

参考資料1

第七回宇宙科学・探査小委員会(7月19日)
配布資料

X線天文衛星ASTRO-H「ひとみ」の 後継機の検討について

2016年7月19日

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構

宇宙科学研究所長 理事 常田佐久

- 前回6月14日に報告させて頂いた「X線天文衛星(ひとみ)の異常事象に関する小委員会報告書」の別添であるJAXA文書「X線天文衛星ASTRO-H「ひとみ」異常事象調査報告書」に記載した対策を実行するにあたって、より具体的な実行計画の検討をJAXAで進めている。
- 上記と並行して、X線天文学の今後のあり方についても、その科学的意義の再確認や国内外からの要請状況を通して検討を進めている。
- 今回は上記検討の中から、ASTRO-H後継機の検討状況について報告させて頂く。

前回宇宙開発利用部会後の取り組み

- 前回宇宙開発利用部会の『X線天文衛星「ひとみ」異常事象に関する報告書』で報告した以下の対策について、具体的な取り組みを実施している。
 - ① プロジェクトマネジメント体制の見直し
 - ② 宇宙科学研究所と請負業者の役割・責任分担を見直し
 - ③ プロジェクト業務の文書化と品質記録の徹底
 - ④ 審査や独立評価の運用の見直し
 - 宇宙研のプロマネ経験者等による6回の検討会を実施し、さらに、宇宙研全員との意見交換会を開催(7月8日)。
 - 上記対策を着実に実行するため、全社横断で取り組んでいる。
- 高エネルギー宇宙物理連絡会(X線天文学研究者の団体)が宇宙理工学合同委員会にてASTRO-H喪失に対するコミュニティとしての総括について言及。(7月11日)

ASTRO-Hの意義 (1/2)



(日本の強みの継続と他波長天文台との連携)

- 日本は1979年からこれまでにX線天文衛星を6機打上げてきた（補足資料参照）。その時々において他国の衛星にはない特徴をもち、後年のX線天文学の方向性を決めるような観測装置を搭載し、宇宙の謎の一端を解明する多くの科学的成果をあげるなど、トップラナーとして世界のX線天文学を牽引してきた。（関連する査読付論文数は約3500編を超える）

- ASTRO-Hは、我が国のこれまでの実績と能力を基に、日本がリードする国際協働プロジェクトとして、従来より広帯域かつ10倍以上の感度を持つ検出器を開発して、宇宙の大規模構造とその進化の様子を捉え、その成長を支配していると考えられている暗黒物質の謎や銀河とブラックホールの共進化の謎に挑む目的であった。
 - ・ 宇宙の大規模構造とは、宇宙は銀河、銀河群、銀河団と階層構造を持ち、密度の高い領域と低い領域が分布し、互いに繋がりにあることをいう。宇宙の誕生より、小さなもの同士が衝突・合体を繰り返し、より大きな構造へと成長してきたと考えられており、これらの構造の中で最大のものが「銀河団」と呼ばれ、銀河、高温ガス、ダークマターなどから構成される。
 - ・ 暗黒物質（ダークマター）とは、光などの電磁波は出さないが重力を持つことから間接的にその存在が示唆されている謎の物質のことをいう。宇宙で暗黒物質がどのように分布し、その正体が何であるかは、現代物理学の最大の謎の一つである。暗黒物質ともう一つの謎である暗黒エネルギーの総量によって宇宙の運命が決まる。

ASTRO-Hの意義 (2/2)



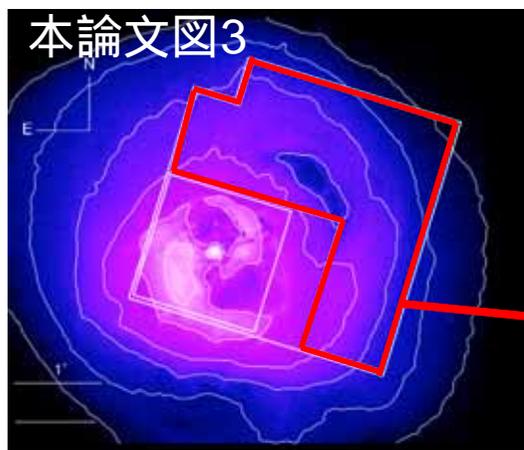
(日本の強みの継続と他波長天文台との連携)

