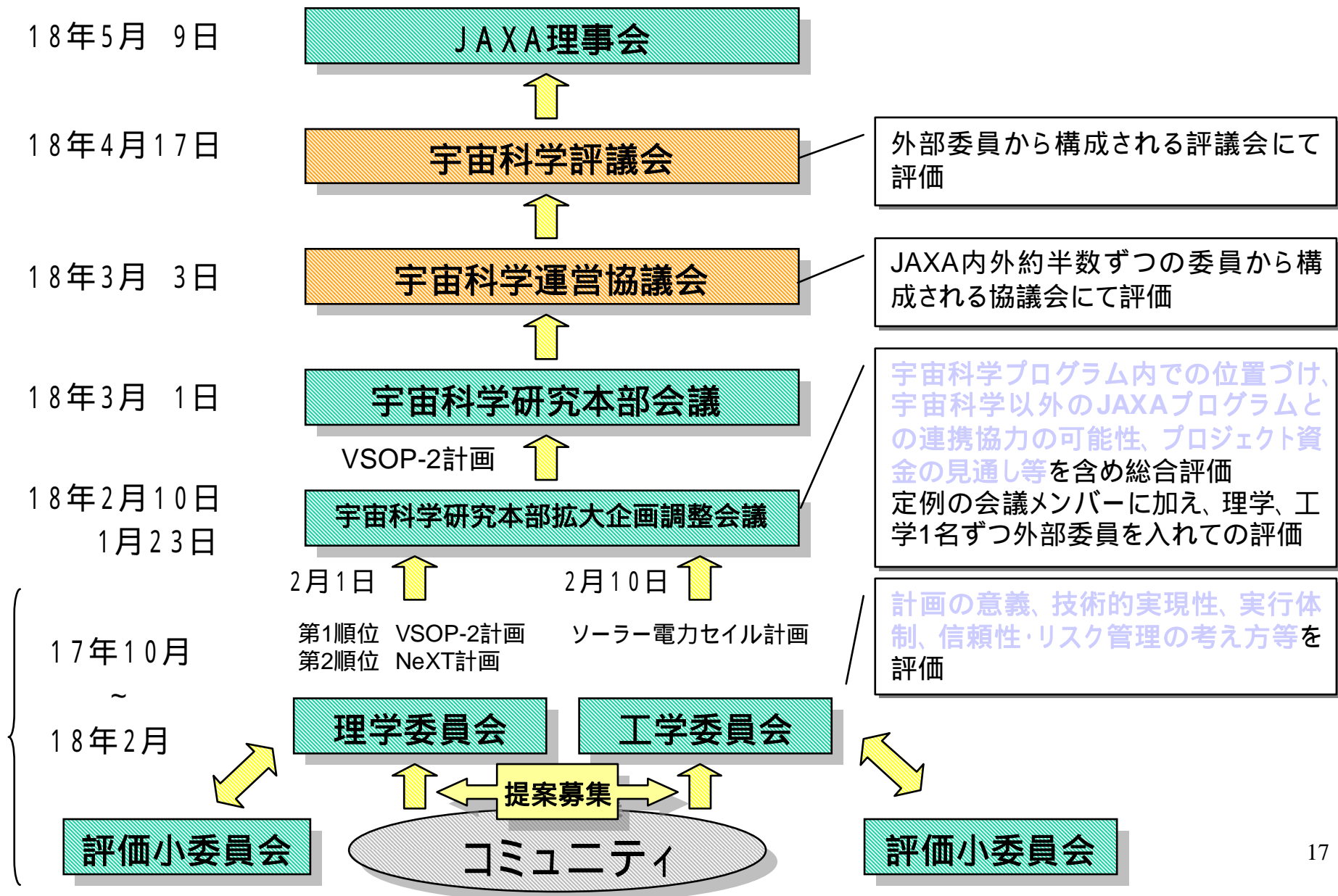
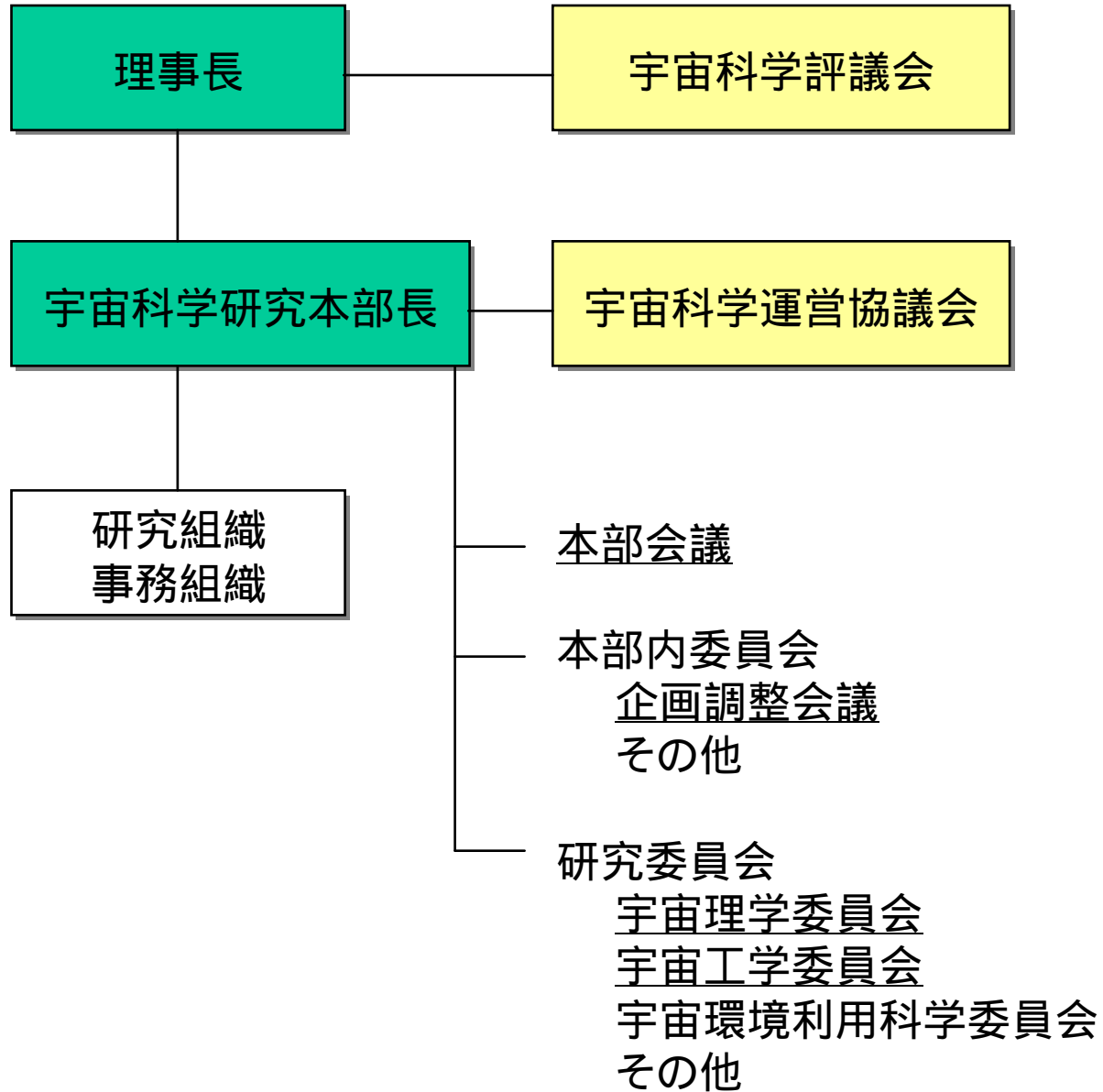


