

# 宇宙の天気の鍵を握る、 太陽表面のアネモネ (イソギンチャク)型構造



浅井



柴田

## 浅井 歩

〈国立天文台野辺山太陽電波観測所 〒384-1305 長野県南佐久郡南牧村野辺山 462-2〉

e-mail: asai@nro.nao.ac.jp

## 柴田 一成

〈京都大学大学院理学研究科附属天文台 〒607-8471 京都市山科区北花山大峰町 17〉

e-mail: shibata@kwasan.kyoto-u.ac.jp

太陽や太陽風の「現在」の姿から「未来」の地球周辺のプラズマや磁場の様子を予報する、『宇宙天気』の研究が世界中で進められている。宇宙天気研究は、太陽・太陽風・地球磁気圏・電離圏といった、さまざまに細分化されている研究分野にまたがるものであり、太陽表面のどのような現象が実際に地球に影響を及ぼしやすいのかを理解するためには、その現象を太陽表面から地球近傍に至るまで詳細に、また周辺磁場構造との関連も含めて調べる必要がある。私たちは、2005年8月24日に発生した非常に大きな磁気嵐に着目し、その原因となった太陽表面の活動領域 NOAA 10798 とそこで生じた活動現象(太陽フレアやコロナ質量放出現象など)、そしてそれらの惑星間空間での様子を詳細に調べた。その結果、「アネモネ型」活動領域の特徴が、大きな磁気嵐を発生する鍵となったことを突き止めた。

### 1. 宇宙の天気を知りたい

太陽表面では、太陽系内最大の爆発現象である「太陽フレア」をはじめ、活発な現象が絶えず起きている。この太陽フレアなどに伴って、衝撃波や大量のプラズマが宇宙空間に放出されることもたびたびある。これはコロナ質量放出現象(Coronal Mass Ejection; CME)と呼ばれる。このCMEが地球に向かって飛んでくことで、磁気嵐<sup>\*1</sup>となって、地球磁気圏に作用してオーロラを発生させたり地球周辺の人工衛星を故障させるなどのた

め、私たちの生活にも影響を及ぼすことがある。

そのため、磁気嵐の発生や地球周辺のプラズマや磁場の状況を、まさしく『宇宙天気』として予報することが現代の文明社会を守るために必要とされるようになり、そういった宇宙天気に関する研究が世界的に行われている<sup>1)</sup>。

一方、宇宙天気研究は、太陽、太陽風、地球磁気圏、電離圏とさまざまな研究分野に関連しているにもかかわらず、それぞれの研究分野が細分化・区別化されているため、協同研究を行うだけでもかなりの苦勞を伴うという現状がある。笑い

\*1 磁気嵐の定義は、地球の中緯度・低緯度において、全世界的に地磁気の北向き成分が減少する現象のことで、太陽からの大量のプラズマや、コロナホール(後述)からの高速太陽風が地球磁気圏に激しく吹きつける場合に起こることが多い。また、磁気嵐に伴って、高緯度地域でオーロラが観測される。

話のようだが、同じ現象を違った呼び名で読んでいたりするため、異なる分野の研究者の講演は全く知らない外国語で話されているように感じることさえある。他分野の研究者とは、議論以前にコミュニケーションを取ることだけでも労を要することが多々あるのだ。

しかしながら、当然、扱っている現象は本来同じであるはずで、使っている物理過程に共通点も非常に多い。そのため、宇宙天気研究の成功には、分野間連携が必要不可欠である。日本では、学術創成研究「宇宙天気予報の基礎研究」(京都大学柴田一成代表)が現在進められている(2005-2009年度)。これは、「現代社会の基盤を揺るがす宇宙の嵐を解明し、『宇宙天気』の予報の基礎を築く」ことを目的としている。そしてそのために、太陽や太陽風から地球磁気圏・電離圏といったさまざまに細分化されている研究分野を横断的にまとめ、太陽から地球に至るまでを一つのシステムとして扱って研究を推進することを、戦略としてうたっている。

私たちはこの学術創成研究の一環として、磁気嵐の原因となる現象を太陽から地球に至るさまざまな観測データを用いて調べた。これは、詳細を以下の章に述べるが、太陽-地球環境系にかかわるさまざまな分野の研究者と協力して行ったものであり、まさに上に挙げた分野間交流が成功した例であると言える。

