

X線天文衛星「すざく」の 観測の現状と成果

宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部

教授 満田和久

2006年12月6日宇宙開発委員会

X線天文衛星すざく (ASTRO-EII)

- ◆ 主要目的
 - ◆ 宇宙の構造形成、ブラックホール直近領域の探査
 - ◆ 広帯域X線分光(0.2-700 keV)
 - ◆ 高分解能X線分光
(半値幅6 eV、0.3-10keV)
- ◆ JAXA と NASAを中心とする国際協力
- ◆ 米国のチャンドラ衛星、欧州のニュートン衛星と相補的な役割
- ◆ 軌道上天文台として、国際公募観測
- ◆ 2005年7月10日、M-Vロケット6号機により打ち上げ



重量	打ち上げ時	1700 kg
大きさ	打ち上げ時	4956(h) x 2002 x 1912 mm
	軌道上	6494(h) x 5395 x 1912 mm
電力	消費量	650W
	発生量	1530 W (打ち上げ3年後)
軌道	軌道制御後	高度 560km、傾斜角 31°

開発・運用体制

サブシステム	機関
衛星システム	JAXA
X線望遠鏡、光学ベンチ	名古屋大学、NASA/GSFC、JAXA、首都大学東京
X線マイクロカロリメータ	JAXA、NASA/GSFC、Wisconsin大学、首都大学東京、理研
X線CCDカメラ	京都大学、大阪大学、MIT、JAXA、立教大学、愛媛大学
硬X線検出器	東京大学、JAXA、理研、広島大学、埼玉大学、金沢大学、大阪大学、青山学院大学
衛星運用、データ処理、科学解析ソフトウェア	JAXA、NASA/GSFC、岩手大学、宮崎大学、中央大学、神戸大学、東工大、ぐんま天文台、日本大学、東京理科大学、日本福祉大
科学アドバイザー	Cambridge大学、Leicester大学、MaxPlanck研究所、ESA、NASA/GSFC、Hawaii大学、Rutgers大学、Columbia大学、MIT、Penn State大学、Olin大学

観測系開発参加研究者は33機関、約200人

これらの研究者でサイエンスワーキンググループを形成

X線望遠鏡

XRT-S

XRT-I (4台)

6.49 m

1.91m

XRS デュワー

硬X線検出器

HXD
東大-JAXA-理研-埼玉
大-広島大-金沢大-...

X線CCDカメラ

XIS
MIT-京都大-大阪大 -
JAXA-.....

X線マイクロカロリメータ



XRT

NASA/GSFC-名古屋大学-

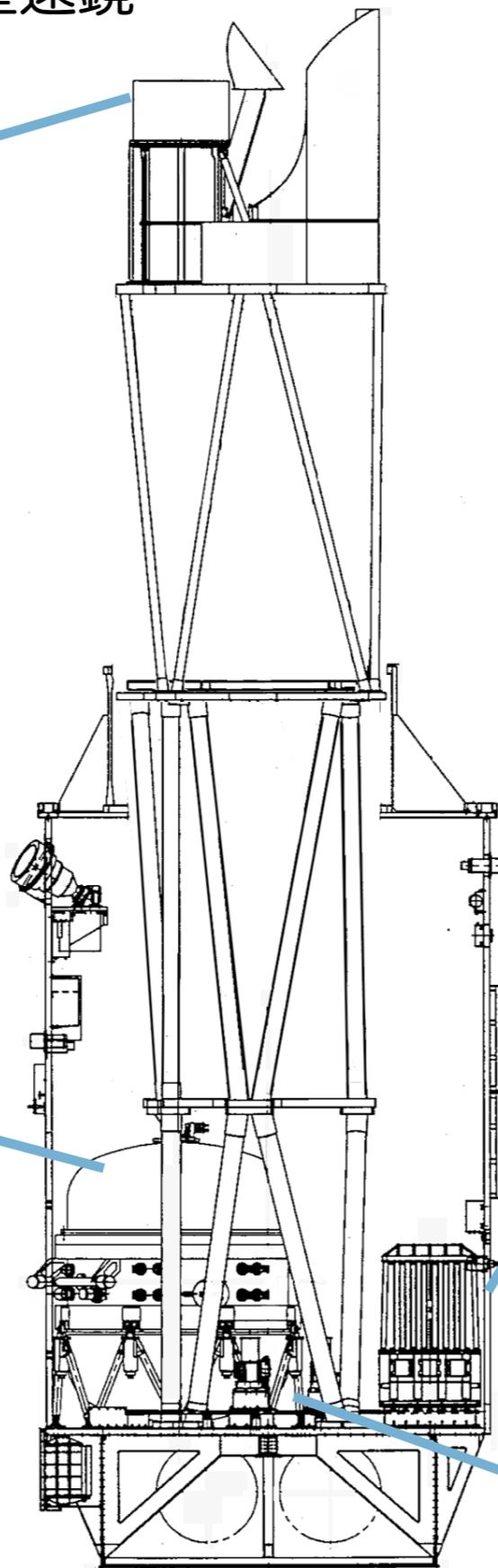
JAXA



XRS

NASA/GSFC-Wisconsin

-JAXA-首都大



打ち上げからの履歴

2005年	7/10	打ち上げ
	7/11-12	3軸確立、パドル展開、光学ベンチ伸展
	7/21	近地点高度上昇終了
	7/26	XRS 60mK達成、分解能7eV
	8/8	XRS Heを消失、機能停止
	8/13	XRT/XIS First light
	8/20	HXD First light
	9/10	試験観測開始
	11/17	第1回国際公募観測受付開始
	12/2	初期/試験観測データの一部を公開
2006年	1/7	第1回国際公募観測受付締め切り
	1/25	JAXA XRS不具合原因究明チームが調査結果を宇宙開発委員会に報告
	4/1	第1回国際公募観測開始
	9/1	第2回国際公募観測受付開始
	11/9	4台のX線CCDカメラの1台について画像領域の一部の信号がでなくなったことが判明*
	12/1	第2回国際公募観測受付締め切り
	12中旬	日本天文学会欧文報告「すざく」特集号発行
2007年	4/1	第2回国際公募観測開始

