視線方向のダスト減光量が非常に大きい Sy-1.9型 AGN の観測提案

(第13回光赤外線天文学大学間連携ワークショップ)

水越 翔一郎

(東京大学理学系研究科天文学専攻 D1)

峰崎岳夫

(東京大学理学系研究科附属天文学教育研究センター)

AGN と ダストトーラス

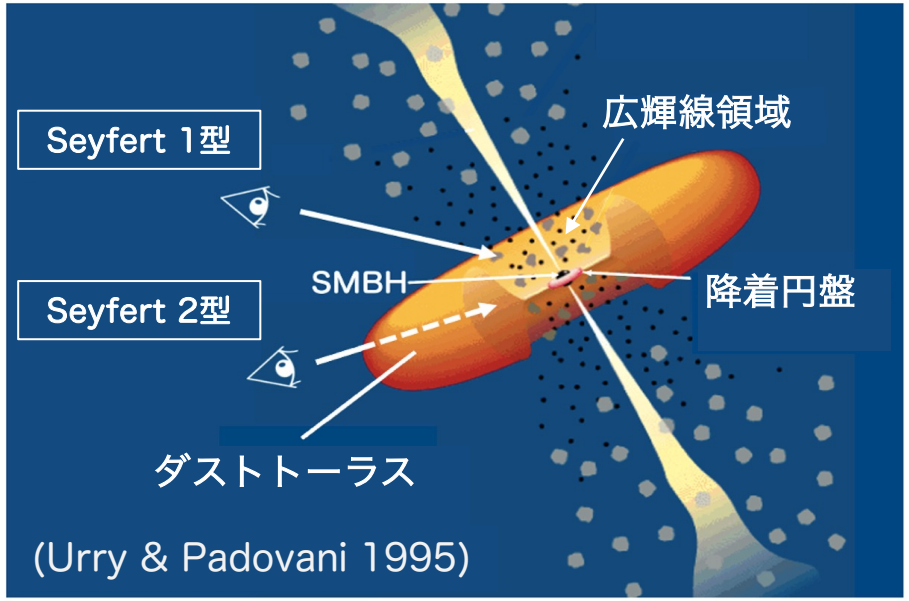
ダストトーラスの役割

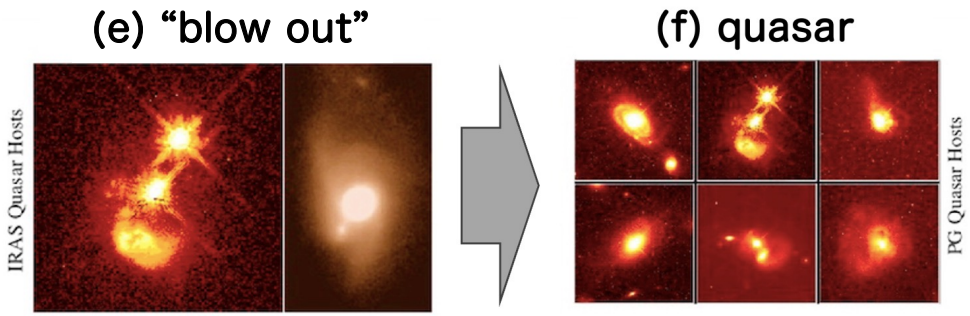
- 中心部を隠す減光構造
- インフローを通じたSMBHへの質量供給源
- アウトフローを通じたフィードバック

視線方向のダスト減光量 A_V

- ダストトーラスにおける基本パラメータの一つ
  - ▶ トーラス構造
  - ▶ dusty gasにおける 有効 Eddington limit (Fabian 2009)
- A_V の推定における従来の課題
  - ▶ 可視光を用いた手法は大きな A_V を推定できない
  - ▶ 近赤外線分光による手法は大規模サンプルに適用できない

AGN 統一モデル





(Hopkins 2008)

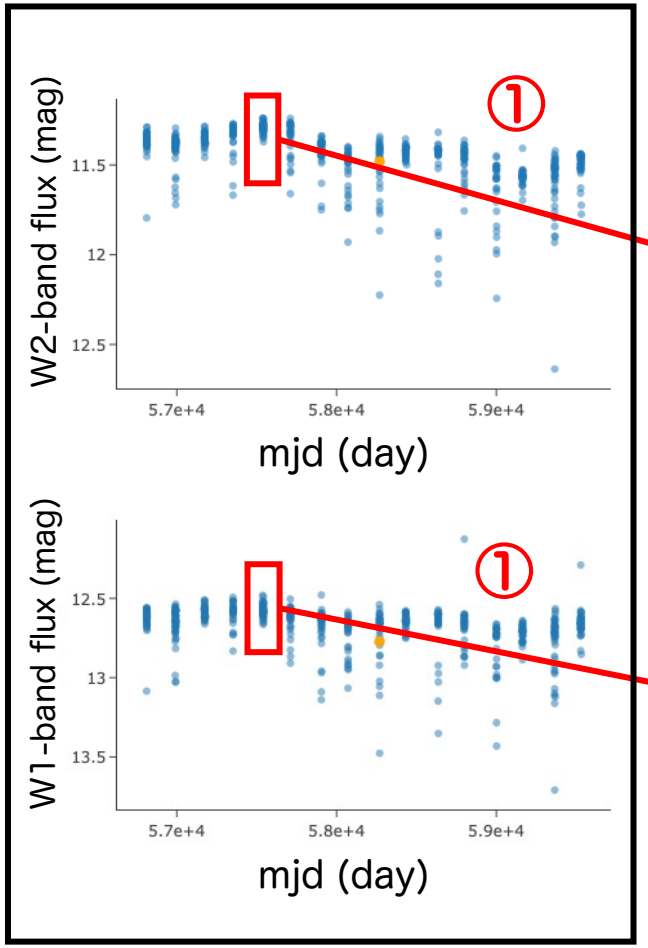
- ダスト減光の大きな天体を多く含む約500天体のAGNの A_V を測定 (Mizukoshi+22)

