Spaceguard Research Vol. 4, 16-18 (2012)
©2012 Japan Spaceguard Association.

恒星フレアのサーベイ観測計画

前原 裕之[1)]

[1)] 京都大学

An Overview of the Stellar Flare Survey at Kwasan Obseravtory

Hiroyuki MAEHARA [1)]

Abstract

I introduce an overview of the survey program of stellar flares on the M-type main sequence stars. The primary purpose of this survey is to detect the short-term transient objects (e.g. stellar flares, dwarf novae, novae and GRBs). I estimated the number of the detectable flares using the Kepler data. The occurrence frequency of flares on M-type dwarfs with the amplitude of >10% is about 6×10^{-4} per one day per one star. If we assume the total length of observation per one year is 800 hours (8 hours × 100 nights) and the survey area of 400 deg^2, the number of the detectable flares is 1 per one year.

Key Words: Stellar Flares, Optical Transients

1 恒星フレア

太陽フレアは太陽大気中で起こる爆発現象で、短時間のうちに10^{29}-10^{32} ergものエネルギーを解放する現象である。同様の現象はほかの星でも起こっており、特に、一般に表面温度が低く、暗いM型やK型の主系列星のうち、可視光で大きな増光として観測できるフレアを示す天体を「フレア星」と呼ぶ。このような星で見られる多くの可視光フレアの場合、図1に示すように、非常に速い増光とゆっくりとした減光を示し、数十分程度で元の明るさに戻ってしまう。

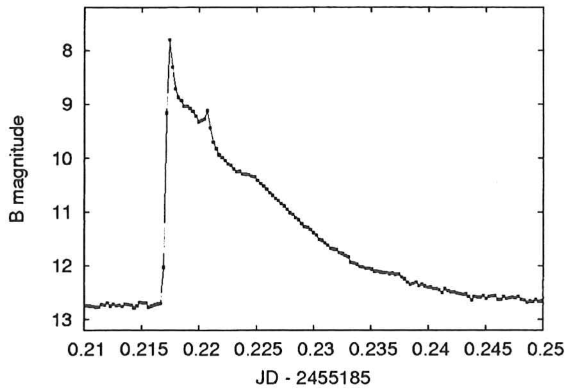

図1：YZ CMiの可視光フレア(2009年12月19日)

近年、太陽系外の惑星探査でM型星のハビタブルゾーン（水が液体として存在すると思われる範囲）にある地球型惑星が見つかり[1)]、また、ほかの候補天体を探す試みもなされている。M型星は暗く星の半径が小さいため、(1)ハビタブルゾーンが星に近くトランジットを起こす確率が高いこと、(2)トランジットの振幅が大きいために検出が容易なこと、(3)星と惑星の光度比が小さいことから、惑星からの光だけを検出しやすいと考えられているためである。もし、惑星からだけの光を分離し分光することができれば惑星の大気や生命の存在可能性など、様々な情報が得られる。しかし、前述の通りM型星は活発なフレア活動を起こすことが知られており、これが惑星の大気などに与える影響[2)]を調べることは、生命の存在可能性を調べる上で重要な課題であるといえる。

2011年度から新星や矮新星、恒星フレアなどいつ起こるか予測できない突発的な増光を示す天体を、その増光早期に検出することを目的とした広角サーベイシステムの構築を行っている。この報告では、その概要を紹介し、どの程度の恒星フレアが検出できる可能性があるか、Kepler衛星のデータ[3)]から見積もった結果を紹介する。

2 サーベイ観測システム

2.1 観測装置と解析システム

サーベイ観測には市販のカメラレンズと冷却CCDを組み合わせて、広い範囲を撮影できる装置を用いる。本計画では表1のような組み合わせで観測する予定である。測光バンドはV-bandとする。これは等級のキャリブレーションに使うための星表が豊富であること、M型星など低温の星のフレアは青いバンドほど振幅が大きいこと、ASAS-3[4)]など類似のサーベイとの比較が

行いやすいようにするためである。

表1：観測装置の概要

CCD Camera	ST-8XME	**Sensor Size**	1020x1534 (9.2x13.8mm)
Focal Length	180mm	**F-ratio**	2.8
Pixel Scale	10.3"/pixel	**FOV**	2.9x4.3deg^2

データの解析はPythonベースの解析プログラムで行う。一連の処理の流れを図2に示す。取得したデータはPyrafによって一次処理を行い、撮影した画像の情報(観測日時や赤道儀の指向情報、積文時間など)をデータベースに登録する。その後、WCSToolやScampを用いてWCSの書き込みを行い、視野中心の座標やpixel scale, position angleなどもデータベースに追加する。突発天体を検出する方法として、本計画では検出天体カタログを作成し、撮影した画像に写っている天体が、(1)カタログに存在するかどうか、(2)カタログに登録されている明るさと大きくずれていないかどうか、(3)既知の変光星や小惑星、彗星と同定できるかどうかの3点のチェックを行う。そのため一次処理を行った画像から、写っている天体をSExtractorを用いてすべて検出・測光する。検出したすべての天体の位置(画像上の位置とWCSの位置)と明るさ(機械等級)は画像IDとひも付けしてデータベースに登録する。検出されたすべての天体について、過去に撮影された画像から検出された天体の情報をDBから検索・比較することで、(1)、(2)のチェックが可能となる。また、増光天体の候補とされた天体についても各種のカタログデータやオンライン上の天体情報との比較を行うことで、(3)のチェックを行う。

