

大型サブミリ波望遠鏡 LST 計画の実現に基づくサブミリ波帯多次元掃天天文学の創出

① ビジョンの概要

アルマ・JWST・TMT をはじめとする大型天文観測施設が稼働する時代に、サブミリ波帯において、それらと相補的で新しいディスカバリー・スペースを切り拓く多次元掃天観測（空間・宇宙論的奥行き・時間軸・偏光）を国際機関と連携して推進する。天体形成・構造形成分野および関連諸分野の格段の発展・振興を目指す。超伝導検出器等の開発は工学・数理科学など分野連携で行われ、量子コンピューターへの応用など幅広い波及効果が期待される。

② ビジョンの内容 星・惑星や銀河、そしてその大集団である銀河団とそのネットワーク（大規模構造）に至る、幅広い階層の天体がいかに形成され進化してきたか、その過程を解明し、その普遍性と多様性の起源を理解することは、現代天文学における最大の課題の一つである。本ビジョンは、アルマやその拡張計画、また JWST など数々の超大型天文観測施設が稼働する時代に、サブミリ波帯において、それらと相補的で新しいディスカバリー・スペースを切り拓く多次元掃天観測（空間・宇宙論的奥行き・時間軸・偏光）を推進する。これにより、天体形成・構造形成など天文学・天体物理学はもちろん、宇宙論や太陽系科学など関連諸分野の格段の発展・振興を目指し、グランドビジョン 18 に貢献する。

③ 学術研究構想の名称

大型サブミリ波望遠鏡 LST 計画の実現に基づくサブミリ波帯多次元掃天天文学の創出

④ 学術研究構想の概要

ミリ波サブミリ波帯は、豊富な分子・原子スペクトル線、ダスト（固体微粒子）からの熱放射、またプラズマを捉えるスニヤエフ・ゼルドビッチ効果など、星間物質を観測的に捉えるユニークな波長帯である。アルマは、この波長帯において、かつてない高い感度・高い解像力・高い撮像能力を有し、惑星系形成の現場から宇宙初期に存在する形成途上の銀河まで、多様な天体の形成過程を観測し、多くの成果を挙げ続けている。その一方で、アルマは広大な宇宙の中で未知の天体を探し出す探索能力は限定的である。こうした背景のもと、本学術研究構想は、ミリ波サブミリ波帯において、天体探索能力を飛躍的に高め、アルマと相補的なディスカバリー・スペースを切り拓くことがその柱である（図 1）。高精度・大口径・広視野のミリ波サブミリ波帯望遠鏡を実現すると共に、一挙に広い天域を観測できる超広域撮像能力（アルマと比較して 1 万倍以上）、また一挙に幅広い周波数範囲を分光できる超広帯域分光能力（アルマと比較して 10 倍以上）を実現する焦点面観測装置の開発を行う。これにより多次元的掃天観測をサブミリ波帯において初めて実現する。

⑤ 学術的な意義

ミリ波サブミリ波帯は、10K の分子ガスから 1 万 K の電離ガス、1 億 K のコロナルガスまで、多様な星間物質が特徴的な放射をする「汽水域」である。本学術研究構想は、ミリ波サブミリ波帯において、天体探索能力を飛躍的に高め、アルマと相補的なディスカバリー・スペースを切り拓く。

アルマを使った酸素イオン輝線の観測、そして宇宙赤外線望遠鏡 JWST の登場により、宇宙開闢後わずか 3 億年弱（赤方偏移が約 15~17）の時代に、星生成銀河がすでに存在していたことが明らかになってきた。ついに赤方偏移が 20 を超える銀河候補が報告される一方、こうした赤方偏移では、静止系可視光の主要なスペクトル線が全て JWST の近赤外線分光装置 NIRSpec の観測可能波長を超えてしまう。このため、酸素イオン輝線 [OIII] 88 μm をはじめとするミリ波サブミリ波帯での広域かつ高感度な分光撮像探査の重要性はますます高まっている。こうした未開拓の赤方偏移における形成中銀河の網羅的探査とその生成進化過程の解明が今後の天文学の最重要課題の一つになっている。LST 計画は、酸素イオン輝線やガンマ線バースト逆行衝撃波をプローブとしたユニークな手段により、JWST 宇宙望遠鏡などとは異なる切り口で、このフロンティアに切り込むという意義がある。[CII] 158 μm 輝線や [OIII] 88 μm 輝線を使った、初期宇宙における多数の銀河の個別検出はもちろん、近年では、輝線強度マッピングという手法により、大規模構造や宇宙論に関する新たな知

