

原稿： 環境と健康 vol. 24, No. 2 (2011 年)

編集・発行：(公財) 体質研究会、(公財) ひと・健康・未来研究財団

<http://www.taishitsu.or.jp/publish/24-2.html>

太陽の光と影

柴田一成 京都大学大学院理学研究科 附属天文台

要旨 (200 字)

太陽は地球や生命のエネルギーの源である。ところが、近年の太陽観測によって、太陽の驚くべき正体、爆発だらけの素顔が明らかになってきた。地球の高層大気や近傍の宇宙空間は太陽の爆発によって、時折恐ろしい「宇宙嵐」に襲われていることがわかったのだ。太陽面爆発の影響の予報（宇宙天気予報）が緊急の課題である。本稿では、近年の観測に基づき最新太陽像を紹介するとともに、宇宙天気予報の現状と将来について解説する。

1. 太陽とは

我々がここに存在するのは、太陽のおかげと言って良い。太陽エネルギーのおかげで、地球上に生命が誕生しここまで進化してきたからである。人類文明の未来もまた、太陽エネルギーの活用にかかっている。太陽エネルギーの源は、中心のコアで発生している水素の核融合反応である。水素がヘリウムに融合するときに、質量の減少に対応するだけのエネルギーが解放される。それが我々の生存のエネルギーの源である。

太陽を可視光で見ると黒点が見える。黒点の正体は何か？ それは磁場である。黒点は普通2つがペアになって現れる。それぞれN極、S極に対応する。黒点が出現すると、その近くで太陽面爆発（フレア）が頻繁に発生する。

H α 単色光で太陽を観測すると彩層が見える。可視光（白色光）で見える表面（光球）の上層大気である。黒点近くの彩層を観測していると、時折ひとときわ明るく輝く領域が見えることがある。それがフレアである（図1）。発見されたのが19世紀半ばころ。英国のキャリントンが白色光で黒点スケッチ中に偶然発見した。白色光で見えるフレアは大フレアに限られるので、フレアの研究は遅々として進まなかったが、20世紀に入ってH α 単色光による観測が可能になり、フレア研究が一気に進んだ。20世紀半ばには、フレアは磁場が原因で発生していることが確立された。

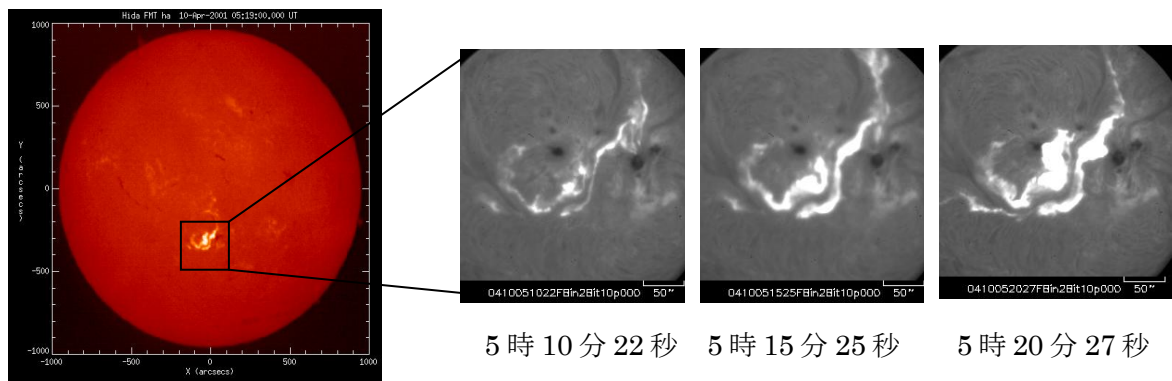
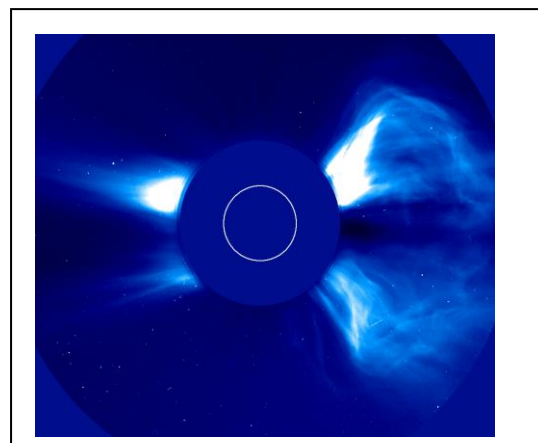