Mizukoshi+22 の概要 (flux-flux plot)

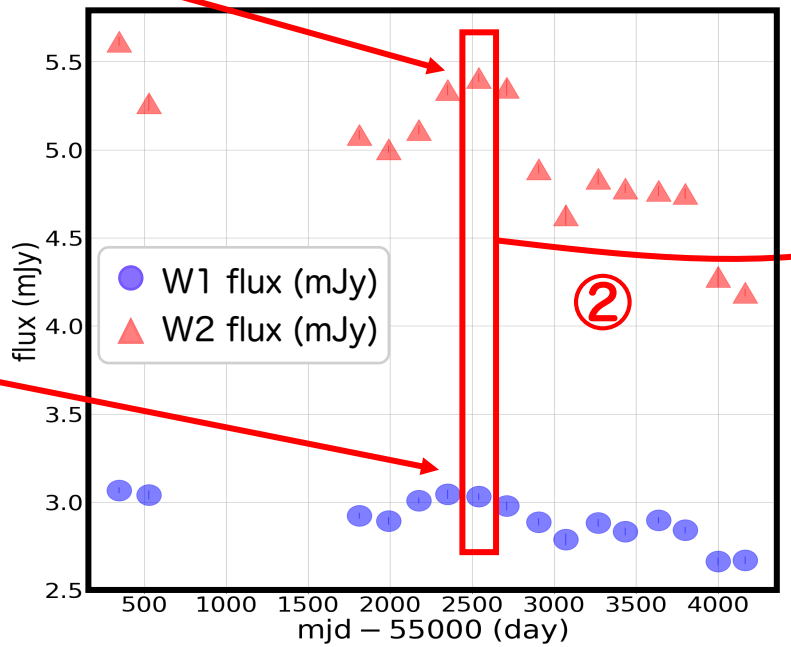
flux-flux plot の作成

① 光度曲線データの キャリブレーション (外れ値の除去 & 平均化)

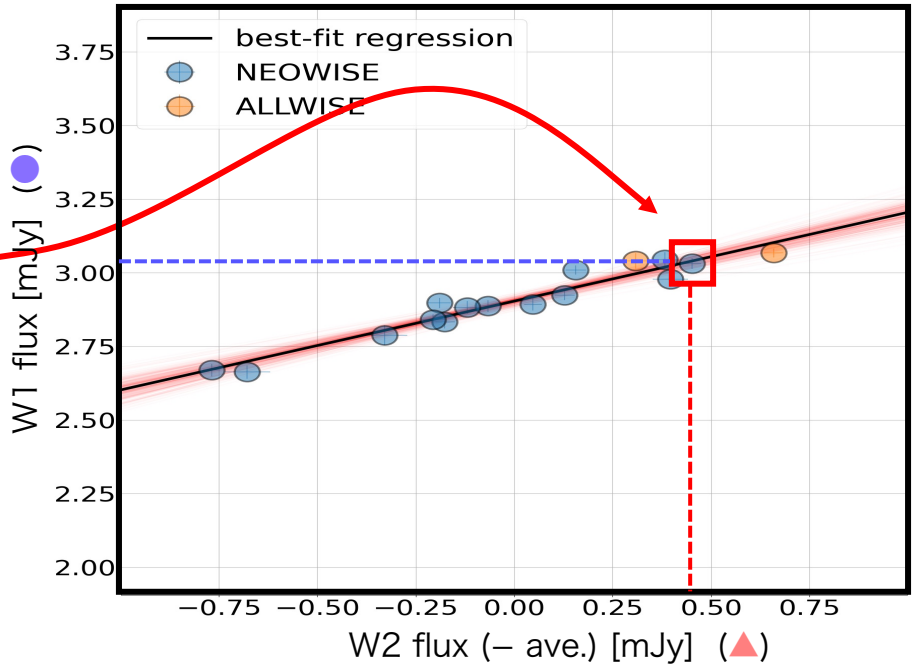
② 2バンドにおける同時期の光度曲線データを縦横軸にプロット



光度曲線データ (観測値)



補正後の光度曲線データ



flux-flux plot

Mizukoshi+22 の概要 (A_V の測定)

