

# 不確定性原理の 矛盾を実証

名古屋大学 大学院情報科学研究科 教授

## 小澤 正直



### 研究の背景

量子力学の基本原則として有名な「不確定性原理」は、1927年にハイゼンベルクによって提唱され、位置と運動量のような相補的な基本物理量の一方を測定すると他方を必然的に変化させてしまい、それらの「測定誤差」(または、「誤差」と「擾乱」)の積はプランク定数で定まるある一定値を下回ることができないとされています。このことから、微視的対象に関するわれわれの認識には大きな制約があることが明らかになり、ニュートン力学の描く決定論的な世界観を覆すという大きな社会的影響を与えました。しかし、上のような測定の限界を定量的に表わす「ハイゼンベルクの関係式」とそれとは別のゆらぎに関する「ケナードの関係式」が混同されるなど、不確定性原理の正当性には教科書の記述においてさえも曖昧な部分が残されていました。

### 研究の成果

私の研究課題は、「量子測定理論」です。1980年代の初めに「完全正写像値測定」という数学概念による「量子測定」の数学的定式化を与え、量子測定の理論的研究を可能にしました。80年代後半には、当時、論争的になっていた「不確定性原理に由来する重力波検出装置の感度限界」を打ち破る測定モデルの構成に成功しました。その後の研究で、量子測定の誤差と擾乱の数学理論を構築し、上のモデルが実際にハイゼンベルクの関係式を破っていることを明らかにしました。さらに、2003年にハイゼンベルクの関係式に替わる新しい関係式を提案し、その普遍的正当性を証明しました(図1)。誤差と擾乱を実験的に計測するためには大きな困難があるとされてきました。その困難を回避する「3状態法」と呼ばれる計測法を明らかにしました。これらの理論的成果を実験の実験で実証することは、待ち望

まれていましたが、ウィーン工科大学の長谷川准教授との最近の共同研究で、中性子のスピン測定においてハイゼンベルクの関係式の破れを世界で初めて観測し、同時に新しい関係式の実証に成功しました(図2,3)。

### 今後の展望

量子測定理論の進歩により、量子情報の理論的研究が可能になり、量子コンピュータや量子暗号を実現する量子情報技術の解明が飛躍的に発展しました。根本原理とされてきた不確定性原理の定量的表現に含まれる矛盾を実証したことは、この理論の成熟を示す象徴的な成果と言えます。本成果は、量子情報技術を発展させ、新しい産業の創出に貢献するだけでなく、長い歴史を持つ基礎科学の進歩に寄与することが期待されます。

今後は、従来の物理理論に備わる存在論的な研究方法に、測定や制御という認識論的な新しい観点を付け加えることを目標として、場の理論や熱力学に対して量子測定理論の適用範囲を広げていきたいと考えています。

### 関連する科研費

- 平成3年度 重点領域研究(公募研究)「重力波検出器の量子力学的検出限界に関する理論的研究」
- 平成15-17年度 萌芽研究「不確定性原理の再定式化と量子情報数理解析学の構築」
- 平成17-20年度 基盤研究(B)「量子情報と量子計算の数理解析的基礎研究」
- 平成21-25年度 基盤研究(A)「量子情報の数学的基礎研究」

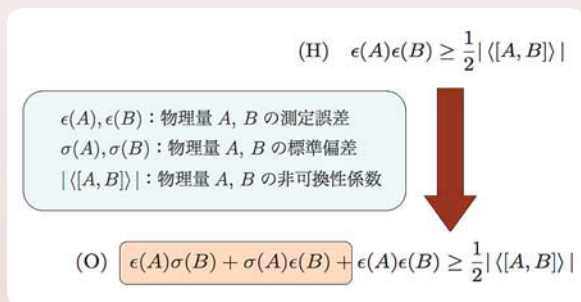


図1 新旧の不確定性原理

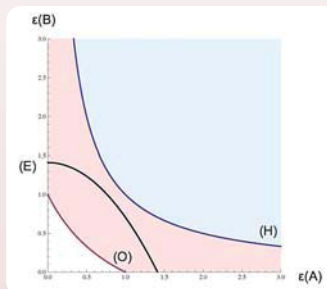


図2 旧不確定性原理の誤差領域(H)、新不確定性原理の誤差領域(O)、及び、中性子スピン測定による誤差関係式(E)



図3 中性子スピン測定に使われた実験用原子炉 TRIGA Mark II (ウィーン工科大学)、ビームライン、及び、検出装置