

月面の測地学

関口直甫*

はしがき

1960年の4月19日から23日にかけて、フランスのピク・ド・ミディ天文台の本部がおかれているバグネール・ド・ピゴールにおいて、月面の精密な地図を作製するための会議が行なわれた。月面に宇宙飛行士を送るといふ問題が現実になった今日では、これまでに作製されたもっとも精密な月面図でさえも不十分なものとなってしまったにもかかわらず、さらに進歩した月面図を作製するための努力は、長いことなおざりにされていた。この会議は、一方では今までに蓄積された月面観測の資料や技術をどのように利用し、受づくかという問題と、これからどのようにして精密月面地図を作製するかの具体的方策を協議し、現在ある問題点をあきらかにすることを目的としていた。会議の費用は米空軍がスポンサーとなり、ピク・ド・ミディ天文台が会議を招集し、会議の速記録の印刷出版は、マンチェスター大学の Z. Kopal が当った。会議の座長は、ピク・ド・ミディ天文台の J. Rösch が当り、出席者は、Rösch, Kopal の他に、ムードン天文台の A. Dollfus、ポーランドのクラカウ天文台の K. Koziel、オーストリアのウィーン大学天文台の G. Schrutka-Rechtenstmm、バリー天文台の T. Weimer、その他米軍の地図作製関係者、マンチェスター大学関係者など、13名であった。

この会議の速記録がマンチェスター大学の Kopal と E.B. Finlay によって編集され、最近私は見る機会を得た。会議は4日間に7つの Session が行なわれ、大体の模様は出席者の自由討論で、話題もつねにあちこちに飛んでいるが、最後に座長の Rösch がまとめを行なっている。しかし以下において、私なりに解説や感想をまじえながら、会議の結論を総括してみることにする。

なお、この速記録は Problems of Lunar Topography という題がつけられ、本稿の題もそれを訳したものにしたかったが、対応するうまい訳がみつからなかったので、一応“月面の測地学”としてみた。内容は“精密月面地図作製に関する問題”ということである。

月の秤動

月の秤動の問題については、筆者は以前に天文月報の第43巻第8号に解説をしておいたが、ここに簡単に要点を再録してみよう。

月の自転運動については、Cassini の法則というのが

成立する。その第一法則は月の自転周期と公転周期は一致するという内容で、第二法則は、月の赤道面、公転面、地球の黄道面は同一直線で交わるということである、黄道面は赤道面と公転面の間にはさまれた位置で、赤道面と黄道面との角 I は、古くから測定があり、この会議では

$$I = 1^{\circ}32' \pm 1'$$

という値が今までのすべての観測とコンシステントであるとされた。この会議では Kopal が、今までに測定された I の値には、人によって系統的な差があるので、人によって月の赤道の定義がちがうのではないかという発言があった。この誤差範囲が $1'$ ということは、天文観測としてはずいぶん大きな誤差のようであるが、月の $1'$ の回転角は地球から見てわずか 0.73 にしかならぬのであるから、秤動観測の困難さがうかがわれよう。

月の秤動については、光学的秤動と物理的秤動とがある。光学的秤動は観測者が、地球の自転によって位置をかえるための日周秤動（振幅 1° くらい）、月の公転運動の地心黄経増加の非一様性からくる経度秤動（振幅 6° くらい）、月の赤道傾斜からくる緯度秤動（振幅 7° くらい）がある。物理的秤動は地球と太陽との引力による強制振動であって、高々 $5'$ の程度のものである。光学的秤動は大きい、それは主に月の公転運動に関係したものであり、物理的秤動は月の力学的偏率に関係し、小さいが重要なものである。

このほか、理論的には月の自由振動の秤動が存在してもよいわけであるが、現在まで観測はなされていない。Koziel はこの会議で、月の自由振動が測定されていないことは大きな問題だ、と述べている。

基準点の設定

さて、会議の内容の説明にうつろう。この会議では今後の作業計画として、次のような大すじがきまったようである。地球上の地図を作製する時も、一等三角点から順にこまかい三角点の網で地上をおおって行くのと同様に、月面にも第1次点から第4次点まで設定し、順にその位置を決定して行くという方法をとるのである。

第1次というのは、月面の中央近くにある Mösting A という小火口と、縁辺近くにある、およそ1ダース程度の点をえらぶ。Mösting A というのは、古くからもっともよく月の秤動観測に用いられた火口である。第1次点の観測の目的は、月の物理秤動の常数と、Mösting A の β, λ とを決定することである。これが決定すれば Mösting

* 東京天文台
N. Sekiguti; Lunar Topography

ting A がそれからの基準点として使用される。

月面の基準点としては、小火口を用いるということは出席者全員が一致した。月面にはマッターホンのようなとんがった地形はきわめて少いので、突起している地物の頂上を基準点にとることはできない。これに比べ、小火口は月面上いたる所にあるし、その見える位置は太陽高度には影響が少く、外形も丸い規則正しいものが多いのである。しかしあまり直径の小さい火口は、月面の明暗界線から遠くなると見えなくなり、また月の南半球に少し点が少くて十分な数がえられないという欠点があるので、直径がどのくらいのものをえらんだらよいかの問題となる。この点はまた後でのべよう。

