

ブラックホールを見つける

上田佳宏

京都大学 理学研究科 宇宙物理学教室

目次

- X線天文学
- ブラックホールとは？
- 銀河中心巨大ブラックホールの形成の謎へ迫る
(宇宙論的ブラックホール天文学)

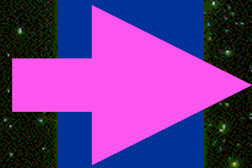
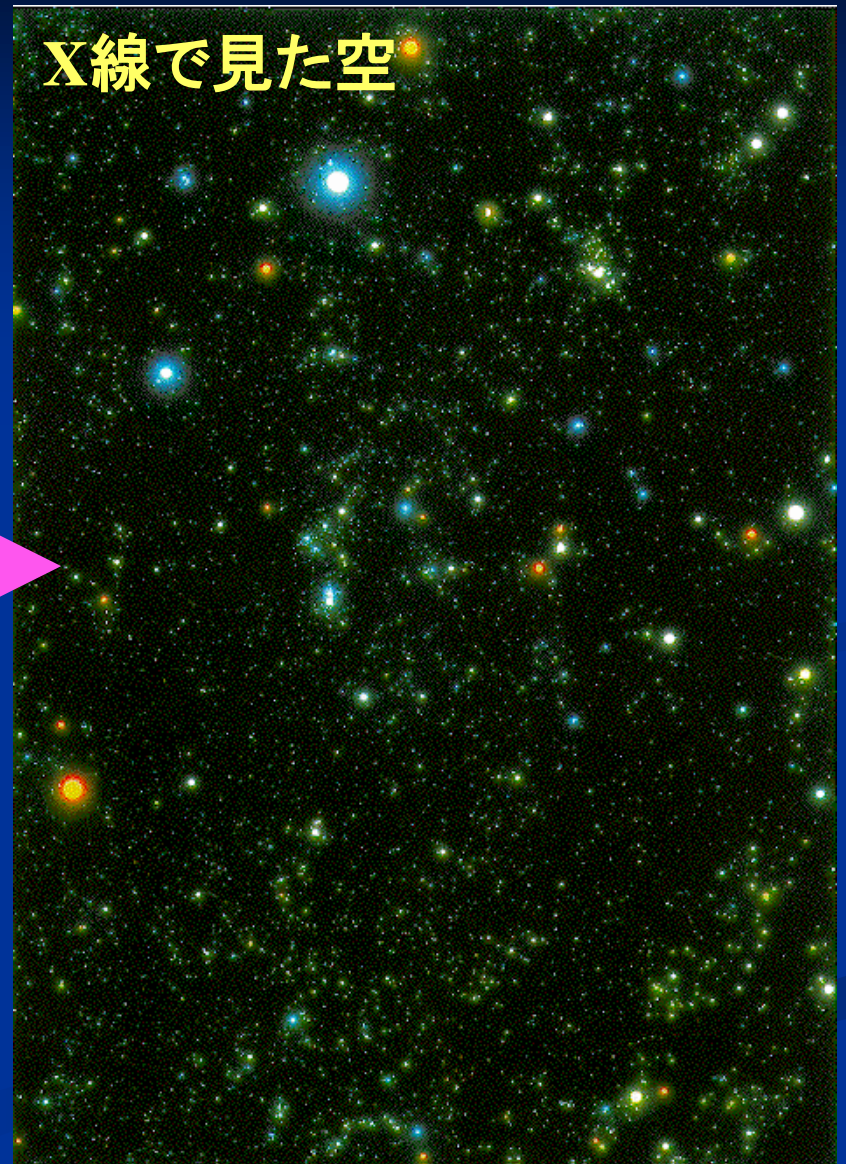
I. X線天文学

- X線＝エネルギーの極めて高い電磁波
「熱くて激しい」宇宙を見る
- X線＝透過力大
塵やガスに埋もれた世界を見通す

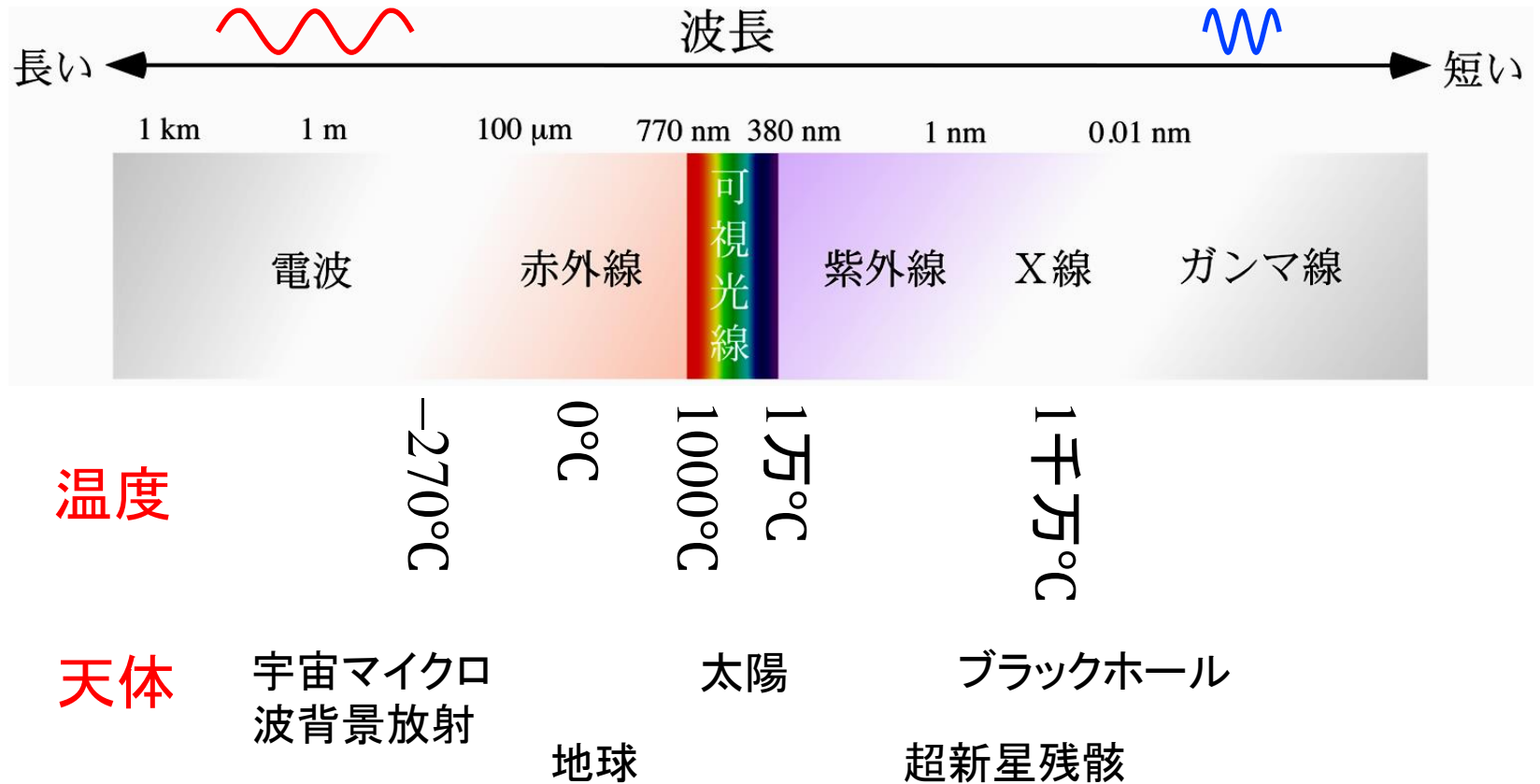
可視光で見た空



X線で見た空

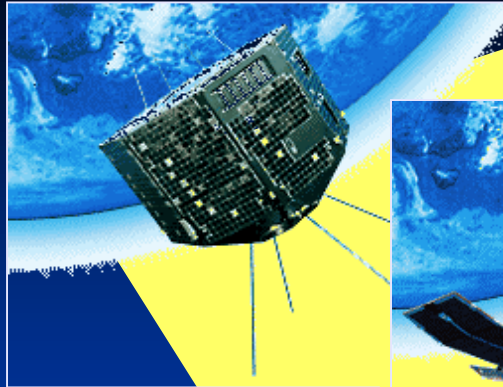


X線と温度

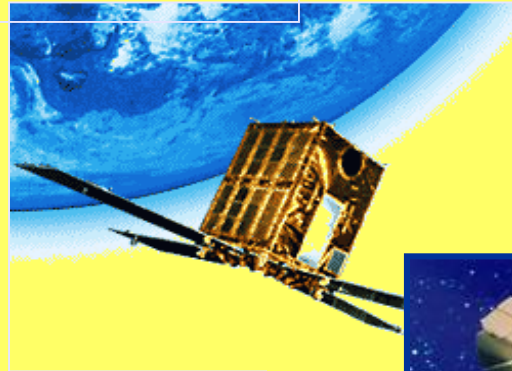
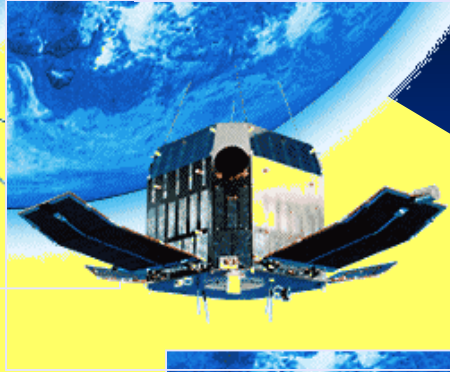


