

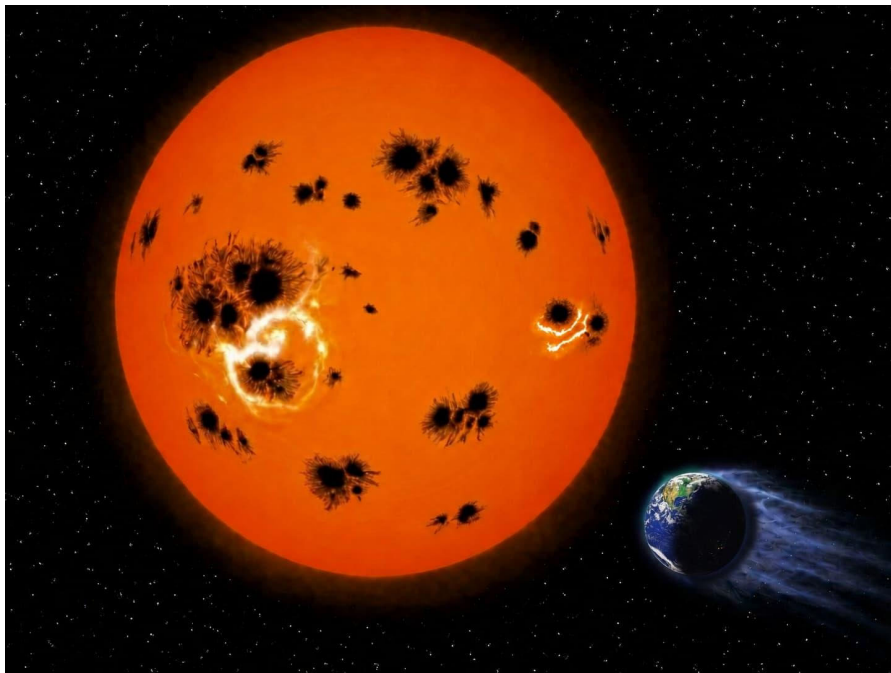
若い太陽型星で、黒点が大きい時期ほどスーパーフレア活動が強まることを発見

—学部生の自主ゼミで解明—

概要

近年、多くの太陽系外惑星が発見され、そこでの生命居住可能性について盛んに議論されています。その惑星系の中心にある恒星では爆発現象である「恒星フレア」が頻発しており、惑星に大きな影響を与えている可能性があります。しかし、恒星フレアの発生原因は十分に解明されていません。一柳大治朗、山田大翔、山敷大亮、石原一真理学研究科修士1回生（研究当時理学部学部生）らは、この問題に興味を持ち、学部生が主体となって取り組む「自主ゼミ」を開始しました。行方宏介白眉センター特定助教、山敷庸亮総合生存学館教授らとの共同研究の下、NASAの宇宙望遠鏡 TESS が約7年間にわたって取得したデータを解析しました。その結果、年齢約3000万～1億年の3つの若い太陽型星では、非常に大きな規模の「スーパーフレア」が発生し、恒星表面の「巨大黒点」の面積が大きい時期ほどスーパーフレアの頻度や総エネルギーが大きくなることを明らかにしました。これは、規模が小さい太陽フレアと同じ性質であり、若い太陽型星のスーパーフレアも、時々刻々と変化する黒点の磁気エネルギー総量に応じて発生することを意味しています。本成果は、他の恒星の活動性の起源を理解するとともに、その周囲を公転する惑星がどのような宇宙環境にさらされるのかを明らかにする上でも重要な手がかりとなります。

本研究成果は、2026年10月19日に、日本天文学会の国際学術誌「Publications of the Astronomical Society of Japan」にオンライン掲載されました。



ChatGPT 5.6 Sol、Gemini Pro 作成者 行方宏介

1. 背景

太陽の表面には、「黒点(注 1)」と呼ばれる周囲より暗い領域が現れることがあります。黒点は温度が周囲より低いため暗く見えますが、そこには非常に強い磁場が集中しています。この磁場に蓄えられたエネルギーが急激に解放されることで、「太陽フレア(注 2)」と呼ばれる大規模な爆発が発生します。太陽フレアが発生すると、強い X 線や紫外線、高エネルギー粒子が宇宙空間へ放出されます。規模の大きなフレアは、人工衛星の故障や通信障害など、現在の私たちの社会にも影響を与えることがあります。