# ASTRO-G (第25号科学衛星) の選定について

# 第25号科学衛星選定プロセス



# 研究委員会等組織



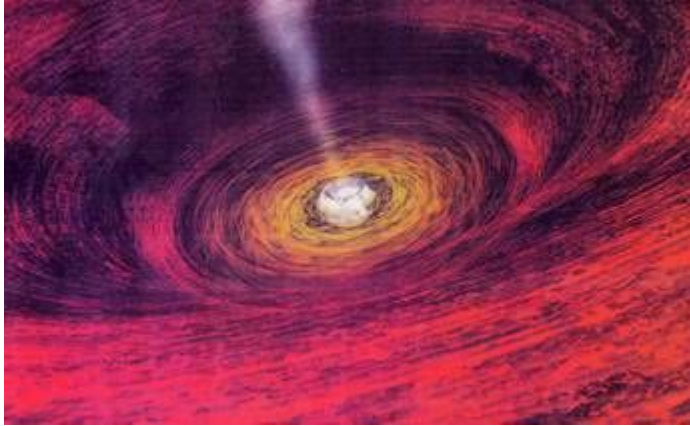
# 第25号科学衛星提案募集について

- 対象
  - 宇宙理学委員会・宇宙工学委員会の下に設置されているワーキンググループ(3,4年後の計画立ち上げを目指して、具体的な衛星計画・探査機計画の概念設計検討を行うために設置された作業グループ)
- 提案募集にあたっての要件
  - 平成23(2011)年度の打上げを目標
  - M-Vによる打上げ(またはその環境条件を満たす打上げ手段)を想定
  - 衛星開発費120億円以下を想定
  - マージン・リスク管理を考慮

# 第25号科学衛星計画提案書に 書き込まれるべき内容について

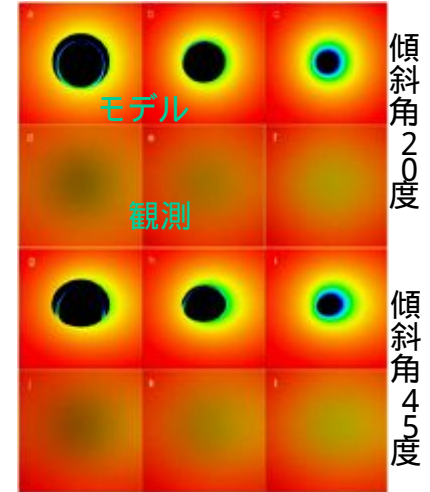
- 衛星計画の目的、価値
- ミッションの目標および仕様
- 設計要求フロー
- 単一故障と冗長構成の考え方
- 各サブシステム・構成機器の技術的準備状況
- 技術開発に対するバックアッププラン
- 衛星システム設計のマージン
- 検証プラン
- 全体の開発スケジュール、工程表
- コスト評価
- 開発・プロジェクト推進体制

# ASTRO-Gのめざす科学



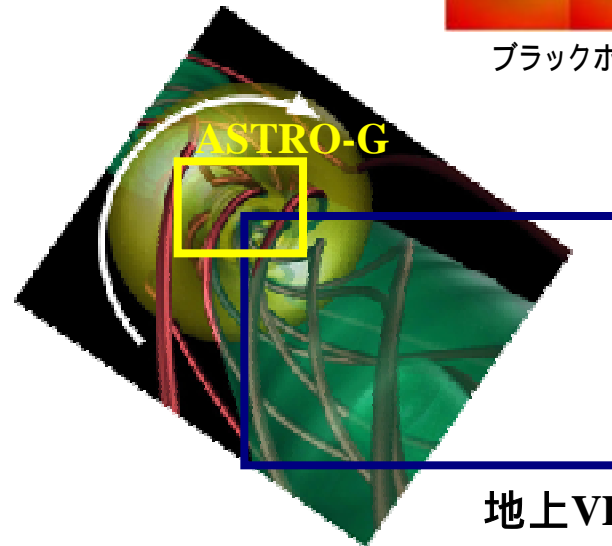
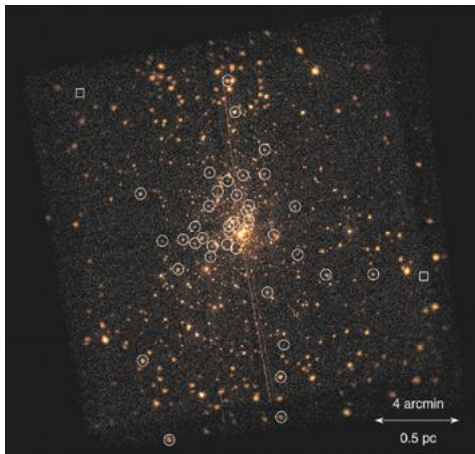
ASTRO-Gで描き出す活動銀河核の想像図

超巨大ブラックホールへの  
降着円盤を観る  
ブラックホール  
の影は？



ブラックホールの回転度

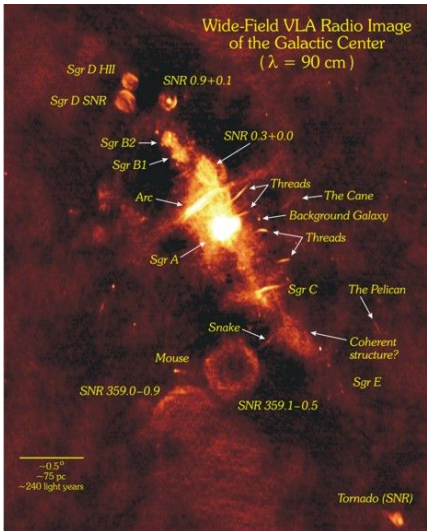
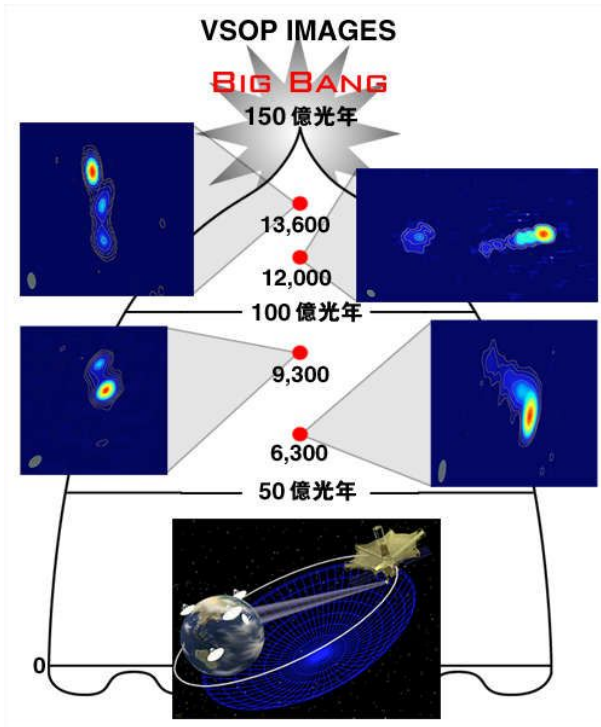
オリオン座の星生成領域からの  
X線フレアー チャンドラ



