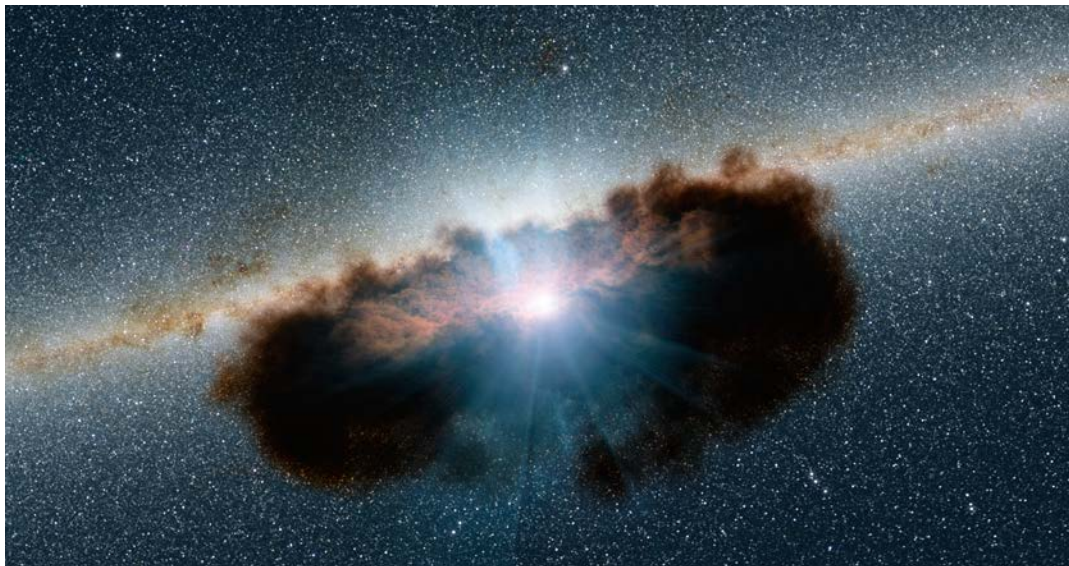


# 「重力よりも強い」光の力が支配するブラックホール近傍の環境 —巨大ブラックホールの成長を決める輻射フィードバック—

## 概要

銀河の中心に普遍的に存在する巨大ブラックホールの成長メカニズムとその環境の理解は、現代天文学の大きな課題の一つです。巨大ブラックホールに周囲のガスが流れ込むと、銀河の中心部が明るく輝き、「活動銀河核」として観測されます。これらの活動銀河核の大多数は、大量のガスや塵に覆われていることがわかっていますが、その理由は長年来の謎のままでした。京都大学、カトリカ大学（チリ）、チューリヒ工科大学（スイス）などの研究者からなる国際共同研究チームは、透過力の強い硬X線で見つかった多数の活動銀河核を、世界中のX線望遠鏡や地上の可視光望遠鏡を用いて詳しく調査することで、巨大ブラックホールの質量、輻射光度、覆い隠しているガスの量を精度よく測定することに成功しました。その結果、ブラックホールをとりまくガスや塵はそのごく近傍に位置しており、その配置を決める主要因が、中心部から発生する電磁波の輻射圧（光の力）であることを突き止めました。ブラックホールがあまりにも急速に物質を吸引する結果、放射される光の力が自身の重力よりも強くなってしまえば、覆っていたガスは吹き飛んでしまい、ブラックホールがそれらを吸い込んで「太り続ける」ことはできなくなります。巨大ブラックホール及びそれと共に進化する銀河の成長メカニズムを理解する上で、鍵となる発見です。この結果は、2017年9月28日、*Nature* に掲載されました。



ガスと塵に覆い隠された銀河中心巨大ブラックホールの想像図（提供: NASA）

## 1. 背景

宇宙に存在する銀河の少なくとも 1%以上は、その中心核から電波～X 線にわたる広い波長範囲で太陽の 10 億倍～1000 兆倍もの莫大な電磁波エネルギーを放射しています。これらは「活動銀河核」と呼ばれます。その正体は太陽の 10 万倍から 100 億倍の質量をもつ巨大ブラックホールで、そこに周囲の物質が落ち込むと、強い重力によってガスが高温に熱せられ明るく輝きます（ブラックホールそのものは電磁波を出しませんが、吸い込まれる直前のガスが放射光を出します）。最近の研究により、活動銀河核は銀河の星の形成とも密接に関わっており、宇宙の進化に本質的な役割を果たしていることが分かってきました。これら巨大ブラックホールの形成過程を解き明かすことは、現代天文学に課された最重要問題の一つです。

日本の X 線天文衛星「あすか」などの観測で、宇宙に存在する巨大ブラックホールの多くは、大量のガスと塵に囲まれて「隠されている」ことがわかっています。このガスは、やがてブラックホールに吸い込まれ、その結果、ブラックホールが質量を得て、より重くなる（成長する）と推定されます。ところが、ガスがどこにあり、どのような形で分布しているのか、その起源は何なのか、という基本的な問題は、長年来の謎でした。これらを解明することは、巨大ブラックホールの成長メカニズムを知る上で不可欠です。

