

2 太陽・太陽風

2 *Solar and Solar wind*

2-1 太陽フレアのエネルギー蓄積機構の研究

2-1 *Energy Build-up Study of Solar Flares*

黒河宏企 (京都大学附属花山天文台)
KUROKAWA Hiroki

要旨

宇宙ステーション等で、今後盛んになる人類の宇宙活動の安全性と効率性を保証するためには、MクラスからXクラスに至る強いフレアの発生を予測する必要がある。このためには、強いフレア活動の根源となる磁場エネルギーの蓄積とその解放メカニズムを解明する研究が必要である。この研究の重要性と可能性を示すために、2000年6月の国際協同観測の際に得られた成果を例にとり、いかなる磁場構造を持った黒点群が、いかなる変化を起こした時に、強いフレアが発生するかについて、具体的に紹介する。この例を含めて、これまでの我々の研究から明らかになってきたことは、光球の下から強く捻られた磁束管が浮上してきた直後に、強いフレアが発生するという事実である。今後このような捻れた磁束管の三次元構造の進化を定量的に明らかにする観測が必要である。また、これらの研究の延長として、宇宙天気予報研究を更に推進するためには、宇宙空間からの安定して、連続した太陽観測が必要であることを述べる。

To guarantee human beings can work safely and effectively in space, forecast of strong solar flares is indispensable. And the study of the build-up and release mechanism of the magnetic field energy, which is the source of flares, is essential.

This paper demonstrates which type of sunspot groups or which type of changes in the magnetic field configuration produce strong flares by showing the results obtained during international coordinated observations in June, 2000.

Our important finding is the fact that strong flares occurred right after the emergence of a strongly-twisted magnetic flux rope. We stress, therefore, the importance of further quantitative analyses of the evolution of twisted magnetic flux ropes in more detail, and the importance of continuous solar observations from space to develop space weather research.

[キーワード]

太陽フレア, 黒点群, 捻れた磁束管浮上, 宇宙天気
Solar flare, Sunspot group, Emerging twisted flux ropes, Space weather

1 はじめに

太陽表面では、フレア、紅炎爆発、コロナ物質放出(CME)など、多くの爆発現象が突発的に発生し、その際ガンマ線・X線から電波までの

あらゆる波長範囲にわたる強い電磁波と高エネルギー粒子やプラズマ雲が放出される。これらの高エネルギー粒子や強い放射線は、人工衛星や宇宙ステーション等を用いて今後ますます盛んになる人類の宇宙空間活動にとって大きな脅

威となるので、それらの発生機構を解明してその予報を行うことが緊急の課題となっている。

太陽におけるこれらの高エネルギー爆発現象の主役は、内部の対流層から表面に浮上してくる太陽磁場であり、蓄積された磁場の歪みのエネルギーが、何らかの引き金によって急激に解放されることが最近の高分解能の観測で次第に明らかになりつつある。

しかし、我々は未だこの研究の糸口をつかんだばかりであり、今後、捻れた磁束管浮上の際の、三次元磁場構造の進化とH α フィラメントの形成やフレア、CMEなどとの因果関係を、更に具体的に詳細に明らかにしていく必要がある。これによって、太陽面爆発現象のエネルギー蓄積機構と引き金機構に迫り、爆発現象の発生予知が可能になってくるであろう。また、太陽内部の対流層において、これらの磁場がいかにして周期的に再生されるのか、その際捻れがどのようにして作られるのかを探り、太陽活動そのものの根源に迫り、太陽磁場や太陽定数の周期的変動のメカニズムを解明することが、宇宙天気予報研究から求められているといえよう。

太陽系以外の宇宙でも、フレア星、激変星をはじめとして、X線トランジェント、ガンマ線バースト等、太陽面爆発より数桁も高エネルギーの突発天体現象が、数多く観測されるようになってきており、宇宙の構造と進化を理解するためにもこれらのエネルギー蓄積解放機構を解明することが重要となってきている。太陽は、その表面で起こる様々な高エネルギー爆発現象について、そのダイナミックに変動する物理構造を詳細に解析できる唯一の天体であり、それ故に、宇宙プラズマ高エネルギー現象の基礎過程を検証する実験室としての役割をも担っているわけである。

太陽フレアのメカニズムを解明して、宇宙天気予報及び宇宙の理解へ適用するためには、色々な側面から、その物理的メカニズムを解明することが必要である。すなわち、エネルギー蓄積機構、エネルギー解放機構及びそのトリガー機構、高温プラズマ加熱及び非熱的粒子加速機構、磁気プラズマ・衝撃波放出伝播機構などである。これらはいずれもそれぞれに関連しており、太陽磁場という糸でつながっている。太

陽フレアの研究は、当然のことながら、観測波長域の拡大と観測機器の発達に密接に関係して発展してきている。1940年代後半から60年代の光学観測による彩層フレアや黒点磁場等の研究に始まり、電波観測や最近のYOHKOH衛星をはじめとしたX線観測によって、コロナにおける磁気リコネクションによるエネルギー解放の物理が見え始めてきている。一方で、SOHO衛星LASCOのムービーは、壮大でダイナミックに、惑星間空間に流れ出しているコロナプラズマ(CME)の姿を、我々の目の前に鮮やかに映し出してきている。これらのエネルギーの根源は、対流層で捻られて浮上してくる磁束管に蓄積されており、光球下から彩層・コロナに浮上して惑星間空間へ抜け出ていくこれらの磁束管の活動を解明するためには、高分解能で高精度の光学観測とX線・EUV・電波との同時観測が今後ますます必要になってくるであろう。

