

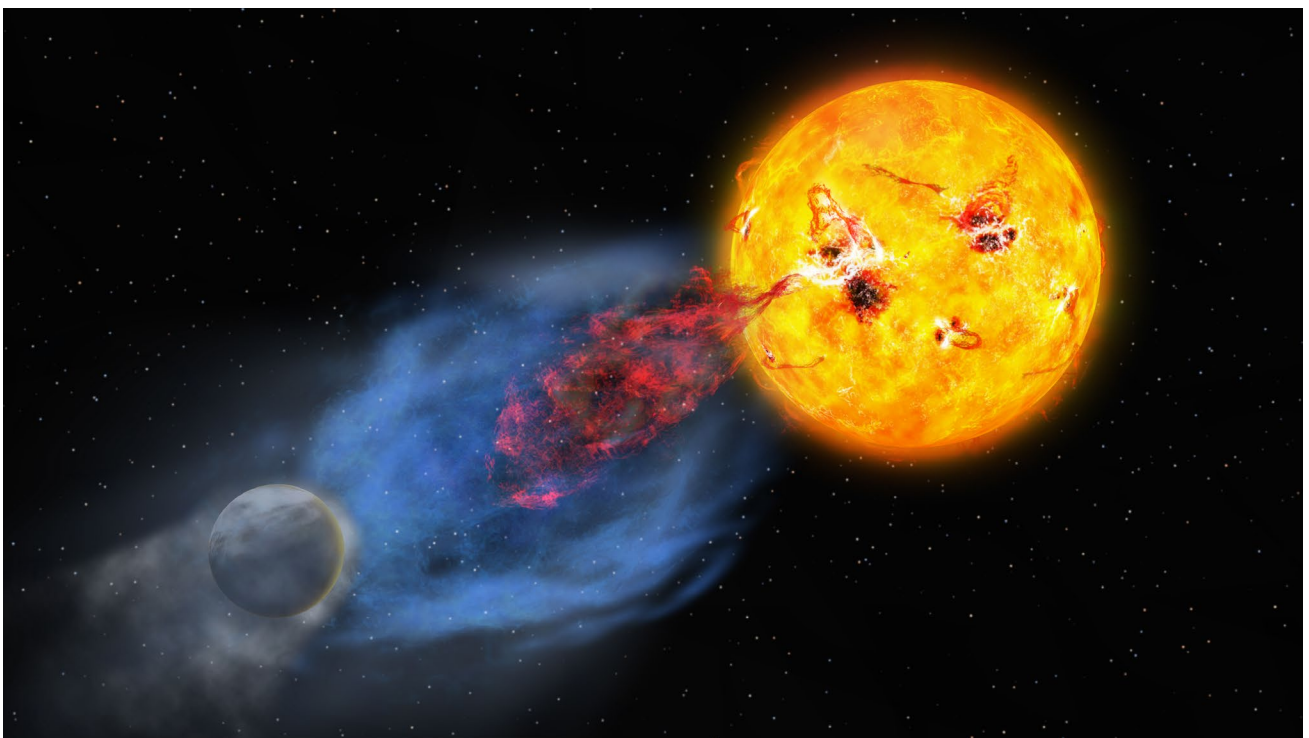
# 若い惑星環境を揺るがす巨大フレアの多温度噴出現象

## —ハッブル宇宙望遠鏡と日韓地上望遠鏡で同時検出—

### 概要

京都大学白眉センターの行方宏介特定助教らが率いる国際研究チームは、NASA のハッブル宇宙望遠鏡、京都大学せいめい望遠鏡、兵庫県立大学西はりま天文台なゆた望遠鏡、韓国 BOAO 望遠鏡などを用い、若い太陽型星「りゅう座 EK 星」で発生した巨大爆発「恒星フレア」を、紫外線と可視光の両方で同時にとらえることに成功しました。観測の結果、まず約 10 万度に達する高温ガスが秒速 300~550 km という猛スピードで噴き出し、その約 10 分後に、より低温のガスが秒速 70 km で吹き出す様子を、世界で初めて明らかにしました。今回の発見は、従来知られていた低温ガスに比べ、新たに見つかった高温ガスの方がはるかに大きなエネルギーを持ち、惑星環境により深刻な影響を与えうることを示しています。今回の成果により、高温・高速ガスの性質や、噴出の頻度が初めて明らかになり、(太古の太陽を含む)若い太陽型星が生命誕生期の惑星大気に及ぼした影響を理解するための具体的な手がかりが得られました。本研究は今後、JAXA の紫外線衛星計画「LAPYUTA」によってさらに発展することが期待され、日本がこの分野で世界をリードするための重要な一歩となります。

本成果は、2025 年 10 月 27 日に、英国の国際学術誌「*Nature Astronomy*」と、米国の国際学術誌「*The Astrophysical Journal*」にて、二編同時にオンライン掲載されました。



りゅう座 EK 星のフレアに伴うガス噴出の想像図。高温で速い噴出が青く、低温でゆっくりした噴出が赤く描かれている。(クレジット：国立天文台)

## 1. 背景

太陽は現在も、太陽フレア<sup>(注1)</sup>やそれに伴う噴出現象（コロナ質量放出）と呼ばれる噴出現象を起こし、人工衛星や通信システム、電力網に影響を及ぼすことが知られています。ところが、40 億年以上前の「若い太陽」は、現在よりもはるかに活動的で、頻繁かつ巨大なフレアや噴出を繰り返していたと考えられています。