



報道機関各位

2025 年 4 月 25 日
東京女子大学/東京都杉並区善福寺 2-6-1

本学の尾田欣也教授と小川直哉氏により 位置と運動量の同時測定の限界を明示する 新たな定式化が完成

～ハイゼンベルクが提起した量子論の原点に、100 年越しの理論的決着～

概要

東京女子大学の尾田欣也教授と小川直哉氏（本学博士後期課程在学）は、量子力学誕生から 100 年という節目として国際連合により「国際量子科学技術年（IYQ）」として宣言されている今年、量子測定における根本的な問いに明確な答えを示す研究成果を発表しました。本研究は量子力学の創始者の一人であるヴェルナー・ハイゼンベルクが提唱した「位置と運動量の同時測定不可能性」に対して、現実構成された量子測定モデルでも理論的限界は超えられないことを世界で初めて確認し、量子力学における基本的な問いに新たな答えを示すものです。

研究背景：ハイゼンベルクの出発点から、量子測定 100 年の旅

1925 年、ハイゼンベルクが提唱した「行列力学」は、それまでの物理とは全く異なる「量子力学」という新しい世界の扉を開きました。その 2 年後の 1927 年、ハイゼンベルクは「不確定性関係」を定式化し、位置と運動量を同時に正確に測ることはできない、という原理的な限界を提示しました。

それから 100 年、量子測定の理解は大きく進歩します。2000 年代には小澤正直氏が、測定による「誤差」とそれによって生じる「擾乱」の積に関する不等式を提案し、さらにそれを発展させて二つの物理量の誤差の積にも不等式が成り立つことを示しました。



画像出典: chatGPT (OpenAI)

これら一連の成果により「測定誤差」そのものを理論的に再定義しなおす流れが生まれました。その流れの中で、誤差と擾乱の不等式と、二つの誤差の不等式の両方を統一的に記述できる数理的枠組みとして登場したのが李・簡井不等式および李不等式です。尾田教授と小川氏は、こうした最新の研究や物理的な測定モデルに基づき、現実の実験において「位置と運動量の同時測定」に限界があることを証明しました。

【本件に関するお問い合わせ先】

東京女子大学 広報課

TEL 03-5382-6476 FAX 03-3395-1212 E-mail pr@gr.twcu.ac.jp

研究成果：そして 2025 年——その「壁」は、現実でも超えられないと分かった

本研究では、量子力学の原点ともいえる「位置と運動量を同時に測ることはどこまで可能か」という問いに対して、最新の理論（李・筒井不等式および李不等式）が示す測定精度の限界が、現実的な測定モデルにおいても回避できないことを明らかにしました。具体的には、ガウス波束を用いて構成した連続自由度の POVM（正值演算子値測度）による測定モデルにおいて、誤差の積（あるいは誤差と量子ゆらぎとの組み合わせ）に対して、理論が示す限界を超えることはできないことを、明示的な計算によって確認しました。こうした理論に基づく測定モデルで、二準位系よりも複雑な系を用いてこの種の限界が実際に示されたのは、世界で初めてのことです。

結び：100 年前の問いに、100 年後の答えを

本研究の成果は、量子力学の原点となる問いに対して新たに考案された測定の在り方を通して初めて明確な答えを示したものです。量子センサーや量子通信、量子コンピュータに加えて重力波観測や光時計のような最先端の技術においても「測定」が重視される現代の量子科学にとって、本研究は限界と可能性の両方を提示する新たな指標となります。

論文情報

【論文名】 Gaussian Formalism: Joint Measurement for Heisenberg's Uncertainty Relation for Errors by Squeezed Coherent States

【著者名（所属）】 尾田欣也（東京女子大学情報数理科学科情報数理科学専攻教授）、小川直哉[※]（東京女子大学大学院理学研究科数理科学専攻博士後期課程）

【掲載雑誌】 Progress of Theoretical and Experimental Physics (PTEP) , Oxford University Press

【掲載日】 2025 年 4 月 1 日発行 (Article ID: ptaf040)

【DOI (正式版)】 <https://doi.org/10.1093/ptep/ptaf040>

【プレプリント (arXiv)】 <https://arxiv.org/abs/2403.19440v2>

※本研究を共同執筆した小川直哉氏は、研究当時名古屋大学大学院に在籍しており、2025 年 4 月より東京女子大学大学院博士後期課程に進学。

【本件に関するお問い合わせ先】

東京女子大学 広報課

TEL 03-5382-6476 FAX 03-3395-1212 E-mail pr@gr.twcu.ac.jp