

接 触 時 刻 の 観 測

森

巧*

1. 序

月の位置はきままっているものとする、または、きめうるものとする。そうすれば、日食時に月と太陽の相対位置を直接比較することによって、太陽の位置をきめることができる。水路部は戦後においても、1948年(北海道)以来、1955年(ヴェトナム)、1958年(伊豆諸島; 南太平洋)、1962年(ニューギニア)、1963年(北海道)、1965年(南太平洋)の各日食に、コロナの写真観測等も併わせて、月と太陽の相対位置の観測を実施継続してきた。今回、1970年3月7日のメキシコ日食では、相対位置の観測に限り、次のように計画を立てた。

月と太陽の見掛けの相対位置は、現時最も優れた方法であると思われる分光測光法によって決定する。月の位置は、星食の光電観測結果の解析から推算する。(この光電星食観測を主として実施している日本の観測所と、日食観測を行なう北アメリカ大陸での観測地点との測地的結合は、スミソニアン天文台が衛星測地学の最新の成果として発表している「標準地球」に準拠する。)ただし北アメリカ大陸内での位置ぎめは、スミソニアン天文台等の協力を得て測地衛星パジャオスの同時観測によって行なう。

2月3日東京を出発した日本の三機関より成る日食観測団が、メキシコ南部太平洋岸の僻村、プエルト・エスコンドィードに到着したのは2月7日の夕刻である。キャンプ地は、南に大きな口を開いた同名の小湾の奥、1km、南・西に太平洋を見下ろす標高100mの赤茶けた台地上にある国立ディーゼル発電所構内である。水路部は主として天文観測値の大気差の補正を目的として、現地滞在期間を通じ、気象観測を実施した。資料は未整理であるが、ここでは単に、3月3日から日食当日までの5日間の平均値を記して、現地の気象をきわめて概念的に示そうと思う。午前9時の観測値は次の通りである：雲量2.6、気圧1008mb、気温28.4C、湿度53%、風力1；また、最高気温は33.6C、最低気温は22.1Cであった。

観測準備は順調であった。熱帯の高温下にあるにもかかわらず、低湿と、日中常に紺碧の大洋から吹き上げる快き微風の中での労働に苦痛はなかった。特に、発電所構内にあって四六時中、電力の供給を得たこと、干期が雨の防備を、発電所を護る兵士達が盗難の心配を、それぞ

れ無用としてくれたことは、設営を予定以上にはかどらせた最大の因であった。

さて、3月7日は、潮焼の肌には爽快な夜明けから、観測完了を東京宛に打電する頃まで、一点の雲も浮ばず、大気の透明度についても、現地到着以来の最良の日であった。日食の観測は故障なく、すべて予定通りに実施できた。ただ今回の遠征観測のもう一つの柱である衛星の同時観測の計画は、その後困難に直面し、実施の直前に中止の決定を余儀なくされた。しかしながら、先に計画した測地的結合は、現地で行った天文経緯度観測・潮高観測によって、なお必要な精度で確保できるはずである。

本稿では分光測光法による接触時刻の観測を中心に、水路部の実施した観測の概要を報告する。

2. 日食における月と太陽の相対位置の観測の方法

月と太陽の相対位置を求めようとするとき、日食時における食の移推を観察するのは最も直接的な方法である。この際、太陽の中心・月の中心は、それぞれの天体の縁を基準に推定することになる。特に近代の日食観測法では内接時の縁において観測される急激な変動に注目するのが常である。さて、太陽の光球はその辺縁に不連続な境界をもつのではなく、漸次明るさを減じつつ、その外層に移行する。しかし、ある領域においては、その減光はきわめて急峻であって、半径1秒の間に100倍の変化がある。一般に太陽の縁としているのはこの近辺であろう。もちろん、太陽の縁の定義が、このようにごく微小の範囲で不明確であるとしても、その層が安定であれば、太陽の中心をきめるに何等の不都合もない。

古来、長焦点望遠鏡で部分食の写真を撮り、その写真像の座標を精密に測定して、月・太陽の相対位置を幾何学的に決定しようとする際に、克服し難い障害となっていたのは、大気の擾乱による写真像の乱れと、月縁の未知の不整であった。したがって1927年の皆既日食で、バナシェヴィッツが映画法を導入し接触の瞬時における高速の現象を記録したということは、相対位置をきめる観測量が、それまで、部分食像の幾何学的形状の座標測定値であったものを、内接時に、きわめて急速に変動し、したがって結果的には大気擾乱の影響を受け難い光の量に置き代えたということで画期的な出来事であったといえる。バナシェヴィッツの映画は、焦点距離120cmの屈折鏡による直接撮影であったが、コルディレウスキー