現在 

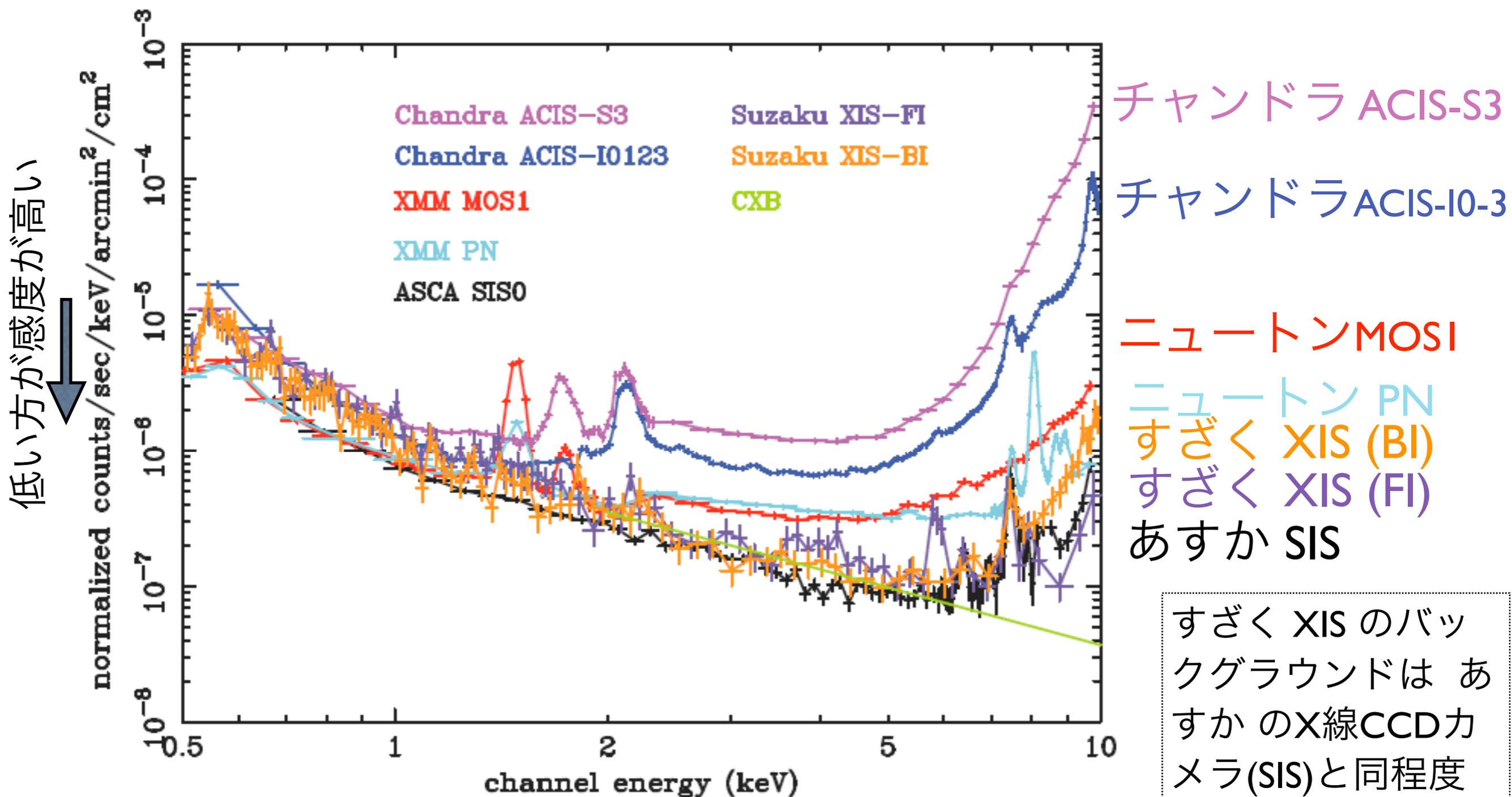
* 現在、復旧の試みと原因究明作業を行っている。他の3台の機能冗長により、観測への支障はない。

現在のすざく

- 優れた広帯域X線分光能力を実証
 - 0.2 keV から 700 keVのエネルギー帯域
 - ▶ あすか、チャンドラ、ニュートンは10keVまで
- 低バックグラウンドによる高感度
- 良いエネルギー分解能
 - 空間的に広がったX線源
 - 特に1keV以下の低エネルギー側

軟X線領域のバックグラウンド

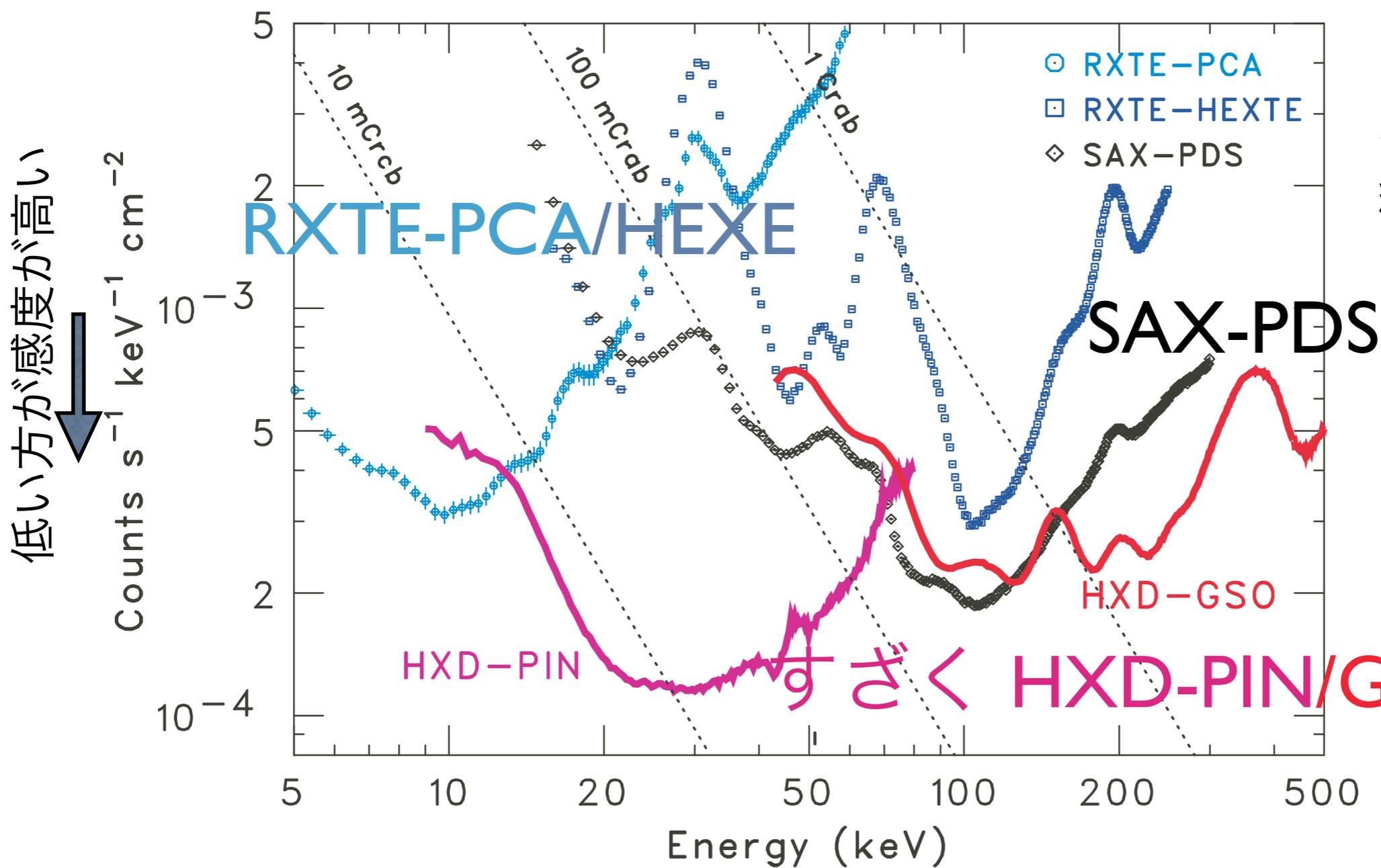
有効面積と視野の広さで規格化されたバックグラウンド



Koyama et al. (2006)

