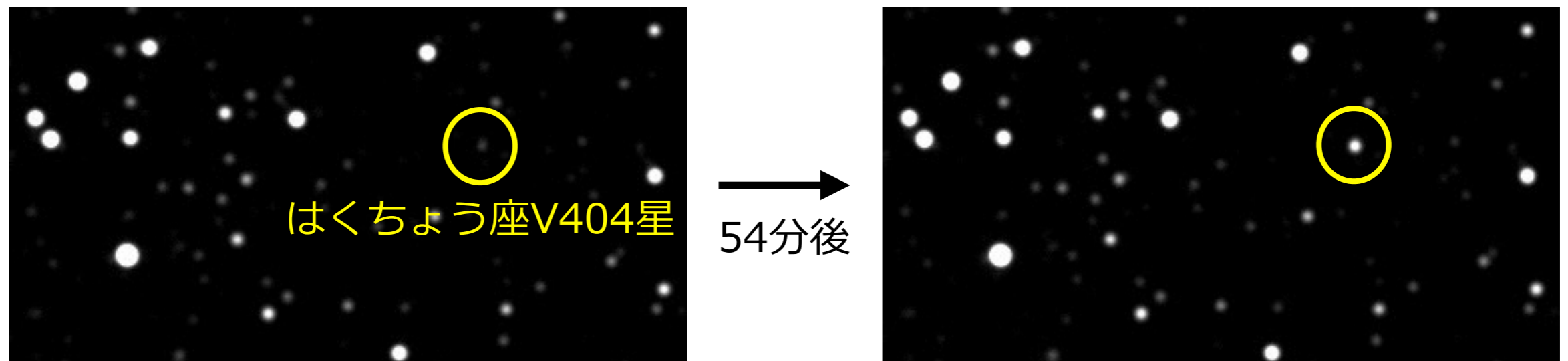


ブラックホール連星 はくちょう座V404星の 26年ぶりのアウトバースト

～規則的なパターンを持つ可視光の短時間変動の発見～



“Repetitive patterns in rapid optical variations in the nearby black-hole binary V404 Cygni”
(*Nature*, 529, 54-58, 2016, doi: 10.1038/nature16452)

きむら
発表者: 木邑真理子(京都大学)

はくちょう座V404星



25分後



31分後



53分後



(2015年6月17日の可視画像データ)

実際の可視観測データ
からわかる
ブラックホールの
「またたき」

はくちょう座V404星

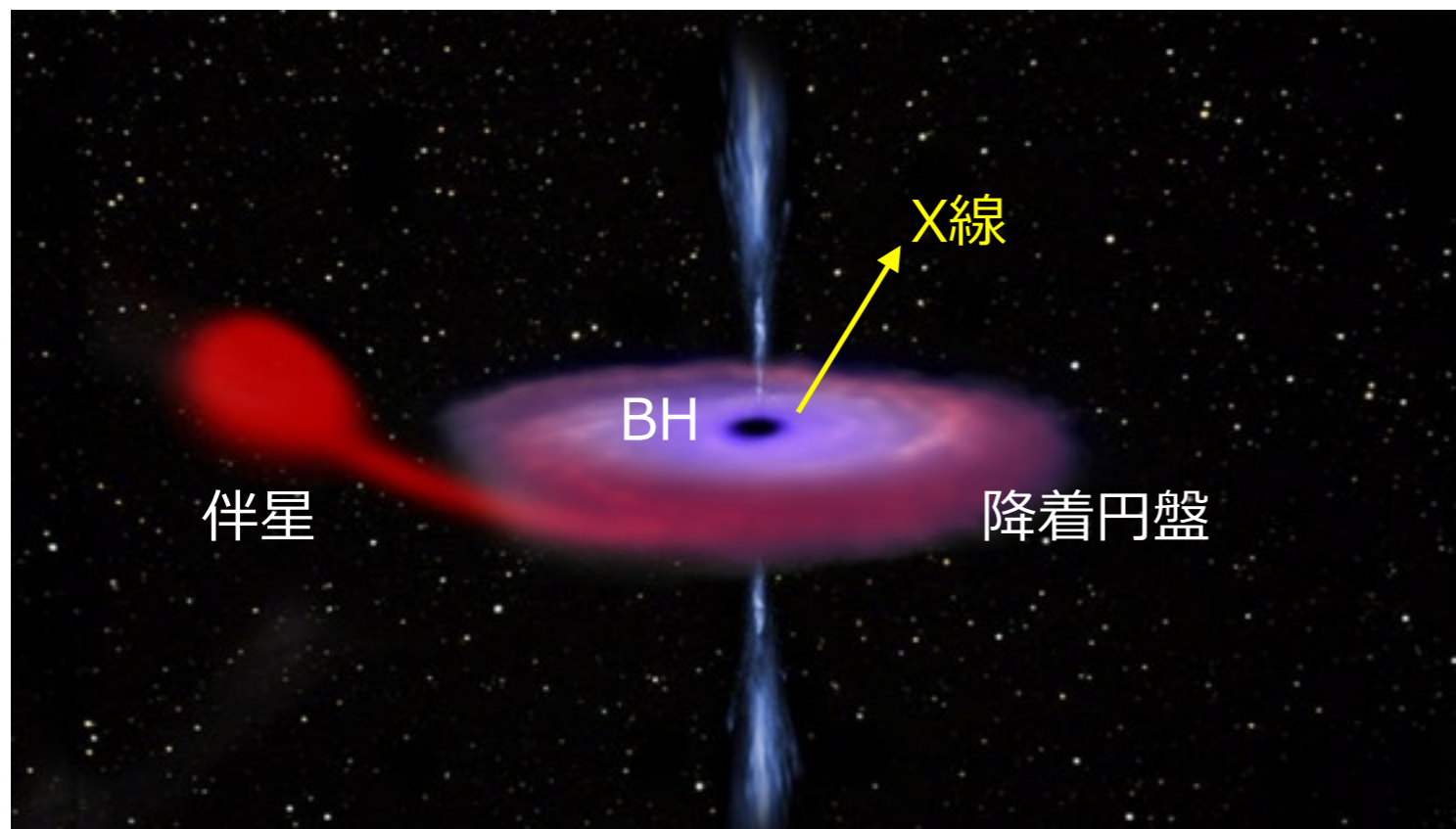
<望遠鏡で見えるブラックホール>



▶ ブラックホールX線連星

ブラックホールX線連星 > ブラックホールX線新星 > はくちょう座V404星

- 主星がブラックホール、伴星が普通の星から成る連星系の一種。
- 伴星のガスがブラックホールの重力に引きよせられ、ブラックホールの周りに降着円盤と呼ばれるガス円盤を形成する。
- 降着円盤のガスが中心のブラックホールに落ち込む時に重力エネルギーが解放され、それが熱エネルギーに変えられ、高エネルギーの電磁波であるX線を放出する。



- ブラックホールが単位時間に吸い込む物質の量を質量降着率と呼ぶ
- 質量降着率が高い = 光度が高い (明るい)