## 2. 2005年8月24日の磁気嵐と太陽表面の様子

私たちが具体的に注目したイベントは、2005年8月24日に発生した磁気嵐と、その原因となったとされる8月22日の太陽フレアおよびフレアを生じた活動領域 NOAA10798 である<sup>2)</sup>。図1に、この期間のさまざまな物理量の時間変化を示す。一番下のパネルは、磁気嵐の指標となる Dst 指数の変化である。これは、地球の低緯度(赤道)での磁場強度の水平成分値(観測所ごとの観測値を

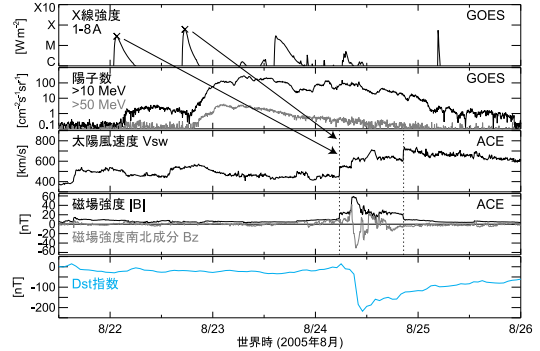


図1 2005年8月22日の太陽フレアと24日の磁気嵐の概要を示したプロット(横軸の時刻は世界時で表記)。1段目はGOES衛星によるX線強度の変化。図中二つのX印で示したのが8月22日のフレア。2段目はGOES衛星による高エネルギー陽子の変化。フレアの直後に急激に上昇しているのがわかる。3段目、4段目はACE衛星による、太陽風速度と磁場強度の変化。4段目のBzで表される磁場強度の南北成分は、負の値のとき、磁場が南向きであることを示す。2本の縦の破線は、擾乱源の通過している時刻を示し、特に最初(左)の時刻は衝撃波がACE衛星近傍を通過したときとなっている。このためその直後に、太陽風速度・磁場強度が不連続に上昇している。5段目は磁気嵐の指標となるDst指数(下に下がるほど大きな擾乱)。衝撃波の通過後から減少し、巨大な磁気嵐が発生している。(Asai A., et al., 2009, JGR より)

平均したもの)であり、値が小さい(下に下がる)ほど大きな擾乱であることを示している。8月24日にDst指数が急激に減少し、その後ゆっくりと回復しているが、これが磁気嵐である。この磁気嵐では、Dst指数が最大(厳密には最小) -216 nTに達しており、非常に強大な磁気嵐に分類される。つまりこの磁気嵐は、例えば人工衛星に深刻な影響を与えうるクラスのものであった。

一方図1の一番上のパネルで示したX線強度から、二日前の8月22日に二つの太陽フレアが起きていることがわかる(図中X印で示してある)。太陽フレアに伴って高エネルギー陽子(図1の2段目)も急激に増大している。太陽-地球間の

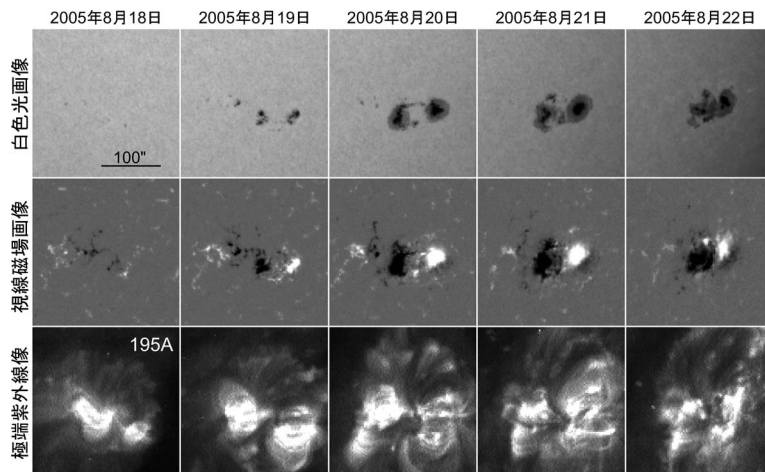


図2 活動領域 NOAA 10798 の時間発展の様子. 上段は白色光画像 (黒く見える領域が黒点), 中段は視線磁場画像 (白黒は磁極の正負に相当する), 下段は極端紫外線 (195 オングストローム) 画像. 白色画像, 磁場画像は SOHO 衛星搭載の観測装置 MDI により, 極端紫外線画像は EIT 望遠鏡により取得された. 左から右に向かって 1 日 1 枚ずつの画像を並べてある (日付は図の上に表記). 8 月 18 日を過ぎてから急激に活動領域 (黒点の対) が現れ, コロナではアネモネ型活動領域が形成されていることがわかる. (Asai A., et al., 2009, JGR より)

距離や噴出物の速度などを大雑把に考慮し, また同時期にはこの活動領域以外に関連しそうなイベントが一切起きていないことから, 確かにこのフレアとフレアに付随する CME が, 磁気嵐の原因となったと考えられる.

