

2005年フレアに伴うプロミネンスの記録

梶井俊彦*

1. はじめに

天文現象には起きることが計算によって予測できるものとできないものがある。予測できたとして、観測の準備をして待ちかまえていても、天候に恵まれず観測ができないこともある。また、観測するためには使用する装置やそれらを使いこなす技術も必要である。太陽の活動型プロミネンスの観測は、このような観測条件の困難さもあって観測できる機会の少ない天文現象の一つであるが、2005年に大阪府教育センターにおいて、フレアに伴うプロミネンスを2回観測することができたので紹介する。

2. 2005年の太陽活動の概況

太陽の黒点数の増減は太陽活動の指標となり、その増減の変化から太陽活動の周期は約11年であることが知られている。2005年は太陽活動の極小へ向かって黒点数は少なくなっており、黒点のない日も多くなっていた。また、黒点に伴うフレアやプロミネンスといった現象も少なくなってきた。次に極小を迎えるのは2006年末から2007年前半であると予測されている。

3. プロミネンスとは

プロミネンスは、太陽の周囲で様々な形に突き出て見える。皆既日食(図1)の際には、光球が月によって隠され、彩層とともに肉眼で紅色に見られるために「紅炎」とも呼ばれる。その名称のために、太陽の組成の大部分を占める水素が燃焼している炎のように思われてしまうが、実際には太陽の持つ磁場の磁力線に沿ってガスが凝縮したものである。

「炎」というよりも太陽表面に浮かぶ「雲」のようなものであるという方が正確である。

その紅色は、励起された水素原子が出す輝線であるH線(波長656.28nm)によるものである。またプロミネンスは、太陽の自転によって、地球から見て太陽の前面へ回ってくると、明るい彩層を背景と

して暗い筋のようなダークフィラメントとして観察される。

プロミネンスは、安定で数か月間続くこともある静穏型プロミネンスと、本稿で紹介するような、出現してから数時間しか続かない活動型プロミネンスとに分けられる。活動型プロミネンスは、フレアに伴って出現する。フレアとは、黒点を磁極とする磁力線のねじれに蓄えられたエネルギーが、ねじれのつなぎ替えの際に放出される現象である。フレアはあらゆる波長の電磁波で観測されるが、H線では黒点付近の彩層が明るく輝いて見える。

4. 太陽の観測方法について

(1) H フィルター

太陽の観測で最も簡単な方法は、可視光によるものである。太陽観測用の減光フィルターや太陽投影板を用いれば黒点や白斑といった光球上の構造を見ることはできるが、プロミネンスの出すH線は白色光の強さに埋もれてしまうために見ることができない。

フランスの天文学者リオは、方解石などの複屈折をする結晶と偏光板を組み合わせてH線だけを通す複屈折干渉フィルターを発明して、初めて皆既日食時以外でのプロミネンスの観測に成功した。この「リオフィルター」は製作に高度な技術を要するために高価であった。

その後、比較的安価に蒸着薄膜間の反射を利用してH線のみを通す薄膜干渉フィルターが製作されるようになり、これが科学館や公開天文台などへ広く普及した。このフィルターは温度によって透過する光の波長が変わるので、ヒーターで温度を一定に保って透過波長を調整するタイプと、フィルターを傾けて透過波長を調整するタイプとがある。当センターの屈折天体望遠鏡には、前者のタイプのディスクフィルターを取り付けて太陽の観測を行っている。このフィルターは、温度が安定するまでに夏期で約10分、冬期では約20分かかるため、観測を始める前にヒーターの電源を入れておく必要がある。ま

* 大阪府教育センター

た、入射光を平行に近づけるために、望遠鏡の口径比をF30以上にしなければならない。そのため、太陽の全体像を撮影するときには口径を絞らなければならないので解像度が落ち、口径を絞らないのであれば焦点距離が長くなってしまいうために太陽の一部しか撮影できないという制限が生じる。

