

2016/9/7 @国立天文台三鷹
「2016年度岡山ユーズーズミーティング」

「3.8m望遠鏡＋可視高分散分光」 で挑むスーパーフレア研究

野津 湧太

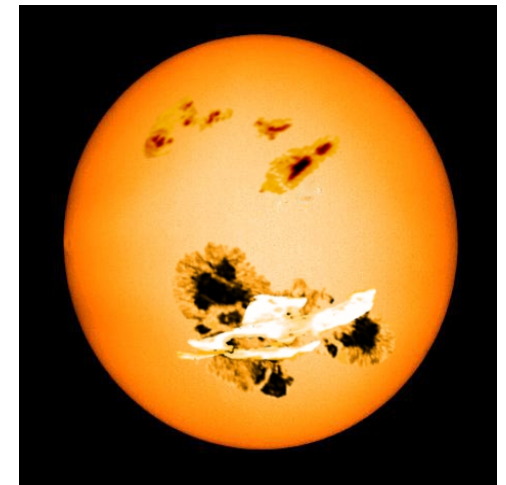
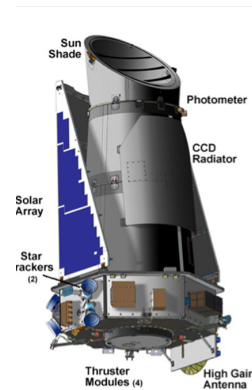
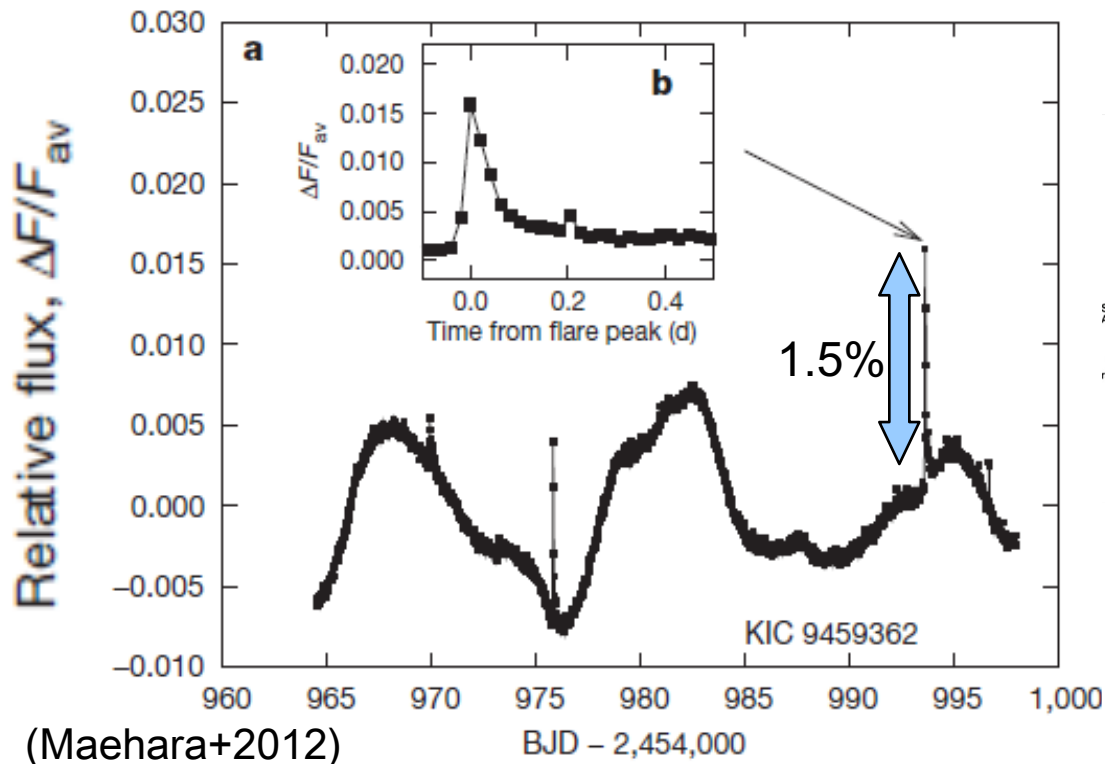
(京都大学 理学研究科 宇宙物理学教室)

前原裕之(国立天文台岡山), 本田敏志(兵庫県立大学)

野津翔太, 行方宏介, 幾田佳,
野上大作, 柴田一成 (京都大学)

太陽型星でのスーパーフレア

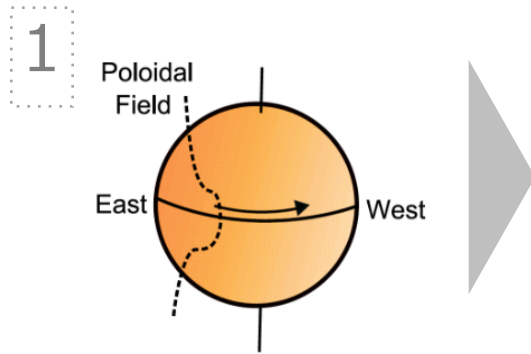
- ・ ケプラー宇宙望遠鏡データの解析 (Maehara+2012, Nature ほか)
⇒ **スーパーフレア** (最大級の太陽フレアの10–1万倍の巨大フレア)
を起こす太陽型星(G型主系列星)を**多数**(約300星)発見
- ・ 自転による準周期的な変光から、自転周期・黒点サイズを推定
⇒ 太陽のように自転が遅い単独星でも、**巨大な黒点**を持ち、
スーパーフレアを起こす星が存在!?



