

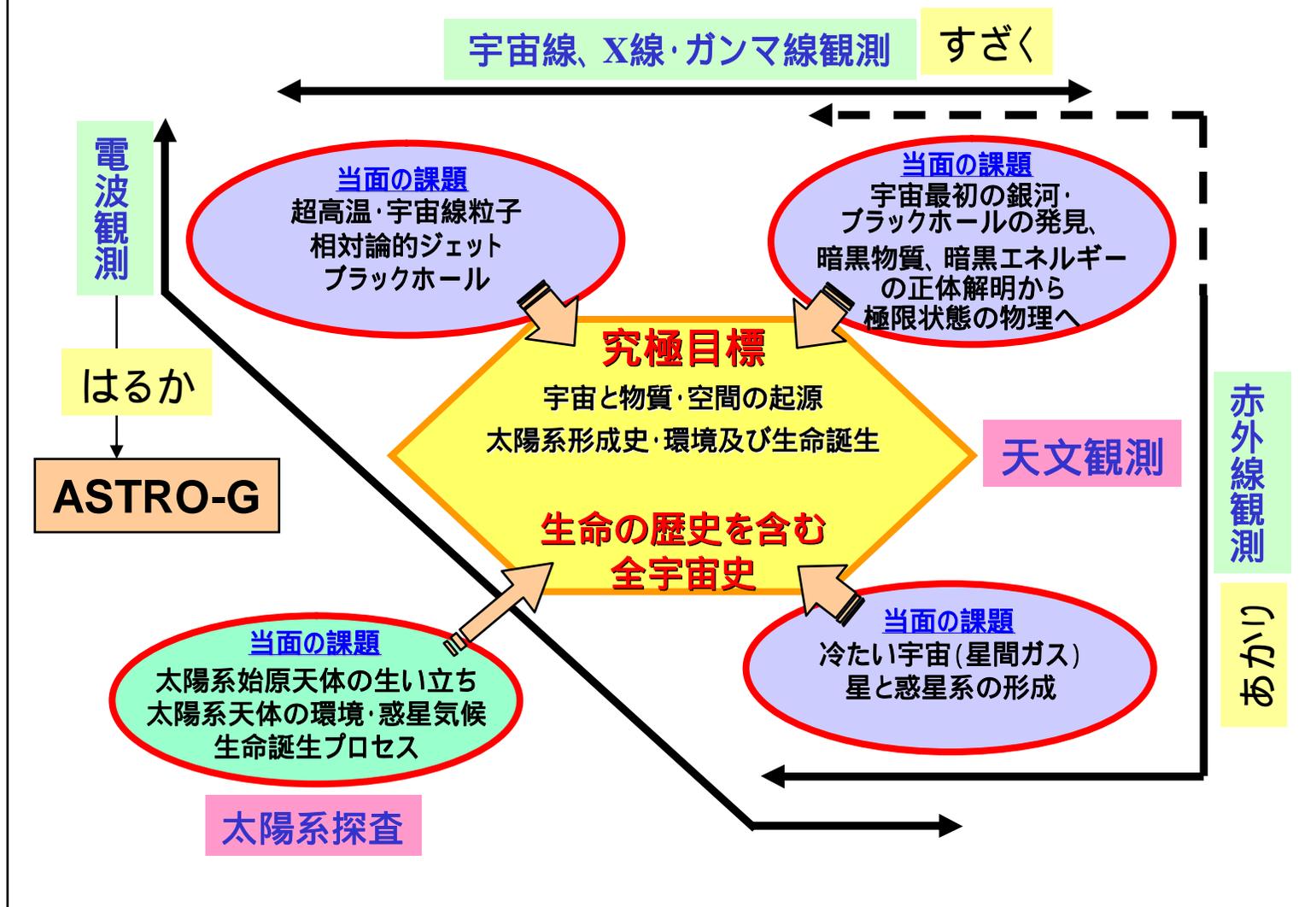
第25号科学衛星 (ASTRO-G) プロジェクトの事前評価について

平成18年6月20日
宇宙航空研究開発機構
宇宙科学研究本部
齋藤 宏文

(1) プロジェクトの目的 (意義)

