

## 対 日 照

田 鍋 浩 義\*

1. 対日照は、天球上で太陽のちょうど反対方向、すなわち対日点付近の空が、直径約  $10^{\circ} \sim 20^{\circ}$  にわたってぼんやりと明るく光っている現象である。この名前は、多くの方が御存知と思うが、実際に見たことのある人は、案外少ないのではなからうか、というのは、対日照は非常に光が淡いために、よほど空の良い所で、しかもよほどよく注意しなければ見えないからである。筆者なども、対日照の問題をあれこれとつづいていながら、しばらくの間は実物を見たことはなかった。光電観測をすれば、たしかにその辺りが明るくなっていることがわかるのであるが、肉眼で見ると、ほんとうに明るいのかどうかよくわからない。明るくなっていると思えば、何だか少し明るいなどといった程度で、はっきりと自信がもてるほどの明るさではないのである。ところが、1960年にアメリカに行って、ロッキー山脈中のフリッツピーク大気光観測所にいた時、そこの所長のローチに「あれが対日照だ」といわれて、はじめてはっきりとお目にかかることができた。その時でも、まともに見たのではよくわからず、「視線を一寸はずしてチラチラと動かして見ろ」といわれてそのとおりにしてみると、なるほど対日点付近がぼんやりと明るいことがわかった。その後、ハワイのハレアカラ大気光観測所にいた時も、そのようにしてよく見たものであるが、日本へ帰ってからは、そうたびたびお目にかかる機会はない、時たま、堂平観測所あたりで、よほどお天気の良い時には見えることもあるが、何しろ日本では、どこへ行っても都会の灯火を避けることが、なかなか困難であるし、お天気の条件も上記の大気光観測所などに比べれば、あまり良くないので、対日照を見ることもむづかしいわけである。

対日照は、これほど見えにくいものであるが、発見されたのは前世紀の中頃で、数人の人によって独立に見出されている。すでにその存在のわかっている今日でも、ただ莫然と見たのでは見つけることはむづかしく、あらかじめ星図の上で対日点の位置をはっきり見定めておいて、その付近を注意深く見なければわからないのに、こんなものを当時の人はよくも見つけたのだと感心もするが、昔は都会の灯火も少なかったので、このようなものの観測には至極好都合だったわけで、まことにうらやましき古き良き時代であったものである。

2. 対日照は、その発見以来いろいろな人によって観

測され、その成因についても種々の仮説が出されている。初期の観測は、このような淡い光を測定する観測器もなかったことから、全部肉眼観測であって、その精度もあまり良くないが、1930年代以後になって、光電観測等の技術が発達するにつれて、観測の精度も飛躍的に増し、数量的なデータが得られるようになった。

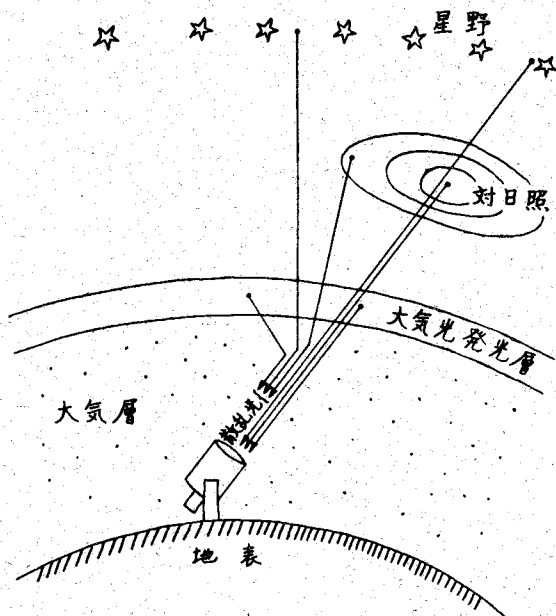
しかし、まだそのデータの数は何といても少く、われわれの対日照に関する観測的な知識は、まだまだ不十分である。

