

京大3.8m望遠鏡の現状報告と  
Tomo-e Gozen/3.8m望遠鏡で迫る  
ブラックホールX線連星の短時間変動現象

野上大作  
(京大・理)

# 京都大学3.8m望遠鏡の現況

188cmドーム



望遠鏡が仮「ドーム」に納入される

2015.3.17撮影

ドームは竣工 2017年2月末  
その後の定点カメラ像



# ターンテーブルの塗装 (上部はバラしてドームの中)



2017.6.13撮影

# 3. 8m望遠鏡運用案

## 定常状態では

- ・望遠鏡時間の半分は京大時間
- ・                    半分は共同利用時間
- ・ただし、望遠鏡維持改善・社会貢献などの時間は両者から供出

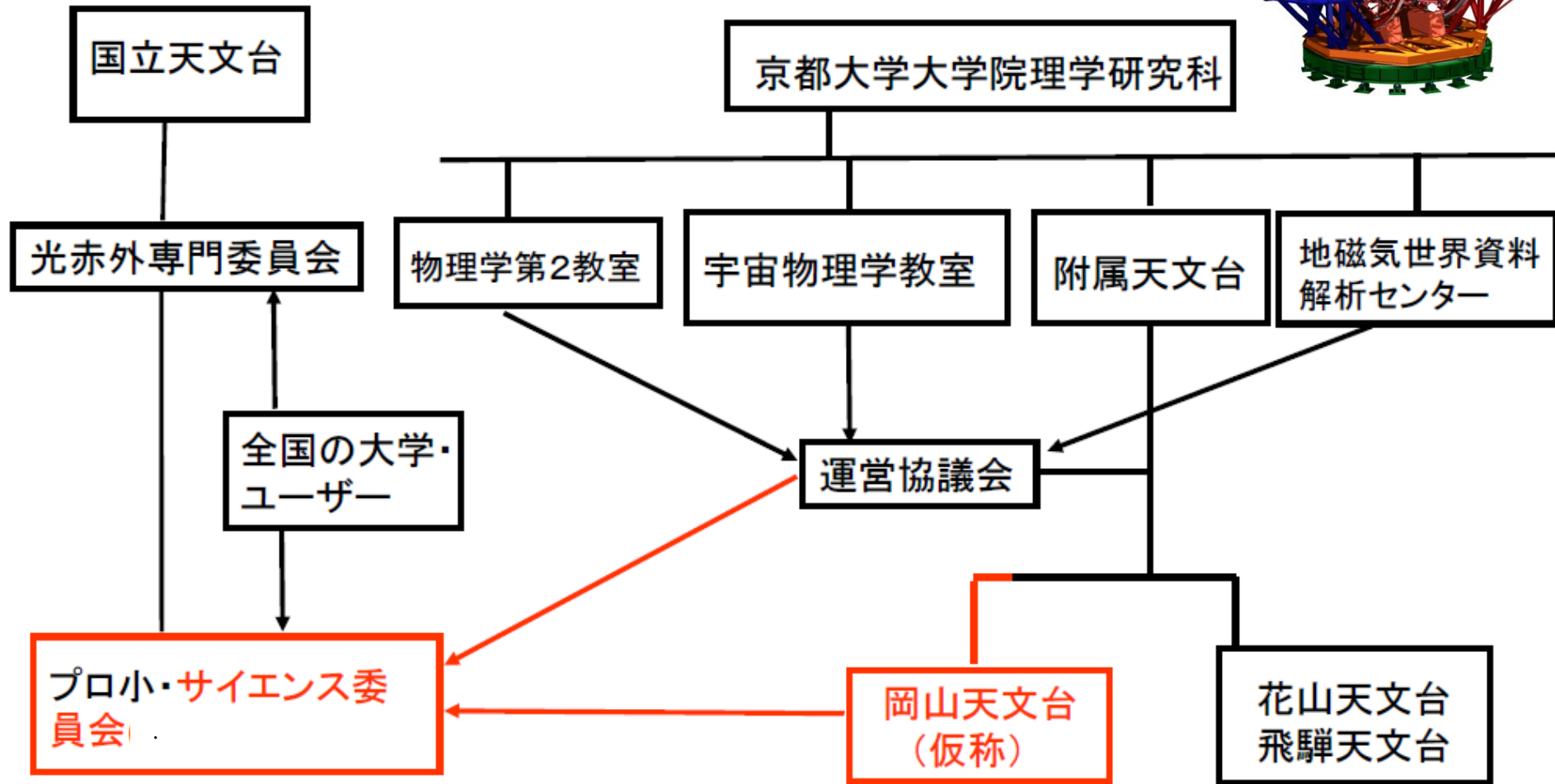
## 研究棟(仮眠室)、食堂などは利用できる

まだ何も公式に決まっていないものの、

- ・突発天体対応をうたっているので、  
ToO重視は当然だろう。
- ・キュー観測を多用することが考えられる。



# 運営組織案



2016.10から準備、  
設置・立ち上げ 2017.4。

赤が新設される運用体制

# これからの動き 2017-

2017.1.31の「3.8m望遠鏡に搭載を計画している観測装置についての情報提供のお願い」締め切りを受けて、

2017.6?

第1期共同利用観測装置の募集、具体的な装置の配置方法を決めていく。

2017.6.1-5.

望遠鏡のドームへの移設作業の第1段(鏡筒部分)。

2017.7-12

望遠鏡のドームへの移設作業。

2018.8

全国大学共同利用を開始することを目標としている。

# これからの動き 2017-

2017.1.31

「3.8m望遠鏡に搭載を計画している観測装置についての情報提供の  
お願い」締め切り。

- S-01 ファイバー型可視光面分光装置KOOLS-IFU◎ GRB・重力波・SNe・銀河等
- S-02 可視高分散分光器 スーパーフレア・系外惑星等来年度以降の科研費などに期待
- S-03 近赤外相対測光分光器○ QSO進化等
- S-04 近赤外偏光撮像装置 原始惑星系円盤等 来年度以降の科研費などに期待
- S-05 可視光 2色同時撮像カメラ SNe等来年度以降の科研費などに期待
- S-06 視線速度精密測定装置 系外惑星等来年度以降の科研費などに期待
- S-07 SEICA (Second-generation Exoplanet Imager with Coronagraphic Ao)○ 系外惑星
- S-08 高速測光分光装置◎ ブラックホールX線連星、激変星、恒星フレア等

◎◎はすでに(部分)予算がついて開発開始

◎は2018に(試験)観測可能なもの



# スケジュール まとめ

2016(H28)年度

ドーム建設完了

2017(H29)年度

望遠鏡をドームに設置、トラッキング試験、鏡の調整等々

2018(H30)年度

前半：鏡の調整・制御試験、装置の試験、等々 call for proposal

後半：リスクシェア共同利用

(高速測光・分光器、可視面分光器、可視撮像?)、鏡制御試験

2019(H31)年度

フル稼働望遠鏡?

