

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 計画の概要

LiteBIRD 計画の主目的は、原始重力波を観測し、代表的インフレーション宇宙理論を検証することである。インフレーション宇宙理論はビッグバン以前を記述する最も有力な仮説であり、それは原始重力波の存在を予言する。原始重力波は宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) の偏光度分布に渦状のパターン(原始 B モード)を刻印する。その検出こそが最も感度の高い原始重力波発見法である。

本計画では宇宙論、素粒子論、天文学にわたる大きな成果が期待され、それらは人類の世界像そのものを変革する可能性がある。2020 年代に実現可能な世界で唯一の CMB 衛星計画であるため、日米欧加の研究者が集結して推進している。

LiteBIRD は JAXA 宇宙科学研究所が戦略的中型科学衛星 2 号機に選定した計画で 2027 年度の打ち上げを目指している。戦略的中型科学衛星は、内閣府宇宙開発戦略本部による宇宙基本計画工程表において推進するものと位置付けられた事業であり、実施機関は JAXA である。マスタープラン 2017 以後に、JAXA 宇宙科学研究所が主導し、東京大学カブリ数物連携宇宙研究機構(カブリ IPMU)、高エネルギー加速器研究機構(KEK)素粒子原子核研究所と協力して LiteBIRD の概念検討が実施され、観測装置のデザインと運営体制が格段に明確となった。本計画は我が国の主導のもと、米欧加との国際協力により観測装置開発とデータ解析を実施する。衛星には極低温に冷却した望遠鏡に広い視野・周波数を同時に観測できる超伝導検出器アレイを搭載する。太陽と地球のラグランジュ点(L2)から CMB の偏光度を全天にわたり 3 年間精密に観測し、原始 B モードの検出を目指す。

LiteBIRD 計画は、科学史上に残る大発見をなす可能性をもち、国民に大きな夢と知的興奮を与える文化事業である。

② 学術的な意義

LiteBIRD 計画は代表的インフレーションモデルの検証を目的とし、宇宙論、素粒子論、天文学にわたる大きな成果が期待され、人類の世界像そのものを変革する可能性を持つ。2020 年代に実現可能な世界で唯一の CMB 衛星計画であり、その学術意義は世界の研究者の間で共有されている。

1) 宇宙論: インフレーション宇宙理論が予言する原始重力波の痕跡を捉えれば、最も直接的な検証となり、科学史上最大の発見の一つとなると言われている。特に、インフレーションがいつ起こったのかという宇宙史の大問題の答えが得られる。原始 B モードの性質が予想と異なるなどの予期せぬ発見があれば、宇宙に始まりがあるというパラダイムそのものが変更を迫られる可能性すらある。原始 B モードが検出されない場合は、最も有望とされる R 二乗モデルを含む代表的モデルが棄却され、インフレーション宇宙理論の見直しも含む宇宙論の再検討が必要となる。

2) 素粒子論: インフレーションの背後にある様々な量子重力理論の候補は、原始重力波の強度の異なる予言値を与える。原始重力波の検出は、これらの選別を可能とする現在唯一の手段であり、重力理論と量子論の統一という物理学の夢をかなえるために不可欠である。特に、量子重力理論の最有力候補である超弦理論に基づいて原始 B モードの強度を予想する研究がマスタープラン 2017 以降に進展し、本計画はそれらの検証に決定的な役割を果たすため、原始 B モード検出の有無に関わらず量子重力理論の実験的検証という新分野を切り拓く。これ以外にも、本計画における宇宙の光学的厚みの測定は、他の観測との組合せによりニュートリノ質量和の精密測定に貢献する。

3) 天文学: 銀河磁場の構造及び起源、星間ダスト組成成分及び整列機構、宇宙再電離史の詳細決定と再電離機構などの探求にユニークな情報を与える。

③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

約 10 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、今や 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、究極の観測には CMB 偏光に特化した人工衛星が必須となる。衛星計画に関して、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。一方、米国や欧州では計画が提案されたがやはり採択されず、現在、2020 年代に実現可能な衛星計画は LiteBIRD のみであり、その実現に世界の CMB 研究者が参加・協力している。

④ 実施機関と実施体制

実施機関は以下の通りで、合意に向けた調整が進行中である。

- ・ JAXA : プロジェクト管理、衛星ミッション部 (特に望遠鏡、冷却系) と衛星バス部の設計・製作・試験、打ち上げ、運用
 - ・ Kavli IPMU : データ解析パイプラインの構築、低周波望遠鏡用偏光変調器の開発
 - ・ KEK : 地上観測での技術実証、ミッション部の地上検証、ミッション部開発への参加
 - ・ 岡山大 : 系統誤差の推定、観測装置部品の光学性能試験および放射線耐性試験
 - ・ ESA、CNES、ASI、UKSA、DRL : ミッション部 (特に高周波望遠鏡、冷却系) 設計・開発・試験への参加
 - ・ NASA、カルフォルニア大、コロラド大・マギル大・米国国立標準技術研究所 : 焦点面検出器の開発
- 計画の合意状況 : 衛星計画の実施機関は JAXA であり、戦略的中型ミッション 2 号機として概念検討が進められている。