日本のX線観測

Tenma (1983)



Hakucho (1979)



Ginga (1987)

ASCA (1993)



2005

Suzaku



USA
1960
Rocket

ESA

UHURU

SAS-3

HEAO1
Einstein

EXOSAT

'90
ROSAT

RXTE
Chandra

Newton
2000

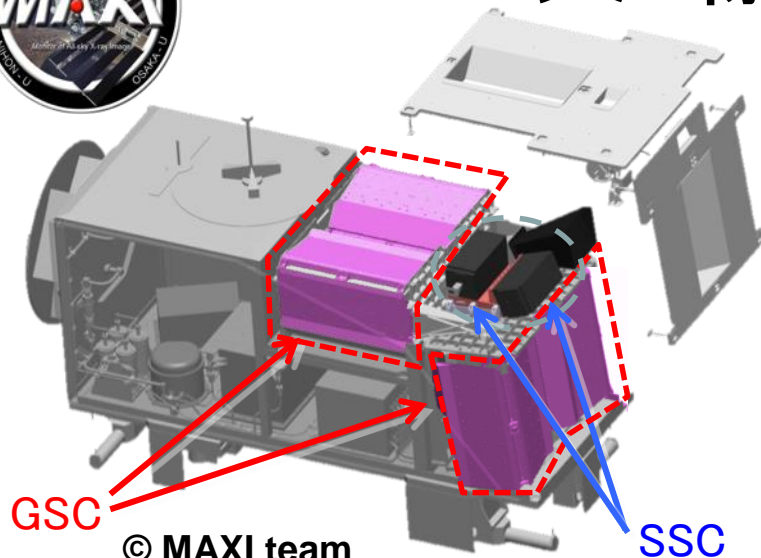
ASTRO-H(2016)

Athena

©
ISAS/JAXA



全天X線監視装置 MAXI



GSC (Gas Slit Camera)

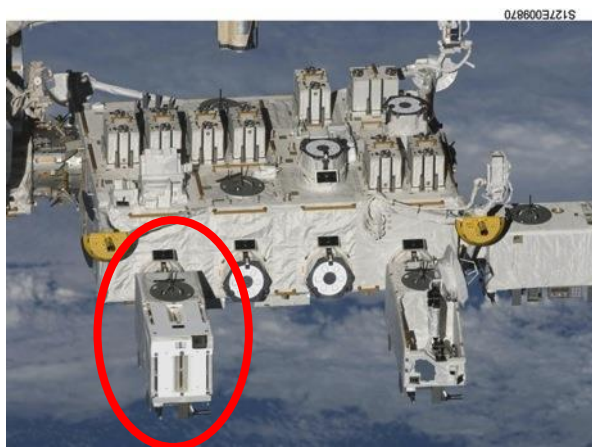
- 12台の大型キセノン比例計数管を搭載
- 5350cm^2 、検出範囲 2–30keV
- 従来の同様な装置の数倍の感度

SSC (Solid-state Slit Camera)

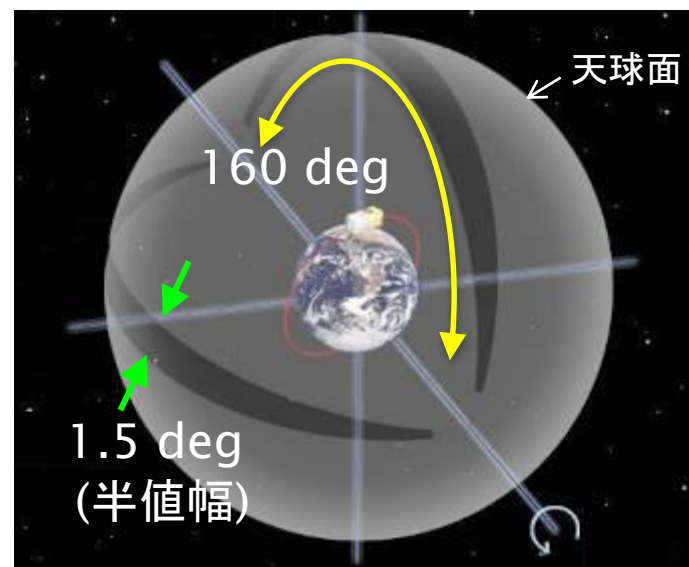
- 国産 X線CCDを32枚使用
- 200cm^2 、検出範囲 0.5–12keV
- -60°C に冷却
- 初めて全天のX線輝線をマッピング

- JAXA-RIKENを中心に大学と共同で開発された国際宇宙ステーション上の実験プロジェクト (PI: 松岡勝)
- 京都大学(上田研)も参加

- 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.



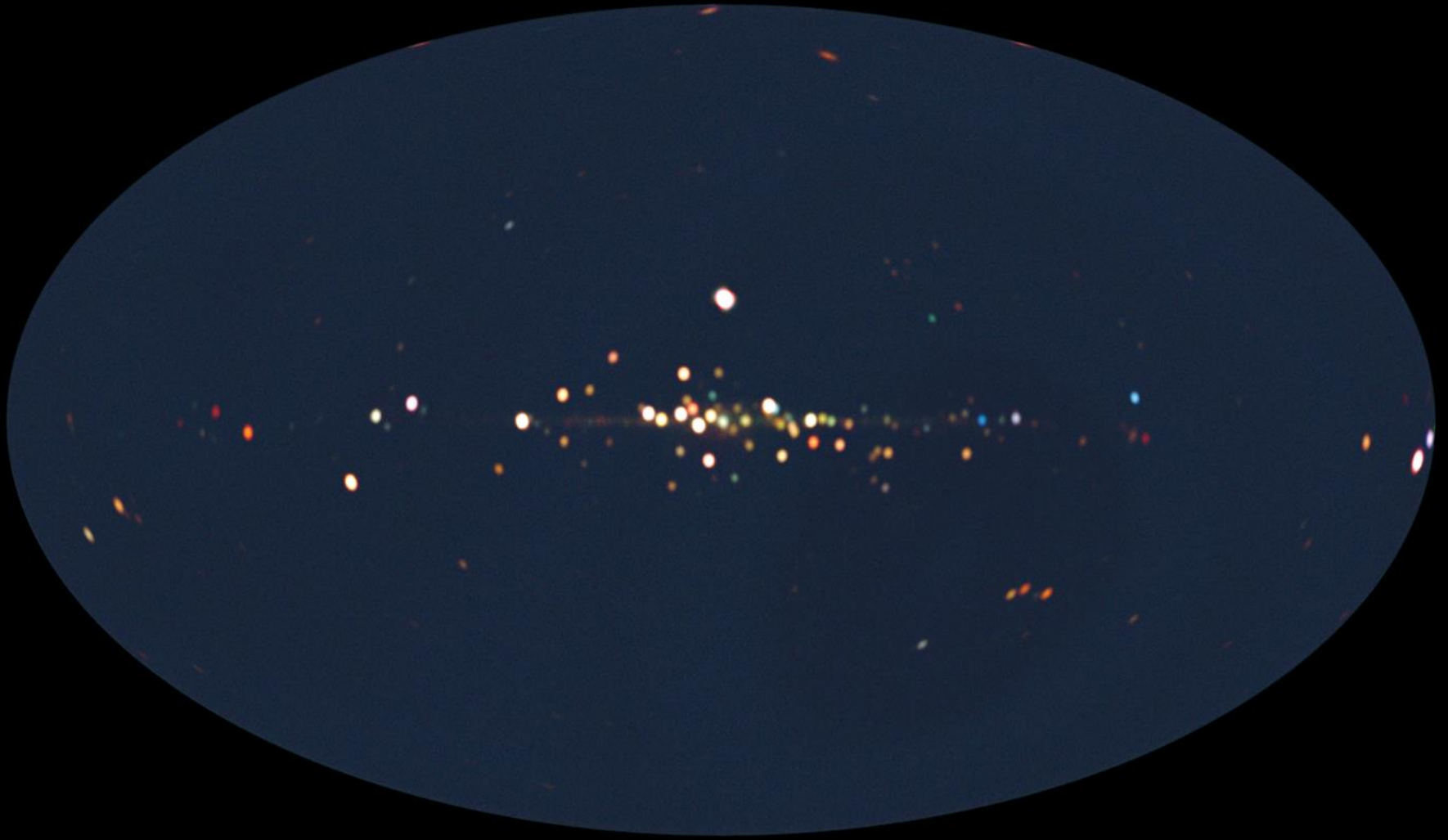
© JAXA



© MAXI team



MAXIによる全天エックス線地図



II. ブラックホールとは？

ブラックホールとは？

一般相対性理論の予言する、表面から光さえも脱出できない天体。どんな重さのものでも、限りなく小さくしていくことができればブラックホールになる。

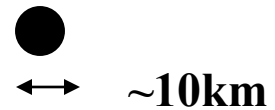
ブラックホールの大きさは、**光速になっても脱出できなくなる半径**（シュバルツシルト半径）。

