

# 太陽フレア

「フレア」は、太陽表面に現れる「黒点」で起こる爆発現象です。プラズマの塊や高エネルギー粒子、人体に有害な放射線が放出されるため、その発生を事前に知らうと「宇宙天気予報」の必要性が言われています。名古屋大学 宇宙地球環境研究所の金子岳史さんは、そもそも黒点がどのようにしてできるかを解明することで、将来的にフレア発生を予測できる物理学的な方法を開発したいと考えています。最近、太陽内部の下降流がフレア発生型黒点の形成に重要であることをシミュレーションによって突き止めました。

太陽の太陽表面で周囲よりも温度が低いために暗く見える「黒点」は、強い磁場が存在している領域です。この磁気エネルギーが荷電粒子(プラズマ)の熱や運動エネルギーへ変換されて起こるのが、「フレア」という爆発現象です(図1)。爆発に伴って、電気機器の故障の原因となる高エネルギー粒子や、紫外線やX線などの人体に有害な放射線が放出されます。地球は大気や地磁気に守られており、通常規模の太陽フレアでは極域くらいにしか影響が及びませんが、宇宙空間の利用がさらに進めば、フレアの影響を事前に知る必要が出てきます。また、11年で繰り返す太陽の活動周期はこれから極大期に向かうため、数年後には1年に20回程度のXクラスフレア(現代観測で最大級のフレア)が起こるようになります。こうした理由から「いつどの程度の規模のフレアが発生するか」を予測する「宇宙天気予報」の必要性が増しています。

現在、太陽は非常に精度の高い観測が行われており、黒点についても発せられる光の解析により、どのような磁場があるかわかっています。

「黒点の磁場は3000ガウス程度です。肩こりに貼る磁気治療器くらいの磁場強度なので、人体に悪影響を与えるほどではありません。ただ、黒点の面積は地球表面積の数十倍ほどありますから、ものすごく広大な面積に磁気治療器が貼られているイメージです」と金子さん。広大な磁場に溜まっている磁気エネルギーは10の25乗ジュール。日本で消費されるエネルギーの実に100万年分に相当します。このエネルギーの10%ほどが、フレアの起こる数十分ほどの間に一気に解放されます。

また、黒点は正極と負極の分布によっていくつかの型に分けられ(図2)、そのうち分布が複雑で、正極と負極が近接している $\delta$ 型で大きな磁気エネルギーが溜まっており、巨大フレアが発生するケースが多いことが経験的に知られています。しかし例外も多く、黒点の磁場分布だけからフレア予測をするのは難しいのです。

そのため、フレアを予測するには、黒点ができるメカニズムにまで遡る必要があります。太陽内部で磁場が形成され、それが輸送されて太陽表面へ浮上し、黒点の磁場分布を形成していくプロセスを明らかにしなければなりません。しかし、太陽内部を直接観測することはできないためシミュレーションを行います。

「世界中で黒点形成のシミュレーションがいろいろ行われていて、中には現実の黒点に近いものを再現できるものもあります。ただ、その多くで“磁気浮力”という磁場を太陽表面に運ぶ力を仮定して“対流”を考慮していません。このことを多くの研究者が気がかりに思っています」と金子さんは現在の黒点形成シミュレーションの問題点を説明します。

対流とは、太陽内部の「対流層」で起こっている運動です(図3)。対流を考慮したシミュレーションが少ないのは、流体力学の基礎方程式(ナビエ-ストークス方程式など)と電磁場の基礎方程式(マクスウェル方程式)を組み合わせた磁気流体力学方程式に加え、光によるエネルギー輸送を考慮するために輻射輸送方程式も解く必要があり、かなりの計算コストがかかるからです。最近、対流を考慮したシミュレーションの成功例が報告され始めましたが、計算コストの問題で計算領域がごく浅かったり、解像度が低かったりと満足できるものではありませんでした。