硬X線領域のバックグラウンド

有効面積で規格化されたバックグラウンド

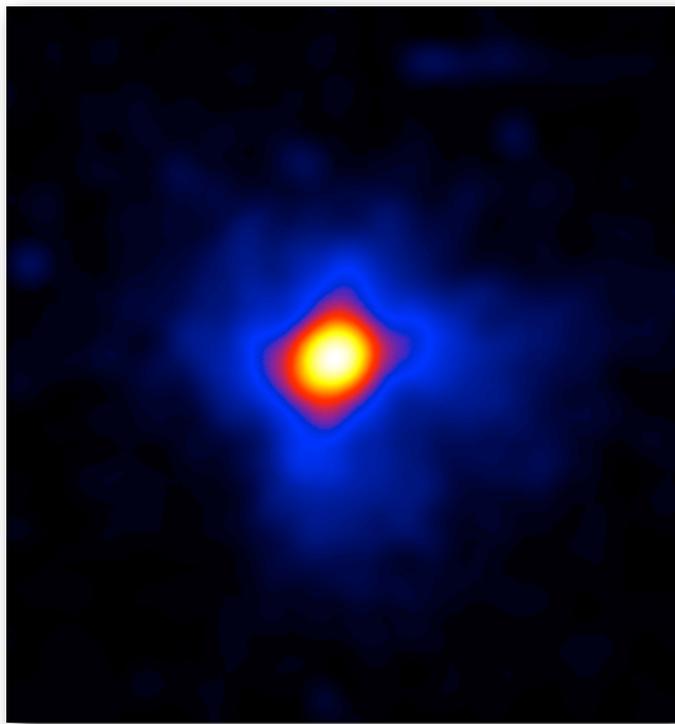


「すざく」のバックグラウンドは、5%の精度で予測可能。ゴールは1%。

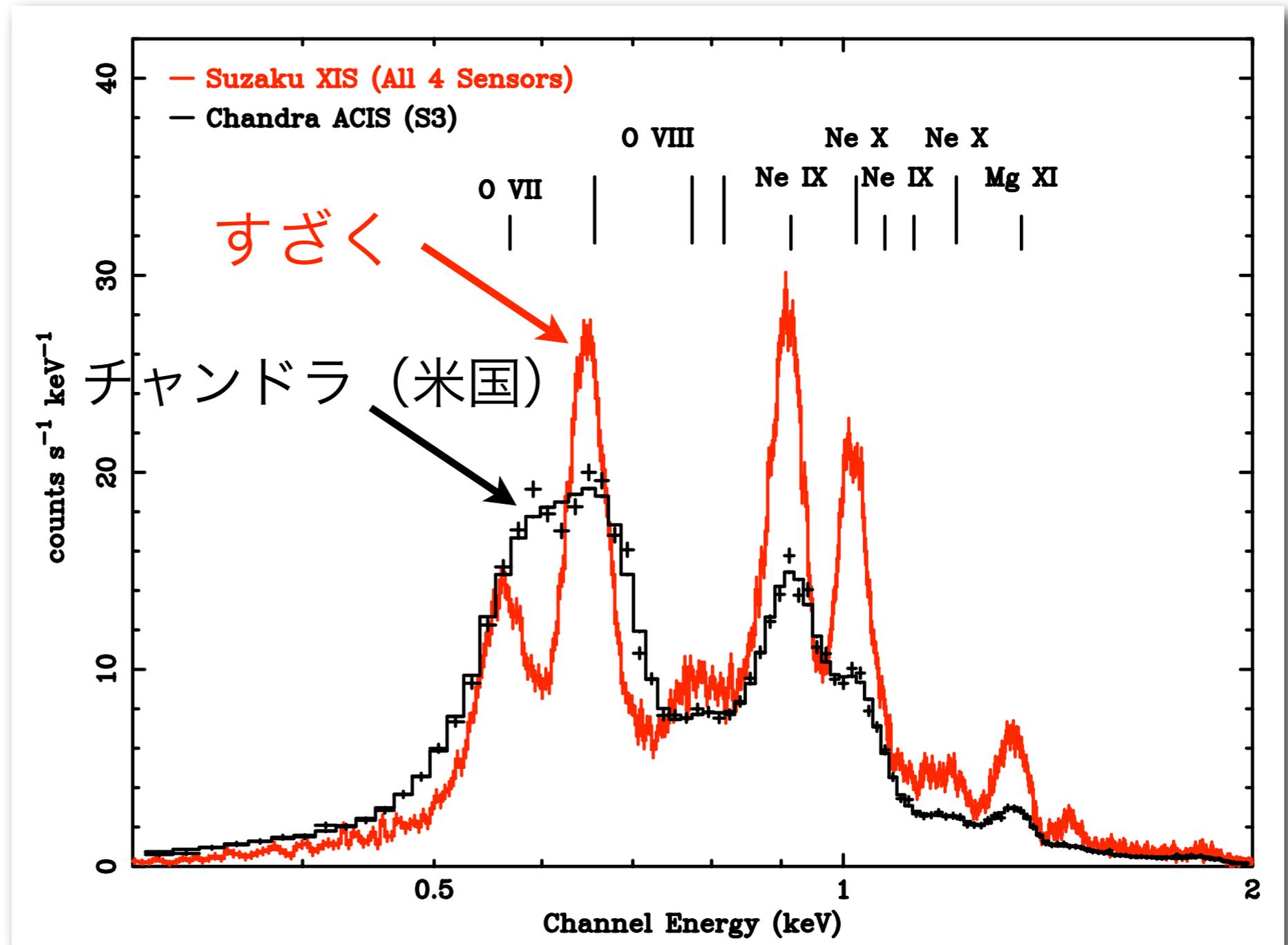
一部のエネルギー帯を除いて世界最高の感度

低エネルギーX線に対する分解能

- 大マゼラン銀河内の超新星残骸、E0102-72
- 低エネルギーX線に対して特に優れたエネルギー分解能

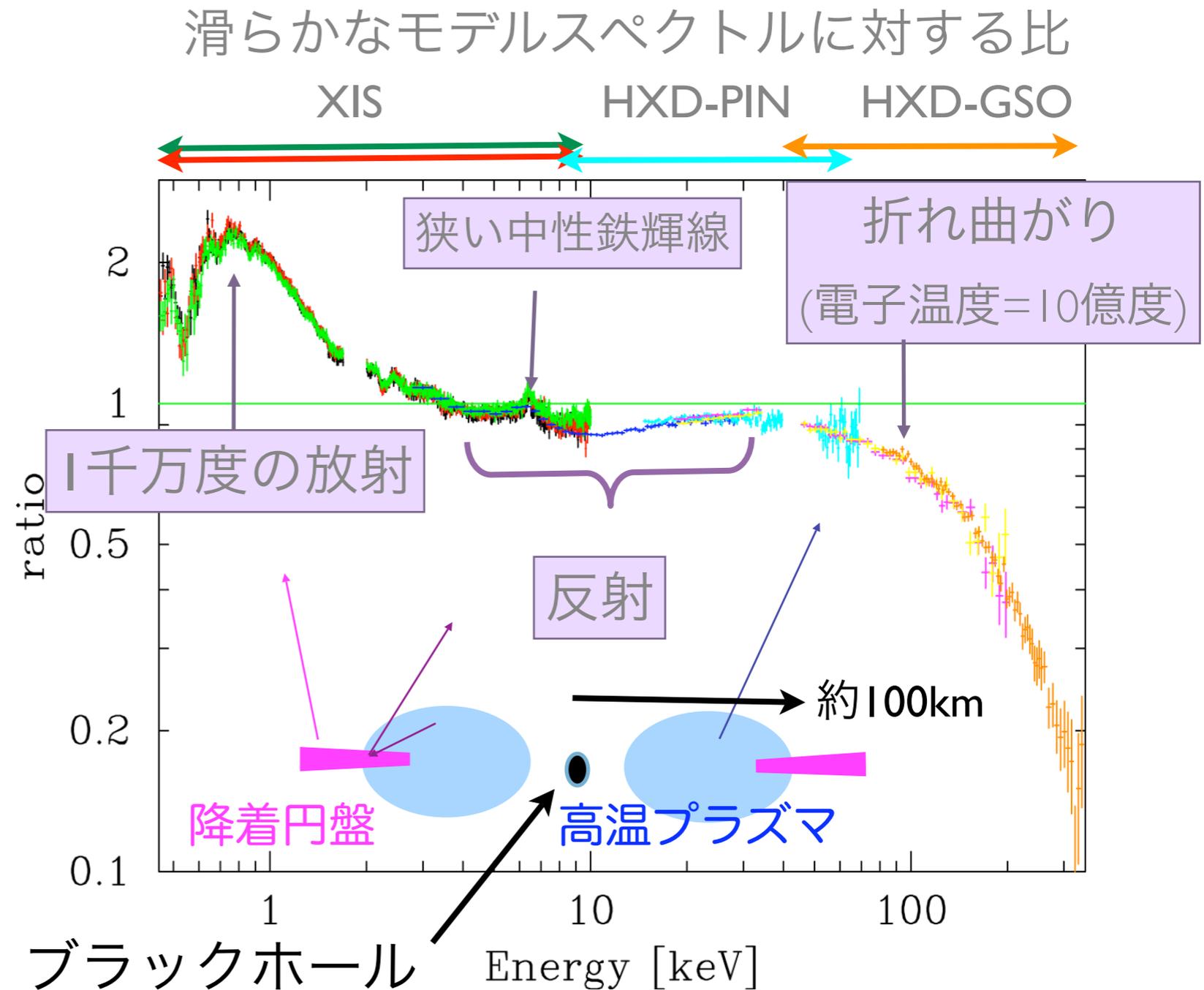
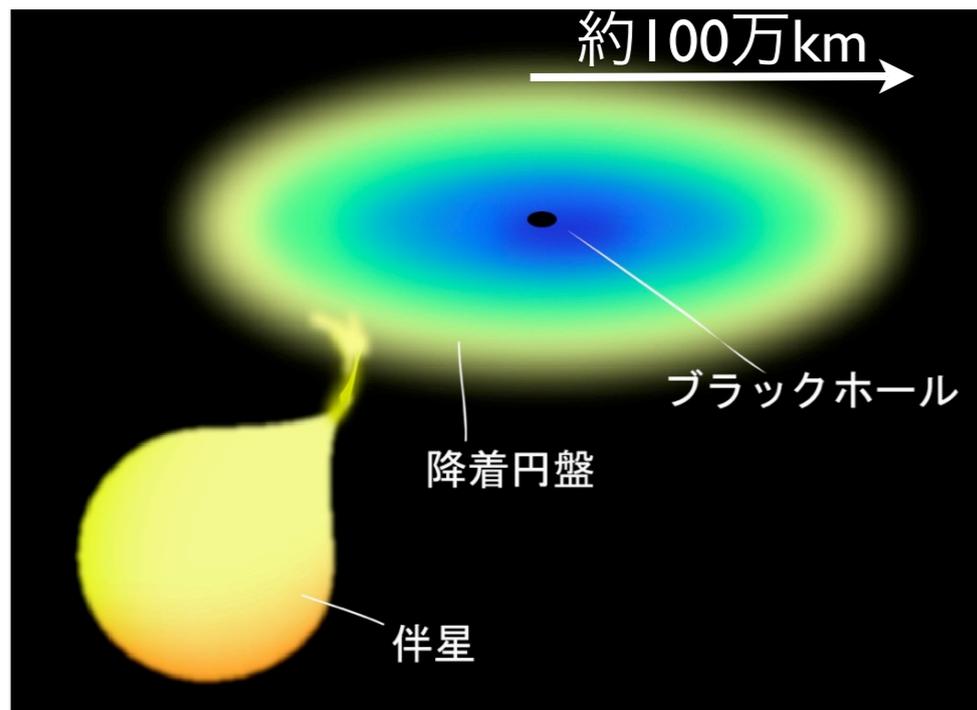


