

「宇宙研」の活動とX線天文学

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部

井上 一

宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究本部教授

宇宙科学研究所は、2003年10月、主に大型液体ロケットや実用衛星の開発を行ってきた宇宙開発事業団、主に航空技術関係の研究を行ってきた航空宇宙技術研究所と合体し、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の一員となった。そして、宇宙科学研究所の大学共同利用研究機関としての特徴は、JAXAの下の宇宙科学研究本部に引き継がれた。このページでは以後、宇宙科学研究所、宇宙科学研究本部とも一貫して、「宇宙研」と略させていただく。

この組織変更に先立つこと半年、2003年4月より、宇宙研は総合研究大学院大学(総研大)に宇宙科学専攻として加わった。後れ馳せながらの参加であったが、宇宙開発・宇宙科学はもちろん、広くこれからの世界を支える人材の育成に少しでもお役に立てればと願っている。

「宇宙研」の特徴

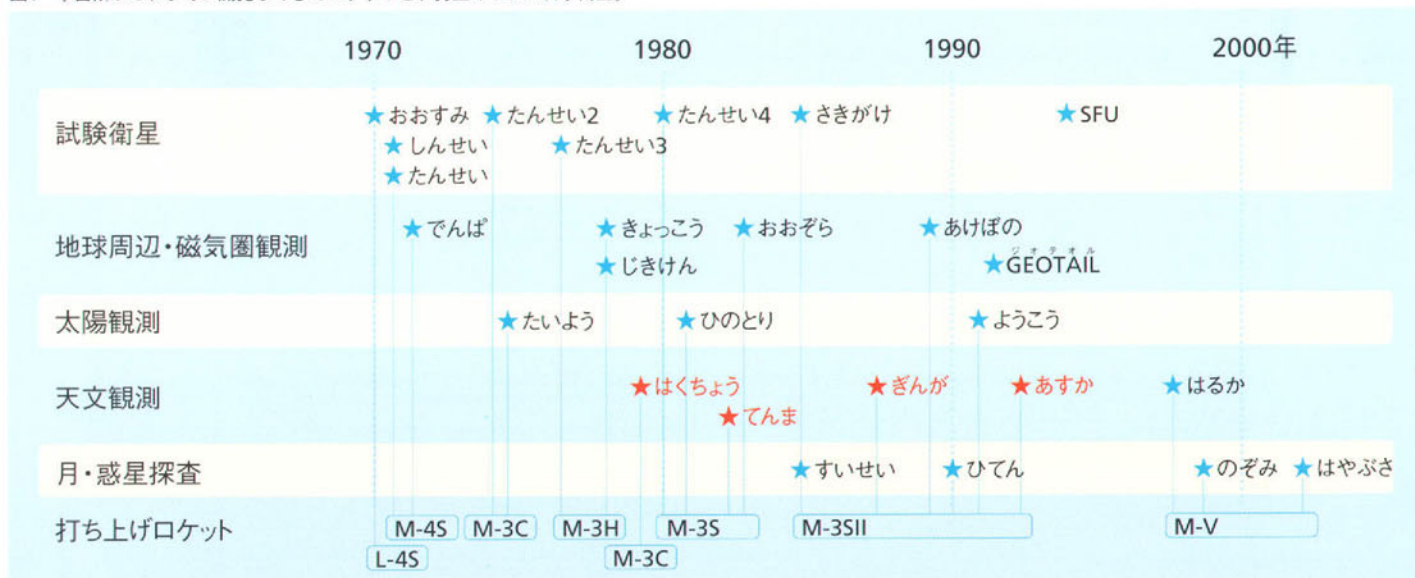
宇宙研においてはこれまで、スペースにおける科学観測と、それを可能にする工学技術開発(固体ロケット開発を含む)を行ってきた。これらの研究・開発をまとめて「宇宙科学」としてきたが、この宇宙科学を支えてきたのが次のような特徴である。

第一は、大学共同利用研究機関としての特徴である。その理念において、宇宙研は、わが国のすべての理学者と工学者との協力によって成り立っている。事実、宇宙研が所掌してきたスペースにおける科学観測の計画はすべて、日本の関係研究者コミュニティの代表からなる委員会の議決によって決められてきている。それらの一つは宇宙理学委員会であり、もう一つは宇宙工学委員会である。どち