最近では、これらの欠点を解決したH フィルターを販売している会社もある。大口径のものは依然高価であるが、H フィルターを屈折望遠鏡に組み込んだ口径4cmのPersonal Solar Telescope(略称P. S. T.) (図2)は、全長39cm重さ1.3Kgと小型軽量でカメラ三脚にも載せて使うことができ、10万円以下で購入することができる。太陽全体を観察できるので、筆者もプロミネンスの発生を監視するのに使用している。

(2) 撮影方法と画像処理

プロミネンスの撮影には、以前はH 線に感色性を持つ黑白フィルムが用いられていたが、2004年に製造中止となったため、現在ではCCDが用いられている。CCDは赤外線域の感度が高いという特性を持っているためにH 線の撮影には有利である上に、フィルムよりも感度が高いので動画での撮影が容易となり、動きのあるプロミネンスの撮影に適している。

筆者は、動画として使用することが主目的の場合はフィルター後部に小型ビデオカメラモジュールを取り付け(図3)、テープに記録してからコンピュータへ取り込んで編集している。静止画として使用する場合はWebカメラを改造したものを取り付け、直接コンピュータへ記録している。

本稿で紹介する活動型プロミネンスは、動きが大きいために動画として記録したが、紙面へ載せるために画像処理ソフトRegiStax¹⁾により静止画を作成した。動画は1秒間当たり30コマの静止画を連続して撮影していることになるが、1コマごとに見ると大気や望遠鏡内部の空気のゆらぎのために天体が変形している。RegiStaxを用いて、多数のコマを重ね合わせることで画質改善を行い、画像をより鮮明にすることができた。

5. 観測の実際

先に述べた様々な条件のため、フレアに伴って出現する活動型プロミネンスを観測できる機会は少ない。太陽面の地球から見える側にフレアが頻繁に起きる黒点がある場合は、太陽の自転により黒点が縁へ回っていくのを待ちかまえば、プロミネンスを

観測できる可能性が高い。黒点が太陽面の裏側から出てくる場合は、黒点の存在そのものを知ることが難しい。

しかし、太陽から到達するX線強度をモニターしていれば予測できる場合もある。フレアが起こればX線が発生するからである。そのような情報を得るにはインターネットで独立行政法人情報通信研究機構が出している「宇宙天気ニュース」²⁾が参考になる。そこでは、フレアやそれに伴う磁気嵐・オーロラなどの最新情報が分かりやすく解説されている。基本的には1日1回更新されるが、フレアが頻繁に起きる場合はその都度随時に情報が更新される。

フレアの規模は、例えば「X1.6」というように表示されるが、これはアメリカ合衆国の気象衛星GOESによって測定されたX線強度の値を $a \times 10^{-b}$ (W/m^2)という式で表し、指数bが6のときをC、5のときをM、4のときをXとし、続く数字は係数aの部分を表している。したがってC M Xの順にフレアの規模は大きく、Xクラスの場合はaが10を越えることもある。観測史上最大規模のフレアはX28であった。

(1) 2005年7月27日に発生したプロミネンス

このプロミネンスは、中学校「理科」研修「天体観測実習～太陽と金星～」の実施中に発生した。この研修は全日であったが、午前中は雲が多かったために天体観測ができなかった。昼の休憩後に雲が少なくなってきたので、プロミネンスの観察をするために事前に筆者がP. S. T. で太陽を見たところ、大きなプロミネンスが太陽から離れて浮かんでいるのが見えた。筆者が見慣れているプロミネンスとは様子が異なり、直感的に貴重な機会であると感じたので、すぐにH フィルターによる撮影の準備に取りかかり、P. S. T. で研修受講者に観察させた。32名が並んで順番に観察したが、順番が回ってくる度にガス塊が太陽から離れて行く様子を見ることができ、有意義な研修となった。

