

岡山天体物理観測所の太陽黒点磁場観測用ポラリメーター

西 恵 三*

1. はじめに

太陽表面に眺められる数多くの現象の中で、最も早い時代から人々の注意をひいたのは太陽黒点ではないかと思われま。物の本によれば紀元前4世紀の半ば頃に太陽黒点に関する引用がギリシャに残っているそうですし、その後可成り長期間にわたって肉眼による黒点観測の系統的な記録が中国に残っていると。勿論太陽黒点についてのくわしい研究はガリレオの時代に望遠鏡を使用するようになってから本格化し、更に Fraunhofer による分光技術の導入が一般に太陽表面大気の物理的な姿を求めるための基礎を創設したといえるでしょう。それに加えてゼーマンによるゼーマン効果の発見などが背景となって、ハールによる太陽黒点磁場の研究へと進んでいったのであって、本稿ではその後の話に重点が置かれることを心得て下さい。

その言葉の示す通り黒点は明るい光球を背景にしているから暗く見えているのであって、それ自身はやはり光り輝いているのです。暗く見えるのは一口にいうと温度がまわりにくらべて約 2000 度ほど低いためなのです。黒点のスペクトルを見ると、温度が低いために、光球の示すスペクトルとはずいぶん違っているのですが、一番特徴的なのはとても強いゼーマン効果を示している吸収線がたくさんあって、強い磁場の存在を示しており、こ

の磁場の存在が温度を下げていることと深く結びついていると考えられるのです。ですから黒点の磁場の構造を知ることは黒点のいろいろの物理量を求めることの一部として極めて重要なことなのです。

2. 磁場測定の方法

オランダの物理学者ゼーマンによって強い磁場内にある発光体が出すスペクトル線が分離する現象（ゼーマン効果という）の発見とその解釈がなされたのは、前世紀も終りに近い頃でした。ゼーマン効果によるスペクトル線の分離の仕方はいろいろあるのですが、その中で最も単純な正常ゼーマン効果についての様子の概略を把握するために図1を御覧下さい。

まず磁場の中にある発光体から出る光のスペクトルは、眺める方向と磁場の方向との関係によって分離の状態が違ふことを理解して下さい。もう少しくわしく調べると、ゼーマンの研究の結果わかったことは、スペクトル線の分離の間隔が光源の存在する磁場の強さに正比例していることです。つまり

$$\Delta\lambda = 4.7 \times 10^{-5} g \lambda^2 H$$

であらわすことができます。ここで g は Landé g -factor とよばれるものでゼーマン効果を示すスペクトル線についてきまっているもの、 λ は cm であらわした波長、 H は Gauss であらわした磁場の強さです。今一例として $g=1$ のスペクトル線を考えると 6000 \AA あたりで 3000 Gauss の磁場の強さとしても 2 つに分離するスペクトル線の間隔即ち $2\Delta\lambda$ は約 0.1 \AA にすぎません。

次に分離したスペクトル線は偏光して、磁場の方向と眺める方向とが平行であるか（これを longitudinal という）直角であるか（これを transverse という）によって円偏光になったり直線偏光になったりしているということ、従ってこの間の角度が任意になっているとそれらが入交った所謂楕円偏光となっていることです。御存知のように磁場はベクトル量ですから大きさと方向の決定が必要で、そのためには分離したスペクトル線の偏光状態を測定するということになるのです。

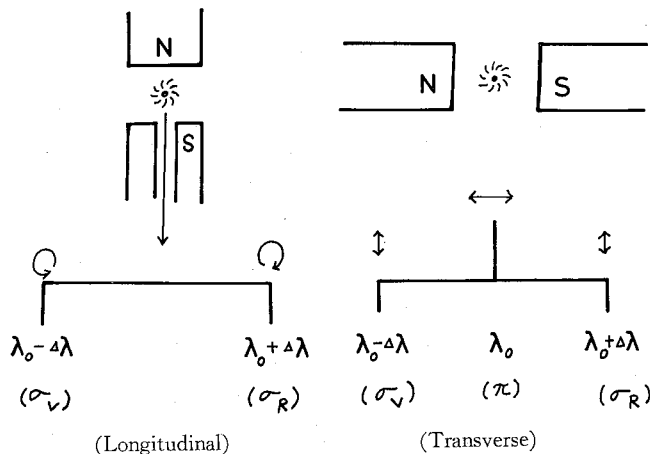


図 1

* 東京天文台 K. Nishi: Polarimeter for the solar coude telescope of the Okayama Astrophysical Observatory