さて, この太陽フレアが発生した背景を知るためには, フレアを発生させた活動領域 NOAA 10798 の特徴についても調べる必要がある. そこで私たちは, まず活動領域の特徴について, 詳細に調べてみた. 図 2 は, SOHO 衛星によって観測された, フレア発生日 (8 月 22 日) を含む前 5 日間の太陽表面の様子を示している. 上段は白色光で見た太陽表面画像で, 図中黒く見えるのが太陽黒点である. 8 月 18 日から急に活動領域 (太陽黒点の対) が表面に浮上してきたことがわかる. 中段は同じ時刻での視線磁場強度マップであり, 浮上してきた黒点が白 (正極: 先行)/黒 (負極: 後行) の対となっていることが確認できる\*2. さらに下段は, 極端紫外線で見た太陽表面の様子であ

る. 浮上してきた黒点の対をつなぐように明るい磁場構造が形成されている.

活動領域 NOAA 10798 は, 磁場画像で見ても, また極端紫外線画像で見ても, 比較的静穏でつまり目立った活動のない領域に浮上してきていることがわかる. 図 3 にこの領域を軟 X 線, 極端紫外線で観測した画像およびその視線磁場強度マップを示す. 次章以降で詳述するが, この活動領域は「コロナホール」と呼ばれる領域に浮上しており, またそのために「アネモネ型活動領域」を形成していることがわかる.

ところで, この活動領域の磁場構造については興味深い特徴がある. この活動領域は, 一見すると単純な磁場の対のようであるが, 実は「ヘールの極性法則<sup>3)</sup>」で決まる磁場極性とは逆の磁場極性であり, 光球下に非常に複雑な構造がある可能性を示唆しているのだ. ヘールの極性法則とは, 「太陽活動周期や南北半球によって先行・後行の黒点の極性が決まる」という経験則である. 例え

\*2 太陽の自転方向に対して, 先行する黒点 (西側) を先行黒点, 後行する黒点 (東側) を後行黒点と呼ぶ.

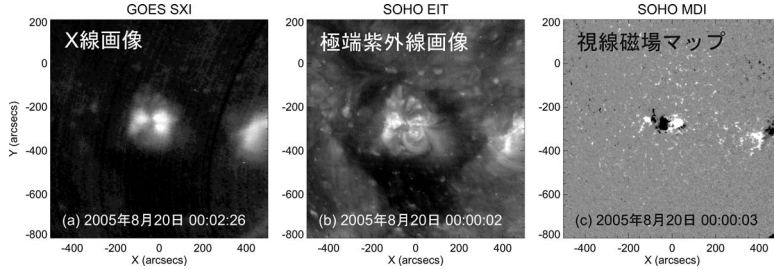


図3 2005年8月20日、世界時0時ごろに撮影された、活動領域 NOAA 10798 のアネモネ構造の様子。左図は GOES 衛星搭載の X 線望遠鏡 (SXI) による軟 X 線画像、中図は SOHO 衛星の極端紫外線望遠鏡 (EIT) による極端紫外線 (195 オングストローム) 画像、右図は SOHO 衛星搭載の MDI 観測装置による視線方向磁場強度マップである。図の中心付近に活動領域 NOAA 10798 があり、軟 X 線・極端紫外線では明るく見える。磁力線が放射状に並び、典型的なアネモネ型構造を呈している。その周辺の比較的暗い領域がコロナホールであり、磁場マップからは、正極 (白) の磁場構造が広がっていることがわかる。(Asai, et al., 2009, JGR より)

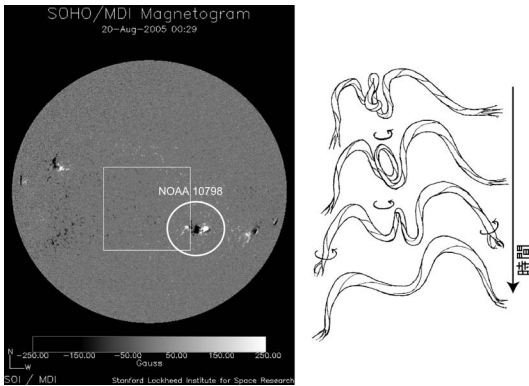


図4 2005年8月20日の太陽全面視線磁場強度マップ (左) とねじれた磁力線が浮上する様子の想像図。(右; 黒河宏企氏による)