JAXA長期ビジョン、
第三章 ビジョンの実現に向けて
3. 知の創造と活動領域の拡大に向けて
(1) 宇宙観測・太陽系探査

天文観測・太陽系科学探査の目標



電波天文学とは:

天体が放射する電磁波のうち波長の最も長い電波領域を使って観測を行う天文学。ASTRO-Gでは、衛星通信で使用されている周波数に近い電波(8-43 GHz)の観測を行う。なお、電波観測を行う衛星については、ロシアで計画があるものの、実際に宇宙で観測を行ったものは、わが国の「はるか」のみである。



電波望遠鏡(野辺山45m)

干渉計とは:

複数のアンテナを組み合わせて1つの大きな仮想的アンテナを作る観測方法。電波領域で実用的に使われている。この手法により解像度や感度の向上を図ることが可能となり、現在では、電波領域で天文観測の解像度が最も高くなっている。ASTRO-Gは其中でも最高の解像度を達成する。干渉計の解像度は、以下の式で決まる。

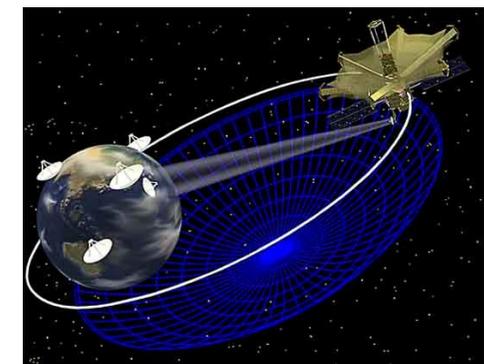
$$\text{(ラジアン)} \sim (\text{電波の波長:cm}) / D(\text{アンテナの間隔:cm})$$



干渉計(野辺山10m x 6台)

スペースVLBIとは:

宇宙に電波望遠鏡を置いて、地球上の電波望遠鏡群と干渉計を構成する。Dを地球直径の壁を越えて延ばすことにより、より高解像度の天体の画像を取得することが可能となる。ASTRO-Gでは、3万km相当の解像度を持つ電波望遠鏡を作り、天体の画像の取得を行う。



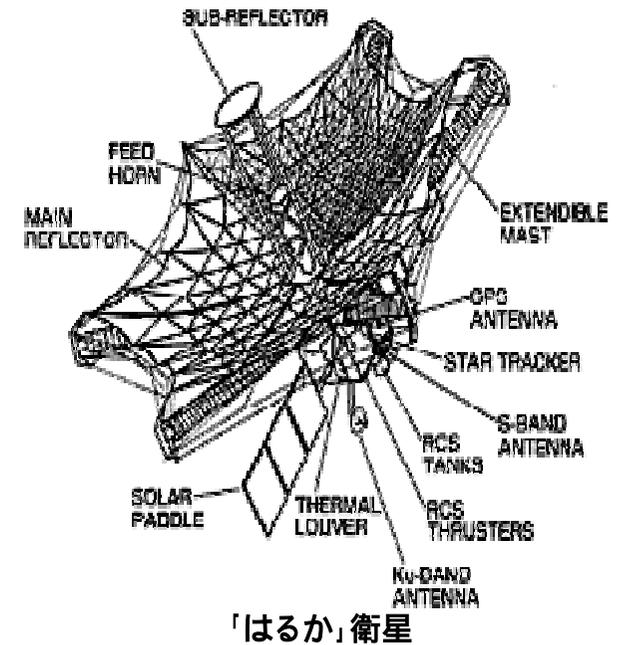
スペースVLBI(「はるか」)

「はるか」とは:

1997年2月にM-V ロケット1号機で打ち上げられた、世界初のスペースVLBI (Very Long Baseline Interferometry: 超長基線干渉計) のための衛星。打上げ前はMUSES-Bと呼ばれ、衛星となったことを受けて「はるか」と命名された。目的はVLBIに必要な工学試験であり、1997年5月に「はるか」と臼田64mアンテナの間で信号の干渉縞の検出に成功し、目的が達成された。その後、「はるか」衛星を使ってスペースVLBI観測を約750観測行い。世界中の天文学者にデータを提供し、数多くの成果を上げたのち、2005年11月に運用終了した。