(c) ESA / ATG medialab

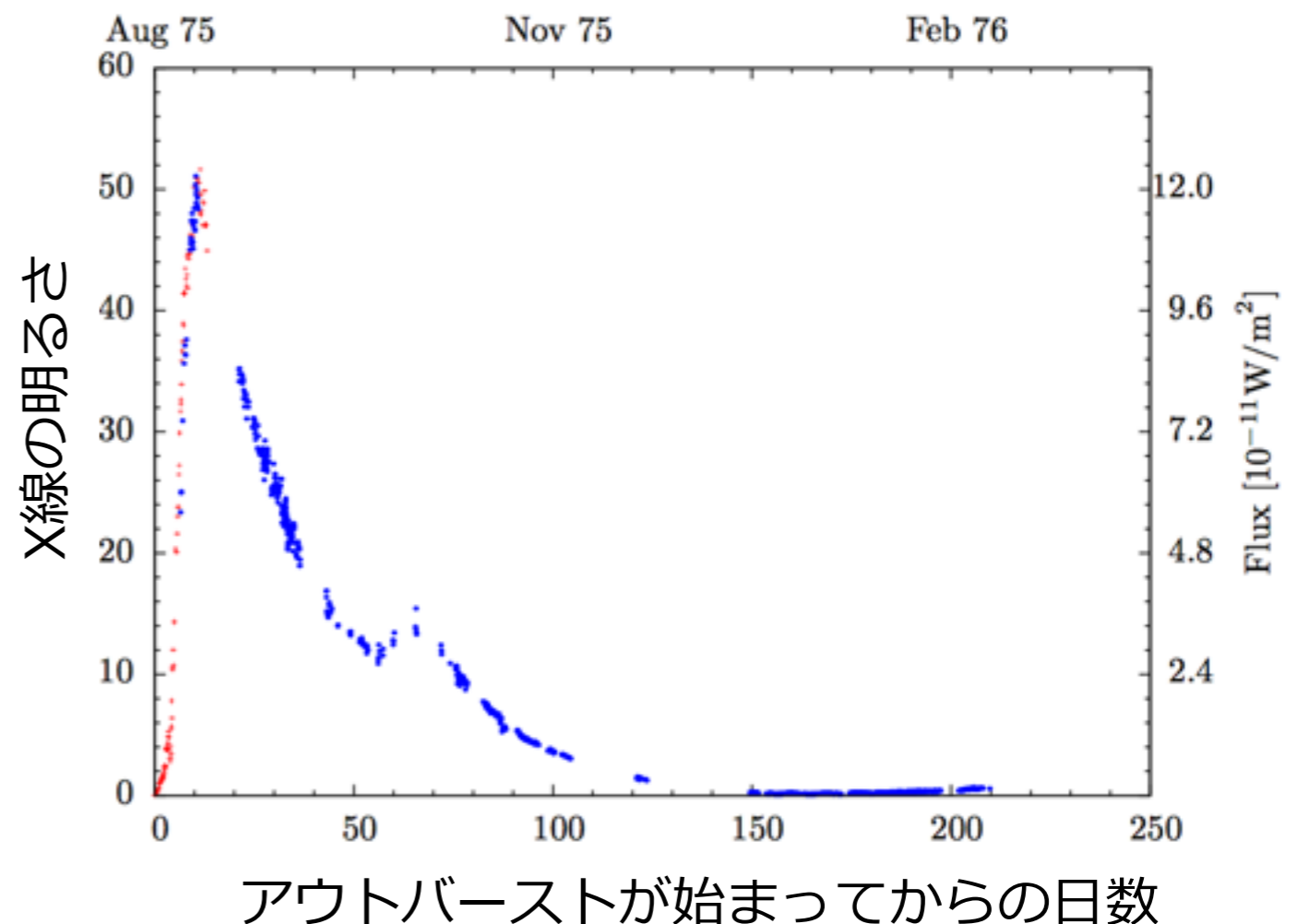
▶ ブラックホールX線新星

ブラックホールX線連星 > **ブラックホールX線新星** > はくちょう座V404星

- ブラックホールX線連星の一つ。
- 不定期にアウトバースト(急激に天体が明るくなる現象)を起こす。
- アウトバーストが起こると、最初の十日程で明るさが100倍以上明るくなり、その後数十日から数百日程かけて元の明るさに戻る。
- X線領域でもっとも明るい

