

光は存在しない

——量子力学の再構築——

佐々木恒平

はじめに

本書のテーマは、量子力学に代わる新しい物理学の探求である。

残念ながら、現在の量子力学は日本語で理解することができない。量子力学の根拠となる重要な実験の多くは奇怪な数式によって表現され、日本語で説明することは極めて難しい。

我々はこの状況を打開し、日本語で理解可能な物理学を目指す。そのために、本書では量子力学を構成する概念の整理を行う。基礎となる概念が間違っているために、量子力学の論理はすぐに破綻してしまうのである。

我々は量子力学の根拠となる実験を精査し、その実験を解釈するために提示された概念が適切かどうかを確認する。そして、不適切と考えられる場合には、代わりとなる概念を提示するよう努める。

以上の方針に従って、我々は量子力学の再構築を行う。最初に着手するのは「原子」概念である。

目次

はじめに	2
1. 原子	4
2. 光	6
3. 電子	8
4. 黒体輻射のエントロピー	10
5. 運動法則	11
6. おわりに	15

1. 原子

相補性

1928年、ニールス・ボーアは、ミクロな領域における種々の物理現象を解釈するために相補性原理を提唱した。

相補性とは「私たちの日常的概念には属さない、それゆえ従来の表象によってはその直観的内容を表すことのできない」現象を示す言葉である（『ニールス・ボーア論文集1』7、岩波文庫）。このような魔術的な言葉を物理学に導入したこと自体がボーアの罪と言えようが、我々が注目するのはそこではない。

我々が最もよく知る相補性は、粒子と波の二重性である。光や電子などのミクロな対象は、粒子としての性質と波としての性質をあわせ持っている。

この相補性の概念は明らかに原子論と矛盾している。というのも、原子とは「物質を構成する最小の粒子」を意味する。これは私の勝手な定義であるが、デモクリトス以来の原子概念におおむね合致していると思う。一方、相補性原理が意味することは、あらゆる物理的対象は波としての性質を持っている、ということである。これは端的に粒子の存在を否定している。

デモクリトス的な原子は存在しない、と相補性原理は宣言する。にもかかわらず、「原子」という言葉はいまも物理学の中に生き続けている。その存在が明瞭に否定されたにもかかわらず、同じ言葉が別の意味をまとって使われているのである。これが量子力学の概念構成を曖昧にしている。

特殊相対性理論

原子論については、もうひとつ反証がある。それは特殊相対性理論である。アインシュタインは1905年の論文の中で、走行する電車の座標系と地上に固定された座標系を比較して論じた。そこから、移動する物体の質量の増大や時間の遅れなど、様々な結論を導いた。アインシュタインの議論には一般性があり、誰の目にもその正しさは明らかである。

ただ一点だけ、アインシュタインが見落とした点があった。それは原子である。もしも原子が存在するならば、相対論は破綻する。

そもそも、特殊相対論を導くための議論は座標系に基づいている。特殊と一般を問わず、相対論にとって座標系は最も基本的な概念である。そして、ある物理系の中で座標系を定義するためには、少なくとも4つの点が必要である。

原点と X 軸、Y 軸、Z 軸を定めるための 4 つの点がなければ、座標系を定義できない。

ゆえに、もしもひとつの原子だけからなる物理系が存在したならば、この物理系において座標系を定義できないことになる。すなわち、原子が大きさを持たない点であるとするならば、原点は定義できても、3 つの軸の方向を定めることができない。

もちろん、想像の中で座標系を仮定することはできる。しかし、それは実証性のある議論とは言えない。したがって、この系に関して相対性理論は成り立たないことになる。少なくとも、このような系が存在するならば、相対論は実証性を失うだろう。

ここで、原子を「大きさを持たない点」と定義したことに疑問を抱く人がいるかもしれない。デモクリトスは、原子に大きさが無いとは言っていない、と。しかし、その原子が等方的なものであるならば、つまり、完全な球体であるなど、特定の方向に特徴を持たないものであるならば、上述の議論は変わらずに当てはまる。また、もしもその原子が出っ張りを持つなど、何らかの特徴を持っているならば、それは「最小の要素」ではないことになる。出っ張りとそれ以外の部分に分割できるからである。

以上の議論から、もしも原子が存在するならば、相対論は成り立たない、と結論できる。一方で、我々は相対論の正しさを認めるので、原子論は誤りである。

ここまでの議論によって、「原子」という概念が量子力学を混乱させる原因であることが明らかになった。ゆえに、我々は「原子」に代わる基本概念を見出さねばならない。ここで私が提示できるのは「連続体」という概念である。その内容はまだはっきりしない。

2. 光

出発して間もないが、我々はもう敵の本丸に辿り着いたようだ。それは光である。アインシュタインは1905年に光量子仮説を発表し、「光」という概念に実体を与えた。

量子力学を代表する実験といえば、「二重スリット」の実験だろう。一方にレーザー発振器、他方に検出器を置き、両者の間にふたつのスリットを持つ遮蔽板をはさむ。レーザー発振器から放出された光子は、ふたつのスリットのどちらかを通して検出器に到達する。ここで、レーザー発振器はひとつの光子だけを放出するように調整されているので、スリットを通る光子はひとつだけである。そのひとつの光子が自分自身と干渉を起し、縞模様を作る。

古典的に考えれば干渉縞ができないような状況で、干渉縞が生じることが不思議であるとされ、この実験は量子力学の特徴を伝えるものとして人口に膾炙している。たしかに、光量子論に基づいて「光子」が存在すると仮定すれば、これは不思議な出来事である。だが、もしも「光子」が存在しないならば、この現象の解釈は大きく変わってくる。

