

## 太陽フレアのトリガとなる磁気中性線付近の磁場構造

川畑 佑典 (東京大学大学院 理学系研究科)

### Abstract

太陽フレアは蓄積された磁気エネルギーが突然解放されて熱エネルギーや運動エネルギーに変換される現象である。フレアは黒点群が存在する活動領域において観測され、エネルギー解放メカニズムとしては磁力線が繋ぎかわる磁気リコネクションによるものと考えられているが、フレアのトリガのメカニズムについてはよくわかっていない。活動領域には磁場の極性が正から負に切り替わる地点である磁気中性線 (PIL) が存在し、フレア発生前にはこの磁気中性線に沿って長時間持続するシアの流れが観測されている。また Kusano et al.(2012) ではこの磁気中性線において、シアの流れが存在するという条件に加え、ある特徴を持った磁場擾乱が局所的に存在する事でフレアが発生するというモデルを提案した。つまりフレアのトリガを調べるには、磁気中性線付近の磁場、及びシアの流れを詳細に解析する必要がある。本研究ではフレアのトリガメカニズムに関わるこれらの論文を基に、太陽観測衛星ひのでに搭載された SOT により得られたデータの解析結果について報告する。

### 1 Introduction

太陽フレアは太陽大気に蓄積された磁気エネルギーの解放現象であり、解放されるエネルギーは  $10^{29}$ - $10^{32}$ erg に達する。ほとんどのフレアは 型黒点と呼ばれる黒点において生成される。 型黒点では磁気中性線と呼ばれる磁場の正極と負極が入れ替わる地点において複雑な磁場構造を示す。フレアのエネルギーの蓄積のメカニズムとしては、この磁気中性線付近における、シアの流れと収束の流れが重要であると考えられている。初めはポテンシャル磁場と呼ばれる低いエネルギー状態であった磁場が、シアや収束の流れにより引き延ばされエネルギーを蓄積していく (図 1)。

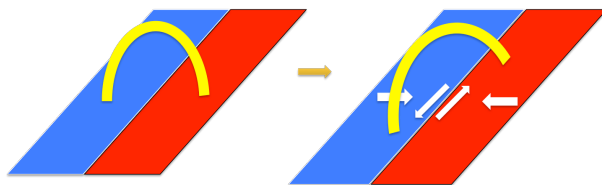


図 1: 磁気エネルギーの蓄積  
磁場が取りうる最低のエネルギー状態であるポテンシャル磁場の状態から、シアと収束の流れにより磁気ループが引き延ばされてエネルギーが蓄積

このようにして蓄えられた磁気エネルギーは磁気

リコネクションと呼ばれる現象により、解放される。磁気リコネクションとは、磁力線が繋ぎかわる現象である (図 2)。

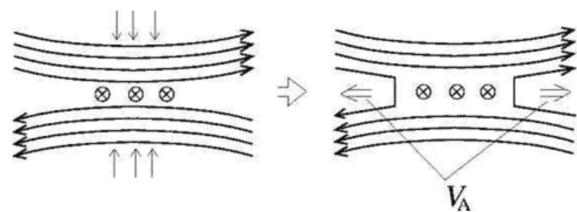


図 2: 磁気リコネクション  
磁力線が繋ぎかわる事により、磁気エネルギーを解放

反平行に並んだ磁力線が押し付けられると磁力線間に強い電流が流れ、何らかの原因で電気抵抗が大きくなり電流が散逸することにより、磁力線が繋ぎかわる。繋ぎかわった事により、磁気張力が働きプラズマが加速され、磁気エネルギーが運動、熱エネルギーへと変換される。この現象が太陽でも起こっていると考えられている。上記のようにフレアの解放メカニズムについてはよく研究がなされているが、フレアのトリガに関してはよく知られていない。