近赤外線の強度変動に着目した A_V の測定

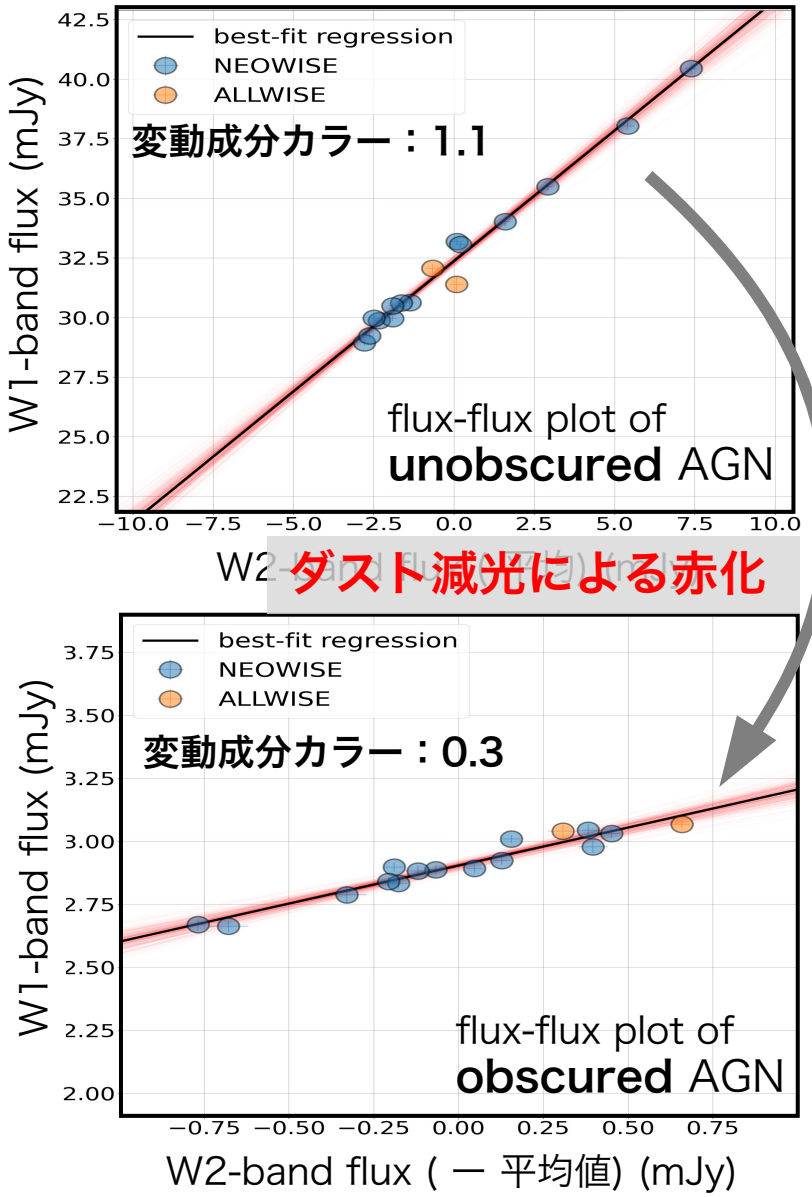
- 変動成分カラー：
  = ある2バンドにおける 典型的な強度変動幅の比
  - ▶ flux-flux plot における回帰直線の傾きに相当
  - ▶ **unobscured AGN の変動成分カラー：**
    可視光 (Winkler+92), 近赤外線 (Glass04)
    どちらにおいても 天体によらずほぼ同じ値をとる
  - ▶ **obscured AGN の変動成分カラー：**
    unobscured AGNと比較して 赤化

