

# 太陽黒点の正体

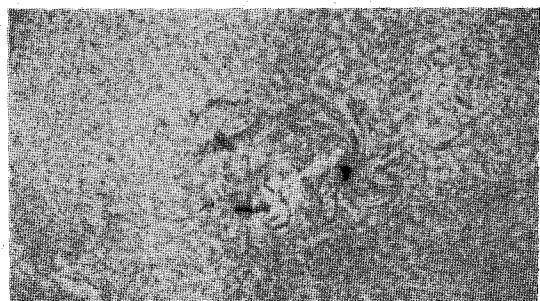
牧 田

貢\*

1. 黒点はそのまわりの太陽面より、温度が低くて磁場を持っているということは、よく知られた事実である。さらにある解説書によると、黒点とは太陽面に生じた台風みたいなものと説明されている。第1図は水素の  $H\alpha$  線で写した黒点の写真であるが、なるほど渦巻が見える。しかしこの渦巻は必ずしもどの黒点でも見られるわけではなく、またその巻きこむ向きも、台風の法則に必ずしも従わない。それに後に述べる理由によっても、黒点台風説はどうもあやしいといえる。それでは一体黒点の正体は何だろうかということになると、多くのことは今なお謎に包まれている。そこでここでは、黒点の明るさとスペクトル線の研究から、“黒点”という巨象のあちこちをなでまわしてみたいと思う。

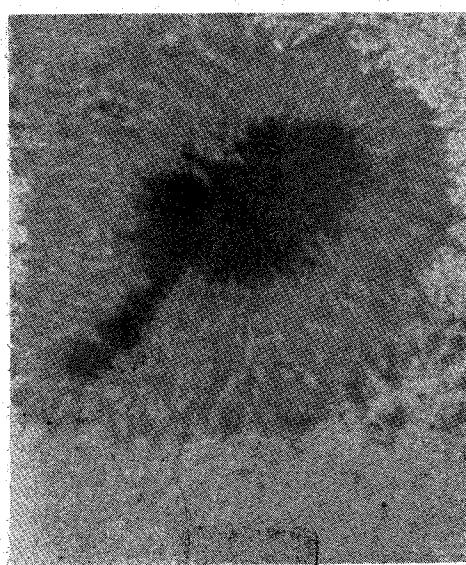
## 2. 黒点観測における強敵

黒点の明るさを測ったり、スペクトルを写したりする時に一つの強敵がある。それは地球大気による、或は観測装置内の光の散乱である。大体黒点は、そのまわりの太陽面に比らべて  $1/5$  の明るさをもっている。もし黒点のまわりから  $10$  パーセントの光が、散乱で黒点の部分に入ってくると、測られた黒点の明るさの  $1/3$  は、ウソの明るさということになる。それに地球大気のいたず