## 2 Previous study

Kusano et al.(2012) では数値シミュレーションにより、フレアの発生に必要な微小磁場構造のモデルを提案している。この数値シミュレーションでは、ある角度にシアさせた磁気ループの下に、微小磁場を挿入する(図3)。シアの角度と挿入する微小磁場の正負の向きをパラメータとしてフレアが発生するかを3次元のMHDシミュレーションで計算した結果が図4である。この結果をみるとフレアを発生させた微小磁場構造が二つに限られている事が分かる。元の磁場と180度逆になっている opposite polarity(OP)と90度時計回りに回転している reversed shear(RS)である。このことはフレアのトリガを観測的に解明する事は、太陽の光球の微小磁場構造を詳細に調べる必要があることを示している。

観測では、Shimizu et al.(2014) で2012年3月7日に発生したX5.4クラスフレアの発生前後の磁気中性線付近の磁場、速度場を解析した研究がある。磁気中性線に沿って高速のフローが観測され、このフローはフレア発生の6時間前から、発生後も数時間持続している。このフローが磁場のシアを増加させ、フレアが発生しやすい磁場構造を作ると考えられる。

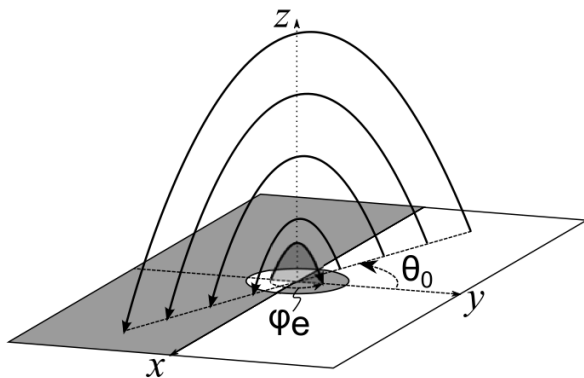


図3: フレアの微小磁場構造  
シアしている磁気ループの真下に微小磁場を挿入  
(Kusano et al. 2012)

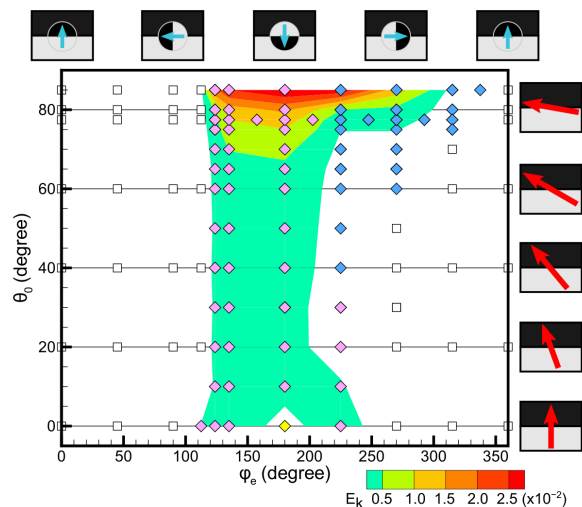


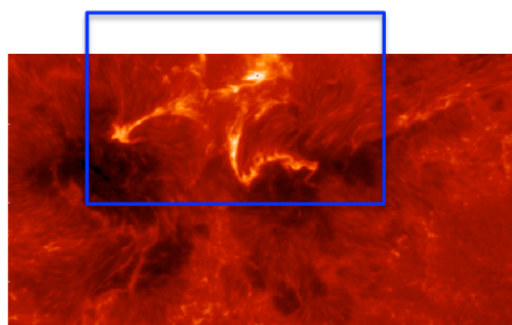
図4:  
フレア発生に必要な微小磁場構造が存在 (Kusano et al. 2012)

## 3 Observations and data analysis

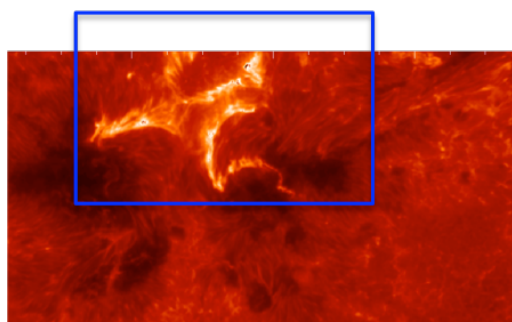
本研究の解析には太陽観測衛星ひのでに搭載されている可視光磁場望遠鏡 (Solar Optical Telescope, SOT) を用いる。SOT の Spectro Polarimeter(SP) による磁場に感度のある Fe I 線 (630.15,630.25nm) を用いた偏光観測によって太陽光球の磁場と速度場を解析する。

