

大型サブミリ波望遠鏡

① 計画の概要

ミリ波サブミリ波帯において、広い視野・広い波長域を一挙に観測可能な大口径（50m）単一鏡を南米チリに建設し、アルマとは相補的に新しいディスカバリー・スペースを開拓する。特に、超伝導検出器の劇的な技術的進展を活用し、数 100GHz 幅を一挙に中程度の分散度で分光しつつ撮像もできる超広帯域分光撮像装置を開発してミリ波サブミリ波帯輝線銀河の広域 3 次元探索を行い、また既存のミリ波サブミリ波撮像装置と比較して 4 桁以上探索能力が高い広域撮像カメラでミリ波サブミリ波帯での時間領域天文学を本格的に開拓する。これにより、2 階電離酸素 [OIII] 88 ミクロン輝線や逆行衝撃波をプローブとしたガンマ線バーストなど赤方偏移が 15 という時代に至る宇宙最初期の星生成銀河候補を探索・発見するユニークな手段を実現する。また発見時に位置不定性の大きい高速電波バーストや重力波源のミリ波サブミリ波即時追求観測、長期間分光観測モニターによる太陽系惑星の長期的気候環境変動の研究など、新たな切り口により、天文学・天体物理学・惑星科学の発展に寄与する。LST 計画は、そもそも日本発の構想であるが、その後、同様のコンセプトの望遠鏡である AtLAST 計画が欧州主導で計画されるなど、次世代大口径サブミリ波望遠鏡を求める世界的な潮流へと発展してきた。それらに呼応して、AtLAST 計画との融合により、一つの計画として国際共同のもと実現する道を追求する。我が国は野辺山宇宙電波観測所やアルマ計画の実現を通して培ってきた超伝導デバイス技術や高精度大型アンテナ技術を活かした形で参画し、望遠鏡構造や焦点面観測装置など計画の根幹をなす部分において、ミリ波補償光学や超伝導オンチップ型分光計など独創性の高い新手法による貢献を行う。アルマはもちろん TMT や SPICA 等との戦略的連携を実現するため、2030 年代初頭の観測開始を目指す。

② 学術的な意義

近年アルマを使って 2 階電離した酸素イオンからの [OIII] 輝線（波長 88 ミクロン）の観測を行うことにより、最遠方銀河の分光赤方偏移記録が塗り替えられているが、こうした成果はハッブル宇宙望遠鏡 HST による超高感度な多色撮像とライマンブレック法に基づく高赤方偏移（ $z = 7-10$ ）の銀河候補の発見に立脚している。アルマを使った最新の研究によれば、赤方偏移 $z = 15$ （宇宙開闢後わずか 3 億年弱）の時代に、すでに最初の活発な星生成を行う銀河が誕生していたと推定される。こうした、赤方偏移 15 の時代における「最初期の星生成銀河」を検出し調査することが、2020 年代に向けた研究のフロンティアとなる。赤方偏移 15 の銀河候補を発見するためには、波長が 2 ミクロンよりも長い中間赤外線での超高感度な広域撮像探索（1 平方度以上）が有効であるが、HST では中間赤外線の観測はできず、今後打ち上げ予定の宇宙望遠鏡 JWST では 1 平方度以上もの広域探索は難しい。こうした中、ミリ波サブミリ波帯での広域かつ高感度な分光探索は、希少な最初期の星生成銀河を見出す有力な手段であることが理論的に予測されつつある。LST 計画は、数平方度以上もの広域を網羅的に長時間分光観測して、[OIII] 88 ミクロン輝線で輝く赤方偏移 15 の銀河候補を直接発見できる。視野の広い LST 計画で銀河候補を大量に発見し、それらを感度と撮像能力に優れたアルマで詳しく観測することにより、誕生直後の銀河が示す物理パラメーターを統計的に明らかにするという大きなブレークスルーが期待される。この他、発見時に位置不定性の大きい高速電波バーストや重力波源のミリ波サブミリ波即時追求観測、長期間分光観測モニターによる太陽系惑星の突発的あるいは長期的気候環境変動の研究など、新たな切り口の開拓により、天文学・天体物理学・惑星科学の格段の発展に寄与する。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

