

観測と衛星搭載装置開発の二刀流で切り込む 活動銀河核セントラルエンジン



野田博文

〈大阪大学理学研究科宇宙地球科学専攻 〒560-0043 大阪府豊中市待兼山町 1-1〉

e-mail: noda@ess.sci.osaka-u.ac.jp

活動銀河核の強大な放射の根源である「セントラルエンジン」は、超巨大ブラックホール周辺のコロナと降着円盤から構成されると考えられますが、基本的な理解が未だに確立されていません。私は、X線の強度変動に着目した解析で軟X線超過の起源を明らかにするとともに、短時間でタイプをI型とII型で変える活動銀河核において降着流の状態遷移を発見し、セントラルエンジンの描像に迫りました。並行して、X線天文衛星ASTRO-H搭載のX線マイクロカロリメータや硬X線／軟ガンマ線の検出器、XRISM搭載のX線CCDカメラの開発に貢献してきました。本稿では、これまで進めてきた活動銀河核の観測的研究や衛星搭載装置の開発、そしてXRISMを用いた研究の展望についてご紹介します。

1. はじめに

活動銀河核 (Active Galactic Nuclei; AGN) は、母銀河を超える光度で明るく輝き、その放射は電波からガンマ線まで多波長にわたります。そして、この強大な放射は、超巨大ブラックホール (Super-Massive Black Hole; SMBH) に降着する物質の重力エネルギーが効率よく変換されたものと考えられています。このエネルギー変換を担う現場、いわばAGNの「セントラルエンジン」は、質量降着によるSMBHの進化、ジェットや円盤風の生成過程、放射や噴出流による銀河・銀河団へのフィードバックなど、天文学の様々な重要課題に直結する極めて重要な存在と言えます。しかし、見かけのサイズが非常に小さいことや、周辺の物質による複雑な吸収・散乱などが原因となり、幾何構造や物理状態、質量降着率に伴う変化をはじめとする基本的な描像が確立されていませんでした。さらに、「広輝線領域」や「ダスト

トールス」といったセントラルエンジンに質量を供給する役割を果たす、より外側の領域との繋がりもよくわかっていません。私はこれまで、SMBH近傍からのX線をはじめとする多波長の放射を調べることで、セントラルエンジンの観測的研究を進めてきました。また並行して、そこへの質量供給源を探るための有効な手段となる精密X線分光を実現するため、X線天文学の旗艦ミッションであるASTRO-H衛星やXRISM衛星に搭載する観測装置の開発に貢献してきました。本稿では、AGNセントラルエンジンに切り込むために、観測と衛星搭載装置開発の「二刀流」で進めてきた研究の中で、研究奨励賞の対象となった内容を中心にご紹介します。

2. AGNセントラルエンジンの新描像

セントラルエンジンの従来の描像

AGNからは一般に、 ~ 1 keV未満から数百keVの広帯域にわたる連続X線が観測され、その主要

パートは単一のべき型成分で表せることが知られています(図1上). これは、「降着円盤」の多温度黒体放射で生じる紫外・可視光が、SMBH近傍に形成された高温電子雲「コロナ」で逆コンプトン散乱を受けて生じると考えられています(e.g., [1]). このことから、セントラルエンジンが降着円盤とコロナで構成されることはこれまでも広く受け入れられてきました. 高エネルギーカットオフとべきから電子温度や光学的厚みが制限され、電子温度が数百keVで光学的厚みが ~ 1 の「高温コロナ」が存在すると考えられるため、以降、この逆コンプトン散乱成分を「高温コンプトン(Hot Compton; HC)」と呼ぶことにします. AGNのX線スペクトルにはHCだけでは説明できない構造も観測され、主要なものとしては数十keVの「硬X線ハンプ」(図1上)があります. これは、

HCが降着円盤、広輝線領域、ダストトールスなどの物質で光電吸収およびコンプトン散乱されることで生じる反射成分と考えられます. 光電吸収によって、反射成分の7.1 keVにはFe-K吸収端が現れ、6.4 keVに「細かいFe-K α 輝線(速度幅 ~ 2000 km/s)」(図1上)が一般に観測されます.

