

# せいめい望遠鏡で迫る恒星スーパーフレア

行方 宏介

〈京都大学大学院理学研究科宇宙物理学教室 〒606-8502 京都府京都市左京区北白川追分町〉

〈国立天文台 ALMA プロジェクト 〒181-8588 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

e-mail: namekata@kusastro.kyoto-u.ac.jp



恒星で発生しているスーパーフレア（最大級の太陽フレアの10倍以上の規模）による放射や質量放出は、周囲の惑星のハビタビリティにも大きく影響を与えていると考えられています。スーパーフレアの発生機構には未解明な点が多い現状であり、その連続分光観測は謎を解き明かす強力なツールになり得ます。ただし、発生頻度の低さや継続時間の短さ故に、連続分光観測はこれまであまり行われてきませんでした。我々は、2019年2月より始動した京都大学せいめい望遠鏡の潤沢な観測時間を活かして、スーパーフレアの分光データの検出に挑戦しています。幸いにも観測初期に、スーパーフレアを検出することができ、その性質の一端を解明することができました。本稿では、この京都大学せいめい望遠鏡初期観測成果と、今後の観測への展望を紹介します。

## 1. はじめに～恒星フレアへの興味～

太陽フレアは、太陽表面の突発的な爆発現象です [1]。大フレアの場合、X線や紫外線量の増加や太陽風擾乱により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つな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）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 [2, 3]。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 ([4, 5] も参照)。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おり (図1)、周囲を回る系外惑星への影響が盛んに議論され始めています [7]。中心星での巨大フレアが生命誕生にどう影響するのか？ 太陽でもスーパーフレアは発生するのか？ これらの疑問は私の好奇心を刺激

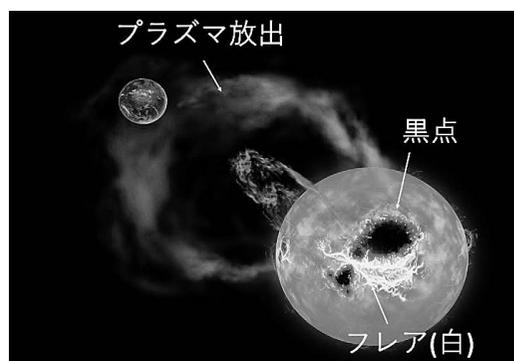


図1 M型星しし座AD星のH $\alpha$ 線で見えたスーパーフレアの想像図(国立天文台作成)。フレア(白色)と黒点(黒色)を表しています。恒星フレアに伴い、強い放射やプラズマ放出(コロナ質量放出)が発生している可能性があります。京大・国立天文台でのプレスリリースにて掲載 [6]。

し、私を恒星フレア研究に誘いました。

## 2. せいめい望遠鏡でのフレア観測計画

我々のグループは、特にフレア活動が盛んな恒星のスーパーフレアの性質の解明を通し、地球・惑星環境への影響評価までも行うことを目的に研

究をしています。フレアは多温度でダイナミックな速度成分を持つ現象であるため、その性質の解明には恒星フレアの分光観測が必要です。ところが、他の活動的な恒星であっても、巨大フレアは発生頻度が低く、また発生予測も非常に困難であることから、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 [8, 9]。それだけでなく、フレア中の恒星大気は数分以下のタイムスケールで変動すると考えられるため、数m級以上の望遠鏡を長期間使用し、高い時間分解能でスペクトル線をモニタ観測することが必要ですが、世界の大望遠鏡での観測時間の確保は事実上困難です。

そこで、我々が目的としているのは、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 [10]。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時間分解能で取得できます。このプロジェクトの高時間分解能・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。我々は、京大3.8 m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て観測提案を行いました。本稿では、せいめい望遠鏡共同利用最初の観測テーマとして採択された2019Aの観測成果として、しし座AD星を2019年3月22日から8.5夜観測した成果を報告します。

今回我々は、スーパーフレアの分光観測に向けて以下のような戦略で取り組みました。まず、一般的に太陽でも恒星でも、スーパーフレアの発生頻度が非常に低いため、これまでの研究ではスーパーフレアの研究自体が困難でした。これに対し、M型星（表面温度約3,500 Kの低温度星）し