らも、宇宙研外のコミュニティの代表と、宇宙研からのメンバーの、ほぼ半数ずつの構成となっている。これらの委員会では、各大学や研究機関のグループから衛星計画が提案され、科学目的、技術的実現性、背景コミュニティの体制等がきびしく評価されてきている。そして、衛星計画の提案が認められると、その製作や軌道上での運用は全国の大学・研究機関のグループとの共同で行われることとなる。

第二は、緊密な国際協力である。上に述べたようなシステムの中で提案される科学衛星計画は、つねに世界の第一線の研究であるべきで、国際的な研究者コミュニティとの議論は不可欠である。宇宙研がこれまで打ち上げてきた科学衛星は、衛星の規模でいえば中小型のものであるが、目的をよく絞り込んで、国際的

図1 宇宙研がこれまでに開発してきたロケットと、打上げられた科学衛星。



にも特徴のある計画としてきた。そして、国際的な議論の中から、国際的な分業がなされ、他国の適切なグループと共同した装置開発が行われてきている。

第三は、理工一体となった宇宙科学研究の推進である。科学の最前線を切り開くには、これまでにない新しい観測装置、衛星・探査機を開発する必要がある。理学者の向こう見ずともいえる夢を実現するのが、しっかりとした学問体系に支えられた工学者である。そして、理工学者がたがいの持ち味を生かし、一体となって科学目的を実現することに最適なロケット・衛星・探査機を実現してきた(図1)。

そして第四は、そのような科学の最前線を切り開く衛星開発に直接触れ、みずから参加することで、大学院生・若手研究者が大きく育つことである。宇宙研で行われてきている研究は、みずからの発想により開発したみずからの装置によって科学の最前線を切り開く、いわば科学の原点を実践するものである。

「宇宙科学」の研究

さて、宇宙研が中心となって推進している宇宙科学研究は、大きく次の三つの分野にまとめられる。

第一は、天文学・宇宙物理学の分野である。宇宙は新しい発見の宝庫である。なかでも20世紀後半、大気の外に観測装置を持ち出すことができるようになり、われわれの認識範囲は飛躍的に広がった。そして、観測が進めば進むほど、未知の領域はますます広がっていく。近い将来の計画として、新しい観測装置を搭載した、X線天文衛星ASTRO-E2計画、赤外線天文衛星ASTRO-F計画、太陽観測衛星SOLAR-B計画が進められている。

第二は、太陽系科学の分野である。ここにおいては、地球周辺から月、火星、小惑星と、観測装置をその場に持ち込む領域を広げ、小型探査機ながら特徴のある計画を実施してきている。太陽系がどのようにして生まれたかを探り、人類のおかれた広い意味での環境を知る試みが進められている。これからも、月探査機LUNAR-A計画・SELENE計画に加え

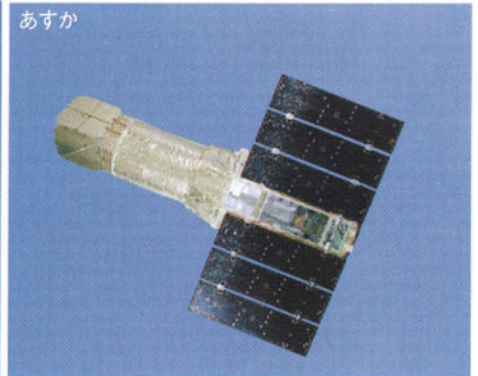
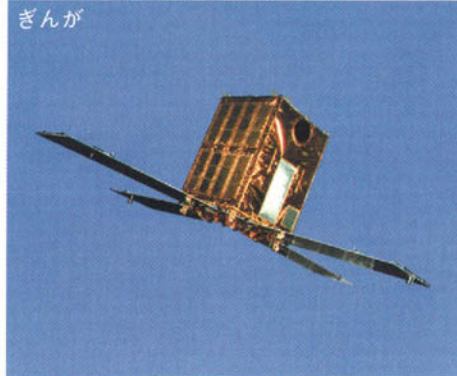
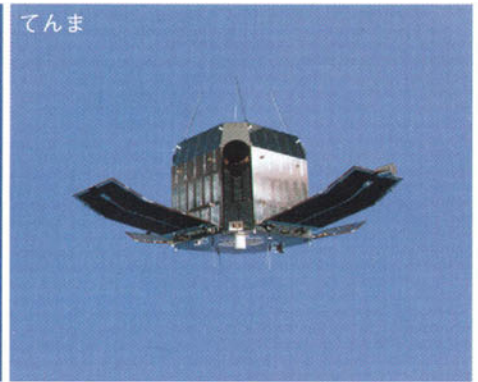
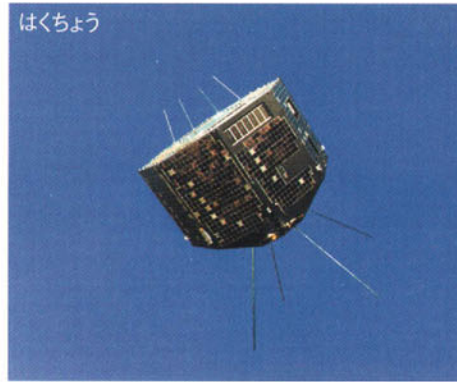