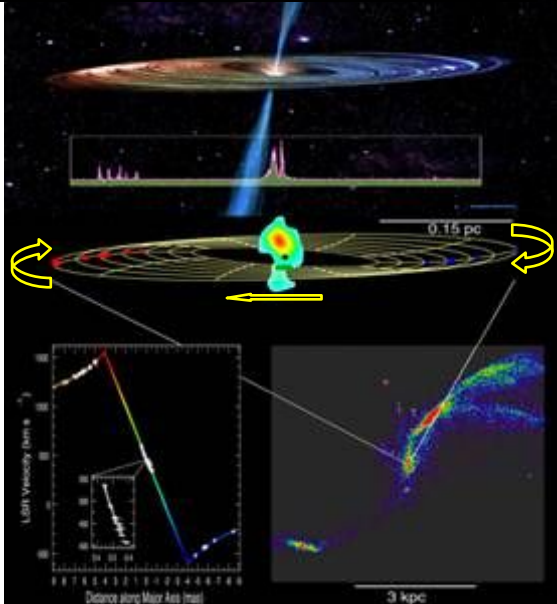
地上VLBI

ASTRO-Gでは、より本質的な中心部に対して観測を行い、  
ジェットの本元での収束、加速や、磁場構造を明らかにする。

# ASTRO-G衛星計画の科学的背景



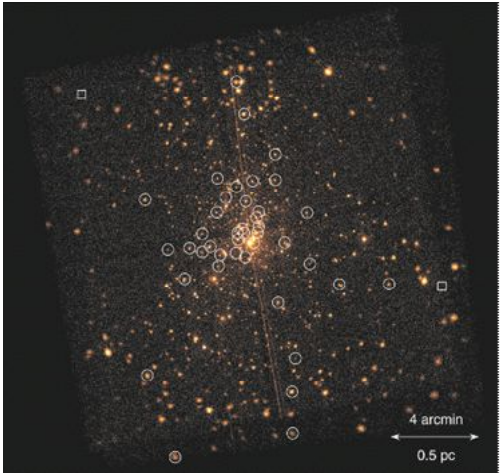
私たちの銀河系の中心部にも超巨大ブラックホール



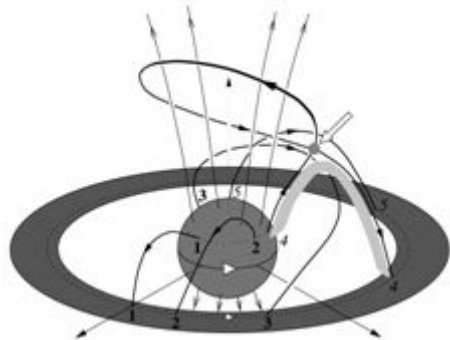
水メーザーのVLBI観測で得られる銀河核円盤の運動とブラックホールの質量

宇宙史における銀河の形成とクェーサー、中心の超巨大ブラックホールとの関連は？

宇宙に普遍的に存在する、星スケールから銀河スケールまでのジェット現象の解明



オリオン座の星生成領域からのX線フレアー チャンドラ



星と円盤を貫く磁場が自転でねじられて周期的にフレアを起こす？

# 「はるか」で実現した工学技術

## 大型展開 アンテナ

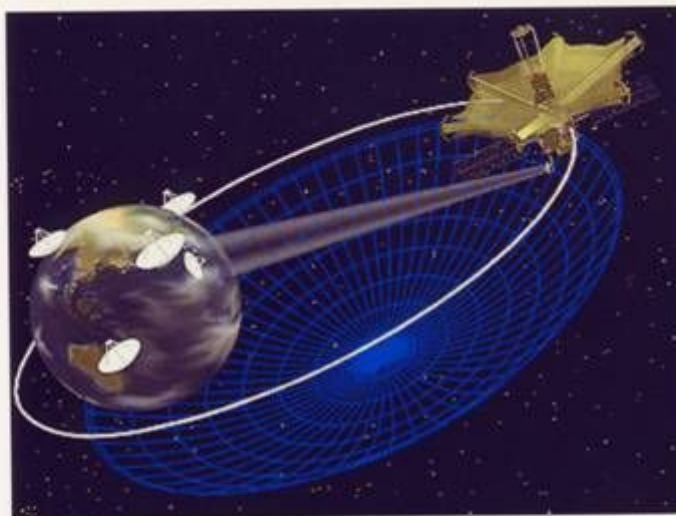
ワイヤテンショントラス

有効直径 **8 m**

構造物外径 **10 m**

展開実験 97.2.24-28

初受信 97.3.24



搭載電波  
天文機器  
雑低音 広帯域

超高安定  
クロックの供給  
地上から電波で送る  
リンク成立 97.3.12  
位相安定度  
**10兆分の1 (10秒で)**

はるか 世界最初の  
スペースVLBI  
衛星の実現

アンテナの  
精密指向制御  
**± 0.01度**

相関処理  
専用の処理装置  
時間と周波数のサーチ  
初干渉 97.5.13

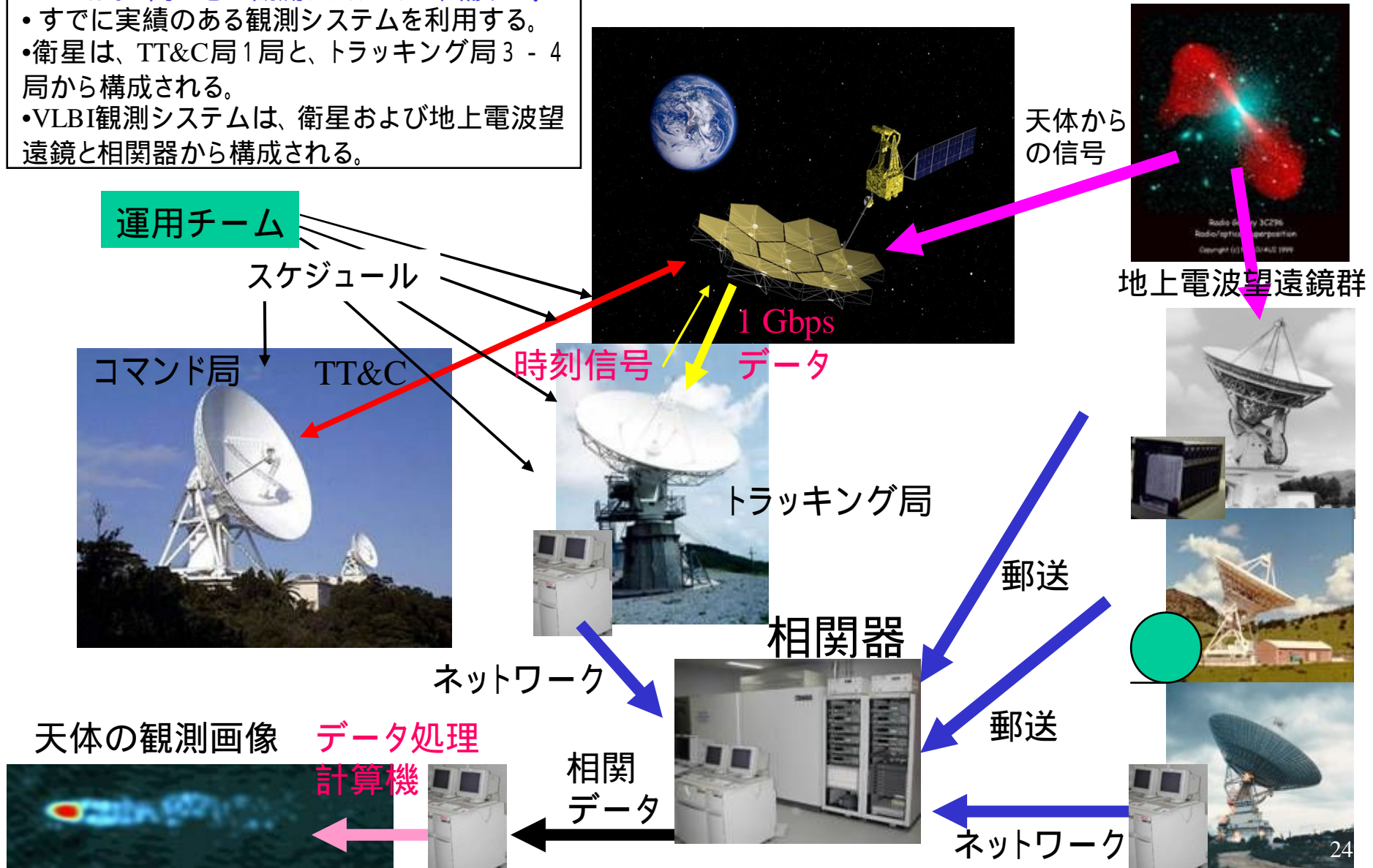
精密軌道決定  
Ku 帯ドップラー

大容量データ  
ダウンリンク  
データ磁気記録  
**128 Mビット/秒**  
リンク成立 97.3.12



