

## 連載

## 花山天文台で行った生徒実習から【5】

## フレアの観測

西村昌能（元京都府立洛東高等学校）、

黒河宏企（京都大学名誉教授）、

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

太陽観測の華はフレアの観測であろう。フレアとは、太陽大気中で起こる爆発的増光現象のことである[1]。この増光は、ガンマ線から電波までの全波長域におよび、大きなフレアでは白色光で観察される。

R. C. Carrington[2]と R. Hodgson[3] はそれぞれ独立して、歴史上最初にフレアを目撃した。1859年9月1日のことであった。このフレアは巨大フレア爆発で、観測史上最大の磁気嵐を起こしたことで有名である。特に Carrington は細密なスケッチを残していてこのフレアを Carrington イベントという。

つまり、フレアは光だけでなく、プラズマも宇宙空間に放出しているのである。

## 2. フレアのメカニズム

ここでフレアのメカニズムについて簡単におさらいをしておこう。

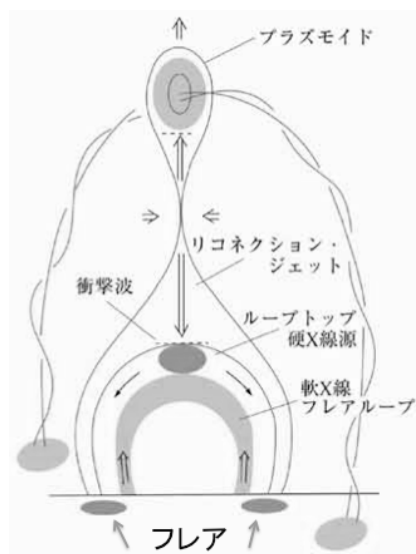


図1 フレアの磁気リコネクションモデル  
[4]を一部改変

フレアは複雑な形をした黒点群でよく発生することが知られている。黒点は太陽内部の磁束管の出口であり、その磁力線は宇宙に向かって延びている。

フレアのエネルギー源は黒点付近の磁気エネルギーである。黒点から黒点上空にコロナの領域に延びる磁力線がつなぎ変わるとき（これを**磁気リコネクション**という）、磁場のはじける力によって、上方へ高温のプラズマが宇宙空間に延びる磁力線に沿って飛び出し、**噴出型プロミネンス**となる。飛び出したプラズマを**コロナ質量放出（CME）**といい、これが、地球に届くと磁気嵐を引き起こし、オーロラを出現させる。下方へは、同じくプラズマが黒点に結びつく磁場に沿って彩層へぶつかり、数千万度の高温になって電波やX線を放射する。

可視光線の領域でスペクトルを観測すると、この磁気リコネクションで下方へはじかれるプラズマが彩層や光球などの太陽大気と衝突して、彩層の上部が過熱蒸発すると共に、その下の彩層では、**H $\alpha$ 線**（水素線）などが明るく輝く輝線として観測される。この時フレアは、リボン状に活動領域磁場の両極にそって広がり、**ツーリボン・フレア**が観測される。

このようにフレアは衛星から紫外線やX線・ $\gamma$ 線で観測でき、電波望遠鏡では太陽電波が観測される。これらの観測はフレア上部の情報を私たちに教える。今回試みたH $\alpha$ 線でのフレア観測は、フレア下部の情報が得られるのである。

### 3. 洛東高校の観測

洛東高校の花山天文台太陽観測実習は、2002年から始めたが、この年の観測初日にフレアが出現した。たいへん幸運な実習が太陽活動の極小期に向かうまで続いたのである。また、新しい活動極大期になった頃、2年続けてリムにフレアが起こる機会にも恵まれた。

大きく複雑な黒点群があると、数日前からGOESのX線フラックスモニター[5]はX線フラックス値が大きく変動し、フレアが発生していることを知らせてくれる。観測実習中にそのような黒点群に出会うとX線フラックスモニターを常時見ながら実習を進めることになる。X線フラックスモニターで急激なフラックス増加を見つけたら、つまりフレアがひとたび起こると、ザートリウス望遠鏡のH $\alpha$ 画像モニターで、フレア的位置を確認し、太陽館のシーロスタットは分光器の波長をH $\alpha$ 線領域に変更した上で、そのH $\alpha$ モニター上でフレアを探し求めて慌ただしく観測をしていくのである。その間、およそ2時間。観測者全員が輝いている時でもある。

#### 3.1 観測装置とスペクトル

観測装置とその諸元は、報告[6]と同じである。観測波長域はH $\alpha$ 線を中心とする6560Å~6565Åである。

#### 3.2 観測期間

実習中にフレアが出現したのは、2002年、2003年、2004年、2011年、2012年であった。このうち、2004年の実習では同じ日の午前と午後に別の黒点群でフレアが発生し観測に成功している。また、2011年と2012年は太陽リムで発生したフレアの観測であった。

### 4. 生徒の観測と解析結果

#### 4.1 2002年の観測[7]

この花山天文台での観測の最初の年は太

陽活動の極大をすこし過ぎたところであった。記念すべき最初の年にMクラスのフレアが発生し、観測に成功したのだった。Mクラスというのは、X線フラックス量を用いたフレア強度の対数関数の指標で弱いほうからA、B、C、M、Xとなる。Mクラスとなるとかなり強い方となる(たとえば図18と図26の縦軸を参照)。

このフレアはUT2002年8月20日(実習初日)03時頃に黒点群NOAA0069で発生した(図2)。直ちに分光観測に入り、03:01~03:06の間にたくさんのスペクトル画像を得ることができた。

