

近赤外Pa α 輝線を用いて探る 近傍AGNのBH質量

総合研究大学院大学 天文科学専攻
国立天文台ハワイ観測所 D1 今瀬 佳介

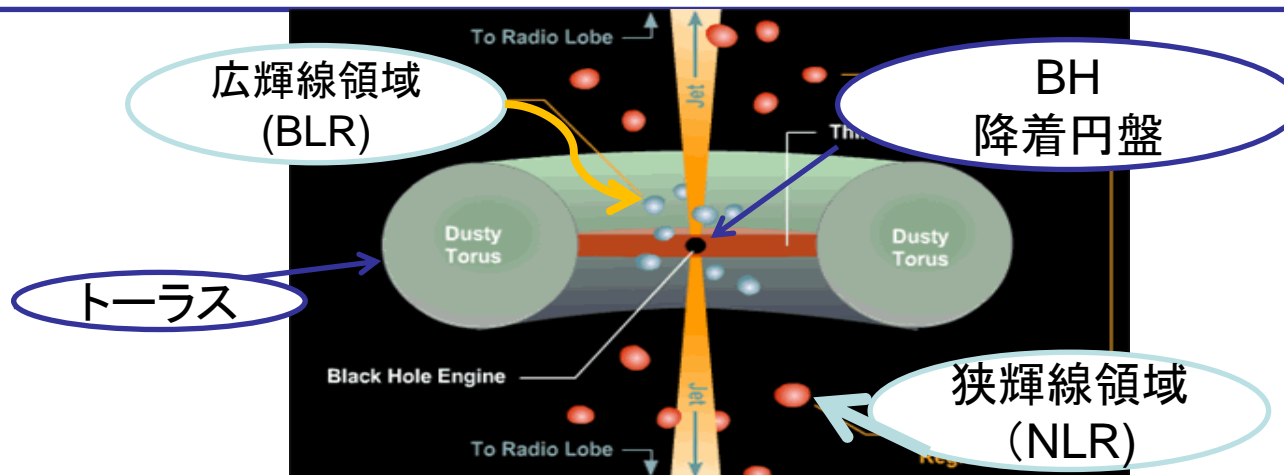
共同研究者
今西昌俊(国立天文台)

- 研究背景
 - 活動銀河中心核 & 広輝線領域
 - BHの質量の測定
 - Pa α について
- 観測
- 結果
- まとめ & 今後の展望

研究背景

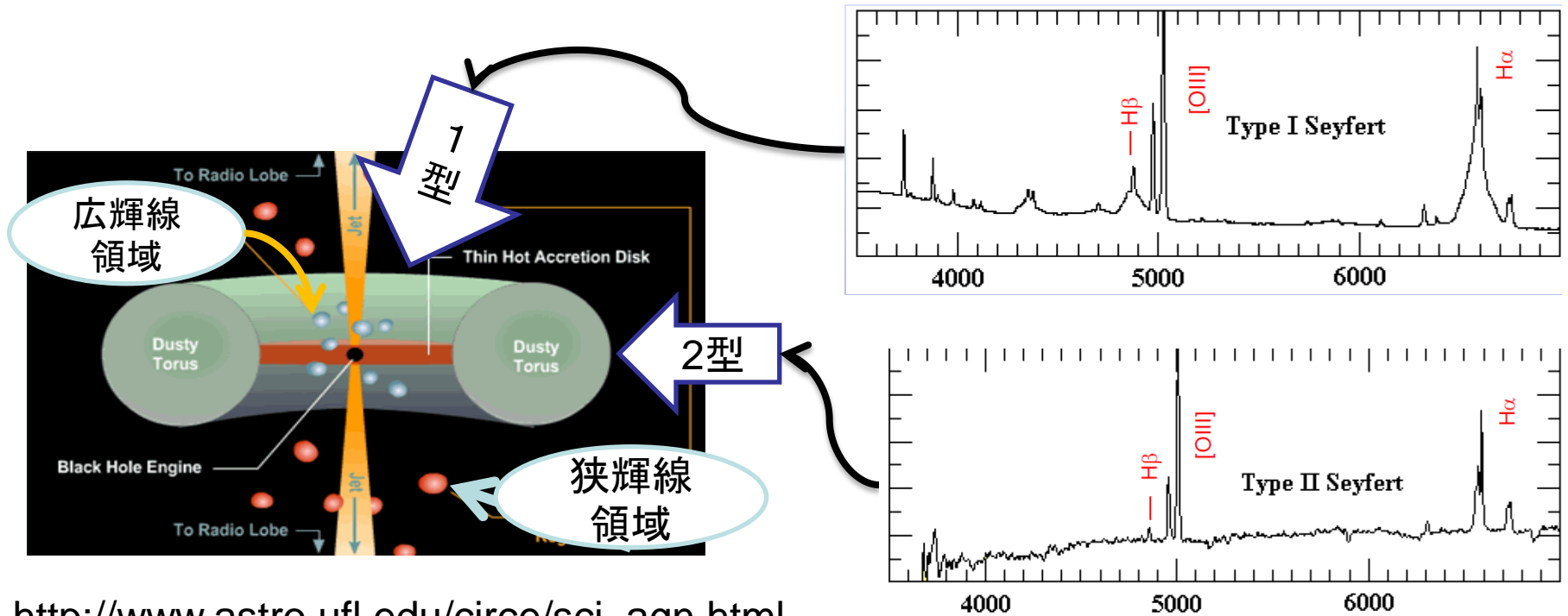
活動銀河中心核(Active Galactic Nuclei: AGN)

