

基礎科学と量子技術の協働で開拓する量子と重力の未踏領域

① ビジョンの概要

世界初となるミリグラムスケールの物体の量子状態を実現し、環境ノイズを避けた宇宙空間での重力の量子力学的性質の実験的検証を目指す。時空量子連携研究機構を拠点として、基礎科学最大の難問である量子と重力の融合に挑戦し、時空と宇宙の理解を深化させるとともに、課題解決を通して社会的要請のある量子技術と宇宙利用の発展を加速する取り組みを進め、基礎科学、量子技術、宇宙利用が融合する新学術領域を開拓する。

② ビジョンの内容

量子技術と宇宙利用は国の発展を左右し、将来必ず社会変革の基盤となる技術である。高度な技術を自国で保有するとともに、このための安定的かつ継続的な人材育成が喫緊の課題となっている。社会的要請のある量子技術へ基礎科学が積極的に貢献するためには、組織的に研究教育環境を整備し、取り組む必要がある。海外ではこのような量子技術と基礎科学の融合研究の重要性が広く認識され、研究体制の整備とともに、当該領域の研究プロジェクトが進んでいる。日本においても量子技術と基礎科学の融合の研究教育を加速し、新しい研究分野を開拓する若手研究者や技術者の育成が喫緊の課題である。そのためには、量子技術が基礎科学の基礎的課題に答える真に学問的な融合が図られる研究プロジェクトが必要である。本構想では、時空量子連携研究機構を基盤として、巨視的物体の量子状態を未踏の計測感度で実現し、基礎科学の最重要の未解明問題の解明を目指すとともに、課題解決に含まれる量子技術と宇宙利用の取り組みを加速し社会変革の基盤となる技術を開拓する。また、学術的・技術的関連のある重力波実験等の学術構想との連携も進める。

ミクロな世界で全ての物質は量子力学に従うが、古典力学のマクロな世界に対し量子力学がどこまで成り立つかという量子と古典の境界は、将来にわたる基礎科学の重要課題である。時空を力学自由度とする重力が量子力学に従うと、時空の量子力学的重ね合わせ状態が現れるはずである。これは時空や宇宙の起源解明の鍵であるが、全く検証されていない。この未踏の学問領域を開拓するため、基礎科学、量子技術、宇宙利用の研究者が協働する時空量子連携研究機構を基盤とし、異分野融合を推進する。量子測定・量子制御といった量子技術の発展が、巨視的量子系を作り出し、基礎科学の未踏領域を探る新しい道具になる。必要なのは極めて微弱な重力を測定する量子技術であり、未踏の感度をもつ量子センシングである。さらに地面振動などの環境ノイズを避けるためには宇宙環境が理想的であるため、人工衛星による宇宙空間での実験技術の基盤確立を目指す。当該構想は、基礎科学、量子技術、宇宙利用が融合する新しい学術領域を開拓し、国の発展に貢献する。さらに若手研究者を育成する事業と連携することによって、機構の人的資源を利用して基礎科学だけでなく社会的要請の強い量子技術と宇宙利用にも貢献する人材育成に応える。

③ 学術研究構想の名称

基礎科学と量子技術の協働で開拓する量子と重力の未踏領域

④ 学術研究構想の概要

重力の量子力学的性質は全く検証されていない未踏の学問領域である。この基礎科学の難問解決のため、量子技術の発展を利用してマクロな物体の量子状態を実現し、本構想では世界初となるミリグラムスケールの物体の量子状態を実現し、10年以内にこれらを組み合わせた系において量子もつれを生成する。さらにこの実験技術をもとに将来重力の量子力学的性質を検証するため

に基盤となる技術を確認する。オプトメカ系は最も精密な重力計測を可能にする技術であり、量子フィルターを用いた量子制御技術を発展させ、重力センサーの開発を行う。マクロな物体の量子測定と制御、揺動と散逸の理論、さらに相対論的量子情報・量子重力理論へ応用する研究と協働し推進する。そのため、時空量子連携研究機構を基盤として基礎科学と量子技術の真の融合を図り、人材育成にも貢献する。

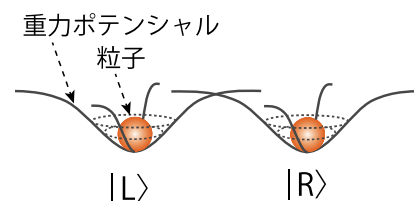


図1 重力の量子的重ね合わせ状態

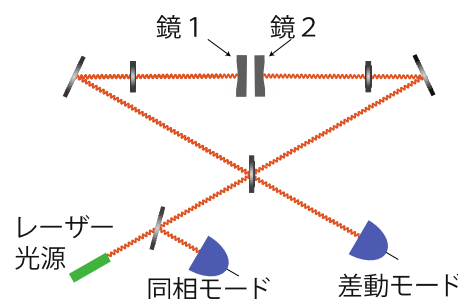


図2 重力の量子性の検証実験の模式図

⑤ 学術的な意義

重力を記述する一般相対論は、宇宙の進化、ブラックホール、重力波等の観測を説明し、実験との明確なズレは報告されていない。しかし、重力の測定は、量子力学の検証されている領域に届いておらず未到領域の中にあるため、重力の量子力学的性質は全く確かめられていない。未踏の重力と量子の世界を開拓する学術的価値の高い本研究構想により、量子と古典の境界の理解と重力の概念を大きく変える成果が期待される。

