

## 講演要旨(第154回)\*

### 特集 大陸の地質と地下資源—海外の地質II

#### サウディアラビアの砂漠地形

桑形久夫

世界最大の半島であるアラビア半島の72%を占めるサウディアラビアは、日本の6倍、215万平方キロの国土を有しながら常流河川、湖沼は全く存在せず、農耕、林業などの国土利用可能地は10%以下にとどまり、大部分は砂漠となっている。世界各地の砂漠地形は露出した岩石などで構成される山岳地帯と、礫・砂・粘土などにおおわれた平地部に分けられ、一般に砂漠の代表的景観と信じられている砂丘は、ごくその一部に過ぎない。しかしサウディアラビアの砂漠は例外的に砂丘地帯が多く、北部ネフフード(13万平方キロ)、南部ルプアルハリ(65万平方キロ)の両砂丘砂漠は国土の1/3を砂で埋めている。

砂漠地形を堆積物により分類すると

##### 1) ハマダ(Hamadah)堆積物

岩石・礫におおわれた山地の堆積物。土壌、植生はまれである。

##### 2) セリール(Scrir)堆積物

5-10度の傾斜地が礫・粗粒砂でおおわれていて、風による移動は行われない。

##### 3) セブカ(Inland Sebkhah)堆積物

降雨により流出した水が一時的に砂漠の低地に湛水することがあるが、すぐ干あがってしまう。この繰り返により岩塩、石膏など再結晶した沈殿物が堆積する地形をいう。リプアルハリ砂漠東部には、セブカが15万平方キロ(北海道、四国、九州の合計面積に等しい)にわたって分布している。

##### 4) ワジ(Wadi)堆積物

降雨により一時的に水の流れる流路をワジと称し、沖積の礫、小石まじりの粘土、泥が堆積しており、平野部砂漠は大部分この堆積物におおわれている。

##### 5) 風成砂(Aeolian Sand)堆積物

風成砂堆積物は砂丘地形を呈し、砂漠の象徴として強く印象づけられているが、実際には乾燥地帯の10%を占

めるに過ぎない少数派である。

砂丘を構成する砂は、きわめて粒の揃った石英粒であり、①等サイズ、②円磨化されている、③細粒化の過程でお互いにぶつかり合ったため表面に疵が付き曇っている、という特長を示している。

風成砂の堆積形態として次の4種に分類できる。

##### a) 漂砂(Sand Drift)

ブッシュ、岩、崖など障害物の風下側に砂が舌状にたまる状態

##### b) ゴーズ(Gozes)

草の生えた、なだらかな丘をもつ地形。多少降雨のある所のできる砂丘地形。

##### c) サンドシート(Sand sheets)

前出の Hamadah または Scrir をうすくおおう砂の層小礫と互層になることが多い。

##### d) 砂丘(Sand Dunes)

砂漠の象徴であるとともに風成砂の最大集積地である砂丘地形は、風の状況、砂のタイプ、砂の量によってそれぞれ独特の形態をとる。一般的に風上側は緩、風下側は急斜面となるが、砂の物理的性質から34度以上の傾斜は形成し得ない。砂丘地形は下記の5つに分類できる。

##### ① バルハン砂丘(Barchan Dunes)

もっとも普通の砂丘の形態で、定方向の風により作られ、三日月状を呈する。単独でも存在するが、寄り集まって複合バルハン地形を示すことが多い。

##### ② セイフ(縦列)砂丘(Seif Dunes)

この砂丘の成因については諸説があり、二つの風のベクトル(McKee, 1966)としての成因説と、定方向の風が強ければ縦列、弱まるとバルハンに移行する(GRENNIC, 1970)の二説が有力である。世界最大の砂の集積地であるルプアルハリ砂漠では、高さ100-200メートル、幅1.5キロを越す大砂丘の列が整然と並列し、長い砂丘は500キロに達するものもある。

