

報告

2010年洛東高校

花山天文台太陽観測実習報告

西村昌能、岡和田健文（京都府立洛東高等学校）

黒河宏企、石井貴子（京都大学理学研究科附属花山天文台）

1. はじめに

花山天文台のお膝元、山科区にある洛東高校が花山天文台で実習のお世話をして頂いて、すでに 10 年になる。これまでの経過は、天文教育などで報告しているのでご覧いただきたい[1][2]。

さて、去年は、それまでの黒点数の極小期から回復しつつある時で、おもしろい現象が出現し、それらの高分散分光観測をすることができた。報告の時期が一年後になり、恐縮だが、今年の太陽活動との比較もできると考え投稿した。

2. 磁場浮上領域とアーチフィラメントシステム

黒点は太陽表面に浮かび上がった磁場の切り口が見えている部分である。黒点は片方が N 極、反対側が S 極というように対になっている。磁石が太陽内部に存在するかのようである。

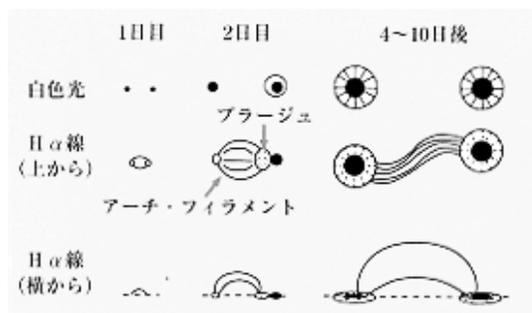


図 1 浮上磁場領域が発達して黒点群に結びついた磁力線の様子（柴田・大山 2004[3]）。

黒点が発生するときは、太陽内部の磁力線が浮上してきて小さな二つの黒点が見え出す。そのような二つの小さな黒点の領域（これを浮上磁場領域という。）を $H\alpha$ 線で観察すると、黒点を結ぶ何本かの筋模様が見える。この筋模様をアーチフィラメントといい、N 極と S 極を結ぶ磁力線に沿ってプラズマが流れているのである。小さな黒点群にこのような模様が現れるのは、黒点が発生してすぐのことだといわれている。このとき黒点はどんどん成長していくが、アーチフィラメントも風船が膨らむように黒点上空に伸びていく。黒点が十分発達してくるとアーチフィラメントの膨らみは停止する。ところで、アーチフィラメントが膨らんでいるのはどうしたら分かるだろうか。黒点の距離が広がっていくことでもわかる。さらにアーチフィラメントの上部（中間点）と黒点付近（足下、両端）での視線速度を測定すると、磁力線の浮上の状況はもっとはっきりしてくる。浮上している中間部は上昇し、そのためドップラー効果で、筋模様のスペクトル線は青方変位（我々に近づく）し、その一方で、足下は流れ落ちるガスによって赤方変位（我々から遠ざかる）するからだ。

視線速度の測定方法には二つある。その一つは $H\alpha$ 線画像の波長を本来の波長から、ほんの少し、たとえば 0.5 ほど長波長、短波長にずらすものである。ドップラーシフトのおかげで、青くずらした画像では上昇部分が見られる。浮上磁場領域の場合はアーチフィラメントの中心（中間）部分だけが見えるの

だ。それは、この領域が上昇しているからである。また、赤くずらした画像では黒点近くにだけアーチフィラメントが見えてくる。この部分に下降流があるからだ。このようにして 1970 年頃に、ドイツ人とアメリカ人研究者らによって浮上磁場領域の構造が見いだされたのだ。

もう一つの方法がアーチフィラメントの視線速度をダイレクトに測定する方法である。高分散分光器を利用して H α 線領域のスペクトルを撮影し、アーチフィラメントの各部分でのドップラー変位した H α 線の波長と本来の H α 線の波長のずれを調べるというものである。我々は、今回、観測はこの方法を利用したのであった。

3. 洛東高校の観測

2010 年 8 月 16 日から 20 日にかけて洛東高校の観測実習希望者 9 名は、花山天文台に 5 日間おじゃまして観測に励んだ。実に観測初日 16 日の午後、幸運にも浮上磁場領域を見つけることができた。分光観測中は、H α 画像でスリット面にあたる太陽面をモニターしているからであった。そこには、一本のアーチフィラメントがあった。そして、幸運は重なるものだ。そのアーチフィラメントがのびる方向とスリットの方向が完全に一致していたのだ (図 2)。

花山天文台の分光器のスリットは回転できない。そのため、観測対象がスリットとずれているときは、何か所に分けて分光する必要がある。今回は本当に幸運で、大変教育的な画像が得られたと考えている (図 3)。

