

恒星活動性の研究に向けた H α / Ca II HK線専用 中分散分光器MIDSSARの開発

野上大作(京都大学)

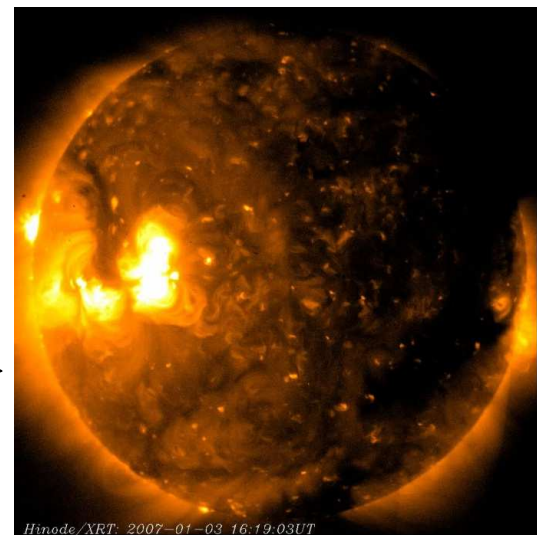
我々は恒星の活動性、特に磁気活動性の解明に向けて、 $H\alpha$ / Ca II HK線専用中分散分光器(※)を開発している。本講演では、その科学的な狙いと装置概要、進捗状況と今後について紹介する。

※MId Dispersion Spectrograph for Stellar Activity Research = MIDSSAR

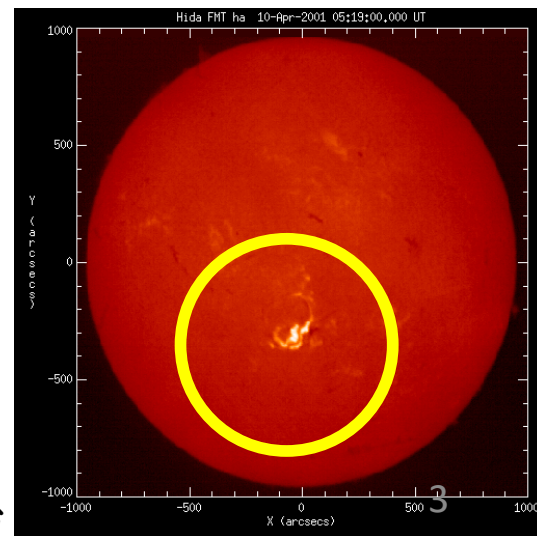
1. 科学的な狙い

1-1. 太陽フレア

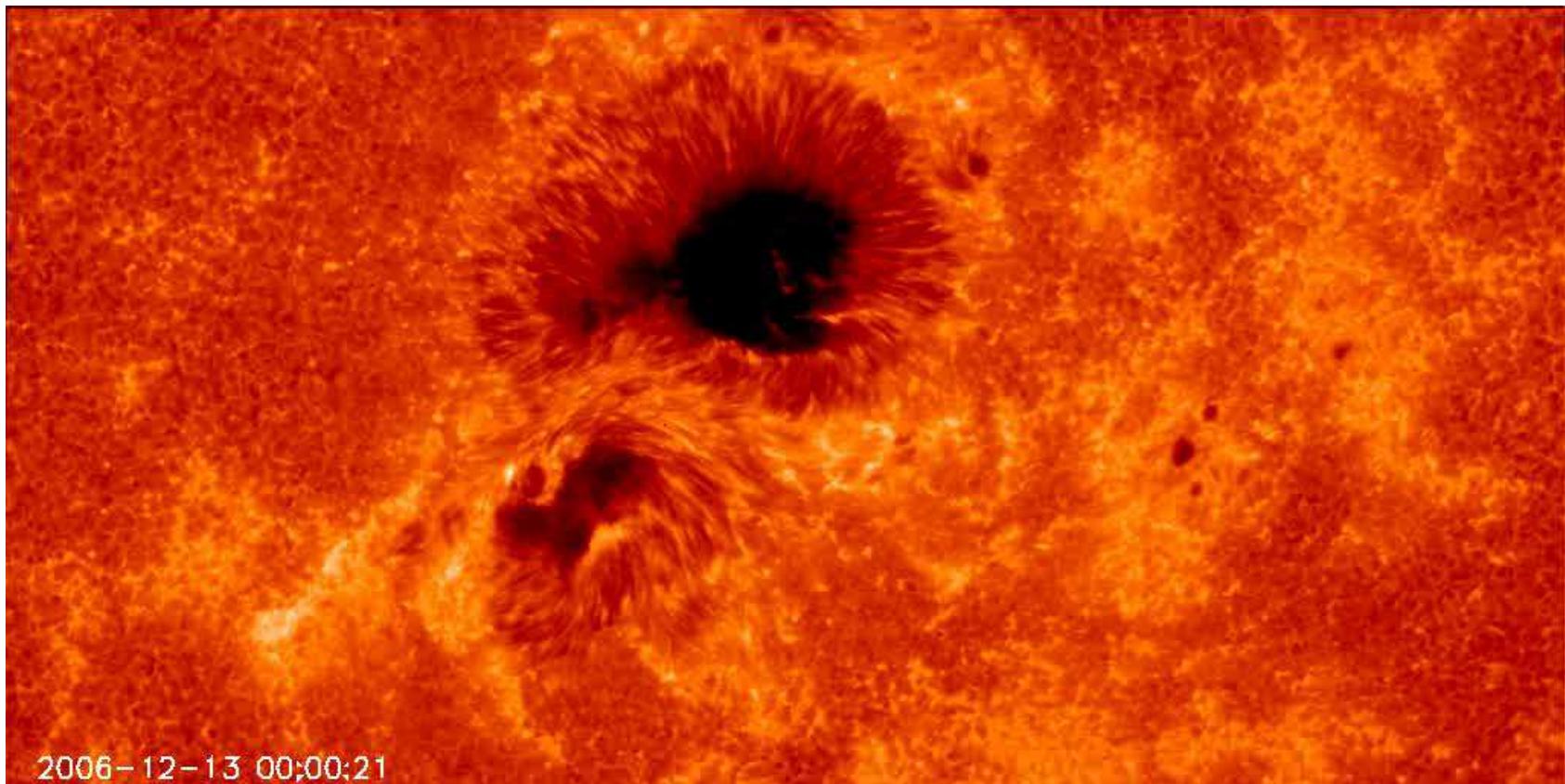
- 太陽表面で起こる最もエネルギーの大きな爆発現象
- X線～可視光～電波まで全ての波長で観測される
- 時間尺度：分～時間
- 黒点周辺に蓄えられた「磁気」エネルギーの開放
- 全エネルギー： 10^{29} – 10^{32} erg



ひので衛星で見た軟X線
(1 keV)での太陽(JAXA/ISAS)