すざくによるX線像



広帯域X線スペクトルの例

ブラックホール連星 白鳥座X-1



Kubota et al. in preparation

試験観測

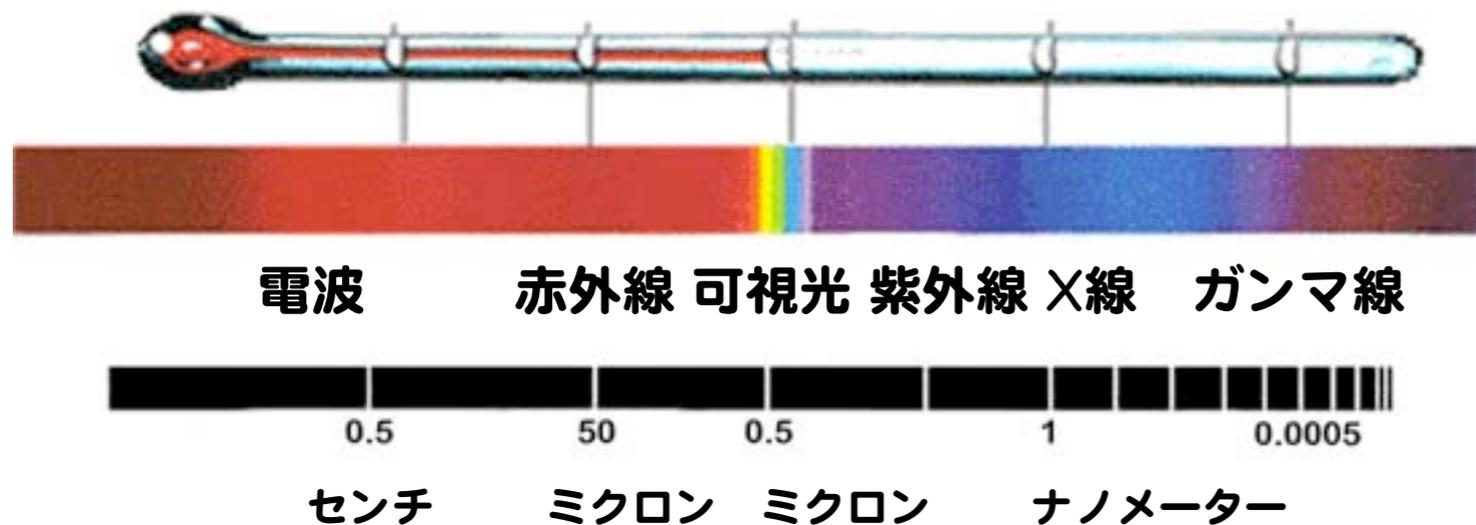
- 2006年3月31日まで
- サイエンスワーキンググループが観測計画を策定
- 予定していた約100個の全天体（あるいは方向）の観測を終了
- 2007年5月半ばまでは、サイエンスワーキンググループがデータを占有して解析を行い、それ以降は、世界の研究者にデータを解放する予定。

試験観測の科学的成果の発表状況

- 国際会議等の発表
 - アメリカ天文学会他、多数 (20以上)
- 査読つき学術誌への掲載論文
 - 米国天文学会誌に先行論文 2 編掲載済み
 - 日本天文学会欧文誌「すざく特集号」に科学的論文25+ハードウェア / ソフトウェア 論文 5 掲載決定。12月半ばに発行予定。
 - 打ち上げ後1年4ヶ月としては、「あすか」衛星 (打ち上げ後1.5年で23, 打ち上げ13年で1500論文) よりも早いペース