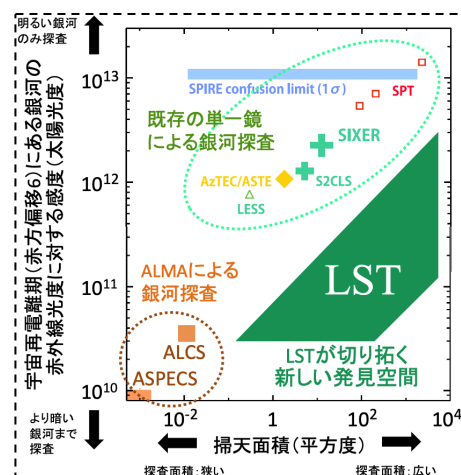


図 1 LST 計画が切り拓く発見空間の例

見を得ることへの理論的な期待も高まっている。

この波長帯に特有のスニヤエフ・ゼルドビッチ (SZ) 効果は、宇宙の構造形成に伴うガス加熱・冷却過程のユニークな研究手段、特に高赤方偏移宇宙に強い手段である。本構想により精密観測が実現されれば、熱的 SZ 効果に加え、超高温成分による相対論的なスペクトルの歪みの検出、さらに微弱な力学的 SZ 効果の本格的な観測も可能となる。構造形成や銀河団の進化の研究のブレークスルーになるばかりでなく、銀河団を用いた観測的宇宙論へのインパクトも期待される。

この他、アルマと宇宙からの偏波観測をつなぐ空間スケールでの星間磁場構造とその星形成での役割の全貌解明、星生成初期段階の物理的および化学的多様性と普遍性の研究、宇宙再電離期のキューサー前駆体探査や中間質量ブラックホール候補の探索、高頻度サブミリ波 VLBI 観測に基づくブラックホール科学への貢献、超新星残骸に付随する分子雲の広域観測に基づく宇宙線研究、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・宇宙論・惑星科学の幅広い発展に寄与する。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

サブミリ波帯広域撮像観測は、ハーシェル宇宙望遠鏡や 10-15m 級の地上望遠鏡が担ってきたが、角分解能が低いことに起因する感度限界を打破し、アルマ時代の広域探査施設として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。欧州で検討が進められている AtLAST 計画と統合し、予算化のための準備を国際協調により進めていく。LST としてはサブミリ波望遠鏡 ASTE10m 鏡を、AtLAST は APEX12m 鏡を pathfinder と位置付け、準備研究・技術開発を加速する計画である。

⑦ 社会的価値

超広視野カメラや多画素分光撮像装置の開発は、量子コンピューターに必須な超低消費電力冷却増幅器等の要素技術開発との相乗効果が期待され、我が国のイニシアチブ向上に貢献できる。

超低損失・超広帯域光学素子や平面回路素子技術、低コスト高利得アンテナの実現は、Beyond 5G/6G の推進にも資する。本計画で必要なビッグデータ画像解析技術は、社会の老朽化インフラの非破壊診断・予測等への貢献も期待される。本計画は過酷な乾燥・高地という環境下で、自立かつ安定した再生可能エネルギーの供給、持続・再生可能な電力マネジメントの実現も目指す。工学分野との連携のもと、電力源を太陽光発電と蓄電で賄う構想が国際共同で検討されており、我が国は、高い耐久性の太陽電池、世界的シェアの大きい蓄電池、自動車産業と共に重点的開発が進む燃料電池等の強みがある。極限環境での実績は産業界への波及効果、SDGs 政策の観点から重要である。

⑧ 実施計画等について

2030 年代後半までに初期科学運用開始を実現するため、2030 年半ばでの建設開始を目指す。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。現在策定が進められている国立天文台サイエンスロードマップおよび実施計画への掲載を目指しつつ、アルマの将来計画の一部として実施する可能性の検討やコミュニティとしての合意形成を進める。LST 計画は欧州が主導する AtLAST 計画と統合することで合意しており、現在、AtLAST2 プログラムの下で、国際共同での建設・運用を想定したモデルの検討を進めている。2028 年半ばまでに日本の貢献・参加形態案の具体化が進む予定である。日本からはアルマにおける日本分担分と同水準の約 20%の分担を目指す。日本側の技術検討に基づく総経費は計画全体で 450 億円、日本分担分としては合計 90 億円であるが、AtLAST2 との検討により大きく改訂される可能性がある。

⑨ 連絡先 新永 浩子（鹿児島大学）、河野 孝太郎（東京大学）



図2 LST 計画の位置付けと波及効果