

講演要旨*

南極ドライバレー掘削計画 (DVDP) について

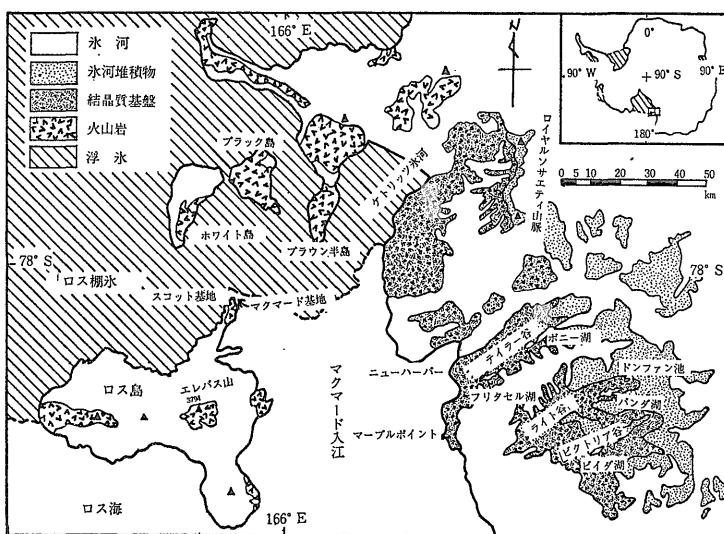
倉 沢 一・大 野 正 一

DVDP とは、ドライバレー掘削計画 (Dry Valley Drilling Project) のことである。1961年以来、ドライバレー近くに基地をもつアメリカ隊やニュージーランド隊は、地学・生物学などの調査隊を送り、南極の地史を探る上で貴重な研究を行った。日本からは、1963年度から同地域に存在する塩湖の成因と、それに関する南極大陸地史の研究などを行ってきている。その間、同地域の解

明には、深層掘削による各種堆積物の採集調査が重要な研究課題であるとして、この調査に熱心な日本・ニュージーランド・アメリカの国際共同研究が成立した。

日本は、国立極地研究所 (当初は極地研究センター)、ニュージーランドは D. S. I. R., アメリカは NSF が主務となって、計画の推進が行われている。南極ドライバレー (テイラー谷, ライト谷, ビクトリア谷) 地域図と、実際に実施された掘削経過を第 1 図と第 1 表に示す。なお 1974 年 10 月 ~ 1975 年 2 月のシーズンでは、ドライバレー地域のニューハーバー, ドンファン池, フリクセル湖のほかに、ロス島の DVDP 3 と、ブラック島で掘削が行われる。最深のものでは 1,000m を予定している。この

* 昭和49年12月5日日本所において開催



第 1 図 南極ドライバレー地域図

第 1 表 1973—1974 DVDP 掘削経過

Hole no.	地 点	海拔高度 (m)	深 さ (m)	岩 石	年 月
1	ロス島 (Twin Craters 南斜面)	66.9	201.2	火山岩	1973. 1
2	ロス島 (地球科学研究室東横)	47.2	179.4	火山岩	1973. 2
3	ロス島 (同 上)	47.6	381.0	火山岩	1973. 9-10
4	バンダ湖 (湖底最深部)	83.6	85.7*	湖底 氷河堆積物と基盤岩類	1973.11
5	ドンファン池 (北西岸)	117.5	3.5	湖底堆積物	1973.12
6	ビーダ湖 (西端から北方 200m)	349.2	304.8	氷河堆積物と基盤岩類	1973.12
7	フリクセル湖 (北西岸)	18.5	11.1	氷河堆積物	1973.12
8	ニューハーバー (テイラー谷東端)	1.9	157.2	氷河 海底堆積物	1974. 1
9**	ニューハーバー (同 上)	1.9	38.3	氷河 海底堆積物	1974. 1

* 氷 (3 m) 湖水 (65.3 m) 岩石 (17.4 m). ** 4.5°傾斜掘削 (地点は 8 と同じ). 8 と 9 は基盤まで到達せず.

