

機関番号：12102

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007～2010

課題番号：19740105

研究課題名 (和文) 原始活動銀河核のブラックホール・銀河共進化究明と偏光 X 線放射予測

研究課題名 (英文) Coevolution of Black Holes and Galaxies in proto-active galactic nuclei and polarized X-ray emission

研究代表者

川口 俊宏 (KAWAGUCHI TOSHIHIRO)

筑波大学・計算科学研究センター・研究員

研究者番号：60433695

研究成果の概要 (和文)：

活動銀河核 (AGN) は、 10^8 太陽質量程のブラックホール (BH) へのガス降着により、典型的銀河の 100 倍ものエネルギーを放射している。しかし、巨大 BH の形成過程、及び銀河との共進化の起源は未だ謎である。そこで、急激に成長中の巨大 BH を宿す事が最近明らかになった、誕生中の AGN “原始 AGN” と巨大 BH になる直前の中間質量 BH 候補天体である超高光度 X 線源に着目する。原始 AGN は大量の極紫外線を放射する為、BH 成長史のみならず銀河進化史においても注目を集め始めている。本研究では、原始 AGN の電波観測から、共進化過程を明らかにする。また、超高光度 X 線源の放射スペクトルとその時間変動から、本当に中間質量 BH が存在するのかどうか吟味を行う。巨大 BH が成長する (質量を増加させる) 元になっているのは、周辺から BH へ落ちてくるガスである。そのガス供給源である、トーラス (ドーナツ) 状に中心 BH を取り巻く天体の構造を理論モデルと観測の比較から解明した。

研究成果の概要 (英文)：

Active galactic nuclei (AGNs) are radiating an enormous amount of emission as a hundred times more luminous than a typical galaxy, by accreting the surrounding gas onto the central black holes (BHs) with their masses of about a billion solar masses. However, the formation process(es) of the super-massive BHs and the origin(s) of the coevolution between super-massive BHs and galaxies are still unclear. Therefore, we notice young AGNs “proto-AGNs” and ultra-luminous X-ray sources which potentially harbor intermediate-mass BHs. Proto-AGNs radiate intense far-UV emission, and thereby attract various researchers in terms of not only the BH growth history but also the evolution history of galaxies. In this project, we try to unveil the mechanism of the BH-galaxy coevolution. Based on the multi-epoch X-ray spectral data of ultra-luminous X-ray sources, we investigate whether intermediate-mass BHs are really exist or not. Super-massive BHs are fed by the surrounding gas and increase their mass. By comparing our model of the torus surrounding the BH and the accretion disk with the observed near infra-red emission from such tori, we examined the structure of the dusty clumpy tori in AGNs.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	700,000	0	700,000
2008 年度	900,000	270,000	1,170,000
2009 年度	800,000	240,000	1,040,000
2010 年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
総計	3,200,000	750,000	3,950,000

研究分野：理論天文学・宇宙物理学

科研費の分科・細目：天文学・天文学

キーワード：理論天文学、宇宙物理、X線天文学、光赤外線天文学、電波天文学

1. 研究開始当初の背景

活動銀河核 (AGN) は、 10^8 太陽質量程のブラックホール (BH) へのガス降着により、典型的銀河の 100 倍ものエネルギーを放射している。AGN の強い極紫外線放射は星間ガスの冷却を阻害し、宇宙の星形成史を制御してきた。しかし、巨大 BH の形成過程、及び銀河との共進化の起源は未だ謎である。また、遠方 (過去) 宇宙における背景光の観測的知見には、常に大きな不定性が残る。

そこで、急激に成長中の巨大 BH を宿す事が最近明らかになった、誕生中の AGN “原始 AGN” に着目する。原始 AGN は大量の極紫外線を放射する為、BH 成長史のみならず銀河進化史においても注目を集め始めている。本研究では、まだほとんど手付かずである、原始 AGN 母銀河の分子ガスの観測から、共進化過程を明らかにする。