対日照の成因について、まず最初に出された仮説は、前世紀の末から今世紀の初めにかけて、ギルデンとモールトンによるいわゆる“ギルデン・モールトン説”である。この説は、太陽地球力学系の秤動点—太陽と地球を結ぶ直線上で、地球から太陽と反対方向に0.01天文単位離れた点—の付近に、惑星間空間に浮いている流星物質が集められて粒子雲を作っており、それが太陽光を反射して対日照となって見えるというのである。この説は、当時あまり十分な観測的裏づけもないまま、しばらくの間は、相当有力な説であったが、1920年代以後になって、種々の反論が出てきた。それらの反論の主な点は、この粒子雲が太陽光を反射して、対日照の明るさになるためには、その雲の密度が周囲の空間の密度より2桁ぐらゐ大きくなければならず、そのような大きな密度の雲ができることは、ほとんど不可能だということである。したがって現在では、この説はあまり有力ではなくなっている。

つぎに出された仮説は、今世紀に入ってからゼーリーガー達によってとねえられ、後になってジーデントップ達によって改良された、いわゆる“黄道光説”である。これは、対日照も黄道光と同じように、惑星間空間に浮遊する粒子が太陽光を散乱するのを、視線方向に見通したものであって、それらの粒子は入射光をちょうど反対方向、つまり  $180^{\circ}$  方向に散乱する能率が良くて、そのために対日点付近が明るくなるというものである。最初ゼーリーガー達は、比較的大きな粒子を考えていたようであるが、そのような粒子の  $180^{\circ}$  反射では、はたして対日照が生ずるかどうかが疑問がもたれた。しかし、1950年代になって、この説はジーデントップ達によって再検討され、もっと小さな、たとえば直径数ミクロンくらいの粒子では、このような現象がおこり得ることが示された。ところが、これとほとんど同じ頃、ソ連の観測者達が、対日照の明るさの中心は対日点には一致しないで、

\* 東京天文台

H. Tanabe; The Gegenschein.



第1図 (1) 式の説明図。観測器には、いろいろな光が同時に入ってくる。

平均的に  $2^{\circ}\sim 3^{\circ}$  くらい西へずれているという結果を発表してから、黄道光説ではこのずれが説明できないので、この説はちょっと影がうすくなった。

ソ連の観測者達は、1942年以來彼等が行なった主として肉眼観測の結果をまとめ、1950年につぎのような観測事実を発表した。(1) 対日照の部分で、大気光5577Å輝線も強くなっている。(2) 対日照の明るさの中心は、平均  $2^{\circ}\sim 3^{\circ}$  くらい対日点より西へずれている。(3) 対日照の視差は約  $3^{\circ}$  で、地球からの距離は125000 kmである。このようなことから、彼等は、対日照は地球の大気に関係のある現象だと考えて、いわゆる“地球の気体尾説”を出した。これは、地球の上層大気が、太陽の輻射圧によって太陽と反対方向に流されて、地球の尾のようになり、それが大気光と同じ原因で発光して対日照となっているというものである。この尾は、地球の公転運動のためにとり残されて後方になびいていて、そのために明るさの中心が対日点より西へずれているというのである。しかし、その後の他の観測者達の結果では、対日照の部分で大気光が強くなっているという事実は全く認められないので、この点でまずこの説は疑問をもたれた。またその後の観測から得られた対日照の色が、太陽の色によく似ているといった観測結果からも、この説はあまり適当でないということがわかってきた。しかし、明るさの中心が西へずれるということは、あまりよく確かめられないままに、それ以後の研究者達にとって、このずれの説明をどうするかということが、大きな問題となった。

“地球の気体尾説”の弱点をおぎなうために、つぎに登場したのが“地球の粒子尾説”である。これは、地球の引力作用で地球の周囲に集められた惑星間空間の粒子が、太陽の輻射圧や太陽風によって吹き流されて尾状になり、それが太陽光を散乱して対日照となって見えるというものである。この説だと、西へのずれも気体尾説と同じように説明できるし、明るさ等も一応説明できるので、定説候補としてはこの仮説が最も有力視された。しかし、これが定説となるためには、粒子の供給機構についても、もっと検討されなければならないし、また何よりもこの説を裏づける十分な観測的事実が必要である。

このほかにも、仮説としては斎藤國治氏やソ連のパーリスキーによってそれぞれ独立に出された“Coronal Streamer説”などがある。斎藤氏は、Coronal Streamerが対日点付近に射影されたときの見かけの明るさが、対日照のそれと数量的に一致していることを見出して、両者の因果関係についての仮説を出している。

