

# 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)

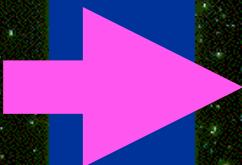
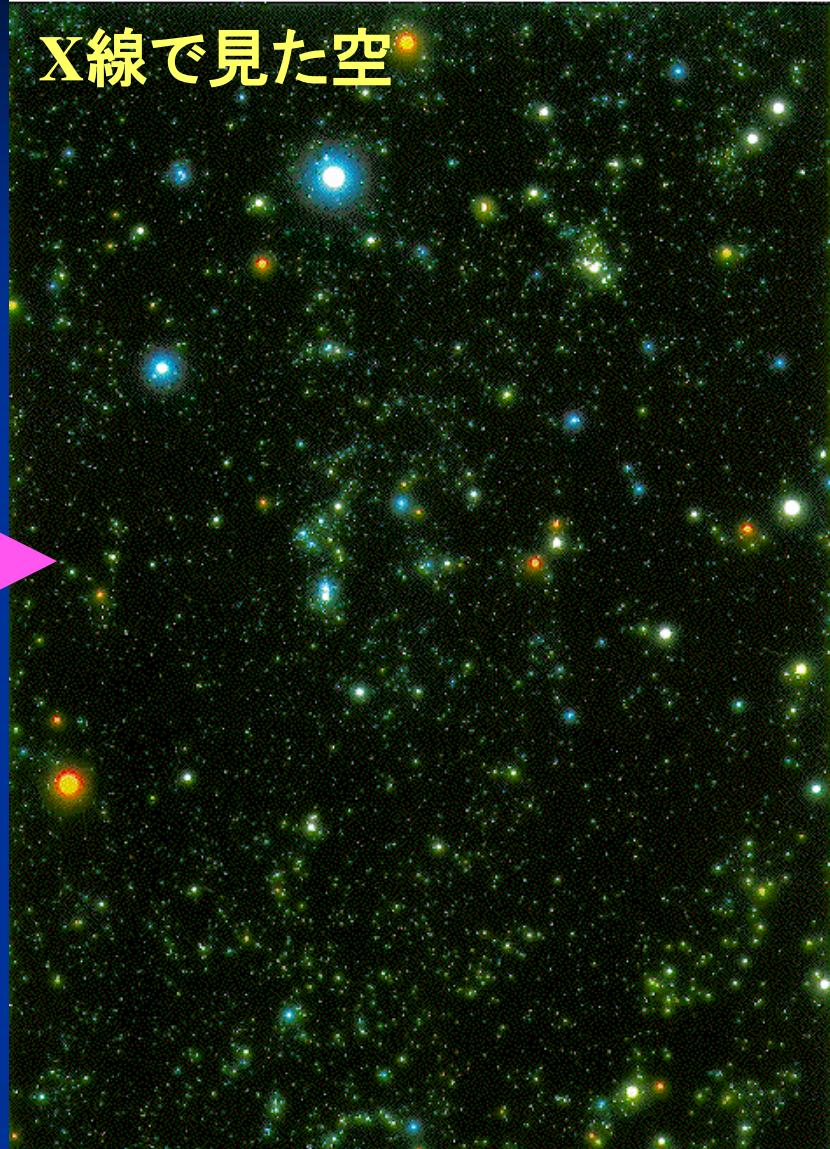
# I. X線天文学