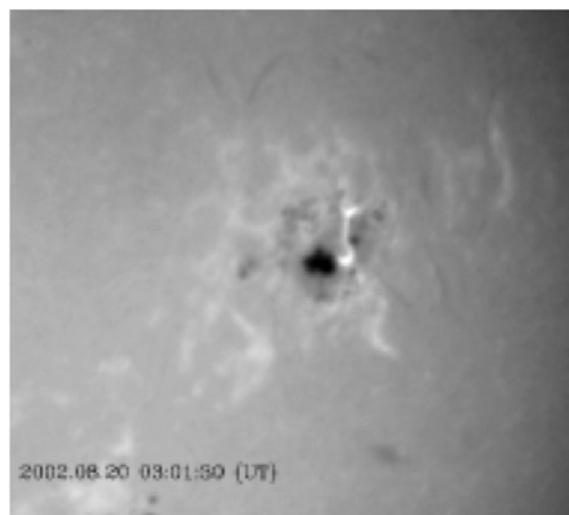


図2 黒点群NOAA0069に発生したフレア  
ザートリウス望遠鏡で得られたH $\alpha$ 画像

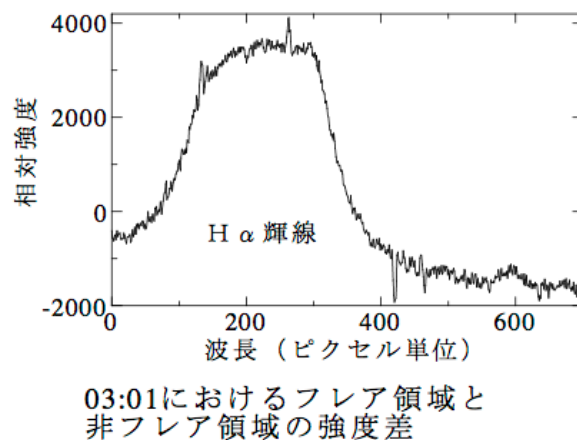


図3 図2と同時刻の高分散スペクトル

図3はそのうちの一枚(03:01)のスペクトル画像をIDLでスペクトルトレースに変えたものである。フレア部分も吸収線のように少し周りより暗くなっていたが、非フレア領域(バックグラウンド)のスペクトルトレースを引き算すると輝線成分が見えてきた。

この黒点の磁場の強度はフレア終了後に測定され2.6kGとされた[8]。

#### 4.2 2003年の観測[9]

2003年は、8月19日から23日まで実習を行った。観測実習初日の機器調整中にフレアが発生し、フレアカーネルを確認した。フレアリボンの内部には、構造があり、特に明るい領域をフレアカーネル(輝点)という(図4)。フレアが起こって時間がすこし経過したところに観測ができた。UT18日02:25から02:43までに17枚のスペクトル画像が得られた。ただ、機器調整中でスリット幅が未調整でかなり大きく分解能は通常の観測より落ちていた。

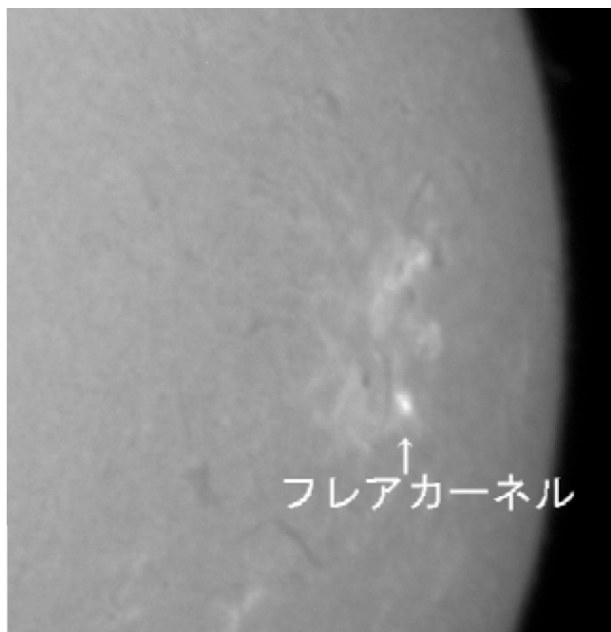


図4 黒点群NOAAで観測されたフレアカーネルのザートリウスH $\alpha$ 画像

図5は観測されたスペクトルトレースの一

例であるが、分解能が低いため地球大気の吸収線の線幅が広がっている。

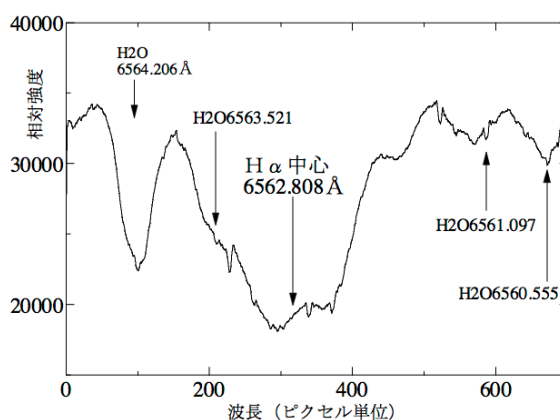


図5 観測されたフレアカーネルのスペクトルトレースの例

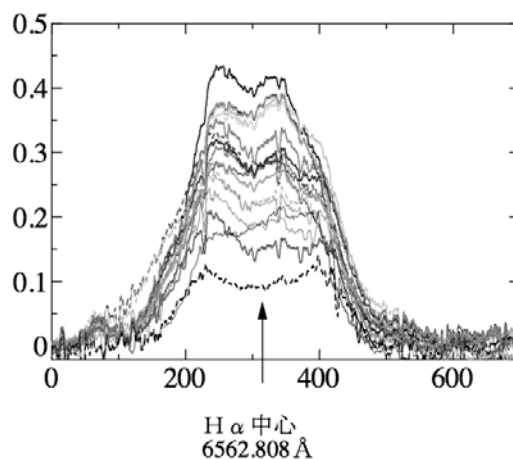


図6 H $\alpha$ 線の輝線成分の時間変化  
図の左側が長波長になる。

図6は規格化したフレアスペクトルからバックグラウンドを差し引いて得られたH $\alpha$ 輝線のスペクトルトレースを重ねたものである。バックグラウンドのコンティニュームを0としている。図6からフレアの明るさ(エネルギー量)が大きく変動していることが分かる。

