

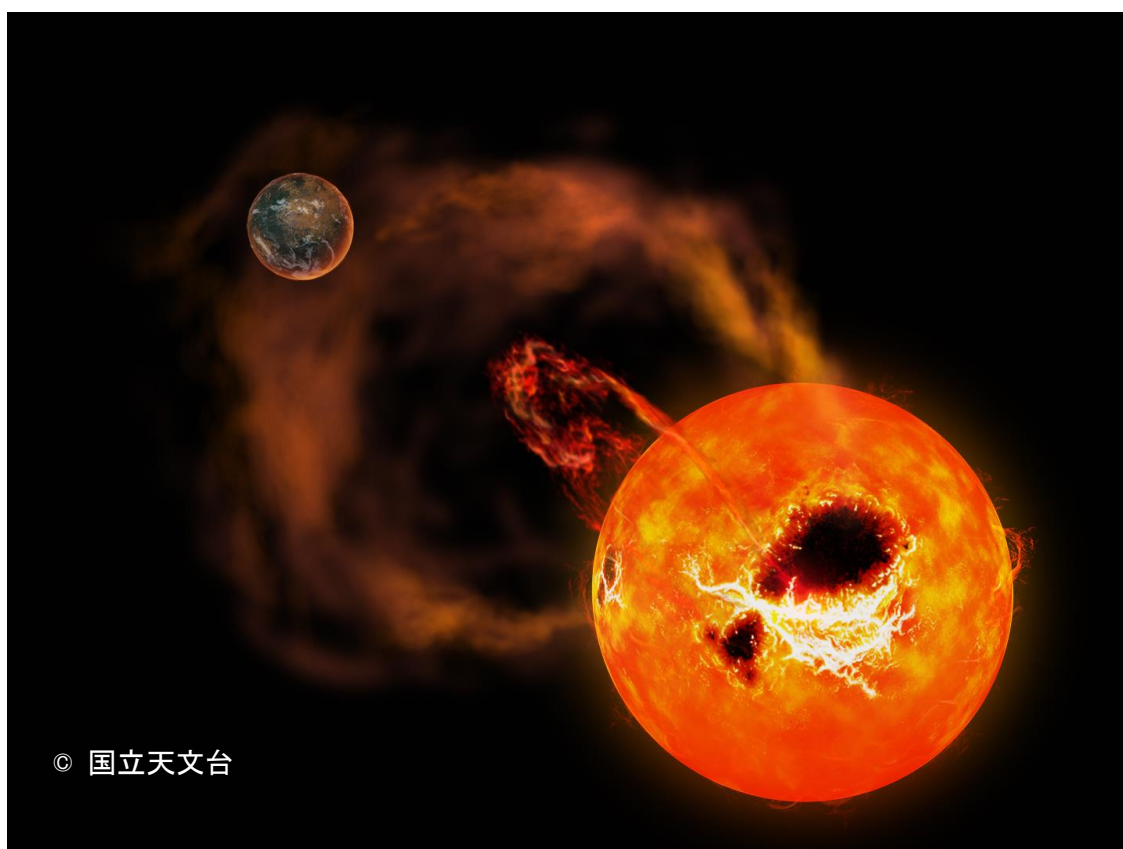
京大せいめい望遠鏡でスーパーフレアの検出に成功

—生命居住可能な惑星への影響の理解に向けて—

概要

フレアとは、太陽や恒星表面での突発的な爆発現象です。特に、「スーパーフレア」という超巨大フレアは、磁気嵐や放射線という形で、地球社会や系外惑星の生命に大きな影響を与える可能性があります。行方宏介 京都大学理学研究科博士課程学生、野上大作 同准教授、前原裕之 国立天文台助教らの研究グループは、2019 年春に観測開始した京都大学 3.8m「せいめい」望遠鏡を中心として、4 大学 1 研究機関の望遠鏡・人工衛星を連携させ、活動的な星しし座 AD 星(太陽より温度が低い星)のモニタ観測を行い、恒星のフレアの検出に挑戦しました。その結果、せいめい望遠鏡共同利用観測の開始初日に、最大級の太陽フレアの 20 倍程度のスーパーフレアの検出に成功しました。解析の結果、スーパーフレアは、エネルギー量は大きいものの、放射の振る舞いや時間変化は太陽フレアと共通の性質を示すことを発見し、スーパーフレアに伴う放射・高エネルギー電子などの実例を得ることができました。今後も観測例を増やし、地球や生命居住可能な惑星への影響を幅広く議論するような、宇宙物理学や惑星科学の垣根を超えた新分野の開拓に取り組んでいきたいと考えています。

本成果は、2020 年 7 月 10 日に日本国の国際学術誌「Publications of the Astronomical Society of Japan」にオンライン掲載されました。