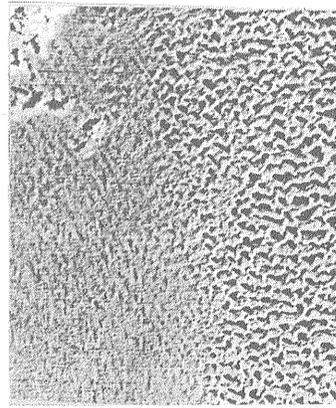
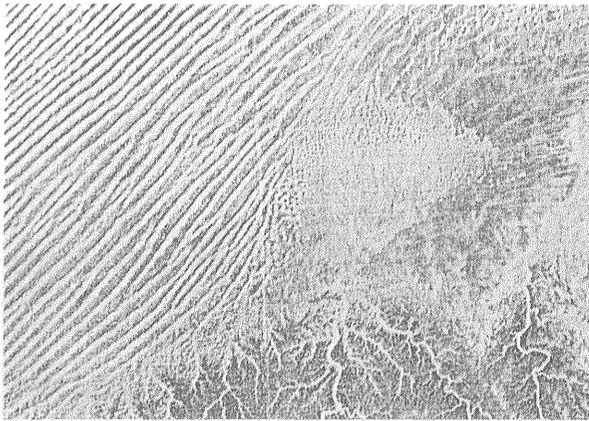
##### ③ 横長砂丘(Transverse Dunes)

定方向の風によりバルカン砂丘が形成される過程において、横長砂丘が一時姿を現す一過性の砂丘である。

##### ④ 星型砂丘(Star Dunes)

風向が一定せず、諸方向から吹くときに形成される。

\* 昭和57年7月5日日本所において開催の研究発表会



縦列砂漠 右上方にバルハン砂丘

デカカ(左)とサブカ(右)

第1図 ランドサット衛星より見たルブアルハリ砂漠の砂丘群

各方向に延びた砂丘は、おのおの風下側の崖状急斜面をもち、星の中心(Crest)は他の砂丘と異なり移動することがなく、高さ100メートル以上の巨大な星型砂丘は砂漠の安定した道標となる。

⑤ 逆方向砂丘(Reversing Dunes)

卓越風が季節により逆方向に転換する地域においてはバルハン砂丘が交互に逆の方向にできる地形を称する。

⑥ デカカ(Dekaka)

植物及びその根が蔓延した状態の砂丘をデカカと呼び、オアシス周縁、ルブアルハリ砂漠中央部に存在する。(海外地質調査協力室)

マリ国東部の水理地質

村下 敏夫

1. はじめ 1978年3月から実施されたサハラ砂漠の南東に位置するマリ共和国第7経済区における地下水開発計画調査(経済協力、国際協力事業団)は、住民の飲料水及び遊牧地整備の水確保と、調査実施の過程でマリ政府技術者に対して、地下水開発技術を可能なかぎり移転することを目的とし、1982年3月に終了した。その後は、無償資金協力(技術協力)による地下水開発が、ひきつづいて行われている。1968年-1975年の西サハラにおける大旱ばつは、マリ国にも及び、1973年頃から地下水が枯渇し、同国東部の遊牧民は、家畜とともに南の隣国ニジェールに移動した、という。

元来、東部地域は降水量が少ないところで、北で130mm/年(キダル)、南で260mm/年(ガオ)程度である。大

旱ばつ時には、気候に左右されやすい自由水面を有する地下水一主に涸れ川沿いの地下水で、住民が所有権もっている一は枯渇したが、被圧地下水は安定した水源であったことから、マリ国政府は被圧地下水の開発を国是としている。

2. 調査の概要 マリ国における本調査は、我が国として、アフリカにおける最初の社会開発関連の地下水調査であったことから、次の手順で慎重に進められた。

1) 地下水開発事前調査(1978年3月-4月)。調査予定地域における地下水開発の現状と、我が国が開発を行うに当たっての基本方針となる情報の収集。

2) 日本・マリ両国間で、地下水開発調査実行計画案の作成(1978年10月)。

3) 地下水開発基本調査(1979年1月-3月)。次に計画されている水井戸掘さくの本格調査に関する実行計画の策定。

4) 地下水開発本格調査(1979年11月-1982年3月)。合計16井を試掘、15井の揚水試験を完了。

3. 地質 地域の北東部に海拔500-1,000mの山地があり、山地の南・西に海拔300-500mの丘陵地が続く、丘陵地とニジェール川との間に海拔200-300mの平地、そしてニジェール川沿いに低地がある。

山地は先カンブリア界、丘陵地は白亜系によって構成される。白亜系は、南西方へ向かってゆるく傾斜する、単斜構造を成している。第三系(陸成層)は平地を広く覆い、第四系はニジェール川沿いの低地で厚い。

ガオの北東方約48km アルガベッセの試掘井(深度97.7m)の資料によると、6m以浅が第四系、6-63mが第三系、63-82mが白亜系上部(海成層)、82m以深が同

