

日本学術会議・学術の大型計画マスタープラン2020 宇宙電波懇談会推薦書

平成30年11月29日
宇宙電波懇談会

宇宙電波懇談会は、日本学術会議・学術の大型計画マスタープラン2020に、天文学・宇宙物理学の大型計画意志表明書(LOI)にある区分2の計画、LiteBIRD(受付番号23)とALMA2(受付番号24)を最も強く推薦し、区分1の計画の中からSKA1(受付番号04)、ngVLA(受付番号20)、LST(受付番号21)を強く推薦、ATT(受付番号31)を推薦する。

推薦における特記事項

宇宙電波懇談会では、2018年9月19日に行われた総会での合意に基づき、10月5日から10月18日にかけて宇宙電波懇談会員に対して、推薦したい新規計画についての調査を実施した。調査の対象は区分1の計画とし、すでに進行中である区分2の計画は議論の余地なく推薦することが必然であることから調査の対象に含めなかった。ただし、ALMA2はLOI新規提出であったため、特例として対象に含めた。また回答者が必要と考える他波長の計画を列挙することも許し、計画を優先順に並べる形で回答するよう求めた。調査の結果、本会会員の半数に近い137名から回答があった。

なお、意向調査はあくまで現時点での人気度を表すものであり、サイエンスの重要性・発展性を必ずしも反映しているものではないこと、そして計画の進展によって今後変動する可能性があることをご留意いただきたい。事実、意向調査においても、投票のような形の調査に違和感を感じたという意見があった。宇宙電波懇談会運営委員は、これまでのシンポジウム等を通しての議論、および、意向調査結果と添えられた多数の意見を真摯に汲み取り、票数だけではない多角的な議論を行って、最終的な推薦の可否を決定した。

LiteBIRDはこれまでも会員により支持され、計画はさらに着実に前進していることから、引き続き最も強く推薦する。ALMA2は他の追随を許さないほどの高い支持を得ていることが確認でき、これも最も強く推薦することとした。次に、会員の約8割の支持を得ていたSKA1、ngVLA、LSTの3計画を強く推薦の上、会員の約6割からの支持があったATTも推薦することとした。各計画推薦書記載のように、これらの計画は、日本の天文学の多様性を担保しつつも、物理学や化学、工学、将来的には生物学まで巻き込むサイエンスを開拓するうえで重要な基幹計画であることから、宇宙電波懇談会の総意として自信を持って推薦に至るものである。宇宙電波懇談会として重要と考えるサイエンスについては、個々の推薦書をご参照いただきたい。

なお、LSTおよびATTについては、各々で実施可能なサイエンスの質は若干異なるものの、我が国の科学技術予算の現状やコミュニティの人的資源、THzなど技術面の観点から、単一口径大型望遠鏡として合流する可能性についての指摘が懇談会内部であったことを付記する。さらに、国際協力・国際共同研究の推進の観点から、欧州天文台ESOが計画しているAtLAST^{※注}計画との合流についての指摘もあった。これらの場合、上に示した計画支持率は、現状よりずっと高くなる可能性がある。また、他波長計画として、TMT(受付番号9)やSPICA(受付番号18)に対し、1割弱の会員から上記電波計画と合わせての支持があったことも付記する。

※注 アタカマ大口径サブミリ波望遠鏡計画 (AtLAST)については下記ページを参照。

<http://atlast.pbworks.com/w/page/124067979/AtLAST%20Main%20Page>

文責: 宇宙電波懇談会運営委員一同

赤堀卓也、岡朋治、坂井南美(代表)、高桑繁久(副代表)、田村陽一、本間希樹

23. LiteBIRD — 熱いビッグバン以前の宇宙を探索する 宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星

LiteBIRD はインフレーション宇宙論を検証することを目的とした計画である。代表的なインフレーション宇宙理論では、インフレーションの結果として原始重力波が生み出されると予言する。その原始重力波は宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光度分布に、B モードと呼ばれるパターンを刻む。もしこのパターンを検出することができれば、インフレーションが起きた直接的な証拠を掴むことになる。LiteBIRD はこのパターンの検出を目指す。

