



委13-1



# 「すざく」とMAXIが切り開くX線天文学

宇宙航空研究開発機構  
理化学研究所

「すざく」プロジェクトマネージャー 満田 和久 (宇宙航空研究開発機構・教授)  
全天X線監視装置(MAXI)ミッションチーム 河合 誠之 (東京工業大学・教授)

2011年4月27日

# X線天文衛星「すざく」の概要

## X線望遠鏡 (XRT)

- 高エネルギーのX線 (10キロ電子ボルトまでのX線) を高い効率で集光し結像する



## 硬X線検出器 (HXD)

- XISでは観測できない高エネルギー領域を観測
- 広い波長域(10-600キロ電子ボルトのエネルギー域)で最高感度を実現
- 視野の大きさは約1度

## X線CCDカメラ (XIS)

- 0.2-12キロ電子ボルトのエネルギー領域で撮像・分光
- 視野の大きさは0.3度

JAXA宇宙科学研究本部 (当時) が2005年7月10日に打上げた日本で5番目のX線天文衛星

<http://www.astro.isas.jaxa.jp/suzaku/>

## 1. 広帯域・高感度観測

- XISとHXDによる0.2-600キロ電子ボルトでの広帯域・高感度の観測が特長

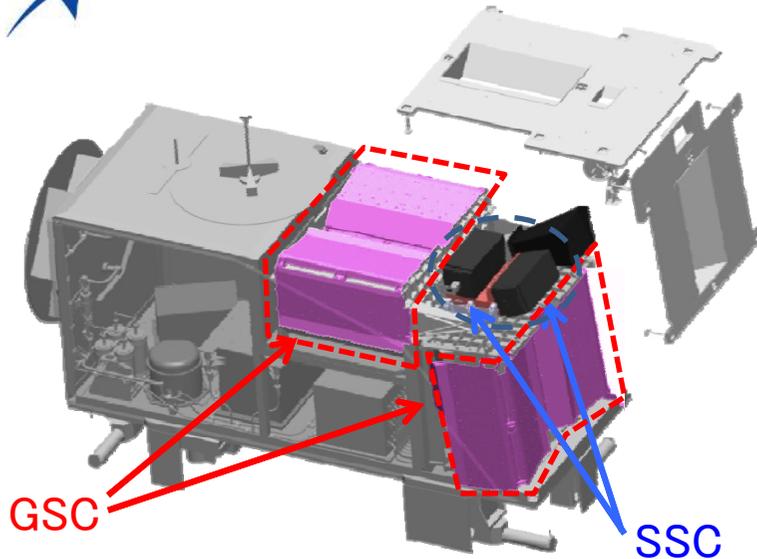
## 2. 個別天体の詳細観測

- ブラックホールを始めとする銀河系内外のX線天体の観測で大きな成果

後継機としてASTRO-Hを開発中 <http://astro-h.isas.jaxa.jp/>

# 全天X線監視装置MAXIの概要

MAXI : Monitor of All-sky X-ray Image



## GSC (Gas Slit Camera)

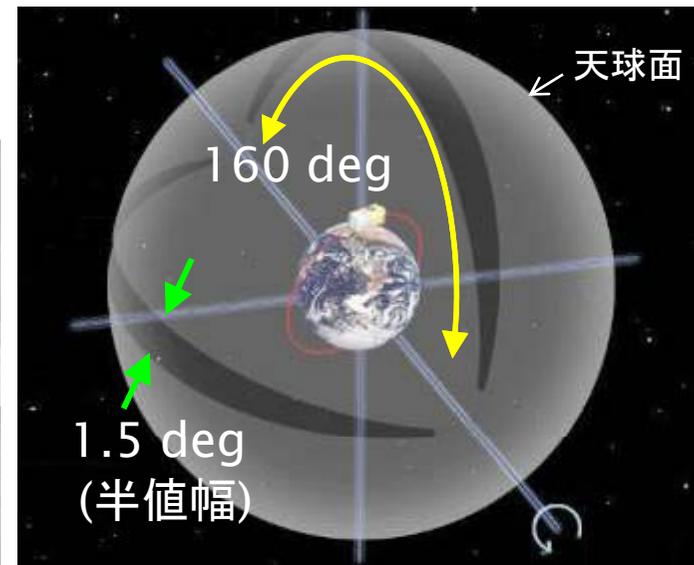
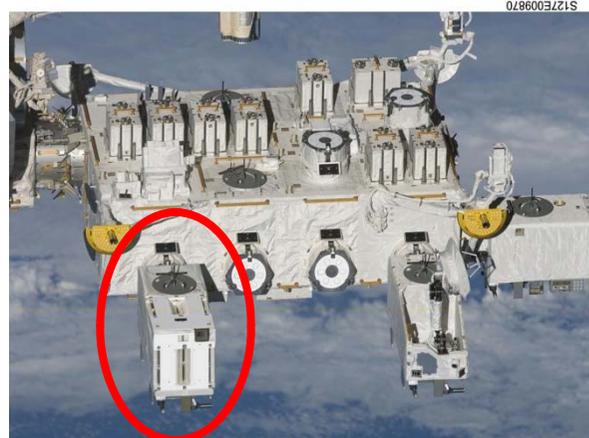
- 12台の大型キセノン比例計数管を搭載
- 5350cm<sup>2</sup>、検出範囲 2-30keV
- 従来の同様な装置の数倍の感度