この問題を解決したのが、2019年に千葉大学の堀田英之さんが開発した「輻射磁気流体計算コード R2D2」でした。輻射輸送を考慮した、磁場と対流の相互作用を計算する磁気流体シミュレーションコードで、深さ 200 Mm まで計算できます。

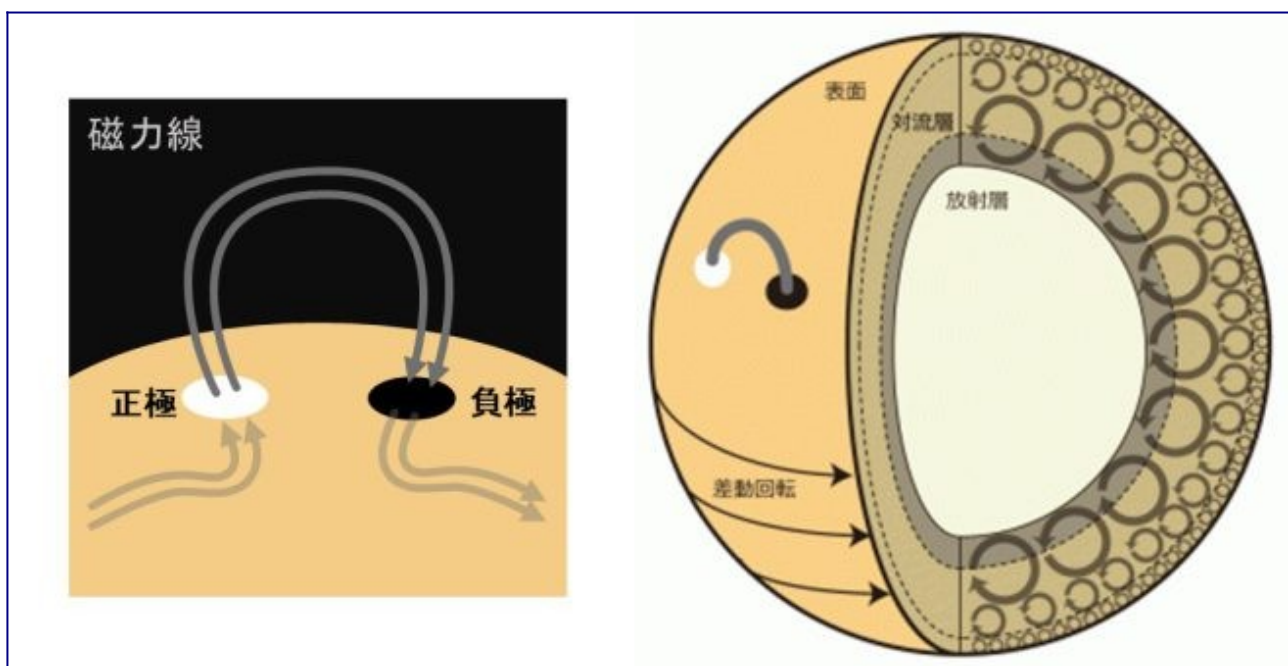


図3 :太陽の内部構造と黒点の模式図。太陽内部は、中心部の核融合によって発生した光によってエネルギーが運ばれる「放射層」と光エネルギーが熱エネ

ルギーに変換され対流運動を起こしている「対流層」から成る。太陽内部から磁場が浮上したところが黒点になる。太陽の半径は約 700Mm。太陽の模式図は <http://www.jicfus.jp/jp/promotion/pr/mj/2015-5/>より堀田英之氏の許可を得て転載。

「コンピュータの性能とシミュレーション技術の進歩によって、非常に現実的な太陽内部の対流を再現することができるようになり、対流場が黒点形成へ与える影響が調べられるようになってきました。一方で課題となるのは、非常に複雑な計算結果から普遍的なメカニズムを抽出するために、解析上の工夫を要する点です」。

