

次世代大型センチ波干渉計 ngVLA

① 計画の概要

次世代大型ミリ波センチ波干渉計 ngVLA (next generation Very Large Array) は、米国国立電波天文台 (NRAO) 主導のもと検討が進んでいる大型計画である。口径 18m の高精度アンテナを 300~1,000km の範囲に合計 214 台設置することで、稼働波長帯であるセンチ波からミリ波帯の一部 (約 20cm から 3mm 帯) において比類ない感度と空間分解能を達成する。具体的には、現在稼働中の JVA および ALMA の約 10 倍の高い集光力と、約 10 倍以上の高い空間分解能を実現する。さらに、超長基線干渉法 (VLBI) の実現のために 10,000km ベースラインを実現するアンテナ 30 台の追加も検討されている。ngVLA は汎用型望遠鏡であり、あらゆる天体とその観測対象となるが、以下のテーマで特に大きな進捗が期待される。まずこの波長帯のダスト熱放射は、原始惑星系円盤内で特に面密度が高くサブミリ波帯では光学的に不透明な領域を見通し、高解像度撮像によってそこでの岩石惑星の探索を可能とする。また、窒素原子を含む大型有機分子の形成にとって最も基本的かつ重要な分子であるアンモニアを初めとして、様々な大型有機分子のスペクトル線を惑星形成の現場で捉え、生命誕生のための初期化学条件の探究を可能とする。さらに、激しい星形成活動の結果生じた電離ガスをミリ波・サブミリ波帯で捉えた高赤方偏移銀河に対し、星の材料となる低温の分子ガス成分からの放射を隈なく検出し、宇宙開闢後、数十億年から現在に至る宇宙物質の大循環の変遷を個々の銀河構造を分解しながら探究する。このように、幅広い階層の天体形成過程の研究を格段に発展させるとともに、波長 1cm から 10cm 帯の主力天文観測装置として新たなディスカバリー・スペースの広範な開拓を目指した計画である。

② 学術的な意義

サブミリ波帯に比べ、ngVLA の観測波長帯ではダストの放射効率が低下するため、原始惑星系円盤の高面密度領域を光学的に見通した撮像が可能となる。特に、惑星系形成の初期段階を探ることは惑星の多様性の理解において極めて重要であり、形成初期段階の円盤に対してはセンチ波帯での観測によって高面密度領域を見通す観測が必須となる。このため、惑星系形成初期の円盤内域 (10au 以内) においても、そこで形成された岩石惑星が作る溝を捉えられる ngVLA に大きな期待が寄せられている。さらに、現状の ALMA をも上回る高い解像度は、円盤内の小スケール構造の時間変化を捉えることも可能とし、惑星の軌道上の運動まで研究対象を拡張する。ngVLA と円盤外縁まで感度良く撮像可能な ALMA との連携は、あらゆる進化段階の円盤を「惑星系」のダイナミックな形成現場として捉え直し、その理解に質的転換をもたらす。一方センチ波帯は、星間空間における窒素の重要な存在形態の一つであるアンモニアや大型有機分子を含む多様な分子からの輝線に富む。サブミリ波帯では、原始星近傍においてこれらの分子の輝線も光学的に見通すことが困難となるが、ngVLA では可能であり、太陽系内の惑星探索とも連携させながら、生命誕生のための初期化学条件の探究を可能とする。さらに遠方銀河に対しては、一酸化炭素分子 CO の基底状態を含む低励起状態間の遷移に伴う輝線が ngVLA によって初めて捉えられるようになり、そこに含まれる星の材料の正確な定量が可能になる。この情報を、ALMA や次世代赤外線天文衛星 SPICA が捉える星形成活動の結果生じた高温ガス成分の情報と合わせることで、宇宙物質の大循環の変遷を個々の銀河の内部構造を分解しながら探究する。これにより、我々人類のような生命が存在する条件が、宇宙史の中で如何に整えられてきたのかという疑問に対し、一貫した視座を提供する。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

