

The dark side of the Sun

太陽の嵐が近づいている

Nature Vol.441(402-404)/25 May 2006

燃え上がるフレア：黒点と太陽フレアの活動は、太陽の磁場が原因で11年ごとにピークに達する。

WWW.SUNGAZER.NET

太陽から地球に吹きつける荷電粒子の嵐は、ときに人工衛星を故障させることもある。こうした太陽嵐の予測はむずかしいが、一部の物理学者たちの予測によると、ここしばらくのうちで最も大きな嵐が迫っているという。Stuart Clark が報告する。

たしかにハロウィーンは、不思議な現象や不気味な事件が起こるとされるときではある。しかし、どう考えても2003年10月の後半に起こったことは異常だった。世界中の通信が混乱し、米航空宇宙局（NASA）の衛星の半分は正しく機能せず、スウェーデンでは5万人が停電にあい、そして世界中の航空会社は数億円もの損失をこうむった。

これらの事件を結びつけるのは超自然現象ではない。もっとよく知られたもの、つまり太陽だ。太陽の活動は11年周期で変動するが、当時はなかでも活動がいちばん活発な時期だったために、このような混乱が起きた。そして一部の予測によると、今から5～6年後には2003年10月に起こったこととは比べものにならない事態が起きる可能性があるという。

米国立大気研究センター（NCAR、コロラド州ボルダー）の物理学者 Peter Gilman は、「次周期の太陽活動の影響は、かつてないほど深刻なものかもしれない」と警告する。問題に直面するのは人工衛星や電気通信だけではない。一部の研究者は、太陽活動は地球大気、特に雲の形成に影響すると考えている。この説は地球温暖化に対して懐疑的な人たちをひきつけ、気候変動の原因は人間活動よりもむしろ太陽にあるのだという主張が聞かれるようになった。

太陽の11年周期の原動力は、その磁場にある。磁場は、太陽風という荷電粒子の流れを作り出す。11年周期の中でも静かな時期の活動はかなり穏やかで、太陽風は比較的一定している。しかし、太陽活動の極大期には黒点（曲

がりくねる磁場によって、太陽表面にできる暗い斑点）が現れる。巨大な太陽フレアが黒点の上空で爆発すると、太陽風に乱流を起し、宇宙空間を突き進む荷電粒子の流れを作り出す。

いちばん最近の活動周期は、黒点の数でみるとかなり穏やかな周期だった（グラフ参照）。しかし、その活動周期がピークを迎えた3年後の2003年10月後半、2つの巨大な黒点が出現した。2つはともに地球直径の10倍以上の大きさで、双方ともほぼ絶え間ない爆発を続け、数十億トンの荷電粒子を噴出した。

そしてこの荷電粒子が地球の大気に当たったことで、前述のような被害が引き起こされたのだ。世界的な海の緊急事態通報システムが停止し、エベレスト登山隊との通信が途絶え、全

地球測位システム (GPS) の精度が落ちた。NASA の衛星が正しく機能しなかったほか、日本の地球観測衛星も機能を失い、運用が断念された。航空機は低高度を飛ばなくてはならなくなり、航空路が混雑したうえに燃料の消費量が増え、航空会社にとってはコスト負担が増えることになった。

幸運な回避

太陽の自転に伴って移動する太陽表面の黒点は、2週間にわたり地球に向けて断続的な荷電粒子の爆撃を行ったとされる。そして11月4日、2番目の黒点が見えなくなりかけていたとき、すさまじい爆発が起こった。それは有史以来、最も大きな太陽フレアの1つだったと太陽物理学者は算定する¹。まったくの偶然により、その太陽フレアは地球を直撃せずに宇宙空間へ向かって爆発したため、地球へは側面の流れが吹きつけただけです。それを見た人たちは安堵のため息をつき、こんなフレアが地球に向かって爆発していたらいったいどれほどの被害があったことか、と思ったという。しかし、次の太陽活動周期に関する最新の予測が現実のものとなれば、私たちはそのすさまじさを体験することになるかもしれない。

こうした太陽爆発の時期や強さを予測すること明らかに重要だが、太陽内部のしくみについてはまだあまりよくわかっていない。そこで来年には、次の太陽周期の始まりに合わせ、過去最大規模の太陽に関する共同研究計画が立ち上げられることになっている。この国際太陽年計画では、太陽が地球の気候に影響を及ぼしている可能性についての意識を高め、さまざまな分野の研究者に太陽活動の研究に関心をもってもらうことをねらいとしている。

現在、太陽の活動は極小期にある。たいいてい予測では、次の5～6年後の極大期の太陽活動は比較的弱いものになるとされている。しかし、初めて完全に物理的太陽モデルに基づいて算

