

LEO衛星による サブミリ波スペースVLBIの検討

朝木 義晴 (宇宙科学研究所), 三好 真 (国立天文台), 高橋 勇太 (苫小牧高専)

概要

太陽同期の低周回 (Low-Earth-Orbit: LEO) 衛星と地上サブミリ波望遠鏡によるスペース VLBI の概念検討を行った。地上望遠鏡が 2~3 局程度しかなくても高度 800 km の極軌道を周回する LEO 衛星との組み合わせにより、驚くほど密な (U, V) サンプルを得ることが可能になり、サブミリ波を使うことで超高空間分解能かつ高画質なサブミリ波イメージを取得できる。ここでは Sgr A* ブラックホール・シャドウ (BHS) を観測対象とした場合、5 局の地上望遠鏡と 1 機の LEO サブミリ波望遠鏡衛星で構成するサブミリ波スペース VLBI によるイメージング・シミュレーション結果について報告する。

はじめに

スペース VLBI 観測の利点として、「はるか」/VSOP の成功に代表されるように地上電波望遠鏡同士では得られない地球直径以上の長基線長を得ることがすぐに思い浮かぶ。果たしてそれだけだろうか？ミリ波より短い観測波長になれば対流圏の水蒸気による吸収のために観測できる周波数領域は限定され、また望遠鏡の建設サイトも極めて限られてしまう。人工衛星ならば地球大気中の水蒸気による吸収の影響から逃れることができるため、サブミリ波干渉計は長基線以外にも大きな魅力を持つだろう。

だが、干渉計ともなれば、1 機の望遠鏡衛星だけでは成立しない。2 機以上の衛星製造はミッション・コストを大きくつり上げ、魅力ある観測計画も実現することが非常に難しくなる。一方、スペースと地上の VLBI では、地上望遠鏡の数は数局程度しかないため、衛星が空間分解能を重視した「はるか」や ASTRO-G 衛星のような軌道をとる場合、 (U, V) サンプルを十分に埋めた高い画質の撮像能力を得ることは不可能となる。

しかし、1 機の低周回軌道 (Low-Earth-Orbit: LEO) 衛星のサブミリ波望遠鏡を用意することにより、地上の望遠鏡が数局であっても理想的な (U, V) サンプルが得ることができる [1]。何故なら、LEO 衛星の軌道周期が 1 時間強であるので、数時間以上の観測時間では、LEO 衛星と地上望遠鏡は (U, V) 上で何重にもなる軌跡を作り、その結果、非常に密に (U, V) 平面上を埋めていくことになるからだ。ここでは VLBI 観測シミュレーション・ソフトウェア ARIS [2] を使い、SVLBI サブミリ波

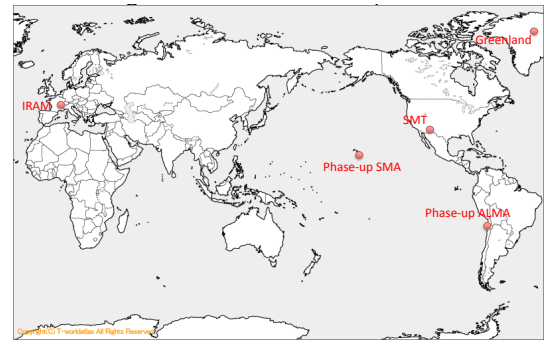


Figure 1. サブミリ波 VLBI シミュレーションで仮定した地上望遠鏡。

観測を行った場合の天体画像のクオリティについて調査した結果について報告する。

サブミリ波 VLBI 観測シミュレーション

図 1 に、今回のシミュレーションで仮定したサブミリ波地上望遠鏡を示す。このうちグリーンランド局はまだ建設されていない架空の局であり、台湾の ASIAA で建設計画が推進されている。ALMA と SMA は位相合成によって感度向上を図ると仮定した。今回の観測シミュレーションでは誤差として熱雑音のみ考慮し、観測周波数は 350 GHz (ALMA のバンド 7) において衛星望遠鏡も含めて全てのアンテナが ALMA スペック受信機を持つと仮定した。観測帯域幅は 4 GHz とした。図 2 に 13 時間の観測での地上望遠鏡のみで得られる (U, V) サンプルと干渉計のダーティ・ビーム (いわゆるポイント・スプレッド関数) を示す。

