

GREX-PLUS :

銀河AGNの高分散分光サイエンス

馬場俊介 (鹿児島大学)

光赤天連シンポジウム「2030年代にどのような戦略的中型計画を推進するのか」、2022年7月12日、オンライン

本講演の内容

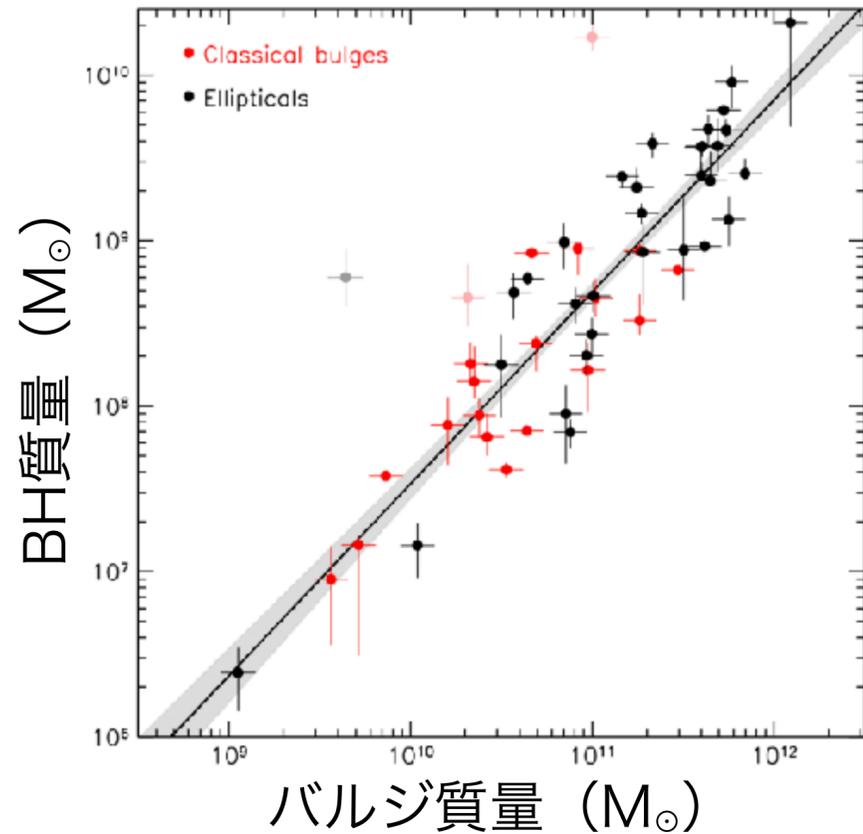
主に星惑星サイエンスに向けたGREX-PLUS高分散分光は
銀河サイエンスにも活用できる