調査の目的は、単に塩湖の成因を究明するばかりでなく、南極大陸の地史、南半球の氷河史を探る重要な狙いも含まれていて、氷におおわれた大陸のなかで、もっとも広い露岩地域であるドライバレーは、南極大陸の地学的探求の上で貴重な窓口である。

日本からは、マクマード基地内の地球科学研究室での機器として、X線回折装置、岩石薄片作製装置、粒度分析機、偏光顕微鏡一式などが提供され、アメリカからは、ボーリング機械、現地での物資の運搬・輸送用ヘリコプターが、またニュージーランドからはボーリング技師10名が提供された。各国から多数の研究者が参加し、24時間明るいためフル作業で掘削が続けられた。採集されたコア試料は、現地で記載され、箱詰めされ、次々とマクマード基地の地球科学研究室の冷凍庫に保管される。研究室では、あらためて正確な記載を行い、直ちにレポートが作成される。

試料は、シーズン終わり頃、船でアメリカに運ばれ、北イリノイ大学とフロリダ大学の冷凍庫に保管されている。これは、試料中に、permafrost(永久凍土)がはさまれているためである。これらの試料については、DVDPのBulletinに印刷されており、各国の研究分担者に送付されている。関心のある研究者にも分配される。

ドライバレーはマクマード基地から100~200 km はなれたところにあり、南緯およそ78°である。基地へは、ニュージーランドのクライストチャーチから、ニュージーランド空軍の輸送機で約8時間。ロス海の氷の上に着陸(氷)して、車で30分のところ。マクマード基地は、アメリカの南極調査研究の中心基地となっているのはもちろん、世界各国の研究者が滞在し、最盛期には、基地要員を含めて、1,000人にも達するという。

ロス島はアルカリ岩系に属する火山岩で構成されている火山島である。最高峰は活火山のMt. Erebus (3,794 m)で、かんらん石玄武岩・角閃石(ケルスト石)玄武岩・粗面安山岩・粗面岩およびフォノライトの岩石種が認められている。一方、ドライバレーは南極横断山脈の、黒雲母片麻岩とそれを貫く黒雲母花コウ岩類がおもなもので、4~6億年の年令をもつ。この基盤岩類は、氷河の浸食作用によってけづられ、ドライバレーの谷が形成されている。谷は氷河堆積物や海底堆積物でうづめられており、海進、海退の運動が示されている。また、塩湖の地球化学・第四紀地史・二次鉱物の同定と成因など、広く地球科学的視野での共同研究が続行されている。

この研究成果は、昭和49年5月29日~31日、ワシントン州のシアトルでのセミナーで公表され、多くの興味ある報告があった。この研究計画は、1975-76年で、現地

での調査は終了する。セミナー・会議は少なくともあと2回開催される。

なお、ロス島火山岩類の諸性質、とくにSr 同位体組成から、それらが、大陸あるいは大陸隣接地域にありながら、海洋島の性質を持っていることが明らかになった。

(技術部)

チリの銅鉱床について

大町 北一郎

チリ銅公団の要請により、国際協力事業団から専門家派遣として、昭和49年6月13日から7月8日まで、チリ共和国、北部地域の銅鉱床探査について、日本の技術的援助をどのようにおこなうかについて検討をおこなうため、同地に滞在した。

チリの銅鉱床は、その分布からみて北部地域に集中し、首都サンチャゴから南部にはあまり分布していない。鉱床の形態としては、鉱脈型・スカルン型・ポフリー・銅型・銅岩型・角礫パイプ型に分類されるが、銅鉱床として、もっとも埋蔵鉱量が多く、しかも将来のポテンシャルの高い銅鉱床は、ポフリー・銅型鉱床である。したがって、チリ国立地質調査所(1957年11月26日設立、97人)は、1965-1970年の第1期計画として、南緯18-26°、1971-1975年の第2期計画として、南緯26-37°までに分布するポフリー・銅型鉱床について、組織的なデータ整理をおこなっている。その方法は、従来の各企業・個人・調査所等が調査をおこなった資料をベースにして、縮尺500分の1の地質図・変質帯図・地球化学探鉱図・物理探査図(主として、I.P.)・試錐データ図の5図を各鉱床地域別に整理している。この目的は、新しいポフリー・銅型鉱床の予測、即ち鉱床についての再検討が目的で実施されている。またこのデータの整理されたものは、将来、コンピュータ化することを目標としている。