- 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

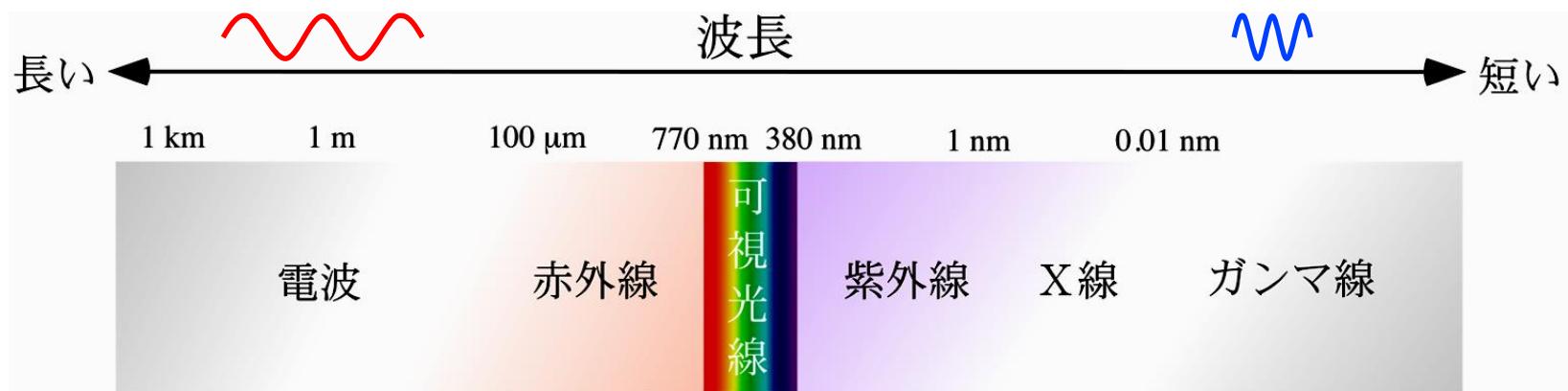
可視光で見た空



X線で見た空



# X線と温度



温度

天体

-270°C  
0°C  
1000°C

宇宙マイクロ  
波背景放射

地球

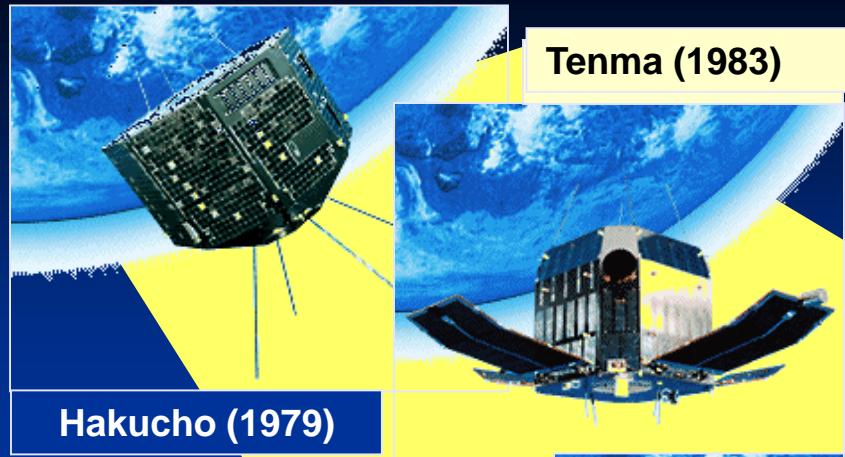
太陽

1千万°C

超新星残骸

ブラックホール

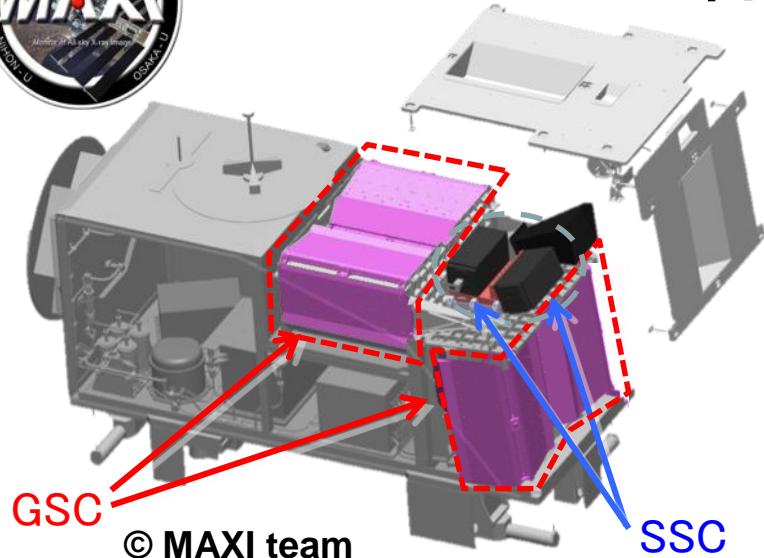
# 日本のX線観測



©  
ISAS/JAXA

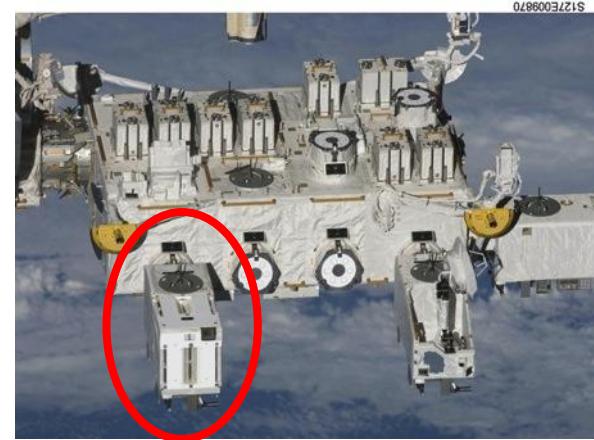


# 全天X線監視装置 MAXI



- 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ホーム搭載.
- 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.

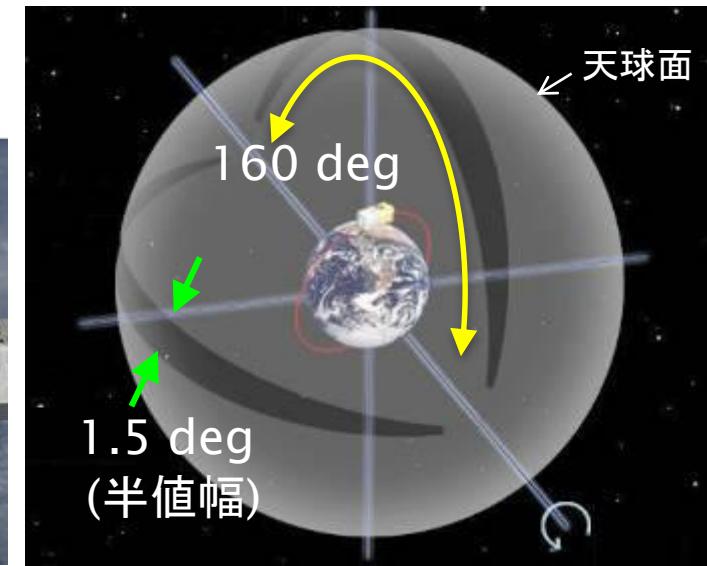


## GSC (Gas Slit Camera)

- 12台の大型キセノン比例計数管を搭載
- $5350\text{cm}^2$ 、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
- $200\text{cm}^2$ 、検出範囲 0.5–12keV
- $-60^\circ\text{C}$ に冷却
- 初めて全天のX線輝線をマッピング





