

## 中近東フィールド・ノート⑤

# アラビア盾状地の地史と花コウ岩類

高橋 清 (技術部)

### はじめに

初めてサウジアラビアのジェッダ市を訪れた地質屋は休日になると間違いなく紅海の海水浴が ジェッダ市の南東 150km のタイフ市へのドライブに誘われるであろう。 海拔 0m のジェッダ市から 1,500m のタイフ市への 2 時間半のドライブで 大半の地質屋はその素晴らしい景観と 露頭に目を奪われアラビア盾状地のとりこになってしまう。 1965年に完成したタイフ道路は紅海の断裂によって形成されたアルハダ (Al Hada) の標高差 1,500m にも及ぶ大断崖を縫い 閃緑岩や片岩を貫く無数の新旧の岩脈群や 花コウ岩を主体とする貫入岩体はモザイク模様をつくり 自然の節理の見事さに時の経つのも忘れてしまう (写真1)。

アラビア盾状地はその苛烈な風土のために植生が少なく大半の地域の岩石はほとんど完全に露出しており 地質屋の天国といえる。 この号ではアラビア盾状地の研究成果である地史のあらましと 素晴らしい景観を示す貫入岩体 とくに花コウ岩類の岩石化学的 地球化学的特徴を述べてみよう。

### アラビア盾状地

昭和38年から3年間地質調査所の第一次・第二次調査

団員として サウジアラビアで調査に当たった小村幸二郎技官は「地質ニュース No. 165」(1968)の中で『アラビア半島の生い立ち』について次のように述べている。

アラビア半島の歴史にジャーヒリア (無明時代)があったと同じように 荒涼たる大地を形造る地質の歴史にも古いそして神秘のベールにおおわれて まだ私たちにその全貌を現わさない時代があった。 先カンブリア時代 (始生代および原生代)・・・ とくに長い間にわたって科学者の立入ることをゆるさなかったきびしい自然条件が支配するサウジアラビアでは その大部分が解明されていない・・・。

サウジアラビアの総面積は約 215万 km<sup>2</sup> その25%に当る 54万km<sup>2</sup> を先カンブリア紀のアラビア盾状地が占めている (図1)。

サウジアラビア全土の地質調査事業は 1950年に サウジ政府と米国政府-アラムコ の共同事業として開始され 1958年から1963年の間に  $\frac{1}{50万}$  の21シートの地質図幅と地形図が刊行され全土をカバーし その総まとめとして  $\frac{1}{200万}$  のアラビア半島の地質図と地形図が出版された (図2)。  $\frac{1}{50万}$  の地質図幅が完成した後 アラビア盾状地の  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$  の  $\frac{1}{10万}$  の地質図幅事業が計画され (USGS および BRGM は1965年より 石油鉱物資源局一

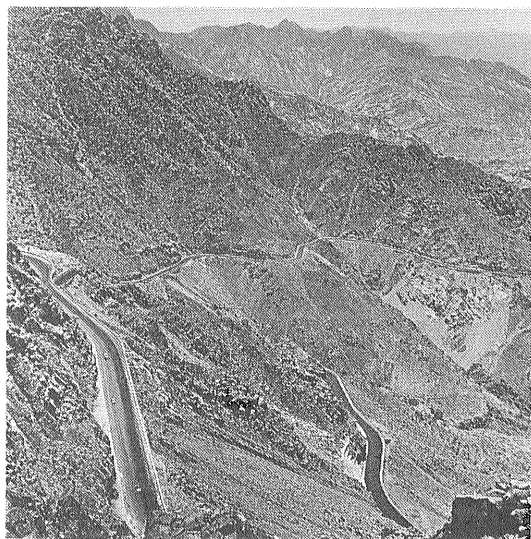


写真1 ジェッダ市の南東120km のアルハダ (Al Hada) の急崖を縫うタイフ道路 左方のハンレイ岩-閃緑岩体を無数の新旧の岩脈が切っている 右方遠景は閃緑岩体を貫く急峻な石英モンゾニ岩の山、(590 Ma)

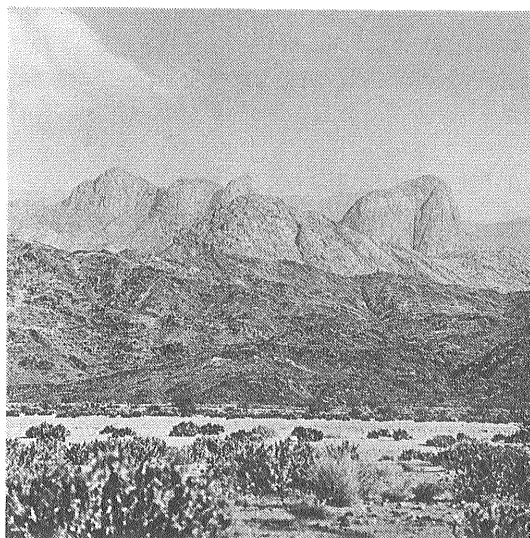
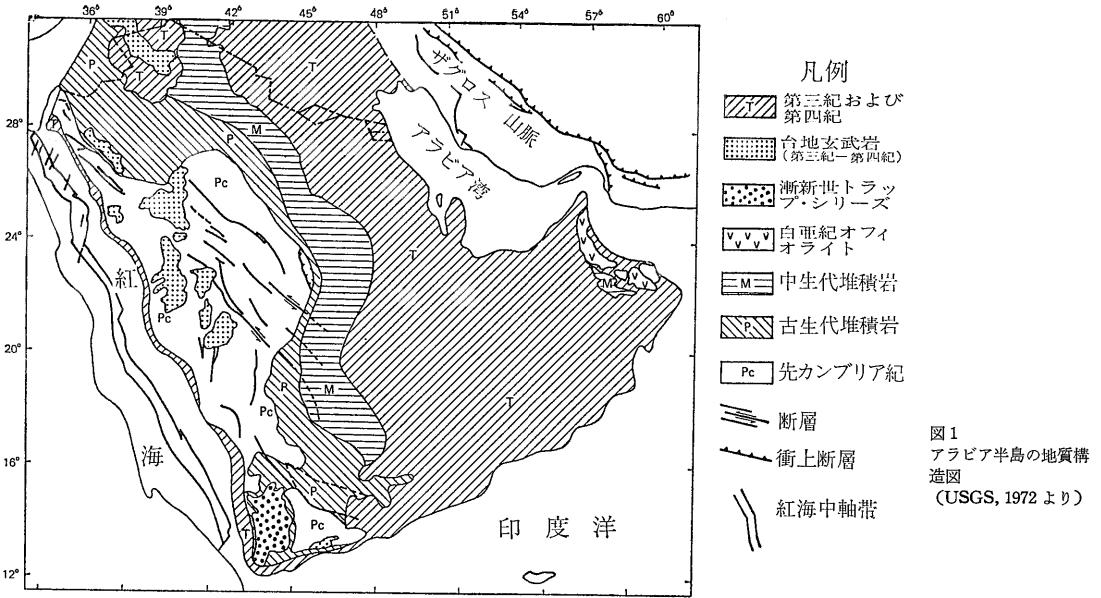


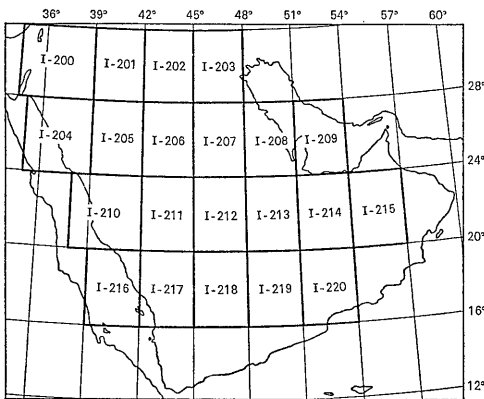
写真2 メッカ市の近くアラファットからアルハダの石英モンゾニ岩の山々を望む 手前の暗色部はジェッダ層群の角閃石片岩