重力エネルギー（位置エネルギー） $\frac{GMm}{R_S}$ = $\frac{mc^2}{2}$ 運動エネルギー

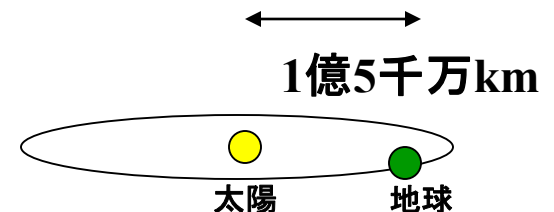
$$R_S = \frac{2GM}{c^2}$$

星が爆発してできる太陽の数倍の重さのブラックホールの半径は**10 km**くらい。太陽の5000万倍の重さのブラックホールだと1億5千万km、すなわち**太陽と地球の距離**になる。

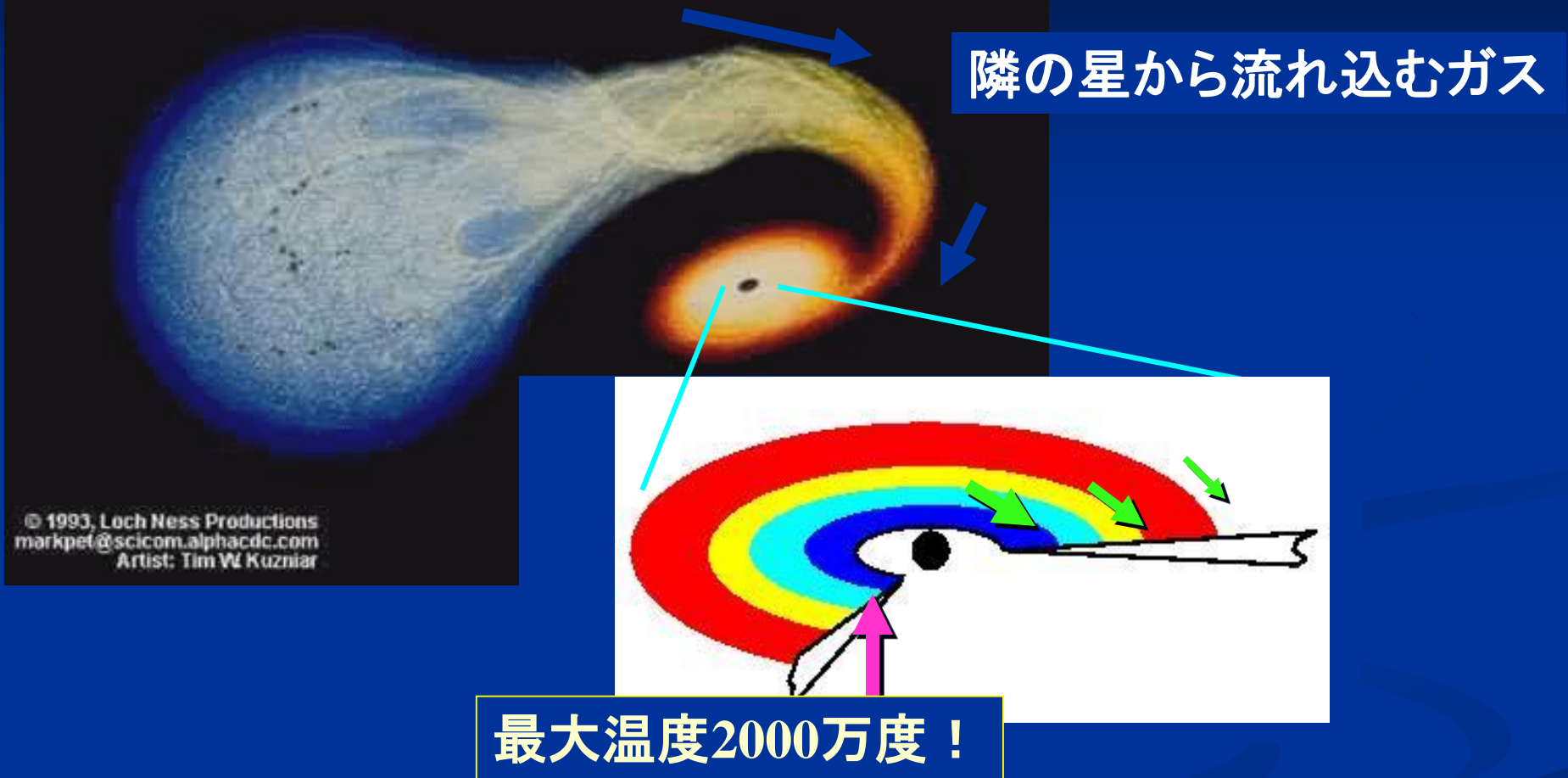
太陽の数倍の重さの
ブラックホール



太陽の5000万倍の
重さのブラックホール



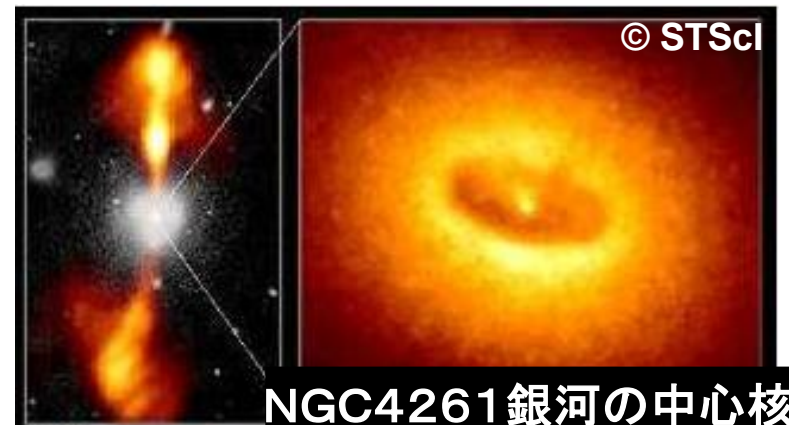
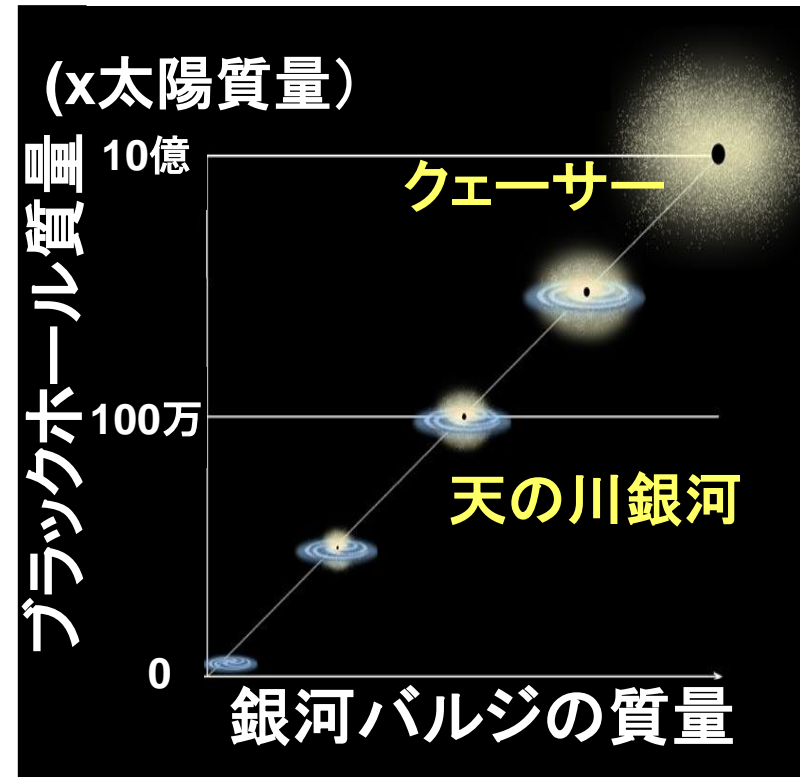
ブラックホールがX線で光る理由