「はるか」を使った、スペースVLBIプロジェクト VSOP (VLBI Space Observatory Program) は、その成功が評価され、IAA (International Academy of Astronautics) より2005年のチーム栄誉賞 (Laurels for Team Achievement Award) を受賞した

ASTRO-Gは、「はるか」に続くスペースVLBIプロジェクトとして、「はるか」よりも、解像度、感度において、約1桁の性能向上を目指し、より多くの天文学的成果を得るために提案された。



「はるか」衛星



ASTRO-GとスペースVLBI観測

(1) プロジェクトの目的

宇宙開発に関する長期的な計画

2. フロンティアの拡大

(1) 宇宙科学研究

(重点的に取り組むプログラム)

宇宙空間からの天文学及び宇宙物理学

「宇宙の極限状態の物理法則の解明を目指して、ブラックホールなどの高エネルギー活動天体現象に焦点を当てたX線天文衛星及び超長基線電波干渉計(VLBI)衛星による観測研究を重点的に推進する。」

(1) プロジェクトの目的

ASTRO-Gプロジェクトでは、以下の項目を目的とする。

- **史上最高の解像度**で、銀河や星形成領域の中心部を描き出し、その物理状態を解明する。
- 高感度化や偏波観測機能により、「はるか」より観測対象を広げ、**さらに多くの天文学的成果**を引き出す。
- 世界の研究者に、ASTRO-Gでしか取得すること出来ないスペースVLBIデータを提供し、世界の天文学発展のために貢献する。
- そのための主たる研究として、以下のようなテーマを行う。

活動銀河核のジェット構造や収束・加速の解明

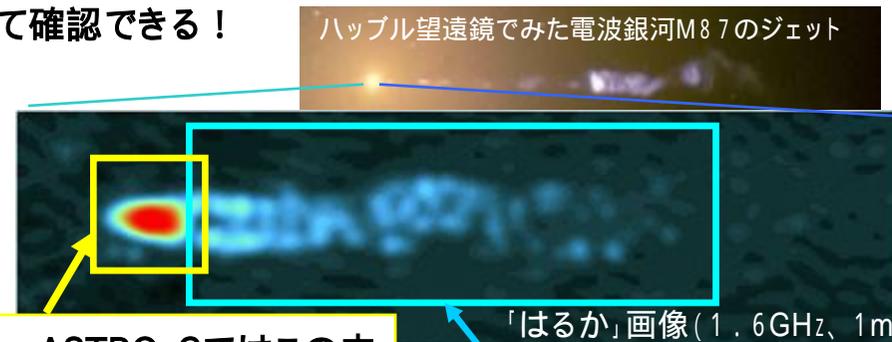
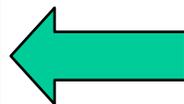
超巨大ブラックホール周辺の構造の解明

原始星の構造の解明

あるシミュレーションでは、このように見えると
言っているが本当か？ ASTRO-Gで初めて確認できる！



地上VLBI/VSOP



ASTRO-Gではこの中
をさらに分解する

「はるか」で見えたM87のジェットの中空構造

(2) プロジェクトの目標

達成目標

- 観測バンド 8, 22, 43 GHz (波長 3.8, 1.3, 0.7 cm)の3つの観測帯域で2つの偏波でスペース**VLBI衛星**として機能することを確認する。
- 「はるか」に対して、約7倍の**高感度**で観測する。
- 最も有望な銀河の中心にある超巨大ブラックホール周辺の構造の解明に必要な約70マイクロ秒以下の**高解像度**の天体画像を取得する。
- 得られた画像を使い、観測した天体の磁場構造や、物理状態を明らかにする。
- 共同利用の観測装置として公募観測を行い、国内および世界の天文学者にデータを提供する。

(3) 開発方針

- ASTRO-Gは、電波観測について世界初を目指す挑戦的な取り組みを行い、これに必要な新規技術については、地上試験や解析等により信頼性を確保する。
- 既存技術をできるだけ活用し、信頼性を確保するとともに低コスト化を図る。

