

火星の地質学

⑤

小 森 長 生

12. 火星のクレーターの発見

いまではもう語り草になったことであるが 1965年7月15日 アメリカの火星探査体マリナー4号が火星に接近して クレーターのいっばいうつった写真を電送してきたときの科学者たちの驚きは たいへんなものであった。火星の表面にいろいろな模様が見えることは いままでも望遠鏡観測によって かなりくわしくわかってきた。しかし それは望遠鏡でみた月面の地形などとは本質的にまったくちがったものである。 “模様” と “地形” とはちがうのである。望遠鏡で “地形” を観察するには やはり火星は遠い存在であった。

観測の精度を一段階高めて 模様の段階から地形の段階へすすむためには 探査体の撮影にまつほかなかったわけである。そして 探査体の撮影はその期待に十分答えるものであった。火星の表面には 月面をおもわせる いろいろいたるクレーターがあり さらに 巨大な火山や溪谷まで見つかってきたのである。

これらの諸地形について これから検討をすすめていきたいと思うが まずは最も大きなおどろきをあたえたクレーターからみていくことにしよう。

ところで 探査体がクレーターを撮影するまで 火星にクレーターが存在する可能性は 考えられていなかったのであろうか。

火星の観測と研究の歴史をひもといてみると 探査体

の撮影以前に 火星にクレーターがあるとなえた人が 少なくとも3人はいるのである。

まず 火星にもクレーターがあると最初にいった人は イギリスの自然科学者ウォレス (WALLACE, 1823—1913) であるらしい。彼は 火星には 隕石の衝突でできたクレーターがあるだろうと 1907年に発表しているということである (斉田博 1973による)。

つぎが 冥王星の発見者として有名なトンボー (C. W. TOMBAUGH, 1906—) が 1950年にとなえた考えである。彼は “火星面上には多数の流星が落下し そのうちの巨大な隕石や隕鉄によって 火星面上に大きな孔が生じ これを中心として放射状に亀裂ができたであろう。このときの隕石孔がオアシスであり 亀裂が運河となったのである” といっている。

もう一つが アイルランドの天文学者エピーク (E. J. ÖPIK) によつてのべられた考えである。

彼は 1950年1月16日 わが国の佐伯恒夫氏によって 観測され 火山活動の証拠とされた巨大な灰色の雲の成因について これは火山活動によるものではなく 巨大な隕石が衝突してまい上った噴煙だとのべた。そして火星は小惑星帯に近いために いままでも隕石の衝突はたびたびくり返されたであろうこと そのため 火星面にはたくさんのクレーターがつくられたであろうこと また これらのクレーターは 火星の大気が希薄であるがために 浸食からまぬがれて 今日まで残されているであろう とのべているのである。

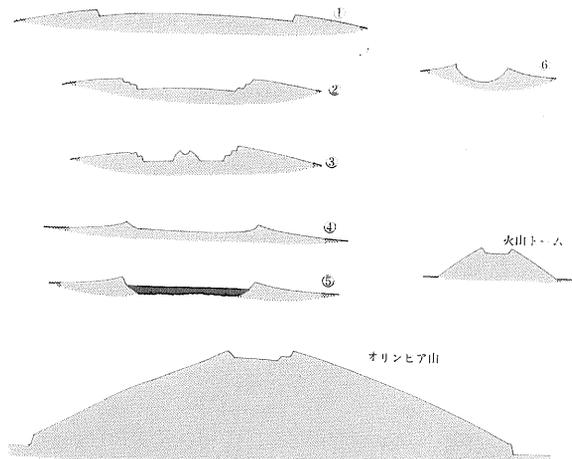
以上3人の考えは クレーターがすべて隕石の衝突でできたであろうとする点で共通しており この点に議論や検討の余地は残されているとしても 火星探査体の実現するずっと前に すでにこのような意見がのべられていたことは 注目にあたいする。

