

月の地質学

②

小森長生

前回には 月面全体をみわたしてその歴史をさぐる
いわば巨視的な見かたでの地質調査と 地史の区分につ
いてのべた。しかし 月面の地質調査は それだけが
すべてではないのである。こんどは 実際に月面に着
陸して 月面の物質(岩石)がどんな構造をなし また
どんな化学組成をもっているかを 直接調べることが
ひじょうに重要になってくる。この調査によって 月
の岩石が地球上のどんな岩石と似ており どこがちが
っているのかということや 月面での岩石の生成状態や条
件などがわかり 月の構造やおいたちを直接さぐる手が
かりが得られるのである。そこでつぎに 月面物質の
正体について 最近の月面探査体のあげた成果を中心
のべてみることにしよう。

7. 月面物質の状態についてのいままでの考え

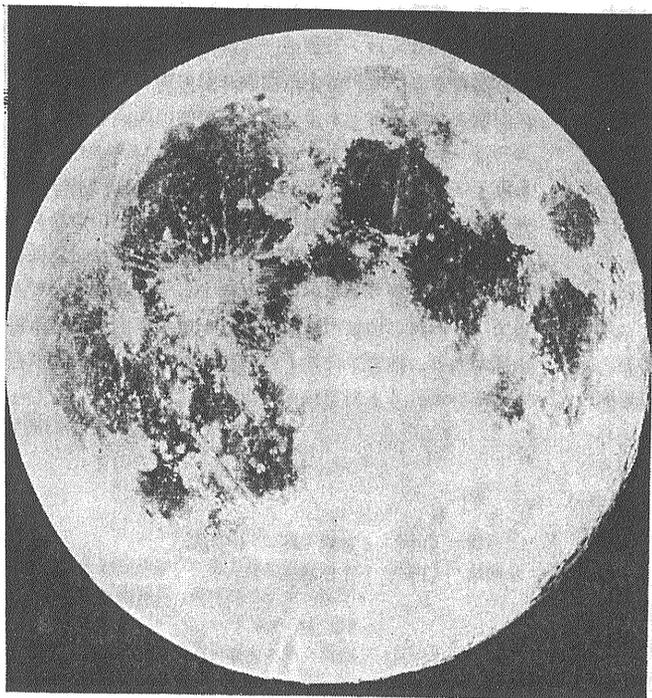
月面物質の状態や組成については ソビエトのルナ9
・13号の軟着陸による写真撮影と調査や アメリカのサ
ーベイヤー1〜7号の写真撮影と各種調査によって か
なりくわしいことがわかってきた。それについてこれ

からくわしくのべるわけであるが その前に いままで
の各種の観測によって どのくらいのことかわかって
いたのか またどんな考えがなされていたのかというこ
とについて 少しふれておくことにしたい。

まず表面の状態についてであるが 月面を望遠鏡で観
察すると いろいろな地形や構造がみられることは 周
知のとおりである。しかし 望遠鏡の分解能には限度
があるので 表面の微細な構造を読みとることはでき
ない。そこで 各種の物理的性質をしらべて 表面の状
態を推定することがおこなわれてきた。

その第一は 月面の反射光の特徴である。月の光は
満月のとき最も明るく その前後では急に弱くなる。
上弦・下弦のときの月の明るさは 満月のときの半分
ではなくて わずかに11分の1にすぎないのである。ま
た 月面の反射光には周辺減光がない。周辺減光とい
うのは なめらかな球面に光があたったとき 球面の中
央部が最もよく光り 縁辺部が暗くなる現象である。
これは 光の反射の法則からいってごく当然のことであ
る。ところが 満月のときの月面をみると どこも一
様の明るさに輝やいているのである(第1図)。
さらに 月面の反射光は一部偏光していること
が知られているが その度合は満月のときゼロ
で 上弦・下弦のとき最大になることがわかって
いる。これらの奇妙な性質は何をあらわ
しているのだろうか。

満月のとき周辺減光がないという事実は 入
射してきた太陽光線が 月面のどの部分でも太
陽の方向に送り返されることを意味し このよ
うな反射がおこるのは ひじょうに凹凸のはげ
しい ごつごつした表面でなければならないの
である。このような表面は カラミ(鈹滓)
や溶岩流の表面のような 多孔質の岩石の表面
が最も適している。また 満月の前後に急激
に明るさが減る現象も 多孔質の表面でないと
説明が困難である。それは 多孔質の岩石の
表面に観測者の方向から光が入ったときは(つ
まり満月の状態のときは) 孔に入った光は孔
の底で反射されてそのまま出てくるので 全体
が明るく見えることになる。しかし 光の入



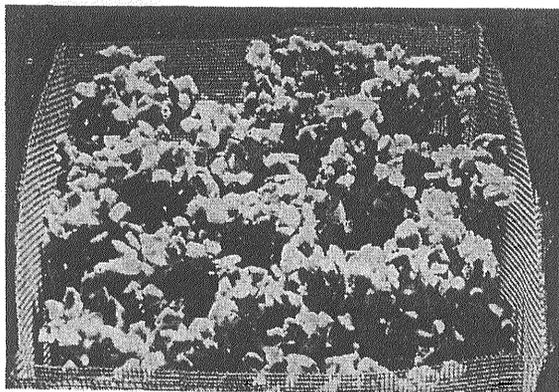
第1図 満月の写真 満月は月の全面が一様にかがやいており 周辺減光がない

る方向が観測者からずれると 孔の中に入った光は外に出なくなり 全体として急に暗くなってしまふのである。さらに 月の光の偏光の度合も 表面が多孔質であることを説明するのに つごうがよいといわれている。

つぎに 月面の熱伝導度の測定がある。月面からくる熱は 太陽光の熱をそのまま反射するもののほかに 月面に一度吸収された熱が放出されるもの(月自身の熱放射といってもよい)がある。この月面の熱放射は大望遠鏡に鋭敏な熱電対をとりつけて測定したり 電波望遠鏡を用いて測定したりするのであるが 8~12 μ と 1~1,000mm の波長の放射(赤外線や電波)は 月自身の熱放射であり しかも地球の大気をよく通過するので観測することができる。とくに 1~1,000mm の長いほうの波長の放射は 月面の最上層からのものではなく 少し下層の部分から発するものであるため ある深さまでの表面物質の熱伝導率がわかるのである。これによると 月面の少なくとも数 10cm くらいの厚さの物質の熱伝導率はきわめて低く ふつうの固体の値よりもはるかに小さい。この事実は 月面の表層が こまかい粉末ないしは砂つぶ状のもの層であるか ないしは多孔質状の溶岩のような物質であるかとつごうがよいことを示している。

このほかにも 月の表面の状態を知るための物理的観測の例はいくつもあるが いずれもほとんど一致して 多孔質状の ざらざらの表面であるという結論を得ている。このように 月の表面の状態について 地球上からの観測だけからも かなり確からしいことがわかっていたのである。そこで 上にのべた多孔質状のざらざらした表面がどうしてできたのか つまりそれは本当に多孔質溶岩の表面なのか または微粒子の集積した層の表面なのか といったことがさかんに議論された。この点について これまでにあらわれた議論のうちで注目を集めたものを紹介しておくことにしよう。

