

## 量子情報と時空の物理 [第2版]

量子情報物理学入門

堀田昌寛著, B5判, 208頁, 本体2389円, サイエンス社

本書は、近年大きな注目を集めている量子情報理論と、その影響を受けて研究が進展している、量子と時空構造が関係する物理への入門書である。ブラックホールの蒸発のような量子論と一般相対論の両方に関わる現象は、前提となる知識が多くなかなか学生には学びにくい分野であると思うが、本書では場の量子論と一般相対論の初歩的な知識だけを仮定して最近の研究成果まで紹介しようという意欲的な試みがなされている。また、取り上げられたトピックの多くは著者の堀田氏自身がその発展に関わってきたものであり、開拓者の問題意識に触れられるという点でも貴重である。

それでは以下で具体的な内容を見ていこう。本書は9章からなり、前半の1~4章が量子情報理論の入門的な解説になっている。後半の5~9章では、量子力学と時空構造が関連する具体的な現象の分析がなされる。

前半部分では、量子情報の導入に始まり、量子測定、量子操作、量子エンタングルメントと量子情報理論の基本的な事項が解説される。しかし、単に標準的なトピックの要領のよい解説にとどまらず、量子力学の基本的な問題に関わる踏み込んだ解説がなされている。その際、著者のスタンスは一貫して現代的なコペンハーゲン解釈に基づいており、量子力学の操作的、認識論的な性質を強調している。例えば、間接測定モデルが導入される第2章では、測定者が複数いる場合には、1つの物理系について測定者ごとに量子状態は異なっても良い、ということが強調されている。このような話は、「知っている人はよく知っている」ものではあるが、入門的な本においてこれほど徹底的に論じられている例はおそらく他になく、本書の魅力的な部分である。また、認識論的な量子力学の捉え方は情報理論と相性が良いということもあらためて感じさせられる。

応用編となる後半では、時空構造と関係する様々なトピックが取り上げられるが、前半部分の問題意識を引き継ぐ形で場の理論に対してでもできるだけ具体的に操作や測定を考えるという方向で議論がなされており、素粒子論的な場の理論の解説とはまた異なる新鮮な印象を受ける。

まず第5章では、連続的な繰り返し測定が引き起こす量子ゼノン効果が取り上げられる。量子ゼノン効果



は実験の設定によって様々な形で現れ得るが、本書では特に、放射性元素の崩壊のような現象において通常の観測行為が対象のダイナミクスに影響を与えないという点について、明快な解説が行われている。

第6章では、等加速度運動をする系において、場の真空状態が有限温度の熱浴のように見えるというウンルー効果を取り上げられている。等加速度系は一様重力中の系と同じと見なせるので、これは重力と量子場の関係する現象として最も基本的なものである。特に、空間的に離れた領域間でのエンタングルメントが熱的な混合状態を作り出すことが示されており、これが次の章における分析の基礎になる。

続く第7章では、ブラックホールからの熱輻射(ホーキング輻射)の問題を、トイモデルとして動く鏡のモデルを用いながら議論している。ここではいわゆるブラックホールの情報喪失問題についても突っ込んだ議論がなされている。

第8章と第9章では、エンタングルした多体系が潜在的に持つ局所的負エネルギー状態と、その状態を利用して遠隔地にエネルギーを転送する操作が解説される。これは著者自身の発案によるものであり、量子エネルギーテレポーテーションと名付けられている。

本書では物理学の前提知識はさほど必要とされていないので、意欲的な物理系の大学院生や研究者ならおそらく分野を問わず読み進めることが可能だろう。しかし、議論の問題意識のレベルは高いので、漫然と読んでいると何を問題にしようとしているのか分からないかもしれない。そういう場合は、著者のブログが議論を補うのに役立つだろう。後半には未解決問題を含む本質的に難しいトピックもあり、簡単には理解できない(評者も理解しているか怪しい)部分もあるが、本書では難しい現象に対しても物理的理解を容易にするためのトイモデルが多く用意されており、簡単な例を拾って読むだけでも十分に価値があると思われる。この分野に興味のある人には大いにお勧めできる本である。

杉田 歩 (大阪市立大学大学院工学研究科)