

	研究代表者	東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・教授 村山 斉（むらやま ひとし）	研究者番号：20222341
	研究課題情報	課題番号：26A204 キーワード：インフレーション、構造形成、アクシオン、重力波、量子	研究期間：2026年度～2030年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

宇宙創生の瞬間では今観測できる宇宙全体が原子よりもずっと小さく、宇宙そのものが量子の世界で、今知られている物理法則は破綻する。この大きな問題に挑むために天文観測だけでなく、極小の宇宙で主役だった素粒子、今までの測定・観測の限界を超える量子計測やAI・機械学習などの最先端技術、新しい物理法則を構築する理論、と異分野の研究者を結集させる。

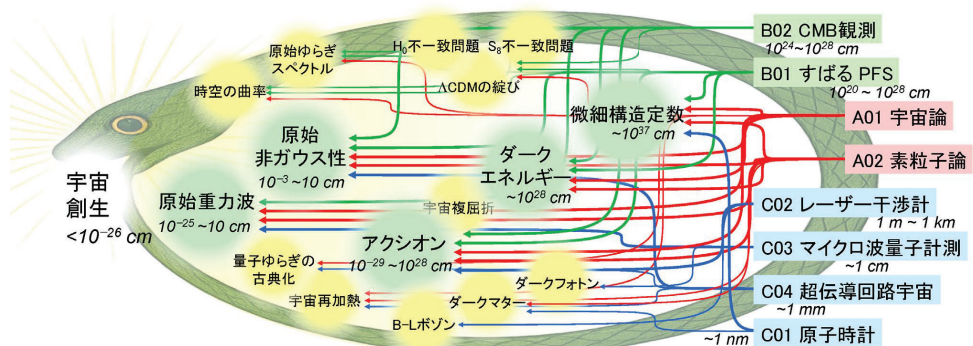


図1 本研究全体のイメージ図

●研究のアプローチ

宇宙創生は自然科学の究極のテーマだ。そのしくみを探る上での最大の問題は観測の難しさである。天文観測では、例えば100億光年先を観測すれば、100億年昔の宇宙を見ていることになり、宇宙の歴史を直接調べることができる。一方38万歳より昔の宇宙では原子が電子と原子核にばらばらになったスープ状になり、光が邪魔されて直進することができないので、直接観測ができない。しかし宇宙創生期から直接やってくる信号はある。原始重力波とアクシオンはほとんど反せず原始スープに邪魔されないため、宇宙創生期の直接の信号となる。その代わり検出が極めて難しいが、技術を開発して可能にすることを目指す。技術の進歩により、ニュートリノの信号で太陽中心を観測できるようになったアプローチと同じだ。

また、宇宙創生直後にはインフレーションと呼ばれる急激な加速膨張で、超マイクロな宇宙がマクロな大きさに引き伸ばされたと考えられている。超マイクロで量子的な宇宙では不確定性原理のため当然量子ゆらぎが生まれたはずだ。その波長が膨張で地平線よりも長くなると、ゆらぎは凍りついて宇宙空間に焼き付き、平均密度の約10万分の1というわずかな原始密度ゆらぎとなった。その後ゆらぎはダークマターの重力によって成長し、現在の宇宙の星や銀河といったあらゆる構造を作ったので、私たちのルーツである。一方、大きな距離ではゆらぎはインフレーション時の姿を保っているため、最先端の宇宙観測データで原始密度ゆらぎを観測することで、宇宙創生期の物理を探ることができる。

さらに、直接観測できない初期宇宙を研究するためには、物理法則として同じような振る舞いを示すシステムを調べることができれば、それを宇宙創生期のシミュレーターとして使うことができる。そして宇宙創生期の物理法則は現在知られているものを越えないといけなため、物理法則の時間変化を最高精度で探索していく。

●研究グループ

遠大な宇宙創生期の物理法則に次の4つのアプローチと8つの研究班に迫る。

I. 宇宙創生期の信号：I.a 原始密度揺らぎを宇宙最古の光CMB(B02)と銀河の大規模な3次元分布データ(B01)、I.b インフレーションからの原始重力波をCMBの偏光(B02)とGHz以上の高周波重力波(C03)、I.c 原始アクシオン場をレーザー干渉計(C02)やCMBの偏光面の回転(B02)。

