

速度分解エコーマッピングで探る 巨大ブラックホール周辺のガス流出入

川口 俊宏 (山口大学)

共同研究者: A. Pancoast (UCSB), 峰崎 岳夫 (東大IoA)

ダストオーラス

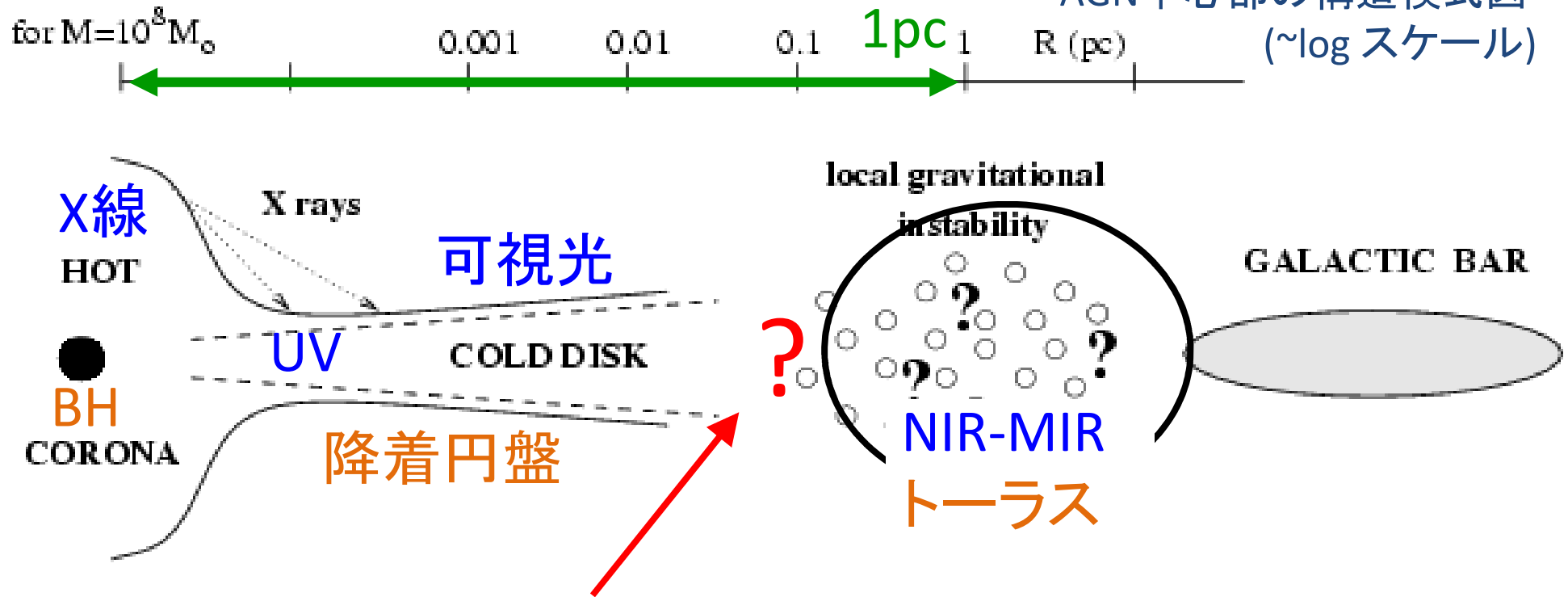
降着円盤

巨大BH

- 2-3m級可視光望遠鏡が世界の最先端の成果を出している分野
- 実質的にここ数年で始まったばかり
- モデル計算に必要な準備の研究が済んだので紹介します

0. 知りたいこと

Collin (2001):
AGN中心部の構造模式図
(~log スケール)



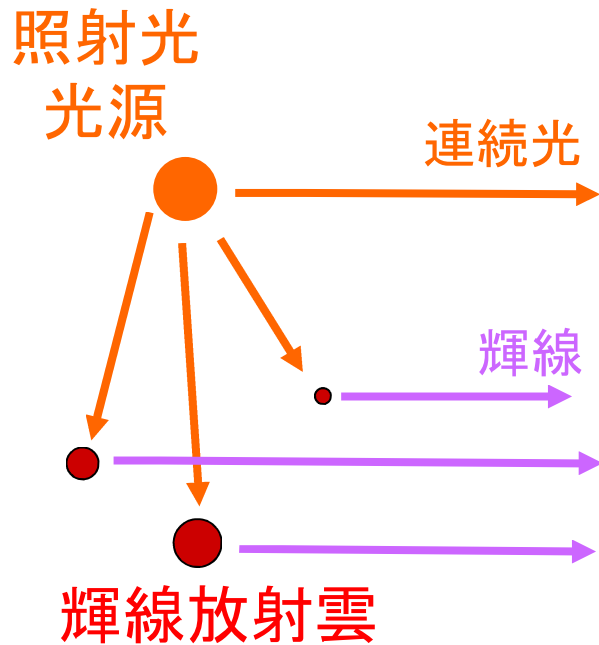
Q1. **トーラスから円盤へのガス供給**
(ガスのため池・ダム? BH成長を支配?)