では これら先人の予想に敬意を表し 探査体によって明らかにされたクレーターの諸問題をさぐってみることにしよう。

13. 火星のクレーターの性質と成因

マリナーの撮影した火星のクレーターの写真をながめていくと 月のばあいと同じように 火星のクレーターにも いろいろのタイプがあることがわかる。

それは 月のばあいとまったく同じというわけではな



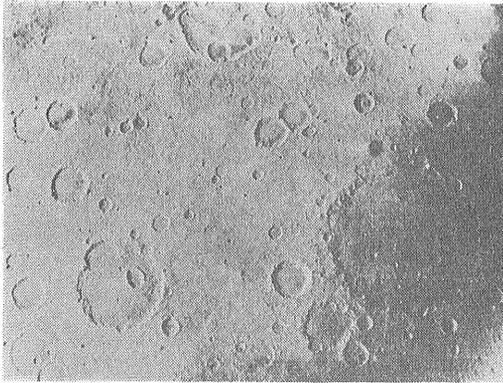
第1図 火星のクレーターと火山の形態による分類

いが かなりよく似ていることは確かである。

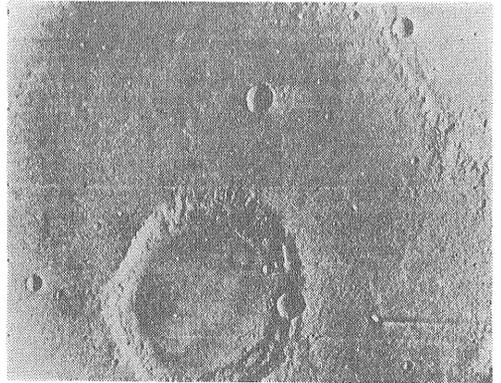
それについて すでにいく人かの人たちから意見や考察が出されているが ここではまず 筆者の考えにしたがってクレーターの分類と性質をのべ そのあとに いろいろな問題点についてのべたいと思う。

火星のクレーターを ごく大まかに形態的に分類すれば つぎのようになるだろう(第1図~第7図参照)。

- ①直径が比較的大きく(しばしば100km以上もある)底面が平坦で浅く 全体的にひじょうにフラットにみえるクレーター。
- ②周壁の内壁が階段状(段丘状)になっており 底面が平坦なクレーター。
- ③中央丘をもつクレーター。 周壁の内壁は階段状になっているものもあり 必ずしもそうっていないものもある。 中央丘の頂上には はっきりと火口の認められるものがある。
- ④周壁の内部のクレーター底が お皿のようにゆるやかにへこんでいるもの。
- ⑤クレーター底が暗黒物質で満たされているもの。 きわめて



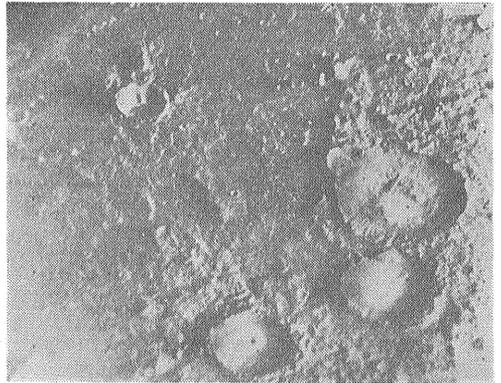
第2図 火星の赤道近くのデューカリオン地域に広がる平坦なクレーター - 最大のものの直径は約100km (マリナー9号撮影)



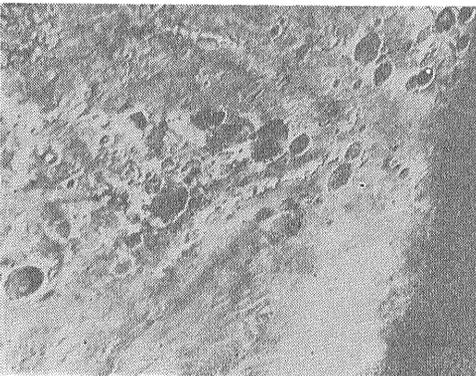
第3図 周壁が階段状で底面が平らなクレーター 底のまるい小型のおわん型クレーターも散点する (マリナー6号撮影)



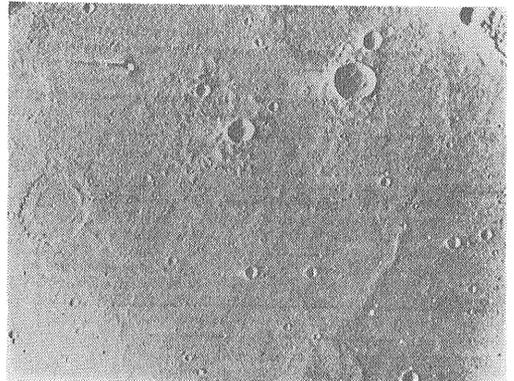
第4図 中央丘をもつクレーター 月面のコペルニクス型クレーターによく似る 中央丘の頂上には火口がある (マリナー9号撮影)



第5図 クレーター底がお皿のようにゆるやかにへこんでいるクレーター (マリナー7号撮影)



第6図 火星の南極地帯にみられる床面が暗黒なクレーター群 (マリナー7号撮影)



第7図 底面がまるい小型のおわん型クレーター群 左端は平坦な二重クレーター (マリナー6号撮影)