急激な増光と緩やかな減光が特徴

いっかくじゅう座X-1星の光度曲線→



▶ アウトバーストのメカニズム

降着円盤で起こる熱不安定性

- 温度: $10^3 - 10^4$ [K]
- タイムスケール: 数日から数百日
- 円盤の**外側**で起こる



pixta.jp - 10052818

ガスがBHに吸い込まれる

明るい



円盤上のガスがなくなる

暗い



ガスが円盤に溜まる



ガスがBHに吸い込まれる

明るい

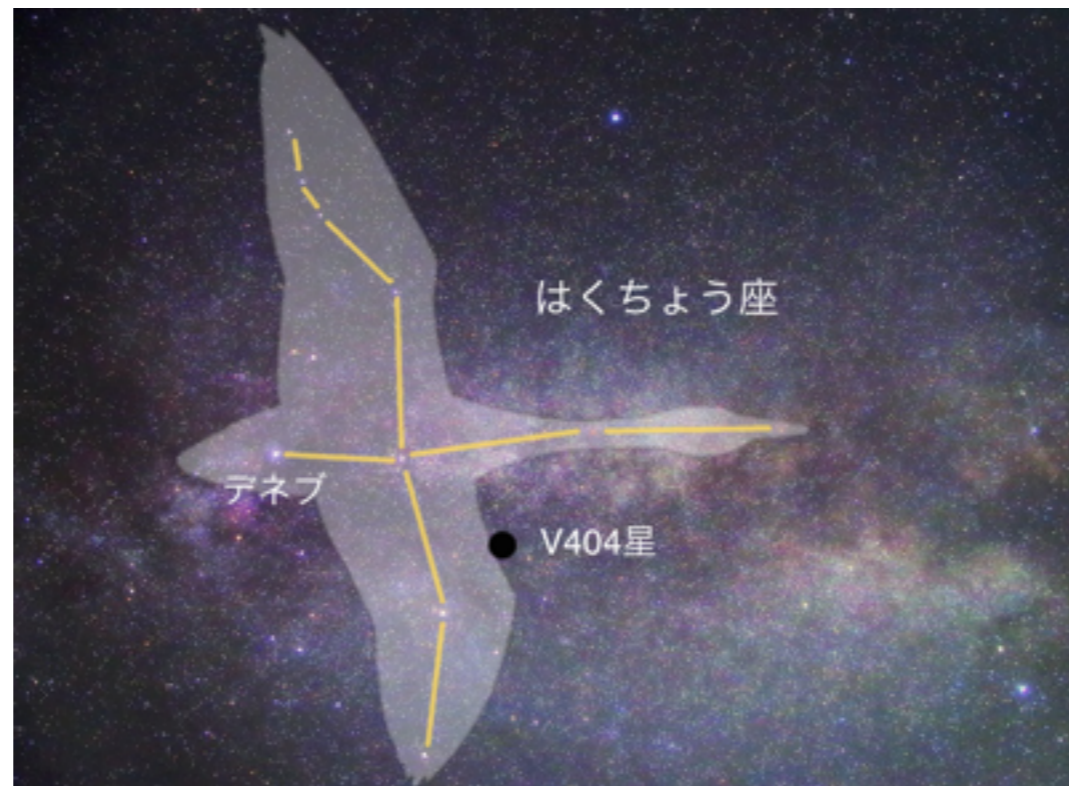


ししおどしのように、ガスが溜まる暗い状態とブラックホールにガスが落ち込む明るい状態を繰り返す

▶ はくちょう座V404星

ブラックホールX線連星 > ブラックホールX線新星 > はくちょう座V404星

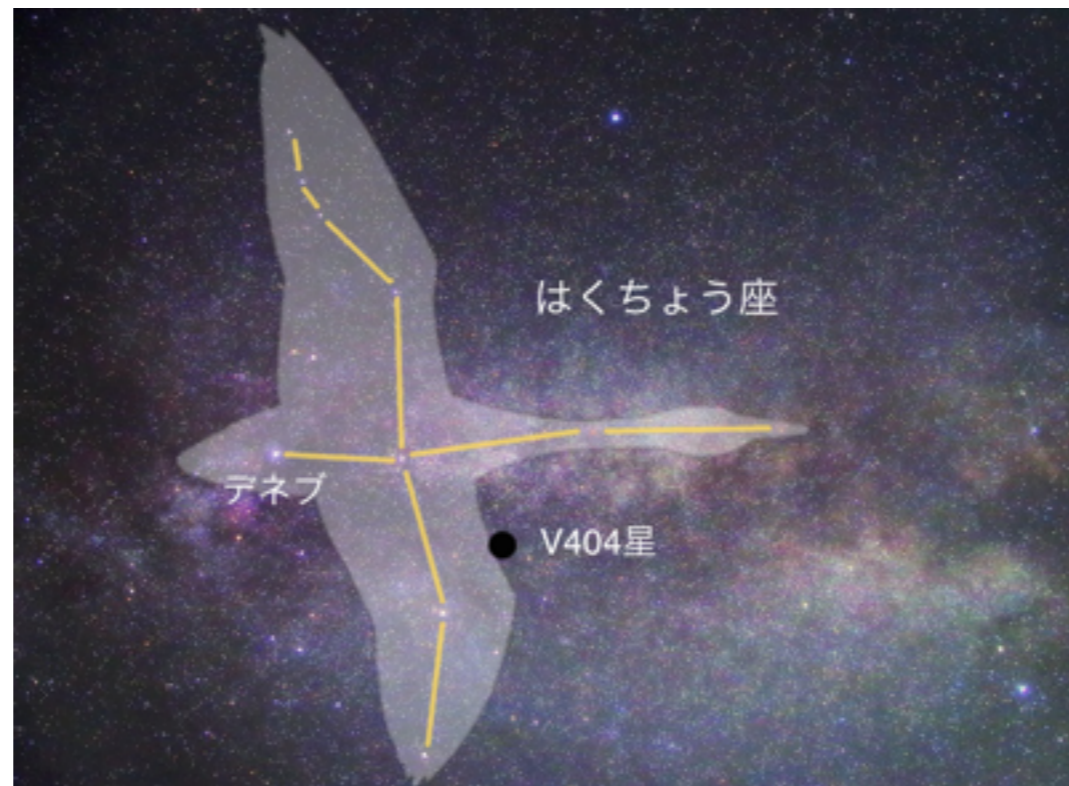
- 地球に最も近いブラックホールX線新星。
- 1938年に発見され、1989年に日本の衛星「ぎんが」によってX線新星と同定された。1938, 1956, 1979, 1989年にアウトバーストを起こしている。
- 過去の観測から、アウトバースト中にX線で激しい変動を示すことが知られている。



▶ はくちょう座V404星

ブラックホールX線連星 > ブラックホールX線新星 > はくちょう座V404星

- 地球に最も近いブラックホールX線新星。
- 1938年に発見され、1989年に日本の衛星「ぎんが」によってX線新星と同定された。1938, 1956, 1979, 1989年にアウトバーストを起こしている。
- 過去の観測から、アウトバースト中にX線で激しい変動を示すことが知られている。



2015年6月、26年ぶりにアウトバーストを起こした！

Swift衛星で発見、可視光、MAXI(全天X線観測装置)でも確認

▶ 可視光での国際協力観測

- VSNET team(国際変光星ネットワーク)、台湾のTAOS team、ロシア宇宙科学研究所の協力によって、世界26カ所、35個の地上望遠鏡での可視光の多色測光観測が可能になった。



↑ 今回のアウトバーストにおける可視測光観測を行った場所

▶ 天文学的新規性

今回のはくちょう座V404星のアウトバーストにおける新規性:

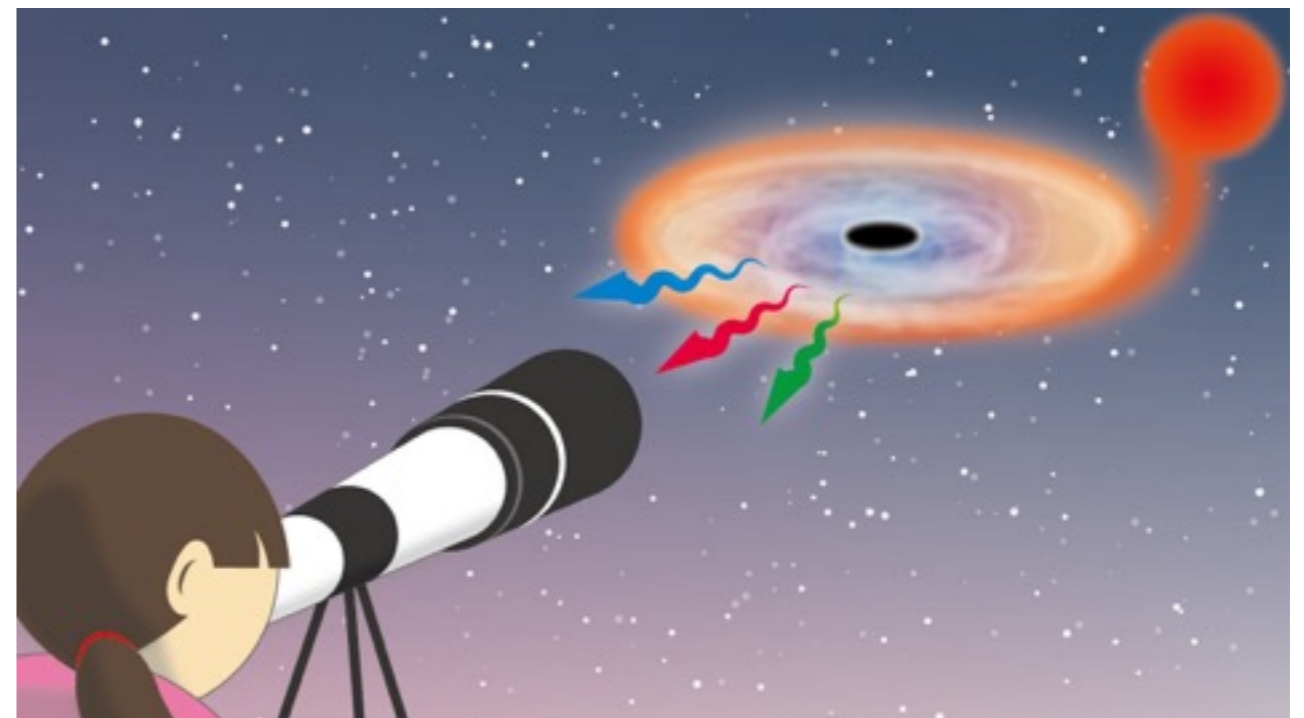
- 1) 今までX線でしか観測できないと思われていたブラックホール近傍からの放射エネルギーの振動現象を可視光で初めて捉えた。
- 2) ブラックホール近傍からのエネルギー放射の規則的なパターンを持つ変動が、光度が低いときにも観測されることを発見した。

▶ 天文学的新規性

今回のはくちょう座V404星のアウトバーストにおける新規性:

1) 今までX線でしか観測できないと思われていたブラックホール近傍からの放射エネルギーの振動現象を可視光で初めて捉えた。

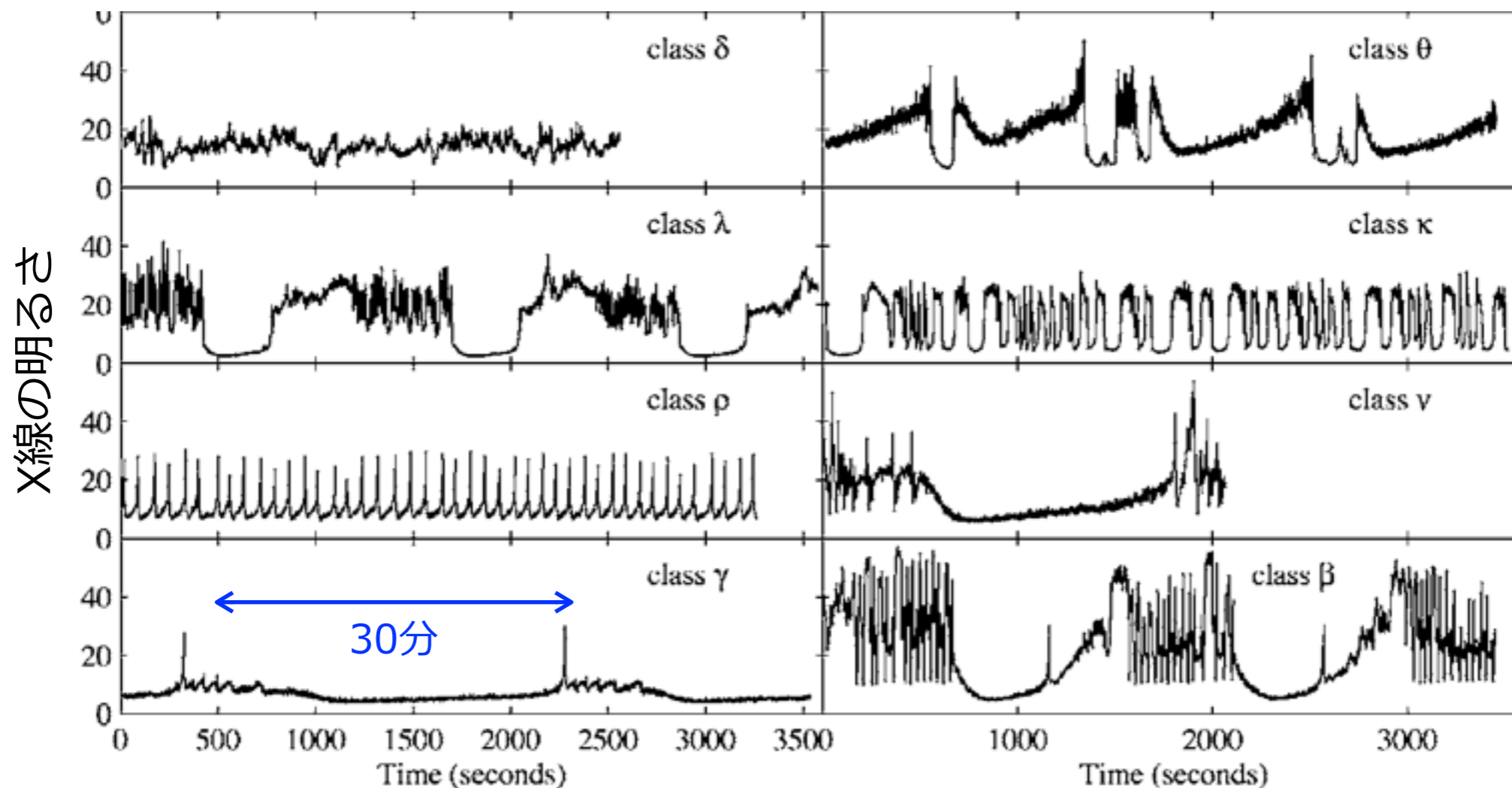
- **BHのまたたきを直接目で見ることができる**(数十センチ程度の望遠鏡を用いて)。
- GRS 1915+105で観測される、規則的なパターンを持つX線変動と形の似ている変動が、可視光で初めて見つかった。



(c)小野英理/京都大学

▶ GRS 1915+105

- ブラックホール連星の一つ
- 光度が非常に高いとき(エディントン限界光度に近いとき)に、規則的なパターンを持つX線光度変動(ブラックホールからの放射エネルギーの振動現象と考えられている)を示す

