

仮想粒子としての光子概念の必要性

藤田 翔 (Sho Fujita)

所属 名古屋大学大学院情報学研究科

量子的な存在者に関する哲学的な考察は多々ある。特に French や Ladyman 等が述べる量子的粒子に関する、個物と非個物の決定不全性の議論(French & Krause 1995, Ladyman 1998 etc)は有名である。これは、量子物理学が記述する「対象」に関する哲学的な解釈の議論であり、古典的对象には見出せない新たな描像であるというのが一般的な見解である。この見解は、例えば直接観測不可能な電子が実在するのかという、科学哲学の伝統的な問い掛けの先に、科学的実在論者が反実在論者の度重なる批判を躲す上で辿り着いた構造的解釈の一種としても知られている。量子世界の描像にとって、存在的構造実在論(OSR)は対象の形而上学的な本性に敢えて目を瞑ることで、消極的に対象を回避しているとも言える(Beckar & Bueno 2014)。

量子物理学において、対象の捉え方は一意的ではないが、特にゲージ粒子として知られるボース粒子の、対象としての解釈は殊更に複雑である。実際に電子を始めとするフェルミ粒子は場の励起状態といった、やや抽象的な解釈を伴うものの、波動関数の挙動が示すような、観測する際にそれらを見出す位置の確率という非常に直観的な観測量と対応している。すなわち、それらの対象は、観測する際に空間上に局在化する粒子という意味合いにおいては、古典的な意味における対象と幾分明確に対応している。一方で、ゲージ粒子の場合には、上記の意味での粒子性が曖昧である。これらの粒子は、電子などを含む物質粒子のようなモノの最小単位という措定ではなく、場という空間上に値を持つ媒介的に仮定された存在者に量子化という手法を施すことで、ある意味仮想的に得られているに過ぎない節がある（ゆえに仮想粒子という呼び方をする）。これらの仮想粒子そのものが、この世界に実在しているのかどうかを考えることは、電子以上に慎重なアプローチを要求するだろう。

さて科学哲学の議論において、対象としての粒子の上記を含めた議論は、殆どがフェルミ粒子（特に電子）に関するものであり、場の量子化によって生じる粒子の議論は、一部(Cao 1997)を除いて殆ど見受けられない。このことは、量子力学の発展版である量子場理論の抽象的な記述において、場的な解釈と粒子的な解釈の明瞭な二分がそもそも適切なのかという点にも確かに影響を受けているだろう。要するに、仮想粒子の存在的身分や観測問題との対応などは、まだまだ十分に議論がなされていないと言える。

量子的対象の曖昧さは、理論的对象に関する反実在論の拠り所となる。元々光子とは、量子電磁気学において、電磁場の量子化に際して、抽象的なパラメータ上を振動する粒子である。この光子の措定が量子電磁場のエネルギー状態の計算を担う上では有用である一方で、仮想粒子であるがゆえに、直接の光子自体の観測量とは結び付かない。よって、光子が果たして実在しているのかという問いは極めて **controversial** であり、反実

在論的な解釈をすれば、仮想粒子は道具主義的、あるいは不可知論的な捉え方(van Fraassen 1980)をするべき典型的な事例であるかもしれない。よって仮想粒子は、電子以上に実在を擁護するのが難しいようにさえ思える。

しかし、実在の主張も決して不可能ではない。実際に現代の量子光学の分野では、ゲージ粒子の一種である光子に、物質粒子のように波動関数等を定義することで、最早仮想ではなく従来の粒子描像(空間上の位置の確率分布)を与えようとする試み(笹部&安達 1989, 北野 1992)がある。これらの仮想粒子の実体化は完全に成功しているとは言いが、電場による干渉縞という実験結果を、直接の光子の「検出概念」と結び付けるために、従来とは異なる量子化を施すことで、光子をより「空間的な実在」に近づけている事例(上田 2004)もある。

本発表では、科学哲学で馴染み深い理論的美徳の基準や理論的对象の措定に伴うメリットデメリット等に触れながら、曖昧な仮想粒子の時空領域を超えた新たな実在の追求や、現代物理学の正当化という大きな課題に対して、具体的に光子を例にとって考察したい。光電効果やコンプトン効果といった、光子の措定が必要な現象を取り上げて、それらの理論が提唱された科学史的な背景にも多少触れながら、逆に光子を持ち出さない理論ではどの程度限界があるのかといったことも踏まえたい。そして上記の「検出概念」との繋がりを模索しながら、改めて量子的対象の身分を吟味したい。