遠方の活動銀河核（AGN）における分子アウトフローの観測
（メインの内容）

Damped Ly α （DLA）を通じた宇宙背景放射温度の測定
（三澤透さん@信州大主導、1ページ）

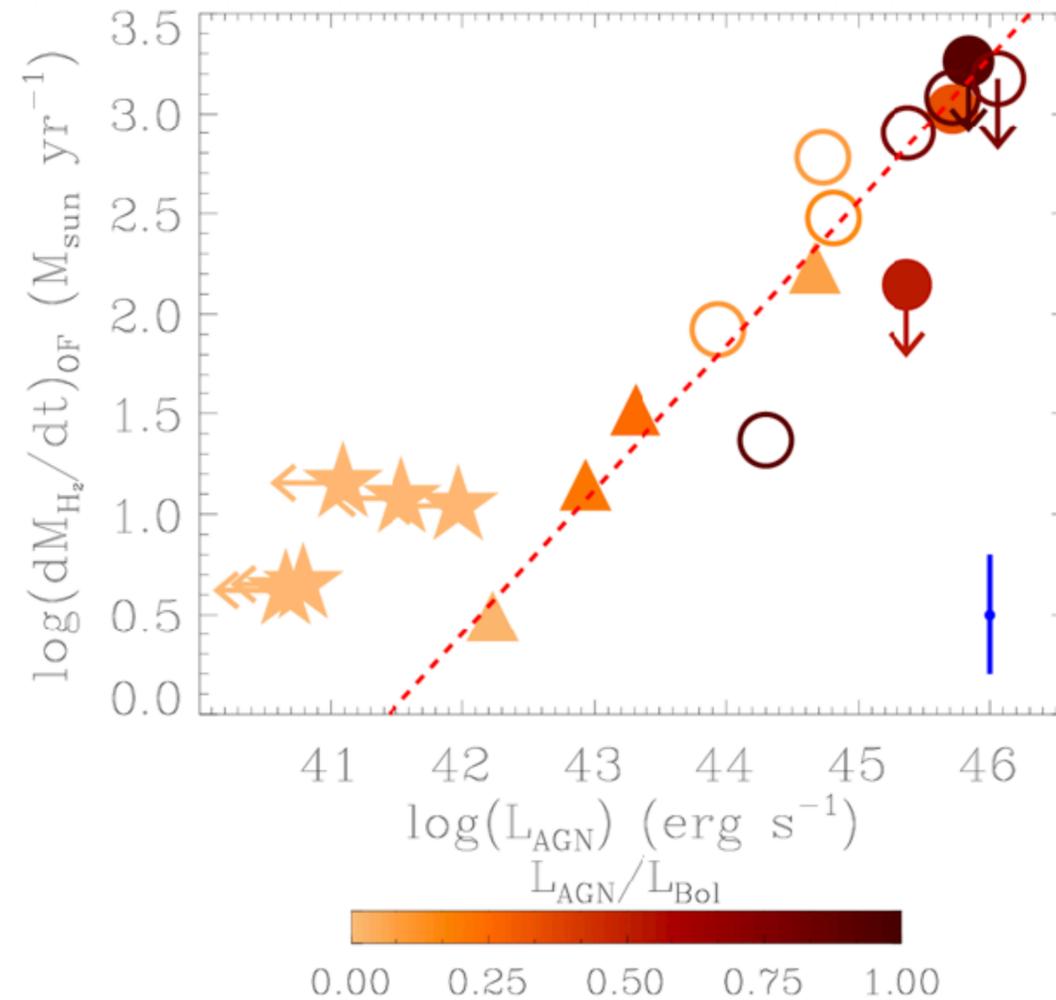
銀河-BH共進化とAGNフィードバック

BH質量とバルジ質量の相関



Kormendy&Ho13

AGN光度と分子アウトフローレートの相関

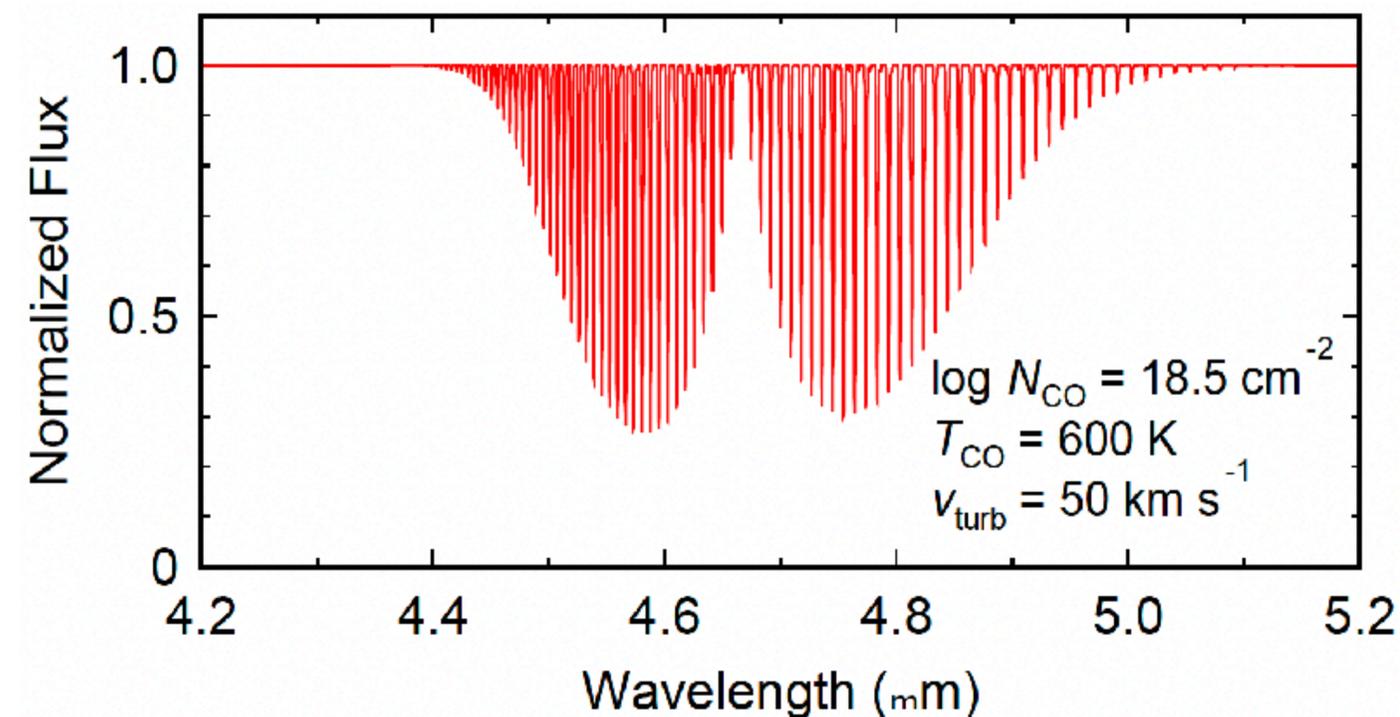