図1 2001年4月10日のフレアのH α 単色像、
(京都大学飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡による)

フレアの典型的な大きさは1万km~10万km、寿命は数分~数時間、解放される全エネルギーは 10^{29} ~ 10^{32} エルグ(水爆10万個~1億個)程度である。フレアが起これると、電波からX線、ガンマ線に至るまで、あらゆる電磁波が爆発的に増大する。また、大量の高エネルギー粒子(太陽宇宙線)が惑星間空間に放たれる。彩層の外側には皆既日食のときに見えるコロナが広がっているが、フレアが起これるとフレア周辺のコロナのプラズマが猛スピード(秒速数100km~数千km)で惑星間空間に放出される(図2参照)

図2 太陽フレア(1997年11月6日)から噴出した高速プラズマ噴出(コロナ質量放出と呼ばれる)。中央の白丸が太陽。金属の円盤で太陽を隠して人工日食を作り、コロナを観測している。(SOHO衛星(NASA/ESA)による)



フレアから放出されたX線、プラズマ、高エネルギー粒子が地球に到達すると、太陽から地球に至る宇宙空間は「宇宙嵐」の状態になり、地球では「磁気嵐」が発生する。その結果、人工衛星の故障、電波通信の途絶、地上電力網の寸断など、様々な被害が発生する。そのような被害を事前に防ぐために、太陽から地球に至る宇宙空間の状況(天気)の予報、すなわち、「宇宙天気予報」が緊急の課題となっている。

2. 最新太陽像

日本は太陽観測では世界の最先端をいく。地上では京大飛騨天文台で 1979 年より世界最高レベルの可視光分光観測を進めているし、宇宙空間では 1991 年に打ち上げられた「ようこう」衛星が X 線観測で太陽コロナの爆発だらけの驚くべき正体を暴き、世界をアッとさせた (図 3)。

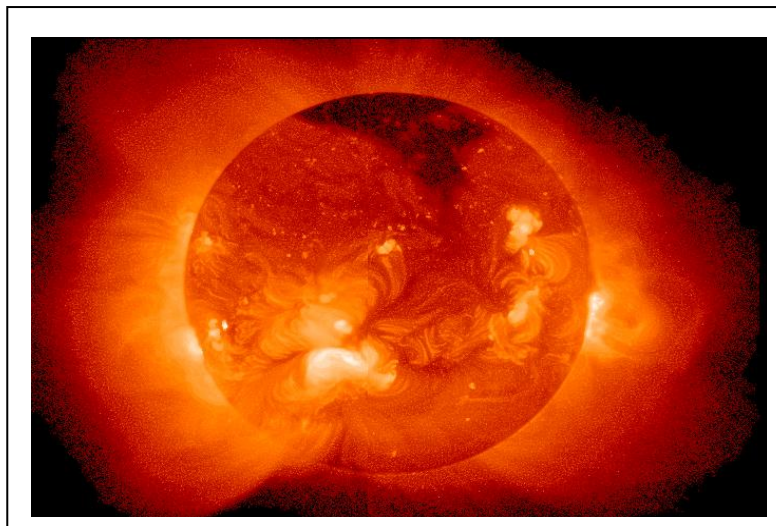


図 3 「ようこう」衛星がとらえた太陽コロナの X 線像 (JAXA/ISAS)。

ここで素晴らしい動画をお見せできないのが、残念であるが、興味ある方は、以下のサイトをご覧ください：

http://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/~shibata/movie/1_sxt_920217_920227_b.mpeg

図 3 で明るく光っているところが小さなフレアである。図 3 に対応する H α 画像 (ここには示されていないが) を見ると、図 1 で見られたような明るい領域 (フレア) が見える。上記のサイトの X 線ムービーを見ると、太陽コロナのあちこちで、ピカピカ光る現象が見える。これらの X 線増光現象のすべてが小フレアに対応する。すなわち、小さなフレアはいつもコロナの至るところで起きているのがわかる。なお小さなフレアと言えども水爆 1 万個~10 万個くらいのもすごいエネルギー (と放射線) を出している。