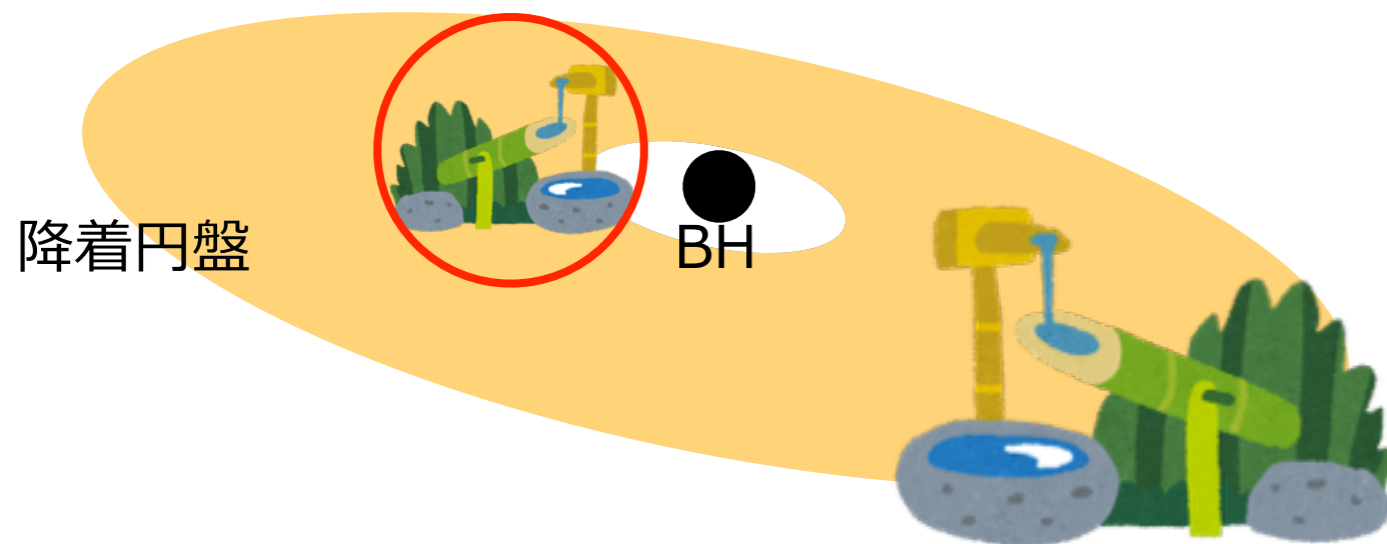


Fender & Belloni 2004

▶ 周期的な光度変動のメカニズム

降着円盤で起こる熱不安定性

- 温度: $\sim 10^7$ [K]
- タイムスケール: 数十秒
- 円盤の内側で起こる



ガスがBHに吸い込まれる

明るい



円盤上のガスがなくなる

暗い



ガスが円盤に溜まる



ガスがBHに吸い込まれる

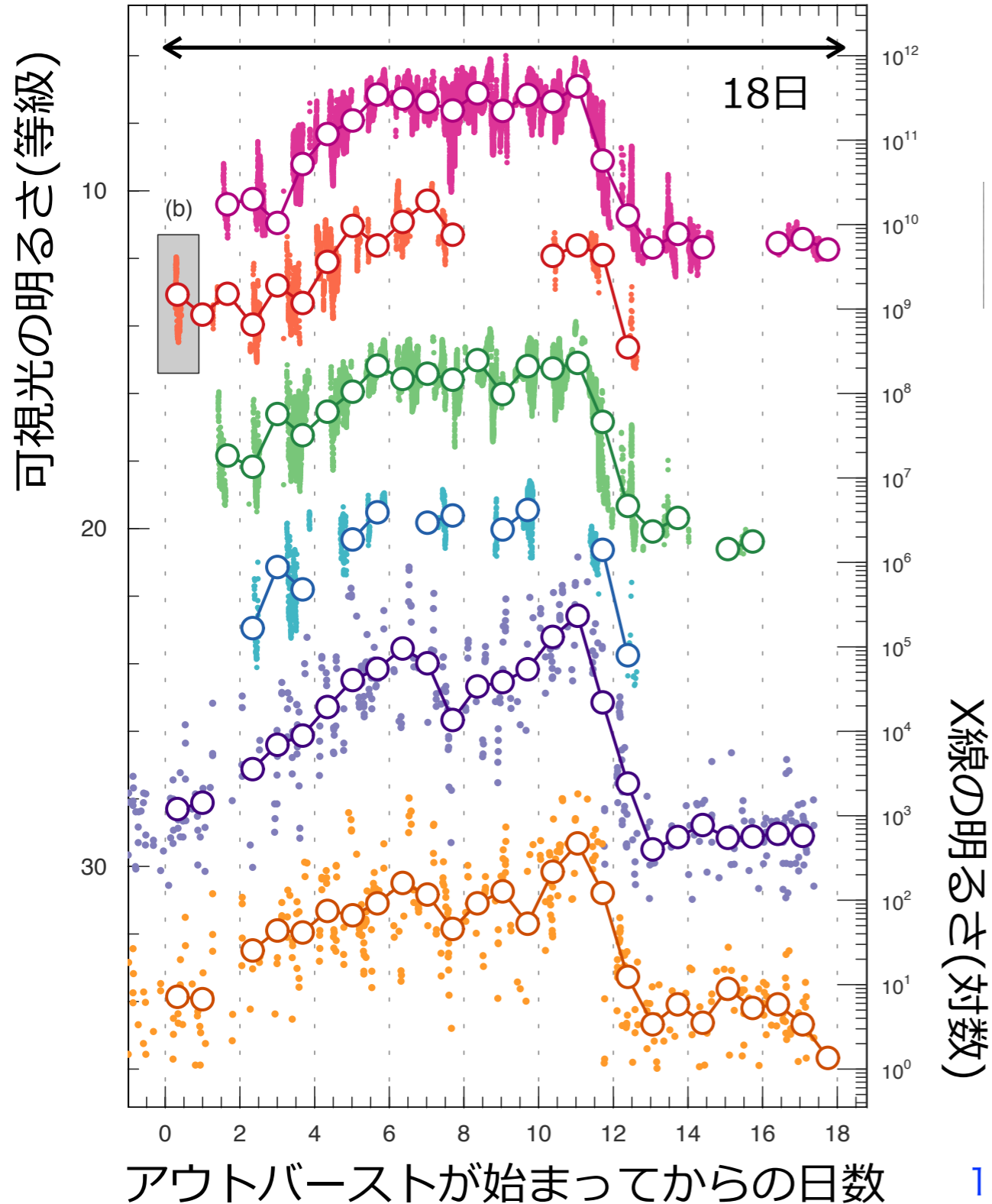
明るい



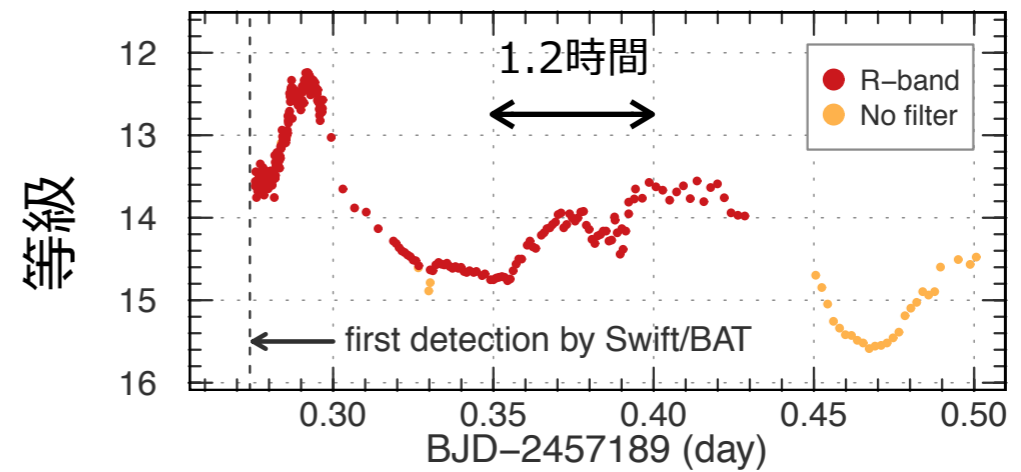
質量降着率が高い(光度が高い)ことが、このような周期的な光度変動を起こす重要なパラメータである

