

2014.11.03-04

「超巨大ブラックホール研究推進連絡会」第2回ワークショップ 於筑波大学

ダストに隠された活動銀河核に適用 可能なブラックホール質量測定法

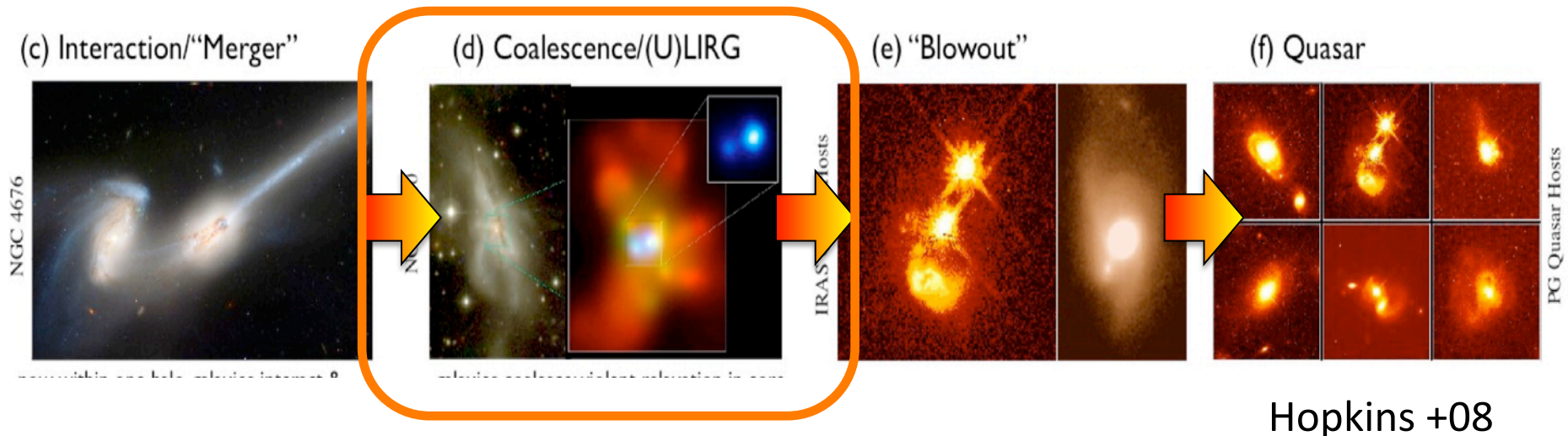
東京大学 峰崎岳夫

東京理科大学 松下恭子

ApJ submitted

動機

- ブラックホール — 銀河相関、共進化
 - AGN 本体がダストによる強い減光を受けている **obscured AGN** では母銀河の性質の測定に有利
- 階層的合体銀河形成モデルにおけるブラックホール成長
 - 銀河合体 → **Dusty AGNs** → normal AGNs
 - **ブラックホール成長の初期段階を母銀河の進化とともに探る**

