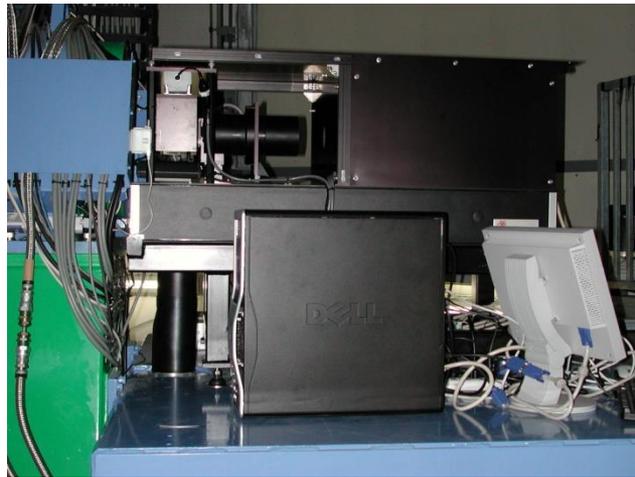


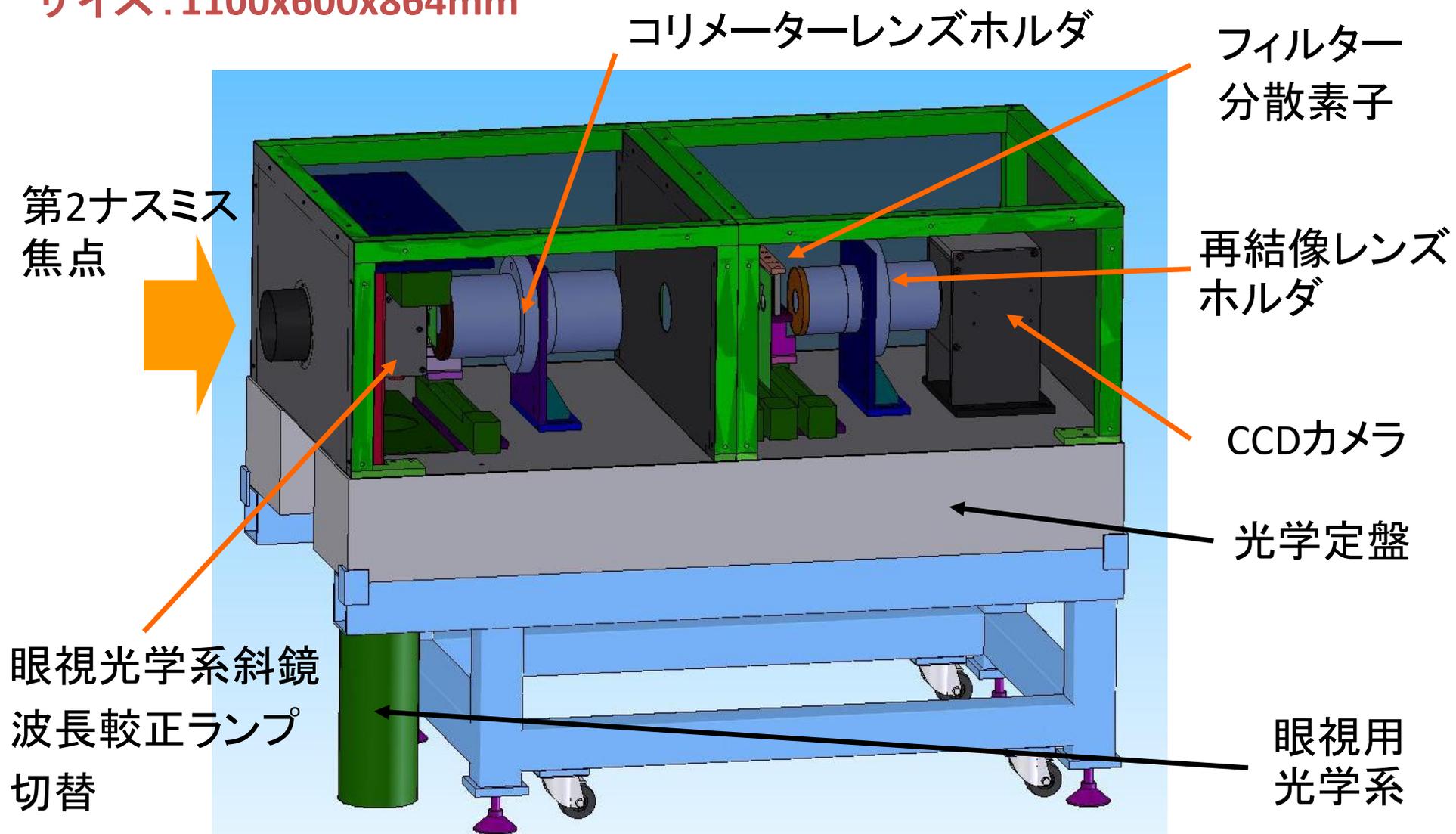
高速測光分光装置と M型星フレア

野上大作(京都大学)



○ 高速分光器@かなた望遠鏡 全体像

サイズ: 1100x600x864mm

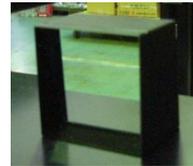


◎光学系：

HOWP_{o1}の(予備の)レンズ群を使用

◎分散素子

- ・超低分散用 (R~20) ⇒ 2素子プリズム
- ・低分散用 (R~150) ⇒ グリズム
- ・~~(低分散2 (R~1000) も入れられないか検討中)~~



◎筐体

- ・フィルター5種類 (BVR, ロングパス2種類 (L38, GG495))
- ・波長較正用光路
- ・マスク/スリット
3種類 (丸穴 ϕ 0.9mm、スリット2種類 (幅0.11, 0.20mm))

○高速CCDカメラ

e2v社の電子増倍(EM)・背面照射型 frame transfer CCD (CCD87) を使って浜松ホトニクスと共同で開発されたEM-CCD カメラ(C9100-12)



ピクセル数	512 × 512
ピクセルサイズ	16 μ m × 16 μ m
露光時間	27.1 msec ~ 10 sec
最速frame rate	35.8 frame/sec (No-bin)
電子増倍(EM)	4 ~ 2000 (可変)
カメラヘッド	真空封じ切り・ペルチエ冷却+空冷
冷却温度	-50°C (@0~30度)
読み出しノイズ	100 [e-]
A/Dコンバータ	14 bit
飽和電荷量	400,000 [e-]

測光観測での限界等級 20 mag @かなた望遠鏡(1.5m)→22mag@3.8m?
(±0.2mag, 最長の10秒露光, 電子増倍率:最小)

○装置のまとめ

積分時間: 27.1ms ~ 10 sec

観測視野: 2.6' x 2.6' (撮像モード) (0.31"/pix)@Kanata

→74.5" x 74.5" (0.15"/pix)@3.8m

2素子プリズム

グリズム

マスク

スリットレス(素通し)

