

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年3月31日現在

機関番号：34304

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2011

課題番号：20740111

研究課題名（和文） クェーサーが有する電離ガス雲の起源と進化

研究課題名（英文） Origin and Evolution of Ionized Gas Clouds in Quasars

研究代表者

米原 厚憲（YONEHARA ATSUNORI）

京都産業大学・理学部・准教授

研究者番号：10454472

研究成果の概要（和文）：クェーサーと呼ばれるブラックホール天体には、その中心を取り巻くように電離ガスが存在している。このガスの物理的特徴は、クェーサーの起源と進化を知る手掛かりであるが、クェーサーが遠方にあるため直接空間分解による研究が非常に困難であった。しかし、研究代表者が提案した重力レンズ現象を利用する手法により、それが可能となった。実際に、取得した観測データの解析とモデル計算によって、遠方でもすでに近傍と同程度の大きさまで電離ガス雲が広がっている事が明らかになった。

研究成果の概要（英文）：A quasar, a super massive black hole locates at the center, is surrounded by ionized gas. Though physical properties of the gas are clues to unveil origin and evolution of quasars, it was hard to directly probe the spatial structure due to the large distance. However, a method by using gravitational lens which is developed by us make it possible. After we have finished analysis of observational data and model calculations, we found that ionized gas at the large distance extends as the same spatial scale as the gas in nearby quasars.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	600,000	180,000	780,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	600,000	180,000	780,000
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：光赤外線天文学

1. 研究開始当初の背景

超巨大ブラックホールとそれを取り巻く降着ガス流を中心部を持つクェーサーは、遠方にあるため直接空間分解しての観測的研究が困難であるが、中心部、ならびに、その周辺の物理については、様々な観測的・理論的研究から大まかな構造と進化については、

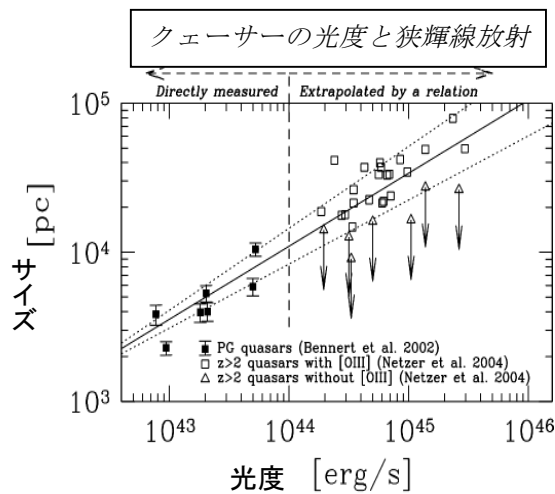
少しずつ理解されるようになってきている。

クェーサーのスペクトルに着目すると一般には、様々な速度成分を持つ、電離した様々な種類の原子から放射された輝線が見られる。その輝線を大別すると、毎秒数千キロメートル以上に及び、ブラックホール近傍のケプラー速度に匹敵する大きな速度成分を持つ広輝線放射領域と、毎秒数百キロメ

トル程度と母銀河中の恒星の速度分散・回転速度に相当する小さな速度成分を持つ狭輝線放射領域からなると考えられている。

狭輝線放射領域については、その輝線幅から推定される速度により、母銀河内の比較的広い範囲にわたり広がる電離ガスが起源であると考えられている。実際に、直接空間分解が可能な近傍のクェーサーについては、輝線放射領域の直接撮像観測から、狭輝線放射領域のサイズや形態などについての系統的な研究がいくつかなされてきた（例えば、Bennert et al., 2002）。その結果、狭輝線放射領域は、その拡がりやクェーサー光度との間に正の相関があることが明らかになってきた（下図参照）。これは、クェーサー中心部の光度が大きくなれば、より多く・広い範囲に渡るガスを電離することが可能となるため、自然な関係と考えられる。

一方で遠方のクェーサーについては、見かけのサイズが小さいことや赤方偏移による波長のズレに起因して、狭輝線放射領域のサイズの直接測定は行われていなかった。その代わりに、近傍での経験則を外装することで実現した間接的な測定からは、その正の相関がある段階で破綻していることが強く示唆されていた。



2. 研究の目的

遠方のクェーサーにおいて、一見自然と考えられる、狭輝線放射領域とクェーサー光度の間の正の相関が破綻しているということは、もはや電離ガス雲が全ての光度・赤方偏移のクェーサーに同じようには存在していないことになる。電離ガス雲の存在や拡がりや、赤方偏移やクェーサー光度、あるいはその両方に依存して進化、ないしは変化していることを意味するこの事実は、つまりクェーサー光度と狭輝線放射領域のサイズの相関の変化や、赤方偏移・光度への依存性を明ら