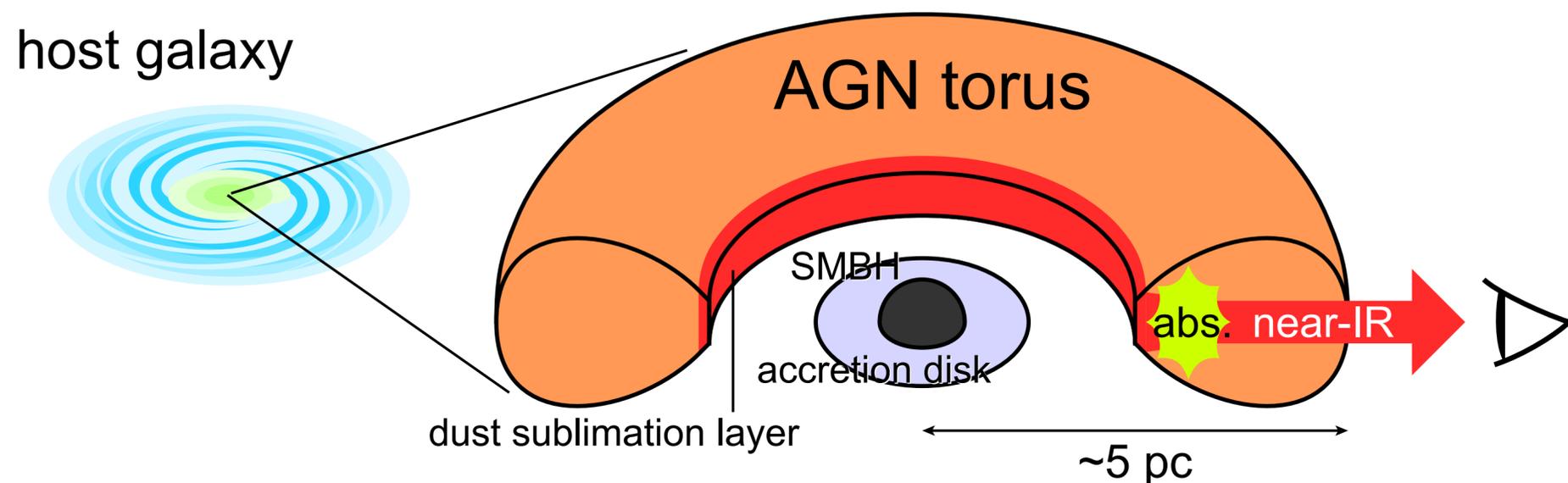


Cicone+14

- 銀河質量と超巨大ブラックホール質量の相関
⇒ 銀河-BH共進化
- AGNからのアウトフローによるフィードバック
- AGNアウトフローが異なる相と空間スケールをどう伝播するかが重要
- 特に、AGNが活発な赤方偏移 $z \sim 2$ の時代で
- 母銀河スケールの分子アウトフローはALMA、準光速の高電離アウトフローはXRISMと期待
- では分子アウトフローの根元はどうする？