月面のクレーターの中に火山起源のものがあるとすれば 溶岩や火山灰も存在するであろう。しかしそれだけではなく 月面には宇宙空間からたえず隕石や宇宙塵がとびこんでくることも事実である。微細な宇宙塵はそのまま堆積していくであろうが 大きな隕石は凹孔をうがって 破砕片が四方にとび散り堆積する。このようにして 月面にはある厚さの微粒子(粉末ないし砂粒)の層があると考えられる。この微粒子は 粒が細くなるにつれて 重力よりも粒子どうしの付着力が大きくなり塔のように積み重なったり 樹枝状につながったりして あたかも多孔質状の軽石のような構造になるのである。



第2図 おとぎの城構造の写真 (B. Hapke による)

この構造は 1962 年にはじめて アメリカの B. ハプケ(Hapke)によって実験的につくられ「おとぎの城構造(fairy-castle structure)」とよばれた(第2図)。ハプケの実験では このような構造をつくる粒子は粒径 15 μ 以下の微粉でなければならなかったが 月面では重力が地球上の6分の1で しかも高度の真空状態なので もっと大きな粒子でもこのような構造になることが考えられる。実際このような構造は 月面の光の反射の特異性をよく示すことが実験的にもわかったので ひじょうに注目されたのである。実際の月面が はたしてこのような構造なのかどうかは あとでもう一度論ずることにしたい。

もう一つ このような「おとぎの城構造」とならんで一時ひじょうに流布した説に アメリカの T. ゴールド(Gold)のとなえた 厚いチリ層説がある。彼は 月面の岩石の物理的風化作用が極度にすすんだ結果 こまかい暗色のチリがたくさんでき 高所から低地へしだいに運ばれていったと考えたのである。チリの移動速度は ひじょうにゆっくりしたものではあるが 長いあいだにはだんだん低いところに移動し そこに堆積した。とくに海の地域は ゴールドによれば溶岩があるのではなく 厚いチリの層がたまっているところであって その厚さは数 km にたつるところもあると考えた。しかもそのチリは フカフカの状態で 宇宙船が着陸しても支えることができず ずぶずぶともぐってしまうであろうとなえた。

このゴールドの説は となえられた当時からずいぶん反論があったが 結局ルナ9号以降の軟着陸による観測で 完全に否定される結果となってしまった。

月面の状態については これらのほかにもいろいろな考えがあった。とくに物理的観測から 多孔質状であると考えられるところから 多孔質溶岩の表面がそのま

第1表 月面のアルベドー (A. B. マルコフ (1960) による)

場 所	アルベドー
チ コ の 中 央 丘	0.16
チ コ の 壁	0.16
コペルニクスの中央丘	0.15
ケプラーの中心	0.12
プロトメウスの底	0.08
大陸 (平均)	0.08~0.07
あらしの大洋	0.07~0.06
眠りの沼	0.07
豊かの底	0.06~0.04
グリマルディの底	0.06
霧の沼	0.06
温りの海	0.05
蒸気の海	0.05
神酒の海	0.05
プラトーの底	0.04
危機の海	0.04
雲の海	0.04
晴の海	0.04
静かの海	0.04
(うら側)	
ジョルダノ・ブルーノ	0.17
ジョリオ・キューリー	0.10
モンソフ	0.09
エンディミオン	0.08
ネーベール	0.08
フンボルト海	0.07
モスクワ海	0.04
スミラ海	0.04
緑の海	0.04
チオルコフスキーの底	0.03

まあらわれているのだと考えていた人も多かったしソビエトの V. シャロフと N. シチンスカヤは表面はスラッグ (鉱滓) 状の物質だと主張していた。彼らは月面に隕石が衝突した時地殻が一時的にひじょうに高温になり溶融蒸発してスラッグ状になるものと考えたのである。これら諸々の考えに対して月面に軟着陸した探査体が決定的な結論を下したというわけではないがかなり確からしい証拠を得たことは事実である。それについては後にくわしくのべることにする。

8. 月面物質の組成についてのいままでの考え

さてつきに月面物質がどのような組成 (化学組成) をもっているかということについて従来となえられていた考えを一べつしておくことにしよう。

月面を望遠鏡で観察するか月面写真をながめてみると明るさのいちじるしくちがう2つの地域がすぐ認められる。すなわち陸と海の区別である。いうまでもなく陸の地域はひじょうに明るく輝き海の地域は暗黒である。このことから陸と海では物質の組成がちがうのではないかということがすぐ考えられる。

月面は太陽光を反射してかがやくわけであるからその明るさの度合は「反射能(アルベドー)」であらわされ

る。月面の各地点でのアルベドーを第1表に示してあるが実は月はみかけはかなり明るいように見えるけれども反射能は意外に低く太陽系の天体の中では最も悪いものの1つである。その平均値は約7%にすぎない。この事実は何を意味するのであろうか。

月面の各地点でのアルベドーと比較するために地球上のいろいろな物質 (岩石) のアルベドーを実験的に求めることが行なわれた。そのおもなものの一らん表を第2表に示しておく。

この両者を比較することによってわれわれは地球上のいくつかの火山岩の値が月のいくつかの地域のものに似ていることがわかるのである。たとえば月面の最も明るい地域は玄武岩と石質隕石 中くらいの明るさの地域は trachytic lava ある種の黒い tuff 火山灰スラッグなど最も暗い地域は玄武岩溶岩 暗黒の火山灰とスラッグ 隕石の熔融殻などのアルベドーをそれぞれあらわしている といったぐあいである。

もちろん月と地球の岩石のアルベドーの単なる類似性だけでは月に実さいどんな種類の岩石があるのか決定するのは不十分なことである。なぜならばアルベドーの値がほとんど同じでも地質学的にはまったく別個の性質をもった物質 (岩石) もあるからである。たとえば地球上の物質で最も暗いアルベドーを示すチエルノーゼム (黒土) は暗いからといって月の海に存在することはちょっと考えられない。

月と地球上の物質のアルベドーの比較で問題になるのは最も明るい地域でさえ平均して玄武岩とか石質隕石の値しか示さないことである。実はサーベイヤー5~7号の調査で月の海の岩石は玄武岩だということがかなりはっきりわかってきているので月の最も明るい地域を代表する陸の地域がどんな岩石からなっているかが大きな問題になるのである。

かつて1944年にアメリカの地質学者 J. スパー (Spurr) は月面の陸のような明るい地域をおおう物質は花こう岩のような酸性岩であるとしてこれを「ルナライト」(lunarite=月 luna と流紋岩 liparite の合成語) とよび海のような暗い地域をおおう物質は玄武岩のような塩基性岩であるとしてこれを「ルナベース」(lunabase=月 luna と塩基性岩 basite=basic rocks の合成語) とよんだ。

スパーのこのような考え方は一見かなり合理的にみえるし地球の地殻構造とうまく対応させられるのでかつてはこのような考えを支持する人もたくさんいた。わが国でも宮本正太郎 (京大花山天文台) らは玄武