し座AD星は比較的年齢が若く、全天の恒星の中でもスーパーフレアの発生頻度が比較的高いことに注目し [11]、この星を1週間程度モニタ観測する提案をしました。M型星は太陽より温度が低く、大気構造も異なるのですが、フレアそのものの物理（エネルギー解放機構等）は共通であることが提案されているため [12]、スーパーフレア理解のためには観測実現性が高いM型星での研究が非常に有益です。また、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）\*1や中央大学の運用する地上望遠鏡\*2、国際宇宙ステーション上のX線観測装置NICER（Neutron star Interior Composition Explorer）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。

### 3. 共同利用初日の観測の体験談

せいめい望遠鏡での観測開始の当初は、望遠鏡・装置の担当者付きっきりでの観測で、装置トラブルなどをその場で対処しながらの観測となりました（図2）。観測初日、望遠鏡操作を開始したところ、イメージローテータがうまく動作せず像が回転するなど様々なトラブルなどが発生し、時には望遠鏡室に行って天体の光がどのように入ってきているのかを実際にナスミス台から見ながらチェックするなども行いました。本当に今日観測できるのか？（他の望遠鏡・衛星に観測申請しているので、申し訳ない！）という不安を感じることもありました。スタッフの方々の迅速な対応により、最初にうまく天体の像が結んだ時には、感動しました。

数時間後にはうまく観測を開始できたのですが、当初は望遠鏡のオートガイド機能が不十分であったため、フレアの連続観測を行うために約1

\*1 <https://oister.kwasan.kyoto-u.ac.jp/>

\*2 <https://www.phys.chuo-u.ac.jp/labs/tsuboi/CAT.html>



図2 せいめい望遠鏡共同利用観測初日の様子（下から前原氏，行方，木野氏，黒田氏）. エンジニアリング担当者も付きっきりで観測を行いました.

分おきに手で面分光装置KOOLS-IFUのファイバー上に星像を持ってくるなどの操作をしなければならず、油断できない観測が続きました。

#### 4. 観測初日に発生したスーパーフレア

こうした中、驚くべきことに、M型星とはいえ発生頻度が低いスーパーフレア（最大級の太陽フレアの20倍程度）を、なんとこの初日に（しかも初日だけで）検出することに成功しました（図3）。まるで我々の恒星フレア研究の新しい船出を祝ってくれているように感じ、いたく感動したのを覚えています。また、この共同利用期間の観測成果として、合計12件の小～大規模フレア現象を検出しました [13]。当時せいめい望遠鏡には面分光装置KOOLS-IFUが導入されており [14]、波長分解能 $R=2,000$ 程度のH $\alpha$ 線を連続分光観測することができました。時間分解能は40–70秒程度であり、この波長分解能・時間分解能でスーパーフレアを分光観測できた数少ない観測データを得ることができました。以下では、本スーパーフレアの光度曲線・スペクトルの特徴などを紹介します。

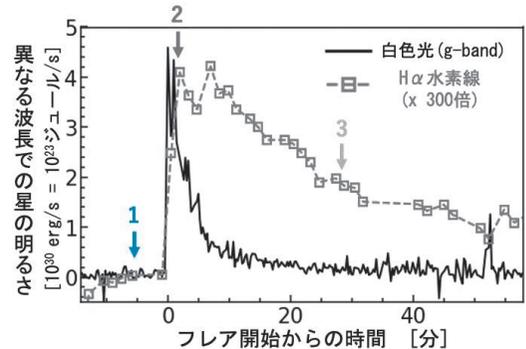


図3 M型星しし座AD星のスーパーフレアの光度曲線。H $\alpha$ 線（せいめい望遠鏡）と可視連続光（MITSuME\*<sup>3</sup>）。数字は、図4で出てくるスペクトルの時間に対応（論文 [13] より）。

