

すばる望遠鏡での観測により、太陽とそっくりな星で
スーパーフレアを起こすことを発見！

日本天文学会 2014 年春季年会 記者発表
事前配布資料

研究グループ代表 野上 大作
(京都大学大学院理学研究科・助教)

連絡先

E-mail: nogami@kwasan.kyoto-u.ac.jp

Tel: 075-581-1235 (花山天文台)

075-753-7663 (大学)

Fax: 075-593-9617

この資料の内容及び、画像データなどは
(3月9日より) <http://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp/topics/superflare/>
(3月19日より) <http://www.kwasan.kyoto-u.ac.jp>
で公開されます。

すばる望遠鏡での観測により、太陽とそっくりな星でスーパーフレアを起こすことを発見！

研究グループ

野上 大作（京都大学・大学院理学研究科・助教） ※当日出席
前原 裕之（東京大学・大学院理学系研究科・研究員） ※当日出席
野津 湧太（京都大学・理学部・4回生） ※当日出席
野津 翔太（京都大学・理学部・4回生）
柴山 拓也（京都大学・理学部・4回生）
鄭 祥子（京都大学・理学部・3回生）
本田 敏志（兵庫県立大学・西はりま天文台・研究員）
柴田 一成（京都大学・大学院理学研究科・教授）

天文学会での関連講演

- M35a スーパーフレア星 KIC 9766237, 9944137 の分光学的特性の太陽との比較（野上大作ほか）
M36a 太陽型星におけるスーパーフレアの継続時間とエネルギーの関係（前原裕之ほか）
N17a スーパーフレアを起こした自転の遅い太陽型星の高分散分光観測（野津湧太ほか）

研究の概要

太陽で起こる「フレア」と呼ばれる現象は、黒点に蓄えられた磁場のエネルギーが一気に放出される爆発現象で、この時、太陽から大量の粒子が放出されます。大きなフレアで放出された物質が地球磁気圏に衝突・侵入すると、巨大な磁気嵐を引き起こし、生活にも大きな影響があることが知られています。例えば、通信システムの障害や大規模な停電が実際に起こっています。

我々は、米国の太陽系外惑星探査衛星「ケプラー」のデータを独自に解析し、これまで我々の太陽で観測された最大級のフレアのさらに100倍～1000倍のエネルギーを解放する「スーパーフレア」を、太陽と似ている星(太陽型星)が起こすことを見つけていました。しかし、これらの星が太陽と本当にそっくりと言えるかどうかを明らかにするには、さらに詳しい観測が必要でした。

そこで、今回、すばる望遠鏡を用いてこれらの星を観測し、その波長スペクトルの詳細な分析を行ったところ、太陽と本当にそっくりな星があることを発見しました。この結果は、我々の太陽でも、莫大なエネルギーが放出される「スーパーフレア」現象が起こる可能性を示すものです。

今後は、すばる望遠鏡に加えて、京都大学を中心に現在開発を進めている3.8m望遠鏡を使って、さらに詳細にスーパーフレア星の性質や長期的な活動性の変化を調査する予定です。これらの研究により、巨大なフレアが起こる条件や兆候についての知見が得られれば、太陽活動による人類社会への被害を防ぐこと

につながります。

研究の背景

太陽フレアは 1859 年に初めて詳細に記録され、それ以後約 150 年の間に様々な観測が行われ、現在では黒点に蓄えられた磁気エネルギーの爆発的な解放現象であることがわかっています。この 1859 年のフレアは観測者の名前を取ってキャリントン・フレアと呼ばれており、現在でもこれまでの記録の中で最大級のフレアであると考えられています。

太陽フレアでは大量の物質や、電磁放射線、高いエネルギーを持つ粒子が放出されます。この大量の物質が地球磁気圏に衝突・侵入すると、様々な現象を引き起こします。オーロラのようなきれいなものもありますが、地磁気の激しい変動、いわゆる磁気嵐が起こり、通信障害や送電網の破壊につながる場合もあります。1989 年 3 月に起こった太陽フレアでは、実際にカナダのケベック州を中心に 600 万人が停電の被害にあいました。また、強い放射線による宇宙飛行士の被爆も重大な懸念材料です。