DGMR—は 1969年より) 1970年以降年間 10~15シートの地質図幅が刊行されている (図3)。さらに アラビア半島の構造地質図 ( $\frac{1}{400万}$ ) が USGS によりまとめられ 1972年のモントリオールの国際地質会議 (IGC) で展示された。  $\frac{1}{10万}$  の地質図幅の刊行が進むとともに 鉱床密集地域や造構的に重要な地域についての  $\frac{1}{25万}$  の地質図幅の編図も行われている。これらの地質図幅調査事業には 約  $\frac{1}{6万}$  の航空写真が使われ全土をカバー

しており 地質図幅刊行のための地形図はこれらの航空写真から作られた  $\frac{1}{5万}$  および  $\frac{1}{10万}$  のモザイク図を基礎にしている。 1970年以降実用化した衛星写真は多用され とくに地質構造の解明に威力を発揮している。

アラビア盾状地の  $\frac{1}{10万}$  の地質図幅の刊行がピッチを早めるとともに 盾状地の岩石の地球化学的データも急速に増え始めている。たとえば 岩石の年代測定 (主



- |             |                      |             |                             |
|-------------|----------------------|-------------|-----------------------------|
| I-200 ..... | Wadi as Sirhan       | I-211 ..... | Southern Najd               |
| I-201 ..... | Jawf-Sakakah         | I-212 ..... | Southern Tuwayq             |
| I-202 ..... | Darb Zubaydah        | I-213 ..... | Northwestern Rub' al Khali  |
| I-203 ..... | Wadi al Batin        | I-214 ..... | Northeastern Rub' al Khali  |
| I-204 ..... | Northwest Hijaz      | I-215 ..... | Eastern Rub' al Khali       |
| I-205 ..... | Northeast Hijaz      | I-216 ..... | Tihamat ash Sham            |
| I-206 ..... | Wadi ar Rimah        | I-217 ..... | Asir                        |
| I-207 ..... | Northern Tuwayq      | I-218 ..... | Western Rub' al Khali       |
| I-208 ..... | Western Persian Gulf | I-219 ..... | South-central Rub' al Khali |
| I-209 ..... | Central Persian Gulf | I-220 ..... | Southeastern Rub' al Khali  |
| I-210 ..... | Southern Hijaz       |             |                             |

図2 1958年—1963年に刊行された50万分の1地質図幅 (サウジアラビア石油 鉱物資源省)

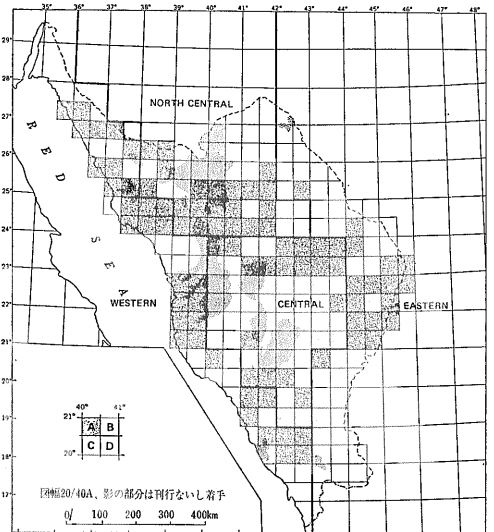


図3 アラビア盾状地の10万分の1地質図幅の進捗状況

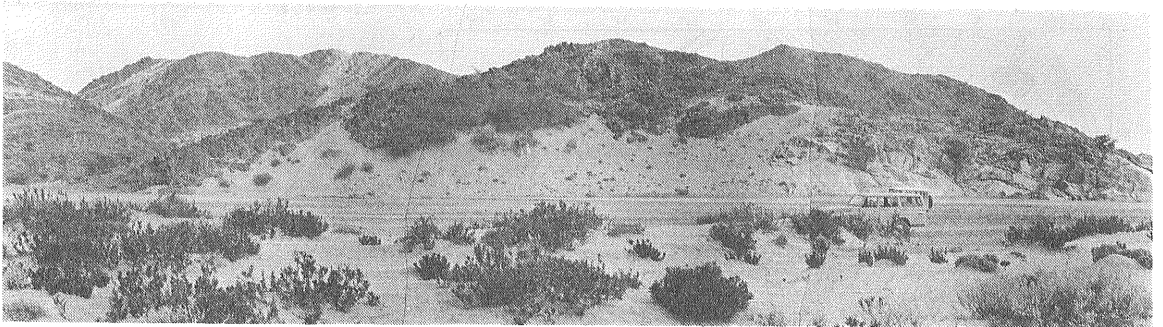


写真3 盾状地東部のアルグワイヤ(Al Quwayyah)付近のハラバン層群の緑色片岩の片理に進入した花コウ閃緑岩 場所により多数のゼノリスやアグマタイトを含む場合と 写真のようにミグマタイトをつくる場合がある

として K-Ar 法と Rb-Sr 法)のデータは 1970年までに約160であったものが 1971-1975年の5年間に 324 (USGS)が米国で 145 (BRGM)がフランスの Orleans と Clermont Ferrand 大学で測定された。1976年以降データは年間150の割合いで増えている。とくに USGS・Menlo Park の FLECK 博士は 1971年以来きわめて精力的に盾状地の岩石の年代測定に取り組み そのデータは盾状地の造構発達史の基礎となっている。また盾状地の火山岩 深成岩の化学分析値も等比級数的に増えている。

さらに最近の地向斜の概念に代わるプレート・テクトニクス仮説は アラビア盾状地の地史の解明に大きな影響を与えている。1978年2月サウジアラビアのジェッダ市の応用地質学研究所の主催で『アラビア-ヌビア盾状地の進化と鈹化作用』についての国際シンポジウムが開かれたり IGCP 計画の一つの課題として『Pan-African crustal evolution』(1978-1989)がとり上げられアラビア盾状地が主なフィールドに選ばれたのも これまでの盾状地の研究成果が認められたためであろう。

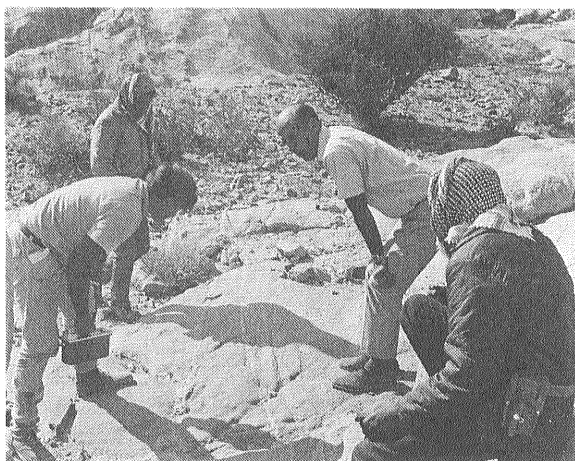


写真4 タイフ市南方のワジリヤでミグマタイトを観察しながら議論している応用地質学研究所のスタッフと学生

### アラビア盾状地の地史と層序

アラビア盾状地は厚いしかも種々の火山岩および堆積岩累層 花コウ岩・閃緑岩を主体とする深成岩類 さらに点在する塩基性~超塩基性岩のベルトなどからなり 1150Ma—520Ma 前の約6億年の間に数回のテクトニックな活動を経て安定地塊となったとされている。この盾状地のおいたちは 超塩基性岩ベルトの性質 花コウ岩類の性質 さらに火山岩・堆積岩累層の性質などを明らかにすることにより はじめて解明される。アラビア盾状地の地史および層序は 盾状地の北半部の調査を担当したフランスの BRGM チームと 南半部を受け持った USGS チームにより独自に発表され かなりのくい違いが見られたが 岩石 とくに火山岩累層の溶岩の年代の測定が進むに従って地史の改訂が行われ ほぼ一本化されてきた (DELFOUR, 1975; SCHMIDT ほかに 1973; SAUDI ARABIAN DGMR, 1976 など)。

アラビア盾状地は安定地塊化するまでは何回かの造山運動があり これらの造山運動解明の基礎となっているのはアフリカ大陸の地史である。CLIFFORD (1970) はアフリカ大陸の地史をまとめ 次のように7回の造山運動をあげている。