とくに有望地域の選出理由として、とりあげられているファクターは、(1)変質帯図の縮尺が均一化されたものとして出来上っているか、(2)リーチング帯が存在するかしないか、(3)ポフリーの貫入が認められるかどうか、(4)既知鉱床の周辺に銅鉱床の発達が目撃されるか、(5)stockwork(網状脈)の発達が認められるか、(6)熱水性角礫帯の発達が存在するか、(7)地域的な構造線、断層等の発達が認められるか、(8)試錐調査がかなり実施されているか。などについて、地質調査所が中心となり、鉱山会社・銅公団(CODELCO)・銅公社(ENAMI)およびコンサルティングなどに所属する地質技師が会合して、技

術的検討がおこなわれ、有望地域選出の作業がおこなわれている。今回、われわれが調査した地域は上記の検討結果としてあげられた地域で、北部より、Mocha 鉱山 (埋蔵鉱量, 0.5 億トン; Cu=0.8%), Cerro Colorado 鉱山 (埋蔵鉱量, 1 億トン; Cu=0.9%), Sagasca 鉱山 (埋蔵鉱量, 1,600 万トン; Cu=1.8%), EL Abra 鉱山 (埋蔵鉱量, 7 億トン; Cu=0.9%), chuquicamata 鉱山 (埋蔵鉱量, 14 億トン; Cu=1.2%), Exotica (埋蔵鉱量, 1.53 億トン; Cu=1.35%), Anda Collo 鉱山 (埋蔵鉱量, 1 億トン; Cu=0.9%), LOs Pelambres 鉱山 (埋蔵鉱量, 4.7 億トン; Cu=0.8%), など 8 鉱山の探鉱および生産状況を調査した。

その結果として、(1)広域地質調査がおこなわれている。(2)探査に従事する地質技師の不足、(3)探査用に必要な機材の不足(地化探用の器具および試錐機)、(4)探査資金の不足、などのため探査計画が予定通り進まないの、日本に対して、これの技術援助が銅公団から要請された。また411の銅鉱床は酸化銅鉱が多く、酸化銅鉱について、鉱物学的研究がほとんどおこなわれていないので、こんご選鉱、製錬技術改良の基礎的データを提供するためにも、チリ国立調査所における鉱物分野の技術援助が必要であろう。この他にポフィリー・カッパー鉱床の探査に必要な火成岩類の地質絶対年令測定がほとんどおこなわれていないので、マス・スペクトロメータの機材援助が、チリ国立地質調査所から要請された。

(鉱床部)

トルコ・エルガニー鉱山地域の オフィオライトと銅鉱床

番場 猛夫

トルコのアナトリア半島の地質構造区は KETIN(1966)により北方黒海側から Pontids, Anatolids, Taurids および Borderfolds の 4 帯に区分されている。それらは半島方向にそってたがいに並走する。エルガニー鉱山地域はアナトリア半島の南東基部に位置し Taurids 帯に属する。ここは典型的なアルプスオフィオライトからなる。すなわち泥岩・チャート・石灰岩、枕状溶岩などからなる海成の上部白亜紀層とその一部を占めるオフィオライト複合体とからなっている。

オフィオライト複合体は下位から蛇紋岩・はんれい岩・シート状輝緑岩からなり、厚さは約 1,500m と推定される。この複合体の上位にも下位にも枕状溶岩を伴う地層堆積岩があらわれている事実は注目に値する。

