

ドレスト光子の足跡：ドレスト光子から自由光子へ

三宮 俊(株式会社リコー)

E-mail: suguru.sangu@jp.ricoh.com

一般的に「自由光子」は質量ゼロの量子であり、自由空間を光速で飛び交うことができる。一方、「ドレスト光子」は環境との相互作用の結果、あたかも質量をもった準粒子のように見なされ、ゆえに局在性やバリスティック伝導性といった特有の現象を垣間見ることができる。とはいえ、この両者は独立な存在ではなく、物質形状やサイズ、材料の最適デザインを得てお互いに行き来できる立場にある。同じことを述べているかも知れないが、著者の頭の中には 2 つの物理的な描像がある。一つは、自由光子と物質系の自由度(電子励起やフォノン)が結合した状態から物質系の自由度を切り離して自由光子を取り出すという描像であり、もう一方は、ドレスト光子の質量が観測するスケールに応じて異なって見える(巨視的な系に移ると軽くなる)、という描像である。本稿では、後者の立場に立って、日頃、イメージを膨らませているドレスト光子の質量が変化する様子を(定性的ではあるが)言語化してみたい。

質量と相互作用が同等であろうことは、繰り込み理論や有効質量近似といった近似表現においてよく知られていることであろう。例えば、有効質量近似は結晶中の電子が結晶格子との相互作用環境下にある状況を、有効質量をもった自由粒子(量子)と見なすことで、相互作用の詳細を書き下すことなく、あまた物理現象を記述することができる。これを著者は「粗視化」と表現している。結晶格子に強く束縛された粒子ほど重いといったイメージである。この描像をドレスト光子に当てはめると、巨視的な系に観測を移すほど、微視的／局所的な系における相互作用は弱く見えてくる、ということになる。相互作用を巨視的な系の質量に繰り込むほどに質量が軽くなるといったやや不可思議な状況に陥る。

そこで、「繰り込む」というイメージが何やら違うようだ、との見方に至っている。以前のオフショール科学フォーラムでも述べさせていただいているが[1]、巨視的な系での観測は窓関数を乗じて物理現象を捉えることに対応している。ドレスト光子の局在現象などは、巨視的な系での観測には直接影響せず(窓関数の外に残され)、観測にかかる部分にその影響を少しだけ載せたものが見えているように思われる。すなわち、遠方での観察に現れる微視的な効果や、または局在するドレスト光子自身の制御は、観測にかかる中間的な状態を通じて自由光子へと接続されているようにイメージされる。

ところで、以前よりドレスト光子を表現する適当な基底状態なるものが欲しいということは各所で述べてきた[2]。基底状態をうまく記述できたのであれば、基底状態間の相互作用の大きさ(遷移行列)もまた決定することができる。微視的な系における挙動を表現する基底状態と中間的なサイズの挙動を表現する基底状態との間の結合は比較的弱く(物質内の近距離から遠距離までの相互作用の均されたものであり)、あたかも質量の軽いドレスト光子が遷移を仲介しているかのように見え、これが自由光子と連続的に接続しているという見方が自然であるように思われる。ここでやるべ

きことは、微視的な基底状態と中間的な基底状態の線引きをどこでするかということと、中間的な基底状態の影響を微視的な基底状態の挙動にどのように残すかということだと考えている。中間的な基底状態を周囲環境のように微視的な基底関数間の相互作用に繰り込むという手順が粗視化というわけである。上述した「不可思議な状況」は、重い質量にあたる部分は系の中に留まり、窓関数を当てた部分(中間的な基底状態)を物質外部の自由光子場と結合した熱浴と見なすことで、微視的な部分のほうに質量を付与するという理解で矛盾なく説明され、質量の軽いドレスト光子なるものは登場しない。前述では、繰り込み理論と有効質量近似を同列かのように記載したが、おそらくこれらは別物で、ドレスト光子の上記解釈は有効質量近似に近いものである(環境影響を質量に置き換えている)。このように考えると、窓関数(プローブ)の当て方でドレスト光子の質量が変わり、ドレスト光子の挙動が変わってくるので、少し厄介でもある。線引きの仕方であるが、現状のところ明確な基準を見出せておらず、当面のところ、プローブで微視的な系が乱されない(低次の摂動で収まる)範囲で作為的に線引きすることにしておく。

本稿の残りの部分では、中間的な基底状態の影響を微視的な基底状態の挙動にどのように組み込むかについて、構想を簡単に述べておく。基底状態の線引きを作為的に行うという立場から、基底状態の集合を標的空間とその補空間とに分割し、補空間の影響を形式的に削除する「射影演算子」の方法が使えるようである。本手法を適用することにより、補空間の影響を取り込んだ有効相互作用ハミルトニアンが定義され、ドレスト光子の見かけの質量変化が与えられる。また、動的挙動に着目すると、ももとの熱浴(自由光子場)にドレスト光子の補空間が加えられる(摂動やマルコフ近似を適用することになり、緩和定数が改訂される。理論検討が不十分であるが、従来から知られている結合量子ドット系のポンププローブ分光において観察される高速なエネルギー移動[3]についても、上述のような繰り込みによって説明し得るかも知れない。

以上、ドレスト光子が自由光子に移り変わる様子をドレスト光子の質量に着目して定性的に議論してきた。未だ考察不十分なところは否めないが、ドレスト光子の基底状態を適切に表現することにより、局所的な系におけるドレスト光子の挙動と巨視的な観測を仲介する中間階層のドレスト光子の挙動を相互作用の大きさを指標として切り分け、後者を熱浴に置き換えていく、というアプローチ方法がうまくいきそうに感じている。本稿の一つのメッセージは、いかなる「光子」も相互作用下にあるドレスト光子に端を発しており、熱浴(観測のためのプローブ)の介入のさせ方が観測される自由らしき光子にも、物質系に留まるドレスト光子にも足跡を残すという点である。観測用プローブの大きさによって見える現象が異なるなど、実験による先行知見とも合致しているように思われる。

参考文献

- [1] 三宮, 「ドレスト光子とナノ構造の「窓」」, オフシェル科学フォーラム 2019 年度.
- [2] 例えば, 三宮・他, 第 67 回応用物理学会春季学術講演会, 14p-B309-15 (2020).
- [3] M. Ohtsu, OffShell: 2005O.001.v1, DOI: 10.14939/2005O.001.v1 (2020).