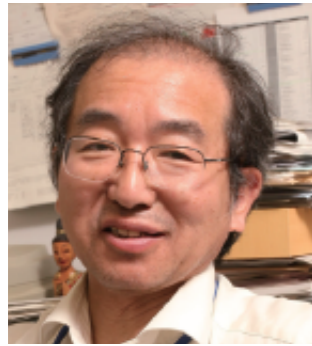


論考●特集・宇宙

宇宙と宇宙研究(宇宙総合学)の現在 ——スーパーフレア研究から宇宙線宗教学へ

柴田一成 (京都大学大学院理学研究科附属天文台教授・台長)
Kazunari SHIBATA



1954年、大阪府生まれ。1981年京都大学大学院理学研究科博士後期課程(宇宙物理学専攻)中退。京都大学理学博士。国立天文台太陽物理学研究系助教授等を経て、1999年、京都大学大学院理学研究科附属天文台教授。2004年より同附属天文台長(併任)。2011年より京都大学宇宙総合学研究ユニット・副ユニット長。日本天文学会林忠二郎賞、講談社科学出版賞、文部科学大臣表彰科学技術賞「理解増進部門」等受賞、文部科学省科学技術政策研究所「ナイスステップな研究者」に選ばれる。主な著書に『太陽の科学』(NHK ブックス)、『太陽大異変——スーパーフレアが地球を襲う日』(朝日新聞出版)、共著に『太陽活動1992-2003——フレア監視望遠鏡が捉えたサイクル23』(京都大学学術出版会)、『総説 宇宙天気』(同)、『最新画像で見る 太陽』(ナノオプトクス・エナジー出版局)ほか。

疑問に答えを提供し、人々の不安を解消するのが宗教の1つの役割だった。天文学の目的も同じである。ただ、天文学はその答えがしを「科学的」に行う。科学で答えがわからない領域を扱うのが宗教の役割である。そう考えれば、科学と宗教は決して対立するものではなく相補的なものであることがわかる。科学はしだいに発展し、これまで宗教が扱っていた問題を扱えるようになる。そこで多少の衝突が起こる。そのもつとも有名な事例がガリレオ裁判だ。しかし、科学ですべてを解明することはできないので、宗教の役割がなくなることはない。科学が発展して1つ謎が解明しても、必ず新しい謎が生まれるので、謎がもたらす不安は消えることがないからである。

天文学の近年の発展は著しい。19世紀の人類は宇宙は永遠不変であると思っていた。ところが20世紀になると、宇宙の膨張が見つかり、宇宙は百数十億年前にビッグバンと呼ばれる大爆発で始まったことがわかった。宇宙に始まりがある、ということ、宇宙の中のさまざまな天体にも始まり(誕生)があり、終わり(死)があるということである。事実、さまざまな天体の形成と進化がしだいに判明してきた。しかも目に見えない電磁波(電波、赤外線、X線など)による天体観測が20世紀後半に発展すると、宇宙は爆発だらけであることがわかってきた。またその結果、恐ろしい放射線(宇宙線)が大量に発生し、宇宙は宇宙線に満たされていることもわかってきた。人類はそのような爆発や宇宙線だらけの過酷な環境の中で誕生したのだ。

はじめに

「なぜ自分は存在するのだろうか？」物心ついた幼いころ、毎日、こんな疑問ばかり考えていた。結局、この疑問の答えが知りたくて、宇宙を研究する研究者になった、と言っても過言ではない。これはまた、人類共通の太古からの疑問でもある。この

宇宙総合学

人類はそういう恐ろしい宇宙に進出しようとしている。今や、宇宙飛行士が宇宙ステーション(ISS)の中にいない日はない。宇宙ステーションの存在する「宇宙」(space)は、地上の上空400kmの地球のごく近傍だが、高度の真空であり宇宙線がもろにやってくる過酷な環境である。なぜそのような過酷な宇宙に人類は進出しようとしているのか？