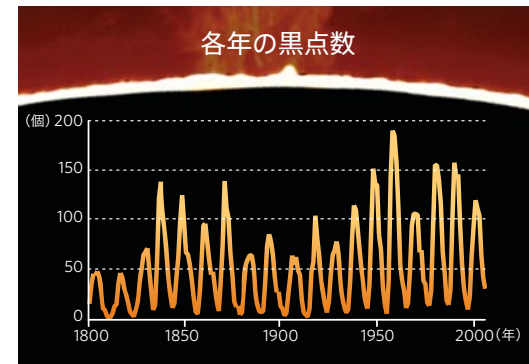
出された最新発表の予測によると、話は逆になる。

この予測を行ったのは、NCAR の Mausumi Dikpati たちだ²。Dikpati らは、太陽内部の磁気ダイナモと、太陽プラズマが表面近くで循環するしくみについての理論を組み合わせたコンピューターシミュレーションを開発した。そして、肝を冷やすような結論に達した。研究チームの一員である Gilman は、「次の太陽活動の極大期には、前回よりも黒点数と活動レベルが30～50パーセント大きくなるという予測結果を得た」と話す。

こうした規模での太陽活動は、1958年を最後に起きていない。当時、地球周回軌道上に人工衛星はほとんどなかった。しかし、今ではその事情はまったく異なる。地球を取り巻く活動中の衛星の数は現在、数千個にもものぼる。

人工衛星の運用者は、太陽活動の予想をもとに宇宙ミッションの寿命を見積もっている。太陽風が地球の希薄な高層大気を暖めると、大気密度が上がり、空気抵抗が大きくなる。太陽活動が30パーセント上昇すれば高度300キロメートルの大気密度はほぼ2倍になり、低高度の人工衛星に影響を及ぼすと Gilman は推定する。

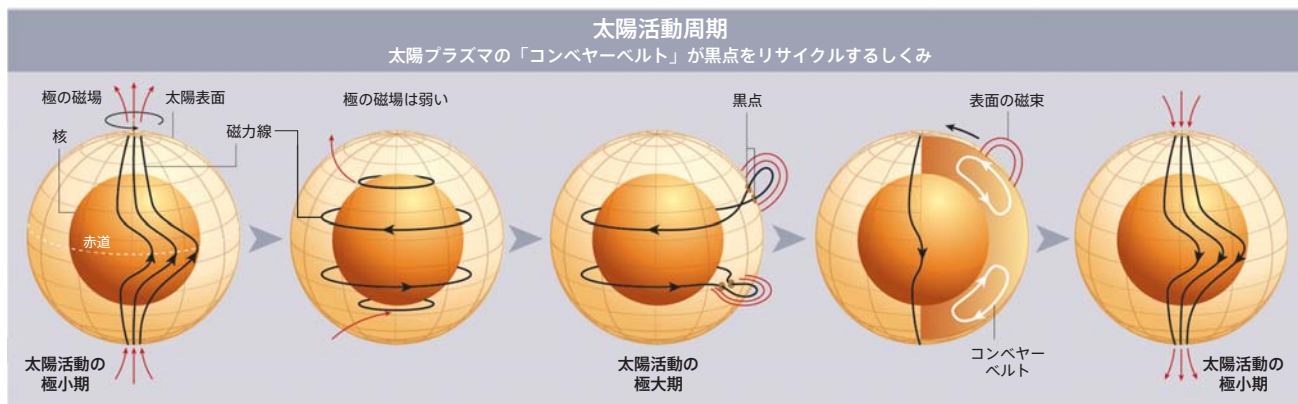
ミッションの運営に2012年までを考慮に入れている場合、そのミッションの計画者たちは人工衛星をさらに高い軌道に上げるか、さもなければ衛星の寿命が短くなることを受け入れなければならないかもしれない。しかも高度800キロメートル以上の上空では、空気抵抗の心配はないが別の危険が残る。太陽風が荷電粒子の密度を上げて、敏感な装置のショートや焼損を引き起こすのだ。2003年の太陽フレアの爆発の際に日本の地球観測衛星「みどり2号」が機能を失ったのは、これが原因だったとみられている。さらに、軌道上で故障する衛星の数が増えると、衛星運用者は宇宙ゴミの回避についても心配しなければならない。大きな太陽嵐の余波