2. 研究の目的

原始 AGN は、比較的軽い (約 10^6 太陽質量) 中心 BH と大きい質量降着率を持つ。球対称時の臨界降着率 (エディントン限界) を超えて BH へガスが落ち込む超臨界降着円盤は、BH 周辺が極端な物理状態にある為、円盤理論や基礎物理過程を試す格好の実験場と言える。銀河中心や AGN に存在する BH の質量は、銀河のバルジ (又は、楕円銀河本体) の質量と強く相関している。しかしながら、その相関関係の起源は未解明である。原始 AGN は、両者の同時進化の最中にあると考えられ、共進化の起源究明にも有用である。

巨大 BH が現在ほど成長していない過去の宇宙では、原始 AGN の数密度が近傍宇宙よりずっと大きいはずであり、原始 AGN の背景光への寄与は無視できない。

3. 研究の方法

野辺山観測所 (長野県) ミリ波電波干渉計で、原始 AGN バルジに付随する低温星間ガス (星形成の材料) の高空間分解能 CO 輝線強度マップを取得し、これら成長中のバルジの今後の成長量を導出する。

20 年度以降は、原始 AGN 中心部にある超臨界ガス降着円盤を降着円盤理論を試す実験場と捉えた研究を主に進める。降着率が臨界値 (エディントン限界) よりも小さい円盤、いわゆる標準降着円盤については、これまで十分に理論と観測の比較がなされてきた。一方、超臨界円盤については、ほとんど手付かずである。

まず、AGN よりも約 5-7 桁小さい BH 質量

を持つ超高光度 X 線天体 (ULX) に、申請者の超臨界降着モデルを適用する。時間平均した観測スペクトルと定常理論モデルの比較からは、中間質量 BH でなくとも恒星質量 BH で説明可能なことをすでに示した。しかしながら、異なる年・月・フラックス強度で得られた ULX の放射スペクトルは様々な形を示し、単一の恒星質量 BH で説明できるかは自明ではない。系統的に ULX の多時刻データと比較し、本当に ULX の中心天体は中間質量 BH なのか円盤理論の立場から答えを提示する。

4. 研究成果

狭輝線 Seyfert1 銀河は、中心 BH が急速な成長途上にある AGN で、ごく最近質量降着がトリガーされたばかりの (つまり若い) 銀河核であるというシナリオが提案されている。我々は、狭輝線 Seyfert1 に付随する分子ガスに着目した。分子ガスは今後の星形成のための材料であり、この量や分布から、今後の星形成活動・母銀河の進化・成長を考察できる。そこで、野辺山宇宙電波観測所の電波干渉計を用い、これまで分子ガス観測が行われていない狭輝線 Seyfert1 銀河を観測した。その結果、太陽質量の 10 億から 30 億倍もの大量の分子ガスがこれらに存在し、今後この狭輝線 Seyfert1 の母銀河が成長する量に初めて制限を与えることができた (ApJ 誌にて発表)。

超巨大 BH と恒星質量 BH の存在はこれまで観測的にほぼ確かめられている。この間の missing link として、中間質量 BH (約 1 千太陽質量) が、超高光度 X 線源の中心に存在するのではないかと近年疑われている。もし本当なら、巨大 BH の謎の形成過程を明らかにする鍵となる。しかしこれらの非常に大きい光度は、恒星質量 BH とそこへのガス降着率が異常に大きい状態 (超臨界ガス降着現象) でも説明できるかもしれない。そこで我々は、この可能性の真否を調べるため、Kawaguchi (2003) の超臨界降着円盤モデル (とその改良版) を用いて、超高光度 X 線源の X 線データを詳細に吟味してきた。特に今回我々は、同一の天体を多数回観測したデータに着目した。1 回ごとの観測データだけなら、幾つかの物理パラメータ (BH 質量や BH へのガスの降着率) を調整することでデータを説明でき優劣の判断がつかなかった超高光度 X 線源のモデルが、時間変動のデータを持ちいることで取捨選択できることがわかったのは今回が初めてである (ApJ 誌にて発表)。