# 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)

$$\frac{GMm}{R_S} = \frac{mc^2}{2}$$

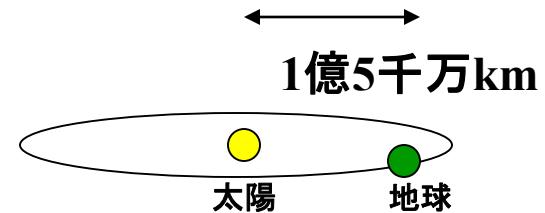
$$R_S = \frac{2GM}{c^2}$$

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。

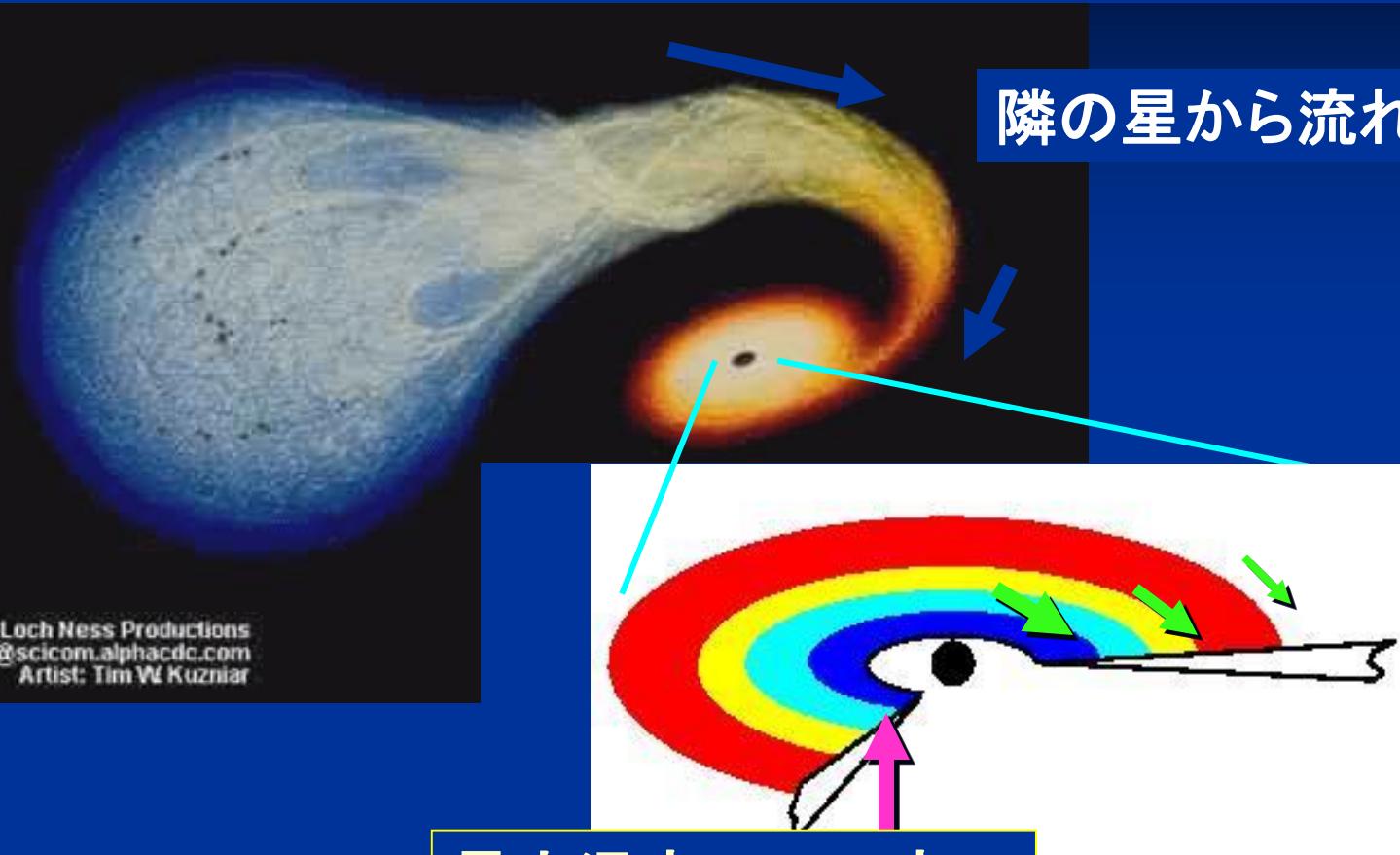
太陽の数倍の重さの  
ブラックホール



太陽の5000万倍の  
重さのブラックホール



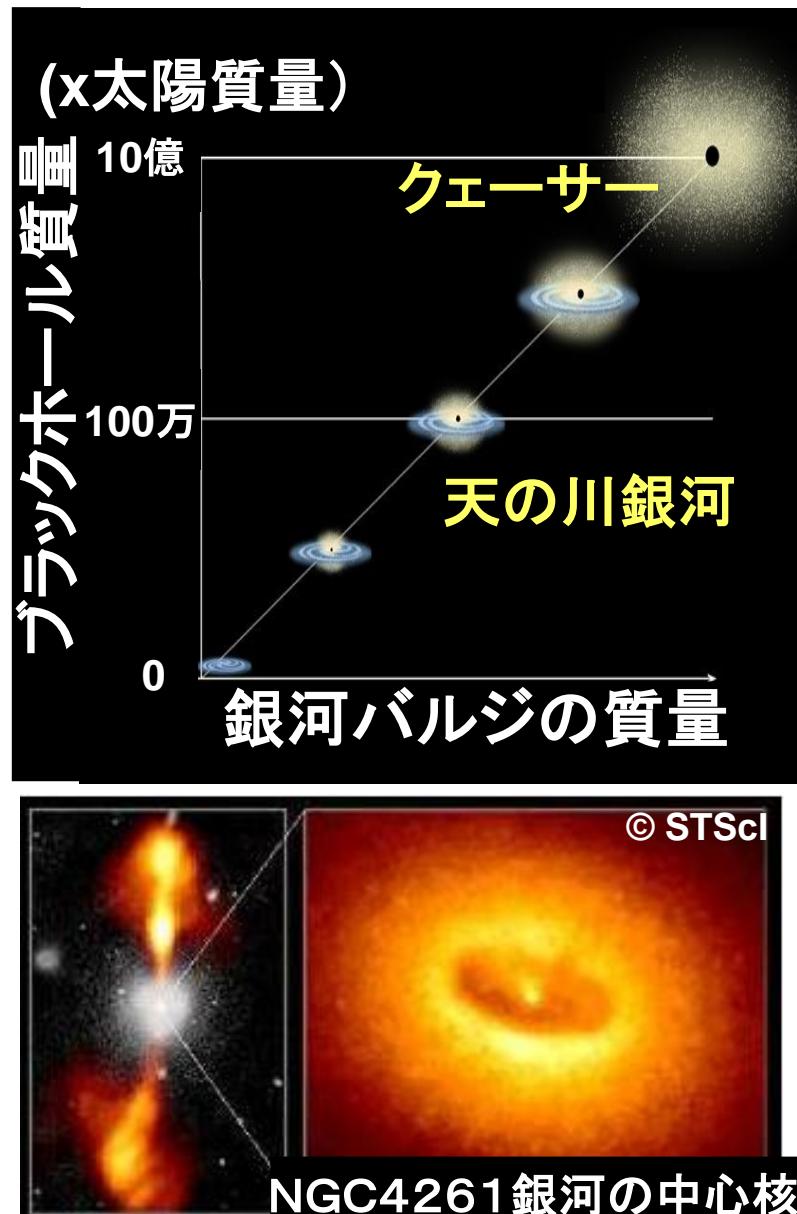
# ブラックホールがX線で光る理由



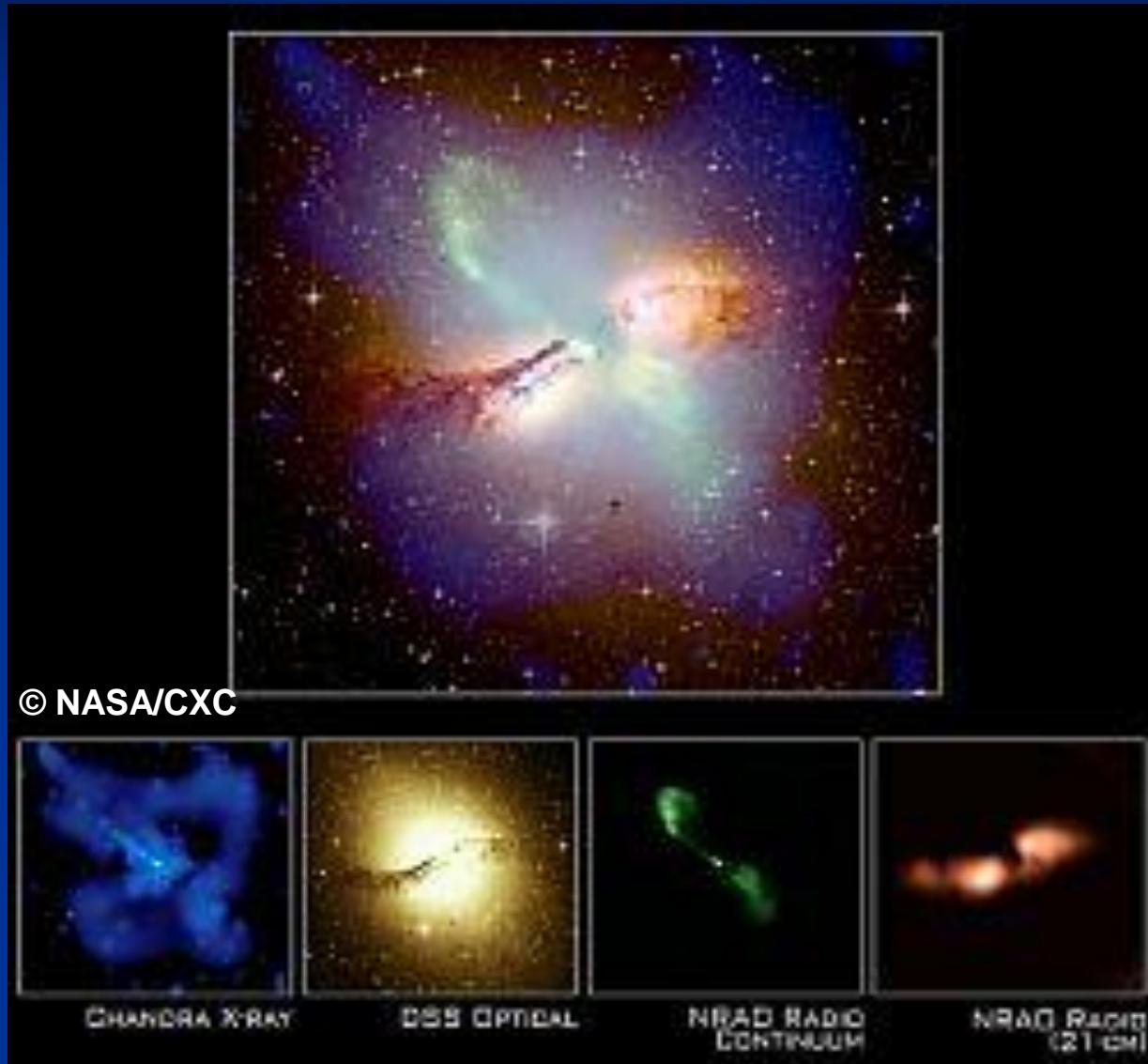
吸い込まれるガスは摩擦で加熱されており、ブラックホールに落ちる直前に、100万度～2000万度まで熱くなる  
⇒ ブラックホールのすぐ近くがX線で明るく輝く！