近赤外相対測光分光(リスクシェア)、

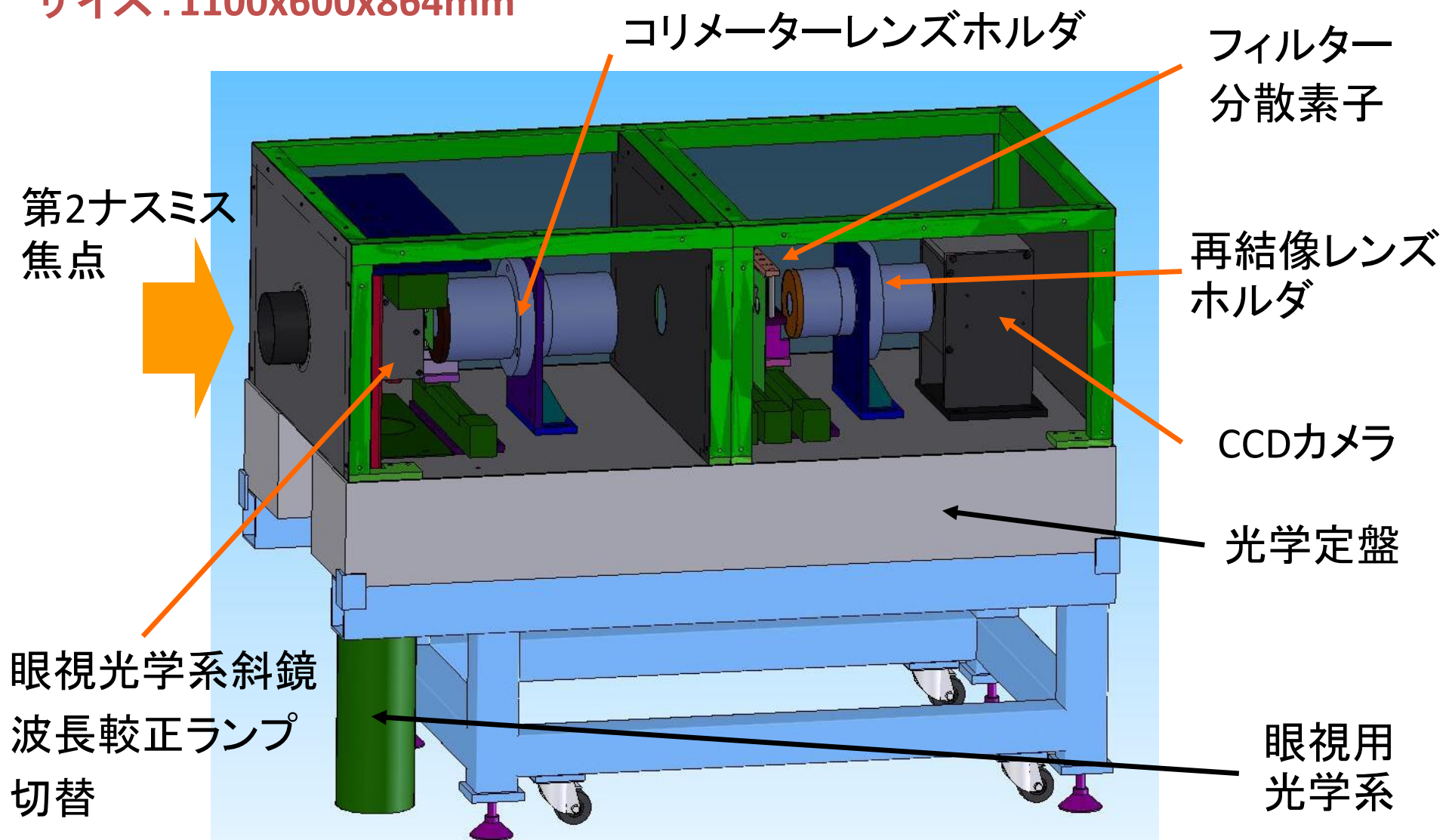
2020(H32)年度

高コントラストカメラ?、可視高分散分光?

Tomo-e/3.8mコラボで狙う  
ブラックホールX線連星の短時間変動

# ○ 高速分光器@かなた望遠鏡 全体像

サイズ: 1100x600x864mm

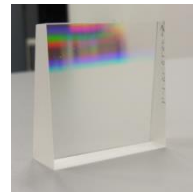
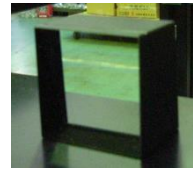


## ◎光学系：

HOWP<sub>o1</sub>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  $\phi$  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	<b>512 × 512</b>
ピクセルサイズ	16μm × 16μm
露光時間	<b>27.1 msec ~ 10 sec</b>
最速frame rate	<b>35.8 frame/sec</b> (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・グリズムを流用し、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。  
現在光学設計中。

# ○カメラ候補

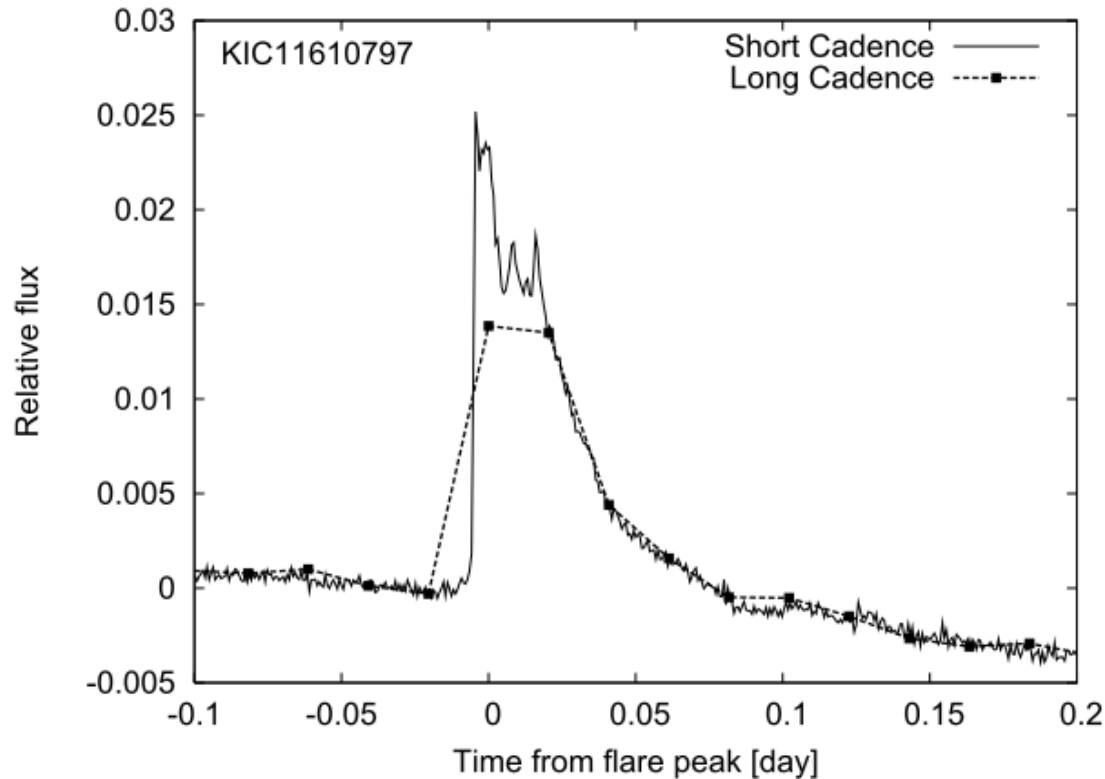
## 浜松ホトORCA-Flash4.0 V3 CMOSカメラ(C13440-20CU)