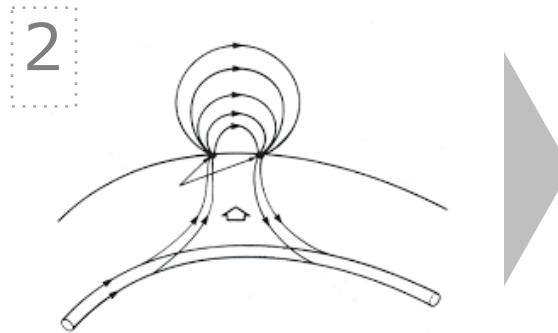
スーパーフレア星
想像図

スーパーフレア研究の残された課題

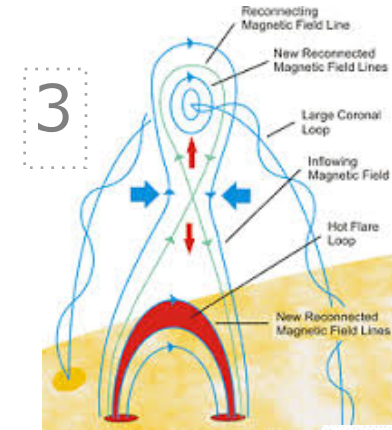
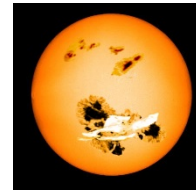
最終目標:「我々の太陽でスーパーフレアは起きうるのか？」



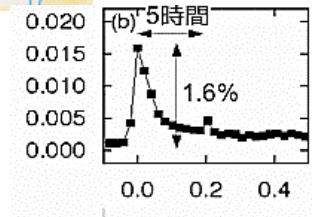
差動回転
(ダイナモ理論)



黒点の形成



磁場エネルギー
の解放



①スーパーフレアの**必要条件**
である、**巨大黒点の形成過程**

②フレア自体の分光観測
(**エネルギー解放過程の詳細**)

3.8m望遠鏡の可視高分散分光器を用いた
研究で、この2点に迫りたい。

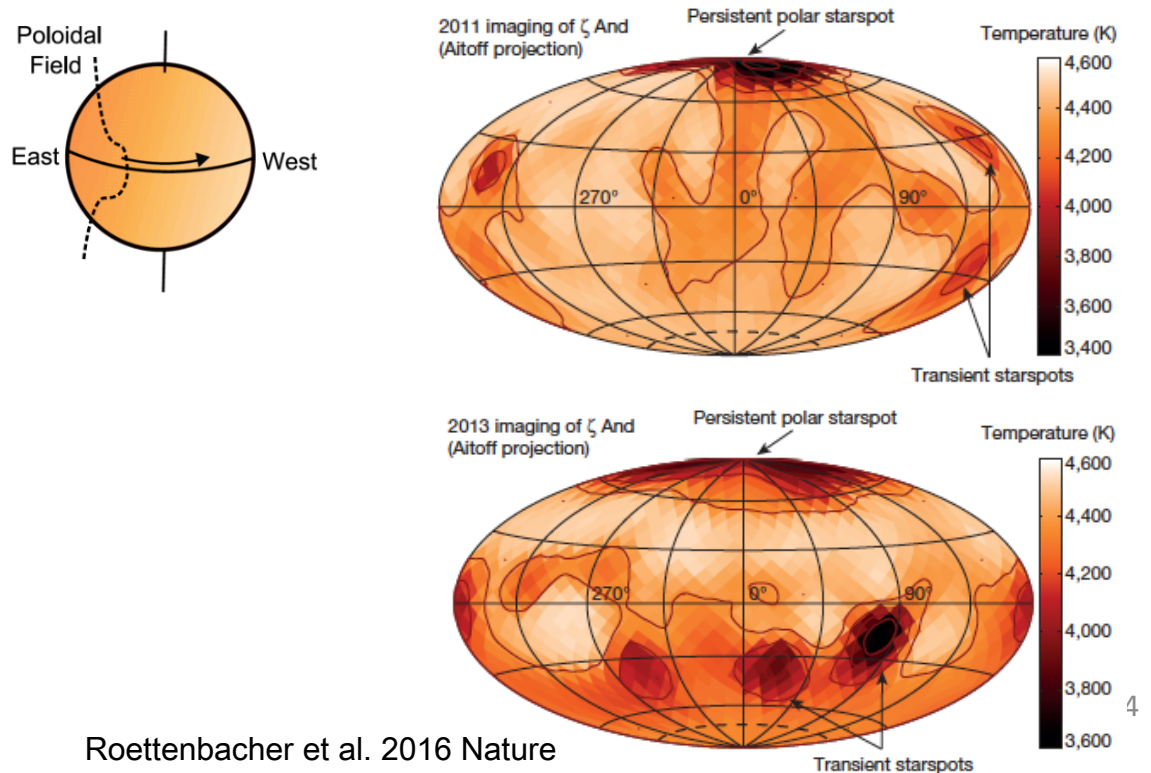
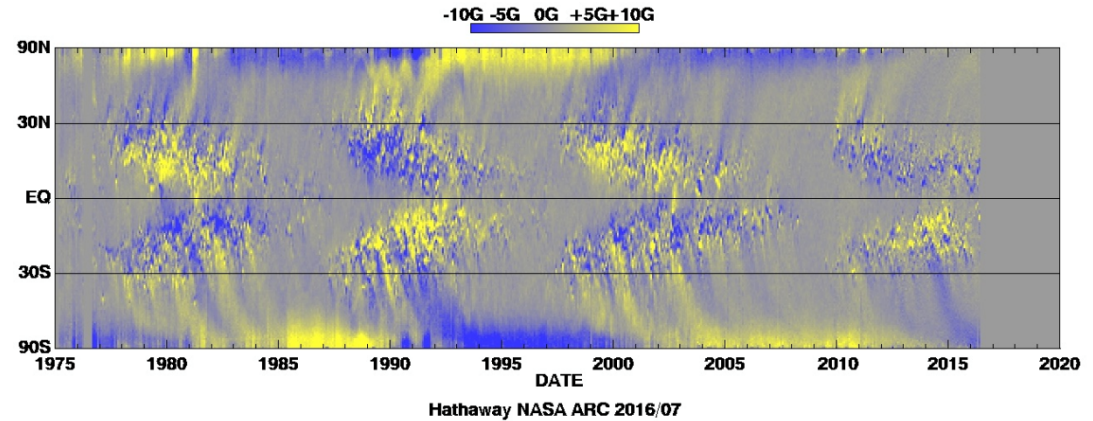
①スーパーフレアの必要条件である、巨大黒点の形成過程