Q2. **円盤風によるガス流出?**

Q3. **方向依存? 両者の遷移 (on ~4yr)? ...**

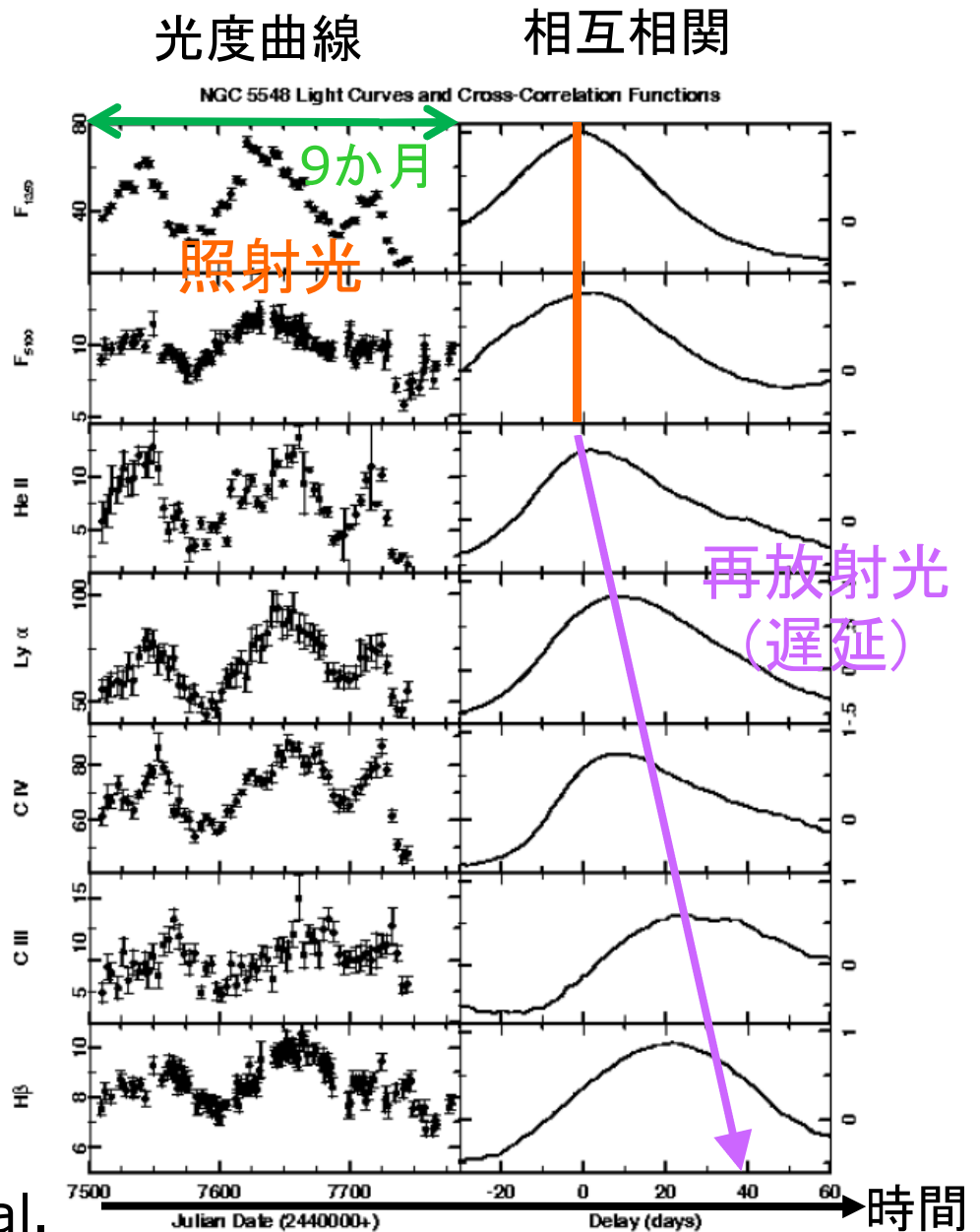
今日は、主に
可視光輝線に
ついて話します

1.1 Echo mapping とは: 広輝線放射領域のサイズ測定



- ◆ 遅延時間測定 (サイズ測定) ⇒ BH質量
- ◆ Stratified ionization

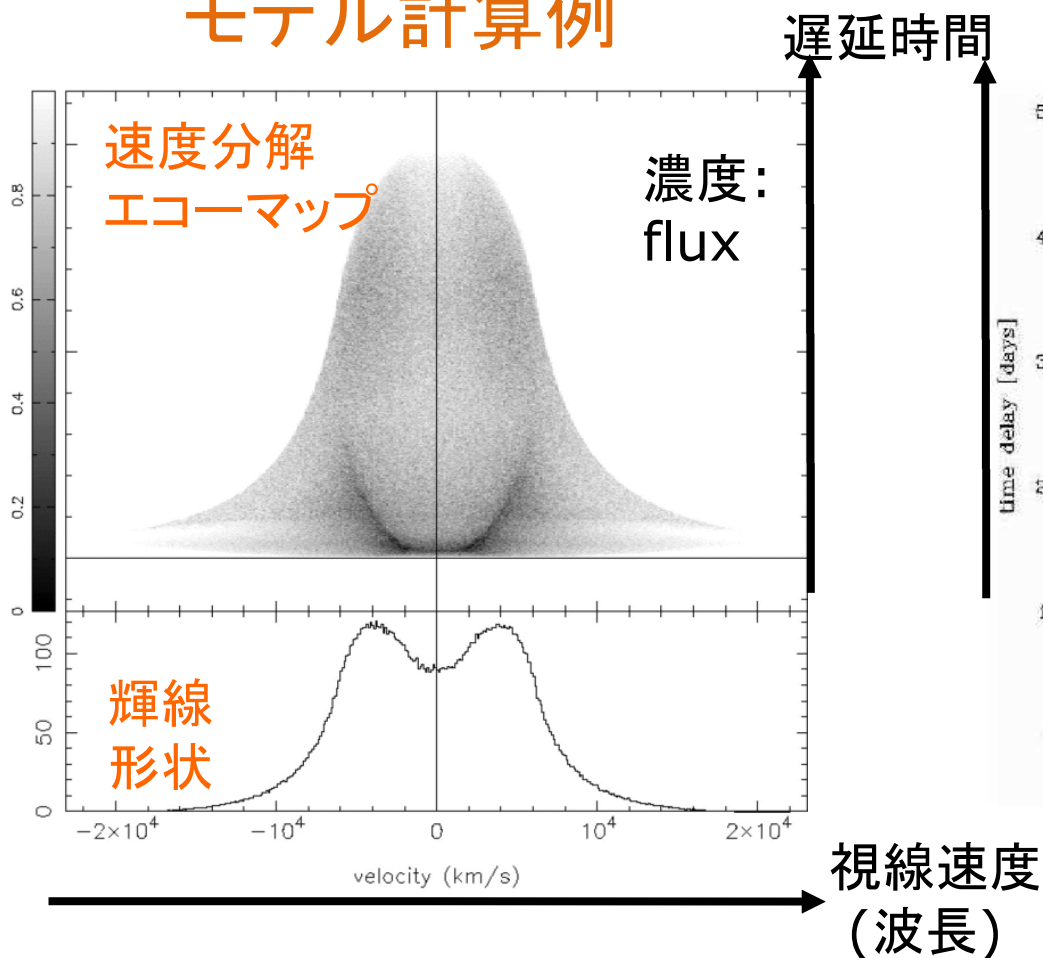
紫外線
可視光
He II
輝線
Ly α
C IV
C III
H β



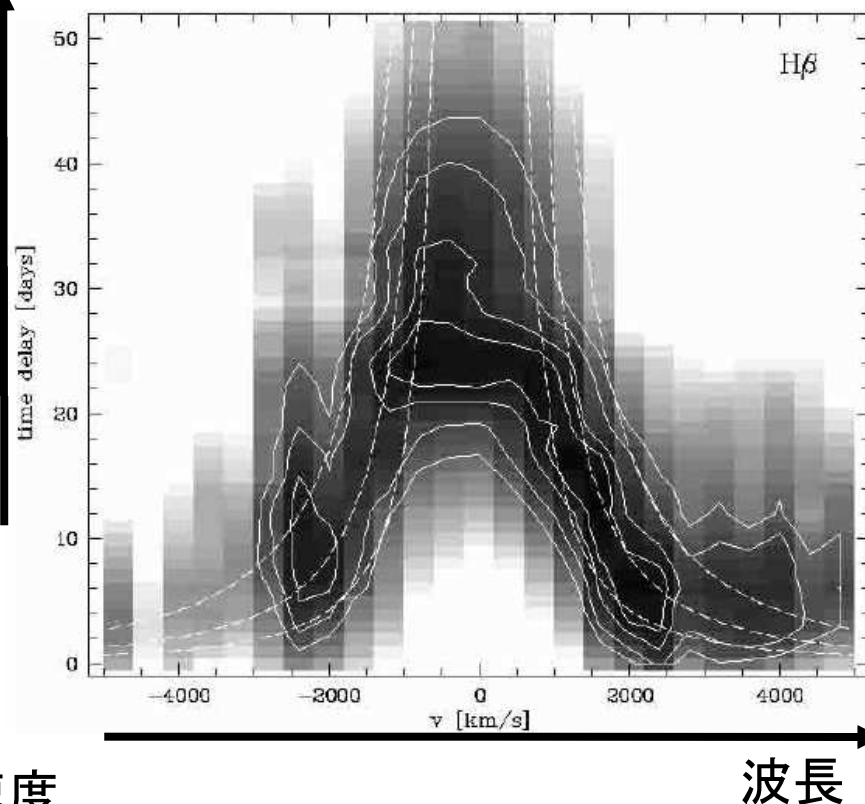
