



「あかり」近赤外線分光観測による超高光度赤外線銀河の研究

馬場俊介, 矢野健一 (東京大, ISAS/JAXA), 中川貴雄, 磯部直樹 (ISAS/JAXA), 白旗麻衣 (東北大), 白井文彦, 尾中敬 (東京大), 大山陽一 (ASIAA), 公地千尋 (東京大, ISAS/JAXA), Matthew Malkan (UCLA)

概要

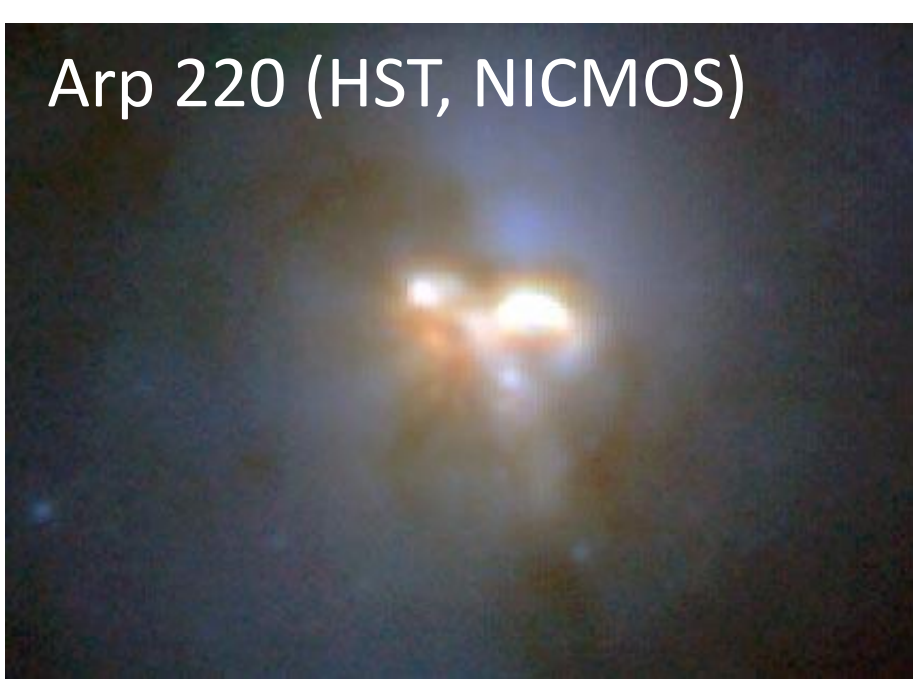
- 赤外線天文衛星「あかり」による超高光度赤外線銀河 ULIRGs (Ultra-Luminous Infrared Galaxies) の近赤外線分光観測の成果について報告する。「あかり」の近赤外線分光観測では、波長 2.5ミクロンのスペクトルを、大気吸収を受けずに連続的に取得できる。我々は、この観測から、ULIRGsにおける水素の再結合輝線や一酸化炭素の吸収の解析を行った。
- ★未解決であった「あかり」の近赤外線分光観測におけるグリズム回折二次光混入の影響を定量的に補正した。
- ★水素の再結合輝線 Br α , Br β の同時観測から、Br β /Br α 輝線強度比が ~ 1 程度と、理論値 (case B) の0.565よりも有意に大きな値を持つULIRGsが見つかった。この強度比はダストによる減光の影響では説明することができず、Cloudyによる輝線強度の数値シミュレーションから電離ガスが高密度状態にあるという示唆が得られた。
- ★一酸化炭素の吸収から温かく柱密度の大きい分子ガスが観測された。この分子ガスは活動銀河核の周辺に分布し、中心核のX線放射によって加熱されていると考えられる。

超高光度赤外線銀河 (ULIRGs)

赤外線非常に明るい銀河 ($L_{IR} > 10^{12} L_{\odot}$)
→ 多量のダストが加熱され熱放射をしている

ダストに隠された強いエネルギー源が存在
→ 候補は、爆発的星形成 and/or 活動銀河核

合体途中の銀河が多く、また、近傍(現在)では珍しいが、遠方(昔)では銀河光度密度に対して優勢
→ 銀河衝突により星形成・銀河核の活動が活発化?
→ 銀河と超巨大ブラックホールの共進化を考えるうえで重要なターゲット