ピクセル数	2k x 2k
ピクセルサイズ	6.5 $\mu$ m × 6.5 $\mu$ m
露光時間	<b>1 msec ~ 10 sec</b>
最速frame rate	<b>100 frame/sec</b> (No-bin)
冷却温度	-30°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

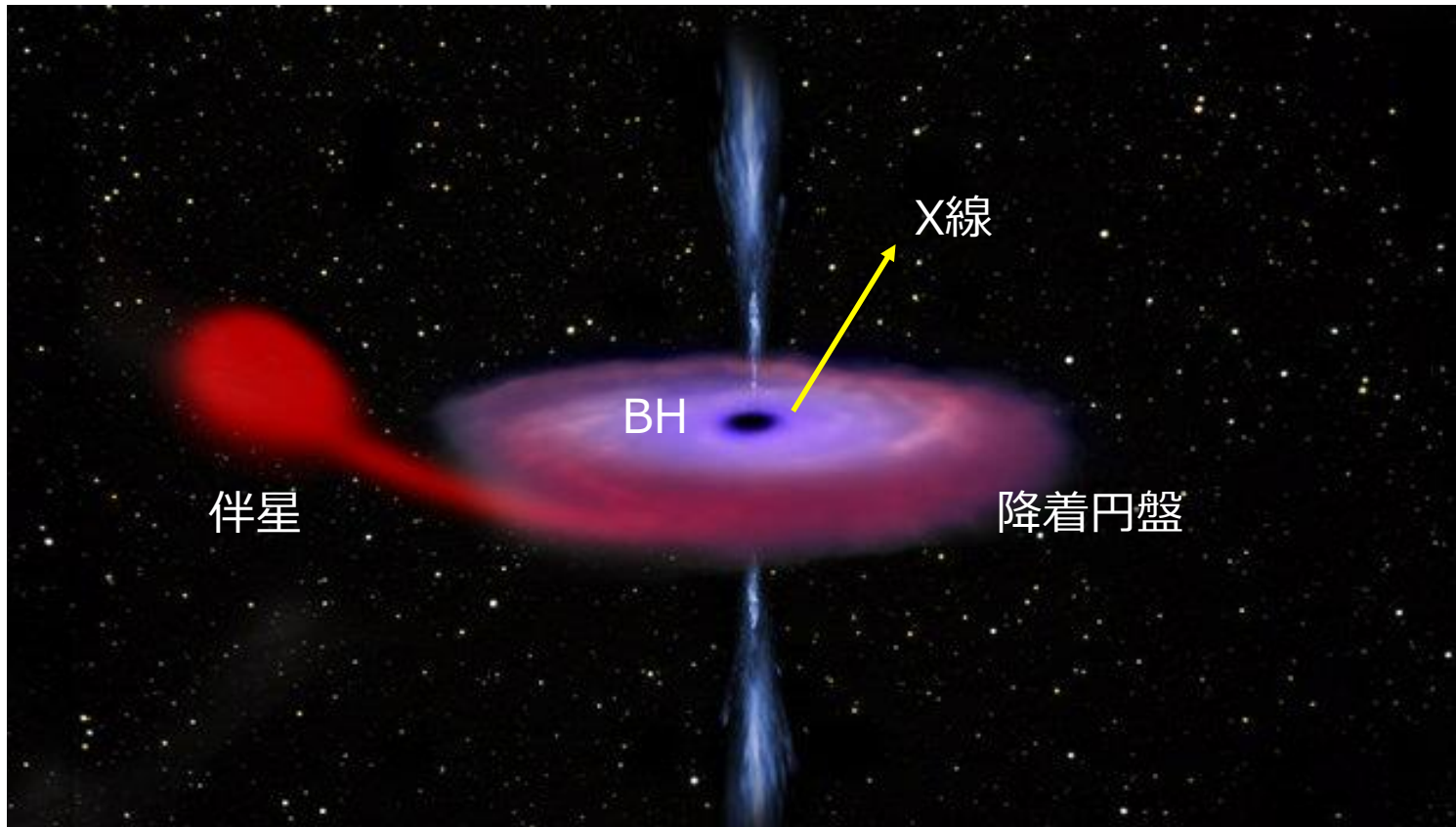


Kepler衛星の1分 cadenceのデータと30分 cadenceのデータの比較。タイムスケールの短い現象の観測には、短時間でのデータ取得が必須。



# ブラックホールX線連星とは

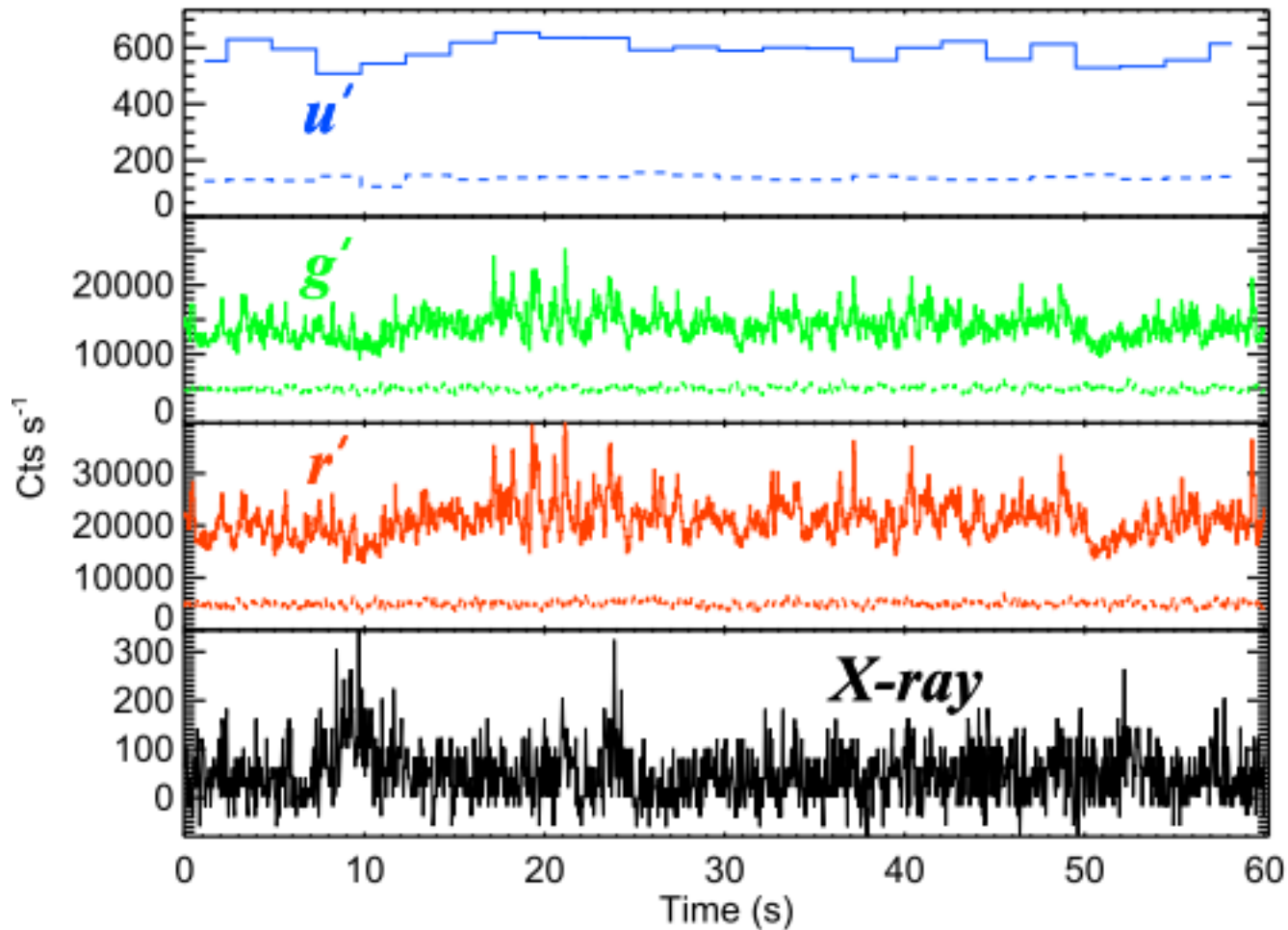