ば、活動領域 NOAA 10798 は第 23 期太陽周期活動中に南半球に出現した領域であり、その黒点の磁場配位は、先行黒点が負極 (図 2 の中段および図 4 の左図では右側の黒点が黒) となるのが通常である。しかし、NOAA 10798 はそれと反対になっている、というのである。図 4 左に 2005 年 8 月 20 日の太陽全面視線方向磁場マップを示す。丸で囲った活動領域 NOAA 10798 以外の南半球の活動領域では、先行黒点が負極 (右側の黒点が黒)、また北半球では、先行黒点が正極 (右側の黒点が白) となっていることがわかる。

この「ヘールの極性法則に反する」ということ

は、例えば、光球下に強くねじられた磁力線があって、キンク不安定によりコブのような構造を形成し、その状態になった構造がそのまま太陽光球面に浮上したと考えれば説明できる。このため、このような活動領域は、非常に複雑で活発な活動領域になることが知られている<sup>4),5)</sup>。図 4 の右図に、このようなコブ状構造が太陽表面に浮上による複雑な活動領域の形成と、そのねじれをほごこうとする活動領域の進化の様子の想像図を示す。ねじれがほごける際に、巨大な太陽フレアが発生することが知られている。実際に活動領域 NOAA 10798 は、どんどん複雑な活動領域へと成長し、太陽の自転により次に私たちの前に現れた際には (その際、新しく活動領域 NOAA 10808 と名前が振り直されている)、第 23 期太陽周期活動中に発生した全太陽フレアの中で、4 番目に大きなフレアを引き起こしている<sup>6),7)</sup>。ただし今回着目している期間 (2005 年 8 月 18 日から 22 日) に限れば、活動領域の様子や発生したフレア・CME については、「黒点の磁場配位が逆転している」という特異性を除けば特筆するような複雑なものなかった。このため、この活動領域の潜在的な磁場構造やその後の進化の話などについては、これ以上の詳述を止めておく。

次に、8 月 22 日に発生した太陽フレアと付随す



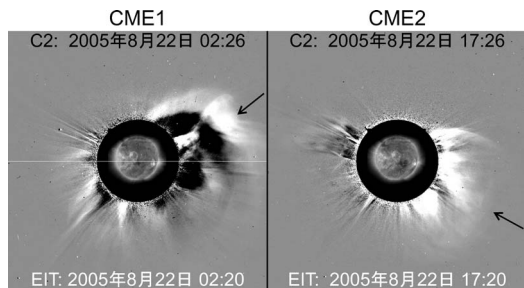


図5 SOHO 衛星搭載の LASCO 望遠鏡により撮影された、2005年8月22日の太陽フレアに伴うコロナ質量放出現象(CME)の様子。2回の太陽フレアそれぞれに伴い、CMEが起きている(図中それぞれ矢印で指してある)。図の中央には、SOHO 衛星の EIT 望遠鏡による、極端紫外線画像を埋め込んである。図中の数字は観測された時刻(世界時)を示す。(Asai A., et al., 2009, JGR より)

る CME について述べる。先にも述べたが、8月22日には2つの太陽フレアが活動領域 NOAA 10798 から生じている。また、その両方に伴い、噴出現象・CME が観測されている。図5に SOHO 衛星に搭載された LASCO 観測装置による、太陽周辺の連続光画像を示す。図5では、二つの CME をそれぞれ CME1, CME2 と記してある。LASCO では、人工日食を作ることで、微弱な太陽コロナのプラズマの様子が観測できる装置だ。CME のような現象は、この LASCO のような人工日食装置で主に観測される。図5からは、確かに太陽フレアのタイミングに合わせて、CME が2度発生していることが確認できた。

ここで特筆したいのは、その CME の速さである。二つの CME はどちらも非常に高速で、CME 速度の平均が 400 km/s であるのに対し、なんとそれぞれ 1,200 km/s, 2,400 km/s を記録したのだ\*3。二つ目の CME 速度(2,400 km/s)は、2008年12月までに LASCO の観測したすべての CME (約 14000 イベント)の中でも上位 15 番目に入るものである。どちらの CME も、ハロー型と呼ば