「あかり」近赤外線分光観測

- 観測波長範囲: 2.5–5.0 μm
- 波長分解能: $\Delta\lambda/\lambda=120$ (@3.6 μm)
- 感度: \sim a few mJy
- 分光方法: Ge製グリズムによる分散
※低分散のプリズム分光モードもあり
- 地上観測では達成できない連続的な波長範囲
同等の感度を持つ衛星も他には無い
→ 「あかり」にユニークな観測



水素再結合線 Br α , Br β の同時観測

背景 ・ダストによる減光の影響を受けにくい、赤外線の水素再結合輝線 Br α ($n:5 \rightarrow 4, 4.052 \mu\text{m}$), Br β ($n:6 \rightarrow 4, 2.626 \mu\text{m}$) の強度比から ULIRG におけるダスト減光量を見積もることを考えた
☆しかし、Br β /Br α 強度比が異常値を示す ULIRG が発見された

- 手法** ・「あかり」近赤外線分光観測により **Br α , Br β 輝線を同時観測**
- 開口補正が必要なく、強度比を精度良く測定できる
 - 水素再結合輝線は、電離が全て光電離の場合、case B (ライマン系列輝線は電離ガスの外に脱出せず、他の輝線は全て光学的に薄い) を仮定すると、輝線強度比が理論的に求まる (Br β /Br α =0.565)
 - 銀河系内の H II 領域などでは、観測される強度比を良く再現
 - ダスト減光がある場合、短波長の Br β の方がより強く減光されるため、Br β /Br α 強度比は理論値よりも小さく観測される。ここから減光量が逆算できる