このように、今までに多くの仮説が出されながらも、まだどれも定説になり得ないということは、最近いろいろな人によって観測が行なわれているとはいえ、まだまだその量が少く、十分な観測的知識が得られていないためであり、さらにそれは、以下に述べるように対日照の精密観測が意外に困難なことに起因している。

3. 対日照を地上から観測する場合には、どんな観測器を使っても、その観測器に入ってくる光は、対日照そのものの光だけではなく、いろいろな光が混っている。すなわち、式の形であらわすと、

$$\begin{aligned} \text{(観測された光)} &= [\text{(星野光)} + \text{(対日照)} + \text{(大気光)}] \\ &\times \text{(大気減光係数)} + \text{(大気による散乱光)} \quad (1) \end{aligned}$$

となる。星野光というのは、対日照の背景となっている星野からの光であり、大気光は地上100~300 km付近の上層大気から出る輻射である。そしてこれらの光は、大気底の観測器に届くまでに、途中の大気層の吸収、散乱によって減光される。また、大気による散乱光というのは、観測器のねらっている方向以外の空の各部から来る光が、大気によって散乱されて観測器に入ってくるものである。したがって、対日照の真の明るさを求めるためには、これら他の光の量を何らかの方法で求めて、観測された光から差し引いてやらなければならない。

星野光の量は、星野写真の星の数を等級別に数えることによって知ることができるが、実際問題として、これは容易なことではない。各等級別の星の星野光への寄与は、(その等級の星の明るさ) × (その等級の星の総数) できまるが、この値が最大となるのは、空の各部で多少の違いはあるが、大体12~13等星である。したがって、星野光の量を知るためには、相当に暗い星まで数えなければならない。現存する最も精密な星野写真は、パ

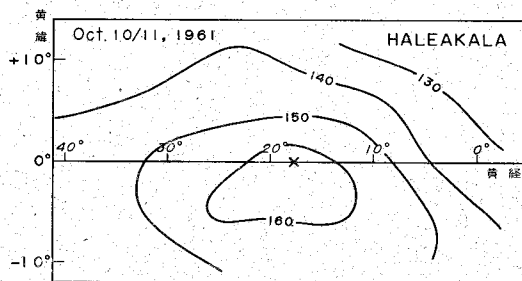
ロマーの 122 cm シュミットカメラで撮影されたものであるが、これには大体 18~19 等星くらいまで写っていて、星の数は銀河の極付近で 1 平方度当り約 1000 個、銀河の中では数万個に達している。これらの星を全天にわたって、等級別に数えることは大変な仕事で、現在のところまだ誰かが行なったという話を聞かない。星野光の量を知るために現在利用できるものは、1925 年にファンラインが出したデータをもとにして 1961 年にローチ達が計算したもので、空の代表的な部分の値をスムーズにつないだものである。しかし星の分布は、部分的に見れば不規則なものであるから、この星野光の量にもかなりの誤差が含まれていることは明らかである。

大気光は、紫外部から赤外部に至るまで、多くの輝線や帯スペクトルをもっている。したがって対日照の観測は、これらの輝線等を避けた波長域をえらんで行なうが、そのために観測可能な波長域が限られてしまう。またその上、大気光には弱いながら連続スペクトルも存在し、これはどうしても避けられないので、何らかの方法でその量を知って差し引かなければならない。

大気光の明るさは、地球上の緯度により、また各晩によって異なり、さらに 1 晩の中でも、空の部分により、時間によって変化する。したがって、対日照を観測する場合には、大気光も同時観測して、その時における大気光の量を知る必要がある。しかし、大気光の輝線の観測は割合に容易に行なえるが、連続スペクトルを単独に観測することは非常にむづかしい。というのは、(1) 式でもわかるように、逆に星野光や対日照の量がわからなければ、その量を求めることができないからである。それで現在では、便法として平均的な値を用いたり、輝線の強度を測定して、それから連続スペクトルの値を推定したりしているが、これも誤差の原因となりやすい。

大気減光のことは、すべての天文観測に共通の問題であるから省略するが、いずれにせよ大気の透明度が良く減光の少い、しかも安定した条件の場所を観測地にえらぶ必要のあることはいうまでもない。