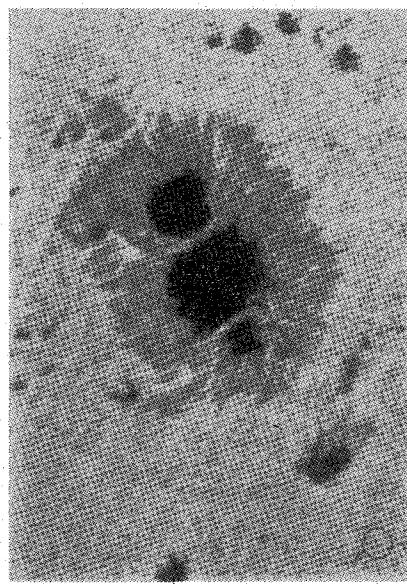


第1図  $H\alpha$  で見た太陽黒点

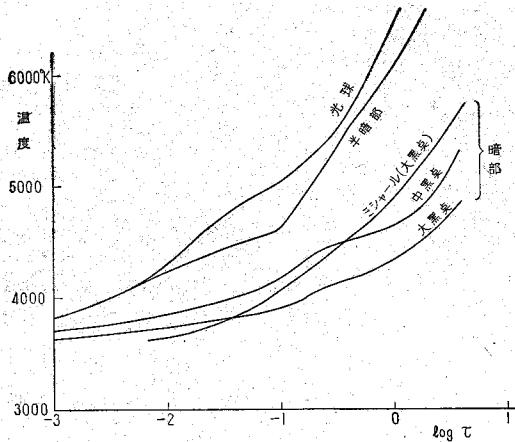
らで、望遠鏡でつくった太陽像がふらふらするので、測りたい場所だけの光を取り出すことが、なかなかむずかしい。早い露出ですむ観測を行なえばこの点はある程度除けるが、大気による散乱はだめである。そこで地球大気の外に望遠鏡を持ち出して、そこで仕事をてしまおうという計画が起った。そして地上では決して得られなかつた、太陽のすばらしい直接写真を最初にとったのは、シュヴァルツシルト達であった(第2図)。彼らは気球に  $12$  インチの望遠鏡を積み、約  $2$  万mの高さにあげて成功したのである。がともかく地上で観測された黒点のデータには、十二分に地球大気の影響を考慮せねばならぬのである。ふつうこの散乱の影響を見るのには、



第2図 a 気球から写した黒点  
(シュヴァルツシルト外)



第2図 b 地上で写した黒点、右下の白丸は  $5''$   
(レッシュ)

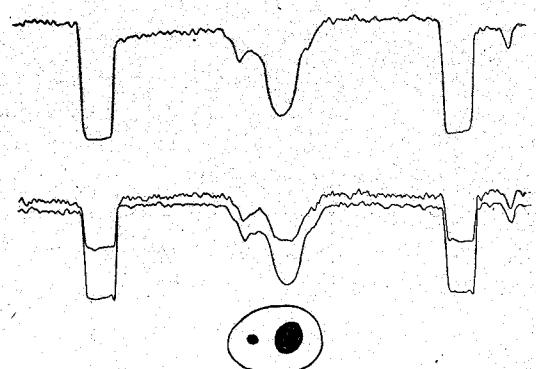


第3図 黒点の温度分布  
(横軸は光学的深さの対数、光球はペームの求めたもの)

太陽の縁からどれ位光がにじみ出しているかで測っている。点光源がガウス型分布に従って散乱されると仮定すると、この方法で今まで得られた一番散乱の小さい値は半径  $\sim 3''$  である。ところが他方直接写真或は眼視観測で見られる最小の模様が(即ち直径が)  $\sim 1''$  という大きさの時がある。この大きな違いは今まで採用されていた散乱の補正法に、何らかの吟味を加えなければならぬことを示していると思われる。

### 3. 黒点の明るさをはかつて何がわかるか

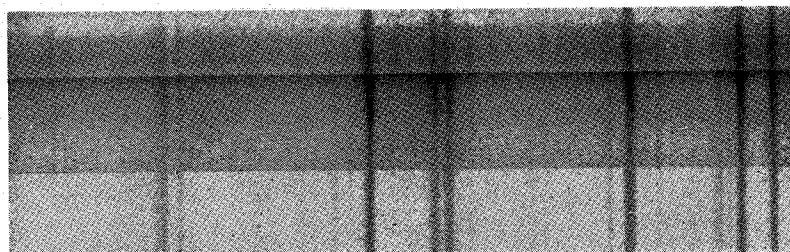
黒点が黒いということから、黒点は温度が低いと考えるのは、ごく自然であろう。ウォルメルという人がこの



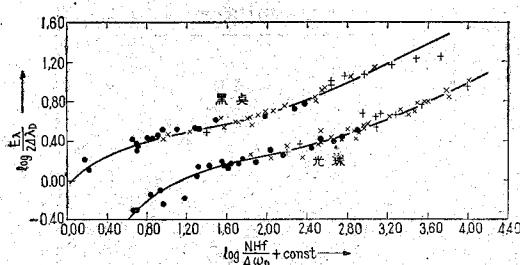
第4図 早どり装置で書かせた黒点の明るさ  
(牧田・森本)