本計画がもたらす前景放射の情報は、天の川銀河の星間塵や磁場の構造を調査するのに役立つことから、宇宙電波コミュニティにとっても関連性が高く、全天の掃天情報はレガシーとなることから、天文学上の意義が高いと評価する。一方で、本計画はインフレーションの背後にある量子重力理論の選別を可能にし、天文学のみならず、重力理論と量子論の統一という素粒子物理最大の目標に対して大きな意義をもつ。したがって、本計画は、我が国の電波天文学コミュニティに新しい風を吹き込み、これまでになかった研究のイノベーションや理論家とのシナジーを生み出すと期待される。

CMB 観測は地上でも行われているが、大気ゆらぎや全天観測の困難さにより宇宙観測が必須である。計画では衛星搭載極低温望遠鏡を開発するが、これは電波天文学にて成熟しつつあるミリ波検出器技術を最大限利用したタイムリーな提案である。この検出技術の開拓によって、地上観測装置にも波及効果が期待される。計画は、ISAS 宇宙理学委員会からの推薦を得て、ISAS プリプロジェクト候補チームとしてミッション定義段階に入った。JAXA や IPMU、KEK などの国内機関を中心に NASA や ESA などの国際機関も実施体制に加わり、開発と予算を分担しながら、計画の採択に向けて強固な国際連携体制を構築している。前回のマスタープラン策定時から着実に前進している点も高く評価される。当該の探査において、現状で 2020 年代に実現可能な世界で唯一の衛星計画である点も特筆に値する。

以上の点から、宇宙電波懇談会として、LiteBIRD 計画を継続して最も強く推薦する。

24. 大型電波望遠鏡「アルマ」の機能強化(アルマ 2)による国際共同利用研究の推進

ALMA は、南米チリのアタカマ砂漠に建設された、直径 12m のパラボラアンテナ 54 台、7m のアンテナ 12 台よりなるミリ波、サブミリ波望遠鏡システムである。低温の星間物質や高温プラズマ、さらにはミリ波サブミリ波の偏波を観測することにより、太陽系天体、惑星、星、銀河、銀河団から初代銀河に到るまで、その形成、進化過程の解明を目指している。初期運用を含め、過去 7 年に及ぶ観測の結果、惑星形成を示唆すると考えられる原始惑星系円盤中の溝状の構造、グリコールアルデヒドなど様々な星間分子の検出、重力レンズ効果を用いた超大質量ブラックホールの発見、高赤方偏移の「モンスター銀河」の爆発的星形成など、ここでは全てを書き尽くせない、多くの革新的な成果が生み出されている。

現状 ALMA の運用を続けるのみならず、性能向上のための機能強化を実施することで、ALMA は今後も天文学の先頭に立って革新的な成果を生み出し続けることができる。それにより、極限環境下における物理や化学現象など、天文学に留まらない大きな波及効果が期待される。この機能強化計画「ALMA2」は、国際共同のもと 2020 年代前半から段階的に 1. 長基線 (30-50km) 観測を実現するための装置 (解像度 2 倍以上)、2. 広帯域・高感度受信機 (感度 2 倍、帯域 2 倍以上)、3. 広帯域・高性能分光計、4. マルチビーム受信機 (視野 4 倍以上) の開発を行うものである。これにより地球型惑星も含めた惑星形成過程、宇宙誕生後数億年における超巨大ブラックホールや銀河の形成過程、アミノ酸など生命の起源に繋がる星間物質の生成や太陽系環境の起源、循環過程の解明を目指す。

