

氏 名 塩 谷 圭 吾

学位（専攻分野） 博士(理学)

学 位 記 番 号 総研大甲第452号

学位授与の日付 平成12年3月24日

学位授与の要件 数物科学研究科 天文科学専攻

学位規則第4条第1項該当

学 位 論 文 題 目 Near Infrared Variability of Active Galactic Nuclei

論 文 審 査 委 員 主 査 教 授 川 邊 良 平

教 授 家 正 則

教 授 小 林 行 泰

教 授 中 川 貴 雄（宇宙科学研究所）

助 教 授 川 良 公 明（東京大学）

論文内容の要旨

226 個の活動銀河核 (以下 AGN) を対象にした、近赤外バンド J 、 H 、 K' における変光観測の結果を提示する。サンプルは主に QSO とセイファート 1 AGN からなり、radio quiet AGN (以下 RQ) と radio loud AGN (以下 RL) の両方を含む。サンプルの赤方偏移 z は 0~1、 B バンドでの絶対等級 M_B は -30~-18 にわたって分布する。各天体について 1 年または 2 年の間隔をあけて 2 度の広帯域撮像を行ない、視野内相対測光によって変光を求めた。

必ずしも点光源でない天体の、近赤外域での変光測定に特化した、視野内相対測光による解析法を開発した。相対測光でも相殺できない系統的誤差の要因として、AGN が必ずしも点光源でないのことの効果を評価した。本研究の画像においては、AGN の広がりを変光測定に及ぼす影響は 0.01mag 程度であった。AGN の広がり効果を考慮した上で、シーイングサイズと同程度に小さな 3 秒角アパーチャを採用することで、信号雑音比を 2~3 倍に高めることができた。またフラットフィールドニングなどに起因する系統的誤差は、無視できる場合の頻度が最も高かった。しかし 0.1mag 以上になる場合も小数あり、平均的には 0.03mag 程度であった。多くのサンプルにおいて、これらの系統的誤差よりも統計的誤差が支配的であった。AGN の変光決定の最終的な誤差は J 、 H 、 K' 各バンドで 0.05mag 程度であった。AGN 周辺の参照天体についても同様に相対測光を行なうことで、本研究の相対測光の誤差評価は、誤差が 0.01~0.10mag の範囲で定量的に適切であることを確認した。

$2\sigma(3\sigma)$ 以上の確からしさで変光が検出された天体の割合は 58%(44%) であり、バンドの違いによらず同程度であった。 $\sigma < 0.03\text{mag}$ の高精度のデータ群においては 80%(64%) となった。変光検出率はデータの精度とともに上昇し、頭打ちの兆候は見られなかった。

複数の AGN の変光データから変光の典型的な大きさを求めるため、アンサンブル変光を定義した。どのような AGN のグループにおいても、アンサンブル変光に有意な波長依存性は見られなかった。全天体のアンサンブル変光は約 0.2mag であり、観測間隔が長いグループでは短いグループよりアンサンブル変光が大きくなる傾向があった。RL のアンサンブル変光は 0.26mag であり、RQ における値 0.18mag より有意に大きかった。

RQ と RL の変光の M_B 依存性には有意な違いがあった。RQ のアンサンブル変光には、有意な M_B 依存性はみられなかった。一方 RL では、 z が大きく M_B で明るいほど有意に大きな変光を示した。 $J-H$, $H-K'$ の近赤外カラーについての解析から、暗い天体のフラックスほど母銀河成分の寄与を強くうけていることが結論された。これらの結果から、母銀河成分を除いた正味の RQ の変光の大きさと luminosity の間には、負の相関がある可能性が指摘された。

全天体および RQ、RL の J 、 H 、 K' バンドの変光には、相関係数 r_{JH} , $r_{HK'}$, $r_{JK'}$ が 0.6~0.9 の正の相関があった。0.1 < z < 0.3 の RQ では、 $r_{HK'}$ は r_{JH} , $r_{JK'}$ より有意に大きな値となった。RQ の r_{JH} , $r_{HK'}$, $r_{JK'}$ の z 依存性は dust reverberation モデルと整合性があった。一

方 RL では、 $0.6 < z < 1$ での r_{JH} , r_{HK} , r_{JK} がバンドによらず 0.95 程度と高い値を示したことが特徴的であった。