フラットにみえる。

⑥おわんのようなまるいへこみをもつ ボウル型クレーター。

この分類は 筆者が以前「月の地質学」のなかでのべた 月面のクレーターの分類に かなり近いものである。しかし 細かい部分については 月とはっきりちがった特徴もある。たとえば ①の底面が平坦な浅いクレーターは 月面のものでいえば クラビウス型クレーターに相当することになると思われるが 月のそれよりもはるかに平坦でなめらかな感じがする。これは 火星面の大気による長年の浸食作用という 二次的な変形を考えないわけにはいかないであろう。

また ④のお皿のようにゆるやかにへこんだクレーターは 月にもあることはあるが 火星のぼあいや周壁のするどい盛り上がりははっきりして 従来分類からみればたいへんユニークなものである。

ところで 合衆国地質調査所のマコーレーら (J. F. McCauley et al., 1973) は 火星の地質に関する Preliminary Mariner 9 Report の中で 火星のクレーターの性質と分類について つぎのようにのべているのでそれを紹介することにしよう。

まず 直径 100km 以上の大きなクレーターの集まっている地域では 火星のクレーターは 形態的な sharpness にもとづいて 2つのおもな crater units に分けられる。1つは若いクレーター (C_2) で 周囲にまだ放出物がよく残っているもの もう1つは老成なクレーター (C_1) で かなりくずれていて 放出物などはみとめられず また C_2 よりもふつう浅いものである。このうち若いクレーターのぼあいでも 同じ大きさの月のクレーターにくらべると よりくずれているという。

つぎに マコーレーらは チコヤコペルニクスに似たクレーターは 火星にはないといっているが これは問題がありそうである。

火星にはないといった根拠が どこにあるのかよくわからないが いままで探査体による火星面写真をみるかぎり 中央丘をもったコペルニクス型のクレーターは かなり写っている。もっとも これらに伴われる明るいレイは いまのところ観察されていないが。

さらに 上記の円形クレーターのほかに 不規則クレーター (C_i) も存在する。これは もり上った周縁堆積物でかこまれた 楕円形で舟底形の大きなクレーターで 月面のシラー・クレーターに似ている。

これらのクレーターについて マコーレーらは 円形のクレーターは impact origin によると思われるが 不規則なクレーターは tectonic~volcanic な活動による内

因的なものと考えるほかない といっている。

つぎに 直径 100km 以下のクレーターで特徴づけられるクレーター地域 (dc, mc) がある。ここでは とくにクレーターの密集しているところは クレーターがくずれているという。クレーターの間かくが あいている地域は クレーターとクレーターのあいだの地域はゆるくうねっている。

クレーター平原 unit (cp) では 直径 100km 以下の比較的 sharp にみえるクレーターが ちらばっている。線状リッジもふつうにみられる。この地域はまわりよりも比較的暗黒で 月の海に似ている。

以上の クレーターの分布上の特徴にもとづく検討にくわえて マコーレーらは クレーターの全般の問題と成因について つぎのようにのべている。

マリナー 9号の撮影によって 火星面上では 比較的クレーターのない地域もかなり明らかにはなつたけれども 赤道地帯はほぼ40%にわたって クレーターのけんちよな地帯がつづいている。これは 火星面上において いちじるしいクレーター化の地質学的過程が進行したことを示している。

全体的にみて 火星のクレーターは月のクレーターと比較してよく似ているが 月のぼあいよりも ずっとくずれているところがちがっているという。しかしこれも クレーターのタイプによって 風化や浸食のていどがだいぶちがっているの で いちがいに単純な議論はできないと思う。

マコーレーらによれば マリナー 9号の B-frame の写真にみられる多くのクレーターで いままでになかった形態は 周縁の堆積物の外縁で 突出したすその (いくぶんもり上ったヘリ) があることである。また 大きなクレーターのまわりの二次クレーターは はっきりとはみとめられない。明るいレイもみられない。

B-frame にみられる小クレーターのつらなりは 二次クレーターかもしれないが 明らかな初生クレーターでもないだろうという。

マコーレーらは 月におけると同様に クレーターの形態や size-frequency 分布の形 (第8図) から 明らかに大部分のクレーターは impact origin であると思うという。しかし volcanic origin のものもあるかもしれない。両起源の区別は ひどくくずれたクレーターでは見分けるのがひじょうに困難であるともいっている。