衛星望遠鏡は、高度 800 km で極軌道を周回する LEO 衛星とした。アンテナ口径は 10 m を仮定し、それ以外のサブミリ波望遠鏡としての性能は ALMA 準拠とした。図 3 に、13 時間の観測でスペース望遠鏡と地上望遠鏡で得られる (U, V) サンプルとそのダーティ・ビームを示す。図 2 と比較して、 (U, V) サンプルが大幅に増えたことによりサイドローブが大きく減じたことが分

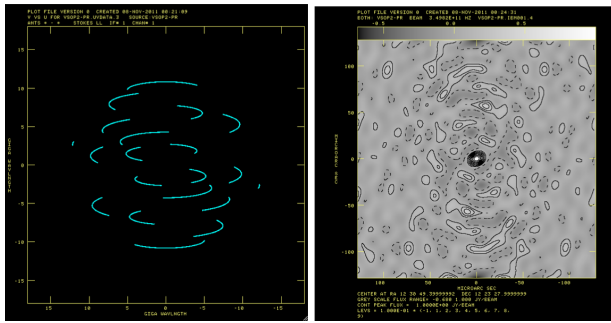


Figure 2. 地上望遠鏡のみで得られる (u, v) サンプル (左) と、干渉計ダーティ・ビーム (ポイント・スプレッド関数) (右)。

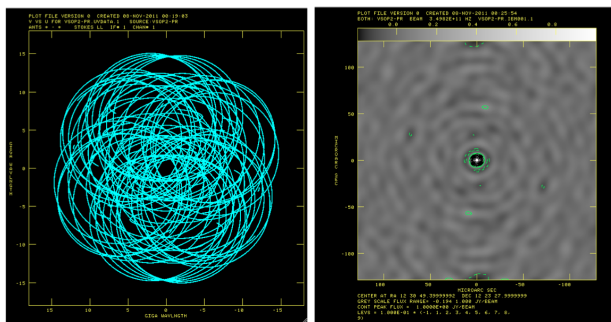


Figure 3. 1機のLEO衛星と地上望遠鏡で得られる (u, v) サンプル (左) と、干渉計ダーティ・ビーム (右)。

かる。

天体イメージとしてSgr A*のブラックホール・シャドウ (BHS) を仮定し、ゼロ基線長におけるフラックス密度を 2 Jy に設定した。また、イメージは時間定常とした。図4に用いた天体イメージ・モデルを示す。スピン・パラメータ 0.0、観測者から見た降着流のエッジオンからの傾きが 20° のイメージをモデル A、スピン・パラメータ 1.0、降着流の傾きが 45° のイメージをモデル B とする。熱雑音込みの天体のビジビリティの生成は、ARIS を用いて行った。得られたビジビリティは FITS-IDI 形式でディスク・ファイルにセーブされる。このファイルを AIPS で読み込み、CLEAN イメージングを行った。

結果

地上望遠鏡のみのサブミリ波 VLBI 観測シミュレーションで得られた天体イメージを図5に示す。モデル A とモデル B を比較すると両者の間に違いがあるのが見てとれるが、もし事前に情報がなかった場合にそれぞれのイメージからそれぞれのモデル (特にシャドウ部) を推定するのは困難であることが予想される。

一方、LEO衛星と地上望遠鏡との組み合わせのスペース VLBI で得られるイメージを図6に示す。 (U, V) サンプルが密にとれていることから、非常にクオリティの高いイメージを得ることができた。2つのモデルの違い

