

火星の地質学

①

小森長生

1. はじめに

「この地球が 人類よりもはるかにすぐれた知能をもち しかもなお人類と同様に不死ではない生物によってたえず熱心に厳重に見まもられていたとか 人類がおのれのいろいろな関心事にあくせくしているあいだ 人間が一滴の水のなかでうごめき繁殖するはかない生物を顕微鏡下で調べるのとほとんど同じように綿密に 彼ら自身くわしく調査研究されていたなどということも 19世紀末に信じていたものが はたして一人でもあったであろうか。

地球人がせいぜい想像していたのは 火星には他の人類が住んではいようが それはおそらく 地球人より下等な人類で 使節団でも派遣すれば よろこんで受け入れるだろうというくらいのものであった。 それにもかかわらず 宇宙空間の深淵の彼方には れわれとは 人類と滅びゆく動物の知能との差異に匹敵するほどの優れた知能をもった生物 冷酷無情な知性をもった生物が 羨望の目をもってこの地球をうかがい れわれれに対する侵略計画を 急がずあわてず しかも慎重に立てていたのである。」(中村能三訳 角川文庫版による)

これは 1898年 イギリスの有名な作家H. G. ウェルズによって発表された「宇宙戦争」の書き出しの部分である。

れわれ地球人類よりも はるかに知能のすすんだ火星人の一団が 緑ゆたかな地球を侵略してくるとい

の物語りは きわめてリアリスティックな内容で 当時大評判をよんだものである。 この小説は その後ラジオドラマとなって放送されたり 有名なSF映画製作者ジョージ・パルによって映画化され わが国でも公開されたことがあるので 覚えておられるかたも多いであろう。

あの 赤い無気味なかがやきの故に ローマ神話の軍神マース(Mars)の名があたえられ 不吉な星としてむかしから人びとに恐れられてきた火星は また地球以外に生命の存在する可能性のもっとも強い天体としても 多くの人びとの関心の的になってきた。

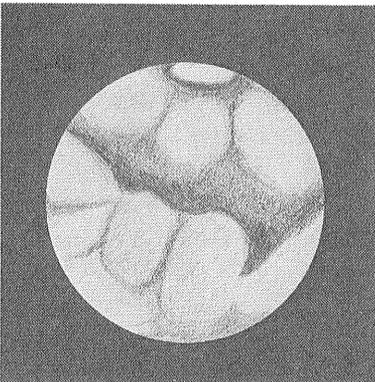
しかし この火星も 月のばあいがそうであったように つい最近までは 天文学者や一般天文愛好家たちの望遠鏡観測の対象でしかなかった。

けれども 昨今の地球科学の目ざましい発展と 月と惑星の探査を中心とした宇宙開発の進展は 火星やその他の惑星をも いよいよ地質学者の対象としつつある。

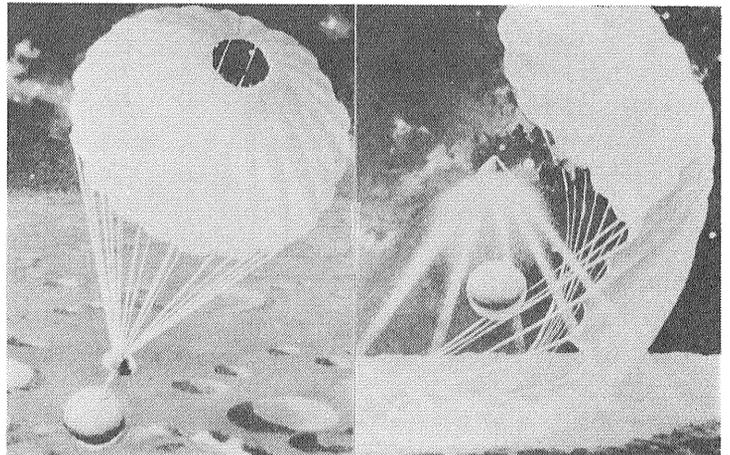
折しも 1971年8月の 火星の地球への世紀の大接近にさいしては アメリカのマリナー9号とソビエトの火星2・3号が火星めざして打ち上げられ いずれも1971年末首尾よく火星の人工衛星となることに成功した。