備考：日本の科学衛星計画は、JAXA/ISAS が提案募集を行い、宇宙理（工）学委員会 がピア・レビューにより評価・初期選定する。ISAS は国際科学審査と計画移行審査を行い、概念検討を実施し、その結果、プロジェクト化するかどうかを JAXA が経営判断する。従って、衛星計画の実施機関は JAXA であり、観測装置は、大学共同利用や国際協力の枠組みによって開発される。LiteBIRD の場合、特に観測装置を設計・開発・製作する体制が非常に重要である。概念検討後の概念設計段階に、その実施体制を構築する。

⑤ 所要経費

本計画は国際協力に基づく。日本側経費は主に JAXA の戦略的中型計画予算として計上され、海外は、各々の当該国の宇宙機関等に予算申請される。下記国内経費内訳は、打ち上げ後定常観測終了までをカバーする。

国内経費内訳

ミッション部（観測装置）開発費：約 90 億円

衛星システム開発費：約 128 億円

ロケット：約 72 億円（H3 ロケットを想定）

打ち上げ・運用等：約 10 億円

合計約 300 億円

海外経費内訳

米国：約 75M ドル

ヨーロッパ：約 60M ユーロ

カナダ：約 20M カナダドル

備考：

- 1) JAXA 戦略的中型計画の総予算は概ね 300 億円である。
- 2) 衛星搭載用観測装置の開発に必要な地上設備や人件費は、「ミッション部（観測装置）開発費」に含まれる。
- 3) 打ち上げ後取得したデータの解析には、競争的資金を活用する可能性がある。

⑥ 年次計画

2019-20 年度：集中的なフロントローディング開発を行う。ミッション系の新規開発機器を中心に設計・試作を進め、リスク要因の低減を行う。JAXA 経営審査を経てプロジェクト準備チームとなる。

2021 年度：システム要求審査を経て、衛星システム担当メーカーの選定を行う。低周波望遠鏡のデモンストレーションモデル試験、ミッション系熱構造モデルの製造を進める。

2022 年度：システム定義審査を経て、JAXA 経営審査を受けプロジェクトチームとなる。基本設計を行う。低周波望遠鏡のデモンストレーションモデル、ミッション系熱構造モデルの極低温試験を行う。

2023 年度：基本設計審査を経て、詳細設計を行う。ミッション系のエンジニアリングモデルの製作を行う。

2024-26 年度：詳細設計審査を経て、バス系プロトフライトモデルの製作・組み立て・試験、ミッション系フライトモデルの組み立て・極低温試験、両者を組み合わせた衛星システム試験を実施する。

2027 年度：開発完了試験を経て打ち上げ、初期運用、観測機器調整、性能確認を行い、本格的観測を開始する。

2028-30 年度：L2 地点において観測機器の較正を行い、定常観測を行う。

2031-34 年度：JAXA の延長審査で認められれば、JAXA 経費により延長観測を行う。較正を完了しデータの正当性のチェックを進めていく。原始重力波の探索に関する最終結果を発表する。データの公開を行い、広く天文・宇宙・素粒子研究への応用に供する。LiteBIRD 計画を終了する。

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」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。そのような知的価値を日本主導で供給できれば、我が国が海外諸国から一目置かれ、国民に大きな自信と誇りをもたらす。さらに、物理学の新しい根本原理の発見があれば、それは必ず将来の技術・産業の礎となり、日本国民への計り知れない価値を持つギフトとなる。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 本計画に関する連絡先

羽澄 昌史（高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所）

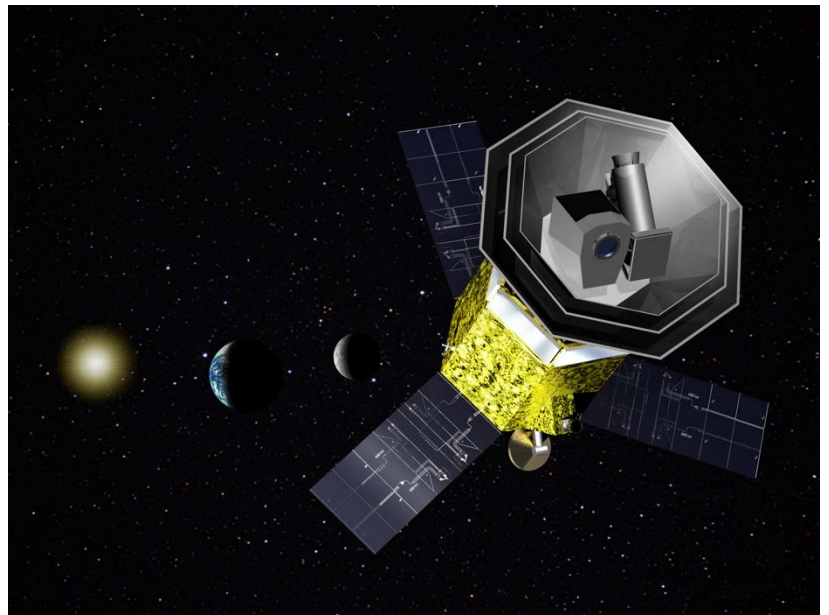


図 1：LiteBIRD（ライトバード）衛星概念図