観測結果(1) 全体の光度曲線

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



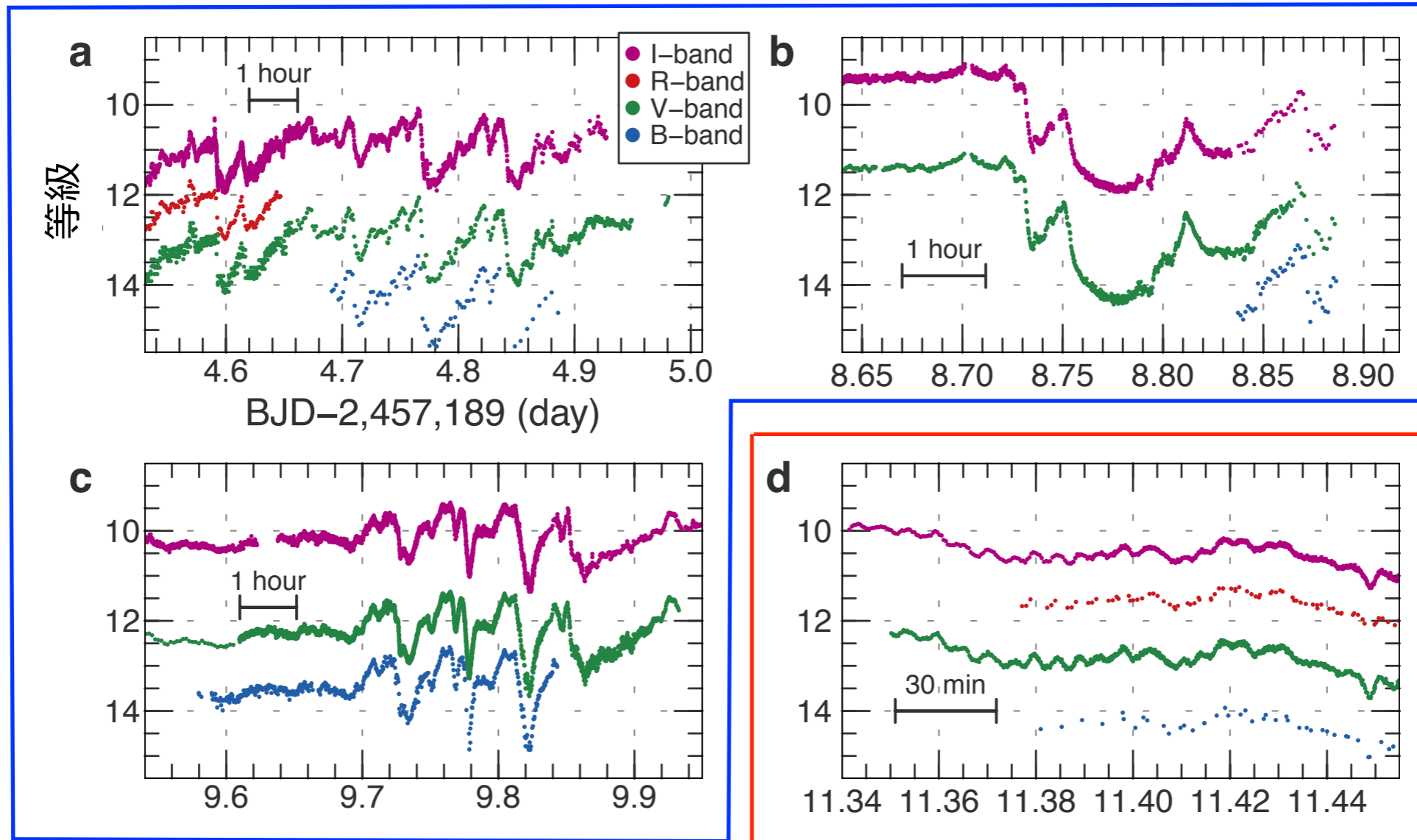
- 期間：およそ18日
- 可視光、X線の光度曲線が互いによく似ている。



↑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！

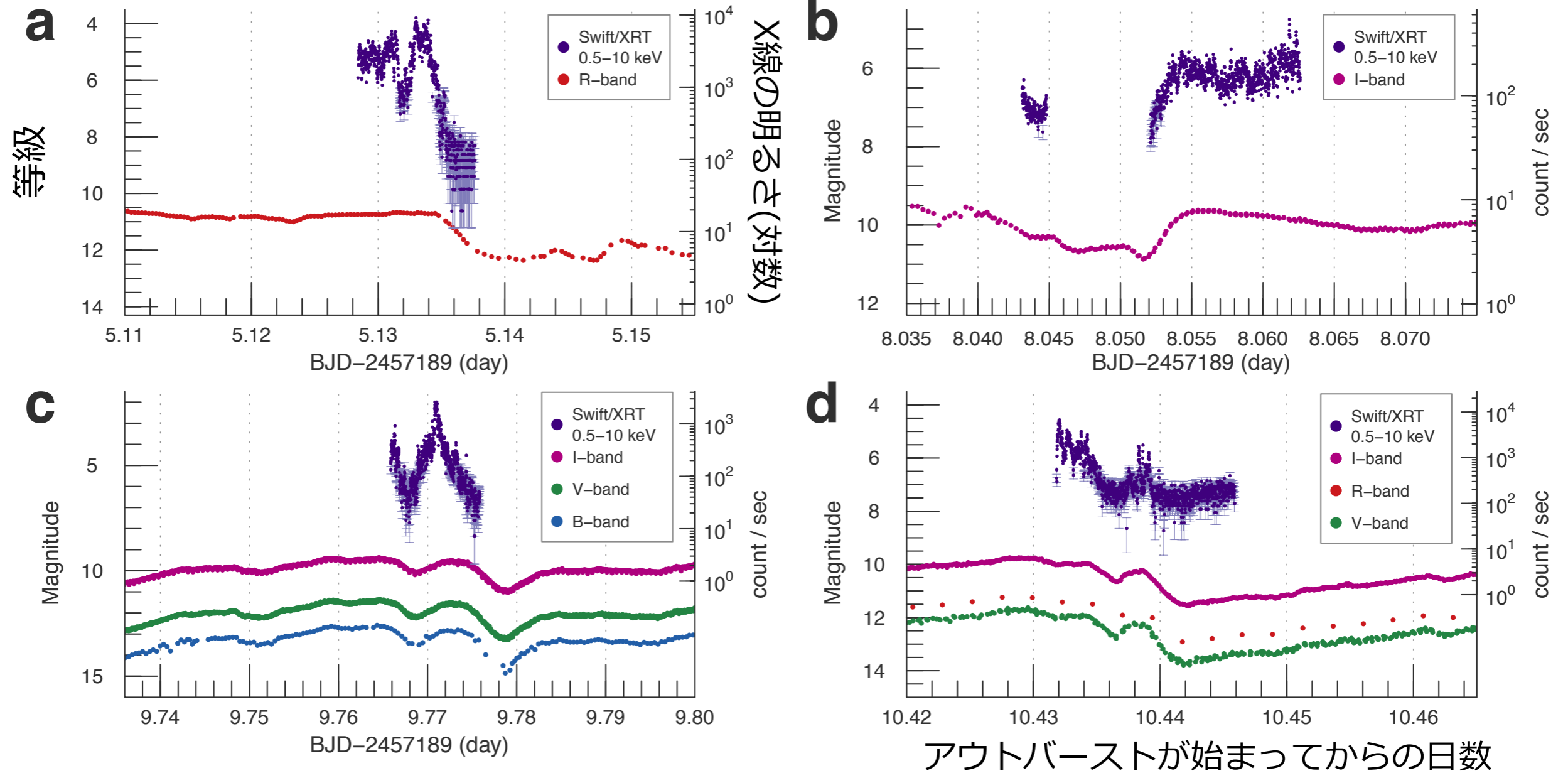
▶ 観測結果(2) 規則的な変動



- 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

観測結果(3) X線の変動との相関

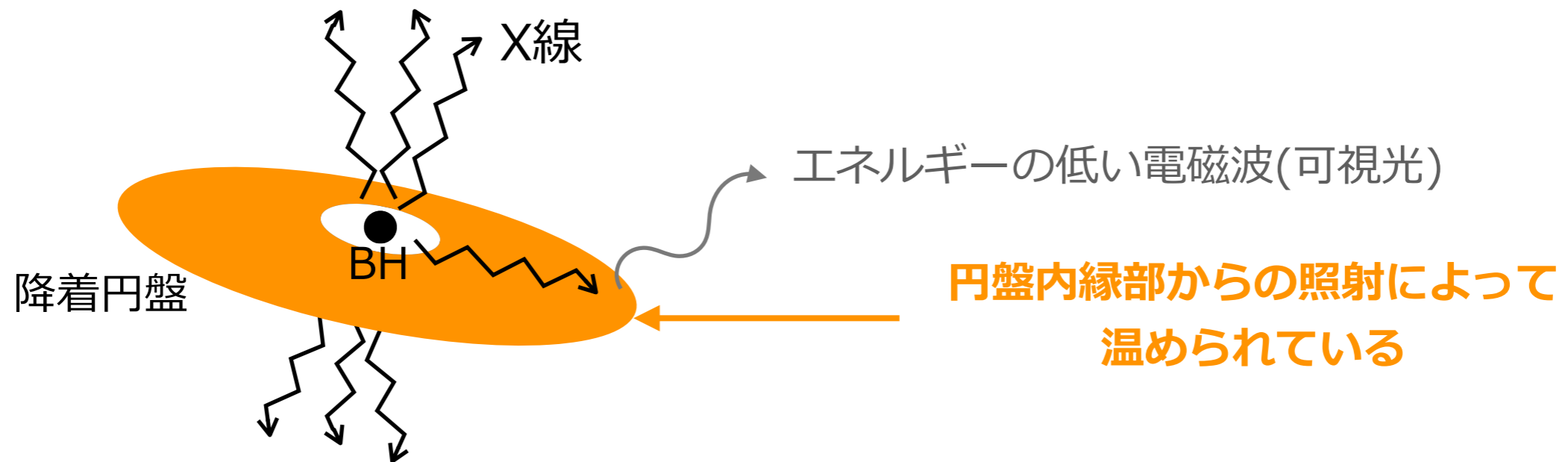


- X線と可視光の変動の相関が良い

→可視光でも、X線で見ると同じ現象(ブラックホール近傍からの光の振動)を見ている

▶ 可視光の起源

- 円盤が大きく、可視光の変動は、X線の変動に比べておよそ1分遅れている
→ 円盤内縁部から出るX線が円盤の外側に届く時間とよく一致する



円盤の外側(冷たい)が、円盤内縁部から放射されたX線によって温められ、X線よりもエネルギーの低い可視光線を出したと考えられる

▶ 天文学的新規性

今回のはくちょう座V404星のアウトバーストにおける新規性:

- 1) 今までX線でしか観測できないと思われていたブラックホール近傍からの放射エネルギーの振動現象を可視光で初めて捉えた。
- 2) ブラックホール近傍からのエネルギー放射の規則的な変動が、光度が低いときにも観測されることを発見した。

▶ 天文学的新規性

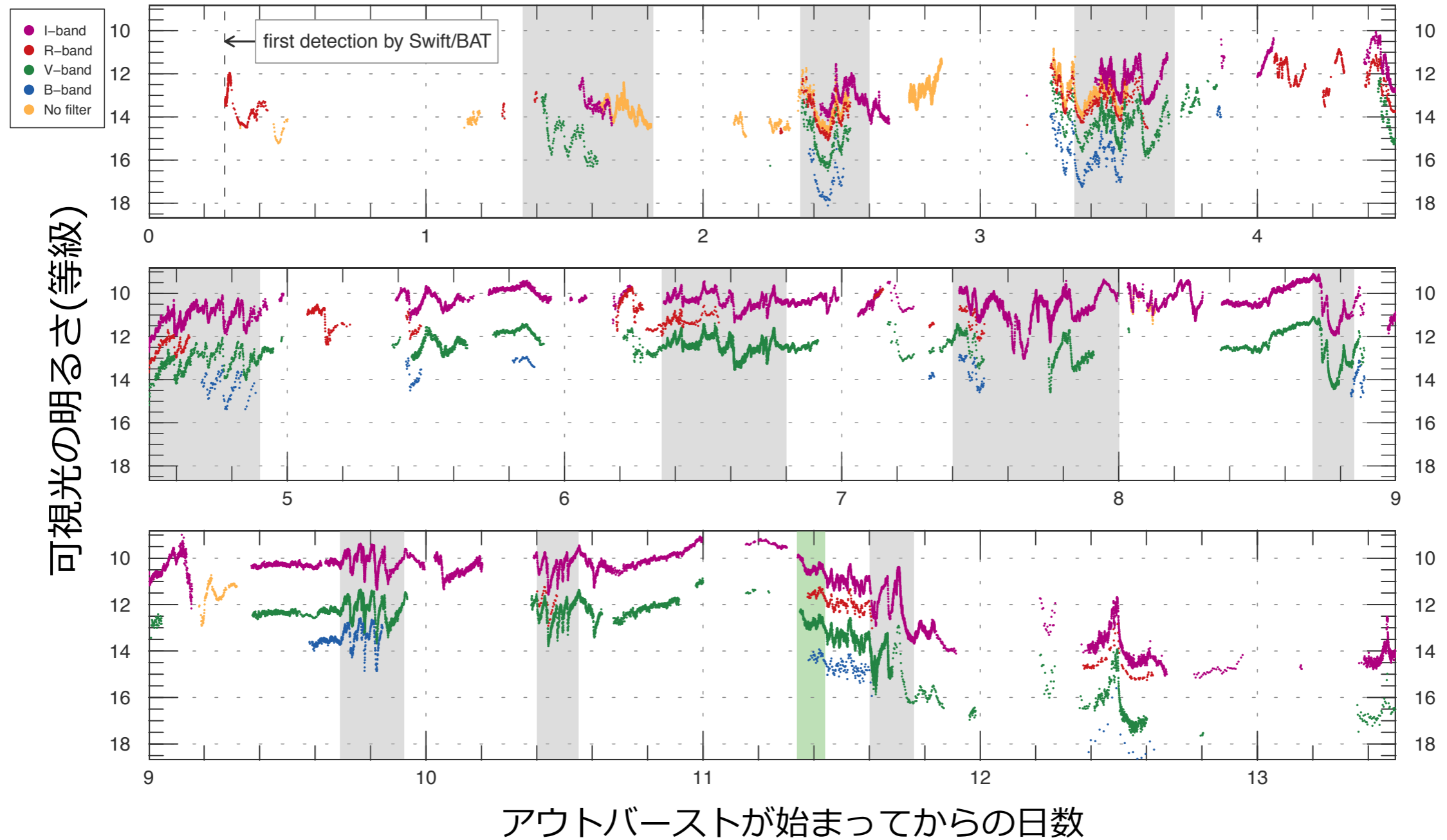
今回のはくちょう座V404星のアウトバーストにおける新規性:

2) ブラックホール近傍からのエネルギー放射の規則的な変動が、光度が低いときにも観測されることを発見した。

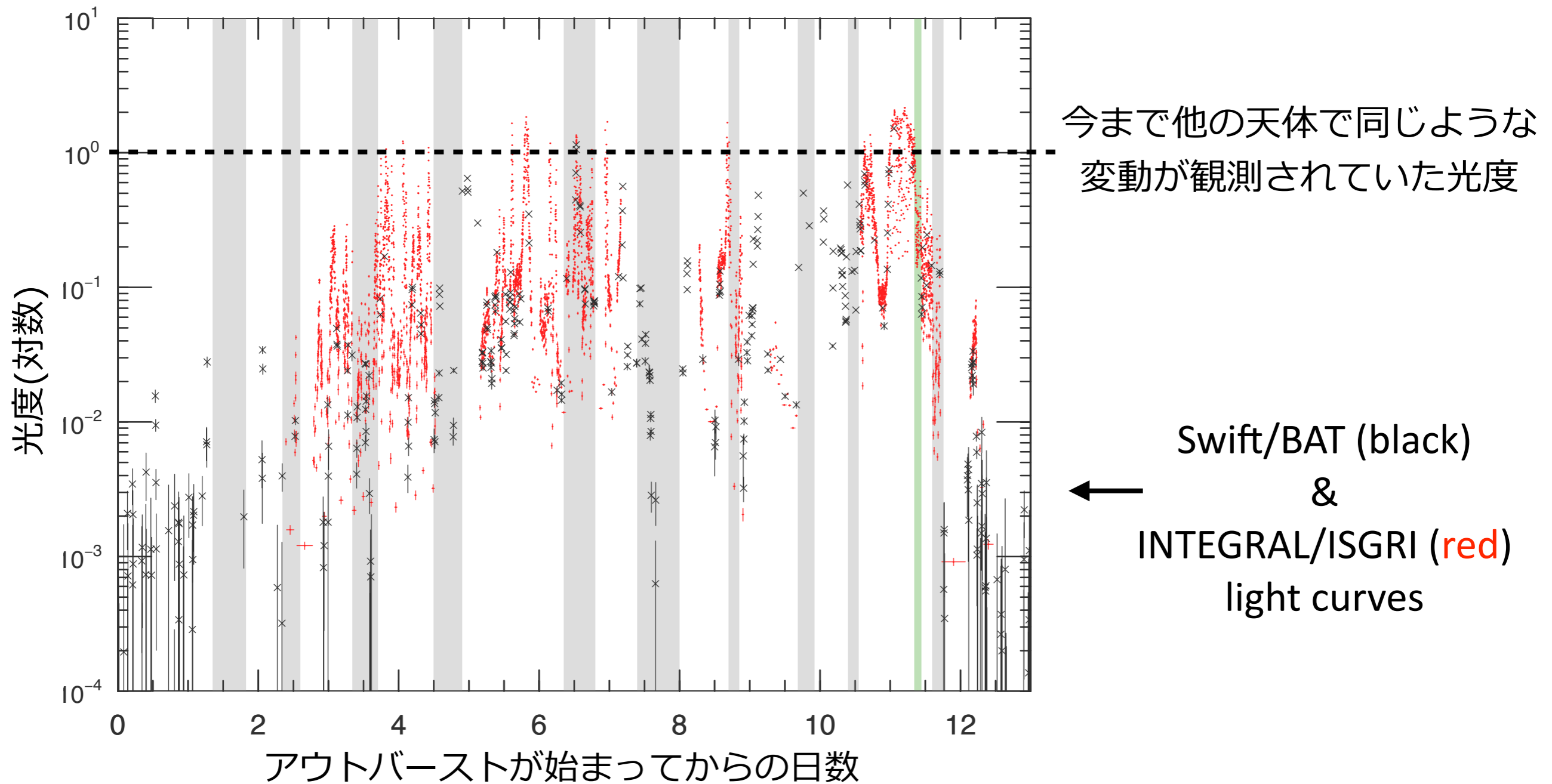
- 他のX線連星では、今まで光度が高いときにしか観測されていない。
- 今回のアウトバーストにおいて、今まで観測されていたよりも**10分の1以下の低い光度のとき**にも観測された。