とくに 火星3号の着陸用カプセルは 火星表面への史上初の軟着陸を達成し ここに火星の探査と研究は 新しい局面をむかえたのである。

火星をはじめとする惑星一般の地質学的研究は 月の



第1図 大接近をむかえた火星(1971年8月15日午前2時 15センチ反射望遠鏡200倍で武蔵高校屋上にて筆者スケッチ)



第2図 火星3号の着陸(ソビエト発表の想像図 A. ソコロフ画)

第1表

太陽系の惑星の諸性質 (1972年版天文年鑑による)

分類	惑星名	赤道半径 (km)	体積 (地球=1)	質量 (地球=1)	平均密度 (g/cm ³)	赤道重力 (地球=1)	反射能	自転周期* (日)	衛星数
地球型惑星	水星	2,334	0.04918	0.0559	6.28	0.418	0.06	58.4	0
	金星	6,052	0.8544	0.818	5.29	0.909	0.85	248	0
	地球	6,378	1.0000	1.000	5.52	1.000	0.40	0.9973	1
	火星	3,394	0.15075	0.10745	3.95	0.381	0.15	1.0260	2
木星型惑星	木星	71,420	1,314.54	318.748	1.34	2.542	0.58	0.4018	12
	土星	60,400	763.26	95.448	0.69	1.064	0.57	0.426	10
	天王星	24,800	56.09	14.598	1.43	0.965	0.80	0.451	5
	海王星	24,600	57.38	17.208	1.66	1.157	0.71	0.58	2
	冥王星	7,000?	1.3?	0.94	4?	0.8?	0.2?	6.3867	0

* 自転周期は対恒星周期

研究を通じて 地球の誕生と先地質時代の歴史を解明するのと同じいみをもっているばかりでなく 従来地球だけに限られていた地質学という学問の領域を 惑星全般におし広げ 将来必ずや確立されるであろう宇宙地質学の体系の基礎をきずくうえに 重要な意義をもつものである。それは究極的には 太陽系の起源を解明し 宇宙全体の進化論に貢献するものとなるであろう。

このようなわけで 火星の地質学はこれから大いに注目されるものとなるであろうし すでに 火星探査体のもたらす情報によって その基礎資料は急速に蓄積されつつある。

このような時期に 火星の地質学に関する諸問題を概観しておくことは 大いに意味のあることと思われるので ここに拙い筆をとることにしたわけであるが 何しろ火星に関する信頼すべき情報や資料は 月にくらべてけたはずれに少ない。そのような状態で “火星の地質学” などというものを論ずるのは あまりにも無謀なことであり 多くの人びとの物笑いの種にもなりかねないと思う。それを十分承知のうえで 貴重な誌面を汚させていただくことをお許しいただきたい。

また “火星の地質学” とはいっても 現状からみてそれは 物理観測にもとづく資料などが多いため かなり幅の広い 物理学・化学・生物学をも含めた内容のものになることも ご承知いただきたいと思う。ときには かなり脱線することもあるかもしれないことを あらかじめお断りして お許しを得たいと思う。

2. 火星とはどんな星か

まずはじめに 太陽系の惑星の1つとしてみた火星とは どんな星かということ を かんたんにながめておき

たいと思う。

太陽系の惑星は いろいろな性質にもとづいて 大きく2つのグループに分けることができる。すなわち 1つは地球型惑星のグループであり もう1つは木星型惑星(あるいは大惑星ともいう)のグループである。この両者のくわしいちがいは 第1表に示してある。このなかで 太陽からもっとも遠い距離にある冥王星は 基本的な性質においてさえ不明確なものが多いので 一応両群からは除外してある。