それは地球の資源やエネルギーに限りがあるからだ。環境問題、エネルギー問題、人口問題などを解決するには、地球の外に進出するのが一番である。太陽の光が常にとどく宇宙(静止衛星軌道~地上約36,000km)まで行けば太陽エネルギーはほとんど無限にあるからだ。資源は小惑星帯に膨大な量がある。宇宙(太陽系空間)における人々の居住空間は、地球表面に比べればほとんど無限と言ってよい。そもそも、50~70億年後には、地球は巨大化した太陽に呑み込まれ消滅するか、壊滅的な打撃を受ける運命にある。そんな先どころか、20億年以内には地球の海洋は蒸発すると考えられている。少しずつ大きくなる太陽のせいである。最悪の未来のシナリオは全面核戦争による自滅である。これは来年にだって起こりうる可能性だ。いずれにせよ、自滅のリスクを回避する安全策は、より広大な空間・宇宙への進出である。

人類が宇宙への進出に成功するには、さまざまな問題を解決する必要がある。天文学、宇宙物理学、惑星科学、宇宙工学はもとより、宇宙医

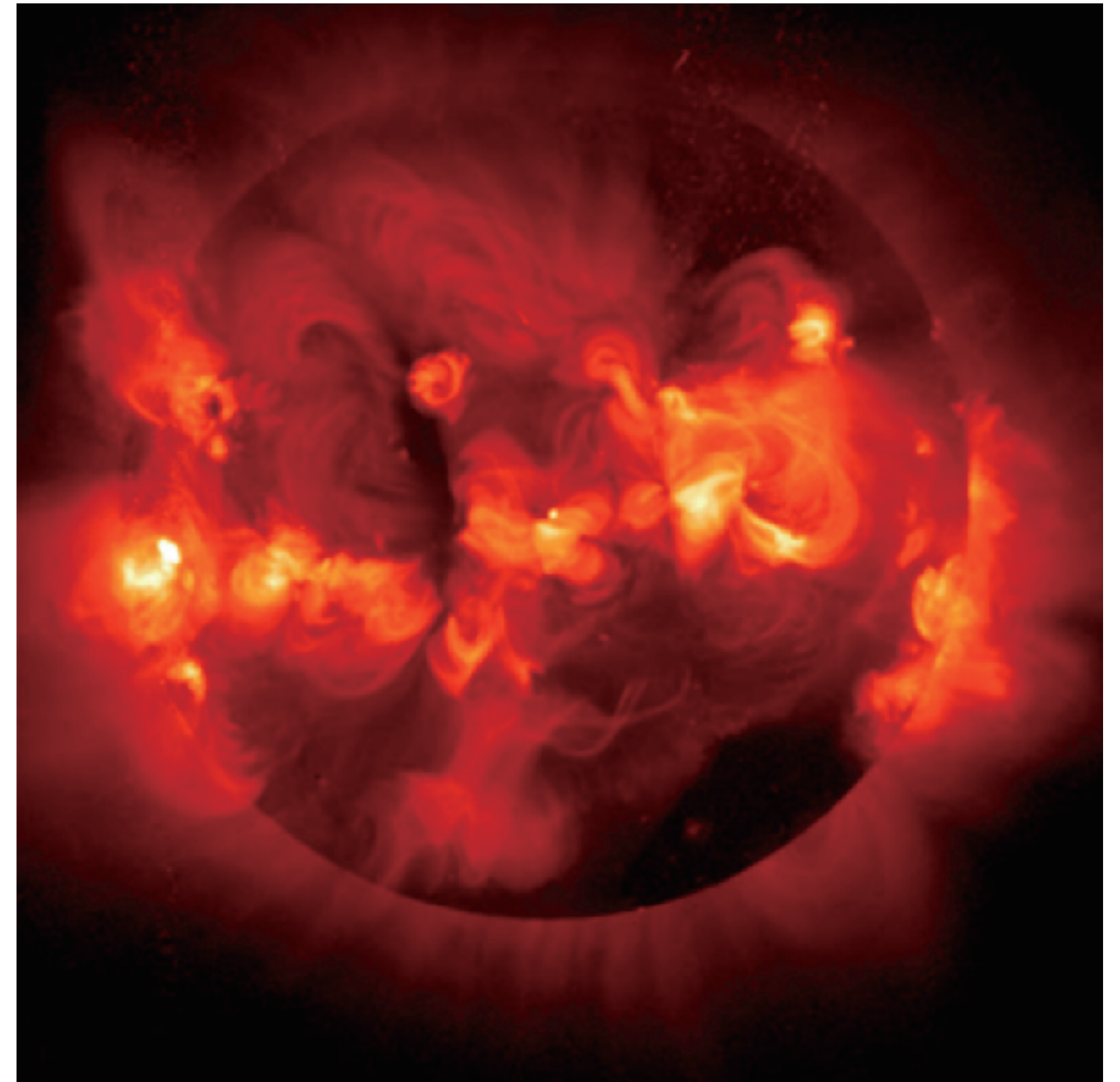


図1 太陽コロナのX線像 1992年2月1日「ようこう」衛星軟X線望遠鏡(SXT)による。Sky&Telescope誌(2000年1月号)の“20世紀で最も印象に残った天体写真ベスト10”に選ばれたもの。(ISAS/JAXA)

学や宇宙生物学も発展させなければならぬ。宇宙飛行士の健康問題を扱うのが宇宙医学、より一般的に宇宙における生命の問題を扱うのが宇宙生物学(アストロバイオロジー)である。

今や天文学のフロンティアは系外惑星、第2の地球探しまで及んでおり、地球とそっくりの惑星を発見した人は系外惑星を最初に発見したスイスのマヨール博士とともにノーベル賞を共同受賞すると言われている。ここまでくれば、系外惑星の表面に生命がいるかどうか、という地球外