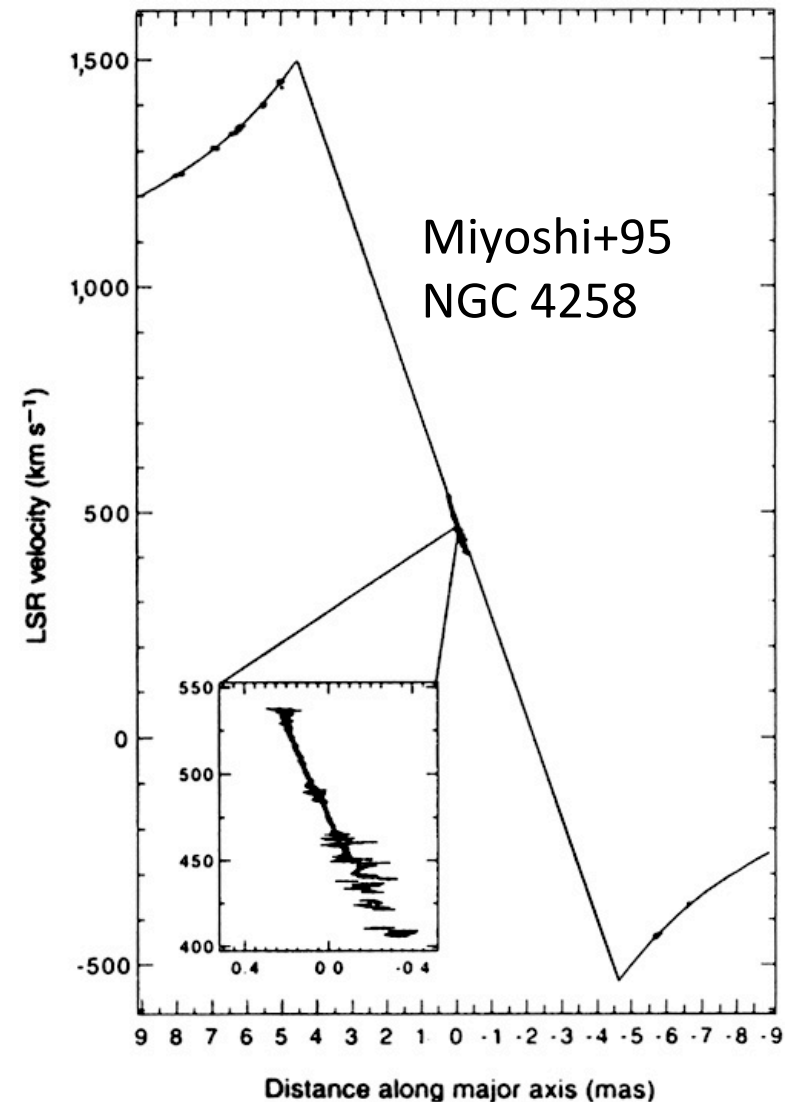


Obscured AGN の M_{BH} 測定の現状

- H₂Oメガメーザーの VLBI 観測
 - 高精度測定が可能
 - 観測可能な geometry に強い制限

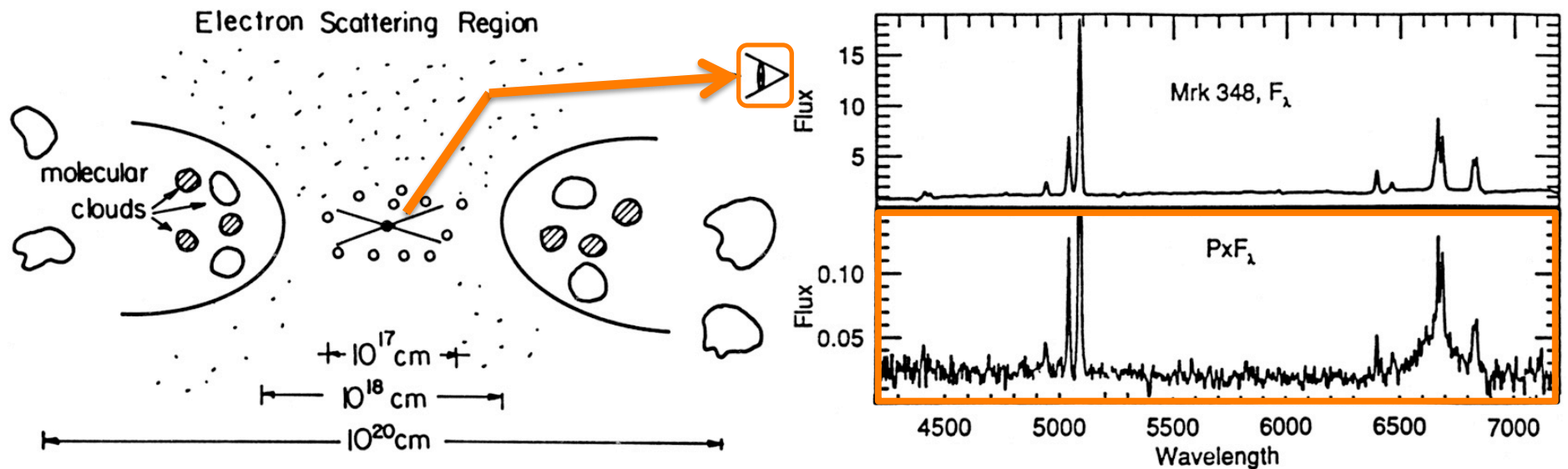


Image courtesy of NRAO/AUI and Artist:
John Kagaya (Hoshi No Techou)



Obscured AGN の M_{BH} 測定の現状

- 偏光広幅輝線による「1-epoch MBH」
 - 偏光広幅輝線が観測されない type-2 AGNs も多い
 - dust covering factor の大きい obscured AGN (ULIRG, new type AGNs) では広幅輝線の散乱が期待できないかも



Obscured AGN の M_{BH} 測定の現状

- H_2O メガメーザーの VLBI 観測
 - 高精度測定が可能
 - 観測可能な geometry に強い制限
- 偏光広幅輝線による「1-epoch M_{BH} 」
 - 輝線幅と 光度 \rightarrow 放射領域半径 から見積もる
 - かなりの割合の type-2 AGN で偏光広幅輝線が観測されない
 - ULIRG、new type AGN など dust covering factor の大きい obscured AGN では、opening angle が小さく輝線散乱も小さい
- X線変光の PSD

多数かつ種々の obscured AGN に汎用的に適用可能な手法が望まれる

B28a 隠れた活動銀河核と超巨大ブラックホールの宇宙論的進化

○上田佳宏（京都大学）

現在の宇宙で見られる、超巨大ブラックホールの質量と銀河バルジ質量の強い相関は、ブラックホールが銀河そのものの形成に深く関わっており、両者が「共進化」してきたことを強く示唆する。ブラックホールは宇宙の重要な構成員であり、これらがいかにして形成され、周囲にどのような影響を与えてきたかを解明することは、宇宙進化を理解するために不可欠な、現代天文学の第一級の問題である。

ブラックホール成長の大部分が激しい星生成を伴って起こるなら、活動銀河核（AGN）の多くは塵やガスに深く埋もれていると予想される。吸収がコンプトン散乱に対して光学的に厚い、いわゆる「コンプトン厚 AGN」では、10 keV 以下のバンドで連続成分がほぼ完全に吸収されてしまう。これらの隠れた AGN を観測する効率的な方法は、透過力の強い、よりエネルギーの高い X 線を用いることである。

ASTRO-H 衛星は、10 keV 以上の硬 X 線バンドで過去のミッションに比べて劇的に向上した検出感度をもち、隠れた AGN の宇宙論的進化の解明に向けて極めて重要な役割を担っている。簡単な見積りによると、ASTRO-H により、10–40 keV における硬 X 線背景放射の少なくとも 30% を点源に分解できると予想される。さらに 10 keV 以下での精密分光との組み合わせにより、AGN の周辺構造をかつてない精度で診断することが可能である。

本講演では、これまでの X 線サーベイ天文学によって明らかになったブラックホール形成史をレビューした上で、未解決の問題をまとめ、ASTRO-H によって期待される成果の展望について議論する。