# ASTRO-Gの地上システム

- 「はるか」と同じ地上観測システムを準備する。
- すでに実績のある観測システムを利用する。
  - 衛星は、TT&C局1局と、トラッキング局3 - 4局から構成される。
  - VLBI観測システムは、衛星および地上電波望遠鏡と相関器から構成される。

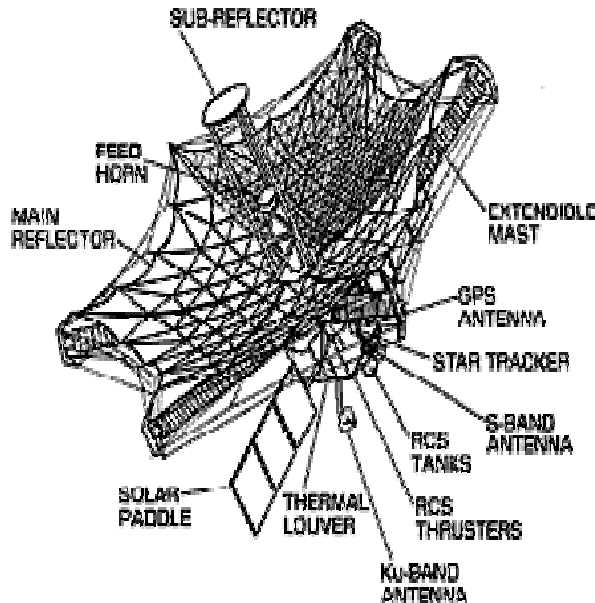


# 「はるか」プロジェクトについて

# 「はるか」の概要

「はるか」は平成9年2月12日に、M-V初号機により打ち上げられ、地球周回の長楕円軌道(近地点高度約560km、遠地点高度約22,000km)に投入された。

「はるか」は大型パラボラアンテナの展開と精密な鏡面の形成など、スペースVLBI(世界中の地上電波望遠鏡と協力して「超長基線電波干渉法」という手法で行う観測)に必要な工学技術の実験を行い、搭載された電波天文観測装置により、スペースVLBI観測を実現し、「活動銀河核」に代表される天体の高エネルギー物理現象を解明するために、国際共同のスペースVLBI観測(VSOP計画)を行う事を目的とした衛星であり、ミッション期間3年を想定して製作された。



## 軌道

遠地点高度	21,300km
近地点高度	540km
軌道傾斜角	31度
軌道周期	6.3時間
衛星重量	830kg
アンテナ口径	約8m
観測帯域	1.6, 5, 22GHz



衛星は2005年11月に運用終了、「はるか」プロジェクトは2006年3月に終了した。

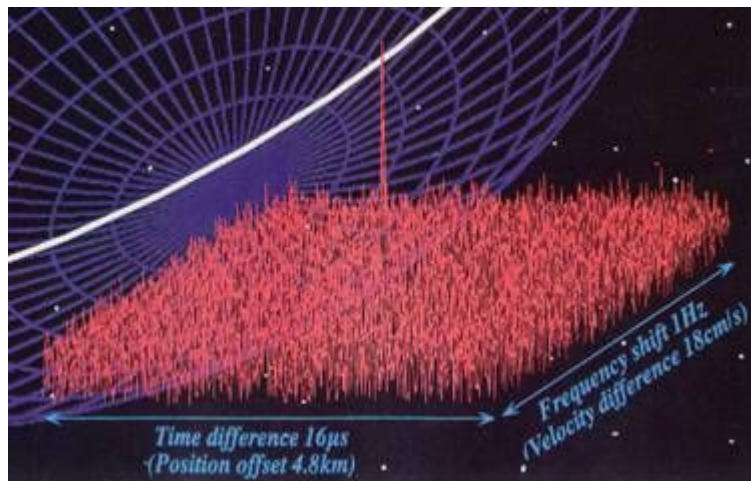
# 「はるか」の工学的成果

・「はるか」は、世界で初めて、スペースVLBI観測を行う上で必要となる、

- 高精度大型展開アンテナ
- 柔軟構造物の姿勢制御
- 位相伝送
- 広帯域データ伝送
- 高精度軌道決定

などの工学的な技術を実証した。

・さらに、衛星と地上間で電波干渉実験に成功し、最高1万分の3秒角という、ハッブル宇宙望遠鏡の100倍以上の撮像観測に成功し、スペースVLBI観測の技術を確立した。