#### 4.1 スーパーフレアの光度曲線の特徴は、太陽フレアと似ているのか？

図3は、今回観測されたスーパーフレアの光度の時間変化です。H $\alpha$ 線で観測されたスーパーフレアの継続時間は1時間以上もあることがわかった一方で、可視連続光の継続時間はせいぜい10分程度でした。白色光フレア（可視連続光でのフレア）は、主に磁気リコネクションによって生成された非熱的な粒子によって加熱された彩層・光球大気からの放射です。一方でH $\alpha$ フレアは非熱的な粒子もしくは熱伝導で加熱された彩層からの放射と考えられています [1]。これに基づいて定性的に考えると、フレア初期で白色光放射が非常に強いことは、非熱的な粒子による大気の加熱が優勢であったことを反映していると考えられます。また、フレア後期で、非熱的な粒子による加熱に感度が高い白色光が減衰し、H $\alpha$ 線で依然として明るいのは、熱伝導による加熱が優勢になった様子を反映している可能性があります [16]。

また、可視連続光、H $\alpha$ 線のエネルギーは、それぞれ $2.0 \times 10^{33}$  erg、 $2.5 \times 10^{31}$  erg程度であり、可視連続光でH $\alpha$ 線の100倍程度のエネルギーを放

\*<sup>3</sup> MITSuMEはMulticolor Imaging Telescopes for Survey and Monstrous Explosionsの略語であり、東工大がガンマ線バースト残光の追跡観測を主目的に運用している口径50 cmの望遠鏡です [15] (<http://www.hp.phys.titech.ac.jp/mitsume/>)。

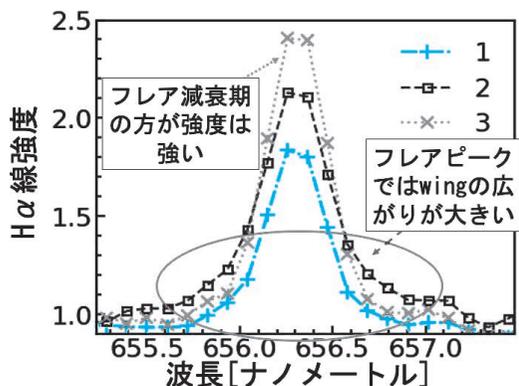


図4 図3で示したスーパーフレア中のHα線のスペクトルの時間変化(論文 [13]より掲載). 静穏期から輝線であり, さらに増加している様子.

出していることがわかりました. 太陽フレアの場合, 放射エネルギーの70%程度は可視連続光で放射されていると考えられており [17], 恒星フレアでも同様である可能性があります. より詳細なエネルギー分配の議論には, X線及び紫外線との同時観測が必要ですが, これは今後の課題です(このスーパーフレアは丁度NICERの観測ギャップの間に発生していました). 比較的小規模なフレアについてのX線との同時観測に関しては, 第5章にて紹介しています.

#### 4.2 スーパーフレアのは加熱機構は?

スーパーフレア中に, 可視連続光の増光に対応して, Hα線の幅が数分間に大きく広がり元に戻る現象も発見しました(図4). このような形で短時間に変化する現象は, 恒星では未だに報告例がなく, 高い精度かつ高時間分解能で観測できるせいめい望遠鏡だからこそその成果と言えます. 恒星フレアの場合, Hα線のライン幅は, 大きく分けて二つの効果が影響していると考えられています [18]. 一つ目の効果(A)は, 水素原子のシュタルク効果による広がりです. これは, Hα線を出している彩層の電子密度に大きく依存し(ライン幅 $\propto$ 電子密度<sup>2/3</sup>), 「密度が高

くなった場合」に効果が大きくなります. 二つ目の効果(B)は, Hα線の光学的厚さによる広がりです. これは, Hα線のライン中心と裾野の光学的厚さの違いにより, 見かけ上ライン幅が広がって見えるという効果で, 「大気の奥深くで加熱が起きた場合」に効果が大きくなります. つまり, Hα線のライン幅の情報から, どれくらいの大気密度で放射が起きているか, どれくらいの大気の高さで加熱が起きたのか, という情報がわかり, フレアの加熱機構に迫ることができます.