## SSC (Solid-state Slit Camera)

- 国産 X線CCDを32枚使用
- 200cm<sup>2</sup>、検出範囲 0.5-12keV
- -60°Cに冷却
- 初めて全天のX線輝線をマッピング

- JAXA-RIKENの共同プロジェクト。  
関係大学も含む「MAXIチーム」により開発。  
代表研究者: 松岡勝  
(JAXAプロジェクト共同研究員、RIKEN特別顧問)

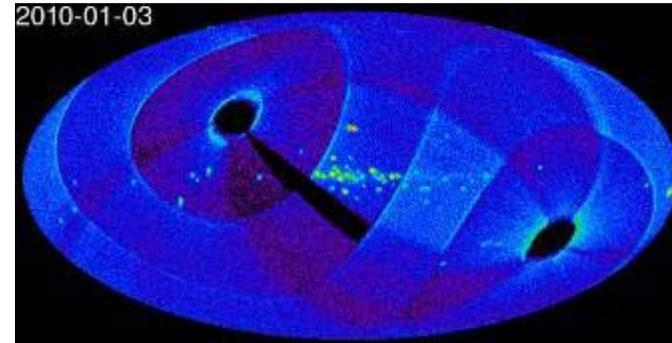
- 2009年7月、スペースシャトル(2J/A)で打上げ。
- JEMきぼう船外実験プラットフォーム搭載。
- ISS地球周回運動を利用して、駆動装置なしに全天走査。
- 2年以上の運用を目標。



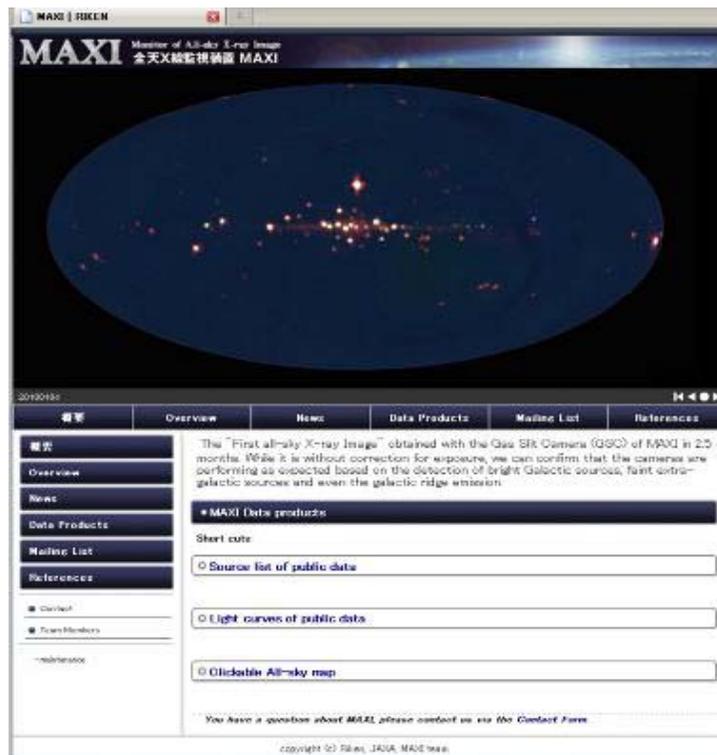
MAXI科学データの利用と成果創出を促進するために、処理済みデータの公開を2009年12月15日より開始

公開例その1: 1日1枚の全天X線画像  
全天画像を時間軸にそって比較することにより、新天体の出現や既存天体の突発増光や色の変化を、視覚的に捉えることができる。  
下の画像は、2010年1月3日にMAXIで得られた全天X線画像。

MAXIデータ公開サイト  
<http://maxi.riken.jp>

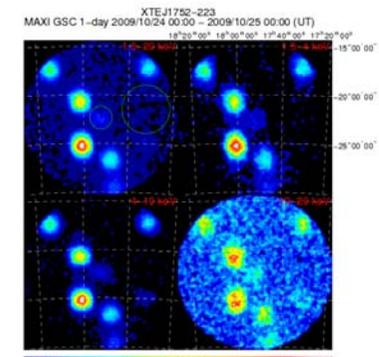
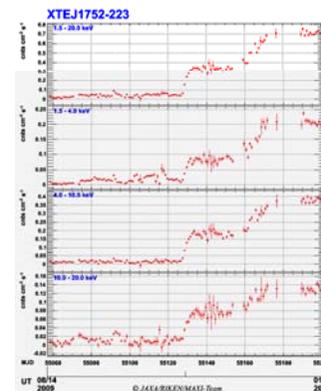