0.2mmスリット

観測波長域

360~1000nm

430~690nm

波長分解能

6~80nm

4nm

系全体の効率

最大13%

最大9%

限界等級(※)

15.7mag

12.4mag

→それぞれ2等
くらい深くなる

※積分時間:10秒、電子増倍率:4倍(2000倍まで増倍可能)

※3.8m望遠鏡用には、プリズム・グリズムは流用(R~1,000くらいのものも入れたい)し、より大きなCCD/CMOSに置き換え予定。小型装置スロット(2つ分)に入れるつもり。科研費申請中。

○カメラ候補

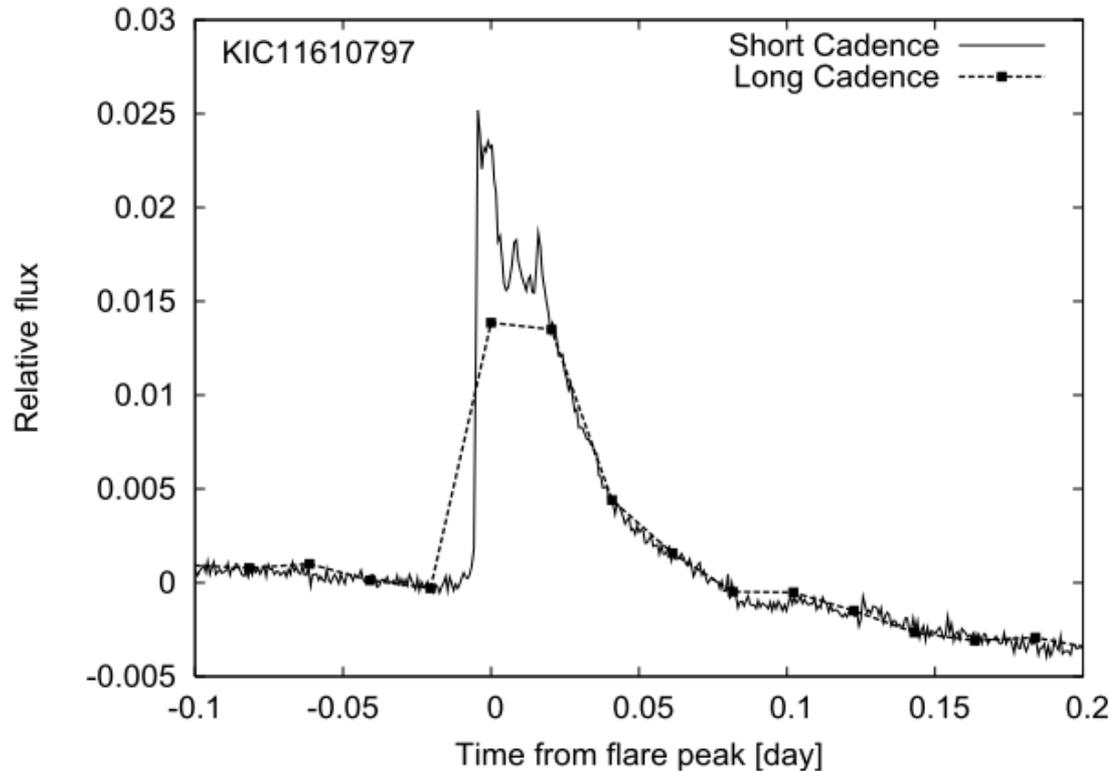
浜松ホトORCA-Flash4.0 V3 CMOSカメラ(C13440-20CU)



ピクセル数	2k x 2k
ピクセルサイズ	6.5 μ m \times 6.5 μ m
露光時間	1 msec ~ 10 sec
最速frame rate	100 frame/sec (No-bin)
冷却温度	-30 $^{\circ}$ C (水冷)
暗電流	0.006 e-/pix/s
読み出しノイズ	1.0 [e-]
A/Dコンバータ	16 bit
飽和電荷量	30,000 [e-]
量子効率	>80% @ 560nm

他のカメラも調査中。よいものがあれば教えて下さい。

速いことはよいことだ



Kepler衛星の1分 cadenceのデータと30分 cadenceのデータの比較。タイムスケールの短い現象の観測には、短時間でのデータ取得が必須。

高速観測で拓くサイエンス

- 恒星フレア
- コンパクト天体周囲での高速変動現象
(最短数10ms?)
- 重力波天体の光学観測？
- Fast Radio Burst対応天体？
- パルサー？
- 掩蔽観測？
- 系外惑星トランジット？
- 白色矮星の振動？
- 他に面白い現象をご存知の方は教えて下さい！