結果 ・IRAS 10494+4424 という ULIRG で異常な強度比が観測された

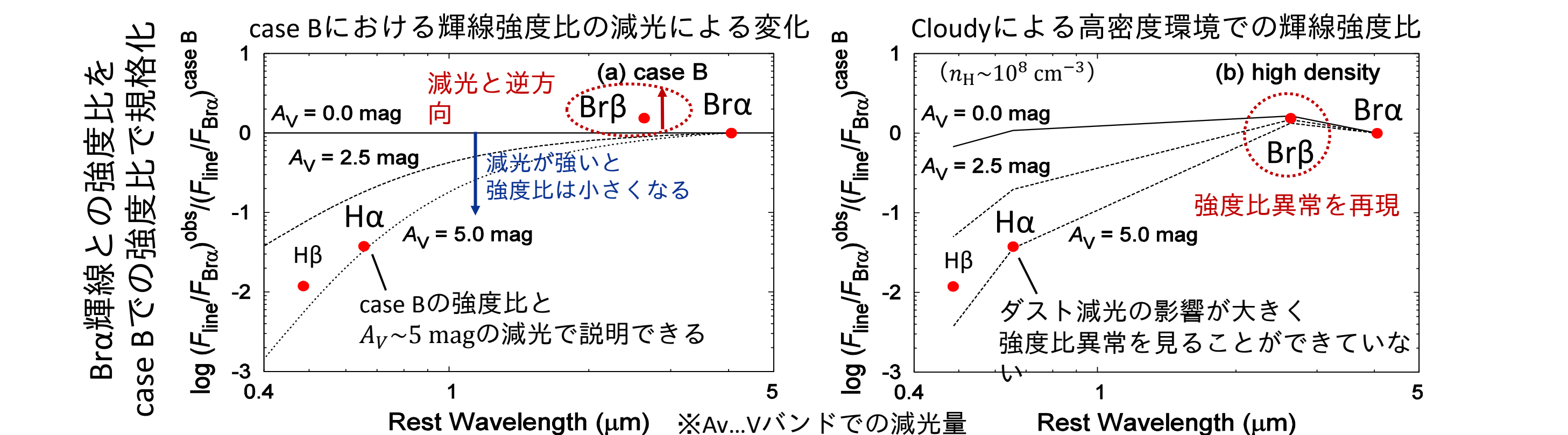
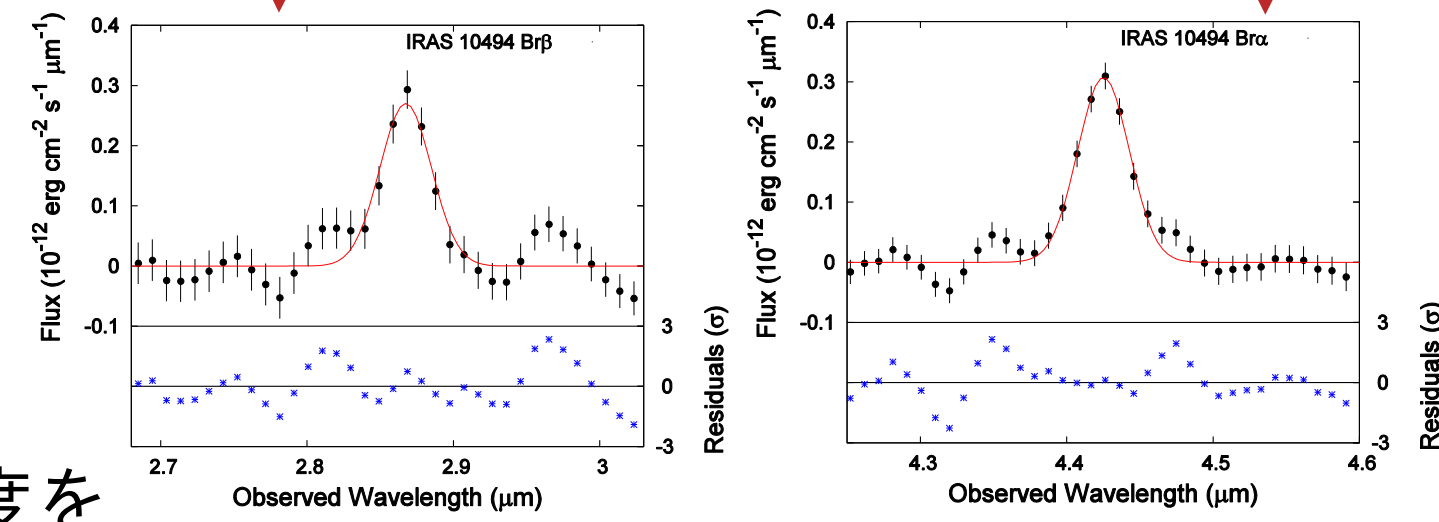
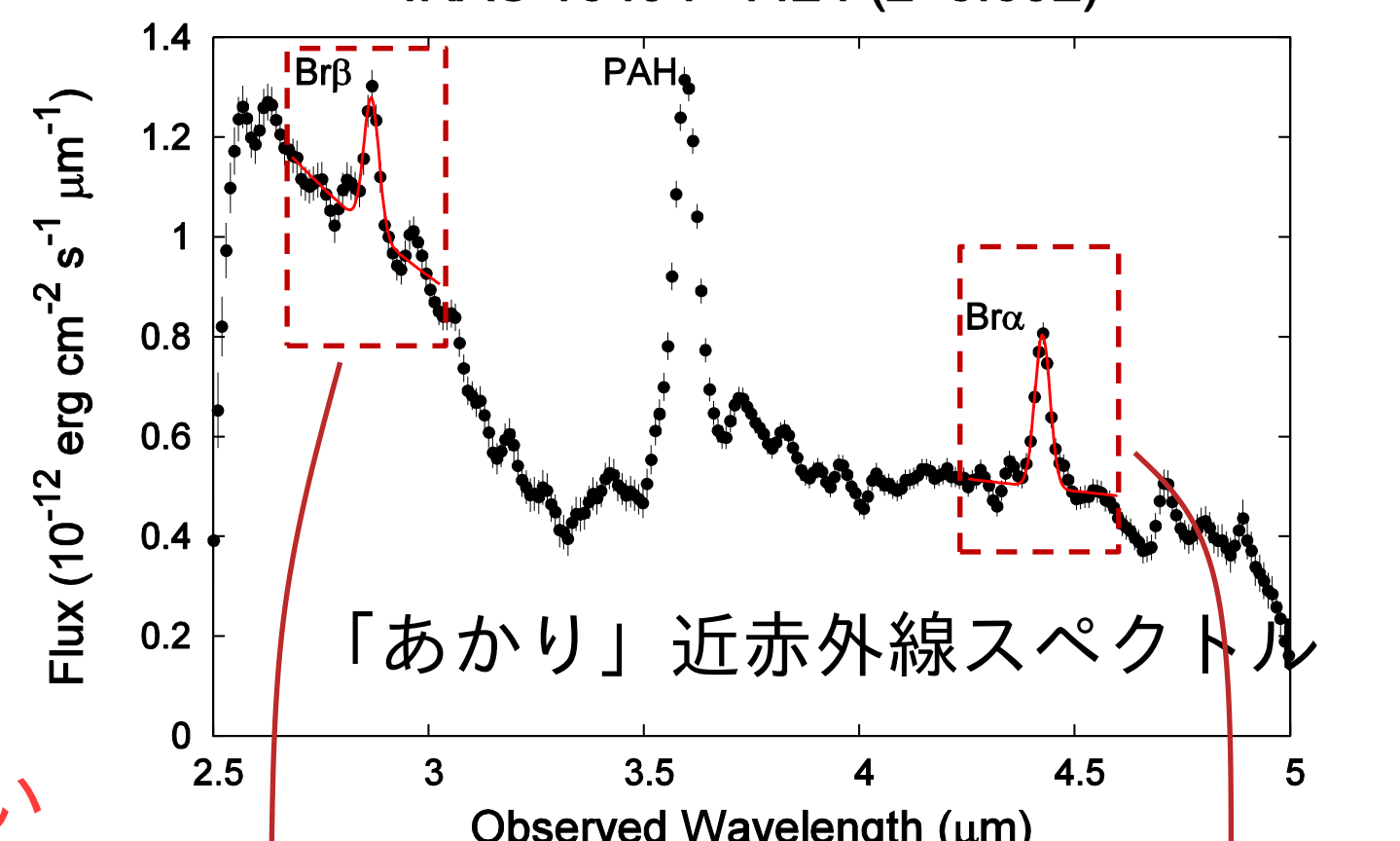
$$F_{Br\beta}/F_{Br\alpha} = 0.873 \pm 0.074$$