本稿ではこのような観点から、最近我々が行った活動領域NOAA9026(2000年6月)の国際協同観測の中で得られた、ホットな研究の成果を中心に、捻れた磁束管の浮上の形態の研究の一端を紹介する。また、最後に、今後の太陽フレア発生予知の研究をどのように進めていく必要があるか、そのためにどのような観測機器を実現していく必要があるかについて述べる。

2 飛驒—La Palma—TRACEの国際協同観測

2000年の5月から6月にかけて、米国ロッキード太陽天体物理研究所のSOUP観測チームが、西アフリカのカナリア群島ラパルマ島にあるスウェーデンの望遠鏡を用いて観測する時期に合わせて、飛驒天文台でも協同観測を実施した。飛驒天文台での観測が終わる(08~09 UT)頃に、ラパルマでの観測が始まるので、世界最高級の高空間分解能のH α 像観測を、連続して行うことができるということが、この協同観測のねらいである。TRACEもこの期間、同一領域を観測した。

この協同観測期間中に、幸いにして、我々の目的に合致した活動領域が太陽の東縁から出現して、太陽面中心付近を通過する頃に強いフレ

ア活動を起こした。NOAA9026である。太陽面上に出現する多くの活動領域の中で、宇宙環境に深刻な影響を及ぼすと考えられるXクラスフレアを起こす領域は、かなり限られている。今サイクルに例をとれば、NOAA番号の付いた活動領域（NOAA領域）は1997年1月から2001年12月の5年間で1758個現れているが、そのうち少なくとも1回Xクラスフレアを発生させたものは、わずか25個（1.4%）であった。また、前サイクルの1986年から1996年までの11年については、総数3089のNOAA領域に対して、Xクラス領域69個（2.2%）であった（Ishii 2002）。しかもこの中で解析に適したものとなると更に限られてくる。フレア発生前後の光球及び彩層磁場構造の変化を詳細に調べて、そのエネルギー蓄積機構とトリガー機構を詳しく解析できるためには、太陽面中心に近い位置でフレアを起こした領域が適しているからである。また、この領域が協同観測中に現れて、地上の高分解能望遠鏡がその時晴天に恵まれていなければならない。その確率まで考えると、更にそのチャンスが少なくなるということになる。NOAA9026は、まさにそのような数少ない領域であった、ということがお分かりいただけると思う。

なお、この国際協同観測における米国側の中心は、Allan Title, Tom Berger, Richard Shineの3氏で、飛騨天文台における観測には、筆者のほか、石井貴子、吉村圭司、高津裕通、森本太郎、浅井歩、北井礼三郎、上野悟の諸氏が担当した。また、以下の研究成果は、筆者と、王同江、石井貴子両氏との共同研究によるものである（Kurokawa et al. 2002）。

解析に用いられたデータは、飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡のH α 像、ロッキードチームが撮影したH α 像のほかに、TRACE衛星の5000Å連続光像及び1600Å像、SOHO衛星MDIの視線方向磁場図、北京天文台Huairouのベクトル磁場図である。

3 活動領域 NOAA9026 の発達と急激な崩壊

NOAA9026領域の太陽面上通過の概要が図1に与えられている。最も発達して、強いフレア

活動を起こした6月6日から7日にかけて、ちょうど太陽面の中央付近を通過したことが見て取れる。

また、この領域が太陽面を通過中の6月1日から6月11日にかけて、GOES衛星の軟X線フラックスに記録されたフレアの概要は図2に示されている。

この図の中で、9026領域で発生したフレアには、四角印が付けてある。

図1の写真から分かるようにこの期間中には、NOAA9026以外にさしたる活動領域が無かったので、図2中のフレアのほとんどは、この領域のものである。

6月2日から4日にかけて、5個のMクラスフレアを発生しているが、Xクラスは起こしていない。その後約2日の間、小康状態を保った後、6日から7日にかけて、集中して3個のXクラスフレアを起こしているのが顕著な特色である。

