

スペース VLBI の新たな可能性

藤沢健太 (山口大学)

VLBI を用いた研究

VLBI 技術を用いた研究は大きく天文 VLBI と測地 VLBI に分けられる。天文 VLBI は高い角度分解能を用いて天体の高分解能の観測的研究を行う。測地 VLBI はアンテナ間距離を高精度に測定することで地球の研究を行う。

近年、人工天体を用いた研究と VLBI の境界領域において、様々な進展がある。まずスペース VLBI である。これは人工衛星に天体観測用アンテナを搭載し、基線長を地球外に延伸することで、天体の微細な構造を研究することを目指している。次に人工天体の VLBI による位置決定の研究がある。人工天体 (人工惑星) の信号を VLBI 観測し、精密な位置 (方位) を決定し、惑星探査機などのナビゲーションに役立てようというものである。

測宙 VLBI

ここに、人工天体と VLBI の境界領域の研究をもう一つ提案する。それが「測宙 VLBI」である。これは測地 VLBI 的な技法を人工天体に応用することで、人工天体の精密な位置の決定を行うというものである。上述の人工天体ナビゲーションとの違いは、人工天体ナビゲーションでは人工天体を天文 VLBI 的に観測し、その角度方向の位置をきめるのに対し、測宙 VLBI は測地 VLBI 的手法により、人工天体までの距離を精密に決める点である。人工天体ナビと測宙 VLBI を組み合わせれば、人工天体の位置を 3 次元的に決定できる可能性もある。

測宙 VLBI の原理

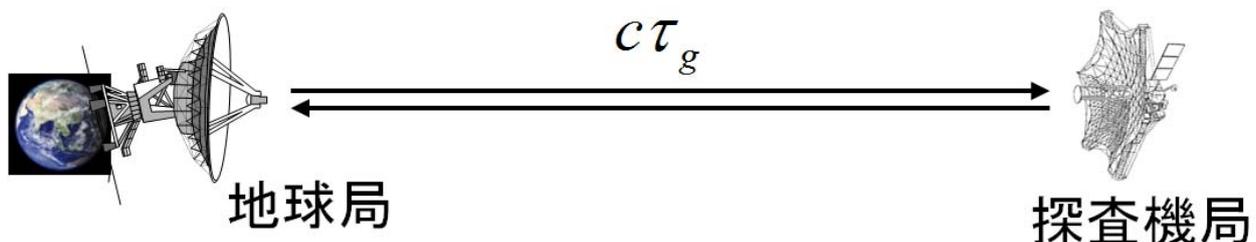
測地 VLBI を単純にスペース VLBI に適用すれば、これは衛星位置を精密測定することになる。VSOP の

観測データを用いて、川口則幸さんがこの研究を行ったことがある。この研究では衛星の精密位置を決定することで、地球の重心を精密に決める事を目指していた。ただしこの方法は基線長をあまり長くとることができない。天体の構造を分解してしまうからである。

人工的な電波源を用いて測宙 VLBI を行うと、天体構造による基線長の制限はなくなる。人工信号を利用した測宙 VLBI の単純な形式が図に示されるトランスポンダ方式である。地球局から探査機局に信号を送信し、探査機局は受信した信号をトランスポンダで地球へ送信する。地球局は受信した信号と送信した信号の相互相関をとり、これから遅延時間を測定する。この遅延時間はすなわち地球局と探査機局の距離を表す。既存の測地 VLBI では、遅延時間の計測精度で 0.1nsec を達成するのは容易である。もしその精度を測宙 VLBI で実現できれば、探査機までの距離測定精度は 3cm となる。この精度は原理的に距離に依存しないため、地球周囲でも惑星間でも同じように測定できる。仮に 2 天文単位を絶対値 3cm で測定できれば、その相対精度は 10^{-13} に達する。これは VLBI の角度分解能 (10^{-10}) よりはるかに高い精度である。惑星探査機の距離測定 (R&RR 方式) で実現されている精度 (数m) より 2 桁高精度である。

測宙 VLBI の応用

10^{-13} の超高精度探査機位置測定によって、天文学および物理学に寄与し、新たな学問を開拓できる可能性がある。まず太陽系天文学において、太陽系の重力場の精密測定が可能になる。これは微小天体の分布に対する制限を与える可能性がある。また太陽



物理では、太陽質量を精密に測定することが可能となる。これは太陽の内部構造や、CMEなどの現象の研究に役立つ可能性がある。

一方、基礎物理学的な応用として、天文単位の永年増加の検証、パイオニア・アノマリー、一般相対論の検証（シャピロ遅延、他）、重力レンズ効果などが考えられる。パルサーや重力波などの天体・現象にも関与する可能性がある。測宙 VLBI を拡張して、太陽の周囲を電波が周回するように構造を考えれば、サニヤック効果の検証なども考えられる。

さらに、工学的な応用として探査機の超高精度ナビゲーションの利用がある。上述の通り、すでに始まっている VLBI ナビゲーション技術（方位）と連携することで、探査機の研究に大きな寄与をする可能性がある。

重要な事は、太陽系の研究から基礎物理まで様々な幅広い研究テーマが、新たな VLBI の研究分野となり得る、そして天文学以外の分野の人との協力できるということである。VLBI を道具として様々な研究分野に乗り出せる、逆に様々な研究分野から VLBI への参入が期待できるのである。

研究課題

測宙 VLBI を実現する上で重要な技術課題は、トランスポンダである。天体信号を模した白色雑音を送・返信すると、所期の S/N の達成が困難である。そこで送信信号、トランスポンダに特殊な改良が必要となる。

この解決方法として、位相トランスポンダ（波形再生器）を提案する。まず送受信する信号は複数の CW とする。CW によって生成される波形を検出し、再生し、返送するのが位相トランスポンダである。位相トランスポンダは、到来した信号を FFT して信号の波形情報を抽出し、それをもとに波形を再合成する。

位相トランスポンダ以外にも、技術的・科学的な課題は多い。科学的意義も、そもそも何を明らかにできるのか、研究の重要性・意義はあるか、相対論実験・太陽系物理に新結果を追加できるか、そして本当に面白いかということ深く、厳しく検討しなければならないだろう。

なにより、測宙 VLBI は誰もやったことが無い研究であり、果たしてうまくいくのか、という根本的な疑問もある。またこれまでの天文 VLBI とは大きく異なる研究であり、これに興味を持つ人がどれだけいるか、この研究に本格的に乗り出せるか、といった疑問もあるだろう。

しかし測宙 VLBI はこれまでにない VLBI の研究分野となる可能性があり、またこれまでとは異なる研究分野の人を巻き込める可能性を持っている。基礎的な研究では大学の研究室単位で取り組める事項も多い。将来の VLBI の可能性の芽として、測宙 VLBI の研究を進めていきたいと考えている。