生命問題の解明まで、あと一歩である。その前に太陽系内の惑星上に生命が見つかる可能性だってある。われわれ(生命)は過酷な宇宙空間でいかにして生まれたのか？ いかに生き延びてきたのか？ これらの問題を扱うのが宇宙生物学だ。

現在でさえ、宇宙ステーションの中では国籍の異なる宇宙飛行士が協力しながら、さまざまな仕事を行っている。小さな社会が生まれている。この社会は今後どんどん大きくなるだろう。どうなるのか？ 宇宙社会学の始まりだ。どういう法で取

り締まるべきか？ 宇宙法が必要である。おそらく今後数十年~数百年で大量の人類が宇宙に行く時代となるだろう。これは宇宙人類学の扱う問題だ。いや大量の普通の市民が危険な宇宙に行くことは倫理的に許されるのか？ 宇宙倫理学が答えなければならない。

以上のように地球上でこれまで研究されてきたあらゆる学問は、すべて宇宙空間での人類の生存や活動に適用できるよう発展させなければならない。個別の学問の垣根を飛び越えて融合・総合しなければならない。

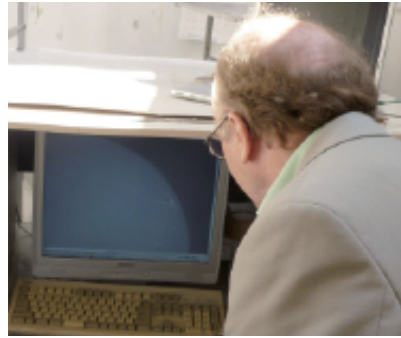


図2 2013年10月28日の大フレア(UT0210頃)。京大花山天文台ザートリウス望遠鏡にて。英国の世界的太陽物理学者のEric Priest博士(セントアンドリュース大学名誉教授)が太陽H α リアルタイム像を覗き込んでいるところ。画面中、光っているところがフレア

そういう宇宙〇〇学を総合した学問のことを宇宙総合学と呼ぶ。京大宇宙総合学研究ユニットはそのような宇宙総合学を開拓するために2008年に発足した。

太陽フレア

フレアとは太陽面で発生する爆発現象のことである。近年の観測の発展により、太陽は爆発だらけであることが判明した。図1にわが国の「ようこう」衛星がとらえた太陽コロナのX線写真を示す。太陽はわれわれにとって危険な放射線であるX線を大量に放出しているのだ。幸いわれわれは地球の厚い大気で守られているので、太陽のX線を被ばくすることはない。しかし宇宙飛行士は大気の外にいるので、常にX線被ばくの恐れがある。