飛騨天文台のドームレス太陽望遠鏡で連続的に観測された高分解H α 像によると（図3）、6月1

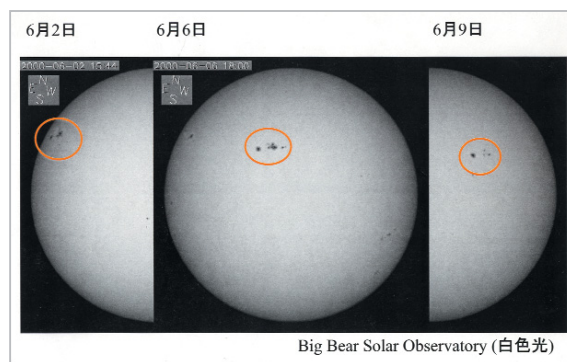


図1 活動領域 NOAA9026 の日面通過

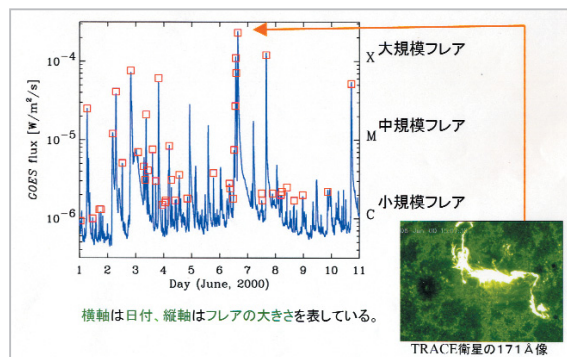


図2 GOES衛星によって記録されたX線フラックス

活動領域 NOAA9026 で発生したフレアには四角印が付けられている。

日には、黒点群の位置がまだ東の縁に近過ぎて、その構造を具体的に調べることができないが、6月2日から4日にかけては、新たな2対の浮上双極磁場領域とそれに相当する黒点ペアの成長がはっきりと見られる。図2で見られるこの間のMクラスフレア活動は、これらの新しい浮上磁場領域の出現によって引き起こされたものである。この間の磁場構造の変化を詳しく調べることも重要であるが、ここでは、それよりも強いXクラスフレア活動が集中した、6月6日前後における黒点領域の進化に焦点を合わせて、解説する。

図3には、6日をはさんで、4日から8日までの間における活動領域の発達と衰退が示されている。飛騨天文台で撮影されたものである。これによると、4日から6日にかけて、 δ 型黒点群の磁気中性線上に強い磁気シアー構造が発達しており、同時にその磁気中性線が6日から7日にかけて急激に回転していることが分かる。また、8日には早くも、この δ 型黒点の中核部分が完全に崩壊しているのが見られる。

この領域のフレア活動は、図1のGOES衛星データから明らかのように、6日の13 UTより15 UTにかけて、Xクラス2個、Mクラス2個と、

集中的に強いフレアを発生しているのが特徴である。

これらのフレアはすべて日本の夜に発生したが、その代わり、昼側のラパルマ島では見事に観測された。図4に、それらのH α 像が示されている。いずれも、 δ 型黒点内の強く磁気シアーした中性線に沿って起こった、同一種類のフレア (homologous flare) である。

このような激しい集中的なフレア活動の前後で、一体何が起こったのか？この期間の黒点群に、あるいは磁場構造に、どのような変化が起こっているのか？また、これらの変化の根源である浮上磁束管にどのような変化が起こったのか？以下の節で、これらの問題に迫ることにする。

4 Xクラスフレア直前の黒点の固有運動

TRACEはNOAA9026領域を6月3日から12日まで連続的に観測し、この黒点群の進化について、貴重なデータを提供した。我々はTRACE5000Å連続光のムービーを作成して、黒点群の固有運動を調べた。

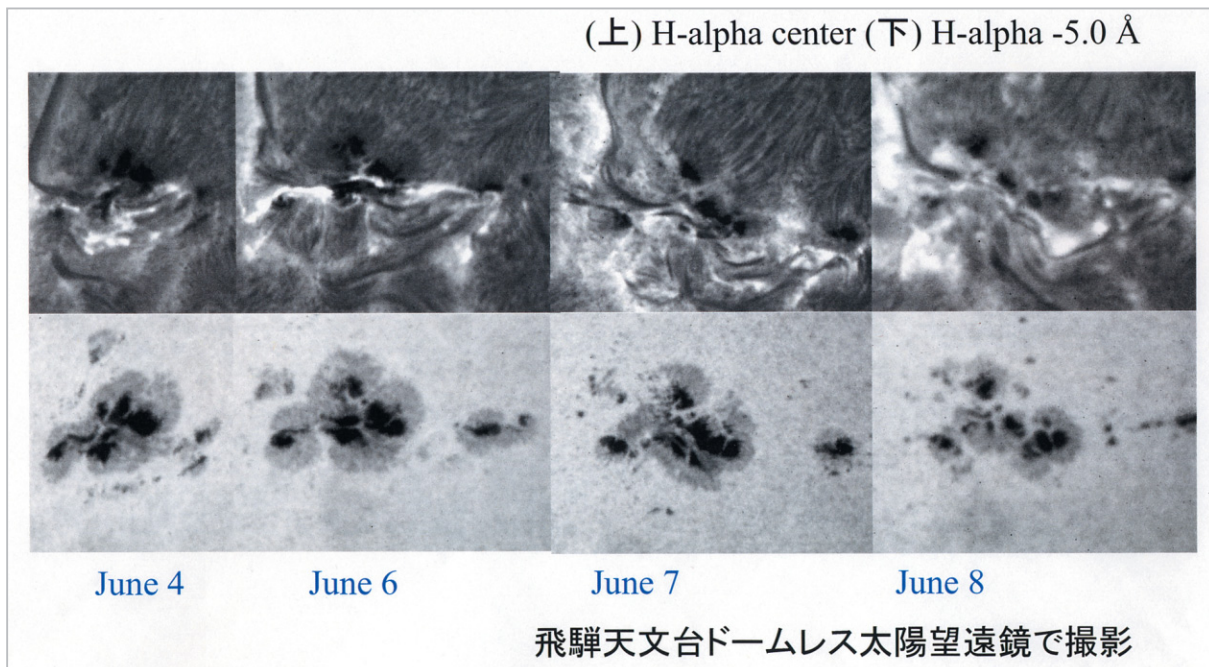


図3 活動領域 NOAA9026 の発達及び衰退過程

飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡によって観測。6月6日から7日にかけて、H α フィラメントチャンネル (磁気中性線) が急激に回転していることに注目。