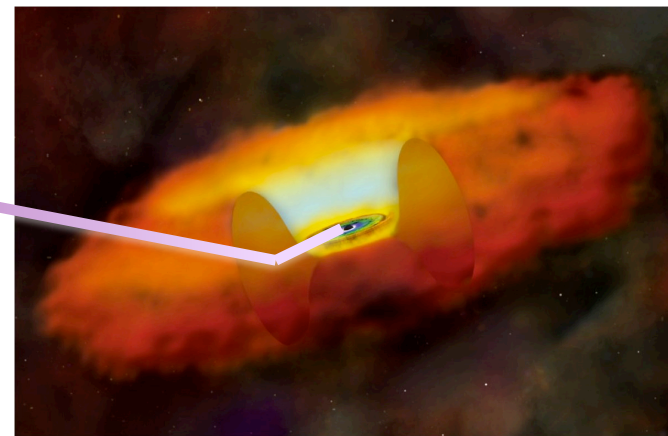
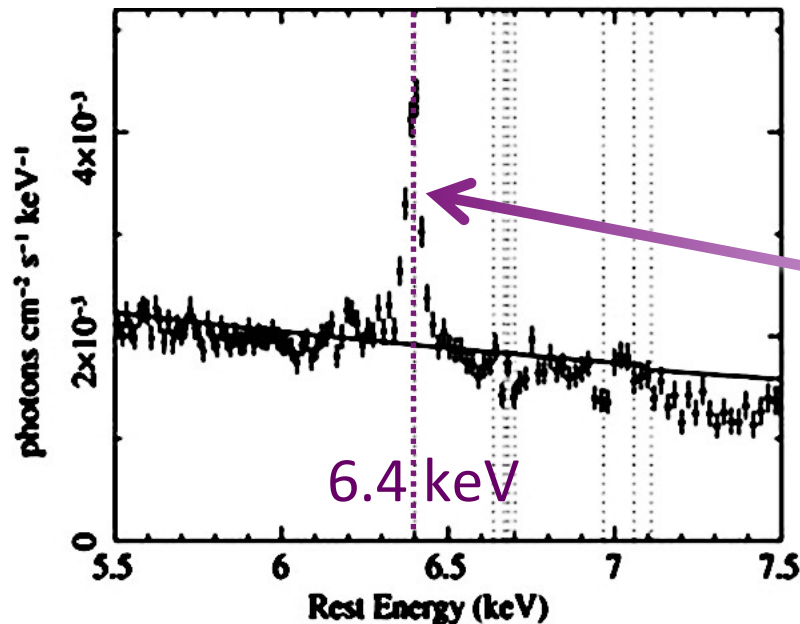
2012年日本天文学会春季年会企画セッション
X線天文衛星 ASTRO-H で拓く新世紀のサイエンス
B28a 上田佳宏氏講演

X線中性 FeK α 輝線

- Obscured AGNs にも普遍的に観測される(unobscured も)
- 輝線幅の狭い「コア成分」
 - ダストトーラス内縁を放射領域とする説が有力
 - 輝線幅から obscured AGNs についても速度場の情報が得られる

NGC 4151 (Shu+10)

(エネルギー分解できれば)

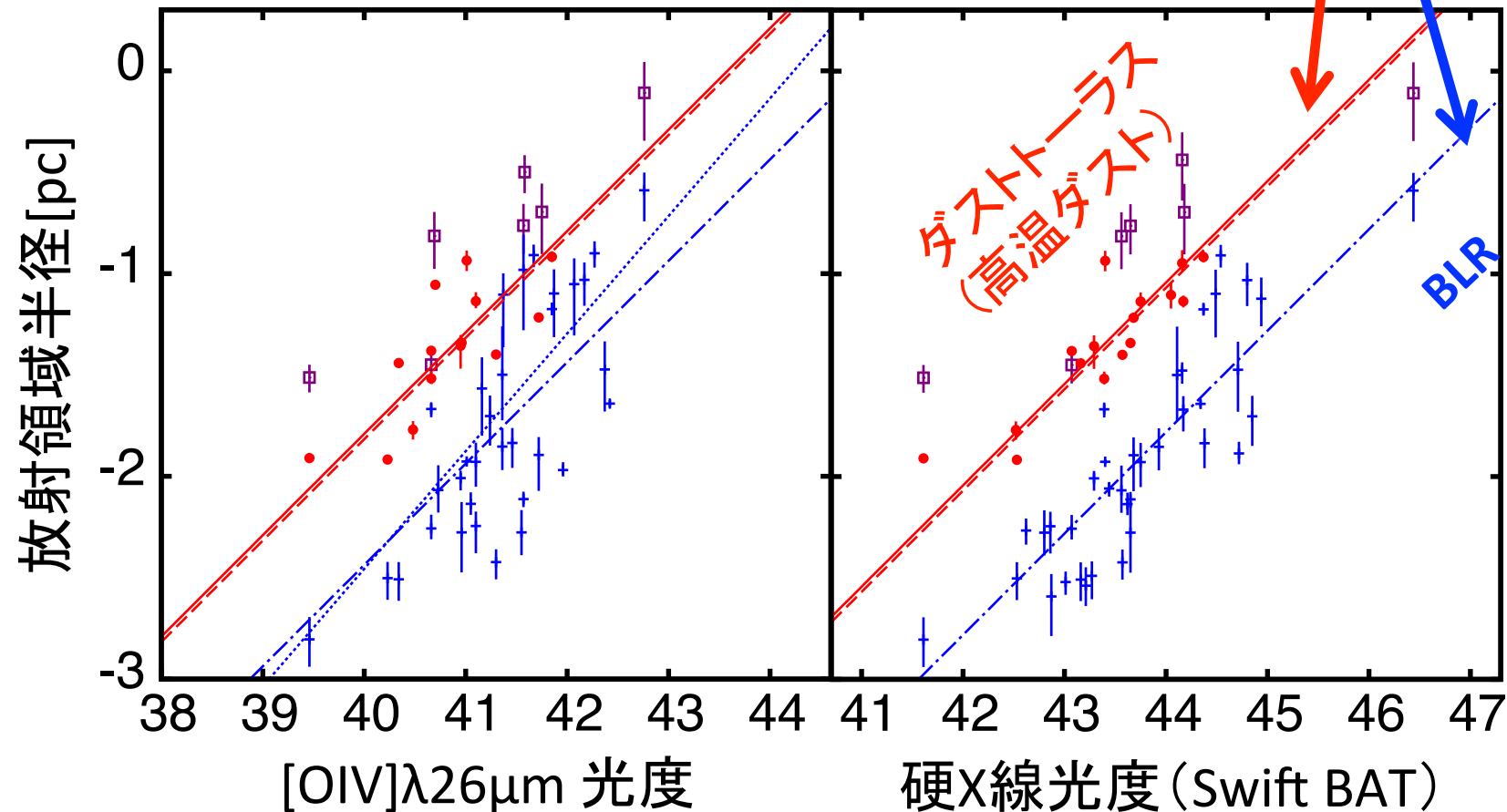
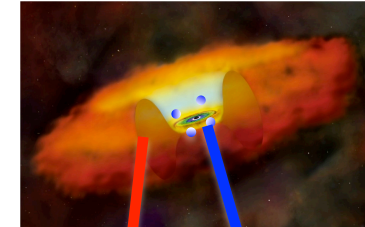


