

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 理学 )	氏名	名越 俊平
論文題目	Studies of the Structure and Activity History of Quasars Probed by Luminosity Variation (光度変化から探る、クエーサー構造と活動史に関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>本申請論文は、クエーサーの光度変化に着目し、中心核構造や活動史について調査した結果をまとめたものである。近年、観測データの蓄積によって、数十年の長期にわたるタイムスケールでの光度変化を調べることが可能となってきた。それに伴い、可視光において数年間のタイムスケールで1-2等級程度の光度変化を示す、Changing-State Quasar (CSQ) と呼ばれる種族のクエーサーが数多く報告されてきた。CSQの特徴は、広輝線の強度や形状が大きく変化することであり、そのような変化は、クエーサーの中心構造を調査するために最適であると申請者は考え、3つの研究を行った。</p> <p>第一の研究では、最大級の光度変化を示したCSQ、SDSS J125809.31+351943.0 (以下 J1258) を発見した。J1258は2003年から2015年までの間に、可視光から中間赤外線光度および広輝線強度が大幅に増加していた。さらに、1969年、1975年、1983年の測光データから、増光幅は4等級程度となることも明らかになったことから、J1258はCSQであると同定された。申請者は2018年12月と2019年5月に、西はりま天文台の2m望遠鏡を用いて分光観測のフォローアップを行った結果、連続光と広輝線フラックスがピーク時の50%程度に減少していることが分かった。これは、J1258が再び状態遷移を起こしていることを示している。J1258のブラックホール質量は、これまでに発見されたCSQよりも一桁ほど大きい。タイムスケールの変化と降着円盤の大きさの両方がブラックホール質量に依存することから、J1258の増光現象は他のCSQの変動をスケールアップしたものと解釈することができる。</p> <p>第二の研究では、CSQの光度変化とスペクトルの特徴との関係を明らかにした。クエーサーのFeII/H<math>\beta</math>輝線強度比と[OIII]5007輝線の等価幅は、Eigenvector 1と呼ばれる負の相関があることが知られている。申請者は、このEigenvector 1 (EV1) 面上の位置と、10年後にどのように明るさが変化したかを視覚化すべく、3つの解析を行った。まずクエーサー13,438個を調べて、EV1平面上の位置とその後の明るさの変化が明確に関係していることを見いだした。次に、CSQとして報告された76天体をEV1平面上にプロットし、EV1平面上の位置は各天体の活動度に対応しており、明るい状態と暗い状態は、典型的なクエーサーの分布領域を挟んで相対する領域に分布していることを見いだした。最後にスペクトルが複数回観測されている天体のデータを解析し、増光する天体と減光する天体はEV1面上を同じような経路でかつ逆向きに移動していることを突き止めた。この傾向は、従来言われていた「クエーサーのFeII/H<math>\beta</math>フラックス比とエディントン比との間には正の相関がある」という経験則とは逆である。以上の分析から、クエーサーはEV1面上の分布が密な領域をはきんで相対する領域間を振動する傾向があり、それぞれが暗い状態と明るい状態に対応していることが示された。</p>			

第三の研究では、J1258に対して反響マッピング（連続光変化に対する広輝線強度変化の時間差計測）を行って、ブラックホール質量を測定し、広輝線領域の構造を調べた。その結果、ブラックホール質量は  $10^{9.46(-0.19)(+0.15)}$  太陽質量であり、広輝線領域の構造として、ダストトーラス近傍に2つの異なる成分が存在することを確認した。これら2つの成分の起源について考察した結果、ダストトーラス近傍で回転/流入するガスが異なるプロセスで生成されたものであることが示唆された。また、WISE衛星で取得された赤外光度曲線と光学光度曲線のタイムラグを測定し、ダストトーラスの大きさを推定した。さらに、状態遷移の後で可視光とX線間のスペクトルの傾きを比較し、降着円盤の構造の違いを議論した。

(論文審査の結果の要旨)

