

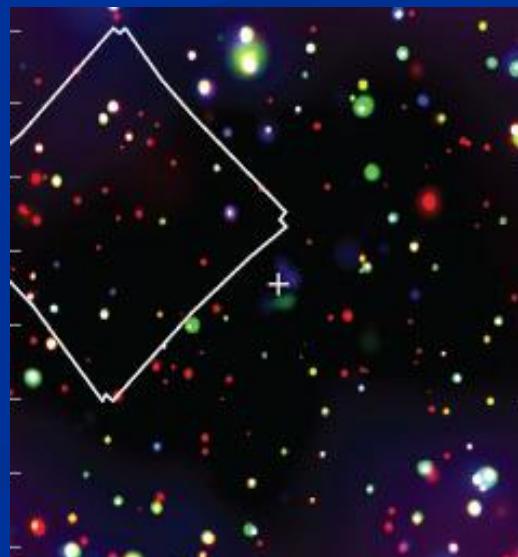
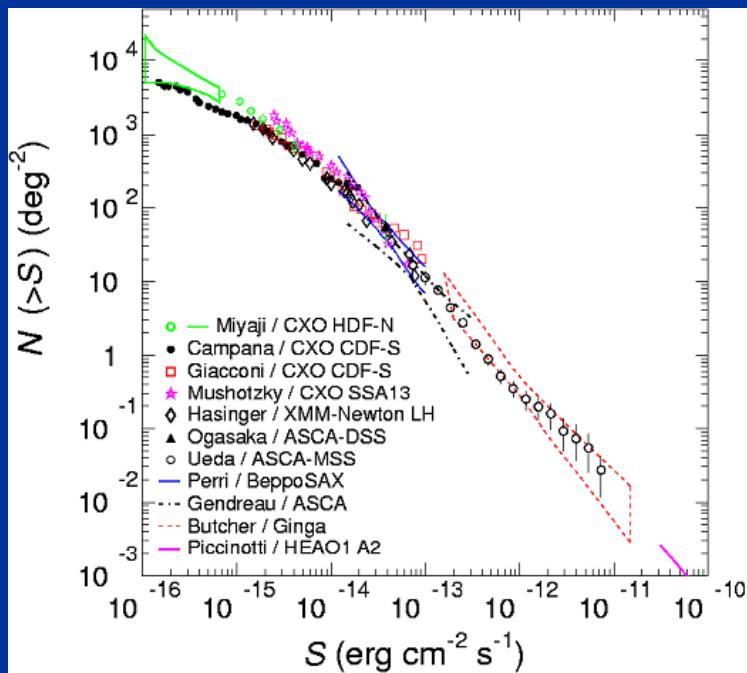
X線観測による 超巨大ブラックホールの 進化の解明

上田佳宏
(京都大学)

AGN探査：なぜX線か？

- SMBHの進化を知るには、広い光度・赤方偏移範囲にわたって「くまなく」AGNを探査する必要がある
- AGNの大部分はガスと塵に隠されている
- X線
 - 吸収に強い(特に硬X線)。ただしE>10 keVはまだ感度不足
 - 星(銀河)からのコンタミが少なく、クリーンなAGNサンプルを提供
 - 1型AGNに対してさえ、最も感度のよい探査を実現($N \sim 10^4 \text{ deg}^{-2}$)