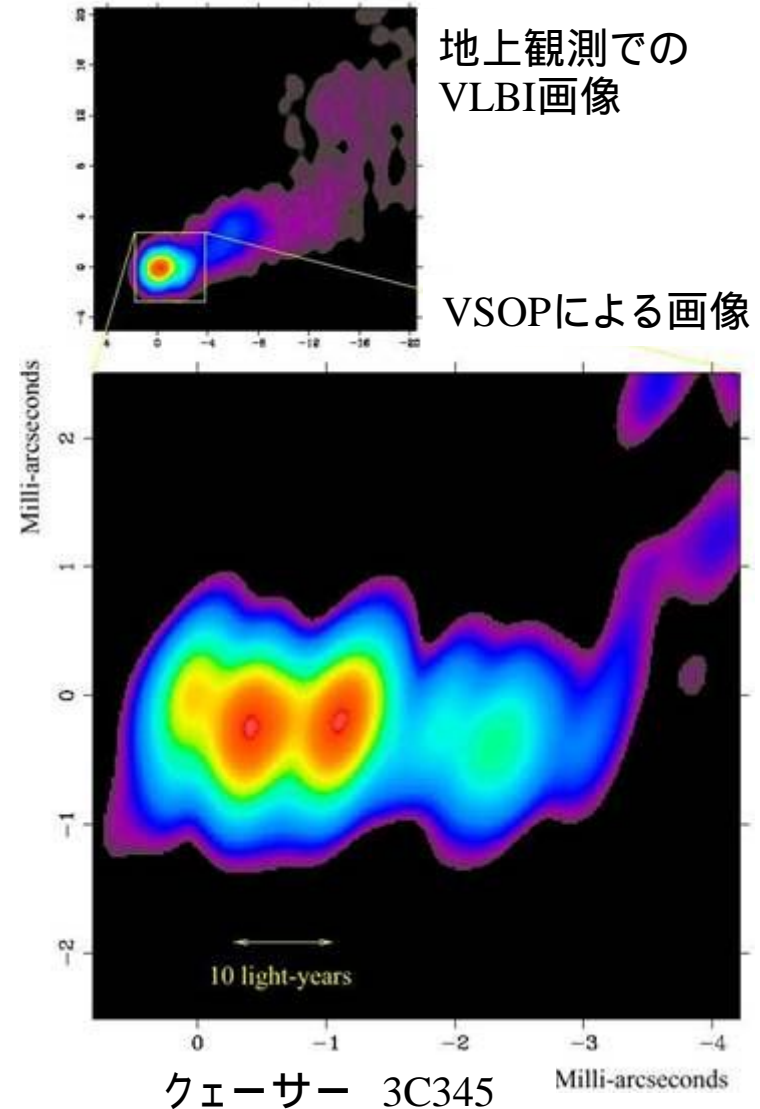


# 「はるか」の観測成果

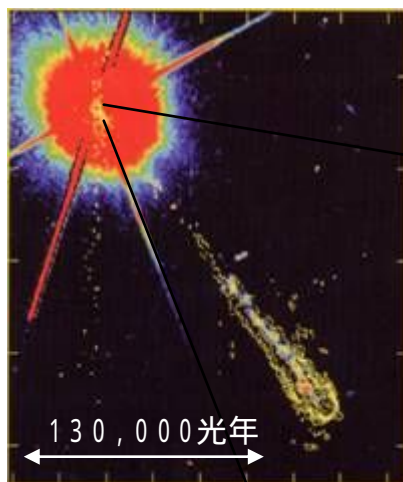
◆ 「はるか」では、国際的に公開した運用を成功させ、平成9年の打上げから平成15年まで延べ約750回余りの観測を行った。観測は、公募観測とサーベイ観測に分けられており、公募観測については、5回の観測公募を行い、500回余の公募観測を行った。

◆ VSOP観測では、活動銀河核のジェットなどの最高解像度の画像を得ることに成功した。主な成果例をあげると以下のとおりである。

- まっすぐに発射されると考えられていたジェットの根元が、より複雑な構造であることを明らかにした。(参考図版1参照)
- 4年にわたるモニター観測の結果、活動銀河核からのジェットのうねり構造をとらえることに成功した(参考図版2参照)。
- 活動銀河核のジェットの影を通して、超巨大ブラックホールの周りがあるプラズマ円盤の存在と状態を明らかにした(参考図版3参照)。



# 参考 図版1 「螺旋状に吹き出すジェット」

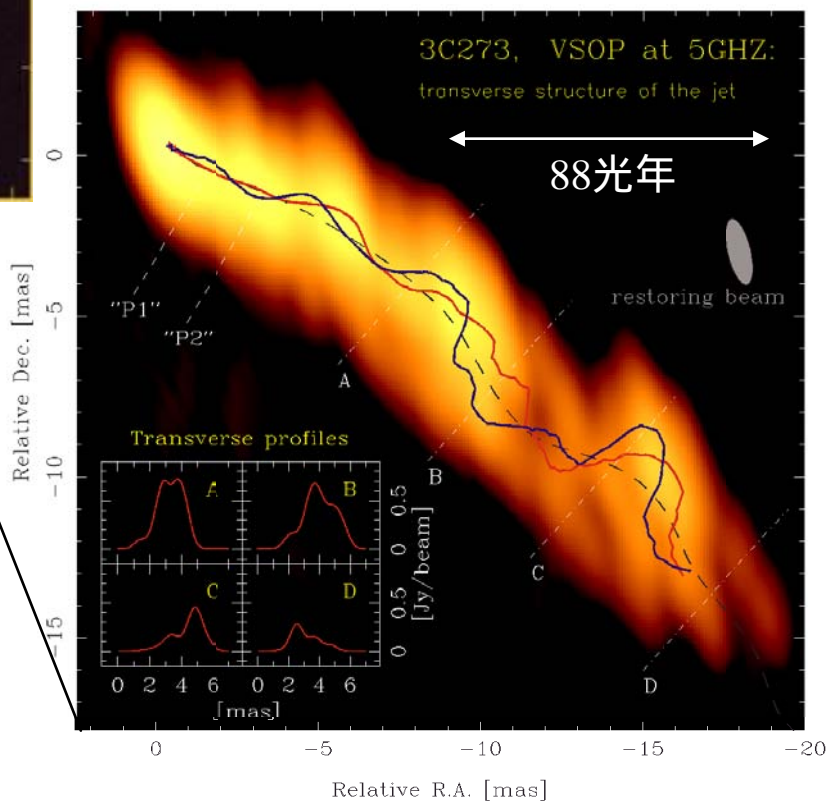


HSTによる画像



ブラックホール周  
辺からでるジェッ  
トの想像図

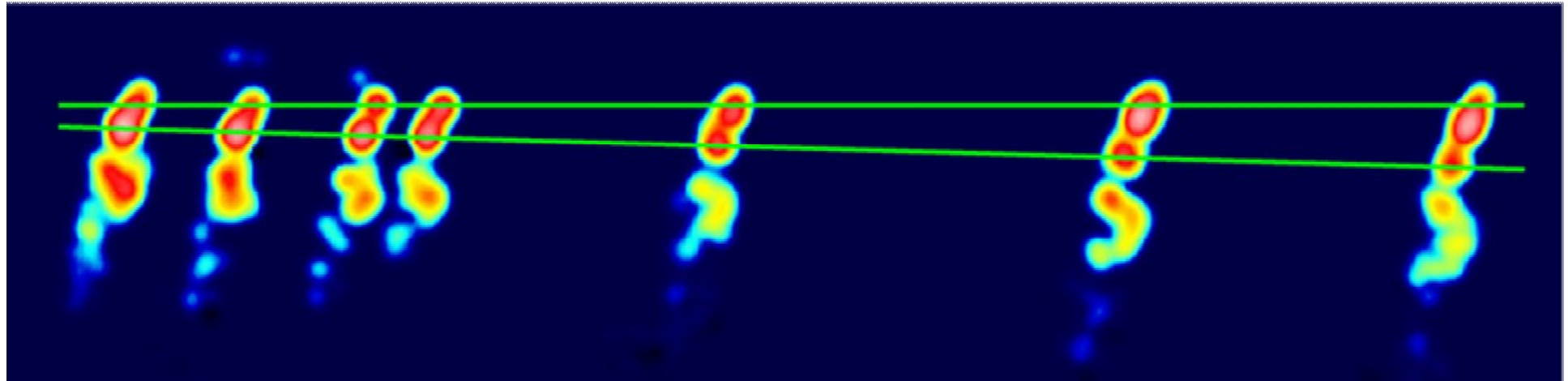
VSOPによる画像



クェーサー3C 273のジェットと二重稜線構造。図の左上端が中心核で、右下方向にジェットを噴き出している。

3C 273は地球から約25億光年の距離にある銀河の中心核で、太陽の約10兆倍もの明るさで輝いているクェーサーである。VSOPの高分解能でジェットの構造を詳細に調べた結果、ジェットの明るい部分をたどっていくと、中心軸(黒い破線)にからみつくような二重螺旋状(図の赤線、青線)の構造が見える。これはジェットの中でプラズマの流れが複雑に絡み合った結果(Kelvin-Helmholtz不安定性)と考えられる。