大気による散乱光は、対日照や黄道光など、淡い面光



第 2 図 対日点付近の等光度曲線の 1 例。×印が対日点。明るさの単位は (G0 10 等星の数) / 平方度。

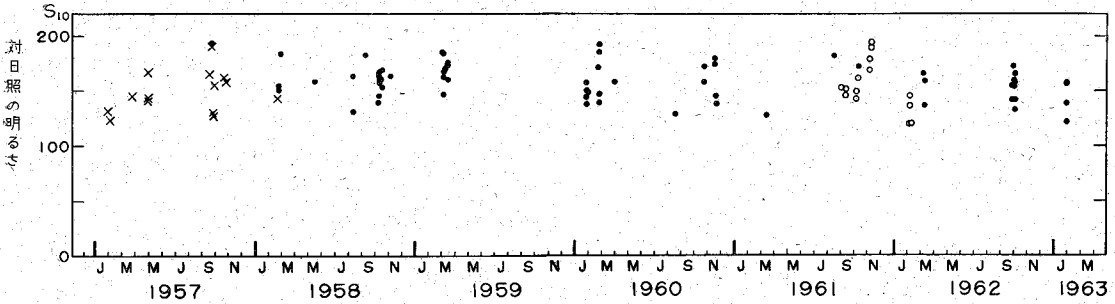
源を観測する場合に特に問題になるものであって、(1) 式の中でも最も取扱いのむづかしい量である。この散乱光は、大気分子のレーリー散乱だけではなく、水蒸気や塵埃など大小さまざまな粒子の散乱にもとづくものであり、しかも大気中のこれらの粒子の密度や大きさの分布は、日によって変化する。その上この散乱光の量は、空の黄道光や銀河の位置、大気光の明るさの分布状態によっても変るので、到底ひとすじ縄では取扱えない。しかもこの散乱光の量は、大気光連続スペクトルと同様に実測で求めることは非常に困難なので、その量を差し引くには、もっぱら単純化した条件のもとで計算された値を用いる以外方法がない。したがってこれを実際問題にあてはめると、相当な誤差が入ってくることはどうしても避けられない。この誤差をなるべく小さくするためには、できるだけ高い山に登って、水蒸気や塵埃の多い下層大気の上に出て、計算に用いられた条件になるべく近い場所で観測を行なわなければならない。

このように対日照の観測には、いろいろと複雑な困難があって、これらをどう取扱うかによっては、観測結果に大きな差異を生ずることもある。

4. 最近、筆者は、日本の丸山、アメリカのフリッツピークおよびハレアカラの 3 つの大気光観測所で、1957 年から 1963 年の 7 年間にわたって行なわれた、対日照の光電観測のデータを整理して、いくつかの観測事実を知ることができた。その主なものは、(1) 対日照の明るさは、この 7 年を通じてほぼ一定である。また大きな季節変化も見出されない。(2) 対日照の形は不規則であり、明るさの中心は対日点の付近を移動するが、その平均的な位置は対日点に一致し、西へのずれは認められない。(3) 対日照の明るさは、大気光 5577 Å 輝線の強度とは無関係で、また太陽面爆発の後にも顕著な変化はない、などである。

この観測が行なわれた 7 年間の中には、11 年周期の太陽活動の極大期と極小期が含まれている。この期間を通じて、対日照の明るさがほぼ一定であったということや、太陽面爆発の後にも大きな変化が認められなかったということは、対日照の原因となるものが、太陽活動にあまり影響されないものであることを示している。これは、地球の気体尾説や粒子尾説にとっては、不利なことである。というのは、これらの尾は、太陽の輻射圧や太陽風によってできるというのであるから、太陽活動の影響がないとは考えにくいからである。黄道光説は、その点では、有利であって、考えている粒子の大きさがミクロン程度であるから、比重を流星物質と同じとすれば、輻射圧の影響が無視できる。

また、明るさの中心の平均位置が対日点と一致するという結果は、前記のソ連の観測者達の結果と異なるが、最



第3図 1957年から1963年にわたって、観測された対日照の明るさ。×はフリッツピーク、●は丸山、○はハレアカラでの観測値。縦軸の単位 (S<sub>10</sub>) は (G0 10等星の数)/平方度。観測値のバラツキは観測誤差が大きいためである。(本文3節参照)