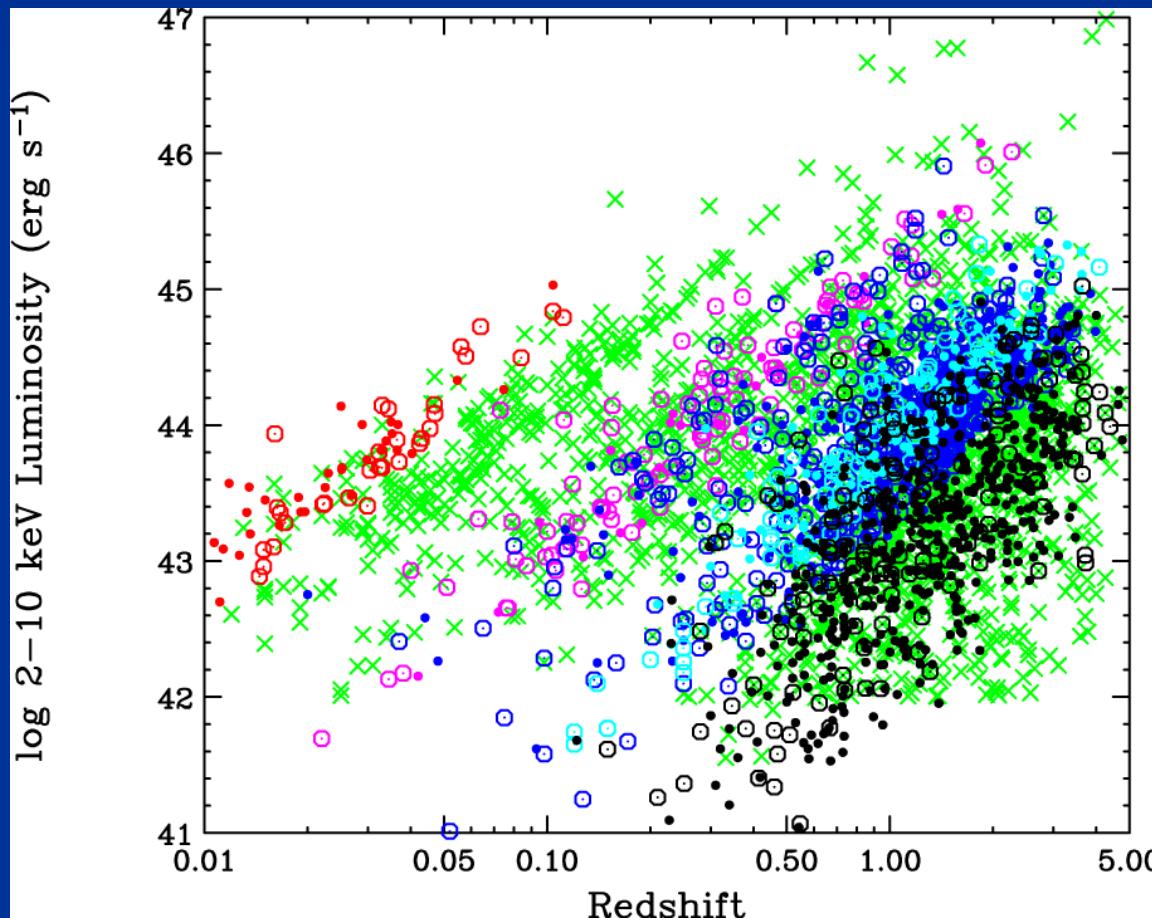
Kushino+02



CDFS
Xue+ 11

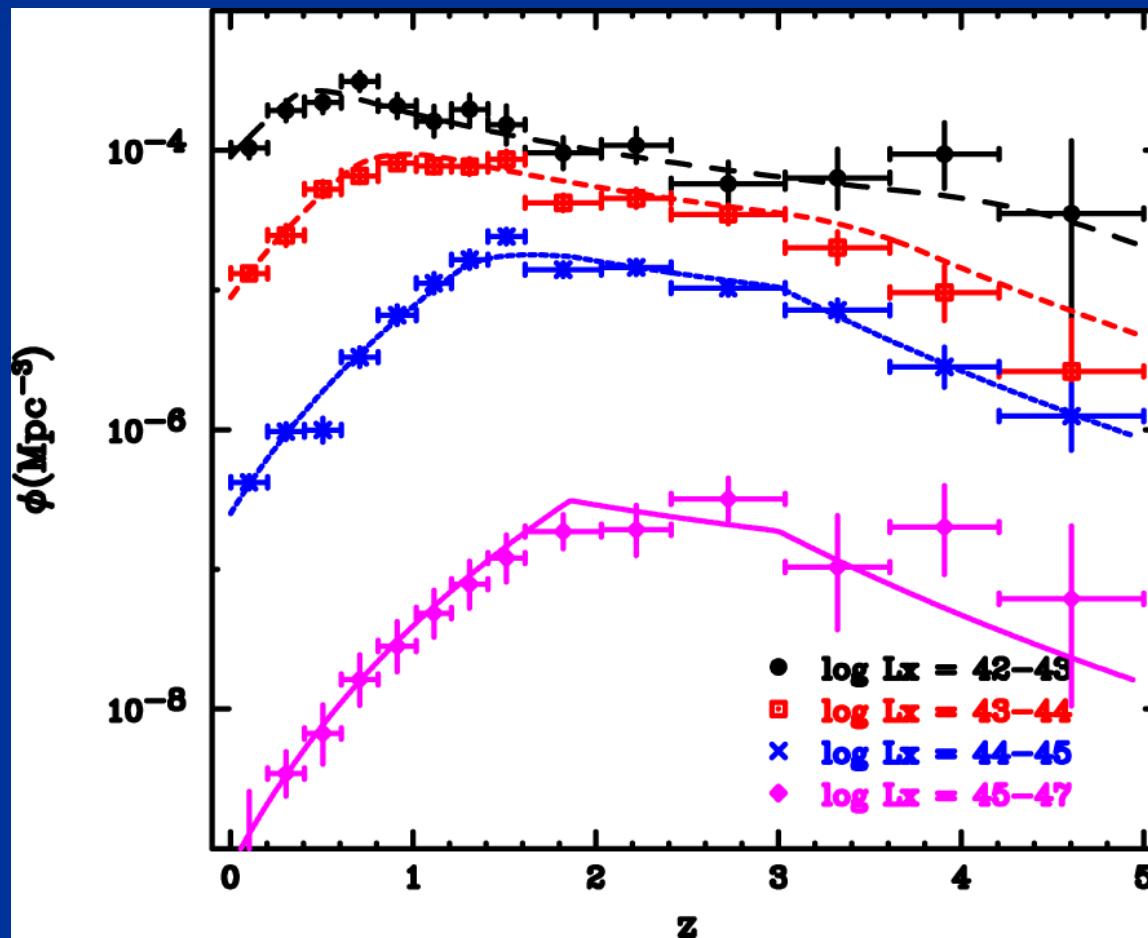
X線サーベイ:過去50年のまとめ

- AGN放射の総和=X線背景放射(X-Ray Background)
- ~8 keV以下のX線背景放射のほとんどを点源に分解
- 1型・2型を含む低光度～高光度のCompton thin AGN ($N_{\text{H}} < 10^{24} \text{ cm}^{-2}$) の進化の全貌を解明



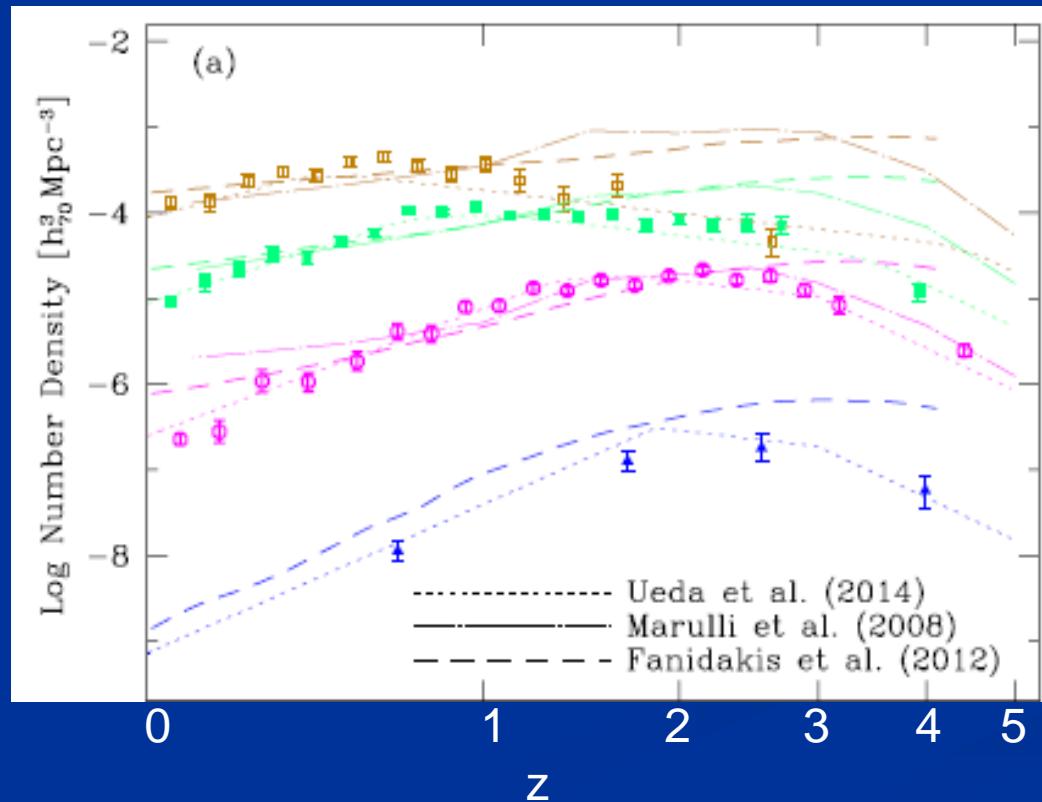
Number density evolution

- AGNs with lower Lx have the number density peak at lower redshift (“downsizing” or “anti hierarchical evolution”)
- Decay toward higher z is observed (e.g., Silverman+08, Brusa+09, Civano+11, Hiroi+12) $\Phi \sim (1+z)^{-6}$ for $L_x > 10^{44}$
- “up sizing” if we limit $z > 3 \rightarrow$ we should call “up-downsizing”



理論モデルとの比較

- 準解析モデルの例: Fanidakis+12
 - “hot halo” mode + “starburst” mode (merger or disk instability)
 - これだけ激しいdown-sizingはなかなか再現できない
- Enoki+14では？



データ点: 至高の光度関数
(with COSMOS)
Miyaji+ submitted

点線: 究極の光度関数
(with SXDS)
Ueda+ 2014

AGN進化： 残された課題

(1) Compton thick AGNの進化

SMBHの初期成長を担う？

Soltan argumentによる放射効率 ϵ の見積もりへ大きく影響

硬X線探査(NuSTAR, ASTRO-H, NGHXT) + eROSITA

X線探査は本当に完全か？(cf. MIR, submm, [O III] 選択)

(2) high-z (z>5)でのAGNの進化

最初のAGN(eROSITA、Athena)

Can we detect “up-sizing” ?