## 参考 図版2-2 「ジェットのうちねり構造」

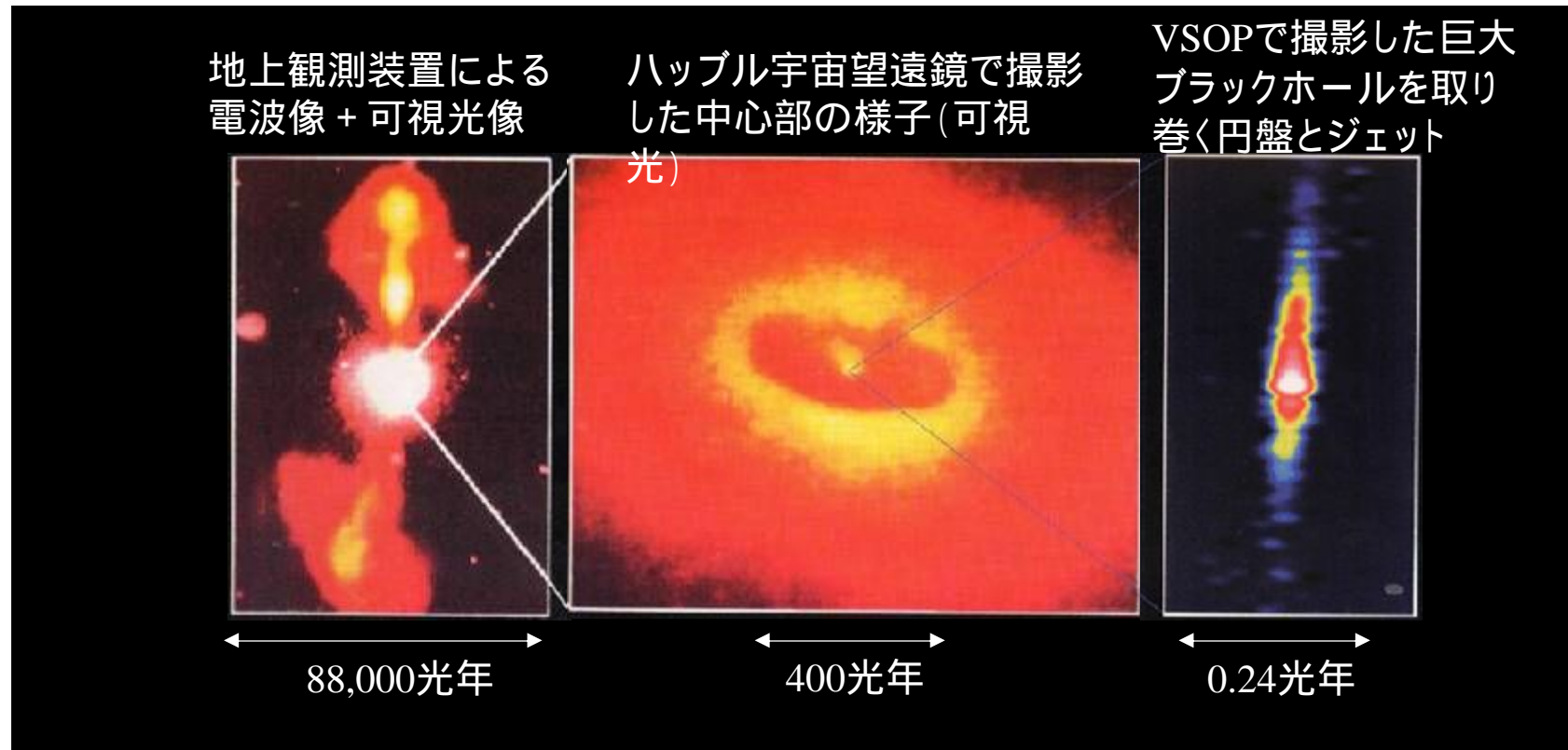


クェーサー1928+738の4年間にわたるモニター観測。  
左端の1997年8月から右端の2001年9月まで、観測した時系列に沿って配置している。

ジェットの「うねり」構造の解釈は、根元が揺れるというものである。ホースで水まきするときのように、個々のジェット成分は弾道的に飛んだとしても噴き出す根元が動くと、うねったジェット形状が観測される。

クェーサー1928+738を詳細にモニターした結果、ジェットの各成分が弾道的に飛んでいることが示された。このような構造の成因は、活動銀河核中心部の2つの超巨大な天体(ブラックホール)が互いに軌道運動を行い、そのうちの一方からジェットが出ているためと考えられる。

## 参考 図版3 「超巨大ブラックホールを回るプラズマ円盤」



(左) 電波銀河 NGC 4261 の電波像 (縦に延びるジェット) と可視光像 (中心部分の楕円銀河)。

(中) ハッブル望遠鏡による銀河の中心部分。銀河の光(黄色)を円盤状の塵が隠してシルエットになっている。塵円盤の中心からは、中心核とジェットの光が北側に漏れ出している。

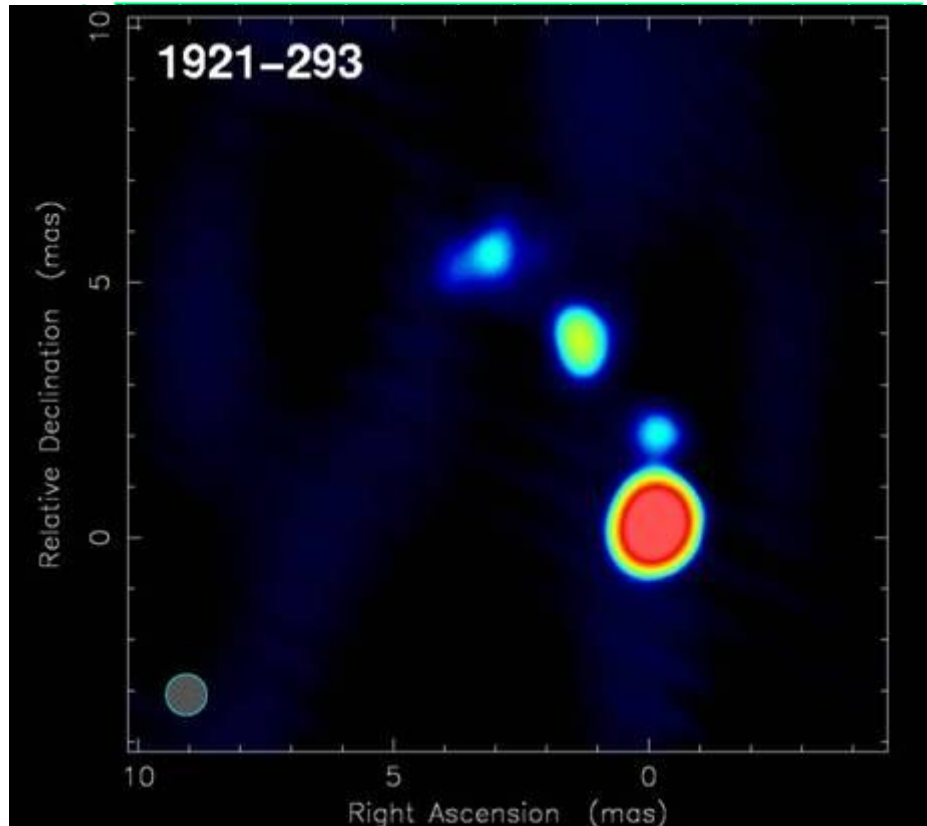
(右) VSOPによる電波写真。中心の明るい部分の下側にギャップがある。強い電波を出すジェットの手前に低温・高密度のプラズマが存在し、ジェットを隠している。