図7は図6を利用してH $\alpha$ 線の静止波長に対するH $\alpha$ 輝線の強度0.075での線幅中央値の波長差を視線速度にしたものである。

視線速度(ここでは $v$ とする)を調べるためには、観測されたフレアのH $\alpha$ 線波長とそ

の静止波長の差（ここでは  $\Delta\lambda$  とする）を調べ、以下の式に代入して得ることになる。

$$v = (\Delta\lambda / \lambda) \times C \quad (1)$$

式 (1) で  $v$  (km/s) は H $\alpha$  線の視線速度、 $\lambda$  は H $\alpha$  線の静止波長 (6562.808 Å)、 $C$  は光速 ( $3 \times 10^5$  km/s) である。

この図からは H $\alpha$  線には、観測のはじめ頃はおおよそ 4km/s の赤方偏移が見られたこと、時間の経過とともに視線速度が 0km/s になったことが分かる。輝線成分の一番明るいところで求めると 10km/s 以上の赤方偏移となり、H $\alpha$  輝線輪郭には長波長側に膨らみが見られ、非対称性が確認される。

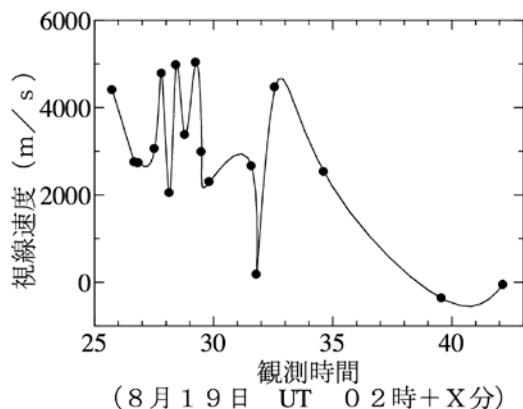


図7 H $\alpha$  輝線のスペクトルトレース (図6) から求めた輝線成分の視線速度変化

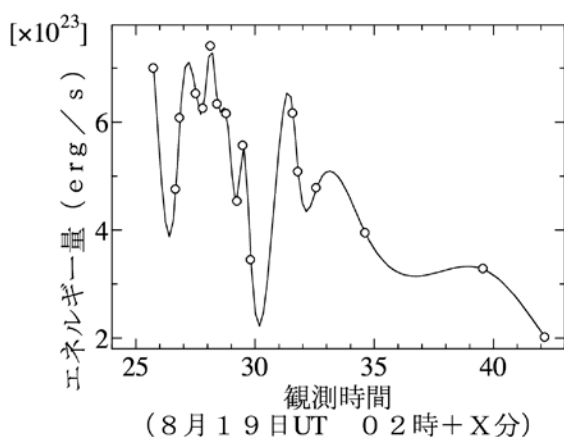


図8 フレアの放出エネルギー量時間変化

図8はH $\alpha$ 輝線トレースの面積と太陽面の静穏領域の光度からフレアカーネルの放出エ

ネルギーの時間変化を求めたものである。図7と比べてみるとフレアが明るいときにH $\alpha$ 輝線は赤方偏移していて、フレアが収まってくると偏移量は0となった。図7、図8のフレアが起きているときの急激な減光や視線速度の変化は分光器のスリットがフレアカーネル中心から外れていた可能性があるが、フレアが起こった初期の短時間に視線速度が4km/sの赤方偏移から0km/sに大きく変化し、それにもなってH $\alpha$ 線のエネルギー放射量は  $6 \times 10^{23}$  erg/s から  $2 \times 10^{23}$  erg/s へと減少したといえる。

### 4.3 2004年の観測[10]

2004年は8月16日から20日の実習期間に4回のフレアが観測できた。このうちNOAA10656でJST8月18日10時18分16秒に発生したフレアとNOAA10661に8月18日14時11分54秒に発生したフレアのH $\alpha$ プロフィールについて解析を行った。