Science I: 恒星フレア

○星の明るさが短時間だけ突発的に増光する現象

- 可視連続光やH α 輝線、UV・X線などでも、増光
- 従来はM型星(増光割合が大きい)や原始星(フレア発生頻度高い)がよく研究されてきた

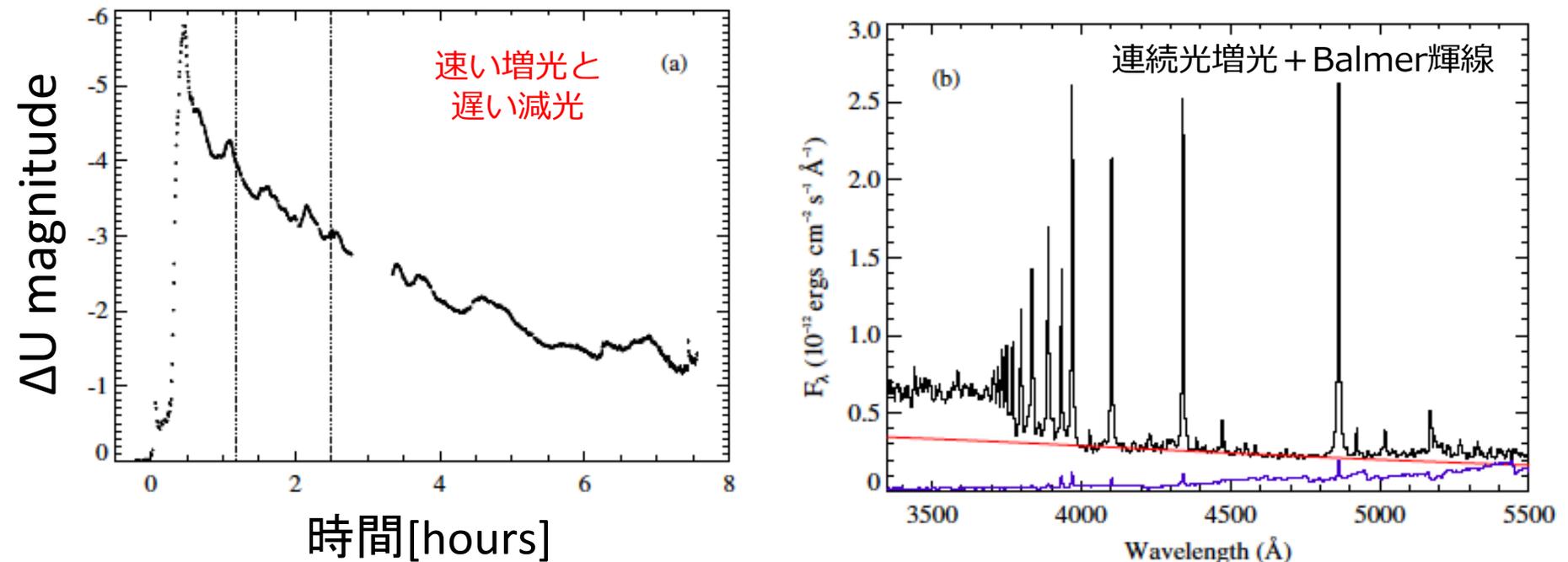
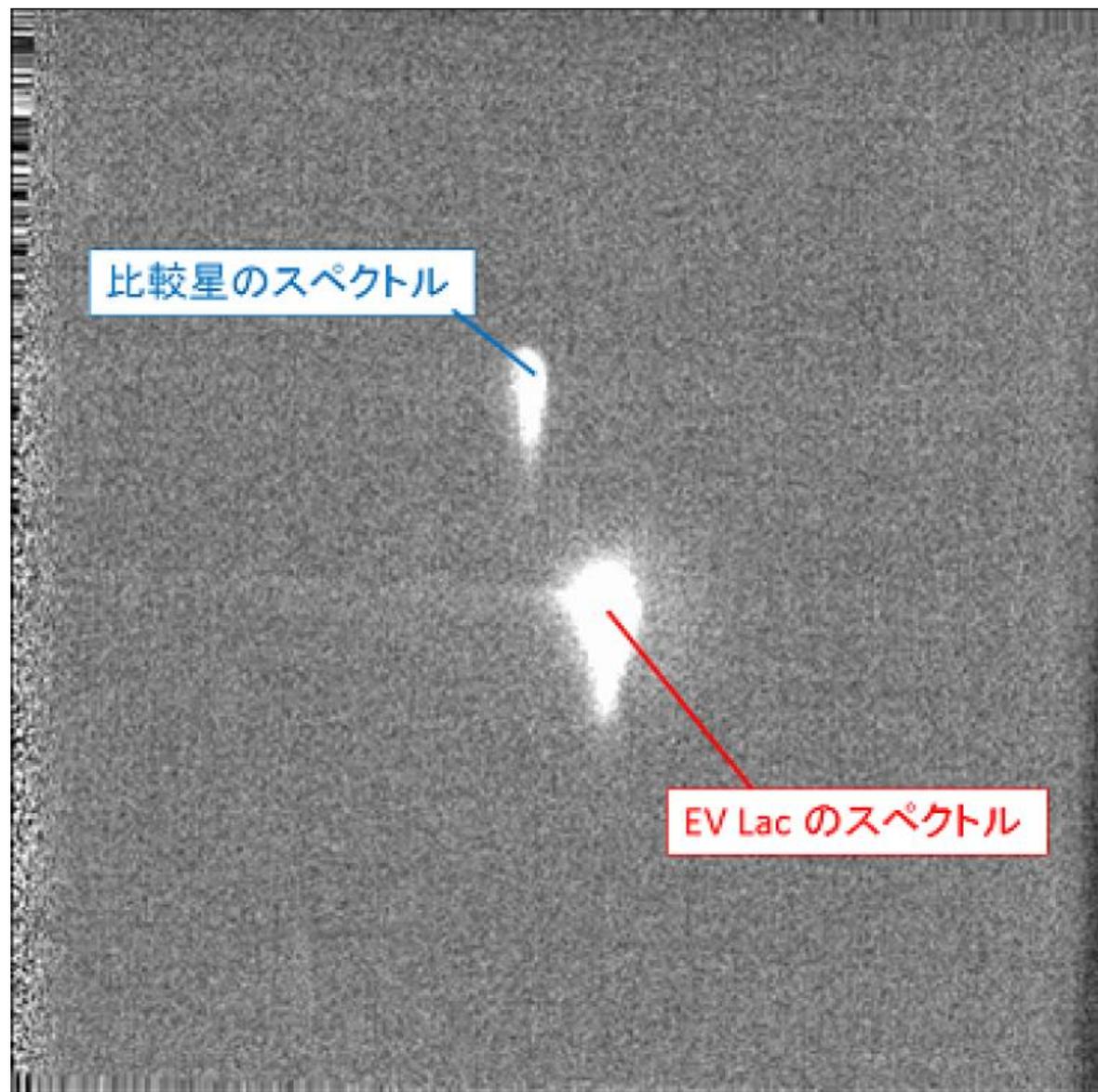
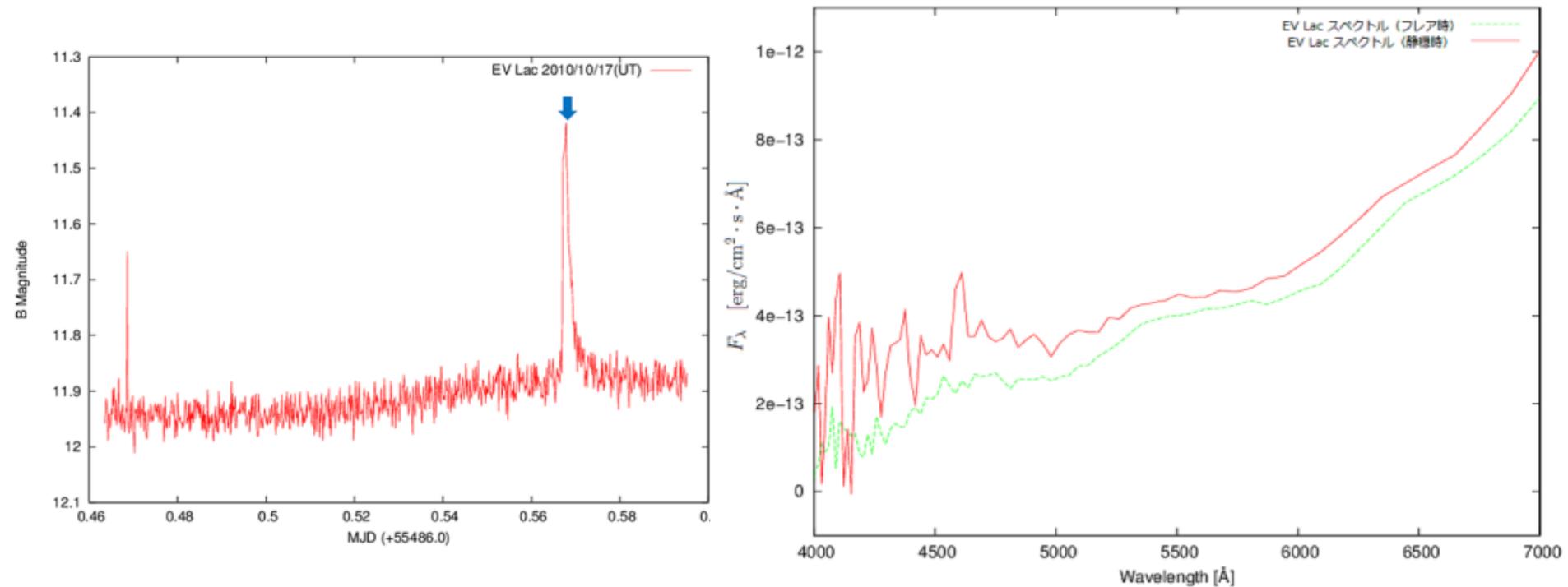


