

# 赤外線光度変動を用いた活動銀河核を隠す ダスト分布調査



水越 翔一郎

〈東京大学理学系研究科附属 天文学教育研究センター 〒181-0015 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉  
e-mail: s.mizukoshi@ioa.s.u-tokyo.ac.jp

活動銀河核（AGN）は、銀河中心大質量ブラックホール（SMBH）と銀河の共進化メカニズムを解明する上で非常に重要な天体と考えられている。標準的なAGNモデルによれば、AGNは中心のSMBHと降着円盤を取り囲むようにダストトーラスという遮蔽構造を持ち、SMBHと母銀河を繋ぐ重要な役割を担っている。ダストトーラスに起因する視線上のダスト減光の量は、ダストトーラスの性質を表す重要なパラメータの一つであり、これまで主に可視光観測から推定されてきた。しかし、可視光はダストによる減光を効率よく受けるため、ダスト減光が非常に大きな天体には適用できない。そこで筆者らは、AGNから放射される近赤外線の光度変動成分の赤化に着目して視線上のダスト減光量を測定する新しい手法を確立し、AGNにおけるダスト分布の調査を行った。

## 1. 活動銀河核の概要

### 1.1 大質量ブラックホールと銀河の共進化

現在、銀河の中心には遍く大質量ブラックホール（Super Massive Black Hole; SMBH）が存在している、という考えが広く受け入れられるようになってきた。このSMBH（大きさ約 $10^6$ 光年）とその母銀河（大きさ約 $10^4$ 光年）の間には10桁に及ぶ空間的スケールの隔たりがあるにもかかわらず、両者の物理量には非常に強い相関が発見されている [1, 2]。このことから、両者は宇宙の進化の中で互いに影響を及ぼし合いながら進化（共進化）してきたと考えられているが、そのメカニズムは未だに解明されておらず、天文学の重要課題の一つとなっている。

SMBHと銀河の共進化メカニズム解明の鍵になると考えられているのが活動銀河核（Active Galactic Nucleus; AGN）である。AGNは非常に小さな空間スケールを持つ現象でありながら、銀

河全体と同等かそれ以上の明るさで輝く。この強烈な光はAGNの中心に存在するSMBHへの物質降着で解放された重力エネルギーに由来すると考えられており、したがってAGNはSMBHがまさに成長している現場であると考えられる。さらに、このAGNの強烈な光は周囲の物質を母銀河へと吹き飛ばし、母銀河の環境を大きく変化させる可能性があるため、母銀河の進化にも大きな影響を与えうる [3]。こうした理由から、AGNはSMBHと銀河の共進化メカニズム解明の鍵と言われているのである。

### 1.2 AGNダストトーラスの役割

AGNには、可視光スペクトルに幅の広い輝線（広輝線）を持つものと持たないものが存在し、それぞれセイファート1型AGN、セイファート2型AGNと呼ばれる（以下では、それぞれ1型AGN、2型AGNと呼ぶことにする）。標準的なAGNモデル [4] によれば、AGNは中心にSMBH、その周囲に降着円盤を持ち、それらを取り囲むよ

うにダストトラスと呼ばれるダストを含むガスから成る遮蔽構造が存在する。このAGNモデルによれば、AGNはすべて共通の構造を持っており、中心部から放射された広輝線が直接見えた場合は1型AGNとして観測される一方、放射された広輝線がダストトラスによって隠されて見えない場合は2型AGNとして観測される。

ダストトラスの性質を表す重要な物理パラメータの一つが、ダストトラスに由来する視線方向の減光量（ダスト減光量）である。このパラメータは、視線上に存在するダストの量に対応している。ダストトラスを構成するダストを含むガスは、含まれるダストの量が多いほど放射圧を強く受けることが示されている [5]。したがって、AGN中心部の放射がダストトラスの構造に与える影響、さらにはダストトラスから吹き飛ばされた物質が母銀河の進化に与える影響を知るうえで、視線方向のダスト減光量は重要な情報である。

### 1.3 従来のダスト減光量測定

従来、視線方向のダスト減光量の推定には可視分光観測が用いられてきた。例えば、ダスト減光が比較的小さなAGNに対して、2つの可視水素電離輝線の強度比（Balmer decrementと呼ばれる手法）[6–8]、硬X線とH $\alpha$ 広輝線との光度比 [9] などから視線方向のダスト減光量が推定されてきた。こうした可視分光観測に基づく手法は、比較的小さなダスト減光量であれば精度よく推定することができ、さらに近年の大規模可視分光データベースを用いることで数万天体のAGNに容易に適用できる。その一方、可視光はダスト減光を効率的に受けてしまうため、ダスト減光量が大きな天体には利用できない。