オフィオライト累層は北方でペルム紀石灰岩の衝上を受け、オフィオライト累層自身は南側の新第三系 (Bor-

der folds) の上に衝上し、重なり合うナツペ構造が現出している。またオフィオライト自身も複雑な褶曲をこうむり、南に倒れる“imbricated structure”を示している。その褶曲構造を切って N-S または NW をとる断層の発達が目立つ。この断層は地域の随所にあらわれる輝緑岩岩脈の貫入を規制している。

このような地質状況から Taurids 帯の火成活動は枕状溶岩にはじまり、オフィオライト複合体の貫入をへて輝緑岩岩脈の貫入によっておわるものとみなされる。このうち玄武岩質岩石の化学成分を検討すると、すべてアルカリ玄武岩タイプ(スピライト)に属するとはいえず、古い方から若い方へ向かって次第にソレライト組成に近づいてゆく特徴を示している。

中東地域のオフィオライトの emplacement についてはプレート論(MOORES and VINE, 1971)の立場から、あるいは大陸拡大説(KETIN, 1966; 沢村, 1971)の立場から説明が試みられているが、筆者の収集した資料からは Anatolids の南側前縁に生じた白亜紀地向斜に龐大な枕状溶岩の噴出を行い、造山期にオフィオライト複合体の貫入が行われ、さらに造山末期に輝緑岩岩脈が貫入し、いわゆるオフィオライト累層は完成し、その後中新世から鮮新世にかけて生じたスラストにそって前述オフィオライト累層は Border folds の上位に衝上し、現在みられるようなナツペ構造が実現されたものと考えられる。

上述オフィオライト累層中、とくに岩床輝緑岩体に伴って多数の含銅硫化鉄鉱床が知られている。すなわち東方から Kisabekir, Mizir Tepe, Anayafak, Weiss および Hacan の各鉱床がある。中でも Anayafak 鉱床は世界的に著名な Ergani 鉱山の主体であり、2,000 BC から知られていたともいわれる。1968年までの生産統計では 610万トンの粗鉱(銅品位6.8%)を生産し、今日でも精錬銅を年間12,000トン生産している。トルコではもちろん最大の銅山である。

鉱床は産状から 3 種にわけられる。すなわち層状鉱床(weiss)、塊状鉱床(Anayatak, Mizir Tepe, Hacan)脈状鉱床(Kisabekir)である。これらの鉱床がオフィオライト累層の中でもほぼ特定の層準に胚胎し、母岩はいずれもいちじるしい緑泥石化を伴っていること、鉱石鉱物の共通的な性質等から、これらの鉱床は同一鉱化作用に起因したものとみることが出来る。層状をなす Weiss 鉱床は上盤が厚い海成堆積物、下盤が岩床状輝緑岩からなり地層とは調和的で、鏡下では多量のコロフォーム黄鉄鉱を有しており、一見海底噴気堆積性鉱床と考えられるものである。しかるにこの鉱石中には多量のクロム鉄鉱結晶が包有物としてみとめられるに及び、鉱液が下位にある蛇

紋岩体を通過した際に蛇紋岩体からクロム鉄鉱を獲得したものとされ、一種の交代鉄床と考えられるようになった (BAMBA, 1974)。

Anayatak 鉄床は岩床輝緑岩体自身の中に胚胎されるレンズ状の塊状鉄体の集合からなるもので黄鉄鉱、黄銅鉱を主とし、閃亜鉛鉱、キューバ鉱、マッキナウ鉱等を随伴する。黄鉄鉱の破碎構造がいちじるしく、そこに黄銅鉱が進入蚕食する典型的な“cataclastic structure”が実現されている。閃亜鉛鉱は黄銅鉱中に点滴状に、キューバ鉱、マッキナウ鉱は黄銅鉱中に離溶組織を示して産出する。一部にいちじるしく磁鉄鉱の濃集する部分もみとめられるが、この種のものは下位のはんれい岩と岩床輝緑岩との接触部付近に産出する。

脈状鉄床は地域の東部に偏在し、蛇紋岩の中に発達するわれ目によって産出する。ここではコロフォルム黄鉄鉱、フランボイダル黄鉄鉱が主体をなす。脈の上部では藍銅鉱など浅成二次鉄物が生成されている。