火星は いうまでもなく れわれの地球とともに地球型惑星の仲間に入る。地球型惑星の特徴は ひと口に言えば その図体が小柄なわりには(すなわち 半径・体積・質量が小さいわりには) 重い(密度が大きい)ということである。この点 木星型惑星のグループとは いちじるしい対照をなしている。

では なぜこのようなちがいができたのかということは なかなかむずかしい問題があつて ことは太陽系の起源と進化という根源的な問題にまでかかわってくるので 一応ここでは この問題には目をつぶって先へすすみ できたらこの連載の最後にとりあげることにしたいと思う。

地球型惑星の中でも 地球と金星は 大きさも密度もよく似ていて まるで兄弟か双子のような間柄にあるが火星になるとぐっと小さくなる。

火星は半径約 3,390km で 地球の半分強 体積は地球の6分の1弱 質量になると約10分の1しかない。火星は地球に似ているなどといわれてきたが 図体がかなり小さいということは重要な事実で とくに物理的諸条件が 地球とはずいぶんちがったものになることに十分注意する必要がある。

つぎに 地球は正しい球形ではなく 赤道方向に少しふくらんだ回転楕円体の形をしていることは よく知られた事実であるが 火星にも同じことがみとめられる。地球の扁平率（赤道半径の値から極半径の値を引いたものを赤道半径の値で割ったもの）は297分の1 [この値はヘイフォードの国際標準値となっているものであるが 最近人工衛星の軌道観測から求められた298.25分の1という値がより正確なものとされている（この値は 国際天文連盟IAUによっても承認された）] であるが 火星の扁平率は192分の1で 地球の値よりも大きい。この値は ストルーヴェ (H. STRUVE) が火星の衛星の運動にもとづいて求めたもので 天文学者のあいだでもっとも広く認められている値である。この値によれば 火星の赤道半径は極半径よりも18km長いことになる。

火星が このように横にふくらんだ形をしているのはもちろん自転運動がその1つの原因となっているが 火星は地球よりも密度が小さいので 地球よりもよりふくらんだのであろうと 天文学者たちは考えている。

火星の自転運動については かなりくわしいことがわかっていて、その自転周期は 1953年 アッシュブルック (J. ASHBROOK) が 火星の表面模様を観測を整理して求めた 24時間37分22.6689±0.0026秒 (暦表時) という値が もっとも正確なものとして知られてきた。ド・ヴォークルール (G. DE VAUCOULEURES) は さらに火星地図作成の基準として 24時間37分22.665±0.003秒 という値を最終的なものとして決めたという。いずれにしても われわれからみれば よくもこんなに細かくわかったものだ という気がする。火星の自転周期の測定のおかげで 火星の一昼夜は ほぼ地球に等しいことがわかった。

また 火星の自転軸と公転軸との傾きは 25°10′ (これも人によっていろいろの値があるが) で これも地球のばあいとかなり似ており そのため四季の変化がおこる。ただし 火星の公転周期は687日 (1.88年) だから季節のうつりかわりは 地球の倍近い長さになることだろう。

さて 火星がどんな物質からでき その内部構造がどうなっているかを知ること 火星の性質を理解するうえで大切なことがらである。その第一歩は まず火星の質量を正確に測定し 密度を求めることである。火星の質量は 1877年 アメリカのホール (A. HALL) が火星の2つの衛星を発見したことによって 正確に求められるようになった。その結果 火星の質量は地球の質量の0.1079倍であることがわかった。これを 地球

の質量 $5.975 \times 10^{27} \text{g}$ に乗じて 火星の質量は $6.44 \times 10^{26} \text{g}$ と決められた。

この値を体積で割れば平均密度が求まるわけで 火星の平均密度は 3.95g/cm^3 となる。もっとも 人によっては火星の半径の測定値にちがいがあるので 密度の値は 3.8~4.2くらいの幅があるが ここでは広く通用している3.95という値を採用しておく。