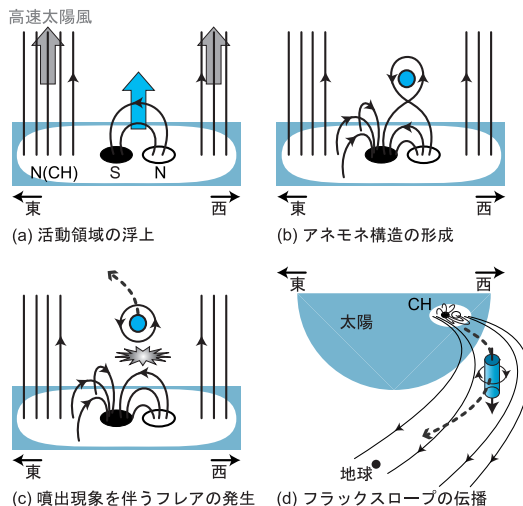


図6 アネモネ型活動領域 NOAA 10798 の概念図。矢印付き実線で示したのは磁力線の構造。(a) 単極の磁場構造をもつコロナホール中に活動領域が浮上してくる。図中 N/S は磁極の正/負を示す。(b) コロナホールの磁場と浮上してきた領域とが相互作用(磁気リコネクション)して、アネモネ型構造を形成する。(c) 噴出現象を伴う太陽フレアが発生する。(d) 太陽から噴出されたプラズマや衝撃波が、フラックスロープと呼ばれる構造を惑星間空間で形成し(図中円柱で示してある)、磁力線に沿って地球方向へ伝播してくる。噴出物の伝播は灰色の破線矢印で示してある。(Asai A., et al., 2009, JGR より)

れる「地球向きに噴出された」ものであったことが確認されている。そして二つ目の CME 速度が速かったために、地球近傍に伝播する間に一つ目の CME に追いついた(衝突した)と考えられる。このような複数の CME が相互作用することは、これまでもたびたび観測されており、噴出物の磁場構造をより複雑にすることが知られている<sup>8)</sup>。

今回のイベントに伴う、惑星間空間での擾乱源の様子を図7に示す。二つの CME に起因すると考えられる二つの衝撃波(ショック)がそれぞれ観測されており、諸物理量が不連続に変化してい

\*3 これらの観測は、CME のカタログ ([http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME\\_list/](http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/)) による。

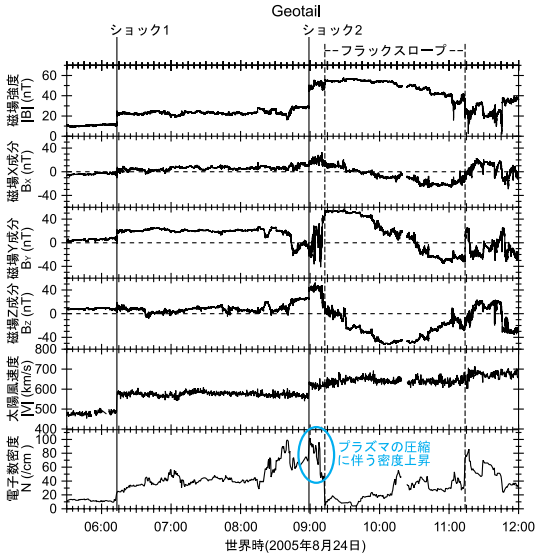


図7 Geotail 衛星によって観測された、2005年8月24日の惑星間空間擾乱の様子。上から順に、磁場強度、磁場 X 成分、磁場 Y 成分、磁場 Z 成分（ただし X, Y, Z は GSE 座標系による）、太陽風速度、電子数密度のプロファイルである。横軸は時刻であり、衛星が定点観測していると近似すれば、地球に向かう擾乱源の時間および空間の変化と考えられる。縦の実線で示したのが、二つの CME それぞれに伴う衝撃波、破線で示された箇所が二つ目の CME に伴うフラックスロープ構造である。（Asai A., et al. 2009, JGR より）

ることが分かる。図中のフラックスロープというのは、擾乱源の「本体」に当たる部分である。一つ目の CME に伴うフラックスロープは、地球には到達しておらず、ショック 1 以降は大きな変動は見られないが、二つ目の CME に伴うフラックスロープは、逆に地球を直撃しており、磁場強度が大きく変動している。さらに、このフラックスロープの前面で（つまり二つの CME の衝突面）プラズマ・磁場が共に強く圧縮されていることから、今回の CME で二つの CME が衝突したとする説を裏づけることができる。