MAXIデータ公開サイトのトップページ



公開例その2: 個々の天体のX線光度変化曲線と、その天体を含む周辺のクローズアップX線画像

254個の天体の光度曲線と周辺画像を公開中(2011/4/22現在)。  
例として、ブラックホール候補天体 XTE J1752-223の光度曲線(左)と周辺画像(右)を示す。



# 「すざく」-MAXI 共同観測プロジェクト

「すざく」とMAXIの特長を  
最大限活用するため2010年2月から  
「すざく」-MAXI共同観測プロジェクトを実施

「すざく」のプロジェクト時間枠(5%=年約18日)を使い、MAXIが増光を確認した天体のうち、「すざく」での詳細観測が重要とMAXIチームが判断したものを、すぐに追観測する。

## 要約: 「すざく」とMAXIの相補的な特長

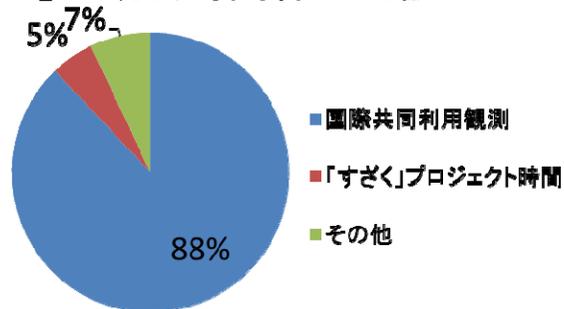
すざく	X線望遠鏡を使い大量のX線を集光することにより、 <u>望遠鏡を向けた天体の高品質データ</u> (低ノイズデータ)をX線CCDカメラで取得できる。また硬X線検出器の併用によりMAXIでは計測できない <u>広い波長域を観測</u> 。
MAXI	X線鏡を使用しないシンプルなスリットカメラであるため広視野を持つ。 <u>「すざく」の視野の数万~数十万倍もある全天を90分に1度の頻度で監視</u> 。個々の天体のデータ品質は圧倒的に「すざく」に劣るが、いつ、どこで起こるか <u>予測できない突発増光現象や新天体出現を検知</u> できる。

この即応性は、いつ減光に転じるかわからない突発天体の観測に大きな強み

## 最近の主な成果(後述):

- 中性子連星GX304-1の中性子星の磁場が4.7兆ガウス(地球磁場の10兆倍)と、X線パルサーの磁場としては最強であることの発見
- 物質をゆっくりと飲みこむ「草食系」ブラックホールXTE J1752-223の発見と、その質量の決定
- ブラックホール候補天体MAXI J1659-152の発見

