

1 平方キロメートル電波望遠鏡（第1期）

① 計画の概要

SKA (Square Kilometre Array) は国際共同利用天文台の計画である。国際コミュニティの合意の下で、線状アンテナ(図1左) 約 13 万基からなるメートル波電波干渉計(SKA1-LOW)と反射鏡アンテナ(図1右など) 197 台からなるセンチメートル波電波干渉計(SKA1-MID)をオーストラリアと南アフリカにそれぞれ建設し、イギリスにある SKA 本部から遠隔操作にて一体的に運用される。本申請が対象とする第1期(SKA1)は、従来の10倍近い感度および空間分解能を達成する望遠鏡を、2020年度末から建設し、2028年頃から本格運用する。この波長の電波の観測は、これまでに数多くの天文学上の偉大な発見に貢献し、ノーベル賞を複数輩出してきた。SKA1では宇宙初期の天体形成の解明や重力理論の検証など、この波長でなければ達成できない科学目標に挑む。SKA計画は世界13カ国が資金を拠出し開発を分担しているが、電波天文学の経験と実績が高く評価される日本にも、参加協力が強く求められている。日本では2008年に有志の研究者が活動を開始した。研究者の所属機関の数は全国で40を超え、支持母体は500名規模、うち100名程度が実働できる体制にある。科学面では科学白書の出版や世界のSKA先行機を舞台とした国際協力が進み、技術面では建設の分担項目について国際協力の下で検討が進む。SKA1の建設費は総額1千億円以上、運用30年以上を想定する。日本は連携国として建設費に40億円程度、運用費に年4億円程度の貢献を想定する。国立天文台が国内の中核となって建設・運用に貢献する。大学・研究機関とも役割を分担し、人材育成や人的交流による研究力強化も狙う。そうして日本の研究者にSKA1を供し、世界最高水準の成果を上げる。SKAは情報技術や省エネルギー技術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・協力としての価値も高い計画である。建設開始が迫り緊急度も高い。



図1 西オーストラリアに設置予定のSKA1-LOWのプロトタイプ(左)と、南アフリカに設置予定のSKA1-MIDのプロトタイプ(右)。

② 学術的な意義

メートル波・センチ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)、そして近年は瞬発電波バースト(FRB)の発見など、天文学上の偉大な発見に数多く貢献している。またパルサーからの重力波の存在を間接的に示し(1993ノーベル物理学賞)、宇宙ジェット存在、磁場と高エネルギー粒子の存在、星間レーザーの存在など、宇宙物理学的にも価値のある観測事実をもたらしている。SKA1では、宇宙再電離と呼ばれる未知で暗黒な時代の後期に、原初のブラックホールや銀河がどのようにして誕生したかを、高赤方偏移した中性水素原子の吸収線の観測により明らかにする。パルサーの精密観測からは、人類初のナノヘルツ重力波の検出、その重力波源である巨大ブラックホールの成長史の解明、そして重力理論の検証がなされる。偏波の観測からは、様々な天体の磁場の分布を広域にそして3次元的に初めて測定できるようになり、天体形成研究のボトルネックであった磁場の謎が紐解かれる。輝線の観測では、系外銀河の中性水素量の探査範囲が赤方偏移0.1未満から1程度にまで大幅に拡大し、銀河のガス量の計測精度が大幅に改善される。原始惑星系周りではアミノ酸が探査され、検出できなくても、生命誕生の謎のひとつに重大な成果をもたらす。高い汎用性と多モード同時実行性から、マルチメッセンジャーや時間領域天文学でも力を発揮し、さらなる未知の発見につながる可能性がある。地球規模のVLBIにも大きく貢献する。SKAは2020年代に当該の波長帯で唯一の次世代大型望遠鏡である。ゆえに多波長国際望遠鏡網の他に代えがたい一翼を担う。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

当該の波長帯で世界唯一かつ最高性能の電波望遠鏡を建設する構想は、1990年頃にボトムアップ的に生まれ、様々な検討を経てSKA計画へと集合した。世界各国はSKAの先行機に参画し、準備研究で科学的成果を得つつ、その装置の技術開発を通じて実績を積み上げている。日本では、科学面は宇宙再電離と宇宙磁場が国際会議を招致するほど国際プレゼンスがあり、これらが牽引役になると期待される。技術面は、実績のある22GHz帯を網羅する高周波受信機(Band 5c)の開発・調達をすることで、SKA1の段階からVERA望遠鏡で実績のある水メーザーの観測、野辺山45m望遠鏡で実績のあるアンモニアの観測、そしてALMA望遠鏡で見えてきた高分子の観測を可能にする貢献を目指す。国内のVLBI研究者との科学的・技術的な関連性が深いため、国立天文台水沢VLBI観測所がSKAを将来計画の一つと位置づける。組立統合検証への人的貢献、ソフトウェアの開発およびVLBIシステムの開発などで貢献する見込みである。上記の技術的な戦略は欧州各国も狙うところであり、参加が遅れる場合その機会を逸する可能性が高い。建設開始も迫り緊急性がある。国立天文台は2019年4月に水沢VLBI観測所の下にSKA1検討グループを発足し、予算措置した上で参加のための検討を加速している。