下部(陸成層)と区分がなされている。

なお、地域の南西方にあるアンソングには、局地的にインフラカンブリア系(変成岩類)が露出し、東西方向・北落ちの断層によって第三系と接している。

4. 帯水層 本地域における主要帯水層は、第四系及び第三系の砂層・砂礫層、白亜系の砂層、インフラカンブリア系及び先カンブリア界の風化層と亀裂が発達する部分である。

本格調査は、第7経済区の要望によって、ニジェール川沿いの主要都市ガオ・アンソングにおいて実施されたので、調査対象となった帯水層は、第四系(ガオ)・第三系及びインフラカンブリア系(アンソング)であった。

帯水層の透水係数は、本調査によって掘さくした水井戸(口径はすべて150 mm)の揚水試験の結果、

第四系(砂層、深度29.5 m)  $2.2 \times 10^{-2}$  m/h

第三系(砂礫層、深度142.0 m)  $2.5 \times 10^{-4}$  m/h

変成岩類(44.5m以浅の風化層)  $5.1 \times 10^{-6}$  m/hm

上記のとおり、全体として古い地層ほど透水性がわるい傾向を示している。

5. 地下水 アフリカ開発銀行の報告(1981)によると、ガオにおける地下水開発可能量は、面積1 km<sup>2</sup> 当日量約140 m<sup>3</sup>—降水量(260 mm/年)の20%を地下浸透量—と試算されている。本格調査の結果、毎時2 m<sup>3</sup>—マリ国で水井戸と評価する最低水量—以上の揚水量が得られた水井戸は13井で、水井戸としての成功率は87%(事前調査時の情報では30-40%)であった。

地下水の化学成分(永井茂技官分析)の量は、第四系(ニジェール川沿いで、EC 80-130  $\mu$ S/cm)で少なく、第三系(SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Na に富む, 250  $\mu$ S/cm), 変成岩類(HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> と Ca に富む, 970  $\mu$ S/cm)というように古い地層ほど多い。

6. あとがき 本地域の地下水は涵養(補給)量に乏しく、1井当りの揚水量が少ないので、水需要に対して汲上げ過剰にならない、取水方策を立てる必要がある。

(環境地質部)

## トルコ共和国の地質構造区分

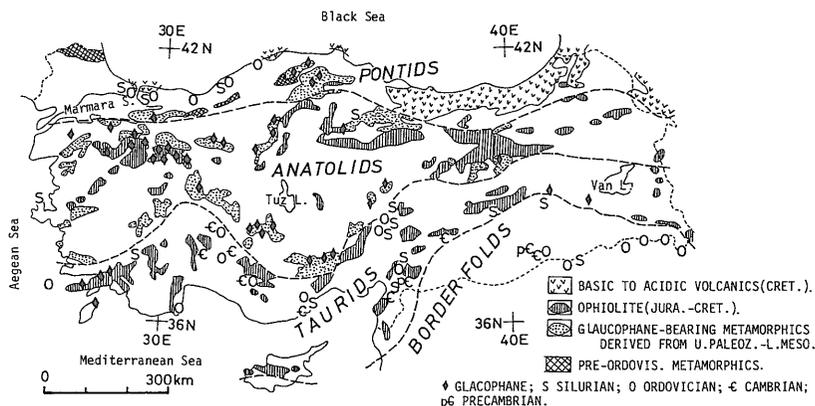
平野英雄

トルコ国はヨーロッパからアジアへ延びるアルプス造山帯の中程にあり、この造山帯の全体像を把握する上で重要な位置を占めている。演者は、最近編集された1/800万トルコ国地質図(BINGOL, 1980)をもとに、従来の鉱物資源調査開発研究所(MTA)発行の1/50万トルコ国地質図その他を参考にして、変成岩類、下部古生界、オフィオライト、中~新生代火山岩、花崗岩等の各構造要素をぬきだし、それらの分布から新たに構造区分を試みた。

得られた結果は、アナトリア半島北西部を除けば、KETIN(1966)とほぼ一致した(図)。そこで各単元名をKETINに従がい、北から、ポントス区、アナトリア区、タウルス区、辺境褶曲区とよぶ。これらは地理的には、北アナトリア山脈(ポントス山脈)、アナトリア高原、タウルス山脈及びシリア・イラク・イランとの国境褶曲地帯にそれぞれ対応している。各構造区の特徴は以下の通り。