## 2. 研究手法・成果

このためには、(1) 個々の活動銀河核を直接調べる、(2) 偏りのない多数の活動銀河核サンプルを作り、その「統計的性質」を調査する、という二つの方法があります。今回、我々がとったのは (2) の方です。例えば、全サンプルにおける隠された活動銀河核の割合が分かれば、ブラックホールを隠しているガスや塵の平均的な立体角を推定することができます。ガスと塵で深く隠されている天体も含め、宇宙にある活動銀河核をくまなく完全に探すには、透過力の強い硬 X 線（～10 キロ電子ボルト以上のエネルギーの高い X 線）を用いることが極めて有効です。そこで我々は、14-195 キロ電子ボルトのバンドで行われた、NASA のスウィフト衛星搭載バーストアラート望遠鏡（BAT）による全天探査に注目しました。このカタログは、我々の近傍に存在する活動銀河核について、最も「完全な」サンプルを提供しています。

我々は、これらの活動銀河核の一つ一つについて、その基本的性質である (a) 光度（ブラックホールからの放射エネルギーの強さ）、(b) ブラックホールを隠している視線方向にあるガスの量、(c) ブラックホールの質量、を精度よく求めていきました。特に、ガスがブラックホールから受けている重力の大きさを知るために、ブラックホール質量を調べることは決定的に重要です。(a)(b)は 10 keV 以下のバンドに感度をもつ X 線望遠鏡で観測することで、(c)は可視光望遠鏡で「分光スペクトル」を調べることで、それぞれ求めることができます。(a)(b)については日本の「すざく」やヨーロッパの「XMM ニュートン」などの世界の X 線天文衛星を、(c)については世界中の地上可視光望遠鏡を用いました（京都大学は特に、「すざく」および南アフリカ天文台の可視光望遠鏡を用いて、多数の活動銀河核の観測を行いました）。活動銀河核の数は 400 にもおよび、これらデータの蓄積には 10 年以上の年月を要しました。2013 年に、それまで独立に観測を進めていた世界各国の研究者たちが結束し、国際共同研究プロジェクトを立ち上げました。

そして、詳しいデータ解析の結果、「ブラックホール質量に対する光度の比」が大きくなるほど、ブラックホールを覆い隠しているガスの量が減っていることがわかりました。つまり、周囲のガスの分布を決定する主要因は、ブラックホール質量で規格化した降着率（単位時間あたりにブラックホールが吸い込むガスの量）で

あることが、世界で初めて明らかになりました。このことは、ガスの分布が、ブラックホールからの強い重力（吸い込まれる方向に働く）と、そこから放射される光の力（輻射圧：外に押し出す方向に働く）とのせめぎあいできり立っていることを意味します。同時にこの結果は、ガスの大部分が、ブラックホールの重力圏内、すなわち数光年～数十光年という近傍にあることも示唆します。

これらの発見は、巨大ブラックホールがどのように成長をとげてきたかという物理メカニズムを理解する上で鍵となる成果です。例えば、小さな（重力の弱い）ブラックホールが急速に周囲のガスを吸い込んだ結果、その光度がブラックホール質量に対して相対的に大きくなると、光度の絶対値が小さかったとしても、周囲にいたガスは輻射圧で吹き飛ばされてしまいます。その結果、ブラックホールに落ち込む予定だったガスが枯渇し、ブラックホールの食べる「餌」もなくなってしまいます。ブラックホールの成長には、このような自己制御（輻射フィードバック）が働いていることが、強く示唆されます。

### 3. 波及効果、今後の予定

本研究成果は、多数のサンプルの「統計的解析」に基づいたものであり、個別の活動銀河核について、そのガスの分布や運動を直接測定はしていません。昨年、事故で失われた「ひとみ」衛星の後継機となる、XARM（X-ray Astronomy Recovery Mission）に搭載されるX線マイクロカロリメータは、巨大ブラックホールを覆い隠すガスの運動をこれまでにない精度で測定することを可能にします。今後プロジェクトの進展とともに、ガスへのブラックホールの重力と輻射圧の影響を直接、調べることができるようになり、その物理状態の理解が飛躍的に進むと期待されます。

### 4. 研究プロジェクトについて

この研究は、日本学術振興会による科学研究費補助金・基盤研究C（17K05384）および外国人特別研究員制度（ID: 12795）のサポートを受けて行われました。

#### <論文タイトルと著者>

タイトル：The close environments of accreting massive black holes are shaped by radiative feedback  
（物質を降着する巨大ブラックホールの近傍環境は、輻射フィードバックによって形成される）

著者：Claudio Ricci, Benny Trakhtenbrot, Michael J. Koss, Yoshihiro Ueda, Kevin Schawinski, Kyuseok Oh, Isabella Lamperti, Richard Mushotzky, Ezequiel Treister, Luis C. Ho, Anna Weigel, Franz E. Bauer, Stephane Paltani, Andrew C. Fabian, Yanxia Xie, Neil Gehrels

掲載誌：Nature (28 September 2017 issue)