図2 これまでに打上げられた、わが国のX線天文衛星。

て、金星探査機PLANET-C計画、水星探査機BepiColombo(欧州宇宙機構との共同)計画と、野心的な計画が続き、さらに探査範囲を広げようとしている。

第三は、これらのスペースに出て行う科学観測を可能にする宇宙工学の分野である。宇宙研は、日本のロケット開発の先鞭をつけ、独自の固体ロケット技術を開発し、惑星間空間にまで科学探査機を送り込むことを可能にした。同時に、衛星・探査機の技術も着々と向上させ、中小型ながら高性能な衛星・探査機を開発してきている。そして、再使用型のロケット技術、月・惑星への着陸船技術、太陽光の放射圧力を利用した新しい惑星間空間航行技術、等々の開発が進められている。

X線天文学の研究対象

上にあげたような研究活動の中で、私たちX線天文学グループは、故小田稔先生のリーダーシップの下で1979年に「はくちょう」衛星を実現して以来、関係大学・研究機関のグループと力を合わ

せ、「てんま」(1983年打上げ)、「ぎんが」(1987年打上げ)、「あすか」(1993年打上げ)と継続的にX線天文衛星を打ち上げ(図2)、国際的に確固とした地歩を築いてきた。2000年には、「あすか」に続くべきASTRO-E衛星の打上げに失敗してしまったが、すぐに再挑戦計画であるASTRO-E2計画を立ち上げ、現在、2005年の打上げに向けて準備を進めている。このような衛星を介してX線天文学が明らかにし、また、今後明らかにしていこうとしている科学的テーマの主なものとしては、次のようなものがある。

1. ブラックホール周辺の研究

第一は、ブラックホールをめぐる研究である。X線天文学初期、銀河系(太陽系が属する恒星の集団、天の川銀河ともいう)内でX線を強く放射しているX線連星が観測され、その中心には、太陽の10倍程度の質量のブラックホールが存在し、ブラックホールへ落下する物質が解放する重力エネルギーがその明るさの源であることが明らかとなった。以降、そのよう

な天体の観測的研究が大きく発展し、ブラックホール周辺で何が起きているかが明らかにされてきている。

同様の現象は、銀河系から遠く離れた銀河の中心にある太陽の1億倍もの質量を持った巨大質量ブラックホール周辺からも、しばしば活動銀河核現象として観測されている。そしてブラックホールへ落ち込む物質の流れ（降着流）や、そこからのジェット噴出現象の研究は、可視光や電波での観測と合わせ、大きな広がりを見せている。

さらに、太陽の10倍程度の質量のブラックホールが星の進化の最終段階でいかにしてつくられるか、銀河の中心の巨大質量ブラックホールがいかにしてつくられてきたか、というブラックホール形成の研究も種々の観測の積み重ねの上で大きく進みつつある。ブラックホールをめぐる研究はいまや、「ブラックホール天文学」ともいえる広がりを見せている。

2.宇宙の「主役」の研究

第二は、宇宙のいたるところにある数千度から数億度の高温ガス（プラズマ）と

その起源の研究である。なかでも、銀河団をおおう1億度にも達する高温ガスの研究は、宇宙の構造と進化を理解する上で年々重要性が増している。

銀河団は、さしわたし数百万から1000万光年の空間の中に100～1000個もの銀河が集団をなしているものである。銀河団の銀河間空間には数千万度から1億度にも達する超高温ガスが満ちており、X線で明るく輝いている（図3）。

X線観測から得られた銀河間空間の超高温ガスの量は、銀河団に属する銀河全体の質量より数倍多く、宇宙の中で観測にかかる物質の中では超高温ガスがいちばん多いことがわかっている。

