



はじめに

量子光学とは光の電磁場を量子化して扱う学問分野である。そういうと当たり前で、以前から行われていたように思える。しかし、かなり最近まで、電子のみを量子化し光は古典場として扱う半古典論が主流であった。その理由は、かなり最近まで、光を古典的電磁波として扱っても何も問題がなかったからであった。つまり、それまで我々が扱っていた光では、光電効果を用いた測定が入って初めて量子性が現れるだけで、その他の性質は古典的電磁波と何も変わらなかった。

量子光学としての定式化は、レーザーの発明後すぐに1960年代にグラウバーにより行われた¹⁾。ただし現実には、レーザー光の状態が上述したような準古典的な状態であったため、あまり注目されなかった。実際に量子光学を用いる必要が生じたのは、スクイズド光が1985年にスラッシャーらにより初めて生成されてからである²⁾。したがって、極めて新しい学問分野であるといえる。その証拠に、量子光学が認知されてグラウバーがノーベル物理学賞を取ったのが2005年となっている。言葉を換えると、近年までの量子光学の歴史はスクイズド光の歴史でもあるといえる。もちろん、その後の量子光学の発展には目を見張るものがあり、現在ではシュレーディンガーの猫状態まで生成されている。

このように非常に新しい量子光学であるが、近年量子力学そのものの研究の様相を帯びている。その理由は、光の量子状態は固体中の電子の量子状態などと比べ、圧倒的に壊れにくいからである。これは光の量子である光子のエネルギースケールが環境の擾乱のエネルギースケールである $k_B T$ (k_B :ボルツマン定数, T :温度) に比べ圧倒的に大きいため、環境の擾乱の影響を受けにくいからである。端的に言うと、量子光学の実験は室温で行われても絶対零度での物

¹⁾ R. J. Glauber, Phys. Rev. **131**, 2766 (1963)

²⁾ R. E. Slusher et al., Phys. Rev. Lett. **55**, 2409 (1985)

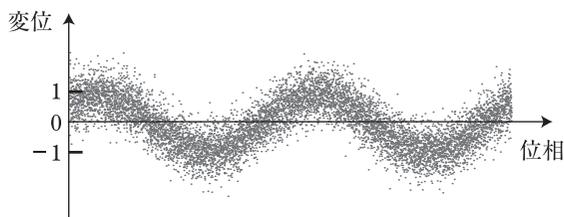


図1 レーザー光を極限まで弱めた状態における位相と電場変位（振幅）の関係。

理を探究しているのに対し，電子物性の実験は極低温で行われていても有限温度の物理を探究していることになる．つまり，量子光学の世界は環境の擾乱を無視し，純粹にシュレーディンガーの方程式に基づいた時間発展を追うことが可能となっている．したがって近年，量子状態に情報をコードし，シュレーディンガーの方程式に基づいて時間発展させ，時間発展後の状態から情報を取り出すことにより行う，量子情報処理＝量子コンピューターの研究においても中心的な役割を担っている．量子状態をシュレーディンガーの方程式に基づいて時間発展させるのは量子力学そのものであるから，これは量子力学そのものの研究となっており，その中心に量子光学がある．

本書では，これらの状況を踏まえ，量子光学を使って初めて扱える光の状態について解説する．また，その状態の時間発展についても述べる．特に，光の波動性と粒子性がどのように現れるかを詳細に述べる．本書の前提としては，量子力学を一通り学んだことがあることを想定している．そのような読者に量子光学を直感的に理解してもらうことを目指している．もちろん，量子力学の世界は我々の直感的世界とは非常に異なったものであるが，その間に少しでも橋を架けることを目的としている．したがって，ビジュアルに訴える位相と振幅（変位）の図を多用した．図1はレーザー光を極限まで弱めた状態における位相と電場変位（振幅）の関係を示しているが，このような表示が最も読者の直感に訴えると思ったからである．

本書を書こうと思ったのは，実験技術の進歩に伴い，量子光学を用いないと記述できない光の状態が生成されているのに，物理を学んでいる広範な人々にそれを知ってもらうための教科書が存在していなかったためである．したがっ

て、できるだけ広範な読者に量子光学のイメージをつかんでもらおうと努めたつもりである。また、理解されていないが故の誤解・曲解が多数存在しているのでその払拭も狙った。

2013年10月

古澤 明