©NASA

ダストトーラス, BLR の半径光度関係

Koshida+14

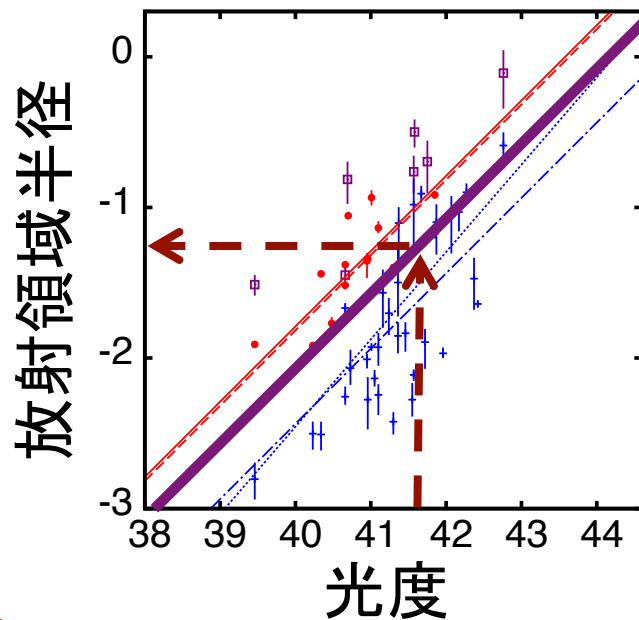
– based on dust (& broad $H\beta$) reverberation



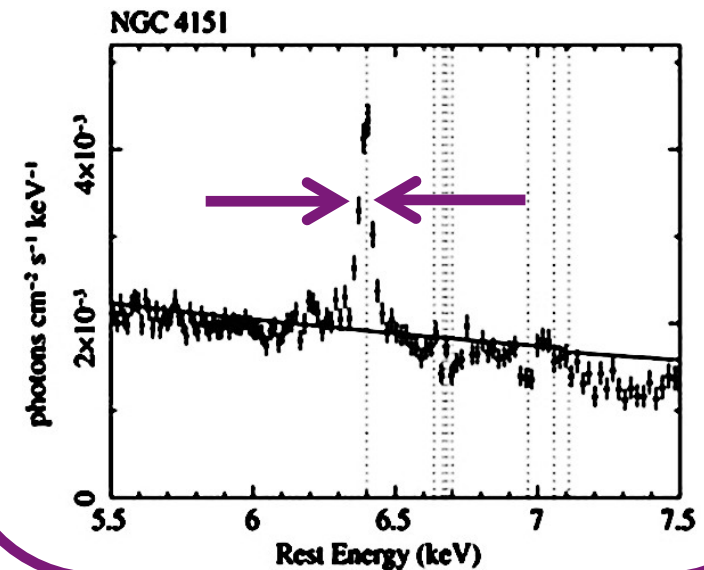
Obscured AGN の M_{BH} 測定法の新提案

ダスト減光に強い光度指標
[OIV] λ 26 μm 、硬X線、 \dots

放射領域半径—光度関係



中性FeK α 輝線コア成分
輝線幅



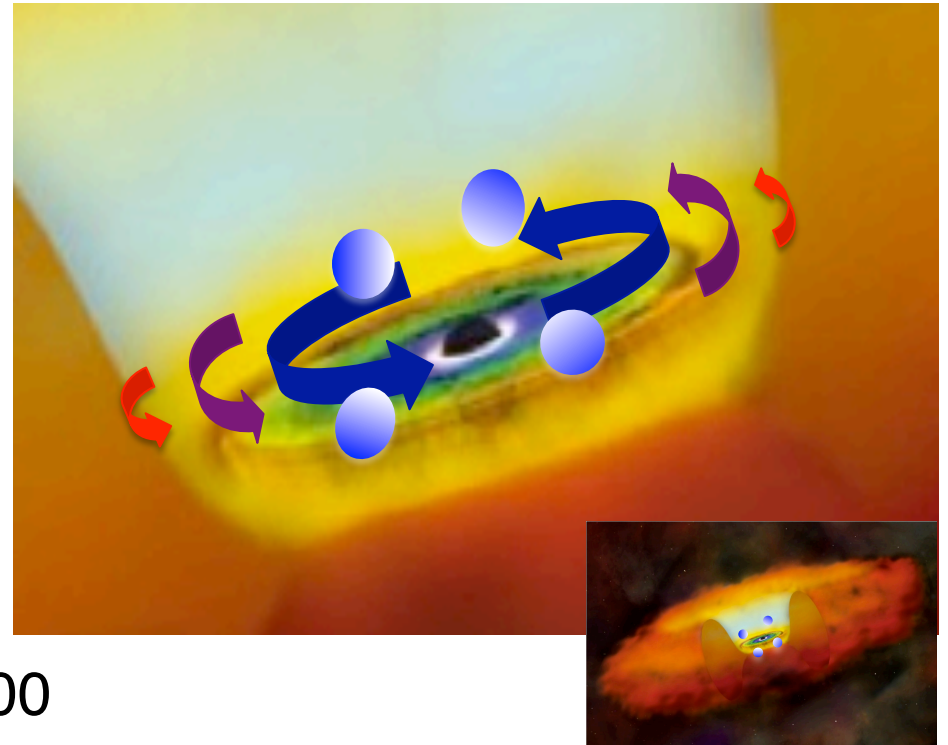
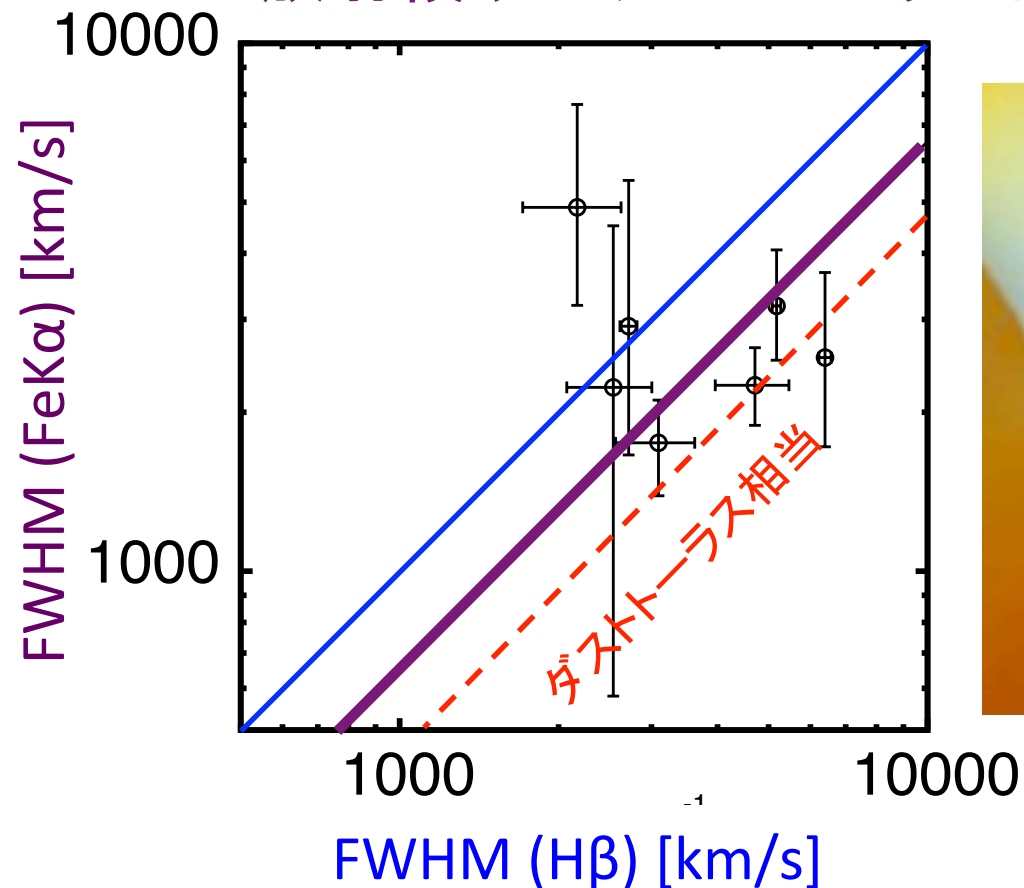
$$M_{\text{BH, FeK}\alpha} = f \frac{r_{\text{FeK}\alpha} \sigma_{\text{FeK}\alpha}^2}{G}$$

