

[インタビュー]

爆発だらけの太陽と私たち

柴田一成 氏

京都大学大学院理学研究科附属天文台教授・天文台長

3代にわたる日本の太陽観測衛星での活躍で、
太陽像は荒々しい姿に一変しつつある。
新しい太陽像とは、そして黒点の縮小とは。

しばたかずなり：1954年大阪府生まれ。京都大学大学院理学研究科博士課程中退。理学博士。愛知教育大学助手、同助教授、国立天文台助教授を経て現職。京都大学宇宙総合学研究ユニット副ユニット長兼任。著書に『活動する宇宙』『シリーズ現代の天文学 太陽』『新・宇宙を解く』『太陽の科学』など。

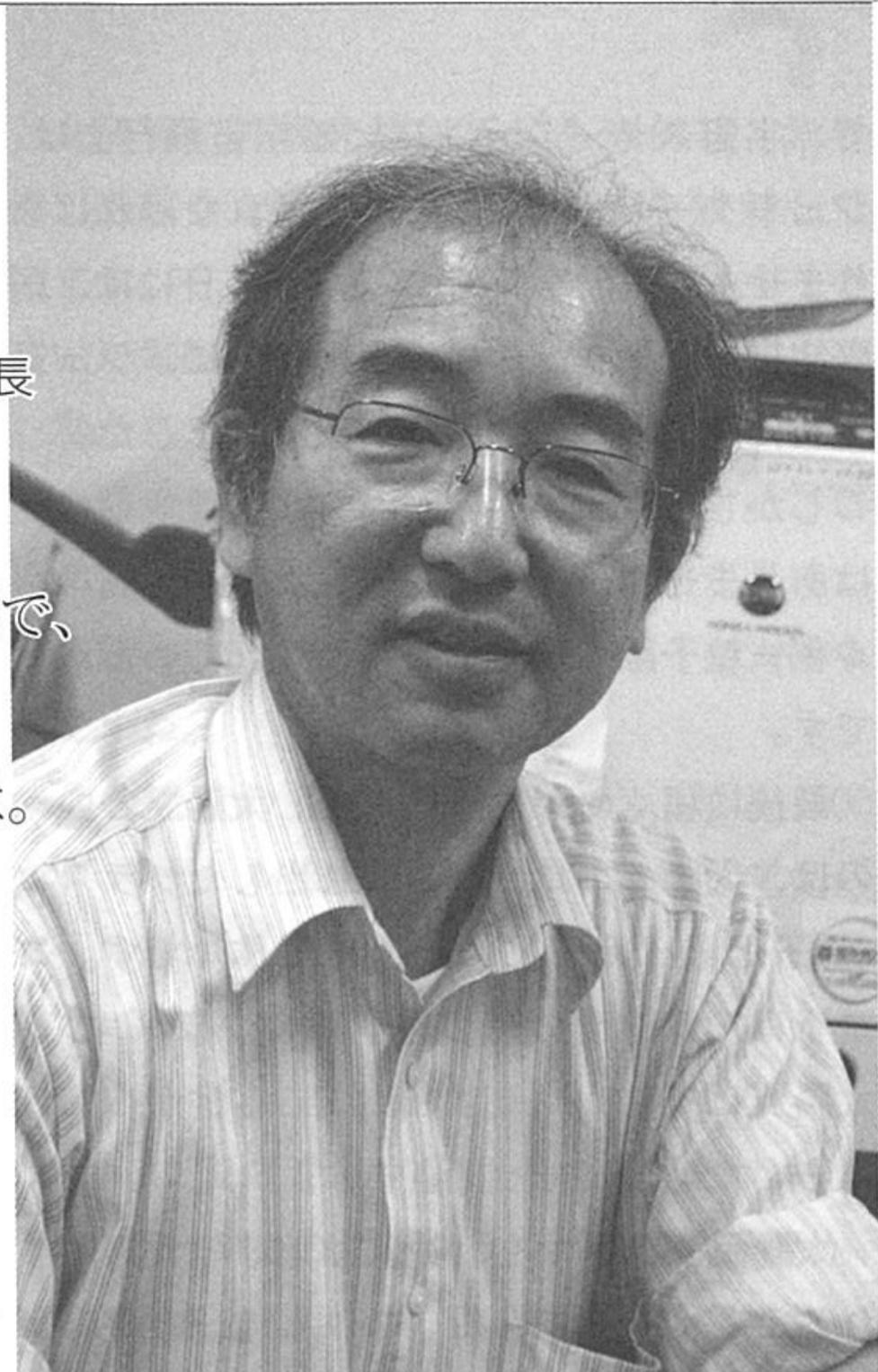
1859年の巨大フレア

—太陽にとって、黒点というのは重要なのですか。

柴田 1859年にリチャード・キャリントンというイギリスの天文学者が、黒点のスケッチをしている最中に、黒点の近傍でピカッと光る現象を見つけたのです。それがいわゆるフレア、太陽の爆発現象の発見の始まりなんです。そのとき面白いことに、地球には数日後に巨大なオーロラが現れたのです。

ところがキャリントンは、フレアとオーロラとが関係していると軽々しく信じてはいけない、みたいなことを言っていたわけです。それは、当時の常識を変える話でしたから。

しかし、それはまさに関係していたわけですね。そして、キャリントンが黒点のスケッ



チ中にフレアを目撃したことからもわかるように、フレアは黒点の近くで発生するのです。というより、黒点こそがフレアという爆発のエネルギー源なのです。

—フレアが発生しても、オーロラができるだけなら、あまり問題はないようですが。

柴田 フレアというのは、爆発的なエネルギーの解放です。太陽で巨大なフレアが発生すると、地球周辺にまっ先に届くのは、フレアのX線放射です。それは光と同じ速さで飛んできますから、宇宙飛行士が光として「あ、太陽フレアが起きた」と気がついた瞬間には、もうX線被曝しているわけです。これは、太陽フレアの発生を予報できない限り、防げません。

その後、30分から2日くらい遅れて、高エネルギー粒子線がやってきます。これは、陽子や電子など非常に高エネルギーの放射線