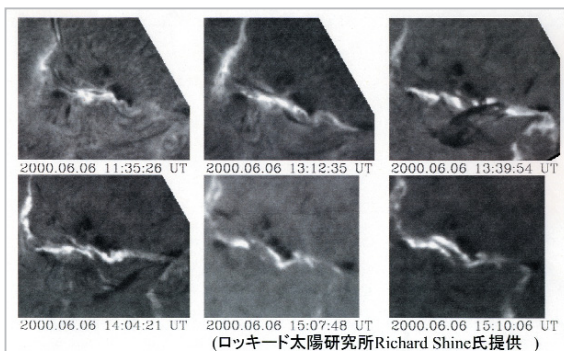


図4 NOAA9026の磁気中性線に沿って連続的に発生した強いフレア

ラパルマ島のスエーデン望遠鏡により撮影。

黒点群の盛衰と運動について、このムービーと飛騨天文台H α 像の解析からまず明らかになったことは次のとおりである。

- (1) 9026領域の中心に、3日から6日にかけて δ 型黒点がゆっくりと成長した。
- (2) δ 型黒点の中性線上の磁気シアーは4日から6日にかけて次第に強くなった。
- (3) ゆっくりと成長していた δ 型黒点は、6日10 UT頃を境に、回転しながら急激に崩壊を始めた。
- (4) 6日13 UT～16 UTの強力なフレア活動の後、 δ 型黒点の崩壊は一層進み、7日のXクラスフレアを発生させた後、9日には、その中核部分の大半が消滅した。
- (5) 6日から8日にかけての黒点群の崩壊は、黒点群全体にわたって起こった。また、黒点群の両端に位置する黒点が、互いに連動したような回転運動を見せた。これらのことは、それぞれが互いに一束の磁束管で連結していることを強く示唆している。

図5には、6日10 UTを境にした δ 黒点の急激な崩壊を示している。10 UTと11 UTの間の1時間で、 δ 型黒点の中核部分の崩壊が始まっていることに注目していただきたい。

以上のような δ 型黒点群の前半におけるゆっくりとした成長から、後半の急激な崩壊への進化と、個々の黒点の固有運動及び回転運動を説明することのできる磁束管浮上のモデルを考えなければならない。このモデルについては第6章で検討するが、その前に、更に興味深い黒点の固有運動について注目しておきたい。

強いXクラスフレアを起こした δ 型黒点の急

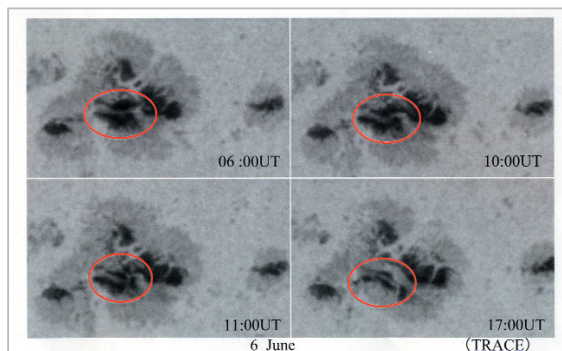


図5 δ 型黒点の急激な崩壊 (TRACE5000 Å像)

10時から11時にかけて δ 型黒点が急に崩壊し始めていることに注目。

激な崩壊の前に、その引き金を引いたと思われる高速の黒点固有運動が、 δ 型黒点の東の端で発生していたのである。図6にこの黒点N5の位置の時間変化が示されている。Lは日面経度方向の変化で、Bは日面緯度方向の変化を表している。Xクラスフレア発生約6時間前から、高速運動を開始したことが分かる。また、 δ 型黒点の西側のN1黒点も10 UT頃即ち δ 型黒点の崩壊開始と同期して高速運動を開始しているのも注目に値する。

図7には、図6と同じ黒点の固有運動を速度で表している。ここでもN5黒点がフレア発生約6時間前から、N1黒点が約3時間前から急に高速運動に転じていることがはっきりと示されている。

5 Xクラスフレア直前の磁場の变化

この領域の光球磁場については、SOHO衛星のMDIによる視線方向磁場の連続観測と北京天文台Huairou観測所のベクトル磁場図を用いることができる。我々はまずMDIの6月3日から10日までの間のムービーを作成した。このムービーからも、TRACE連続光ムービーと同様に、 δ 型黒点領域の磁気中性線が6日以後急激に回転しながら、全体の磁場構造が崩壊していくのが、はっきりと見られる。10日には δ 型黒点領域の磁場はほとんど消滅してしまっている。 δ 型黒点内の磁気中性線の急激な回転運動はXクラスフレアの発生に大きな役割を果たしているものと考えられる (図8)。

