

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2007 ~ 2011

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)

青山学院大学・理工学部・助教

研究者番号：60433695

研究代表者の専門分野：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. 研究計画の概要

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。

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・近赤外線・可視光観測から、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。さらに、原始AGN降着円盤の時間変動を理論的に解き、その偏光X線放射を理論予測する。

### 2. 研究の進捗状況

狭輝線 Seyfert1 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誌投稿中)。

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)。

### 3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

(理由)

原始 AGN での銀河進化および中間質量 BH の起源についての研究出版もあり、かつ BH と銀河の共進化解明に向けた観測についても観測時間を獲得し研究が進行しており研究成果が期待される。

### 4. 今後の研究の推進方策

BH と銀河の共進化の理解には、太古の宇宙での両者の関係を直接計測することが重要である。そこで、赤方偏移 3 強(今から約 117 億年昔=宇宙誕生から 20 億年ほど)のキューサーについて分光を行い、中性水素ガスの再結合線(H $\beta$ 線)の輝線幅(=BH 重力圏に捕らえられたガス雲の運動)測定を目指している。2008 年から 3-4m 望遠鏡群を用い、合計 28 天体を観測した。今後丁寧に解析することで、太古の宇宙での巨大 BH の質量を計測する。分光データのみを用いた遠方宇宙での巨大 BH 質量計測についてまず早急に研究をまとめる。その後、それらの天体の AO(補償光学)撮像観測を行うことで母銀河質量計測を目指し、大昔での巨大 BH と銀河の共進化について制限を導きたい。

また、BH と銀河の共進化の現場を押さえる目的で、巨大 BH 周辺の銀河内ガスの吸収線観測を 2010 年にすばる望遠鏡を用いて行った。輝線の観測では難しい鉄元素の存在量測定などが、吸収線を用いることで可能となる。

活動銀河核からの放射の時間変動について、理論計算と観測結果の比較を通じて理解を深める。可視光-近赤外線光度時間変動について、理論モデルは 1 波長版(Kawaguchi et al. 1998)はあるものの、多波長データと比較できるモデルは存在しない。そこで、「コロナを放射源とする X 線が降着円盤を照らし、可視光の時間変動を引き起こす」と仮定し、多波長変動モデルを構築・計算した。様々な BH 質量とガス降着率について計算したところ、観測結果が示す光度依存性(明るい天体ほど時間差が大きい)を初めて説明できるモデルであることがわかった。この成果は 2009 年秋の天文学会で口頭発表を行い、現在投稿準備中である。

超高光度 X 線源のモデルとして超臨界ガス降着モデルを構築し、世界中の観測家がデータ解析に用いることができるように、これまで web において公開してきている(<http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/xanadu/xspec/models/slimdisk.html>)。さらに幅広い天体について解析を行えるようにするため、より広範囲に数値計算を拡充し、結果を公開しなおす。

### 5. 代表的な研究成果

[査読雑誌論文] (計 3 件)

(1) "First Detection of 12CO (1  $\rightarrow$  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

(2) "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

(3) "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

投稿雑誌: Submitted to The Astrophysical Journal

[学会発表] (計 4 件)

(1) "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

(2) "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

(3) 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

(4) タイトル: 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