近では、ソ連のジンドリスも、今までのいろいろな人のデータを検討して、中心の西へのずれは疑問だといっている。したがって、もし明るさの中心が本当に対日点に一致しているとすれば、対日照の説明は黄道光説でもよいことになり、逆に地球の尾説では、多少とも西へのずれがなければならぬことから、かえって説明が困難になる。

さらに地球の尾は、太陽の輻射圧や太陽風によって生ずるとすれば、尾を形成するものはたとえ粒子であっても、非常に小さいものであるはずである。このような粒子は、光をレーリー散乱に近い方式で散乱するので、対日照の色は青くなるはずである。ところが、最近のジンドリスのスペクトル観測によれば、対日照の色はそれほど青くなく、むしろ黄道光説で考えられているくらい大きさの粒子による散乱光の色に近いようである。

黄道光説をとるとすれば、ソ連の人達が出した視差の問題が残ってくる。しかし、対日照のように淡く莫然と拡がったものの視差を求めることは、非常に困難であって、その点でソ連の人達の出した値が、どの程度確かなものであるかはよくわからない。事実、筆者も最も観測条件のよいハレアカラのデータから、視差を求めようと試みたが、その値をきめることができなかった。これを逆に考えれば、黄道光説であるからこそ、視差がきまらないといえないこともないわけである。

このようなことから、筆者には、対日照を説明するには、黄道光説が最も適当ではないかと思える。

5. 対日照の観測は、黄道光の観測とともに、惑星間空間の研究にとって重要なものである。われわれはこれによって、惑星間空間の物質分布や、物理状態を知る手がかりを得るのであって、そのためにもぜひとも精密なデータが必要である。

しかしこの観測は、3節でも述べたように、いろいろな困難があって、得られた観測値は相当に大きな誤差をとまっており、今までにわれわれが得た惑星間空間の知識も、この誤差に相当するだけの不確かさがあるわけ

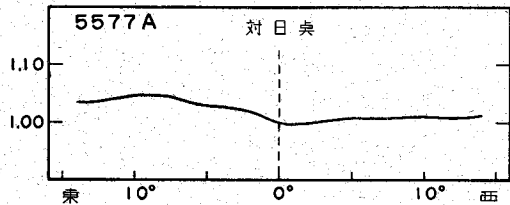
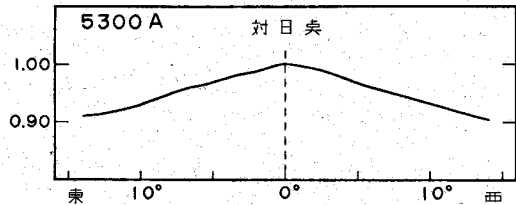
である。

では、この誤差をどうすれば小さくできるかという問題であるが、その1つの方法は、最近大いに発展したロケットや人工衛星を利用して、観測器を地球の大気圏外に持ち出して観測することである。そこでは大気光、大気による散乱光、大気減光がないので、(1)式は、

$$(\text{観測された光}) = (\text{星野光}) + (\text{対日照}) \quad (2)$$

となって、取扱いが非常に簡単になり、誤差の入りこむ機会も少なくなるわけである。またこの方法では大気光に妨げられないので、任意の波長域での観測が可能となるという大きな利点もある。

だが、この方法にもまた、別の困難がある。観測器を大気圏外の異常な環境に長時間さらすことの対策だど



第4図 対日点を中心として黄道に沿った明るさの分布。対日点の明るさを1.0として96回の観測を平均したもの。上図: 5300Åで観測した対日照。明るさの中心が対日点に一致している。下図: 大気光 5577Å 輝線。対日点で明るくなっていない。

か、全自動的に作動させて果して精度よく対日照の方向に向いてくれるかという問題である。事実、昨年9月にアメリカで打上げられたOGO衛星(Orbiting Geophysical Observatory)の中にも、対日照の観測器が積みこまれたが、あまり満足なデータは得られていないよう

である。

しかし、このような観測がすでに試みられ初めたということは、精密なデータが得られるのも、そう遠い将来ではないであろう。そのような日が早く来ることを期して待ちたいと思う。