1.2 速度分解Echo mappingとは: 速度毎の遅延測定

4/14

モデル計算例



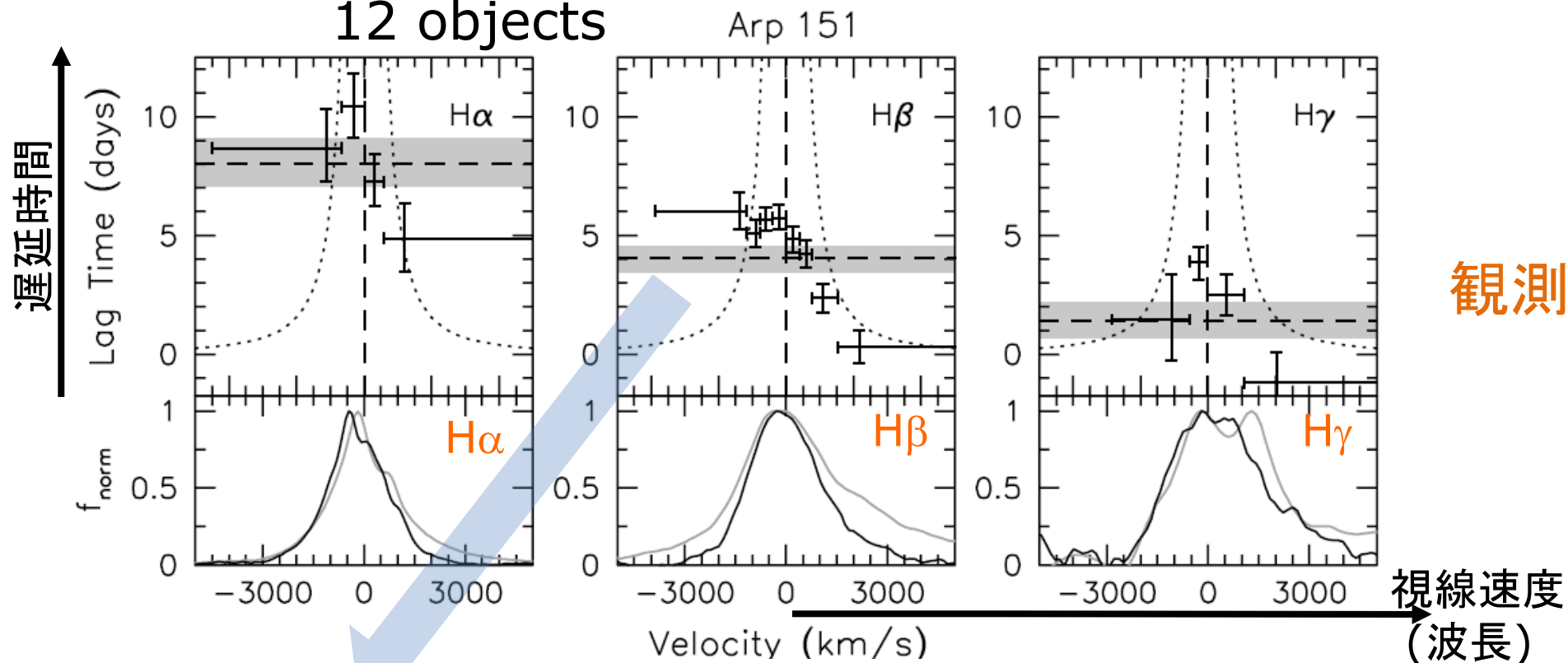
観測例



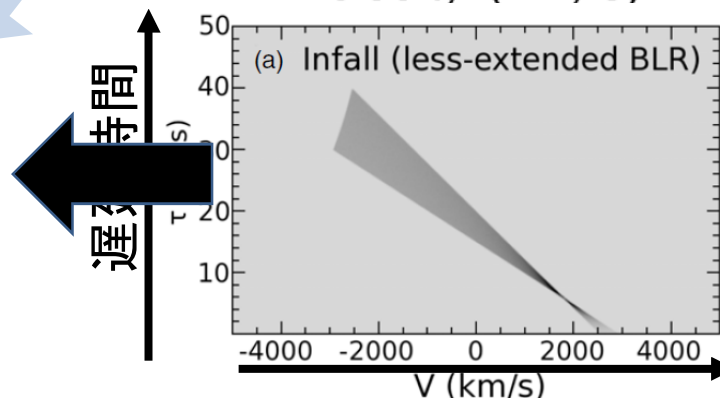
- ◆ 観測データの質(観測頻度, モニター期間, スペクトルS/N 等)不足のため、よくわからなかった。
- ◆ 同じHSTデータから、別/逆(inflow, outflow)の結論(1995--1997)。

1.2 速度分解Echo mapping: ここ数年の展開

例: Lick Obs. 3m Shane telescope, 64 nights,
12 objects