既存の技術の活用による信頼性向上と低コスト化

- 「はるか」でスペースVLBIに必要な工学的技術の検証に成功した。この成果を最大限に利用する。
- 「はるか」の後に開発され、技術的に優れる技術試験衛星VIII型(ETS-VIII)の大型アンテナ展開技術について、その成果を最大限に利用する。
- 電波望遠鏡を高感度化するために、宇宙用冷凍機を搭載する。宇宙での冷却技術は、「すざく」、「あかり」、国際宇宙ステーションに搭載されるサブミリ波サウンダ(SMILES)などの成果を導入する。
- 国際スペースVLBI観測運用システムについては、「はるか」プロジェクトで実績のあるシステムを導入する。

(3) 開発方針

新規技術の開発

- 電波望遠鏡の性能を決める重要な要素については、世界の最先端を目指していくために、従来の技術を基本にさらに挑戦的な技術課題に取り組む。
- 工学実験衛星「はるか」(MUSES-B)の成果を基本として、さらに高性能化のための以下の開発を行う。
 - 高精度アンテナ鏡面技術(波長7mmまで観測可能な高精度アンテナ)
(「はるか」では波長13 mmまで)
 - 広帯域データサンプリング(> 1 Gsps, 「はるか」では、64 Msps)
 - 広帯域データ伝送(1 Gbps, 「はるか」では、128 Mbps)
 - センチメートルレベルの軌道決定。(「はるか」では、10mの決定精度)
 - 高速マヌーバ機能(1分以内に2度はなれた2つの天体が観測可能。)

(3) 開発方針 ～ 大型展開アンテナ技術開発の例



ETS-VIII 衛星

ETS-VIII LDRの展開試験



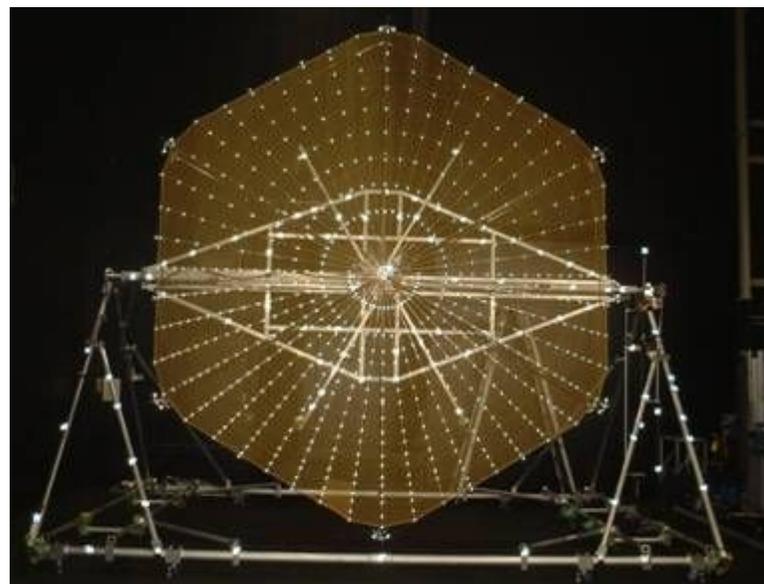
ASTRO-G用 高精度
アンテナモジュールの試作
(2003, 4)