近年では、可視光よりもダスト減光の影響を受けにくい近赤外線のスเปクトルを用いることで、ダストが比較的多い天体の減光量を推定した研究も報告されている [10–12]。しかしながら、近赤外線スเปクトルの大規模なデータベースは存在せ

ず、多数の天体への適用は容易ではない。さらに、ダスト減光が大きな天体ではAGNからの放射が弱められてしまうため、母銀河からの放射を分離、除去するのが難しくなる。

### 1.4 光度変動を用いたダスト減光量測定

AGN中心部からの放射は一般に、数ヵ月から数年のタイムスケールで光度変動を見せる。可視光におけるこの光度変動を視線方向のダスト減光量の推定に応用する具体的な手法が1992年に提案された [13]。この手法では、同時期に得られた可視光2バンドでのフラックスデータのうち短波長側のデータを縦軸、長波長側のデータを横軸にとった図（フラックス-フラックス図と呼ぶ）の解析から視線方向のダスト減光量が推定された。

AGNから放射される近赤外線の多くは降着円盤からの紫外線可視光に照らされたダストトラス内縁部の高温ダスト領域から再放射されたものと考えられ、降着円盤可視光と同様の光度変動を見せる。この近赤外線データを用いて作成したフラックス-フラックス図も可視光のフラックス-フラックス図と同様の性質を示すことが確認されている [14]。こうした先行研究を踏まえて、筆者らは近赤外線データによるフラックス-フラックス図を利用することで、ダスト減光が大きな天体でも母銀河の影響を無視して大規模サンプルに対してダスト減光量を推定できると考え、実際にその手法を確立した [15]。本研究の具体的な手法については、2.3節を参照されたい。

## 2. 近赤外線変動カラーの測定と解析

### 2.1 本研究で用いた近赤外線データ

本研究では、赤外線天文衛星 WISE [16] のデータを用いて近赤外線フラックス-フラックス図を作成した。WISE衛星は2009年に打ち上げられた太陽同期軌道を周回する衛星で、全天に存在する天体を半年に一度観測することができる。この半年に一度の観測期間中に、10回程度の観測が2, 3日にわたって行われる。WISE衛星は2009年の打ち

上げ後、2010年から1年間にわたり W 1 (3.4  $\mu\text{m}$ ), W 2 (4.6  $\mu\text{m}$ ), W 3 (12  $\mu\text{m}$ ), W 4 (22  $\mu\text{m}$ ) の4バンドにおいて全天モニタリング観測を行った。その後2年間の休止期間を経て、2013年から W 1, W 2バンドでの全天モニタリング観測を再開し、この観測は現在も続いている。したがって、W 1, W 2バンドにおける観測データを用いることで、2つの近赤外線バンドにおける10年以上にわたる全天長期モニタリング観測データの利用が可能となる。

**2.2 本研究のサンプル**

本研究で用いたサンプルは、X線天文衛星SwiftのBurst Alert Telescope (BAT) 観測で検出された天体のカタログ [17] に基づくAGN分光調査 (BAT AGN Spectroscopic Survey; BASS) [18, 19] の第1期公開データカタログから選出した。BASSカタログは836天体の近傍AGNから成る。このうち8割弱の594天体には可視光スペクトル解析に基づくセイファート型が与えられており、半数以上が2型AGN\*1である。また、BASSカタログではほぼすべての天体に対して硬X線観測から得られた視線方向の中性水素ガス柱密度データ ( $N_{\text{H}}$  [ $\text{cm}^{-2}$ ]) が与えられている。本研究ではこれらの天体の中から、赤方偏移、WISEデータの品質、セイファート型の有無などの基準に基づいてAGN 513天体を選出した。

**2.3 フラックス-フラックス図を用いたダスト減光量推定**

本研究ではデータの精度を向上させるため、まず得られたフラックスデータを半年に1回の各観測期間ごとに平均した。図1は、各観測期間ごとに平均化したフラックスデータを用いて描いた光度曲線の例である。