このような X 線観測と地上観測の比較、理論、シミュレーションとの比較などから、フレアのメカニズムは、磁気リコネクション (磁力線つなぎかえ) と呼ばれるメカニズムによることが、ついに確立した。これには日本の研究者が中心的な役割を果たしたことを、ここで強調しておきたい (詳しくは、拙著「太陽の科学」を参照されたい。)

2006 年には「ようこう」衛星の後継の太陽観測衛星「ひので」衛星が打ち上げられ、世界最高精度の可視光磁場観測、X 線観測、極端紫外線分光観測を行なっている。その結果、

太陽の彩層やコロナが小さな爆発やジェット（噴出現象）に満ち満ちていることを暴き、やはり、世界を驚かせた（図4）。

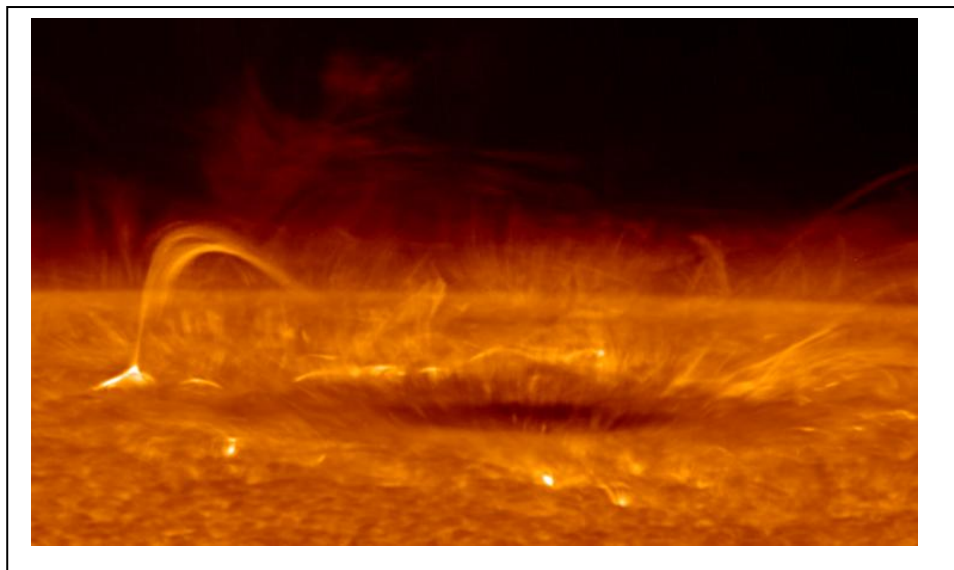


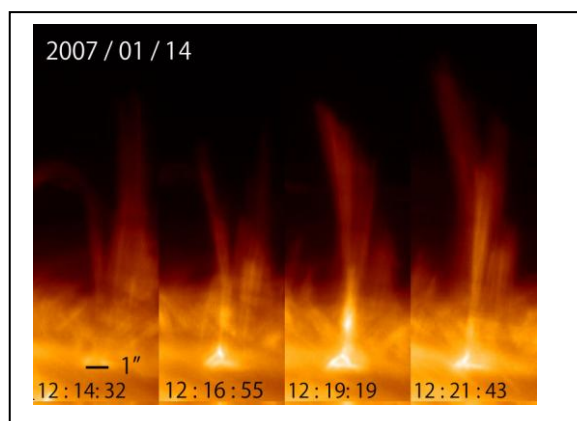
図4 「ひので」衛星が見た太陽の彩層。可視光磁場望遠鏡による（JAXA/ISAS）。太陽の縁近くの黒点近傍。無数のジェットが噴出しているのがわかる。

「ひので」衛星がとらえた驚くべき太陽像の動画については、以下のサイトをご覧ください：

<http://hinode.nao.ac.jp/Movies/>

日食のときに見えるコロナは実は 100 万度もの超高温にあり、その加熱メカニズムが半世紀以上謎であった。コロナからは太陽風と呼ばれる高速のプラズマ流が流れ出している。その加速機構も謎であり、コロナ加熱問題とも密接に関係している。以上の意味で、コロナの 100 万度の加熱機構の問題は地球環境にとっても重要な問題である。地球は言ってみればコロナの中にある、と言えるからである。

