

今後の電波天文スペースミッションについて

村田泰宏

1. 経緯

ASTRO-Gプロジェクトは、2011年11月末に宇宙開発委員会にて中止が承認され、それを受けて、JAXAとして中止が決定した。その後、プロジェクト清算の作業を行って、2012年5月にプロジェクトチームが解散となり、プロジェクトが終了した。今後、次のミッションを考える上では、第三者から見てしっかりと検討された提案をする必要がある。ASTRO-Gと同様の検討で提案をしても、評価する側から厳しくまた同じことを繰り返すと見られるというのが現状であり、よりしっかりとした検討が必要と認識している。

2. サイエンス定義に必要な作業

サイエンス定義は、「ここを解明する。明らかにする。」というところである。たとえば、ブラックホールのシャドウを観測する。とかである。それが設定されたら、それぞれの科学的な目的のために、どのパラメータをどのくらいの精度で計測しなければならないか（ミッション要求）を、定量的、誤差を考慮して設定し、そのパラメータから、どのような観測装置であるべきかという観測装置への要求（システム要求）を定量的に設定する。この段階で、このシステム要求が達成可能か、また、ほかのサイエンスと共通の観測装置で行えることは一緒に行うなどの検討を行い、ミッションの全体像を確定していく。

言葉で書けば簡単であるが、実際に観測要求を設定する際には、理論的な予測や実際には複数の予測があるなど、とても難しいところである。逆に、このあたりは、わからないから観測する訳であり、上記のように実際はきれいに設定できない。

表1 スペースVLBIに関するプロジェクト

3. 次のスペースVLBI

本来は、サイエンス定義からおこなうべきであるが上記のとおり、あまりきれいに行かない。現状とても厳しいのは、現在、いろいろなプロジェクトが立ち上がりつ

	Frequency (GHz)	Baseline (km)	λ/D (arcsec)	When?	Sensitivity	Imaging	Comments
ASTRO-G	8, 22, 43	35,000	4×10^{-5}	Cancel	Low	○	
Chinese Space VLBI	6-8, 22, 43	72,000	1.4×10^{-5}	2020 launch?	Low	○	Concept study in 2012-2014
Ground sub-mm VLBI	230, 350	9,000	2×10^{-5}	On going 2020? + ALMA phase-up	Low	△-x	Resolution is save as ASTRO-G Low sensitivity Phase-up ALMA
ALMA	31.5 - 950	18.5	4×10^{-3}	2012 initial science	High	◎	Lower resolution for AGN in VLBI
Radioastron	0.4, 1.6, 5, 22	350,000	8×10^{-6}	July 2011	Low	△-x	How high Tb is?
SKA	0.07 - 10	3,000	2×10^{-3}	2019 initial 2024 Full	High	◎	Low frequency SVLBI

つあり、それらの成果、および今後の予想される成果が、次のスペースミッションのデザインに明らかに影響する。それらのサイエンス定義をおこなうためには、各プロジェクトからの成

果の予測もする、もしくはその成果を待つ必要がある。表1に関連する主なプロジェクトを列記した。

たとえば、ブラックホール(BH)シャドウ観測プロジェクトでは、AGNの中心部の高密度プラズマガスを見通すために高周波での観測が重要である。一方、高周波での観測のために、スペースに基線を伸ばさずとも、地上VLBI観測で十分である。そのために、地上サブミリ波VLBI観測が重要となっている。また、サブミリVLBIに対しては、ALMAの参加が期待されており、さらには、ALMA自体が既存の電波天文学の常識を各方面で破る可能性がある強力な観測装置であり、それが、AGNの科学目標を変える可能性がある。表2にASTRO-Gの失敗を受けた次期のプロジェクトについて3つの可能性を示す。

表2：スペースVLBIの方向性

Type of SVLBI	Frequency	Science Target	Point to think	Technologies	Need to consider	Key Words
High	86 – 350 GHz	See Black Hole	How to see BH silhouette	Solid Antenna Sub-mm detectors (SMILES @ 640 GHz)	How ground based sub-mm VLBI will produce outputs.	Space-Space sub-mm array ALMA in Space
Mid	8-43(22) GHz	Jet Accretion Disk Masers	Based on ASTRO-G design	22 GHz (and 43 GHz?) or 12.3, 6.7 GHz	Launch will be 2020's. Is it still useful?	
Low	< 3 GHz	Pulsar HI absorption Jet, lobe SNR	Co-observation with SKA	JAXA ETS-8 (2.2 GHz 14 x 19m) VLDR (2.2 GHz 30m)	Science of high resolution in low frequency	Different science from those of ASTRO-G

