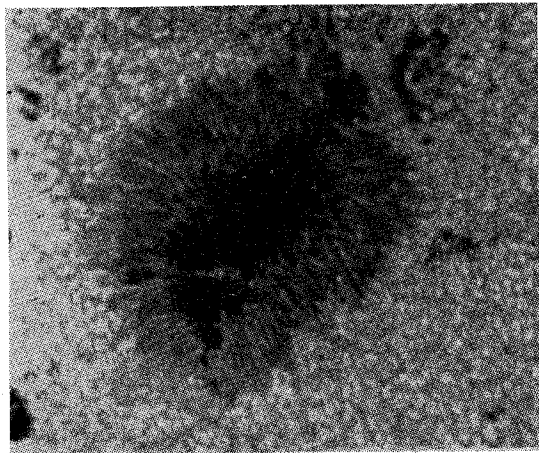


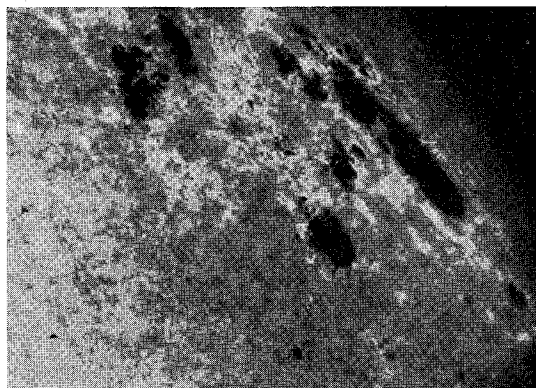
太陽直接像の観測

牧 田 貢*

太陽直接像の撮影から分ることは、太陽面現象の形状とその時間的変化であろう。ガリレオの時代から、沢山の観測者たちが太陽面に目をこらしてきた。そのおかげで、地球大気がなかなかありのままの太陽像を見させてくれないという妨害にもかかわらず、角度の1秒あるいはそれ以下という大きさの現象が見出されてきている。暗い壁で縁取られたどちらかといえば角ばった粒状斑、明るい斑点の集合と思われる白斑、放射状の明暗の縞模様を示す黒点半暗部、暗い中になお明暗の模様を示す黒点暗部などがそれである。こうした太陽面現象のくわしい形状とともにそれらの寿命、あるいは形状がどの位の速さで変化するかも調べられてきている。例えば粒状斑の寿命が数分であるとか、黒点半暗部の明るいすじに沿って明るいコブが数 km の速さで外に移っていくなどである。こう書いてくると太陽面現象で直接写真から分るものは全部分ってしまったような気がするが、実はまだこの単純な観測を今しばらく継続する余地があると思う。というわけはこの種の観測は“チャンス”に全く支配されているからである。地上から観測する場合にはシーイングの良いチャンスを捉えなければならない。たとえ地球の大気圏外に出て観測しても、観測中に“ある”現象が起ってくれなければならない。したがって、まだまだ未知の現象が残されているといつてよいだろう。そこで太陽直接像撮影のための気のついた点をいくつか次にのべてみようと思う。



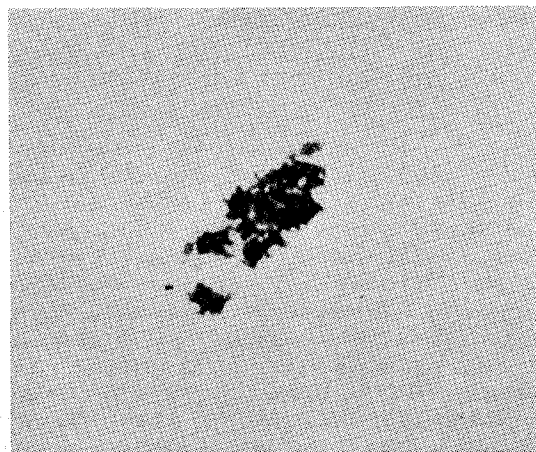
(a)