吸い込まれるガスは摩擦で加熱されており、ブラックホールに落ちる直前に、100万度～2000万度まで熱くなる
⇒ ブラックホールのすぐ近くがX線で明るく輝く！

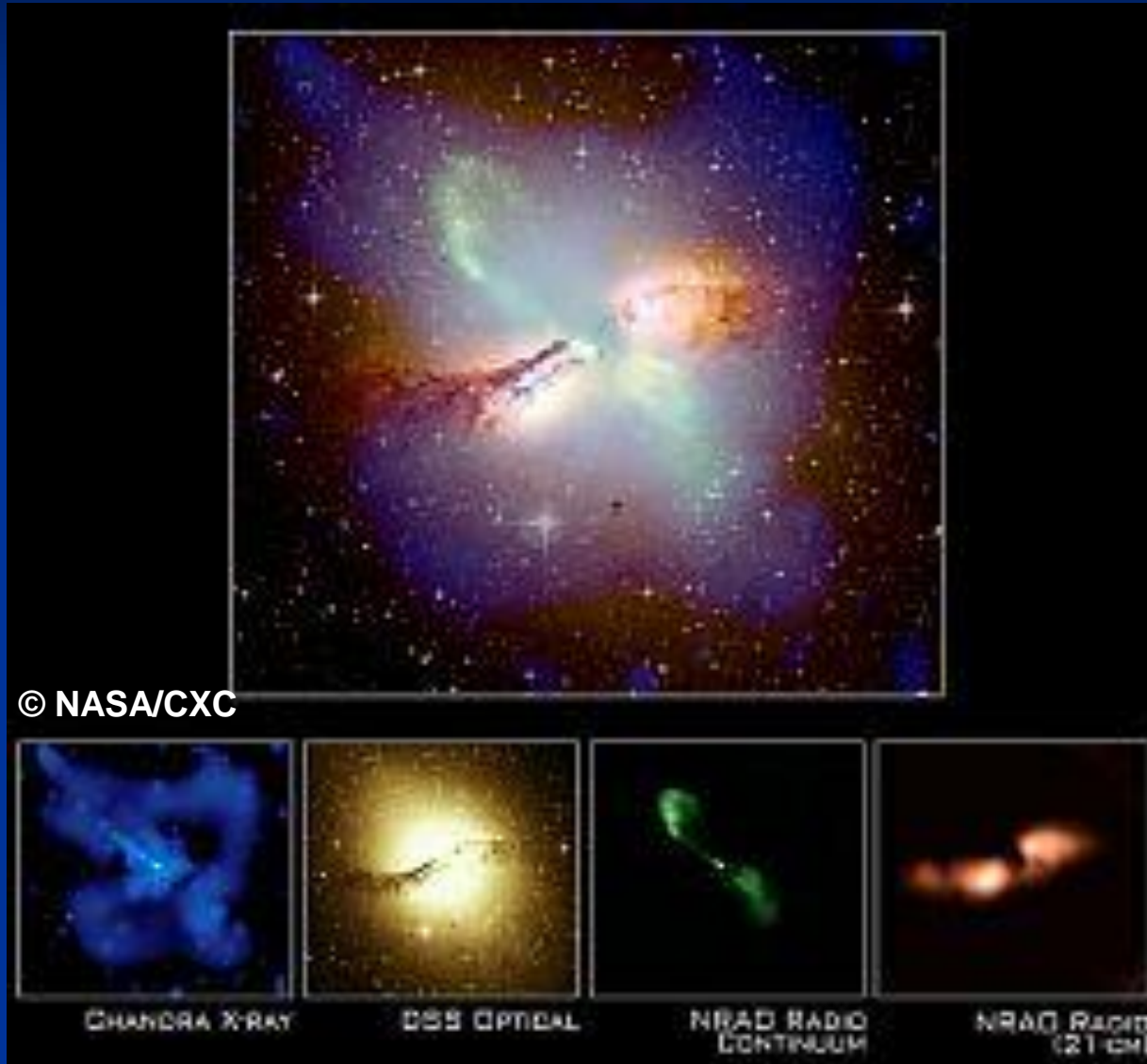
銀河中心超大質量ブラックホール(SMBH) と活動銀河核(AGN)

- 近傍銀河の中心には普遍的に巨大ブラックホールが存在し、その質量は銀河の質量の約1/1000(マゴリアン関係) \Rightarrow 巨大ブラックホールと銀河(星)は、お互いに密接に関わって「共進化」してきた
- 巨大ブラックホールの進化とその宇宙形成への役割を理解することは、宇宙物理学における最大の課題の一つ
- 巨大ブラックホールにガスが降着すると、銀河の中心核が明るく輝く、活動銀河核(Active Galactic Nuclei, AGN)になる
- AGN= 巨大ブラックホールがガスを飲み込んで「成長」する過程
- 宇宙に存在するAGNをくまなく探すが、巨大ブラックホール形成の解明に不可欠



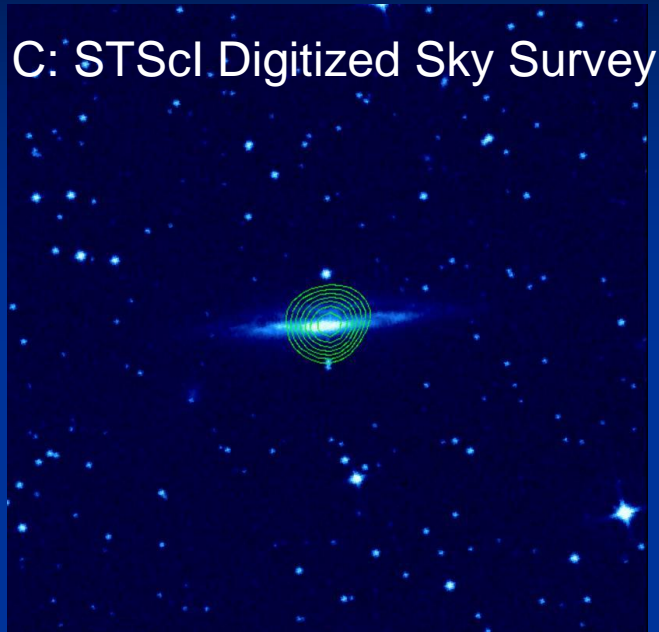
多波長で見る活動銀河核

ケンタウルス座A



隠れた巨大ブラックホール

どうみても普通の銀河だが

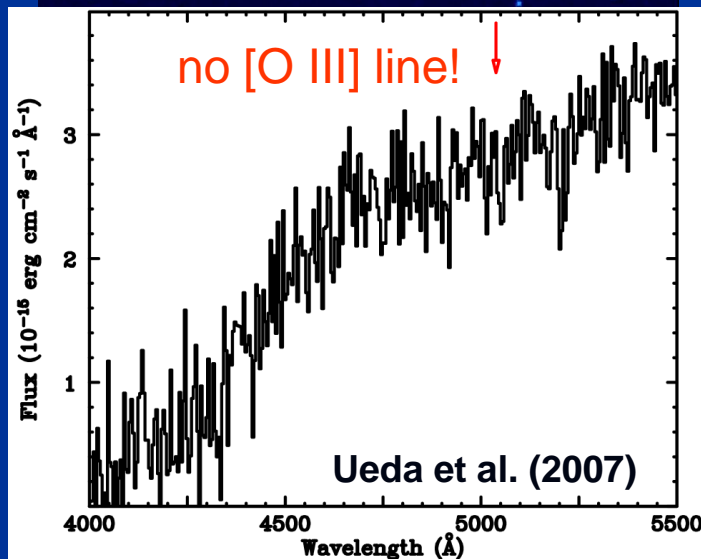


Swift J0601.9-8636

(ESO 005-G004)