#### 4.3.1 NOAA10656領域で8月16日10時に発生したフレアの観測

NOAA10656で8月18日10時18分に発生したフレア輝線スペクトルの変位量は+0.26 Åで、ドップラー効果の式(1)から+



図9 NOAA10656で8月16日10時16分16秒に撮影したフレアの分光器スリット面H $\alpha$ 像  
画面中央の細黒線がスリットにあたる。



12km/s の速度で遠ざかっていることがわかった。

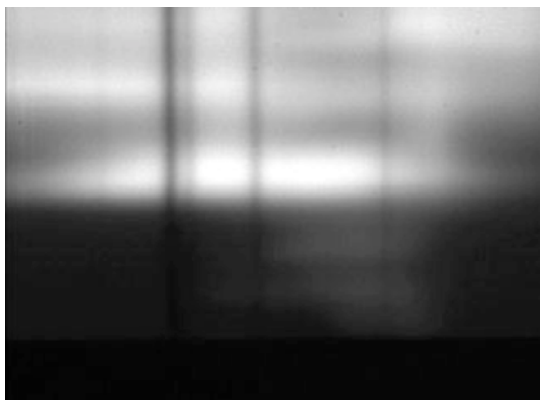


図 10 図 8 の時刻のフレアのスペクトル画像

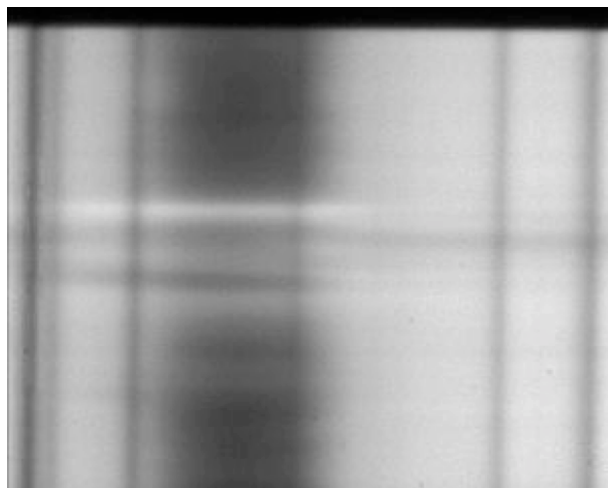


図 13 NOAA10661 のフレアスペクトル画像

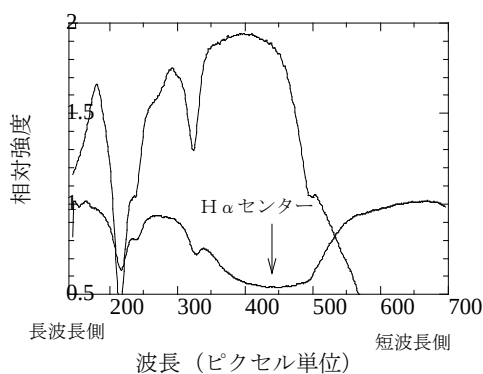


図 11 図 10 の輝線成分とバックグラウンドのスペクトルトレースを引き算して作った  $H\alpha$  輝線プロフィール

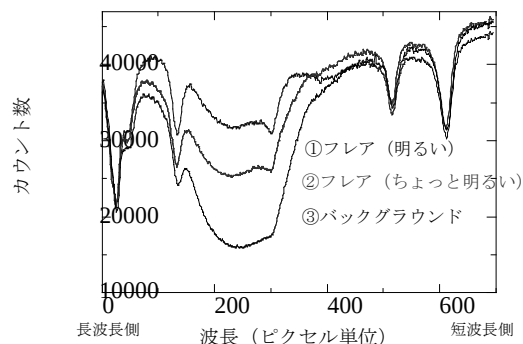


図 14 フレア領域とバックグラウンドのスペクトルトレース

#### 4.3.2 NOAA10661 領域で 8 月 18 日 14 時に発生したフレアの観測



図 12 NOAA10661 に発生したフレア  
2004 年 8 月 18 日 14 : 11 : 54 分光器スリットの  $H\alpha$  モニター画像

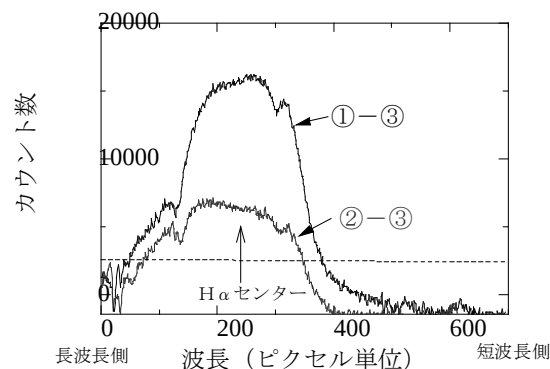


図 15 図 14 のフレアの明るい部分と少し明るい部分の輝線成分

このフレアは典型的なツーリボンで 2 本のフレアが確認された (図 12)。

活動領域 NOAA10661 に JST8 月 18 日 14 時 11 分 54 秒に発生したフレアの輝線成分と

バックグラウンドを引き算し、輝線成分を取り出した (図 14)。輝線スペクトルでカウント数 2500 での半値幅を輝線中央値と調べた (図 15)。

結果として  $H\alpha$  線中央値と輝線成分中央値の変位量は

①のフレアの明るい領域で  $+0.16\text{\AA}$

②のフレアの少し明るい領域で  $+0.20\text{\AA}$

となり、このずれがドップラー効果 (式 (1)) と考えると

①:  $+7.5\text{km/s}$

②:  $+9\text{km/s}$

の速度でどちらも遠ざかっている (落ちている) ことがわかった。

フレアを起こした NOAA110661 は磁場強度  $2.2\text{kG}$ 、磁場エネルギー量は  $1.5 \times 10^{33}\text{erg}$  であることが別の班の研究で分かっている [11]。

## 4.4 2011 年の観測 [12]

### 4.4.1 観測

しばらく静穏であった太陽面にも黒点群が出現しだして、少しはにぎやかになってきた。フレアの発生は無いだろうかと注目していたが、2011 年はリムに発生したフレアを捉えることができた。

2011 年 8 月 15 日 5 時 (UT) に太陽面上の東端に C クラスのフレアが発生した。そのフレアは活動領域 NOAA11271 が太陽のリム上にあった時に起こったものであった。太陽の分光観測を試みているときしばらく雲が太陽を覆った。雲が晴れた時、フレアがすでに発生しているのがわかった。そこで、UT 2011 年 8 月 15 日 5 時頃から約 1 時間、リムフレアのスペクトルを 181 枚撮影した。平均 20 秒にコマの撮影をすべて手作業で行った。そのうち、画像が良好でフレアを撮影できたと思われる画像 12 枚を解析した。

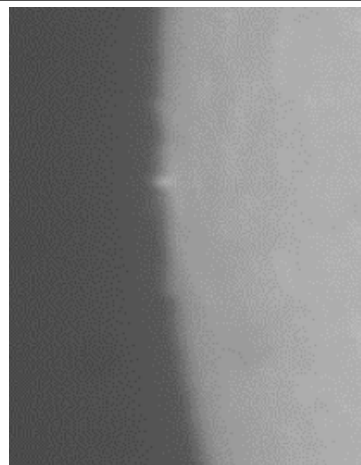


図 16 8 月 15 日 05 時 16 分 59 秒 (UT) にザートリウス  $H\alpha$  望遠鏡で撮影されたフレア領域

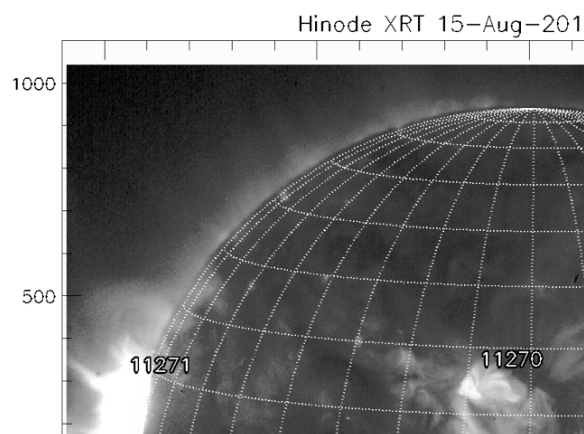


図 17 HINODE 衛星の X 線画像 [13]