図2は京大花山天文台のザートリウス望遠鏡で撮影された2013年10月28日の大フレアの貴重なリアルタイム写真である。図3はそのときのX線強度の時間変化のグラフである。実はこのとき、花山天文台では、一本潔教授と私が、世界的な太陽物理学者のEric Priest博士(英国セントアンドリュース大学名誉教授)と竹内譲衆議院議員(公明党)の見学案内をしていた。これほどのVIPが2人同時に花山天文台を訪問する、とい

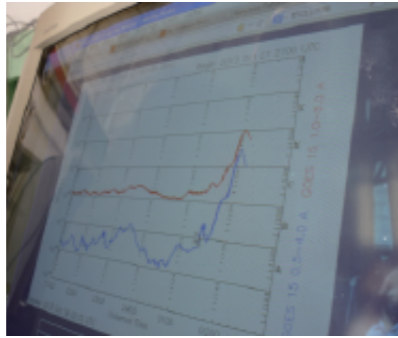


図3 2013年10月28日の大フレア(UT0210頃)のX線強度(GOES衛星による)。縦軸がX線強度、横軸が時間。京大花山天文台ザートリウス望遠鏡の横のコンピュータ画面。フレアのX線強度(赤い線)がXクラス(大フレア)のレベルに到達していることを示している

うのは、花山天文台始まって以来の前代未聞の出来事だったが、それを祝福するかのような、リアルタイムの大フレア発生には、私も少なからず興奮した。世界的な太陽研究者のPriest博士にとっても生まれて初めてのリアルタイムの大フレア観測であり、興奮冷めやらぬようすで、その夜、早速フェイスブックで世界の友人に向けて報告された。

フレアが起これと強いX線が放射されるだけでなく、大量の放射線粒子(高エネルギー陽子など)や高速プラズマ流(高速太陽風)が噴出する。これらが地球に到達すると、人工衛星が故障したり、磁気圏が影響を受けて磁気嵐が起これ、地上で停電や通信障害が起きたりする。

磁気嵐が起これと、アラスカや北欧の夜空には、美しいオーロラが発生する。このときオーロラが光る超高層大気中には大電流が流れる。これが電磁誘導の法則によって地上の電線に大電流を誘起し、変電所の変圧器をこわしたりする。そのために電気が送れなくなって町全体が停電になったりするのだ。1989年3月に起きた大フレアにともなう磁気嵐は巨大なもので、カナダのケベック州で大停電を引き起こした。このとき600万人が9時間電気が使えない状態になったという。カナダ・米国の被害額は少なく見積もっても総額数百億

円に達した。

現代文明が発展すればするほど、太陽フレアの影響(総称して、太陽嵐)に対して文明社会は脆弱になりつつある。被害を最小限にするためには、太陽嵐や磁気嵐を事前に予測することが必要である。宇宙飛行士の放射線被ばく事故だけは絶対防がなければならない。このような予測のことを宇宙天気予報と呼んでおり、現在、全世界の緊急の課題となっている。

スーパーフレア

スーパーフレアとは、現在太陽で観測されている最大級のフレアの10倍以上のエネルギーを放出する超巨大フレアのことを言う。そんなスーパーフレアが、太陽で起きる可能性はあるのか? 頻度はどれくらいか? そもそも、太陽フレアはどれくらいの頻度で発生しているのか? 調べると、フレアのエネルギーが10倍になると、発生頻度がだいたい10分の1になることがわかった。興味深いことに、この法則は、地震の発生頻度に関する統計と似ている。

宇宙飛行士が船外活動しているときに、10年に1回の大フレアが起きたら4シーベルトの放射線を浴びる可能性があるという。これは致死量の放射線だ。1万年~10万年に1回のスーパーフレア(最大のフレアの1万倍程度)が起きたら、地上でも1シーベルト程度の放射線がやってくるかもしれない。これはこわい話だ。しかし、太陽は誕生以来46億年も経っていて、活動はかなり弱くなっており、スーパーフレアが起これことはないだろうと、数年前までは、たかをくくっていた。

ところが最近、太陽系外惑星探査衛星ケプラーの観測から、太陽とよく似た星(太陽型星)で最大級の太陽フレアの100~1,000倍のエネルギーのスーパーフレアが大量に発見された。太陽とよく似た星で起きている

ということは、太陽でも起きるかもしれない!