上記の構造に加えて、Tanaka et al. (1995) [3]は、X線天文衛星「あすか」で観測されたセイファート銀河MCG-6-30-15のX線スペクトルの6.4 keV周辺に、SMBHによる極端に強い相対論的效果を受けて広げられたFe-K α 輝線で再現できる構造を報告しました. 報告された相対論的效果が実現されるためには、SMBHは高速回転(スピンパラメータ $a^* > 0.9$; e.g., [4])のカーブラックホールであり、降着円盤の内縁が最内殻安定円軌道(Innermost Stable Circular Orbit; ISCO)まで伸び、HCを生成する高温コロナはSMBHの極域に点源状に存在する、いわゆる「ランプポスト」型[5]であると論じられました. これ以降、多くのAGNのX線スペクトルに同様の構造が報告され、セントラルエンジンは、ISCOまで伸びる降着円盤とSMBH極域にランプポスト型高温コロナが存在する描像が多くの研究で仮定されてきました(図2右上). しかし、結果は採用するモデルに強く依存し、HCのべきが異なったり[6], HCに部分的な吸収が働くと[7], 極端に強い相対論的效果は不要になるという反論も数多く報告されました. この場合、高温コロナがランプポスト型である必要も無くなります. また、恒星質量ブラックホールでHCが観測される「ハード状態」では、ISCOより遠方で円盤が途切れ、内側に高温コロナが広がる描像が広く受け入れられており[8], AGNにおける仮定と大きく異なる点も問題でした. 我々は、このランプポスト型高温コロナの仮定に疑問を抱き、X線スペクトルだけに注目するのではなく、X線強度の時間変動や多波長との繋がりという新しい視点を取り入れることでセントラルエンジンの描像に迫りました.

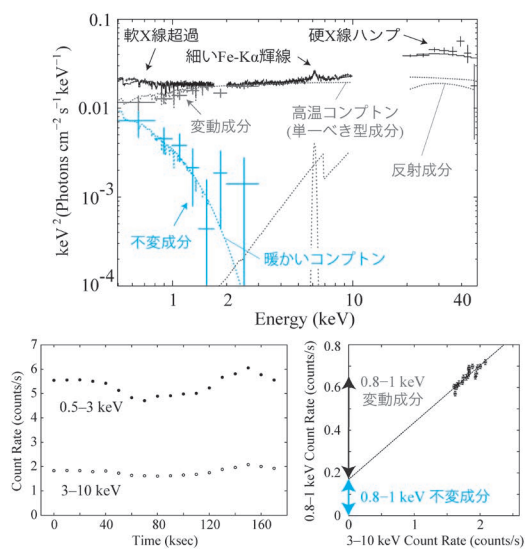


図1 「すざく」による典型的なI型AGN Markarian 509の観測結果([2]より、一部改変). (上) X線スペクトル(黒)に、時間変動解析で得られた変動成分(灰色)と不変成分(青)を重ねたもの. 点線は、高温コンプトン、細かいFe-K α 輝線、反射成分(灰色)、および暖かいコンプトン(青)のモデル. (左下) 0.5-3 keVおよび3-10 keVのライトカーブ. (右下) 3-10 keVと0.8-1 keVの間のカウント-カウントプロット.