AGN近傍の分子ガスのプローブ

CO振動回転遷移吸収線

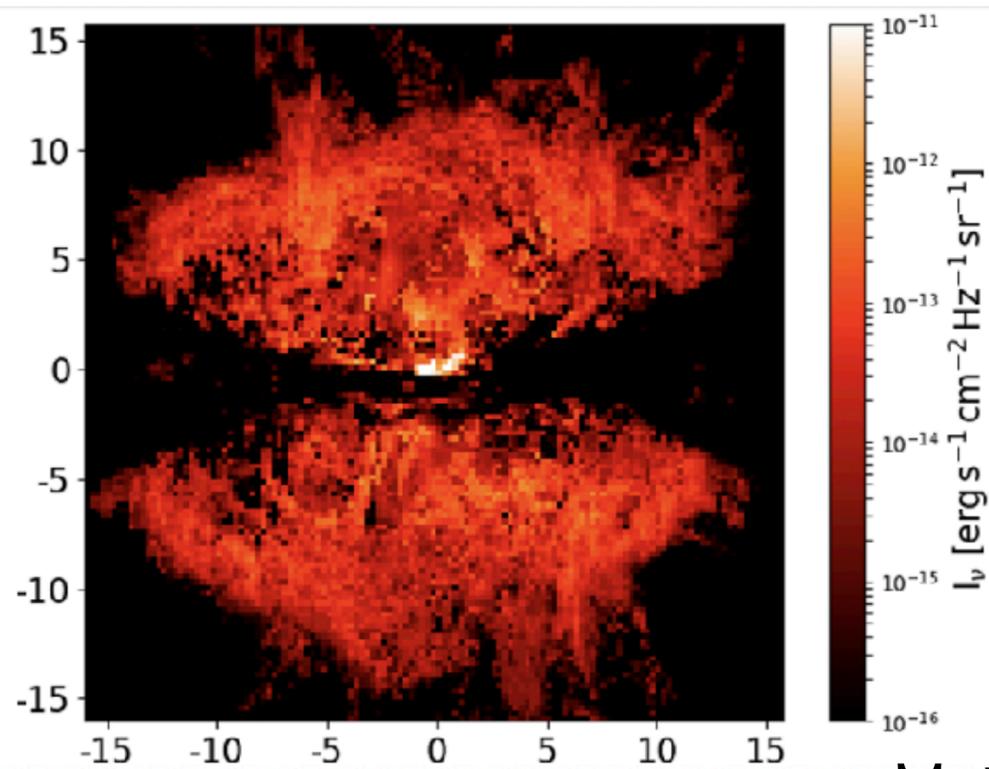


- 振動準位 $v=1 \leftarrow 0$ 、回転準位 $\Delta J = \pm 1$ 、静止波長 $\sim 4.7 \mu\text{m}$
- この波長での連続光はダスト昇華領域 ($\sim 1500 \text{ K}$) からの放射が卓越
- 吸収線で観測すればダスト昇華半径スケールの実効的に高い空間分解能
- 多数の回転励起レベルの同時観測も可能

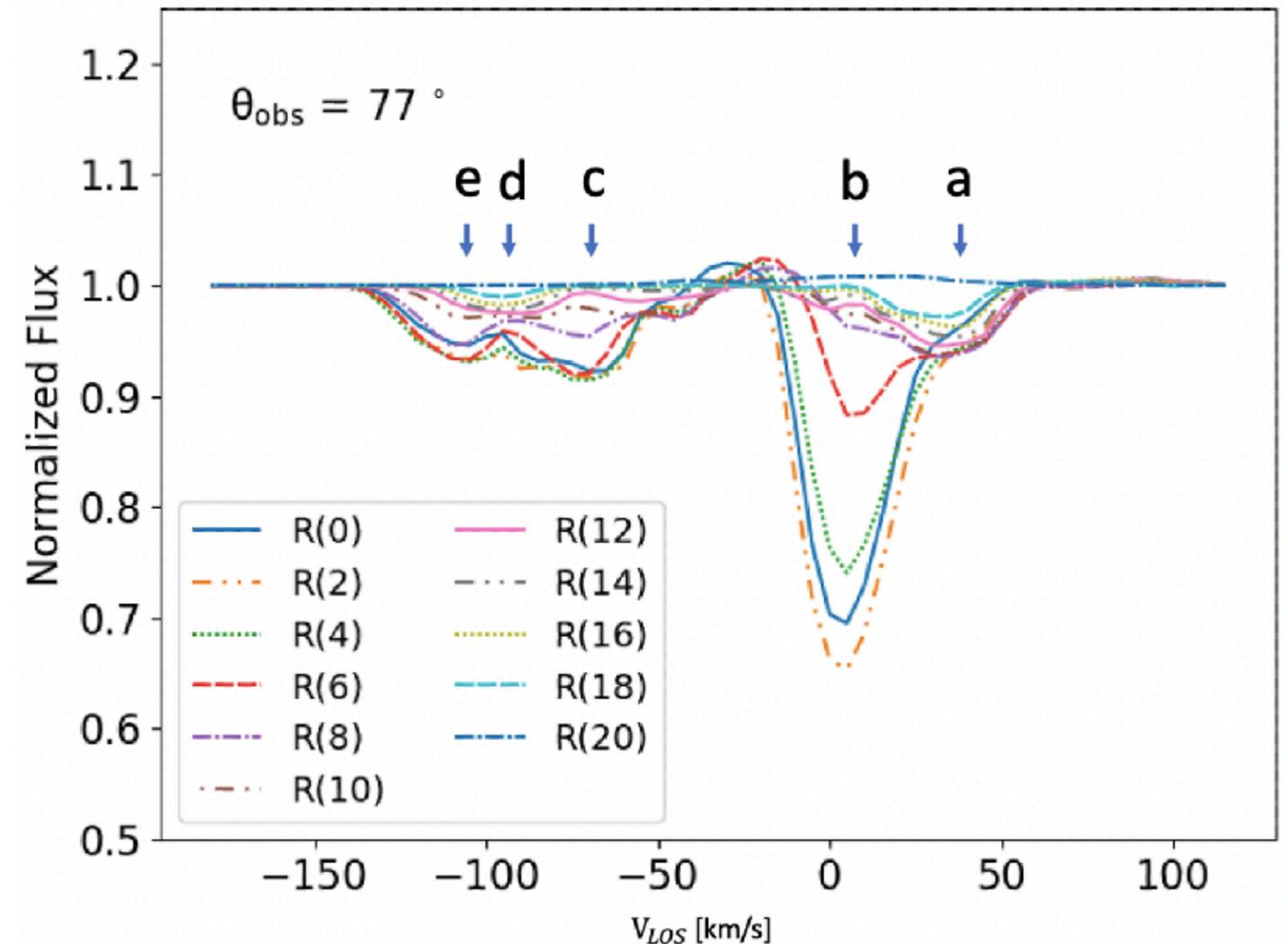
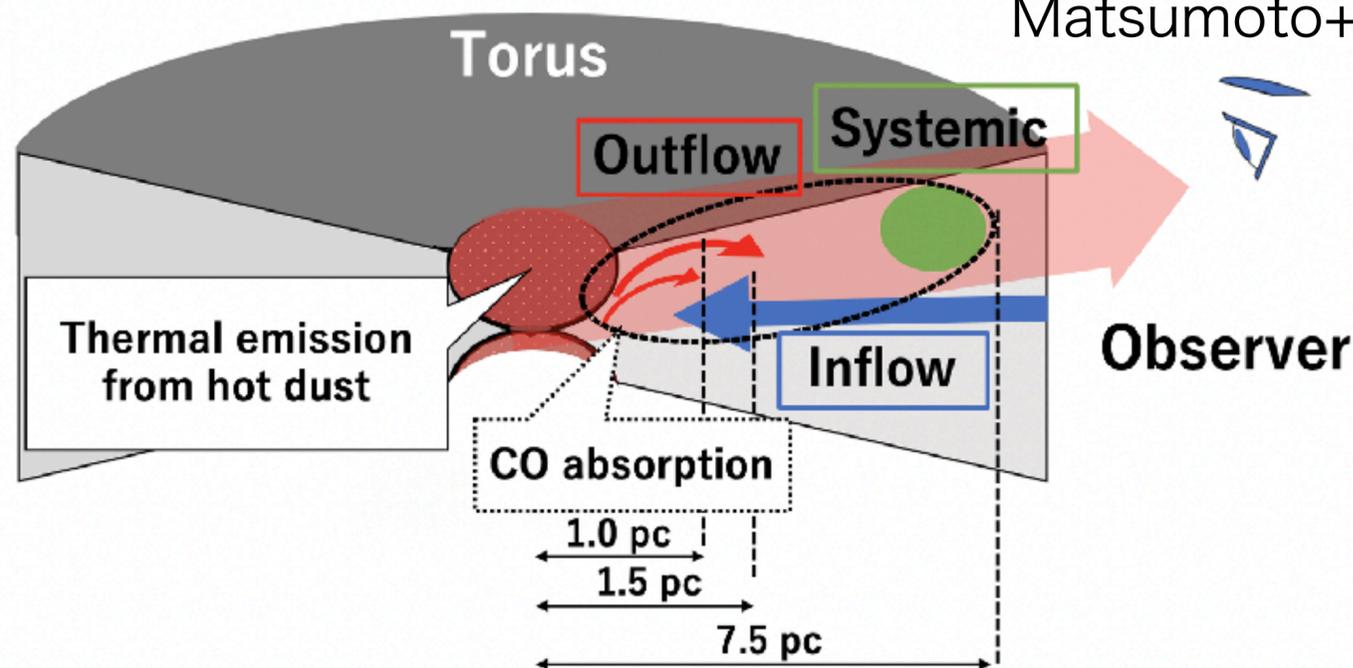
数値計算からの検証