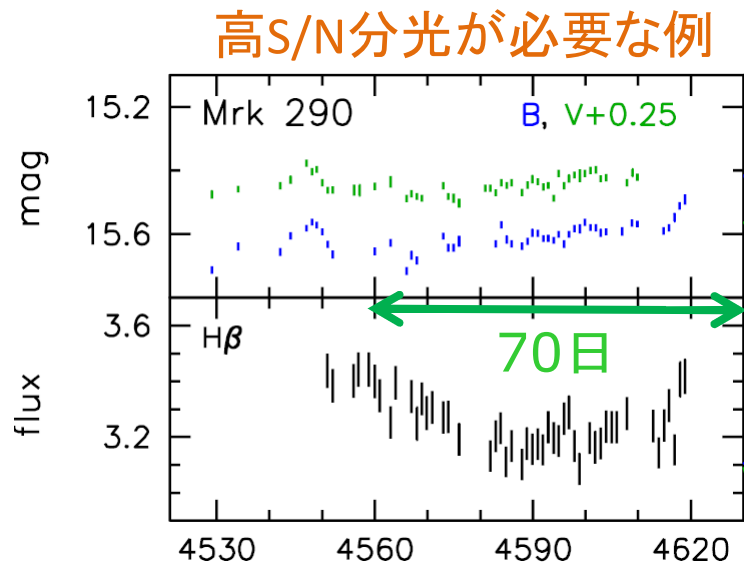


「infallを示唆」

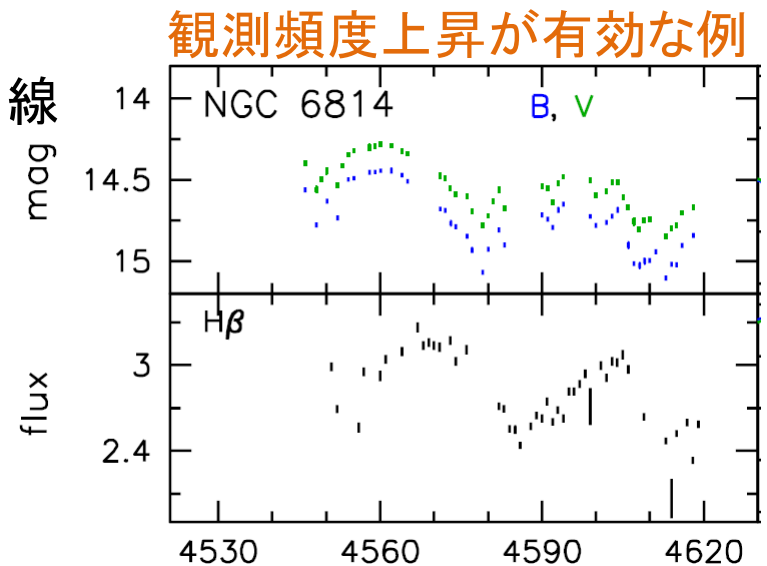


1.2 速度分解Echo mapping: 今後必要なもの/まだ足りないもの

- **理論面:** モデル計算の絶対的不足 (おそらく、十分な精度の観測データが不足していたため)
観測データが何を示しているのか導くのに不可欠
必要な準備研究を終えたので続く数ページで説明します。
- **観測面:** 分光データの**S/N** and/or
観測**頻度**(現状は、typical interval~2日)
⇒ 経度の異なる望遠鏡の連携モニターが必要



