

「ひので」が解き明かす太陽の謎

最新情報

ギャラリー

「ひので」のデータを使って
研究するには？

TOP > 最新情報 > トピックス > 観測ロケット実験FOXSI-3で取得した世界初の太陽コロナ観測...

トピックス

最新情報

観測ロケット実験FOXSI-3で取得した世界初の太陽コロナ観測データの公開

2019年1月15日



研究成果

トピックス

お知らせ

コラム

開発経緯

開発状況

自然科学研究機構 国立天文台

東京大学Kavli IPMU

名古屋大学

宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所

東京理科大学

観測ロケット実験FOXSI-3で取得した世界初の太陽コロナ観測データの公開

観測ロケットFOXSI-3が、太陽からの軟X線を新たな手法で観測しました。光の粒1個1個のエネルギー、到達時刻、太陽のどの場所から放射されたかを記録したのです。このデータを基にした研究により、太陽コロナについて新たな知見が得られると大いに期待されます。

太陽コロナは、100万度以上の高温プラズマで満たされ、様々なエネルギー解放現象が起こる非常にダイナミックな世界です。その最たるものが太陽フレア（太陽系最大の爆発現象）で、フレアが起これば、周辺の温度は数千万度にまで達し、粒子は光速近くまで加速されます。また、フレアによって放出されたプラズマは、時に地球環境に影響を与えます。この様に、太陽コロナの研究は、太陽物理やプラズマ物理という基礎学問としてだけでなく、地球環境への影響を調査するという点でも極めて重要です。

さて、このような太陽コロナの物理を理解するために、1980年代から気球や観測ロケット、人工衛星を用い、太陽から放たれるX線の観測が行われてきました。X線で観測する理由は、コロナを満たす100万度～数千万度のプラズマがX線を放射しているからです。ただ、X線の観測は容易ではありません。X線は地球の大気によって吸収されてしまうため宇宙空間からの観測が必要な上、X線の観測には通常の鏡やレンズを使うことが出来ないためです。この様な厳しい条件の中、様々な観測装置が発明され、継続して観測が行われてきました。しかし、まだ理想の観測には程遠い状況です。

では、理想のコロナ観測とは何でしょう？それは、プラズマの状態を反映して放たれるX線を詳細に計測することです。具体的には、場所によって明るさがまちまちであるX線の空間分布を調査し、それらが時間によって変化する様子を追跡し、どの様なエネルギーのX線がどの程度放たれているかを分析することです。つまり理想の観測とは、「明るい場所も暗い場所もくっきりと見えること（高いコントラストの達成）」と「空間分解能」、「時間分解能」、「エネルギー分解能」の4つの要件を同時に満たす観測です。しかし、既存の観測手法では、これらを同時に達成することは出来ませんでした。そこで国立天文台の成典典之（なるかげのりゆき）助教と、名古屋大学の石川真之介（いしかわしんのすけ）研究員は、東京大学Kavli IPMUや宇宙航空研究開発機構（JAXA）宇宙科学研究所の研究らと共同で、軟X線用の高速度カメラを開発、日米共同・太陽観測ロケット実験FOXSI-3に搭載

し、前述した4つの要件を満たす観測を世界で初めて実現させました。FOXSI-3の打ち上げから回収までの様子は、以下の動画を御覧ください。（※FOXSI-3は、米国・ホワイトサンズに於いて2018年9月7日（現地時間）に打ち上げられました。観測装置の詳細は<https://hinode.nao.ac.jp/news/topics/foxsi-3/> を御覧ください。）



動画: FOXSI-3の打ち上げから回収までの様子。(© FOXSI-3 team)

今回は、FOXSI-3で取得した世界初のデータを公開します（図1、図2）。このデータを取得した手法ですが、新たに開発した「裏面照射型CMOS検出器を用いた高速度カメラ」（図3）によって、太陽からのX線光子1個1個を高速に検出・測定しました。この高速度カメラの撮影枚数は1秒間に250枚（1枚あたりの露光時間は4ミリ秒）で、1枚あたり50個程度のX線光子を検出しました。図1(a)が実際にカメラで取得した画像で、各画像に写っている白い点1つ1つが、X線光子1個1個が作った信号です。この信号の強度は、X線光子が持つエネルギーに比例しますので、個々のX線が持つ「エネルギー情報」が得られます。また、信号が検出器上のどの位置に出来たかを調べることで、個々のX線が太陽のどの場所から放たれたかを知ることが出来ます（「空間情報」の取得）。さらに、何枚目の画像に写っているかによって、いつ太陽から放たれたX線光子であるかを知ることが出来ます（「時間情報」の取得）。