サンプル

- 中性ガス柱密度 ($N_{\rm H}$) のデータを持つAGN **463天体**

→ **WISE衛星の光度曲線データを用いて近赤外線における変動成分カラーの赤化量を測定し、これを A_V に変換**

WISEデータを用いた flux-flux plot の例



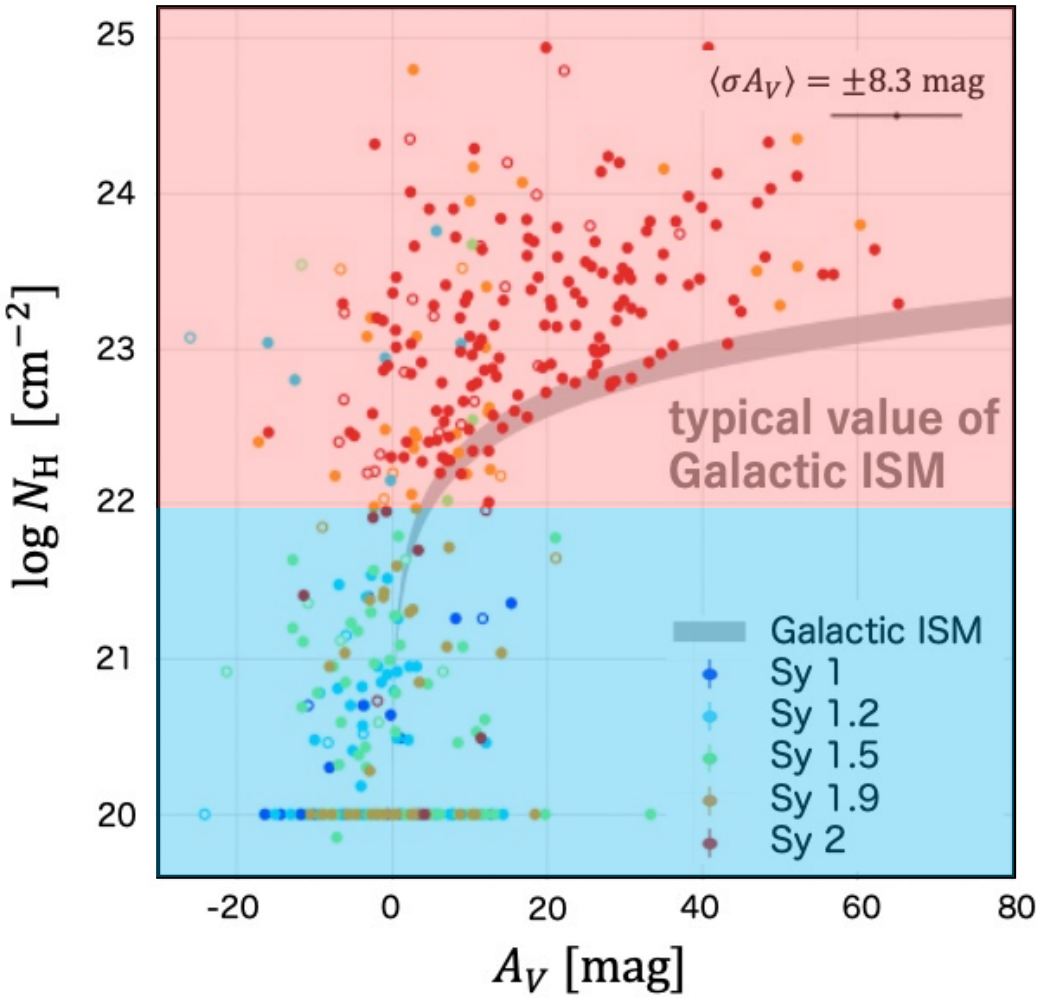
Mizukoshi+22 の概要 (A_V–$N_{\rm H}$ 図)

解析結果

- **$A_V \sim 65$ mag という非常に大きな ダスト減光量の測定に成功**
  - ▶ obscured AGN のダスト減光量推定に有効

- **A_V と $N_{\rm H}$ の関係**
  - ▶ $\log N_{\rm H} < 22$ ： A_V は $A_V = 0$ mag 付近に分布
  - ▶ $\log N_{\rm H} > 22$ ： A_V は $N_{\rm H}$ の増加に伴って増加