→ 理論強度比 (0.565) より有意に大きい

- 短波長の Br β 輝線が、Br α 輝線に比べて強くなり過ぎている
- ダスト減光とは逆方向の効果
→ **ダスト減光 + case B では説明できない**

議論 ・周囲に明るい天体は無く、迷光などの影響は見られない

- H $_2$ (1, 0) O(2) 輝線 (2.627 μm) が Br β 輝線へ混入している可能性
- H $_2$ (1, 0) O(3) 輝線 (2.802 μm) 輝線の強度を観測したスペクトルから測定し、2400 K の熱励起 (Murphy et al. 2001) を仮定して O(2) 輝線の強度を推定、Br β 輝線強度から差し引いた
- 差し引き後の強度比は 0.822 ± 0.074 → **水素分子輝線の混入でも説明できない**
- 可視光の H α 輝線では異常は見られない
→ **ダスト減光の影響が強く、赤外線ですべて異常が観測できたと考えられる**
- Cloudy による電離ガスからの輝線放射のシミュレーションにより、高密度環境 (水素原子密度 $\sim 10^8 \text{ cm}^{-3}$) で強度比異常を再現 (Br β /Br α ~ 0.9)
→ ULIRG 内の電離ガスは通常 (case B) とは異なる特異な環境にある?