本研究—新手法の検証

- 中性FeK α 輝線を用いて M_{BH} 測定を行う
 - Unobscured AGNs, obscured AGNs 両方とも
- 既存の手法による M_{BH} 測定値と比較する
 - BLR reverberation、偏光広幅輝線、H₂Oメガメーザー
- 現在入手可能なデータ
 - 中性FeK α 輝線コア線幅がエネルギー分解されている必要
→ Shu+10,11 による Chandra HETG 観測天体
…さらに BLR reverberation、偏光広幅輝線、H₂Oメガメーザーの観測がある天体を選び出す
 - [OIV] λ 26 μ m 輝線を光度指標とする
 - Type-1 AGNs : 7 天体、Type-2 AGNs : 7 天体
- H β 輝線との輝線幅の比較から中性FeK α 輝線の半径光度関係を求める→ダストトーラス内縁とconsistent

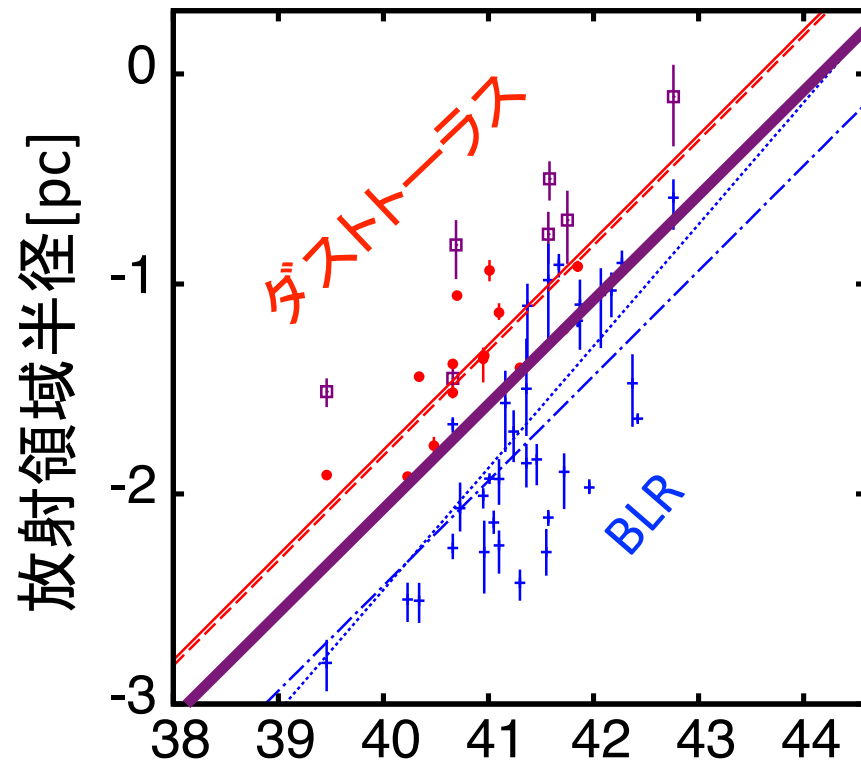
中性 FeK α 輝線放射領域の半径光度関係

- FeK α 輝線幅は H β 輝線幅より小さ目な傾向 (type-1 AGNs)
 - 放射領域はダストトーラス内縁付近 (in many cases)

