石玄武岩溶岩が 南北に走るハイル隆起帯 (Hail Arch) の頂部から噴出し 広範囲に拡がり 沿岸部にも流れた. これがアラビア半島の台地玄武岩の主体をなしている (10~2.5 Ma). これらの溶岩流の大部分は 紅海沿岸より 150~200km 内陸部を占めている. ハイル隆起帯は 古生代初期に形成された先カンブリア紀基

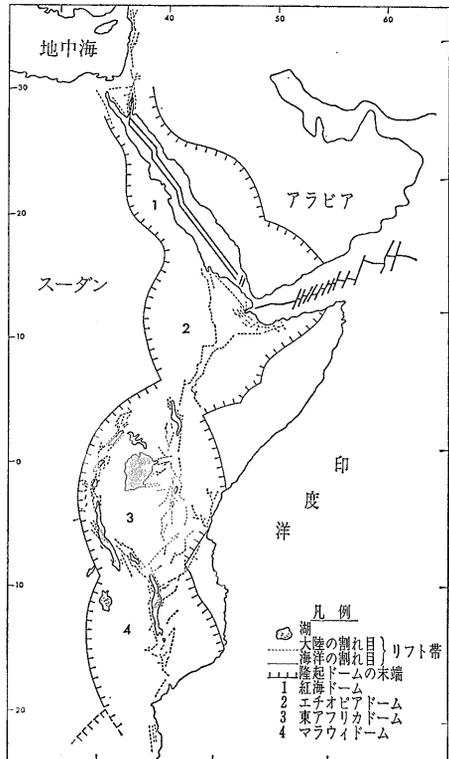


図3 白亜紀末から第三紀初頭にかけてのドーム状隆起 このドーム状隆起により地殻の割れ目ができ リフト帯を形成した (GASS 1970 より)

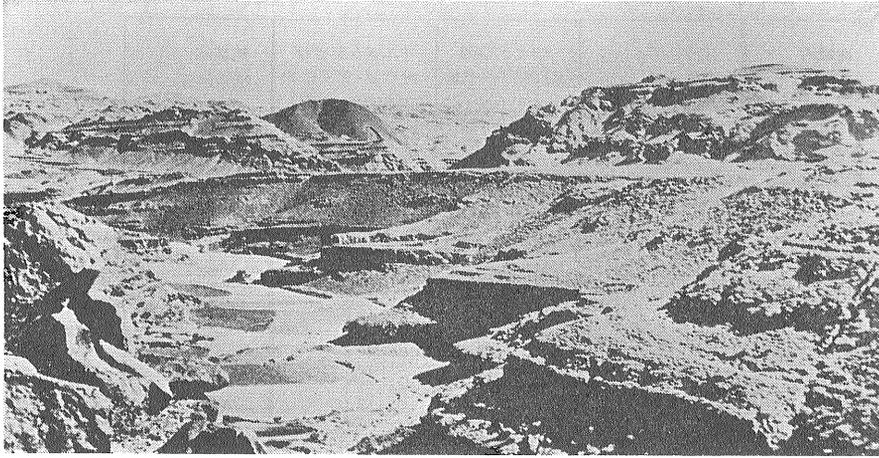


写真4  
北イエメン・ザラージャ (Zarajah)  
付近のトラップ・シリーズ  
(GEUKENS, USGS Prof. Paper  
560 B 1966より)

盤岩の隆起屈曲部である (GREENWOOD, 1972)。中新世中期にも断続的に火山活動があったようで 紅海の石油試掘井のコアより中新世の蒸発岩や碎屑岩に夾在している中新世アルカリ玄武岩や 内陸部に中新世中期のアルカリ玄武岩・フォノライトが見つかっている。

現在の紅海の中軸帯の形成は鮮新世 (~5 Ma) に始まったといわれている (Ross ほか 1972)。その後海嶺ソレイアイトは中軸帯の 数多くの海底火山よりハイアロクラスチックな溶岩として噴出した。アラビア半島内陸部にもほぼ同時期にアルカリ玄武岩溶岩の噴出があり現在まで断続的にこの活動は続いている。マディナ市郊外の「鬼押し出し」は14世紀の噴火との記録が残っている (写真2)。エチオピアのアファー低地の陥没も紅海の中軸帯の形成期とほぼ同時期で この陥没期に莫大な量の玄武岩溶岩 (アファー・ストラトイド・シリーズ

BARBERI ほか 1972) の噴出があり この火山活動は現在まで続いており 過アルカリ酸性火山岩や海嶺ソレイアイト的な性質をもつ玄武岩溶岩 (中間型玄武岩) の噴出があった。この中間型玄武岩はアファー低地の中軸帯の火山群より噴出し 紅海中軸帯の海嶺ソレイアイトの活動と較べられている。

紅海南部の現世の火山島は 紅海中軸帯内に 分布している。中軸帯中心にもっとも近い火山島のジャバル・アッタイルのソレイアイト質玄武岩から 南へ向って (ズベール諸島とズクルー-ハニッシュ群島) アルカリ玄武岩—粗面玄武岩—粗面安山岩と変化している (GASS ほか 1973)。

このようにアフローアラビア・リフト帯の火山活動の時期や火山岩類の性質をテクトニクスと関連づけて対比することが可能となってきた。さらに火山岩類のストロンチウム同位体比や希土類元素(REE)などの微量元

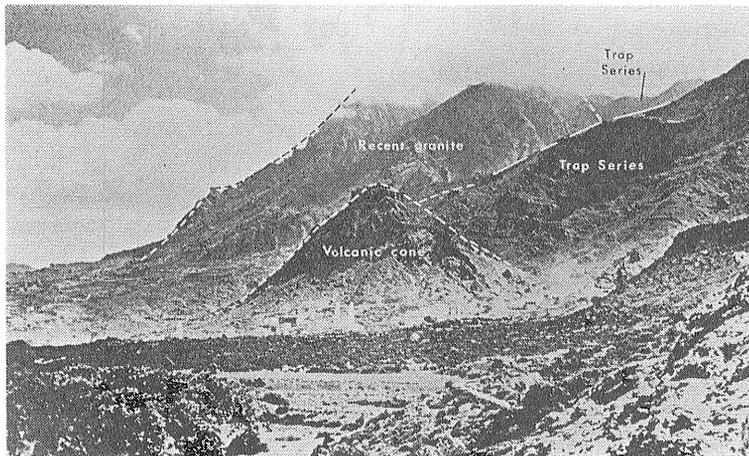


写真5  
ジャバル・サビールの若い花崗岩とトラップ・シリーズ  
タイズ市付近 (Taizz)  
(GEUKENS, USGS Prof. Paper 560 B 1966より)