(3) AGN中心核とその進化の理解

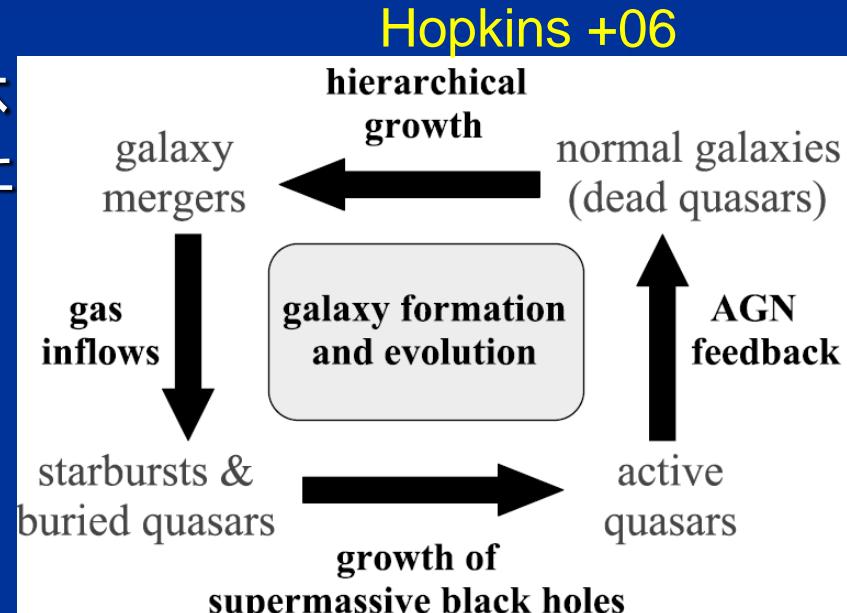
トーラスの構造とその進化(ASTRO-H、Athena)

鉄K輝線→BHスピン分布の進化(Athena)

(4) SMBH成長史の理解(質量関数、Eddington比関数)

(1) 硬X線($E>10$ keV)による埋もれたAGNの探査

- 埋もれたAGN(Compton thick AGN)
こそ「共進化」の理解の鍵を握る天体
 - 銀河合体後のブラックホール急成長期に予想される種族(eg Sanders+88, Hopkins+ 06)
 - 硬X線($E>10$ keV)での探査が最良
 - CXBの本質(at $E\sim30$ keV)の起源
 - しかし、その宇宙論的進化は(NuSTARやAHの後でも)未解明



