

## 最新太陽像と宇宙天気予報 その2

柴田一成（京大理：花山天文台）

### 3. 太陽の謎：太陽面爆発（フレア）

太陽の活動の一番激しいところ、それをフレアといいます。太陽の爆発です。図5をご覧ください。これは京大飛騨天文台でとらえたフレアの一例です。太陽全体に比べると小さいのですが、これを拡大しますとこのようになります。数時間の映像を数分に変えて見ると、非常に激しく変化しているのがわかります。

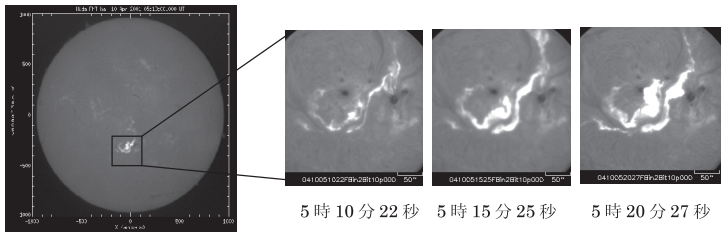


図5 太陽フレアのH $\alpha$ 単色像写真（2001年4月10日、京大飛騨天文台）

太陽は地球の100倍ぐらい大きいですから、このフレアは地球の10倍ぐらいの大きさです。右図の中の二つの黒い点が黒点です。フレアは水爆にすると何と10万個から1億個という、とんでもない爆発で、太陽系最大の爆発現象です。2つの黒点はN極とS極に対応しています。非常におもしろいことに、それに対応して光る場所も二つあります。2か所がリボンに似た形で光るので、ツーリボンフレアと呼ばれることもあります。これがフレアを理解する一番のヒントなのです。フレアが発見されたのは今から150年ほど前、キャリントンとホジソンによります。黒点のスケッチの最中に偶然発見されました。フレアは黒点の近くで頻発する傾向があるので、磁気エネルギーが原因だということまではわかっています。しかし、どうしてそれが発生するのか、そのメカニズムがずっと（100年以上の間）謎でした。

それがようやく最近わかってきました。フレア爆発が起こるときには、しばしば図6のようなプロミネンス噴出という現象が起こります。これは

史上最大のプロミネンス噴出現象です。60年ほど前にアメリカで観測されたのですが、このように大きいものはめったにありません。黒い円盤は太陽の大きさですから、いかに大きいかがおわかりになると思います。地球の大きさは、このプロミネンスの何十分の1くらいに小さいですね。ムービーを何遍も見ていると、だんだん様子がわかってきます。よく見ると筋模様になっています。これは磁力線です。それから、グルグルグルグルらせん状をしているのがわかりますか。プロミネンスの噴出とともに、ガス（プラズマ）がグルグルこの中で回っています。何か、ほどけているようです。ねじれたひもがだんだんほどけているかのような様子がわかります。

