

## 論文内容の要旨

### 論文題目

A study of the variable continuum component of type I AGNs  
in the optical and near-infrared wavelength regions

(I型活動銀河核の可視、近赤外領域における連続光変動成分の研究)

氏名 富田 浩行

MAGNUM (Multicolor Active Galactic Nuclei Monitoring) プロジェクトは専用の望遠鏡と観測装置をハワイマウイ島ハレアカラ山頂に設置し、多数の活動銀河核を可視と近赤外線波長域で長期間にわたって観測するプロジェクトである。プロジェクトでは、新たに考案した距離決定の原理により、得られた観測データから天体までの距離を決定し、宇宙論パラメータを決定する試みを進めている。その距離決定の原理は、次のようなものである。

活動銀河核の中心部には、高温の降着円盤が存在し、その周りをダストトーラスが取り巻いており、中心降着円盤の放射を受けて温められ赤外線を再放射していると考えられている(図1左)。降着円盤に近い領域ではダストは昇華温度を越え存在できないが、そのダストの存在できない領域の大きさは中心降着円盤の紫外線放射強度を反映する。ここでもし中心降着円盤の紫外線放射強度が変動した場合、ダストトーラスからの赤外線の再放射は、降着円盤とダストトーラスとの距離分だけ遅れて変動する事になる(ダスト反響, 図1右)。降着円盤からの紫外線と可視光の放射は同期して変動する事が知られているので、観測では、可視と近赤外線の変動時間遅延を測定し、これを中心降着円盤とダストトーラスの距離に相当するものと考え、そこから中心降着円盤の絶対光度を推定し、それと見かけの明るさを比較する事によって観測した天体までの距離を決定する。

ダスト反響はこれまで多くの活動銀河核で確認されているが、より正確に中心降着円盤とダストトーラスとの距離を測定する為には、降着円盤の赤外波長域でのスペクトルと、ダストトーラスの温度構造について知る必要がある。すなわち、降着円盤の

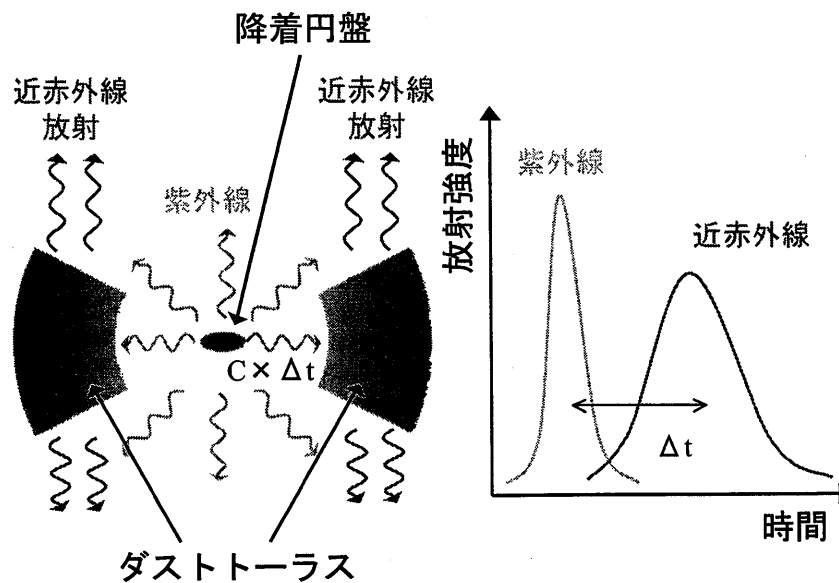


図 1: ダスト反響モデル

赤外線放射やダストトールラスの温度構造が存在していて、近赤外波長域の見かけの放射変動に関係すると考えられている。

こういった背景のもと、本研究では MAGNUM プロジェクトによって得られた 11 個の活動銀河核の可視と近赤外波長域での高精度光度曲線を基に、新しい連続光変動成分解析の方法を用いる事によって活動銀河核の降着円盤とダストトールラスの構造を明らかにする事を試みた。

本研究では、恒星に比べ大変温度が高い活動銀河核の降着円盤 (~数万度) と非常に温度の低い (~1500 度) ダストを研究の対象としており、装置の校正を行い信頼性を確認する事が重要であった。そこで、多数の標準星の観測結果から装置の性能を評価し、MAGNUM 望遠鏡と MIP (Multicolor Imaging Photometer) 観測装置が非常に高い精度で天体の測光を行う能力がある事を確認した。

この MAGNUM 望遠鏡により観測されている活動銀河核の中から 11 個を選び、解析を行った。活動銀河核は必ずその母銀河と共に観測され、その影響が大きい上に、その影響を正確に取り除く事が困難である事が問題になっていた。そこで本研究では、母銀河等の影響を受けない変動成分のみに注目して降着円盤成分とダストトールラス成分の解析を行う事とした。