太陽黒点のスペクトルの場合は、スペクトル線は吸収線となっているし、黒点のいろいろな物理量のために幅のついた輪廓があるので、この吸収線の輪廓に沿って偏光の様子がどうなっているかを測定することになるのです。黒点の磁場が強くて、ゼーマン効果によるスペクトル線の分離がスペクトル線の幅に比べて充分大きい場合には、磁場の強さはその分離の量からほぼ正確に求められますが、磁力線が観測者の方向とのなす角度を知るためにはどうしてもその偏光状態を知る必要があります。まして磁場の強さが余り強くなく、スペクトル線の分離量が吸収線の幅程度以下では、正確な偏光観測によらなければ磁場の方向だけでなく強さも求められないのです。

黒点磁場によるゼーマン効果を受けた吸収線の生成に関する初めての本格的な理論は東京大学理学部天文学教室の海野教授によって今から約 20 年前に発表されました。この海野理論は現在ではこの方面に関する論文が出版されると必ず引用される程重要かつ有用なものなのですが、出版後間もなく私が留学中であったドイツに居た黒点観測家達の評判では、“美しい理論ではあるが実用性に乏しい”との声の方が多く聞えて来て、その頃まだ若かった私の大和魂をふるいたさせるのに充分であったことを記憶しています。

3. 西式ポラリメーターの誕生

「西式健康法」の向こうを張って一応名乗りでてみたのですが、注意深く読んで戴くうちに、読者賢者にはこのポラリメーターの製作には極めて多くの人々の智恵と創意と工夫とが入交っていて、私はただある時期に観測のシャッターを切ったにすぎない事がおわかりになると思います。

前節でものべて通り私がドイツに於て大いに和魂を刺戟されて帰朝した頃、海野先生はその頃大学院生であった小平桂一氏を指導して太陽黒点磁場を観測するためのポラリメーター（偏光観測装置）を製作中でしたが、同氏がドイツ留学のため出発されたのでタイミングよく私が引ついだ形となったのです。このポラリメーターは三鷹にある塔望遠鏡の大型分光器と組合せて用いるように設計されたもので、塔望遠鏡によって太陽スペクトルを結像させた後に使用される方式になっていました。その概要を図 2 に示しましょう。D（ダイヤフラム）から F（カメラ）までがポラリメーター部ですが、塔望遠鏡と分光器によって得られた太陽スペクトル像の一部を D で取り出し、 L_1 でコリメートした光にして BP (Bi-Prism) で二分し、一方は E (1/4 波長板) を通し他方はそのまま DP (Analysing double-image-prism) を通して L_2 でカメラのフィルム F 上にスペクトル線を結像させ

ます。こうするとフィルム上には 4 つのスペクトル線の像が得られますが、夫々には 2 つの円偏光と 2 つの直線偏光との情報が分離されていて、之等の情報を解析することにより吸収線の輪廓に沿った偏光の状態が分ることになり、海野理論を用いることによって磁場の強さと方向が知られるのです。このような装置を用いてその時観測した黒点半暗部の磁場の方向は、太陽表面に対する傾きがさほど大きくはないという結論を得たのですが、このポラリメーターの使用によって磁場測定の見安がついたので、一応“実用性に乏しい”という批判に対する返答ができてホッとした気持ちになったことを記憶しています。