で、宇宙ステーションにいる宇宙飛行士は、シェルターのようなところに隠れなければなりません。実際、2003年10月28日には、国際宇宙ステーションの宇宙飛行士に、シェルターに避難するよう指示が出されました。

しかし、地上にいる私たちは避難する必要はありません。地球の磁場と大気が、高エネルギー粒子線の侵入を防いでくれているからです。

最後に届くのが太陽風です。太陽風というのは、太陽のコロナから流れ出したプラズマ（電子と陽イオンに電離した気体）です。コロナは100万度の超高温状態のプラズマで、太陽風はそこから流れ出して、1日から3日くらいで地球にやってきます。

太陽風プラズマも、通常は地球の大気に触れることはできません。これも地球の磁場が防いでくれます。こうした、太陽風から地球を守ってくれている領域を地球磁気圏といいます。

ところが、太陽風の磁気の向きが南向きの場合には、地球磁気圏に変化が生じて、太陽風プラズマが南極と北極の地球磁気圏に侵入できるようになります。そして、プラズマが南極上空と北極上空で大気と衝突して、オーロラができるのです。

ですから、キャリントンが観察したフレアとその後のオーロラの発生は、現在の私たちの理論と、タイミングが見事に一致していたわけです。

そして実は、キャリントンが目撃したフレアは、この200年で最大の巨大フレアだったのです。考えられないほどの低緯度の場所でもオーロラが見えたといわれています。

オーロラは、見た目は美しいのですが、オーロラが発生するときには磁気嵐が発生する

のです。だから、今もしキャリントンが観測したのと同じクラスのフレアが発生したら、磁気嵐で大変な被害になるんじゃないかといわれています。キャリントンの時代と違って、今はそらじゅうに電線が張りめぐらされていますし、通信もいろいろありますからね。

磁気嵐がもたらす被害

— 磁気嵐というのは、そんなに恐ろしいですか。

柴田 1989年にカナダのケベック州で、磁気嵐のせいで大停電が起きたことがあります。600万人が停電にあい、それが9時間も続いたのです。

こうした停電が起きる原理は、雷と似ています。オーロラが発生すると磁気嵐が発生し、地球の電離層に大電流が流れ、人間に地上に据え付けた変圧器に巨大な誘導電流が流れます。そして変圧器を破壊してしまう。それで大停電になるのです。

