

## 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

## ① ビジョンの概要

宇宙マイクロ波背景放射の発見により、ビッグバン宇宙理論が確立されたことは、20世紀の特に大きな科学成果の一つであった。しかし、この発見は、「宇宙ゼロ時」とは何か、という、より深遠な謎を生んだ。膨張宇宙を過去に遡って「宇宙ゼロ時」に至ると、宇宙は一点に収縮し、特異点になるのだろうか、それを自然法則として記述できるだろうか、21世紀の宇宙観測により、これらの問いに答えることが「ビジョン」である。

## ② ビジョンの内容

宇宙誕生の瞬間とは、宇宙・時空をつかさどる究極の物理法則とは、これらは「我々はどこから来たのか。」という人類にとって根源的な問いを自然科学の視点で表現したものであり、その解明は科学のグランドチャレンジの一つである。

通常、「火の玉」状態のビッグバンが宇宙のはじまりと説明されるが、研究の最先端は、いまやそれ以前の宇宙を科学の目で捉えようとしている。熱いビッグバン以前を記述する最も有力な仮説が、佐藤勝彦等が提唱したインフレーション宇宙仮説である。宇宙は「火の玉」になる前に急激に加速膨張したとするこの理論は、宇宙の一樣性、平坦性、構造形成など、ビッグバン理論のみでは説明がつかない諸問題を見事に解決する。一方、インフレーションの直接の証拠となる量子ゆらぎに起因した重力波（原始重力波）は未だ検出されていない。原始重力波の発見なくしてインフレーション仮説の証明は完結しない。原始重力波を検出すれば、インフレーションの証明になるとともに、時空の量子化についての決定的な証拠となり得る。科学史上最大の発見になるとまで言われているのは、そのためである。

インフレーション宇宙仮説というパラダイムのもとで、様々な物理モデル（以下、インフレーションモデルと総称）が提案されている。原始重力波の強度パラメータ  $r$ （テンソル・スカラー比）の予言値はインフレーションモデルにより異なるため、 $r$  の測定により、正しいモデルを探り当てることが可能となる。これにより、従来は不可能とされた超弦理論などの究極理論候補の検証すら可能になる。代表的インフレーションモデルの多くは  $r \geq 0.01$  を予言している。さらに、より一般的な  $r$  の下限値  $r \geq 0.002$  が存在する。そこで、原始重力波の観測により、 $r$  の全誤差  $\delta r$  について、 $\delta r < 0.001$  となる精度が達成できれば、代表的なインフレーションモデルを全て検証することが可能となる。

現在、原始重力波の観測を可能にする唯一の手段が宇宙マイクロ波背景放射（Cosmic Microwave Background; CMB）の偏光 B モード観測である。宇宙の晴れ上がり（誕生後およそ 38 万年）や宇宙再電離（誕生後およそ 5 億年）の時期に原始重力波が宇宙を満たしていると、「宇宙最古の光」である CMB の直線偏光パターンに、渦状のパターンである B モードが刻印されることが知られている。この CMB 偏光 B モードを発見できれば、原始重力波の動かぬ証拠となり、様々なインフレーションモデルの検証が可能になる。このような研究により、宇宙の誕生の瞬間の謎に迫るのが「ビジョン」である。

## ③ 学術研究構想の名称

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

## ④ 学術研究構想の概要

LiteBIRD 計画は、インフレーション宇宙理論が予言する原始重力波を世界に先駆けて観測し、代表的インフレーション宇宙理論を検証することを目的とする。原始重力波は宇宙マイクロ波背景放射（Cosmic Microwave Background; CMB）の偏光度分布に渦状のパターン（原始 B モード）を刻印する。これを検出するのが最も感度の高い原始重力波発見法である。原始 B モードは、大角度スケールの相関を持ち、その検出には全天をカバーする観測が必須である。また、高感度観測には大気の揺らぎの影響を排除する必要がある。そこで、原始 B モード発見のために、本計画では 3 台の小型望遠鏡、極低温冷却系、多色高密度超伝導検出器を搭載した LiteBIRD 衛星を開発し、銀河系からの前景放射を分離するため、34—448 GHz という広帯域を 15 バンドに分けて観測する。太陽-地球系の第 2 ラグランジュ点 (L2) で CMB の偏光度を全天にわたり 3 年間精密に観測することで、原始 B モードの検出を目指す。