可視域の降着円盤成分のスペクトルを得るために、Flux Variance Gradient(FVG) 解析 (Choleniewski (1981), Winkler et al.(1992)) を適用した。赤外域においては、ダストトールラスの放射の他に、降着円盤からの赤外線放射とダストトールラスの温度構造を考慮に入れる必要がある。そこで本研究ではこれらの要素を考慮に入れ、変動成分を降

着円盤とダストトーラスの各成分に分離する変動成分解析の方法を新たに考えた。この解析は、重回帰分析を基本としたもので、降着円盤の可視-赤外波長域のスペクトルとダストトーラスの赤外波長域のスペクトル、さらにダストトーラスからの放射変動の赤外バンド間時間遅延を得る事ができる。

これらの変動成分解析を行った結果、降着円盤のスペクトルは、可視から近赤外波長域においておよそ周波数の0から0.5乗のべき型スペクトルを示す事がわかった。このスペクトルは、多数の活動銀河核に対してFVG解析を可視波長域において行ったWinkler et al. (1992)やWinkler (1997)の結果と良く一致した。しかし、得られたスペクトルは、LBQS (Large Bright Quasar Survey)やSDSS (Sloan Digital Sky Survey)等の大規模サーベイ観測によって得られた活動銀河核の composite spectrum に比較してかなり青い。活動銀河核が明るくなるとスペクトルが青くなるという報告と変動成分の解析が母銀河等の非変動成分の影響を受けない事を合わせて考えると、過去の観測、報告は、母銀河等の赤い非変動成分に青い降着円盤の変動成分が合わさったものを見ていた、すなわち母銀河等の影響が非常に大きかったと考える事ができる。

得られた降着円盤のスペクトルと、最近のNGC7469やArk564における紫外から可視領域における変動時間遅延の波長依存性の観測結果 (Collier et al. 1998, Collier et al. 2001)を合わせて考えると、標準降着円盤がその中心から照らされている、反射標準降着円盤が存在していると考えられる事ができる。また、降着円盤成分についておよそ一定のべき型スペクトルが近赤外波長域まで伸びていた事から、降着円盤が赤外線を放射する領域まで広がって存在していると考えられる事ができる。標準円盤モデルにおいてこの距離は典型的な Seyfert 型活動銀河核で、中心からおよそ  $1000R_g$  ( $R_g = GM/c^2$ ) になり、これは Broad Line Region (BLR) が存在すると考えられている領域とかなり近く、降着円盤の最も外側は BLR と相互作用している可能性が考えられる。さらに、得られた降着円盤の可視近赤外スペクトルをより詳しく調べると、可視領域において赤いものは、可視-赤外のカラーも赤くなる傾向を示し、活動銀河内部での減光による効果が示唆された。

一方、重回帰分析によって抽出された赤外領域におけるダスト成分の温度は、1500度から2000度の狭い範囲に分布し、1750度の黒体放射が全体を最も良く表す事ができた。この温度はダスト (graphite grain) が昇華する温度によく一致し、抽出した赤外放射成分はダスト分布の最も内側の昇華温度付近まで温められた所から放射されていると考えられる事ができる。

また、7つの活動銀河核については、降着円盤からのスペクトルの近赤外域への混入を除いても、有意にダスト放射が波長に依存した変動時間遅延を持っている事が示された。これは、ダストトーラスの温度構造についての重要な情報であり、今後のダストトーラスモデルの研究に役立つものと期待される。

また、本研究において観測していた天体の一つについて、ダスト反響現象に関する

大きな発見があった。 $z=0.35$ の遠方にあるRXJ2138.2+0112の可視赤外光度曲線から可視と赤外(Kバンド)に200日の変動時間遅延を観測した。この天体については重回帰分析を適用する事ができなかったが、降着円盤のスペクトルについて反射標準降着円盤のスペクトルを仮定して赤外波長域から差し引いた所、ダストトーラス成分の色温度が重回帰分析によって得られたダストトーラス成分の色温度と一致した。従って、この時間遅延の観測は、中心降着円盤とその回りのダストトーラスの最内縁の距離が200光日であることを示していると考えられる。そして、この結果は近傍活動銀河核における中心光度と可視赤外時間遅延の関係(Minezaki et al. 2004)と良く一致しており、本研究におけるこの結果はダスト反響モデルが宇宙論的距離にある天体においても成立する事を観測的に示した事になる。

本研究によって、降着円盤とダストトーラスの各成分についてより正確な理解を得る事に成功した。この理解のもとに本研究にて解析した11天体の観測結果から、降着円盤の明るさを示す可視放射(Vバンド)とダストトーラスの明るさを示す赤外放射(Kバンド)の絶対等級を計算した。すると両者は非常に相関の良い傾き1の比例関係にある事がわかった。このことは、活動銀河核中心から見たトーラスの立体角が明るさによらず一定であり、ダストトーラスの大きさが中心降着円盤の明るさだけで決まっている事を示している。