上から順に青、赤、緑でみた明るさ、両側にある柱の底は光量 0 を表わしている

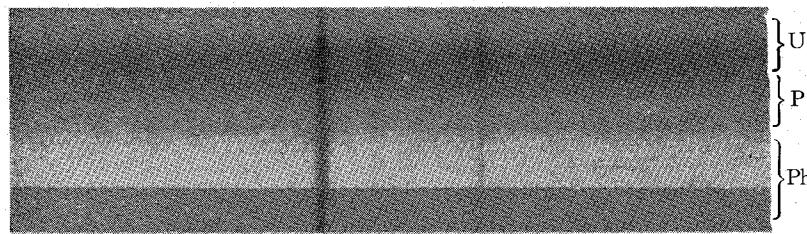
黒さを測って、黒体輻射の温度になおしたところ  $4650^{\circ}\text{K}$  になり、光球の  $6000^{\circ}\text{K}$  に比べてずい分と低いことがわかる。黒点から出てくる全部の光を受けている限り、話はこれだけであるが、分光器を使っていろいろな色の光で、太陽面の色々な場所——太陽の真中から色々な距離で——にある黒点の明るさを測ると、黒点内での温度分布が求められる。これは太陽面のどこに黒点があるかによって、見通すことのできる深さが違うこと、及び黒点大気の連続吸収係数が水素の負イオンであることによっている。このようにして得られた温度分布——実はこれは幾何学的深さでなく、光学的深さの関数として与えられるのであるが——に後に述べるように吸収線の知識を加えると電子圧分布が求められ、黒点のモデルを観測から求めることができ。こういう方法を最初にいい出したのはワルドマイヤーであるが、最初に実行に移したのはミシャールである。そして更に牧田・森本は、光電管と早書オッショグラフの助けを借りて、大気の影響を除くことを試みた。第3図にはこうして得られた温度分布が示してある。また第4図には牧田・森本の得た黒点の明るさの例を示した。これでわかるように彼らは暗部だけでなく、半暗部についても温度分布を与えていた(第3図)。以上から確かに黒点が冷いことは判明したが、それではなぜそうなのだろうか。今のところビアマンの有力な説明があるが、それを定量的にするのはなかなかむずかしくて、現在のところ定性的なものにとどまっている。彼の説明はこうである。太陽の表面近くには相当厚い対流層



第5図 黒点のスペクトル  
右側説明の U は暗部、P は半暗部、Ph は光球部、暗部で吸収線の数が増している



第6図 チタンと鉄の吸収線でつくった暗部の成長曲線  
(テン・ブルゲンカーテ, フォン・クリューバー)  
(縦軸、横軸はそれぞれ吸収線の強さと吸収する  
原子の数に比例するもの)



第7図 太陽黒点中に見られるゼーマン効果  
写真の中央部の 6064 Å 付近の線が3本に分かれている。U は暗部, P は半暗部, Ph は光球

がある。もしこの対流層に磁場がかかったとすると、磁力線をものが横切ることが難しくなるので、対流は止められる。従ってそれまで対流で運ばれていたエネルギーが運ばれなくなるので、温度の低い場所ができるてそれが黒点になるといふのである。

#### 4. スペクトル線をはかってわかるもの

##### (1) 温度と乱流

第5図に示されるように、黒点の中では光球に比べて非常に吸収線の数が多く、またその強さもほとんど増すことが、古くから知られている。これは勿論黒点の方が温度が低いために、低い励起の線が強められているしであるが、これを定量的に表わすには、成長曲線という方法を用いる。第6図はテン・ブルゲンカーテとフォン・クリューバーが求めた光球と黒点の成長曲線であるが、一つ一つの点が一本一本の吸収線に対応している。そしてこれらの点が、なめらかにつながるように温度が決められているのである。彼らの場合その温度は 3900 °K であった。ここで一つ注意すべきことは、先に黒点の明るさから温度分布を求めた時、上層の温度を、吸収線の強さから定めているということである。なぜなら先の方法で黒点上層の温度を知るために、太陽面のうんと縁にある黒点を観測せねばならず、そこでは黒点は斜めから見るのでひしゃげて見え、地球大気のいたずらがきいてくるからである。第6図に戻って、光球と黒点の成長曲線は平行移動をすれば、その左の直線部分と平らな部分で、重なり合うことが理論から期待される。そしてふつうその平行移動の垂直成分は、二つの大気の温度と乱流による、吸収線の幅の差と解釈されている。もしそうだとすると、第6図からは黒点中で 2 km/sec に相当する乱流が期待される。これは黒点暗部での話であるが、同様にして半暗部でも、同じ大きさの乱流が牧田によって求められている。しかし黒点には磁場というものが存在するので、その等価幅への影響を正しく評価しない限り、上の解釈は成立しない。ヒュビネット等の研究によれば、磁力線が観測者の方に向いている時には、磁場は等価幅に全然