サブミリ波帯における広域撮像観測は、ハーシェル宇宙望遠鏡（口径 3.5m）の他、10-15m 級の地上望遠鏡を使って行われてきたが、角分解能が低いことに起因する感度限界のため、アルマ時代の広域探索施設としての役割は徐々に終えつつあり、格段に高い集光力と広域天体探索能力を備えた大口径サブミリ波望遠鏡を求める機運が世界的に高まっている。欧州では欧州南天天文台 ESO が中心となり、LST 計画とはほぼ同じコンセプトの AtLAST 計画の検討が進められている。実現可能性を向上させるため、両者を統合する方向で合意に達しており、今後、さらに科学目標の検討を深化させつつ、望遠鏡および焦点面観測装置群の仕様をより具体化させ、予算化のための準備を国際協調により進めていく予定である。中国では、紫金山天文台が中心となり、口径 60m のサブミリ波望遠鏡の構想が立案されつつある。南米チリに設置される LST+AtLAST 統合計画と、チベットへの設置が有力な紫金山天文台 60m 計画の両者が実現すれば、南天および北天ともにサブミリ波での広域探索施設が揃い、重力波天体などの即時追求観測に貢献することが期待される。

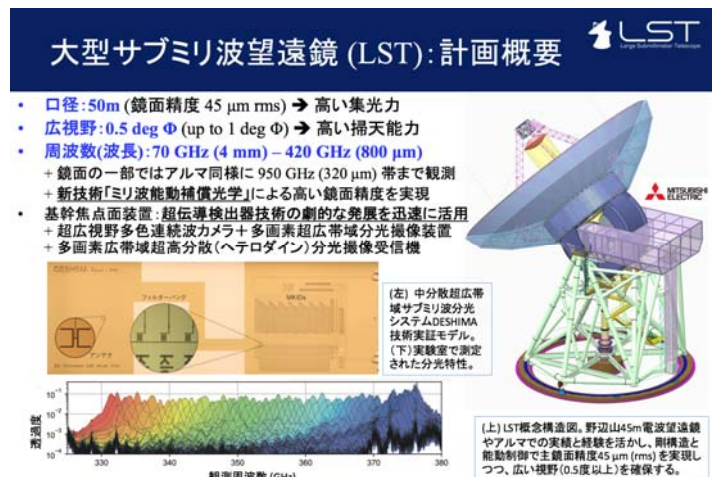


図 1 大型サブミリ波望遠鏡 LST

④ 実施機関と実施体制

実施機関・実施体制は現在検討中である。国内実施機関の候補としてはアルマの運用を担う国立天文台がまず挙げられるが、国際協力の枠組みがどのようなものになるか、その形態に応じて、適切な実施機関・体制の構築を進める必要がある。本計画のような大口径サブミリ波単一望遠鏡は、アルマの長期的な開発計画を記述した文書 (ALMA2030) の中で、アルマとの科学的親和性・相補性が高いことが言及されており、アルマ計画の長期的な開発計画の中に位置付けて実現する可能性は残っている (ただし、現状においては、大口径サブミリ波単一望遠鏡はアルマプロジェクトの範囲外であると明記されている)。当面は、国立天文台内において、新規の萌芽的プロジェクト候補としての提案を行い、こうした枠組みのもとで国立天文台において実施する可能性の検討や合意形成を進める。このほか、東京大学や名古屋大学などの大学が主導する体制の可能性も検討している。国際的には、欧州南天天文台 ESO ほか欧州各国が参加を希望している他、東アジア各国との協力の可能性、特に紫金山天文台 (中国) や ASIAA (台湾)、KASI (韓国) との連携の可能性についても協議を行なっている。LST 計画の基幹観測装置のうち、超広帯域分光撮像装置については、国内機関 (名古屋大学・東京大学・埼玉大学・国立天文台) およびオランダの研究機関 (デルフト工科大学・オランダ宇宙研究所 SRON) による DESHIMA/MOSAIC コンソーシアムによる技術開発および技術実証観測の推進を行なっている。高分散分光装置については、上記の研究機関のほか、電気通信大学・慶應大学も参加し、メキシコで科学運用を行う LMT 50m 望遠鏡へのヘテロダイン受信機開発・搭載・科学運用を通じた活動を進めている。

⑤ 所要経費

LST 計画は欧州が主導する AtLAST 計画と統合して国際共同での建設・運用になることが見込まれ、所要経費についてもその枠組みの確定とあわせて今後さらに検討を進める必要があるが、現時点において日本側での技術検討に基づく建設費総額は約 300 億円である。その内訳は、大口径高精度サブミリ波アンテナ約 150 億円、超広帯域分光撮像装置約 50 億円、多色超広視野撮像カメラ約 60 億円、高分散ヘテロダイン受信機システム約 20 億円、付帯設備約 20 億円である。また運営費としては年間約 15 億円を想定している。アルマ設置場所に本望遠鏡を設置することにより、既存の付帯設備等を可能な限り活用して効果的に施設整備および運用を行うことが期待できる。日本からは、建設費および運営費に対して、アルマにおける日本分担分と同水準の約 20%、すなわち建設費 60 億円、年間運営費 3 億円規模の分担を目指す。運用期間としてはまず 10 年 (学術的価値の評価を経て、さらに機能の追加や 10 年以上の運用延長を目指す) を想定するため、総経費は計画全体で 450 億円、日本分担分としては合計 90 億円である。