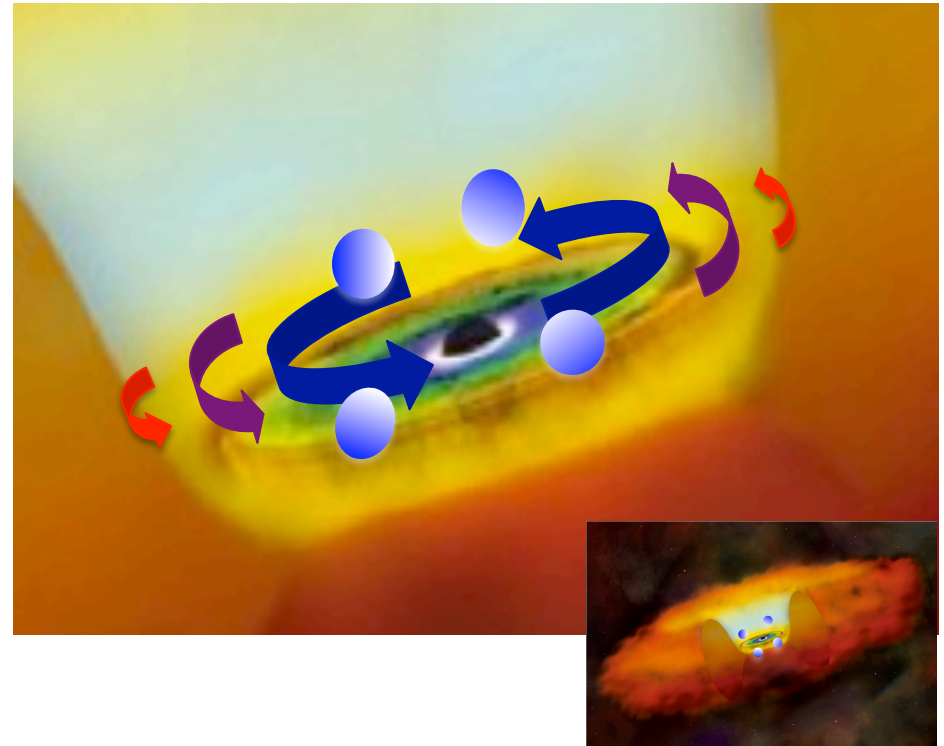


中性 FeK α 輝線放射領域の半径光度関係

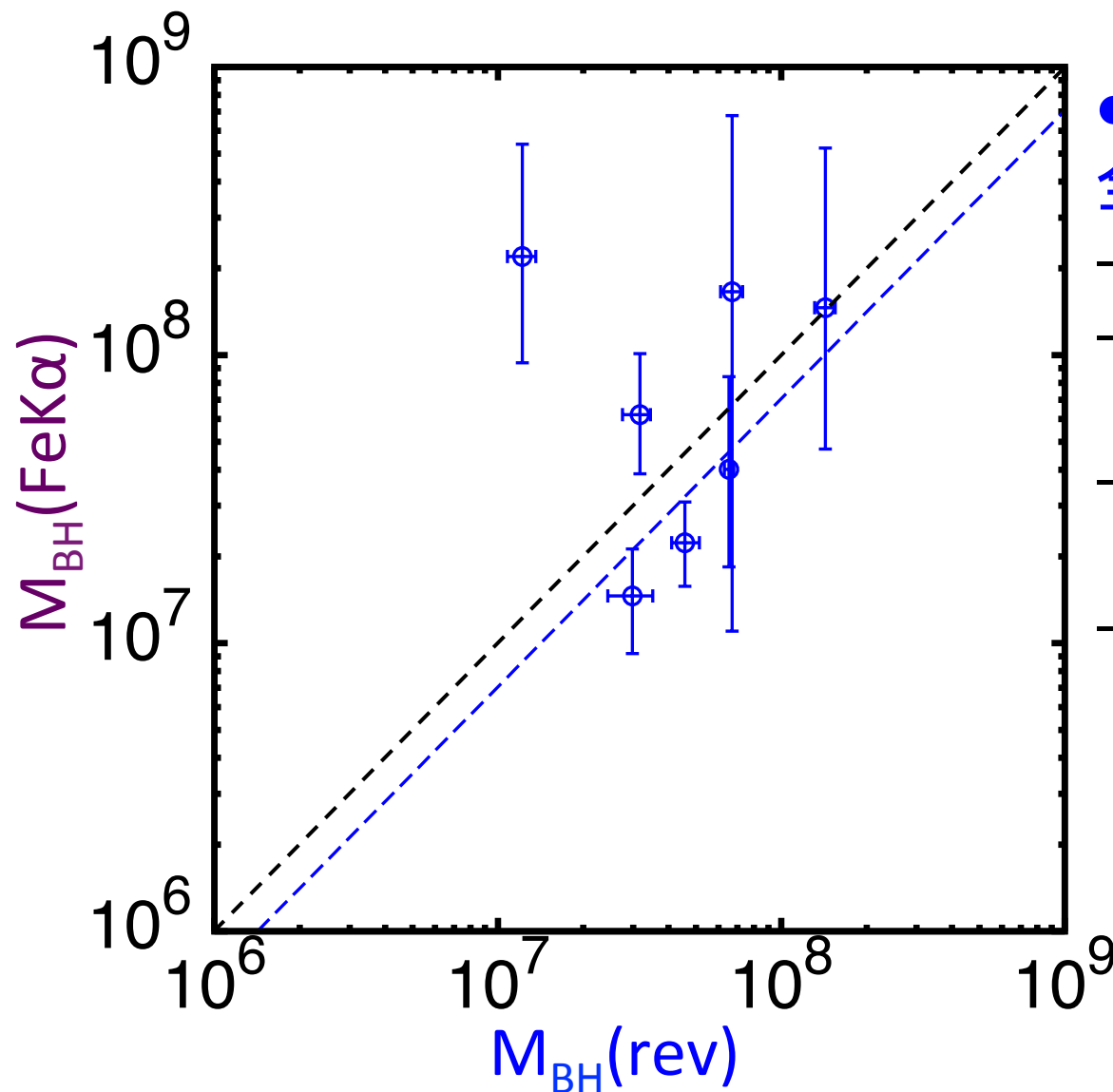
- FeK α 輝線幅は H β 輝線幅より小さ目な傾向 (type-1 AGNs)
 - 放射領域はダストーラス内縁付近 (in many cases)



