

特集 「ひので」プロジェクト

# 「ひので」までの長い道のり

常田佐久

総合研究大学院大学教授 天文科学専攻 / 自然科学研究機構 国立天文台教授

今、日本発の太陽研究が世界中で注目されている。

2006年9月に打ち上げられた科学衛星「ひので」が、かつてない高解像度・高精度で太陽の観測を続け、驚くほど多くの発見をもたらしているからだ。

「ひので」の成果は、気球や観測ロケット実験から始まる、わが国の地道な技術開発と人材育成、「ひのとり」「ようこう」衛星が開拓したX線観測の成果、そして大規模な国際協力によって実現した。

主力観測装置の可視光望遠鏡の本体は純国産で開発されたが、その他の観測装置は、日本・アメリカ・英国の3カ国11の研究所・機関で分担製作された。

本特集では、「ひので」がもたらした新たな太陽像を解説するだけでなく、そのプロジェクトの歩みをたどり、映像を活用した新しいスタイルの研究、観測データの即時公開、地域の科学館・博物館と連携したアウトリーチ活動などの先進的な試みと、「ひので」で見えてきた次世代の太陽観測衛星計画を紹介する。

「ひので」の誕生までには、「ひのとり」「ようこう」と続く

日本のX線太陽観測衛星が培ってきた人と技術の蓄積があった。

これが大規模な国際協力として発展し、最高性能の観測装置と国際観測体制を実現させた。30年にわたるその足跡をたどってみよう。

## 太陽のコロナやフレアを見るには

今年の7月22日、日本では46年ぶりに皆既日食が観測された。皆既日食は、私たちが見ている太陽の本体「光球」を隠し、太陽を取り巻く「コロナ」を浮かびあがらせてくれる。しかし、その光はごく弱く、しかも皆既日食はごく短時間の現象なので、コロナを詳しく観測することはできない。では、どうやってコロナを観測するのだろうか。

コロナは100万度以上という高温のガス（プラズマ）からなる。プラズマからはX線が放射されている。このX線を観測することによって、コロナの様子を知ることができる。ところが、太陽から来るX線は、地球大気を通過するときに吸収されてしまう。大気圏の外でないと、観測ができないのだ。そのため、コロナの本格的な観測は、人工衛星による観測が実現した20世紀後半になってからスタートした。

日本では、初代の太陽観測衛星「ひのとり」が1981年に打ち上げられ、日本の独創技術「すだれコリメーター」を用いたX線望遠鏡を搭載した。「ひのとり」は、太陽面で生じる数億度の火の玉「フレア」が出す高エネルギーのX線（硬X線）の画像を世界に先駆けて撮影することに成功したのだった。

2代目の「ようこう」は、コロナの観測を目的としたエネルギーの低いX線（軟X線）の望遠鏡を搭載した。その開発は当時、日本独自では難しく、アメリカのNASAとの共同で進められた。国際協力で衛星搭載用の望遠鏡を分担して製作するのは初めてのことで、打ち上げ前の地上試験では、背筋の凍るような不具合も数々生じたが、両国の力によって最良の装置が完成された。

1991年に打ち上げられた「ようこう」は、想像をはるかに超えてダイナミックに変動するコロナの画像を送ってきた。そして2001年12月に故障するまで10年もの長い間観測を続け、フレアのメカニズム解明につながる成果も得られた。「ようこう」からは、博士59名、論文2000本（非査読論文も含む）が生まれ、日本の科学衛星で最も生産性の高い衛星の一つとなった。