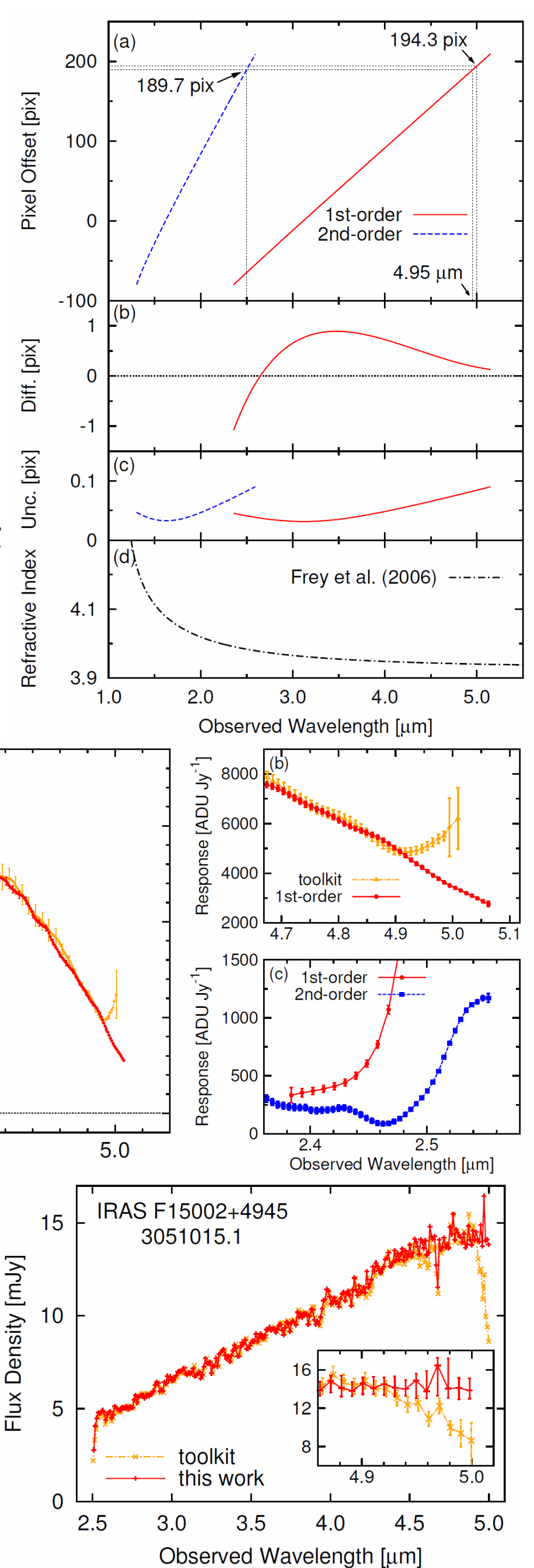
グリズム回折二次光混入の影響の補正

背景 ・波長 4.9–5.0 μm で、グリズム回折二次光の混入により、スペクトルにアノマリーが生じていた (特に、赤い天体で顕著)
・このため AGN における CO 吸収スペクトルを正しく得られなかった
☆従来より詳細に波長・感度較正をやり直す必要があった

波長較正
グリズム材質の屈折率の波長依存性を考慮して波長ごとの入射位置を再計算
→ 屈折率の波長変化が二次光混入を起こすと確認
従来の波長較正からの変化は、最大で 0.01 μm

感度較正
2種類の標準天体を用いて、一次光と二次光に対する感度を連立的に計算
→ 出力に対する二次光の寄与を定量的に分離

新しいフラックス較正
二次光成分を定量的に差し引くことが可能
5.0 μm まで正しくスペクトルが得られる
(5.0 μm でのフラックスは、最大で 1.6 倍変わる)