(北海道支所)

サウジアラビア国ジャドマ銅鉄 床の探鉱について

藤井 紀之

第6次サウジアラビア地質調査団では、1972年11月から1974年5月へかけて、主として同国南西部のワジ・シェワス地域において地質鉄床の調査を行ってきた。同地域は北緯20度線と東経42度線の交点を中心とする東西約8 km、南北約70 kmの狭長な範囲で、主として上部先カンブリア系に属する流紋岩質～玄武岩質の弱変成火山岩、火山碎屑岩類と、地域の東西においてこれを貫入する花崗岩類からなっている。同地域では、1968年以来、引続き日本調査団により調査が行われてきたが、1972年12月藤井敬三によってジャドマ鉄床が発見され、その後筆者らによる精査・試錐の結果、最高9% (Cu) に達する銅鉄床の捕捉に成功し注目を浴びた。

ワジ・シェワス全域の地質については、現在平山次郎によって総括的などりまとめが行われている段階なのでここでは省略する。

ジャドマ鉄床付近の地質は、中央のNS性断層によって、西部の Abu Ghashiyah 構造帯と東部の Jadmah 流紋岩帯に大別される。前者は大部分玄武岩およびそれに由来したと思われる緑色片岩からなり、その中に数条の流紋岩質火山礫凝灰岩・凝灰質頁岩・ジャスピライト・黒色頁岩などからなる狭長なベルトが南北に分布している。またほぼNS性の顕著な断層によって特徴付けられる。一方後者は大部分流紋岩質火山礫凝灰岩・同質貫入

岩・石英安山岩などからなり、いずれも大なり小なり片岩化している。一般走向はNSで東に急斜することが多い。またこれらを貫入して無数の玄武岩岩脈が一般走向と調和的に分布している。断層としてはNE性～EW性の小断層が多く発達している。

上記の Jadmah 帯の中央に、南北約500mに亘って、2～3条の褐鉄鉱 gossan がほぼ連続的に分布しており、これとほぼ調和して顕著な SP異常(最高130 mV)がみいだされた。

これらの結果に基づき5本(総延長900m)の試錐を実施し、局所的には最高9.03% (Cu) に達する層状含銅硫化鉄鉱床の存在を確認した。

鉄床は1号錐(4～5.5m)・2号錐(7～8m)および3号錐(2m)からなり、1号錐と2号錐は北部で1つになり次第に尖滅する傾向が認められた。鉄床はいずれも緻密・塊状の硫化鉄物からなり、母岩の流紋岩質火山礫凝灰岩とほぼ調和的に賦存している。また南部においては、貫入流紋岩が優勢になるのに伴い次第に gossan の分布も劣化する。

主要な鉄石鉄物は黄鉄鉱・黄銅鉱・閃亜鉛鉱で、南部では磁硫鉄鉱が優勢となる。随伴鉄物としては四面銅鉱・方鉛鉱等が認められた。

試錐 No. 1 で確認された平均品位は、1号錐: 4.93% (Cu)・0.52% (Zn), 2号錐: 0.88% (Cu)・1.24% (Zn), 3号錐: 2.68% (Cu), 0.55% (Zn)であったが、その下部100mでは硫化鉄鉱染帯に変化しており、予想以上に連続性に乏しい。全体の平均品位は Cu: 2.2%, 鉄量230万トン程度と予想される。

従来同国における非鉄金属鉄床の成因については必ずしも統一した見解が得られていなかったが、最近各地の鉄床調査が進むにつれて、海底火山活動に伴う層準規制型であるという見方が強まっており、ジャドマ鉄床の探鉱結果もそれを裏付けるものである。

(鉄床部)

The Apollo Program and the Geology of the Moon

David S. McKAY

Introduction In the past 5 years the Apollo program has resulted in an almost explosive development in our concepts of the character and evolution of the moon. It is now clear that we must think of the moon as a separate planet with a unique composition, a unique set of rocks, and a unique history. Yet by studying the moon we will clearly gain new insight into the origin and

history of the earth. So it is very important for earth scientists to be aware of some of the basic data about the moon and some of the current speculation about its evolution.