ここでは、次に行う方向性として観測帯域を、ASTRO-Gと同じものを作るか、高周波に行くか、低周波にするかで3通りの可能性を示した。

AGNの中心部、BHの周辺領域の観測を行い、さらに高分解能の観測をめざす。という方向性であれば、より高周波ということになり、表2のHighでのミッションがよいということになる。もちろん、高周波の望遠鏡ではすべてが難しくなる。43GHzもろくにできない奴がそんなのできる訳ないだろう。といわれることは容易に想像つくレベルである。しかし、サイエンスとしてそれが必須であればやらざるをえない。

一方、Jetの観測では、連続波のスペクトルに興味を持つ研究者や、より多くの天体を観測し、統計的な研究をしたい人、メーザーの観測を目指す場合等は周波数が低い、MedからLowのデザインがよいかもしれない。これらの周波数帯は、技術的な見通しもASTRO-Gの延長にあり見えやすい。一方、この周波数は、現在、軌道の違いがあるとはいえ、Radioastronがあり、さらに中国がASTRO-Gに近い設計のミッションを2020年打ち上げで検討しており、これらの装置からの成果や方向性を勘案しながらプロジェクトを検討しなければならない。特に中国のプロジェクトはコンセプトが近く、協力して進めるという可能性もあり得ると考えられる。

表2のLowについては、今後世界的な高感度プロジェクトSKAがすすむと期待される低周波での好感度観測を期待するスペースVLBIプロジェクトである。サイエンスの方向性は大きく変わる。むしろこの周波数帯でしか観測できない、パルサーや超新星残骸などが対象になってく

る。この周波数帯では、日本の電波天文のコミュニティでは研究している人は多くなく、十分な支持は得られない可能性が高いが、他波長や外国では十分な支持があると考えられる。

このように、いくつかのスペースVLBIの可能性があるがやはり、**High**にチャレンジするという方向が、現状では高い。そのために、たとえばスペースアンテナの研究としてもASTRO-Gの延長であるメッシュでなく、ソリッドアンテナの検討も始めるべきであると考えられ、現在、宇宙研ではその方向で検討を行っている。

4. スペースVLBIでない宇宙電波天文ミッション

電波天文のもう1つの宇宙利用の可能性は大気を避けるため宇宙に行くという方向である。地上の電波観測の邪魔をするものは、低周波の電離層および地球上の人工電波による影響で、これは、10数 MHz程度の周波数以下で大きい。そのためにたとえば月の裏側に巨大干渉計を作るといようなプロジェクトも存在する。一方、周波数が高いサブミリ波での分子ガスによる大気吸収もそれなりにあり、宇宙に行く理由になる可能性がある。高精度のphotometryが必須な宇宙背景放射の観測は、地上での観測もあるが、気球による飛翔体観測、および衛星による観測が主流で、すでに宇宙研でもWGがある、LiteBIRDという宇宙背景放射のBモード偏波の検出を目的とした衛星が宇宙電波懇談会の支持を受けて進んでいる。

しかし、地上ではALMAがすでにTHzの高周波まで地上観測を進める方向である。ALMAのあるサイトでは、サブミリ波帯の電波では所々ウインドウが開いていて、スペースよりも好感度観測ができる期待がある。スペースでは、ALMAのような大きな構造物（アンテナ）が作れず、コストもとても割高である。現在は、観測環境は悪くとも同じコストでより大きな感度の高いアンテナが制作できる地上の方が有利であり、宇宙での観測は分が悪い。

一方、スペクトル線観測は、地上では観測が難しい帯域がある。低周波の60GHzや129GHzの酸素のバンド、400 GHz以上では地上ではできない帯域が出てくる。そこでしか観測できない重要な輝線があれば宇宙が必要となる。単一鏡観測は、Herschel が3mクラスのアンテナで実現しており、今後のミッションは、より感度の高いミッションや、高空間分解能観測を目指してスペース干渉計のミッションを考えていく方向性もあるかもしれない。

5. まとめ

今後すでに完成しつつある観測装置からのデータを見て常にミッションをアップデートしつつ、スペースVLBIの可能性を見据えていくことになるだろう。さらに、基線をそれほど伸ばさない、スペーススペース干渉計によるライン観測がもう1つの方向性として考えていくのだろう。

電波天文学は最強の観測装置であるALMAの観測が始まったところであり、まだ次が見にくい状況である。また、スペースでないとできない分野に限られるために、スペースでの観測を考えるのは厳しい状況であるが、一方で世界的にもなかなか手がつかない部分もあり、期待をかける研究者も多い。