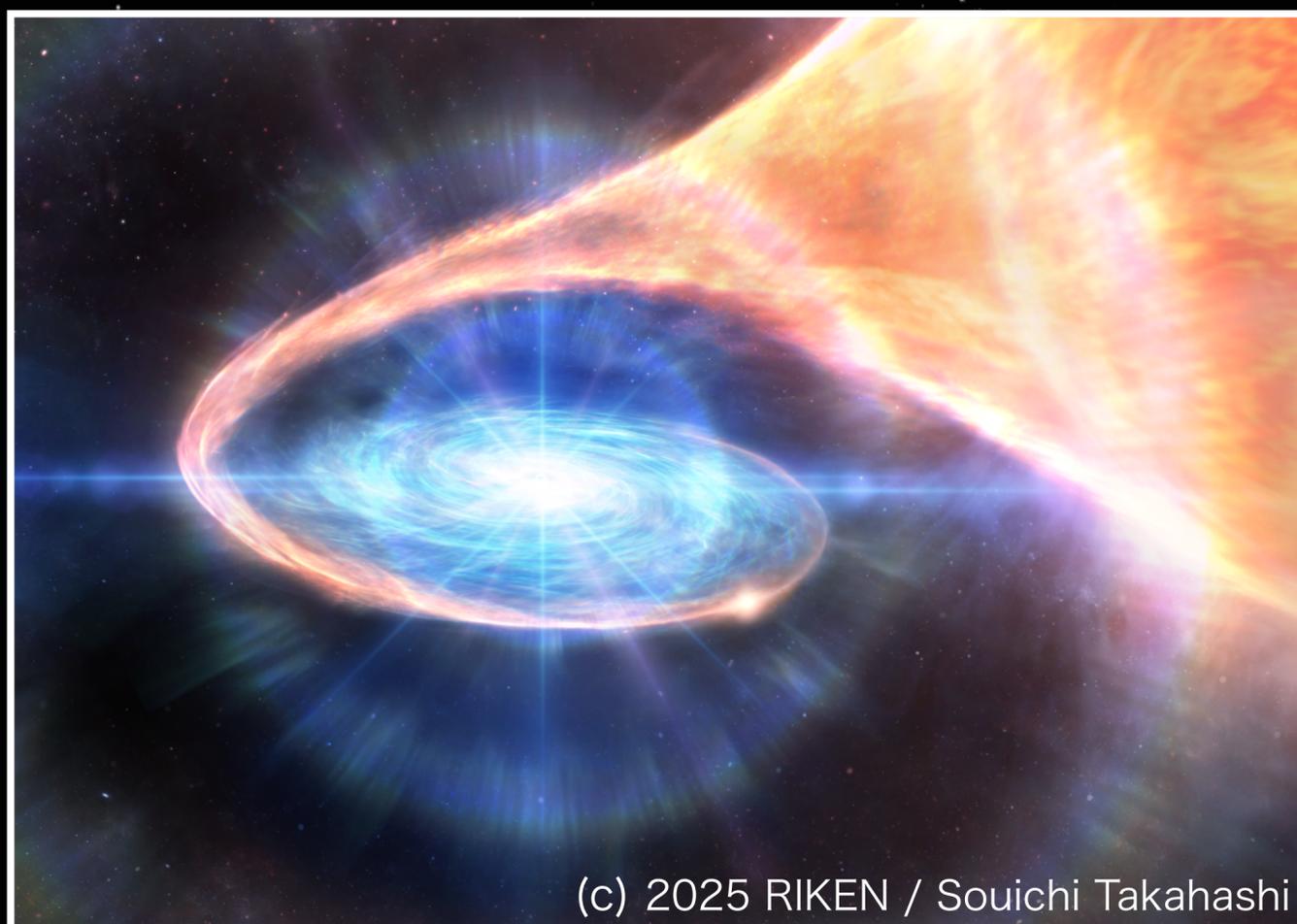


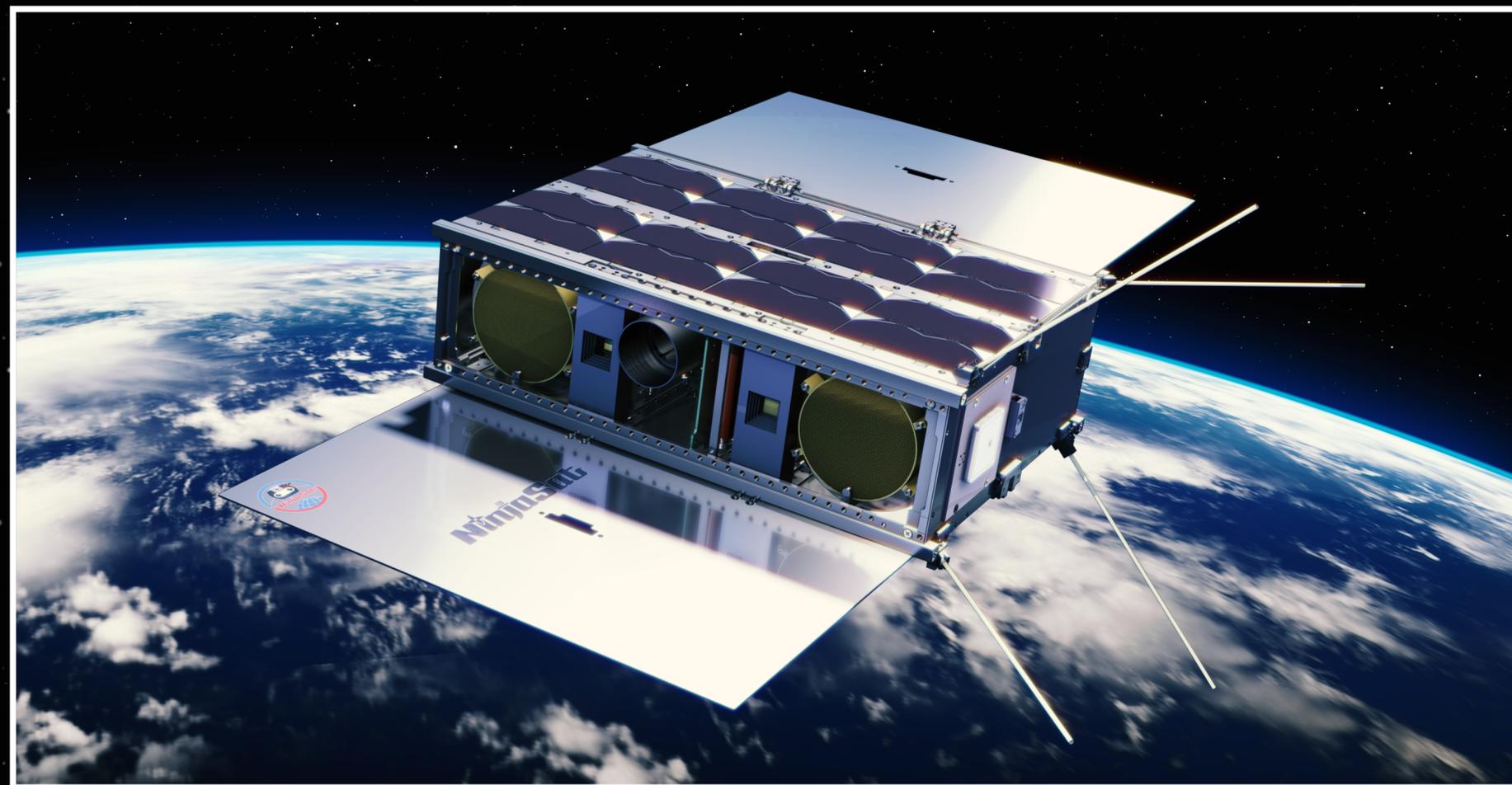
# 超小型X線衛星 NinjaSat が観測した 炭素燃焼起源のX線バースト天体 MAXI J1752-457

青山 有未来 (東理大/理研)

榎戸 輝揚 (京大/理研), 高橋 拓也, 渡部 蒼汰, 武田 朋志 (理研/東理大), 岩切 渉 (千葉大),  
山崎 楓, 岩田 智子, 大田 尚享, 重城 新大, (東理大/理研), 玉川 徹 (理研/東理大), 三原 建弘 (理研), Chin-Ping Hu (彰化師範大/理研),  
土肥 明 (理研), 西村 信哉 (東大/理研), 中島 基樹 (日大), 芹野 素子 (青学), 北口 貴雄, 加藤 陽, 河合 誠之 (理研)