現在の太陽の年齢は約 46 億歳ですが、誕生して間もない頃の太陽は、現在よりも速く自転し、より活発な黒点活動やフレア活動を起こしていたと考えられています。しかし、太陽が若かった頃の活動を直接観測する

ことはできません。そこで重要になるのが、太陽とよく似た質量や表面温度を持ちながら、年齢が数千万年から 1 億年程度しか経っていない「若い太陽型星」です。宇宙には、誕生して間もない惑星系を持つ若い太陽型星が多く存在し、これらを調べることで、約 45 億年前の太古の太陽・地球環境に関する知見を得ることができます。これまでの研究で、若い太陽型星では、現在の太陽で起こる最大規模のフレアを 10 倍以上も上回る「スーパーフレア」が発生していることが知られています。これらは若い惑星環境に極めて大きな影響を与え得ますが、それがどのような起源で発生するのかはよくわかっていません。

太陽では、黒点が大きい時にフレアを起こしやすくなる、という時間的な変化が知られています。しかし、他の恒星で、黒点が時間とともに大きくなったり小さくなったりしたとき、その星のフレア活動も一緒に変化するのは、十分に調べられていませんでした。

2. 京都大学学部生による「自主ゼミ」発足

本研究のきっかけは、山敷大亮の「一緒に天体解析の研究をやってみないか」という誘いでした。山敷大亮が学生を募り、山敷庸亮教授が恒星フレアを研究する行方宏介特定助教と学生をつないだことで、学部生主体の自主ゼミが始まりました。参加した学生たちの動機はさまざまで、興味のある宇宙の研究を実際に体験してみたいという学生もいれば、プログラミングを学んでみたいという学生もいました。当時は恒星についての専門知識もほとんどなく、論文の読み方や天文データの解析方法など、研究の進め方そのものを学ぶところからスタートしました。研究では、教員から助言を受けながら、学生自身が宇宙望遠鏡の観測データを解析し、得られた結果を持ち寄って議論を重ねました。解析が思うように進まないこともありましたが、友人同士だったからこそ、分からないことを気軽に相談し、互いに補い合いながら研究を続けることができました。また、普段から大学で一緒に過ごすことが多く、ミーティング以外でも自然に研究についての議論が生まれていました。こうした取り組みを重ねる中で研究は少しずつ形になり、最終的には論文としてまとめるまでに至りました。

3. 研究手法・成果

研究グループは、若い太陽型星の代表として、TESS による長期間の観測データが得られている「りゅう座 EK 星」「ぎょしちょう座 DS 星 A」「ヘルクレス座 V889 星」の 3 つを調べました。これらの星は地球からそれぞれ約 112 光年、約 146 光年、約 115 光年の距離にあります。観測には、NASA のトランジット系外惑星探査衛星 TESS(注 3)が 2018 年以降に取得した約 7 年分のデータを使用しました。TESS は太陽系外の恒星の周りの惑星を探すのが目的の衛星で、恒星の明るさを長時間にわたって高い精度で測定できます。約 27 日間ずつの観測データを合計 21 期間に分け、それぞれの時期について黒点とフレアの活動を調べました。星の表面に黒点があると、星の自転に伴って観測される明るさが周期的に変化します。こうした明るさの変動は、地球から見て惑星が恒星の前を横切る際の短時間の減光とは異なり、長期間にわたってなだらかに変化することから、恒星表面の黒点に由来すると考えられます。黒点が地球側を向いているときは暗くなり、星が自転して黒点が裏側へ移動すると明るくなります(図 1 上段)。

研究グループは、このような明るさの増減の大きさから、それぞれの時期に星の表面をどの程度の黒点が覆っていたのかを推定しました。一方、フレアが発生すると、星の明るさは短時間だけ急激に上昇します。研究グループは、TESS のデータからこうした急激な増光を自動的に検出するため、Python を用いて解析プログラムを作成し、各時期にフレアが何回発生したのか、フレア活動全体がどの程度の規模だったのかを調べました(図 1 下段)。

その結果、3 つの星すべてで、太陽で発生するよりも、巨大な黒点、そしてスーパーフレアが発生していることがわかりました。さらに、時期ごとに分けて解析を行った結果、黒点が多い時期ほどフレアが頻繁に発生する(図 2)ことがわかりました。フレアによる増光の大きさと継続時間から個々のフレアのエネルギーを推定し、期間ごとに足し合わせてエネルギーの総量を求めた結果、黒点が多い時期ほど、一定期間にフレ