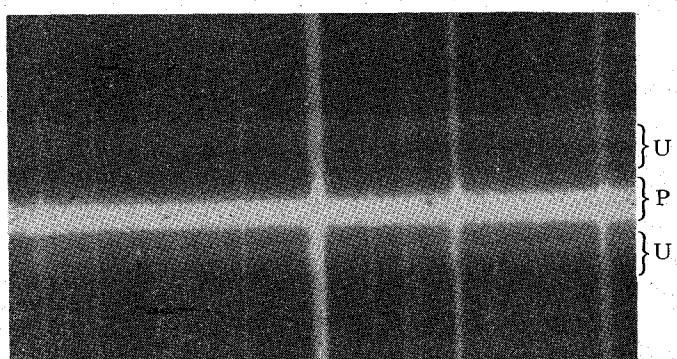
影響しないことがわかっていいる。従って暗部については上の解釈はよいけれども、半暗部については 2 km/sec をいくらか割引いて考えないといけないだろう。ただここで一つ問題になるのは、磁場が乱流を止める効果があるにも拘わらず、暗部の中に光球よりも大きな、2 km/sec という乱流が存在することである。

##### (2) 磁場

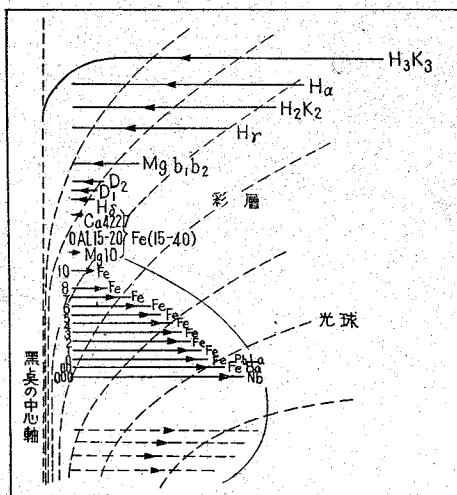
磁場の中でできる吸収線は、何本かに分れて見える。このゼーマン効果を今世紀のはじめにヘルルたちが初めて黒点の中に発見して以来、磁場に関しては特に新しい事実は長い間見出されなかった。即ち黒点磁場は暗部で 3000 ガウス位、そしてまわりの光球へと減っていく(第7図)。そして磁力線の方向は中心で垂直、離れるに従ってねてきて、半暗部では水平になるということである。ところが最近になって、磁場の方向について問題がでて来た。それは太陽中心附近で観測された黒点で、二本に分れて見えるべき吸収線が、一本多く三本見えるものが存在することである(第7図)。これをそのまま解釈すれば、黒点の中心では磁力線は垂直ではなく、水平の成分をも持っていることになる。このことは、今一度磁力線の方向を決めるということを、注意深くやってみる必要を示している。

##### (3) 物質の流れ

黒点のスペクトルをとると第8図のように、半暗部で吸収線がずれているのが見られる。これはエバーシェド効果と呼ばれ、物質の流れが半暗部の中にあることを示している。キンマンその他の人たちの研究によれば、この物質の流れは、半暗部の中を水平に、黒点中心から放射状に外に向って流れ出しており、半暗部の外縁近くで最大の速さ、約 2 km/sec になる。この流れの突き当る



第8図 橙付近で見られるエバーシェド効果(ブンバ)  
半暗部内(U)で吸収線がよろけている。よろけていないのは地球大気の線である



第9図 いろんな吸収線で測られた半暗部内の物質の流れの垂直断面図 (St. ジョン)  
矢印つきの実線は物質の流れの大きさと方向。  
点線はもっともらしい磁力線の分布を示す

光球に、黒点を取り囲んで環状に、光球より 2~3% 明るい所があるのは、興味深い対応である。以上のこととは、わりあい弱い吸収線についていえることであるが、吸収線が強くなると共に、第9図の St. ジョンの結果で示されるように、速さは減り、逐に大気の上層では内向きの流れに移り変ってしまう。一番最初にのべた H $\alpha$  でみた黒点は、内向きの流れのある層を見ていて、黒点台風説に都合よさそうであるが、太陽の自転が黒点磁場を引き曲げられそうもないこと、深い層では放射状の流れだけで、まわりを廻るような物質の流れは観測されないこと等から、台風説はオイソレとは認めがたい。従って黒点内の物質の流れは、自転以外の何か強力な原因によって引き起される運動と磁場との相互関係で説明されなければならない。