Broad structural features On the broadest scale the moon is divided into highland and lowland or maria areas. The highlands appear to be primarily anorthositic, anorthositic gabbro, and noritic in composition, the darker maria areas are covered by basaltic lava flows, the most obvious morphologic features in both areas are compact craters which may display a variety of features including long rays of ejecta, swarms of secondary craters and complex slump and fault patterns. Radial and transverse dune-like features associated with some craters have been interpreted as depositional forms from outward flowing ejecta which was possibly fluidized by impact-vaporized rock.

The circular lunar basins such as Imbrium are huge impact craters which have been partially or completely filled with volcanic lava flows subsequent to the original formation by impact. Photographs from lunar orbit show flow fronts, wrinkle ridges and other features which are associated with these volcanic lava flows.

Apollo Missions Keeping in mind these broad scale features lets briefly review the Apollo missions. Of the six successful missions, two visited mare lava sites, two visited highland sites and two visited mixed areas.

Apollo 11 (Mare Tranquillitatis) Showed that the mare areas contained actual volcanic lava with a composition roughly similar to terrestrial basalt but also different enough to be readily identified as extraterrestrial. The major minerals in these lavas are clinopyroxene, plagioclase, olivine and ilmenite but they contain various accessory minerals including several new minerals never found on earth, the Apollo 11 basalts were formed over a period of time ranging from 3.9×10^9 to 3.5×10^9 years ago. Another rock type, an indurated breccia, was also found by the astronauts. This breccia contains fragments of basalts, anorthosites, glass, and minerals in a fine-grained matrix of sintered glass.

A soil layer about 4m thick was found to cover bedrock at the Apollo 11 site, this soil is made of rock, mineral, and glass fragments and was formed by the extensive bombardment by meteorites over the very

long time period since the lava flows were formed.

An interesting feature of the Apollo 11 samples is the presence of small meteorite craters on the surfaces of rocks and soil particles. In the absence of any atmosphere, even the smallest micrometeorites arrive at the lunar surface with high velocity and form craters when they hit solid objects. With the Scanning Electron Microscope, craters as small as 100\AA have now been observed. The micrometeorites which made these pits could not have been more than a few unit cells in diameter.

The **Apollo 12** Mission was also to a mare lava area (Oceanus Procellarum) and the returned rocks included a variety of basalts, generally of lower TiO_2 content compared to Apollo 11 basalts. The age of the Apollo 12 basalts is younger and extends down to about 3.2×10^9 years.

The Apollo 12 soil contained small particles of ropy glass which are rich in K_2O , rare earth elements, and P. This material, called KREEP after these elements, subsequently proved to be a major lunar composition type and most of the Apollo 14 rocks are of this composition. KREEP is relatively rich in U and Th and can consequently be mapped with gamma ray instruments from lunar orbit.

The **Apollo 14** Mission was the first visit to a highland site (Fra Mauro) and the rocks found there were mainly breccias, complex polymict rocks formed by impact. Many of the breccias were thermally metamorphosed and vapor-derived crystals were formed in vugs during this metamorphism. These rocks were formed in hot ejecta blankets of unknown thickness. One interpretation is that most of the rocks at the Apollo 14 site were ejecta from the huge impact which formed the Imbrium basin. An alternative interpretation is that these rocks were formed in smaller more local impacts. In any case most of the breccias were formed about 4×10^9 years ago.

The **Apollo 15** Mission visited the boundary region between a mare area (Hadley Rille) and a highland area (Apennine Front). The rover was used for the first time on this mission and greatly increased the area covered by the astronauts. As expected, the mare rocks were basaltic lavas and the highland rocks were complex impact breccias. Hadley Rille showed bedded lava

flows in its walls and is interpreted as a giant collapsed lava tube.

One unexpected sample type consists of small emerald green glass droplets which are present in most of the soil samples and in high concentrations in several breccias and clods. The origin of this glassy material has been the most reasonable interpretation now seems to be that it is an ancient volcanic ash erupted at about the same time as the mare basalts.

