

大型国際 X 線天文台 Athena (Advanced Telescope for High Energy Astrophysics) への日本の参加

① 計画の概要

Athena (Advanced Telescope for High-Energy Astrophysics) は、European Space Agency (ESA) が Cosmic Vision Program において採択した、2030 年代初頭打ち上げ予定の大型 X 線天文衛星である (図 1)。Athena は、1) 物質がどのようにして今日の大規模構造へと集積したのか、2) どのようにして巨大ブラックホール (BH) は成長し周囲に影響を与えたのか、という現代宇宙物理の 2 大問題の解明を目指す。1 平方メートルを超える大面積の望遠鏡と、焦点面に TES 型マイクロカロリメーターアレイを用いた高エネルギー分解能分光撮像検出器 (X-ray-Integral Field Unit; X-IFU) と、半導体検出器 DEPFET を用いた広視野撮像分光検出器 (Wide Field Imager; WFI) を搭載する。欧州が開発の中心であるが、40 か国を超える国際共同体制で進められ、特に X-IFU の実現のためには日本と米国の国際協力が必須である。次期 X 線天文衛星 XRISM (X-Ray Imaging and Spectroscopy Mission) もマイクロカロリメーターアレイで精密分光を行うが、有効面積が限られており、その対象は近傍の天体に限られる。一方、Athena/X-IFU は宇宙遠方の高エネルギー天体に対しても X 線精密分光を行うことができる。また WFI は高感度サーベイにより、遠方の形成初期の活動銀河核や銀河団を探索する。Athena は 2030 年代に実行が確定している世界で唯一の大型 X 線天文計画である。2030 年代には ALMA、SKA、TMT、CTA などの大型天文台による宇宙多波長観測時代が到来するが、Athena はその X 線観測部分を担う唯一の存在である。



図 1: 大型国際 X 線天文衛星 Athena

② 学術的な意義

Athena は、「宇宙の大規模構造がどのようにして出来たのか」、「巨大 BH がどのようにして成長し周囲に影響を与えたのか」という現代宇宙物理学の主要な二大テーマに、X 線観測を通して真正面から答える。現在の大規模構造は、宇宙初期のダークマターの密度揺らぎが重力で成長し、そこに物質が落ちて溜まることにより形成された。しかし現在の大規模構造の観測事実は、物質は単に落下したのではなく、超新星爆発や活動銀河核などで放出されるエネルギーのフィードバックを受けつつ落下したことを示している。ところが、どのような物理機構でどのようなフィードバックが行われているのか、よくわかっていない。巨大 BH は、宇宙初期の BH の種に物質が落下することによって成長したものである。BH は成長しつつ、ジェットやウィンドを放出し、親銀河や周辺環境に影響を与えたことはわかっているが、ここでもフィードバックのメカニズムはよくわかっていない。宇宙最大の重力束縛系である銀河団の主要成分は X 線を出す高温ガスである。巨大 BH は物質を飲み込み成長しつつ X 線を放つ。従って大規模構造や BH の成長、フィードバック機構を直接観測で解明するには、X 線観測を行い、その成長のヒストリーを解明することが必要である。Athena は、この目的のための X 線天文衛星である。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

Athena は 2030 年代世界で唯一の大型 X 線天文衛星である。日本国内では、高エネルギー宇宙物理連絡会により、XRISM の次の最優先課題として位置づけられている。観測データの取り扱いには調整中であるが、Athena としての割当に加えて X-IFU コンソーシアム内での割当もあり、資金比率を超えた日本の貢献の重要度に見合う観測時間を早期に確保する見込みである。なお X-IFU コンソーシアムでは、45 名の Co-I のうち 4 名、24 名の X-IFU Science Advisory Team のうち 1 名が日本に割り当てられている。X-IFU の冷凍機開発は、宇宙科学研究所 (ISAS) に Cooling Chain - Core Technology Program チームを発足し、その予算のもとで開発を進めてきた。日本の 2KJT/4KJT が X-IFU の要求を唯一満たすことが明らかになったことはその成果の一つである。また、極低温冷却系を衛星軌道上で成立させ、低雑音高感度観測を行なうという日欧の国際協力は、SPICA や LiteBIRD にも共通する戦略であり、波長を問わず今後も日本の宇宙観測技術の強みとなる分野である。