- ブラックホール＋通常の恒星
- 軌道周期：数時間～数日
- 突発的な増光を示すものもある（X線新星）



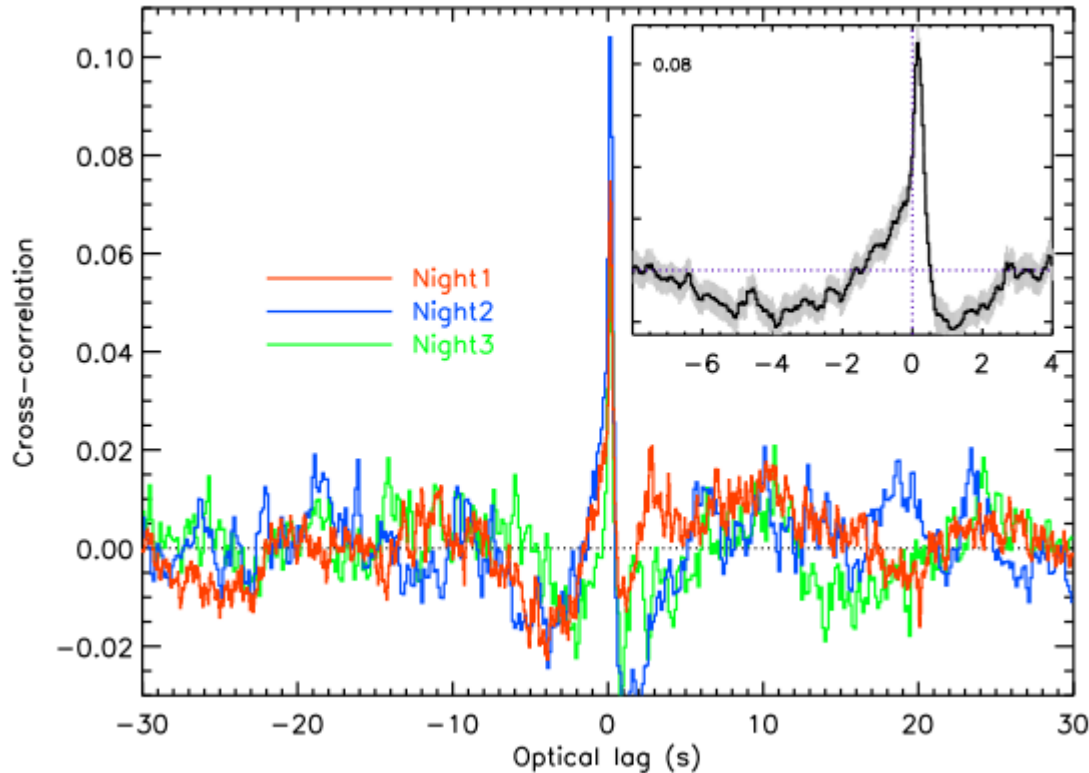
(c) ESA / ATG medialab

# 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)

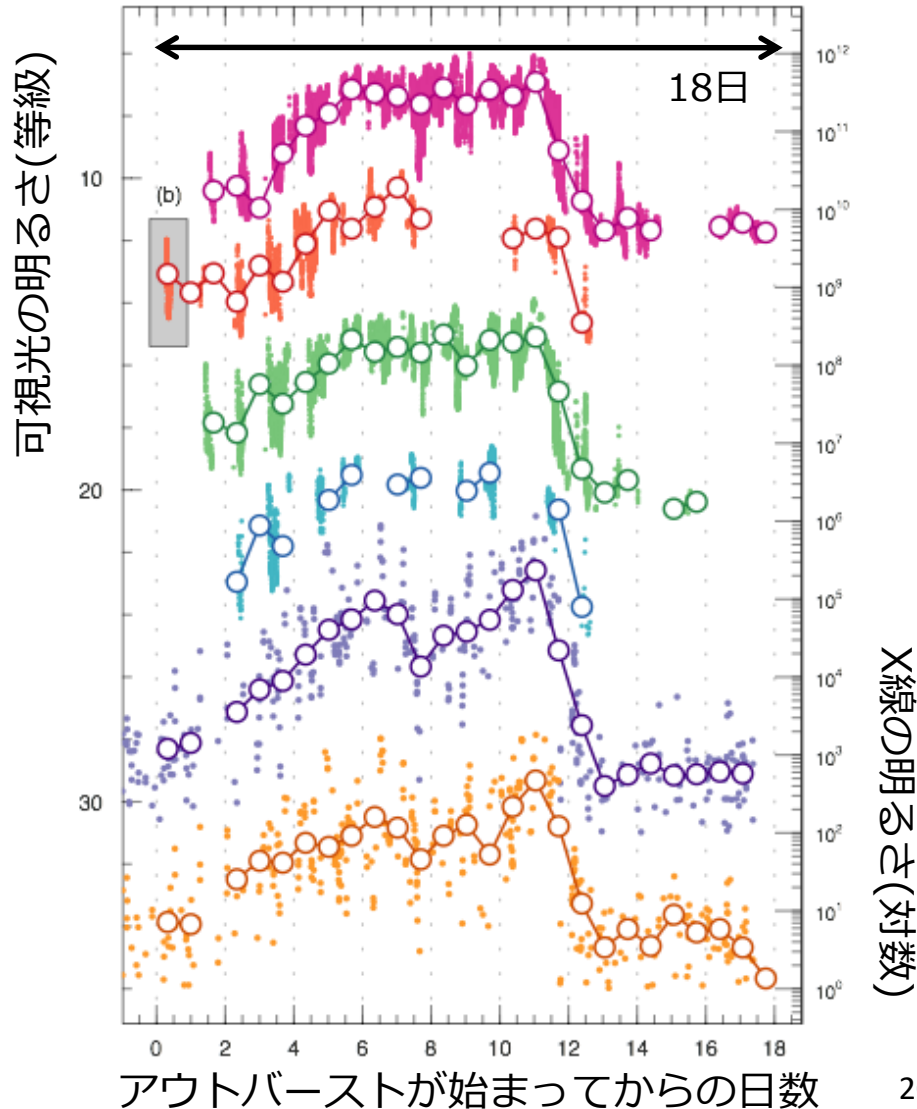
150msecの遅れはjet内でのpropagationによるもの、10secの遅れはjetからの放射のdiskでのreprocessによるものと理解される(Gandhi et al. 2010)。