A_V–$N_{\rm H}$ 図



Sy-1.9型 AGN

特徴

- 可視光スペクトルにおいて **Hα輝線のみ広輝線成分を持つ**
- X線吸収, ダスト減光いずれの値も幅広い範囲に分布

→ obscured AGN と unobscured AGN の中間的な性質を持つと考えられるが、詳細はわかっていない

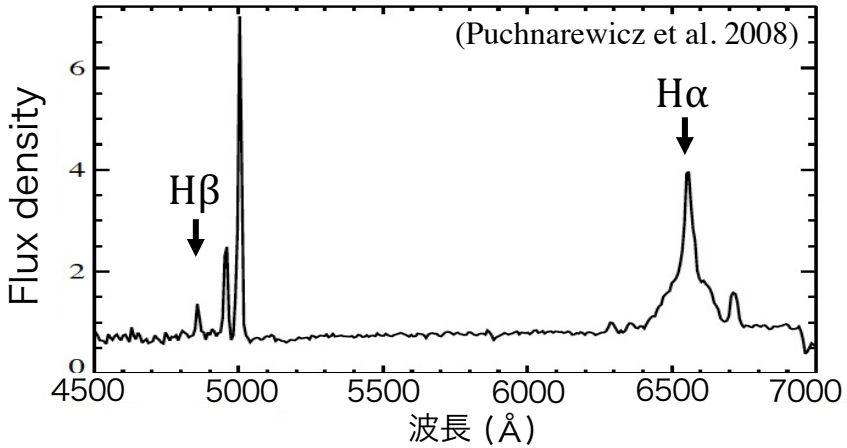
Heavily-obscured 1.9型 AGN

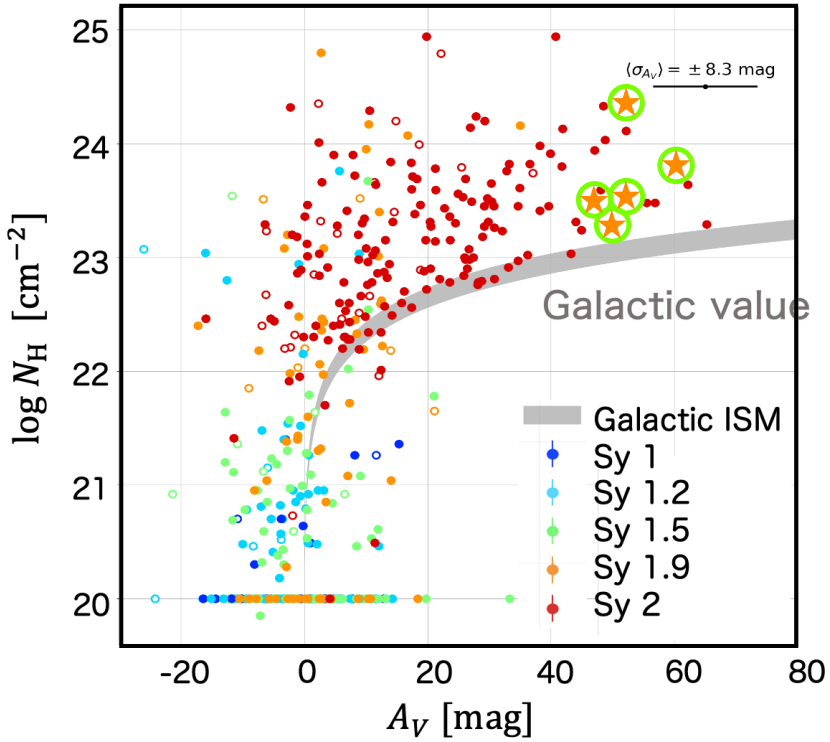
- **Mizukoshi+22 において $A_V > 40$ mag という非常に大きなダスト減光量を持つ 1.9型 AGN を発見**
  - ▶ X線吸収もそれなりに大きい ($\log N_{\rm H}$ [cm^{-2}] > 23)
  - ▶ ダスト減光量が大きな天体では広輝線は見えないはず

→ **単純なAGN統一モデルでは説明ができない**

→ **こうした heavily-obscured 1.9型 AGNにおける Hα広輝線の性質調査は AGN構造を深く理解する上で重要**

Sy-1.9型 AGNのスペクトル





本観測提案の目的

heavily-obscured 1.9型 AGNにおける Hα広輝線の放射成分を明らかにする.

考えうる2つの放射成分

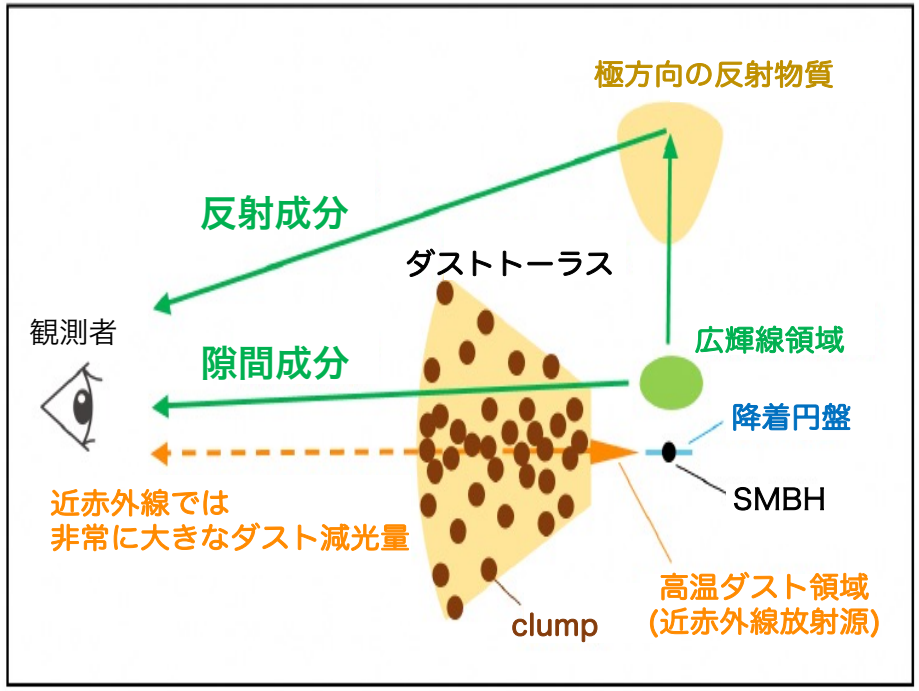
1. ダストトーラスのclumpの隙間から届いた成分 (隙間成分)

- clumpyなダストトーラス構造モデル (Nenkova+08)
- clumpの隙間はダスト減光量が小さいと考えられる
- 大きなダスト減光量は clump を含む視線方向の値

2. 極方向にある物質で反射されて届いた成分 (反射成分)

- 極方向で反射された広輝線成分が偏光観測で検出されている (Antonucci&Miller85)