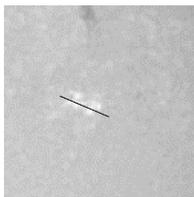


図 2 飛驒天文台 SMART の H 画像

8 月 16 日 05h03m09s (UT)

左下の図は浮上磁場領域を拡大したもので、浮上磁場領域とスリット位置の関係を示す。

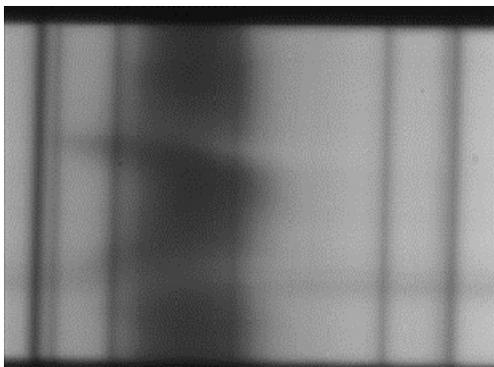


図 3 2010 年 8 月 16 日 05h39m55s (UT)、太陽面の北西部に見られた浮上磁場領域のアーチフィラメントの H 線スペクトル画像。左側が長波長域。中央より少し左にある非常に太い吸収線が H 線である。

4. 解析

観測では、きれいなアーチフィラメントのドップラーシフトしたスペクトル画像が得られた。しかし問題はその解析方法である。このアーチフィラメントの光学的厚みが十分厚い場合と薄い場合とで、扱いに注意を要する。通常は、アーチフィラメントのスペクトルから静穏領域（バックグラウンド）のスペクトルをさっ引いて、更にバックグラウンドのスペクトルで割ったもの（コントラスト輪郭）をモデル計算と比較して、アーチフィラメントのドップラー速度や光学的厚みを求めるのであるが、ここでは高校生にも理解できる簡単な方法で、如何にしてアーチフィラメントの速度場を求めるかについて、試行錯誤を繰り返した。

まず、アーチフィラメントの部分を図4のように8か所の領域に分けて、それぞれのスペクトル輪郭を求めて、バックグラウンドの線輪郭（図5）を差し引いてみた。その結果が図6と図7である。

図6、図7から判るように、アーチフィラメントの端が赤方偏移、中心部分が青方変移していることは判るが、コントラスト輪郭の作成やモデル計算など、これ以上の数値的な解析は高校生の範囲を超えるので、私たちは次のような工夫をした。

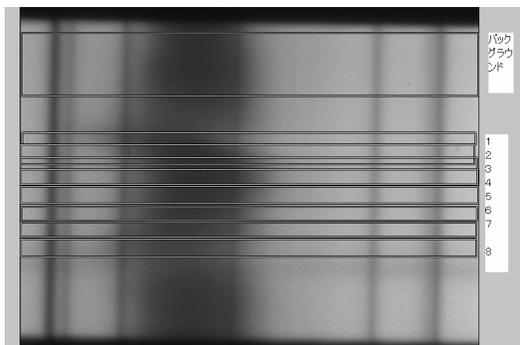


図4 対象のスペクトル画像をマカリでバックグラウンド、ドップラー変位をしている領域を切り出しスペクトルトレースに変換する。

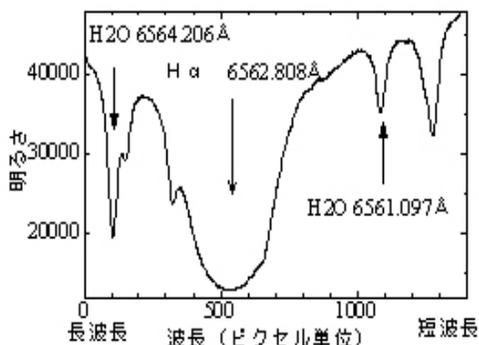


図5 バックグラウンドのスペクトルトレース

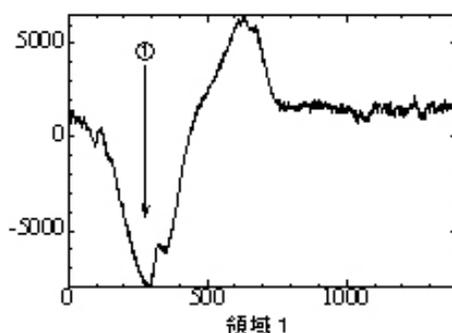


図6 アーチフィラメントの端（赤方変位領域）のスペクトルトレースとバックグラウンドのスペクトルトレースの引き算で得られたもの。線①の部分は大きく赤方変移している。