一方この正体が未確定の超高光度 X 線源に

ついて、我々はこれらの天体が、実は宇宙最初期のインフレーション中に創られた原始BHにガスが降り積もっているのではないかと考えた。インフレーション中に創られる原始BHの質量と総数について計算・考察し、現在得られている観測データと比較した(MNRAS誌にて発表)。

巨大ブラックホール(BH)へのガス供給源としてダストトーラスが活動銀河中心部に存在する。可視光偏光観測結果などから、中心BHと降着円盤の周りを、ダストを含むclump群がトーラス状の分布で取り囲んでいると考えられている。近赤外線モニター観測はダストトーラス内縁と中心BHの距離が中心核光度の0.5乗に比例する事を明らかにし、ダストのsublimation(昇華)がトーラス最内縁の位置を決めている事を示した。しかし、この半径と光度の比例関係は理論予測値に比べて系統的に約1/3程度小さく観測され、ずれる原因は長く謎であった。そこで我々は、降着円盤からの放射が非等方である事を考慮すると、自然に、かつ定量的にこのずれを説明する事を示した。すなわち、観測者が円盤を観る角度とトーラスから円盤を観る角度の系統的な差が、理論と観測結果の謎の不一致を生み出していたと理解できる。

具体的には、降着円盤からの輻射フラックスの角度依存性を用いてトーラス最内縁部の構造を求めたところ、すり鉢型の形状が得られた。これは、円盤・トーラスの赤道面に近い方向ほど輻射フラックスが小さくなるため、より円盤に近いところまでトーラス内縁が近づくからである。モニター観測結果と比較する為、各clumpからの放射の非等方性も考慮して、円盤のデルタ関数的な増光に対するトーラスの光度変動応答(transfer function)を計算した。その結果、例えば天頂角25度のほぼface-onで観測する場合、近赤外線変動の紫外線光度変動に対する遅れ(トーラス内縁半径)は、中心核の放射が等方的と仮定して求めたダストsublimation半径よりも約1/3小さくなり、観測結果をよく説明する事がわかった(ApJ誌にて発表)。

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)

[雑誌論文] (計 4件)

(1) "Orientation Effects on the Inner Region of Dusty Torus of Active Galactic Nuclei"

著者: T. Kawaguchi, M. Mori

掲載雑誌: The Astrophysical Journal Letters, 2010年, 724巻, 183-187頁, 査読有

(2) "Long-Term Spectral Variations of Ultraluminous X-ray Sources in the

interacting galaxy systems M51 and NGC4490/85"

著者: T. Yoshida, K. Ebisawa, K. Matsushita, M. Tsujimoto, and T. Kawaguchi
掲載雑誌: The Astrophysical Journal, 2010年, 722巻, 760-773頁, 査読有

(3) "Formation of Intermediate-Mass Black Holes as Primordial Black Holes in the Inflationary Cosmology with Running Spectral Index"

著者: T. Kawaguchi, M. Kawasaki, T. Takayama, M. Yamaguchi, J. Yokoyama

掲載雑誌: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 2008年, 8月, 388巻, 1426-1432頁, 査読有

(4) "First Detection of 12CO (1 → 0) Emission from Two Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies"

著者: T. Kawaguchi, K. Nakanishi, K. Kohno, K. Ohta, K. Aoki

掲載雑誌: The Astrophysical Journal, 2008年, 3月, 676巻, 137-146頁, 査読有

[学会発表] (計 16件)

(1) "活動銀河核からの近赤外線放射の時間変動モデル"

発表者: 川口 俊宏、森 正夫

学会名: 日本天文学会 春季年会、2011年3月17日、筑波大学

(2) "銀河衝突による活動銀河中心核への影響"

発表者: 三木洋平、森正夫、川口 俊宏

学会名: 日本天文学会 春季年会、2011年3月17日、筑波大学

(3) "Wandering Blackhole and Andromeda Stellar Stream"