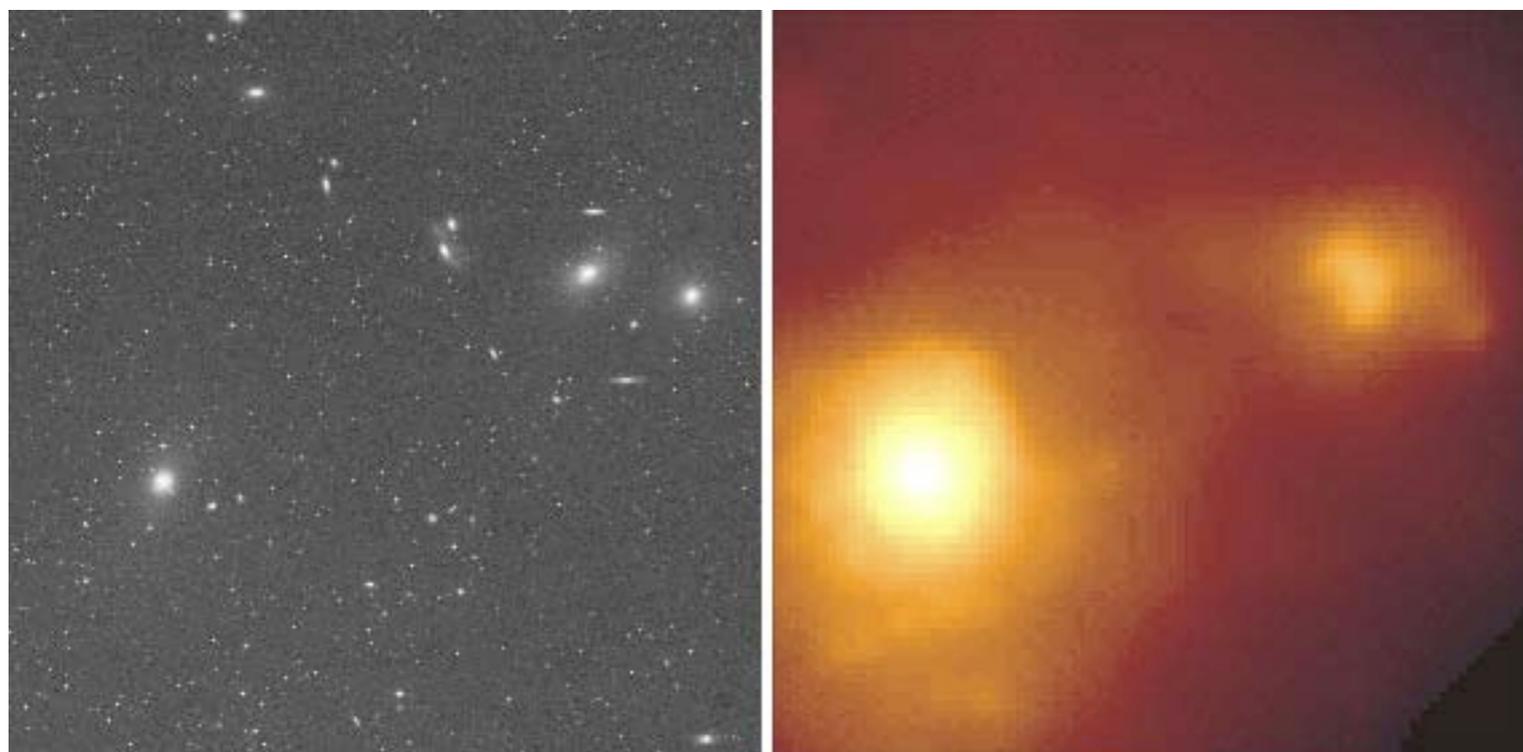
X線による観測の特徴

絶対温度 1度 100度 1万度 1千万度 100億度



- X線は波長の短い電磁波＝高いエネルギーを持つ光子
- 宇宙の高温・高エネルギー現象を選択的に見る
 - 大きな重力や爆発的な現象
- 現在の宇宙の普通の物質（バリオン物質）の半分以上は、X線を放射するような高温・高エネルギー状態にあると考えられている。

おとめ座銀河団



可視光：銀河

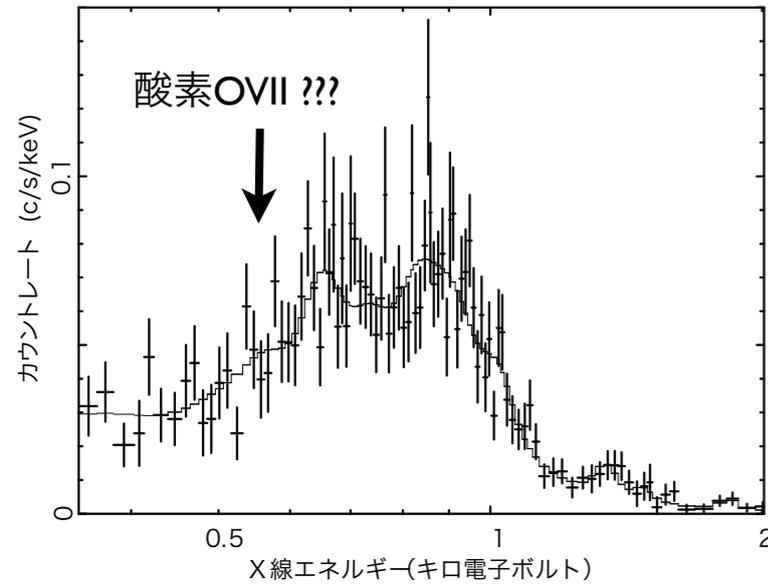
X線：約1億度の高温物質（質量は全銀河の約10倍）

科学的成果の例 すざく特集号論文から(I)

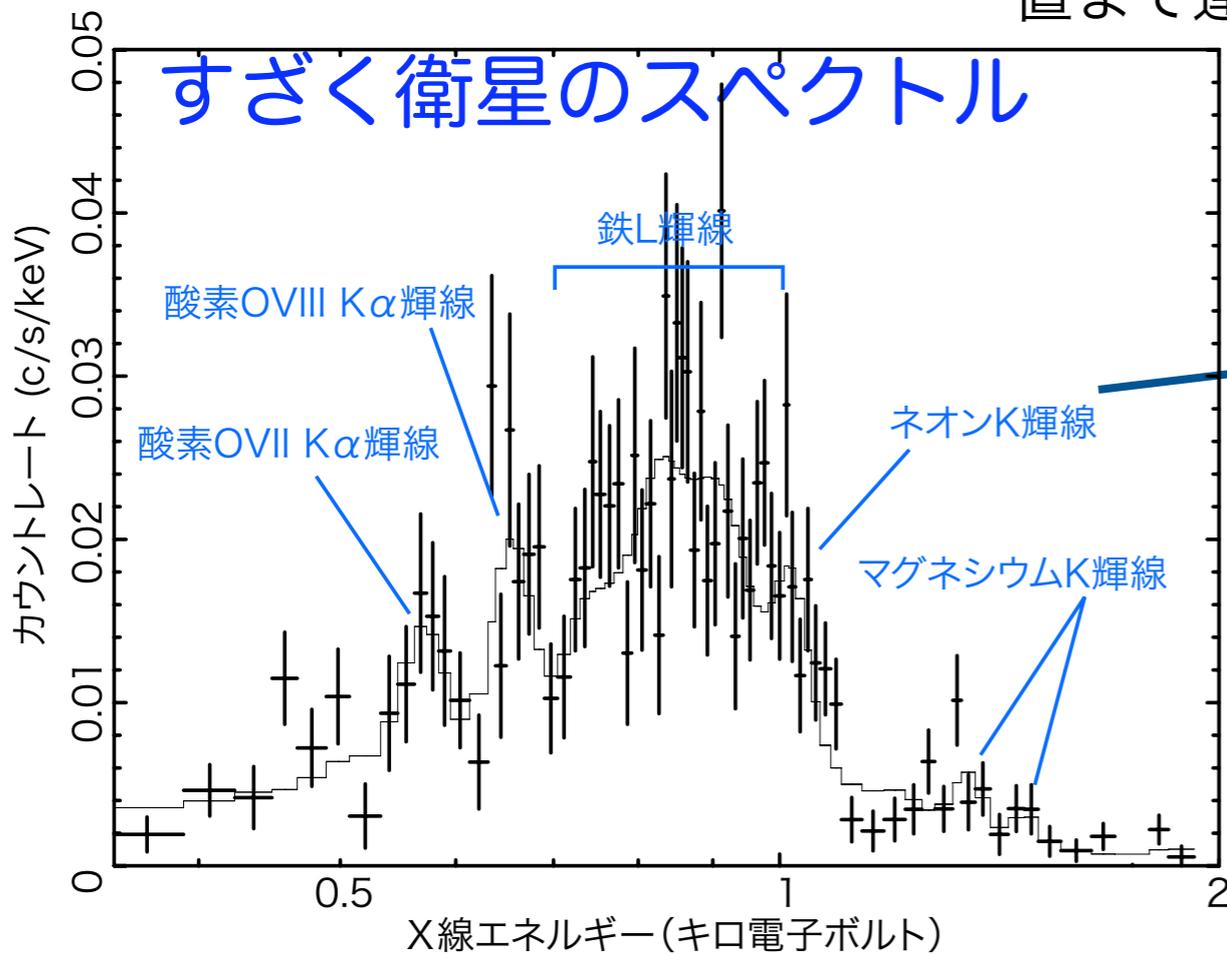
銀河の大爆発が作った巨大プラズマの「帽子」

- 星で作られた重元素が銀河間空間へ流れ出す、その現場を初めて直接捉えた
- 空間的に広がった低エネルギーX線に対する世界最高の優れたエネルギー分解能により、M82銀河から約3万8千光年離れた位置に酸素イオン等からのX線輝線放射を検出。
- M82銀河中心領域で過去に起きた大規模な連鎖的な超新星爆発により放出されたガスが、約2000万年かけて、現在の位置まで達したと考えられる。