Table 1. サブミリ波スペース VLBI シミュレーションの条件。

項目	条件
観測局	ALMA (位相合成), SMA (位相合成), LMT, IRAM, Greenland
観測周波数	350 GHz (BAND7)
観測帯域幅	4 GHz
誤差要因	熱雑音
スペースアンテナ	高度 800 km の太陽同期軌道
天体イメージ	ブラックホール・シャドウ
トータルフラックス密度	2 Jy
時間変動	なし

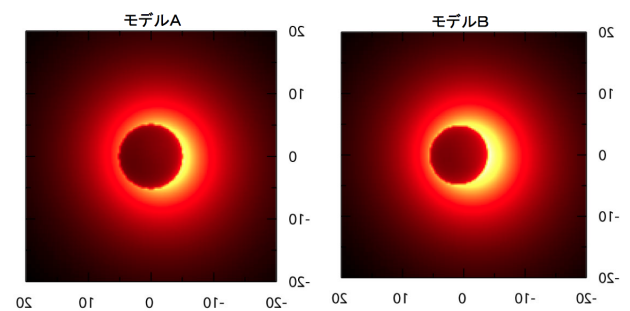


Figure 4. BHS 像のモデル。左は BH スピン a/M が 0.0、降着流の回転軸の傾き角は 20° 。右は BH スピンが 1.0、降着流の回転軸の傾き角は 45° 。

いを判別することが十分に可能であり、ブラックホール質量、スピン・パラメータなどの推定において大きな制限をかけることが可能となる。

まとめ

スペース望遠鏡としてLEO衛星を使った場合のス

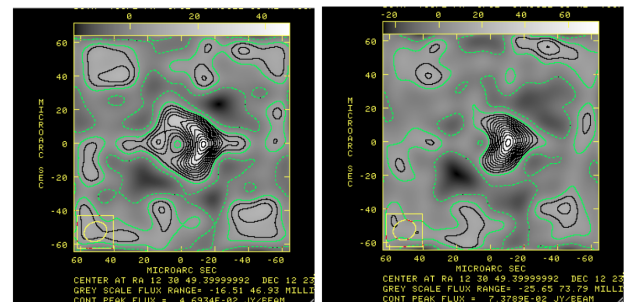


Figure 5. 地上望遠鏡のみの VLBI シミュレーションで作成した Sgr A* BHS のイメージ。モデル A (左) とモデル B (右)。

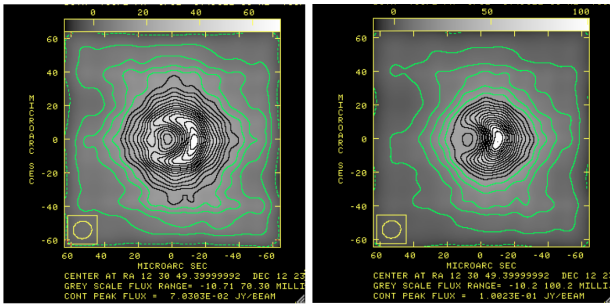


Figure 6. サブミリ波スペース VLBI シミュレーションで作成したイメージ。モデル A (左) とモデル B (右)。

ペース VLBI の観測シミュレーションから、サブミリ波スペース VLBI の概念検討を行った。地上局だけでは十分なクオリティが得られないケースにいても、LEO 衛星が 1 機加わることによって理想的な (U, V) が得られ、クオリティの高いイメージが得られることが分かった。

今後の課題として、モデルのイメージが星間プラズマによる散乱を受けたケースについて検討し、どの周波数帯であれば BHS のイメージを判別可能なほどに得ることが可能であるかを検討する。また、VLBI における様々な観測誤差 (地球回転、中性大気超過遅延、電離層による遅延、時刻同期、軌道決定) を考慮した場合のイメージング・シミュレーションについても検討し、概念設計をより詳細に詰めていきたいと考える。

参考文献

- [1] Asaki, Y. & Miyoshi, M., ASP, 59, 889, 2007.
- [2] Asaki, Y. et al., PASJ, 59, 397, 2007.