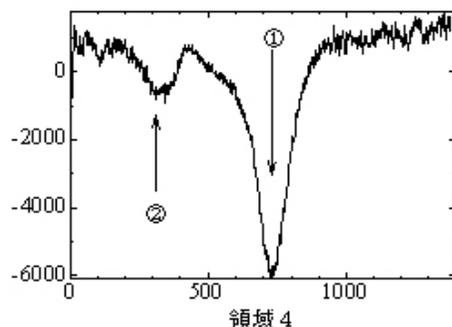


図7 アーチフィラメントの中央でのスペクトルトレースとの引き算。図5と比較すると一番暗い部分（H線のドップラー成分）は明らかにブルーシフトしている。

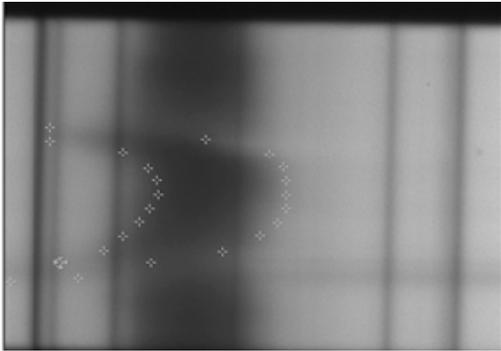


図 8 マカリを利用して座標を調べた。十字文字が座標を調べた箇所。

それは、ドップラーシフトした H 線の輪郭の座標を読み取り、そこから吸収線のずれを測定しようというものである。これは、生徒との相談で考え、実際の測定はもちろん生徒たちが行った。

座標を読み取るソフトは、国立天文台提供のマカリである。このソフトは、天文学者がよく利用している FITS という形式の画像を PC 上で処理するのに開発された、大変すぐれたものであり、重宝している。

結果として、アーチフィラメントの中央はおよそ 10km/s の上昇流、黒点側のフィラメント両端は 30km/s の下降流であることと、アーチフィラメントの長さが 2 万 km という事もわかった。この値は、1970 年代に研究者によって求められたものとたいへん良く一致している (図 9)。

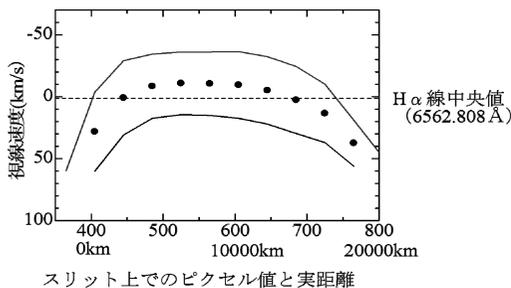


図 9 スペクトルの輪郭から求めたアーチフィラメントの速度場

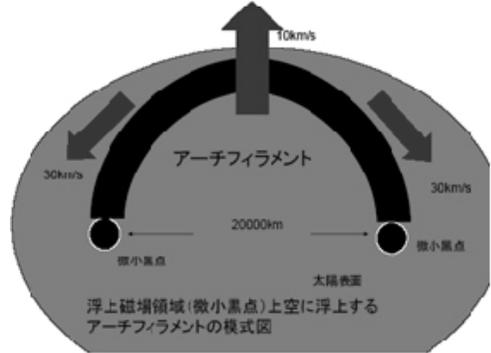


図 10 生徒が描いたアーチフィラメントの速度場

上昇流はアーチフィラメントの膨張を、下降流はガスの重力運動を意味している。その様子を生徒達がイラストにしたのが図 10 である。このイラストを含めて生徒達は今度の日本天文学会ジュニアセッションで発表する予定であったが、東日本大震災で天文学会春の年会が中止になり発表はできなかった。他での発表を通じて、自分たちで観測し、自分たちで解析をし、報告書を作成し、プレゼンをした生徒達は大きな充実感・達成感をもった。さらに太陽面の活動が活発になってきている今年は、どのような現象が観測できるだろうか。楽しみである。

追記 この研究は 2010 年 11 月に開催された近畿支部集会で報告した。

文献

- [1]西村昌能 2006「連載 こんな授業やっています【6】 文系でも天体物理学? 文系にも天体物理学!」天文教育 第 18 巻 4 号 2006 年 7 月号 p8-12
- [2]西村昌能 2008「洛東高校-花山天文台生徒実習」あすとろん vol.2 p12-16 2008 年 3 月 8 日 NPO 法人花山星空ネットワーク
- [3]柴田一成, 大山真満 写真集 太陽 身近な恒星の最新像 p22 裳華房 2004