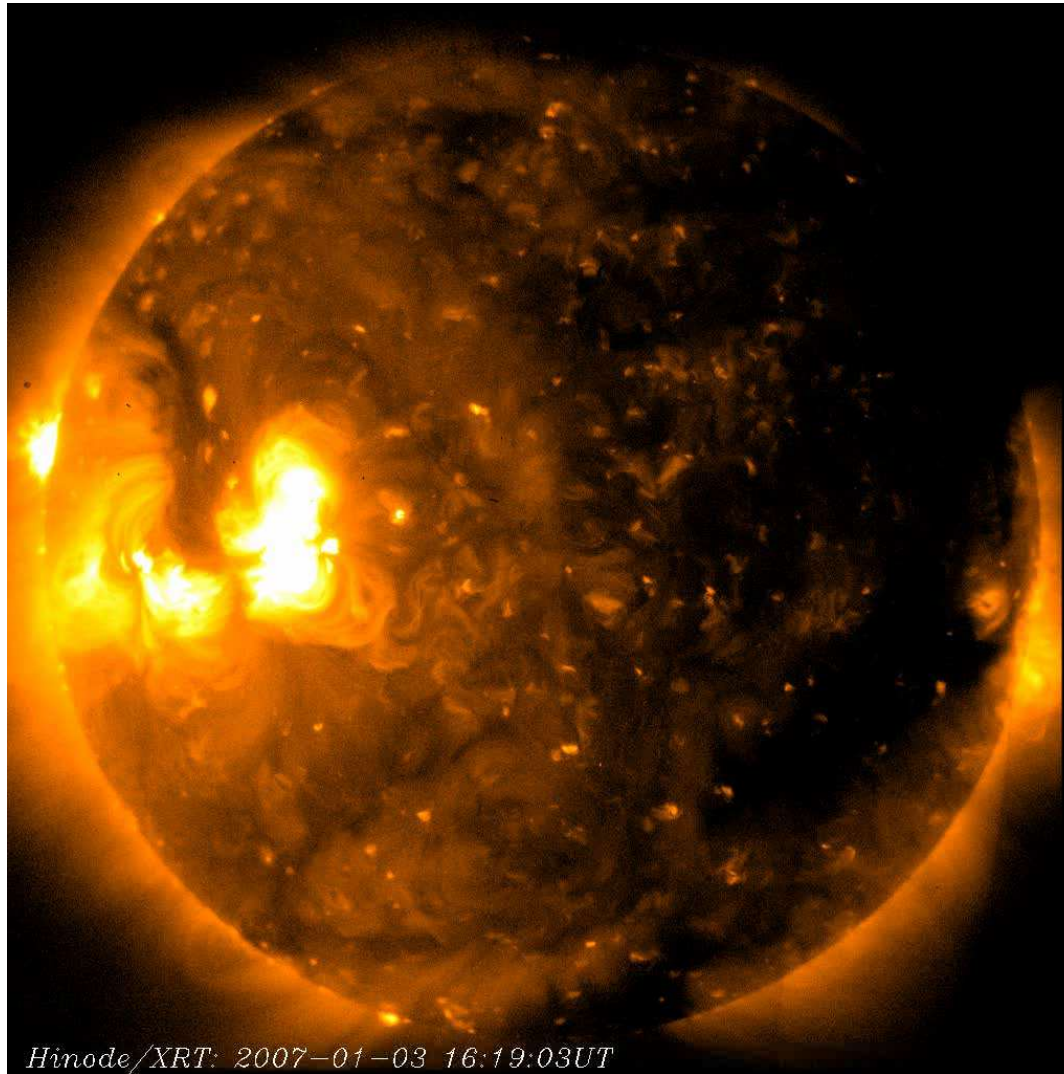
H α で見た太陽
@京都大学飛騨天文台



(C) 国立天文台

太陽観測衛星「ひので」で見たCa II線での太陽フレア
黒点のクローズアップ動画

太陽では至る所で爆発が起こる！



太陽観測衛星
「ひので」で
X線で見た太
陽。爆発(フレ
ア)が起こっ
ている場所が
光って見える。

Hinode/XRT: 2007-01-03 16:19:03UT

(C) JAXA/ISAS

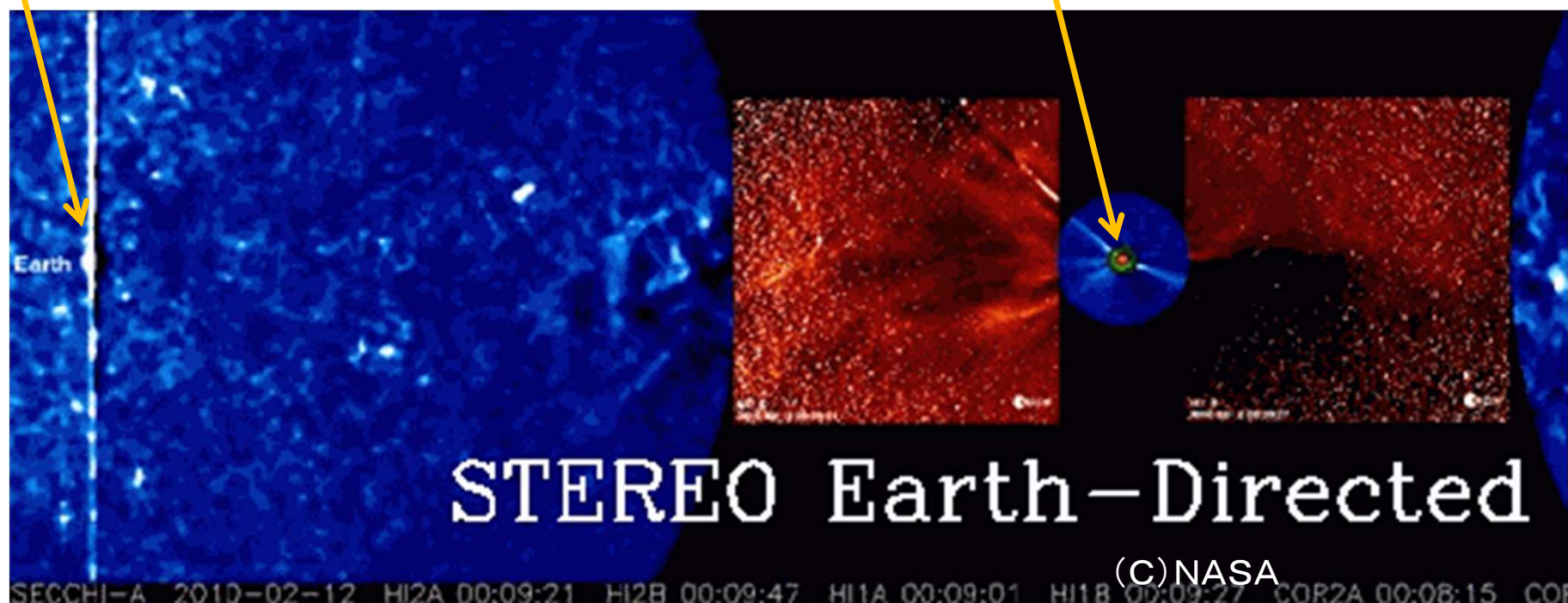


(C)NASA

2011年6月
7日に紫外
線で観測さ
れた太陽
フレア

地球

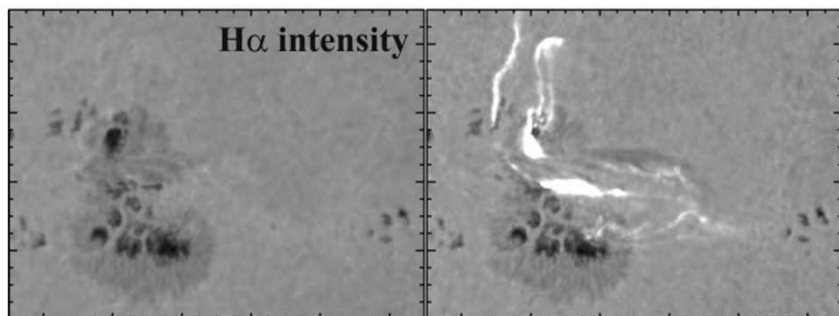
太陽



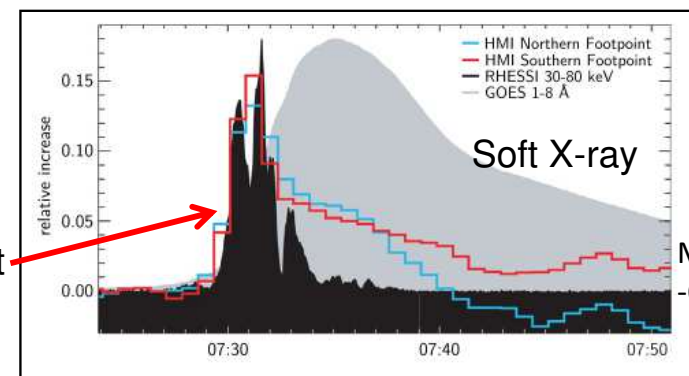
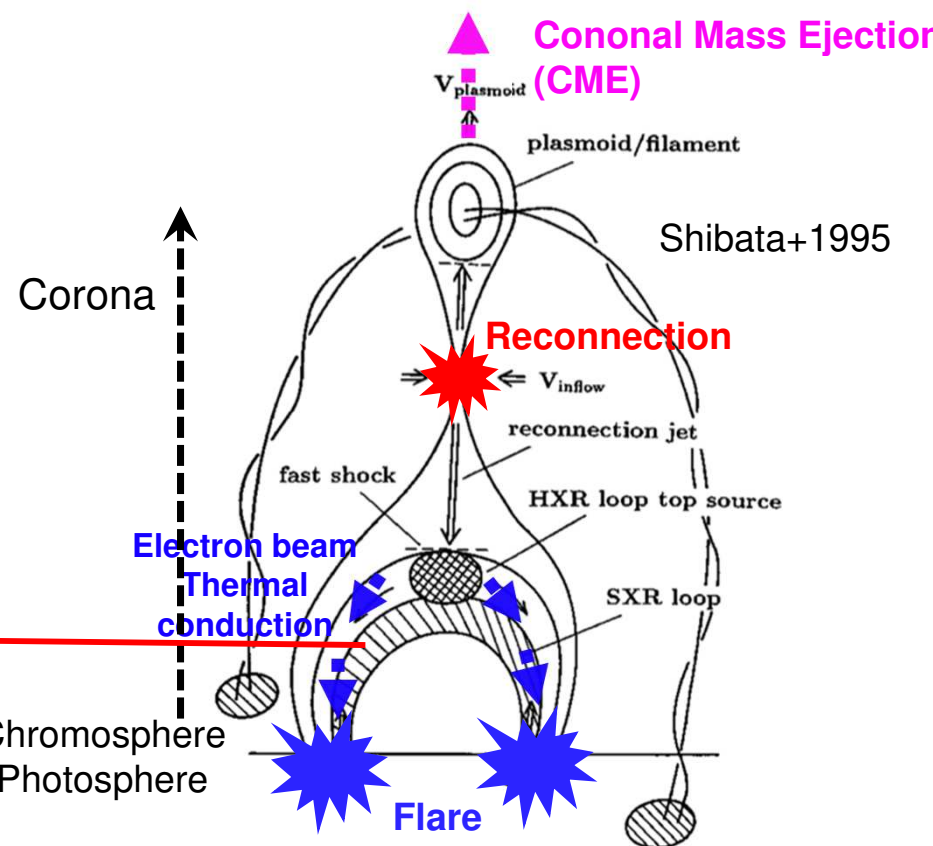
太陽フレアで放出された大量の物質、放射線、
高エネルギー粒子が惑星間空間を飛んでいく
→ 地球環境への影響！

