

宇宙の起源と根本法則を探る

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？ 21 世紀の宇宙観測により、これらの問いに答えるとともに関連する科学成果を出すことが「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、宇宙の一様性、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できる。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。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。

CMB 光子は 138 億年かけて我々に届く過程でも、物質との相互作用により様々な影響を受ける。具体的には、宇宙の再電離、宇宙複屈折効果、重力レンズ効果、スニヤエフ・ゼルドビッチ効果などがある。これらの信号を用いれば、宇宙の進化に関する、より広範な天文学的情報を得ることができる。全天にわたる高精度直線偏光マップは、人類がまだ手にしたことがないデータであり、膨大な科学的価値を有し、あらゆる波長帯における偏光観測に革命をもたらす可能性を秘めている。

全天の多波長マイクロ波偏光マップが得られれば、原始重力波の観測を通じて代表的なインフレーションモデルを検証するとともに、宇宙論・素粒子物理学・宇宙物理学においてこれまでにない新しい知見をもたらすことができる。これが本構想のビジョンの内容である。

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マイクロ波背景放射偏光観測宇宙望遠鏡

④ 学術研究構想の概要

LiteBIRD 計画は、全天の多波長マイクロ波偏光マップを作成し、原始重力波の観測を通じて代表的なインフレーションモデルを検証するとともに、宇宙論・素粒子物理学・宇宙物理学においてこれまでにない新しい知見をもたらすことを目的とする。原始重力波は 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、その全貌を明らかにする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影響を排除する必要がある。そこで本計画では、広視野マイクロ波望遠鏡、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(図 1)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 12 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、これまでにない感度と精度を持つ全天多波長偏光マップを作成する。これにより原始 B モードを検出するとともに、宇宙論・素粒子物理学・宇宙物理学において新しい知見をもたらすことを目指す。

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、成功すれば科学史上最大の成果の一つとなる。発見にとどまらず B モードパワースペクトルの形の精密測定が出来れば、正しいインフレーションモデルを選別し、インフレーションを証明できる。一方、インフレーションの予想と異なる B モードパワースペクトルなど、予期せぬ発見があれば、人類に新しい宇宙観をもたらす可能性が高い。

欧米では、2030 年代に実現可能な衛星計画はなく、LiteBIRD 計画が原始重力波の検出を 2030 年代に行う可能性のある世界で唯一の衛星計画であり、我が国が世界をリードできる格好の機会である。

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、健康診断や防災への活用など、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。

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 偏光観測を進めるグループは存在しなかったが、今では複数の大学が CMB 偏光の地上観測プロジェクトに参画している。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（日本も大きく貢献）などが進められている。ただし、2030 年代の観測開始を計画していた地上望遠鏡 CMB-S4 は中止となった。地上からの観測は活発である一方で、大気の影響による限界や全天観測の困難さのため、究極の観測には CMB 偏光に特化した人工衛星による広帯域全天観測が必要で、その科学的価値は高い。我が国では、CMB 研究者に加えて電波天文の研究者、科学衛星開発経験が豊かな X 線天文研究者が参加して、衛星計画として推進可能な体制が整えられてきた。現在、2030 年代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 万年後の宇宙が CMB によって見られるだけでも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。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に則り、以下のように段階的に開発を進めていく。(1) プロジェクト準備段階：概ね 2026 年度から 3 年間。(2) プロジェクト実行段階その 1：概ね打ち上げまでの 8 年間に対応する。段階(1)の成果をもとに観測装置を完成させる。並行して開発を進める衛星バスシステムと統合し、衛星を完成させ H3 ロケットにより打ち上げる。(3) プロジェクト実行段階その 2：打ち上げ後から定常観測終了までの 3 年半に対応し、太陽-地球系の第 2 ラグランジュ点周りで 3 年間の全天サーベイ観測を進める。得られたデータは、その後アーカイブに整備し公開する。

＜実施機関と実施体制＞ 中心となる実施機関は宇宙航空研究開発機構（JAXA）で、東大カブリ IPMU、岡山大学等の国内機関、欧州およびカナダの海外機関と協力して実施する体制を整えつつある。

＜総経費＞ 概ね 550 億円程度（宇宙航空研究開発機構、東京大学等、日本負担分の合計額）

⑨ 連絡先

松村 知岳（東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構）

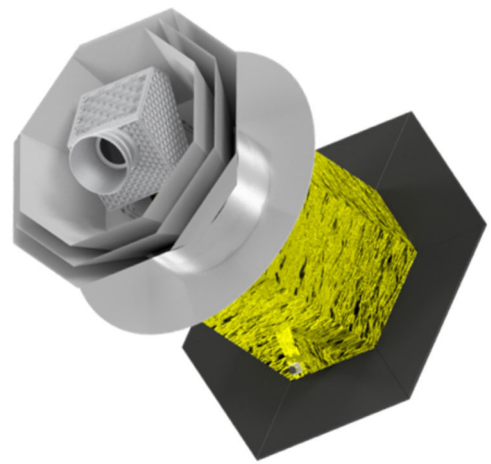


図 1 LiteBIRD 衛星のイメージ図