では、太陽はどれくらいのエネルギー規模のフレアを起こすことができるのでしょうか？一般に、太陽フレアではエネルギーの大きなものほど発生頻度は少ないことが知られており、キャリントン・フレアくらいのエネルギーのものは、数十年に 1 度程度と考えられています。それよりももっと大きなエネルギーのフレアについては、残念ながら太陽観測の歴史はまだ短く、明確な答えは得られていません。

一方で、夜空に輝く恒星（太陽は我々に最も近い「恒星」です！）ではどうかというと、キャリントン・フレアの 100 万倍にもなるエネルギーのフレアがこれまでにたくさん観測されています。ただしこれは、生まれたてで高速で自転している星や、2 つの星がお互いの周りを回る連星系、あるいは太陽よりずっと温度が低く深い対流層を持つ星などで、太陽とは全く性質が異なります。太陽と似たような温度や質量の星では、シェーファーらが 2000 年に発表した論文 (Schaefer et al. 2000, ApJ, 529, 1026) で、過去のデータを調査して 9 例の報告をしているのみです。しかもこれには信頼性の低いデータも含まれており、統計的な研究ができるデータ数でもありません。太陽型星ではキャリントン・フレアくらいのエネルギー規模のフレアが起こっても、恒星全体の明るさとしては 0.01%（1 万分の 1）程度しか変化せず、発見が大変難しいのです。

この状況は系外惑星探査衛星「ケプラー」の出現で打破されました。惑星が星の前を横切るときに、星が少し暗くなって見えることを検出するために開発された衛星で、0.01%の明るさの精度を達成していました。

我々はさっそくこの衛星のデータを解析し、約 150 個の太陽に近い星（G 型主系列星）でキャリントン・フレアの 100 倍～10000 倍のエネルギーのフレア、即ち「スーパーフレア」が起こっていることを発見しました (Maehara et al. 2012, Nature, 475, 478)。その後の研究 (Shibayama et al. 2013, ApJS, 209, 5) でその数はさらに増え、キャリントン・フレアの 100 倍～1000 倍のエネルギーのフレアが 800 年から 5000 年に一度の頻度でスーパーフレアが起こっているこ

とが分かってきました。

しかし、これらの星は太陽と同じタイプの「G型主系列星」と分類されていますが、本当の意味で太陽に近いのか、という疑問は残っていました。特に、自転の速度がずっと速い場合には、もともとスーパーフレアを起こすために必要な巨大な磁気エネルギーを作り出しやすいという性質が考えられるので、自転速度の正確な測定が重要です。また恒星の基本的な性質として、温度や表面重力、金属量などの正確な測定が課題となっていました。

そこで我々は、すばる望遠鏡と高分散分光装置「HDS」を用い、スーパーフレア星の詳細な性質の調査を行いました。この中で、特に太陽によく似た2つの星 KIC 9766237, KIC 9944137 を発見しました。

KIC 9766237 と KIC 9944137

図1に「ケプラー」で得られた光度曲線（明るさの変化）を示しています。矢印で指している突然明るくなっている部分がスーパーフレアで、その拡大図が小さい図に示されています。これらのフレアのエネルギーは、キャリントン・フレアの100倍程度と見積もることができました。スーパーフレア以外の部分で周期的に近い変化を示していますが、これは大きな黒点があり、星の自転によって見え隠れするための変化であると考えられます（図2参照）。周期解析を行うことにより、それぞれ21.8日、25.3日の自転周期を持つらしいことが示されました。これは太陽の約25日に近いものですが、詳しい観測による確認が必要です。

