

チリ・アタカマ高地からのCMB観測 - Simons Observatory および次世代望遠鏡群

① ビジョンの概要

「宇宙のはじまりとは。」という人類究極の問いに、宇宙・素粒子物理学と工学・情報・数理分野等の先進技術を融合して挑む。宇宙背景放射 (CMB) 望遠鏡“群”のアップグレードを行い、宇宙の果てまでを見通す観測を行う。その過程で培った技術は、量子工学や通信技術等の発展にも資する。さらには、「宇宙誕生のイメージを見る」という衝撃によって、科学を越えた人類共通の新たな価値観の形成も期待できる。

② ビジョンの内容

「宇宙のはじまりとは。」という人類究極の問いに、宇宙・素粒子物理学と工学・情報・数理分野等の先進技術を融合して挑む。ビッグバン以前の宇宙を記述し、これらの重要課題を解決する宇宙モデルがインフレーション理論であり、すべての観測結果を自然に説明する。さらに、時空の量子ゆらぎに起因する宇宙最初の重力波「原始重力波」の存在を新たに予言するが、これはまだ未発見である。本提案は、原始重力波が宇宙最古の光「宇宙マイクロ波背景放射(CMB)」に刻印する超微弱な偏光成分を検出する事によって、宇宙創成を解明する実験研究を行う。

宇宙の果てからやってくる微弱な光をとらえるための戦略は、大気の影響の少ない高地に、高感度な超伝導センサーを多数焦点面に配置した望遠鏡を設置し、長期間の安定観測を行う事であるが、本提案ではこの“宇宙の果てを見渡せる”望遠鏡をチリ・アタカマ高地に複数台建設し、CMB望遠鏡“群”によるCMB偏光の超精密観測を推進する。具体的には、今後20年間で超伝導センサーの数を約100倍に増強し、原始重力波の発見が強く期待できる感度での観測を実現する。この技術は素粒子ニュートリノが宇宙の進化の過程でCMBに刻んだ信号をも検出可能にする。特に、その質量和を測定する最良のプローブである。また、未知の軽い素粒子(暗黒放射)の精密探索や暗黒エネルギーの性質解明につながる研究が可能となる。この様に宇宙を実験場とした素粒子物理学の研究も行っていく。

本提案の根幹をなす多数の超伝導検出器を用いた観測を実現するには、超伝導デバイスの多素子化、広帯域な高周波エレクトロニクス・大型の低温冷却技術にはじまり、観測したビッグデータに対する工学・情報・数理分野等との共創が不可欠である。これらの技術はさまざまな実験への転用(例えば、量子コンピューターの高ビット化・並列化)が期待されており、産業・通信分野も含む分野間での相乗効果も期待できる。応用例として、気象観測機の高度化によるゲリラ豪雨や竜巻等の早期予測による被害の最小化などが挙げられる。

以上、究極の宇宙論、究極の高エネルギー物理、究極の場の理論の研究を、宇宙を実験場として展開していく。技術の進展によりまさに今、現実的に研究が出来る時代を迎えつつある。本提案はこの機をとらえ、国際的な潮流の中で当該分野をリードするための戦略に基づいている。また、単純に「宇宙誕生のイメージを見る」という衝撃は、科学を超えた人類共通の新たな価値観の形成と学術への興味の向上が期待できる。