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以下の低い光度でも観測された

▶ まとめ

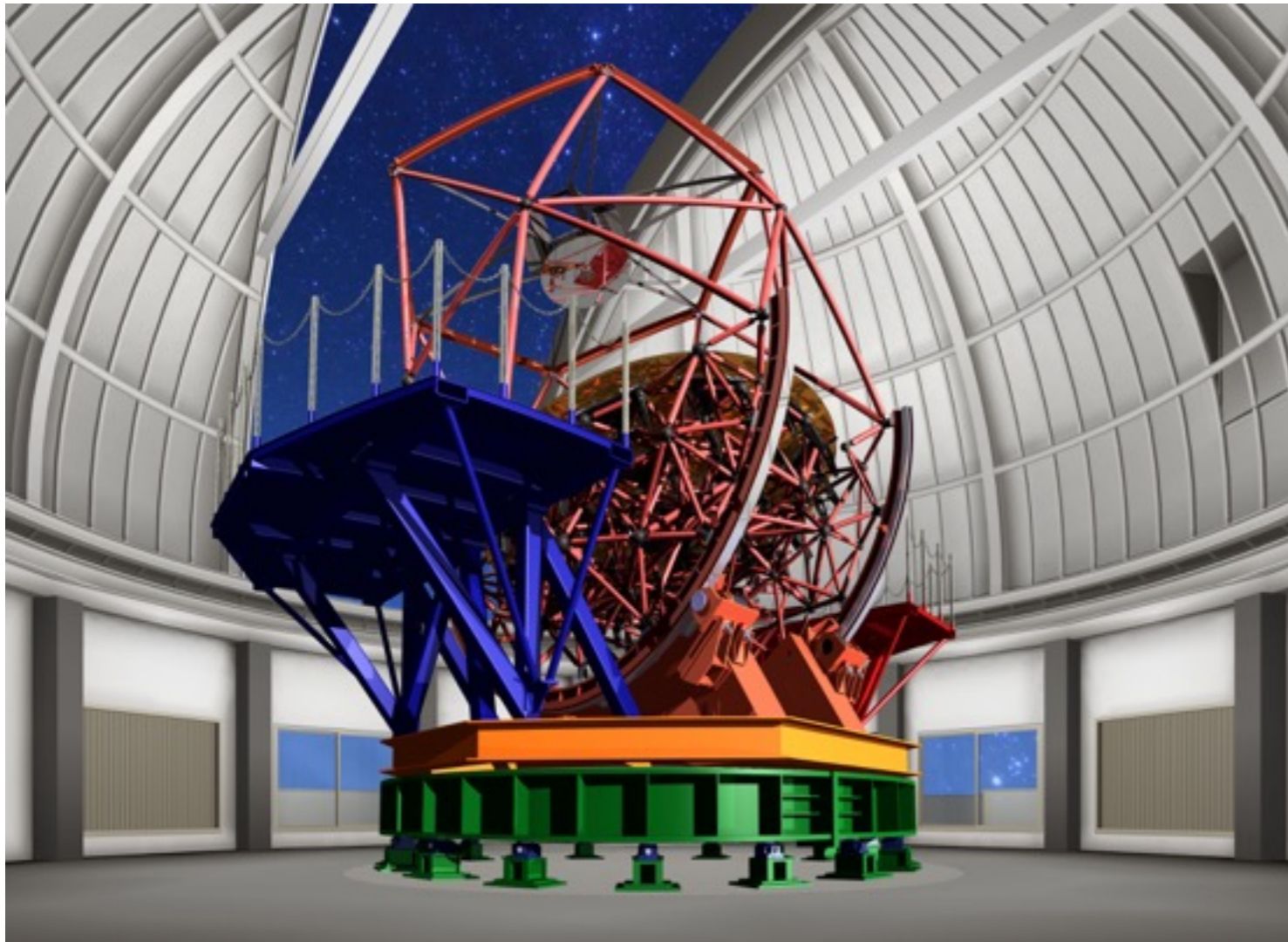
- ★ 今回、規則的なパターンを持つ可視光の変動が初めて見つかった。
これは、可視光でもブラックホール近傍からの規則的な光の変動を観測できることを示す第一例目である。
- ★ このような規則的な可視光の変動は光度が低い時にも見つかった。
このことから、私たちは質量降着率(光度)が高いことが、X線連星における短時間変動を起こす重要なパラメーターではないと考える。

私たちの観測結果は、今までの天文学的な常識を覆すものである
これからのブラックホール天文学の進展に期待！

▶ 今後の展開

京大3.8m望遠鏡(可視近赤外)で未来のブラックホール天文学を切り拓く!

京大3.8m望遠鏡@岡山 のイメージ図 (c)京都大学



—主な三つの研究テーマ—

1. 突発天体対応観測

2. 系外惑星研究

3. 恒星スーパーフレア

- 京大専有望遠鏡で、長い観測時間を確保できる
- 突発天体対応観測(ブラックホールX線連星含む)がメインの望遠鏡としては**世界最大!**

▶ 今後の展開

京大3.8m望遠鏡(可視近赤外)で未来のブラックホール天文学を切り拓く!

～はくちょう座 V404星について～

- 近いうちに再度アウトバーストを起こす可能性がある。
(2015.6-7、2015.12-2016.1のアウトバーストがそれぞれ短かった)
- 口径の大きさを生かして、中小望遠鏡ではできなかった分光観測なども行いたい。(アウトバースト中、ブラックホール近辺で何が起きているのか、降着円盤の状態などを知る手がかりになるかもしれない)

▶ 今後の展開

京大3.8m望遠鏡(可視近赤外)で未来のブラックホール天文学を切り拓く!

～機動性のある可視光連続測光に向けて～

- 今回のほくちょう座V404星のアウトバーストは、最初ガンマ線バーストのアラートによって発見された。(X線トランジェントのアウトバーストはGRBアラートが発見する時代になった)
- 系内のX線トランジェントについてGRBアラートが流れたらすぐに自動追尾をするプログラムを組むことで、アウトバースト初期からの短時間変動の光度曲線を手にいれることができるのではないかな。
- 光赤外線大学間連携で多波長・多モード観測を行い、3.8m望遠鏡はその中核を担う

▶ 今後の展開

ASTRO-H(来月打ち上げ)と京大3.8 m
望遠鏡の連携観測に期待

- 機動性の高い3.8m望遠鏡では可視赤外連続観測を、ASTRO-HではX線スペクトル観測を、同一天体に関して行う (ex. はくちょう座 V404星)



↑ ASTRO-Hのイメージ図 (c)JAXA