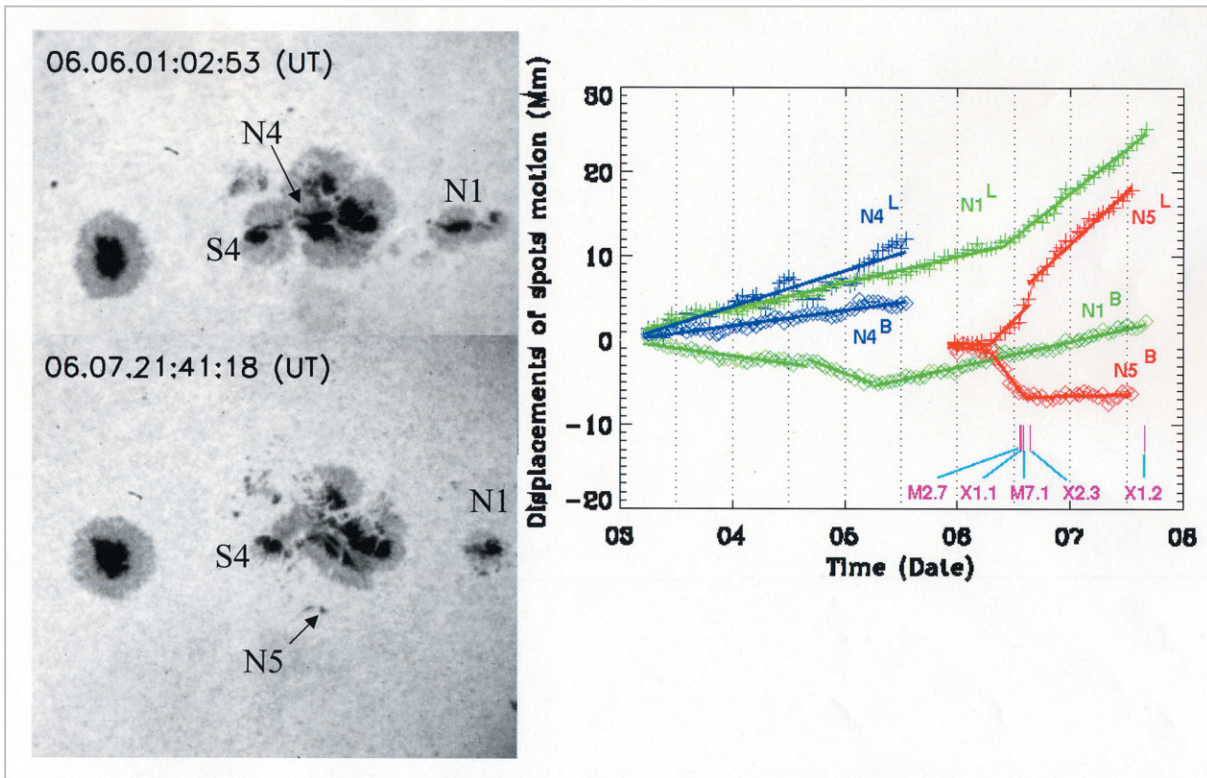


図6 δ 型黒点の崩壊を誘引した黒点の高速運動

Lは日面経度方向の動き、Bは緯度方向の動きを表す。枠内下部の数字は、GOES衛星のX線フレア重要度を表す。
 N5黒点はXクラスフレアの約6時間前から、N1も約2時間前から高速運動を開始していることが分かる。

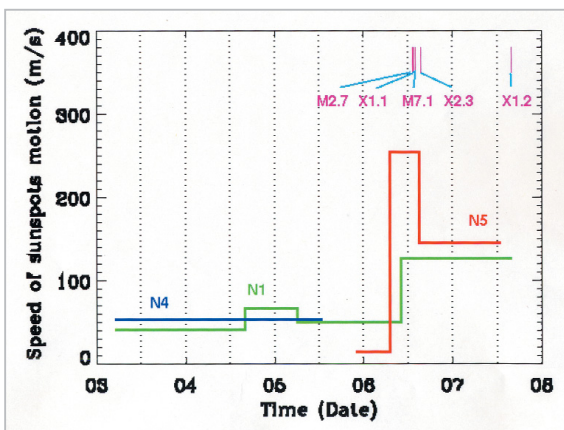


図7 フレア発生に先立つ黒点の固有運動の速度変化

また、ほかに顕著な変化としては、6日のXクラスフレア活動が始まる直前から、 δ 型黒点のS極が急激にN極の中に侵入していく動きが発見された。これは、磁気中性線の回転と磁気シアアの発達や前節で述べた δ 型黒点の崩壊と同期して起こっており、磁束管の浮上形態を考える上で非常に重要な観測事実である。図9にこのS極の侵入を示す北京天文台Huairou観測所の磁場

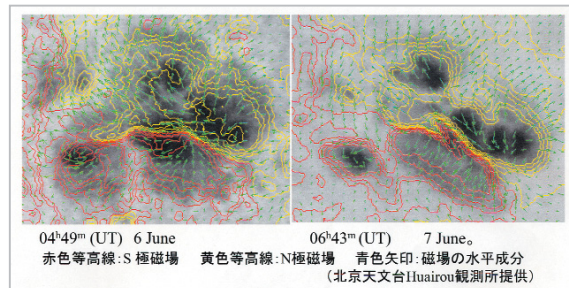


図8 δ 型黒点の磁気中性線の回転

図を掲げておく。

次に、MDIのデータを用いて、視線方向磁場フラックスの時間変化を求めた結果を、図10に掲げてある。測定に用いた領域の分けが右のMDI磁場図の中に示されている。例えばp1は区域内のN極磁場のフラックスの合計を、f1はその区域内のS極磁場フラックスの合計を表している。図より、三領域の磁場フラックスは6日の強いフレア活動の前は増加あるいは一定であるが、フレア活動の直前から急激に減少に転じていることが分かる。