# 銀河中心超大質量ブラックホール(SMBH) と活動銀河核(AGN)

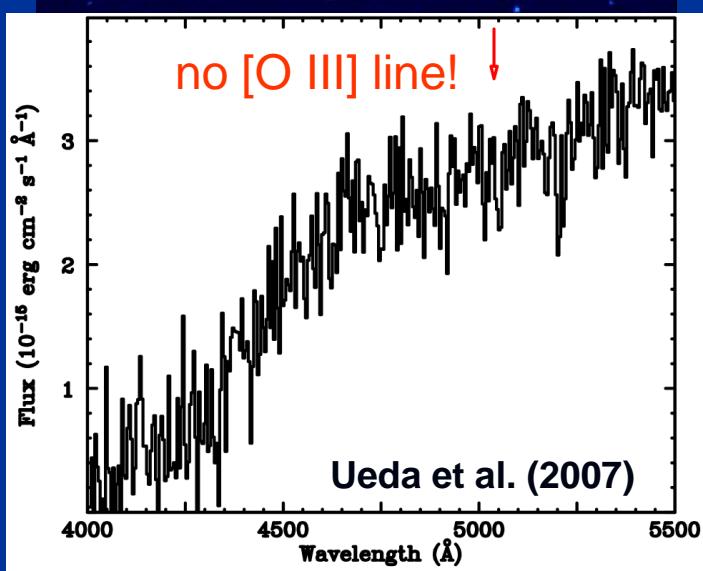
- 近傍銀河の中心には普遍的に巨大ブラックホールが存在し、その質量は銀河の質量の約1/1000(マゴリアン関係)⇒巨大ブラックホールと銀河(星)は、お互いに密接に関わって「共進化」してきた
- 巨大ブラックホールの進化とその宇宙形成への役割を理解することは、宇宙物理学における最大の課題の一つ
- 巨大ブラックホールにガスが降着すると、銀河の中心核が明るく輝く、活動銀河核(Active Galactic Nuclei, AGN)になる
- AGN= 巨大ブラックホールがガスを飲み込んで「成長」する過程
- 宇宙に存在するAGNをくまなく探すことが、巨大ブラックホール形成の解明に不可欠



