



Athena衛星の現状



松本浩典 (名大KMI; Athena WG主査)、満田和久 (ISAS/JAXA)、山崎典子 (ISAS/JAXA)、篠崎慶亮 (JAXA)、常深博 (阪大)、鶴剛 (京大)、他Athena WG

Abstract

Advanced Telescope for High ENergy Astrophysics (Athena) はESA L2 missionに選定され、2028年に打ち上げ予定の、有効面積2m²の Silicon pore opticsミラーにエネルギー分解能2.5 eVのTES型マイクロカロリメーターと、DEPFET大視野検出器を組み合わせたX線天文台である。日本のAthena WGは、この計画に貢献すべく、様々な活動に参加している。この現状を報告する。

1. はじめに

Advanced Telescope for High-Energy Astrophysics (Athena) 計画は、ESAを中心とする国際計画であり、2028年の打ち上げを目指して開発が進められている。

サイエンス目標は次の二つ

1. Hot Universe

どのように物質が集積して、現在の大規模構造を形成したのか

2. Energetic Universe

超巨大ブラックホール (BH) はどのように成長し、そして周囲に影響を与えたか

いずれのテーマもX線観測が本質的に重要であり、従って Athena はX線観測天文衛星である。

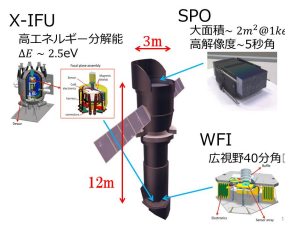


図1: Athena概要案

Athena衛星の観測装置は、以下の3つより構成される (図1参照)。

1. Silicon Pore Optics (SPO)

シリコンポア光学系技術を用いた、直径3mの大望遠鏡角度分解能5秒角

2. X-ray Integral Field Unit (X-IFU)

ピクセル数3840のTES線マイクロカロリメーター。エネルギー分解能 $\Delta E \sim 2.5$ eV, 視野直径5分角。

3. Wide Field Imager (WFI)

DE/FETを用いた視野40分角の広視野検出器。

日本には、X-IFUの冷凍機開発による貢献が期待されている。また、サイエンス面、WFI、SPO、キャリアレーション、地上局などでの貢献の可能性を検討している。

2. スケジュール

現在のAthenaのスケジュールを図2に示す。

2014年10月にESAのConcurrent Design Facility (CDF) studyが行われ、現状の直径3m2のSPOでは、打ち上げロケットの標準アダプターが使えないなど、問題が指摘された。そこで口径を2.4m程度に減らすことを勧告しているが、これは1keVのX線に対する有効面積が2m²から1.5m²に減ることを意味し、当然サイエンス面へのインパクトがある。そこで、2016年4月までのPhase A.1において、口径縮小案のサイエンス、技術的インパクトを検討することになった。ここで口径を縮小するか、新たな開発費を投じて口径3mを守るかを決定する。

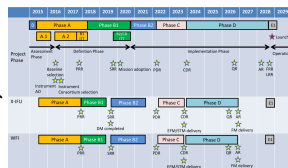


図2: Athenaのスケジュール

日本のコミュニティにとり重要なのは、2016年中頃の instrument AO である。instrument AOの結果により、各機器の consortium が正式に発足する。Athenaのハードウェア開発に参加するには、consortiumに加盟しなければならず、そのためには instrument AOまでに各機器の proto-consortiumに加盟しなければならない。2015年11月現在、日本は冷凍機の開発を目指し、X-IFU proto-consortiumに正式に加盟している。

2020年初頭の Mission adoption で Athenaの仕様が正式に決まる。それまでは Assessment phase/Definition phase であり、demonstration model (DM)の構築などを通して、出来るだけ要求性能を満たし、かつコスト・スケジュールなどの面で現実的な仕様を探られる。従って Mission adoption までは、望遠鏡や検出器の構成あるいは各国の役割分担は変わり得る。

3. Athena Science Study Team & Working Group の活動

Assessment phase での各種調査をリードするために、ESAによって Athena Science Study Team (ASST) が設置されている。10名からなり、ESA 8名、アメリカ1名、日本1名の構成であり、日本からは松本(名大)が参加している。K. Nandra (MPE) がリードをとる。

ASSTの下部組織として、各サイエンスカテゴリーごとに、Sub-Working Group (SWG) が設置されている (図3)。日本からは6名がSWGのチャーターとして参加している。他にSWGメンバーとしては、日本から26名が参加している。

現在 ASST & SWG では、Scientific Requirements の議論を行っている。図3の各カテゴリーに対して、具体的な観測目標を設定し、その目標を達成するには、Athenaにどのような性能が要求されるかを議論している。このために、2015年2月、2015年11月の2回にわたり、SWGチャーターの会合が開かれた。また、2015年9月には、国際会議 “Exploring the Hot and Energetic Universe: The first Scientific Conference dedicated to the Athena X-ray Observatory” が ESA/ESAC で開かれ、日本からも多くの研究者が参加し、サイエンス目標に関する議論が行われた。

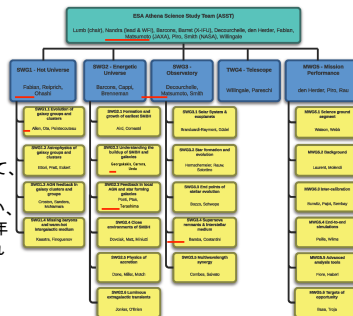


図3: Athena SWGチャーター構成図。赤下線は日本人研究者。

また、既にASST&SWGでは、打ち上げ直後の観測立案を開始している (Mock Observing Plan)。現在のところ、Athenaは「Hot and Energetic Universe」というキーサイエンスのために、観測時間の3/4程度を使うことが想定されている。XMM-Newtonのような、Observatory的な観測時間の使い方とは、全く異なる運用になるかもしれない。