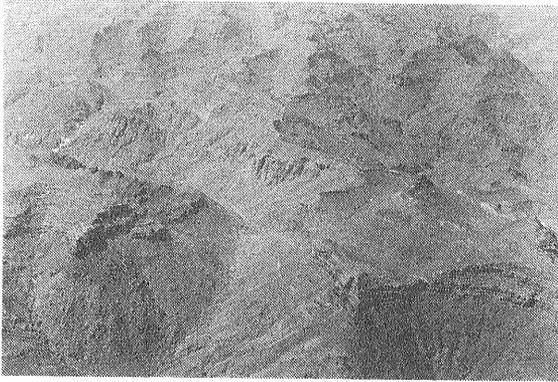


写真6 イエメン・トラップ・シリーズ (高度約4,000mより撮影)  
タイズ (Taizz) 付近

素地球化学のデータも次第に集められ より詳細な成因論が展開されようとしている。

### サウジ・アラビアの新生代火山岩類

USGS の COLEMAN 博士は 紅海形成の機構を解明するために1968年以来 サウジ・アラビアとイエメン国境付近の地質図幅調査 (1/100,000) を行い 4 枚の図幅を刊行し 図幅内の新生代火山岩の活動を鍵として「紅海二回断裂モデル」を提唱している (COLEMAN, 1974; COLEMAN ほか 1975)。

COLEMAN 博士の調査した地域の火山活動は いわゆるトラップ・シリーズの溶岩台地にはじまり 中新世初頭のソレイイト質の火山活動 (平行岩脈群) さらに中新世末から鮮新世にかけてのアリカリ岩系の台地玄武岩の噴出 引き続き現世のアルカリ玄武岩の活動が断続的につづいており 紅海中軸帯の海嶺ソレイイトの活動を除いてアラビア半島の新生代火山岩類を網羅してい

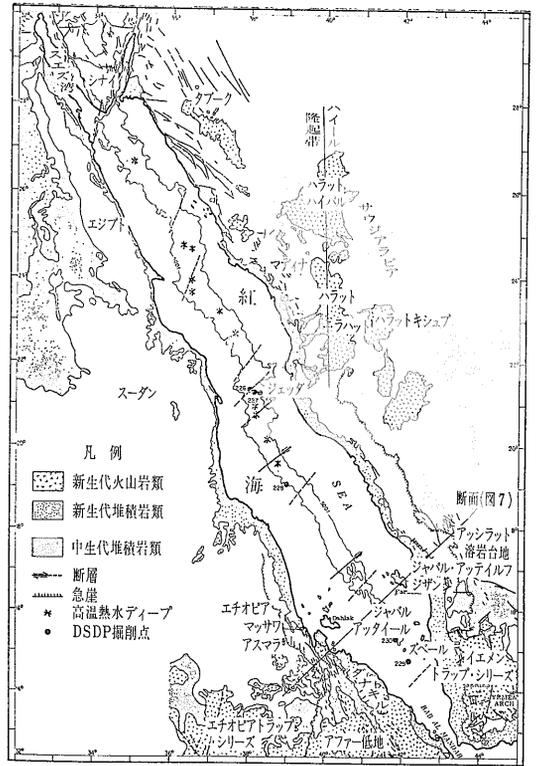


図4 紅海周辺の地域地質構造図 (COLEMAN ほか 1975より)

る。 サウジ・アラビアの新生代火山活動を理解する上にも この地域は最良のモデル・フィールドである。 海拔2,500mを超すこの地域は夏でも快適で 地質巡検のフィールドとして学生達としばしば訪れた。

### (1) トラップ・シリーズ (29~24 Ma)

サウジ・アラビアと北イエメンの国境に近いアシール



写真7 アッシラット溶岩台地の遠景 (左手) (BROWN 1970より)

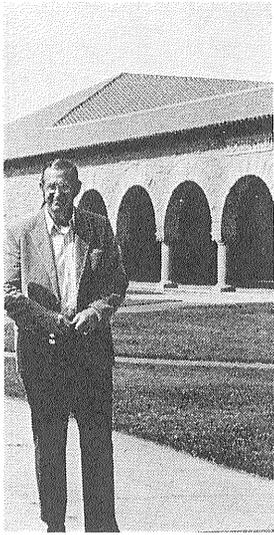


写真 8  
 オフィオライトで有名なボブ・  
 コールマン博士 アラビアの  
 地質を愛している地質屋の一人  
 で 毎年数カ月はアラビアに現  
 れる

山脈は 紅海に向かって急崖をつくっており この急崖に  
 近い高原に溶岩台地がある。この地域はアッシラット  
 (As Sirat) と呼ばれ サウジ・アラビアでは最高処にあり  
 隆起した先カンブリア紀基盤岩と 現在の紅海との  
 構造上の境界に当たっている。アッシラット溶岩台地は  
 北イエメンに広く分布しているイエメン・トラップ・シ  
 リーズの北の延長部に当り 17ないし20枚の溶岩流から  
 なり 約500mの厚さをもつ。第三紀以後の活発な侵  
 蝕により相当量の溶岩流が剝脱されているので もとも  
 とはもっと厚かったものと見られる。とくにアッシラ

ット溶岩台地の北西部では深い侵蝕により溶岩流は完全  
 に剝脱されているが 溶岩の出口と見られるパイプ  
 (Feeder pipes) が数多く観察される。アッシラット玄  
 武岩溶岩と直接関係づけられる玄武岩岩脈は極めて稀れ  
 なので 溶岩台地は主にこれらのパイプを通して火口よ  
 り中心噴火で形成されたのであろう。これらのパイプ  
 は 直径15~20mでその周縁部は柱状節理が発達してい  
 る。トラップ・シリーズの主体をなしているエチオピ  
 ア高原の溶岩台地は最高3,500mもの厚さをもっている。  
 このエチオピア・トラップ・シリーズは 南北方向の割  
 れ目噴出により形成された下部層(厚さ約1,000m)と南  
 北に配列する火口からの中心噴火により形成された上部  
 層(厚さ約2,600m)とに分けられ 噴出時期は K—Ar  
 法による年代測定で 35~24 Ma である (Mohr, 1970;  
 Mohr, 1975)。アッシラット火山岩の噴出時期は 29~  
 24 Ma で割れ目噴出の証拠はないので アッシラット溶  
 岩台地では トラップ・シリーズの初期の活動が欠除し  
 ていたと推定されている (Coleman ほか 1975)。サウ  
 ジ・アラビアのトラップ・シリーズの活動は エチオピ  
 アやイエメンのようにもっと広い範囲にわたったのかも  
 知れない。現在地表ではアッシラット溶岩台地とフィ  
 ダー・パイプが観察されるのみであるが 数百キロ離れ  
 たジェッダ市郊外のシメシ層(漸新世)の下部に25 Ma  
 の年令をもつ玄武岩が見つかっている。