## 「すざく」の観測時間枠の内訳



## 共同観測プロジェクト推進メンバー:

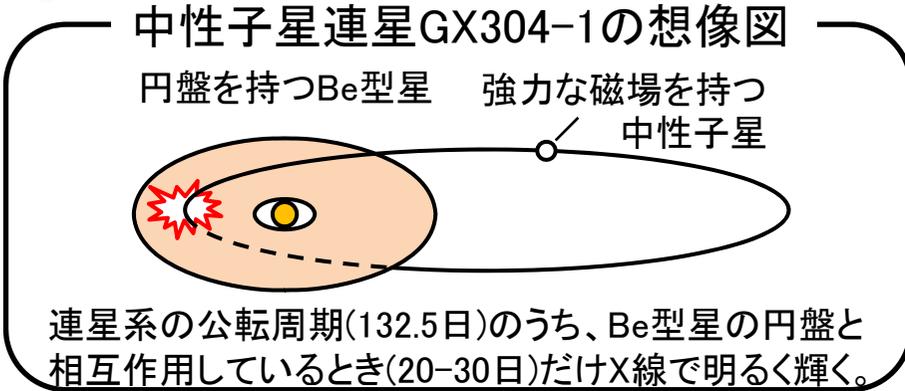
### 「すざく」チームから

石田学(JAXA宇宙研), 山崎典子(JAXA宇宙研), 辻本匡弘(JAXA宇宙研), 満田和久(JAXA宇宙研)他

### MAXIチームから

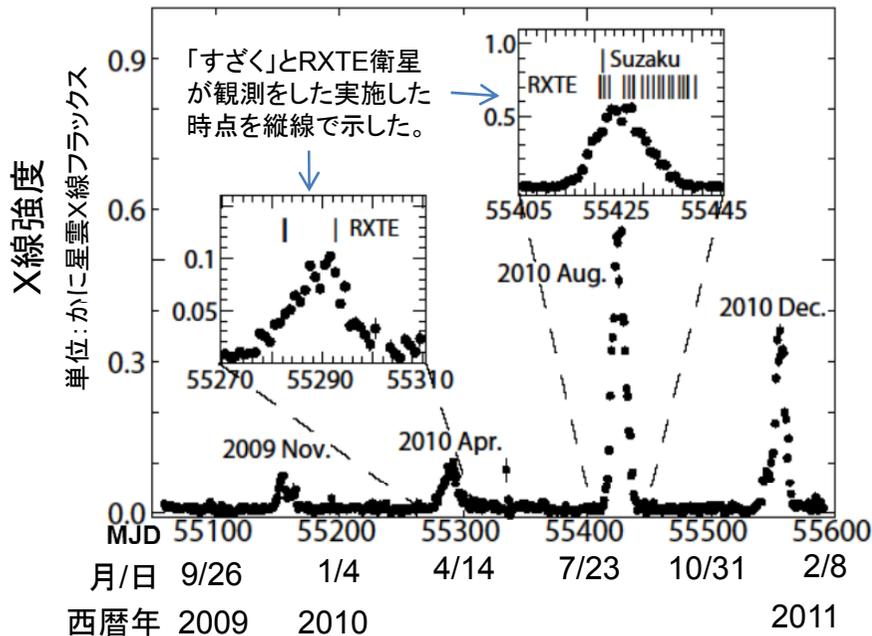
松岡勝(JAXA, 理研), 三原建弘(理研), 上野史郎(JAXA), 河合誠之(東工大), 吉田篤正(青学大), 根來均(日大), 常深博(阪大), 上田佳宏(京大)他

# 中性子星連星GX304-1

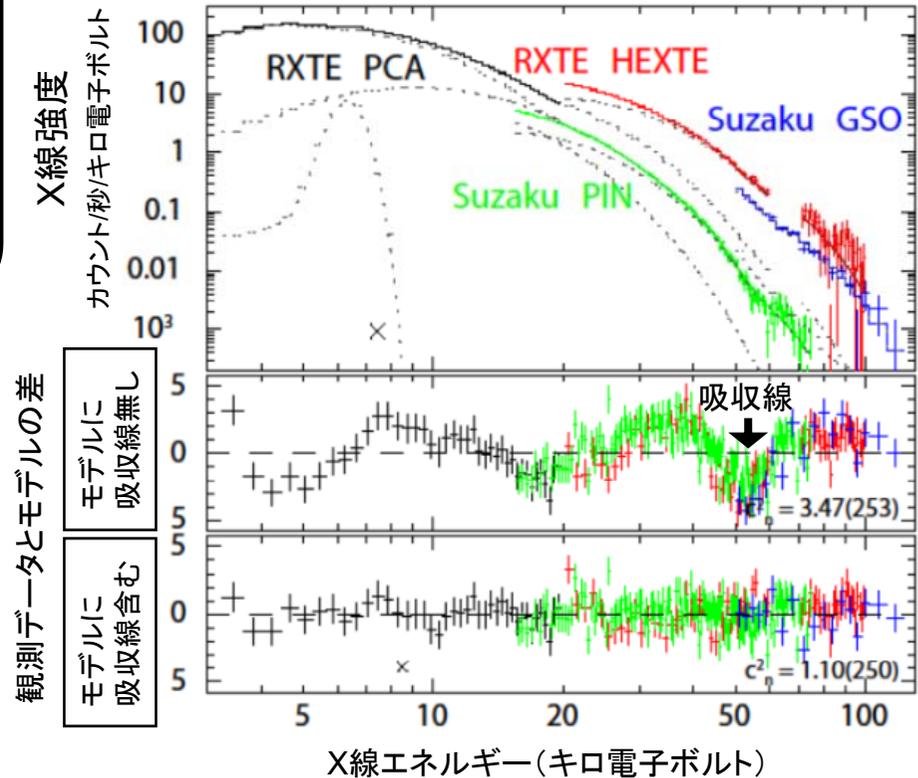


MAXIが連星系の公転周期と一致した周期性をとらえ、顕著な増光が検出されたタイミングに合わせて「すざく」とRXTE衛星(米国)で共同観測した。

MAXIの観測結果: GX304-1のX線光度変化



「すざく」とRXTE衛星(米国)の分光観測結果



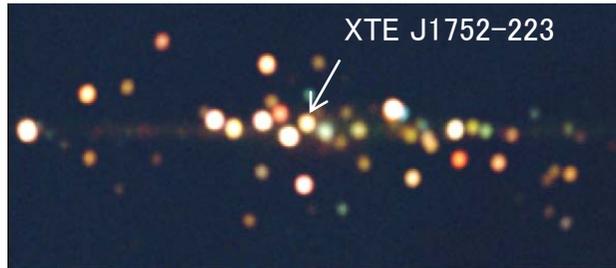
54キロ電子ボルト付近に、中性子星の強い磁場起因するサイクロトロン吸収線を発見した。これにより推定された中性子星の磁場は4.7兆ガウス(地球磁場の10兆倍)で、X線パルサーの磁場としては最強であることが判明した。