第1図 太陽縁付近の黒点と白斑。白斑の粒々がよくわかる（東京天文台撮影）。

1. 望遠鏡の口径

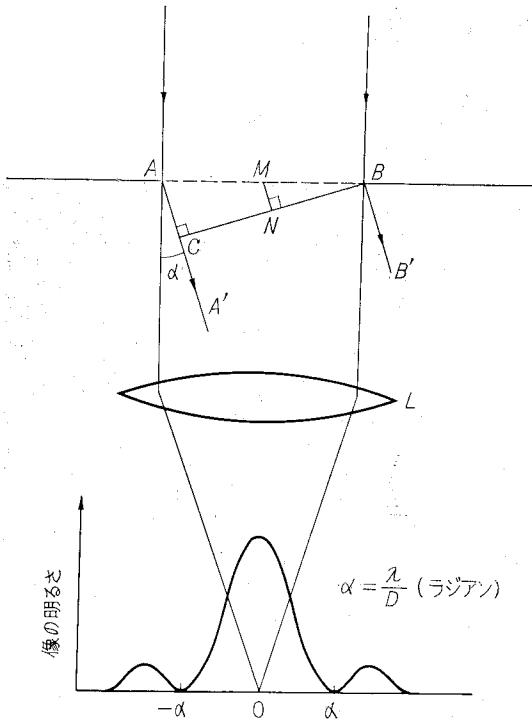
まず使用する望遠鏡でどの位こまかいものまで見ることができるかということを考えなければならない。第3図は幅 D (AB) の紙面に直角方向に細長いすき間に平行光が入射した図である。平行光は縁 A, B のために回折をおこし、そのまま直進する成分のほかに任意の角 α だけ曲げられた成分を生ずる。いま AA' 方向に進む光が BB' 方向に進む光にくらべて一波長だけおけている——すなわち、 $AC=\lambda$ ——とする。 AB の中点 M をとおる光は BB' に対して $MN=\lambda/2$ だけ遅れることになる。したがって M と B を通って α だけ回折して



(b)

第2図 気球から撮影された太陽黒点。(b)は(a)をウスクやいて黒点暗部内の明暗を示している（プリンストン大学天文台撮影）。

* 東京天文台



第3図 紙面に直角方向に細長いすきま AB に入射する平行光の回折がつくる縞模様。

進む光をレンズ L を使って焦点を結ばせてみるとそれらはお互いに打消しあってしまう。次に BC 上に NB に等しい距離だけ隔たる二点を考えてみるとそれらは必ず $\lambda/2$ だけ位相が異なっていることがわかる。すなわち、レンズ L で α 方向に進む平行光の焦点を結ばせてみるとそこは真暗になる。第1図の下の明るさ分布の図で分るように細長いすき間に平行に明暗の縞ができることになる。そこで細長いすき間を望遠鏡の円形の穴（口径 D ）におきかえると明暗の同心円の縞模様ができ、その中心の明るい円の直径 δ は

$$\delta = \frac{1.22\lambda}{D} \text{ (ラジアン)} = \frac{1.22\lambda}{D} \times 2 \times 10^5 \text{ (角度の秒)}$$

と与えられる。この式はどんな小さいものを観測しようとしてもこれより小さいものはみえないということを示している。もし現在みているものより小さいものを見たいと思えば望遠鏡の口径を大きくするか、もっと短い波長の光で観測するほかはない。第4図はその様子を示したものである。ここで興味深いことは角度の1秒までの現象を見るために極紫外では2~3 cmの口径で十分なのに対して遠赤外では2 m以上にもなることである。