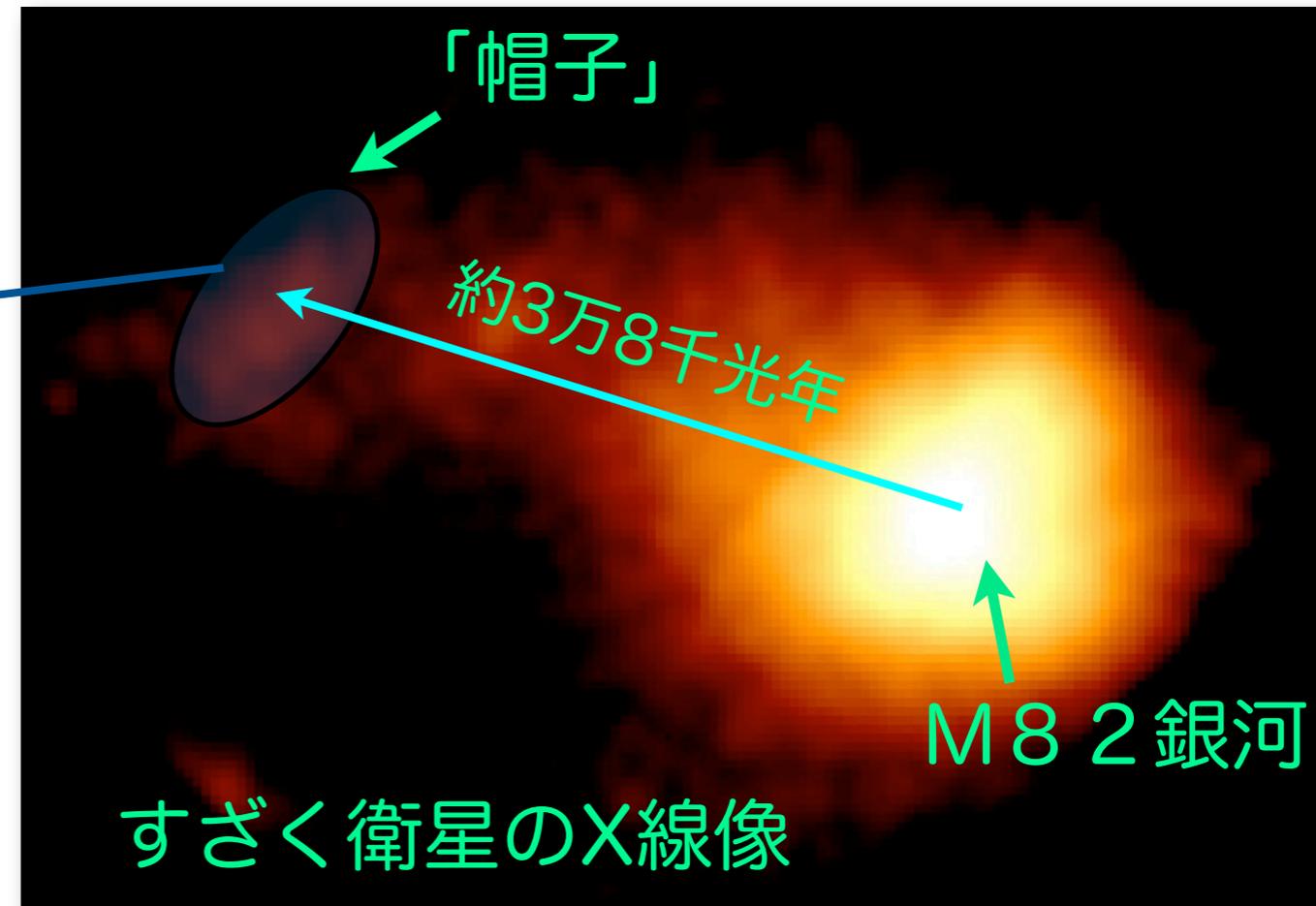
ニュートン衛星のスペクトル



Hyodo, Tsuru, Ozawa (2006)



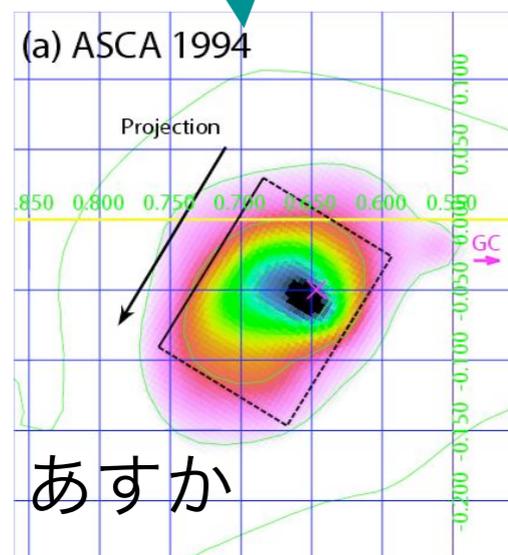
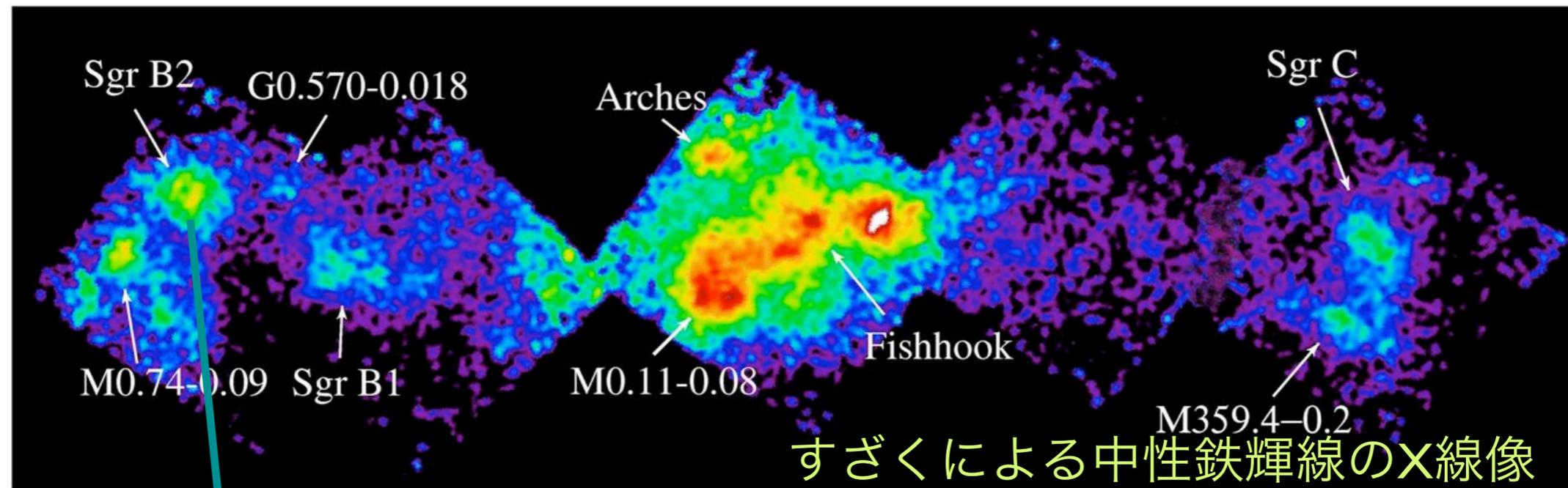
Tsuru et al. (2006)