CO振動回転遷移吸収線

- AGN近傍ガスの動きを記述する輻射駆動噴水モデル (Wada+) に基づく輻射輸送計算 (Matsumoto+22)
- ダスト連続光は確かに中心数pcが卓越
- 半径~1 pcの核近傍でのアウトフローを検出

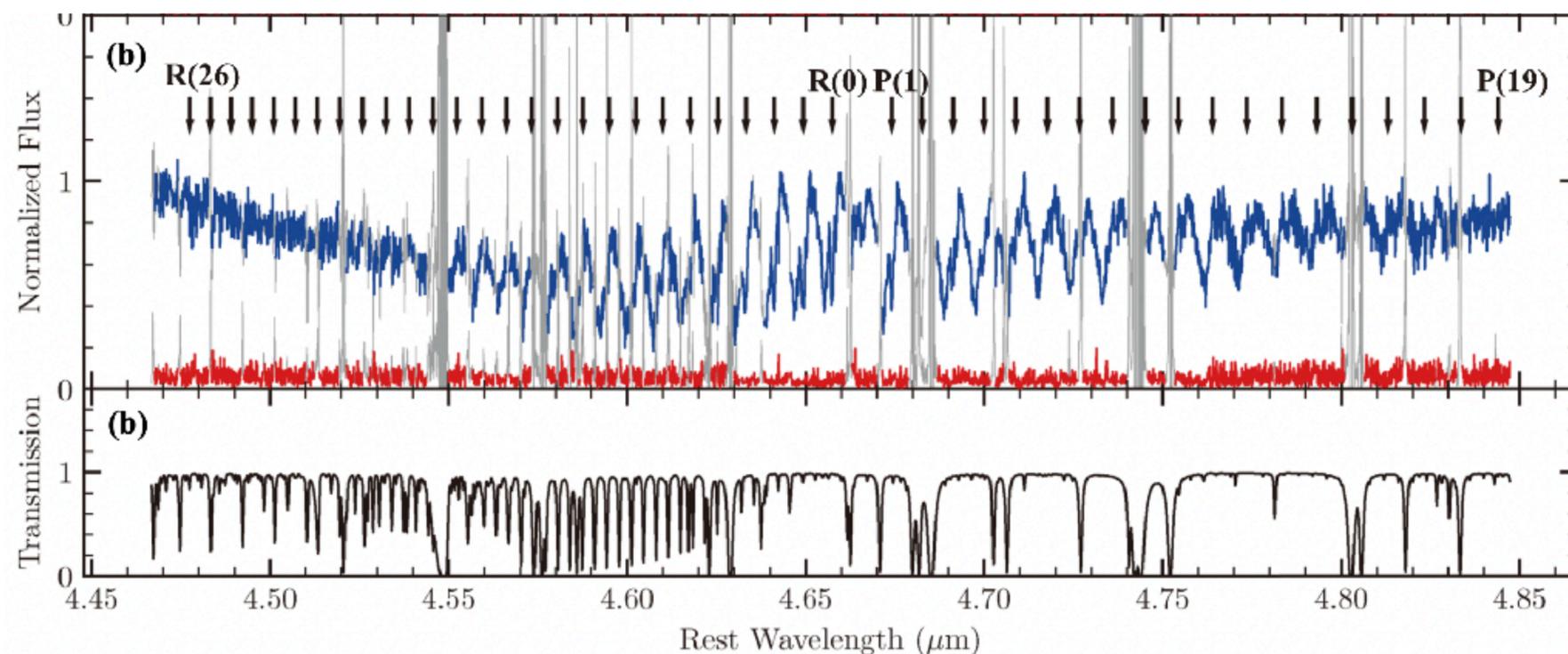


Matsumoto+22

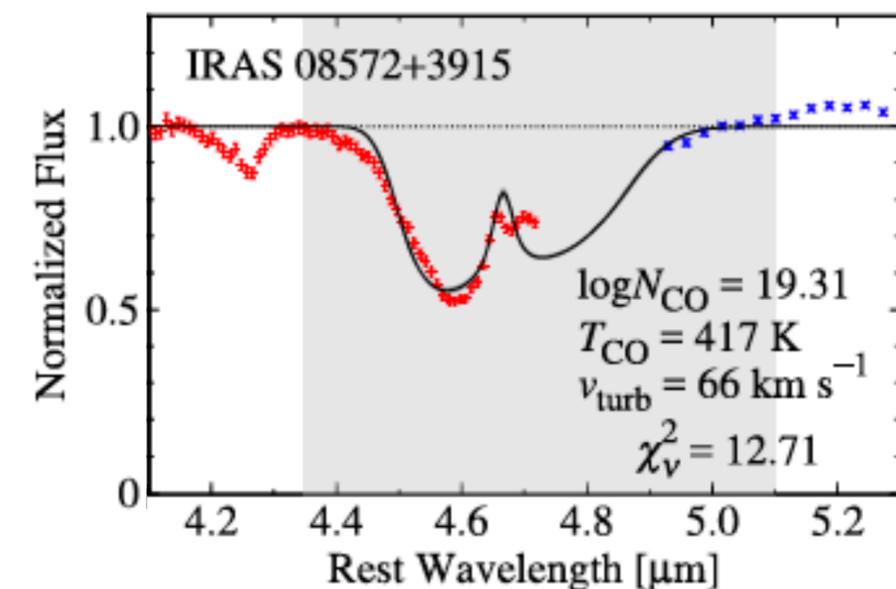


高分散分光観測の威力

近傍AGNに対する地上観測の例

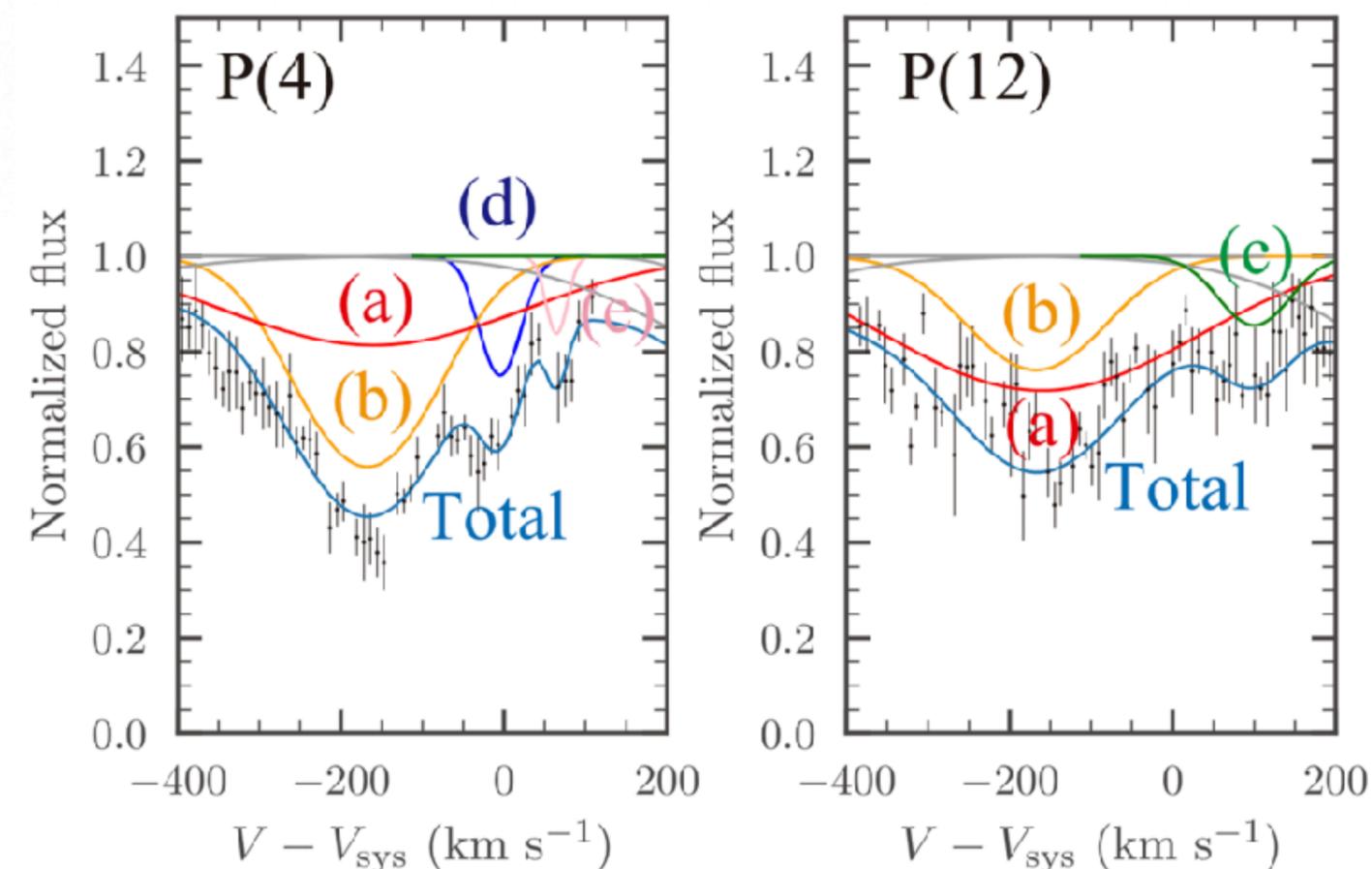


- AGN (IRAS 08572+3925) のすばる望遠鏡による高分散 ($R \sim 10,000$) 分光観測 (Onishi+21)
- 個別ラインの速度分解
- broadest成分は高温のアウトフロー



同一天体の「あかり」観測

ラインは分解できていない (Baba+18)