ところで この3.95という密度の値は 第1表をみてもわかるように 地球型惑星の中では 水星・金星・地球とくらべて とびはなれて低いのである。これはむしろ 月の平均密度 (3.34) のほうにより近いとさえいえるだろう。このことは 火星の内部構造が地球とはだいぶちがっており むしろ月に似ているのではないかと考えられる根拠にもなるのである。マリナー4号による火星面のアパタの撮影らしい 火星は月に似ているということがさかんにいわれるようになったが これはいまに始まったことではなかったのである。

天文学者によれば 惑星の扁平率と内部構造のあいだには 重要な関係があることが推定されている。それはつぎのような関係式からみちびき出せる。

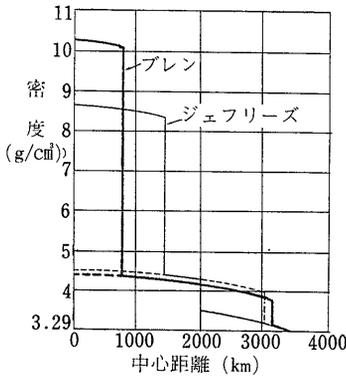
$$\text{扁平率} = \frac{\text{赤道半径} - \text{極半径}}{\text{赤道半径}} = K \frac{\text{赤道における遠心力}}{\text{赤道における重力}}$$

ここでKは比例定数で 表面から内部まで同じ密度の物質のばあいには $K=1.25$ 全質量がほとんど中心に集まっているばあいには $K=0.50$ という値である。火星のばあいは 扁平率1/192から求めると $K=1.14$ となり この値からすれば 火星は内部までかなり均質な物質でできているだろうということになる。

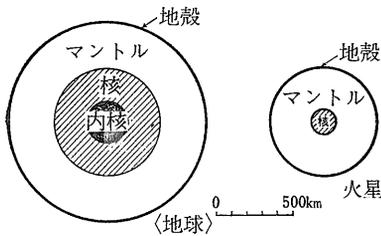
しかし 地球上のふつうの岩石の密度が 2.7~3.0くらいである (月面の岩石も3.0~3.4くらいである) ことを考えれば 火星が中心部までまったく均質であると考えよりは 地球と同じように 中心部には小さいながら密度の高い核があると考えたほうが より自然的であるということもいえるであろう。

じっさい そのような事がらをうまく説明できるような 火星の内部のモデルを計算した人がいる。第3図はジェフリース (H. JEFFREYS, 1937) とブレン (K. E. BULLEN, 1949) が求めた 火星内部の密度分布曲線であり それをもっと具体的にモデル化して地球と比較したのが第4図である。

火星の内部構造については 最近新しい考察もいくつか発表されてきているし 火星の地質学全般にわたる重要な問題でもあるので この連載のおわりころに ふたたびとりあげることにしたいと思う。



第3図
ジェフリーズとブレンが
求めた火星内部の密度分
布曲線（点線部分は核が
ないとしたときの状態）



第4図
地球と火星の大きさと内部構造
の比較（火星の
モデルはブレン
の値による）

以上 主として天体としての火星の諸性質について
ごくあらましをのべた。

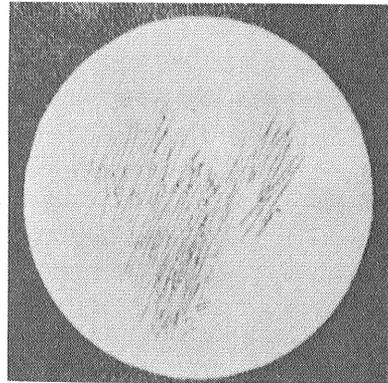
3. 火星観測の歴史と火星地理学の発達

火星観測の歴史は 月のばあいがそうであったように
望遠鏡の発達の歴史と深い関係をもっている。

火星を望遠鏡ではじめてのぞいたのは ガリレオ・ガ
リレイ (GALILEO GALILEI) で 1610年12月のことであ
ったという。このとき ガリレイは ただのぞいてみ
ただけで とくに記録はとらなかったようであるが その
後はじめてスケッチをとったのは ホイヘンス (C.
HUYGENS, 1659) であった。