第2表 地球上の物質のアルベド

物 質	アルベド	測 定 者
Chalk	1.00	Wilsing and Scheiner
Clouds	0.9~0.6	Barabashov
Snow	0.9~0.5	"
Limestone	0.56	"
Liparite (pumice stone)	0.56	W. & S.
Rock salt	0.44	"
Granulated lime	0.42	"
Sandstone	0.38	"
Ice	0.37	B.
Granite	0.36	W. & S.
Gypsum	0.34	"
Sand	0.34~0.29	B.
Trachyte	0.30	W. & S.
Trass	0.26	"
Clay, Shist	0.25	B.
Clay	0.24	W. & S.
Granite	0.24	B.
Micaceous shist (Mica slate)	0.23	W. & S.
Sandstone	0.22	B.
Vesuvius ash (upper layer)	0.19	W. & S.
Vesuvius ash (middle layer)	0.18	"
Stone meteorites	0.18	B.
Fluxing sand	0.17	W. & S.
Anhydrite	0.14	"
Basalt	0.14	B.
Syenite	0.13	W. & S.
Limestone	0.12	"
Biotite gneiss	0.12	"
Quartz porphyry	0.11	"
Trachyte lava	0.10	W. & S. B.
Black gabbro	0.10	W. & S.
Pitchstone	0.09	"
Diabase	0.09	"
Obsidian	0.09	"
Hekla lave (Spitzbergen)	0.08	"
Clayshale	0.07	"
Basalt lava	0.06	W. & S., B.
Vesuvius lava	0.05	W. & S.
Etna lava	0.05	"
Lignite	0.05	"
Fusion crust of meteorites	0.05	B.
Chernozem	0.05~0.07	"

岩マグマの結晶分化作用を根拠にして 同じような考えを熱心に主張した。しかし この考え方も 今日の知識からすればいろいろと問題が多い。とくに 海の地域が玄武岩質であることはほぼ問題ないとしても 陸の地域が花こう岩質の酸性岩だということは 今日では認めない人が多いのである。

もしスパーのいうように 月の陸の部分が花こう岩のような酸性岩だとすると たとえば上にのべたアルベドの低さ(月の陸の地域は玄武岩か石質隕石のそれに相当する)は どう説明したらよいだろうか。実はこれについては 1つの逃げ道がある。それは 月面には大気がないので 種々の放射線が生のままに表面の岩石にあたる。何万年・何億年という長い時間にわたってこのような状態がつづく と 岩石は変質して色が黒

くなっていくというのである。実さい 似たようなことは 実験室内ですでに確かめられており たとえば 透明な水晶に長時間X線を照射すると 黒ずんでくるということが知られているのである。しかし たとえこのような現象が実さいにあったとしても 陸の地域が酸性岩であるという意見には いろいろな面から問題があるのである。最近ではむしろ 月の陸は かんらん岩ないしは石質隕石のような超塩基性岩からなっているという意見もあり またそれをうらづけるような観測結果さえあるのである。このことは 月の地殻構造や マグマの発生・進化の問題とも深いつながりをもっているの のちほどまたくわしくとりあげることにしたいと思う。

9. 月面探査体の軟着陸による月面の状態の観測

さて いままで長々と 月面の状態と化学組成に関するこれまでの考えについてのべてきたが このようないろいろな考えや観測による推定などは どのくらい事実と合致していたであろうか。1966年くらい いくつもの打上げられ 月面軟着陸に成功した米ソの月面探査体は多くの近接写真を撮影したほか いくつかの科学観測もおこない 月面の状態と化学組成について かなり確かな知識を提供してくれた。つぎに これら月面探査体によって得られた成果を紹介し 検討してみることにしよう。

ルナ9号の観測

月面への探査体の軟着陸は まず1966年2月3日 ソ連のルナ9号の成功によって開幕した。ルナ9号の着陸地点は 月面のあらしの大洋の西岸近くで 月面経緯度でいうと 北緯7°08' 西経64°22' の地点であった。そこは カヴァレリウスFクレーターの南東端のくずれた高まりのすぐ近くであった(第3図)。

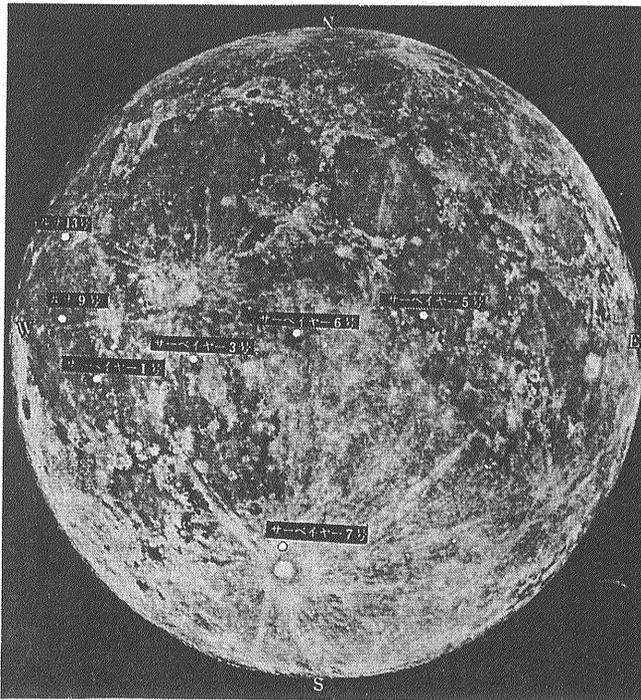
ルナ9号は着陸してしばらくすると 太陽高度がそれぞれ 7° 14° 27° のときの 着陸地点のまわりの3種類のパノラマ写真を電送してきた。これらの写真はかなり鮮明なもので 表面のざらざらの状態がひじょうによくあらわれており その解像力は カメラから1.5~2mの地表で1.5~2mmの大きさのものが見分けられる程度のものであった。そして このざらざらの表面の上にいくつものこぶし大前後の石(岩塊)が散在し それらが長く黒い影をひいている光景は まことに印象的なものであった(第5図 第6図)。

さて 問題はこのざらざらの表面がどういう性質のものであり どのようにしてできたかということである。一見したところ いかにも多孔質の玄武岩質溶岩の生の

ままの表面のようにも見えるし また こまかい砂粒のような粒子がルーズに多孔質状に堆積したものの表面のようにも見える。これは いままで考えられてきたいろいろな推定を かなりうらがきしているように思われるが 本質はどうなのであろうか。まず考えられることは これが前にのべた「おとぎの城構造」そのものをあらわしているのかどうかということである。これについて ソビエトの著名な月面学者 Y. N. リプスキー (Lipsky) は つぎのような否定的な意見をのべている。

すなわち 実験室でつくられたおとぎの城構造を構成する粒子は 微細なチリともいべきミクロンのオーダーの粒子である。しかも 実験室で測定に用いられた模型は 数平方センチメートルというわずかの面積の表面にすぎない。しかるに 実さいに望遠鏡観測のうえで 反射のしかたとか偏光などの測定に供された月面の面積は 少なくとも数十平方キロメートルの面積をもっているし ルナ9号の写真からみたところでは 粒子の大きさもミリメートルのオーダーである。このような模型と実物のスケールのちがいを心にとめておかないで 安直に比較したり同一視したりすることはできないというのである。とにかく ルナ9号のとった写真をみて はっきりいえることは 微細なフカフカのチリの層はみられないことであるが おとぎの城構造をまったく否定してしまうこともできないように思われる。