- ・銀河の中心に存在
- ・数pc以下のサイズで、 10^{11} Lsun以上の明るさで輝いている天体
[AGN統一モデル(Antonucci 93)]
- ・中心に超巨大質量($\sim 10^6\text{--}9$ Msun)ブラックホール(SMBH)が存在する
- ・**BH質量と母銀河には相関がある＝共進化**
- ・SMBHの周りに降着円盤が存在し、電離光子を放射
- ・降着円盤の周辺に広輝線領域(BLR)が存在
→中心からの電離光子によって光電離されている
- ・BLRの周囲にダストとガスでできたトーラスが存在
- ・トーラスを囲むように狭輝線領域(NLR)が存在している。



AGNのタイプ

- ・BLRの周囲にトーラスが存在するため、
 - 視線方向にトーラスが存在しない＝広輝線を観測できる＝1型AGN
 - 視線方向にトーラスが存在する＝広輝線を観測できない＝2型AGN
- として分類される。



http://www.astro.ufl.edu/circe/sci_agn.html

広輝線領域 (Broad-Line Region : BLR)

- ・広がった輝線(速度幅～数千km/s)を出す
- ・サイズ; 数pc以下の領域
- ・中心からの電離光子をうけて光電離されている。
- ・可視光で2型と同定されているAGNでも、赤外線では観測されている。
- ・電子密度 $\sim 10^{8-12}/\text{cm}^3$ (狭輝線領域では $10^{2-6}/\text{cm}^3$)
 - 衝突が効いているため、禁制線([OIII]など)は抑制される。
 - 許容線のみが観測される。
- ・構造
 - ・高速で動くガス雲が多数存在している

BH質量の測定

現在のAGNのブラックホールの質量を測定する方法

広輝線領域が中心のBHによって重力的に束縛されている

→ビリアル定理から、中心部の質量は式(1)のようになる。

$$M_{BH} \propto R_{BLR} v^2 \quad \text{式(1)}$$

よって、AGNのBHの質量を求めるためには

- ・広輝線領域の**半径: R_{BLR}**
- ・広輝線領域の**速度分散: v**

の2つを観測によって調べる必要がある。

AGNのブラックホールの質量を測定する方法1

～反響輝線探査法～

反響輝線探査法

中心部起源の連続光が時間変動を起こす

→ 広輝線領域の連続光(輝線)が、「**広輝線領域の半径/光速**」だけ遅れて時間変動。

★ **時間変動のタイムラグ**から広輝線領域の半径を求める。

★ 広輝線領域の速度分散 → 可視光、紫外域の**広輝線(Hβ等)の速度幅**。



$$M_{BH} = 4.9 \times 10^6 \left[\frac{\lambda L_{\lambda} \left(5100 \text{ \AA} \right)}{10^{44} \text{ erg / s}} \right]^{0.70} \times \left(\frac{FWHM(H\beta)}{1000 \text{ km / s}} \right)^2$$

半径に対応する項

速度分散に対応する項

利点: 精度が高い

欠点: 多波長で長期間の観測を行う必要がある

※「**広輝線領域の半径 \propto AGNの光度**」(理論的には半径 $\propto \sqrt{\text{AGN光度}}$)※

AGNのブラックホールの質量を測定する方法2(1)