## ⑤ 学術的な意義

インフレーション宇宙仮説は、ビッグバン以前の宇宙を記述する最有力仮説であり、この検証は、現代宇宙論の最大の課題である。インフレーション仮説が予言する原始重力波の痕跡をとらえることが、仮説の最も直接的な検証であり、発見に成功すれば科学史上最大の成果の一つとなる。

熱いビッグバンからわずか38万年後の宇宙を観測できるだけでも驚嘆すべき事であるが、LiteBIRDは、宇宙史を遙かにさかのぼり、ビッグバン（熱い火の玉宇宙）以前の信号の検出を目指す。これは国民に大きな夢と知的興奮を与える文化事業であり、社会的意義も高い。

LiteBIRD衛星が搭載する超高感度極低温検出器アレイの開発は、学術分野にとどまらず、健康診断、国防、災害時の使用など、幅広い利用が検討されている。また、望遠鏡の冷却に用いられるジュール・トムソン冷凍機は、液体ヘリウム温度が必要とされる研究や工業用途に大きく貢献できる。

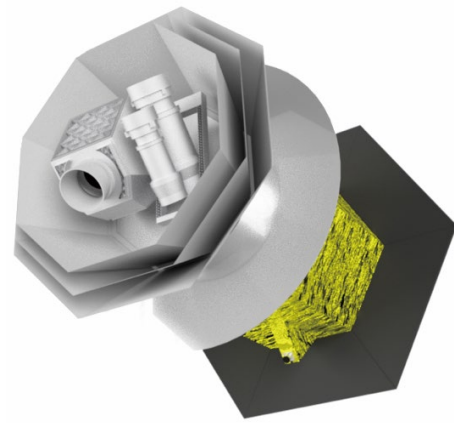


図1 LiteBIRD衛星のイメージ図

## ⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

約15年前まで我が国には本格的なCMB偏光観測プロジェクトが存在しなかったが、KEKのグループは現在CMB偏光の地上観測で世界最高レベルの観測結果を出すまでに成長した。米国を中心とした海外では、気球実験、地上観測プロジェクトSimons Observatory、さらにその後継となる第4世代CMB偏光観測実験として、更に大規模な計画(CMB-S4)が検討されている。しかし、大気の影響による限界や全天観測の困難さのため、究極の全天にわたる観測にはCMB偏光に特化した人工衛星が必須となる。現在、今後10年以内の実現を目指している衛星計画はLiteBIRDのみであり、その実現に世界のCMB研究者の期待が寄せられている。

## ⑦ 社会的価値

熱いビッグバンからわずか38万年後の宇宙をCMBによって見るだけで、すでに驚嘆すべき事であり、関連して二度のノーベル物理学賞が授与されている。LiteBIRDは、それらの業績を超えて、CMBの偏光観測によりビッグバン（熱い火の玉宇宙）以前の信号を検出することを目指す。これは国民に大きな夢と知的興奮を与える文化事業である。原始重力波の存在を確認すれば「科学史上最大の発見」になると言われており、人類にとってその知的価値は計り知れない。より近い将来においては、LiteBIRDが開発する極低温冷凍機技術は、地球観測衛星などの他の宇宙開発でも利用可能なだけでなく、微量分析などの産業応用も期待され、我が国の産業の国際競争力の確保という観点からも重要である。以上の理由から、科学技術立国を目指す日本の重要なプロジェクトとして、広く国民の理解を得る事ができる。

## ⑧ 実施計画等について

実施計画・スケジュール 科学衛星の標準的な開発手法を踏襲し、以下のように段階的に開発を進めていく。  
(1) ミッション定義段階：2022年度まで。(2) プロジェクト準備段階：概ね2023-24年度。(3) プロジェクト実行段階：概ね2025-28年度が開発・打ち上げ期に対応し、2029年度以降が運用期に対応する。

実施機関と実施体制 中心となる実施機関はJAXAで、国内外の機関と協力して実施する体制を構築している。

計画の合意状況：LiteBIRD計画の実施機関はJAXAであり、戦略的中型ミッション2号機としてLiteBIRD衛星の開発を行う。JAXAと上記の協力機関の間では、概念検討のための協力協定がすでに結ばれている。今後、計画の進展に応じて、適切な時期に協力協定をMoUに格上げしていく予定である。

総経費 概ね320億円（宇宙航空研究開発機構および高エネルギー加速器研究機構負担分の合計額）

## ⑨ 連絡先

羽澄 昌史（高エネルギー加速器研究機構）