さらにもう1つ このざらざらの多孔質状の表面に石



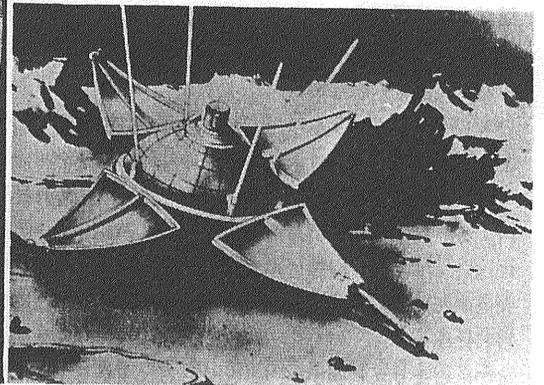
第3図 いままでに軟着陸した月面探査体の着陸地点を示す図

(礫ないし岩塊)がころがっていることであるが 写真をみる限りでは これらの石は表面にほとんどめりこんでいない。このことは 表面がある一定の堅さをもっていることを示している。これらの石が火山起源のものであるのか 隕石のかけらなのかは 写真だけからはわからないが とにかくめりこんでいないという事実は 表面が比較的堅く しかもこれらの石が比較的低速度でとんできたものであることを示すものにちがいない。

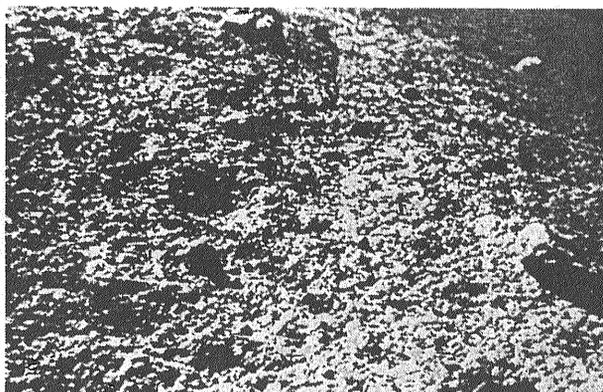
アメリカの天文学者 G. P. カイパー (Kuiper) は 先に月面に衝突したレインジャー号のとった写真を解析したさい(1965) 月面の表層の支持力は 実験室での真空中における珪酸塩の熔融固結実験の結果にもとづいて考えると $1 \sim 10 \text{ kg/cm}^2$ くらいだろうとのべている。彼はさらに このような物質は 1立方メートルないしはそれ以上の 密度の大きな岩石が もし100~200m以上の距離からとびこんできたときには その岩石はもぐってしまうであろう とのべた。

そこで リプスキーは ルナ9号のとった写真にうつっている最も近くにある直径約 20cm の岩石の存在状態から 月面表層の支持力を概算してみた。この岩石はほとんど表面より沈んでいないが 衝突力を見つめるために 2cm だけ沈んでいるとし 地平面上 45° の角度で 200m 先から投出されてきて地面に衝突したとする。その時の平均衝突力 F は $5 \times 10^3 W$ (W は石の重さ) である。そこで 月面の低重力の特殊な条件下での重さを考えると 石の重さは約 0.2kg となり このばあいの F は約 1 トンとなる。石の大きさからすると 衝突時の平均圧力は $2 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$ となるだろうと結論した。この結果はカイパーのものとはよく一致する。リプスキーは 実さいは許容荷重は これより数倍~10倍は大きいだろうといっている。

以上のべてきたように 月面が一定の堅さをもつ



第4図 ルナ9号の本体



第5図 ルナ9号のパノラマ写真の一部① ざらざらの表面に石が散在しているようすを示す

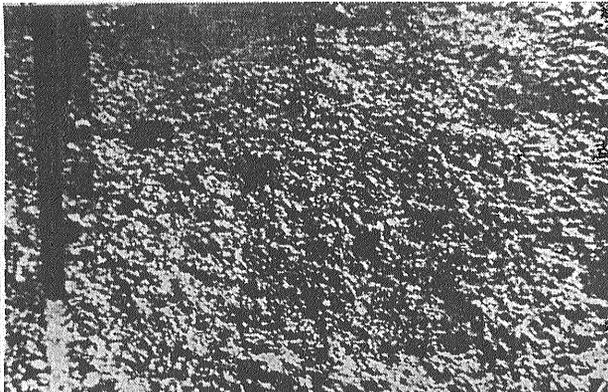
ており かなりの荷重にたえるものらしいことはほぼ明らかになった。したがって ゴールドがとなえたようなフカフカのチリの層があって 宇宙船がもぐってしまうようなことはありえないことは明らかになった。しかし、このようないろいろな事実が明らかになっても、いぜんとしてはっきりしなかったのは、この月の表面の写真が 本来の月の堅い岩層の表面 すなわち多孔質溶岩そのものの堅い表面をあらわしているものなのか、それとも 細かい砂粒のような粒子が 多孔質状に集積したものを示しているものなのか、ということである。この点についての解答は つぎに軟着陸した探査体の成果に待たねばならなかった。

サーベイヤー1号の観測

ルナ9号に少しおくれて4ヵ月後の1966年6月2日には、アメリカの月面探査体サーベイヤー1号が 首尾よくあらしの大洋のフラムスチードクレーターの中の 南緯2°49' 西経43°32' の地点に軟着陸した。米ソいざれも 最初の軟着陸地にあらしの大洋がえらばれたのはこの地域が平原で障害物が少ないことや ロケットの軌道の関係から ほぼ垂直に降下し着陸できるためである。

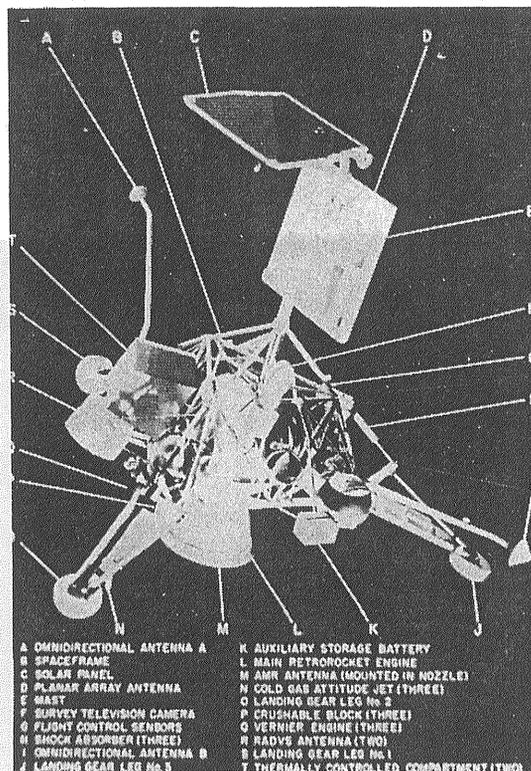
サーベイヤー1号のテレビカメラは 数千枚という多量の写真を送信してきた。それは ルナ9号のようなパノラマ写真ではなかったが 遠景写真あり 近接写真ありで ひじょうにバラエティにとんでおり 月面のさまざまな様子を知ることのできるものであった。