アとして放出されるエネルギーの総量も大きくなることも分かりました。この結果は、若い太陽型星においても、黒点面積とフレア活動の活発さが深く関係していることを示しています。太陽で知られている黒点とフレアの関係が、最大級の太陽フレアを大きく上回るスーパーフレアを起こす若い星にも共通していることが明らかになりました。

4. 波及効果、今後の予定

本研究は、若い太陽型星で起こるスーパーフレアが、現在の太陽フレアと同じく、黒点の周囲に蓄えられた磁気エネルギーによって引き起こされることを示す重要な結果です。これまで、多数の星のデータをまとめた統計的な研究から黒点とフレアの関係が調べられてきました。これに対して本研究は、3つの星を1つずつ長期間追跡し、黒点の大きさとフレア活動がともに変化することを初めて詳しく調べた研究です。これにより、現在の太陽で知られている黒点とフレアの間接的な関係を、若く非常に活動的な星にまで広げて理解できるようになりました。太陽系の惑星が誕生した頃の若い太陽も、現在より大きな黒点を持ち、巨大なフレアを頻繁に起こしていた可能性があります。そこから放出された強い X 線や紫外線、高エネルギー粒子は、形成されて間もない地球や火星、金星の大気や表面環境に繰り返し降り注いでいたと考えられます。若い星で黒点とフレア活動がどのように変化するかを明らかにすることは、太古の太陽の活動を推定し、惑星が形成されて間もない時代に、太陽の活動が惑星環境へどのような影響を与えたのかを理解することにつながります。

一方、今回のような星全体の明るさの観測だけでは、推定された黒点の一つの巨大な黒点なのか、複数の小さな黒点が集まったものなのかを区別できません。そのため、観測された黒点の総面積から、その時期に発生し得る最大規模のフレアを正確に予測することは、現時点では困難です。

今後は、星の表面にある黒点の位置や形を調べる分光観測と、TESS のような長期間の明るさの観測を組み合わせることで、どのような黒点が巨大フレアを引き起こすのかを詳しく調べる必要があります。また、より多くの若い星を長期間観測することで、太陽が若かった頃の活動や、それが惑星の環境に与えた影響をさらに明らかにできると期待されます。

4. 研究プロジェクトについて

本研究では、NASA の Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) によって取得され、宇宙望遠鏡科学研究所の MAST データアーカイブで公開されている観測データを使用しました。

本研究は、日本学術振興会科学研究費助成事業（課題番号：21J00316、24H00248、24K00680、25K01041）および自然科学研究機構 Operation Management Laboratory の支援を受けて行われました。

<用語解説>

1. 黒点

星の表面にある、周囲より温度が低く暗く見える領域です。強い磁場が集中しており、その周辺に蓄えられた磁気エネルギーがフレアのエネルギー源になると考えられています。

2. 太陽フレア

星の表面付近に蓄えられた磁気エネルギーが、短時間のうちに急激に解放される爆発現象です。太陽で発生するものを太陽フレア、太陽以外の星で発生するものを恒星フレアと呼びます。太陽で規模の大きなフレアが起こると、人工衛星や通信などに影響することがあります。

3. TESS

NASA が 2018 年に打ち上げた宇宙望遠鏡です。正式名称は「Transiting Exoplanet Survey Satellite」で、主に太陽系の外にある惑星を探すために、数多くの星の明るさを観測しています。



自主ゼミの様子と学生メンバー。左から一柳大治朗、山田大翔、山敷大亮、石原一真

<研究者のコメント>

本研究は、恒星についてほとんど知らず、論文を読んだ経験もなく、プログラミングにも不慣れな状態から始まりました。試行錯誤を重ねても、なかなか結果につながらない時期もありました。それでも、友人同士で議論し、教え合いながら楽しく研究を続けられたことが大きな支えでした。学部生のときに始めた研究を論文として発表できたことを、心からうれしく思います。（一柳大治朗）

自分の専門とは異なる分野でしたが、チームで研究を進め、論文としてまとめる経験を学部生のうちにできたことは、今後の研究においても大きな財産になると思います。（山田大翔）

データ解析のための本格的なプログラミングに初めて挑戦しました。研究を進める中でさまざまな変更に対応する難しさを経験しましたが、それも含めて大きな学びとなりました。（山敷大亮）

大学院で取り組んでいる分野に近い研究を、学部生のうちから経験できたことは、現在の研究にもつながる貴重な経験となりました。（石原一真）

<論文タイトルと著者>

タイトル：Time-Resolved Connection between Starspots and Flares in Nearby Young Solar-type Stars Observed by TESS（TESS で観測された近傍の若い太陽型星における黒点とフレアの時間変化を追った関係）