(c) 2025 RIKEN / Souichi Takahashi



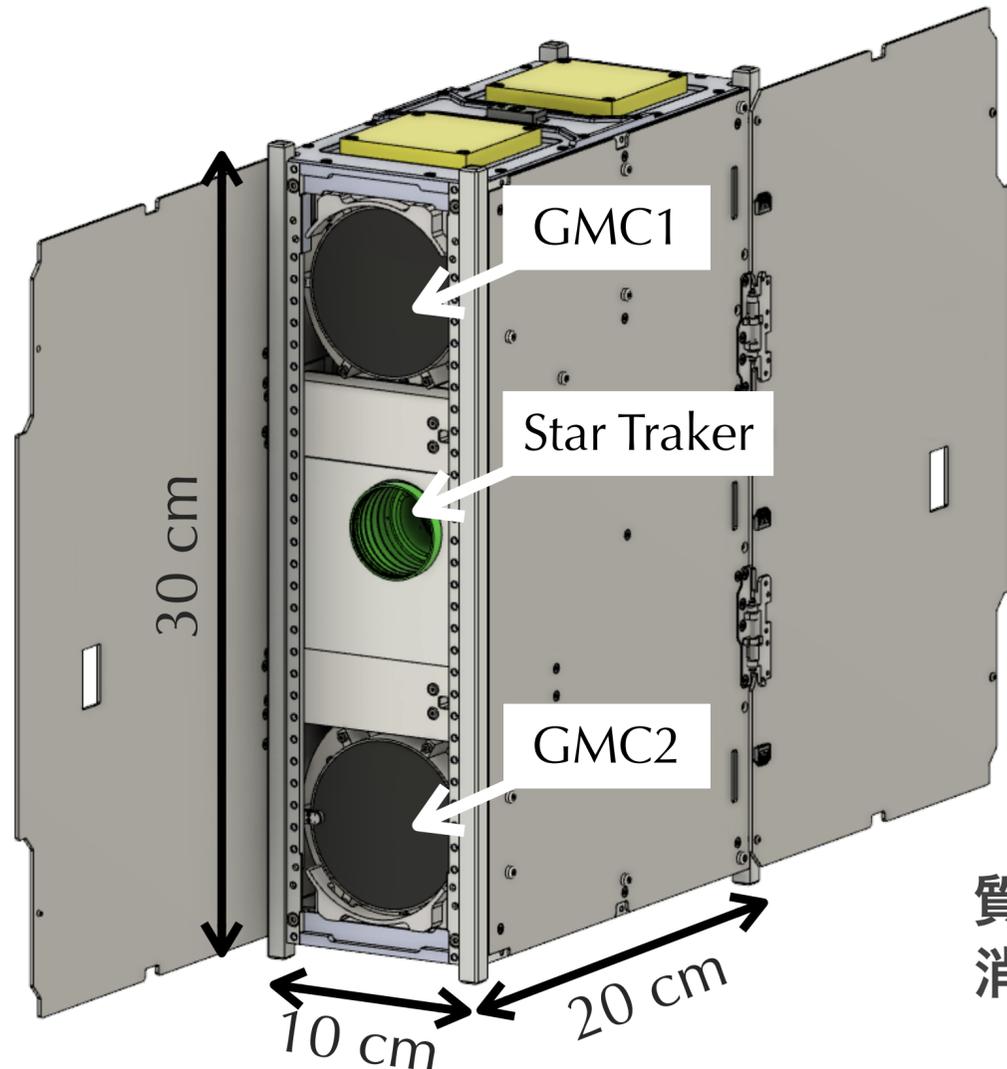
# 超小型X線衛星 NinjaSat とガスX線検出器 GMC

## 超小型X線衛星 NinjaSat

2023年11月に高度 530 km の太陽同期極軌道上に打ち上げ  
ブラックホールや中性子星をはじめとする**28天体**を観測！

### 観測目的

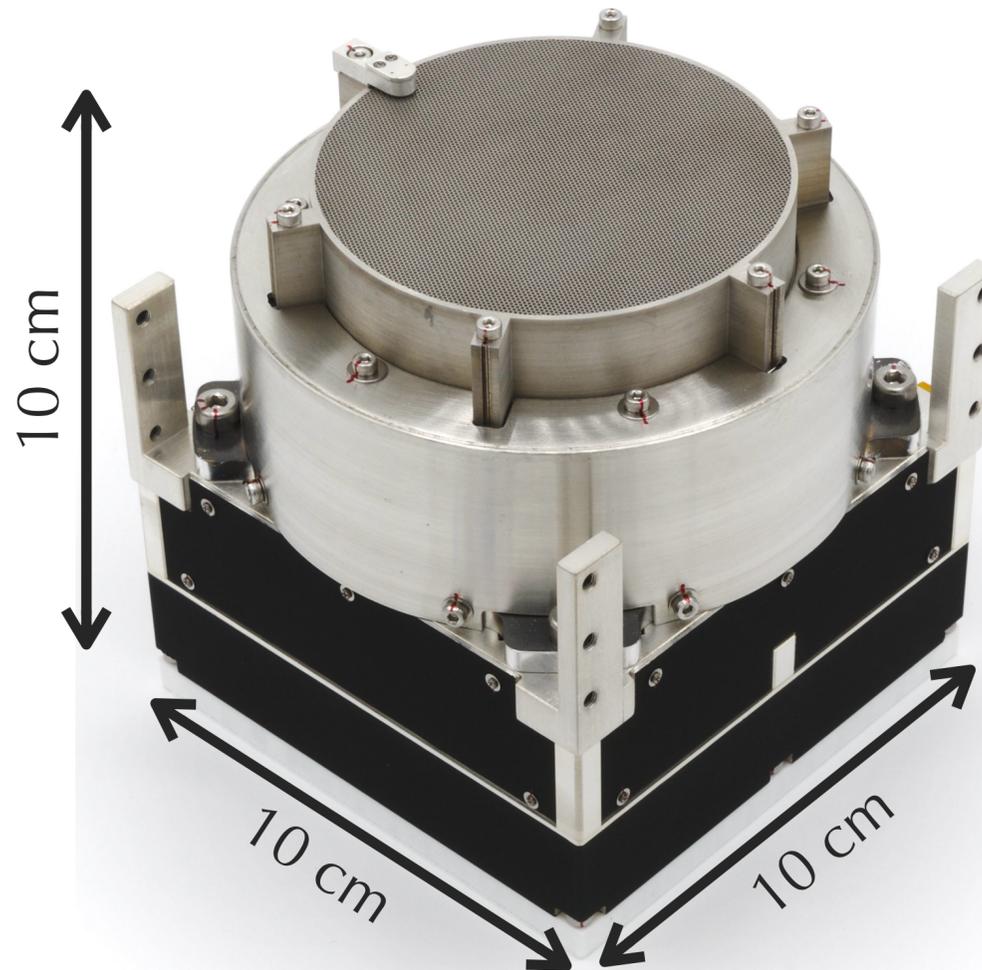
全天監視装置 MAXI などと連携し、  
突発天体を追観測 + 長期観測



質量 : 8.1 kg  
消費電力 : 16.4 W

## ガスX線検出器 GMC

- 封入ガス Xe/Ar/DME (75%/24%/1%, 0°C, 1.2 atm)
- 観測エネルギー 2–50 keV
- 有効面積 16 cm<sup>2</sup>/1台 (at 6 keV)
- 視野角 2.1°(FWHM)



質量 : 1.2 kg  
消費電力 : 1.8 W

# 新天体 MAXI J1752-457 の発見

日本標準時 2024/11/10 04:23 MAXI が MAXI J1752-457 (MAXI J1752) のX線増光を検出

2024/11/10 19:24 MAXI が天文電報 (ATel) に投稿 (ATel 16898)

11/10 の  
衛星と通信

通信1回目 18:29

2回目 20:03

3回目 21:36

MAXI の ATel

衛星のポインティング方向を指定するリストの作成とクロスチェック

November 10th, 2024

 岩切 渉 7:32 PM

MAXI ATel の8分後

MAXIで新天体らしきもの受かりました。

<https://www.astronomerstelegam.org/?read=16898>

太陽角45度でSwiftもNICERも観測できないのですが、NinjaSatで観測することは可能ですか？数時間のバーストがdecayしたのちに、今は100 mCrab程度のfluxでflatになっているように見えます。

 青山 有未来 8:11 PM

MAXI ATel の47分後：観測フィジビリティの確認

(天体の座標と明るさより、観測効率や混入天体を確認)

@iwakiri 情報共有ありがとうございます。

太陽離角は 11/18 00 頃は 40 deg 以下を切るみたいです。観測効率は 11/11-17 で 18% (day : 14% / night : 4%) でした。観測期間によりますが、天体によっては観測効率が 15% のときもあるので、そこまで低くないと思います。 (edited)

2 files

# 新天体 MAXI J1752-457 の発見

日本標準時 2024/11/10 04:23 MAXI が MAXI J1752 のX線増光を検出

2024/11/10 19:24 MAXI が ATel に投稿 (ATel 16898)

11/10 の 衛星と通信

通信1回目 18:29  
2回目 20:03  
3回目 21:36

MAXI の ATel  
衛星のポインティング方向を指定するリストの作成とクロスチェック



玉川 徹

8:19 PM

@iwakiri @Amira Aoyama @Teruaki Enoto NinjaSat ToO かけますか？ ATel では3回目の観測で < 20 mCrab という報告でしたが、また増光したのでしょうか？ 100 mCrab であれば十分観測できますし、他の衛星が観測できないのなら、チャンスだと思います。

昼は完全に見えて、夜も少し観測できるのですね。夜は Crab に徹して、昼をこの天体に当てても良いと思います。 @Sota Watanabe その場合、TCrB は潰れます。

了解  
しました 1



**MAXI ATel の55分後：実施中の長期観測をやめ、追観測をすべきか検討**



高橋 拓也

8:24 PM

次の Pass 3 は 1時間12分後の 21:36 JST です

ペイロードは立ち上がっていて、Pass2 で GMC1 の定常運用復帰スクリプトはアップ済みなので、ポインティングリストが間に合えば、Pass3 以降観測は可能です

# 新天体 MAXI J1752-457 の発見

日本標準時 2024/11/10 04:23 MAXI が MAXI J1752 のX線増光を検出

2024/11/10 19:24 MAXI が ATel に投稿 (ATel 16898)

11/10 の 衛星と通信

通信1回目 18:29  
2回目 20:03  
3回目 21:36

MAXI の ATel  
衛星のポインティング方向を指定するリストの作成とクロスチェック

 **岩切 渉** 8:30 PM **MAXI ATel の65分後：追観測の実施を決定 (当時対面でも議論)**  
Pass3でいけるならいってほしいです

 **青山 有未来** 8:31 PM **MAXI ATel の66分後以降：ポインティングリストの作成・チェック**  
ATel の天体座標をもとに **ポインティングリストを作成**しようをしていますが、座標は合っていますか??  
 1 