図: dM4.5e星YZ CMiでのフレア(Kowalski+2010)

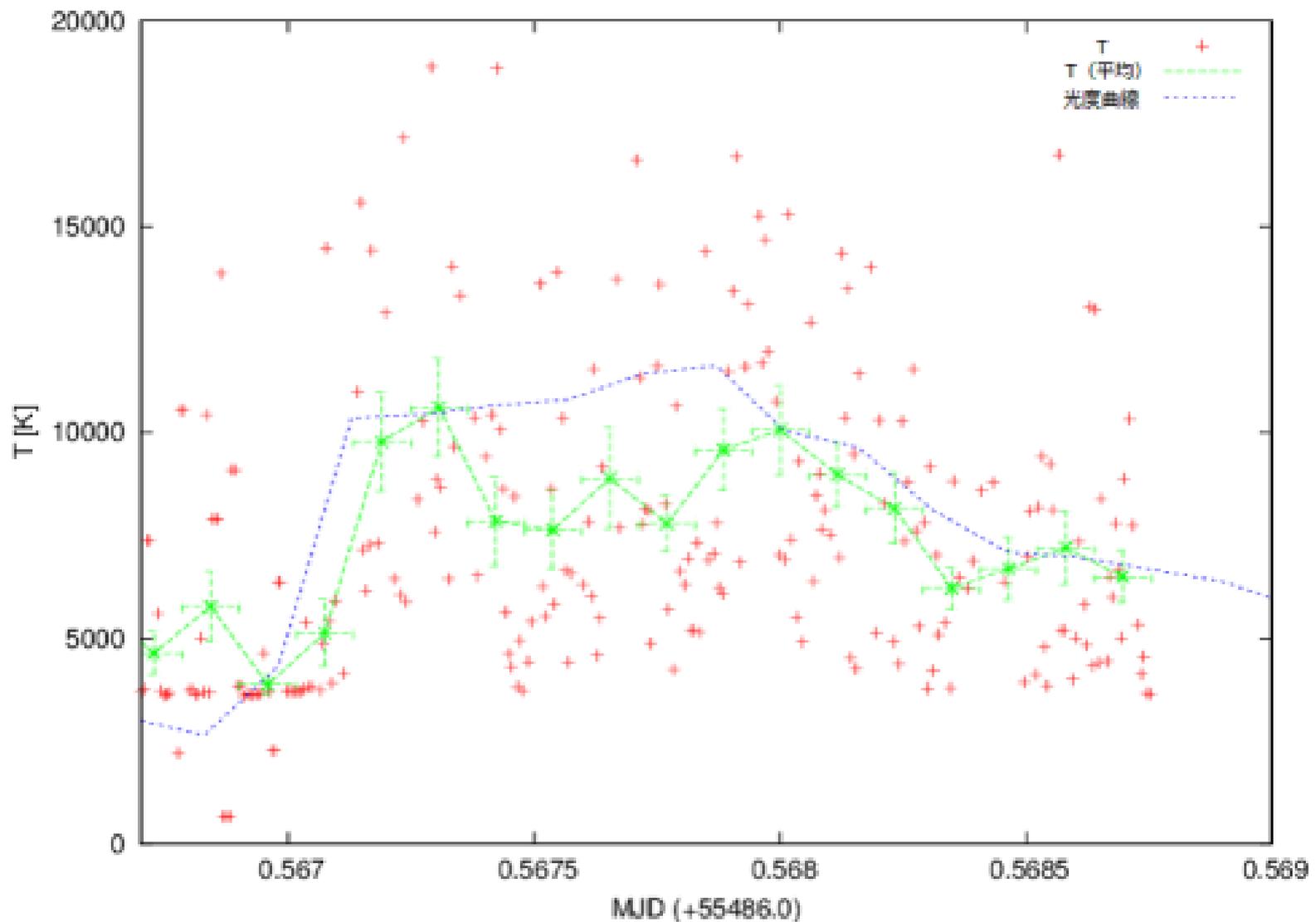
赤線: 10,000K黒体放射
紫線: 静穏期スペクトル

M型星EV Lacのフレアの高速分光(蔵本哲也2013年修論) かなた望遠鏡(R \sim 20; 1秒露出)





かなた望遠鏡に同架の25cm望遠鏡でのフレア星EV LacのBバンド観測(左)と高速分光で捉えられたスペクトルの変化(右)。フレアは振幅0.5等、継続時間~6分。スペクトルでは青側が主に増光していることがわかる。