[分かっていること]

- 個々の巨大黒点の**寿命**
- 11年周期のような**活動性長周期変化**の周期は？
- **差動回転**の大きさ
- 黒点分布(とその変化)
(polar spot?)

これらが、スーパーフレア星では、通常の太陽と、果たして同じなのか？

温度や自転周期への依存性はどうか？



巨大黒点形成過程に、3.8m望遠鏡でいかに迫るか？

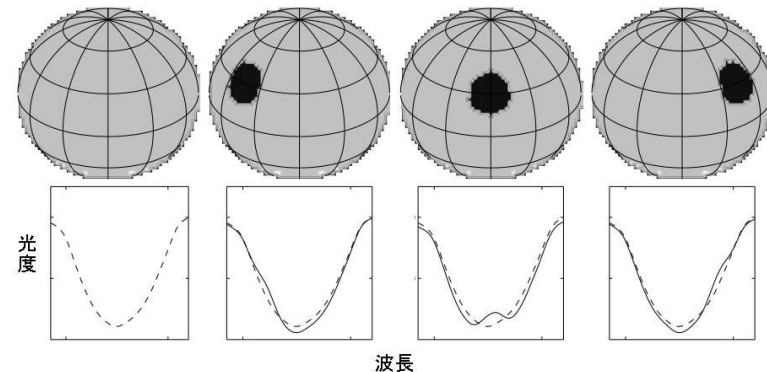
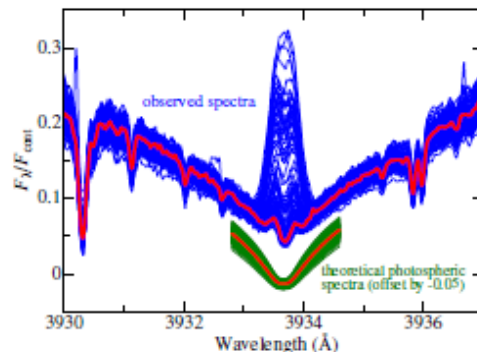
① 巨大黒点の寿命の検証

- ・ 巨大黒点星/スーパースペア星を数十星、(約一ヶ月おきに)モニタ観測
- ・ 彩層スペクトル線(Ca II線など。星全体の磁場の良い指標)の変化を捉えて、巨大黒点の生成・発展・消滅の過程に迫る。

② 「巨大黒点形成において、差動回転と自転のいずれが本質的に重要なのか？」という問いに答えを与える。

- ・ 差動回転の測定が容易な、自転が速い星で、この問いに迫る。
- ・ Profile の非対称性や、その時間変化から、差動度を導出
- ・ 活動性長期変化の中で、高緯度から低緯度への黒点の移動->差動回転の検出

Ca II K line
(Takeda+2012)



サイエンスに必要な観測データ

分光装置へのサイエンスからの要求

1. Ca II H&K(393.3, 396.8nm)と Ca infrared triplet (854.2nm)を同時に 取得可能な広い波長域
Ca II HK は弱い磁場の測定に適する、
Ca infrared triplet は強い磁場の測定に適する
2. 波長分解能10万
2km/s(太陽自転速度) 程度が検出可能

巨大黒点形成過程に、3.8m望遠鏡でいかに迫るか？

① 巨大黒点の寿命の検証

- ・ 巨大黒点星/スーパースペックル星を数十星、(約一ヶ月おきに)モニタ観測
- ・ 彩層スペクトル線(Ca II線など。星全体の磁場の良い指標)の変化を捉えて、巨大黒点の生成・発展・消滅の過程に迫る。