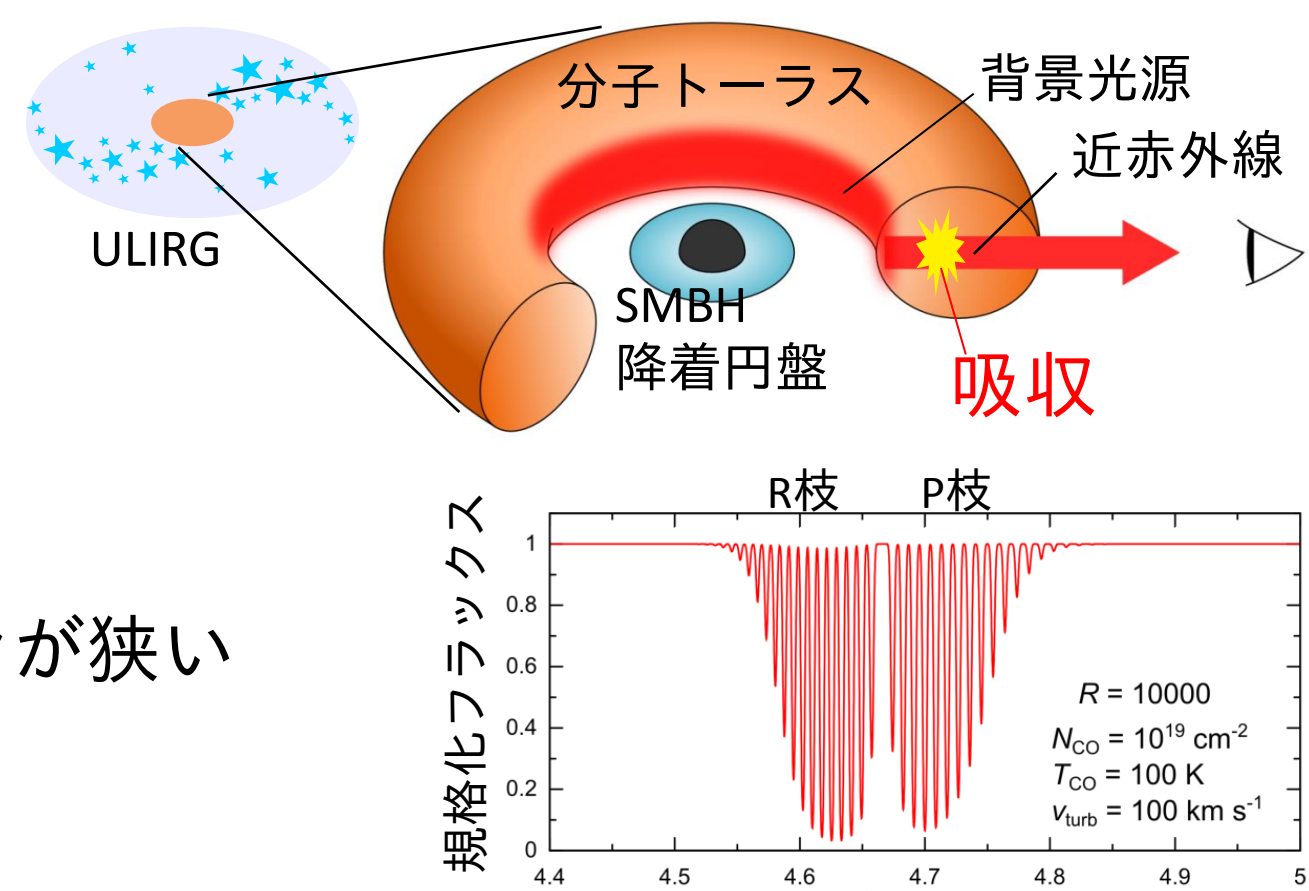


一酸化炭素 (CO) 吸収の観測

背景 ・活動銀河核には、巨大なトーラス状の分子雲 (分子トーラス) が存在していると思われる (質量供給源・中心放射の遮蔽体)
☆しかし、分子トーラスは、物理的に小さいため ($\sim 1-10^2 \text{ pc}$), ミリ・サブミリ波領域の CO 純回転輝線では空間分解観測が困難

