

## 訳者のことば

本書は、ミクロ世界を支配する量子論とその量子力学的世界像を素朴な思考実験レベルから巧妙にデザインされた実証実験レベルまで、丁寧に、深く、やさしく解説したオックスフォード大学出版の“*THE Quantum Divide*”（量子の境界）を訳したものです。

量子論や量子力学の描く世界が、マクロ世界を支配する古典物理学が描く世界と著しく異なることは広く知られています。そして、ミクロ世界の不思議な実験事実は、マクロ世界に生きる私たちの常識や直感に反するが故に、とても魅惑的です。でも、日常的な常識や直感が壊れていくことに対する不安な気持ちとともに、量子力学の解釈に対する疑惑も起こります。その延長線上に、本書のメインテーマであるミクロとマクロの世界を分ける“境界”に対する疑問が生まれてくるでしょう。

この疑問に対する正解というものが果たして存在するのか、それ自体が疑問ですが、本書は、量子光学を駆使した主要ないくつかの量子実験から、このような“境界”は存在せず「古典的な世界はどこにも存在しない」というショッキングな、そして、深遠な結論に導きます。

このようなモダンな量子力学的世界像が私たちにビビッドに伝わるように、本書では、言葉による定性的な説明と平明な数式による定量的な説明、そして精緻な量子実験による実証的な説明がバランスよくなされています。そのため、ミクロ世界の不思議な量子現象と量子力学の奇妙な解釈に興味を抱くすべての人々に本書は適しています。

## 訳者のことば

最後に、本書の訳語・表現等に関して有益なコメントを頂いた九州大学教授の羽田亨氏に厚くお礼を申し上げます。また、本書を翻訳する機会を与えてくださり、そして、訳稿の仕上げまで細部にわたり懇切丁寧なコメントとアドバイスを頂いた、共立出版編集制作部の島田誠氏に厚くお礼を申し上げます。

2015年10月

河辺 哲次



## まえがき

本書は、量子物理学の本質的なアイデアを、主要な量子実験に基づいて解説したものです。登場する実験の大半は、光と物質の相互作用を研究する量子光学の分野のものです。長年にわたって行われた興味をそそる数々の実験。そこから明らかにされた量子的世界の性質。これらに興味をもち、学びたいと思うみなさん—物理の学生さんだけでなく、好奇心の強い一般の方々—にとって、本書は最適です。

原子スケールのようにミクロなスケールで起こる現象に対して、自然が私たちに強いる考え方は、マクロなスケールの日常世界で起こる物理現象に対する私たちの考え方と大きく異なります。このような2つの考え方の間にある鋭い不連続性を実証するために、本書では選りすぐりの実験を解説します。

ポイントは、原子スケールの現象がマクロなスケールの現象と非常に異なるということではなく、マクロなスケールでの現象の論理と合わないようにみえることです。例えば、火星は太陽の周りを公転しながら、その公転軌道上のどこかに存在しています。いまこの瞬間に、火星がどの位置にいるのかを知らないとしても、火星を見つけることは簡単です。そして、たとえ火星の位置を知らなくても、火星がある瞬間に宇宙空間のある確定した位置にあることを、私たちは確信しています。

これに対して、最も単純な原子である水素原子の場合を考えてみましょう。水素原子は1個の陽子と1個の電子からできており、陽子と電子は電気力で結びついています。水素原子に対する最も簡単な量子論的モデル（1913年のボーアの原子モデル）では、電子は非常に重い陽子の周りを、ちょうど惑星が太陽の周りを公転するように回っています。このモデルは高校でできっと習ったでしょう。

しかし、1925–26年に発展した量子力学によるモデルでは、そのような簡単

な電子軌道は存在せず、実は、普通の意味での軌道もまったく存在しません。ただ、電子は陽子の周りの空間で、ある確率で分布しているだけです。さらに、電子が見かけ上原子の両側に同時刻に存在しているような特殊な状態になることを、量子論は許しています。しかし、実際に電子が同時に2つの場所に存在しうるということを、量子力学がいつているわけではないことを強調しておきましょう。要は、量子力学に従えば、電子が2つの場所に同時に存在しているもよいように、表面的には見えるというだけです。

このような状況は、天体や野球ボールや花粉などのような、大きなスケールの物体の運動では決して起こりません。もちろん、私たちは原子の世界を直接的に経験することはできません。でも、物質と光の奇妙な状態は世界中の実験室で日常的に作られているのです。

電子で話したような、量子的な粒子が同時に2つの場所に存在しうるという表現は、正確ではありません。物事はもっと巧妙なのです。私たちは、原子スケールでの非常に奇妙な量子現象が、日常生活でも実現する可能性も考えなければなりません。実際、本書のタイトルである**量子の境界** (*THE Quantum Divide*) は、厳密に言えば、次のような問題に関するものです。古典的世界と量子的世界の間はどこに境界線を引くことができるだろうか？

ありえそうな答えの1つは、そのような境界など実際には存在しない、というものかもしれません。

本書では、量子力学の成立過程の歴史は扱いません。なぜなら、そのような話はすでに多くの本に書かれているからです。ただ、歴史的な参考資料として必要になるものもありますので、実験を含む初期の量子論の発展に関する科学史(時系列)と参考文献を付録につけています。

また、本文の大半において、量子力学の発展や量子力学の解釈に関わった人物たちのパーソナリティーも扱いません。同様に、量子世界の奇妙な性質を実験や理論で解明し続けている人々も扱いません。そのような本はこれまでに多く出版されていますし、そのなかには表面的なレベルのものもあります。事実、量子物理学自体をかなり表面的に記述しただけの本も、よくみかけます。

本書の目的は、量子的世界の物理学をある“期待”をもって探索することです。その期待とは、量子的世界がみなさんの知的チャレンジ心を刺激すると同

時に、みなさんを楽しませてくれる、奇妙で反直観的な現象に満ちあふれているという期待です。

本書の記述において、量子力学に固有な数式を使うことにためらったりはしていません。特に、量子状態やその重ね合わせ、そして、エンタングルした（もつれた）量子状態などの表現に対しては、数式を使っています。その理由は、量子論が世界に関して何を語っているのかを、数式を使って説明したほうがみなさんによりよく理解してもらえらるだろうと考えた（期待した）からです。でも、実際に手計算をみなさんに要求はしていません。

## 謝 辞

まずは、Jaroslav Albert 博士に対して、本書のすべての図を CorelDraw を使って準備して頂いたことに心から感謝します。そして、（ポルンの機関銃）を手描きしてくれたことにも感謝します。

CCG は Rainer Grobe と Mark Hillery に、長年にわたる量子論に関する多くの有益な会話に対して感謝します。原稿のさまざまな段階で批判的に目を通してくれたすべての人々に、そして、有意義なコメントをしてくれたすべての人々に感謝します。コメントのほとんどは本書に採用しました。

本書にミスがあれば、その責任はすべて著者たちに帰します。