* 海上保安庁水路部

T. Mori: Determination of Contact Times

は単にこれを視察し、ハインの月縁図を参照して両天体の赤径の差を 0%04 の確率誤差で決定している。

一方、月縁の不整についても近時、いよいよ信頼のできる月縁図が公開され、現に子午環観測、星食観測の整約に使用されている。一般に月縁の光学観測によって月の位置を決定する場合、月の中心の位置は月縁図と独立には推定し得ない。すなわち、月の位置は月縁図に当然依存すべきであって、月縁図の中心と月の重心の関係は別の場で論ずればよい。したがって日食観測の整約にも同一の月縁図を使用すれば、これら三観測の結果を共通の基盤で論ずることも可能となる。

さて、分光測光法は、皆既の直前・直後の太陽のきわめて細い弧を、その弧に直角方向に分光・映画撮影して、ある波長域の連続光の強度変化を追跡し、接触の時刻を決定しようとするものである。これは 1927 年の皆既日食でリンドブラッドが彩層の分光映画観測をしたのが起りで、その後、彼は光球縁においてきわめて急激に減少する連続スペクトルの強度は接触をきめる有効な変数になるとして、1945 年、1954 年の北欧における両皆既日食では、測地を目的とした接触時刻の決定を試みている。分光測光法はその後、水路部が 1963 年の北海道、

1965 年の南太平洋の各日食に企てたが、いずれも悪天候のために失敗した。

これと原理を同じくする観測法に、同じく 1954 年(北欧)にトロヤが、1963 年(北海道)に古川が行なったものがある。望遠鏡の焦点面上、内接時の太陽の弧に直角方向にフィルムを流し、それを連続撮影するもので装置はより簡単になる。もしこの光学系に適当な単色フィルターを挿入して、太陽光球からの連続光のみを記録すれば、分光測光法と同じ結果が得られことになる。

トロヤの方法に類似した方法で、1958 年の伊豆青ヶ島の金環食の観測のため水路部の鈴木が製作し、1958 年(スワロフ)、1962 年(ラエ)の両皆既日食にも使用した装置を紹介しておく。光学系は、すべて反射鏡を使用し、長焦点で直径 10 cm の太陽像をつくる。これを焦点の直前で、二つの小口径スリットを 180° の位相差をもって配備した円板回転シャッターによって、毎秒 10 回転で掃引する。この際 19 cm 幅の航空写真フィルムは不断に流されるので、写真像も少し流れ、直接映画像の測定においては困難な面測光が可能となる。長焦点でベイリーの珠子を最大限に分解し、また二つのスリットに異なった幅を与え、あるいは異なったフィルターを装着

