

# 可視光測光分光望遠鏡 PHAST による 巨大恒星フレアの自動追観測

Construction of an automatic tracking system PHAST  
for visible light photometric spectroscopy of giant stellar flares

物理学専攻 甲原潤也  
KOHARA Junya

## Introduction

自ら光を放つ天体である恒星ではフレアと呼ばれる突発的な爆発現象を起こす。フレアでは様々な波長にて増光する。最も身近な恒星である太陽でのフレアでは、これまで長年に渡る多波長でのイメージング観測により発生機構は明らかにされてきている。それに対し、太陽以外の恒星では、太陽フレアよりも規模の大きなフレアが観測されている。全天 X 線監視装置 MAXI では  $10^{33-39}$  erg にも及ぶエネルギーを持つ巨大な恒星フレアを観測している。これは最大規模の太陽フレアの 1000 万倍にも及ぶ。MAXI で検出される巨大なフレアでは、フレアループが星半径の数倍にもなると示唆されている。しかし、太陽以外の恒星の観測はイメージングができないこと、巨大なフレアほど発生頻度が低く観測例は少ないことから、ループの形成過程や幾何の観測的理解は未だ不十分である。そこで、MAXI にて検出される巨大なフレアを変動の激しい発生初期から観測し、発生機構を解明することを目的とする新たな望遠鏡、「可視光測光・分光望遠鏡 PHAST」を中央大学後楽園キャンパス 6 号館屋上に設置した。そして、PHAST に自動観測システムを構築し、2 分で観測を開始できる体制を整えた。このシステムを用いて、MAXI で検出される巨大恒星フレアを追観測する。

## 観測機器：可視光測光・分光望遠鏡 PHAST

PHAST (PHotometric And Spectroscopic Telescope) は 2021 年 3 月に中央大学天文台 CHAO に新設した望遠鏡である (図 1 左)。また、PHAST の光学系を図 1 右に記す。鏡筒にはリッチークレチアン式の 40.8 cm 口径のものを搭載している。今回、光学系内に光路分割器 (図 1 の ③) を搭載し、透過光を分光観測に、反射光を測光観測に用いることで同時観測を可能にした。分光観測には、波長分解能が  $R = 19000$  の高分散分光器を用いて、約  $20 \text{ km s}^{-1}$  までのドップラーシフトした  $H\alpha$  線成分の検出を行う。また、測光観測には可視光全帯域に対して 50% 以上の検出感度の持つ CMOS カメラを使用し U, B, V, R, I の 5 バンドで撮像する。

## 自動観測システム

次の図 2 に PHAST にて自動観測を行うために考案したプロセスを記す。MAXI が取得した観測データは、JAXA にある増光検知システムを通じてリアルタイムにフレアの発生を通知する。自動観測システムでは、その通知を受け取り、通知の本文中から必要な情報を抽出し、観測可否の判断を行う。今回用いた観測可否の判断項目については図 2 の右上に記載している。また、観測指令を実行する際、無人での運用のために当研究室にて取得しているスカイモニター ((

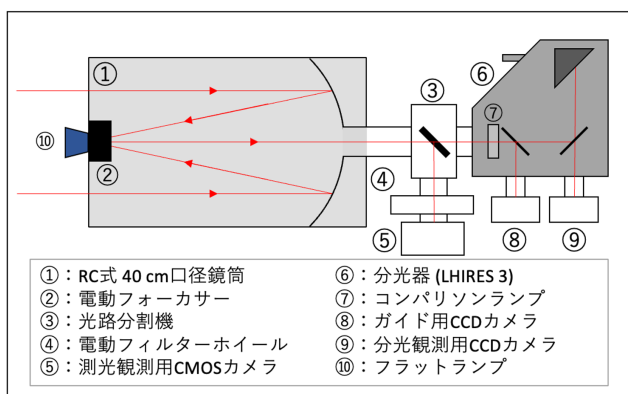


図 1: PHAST の概要

<https://www.phys.chuo-u.ac.jp/labs/tsuboi/iizuka/weather/> ) の情報を自動で判断し、観測可能な天候であるか判断している。

このシステムを稼働させた際にかかる所要時間を次の図3に記す。MAXI からの通知を受け取り、観測指令を作成するまでに 18 秒を要する。観測指令実行後、光路分割機の切り替え、鏡筒の移動、ドームの回転を実施し、それに並行して解析に用いる校正用フレームの撮像を行う。この項目では最大で 65 秒を要する。完了までに時間のかかるドームの屋根を開く動作は事前に行うプロセスをすることで時間を短縮している。その後、観測天体を分光用スリットに自動で乗せる (オートガイド機能)。このオートガイド機能は、最大でも 60 秒を要する。そして撮像を開始する。自動観測システムでは 143 秒以内に追観測を開始することが可能である。