 **岩切 渉** 8:31 PM **MAXI ATel の85分後：リストの予約**  
座標はOKです  
 1 

**MAXI ATel の132分後：その日最後の通信**

2024/11/10 21:54 **NinjaSat による追観測**

2024/11/12 21:00 **NinjaSat が ATel に投稿 (ATel 16903)**

# 新天体 MAXI J1752-457 の発見

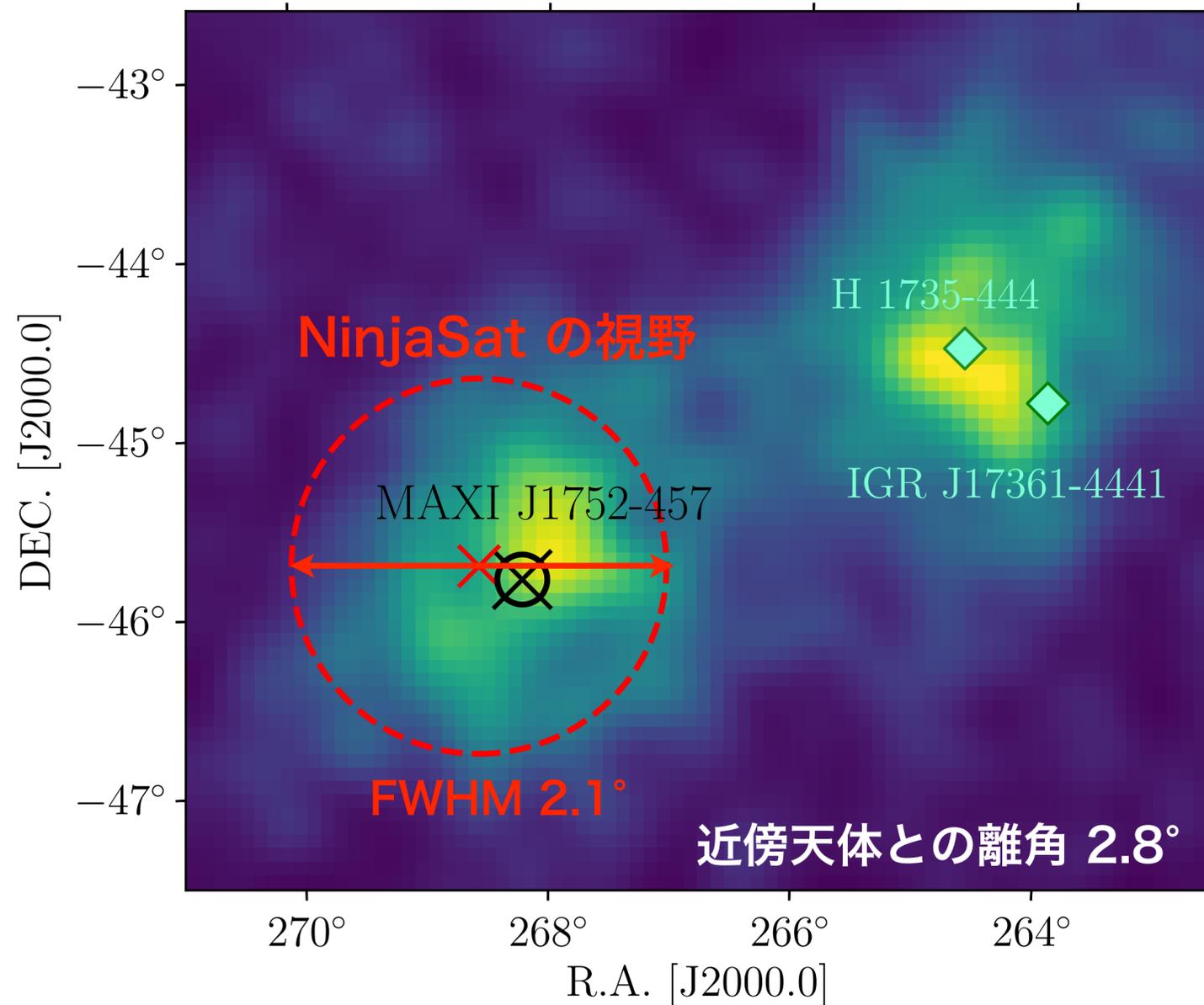
日本標準時 2024/11/10 04:23 MAXI が MAXI J1752 のX線増光を検出

2024/11/10 19:24 MAXI が ATeI に投稿 (ATel 16898)

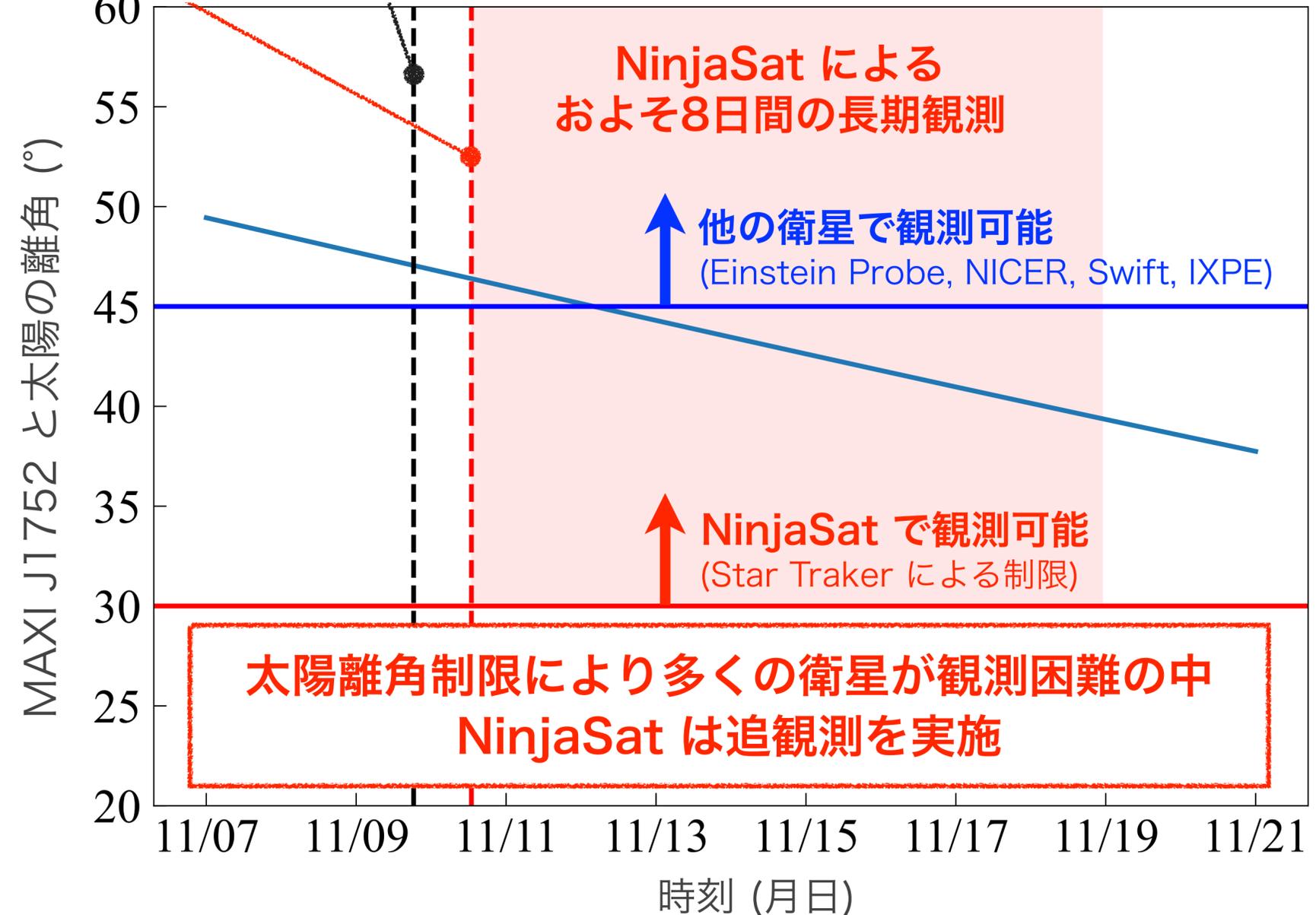
2024/11/10 21:54 **NinjaSat** による追観測 (ATel 16903)

わずか2時間半後！

MAXI 2-10 keV のX線イメージ画像

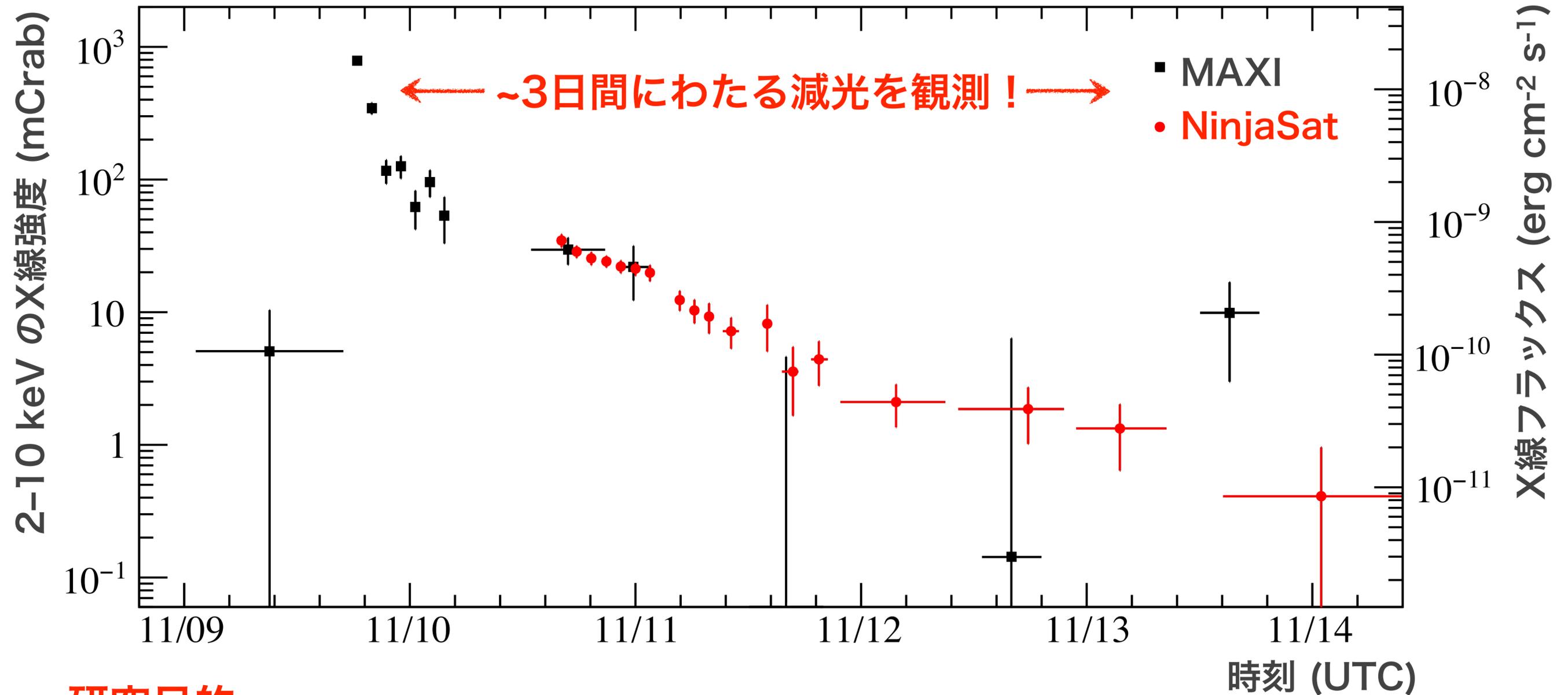


MAXI J1752 と太陽との離角



# NinjaSat の追観測

MAXI J1752 カウントレートの光度曲線 (2-10 keV)