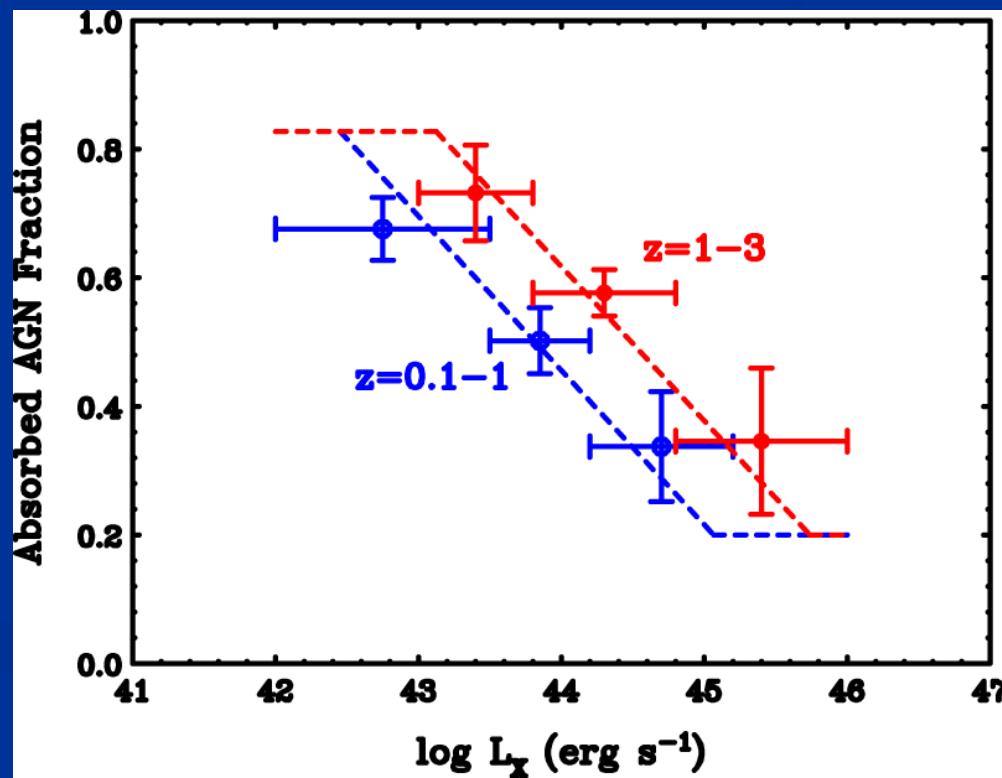
硬X線観測が必要な理由

AGNの大多数はガスや塵に隠されている

- 隠されたAGNの割合は、低光度ほど増える(光赤外では母銀河からの光が邪魔になる)
- 隠されたAGNの割合は、高赤方偏移で増える
- 遠方($z > \sim 1$)にある低～中光度AGNを含め、AGNを「もれなく」探査するには硬X線！

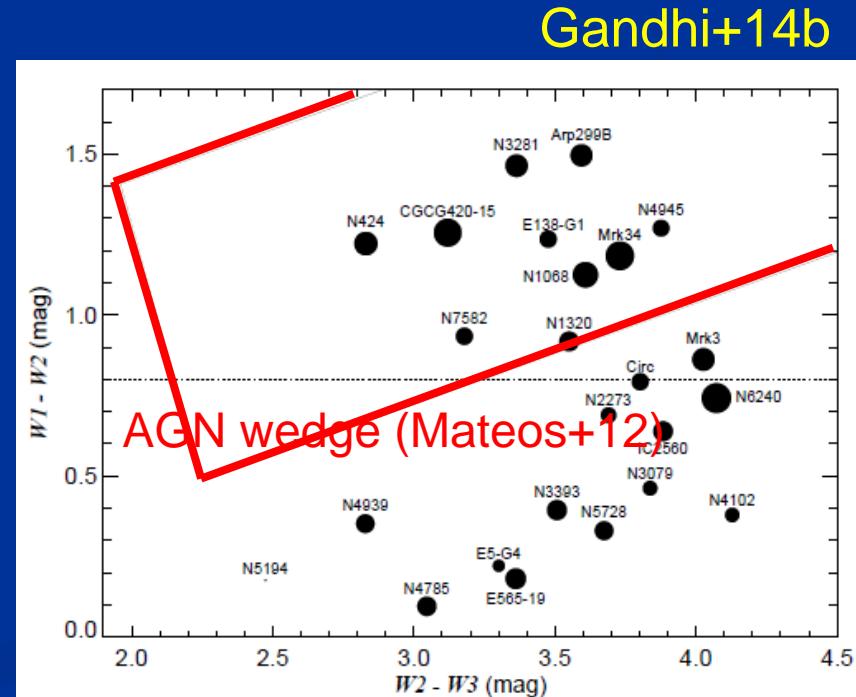
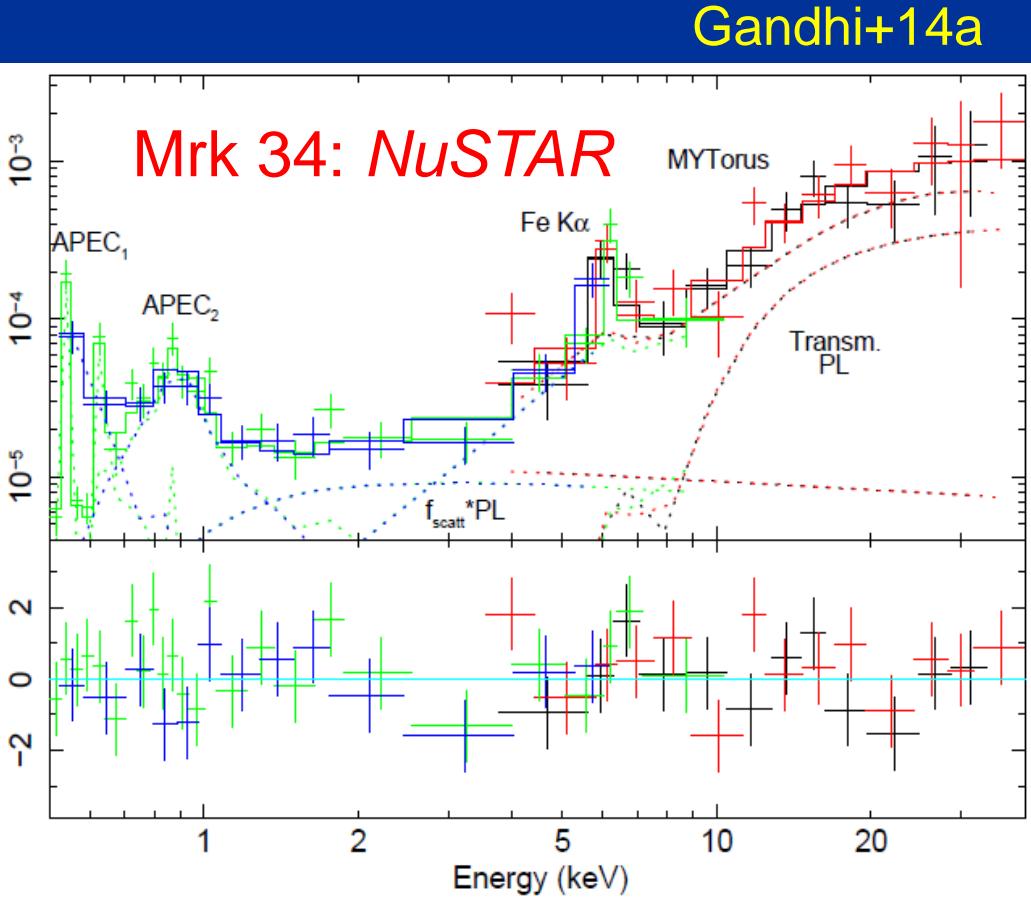
U+ 14