ここまでは観測できる最小の大きさが望遠鏡の筒先の回折だけでできると考えてきたが、実際には光学系の収差がこれに加って分解能はもう少し悪くなると思わな

宇宙時代の科学教育におくる

ASTRO 天体望遠鏡と

ドーム



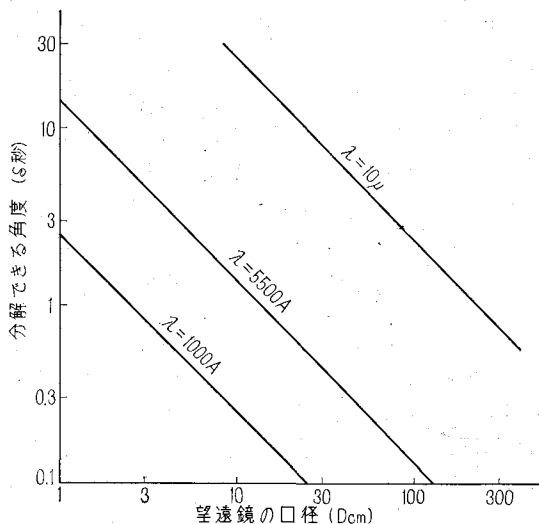
カタログ本誌名
付記 〒50円
ご送付のこと

¥5,500~150万円
まで各種取り揃え
てあります。

ASTRO 光学工業株式会社

本 社 東京都千代田区大手町2-2 野村ビル
TEL (231) 3028・3029
サービス 東京都豊島区池袋6-19-5
センター TEL (982) 1321・6209





波長 (λ)	1000Å	5500Å	10μ
口径 D=10 cm で分解できる角度 δ (δ=2.44×10 ⁴ λ)	0.″24	1.″34	24.″4
δ=1″ が分解できる口径 D (D=2.44×10 ⁴ λ)	2.44 cm	13.44 cm	244 cm

第4図 代表的な3つの波長で見ることのできる最小の模様 (δ) と望遠鏡の口径 (D) との関係。

ればならない。

2. 露出時間

大気圏外から太陽面現象を観測する時には、その現象の変化に応じた露出時間をとればよい。しかし空気の底から観測する場合には空気の乱れによるシーイングの変化をあわせて考えなければならない。大ざっぱに言って、シーイングにはユレとボケがある。各々時間的に変化するのであるが露出時間を短くとることによってユレの影響を除いて、静止した太陽像を得ることができるはずである。

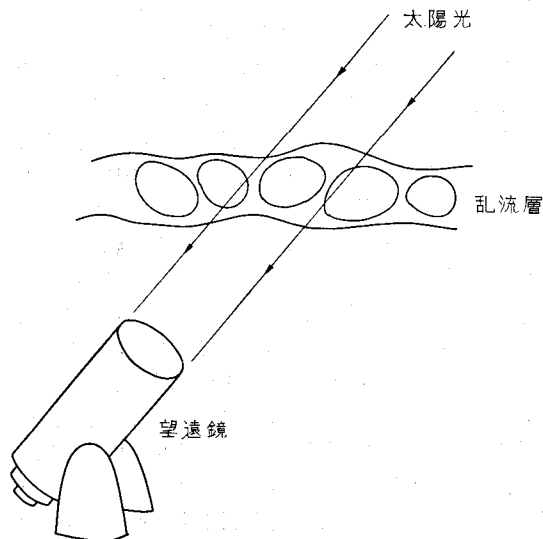
いま、望遠鏡の筒先をそのまま太陽の方に延長した円柱をを考えるとこの中に入っている空気の乱れが問題である。この種々様々の乱れの中で一番早い変化を与えるものは音速 a で変化するものであろう。しかし、たとえ音速で変化するものが、円柱の中にあっても、その数が沢山であれば空間的に平均されて像のよさは時間とともに変わることはないだろう。時間変化が現われるのは、例えば第5図のように薄い乱流層があって、しかも円柱に含まれる乱流渦が少なく、すなわち乱流渦が口径と同じ位の大きさのときであろう。このとき期待される変化