一回の分光観測によって求める方法

- ・前提:[反響輝線探查法の結果:AGNの光度と広輝線領域の半径には相関がある]
→一回の分光観測で、[AGNの光度]と[広輝線の速度幅]を求める



AGNの光度から広輝線領域の半径を求める。

$$\log M = \log \left\{ \frac{\Delta v_{\text{FWHM}}(\text{H}\beta)}{1000 \text{ km s}^{-1}} \right\}^2 \left\{ \frac{\lambda L_{\lambda}(5100 \text{ \AA})}{10^{44} \text{ erg s}^{-1}} \right\}^{0.50} + 6.91$$

$$\log M = \log \left\{ \frac{\Delta v_{\text{FWHM}}(\text{H}\beta)}{1000 \text{ km s}^{-1}} \right\}^2 \left\{ \frac{L(\text{H}\beta)}{10^{42} \text{ erg s}^{-1}} \right\}^{0.63} + 6.67$$

Vestergaard &
Peterson et al.

速度分散に
対応する項

半径に対応する項

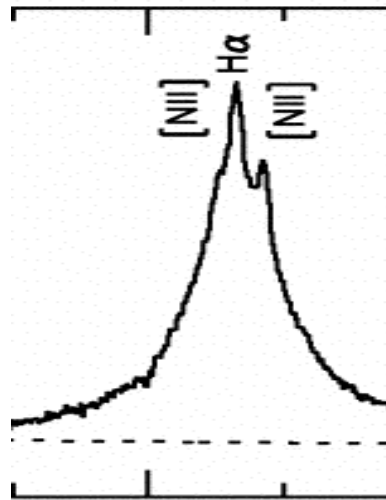
AGNのブラックホールの質量を測定する方法2(2)

一回の分光観測によって求める方法

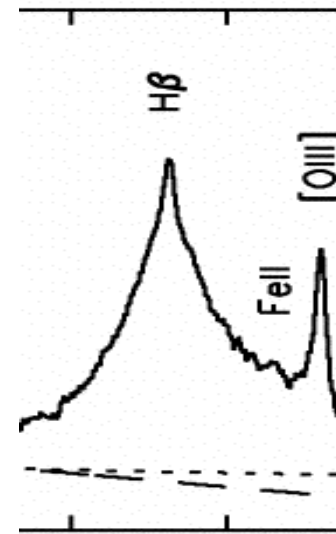
利点: 一回分光観測を行うだけで良い

欠点1: よく用いられる輝線(H α 、H β)には他の輝線からの影響がある。

欠点2: ダスト減光の影響を受ける



AGNのH α 付近のスペクトル



AGNのH β 付近のスペクトル

なぜPa α 輝線を用いてBHの質量を求めるのか？

近赤外線からBH質量を求める理由

- ・BH質量を求めるのはUV、可視光がメイン
→近赤外線領域で既存の物理を検証。

Pa α 輝線を用いてBHの質量を求める利点

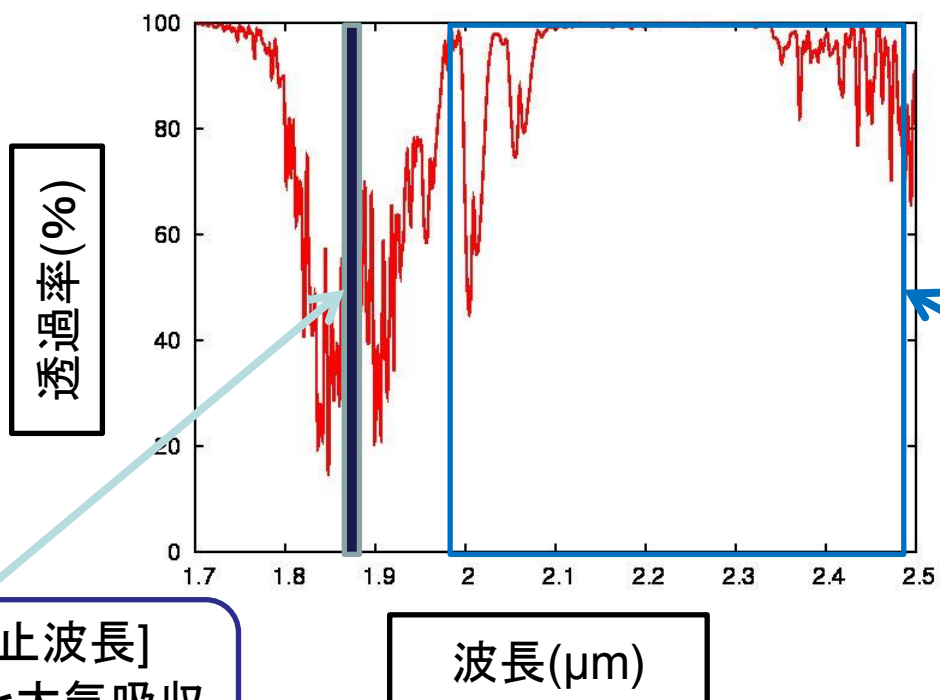
- ・ダスト減光の影響が小さい
- ・**可視光で広輝線を受からないAGN**でも検出できる。
→ダストの向こう側にあるAGNについてもBH質量を求められる。
- ・**他の輝線の影響がない**
→H β 、H α を使う方法よりも精度よくBH質量を求められる？
- ・赤外線領域で最も強い輝線である。