観測と観測結果

観測は国立天文台ハワイ観測所にあるすばる

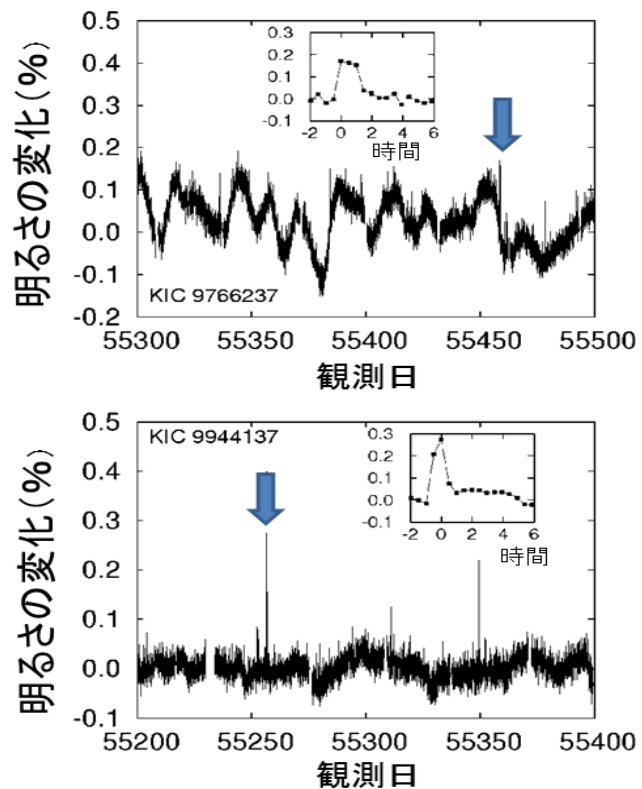


図1：KIC 9766237(上)と KIC 9944137 の光度曲線。矢印で示しているのはスーパーフレアで、小さな図はその拡大図です。スーパーフレア以外の準周期的な変動は、これらの星が大きな黒点を持っているため、自転をしているために起こると考えられます。周期解析により、それぞれ21.8日周期、25.3日周期が示唆されています。

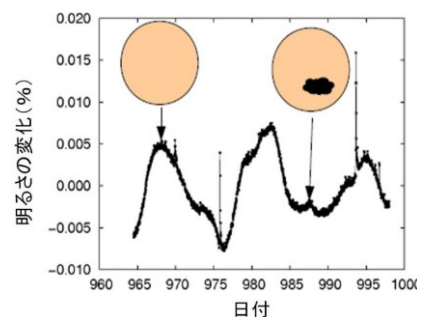


図2：明るさの変化の模式図。大きな黒点の手前にある時に暗く、後ろ側に回ると明るく見えます。

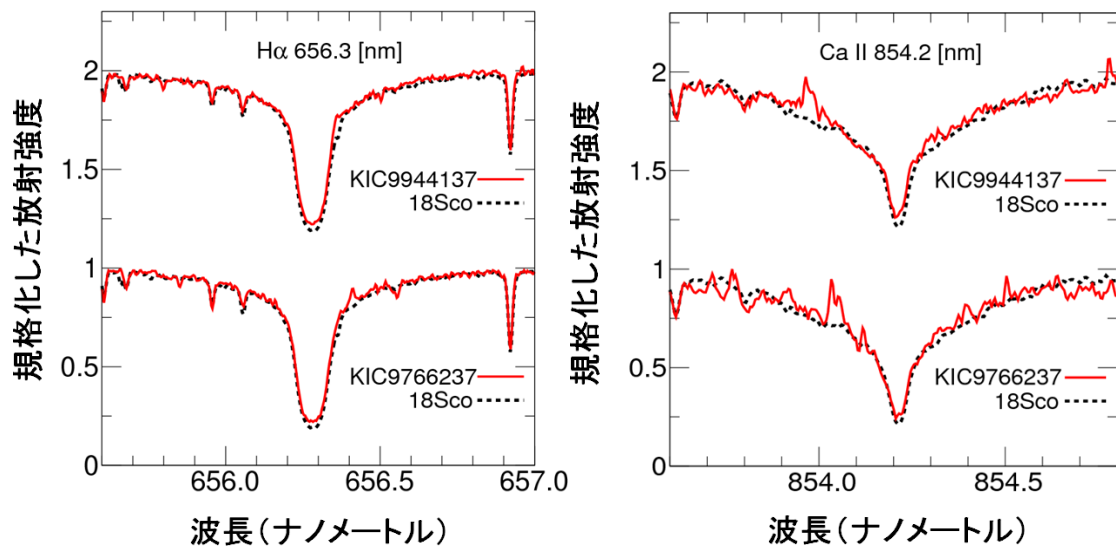


図3：水素(H α)とカルシウム(Ca II 8542)の吸収線。それぞれの星の吸収線と、太陽の双子星と言われている 18 Sco を重ねています。これらの吸収線は、活動度の高い星ほど浅くなる性質がありますが、18 Sco (=太陽) よりわずかに浅い程度でほとんど似たような活動度であることが示唆されます。