発見のいきさつを少し書いておこう。ケプラー衛星が常時観測している星の数は15万星もある。そのうち、太陽型星に限っても8万星もある。観測データは30分ごとに1回取得され、数カ月間の連続観測データが公開されていた。膨大な量である。それを解析するには人手が必要なので、京大1回生向けの物理の講義で「誰か研究を手伝ってくれませんか? どうせ、みなさんヒマでしょ?」と募ったら5人の意欲ある学生が集まり、共同研究が始まった。これまで太陽や太陽とよく似た星ではスーパーフレアは起きない、というのが天文学者の常識だったので、誰もスーパーフレアを真剣に探そうとしていなかったが、学生諸君は「天文学者の常識」に毒されていないだったので、真剣に探し始めた。すると、驚くべきことに、続々とスーパーフレアが見つかり始め、最終的に148の星で365回のスーパーフレアが見つかった(2012年の時点)。統計を詳しく調べると、スーパーフレアの発生頻度の統計は太陽フレアの統計とよく似ており、最大級の太陽フレアの100倍~1,000倍のスーパーフレアは、800年~5,000年に1回の頻度で発生することがわかった。この発見の論文(前原裕之ほか)は、2012年のNature誌に掲載された。

1,000倍程度のスーパーフレアでは地上で放射線被ばく死する心配はないが(せいぜい40ミリシーベルト程度)、航空機に乗っていると致死量の放射線を浴びる可能性があるし、全地球規模の停電や通信障害、ITシステムの崩壊が起これるかもしれない。文明にとっては大災害となるだろう。図4にスーパーフレアの想像図を示す。

宇宙線宗教学

宇宙線は宇宙から地球に降り注ぐ放射線であり、毎秒手のひらを1個く

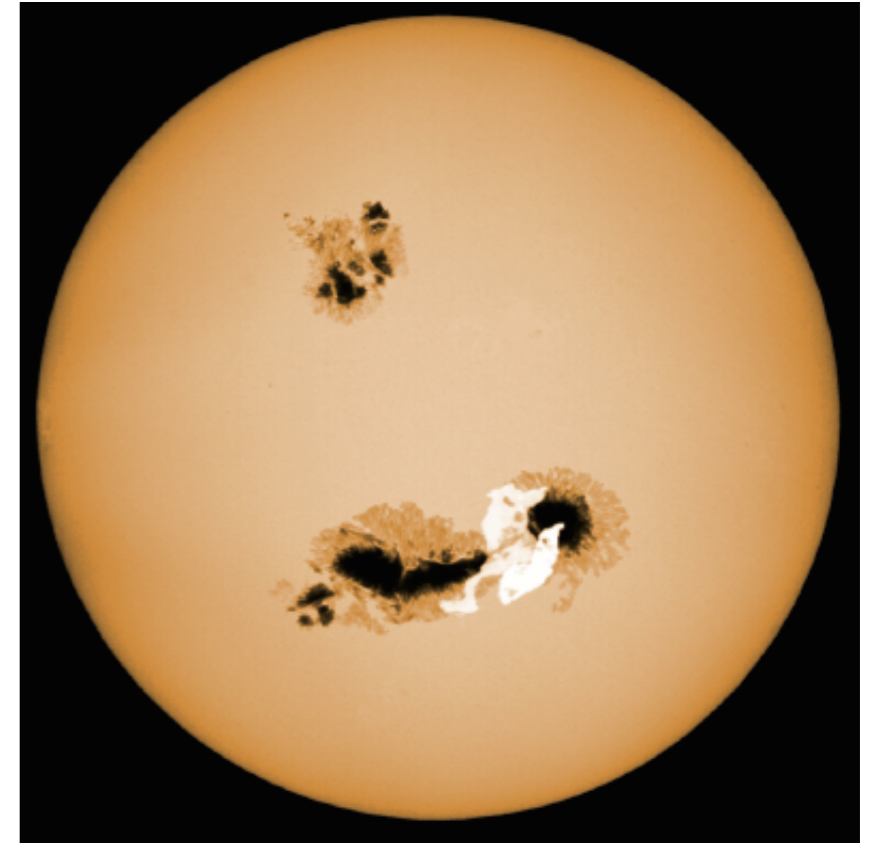


図4 スーパーフレアの想像図 光っているところがスーパーフレア

らいの宇宙線が貫通していると言われる。われわれ(生命や人類)は太古の昔から、年間1ミリシーベルトくらいの宇宙線を被ばくしている。突然、よい考えがひらめくのは、宇宙線が脳に当たったせいではないかと、学生時代、冗談半分で友達とよく話していた。