後に宇宙天気ニュースで確認したところ、このフレアはM3.7であったが、太陽前面であればXクラスとして観測されたであろうということであった。

図4では、ガス塊が太陽の引力を振り切って宇宙へ飛び出す様子が捉えられている。このようなプロミネンスは特に「スプレイ」と呼ばれているが、フレアにより放出されたエネルギーがガスを吹き飛ばす運動エネルギーとなって起こる。

画面に写っている太陽の一部分の大きさから距離を割り出し、動画の時間経過からガス塊の飛び出し

ている速さを大まかに計算したところ、約700km/sであった。

プロミネンスの発生が突然のことであったので、撮影準備に時間がかかったり、最後の方はプロミネンスの先端が画面からはみ出てしまったり雲も通過するなど、最初から最後まで撮影できなかったのは残念であったが、貴重な現象を記録することができた。

(2) 2005年9月7日から9日にかけて発生したプロミネンス

ループ状のプロミネンスは、太陽の活発な活動領域である黒点群でフレアが発生した直後に現れるため、ポストフレアループと呼ばれている。その形から、一方から噴出したガスが勢いを失ったために他方へ落ちるために生じると誤解されやすい。しかし、図5のプロミネンスが放物線を描いていないことから、このことが誤りであることが分かる。また、動画では水素のプラズマが頂点で凝縮して濃くなり、両側に分かれてループに沿って彩層へ流れ落ちる様子がよく分かる。ループは、磁石の周りに撒いた砂鉄の連なりと同じように磁力線に沿っていて、このループの頂点は強力なX線発生源となっている。

9月7日(1日目)

このプロミネンスの出現は、いつも情報を得ている宇宙天気ニュースからではなく、知人のアマチュア太陽観測者がループプロミネンスが発生したことをインターネットの天文関連掲示板へ書き込んだのを見て知った。早速、撮影を始めたが、日没が近づいていて太陽高度が低かったために鮮明な画像を得ることができなかった(図5)。

9月8日(2日目)

前日のプロミネンスが気がかりであったので少し早めに出勤してP.S.T.で太陽を観察したところ、前日よりもしっかりとループプロミネンスが見えた。ほとんどの場合、このようなループプロミネンスは1時間とは続かないので、プロミネンスが続いていたのは幸運であった。後に宇宙天気ニュースを見て知ったが、昨日の観測の後に観測史上5番目のX17という非常に大きなフレアが発生したとのことであった。この日は大気のゆらぎも小さく、ビデオのディスプレイ上でもプロミネンスの微細構造がよく見えたので、観測にふさわしい条件の揃った貴重な機会であると思い、一日中撮影を続けた。また、フレアも撮影したいと思い、ときどき黒点の方へも望遠鏡を向けた。他の所用もあり撮影にかかりきりになることができなかったために、撮影は赤道儀の

追尾にまかせた。そのため、赤道儀の機械精度からプロミネンスが画面からずれてしまうことがあった。また、撮影できる画角が狭く、撮影機材も1組であったため、撮影中にプロミネンスのすぐ下の黒点で大きなフレアが起こっていたことに気付かず、撮影できなかったことは残念であった。

図6はデジタル一眼レフカメラで撮影したこの日の太陽の全体像である。プロミネンスは太陽の東の端にある。また、図7は磁力線に沿って流れ落ちるガスの様子を少しでも表現できるように、この日の撮影で得られた最も鮮明な画像を10分ごとに静止画にしたものである。

9月9日(3日目)

プロミネンスは前日よりも細くなっていたが、続いて発生していた。撮影を続けていたところ、11時頃に突如ループが切れて消滅した(図8)。それに伴って、フレアの発生も沈静化していった。

