

論文審査の結果の要旨

氏名 富田 浩行

本論文は、活動銀河核 (AGN) の可視・近赤外線波長域における高精度光度曲線を用いて、AGN の構造を明らかにすることを試みたものである。この研究に使える光度曲線を得るためには、2-3年以上にわたる光度変化の高精度モニター観測が必要であるが、論文提出者は、それを実現するための MAGNUM プロジェクトにその立ち上げ期から長期間参加し、観測装置の開発と測光精度の確認及び大量のデータ処理システムの開発に重要な貢献をした。

論文は7章よりなる。第1章のイントロダクションでは、AGN の構造に関する現在の知識と未解決の問題が記述されている。AGN の中心にはブラックホールがあり、周囲から吸い込まれる物質からなる高温の降着円盤がブラックホールを取り巻いている。そのさらに外側に塵 (ダスト) を多く含む物質が円環状に分布していると考えられ、ダストトールラスと呼ばれている。可視光領域では降着円盤からの放射が支配的で、近赤外線領域ではダストトールラスからの熱放射が主な寄与をする。本論文では未解決の問題の一つである変動成分を主に扱う。

第2章では、使用した口径 2m の MAGNUM 望遠鏡と多波長カメラの解説、及び多数のフィルターを有する測光システムの特性と校正結果が述べられている。第3章では、今回の観測対象とした6個の AGN の選定と、観測の戦略及び手順が述べられている。今回選んだ6個は、降着円盤とダストトールラスをほぼ正面から見ていると考えられているセIFAート 1 ないし 1.5 型に属する。第4章はデータの処理・整約と明るさの測定及び誤差の評価にあてられている。膨大なデータの半自動処理システムの構築、誤差の評価方法、AGN からの放射のみを取り出すための母銀河成分の差し引き法などには論文提出者独自の工夫が凝らされている。

第5章と第6章に、本論文の中心となる解析方法とその結果及び AGN の構造に関する新しい知見が述べられている。解析は先行する研究で得られていたデータを加えて、11個の AGN に対して行った。可視光と近赤外線の波長帯で観測した光度曲線は時間変動を示す。論文提出者はまず、従来から行われている Flux Variance Gradient (FVG) 解析という手法を用いた。その結果、可視光領域における連続光の変動成分は冪指数型スペクトル $f_{\nu} \propto \nu^{\alpha}$ ($\alpha \sim 0 - 0.5$) でよく表現できることを示した。この結果は近年の大規模な二つのサーベイから得られた AGN の平均スペクトル ($\alpha = -0.3 \sim -0.4$) よりかなり青い。従来の結果がバルマー連続光や鉄の輝線の寄与等により影響を受けていた可能性もあるが、AGN の変光に関する新しい物理が潜んでいる可能性も捨てきれない。

一方近赤外線領域における連続光の変動は、異なる色を持つ複数の成分からなっていることが FVG 解析から示唆された。そこで論文提出者は、独自の手法に基づく重回帰分析を行った。この分析に用いたモデルでは、近赤外域での変動は、降着円盤からの放射 (可視光の変動に同期する) とダストトールラスからの放射の和からなるとする。ただし、後者は、近赤外域にある波長帯の間でも変動に時間差があると仮定する。このモデルで観測結

果がよく説明できることが示された。特に3個のAGNにおいては、統計的に有意な、波長に依存する変動の時間差が求められた。これはダストトーラスの温度構造に関する重要な情報である。モデルから得られた降着円盤からの近赤外域での放射は、可視域と同様に $f_\nu \propto \nu^\alpha$ ($\alpha \sim 0 - 0.5$) で表現できた。従って、降着円盤からの放射の変動は、可視から近赤外の広い波長範囲で同じ冪指数 α を持つことがわかった。重回帰分析から得られたダストトーラスからの熱放射の温度は、1500-2000Kの狭い範囲に集中し1750Kが代表値であることがわかった。この温度はダスト (graphite grain) が蒸発する温度に一致しているので、熱放射は、トーラスの最も内側の高温部分から放射されたと考えることが出来る。

さらに、赤方偏移 $z = 0.35$ にあるAGNにおいて、可視光バンド (V, R, Iの合成) と赤外Kバンドの間に200日の変動時間遅延が観測された。標準的なダスト反響モデルによると、このことは、中心の降着円盤とダストトーラスの最も内側の距離が200光日であることを示している。ダスト反響モデルはこれまで近傍のAGNに適用され、AGNの光度と可視-赤外の変動遅延時間の関係が求められているが、このAGNのデータもその関係に合致する。従来の最遠方記録は $z = 0.165$ であったので、今回の観測は、ダスト反響モデルの適用可能性をさらに一歩遠方に広げたものである。これは、ダストトーラスからの放射を分離できる新しい解析法を用いた結果可能になったものである。

第7章は全体の要約で、さらに補遺として、重回帰分析の詳細とその結果の統計的有意性を示すグラフ、観測された光度曲線の数値データがまとめられている。

以上要するに、論文提出者は長年の取り組みによって、AGNの光度曲線を長期にわたりモニター観測するシステムの構築に貢献し、それによって得たデータの解析から、AGNの構造に関する多くの新たな知見を得た。この論文の背景となるMAGNUMプロジェクトは、吉井 譲、小林行泰、峰崎岳夫、塩谷圭吾、菅沼正洋、青木 勉、越田進太郎、山内雅浩、Bruce A. Petersonの諸氏との共同研究であるが、本論文に関しては論文提出者が中心となってデータ取得、解析、解釈を行ったもので、その寄与は充分と判断する。

以上により、委員会は論文提出者に博士 (理学) の学位を授与できると認める。