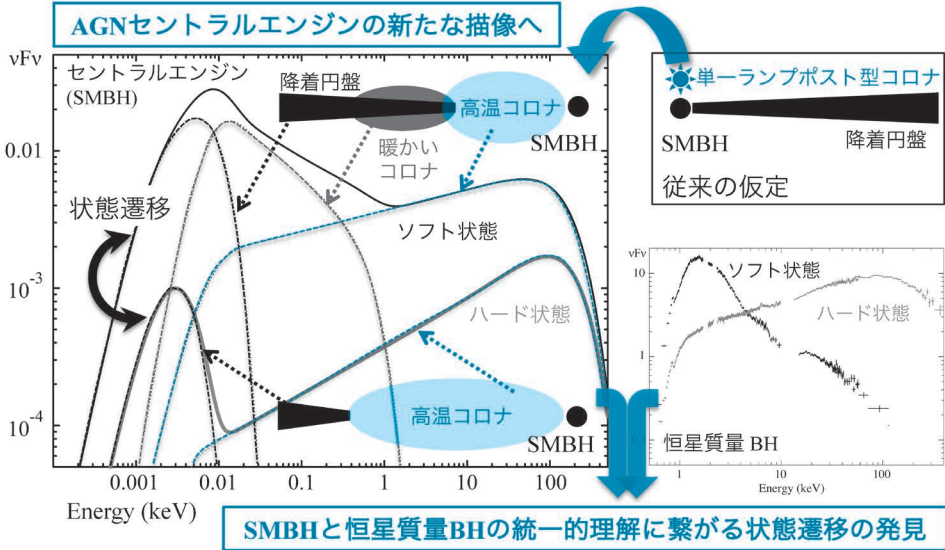


図2 本研究で得たAGNセントラルエンジンの新たな描像(左). 細いFe-K α 輝線と反射成分は省いた. エディントン比が $\sim 1\%$ よりも大きい時は, SMBH側から高温コロナ, 暖かいコロナ, 降着円盤で構成されるソフト状態となり, エディントン比が $\sim 1\%$ よりも小さくなると, 暖かいコロナと降着円盤の一部が高温コロナへと蒸発し, ハード状態に遷移する [16]. 従来仮定されてきたSMBH極域の単一のランプポスト型高温コロナの描像(右上)を覆したとともに, 質量が ~ 7 桁も異なる恒星質量ブラックホールの状態遷移(右下はCygnus X-1のX線スペクトル; [17]より, 一部改変)との統一的理解に繋がる結果となった.

時間変動解析で迫る軟X線超過の起源

AGNの統一モデル[9]では, 可視光スペクトル中に速度幅が ~ 2000 km/s以上の広輝線が観測されるとI型に, 観測されないとII型に分類されます(Fe-K α 輝線は, 相対論的効果を受けた輝線と区別するため, ~ 2000 km/sの速度幅のものを「細いFe-K α 輝線」と呼ぶ一方, 可視光では同程度の速度幅のものを「広輝線」と呼ぶことに注意). X線帯域に目を向けると, 一般に, I型AGNでは吸収が弱く, II型AGNでは吸収が強く働きます. 吸収の弱いI型AGNのX線スペクトルには, 硬X線ハンプや細いFe-K α 輝線に加え, ~ 1 keV未満の軟X線帯域において低エネルギー側に向けて駆け上がっていく連続スペクトル構造「軟X線超過」(図1上)が一般に観測されます. これを説明するため, (1) HCが電離ガスに部分的に吸収された結果生じるとするモデル[10], (2) 降着円盤がISCOまで伸び, 内縁部で生成さ

れた軟X線帯域の複数の輝線が(Fe-K α 輝線と同様に)極端に強い相対論的効果で広げられて繋がった結果, 連続スペクトル状になるモデル[11], (3) HCを放射するコロナとは異なる電子温度と光学的厚みを持つ別のコロナからの逆コンプトン成分とするモデル[12]の3つが提案されていました. Tanaka et al. (1995) [3]によって相対論的に広げられたFe-K α 輝線で再現される構造が報告されて以降, ISCOまで伸びる降着円盤とSMBH極域のランプポスト型高温コロナの仮定が主流となっていたため, 軟X線超過もモデル(2)を仮定する研究が広く進められていました.

我々は, X線天文衛星「すざく」を用いてX線で明るいI型AGNであるMarkarian 509を観測したところ, 典型的な軟X線超過を示すスペクトルとともに激しい強度変動を検出し(図1左下), この強度変動を利用して軟X線超過の起源に迫れないかと考えました. そこで, 図1(右下)のよう

部がコロナへと蒸発する幾何構造の変化に伴うソフト状態からハード状態への「状態遷移」[8, 17]；図2右下)とよく似ています。さらに興味深いことに、セントラルエンジンの状態遷移のポイントはエディントン光度の $\sim 1\%$ であり、恒星質量ブラックホールの状態遷移のもの一致しています。広輝線領域の電離や励起に寄与するUVから軟X線帯域の大半をWCが担うため、状態遷移によってWCが消えたことに伴い、広輝線も弱まった結果、AGNのタイプに変化が生じ、CLAGNになったと考えられます[16]。