続けて、得られた光度曲線データを用いてフ

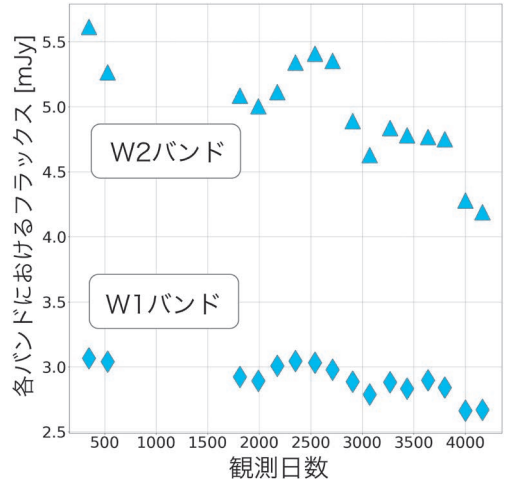


図1 あるAGN (2MASX J20063331+5620364) の近赤外光度曲線の例。

ラックス-フラックス図を作成した。図2, 3は、それぞれ本研究で作成した1型AGN, 2型AGNのフラックス-フラックス図の例である。なお、銀河系星間物質による減光の影響 [21] はこの時点で補正を行っている。

フラックス-フラックス図上に複数の観測時期に対応する点をプロットすると、図2, 3に見られるように多くの天体で2バンドでのフラックスデータは非常に強い相関を示し、その回帰直線の傾きは2つのバンドにおける典型的な光度変動振幅の比 (ここでは変動カラーと呼ぶ) に対応する。AGNがダスト減光をほとんど持たない場合、どの天体も近赤外線変動カラーの値はほぼ同じとなる [14]。一方、AGNがダスト減光を持つ場合には変動カラーは赤化し、フラックス-フラックス図における回帰直線の傾きが減少する。1型AGN (図2) と2型AGN (図3) のフラックス-フラックス図を比較すると、1型AGNでは直線の傾き (変動カラー) が1.1であるのに対し、

\*1 BASSカタログのセイファート型は1型, 2型のほかに、H $\beta$ 輝線と [OIII] 輝線の光度比やH $\beta$ 広輝線の有無に基づいた1.2型, 1.5型, 1.9型という細かい分類 [20] が示されているが、本稿ではわかりやすさのために1型, 1.2型, 1.5型をまとめて1型, 1.9型と2型をまとめて2型と表記することにする。

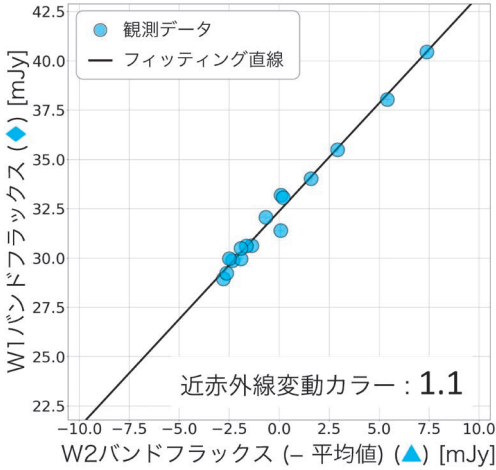


図2 1型AGNのフラックス-フラックス図の例 (LEDA 89176). 縦軸にW1バンド, 横軸にW2バンドにおける各観測期間に対応するフラックスデータをプロットしている. 黒い直線はデータ点に対するフィッティング直線であり, 傾きが変動カラーに対応する.

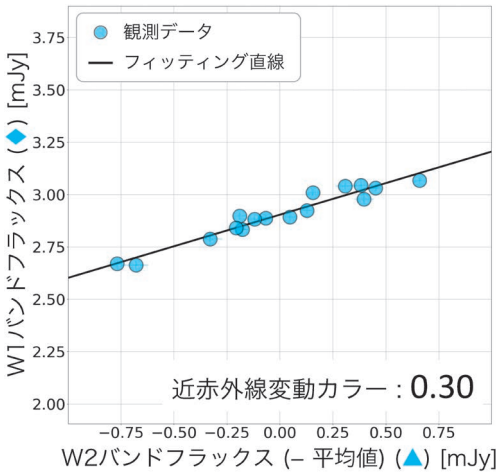


図3 2型AGNのフラックス-フラックス図の例 (2MASX J20063331+5620364). 図2と比べて, 回帰直線の傾きが緩やかになっており, これが変動カラーの赤化に対応していると考えられる.

2型AGNでは0.30に減少していることがわかる. したがって, 回帰直線の傾きが減光がない場合と比較してどれだけ減少したかを調べることで, 視

線方向のダスト減光量を推定できるのである.