**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線観測との連携と爆発発生時の素早い対応が鍵！**

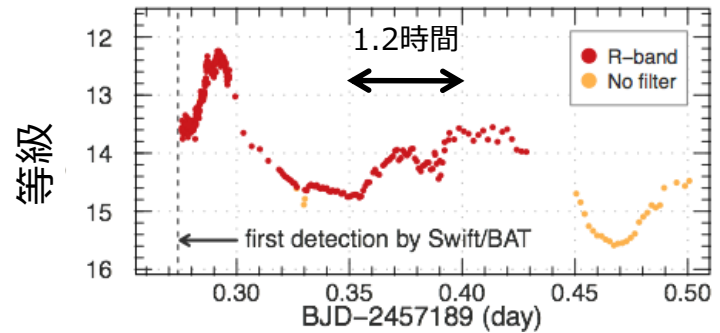
# V404 Cyg の2015年6月のアウトバースト

## 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

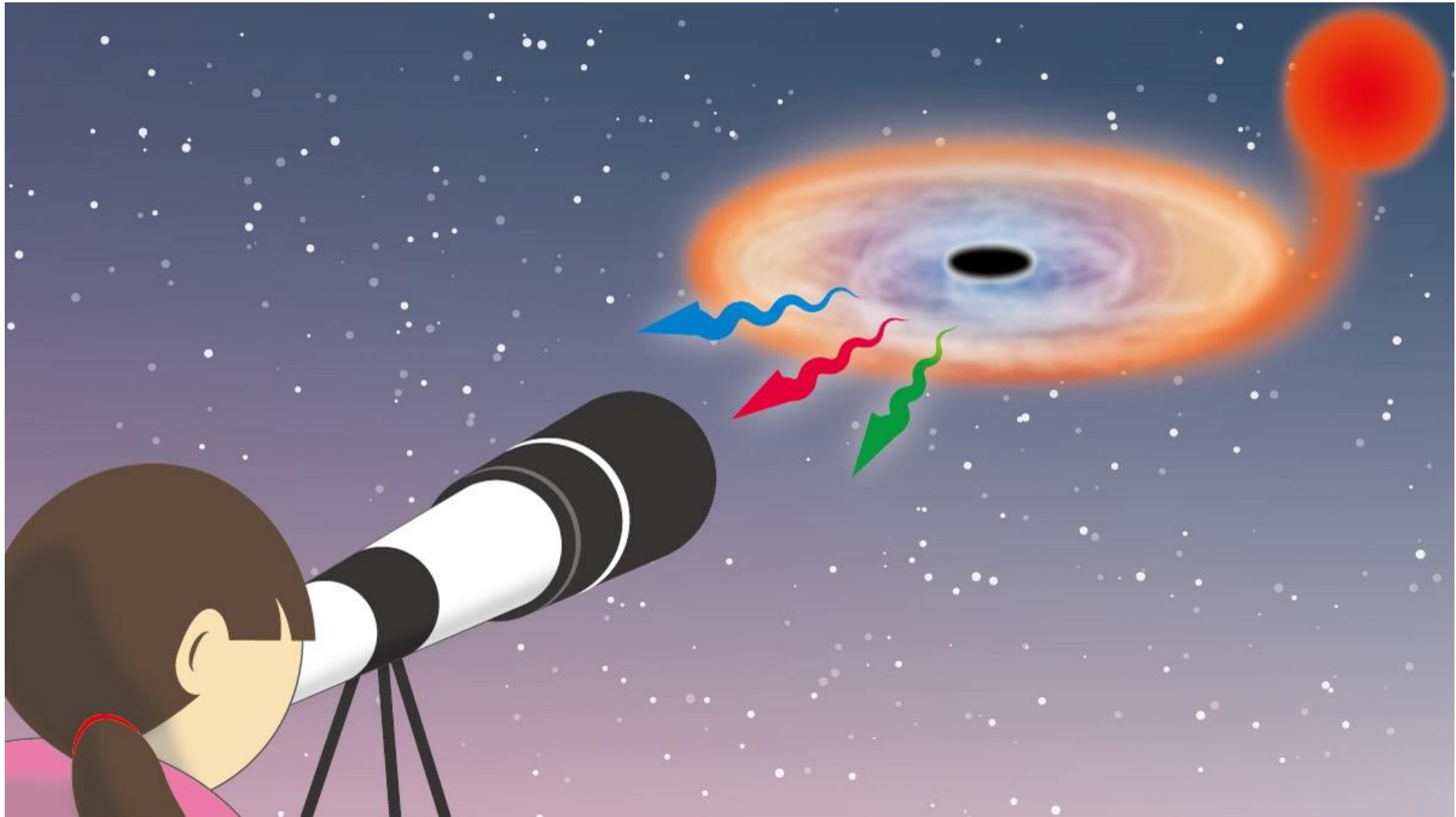