Solar flares

- Large eruptive events in the solar atmosphere
- Observed in various wavelength
 - Radio, optical, UV, SXR, HXR, high-energy particles



Kawate et al. 2016 (a different flare)



太陽黒点

- 単純な形(α 型)から複数の黒点(β 型)、さらに複雑な黒点(δ 型、 $\beta\gamma\delta$ 型)まで、いろいろな形のものがある。
- 磁力線の形の複雑さを表していると考えられ、複雑な形のものほど大きなフレアを起こす可能性が高い(Sammis et al. 2000)。

➡ということはスーパーフレアを起こす星は非常に複雑な形の黒点???

しかし、恒星で黒点の形を分解するのは不可能。。。

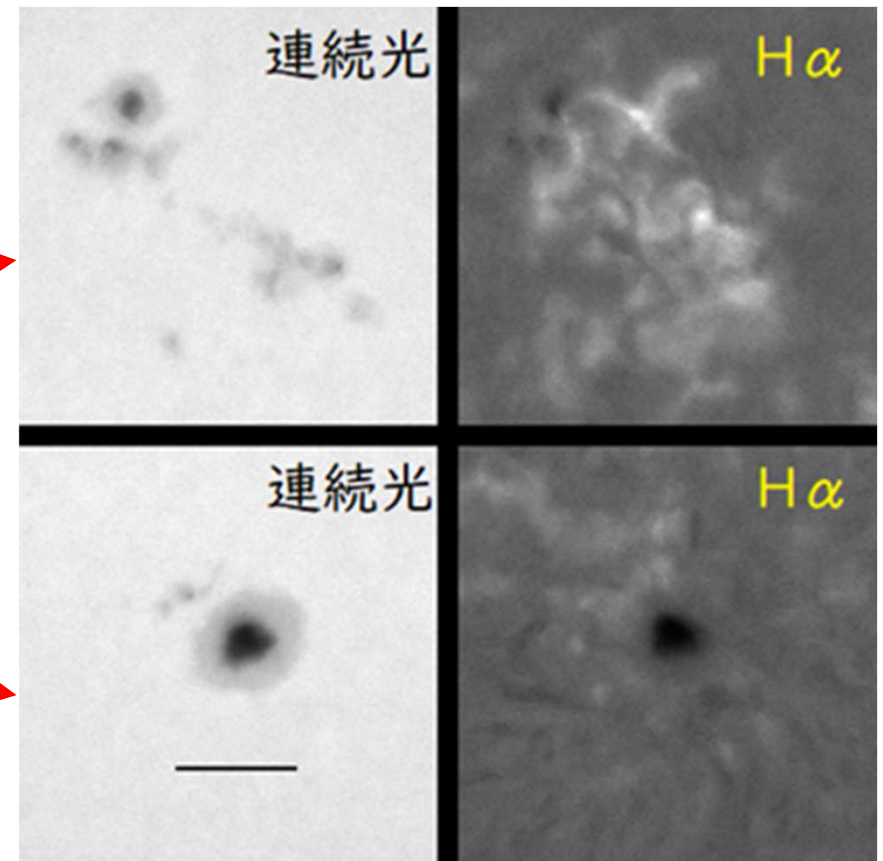
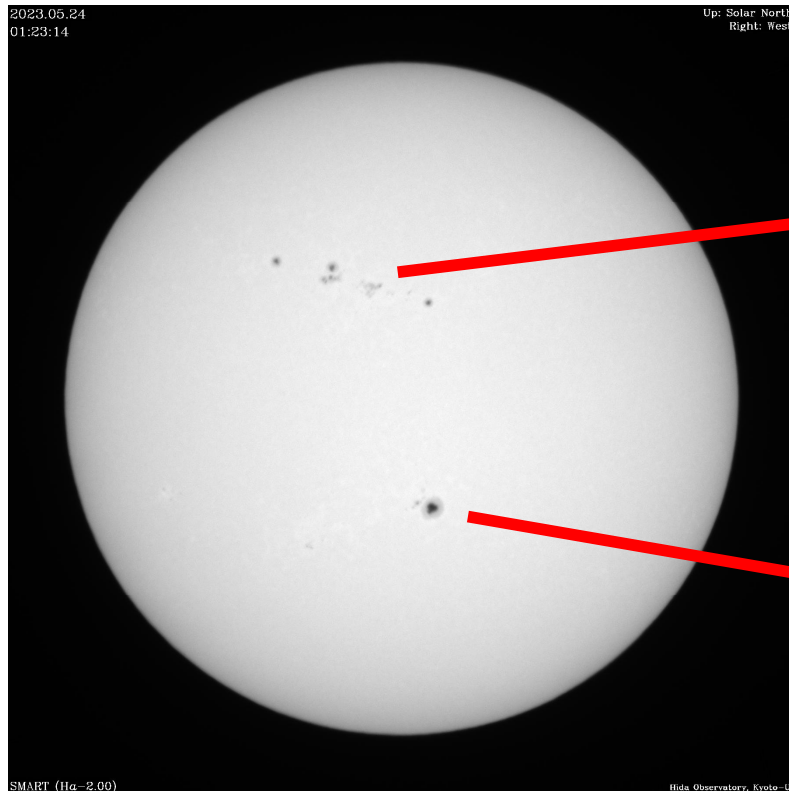
Afwaman, 2003