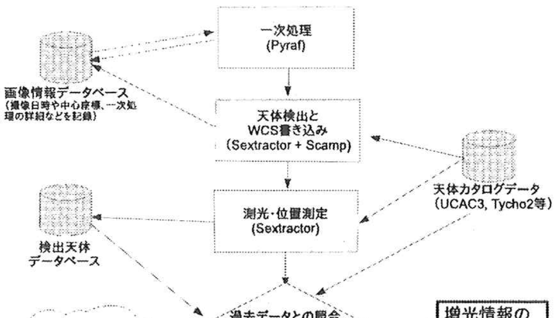

図2：観測データ処理の流れ

現在のところこの解析プログラムは、プロトタイプの装置(50mmF2レンズ＋ST-7E)で撮影した画像の解析パイプラインとして動いており、新天体や変動天体のチェックが可能となっている。今後の本格稼働に合わせて、判定の自動化や処理のリアルタイム化を予定している。

2.2 観測範囲

本計画で用いる装置では1フレームの画像でDecl.方向に2.9度×RA方向に4.3度の範囲を撮影することができる。視野のオーバーラップなども考慮すると、視野中心をDecl.方向に2.5度、RA方向に4度を1単位として、1観測領域について20秒露出×2枚を撮影する。CCDの読み出し時間や視野の移動にかかる時間を考慮すると、1観測領域あたり1.5分程度かかる。そのため、1観測領域あたりの時間分解能を1時間とすると、40領域を観測できる。このため、1回の観測領域の広さとしてはDecl.方向に25度、RA方向に16度の400deg^{2}となる。

3 検出フレア数の見積り

3.1 Kepler衛星のデータから見積もるフレアの数

実際にどの程度のフレアが検出できるのか、Kepler衛星のデータを用いて見積もった。Kepler衛星は非常に高精度な測光観測により、惑星トランジットを観測することを主目的としたNASAの打ち上げた衛星で、2009年から観測を行っている。惑星トランジット以外にも、高い測光精度を生かして恒星フレアの研究にも用いられている[5)]。Kepler衛星のおよそ15万天体の120日分の連続データから、継続時間が1時間以上のM型、K型主系列星のフレアを探し、フレアの振幅ごとにどの程度の数のフレアが起こっているのかを解析した。結果を図3に示す。

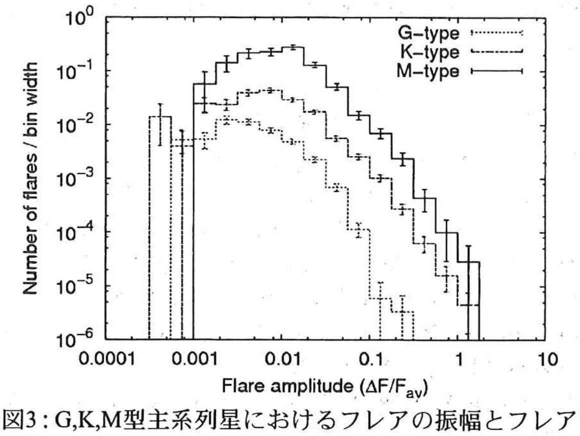

図3：G,K,M型主系列星におけるフレアの振幅とフレアの発生数

フレアの振幅ごとの発生数は、振幅1%以上の範囲ではべき型関数で近似できる分布をしていた。太陽フレアや、単独のフレア星におけるフレアの発生頻度のエネルギー分布も同様にべき型分布をしていることが知られている[6),7)]。

Kepler衛星の測光バンドと、V-bandの感度特性の違

いなどを考慮すると、おおむね10%以上の振幅のフレアであればVでの振幅は30%となり、本計画の装置で検出できると考えられる。図3の結果からM型星では10%以上の振幅のフレアの総数は48件であり、1星あたり、1日当たりに換算すると、6×10^{-4}回となる。K型星ではさらに1/8程度少なくおよそ8×10^{-5}回/日/星となった。

3.2　検出できそうなM型星のフレア数

実際に観測できるフレア数は1星あたりのフレアの頻度に観測範囲内のM型星の数と観測時間をかけたものになる。M型矮星のカタログとしてLepineらのカタログ[8)]を用い、仮にDecl. が+25°～ +50°の範囲をサーベイするとする。RA方向は0h-24hまでを平均化して25度×16度の範囲に、13等よりも明るいM型星が平均何個あるのかを調べると、その数はおよそ45個となる。年間の観測日数を100日、1夜当たりの観測時間を8時間とすると、年間に検出できそうなフレアイベントは0.9回となった。銀画面に近い場所など星の数密度の多い領域を選択すれば、1年の観測で1回程度はM型星のフレアを検出きると考えられる。

4　まとめ

本計画のサーベイシステムの予想される性能とケプラー衛星のデータから見積もったM型星のフレアの頻度からおよそ1年間(800時間)の観測で1例のM型星フレアが受かる見込みがあることが分かった。2012年1月から実際に試験観測を始める予定なので、今後実観測データから性能を評価し、フレア検出数を再評価する予定である。

参考文献

1) Vogt, S. S., et al., Astrophys. J., 723, pp.954-965, 2010
2) Segura, A., et al., Astrobiology, 10, pp.751-771, 2010
3) Broucki, W. J. et al., Science, 327, pp.977-980, 2010
4) Pojmanski, G., Acta Astronomica, 52, pp.397-427, 2002
5) Walkowcz, L.M., et al., Astron. J., 141, 50, 2011
6) Crosby, N. B., Aschwanden, M. J., Dennis, B. R., Solar Physics, 143, pp.275-299, 1993
7) Shakhovskaia, N. I., Solar Physics, 121, pp.375-386, 1989
8) Lepine, S., Gaidos, E., Astron. J., 142, 138, 2011

(2011 年 12 月 17 日受付，2012 年 3 月 1 日受理)