「八分儀」座

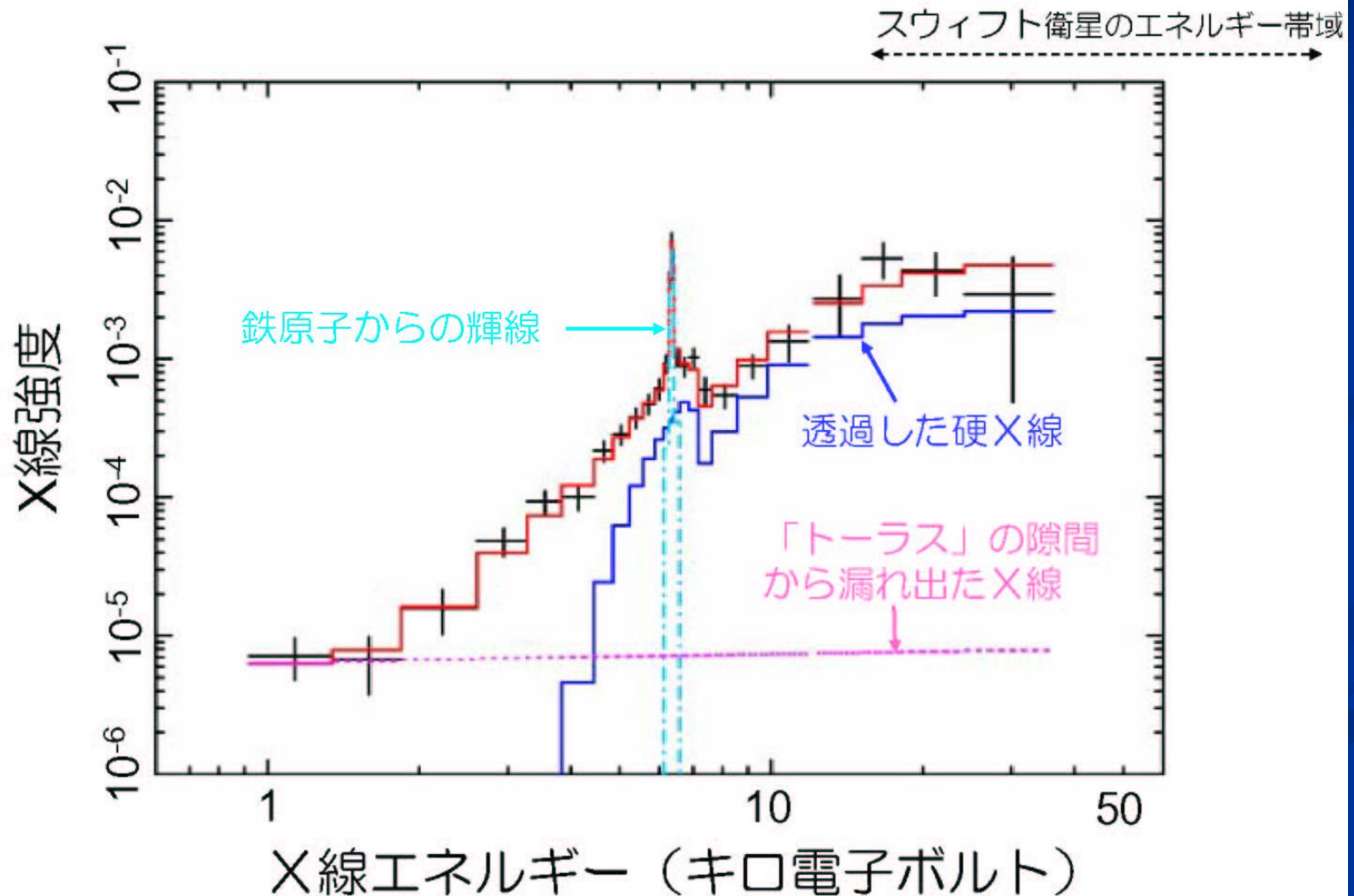
距離 8000万光年



可視スペクトル:
AGNの証拠なし

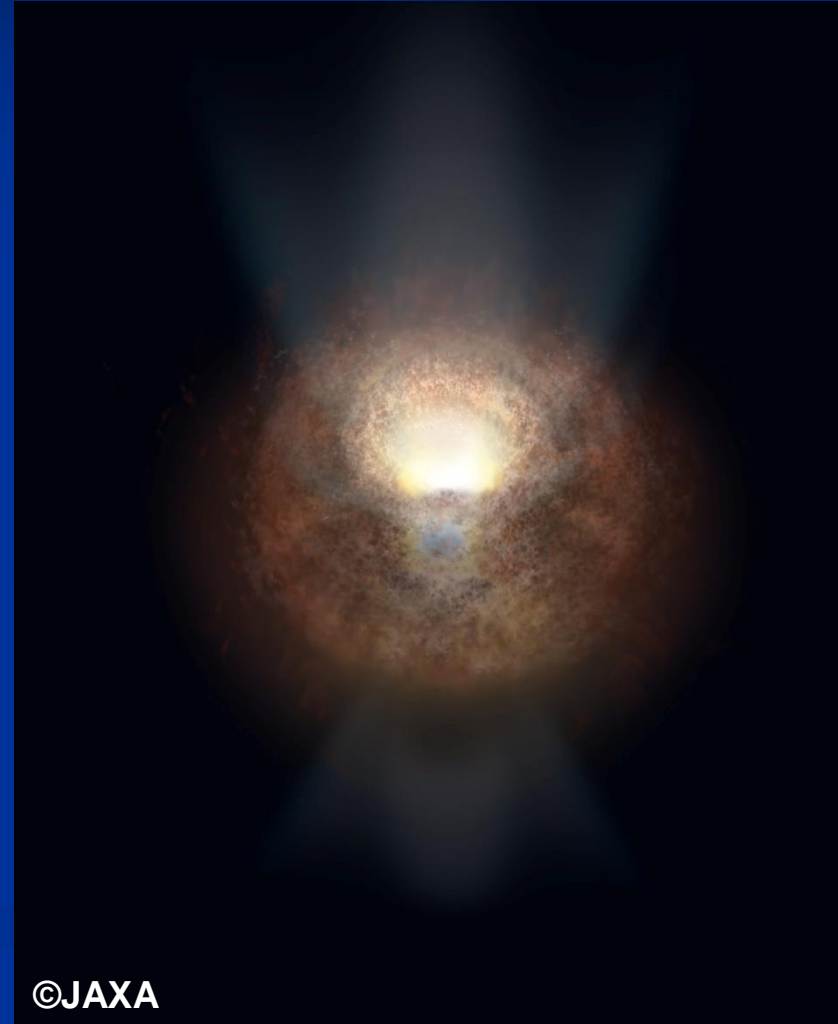
そこにはモンスターがいた！

「すざく」によるX線エネルギースペクトル



「すざく」: 新タイプ活動銀河核の発見

- 硬X線を用いることによって、これまでに未発見であった、塵やガスに深く埋もれた「新タイプ」活動銀河核を発見
 - 可視光や軟X線で見逃されていた種族で、同種の巨大ブラックホールが多量に宇宙に存在する可能性を示唆
 - 次期天文衛星Astro-H 計画への期待
- このトーラスはドーナツ状でなく「ビーズ玉」状
 - 銀河形成とブラックホール成長の解明に手がかり？



これまでのまとめ

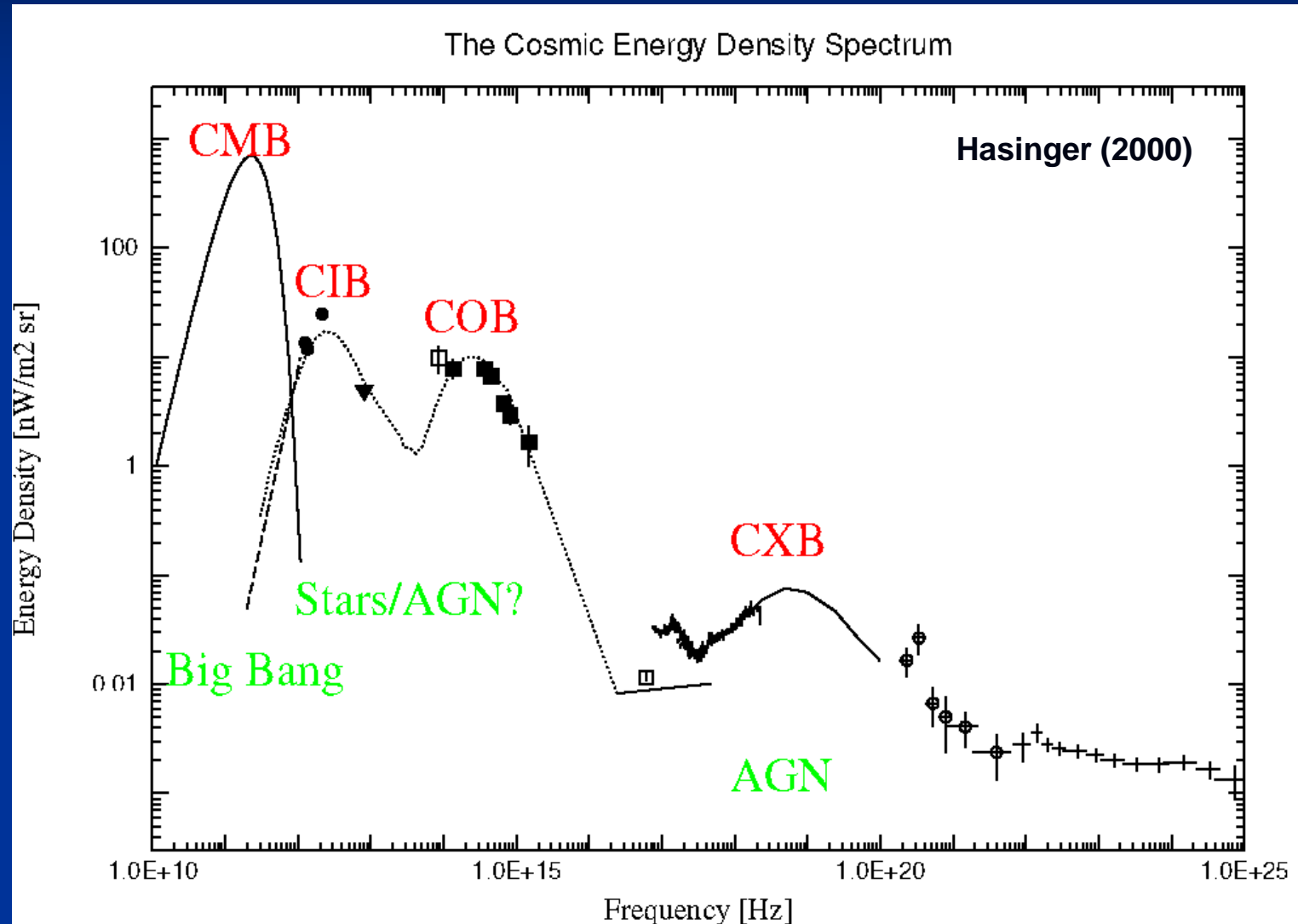
- 宇宙の最も激しい現象の一つである「活動銀河核」の正体は、その中心に潜む巨大ブラックホール
- 巨大ブラックホールは、周りから落ちてくる餌を食べることで「活動」している。
- これらは宇宙にどれだけ存在し、どのように作られたのだろうか？