発表者: 濟藤祐理子、三木洋平、川口 俊宏、森 正夫

学会名: 日本天文学会 春季年会、2011年3月17日、筑波大学

(4) "赤方偏移3のSDSSクエーサーで探る超巨大ブラックホール・バルジ関係の宇宙論的進化"

発表者: 諸隈 智貴、峰崎 岳夫、小坂 文、川勝 望、川口 俊宏、長尾 透、松岡 健太、今西 昌俊、美濃和 陽典、大井 渚、今瀬 佳介

学会名: 日本天文学会 春季年会、2011年3月19日、筑波大学

(5) "活動銀河核からの近赤外線放射の時間変動モデル"

発表者: 川口 俊宏、森 正夫
学会名: 「林忠四郎先生と天文学・宇宙物理学」シンポジウム、2010年12月20日、京都大学

(6) “JASMINEによるCyg X-1の軌道測定”
発表者: 川口 俊宏
学会名: 「JASMINEサイエンスワークショップ-10uasで切り拓く天文学新時代-」研究会、2010年12月1日、国立天文台

(7) “活動銀河核中心100pc領域に迫る”
発表者: 川口 俊宏
学会名: 「TMTで切り拓く2020年代の新しい天文学」研究会、2010年10月5日、国立天文台

(8) “降着円盤の放射の非等方性がダストトラス内縁構造に与える影響”
発表者: 川口 俊宏、森 正夫
学会名: 日本天文学会 秋季年会、2010年9月23日、金沢大学

(9) “降着円盤の非等方性放射が活動銀河核ダストトラス内縁構造に与える影響”
発表者: 川口 俊宏、森 正夫
学会名: Grain Formation Workshop・銀河のダスト研究会、2010年9月3日、神戸大学

(10) “A statistical study of long-term variabilities of ultraluminous X-ray sources”
発表者: 吉田鉄生、海老沢研、松下恭子、辻本匡弘、川口俊宏
学会名: 'Ultra-Luminous X-ray sources and Middle Weight Black Holes' 研究会、2010年5月25日、マドリッド(スペイン)

(11) “活動銀河核の可視光光度の多波長時間変動モデル”
発表者: 川口 俊宏、板垣 弘樹
学会名: 2009年9月14日、山口大学、日本天文学会 秋季年会

(12) “Formation of IMBHs as PBHs in the inflationary cosmology with running spectral index”
発表者: 高山務、川口俊宏、山口昌英、川崎雅裕、横山順一
学会名: 日本物理学会 秋期年会、2008年9月20日、山形大学

(13) “狭輝線セイファート1型銀河に付随する分子ガス量”
発表者: 川口俊宏
学会名: “宇宙物理学の未解決問題” 研究会、2007年12月25日、京都大学

(14) “Molecular Gas in Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies”

発表者: 川口俊宏
学会名: 1st Subaru Symposium 「Panoramic Views of Galaxy Formation and Evolution」
2007年12月10日、神奈川県葉山
ASP Conference Series, Vol. 399, p. 427

(15) “銀河とブラックホール共進化を探る: 狭輝線1型セイファート銀河のバルジに付随する分子ガスのsub-kpc観測”

発表者: 川口俊宏、中西康一郎、河野孝太郎、太田幸司、石附澄夫、川邊良平、青木賢太郎
学会名: 日本天文学会秋季年会、2007年9月26日、岐阜大学

(16) “CO Observations on Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies: Molecular Gas as Reservoir for Coevolving Black Holes and Bulges?”

発表者: 川口俊宏
学会名: IAU Symposium 245 「Galaxy Bulges: Formation and Evolution」2007年7月16日、英国、オックスフォード大学
IAU Symposium, Volume 245, p. 249-250

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川口 俊宏 (KAWAGUCHI TOSHIHIRO)
筑波大学・計算科学研究センター・研究員
研究者番号: 60433695