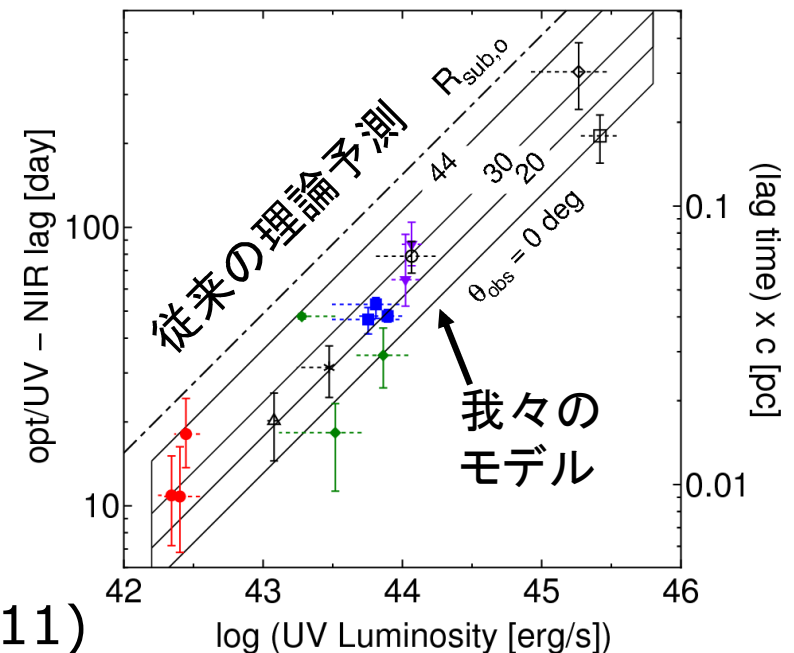
光度曲線
連続光
H β



2.1 トーラス内縁の位置・構造 (1/2)

近赤外線光度変動をプローブとして少しずつ判明してきた

- ◆ **観測:** MAGNUM望遠鏡 = 世界最大規模の測光モニター
近赤外線遅延時間 \propto 光度^{0.5} (Oknyanskij+01; Suganuma+06)
⇒ dust sublimationがトーラス内径を決める物理過程
- ◆ **理論:** トーラス内縁からの放射の変動応答 (Transfer function)
 - * Barvainis (1992): X 光学的に薄いトーラス
 - * Oknyanskij+ (1999): X 集録のため、詳細不明
 - * Kawaguchi+ (2010,2011):
 - 光学的に厚いトーラス
 - 観測された光度—遅延時間
関係を説明する
唯一のモデル



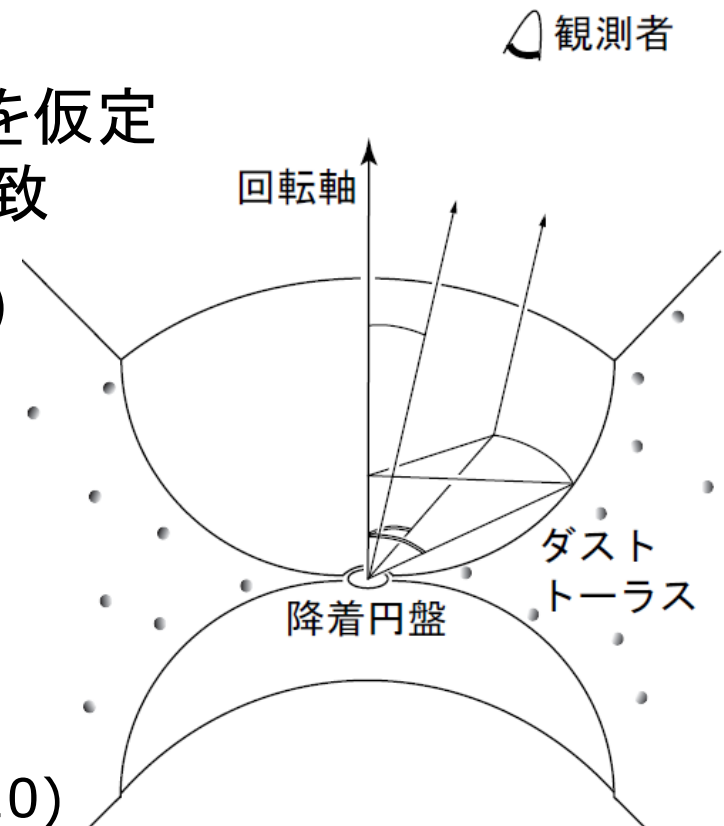
2.1 トーラス内縁の位置・構造 (2/2)