アウトバーストの最初から最後まで、  
激しい短時間変動が見えた！

はくちょう座V404星

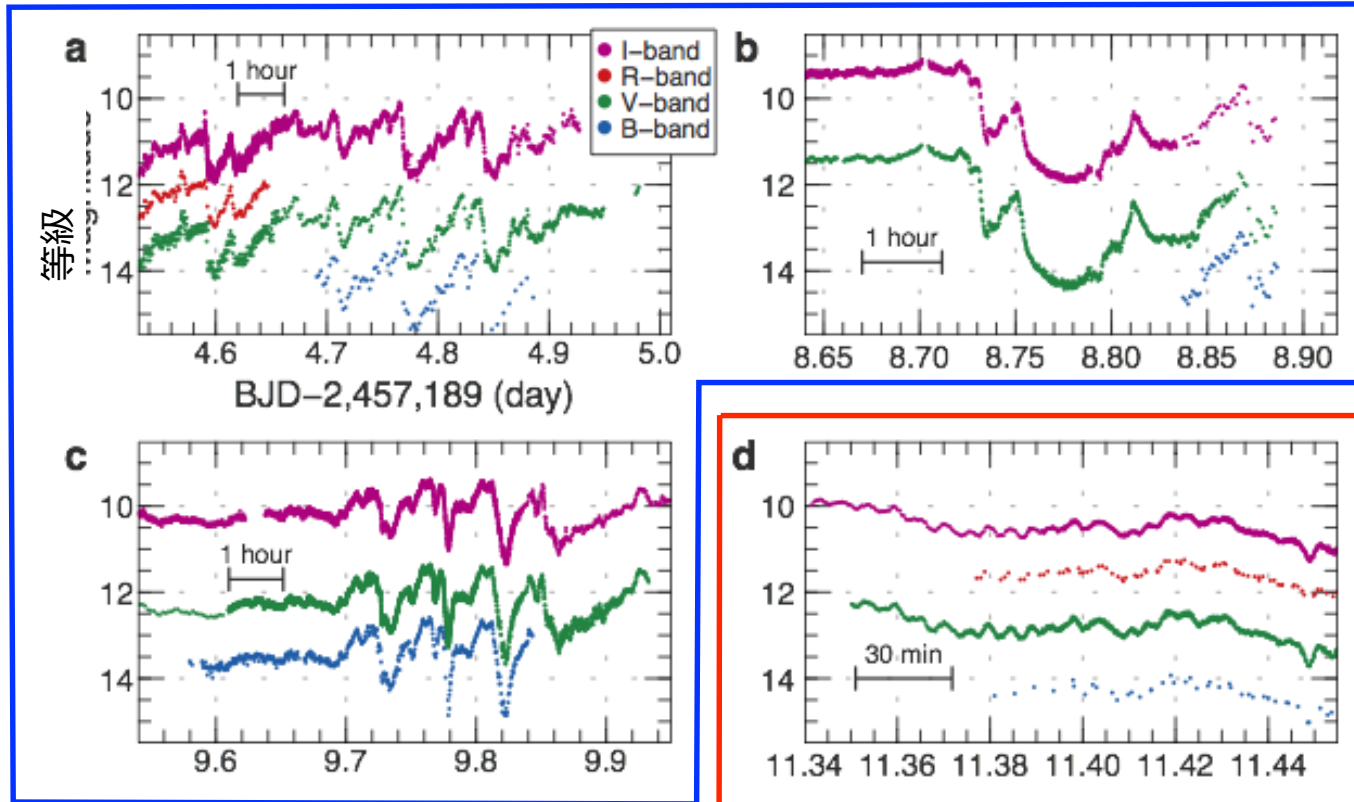
<望遠鏡で見えるブラックホール>



# ブラックホールが目で見えた！



# BHXB V404 Cygで見られた規則的な変動



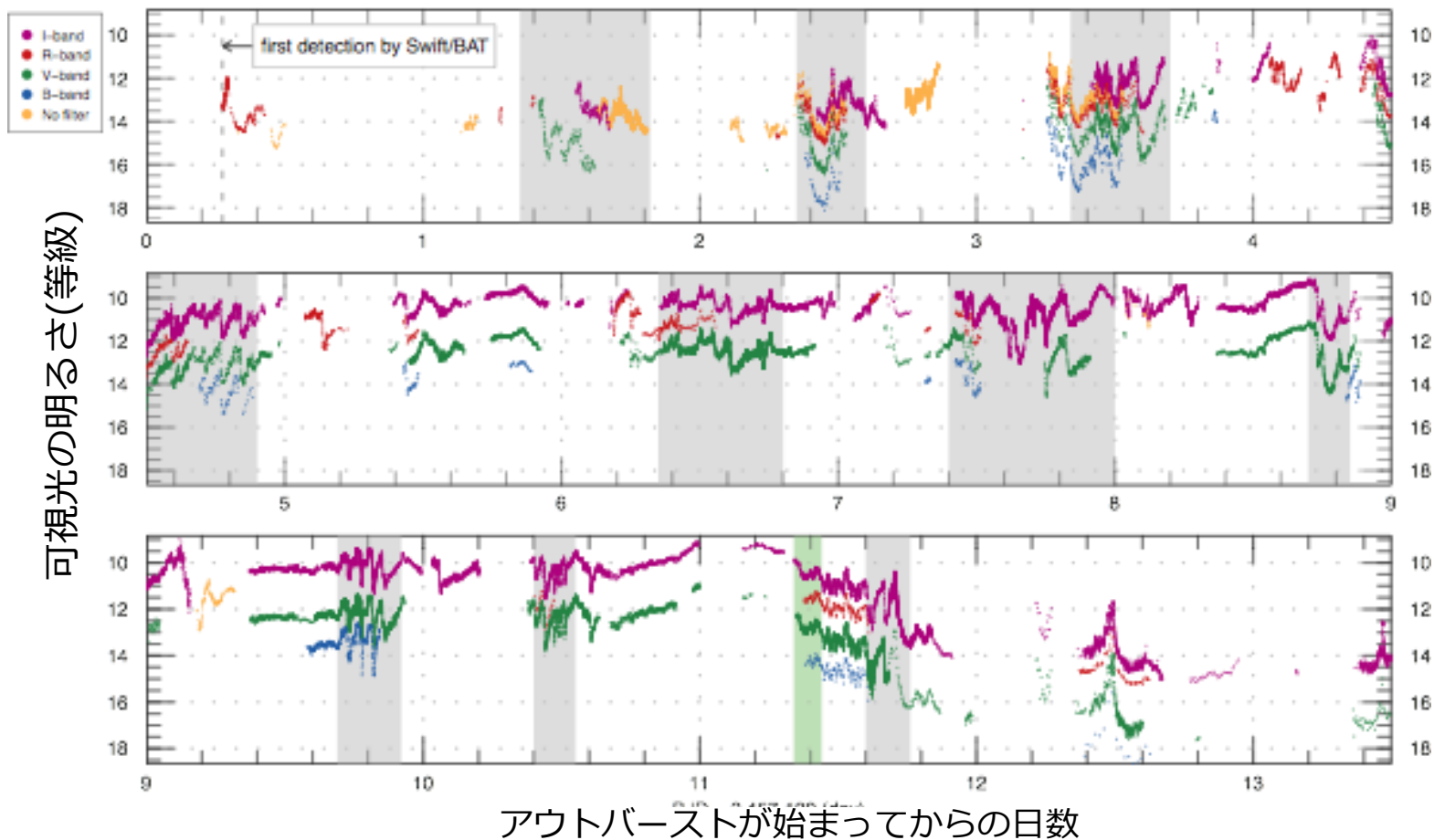
- ゆっくり増光したのち、急に光度が落ち込むという変動が続く。増光中は光度が変動する。
- タイムスケール：45分～2.5時間程度