発表論文「Discovery of a Cyclotron Resonance Feature in the X-ray Spectrum of GX 304-1 with RXTE and Suzaku during Outbursts Detected by MAXI in 2010」, 著者 T. Yamamoto<sup>1,2</sup>, M. Sugizaki<sup>2</sup>, T. Mihara<sup>2</sup>, M. Nakajima<sup>3</sup>, K. Yamaoka<sup>4</sup>, M. Matsuoka<sup>2</sup>, M. Morii<sup>5</sup>, and K. Makishima<sup>2,6</sup>, 2011年, Publ. Astron. Soc. Japan, 掲載受理済 (所属機関: <sup>1</sup>日大, <sup>2</sup>理研, <sup>3</sup>日大, <sup>4</sup>青学大, <sup>5</sup>東工大, <sup>6</sup>東大)

# 「草食系」ブラックホール XTE J1752-223

ブラックホール候補のX線新星(名前はXTE J1752-223; 米国のRXTE衛星が2009年に発見)をMAXIで監視することにより、新種のブラックホール新星であることが明らかになった。

## MAXIによるXTE J1752-223の画像



これまで知られていたブラックホールでは急激なガス流入のため10日以内に明るさがピークに達するが、XTE J1752-223では3ヶ月もかかってピークにたどり着いた。

しかも、明るくなる過程は単調増光ではなく、明るさが変化しない状態に2度ほど、しばらく留まった。この階段状の明るさの変化は、これまでの理論では説明がつかない。そのため新種のブラックホール新星であるといえる。

従来のブラックホールを、多量のガスを一気に飲み込む「肉食(獣)系」に例えるなら、XTE J1752-223は、ガスを少しずつマイペースで食べる「草食(動物)系」ブラックホールである。