これらの現象が、地球や火星、金星など初期の惑星大気にどのような影響を与えたのかは、生命誕生や惑星の進化を理解する上で大きな鍵となる問題です。近年、太陽によく似た「若い太陽型星」の観測により、最大級の太陽フレア<sup>(注1)</sup>を超える「恒星フレア」が高頻度で発生していることがわかってきました。これにより、40 億年以上前の太陽も頻繁にフレアや噴出現象を起こし、若い地球などの惑星系に強い放射線を浴びせ、生命誕生の環境に大きな影響を及ぼした可能性が盛んに議論されています。

しかし、現代の太陽では複数の波長（異なる温度域を観測できる手法）によって複雑な噴出現象の構造が明らかになりつつある一方で、他の星や若い太陽でも同様の現象が起きているのかは観測的に確かめられておらず、その物理モデルの構築や惑星環境への影響評価も十分には進んでいませんでした。従来の単一波長観測では限界があり、より広い温度帯を同時に捉える多波長観測が求められていました。京都大学を中心とする私たちの研究グループは、同じ問題意識を共有する米国 NASA・コロラド大学、韓国の研究者と協力し、それぞれが得意とする望遠鏡を持ち寄りました。そして、紫外線と可視光という新たな波長域で若い太陽型星を同時に観測する計画を立案し、好天にも恵まれてこれを実行しました。

## 2. 研究手法・成果

研究チームは、若い太陽型星の代表的存在である「りゅう座 EK 星（EK Draconis）」<sup>(注2)</sup>を対象に、国際協力による大規模な観測キャンペーンを実施しました。ハッブル宇宙望遠鏡による遠紫外線の分光観測（110～140 ナノメートルの短い波長）を行いながら、日本の京都大学岡山天文台 3.8 メートル「せいめい」望遠鏡、兵庫県立大学西はりま天文台 2.0 メートル「なゆた」望遠鏡、韓国 KASI の BOAO (Bohysan Optical Astronomy Observatory) 1.8 メートル望遠鏡では可視光の水素線（H $\alpha$  線）<sup>(注3)</sup>の分光観測（656 ナノメートルの長い波長）を同時に行い、これまでにない体制で恒星の噴出現象を待ち構えました。遠紫外線は 10 万度程度の高温ガス（プラズマ）、H $\alpha$  線は 1 万度程度の低温ガスを捉えることができるため、多温度成分の同時観測が可能となるわけです。