ALMA の稼働により、0.1 秒角以下のスケールでダストや分子の熱的放射の観測が可能となり、星・惑星系形成、活動銀河核、遠方銀河な

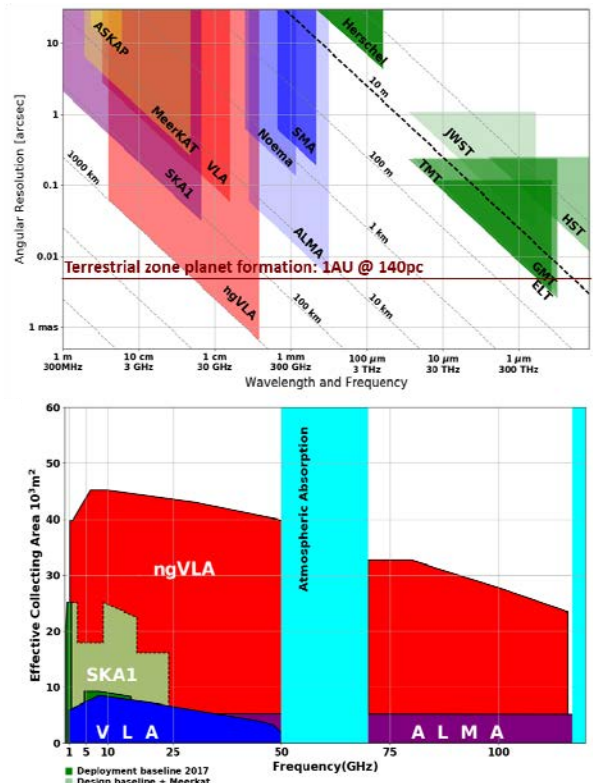


図1 . ngVLA と ALMA, VLA, SKA の関係
(上: 空間分解能の比較 下: 集光力の比較)

観測のシミュレーション; 距離140pcの天体の場合
Ricci et al. (2018)

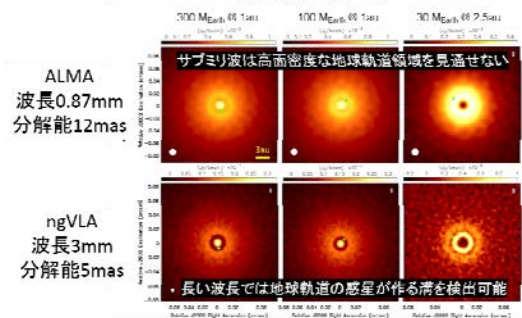


図2. 地球軌道惑星の検出が可能
(距離 140 pc では多数の原始惑星系円盤が存在する)

ど、天文学の重要テーマにおける研究が格段に進展した。しかしその一方で、ALMA が得意とするサブミリ波帯においては、高面密度領域でダストからの放射が不透明になりうるということが認識され、それを乗り越えるために、より長い波長での観測の必要性が認識されつつある。このように、ALMA と ngVLA は天文学・宇宙物理学・宇宙化学・惑星科学などの分野の研究推進で両輪となり得るものであり、ngVLA は ALMA と共に宇宙電波懇談会においてもその実現が強く要望されている。また、はやぶさ2 ミッションに代表される太陽系探査がもたらす物質科学的情報を的確に理解する上でも、円盤観測がもたらす惑星系形成初期における大局的な物理・化学状態の情報は貴重である。この他、マルチメッセンジャー天文学などのテーマに関する国内検討は、高エネルギー帯を含む多波長観測装置の発展を踏まえつつ、今後さらに深めて行く。