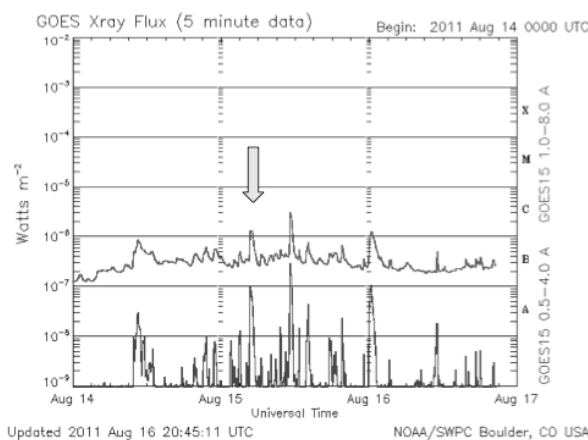


図 18 GOES データ

矢印部分がこのフレアのフラックス (C クラス)

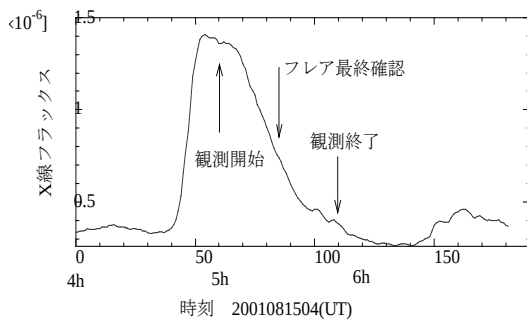


図 19 図 18 の矢印部分を拡大したもの  
観測の開始と終了時刻、フレアの終了時刻を記  
入してある。

#### 4.4.2 輝線波長法（バックグラウンドで割 算する方法）

花山天文台で取得した観測データは学校へ  
戻ってから国立天文台提供の画像処理ソフト  
「マカリ[14]」を利用して画像データからデ  
ジタルデータに変換した。画像データのスケ  
ールは波長に関して、1 ピクセルが  $0.0032 \text{ \AA}$   
であることが分かった。

フレアの視線速度の測定は、フレアの起き  
ていないバックグラウンドデータでフレア  
( $H\alpha$  線) のデータを割算した。そうして輝  
線成分が得られ、その半値幅とバックグラウ  
ンドの  $H\alpha$  線の半値幅の差を  $\Delta\lambda$  とし、式 (1)  
を利用してドップラー偏移量を求め、時間変  
化を調べた (図 22)。最初は  $-10\text{km/s}$  から  
 $-20\text{km/s}$  程度の青方偏移が時間の経過と共  
に赤方偏移に変わっていったことがわかった。



図 20 2011 年 8 月 15 日 05 時 00 分 25 秒に得  
られたスペクトル画像

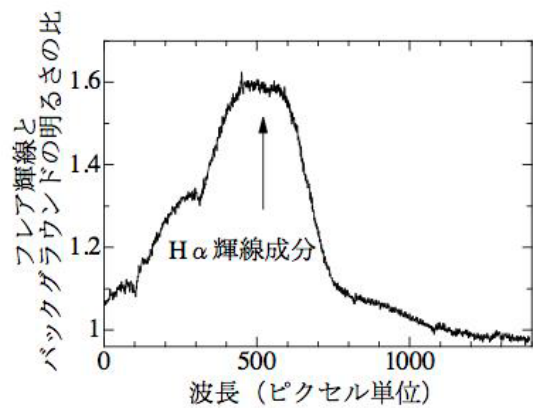


図 21 フレア領域からバックグラウンドを  
割算して得られた  $H\alpha$  輝線  
横軸の左側が長波長側

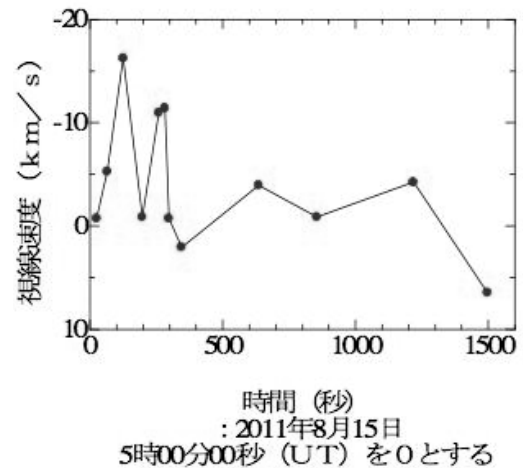


図 22 フレアの視線速度変化

#### 4.4.3 濃淡輪郭法

スペクトル画像ではフレアがもう少し短波  
長側に偏移していたように見えた。そこで、  
フレアがよく見えるように白黒反転させた  
(図 23)。

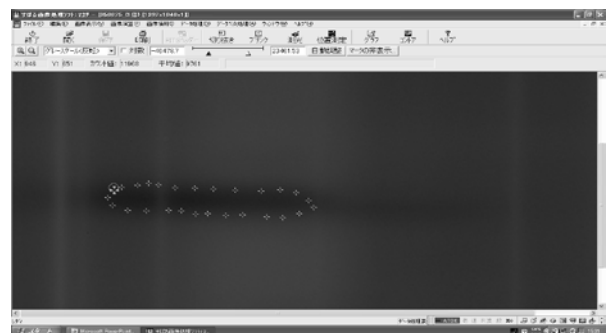


図 23 マカリ画面上のフレアと濃淡境界

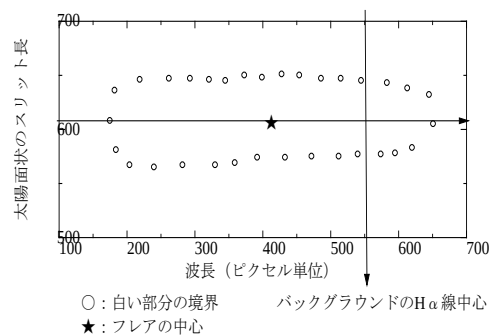


図 24 濃淡境界から求めたフレアの青方偏移

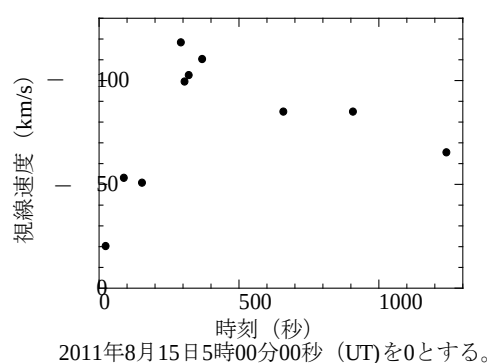


図 25 濃淡境界から求めたフレアの視線速度の時間変化

その上で、黒色の特に濃い所の境界線の座標を調べ、バックグラウンドの H $\alpha$  線中心を求め、そこからフレア中心の座標が離れているか調べた。その結果、波長のずれが  $-0.44 \text{ \AA}$  と求まった。このことからこのフレアは  $20.1 \text{ km/s}$  の速度で青方偏移していることになる (図 24)。同様の作業をすべてのスペクトルで行い図 25 を得た。