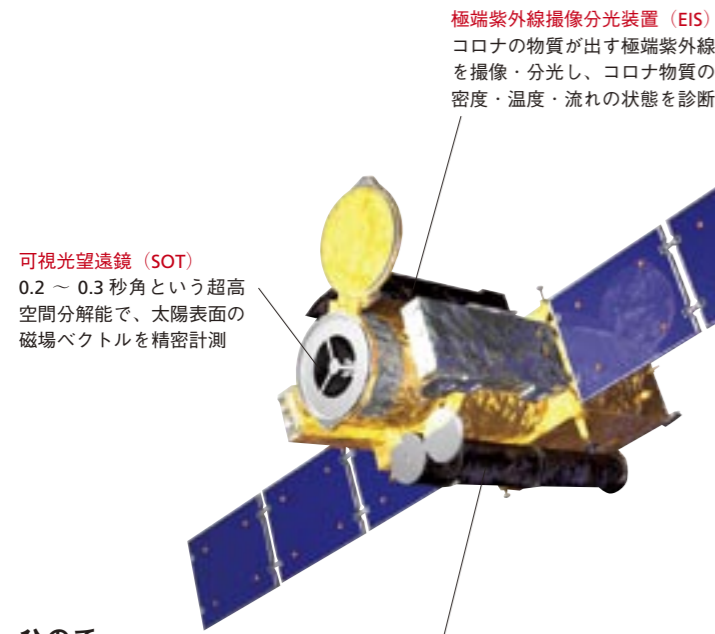
## 国際協力で進められた装置開発

「ようこう」の成功を受けて、1993年ごろから次期衛星SOLAR-B（のちの「ひので」）の具体的な概念の検討が始まった。コロナの活動の源は、太陽表面の磁場にあるが、その形態や性質は良くわかっていない。太陽表面の磁場を精密に測定し、同時に軟X線でコロナを観測すれば、磁場がどのようにしてコロナの