④ 実施機関と実施体制

我が国においては自然科学研究機構国立天文台が建設と科学運用の中心となる機関である。NRAO と実施内容に関する協議を開始しており、2019年3月には Alvaro Gonzalez と深川美里の2名が ngVLA サイトを視察し、NRAO の主要関係者と今後の連携についての意見交換を行った。また、国立天文台において正式な研究グループ設立の申請を行っており、検討を進める体制の構築を開始している。本グループの承認後、国立天文台の研究者が主導的役割を担い、コミュニティの研究者（プロジェクトサイエンティスト：百瀬宗武（茨城大学））と共に参画に向けた本格的な検討を開始する予定である。なお、計画を主導する NRAO 側においては、日本から坂井南美（理化学研究所）および河野孝太郎（東京大学）が科学検討委員会（Science Advisory Board）の委員、長谷川哲夫（国立天文台）が技術検討委員会（Technical Advisory Board）の委員として参画している。また、NRAO はパートナーを募集しており、日本のほか、カナダやメキシコの研究チームが非公式ながら参画を検討している段階である。

⑤ 所要経費

国際計画全体での総建設予算額は1500億円（1ドル100円換算）で、年間運用費は75億円である。内、日本が支出する総建設予算額は150～300億円、年間運用費は7.5～15億円程度。これらは、総所要経費が網羅されていなければ内訳分類はフレキシブルで良い。

⑥ 年次計画

米国の Decadal Survey Astro2020 の審査を経て、2021年に装置設計フェーズに移行し、2024年には設計が完了する。翌年の2025年に建設を開始し、2028年に初期科学運用として部分的に観測装置を公開し、2034年の本格運用の開始を目指す。日本国内では、国立天文台が受信機の光学系の設計と開発を主導していく。国立天文台は、ALMA 望遠鏡の受信機開発を主導してきた実績があり、特に、光学系、コルゲートホーン、偏波分離器の開発においては、他国の追随を許さない技術力を持っている。加えて、2019年度には最新の3Dプリンターを導入し、コストを抑えた量産体制を2020年度以降に国立天文台に整備する予定である。2019年度から2021年度の3年間は主に3Dプリンターを使ったコルゲートホーンと偏波分離器の量産に向けた試験や性能評価を行い、2021年の設計フェーズに向けて準備を進める。これらの開発実験と並行して、日本の参画に向けた具体的交渉を進め、2021年度までに日本の貢献分や運用形態の詳細を NRAO 関係者と議論し協定に向けた準備を進める。また、電波天文学コミュニティのみならず、他の科学コミュニティからのサポートも継続的に得るため、ngVLA ワークショップを定期的に開催し、幅広い分野の研究者と交流を図り、天文学の枠を超えた新たな研究展開も模索する。日本の科学コミュニティ全体と密にコミュニケーションをとり、ngVLA 開始時には最大限の科学成果が得られるよう準備を進める。本格運用後は、タウンミーティング、ユーザーズミーティング、データ解析講習会等を通じて、コミュニティの人材育成に取り組む。ngVLA の科学運用期間としては20年を想定しているが、これまで NRAO がその建設と運用を主導してきた望遠鏡群の稼働実績から、さらに10年程度の延長が見込まれる。

⑦ 社会的価値

地球型惑星の起源や、生命の起源と深く関係する惑星系形成初期の化学組成などは、一般国民の強い興味を引くテーマである。138億年の宇宙の歴史において、いかにしてこの地球上に豊かな生命世界が誕生し得たのか。生命誕生に至る基本的環境は太陽系以外でどの程度普遍的であるのか。宇宙における物質の大循環の変遷の理解とともに、惑星形成に至る各階層を探究し多種多様な有機物の起源を辿ることは、これら究極的問いに答えるために不可欠であり、その成果は私達の生命観や宇宙における地球の価値の把握に大きなインパクトを与える。また、星間塵の性質やアミノ酸を含む有機分子の宇宙における形成過程の探究は、物質科学研究にも新機軸を与える。宇宙では、有機分子は星間塵への凍結と気層への蒸発という、気相と固相の“相間”相互作用を鍵として形成される。物質科学分野において、物質の相間相互作用の研究は、その重要性に反して研究が立ち遅れてきた。その意味で、宇宙における物質進化研究は地上の科学へも大きな影響を与え、新たな分野創出へと繋がる可能性が高い。知的価値の産出だけでなく、将来的にはそれらを土台にした経済的・産業的価値の創出も期待される。

⑧ 本計画に関する連絡先

深川 美里（自然科学研究機構国立天文台）