UNIPOLAR GROUPS	ALPHA (α)	
	ALPHA p ($\alpha\rho$)	
	ALPHA f (αf)	
BIPOLAR GROUPS	BETA (β)	
	BETA p ($\beta\rho$)	
	BETA f (βf)	
	BETA - GAMMA ($\beta\gamma$)	
COMPLEX GROUPS	GAMMA (γ)	
	GAMMA - DELTA ($\gamma\delta$)	

WEST

EAST

連続光・H α とフレア

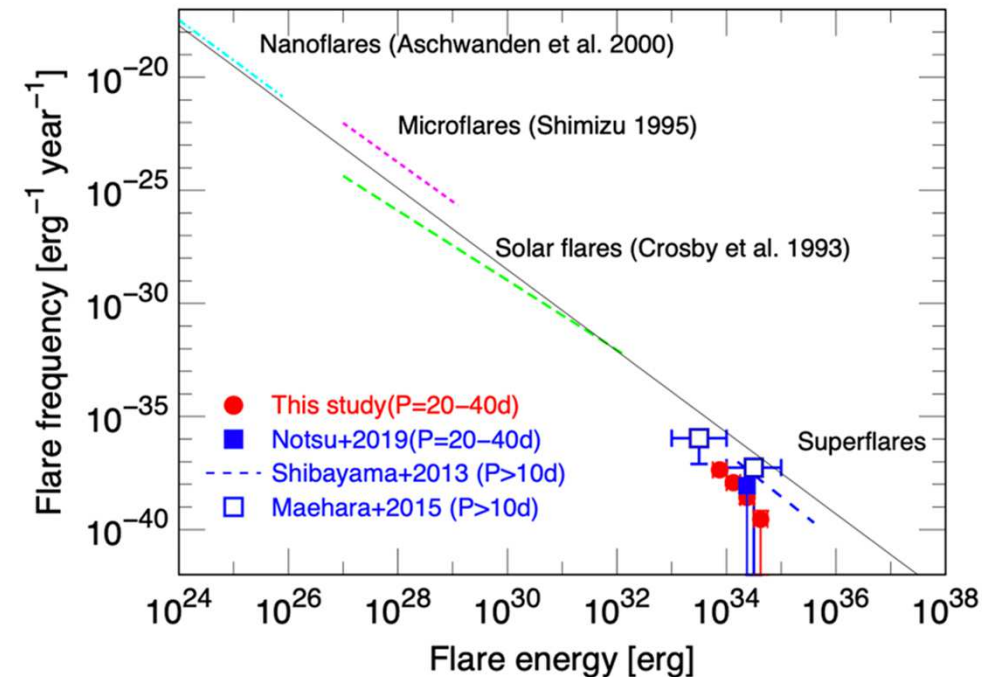


- 2023年5月24日に飛騨天文台で観測された2つの黒点。連続光ではどちらも似たような大きさだが、上の黒点は大きなフレアを頻発し、下の黒点ではフレアらしいフレアは起こらなかった。
- H α 像では強度に明確な違いが見られる。

1. 科学的な狙い

1-2. 恒星スーパーフレア

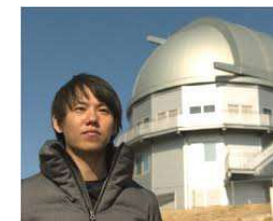
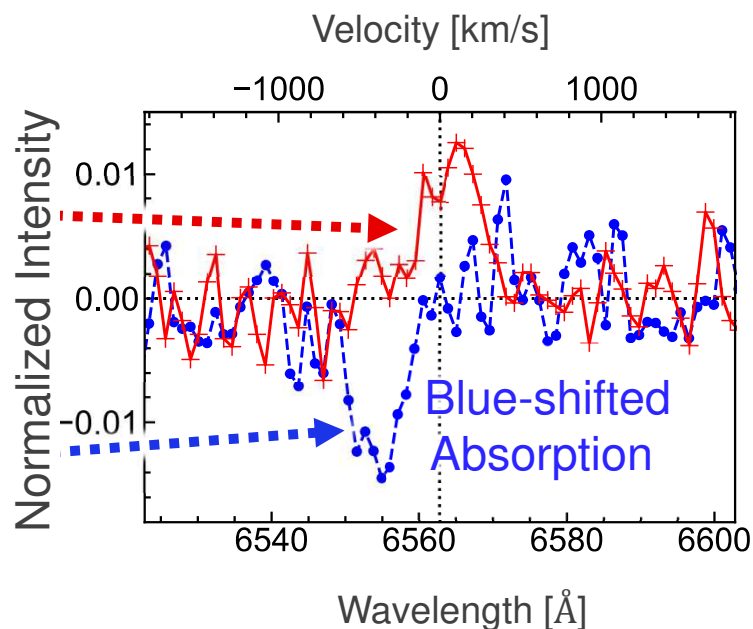
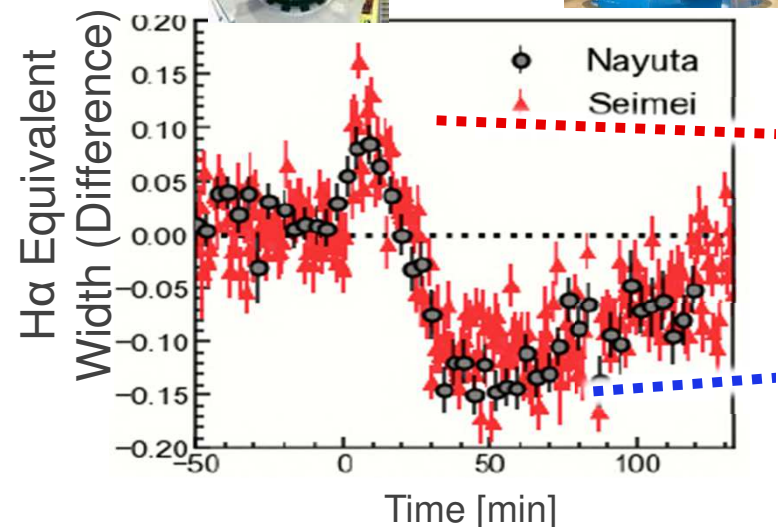
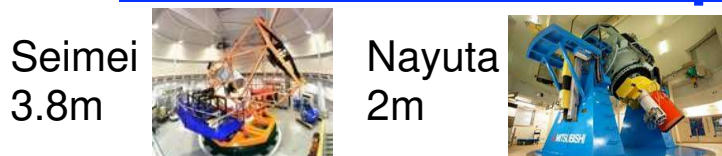
- Schaefer らにより2000年台始めあたりに、太陽に近い型の恒星で、**最大級の太陽フレアよりエネルギーが10倍以上大きな($>10^{33}$ erg)のフレア**が捉えられている可能性が指摘された。
- Maehara et al. (2012)でKeplerデータを使い、初めて太陽型星で疑いようのないスーパーフレアを**多数**発見。
- 頻度が太陽フレアの延長線上に乗る！