磁気嵐を引き起こすような磁気圏への擾乱の度合いは、大雑把には、擾乱源の磁場の強度（特に南向き磁場の強度）と伝播速度の積（つまり電場）

で決まる。今回解析を行った CME では、二つの CME が衝突したため、前面で強い圧縮が起こり、強い南向き磁場領域が形成されていたこと、また、CME の伝播速度そのものが速かったことから、強い擾乱源となったと推定される。

それでは、今回のイベントで、飛び抜けて速い CME が生じた原因は何であろうか？ その理由として、次章で説明するように、この活動領域がアネモネ型活動領域であったことを挙げたい。

### 3. コロナホールと太陽のアネモネ（イソギンチャク）

「アネモネ型活動領域<sup>9), 10)</sup>」というのは、磁力線が放射状に並び、その形状がまるでイソギンチャク（英語名で “sea-anemone; シーアネモネ”）のように見えることから、そう呼ばれるようになった（もともとは「ようこう」衛星の X 線データでも観測されていて、データ解析していた『当時の』若者たちが、ニックネームとして「アネモネ」と呼んでいたら、それがそのまま准専門用語となってしまったものである）。ここでは活動領域 NOAA 10798 の最大の特徴として、アネモネ型活動領域について述べる。

アネモネ型活動領域は、主に「コロナホール」と呼ばれる領域に発生することが知られている<sup>11)</sup>。コロナホールは、周辺よりもプラズマの密度が低く、X 線や極端紫外線などでは暗く見える。さらにコロナホールは、単極の磁場構造が惑星間空間にまで伸びており、太陽表面に戻ってこない、いわば開いた磁力線が集まった領域である。最もコロナホールが顕著に見られるのは、極域である。太陽は巨大な磁石でできているため、極付近はほぼ常に単極の領域が広がっている。そのため、太陽の極冠には、太陽周期活動を通してコロナホールが存在している。一方で、太陽周期活動の減衰期には、中緯度・赤道付近にまで、コロナホールが張り出してくることもある。活動領域 NOAA 10798 もやはりコロナホール中に現れ

ており、図3ではアネモネ型構造の周りが若干暗くなっていることが軟X線や極端紫外線画像から確認できる。このコロナホールは、比較的小さなもので、中緯度付近に現れている。

コロナホールは、大雑把に言ってしまうと、活動領域ではない（活動領域のない）領域であり、磁気プラズマ現象の活動度という点からは、逆相関であると考えられている。つまり、「コロナホール＝太陽活動現象の少ない領域」である。そしてそのために、太陽物理学研究者にとっては、大きなイベントを生じない“つまらない領域”とさえ考えられてきた。

ただし、コロナホールが速い太陽風の源であることは知られていた。これまでも太陽風の研究者にとっては、重要な研究対象であった。磁力線が惑星間空間にまで伸びていること、磁力線の足元の磁場強度とコロナ磁場の強さの比があまり大きくないことなど、コロナホールのさまざまな条件は、高速太陽風を吹かせるのに都合が良い。さらに、高速太陽風は地球近傍にまで達すると遅い太陽風との接触面で衝撃波面を形成しており、それが地球磁気圏に作用すると、磁気嵐の原因となる。そのため、磁気圏物理学研究者にとっても、コロナホールは重要な観測対象であった<sup>12), 13)</sup>。

コロナホールは、活動度と逆相関で活動領域の少ない領域であると述べたが、全く活動領域がないわけではない。そして、コロナホール中に発生する活動領域はほぼすべて、アネモネ型の磁場構造を示す<sup>11)</sup>。その理由は単純だ。コロナホール中では、単極の磁場が太陽表面に対してほぼ垂直になっている。その中を活動領域が浮上してくると、周囲の磁場との相互作用（つまり磁場のつなぎ替え；磁気リコネクション）のため、コロナホールの磁極とは逆の黒点を中心として、放射状の磁場構造を形成するのだ。図6(a), (b)に、アネモネ型活動領域の形成過程の模式図を示しておく。また、その磁気リコネクションの際に、X線ジェットなどを伴うことも知られている<sup>10)</sup>。「こ

のジェット現象が、高速太陽風のまさに源ではないか」と議論されることもあり<sup>14), 15)</sup>、アネモネ型活動領域は、太陽風研究においては（ささやかではあるが）注目されていた。しかし、やはり、アネモネという最終形態が一見してポテンシャル磁場配位に近いことから推測されるように、自由エネルギーをそこに蓄積しているとは想像しがたい。繰り返しになるが、太陽研究分野においては「大きなフレアを起こすようなものではなく、おとなしい活動領域である」として認識される程度にとどまっており、注目の的になるほどではなかった。