ホイヘンスのスケッチ (第5図) は はじめてのもの
としての記録の価値はあるが 今日からみればかなり荒
っぽく 研究用に使えるというものではない。しかし
そこに画かれている大きな三角形の模様は 今日大シュ
ルチス (Syrtis Major) とよばれる 火星面上最大の暗
色部であることはまちがいない。彼は この大きな模
様が 時間とともに火星面上を移動することに気づき
火星が約24時間で自転しているとのべたのだったが こ
れは画期的なことであった。

イタリアのカシニ (G. D. CASSINI) も 1666年の火星
観測から 火星は24時間40分あまりで自転しているとの
べた。こうして 火星の自転周期は 観測史の初期に
すでに大たいわかってしまったのである。



第5図
ホイヘンスのえが
いた世界最初の火
星スケッチ (1659
年11月28日)

18世紀に入って 火星観測に大きな功績をあげたのは
あの 天王星の発見者として有名なハーシェル (F. W.
HERSCHEL)である。彼は1777年くらい 自作の巨大な
反射望遠鏡を使って観測をすすめて 火星の白い極冠が
季節のうつり変わりによってその大きさを変化させてい
ることを発見した。さらに 火星の自転軸は地球と同
じくらいに28°42′ 傾いていること 火星もやや横にふく
らんだ形をしており 扁平率は1/16であることなどを求
めた。これらの値は 今日からみればかなり誤差が大
きいとはいえ その発見は画期的なものといえよう。

このようにして 18世紀の終わりころには 火星面上
のおもな模様や 物理的諸要素などは ほぼ判明してい
たのである。ここまでが 火星の観測と研究の歴史の
第1期といえるだろう。

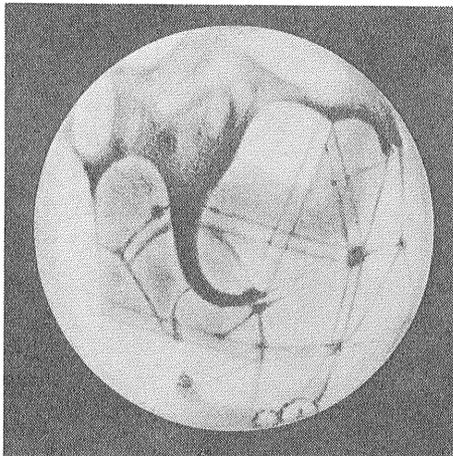
19世紀に入ると 色消しレンズの発明にはじまる 望
遠鏡のいちじるしい性能アップによって 火星観測は新
しい転機をむかえ いよいよ "火星地理学" の道が開か
れるようになる。

火星地理学の歴史で まず第一に忘れることのできな
い存在が イタリアのスキアパレリ (G. V. SCHIAPA
RELLI) である (第6図)。スキアパレリという 例
の火星の運河の発見者といわれるくらい有名であるが
別に彼は 運河だけに夢中になっていたわけではない。
彼の最大の功績は 火星面のたんねんな観測にもとづい
て 彼独特のきわめて精密な火星地図をつくりあげたこ
とであろう。この地図づくりの方式は 今日までも受
けつがれているくらいである。

また彼は 火星面の模様の名まえを 従来の方式に反
して 神話に出てくる神さまや人物 地名などのラテン
名でよぶことにした。従来は 火星の研究につくした
学者の名をつけることになっていたのである。スキア
パレリはこれに反し 独断で新しい命名法を用いたので



第6図 スキアパレリの肖像



第7図 スキアパレリのえがいたスケッチ。細線運河がたくさん記されている。



第8図 ローウェルの肖像

あるが、これがその後大へん評判がよくなったため、命名法の主流となり、これも今日に受けつがれている。

こうして、スキアパレリは火星地理学の確立に新しい転機をもたらしたのであったが、残念なことに、彼の論文はイタリア語で書かれていたため、長いこと他国の学者の目にとまらなかった。