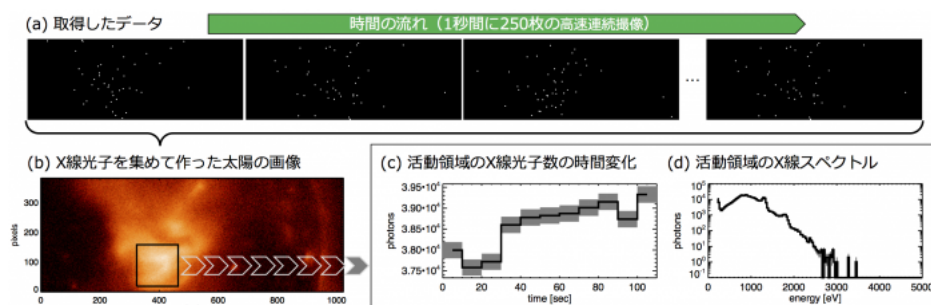


図1. FOXSI-3で取得した世界初の軟X線集光撮像分光データの一部。FOXSI-3に搭載したCMOS検出器は、1秒間に250枚（1枚あたり4ミリ秒）のデータを約6分間取得した。図(a)は実際に取得したデータであるが、白い点1つ1つが1個のX光子で、検出された信号の強度がX線のもつエネルギーに比例する。つまり、このデータからX線光子1個のもつ位置・時間・エネルギー情報を得ることが出来る。こうして計測した光子を空間上に配置すると、X線の太陽画像が作れる（図(b)；この領域を観測した約2分間のうちに取得した約150万個のX線光子で作った）。また、領域毎に「X線の時間変化を調べたり（図(c)）」、「エネルギースペクトルを求めたりすること（図(d)）」が出来る。図(c)、(d)は、活動領域（図(b)の四角で囲った領域）に対して作ったプロット。プロット中の灰色のバーは1 σ の統計誤差を示す。（※図1の光子数は、検出器が検出した光子の数なので、太陽が放っている光子数を求めるには、観測装置の検出効率を考慮する必要がある。）(© FOXSI-3 team)

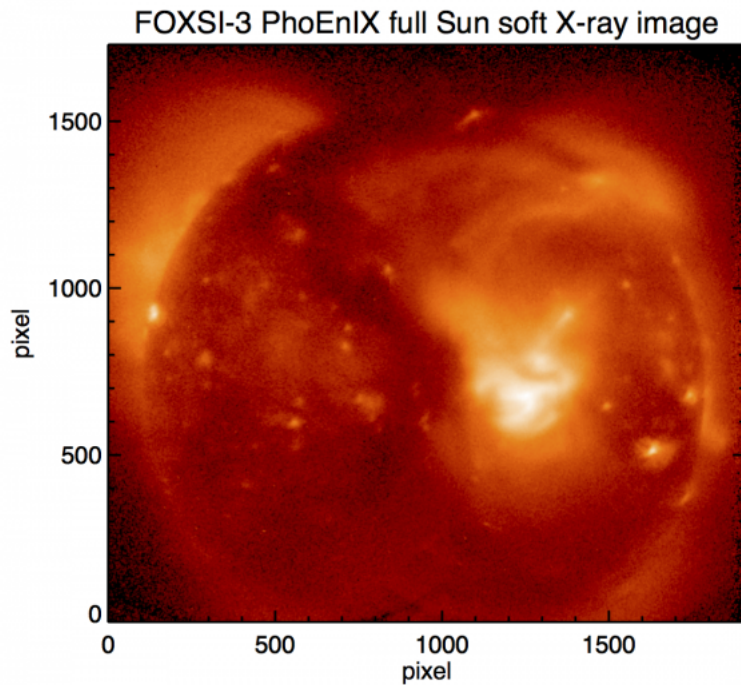


図2. 観測中に検出した軟X線光子全てを使って作った太陽コロナ全面画像。点描の様に太陽の画が描ける。(© FOXSI-3 team)



図3. FOXSI-3の軟X線観測装置。詳細は <https://hinode.nao.ac.jp/news/topics/foxsi-3/> を御覧ください。(© FOXSI-3 team)

この様に、個々のX線光子の持つ空間・時間・エネルギー情報が得られれば、あとはそれを使ってどのように研究を行うかは研究者の腕次第です。例えば、検出した光子を全て空間上に並べると、点描のように太陽の画像を描くことが出来ます（図1(b)と図2）。また、各時間に検出されたX線光子の数を調べることで、コロナの時間変化の様子を調べることが出来ます。今回、高速度カメラにより高速連続撮像を行なったので、短時間で大量のX線光子を集めることができ、10秒の時間変化でも十分に追いかけることが出来ます（図1(c)）。さらに、各エネルギーに対して、そのエネルギーを持つX線光子が何個検出されたかを調べることで、コロナのスペクトルを作ることも出来ます（図1(d)）。図1では、活動領域（(b)の黒の枠線で囲った場所）の時間変化とスペクトルを例に出しましたが、FOXSI-3は太陽全面を観測しており（図2）、太陽の全ての場所で同様のことが行なえます。