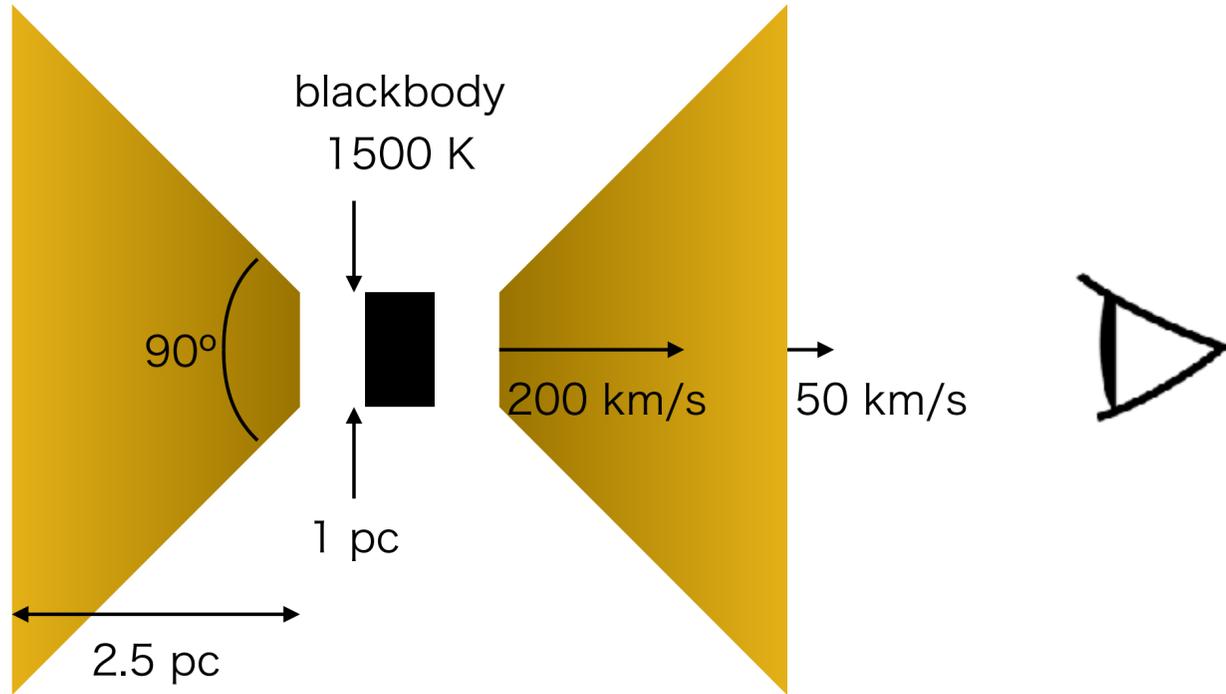
GREX-PLUS高分散分光モード

性能諸元

- 波長範囲10–18 μm $\Rightarrow z > 1.2$ のAGNに対し観測可能
- 波長分解能 $R := \lambda / \Delta \lambda = 30,000 \Rightarrow \Delta v = 10 \text{ km/s}$
 - JWSTでも最高波長分解能は $R = 3,000$ で1桁下、GREX-PLUSの独自性
- 連続光感度5 mJy (1 hr, 5σ)
 - CO吸収を示す近傍の高光度赤外線銀河IRAS 00397–1312 ($z = 0.26$, $L_{\text{IR}} = 1 \times 10^{13} L_{\odot}$)
 - この銀河が $z = 1.2$ にある場合、3時間の積分で到達する感度は、静止波長5 μm において、 $S/N = 2.7$

期待されるスペクトルの例

ラインスタッキングによる速度プロファイルの取得



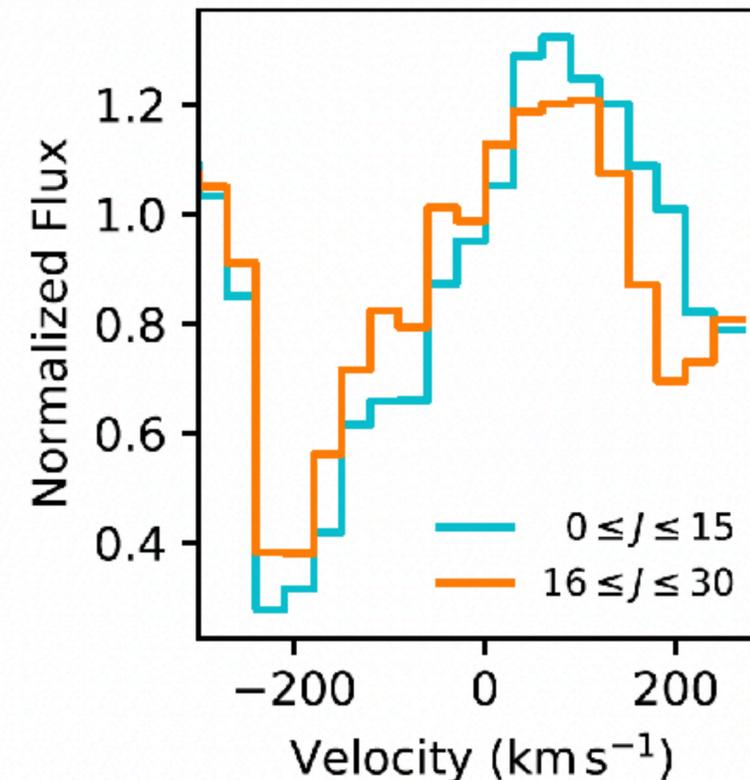
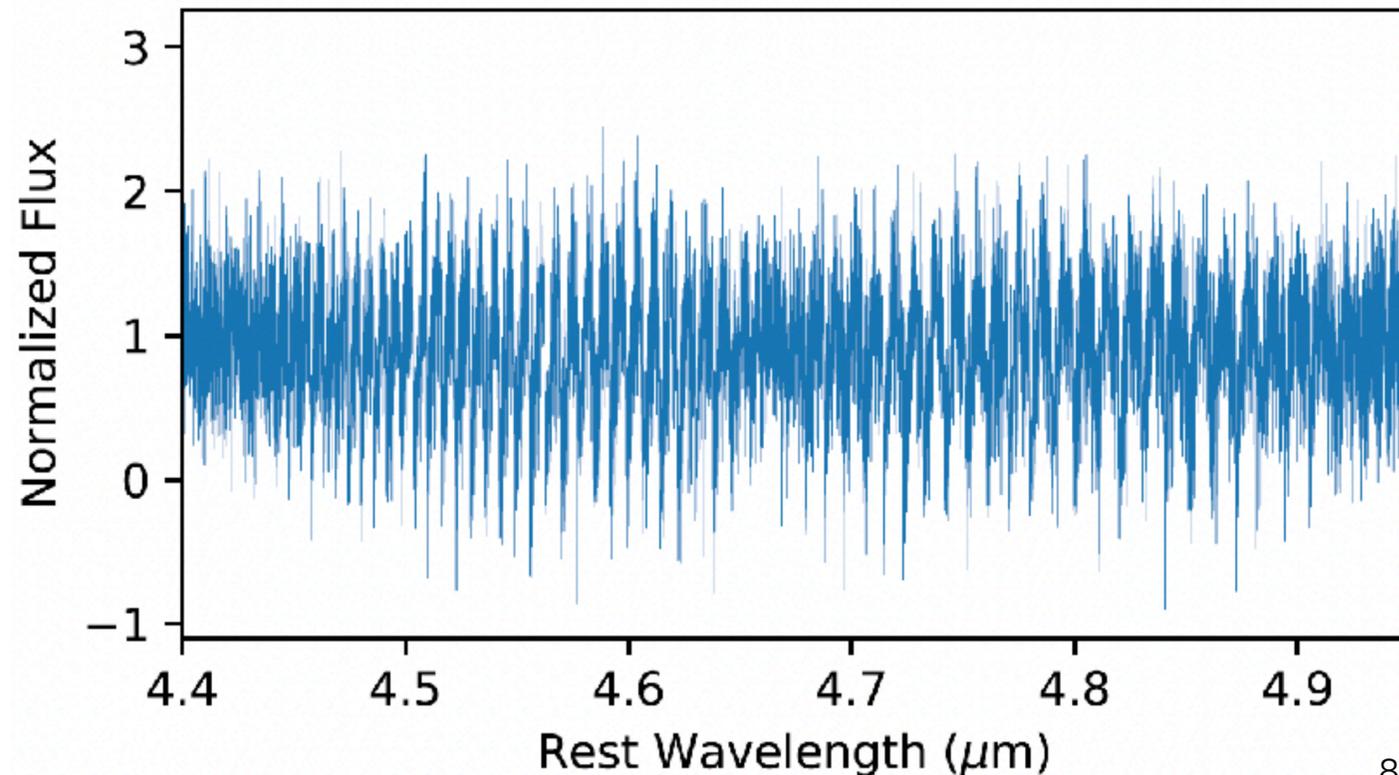
$$T = 800 \rightarrow 600 \text{ K}$$