また、磁気嵐で電離層の状態が変わってしまうために、電波を電離層に反射させているレーダーがおかしくなり、航空機の管制に悪影響がでるかもしれません。これは過去に実例があります。

しかし、フレアが危険なのは、そうした磁気嵐による影響だけでなく、宇宙飛行士や航空機に乗っている人が放射線を浴びる恐れがあることです。

また、人工衛星が故障する可能性もあります。2003年10月に発生した10年に1度くらいの大フレアでは、環境観測衛星の「みどり2号」など2つの人工衛星が故障しまし

た。となると、人工衛星を使った船の航行システムやGPSにも影響が出るかもしれません。

とにかく、今日のように電力や電気通信に依存している社会では、フレアの発生とそれに伴う磁気嵐の影響は、極めて広範囲に及びます。

—しかし、大フレアというのは、そう頻繁に発生するものではないのでしょうか。

柴田 いえ、ここ十数年の研究でわかつたのは、太陽は爆発だらけ、ということです。この発見には、日本の太陽観測衛星がとても大きな役割を果たしています。

日本は1981年に初めての太陽観測衛星「ひのとり」を打ち上げました。そして1991年には2代目の「ようこう」を打ち上げました。いずれも、太陽の活動が活発な時期にフレアを観測するためです。

今は、2006年に打ち上げた3代目の「ひので」で、太陽を観測しています。

「ようこう」が見せてくれた太陽

柴田 この2代目の「ようこう」が、太陽は爆発だらけで、しかもそれは地球に大きな影響を与えていているということを、私たちに教えてくれました。

「ようこう」は、2つのX線望遠鏡を搭載していました。ひとつはエネルギーの低いX線を観測する軟X線望遠鏡で、100万度から1000万度くらいのプラズマを観測できます。もうひとつはエネルギーの高いX線を観測する硬X線望遠鏡で、1000万度から1億度以上のプラズマや高エネルギー粒子を観測できます。

太陽は、可視光線以外にも赤外線、紫外線、X線などさまざまな電磁波を放射しています。そして、温度の高い（エネルギーの高い）電磁波ほど、波長が短いのです。

私たちが可視光線で眺めている太陽は、表面の温度が6000度くらいの光球です。ここに黒点が生まれます。だから私たちが見ている太陽というのは、低いエネルギーの太陽なのです。

その光球の上空に彩層という、厚さ1500キロメートルくらいの太陽の大気（プラズマ）の層があります。そしてその上に、遷移層という、プラズマの温度が一気に100万度まで上昇する境界があります。

太陽に限らず、宇宙全体にそうなのですが、プラズマの温度というのは1万度か、100万度なのですね。遷移層というのは、1万度から100万度になる境界です。

その100万度のプラズマがコロナです。その中で、太陽の南極と北極から流れ出して太陽に戻らないコロナが、太陽風として太陽系の空間を埋め尽くしているわけです。

彩層と遷移層は、紫外線の中でも波長の短い極紫外線で見ることができます。また、コロナは軟X線望遠鏡で観察することができるわけです。

「ようこう」が観測しようとしているフレアは、コロナより高温の巨大なエネルギーの爆発ですから、それを観察するためにはX線望遠鏡が必要だったわけです。

そして「ようこう」のX線望遠鏡が私たちに送ってきたのは、黒点の周囲でひっきりなしに爆発的に噴き出していた太陽に戻っていくコロナのダイナミックな動きでした。これで太陽のイメージは、爆発だらけの太陽に一変してしまったのです。

— フレアはどうだったのですか。

柴田 「ようこう」が、1991年から2001年までに観測した1000以上のフレアの、月別の発生頻度をみると、黒点が活発だった1991年の10月には比較的小さなフレアが70回くらい、大きなフレアが40回くらい発生しています。ところが1996年1月の黒点極小期には、小さなフレアですら1回も発生しませんでした。