ここまでの結果をまとめると、AGNのセントラルエンジンは、エディントン比が $\sim 1\%$ よりも高い場合には、SMBHに近い側から、高温コロナ、暖かいコロナ、降着円盤の順に存在するソフト状態となり(図2左上)、エディントン比が $\sim 1\%$ を切ると、暖かいコロナと降着円盤の一部が高温コロナへと蒸発し、高温コロナが卓越するハード状態(図2左下)に状態遷移することが見えてきました。特にハード状態においては、高温コロナはこれまで仮定されてきた点源状ではなく、広がりを持つことが強く期待されます。現に、我々が別のCLAGNのハード状態において行ったX線と可視光の1年間にわたる同時モニタ

観測でも、高温コロナの数百シュバルツシルト半径の広がりを支持する結果が得られました[18]。このように、本研究によって、ランプポスト型高温コロナが単一で存在するという従来の仮定を覆すことができ、なおかつ、質量が ~ 7 桁も異なるSMBHと恒星質量ブラックホールの統一的な理解に向けたAGNセントラルエンジンの新しい描像を得ることができました。

3. X線天文衛星ASTRO-H搭載装置の開発

前章のように、セントラルエンジンの構造や質量降着率に伴う変化が見えつつありますが、その質量降着率を支配するのは、そこに質量を供給する広輝線領域やダストトーラスなどの領域です。逆に、円盤風が発生すると、質量が持ち去られることとなります。また、CLAGNのようにセントラルエンジンが変化した時、周辺の物質分布にどんな影響を及ぼすのかも重要な課題です。これらの広輝線領域、円盤風、ダストトーラスといった領域を探るには、セントラルエンジンからの放射がこれらの領域と相互作用して生じる輝線/吸収線を調べるのが有効な方法の一つであり、ラインプロファイル、エネルギーシフト、強度を精密に測定すること