その結果、2024 年 3 月 29 日、紫外線と可視光で同時に大規模な恒星フレアを観測することに成功しました（図 1）。このフレアは、太陽観測史上最大の「キャリントン・フレア」<sup>(注1)</sup>に匹敵する規模でした。解析の結果、恒星フレアに伴って複数の波長で噴出現象の直接的証拠を世界で初めて捉えることができました。遠紫外線では炭素イオンやケイ素イオンの輝線が青方偏移（ドップラーシフト）を示し、秒速 300～550 km で高速噴出する高温ガスが検出されました（図 2 左）。さらに約 10 分後には、可視光の水素線において秒速 70 km で移動する冷たいガスが現れました（図 2 右）。これは太陽で知られる「多温度・多速度の噴出現象」と極めてよく対応する現象であり、恒星で初めてその存在を直接裏付けた成果です。

## 3. 波及効果、今後の予定

今回の成果は、太陽型星でも太陽と同様に複雑な多温度構造を持つ噴出現象が存在することを初めて示し、恒星活動と太陽物理をつなぐ重要な観測的証拠となりました。特に惑星科学にとっては意義が大きいものです。従来の可視光観測では、比較的低温でゆっくりした噴出しか捉えられず、噴出現象のエネルギーは過小評価されてきました。しかし今回は、高温で高速に噴出する成分も検出され、実際のエネルギー輸送ははるかに大き

いことが明らかになりました。こうした高エネルギーな噴出現象は強い衝撃波を生み、粒子を高いエネルギーまで加速します。その結果、初期地球や火星・金星の大気を化学的に変化させたり、一部を失わせたりする効果があった可能性があります。本研究は、これまで理論や実験で予想されていた「噴出現象と加速粒子が惑星大気や生命誕生に影響する」という描像を、観測によって強く裏付けたものです。（同時に The Astrophysical Journal に掲載される論文では、巨大噴出現象の発生頻度が高いことが示されています。したがって、こうした現象が長期間にわたって繰り返されることで、惑星環境に与える累積的な影響は極めて大きいと考えられます。）

ただし今回の観測だけでは、複数の温度を持つガス成分が噴出現象の中でどう結びついているのかに関する物理的な解釈にはまだ決着がついていません。この疑問を解き明かすには、まず観測対象を増やし、より多くの若い太陽型星で同様の事例を積み重ねていく必要があります。その際には、紫外線や可視光に加えて、さらに高温のガスを捉える X 線や、衝撃波や粒子加速を調べられる電波を組み合わせ、多波長での国際共同観測が欠かせません。将来的には、JAXA が計画している紫外線宇宙望遠鏡「LAPYUTA」や NASA の「ESCAPE」といった次世代衛星が、日韓を含む地上望遠鏡との協力体制と連動することで、観測能力は飛躍的に高まるでしょう。こうした取り組みを通じて、私たちは「若い太陽の宇宙天気」が初期の惑星大気や生命誕生の環境にどのような影響を及ぼしたのかを、より確かなかたちで明らかにしていきたいと考えています。

#### 4. 研究プロジェクトについて

● 予算の出資者：京都大学白眉センター、日本学術振興会（JP24H00248, JP24K00680, JP24K00685, JP25K01041）、自然科学研究機構（OML022403）、NASA

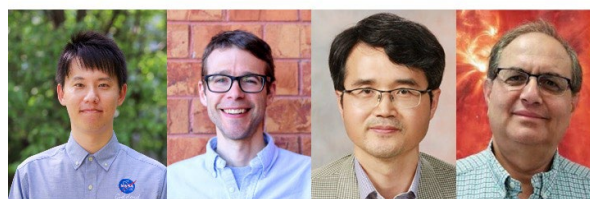
● 関連研究機関：京都大学、国立天文台、兵庫県立大学、NASA ゴダード宇宙飛行センター、コロラド大学、ソウル大学校、同志社大学