- 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！  
約1分の可視光の遅れから、disk 外側でのreprocessか？

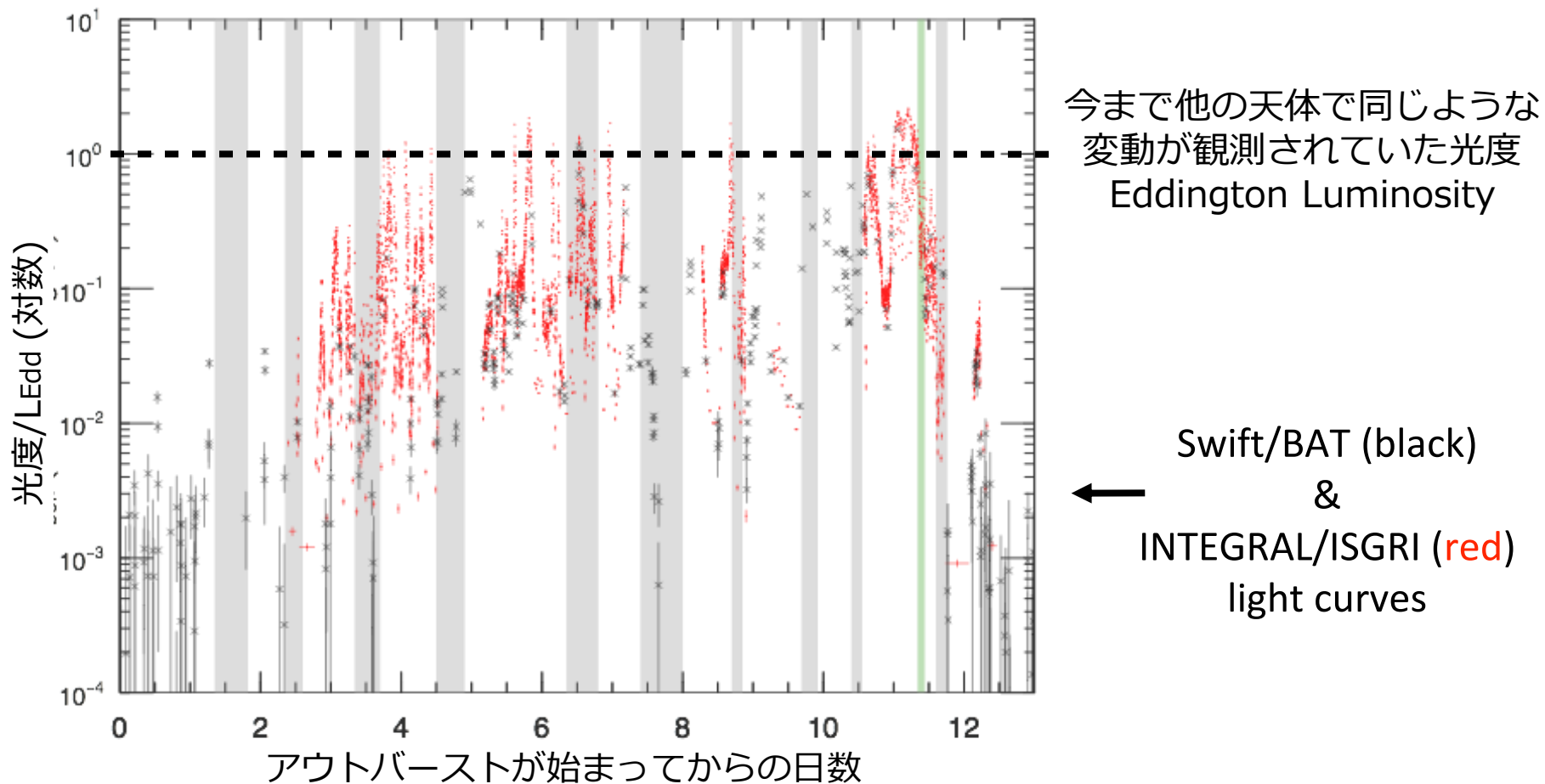
# 観測結果(4)

規則的なパターンを持つ可視光の変動が何度も観測され、このような変動が今までよりも10分の1以下の低い光度のときにも見つかった!