② 「巨大黒点形成において、差動回転と自転のいずれが本質的に重要なのか？」という問いに答えを与える。

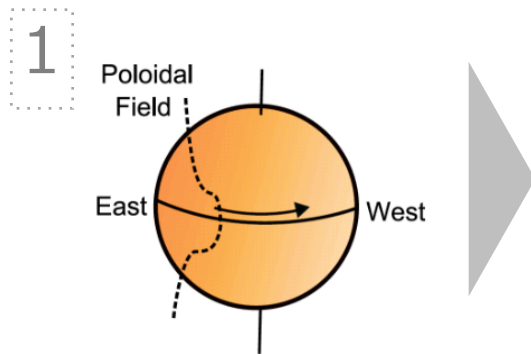
- ・ 差動回転の測定が容易な、自転が速い星でこの問いに迫る。
- ・ Profile の非対称性や、その時間変化から、差動度を導出
- ・ 活動性長期変化の中で、高緯度から低緯度への黒点の移動->差動回転の検出

・ 分光器が出来れば、今後20-30年以上にわたっての
長期変化の観測が可能となる。

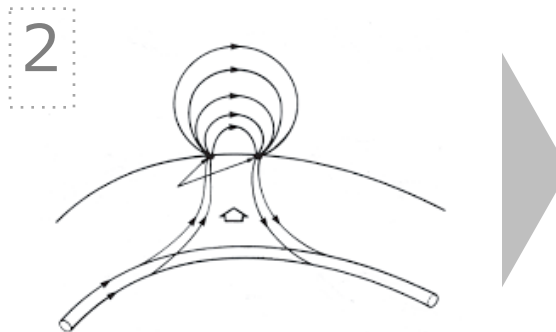
- ・ 初期の数年間の観測では、得られる結果は限定的かもしれないが、その礎となる。

スーパーフレア研究の残された課題

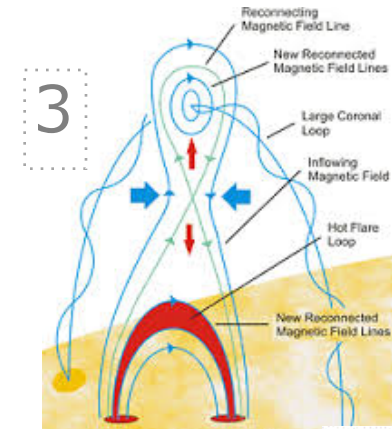
最終目標:「我々の太陽でスーパーフレアは起きうるのか？」



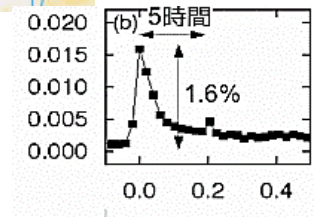
差動回転
(ダイナモ理論)



黒点の形成



磁場エネルギー
の解放



①スーパーフレアの**必要条件**
である、**巨大黒点の形成過程**

②フレア自体の分光観測
(**エネルギー解放過程の詳細**)

3.8m望遠鏡の可視高分散分光器を用いた
研究で、この2点に迫りたい。

②フレア分光観測(巨大黒点の観測と並ぶ2本柱)

