

## 大型国際 X 線天文台 Athena への日本の参加

## ① ビジョンの概要

Athena は、2030 年代の様々な巨大観測装置と比肩する感度で宇宙 X 線の観測を実行する、世界で唯一の存在である。特に、「我々はどこから来たのか」という根源的な問いに、宇宙 X 線観測を通じて答えようとするミッションである。

## ② ビジョンの内容

宇宙物理学の究極の目的は、有名な絵画のタイトルである「我々はどこから来たのか、我々は何者か、我々はどこへ行くのか」に答えること、といえる。Athena はその中で、「我々はどこから来たのか」に答えようとするミッションである。

宇宙はビッグバンで始まり、膨張宇宙空間の中で、ダークマターが重力で収縮する。そのダークマターの塊に物質が重力で引き寄せられ、現在の大規模構造が出来た。さらに、物質が集積することで恒星が生まれ、その中で様々な原子が合成され、生命の材料となった。物質で出来た我々がどこから来たのかを理解するには、物質の集積過程を解明しなければならない。基本的には重力のみに支配されるダークマターの集積過程は比較的単純である。しかし、超新星爆発や銀河中心核の超巨大ブラックホールからのアウトフローなどに強く影響される物質の集積過程は、非常に複雑でよくわかっていない。大規模構造の中で特に物質が集積している領域は銀河団と呼ばれ、物質が重力で束縛された宇宙最大の構造である。従って、大規模構造への物質集積過程を解明するには、銀河団の成長過程を明らかにすることが鍵である。実は銀河団の中の物質の主成分は、銀河ではなく、銀河団全体を満たす温度数千万度の高温ガスである。この銀河団ガスを観測する最良の手段は、ガスが放つ X 線を直接観測することである。Athena は巨大な X 線望遠鏡を搭載し、宇宙誕生後 30 億年あたりで誕生したと考えられている最初の銀河団が観測できる。そして、高温ガスがどのようにして生み出され、集積し、巨大化してきたのか、を明らかにする。また、銀河団ガスのなかの元素組成を測定し、宇宙の化学進化を解明する。

一方、一段小さいスケールに物質が集積したものが銀河である。ほとんどの銀河の中心核には、太陽の百万倍以上の質量を持つ超巨大ブラックホールが存在し、しかも超巨大ブラックホールの質量と親銀河の星の質量は比例関係にあることが判明した。これは、超巨大ブラックホールと銀河が共進化してきたことを物語る。従って、銀河への物質集積過程を解明するには、超巨大ブラックホールの成長過程を解明しなければならない。ブラックホールは周辺の物質を吸い込みつつ成長する。この際、解放された重力エネルギーによって X 線で明るく輝く。従ってブラックホールの成長過程を解明するには、X 線で銀河中心核を観測すればよい。Athena は大集光能力を生かして、宇宙誕生後 10 億年程度に現れた誕生直後の超巨大ブラックホールの観測を可能にする。そして、超巨大ブラックホールの成長過程を解明するとともに、銀河の成長をどのようにコントロールするのかを解明する。また、銀河団ガスの集積過程への影響をも観測することが出来る。

## ③ 学術研究構想の名称

大型国際 X 線天文台 Athena への日本の参加

## ④ 学術研究構想の概要

Athena は、欧州宇宙機構が Cosmic Vision Program において採択した、2030 年代後半以降に打ち上げ予定の大型 X 線天文衛星である。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) どのようにして超巨大ブラックホール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



図 1 X 線天文衛星 Athena

が、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。Athena は 2030 年代において世界で唯一の大型 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。

#### ⑤ 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」、「超巨大ブラックホール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ミッションである。

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、主に重力で支配されるダークマターの集積過程にくらべて、超新星爆発や活動銀河核アウトフローの影響を受ける物質の集積過程ははるかに複雑である。従って観測で明らかにする必要がある。

超巨大ブラックホールは、宇宙初期のブラックホール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。ブラックホールは成長しつつ、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。超巨大ブラックホール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ブラックホールの成長、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。

#### ⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

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は調整中であるが、日本は X-IFU 冷却系のキーコンポーネントであるクライオスタットに寄与する予定である。日本の貢献の重要度に見合う観測時間を確保するよう努力する。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、宇宙マイクロ波背景放射観測衛星 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。

#### ⑦ 社会的価値

Athena 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。また、宇宙用冷却システム開発は、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 実施計画等について

実施計画： 現在 Athena のシステム全体を簡略化すべく再検討が行われている。再検討結果である新 Athena は、2023 年終盤の ESA Science Program Committee ミーティングで承認される。その後、feasibility study/preliminary definition がスタートし、新 Athena の詳細が決定する mission adoption は 2027 年以降の予定である。Mission adoption 以降は実機の製作フェーズに入り、2030 年代後半の打ち上げを目指す。実施機関： 日本の活動母体は、宇宙科学研究所/宇宙航空研究開発機構の Athena チームである。

総経費： 約 30 億円

所要経費 所要経費の大部分は X-IFU の冷却システム開発が占める。日本は絶対温度 50K の環境に置くクライオスタットを提供することが期待されている。現状では、クライオスタットの開発、試験に必要な経費はおおよそ 30 億円と見積もっている。

#### ⑨ 連絡先

松本 浩典（大阪大学大学院理学研究科）