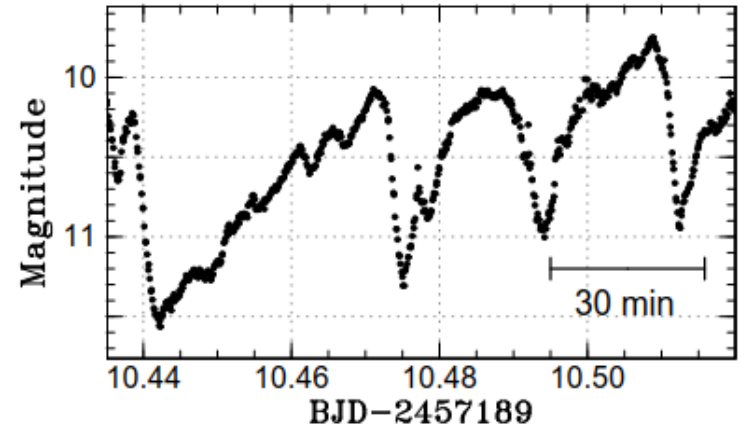
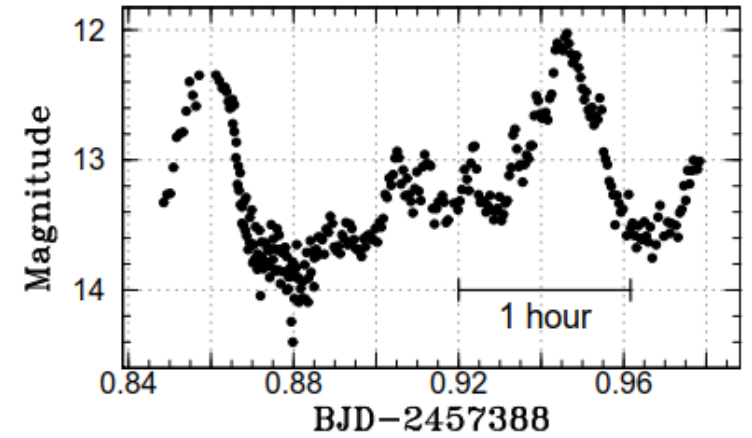
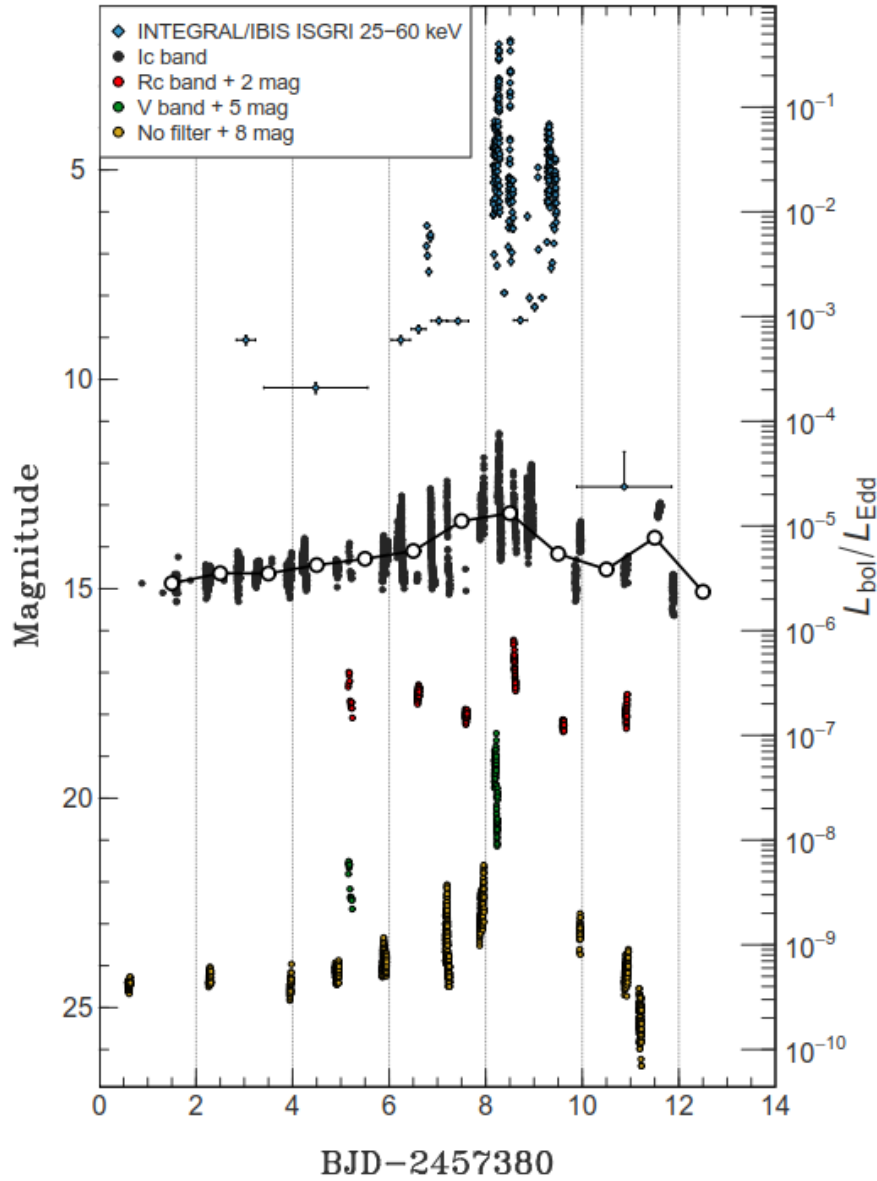


## ▶ 観測結果(4)

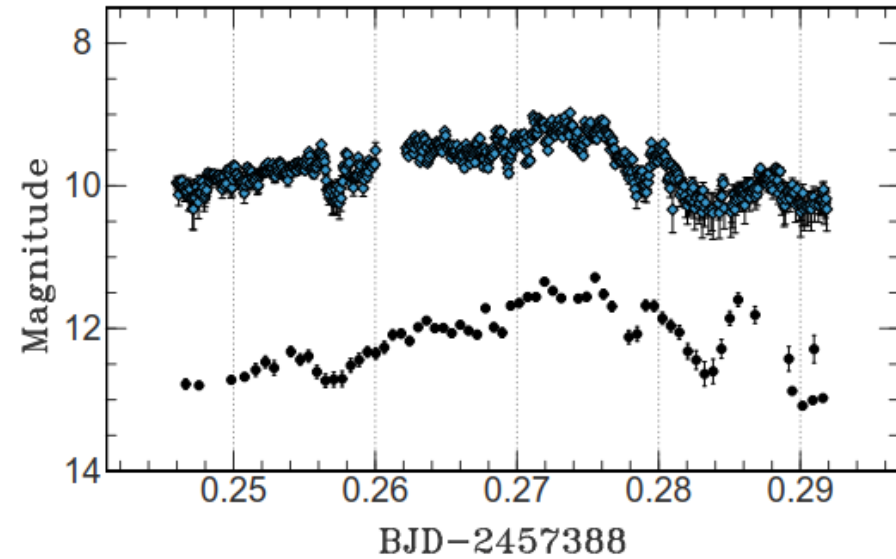
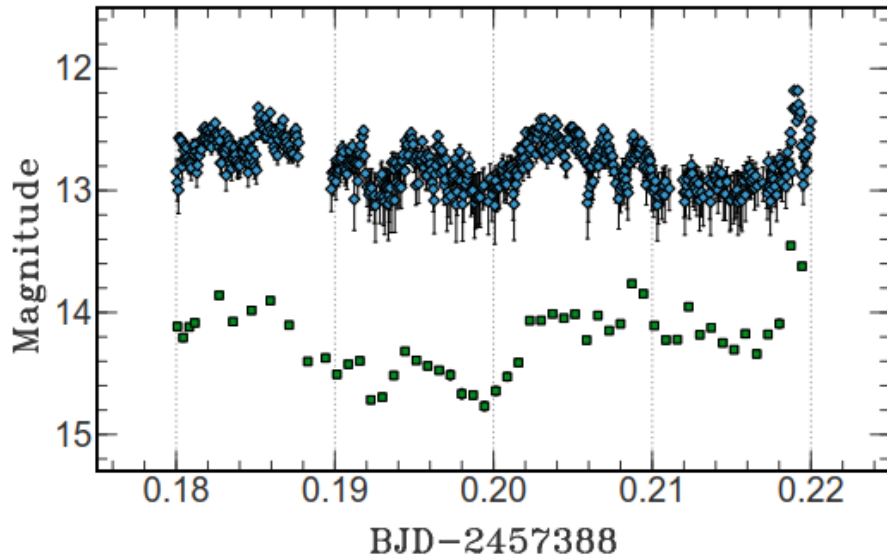


- dip-type oscillations は今まで観測されたよりも10分の1以下の低い光度( $\sim 0.01 L_{\text{Edd}}$ )でも観測された!

# 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., 2017, MNRAS in press)



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?

# まとめ

- 3.8m望遠鏡は来年度観測開始(予定)で、京大時間・共同利用で半々くらい
- Tomo-e Gozenで発見される各種突発天体・現象への対応観測を行う
- 各種観測装置開発中及び経費申請中
- 高速測光分光器は来年度から使用できる予定
- アウトバースト直後からの継続的な高速測光・分光観測で超強重力場での降着円盤の振る舞いを明らかに！