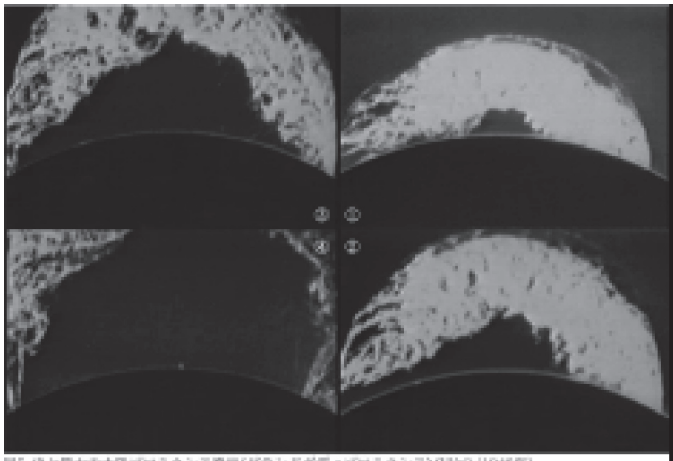


図6 史上最大のプロミネンス噴出（1946年6月4日、米国）

さらにそのようなフレア、プロミネンス噴出というものの正体を探っていくと、先ほど日食のときに見えたコロナが大事だというのがわかるのです。実はコロナでフレア爆発が起きている、フレアの正体はコロナにある、ということがわかってきました。十数年前、日本が「陽光（ようこう）」という人工衛星を打ち上げて、ついにフレアの正体がわかってきたのです。図7はX線で見た太陽です。先ほどの可視光で見た姿と全然違います。日食のときにはコロナは横からしか見えないのですけれども、X線を使うと太陽の正面から見えます。コロナはループから出来ていることがわかります。ループなどの筋状の構造はすべて磁力線を表しています。非常に激しく光っているのは、まさにここで爆発があって、激しく活動しているということです。これが連続した映像（ムービー）でとれるようになりました。

ようこう衛星で撮影されたコロナの X 線ムービーを見ると、驚き、感動の連続です。わたしはこれを初めて見たときびっくりしました。太陽の正体はこうだったのか、こんなに爆発だらけだったのかと、目からウロコ、人生観が変わるほど驚きました。

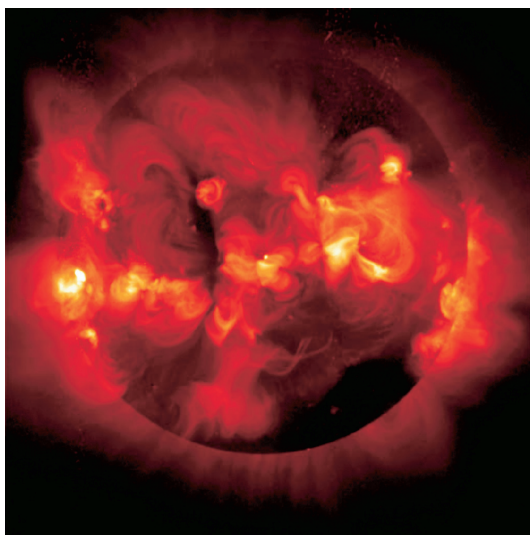


図 7 X 線で見た太陽コロナ（1992 年 2 月 1 日、ようこう衛星）

先ほども言いましたけれども、太陽というのは宇宙の中では最も普通の星です。それですら、このように激しく活動しているということは、宇宙はどんなにすごいのだろうというのが想像できます。X 線はしかもレントゲン写真の X 線と同じです。私たちの周辺には地球の大気がありますから、地上まで太陽の X 線は届かないのですけれども、宇宙空間、人工衛星、宇宙飛行士などは、この X 線をもろに浴びるわけです。これで、いかに宇宙飛行士が危険な職務かというのがおわかりになったと思います。この X 線映像を見ているだけで 30 分ぐらいすぐにたってしまいます。花山天文台に遠足に来た小学校 2 年生にこの映像を見せたら、子供たちは大喜びで 30 分間、映像を見ながら話し合いをしたことがあります。小学校の低学年でもこの映像のすごさ、おもしろさがわかるのですね。質問せめに合いました。皆さんも何か質問があれば、ぜひ気楽に質問してください。これを見ているだけでも、いろいろ太陽の基本的性質がわかります。

#### 4. フレアの正体：磁気リコネクション

さて、そのフレアの正体は何でしょうか？ 図 8 を見てください。H $\alpha$ で見ますと、先ほど言いましたように二つの光、N極、S極とがありました。X線で見ますと、ちょうどまい具合にこの二つの光ったN極とS極をつなぐようなループが見えますね。さらに良く見ると、ループの上空がとがった形をしています。このような形をカuspと呼んでいます。実は太陽の研究者は、もう数十年前から「磁気リコネクション」というメカニズムを提唱していきまして、フレアの上空はこのようなとがった形になるだろうと予測していました（図9）。だから、X線観測でこのような先のとがった形が見えだしたときは、世界中の多くの太陽研究者が驚きました。あまりにも予想通りだったからです。しかも反対する研究者も結構いましたから、これは大きな発見でした。論争中の問題に終止符を打ったからです。「磁気リコネクション」という言葉は、ぜひ覚えて帰っていただけるとうれしいです。これは普通は大学院で教えているくらい難しい物理概念なのですが、丁寧に話せば小学生でも直感的に理解してくれます。日本語で言うと「磁力線のつながかえ」、あるいは「磁気再結合」とも呼ばれます。



