

学位論文 博士（理学）

銀河系中心領域における高速度分子雲

2018年2月

慶應義塾大学大学院 理工学研究科基礎理工学専攻

竹川 俊也

報告番号	㊦ 乙 第 号	氏 名	竹川 俊也
<p>主 論 文 題 名 :</p> <p>銀河系中心領域における高速度分子雲</p>			
<p>(内容の要旨)</p> <p>この宇宙に存在するほとんどの銀河には、その中心に 10^6–10^{10} 太陽質量の超大質量ブラックホール (supermassive black hole; SMBH)が潜んでいると考えられている。これらの SMBH へ物質が降着するとき、その重力エネルギーを解放することで銀河中心核は明るく輝く。中にはエディントン限界 (重力と輻射圧が拮抗する限界光度) を上回る強烈な放射を伴う中心核もある。私たちの住む「天の川銀河 (銀河系)」の中心核もまた、4×10^6 太陽質量の SMBH を有するが、その光度はエディントン限界の 10^{-8} 倍以下である。この 8 桁以上にわたる中心核活動の多様性は、質量降着率の違いに起因するものと推測されるが、それを支配する物理過程は未解明である。加えて、中心核 SMBH の起源自体も未解明である。一説によれば、中間質量ブラックホール (intermediate-mass black hole; IMBH) が合体を繰り返すことで SMBH が形成されると考えられている。しかしながら、IMBH の存在を示す決定的な証拠は未だ得られていない。</p> <p>銀河中心核への質量供給過程や SMBH の起源を探る上で、最も詳細な観測が可能な銀河系の中心部は非常に重要な研究対象である。銀河系中心核「いて座 A*」は核周円盤 (circumnuclear disk; CND) と呼ばれる半径 2 パーセクの高速度回転するリング構造に取り囲まれており、これは中心核への質量供給源と考えられている。また、中心から 300 パーセク以内の領域では、高速度コンパクト雲 (high-velocity compact cloud; HVCC) と呼ばれる異常な速度幅を有する分子雲群が発見されている。私は、中心核への質量供給過程と SMBH の起源を解明することを目的に、CND と HVCC に代表される高速度分子雲の観測的研究を行った。</p> <p>本研究ではまず、CND およびその周囲に対して、野辺山 45 m 望遠鏡を使用した複数の分子スペクトル線による高分解イメージング観測を行った。その結果、CND とそれに隣接する巨大分子雲 M-0.13-0.08 の物理的接触を示す “bridge” 構造を発見した。これは、M-0.13-0.08 が中心核近傍に落下してきたことを示すものであり、このような接触によって運動エネルギーの散逸と角運動量の損失が起こり、質量供給が促進される可能性を示すものである。これは銀河系中心核への質量供給の一端を捉えた重要な成果である。</p> <p>さらに本研究では、ハワイの James Clerk Maxwell Telescope を使用して、分子スペクトル線観測の領域を中心から 20 パーセクの領域にまで拡大した。その結果において、「いて座 A*」から約 10 パーセクの位置に直径 1 パーセク程度の小型 HVCC を 2 つ発見した。それらの形状・運動と運動エネルギー、そして他波長対応天体を伴わないこと等から、恒星質量ブラックホールが高速で分子雲に突入したことで形成されたものと解釈される。これにより、銀河系中心核近傍を複数のブラックホールが飛び交っている状況が初めて観測的に示唆された。理論的には、銀河系内に 10^8–10^9 個ものブラックホールが存在すると予測されており、その大部分は暗く孤立していると考えられている。このような孤立ブラックホールは、HVCC のような高速度分子雲として検出できる可能性が示された。</p> <p>それに加えて「いて座 A*」から約 45 パーセクの位置に、特異な運動を示す HVCC、CO-0.31+0.11 を新たに発見した。CO-0.31+0.11 の速度幅は HVCC の中でも際立って大きく、膨大な運動エネルギーを有する。そしてその運動は、2×10^5 太陽質量の質点周りのケプラー運動でうまく説明できることがわかった。このモデルに従えば、0.1 パーセクよりも小さい領域に 2×10^5 太陽質量もの質量が集中していることになる。重力源候補としては、高密度な大質量星団か重い IMBH が挙げられるが、同方向には他波長対応天体が確認できない。つまり、CO-0.31+0.11 内部には 2×10^5 太陽質量 IMBH が潜んでいる可能性がある。これが確認できれば、CO-0.40-0.22* に次いで銀河系内で発見された 2 番目の IMBH 候補天体となる。</p>			