かにすることが、クェーサー中心部の環境の進化、更にはクェーサー自身の起源と進化を明らかにする手がかりになることをも意味している。

そこで、過去の研究にあるような経験則を用いた外装による物理量の推定に頼らず、より直接的な方法で遠方クェーサーの狭輝線放射領域のサイズと、クェーサー光度の直接測定を行うことが本研究の目的である。更には、いくつかの遠方クェーサーをサンプルとして抽出し、実際の観測に基づく測定を行った結果をまとめ、狭輝線放射領域の時間進化や中心光度依存性を明らかにする。その結果として、現状では明らかになっていない、相関関係の背景にある物理と、その時間進化を明らかにする事から、最終的にはクェーサー自身の時間進化についても新たな知見を得ようとするのが本研究の目的である。もちろん、その際に克服すべき困難を明らかにし、それを解決するための何らかの手段を講じなければならない。

3. 研究の方法

遠方クェーサーの狭輝線放射領域のサイズを直接測定するためには、原理的・技術的な困難があることから、このような測定は行われていなかった。どちらも対象となるクェーサーが遠方であることに起因している。

まず近傍ではないため、対象とするクェーサーの狭輝線の観測波長域が赤方偏移してしまうことが原理的な困難である。近傍においては、特定の狭帯域フィルターを用いることで、比較的容易に撮像観測からサイズの測定は可能となる。しかし、遠方では赤方偏移ごとに波長域を変更する必要があるが、これは非現実的である。そこで本研究では、3次元分光装置による分光撮像観測に着目することで、少なくとも観測装置がカバーしている波長域に対象とする狭輝線がおさまる赤方偏移の範囲での、直接撮像観測を行う。

更に近傍でないことは、拡がっていることが期待される狭輝線領域でさえ、見かけ上は非常にコンパクトになってしまうことを意味する。そしてその見かけのサイズが、観測での空間分解能以下であれば、サイズ測定が不可能になることを意味している。そこで、前方の銀河による重力レンズ現象を受けている、多重像を持つクェーサーに限定して、ターゲットを選定した。このようなクェーサーについては、クェーサー中心部・狭輝線放射領域・母銀河などが、前方の銀河による重力レンズ効果によって空間的に引き延ばされている。1ケタ程度の拡大率は自然に期待できる事から、このようなクェーサーにターゲットを絞ることで逆に、実効的な空間分解

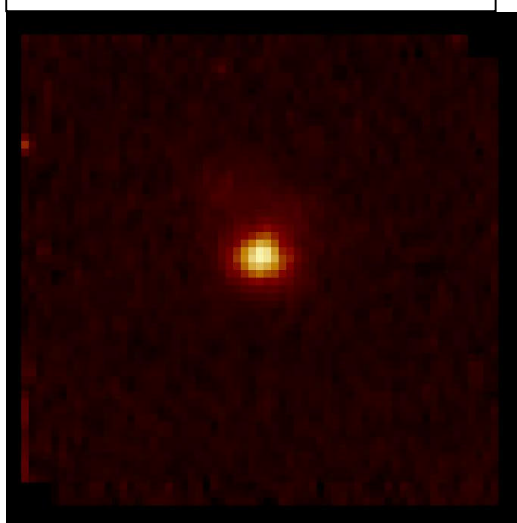
能をあげることができる。重力レンズ現象の特徴を把握していれば、この現象のアドバンテージを有効活用できる。

以上の事を踏まえて、10mクラスの望遠鏡に搭載されている近赤外線領域の三次元分光装置を使用して得られた観測データを解析し、観測で得られた狭輝線放射領域の形態と、重力レンズ現象のモデルを元に得られた理論から期待される狭輝線領域の形態とを比較することで狭輝線放射領域のサイズを測定する。この際、望遠鏡としてはESOのVLTを、観測装置としてはSINFONIをそれぞれ利用した。そして、装置の観測可能波長帯域や、特に現在注目している狭輝線([OIII])の波長等を考慮して、観測ターゲットの選定を行った。