II. 宇宙創生期の模擬系を用いたシミュレーター

II.a 超伝導量子回路でインフレーションの物理を実験室で再現(C04)、II.b 現在の宇宙の加速膨張を起こしているダークエネルギーの観測(B01)。

III. 物理法則の時間変化の探求：超高精度の光格子時計(C01)と100億年以上昔の銀河の観測(B01)。

IV. 宇宙創生期の理論：宇宙(A01)と素粒子(A02)から両方からの探求。そしてその間の密な連携を図る。

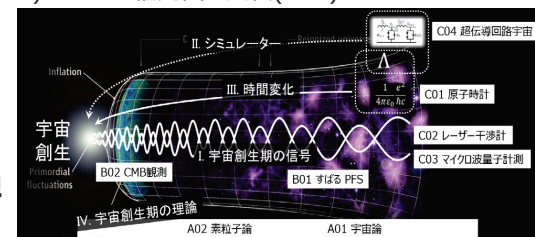


図2 研究グループのイメージ図

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●期待できる成果

この研究計画での多角的な成果で宇宙創生のしくみについての理解が進むと、例えば次のような展開が起きるかもしれない。「すばる PFS で最新データの結果を独立に検証することで、ダークエネルギーの時間変化が確実になる。これは、インフレーションがどう終わって減速膨張する宇宙へと変わっていったのか、についての観測による新しい情報となる。これを超伝導体を使った量子回路でのシミュレーターで再現することで、宇宙創成期からの原始重力波についての理論が進み、開発した GHz 重力波で何を観測すればいいかの戦略がはっきりしてくる。一方、電磁気力の強さを決める自然定数である微細構造定数の時間変化と CMB の偏光面の回転から、とても振動がゆっくりしたアクシオンのような場の運動が見えてくる。また、レーザー干渉計を使った実験でダークマターはアクシオンであることが分かる。これらアクシオンの観測的結果は、総合的に超弦理論のような究極の物理法則についての重要な情報になる。」などである。もちろん全く予想もしなかった研究の展開が生まれることも期待している。確実に達成できる領域の目標として、宇宙創生の研究分野の今までの分野の枠組みを超えた新たな研究者コミュニティを生み出し、最先端のデータと健全な研究環境を活かし、リーダーシップ、高い志、国際性、高度な知識・技術を備えた人材を、特に若い世代で育成していく。

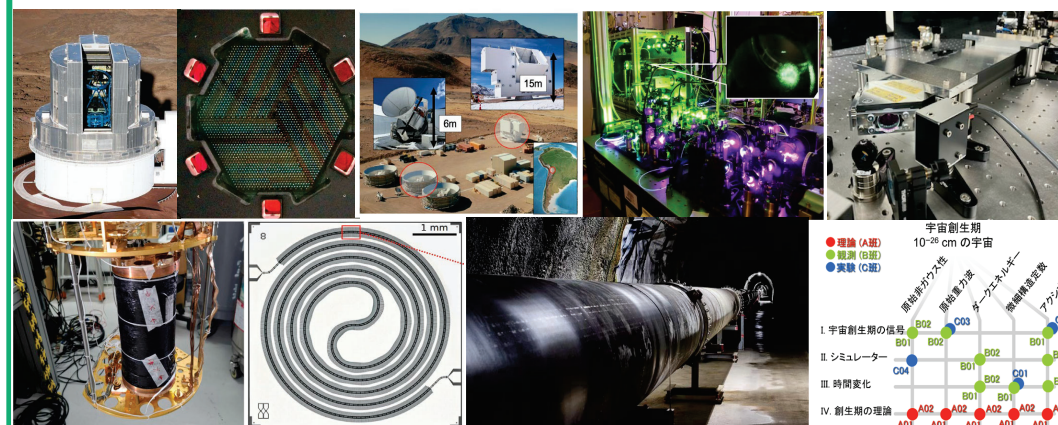


図3 本研究で使われる観測・実験設備と各班の深い連携の仕組み