- AGN統一モデルの限界
- 2型AGNと1型AGNは異なる銀河進化段階の現象?
(eg, Page+04)



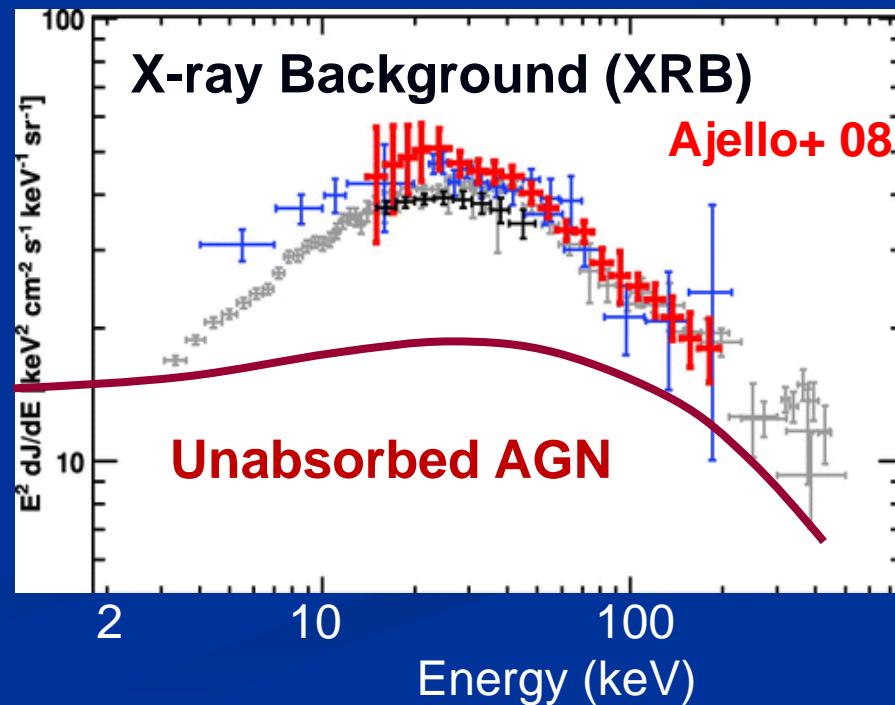
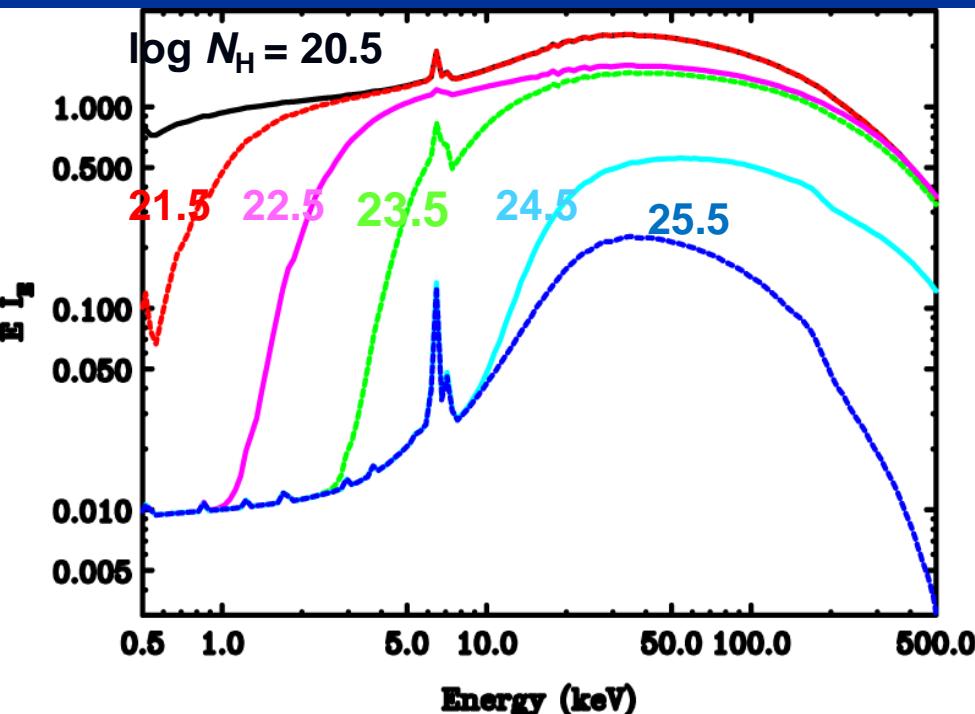
埋もれたAGNの検出例