- 1) 約 3,000 Ma 前
- 2) 2,800—2,500 Ma (シャンバイア造山 Shamvaian)
- 3) 1,850 ± 250 Ma
- 4) 1,100 ± 200 Ma (キバラ造山 Kibaran)
- 5) 550 ± 100 Ma (カタンガ造山 Katangan あるいはバン・アフリカ造山)
- 6) 古生代後期から中生代初期 (パリスカン造山 北西アフリカとケープ褶曲帯)
- 7) ジュラ紀初めから新生代 (アルプス造山 アトラス山脈)

表1 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	
	北部(BRGM)	南部(USGS)					
520	Jibalah	Jubaylah	礫岩・砂岩・頁岩 石灰岩(火山岩)		アルカリ岩系 安山岩・玄武岩	グラーベン型堆積層	
535	Shammar	Shammar	流紋岩 イグニンプライト 火山砕屑岩	カルクアルカリ花コウ岩 過アルカリ花コウ岩 (570-550Ma)	流紋岩 安山岩	ヘジャーズ造山輪廻	Najd 断層系形成 (540Ma)
	Murdama	Murdama	石灰岩・砂岩・シルト岩 礫岩・火山砕屑岩	グラノファイア	(流紋岩) (安山岩)		安定地塊内の 浅海盆 (大陸的環境)
600	Hulayfah	Hulaban	上部層： 珪長質火山砕屑岩 石灰岩 礫岩 下部層： 安山岩質火山砕屑岩 シルト岩・砂岩・ 石灰岩・礫岩	花コウ岩 花コウ閃緑岩 閃緑岩 ハンレイ岩 石英モンゾニ岩 (650-600Ma)	流紋岩 粗面岩 安山岩 安山岩 玄武岩		第III期(ビシヤ)
680		Ablah	火山岩・火山砕屑岩 礫岩・砂岩・石灰岩	花コウ閃緑岩 閃緑岩・ハンレイ岩 石英閃緑岩(800Ma)	石英安山岩 安山岩	第II期(ヤフイークラニヤ)	
800		Jiddah	安山岩・石英安山岩 (頁岩・石灰岩)	閃緑岩 ハンレイ岩→トロエマイト 石英閃緑岩 (960Ma)	安山岩 玄武岩	第I期(アキーク)	ソレイイト質 火山岩の噴出 未発達な島弧系 の活動に似てい る 砕屑岩は火 山岩質のものだ けからなり 深 成岩質および珪 長質物質は含ま ない (海洋的環境)
960	Abt	Bahah	深緑泥石-グラファイト セリサイト片岩 大理石・クォルツアイト チャート	石英玢岩 輝緑岩	(玄武岩)		
	Ar Ridaniyah	Baish	玄武岩・苦鉄質タフ グレイワック (チャート・大理石)		安山岩質玄 武岩 玄武岩		
1000 -1200	Ajal	Hali	結晶片岩 角閃岩	トーナライト 同質片麻岩		アシール造山	
		Khamis Mushayt Gneiss	粗粒正片麻岩 混成岩				

USGS(1975)・BRGM(1975)・DGMR(1976)のデータより編集

アラビア盾状地の岩石の年代測定結果は年毎に増えてきたが これまでで最古の岩石は初期に測定された 1,150 Ma のリス地域の石英閃緑岩で (Brown 1970) これ以上に古い岩石は見付かっている。また これまでの年代測定データの頻度分布は 600 ± 100 Ma の範囲に集中し アラビア盾状地の主体は カタンガ造山運動(あるいはパン・アフリカ造山運動)の産物であり その一部に基盤岩としてキバラ造山期の岩石が認められると考

えられている。

第1表にこれまで盾状地北部を調査した BRGM と南部を担当した USGS ミッションにより独自にまとめられた地史と層序を編集してみた。地層名の統一ははからなかったが 造構運動の名称は USGS のものを採用した。

アシール造山はアフリカのキバラ造山に ヘジャーズ

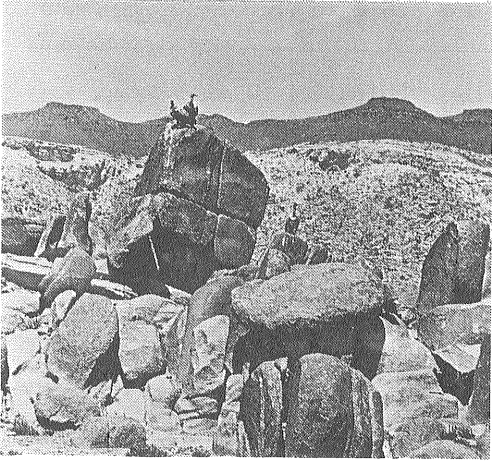


写真5 ヘジャーズ山脈南部ワジ ビダの花コウ岩体の縁部  
岩体の周辺部は風蝕・水蝕によって割れ 穴をあけ  
られた花コウ岩塊がゴロゴロしている  
遠景は火山岩累層を覆う新生代台地玄武岩

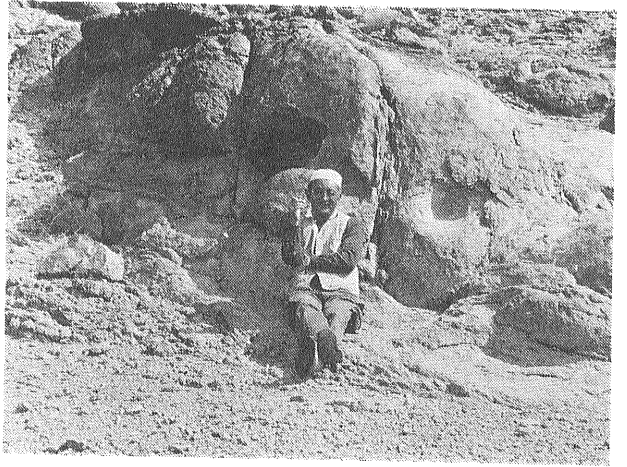


写真6 盾状地南部アブラに近い花コウ閃緑岩の風蝕

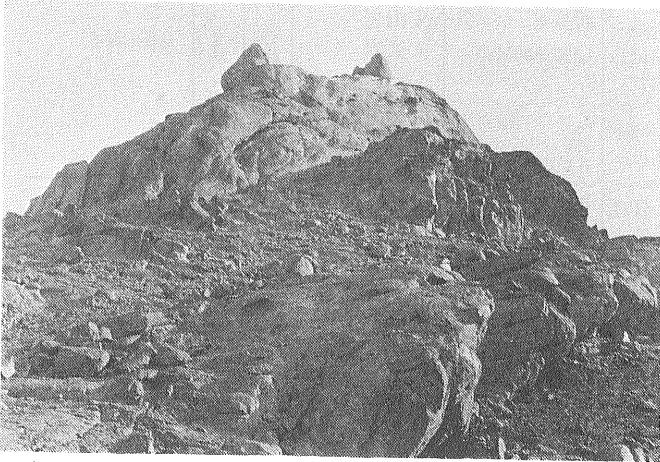


写真7 ジャバルサイドの花コウ閃緑岩の山 岩肌は風蝕と水蝕により穴だらけである

造山はカタンガ造山に当たると考えてよい。

#### 古期岩類

(北部の Ajal 層群 南部の Khamis Mushayt 片麻岩類と Hali 層群) Khamis Mushayt 片麻岩類は南部盾状地の北イエメン国境近くに分布し 粗粒正片麻岩とミグマタイトからなり角閃岩を伴い数多くの岩脈やプルトンに切られている。 Hali 層群は 角閃岩や変成礫層をはさむ石英-黒雲母-ザクロ石片岩の厚い層で 石英質砂岩と苦鉄質火山岩累層の変成相と考えられている。 北部の Ajal 層群は南部の Hali 層群と対比されている。 これらの古期岩類の変成度は高く角閃岩相からグラニュライト相に及び原生代中期(10億年より古い)のアフリカのキバラ造山の産物と考えられてきた。 ところが