この手法は2バンドでのモニタリング観測データさえあれば比較的簡便に視線方向のダスト減光量を推定できるため, 大規模サンプルへ容易に適用できる. さらに, AGN特有の光度変動成分のみを利用しているため, 光度変動しない母銀河放射の影響を受けずに視線方向のダスト減光量を推定できるのである. 本研究では, 513天体のうち8割以上にあたる424天体でW1, W2バンドフラックスデータ間に相関係数が0.9以上という非常に強い相関が見られた. これを踏まえ, フラックスデータ間の相関係数が0.7以上だった天体のフラックス-フラックス図に対して線形回帰解析を行い, その結果463天体に対して変動カラーを誤差0.2未満の精度で推定できた. これらの天体の変動カラーの典型的な測定誤差は0.07程度であった. 以下では, これら463天体に対する変動カラー解析の結果について説明する.

#### 2.4 セイファート型ごとの変動カラーの比較

図4は, 本研究で得られた変動カラーの分布を1型AGN, 2型AGNそれぞれについて示したヒストグラムである (ここでは図7との比較のため, 図の右側ほど赤化が大きくなるように示している). 1型AGNの変動カラーは, 0.9付近を中心に2型AGNよりも比較的狭い範囲に分布している. 一方で, 2型AGNの変動カラーは1型AGNよりも小さな0.6付近を中心に0.4から0.9付近まで広い範囲に分布している. この傾向は, 以下のような描像で説明できる (図5). 1型AGNでは, 高温ダスト領域由来の近赤外線放射における光度変動を直接観測しているため, AGNごとの近赤外線変動カラーの違いは比較的小さくなる. 一方で, 2型AGNではAGNの近赤外線放射がダストトーラスによるダスト減光を受けるため変動カラーは赤化し, その赤化量はダスト減光の大きさによって変化する. その結果, 変動カラーは全体的に赤化するものの1型AGNよりも天体ごとの違いが顕著に見られるようになる.



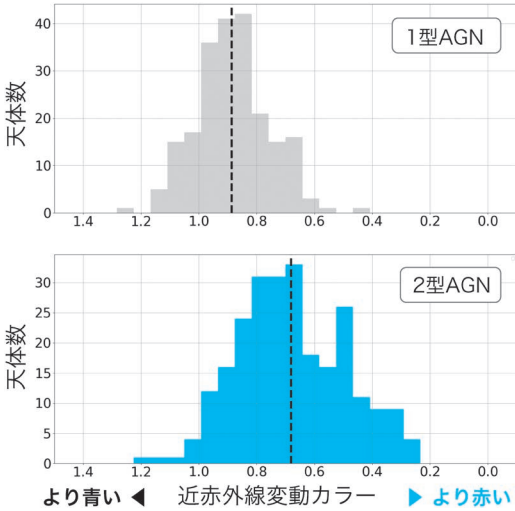


図4 フラックス-フラックス図から推定した近傍AGNの近赤外線変動カラー分布. 上側が1型AGN, 下側が2型AGNの分布を表す. また, 破線は各分布の平均を表す.

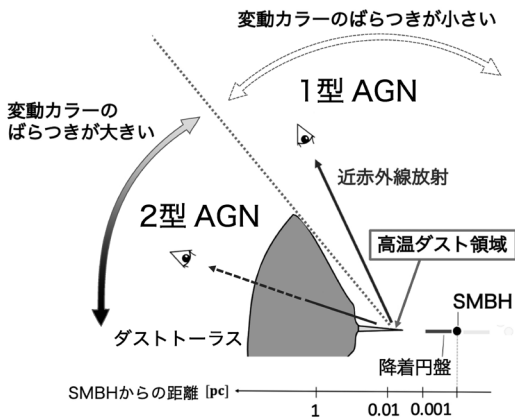


図5 本研究で得られた赤外線変動カラーの分布から推定されるダストトラスの描像.

### 3. 視線方向のダスト減光量

#### 3.1 変動カラーを用いたダスト減光量の推定

視線方向のダスト減光量は, 一般に可視Vバン

ドにおける減光等級 $A_V$  [等級] で表される. ここでは導出を省くが, 近赤外線フラックス-フラックス図で測定した変動カラーから $A_V$ に変換するための関係式は以下で表せる\*2.

$$A_V = -131.6 \times \log\left(\frac{\beta}{\beta_0}\right) \quad (1)$$

ここで,  $\beta$ は各天体の変動カラー,  $\beta_0$ は減光がない場合の変動カラーの値である.