さて 火星面上には これらのクレーターのほかに クレーターよりも大きい“盆地”とよばれる地形が存在する。

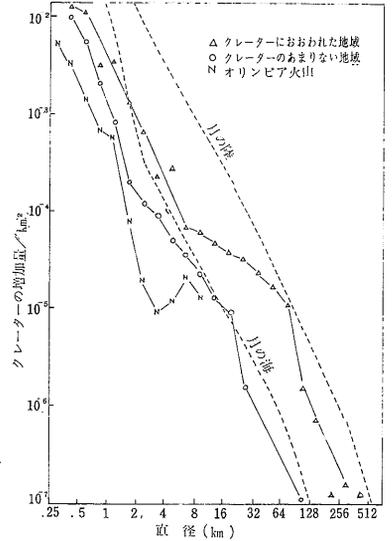
これは 月面上の海などを中心とした盆地 (basin) とか サラソイドとよばれる地形に相当するものと思われる。

まず 火星面上で最大の盆地は いうまでもなくヘラス盆地である。 その直径は2,000km 周縁からの中心部の深さは4,500m くらいある巨大な盆地である。 周縁の北方の部分には 多重の山脈がみられる。 それは月の雨の海をかこむアペニン山脈に似ている(第9~12図)。

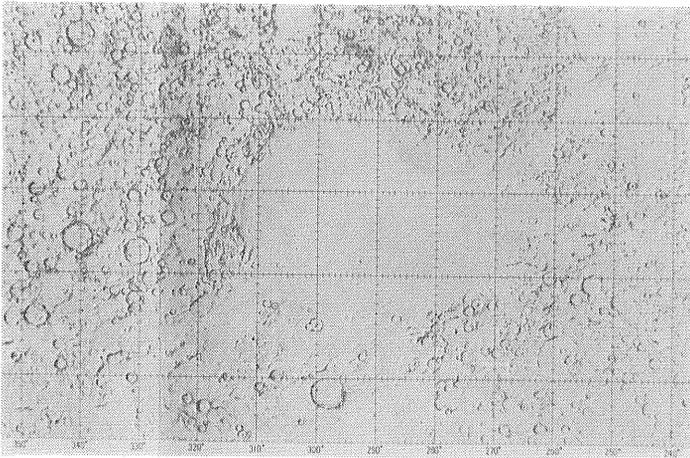
ノアキス大陸をへだてて ヘラス盆地の西方にあるアルギュレI (Argyre I) 盆地も 大きな盆地である。 その直径はほぼ 1,000km 深さ2,000m くらいある。 この盆地の特徴は 形態が多角形(ほぼ四角形)をしていることである(第13図)。

赤道地帯の西経 260°~285° にあるリビア (Libya) 盆地 (モエリス湖周辺) も大きい。 そのへりのびの方向と 同心円状のグラーベンの方からみて この環はおそらく 大シュルチスの北東のごつごつした地域につながるものらしい。

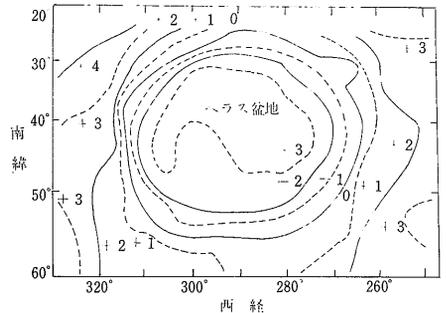
リビア盆地の目立ったシャープな境をもつ外側の scarp は 南緯10° 西経270°から緯度0° 西経295°におよんでいる。 盆地を埋めた平原堆積物は 赤道の北の西



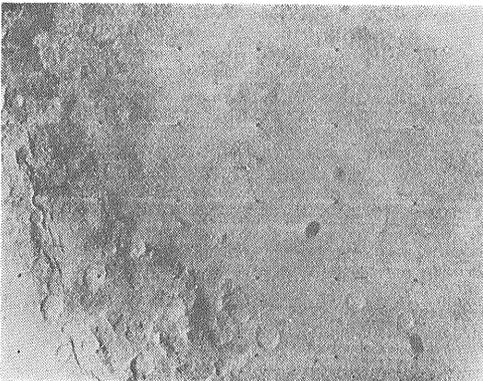
第8図 マリナー9号撮影データによる クレーターの size-frequency グラフ (J. F. McCauley et al., 1972 による)



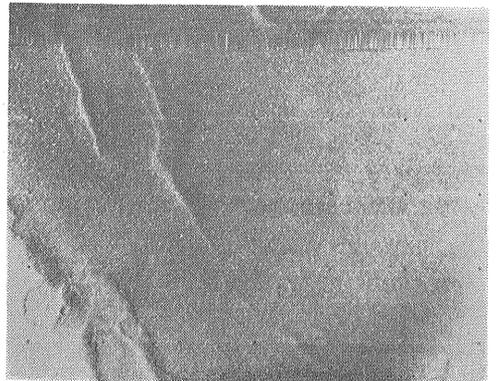
第9図 巨大なヘラス盆地の全景 (マリナー9号の Preliminary Chart から)