- ◆ **位置:** ガス雲の温度がsublimation温度($\sim 1500\text{K}$)になるところが
トーラス内縁



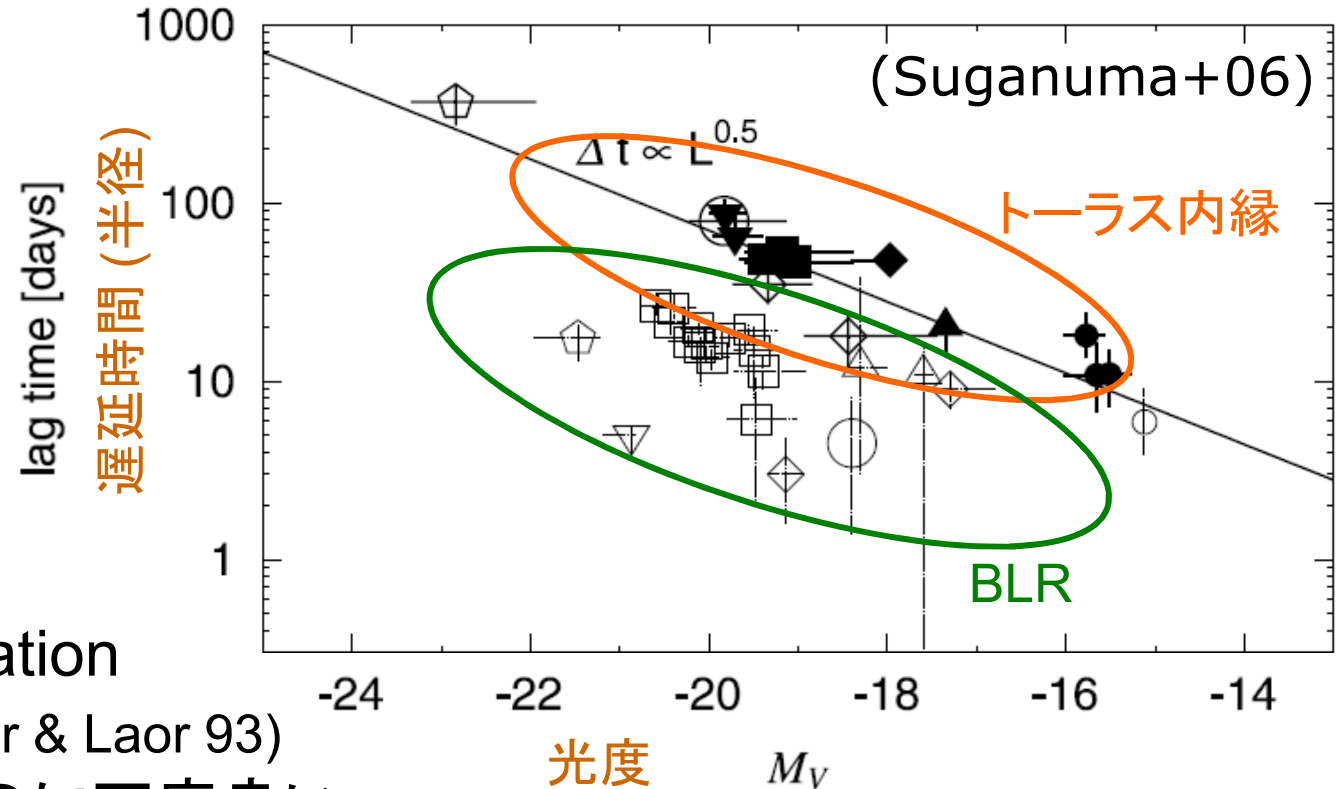
- ◆ **形状:** 照射光強度が内縁の形を決める
鍵 = 円盤放射の非等方性 (軸方向ほど強く、斜め/横へは弱い)

- * 光学的に厚い板状放射体の宿命
- * が、従来は(簡単化のため)等方放射を仮定
→ 観測結果と理論予測に謎の不一致
- * 非等方性を考慮 (Kawaguchi+10,11)
⇒ BHに近い & すり鉢型



2.2 広輝線領域(BLR)の位置・構造

- ◆ 測光・分光モニター観測 ⇒ BLR半径 $\sim(1/3 - 1/5)$ トーラス半径



- ◆ BLRサイズを
決める物理過程

- * 説1: dust sublimation

(Netzer & Laor 93)

- * 説2: 輝線を出すのに丁度良い

ionization parameter ($\sim \text{Flux}/N_e$)のガス雲が光る (Baldwin+ 95)

⇒ どちらの説にせよ**照射強度が決める**

⇒ トーラスと同じく**すり鉢型形状**だと考えられる

2.3 トーラス内縁と輝線領域: 特徴のまとめ

◆ トーラス内縁: 近赤外線連続光

- 物理過程にはっきりした基盤: dust sublimation
- × 運動情報無し
- 観測・理論共に、日本が世界をリード



ここから中心エンジンへのガス供給を観たい

◆ 輝線領域: 可視光広輝線, X線中性鉄輝線

- △ (BLRの)物理過程少し不定性
- 運動情報得られる (Doppler shift)
- × BLRサイズ測定(エコーマッピング): 米国が主導
- ? 運動測定(速度分解エコーマッピング): たぶん追いつける
(実質的には、最近始まったばかり)