→ X線背景放射の研究

III. 銀河中心巨大ブラック ホールの形成の謎へ迫る

宇宙背景放射

宇宙の歴史の痕跡



X線天文学の幕開け(1962年) = X線背景放射の発見



R. Giacconi

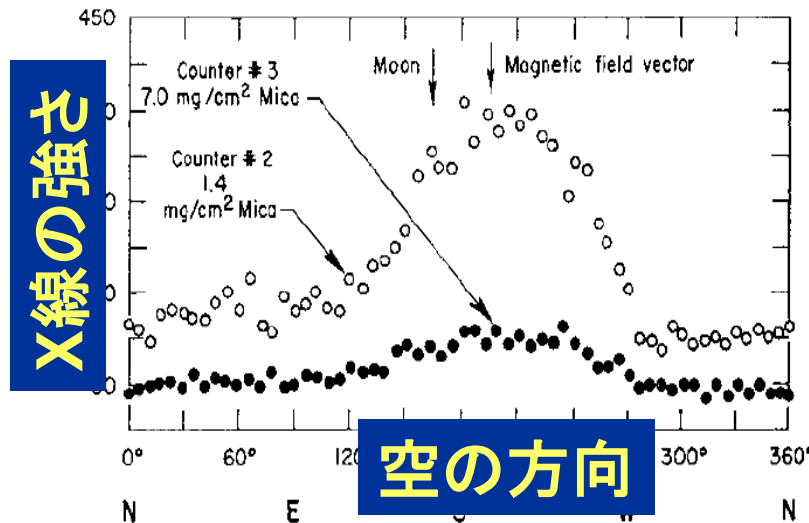
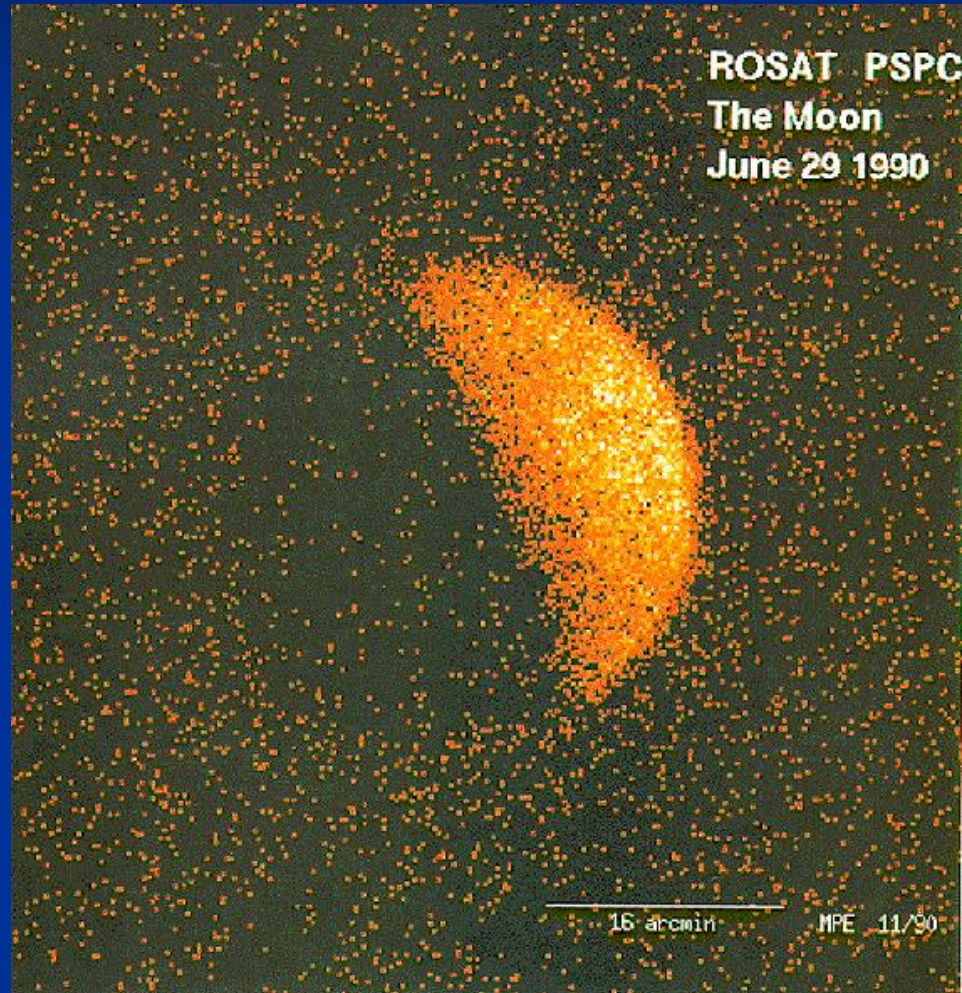


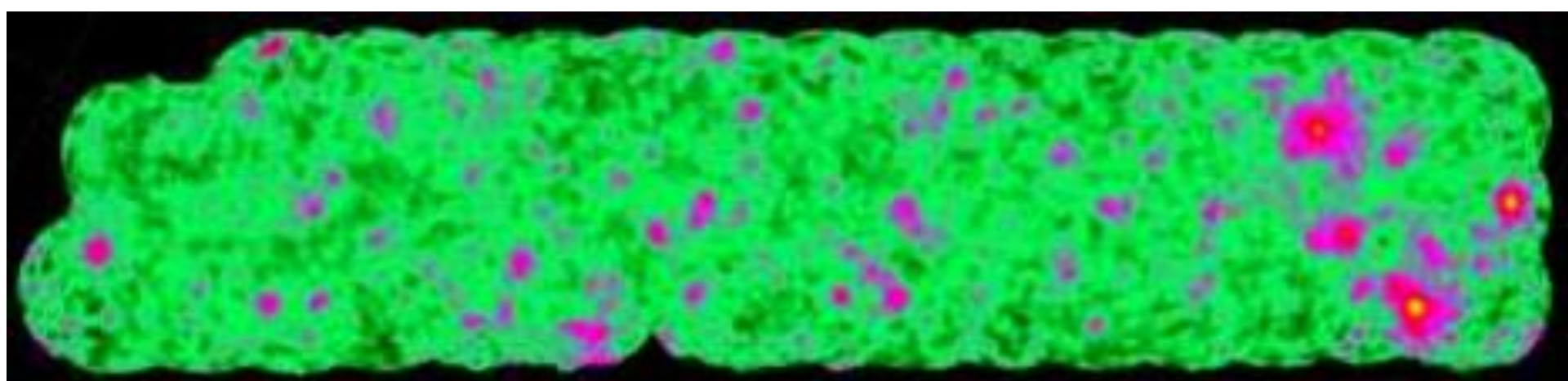
Figure 2. The first observation of Sco X-1 and of the x-ray background in the June, 12, 1962



Schmitt et al.
(1991)

Giacconi

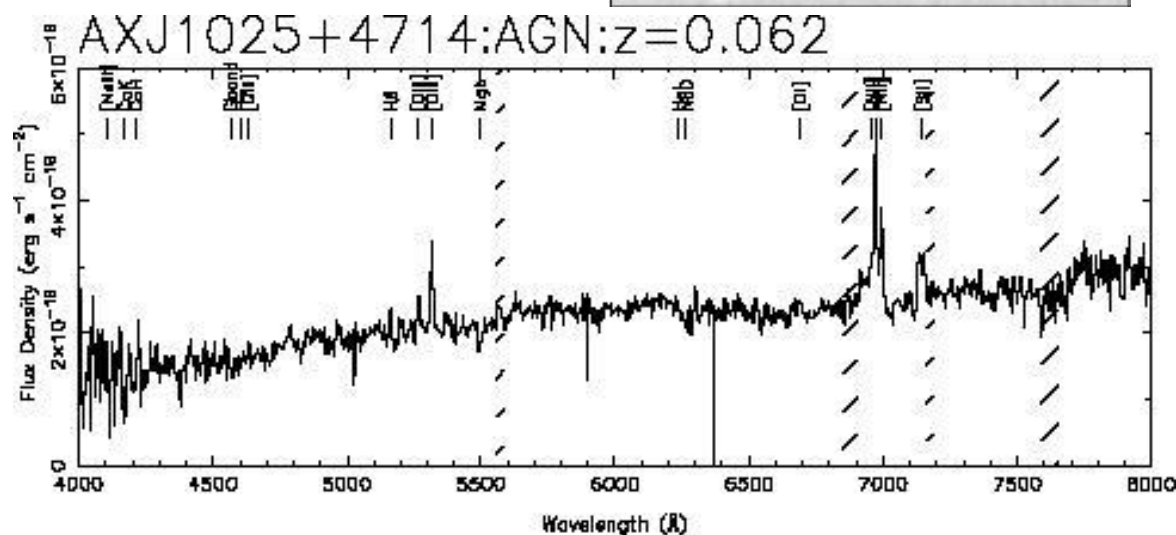
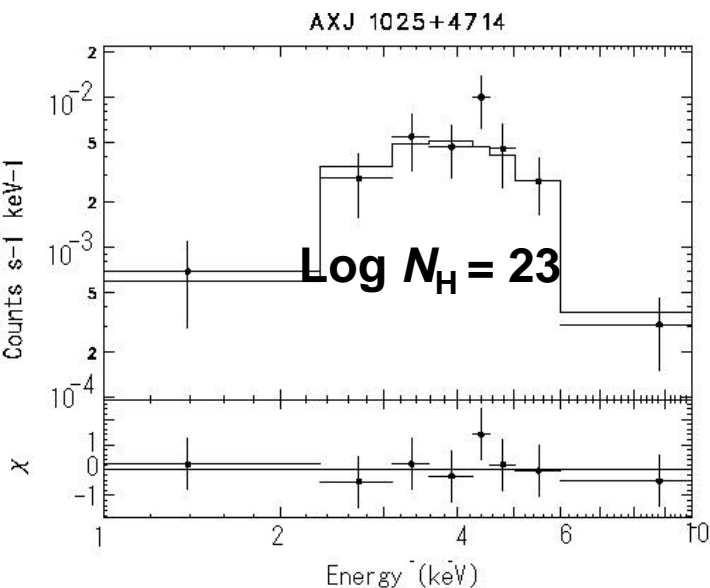
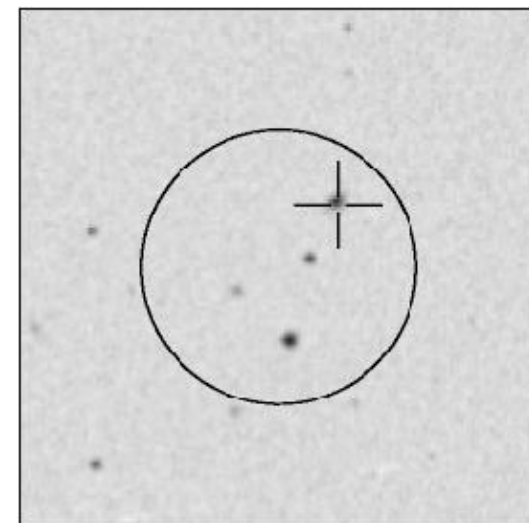
「あすか」の見たX線背景放射
遠方宇宙（距離～70億光年）
の活動銀河核の集まり！