本研究: Pa α (1.875 μ m)の広輝線を用いてBHの質量を測定する

Pa α について(1)

- 静止波長 = 1.875 μm
 - 静止波長で観測できない(この領域の透過率はマウナケア山頂でも50%程度)
 - 赤方偏移の範囲を選ぶ($0.060 < z < 0.3$)ことでKバンドで観測可能



透過率(%)

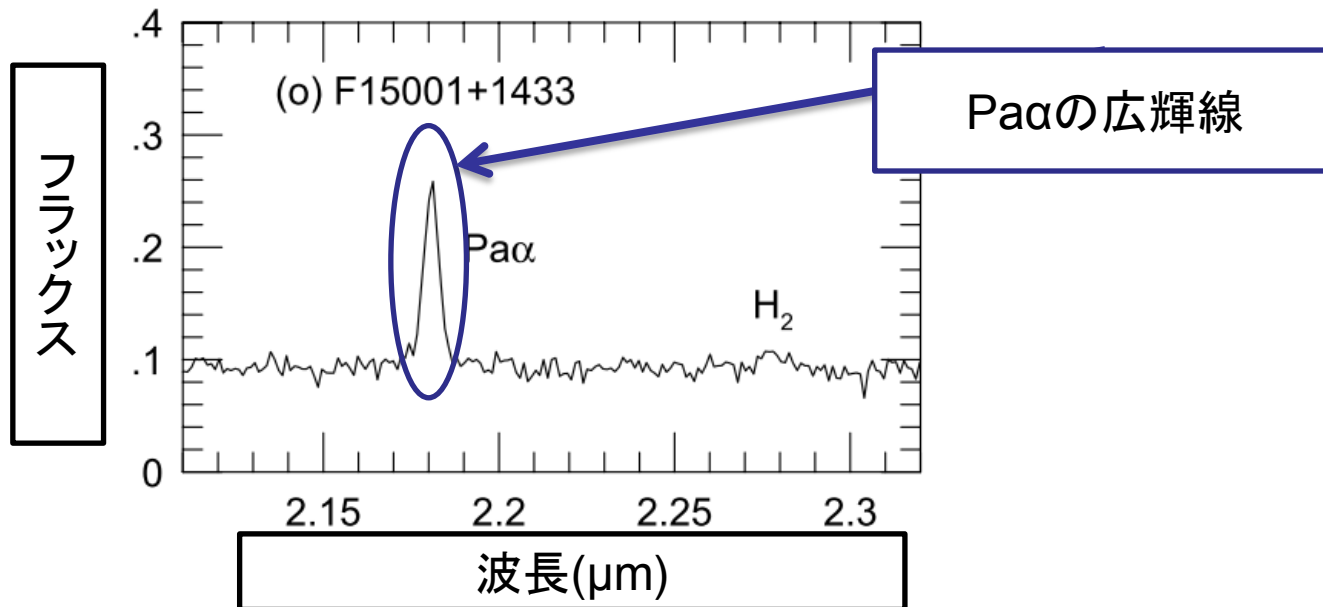
[Kバンド]
この帯域に入っ
てくれば観測
できる

[Pa α の静止波長]
静止波長だと大気吸収
の影響を受ける

波長(μm)