今回、太陽全面にわたってコントラストの高い画像（「明るい場所も暗い場所もくっきり見える」画像）が撮れていますが（図2）、これは特殊なX線用の鏡（NASAマーシャル宇宙飛行センターが開発した斜入射ミラー）を使って光を集め、それを検出器で撮影したおかげであり、この点も重要です（図3）。今回の観測手法は、「集光撮像分光観測」と呼びます。鏡を使って光を集め（集光）、太陽の画像を撮る（撮像）と同時に、光をエネルギー毎に分けて（分光）観測するからです。これによって、先述の4つの観測要件、全てを同時に合わせ持つ観測を世界で初めて実現しました。太陽軟X線の集光撮像分光観測は、今回のFOXSI-3が世界初であり、現在、今回公開したデータを使った解析が行われています。この解析から得られる科学成果については、続報をお待ち下さい。



図4. 打ち上げ前のFOXSI-3チームの集合写真。FOXSI-3が搭載された観測ロケットの前で撮影。(© NASA, FOXSI-3 team)

[FOXSI-3 チームメンバー] (図4)

成影典之(国立天文台)、石川真之介(名古屋大学)、高橋忠幸、古川健人(東京大学 Kavli IPMU)、渡辺伸(ISAS/JAXA)、萩野浩一(東京理科大学)、三石郁之(名古屋大学)、L. Glesener、P. S. Athiray、S. Musset、J. Vievering、L. Davis(ミネソタ大学)、S. Courtade、J. C. Buitrago-Casas、G. Dalton、P. Turin、Z. Turin(カリフォルニア大学バークレー校)、D. Ryan、S. Christe(NASAゴダード宇宙飛行センター)、S. Bongiorno、B. Ramsey(NASAマーシャル宇宙飛行センター)、S. Krucker(カリフォルニア大学バークレー校)

[FOXSI-3 の共同研究機関]

国立天文台、東京大学Kavli IPMU、名古屋大学、宇宙航空研究開発機構(JAXA) 宇宙科学研究所、東京理科大学、ミネソタ大学、カリフォルニア大学バークレー校、アメリカ航空宇宙局(NASA)ゴダード宇宙飛行センター、アメリカ航空宇宙局(NASA)マーシャル宇宙飛行センター

[FOXSI についての関連リンク]

- FOXSI-3 打ち上げ成功のwebリリース：<https://hinode.nao.ac.jp/news/topics/foxsi-3/>
- ミネソタ大学(英語)：<http://foxsi.umn.edu/>
- カリフォルニア大学バークレー校(英語)：<http://foxsi.ssl.berkeley.edu/>
- NASA(英語)：<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2018/nasa-funded-rocket-to-view-sun-with-x-ray-vision>

- FOXSI-3 twitter（英語）：<https://twitter.com/foxsirocket3>
- FOXSI-2の成果（日本語）：<http://www.isas.jaxa.jp/topics/001146.html>

[謝辞]

本研究は、JSPS科研費 JP18H03724（基盤研究(A)、研究代表者：成影典之）、JP17H04832（若手研究(A)、研究代表者：石川真之介）、JP16H02170（基盤研究(A)、研究代表者：高橋忠幸）、JP16H03966（基盤研究(B)、研究代表者：渡辺伸）、JP15H03647（基盤研究(B)、研究代表者：成影典之）、JP24244021（基盤研究(A)、研究代表者：高橋忠幸）、JP21540251（基盤研究(C)、研究代表者：成影典之）、JP20244017（基盤研究(A)、研究代表者：高橋忠幸）の助成を受けたものです（助成開始年度で降順に記載）。また、観測ロケット実験FOXSI-3は、NASA LCAS grant NNX16AL60Gの助成を受けたものです。

当ページの画像、映像のご利用については、[こちら](#)をご覧ください。当ページの画像、映像でクレジットが明記されていないもののクレジットは『国立天文台/JAXA』です。当ページ内の、クレジットが『国立天文台/JAXA』、『国立天文台/JAXA/MSU』および『国立天文台、JAXA、NASA/MSFC』である著作物については、国立天文台が単独で著作権を有する著作物の利用条件と同様とします。著作物のご利用にあたっては、クレジットの記載をお願いいたします。なお、報道機関、出版物におけるご利用の場合には、ご利用になった旨を事後でも結構ですのでご連絡いただけますと幸いです。ご連絡はpress(at)hinode.nao.ac.jp（(at)は@に置き換えてください）をお願いいたします。

「ひので」が解き明かす太陽の謎

「ひので」の概要

最先端望遠鏡の特徴

「ひので」のサイエンス

よくある質問

最新情報

研究成果

トピックス

お知らせ

コラム

開発経緯

開発状況

ギャラリー

最新画像

ひのでCGイラスト

「ひので」のデータを使って研究をするには？

データ解析ガイド

大学院教育

国立天文台ひのでチーム

関連するプロジェクト