では実際, ラインの幅からどれくらい情報を引き出すことができるのでしょうか? これを実証するために, 私はコロラド大学のAdam Kowalski氏と共同で, 恒星フレアの一次元輻射輸送流体数値計算(RADYNコード [19])を行い, エネルギー注入の特徴とHα線の対応関係を調べました(図5(a)の磁気ループをモデル化). どのようなモデル計算を行ったのかを簡単に説明します. 図5(a)にあるように, フレアは上空の恒星大気(コロナ)中での磁力線のつながりかえに起因して発生すると考えられています. この際, 上空コロナで高エネルギーな非熱的電子が発生し, 磁力線に沿って下層大気(彩層, 光球)に突入してエネルギーを失い, Hαや可視連続光の放射を出します. この高エネルギー電子の伝搬から放射までは一次元の磁気ループに沿って発生するため, モデル化した一次元の磁気ループの上端から高エネル

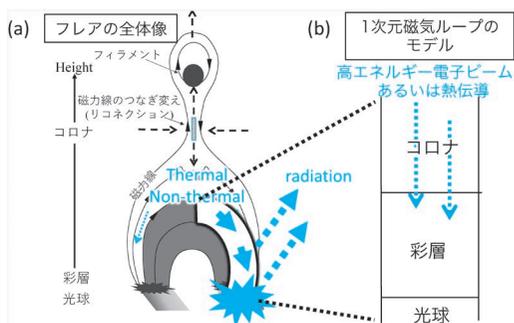


図5 (a) 太陽フレアモデルの磁力線の形状 [20] と, (b) モデル化した1次元の磁気ループ.

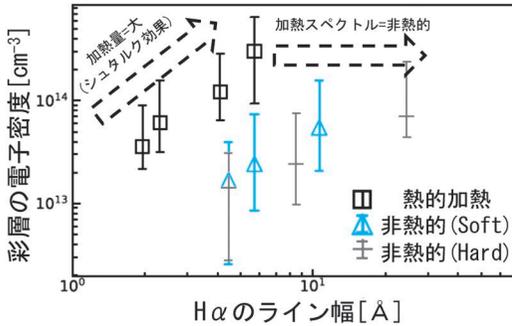


図6 数値計算により得られた、フレア大気(彩層)の電子密度とH $\alpha$ 輝線のライン幅の対応。それぞれの点は、エネルギー注入のパラメータを変えた時の計算の結果(論文[13]より掲載)。

ギー粒子を入れることで、フレア現象を一次元計算に落とし込むことができます(図5(b))。

まず、我々は、上端から注入する高エネルギー電子(あるいは熱源)の異なるパラメータ(量とスペクトル)に対する、H $\alpha$ 線のライン幅と彩層電子密度の対応関係を見ました(図6)。その結果、エネルギー量が大きくなるにつれて先述の効果(A)が顕著に現れ、エネルギースペクトルがハードになるにつれて効果(B)が大きくなりました。そして、この計算結果も考慮すると、スーパーフレアのピークにおけるスペクトルは、少なくとも $10^{12}$  erg/s/cm<sup>2</sup>の高エネルギー電子が注入されていたこと、そして熱的なエネルギー注入では説明困難であることがわかりました。これは、可視連続光とH $\alpha$ 線の強度比とも矛盾なく対応していました。 $10^{12}$  erg/s/cm<sup>2</sup>のエネルギーフラックスは、最大級の太陽フレアでは報告例がありますが[21]、典型的な太陽フレアのエネルギーフラックスよりも1-2桁ほど大きく、典型的な太陽フレアから想像するよりも短時間で比較的大量のエネルギー解放が行われたことを示唆しています。また、フレアの減衰期(インパルス相の後)においては、フレアのエネルギー注入量が少なくなったのか、あるいはフレアのエネルギー注入が熱的になった、という2通りのシナリオが考えられます。こ