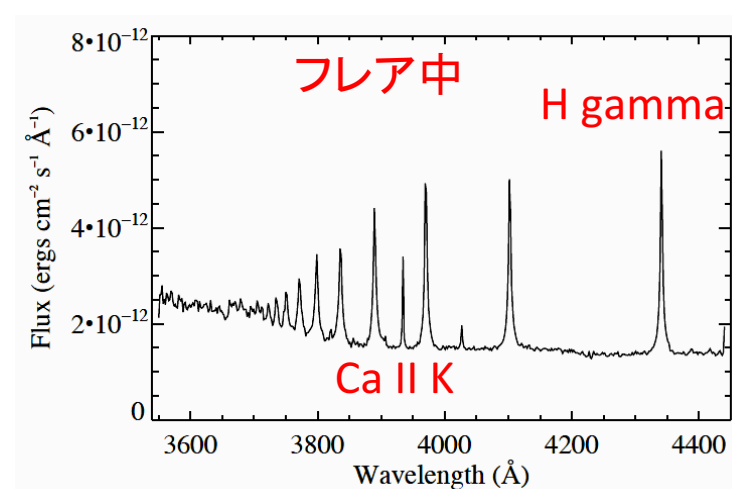
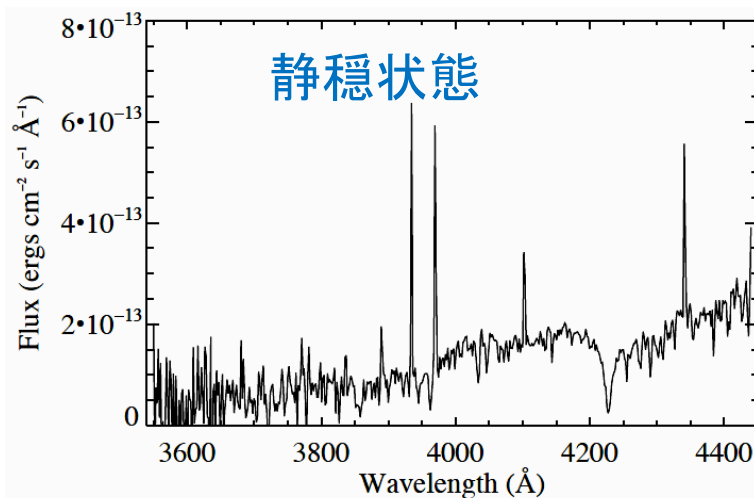
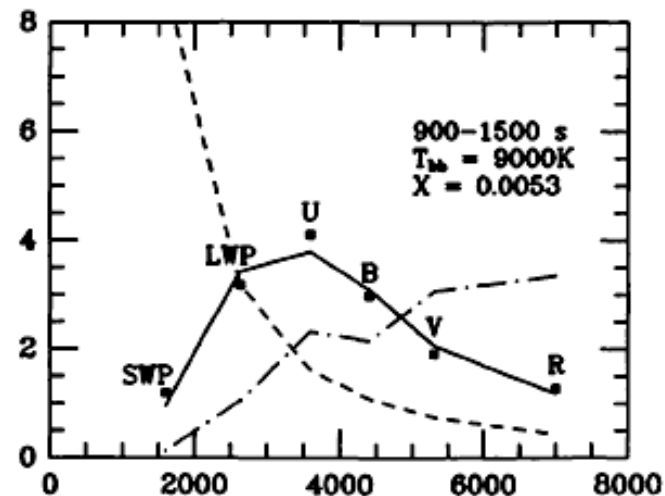
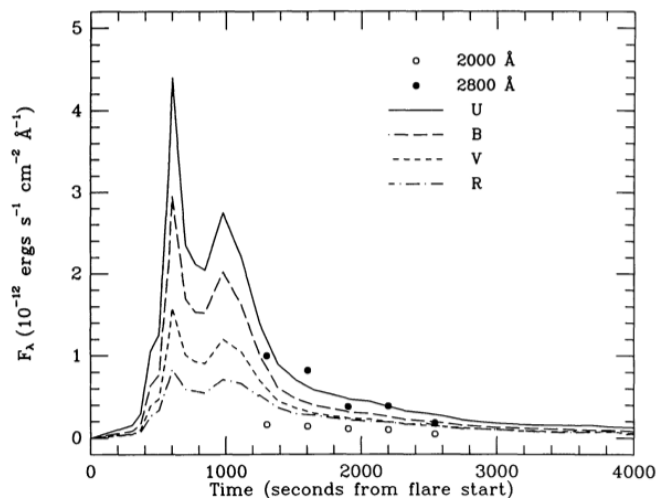
フレアのスpekトルの観測

—continuum成分

—彩層ライン(H Balmer, Ca II, He I/II)

M型フレア星
AD Leoでの、
測光+低分散
分光観測例

(Hawley&Pettersen 1991)



②フレア分光観測(巨大黒点の観測と並ぶ2本柱)

フレアのスペクトルの観測

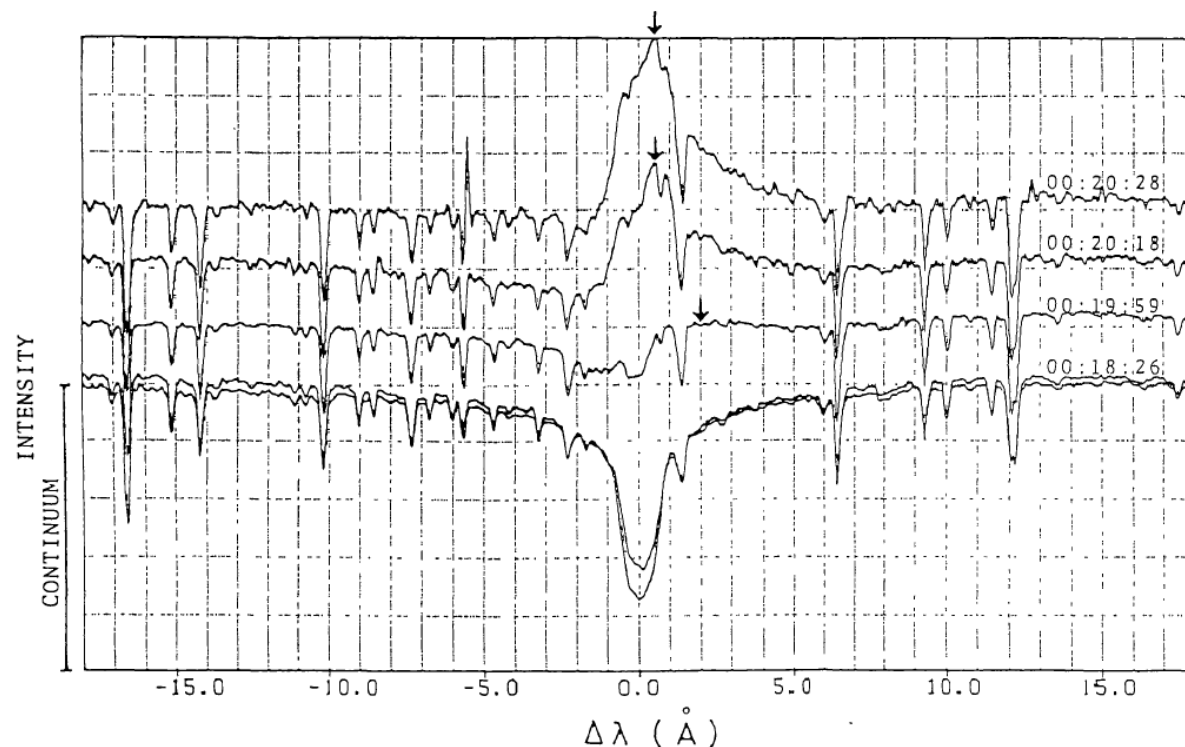
—continuum成分

—彩層ライン(H Balmer, Ca II, He I/II)

