

次世代大型電波干渉計 ngVLA でもたらす宇宙史と生命の理解の新機軸

① ビジョンの概要

宇宙の星・銀河・大規模構造の形成と、それらの進化に伴う物質の化学的変遷の全体像を捉え、その帰結としての惑星系や生命の起源を理解することは人類普遍の課題である。次世代大型電波干渉計 ngVLA は、宇宙誕生から現在に至る物質の大循環を探究し、銀河形成や太陽系誕生過程の理解を飛躍的に高めることで、人類が存在する条件が宇宙史の中でいかに整えられてきたのかという疑問に対して一貫した視座をもたらす。

② ビジョンの内容

138 億年におよぶ宇宙の歴史の中で、多様な物質世界がいかにして発現し、地球のような惑星や生命の誕生に至るのかを理解することは全人類の知的欲求である。近年、太陽系外惑星研究が目覚ましい進展を遂げている。宇宙における惑星系の全体像の理解は今後 10 年でさらに深まり、太陽系の普遍性・特殊性を把握する手がかりも得られるだろう。その先には、地球のように生命を育む惑星を検出してその特徴を捉えようとする研究が主流となる時代が、周辺学問分野との連携と相まって到来する。一方、より大きな空間スケールに目を向けると、ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡やアルマ望遠鏡により、宇宙誕生後間もない頃の銀河が次々と発見され、銀河の多様性の起源を初期宇宙にまで遡って探求する準備が整いつつある。今後は、天の川銀河が示す渦巻構造を含め、銀河の多様な構造や性質が宇宙の歴史の中でどう作られてきたのかという天文学上の根源的な謎が解かれていくに違いない。したがって、宇宙大規模構造が形成される過程で、個々の銀河の成長に関連した詳細な物理メカニズムを解き明かすことは、20 年後も中心課題であり続けるだろう。本研究構想で提案する次世代大型電波干渉計 (ngVLA) は、Thirty Meter Telescope (TMT) 稼働後の 2040 年代を見据え、これらの根源的な問いに対してユニークかつ顕著な寄与をもたらす革新的な望遠鏡である。

ngVLA は波長 1cm から 10cm 帯における世界の主力天文観測装置として、誕生して間もない星のごく近傍（たとえば地球軌道相当）の惑星形成現場を探るのに最適であり、TMT が探索する系外惑星に対してその起源を探るという決定的かつ異なる役割を果たす。また ngVLA は、星間物質から原始惑星系円盤を介して生命誕生へと至る化学的道筋も研究対象とする。特に、アミノ酸前駆体や大型有機分子の高解像度観測に威力を発揮し、「星間空間でどのように生命の素材が用意され、惑星系の母体へ供給されるのか」という生命誕生の物質科学的な初期条件に関する情報を提供する。一方、生命を育む惑星の誕生は、宇宙の物質進化史における一つの帰結でもある。ngVLA は、銀河の成長メカニズムを知る鍵となる「冷たい分子ガス」の直接検出に加え、銀河進化に重要な役割を果たす超巨大ブラックホール周辺からの非熱的放射の検出にも最適であり、宇宙史における銀河とブラックホールの共進化、および物質の大循環の探究を可能にする。すばる望遠鏡、アルマ望遠鏡、TMT に加え、センチ波の次世代大型望遠鏡である ngVLA は、2040 年代の我が国にとって新たな観測手段となる。これらの望遠鏡は、幅広い空間・密度・温度・時間・化学組成等の軸上でそれぞれ独自の情報を提供する。その相乗効果は 21 世紀の天文学を加速度的に発展させ、人類の宇宙像を刷新する。

③ 学術研究構想の名称

次世代大型電波干渉計 ngVLA でもたらす宇宙史と生命の理解の新機軸

④ 学術研究構想の概要

次世代大型電波干渉計 ngVLA (next generation Very Large Array) は、米国国立電波天文台 (NRAO) が計画を主導し、初期運用を経て 2040 年代に本格稼働する大型共同利用施設である。口径 18m と 6m のアンテナを約 9,000km の範囲に合計 263 台設置し、センチ波からミリ波帯の一部（約 20cm から 3mm 帯）において、現在稼働中のアルマ望遠鏡及び米国 JVLA の約 10 倍の集光力と 10 倍以上の解像度を実現する（図 1）。我が国はアルマ望遠鏡の建設・運用で築いた NRAO との連携実績を礎として、他国が真似できない技術貢献を行い、