# 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

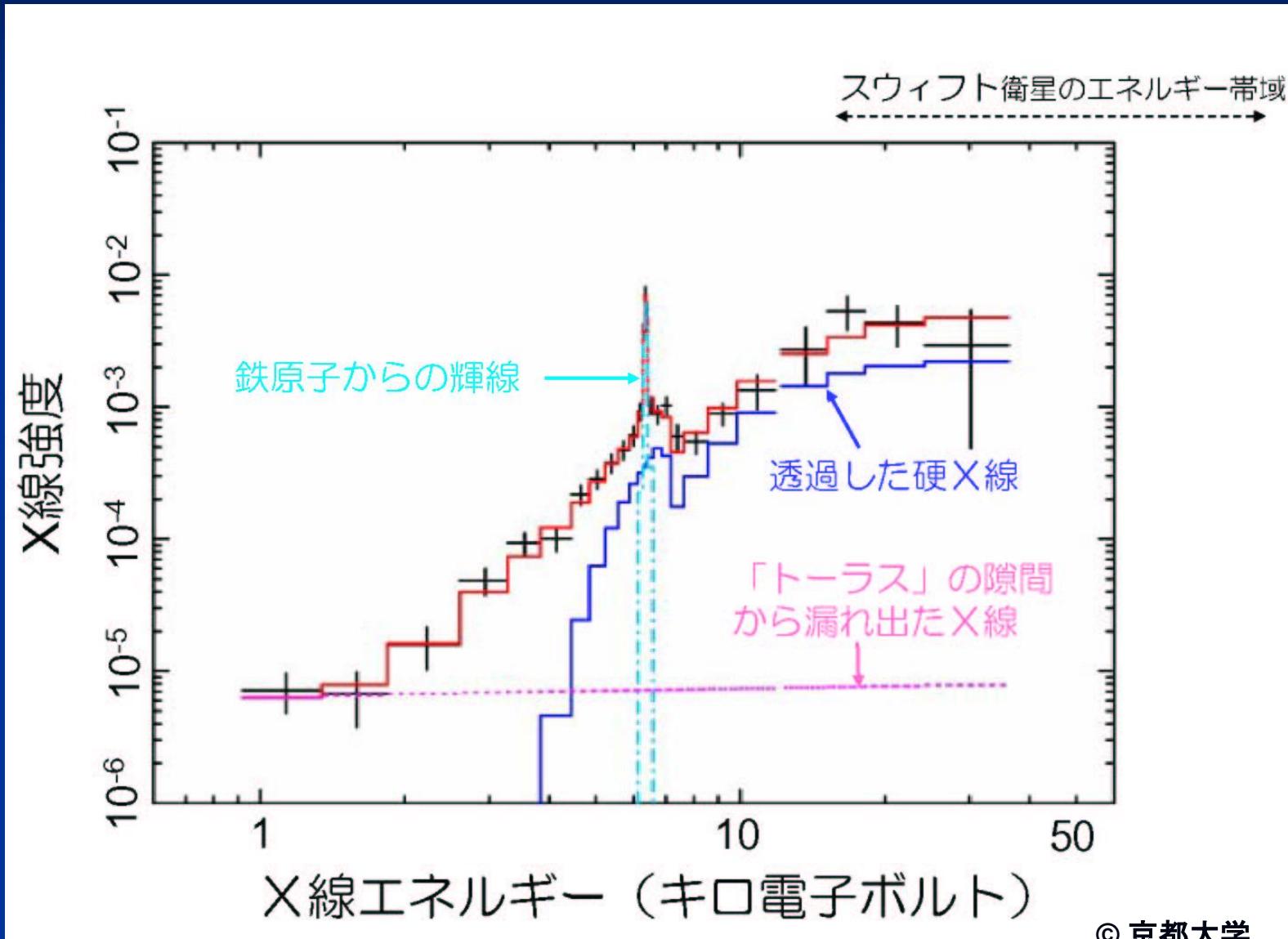


Swift J0601.9-8636  
(ESO 005-G004)  
「八分儀」座  
距離 8000万光年

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！

「すぐく」によるX線エネルギースペクトル



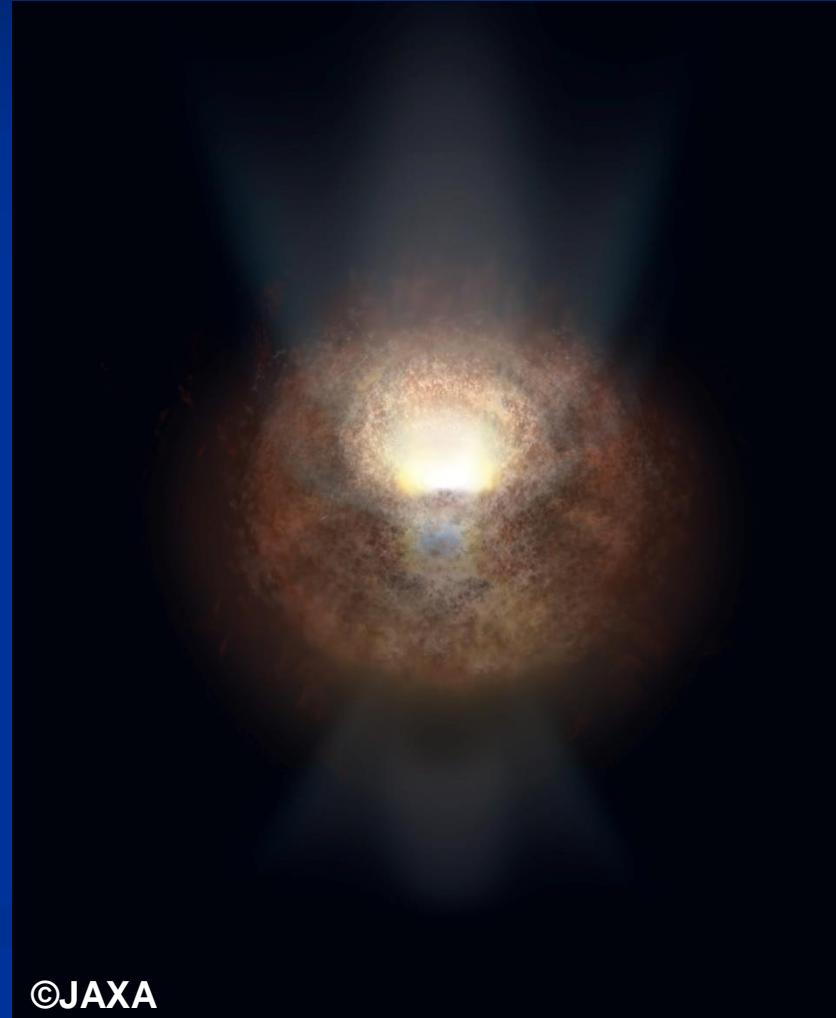
# 「すざく」: 新タイプ活動銀河核の発見

■ 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？



©JAXA

# これまでのまとめ

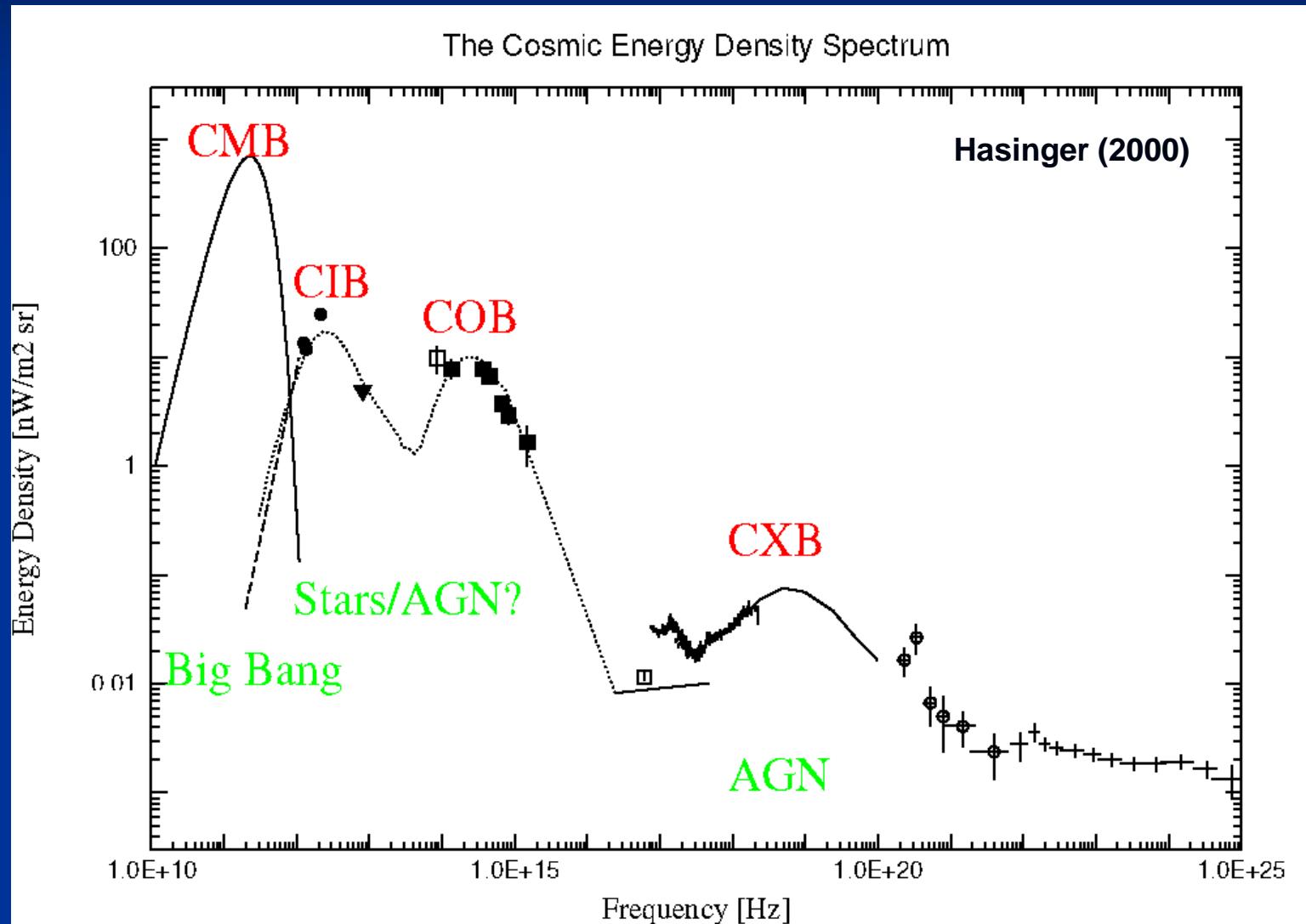
- 宇宙の最も激しい現象の一つである「活動銀河核」の正体は、その中心に潜む巨大ブラックホール
- 巨大ブラックホールは、周りから落ちてくる餌を食べることで「活動」している。
- これらは宇宙にどれだけ存在し、どのように作られたのだろうか？

→ 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

X線の強さ

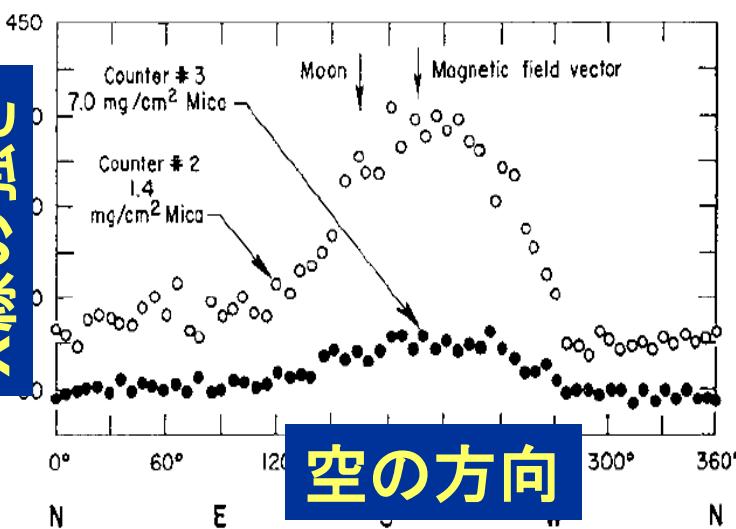
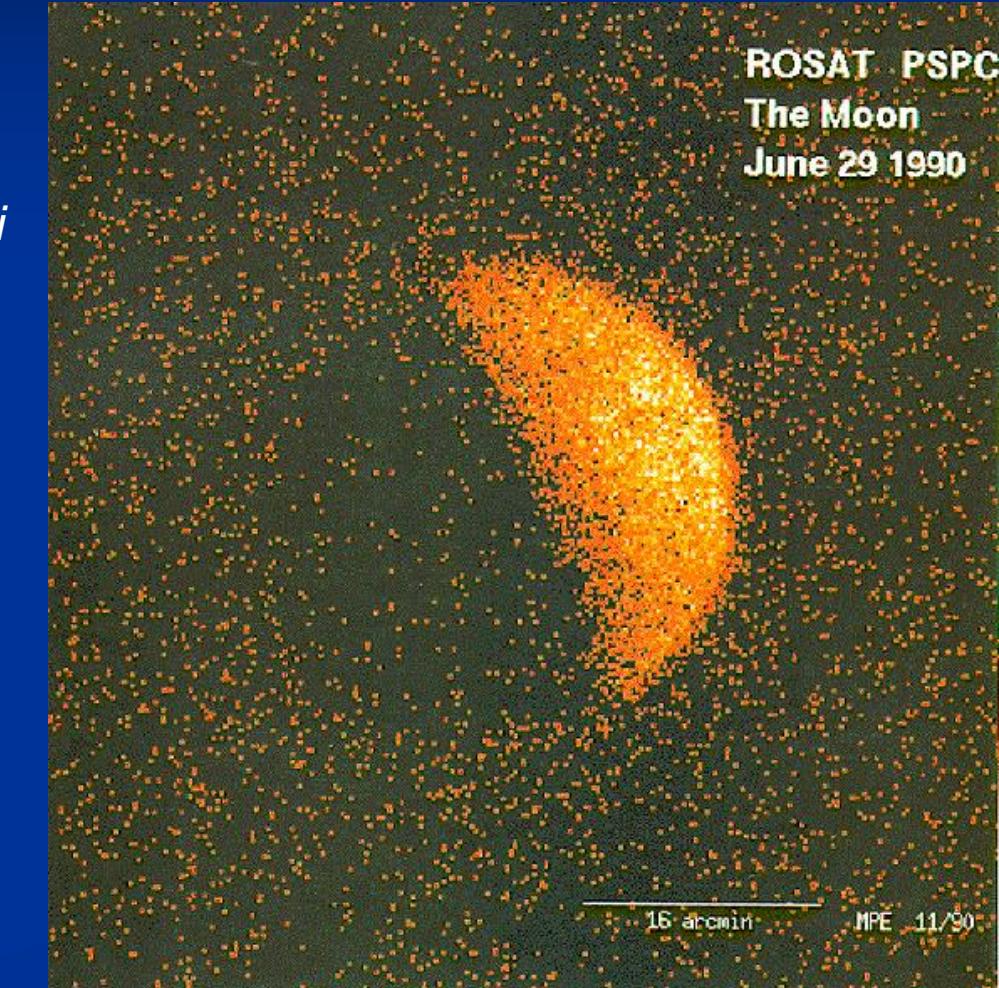