太陽フレアのH α 線観測例:

Ichimoto & Kurokawa
(1984)

フレア中のprofileに
Redshiftが見られる



②フレア分光観測(巨大黒点の観測と並ぶ2本柱)

[背景]

G型星でのフレア可視分光観測は、過去に全く例はない。

(M, K型星でも、限定された一部の天体のみで、決して多くはない(特に高分散は少ない)。
低分散も~40例程度)

[フレア分光で分かること]

特に彩層でのエネルギー解放や放射のメカニズム：

太陽との類似で議論されているが、どこまで同じかは全くわからない。

スーパーフレアは、太陽フレアの延長で理解可能か？？

・彩層輝線(H Balmer, Ca II, He I/II)

高分散分光で、詳細なProfileの変化(line毎の違いも)
downflow(redshift or blueshift??)の観測

・continuum成分の変化

フレアエネルギーの正確な推定等に重要

こちらは、低分散での分光観測や多色観測が有益

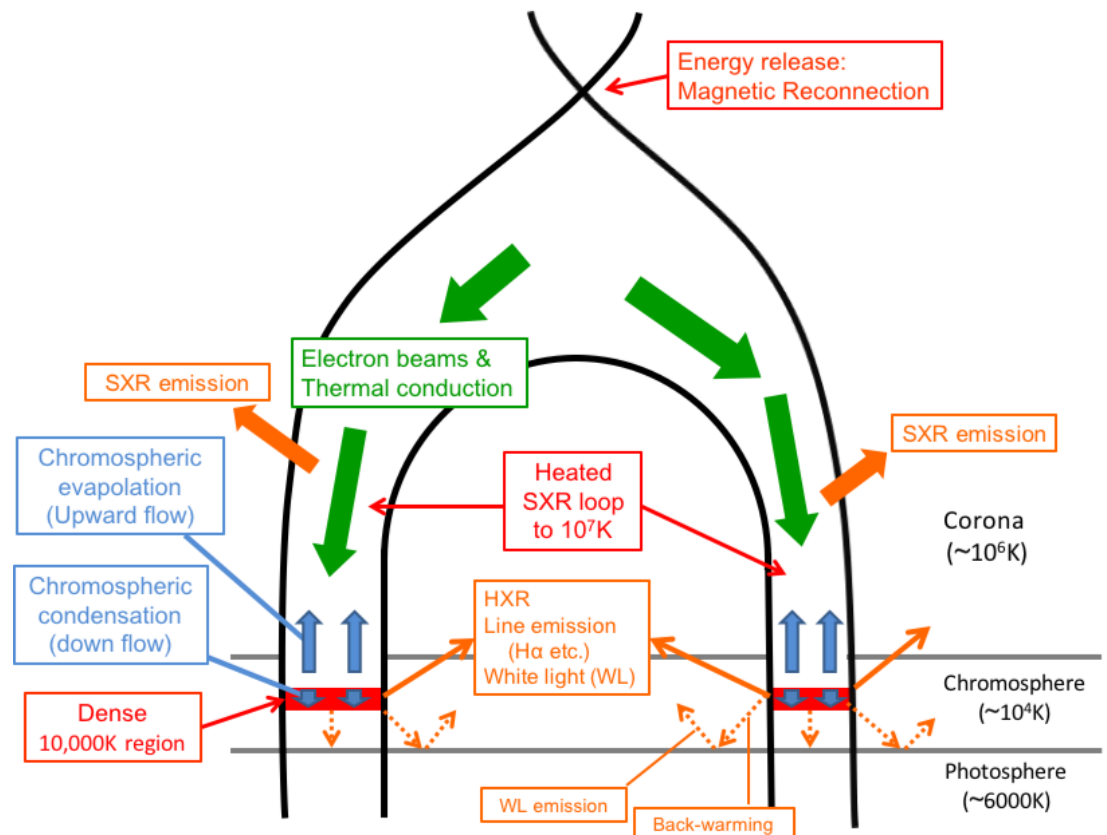
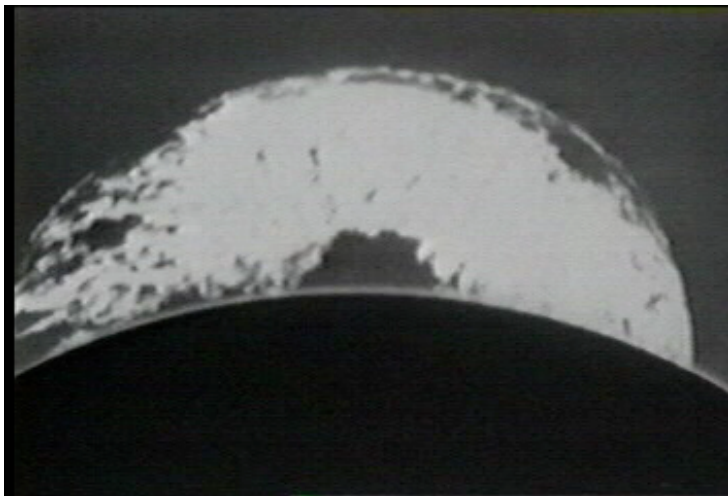
波及効果