## 新刊紹介

**月——形態と観察。** パトリック・ムーア著、宮本正太郎・服部昭訳、B5判、346頁、地人書館発行、定価1500円。

英国の月面学者として有名なパトリック・ムーア氏の近著、Survey of the Moon (1963)が、京大の宮本正太郎教授、服部昭助教授の訳で、出版された。日本では最近月に関する書物も多少出版されているが、月についての全般的な問題について権威ある書物は、この本の他には類が少なく、その意味で貴重な出版だと思う。

まず内容を一わたり紹介しよう。第1章月の世界では、石器時代から現代に至るまでの、人類社会における月の占める位置がえがかれる。第2章宇宙のすがたにおいて、現代天文学のえがく宇宙・太陽系の様子を記述し、読者に、これからえがく劇の舞台装置を説明する。第3章月の誕生は、現在でも不確実な点の多い太陽系の起源から、月の誕生の状態をえがきだしている。ここでは、月は過去に地球から分離したのではないという考えはかなり断定的に説かれている。月は過去において高温であったことがあるか否かについては、慎重にも決断を下していないが、後の章では大分高温説に傾いているとみられる記述がある。第4章は月の運動についてのべているが、月の自転運動の法則であるカッシニの法則に言及していないのが物足りない。

第5章月と地球は、月が地球に及ぼす影響をのべる。潮汐力の作用は最も重要なものであるが、地震や気象に対しては昔から多くの説があるが、彼は全く関係ないと断じている。テクタイトが月から来たという説は、断定はしないが、かなりの興味をもつてのべられる。

第6章は月の観測者たちという題で、カリレオ以来の月の観測者、観測法などがのべられる。日本の宮本・松井氏の仕事にも言及している部分がある。

第7章から9章まではこの本の中心部である。第7章月の顔だちという題で、月の地形や対象物についての概観的な記述がある。海・山脈・単独の山・谷・ドーム・格子構造・断層・リッジなどの模様が語られる。第8章は特に火口について詳述される。火口の形状、火口の重なる法則、火口列、最後にレイ(光条)について語られる。レイの本質は不明としてある。第9章が月の造成

という題で、月面火口の生成の原因についての諸説がのべられる。ムーア氏の前著“Guide to the Moon”でも見えていた珍説奇説も相変わらず紹介されているが、ムーア氏自身は非常にひかえ目な言葉を使いながら自説をのべている。これは前著にものべられているが、“ドーム説”と言ってよいものではないだろうか。宮本教授の説にもかんたんな言及がある。

第10章は月の表面の性質で、近年開発された赤外線や電波による観測結果を使用して論じている。第11章は月の大気の問題で、特に局所的にガスが噴出する可能性を論じている。第12章は月面上で何か変化がみとめられたという報告例をのべている。ムーア氏にとっては、このような事例の研究が、ホーム・グラウンドなのだろう。記述はかなりていねいである。

第13章は月食に関すること、第14章は月への道と題し、宇宙飛しょう体による月の探索法がのべてある。ルーニク2号が月に衝突した瞬間の観測などが面白い。第15章は月の裏側のルーニク3号の結果をのべる。この2章は、宇宙飛しょう体による月研究がはじめられた時、ムーア氏がどのような役割を果たしたかがわかって面白い。第16章は月の上の生命ということだが、内容は歴史的な他愛ないものが多い。第17章は未来にむかってという題で、将来宇宙開発が進歩した時代の月の探究の様子を想像物語風にのべている。

これで本文は終りであるが、その後、レンジャー7、8、9号により得られた月面の近接写真があり、更に125頁に及ぶ付録がついている。ことに付録Vの表面の説明および月面図は、これのみで一冊の書物になるほどの価値をもつものである。

この本を通読して感ずることは、月面研究というものの特殊性ということである。近年発達した、電波や、紫外・赤外光を使用する方法、偏光観測等々、新しい観測手段は、どれも本当のきめ手にならなかった。月面研究はまだ昔ながらの屈折鏡でシーイングの良い時に眼視観測をやる、アマチュア的方法が重要性を失っていないかと思うと、一方では“もう月面研究は、天文学者の手をはなれて、地質学者の手にうつった”という人もある。これ等はすべて、天文学の他の分野では有効な観測手段が、月に対してはあまり偉力を発揮しないという事情によるものではないだろうか。(関口)