この構想の柱の一つは、これまでにない未踏の精度の量子センシング技術である。オプトメカ系の量子制御の技術を発展させ、最も精密な重力計測技術の開発が期待される。また、低周波数領域での雑音を避けるため理想的な宇宙空間を利用する研究を推進し、量子技術の宇宙利用に対する波及効果がある。宇宙空間における量子技術の検証と利用は、九州地方の強みである宇宙利用産業との協働による展開も期待できる。教育活動と連携し拡充することで関連分野の人材育成に一層貢献できる。

⑥ 国内外の研究動向と当該構想の位置付け

海外では量子技術と基礎科学の融合研究の重要性が広く認識され、研究体制の整備とともに、当該領域の研究プロジェクトが進んでいる。本構想は、重力の量子性の検証を最終目的として、日本独自の技術を柱の一つとして研究体制を整備し、広く量子技術の宇宙利用まで含む将来の新学術領域を開拓することを目指す構想である。また、宇宙空間での光共振器やレーザー干渉計の制御は、宇宙の始まりに生まれる原始重力波等の宇宙物理の研究にも応用でき、重力波観測に関する将来学術構想との連携を図る。

⑦ 社会的価値

量子技術は将来の国の発展に直結する分野として重要であり、経済的・産業的価値が高い。本構想で進める未踏の量子計測技術は、慣性力や重力の計測、量子センシングや量子デバイスといった量子技術イノベーションに直結し、経済的・産業的価値が高い。その中には、宇宙環境を利用した量子技術・量子通信への応用、スペースデブリ検出や地球観測等から将来の経済的・産業的価値も見出すことができる。量子宇宙技術イノベーションにつながる学術の取り組みとして広く国民の理解へ貢献すると期待される。

⑧ 実施計画等について

【実施計画・スケジュール】精密なレーザー干渉計を環境ノイズの少ない宇宙空間に設置し、量子力学的状態に達した物体間に働く重力の性質を明らかにする必要がある。その実現のため直近の10年で、必要となる巨視的物体の量子制御の原理検証と宇宙空間における精密干渉計実験の基盤となる技術を確認する。1. 巨視的振動子の基底状態実現（～3年）、2. 巨視的振動子の量子スクイーズ状態の生成（～3年）、3. 巨視的振動子間に電磁気力を介して量子もつれを生成（～10年）、4. 振動子間の重力相互作用の精密測定（5年程度）、5. 宇宙空間における干渉計アライメント調整技術の確立、6. 宇宙空間における雑音源のさらなる調査、7. 超小型衛星技術を適用し軌道実験を段階的に実施する。さらに1.～3.で得られる未踏の巨視的物体の量子制御を利用し、周波数依存スクイージングとの結合により、8. 標準量子限界感度を超えた干渉計の実証実験、9. 度量衡分野で課題となっている重力定数の測定精度向上に応用する。10. 巨視的量子系の量子散逸とノイズ、量子制御理論の開拓、重力の量子性に関わる理論研究を合わせて推進し、ホログラフィー量子重力理論等の検証、暗黒物質の検出、未知の背景重力波の制限など、実験の応用研究をデータ解析を含めて推進する。これらの推進によって、新学術領域を開拓するとともに、11. 九州大学博士学生支援事業等と連携し、拠点の資源を利用して量子および宇宙分野の人材育成にも貢献する。これらの成果を基盤として次の30年で中型衛星の実験により重力の量子力学的側面の革新的理解と超高感度重力計測技術の宇宙利用で未来社会に貢献する。

【実施機関と実施体制】

九州大学時空量子連携研究機構を拠点として本構想を推進する。機構には、学習院大学、名古屋大学、神戸大学、JAXA、国立天文台、九州工業大学、理化学研究所、慶應大学、北海道大学、東京大学等の研究者が協力する。海外から米国カリフォルニア工科大学、カリフォルニア大学バークレー校等の研究協力者を加えた国際連携ネットワークの構築、さらに九州・沖縄オープンユニバーシティ（K00U）および九州航空宇宙開発推進協議会との連携といった自治体・産業界を巻き込んだ連携を目指す。

総経費 130 億円

⑨ 連絡先

山本 一博（九州大学）