第10図 マリナー9号の赤外線干渉計の観測から画かれたヘラス盆地の地形。基準面は6.1ミリバール気圧面で、等高線の間かくは1km おき (R. Hansen et al., 1972 による)



第11図 ヘラス盆地の南西縁の地形 (マリナー7号撮影)



第12図 同左南西縁のリッジのクローズアップ (マリナー7号撮影)

経200°から290°の地域に至っている。これはこの盆地を同心円状にかこむ古い盆地をおおっておりその状況は月のばあいと似ているとマコーレーらはのべている。このほかさらに赤道上の西経340°近くにエドム(Edom) また南緯15°西経305°近くにイアピギア(Iapygia) という2つの小さい盆地がある。このうちとくにエドム盆地ははっきりした外側の scarp とゆるやかな高まりの外側と内側の環をもっている。これらの小さな盆地は月のばあいではいけばちょうど危機の海にたとえられるのものであるとマコーレーらはいっているが大型のクレーターといってもいっこうにさしつかえないものである。

以上みてきたように盆地とよばれる大きな環状構造は基本的にはクレーターの巨大なものと同等とみることができそのへんの事情は月のばあいと同じである。

さてこれらのクレーターや盆地はどんな原因でどのようにしてできたものであろうか。その成因の問題になるとここでも隕石説(Impact theory)と火山説(Volcanic theory)の両者が登場し論争的となるのである。とくにアメリカの科学者たちの議論はさきのマコーレーらの議論にもあらわれているように火山作用などの内因的な成因を一部では認めながらもクレーター形成の主因はあくまで隕石落下による外因だと強く主張している点は月のクレーターの議論と同じである。

火星のクレーターの成因にかんする筆者の基本的な考えは月のばあいとほぼ同じでありそれはすでに「月の地質学」(築地書館刊)でくわしくのべたのでここではくり返さない。ただ火星にはうすいながらも大気があり月のばあいとは自然環境がちがうわけであるから火星面での地形の形成と変形は月のばあいとまったく同じに考えるわけにはいかない。また重力の

ちがいか内部構造や地殻の組成のちがいといった火星独自の物理的・化学的条件も考慮に入れなければならないだろう。このようなことを考えながら今後火星のクレーターの成因を本格的に検討する必要があると思われる。

14. 火星の火山と火山活動

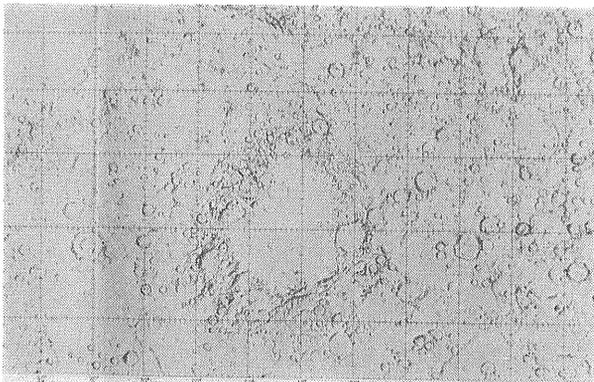
マリナー9号の撮影で多くの人びとをおどろかせた最も大きな発見の一つは火星面上にれっきとした成層火山が存在することであった。なかでもタルシス——アマゾニス——エリシウム地域には4つの巨大なたて状火山が存在する(第14図)。

そのうちの最大なのがオリンピア山(Nix Olympica)である(第15図)。これはNix Olympica=オリンピア雪原の名称が示すように望遠鏡でみると白くきらきらかがやく斑点にみえ何か雪か氷のようなものがあるのかもしれないといわれてきた。もしそうならばそこは地形的に高まった山の頂きのようなものが考えられ高い山があるかもしれないと予想はされていたのであるがまさかこんな大きな火山体があるとはだれも夢にも思わなかったのである。