注釈: この「草食系」という呼び方は、多くの人に興味を持っていただくために、MAXIミッションチームが記者発表時に考案し使用したものだ。

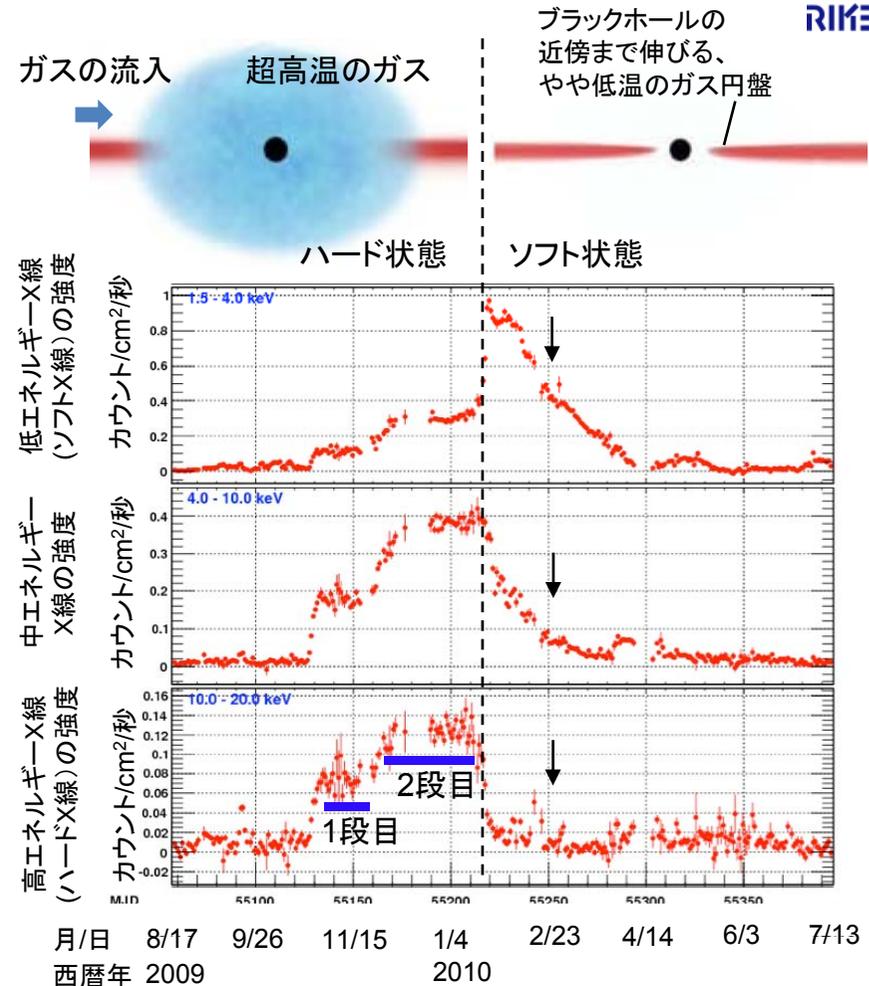


図: MAXIによるXTE J1752-223の光度曲線。上から1.5-4キロ電子ボルト、4-10キロ電子ボルト、10-20キロ電子ボルト。2段階のハード状態を示す。縦の破線はソフト状態からハード状態への移行が起きた時期で。矢印は「すざく」による観測が行われた時期(2010年2月24-25日)。

発表論文「MAXI GSC Observations of a Spectral State Transition in the Black Hole Candidate XTE J1752-223」, 著者 S. NAKAHIRA<sup>1</sup>, K. YAMAOKA<sup>1</sup>, M. SUGIZAKI<sup>2</sup>, Y. UEDA<sup>3</sup>, H. NEGORO<sup>4</sup>, K. EBISAWA<sup>5</sup>, N. KAWAI<sup>6,2</sup>, M. MATSUOKA<sup>2,7</sup>, H. TSUNEMI<sup>8</sup>, A. DAIKYUJI<sup>9</sup>, S. EGUCHI<sup>3</sup>, K. HIROI<sup>3</sup>, M. ISHIKAWA<sup>10</sup>, R. ISHIWATA<sup>4</sup>, N. ISOBE<sup>3</sup>, K. KAWASAKI<sup>7</sup>, M. KIMURA<sup>8</sup>, M. KOHAMA<sup>2,7</sup>, T. MIHARA<sup>2</sup>, S. MIYOSHI<sup>4</sup>, M. MORII<sup>6</sup>, Y.E. NAKAGAWA<sup>11</sup>, M. NAKAJIMA<sup>12</sup>, H. OZAWA<sup>4</sup>, T. SOOTOME<sup>2</sup>, K. SUGIMORI<sup>6</sup>, M. SUZUKI<sup>2</sup>, H. TOMIDA<sup>7</sup>, S. UENO<sup>7</sup>, T. YAMAMOTO<sup>2</sup>, A. YOSHIDA<sup>1,2</sup> and the MAXI team, 2010年, Publ. Astron. Soc. Japan, 第62巻, L27-L32 (所属機関: <sup>1</sup>青学大, <sup>2,11</sup>理研, <sup>3</sup>京大, <sup>4,12</sup>日大, <sup>5,7</sup>JAXA, <sup>6</sup>東工大, <sup>8</sup>阪大, <sup>9</sup>宮崎大, <sup>10</sup>総研大)

MAXIにより、ブラックホール候補天体XTE J1752-223がハード状態からソフト状態へ遷移したことを確認した。

ソフト状態では、ブラックホールの回りにできるガス円盤(降着円盤)が、ブラックホールの半径の3倍に相当するシュバルツシルド半径まで降りてきていると考えられる。ソフト状態の詳細な観測を行えば、シュバルツシルド半径(ブラックホールの質量に比例)の大きさを求めることができる。

「すざく」による詳細な観測を実施し、軟X線領域に現れる降着円盤のX線スペクトルを詳細に調べた。中心にあるブラックホールの質量が太陽のおよそ20倍もあることを発見した。