ということで、黒点が活発な時には、フレアは日常的に発生しています。

宇宙天気予報

— とすると、地球に影響したフレアもあったのですか。

柴田 1994年4月14日のことです。私は鹿児島県内之浦の宇宙空間観測所で「ようこう」の運用当番をしていました。「ようこう」は内之浦上空に来ると、大量の観測データを無線で地上に降ろします。

そのX線写真を見ていたら、巨大なフレアが写っていたのです。それで私は、「太陽で巨大なプラズマ噴出が起きた可能性あり」というメールを世界中に送りました。そして2日後に、地球は本当に、巨大な磁気嵐に襲われたのです。

後でアメリカの友人に聞いたのですが、その友人はシカゴの電力会社から「何か異常があつたら教えて欲しい」と頼まれていたので、私のメールを見て、電力会社に注意を呼びかけたそうです。それで電力会社は、変圧器を取り外して待機していたので、数億円の被害を免れることができたそうです。

この一件で私は、アメリカ政府やNASA

(米航空宇宙局)から感謝されましたが、それ以上に私自身、自分の任務の責任の重大さを痛感させられました。それ以降、私は宇宙天気予報を真剣に研究していくことを決めたのです。

— 宇宙天気予報、ですか。

柴田 先ほどお話したように、大フレアや、それに関連して発生するコロナ質量放出、それに伴う磁気嵐は、地上の電力や電気通信、航空管制、船舶の航行システム、宇宙の宇宙飛行士や人工衛星に危険をもたらします。

しかし、太陽観測のデータとコンピューター・シミュレーションで、フレアやコロナ質量放出、太陽風の擾乱と地球磁気圏への影響をモデル化できれば、太陽表面の磁場とプラズマ運動分布の時間変化のデータがあれば、フレアの発生やコロナ質量放出を予測できるようになるのです。

— フレアの発生を予報できるのですか。

柴田 まだ、どういう条件が満たされればフレアが発生するのかはわかりません。しかし、発生メカニズムはわかりました。これは、「ようこう」の大きな功績です。

お話したように、フレアは黒点の近くで頻繁に発生します。黒点には強い磁場があって磁気エネルギーが豊富にありますから、フレアのエネルギー源が磁場であることはわかります。また、これまでの観測から、大フレアはしばしば、黒点周辺からのプロミネンス噴出に伴なって発生することもわかっています。

プロミネンスというのは、太陽表面に磁力で浮かんでいるプラズマの雲のようなものです。日本語では「紅炎」と呼ばれて物々しいのですが、温度は数千度から1万度程度で、むしろ冷たい。

ふつうに浮かんでいるプロミネンスはどう

ということはないのですが、これが噴出した場合には、大フレアが発生する可能性があるので、要注意ということになります。

そこまではわかっていたのですが、プロミネンスの噴出後、どうやって磁場のエネルギーが解放されてフレアが発生するのかがわからなかつたのです。

その説明として、磁気リコネクションという考え方がありました。上向きの磁力線と下向きの磁力線が並行していると、下向きの磁力線が隣り合つた上向きの磁力線とつながつてV字型の磁力線になつてしまふ。同時に途切れた上向きの磁力線は、途切れた下向きの磁力線とつながつて△型の磁力線になる。

V字型、△型の磁力線ができると、それがパチンコのように働いて、プラズマを上と下に引っ張つて飛ばす。その速度は秒速1000キロメートルくらいのジェットになる。そのうちの、上向きに噴き出したのがプロミネンス噴出だ、という説です。

磁力線のつなぎ替わりということで、リコネクションと呼んでいますが、この説を証明するには、下向きに噴き出して太陽面に当たり、高温になつた△型の構造（カスプ構造）の存在が確認されなければなりませんでした。

1992年の2月21日に、「ようこう」の軟X線望遠鏡は、このカスプ構造をきれいに観測して、磁気リコネクション説をほぼ証明したのです。こうしてフレア発生のモデルができたのです。