望遠鏡の高分散分光器「HDS」を用いて、2013年の6月に行いました。610～882nm（緑色～赤外線）の波長域を、詳しく観測しました。

図3では星の活動性を表す指標である、水素(H α)とカルシウム(Ca II 8542)の吸収線が示されています。これらの吸収線は、活動度が高いほど浅くなりますが、太陽の双子星と言われるほど太陽とそっくりな 18 Sco (さそり座18番星) とほぼ同じくらいになっています。

図4は鉄(Fe I 6213, 6215, 6216, 6219)の吸収線を示しています。これらの吸収線は 18 Sco のものとほぼ重なっています。もし連星系であれば、それぞれの星由来の2つの吸収線が見えることが期待されますが、その徴候はありません。また自転の速い星である場合、ドップラー効果でこの吸収線は広がるのですが、これも太陽と同じくらい(~2km/秒)であることがわかります。このことは、ケプラーデータの明るさの変化から求められた周期が正しいこと、及びこの星の自転軸が、太陽と同じように、視線方向とほぼ垂直であることを示します。さらに

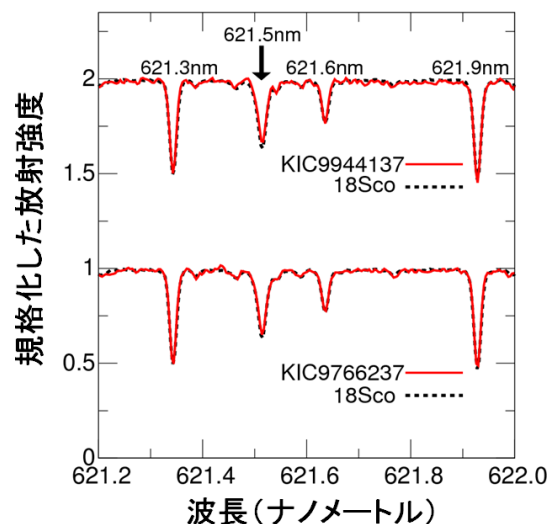


図4：鉄の吸収線。18 Sco とほぼ重なっています。これは太陽と同じように単独星である可能性を示唆し、太陽と同じくらいの自転速度で、太陽と同じくらいの鉄の含有量があることを示します。

これらの鉄を含むたくさんの金属の吸収線を合わせて調べることによって、温度や表面重力（半径の指標）、金属量を求めることもできます。温度については、両方の星とも太陽と100度程度以内の違いで、表面重力も20%以内の違いということがわかりました。金属量の太陽との違いも50%程度以内です。

さらに、我々の研究グループでは、Ca II 8542（電離カルシウム）の吸収線の深さから、星表面の平均的な磁場強度を見積もる手法を

開発しており（図5）、これによると2つの星とも平均磁場強度は $(1\sim 20) \times 10^{-4}$ テスラ（太陽は 1×10^{-4} テスラ程度）であると推定できます。図1の光度曲線の振幅が0.1%であることから、黒点の大きさは星表面の0.1%以上であることがわかります。平均磁場強度が 20×10^{-4} テスラであるとする、黒点内の磁場強度は最大2テスラにまでなることとなります。黒点内に磁場が閉じ込められるとすると、磁場強度は磁気圧とガス圧が釣り合うくらいまでしか大きくなることはできず、温度や表面重力が太陽とほぼ同じであるとする、黒点内の磁場強度は最大で0.3テスラくらいだと考えられます。この場合の黒点の大きさは星表面の1%程度ということになります。この大きさは、ケプラーデータの明るさの変化から考えられる黒点の大きさの下限値の10倍くらいとなりますが、星表面には黒点が散らばっていて、明るさの変化がそれほど大きくならないのかもしれない。太陽型星ではない、大きなフレアを起こす星では、大きな黒点が極付近にあっていつも見えていて、大きな明るさの変化を引き起こさない、という観測例もあります。

まとめると、今回報告する2星 KIC 9766137 と KIC 9944237 は、太陽と似たような自転周期、ほぼ同じ温度、表面重力、金属量を持ちます。また連星系をなしているという証拠はありませんでした。このように、太陽に非常によく似た星であると考えられますが、星表面の1%にもなる大きな黒点を持ち、太陽で観測された最大級のフレアの100倍程度のスーパーフレアを起こしたことになります（図6）。