特集

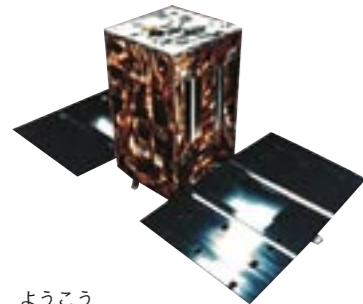
# 「ひので」プロジェクト

左の写真は、平塚市博物館のプラネタリウムに「ひので」X線画像を映し出したイメージを合成したもの。



**ひので**  
 (2006 ~ : 高さ 4m の四角柱形)  
 3 望遠鏡の同時観測により、太陽コロナの活動や加熱機構を探る。

**X 線望遠鏡 (XRT)**  
 約 1 秒角の高解像度で、コロナの構造やそのダイナミックな変動を観測

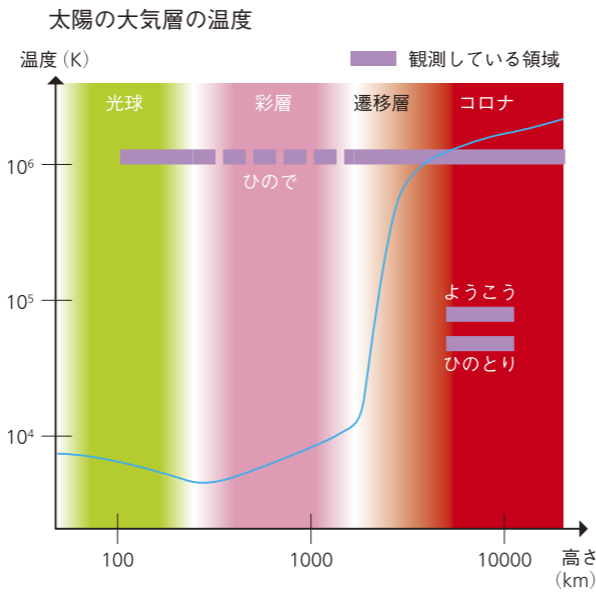


**ようこう**  
 (1991 ~ 2001 : 高さ 2m の四角柱形)  
 軟 X 線でコロナやフレアを観測

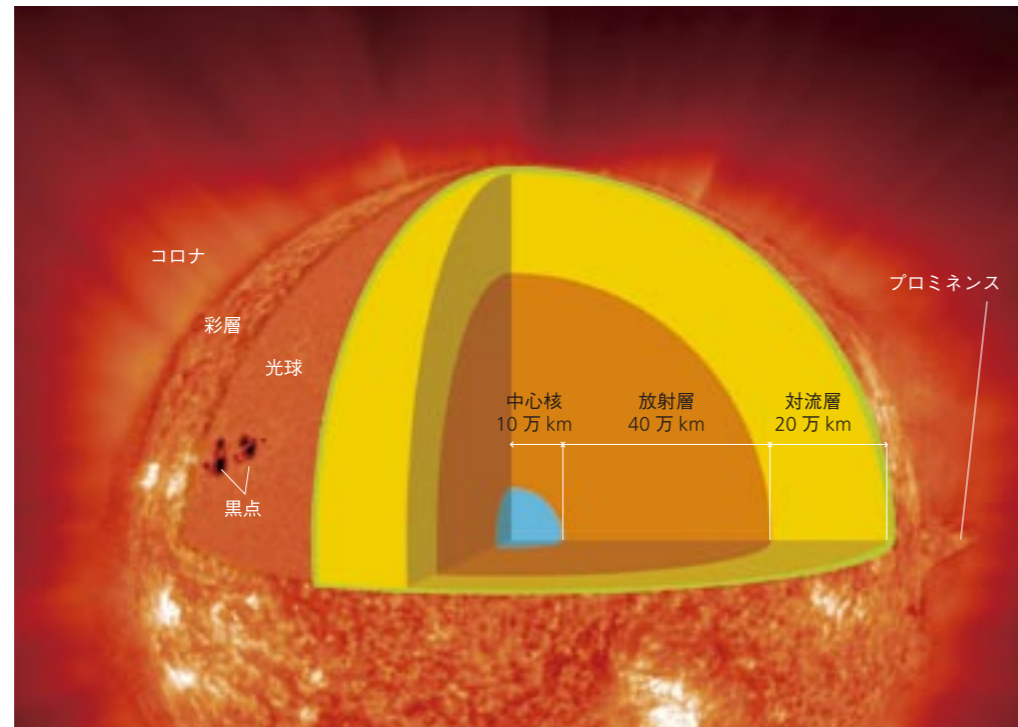


**ひのと**  
 (1981 ~ 1991 : 高さ 81.5cm の八角柱形)  
 硬 X 線で高温のフレアを観測

▼ 特集ページ下端の画像は、光球の上の彩層から噴出するジェット的时间発展を、8 秒間隔で並べたもの (ただし、途中で繰り返している)。「ひので」可視光望遠鏡の観測。ジェットの速度は毎秒 100km をこえ、このような短い時間間隔で連続的に撮影した画像をつなげることで、なめらかな動画に見える。



太陽の構造



出典：NASAが作成したものを改変

加熱や太陽風を引き起こしているか明らかにすることができる。このための要となるのが、高解像度でかつ高精度の画像を得ることができる可視光望遠鏡だ。太陽表面を 0.2 ~ 0.3 秒角の解像度 (太陽表面の約 150 ~ 200km を分解できる能力) で撮像する野心的な可視光望遠鏡を衛星に搭載することは、NASA でも 1980 年代から長年にわたって検討されていた。しかし、可視光で太陽を観測することに伴う熱の処理の技術的な困難さなどから実現できなかったものだ。これが SOLAR-B 計画の目標となった。

SOLAR-B の開発に着手できたのは、結局 1998 年になってからだった。それまで、何年も見通しが得られない状況が続いていたが、基礎開発のため、観測ロケットや気球実験を大学院生と行い、準備を重ねた。そうこうしているうちに、米国の研究者による強い支持を受けて NASA が立ち上がり、また日本でもミッション提案が採択された。

「ようこう」で築いた日米の信頼関係が基盤となって、SOLAR-B のためにさらに大規模な国際協力が発展していった。こうして可視光望遠鏡、X 線望遠鏡、極端紫外線撮像分光装置の開発はすべて国際協力が進められることになったが、その後、打ち上げまでに約 8 年とまだまだ長い道のりが待っていた。

国際協力は、一国だけでは負担できない技術・予算、さらに人的資源を持ち寄ることにより、今まで実現できなかった最高性能の望遠鏡を開発することができる。半面、国際協力は国際競争と表裏であり、まずは日本に相応の実績と技術がないと振り向いてもらうことはできない。日本が主体性をもち、主要な部分を国産とすること、国際協力で製作する部分も日本が製作する部分もブラックボックスを極力なくす方針で臨んだ。結局、国産した部分は、可視光望遠鏡本体と、画像安定化装置の主要部分、X 線望遠鏡の CCD カメラである。その他の部分は欲張らず、米国と英国との国際協力で