本研究が想定する2つの広輝線成分



- 観測される Hα広輝線は両方の成分を含むと考えられる

→ それぞれの成分がどの程度の割合で含まれているかを調査する

隙間・反射成分の分離方法

Hα広輝線強度の時間変動に着目

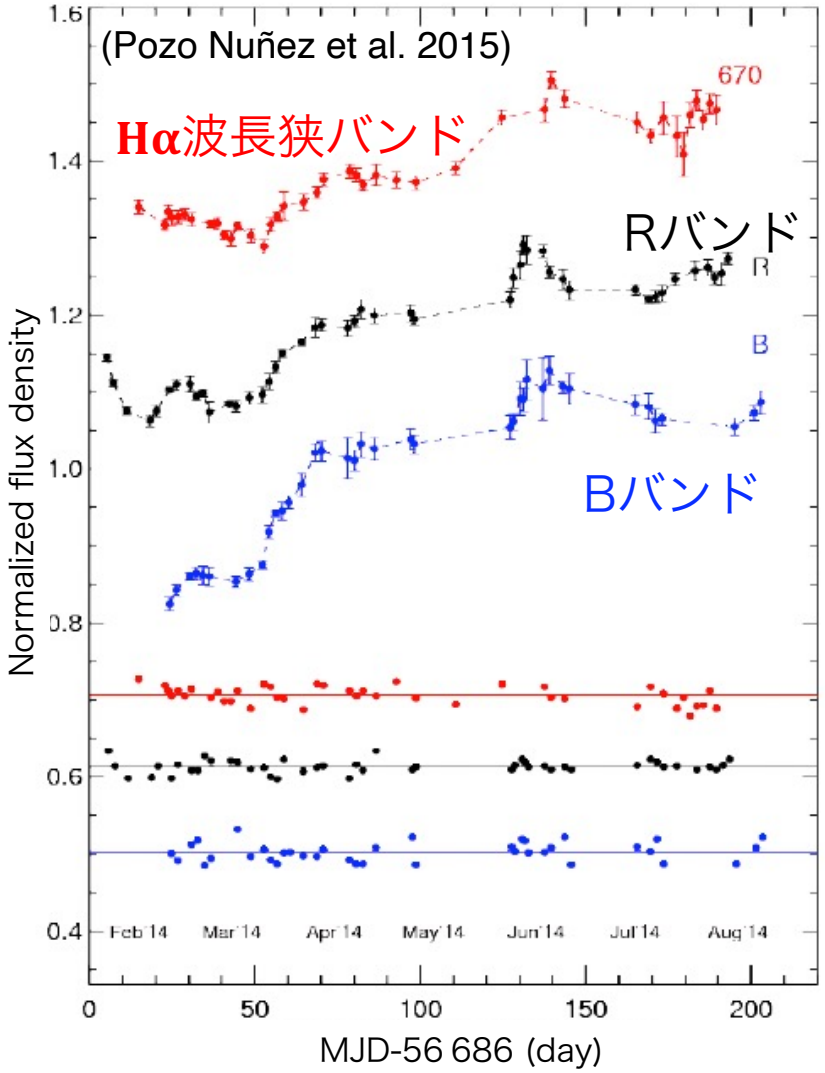
- 隙間成分は可視・近赤外連続波と同様の強度時間変動を持つはず
  - ▶ 変動タイムスケールは数ヶ月~数年
- 反射成分は数ヶ月では強度変動は ほぼ見られないと考えられる
  - ▶ 空間スケールが広がることで、変動タイムスケールが伸びる

→ 強度変動幅の調査から 両成分が分離できると期待される

強度変動の観測案

- 1ヶ月ごとの観測を3回行い、その間に生じた強度変動幅を調査
  - ▶ 強度変動の有無から、隙間成分の有無を明らかにする
  - ▶ 可視偏光分光観測によるフォローアップで反射成分の有無を裏付け
- 変動が検出された場合、変動幅の大きさから各成分の比率を推定
  - ▶ 本来の変動幅は、観測データにダスト減光の補正を行い推定

unobscured AGNの
可視光, Hα輝線の光度曲線の一例



本観測の概要

Seimei KOOLS-IFU

(1) 可視分光観測 (VPH683)

- ▶ Hα広輝線強度の測定
- ▶ Hα広輝線強度の時間変動の検出
- ▶ Hα広輝線に対するダスト減光量の推定

(2) 可視分光観測 (VPH-blue)

- ▶ HONIR データとの互換性の確認と補正

Kanata HONIR

(3) 可視分光観測

- ▶ KOOLSデータとの互換性の確認と補正

(4) 可視偏光分光観測

- ▶ 反射成分の有無の確認と偏光度の推定

(5) 近赤外分光観測

- ▶ Hα広輝線に対するダスト減光量の推定 (水素広輝線成分が検出できた場合)

(6) 近赤外偏光分光観測

- ▶ 反射成分に対するダスト減光量の推定 (水素広輝線成分が検出できた場合)