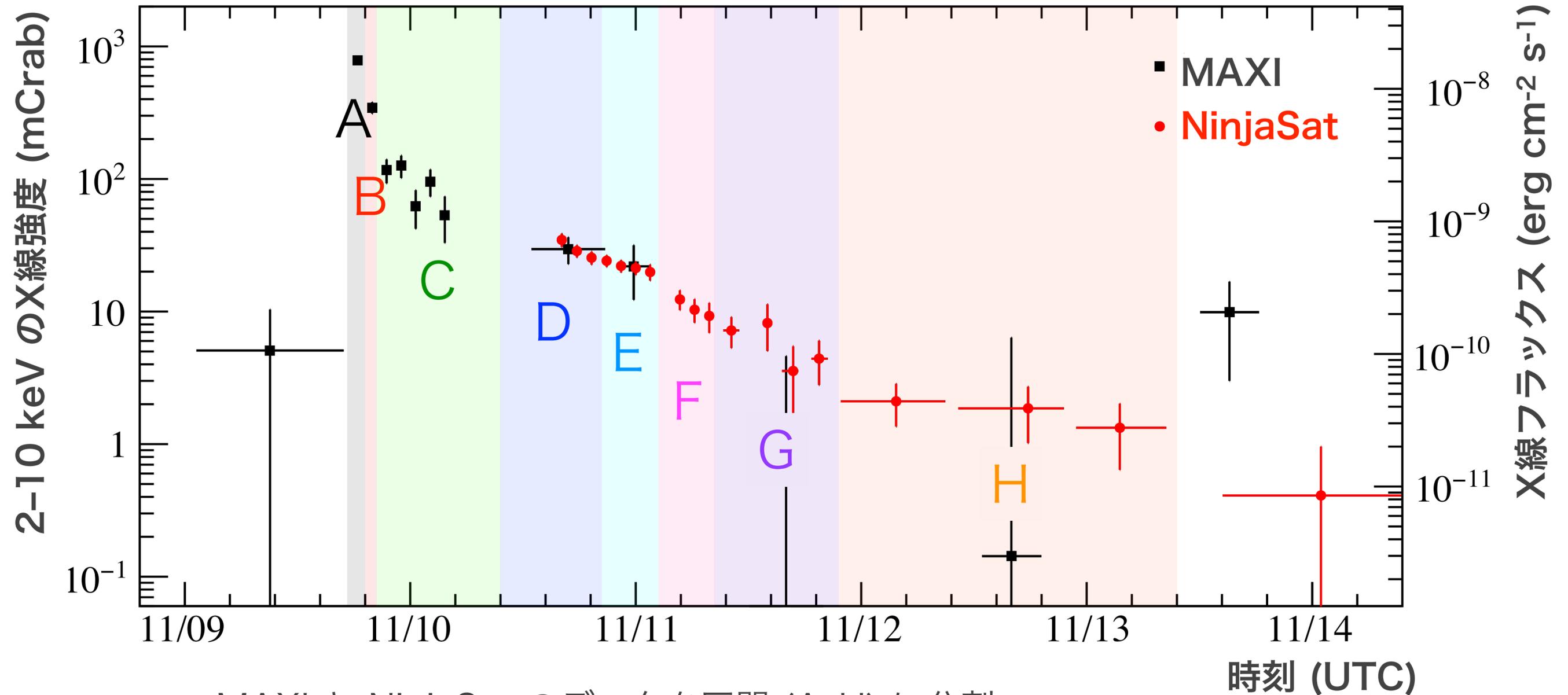


## 研究目的

MAXI と NinjaSat の連携観測より、新天体の素性を明らかにする

# NinjaSat の追観測

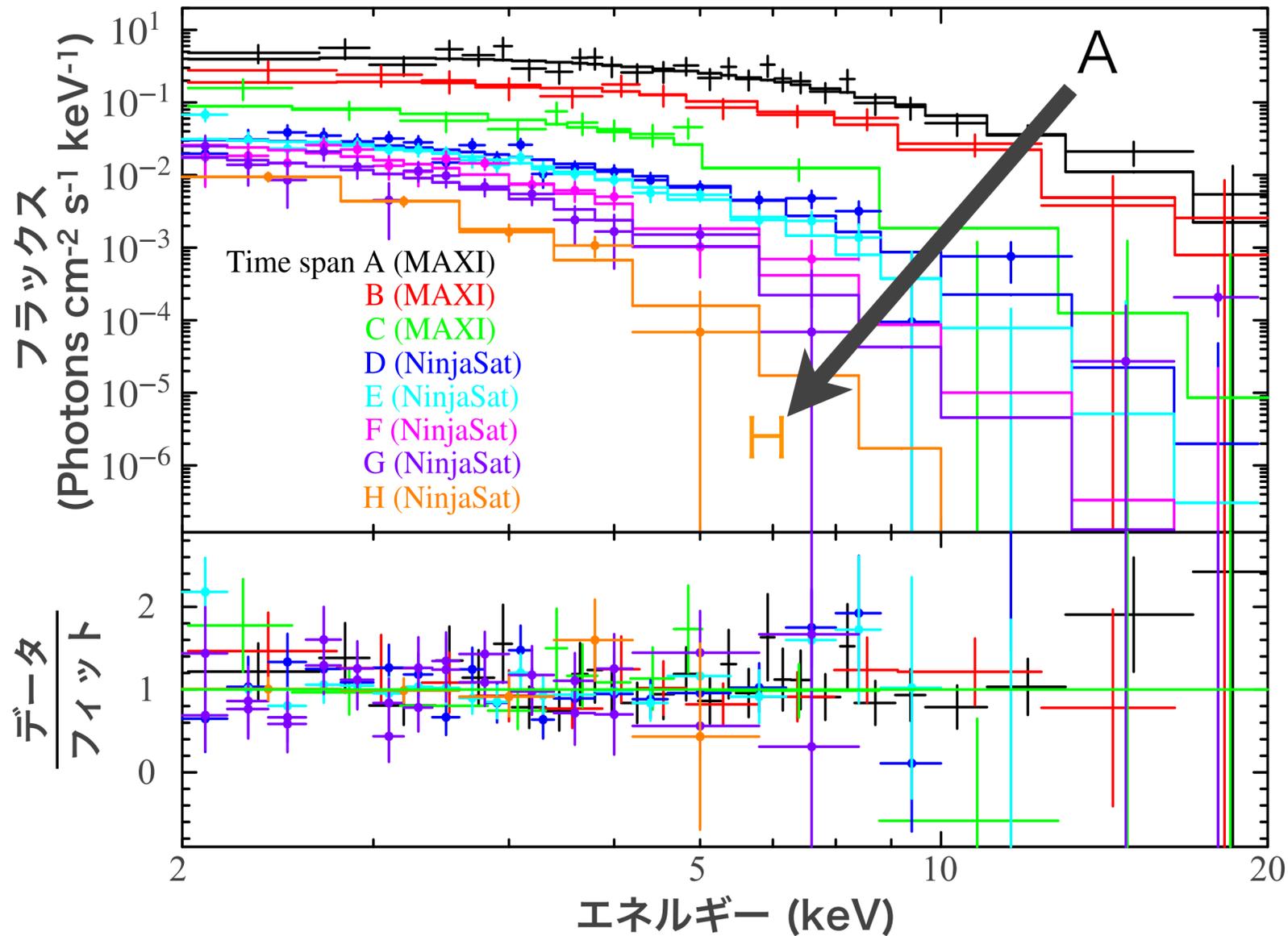
MAXI J1752 カウントレートの光度曲線 (2-10 keV)



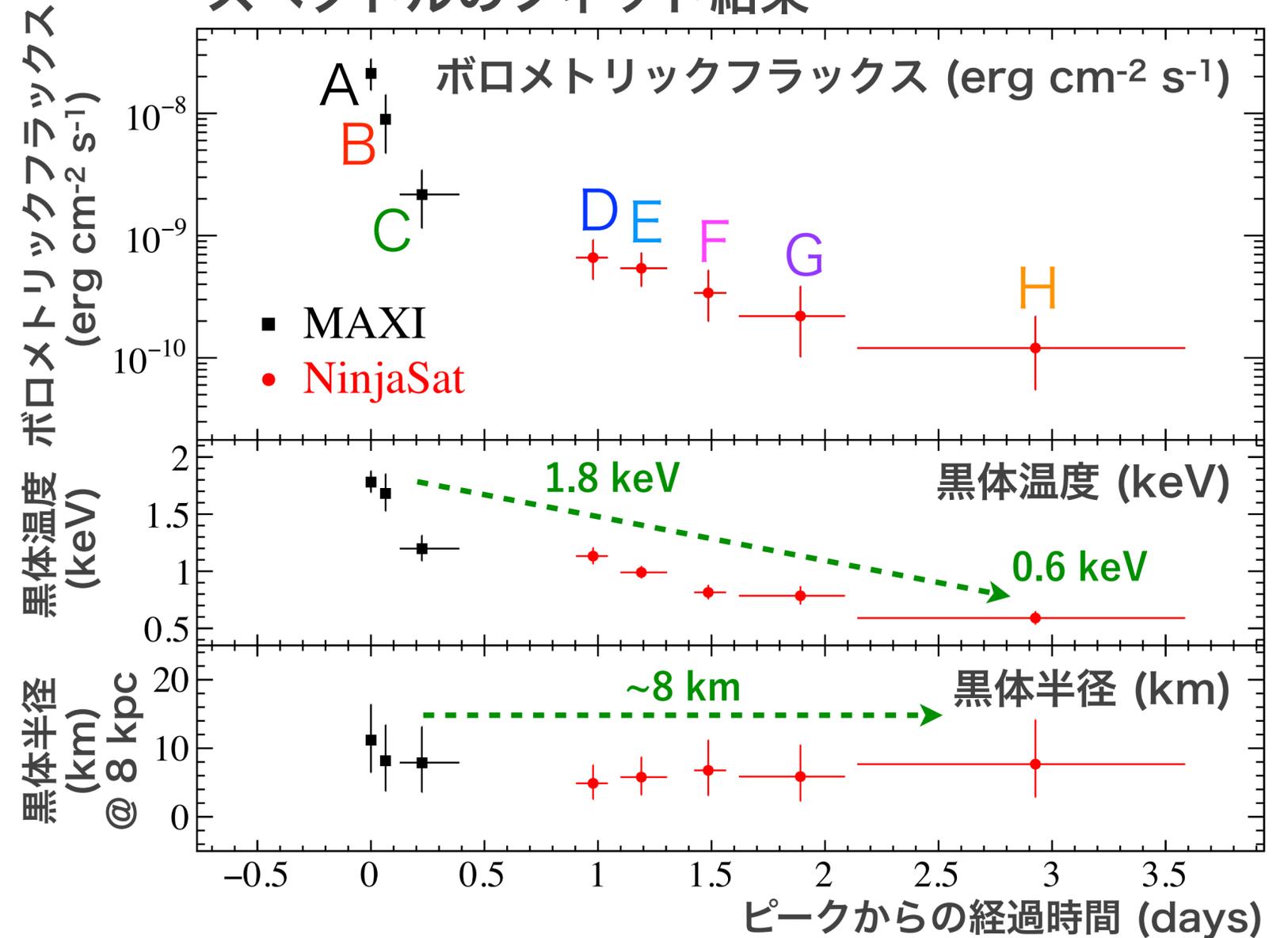
- MAXI と NinjaSat のデータを区間 (A-H) に分割
- 天体までの距離が不定なため、銀河中心までの距離 **8 kpc** と仮定  
(バースト初期のX線強度が 1 Crab 程度で、エディントン光度に相当)