フレアに伴う放射過程の理解(太陽型に限らず)

ー(系外)惑星大気への影響を考える上で、重要なデータを提供？

ースーパーフレアに伴う、紫外線・高エネルギー粒子の状態に制限

ーフレアに伴う質量放出現象(cf. **Prominence eruption** 速度～数100km/s??)に、
何らかの制限を付けることはできないか？ (ー>前原さんshort talk)

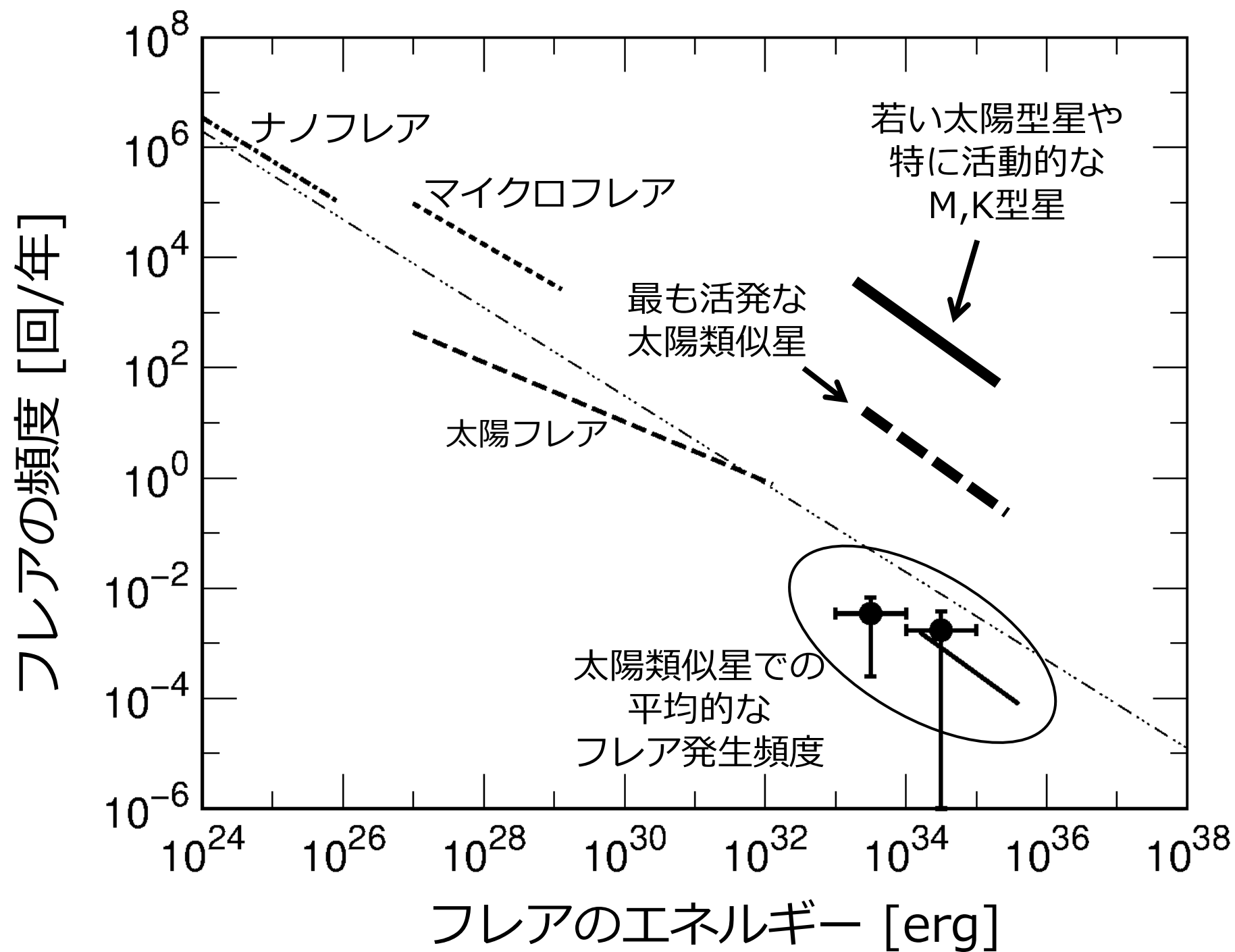


[フレア分光観測計画]

- ・自転の遅い、太陽類似星である必要性はないので、フレア観測の容易な、若い太陽型星及び特に活動的なM, K 型星計数天体を対象とする

10^{34}erg フレア --> 1年に1000回 --> 1日に数回

10^{35}erg フレア --> 1年に100回 --> 3-4日に1回



[フレア分光観測計画]