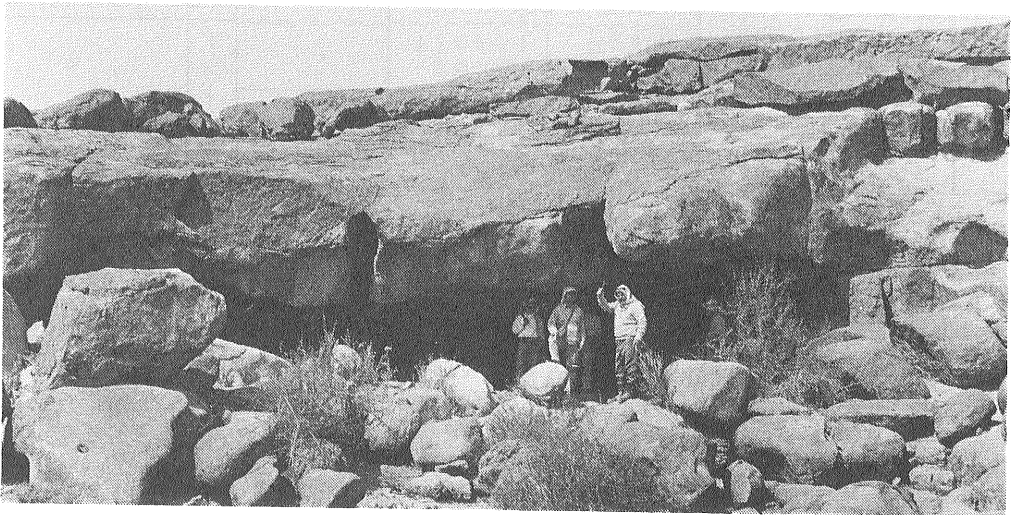


写真8 サウジアラビア最大の銅鉱化帯であるジャバルサイド (Jabal Sayd) 近くの花コウ閃緑岩の水蝕によりつくられた洞窟

これら古期岩類の Rb-Sr 法による年代測定結果はいずれも10億年よりも若く ヘジャーズ造山輪廻の第Ⅰ・Ⅱ期の火山岩層とそれに貫入した深成岩類が局地的に著しく変成したとも考えられるようになった。これら古期岩類とくに Khamis Mushayt 片麻岩は Rb 含量が極端に少なく 年代測定を困難にしている。

### ヘジャーズ造山第Ⅰ期

(北部盾状地東端の Abt・Ar Ridaniyah 層群とオフォライト・コンプレックス 南部ヘジャーズ山脈の Baish・Bahah・Jiddah 層群)

**Baish 層群:** 玄武岩および安山岩質玄武岩溶岩とこれらの火山砕屑岩を主体としてグレイワック・礫層を夾み整合的に石英斑岩が進入している厚い層準で これらの玄武岩溶岩はソレイアイト質 石英斑岩はソーダ流紋岩の化学組成をもつ。Baish 層群中の礫層はすべて苦鉄質火山岩礫からなり珪長質深成岩礫を含まない。

**Bahah 層群:** 砕屑岩を主体とし 級化層理やスランプ構造をもつタービダイトの特徴をもち珪長質深成岩礫やカリ長石を含まず Baish 層群の苦鉄質火山岩類の急速な侵蝕によって堆積した。

Baish および Bahah 層群の形成環境は 現世の大陸地域の影響を受けない大洋地域の未発達な島弧系の環境に酷似している。

**Jiddah 層群:** 安山岩・石英安山岩とこれらの火山砕屑岩を主体とし Baish および Bahah 層群とは断層で接している。夾在する礫層中には Baish・Bahah 層群の場合と同様に珪長質深成岩礫を含まず火山岩礫しか見当たらない。

**Aqiq 変動:** これら三層群は南北性の褶曲と断層により変形し緑色片岩相まで変成し Rb-Sr 法で約960 Maの年代を示すハンレイ岩—石英閃緑岩パソリスが貫入しその<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 初生値は 0.7029 である (Fleck ほか, 1973)。この閃緑岩質

パソリスは“1回目の閃緑岩系列”と呼ばれている。盾状地北部の Abt 層群は Bahah 層群に Ar Ridaniyah 層群とオフォライト・コンプレックスは Baish 層群に対比されている。

### ヘジャーズ造山第Ⅱ期

(盾状地北部の Hulayfah 層群 南部の Ablah・Halaban 層群)

**Ablah 層群と Halaban 層群:** 安山岩—石英流紋岩を主体とする火山岩と これらの砕屑岩・堆積岩からなる厚い火山岩層で 盾状地中央部の Halaban 付近では層厚が10,000m を超す。砕屑岩層は礫岩・閃緑岩や火山岩質砕屑岩を含むグレイワックなどからなり 急激な水平的・垂直的岩相変化で特徴づけられ 火山活動の盛な地域での急速な堆積を示している。火山岩類は初期のソレイアイト質岩系の玄武岩・安山岩の活動から カルクアルカリ岩系の安山岩・石英流紋岩の活動に移行している。これらの火山岩類の化学的性質は現世のカルクアルカリ岩系の島弧火山岩類に似ている。このヘジャーズ造山第Ⅱ期には2回の変動 ラニヤ変動 (Ranyah) とヤフイク変動 (Yafikh) があり 著量の深成岩体の貫入があった。

**Ranyah 変動:** この変動により Ablah 層群と古期岩類は褶曲し緑色片岩相にまで変成し 約800 Ma 前にハンレイ岩—花コウ閃緑岩 (トロニエマイト) パソリスの貫入があった。これらのパソリスは“第二回目の閃緑岩系列”と呼ばれ 著量のトロニエマイトが特徴で <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 初生値は0.7028である。これらのパソリスの貫入後 (約785Ma 前) 片麻岩質石英閃緑岩—石英モンゾニ岩が層々進入し 付近の岩石は熱変成し 局地的に角閃岩相とグラニュライト相まで変成している。この片麻岩質石英閃緑岩—石英モンゾニ岩の <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 初生値は 0.7028 である。

**Yafikh 変動:** 第Ⅱ期の末期にこの変動があり 約650—600 Maの時期に多くのハンレイ岩—花コウ岩ブルトンの貫入

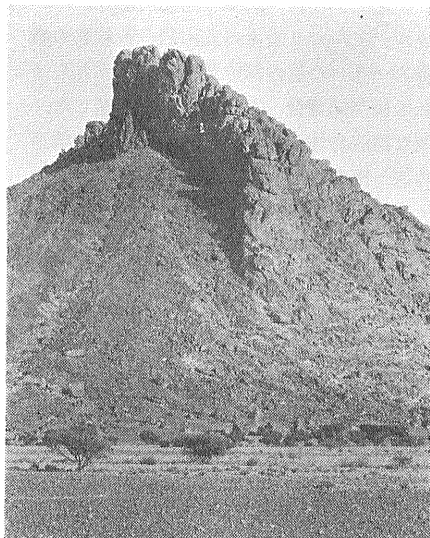


写真9

ジャバルサイドの花コウ閃緑岩体の割れ目に貫入した新期カルクアルカリ花コウ岩(1)(2)