# スペクトルの時間変化

## 区間ごとのスペクトル (検出器応答除去済み)



## スペクトルのフィット結果



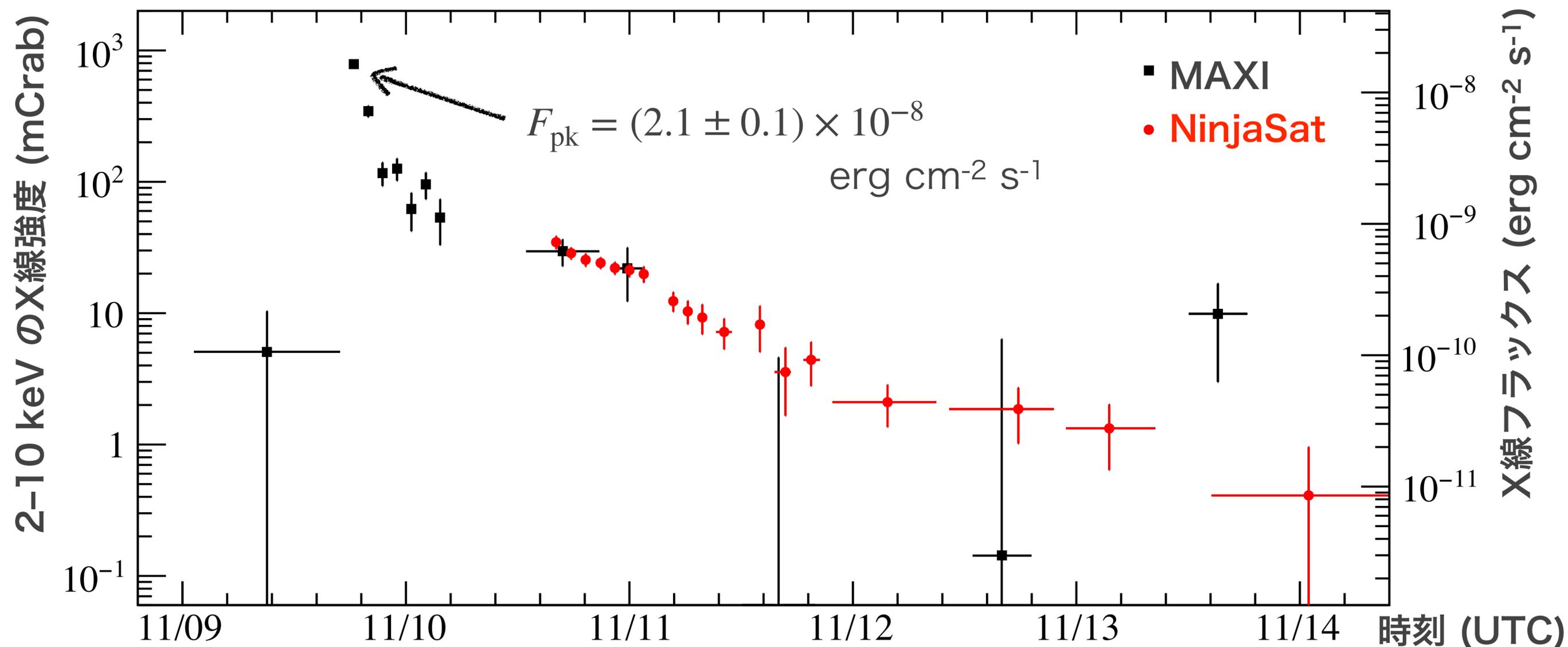
スペクトルは星間吸収を含む **黒体モデル** でよく再現

$$A = \frac{K \times E^2 dE}{\exp(E/kT) - 1} \left[ \begin{array}{l} K \text{ 黒体半径と距離の関数で示される定数} \\ kT \text{ 黒体温度 (keV)} \end{array} \right]$$

- ・ 黒体温度は 1.8 keV から 0.6 keV へ低下
- ・ 黒体半径は ~8 km で一定

## MAXI J1752 の距離の上限

MAXI J1752 カウントレートのライトカーブ (2-10 keV)



光度  $L = 4\pi d^2 F$  を用いて、

$$d = \left( \frac{L}{4\pi F} \right)^{1/2} < \left( \frac{L_{\text{Edd}}}{4\pi F_{\text{pk}}} \right)^{1/2} \sim 12 \text{ kpc}$$

新天体の距離の上限値を見積もった

# MAXI J1752 の正体は何か

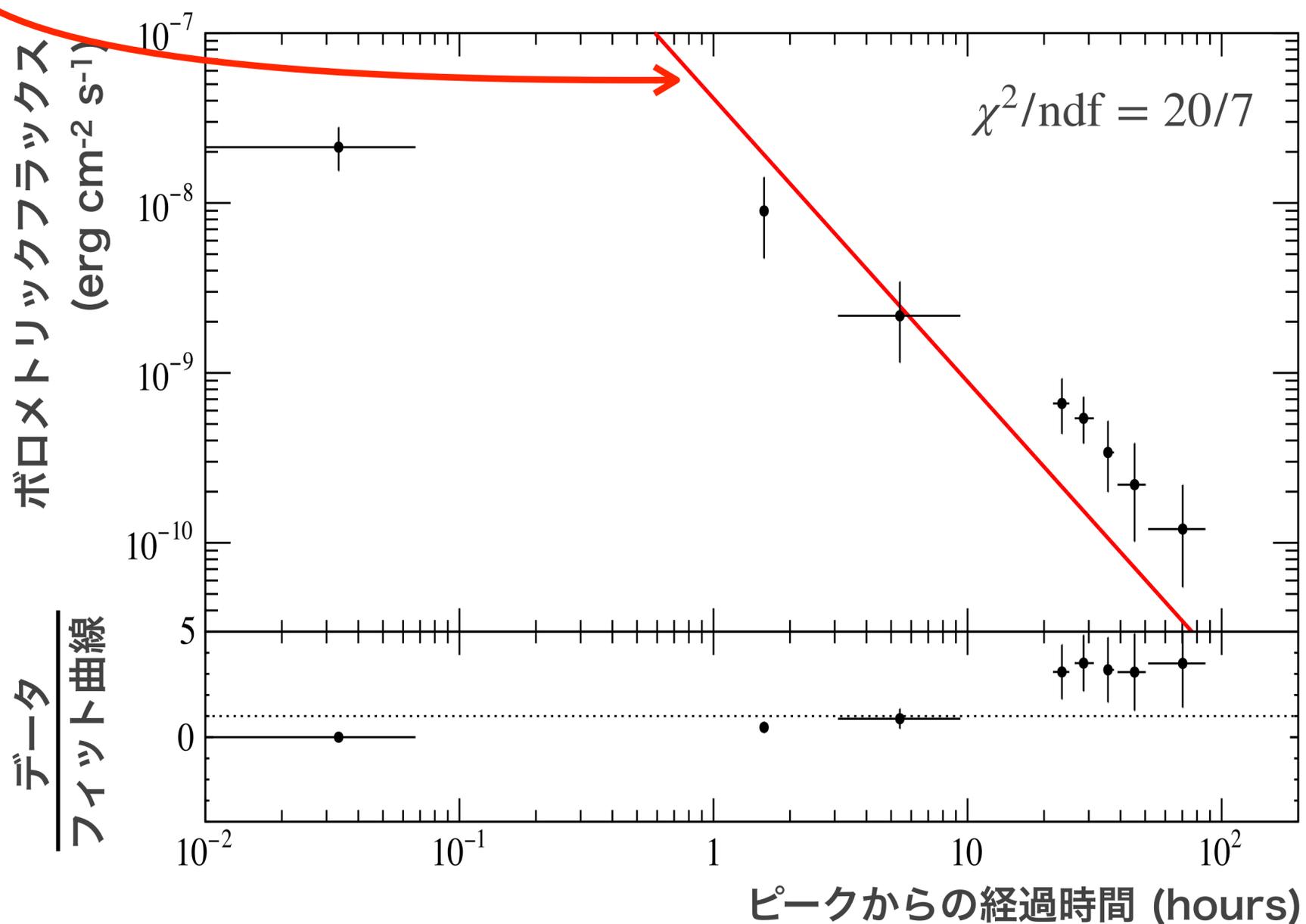
## ● 潮汐破壊現象

- 天体が超大質量ブラックホールの近くを通過する際、その潮汐力によって破壊される現象
- 光度曲線をべき乗関数の傾きが  $-5/3 = -1.67$  で表せる (Rees 1988)

- べき関数によるフィットは棄却される
- 母銀河が見つからない

## ● 大質量連星系で発生する長期フレア (Supergiant fast X-ray transients)

- スペクトルの形状が異なる
  - べき関数に似た連続成分で表される
  - 低エネルギー側の吸収が強い  
( $N_H \gg 10^{22} \text{ cm}^{-2}$ ) (Bozzo et al. 2017)
- $N_H = 10^{21} \text{ cm}^{-2}$  のとき、べき関数モデル ( $\chi^2_\nu \sim 2$ ) よりも黒体モデル ( $\chi^2_\nu \sim 1$ ) でよく示される