本研究では2014年2月2日から2月4日にかけて10回以上のMクラスフレアを起こした活動領域であるNOAA11967を解析のターゲットとした。今回の研究はShimizu et al.(2014)と同様に、フレア発生前後の光球の磁場、速度場構造を解析する事を目的としたので、フレア発生前後にSPのデータが多く取られている活動領域を選んだ。NOAA11967では2014年2月2日08:20UT(M2.2)、09:31UT(M4.4)、18:11UT(M3.1)、22:04UT(M1.3)、2014年2月4日01:23(M3.8)に発生したフレアの前後にSPのデータが多く取られている為、この5つのフレアについて解析した。

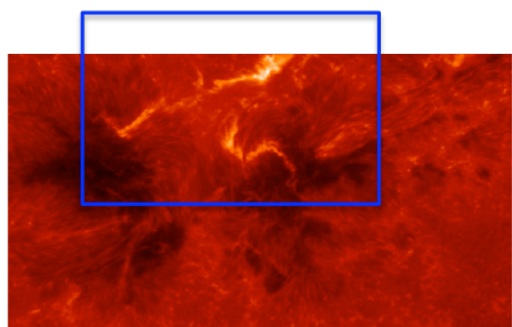
NOAA11967で観測されたフレアの特徴として、最初に起こった3つのフレアが同じ場所、同じループの形で光っている事があげられる(図5)。



2014/02/02 08:20UT



2014/02/02 09:32UT

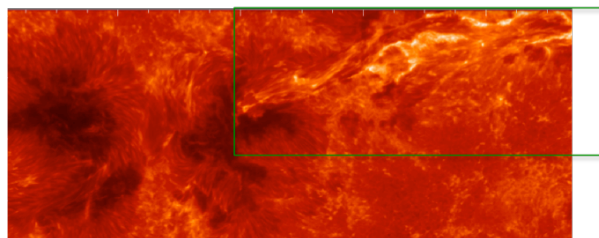


2014/02/02 18:17UT

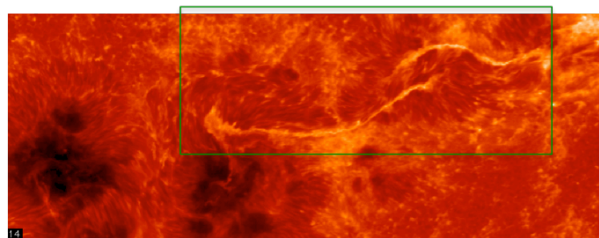
図 5: Homologous flare

このように一度エネルギーを解放した後まったく同じ形のループが光るようなフレアは Homologous flare と呼ばれ、ひのででは観測例がまだ少ない。Homologous flare は前述の磁気リコネクションによる

エネルギー解放を考えると、一度リコネクションで解放した数時間後にまた同じ形で増光することは考えにくい。また 22:04UT と 01:23UT に発生したフレアは先のフレアと異なり西側の領域で増光が見られる (図 6)。



2014/02/02 22:05UT



2014/02/04 01:33UT

図 6: Homologous フレアとは異なるループで起こったフレア

## 4 Futurer works

今後の研究方針としては、flare のループの足下の磁場構造の解析を行うことで、Homologous flare と通常の flare が起こる際の磁場構造の違いを解明する事を目標とする。さらにイベント解析のみでなく複数の活動領域を統計的に解析する事で、普遍的な解釈を導く事を最終的な目標にしたい。

## Acknowledgement

指導教官の清水先生に丁寧なご指導を頂きました。ここに感謝の意を表します。

## Reference

Kusano, K. and Bamba, Y. and Yamamoto, T. and Iida, Y. and Toriumi, S. and Asai, A. 2012. *ApJ*, 644, 1278

Shimizu, T. and Lites, B.W. and Bamba, Y. 2014. arXiv, 1406.1617