

# 赤外線天文衛星「あかり」による 高赤方偏移クェーサー分光



大 藪 進 喜

〈宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部 〒229-8510 神奈川県相模原市由野台 3-1-1〉  
e-mail: oyabu@ir.isas.jaxa.jp

赤外線天文衛星「あかり」を用いて、赤方偏移 4.3 の RX J1759.4+6638 と赤方偏移 3.9 の APM 08279+5255 の分光観測を行った。広幅輝線領域からの水素の再結合線や、その周りにあると考えられている塵のトラスからの放射は、その赤方偏移、すなわち観測波長域が長波長側にシフトするために地上からの観測が困難になる。そこで「あかり」が必要となった。RX J1759.4+6638 は水素のバルマー系列  $\alpha$  遷移の輝線を分光的に検出した最遠方の天体となった。また、APM 08279+5255 は、水素のバルマー系列  $\alpha$  遷移に加えてパッシェン系列の  $\alpha, \beta$  遷移、さらに塵のトラスからの 1,300 K の熱放射を検出した。これらの観測結果は、近傍でのクェーサーの理解を遠方宇宙においても確認するものとなった。

## 1. はじめに

太陽の質量の 1 億倍にもなるという超巨大ブラックホールを中心に据えたクェーサーという天体が、宇宙には存在する。そのブラックホールに物質が落ち込むことで、重力エネルギーを解放し、明るく光り輝いている。このエネルギーは、この宇宙において、星の核融合と並び重要なエネルギーソースとして宇宙の進化に影響を与えていると考えられている。またこのようなクェーサーは、宇宙に数多くある銀河と密接な関係をもつことが知られており、宇宙全体の進化にも重要な役割を果たしていると考えられている。しかしながら、クェーサー、そしてその中心にある超巨大ブラックホールがどのようにでき、どのように成長してきたかは、よくわかっていない。このようなクェーサーは膨大なエネルギーを開放しているために、遠方であっても観測可能である。実際、赤方偏移 6 という宇宙初期のクェーサーも発見されているし、その詳細な研究も進んでいる。しかし

ながら、それら遠方のクェーサーを見ても、なかなかその進化の様子をとらえることができていない<sup>1)-3)</sup>。

そのようなクェーサーをもう少し詳細に見ていくと、図 1 のように超巨大ブラックホールをご本尊に据え、そこに落ち込む物質が円盤状に取り巻き光り輝いている。その周りに高速（秒速数千 km）で運動しているたくさんのガスの雲があり、その外側には塵（固体微粒子）がトラス状に存在している。これらは光り輝く円盤に激しく照らされガス雲中の原子は電離し、それが電子と再び結合するときに数多くの輝線（それぞれの原子に特有の、特定の波長のみで起きる放射）を出す。この放射領域を、広幅輝線領域と呼ぶ。また、塵が直接照らされているトラスの一番内側では、まさに微粒子が融けている現場を見ることができ、クェーサーは、トラスの穴を上から見ているので、中のものをすべてまとめて見ることができると考えられている天体である。このような特徴的な構造からの放射は、地上からも観測可能な

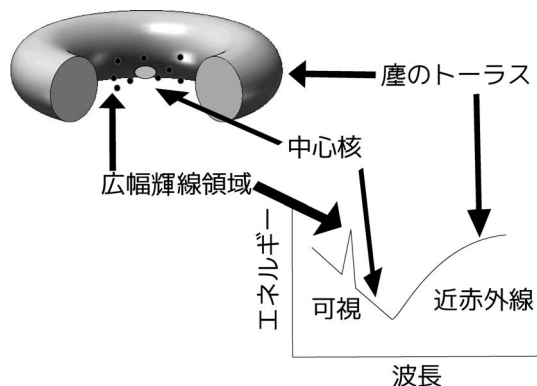


図1 クェーサー中心の模式図。その中心に超巨大ブラックホールをもつ中心核，その周りに広幅輝線領域，さらにその外側のトーラス状の塵。それぞれから出る放射の模式的なスペクトルも示す。

可視・近赤外線という波長で検出可能である。しかし遠方のクェーサーを観測すると，特徴的なスペクトルは赤方偏移してしまい地上から観測困難な赤外線の波長帯に移動してしまう。遠方のクェーサーを調べるには，地上からの観測では情報が限られてしまう。そこで，われわれは，赤外線天文衛星「あかり」が必要になる。本稿では，筆者が中心となって行った二つの高赤方偏移クェーサーの「あかり」での観測を紹介しながら，「あかり」の活躍を紹介したい。