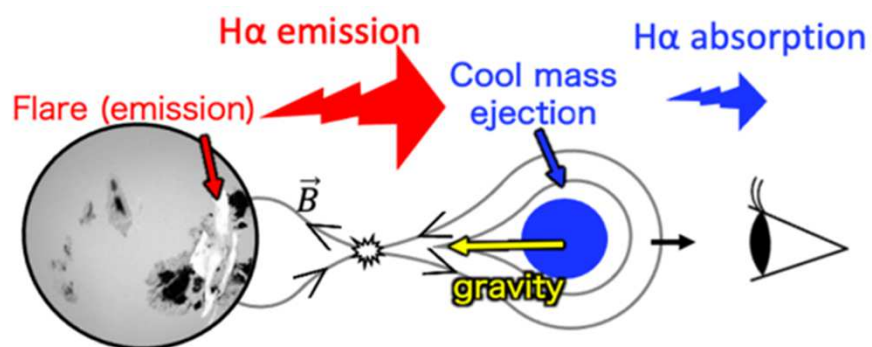
Okamoto et al. 2021

Blue shifted absorptions during a flare on young solar-type star

Namekata et al. 2022 Nature Astronomy



©NAOJ

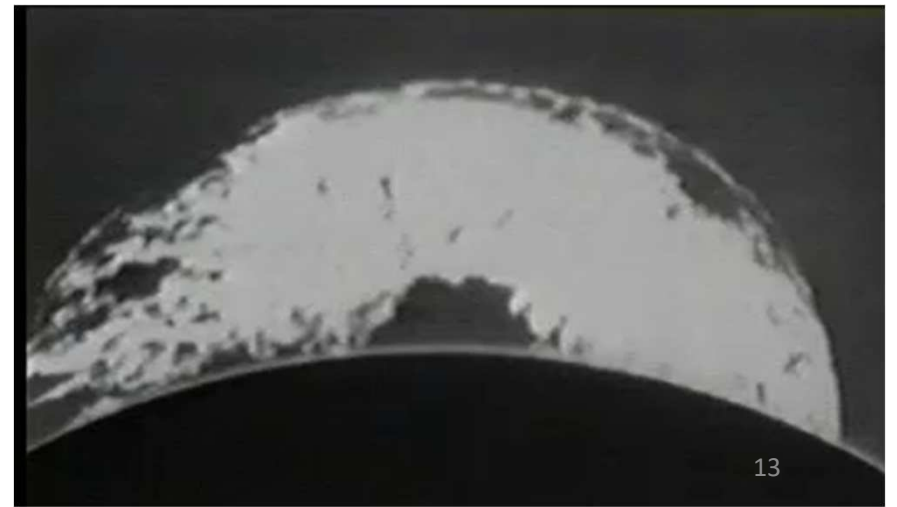


First detection of a possible mass ejection on solar-type (G-dwarf) stars !

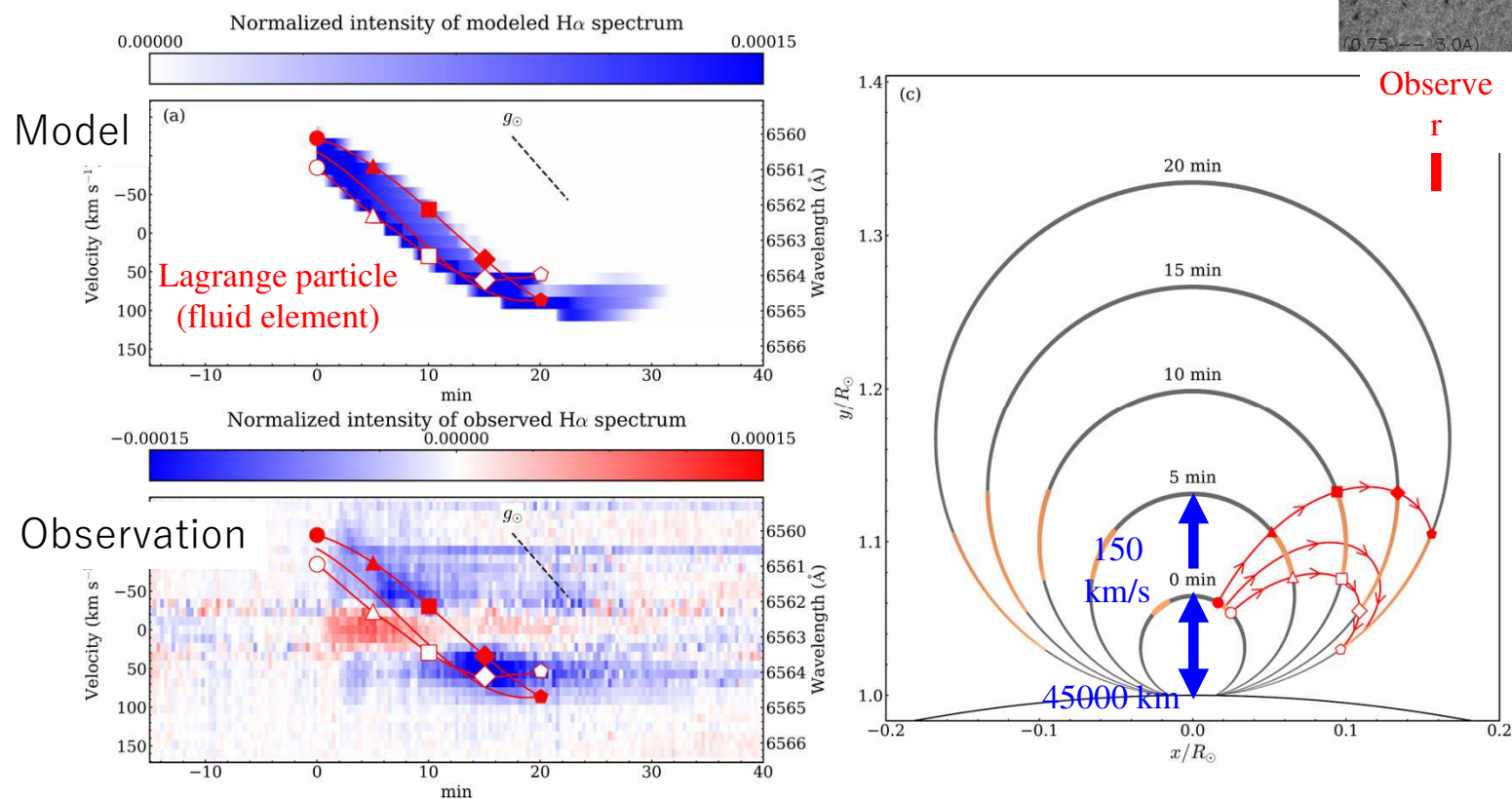
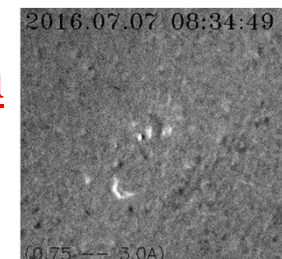
More events and simultaneous multi-wavelength (H α /TESS/X-ray) investigations by Namekata et al. 2024a&b

その後、我々のグループでせいめい望遠鏡他を用いた分光観測(+測光観測+多波長観測)で、特にH α 線のプロファイルを利用したフレアに伴う質量放出現象について様々な研究を行なっている。このUMでは、行方さん、梶木屋さん、市原さんの講演をご参照ください。