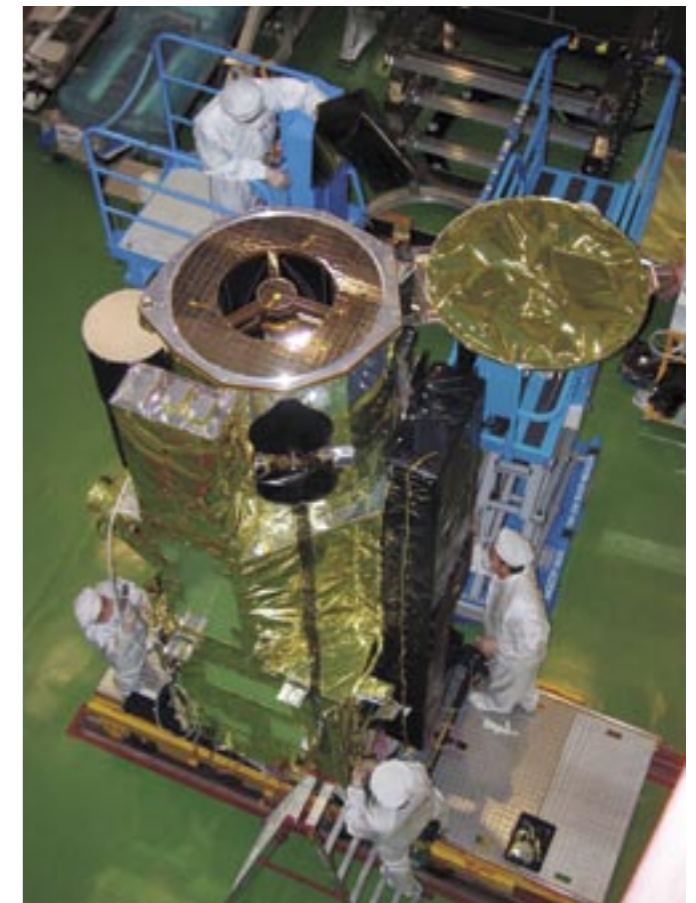
実現した。そして、米国の研究所が開発担当した部分についても、性能試験に日本から参加するなどしてブラックボックス化を極力なくしていった。

また、長期間にわたる一連托生の共同作業では、国と国のみならず、組織と組織、個人と個人間の信頼関係も不可欠の要素である。衛星の開発は大規模な科学実験であり、ブレイクスルーになるアイデアが出ることもあるが、むしろ、切羽詰った中での小さなアイデアや、信頼性の向上のためのちょっとした工夫・気配りの集積、個人と個人の信頼関係が、すばらしい科学衛星を作り上げる秘訣と

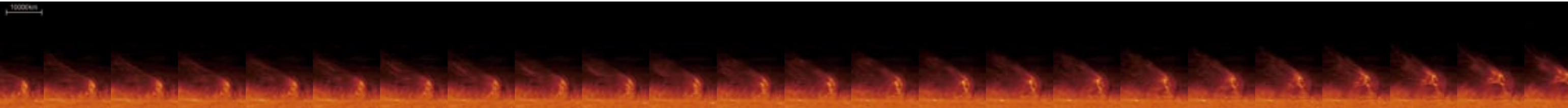
日本の「ひので」から世界の「ひので」に

難航を極めた開発部分はいくつもあったが、優秀な日本の企業、世界の仲間とともに、開発は次第に加速していった。軌道上での望遠鏡の性能を地上で検証するため、かつてない大規模な試験が考案され、次々と遂行された。その過程で多くの問題が発見され、そのつど徹底的に原因を突き止めて対策が施された。2005 年 4 月、可視光望遠鏡がついに完成した。この時点で、やるべきことは全部やったという自信が生まれていた。

2006 年 9 月 23 日、SOLAR-B 衛星は予定の軌道に乗り、「ひので」と名付け



ひので (SOLAR-B) 衛星の外観。上面の円形部分が可視光望遠鏡、右側面の四角形の黒い部分が極端紫外線撮像分光装置。左側面に少し見えている筒状の黒い部分が X 線望遠鏡。