図：M 型星しし座 AD 星のスーパーフレアの想像図(H α 水素線で観測した場合)。黒点周辺(星表面黒色)で巨大スーパーフレア(白色)が発生し、それに伴って惑星間空間にプラズマが放出されている様子。

1. 背景

太陽フレアは、太陽表面の突発的な爆発現象のことです。大フレアの場合、放射線の照射やプラズマの衝突といった形で地球環境に影響を与えることがあり、過去には実際に通信障害や大規模停電などの被害に繋がった事例が報告されています。これまでの我々の研究により、太陽でスーパーフレア(最大級の太陽フレアの10倍以上規模)^{注1}という超巨大フレアが発生する可能性が示唆されてきました。その発生頻度は数百年に一度と低いですが、電力インフラやITシステムに大きく依存する現代社会には甚大な影響を与える可能性があり、社会的にも注目されています。他にも、温度が低い星などでは、スーパーフレアが頻発していることが知られています。近年、太陽以外の星の周りにおいて太陽系外惑星が多数発見されてきたことを受け、中心の星でのスーパーフレアが生命誕生にどのような影響を与えるのか?という点が世界的に注目されています。

私たちのグループは、特にフレア活動が盛んな他の恒星のスーパーフレアの性質の解明を通して、地球・惑星環境への影響評価を行う研究をしています。その性質の解明には、恒星の「分光」(光を波長に分ける)観測が必要です。ところが、発生頻度の低さと予測の困難さから、スーパーフレアの「分光」観測例は世界的にも不足しています。我々のプロジェクトの目的は、2019年春に観測開始した京都大学せいめい望遠鏡を用いてスーパーフレアの「分光」観測データを入手し、その性質を解明することです。せいめい望遠鏡は、京都大学専有の国内最大の光赤外線望遠鏡です(図1)。せいめい望遠鏡の潤沢な観測時間と、高い集光能力を組み合わせれば、発生頻度が低い恒星のスーパーフレアのデータも非常に高い精度で入手できます。このプロジェクトの高精度・長期観測は、観測時間が限定される世界の他の大型望遠鏡では真似のできない独自性を持ちます。

2. 研究手法・成果

<研究手法>

今回私たちは、課題に対して以下のような手法で取り組みました。

- ① これまでの研究では、太陽でも恒星でも、スーパーフレアの発生頻度が非常に低いため、研究が困難でした。これに対し、M型星(太陽より温度が低い星)^{注2} しし座AD星はフレアの発生頻度が比較的高いことに注目し、M型星しし座AD星の8.5夜のモニタ観測を行ないました。
- ② フレアの「分光」観測には、4m級の望遠鏡を「長期間」使用することが必要ですが、時間の制約上実現は困難です。そこで我々は、京大3.8mせいめい望遠鏡計画にコアメンバーとして参加し、2019年の観測開始に合わせ、占有望遠鏡のメリットを活かした長期モニタ観測を実現しました。
- ③ フレアの物理の解明には、複数の波長(X線～可視光まで)での観測が必要です。今回我々は、せいめい望遠鏡を中心に、光赤外線天文学大学間連携(OISTER)^{注3}や中央大学の運用する地上望遠鏡、国際宇宙ステーション上のX線観測装置NICERを連携させることにより、複数波長でのフレアの同時観測を行いました。
- ④ データの解釈のため、米国コロラド大学と共同で恒星フレアのモデル計算を行いました。

<成果>

この成果として、しし座AD星で12件のフレア現象を検出し、特に1件のスーパーフレア(最大級の太陽フレアの20倍程度)を検出することに成功しました(図2参照)。解析の結果、以下の2点を発見しました。

- A) スーパーフレア中に、可視光の増光に対応して、H α 水素線^{注4}の幅が数分間に大きく広がり元に戻ることを発見しました(図2)。このような形で短時間に変化する現象、恒星ではいまだに報告例がなく、高い精度で観測できるせいめい望遠鏡の成果と言えます。この現象は、太陽フレアの知見を用いて説明するこ

とができるものの、スーパーフレアの増光を引き起こす高いエネルギーの電子の量が、太陽フレアに比べて一桁程度大きいという条件が必要であることがわかりました。

- B) H α 輝線では増光があるものの、可視連続光では増光がない(予想より一桁以上弱い)フレアがいくつもあることを発見しました。これは、太陽フレアの知見を用いて物理的に説明できるものの、これまでの恒星フレアの研究は主に可視連続光観測を用いていたため、実際のフレアの発生頻度はこれまで指摘されていたものよりも高い可能性が示唆されました。