さらに、そのプロファイルの変化を質量放出現象のモデルで説明できるか？という試みも行なっている。



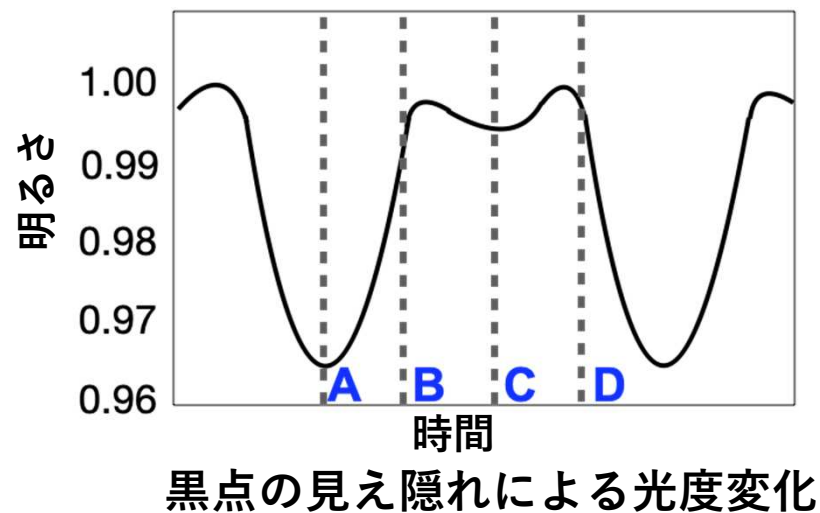
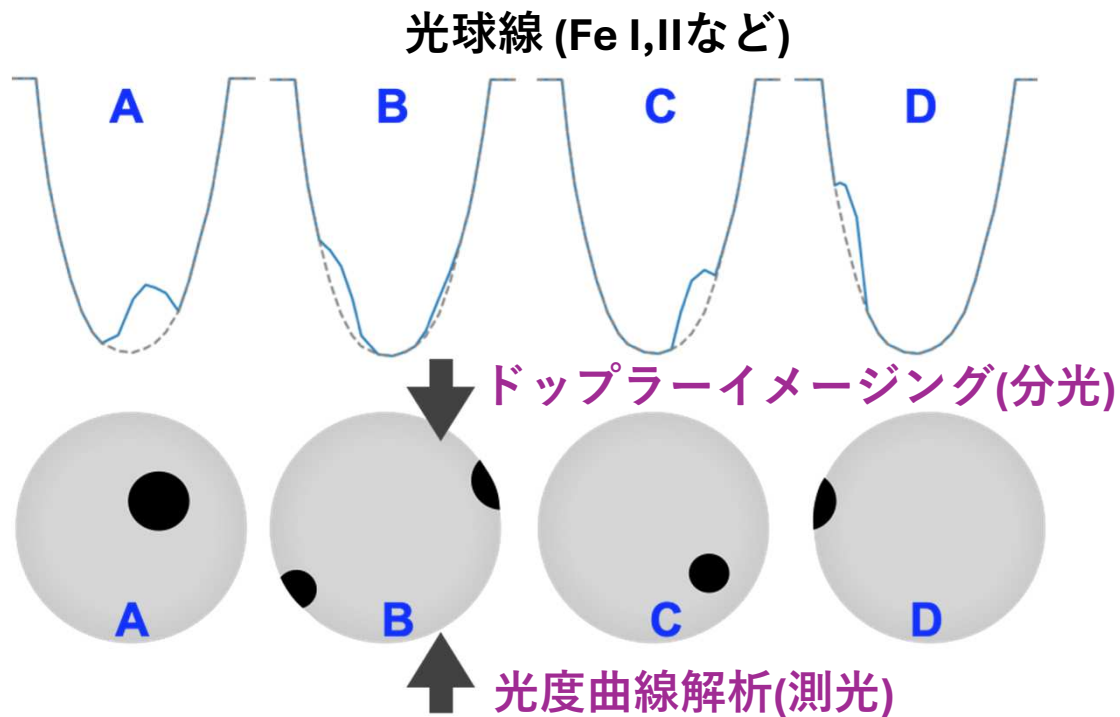
Comparison between Modeled and Observed Dynamic Spectrums of **solar filament eruption** (Ikuta and Shibata 2024, ApJ (March 1))



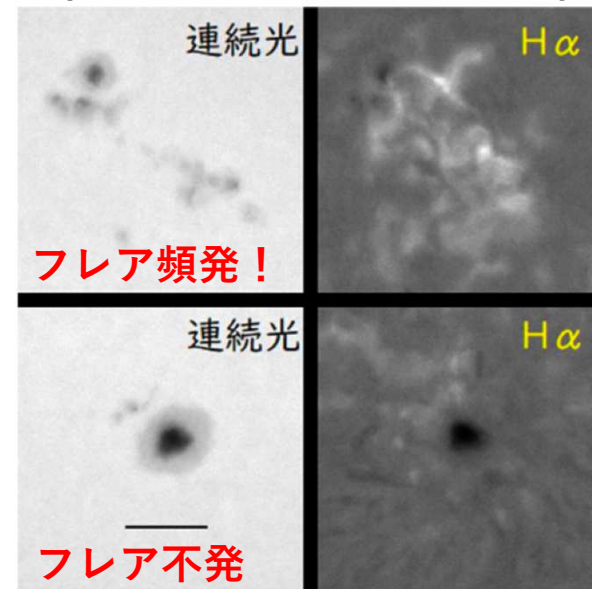
1. 科学的な狙い

1-3. 恒星スーパーフレア研究の次の展開

- これまで別の研究グループで行なわれてきたFe I,IIなどの光球由来の吸収線を使って恒星表面の温度分布を調べる方法(Doppler Imaging)+我々のグループで進めてきたKepler/TESSなどの高精度光度曲線から黒点の分布を調べる方法(Spot Mapping; Ikuta et al. 2020,2023; 幾田さんの講演)を融合して、より高精度に恒星表面の輝度分布を調べる方法を開発！(Lee et al. 2025, submitted to A&A)
- さらに $H\alpha$ /Ca II HKの彩層線のデータと組み合わせれば、黒点の複雑さもわかる！？
- 観測中にフレアが起これば、黒点とフレアの関係も明らかにできる！



彩層活動性の違い
(太陽での2つの黒点群の例)



測光観測 + 分光観測

- 黒点マップ + フレア解析
- 相関 + モデリング



スーパーフレアの機構と
予兆現象の解明!