ETS-VIIIの大型アンテナ展開技術の活用

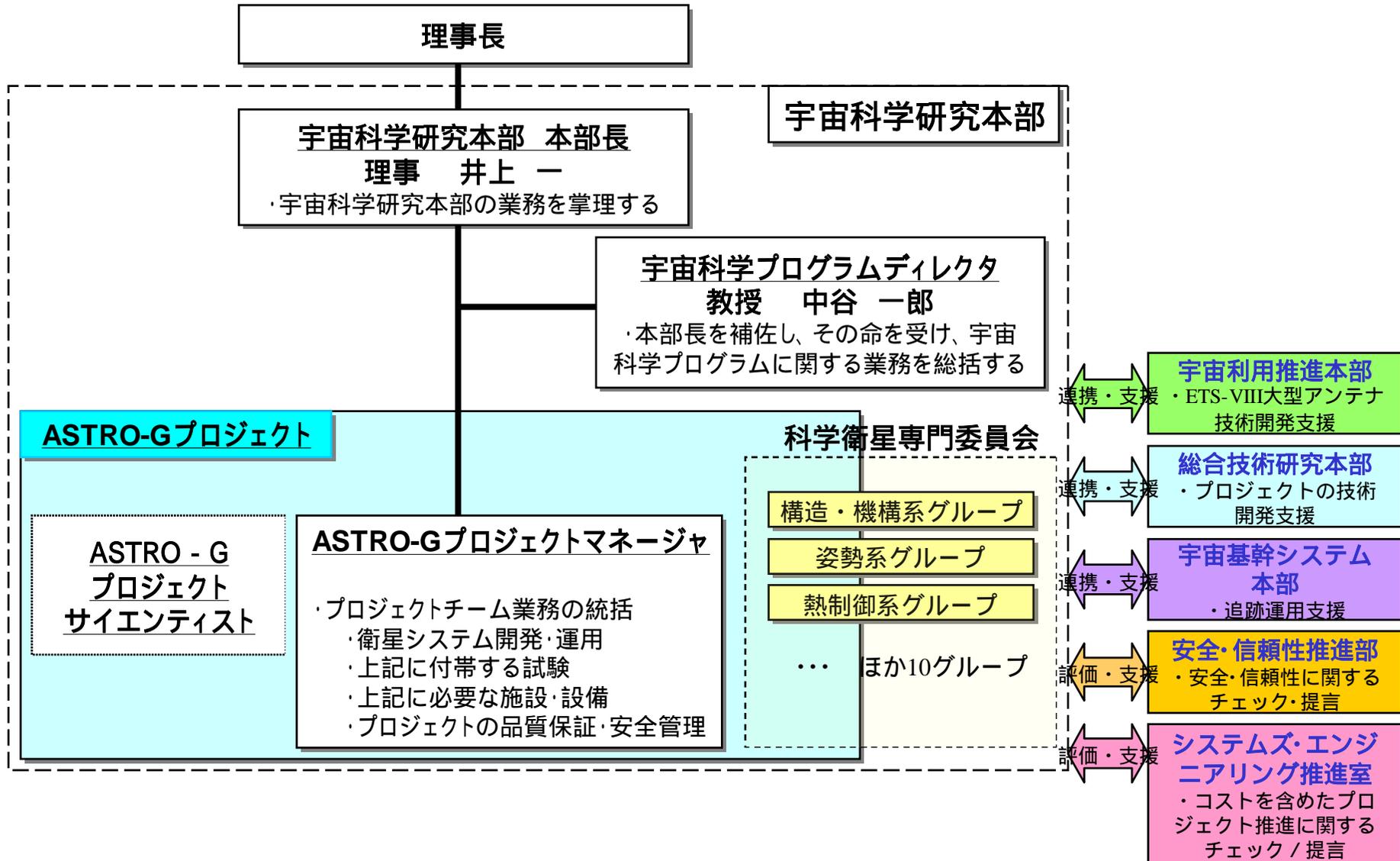
大型アンテナの展開技術は、ETS-VIIIでの大型アンテナ開発の成果を最大限利用し、展開機構やアンテナ背面の構造は同じ設計とする。(既存技術の活用)

高精度アンテナモジュールの開発

•ASTRO-Gでは、より鏡面精度が必要であり、高精度化実現のために、アンテナモジュールについて、新規の鏡面形成方法を採用する。この方法については、5年間をかけて試作等の基礎開発を行っており、開発の見込みが得られている。(新規開発の技術)