サーベイヤー1号のとった写真をみてまず気つくことは ざらざらの表面に石がころがっている点は ルナ9号の写真とよく似ているが (おなじあらしの大洋に着陸したのだから当然のことであろうが) 全般的にみると 細かい砂れき質の地面に着陸したということである。そのくわしい様子は 一緒にかかげてあるいくつかの写真をみていただきたい。



第6図 ルナ9号のパノラマ写真の一部② カメラと地表が最も近接した部分 1~2mmの大きさまで識別できる

第9図は 着陸したサーベイヤー1号の脚の1つのパッドの部分を近接撮影したものであるが 明らかにパッドが砂れき地にめりこんでいるようすがよくわかる。この写真の解像度は ルナ9号の写真と同じく1~2mmていどの粒子まで見分けられるものである。めりこんだパッドの深さは 2cm くらいのもので それほど深くはない。この深さから換算すると 月面は 3.0×10^6 dyne/cm²の支持力をもつ堅さがあることになると NASAの関係者たちは計算している。この堅さは さきのべたカイパーヤリプスキーの計算とも それほど矛



第7図 サーベイヤー1号の本体

盾するものではない。実はこの値では地球上ではひじょうに弱い地盤だということになるが 月面の6分の1の重力のところでは 地球上の浜辺の砂地の強度にほぼ相当し 人間や機械が降り立っても十分支えることができる。

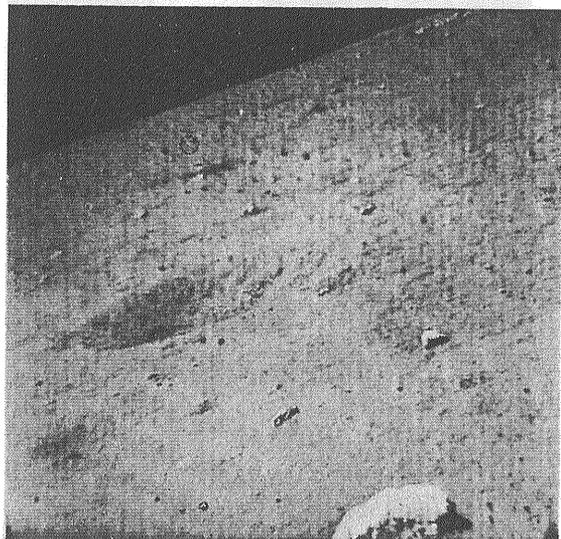
さらに注意すべきことは 月面の土や砂の粒子は 比較的よく粒子どうしがくっついているらしいことである。もし フカフカのチリの層があれば 軟着陸のさいのロケットの噴射によって 相当ほこりがまいたがり 器械類もほこりをかぶったであろうし 地面も乱されていようが そういった形跡はみあたらないのである。またパッドではねとばされた土粒子は そのあとすぐまたくっついてしまったようにみえる写真もある。このように 粒子がくっつきやすいのは 真空中という月面の特殊な条件のためではないかと考えられている。こうして サーベイヤー1号によっても ゴールドらのフカフカのチリ説は否定されたことになる。

さて サーベイヤー1号の写真には ルナ9号の写真にはみられなかった興味深いものがある。たとえば第10図は サーベイヤー1号本体の南東方の地平線にある大きなクレーターのふちの一部である。ややもり上ったような感じのそのふちの地域は たくさんの角れき混りの土が広がっているようすがよくわかる。角れきの大きなものは直径1m くらいに及ぶ。このような角れきは 他の写真にもたくさん写っているが これほど密集した地域はめずらしい。この角れき土をめぐってこれが火山碎屑物の集積だとする説と 隕石の衝突で破碎された物質が集積したものだという説がある。

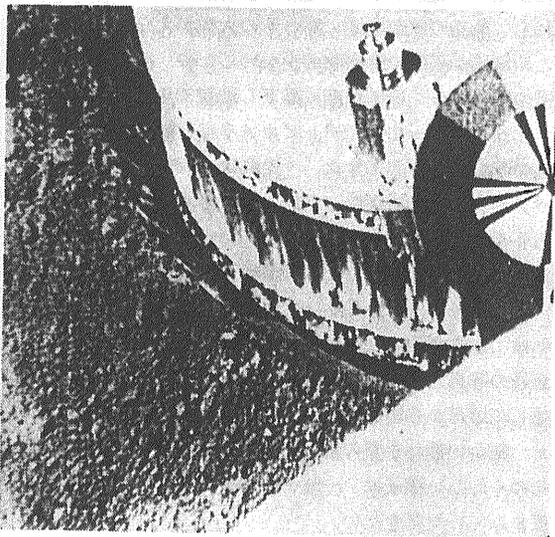
この角れきは 大きさがまちまちで陶汰が悪いうえに

地面からそっくり顔を出しているもののほか 半ば埋もれたものまでいろいろあって 破碎された物質がある厚さをもって堆積していることは明らかである。火山によるものか隕石によるものかは 写真からだけでははっきりしないが アメリカの(NASAの)人たちは 隕石による破碎説を強く支持している。私は火山碎屑物であっても悪くはないと思うし むしろそのほうの可能性も大きいと考えているが。参考までに 第11図は筆者が富士火山五合目小御岳付近から頂上めがけて写した写真であるが 玄武岩の火山岩塊ないし火山角れきがごろごろして しながら月面を思わせる光景である。溶岩流出と中小爆発をくり返すストロンボリ式噴火のような火山には このような景観のところは他にもあり 月にかけて火山活動があったとすれば 当然似たような景色はできてよいはずである(月面の火山活動の問題についてはのちほどくわしく論ずる)。

つぎに第12図は サーベイヤー1号本体のすぐ南東5メートルの距離にある岩塊の写真である。大きさは長いほうの直径が50cmある。前の写真の角れきとはちがって むしろ丸みをもっており 一度溶融したものが固まったかのようにみえる。ガスが放出したと思われる多孔質状のすき間もたくさんあり 火山弾(牛ふん状火山弾)らしく思われる。いっぽう南西5メートルの距離には 同じような形の岩塊(第13図)があるが 第12図とは少しちがって しわや割れ目のようなのがみえる。これも火山弾のような気がするのだが NASAの人たちはちがった解釈を下している。すなわちこれは 隕石の衝突によるショックでくだけた物質があつまって 集合体となったものであると考え このよう



第8図 サーベイヤー1号がうつした遠景写真の一例



第9図 サーベイヤー1号本体の脚のパッドが地面にめりこんだところを示す写真。

な岩石を「インスタント岩」(Instant rocks) とよんでいる。私はしいてインスタント岩のようなものを考える必要はないと思っているが どんなものであろうか。この問題についてももちほど論じたいと思う。