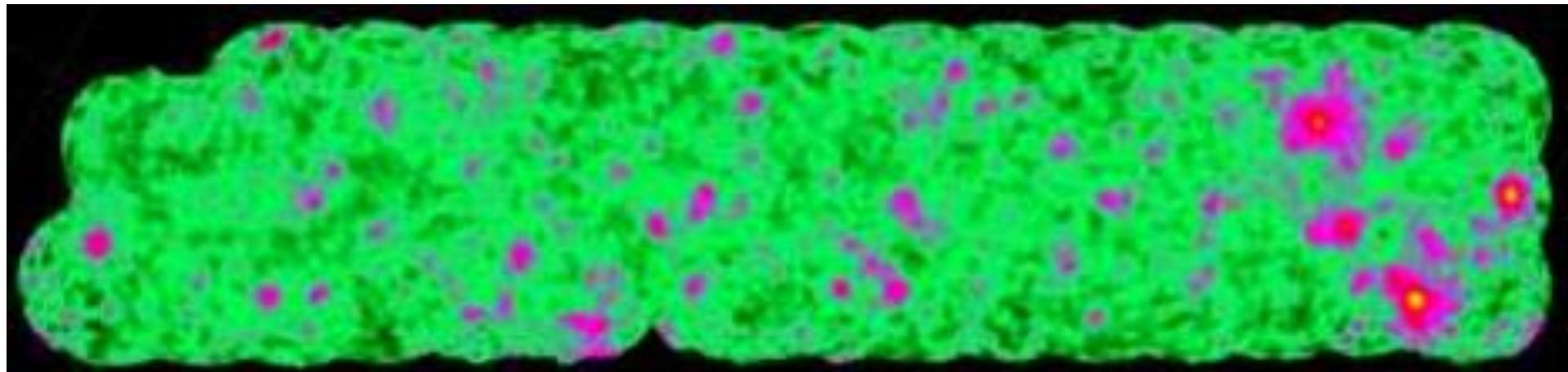
Figure 2. The first observation of Sco X-1 and of the x-ray background in the June, 12, 1962  
Sco X-1. From Giacconi et al. 1962.



Giacconi

Schmitt et al.  
(1991)

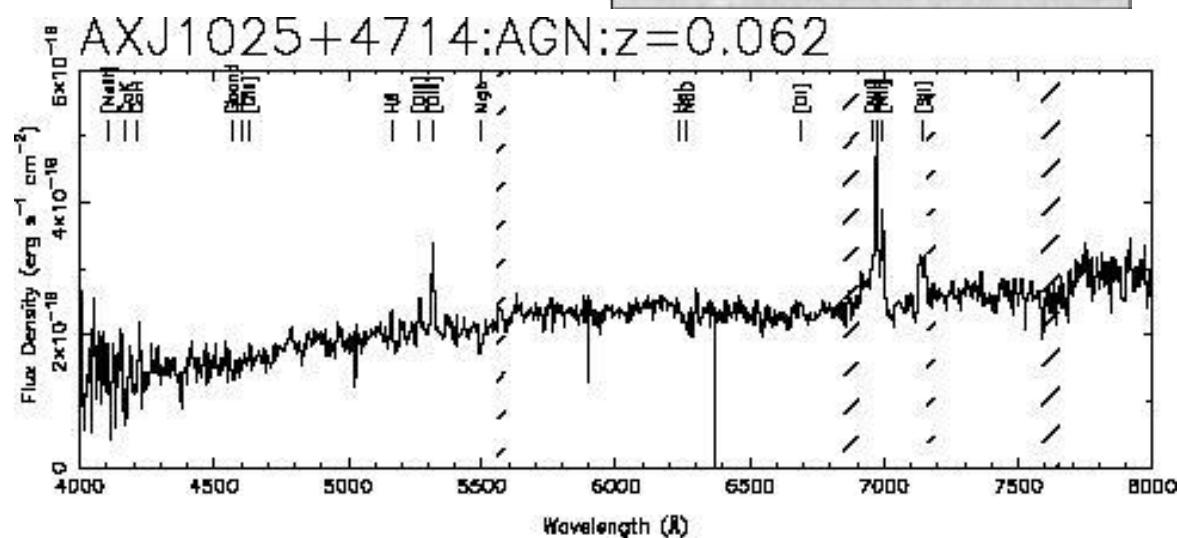
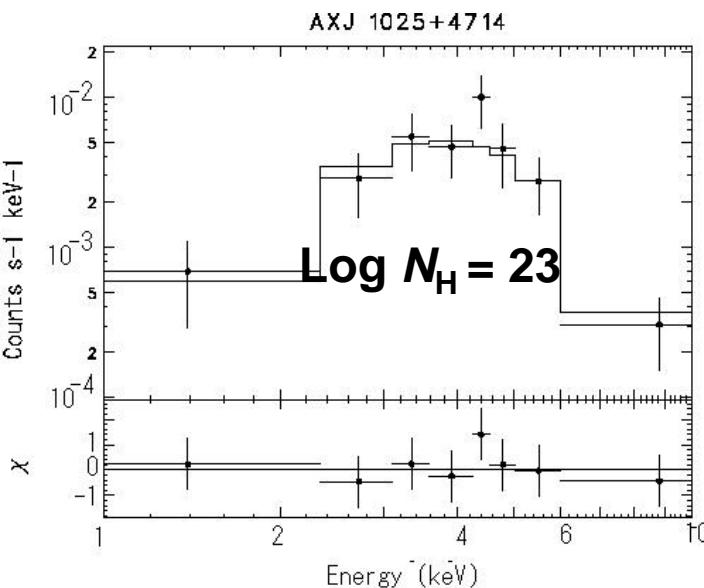
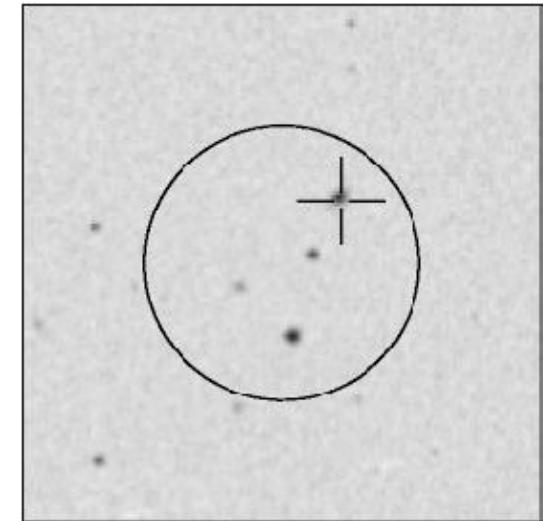
# 「あすか」の見たX線背景放射 遠方宇宙(距離~70億光年) の活動銀河核の集まり！