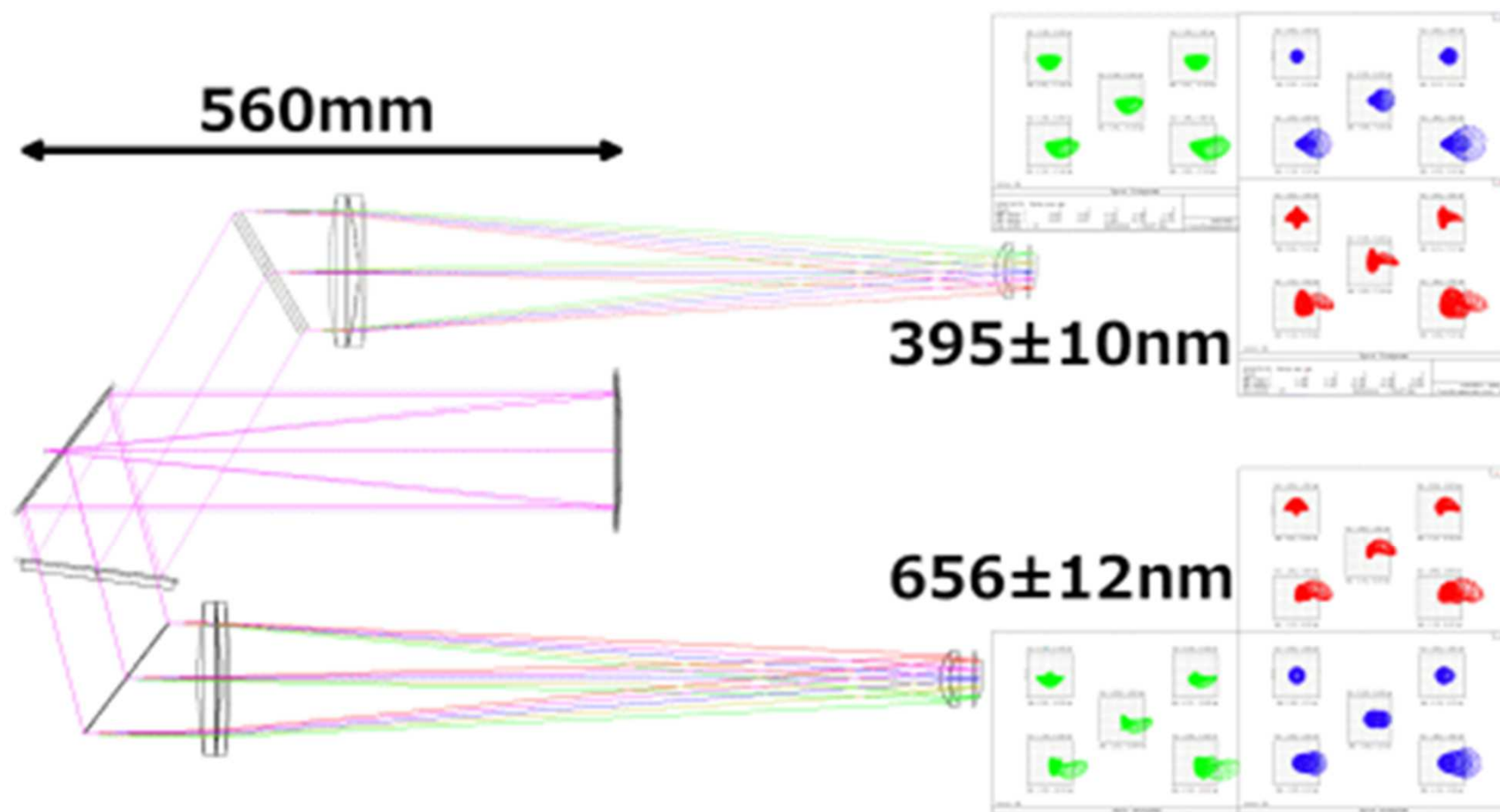
2. 装置概要

1. Fe I,II でドップラートイメージングができる分光器
2. $H\alpha$ と Ca II HK の数10km/秒を分解できる分光器

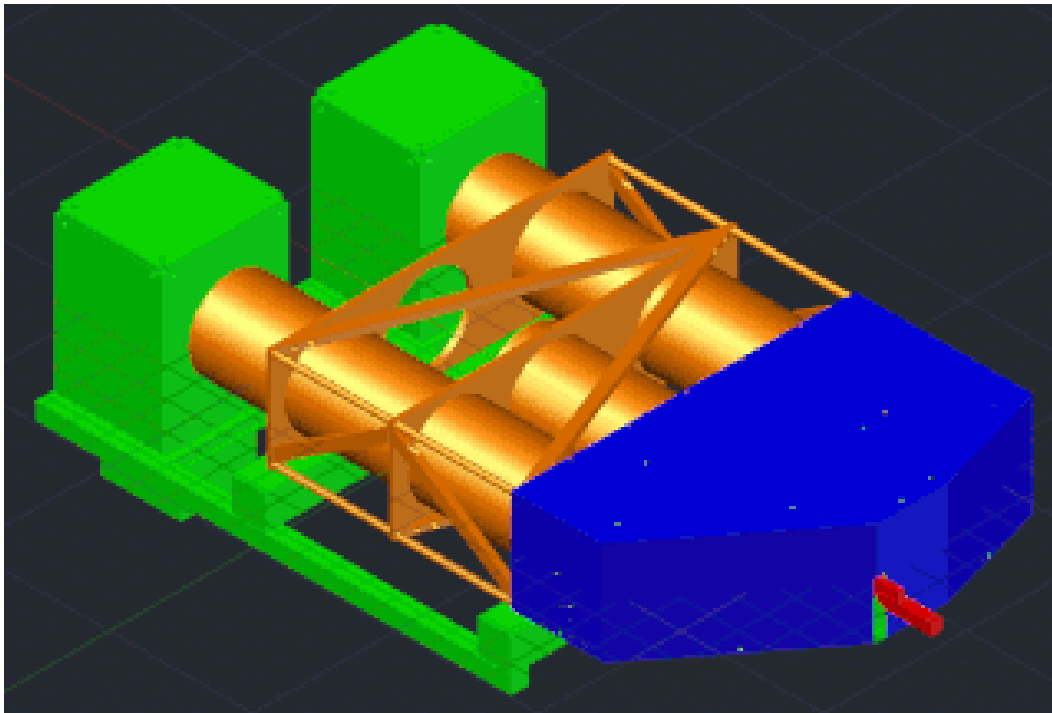
ということで、可視域全体が高分散分光できる分光器が欲しい！
しかし、1. は GAOES-RV でなんとかなりそう(若い太陽型星は $v \sin i \sim 20 \text{ km/s}$)なので、 $H\alpha$ と Ca II HK だけ分光できれば研究は進められそう。

$H\alpha$ と Ca II HK 線と GAOES-RV を同時に使う分光器！

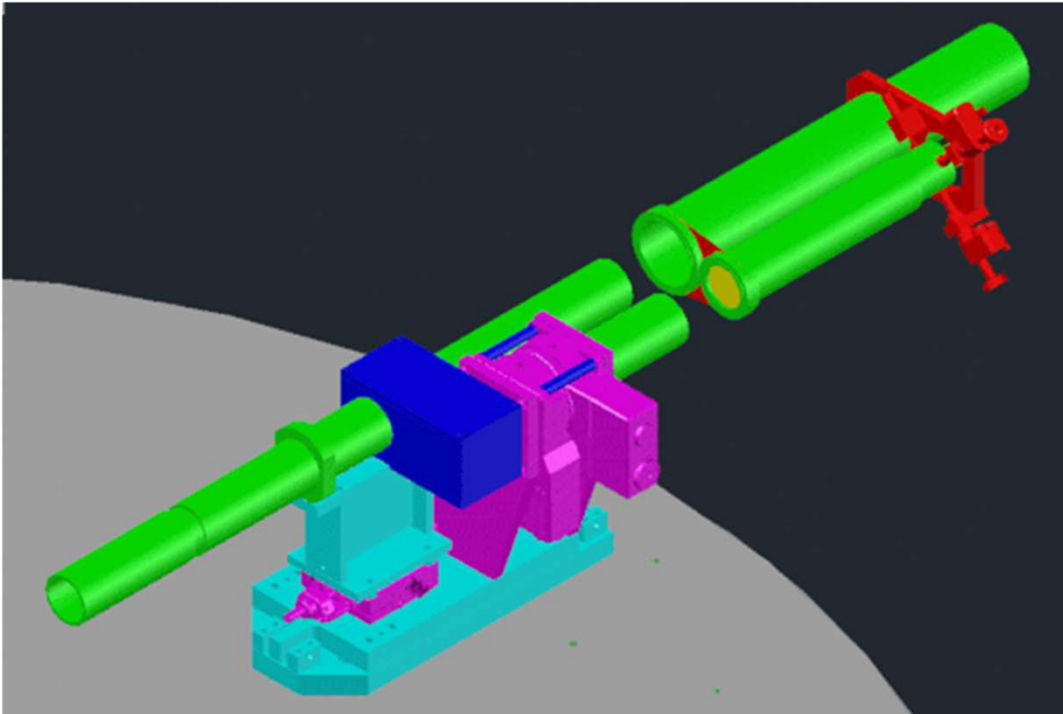
光学設計：入射部でGOES-RVにいく光と分け、もう一度
 $H\alpha$ と Ca II HK に分ける。