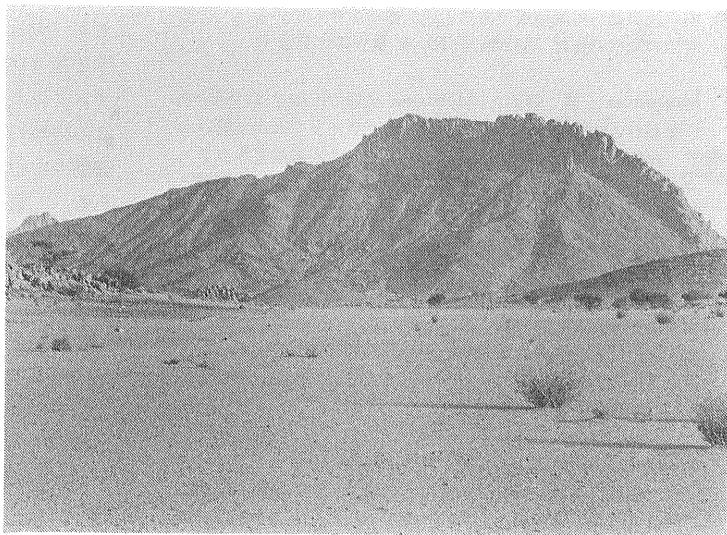


写真10

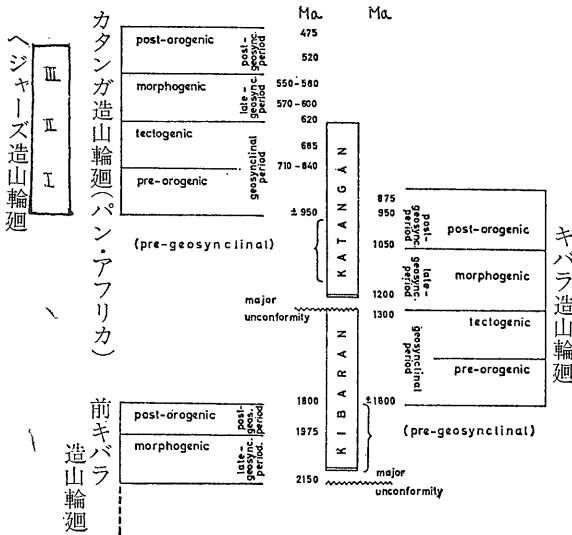


図4 アフリカのキバラ造山輪廻とカタング造山輪廻との関係 (COHEN, 1970より)  
 pre- orogenic, tectogenic, morphogenic, post- orogenic は HERMES (1968) の定義  
 geosynclinal, late geosynclinal, post-geosynclinal は AUBOUIN (1965) の定義

があり 新期の花コウ閃緑岩—花コウ岩プルトンと環状構造が特徴的である。これらの  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  初生値は0.7035である。

ヘジャーズ造山第三期  
 (盾状地南部北部ともに Murdama 層群と Shammar 層群)

**Murdama 層群:** 第二期のカルクアルカリ岩系の激しい火山活動と著量の花コウ岩プルトンの貫入後 盾状地はほぼ安定地塊化し その浅海性海盆に厚い碎屑岩層を堆積した。この碎屑岩層は基底礫岩層と粗粒グレイワック・炭酸塩岩・安山岩質火砕岩からなる下部層と シルト岩・泥岩を主体とする厚いグレイワックからなる上部層からなり 典型的な安定地塊内の浅海盆への堆積層であり大陸的環境を示している。上部層内の流紋岩体は 566 Ma の Rb-Sr 全岩年代を示す。

**Shammar 層群:** Murdama 層群の堆積とほぼ同時期に著量のアルカリ流紋岩質のイグニプライトの火山活動があり (600-550 Ma) 場所によって アルカリ岩系のアルカリ・カンラン石玄武岩溶岩流を夾まれている。Murdama 層群と Shammar 層群の接触関係ははっきりしないが 同時異層であろうと考えられている。

**Bishah 変動:** この第三期には 570-550 Ma の時期にカルクアルカリ花コウ岩 過アルカリ花コウ岩の貫入があり 盾状地の安定地塊化は Bishah 変動の終りとともに完結した。またこの変動の末期 (540-510 Ma) に延長 2,000km に及ぶ Najd 断層系の形成があった。

**Jibalah (Jubaylah) 層群**は Najd 断層によって形成された地溝 (グラーベン) に堆積した層準で 碎屑岩の層準にアルカリ岩系の安山岩・玄武岩を夾んでいる。この Jibalah

層群の堆積が終ってアラビア 盾状地は全く静穏な時期を迎えた。これらの火山岩は 530-520 Ma の年代を示す。

アラビア 盾状地の火山岩・深成岩の Rb-Sr 法による全岩年代のデータが蓄積され 盾状地全域の  $\frac{1}{10万}$  地質図幅の刊行が進むにつれ 盾状地の生い立ちは次第に明らかになってきた。アフリカのカタング変動 (パン・アフリカ変動) に当るヘジャーズ造山により 960-520 Ma の間にアラビア 盾状地の安定地塊化が行われたことをこれらのデータは示している。FLECK ほか (1978) HADLEY・SCHMIDT (1978) らの USGS の研究者達は 次のような盾状地の造構発達史を組み立て BRGM の DELFOUR (1978) らもこれに同調している。すなわち

1) ヘジャーズ造山第 I 期 (約 1000—680 Ma)

大洋地殻プレート同志の衝突・サブダクションにより未発達な島弧を形成し ソレイアイト質の玄武岩・安山岩質玄武岩の活動があり これらの火砕岩からなる急速なタービダイトの堆積があり この時期最初の閃緑岩—トロニエマイト・バソリス (960—800 Ma) の深成火成活動が西南アラビアでみられた。さらにこの時期末 (785—680Ma) に石英閃緑岩—花コウ閃緑岩の貫入が盾状地中央部と東部であった。両方の深成貫入岩体の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  初生値は 0.7023—0.7030 で平均 0.7027 であり厚く堆積したタービダイトは苦鉄質火山岩源で 珪長質の深成岩碎屑物が見当たらないことから 大洋地殻プレートの衝突・サブダクションによる島弧の形成期を想定した。

2) ヘジャーズ造山第二期・第三期 (680—520 Ma)

この大洋地殻プレート同志の衝突、サブダクションによる火成活動と構造運動の後 活発な島弧の活動がはじまり 大量のカルクアルカリ岩系の安山岩—流紋岩の噴出と花コウ閃緑岩—花コウ岩の深成活動があり さらにアフリカ大陸との衝突接合後 安定地塊化が完結した。この時期の主要な深成岩体の年代から 火成活動や構造運動の中心軸は西—南西から東—北東に移動したようである。第 II・III 期の深成貫入岩体の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  初生値は 第二期初期の 0.7028 から末期の 0.7035 とやや増加し 第三期の安定地塊化が進むとともにカルクアルカリ花コウ岩と過アルカリ花コウ岩では 0.710—0.712 と高異常を示している。

USGS の研究者を中心として組み立てられたアラビア 盾状地の造構発達史は原生代末から古生代初めにかけての (960—520 Ma) 大洋地殻プレート同志の衝突・サブダクション—島弧の形成・島弧の活発な火成活動と構造運動—アフリカ大陸と島弧の衝突による接合—安定地塊化

という単一のプレート・テクトニクス・モデルで表現されているが 単一なこのモデルでは説明できない色々な事実がでてきている。 今後もアラビア盾状地の造構発達史は何度も改訂され このモデルもどんどん形を変えてゆくことであろう。

なおこのヘジャーズ造山輪廻の 960—520 Ma の時期は まさに アフリカ大陸でのカタンガ（パン・アフリカ変動）造山の時期に当たっている（図4）。

### アラビア盾状地の深成貫入岩類

アラビア盾状地では他の地域と比較して深成貫入岩類とくに花コウ岩類の分布はきわだてて多い。 Brown (1972) の  $\frac{1}{200万}$  の構造地質図から計算した花コウ岩類の露頭面積は 盾状地 541,060km<sup>2</sup> のうち 218,660km<sup>2</sup> で 盾状地全体の40.4%に当たっている（図5）。

盾状地のヘジャーズ造山輪廻初期を代表する深成貫入岩体は 閃緑岩—トロニエマイトの範囲に入り 閃緑岩類の多くは剪断され局地的にミロナイト化しており 片麻岩状層理は普通に見られ 角閃石シュリーレンに富む。石英閃緑岩とトロニエマイト・パソリスは角閃石に富む片麻岩状閃緑岩体を切っている。 造山輪廻中・末期には数多くの花コウ閃緑岩—花コウ岩プルトンをつくっており 時にわずかな量の閃長岩を伴っている。 これらのプルトンは大きな不規則な岩株 小さなパソリス 環状プラグ 円錐状岩床 環状岩脈などいろいろな形をつくっている。

閃緑岩—トロニエマイト質の閃緑岩類と花コウ岩類の分布とを生成時期と関係なく地域的に比較すると 閃緑岩類の露出の  $\frac{3}{4}$  以上は Najd 断層系の南西部に分布している。