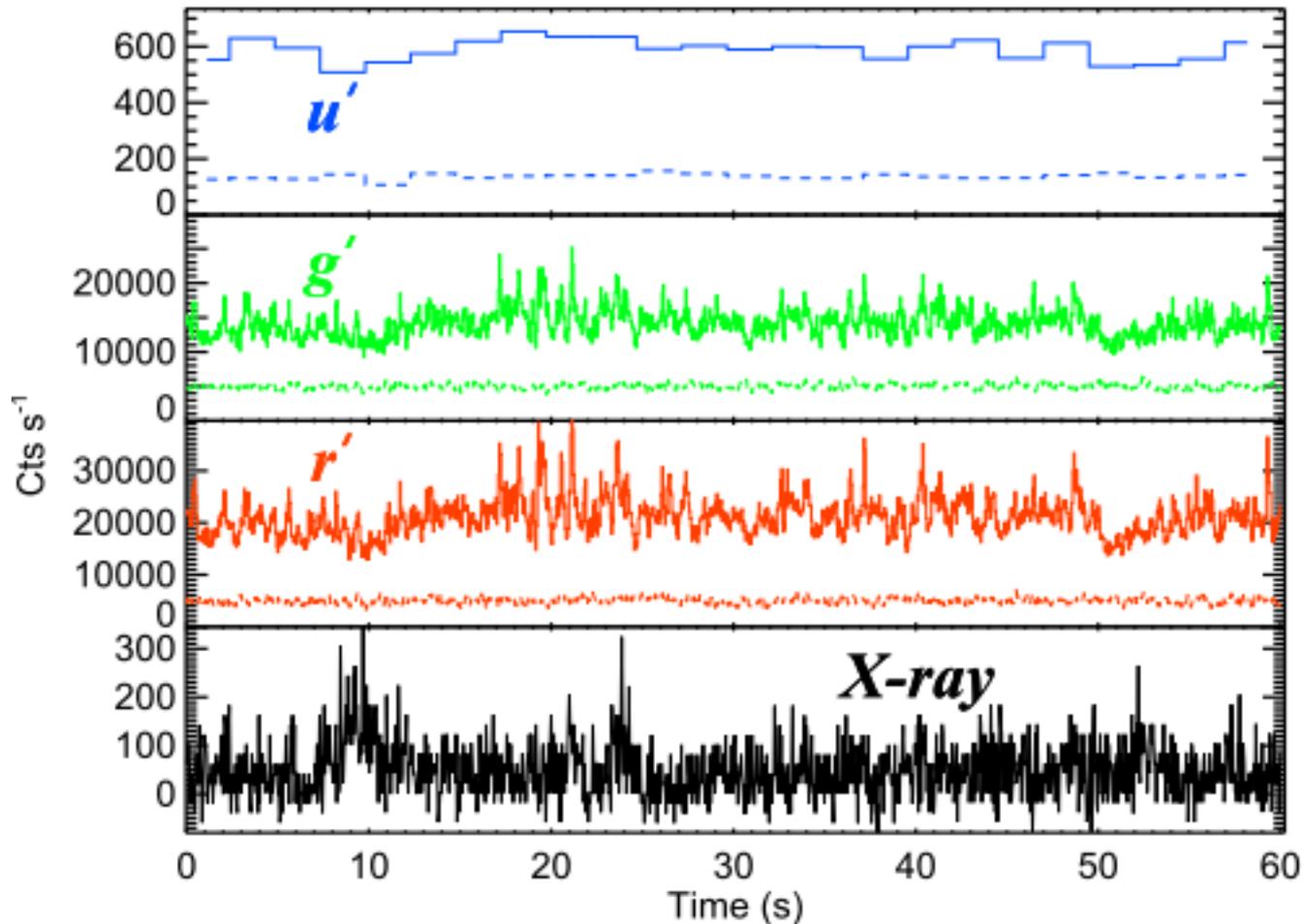


増光分を黒体放射でfittingして求めた温度(左)と増光した部分の面積(右)。星表面の0.04%程度の面積が10000K程度まで温度が上がった！

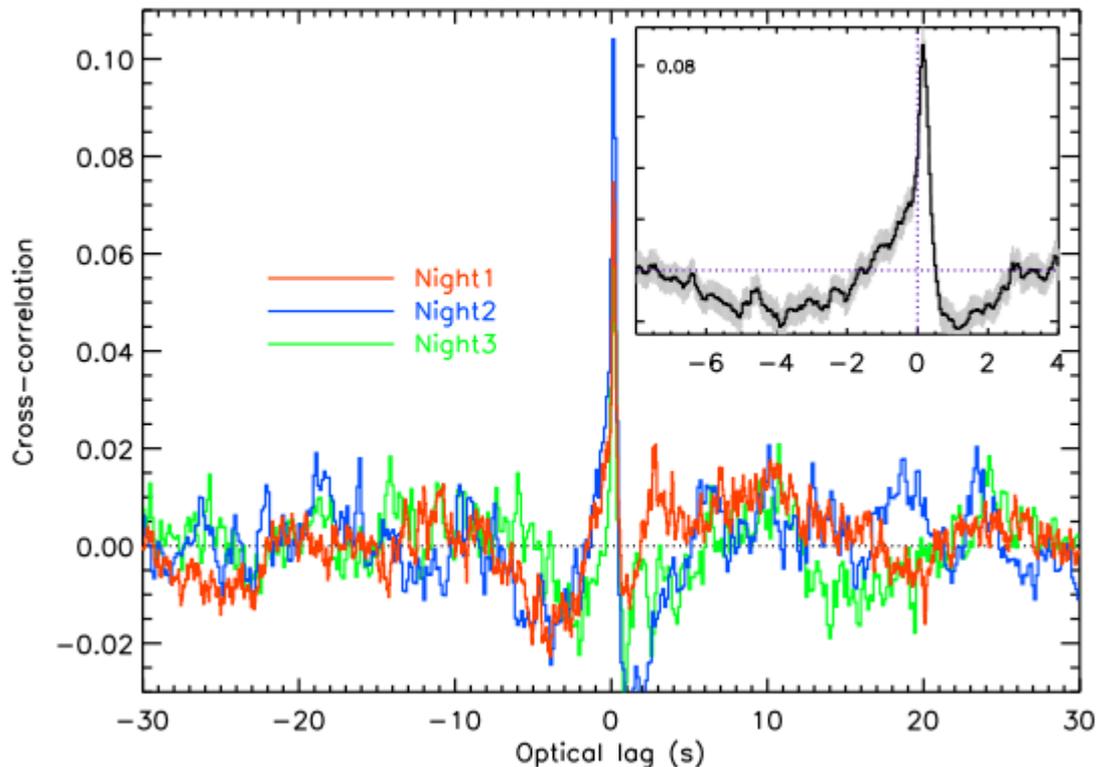
Science II: ブラックホール近傍現象

GX339-4のLow/Hard stateでのX線 (RXTE) と可視 (VLT/ULTRACAM) の同時観測

Gandhi et al. (2010)



r' , g' は50msec露出



X線と可視光のデータの相関関数。可視光での変動がX線に比べて150msec遅れている。さらに10sec遅れの成分もあるようだ。(Gandhi et al. 2008)

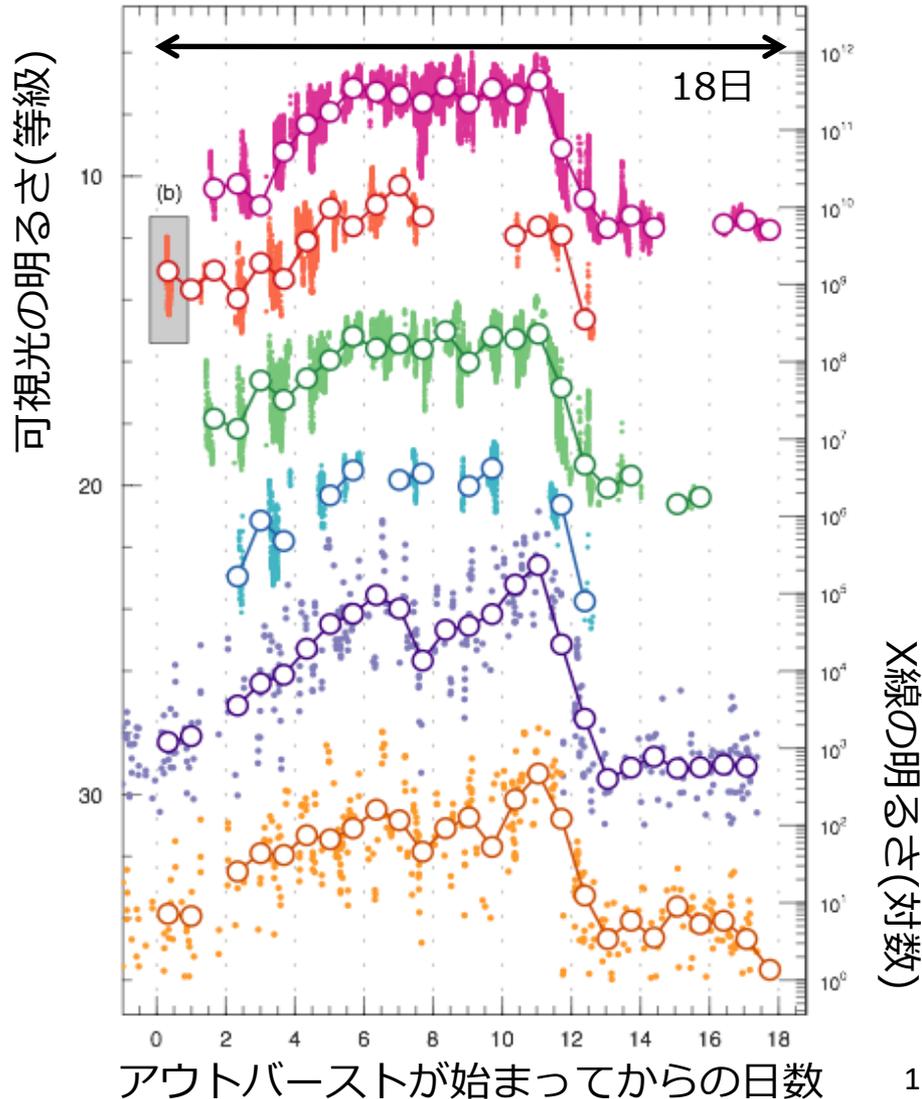
150msecの遅れはjet内でのpropagationによるもの、10secの遅れはjetからの放射のdiskでのreprocessによるものと理解される(Gandhi et al. 2010)。