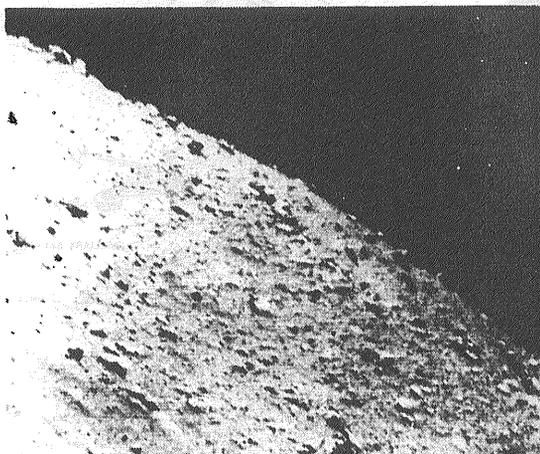
ルナ 13 号の観測と調査

サーベイヤー 1 号から半年ばかりおいて 1966年12月24日には ソ連のルナ13号が再び月面に軟着陸した。その場所は 前回と同じあらしの大洋の 北緯18°52' 西経62°3' の地点で ルナ9号の着陸地点より北方に約300km のところであった。

ルナ13号には テレビカメラのほかに 月面の状態を直接しらべる器械が3つ積みこまれた。1つは月面に棒をつきさして堅さを調べる土壌メーター(ペネトロメーター)(第14図) つぎに 表面に降りたときの荷重を測定するダイナモグラフ さらにもう1つは放射線密度計で これは月表面の15cmの厚さの層の密度を測るこ

とができる。このうち土壌メーターは 図のように直径12cmの円盤の中に直径3.5cmの円錐状の先端をもった棒が組みこまれ 固体燃料ロケットの力で5cm 下方へ突き出すことができる。これを13号本体から折りたたみ式の腕の先につけて月面におろし 棒をつきさして堅さのぐあいを調べるのである。つきさす力は地球上の条件で5~7kg がある。

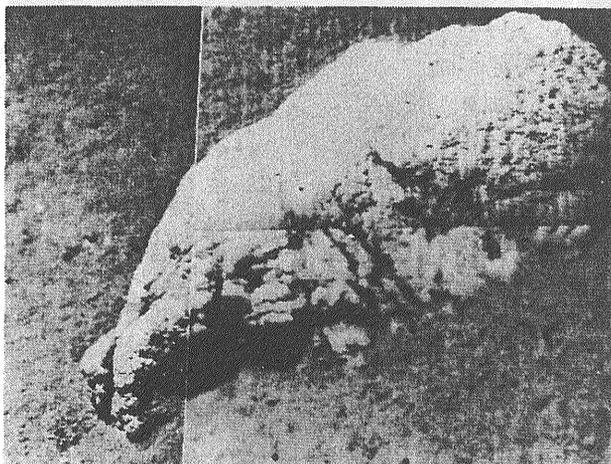
これのの器械によって測定された結果を要約すると つぎのように結論づけられると I.I. チェルカソフ(Cherkasov) らはいっている。すなわち ルナ13号の着陸地点では 月面は 多孔質状に弱くむすびついた物質の粒(grains and granules) からなる粒状のルーズに弱くかためられた物質の層(layer) からなっている。測定地点での layer の厚さは5cm より厚い。この layer の上に パノラマ写真等でみられるような石ころがちらばっているのである。



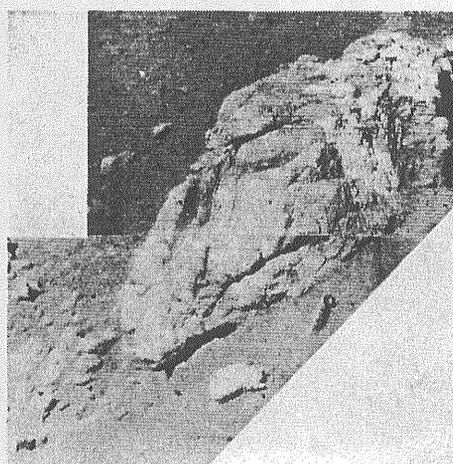
第10図 サーベイヤー1号が写した角れきの多く含まれている表土の部分



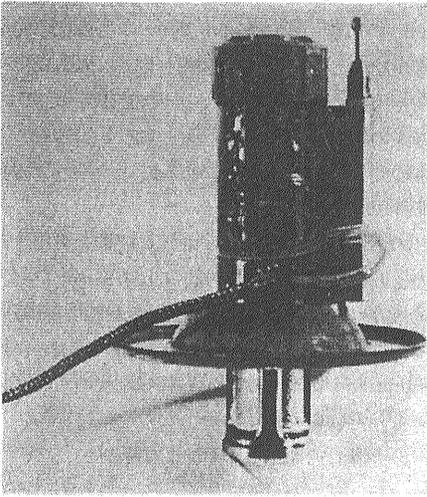
第11図 富士火山五合目付近から上方の山腹の写真。角れき状の火山岩塊が散在する



第12図 サーベイヤー1号本体の南東5mの位置にける火山弾状の岩塊



第13図 サーベイヤー1号本体の南西5mの位置にある岩塊。(インスタント岩といわれている)



第14図 ルナ 13 号の土壌メーター

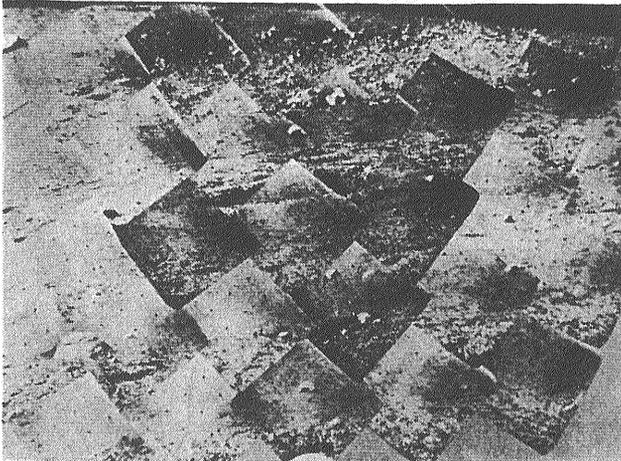
ルナ9号と13号のパノラマ写真は どちらもひじょうによく似ており しかも着陸地点も近い距離なので 先にのべたルナ9号の写真の解釈も上のように解しておいてよいであろう。

サーバイヤー3号の観測と調査

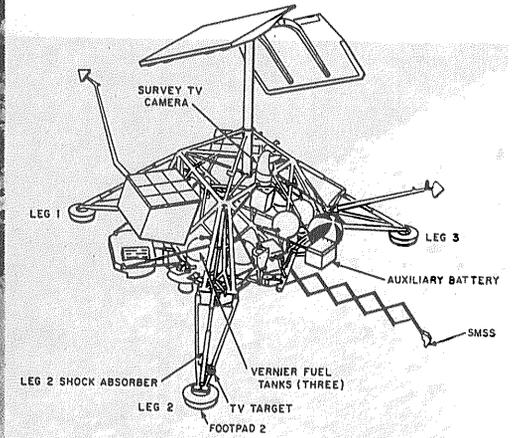
1967年4月19日には アメリカの第2の月探査体サーバイヤー3号が 同じくあらしの大洋に軟着陸した。