ポントス区: 黒海沿岸に沿って分布し、南縁は、東部を除き、北アナトリア断層で境される。この区は主要構成岩石が東と西で異なる。東部は白亜紀の流紋岩-玄武岩質の海底火山噴出岩により、西部は下~上部古生界とその基盤になった片麻岩類によって特徴づけられる。

アナトリア区: アナトリア半島の中央部を東西に延び



トルコ国の地質構造区分といくつかの構造要素の分布

ており、らん閃石を含む低度変成岩類と塩基性～超塩基性岩を主とするオフィオライトの存在で特色づけられる。下部古生界はほとんどみられず、かわりにメンデレスやキルシェヒル岩体で代表される高度変成岩類が分布している。ジュラ系がほとんどなく、広範に発達する第三系と南北の両縁に沿って分布する第三紀～第四紀火山岩もこの区を特徴づけている。KETTIN(1966)は主要なオフィオライト岩体の北限をアナトリア区の北限と定めたため、彼のポントス-アナトリア両区の境界線は北東-南西方向となり、アナトリア北西部はポントス区にされた。しかし、同地域でのオフィオライトの産状、らん閃石を含む低度変成岩類やアルプス花崗岩の東西性の分布から、演者は図に示したように、両区の境界を東西方向に走る北アナトリア断層とした。

タウルス区：エーゲ海岸南端から地中海沿岸に沿い、東部国境のワン湖付近にいたる地帯で、先カンブリア系を含む下部古生界とオフィオライトの存在によって特徴づけられる。アナトリア区に顕著にみられるらん閃石片岩はこの区にはわずかしかなか、高度変成岩類も少ない。全体として、次にのべる辺境褶曲区に衝上している。

辺境褶曲区：トルコ東南部の国境に沿った地帯で、アラビアたて状地の北縁部に位置している。エオカンブリアから鮮新世までほぼ連続して堆積がおこなわれ、激しい火成活動や変成作用がみられないことが特徴である。浅海性堆積層を主とし、中生代石灰岩・ドロマイト層は石油の母層となっているなど、ペルシャ湾に面したイラン・イラクの石油地帯の地質と本質的に同じである。

トルコ国の構造区分と各構造区の特徴についてのべた。さらに、隣接するアルプス造山帯(西のギリシャ・ブルガリア・アルバニア、東のイラン)を細分し、かつそれぞれを対比するうえで上述の特徴は極めて有効であることをしめした。(鉱床部)

### トルコ共和国の窯業原料資源

藤井紀之

トルコ国はアルプス-ヒマラヤ造山帯の中に位置しており、その地質的發展の過程を通じて多種・多様の鉱床が形成された。主要な窯業原料鉱物の生産量は表に示す通りで、なかでも硼素鉱物(世界の生産量の約40%)・クロム鉱(9%)・マグネサイト(4%)などが著名である。おもな鉱床の分布を、オフィオライト及び新第三紀～第四紀火山岩の分布と共に図に示した。以下地質的過程と

窯業原料鉱物の生産量

鉱種	1975	1978	
		生産量	輸出品
アスベスト	15,600 <sup>トン</sup>	48,000 <sup>トン</sup>	400 <sup>トン</sup>
ボーキサイト	569,800	413,000	28,700
硼素鉱物・硼酸	970,000	835,000	750,000
セレストライト	—	18,000	17,500
クロム鉄鉱	450,000	600,000	362,700
フリントクレ	20,900	81,400	0
カオリン	50,000	140,000	輸入 7,000
耐火粘土など	160,000	301,000	0
ダイアスポア	—	200,000	—
エメリー	70,700	65,000	57,000
長石	—	86,000	0
石膏・硬石膏	433,000	1,063,000	3,400
石灰石	7,000,000	22,069,000	—
マグネサイト	458,800	504,000	57,000
珪砂	—	384,000	0
タルク	—	51,000	—

資料は Minerals Year Book (1975), UYGUN ed. (1979) による。1978年の総計は一部推定値を含む。輸入カオリンはすべて製紙用である。