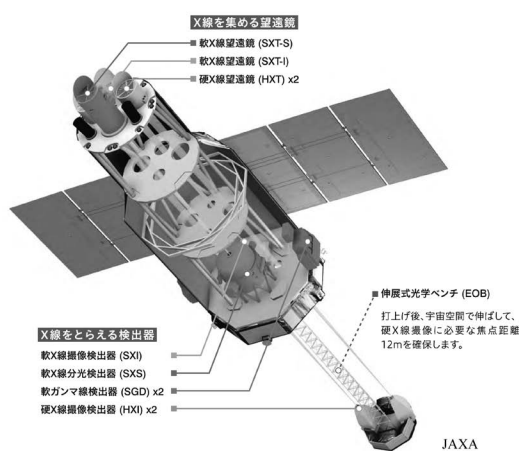


図3 X線天文衛星ASTRO-Hに搭載された装置(左: [20]より)と、H-IIAロケット30号機による打ち上げの様子(右)。

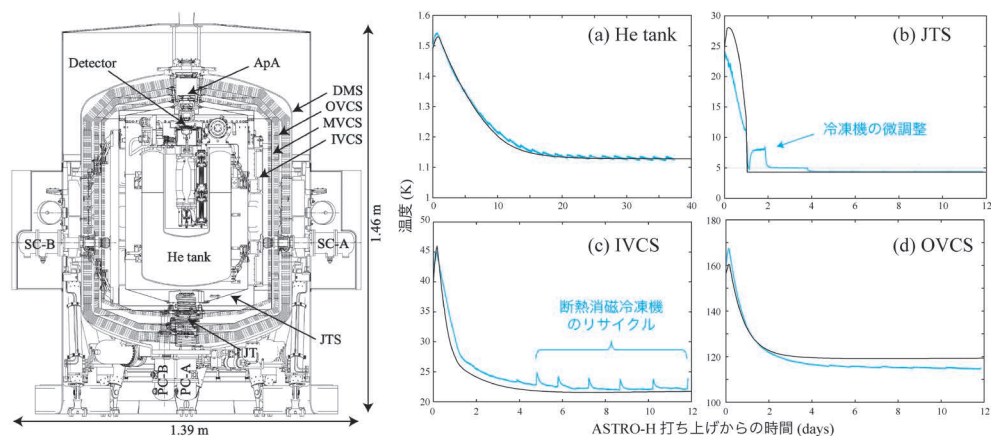


図4 (左) X線天文衛星ASTRO-H搭載X線マイクロカロリメータ (SXS) の構造 ([26]より). (右) ASTRO-H打ち上げ時のSXS各部の温度を初期条件として、熱解析で予測した打ち上げ後の軌道上温度の推移(黒). 軌道上で実測した温度(青)と重ねて示しており、精度よく温度を予測できていたことがわかる ([26]より、一部改変).

体のみを排出する必要があります。この相分離のために多孔質の栓が設置されており、超流動状態の液体ヘリウムが示す熱機械効果（超流動成分が温度の低い方から高い方へ向かって流れる性質）を利用して、液体をタンク内に留め、気体のみを宇宙空間に放出します [27]。これが上手く機能し続けるには、液体ヘリウムが常に超流動状態（温度2.17 K未満）でなくてはなりません。ヘリウムの排気と冷凍機の運転を継続していれば、ヘリウム温度が2.17 Kを上回ることはありませんが、ASTRO-Hをロケットで軌道に投入する際、地上で両方とも一旦停止し、打ち上げ後に軌道上で再開する必要があります。この間、液体ヘリウム温度はどんどん上昇していくため、仮に想定していない事象が発生したとしても、軌道上で超流動状態が破れないためには、打ち上げ時にどのくらいのヘリウム温度まで許容できるかが極めて重要な問題でした。考えられるケースを全て地上で試験するのは困難なため、熱解析で迫ることにしました。私は、JAXA 筑波宇宙センターでの冷却試験に貢献しながら、そのデータを用いて熱数学モデルの改良と校正を重ね、冷凍機運転の開始のタイミングが遅れるケースや、冷凍機のパワーが通常より低いケースなど、軌道上で考えられる様々な状況

を想定した熱解析を実施しました。その結果、打ち上げ時の液体ヘリウム温度が1.7 K未満であれば、常に超流動状態に安全に保たれることを明らかにしました。この結果は、実際にASTRO-Hを軌道上に投入したH-IIA ロケット30号機の打ち上げにGOを下す条件の一つにも採用され、打ち上げ成功に欠かせない研究となりました [26]。

ASTRO-Hの打ち上げと成果

2015年後半、ASTRO-HはJAXA 種子島宇宙センターに輸送され、2016年に入ると、私は、打ち上げに向けた種子島でのSXSの射場運用に全面的に参加しました。数週間におよぶ射場での慎重な検出器運用の結果、液体ヘリウム温度は～1.5 Kを達成し、打ち上げ条件を満たしたことを確認しました。そして、2016年2月17日17時45分 (JST)、ASTRO-Hを搭載したH-IIA ロケット30号機が打ち上げられました (図3右)。開発に力を注いできた衛星の打ち上げは、私にとってASTRO-Hが初であり、これまでの人生の中で、最も忘れることのできない、感動的な出来事の一つとなりました。打ち上げ後、軌道上で無事にヘリウムの排気を開始し、冷凍機も問題なく立ち上がりました。そして、SXSを軌道上で稼働することに成功しました。打ち上げ直後の射場にて、打