3号の着陸地点は 1号よりもかなり中央寄りで 南緯2°56′ 西経23°20′ のところである。 3号の降りたところは 直径200m 深さ15mの浅いえくぼ型クレーターの内壁斜面で そのようすは第15図の写真のごとくである。 やはり角れき岩片のちらばっているようすがよくみえる。

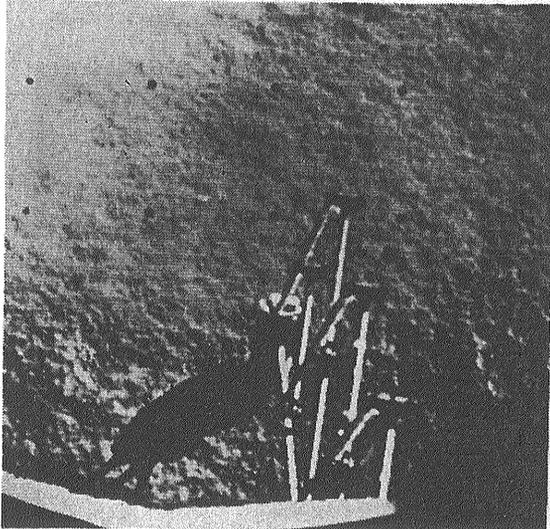
3号の構造は1号とほとんど変わらないが 新しくとり



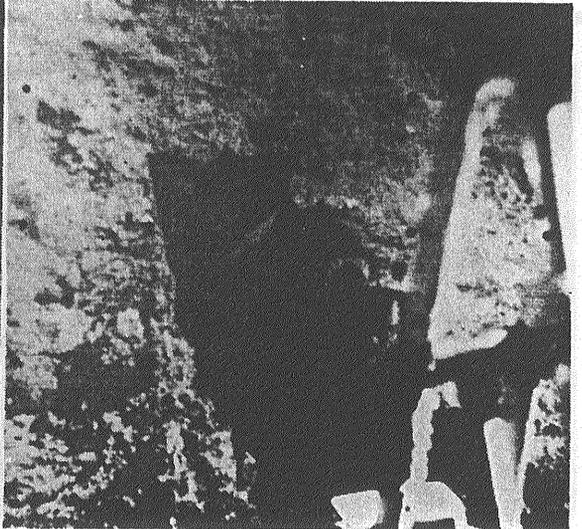
第15図 サーバイヤー3号着陸地点の景観(モザイク写真)



第16図 サーバイヤー3号本体の構造



(a) シャベルをおろしたところ



(b) シャベルを引きよせて掘られた溝

第17図 サーバイヤー3号の自動シャベルによる月面表土の試掘

つけられた装置は 月面の表土を採集する自動シャベルであった(第16図参照)。このシャベルは長さ 12.5cm 幅 5cm のわりあい小さなもので これに 60cm から 1.5m までのびちぢみできる腕がついており その腕は横に 112° 動くことができるようになっていた。3号は月面着陸の2日後に このシャベルで月面表土の試掘作業をはじめた。第17図(a)は 腕の先のシャベルが月の表面にくいこみ 引きよせられて表土をかき集めているところ 第17図(b)はシャベルによって掘られた溝を示している。この試掘の様子をみると 月面には幅 5cm 深さ 15cm の溝が掘られ それはちょうど湿った畑の土にくわを入れたような状態なのである。NASAの人たちは「月面の土は 地球上でいえば 潮が引いたあとの海岸の湿ったあらい砂によく似ている」といっている。このように サラサラとくずれないで溝がよく掘れ 湿った砂のような感じを与えるということは いままでの他の探査体の調査や観測の結果と同じように 粒子どうしがくっついていることを示している。

また 採取した土は 3号の脚のパッドの上にすくい上げられて カラー写真が撮影されたが それをみると 黒灰色の暗い色をしていることもわかった(第18図)。

まとめと問題点

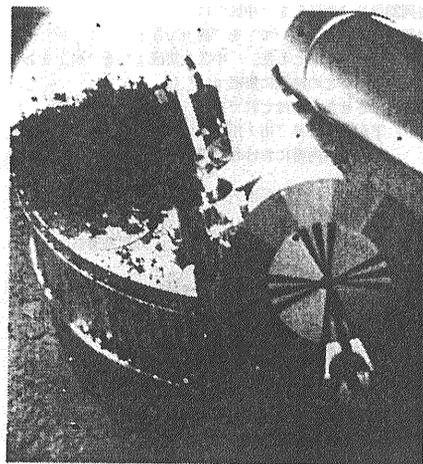
以上のべてきたように 4つの探査体の一連の調査によって 月面の表土の構造や性質がかなり明らかになった。全体にまとめてひと口でいうならば 月の表面は(少なくとも海の地域は)ある厚さをもった細かい粒子の集積した層でおおわれている。その粒子はお互いどうしが弱くむすびついていて多孔質状になっており サラサラくずれぬものではない。さらにこの表層の上には 円い礫(岩塊)や角礫が散在しているが 角れきは表土と混って密集しているところもある というわけで

ある。ところで 問題はこうした礫も含めた表土層が どうしてできたかということである。これについては現在のところ確実なことはまだいえないが いくつかの可能性のある説明はなされている。

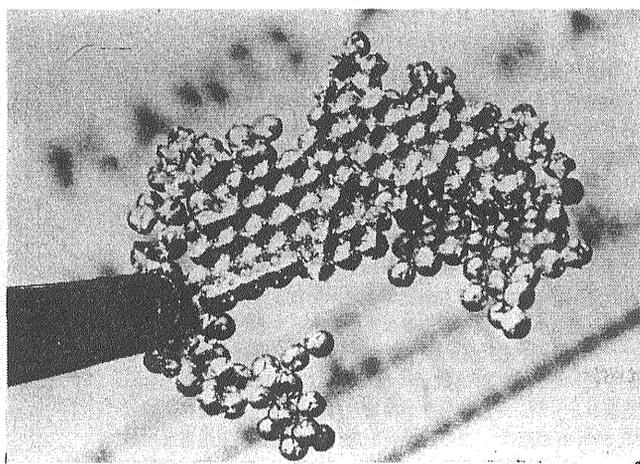
たとえば 隕石の衝突がくり返された結果 月面物質が広はんいにわたって破碎され それらの碎屑物が広く堆積しているという考えがある。これは 陶汰が悪く 角れきの多い表土の地域を説明するには有利である。

しかしいっぽうでは これら表土の層は火山碎屑物からなっているという考えもある。月の海は溶岩流だけではなく 火山碎屑流が広く流れたという説は 以前から一部の地質学者のあいだで熱心となえられているし 溶岩片や火山弾と思われる岩塊が明らかにみられることから想像されうる。また 月の表土がごまかい粒子状になっているのは マグマが真空中でふき出して 急速にガスが発散したために 表層部は溶岩が細粉状になり それがある厚さをもってあらわれているのだという見方もある。これとは反対に もともとは多孔質状の堅い表面だったものが月面のきびしい温度変化などの自然条件のもとで じだいに風化作用がすすみ 細粉状の粒子の層が生れたのだという考え方もある。