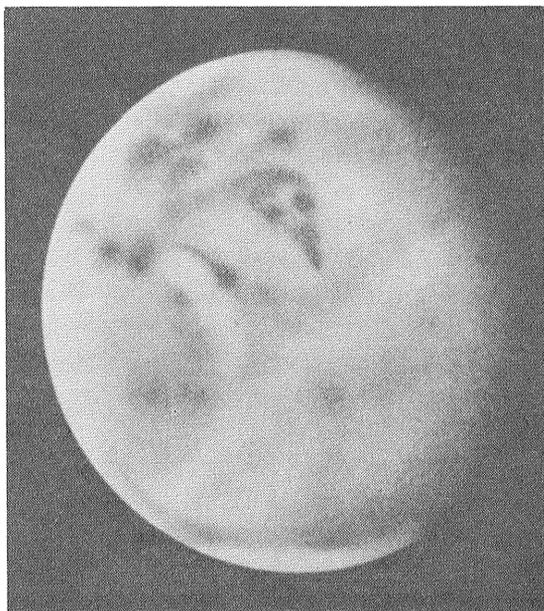
これをフランス語に訳して、はじめて他国に紹介したのは、フランスのフランマリオン (C. FLAMMARION) である。このとき、スキアパレリが線状模様についてイタリア語でカナリ (すじ) といっていたのを、フランマリオンがフランス語でカナリ (すじ・運河) と訳し、これが英語のキャナル (運河・水路) へと訳されていったため、あたかもスキアパレリが火星の運河 (それも人工的なもの) の発見者のごとくとられてしまった、という有名ないきさつがある。このあたりの話題や、運河についてのくわしい検討は、いずれまた項を改めておこなう予定である。

スキアパレリのあとを追って、火星観測に一生を打ちこみ、人工運河説を発展させた有名な人が、アメリカのローウェル (P. LOWELL) である (第8図)。

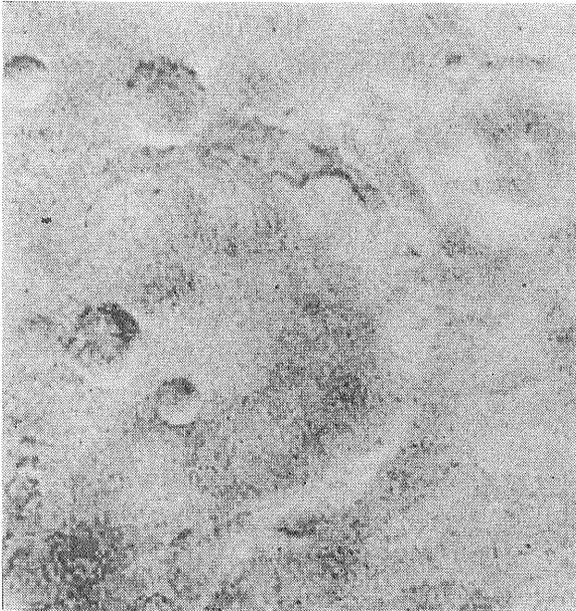
ローウェルは、もともとは一外交官で、火星とは縁もゆかりもない存在であった。ところが、誤訳にもとづくスキアパレリの人工運河説が彼の耳に入ったことによって、彼の一生は大きく転換することになった。彼の関心は、しだいに火星への科学的興味へ高まり、ついに私財を投げうって、アリゾナ州フラグスタッフに私設の天文台を建設し、火星観測に打ちこんだのである。ローウェル天文台はいらい今日に至るまで、火星観測のメ

ッカとして、世界の天文学者に大きな影響をあたえた。

彼は、スキアパレリの細線運河説をさらに発展させ、火星の運河は知能のすすんだ火星人のつくったものであると、本気でとなえた。冒頭にかかげたH. G. ウェルズの小説も、ローウェルあたりの主張に負っているところが多い。このこと自体は、今日の学問からみれば荒唐無稽のそりをまねがれないかもしれないが、ローウェルの大きな功績は、眼視観測によるスケッチだけにたよらず、写真撮影や分光観測の分野も開拓し、しかも有能な後継者を何人も育てたことに、その真価を見いだすべきであろうと思う。