月から帰還したアポロ宇宙飛行士の多くは、月で「神を見た」という。そのためか、帰還した宇宙飛行士の半数にのぼる人々が宗教家になったそうだ。これは何を意味するのか? あるとき、ふとひらめいた。これは宇宙線の影響ではなからうか? 月には大気も磁場もないので、宇宙線がもろに宇宙飛行士に襲いかかる。アポロミッションのときは幸い大フレアが起きなかったのが、宇宙飛行士たちの命に影響するほどの放射線事故は起きなかったが、宇宙飛行士たちはいつも宇宙ステーションの中で宇宙線を感じとっている。その証拠に、目をつむっても時折目の奥に光るものが見えると

いう。これが宇宙線(放射線)の証拠である。宇宙線が脳の視覚野に当たって刺激した結果、光を見たのと同じ感覚を得たのであろう。脳には宗教野という部分があると聞いたことがある。そこを刺激してやると、神秘体験ができるらしい。宗教野に大量の宇宙線が当たれば、神秘体験と同じ感覚が得られるであろう。それが「神」の正体ではなからうか?

その後、鎌田東二先生の講演を聞いているとき、「宗教家は高い山の上で修行する」と聞いて、さらにひらめいた。宗教家が高い山の上で修行するのも、宇宙線のせいではないか? 高い山の上では、空気が薄いため、宇宙線がたくさんやってくる。神秘体験もしやすくなるだろう。宇宙線と宗教の間には密接な関係がありそうだ。これを称して「宇宙線宗教学」と呼ぼう!