図5 大阪大学に立ち上げたX線天文衛星XRISM搭載用X線CCDの測定システムでの実験の様子。写真の人物は著者。

めの長時間データを取得しました。その後は、これらの素子を衛星搭載品の検出器構体、エレキ基板、冷凍機などと組み合わせた検出器全体での性能評価試験を主導しました。

2021年2月に行った試験の際、突如として、CCD素子の撮像領域外で起源が分からない電荷が生じ、撮像領域に侵入するという、これまでに経験したことがない事象が発生しました。これが軌道上で起こり、何も対策しない場合、撮像分光性能に深刻な影響が及び得ます。我々は即座に、衛星搭載素子を別の候補素子と入れ替え、地上キャリアレーションのための長期データ取得をやり直しました。さらに、大阪大学に構築したシステムを駆使して、撮像領域外からの電荷侵入を防ぐための新しいCCD駆動方法を開発しました。これにより、万が一軌道上でこの事象が発生したとしても要求を満たす性能を実現できる方法が確立できました。並行して、電荷発生原因の究明実験も進めてきました。これらのおかげで、素子を入れ替えた後、電荷侵入事象は発生しておらず、Xtendは衛星に搭載した状態での地上試験において、良い性能を発揮しています。衛星全体としての開発も順調に進み、2023年9月7日8時42分(JST)、XRISMはJAXA種子島宇宙センターからH-IIAロケット47号機によって無事に打ち上げられました。ここからは、軌道上での検出器の立ち上げや運用

を進めいくこととなります。引き続き、気を引き締めて取り組んでいきたいと思います。

精密X線分光によるAGN研究の展望

最近、ALMAやVLTIといったサブミリ波や赤外線干渉計によって核周円盤やダストトーラスを直接空間分解する結果(e.g., [31, 32])が報告されるなど、様々な波長の観測でAGNの理解が進展しています。その中で、X線観測も極めて有効な手段であり、特に、分子ガスやダストに限らず、全物質を無バイアスに調べられる点が大きな利点です。これにより、ダストトーラスのさらに内側の、広輝線領域、円盤風、セントラルエンジンに至るSMBHの近傍まで見通すことができます。そして現在、XRISMがもたらす精密X線分光の時代に向け、様々なサイエンスが検討されています(詳細はASTRO-HやXRISMのWhite Paper [33, 34, 35]をご参照ください)。私はこれまで、時間変動に着目する研究を進めてきましたが、これと精密X線分光を融合させるユニークな研究を展開したいと考えています。その準備として、XRISMによって様々なAGNから捉えられると期待される、細いFe-K α 輝線の時間変動の研究を進めてきました。その結果をご紹介します。

我々は、X線天文衛星「すざく」と複数の可視光地上望遠鏡を組み合わせ、タイプがI型の明るい状態からII型の暗い状態に遷移した後のCLAGNであるNGC 3516 [36]を一年間にわたりモニタ観測しました。その結果、細いFe-K α 輝線の有意な強度変動を捉えることに成功しました(図6左)。この変動は、連続X線や可視光とよく連動し、相互相関解析を行ったところ、細いFe-K α 輝線が連続放射から~10日遅れて追従することを発見しました[37]。これは、変動する細いFe-K α 輝線の主な放射源が、SMBHから~10光日離れた距離に存在することを示します。この距離は、タイプがI型の際の広輝線領域の位置に相当し[38]、広輝線が観測されないII型になっても、元々の広輝線領域の位置に(広輝線を出さない)