図5 「ひので」衛星がとらえた太陽彩層ジェット
(JAXA/ISAS, Shibata et al. 2007, Science 318, 1951)



コロナ加熱問題は「ひので」衛星が解決すべき重要課題の一つであったが、どこまで解明されたのであろうか？

上述のように、「ひので」衛星の観測の結果、太陽大気（光球、彩層）は、誰が想像していたよりも激しく活動していることが明らかになった。とくに彩層は小さな爆発（ナノフレア）やジェット、さらには磁力線の波（アルベーン波と呼ばれる）に満ち満ちていることが発見された。これは、「ようこう」の発見（コロナは爆発だけであることの発見）をさらに、下層大気（光球、彩層）に拡張したものになっている。

「ひので」衛星が発見した、無数の小爆発、ジェットや波が、コロナ加熱のためのエネルギーを運んでいる可能性があることが次第に明らかにされつつある。今、世界中の太陽物理学者によってこのコロナ加熱問題が詳細に研究されているところであり、近い将来の解決を期待しているところである。

3. 宇宙天気予報研究の最前線

「ようこう」衛星、「ひので」衛星の活躍により、太陽はこれまで誰が想像していたよりも、ずっと激しい活動をしていることが判明した。それは、地球が想像以上に太陽から大きな影響を受けていることを意味する。一方、現代文明は天文衛星や磁気圏衛星などの科学衛星を筆頭に、様々な実用衛星（気象衛星、通信衛星など）を活用するなど、宇宙への依存度を日々高めつつある。ますます太陽フレアに対して脆弱になりつつあると言っても良い。しかも太陽の嵐は、地上にいても磁気嵐などを介して日常の文明（電力、通信、航空、船舶など）に影響を及ぼす。宇宙天気予報の実現は緊急の課題である。

幸い、現代は太陽観測の黄金時代と言えるほど、太陽観測が充実している。宇宙からは「ひので」衛星に加えて、現在、SOHO 衛星、STEREO 衛星、SDO 衛星などが太陽を常に監視している。STEREO 衛星などは、2台の探査機により太陽を真横（地球から±90度離れた方向）から観測している。京大飛騨天文台では、H α 観測では世界最高の観測精度で常時太陽を観測している（SMART 望遠鏡）。

http://www.hida.kyoto-u.ac.jp/SMART/index_m.html

日本が夜のときは地球の裏側のペルーから太陽を観測する体制も国際協力により立ち上げた（CHAIN プロジェクト）。

<http://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/CHAIN/>

太陽表面やコロナの詳しい観測データが得られたら、それに基づいて電磁流体力学の方程式を数値的に解いて、太陽から地球までの宇宙空間の状態（宇宙嵐）を計算（シミュレーション）しなければならない。それができて初めて信頼性の高い宇宙天気予報が可能に

なる。(日常の地上の天気予報でも、観測データに基づいてコンピュータ・シミュレーションを行うことにより、数値天気予報を行っている。) このシミュレーションは、コロナ外側から地球までは比較的やさしいが、太陽表面でのフレア・コロナ質量放出のモデリングが難問である。我が国では、情報通信研究機構 (NICT) が公の立場から日本における宇宙天気予報サービスを行なっていて、太陽～地球の観測データ公開、コロナ外部～地球に至る数値宇宙天気予報の先駆的な試みを公開している。私も当機構の週刊宇宙天気ニュースの 2010 年 3 月 12 日号に登場したことがあるので、ぜひご覧いただきたい。

<http://www.seg.nict.go.jp/wsw/>

数値宇宙天気予報については、まだ太陽フレアのモデリングが完璧ではないが、フレアのメカニズムがかなり判明してきたので、実際の観測データに基づいたフレア数値予報も 5 年後には可能になると期待される。