- 2010年代後半には、ALMA(サブミリ波)、ハッブル宇宙望遠鏡の後継のJWST衛星、ガンマ線衛星Fermi、2020年代には、すばる望遠鏡後継のTMTなどの、次世代の大型天文台、あるいは衛星が稼働することになる。ASTRO-Hには、X線領域において上述の望遠鏡群と伍して研究を行える能力と規模を有する唯一の国際計画としての役割が期待されていた。
- 銀河団中の高温ガスの運動や非熱的エネルギーの研究、遠方銀河団のダイナミックな進化の解明、厚いガスに含まれた巨大ブラックホールの進化と銀河形成の関連、超新星残骸などでの宇宙線加速の研究では、ASTRO-Hによる超高分解能分光や広帯域でのX線観測が必須である。このような新しい観測結果により、X線天文学のみならず、宇宙物理学全体に大きなインパクトを与えることができる。別の言い方をすると、極限状態での物理現象の解明や、そこでの物理法則の検証を通して「物理学の発展」に寄与することができる。
- ASTRO-H初期運用（3ヶ月と想定）後の試験観測期間における最初の6ヶ月間に対しASTRO-Hプロジェクトサイエンスチームから84件の観測提案がされていたが、衛星喪失までに観測できたものは3提案のみ（他に較正目的で3観測を実施）ではあるものの、次頁に示す成果が得られている。