さらに銀河団のX線観測では、超高温ガスのある領域にとらえておくために必要とされる重力の大きさから、超高温ガスの量の10倍近くもある未知の重力源の存在を知ることができる。この未知の重力源を科学者は「暗黒物質」と呼んでいる。暗黒物質の正体はまだ不明で、現代物理学の抱える最も重要な問題の一つである。暗黒物質の正体解明の糸口の一つとして、X線による今後の観測的進展が

期待されている。

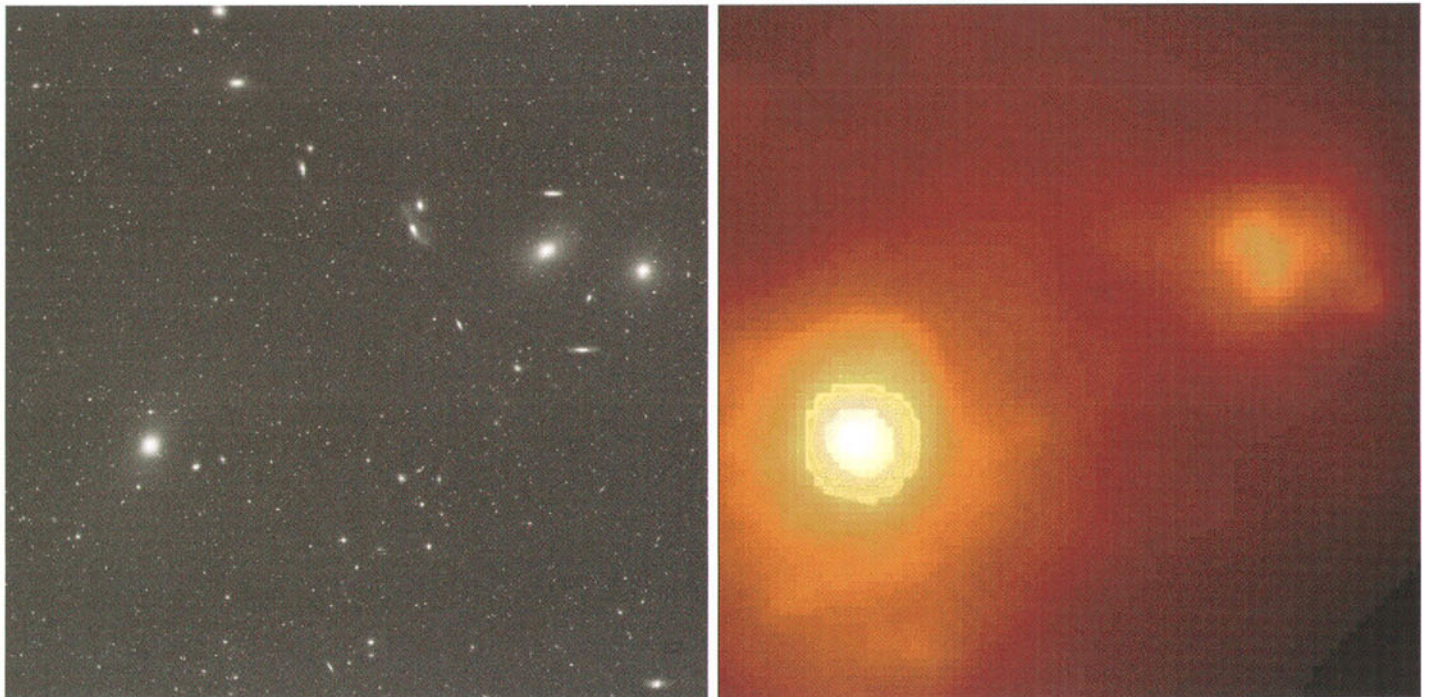
3.宇宙の高エネルギー粒子の研究

第三は、宇宙に存在する超高エネルギー粒子群が出すX線やガンマ線の観測である。宇宙からは非常に高いエネルギーを持った粒子がやってきて地表に降り注いでいる。それらは「宇宙線」と呼ばれ、どれくらいのエネルギーを持った粒子がどれくらいの割合でやってきているかの測定も精力的に行われている。

このような超高エネルギー粒子はどこで、どのようにしてつくられるのであろうか。その発生場所を観測的に求めることが、最近のX線観測によりようやく可能になってきた。そのような観測をさらに発展させるには、より波長の短い、つまりエネルギーの高いX線（硬X線）の撮像観測の精度をあげることが求められている。

われわれ日本のX線天文学グループは、その方向の技術開発に着手しており、ASTRO-E2に続くX線天文衛星としてNeXT計画の準備を進めている。やがては、高エネルギー粒子の総エネルギーが