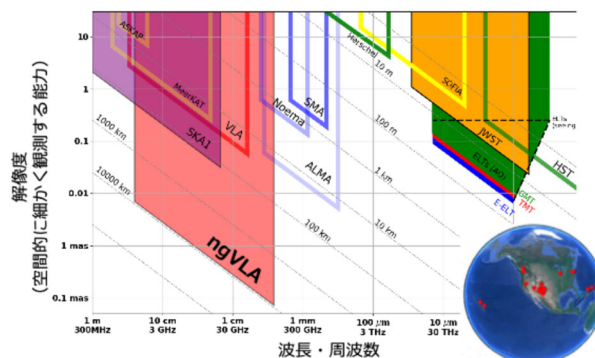


図 1 稼働中・計画中の他の望遠鏡との解像度比較。
縦軸が小さい（下方向）ほど解像度が高い。

応分の観測時間を確保する。アルマ以前から注力してきた波長帯での次世代望遠鏡であり、科学研究の発展だけでなく、国内における若手研究者の育成や我が国独自の干渉計基盤技術の醸造にも寄与する。

⑤ 学術的な意義

ngVLA の観測波長帯ではサブミリ波帯に比べて塵（固体微粒子）の放射効率が低下するため、原始惑星系円盤の高密度領域を光学的に見通した観測が可能となる。このような観測は惑星系形成の初期段階を探ることを可能とし、惑星の多様性の理解において極めて重要である。ngVLA と、円盤中部～外縁部を感度良く撮像可能なアルマ望遠鏡との連携は、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。また、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。ngVLA は原始星近傍においてこれらの分子輝線を光学的に見通すことが可能であり、太陽系内の惑星探査とも連携することで、生命誕生のための初期化学条件の探究が可能となる。さらに遠方銀河に対しては、一酸化炭素分子の基底状態を含む低励起状態間の遷移に伴う分子輝線が ngVLA によって初めて捉えられるようになり、その銀河に含まれる低温ガス（星形成の素材）の正確な定量が可能になる。この情報をジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡や次世代可視赤外線望遠鏡が捉える星形成活動等に由来する高温ガス成分の情報と合わせることで、宇宙における物質の大循環を個々の銀河の内部構造を分解しながら探究する。これらを総合し、我々人類のような生命が存在する条件が宇宙史の中でいか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。また、ngVLA はあらゆる波長帯を通じて最高レベルの解像度を達成する VLBI 機能を持つため、マルチメッセンジャー天文学時代における電波帯のキープレイヤーとして様々な望遠鏡と連携しながらタイムリーな観測を実行することで、高エネルギー天体現象の解明と、その現象が生じる極限環境での物理学の理解にも大きく貢献する。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

アルマ望遠鏡と ngVLA は天文学・宇宙物理学・宇宙化学・惑星科学等の研究推進で両輪となるものであり、ngVLA は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、すばる望遠鏡、ジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡、TMT 等の光赤外望遠鏡とともに惑星系の誕生・進化の一貫した描像を得る上で、ngVLA が与える惑星系の材料物質や形成初期段階の情報は必須である。この他、TMT や高エネルギー帯を含む多波長観測装置が発展する中で、ブラックホール等を対象としたマルチメッセンジャー天文学への寄与も果たす。

⑦ 社会的価値

地球型惑星の起源や生命の起源に深く関係する惑星系形成初期の化学組成等に関する ngVLA の成果は、私達の生命観や宇宙における地球の価値の理解に極めて大きなインパクトを与える。知的価値の創出だけでなく、将来的には経済的・産業的側面への波及効果も期待される。特に ngVLA のような次世代大型計画では、技術的に低リスクでコストを低減しながらも非常に高性能な観測装置を量産することが求められ、新たな発想を必要とする開発領域がある。アンテナ製造技術や高精度信号発生技術、また、ビッグデータ処理等で通信分野をはじめとする産業界への波及効果が期待でき、これらを通じて SDGs の達成にも貢献する。

⑧ 実施計画等について

米国では 2027 年頃に最終設計審査を予定している。我が国においては、計画を前進させて日本の観測時間を確保するためにも、2030 年代前半の建設フェーズに先立ち、設計・試作準備と試作機製造・試験の二段階を踏む。まず 2023-2027 年は、建設期における日本の主要貢献要素となるアンテナ（直径 18m と 6m のアンテナを複数台）や、マイクロ波フォトンクス技術、受信機等の設計および試作を進める。これらは ngVLA 建設期における日本の貢献の礎となるだけでなく、得られた技術はアルマ望遠鏡や日本 VLBI 観測網、大学プロジェクトといった既存・将来の電波干渉計にも適用可能で汎用性が高い。2028 年以降に国産プロトタイプアンテナを国内に建造し、システム搭載試験や性能実証を兼ねた試験科学観測を行なう。その後、2030 年代の本格的な望遠鏡建設へと進む。日本においては、自然科学研究機構国立天文台が実施機関である。国立天文台 ngVLA 検討グループは NRAO との協定に基づき実施内容に関する協議を進めており、国内の大学研究者とともに科学的・技術的検討を展開している。総経費は、日本分担分として、開発・建設の全体経費（2028～2040 年）と建設後の 10 年間の運用経費を合計し、12%～20%の貢献、すなわち 3.6 億～6.5 億米ドルで検討している。

⑨ 連絡先 泉 拓磨（国立天文台）