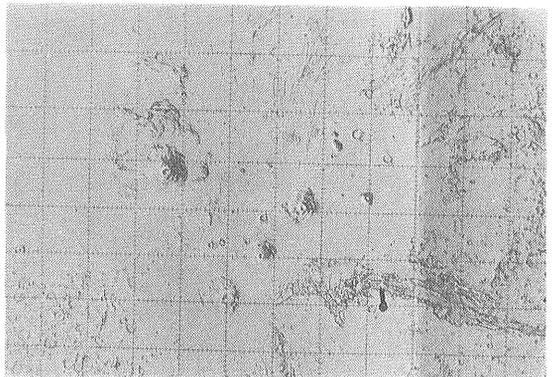
マリナー9号撮影の写真や電波による高度測定などの資料によるとオリンピア山の規模は山ろくの直径600kmふもとの高さは約1万m(1.3万mとか2万mというデータもある)もある巨大なものである。山頂には最大直径60kmのカルデラ状火口を中心とするいくつかの火口の複合がみられる(第16図)。

これほどの大きな火山体は地球上でもちょっと例をみない。強いて地球上の火山と比較するとすればハワイ島あたりくらいであろう。

ハワイ島は大きなたて状火山からなる火山島で頂上のマウナロア火口の高度は海拔4,170m島の平面



第13図 アルギュレI盆地(マリナー9号の Preliminary Chart から)



第14図 タルシス地域の巨大な火山群(マリナー9号の Preliminary Chart から)

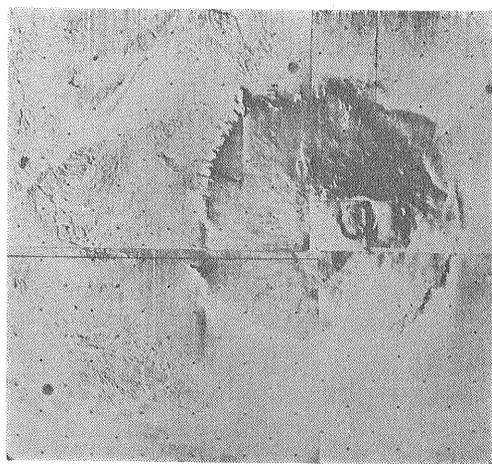
的広がり直径約 100km におよび 火山体としてはかなり規模の大きいものである。ところがじつはこれは海面から顔を出している部分についての大きさであってじっさいは 火山島は海底からそびえ立っているわけであるから 海底からの高さや海底での広がりも 相当大きなものになるはずである。ハワイ島のばあいは 周囲の太平洋の水深 6,000m を加えれば 高さ約 1 万 m すそ野のひろがりも数百 km になるはずで オリンピア山に近い 巨大な火山になるわけである。しかしこのような例は 他にそうたくさんあるものではない。

ところで このオリンピア山には いろいろ注目すべき特徴がみられる。まず この火山体全体が きわめて新鮮にみえることである。これは この火山の生成年代が比較的新しい（おそらく数百万年前でいど）ことを意味している。

中央火口からは 噴出物が放射状に飛散堆積しているのがよく読みとれる。とくに 山腹の一部の高解像度クローズアップ写真では いく筋もの溶岩流が明瞭に読みとれるのは興味ぶかい。山腹の一つの大きなリッジの上には 細長くのびるみぞが走っているが これはおそらく 溶岩トンネルか溶岩チューブがつぶれてできたみぞであろう（第17図）。

頂上の火口は 数個の火口が組み合さってできており 火口底のレベルもそれぞれ異なっているので 大きな活動が何段階かにわたっておこったことを示している。その大きさからすれば これはゆにカルデラとよんでよいものであり 従来のカルデラの分類にしたがえば キラウェア型とかハワイ型とかよばれてきたものに相当することになる。また クレーターの分類のうえからみれば 底面の平らなこの形態は 月でいうクラピウス型クレーターに相当することになるだろう。

オリンピア山について もう1つのきわ立った特徴は



第15図 火星最大の火山・オリンピア山 (Nix Olympica) の全景 (マリナー9号撮影)

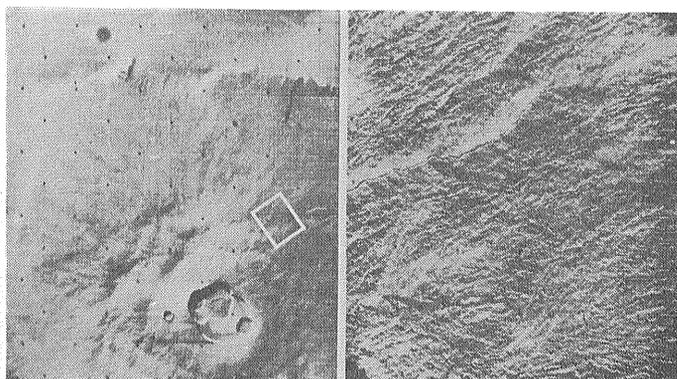
直径 600km もある火山体のすその部分が きわめてはつきりした断崖でとりかまれていることである。こんな断崖がどうしてできたのかはよくわからないが 山ろくの部分に何らかの浸食作用がはたらいたのかもしれない。海食崖にとりかまれて孤立した火山島を連想するのは 筆者だけであろうか。