この話題は宴会での酒の肴の1つだったが、宴会ネタで終わらせるにはもったいないので、新しい学問のきっかけとしてここに記録しておく

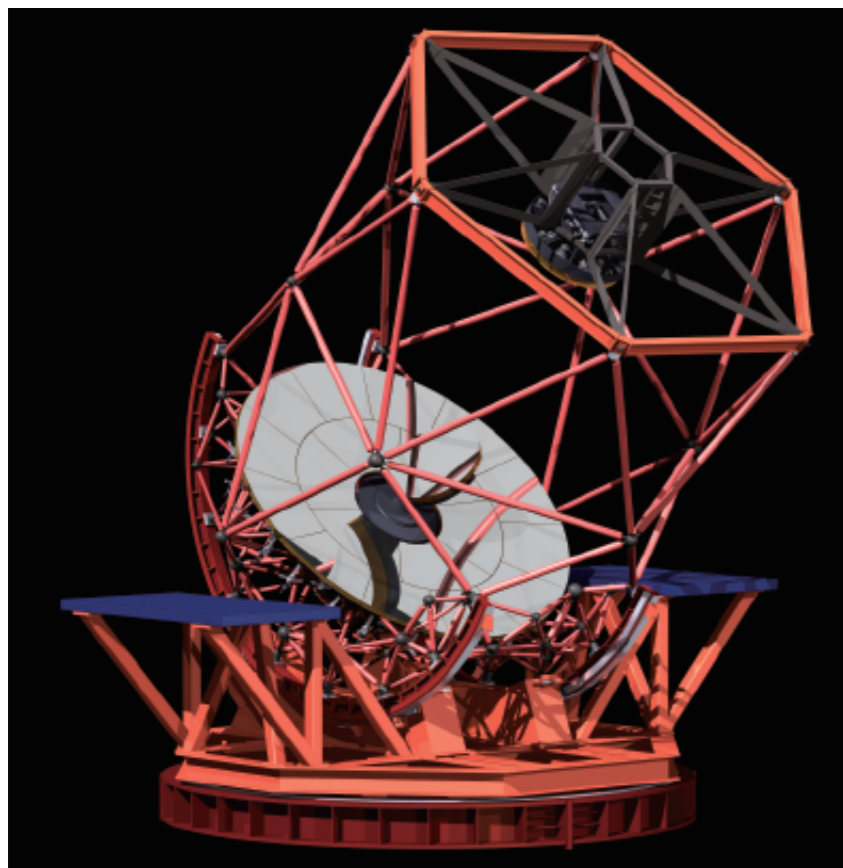


図5 3.8m望遠鏡の完成予想図。18枚の鏡から成る分割鏡でできている

たいと思う。

おわりに

上述したように、太陽型星で発見されたスーパーフレアは、最大の太陽フレアの100倍～1,000倍であり、頻度は数千年に1回である。数千年に1回のスーパーフレアは、現代文明には大災害をもたらすが、過去には電気文明はなかったため、記録に残るほどの災害や歴史的イベントは起きなかったと考えられる。増加した宇宙線により、せいぜい原因不明の病気が流行した程度であったろう。(しかしこれは神秘体験を増やしたかもしれない。紀元前5世紀頃に大宗教家が相次いで現れたのは、ひょっとしたらスーパーフレアのせいだったのかも!?)

今後、太陽で数千年に1回のスーパーフレアが起きて地球を直撃したら、未曾有の大災害となるだろう。この頻度は、2011年の東日本大震災

の大地震の頻度(1,000年に1回)と同程度だから、遠い未来の話と思って油断してはならない。地球の電力インフラや通信網が破壊され、電気や通信が使えない状態が数カ月、いや1年も続いたら、どんなに大変な事態になるだろうか? われわれは遠方の太陽型星を詳しく調べることにより、スーパーフレアのしくみや前兆を解明し、未来の大災害に備えなければならない。すでにわれわれは、放射線だらけの危険きわまりない宇宙空間に宇宙飛行士を送り込んでいる。彼らの生命を守り、一般市民が安心して宇宙に進出できるようにするためにも、太陽や恒星の研究、そして宇宙総合学の研究は不可欠である。

一方、もっと大きなスーパーフレア、最大の太陽フレアの1万倍以上のスーパーフレアが太陽で起きたら地球はどうなるか? ある種の生物の絶滅が起こるかもしれない。6500万年前の恐竜の絶滅は巨大隕石の衝

突説が有力だが、それ以前(5億4000万年前～6500万年前)に起きた4回の生命大絶滅の原因はまだ解明されていない。ひょっとしたら、特大のスーパーフレアが太陽で起きて生命大絶滅をもたらしたかもしれない。こわい話だが、生命大絶滅は生命進化の原動力でもあったのだ。恐竜が絶滅したおかげで哺乳類が繁栄することができ、人類が誕生した。われわれは生命大絶滅のおかげで進化し、ここまで到達したと言える。そう考えると、もし生命大絶滅にスーパーフレアがかかわっているならば、われわれはスーパーフレアのおかげで生まれた、と言えなくもない。ここに至って、「自分はなぜ存在するのだろうか?」という幼いころの疑問に、最新研究がつながってきて、わくわくしているこのごろである。

京大理学研究科の宇宙物理学教室と附属天文台は、天体爆発現象の観測や系外惑星探査を目的した東アジア最大の3.8m望遠鏡(図5)を建設しつつある。この望遠鏡は、まさに太陽型星のスーパーフレアを解明するのに世界でもっとも適した望遠鏡である。2015年完成・テスト観測開始を目指して建設中であるが、ドーム建設費や運用経費など予算がまだ足りない。基金集めのために、京大天文台基金¹⁾を立ち上げた。早く定常観測を開始してスーパーフレアの正体や前兆現象を解明し、未来の文明社会の大災害に備えたいと願っている。そして最終的には「自分はなぜ存在するのか?」という究極の謎にせまりたい。多くの皆さまのご支援をいただけたら幸いである。

注

1) 京大天文台基金:
<http://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/kikin/>