#### 4. 高速太陽風の源—イソギンチャクにご用心

ではなぜ今回、アネモネ型活動領域が重要である、と考えられるのか。それがまさに背景の高速太陽風にあるのではないかと私たちは推測する。コロナホール内は、確かに通常は静穏な領域である。しかし、ひとたびフレアやCMEが発生すると、その噴出されたプラズマは減速されることなく惑星間空間を伝播することができ、結果として地球磁気圏に大きな影響を及ぼす可能性がある。

これを裏づけるように、最近Yang Liuらの研究<sup>16), 17)</sup>により、高速CMEの発生箇所が太陽表面の中でコロナホールのような「開いた磁力線」からなる領域であることが、統計的にも示された。理論的・数値的な検証はこれから行われなければならないが、少なくとも観測事実としては、アネモネ型活動領域から発生するCMEは高速である、つまりは、アネモネ型は速いCMEを生じるのに適した環境であることを示唆しているのである。それと同時に、惑星間空間へのインパクトは、フレアなどのイベントそのものだけではなく、浮上してくる活動領域の特徴と成長過程、および周囲の磁場との関係が重要であることも改めて提示している。

今回のイベントにおいては、二つのCMEが複雑に作用し強い南向き磁場をもつ擾乱源となった効果と相まって、たまたま特に強い擾乱を地球磁気圏に与えた。その結果、巨大磁気嵐を引き起こしたものと解釈される。ただ、これまで“おとなしい”と（勝手に）解釈されてきたアネモネ型活動領域が、実は速いCMEを引き起こしうる、宇宙天気においても無視できない領域であることも明らかとなった。私たち太陽物理学者も、太陽表面の活動領域に対する認識を新たにする必要があるのである。

以上のことを端的に言い直すと、アネモネ型活動領域は一部のマニアックな人々（失礼！）のみが注目するような地味な領域であったが、今回の研究からは、コロナホール中からの高速太陽風との相乗効果（コラボ）で、速いCMEを引き起こす、ひいては磁気嵐を引き起こす強い擾乱源となりうるということがわかった。『いぶし銀』とでも言えようか。

## 5. 宇宙天気研究の今とこれから

最後に、話を宇宙天気研究の現状に戻す。宇宙天気研究において、太陽物理学が扱うべきは「太陽表面の活動現象の発生機構の解明」であり、これは宇宙天気の擾乱源であるという点において決定的に重要である。つまり、もしすべての太陽フレアの発生を事前に予報できるとすれば、これに優る宇宙天気研究への貢献はないであろう。

しかし、太陽観測はリモートセンシングによる監視にのみ頼っている状況であり、フレアの発生の予知はたいへん困難を伴っている。現実的な貢献として太陽物理学分野は、まず「太陽地球環境に影響を及ぼしやすい太陽フレアの特徴は何か」を過去のフレアの統計などから明らかにすることが求められている。これには大域的な磁場構造、つまり活動領域全体やさらにその周辺に注目し、また、活動領域の浮上から成長の過程を詳細に調べる研究も有効である。私たちが今回行っ

た、アネモネ型活動領域と磁気嵐の関係もまさに、こうした活動領域や周辺磁場構造との相互作用から明らかになったと言える。

また、これまでの研究結果から経験的に、「巨大フレア」の発生を予測をすることは多少は簡単であると考えられている。巨大フレアは、非常に（見るからに）複雑な活動領域で発生することが知られているからだ。例えば、デルタ型黒点と呼ばれる、半暗部内に磁極の異なる暗部が混在しているような活動領域がそれである。またすでに述べたが、私たちが解析した活動領域 NOAA 10798 のような「ヘールの極性法則を破るような磁場極性の対の浮上」も、複雑な磁場構造をもった領域に分類されるであろう。それらの活動領域が太陽表面に現れたらいち早く注目することができ、2、3日程度の誤差であれば大フレアの発生を予報することは現在でもある程度可能だ。

その一方で、「明日フレアが発生するのか」よりも、「数カ月後の太陽は、あるいは数年後の太陽は活発であろうか」ということが宇宙開発において重要になる局面ももちろん考えられる。スペースシャトルの打ち上げや宇宙ステーションの進捗などに深く関係がある。このような要求に対し、太陽周期活動の研究から、統計的にどの時期が太陽活動が活発になりそうかの予報を立てることも必要とされている。