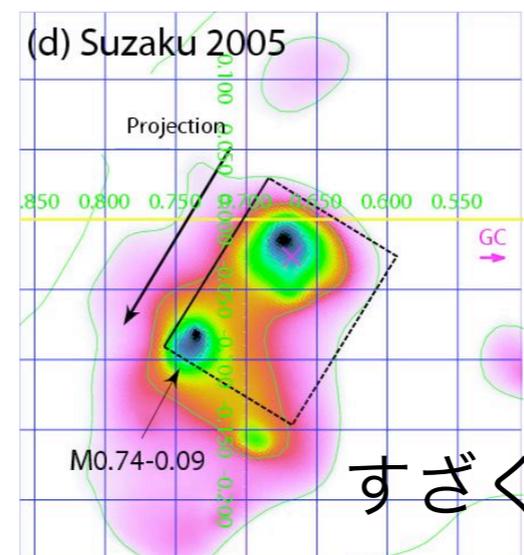
科学的成果の例 すざく特集号論文から(2)

天の川中心：その素顔、多数の新X線天体と過去の大激動をキャッチ

- 低いバックグラウンドによる高感度を生かして、我々の銀河系（天の川銀河）の中心領域が温度7千万度のプラズマで満たされていることをかつてない高い精度で明らかにした。
- 銀河中心に潜むと考えられるブラックホールの過去の活動を示す変化を発見。



11年
→



Koyama et al. (2006)

科学的成果の例 すざく特集号論文から(3)

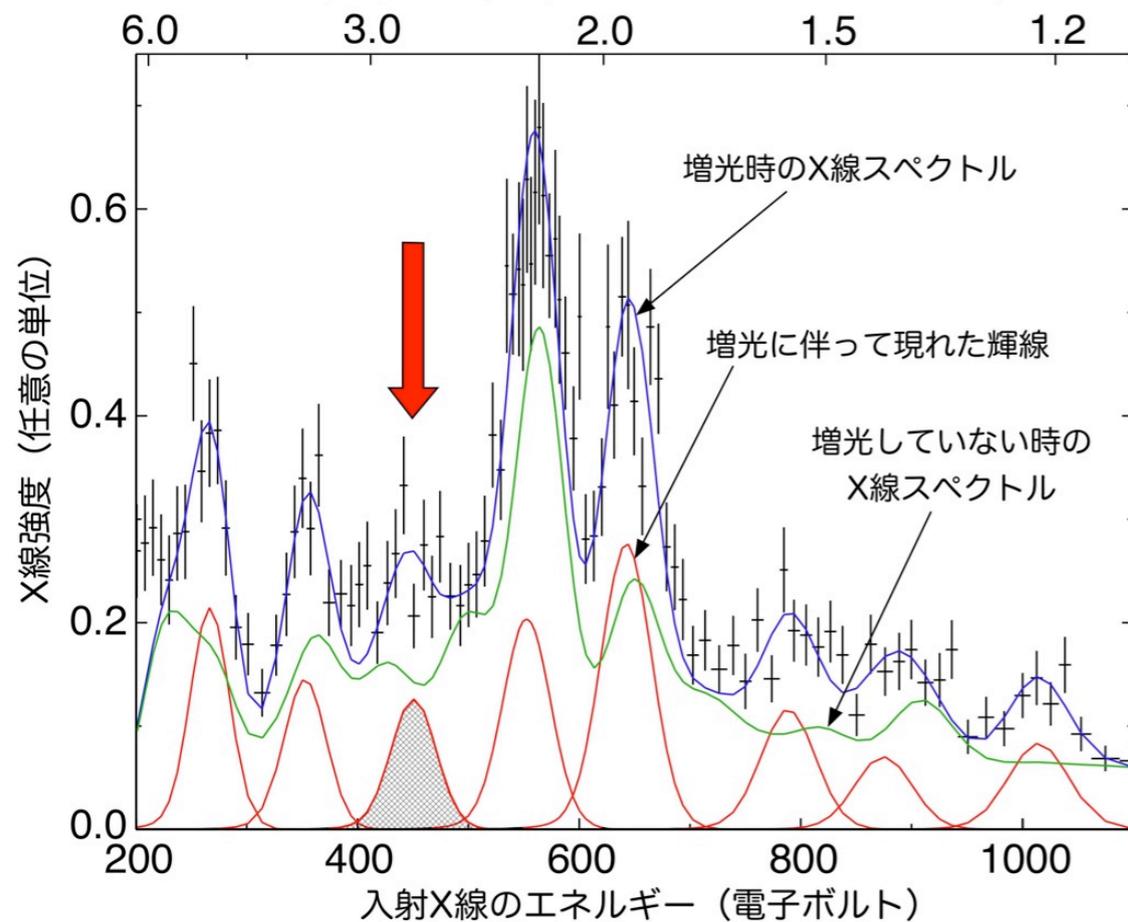
謎のX線放射の起源は太陽風だった！

すざくがとらえた地球近傍における太陽風からの輝線放射

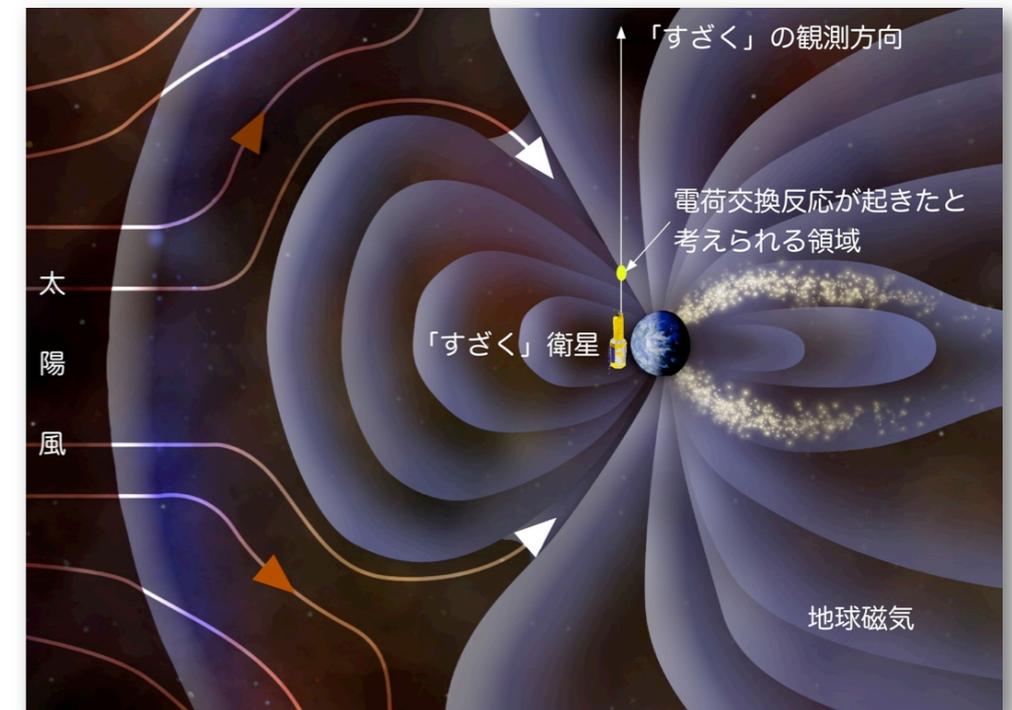
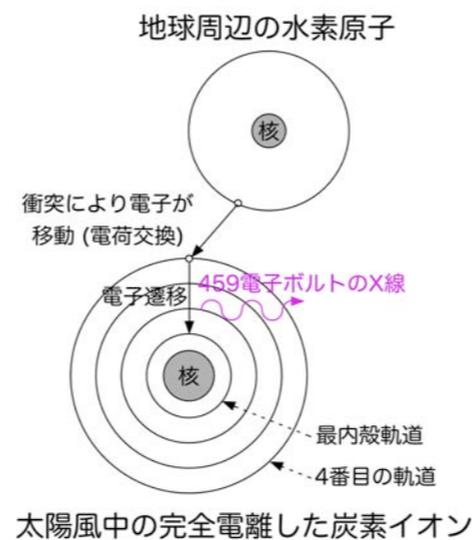
- 空間的に広がった低エネルギーX線に対する世界最高の優れたエネルギー分解能により、1990年代のローサット衛星以来観測者たちを悩ませていた謎のX線放射の起源が、地球磁気圏に入り込んだ太陽風であることの確証を得た。地球磁気圏や太陽系の新しい研究手段を切り開く。