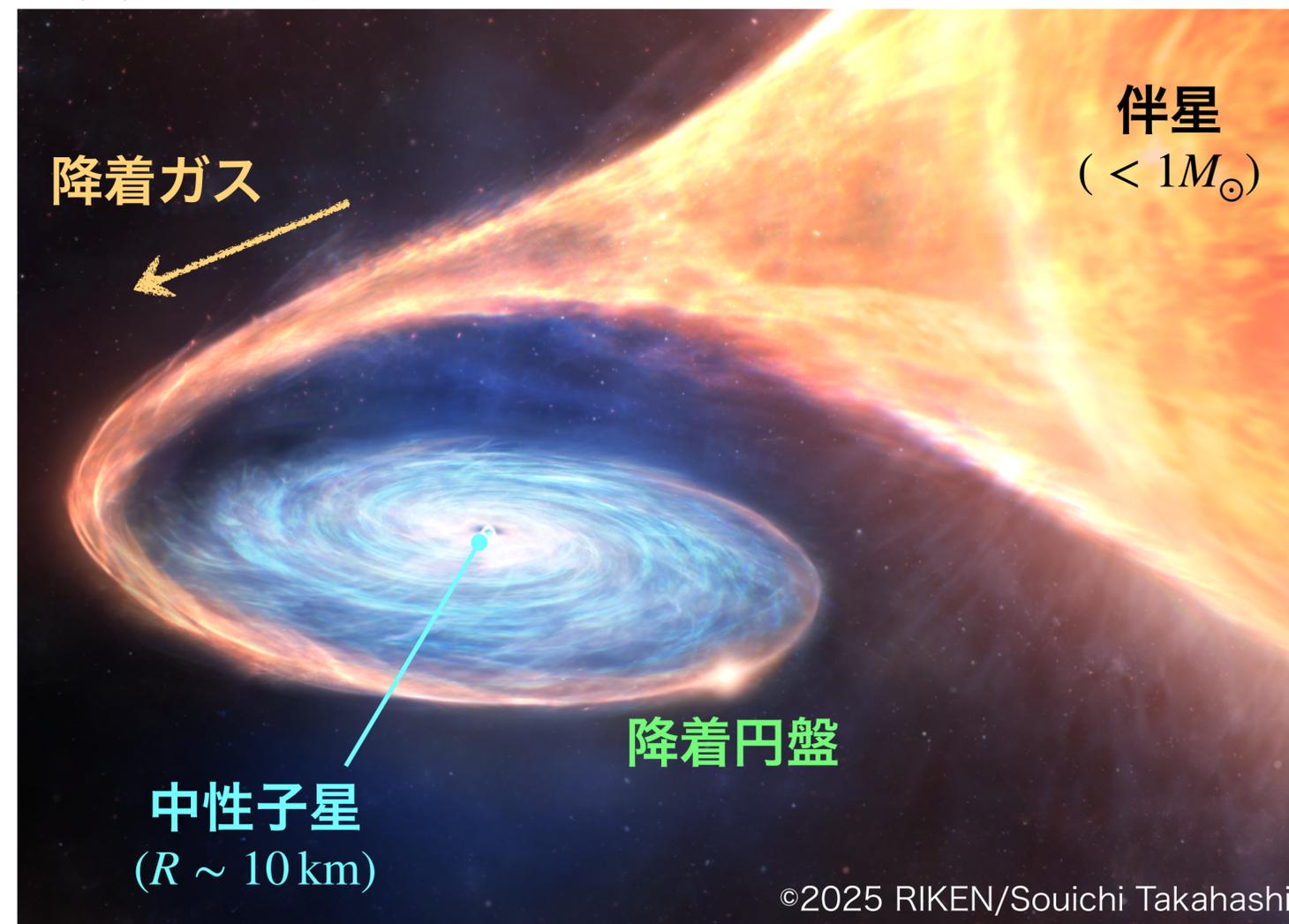


# MAXI J1752 の正体は何か

## ● X線バースト

- ・ 中性子星表面における爆発的な核融合反応
- ・  $1M_{\odot}$  以下の伴星と中性子星が成す低質量連星で起きる現象
- ・ バースト時、黒体温度  $kT \sim 2 \text{ keV}$  で黒体放射

### 低質量X線連星



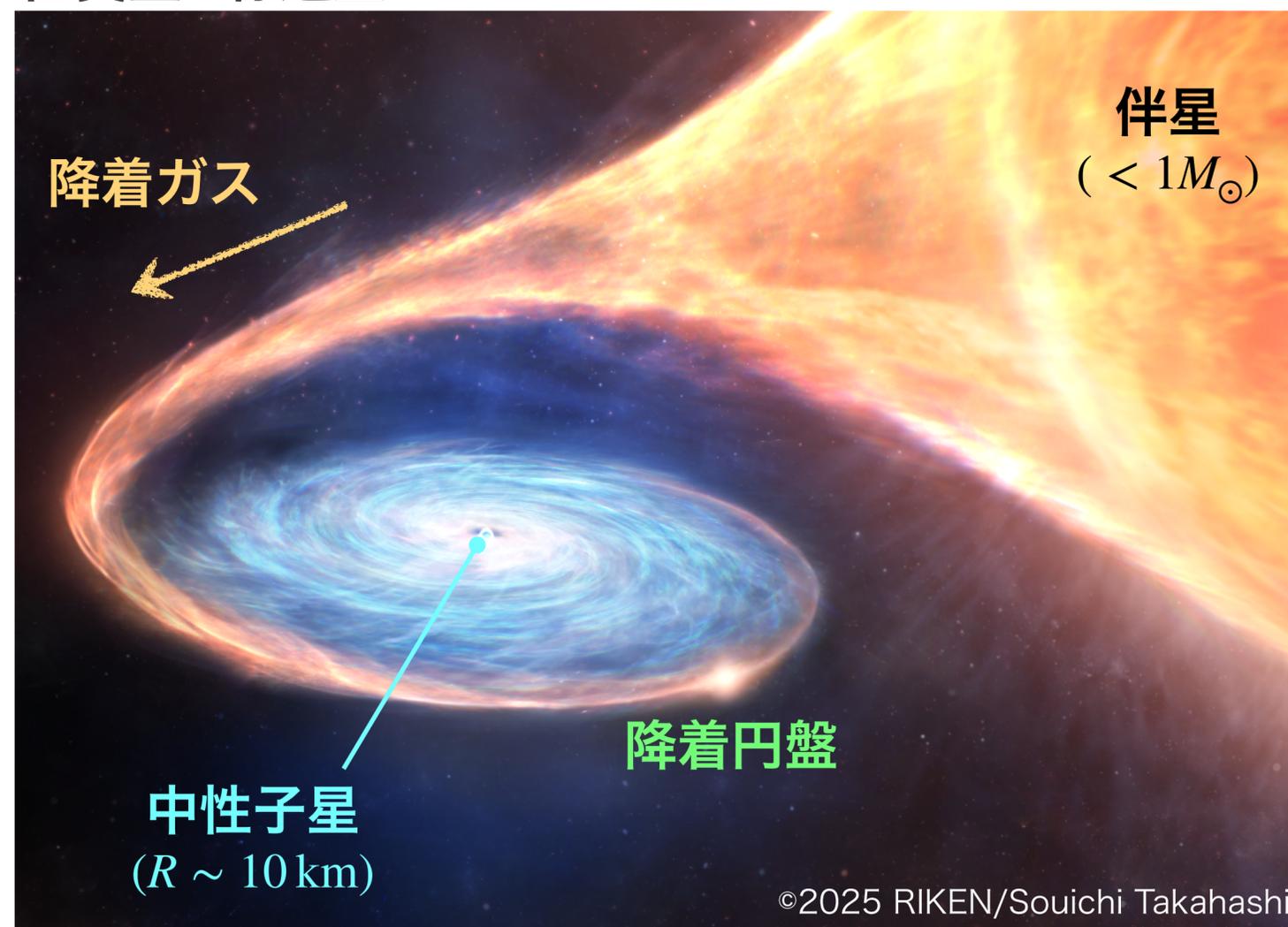
# MAXI J1752 の正体は何か

## ● X線バースト

- ・ 中性子星表面における爆発的な核融合反応
- ・  $1M_{\odot}$  以下の伴星と中性子星が成す低質量連星で起きる現象
- ・ バースト時、黒体温度  $kT \sim 2 \text{ keV}$  で黒体放射

→ 今回最初の温度は  $1.8 \text{ keV}$  でX線バーストの特徴と一致

## 低質量X線連星



# MAXI J1752 の正体は何か

## ● X線バースト

- ・ 中性子星表面における爆発的な核融合反応
- ・  $1M_{\odot}$  以下の伴星と中性子星が成す低質量連星で起きる現象
- ・ バースト時、黒体温度  $kT \sim 2 \text{ keV}$  で黒体放射

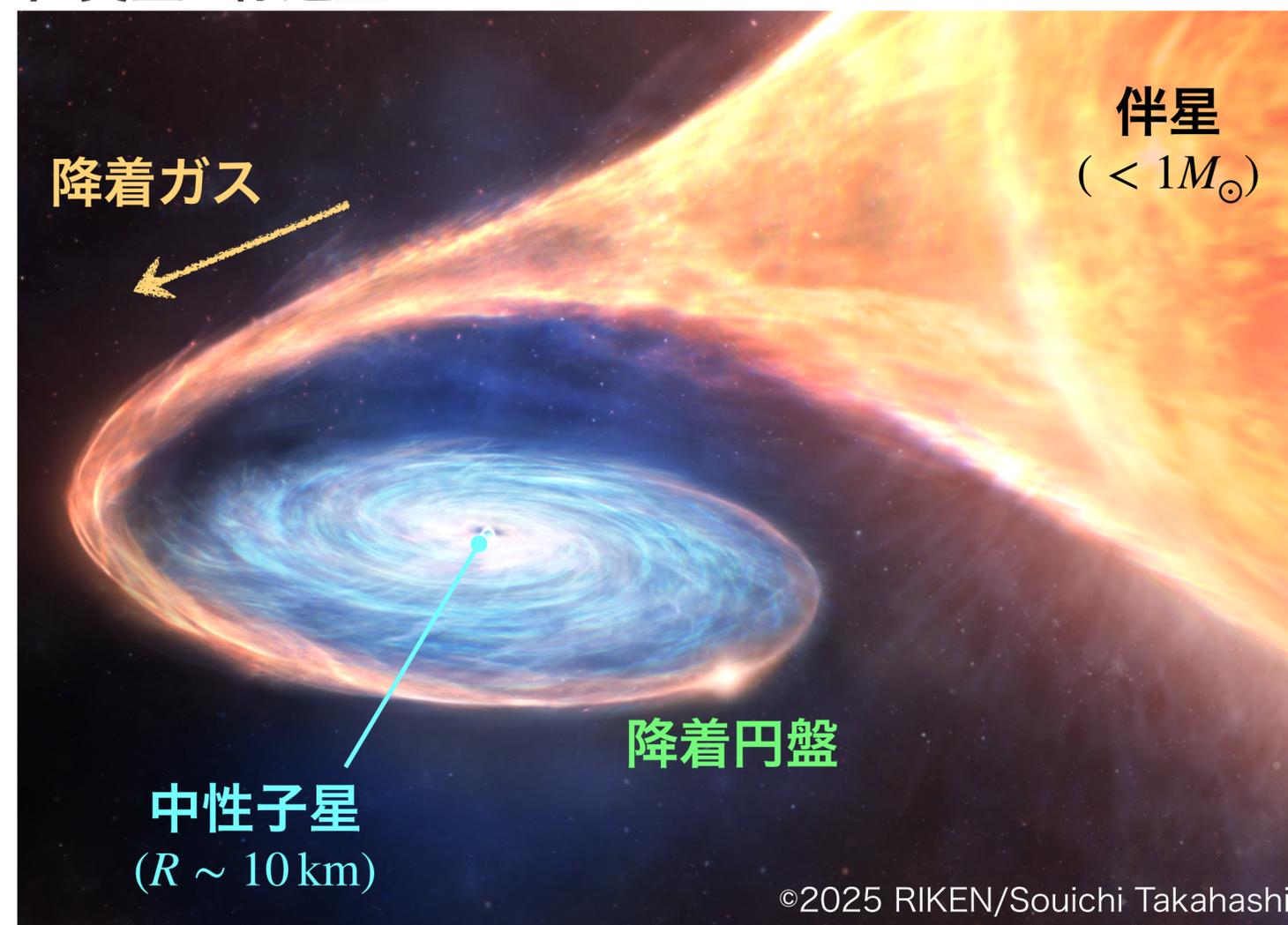
→ 今回最初の温度は  $1.8 \text{ keV}$  でX線バーストの特徴と一致