アッシラット火山岩溶岩の岩石化学的特徴は シリカ  
 に不飽和で ノルム・ネフェリンをもつ アルカリ岩で

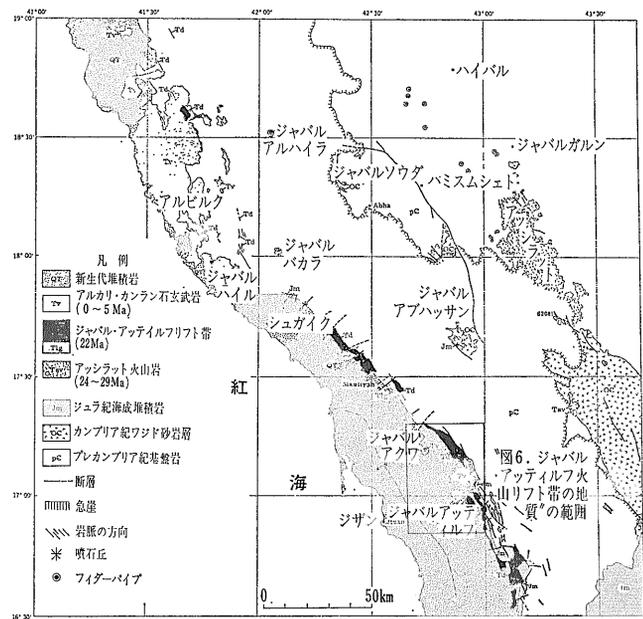


図5 サウジ・アラビア南西部の地質 (COLEMAN ほか 1975より)

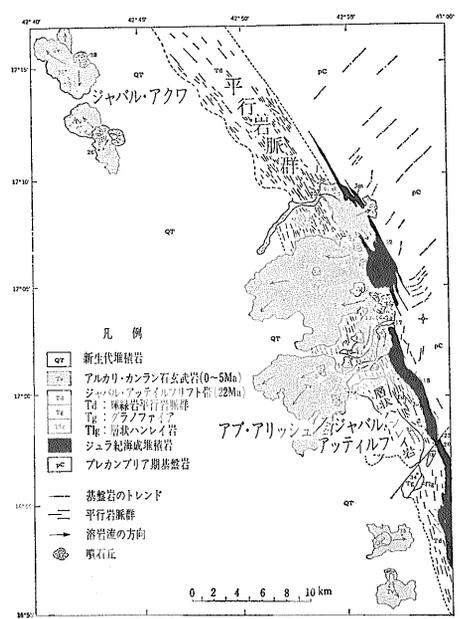


図6 ジャバル・アッティルフ火山リフト帯の地質 (COLEMAN ほか 1975より)

ある。基底溶岩はごく少量のノルム・ネフェリンを含むにすぎないが 上部の溶岩流ではノルム・ネフェリンが増加し 基底から頂部まで アルカリ・ピクライト—アルカリ・カンラン石玄武岩（ペイサナイト）—ハワイアイトと分化している。アッシラット火山岩中にごく少量の粗面岩の活動があるが これはもとのピクライトの地殻内での分化生成物であろう。火山岩パイプの組成範囲は ピクライトやハワイアイト 粗面岩は全く見付からず アルカリ・カンラン石玄武岩で アッシラット火山岩の中・後期の溶岩のみを代表している。

アッシラット火山岩溶岩は化学組成による分類によれば ハワイ諸島などのアルカリ・カンラン石玄武岩の典型的な「Na-に富む系列」に入っている。

アッシラット溶岩台地の主体である北イエメンのトラップ・シリーズの岩石化学的データは少なく また第二次世界大戦前の報告はイタリア語のものが多いが これらのデータは Монр 博士により「化学分析値のカタログ」中に集録されているので便利である (Монр, 1970)。

## (2) ジャバル・アッティルフの平行岩脈群とハンレイ岩 (22~20 Ma)

アッシラット溶岩台地を形成したトラップ・シリーズの火山活動が終って 中新世初めにアデン湾の断裂形成がおこり ほぼ同時期にアッシラット溶岩台地と現在の紅海間の地域に火山リフト帯の形成があった。幅1ないし5 kmのリフト帯の中に数百もの平行岩脈群と層状ハンレイ岩体が観察され もっとも良いロカリティがジャバル・アッティルフ(Jabal at Tif)である(図5, 6)。この平行岩脈群の主体は輝緑岩で まれにハイアロクラシックな火山岩や不完全ではあるが枕状溶岩も見付かっており(写真9) 優白色のグラノファイアや流紋岩岩脈も伴っている。平行岩脈群は ジュラ紀のフムス砂岩層と先カンブリア紀の基盤岩中に割り込み 紅海中軸帯と平行の北西方向をもつ。平行岩脈群を含むリフト帯は磁気異常を示すが 同様の異常がジェッダ市からアカバ湾近くまで続いており リフト帯と平行岩脈群が延々と紅海に平行に北まで続いていることを示唆している (Brown, 1970)。この平行岩脈をもつリフト帯は 地殻が断裂形成した海嶺の延長部に当たり いうなれば「地球の割れ目」といわれているアイスランドの中央帯(割れ目地帯)にたとえられ 平行岩脈群は噴火割れ目の下部構造に当たり 溶岩流の供給路で上部の溶岩流のほとんどが解析剝脱されて地表に露出したものと考えられている。また層状ハンレイ岩体は上昇したマグマが地表近くで溜り冷却固結した集積岩で 集積鉱物によってリズムミクな層を作っている。この層状ハンレイ岩体は

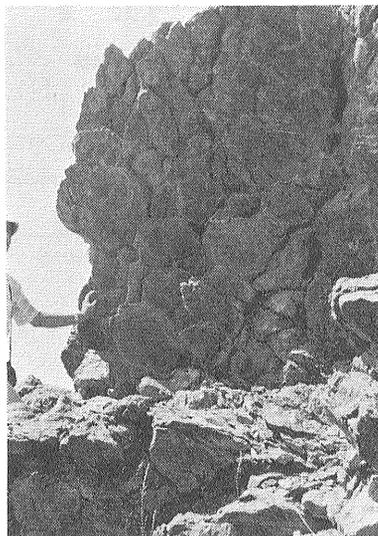


写真9  
ジャバル・アッティルフ輝緑岩平行岩脈群の上部に稀れに残っている玄武岩枕状溶岩

リフト帯の中にあり 長さ約8km 幅1.4~2.6kmで層は紅海に向かって急斜している。これら輝緑岩平行岩脈群と層状ハンレイ岩体の年代は 22~20 Ma である。

このようにこれらの平行岩脈群や層状ハンレイ岩体の生成時期と産状は アデン湾の断裂・海洋地殻の形成と密接な関係がありそうに見えるが 問題はこれらの岩石学のおよび化学的性質である。

