

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。これにより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目指す。このため連携研究機構を創設し、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。高度な量子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。一方、一般相対論も宇宙の進化、ブラックホール、重力波などノーベル物理学賞の対象となった重力の理論であり、社会的インフラとなったGPSにも不可欠な学問である。量子力学と一般相対論は、現代物理学の柱であるとともに、社会変革の基盤となる学問である。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、組織的な研究教育環境を整備するとともに、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の創設により、ミリグラムスケールの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。

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(図1参照)。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連携研究機構を設置し、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の確立を目指す。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、基礎科学とともに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。

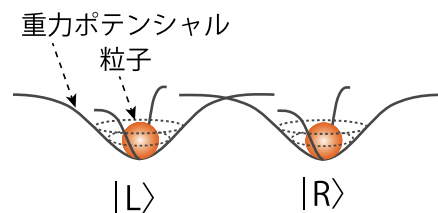


図1 重力の量子的重ね合わせ状態

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の確立を目指す。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、基礎科学とともに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の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、重力の量子力学的性質の解明を目指す。本構想では今後数年内に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。オプトメカ系の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理論研究と協働し推進する。重力に関わる量子技術の開発に実験・理論両面から取り組む。環境のノイズを低減するため人工衛星を利用した宇宙空間での検証実験を目標に、量子技術の宇宙環境利用の研究も推進する。そのための連携研究機構を構築して基礎科学と量子技術の真の融合を図り、九州大学が取り組むフェロシップ事業と連携し人材育成に貢献する。

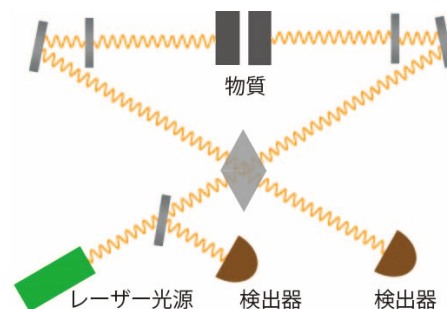


図2 重力の量子性の検証実験の模式図

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。しかし重力の検証は、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、テーブルトップ実験として最も精密な重力計測技術の開発が期待される。検証実験として理想的な宇宙空間を利用する研究を推進するため、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、地球惑星科学との協働や、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。また、宇宙空間での光共振器の制御は、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、関連する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に対し、日本独自の技術を柱の一つとして体制を整備し、基礎科学と量子技術の新学術領域を開拓することを目指す構想である。

⑦ 社会的価値

当該構想で進める未踏の量子計測技術は、慣性力や重力計測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・量子通信における相対論効果といった応用面から将来の経済的産業的価値も見出すことができる。同時に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】重力の量子性を実証するためには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立する。(i)巨視的振動子の基底状態実現(～3年)、(ii)巨視的振動子の量子スクイーズ状態の生成(～3年)、(iii)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)、(iv)振動子間の重力相互作用の精密測定(5年程度)、(v)宇宙空間における干渉計アライメント調整技術の確立、(vi)宇宙空間における雑音源のさらなる調査を推進する。(vii)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(i)～(iii)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、(viii)標準量子限界感度を超えた干渉計の実証実験、(ix)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。(x)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。(xi)九州大学フェロシップ事業と連携し拠点の資源を利用して量子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】時空量子連携研究機構を創設し当該構想を推進する。九州大学に機構のハブ的役割を担う研究拠点を設置する。機構には、九州大学(山本一博、吉川顕正、井上弘士、廣川真男、花田俊也)、学習院大学(松本伸之)、名古屋大学(川村静児、南部保貞)、神戸大学(早田次郎)、宇宙航空研究開発機構(和泉究)、国立天文台(都丸隆行、麻生洋一)、九州工業大学(趙孟佑、北村健太郎)、理化学研究所(山形豊、細畠拓也)、高エネルギー加速器機構(磯暁)、慶應大学(山本直樹)の各機関から研究者が参画する。機構の研究体制は、将来的に拡充する。機構は、機構長、事務部門、研究部門からなり、九州大学執行部に直属の組織とする。機構は、機構長と九州大学拠点と連携機関の委員からなる運営委員会によって運営され、関連分野のトップクラスの研究者からなる外部評価委員会が機構の評価を行う。

総経費 130億円

⑨ 連絡先 山本 一博(九州大学)