可視光での高速観測でdisk最内縁付近やジェットの様子が見える！X線観測との連携が鍵。

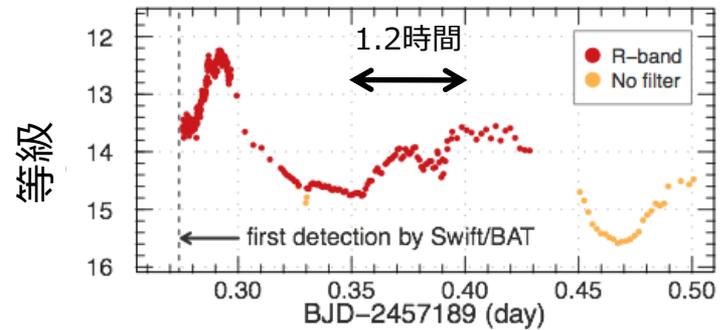
V404 Cyg の2015年6月のアウトバースト

Kimura et al. 2016, Nature

上の4つが可視光の光度曲線、
下の二つがX線の光度曲線



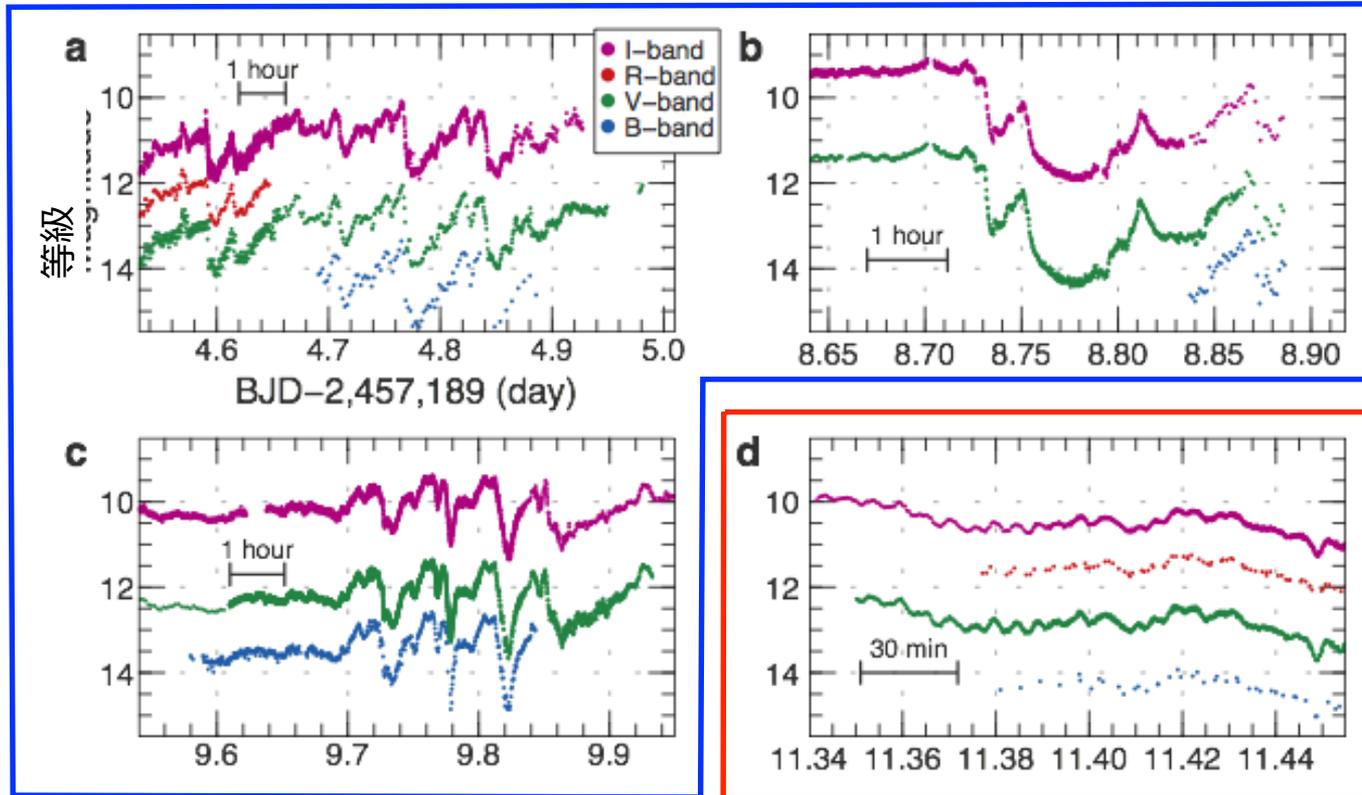
- 期間：およそ18日
- 可視光、X線の光度曲線が互いによく似ている。



↑台湾とロシアのチームの協力による、
開始3分後から数時間後までの可視光の
光度曲線

アウトバーストの最初から最後まで、
激しい短時間変動が見えた！

