

Event Horizon Telescope および ALMA Phasing Project の現状

国立天文台 水沢 VLBI 観測所

本間 希樹

1. イントロダクション：ブラックホール研究とミリ波サブミリ波 VLBI

多くの銀河中心に超巨大ブラックホールが存在することはほぼ確実視されている。しかし、厳密にはこれらの天体は非常に高密度な天体であることがわかっているだけで、真に事象の地平に囲まれたブラックホールであることは確認されてない。超巨大ブラックホール存在の究極の証明を得るためには、シュバルツシルト半径スケール程度の構造を分解し、降着円盤を背景にブラックホールがシルエットとして浮かび上がる「ブラックホールシャドウ」の観測が必須である。このようなブラックホールシャドウ撮像には、ミリ波からサブミリ波帯で地球規模基線の VLBI 観測が有力な手段と考えられている。実際、見かけのサイズが最も大きなブラックホールである Sgr A*や M87 はシャドウの直径が 20 マイクロ~50 マイクロ秒角程度と期待され、これは地球規模の 9000 km 基線で波長 1mm の観測を行ったときに得られる分解能（約 25 マイクロ秒角）と同程度である。

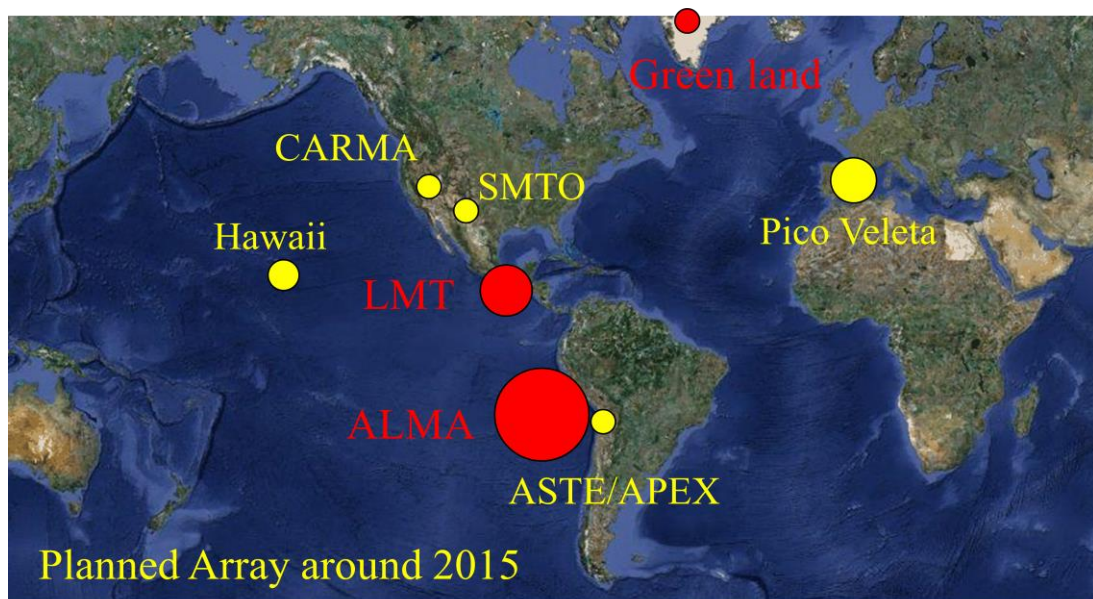


図1：ミリ波・サブミリ波 VLBI の国際観測網の現状と将来計画。丸の大きさは開口面積に応じて大きさを変えており、地理的にも感度的にも ALMA が非常に重要な観測局であることが見て取れる。ALMA の VLBI 観測は、2015 年頃には実現すると期待される。

2. EHT (Event Horizon Telescope) と最近の成果

このようなミリ波・サブミリ波帯での VLBI 観測を目指して国際的なアレイ構築を進めるのが EHT (Event Horizon Telescope) プロジェクトであり、米国の MIT Haystack 観測所を中心に、日本のグループを含む世界中の研究者が協力して観測網の整備を進めている (図 1)。現在の中心的な観測局は米国の 3 局 (アリゾナの SMTO、カリフォルニアの CARMA、ハワイの JCMT/SMA など) である。また、実験的に欧州の IRAM やチリの ASTE/APEX が参加した観測も行われており、2012 年にはチリの APEX とハワイを含む米国局間で 3C279 のフリンジ検出に成功するなど、現在も新しい局を導入してアレイを拡張する努力が続けられている。

EHT の米国の 3 局の観測から、様々な興味深い科学成果も得られている。最近では、明るいブレーザー J1921-293 のジェットイメージングに成功し (図 2)、ジェットの根元で折れ曲りが起こっていることを検出している (Lu et al. 2012)。また、M87 のブラックホール近傍にシュバルツシルト半径の 5.5 倍程度の極めてコンパクトな構造の検出にも成功している (図 3)。この放射はブラックホールの極近傍に位置したジェットの根元と考えられている。また、この放射領域の大きさが回転していないブラックホールの ISCO サイズより小さいことから、ブラックホールがスピンを持っている可能性が示唆されている (Doeleman et al. 2012)。このように、現在のところまだイメージング能力が十分高いとは言えない状況にありながらも、EHT はミリ波・サブミリ波 VLBI のポテンシャルを示すコンパクトのある成果をあげつつある。