4. X-IFU pre consortiumでの活動とCC-CTP

X-IFU pre-consortiumでは、Mission Adoptionにむけた技術実証のために、Cooling Chain (CC) とFocal Plane Assembly (FPA)を組み合わせたテストデューワーを2018年までに製作し、試験を行う予定にしている (図4参照)。

フランスIRAPのDidier BarretをPIとし、CNESが全体のマネジメントを行っている。FPAはオランダを中心に設計を行い、米国のTES型マイクロカロリメーターを周波数空間で多重化するFDM方式で大型アレイを実現する。現在素子の試験やステージの試作を進めている。他にイタリアなど全11カ国がConsortium boardに加わって機器を分担している。

日本は、CCの4Kまでのシールド部(2段スターリング+ジュールトムソン冷凍機)をAkari, Astro-Hなどの経験に基づき担当する。また検出器の冷却ステージでも、3He JT (1.7K JT)や、フランスCEAがHerschelで用いた希釈冷凍機をベースに提案しているClosed Cycle 希釈冷凍機の3He循環ポンプなどを担当する可能性がある。Dewarはスペインの担当だが、組み上げと試験はフランスCEA(グルノーブル)で行う。

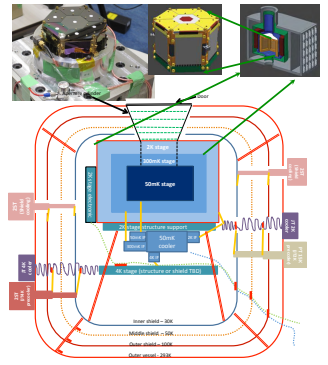


図4: X-IFUのSystem概念図とFPAの設計 (CAD図)および機械試験モデル

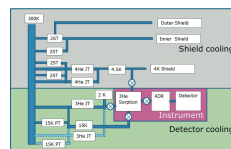


図5: X-IFUのCooling systemの概念図。

4Kまでのシールド冷却は(Shield cooling) は共通だが、それ以下のDetector coolingにはSorption + ADR (左)をベースライン、Closed-Cycle Dilution (右)をオプションとして比較試験、検討を行う。MAまでの試作機では、redundancyは要求しない。

Cooling Chainに関しては、宇宙用極低温冷凍機一般を対象として、ESAからCore Technology Program (CTP)として公募が出され、CNESがX-IFU pre-consortiumとしてこれに応募した。2月から実施の見込みである。

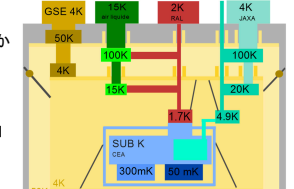


図6: CC-CTPでCryostat#1として製作する試験デューワーの概念図。様々な冷凍機の比較を行う。

JAXAはISASのAthena チームと、研開本部の熱グループが協力し、CNESのCTP応募に参加している。CC-CTPでは、まずCryostat #1という実験室デューワーで様々なtrade-off studyを行う。JAXA戦略コンポーネントの2ST + 4He JTによるシールドクーラーはAthena ベースラインである。さらにpulse tube冷凍機を予冷機とする3He JTをRAL⇒JAXAに変更する。また検出器の冷却段としてもADRとClosed Cycle 希釈冷凍機の比較をおこなう。このような結合試験は、SPICAの冷凍機検討の中でも重要であり、また観測時間を連続的にとれるClosed Cycle希釈冷凍機はLiteBirdでも搭載検討を行っている。このようにミッション横断型の開発という位置づけでCC-CTPの活動を行う。これを図示したのが図7、まだ供給物とスケジュールを図8に示す。2016年夏にはフランスへのデリバリーがはじまる。

5. Athena/CTPの状況

Athena WGは2015年2月に、「Athenaへの日本の参加」を小規模プロジェクトとして理学委員会に応募し、6月に理学委員会から推薦され、小規模プロジェクト評価委員会での評価を12月までに受けた。小規模としては予算額が大きいこともあり、計画全体としては、ISASでの小規模計画の位置づけ後に再評価される。ただし、CC-CTP活動としてはミッション横断型の活動として、これとは分離しつつ、Athenaの実行を前提に円滑な国際協力として進めるように推奨され、ISAS内で「CC-CTP開発プロジェクトチーム」が設定された。

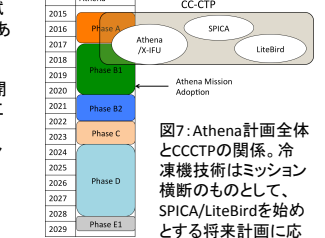


図7: Athena計画全体とCCCTPの関係。冷凍機技術はミッション横断のものとして、SPICA/LiteBirdを始めとする将来計画に活用できる。

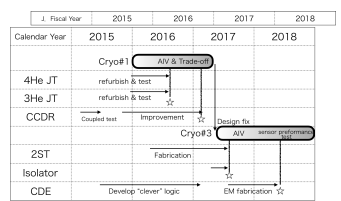


図8: CC-CTPに日本が供給するものとそのスケジュール