以上、発見された磁場の変化は次のようにま

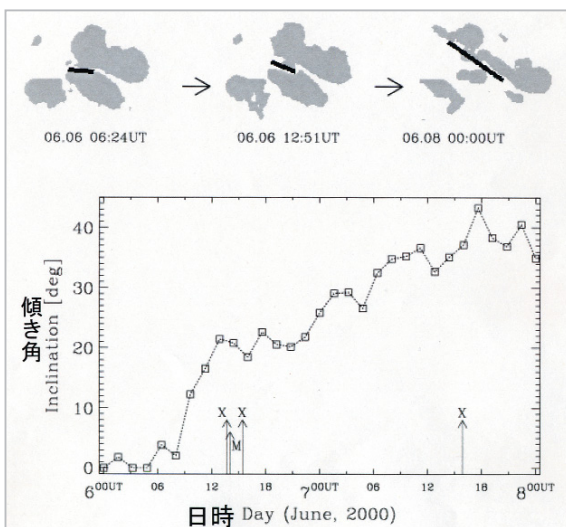


図9 Xクラスフレアに先立った磁気シアー構造の発達

S極磁場領域にN極磁場が侵入して、スイッチバック(折り返し)型の磁気シアーが発達した。

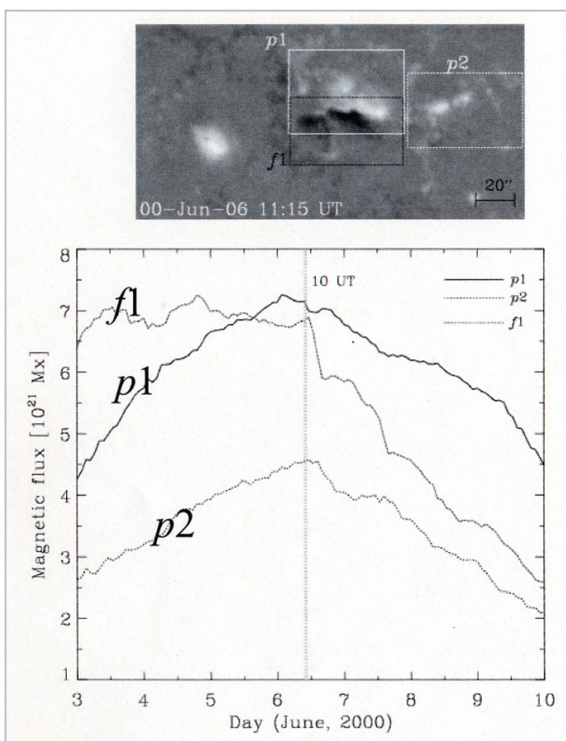


図10 NOAA9026領域における磁場フラックスの時間変化

Xクラスフレアの発生直前から磁場フラックスの急激な現象が始まっていることに注目。

とめることができる。

- (1) δ 型黒点領域の磁場フラックスは、3日から6日にかけて全体的に増加して、中性線上の磁気シアーも増強した。

- (2) 6日の強いフレア活動の直前から、S極のN極への侵入が始まり、同時に中性線の急速な回転や、磁場フラックスの急激な減少が始まった。10日には δ 型黒点の磁場はほとんど消滅した。

6 捻れた磁束管の浮上と捻れ解放のモデル

3個のXクラスフレアを含む強いフレア活動を集中的に起こしたNOAA9026領域の進化の概要は、前節までの解析から、次のようにまとめることができる。

- (1) 既存の黒点領域の中に、新たな双極磁場浮上(EFR)活動があり、 δ 型黒点群が成長した(6月2日~4日)
- (2) δ 型黒点はゆっくりと成長し、磁気シアー構造も発達した(6月4日~6日前半)
- (3) δ 型黒点の東端の黒点半暗部で始まった高速の固有運動が引き金となって、黒点群は急激に不安定となり、中性線の回転、S極のN極への侵入、中心線に沿った黒点のシアー運動、などを伴いながら、 δ 型黒点は急激に崩壊していった。

このような顕著なNOAA9026領域の進化を説明することができる浮上磁束管のモデルを、以下で考察する。このモデルは δ 型黒点の回転運動その中のシアー運動、磁場の変動、S極のN極への侵入運動などを説明するだけでなく、それと連結した周囲の黒点の固有運動の大きさや回転運動の向きをも説明するものでなくてはならない。

以下に2種類の捻れた磁束管モデルを考える。磁束管に与えられるHelicity(捩れ)には二つの種類がある。いわゆるwrithe helicityとtwist helicityである。前者は磁束管の中央部分を捻ることによって、後者は磁束管の両端を捻ることによって与えられる。以下の二つのモデルの違いは、対流層でどちらのhelicityが主として(初期条件として)与えられたかによると考えられる。

6.1 捻れた浮上磁束管モデル(A)(writhe helicity type)

図11及び図12に示したように、磁束管の中央

部分にプラスの writhe helicity を与えたものである。この時、helicity 保存則によって、磁束管全体にはマイナスの twist helicity が生じている。真中の捻れたこぶの部分で δ 型黒点に相当し、このこぶが解けることによってエネルギーが解放されたと考えることができる。