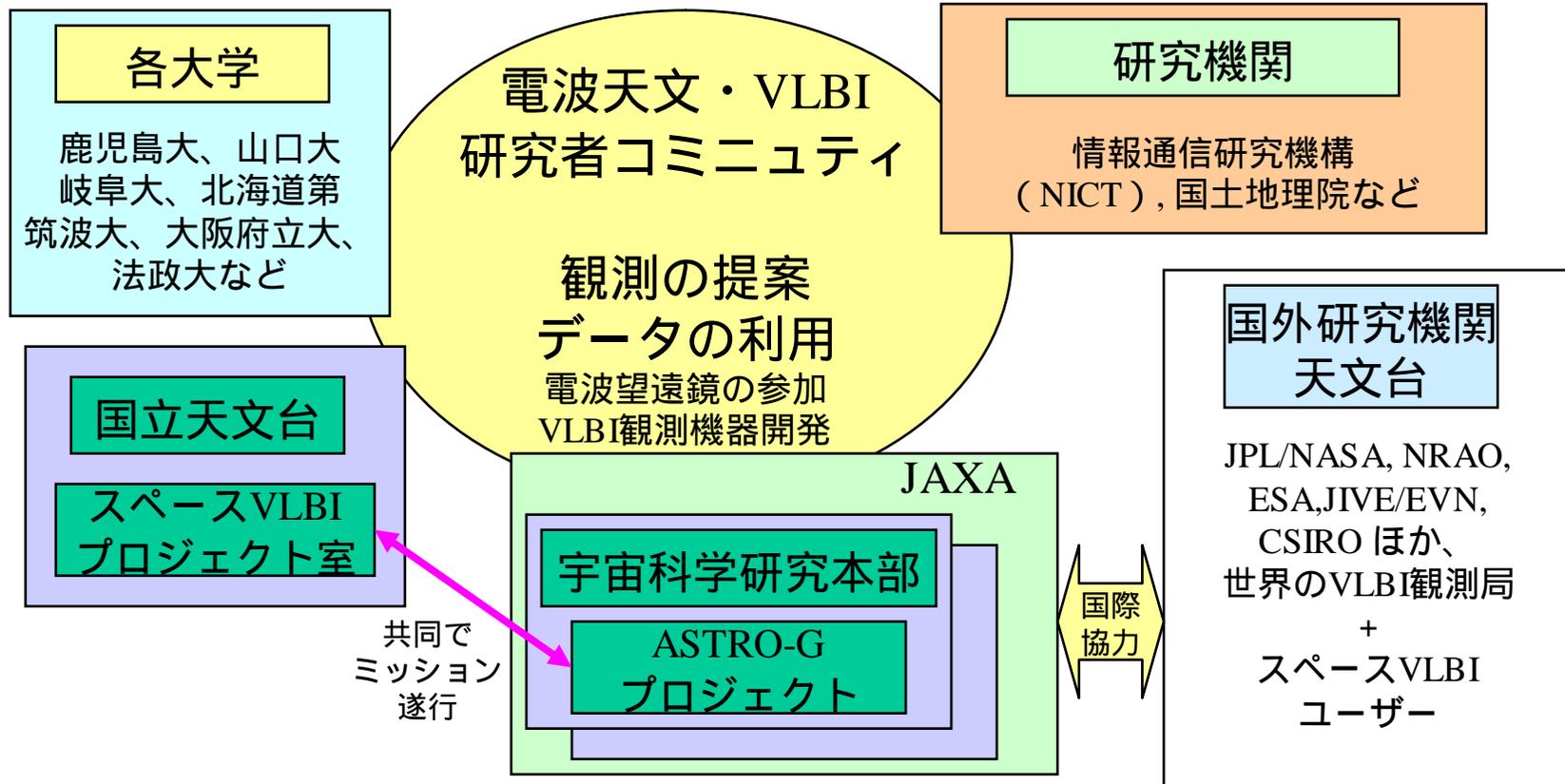
(4) 実施体制 ~ JAXA社内での実施体制(予定)



(4) 実施体制 ~ 日本国内での実施体制

国内の研究所、大学との協力

「はるか」プロジェクトでは、宇宙研と国立天文台(ミッション全般+ 相関局運用)との共同でミッションを遂行した。ASTRO-Gではさらに強力な協力関係をもつ。さらに、「はるか」開始時と比較すると、VLBI関係の大学拠点が、鹿児島大、山口大、岐阜大、北海道大、大阪府立大、法政大、筑波大など広がっている。