特に古くから観測がされている Mösting A は、幸いにもきわめて理想的な火口であった。それは太陽高度がいくら高くなっても地球上からみとめることが出来るからであり、月面の中央にきわめて近く、形もきれいな円形となしているからである。

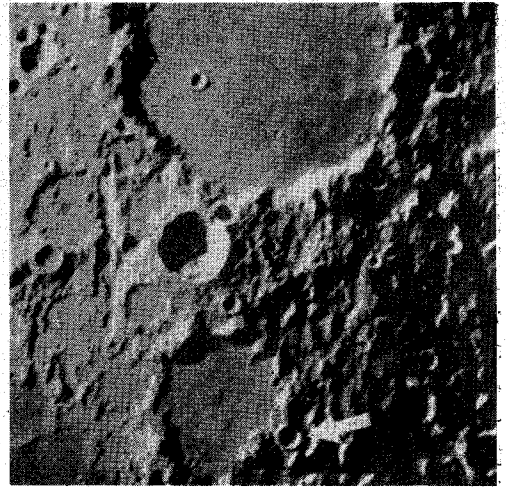
この Mösting A をふくむ第1次点の観測については、Koziel はきっぱりと、過去のヘリオメーター観測を使用すべきであることを主張した。その理由は、過去において月の秤動の観測法として、これより精度の高いものはなかったし、それに月の物理秤動の周期には commensurable なものが多く、少くとも 50 年以上継続した観測でないと、各項を分離できないというのである。ヘリオメーター観測のほかには、長期にわたって継続した秤動観測はないのである。

Koziel はこのヘリオメーター観測の数は 10000 個ほどあり、その整約はクラカウ天文台で進行中であり、あと 2 年くらいで完成すると述べた。彼はきわめて自信ありげに、この観測だけで月の物理秤動の常数を決定するのに充分であり、他のいかなる観測も附加する必要がないこと、現在ある問題は計算の問題のみだとい切った。そこでこの会議では、この問題の解決はすべて Koziel にまかせてしまって、単に計算機の問題で彼に援助をあたこようということだけでけりがついたようである。

2 次点の観測

次に 2 次点の観測であるが、これは全部で 100 個の程度えらぶ。これは月の全体の三次元的な形状を決定するのに使用するわけである。月の平均半径を Mösting A の秤動の観測だけから出せるかという問題については、マンチェスターの Ring は否定的な見解だったのに、Koziel ははっきりと、それは可能だとい切っていた。

この 2 次点の観測は現在までに行なわれていないが、IGY 期間中に得られたぼう大なマルコピッチ・カメラの月の写真が、この目的に使用できるのではないかという意見がこの会議では有力であった。マルコピッチカメラによる月写真は、数が多いし、またまわりの星がうつ



第1図 Mösting A (矢印), 上の大きいクレーターはトレミー山

っているので、方向や尺度がはっきりきめられる。しかし秤動観測に有効か、またその測定も、マルコピッチ乾板測定用のマン測定機が適当かどうかは、ケンブリッジ米空軍研究センターの M. Hunt が調査をして報告することになった。Hunt の報告はこの速記録の巻末に出ているが、それによると、マルコピッチ乾板による影像では直径 10 km くらい的小火口まで同定が可能であり、またマン測定機も使用できることがわかった。特にワシントンの海軍天文台の乾板はもっとも良質で、またその測定のための便宜もあたえてもらえることもわかった。

2 次点をえらぶことは Weimer が引受け、その結果も巻末に出ている。彼は直径が 10 km の程度的小火口を、補足的なものまでふくめて 136 個えらび、その表を作っている。

観測法については、Kopal は月の秤動観測に電波が使えないかという発言をしたが、これはほとんど問題にならなかった。それから stereoscopic method による測定は、米空軍関係者がしきりと推奨していたが、天文学者の側から、月の高度測定の見誤差が $\pm 3 \sim 4$ km になるから問題にならないとして、しりぞけられた。stereoscopic method は、ことなつた場所・時間・機械で撮つた月の写真の相互を比較することがむずかしいこと、特に微分気差のゆがみを正すことがむずかしいことが不正確になる原因とされていた。

この議論の中で、Kopal は乾板上で 0.1 まで測定したとしたら、Mösting A の月心からの高さを誤差 ± 100 m 以内できめることができるか? ということを質問したのに対し、Koziel はきっぱりとできると答えていた。