タルシス地域のアスクラの湖 (Ascraeus Lacus) 近くにある North Spot も オリンピア山の頂上の複合カルデラとよく似たものである。スケールはやや小さく 中心のいちばん大きなクレーターの直径が約 21km 全体では約 40km くらいになる。

山体は全体にゆるやかで すその部分もなめらかに周囲の平原とつながっている。クレーターのまわりの山体には クレーターをかこむゆるくうねった同心円状の起伏がある。これは 初生的なものか 風化・浸食による二次的なものかはよくわからないが ジェット推



第16図 オリンピア山頂上の複合カルデラ状火口 (マリナー9号撮影)



第17図 オリンピア山山腹斜面のリッジにみられるみぞと溶岩流 (左下から右上にいくすじもの流れがみえる) (マリナー9号撮影)

進研究所 (JPL) の科学者たちは おそらく大気の運動の結果できた地形だろうとのべている。

North Spot の複合カルデラは 大小4つのクレーターの組合せであるが 面白いのは 中央の大きなクレーターが まわりの小さな3つのクレーターを切って発達していることである (第18図)。これは 従来一般的に法則視されてきたクレーターの組み合わせ つまり クレーターが複合するときは 必ず大きいクレーターを切って小さいクレーターができていく という原則に反するものである。

赤道の数度北の孔雀の湖 (Pavonis Lacus) 近くにある Middle Spot は 山頂に単一のきれいな火口をもつ円錐形火山である。頂上の火口の直径は約40kmある。火口の内壁はすどく切り立っており 陥没のあとをうかがわせる (第19図)。火口底は平坦でなめらかである。山腹はきわめてなだらかであるが 火口を同心円状にとりまくように 弓形のグラーベンがいくつかみられる。

ゴルディの点 (Nodus Gordii=the Gordian Knot) の近くにある South Spot も 面白い火山である。火

口は多重の同心円状構造をしており 明らかに陥没運動が 何度かにわたってつづいたことを思わせる (第20図)。クレーターのまわりの山体斜面には 溶岩流のあとを示すような放射状のリッジが たくさんみとめられる。

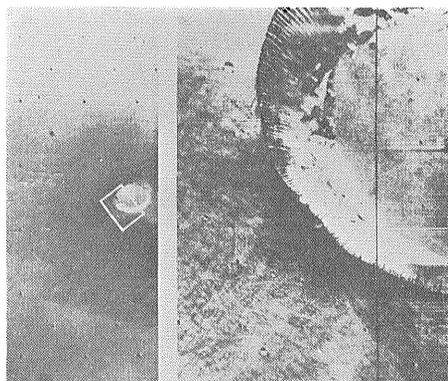
以上の4つが 火星を代表する4大たて状火山であり それらがみな タルス地域に集まっていることは 注目に価する。

このほかに はっきりとたて状火山と認められるものは チュレニア海 (Mare Tyrrhenum 南緯22° 西経253°) のクレーターの発達する地域にもある。中央のクレーターは直径約20kmあり 床面は平坦である。この火口からは 放射状に200kmもわたって 低いリッジや曲りくねった細長いみぞがのびており 花のような構造形態を示すので NASAの科学者たちによって俗にタンポポ (Dandelion) とよばれている。

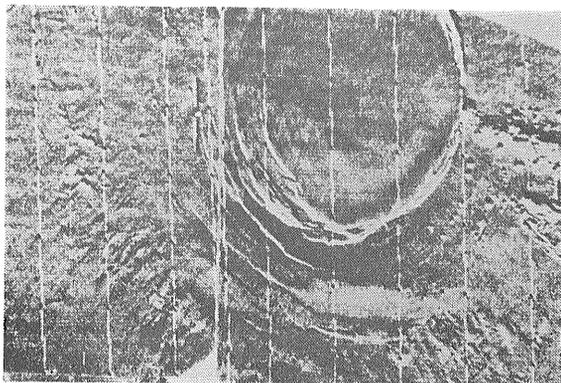
大規模なたて状火山よりは小さい 火山性ドーム (溶岩円頂丘や碎屑丘のようなもの) も いくつか知られており タルス地域とエリシウム地域に主として分布する。ドームの頂上には ふつうドームの直径の1/2~



第18図 North Spot の複合カルデラ (マリナー9号撮影)



