



量子光学と量子情報科学 (新・工学系の物理学)

古澤 明 著

数理工学社 (サイエンス社), 2005 年 (ISBN 9784901683234)

本書は、量子情報処理の分野で先駆的な成果を上げ、また常にこの分野の先頭を走っている著者が、その研究のベースとなっている量子光学と量子情報物理の基礎的事項に関して解説した教科書である。

量子光学はなかなかわかりにくい。おそらくそのわかりにくさは、われわれが直接触れられる「こちら」の世界である古典論的世界と、「あちら」の世界である量子論的世界の乖離が、普通の量子力学より大きいことから来ているのではないかと思う。えてして「あちら」の世界も「こちら」の言葉で無理やり理解しようとしがちだが、「あちら」の世界は「あちら」の言葉のままで、翻訳せずに理解しないと、正しい物理には到達しないことがある。

本書は2章から構成されており、第1章：量子光学、第2章：量子情報物理となっている。この本のハイライトは2.3節「基本的量子情報処理としての量子テレポーテーション」であり、この節での実験の内容を正しく理解するために必要な項目が順序だてて並んでいる、という構成になっている。

第1章の最初、1.3節までは量子力学の復習だ。1.2節で調和振動子の量子力学的取り扱いを復習しながら、後になって重要な役割を果たす事項がさりげなく提示されている。1.3節の電磁場の量子化で最も大事なことは、電場と磁場を生成消滅演算子で表す、という普通の量子化をもう一步進めて、 $\hat{x}(t)$, $\hat{p}(t)$ という、一見位置と運動量であるかのように見まごう演算子にまで変換することである。量子光学では、この2つの演算子をあたかも実在する物理量であるかのように扱う。これを著者は「量子光学の因習」と称しており、この意味を理解していないと「大火傷」することもある、と警告している。

1.4節では量子光学の実験で重要な役割を果たすビームスプリッター (BS) の量子光学的扱いについて詳しく述べられている。BSのハミルトニアン、BSのユニタリー変換といわれても、いきなりだと面食らうだろう。後の章のことを考えて、ここで慣れておくのがよい。

1.5節~1.7節は一連の節と考えられる。コヒーレント状態からスクイーズド状態に発展し、さらに密度演算子と進

む。これらの節での最重要事項は、まるで禅問答のような「スクイーズされた真空場」という状態である。これは真空ではない。偶数個の光子状態の重ね合わせであり、光子流である。ちゃんと干渉もできる。

1.8節は第1章のひとつのハイライト、バランス型ホモダイン測定だ。後の量子テレポーテーションの実験のコア部分となる。「あちら」の世界の様相を「こちら」の世界に映し出す測定である。1.9節は1.8節の追加説明的な内容だ。量子光学という用語とすぐフォトンカウンティングを連想しがちだが、バランス型ホモダイン測定の優位性が主張されており、この点も重要だ。

1.10節は数学的な道具としてのウィグナー関数の導入である。道具と割り切って最初は慣れることを優先し、厳密な理解は後回しにするとよいだろう。

1.11節は第1章のもうひとつのハイライト、量子エンタングルメントである。ここまでの知識を総動員して、量子エンタングルメントとは何であるか、が解説されている。ここまできて量子光学的考え方に慣れてくると、EPRパラドックスのどこがパラドックスなのかわからなくなる。

第2章は量子情報処理、特に量子テレポーテーションに主眼が置かれ、解説されている。2.1節は一般論、2.2節は量子情報処理の光学系による実現法のまとめである。そして2.3節で、著者らの行っている量子テレポーテーションおよび量子テレポーテーションネットワークの実験の原理の詳しい解説にたどりつく。全体のハイライトだけあって、この節をちゃんと理解しようとすると骨が折れる。これ以前の記述はこの章の解説のためにあるとあってよいだろう。2.4節は量子エラーコレクションの基礎で、量子情報処理系にリアリティーを加えている。最終の2.5節は展望である。

この本の内容の本当のところを正しく理解しようとすると、やはり量子力学の教科書を傍らに置いて、復習しつつ読み進めないといけないだろう。量子力学再入門のきっかけを作る、という使い方もできる本である。

(東京大学 志村 努)