現在利用できる乾板としてはマルコピッチ乾板しかないが、将来の観測としてどのような観測を行なうかについては、次のような議論がなされた。月の 2 次点の測定

には、反射鏡よりも長焦点の屈折鏡が適当であることがマンチェスターの Ring によって指摘された。これは乾板の諸常数がよく決定できることが主要な問題である。Kopal はパロマーのシュミットも映像の質がよく、満月の近くでは観測プログラムもこんでいないので、適当だと述べ、これらの可能性は後で検討されることになった。200 インチ鏡は月の撮影のためには特に良くないことは出席者が全員みとめた。またこの観測において最大の問題はシャッターの問題で、大屈折鏡のプレートで 0.2 秒より速いシャッターを取りつけることの困難はみなみとめるところだった。それから Ring はマルコピッチ・カメラのような 2 重レートのカメラは必要ないと発言し、将来行なう観測では、セントラル・シャッターを設けて月の像だけ露出をみじかくする方式がのぞましいことになった。

それから、精度のよいヘリオメーター観測を復活すべきではないかということも Kopal はしきりにすすめたのに対し、過去の観測を利用するという点ではヘリオメーター観測を推奨していた Koziel がこれに強い反対を示していたのは注目された。Koziel によれば、一点の観測に 15 分もかかり、能率が悪いというのである。現在世界には使用できる状態におかれているヘリオメーターは一つもない。私が前に天文月報に書いた時には、カザン天文台でヘリオメーター観測が継続しているとのべたが、Koziel によると、この観測は今では中止され、機械は使用不能の状態になっているということである。Koziel によればライブチヒの Neuman という人がヘリオメーターを使用した最後の人で、この人の死後はこの機械を使用する技術は絶えてしまったということである。Kopal は非常に精度の良いものだから、これから出発点に戻って開発を進めてはどうか、たとえばダンジョン・アストロラーベに使用されたような複屈折プリズムを使用して、セレンメーターとでも名付ける機械を作ってみてはどうかなどと持ちかけたが、Koziel は強くこれに反対していた。

細部地形の問題

3 次点は直径 1.5~2 km くらいのごく小さい火口で、その内部の深さは浅く、形が丸いものをえらぶのである。また明暗界線から 5~6° くらいまでは見えることも必要で、密度は一辺が 200~300 マイルの正方形の中に 10~15 個でいど入るくらいにえらぶ。これは高度の測定はせず、位置のみをきめるので、Kopal はできるだけ高度のひとしい点をえらぶようにするといっていた。高度は後にのべる陰影法というのできめることができると Kopal はこたえていた。

なお、この 2 次点から 3 次点へうつる時に多少無理があるので、2.5 次点なるものを補助に使用しようという

案も出た。

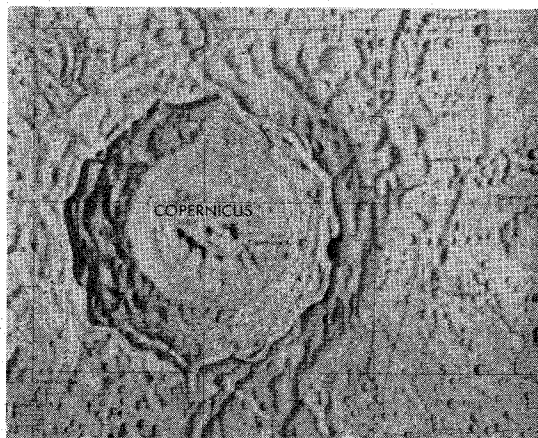
Kopal の陰影法というのは、ある先のとがった地形の影を、適当な時間間隔で何枚も撮影し、その影の長さを乾板上でマイクロデシメートルにかけて測定する。月面上の影は、太陽が点でないために半影の部分もっているが、その半影の光度変化は理論的に計算して、太陽中心と目標点とをむすぶ線の生ずる影の位置を決定するのである。これによると、その地物の周囲の地形や、その地物の周辺からの高度が ±10m くらいの精度でできるのである。この方法では、周囲の地域のこまかいアルベードのふらつき、また目標とする地物の先端が充分とんがっていないことなどの影響が議論されたが、四次点を全部つなぎ合わせて、月面の完全な地形図ができるかどうか疑問のようであった。

月の明暗界線あたりを測光することによって、月面のなめらかな部分の大局的な形を求めようという試みがある。ユトレヒトの Minnaert の弟子の van Diggelen という人は、月の明暗界線の近くの一つの点の時間的な光度変化を調べることによって、この所の形状を求める研究をやっているが、困難な問題であるようである。

この会議では米空軍の航空図情報センター (ACIC) で用いられている月球儀作製のいろいろな方法が紹介された。プラスチックの半球に平行光線の月面写真を投影する法とか、感光すると固化する乳剤を使用して化学的に地形のレリーフを作る方法とかが何種か紹介された。

月面地図

以上がバグネール会議の要約であるが、この会議で明らかにされた方法で、月面図作製の方法は進められているようである。最近来訪した Kopal の旅行目的も、主にここにあったようである。この時彼は最近米空軍で作製された 100 万分の 1 及び 200 万分の 1 の月面地図を持って来た。これはまだ月面全体としては完成していな



第 2 図 米空軍で作成した月面図