JAXA( 増光検知システム )がメールを送信

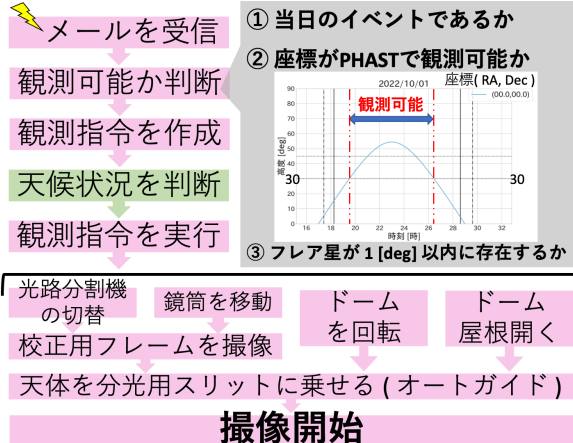


図 2: 自動追観測システムの概要

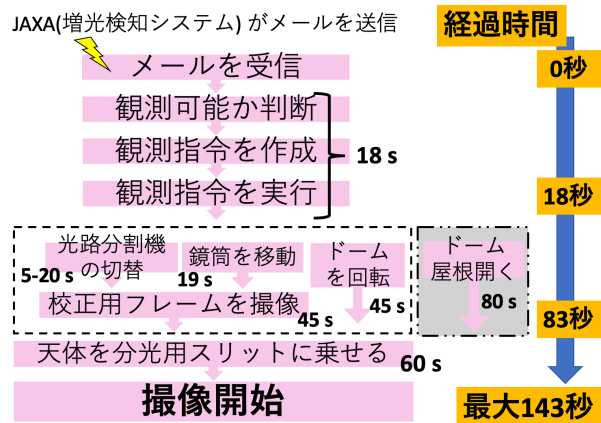


図 3: 自動追観測システム稼働時の所要時間

この PHAST に構築した自動追観測システムは 2022 年 9 月から本格的に稼働を開始した。本研究では、2023 年 1 月までの 5 ヶ月間にわたり自動観測を行っている。また、自動観測を行った期間に MAXI にて検出された 3 発の恒星フレアの追観測に成功した。その 3 件の観測結果について報告する。

## RS CVn 型星 II Peg でのフレア

2022年9月3日15時4分、RS CVn 型星 II Peg からのフレアを MAXI では検出した。その 5.5 時間後に PHAST では追観測を開始した。PHAST での初めての追観測である。このフレアで得られたスペクトルは図4左であり、フレア成分のみの抽出結果から、2成分の存在が考えられた。そのため、図4右のように、Gaussian-2成分 Fitting を行ったところ、静穏期の中心波長(6561.7 Å)に対して短波長側、長波長側の両方に偏移した成分が検出された。これは短波長側に  $120 \text{ km s}^{-1}$ 、長波長側に  $140 \text{ km s}^{-1}$  のドップラーシフトした成分である。