#### (4) 高い励起の吸収線の存在

黒点暗部のスペクトルをよく見ると、その中にはとても暗部のような低温では現われそうもないような、高い励起の線が発見される。これは次に述べる黒点暗部のモデルを求める上に甚だ危険な問題となっている。

### 5. 黒点のモデル

#### (1) 半暗部のモデル

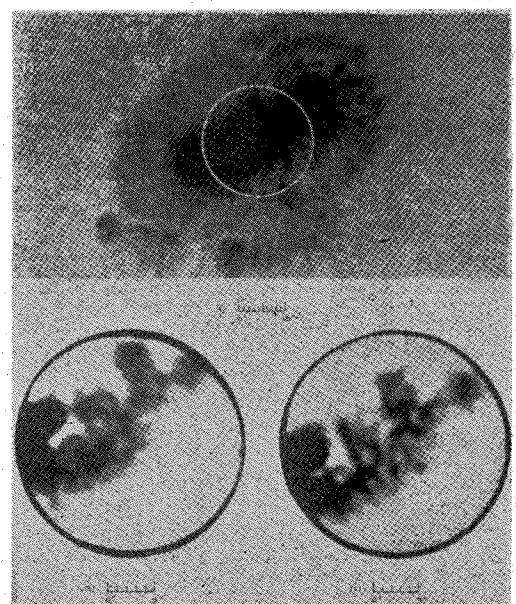
牧田は 3. に述べた方法で、半暗部の吸収線の強さを説明するように、その電子圧分布を求めた。こうして温度と圧力が分れば、黒点内の物理的状態は大気の組成が変わらない限り、状態方程式に従って全て分ることになり、これをモデルができたという。

この得られたモデルを光球と比べてみると、半暗部は光球の約 2 倍の透明度を持ち、同じ幾何学的深さの圧力は、光球より低くなっている。また深い方へ行くと、ふ

つうの静水圧平衡よりも圧力が低くなっている。そこで次にこういうモデルが、エネルギー的にまた力学的に平衡を保てるかどうかが問題である。黒点内のエネルギー伝達の方法としては、ピアマンが指摘したように、磁場が対流を妨げる所以輻射が優先すると考えられるので、この点を当てみると、確かに半暗部を輻射平衡と考えて差し支えないようである。第二の同じ幾何学的深さで光球と圧力が違ひ、静水圧平衡からもはずれているといふ、力学的に平衡でない事がでるが、これは半暗部中に、外側に向って放射状、水平な磁場を考えれば説明できる。このような磁場は、物質の流れが磁力線に沿って起るので、エバーシェッド効果と矛盾せず、横の圧力差を物質の流れで、縦の圧力差を磁場が深いところほど強くなって行くことで、埋め合せることができる。

#### (2) 暗部のモデル

暗部モデルを最初に観測的に導いたのは、先に述べた通り、ミシャールである。彼によれば、暗部は光球の 6 倍位透明であり、輻射によってエネルギーが伝えられ、横の釣合は磁場の圧力によって保たれている。しかし彼の観測は、地球大気の影響を除くという点で不十分である上に、縦方向の力学的釣合に関しては、よく考慮されていない。恐らく彼は漠然と静水圧平衡からのずれを、磁場が補ってくれるものと考えたのであろうが、後にマッティッヒが指摘したように、黒点磁場がふつう考えられているように、軸対称性を持つ限り、黒点の中心では垂直方向に磁場による力は働き得ないのである。とすると黒点の中心ではどうしても、ふつうの静水圧平衡が成立



第10図 暗部内の粒状構造 (ラウヘッド、ブレイ)  
左図円で開いた部分だけを露出をかけて写している。右は左の約 1 時間半後に撮影したものである

たねばならない。この困難は牧田の場合も同様であった。そして牧田の場合には更に、水平方向の釣合に必要とされる磁場が  $10^4$  ガウス以上になって、深いところで出来る吸収線の幅を説明できないということが明らかになつた。こういう大きな矛盾は一体どこからでてくるかというと、4. (4) で述べた高い励起の吸収線が、黒点スペクトル中に存在することである。それらの線は大体光球と同じ位の強さなので、もし黒点のように温度が下がると、どうしても電子圧を下げなければ、強さを同じに保つことはできない。これを逃げるには、高い励起の線が特別な励起を受けているか、暗部が熱い部分と冷い