3.1 モデル計算で目指しているところ

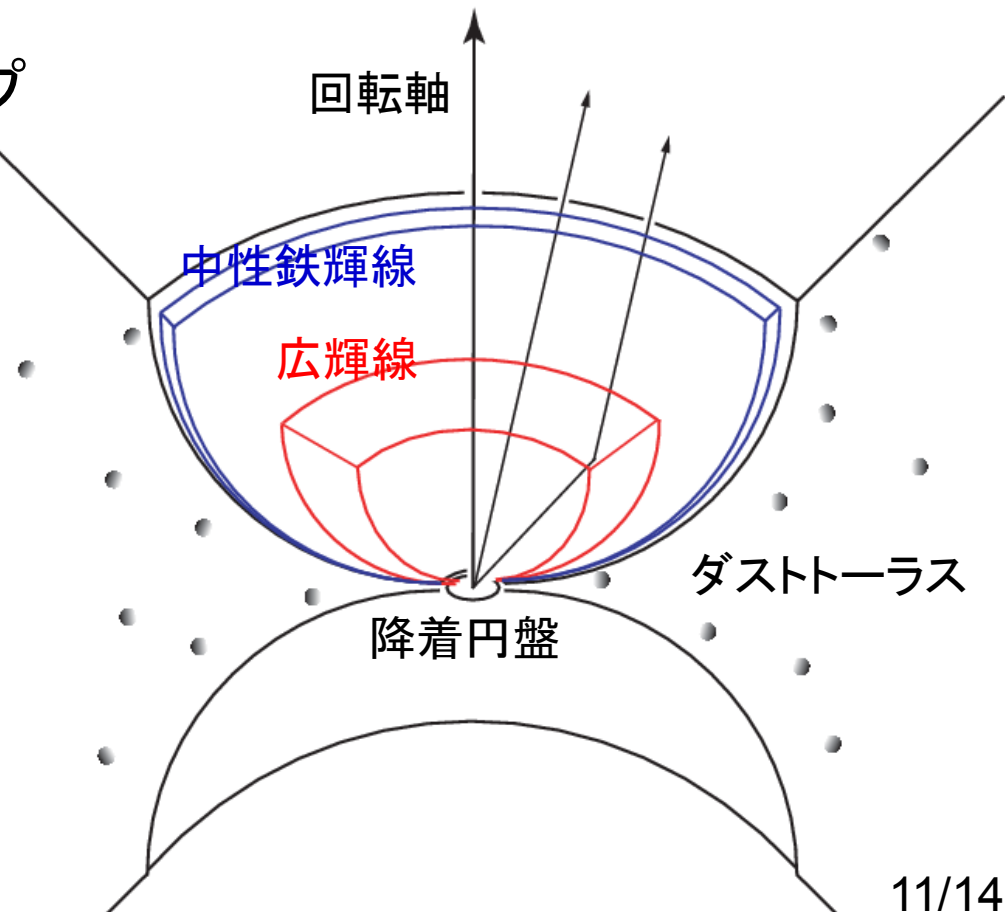
時間変動をモデル計算し、観測データとの比較から、トーラス—円盤間のガス流出入を明らかにしたい

△ 観測者

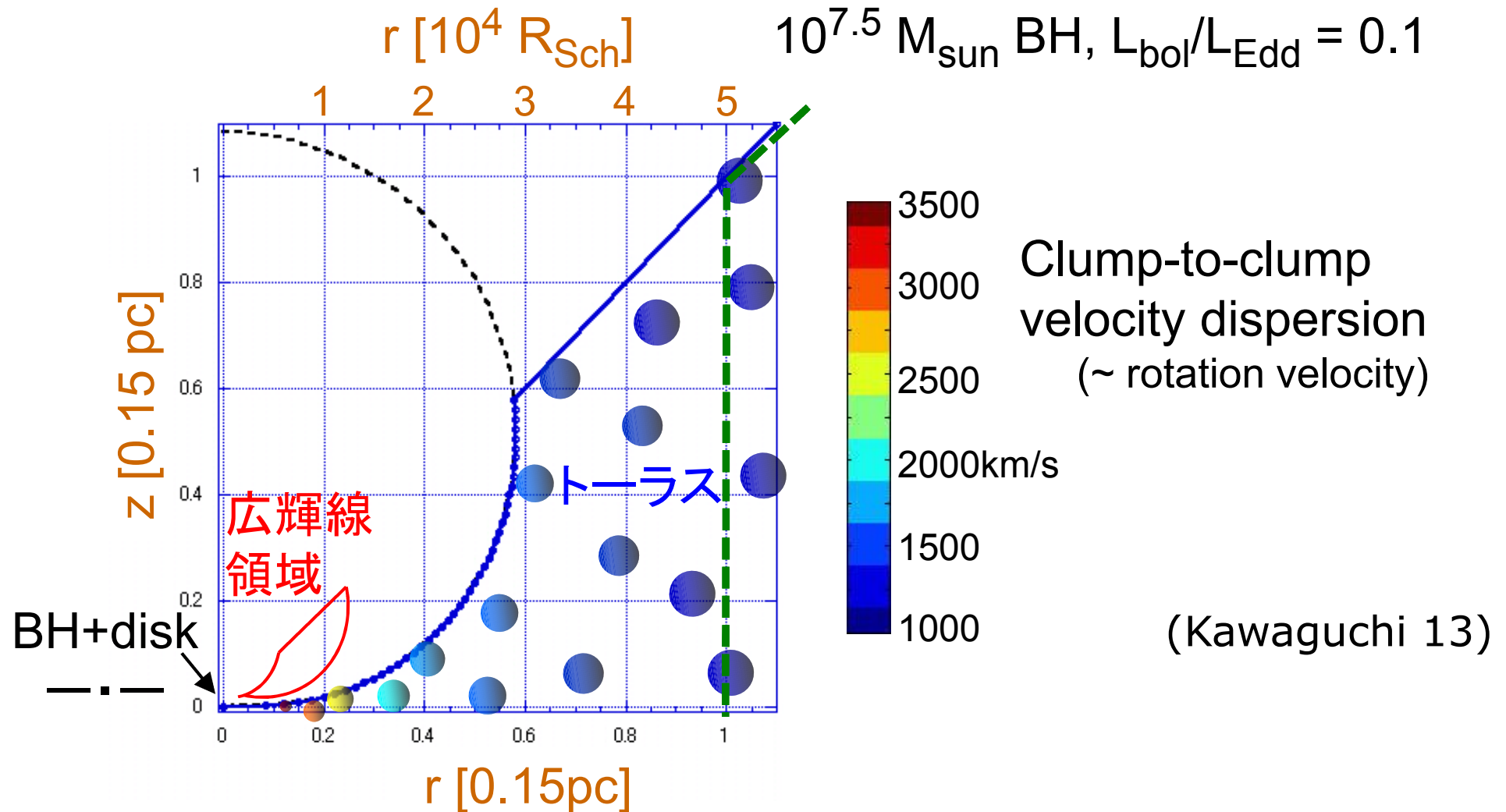
◆ (軸方向は噴出・トーラス方向は流入などの)
方向依存性

◆ 天体毎に速度分解エコーマップ
は少し異なる。起源は？
* 光度(ガス降着率)?
* BH質量?
* 視線角による見かけ?
* 光度・質量に依らない?
(Collin+Kawaguchi 04)

◆ 流入・流出状態の遷移
* 間欠的噴出?
* (Jet?)ガス噴出に伴う?