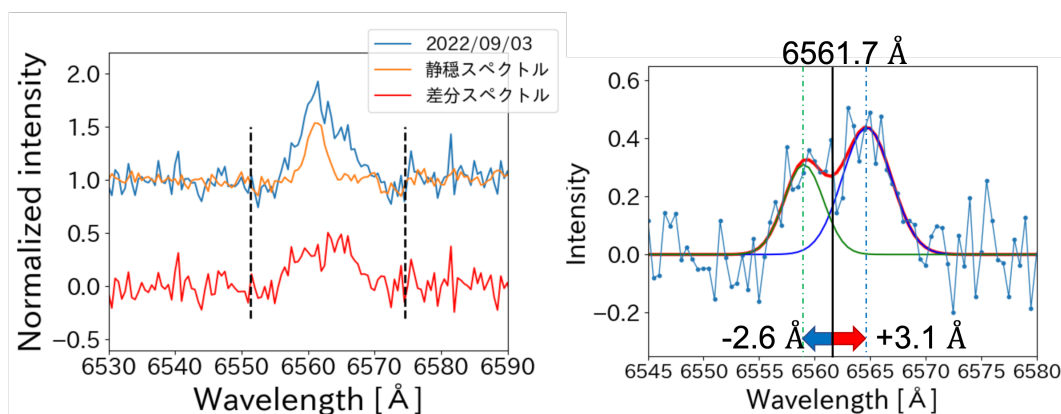


図 4: II Peg フレア解析結果

## dMe 型星 EQ Peg でのフレア

2022年11月3日18時13分、dMe 型星 EQ Peg からのフレアを MAXI では検出した。PHAST ではその 10 分後に追観測を開始した (図5左)。また、その後5時間に渡り追観測を実施し、フレアの減衰過程を全て捉えることに成功した。今回は、フレア発生初期に着目するために、追観測にて得られたデータの最初のプロファイルに着目する。フレア成分のみの抽出を行ったところ、図5右の赤色で示すスペクトルが得られた。このスペクトルは、静穏期の H $\alpha$  線中心に対し、 $0.7 \text{ Å}$  だけ短波長側に偏移している。つまり、約  $30 \text{ km s}^{-1}$  の青方偏移した成分である。また、静穏期と比べて約 4 倍に広がった H $\alpha$  線成分であり、約  $260 \text{ km s}^{-1}$  のドップラー幅となっている。

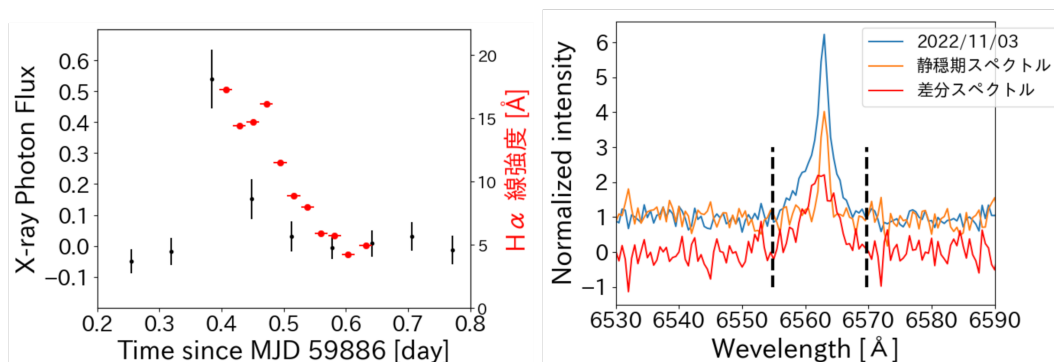


図 5: EQ Peg フレア解析結果

## RS CVn 型星 HR1099 でのフレア

2022 年 11 月 26 日 16 時 12 分、RS CVn 型星 HR1099 からのフレアを MAXI では検出した。その 5 時間後に PHAST では追観測を開始した。このフレアで得られたスペクトルは図 6 である。フレア成分のみの抽出から、このフレアでも広がった成分が確認でき、静穏期の約 2.5 倍に広がった H $\alpha$  線が検出された (約 250 km s<sup>-1</sup> のドップラー幅)。

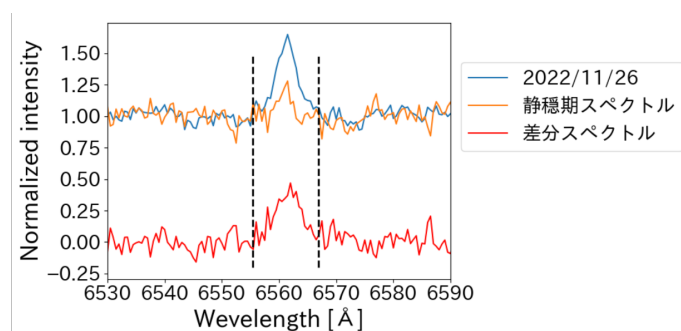


図 6: HR1099 フレア解析結果

## まとめ

本研究では巨大恒星フレアを発生初期から観測し、フレアの発生機構を解明することを目的として、可視光測光・分光望遠鏡 PHAST を設置した。観測プロセスの最適化、坪井研気象モニターとの連携体制の構築、全天 X 線監視装置 MAXI からのアラートとの連携機構の構築、を行った。また、オートガイド機能を搭載し、導入精度 9 秒角で、天体を分光スリットに自動で載せることに成功した。自動観測システムは MAXI からの増光通知受信後 2 分で観測を開始できる。また、波長分解能 R=19000 の高分散分光と U, B, V, R, I バンドでの測光の同時観測を光路分割器によって可能にした。このシステムは 2022 年 9 月から稼働を開始した。EQ Peg のフレアでは、MAXI での検出後 10 分で観測を開始することに成功した。II Peg のフレアから短波長側、長波長側の双方に偏移した H $\alpha$  線成分の存在を確認した。また、EQ Peg および HR1099 のフレアから、広いドップラー幅を持った H $\alpha$  線を検出した。