の起る時間は

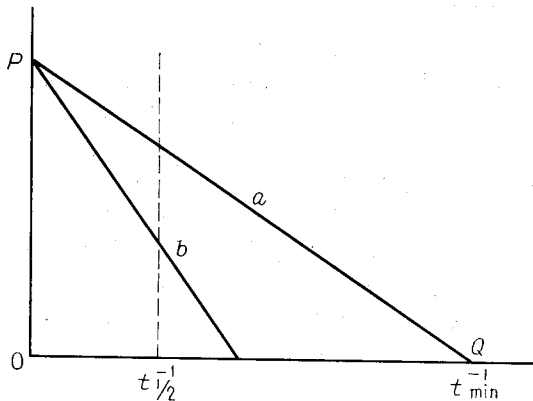
$$t_{\min} \sim D/a$$

もし口径を 10 cm, 音速を 300 m/sec とすれば, $t_{\min} \sim 1/3000$ 秒になる。これは大気乱流の影響を除こうとして 1/3000 秒より短い露出をとってみても一例えば1万分の1秒—あまり効果がないことを示している。 t_{\min} は口径が大きくなると共に大きくなり、5 m 直径の望遠鏡では 1/60 秒になる。このような大口径の望遠鏡では筒先の空間に沢山の乱流渦が含まれて平均化が起こるからである。変化が平均化されるのはシーイングのボケをふやすことになるので、地上で観測する限り大口径の望遠鏡が前節でのべたことに反して必ずしも有利ではないことになる。

それでは一体どの位まで露出時間を長くすれば、大気の影響がガマンできないくらいになるだろうか。筆者は小さな黒点の明るさを測ったことがある。黒点の光を小さな穴に通して光電管で測ってみると、黒点の像がボヤケたり、ユレで穴をはみ出したりするために光量変動する。それを高速度のオシログラフに書かせたところ 30 サイクル位のきれいな sine 曲線を得た。これは最も代表的な時間変化は 30 サイクル=1/30 秒程度で、これを避けるためには少なくとも 1/30 秒の 1/2~1/3 の露出時間が必要ということである。事実、1/100 秒ぐらいの間に太陽の縁の明るさを光電管で測定してみると、明るさが急角度に光球から空へ向って落ち、その途中で急に勾配が変わったり、グニャグニャと曲ったりすることはあまりないようである。第6図は大気による変動成分が各々どれくらいあるかを模式的に示したものであ



第5図 像のゆれは望遠鏡の口径くらいの大きさの乱流渦が望遠鏡の見通しに“少数”含まれるときにおこる。



第6図 横軸は像のゆれの周期 (t は時間を表わす), 縦軸は各周期のゆれの振幅の自乗. a はシーイングの良くない時, b はシーイングの良い時である.

る. シーイングがそう良くない時には変動成分は a のように口径できまる高周波まで三角形型に存在し, シーイングのよい時には b のように高周波成分が減ってくる. いまシーイングのそうよくない時にもよくとれるチャンスを残しておくために a を採用して考える. $\triangle POQ$ の面積を半分にするような $t_{1/2}$ をとれば大気の影響がかなり除けると考えると約 $3.3 \times t_{\min}$ の露出時間が得られる. もし $t_{\min} = 1/1000$ 秒ならばこれから $1/300$ 秒がえられる. 以上をとりまとめて許せるギリギリは $1/100$ 秒というのが筆者の印象である.

3. 太陽熱

暖い太陽はわれわれの生命の源泉であるが, 太陽の観測者にとっては暖いことが大きな問題になる. レンズは光の透過率が非常に大きいのでレンズが暖まって変形するということはまずないが, 御存知のように色収差がある. そこで反射鏡を使うと鏡面反射率は 90% 位であるの 10% は熱として鏡材に吸収される. この熱が鏡を変形させて像を悪くするのである. たとえ大気圏外にとび出してもこれは改善されない. そこでこれを除くのに, 熱膨張率の非常に小さい鏡材が開発されてきた. そもそもはただのガラスであったものが, パイレックスになり, 熔融水晶になり, セルピットなどという新種が現われてきた. 他方, いくら温度が上がっても変形しないというのと逆に熱膨張が一樣ならば鏡が相似形にふくらんだり縮んだりするだけで光学系は変わらないという考えから, 熱伝導の大きい金属で鏡を造ることが試みられている. とにかく熱による変形は観測中に焦点距離が変化するということが観測者にはおなじみである. よい像を得るために観測直前まで望遠鏡にフタをして鏡を冷しておき, フタを取り除いた直後の短時間に観測してしまうと