#### <用語解説>

1. 太陽フレア・恒星フレア：星表面の大規模爆発現象。最大級の太陽フレアは、 $10^{25}$  ジュール程度のエネルギーを解放する。 $10^{25}$  ジュールは水素爆弾約 1 億個に相当する。例として、1859 年に発生した「キャリントン・フレア」が有名である。
2. りゅう座 EK 星：表面温度や星半径、質量などの星の基本性質が、ほとんど太陽と同じ太陽型星。年齢は 1 億年程度と推定されており（太陽の年齢 46 億年）、「若い太陽」の代表として知られる。この年齢では惑星は誕生した後の段階だが、発見されていない。
3.  $H\alpha$  線：水素のエネルギー遷移の際に放射される光。波長は 656 ナノメートルで、赤く見える。

#### <研究者のコメント>

今回の成果は、京都で芽生えたサイエンスを起点に、日米韓の国際共同観測へと発展させ、宇宙望遠鏡と地上望遠鏡を駆使したこれまでにない同時観測を実現したことにあります。これはきわめて複雑な調整を要する試みでしたが、私たちの国際的なチームワークの結晶といえます。国は異なれど同じ目標を掲げて取り組む連携を通じて、“学問とは真実を巡る人間関係である”という松本元総長の言葉を改めて深く実感しました。（行方宏介）



国際研究チームの主要メンバー。左から、行方宏介特定助教、Kevin France 准教授、Jongchul Chae 教授、Vladimir S. Airapetian 教授。

<論文タイトルと著者>

タイトル : Discovery of multi-temperature coronal mass ejection signatures from a young solar analogue  
(若い太陽型星における複数温度でのコロナ質量放出現象の発見)

著 者 : Kosuke Namekata, Kevin France, Jongchul Chae, Vladimir S. Airapetian, Adam Kowalski, Yuta Notsu, Peter R. Young, Satoshi Honda, Soosang Kang, Juhjung Kang, Kyeore Lee, Hiroyuki Maehara, Kyoung-Sun Lee, Cole Tamburri, Tomohito Ohshima, Masaki Takayama, Kazunari Shibata

掲 載 誌 : *Nature Astronomy* DOI : 10.1038/s41550-025-02691-8

タイトル : Do Young Suns Produce Frequent, Massive CMEs? Results from Five-Year Dedicated Optical Observations of EK Draconis and V889 Hercules (若い太陽型星で巨大 CME は頻繁に起きるのか? EK Dra と V889 Her の 5 年間の集中観測による成果)

著 者 : Kosuke Namekata, Hiroyuki Maehara, Yuta Notsu, Satoshi Honda, Kai Ikuta, Daisaku Nogami, and Kazunari Shibata