#### 4.4.4 生徒の考察

輝線波長法では、H $\alpha$  線の両側に輝線成分が見えるときは青い側のみを測定している。濃淡輪郭法で調べると図 25 のようにフレア最大の時 (UT 5 時) では  $-20 \text{ km/s}$  の青方偏移であるがその 300 秒後には  $-120 \text{ km/s}$  と大きくなって緩やかに速度が低下していった。これは、特にフレアの明るい部分を見ている

からだと思う。一方、輝線波長法では、フレアの平均したものを見ていると考えられる。

□ フレアの大きさ (幅) が  $5000 \text{ km}$  とも分かった。

青方偏移は双極磁場に沿ってこちらに向かって落下するプラズマの様子が見えていると考えられる。ただ、分光器のスリットが、正しくフレアのしかも同じ場所に当たっていたかどうか、検討する余地はある。

#### 4.4.5 指導者・教員との対話

上記は生徒の解析と考察であるが、指導者から次のようなコメントをした。

1) 青方偏移だけでなく、レッドシフトも見えている。ブルーシフトは、ガスが落ちていくというより、フレアループの膨張が見えているのではないだろうか。

2) 輝線成分の波長から調べる方法では、H $\alpha$  吸収線の強さの影響を受けている可能性あり、ウイングで調べるべきであろう [15]。図 21 には H $\alpha$  線のウイングに当たる部分に赤方偏移で生じた非対称成分が見える。

### 4.5 2012 年の観測 [16]

#### 4.5.1 観測

2012 年は、8 月 16 日～21 日の 5 日間観測実習を行った。生徒たちは、18 日までは中性鉄線で黒点の磁場を調べたり、小さいフレアを調べていたりしていた。18 日は、観測準備をして UT0 時 30 分 (JST9 時 30 分) 頃に観測を開始し、中性鉄線で黒点の磁場測定のためのスペクトルを撮っていたところ、太陽の東側のリム上にフレアが発生したのに気付いた。そこで、ただちに UT0 時 46 分から H $\alpha$  線を中心にしたスペクトルの観測を開始した。

途中に雲に覆われて中断したが、UT0 時 46 分から UT2 時 24 分までフレアの観測を行った。この間に最短で 5 秒に一コマの 157 個のスペクトルデータを取得することに成功し



た。この内、分光器が高分散過ぎてフレアの明るい部分の波長幅がスペクトル画像の波長範囲を超えて解析できないものを除外した。結果として 66 個のスペクトルデータが解析に使われることになった。図 26 を見るとフレアのピークは UT01 時ころである。このことからフレアの立ち上がり時期から終了までカバーできているのが分かる。

この観測では、飛騨天文台の SAMRT (太陽磁場活動望遠鏡) の H $\alpha$  画像を利用した(図 27)。活発にフレアが起こっているのが確認された。

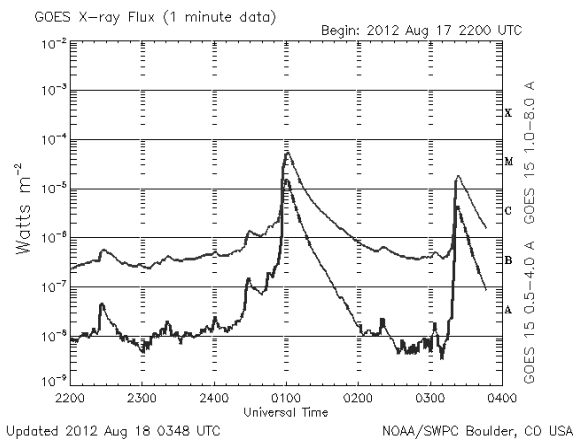


図 26 GOES X線フラックスデータ  
中央のピークが観測したフレア



図 27 飛騨天文台の SMART で得られたリムフレア [17] (UT 8 月 18 日 01 時 01 分)

#### 4.5.2 解析

観測中に分光器の波長幅が狭いため、フレ

ア輝線が画像からはみ出していることが分かった。そこで、図 28 のように、撮影波長域をずらしたスペクトル画像を合成してフレアの全体像を調べてみた。図 28 から H $\alpha$  輝線の幅は 6.4 Å であることが判る。このため、H $\alpha$  輝線のドップラー幅は分光器の CCD の大きさを超え、速度に直すと 300km/s にもなる。このため、以下の解析では、H $\alpha$  線中心部の特にフレアの明るい部分 (コア) を用いた (図 29)。

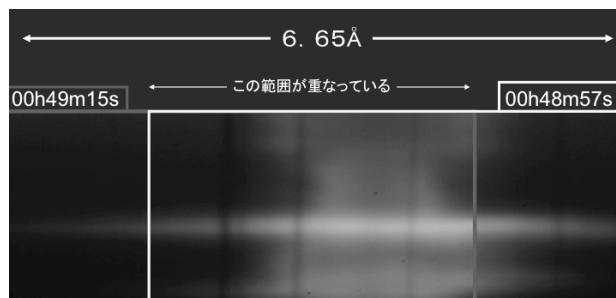


図 28 二つのスペクトル画像を合成して得られたフレアスペクトルの全体像

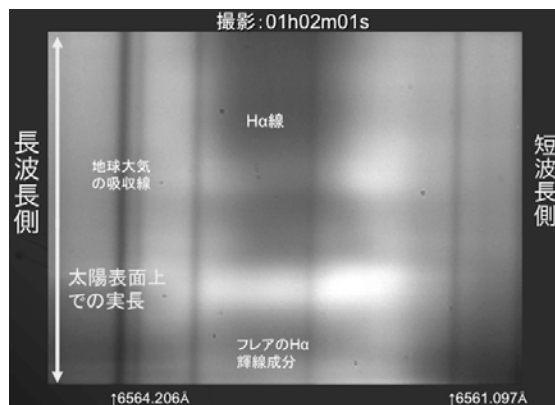


図 29 撮影されたフレアスペクトル画像の一つ (UT 01h02m01s)