### 1) 岩石学的性質

**輝緑岩平行岩脈群**—岩脈の岩石はCaに富む斜長石 単斜輝石 マグネタイト-イルメナイトからなる細粒の輝緑岩でカンラン石と紫蘇輝石は含まれていない。輝緑岩の平均モードは斜長石51.0% 単斜輝石36.9% マグネタイト-イルメナイト11.5%で すべての岩脈は容量比で10%以上のマグネタイト-イルメナイトを含み マグマ中での鉄の濃縮を示している。これらの岩脈はいずれも低度の熱変成を受け 二次鉱物の緑泥石 緑簾石 スフェーンをつくっている。

**グラノファイア・流紋岩岩脈**—優白色のグラノファイアや流紋岩岩脈が 輝緑岩岩脈群と共生しており カリ長石と石英が主成分で微量の角閃石・輝石・不透明鉱物を含む。これらの優白色岩脈は流紋岩と粗面岩との中間的性質をもっている。

**層状ハンレイ岩**—集積鉱物による層状構造が認められ Caに富む斜長石 単斜輝石 カンラン石 不透明鉱物よりなる。カンラン石はすべてのハンレイ岩中に存在し (Fo<sub>67-70</sub>) 基底部では容量比で34%にも達し頂部に向かって減少する。カンラン石の減少とともに単斜輝石が埋め合わせるように増加している。斜方輝石は稀れで 不透明鉱物はマグネタイト-イルメナイトの混合物で容量比で0~11%と変化している。単斜輝石中には離溶相は見られず このハンレイ岩が地表近く比較的低温で晶出したことを示している。

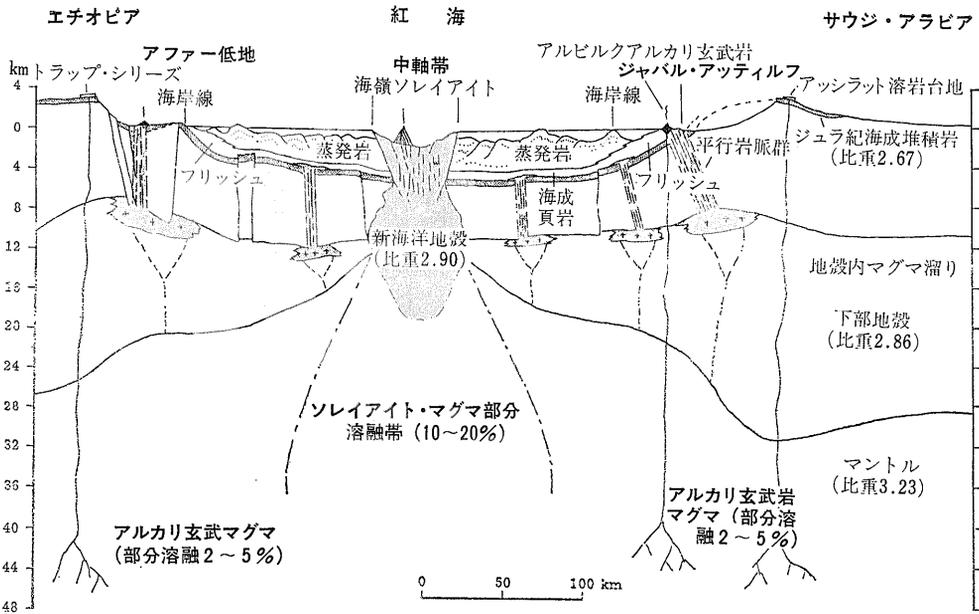


図7 紅海(エチオピアからサウジアラビア南西部)の模式断面図(COLEMAN ほか 1975より)

## 2) 化学的性質

**輝緑岩平行岩脈群**—層状ハンレイ岩の基底近くの細粒の輝緑岩急冷相を示す試料(JT-23)を未分化のマグマを代表するものとして選ばれている。輝緑岩岩脈の平均Fe含量(FeOとして)はFeO=14%でもとのマグマ(JT-23)のFeO=11.7%より高い。さらにSiO<sub>2</sub>とアルカリの増加に伴うMgOの減少は輝緑岩岩脈が貫入までにくら分か分化していることを示している。すべての岩脈はノルム・紫蘇輝石とノルム石英を含み平均SiO<sub>2</sub>含量は50.7%である。SiO<sub>2</sub>-アルカリ変化図にプロットすると岩脈はソレイアイト岩系に区別される。輝緑岩岩脈の分化生成物と考えられるグラノファエアと流紋岩岩脈も同様である。

**層状ハンレイ岩**—ハンレイ岩は低SiO<sub>2</sub> K<sub>2</sub>O 高Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> CaOで特徴づけられ最も多量に含まれる集積鉱物であるCaに富む斜長石の量により岩石の化学的性質は規制されている。層状ハンレイ岩のごく一部がSiO<sub>2</sub>に不飽和であるけれどその大半はノルム・紫蘇輝石を含む試料JT-23が未分化のマグマを代表するとすれば層状ハンレイ岩はこのマグマがわずかながら分化し集積鉱物を沈殿生成し残液は岩脈を通して火山岩溶岩として地表に噴出し岩脈中でそのまま固化して輝緑岩岩脈群となったのであろう。

ジャバル・アッティルフの平行岩脈群と層状ハンレイ岩体についてのCOLEMAN博士の研究により中新世初めに火山リフト帯ができソレイアイト質本源マグマ(海嶺ソレイアイト・マグマに大変似ている)は地表近くのマグマ溜りで層状ハンレイ岩体をつくりまた地下深部での結晶分化作用でいくらか分化して溶岩流や輝緑岩

平行岩脈群をつくったものと考えられるようになった。これらの岩石についてストロンチウム同位体比や稀土類元素(REE)を含む微量元素の地球化学的研究も進んでいるようで私信によればこれらの結果は海嶺ソレイアイトと密接な関係をもっているとのことである。ジャバル・アッティルフの巡検では英国のGASS教授らは急冷周縁相をもつなどキプロスの平行岩脈群とこの地域のものと同様と極めてよく似ていると強調しまた先に述べたアイスランドの割れ目地帯を例に引く人達もいたがCOLEMAN博士の「紅海二回断裂モデル」は多くの人々に次第に認知されるようになってきている。平行岩脈群の活動を主体としたこの火山リフト帯の形成後は紅海周辺の火山活動は下火となり沈降がおり中新世を通じて紅海に厚く蒸発岩を堆積した。しかしハイル隆起帯を中心としたアラビア半島内陸部では広大な地域にアルカリ玄武岩の噴出があった。

### (3) アルカリ玄武岩の活動(10 Ma-0 Ma)

モデル・フィールドであるジャバル・アッティルフ地域をはじめアラビア半島内陸部アデン地方さらに紅海南部での火山島の形成など中新世末から現世にかけて広い範囲のアルカリ玄武岩を主体とした火山活動があった。この時期の火山活動により大部分のアラビア半島の溶岩台地は形成された。

## 1) ジャバル・アッティルフ火山リフト帯付近

(~5 Ma と 0.5~0 Ma)