関連させてその概要を述べる。

#### 〔先アルプス期の鉱床〕

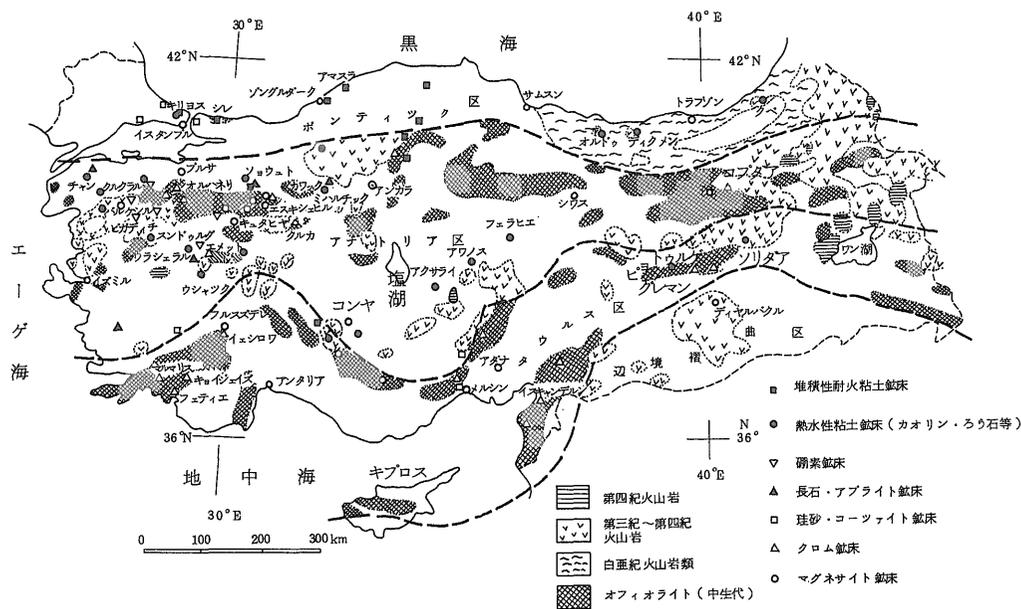
アナトリア北部の一部の上部石炭系の夾炭層が発展しており、炭層に伴ってフリントクレ鉱床が賦存している。また南西部の変成岩体中にはボーキサイトが変成を受けたと思われるダイアスポア・エメリーなどの鉱床が発達している。

#### 〔前期アルプス期の鉱床〕

白亜紀に形成されたアナトリア優地向斜中では各地でオフィオライト岩層の堆積があった。クロム及びマグネサイト鉱床は全ての超塩基岩中に胚胎されたものである。なおアナトリア北部では花崗岩類の貫入もあったが何れも小規模なものである。

#### 〔後期アルプス期の鉱床〕

白亜紀～古第三紀の造山運動を通じて陸域は大きく広がり南東部を除くアナトリアの全域で無数の内陸成堆積盆地が形成され、また各地で火山活動が盛んになった。第三紀は乾燥性気候に支配された時期であり、これらの陸成層中に硼素・石膏・岩塩など多くの蒸発成鉱床が形成された。また火山活動に伴って熱水変質作用が各地で起り、カオリン・ろう石・陶石・セリサイトなどの鉱床が形成されている。しかし黒海沿岸地方の熱水性粘土鉱床は何れも新期火山活動による可能性が大きい。



トルコの地質構造区分と主要窯業原料鉱床の分布

地質は主として BINGOL (1980), 鉱床分布は UYGUN ed. (1979), 構造区分は平野による。一部筆者が加筆, 編纂した。

花崗岩の分布が少ないため良質の耐火粘土鉱床は、黒海沿岸西部・アナトリア北西部などに局部的に分布するに過ぎない。  
(鉱床部)

### ケニア・リフトバレー・エブルル地域の地質と地熱

金原啓司・佐藤博之

1980年9月から81年3月にかけて、上記2名は国際協力事業団の委嘱により、エブルル地域の地質と地熱変質調査を行った。以下その概略を報告する。

#### 地質

エブルル地域はナイロビーから北西に約100 km, リフトバレー内にある Naivasha 湖の北岸にある 第四紀 “Ol Doinyo Eburru 火山” である。この火山は溶岩円頂丘・噴石丘・爆裂火口からなる複合火山であり、基盤には南北方向に走るいくつかの断層があり、地熱活動は爆裂火口と断層に多く認められる。

“Ol Doinyo Eburru 火山” の基盤は、下位から(東から西へ)溶結凝灰岩・コメンド岩溶岩・降下軽石堆積物からなり、降下軽石堆積物は多くの黒曜岩の岩脈によって貫かれる。本火山はこれらを貫く溶岩円頂丘・噴石丘・玄武岩溶岩及び散在する爆裂火口であり、その形態と