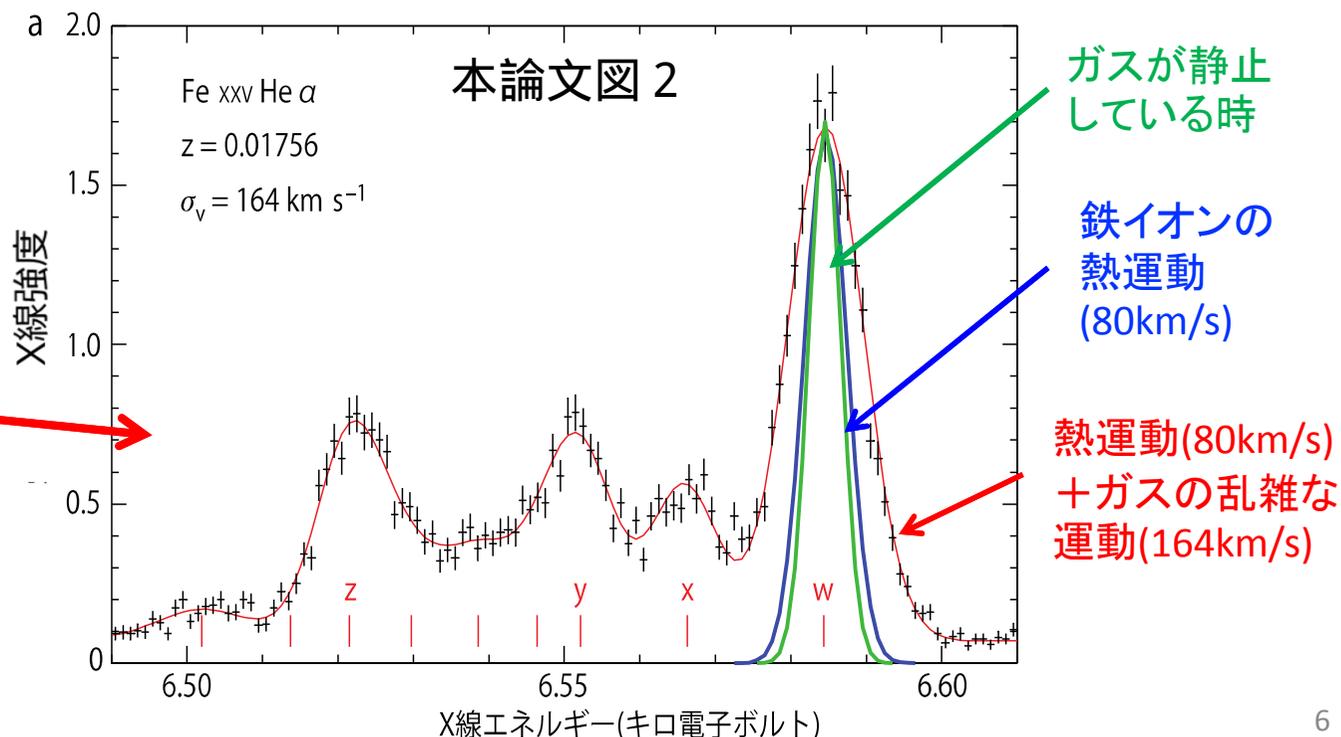
ASTRO-H成果： Nature (7/7付け) 掲載論文要旨



- ASTRO-H搭載の軟X線分光検出器は、要求値を上回る優れた分光性能を達成。
- ペルセウス座銀河団中心領域を観測。超巨大ブラックホールから吹き出す高エネルギー粒子の泡が、ガスの激しい乱雑運動を引き起こしていると言われていた。
- 高階電離した鉄の特性X線の幅を測定し、ガスの乱雑運動の速度を求めたところ、予想外に静かなことが判明した(視線速度150-200 km/s)。
- 超巨大ブラックホールによるガスの加熱という、長年の課題を解く重要な手がかりが得られた。
- ダークマターの質量推定にガスの乱雑運動の影響が小さいことを初めて示した。