ALMA2 は、国際的に高く評価・支持されている計画であるが、日本国内のコミュニティにおいても、非常に重要な装置として、広く、そして強く支持されている。先日、宇宙電波懇談会が行なったコミュニティの意向調査においては、電波天文学の他の大型将来計画と比べて ALMA は突出しており、95%以上の回答者からの強い支持があった。今後の日本の電波天文学において ALMA を継続、発展していくことが不可欠であるということがコミュニティの総意であると結論づけられる。また、ALMA は、電波天文学を専門とする研究者のみならず、理論天文学や光赤外線天文学、高エネルギー天文学などの他波長を専門としてきた研究者、さらには、素粒子物理や化学反応実験など他の分野からもユーザーを集めている。さらに ALMA は数多くのプレスリリースや一般向けの講演会などの広報活動も積極的に行なっており、日本の科学の裾野の開拓という意味でも非常に重要な役割を果たし続けている。

以上の点から、宇宙電波懇談会として、ALMA2 計画を最も強く推薦する。

04. Square Kilometre Array Phase 1 (SKA1)

SKA はメートル波・センチ波帯の巨大電波干渉計計画である。メートル波帯では赤方偏移した中性水素 21cm 線の観測から宇宙の再電離時期を解明することを主目的とする。この観測は、宇宙で最初の星やブラックホールがどのように形成されたかを理解するための重要なマイルストーンとなる。センチ波帯では多数のパルサーの観測から重力理論の検証をすることを主目的の一つとする。もし強い重力場におけるいくつかの仮説の検証が成功すれば、天文学のみならず広く基礎物理学に対して大きな意義をもつ。本計画はさらに、銀河進化、宇宙磁場、突発現象、宇宙生命など、多岐にわたる研究テーマにおいて、大感度と広視野を活かし、ブレイクスルーをもたらすものと予想されることから、天文学上の意義は極めて高いと評価される。センチ波・メートル波帯は ALMA では見ることができない宇宙を探るツールであり、研究の相補性や多様性の観点からも重要な計画といえる。

国内では、初期には理論家が中心の日本 SKA 協会が主導して科学検討を行ってきたが、最近 VLBI 懇談会からの支持も集め、より大きなコミュニティとなって科学的・技術的な検討が進められている。国内の VLBI 研究者グループが将来計画の一つとして SKA を位置づけ、関わるようになったことで、特に日本の技術面での貢献の可能性が高まっている。国立天文台内に水沢 VLBI 観測所主導で SKA の新プロジェクトの設立要求が行われており、体制強化と具体化が進むと期待する。宇宙電波懇談会が行なったコミュニティの意向調査においては、SKA1 を 1 位とする投票数が他の計画(ALMA2 を除く)と比べて圧倒的に多く、SKA1 を強く希求し、参加の際には主体となって取り組む研究者がいることも改めて確認された。

SKA は海外主導の計画であるが、SKA の先行機である MWA や ASKAP のプロジェクトに日本の SKA 関係者が正規メンバーとして精力的に加わり、国際連携体制の構築を進めている。また SKA 機構本部との意思疎通を密にし、国内の電波天文コミュニティとも対話しながら、高周波受信機や VLBI システムなどの開発や組立統合検証の人的貢献など、SKA1 からの分担案を固めつつある。これら前回のマスタープラン策定時から大幅に前進している点は高く評価される。SKA 計画は台数を限った SKA1 の予算が約束され、その詳細設計審査がまもなく終了し建設が始まる。現実的に 2020 年代に運用可能な世界で唯一の大型干渉計計画である点も特筆に値する。

以上の点から、宇宙電波懇談会として、SKA1 計画を強く推薦する。

20. 次世代大型ミリ波センチ波干渉計 ngVLA

ngVLA (next generation Very Large Array) は、アメリカ国立天文台が主導して進めている大型地上観測施設計画であり、18m アンテナ 214 台からなる。波長約 3mm から 20cm 帯において、現在稼働中の JVLA、および ALMA をも凌駕する感度を実現するとともに、少なくとも約 30 倍以上長い基線長を実現することで、地球型惑星の形成現場から、宇宙誕生初期に形成された遠方銀河まで、幅広い階層の天体からの熱的、非熱的放射の高解像度分光撮像観測を可能とする装置である。ALMA と相補的で非常にシナジーが高いことから、国際的にも期待されており、アメリカ側(50%以上を負担)としても東アジアや欧州など幅広いコミュニティと研究機関の参加による実現を目指している。(2025 年建設開始)