Ueda (2015)

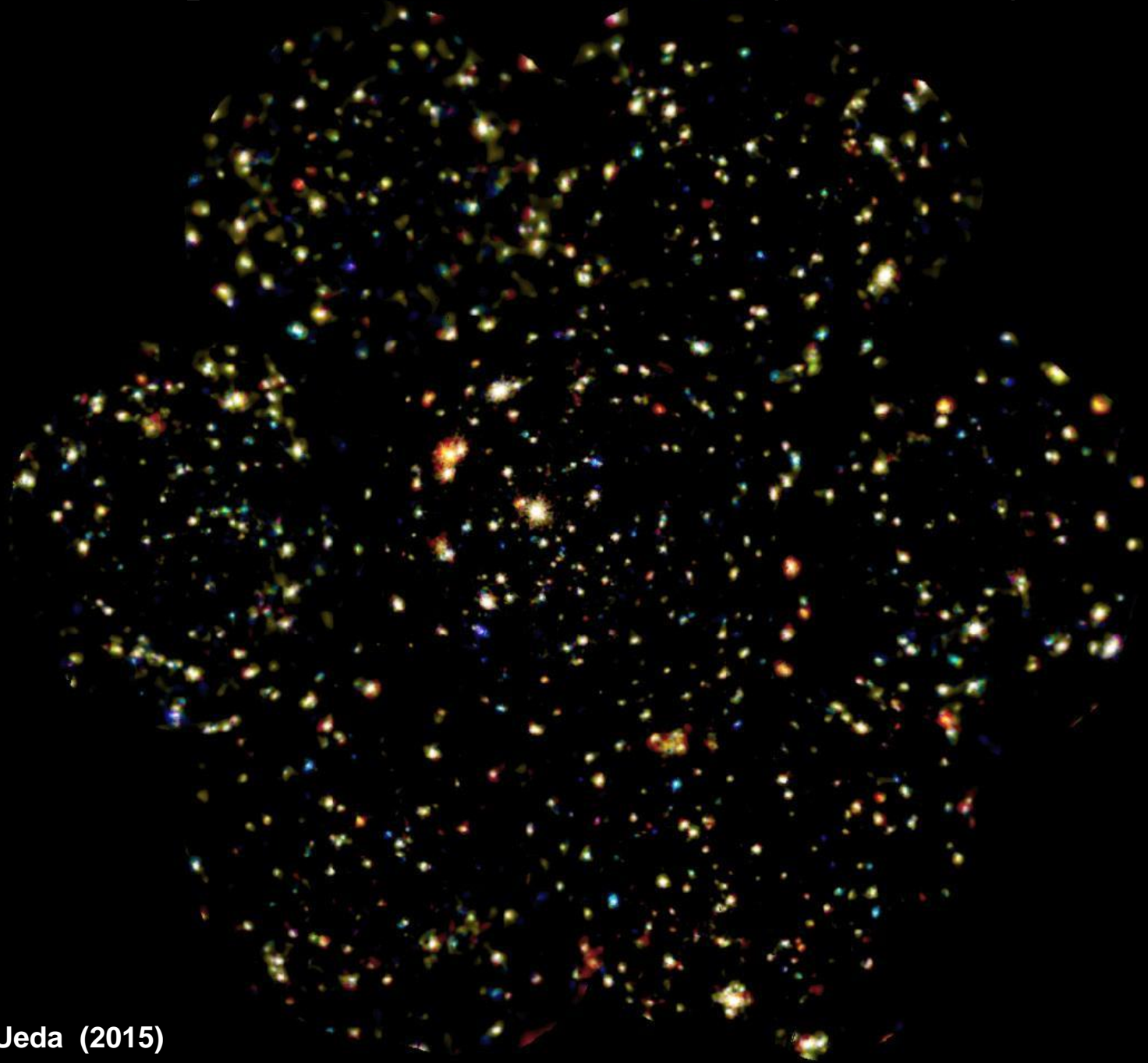
X線源の正体＝「隠された」活動銀河核

- 光学望遠鏡による分光観測
(輝線の波長の測定→赤方偏移パラメータの決定)
- X線源の多くは隠れた巨大ブラックホール！



Watanabe et al. (2002)