(4) 実施体制 ~ 国際運用体制

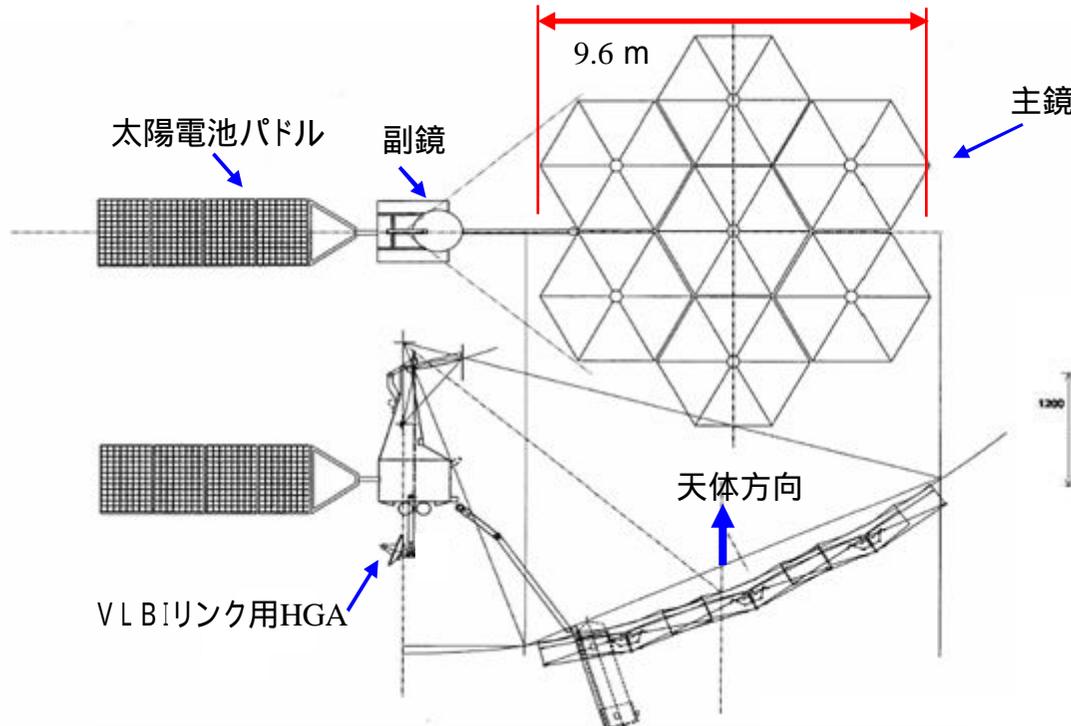
国際協力:

- VSOP/「はるか」プロジェクトにおいて成功を収めた、国際スペースVLBI運用の枠組みを継承し、さらに改善することにより、より最適な観測運用システムを構築する。
- VSOP/「はるか」プロジェクトと同様にVSOP/「はるか」運用の方針を議論する国際委員会VISC(VSOP International Steering Committee)をASTRO-Gでも組織する。国際運用を遂行するVSOG(VSOP Science Operation Group)も同様に組織し計画を進める。
- 地上追跡局としては、3 - 4局必要で、JAXA、NASA、ESAで準備することを想定している。
- 電波望遠鏡は「国際組織化」により、「はるか」の時と同様世界的な参加を基本とする(右図)。
- 相関処理は、「はるか」と同様に世界の2 - 3箇所で行う。日本は、国立天文台がASTRO-Gの相関処理も想定して、韓国と協力して日韓東アジア相関局の計画を進めている。
- VSOP/「はるか」の運用時と比較して、東アジア地域のアンテナが増加(左図)し、研究コミュニティが広がっている。