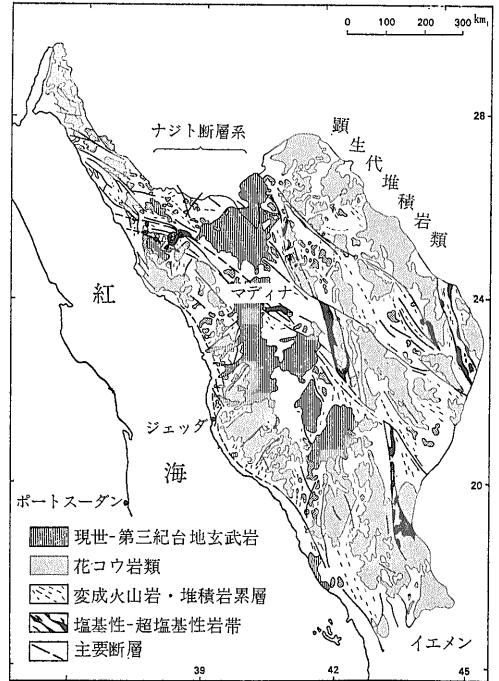


図5 アラビア盾状地の岩相分布図 (Brown(1972)の構造地質図より)

表2 盾状地の地域別の閃緑岩・花コウ岩類の分布

	花コウ岩類(%)	閃緑岩類(%)	露出面積 (km <sup>2</sup> )
北 東 部	32	68	66,612
断層系内	38	62	29,848
南 西 部	13	87	122,200

現在新期花コウ岩類や新生代の台地玄武岩で覆われて露出していない閃緑岩類を考慮に入ると 花コウ岩系列/閃緑岩系列の比率はさらに小さくなる（約 20/80）。

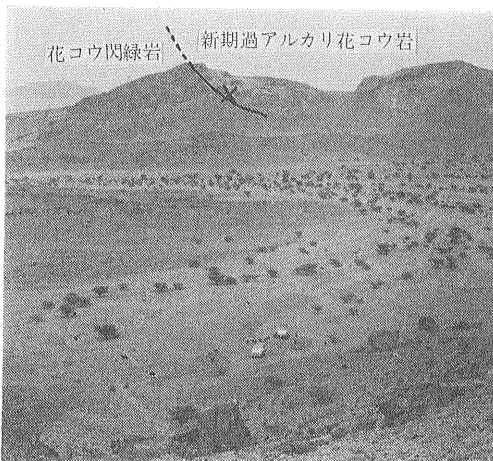


写真11 ハディブ アシウ シヤラーラ (Hadeb ash Sharah) の環状構造を示す花コウ閃緑岩 プルトンの縁部に貫入した リーベック閃石エジル輝石花コウ岩 ×印は写真12の接触部



写真12 写真11の×印の花コウ閃緑岩プルトン(右隅)と過アルカリ花コウ岩との接触部 貫入花コウ岩体の流理構造が見事である



なおペグマタイトは新期花コウ岩体で普通にみられるが閃緑岩系列の閃緑岩—花コウ閃緑岩体ではアプライト脈が普通でペグマタイトは稀である。

塩基性・超塩基性岩帯は盾状地全域に帯状に分布し BRGM の地質屋達は北東部から中央部の地域の超塩基性岩帯をオフィオライト・コンプレックスと名付けヘジャーズ造山初期の大洋地殻プレート同志の衝突・サブダクションによる島弧の形成のさいに残された大洋地殻の名残りであるとした。しかし USGS のグループはそれより若い時期の島弧形成後の大洋地殻の大陸縁への「のし上げ」(Obduction) と考えている。

これらの“オフィオライト”についての話しは後の号にゆずるとして深成貫入岩体のうちの花コウ岩質岩石についての岩石・地球化学的な性質をまとめてみた。

### 花コウ岩類の岩石化学

アラビア盾状地の造構発達史にみられるようにヘジャーズ造山輪廻の初期・中期・末期にそれぞれ特徴的な花コウ岩質岩石を主体とした深成火成活動がありこれらの岩体はまた特異な形態を示している。“一回目の閃緑岩系列”(960 Ma)と“二回目の閃緑岩系列”(800Ma)の古期閃緑岩—トロノエマイト・バソリスは多くの場合かなりの深さまで侵蝕剝脱されて平原化し他岩との境界で環状岩脈状の小高い嶺をつくり外側から中心に向かって同心円状の帯状構造がみられる。普通岩体の外側にはゼノリスやアグマタイトを多量に含む苦鉄質の岩相を示す石英閃緑岩・トータル岩から内側に珪長質の花コウ岩・石英モンゾニ岩まで変化している。このようなバソリスの中や周辺部には断層などの構造線に沿って新期の花コウ岩類が貫入していることが多くヘジャーズ山脈の南部地域では Jiddah・Bahah・Baish 層群

(ヘジャーズ造山 I 期の火山岩累層)を貫いて数多く石英閃緑岩—花コウ閃緑岩体(700—680 Ma)が急峻な独立峰をつくりこれらの岩体はほぼ同一の化学組成をもち Rb-Sr アイソクロンに乗っている。ヘジャーズ造山 II 期の末期(650—600 Ma)に盾状地中央部から北東部で大規模な深成火成活動があり数多くの花コウ閃緑岩—花コウ岩プルトンを形成した。これらのプルトンのあるものは古期のバソリスと同じように環状複合岩体を作っている。その後盾状地中央部・北東部では構造線に沿ってカルクアルカリ花コウ岩と過アルカリ花コウ岩(リーベック角閃石・エジリン輝石花コウ岩)の数多くのしかし小規模な貫入があった。

すでに述べているように花コウ岩系列/閃緑岩系列の比率は約 20/80 でとくに古期の花コウ岩質貫入岩体では90%以上が閃緑岩系列である。

これらの花コウ岩類の主成分の化学分析は1970年までほとんど行われておらず USGS の $\frac{1}{10}$ 万の地質図幅調査で採取された岩石の化学分析が最初であった(GREENWOOD・BROWN, 1972)。その後 USGS と BRGM により化学分析値は次第に蓄積されまた応用地質学センターの学生達の修士論文のフィールドとしてまた外国の大学に留学した学生達の博士論文のフィールドとしていくつかのプルトン・バソリスが選ばれ化学分析値の数も著しく増えてきた。これらの化学分析値を各成分について SiO<sub>2</sub> 含量の尺度で成分変化図をつくり花コウ岩系列と閃緑岩系列を比較してみた(図6)。図の閃

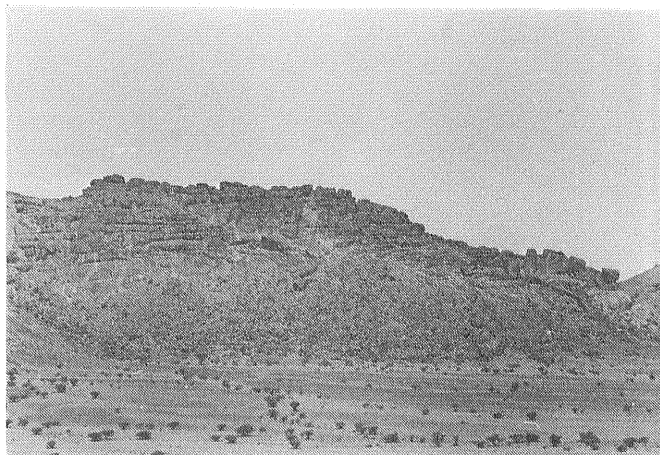


写真13 ジャバル ハディフ ダイヤヒムの新期カルクアルカリ花コウ岩 横臥節理が見事に発達している  
この新期カルクアルカリ花コウ岩は 環状構造を示す花コウ閃緑岩プルトンの縁部に貫入している

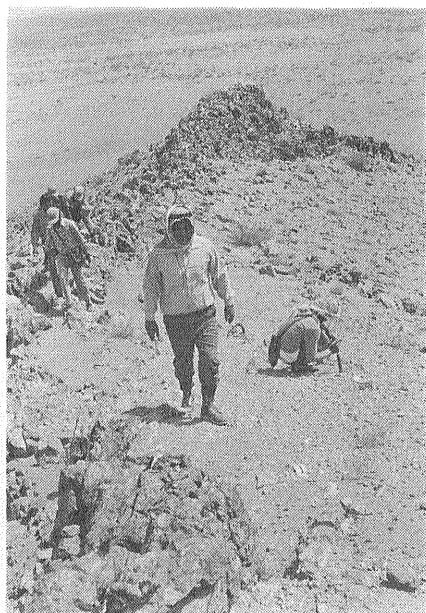


写真14 ジャバル ハディフ ダイヤヒム (Jabal Hadeb Dayahim) の新期カルクアルカリ花コウ岩に伴うペグマタイト脈 螢石を探している応用地質学研究所のアルシャンディ所長と学生達