図3 可視光で見た銀河団（左）と、X線で見た銀河団（右）。可視光では銀河団を形成する個々の銀河が見られるが、X線では銀河間空間を満たす高温ガスが見える。この高温ガスの量は、銀河の質量の総和より数倍多いことが、X線の観測により明らかにされた。



宇宙全体でどのくらいの割合を占めているのか、また、それは宇宙の進化の中でどのような役割を果たしているのかわかり、宇宙の基本的な理解が進むものと期待される。

「宇宙科学」研究のサイクル

さて、われわれは、上に述べてきたような天文学・宇宙物理学の研究を、次のような何段かのステップを踏んで進めている。スタッフは20近い大学・研究機関の50人を超える研究者と、100人を超える大学院生である。

われわれの進めている研究は、与えられたりソースぎりぎりの成果を得るため、いろいろな場面で、大学院生も含む多くの研究者の創意・工夫が不可欠である。一方、大きな予算を使った大型のプロジェクト研究であり、失敗の許されない非常にきびしいものでもある。結果を出すことを迫られるそのような環境は、大学院生等にとって良い訓練の場となるものと考え、できる限りすべてのステップを踏んでもらうようにしている。

まず、第一段階は新しい性能を持った観測装置の開発である。われわれはつねに世界の第一線に立ち、観測的最前線を切り開かねばならない。そのためには、新しい技術の開発が不可欠である。装置開発のための実験室での実験は、しばしば起こるトラブルを自分の頭で考え、自分の手を動かして解決していくことの、非常に良い訓練の場となる。

新しい装置開発の日処が見えてくると、次のステップでは、開発された新しい装置を使った新しい衛星計画の推進が始まる(図4)。衛星計画のような大きなプロジェクトを進める段階になると、十分な経験のあるシニアな研究者による牽引が大事となるが、同時に若い意欲に満ちた大学院生、ポスドク、若手研究者の熱意にあふれた参加が不可欠となる。プロジェクトへの参加は、システムをまとめあげていくための現実的な判断の点で、たいへん貴重な勉強の場となる。

こうして10年にも達する苦勞のすえに仕上げられた衛星は、軌道に投入され、



図4 現在開発が進められているASTRO-E2衛星の一次組み合わせ試験の一コマ。この試験は、衛星の各機器の製作が終わった段階で、いちど衛星を組み上げ、機械的・電氣的インターフェイスの確認や、基本的機能の確認を行うものである。

図5 軌道天文台となるASTRO-E2の想像図



天文台として、世界の研究者に利用されることとなる。この軌道天文台を支えるために大いに働くことが次のステップで、ここでも大活躍するのが大学院生・ポスドクの方たちである。日々、観測計画をしっかりと管理し、衛星に送るコマンドをまちがいをなくつくっていく作業は、一面、観測提案者への支援作業ともいえるが、苦勞して衛星を生み出してきた者にとって、「衛星のお守りは自分です」のが自然な感覚である。

そして、ついに衛星から待望の観測データがおりてくるようになると、観測的研究が主役となる。やっと天文学・宇宙物理学の研究ができるわけである。その研究の成果は種々の学術誌に投稿され、

ミッションとして完遂することになる。1993年に打上げられたわれわれのX線天文衛星「あすか」の場合、そのデータをもとに2000近い学術論文が生まれ、約100人もの博士が生まれた。

このような一連の技術開発と観測的研究の中から、新しく進むべき方向が探られ、やがて次の衛星計画へ進むこととなる。これらのサイクルを駆動し、将来をつくっていくのは、柔軟な発想を持ち、意欲のある大学院生である。少しでも多くの学生が、われわれの分野に限らず、種々の基礎科学分野に興味を持ち、科学の最前線を切り開く研究に積極的に関わっていただくことを期待してやまない。

井上一 (いのうえ・はじめ)

大学院時代に、世界初の本格的X線天文衛星「ウフル」のデータが出はじめていたX線天文学に興味を持ち、宇宙研小田稔研究室に出入りするようになった。1975年、宇宙研に田中靖郎研究室が新設された際に助手に拾われ、以来、歴代のX線天文衛星開発にどっぷりつかることとなった。開発中のASTRO-E2衛星では、総括責任者を務めている。新しい衛星開発の面でも、観測事実の解釈の上でも、既存の概念にとらわれない新しい発想を意識し、常に最前線を切り開こうとする姿勢が最重要と考えている。