ASTRO-Gへの参加が期待される
東アジア地域のVLBIアンテナ



(5) その他: システム選定 ~ 衛星システム案

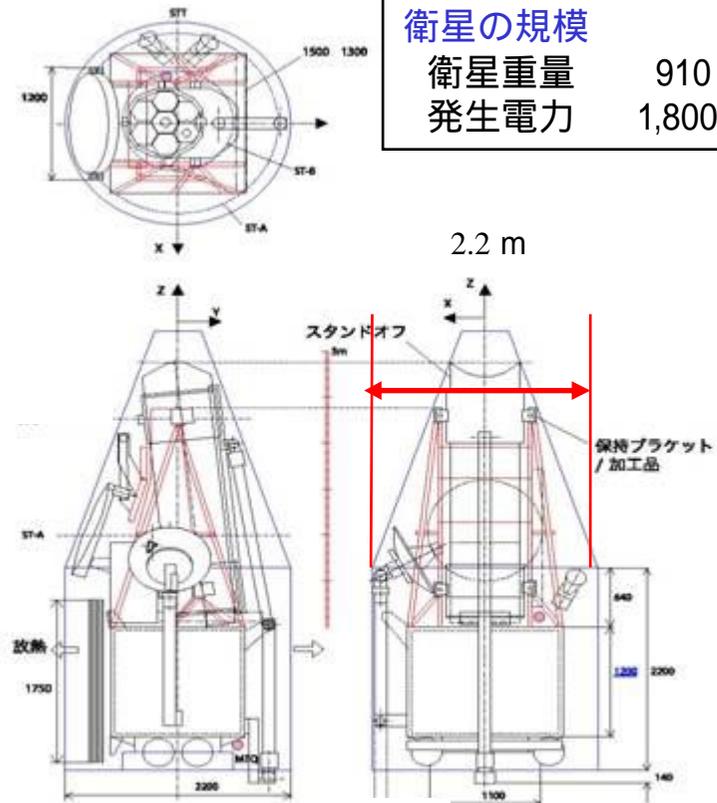


軌道

遠地点高度	20,000 km
近地点高度	1,000 km
軌道傾斜角	31°
軌道周期	6.1時間

衛星の規模

衛星重量	910 kg
発生電力	1,800 W



衛星の特徴(基本設計要求)

- 波長 7 mm まで受信可能な大型展開アンテナ
- 冷却低雑音受信機 (冷却温度 30 K 以下)
- 観測波長: 38mm, 13mm, 7mm
- 1 Gbps のデータ伝送速度
- VLBI観測が可能な衛星システム
- 位相補償観測機能の付加
天体スイッチング機能
離角3度以内の天体を1分周期以内でスイッチ
- 高精度軌道決定 (軌道決定精度 3 cm 以下)
- M-V型ロケット相当で打上げが可能である。

M-V型ロケット相当のフェアリングに収納可能

(5) その他：開発計画

・スケジュール、設備の整備計画

年度	2000～ 2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012 ～
衛星開発	予備開発	基礎開発	EMの製作・試験		FMの製作・試験		試験	運用
	SAC評価 (開発研究への移行)		SAC評価 (開発への移行)				↑ 打上げ	
地上系開発		追跡局整備						

2000～2005年度に、先行的に、高精度アンテナモジュール、広帯域伝送、バスシステムなどの予備開発を行ってきた。

・資金計画

資金は、衛星の試作、開発、試験と地上系開発、で約120億円で行う。

(5) その他：リスク管理

1) リソース管理

衛星の重量および消費電力については、搭載機器の開発レベルに合わせて、5 ~ 20 % のリソースマージンを設定した設計としている。

2) 想定されるシングルポイントエラーの管理

- TT&C通信系、リアクションホイール、ジャイロスコープなど、冗長構成とすることが容易もしくは、衛星への利点が高いものについては、冗長構成とする。
- 姿勢制御装置、データ処理装置など、CPU搭載機器については、CPUの冗長構成を検討する。
- そのほか、重量、搭載空間等の問題で冗長構成にし難い機器については、その機器に対する故障モードを検討し、ミッションへの影響がクリティカルなものに対しては、打上げ前の試験を特に入念に行う。
- 観測帯域を3バンド持つ等、機能冗長の考えを取り入れ、限られたリソースの中で冗長性も確保しつつ、得られる成果が可能な限り大きくなるように検討する。

3) リスク管理体制の明確化

- プロジェクトマネージャ(「実現」側)とプロジェクトサイエンティスト(「要求」側)の分離：双方を分離することにより「要求」と「実現」を明確化する。
- プロジェクト外部にプロジェクト横断的なチェック機構を持ち、プロジェクトのクロスチェック、他プログラムとの水平交流を図る。
- サブシステム専門技術をもつ衛星技術者グループ(科学衛星専門委員会)との密接な連携をとる。