天文ガイド別冊 発売中

AAVSO 変光星図

American Association of Variable Star Observers

—変光星観測ガイドつき—

《おもな内容》変光星とは／変光星図（60枚収録）

アメリカの変光星観測者会から許可をもらった星図を紹介

変光星の観測／変光星の写真撮影／星図について

初めて変光星を観測する人のために星図をつけて観測法を解説

★B5変型判・106ページ 定価 450円

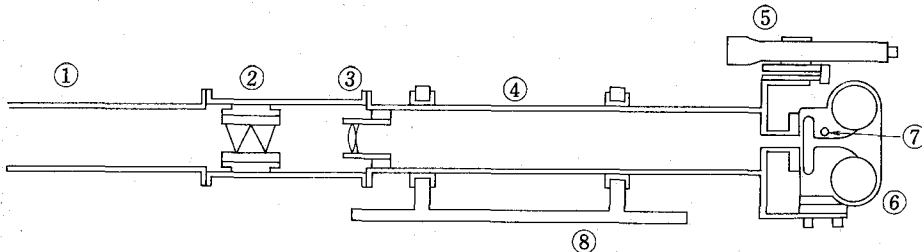
既刊書・発売中

最新版全天恒星図 広瀬秀雄・中野繁著 1,000円

初心者のための天体望遠鏡の作り方〈屈折編〉原田光治郎ほか著 350円

好評重版 70年版天文年鑑 250円

誠文堂新光社 東京・神田錦町1の5
振替東京6294 ㊞101



第1図 分光望遠鏡 ① フード ② 分光器 ③ カメラレンズ ④ 鏡筒 ⑤ 案内鏡
⑥ 撮影機 ⑦ ネオンランプ ⑧ マウンティング

することによって、二種の露光ができるのも特徴である。

すでに述べたように、月縁と太陽の縁の接触は本質的には測光的であるけれども、測光を二義的に考へるほど速やかで、明瞭な接触の証拠が記録できれば、それでももちろんよいわけである。次に記す映画法はエイトキンソンが提案したもので、皆既食帯の直外域から食の進行を観察すれば、食の最大時において、太陽の細い部分食の弧は、月の中心のまわりにきわめて急速に回転するはずである。彼は1948年の皆既日食でモンバサに遠征し、その海岸端に焦点距離約1mの屈折鏡を据え付け、食甚を中心に、172秒間3,000駒の部分食像を35mm映画撮影機に納めた。帰国後ワッツの月縁図のもの資料を用いて月縁の凹凸による部分食像の位置角回転の見掛けの不整を修正し、月・太陽の見掛けの相対位置を決定して、これに恐らく史上最小の観測誤差を与えている。もし皆既食帯のもう一方の縁でも同一の観測を行なっておれば説得力は倍加したであろう。

以上の映画法他に、全光の光電測光法も近代に行なわれる方法である。これは太陽を含む空の全光を適当なフィルターを通して光電測光し、その光量変化の解析から中心食の時刻を求めようとするものである。映画法が本来の描画性によって、とにかくも二次元観測であるのに対してこれは一次元観測である。

ここに記した接触時刻の観測法は、すべて、月に蔽されていない太陽の辺縁弧からくる光を記録し、月縁図と比較するものであるから、月縁図の位置角の信頼度、あるいは、月縁に接する方向の位置ぎめの困難さを考慮するとき、その観測にかかる弧が長くて円いほど相対位置の二次元的決定の精度は増大することになる。日食時の太陽外層の物理観測では、皆既時間の長い食に、より多くの観測の機会が与えられるのは当然であるが、位置観測の場合は、皆既時間の短いものの方が望ましいともいえる。

3. 分光測光法

「分光測光法による皆既日食の接触時刻の決定」と題するクリステンソンの論文を天文月報第44巻11号(1951年)に広瀬先生が詳しく紹介されているので、ここでは簡単に記す。

「接触」は、恒常の太陽面を表わす周縁の安定した層の光の量の、食の進行による時間的变化によってきめるべきことはすでに述べたが、その変化が不連続では

ないにしても、急激であれば、それだけ厳密に定義できるわけである。この層のあり場所は、純観測的には、リンドブラードをしてこの方法を提案推奨せしめた最初の観測と、それに続く数回の試みにおける結果的に最適な露光がこれを指示していると言える。もちろん観測されるのは積分光度であって、その外層の光がこの層の測光に影響するのは好ましくない。例えば、層が厚く、比較的不安定とも言える彩層からの光は有害でありとり除かねばならない。

分光測光法は、正にこの点において有為なのである。すなわち測光の際に適当な波長域を選ぶことによって輝線スペクトルの間に光球からの光を見出すことができる。

さて、映画は、内接時の細い弧の、これに直角方向に分散させた、スペクトルを撮影することになるが、この映画には一駒毎にその撮影時刻を記録しておく。太陽のある半径の積分光度に注目すれば、食の進行につれてこれが変化する。あらかじめこの光度の一定値で「接触」を定義しておけば、フィルムの駒を辿ることによって、この半径が月縁に接触した時刻がきまる。観測された太陽の弧のすべての半径について、その時刻をきめれば、月の運動は計算できるから、任意時刻における太陽中心に対する月縁の相対位置が決定できる。

先に、部分食像の写真測定による幾何学的方法を困難にするものは、大気の擾乱による写真像の乱れであるとし、また月の中心は月縁図が定義するとも述べた。この映画法でも月縁図が座標の基準となり、最も強い光はその最も深い谷間から漏れ出てくるものであり、最も弱い光は最も高い山の頂を通過したものであるとする。ここでは、シンティレーションによる光量の乱れは、イメージーションによる像の乱れほど有為ではない。もちろん、月縁図は真の月縁の見え方を表わしてはいない。したがって、大気擾乱の影響は確率的であるとし、自動測光機の記録する座標値を二義的の標尺として、月縁図は最終的に修正されることになるが、修正された月縁図が最小自乗のはに原初の月縁図と一致すべきことは当然である。