著者：Daijiro Hitotsuyanagi, Hiroto Yamada, Daisuke Yamashiki, Kazuma Ishihara, Yosuke Yamashiki, Kosuke Namekata

掲載誌：Publications of the Astronomical Society of Japan

掲載日：2026 年 10 月 19 日

DOI：10.1093/pasj/psag095

< 参考図表 >

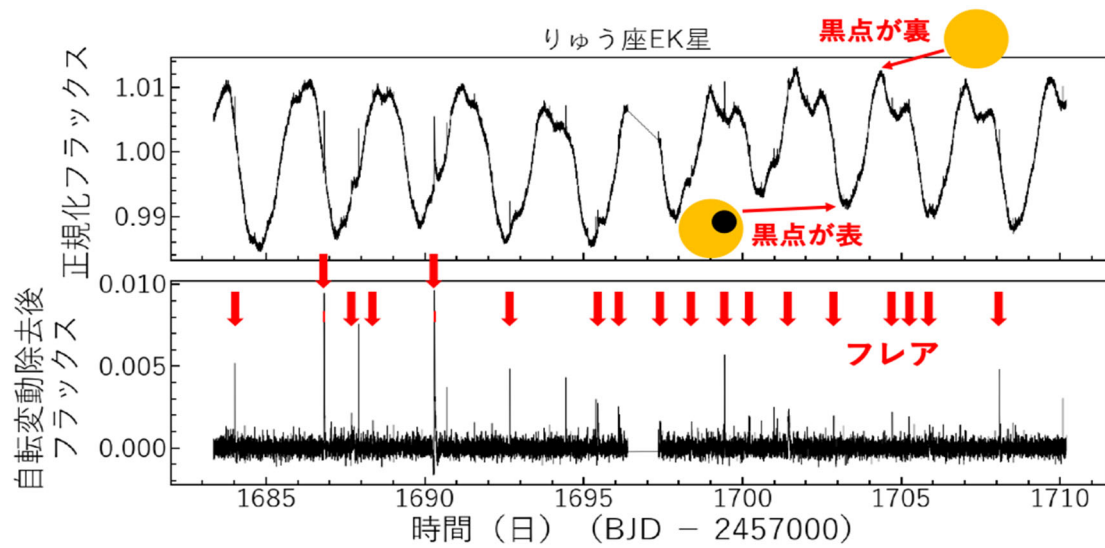


図1.りゅう座EK星の明るさの変化。上段の周期的な変化が自転によって黒点が表に來たり裏に行ったりしていることを表しており、その効果を取り除いたものが下段である。急激な増光がフレアで、赤で印をつけている

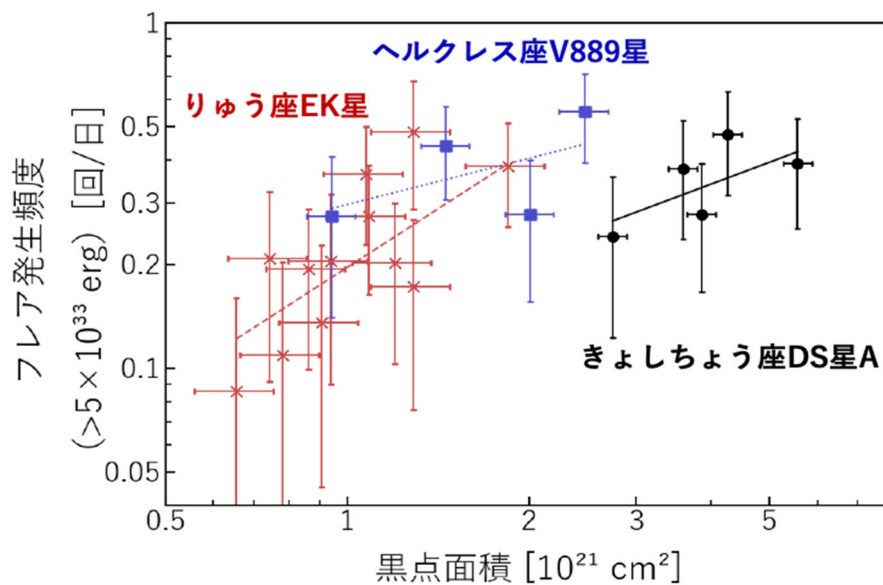


図2.黒点面積とフレアの発生頻度の相関を表している。それぞれの星ごとに正の相関があることがわかる