しかしたちまち反論がでました。それは器械的な偏光の除去に関してです。一般に偏光した光が鏡に入射すると反射光は入射光とは違った偏光状態を示すという点、

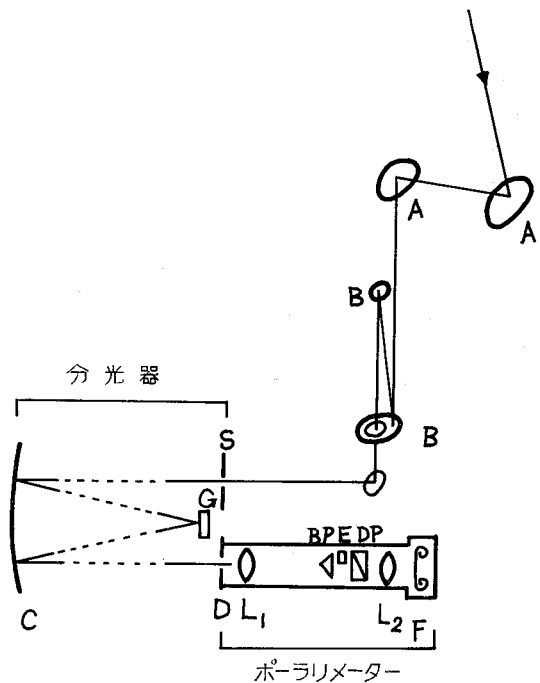


図 2

- A : シーロスタット
- B : 望遠鏡
- S : スリット
- C : コリメーター
- D : ダイヤフラム
- L_1 : コリメーター レンズ
- L_2 : 結像レンズ
- BP : Bi-prism
- E : 1/4 波長板
- DP : Analysing double-image-prism
- F : カメラ
- G : グレーティング

又回折格子による偏光は極めて複雑であって場所むらも大きいということです。之等の反論には正しい点が含まれていて、器械的な偏光の除去に対する工夫という点ではシーロスタートを用いた塔望遠鏡系や、回折格子を含んだ大型分光器を通ったあとにポラリメーターを設置するという事は決して賢明な方法ではありませんでした。

この器械的な偏光の除去という問題に関しての工夫は、1968年岡山天体物理観測所にクーデ型太陽望遠鏡が新設されるに及んで本格的になったのです。この太陽望遠鏡についてはすでに石田五郎氏が天文月報第61巻第4号(1968年4月号)に“岡山・きょうこのごろ”という題でくわしい解説を書かれたし、同じく天文月報第61巻第11号(1968年11月号)には牧田貢氏による“クーデ型太陽望遠鏡テスト観測の記”に大型分光器とその前光学系などのくわしい話がでているのでそちらを参照して戴きたい。図3によってわかるように、この方式の望遠鏡系ではどの鏡に対しても太陽光の入射角が観測時間中は殆んど一定であるし、(極めて正確にいうと太陽の赤緯が1日の間でも変化するし、太陽面上の観測する場所が変わるとクーデ鏡に入射する角度は一定ではない。)主鏡(M)、副鏡(B)、クーデ鏡(Q)までの光学系と、補鏡(A)以後の光学系とが太陽の時角に応じて光軸のまわりに回転するだけです。従って観測の前後でクーデ鏡及び補鏡の前で大型のポラロイド(P₁, P₂)を出し入れして整約用の写真を撮影しておけば、クーデ鏡及び補鏡によって生ずる器械的な偏光が測定でき、その