- 硬X線は「埋もれたAGN」を探査する最適のバンド
(eg Suzaku: U+07, NuSTAR: Del Moro+14, Gandhi+14a)
- 中間赤外：母銀河からの放射との区別が困難
(右下図)Swift/BATで検出されたCT AGNの中間赤外カラーカラー図



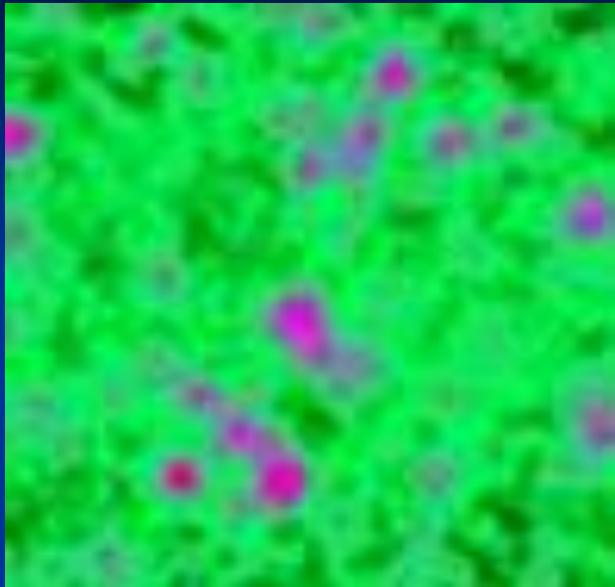
硬X線背景放射

- X線背景放射は~30 keVにピークをもつ(CXBの本体)
- Chandraで分解したのは6-8 keV以下のみ (Worsley+05)
- 埋もれたAGNの寄与は大きな不定性
 - 現在の議論は全て仮定による「外挿」で行われているにすぎない
例：埋もれたAGNの進化、隠れていないAGNの広域スペクトルの形状
 - 正しい描像：E>10 keVの構成天体を直接検出するしかない！



角度分解能の向上がもたらす全く新しい世界

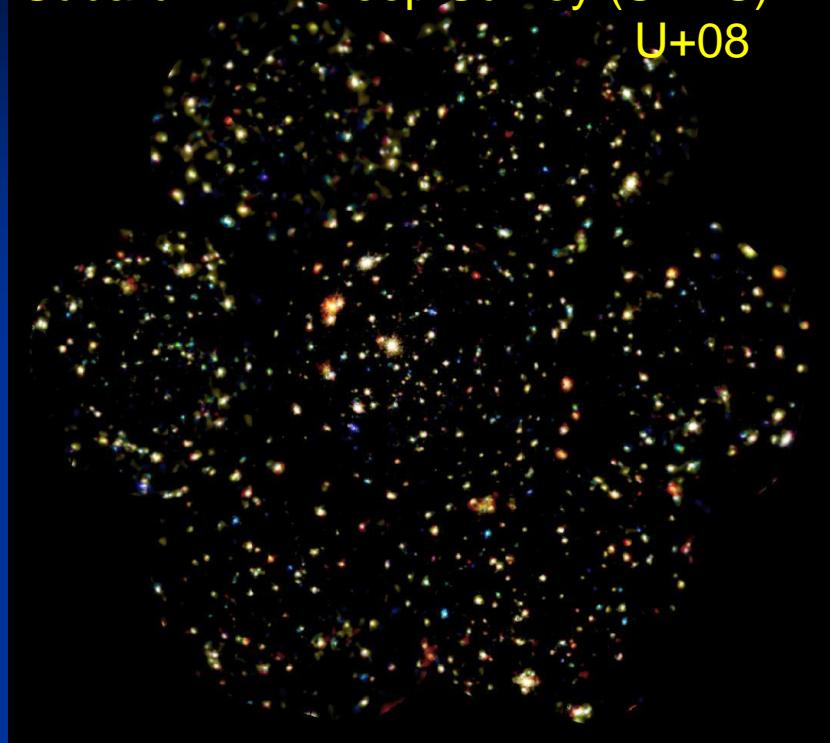
ASCA/LSS U+99



↑
1 degree
↓

A vertical yellow double-headed arrow labeled "1 degree" indicating the angular scale between the two images.