一方、今、観測中の「ひので」は、南極と北極の上空を通つて、地球の昼と夜の境目を回っていますから、初めて太陽を24時間連続で観測できます。

「ようこう」では測定できなかつた、磁気リコネクションで噴き出したジェットの速度

を測定してくれることを期待しています。

「ひので」は、「ようこう」よりもX線望遠鏡の解像度をさらに上げて、しかも可視光の望遠鏡を搭載しているのですね。可視光望遠鏡で、宇宙空間から詳しく太陽を観測するというのは、実は世界で初めてなのです。

「ひので」が送ってきた可視光望遠鏡の映像、例えば太陽の彩層の映像を見て、彩層はこんなに激しく活動しているのかと、本当にびっくりしました。誰もそんなことは思ってもいませんでしたから。

太陽から星を知り、星から太陽を知る

——太陽がそんなに爆発ばかりしているとは驚きましたが、太陽だけが特別なのですか。

柴田　いや、太陽は、非常にありふれた、普遍的な天体です。つまり、太陽は星であり、星は太陽であるということが分かってきたので、太陽を基準に星を理解することができるようになったわけです。

太陽の爆発現象を解明して、宇宙の爆発現象を解明しようという発想ですね。太陽は近いから、遠い星よりもいろいろ分かるわけです。いわば、太陽が実験室の役割を果たしているのです。

他方で、宇宙には太陽とそっくりの星がいっぱいあるわけです。ですから、それらを調べれば、今度は逆に太陽の未来・過去が分かることになります。ということは、僕らがどうしてここに生まれたかということも、宇宙の星々、その周りの惑星を観測することによって分かるわけです。

——つまり、太陽より古い星やその惑星を調べれば太陽や地球の未来がわかり、太陽より若い星

やその惑星を調べれば太陽や地球の過去がわかる、ということですか。

柴田 ええ、だから最初は、そういう太陽とよく似たたくさんの星を、たくさんの望遠鏡を設置して観測しようと思ったのです。でも、それにはお金もかかるし時間もかかる。それでもやろうとは思っているのですけれどもね。

ある天文学者と、そんな話を話していたら、それは、もうすでにあるデータから見つけることができるんじゃないかと言うのです。どういうデータがあるかといいますと、ケプラー衛星という人工衛星が地球の周りを回っていて、太陽系外の惑星探査をやってい

るのです。
最近はすごいんですよ。惑星が星の周りを回っていますでしょう。それが星の真ん前を通ると、星の光がちょっと暗くなるんですね。
—ほんのちょっとですね。

柴田 ええ、ものすごくちょっとなんですが、暗くなる。最近の人工衛星は、ものすごい精度で光を測れるので、地球ぐらいの大きさの惑星が星の表面を横切っても分かるんです。そういう観測をやって、いまは系外惑星がいっぱい見つかりつつあるのです。

実は私は、その逆を考えているんです。ちょっと暗くなるのが分かるのだったら、ちょっと明るくなるのも分かるのではないかと。

—フレア！

柴田 そうです。ちょっと明るくなるといつても、現在の最大のフレアで太陽が明るくなる割合が0.02%ぐらいなんですね。それが0.1%、1%なんか明るくなったら、それは超巨大フレアです。その星の周りにいる惑星は大変なことになっているはずなのです。

日本では今、1000年に1度の大地震が起きて大変なことになっていますが、それでは太陽に1000年に1度の大フレアが起きたらどうなるのだろうか。

そういう問題を考えるときに、太陽とよく似た星はいくらでもありますから、そうした星を観測したら分かるわけです。

それから、そんなすごいことが起こらなくたって、現在では宇宙飛行士が日々、そういう危険にさらされているわけですね。

X線はまだ、いろいろ遮蔽すればカットできますけれども、プロトンになるともう少し透過力が強くなります。ガンマ線も透過力が強い。しかし、いちばん怖いのはたぶん中性子なんです。

ですから、それらを予報するモデルを提供するという、僕らの責任は極めて大きいですね。それで、まだまだ調査段階ですが、太陽でどういうフレアが起きたら、どういう放射線がどのくらい出てくるのかを、できるだけ理論的に計算できるようにしようという研究をしているのです。