ngVLA の対象としている波長帯は、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み、また、原始惑星系円盤での惑星形成のきっかけであるダスト成長を捉えるのに最適である。そのような波長帯において ALMA の 10 倍の感度と解像度を実現することにより、牡牛座分子雲など多くの惑星系形成領域を含む天体で、地球型軌道まで分解した観測を行うことができる。地球型惑星の形成過程を理解するという社会的にも関心の高いテーマについて、現在続々と得られている ALMA での成果を、さらに大きく発展させるものと位置付けられる。センチ波帯においても、SKA1 と相補的な波長をカバーしつつ、パルサーを使った重力理論の検証や、重力波源や高速電波バーストの対応天体追求観測など、幅広い分野において貢献することが期待される。さらに、赤方偏移が 10 を超える分子ガス探査により、宇宙開闢後数億年の銀河形成に迫ることが可能である。その意味で、同時代を近・中間赤外線観測から探る JWST とも高い親和性が期待される。これらのサイエンスは、ALMA での成果を飛躍的に発展させるものであるが、ALMA のみでは難しいことから、コミュニティからの期待は非常に高い。実際、宇宙電波懇談会が行なったコミュニティの意向調査においても、ALMA と合わせて必要な装置であるとの支持が非常に高かった(ALMA に次いで 2 位とした投票数が突出して多かった)。

また、すでに稼働中の JVLA を基盤として用いる計画であること、ALMA での多基線長システム開発の経験があることなどから、技術的な実現可能性が高いことも評価される。特に、アメリカ国立天文台と国立天文台は ALMA において既に密な連携経験をしていることから、日本の参画が実現した際には、実際の運用におけるインフラなど様々な面での安定したユーザーサポートが期待されることも大きな利点である。そのような背景もあり、比較的最近になって持ち上がった計画参加構想であるにもかかわらず、研究者からの支持が非常に高い。今後の日本の天文学が世界トップレベルを保ち、我々生命の起源とも繋がる宇宙における物質進化の理解や素粒子物理へと本格的に研究展開していくためには、ALMA と並んで必須の基幹大型装置といえる。

以上の点から、宇宙電波懇談会として、ngVLA 計画を強く推薦する。

21. 大型サブミリ波望遠鏡 LST

LST 計画は、波長 0.3mm から 4mm に渡って広視野かつ高感度の分光撮像宇宙観測を実現する、我が国が主導する口径 50m 級の地上単一開口望遠鏡計画である。サブミリ波は、星や惑星の母体であるガスや塵からの放射が卓越する。このユニークな特長を活かし、ビッグバン後わずか数億年から現在に至る広大な宇宙空間にひしめく塵に隠された銀河・銀河団の「3 次元地図」を作成し、銀河や超大質量ブラックホールの形成と進化、宇宙星形成史の解明に挑む。また、ガンマ線バーストや重力波源等の突発現象に対するサブミリ波対応天体の探査を実現する。LST 計画は、国立天文台野辺山 45m 望遠鏡 (ミリ波) や同天文台 ASTE 10m 望遠鏡 (サブミリ波) の後継機の役割も持ち、銀河系内の星間物質・星形成領域、星間化学、近傍銀河の研究はもとより、超長基線干渉計の観測局として、天の川銀河中心の大質量ブラックホール・活動銀河核等の研究においてもユニークかつ多様な貢献が期待される。高空間分解能観測を実現する ALMA はもとより、TMT や SPICA などの他波長観測装置との親和性・相補性も高く、多波長天文学に大きな貢献が可能である。