The **Apollo 16** Mission visited an area (Cayley Plains) typical of a flat highland unit thought to be volcanic. To the surprise of many, the rocks were again nearly all complex impact breccias and proof of highland volcanism remained elusive. However several highland rocks from Apollo 14, 15, and 16 have igneous textures and may represent highland pre-mare volcanics, but the alternative that they are impact-melted rocks is still a real possibility. The question remains open.

The **Apollo 17** The last and most ambitious mission visited another boundary area between mare and highland (Taurus-Littrow valley at the rim of Mare Serenitatis) one highlight of this mission was the first sampling of an "outcrop" which was actually a giant boulder which had rolled down from an identifiable horizon high on the mountain wall.

Another outstanding sample was the orange soil from Shery crater which proved to be made of tiny glass droplets and their crystallized equivalents. As with the similar green droplets from Apollo 15 the origin of these droplets aroused considerable controversy. The evidence now seems to form the hypothesis that they are volcanic ash, possibly from fire-fountain type eruptions. The surface of these orange and black droplets is highly enriched in volatile elements including Cu, Zn, Ga, Se, Ag, Cd, Te, Tl, Pb, Bi, Cl.

These elements were apparently present (in various complexes) in a volcanic gas phase at the time of eruption and condensed on the surface of the droplets in the cooler regions of the eruption cloud.

Current Investigations Although it is over two years since the last Apollo mission, the lunar samples are still under intensive investigation in about two hundred laboratories throughout the world. Lunar

soil in particular has proven to be extremely complex and a multidescriptive approach has been necessary for any real insight into the nature and evolution of this soil. Analysis of the lunar volcanic rocks and complex breccia is also advancing as newly developed instruments such as the ion microprobe are applied. In addition to lunar sample analysis, data is still being received from the scientific stations (ALSEP) left at most of the sites. This data includes seismic and magnetic information and it is being used to refine models of the lunar interior. The moon is clearly differentiated into a crust, upper mantle, moonquake zone at approximately 700 to 1000 km, and a lower mantle which may be partially molten. The existence of a small, possibly molten core is suggested but not proven by the seismic data.

Summary of Lunar history

The moon has had a long complex starting with a rapid accretion about 4.6×10^9 years ago. The rate of the final accumulation of debris which formed the moon was high enough that the energy released as heat apparently melted at least the outer two hundred kilometers. As this melted region cooled and crystallized, large scale differentiation took place forming a plagioclase rich crust and an upper mantle rich in ferromagnesian minerals. By about 4.4×10^9 years ago this crust was largely cooled and relatively rigid. The crust was continuously bombarded during this period and for several hundred million years afterwards and the large lunar basins were formed by the largest of these impacts. These large impacts tapered off and essentially closed by about 3.9×10^9 years ago and most of the basins were flooded with lava flows from partial melting within the interior driven by heat from radioactive decay. Lava flooding and possibly pyroclastic activity continued till about 3.0×10^9 years ago. Since that time the moon has been only slightly changed by meteorite bombardment and is no longer volcanically active although some slight outgoing of the interior may still be taking place through ancient volcanic vents.

This history of the moon may serve as a window on the early history of the earth and on the events which may have established the initial major distribution of elements within the earth's crust. Ultimately the study

of another planet, the moon, will increase our basic understanding of our own planet Earth.