掲 載 誌 : *The Astrophysical Journal* DOI : 10.3847/1538-4357/adfe70

< 参考図表 >

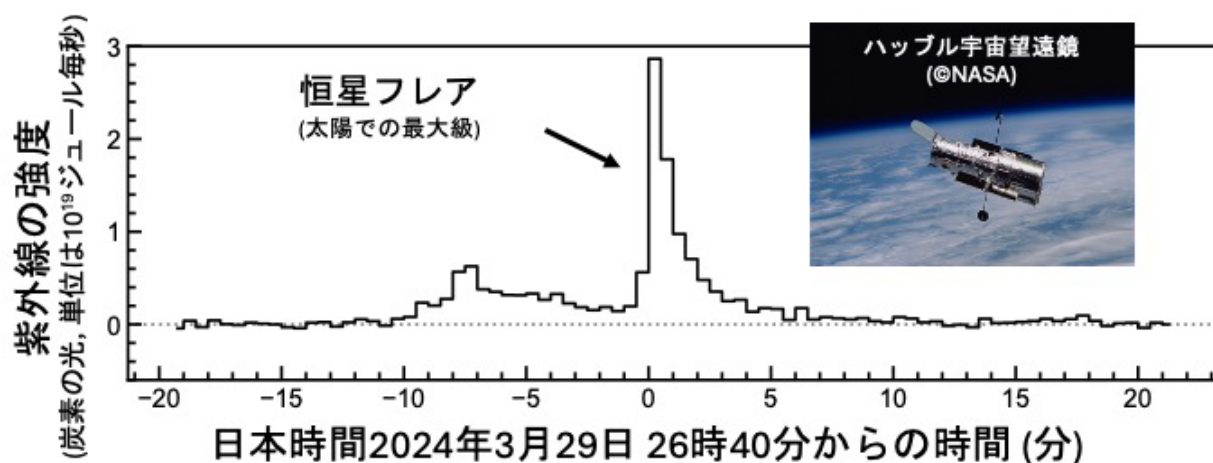


図 1. 観測された恒星フレアの光度曲線。

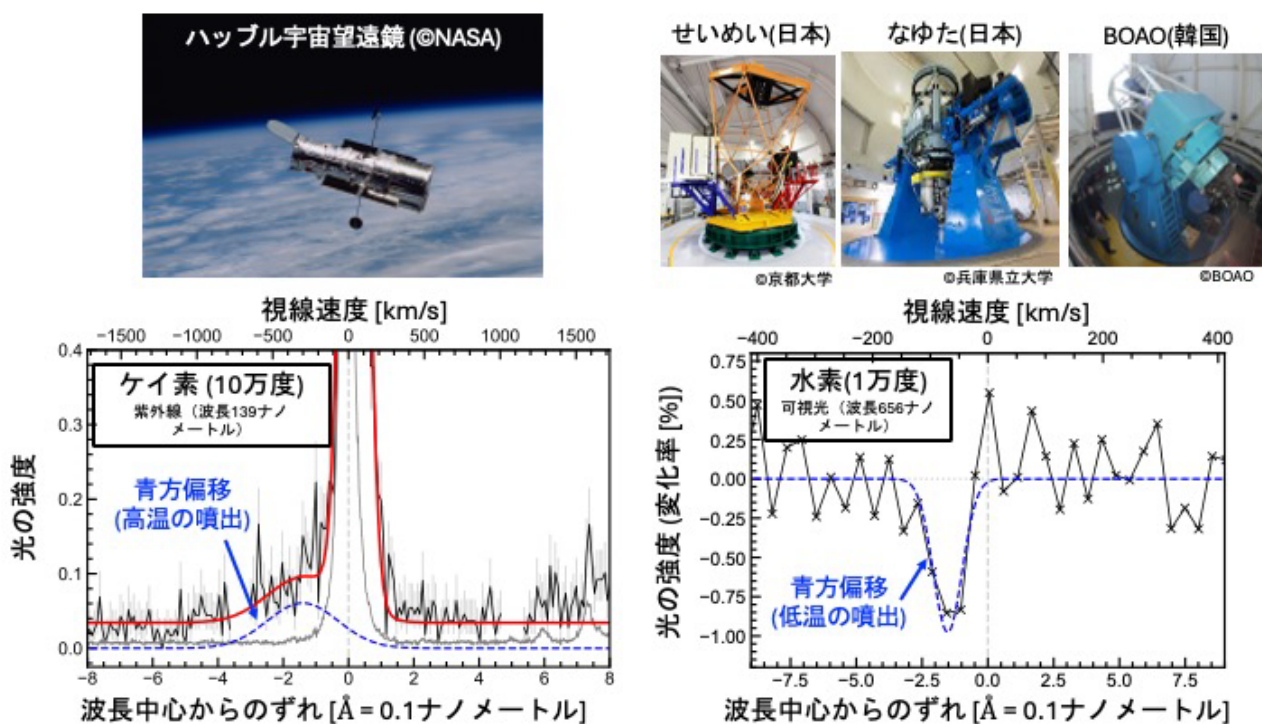


図 2. スペクトル線の青方偏移(ドップラーシフト)の検出。(左) ハッブル宇宙望遠鏡によって観測された、約 10 万度のケイ素の線。(右) 地上望遠鏡で検出された、約 1 万度の水素の線。黒い線が観測データを示しており、青い線はフィッティングによって求められた青方偏移した成分。