<意義>

- イ) この成果により、スーパーフレアという巨大なフレアも、小規模な太陽フレアの知見から評価できることを示しました。つまり、スーパーフレア発生から惑星への影響に至る極端宇宙天気現象^{注5}も、我々がこれまで培ってきた太陽フレアの知見から評価することが可能であるということの意味しており、太陽・恒星における極端宇宙天気「予報」への貢献という意義があります。
- ロ) 近年、M型星周りの惑星に生命居住環境があるのではないかという議論が世界的に白熱しています。そんな中、M型星中心のフレアに伴って、非常に大きなX線・可視光放射を定量的に評価できるようになり、生命居住環境に及ぼす影響を具体的に評価することができるようになったという点で意義があります。

3. 波及効果、今後の予定

<波及効果>

本研究を通して、スーパーフレア現象の際の放射・高エネルギー電子を定量的に評価することができ、スーパーフレアに関して実例をもって議論できるようになりました。太陽ではスーパーフレアの発生頻度は数百年に一度と非常に低いとされていますが、観測史上最大級の太陽フレア(10²⁵ジュール)でさえ現代社会に1~2兆ドル相当の被害が出ると推定されており、本研究で近代観測の知見を超える極端宇宙天気現象の特徴を明らかにしたことは減災面でも非常に重要な貢献になります。数百年に一度の災害も決して現代社会と無縁でないことを我々は既に東日本大震災から学んだところであり、宇宙災害に関しても可能な限り具体的な知見を増やしておくべきであると考えます。また、生命の誕生・進化という究極の問いを明らかにするためには、星の活動度の定量的な評価が必須であると考えられています。本研究はその定量的評価に貢献したと考えています。

<今後の展望>

本研究は、これから始まる恒星フレア・サーベイの出発点であり、今後は様々な天体の観測を行っていく予定です。これにより、より一般性を持った議論が可能になると考えられます。また、太陽ではフレアに伴って噴出したプラズマが地球磁気圏に衝突して影響を与えることがあります。スーパーフレアの際に、どれほどの質量・速度のプラズマが飛び出すのかに関しては、世界的にも注目されている研究であり、今後の恒星の長期観測によって明らかにしたいと考えています。最終的に、太陽に非常によく似た星で起きているスーパーフレアの観測にも挑戦し、「我々の太陽でスーパーフレアが発生した時に地球環境はどうなるのか？」という問いに明快に答えることで、人類の宇宙環境の保全に貢献することが我々の目標です。

4. 研究プロジェクトについて

<予算の出資者> 京都大学、国立天文台、光赤外大学間連携 OISTER、日本学術振興会特別研究員補助金(18J20048 他)、同若手研究者海外挑戦プログラム(行方宏介)、同海外特別研究員プログラム(野津湧太)

<関連研究機関> 京都大学、国立天文台、中央大学、東京工業大学、兵庫県立大学、コロラド大学、NASA

<用語解説>

1. スーパーフレア:最大級の太陽フレアの10倍(10^{26} ジュール)以上のエネルギーを解放する大規模フレア。
 10^{26} ジュールは水素爆弾約10億個に相当する。これに関しては、以下の記者発表も参照されたい。
http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2019/190501_3.html
2. M型星:表面温度が2300-3800 K程度の、低温度星。今回観測したしし座AD星は、AD Leoとも呼ばれ、温度約3200KのM型星に分類される。太陽の表面温度は、約5800K。
3. 光赤外線天文学大学間連携 OISTER(Optical and Infrared Synergetic Telescopes for Education and Research): 北海道大、東京大、東京工業大、名古屋大、京都大、広島大、鹿児島大、埼玉大、兵庫県立大、国立天文台が連携し、中小口径の望遠鏡を有機的に結びつけて突発天体等を観測・研究することを目的とした最先端共同研究と大学教育を推進する事業(<https://oister.kwasan.kyoto-u.ac.jp/general/>)。
4. H α 水素線:水素の異なるエネルギー間で遷移する際に放射される光。波長は656.2nmで、赤く見える。
5. 宇宙天気現象:太陽の突発的活動性の変化(太陽フレアなど)に伴う地球磁気圏の変動のこと。そのうち特に発生頻度は低いものの、地球環境への影響の規模が特に大きいものを極端宇宙天気現象という。

<研究者のコメント>

本計画は望遠鏡構想の当初から長い年月にかけて検討を続けてきました。待ちに待った観測は心躍るもので、観測初日にスーパーフレアが観測できたことは、まるで私たちの新たな船出を祝ってくれているように感じ、大変嬉しかったです。このような面白い成果を公表し、世間を明るくすることに貢献したいです。また、地道な長い道のりですが着実に研究をこなし、人類の長期的な宇宙環境の保全に貢献したいです。