第9図 アントニアジの美しいスケッチ



第10図 マリナー4号が送ってきた歴史的な火星表面の最初の写真

さて フランマリオンやローウェルが活躍していたころ フランスではもう1人の有能な観測家が育っていた。火星観測の天才とうたわれたアントニアジ (E. M. ANTONIADI) である。アントニアジは1909年から パリ郊外のムードン天文台で観測をはじめ 多くのすぐれた観測データを残した。とくに彼のスケッチは 正確なうえに美しいことこの上なく 芸術的作品ともいえるものである (第9図)。

また アントニアジは スキアパレリらの細線運河説に徹底的に反対し 運河は細かい不規則な斑点の集合であると主張したことで有名である。この考えは 当時はどちらかという少数意見で 異端児扱いされかねなかったが 今日の火星面の知識からみれば きわめて先駆的で画期的なものであったといえる。

アントニアジの出現でもって 火星地理学も一応の完成期にたつする。彼は1930年 いままでのあらゆる観測記録を整理・総括し 名著「惑星火星 (La Planète Mars)」をあらわした。これは 火星地理学の決定版として 今日でも高く評価されている書物である。こままでが 火星研究史の第2期である。

20世紀に入ってまもなく ローウェル天文台では スライファー兄弟 (V. M. SLIPHER, E. C. SLIPHER) などを中心として 火星の写真撮影やスペクトル観測がはじめられた。このころめばえた物理観測の芽は アントニアジの著書出版のあたりを契機として 急速に火星

地理学にとって代わることになり ここに火星研究史の第3期ともいうべき時代となるのである。

20世紀の物理観測の中心は いうまでもなくローウェル天文台のスライファーたちであろうが 他にも注目すべき人がたくさん現われた。フランスのピク・ド・ミディ天文台のリオー (B. LYOT) は 1922年いらい火星の偏光観測を手がけ 火星面の物質の解明や火星大気の研究などに 大きな功績をあげた。それは彼の後継者ドルフェュス (A. DOLLFUS) によって 今日に受けつがれている。

アメリカのマクドナルド天文台のカイパー (G. P. KUIPER) も 火星物理の研究者として有名である。ソビエトのシャロノフ (V. V. SHARONOV) パラバシヨフ (N. P. BARABASHEV) からもよく知られている。そして 今日では ローウェル天文台が中心になって 国際火星委員会 (IMC) が組織されている。

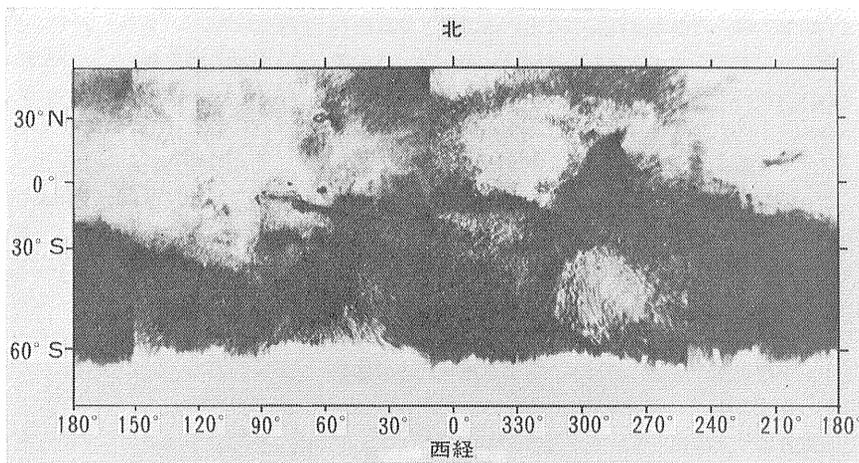
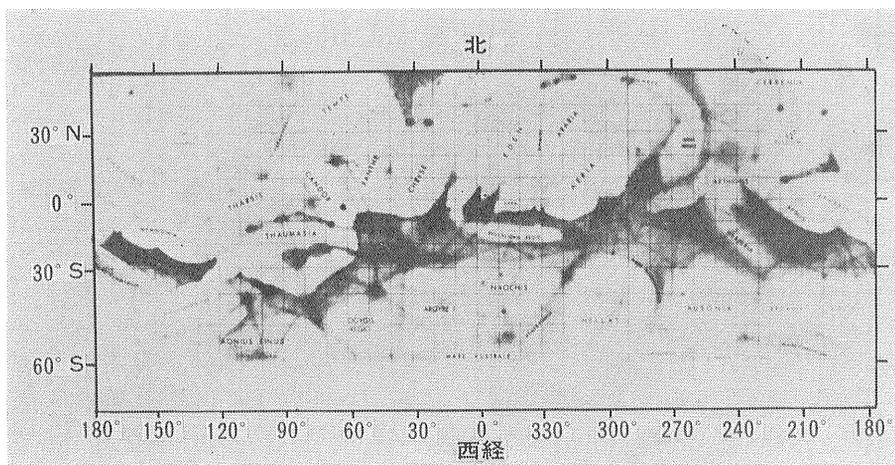
こうして 火星の研究は 望遠鏡による記載的な段階から 各種観測機器やロケットを使った物理観測へと発展してきたわけであるが ここで これらの歴史をつうじて 日本人の観測家や科学者が果たしてきた役割を評価しておくことも 忘れてはならないと思われる。