第19図 Middle Spot の頂上の火口 (マリナー9号撮影)



第20図 同心円状陥没構造を示す South Spot のクレーター (マリナー9号撮影)



第21図 タルス地域の火山ドームの一例 (マリナー9号撮影)

1/3 の大きさの中央火口がみとめられる(第21図)。ドームの斜面は低解像度写真ではなめらかであるが高解像度写真によると多くの放射状のみぞがみとめられるという。

以上火星の火山地形についてのべてきたがここで全体的にみて注意しておきたいことをいくつかまとめておこう。

まず火星の成層火山やドームはいずれもみな新鮮な形態を比較的良好に保っており火星の地史における比較的新しい時代に生成されたものであることを示している。このことは火星内部における熱的進化(マグマの生成と活動)が長い時間にわたってずっとつづいてきたことを示しており火星の地史を解明していくうえに重要な事実である。

つぎにこれらの火山体の分布している地域はタルシス——エリシウム地域がほとんどで特定の地域に集中しているのは興味深い。とくにこの地域がクレーターのほとんどない平原地方なのは重要な事実である。

筆者は前回の稿(1973年7月号)で火星面は大局的にみてクレーターの密集した地域と平坦なスムーズな地域とに2大別できることそしてこの大区分が月の陸と海に相当する火星の陸と海ではないだろうかということのをべた。

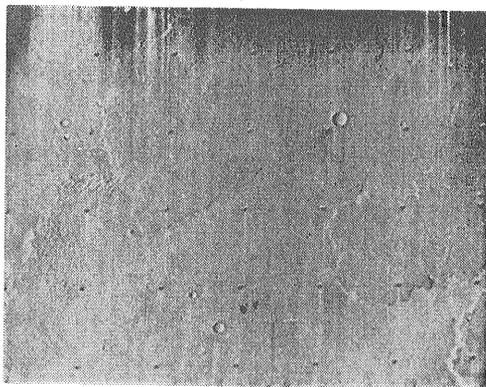
この考えにしたがえば火星の火山の分布するところはまさしく火星の“海”である。海の地域に比較的生成年代の新しい火山が集中して存在するのである。

もっとも火山の分布するタルシス——アマゾニス地域は電波観測などの資料によると火星全面の中でもかなり高度の高いところらしい。したがって海とよぶには抵抗を感ずるという反論がでるかもしれない。しかし私は火星全面の中での地形とか表面形態の極端なちがいにこそ注目すべきであると思うし海の地域が高度が高いことについては別の説明があたえられるべきであると考えている。

さて火星の火山活動はクレーターや成層火山体をつくる活動がすべてであったのだろうか。月のばあいは海も大きな凹地に大量の溶岩流があふれ出て埋めたとという大規模な火山活動の結果できたものであった。火星のばあいはどうであっただろうか。

じつはマリナー9号の撮影によって火星の海も溶岩流があふれてできたものであろうと思われる証拠がみつかったのである。

オリンピア山のまわりの平坦な地域では低いリッジ



第22図 オリンピア山のまわりの平原にみられる溶岩流のフロント
(マリナー9号撮影)

や丘がづらなって広がっているがそのいくつかはまさしく溶岩流のフロントのようになっている(第22図)。それは月面の雨の海にみられる有名な溶岩流のフロントとまったくそっくりである。おそらく火星の海(平原地域)は流動性のきわめて大きな溶岩流がいく重にも流れ広がって形成されたものであろう。

したがって火星でも月のばあいと同じように地質時代のある時期にマグマの大溢流をもたらすような大規模で特異な火山活動の時期があったことが察せられるのである。

火星の火山と火山活動の問題についてマリナー9号の撮影と観測のデータをもとに論じてきたが火星では現在もなお火山活動のおこっている可能性はあるだろうか。火星は月よりも大きく地球と月との中間的存在であり熱的進化の歴史も月よりは長かったであろうから局部的にせよ火山活動のつづいている可能性はあるだろう。

最も新しい火山の1つと思われるオリンピア山のまわりの火山地帯をマリナー9号が赤外線で見つけたところひじょうに高温な地点がみつかったともいわれている。いまもお生きつづけている火山のある可能性はかなり高いかもしれない。

マリナー9号いらい一段落していた火星探査も今年7月22日のソビエトの火星4号の打ち上げによってふたたび活気を呈してきた。ソビエトは8月10日の火星7号の打ちあげで一気に4つの探査体を火星にむかわせている。おそらく相当意欲的な観測がなされることであろう。火星の火山と火山活動についてもいっそう新しい資料がもたらされるのではなからうか。大いに期待したいと思う。