

新たな二重スリット実験

原 田 研

理化学研究所創発物性科学研究センター

本稿を依頼される年齢になってしまったか…。大変光栄に感じつつ、まだ現役を継続したいと思っている。しかし、研究環境が大きく変わる節目にも当たるため、ありがたくこの機会を頂戴し、最近検討している二重スリット実験について小考を述べさせていただこうと思う。

電子や光子のような、極微の粒子を一つずつ二重スリットに通したとき、粒子の到着点を積み重ねると干渉縞が観えてくる。これはよく知られた実験事実であり、『波動／粒子の二重性』として、物質波モデルの根幹を成している。電子は粒子であると同時に波でもあり、一つの電子は両方のスリットを同時に通過し、スクリーン上で干渉縞を成す。もし、電子がどちらのスリットを通過したかを観測してしまうと、その影響により電子の運動状態が変調されて干渉縞は消える、と説明されている。極微の世界では、常の経験とは異なる実験結果を受け入れねばならない。しかし、普段の経験から逸脱した現象であるがゆえに様々な解釈が可能であり、さらにそれら解釈は常の世界で培われた言葉では表現しきれないことが多い。理論家はこれらの現象を、数式を用いて表現することに成功している。ならば実験屋としては、この直感的でない結果を少しでも明確に、解釈に迷わない実験事実で表せないものか、そのような観点から、新たな二重スリット実験 (doi:10.1380/vss.66.299) を模索した。

その一つが、“Which-way experiment”である。干渉縞を観測するとともに、干渉縞を形成する個々の粒子がどちらのスリットを通過したのか突き止めることを目指す実験である。大変に **risky** な実験と言われている。しかし、この実験には『一つの粒子が両方のスリットを同時に通過する』という非経験な解釈を解き明かしたいという想いを感じる。電子などの極微の粒子ならば、2つに分身しているのかも…と思えなくもないが、 C_{60} やウイルスに近いサイズの物体までもが干渉縞を形成するという実験結果を見せられると、このような大きな物体が同時に2ヵ所に存在していたのならば、何らかの痕跡を残していないのだろうか。その痕跡を探してみたい、という衝動に駆られる。そこで、電子の到着点からその経路を遡り、スリット開口に到着できる遡及計測法を考案した。(図1a)

この干渉実験の key は、①スリットをインフォーカス像として観察すること、②干渉の発現を電子線バイプリズムでコントロールすること、ただしフィラメント電極は電子線と直接触れ合わない、の2点である。①により、結像光学系における物面と像面の共役関係から、例えば、右側スリット像に到着した電子は、必ず右側スリットを通過してきたと確定で

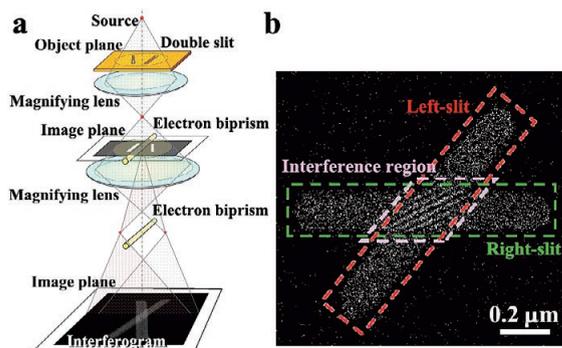


図1 光学系と二重スリット干渉パターン

きる。また②では、電子はフィラメントへの衝突による散乱がないためバイプリズムによる偏向・方位は一意に定まり、電子がバイプリズムの左右どちらを通過したかの経路情報を確定することができる。すなわち、この光学系では、電子が到着した位置(点像と呼ぶ)からその伝搬経路を遡り、通過したスリットを同定できる。この時、経路途中やスリット位置では電子の存在を観察していない。結果から遡及しているだけである。

さて、それぞれのスリット像を形成する点像は、左側、または右側のスリットを通過した電子によるものと同定できるが、問題は2つのスリット像が重なった領域である。ここで観察される点像は、右または左のスリットを通過してきた電子であるが、そのどちらを通過したかを決定する情報はない。そして、この領域でのみ干渉縞が観察されている(図1b)。この結果から『どちらのスリットを通過したかの情報が不足しているとき干渉が発現する』と言い換えられようである。伝搬して干渉しているものは情報(の波)であり、電子はその情報に付随して確率的に到着点を選んでいるだけなのかもしれない。

では、その情報はスリットのみから発生するのだろうか。この問いへの答えを求める実験として、スリットに入射する電子線を傾け、光源からスリットまでの光路長を左右のスリットで変化させた。その結果、傾斜に伴い干渉縞のパターンのみがシフトした。これは、電子はスリットに入射する前から波動としての性質(位相)を持つことを示している。もし、電子がスリットに入射する前から波であるならば、両方のスリットを同時に通過することも不思議ではない。

ここまで来て、問いが振り出しに戻ってしまった。このあたりが“Which-way experiment”の難しさであろう。まだまだ、やりがいがありそうである。これからも有志の仲間とともに進めていきたいと考えている。

原田 研 (Ken Harada)

略歴

1991年 大阪大学大学院工学研究科博士課程修了

1991年 日立製作所基礎研究所

1997年 Lucent Technologies, Bell 研究所 (出向)

2000年 理化学研究所フロンティア研究システム (出向)

2010年 日立製作所研究開発センタ

2015年 理化学研究所創発物性科学研究センター (至現在)