このような細かい粒子が 宇宙塵の集積したものであるかどうかは問題の多いところであるが 次回にものべるように 月面物質の化学分析の結果から その可能性はひじょうに少なくなった。さらに 細かい粒子がそれぞれルーズにくっつきあっているのは 真空中で低重力という特殊な条件下での粒子の存在のしかたである(いわゆるおとぎの城構造)ということのほかにも たえずふりそそいでくる各種の放射線によって 粒子どうしが 一種の焼結作用をうけて固められているのだという意見もある。このような作用はすでに実験でもいろいろ



第18図 サーベイヤー 3号の脚のパッドの上にすくいあげられた土



第19図 放射線の照射によって結合した小球(直径 0.75mmの鉄の小球)(G. K. Wehner による)

ると明らかにされている(第19図参照)。こういったいくつかの意見のどれが正しいかは、これからの研究でさらにわかってくるであろう。しかし自然の産物は、いろいろな条件や要因が複雑に重なりあって生れたものが多いから、月面の構造についても、一面的なみかたではなく、多面的な可能性を考えていく必要があるであろう。

次回には主としてサーベイヤー5~7号のおこなった月面物質の化学分析の状況とその結果についてのべることにしたいと思う。(つづく)

(付記) 本稿が掲載されるころには、アメリカの宇宙船アポロ11号の月面着陸が成功して、月面物質の採集が行なわれているかもしれない。月面物質の状態をこの目で

みることのできる日も、もうすぐである。大いに期待したい。

(筆者は東京都立武蔵高校教諭)

(写真提供) NASA USIS APN

参 考 文 献

J. W. Salisbury, P. E. Glaser (1964): The Lunar Surface Layer—Materials and Characteristics, pp. 531, Academic Press.
 Surveyor I—A Preliminary Report, pp. 39, 1966, NASA.
 Surveyor III—A Preliminary Report, pp. 158, 1967, NASA.
 A. R. Hibbs (1967): The Surface of the Moon, Scientific American, 216, 3, 61—74.
 Y. N. Lipsky (1966): What Luna 9 Told us about the Moon, Sky & Telescope, Nov. 1966, 257—260.
 A. Dollfus (1967): Moon and Planets, pp. 325, North-Holland Publ. Co.
 A. Dollfus (1968): Moon and Planets II, pp. 196, North-Holland Publ. Co.

〔追 記〕

河 合 正 虎

日本列島の生い立ちをさぐる ⑥—2 (177号)

B—3 新居浜時階の活動(末尾に追記)

その後永井教授(1958)は、更新世中期頃の変動を新居浜時階とよんだ。そして中央構造線に跨る吉野川橋が30年間に56.3cm短縮し、中央線の北側でこれに接近した川之江市堀越峠のケーブルが切断された事実をのべ、これらによって、完新世(沖積世または現世)における中央構造線の活動を指摘し、これを菖蒲谷時階とみられた。

金子史朗先生(1966)と中央構造線の現世における再動を認め、中央線は右ずれ(right lateral)断層であるとのべている。岡田篤正先生(1968)も阿波池田付近の中央構造線の新期断層運動を論述している。岡田先生は中野先生ら(1964)の低角度断層(衝上)の存在を否定し、中央線は高角度断層とした。中央線の北側地塊が東に向かって動き、右ずれ断層の転位量は池田市街地西端で約3万年の間に水平に200mまたはそれ以上垂直方向に50m、池田の少し東の東州津箸蔵扇状地では1万年未満の間に水平に45m、垂直に5~8m、同じく西谷川では水平に50m、垂直に7~9m、足代付近で水平に70m、垂直に15m動いたと算出されている。

筆者は現地を踏査していないので、右ずれ断層の有無について議論することはできないが、右ずれ断層と断言するには根拠がやや薄弱に思えてならない。たとえば池田西端部の落差が50mもあり、段丘の下底の不整合面の水平な部分から側面に移る位置(不整合面と浸蝕崖とよばれている)が中央線の北側では南側より200m東にずれると計測されている。この浸蝕崖の傾斜すなわちゆるい傾斜の不整合面が水準面となす角度(中央構造線の方向の断面においてみられる見かけの角度)これは浸蝕崖の勾配よりも角度が小さいだろうが、30°ならば地表に見られる不整合の位置は東に向かって86.6m、20°ならば137m、14°であれば200mずれるはずだ。問題は少しちがうかも知れないが、落差50mに対して右ずれが200mもあるといえるかどうか。永井先生が指摘された川口近くの吉野川橋の56.3cmの短縮は、この地域が徳島付近の地盤沈下地帯なので

中央線をはさむ両側地塊からの圧縮(Compression)だけかどうか疑問だが、堀越峠のケーブルが切断されたことは中央線の北側の地塊中には伸張力(tension)が働いた可能性を意味するとも思われる。岡田先生の示された現世の逆断層が存在することを考えると、傾家帯または和泉層群が三波川帯に向かってつき上げる運動をした可能性が考えられる。仮に3万年について落差が50mとすれば、平均して30年間に5cmの落差に当る。また橋が30年間で衝上によって56.3cm短縮したとすれば、断層の傾斜は5°以下の低角ということになる。平均値をそのまま現在の動きとしてみることは正しくないが、仮に5cmの落差と共に右ずれが200cmあれば、田畑の境界など地籍にかなりの変化があって、より明瞭な痕跡を止めていなければならない。

吉野川橋以外では変化に気付かれていないことは近年の運動は中絶しているか、または右ずれ断層が著しくないかのいずれかだろう。しかし、単に年間2mm以下の衝上による変位ならば気付かれがたいに違いない。中央構造線は現在も再動している活断層であるが、右ずれ断層であるか、そうでないかについては、一層深く吟味されることをのぞむ。

〔訂 正〕

- 176号 5頁左列8行目 “のべよう”を“検討しよう”に
 右列23行目 “西区”を“中区”に
 24行目 “衝上で ついで”を“衝上である。 ついで”に
 25行目 “衝上をおこした。 中区や東区で”を“衝上をおこし この時期に東区では”に
 26行目 “させたものはこれであり”を“させた。”に
 下から1行目 “市ノ川時階に当てよう。”を“市ノ川時階の内帯における表現とみよう。”に直す
- 6頁左列13~15行目 “これが市ノ川…(中略)…知れない”を削除
 23行目 “ギリアーク(外和泉層群)”を“外和泉層群”に
 下から12行目 “西区”を“中区”に
 下から2行目 “市ノ川時階”を“鹿塩時階”に
 同右列7行目 “中区と”を“第1期”に修正
- 9頁第190図(湊正雄ら 1965)が脱落
- 177号 6頁右列18~19行目 “筆者は…(中略)…更新世後期頃”を
 “筆者はこれらの断層にはさらに新しいものもあって、古い方が更新世初~中期頃”に訂正