## X線バーストの種類

バーストの種類	継続時間	総バーストエネルギー	主な燃料
通常のX線バースト	~10–60秒	~ $10^{39}$ erg	H, He
Intermediate burst	~0.1–1時間	~ $10^{41}$ erg	He
スーパースト	~0.1–3日	~ $10^{42}$ erg	C

(Galloway et al. 2017, Alizai et al. 2023)

## 低質量X線連星



# MAXI J1752 の正体は何か

## ● X線バースト

- ・ 中性子星表面における爆発的な核融合反応
- ・  $1M_{\odot}$  以下の伴星と中性子星が成す低質量連星で起きる現象
- ・ バースト時、黒体温度  $kT \sim 2 \text{ keV}$  で黒体放射

→ 今回最初の温度は  $1.8 \text{ keV}$  でX線バーストの特徴と一致

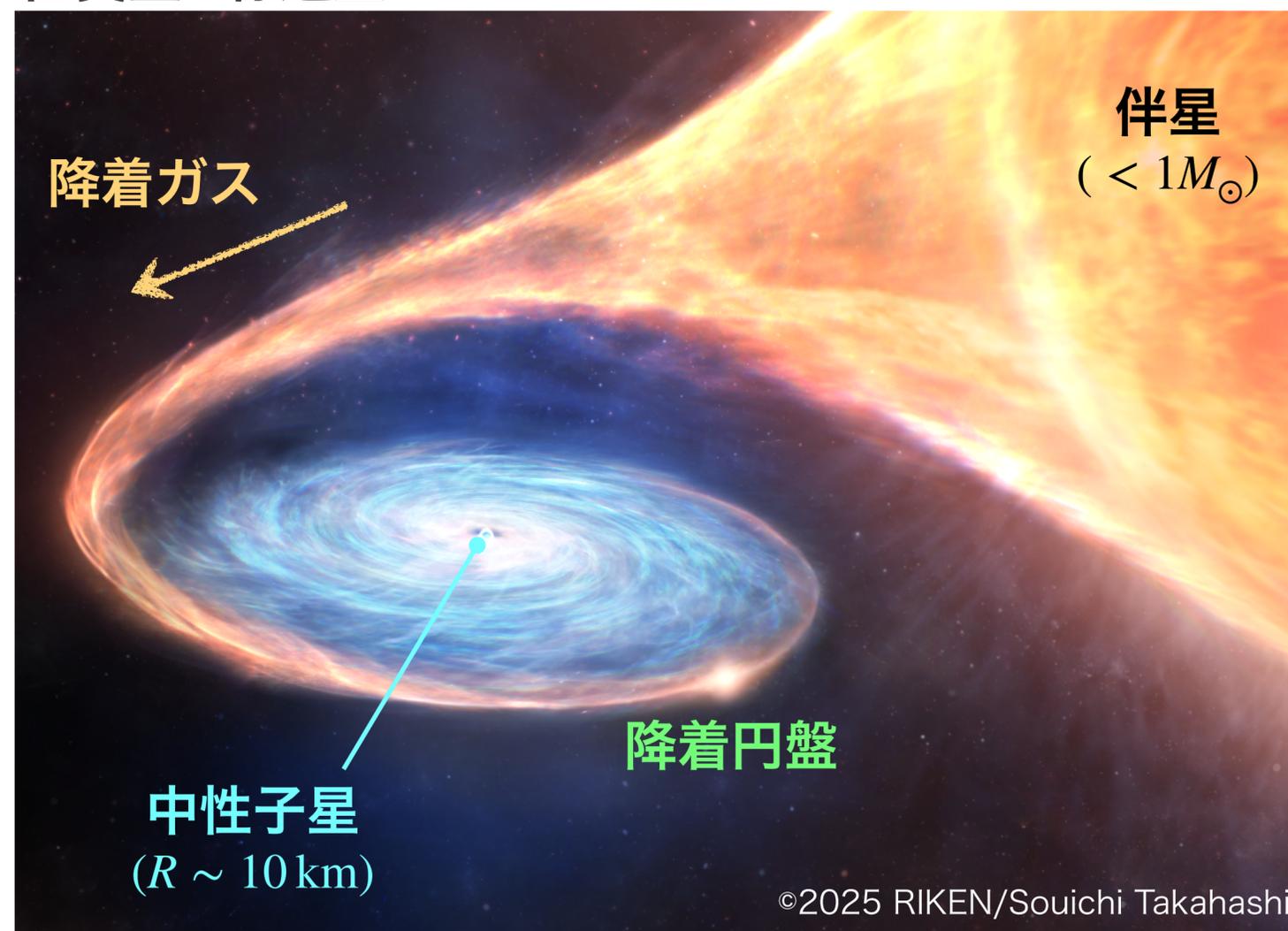
## X線バーストの種類

バーストの種類	継続時間	総バーストエネルギー	主な燃料
通常のX線バースト	~10–60秒	~ $10^{39}$ erg	H, He
Intermediate burst	~0.1–1時間	~ $10^{41}$ erg	He
スーパースト	~0.1–3日	~ $10^{42}$ erg	C

(Galloway et al. 2017, Alizai et al. 2023)

→ 継続時間は~3日、総バーストエネルギーは  $\sim 10^{42}$  erg  
スーパーストの特徴と一致

## 低質量X線連星



# MAXI J1752 の正体は何か

## ● 中性子星表面における温度冷却モデル

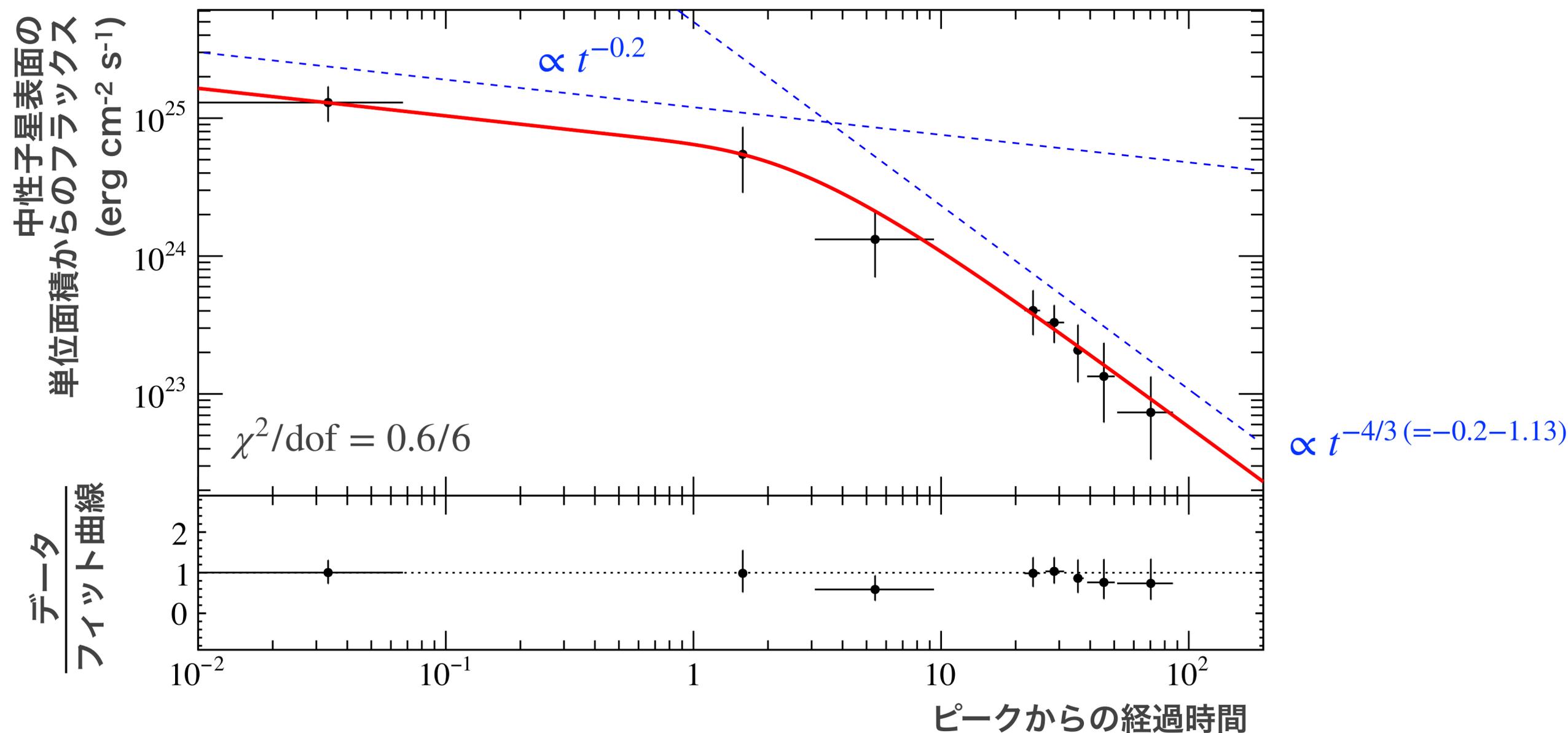
$$F(t) \propto t^{-0.2} E_{17}^{7/4} \left[ 1 - \exp \left( -0.63 t_{\text{cool}}^{4/3} E_{17}^{-5/4} t^{-1.13} \right) \right]$$

$$t_{\text{cool}} \propto y_{12}^{3/4}$$

(Cumming & Macbeth 2004)

パラメータ

$E_{17}$  単位グラム当たりのバーストエネルギー ( $\times 10^{17} \text{ erg g}^{-1}$ )  
 $y_{12}$  点火柱密度 ( $\times 10^{12} \text{ g cm}^{-2}$ )  
 $\rightarrow$  バーストの燃料の量に相当