Koshida+14 [OIV] λ 26 μ m 光度



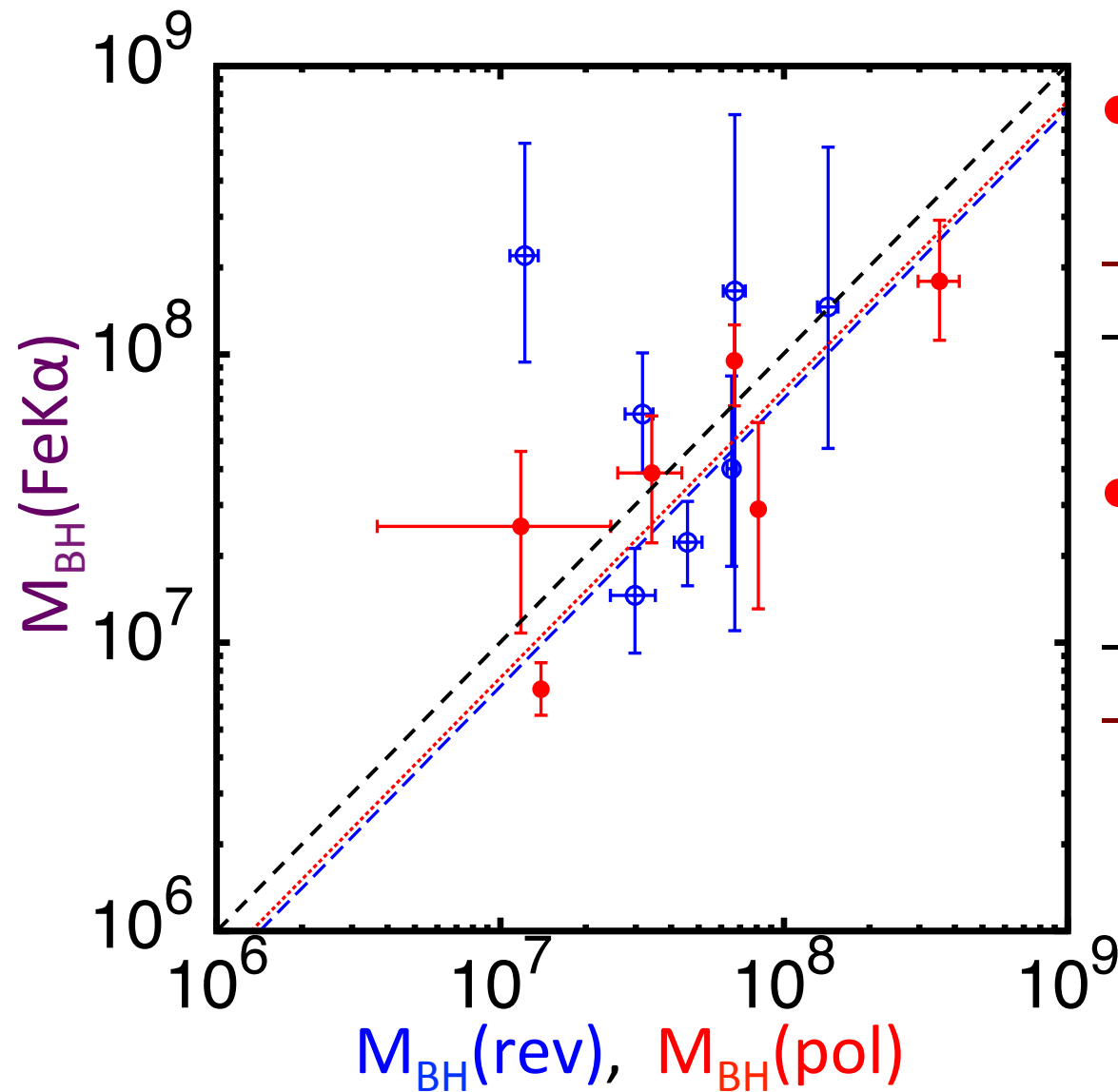
$M_{\text{BH}}(\text{FeK}\alpha)$ と $M_{\text{BH}}(\text{rev})$ との比較(type-1AGNs)



● $M_{\text{BH}}(\text{FeK}\alpha)$ と $M_{\text{BH}}(\text{rev})$ は全体としては consistent

- $M_{\text{BH}}(\text{FeK}\alpha) \sim 0.72 \times M_{\text{BH}}(\text{rev})$
- 両者の相関は統計的に有意ではない
- FWHM(FeK α)の誤差が大きい天体が多い
- Outlier (NGC 7469)
FWHM (FeK α)が大きい

$M_{\text{BH}}(\text{FeK}\alpha)$ と $M_{\text{BH}}(\text{pol})$ との比較(type-2AGNs)