BHXB V404 Cygで見られた規則的な変動

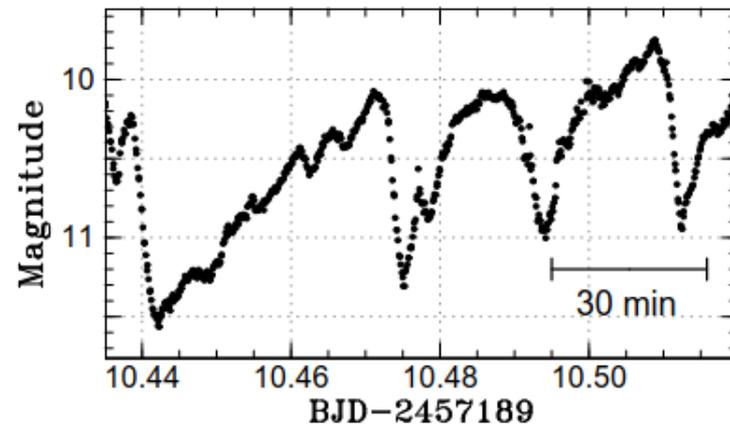
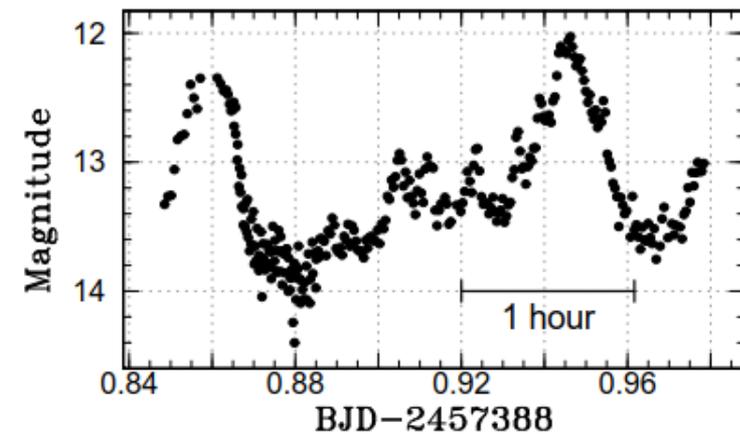
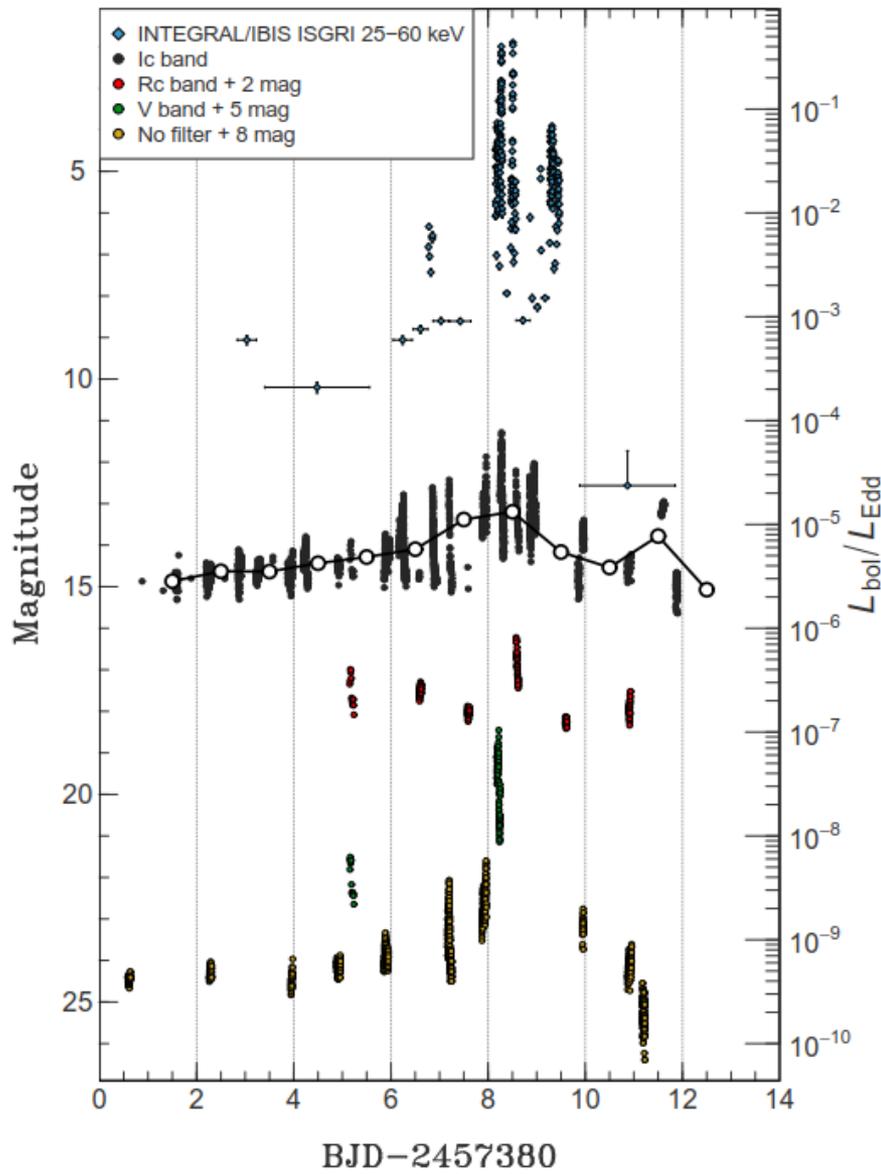


- ゆっくり増光したのち、急に光度が落ち込むという変動が続く。増光中は光度が変動する。
- タイムスケール：45分～2.5時間程度

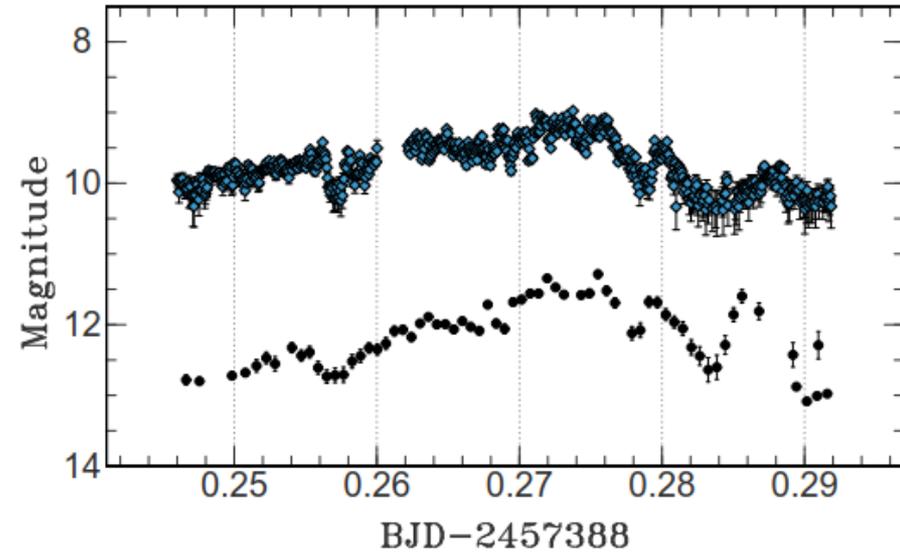
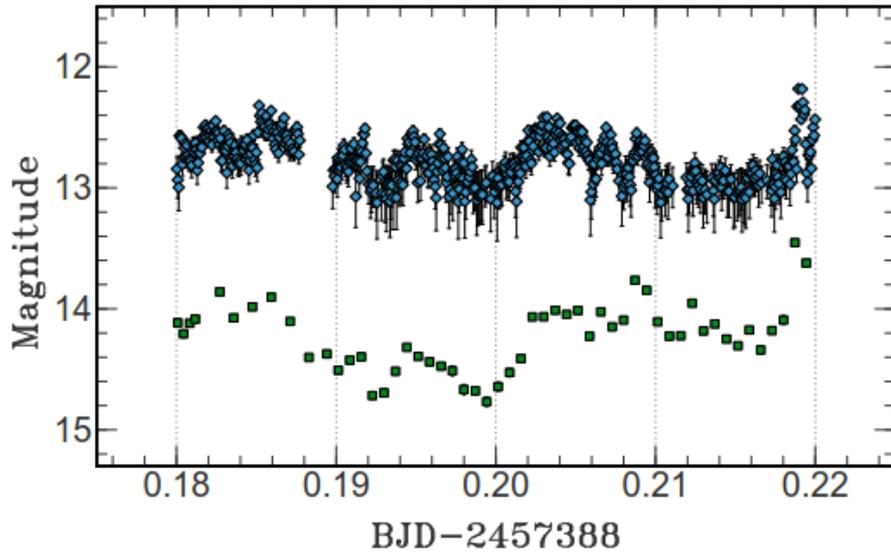
- 振幅の小さい短時間変動が続く。
- タイムスケール：5分程度