地熱活動が続いていることからみて、現世のものと考えられる。火口の最大のものは1.5 km×1 mの直径を有し、“カルデラ”と呼ばれている。

地表部には2層の降下軽石堆積物があり、上位を Eburru-a, 下位を Eburru-b と命名して追跡したが、噴出源を決定するに至らなかった。

#### エブルル地域の地熱変質帯調査

UNDP が実施した赤外線熱映像調査の結果によれば、エブルル地域では東西方向に配列する多数の爆裂火口を有する “Ol Doinyo Eburru 火山” の頂上部(標高2700m前後)からその北山麓の Eburru Station (標高1,950m前後)にかけての北斜面に多数の地熱徴候が認められている。これらの地熱徴候は、乾燥気候のためリフトバレーに平行に発達する N-S 方向の断層群に沿って見られる噴気活動が中心であって、日本に見られるような温泉湧出活動は全く存在しないのが大きな特徴である。

今回この地域の変質帯調査を実施したところ、爆裂火口の密集する火山頂上部には明ばん石帯 (Zone I), カオリナイト帯 (Zone II) の顕著な白色変質帯の発達していることが判明した。特にここから産するカオリナイトはケニアの数少ない鉱産物資源の一つとして現在も採掘されているほどである。火山の北斜面にはカオリナイト帯の外側にモンモリナイト帯 (Zone III) が舌状に麓の

Eburru Station 方面に延びて広く分布している。地形的低地である Eburru Station 付近ではスコリア、溶岩の空隙中には一種の温泉沈殿物と解釈した白色鉱物(方解石)が顕著に生じている。

以上の変質帯調査の結果に基づいて、ここに Eburru 地域における1つの地熱系モデルを提出したい。すなわち明ばん石帯(Zone I)、カオリナイト帯(Zone II)が発達する“Ol Doinyo Eburru火山”の頂上付近下に熱源が存在するであろうことはこれまでの変質帯調査の知識に照らして疑う余地がないであろう。

ところでリフトバレーには多数の湖が存在しているが、エブルル地域のすぐ南に位置する Naivasha 湖が標高1,884 m で最も高い。Naivasha 湖で浸透した地下水は、多分このリフトバレーの傾斜に沿って北に流れ、“Ol Doinyo Eburru 火山”の山体下を通過することにより、地下水は過熱蒸気化するであろう。これは温度低下を伴いながらさらに北に流れ、Eburru Station のような低地では温泉沈殿物的な方解石を析出し、最終的には Elementeita 湖(標高1,776m)の南岸で45°Cの温度として湧出しているものと想定される。

#### エブルル地域の岩石

エブルル地域の岩石は岩質的にはコメンド岩に属する。一般に斑晶はアルカリ長石・アルベドソン閃石・エニグマタイトからなり、石英・エジリン輝石を含むことがある。石基鉱物はアルカリ長石・エジリンからなる。Gilgil の採石場で採集した岩石はアルカリ長石・鉄かんらん石(fa 96)・ヘデンベルグ輝石・アルベドソン閃石・エニグマタイト・チタン鉄鉱の斑晶を含み、鉄かんらん石の微斑晶は fa 99 を示し、石基鉱物はアルカリ長石及びエジリン輝石からなる。(地殻熱部・地質部)

#### メキシコ共和国 Sierra Madre Oriental (東部山岳地帯)の鉱化作用について

竹田英夫・佐々木 昭

Sierra Madre Oriental の地質は古生層(一部先カンブリア系)の上に発達した岩塩堆積盆地内の上部ジュラ系、下部白亜系及び上部白亜系の炭酸塩岩類を主とし、古第三紀以降に活動した火山岩類と貫入岩類が見られる。

鉱化作用の層準は下部白亜系に集中するが、一部上部ジュラ系と上部白亜系にもおよび、またその構造的位置は背斜構造——一部典型的ドーム構造や複背斜構造などがみられる——に関係しており、最近判明した同地帯の石油の胚胎層準及び構造的位置ときわめて類似した性格を示している。