部分でできているとしか考えようがなさそうである。筆者としては黒点中に粒状構造が見えることからして、後者で説明することが妥当であろうと考えている(第 10 図)。

6. 以上黒点の分光測光観測からわかる事柄を羅列してきたが、さて、黒点の正体は?となるとなお多くのことが不統一かつ謎のままである。少し頭を冷してどう観測事実を統一するか、またどんな観測をすれば有意義であるかを熟考することが大切であろう。充分な推敲を経ないまま急いで書き綴ったので、不適当と思われるところもあると思うが、どうぞお許し願いたい。

## 雑報

**池谷氏の彗星発見** 静岡県舞阪町の池谷薰氏は、1月3日5時5分(日本標準時)に赤経13時53分、赤緯 $-27^{\circ} 15'$ (1950年)の位置に光度12等の彗星を発見し、翌4日に確認の上、東京天文台へ通報された。5日朝の三鷹及び堂平での観測によると、光度10等位、南南東へ1日約30分ずつ運動している。核と尾は認められない。海外での発見の情報はまだない。

池谷氏の使用された器械は21cm反射鏡35倍で、ここ二・三年来、彗星掃索をつづけられている方である。

**NGC 1073(くじら座)に出現した超新星** 1962年11月23日、イタリー・アジアゴ天文台で発見された超新星は、東京天文台からの回報電報により、岡山天体物理観測所で11月30日に撮影、星像を確認した。当時ニュートン焦点観測中の林正男氏(東京天文台)の好意により、当日夕刻を超新星観測にさいて、観測所の手で撮影した。表紙写真はその時撮影した3枚のひとつ。

乾枚: フジ天体用 Tel G (103a 0 担当)

露出: 60分。19時12分—20時12分

フィルター: なし

現像: D-19, 20°C, 4分

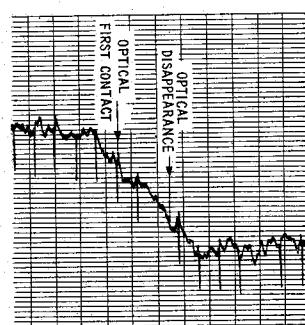
矢印の先が超新星である。

(下)はパロマー写真天図の同一領域を拡大したもので0-1283(0°, 2時24分)撮影は1954年10月23-24日となっている。NGC 1073は棒渦状小宇宙であるが、棒の端点以外からも数本の腕があらわれた一見歯車形の複雑な小宇宙で、超新星はその渦巻腕の上に出現しているが、もし超新星の絶対等級を-15等と仮定するならば、この小宇宙の距離は400万パーセク(約1000万光年)と推定される。なお、これにつづく数夜、この写真を手がかりに分光観測(カセグレン)を行なつたが、月明のために星の同定が困難で、超新星のスペクトルは得られなかった。星像に対し小宇宙の姿の濃さのち

がいは188センチ反射望遠鏡と48インチシュミットカメラとのF比のちがい(岡山4.9; パロマー2.5)を示すものとして興味が深い。(G)

**電波による木星のえんべい観測** オーストラリアでは、月による木星のえんべい(1962年4月1日)を、新設の64m可動パラボラで観測した(Sky and Telescope Nov. 1962)。測定は波長75cmで行なわれたが、その結果は第1図に示されるごとく、optical contactのかなり前から、受信される電波強度が減りはじめ、木星が月にかくされて完全に見えなくなつてからも、しばらくは電波強度の減少がつづいている。このことは75cmの輻射が、木星の視直径の数倍の大きな領域からきていることを物語っており、既にカリフォルニア工科大学で行なわれた、22cm及び31cmにおける観測結果と合っている。そしてこの事実は、木星にも地球のバン・アレン帯と同様な radiation belts が存在し、それが電波をだしているという考え方を支持するものであろう。

(守山)



第1図

## 日本天文学会春季年会

本年度の春季年会は、5月上旬または中旬に、東京で3日間にわたり開催される予定ですが、期日や会場は未定です。3月号で詳細をお知らせします。