ということで、今まで自分の中的好奇心に従って、世間とは全くかけ離れた研究をやってきたと思っていたのですが、実はそれがすごく社会に関わっていることが分かってきました。天文学は、基礎科学そのものなんですけれども、見方を変えると、社会にとってすごく必要な知識であり、社会貢献につながるから、やはりきちんと責任を果たさなければいけないな、と考えているのです。

超巨大フレアと古生物学

—そういうお話を聞くと、地球というのはよ

くできた宇宙船なんですね。

柴田 通常は、もちろん守られて大丈夫なのです。しかし、僕らがまだ気づかないうちに巨大なフレアが起きたら、地上にいても放射線が届くかもしれない。そうすると生命絶滅の可能性だってあるかもしれない。

5億年より前には、生物は海の中にしかいなかつたんですね。それが海から陸上に進出する。それは極めて危険なことだったんですけども、生物はそれに成功したんですね。そうしたら、住める場所が一気に増えたわけですから、大繁栄というものが現在です。

ところが、ときおり生物の科が一気に減ることがあるわけですね。古生物学では、これまでに5回の大量絶滅があったことが知られています。約4億3500万年前の古生代オルドビス紀末、約3億6000万年前の古生代デボン紀後期、約2億5000万年前の古生代ペルム紀末、このときは半分に減っています。そして約2億1200万年前の中生代三畳紀末と、恐竜絶滅の中生代白亜紀末（約6550万年前）です。実は、恐竜絶滅のときはたいしたことはなかったんですね。大部分の生物は生き延びています。

それで、恐竜絶滅のときには巨大隕石の衝突の証拠があるのですけれども、それ以前の4回にはないんですね。

それで古生物学者の人 「太陽超巨大フレアかもしれませんね」と冗談半分で言ったら、大真面目に「それはいい話ですね。この4回は分かっていないので、ぜひ証拠を見つけてください」と言われて、こちらが「えっ」とか言って、それで最近、そんな研究もしています。地球が生まれて46億年ですから、その間に何回か、太陽で超巨大フレアが発生したとしても不思議ではありません。

— 生物の大量絶滅と太陽の研究ですか。

柴田 もちろん、僕は超巨大フレアなどで絶滅したくはないんですけども、生命の進化という点から考えたら、大量絶滅は必ずしも悪くなかったんですね。

恐竜が絶滅していなかつたら、まだ恐竜・爬虫類の時代が続いて、哺乳類はこんなに繁栄できなかつた。絶滅してくれたから、僕らはここに生まれたんですね。

同じことが、それ以前の4回についてもいえるわけです。太陽による絶滅があったとすれば、そのおかげで新しい種が生まれて、それで進化してきた。

宇宙の星の中には太陽よりはるかに激しく爆発を起こしている星があるのですが、ふつうは、そういう星の周りの惑星は放射線だけで生物はいない、進化できないと思われています。

けれども、この論理を使つたら、ひょっとしたら、そういう星は進化がすごく早く、僕らよりもっとすごい知的生命がいるかもしれませんと、そういう考え方もあるんですね。

古生物学者、生物学者の人と話をすると、生物に雄と雌が生まれたのも、食べるものが減ったから、雄と雌にして遺伝子を交換するという形で生き延びてきたのだというのです。

だから、生物の進化というのは、環境の悪化とか、絶滅の危機とか、あるいはすでにいた種が絶滅したとか、そういうことのおかげで進化してきたので、大量絶滅は考えようによってはプラスであるという論理ですね。

この論理を使うと、今は東日本大震災でみんな大変な状況になっているけれども、これを乗り越えたら次は大発展が待っているのだ

と、そういう方にも希望の光をあててくれるんじゃないかなという感じを持っているんです。

というのは、日本人にとって地震とか台風とかいう災害は決して珍しい話ではないわけですね。そういう風土に生まれて、1万年ぐらい暮らしているわけですから、世界の中で僕らが何かいいものを持っているとしたら、そのおかげかもしれないわけです。

— そうですね。

柴田 そういうことと同じで、人類だってここまで進化するまでに、そういうすごい影響を克服して生き延びてきたのだろうと思うのです。これからだって、例えば人類が宇宙に行くということは、海の中にいた生物が陸地上に上がるのと同じような危険を伴うわけですね。しかし、それに成功したら大発展が待っている。こういう話は半ばSF的なんですけれども、一方で、宇宙ステーションの問題というのは現実の問題なんですね。理論と現実は、いろいろつながっていて面白いんです。