で大気の抵抗が変化すれば、宇宙ゴミの軌道が変わる可能性もあり、活動中の衛星は危険にさらされることになる。

最近では太陽を理解しようという機運が高まりをみせているが、こうした人工衛星などへの影響はその動機の1つにすぎない。そのほかにも、太陽活動周期が地球気候に与える影響、特に雲形成を通じた影響の可能性について注目が集まっている。この太陽活動と地球の気候との関連性は、1997年に初めて提案された。コペンハーゲンにあるデンマーク気象研究所の気象学者 Henrik Svensmark と Eigil Friis-Christensen が、1979年から1992年までの気象衛星の記録の分析を行い、太陽活動の極小期には、極大期よりも地球全体の雲量が3%多いことを発見したのである³。さらに2人は、太陽活動の極小期に宇宙空間から地球へと降り注ぐ高エネルギー粒子、つまり宇宙線の量が、極大期と比べて25%多いことを見だし、宇宙線が雲形成の種子を供給している可能性に思い至った。この発見を2人は、「太陽-気候関連におけるミッシングリンク」と名づけた。

地球温暖化の原因は人間活動ではないと主張する人々は、この結果に飛びついた。こうしたデータは、地球の気候変化の主たる原因は太陽であることを示している、と彼らは主張する。昨年、ある2人のロシア人懐疑論者もそう考え、次の周期の太陽活動は弱くなるという想定のもと、2012年から2017年までの地球全体の平均気温が、1998



年から 2003 年のそれと比べて下がる
ほうに 1 万ドルを賭けた⁴。

とはいえ、太陽と気候に関連がある
いう説を支持する科学者たちの多くは
もっと慎重だ。ラザフォード・アップ
ルトン研究所（英国ディドコット）の
物理学者 Robert Bingham は、「すべ
ての雲が太陽活動によって形成され
ると提案しているわけではない。雲形成
過程は太陽活動によって変化する可能
性があるといっているだけだ」と話す。
Bingham は、「CLOUD」（Cosmics
Leaving Outdoor Droplets の略）と
いう国際共同実験に参加している。こ
の実験では、フランスとスイスの国境
にある欧州原子核共同研究機関（CERN）
の粒子加速器を使い、地球の大気を模
した気体を入れたチャンバーに荷電粒
子を打ち込み、雲が形成されるかどう
かを調べることになっている。

国際的な太陽監視網

国連は、次に太陽活動が活発になる時期
を積極的に活用しようと、191 の加盟
国すべてに無線受信機を導入する構想を
先導している。そうすれば、太陽から吹
きつける絶え間ない荷電粒子の衝突に対
する超高層大気への反応が、初めて地球規
模で監視されることになる。宇宙は公式
には高度約 100 キロメートルから始ま
るが、この領域の研究はむずかしく、わ
かっていることはまだほとんどない。

国連の計画は、国際太陽年の計画の
1 つである。国際太陽年は独自の研究予

算をもたないが、あらゆる分野の科学者
が太陽観測装置やデータに容易にアクセ
スできるようにすることをねらいとした
研究計画の募集を始めた。国際太陽年
の英国の共同責任者である、ラザフォ
ード・アップルトン研究所の Richard
Harrison は「科学者のコミュニティ全
体からアイデアを募っています」と話す。

2007 年は、太陽-地球相互作用の
研究のため、これまでにない数の人工
衛星群を科学者たちが使えることにな
る年となるはずだ。太陽活動を追跡す
る人工衛星はすでに軌道に 12 機あり、
さらにこれまでで最も高度な観測衛
星を含む 3 機の打ち上げが今年予定
されている。その 1 つ、NASA の太陽
観測衛星「STEREO」はほぼ同じ形状
の 2 機の衛星からなり、別々の場所か
ら太陽の観測を行うことになる。1 機
は地球の公転軌道上で地球より前方に、
もう 1 機は地球後方に位置する。この
結果、太陽の 3 次元立体画像が得られ、
粒子噴出の 3 次元構造を追跡するこ
とができるようになるだろう。そして
STEREO は、太陽フレアの爆発が起き
て粒子が地球に向かって吹きつけられ
ようとしたとき、その速度と方向を前
もって知らせることができるように
なるかもしれない。

こうした情報は、衛星の運用者が差
し迫った危険に対応するのに役立つ
はずだが、きちんとした計画の立案
には太陽活動の長期的予測が必要だ。
Harrison ら一部の研究者は、有意義な

長期予測するのに十分なほどにはま
だ太陽を理解できていないと考えてい
る。たしかにこれまでの予測は、将来
の太陽活動の指標となるものに重点が
置かれていて、その背後にあるしくみ
にまではあまり気をかけてこなかった。

たとえば天文学者たちは 1970 年代
に、活動周期が頂点に達した後に太陽の
極で磁場が強まることと、その次の周期
の活動の強さには関連があることに気
がついた。ちょうど昨年、この予測方法
の先駆者の 1 人である Leif Svalgaard
は、太陽の極の磁場をもとに、次の周期
の太陽活動は過去 100 年の間で最も
弱いものになると予測した⁵。このほか、
太陽から届く波長 10.7 センチの電波
の強さを調べたり、太陽の極近くの明
るい点の数を調べたりといった「指標」
を使った予測でも、次は弱い活動周期
になることが予測されている。