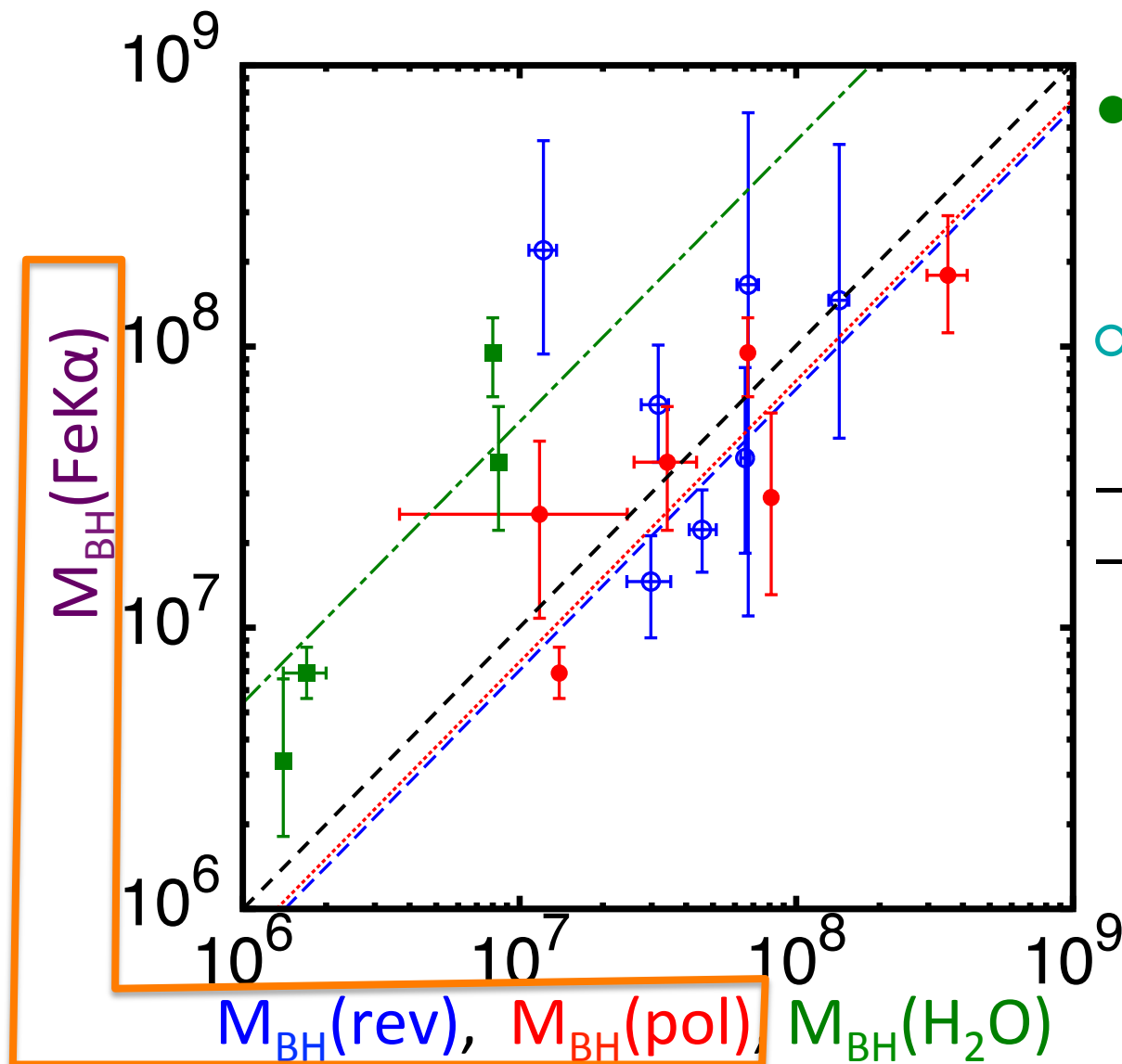
● $M_{\text{BH}}(\text{FeK}\alpha)$ と $M_{\text{BH}}(\text{pol})$ とは有意な相関

- $M_{\text{BH}}(\text{rev})$ より相関がよい
- 明確な outlier がない

● $M_{\text{BH}}(\text{FeK}\alpha)$ と $M_{\text{BH}}(\text{pol})$ はおおよそ一致

- $M_{\text{BH}}(\text{FeK}\alpha) \sim 0.76 \times M_{\text{BH}}(\text{pol})$
- 全体として $M_{\text{BH}}(\text{rev})$ とも一致

$M_{\text{BH}}(\text{FeK}\alpha)$ と $M_{\text{BH}}(\text{H}_2\text{O})$ との比較(type-2AGNs)



● $M_{\text{BH}}(\text{FeK}\alpha)$ と $M_{\text{BH}}(\text{H}_2\text{O})$ とは有意な相関

○ $M_{\text{BH}}(\text{FeK}\alpha)$ は $M_{\text{BH}}(\text{H}_2\text{O})$ に対して系統的に大きい

— $M_{\text{BH}}(\text{FeK}\alpha) \sim 5.4 \times M_{\text{BH}}(\text{H}_2\text{O})$

— $M_{\text{BH}}(\text{pol})$ も $M_{\text{BH}}(\text{H}_2\text{O})$ に対して系統的に大きい(3天体共通)

結果のまとめ

- 新手法による $M_{\text{BH}}(\text{FeK}\alpha)$ と type-2 AGNs の既存の測定法による M_{BH} とに有意な相関
- 新手法による $M_{\text{BH}}(\text{FeK}\alpha)$ と $M_{\text{BH}}(\text{rev})$ (for type 1)、 $M_{\text{BH}}(\text{pol})$ (for type 2)はおおよそ一致

中性FeK α 輝線を用いた M_{BH} 測定新手法は
obscured AGNs にも適用可能な有望な方法

- $M_{\text{BH}}(\text{FeK}\alpha)$ が $M_{\text{BH}}(\text{H}_2\text{O})$ に対して ~ 5 倍系統的に大きい
 - $M_{\text{BH}}(\text{FeK}\alpha) \sim M_{\text{BH}}(\text{pol}) \sim M_{\text{BH}}(\text{rev})$
 - * $M_{\text{BH}}(\text{rev})$ が $M_{\text{BH}}(\text{H}_2\text{O})$ に対して ~ 5 倍系統的に大きい？
 - * type-2 AGNs だけで $M_{\text{BH}}(\text{FeK}\alpha)$ 、 $M_{\text{BH}}(\text{pol})$ が過大評価？
($M_{\text{BH}}(\text{rev})$ も $M_{\text{BH}}(\text{H}_2\text{O})$ も適正な評価なら)

今後の展望

- Astro-H 衛星

- SXS : 速度分解能 230 km/s、感度 Chandra HETG の 8倍
- Obscured AGN の中性FeK α 輝線幅と M_{BH} 系統測定
- Type-1 AGNs の中性FeK α 輝線プロファイル+プロファイル変動の高精度測定

- その前に...

- Chandra HETG データアーカイブ
- reverberation 観測、偏光観測、H₂Oメーザー観測
サンプル数を増やす
 $M_{\text{BH}}(\text{H}_2\text{O})$ と $M_{\text{BH}}(\text{FeK}\alpha)$, $M_{\text{BH}}(\text{pol})$, $M_{\text{BH}}(\text{rev})$ の系統的な差
- 異なる光度指標の吟味