すざく衛星のX線スペクトル

入射X線の波長 (ナノメートル=10⁻⁹メートル)



赤い矢印のスペクトル線は、増加したX線放射が従来考えられてきたような高温ガスからではなく、高電離イオンと中性物質の電荷交換反応によることを示す、直接的な証拠である。



背景の絵は<http://chandra.harvard.edu/photo/>による

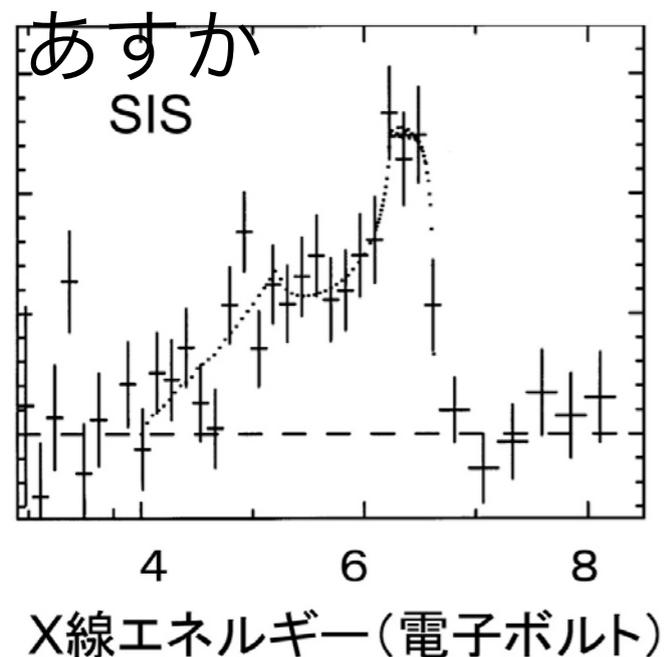
Fujimoto et al. (2006)

科学的成果の例 すざく特集号論文から(4)

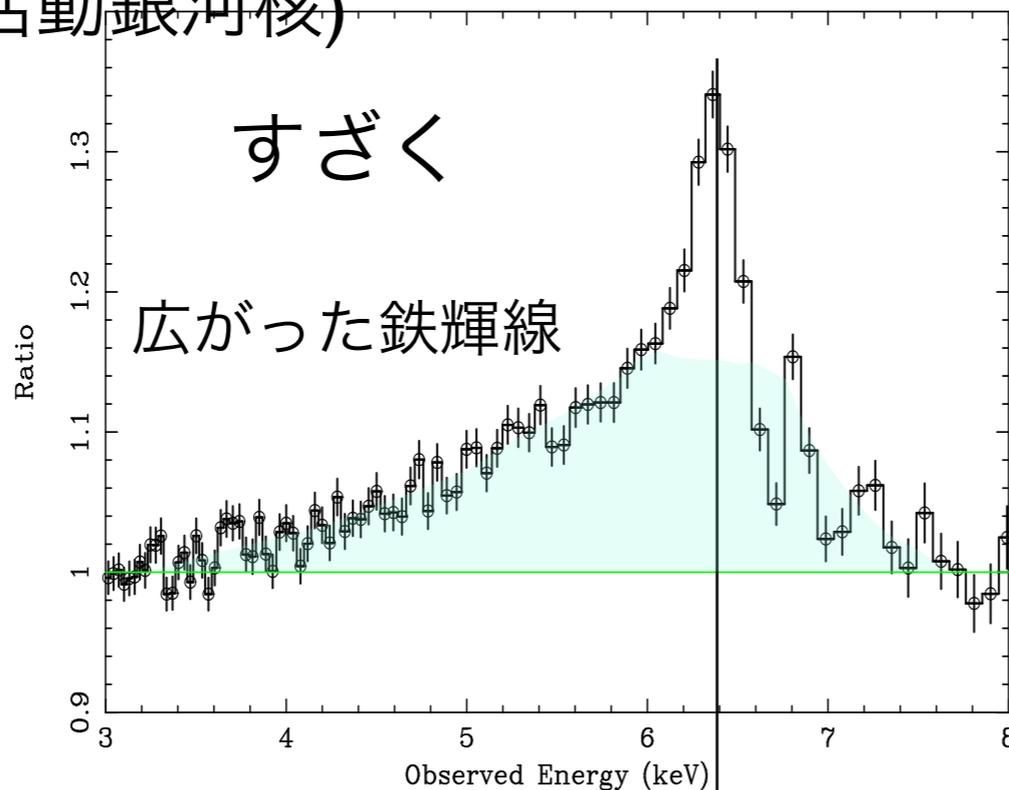
巨大ブラックホールの作る極限時空へ

- 広帯域X線分光能力により、あすか衛星が発見した活動銀河核（巨大ブラックホールが存在すると考えられている）からの、“広がった鉄輝線”の観測精度が格段に向上した。これによって、ブラックホール周辺の重力場・時空構造について、これまでにない精度の議論が可能となった。

MCG-6-30-015 (活動銀河核)

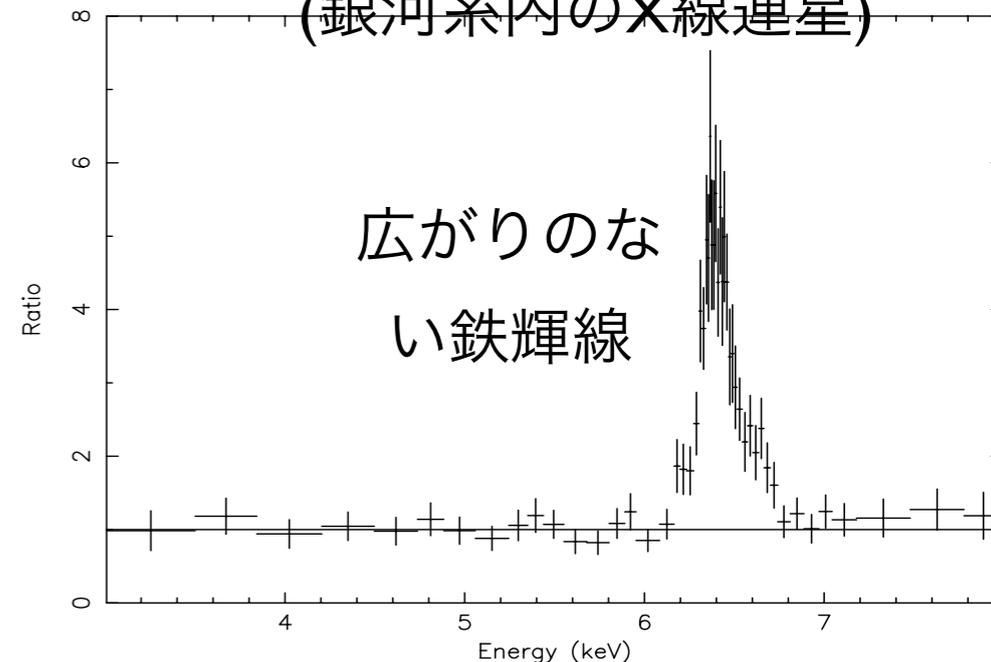


Tanaka et al. (1995)



Miniutti et al. (2006)

CH Cygni
(銀河系内のX線連星)



Mukai et al. (2006)

本来のエネルギー