ジャバル・アッティルフの火山リフト帯付近のアルカリ玄武岩溶岩流は 5 Ma 前に噴出した古期溶岩流(ジャバル・アルハイラとジャバル・バカラ)と 0.5 Ma (50万年)よりも新しい新期溶岩流とに分けられ 新期溶岩流には数多くの小さな噴石丘がみられるが 現在いちぢるしく解析されている。噴石丘はもとの大きさは普通ほぼ 150m 以下の高さと約 1,000m の基底直径をもっており小さな火口をもつ。噴出形態は火山リフト帯の割れ目噴出(平行岩脈群)ではなく パイプ状の火道からの噴出でほとんど火砕岩は夾まない。比較的厚い溶岩流の基底部では柱状節理がみられるが 上部では水平の板状節理が発達することが多い。この地域の古期溶岩流は一般に多量の大きな斜長石斑晶をもち 無斑晶の新期溶岩流と区別し易い。新期・古期溶岩流いずれもすべて  $\text{SiO}_2$  に不飽和でノルム・ネフェリンを含む典型的なアルカリ・カンラン石玄武岩で 新期溶岩は  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  比が高い「Kに富む系列」古期溶岩はアッシラット火山岩と同様の「Naに富む系列」に分類される。この地域の溶岩流には分化生成物——粗面岩 フォノライトやコメンダイト——を含まないが アラビア半島内陸部のハイル隆起帯を中心とした活動では 粗面岩やコメンダイトなどの噴石丘をつくっている(ハラット・ハイバルのジャバル・アビヤッド ハラット・キシユブなど)。この時期の溶岩流の中には新期・古期共通して超塩基性捕獲岩を数多く含んでいる。溶岩流の末端部は大変崩れやすく 溶岩はブロック状に一見“自破碎溶岩”状に割れて散乱するので 超塩基性捕獲岩は比較的容易に採取できる。捕獲岩の大きさは場所により異なるが 2~20cm で楕円形をしており大変脆い。超塩基性捕獲岩の鉱物組成からハルツパージャイトとレールゾライト ウェブスタライトが多いことが明らかになっており 大部分が上部マントル起源で一部に集積岩源も混っているようである (AL TAF, 私信)。

## 2) アデン火山岩類 (10~4 Ma)

アラビア半島の南端の南イエメンに中新世末から鮮新世にかけて (10~4 Ma) 火山活動があり 6つの小規模な成層火山がアデン湾海嶺に平行に東西に配列している。東からアデン リトル・アデン ラス・イムラン ジャバル・ウム・ビルカ ジャバル・ハリーズ ジャバル・アトルバとほぼ東西に一線上に並んでいる。南イエメンが1967年11月30日に独立し 英国軍が撤退するまで英国のリードおよびエディンバラ大学の火山学者達は王立協会の財政的援助と英国軍の護衛付きで(1963年11月

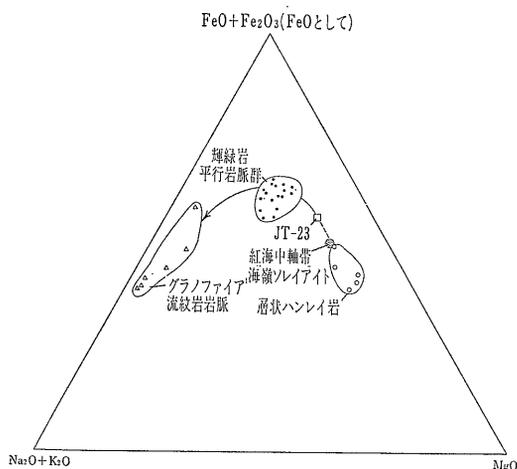


図8 ジャバル・アッティルフ平行岩脈群と層状ハンレイ岩の分化経路 (JT-23:層状ハンレイ岩の基底部近くの輝緑岩の細粒急冷部 未分化のマグマを代表するものとして選ばれている) (COLEMAN ほか 1975より)

14日アデンの東ラドファンで対英独立斗争の火ぶたが切られ その後独立まで治安は極めて悪かった) アデン火山列の火山岩類の総合的研究を行ってきた。

アデン火山列の火山活動はトラップ・シリーズやアラビア半島の台地玄武岩などの大規模なものや較べればきわめて小規模で 10Ma—4Maの間活動しいくつかの成層火山をつくった。

これら成層火山の火山岩類はアルカリ・カンラン石玄武岩—粗面玄武岩—粗面安山岩—粗面岩—コメンダイト質流紋岩と分化し 火山によってこれらの分化生成物の割合は異なっている。本源マグマとしてアルカリ玄武岩とソレイアイト質玄武岩との中間的性質をもつマグマを想定した (Gass, 1970)。ストロンチウム同位体比のデータは 本源マグマは上部マントル起源で 粗面岩 コメンダイトなどの分化物は地殻物質の影響があったとしている。アデン火山岩類の化学的性質は アルカリ岩系とソレイアイト質岩系の中間的な性質をもっている。

アデン火山列の位置は 東アフリカ地溝帯の過アルカリ岩石区の北東端にあたり 紅海対岸のアファー低地にも同時期に同様の岩石化学的性質をもつ火山岩の噴出があり小規模は成層火山をつくっている。

GASS 教授を中心とする英国の地球科学者達は これらのアデン火山岩類を精力的に研究し 主成分の化学分析値の数は90を超えている。アラビア半島全体の新生代火山岩の化学分析値の数が未発表のものを含めても約300であるので 総数の1/3近くがアデン火山岩類につ

表 1 アラビア半島と紅海火山岩の主成分データ (303個)

火山岩地域名と時代	分析数	文献
イエメン・トラップ・シリーズ (漸新世)	48	MOHR (1970) ほか
アッシラット火山岩類 (漸新世)	24	COLEMAN ほか (1975)
ジャバル・アッテイルフ平行岩脈群 (中新世初頭)	29	COLEMAN ほか (1975)
アデン火山岩類 (中新世末—鮮新世)	90	GASS, MALLICK (1968)
アラビア半島内陸部火山岩 (中新世末—現世)		COX, GASS, MALLICK (1969, 1970, 1970) ほか
ジャバル・アビアド (ハラット・ハイバル)	27	BAKER ほか (1973)
ハラット・キシユブ	12	TAKAHASHI (1976)
ハラット・ラハット	8	AL TAF (1977)
アル・ビルク玄武岩	13	COLEMAN ほか (1975)
紅海火山島の火山岩 (現世)	46	GASS, MALLICK, COX (1973)
紅海中軸帯・海嶺ソレイアイト (鮮新世—現世)	6	CHASE (1969), COLEMAN (1974)

いて行われた勘定になる。そのため アデン火山岩類がアラビア半島の新生代火山岩を代表するようになると思われるが、何度も述べたようにアデン火山列の活動はアラビア半島では時間的にも空間的にも小規模なもので、主体はトラップ・シリーズの活動と内陸部に広大な溶岩台地をつかったアルカリ玄武岩の活動である。