4. 観測装置

観測装置は現象を正確・詳細に記録できるものほど、

好ましいことは言うまでもないが、理想と現実の幾度かの妥協の末、図のように設計製作した。

カメラレンズは有効径 56 mm 色消二枚玉で焦点距離は 930 mm である。もしイメージモーショーンが望遠鏡の直上にある大気の細かな擾乱に起因するものとすれば、対物鏡の口径が小さいほど、焦点像は鋭くなるのでこれと回折による分解能との調和点をとるのが理想である。この際必要な露光量を得るための露光時間と、その時間内におけるイメージモーショーンの大きさを考慮すべきである。焦点距離の決定は使用する写真乳剤の分解能に依存し、この際、写真像の精度が月縁図のくわしさを大幅に上回る必要はない。対物プリズムは装置を小型にするため、SF2, 60° プリズムを、二枚の BK7 約 38° の不等辺プリズムで挟んで 4860 Å で直視となるようにした。この波長域におけるこの光学系での分散は 100 Å/mm である。

映画撮影機はボレックス H-16。時刻の記録は、水晶時計の 50, 1, 0.1, 1/60 Hz の各信号を混合・微分増幅し、0.3 m^s 幅のパルスとして、撮影機内に固定した円筒状カプセルの中にあるネオンランプを発光させ、カプセルの針穴を通してフィルムの側線に焼付ける。

さて、第二・第三接触時には、分光の方向をそれぞれの内接点の位置角に一致させたいが、このためには、直視分光器のみを回転させればよい。しかし、16 mm フィルムの狭い画角を有効に利用するためには、撮影機も回転させたほうがよい。この分光望遠鏡は一体としてその光軸の回りに回転できるようにした。赤道儀架台は、水路部で星食観測・衛星観測に使用しているものと同じで、日周運動機構は直流電源・音叉発振器で制御している。

5. 日食観測

3月7日の天候がいかにも優れていたかはすでに述べた。第1接触の30分後、午前10時40分の気象は次のとおりである。快晴、雲量 0、気圧 1007 mb、気温 31.3°C、湿度 53%、西の風、風力 3; 自記計による気温は同10時27分極大値 31.8°C に達したあと直線的に下降し、第三接触に遅れること10分、11時42分に極小値 27.5°C を記録、その後、復円に連れて急速に回復している。この間、湿度計は 75% の極大値を示した。

右の図は当日撮影したフィルムの拡大写真である。月の直径の実寸は約 9 mm、画面中央の強い輝線は H_β で、下端にマグネシウムの三本線が写っている。輝線の強さがほとんど変化しないのに比べて、連続スペクトルが急速に消えて行く様子に注目してほしい。フィルム枠外の点列は時刻信号で、1個所抜けているのは秒の位置を示す。映画撮影は第2接触の25秒前、第三接触の20秒前よりそれぞれ45秒間ずつ行った。撮影速度は毎秒16駒、露光時間は各駒0.022秒である。

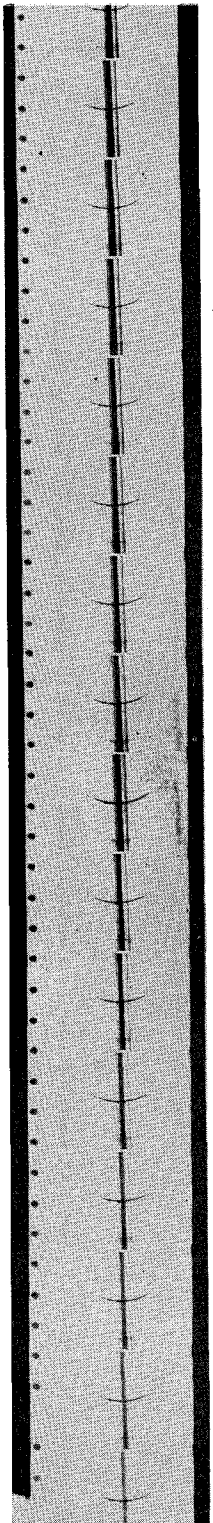
強度比較スペクトルの焼付けは完全復円後、スリットに光学楔を密着したコリメーターを直接太陽に向け、同条件で撮影した。また側線の時刻点列と画面列との対応は、撮影機内のネオンランプと、これに直列に繋いだもう一つのネオンランプを撮影機の対物レンズ側に挿入し、撮影機を駆動しながら二灯の頻繁な同時点滅を行ない、開口の中央時に点または、減した記録を拾い出す方法をとった。

使用したフィルムは、コダック: 16 mm シネ用ネガ・プラス X (ASA 80)、現像は帰国後、株式会社 PCL に依頼した。PQ 現像液、(pH 8.80)、現像時間 5 分、現像温度 20°C である。なお、時刻の焼付けに使用した水晶時計は皆既食の前後に WWV の 15 MHz を受信し、デュアルビームシンクロスコープ上で写真撮影により比較した。