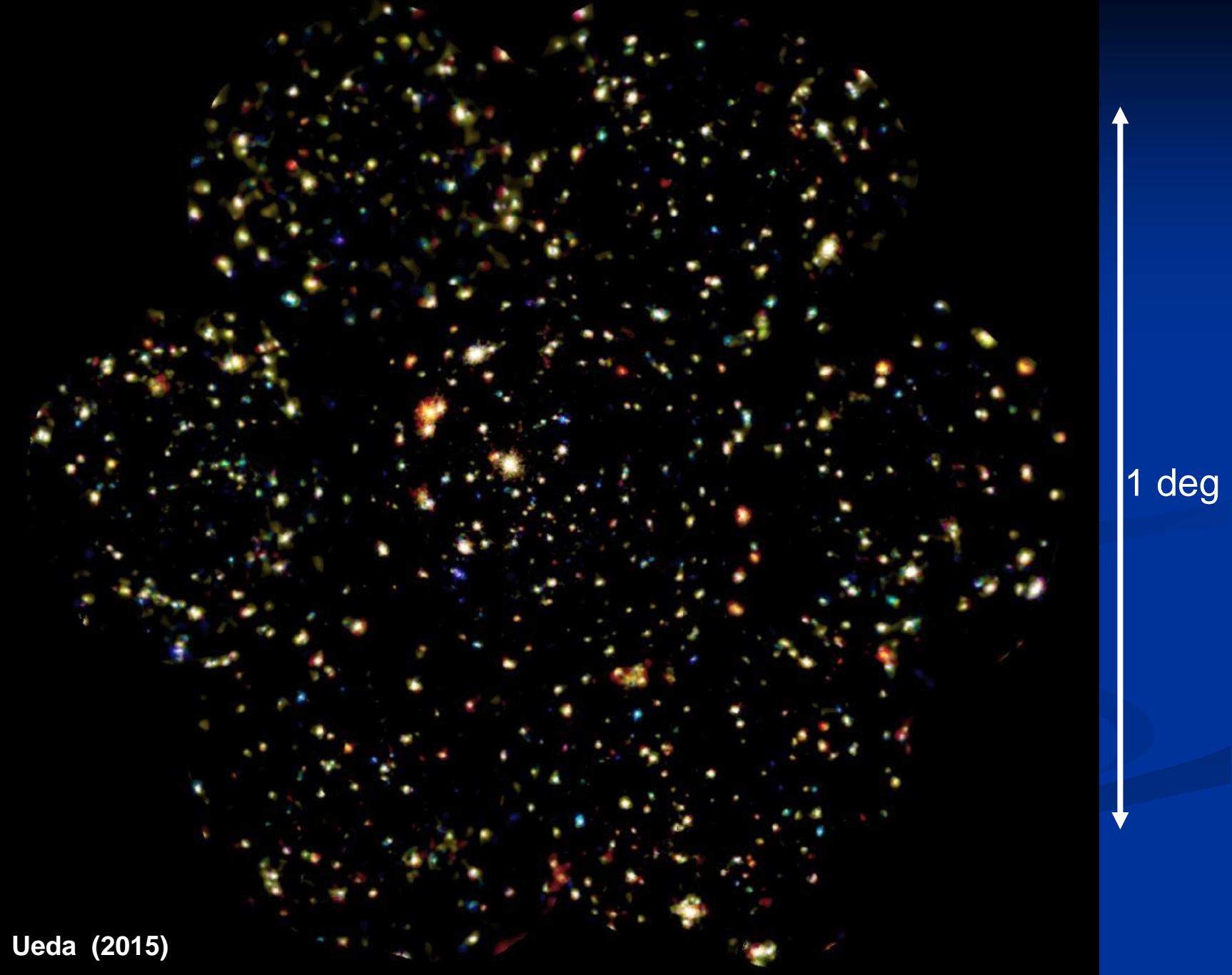
Ueda (2015)