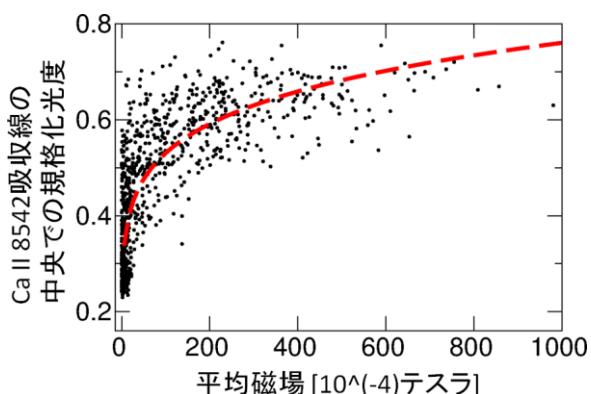


図5：Ca II 8542の吸収線の中央での規格化光度と平均磁場の関係。恒星表面での平均磁場が強くなると、Ca II 8542の吸収線が浅くなるという関係があります。

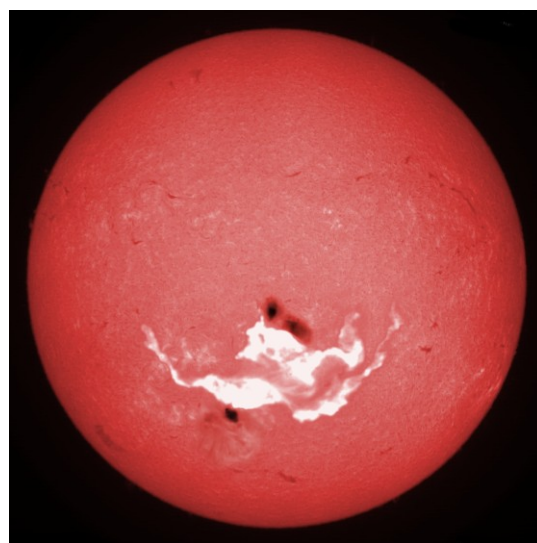


図6：H α で見たスーパーフレアが起こっている星の想像図。

これは、太陽でもスーパーフレアが起こりうるという仮説を支持するものです。

現在、京都大学を中心に、国立天文台、名古屋大学、(株) ナノオプトニクス・エナジーとの産学連携で、国立天文台岡山天体物理観測所の敷地に口径 3.8m の望遠鏡 (図 7) を建設する計画を進めており、平成 27 年に完成させ、さらに観測装置の開発を進めていく予定です (詳しくは

<http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/psmt/> を御覧下さい)。今後、すばる望遠鏡や、この 3.8m 望遠鏡を用いて、さらに詳しいスーパーフレア星の性質や黒点の分布や長期的な活動度の変化 (太陽では 11 年周期での活動度の変化が知られており、スーパーフレア星も非常に活発な時期のみスーパーフレアを起こすのかもしれませんが)、スーパーフレアの機構などを調べていきます。このことから、巨大なフレアが起こる条件や兆候についての知見が得られれば、太陽活動による人類社会への甚大な被害を防ぐことにつながると期待されます。

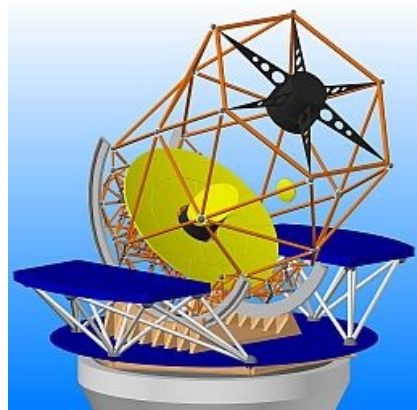


図 7 : 京大岡山 3.8m 新技術望遠鏡の完成予想図。

<用語解説>

吸収線 :

光源と観測者の間に、原子や分子が存在すると、その種類に応じて特定の波長の光を吸収してしまいます。このため、その波長での光の強度が減少してしまいます。波長スペクトルでは、その波長に対応する場所で暗い線となって観測されます。これを吸収線といいます。