本論文図3
チャンドラ衛星画像と
検出器の視野

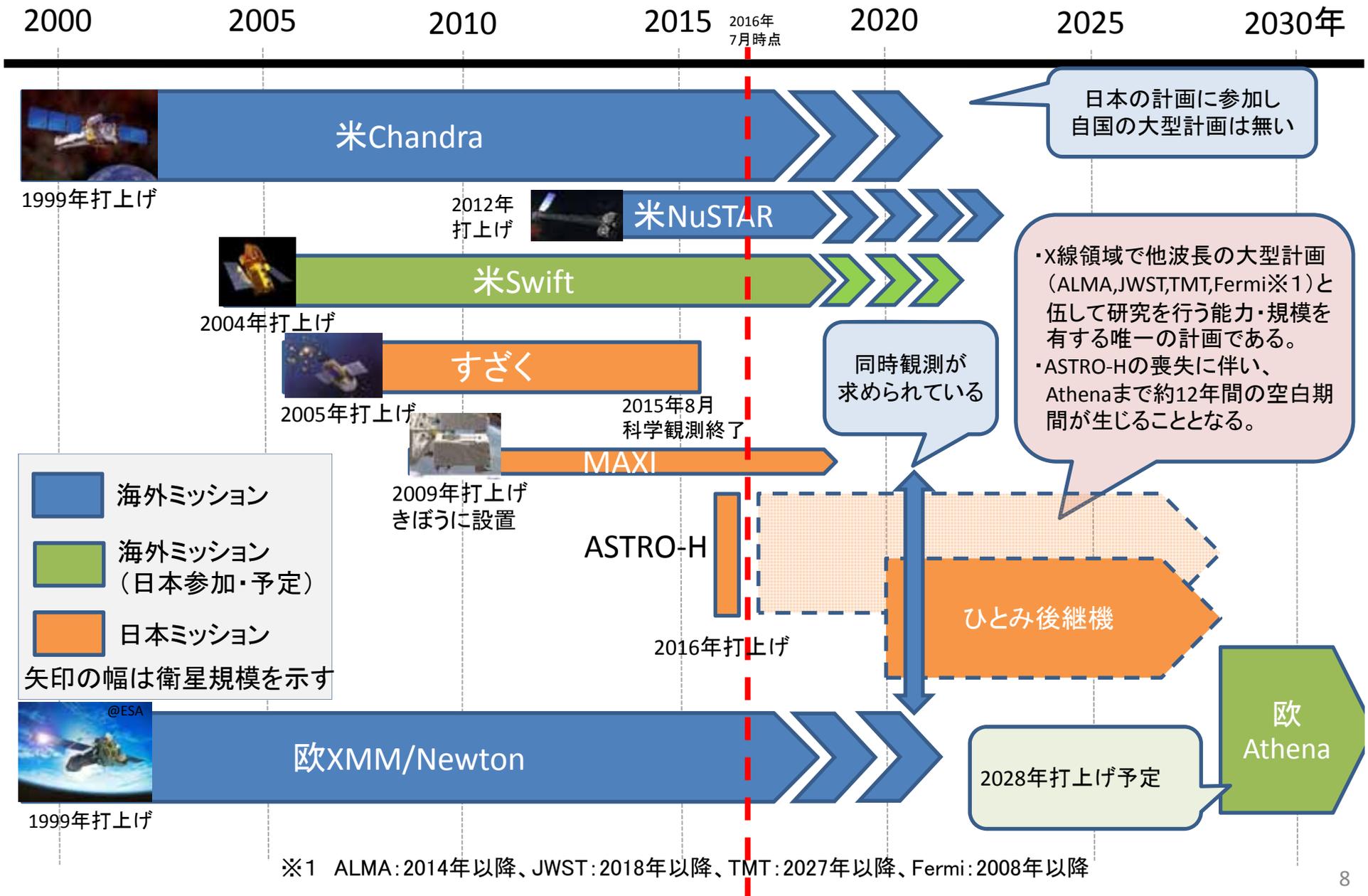


現在のX線天文衛星の状況と国際的期待

- これまでの日本のX線天文学の実績と能力を基に、NASAやESAは2010年代は自国の独自の計画でなくASTRO-Hに国際協力に参加することを選択しており、ASTRO-Hには、世界唯一の大型X線天文衛星としての活躍が期待されていた。
- X線分野では、「すざく」衛星が2015年8月に科学観測を終了した。2016年7月現在、Chandra, XMM-Newtonの衛星が運用中であるがすでに稼働年数が15年以上と長く、検出器の劣化も見られる。米NuSTAR衛星は2012年打上げで新しいが、硬X線の波長域に特化した衛星である。
- 次の大型X線天文衛星計画は、欧州主導で計画しているAthena(2028年打上げ目標)まで無い。すなわち、2010年代後半の他の波長での大型観測が始まる大事な時期にX線天文学の最も重要な部分が空白期となってしまう。(次ページ線表参照)。
- ALMA(電波地上望遠鏡)は日米欧国際協力、米国はFermi(ガンマ線衛星)とJWST(可視・赤外衛星)など、X線以外の波長は日本以外の国が主導し、国際協力と競争のなかで観測が実施されている。観測センサー等の開発の技術を維持し続けるためにも、我が国の強みであるX線観測において我が国が主導的に開発をすることは必須である。

世界のX線天文学将来計画

2016年7月現在、
Chandra, NuSTAR, Swift, XMM/Newton, MAXIは、
いずれも2018年までの運用延長予定



今後の対応について



- ASTRO-Hに搭載された機器、特にSXS(軟X線分光計)について初期観測データは素晴らしく、軌道上性能が実証されており、継続的に観測できれば数多くの科学的成果の創出が可能であった。
- ASTRO-Hの試験観測成果は、すでにNature誌(2016/7/7号)に掲載されるなど、その超高分解能分光能力は圧倒的な性能を持つ。今後も、Nature級の論文が、何編かは期待できる。打上げ前に掲げていた目標はもちろん、それ以上の成果が現実味を帯びてきており、国際的な期待も高い。
- 現代宇宙物理の基本的な課題である宇宙の構造と進化にかかる数々の謎の解明に資することを目的とした、ASTRO-H同様にX線超精密分光による高感度観測を実現するミッションの意義は、さらに高くなったと考えられる。
- 国内外の宇宙物理学の意義を踏まえ、ひとみ喪失に伴うX線領域観測12年の空白を埋める為に、ASTRO-Hの超高分解能分光性能を活かすことに基本とした後継機を速やかに製作して、目指していた科学的成果を早期に創出することが重要と考えている。また、人材育成等の観点からも速やかにX線領域の観測を行い、空白期を短くする必要がある。
- 海外機関(NASA・ESA)は、ASTRO-Hと同様の役割分担で参加する計画である。
- 実行に当たっては調査報告書の対策を具体化して確実に反映する。