Pa α について(3)

- 近赤外における輝線の中で最も強く、他の輝線の混在がない
 - 近傍の2型AGN($E(B-V) > 1$)においても検出できる(Veilleux et al.97)
- Pa α とH β 、H α の組み合わせで物理状態を小さい不定性で求められる



可視光で2型と分類されたAGNのKバンドスペクトル
Veillux+1997

観測

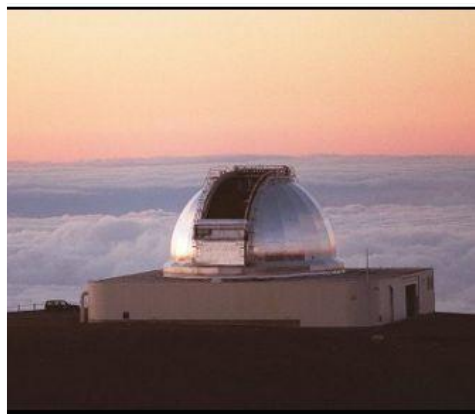
サンプル

0.060<z<0.163の24個のPG QSO

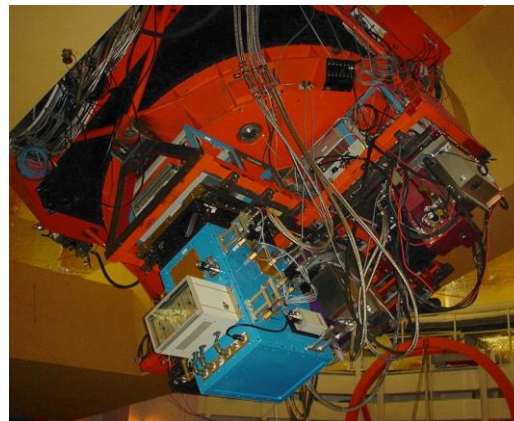
全天体についてH β の分光結果有。

9天体は反響輝線探查法でBH質量が求められている(Peterson 2004)。

- 望遠鏡: NASA IRTF
 - マウナケア山頂にある3m望遠鏡
- 装置: SpeX
 - 2.0-4.1 μ m (KバンドとLバンド)の波長域を観測(スリット幅0.8")、R \sim 1000
- 時期: 03年9月、07年8月、08年4月、11年3月 (PI: 今西)



