

国際電波望遠鏡計画 SKA 1 による現代天文学の開拓

① ビジョンの概要

現代天文学の重要課題は、宇宙の初期状態の解明、惑星の誕生過程の解明、そして生命始原物質の生成の解明である。大型電波干渉計建設計画 SKA 1 に参画することで、国際競争力ある世界最高の成果を得ながら、これらの課題の解決に挑む。電波天文学を中心に理論天文学、惑星・地球物理学を融合した新しい学問を開拓し、世界最大の学術情報基盤の開発およびデータ科学の推進を通じて社会イノベーションに貢献する。

② ビジョンの内容

現代の天文学は、インフレーションとビッグバンを宇宙の開闢とする一様等方な膨張宇宙の描像を築く一方で、惑星系や星間物質の多彩な姿を明らかにしてきた。この相反する特徴を左右する、宇宙に広く存在する磁場と天体の源となる中性水素ガスの様相、特に初期宇宙における状態の理解が十分に進んでいない。また近年、太陽系外惑星形成過程においては、ガス・ダストを成分とする原始惑星系円盤が多く発見されているが、そこから惑星が誕生していく過程が未解明である。さらに、地球外にて生命始原物質の発見がなされているが、その生成の系統的な理解が待たれる。以上の現代天文学の重要課題の解明に必須なセンチメートル・メートル波の世界最大の電波干渉計計画 SKA (Square Kilometre Array) によって、これらの課題の研究は飛躍的に進展する展望がある。日本は野辺山 45m 電波望遠鏡やミリ波電波干渉計による研究を経て、日米欧の国際共同プロジェクト ALMA へ参加し、世界初のスペース VLBI 計画 VSOP、世界最高の位置計測精度を達成した VERA など多くの実績をあげてきた。さらに独自のシミュレーションで成果をあげてきた理論天文学及び惑星科学・地球物理学を融合して SKA の大きな研究コミュニティが形成されており、日本が SKA の第 1 期(SKA 1)から計画に参画することは国際的にも望まれている。また、年間 710 ペタバイトという膨大な観測データから情報を抽出する従来とは質の異なる計算機システムの構築およびデータ科学の適用は、クラウドや人工知能などの先端技術の開発、応用として社会イノベーションに貢献する。

③ 学術研究構想の名称

国際電波望遠鏡計画 SKA 1 による現代天文学の開拓

④ 学術研究構想の概要

本構想が対象とする SKA 計画の第 1 期システム(SKA 1)は、従来の 10 倍近い感度および空間分解能を達成するセンチメートル・メートル波電波干渉計を南アフリカと豪州に建設し(図 1)、この波長でなければ達成できない科学目標に挑む。日本は科学面では「宇宙再電離」「宇宙磁場」「パルサー」を 3 大科学目標に定め、技術面では性能評価(AIV/CSV)やデータ解析のための地域センター(SRC)の開発で貢献をする。日本の研究者に観測機会を供し、世界最高水準の成果を上げながら、人材育成や人的交流による研究力強化を狙う。SKA 1 は情報技術等で社会波及効果が見込めるだけでなく、発展途上国の開発や国際交流の価値も高い。SKA 1 には世界 16 カ国が参加を予定し、建設費は約 2,210 億円、運用 40 年以上を想定しており、日本は連携国として参加し、2030 年までの所要経費は総額 72.7 億円と見込んでいる。国立天文台が国内の中核となり、大学・研究機関とも役割を分担し建設・運用に貢献する。



図 1 SKA 1 の想像図。左側が南アのアンテナ群で、右側が豪州のアンテナ群が合成され描かれている。

⑤ 学術的な意義

センチメートル・メートル波の観測は、宇宙電波の発見、中性水素輝線の発見、クェーサーや宇宙ジェット、星間レーザーの発見、パルサーの発見(1974 ノーベル物理学賞)、宇宙マイクロ波背景放射の発見(1978 ノーベル物理学賞)、パルサーからの重力波の間接証明(1993 ノーベル物理学賞)、様々な天体における磁場と高エネルギー粒子の発見、そして高速電波バースト(FRB)の発見など、天文学・宇宙物理学の発展に多大な貢献をしてきた。SKA 1 はそのセンチメートル・メートル波で 2020 年代唯一の次世代大型望遠鏡であり、宇宙再電離と呼ばれる未知で暗黒な時代の原初のブラックホールや銀河の誕生史の解明、その時代から今に至るま