# MAXI J1752 はスーパーバースト？

## ● 中性子星表面における温度冷却モデル

$$F(t) \propto t^{-0.2} E_{17}^{7/4} \left[ 1 - \exp \left( -0.63 t_{\text{cool}}^{4/3} E_{17}^{-5/4} t^{-1.13} \right) \right]$$

$$t_{\text{cool}} \propto y_{12}^{3/4} \quad (\text{Cumming \& Macbeth 2004})$$

## ● 過去のスーパーバーストと比較

X線バースト発生時刻の MAXI の観測頻度に対応する90分の不定性を考慮し、過去のスーパーバーストと比較

→ **スーパーバーストと考えると矛盾ない**

水素・ヘリウムよりも深い層に存在する**炭素**が燃えている可能性が高い

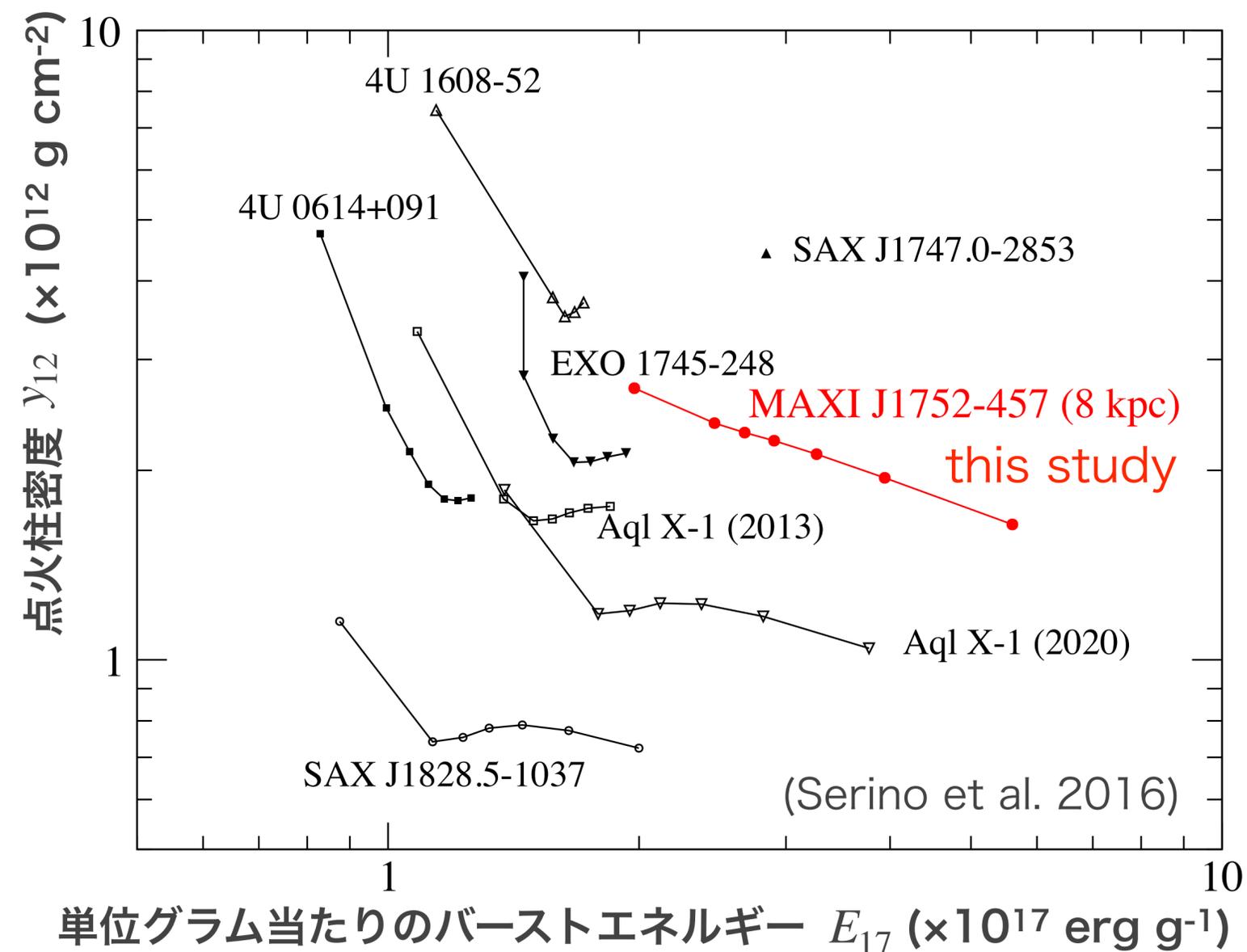
**NinjaSat の** **迅速な追跡観測** **を活かし、**  
**その後の長期観測**

**超小型衛星で初めてスーパーバーストの観測に成功！**  
**新天体の素性を明らかにすることができた**

(Aoyama et al., 2025)

パラメータ

$E_{17}$  単位グラム当たりのバーストエネルギー ( $\times 10^{17} \text{ erg g}^{-1}$ )  
 $y_{12}$  点火柱密度 ( $\times 10^{12} \text{ g cm}^{-2}$ )  
 → バーストの燃料の量に相当



# MAXI J1752 はスーパーバースト？

## ● 中性子星表面における温度冷却モデル

$$F(t) \propto t^{-0.2} E_{17}^{7/4} \left[ 1 - \exp \left( -0.63 t_{\text{cool}}^{4/3} E_{17}^{-5/4} t^{-1.13} \right) \right]$$

$$t_{\text{cool}} \propto y_{12}^{3/4} \quad (\text{Cumming \& Macbeth 2004})$$

## ● 過去のスーパーバーストと比較

X線バースト発生時刻の MAXI の観測頻度に対応する90分の不定性を考慮し、過去のスーパーバーストと比較

→ **スーパーバーストと考えて矛盾ない**

水素・ヘリウムよりも深い層に存在する**炭素**が燃えている可能性が高い

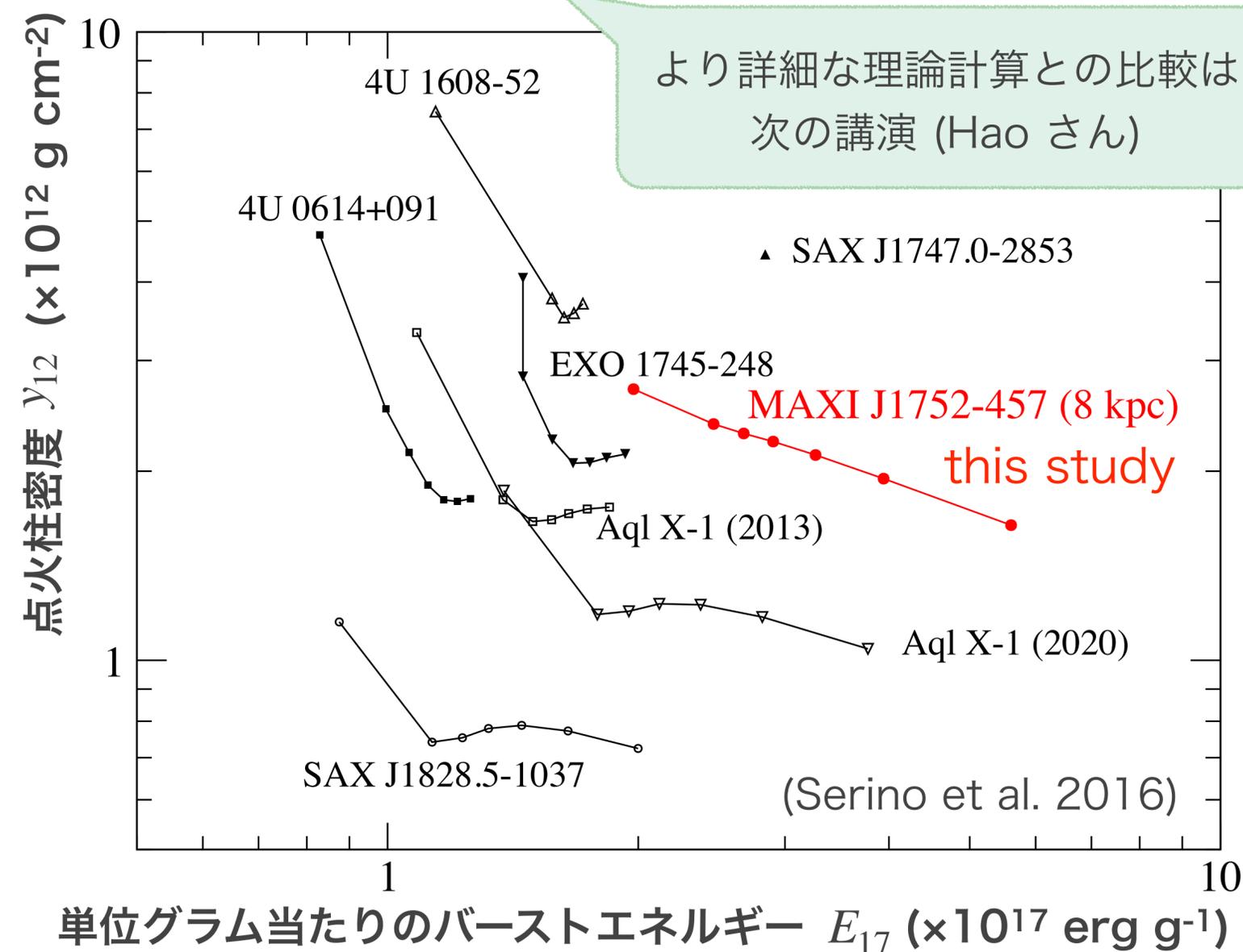
**NinjaSat の** **迅速な追跡観測** **を活かし、**  
**その後の長期観測**

**超小型衛星で初めてスーパーバーストの観測に成功！**  
**新天体の素性を明らかにすることができた**

(Aoyama et al., 2025)

パラメータ

$E_{17}$  単位グラム当たりのバーストエネルギー ( $\times 10^{17} \text{ erg g}^{-1}$ )  
 $y_{12}$  点火柱密度 ( $\times 10^{12} \text{ g cm}^{-2}$ )  
 → バーストの燃料の量に相当



## まとめ

- 2024年11月に MAXI は新天体 MAXI J1752-457 からのX線増光を検出した
- NinjaSat は天文電報からわずか2.5時間後に追観測し、その後およそ8日間の長期観測を実施した
- スペクトルは黒体モデルでよく再現され、X線増光時の黒体温度は 1.8 keV でX線バーストの特徴と一致した
- バーストの継続時間は約3日、総エネルギーは約  $10^{42}$  erg でスーパーバーストと考えると矛盾がない
- 超小型衛星で初めてスーパーバーストの観測に成功！