図 29 は、フレア最盛期のスペクトルである。この画像を見ると、画像に H $\alpha$  線が吸収線としてみえる。これは太陽縁ぎりぎりの場所でフレアが輝いていることを示している。

解析は、マカリを用いた 2011 年のフレア解析に用いた濃淡法を利用した (図 30)。

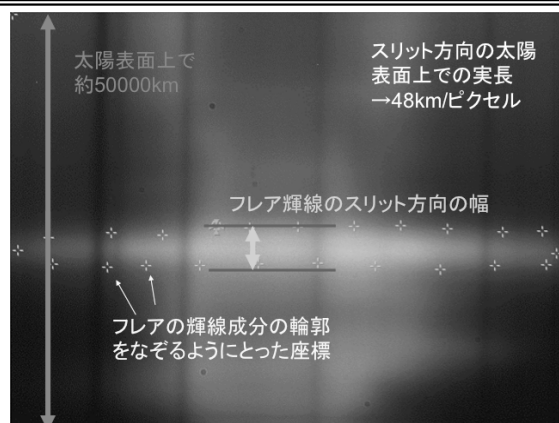


図 30 マカリ画像上のフレア

図 30 のように、明るく輝いているフレア領域を縁取るように 25 点ほどポイントを決め、画像データ上の座標をピクセル単位で求める。得られた座標からフレア中心位置を求める。また、スリット方向のフレア幅をフレアの大きさとした。

#### 4.5.2-1 視線速度解析

生徒たちは、フレアの H $\alpha$  線成分の輝線スペクトルを得て、このフレアの視線速度について式 (1) を用いて調べることにした。

$\Delta\lambda$  は次の手続きで得た。

- 1) バックグラウンドの H $\alpha$  線で深さがおよそ半分になるところ（ただし、地球大気吸収線の影響が出ないところ）の線幅中央値をピクセル単位で求める。
- 2) マカリ上で、フレアが見え明るく輝いている部分の座標をとり、長波長端と短波長端のピクセル座標の平均をとり、それを H $\alpha$  輝線中心とする。
- 3) 2) と 3) の差に 1 ピクセルの波長 0.0032 Å を掛け合わせる。

#### 4.5.2-2 輝線ドップラー幅解析

生徒たちは、輝線の波長幅にも注目した。先の視線速度解析で用いたフレア輝線の長波長端と短波長端の差を輝線ドップラー幅とした。当然、ピクセル単位の測定値を波長 (Å)

単位に換算した。

#### 4.5.2-3 フレアの大きさ（幅）の測定

同じ手法で、フレアの大きさを測定した。先の視線速度解析で用いたフレア輝線のスリット方向の幅はスリット面でのフレアの大きさに対応するので、上端と下端のピクセル座標差を求めた。あらかじめ、得ていた 1 ピクセルあたり 48km を座標差に乗じてフレアの実長（幅）を求めた。

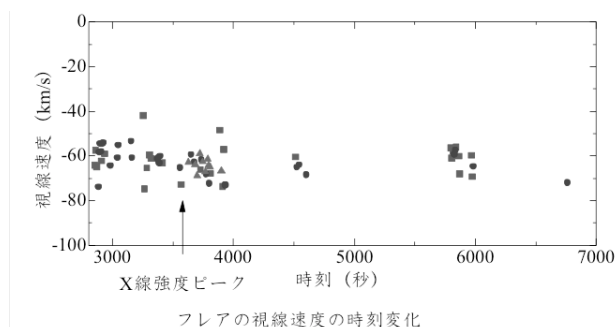


図 31 フレアの視線速度の時刻変化

記号は、丸は彩層上層、四角は彩層下層、三角は光球での観測結果を表す。

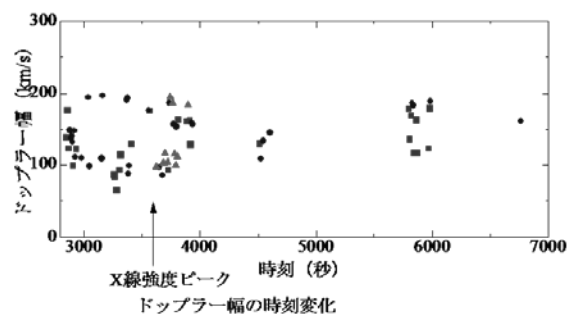


図 32 フレアのドップラー幅の時刻変化

記号は図 31 と同じ

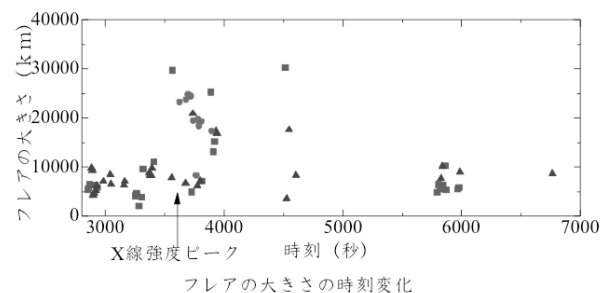


図 33 フレアの大きさの時刻変化

記号は図 31 と同じ

### 4.5.3 生徒の考察

図 31～33 から、X 線強度ピークの時点から光球にフレアが見られるようになったことがわかる。フレアが明るくなり光球でも観測されるようになったため、スペクトルが撮れるようになった可能性がある。