NASA IRTF望遠鏡

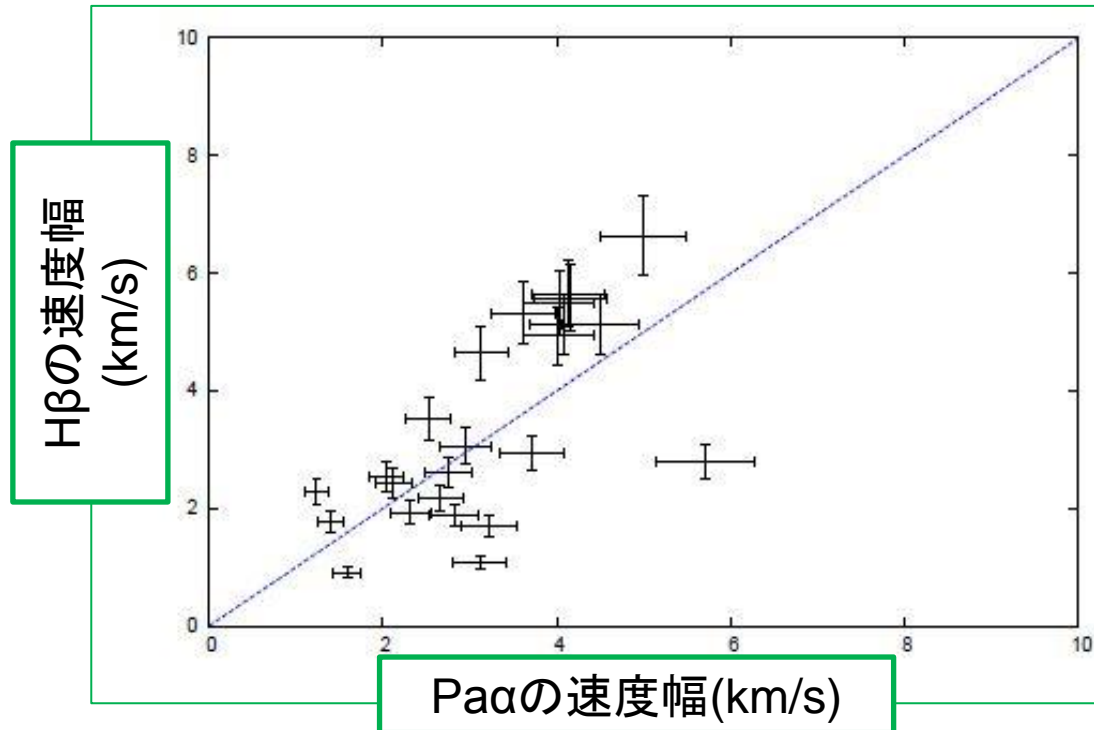


<http://irtfweb.ifa.hawaii.edu/~spex/>

SpeX分光装置

P α とH β の速度幅の比較

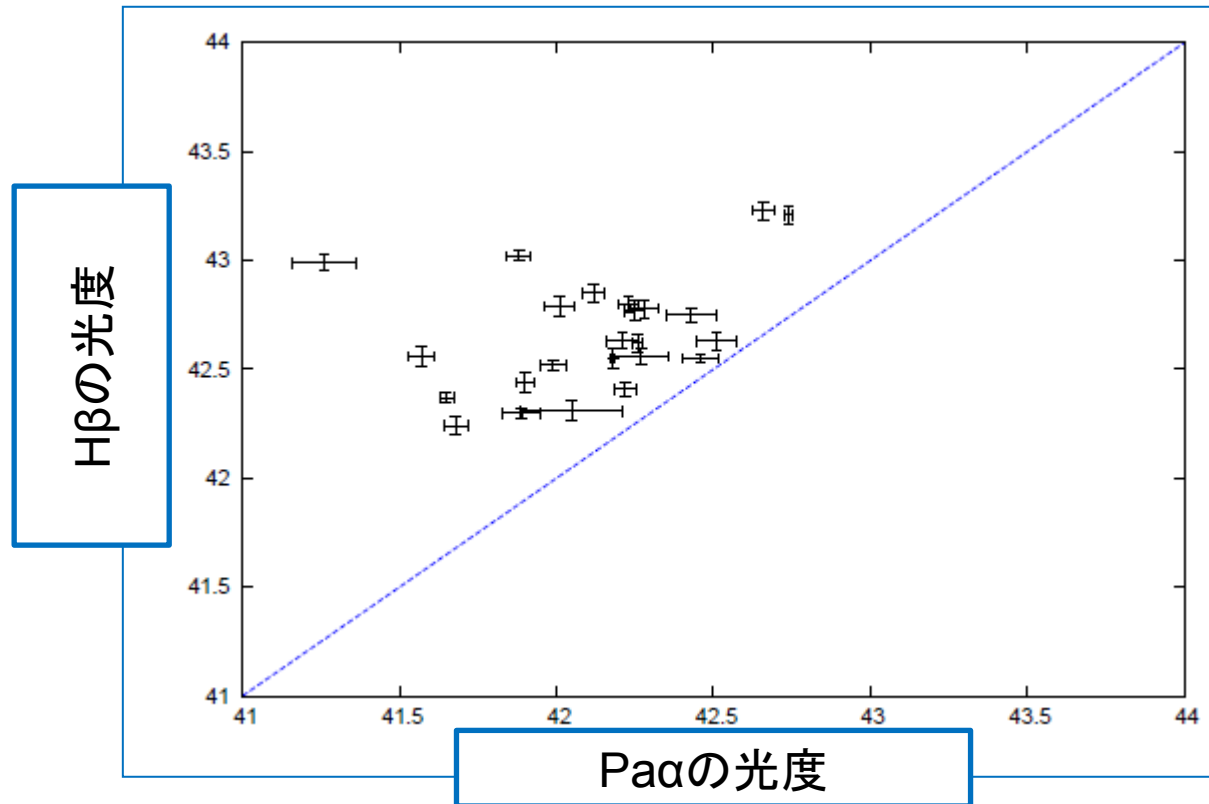
Marzianiによって求められたH β 広輝線と速度幅の比較を行った。



P α とH β の広輝線の速度幅は良い相関を示す。
→同じ場所(広輝線領域)から出てきている。

Pa α とH β の光度の比較

Marzianiによって求められたH β 広輝線と光度の比較を行った。



どの天体でも、 $L(H\beta) > L(Pa\alpha)$
→ ケースBなどから予想される通りの結果。
(光度比の詳細は検証中。)