ブラックホールごく近傍での振動現象が初めて可視光で捉えられた！
1分の可視光の遅れから、disk 外側でのreprocessか？

26年ぶりのアウトバーストの後、わずか6ヶ月で再度アウトバーストが！ (Kimura et al., submitted)



ややエネルギー的に小さいが、前回と似た光度曲線(左)と短時間変動(上)



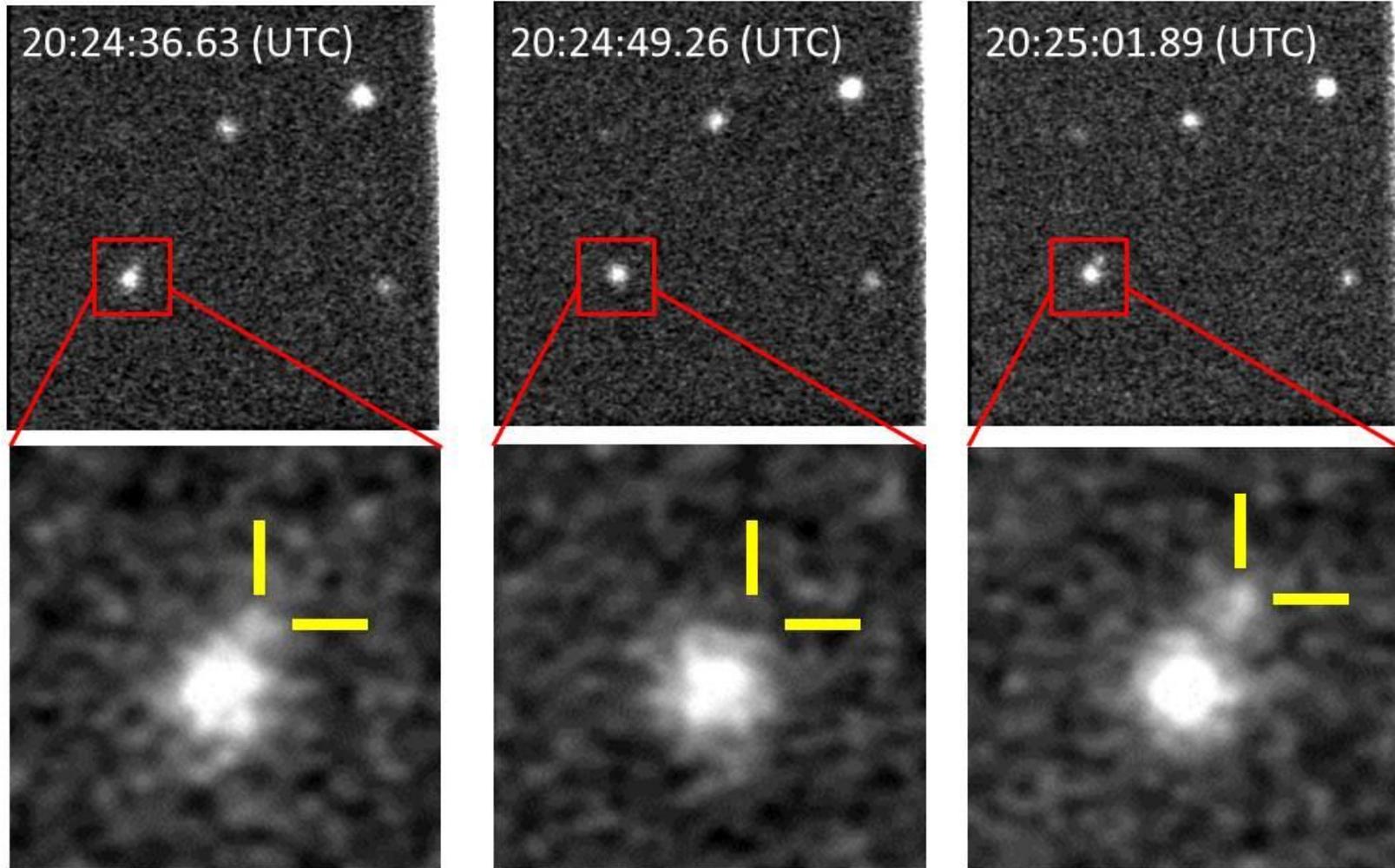
30~50秒程度のX線変動の遅れ
 →disk内での変動+accretion flow?

高速分光のプロファイルの変化が鍵?

Science III: 掩蔽観測

太陽系外縁天体(TNO) Varunaによる恒星食

2012-01-08 東広島天文台・かなた望遠鏡



まとめ

- 高速測光分光器の**プロトタイプ**は既に稼動しており、広島大学東広島天文台のかなた望遠鏡に取り付けられている。
- 前置光学系とカメラを入れ替えて、今より使いやすくする予定。
- 要は通常の測光分光器で、**カメラの読み出しが速いもの**。
- **コンパクト天体周囲の超強重力場での変動現象**が、可視光で捉えられる。X線との共同観測が鍵。Tomo-eサーベイでX線連星のアウトバーストの検出→3.8m即時高速測光／分光
- 短いタイムスケール(**秒～分程度のオーダー**)の**変動現象**にはなんでも威力を発揮する。→恒星フレア、重力波天体？、FRB？、パルサー？、掩蔽観測、系外惑星transitなどなど？
- 単純な撮像装置、低分散分光器として普通に使えるように。