図 8 H $\alpha$ とX線で見えた太陽フレア（1997年5月12日、  
H $\alpha$ ：京大飛驒天文台、X線：ようこう衛星）

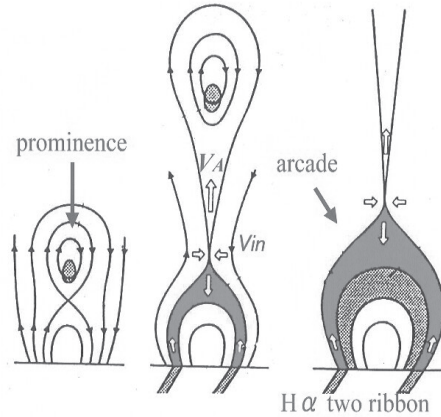


図9 フレアの磁気リコネクション説。この説によって予言されたカスプ構造(先のとがった高温ループ構造、図中で arcade と記されている構造)が、ようこう衛星により実際に観測された(図8参照)。

磁気リコネクションとはどんなメカニズムでしょうか？ これは逆向きの磁力線がつながかわる現象です(図10参照)。磁力線というのは、太陽コロナのような高温のプラズマ(電離気体)中では、まるでゴムひものような性質を持っています。つまり、引っ張ると元に戻ろうとする力(張力)が働きます。リコネクションが起ると、磁力線がつなが替わることによって、磁力線が引っ張られた状態が自然に発生し、(ゴムひもの)パチンコと良く似た効果によって、プラズマが猛烈な勢いで加速されます。さきほどのフレアの場合で言うと、カスプ型構造の頂点あたり、逆向きの磁力線がちょうどこの部分の上空で遭遇しますと、そこで大電流が流れ(雷のようですね)、それが突然ショートすると磁力線がつながるわけです。磁力線というのはまるでゴムひものような性質をもっていますから、そこで突然パチンと上下にはじけるのです。大量のガスが上向きと下向きに加速、噴出します。上に飛んでいったものがプロミネンス噴出、下のほうに行っものは最終的には熱に変わってツーリボンフレアを形成します(図9参照)。このようにして、100年以上謎であったフレアの発生メカニズムは、磁気リコネクションである、ということがついに解明されました。しかも日本のようこう衛星のデータで、また、研究も日本人主導でなされました。このような日本の科学研究の活躍を、皆さん、ぜひ、覚えておいてください。

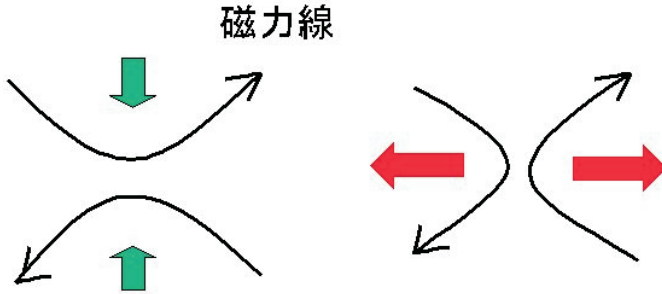


図 10 磁気リコネクションの概念図。磁気リコネクションは、「磁力線つなぎかえ」、あるいは、「磁気再結合」、とも呼ばれる。

さて磁気リコネクションは地球でも起きています。地球の磁力線が太陽風に流されて反平行磁場が出来ています(図 11)。このような反平行状態で、磁気リコネクションが発生すれば、やはりこれもパチンコ効果でエネルギーが発生して地球の電離層まで到達し、そこを光らせます。それがオーロラなのです。だからオーロラも宇宙から見たら、北極と南極が同時に光ります。地上から北極と南極は同時に見られないのですけれども、土星のオーロラが最近見つかりました(図 12)。北極と南極が同時に光っています。これはまさに先ほど見た太陽のH $\alpha$ で見たツーリボンフレアと同じですね。