鉱床は層状に近いマント型と直立した筒状のチムネー型が多く、一部鉱脈型も見られ、マント型とチムネー型は相互に派生したり、交叉することもある。

これらの鉛・亜鉛を主とする鉱床は母岩の変質及び鉱石鉱物の共生関係から見て3通りに分けられる。すなわち、(1)母岩の変質を殆んど伴わず、鉱石鉱物の組合せが単純なもの。(2)母岩の石灰岩が再結晶しているが、スカルン鉱物を伴わないもの。(3)スカルン鉱物を伴い、鉱石鉱物の多様化した共生関係を示すものに分類され得る。(1)の型には Dos Marias 及び Plomosos 等の鉱床があり、鉱体はマント型が多く、閃亜鉛鉱・方鉛鉱・黄鉄鉱を主とし、Dos Marias では鉱石中に炭化水素又は pyrobitumen を伴っている。(2)の型は Providencia (Avalos) Ojuela, Potosí (Santa Eulalia の西部鉱体) が代表例であり、鉱体はチムネー型が加わるが、鉱石鉱物の組合せは(1)の型と余り差は無い。(3)の型には Naica, Concepción del Oro, San Antonio (Santa Eulalia の東部鉱体), San Martín, Charcas, Santa Maria de La Paz 等があり、鉛・亜鉛の他銅の鉱化作用が顕著となる他、磁鉄鉱・磁硫鉄鉱・灰重石・輝水鉛鉱・錫石などを伴い、スカルン鉱物が多量に晶出する。しかしながら、これら3つの型を通じて脈石鉱物には石膏・硬石膏・重晶石・螢石の見られることが多い。

Sierra Madre Oriental の炭酸塩岩類に伴うこれらの鉛・亜鉛鉱床は従来 Lavamide 変動時の火成活動の産物と解釈されてきたが、単純な火成説のみでは説明し切れない鉱化作用の特性があるため、硫黄同位体比の面から検討を試みた。先ず代表的な20余の鉱床につき、選鉱試料、混合鉱石などによって各鉱床の硫化物硫黄の平均的同位体組成を求めたところ、 $\delta^{34}\text{S}$ (CDT)値は-10~+13パミルの広い範囲にわたりほぼ一様に分散し、全体の平均は約+1.5パミルを示した。一方、鉱化作用が集中している下部白亜系にはしばしば蒸発岩が発達しており、それに含まれる石膏の硫黄は  $\delta^{34}\text{S} = +14 \sim +18$  を示し、これは下部白亜紀海洋の硫黄同位体比の全地球の平均値として受入れられている値(～+15パミル)とほぼ一致する。

比較的浅い閉じたベーズンで嫌気性の硫酸バクテリアにより“non-steady state”の還元が進行すると、発生する硫化水素の  $\delta^{34}\text{S}$  値は元の硫酸イオンに対し0~25パミル(平均的には約15パミル)に減少することが知られている。Sierra Madre Oriental の硫化物硫黄が示す上記の値は、正に下部白亜紀海洋の硫酸イオンから出発した場合のこのパターンと一致している。鉱床の  $\delta^{34}\text{S}$  値は火成活動の徴候が少ない(1)の型の鉱床群でさまざまに変

化する一方、母岩炭酸塩岩の再結晶化やスカルン化の進んだ(2)や(3)の型の鉱床では+1~+4パミル程度に集中する傾向がある。(2)、(3)型でのこのような結果は従来、火成源硫黄の証拠の一つと考えられてきたが、バクテリア起源の堆積性硫化物硫黄が後の火成活動あるいはそれに伴う熱水活動により平均化された結果としても十分に説明できる。

スカルン鉱物の出現や含有金属種の多様化からみて、(2)あるいは(3)の型の鉱床の形成に火成活動が関与したことは明らかであるが、母体となった鉛・亜鉛の初期濃集が(1)の型の鉱床と共通の機構に支配された可能性は大きい。

胚胎層準や構造的位相からみて蒸発岩や炭化水素鉱床と密接に関連している事実と共に、硫黄同位体についての上述の結果は、Sierra Madre Oriental地域の鉛・亜鉛鉱化作用が本質的にはいわゆるMississippi Valley型の鉱化作用の範ちゅうに属するものであることを強く示唆している。今後この地域の鉱床探査はこのような視点から見直す必要があろう。(鉱床部・同)

#### チリのポーフィリイ型銅鉱床の変質作用、鉱化作用と同位体比—エル・テニエンテ鉱床を例として

松久幸敬

チリのポーフィリイ型銅鉱床は、自由世界の銅生産量の15%を供給している。エル・テニエンテ鉱床を例としてチリのポーフィリイ型銅鉱床の地質、変質作用、鉱化作用の特徴を紹介した。また、初生鉱化作用の様子を明らかにする目的で、各鉱化期の鉱物の酸素及び硫黄同位体比を測定し、鉱液の起源や温度、化学的性質について検討を行った。