$$n_{\text{H}}(\text{initial}) = 1 \times 10^6 \text{ cm}^{-3}$$

$$nr^2v = \text{const.}$$

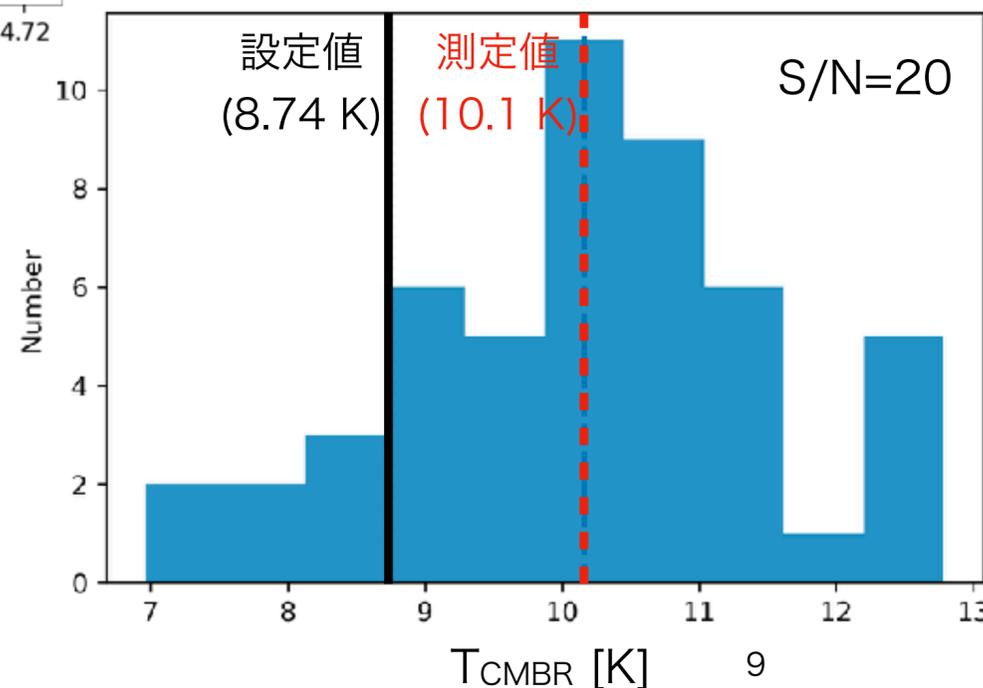
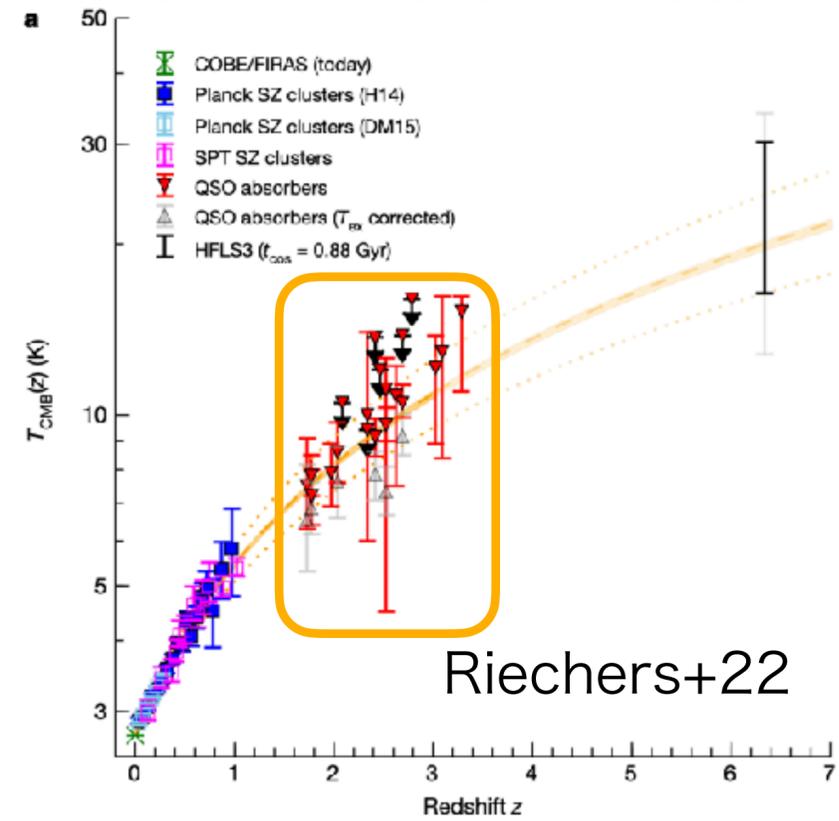
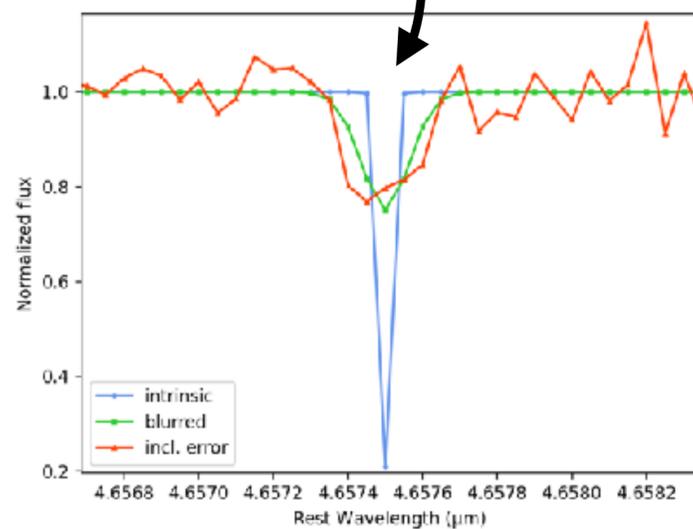
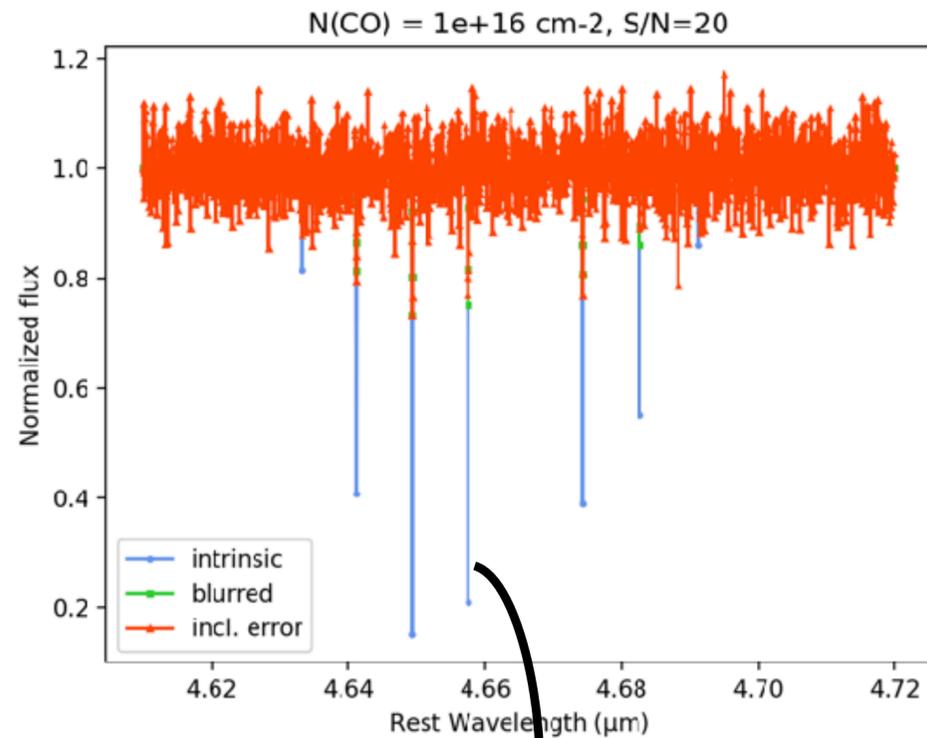
$$[\text{CO}]/[\text{H}] = 10^{-5}$$

$$\dot{M}_{\text{OF}} \sim 30 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$$



- 個別ラインの解析は感度面で困難
- だが、複数の準位をスタックすることで速度プロファイルは取得できる
- 高/低励起ごとに平均すれば温度依存性も調べられる

DLAによる遠方宇宙背景放射温度測定



• Damped Ly α (DLA):

- 背景クエーサーと観測者との間に中性柱密度 $\log(N_{\text{HI}}) > 20.3$ が存在
- 静止系紫外領域におけるCO電子遷移吸収線のライン比から放射励起の強さ (= 当時の宇宙背景放射温度 T_{CMBR}) を測定する
先行研究 (e.g., Srianand+08)
 - この手法が $z \sim 2$ で重要