論考●特集・宇宙

太陽、この不思議なるもの

常田佐久 (宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所長)
Saku TSUNETTA



1954年生まれ。東京大学大学院理学系研究科天文学専門課程博士課程修了。理学博士。日本学術振興会研究員、東京大学東京天文台助手、東京大学理学部天文学教育研究センター助手・助教授を経て、1995年より国立天文台教授。SOLAR-B推進室長、ひので科学プロジェクト長、先端技術センター長、宇宙物理学委員長、JAXAひのでプロジェクト・マネージャーを務める。2013年よりJAXA宇宙科学研究所長。2010年林忠二郎賞受賞。著書に『太陽に何が起きているか』(文春新書)、共著に『NHKサイエンスZERO——太陽活動の謎』(NHK出版)ほか。

の関心からこの研究へ入ったわけではなかった。幼少のころより、電気工作を好んでいたこと、高校生・大学生となり湧き出た物理学への強い興味、その時々不思議を追って、現在の研究へと誘われた。

1610年冬、ガリレオ・ガリレイは、自ら製作した望遠鏡により月や星雲、そして太陽を観測した。新世界の驚きを伝えるガリレオ著『星界の報告』は、今日でも読み継がれている¹⁾。続いて出版された『太陽黒点にかんする第2書簡』では、「黒点が太陽に付着していること」をあざやかに論証している。一様な明るさと思われていた太陽に黒点があることは、当時の人々にとって驚き以外の何物でもなかっただろう。

それから400年あまりたった今、軌道には太陽を観測する人工衛星が飛び交い、天文学者は太陽の研究を続け、われわれの太陽の物理学的理解は大いに進展した。これには日本の貢献も大きい。日本は人工衛星による太陽観測の先進国であり、過去30年にわたり「ひのとり」、「ようこう」、「ひので」と3機のすぐれた観測衛星を開発し、打ち上げてきた。

太陽観測衛星「ひので」

1981年には、小田稔博士の発明した「すだれコーリメーター」を搭載した「ひのとり」衛星を打ち上げ、エネルギーの高いX線(硬X線)で太陽面爆発現象(太陽フレアと呼ばれる巨大な爆発現象)の撮像に世界で初めて成功した。1991年に

は、より性能の高い硬X線望遠鏡と軟X線望遠鏡を搭載した「ようこう」衛星を打ち上げた。「ようこう」は、10年の長きにわたって太陽の観測をし続け、太陽フレアが磁気リコネクションと呼ばれる磁場の持つエネルギーの消滅と関係していることを突き止めるなど大きな成果を上げた。

2006年9月23日に打ち上げられた「ひので」は、わが国3機目の太陽観測衛星で、現在も順調に観測を続けている。「ひので」は、可視光、X線、紫外線を観測する3つの望遠鏡を持つ。このうち、可視光望遠鏡は、世界最大の太陽観測専用軌道望遠鏡で、高分解能・高精度で磁場の観測を行っている。

太陽を地上から観測しても鮮明な画像はなかなか得られない。大気の影響や、太陽光で温められた望遠鏡から立ち上がるかげろうの影響により、像がぼやけてしまうためだ。一方、高度630kmの大気圏外から観測する「ひので」ではその心配がなく、1日24時間連続した高分解能観測が可能である。可視光望遠

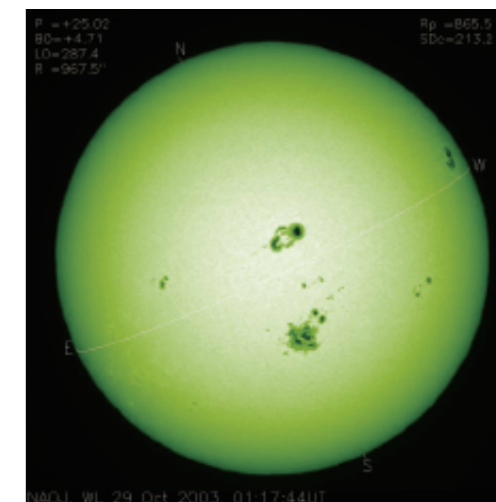


図1 第23太陽周期で最大級の黒点(2003年)

はじめに

私たちの住む地球は、太陽なくしては現在の姿にはなりえない。そして今もその恩恵を受け続けている。古来より太陽は世界各地で崇敬の的であったという。やがて天体への関心から近代科学が発展した。ただし、私自身は、もともとは太陽や天体へ