影響を取除くことが可能なのです。勿論観測の折にはP₁, P₂は光路より取外してあります。

三鷹の塔望遠鏡と組合せて用いていた第1号ポラリメーターを岡山へ持参して、クーデ型太陽望遠鏡及び大型分光器特に回折格子による偏光を調査する仕事が牧田貢氏と共に行われる一方、新らしく工夫をこらしたポラリメーターが徐々に形をなして来たのが1970年頃です。第3図によってわかるように新しいポラリメーターは望遠鏡によって生ずる太陽像と大型分光器の間に設置して分光器系特に回折格子による偏光の影響をできるだけ小さくしました。もう一つの工夫はフレネルの菱面体(F)を1/4波長板として用いると同時に光束を2分する役目を負わせたことです。実際にはスリット(S₁)を開くとL₁(コリメーター)による主鏡の像がフレネル菱面体の第一面の位置にあることが見られますが、そこで主鏡の像を2分するので結局は望遠鏡を半分づつ使用していることになっています。又特殊なR(ローションプリズム)の使用によって光束の分離方向と偏光の方向とを±45°にし、分光器の回折格子には格子刻線方向に±45°のお互に直交する偏光をあてるようにしてあります。そして2個のL₂(結像レンズ)によってS₂(分光器入口)には4つのスリット像が生じていますが、このレンズは又2分した主鏡の像を回折格子のほぼ同じ位置に結像させる所謂フィールドレンズの役目をも果しています。鏡面スリットの反射による観測位置確認の所謂証拠写真は白色光でもH_αのリオフィルターを通しても得られるように前光学系を工夫してあります。このように