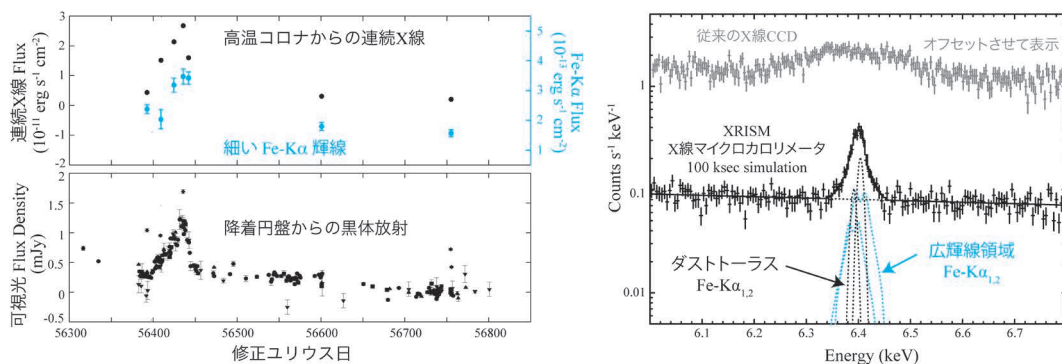


図6 (左) タイプI型からII型に遷移したCLAGNであるNGC 3516を、X線天文衛星「すざく」と地上可視光望遠鏡で同時モニタ観測して得られた連続X線 (2–10 keV; 上図の黒), 細いFe-Kα輝線 (上図の青), 可視光 (下図) のライトカーブ ([37] のデータから作成). (右) NGC 3516をXRISMのX線マイクロカロリメータで100 ks観測した場合のシミュレーションスペクトル (黒). 比較のため, 従来のX線CCDで得られるスペクトルのシミュレーション (灰色) をオフセットさせて表示. 広輝線領域からの細いFe-Kα輝線を青線, ダストトラスからの細いFe-Kα輝線を黒線で示す.

物質が生き残り続けることを示し, 広輝線領域の形成メカニズムに大きく迫ることができました [37]. 今後, 視線方向のみではタイプの違いを説明できないことを示すCLAGNの理解をより深め, AGNの統一モデルをさらに改良していくうえで, 細いFe-Kα輝線の時間変動を捉える方法が極めて有効であることを実証することができました.

XRISMのX線マイクロカロリメータを使えば, 高いエネルギー分解能によってさらに細かい時間変動が追えると同時に, 図6(右)に示すように, 多くのAGNで広輝線領域からダストトラスにかけての様々な位置からの細いFe-Kα輝線を成分ごとに分解でき, それぞれのプロファイルやエネルギーシフトを個別に得られるようになります. 連続放射に対する時間遅延を用いてSMBHからの距離を独立に調べれば, SMBH周辺のどの位置に, どのくらいの速度のインフローやアウトフローが存在するかを, 可視光広輝線の有無にかかわらず, 網羅的に解明できると期待されます. これにより, ダストトラス, 広輝線領域, 円盤風, 降着円盤の繋がりなど, 未解明だったAGNの異なる領域間の物質の流れにも迫ることができ, セントラルエンジン周辺で質量がどう供給／

放出されるかを知る, これまでない手がかりが得られることは間違いないでしょう.

5. さいごに

AGNの観測と衛星搭載装置の開発を二刀流で進めてきましたが, それぞれに様々な困難があり, 並行して進めることに苦勞する場面もありました. しかし, 一方の知見がもう一方の研究に活きたり, 両方をやっていないと気づけない新しい発想が生まれたり, 相乗効果も非常に大きいと感じます. また, サイエнтиストが装置を細部にわたり理解しておくことが, 今後の巨大な科学衛星プロジェクトを成功させるうえでも重要になってくると思います. これからも, 自分の研究スタイルとしてさらに磨いていきたいと思っています.

衛星搭載装置の開発では, 大変幸運なことに, ASTRO-HとXRISMに搭載された四種類の異なるX線検出器全ての開発に関らせていただきました. このような経験を持つ方は, 過去にもあまりないと思います. 貴重な機会と経験を与えていただいたことに心から感謝しております. 今後はこの経験を活かして, まずはXRISMの成功に向けて引き続き全力で取り組み, さらに将来の天文衛星に

向けて、新しい検出器や観測のアイデアを出し、その実現のために貢献していければと思います。

謝 辞

この度は、2022年度日本天文学会研究奨励賞という名誉ある賞をいただき大変光栄に存じます。これまで私の研究を支えていただいたすべての方々に心から感謝申し上げます。大学院生時代の指導教員であり、修了後も大変お世話になっている牧島一夫先生、研究室の先輩であり様々な相談にのっていただいている山田真也さん、ブラックホールやAGNについての議論を頻繁にさせていただいているイギリスダラム大学のChris Doneさんには、この場をお借りして深く感謝いたします。また、玉川徹さんをはじめ理化学研究所高エネルギー宇宙物理研究室の皆さん、秋山正幸さんをはじめ東北大学天文学教室／学際科学フロンティア研究所の皆さん、松本浩典さんをはじめ大阪大学宇宙地球科学専攻の皆さんには、これまで様々な場面でサポートしていただきました。まことにありがとうございました。さらに、ASTRO-H開発ではHXI & SGDチームならびにSXSチームの皆さん、XRISM開発ではXtendチームの皆さんにも、大変お世話になりました。ここに一名一名のお名前を記載できない点が心苦しいですが、この場をお借りして御礼申し上げます。最後に、本稿の編集を担当していただいた勝田哲さん、AGNの共同研究者であり、本稿に多くのコメントをいただいた川室太希さんに厚く感謝いたします。