対流は多くの微細な渦構造が集まった乱流であるため、シミュレーションの初期値を少し変えただけで、形成される黒点は大きく変わってきます。そのため、何が普遍的なメカニズムなのかがわからないのです。そこで金子さんは、統計的な方法でシミュレーション結果に潜むさまざまな不確定要素の中から普遍的性質を見つけようと考えました。つまりパラメータの初期値を少しずつ変えてたくさんのシミュレーションを行い、それらの結果を統計的に処理することで初期値の違いによらない普遍的な黒点形成メカニズムを浮かび上がらせようというのです。

「現実的な対流場を再現するために輻射磁気流体方程式を高解像度で解く必要がありますが、計算コストが大きいので、それを統計的に扱えるだけの数まで行おうと考える人はいません」と金子さんが言うとおり、このアイデアは一般的には無茶なものです。しかし、スーパーコンピュータ「富岳」によって、それが可能になりました。

「富岳」の計算資源を使い、輻射磁気流体計算コード R2D2 のパラメータ初期値を少しずつ変えて、シミュレーションを行いました。具体的には、水平方向縦横 96Mm、深さ 200Mm の領域内に定常状態の太陽対流を再現した後、太陽内部の磁場に見立てた磁束管（磁力線の束）を挿入し、対流によって磁束管が上下に輸送される過程を計算しました（図 4）。R2D2 の特色は対流層の深い領域まで扱える点です。磁場は輸送過程で上下に大きく引き伸ばされることがあるため、対流層の深い領域まで計算領域に含めることが重要です。今回は磁束管を挿入する場所を変えて 93 ケースの計算を行いました。

「統計的に扱うにはたくさんのシミュレーション結果が必要ですが、最初から何ケースやればいいのかわかっていただけではありません。徐々に数を増やしていき、平均的な描像が落ち着いたところが、93 ケースでした」。この計算は、1

ケースあたり 128 ノードで 12-48 時間くらいの計算量でした。これは一般的には決して小規模な計算ではありませんが、「富岳」の全ノード数約 16 万に対しては 0.08%程度なので、複数ケースの同時実行も可能で、100 例近い計算も 1ヵ月程度(待ち時間込み)で終了しました。

## フレア 2022 影響いつからいつまで？

太陽フレア 2022 影響いつからいつまでと予想されているのでしょうか？

100 年に1回の頻度で起きるとされる大規模な太陽フレアで、太陽フレアが2週間連続で発生した場合

携帯電話が不通になるほか、110 番や 119 番通報がつながりにくい事態が各地で発生。

天気予報の精度の低下や全地球測位システム(GPS)の精度も低下。

位置情報には最大数十メートルのずれが生ずるなど、カーナビにも大きな影響が出る。

順に見てゆきますと、

・大規模な太陽フレアが発生

・8分後 X線など強い電磁波が地球に届き、無線通信や放送に障害が起き、GPSの精度が落ちる

・30分以上経って 高エネルギーの粒子が地球周辺に到達し、人工衛星が故障する

宇宙ステーションや国際線の航空機に乗っている人たちは、通常より多い放射線を浴びる可能性

・2~3日後、電気を帯びたガスなどが地球に到達し、人工衛星の軌道が影響を受ける、地域によっては停電が起きる。

太陽活動はおよそ 11 年周期で変動しており **2023~26 年ごろに極大を迎える**と予測されており、現在は活動が強まる時期にあります。

2018 年に、ロシア・サンクトペテルブルグ市プルコヴォ天文台のユーリー・ナゴビツィン学術主任が太陽フレアのピークが、2022 年から 2023 年に発生するとの予測を発表していました。

現在 **情報通信研究機構(NICT)** が、太陽フレアについて静穏か活発かなどをせいぜい翌日にかけての予報を出していますが、どのような影響があるかや、さらに先の週単位や月単位の予報はできていません。