- 静止系赤外のCO振動回転遷移吸収線で、同様の T_{CMBR} 測定ができないか?
 - RADEXコード (van der Tak et al. 2007) を用いて放射励起を考慮した準位分布を計算
 - GREX-PLUSの波長分解能でなましましたのちノイズを加え、設定した T_{CMBR} を回復できるかを確認
 - $S/N=20$ であれば、CO電子遷移による測定と同程度 ($\delta T \sim 1$ K) の精度で T_{CMBR} を測定可能
 - DLAのintrinsicなライン幅は数km/sなので、信頼できるライン強度測定のためにも高分散は必須

まとめ

GREX-PLUS : 銀河AGNの高分散分光サイエンス

- 遠方の活動銀河核 (AGN) における分子アウトフローの観測
 - CO振動回転吸収線 (静止波長 $\sim 4.7 \mu\text{m}$) を用いて、赤方偏移 $z > 1.2$ のAGNで、分子アウトフローの根元を見る
 - $L_{\text{IR}} = 10^{13} L_{\odot}$ クラスのAGNでアウトフローの速度プロファイルを取得可能
- Damped Ly α (DLA) を通した宇宙背景放射温度の測定
 - DLAに伴うCO振動回転吸収線のライン比から、 z_{DLA} での宇宙背景放射温度を測定する
 - $S/N=20$ のスペクトルを取得すれば、 $\delta T=1 \text{ K}$ の精度で T_{CMBR} を測定可能 (CO電子遷移を使う先行研究と同程度の精度)