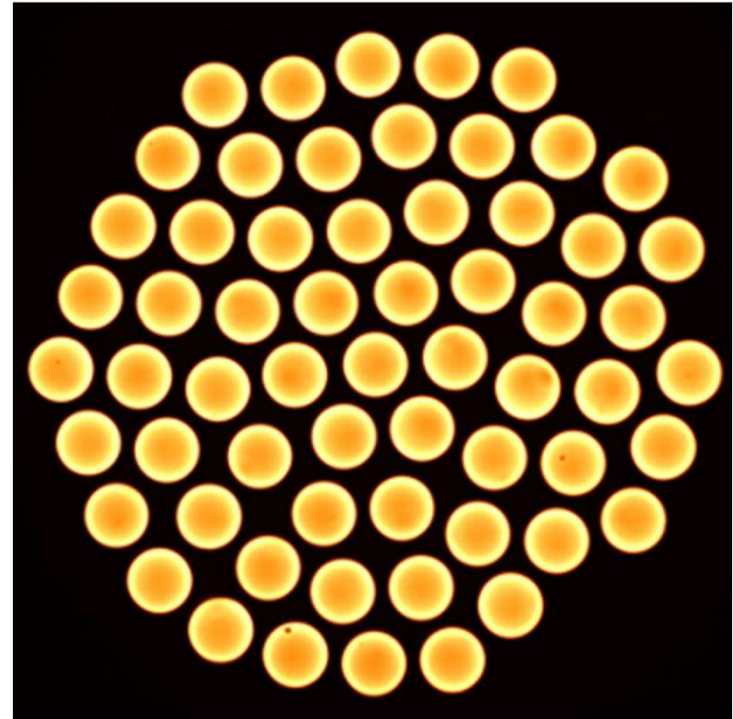
本体：概念設計図(左)とでき上ってきた部品の仮組後(右)
完成後はナスミス台の下にぶら下げる



入射部

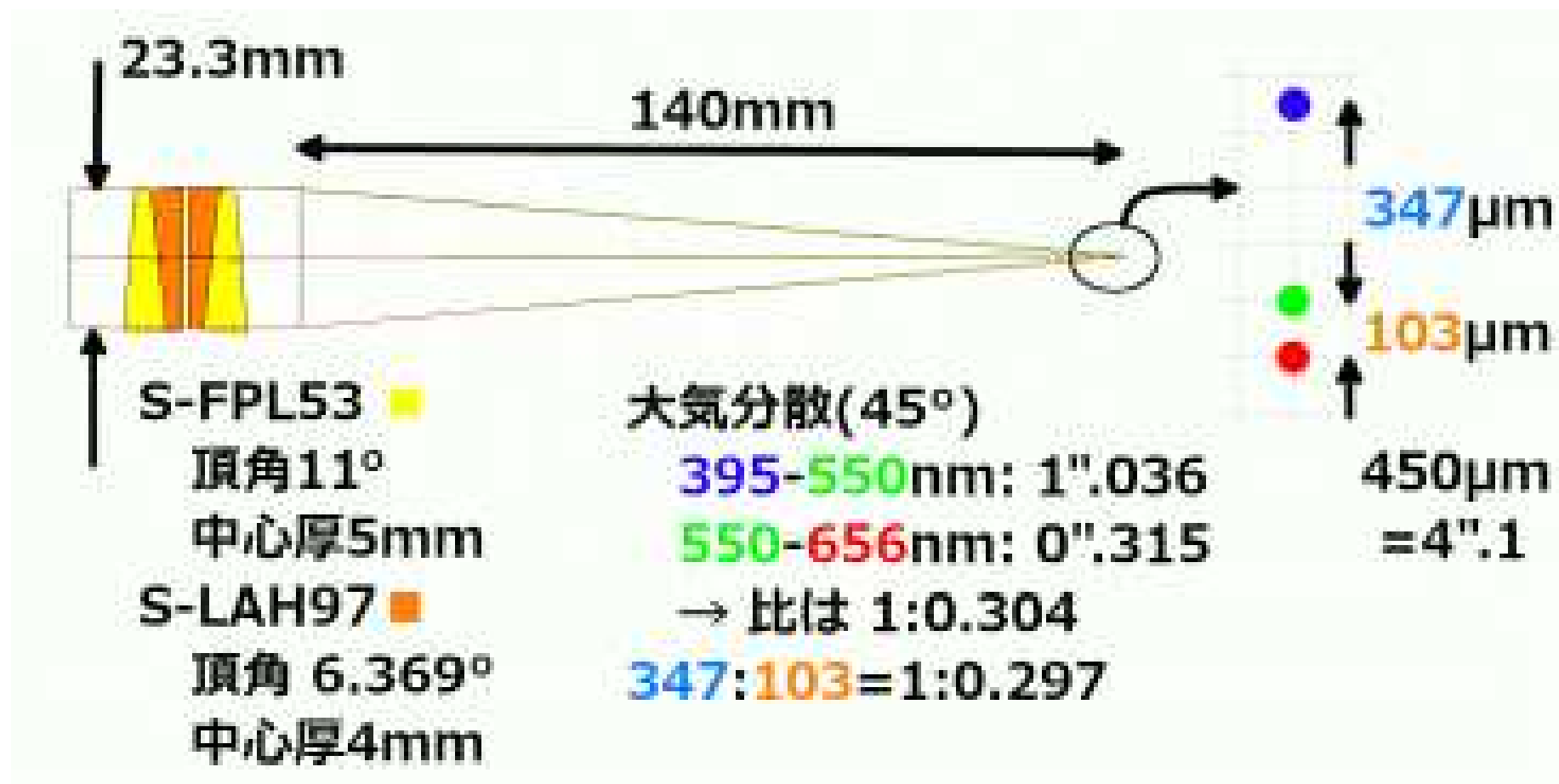


GAOES-RVに行く光(直進)と
 $H\alpha$ / Ca HK とに分ける部分



入射するファイバーユニット
に逆側から光を当てて撮った
写真

ADC : GAOES-RVのガイダーに頼るために必要



カメラ：2台ともBITRANのBH-67M(CMOS)

CMOS SWIR Camera System

BH-67M



12bit CMOS SWIR

評価貸出 実施中



波長 (nm)

軟X

紫外

可視

近赤外

20 50 100 130以上

価格 (万円)

0 50 100以上

周期 (fps)

0 50 100以上

BH-67Mは、35mmフィルムサイズに大型19 μ mピクセルのセンサーを搭載した超高感度16bit冷却カメラシステムです。EM-CCDにも匹敵する感度を有し98fpsの高速撮影も可能なので微弱発光や天体の撮影をリアルタイムに映します。フレームグラバードと組み合わせてパソコンをレコーダー代わりに記録させる設定や天体撮影用オプションを追加することでGPS情報の取得やFITSファイルの出力も行えます。

仕 様 [BH-67M]  16bit CMOS 評価貸出 実施中

型 番	BH-67M
通信方式	Zebra PC ^{※1} (カメラリンク準拠)
対応波長領域	400nm～1000nm
A/Dコンバータ	16bit(65535階調)
モノクロ/カラー	モノクロ
素子型番	LI3030SAM
画素数	276万画素(フルサイズ)
有効ピクセル	2160×1280
素子受光サイズ	40.0mm×24.3mm
ピクセルサイズ	19 μ m×19 μ m

スペック概要

波長分解能	H α : ~ 1.6 万(*) Ca II HK : ~ 1.2 万(*)
観測波長	656 ± 12 nm 395 ± 10 nm
システム効率	20 %(*)
目安 (30秒露出)	13等でS/N=10@H α (*)
ファイバー数と直径	50 μ m ファイバー 61 本 $\sim 4''$

*装置完成後に実測値を公表します

3. 進捗状況と今後の見通し

- 開発の進捗状況に関しては、岩室さんのweb pageで随時公開中 <https://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/~iwamuro/CaHa/index.html>
- 現在はレンズのコーティングや輝線ランプの電源の納入待ちなど
- 10月末くらいを目途に分光器本体を目指す、さらに入射部を11月で完成予定。
- 12月末で試験観測、その後調整と解析ソフト作成。
- **26Bで京大内で公開が目標。共同利用は27Bあたりからか。**
- 興味を持たれた方はご連絡を。サイエンスと一緒に考えましょう！