冒頭に挙げた宇宙天気研究は世界中で展開されているが、学術創成研究では特に、太陽や太陽風から地球磁気圏・電離圏に至る観測データの解析とコンピュータシミュレーションとを駆使し、太陽から地球に至るまでを一つのシステムとして扱う階層間結合モデルの構築が推進されている。私たちの研究成果は、分野間連携の成功例ではあるが、あるイベントの観測データを詳細解析してその定性的な時間発展を追ったにとどまっている。宇宙天気研究を現実的なものにするためには、今後構築されたモデルによる数値的な再現が必要であろう。



## 謝 辞

この月報記事は、主に参考文献2についてまとめたものです。私たちは、2009年2月にこの研究成果について記者発表を行い、またその記事が数紙に掲載されました。記者発表のため、急病に倒れ高熱にうなされながらも長旅に付き合ってくれた息子、そんな息子を看護のため受け入れてくださった関係者のみなさん、急遽休みを取って駆けつけてくれた市来氏、これらのわがままを受け入れてくださった市来氏の関係者のみなさんには心から感謝いたします。本原稿の執筆に際し、国立天文台の中村康二さんにはお世話になりました。

## 参 考 文 献

- 1) 例えば恩藤, ほか, 宇宙環境科学 (オーム社, 2000)
- 2) Asai A., Shibata K., Ishii T. T., Oka M., Kataoka R., Fujiki K., Gopalswamy N., 2009, Journal of Geophys. Res., 114, A00A21
- 3) Hale G. E., Ellerman F., Nicholson S. B., Joy A. H., 1919, ApJ 49, 153
- 4) Ishii T. T., Kurokawa H., Takeuchi T. T., 2000, PASJ 52, 337
- 5) Kurokawa H., Wang T.-J., Ishii T. T., 2002, ApJ 572, 598
- 6) Wang Y.-M., Xue X., Shen C., Ye P., Wang S., Zhang J., 2006, ApJ 646, 625
- 7) Nagashima K., Isobe H., Yokoyama T., Ishii T. T., Okamoto T. J., Shibata K., 2007, ApJ 668, 533
- 8) Gopalswamy N., Yashiro S., Kaiser M. L., Howard R. A., Bougeret J.-L., 2001, ApJ 548, L91
- 9) Shibata K., Nitta N., Matsumoto R., Tajima T., Yokoyama T., Hirayama T., Hudson H., 1994a, in Proc. Int. Symp. on the Yohkoh Scientific Results, X-Ray Solar Physics from Yohkoh, eds. Uchida Y., Watanabe T., Shibata K., Hudson H. S. (Universal Academy

Press, Tokyo) p. 29

- 10) Shibata K., Nitta N., Strong K. T., Matsumoto R., Yokoyama T., Hirayama T., Hudson H., Ogawara Y., 1994b, ApJ 431, L51
- 11) Asai A., Shibata K., Hara H., Nitta N. V., 2008, ApJ 673, 1188
- 12) Sheeley N. R. Jr., Harvey J. W., Feldman W. C., 1976, Sol. Phys. 49, 271
- 13) Kataoka R., Miyoshi Y., 2006, Space Weather 4, S09004
- 14) Wang Y.-M., 1998, ApJ 501, L145
- 15) Saito T., Shibata K., Dere K. P., Numazawa S., 2000, Adv. Space Res. 26, 807
- 16) Liu Y., Hayashi K., 2006, ApJ 640, 1135
- 17) Liu Y., 2007, ApJ 654, L171

### Evolution of an Anemone Active Region and the Related Flares/CMEs

Ayumi ASAI

*Nobeyama Solar Radio Observatory, NAOJ Nobeyama 462-2, Minamimaki, Minamisaku, Nagano, 384-1305, Japan*

Kazunari SHIBATA

*Kwasan and Hida Observatories, Kyoto University Ohmine-cho 17, Kita Kazan, Yamashina, Kyoto, 607-8471, Japan*

Abstract: We examined the evolution of the Active Region (AR) NOAA 10798, and the features on/near the solar surface and in the interplanetary space. The AR formed a sea anemone like configuration, and therefore, was categorized as a typical "anemone AR". This AR generated extremely fast coronal mass ejections (CMEs) that caused a large geomagnetic storm. In this paper we discussed the anemone configuration of the AR, as a reason why such fast and geo-effective CMEs occurred.