ジェットが宇宙の進化をもたらす

— ところで、フレアというのはプラズマなんですか。

柴田 太陽の物質というのは、大部分プラズマです。しかし、フレアというのは爆発ということなのです。物体ではなく、現象ですね。ですから、フレアの成分は何ですかという質問は意味がないんです。歴史的には、ピカッと光る現象のことをフレアといいます。そのときに同時に大量の物質が飛び出す。

— ジェットというのも現象ですか。

柴田 ジェットというのは、物質が細長く飛び出しているんですね。太陽にだけな

く、宇宙にもいっぱいあります。ブラックホールと考えられている銀河の中心核にも巨大なジェットがありますし、原始星にも、近接連星系にもジェットがあります。いずれも降着円盤という回転する円盤があり、そこから上下双方向に噴き出しています。ジェットの成分は何ですかという質問には意味があるんです。

— ジェットの場合には、物質もあるし現象もあると。

柴田 そうですね。宇宙ではジェットがいろいろなところでたくさん見つかっていて、宇宙にとってジェットは普遍的な現象であるといえます。それで僕は、太陽の爆發現象をヒントに、ジェットについて統一モデルができるんじゃないかと考えて、世界で初めて電磁流体数値シミュレーションで示したのです。

必ずしもリコネクションがなくてもジェットはできるんですけども、ただ、磁場のエネルギーで激しいことが起こるという場合には、リコネクションを考えないと解けない問題がだんだん多くなっているんです。

— 先生の『太陽の科学』(NHKブックス、2010年)では、ジェットが宇宙中に普遍的にあって、宇宙の進化はジェットによって促進されている、とされているようですが。

柴田 はい。ジェットの原因是磁場であるということです。ですから、磁場があるおかげで僕らがここに生まれたと。

単に、太陽ができて地球ができただけではなくて、地球上の生命の進化も、太陽表面の磁場が原因の爆発で絶滅があったり何やかやしながら、結果的には進化を促してきた。

そういう意味では、瞬時のフレアは災害はあるけれども、僕らがここに生まれたのは、そのおかげであると。そういうことが分

かってくれば、われわれは文明なり生存を絶滅させないように頑張りたい、そのためにはどうすればいいか、ということですね。

黒点が増えてくれない

— その太陽から、黒点がなくなってしまったというのは、何なのですか。

柴田 黒点がなくなったというより、本来、黒点が増える時期なのに増えない、ということですね。

数週間ぐらい前から、「ひので」が大フレアを観測し始めました。この数年間、黒点が少なかったので、大フレアは起きていたなかったのです。この後、2013年には黒点が最大になると予想されているのですが、その次のサイクル（2020～）は黒点が増えてくれるかどうか分からず。増えないようだと、人類にとってはこの数年間が、今後50年間の最後の活動期になるかもしれません。

長い歴史でみたら、何百年に1回は黒点がすごく少なくて、ミニ氷河期がありました。ですから、いずれそういう時期が間違なく来るだろうとは思っていました。

しかし、2008年に開かれた「地球惑星科学連合」という地球科学の大きな学会の、地球温暖化の真相についてのセッションに出るまでは、「温暖化太陽原因説」について人前で議論することは、政治や世論と衝突するので相当勇気のいることでした。

ところがセッションでは、多くの地球科学者、物理学者、天文学者たちが、CO₂以外の可能性を大胆に論じていたのです。太陽の可能性も論じられましたが、それ以外にも海流、火山なども論じられていました。

今回の黒点が増えない現象が寒冷化につながって、温暖化を弱めるのか、そもそも温暖化の原因がCO₂とは限らないとすれば、もうに寒冷化に行ってしまうのか。そのあたりはまだよく分かりませんけれども、太陽研究者としては、歴史的に、太陽が原因で温暖化、寒冷化が起きていたということです。