「すざく」によるXTE J1752-223の分光観測結果

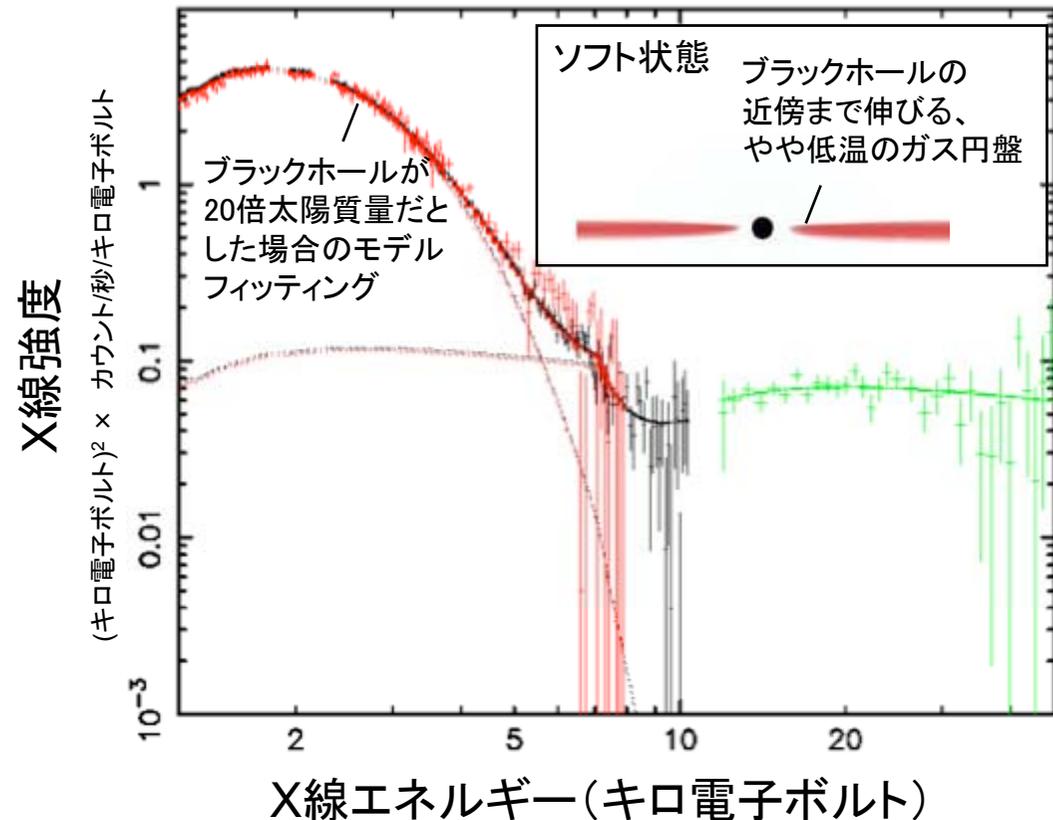
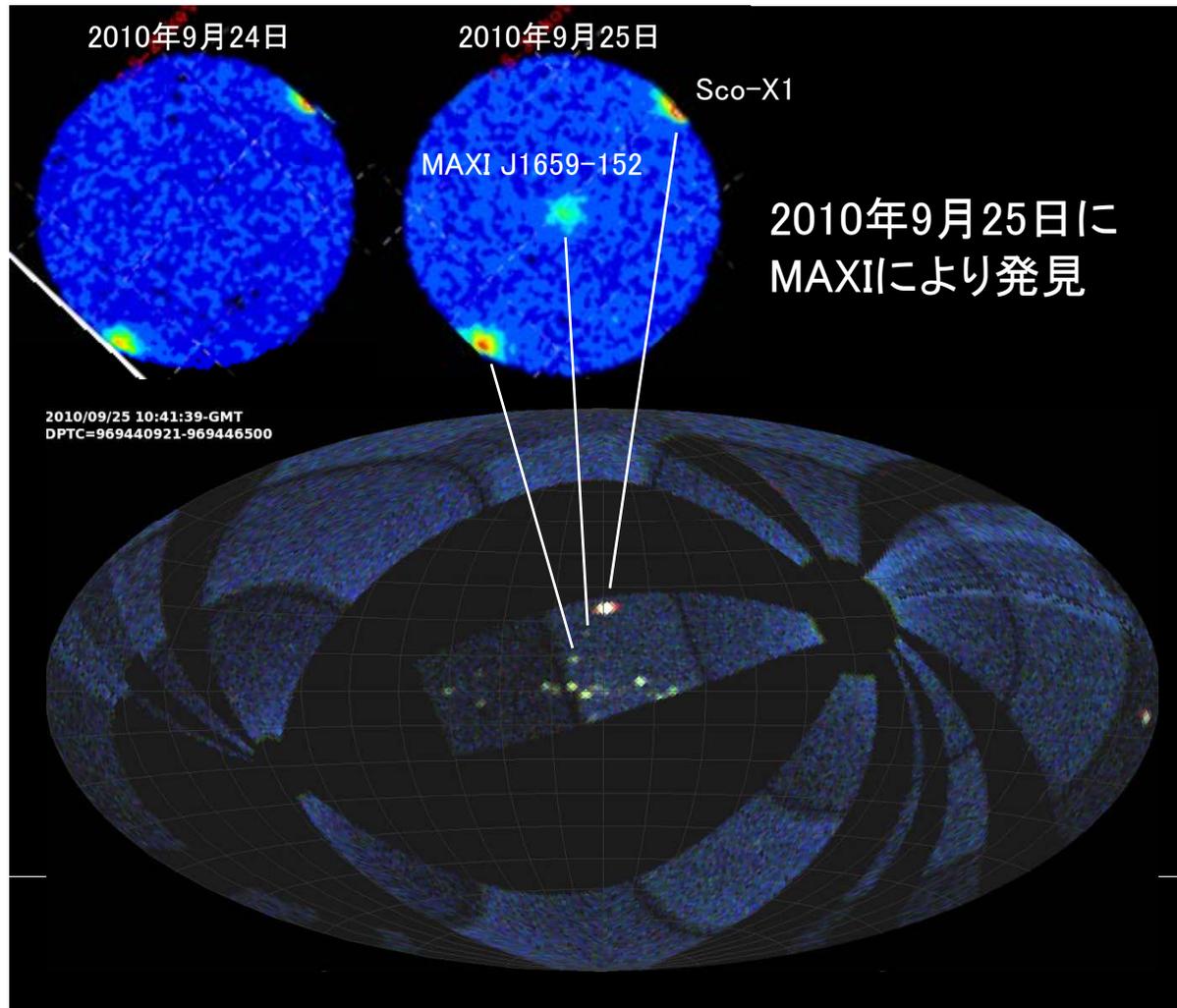