⑥ 年次計画

2031 年に初期科学運用開始を実現するため、2025 年に建設開始を目指す。それを踏まえた年次計画は次の通りである。2019 - 2021 年：サイエンス検討の深化およびそれに基づく望遠鏡と観測装置仕様の最適化検討。特に、視野・望遠鏡口径・最適化周波数範囲の検討を行う。また、高精度大口径アンテナ実現にあたり鍵となるミリ波補償光学の技術実証試験を、国内望遠鏡 (国立天文台野辺山 45m 鏡や宇宙科学研究所 GREAT54m アンテナ) を活用しつつ進める。こうした準備活動と平行して、欧州およびアジア各国との協議を進め、国際的な実施体制の構築に向けた合意形成をさらに進める。国内においては、国立天文台における新規プロジェクトの立ち上げを行う。2022 - 2024 年：R&D フェーズ。特に (1) 機械系・電気系・制御系を含む望遠鏡の詳細設計、(2) 第 1 期焦点面観測装置の開発、(3) 地盤調査を含めた現地調査とそれに基づく望遠鏡設置場所の決定、(4) 参加パートナーの国際分担案の作成、(5) 建設体制案の作成。これらと平行して、要素技術となる超伝導検出器技術やミリ波補償光学の技術実証を進める。2025 - 2031 年：建設フェーズ。望遠鏡の主要構造部品の製造と輸送、第 1 期観測装置の製造・実験室評価および輸送。2029 年には現地での組み上げ・検証 (AIV) を進めると共に、運用プラン策定、データアーカイブセンターの整備を進める。2030 年には科学的試験・検証 (CSV) を進め、また第 1 期観測提案公募を行う。科学運用期間は少なくとも 10 年、目標としては 20 年間とする。若手研究者が AIV・CSV 活動への積極に参加することを促し、また公開されたデータをもとにした解析講習会なども実施することで、人材育成に取り組む。

⑦ 社会的価値

本計画の広大な宇宙探索によりもたらさせる宇宙最初期の銀河形成などの新たな知見は、我が国における科学や技術への関心を高めることに資する。特に、惑星の材料となる重元素や固体微粒子 (ダスト) が、138 億年にも及ぶ宇宙の歴史の中で、いつ、どのように誕生したのか、を明らかにすることは、地球や生命の起源という人類の根源的な問いへの重要な貢献であり、その知的価値は高い。また、本計画は、アルマの驚異的な撮像能力を最大限に活用して詳しく観測・研究すべき重要なターゲットを発見・供給し、国民に新たな宇宙像を提供し続けるために重要な価値を持つ。本計画は欧州や東アジア各国などの国際協力により実現されるものであり、こうした国際的なプロジェクトにおける日本人科学者・技術者の活躍などを通して、国民に活力を与えることができる。同時に、我が国の産業が持つ高い技術力を世界に発信し、新たな経済的・産業的価値の創出にもつながることが期待される。

⑧ 本計画に関する連絡先

奥村 幸子 (日本女子大学理学部数物科学科)

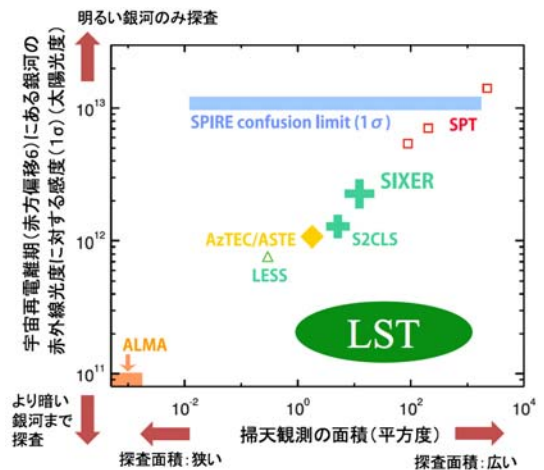


図2 大型サブミリ波望遠鏡 LST による高感度かつ広域での遠方銀河探索