本観測のターゲット

Heavily-obscured 1.9型 AGN 3天体

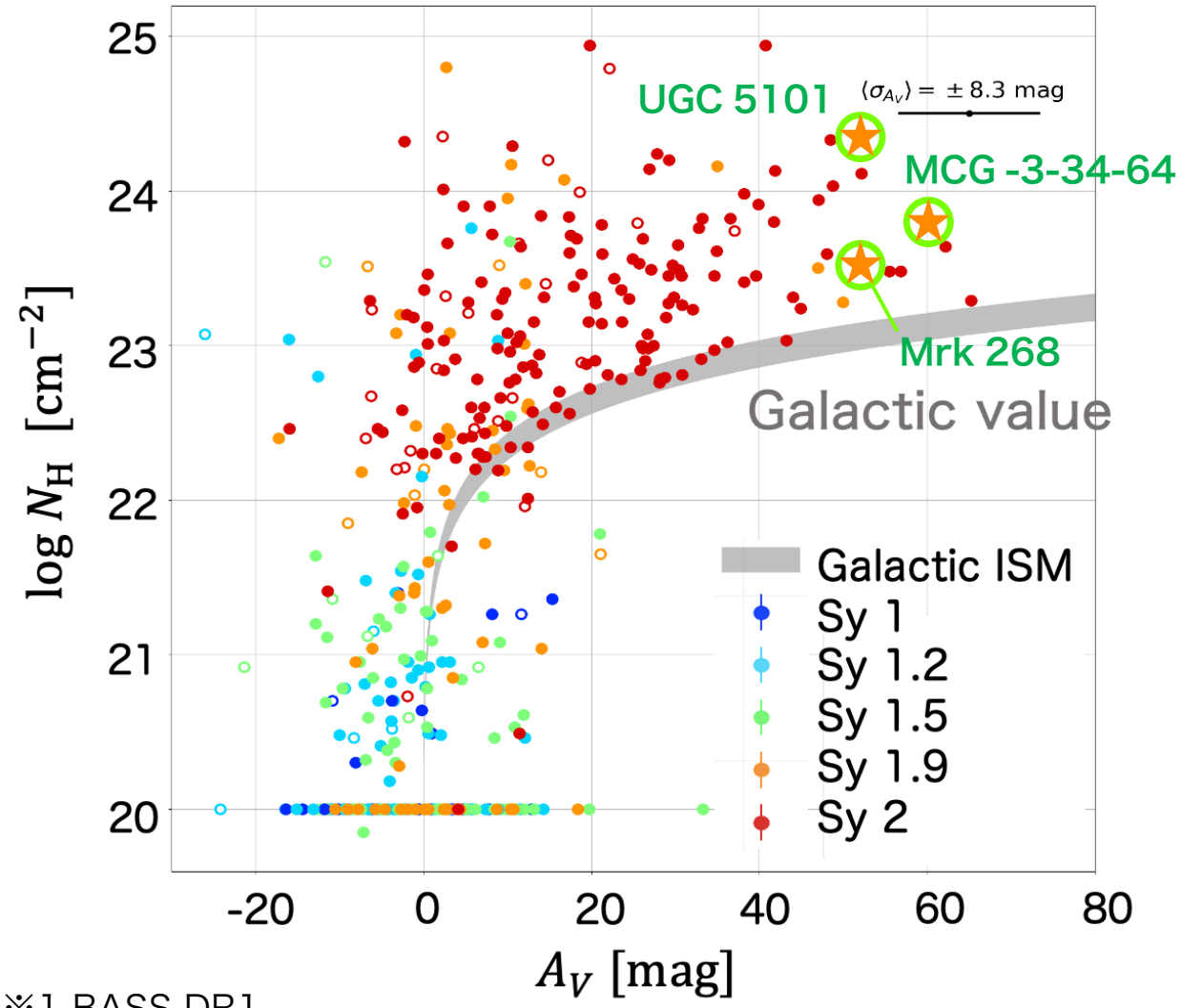
- 以下の条件を満たす 1.9型 AGN を選出
  - ▶ $A_V > 40$ mag　　▶ 前期に日本から観測可能
- 最終サンプルは以下の3天体

UGC 5101

MCG -3-34-64

Mrk 268

target	Hα広輝線強度 [10^{-15} erg/s/cm^2]	視線方向のダスト減光量 [mag] ※3
UGC 5101	19.6 ※1	52 ± 9
MCG -3-34-64	424.9 ※1	60 ± 12
Mrk 268	81 ± 47 ※2	52 ± 10



※1 BASS DR1

※2 発表者によるスペクトルフィッティング結果

※3 Mizukoshi+22

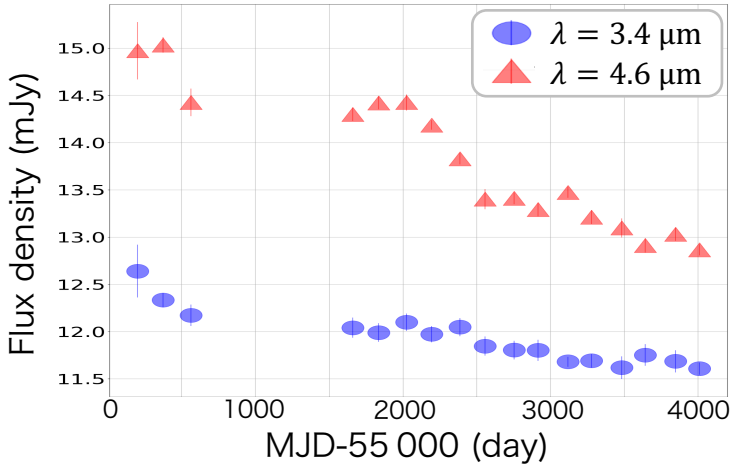
強度変動観測における見積り

観測天体で見られる変動幅と検出可能性の予測

- WISEの近赤外線光度曲線データに基づき各天体の変動幅を予測

1. WISEデータを用いて6ヶ月間で生じた近赤外線変動幅を測定
   ▶ ダスト減光を補正し、これを Hα 広輝線の本来の変動幅と見なす
2. ダスト減光の影響を加味し、Hα広輝線変動幅の観測値を推定
   ▶ 先行研究によるHα広輝線光度と硬X線光度を利用 (Shimizu+18)
3. 2.の結果の1/6を1ヶ月間での変動幅とする
   ▶ 変動が線型補間できると仮定

WISEデータの光度曲線の例



※1 誤差を考慮したlower limit を計算.