Subaru-XMM Deep Survey (SXDS)
U+08



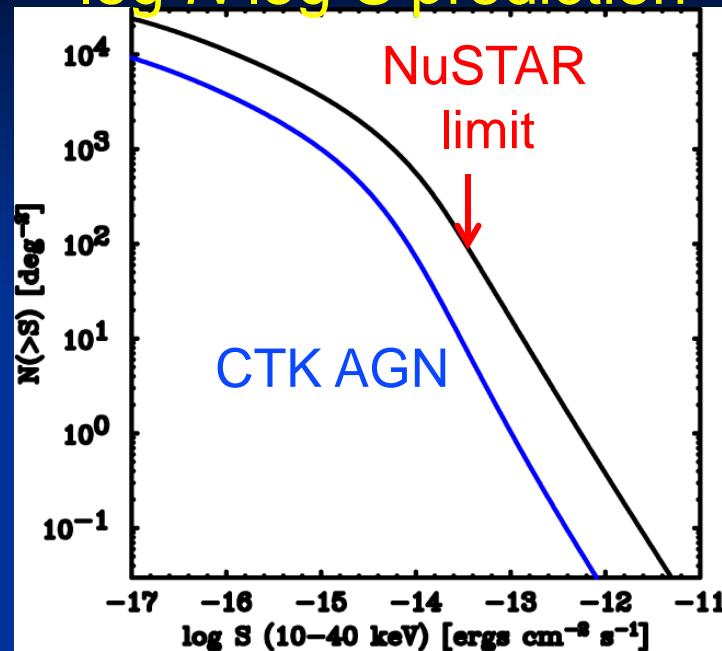
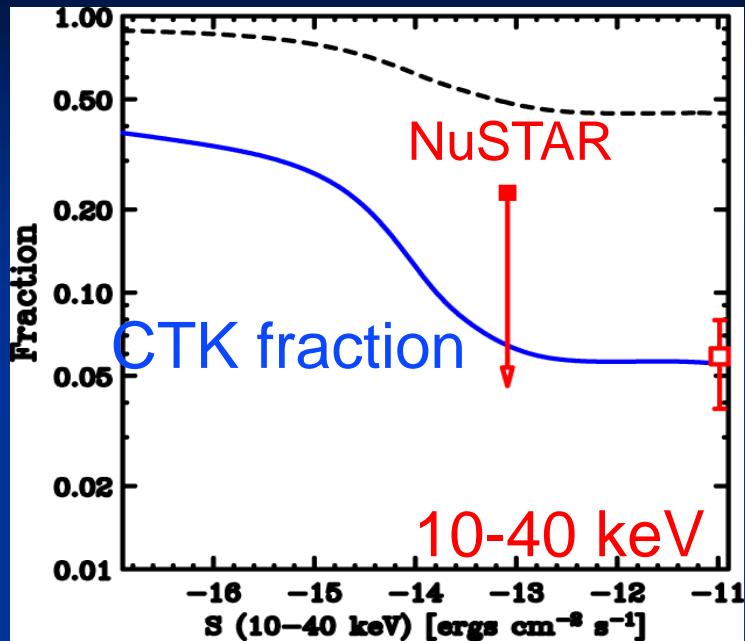
- 点源に対する圧倒的な感度向上
 - 左: ~2 arcmin の分解能で見たblank sky (1平方度あたり~10天体)
 - 右: ~10 arcsecの分解能で見たblank sky (~1000天体)
- 拡散放射(銀河団)の研究における「点源分離」の重要性

「あすか」は偉大だった。しかし、XMM-Newton / Chandraの世界を知ってしまうともう元には戻れない

埋もれたブラックホールを宇宙の果てまで見通す

U+ 14

log N log S prediction



- 「埋もれたAGN」が支配的になる世界はNuSTAR/AHの感度より1桁先にある
 - 左図の青線: 10-40 keV log N log SにおけるCXB標準モデル(正しいという保証はないが)による「埋もれたAGN」の割合の予言
 - 左図の赤矢印:NuSTAR初期成果から得られた上限値(Alexander+13)
- E>10 keVのCXBの大部分(>80%)の直接分解
 - NuSTAR/AHでは明るい側の~30%しか分解できない

まとめ

- 埋もれたAGNこそ銀河・ブラックホール「共進化」の理解の鍵を握る種族。しかし、その存在数、宇宙論的進化は不明
- CXBの本体($E\sim 30 \text{ keV}$ でエネルギー密度最大)の起源は未解明
- NuSTAR/ASTRO-Hの点源検出感度を1~1.5桁上げることで、宇宙激動の時代($z=1\text{-}3$)における、これら重要種族を初めて捉えることができる！
- Next Generation Hard X-ray Telescope (NGHXT) ミッションを次期X線天文衛星ミッション候補の一つとして検討中
(SMBH研究推進連絡会からもサポートをお願いします！)