$\beta_0$ の値は, 本研究サンプルの1型AGNのうち, 視線方向の中性ガス柱密度 $N_H$ が観測における下限値 $\log N_H [\text{cm}^{-2}] \leq 20$ をもつ天体\*3の変動カラーを用いて推定した. これらの天体の変動カラーの値は典型的な測定誤差よりも広がって分布した. そこで本研究では $\beta_0$ の推定において, この天体ごとの変動カラーの本質的なばらつき, そして次に示す $\beta_0$ の赤方偏移依存性を仮定した (図6を参照).

$$\beta_0(z) = \beta_0(z=0) + b \log(1+z) \quad (2)$$

ここで,  $\beta_0(z=0)$ は赤方偏移0における $\beta_0$ の値,  $b$ は赤方偏移依存性を表す係数,  $z$ は赤方偏移である. 最小二乗法によるフィッティングの結果,  $\beta_0(z)$ の係数は $\beta_0(z=0) = 0.86$ ,  $b = -0.12$ と推定された. また, 天体ごとの $\beta_0$ の本質的なばらつきの典型値 $\sigma_{\beta_0}$ は $\sigma_{\beta_0} = 0.10$ と推定された.

推定された $\beta_0(z=0)$ , および $\sigma_{\beta_0}$ の値は単温度の黒体放射温度に換算すると $1077 \pm 140 \text{ K}$ に相当し, これは本研究が着目している波長 $3\text{--}5 \mu\text{m}$ の近赤外線がダストトラス内縁部の高温ダスト領域 (図5参照) から放射されていることを支持する結果である. 図7は, (1)式から求めた $A_V$ の分布を1型AGN, 2型AGNそれぞれについて示したヒストグラムである. なお, 変動カラーの誤差か

\*2 式 (1) の係数は $A_V$ に対する $W1, W2$ バンドでの減光等級 $A_{W1}, A_{W2}$ の比に基づいており, 本研究では銀河系星間物質の典型的な減光曲線 [22] から求めた $A_{W1}/A_V = 0.064$ ,  $A_{W2}/A_V = 0.045$ を計算に用いた.

\*3 銀河系星間物質の典型的な $N_H/A_V$  [23][24]を仮定すると,  $A_V \sim 0.05$ 等級程度と同等であり, 減光量は非常に小さい.

ら推定される  $A_V$  の典型的な測定誤差は  $\sigma_{A_V} = 8.3$  等級である。1型AGNの  $A_V$  は0等級付近を中心に分布した。一方で、2型AGNの  $A_V$  は0等級付近の比較的小さな値から  $A_V \sim 65$  等級のような非常に大きな値まで幅広い範囲に分布した。