クェーサーとは、中心にかまえる巨大ブラックホールに多量のガスが流れ込み、その重力エネルギーの解放により、数億年以上の長期にわたって極めて明るく輝く天体である。そしてその生み出すエネルギーは、電磁波放射やガス噴出流（アウトフロー）を介して周囲に多大な影響を与え続けるため、クェーサーの構造を探究することは宇宙の歴史を探求することにつながり、それは天文学的に最重要な課題の一つと言える。しかしながら、巨大ブラックホールの視直径は極めて小さく、直接構造をみることは困難である。近年超長基線電波干渉計による観測が盛んになされているが、それは電波領域に限られた話で、クェーサー放射の大部分をしめる可視光領域で光る構造の理解には使えない。新たな発想が必要とされる。本申請論文は、この難題に、可視光を中心とする電磁波放射量の時間ごとの変化（変光）を使って果敢に挑戦するもので、その天文学的意義は高いと言える。

近年、CSQ と呼ばれる活動銀河核の ON/OFF に相当するような非常に大きな変光現象が遠方のクェーサーで発見され、広域の自動モニタ観測によりその数が急激に増えてきている。申請者はこの天体に注目し、その特徴を解析することにより、クェーサーを含む活動銀河核に共通した普遍的構造を解明することを試みた。

活動銀河核中で高速運動するガスの分布や運動状態は、中心部にあるブラックホールの質量や成長過程を解明する上で鍵となる情報である。この情報は、反響マッピング観測と呼ばれる、連続光の明るさ変化に対する広輝線強度の変化の時間差計測により、中心部から該当する輝線放射領域までの距離として得ることができる。申請者は、長期にわたり単調に増減光する CSQ が、短期間にランダムに増減光を繰り返す通常のクェーサーよりも反響マッピングを用いた中心構造探査に適していると考え、3つの研究を進めた。ここに本論文のオリジナリティが認められる。

1つ目の研究は、独自の方法を編み出して、それを元に長期にわたり単調増光しているクェーサーを広域モニタ観測公開データ（CRTS）より選定し、過去の分光アーカイブデータ（SDSS）と西はりま天文台2m望遠鏡を用いた新たな分光観測で確認、これまでに発見された CSQ の中でも最大級の光度変化を起こしている天体であることを発見したものである。過去に報告例のない極端な変動現象とその後の状況を詳細に調査報告したことが高く評価される。またこのことは、ブラックホール質量の大きな遠方クェーサーのサンプルには、より長いタイムスケールでより激しく変動をする天体が含まれている可能性を示唆している点でも重要と判断できる。

2つ目の研究は、CSQ のように大きく光度変化する現象は、多数のクェーサーが示す平均的な状態を挟んで推移する現象であることを、大量のアーカイブデータの解析により初めて示したものである。ランダムに起こっているかのように見える変光現象が、大局的には二つの状態間を振動するかのように変化していることを突き止めた。これにより、CSQ のような現象が繰り返し起こるのではないかという見通しが得られた。この研究は、変光現象がランダムに起こっていると漠然と考えられている状況を一変させたという点で高く評価できる。

3つ目の研究は、1つ目の研究で発見された天体に対し、せいめい望遠鏡を用いて詳細な反響マッピングの追観測を行い、この天体の広輝線領域が生成起源の異なる2つの場所に分かれて存在していることを示したものである。輝線スペクトル形状の変動から2成分の存在を直感し、両成分を抽出した手腕は類を見ないもので、通常のクエーサーではあまり見られない（もしくは埋もれて見えていない）定常的な高速回転成分の広輝線を発見したと併せて高く評価できる。

以上、申請者は独自の手法により新たなCSQを発見するとともに、独自の観測結果および過去のデータの再解析から、クエーサーの中心構造に関する、今まで知られていなかった知見を得ることに成功した。これはクエーサー研究に新しい道を拓くものと期待され、その天文学的意義は大きいと判断できる。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、令和5年1月16日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 令和 年 月 日以降