参考文献

- [1] Haardt, F., & Maraschi, L., 1993, ApJ, 413, 507
- [2] 野田博文, 2013, 博士論文, (東京大学)
- [3] Tanaka, Y., et al., 1995, Nature, 375, 659
- [4] Dabrowski, Y., et al., 1997, MNRAS, 288, L11
- [5] Matt, G., et al., 1991, A&A, 247, 25
- [6] Noda, H., et al., 2011, PASJ, 63, 449
- [7] Miller, L., et al., 2008, A&A, 483, 437
- [8] Done, C., Gierliński, M., & Kubota, A., 2007, A&ARv, 15, 1

- [9] Antonucci, R., 1993, ARA&A, 31, 473
- [10] Gierliński, M., & Done, C., 2004, MNRAS, 349 L, 7
- [11] Ross, R. R., & Fabian, A. C., 2005, MNRAS, 358, 211
- [12] Magdziarz, P., et al., 1998, MNRAS, 301, 179
- [13] Noda, H., et al., 2011, PASJ, 63S, 925
- [14] Noda, H., et al., 2013, PASJ, 64, 4
- [15] Macleod, C. L., et al., 2016, MNRAS, 457, 389
- [16] Noda, H., & Done, C., 2018, MNRAS, 480, 3898
- [17] Yamada, S., et al., 2013, PASJ, 65, 80
- [18] Noda, H., et al., 2016, ApJ, 828, 78
- [19] Takahashi, T., et al., 2018, JATIS, 4, 021402
- [20] 大橋隆哉, 高橋忠幸, 2019, 天文月報, 112, 274
- [21] 藤本龍一, 2019, 天文月報, 112, 452
- [22] 林田清, 2019, 天文月報, 112, 456
- [23] 中澤知洋, 萩野浩一, 2019, 天文月報, 112, 471
- [24] 渡辺伸, 2019, 天文月報, 112, 474
- [25] Noda, H., et al., 2014, SPIE, 9144, 91445E
- [26] Noda, H., et al., 2018, JATIS, 4, 011202
- [27] Ezoë, Y., et al., 2018, JATIS, 4, 011203
- [28] Hitomi Collaboration, 2018, PASJ, 70, 13
- [29] 野田博文, 2019, 天文月報, 112, 353
- [30] Tashiro, M., et al., 2018, SPIE, 10699, 1069922
- [31] Garcia-Burillo, S., et al., 2014, A&A, 567A, 125
- [32] Gámez Rosas, V., et al., 2022, Nature, 602, 403
- [33] Reynolds, C., et al., 2014, arXiv1412.1177
- [34] Kaastra, J. S., et al., 2014, arXiv1412.1171
- [35] XRISM Science Team, 2020, arXiv2003.04692
- [36] Shapovalova, A. I., et al., 2019, MNRAS, 485, 4790
- [37] Noda, H., et al., 2023, ApJ, 943, 63
- [38] Denney, K. D., et al., 2010, ApJ, 721, 715

Studies of the AGN Central Engine with Observations and Development of X-ray Instruments Onboard Satellites

Hirofumi NODA

Osaka University, 1-1 Machikaneyama,
Toyonaka, Osaka 560-0043, Japan

Abstract: Although the central engine is the origin of powerful radiation from an active galactic nucleus (AGN), even its fundamental properties (e.g., geometrical structure) are not well constrained. We perform X-ray and multi-wavelength observations of AGNs and study the nature of the central engine with a particular focus on time variability. In parallel, I contribute to development of X-ray instruments onboard astronomical satellites ASTRO-H and XRISM to realize unprecedented spectral resolution for AGNs. In this article, I introduce the observational studies and the development to establish the picture of the AGN central engine.