RL の中でも、flat spectrum radio loud のアンサンブル変光は steep spectrum radio loud のものより有意に大きかった。steep spectrum RL のアンサンブル変光は RQ のものよりは有意に大きく、また flat spectrum RL, steep spectrum RL の両方で変光の大きさと luminosity の間に正の相関が見られた。ただし steep spectrum RL で見られた特徴は、混入した flat spectrum RL に起因する見かけのものである可能性がある。

本研究で見出された RQ と RL の変光の特徴の違いは、RQ では dust reverberation 機構を、RL では非熱的機構を反映していると考えらることで説明できる。

活動的銀河中心核（AGN）の理解は、この間の観測的な研究から大きく進展し、巨大ブラックホールとそれを取り巻く降着円盤およびダストトールスという統一的な描像を得るまでにいたっている。しかし、その中心核領域は小さく観測的に分解して観測することは困難であり、その活動性の起源や中心核領域の詳細な構造はまだ謎のままである。一方、中心核の変光観測は、その時間スケール等から構造の大きさや変光の起源、活動性の起源等の知見を得ることが出来るため、空間的に分解できなくても中心核の重要な情報を与えると期待される。さらに最近になって、活動的銀河中心核の光及び近赤外線の変光観測により、宇宙の年齢尺度であるハッブル定数などの宇宙論パラメータを決める方法が提案されており、この点からもこれまでほとんど明らかになっていない近赤外線変光の性質を調べることは、その方法の適用可能性等を検討する上でも重要な知見を与えると期待される。

本申請者は、大規模な近赤外線の変光観測サーベイを実行し、活動的銀河中心核の変光のデータの解析から、以下のような重要な結果を示した。

1) 多数の AGN について近赤外多波長変光観測を行い、AGN の変光に特化した測光法を確立した。

226 個の AGN について JHK' の 3 近赤外線バンドでの変光観測を行った。観測は 1 天体最低 2 回の観測という、変光の観測としては、個々の天体に対する詳細観測を行わず、特に多数の AGN を観測することを目指したものとなっている。サンプルは主に QSO とセイファート 1 銀河からなり、radio quiet AGN (以下 RQ) と radio loud AGN (以下 RL) を含む。各天体について 1 年または 2 年の間隔をあけて 2 度の広帯域撮像を行ない、視野内相対測光によって変光を求めた。そのために、必ずしも点光源でない天体の変光測定に特化した、視野内相対測光法を開発し、各種誤差の評価を行った。高い精度を得るために視野をシーイングサイズ程度にまで絞っても、実用的に高精度視野内相対測光が行えるシステムを確立しその実用性を実証した。

2) AGN 近赤外変光の一般的な性質を明らかにした。

観測した AGN をグループ分けしグループ毎の変光を統計的に定義し(アンサンブル変光)相互にこれを比較することで、AGN の近赤外変光の特徴を比較研究した。高い精度でしかもこれまでに無く多数の AGN の観測をしたことにより、すべての AGN が変光することが示唆されるデータが示された。観測天体全体のアンサンブル変光量は観測した JHK' の 3 バンドでそれぞれ約 0.2mag となった。

3) Radio Loud AGN と Radio Quiet AGN の変光の特性

アンサンブル変光の比較研究の中で明らかとなった、きわだった特徴のひとつとして RL AGN と RQ AGN の比較がある。特徴をまとめると、a) RL AGN の方が RQ AGN に比較し変光の量が多い。b) 変光の色変化を調べると RL AGN では異なったバンドで同期した変光を示すことに対し、RQ AGN では同期がやぶれ位相のずれた変光をしていることが示唆される。c) ダスト反響効果によると思われる可視赤外変光を示す天体を過去の文献が

ら調査すると **RQ AGN** に限られる。以上の事実から、申請者は、**RQ AGN** の赤外変光はダスト反響効果によるものが主に反映されているが、**RL AGN** 特に **flat spectrum radio loud AGN** での赤外変光の主要因は非熱的成分の変光によると思われる、との結論を導いた。

本申請者の以上の諸成果は、活動的銀河中心核の観測的研究において非常に重要で独創的な成果である。また、今後の変光観測を利用した宇宙論的な研究のための基礎的なデータを提供したという点でも高く評価できる。