

## 宇宙と物質の創成を探るチリ・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 計画の概要

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 (SO)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。SO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(2021~2030)。その後のCMB-S4では、さらに約3倍規模で観測を行う(2027~2037)。SOは米国・日本・チリ・ヨーロッパ各国の研究者(既に250人以上)から構成される。日本は原始重力波の検出に注力した望遠鏡3台の増設等を主導する。また、CMB-S4は、米国DOEやNFS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規模の貢献が期待されている。

原始重力波の検出は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。さらに、本研究のために確立した技術は量子コンピューターの大規模化・実用化に向けた基礎技術にもなる。

### ② 学術的な意義

2026年までに蓄積したデータで、 $\delta r = 0.002$ ,  $\delta(\Sigma m_\nu) = 0.03$  eV,  $\delta N_{\text{eff}} = 0.05$ の達成を目標としている。 $r$ はインフレーション・ポテンシャルエネルギーの指標であり、現在の探索上限値は $r < 0.07$ (95%信頼度)である。 $N_{\text{eff}}$ は宇宙背景ニュートリノと暗黒放射の種類の数に相当する宇宙論パラメータである。 $\delta$ はそれぞれの測定精度をあらわす。さらに、2030年代には $\delta r = 0.0005$ ,  $\delta(\Sigma m_\nu) = 0.025$  eV,  $\delta N_{\text{eff}} = 0.03$ の達成を目指す。

原始重力波を検出した際のインパクトは絶大である。インフレーションを実験的に検証するだけでなく、そのポテンシャルエネルギーが素粒子大統一理論(GUT)スケールに相当することを示し、さらには重力が量子化されていたことの証拠にもなる。謂わば、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。

ニュートリノ質量の絶対値は、素粒子標準模型における最後の未測定パラメータである。その値を明らかにすることは、素粒子標準模型を超えた物理学を探求する手段としても期待されている。既に、 $\Sigma m_\nu$ 測定の上限值( $\Sigma m_\nu < 0.12$  eV, 95%信頼度)は、他の素粒子実験より厳しい制限をニュートリノ質量の絶対値に与えている。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。

本プロジェクトの遂行過程で、数十万個もの超伝導検出器をあつかう技術が確立し、様々な応用が期待される。ダークマター探索やニュートリノ実験といった基礎科学実験のみならず、量子コンピューターの大規模化・実用化などに向けた基礎技術にもなる。

### ③ 国内外の動向と当該研究計画の位置づけ

SOは複数の実験が群雄割拠していた2016年に2つの有力チーム(ACTとPOLARBEAR)を統合して発足した。既に100億円規模の予算を確保し、世界最有力のCMB観測計画である。本計画は、日本が中核となりSOの大幅な増強を行う。日本は、この役割を担う十分な実力を有する。2019年1月に初観測を果たしたPOLARBEAR2実験の受信機は日本で組み立てられ、初の純国産CMB偏光観測実験・GroundBIRDも、数ヶ月以内に初観測が見込まれる。これらで培われた技術力、育成された人材により、本計画を遂行するのに十分な準備が整っている。さらに、本計画の推進により、さらなる技術力と人材育成が果たされ、その先に控えるCMB-S4やLiteBIRDにより日本のコミュニティが飛躍的な発展を遂げることに繋がる。

2011年のノーベル物理学賞(暗黒エネルギーの発見)に見られるように、宇宙観測の精密化により、基礎物理を探る動きが活発化している。この中で、本計画、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する最重要研究課題である。



図1 CMB望遠鏡“群”プロジェクト Simons Observatory