黒点が増えないと、なぜミニ氷河期になるのか。原因はまだ分かっていません。宇宙線が雲をつくって、それが太陽の光を遮るというのが1つの有力な可能性ですけれども、それ以外の可能性もあります。

— 過去に、黒点が減って太陽の活動が停滞したときには、どういうことが起きたのですか。

柴田 経験的に、地球全体が寒冷化するというのは、かなり確からしいということですね。

昔の黒点のスケッチを調べて、1640年代から1710年代は黒点がほとんどない時代だったことがわかっています。これを発見したイギリスの天文学者エドワード・マウンダーにちなんで「マウンダー・ミニマム（極小期）」と呼ばれています。テームズ川が全面凍りついた、当時の絵画があります。

ガリレイ以前は望遠鏡観測ができなかつたので、樹木の年輪を調べて、黒点の変化を調べます。

宇宙線（銀河から来る高エネルギーの原子核や素粒子）は、大気中の窒素14に衝突すると、放射性同位元素の炭素14を作ります。それを樹木が取り込むので、年輪に炭素14が残されます。

太陽に黒点がたくさん現れると、太陽系全体の磁場が強くなるので、それに阻まれて宇宙線が地球に到達する数が減ります。樹木の年輪の炭素14も減るわけです。黒点が減れば、その逆になります。

研究の結果、マウンダー・ミニマム以前のこの1000年に、1200年代末から1300前半までのウルフ・ミニマム、1400年代初めから1500年代初めまでのシュペーラー・ミニマムがあったとされています。

放射線に耐える生物

柴田 黒点数は11年で増えたり減ったりします。ところが、11年ごとに太陽の磁場の向きが逆転するのですね。それを考慮に入れると、黒点が表わしている太陽の磁場の本当の周期は22年なのです。

宇宙からやってくる宇宙線で、われわれが主要に考えているのはプロトンです。プロトンはプラスの電荷を持っているので、太陽の磁場の向きが変わると、太陽系に入ってくる仕方が変わるわけです。だから、宇宙線の量の変動は、実は11年周期ではなくて22年周期なのです。

— 太陽からの太陽風が銀河からの宇宙線に対するシールドになって、それで22年周期で宇宙線の入って来方が変わるというわけですか。すると、私たちは太陽によって危険にさらされていますけれど、守られてもいるわけですね。

柴田 ええ。ところでアメリカは火星に行こうとしていますが、これは少し危険です。火星に行くには長期間、宇宙線をずっと浴び続けるわけです。しかも、太陽から遠ざかって行くですから、太陽風による宇宙線の遮蔽の度合いが弱まる。逆にいえば、銀河からやってくる宇宙線の量が増えるわけです。

ですからもっと遠く、例えば海王星とか冥王星では宇宙線の量がものすごく増えてきます。放射線医学の研究者は、そんなところに

はとうてい人類は行けないといっています。

しかし、原発事故で今も立ち入り禁止のチェルノブイリの近くには、ネズミが生きているんですね。では、ネズミが棲める環境かといえば、モスクワのネズミを持っていったらすぐ死ぬらしいんです。

チェルノブイリの、放射線の強い環境に順応した種が、もう出現しているのですね。植物もそうかもしれない。だから、生物ってすごいんですよ。地下何十キロという高圧のところでも生きているし、上空何万メートルという、宇宙ステーションと変わらないぐらいの放射線のところでも生きている。

後継研究者不足の心配

— 磁場が支配する太陽活動の研究が、宇宙における磁場や放射線と生物との関係につながって、どこまで広がるかわかりませんね。

柴田 ええ。でも、太陽の研究がここまで進んで、広がったのはここ数十年のことなので、研究者の数はとても少ないのです。

これまで、遠い銀河の観察をということで、天文学のフロンティアは遠くへ遠くへと広がっていました。ですから若い人々は、身近な太陽の研究が今、こんなにすごいことになっていることを知りません。

そして日本では、生涯1分野という研究者が多いで、新たに太陽研究に転じるという研究者も少ないのです。

しかし、日本の太陽研究は今、世界の最先端にいます。その後継者が育たないと困るな、と心配しているのです。

(2011年6月25日、京都大学理学研究科天文台室にて。
インタビュアー・北村龍行)