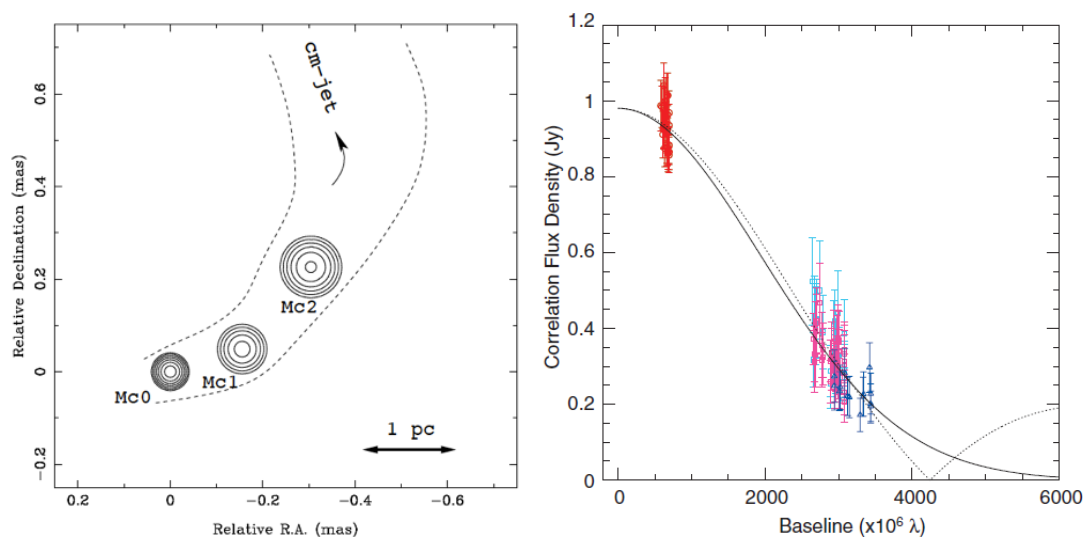


図 2 (左) : J1921-293 の 230 GHz でのジェットイメージ。

図 3 (右) : M87 の 230 GHz コアの UV distance プロット。大きさが 40 マイクロ秒角のガウス分布でフィットできる。

3. ALMA Phasing Project (APP)

今後のミリ波・サブミリ波 VLBI のアレイ拡張において中核をなすのは、ミリ波・サブミリ波で非常に高い感度を誇る ALMA (Atacama Large Millimeter/ sub-millimeter Array) である。ALMA は日米欧が国際協力でチリのアタカマ砂漠 (標高およそ 5200m) に建設中の大型の干渉計であり、全開口面積は直径約 90m の単一鏡に相当する。これを phase-up させて単一の VLBI 観測局として使用可能にするためのプロジェクトが APP (ALMA Phasing Project) である。APP も MIT Haystack 観測所を中心に、日本や台湾などの東アジアのパートナーも含む国際協力で計画が進められている。すでに 2011 年には国際的な枠組みで予算が確保されており、2015 年ごろの初期観測開始を目指して装置開発が進められている。APP は各偏波ごとに 2GHz 帯域を 4 チャンネル有しており、2 偏波全 IF チャンネルのデータレートは 64 Gbps という非常に大きなものとなる。ALMA の大口径とこの大きなデータレートを組み合わせることで超高感度なミリ波サブミリ波 VLBI 観測が可能になると期待される。ALMA と他の既存観測局を組み合わせることでミリ波サブミリ波 VLBI でのイメージング観測が一挙に現実のものとなり、ブラックホールの直接撮像に大きく近づくと期待される。APP プロジェクトには、日本からも国立天文台水沢 VLBI 観測所を中心とするチームが参加しており、日本の分担として標高 5200m の観測サイト(AOS)から標高 2900m の中間山麓施設(OSF)へデータを光多重伝送する装置を開発している。

4. 今後の展望

APP は、2012 年 11 月に ALMA Board にて条件付きながら承認され、実現にむけて現在さまざまな努力が続けられている。そして 2015 年頃には観測運用を開始できると期待される。その際、基本的には、ユーザーが ALMA に対して観測提案を行い、それを審査する形で実行する観測を選択する、いわゆるプロポーザル審査制で運用される。従って、ALMA の VLBI 機能は広く世界の天文コミュニティーに開かれたものとなり、EHT によるミリ波・サブミリ波 VLBI 観測に加えて、例えば ALMA+VLBA による 43 GHz/86 GHz 帯での高感度イメージングや ALMA+LBA などによる南天観測など様々な利用方法が考えられる。日本の VLBI コミュニティーからも是非さまざま提案がなされることを期待している。