④ 実施機関と実施体制

日本の活動母体は、ISAS の Athena ワーキンググループ (WG) である。Athena WG は「日本の Athena への参加」を ISAS に小規模計画として提案し、その後戦略的国際共同計画候補となった。2021 年頃の Mission Adoption までの X-IFU コンソーシアムへの参加について、ISAS は letter of support を 2018 年に ESA に発出し、日本グループは X-IFU コンソーシアムに正式に参入した。今後 ISAS 内での審査を経て、プリプロジェクト準備チームとしてプロジェクト化へと進む。評価/定義フェーズの活動をリードする Athena Science Study Team (ASST) が ESA によって定義され、Athena WG 主査 (松本: 大阪大学) が日本代表として参加している。さらに ASST をサポートするサイエンス WG (SWG) が設立されており、日本の研究者 6 名が SWG のチェアに選出されている。SWG は総勢約 600 名であり、チェアは欧州 49 名、米国 8 名、日本 6 名である。今後の科学運用の議論を日本がリードする準備を整えつつある。

⑤ 所要経費

Athena 全体では1000億円を超える規模である。日本側の所要経費の大部分は X-IFU の冷凍機開発が占める。冷凍機供給に関しては、現在計画決定フェーズで供給モデルも含め調整を進めており、現状の見積もりは約 50 億円である。この見積もりは、ASTRO-H 衛星用冷凍機開発などの経験に基づく。2021 年から製作を始め、2028 年までに供給を完了、その後試験等に参加する。今のところ、打ち上げ後の Athena の衛星運用を日本で負担する予定はないが、科学運用には貢献すべく調整中である。

⑥ 年次計画

Athena の打ち上げは2030年代前半を予定しており、遡って年次計画がたてられている。大きな節目は2021年頃に予定されている、搭載機器を含む詳細計画を固定する mission adoption である。それまでは、目標達成のための基本設計、性能実証試験が行われる。Mission adoption 以降は、試験モデル、実機の製作・校正試験をそれ行う。2030年代前半に打ち上げ、その後ノミナル4年間の観測を行う。観測期間中は、科学目標を達成するためのキーサイエンスを主体としつつ、公募観測も行う。観測データの取扱は厳密には決まっていないが、一定期間後には公開・アーカイブ利用されるものと思われる。また5年間経過後も観測機器が健全である場合は、新たな審査を経て観測延長を行うだろう。

日本の貢献においては、まず X 線マイクロカロリメータ X-IFU の開発において、日本がこれまで開発してきた機械式冷凍機をより長寿命かつ低擾乱化して冷却システムに組み込む。またセンサー読み出しの開発などにも協力する。既に 4K/2K ジュールトムソン冷凍機は日本が担当する以外に実現の解はないことが示されているので、ミッション採択時には、日本の参加を必須とする計画が ESA より提案されるだろう。その後実機のための冷凍機、冷凍機駆動装置の製作・供給・試験に参加する。平行して科学観測のための計画立案のための議論に参加する。

⑦ 社会的価値

Athena は、1. どのようにして物質が集積して、今日の大規模構造を形成したのか、2. どのようにして巨大ブラックホールは成長し、そして宇宙に影響を与えたのか、の解明を最優先するミッションである。これらのテーマは、「宇宙・物質・空間は何故できたのか」という人類の知的興味に深く関わっており、この課題に X 線天文学を通して真っ向から答えようとするミッションである。また、Athena は2030年代において、ALMA、SKA、TMT などの他の波長の大型観測装置と並んで、宇宙物理学の重要な課題に挑戦するミッションの一つとなる。そして欧州主導の大規模国際計画に参加すること自体、日欧間の国際関係向上に貢献する。また、宇宙用冷凍機開発は、低雑音化が要求される宇宙観測のために必須であり、今後も日本のオリジナリティ・強みを発揮できる分野である。

⑧ 本計画に関する連絡先

松本 浩典（大阪大学大学院・理学研究科）