か, 逆に光をあてっ放しにして焦点が伸びきってしまう定常状態まで待つとか, 観測者の苦心してきたところである.

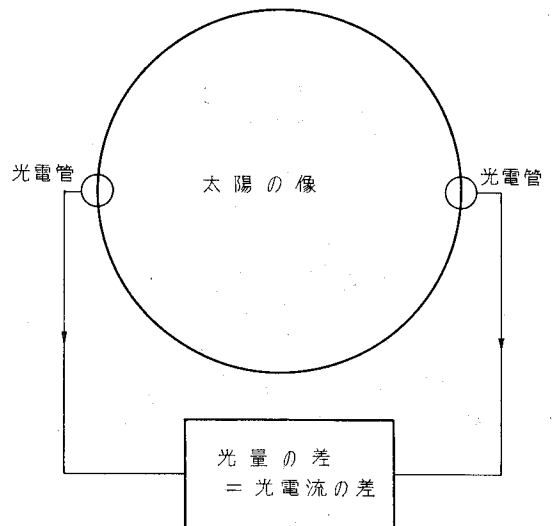
光学系を歪ませるほかに太陽熱はものを暖めて大気の中に対流を起こさせる働きをする. したがって望遠鏡の前面にあるものは全て暖まらないものにしなければならない. 望遠鏡やドームを真白に塗って熱の吸収を小さくしたり, 望遠鏡を斜面においたり, 高いところに持ち上げたり, 何とか熱による空気の乱れを逃げようとしているが, この辺の工夫については天文月報第 52 巻第 3 号の「太陽面の微細現象」(西恵三)によく書かれている.

どこでも早朝は大気がまだ暖められず静かなので太陽のシーイングはよい時が多い. したがって, 早起きは太陽の観測者にとって不可欠の条件かもしれない. 日没前も時々大気がしずまってよいシーイングになる時もある. しかし真昼間でもシーイングのよい時があるので, 太陽観測者は日のある限り落ちつけない宿命のようである.

4. その他

シーイングの良いチャンスはなかなか貴重である. そこで自動的にシーイングの良い時だけ写真を撮ろうという試みがなされている. 太陽像の両端の縁の光を第7図のように光電管に入れると, それぞれの光量は太陽像のユレに応じて増減する. 今光電流の差が大きくなれば太陽の像は大きくユレている. そこで光電流が小さくなった時だけ写真を撮るようにすればシーイングのユレとボケのうち少なくともユレを除くことができる.

シーイングの良い時の予報は天気予報と同じでなかなか



第7図 像のゆれが小さくなった時にだけ写真を撮るための装置.

か難しい。岡山天体物理観測所の経験では西高東低の冬型の時は悪く、移動性高気圧中心の通過直後が良いということがありますが、こういう大まかな天候のほか、局地的な環境が大きな原因になっているようである。

見た目にきれいな写真をとるためにはハイコントラストのフィルムを使い、ハイコントラストの現像をするわけであるが、そうすると露出時間を非常によく決めなければならない。2倍の間違いがフィルムを黒々とさせたり、アンダーにさせたりする。したがってこの場合適正

露出のためには露出計は不可欠のものである。しかし、見た目にきれいというよりも、黒点の場合などのように、明るさの違う広い範囲を全部写したいために、ワザワザコントラストの低い写真をつくることもある。

以上、思いつくままにのべてきたが、これが、太陽直接写真に関心のある方々の御参考になれば幸いである。そして最後に直接写真をとっている方々に「御幸運を祈ります」といわせていただいてペンをおくことにする。