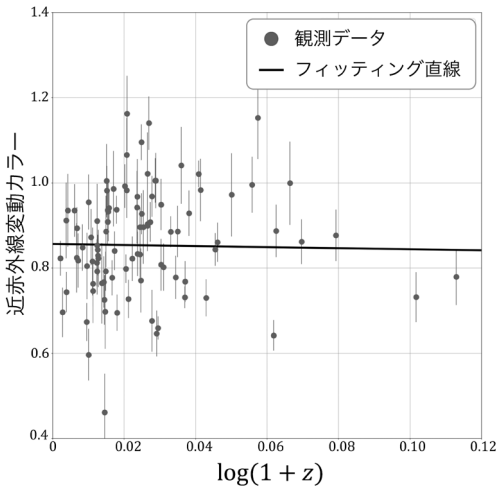


図6  $\beta_0$  の推定に用いたサンプルにおける赤方偏移と変動カラーの関係。灰色の点は各天体のデータ、黒線はフィッティング直線を表す。

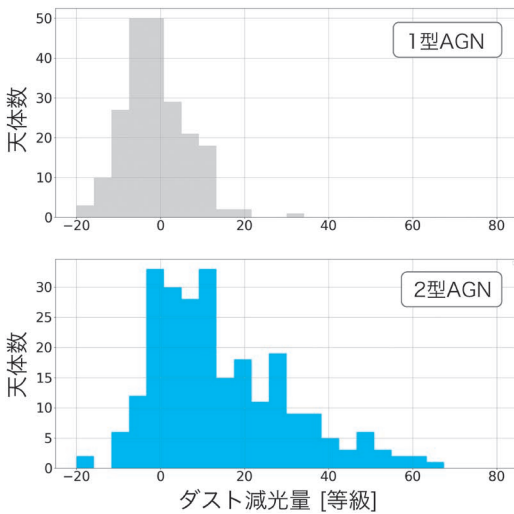


図7 変動カラーから推定したダスト減光量  $A_V$  のヒストグラム。上側が1型AGN、下側が2型AGNの分布を表す。

## 4. ダスト減光量と中性ガス柱密度

### 4.1 ダスト減光量と中性ガス柱密度との比較

図8は、本研究で推定されたダスト減光量  $A_V$  とBASSカタログにある視線方向の中性ガス柱密度  $N_H$  との比較である。  $\log N_H [\text{cm}^{-2}] \leq 22$  の天体は  $A_V \sim 0$  等級を中心に分布し、その多くが誤差の範囲で  $A_V = 0$  等級と一致した。また、これらの天体の多くが1型AGNであった。  $\log N_H [\text{cm}^{-2}] \geq 22$  の天体では、  $N_H$  と  $A_V$  の間にゆるい相関が見られたが、一方で両者の比 ( $N_H/A_V$ ) には2桁程度にも及ぶばらつきが存在した。また、これらの天体の多くは2型AGNであった。

図8には、比較のために銀河系星間物質の典型的な  $N_H/A_V (= 1.79\text{--}2.69 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2} \text{ 等級}^{-1})$  [23, 24] を示している。  $A_V > 20$  等級に分布するダスト減光量が非常に大きな天体は、ほぼすべて銀河系星間物質の  $N_H/A_V$  を示す範囲よりも上側に分布しており、すなわち典型的にはこれらの天体の  $N_H/A_V$  が銀河系星間物質よりも大きいことを示す。

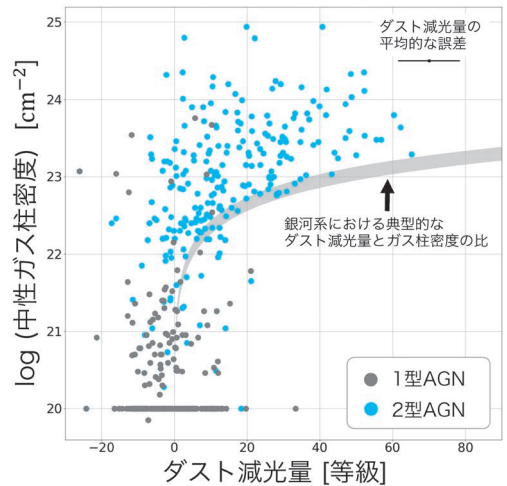


図8 本研究で推定した視線方向のダスト減光量  $A_V$  と、先行研究でX線観測から推定された視線方向の中性水素ガス柱密度  $N_H$  との比較。灰色の点は1型AGN、青色の点は2型AGNを表す。また、灰色の帯は銀河系の星間物質における典型的な両者の比を示す。

さらに、このような  $A_V$  の大きな天体の分布の下端が、銀河系星間物質の  $N_H/A_V$  を示す範囲とほぼ一致することも確認できた。こうした傾向は先行研究 [9, 11] でも示唆されていたが、これだけ多数の天体を用いて系統的に示したのは本研究が初めてである。

**4.2 ダスト減光量と中性ガス柱密度の関係を説明する2つのシナリオ**

ダスト減光量の大きな AGN における  $N_H/A_V$  の振る舞いを説明するために、先行研究では大きく2つのシナリオが考えられてきた。

一つ目のシナリオは、ダストトーラスに含まれるダスト粒子の典型的な大きさが銀河系星間物質よりも大きい、という説である [25, 26]。ダスト粒子の大きさが大きくなるほど、ダスト質量あたりの減光量は減少する。そのため、ダストとガスの質量比が同じでも  $N_H/A_V$  は増加する。ダストトーラス中のダスト粒子が銀河系星間物質よりも典型的に大きいことは、例えば1型 AGN の減光曲線において  $0.01 \mu\text{m}$  程度の小さなグラファイト粒子に由来する  $2175 \text{ \AA}$  のバンプが見られないことや、AGN の減光曲線が銀河系星間物質の減光曲線と比べて平坦であることから示唆されている [25-28]。ただし、本研究でみられた  $N_H/A_V$  の2桁以上の違いをダストの性質のみで説明するのは難しいと考えられる。また、このシナリオではダストトーラスを構成するダストを含んだガスが  $A_V$  と  $N_H$  をすべて担っていると考えられるが、この場合 AGN でしばしば観測される数ヵ月から数年という比較的短いタイムスケールでの  $N_H$  の時間変動 [11, 30, 36] を説明するのは困難である。