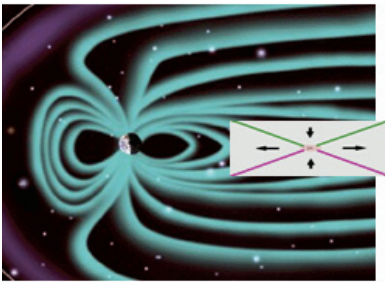


図 11 地球磁気圏の想像図

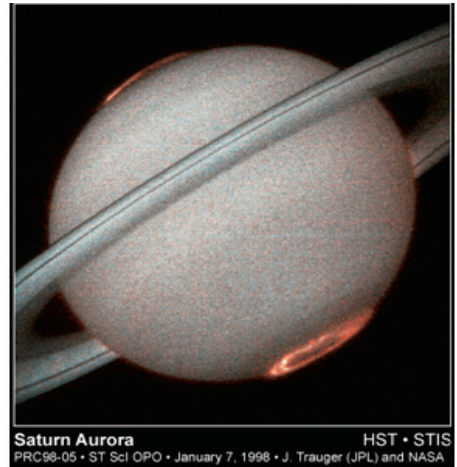


図 12 土星のオーロラ (HST)

一方で、先ほどプロミネンス噴出というのがありました。あれはパチン

コロナ効果で外側に飛び出したものの一例ですが、さらにそれが遠くまで飛んでいくのです。図 13 は宇宙空間で人工的に日食をつくって観測した太陽コロナの可視光写真です。宇宙空間というところはほとんど真空ですから、太陽を円盤で隠しますと日食になるのです。それで、丸くコロナが見えるわけです。しかもこれは連続映像として観測されています。太陽から激しくガスが常時吹き出しているのがわかります。これは太陽風です。それから、時折大爆発で飛び出すのがコロナ質量放出と呼ばれる現象で、これはプロミネンス噴出のなれの果てに対応します。この映像もすばらしくて、私は大好きです。昼間でも星が見えるのがわかりますね。宇宙はすごいです。太陽を手で隠すだけで星が見えます。すごくダイナミックで感動するのですけれども、考えてみたら、太陽から大量のガスが秒速 400 キロメートルから数千キロメートルという猛スピードで飛んでいるのですから、それが地球にやってきましたら大変なことになるとするのは皆さん、想像できると思います。

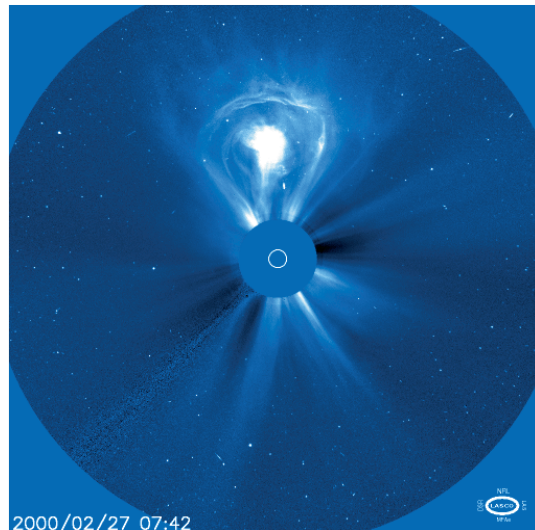


図 13 コロナ質量放出  
(SOHO/LASC0 人工日食による可視光画像) 白丸が太陽

(次号に続く)