このような「指標」を用いた予測方
法のなかで、今回は強い活動周期にな
ることを唯一予測しているのは、NASA
マーシャル宇宙飛行センター（アラ
バマ州ハンツビル）の太陽物理学者
David Hathaway と Robert Wilson
だ。彼らは 2004 年、太陽活動の強さ
は 2 周期前の黒点数と相関することに
気づいた。この経験則を次の周期に応
用すると、2012 年は活動が強いとい
う予測になった⁶。Dikpati のモデルは
この予測と一致している。そして重要
なのは、Dikpati のモデル予測には物理
的根拠が与えられているということだ。

物理学者たちはここ 10 年間で、太陽プラズマに巨大なコンベヤーベルトが存在することを発見した。このコンベヤーベルトの流れは時速 30～65 キロメートルで、両半球で赤道から極へと流れているらしい。黒点の活動が活発なのは、それが見えなくなるまでのおよそ数週間だが、それに付随する磁場の活動はすぐには消えない。この弱い磁場は流れによって運ばれ、太陽の表面下に沈む前に極に集まる。沈み込んだ磁場はその後、赤道へ向かって流れ戻るらしい⁷。

Dikpati の研究では、1900 年代にまでさかのぼる太陽黒点の観測データと、太陽の磁気ダイナモおよびコンベヤーベルトのコンピューターシミュレーションとを結びつける(図参照)。シミュレーションによると、コンベヤーベルトは古い黒点を押し流し、極でそれを表面下に沈める。そして深いところを流れる帰りの流れの間に、太陽の自転

が古い磁場を回復させ、新しい黒点と新鮮な活動領域を作り出す。

これはあらゆるステップに物理学に基づいたコンピューターモデルを当てはめた唯一の予測であることから、太陽物理学者たちはその結果をまじめに受け止めている。「Dikpati のモデルは物理学に基づいた確かな根拠のあるものであり、ほかの予測方法で簡単に反論できるものではない」と Hathaway は話す。

20 年の記憶

Dikpati の予測における重要な鍵は、太陽のコンベヤーベルトの速度にある。深いところを流れる帰りの流れの速度は測定できないが、モデルでは、その流れは表面の流れよりも遅く、時速わずか 5 キロメートルと見積もられた。それが正しければ、帰りの行程には 20 年かかることになる。「となると太陽は約 20 年間、その磁場の記憶を保持することになる」と Dikpati は話す。

つまりモデルによれば、太陽活動は直前の周期の磁場にだけでなく、もっと前の周期の磁場との相互作用にも影響されるというわけだ。これに対し、指標を用いた予測方法のほとんどは、直前の周期が次の周期の活動を直接的にスタートさせるものと仮定している。Svalgaard は Dikpati の結論には同意していないものの、「いろいろな予測がなされるのは科学の進展のためによいことだ」と話す。

太陽物理学者は今、この物理学に基づいたモデル予測が正しいかどうか確かめることができる機会を心待ちにしている。そしてそれを確かめるのに、太陽活動が次のピークを迎える 6 年後まで待つ必要はなのかもしれない。というのも、どの予測方法も黒点の平均数だけを予測しているが、これまでの記録によれば、活動の活発な周期はいつも早めに始まり、ピークに達するのにも早いことがわかっている。つまり、活発な太陽周期を示す兆候は、今から 3、4 年以内には明らかになるはずだ。

「だれが正しいのか、母なる自然に教わるべきときです」と Svalgaard は話す。一方 Dikpati たちはモデルを改良し、活動の早い開始などの特徴を予測できるかどうか確かめたいと考えている。いずれにせよ、これからどんな太陽風が吹くのか、人工衛星の計画担当者から気候変動の懐疑論者まで、たくさんの人たちが今後しばらく太陽を見つめていくことになるだろう。■

Stuart Clark は、英国ハートフォードシャーを拠点とするフリーランスライター。

1. Tsurutani, B. T. et al. *Geophys. Res. Lett.* **32**, L03S09 (2005).
2. Dikpati, M., de Toma, G. & Gilman, P. A. *Geophys. Res. Lett.* **33**, L05102 (2006).
3. Svensmark, H. & Friis-Christensen, E. *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* **59**, 1225-1232 (1997).
4. Giles, J. *Nature* **436**, 897 (2005).
5. Svalgaard, L., Cliver, E. W. & Kamide, Y. *Geophys. Res. Lett.* **32**, L01104 (2005).
6. Hathaway, D. H. & Wilson, R. M. *Solar Phys.* **224**, 5-19 (2004).
7. Hathaway, D. H. et al. *Astrophys. J.* **589**, 665-670 (2003).



太陽監視衛星：NASA の双子衛星「STEREO」は、太陽を監視し、嵐が接近すると警報を出す。