新刊紹介

The Construction of Large Telescopes,

D. L. Crawford 編, (Academic Press, 234 頁, 価格 70s—約 4200 円.)

1965 年 4 月に、トナーソン、バサデナ、ハミルトン山で開かれた大望遠鏡についての IAU 第 27 シンポジウムの報告書である。口径 3~6m というような大望遠鏡の製作について、天文学者が当面せざるを得ない問題についてのアイデアの交換ということがこのシンポジウムの目的であった。

第 1 部は主として光学設計の問題にあてられ、種々の光学要素の配置の問題の他に、長焦点望遠鏡を短焦点のものに変換する focal reducer の問題、クーデ系の検討などを含んでいる。第 2 部は主鏡の問題にあてられ、鏡材、支持法、その他の話題(研磨法、試験法等)となっている。第 3 部は設計問題である。大望遠鏡に要求される事項、許容収差量、架台型式、製作の諸問題が検討されている。第 4 部は駆動装置関係で、駆動方式と望遠鏡の姿勢指示装置、配線の問題についての意見交換が取り扱われている。第 5 部は大型化するドームの問題で、温度変化、建築上の問題点、観測所を遠方に建設する場合の問題点に関する議論、大ドーム中での作業に必要なクレーンその他の補助施設の問題が含まれている。大望遠鏡は山頂にすえられるから、この場合種々の補給問題が伴う。動力をどんな方法で得るかというような問題もともに取り扱っているのが第 6 部である。また望遠鏡の実際使用に当って生じる工学上の諸問題もここで検討されている。

最後の第 7 部は雑多な問題、例えば結局大望遠鏡建設は資金に左右されるので、全体の組織計画を立てる問題、工費、工期の経験事実と推定なども論じられており、雑問題とはいいいながらなかなか興味深い。また大望遠鏡の製作というものについての新しい考え方として“赤道儀式高度方位式望遠鏡”というアイデアの紹介もある。そしてヘックマンが結論を要約して本書が終つて

いる。

私達日本の天文学者が現在持ち続けている希望事項の一つに、口径 3~4m の光学望遠鏡を近い将来に持ちたいということがある。それを使って、如何なる研究を行なうかという検討は盛んに行なわれているが、大望遠鏡建設にはそのような問題の他に、本書に提起されているような諸問題を私達が希望する形で解決する必要がある。したがって本書はそのような問題について現在手に入る最良の参考書であると共に、大望遠鏡という魅力ある機械について知識を深める興味ある読みものともいえる。(広瀬)

宇宙と人間 F. ホイル著 鈴木敬信訳 (法政大学出版局, 1967, 126 頁, 定価 350 円, 原名 Man in the Universe, Columbia University Press, 1966)

この本は 1964 年ホイルがコロンビア大学で行なった 5 回の講演をまとめたもので、第一講演「天文学といわゆる宇宙探究」では、いわゆる宇宙計画について批判を行なっている。ホイルにとって、アメリカの宇宙計画の年間予算の 0.02 パーセントにもたりない、ウイルソン・パロマー山天文台の大望遠鏡計画への財政援助が認められなかったことが我慢ができない。そして、まともな天文学に与えられるべき財政援助は、航空宇宙局の天文部門に与えられるのと少なくとも同額にすべきと主張している。

さらにイギリスの宇宙計画をも非難しているが、この点は日本の計画への非難にもそのままあてはまる。

「まず己を知れ」、「再び主観的現在について」、「研究と教育」、「大地の詩は断じて消えず」でもホイルは宇宙開発計画をふくめた現代の科学の傾向、教育について批判を加えている。

この訳本にも読んでいくつか分らない点がある。訳者注で、航空宇宙局 (NASA=National Aeronautics and Space Administration) を National Academy of Science of America の略としたのは、大きな誤りで、ここではホイルの当面の攻撃目標が失なわれてしまっている。(古在)