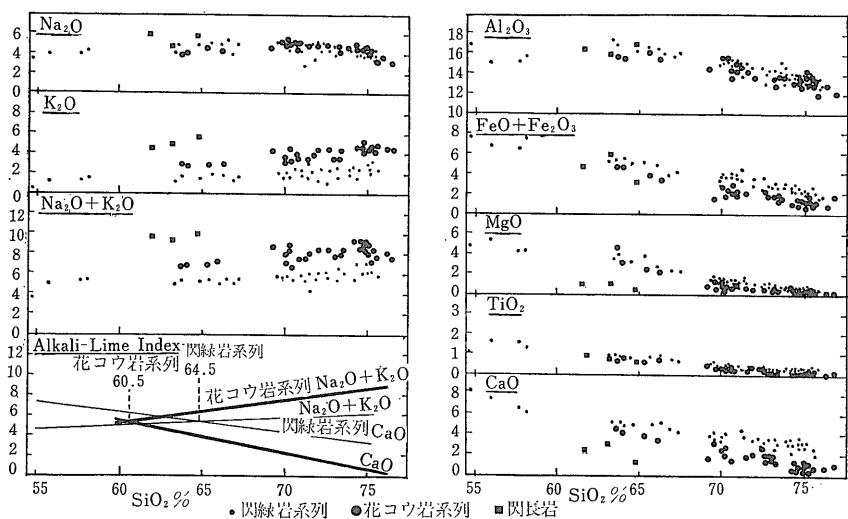


図6 アラビア盾状地花コウ岩類の主化学成分の変化図 (種々のソースからプロットした)

長岩は 570—550 Ma 間のグラノファイアである。

同SiO<sub>2</sub>含量では 閃緑岩系列は FeO+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・CaO含量が花コウ岩系列より高く K<sub>2</sub>O 含量が低い。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・MgO・TiO<sub>2</sub>・Na<sub>2</sub>O 含量は両系列で有意な差は認められない。アルカリ石灰指数で明らかなように花コウ岩系列でも アルカリにやや富むカルクアルカリ岩的特徴をもち 本当の意味のアルカリ花コウ岩はほとんど見当らない。図7にこれら化学分析の行われた同一試料についてのモード分析結果を石英—斜長石—アルカリ長石の三角図に図示した。図6, 7では アラビア盾状地の花コウ岩類はいかにも花コウ岩系列が優勢であるかのようにみえるが 何度も繰返し述べているように 量的には閃緑岩系列の岩石が圧倒的に多い。

たとえばHADLEY (1976) は  $\frac{1}{10万}$  の Bir Jujuq 地質図幅説明書でこの地域の深成岩体のモード分析結果を記載している。これらのモード分析結果を岩石の年代別に石英—斜長石—アルカリ長石三角図に図示してみた(図8)。量的には (1)のメタトータル岩・トータル岩質片麻岩と (2)のトータル岩・石英閃緑岩の閃緑岩系列の岩石が圧倒的に多く (2)の花コウ岩・花コウ閃緑岩と (3)の岩石がこれに次ぎ (4)の諸貫入岩体は量的に最も少なく副次的な活動と考えられる。盾状地北東部では (1) (2)の深成貫入岩体に乏しく (3)の活動が主体である地域もある。

GREENWOOD・BROWN (1972) は 南西部—中央部—北東部に向って花コウ岩類の K<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O 比が増加する傾向があると述べているが その後数多くの分析値が集まるにつれて 必ずしもこの傾向は成り立たず例外

も多いことが判ってきた。

新期のカルクアルカリ花崗岩と過アルカリ花崗岩の分析値は これらの花コウ岩類がアラビア盾状地で珍しいために 数が多く分析値を統計する場合に アルカリ花コウ岩的傾向を強める役割りを果している。

これら花コウ岩類の微量元素の分析値はそれほど多くはなく Rb-Sr 法で年代測定された試料の Rb・Sr 含量のデータが目立つ程度である。一部の新期花コウ岩類について U・Th・Sn 含量が測られているが未だ緒についたばかりである。希土類元素(REE)の測定例はない。

### 花コウ岩類の年代と <sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr 初生値

アラビア盾状地の造構発達史を組み立てる基礎となっ

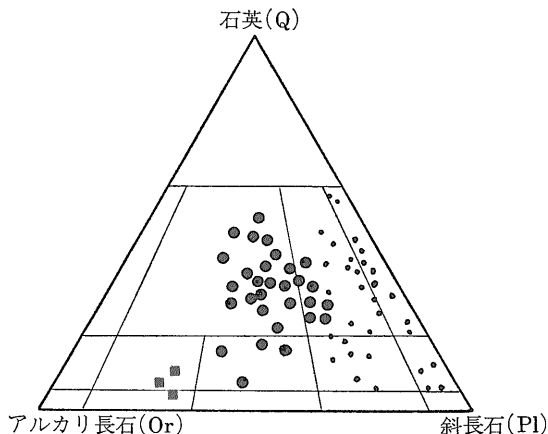


図7 アラビア盾状地花コウ岩類のモード分析結果 (化学分析を行った試料と同一試料)  
● 閃緑岩系列 ● 花コウ岩系列 ■ 閃長岩

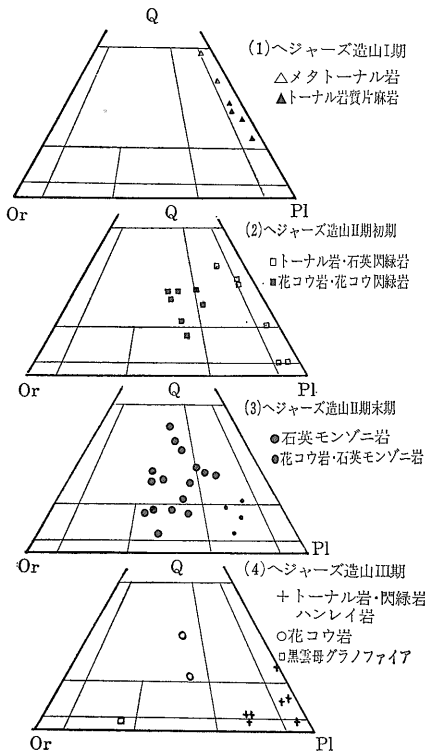


図8 アラビア盾状地中央部 Bir Jujuq 地域の深成岩体のモード分析結果 (HADLEY, 1976 より)

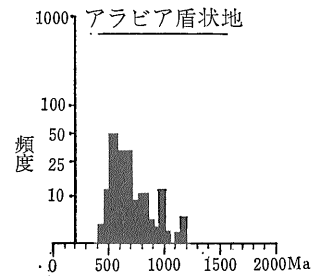
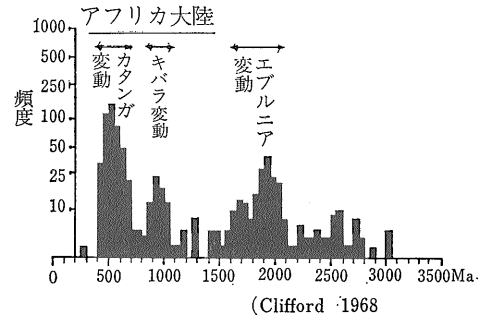


図9 アフリカ大陸とアラビア盾状地の岩石の年代測定結果の頻度分布 (Rb-Sr 法・K-Ar 法・U-Th-Pb 法)

ているのは 花コウ岩類の産状 岩石化学的性質とともに 年代測定データ とくに Rb-Sr 法による全岩年代データと  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  初生値のデータとである。 CLIFFORD