結果的には、このポストフレアループは3日間に渡って観測されるという異例の長さであった。

6. おわりに

中学校理科の授業では、天体望遠鏡を用いて太陽像を投影して黒点を観察するが、極小期には黒点が小さく、個数も皆無であるときもあって観察が難しい。一方、極小期であってもプロミネンスやダークフィラメントの減少の程度は黒点ほどではないので皆無であることは少ない。また、赤道儀式の天体望遠鏡は組み立てや操作が難しく、太陽投影板を用いても太陽光を集光するという点で危険を伴うが、本稿で紹介したP.S.T.は比較的安価で取り扱いも易しく、加えて太陽投影板を用いた黒点の観察よりも安全性が高い。H線で見えるダイナミックな太陽活動の観察は、単なるまぶしい光の塊にしか過ぎないと思われている太陽に対する生徒の認識を一変させ、理科への関心を高めるきっかけとなると思われる。実施には数々の困難も伴うと思われるが、本稿を参考にさせていただいて、学校の理科の授業へ太陽のH線による観察を取り入れていただければうれしく思う。

引用・参考文献

- 1) 梶井俊彦：大阪と科学教育，18，3 (2004)
- 2) <http://www2.nict.go.jp/> (2005年12月)



図1 皆既日食（ダイヤモンドリング）

撮影日時 1993年10月24日10時47分37秒（現地時）

撮影場所 タイ・ナコンサワン

光学系 口径5 cm焦点距離700mm屈折望遠鏡

プロミネンスは左上に樹状に伸びている．周りの刷毛ではいたような流線はコロナである．



図2 ビデオ三脚に載せたP.S.T.

