

次世代大型電波干渉計 ngVLA でもたらず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、それら物理構造の進化に伴う物質の化学的変遷の全体像を捉え、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、宇宙誕生後の数十億年から現在に至る物質の大循環の変遷を探究し、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もたらす。

② ビジョンの内容

138 億年の宇宙の歴史の中で、多様な物質世界が如何にして発現し、地球のような惑星の形成や惑星上の生命に至るのかを理解しようとすることは、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はずである。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だろう。一方、

より大きな空間スケールに目を向けると、宇宙誕生後間もない頃の銀河が近年次々と発見され、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、銀河の多様な内部構造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。宇宙大規模構造形成の過程の中で、個々の銀河の成長に関連した物理プロセスや質量獲得機構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。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、宇宙の中で生命の存在条件がどう整えられてきたかという問いに対し、ユニークかつ顕著な寄与をもたらす。

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ごく近傍の惑星系形成現場を探るのに最適な波長帯で稼働し、TMT が探索する系外惑星に対してその形成の起源を探るという決定的な役割を果たす。地球軌道スケールの惑星形成現場で時々刻々と円盤構造が変化する様を目撃すれば、研究者以外の世界観にも変革が起きるだろう。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道筋を研究対象とし、生命誕生の物質科学的な初期条件に関する一貫した情報を提供する。星形成領域では既に野辺山 45m 望遠鏡でアミノ酸前駆体の有力候補からの放射が捉えられた他、近年では海外の望遠鏡を用いたセンチ波帯観測によってさらに大型な分子が検出され、生命物質との関連が活発に議論されている。そしてアルマ望遠鏡は、その高い解像度と感度の組み合わせにより、惑星誕生の現場で有機分子を続々と検出している。ngVLA は、特に大型有機分子の検出に威力を発揮し、「星間空間でどこまで高度な生命の素材が用意され、惑星系の母胎へと供給されるのか」という問いを探る主力装置となり、我々が住む太陽系の起源の理解をも飛躍的に深化させる。一方、生命を育む惑星の誕生は、宇宙の進化史における一つの帰結とも捉えられる。ngVLA の波長帯は、銀河の成長メカニズムを知る鍵となる「冷たい分子ガス」の検出に加え、銀河進化に重要な役割を果たすとみられる超巨大ブラックホール周辺からの放射の検出にも最適である。以上を通じ、宇宙誕生後、数十億年から現在に至るまでの銀河の成長過程および物質の大循環の探究を可能にする。

すばる、アルマ望遠鏡、TMT に加え、センチ波の高感度・高解像度装置である ngVLA は、2040 年代に我が国にとって新たな手段となる。すばるで発見した天体を TMT、アルマ、ngVLA が波長横断的に調べて本性を明かしたり、アルマで発見した現象を TMT や ngVLA が解明したりする等、これら 4 台の望遠鏡は、幅広い空間・密度・温度・時間・化学組成等の軸上でそれぞれが独自の情報を提供する。この相乗効果は 21 世紀の天文学の発展を加速させ、人類の宇宙像を刷新する。

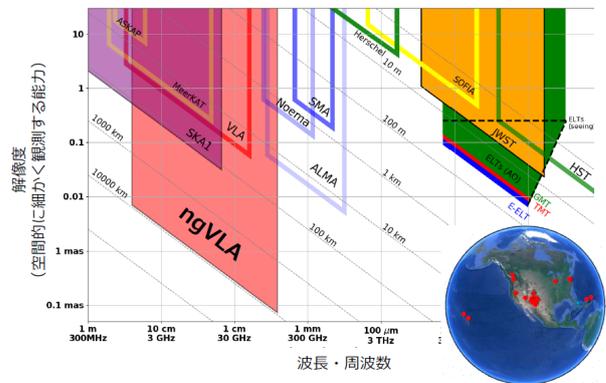


図1 稼働中・計画中の他の望遠鏡との解像度比較。縦軸が小さい（下方向に伸びる）ほど解像度が高い。

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 は、米国国立電波天文台 (NRAO) が計画を主導し、2040 年代に本格稼働を予定する大型共同利用施設である。北米大陸を中心とする約 9,000km の範囲に口径 18m と 6m のアンテナを合計 263 台設置し (図 1)、約 20cm から 3mm の波長帯において、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 (高輝度な非熱的放射では 100 倍以上) の解像度を実現する。我が国はアルマ望遠鏡の建設・運用で築いた NRAO との連携の実績を礎に他国が真似できない技術貢献を行う。アルマ以前から注力してきた波長帯での次世代装置であり、国内における若手研究者・技術者の人材育成や国際化にも寄与する。

⑤ 学術的な意義

ngVLA の稼働する波長帯では、サブミリ波帯と比べて塵 (固体微粒子) の不透明度が低下する。このため、初期の原始惑星系円盤内域 10 天文単位以内 (1 天体単位は太陽と地球の距離に相当) で、形成途上の岩石惑星が作る溝を捉え、さらに惑星の公転に伴う構造の時間変化にまで研究対象を拡張することができる。円盤外域まで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、ngVLA の波長帯には窒素を含む最も基本的な分子であるアンモニアの他、多様な大型有機分子からの輝線が存在する。様々な進化段階でこうした分子を捉え、太陽系の惑星探査とも連携させながら、生命誕生のための初期化学条件を探ることを可能とする。一方、遠方の銀河に対しては、一酸化炭素分子の低励起状態間の遷移に伴う輝線が初めて詳細に捕捉され、星の材料の正確な定量が可能になる。この情報を他波長で得られる星形成に伴う高温ガス成分の情報と合わせ、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。以上を総合し、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。さらに、超高解像度の撮像を様々な測定装置と連携して実行することで、マルチメッセンジャー天文学の一翼を担い、高密度天体現象の解明のみならず、極限環境での物理学の理解にも寄与する。

地球惑星科学等での様々な手法との連携が新たな進展を生む。隕石の分析やはやぶさ 2 等の太陽系探査による物質科学的情報を的確に理解する上で、ngVLA 等で得られる惑星系形成初期の大局的な物理・化学状態の情報も貴重である。また、ビッグデータからの情報抽出の観点で、情報科学や数理学の更なる発展を促す。

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・惑星科学等の分野の研究推進で両輪となり、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、紫外・可視・赤外望遠鏡とともに系外惑星の誕生・進化の一環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の情報は必須である。この他、多波長観測装置の発展が期待される中で、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、生命の起源と深く関係する惑星系形成初期の化学組成などに関する ngVLA の成果は、私達の生命観や宇宙における地球の価値の把握に大きなインパクトを与える。また、将来的には経済的・産業的価値の向上への寄与も期待される。アンテナ製作技術や高精度信号発生技術、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 の達成に資する。

⑧ 実施計画等について

米国では 2027 年頃にシステム最終設計審査が予定されている。我が国は、ngVLA 計画全体を前進させて日本の観測時間を確保するためにも、今後 10 年で設計・試作準備と試作機製造・試験の段階を踏む必要がある。アンテナ等の設計・試作は建設期における日本の貢献の基礎となり、また日本 VLBI 観測網など国内の既存計画の充実に適用できる。日本側の実施機関は自然科学研究機構国立天文台である。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の協議を行い、国内の幅広い大学の研究者が科学検討を実施している。NRAO 側の科学・技術検討にも日本の研究者が参画している。総経費は、日本分担分として、開発・建設の全体の経費 (2023~2040 年) と建設後の 10 年間の運用経費を合計し、6.5 億米ドル程度の見込みである。

⑨ 連絡先 深川 美里 (自然科学研究機構 国立天文台)