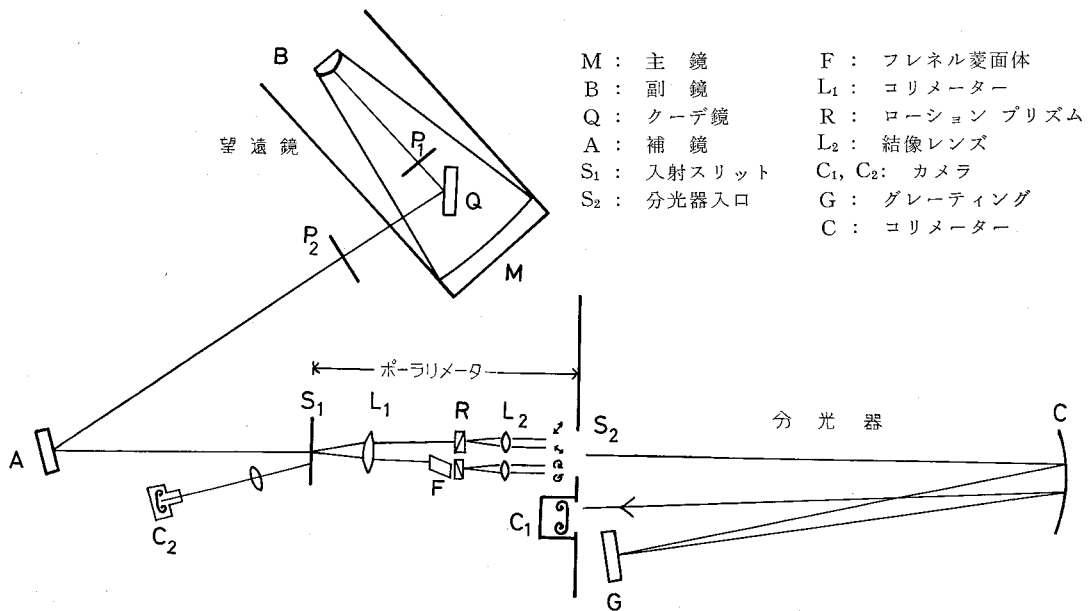


図3 光学系及びポラリメーターの外観

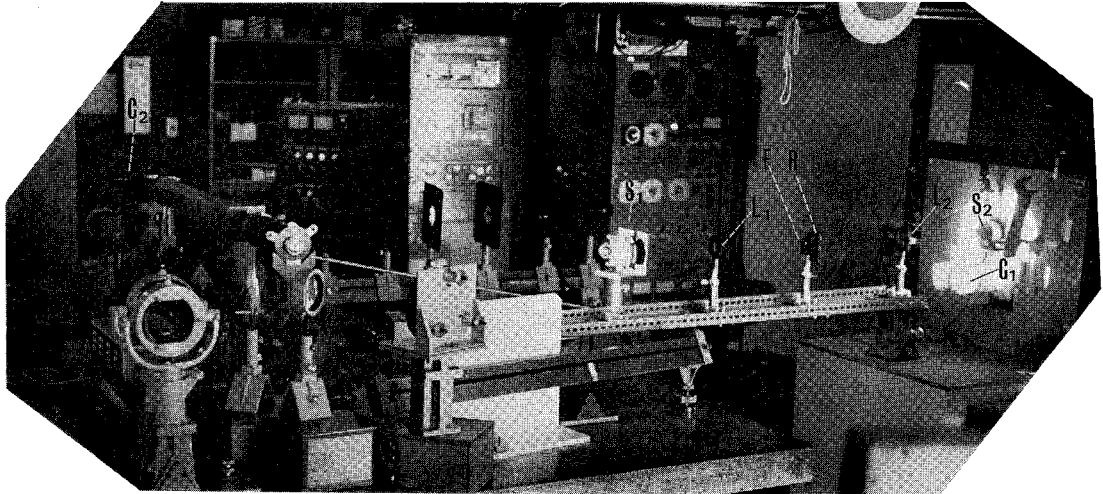


図 4 ポラリメーター全景

して、2つの円偏光と2つの直線偏光との情報を含んだ4つのスペクトルが唯一回のシャッターで得られるという現存する世界唯一のポラリメーターが誕生したのです。図4にその全景を示しておきます。この装置によって1974年7月4日に田中捷雄氏によって観測された資料はすでに天文月報第68巻第5号(1975年5月号)に掲載され、この黒点磁場は1942年3月3日 von Klüberによって観測されて以来の最高強度を示したのです。

4. 将来のこと

このポラリメーターが一応できあがってから、太陽黒点磁場の謎を解明するために資料の獲得に努めて居られる方が徐々にふえて来ているようなので、設置や調整に時間がかかりすぎたり熟練を必要とするというような声にも謙虚な気持ちで改良を進めたいと考えています。

像質が余りよくない時には、2つの円偏光と2つの直線偏光の情報を含むスペクトルを目で眺めていると、その像の動きが同一でなく極めて複雑ですが、之は望遠鏡を2分して使用しているためと考えられますので、たとえシャッターは1回しか押しなくても、太陽面上の違った場所の情報が入りまじっている可能性もあることを注意すべきでしょう。実際に撮られたフィルムの解析には日江井栄二郎氏や平山淳氏などの指導の下に製作されたデジタル・マイクロホトメーター(これに関しては“高速デジタルマイクロホトメーター”という題で、天文月報67巻8号、1974年8月号に、清水一郎氏による解説があります。)がその威力を発揮していますが、牧田貢氏や清水一郎氏の話によれば像質の問題や光学系などで理屈通りにいかない諸点もでてきているらしいので、将来ともこのポラリメーターを更にみがきあ

げてゆく必要があると思います。このポラリメーターは岡山天体物理観測所の清水実氏を始めとする大勢の人々の手作りの部分が殆んどであって、その熟練かつ有能な作業をして下さった方々に心から感謝します。

このポラリメーターの外に、フレネルの菱面体が非常に広い波長域にわたって1/4波長板として働らくという特性をうまく利用して、同じ太陽望遠鏡に附属しているエシエル分光器と組合せて黒点のスペクトルを撮影することにより、黒点の深さ方向の磁場の強さの情報を得ることも可能な段階にあるし、又黒点附近の所謂活動領域の弱い磁場の様子を光電的に測定しようとするマグネトグラフの計画も1部は手がつけられ始めたので、来るべき太陽活動極大期をねらってこの方面の観測も充実の度を加えつつあるということができるといえるでしょう。

掲 示 板 (I)

日本証券奨学財団の昭和51年度研究調査助成募集について

この助成金の趣旨は、学術文化の研究調査を奨励し、社会の発展、福祉に寄与することとなっており、理学および工学も対象の部門に入っておりますが、原則として研究者の年齢は55歳以下としています。昭和51年度の助成金総額は3,000万円で400万円以内のものを数件100万円以内の研究調査の助成を十数件予定しています。選定委員は茅誠司氏他10名です。申請書提出期間は本年3月1日より4月末日までとなっていますので関心のある方は学会庶務理事まで御連絡ください。