電波銀河 NGC 4261 は中心から南北双方向にジェットを噴き出している。VSOPでその根元を観測した結果、ジェットの根元がプラズマ円盤による吸収によってくびれている部分をとらえている。



# 参考 図版4-1 「10兆度の輝きを持つクェーサー1921-293」

Clean map. Array: FHLNPSO  
1921-293 at 4.986 GHz 1997 Jul 18



Map center: RA: 19 24 51.056, Dec: -29 14 30.121 (2000.0)  
Map peak: 7.13 Jy/beam  
Beam FWHM: 0.6 x 0.6 (mas) at 0°



クェーサー1921-293の電波像。最も明るく輝く電波核がVSOPによって詳しく調べられ、輝度温度で10兆度を超える電波放射をしていることが判った。この観測結果はVSOPの達成した角度分解能によってのみなし得る成果である。

「VSOPサーベイ」では、このクェーサーのように非常に明るい活動銀河核を数百天体について調べている。活動銀河のジェットは高エネルギー電子からのシンクロトロン放射によって輝いていると考えられているが、あまりに輝度が高くなると逆コンプトン効果によって、輝度温度が1兆度を越えることはできない。ところがVSOPサーベイの結果、54%ものサンプルが1兆度を超える輝度温度を示すことがわかった。

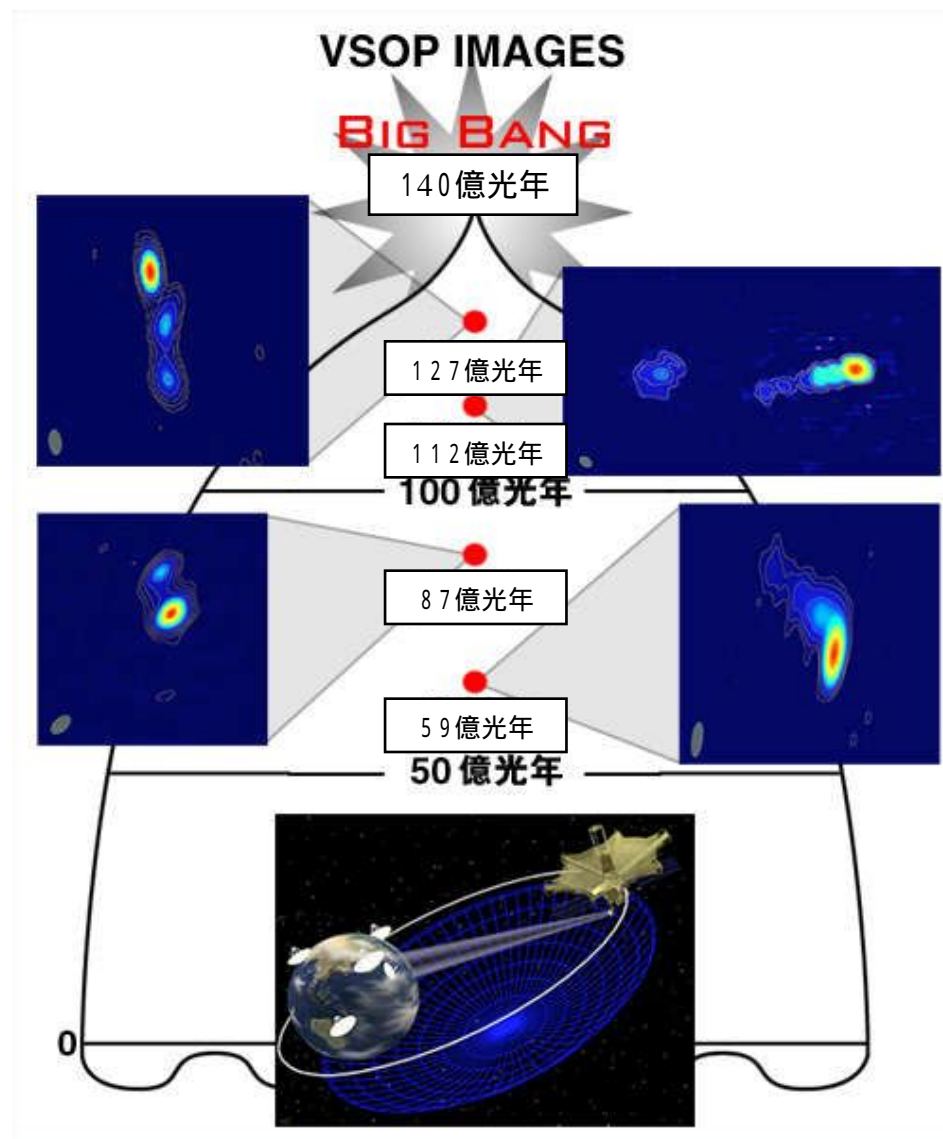
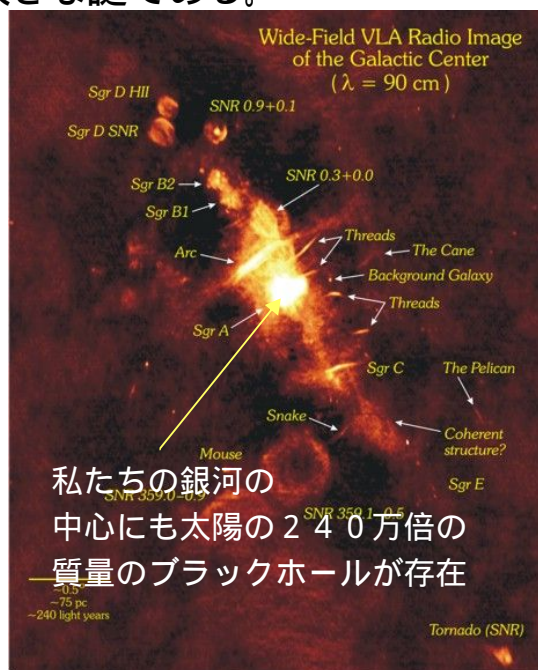
このことは、「相対論的ビーミング効果」によって、実際の輝度よりも明るくなっていることの証拠である。光速に近い速度でジェットが運動していると、放射される電波は運動方向に強く絞り込まれる。見かけの輝度は増幅されてみえるのである。