# 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！

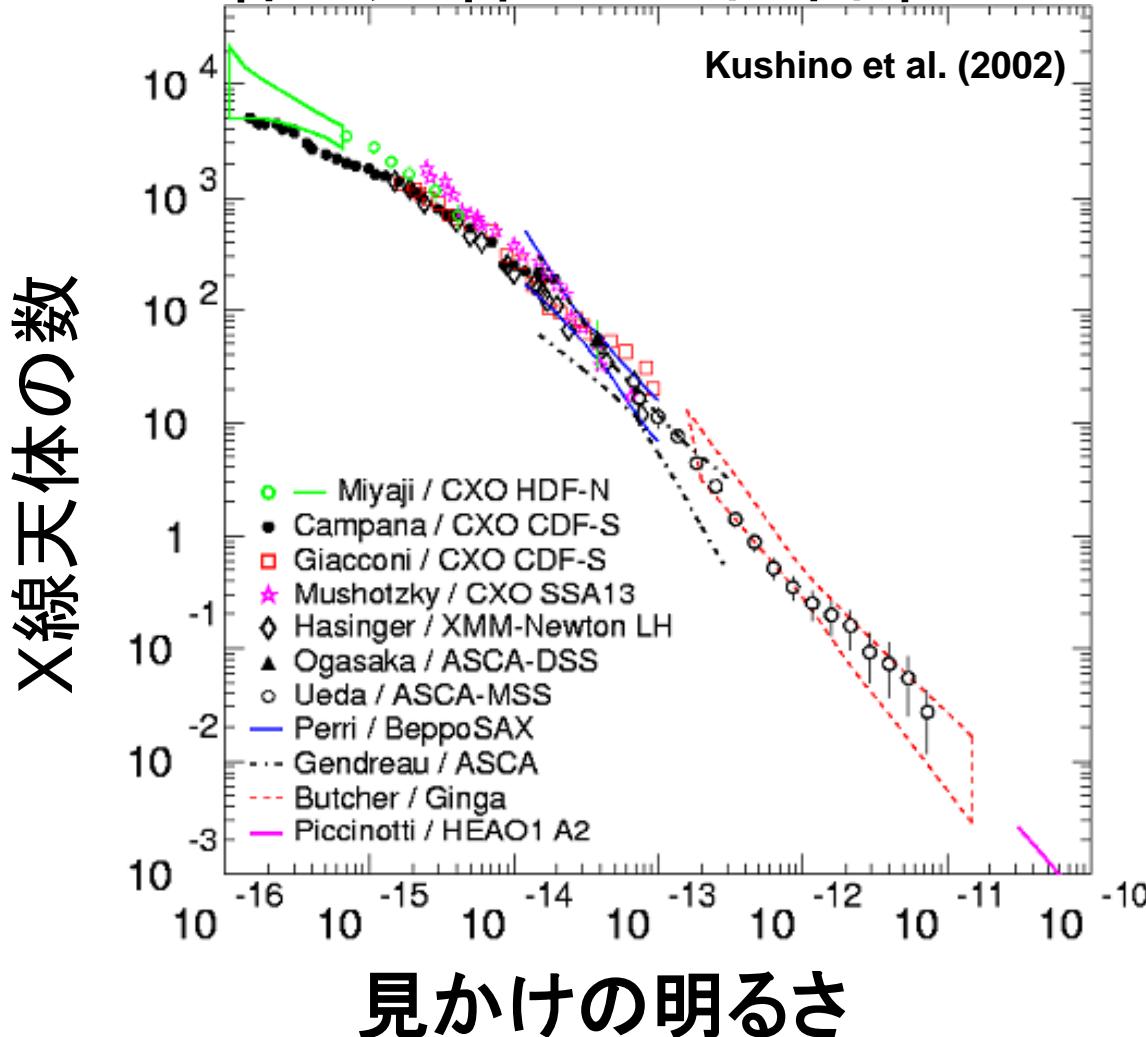


# 「すばる」XMM-Newton ディープサーベイ領域の多色X線画像



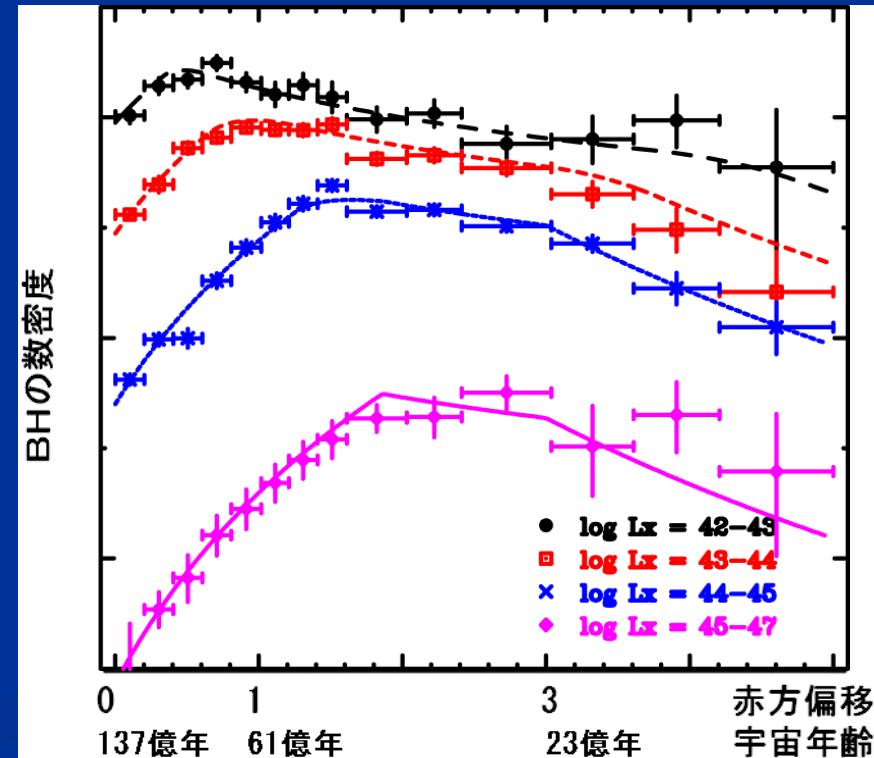
# X線天体の数かぞえ

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)

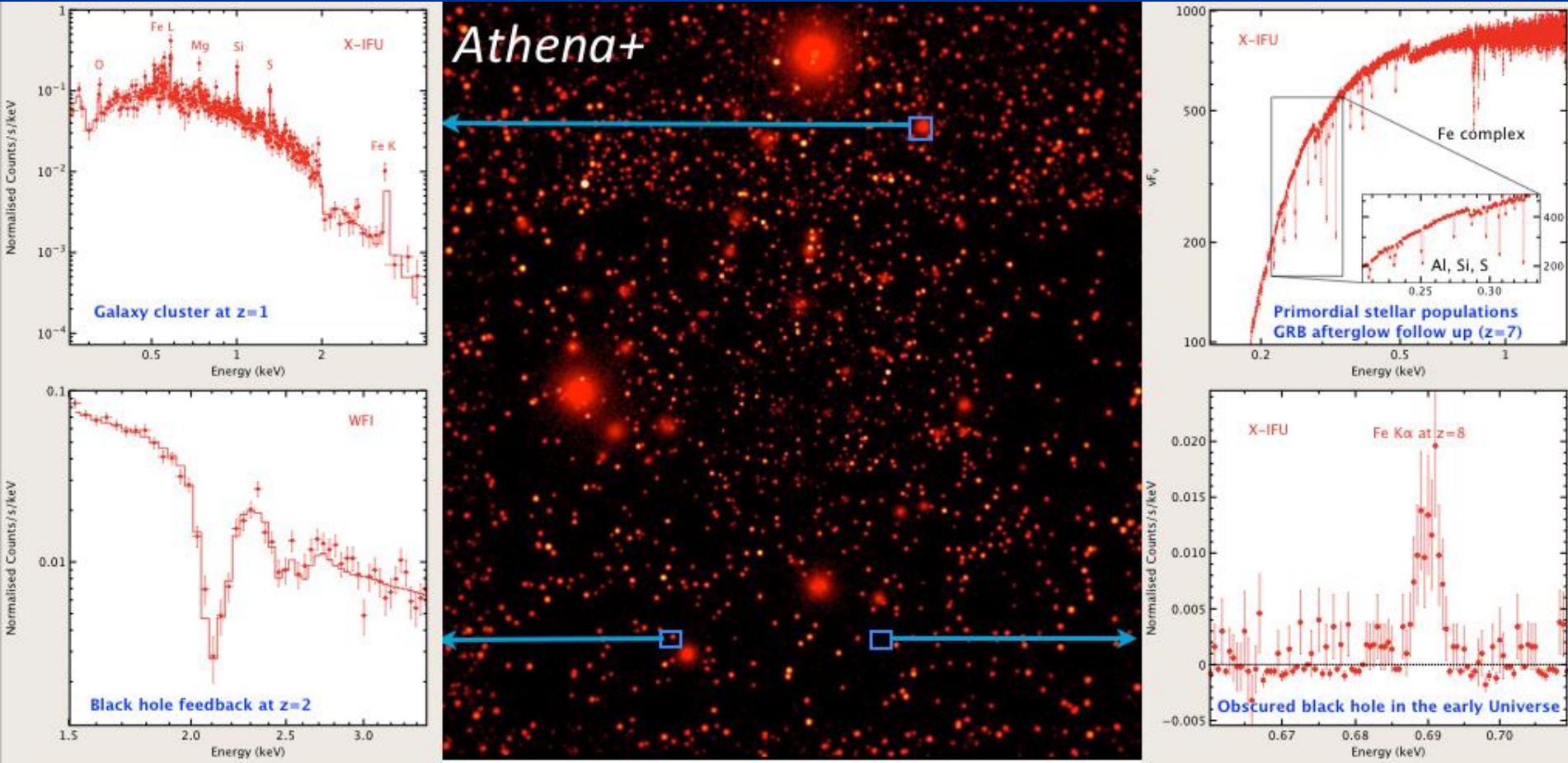


Ueda et al. (2014)

# 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