観察しやすいようにパン棒を逆方向に取り付けてある．



図3 プロミネンスの撮影装置

円筒形のH フィルター本体から出たケーブルにダイヤルの付いた温度コントローラーが付いている．手前の立方体は小型ビデオカメラモジュール．

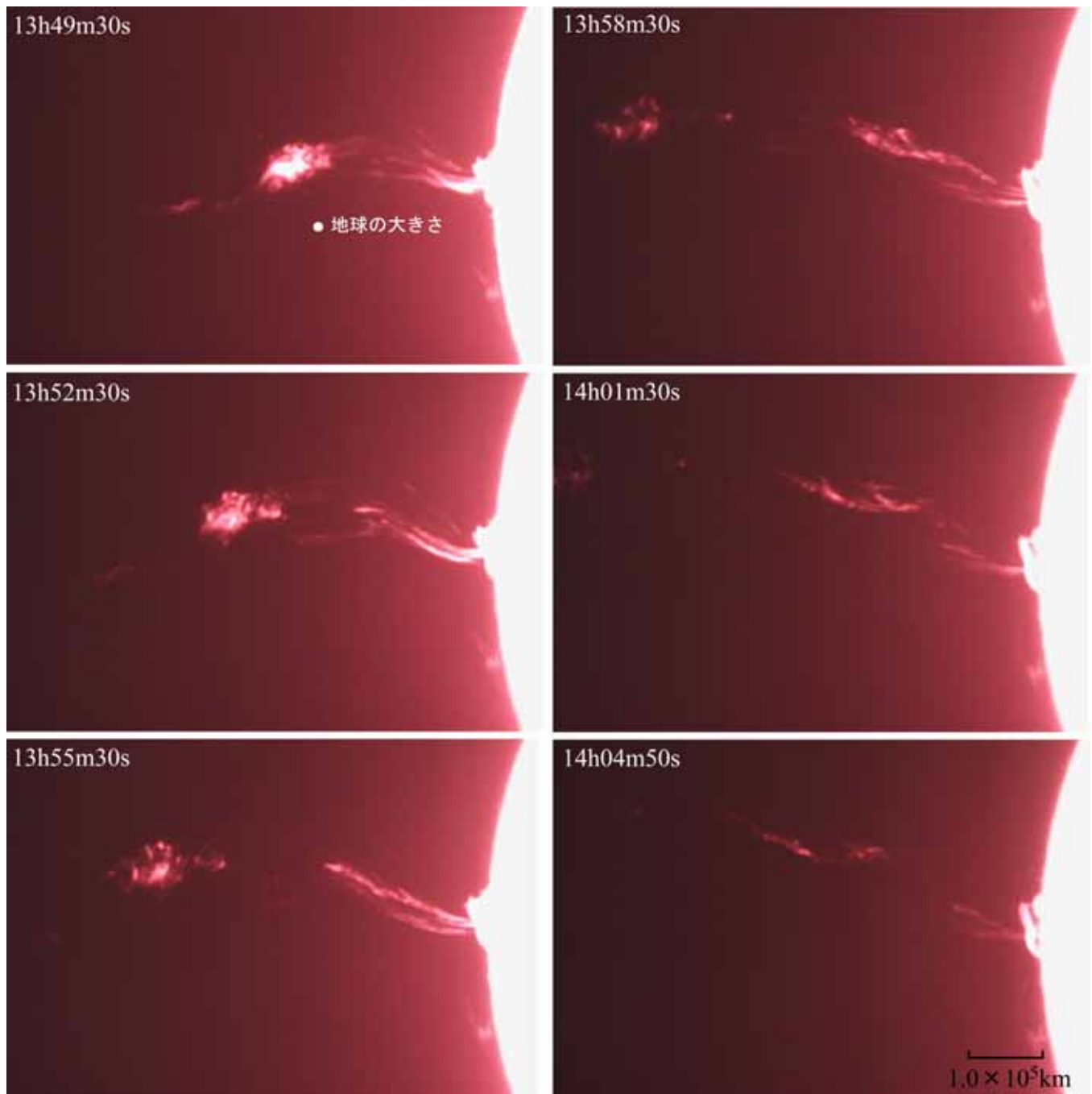


図4 2005年7月27日のプロミネンス

光学系 口径10cm焦点距離1500mm屈折望遠鏡を口径5cmに絞る

3分（最後の1枚は雲の通過のために3分20秒後）ごとに、2秒間の動画に含まれている60コマを重ね合わせて画質改善した。

太陽の一部分の大きさから割り出した距離のスケールと縮尺を合わせた地球の大きさを入れた。

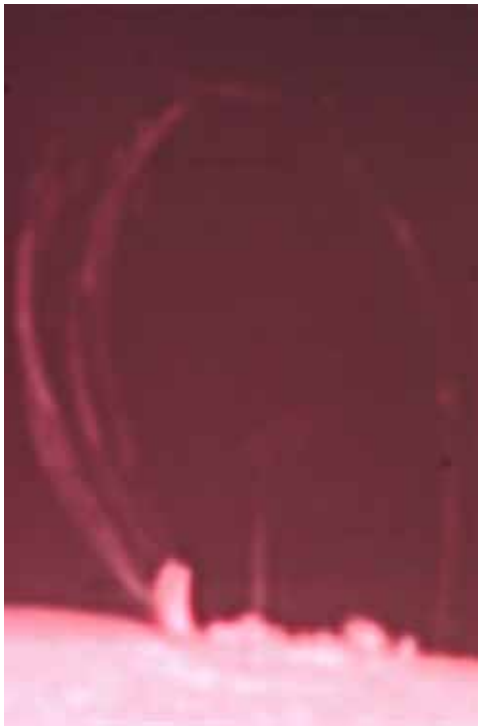


図5 日没直前のプロミネンス

撮影日時 2005年9月7日16時52分

以下の撮影データは図5, 図7, 図8 共通

光学系 口径15m焦点距離1800mm屈折望遠鏡にエクステンダー使用(合成F48)

各画像とも,20秒間の動画に含まれるコマを重ね合わせて画質改善した.



図8 ループの切れたプロミネンス

撮影日時 2005年9月9日11時55分



図6 H 線による太陽全体像

撮影日時 2005年9月8日11時55分55秒

光学系 口径10cm焦点距離1500mm屈折望遠鏡を口径5cmに絞る(合成F30)

カメラ ニコンD70

シャッタースピード 1/15秒 ISO設定 200

縮尺を合わせた地球の大きさを入れた.