※2 lower limitでなく計算結果を使うと S/N ＞ 11 で変動が検出でき、10分の積分時間で達成できる.

target	1ヶ月の変動幅 [erg/s/cm^2] ※1	Hα広輝線の平均強度 [erg/s/cm^2]	変動幅 / 平均強度 ※1	S/N_{min}	せいめい観測に必要な積分時間 (分)
UGC 5101	$> 1.1\times10^{-15}$	$(19.6 \pm 0.3) \times 10^{-15}$	> 0.056	18	~ **40**
MCG -3-34-64	$> 3.4\times10^{-14}$	$(424.9 \pm 2.5) \times 10^{-15}$	> 0.080	50	~ **20 sec.**
Mrk 268	$> 1.1\times10^{-15}$	$(81 \pm 47) \times 10^{-15}$	> 0.009	> 100 ※2	$>$ **200** ※2

OISTER を利用した観測 (暫定版)

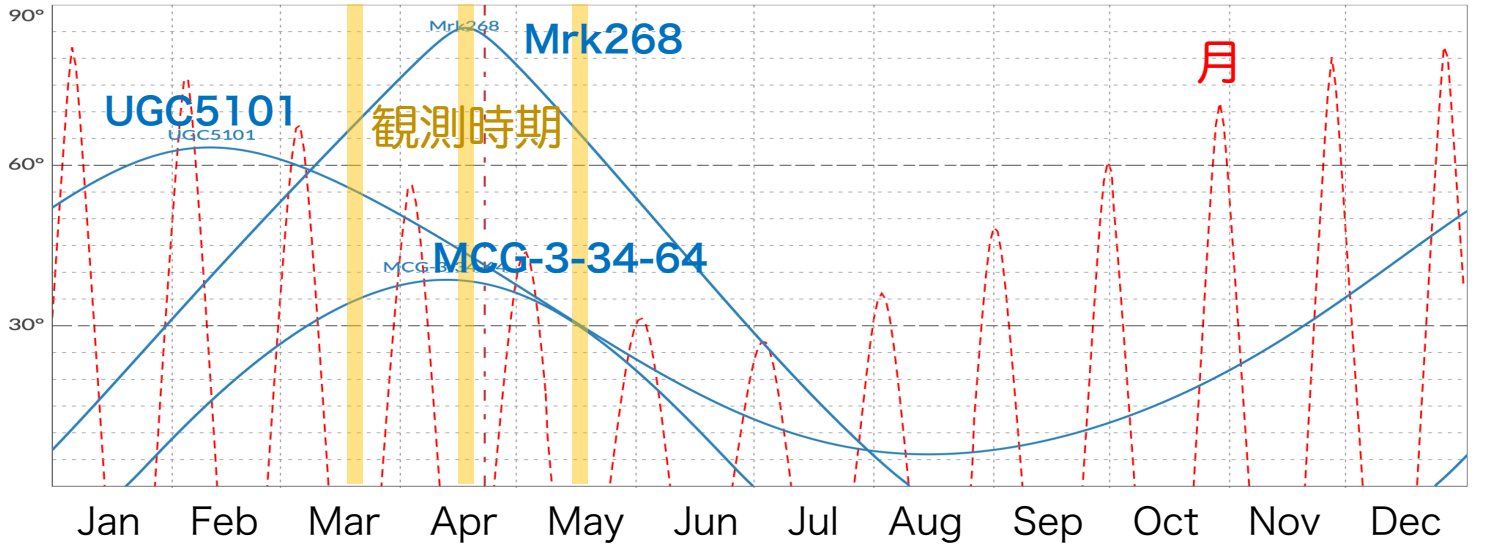
観測形態

- **観測は約1ヶ月のスパンで3回実施の予定**
  - ▶ 変動観測のために最低1ヶ月は期間を空ける必要がある
- **各回のせいめい観測とかなた観測の間隔は数日程度の予定**
  - ▶ 1ヶ月に対して十分に短いスパンが必須
  - ▶ 2つの観測 (せいめい、かなた) が同じ状態を見ている必要があるため

暫定観測スケジュール

- 1ヶ月スパンでToO観測を3回実施
  - ▶ **3月中-下旬 (後半夜の2時間)**
  - ▶ **4月中-下旬 (前半夜の2時間)**
  - ▶ **5月中-下旬 (前半夜の2時間)**

Annual chart 2023



まとめ

1. Mizukoshi+22で発見された heavily-obscured 1.9型 AGN は、
   単純なAGN統一モデルでは説明できない.

2. heavily-obscured 1.9型 AGN における Hα広輝線の放射成分
   を調査することで、AGN構造の深く理解につながると期待される.

3. Hα広輝線の放射成分を隙間成分、反射成分の2成分の重ね合わせと考えれば、
   Hα広輝線強度の時間変動を用いて両成分を分離できると考えられる.

4. 観測は Seimei KOOLS-IFU (VPH-blue, VPH683)、
   Kanata HONIR を用いて行う予定.

   ▶ KOOLS-IFUの分光観測で Hα広輝線の強度変動を追う.

   ▶ HONIRの可視偏光観測で Hα広輝線の反射成分の有無を確認.
   さらに赤外線水素電離広輝線が検出できれば 高精度なダスト減光量推定が可能.