LST 計画は、50m 級の高精度アンテナや波面補償技術、ALMA の 60 倍の分光帯域と 1000 倍の探査面積を実現する直接光子検出器からなる分光撮像装置や、高分散分光および位相検出が可能な受信機の大規模アレイなど、革新的な技術を新たに開拓し応用する。これによりサブミリ波・広視野・広帯域というこれまでにない観測が可能となり、新たな宇宙像の獲得を目指す。計画推進母体は、上記の技術開発やメキシコ LMT 50m 鏡 (ミリ波) での装置試験・運用経験を蓄積するとともに、LST 計画のコンセプトを世界に発信してきた。その結果、欧州南天文台のアタカマ大口径サブミリ波望遠鏡計画 AtLAST との国際協力の可能性を切り開き、東アジア地域との協力関係構築へも着手している。サブミリ波望遠鏡の検討を世界的にも主導し、実現に向け既に具体的な活動を実施している点は特筆すべきである。

我が国の宇宙電波コミュニティは、野辺山 45m 鏡や ALMA の建設を通じて、一から計画を積み上げる開拓者精神とそれを支える観測技術を半世紀以上に渡って大切に育んできた。現在活躍する研究者も、その中で育成されてきたといえる。LST 計画は、上述のようにサブミリ波天文学の多様性を担保する重要な計画である。一方で、そのみならず、我が国が主導するという点においても、本計画がこの開拓者精神と技術を継承する人材育成基盤のひとつとなり得る点において評価される。

以上の点から、宇宙電波懇談会として、LST 計画を強く推薦する。

31. 南極テラヘルツ望遠鏡(ATT)計画

南極テラヘルツ望遠鏡計画（以下 ATT 計画）は、口径 10m（および将来的には口径 30m）のテラヘルツ帯超広視野単一鏡を南極高原地帯に設置して、サブミリ波からテラヘルツ帯の広域掃天観測を実現することにより、宇宙における銀河および活動銀河中心核の形成史を解明することを主目的とする。星間塵からの熱的放射が卓越するこの波長帯においては、星間塵を大量に持つ銀河の検出率が可視域に比べて数倍から 10 倍にも達することが知られている。こうした塵に隠された暗黒銀河を高赤方偏移において探査するためには、当該波長帯の観測は本質的に重要である。加えて、大きく赤方偏移した活動銀河中心核ダスト・トーラスからの熱放射の検出、超高域磁場観測に基づく星・惑星系形成の研究なども可能になる。さらには、高赤方偏移した水素分子スペクトル線の観測に基づいた初代星・初代銀河の直接検出についてもその可能性について議論が進められている。

建設候補地である南極大陸内陸部は、標高 3000m から 4000m、気温 -20°C から -80°C の極寒の地であるため、大気中の水蒸気量が極めて少なく、サブミリ波から赤外線の大気透過率が非常に高い。大気も安定しているため風も弱く、晴天率は約 9 割、可視域のシーイングは 0.2 秒角に達する。この圧倒的なサイトの優良品性は特筆に値する。一方で、極寒の極限環境において望遠鏡を安定運用するためには様々な対策を講じる必要がある。既に低消費電力の受信機開発が完了しており、耐寒用アンテナ部材の検討、放射冷却による鏡面の霜対策、雪吹き溜り対策、雪面設置に伴う不同沈下対策などが考案・実証済みである。建設時のフランス・イタリアの協力も了解済みであり、デンマークの大型砕氷貨物船による海上輸送およびベルギー基地経由の内陸輸送も検討済みである。これらの準備状況の進展は高く評価される。

本計画は、日本国内にある複数の大学・研究機関から成る「南極天文コンソーシアム」によって主導されており、世界的に構想されている「国際南極天文台」との連携を推進している。これによって将来的には、ミリ波から可視域の単一鏡および干渉計、並びに南極周回気球望遠鏡を用いたサブミリ波 VLBI などの超高感度観測を国際協力の下で推進できる可能性がある。この「国際南極天文台」を見越して、国立極地研究所とも新ドームふじ基地の検討を開始している。南極での天文学の推進は、それ自体が一つの大きな挑戦であり、天文学者のみならず一般の方の強い関心と支持を得ている点は特筆に値する。また、このような特殊環境における大学主導の計画であるにもかかわらず、宇宙電波懇談会が行った意向調査において、半数を超える会員から根強い支持があったこともここに付記する。

以上の点から、宇宙電波懇談会として、ATT 計画を推薦する。