## 参考 図版4 - 2 「VSOPで観測する遠方のクェーサー」

VSOPで観測されているたくさんのクェーサーの中から代表的な画像を4例だけ示す。

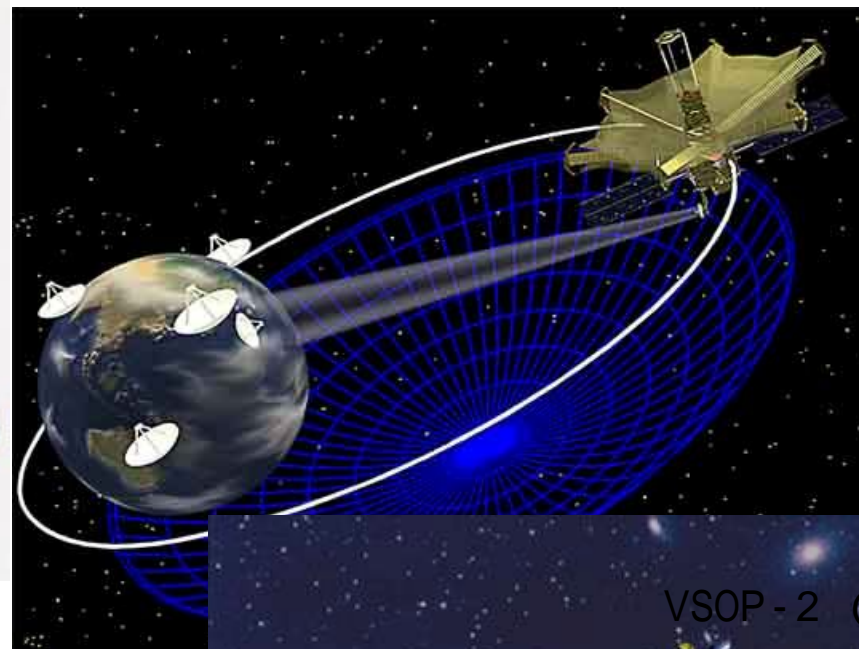
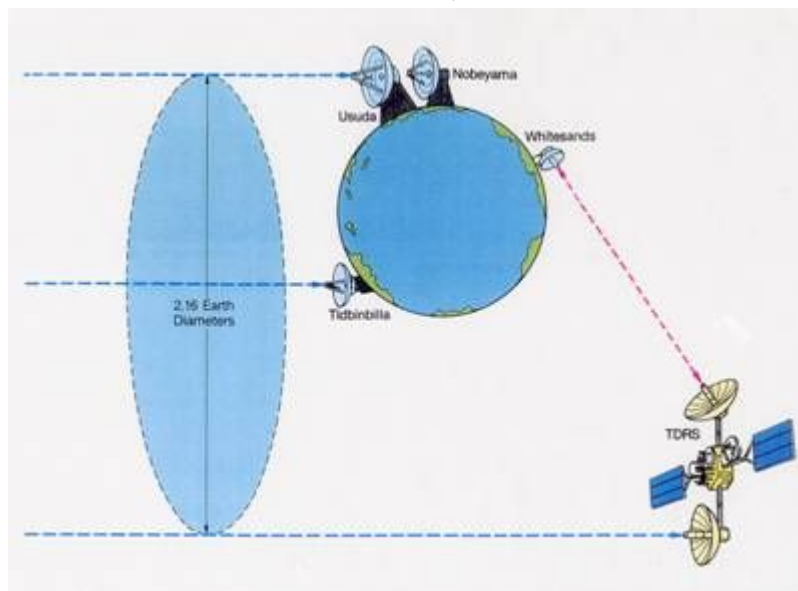
今ではすべての銀河の中心に超巨大ブラックホールがあるらしいという観測事実が積み重なってきている。

宇宙の初期に銀河どのようにしてできたのか、中心のブラックホールの存在の意味は、現代天文学の大きな謎である。



# Space-VLBI 実験(1986 - 1988)

2.3 GHz, 15 GHz



積み重ねた工学実験から  
本格的科学ミッションへ

日本がリードした新概念の観測装置、  
世界との協力の中心となって  
更に発展させる。



## 宇宙空間からの天文観測 (電波)



宇宙ジェット、  
超巨大ブラックホール周辺の  
極限領域に肉薄する

「はるか」が初めて実現した  
宇宙空間VLBI技術の更なる発展

**ASTRO-G**

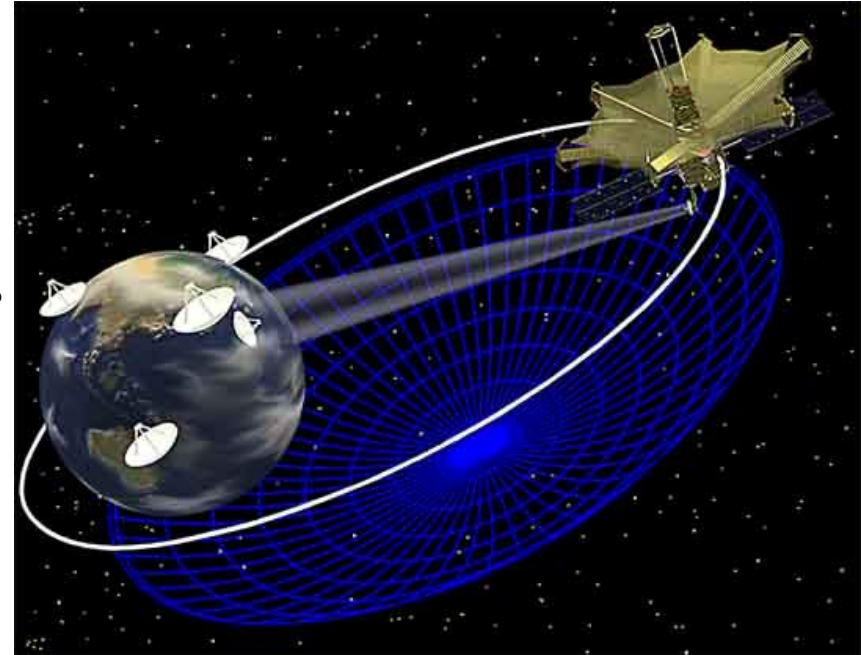
ブラックホール(BH)シルエットの撮像  
BHのエネルギー源:降着円盤の解明  
相対論的ジェットの加速の仕組み  
星形成領域、原始星磁気圏の検出

人類がもつ最も解像度の高い  
次世代宇宙電波望遠鏡

# スペースVLBIと「はるか」

離して置いたアンテナを結合することで大きな望遠鏡を合成したものが干渉計である。さらに、地球規模に離れた望遠鏡の信号を合成する干渉計がVLBI(超長基干渉計)である。

この技術をもとに、宇宙空間に望遠鏡を置くことにより、より大きな鏡面を実現し、より解像度の高い望遠鏡ができる。それがスペースVLBIであり、1997年に打ち上げられた「はるか」によって実現した。この世界初のスペースVLBIによる観測計画はVSOP(VLBI Space Observatory Program)計画と呼ばれた。



「はるか」を中心にスペースVLBIを世界最初に実現した国際VSOP (VLBI Space Observatory Program) チーム(宇宙航空研究開発機構(JAXA)と国立天文台及び世界の研究機関のメンバーで編成)が、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。

IAAチーム栄誉賞は2001年に創設され、宇宙航空関係の分野で科学者、工学者、マネージャー達が一体となって輝かしい成果をあげたチームに授与されている。これまでの受賞は、ミール宇宙ステーションチーム(2001年)  
スペースシャトルチーム(2002年)  
SOHO(太陽・太陽圏観測所)チーム(2003年)  
ハubble宇宙望遠鏡チーム(2004年)