高さが異なるにも関わらず、フレア上層、下層、光球での測定値はほぼ同じ $-60\text{km/s}$ であった。符号が $-$ で青方偏移であるので、こちらに向かった運動であることが判る。また、どの位置でも時刻の経過とともに視線速度が大きくなる傾向が見られた。

まず、観測期間中、視線速度はほぼ  $60\text{km/s}$  の青方偏移を続けていた。青方変位というのは、フレアを起こしているプラズマがこちらに近づいていることを意味している。フレアを起こしている黒点が見えていなかったのも、フレアの東側だけが見えていると判断できる。このことからフレアはほぼ等速で膨張していた事と判断した。図 31 では、フレアの視線速度が徐々に増加している様子も分かる。

フレア開始時直後の観測はできなかったが、フレアの X 線強度ピークの時刻を捉える事が出来た。視線速度では、X 線強度ピーク時に大きな変化はなかったが、ドップラー幅と大きさ（幅）は大きくなっている。ドップラー幅の原因には、温度成分、温度以外の物質の運動など考えられる。温度だけで説明しようとする大変な高温度になる。

## 5. おわりに

この回で連載は終了する。この連載で取り扱ってきたものは、花山天文台太陽館の高分散分光器を用いて行った分光観測でできたことのすべてである。さて、この連載に先立って黒点の発生時期に見られる浮上磁場領域のアーチフィラメント構造の速度場を調べた観測を報告している[18]。この論文も含めて合計 6 本をまとめて参照して頂ければ幸いであ

る。

研究内容は差動回転の検出、5 分振動の検出、浮上磁場領域の速度場、サージの速度場、フレアの観測、黒点磁場の測定である。利用した解析方法は磁場測定を除き、ドップラー効果を利用した視線速度測定で、生徒に理解しやすいものであった。

この実習企画は 14 年間続いた。SSH 等の高校でもなく、また部活動でもなく、そして文系生徒がたくさん参加した一般公募の企画で一つの高校が太陽の分光観測をテーマに継続的に取り組めたのは驚異に値する。これには、天文台の存在が大きいと思う。花山天文台は地元の天文台であり、麓の小学校の校歌にも歌われている。そのような研究施設で研究ができることは若い人たちに大きな夢を与えていたといえる。

洛東高校の活動記録を残すことによって、今後も花山天文台の施設が教育面でも大いに活用されるよう、祈念して筆を置きたい。

なお、花山天文台太陽館のシーロスタット望遠鏡と高分散分光器については天文台のホームページに詳しいので参照して欲しい[19]。

## 文 献

- [1] 柴田一成 (2011) 『総説 宇宙天気予報』 柴田一成, 上出洋介編著, 京都大学学術出版会, p.137
- [2] Carrington R.C. 1859 “Description of a Singular Appearance seen in the Sun on September 1, 1859” MNRAS 20, 13
- [3] Hodgson R. 1859 “On a curious Appearance seen in the Sun” MNRAS 20, 15
- [4] 柴田一成・大山真満 (2004) 『写真集 太陽-身近な恒星の最新像-』 p.48, 裳華房
- [5] <http://www.swpc.noaa.gov/products/goes-x-ray-flux>
- [6] 西村昌能・黒河宏企・石井貴子 (2016)

- 『連載 花山天文台で行った生徒実習から  
【1】太陽の 5 分振動の検出』, 天文教育  
Vol.28 No.4 (2016 年 7 月号), pp.36-42
- [7] 幾山幸治、後藤達也、澤田弘剛、柳 真之、  
山崎史裕、林 貴子、松本悠佑 (2003)  
『NOAA0069で観測されたフレアの H $\alpha$  ス  
ペクトル』, 日本天文学会第 5 回ジュニア  
セッション集録, p.44
- [8] 柳 真之、山崎史裕、林 貴子、松本悠佑、  
幾山幸治、後藤達也、澤田弘剛 (2003)  
『高分散スペクトルを利用した太陽の自転  
速度と黒点磁場の検出』, 日本天文学会第 5  
回ジュニアセッション集録, p.42
- [9] 小田村 愁、本田遼平、津田和昌 (2004)  
『2003 年 8 月 19 日に観測されたフレアカ  
ーネルの H $\alpha$  スペクトル』, 日本天文学会第  
6 回ジュニアセッション集録, p.46
- [10] 福島円香、幾山靖代、若林 愛 (2005)  
日本天文学会第 7 回ジュニアセッション  
集録, p.40
- [11] 兼田 匠、山中 渉 (2005)『太陽黒点の  
磁場の極性と強さ』, 日本天文学会第 7 回  
ジュニアセッション集録, p.36
- [12] 松本 遵、吉田明正、田中風汰、藤本弘  
輝、中尾拓海、池田誓汰、上野郁美、林 薫  
里、西川真史、野村みのり、瓶子実紗央、  
大仁田 萌、西村友佳 『リムフレアの高分  
散スペクトル』, 日本天文学会 第 14 回ジ  
ュニアセッション集録, p.58
- [13] <http://hinode.nao.ac.jp>
- [14][http://makalii.mtk.nao.ac.jp/index.htm](http://makalii.mtk.nao.ac.jp/index.html)  
l.ja
- [15]Ichimoto K. and Kurokawa H. 1984  
“Red asymmetry of solar flares” *Soph*  
93 105
- [16] 各務正浩、小林亮介、瓶子実紗央、藤弘  
輝、松本 遵、大仁田 萌、西村友佳、野村  
みのり、板谷由菜、林 由樹 2013 『M ク  
ラスフレアの分光観測 on 黒点 NOAA115  
48』 日本天文学会第 15 回ジュニアセッシ  
ョン集 p.110
- [17][https://www.hida.kyoto-u.ac.jp/SMART](https://www.hida.kyoto-u.ac.jp/SMART/index_j.html)  
/index\_j.html
- [18] 西村昌能・岡和田健文・黒河宏企・石井  
貴子 (2011)『2010 年洛東高校 花山天文  
台太陽観測実習報告』, 天文教育 Vol.23  
No.5 (2011 年 9 月号), pp.51-54
- [19][https://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/gene](https://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/general/facilities/taiyoukan/index.html)  
ral/facilities/taiyoukan/index.html