## 2. 赤方偏移4.3のクェーサー RX J1759.4+6638 からの水素再結合線 ( $H\alpha$ ) の検出

クェーサー RX J1759.4+6638 の観測は偶然から始まった。「あかり」は，熱源からの望遠鏡への入熱を避けるために，太陽方向に90度，さらに地球を反望遠鏡方向にという限られた姿勢をとることしかできない。よって，どうしても黄極側しか繰り返し観測ができない。そこで，多くの赤外線カメラ (Infrared Camera; IRC) の初期試験観測を北黄極側で行うことになった。そしてその分光観測試験を行った視野中に，本天体が入っていた。その試験観測のデータを詳細に眺めていた JAXA

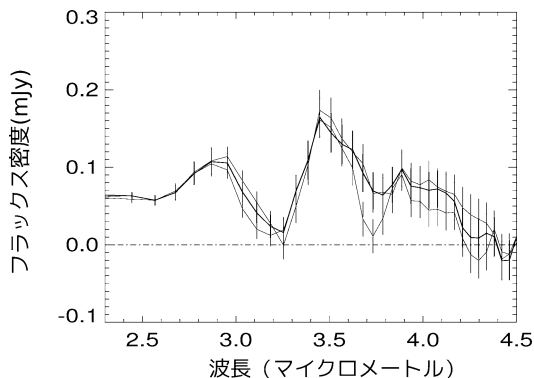


図2 赤方偏移4.3のクェーサー RX J1759.4+6638 の「あかり」によるスペクトラム。横軸は観測での波長，縦軸はフラックス密度。各データ点の縦線は，それぞれのエラーバー。細い線は，データを前半と後半に2分割して結果がどの程度変わるかについて評価したものの。

宇宙科学研究本部の IRC チームを引っ張っていた和田武彦さんが，スペクトルの連続光成分だけでは測光データとつじつまが合わない，輝線が受かっているのではないかと，言い始めたのである。その当時，われわれは，「あかり」が本当にどこまで性能が出ているのか，宇宙をどこまで見渡せるのかという問題が興味の的であったところで，この主張はたいへん興味がそそられる問題となった。

しかしながら，「あかり」のプリズム分光はスリットレスで行われており，近くの暗い天体がそのスペクトルに重なり，その輝線の検出がなんともいえない状況であった。そこでわれわれは，ほとんどは装置の安定性の評価に使われていたプロジェクトマネージャー預かりの観測時間をいただいて，ほかの天体の影響を受けない季節を選び再び観測を行った。すなわち，本天体が北黄極にあったために，「あかり」でいつでも観測できる，そして観測時期とともに視野が回せるという，好条件がここでまさに生きたわけである。図2がまさにそのスペクトルである。そして赤方偏移から予想される位置にバルマー系列の  $\alpha$  遷移による

輝線を検出することに成功した。この検出は、当時の最遠方記録であった。この輝線の強度と過去の文献4のライマン系列の水素の再結合線の強度を比較してみたが、近傍で知られているキューサーと大きな違いを見いだすことができなかった。しかし本観測結果は、たかが70 cmの望遠鏡であるが、宇宙にいるために大気がない、また冷却されているために熱放射からのノイズを無視できるからこそ到達できた「あかり」の分光の限界を示したものとなっている<sup>5)</sup>。もちろん、この観測の遠方記録も、すぐに「あかり」によって更新されることになる<sup>6)</sup>。

### 3. 赤方偏移3.9のキューサー APM 08279+5255 の分光

さすがに「あかり」の検出限界に迫ったRX J1759.4+6638はその暗さのために、詳細な解析は困難であった。そこでAPM 08279+5255という似通った(少し近いが)赤方偏移3.9にあるキューサーを観測した。本観測は東京大学の川良公明さんを中心とするキューサーの輝線領域の物理と進化を明らかにする研究を目的とした、「あかり」の公募観測を利用した観測プログラムの一環である。

本題の観測結果に入る前に、たいへん興味深い天体であるAPM 08279+5255の説明から始めたい。本天体は、1998年に高銀緯の炭素星探査を写真乾板のデータで行っていたIrwinらによって報告される<sup>7)</sup>。よくよくIRAS全天サーベイカタログを見ると赤外線でも光っていることがわかり、見かけの光度が太陽の10の15乗倍という全天で最も高光度の天体の一つとなった。本天体は、高解像度の撮像観測で重力レンズを受けているために100倍増光されていることがわかったが<sup>8),9)</sup>、その見かけ上の明るさのために、高赤方偏移を研究するのにたいへん便利な天体の一つとなっている。このような明るく興味深い天体が1998年まで発見されずに残されていたのは、ある意味驚き