4. おわりに： ちょっとこわい話

太陽フレアの研究を始めたときは、私は宇宙の謎を解明するのが目的だった。遠方の銀河の中心で発生している謎の大爆発を解明するために、太陽フレアの研究を始めたのである。それが太陽フレアが地球に大きな影響を及ぼしていることを知り、人生観が変わった。社会的責任を感じるようになった。今、一番心配しているのは、宇宙飛行士の被ばくである。本原稿を書いているさなか、テレビや新聞では毎日のように、福島原子力発電所の近くでは何ミリシーベルトの放射線が検出された、というような報道がある。宇宙飛行士は宇宙に行くだけで、地上人の 100 倍以上の放射線を浴びる。まるで福島原子力発電所のすぐそばに近づくようなものである。もし、宇宙ステーションの外で船外活動をしているときに大フレアが発生したら、宇宙飛行士は大丈夫だろうか？ ちなみに、静止衛星軌道 (磁気圏の外) での測定に基づくと、磁気圏の外を飛行する宇宙飛行士は 10 年に一回の大フレアが起きたときに船外活動をしていると 4 シーベルトくらいの放射線を浴びる、という (恩藤、丸橋、2000 年)。これは 30 日以内に 50% の人が死亡する量である。

もっと大きなフレアが起こる可能性はあるのだろうか？ フレアの現代観測が始まってまだ 20～30 年なので、巨大フレアの確かな統計はまだない。しかし、もっと小さなフレアの統計を調べると、フレアのエネルギーが 10 倍になると発生頻度が大体 10 分の 1 になる、という統計結果が得られている。地震の統計に似ているのがおもしろい。この統計が我々が知らないくらいの巨大フレアに適用できるならば、我々が知っている最大級のフレア (10 年に一回のフレア) のエネルギーの

- 10 倍の超巨大フレアは 100 年に一回発生、
- 100 倍の超巨大フレアは 1000 年に一回発生、
- 1000 倍の超巨大フレアは 1 万年に一回発生、
- 1 万倍の超巨大フレアは 10 万年に一回発生、

…

となる。人類（ホモサピエンス）は生まれたのが 20 万年ほど前だから、1 万倍の超巨大フレアを一回は経験した（あるいは、これから経験する）可能性がある。1 万倍のフレアなら、宇宙飛行士どころか、地上にいても被ばくするかもしれない。1 億年の時間があれば 1000 万倍のフレアでも起こる可能性がある。これはもう生命絶滅の危機だろう。実際、地球の生命は最近 5 億年間に 5 回ほど大絶滅を起こしている。6500 万年前の恐竜の絶滅については巨大隕石の衝突の証拠があって隕石説が有力だが、他の大絶滅については隕石衝突の証拠は見つかっていない。ひょっとして、生命大絶滅の原因は超巨大フレア（スーパーフレア）かも？ 最後に少し壮大な話になったが、これは全くの SF ではない。太陽に良く似た星で、最大級の太陽フレアのエネルギーの 100 万倍ものスーパーフレアが起きた、という天文観測の論文が、10 年ほど前にすでに出版されているのである。スーパーフレアが起きたら、地球はどうなるのだろうか？ これは現在の宇宙天気予報の研究と全く同じ問題である。単にフレアのエネルギーが大きいだけである。

ますます、宇宙天気予報の確立が緊急の課題であると感じる今日この頃である。

参考文献

柴田一成、「太陽の科学」、NHK出版、2010 年

柴田一成、大山真満、浅井歩、磯部洋明、共著、「最新画像で見る太陽」、
ナノオプトニクス・エネルギー出版局、2011 年

柴田一成、上出洋介、編著、「総説 宇宙天気」、京大学術出版局、2011 年

恩藤忠典、丸橋克英 編著、「宇宙環境科学」、2000 年

著者略歴

柴田 一成（しばた かずなり）

1954 年生まれ。京都大学理学部卒業。愛知教育大学助教授、国立天文台助教授を経て、1999 年より京都大学理学研究科附属天文台教授。現在、附属天文台長、京大宇宙総合学研究ユニット副ユニット長。専門は太陽宇宙プラズマ物理学。著書に「活動する宇宙」（共著、裳華房）、「太陽の科学」（NHK出版）、「最新画像で見る太陽」（共著、ナノオプトニクス・エネルギー出版局）、「総説宇宙天気」（共著、京大学術出版局）ほか。