での天体形成研究のボトルネックであった磁場の分布と形成進化の解明、パルサーの精密観測による人類初のナノヘルツ重力波の検出とその源である巨大ブラックホールの成長史の解明およびアインシュタイン重力理論の検証、中性水素量の探査範囲の大幅拡大による銀河の進化過程、原始惑星系円盤での惑星形成過程およびアミノ酸探査による生命誕生の謎の解明、マルチメッセンジャーや時間領域天文学発展、そして地球規模の VLBI に大きく貢献する。日本の天文学においては、すばる望遠鏡や ALMA、将来的には XRISM や TMT という望遠鏡に、従来なかったセンチメートル・メートル波電波望遠鏡での研究が加わることで、協調かつ相乗的に日本の国際的に優れた研究成果の創出に貢献できる。SKA 1 のような巨大な国際計画は、少子化の中で次の世代の若手研究者を呼び込み、そして育てる大きな求心力でもある。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

SKA の構想は 1990 年頃にボトムアップ的に生まれ、様々な検討を経て SKA 計画へと集約された。世界各国は SKA の先行機で科学的成果を得つつ、その装置の開発で技術実績を積み上げている。日本は特に SKA 先行機を用いた研究が進む「宇宙再電離」「宇宙磁場」「パルサー」を 3 大科学目標に定める。技術面は、国立天文台が経験と実績を持つ AIV/CSV など電波望遠鏡システム開発、VLBI システム開発、SRC 開発で貢献し、高周波受信機(Band6)の開発も検討している。参加が遅れる場合その機会を逸する可能性が高く、緊急性がある。

⑦ 社会的価値

宇宙最初の星の誕生過程やブラックホール、磁場や重力の法則、そして惑星や生命の探求は、国民に勇気と興奮をもたらす。世界 16 カ国が参加する計画で国際性のある研究者を育成し、国際交流に貢献する。当該の電波周波数は、広く通信インフラに使われており、情報通信技術とビッグデータの処理技術の開発と実用化の両面で経済的・産業的な価値が高い。また遠隔地に設置されるため、高耐久性・信頼性技術、自動化のための AI やロボットの技術、そして省エネルギー環境技術の応用も期待される。アフリカでは国際友好の下で社会インフラ整備に資することができ、国連 SDGs の複数の項目(4, 7, 9, 10, 17)への貢献ができる。

⑧ 実施計画等について

SKA 計画は政府間機構 SKA 天文台が 300 名近い職員を配置して運営し、意思決定は正式参加国の豪州、中国、イタリア、オランダ、ポルトガル、南アフリカ、スペイン、スイス、英国の 9 カ国で行われる。カナダ、フランス、ドイツ、インド、韓国、スウェーデンが正式参加国ないし条約に調印しない連携国として参加を目指している。電波天文学の経験と実績が高く評価される日本は参加が強く求められており、連携国としての参加で評議会の理解を得ている。最小のアンテナアレイ(AA0.5)の建設と試験を 2024 年頃に予定し、その後アレイは 3 段階に分けて統合・試験する。部分共用の開始が 2026 年、全 SKA 1 を使った条件付き供与が 2028 年、そして本格運用の開始が 2029 年を予定する。この間、開発プログラム(SODP)も実施され、SKA 1 の運用開始直後から、性能向上のための実装が始まる。日本は 2023 年度より国立天文台にサブプロジェクトを設置し、SKA 天文台との参加交渉、科学検討、AIV/CSV や SRC への貢献を進める。早期に大型予算を獲得して、30 名程度の体制の建設フェイズへと移行する。性能出し(AIV/CSV)に鹿児島、山口、茨城の各大学、受信機の開発に大阪公立大学や宇宙科学研究所、そして SRC の開発に名古屋、熊本の各大学が参画する予定である。2029 年度頃より運用フェイズへ移行し、観測装置の保守、ソフトの更新、SRC の運用と保守、ユーザー支援、そして国際運営を国内の大学研究機関とも共同して進める。SKA 1 計画の所要経費は 1987M€(2,874 億円)である。内訳は 2021 年から 2028 年までの建設費に 1524M€、2021 年から 2030 年までの運用経費に 705M€である。2031 年以降の定常運用経費は年間 123M€である。加えて、SRC の建設経費に 2021 年から 2030 年までに 250M€、その後の運用経費に年間 35.4M€である。SKA は国際共同利用天文台であり、費用貢献に対応する観測時間の配分をポリシーとしており、日本の研究コミュニティの大きさと科学計画から最低でも 2%の観測時間が必要である。そこで 2%の貢献に対応する日本の所要経費は 72.7 億円である。内訳は 2021 年から 2030 年までの SKA 1 建設経費に 57.5 億円、日本 SRC の開発経費に 7.2 億円、国内の科学運用経費に 8 億円である。2031 年以降の日本の運用経費は年間 5.8 億円である。内訳は SKA 1 運用経費に 3.8 億円、SRC 運用経費に 1.0 億円、国内科学運用経費に 1.0 億円である。

⑨ 連絡先

常田 佐久 (自然科学研究機構国立天文台)