られた。「ひので」の名は、衛星の開発に関わった多くの人たちの願いをよく表しているように思う。その期待に応えて、搭載された3台の望遠鏡、可視光望遠鏡、X線望遠鏡、極端紫外線撮像分光装置はすべて順調に機能し、時々刻々と変化する太陽の姿をあますところなく伝えてくれている。と同時に、新たな発見や知見を次々にもたらしており、それをもとにした多数の論文が、国内だけでなく世界中で、驚くべきスピードで発表されている。また、内外の専門学術誌が「ひので」特集を組んで、その成果を大々的に紹介している。

「ひので」の観測は3年目を迎えた。これまでに蓄積されたデータは膨大なもので、まだまだ手つかずの部分が多い。

もちろん、今後の観測によって、さらに新たな発見が出てくる可能性は大きい。また、太陽活動は11年周期で変化している。今は極大期に向かう時期なの

が、活動の証となる黒点があり観測されていない。異変ともいわれるこの謎の解明にも「ひので」は一役買うことになるであろう。

常田佐久 (つねた・さく)

大学院時代、「ひのとり」の開発の終盤に参加。大気圏外からの天文学の魅力に取りつかれる。以来約30年間、多くの優秀な院生や同僚研究者とともに、衛星3機、観測ロケット1機、気球1機の開発・飛翔実験を行う。現在、次期太陽観測衛星 SOLAR-C および彩層の磁場を測るための NASA との共同ロケット実験を推進している。新しい観測装置の開発なくして天文学の発展はない。自分で装置を開発し、観測し、観測結果から新しい事実を見つけ、それを説明する理論を構築するところまでやるのが目標である。



## 「ひので」の観測装置——Simple is best

鹿野良平

総合研究大学院大学助教 天文科学専攻 / 自然科学研究機構 国立天文台助教

衛星に搭載する観測機器は、いったん打上げたら故障しても人が直接修理するわけにはいかない。だから、打上げまでに数々の試験で検証し、故障が起きないように作らなければならない。そこで、設計にあたって心掛けたのは“Simple is best.”である。装置が単純であれば、不具合の起きる部分やその種類も限られ、隠れた不具合もより簡単な試験で洗い出すことができるからだ。とはいえ、観測装置が自律的に動作するための複雑な自動機能も必要である。実際、私が開発を担当した「ひので」のX線望遠鏡(略称XRT)は多数の自動機能をもっている。

地上から指令が出せないときにも観測できるようにする「テーブル式自動観測制御機能」、時間変動する軟X線強度に対応する「自動露光調節機能」、突発的に起きる太陽フレアに対応する「フレア検出機能」、観測対象を追尾する「自動観測領域設定機能」などの自動機能が、ミッションデータプロセッサ(MDP)という衛星全体の観測を統括する装置とXRTとの連携で成り立っている。結果、ずいぶん複雑な装置になってしまった。

ただ、いかに注意して設計しても、実際の部品のもつわず

かな誤差や、宇宙の過酷な環境条件での特性変化などにより、予期せぬ不具合はでてくる。XRTの場合、MDPと連携しているので、単体で検証できないという厄介な問題も抱えていた。2001年の夏、衛星全体のプロトモデル品(PM品=試作機)が一カ所に集められ機能確認が始まった。まもなく、XRTだけで50件以上の不具合がでてきた。そこで、衛星全体では他の試験をしてもらい、XRTはハードやソフトの改修に励み、きちんと直ったかどうか延々と試験検証することになった。

翌2002年9月、XRT側もMDP側ももろもろの懸案事項をクリアしてから挑んだPM2試験。手をつけられていないXRTの自動機能の検証が本題であった。しかし、ここでも多くの不具合が発覚。結局、2003年4月の最終ソフト試験でやっと検証が完了した。

何度も何度も試験を繰り返すのはつらかったが、PM品レベルできちんと確認できたおかげで、その後の試験はまあ順調に済ませることができた。そして、実際の運用にあたっては、テーブル式自動観測制御機能と自動露光調節機能は非常に良く働いている。今後、太陽活動が活発化していけば、フレア検出機能も重用されるであろう。