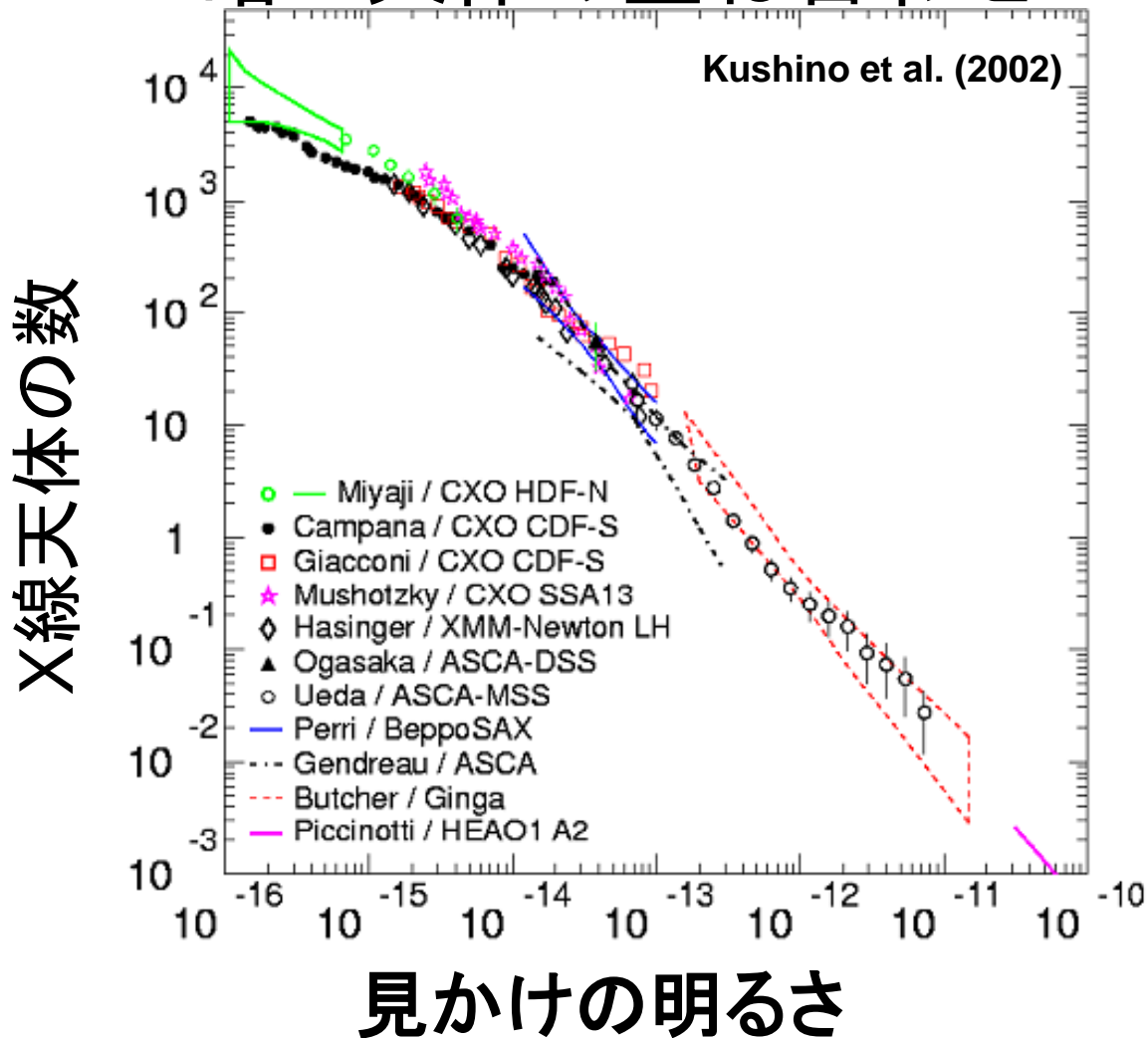
「すばる」XMM-Newton ディープサーベイ領域の多色X線画像



1 deg

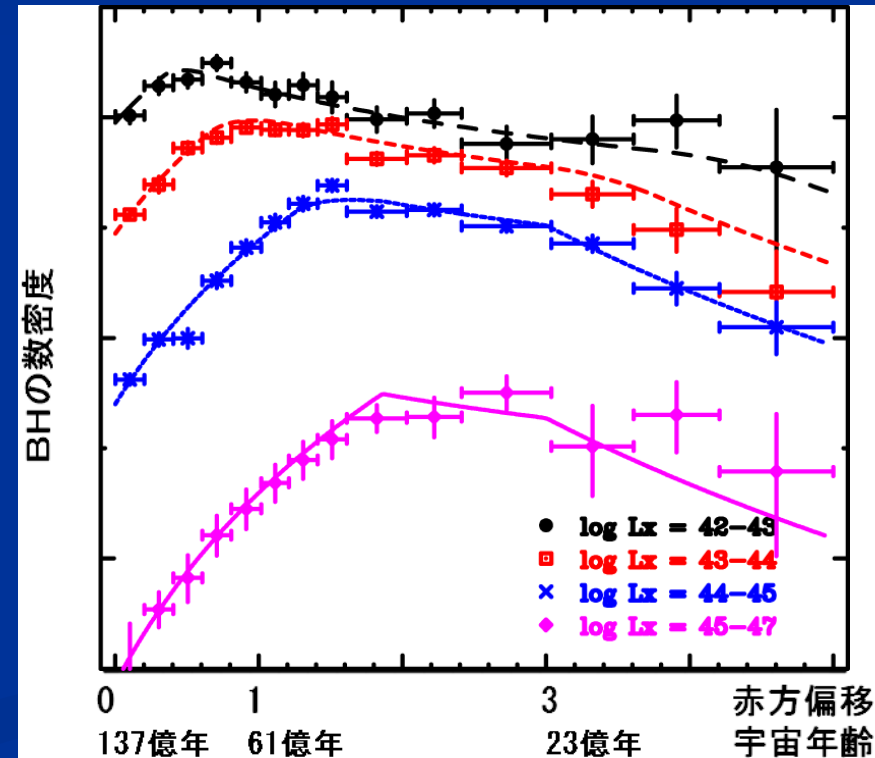
X線天体の数かぞえ

暗くなるほど数は増える: X線背景放射は
暗い天体の重ね合わせ



AGNの宇宙論的進化

- X線天体の可視分光観測により、距離(赤方偏移パラメータ)がわかる
- その「数」を数えることで、AGNの空間数密度を赤方偏移パラメータの関数として知ることができる(大きな赤方偏移パラメータ \leftrightarrow より初期の宇宙)
- AGN(輝いている巨大ブラックホール)の数は昔の方がずっと多い
- しかし決して銀河中心の巨大ブラックホールがなくなったわけではない(息を潜めているだけ)
- 光度の大きいAGNほど、数密度がピークとなる赤方偏移が大きい。**質量の大きな巨大ブラックホールほど、より早期に作られた！(ダウンサイジング現象)**

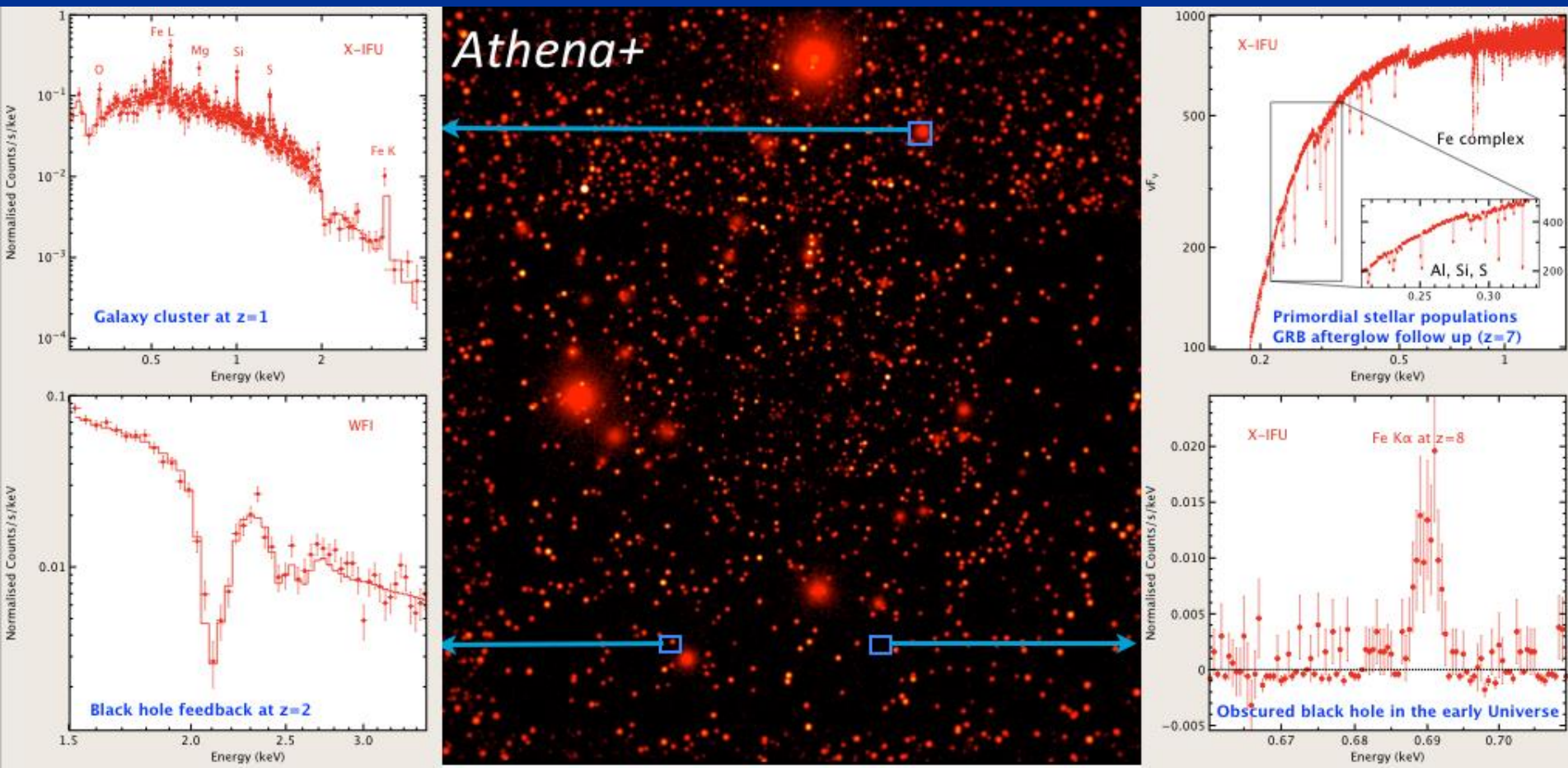


Ueda et al. (2014)

Athena 計画 (2028~)

- 欧州宇宙機構による巨大X線望遠鏡計画
- 日本も正式に参加
- 第一目標：宇宙で最初の活動銀河核を探す

© ESA



まとめ

- これまでの「硬X線」探査により、活動銀河核についての宇宙論的進化の全貌が解明された
 - 日本のX線天文衛星が大きな貢献(「ぎんが」「あすか」「すざく」MAXI)
 - ASTRO-Hに期待！
- 最大の発見＝巨大ブラックホールのダウンサイジング現象(質量の大きなブラックホールほど、より宇宙初期に成長)
 - 銀河も同様であることが確立(銀河とブラックホールの「共進化」の証拠)
 - 宇宙構造形成の標準理論＝階層的構造形成(ボトムアップ)シナリオ(小さな構造が先に作られ、それらが合体して、より大きな構造になる)
 - ダウンサイジングは、一見、このシナリオと矛盾し、大きな問題を提示
 - 巨大ブラックホールや銀河の進化は、重力のみに支配されるダークマターとは異なる
 - ダウンサイジングの起源について、まだ理論的コンセンサスは得られていない