したがって、**今年いつ頃に太陽フレアが発生しそうかなどの予測はいまのどこ**

**るできず**、まずは、前日に具体的な警報を出せるようになるのが今の課題となっているようです。

## 事前に対策できるのは？

個人的にできる対策はそれほど多くありません。

**航空会社**として、航空機への影響をできるだけ少なくするため、飛行予定の高度や航路を変更する。

**電力会社**は、大規模停電に備え、保安要員を増やす。

**宇宙産業会社**は、打ち上げ日を移動させるなどの対策が考えられます。

個人としては、**停電に備える**ための通常の備え

- ・ライトや電池の準備
- ・電気を使わない調理機器の用意
- ・スマホの充電

などが考えられます。

**通信手段が使えなくなる**ことを見越し、必要な連絡を前もって行っておく。

**カーナビ**を使う自動車旅行や飛行機の利用を控える。

太陽フレアは 2025 年のいつ頃起こるのでしょうか？

## TBS が報道

太陽の表面で起きる爆発現象「太陽フレア」が 2025 年に予測されており、最悪の場合、2 週間程度、断続的に継続するかも知れず、これにより、携帯電話が 2 週間使えなくなるなどの被害想定があることを TBS が報じました。

**大規模な太陽フレアが起こると、電磁波などそこから大量に届く粒子などにより、さまざまな被害が発生します。**

スマートフォンが通信・通話両方で使えなくなる。

発電や送電の過程に影響し広い範囲で、停電が起こる。

GPS やレーダーなどにも影響を及ぼすので、航空機や船舶など、運行が困難となる。カーナビなど数十メートルの誤差が生じ、衝突事故が起こる可能性。

実は、太陽周期 24 の期間の **2012 年 7 月**に熱いプラズマ雲またはコロナ雲が太陽から飛び出しましたが、幸いなことにこの太陽嵐は地球の軌道を横切ったものの、衝突から免れました。このときは、計算ミスで予想がうまくできなかったそうです。おそらく将来、そう幸運は続かないでしょう。

次の太陽フレアが 2025 年 7 月に生じる可能性があります。

但し、現在情報通信研究機構 (NICT) が、太陽フレアについて静穏か活発かなど

の翌日にかけての予報を出していますが、さらに先の週単位や月単位の予報はできていません。

## 最悪の想定は？

2003年以前でも、大規模な太陽嵐「キャリントン・イベント」により、電報システムが停止したり、電信用鉄塔が火花を放ったりするといった現象が報告された(1859年)、磁気嵐により、カナダで約600万人が影響を受け、ケベック州全域が9時間停電した(1889年)などが報告されています。

2003年11月4日 過去最大級のX28フレア発生し、小惑星探査機はやぶさにダメージが生じました。

2014年はそれほど強い太陽フレアでなかったようですが、次の2025年に向けて徐々に、影響が大きくなりつつあるとも言えます。

2017年9月 太陽表面で2度の太陽フレアが起き、その規模は通常の1千倍で最大級であった。このとき、超大型ハリケーンの被害を受けたカリブ海周辺で大規模な電波障害が生じ、救援活動に支障が出ました。また、南極では活発なオーロラが観測されました。

2021年10月29日 Xクラスフレアが発生し、コロナ質量放出(CME)が10月31日地球に到達したが、惑星間空間を伝搬中に大きく減速されたため、地球磁気圏および電離圏への大きな影響は発生しませんでした。

2022年2月3日に米宇宙関連企業「スペースX」が打ち上げた人工衛星49基のうち40基以上が太陽フレアにより機能停止に陥りました。

以前より太陽フレアの影響を受け易い電子機器が、ますます生活に入り込み必須の道具になっているため、2025年に同じ大きさの太陽フレアが発生しても被害の程度がこれまでにないほどとなることが懸念されます。

過去の事例から**最悪の事態を想定**しますと

- ・通信衛星等が機能停止に陥り、電波障害により、スマホ、TV、GPSなどが、長期間使えなくなる。
- ・発電システムに影響し、大規模停電が発生する。
- ・通信やGPSが使えなくなり、電車や飛行機の運航に影響を与え、運転や飛行停止が続出する。
- ・飛行中や運転中に発生した場合、衝突や墜落事故の起こる可能性が出て来る。などが想定されます。