(1968) によりまとめられたアフリカ大陸の岩石の頻度分布図と FLECK ほか (1973)・BAUBRON ほか (1975) さらに1978年2月のアラビアアスビア盾状地のシンポジウムで FLECK らにより公表された未刊行データも含めた頻度分布図とを比較すると アラビア盾状地で最古の岩石は 1150 Ma で 600 ± 100 Ma に大きなピークがありこれはアフリカ大陸のカタンガ変動(パン・アフリカ変動)に対比できる。 その他の小ピークは 800 Ma 付近と 900 Ma 付近にみられるが これらは第1回目および第2回目の閃緑岩系列のパソリスとプルトンに対応している。 この全岩年代の分布が1150—520 Maの間にあり また1150 Ma より古い岩石が全く見付かっていないこと ヘジャーズ造山 I 期のソレイアイト質玄武岩の火山活動と大陸源の砕層岩類を全く含まない厚いタービダイトの堆積があったことなどからこの時期の環境は大洋的で大陸の影響を受けていなかった すなわち 大洋地殻プレート同志の衝突・サブダクション・島弧の形成・サブダクション帯上での深成火成活動という プレート・テクトニクス仮説が受け入れられたのであろう。  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  初生値はヘジャーズ造山 I 期から 650 Ma より

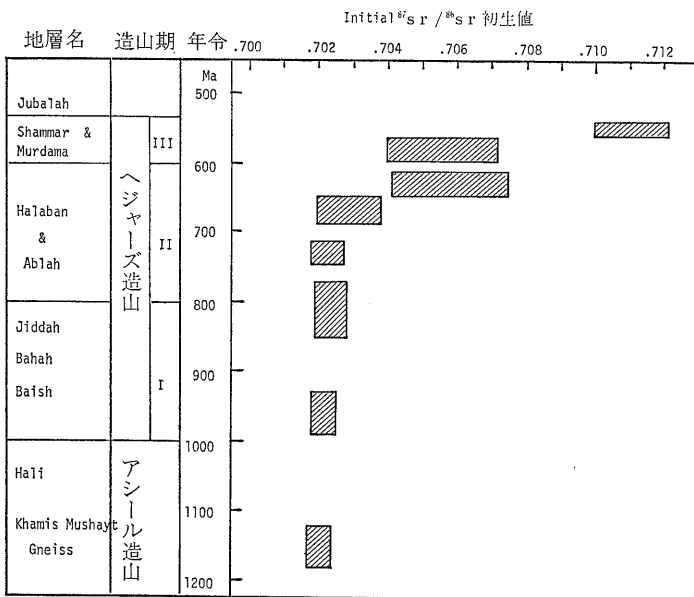


図10 アラビア盾状地の花コウ岩類の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  初生値 (種々のソースより編集)

古いⅡ期の花コウ岩類では 0.7015—0.704 とほとんど一定値を示し 上部マントル源か下部地殻源を示唆しているが Ⅱ期末期 (650—600 Ma) の花コウ岩類では岩体によるバラツキが大きくなり 0.704—0.7075 とやや高い値を示す。さらにⅢ期のカルクアルカリ花コウ岩 過アルカリ花コウ岩では 0.704—0.707 群ともっとも新しい花コウ岩の 0.710—0.712 の高異常を示す群とに分けられる。造構発達史では I 期で形成された島弧はⅡ期に入って活発な火成活動がはじまり Ⅱ期末からⅢ期にかけてアフリカ大陸と衝突・接合し安定地塊化したと考えているが その考えの基礎となっているのが この時期の花コウ岩類の  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  初生値の高異常である。しかしこのように造構発達史を組み立てるには未だデータ不足は否めない とくに Ⅱ期末からⅢ期にかけての 0.704—0.707 の花コウ岩類の詳細な検討が必要であろう。

1970年には数えるほどの K-Ar 法による年代測定データと化学分析値しかなかったアラビア盾状地の研究が10年足らずのうちに地質学および地球化学的データを基礎にして 壮大な造構発達史が 話されるようになったのは全く驚きである。1978年のシンポジウムの後 応用地質学研究所のアル・シャンティ所長の提唱する「Pan African crustal evolution」のテーマが IGCP 計画にとり上げられたので さらにこの研究は急速な発展をみることだろう。

## おわりに

アラビア盾状地の古い花コウ岩類は侵蝕のため岩体のはらわたまでさらけだして地質屋達の自由な観察に任せている。また新しい花コウ岩類は見事に貫入し素晴らしい節理を岩体にまもって勇姿を示している。苛酷な気候条件さえがまんすれば 花コウ岩の研究のためにこれ程のフィールドはあるまい。

未だ未公表のデータが多いために具体的な数字を挙げる事ができなかったが 盾状地の花コウ岩類の全貌をほぼ掴めたことと思う。

今回は盾状地の主体をなす火山岩累層と 超塩基性岩一塩基性岩からなるいわゆる“オフィオライト”と数多く分布している層状ハンレイ岩を地球化学的立場からとらえてみたい。

## 主要な文献

### (1) アラビア盾状地の造構発達史

BROWN, G. F., 1970. Eastern margin of the Red Sea and the coastal structures in Saudi Arabia.: Royal Soc. London Philos. Trans., ser. A, v. 267, p. 75-87.

SCHMIDT, D. M., HADLEY, D. G., GREENWOOD, W. R., GONZALES, L., COLEMAN, R. G., and BROWN, G. F., 1973. Stratigraphy and tectonism of the Southern part of the Precambrian Shield of Saudi Arabia. Saudi Arabian DGMR, Mineral Resources Bull., no. 8, 13 p.

DELFOUR, J., 1975. Volcanism and mineral deposits of the Arabian-Nubian Shield. Saudi Arabian DGMR, BRGM Rept. 75 JED 24, 35 p.

GREENWOOD, W. R., HADLEY, D. G., ANDERSON, R. E., FLECK, R. J. and SCHMIDT, D. L., 1976. Late Proterozoic cratonization in southwestern Saudi Arabia. Royal Soc. London Philos. Trans., ser. A, v. 280, p. 517-527.

Abstract of Symposium "Evolution and mineralization of the Arabian-Nubian Shield." 1978. Precambrian Reserch, v. 6, no. 1.

Saudi Arabia DGMR, 1976. Mineral Resources Activities 1390-1395 A. H. (1970-1975 A. D.), 70p.

AL-SHANTI, A. M. S. and MITCHELL, A. H. G., 1976. Late Precambrian subduction and collision in the Al Amar-Idas region, Arabian Shield, Kingdom of Saudi Arabia. Tectonophysics, v. 30, T41-47.

### (2) K-Ar 法 Rb-Sr 法による年代測定

FLECK, R. J., COLEMAN, R. G., CORNWALL, H. R., GREENWOOD, W. R., HADLEY, D. G., PRINZ, W. C., RATTE, J. S. and SCHMIDT, D. L., 1973. Potassium-Argon geochronology of the Arabian Shield. USGS Saudi Arabian Project Rept. 165, 40p.

BAUBRON, J. C., DELFOUR, J. and VIALETTE, Y., 1975. Geochronological measurements (Rb/Sr; K/Ar) on rocks of the Arabian Shield, Kingdom of Saudi Arabia. Saudi Arabian DGMR Rept. 76 JED 22, 152p.

その他 FLECK, R. J. BRGM の未刊行データ。

### (3) 花コウ岩類の岩石化学

GREENWOOD, W. R. and BROWN, G. F., 1973. Petrology and chemical analysis of selected plutonic rocks from the Arabian Shield, Kingdom of Saudi Arabia. Sandi Arabian DGMR, Bull. no. 9.

MARZOUKI, F. and FYFE, W. S., 1977. Pan-African Plates: Additional evidence from igneous events in Saudi Arabia. Contrib. Mineral. Petrol., v. 60, p. 219-224.

NASSEEF, A. O. and GASS, I. G., 1977. Granitic and metamorphic rocks of the Taif area, western Saudi Arabia. Geol. Soc. Amer. Bull., v. 88, p. 1721-1730.

その他 応用地質学研究所 (ジェッダ市) 修士論文