④ 実施機関と実施体制

SKA 計画は SKA 機構が運営し、意思決定は SKA 理事会が行っている。英国、豪州、南アフリカ、オランダ、インド、イタリア、スウェーデン、ニュージーランド、カナダ、中国、スペイン、フランス、ドイツの 13 カ国が理事国である。SKA 機構はさらなる安定統治のために、欧州原子核研究機構(CERN)のような政府間機構 SKA 天文台(SKAO)に移行予定であり、まず英国、豪州、南アフリカから 7 カ国により 2019 年 3 月 12 日に SKA 条約が調印された。調印国はさらに増える予定。日本はドイツなどと SKA 条約には加わらない参加(連携国)を想定している。日本の参加意思およびその方法は SKA 理事会に都度説明し一定の理解が得られている。事実、連携国の枠組みは SKA 条約に明文化されている。SKA 本部(図 2)では 80 名程度の職員が科学・設計・運用計画などの部門に組織化されて働いており、彼らは SKA 天文台職員にそのまま移行する。建設期には SKA 本部に 150 名、各サイトにそれぞれ 50 名程度の職員を配する予定となっている。日本では国立天文台内に水沢 VLBI 観測所の職員を中心に SKA プロジェクトを組織し実施に責任を持つ予定。建設期には 30 名程度となり、国立天文台や大学・研究機関だけでなく SKA 天文台にも出向等により人員を配置しプレジンスを示す予定である。大学・研究機関とは建設への協力の合意を得るべく準備中である。これまでに実績があり関心を持つ機関として、受信機の開発に大阪府立大学や宇宙科学研究所、組立統合検証に鹿児島、山口、茨城の各大学、ソフトウェアの開発に鹿児島、山口、名古屋、熊本、九州の各大学が参画する可能性がある。これらの体制を取ることによって人的交流を促進し、競争力の強化と若手研究者の育成を目指す。



図 2 イギリス・マンチェスター郊外にある SKA 本部。

⑤ 所要経費

SKA1 の総建設費は 891M ユーロ程度である。内訳は、建設がほぼ終了した MeerKAT の費用 200M ユーロと、新設する SKA1 の建設費 691M ユーロである。新設分の主な内訳は、インフラ、LOW アンテナ群、MID アンテナ群、中央信号処理施設、科学データ処理施設にそれぞれ 150M ユーロ前後である。SKA1 の運用費は総建設費の約 10%にあたる 85M ユーロである。SKA2 への移行も含めて SKA 計画は 30 年以上の運用を想定する。SKA1 の建設・運用中に解体費用も参加者から積み立てる。日本は、SKA1 の建設費に上積みし、総建設費の 1-3%(約 11-33 億円)の貢献を想定する。さらにデータセンター(SRC)の費用に約 7 億円を見込んで、合計約 40 億円を建設費と見込む。運用費は建設費の 10%に相当する年間約 4 億円を想定する。その内訳は、SKA 天文台への参加費、保守費、人件費などである。SKA1 の運用終了時期は未定であり、SKA2 の建設費および運用費は SKA1 の実績を踏まえて検討中であるが、SKA1 の予算規模で 30 年間の参加を想定すると、日本の総経費は、SKA1 の建設費約 40 億円と 30 年間の SKA1 の運用費約 120 億円を合わせた、約 160 億円である。

⑥ 年次計画

SKA 計画は現在までに詳細設計審査の大半が終結し、残りも 2019 年度中に完了する見込みである。条約の批准と設計の承認を経て、SKA 1 の建設の開始は 2020 年度末を予定する。その後、LOW と MID それぞれのアレイは、4 段階に分けて統合・試験し、部分共用を開始するのが 2024 年頃、全 SKA1 を使った条件付き供与が 2027 年頃、そして本格的なサーベイ観測が 2028 年頃を予定する。SKA1 が終了するのは 2032 年以降となるが、それまでに SKA2 の建設が進み、SKA1 は SKA2 へと移行する予定。海外主導のこのような背景の下、日本は 2019 年度から 3 年間、国立天文台 SKA1 検討グループが国立天文台の運営費および競争的資金によって、SKA 機構との参加交渉、科学事例検討、概念設計を進める。2022 年度当初を目標に予算措置を伴い SKA1 建設に連携国として参加し、プロジェクトも 30 名程度の体制の建設フェイズへと移行する。建設フェイズでは大学研究機関とも役割を分担する予定。2028 年度頃より SKA1 の運用フェイズへと移行し、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、そして評議会出席などの国際運営、などを担う。コミュニティが参加を支持する限り、日本も SKA2 に参加する。プロジェクトも SKA1 から SKA2 へと人員等の資源の転換をなめらかに行って、SKA1 のプロジェクトを終了する。

⑦ 社会的価値

宇宙最初の星やブラックホールの観測、重力や磁場の物理法則の探求、そして宇宙生命への挑戦は、国民の高い注目を集めて理解も得られるだろう。新しい観測データが人類の知見を深め、建設から計画に関わることで装置開発の知的価値も得ることができる。世界 13 カ国が参加する国際的な大型計画に参加することは、世界で羽ばたく国際性のある若手研究者を育成し、国際交流・協力にも貢献する。当該の電波周波数は地上デジタル放送や携帯電話など広く通信インフラに使われており、情報通信技術と大容量データ処理技術の開発と実用化の両面で経済的・産業的な価値も高く、さらに超高速計算などのビッグデータの処理技術や省エネルギー環境技術の振興にまで波及する。遠隔地に設置されるため、高信頼性・高耐久性の技術や、人を介さないで済む AI 技術やロボット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。国連の持続可能な開発目標(SDGs)への貢献として「4. 質の高い教育」「7. 近代的エネルギーへのアクセス」「9. 産業と技術革新の基盤」「10. 人や国の不公平をなくす」「17. パートナシップ」が挙げられる。

⑧ 本計画に関する連絡先

杉山 直(名古屋大学大学院理学研究科)

図 1 出典: SKA 機構長の講演資料より 図 2 出典: SKA 機構のホームページより