わが国で 望遠鏡による火星観測をはじめて系統的にきちんと行なったのは 中村要で 1920年からのことである。中村を指導したのは 京都大学教授の山本一清であったが 彼はいち早く京大系の東亜天文学会に遊星面課をおき 本格的な観測体制と組織づくりをはじめた。今日火星観測や研究で著名な宮本正太郎花山天文台長や 大阪の佐伯恒夫らは みな山本の門下である。

いっぽう 東京の村山定男 海老沢嗣郎 和歌山の田阪一郎らの業績もいちじるしく とくに海老沢がつくりあげた火星地図は 望遠鏡観測にもとづくものとしては精密なことでは海外にも並ぶものがなく 国際的に高く評価されている。

日本は 大型機械による観測や研究の面ではかなり立ちおくれしており これからの本格的な研究が強くのぞまれるが いままで 多くの困難と悪条件を克服して努力をつづけてきたこれらの人びとの業績に 改めて敬意を表したいと思う。

さて いままであらゆる面で 望遠鏡にたよってきた火星の観測と研究は いよいよ1965年から新しい段階をむかえることになった。すなわち 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 火



第11図 従来の望遠鏡観測によるスケッチと写真にもとづいてつくられた火星面の地図（上）と マリナー6・7号の撮影した写真をもとにつくられた火星面の地図。両者はかなりよく一致する。

星周辺の物理観測を行なうとともに 火星面のクローズアップ写真を送ってきたからである。

そして マリナーが送ってきた写真は 並み入る多くの火星研究者をおどろかすに十分なものであった。そこには 荒涼たる月面をおもわせる 多くのアバタ（クレーター）が写っていたからである。かくも月面によく似た火星の表情を 果たしてだれが予想しえたであろうか。

その後も 1969年にはマリナー6・7号が また1971年に入ってから マリナー9号の興味深い写真がぞくぞくと入手されてきている。これらには 月面とよく似た景観があるいっぽう 火星独特のものも多くみられここに火星地理学は新しい時代をむかえることになった。

それは もっと正確にいえば いよいよ火星の地形や景観が 地質学の知識と地質学的なみかたにもとづいて研究される段階にきたことをいみするといえよう。いまままで 天文学者だけの対象であった火星も 月と並んでいよいよ地質学者の対象になってきたのである。

以上ごく大まかに 火星観測の歴史と火星地理学の発達をながめてきたが 次回からはいよいよ 火星の地質学の本論に入りたいと思う。

（筆者は 東京都立武蔵高校教諭）