4) 紅海南部の火山島

紅海中軸帯の南に現世に活動した火山島群がある。北からジャバル・アッタイール (Jebel at Tair) 島、ズベール諸島 (Zubair)、ズクール・ハニッシュ群島 (Zukur-Hanish) がほぼ一列に並んでいる。ジャバル・アッタイールは 10km<sup>2</sup> の面積のほぼ円形の火山島で中央火口をもつ小さな楕状火山は薄いソレイアイト玄武岩溶岩流と玄武岩質集塊岩からなる。ズベール諸島はジャバル・アッタイールの南南東約 30km の10の大小の島々か

らなる。大きな島はカンラン石斜長石斑晶に富む玄武岩溶岩流と無斑晶玄武岩溶岩流、小さな島々は玄武岩質の集塊岩からなり、ソレイアイトとアルカリ玄武岩の中間の化学組成をもつ。ズクール・ハニッシュ群島はズベール諸島の南南東にある島々で比較的大きく、ジャバル・ズクール島は 120km<sup>2</sup>、大ハニッシュ島は 72km<sup>2</sup>、小ハニッシュ島は 8km<sup>2</sup> である。これらの島々には数多くの火口丘群があり、溶岩流と火砕岩をほぼ同量噴出している。火山岩の主体はアルカリ・カンラン石玄武岩であるが、ジャバル・ズクール島ではその分化物である粗面玄武岩—粗面安山岩—粗面岩が少量ながら分布している。英国のリード・エディンバラ両大学の地球科学者達は1964年春、王立協会の協力と英国海軍の全面的な援助により、これらの火山島の探検調査を行った。この探検調査は南イエメンのアデン火山列の調査の一環でもあったようである (GASS, MALLICK, COX, 1973)。

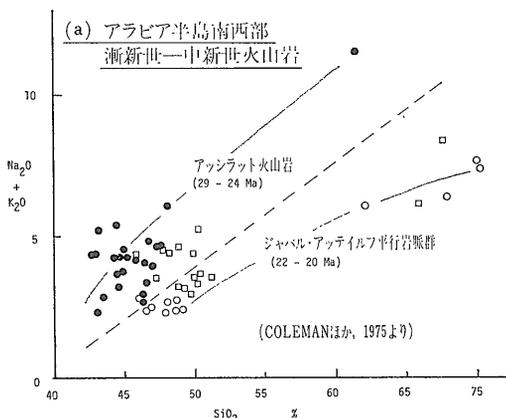


図9 アラビア半島新生代火山岩の SiO<sub>2</sub>-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) 組成比

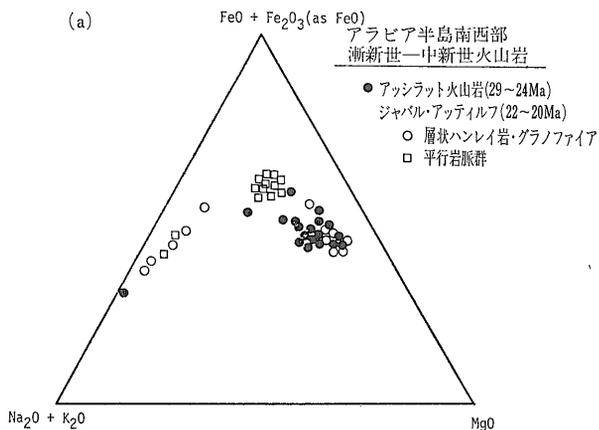
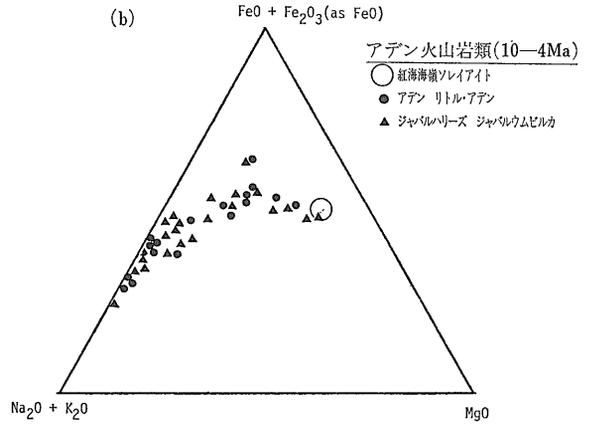
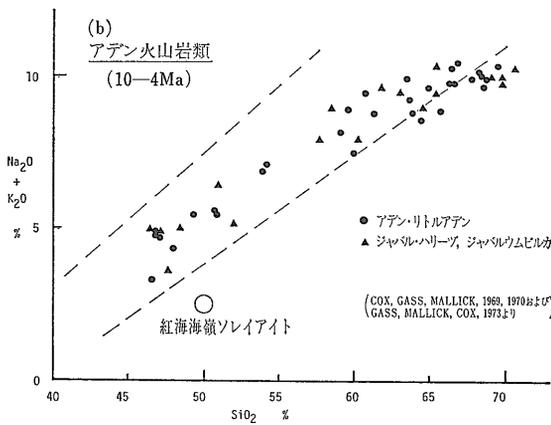
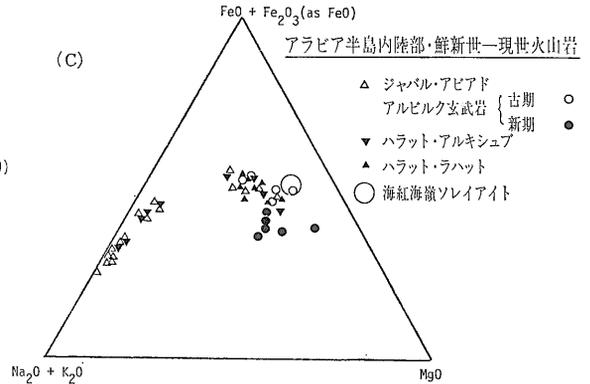
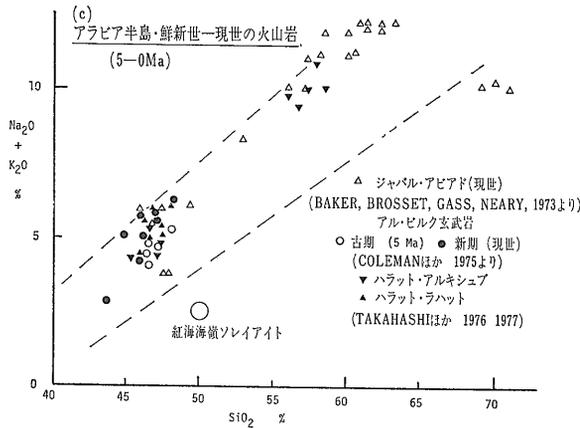


図10 アラビア半島新生代火山岩の MgO-(FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)-(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O) 組成比