4. 研究成果

まず、自ら観測データの解析を行った。過去の類似の観測結果と理論モデルを比較する際に、観測誤差の評価が結果に影響することが判明していたので、通常用いられるパイプラインをそのまま使用するのではなく、各解析プロセスを吟味した上で、適切な誤差評価を行うことを念頭に最終的なデータキューブ(空間2次元、波長1次元のデータ)を作成した。得られたデータキューブに対して、波長方向の断面を作成することで、必要な狭輝線放射領域の像を得ることができた。また、キューサー光度を評価するために必要なH β についても同様に像を作成した。

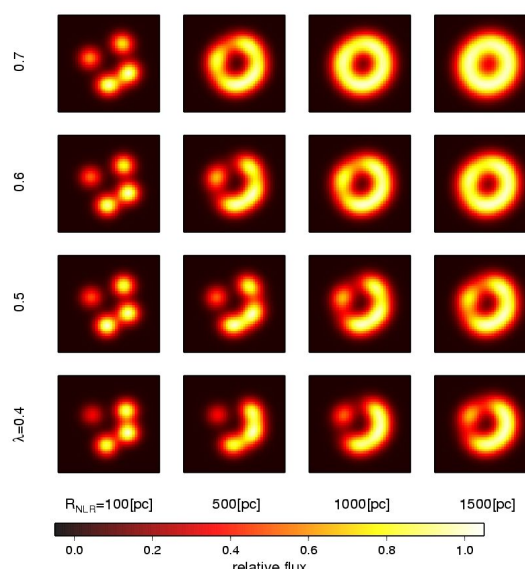
観測データから得られた[OIII]の像
(WFI2026-4536)



ここで、対象となる多重像をもつキューサーについては、ターゲット毎に重力レンズ天体に対する理論モデルがそれぞれ必要とな

る。したがって、HSTによって得られた多重像の位置情報を再現できる理論モデルを自ら構築し、得られたモデルについて、そのモデルの不定性を含めた上で、観測データとの比較を行った。ここで、観測データとモデルとの比較の際に要求される変数は、狭輝線放射領域の典型的なサイズと、レンズモデルの質量分布の中心集中度(密度が半径の $-\alpha$ 乗に比例するような楕円体ポテンシャルを仮定)の2つが主である。レンズモデルの他の変数については、質量分布を固定した時の一番良く多重像の位置情報を再現する変数を用いている。

狭輝線放射領域のサイズと
レンズモデルへの依存性の例



多重像の位置情報、すなわち、キューサー中心部の位置情報だけでは、質量分布の中心集中度 α については、0.3から0.7程度までの比較的広い範囲が許されることになっていた(ちなみに、 $\alpha=0.5$ がいわゆる等温球に相当)。しかし、狭輝線領域に相当する波長帯域の像にある程度の拡がりが見て取れるターゲットについては、狭輝線放射領域のサイズと同時に、質量分布の中心集中度も比較的狭い範囲に限定されることが分かった。

特に、解析例として挙げているターゲットWFI2026-4536は、有意な拡がりを持ったモデルの方が、より良く観測を再現できる事が明らかとなった。また、質量分布の中心集中度の許される範囲も、位置情報のみによる制限に比べ、上限下限ともに0.1程度ずつ狭くなっている。

一方で、同時に取得した標準星との比較から、キューサー光度の指標の1つである、H β 輝線の強度の測定を行った。但しこの値は、既に重力レンズ現象によって増光を受けた

ものを観測した値なので、狭輝線放射領域のサイズ測定にも利用した重力レンズの理論モデルから予想される、様々な質量の中心集中度における増光の大きさを考慮し、本来の光度を算出した。

以上の過程を経て、WFI2026-4536 についての得られた結果は、一番良く観測を再現する値が、狭輝線放射領域のサイズが 500pc 程度であり、クェーサーの光度は 10^{44} erg 程度と得られた。近傍で得られた相関関係とこの結果を比較すると、さほど大きく相関関係からはずれていないことが明らかになったが、より詳細な議論については、適切な誤差評価とサンプルの増加が必要となる。特に拡がりの測定については、誤差評価に関して不確かな部分が残っており、その点については現在再評価を行っている段階である。また、サンプルの増加については、他のターゲットについての解析も現在進めているところである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計2件)

①米原厚憲、重力レンズ現象を利用して得られたクェーサーの光度と狭輝線放射領域の関係、日本天文学会2010年秋季年会、2010年9月23日、金沢大学

②米原厚憲、遠方クェーサーの狭輝線領域のサイズ測定、日本天文学会2009年秋季年会、2009年9月14日、山口大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

米原 厚憲 (YONEHARA ATSUNORI)
京都産業大学・理学部・准教授
研究者番号：10454472