である。また本天体の発見のレポートは、赤外線宇宙天文台(ISO)の稼働中より後になったために、赤外線での詳細な観測は、21世紀の米国のSpitzer宇宙望遠鏡とわれわれの「あかり」の登場を待つ必要があった。

もちろんSpitzer宇宙望遠鏡も赤外線分光器(IRS)の試験観測で本天体の分光を行っており、5マイクロメートルから35マイクロメートルのスペクトルの取得に成功している<sup>10)</sup>。しかし、彼らの観測は塵の放射が支配的である波長域の観測であり、中心核付近の放射の観測ができていない。そこでわれわれも、APM 08279+5255を「あかり」のIRCの分光機能を用いて観測した。われわれは、2マイクロメートルから13マイクロメートルの観測波長をカバーし、すなわち静止系では、0.5マイクロメートルから2.3マイクロメートルという可視から近赤外線の領域を観測したことになる。特に一番の特徴は、観測座標系での2マイクロメートルから5マイクロメートルという波長を、新たにカバーしたことである。結果のスペクトルが、図3である。2-5マイクロメートルの間は、中心ブラックホールへの降着円盤から冪乗則の連続光の上に、3.2マイクロメートルの位

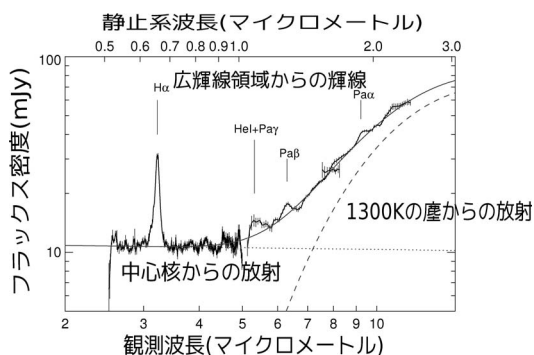


図3 赤方偏移3.9のキューサー APM 08279+5255の「あかり」による近・中間赤外線スペクトル。下の横軸は観測での波長、上は波長のシフトを補正した値。縦軸はフラックス密度。実線は、フィットした結果で、点線と破線は、それぞれのコンポーネントを示す。

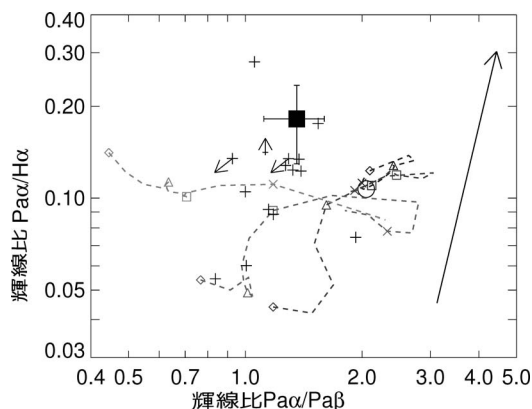


図4 APM 08279+5255 の水素輝線比 (黒■). ○は、Case B のモデルの値を示し、+は近傍クェーサーの値を示す<sup>14)</sup>. 破線は、ガスの密度の違いが異なるモデル (濃, 密度大→薄, 密度小) を示し、イオン化パラメータの違いを破線上の各種マーク (◇高→X低) で示す. 矢印は、 $E(B-V)=1$  の吸収を示す.

置に広幅輝線領域からの水素のバルマー系列の再結合線が検出された。また5マイクロメートルより長波長側から、急な立ち上がりを見せる。この立ち上がりは、中心ブラックホールや広幅輝線領域の外側にある、トラス状の塵からきていると考えられる。われわれは詳細にスペクトルを取得することに成功したので、降着円盤からのべき乗連続光と塵からの熱放射成分のモデルでフィットした。すると、この放射は、光学的に厚く、1,300 K というほとんど塵の蒸発温度に近い成分の塵で説明できた。すなわち塵のトラスの内側、まさしく中心の降着円盤によってあぶられている現場を見たと考えている。このような状況が見えることは、近傍のクェーサーでもよく知られており<sup>11), 12)</sup>、赤方偏移 3.9 であっても全く同じであることを、分光観測で確認したことになる。

一方、水素の再結合線、バルマー系列の  $\alpha$  遷移とパッシェン系列の  $\alpha$  遷移  $\beta$  遷移の輝線の計測にも成功している。取得した3本の輝線と光電離領域モデルを比較することで、広幅輝線領域の輝線を出しているガス雲の物理状態に制限を与え