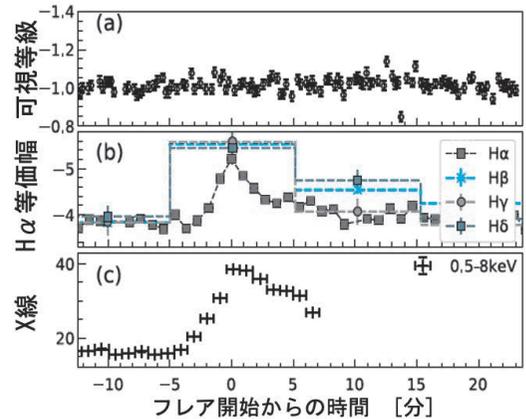


図7 M型星しし座AD星の小規模フレアの光度曲線(論文[13]より掲載)。(a) 可視連続光g-band (MITSuME望遠鏡)、(b) バルマー輝線(せいめい望遠鏡, SCAT望遠鏡)、(c) X線(NICER)を示しています。

これらのシナリオは、今後H $\alpha$ 線以外のスペクトルも同時に観測することや、高分散分光観測を行うことで区別できるようになると見込まれます。我々はさらなる装置の導入が必要であることを提案するとともに、恒星のスーパーフレアの増光の発生原因に観測的示唆を与えることができました。

## 5. X線、可視連続光、H $\alpha$ 線で見たい小規模フレア

今回、X線、H $\alpha$ 線、可視連続光で同時に観測することができたフレアは1件ありました(図7)。X線の観測が加わることで、H $\alpha$ 線や可視連続光だけではわからなかった高温コロナの情報まで推定することができます。スペクトル解析の結果、エミッションメジャー(EM)と温度の時間変化を推定することができ、温度の立ち上がりはEMよりも早いことを発見しました。これは、太陽フレアでも観測されており、最初に高温成分が生成され、のちに彩層蒸発によって高温コロナの密度が高くなる描像とよく対応しています[16]。

ところが、このフレアは有意な可視連続光の増光を示しませんでした。実は、太陽フレアにおい

ても、可視連続光がないフレアが多数報告されています [22]. これら可視連続光の増光がない（弱い）フレアは、どのように説明することができるのでしょうか？ 恒星フレアの一次元輻射輸送流体数値計算（図5）を行った結果、加熱のエネルギーフラックスを大きくするにつれて、H $\alpha$ 線と可視連続光の表面輝度（ $I_{\text{H}\alpha}$ ,  $I_{\text{可視連続光}}$ ）は、

$$I_{\text{H}\alpha} \propto (I_{\text{可視連続光}})^{0.5} \quad (1)$$

の非線形の対応関係に沿って大きくなることがわかりました。この非線形の関係は、可視連続光とH $\alpha$ 線の密度に対する放射係数の依存度の関係の違いなどによって理解できます。この非線形な関係式（1）に基づいて考えると、エネルギーフラックスが小さい場合、H $\alpha$ 線強度（ $I_{\text{H}\alpha}$ ）に対する可視連続光強度（ $I_{\text{可視連続光}}$ ）が極端に小さくなり、可視連続光の増光を検知しにくくなるのがわかります。これにより我々は、この小規模なフレアでX線・H $\alpha$ 線で増光があるのに可視連続光で増光が見られなかった現象は、単位面積あたりの大気を加熱するエネルギーフラックスが小さかったためではないかと提案しました。

これまでの恒星フレアの発生頻度の研究は、主に Kepler/TESS（Transiting Exoplanet Survey Satellite）による可視連続光観測を用いていました [2, 3]. 本章で紹介したように、可視連続光の増光は弱いが他波長の増光は強いような恒星フレアが発生していることを考えると、実際の恒星フレアの発生頻度は、これまでのKepler/TESSによる推定値よりも高い可能性も示唆されます。もし、実際のフレアの発生頻度がKepler/TESSによる推定よりも高いならば、惑星環境に与える影響もさらに大きくなるのが考えられます。今後のX線／バルマー輝線などと可視連続光測光の同時観測の重要性もさらに高まりました。