Thesis Abstract

No. _____

Registration Number	<input checked="" type="checkbox"/> "KOU" <input type="checkbox"/> "OTSU"	Name	Shunya Takekawa
	No. _____ <small>*Office use only</small>		
Thesis Title			
High-Velocity Molecular Clouds in the Galactic Center			
Thesis Summary			
<p>Most galaxies in the universe are believed to harbor supermassive black holes (SMBHs) with 10^6–10^{10} solar masses at their nuclei. When matter accretes on a galactic nucleus, it shines brightly by the release of gravitational energy. Some galactic nuclei have extraordinary luminosities higher than their Eddington limit, at which the gravitational force balances with the radiation pressure. Our Milky Way Galaxy also harbors a 4×10^6 solar mass SMBH, whose luminosity is lower than 10^{-8} of its Eddington limit. This huge variety of nuclear activities over eight orders of magnitude may be attributed to difference in mass accretion rates onto galactic nuclei. However, physical mechanism that control the accretion rate are still unclear. The origin of SMBHs is also one of the unsolved key issues in astronomy. A promising scenario is that SMBHs have been formed by mergings of intermediate-mass black holes (IMBHs), while no definitive evidence for the existence of IMBHs is found to date.</p> <p>The central region of our Galaxy must be an important target to study mass accretion process onto galactic nuclei and the origin of SMBHs, since we can observe it most minutely. The nucleus of our Galaxy, Sgr A*, is surrounded by a rapidly rotating 2-pc radius ring of dense molecular gas, which is referred to as the circumnuclear disk (CND). The CND is considered to be a mass reservoir for feeding the nucleus. In addition, within 300 pc from the nucleus, a number of compact clouds with broad velocity widths, namely high-velocity compact clouds (HVCCs), have been discovered. In order to elucidate the mass accretion mechanism and the origin of SMBHs in galactic nuclei, a series of the observational studies were conducted on the high-velocity molecular clouds in the Galactic center such as CND and HVCCs.</p> <p>First, we observed the CND and its periphery in several molecular lines using the Nobeyama Radio Observatory 45 m telescope, and found an emission "bridge" which connects the CND to an adjacent giant molecular cloud, M–0.13–0.08. This emission bridge indicates the physical contact between the CND and M–0.13–0.08, suggesting that M–0.13–0.08 has just fallen into the CND. The physical contact between them may cancel out their angular momentum, dissipate their kinetic energies, and thereby increase the mass accretion rate to the nucleus. This is a significant result that caught a part of the feeding process to the Galactic nucleus.</p> <p>Moreover, we extended the mapping area to 20 pc radius from the nucleus with the James Clerk Maxwell telescope at Hawaii. Two small HVCCs were detected at 10 pc from Sgr A*. Their sizes, kinematics, kinetic energies, and the absences of counterparts in other wavelengths are consistent with the formation scenario assuming the high-velocity plunge of a stellar-mass black hole into a molecular cloud. This is the first observational case that suggests a number of black holes are flying about in the vicinity of the nucleus. Theoretical calculations predicted that 10^8–10^9 black holes are floating in our Galaxy, and most of them are isolated and dim. Our study suggested a new method for detecting such isolated black holes as high-velocity features, such as HVCCs.</p> <p>We also discovered a peculiar HVCC, CO–0.31+0.11, at 45 pc from the nucleus. This HVCC exhibits an extremely broad velocity width, having huge kinetic energy and peculiar kinematics. The kinematics of CO–0.31+0.11 can be explained by the Keplerian motion around a point-like mass of 2×10^5 solar masses. This model requires that the central gravitational source must be smaller than 0.1 pc in radius. The possible candidates for the gravitational source are a dense massive star cluster or a massive IMBH. The absence of counterparts in other wavelengths may rule out the star cluster hypothesis. Therefore, the driving source of CO–0.31+0.11 is most likely a massive IMBH. If this is confirmed, the driving source of CO–0.31+0.11 will be a promising candidate for an IMBH secondly discovered in our Galaxy.</p>			