図: 「すざく」によるXTE J1752-223のX線スペクトル。6キロ電子ボルト以下で卓越する降着円盤からの放射を詳細に調べることでブラックホールの質量を求めることができる。

# 新発見のX線新星は ブラックホール候補天体



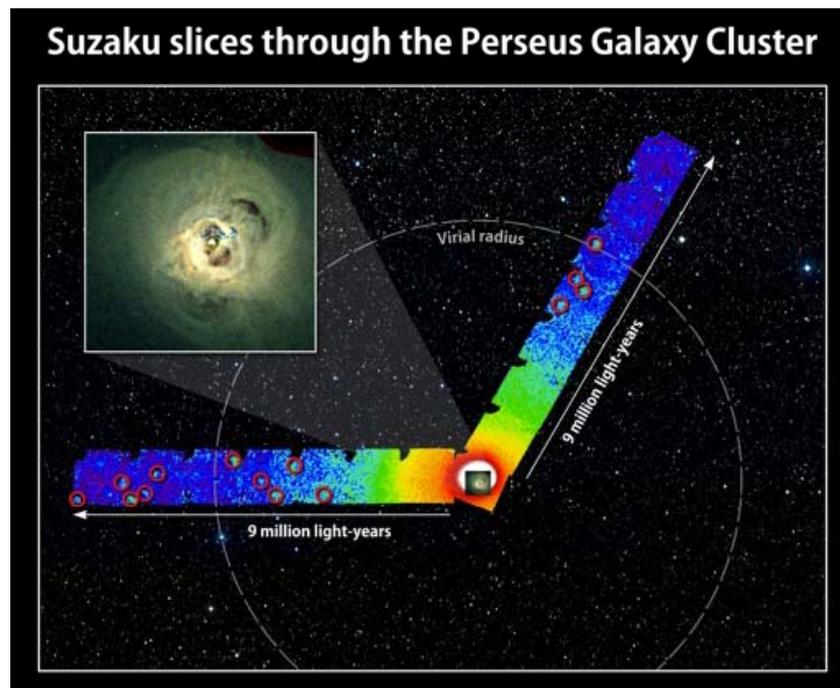
新天体MAXI J1659-152をMAXIが発見。MAXIチームからの通報を受けて、「すざく」で2010年9月29日、9月30日、10月1日-2日の計3回の観測を実施。

スペクトルがXTE J1752-223と同じ特徴を備えることから、この天体がブラックホール候補であることを確認。

距離が分かれば、「すざく」のスペクトルデータに基づいてブラックホールの質量を算出できる。

## 参考：最近のすざくのweb releaseから 銀河団外縁部のバリオン物質

- ペルセウス銀河団の観測により、世界で初めて銀河団の勢力圏であるビリアル半径を超える領域まで質のよいX線スペクトルを得た。
- (1) ビリアル半径程度まで銀河団高温ガスは太陽組成の1/3程度の重元素をもつこと、(2) 高温ガスがクランプ状に存在し、かつ、銀河団全体の高温ガスに代表される普通の物質と暗黒物質の質量比が宇宙の平均値に一致することなど、銀河団外縁部のバリオンの様子が初めて明らかになった。



宇宙の大規模構造の主要な構成要素である銀河団の構造と進化の理解に重要な結果。同時に、銀河団観測による宇宙基本的なパラメータ決定の信頼度を向上し、暗黒エネルギーの理解にも寄与することが期待される。

2011年3月25日web release  
(<http://www.astro.isas.jaxa.jp/suzaku/flash/2011/0325/>)  
Simionescu et al. 2011 Science

「すざく」は、空間的に広がったX線放射に対する高い感度により、銀河内や銀河団中の高温プラズマ物質について十分に観測が行われていなかった領域で存在を確認、あるいは物理状態を測定し、宇宙の進化や質量分布の新たな知見をもたらしている。