3.2 構造変化のタイムスケール



- ◆ BLR構造の時間変化が期待されるタイムスケール:
 $r/V \sim 4 \text{ 年} (M_{\text{BH}}/10^{7.5} M_{\text{sun}})^{0.25} (L_{\text{bol}}/L_{\text{Edd}}/0.1)^{0.75}$

⇒ 初期に一度良質のデータ取得 → 長く貴重な参照データに 12/14

3.3 モデルが満たすべき条件

⇒ 仮定(ガスの配置・運動)に
(たぶん)強い制限

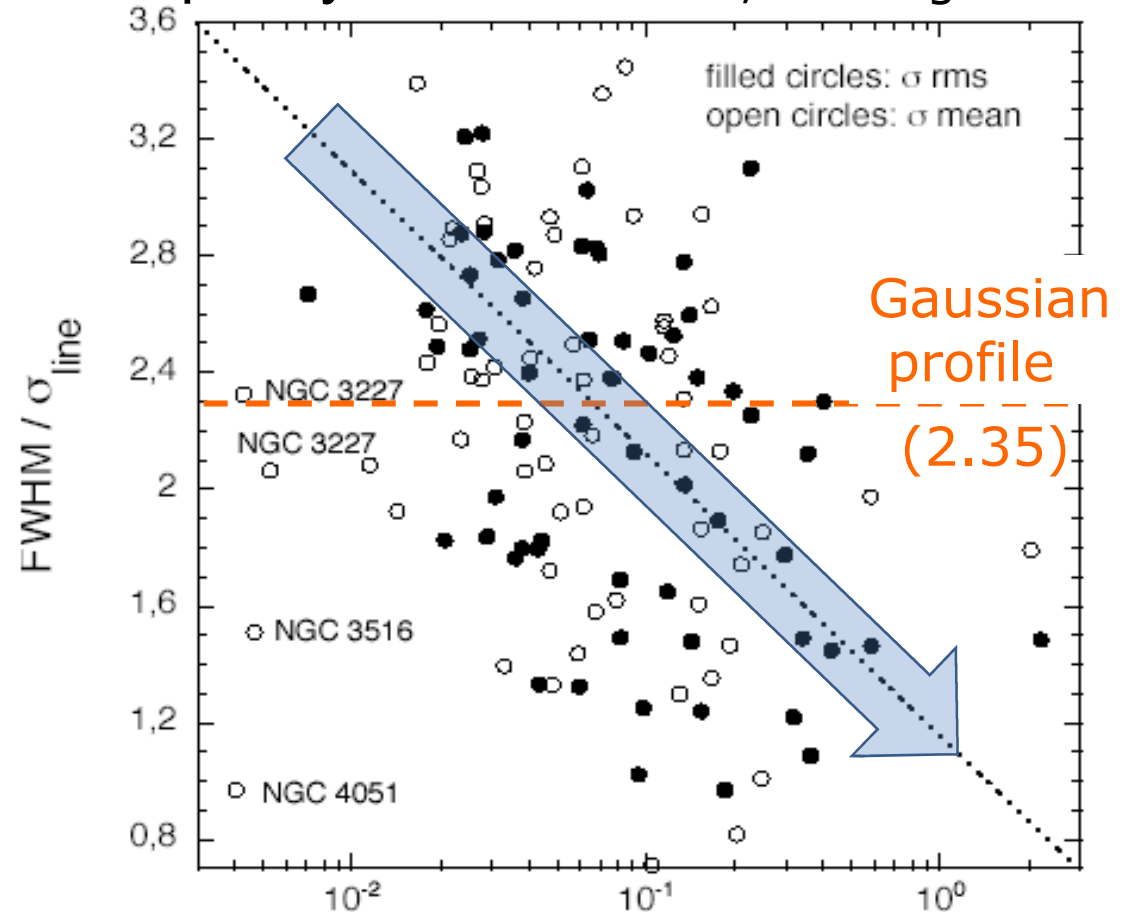
- ① 輝線形状
- ② 輝線形状の光度依存性:
Eddington比大程、輝線形状がpeaky

(Collin, Kawaguchi,
Peterson, Vestergaard 06)

boxier
(肩が発達)

$$\frac{\text{FWHM}}{\sigma_{\text{line}}}$$

peakier
(裾が広い)



Eddington 比 $\text{Re}d_d(\sigma_{\text{line}})$
(天体の全光度 / Eddington 光度比) 13/14

4. まとめ

- ◆ 可視光中型望遠鏡による速度分解エコーマッピング,
Astro-H X線衛星による中性鉄輝線の速度分解 の時代へ

= トーラスから降着円盤へのガス供給・ガス噴出が観れる時代に
[(おそらく)ブラックホールの成長を決めている部分]
- ◆ 広輝線領域の速度分解エコーマップは、今が黎明期
- ◆ 対応する輝線時間応答の理論モデルを構築します。
(観測データが何を意味するのか理解するのに必要)
- ◆ モデル構築の準備として必要な、トーラス内縁モデルの開発を終えました。