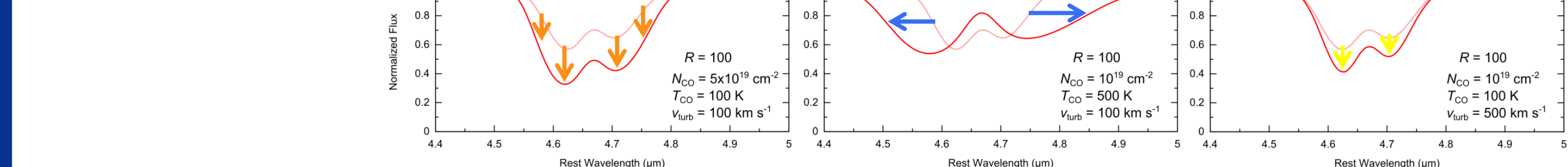
手法 近赤外の CO 回転振動遷移を「吸収線」として観測する

- ダスト昇華層 ($\sim 1500 \text{ K}$) が背景光源
- 吸収線のため母銀河からの影響が少ない
- 実効的に高い空間分解能を達成
- CO 回転振動遷移 (4.7 μm)
 - 2つの分枝 (短波長側: R 枝, 長波長側: P 枝)
 - 純回転輝線と違い、異なる回転準位のラインが狭い波長範囲に集まる
 - 物理状態の良いプローブ

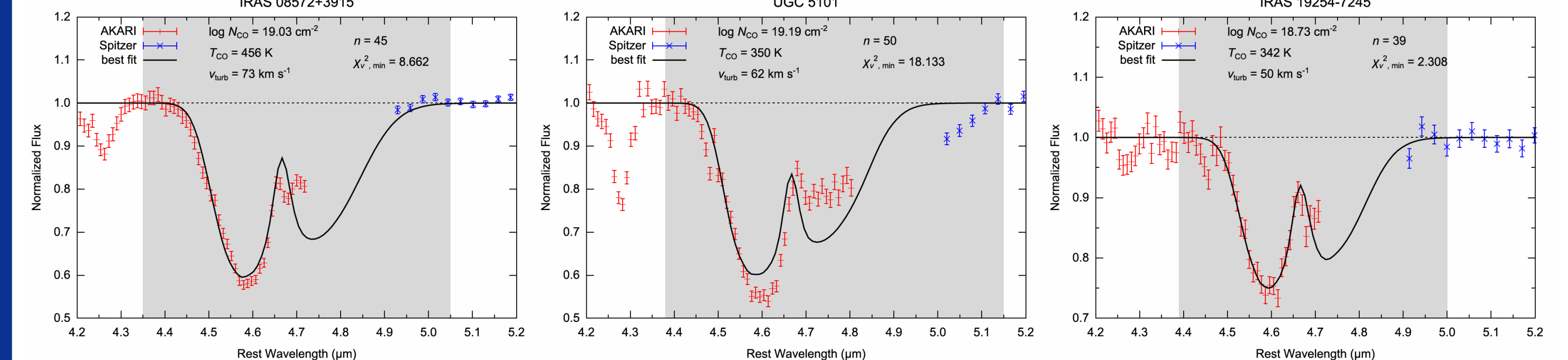


「あかり」の波長分解能では異なる回転準位のラインを分離できない

→ モデル (Cami+00) によるフィッティング
・ガスは 1 成分, CO ガスの柱密度 N_{CO} , 温度 T_{CO} , 速度幅 v_{turb} がフリーパラメータ
・局所熱平衡を仮定



結果 分子ガスは典型的に **大量** (柱密度 $N_H \sim 10^{23} \text{ cm}^{-2}$) かつ **高温** (数百 K)



議論 ・吸収は飽和領域にあり、光源は 1 に近い割合で覆い隠されている
→ 光源近傍に集中的に分布している分子ガスにおける吸収
・**大量** (柱密度 $N_H \sim 10^{23} \text{ cm}^{-2}$) のガスを **高温** (数百 K) に加熱する機構
→ 紫外光やショックでは、 $N_H \sim 10^{21} \text{ cm}^{-2}$ までしか加熱できない
→ 透過力の高い X 線?