た。図4に、この観測とモデル、そして近傍クェーサーでの観測結果の輝線比の比較を示す。その結果、このガス雲は、近傍のクェーサーとほぼ同じ物理状態で、わずかに塵による吸収 ( $E(B-V) \sim 0.4-0.6$ ) を受けている状態であることがわかった。

1,300 K の光学的に厚い塵からの放射と、その内側にあるガス雲がわずかにしか吸収を受けていない事実の組み合わせは、従来からクェーサー、その中心の活動銀河核で示唆されている塵のトラスモデルを穴側からのぞいている描像を支持するものとなった。赤方偏移 3.9、120 億年前、すなわち宇宙年齢が 17 億年という宇宙に存在するクェーサーを観測してやっても、よく調べられている近傍クェーサーの構造と違いがないということを示したことになる<sup>13)</sup>。

#### 4. 「あかり」のさらなる可能性

2-5 マイクロメートルの高感度分光観測機能は、低分散であるが「あかり」のユニークな観測機能の一つであり、その機能は NASA のハッブル宇宙望遠鏡の後継機ジェームズウェブ宇宙望遠鏡の登場まで、それに代わるものがない。この機能を用いて筆者らのグループはさらなるクェーサーの観測を行っている。また、さらに高赤方遷移のクェーサーの中心ブラックホール質量への制約を与えた大変興味深い観測が韓国を中心としたグループにより行われている<sup>9)</sup>。幸運なことに、われわれは手に余るほどのデータを取得することができた。さらに、まだまだ「あかり」は観測を続けており、興味深いデータを取り続けている。筆者らは、これらのデータを世に送り出し、クェーサーの研究を進めることめざし日々格闘中である。

#### 5. 最後 に

筆者は、「あかり」のプロジェクトに打ち上げ直前から参加し、このような成果を上げる機会に巡

りあうことができました。すべての名前を挙げる  
 ことができませんが、「あかり」衛星の計画から開  
 発、製作、そして観測の実行を実現された関係者  
 の努力と本研究への支援・協力へ、この場をお借  
 りして深く感謝いたします。

### 参考文献

- 1) Iwamuro F., et al., 2004, ApJ 614, 69
- 2) Nagao T., Marconi A., Maiolino R., 2006, A&A 447, 157
- 3) Jiang L., et al., 2006, AJ 132, 2127
- 4) Constantin A., Shields J. C., Hamann F., Foltz C. B., Chaffee F. H., 2002, ApJ 565, 50
- 5) Oyabu S., Wada T., et al., 2007, PASJ 59S, 497
- 6) Im M., et al. in ASPC 418 “AKARI: a Light to Illuminate the Misty Universe,” ed. Onaka T. et al. p. 227
- 7) Irwin M. J., et al., 1998, ApJ 505, 529
- 8) Downes D., Neri R., Wiklind T., Wilner D. J., Shaver P. A., 1999, ApJ 513, L1
- 9) Egami E., Neugebauer G., Soifer B. T., Matthews K., Ressler M., Becklin E. E., Murphy T. W., Dale D. A., 2000, ApJ 535, 561
- 10) Soifer B.T., et al., 2004, ApJS 154, 151
- 11) Kobayashi Y., Sato S., Yamashita T., Shiba H., Takami H., 1993, ApJ 404, 94
- 12) Glikman E., Helfand D. J., White R. L., 2006, ApJ 640, 579
- 13) Oyabu S., et al., 2009, ApJ 697, 452
- 14) Landt H., Bentz M. C., Ward M. J., Elvi M., Peterson B. M., Korista K. T., Karovska M., 2008, ApJS 174, 282

### AKARI Spectroscopic Observations of High-redshift Quasars

Shinki OYABU

*Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency, 3-1-1 Yoshinodai, Sagami-hara, Kanagawa 229-8510, Japan*

Abstract: We report AKARI infrared spectroscopic observations of two high-redshift quasars at the redshift of 4. It is difficult to observe the hydrogen recombination lines and the thermal emission from dust tori, because these features are redshifted to the infrared wavelength which we observe from ground-based telescopes with difficulty. Therefore we used the Japanese infrared satellite “AKARI”. We detected the H-alpha emission line in RX J1759.4 + 6638 at  $z=4.3$ , which was a distant record of the spectroscopic H-alpha detection at the time. We also detected the hydrogen recombination lines and thermal emission from hot dust of  $T\sim 1300$  K from APM 08279+5255 at  $z=3.9$ . These observational results are consistent with our understanding of quasars in nearby Universe.