Pa α を用いたBH質量の見積もり(1)

- ・従来の方法と同様に、ビリアル平衡を仮定する。

$$M_{BH} \propto R_{BLR} v^2$$



Pa α の光度から[広輝線領域の半径]を、
速度幅から[広輝線領域の速度]を求める。

$$M_{BH} \propto L(\text{Pa}\alpha)^X \times FWHM(\text{Pa}\alpha)^2$$

Pa α を用いたBH質量の見積もり(2)

Pa α 広輝線を用いてBH質量を計算する式は(2)。

$$\log\left(\frac{M_{BH}}{M_{SUN}}\right) = \log(A) + B \times \log\left(\frac{L(Pa\alpha)}{10^{41} \text{ erg / s}}\right) + 2 \log[FWHM(Pa\alpha)] \quad (2)$$

半径に対応する項

速度分散に対応する項

Vestergaard & Petersonの結果を使用。

- ・反響輝線マッピングから求めた天体=9個
- ・一回の分光観測により求めた天体=15個

フィッティングにより、定数A、Bを求める
フィッティングの際には、**[反響輝線探査法]**で求めたBH質量を用いた。

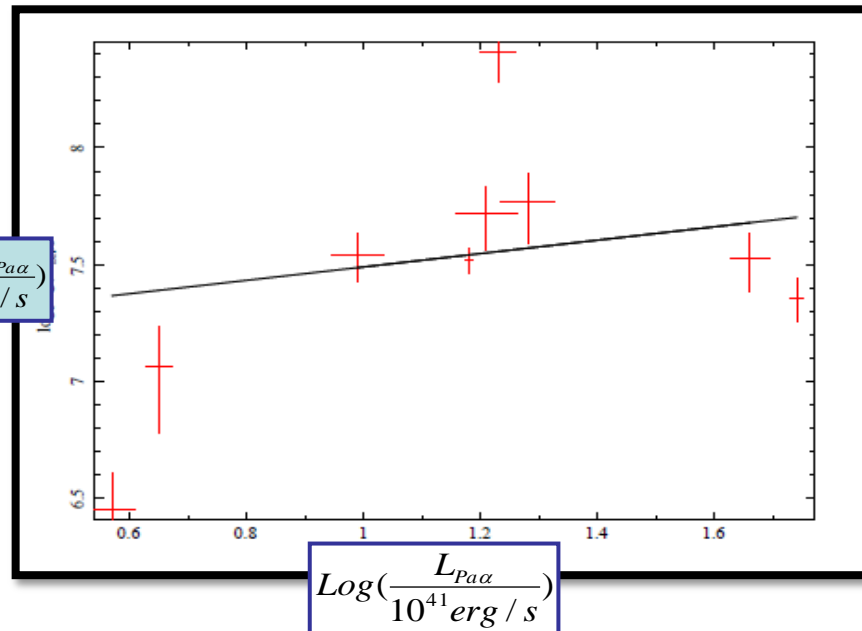
Pa α を用いたBH質量の見積もり(3)

BH質量が反響輝線探査法を用いて求められている8天体に対してフィッティング

→分散が大きく、うまくフィットはできていない。

→既存の結果の傾き“0.5”よりもゆるい傾き。

$$\text{Log}\left(\frac{M_{BH}}{M_{sun}}\right) - 2\text{Log}\left(\frac{FWHM_{Pa\alpha}}{1000\text{km/s}}\right)$$