6. 観測地点の測地経緯度

日・月の暦は、暦表時を引数として地球の重心を基準に計算されているので、観測と暦の比較を試みる観測者は、むづかしいいえば暦表時計を携帯し、地心視差を補正するために、自己の暦表経度・地心緯度および地心距離を知らねばならない。さて、日食を観測し、月の位置を仲介として太陽の位置をきめようとする場合、その月の位置は、星食の光電観測によって監視されているものが、その観測手続の類似性から推してより好ましいように思われる。

光電星食観測は開始以来すでに十数年、日本には一千個の観測が蓄積され地球自転速度の反映の他、幾多の情報を提供するはずである。それはさておき、先に記した暦表時はここでは、月の



第2図
分光望遠鏡でとった接触時のスペクトル

星食観測からきめられるものであり、したがってその経度は星食観測を行なってその暦表時を決定した観測所と結合されるべきものである。もちろん、地心緯度・地心距離も一地点のみでの独立な観測によって決定できるものではない。この観測点の位置ぎめは、観測点を既成の地域測地網に繋ぐこと、その地域測地網を汎世界的な衛星測地網に組み入れることの二段階の操作によってできる。

現在、世界を繋ぐ衛星測地網は出来上っている。スミソニアン天文台の標準地球がそれで、地球の赤道半径を6378.142 km、偏平率を298.255分の1として、日本の測地原点には(-11°85', +9°63', +31m)、北アメリカ測地原点には(-0°23', +1°61', -28 m)のそれぞれ経度方向、緯度、およびジオイド高の修正を、を与えるものである。

メキシコにおける日食観測点と北アメリカ測地原点の結合に、現地の測地三角点を利用することは、その分布のきわめて疎なる故に当初から考慮の外におき、スミソニアン天文台等に協力を依頼し測地衛星バジオスの同時観測法によるべくその計画を推進した。すでに述べように、この計画は実施の段階において挫折したが、この位置ぎめは30mの精度があればよいので、この欠測によって接触時刻観測の精度がわるくなることはない。

すなわち、これに代わる方法として、天文経緯度および標高を観測した。北アメリカ原点を基準として天文測

地的にきめられたジオイドの高さの分布図から、その地の鉛直線偏差およびジオイドの高さを求めて、この観測値を補正し、地心位置を求める予定である。天文経緯度は3夜、100星の定高度観測によって決めた。平均海面は波の静かな一日、高潮および低潮を測量し、潮汐表の内挿によって決定した。観測点の標高は、これを基準として間接水準測量によって求めた。

7. 終章

日食観測の資料の整約はまだ手を染めた許りで、本稿では何ら議論をせぬまま観測法にいたずらな紙数を費した。星食観測を仲介として、太陽と星表の比較をしようとする試みにおいて、星食観測で、月の位置がいかによく決められるかという説明を故意に避けたためでもある。表題に接触時刻なる古典語を用いたが、本当は「太陽の位置の観測」としたかった。今や、「接触」は非常によく決まる。日食時の月と太陽の相対位置の決定に大きな障害はない。

星食観測による月の位置の決め難さにこそ、不可解が潜んでいるのである。その因は多様であろう。しかしいづれは解決するであろう。その時にこそ議論をしようと思う。

位置天文学は観測の数で稼ぐものである。「接触」の観測に不利な皆既日食はない。この観測により多くの機会が与えられるべきであると考え。

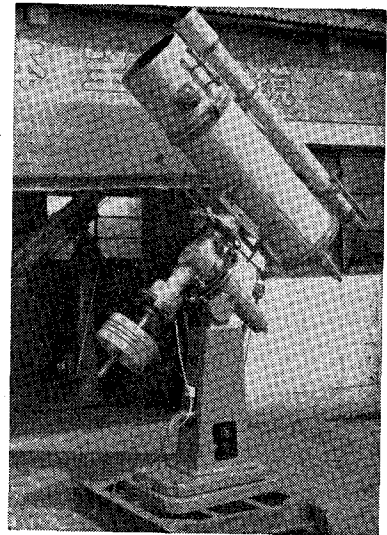
西村製の反射望遠鏡

- | | |
|----------|------------------------------------|
| 30cm “A” | カセグレン・ニュートン兼用
10cm 屈折望遠鏡 (f/15) |
| “B” | カセグレン焦点
15cm 屈折望遠鏡 (f/12) |
| 40cm “A” | カセグレン・ニュートン兼用
15cm 屈折望遠鏡 (f/15) |
| “B” | カセグレン焦点
20cm 屈折望遠鏡 (f/12) |

株式会社 西村製作所

京都市左京区吉田二本松町27
電話 (771) 1570, (691) 9589

カタログ実費90円郵券同封



30 cm 反射望遠鏡

ニュートン・カセグレン兼用