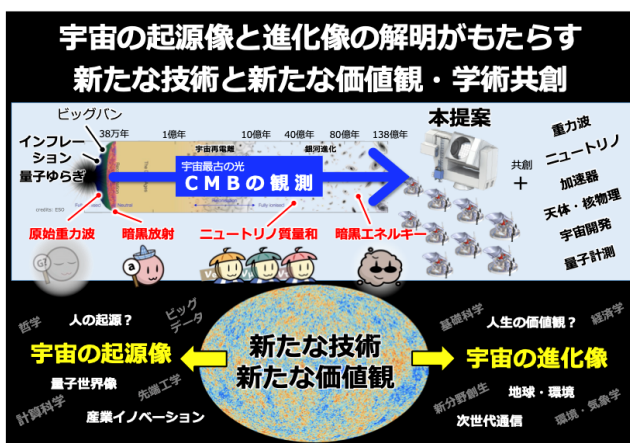


図1 本学術研究構想が描く新価値と学術共創のビジョン

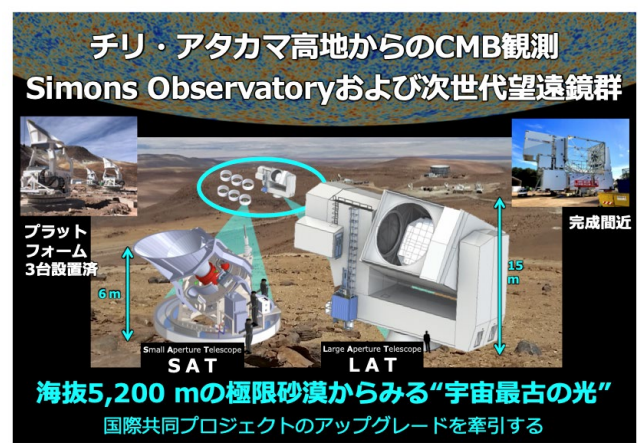


図2 本学術構想の概要イメージ

③ 学術研究構想の名称

チリ・アタカマ高地からの CMB 観測 - Simons Observatory および次世代望遠鏡群

④ 学術研究構想の概要

宇宙マイクロ波背景放射 (CMB) 偏光の精密観測により、宇宙を実験場とした物理学の研究から宇宙と物質の創成を探る。量子宇宙を源とする「原始重力波」の検出により宇宙創成のシナリオを明らかにし、重力レンズ効果等の精密測定によってニュートリノの質量和・暗黒放射の有無の精密検証・暗黒エネルギーにつながる宇宙進化の測定を行う。多数の超伝導検出器を搭載した CMB 望遠鏡“群” (複数台の望遠鏡) をチリ・アタカマ高地 (海拔 5,200m) に建設し、CMB の超精密観測を行う。これを国際共同プロジェクト Simons Observatory とそのアップグレード、さらに次世代プロジェクト CMB-S4 によって実現する。

⑤ 学術的な意義

原始重力波の検出は、インフレーション理論のみならず量子宇宙の検証である。究極の宇宙論、究極の高エネルギー物理、究極の場の理論の研究を同時に成し遂げる実験成果となる。ニュートリノは質量を有するにも関わらず銀河に局在しない唯一の素粒子である。その質量和の測定は、標準模型を超えた物理学を探求する手段となる。また、暗黒放射の有無に対する定量的な制限や暗黒エネルギーの性質を明らかにすることで、宇宙創成のみならず、宇宙の未来を予測する研究にもなる。確立する技術は、量子コンピューターの多ビット化やデータサイエンスの発展にも資する。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

1964 年の CMB の発見以降、その研究は米国を中心として進展してきた。日本の研究機関は 2007 年から米欧との国際共同実験に参加し、地上からの CMB 観測と望遠鏡・受信機開発とデータ解析において中核となる成果をあげてきた。当該計画は史上最大規模の地上からの CMB 観測である。原始重力波のみならず、ニュートリノ質量の絶対値や暗黒放射、暗黒エネルギーなど、幅広いトピックを網羅できる。

⑦ 社会的価値

CMB 観測の技術は、従来技術では見えないものを見ることを可能にする。例えば、ゲリラ豪雨等の早期予測に役立つ技術として期待されている。国民の生活に役立つ技術を提供する事で、国民の高い理解を得られる。また、当該計画のサイエンスインパクトは絶大であり、宇宙・素粒子に関する興味を老若男女問わず向上する。学術への興味の向上は、SDGs17 の大きな目標のひとつ「質の高い教育をみんなに」への貢献に繋がる。

⑧ 実施計画等について

Simons Observatory は大小合わせて 7 台の望遠鏡、およそ 14 万個の超伝導検出器を使って広い視野を同時観測する (2023~2030)。その後の CMB-S4 では、さらに約 3 倍規模で観測を行う (2029~2039)。これらは米国・日本・チリ・ヨーロッパ各国の研究者 (既に 300 人以上) から構成される。日本はデータ解析センターの構築・運用や、原始重力波の検出に注力した望遠鏡 6 台の増設等を主導する。

東京大学カブリ IPMU が中心機関としての責任を果たし、東京大学大学院理学系研究科 (役割:受信機開発、検出器の評価試験、データ解析)、東京大学大学院理学系研究科附属ビッグバン宇宙国際研究センター (役割:データ解析、理論検討)、京都大学大学院理学研究科 (役割:受信機開発、読み出し回路の開発、データ解析)、東北大学大学院理学研究科 (役割:データ解析)、理化学研究所 (役割:検出器の開発)、岡山大学 (役割:データ解析、偏光変調装置の開発) と共に、学術成果を最大化できる体制・設備・人材を整備する。

日本主導で行う本計画の総額は 67 億円である (SAT 望遠鏡の増設: 38.5 億円、観測施設・設備運用: 17 億円、データ解析センター・人件費・旅費・開発研究など: 11.5 億円)。なお、米国からの Simons Observatory の総額が 120 億円である。CMB-S4 (概算 900 億円程度) は、米国 DOE や NSF が強く推進している次世代プロジェクトであり、日本からのより大きな貢献が期待されている。

⑨ 連絡先

松村 知岳 (東京大学カブリ数物連携宇宙機構)