- ・自転の遅い、太陽類似星である必要性はないので、フレア観測の容易な、若い太陽型星及び特に活動的なM, K 型星計数天体を対象とする

10^{34}erg フレア--> 1年に1000回 --> 1日に数回

10^{35}erg フレア--> 1年に100回 --> 3-4日に1回

数週間の連続観測によって、フレアを検出可能
(集中的に時間を投下できるのは京大3.8mの強み)

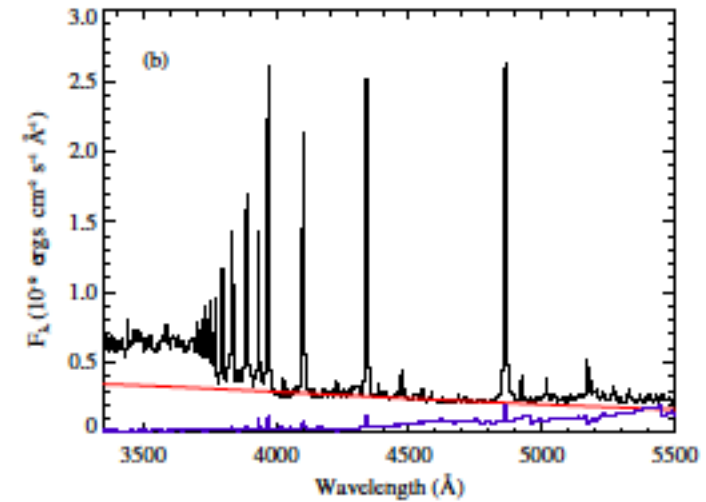
○3.8mの高分散分光では、沢山の彩層ラインが見えるのが良いので、波長域が広いことが望ましい。つまり現状の分光器に対する要求と変わらない。

○フレア分光に追加して、多色測光望遠鏡(口径50cm程度)も、高分散分光器予算の枠内で導入し、同時観測を狙う。測光では、3.8m分光していない時も観測星を測光観測し、黒点の変化や、フレア頻度などの情報を集める。

(可能ならば、ガンマ線バーストみたいにアラートをかける使い方もありうるかも。
まずは対象天体を一晩中分光モニタし続ける観測でフレアの検出を狙う)

[高分散分光器ができるまで]

- 低分散分光器KOOLSを用いた分光観測
- 1か月の連続観測など
- 右のような低分散分光が可能
(ただし、Balmer jumpは波長範囲外)
→continuum, lineの観測
- KOOLSでの観測時までに、
測光望遠鏡も設置して、同時観測を行う。



↑Kowalski+2010
APO3.5mで
R ~ 625 (at 4000)
R ~ 980 (at 6563)

グリズム	No. 2	No. 5	VPH495	VPH683
ファイバー本数	127本			
1ファイバーの 視野	0.91'' (直径)			
全ファイバー での視野	14.8'' (直径)			
観測可能波長	5020— 8830 Å	4030— 7310 Å	4160— 6000 Å	6150— 7930 Å
波長分解能 ($\lambda/\Delta\lambda$)	600—850	350—600	1000— 1300	1000— 1300
最大 スループット	6.7%	4.4%	6.7%	N/A

<-- KOOLS-IFU 予想性能
(9/2(金) 高分散分光WSでの
松林さんスライドより)

その他

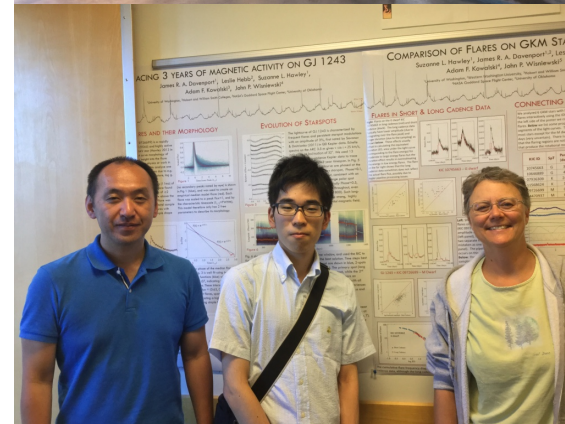
フレア分光観測計画については、Apache Point Observatory(New Mexico, USA)のグループと、将来的な共同観測の可能性を議論している。

時差16時間 --> アメリカ・日本(岡山)の順で、**1つの星を連続分光観測**

3.5m望遠鏡[(低分散分光器/高分散分光器($R \sim 31500$, 可視全域)]と
0.5m&1mの測光望遠鏡

(日本から)リモート観測可能

先月、高分散分光器を用いた観測のため訪問



3.8m望遠鏡高分散分光器での スーパーフレア研究

○フレア自体の時間分解能分光観測 (まず最初に)

- ・高分散分光で彩層線profileの詳細変化
- ・低分散分光(KOOLS)や多色測光望遠鏡も取り入れる。

○巨大黒点・活動性のモニタ観測

- ・「黒点の寿命の検証」
- ・「巨大黒点形成において、
差動回転と自転のいずれが本質的に重要なのか？」
- ・今後20-30年にわたる長期観測の始まり。

偏光分光が出来れば：Ca II 線等だけでなく、磁場強度の直接観測も