二つ目のシナリオは、ダストトーラスよりも中心側にダストを含まないガスの雲が存在し、それが視線上に存在することで  $N_H$  が増加する、という説である [11, 29-31]。ダストトーラスの内縁は、中心放射による熱でダスト粒子が昇華する半径（昇華半径）によって決定されると考えられており、実際に反響マッピング観測で見られる半径-

光度関係 ( $r \propto L^{1/2}$ ) から強く示唆されている [32-35]。したがって、ダストトーラスの内側にはガスのみが存在できる。こうしたガスは X 線吸収のみに寄与するため、 $A_V$  を変えずに  $N_H$  のみを増加させることができる。このシナリオでは、 $\log N_H [\text{cm}^{-2}] \geq 22$  に分布する個々の天体ごとの  $N_H/A_V$  の違いを、視線上に存在するガス雲の個数や密度の違いで容易に説明できる。また  $N_H$  の時間変動についても、ガス雲が視線上を横切ることで一時的に  $N_H$  が増減していると考えれば説明できる。さらに、ダスト減光の大きな AGN の  $N_H/A_V$  の下端が銀河系星間物質における  $N_H/A_V$  の関係とほぼ一致したことも、ダストトーラスが銀河系星間物質と同様のダスト-ガス比を持っており、 $N_H$  の増加がガス雲のみによって生じると考えれば説明できる。図9にこのシナリオが想定する AGN の描像を示す。

以上を踏まえて本研究では、ダスト減光の大きな AGN の  $N_H/A_V$  が銀河系星間物質の典型値よりも大きい主な原因として、ダストトーラス内側に存在するガス雲が視線にあることで  $N_H$  が増加したというシナリオを採用している。ただし、図8の  $A_V \geq 40$  等級の範囲では天体の分布の下端が  $A_V \leq 40$  等級よりもやや上側に移動しているように見え、これは真横方向から AGN を観測したことでダストトーラスの円盤面に比較的多く存在す

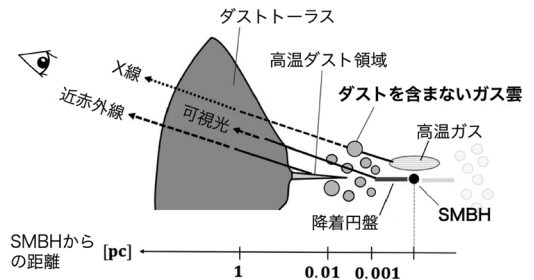


図9 ダストを含まないガス雲の存在を仮定した場合に想定される AGN の描像。近赤外線、可視光、X線の放射領域はダストトーラスに比べて非常に小さく、実際にはこれらはほぼ同じ視線方向から放射されていると考えられる。

と思われる大きなダスト粒子の影響を受けた可能性もある。

## 5. まとめと今後の展望

本研究では、AGNに特有の近赤外線光度変動に着目し、ダストトラスに由来する視線方向のダスト減光量 $A_V$ を推定する新たな手法を確立した。2型AGNを含む463天体のサンプルに本手法を適用した結果、2型AGNの $A_V$ が $A_V \sim 0$ 等級の小さな値から $A_V \sim 65$ 等級に至る非常に大きな値まで幅広い範囲に分布することを示した。さらに視線方向の中性水素ガス柱密度との比較から、2型AGNの $N_{\text{H}}/A_V$ が銀河系星間物質よりも典型的に大きく、大きなばらつきを持つことを先行研究よりも多くの天体について確認した。

本手法は、可視光よりもダスト減光の影響を受けにくい近赤外線を用いることでダスト減光量の大きなAGNにも適用できるだけでなく、比較的簡便であることから大規模なサンプルに対しても容易に展開できる。さらにAGNに特有の時間変動成分を用いることで、母銀河放射の混入を考慮する必要がない。WISE衛星は全天モニタリング観測を行っており、そのデータベースには本手法を適用できるAGNが約10万天体ほど存在する見込みである。これらの天体に本手法を適用することで、大量のダスト減光量データに基づいたダストトラスの構造や状態の推定が初めて可能となり、SMBHと銀河との共進化メカニズム解明の手がかりが得られると期待される。

## 謝辞

本稿の内容は筆者らが発表した査読論文 [15] に基づいています。指導教員の峰崎岳夫氏、共同研究者の恒次翔一氏、吉田篤洋氏、鮫島寛明氏、小久保充氏、野田博文氏に感謝申し上げます。本研究内容は東京大学理学系研究科からプレスリリースを行いましたので [37]、合わせてご覧ください。本研究は、JST次世代研究者挑戦的研究