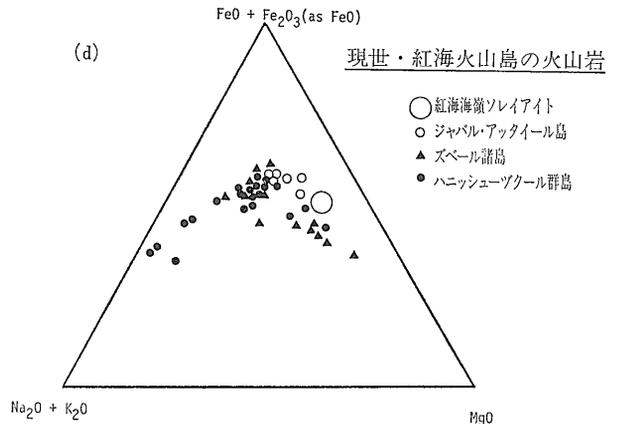
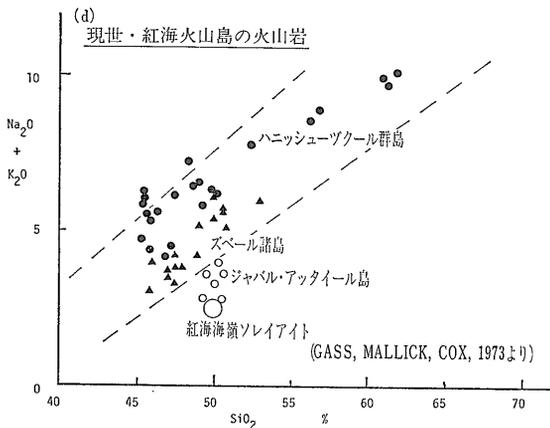
(a) アラビア半島南西部 漸新世—中新世火山岩



(b) アデン火山岩類



(c) アラビア半島内陸部 鮮新世—現世の火山岩



(d) 現世・紅海火山島の火山岩

GASS 教授らはこれらの島々の火山岩 46 個について主成分および微量成分の化学分析を行い 紅海中軸帯中に近接して並ぶ火山島が それぞれ異なった岩型に属する

ことを明らかにし とくにジャバル・アッタイルのソレイアイト玄武岩と紅海中軸帯の海嶺ソレイアイトとの成因を比較して一躍脚光を浴びてきた。

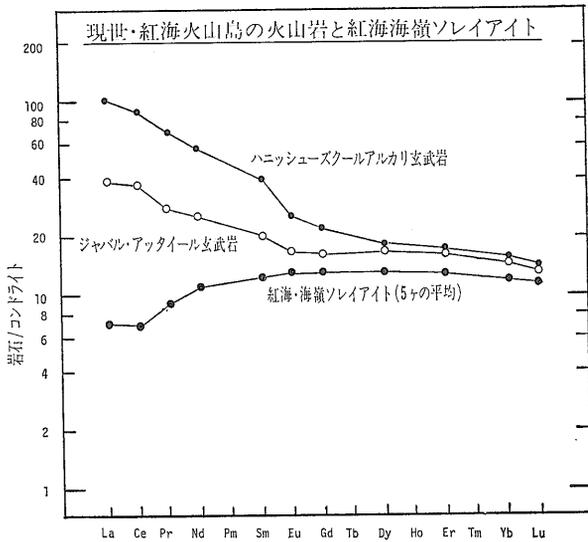


図11 現世紅海火山島の火山岩と紅海海嶺ソレイアイトの希土類元素存在度パターン (SCHILLING 1969より)

5) 紅海中軸帯の海嶺ソレイアイト

鮮新世 (~5 Ma) から紅海の断裂・海洋地殻が形成され海嶺ソレイアイトが噴出した。この海嶺ソレイアイトは東太平洋海膨 大西洋中央海嶺 北インド洋のカールスバーク海嶺などから噴出している火山岩と同様の特徴をもつ。すなわち低  $K_2O$  含量でノルム・カンラン石を含むソレイアイトである (CHASE, 1969; COLEMAN, 1974)。

アラビア半島新生代火山岩の化学組成

これまで述べてきたように アラビア半島の新生代火山岩の分布は総面積で 10 万  $km^2$  にもおよび 活動時期も漸新世のトラップ・シリーズに始まり アデン湾・紅海中軸帯の海嶺ソレイアイト 歴史時代のアルカリ玄武岩溶岩の噴出まで時間・空間的にも広大である。また火山活動もアデン湾や紅海のような大陸地殻の断裂に伴う海嶺ソレイアイトの活動と このようなリフト帯の形成にもなったアルカリ火山岩の活動とがある。世界的にみても東アフリカ地溝帯・アファー低地の形成を含む典型的なリフト帯・海嶺型活動帯の場となっている。このようにアラビア半島はテクトニクスの意味で大変重要であり このテクトニクスに伴う火山活動は時空的にも広大であるにもかかわらず この地域の火山岩の研究は緒についたばかりである。最近のジェッダ市応用地質学研究所の学生達の未公表の修士論文のデータを含めても火山岩の主成分分析値の数は驚くほど少なく 300 そこそこである (表1)。そのうちの 100 近くのデータは火山活動としては 小規模なアデン火山岩類のも

ので データはいちぢるしく偏在している。とくにアラビア半島内陸部の溶岩台地のデータは非常に少ないために 全貌を掴ま難いが 1/100,000 地質図幅調査の進展とともに岩石学的記載も増え 主化学成分の分析も除々にではあるが行われ始めた。

これらの火山岩の主成分の分析値を時代と地域別に分けて  $MgO-(FeO+Fe_2O_3)-(Na_2O+K_2O)$  三角図にプロットしてそれぞれの分化経路を検討し さらに  $SiO_2-(Na_2O+K_2O)$  図を使って アルカリ岩系と非アルカリ岩系との区別を行った。第 9, 10 図で

- (a) は漸新世 (29-24 Ma) のアッシラット火山岩 (トラップ・シリーズ) と中新世初頭 (22-20 Ma) のジャバル・アッティルフ平行岩脈群と層状ハンレイ岩
- (b) は中新世-鮮新世 (10-4 Ma) のアデン火山岩類
- (c) はアラビア半島内陸部の溶岩台地の火山岩 (10-0 Ma)
- (d) は紅海中軸帯南部の現世の火山島の火山岩類と紅海の手嶺ソレイアイト

のデータを示している。

アッシラット火山岩 (トラップ・シリーズ) は典型的なアルカリ岩系でしかも玄武岩を主体として  $SiO_2$  に富む分化生成物に乏しい。しかし 同じトラップ・シリーズでもエチオピア高原では莫大な量のフォノライト質イグニブレイトの噴出があった。