上段左より、行方さん、前原助教、佐々木さん、坪井教授、本田准教授。下段左より、Kowalski助教、野津博士、野上准教授、柴田名誉教授

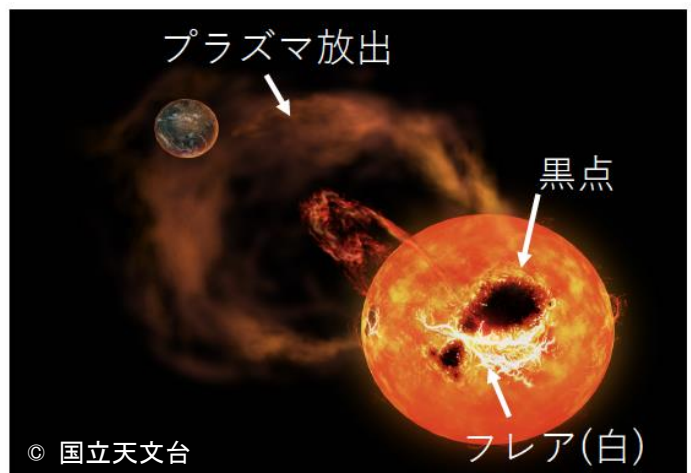
<論文タイトルと著者>

タイトル: Optical and X-ray observations of stellar flares on an active M dwarf AD Leonis with Seimei Telescope, SCAT, NICER and OISTER (「せいめい望遠鏡、SCAT、NICER、OISTERを利用した、活動的なM型星AD Leoにおける恒星フレアの可視光・X線分光観測」)

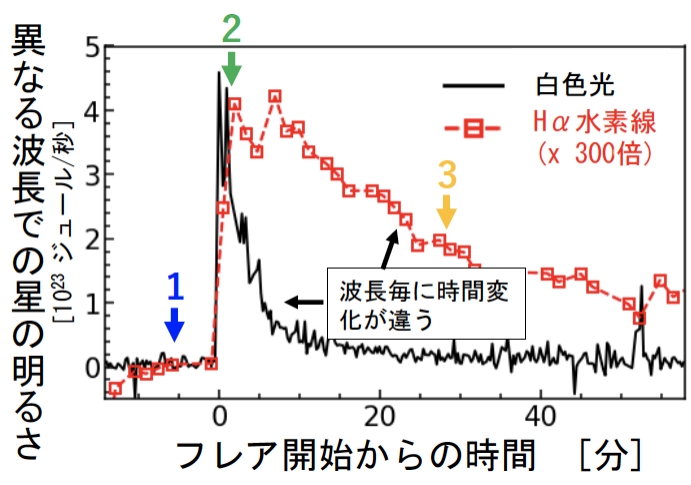
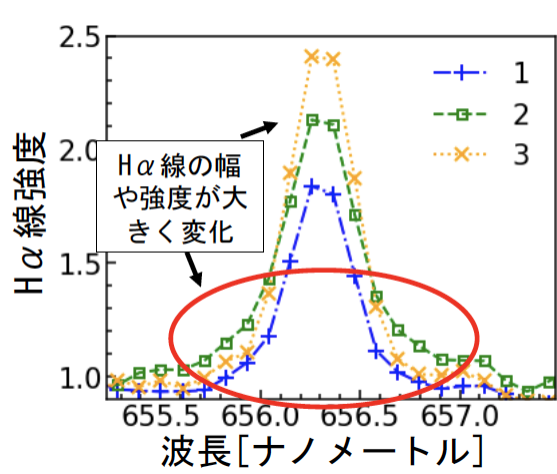
著者: Namekata, Kosuke; Maehara, Hiroyuki; Sasaki, Ryo; Kawai, Hiroki; Notsu, Yuta; Kowalski, Adam F.; Allred, Joel C.; Iwakiri, Wataru; Tsuboi, Yohko; Murata, Katsuhiro L.; Niwano, Masafumi; Shiraishi, Kazuki; Adachi, Ryo; Iida, Kota; Oeda, Motoki; Honda, Satoshi; Tozuka, Miyako; Katoh, Noriyuki; Onozato, Hiroki; Okamoto, Soshi Isogai, Keisuke; Kimura, Mariko; Kojiguchi, Naoto; Wakamatsu, Yasuyuki; Tampo, Yusuke; Nogami, Daisaku; Shibata, Kazunari

掲載誌: Publications of the Astronomical Society of Japan DOI: 10.1093/pasj/psaa051

< 参考図表 >



<図 1> (左)京都大学 3.8m せいめい望遠鏡の写真。(右)M 型星しし座 AD 星のスーパーフレアの想像図(H α 水素線で観測した場合)。黒点周辺(星表面黒色)で巨大スーパーフレア(白色)が発生し、それに伴って惑星間空間にプラズマが放出されている様子。



<図 2> せいめい望遠鏡共同利用初日(2019年3月22日25時33分21秒)に観測された、低温のM型星しし座AD星のスーパーフレア。(左)フレア中のH α 水素線の時間変化(番号は、右図の時間に対応)。(右)時間に対して、波長毎の明るさの時間変化を表している。白色光は波長486nm(ナノメートル)周辺で、H α 線は波長656nm。