プログラム (JPMJSP2108)、科学研究費助成事業 (19K21884, 20H01941, 20H01947, 19K03917) より支援を受けています。最後に、本稿を執筆する機会を下された天文月報編集委員の江草芙実氏に感謝申し上げます。

## 参考文献

- [1] Magorrian, J., et al., 1998, AJ, 115, 2285
- [2] Kormendy, J., & Ho L. C., 2013, ARA&A, 51, 511
- [3] Fabian, A. C., 2012, ARA&A, 50, 455
- [4] Urry, C. M., & Padovani P., 1995, PASP, 107, 803
- [5] Fabian, A. C., et al., 2009, MNRAS, 394, L89
- [6] Baker, J. G., & Menzel D. H., 1938, ApJ, 88, 52
- [7] Ward, M., et al., 1987, ApJ, 315, 74
- [8] Gaskell, C. M., 2017, MNRAS, 467, 226
- [9] Shimizu, T. T., et al., 2018, ApJ, 856, 154
- [10] Schnor-Müller, A., et al., 2016, MNRAS, 462, 3570
- [11] Burtscher, L., et al., 2016, A&A, 586, A28
- [12] Ricci, F., et al., 2022, ApJ, 261, 8
- [13] Winkler, H., et al., 1992, MNRAS, 257, 659
- [14] Glass, I. S., 2004, MNRAS, 350, 1049
- [15] Mizukoshi, S., et al., 2022, MNRAS, 516, 2876
- [16] Wright, E. L., et al., 2010, AJ, 140, 1868
- [17] Baumgartner, W. H., et al., 2013, ApJS, 207, 19
- [18] Koss, M., et al., 2017, ApJ, 850, 74
- [19] Ricci, C., et al., 2017, ApJS, 233, 17
- [20] Winkler, H., 1992, MNRAS, 257, 677
- [21] Schlafly, E. F., & Finkbeiner D. P., 2011, ApJ, 737, 103
- [22] Fitzpatrick, E. L., 1999, PASP, 111, 63
- [23] Predehl, P., & Schmitt J. H. M. M., 1995, A&A, 500, 459
- [24] Nowak, M. A., et al., 2012, ApJ, 759, 95
- [25] Maiolino, R., et al., 2001, A&A, 365, 28
- [26] Maiolino, R., et al., 2001, A&A, 365, 37
- [27] Gaskell, C. M., et al., 2004, ApJ, 616, 147
- [28] Czerny, B., et al., 2004, MNRAS, 348, L54
- [29] Granato, G. L., et al., 1997, ApJ, 486, 147
- [30] Risaliti, G., et al., 2002, ApJ, 571, 234
- [31] Ichikawa, K., et al., 2019, ApJ, 870, 31
- [32] Suganuma, M., et al., 2006, ApJ, 639, 46
- [33] Koshida, S., et al., 2014, ApJ, 788, 159
- [34] Minezaki, T., et al., 2019, ApJ, 886, 150
- [35] Lyu, J., et al., 2019, ApJ, 886, 33
- [36] Bianchi, S., et al., 2009, ApJ, 695, 781
- [37] 水越翔一郎, 峰崎岳夫, “赤外線放射の『鼓動』で探る銀河中心ブラックホールを隠すダストの分布”, 東京大学理学系研究科, 2022-09-16, <https://www.s.u-tokyo.ac.jp/ja/press/2022/8071/>



**Measurement of AGN Dust Extinction  
Based on the Near-Infrared Flux Variability**

**Shoichiro MIZUKOSHI**

*Institute of Astronomy, Graduate School of  
Science, The University of Tokyo, 2-21-1 Osawa,  
Mitaka, Tokyo 181-0015, Japan*

Abstract: Active Galactic Nuclei (AGNs) are important objects to understand how supermassive black holes and galaxies have coevolved. Dusty tori are obscuring materials that surround SMBHs and accretion disks, and they link SMBHs and their host galaxies. The dust extinction due to the dusty torus along the line of sight is one of the key parameters to understand properties of the AGN. Although the line-of-sight dust extinction is generally measured with optical observations, this is only applicable to less-obscured objects because optical emission is effectively obscured by dust. In this article, we present a new method to measure the line-of-sight dust extinction of AGNs based on the reddening of the color of the variable flux component in near-infrared bands. We also show some results of the investigation of dust distribution using this method.