エル・テニエンテ鉱床は、第三紀の安山岩類を母岩とし、デイサイト斑岩の貫入に伴って初生の鉱化作用・変質作用がおきている。変質作用の年令は4.3~5.6 Maである。初生の鉱化作用、変質作用は、3つの主要な時期(Stage I-III)と最末期(Stage IV)に分けられる。Stage Iはデイサイト斑岩を中心としたカリウム変質で、斜長石のカリ長石化と二次黒雲母の生成で特徴づけられ、鉱床地域全体に及んでいる。Stage IIは、石英-セリサイト変質で、石英-セリサイトハローを持つ石英-硬石コウ脈で特徴づけられ、カリウム変質に重複して現れる。Stage IIIは、ブラーデン・パイプの形成に伴って出来た放射状割れ目を満たす石英-硬石コウ脈で現れ、電気石を特徴的に伴う。Stage I-IIIとも硫化物は黄銅鉱、斑銅鉱、黄鉄鉱である。Stage IVはブラーデン・パイプ中の空隙に菱鉄

鉱、石コウを伴う硬石コウ脈として現れる。

石英の $\delta^{18}\text{O}$ 値は+8.6~+13.4‰、硬石コウは+6.8~+10.6‰で、いずれもStage IからII, III, IVに向かって高くなる。硬石コウの $\delta^{34}\text{S}$ 値は+8.6~+16.0‰、黄銅鉱は-5.5~-0.8‰、黄鉄鉱は-1.2~-0.9‰である。硬石コウ-硫化物組合せの硫黄同位体平衡温度は、Stage I: 545°C, Stage II, III: 490°C, Stage IV: 420°Cである。これにもとづいて算出される熱水の $\delta^{18}\text{O}$ 値はStage I-IIIではほぼ+7‰で、ほとんど一定である。すなわち、マグマ水か、天水起源としても、高温(~600°C)の岩石と充分に反応した均一な熱水がくり返し入ってきたことが推定される。

硫酸塩、硫化物がある均一なリザーバーから温度の低下にともなって平衡に晶出したとすると、そのリザーバーの $\delta^{34}\text{S}$ 値は+6.4‰とみつもられ、溶液中の $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_4^{2-}$ 比は、およそ1:3となる。この結果は、磁鉄鉱系の花崗岩質マグマが高い $f_{\text{O}_2}$ (~ $10^{-15}$ )下で熱水を放出した場合の $\text{SO}_2$ のdisproportionation反応のモデルと調和的である。また、リザーバーの $\delta^{34}\text{S}$ 値は、ポーフィリイ型鉱化作用に関係した第三紀の花崗岩類の全岩値とも調和的である。(鉱床部)

#### ペルーの物理探査活動

武居由之

演者は1976年より2カ年間、南米ペルー共和国動力鉱山省地質鉱業研究所に赴き、物理探査の技術指導を行ってきた。

技術指導の要請は1969年以来同国よりあり、物理探査とくにIP法の実施、日本側より供与した装置の使用と新規装置の購入を主要な業務とすることで派遣が実現し、準備として、物理探査機器、周辺機器、地質調査用具、物理探査文献類を用意した。同国へ赴く途上、IP装置の設計・製造者を訪れ、探査実例、改良機種、修理等の説明を受けたことは有益であった。

地質鉱業研究所は地質調査と製錬研究を業務とする。近年諸外国との協力調査が活発であり、日、独、仏、英、西、米の協力を受けている。ペルーでの物理探査技術の現況は石油探鉱活動が一段落するに到って低潮になったが、国内業者が一社あり営業活動中で、物理探査の学術的研究は西語版の文献が多数入手できるので可能な環境にある。

技術指導は、探査機器の供与、導入機種の推薦、試験装置の使用、探査計画の策定、探査結果の計算法、作

図, 最新技術情報の供与等を内容としたが, 中核をなすものは二度にわたる実地指導であった。第1回は南部国境線沿いの変質鉱床地域でのI・P探査で, 海拔4,500m高地での探査作業は困難もあるが周波数効果6%台の異常を発見している。第2回は南部海岸砂漠中の鉄鉱石鉱床に対する磁気探査であった。同地域は地理上では最も磁力の弱い地域であるが, 可搬式磁力計による探査で

鉱脈上に顕著な磁気異常が見出され, 模型計算が非常に容易にできる結果を得た。

開発途上国での技術開発は現在の政治経済情勢では資金, 技術が少数者に集中して発展性未だしと見受けられるが, 探査に関する学習と情報蒐集, 実験設備の充実・訓練を重ねることにより将来の好況期に発展が期待できるとみた。  
(物理探査部)