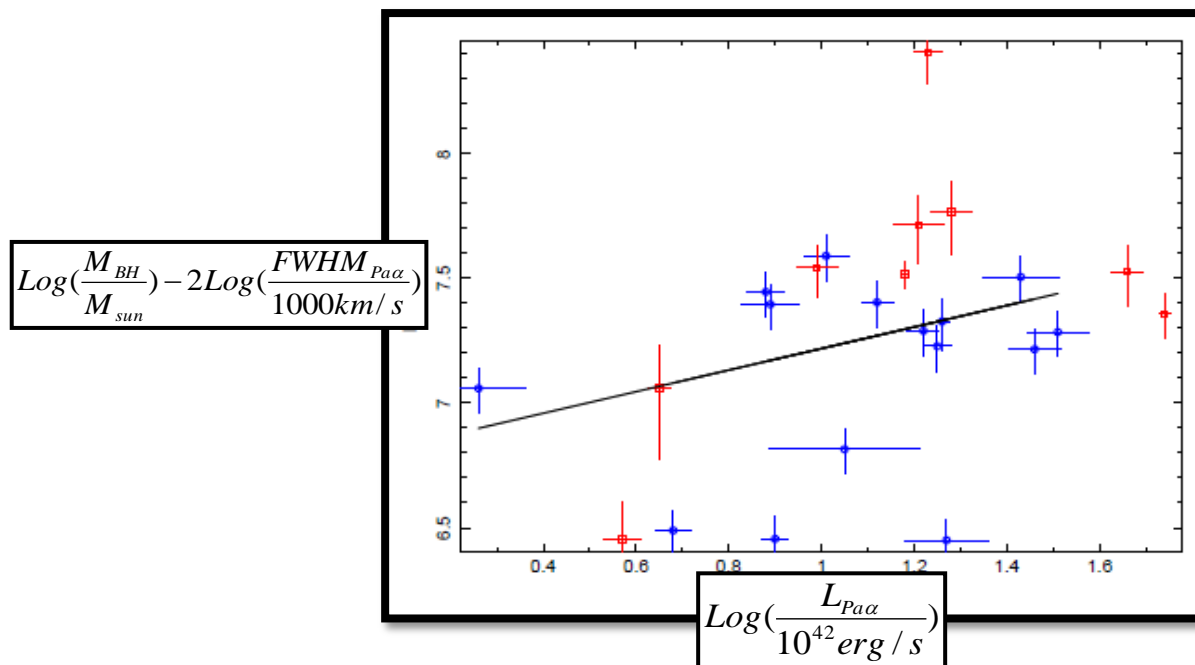
$$\text{Log}\left(\frac{L_{Pa\alpha}}{10^{41} \text{ erg/s}}\right)$$

フィッティングの結果

$$\text{Log}\left(\frac{M_{BH}}{M_{sun}}\right) = 7.20 + 0.287 \text{Log}\left(\frac{L_{Pa\alpha}}{10^{41} \text{ erg/s}}\right) + 2\text{Log}\left(\frac{FWHM_{Pa\alpha}}{1000 \text{ km/s}}\right)$$

Pa α を用いたBH質量の見積もり(4)

- ・今回の全てのサンプルに対してフィッティング
 - HBサンプルは「反響輝線探査法サンプル」と同じように分布
 - 傾きは0.5に近づくが、やはりまだ小さい。



フィッティングの結果

$$\text{Log}\left(\frac{M_{BH}}{M_{sun}}\right) = 6.79 + 0.432\text{Log}\left(\frac{L_{Pa\alpha}}{10^{41}\text{erg/s}}\right) + 2\text{Log}\left(\frac{FWHM_{Pa\alpha}}{1000\text{km/s}}\right)$$

まとめ & 今後の展望

まとめ

- ・近傍のPG QSO24天体についてIRTF/SpeXでKバンド近赤外分光観測をした。
- ・H β とPa α の速度幅の間には良い相関が見られた。
- ・H β とPa α の光度の間には相関あり？
- ・Pa α の広輝線を用いたBHの質量測定法を導出した。

$$\text{Log}\left(\frac{M_{BH}}{M_{sun}}\right) = 6.79 + 0.432\text{Log}\left(\frac{L_{Pa\alpha}}{10^{41}\text{erg/s}}\right) + 2\text{Log}\left(\frac{FWHM_{Pa\alpha}}{1000\text{km/s}}\right)$$

今後の展望

- ・Pa α とH β の光度比、速度比から広輝線領域の物理状態の検証。
- ・Pa α 輝線のプロフィールに対して、可視光で求めたBH質量の分散が大きい。
 - BH質量の測定法を再検証
 - ダスト減光の影響の確認
 - より正確なPa α 輝線による測定法を。
- ・1.5~2型AGNへの応用。

終わり

ご清聴ありがとうございました。

ЭММи

Σ · · >

Σ (●) >

Σ ⊃ ⊃

Σ |)

∪ ~ J

иММэ

∠ · · Z

∠ (●) Z

с с Z

(| Z

∪ ~ J

MAHALO FOR LISTENING!