実際にこのような捻れた磁束管に相当したモデルを作成し、撮影した写真を下に掲げておく。

図 11 及び図 12 において、T1、T2、T3 の 3 時刻における光球面の位置が与えられている。実際は、磁束管が浮上するのであるが、この場合はその代わりに、光球面が時間とともに相対的に下がっていると考えている。したがって、各時刻における光球面に対する磁束管の切り口が黒点の位置を表している。この捻れた磁束管が浮上するとともに、強くシアした δ 型黒点が増長するのが説明できる。また同時に、 δ 型黒

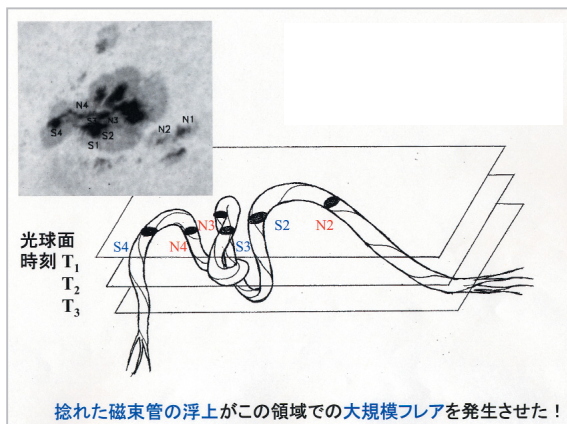


図 11 捻れた浮上磁束管のモデル (A)

T1、T2、T3 の三つの時刻における光球面の位置を平面で与えている。浮上する磁束管を固定して、逆に光球面を時間とともに下げて、その切り口の黒点の運動を再現できる磁束管の形状を示している。

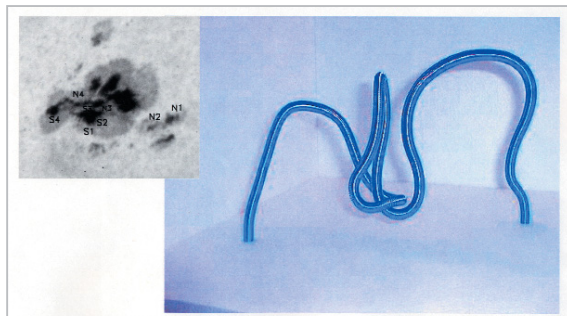


図 12 図 11 で得られた捻れた磁束管の模型の写真撮影

点と連結している、周囲の黒点 N1、N2、N4、S4 等の固有運動も説明できる。

磁束管はゆっくりと上昇を続けて、4日から6日まで δ 型黒点の磁気シアが増強するが、この間大きなエネルギー解放はなく安定している。しかし、あるレベルまで上昇した時に急に不安定化して、図 13 に示しているように、捩れが急激に解けて、観測されたような黒点の固有運動、回転及び磁場構造の崩壊が始まり、強いフレア活動を起こしたと考えられる。このモデルは黒点の回転運動をよく説明することができる。また、最近の観測では、北半球の活動領域でマイナスの twist helicity が優勢であるという結果が出されている (Pevtsov et al., 1995, Longcope et al. 1998) が、これとも矛盾しない。しかし、このモデルでは次のような点の説明に難点がある。すなわち、(a) 図 9 に示されているようなスイッチバック構造のチャンネルが、6日の X クラスフレア活動の後も幅が狭く長さが伸び続けて、7日の X クラスフレアまで、強いシア構造の発達が続いたこと。(b) コリオリ力によって、局所的に磁束管中央部を捻って、強い writhe helicity を作ることができるかどうか不明である。

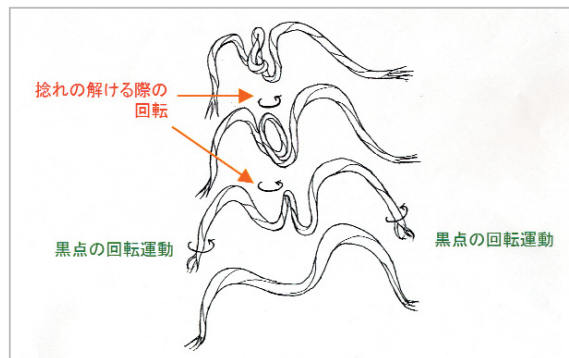


図 13 浮上磁束管の捩れの解放モデル

6.2 捻れた浮上磁束管のモデル (B) (twist helicity type)

このモデルでは、まずマイナスの twist helicity が対流層で与えられていると考える。これは既に前述したように、北半球での観測結果と一致している。また、これは例えば、プラスチックチューブの両端を捻ることによって、模型的に実験することができる (図 14)。強く捻られた磁束管は上昇するにつれて、その twist helicity

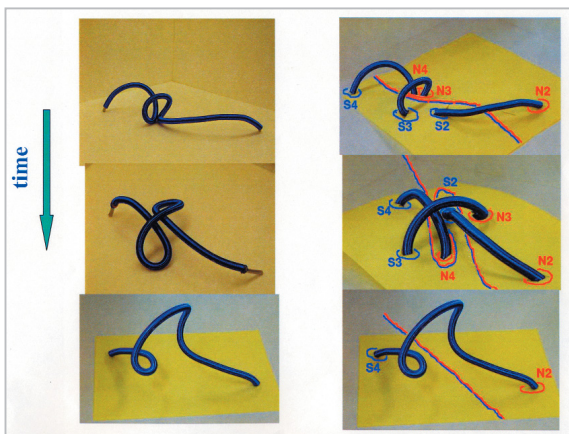


図 14 捻れた浮上磁束管浮上のモデル(B)