ジャバル・アッティルフの平行岩脈群とハンレイ岩は分化が進むにつれて全  $FeO$  が濃縮し 全アルカリ含量に乏しいソレイアイト岩系の特徴を示している。

アデン火山岩はアルカリ岩系であるが トラップ・シリーズの火山岩にくらべて全アルカリ含量が少なく GASS (1970) は本源マグマはアルカリ玄武岩とソレイアイト質玄武岩との中間的性質をもつマグマを想定している。

アラビア半島内陸部の溶岩台地の火山岩は アルカリ・カンラン石玄武岩溶岩から成っていると考えられてきたが その分化物である粗面岩やコメンダイトなどの  $SiO_2$  に富む火山岩も見付かってきた。ハラット・ハイバルのジャバル・アビアド (白い山) やハラット・キシユブの中央噴丘群がそれである。アルカリ・カンラン石玄武岩溶岩も 活動時期によりやや化学組成を異にし アラビア半島南西部では古期溶岩 (~5 Ma) は「Na に富む系列」 新期溶岩 (0.5~0 Ma) は「K に富む系列」であった。

紅海中軸帯の海嶺ソレイアイトは別として 中軸帯の中に散在する火山島の火山岩の化学組成は特徴的である。

中軸帯北端のジャバル・アッティルフの火山岩はソレ

イアイト岩系であり南端のズクール-ハニッシュ 群島の火山岩は典型的なアルカリ岩系である。その中間に位置しているズベール諸島の火山岩は全アルカリ含量のやや低いアデン火山岩類に近い中間的な組成を示し リフト帯周縁での火山活動の全体像を示唆している。これらの希土類元素 (REE) の存在量パターンが紅海の高嶺ソレイアイトとくらべられた (SCHILLING, 1969)。紅海中軸帯の高嶺ソレイアイトの REE 存在量パターンは軽 REE に乏しい型を示すが ジャバル・アッタイルのソレイアイト玄武岩のパターンは軽 REE がやや濃縮する型 ズクール-ハニッシュ 群島のアルカリ玄武岩は典型的な軽 REE 濃縮型を示し ジャバル・アッタイルのソレイアイト玄武岩と高嶺ソレイアイトの成因的類似性を疑っている (図11)。

微量成分のデータも次第に蓄積されてきたが アラビア半島の新生代火山岩の Rb-Sr の関係を図12に示した。

おわりに

アラビア半島と紅海的新生代火山岩類の研究は 英国の GASS 教授 (旧リード大学 現オープン大学) たちにより精力的に進められ 主成分の化学分析値はほとんど英国のデータであった。サウジ・アラビア政府の 1/100,000 地質図幅調査の進展 ジェッダ市の応用地質学研究所 (IAG) の発展 さらには近年の交通網の発達による 溶岩台地内へのアプローチのしやすさ などいくつかの因子が重なり合って火山岩の分析値のデータはどんどん増えてゆくことであろう。火山岩の分析も応用地質学研究所とジェッダの USGS 実験室とで X線蛍光法による分析法が確立されたのでデータの集積に拍車をかけることであろう。

アファー低地アサル湖付近での活発な火山活動が最近報道されており 今後この地域はさらに注目を集めてゆくことだろう。

主要な文献 (2)以下は主成分化学分析値を含むもの。

(1) アラビア半島・紅海の火山岩全般について  
 BROWN, G.F., 1970. Eastern margin of the Red Sea and coastal structures in Saudi Arabia. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. A.*, v. 267, p. 75-87.  
 COLEMAN, R.G., 1974. Geologic background of the Red Sea: *in* Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, v. 23, Wash. D.C. p. 813-820.  
 GASS, I.G., 1970. The evolution of volcanism in the junction area of the Red Sea, Gulf of Aden and Ethiopian rifts. *Phil. Trans. Roy. Soc. Lond. A.*, v. 267, p. 369-381.  
 GASS, I.G., 1970. Tectonic and magmatic evolution of

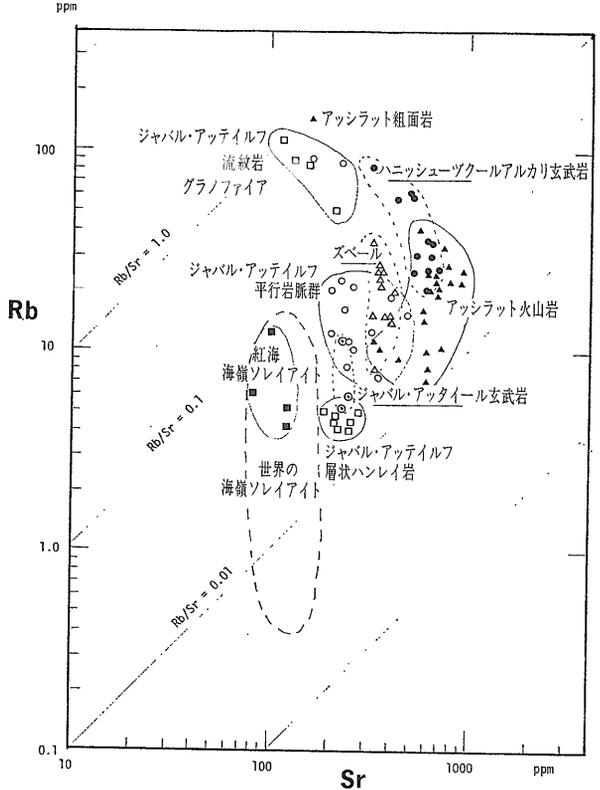


図12 アラビア半島新生代火山岩の Rb-Sr 図

the Afro-Arabian Dome. *in* CLIFFORD, T.N. & GASS, I.G. ed. *African Magmatism and Tectonics*. Hafner Publ. Co., p. 285-300.

(2) イエメンおよびサウジ・アラビアのトラップ・シリーズ  
 MOHR, P.A., 1970. Catalog of chemical analyses of rocks from the intersection of the African, Gulf of Aden, and Red Sea rift systems. *Smithsonian Contrib. to the Earth Sciences*, v. 2, 392 p. (1969年までのデータを集録)  
 COLEMAN, R.G., FLECK, R.J., HEDGE, C.E. & GHENT, E.D., 1975. The volcanic rocks of southwest Saudi Arabia and the opening of the Red Sea. *U.S. Geol. Surv. Saudi Arabian Project Report 194*, 59 p. (open-file report).

(3) ジャバル・アッティルフ平行岩脈群と層状ハンレイ岩  
 COLEMAN, R.G. ほか, 1975. (前出).

(4) アデン火山岩類  
 GASS, I.G. & MALLICK, D.I.J., 1966. Acid volcanism on the South Arabian coast. *Bull. Volcanol.*, v. 29, p. 449-452.  
 GASS, I.G. & MALLICK, D.I.J., 1968. Jebel Khariz: an Upper Miocene stratovolcano of comenditic affinity on the South Arabian coast. *Bull. Volcanol.*, v. 32, p. 33-88.