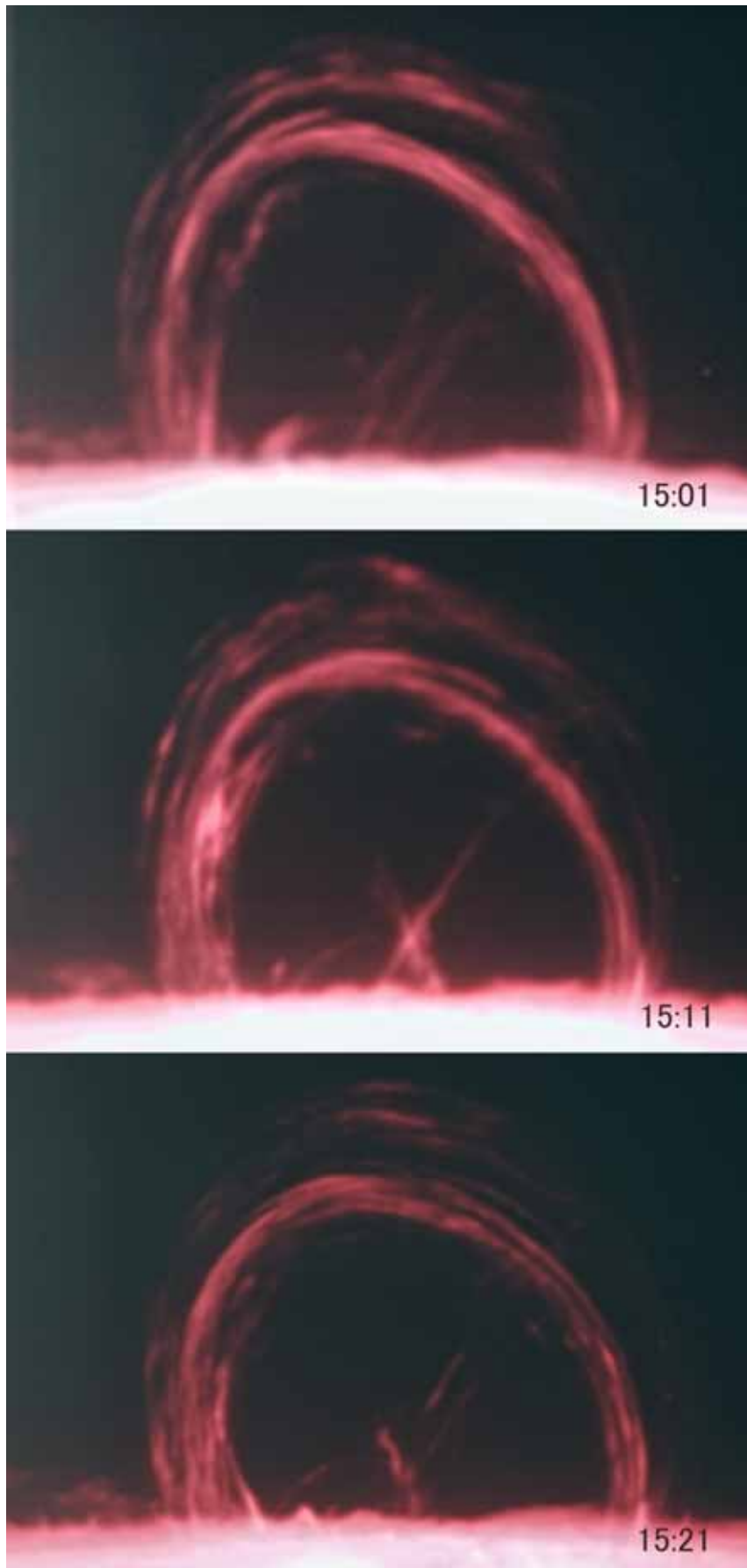


図7 ポストフレアループ
撮影日時 2005年9月8日（時刻は写真内）