(NASA, Hohnson Space Center, Houston, Texas)

環状割れ目とカルデラの形成

小出 仁

マグマの貫入により生成したと考えられる割れ目中に生じた鉱床は非常に多い。岩脈の形成については、ANDERSON らによって力学的解析が行われ、放射状・弧状の割れ目の発生が論じられている。ANDERSON はいわゆる環状岩脈は、マグマ圧の低下によって生じた下方に開いた割れ目中に貫入したと推定した。しかし、環状岩脈はほぼ鉛直であることが多いといわれ、成因については議論がある。今までの力学的解析では、マグマ溜りとして円形あるいはごく単純な 2 次元のモデルが用いられていた。

ここでは、3 次元の無限の岩体中に鉛直に長球型のマグマ溜りがあると仮定して、力学的解析を行った。モデルを 3 次元としたため、放射状割れ目と弧状割れ目との関係を知ることができるようになった。また、長球型としたため、マグマ溜りの形と割れ目との関係を知ることができる。

まず、マグマ圧が地圧より大きい場合を考える。マグマ溜りの形態がほぼ球に近い場合は、弧状の割れ目については ANDERSON らの解析結果に似た結果が得られる。これは仮定したマグマ溜りの形が似ているため、当然である。しかし、放射状割れ目が弧状の割れ目より卓越する。放射状割れ目が先行してできるため、弧状割れ目は完全な円弧に成長できない。この結果、球に近いマグマ溜りでは、完全な環状の割れ目は形成されない。

他方、マグマ溜りの形を鉛直方向に伸びた長球状と仮定する。鉛直方向の径と水平方向の径との比をおおよそ 10 : 1 ないしそれ以上とすると、マグマ溜りの真上で、弧状の割れ目が放射状割れ目より卓越する範囲がある。この範囲は立体的に見ると上方に開いた漏斗の形をしている。漏斗の底は、マグマ溜りの頂点より少し上にある。つまり、マグマ溜りのごく近くでは、球状のマグマ溜りの場合と同様に放射状割れ目が弧状割れ目に先行して生じる。しかし、マグマ溜りよりある距離以上だけ上

の水平断面を作ってみると、中心部付近では弧状の割れ目が先行し、外方では放射状割れ目が先行して生じる。したがって、中心部付近には完全な環状の割れ目が形成されうる。中心軸上および環状割れ目と放射状割れ目との境界では、軸対称の応力状態となり、多方向の割れ目が生じて角礫状になる可能性がある。中心付近の環状割れ目帯では引張り割れ目はほぼ直立している。そして、漏斗状の正断層が、環状割れ目帯内部の放射状割れ目との境界に近いあたりに生じる。この正断層は内側へ 45-60° の角度で傾斜する。下部からはマグマの圧力によって働き上げられているにもかかわらず、漏斗状の正断層の内部は陥没する。マグマの働き上げによって、マグマ溜りの上方で陥没がおきけることは、一見矛盾するように見える。しかし、上下に長いマグマ溜りでは、マグマ圧はマグマ溜りの天井を上へ押し上げるより、水平方向にマグマ溜りの壁を押し上げる方により多く作用する。その結果下方でマグマ溜りが水平方向に押し上げられ、上部にそれに引張られて陥没することになる。これはクサビの効果と同じである。逆に、地圧より低いマグマ圧を仮定すると、マグマ壁に平行な割れ目がマグマ溜りのごく近くに生じるだけである。

以上の力学的解析の結果から、ANDERSON の結論に反して、環状岩脈はマグマ圧の低下によって生じたのではなく、上下に伸びた長球状のマグマ溜り中の高いマグマ圧の効果によって生じたと考えられる。すなわち、マグマの貫入のごく初期の、まだマグマ圧が高い状態ですでに環状の割れ目が生じ、その環状の割れ目の内側が陥没してカルデラとなったと考えられる。このようなカルデラの生成機構は、再生カルデラの形成過程のごく初期に環状割れ目がすでに生じており、カルデラ形成後も隆起したことを説明しやすい。また、グリーンタフ変動で火成活動の前に陥没がおきたといわれていること、カルデラ生成時の噴出物の量が意外に少ない事実が多いこと、および地下カルデラの形成も説明できる。

Silverton Caldera (Colorado) 付近等の環状・放射状の岩脈や鉱脈、足尾鉱山や Cripple Creek (Colorado) 鉱体地帯の漏斗状陥没構造、漏斗状塩基性岩体等もこのモデルによく適合している。以上の研究の一部は演者がニューヨーク市立大学に滞在中に行ったものである。

(鉱床部)