## 6. 星の自転による変動から見る、星表面の活動領域の描像

太陽の場合、局所的に磁束が集まった領域は、可視連続光で見ると黒点として観測され、X線・紫外線等で見るとコロナが加熱され明るく見えます [23]. 他方、恒星の場合にこれらの磁束が集まった領域がどのように見えるのか、という点は実はよくわかっていません。恒星の活動領域の研究は、主に星の自転による活動領域の見え隠れで生じる、準周期的な変動から調べられています [24]. ところが、特にX線や可視光輝線で自転位相をカバーできるような長期モニタ観測を行うことは容易ではないため、光球（可視連続光）～彩層（H $\alpha$ など）～コロナ（X線）にわたって自転変動を検出できた研究はほとんどありません。我々は、せいめい望遠鏡の観測に合わせて、東京工業大MITSuMEの可視連続光測光観測、及びNICERのX線モニタ観測の時間を確保し、複数の自転周期をカバーすることで、複数の波長で星の自転による周期的変動を検出することに成功しました（図8）。

図8は、可視連続光（ $I_c$ -band）、H $\alpha$ 線、X線の

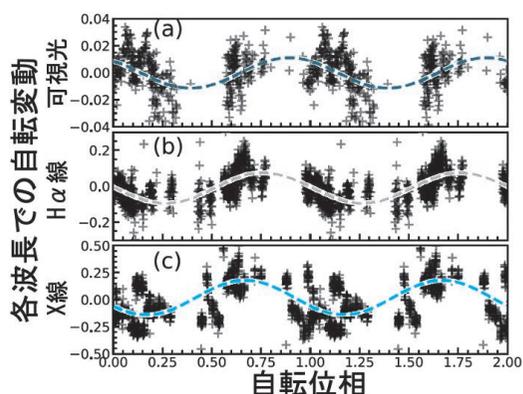


図8 M型星しし座AD星の自転周期で折りたたんだ光度曲線（論文 [13] より掲載）. (a) 可視連続光  $I_c$ -band (MITSuME望遠鏡), (b) バルマー輝線 (せいめい望遠鏡), (c) X線 (NICER) を示しています.

(フレアを除いた)強度を自転周期で折り畳んだライトカーブです。見てみると、H $\alpha$ 線とX線では、それぞれ16%、32%の振幅を持つ同位相の自転変動が検出できました。このような同位相の変動は、H $\alpha$ 線もX線も同じ領域に由来していることを示唆しています。このように、X線で明るい箇所とH $\alpha$ 線で明るい箇所の分布が対応していることは、太陽の活動領域の描像とも一致します。一方で、活動領域が太陽と同様の性質を持っているのであれば、可視連続光ではH $\alpha$ 線やX線とは明るさが反相関になることが示唆されますが、今回は測光精度が十分でなかったため、可視連続光では有意な変動は検出できませんでした(振幅は上限で約6%以下)。これら振幅の大きさの違いは、活動領域(あるいは黒点)と静穏領域のコントラストの違い、あるいはそれぞれの波長の光学の厚みなどでも説明することができます [23]。

恒星黒点研究のほとんどは可視連続光で行われてきたため、恒星黒点と上層の大気の放射の対応関係を明らかにすることは、惑星へのX線や紫外線の影響を推定する上で非常に重要です。今回、X線とH $\alpha$ 線の対応を1例明らかにしましたが、今後はTESS衛星や地上望遠鏡を組み合わせ、黒点(恒星の光球)と加熱されている上層(恒星の彩層やコロナ)の関係を調べていくことが重要になってくると考えられます。これにより、惑星への影響だけでなく、恒星上層の加熱現象の理解にも迫っていきたいと考えています。

## 7. 将来への展望

以上の成果により、恒星のスーパーフレアがいかにして起きているのかについての一端を知ることができました。これらは、先にも説明した通り、長時間・高精度・高時間分解能で観測できるせいめい望遠鏡の利点を活かした観測成果であると言えます。こうして得た知見を用い、太陽・恒星における磁気活動性の統一的な理解へ迫っていきたいと考えています。また、その統一的な理解

を通して、太陽・恒星フレアで何が違うのか? フレアのエネルギーが大きくなると何が起きるのか? という多様性も明らかにし、生命居住環境に及ぼす影響をより具体的に評価していきたいと考えています。