磁束管全体の捩れ (twist helicity) が浮上とともに、中央部の捩れ (writhe helicity) に変換されていく (左側の列)。右側には光球表面とその切り口のN極黒点N 2、N 3、N 4とS極黒点S 2、S 3、S 4及び磁気中性線の位置が示されている。これらの時間的な変化(下向き)は観測とよく一致している。

を中央部の writhe helicity に変換して、中央部分に捻れたこぶを形成する。これが δ 型黒点の形成である。Linton et al. (1999) や Fisher et al. (2000) はこのような磁束管の振る舞いを理論的に考察している。

その後磁束管の浮上が光球のある境界を越えた時に、強い kink instability によって、twist helicity から writhe helicity への変換が急激に起こり、これが δ 型黒点の急激な回転と崩壊、S 磁極の N 磁極への侵入及び磁気中性線のスイッチバック構造の形成等として現れたものと考えることができる。このモデルを表わす模型が図 14 に与えられている。このモデルは、上の第 4 章、第 5 章でまとめた δ 黒点の振る舞いと運動及び磁場構造の変化の観測をすべて、よく説明することができる。

7 まとめ

X クラスのフレアを集中的に発生した NOAA9026 領域を例にとって、強い太陽フレア活動を発生する δ 型黒点領域の進化の特徴を紹介した。この領域は太陽面の東側で発達して、ちょうど中心付近を通過する際に、最も強いフレア活動を起こしたので、磁場構造の進化と X クラスフレア活動の因果関係を調べる上で、ま

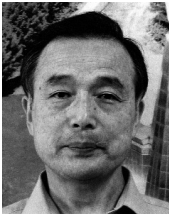
れに見る貴重なデータを提供した。ここで明らかになったことは、X クラスフレアの直前に急激な黒点の崩壊と磁気フラックスの減少が始まり、同時に強くシアードしたスイッチバック型の磁気中性線が回転しながら形成されたことである。これらの観測事実はすべて、捻れた磁束管の浮上でよく説明できた。すなわち、対流層で捻られた磁束管が、浮上とともに、その捩れを中央部に移送して磁束管のこぶ (δ 型黒点) を作り、あるレベルまで浮上した時に不安定となり、急激な回転運動とシアード運動及び黒点の崩壊を伴いながら、X クラス及び M クラスフレアを集中的に発生したことが明らかになった。

このような捻れた磁束管の浮上と強いフレア活動との因果関係については、これまでの研究によっても明らかにされていたが (Kurokawa 1987, 1989, 1996 ; Tanaka 1991, Ishii et al. 1998, 2000)、X クラスフレア発生直前に観測された磁場構造の変化と黒点の運動を詳細に説明できる磁束管モデルが作られたのは今回が初めてである。この成功には、TRACE 及び SOHO 衛星の連続的なデータを利用できたことの寄与が大きいといえることができる。

我が国の次期太陽観測衛星 SolarB では、0.2 秒角の超高空間分解能で、微小磁場活動を観測して、コロナ加熱の解明に挑むことを主たる目的としているが、太陽活動のメカニズムを解明して、宇宙天気研究に役立てるためには、SolarB とは逆に、あるいは相補的に、中程度の空間分解能 (1 秒角) で広い視野にわたって活動領域の生成と進化を常に監視して、太陽全体の磁場活動を連続的に解析できる太陽衛星が別に必要であろう。第 2 章のはじめに述べたように、また、ここで紹介した NOAA9026 領域の解析が示すように、活動領域の磁場構造の解析のためには、できるだけ太陽表面を正面近くから見た観測が重要である。したがって、活動領域が地球の方向を向く前から、その発達を詳しく解析して監視することができる L5 点からの太陽連続観測の意義は大きいといえる。太陽フレアやプロミネンス爆発及び CME 等の発生を予測する研究を更に推進して、宇宙天気の短期予報及び直前予報を可能にするためには、このような観点からのスペースミッションの検討が必要である。

参考文献

- 1 Fisher, G. H., Fan, Y., Longcope, D. W., Linton, M. G., & Pevtsov, A. A.: 2000, Sol. Phys., 192, 119
- 2 Ishii, T. T., Kurokawa, H., & Takeuchi, T. T.: 1998, ApJ, 499, 898
- 3 Ishii, T. T., Kurokawa, H., & Takeuchi, T. T.: 2000, PASJ, 52, 337
- 4 Ishii, T. T., : 2002, private communication
- 5 Kurokawa, H.: 1987, Solar Phys. 113, 259
- 6 Kurokawa, H.: 1989, Space Science Review, 51, 49
- 7 Kurokawa, H.: 1996, in Magnetodynamic Phenomena in the Solar Atmosphere --- Prototypes of Stellar Magnetic Activity, ed. Y. Uchida et al., (Dordrecht: Kluwer), 185
- 8 Kurokawa, H., Wang, T., Ishii, T.T.: 2002, Ap. J. 572
- 9 Linton, M. G., Fisher, G. H., Dahlburg, R. B., & Fan, Y. : 1999, ApJ, 522, 1190
- 10 Longcope, D. W., Fisher, G. H., & Pevtsov, A. A.: 1998, ApJ, 507



くろかわひろし
黒河宏企

京都大学大学院理学研究科教授、京都
大学附属花山天文台台長 理学博士太
陽物理学