本研究は、これから始まる日本の恒星フレア・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。実際、執筆段階までも60日程度の観測を行っています。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太陽風擾乱が地球に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 [8, 25]、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? という究極の問いにも挑んでいきたいと考えています。

## 謝辞

本稿の内容は筆者の査読論文 [13] に基づいており、京都大学せいめい望遠鏡で得られたデータを用いて、前原裕之氏、Adam Kowalski氏、野津湧太氏、本田敏志氏、佐々木亮氏、河合広樹氏、岩切渉氏、野上大作氏、柴田一成氏らを中心として行った共同研究です。観測を実施するには、京都大学岡山天文台の職員の皆様には、夜通したいへんお世話になりました。これに合わせ、京大岡山3.8 mせいめい望遠鏡の技術開発及び計画検討に携われた方々に感謝申し上げます。この研究は、光赤外線大学間連携事業の支援を受けて推進しています。日本学術振興会からは若手研究者海外挑戦プログラムにより米国コロラド大学で長期研究のためのご支援をいただいております。また本研究は文部科学省科学研究費補助金(18J20048)

より援助を受けています。

### 参考文献

- [1] Shibata, K., & Magara, T., 2011, Living Rev. Sol. Phys., 8, 6
- [2] Maehara, H., et al., 2012, Nature, 485, 478
- [3] Notsu, Y., et al., 2019, ApJ, 876, 58
- [4] 柴田一成, 2014, 天文月報, 107, 253
- [5] 前原裕之, 2014, 天文月報, 107, 260
- [6] 行方宏介, 他, 2020, 京都大学プレスリリース ([https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research\\_results/2020/200710\\_1.html](https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research/research_results/2020/200710_1.html) (2020年11月27日))
- [7] Yamashiki, Y. A., et al., 2019, ApJ, 881, 114
- [8] Honda, S., et al., 2018, PASJ, 70, 62
- [9] Kowalski, A. F., et al., 2013, ApJS, 207, 15
- [10] Kurita, M., et al., 2020, PASJ, 72, 48
- [11] Hawley, S. L., & Pettersen, B. R., 1991, ApJ, 378, 725
- [12] Namekata, K., et al., 2017, ApJ, 851, 91
- [13] Namekata, K., et al., 2020, PASJ, 72, 68
- [14] Matsubayashi, K., et al., 2019, PASJ, 71, 102
- [15] Kotani, T., et al., 2005, IL Nuovo Cimento C Geophysics Space Physics C, 28, 755.
- [16] Neupert, W. M., 1968, ApJ, 153, L59
- [17] Kretzschmar, M., 2011, A&A, 530, A84
- [18] Kowalski, A. F., et al., 2017, ApJ, 837, 125
- [19] Carlsson, M., & Stein, R. F., 1992, ApJ, 397, L59
- [20] Shibata, K., et al., 1995, ApJ, 451, L83
- [21] Krucker, S., et al., 2011, ApJ, 739, 96
- [22] Watanabe, K., et al., 2017, ApJ, 850, 204
- [23] Toriumi, S., et al., 2020, ApJ, 902, 36
- [24] Namekata, K., et al., 2019, ApJ, 871, 187
- [25] Airapetian, V. S., et al., 2016, Nat. Geosci., 9, 452

### Spectroscopic Observations of Stellar Superflares with 3.8-m Seimei Telescope

Kosuke NAMEKATA

*Department of Astronomy, Graduate School of Science, Kyoto University, Kitashirakawa-Oiwake-cho, Sakyo-ku, Kyoto, Kyoto 606-8502, Japan*  
*NAOJ (National Astronomical Observatory of Japan) ALMA Project, 2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan*

Abstract: We report multi-wavelength monitoring observations of an M-dwarf flare star AD Leonis with Seimei Telescope. Twelve flares are detected in total and one of them is a superflare with the total energy of  $\sim 2.0 \times 10^{33}$  erg. During the superflare, the H $\alpha$  emission line width dramatically increases accompanied with a large white-light flare, while some weak H $\alpha$ /X-ray flares are not accompanied with white-light emissions. The quiescent emissions show clear rotational modulations in X-ray and H $\alpha$  intensity in the same phase.