アインシュタインの特殊相対性理論は、光に特別な役割を与えている。光の速度に近づくほど時間の流れは遅くなり、我々は決して光の速さに到達できない。何ものも光より速く動けないのだ。なぜ、秒速30万キロという光の速度が絶対的な意味を持つのか。なぜ光はこんなにも特別なのか。

ここで、少し見方を変えると、相対論が全く別のことを述べていることに気付く。光の速度に近づくほど時間の流れが遅くなるということは、光そのものの時間は完全に停止しているということである。光の固有時間はまったく進まない。

つまり、光にとっては、発振器から放出される瞬間と、検出器に吸収される瞬間は完全に同時刻になる。光の放出と吸収のあいだには、いかなる時間も存在しない。これは、光が存在しないことを意味している。

光とは、空間的に離れたふたつの物体間の直接相互作用であり、我々が光の存在を知るのは、その相互作用の瞬間だけである。光が飛んでいるところを見た人はいないし、見ることはできない。そもそも何も飛んでいないのだから。

こうして我々は光量子論が誤りであったことを知る。アインシュタインは、相対性理論が光の不在を意味するものであることに気付かなかった。そのために、光に対して誤った解釈を与えてしまったのである。

では、光子が存在しないとすれば、二重スリット実験にはどのような解釈が与えられるのか。

そこでは、光の軌道は検出器と発振器の相互作用として表現される。光を遮るような物体が中間にあるときには、それを迂回するようなルートが選ばれるだろう。ファインマンの経路積分はその計算方法を示すものと考えられる。

この解釈がエネルギー量子という概念とどのように整合するかは分からない。光量子論の意義はプランクの輻射公式に物理的な解釈を与えたことにあり、その重要性を無視することはできない。ゆえに、光の不在という立場からプランクの輻射公式に物理的解釈を与えられるかどうかは鍵となる。

この問題は未解決であるが、私は光の不在を疑っていない。

3. 電子

続いて我々が検討するのは電子である。とくに、シュテルン・ゲルラッハの実験が示した電子スピンの性質について考察を行う。

この実験では、電子銃から放出された電子に対して外部磁場をかける。電子が磁気モーメントを持つことは知られているので、モーメントの向きに応じて電子の軌道が変化すると考えられる。外場に対してどれだけモーメントが傾いているかによって、電子が受ける力は-1から1まで連続的に変化するはずである。

ところが、実験結果は不連続性を示した。すべての電子は上向きか下向きか、どちらかの磁気モーメントしか持っていなかったのである。磁場に対して斜め向きの磁気モーメントは存在しなかった。

現在では、この実験は観測による波動関数の収束を示すものとして知られている。電子のสปินは外場を加えられた瞬間に上向きと下向きのどちらかに収束したのである。そういう現象が観察されたことは事実だが、これでは説明になっていない。

ここで私が提示する解釈は、電子はもともと磁気モーメントを持っていなかった、というものである。すべての電子は対となって存在し、スピン・シングレット状態を構成している。つまり、磁気モーメントが無の状態から出発し、外場が加えられたときに、上向きと下向きの2つの状態に分かれる。

そもそも、シュテルン・ゲルラッハの実験結果が連続的な像になるはずだという予想は、自由電子は自由な向きのスピンを持つ、という仮定に基づいている。導体のなかにスピンをもった電子があらかじめ存在し、それが真空中に放出される、というイメージである。

おそらくこの仮定が誤りで、導体のなかに電子は存在しない。電子銃から真空中に放出されたときに、はじめて電子が発生するのである。その後、外場を加えられたときに、それに応じて磁気モーメントが生じるので、あらかじめ方向が決まった状態でスピンが生じることになる。

電子は導体のなかでは電流として存在し、固有の実体を持っているわけではない。ここで電流とは、物質に備わる運動の自由度のひとつである。すべての物体は空間的移動の自由度と同時に、その内部における電流の運動の自由度を持っている。この運動が「電子」という形をとるかどうかは、そのときの状況によって決まる。

局在する電流が電子であり、偏在する電子が電流である。電子質量の本質は電流の自己インダクタンスではないのか。

電流と伝導電子の問題はかなり手強く、どこから攻めればよいか分からない。ただ、この解釈は超電導におけるクーペー対が伝導電子の最も基本的な状態であることを示唆するので、そのあたりに突破口があるかもしれない。

4. 黒体輻射のエントロピー

これが最大の謎である。

我々は第2章において光量子の存在を否定したが、その場合、プランクの公式に新しい解釈を与えざるをえない。アインシュタインが提示した解釈以外に、いったいどんな解釈が可能なのだろうか。

これに関しては、私は何の手掛かりも持っていない。HPにいくつか考察を乗せてはいるが（第6章参照）、結果は全くの無である。ただ、第一原理から黒体輻射を導くことはできると思う。

ここでいう第一原理とは熱力学の第0法則である。これは熱平衡の法則と呼ばれ、熱的に接触したふたつの物体が熱平衡に達することを述べたものである。

私はこれを、「宇宙に存在するすべての物体は十分長い時間ののちに熱平衡に達するか、あるいは熱平衡に達しようとする傾向を持つ」と定義しなおす。というのも、黒体輻射を考慮に入れれば、光が届く範囲にある任意の2つの物体は、つねに熱接触の状態にあると考えられるからである。

つまり、第0法則から熱接触の条件を外して、任意の2つの物体が熱平衡に達することを意味するものと定義しなおせば、第0法則から熱輻射の存在を導ける。物理的に接触していない物体同士が熱平衡に達するためには、空間を超えて熱を運ぶ方法が存在しなければならない。それが熱輻射である。

その熱交換は瞬時に行われるものではなく、有限の時間をかけて行われるものでなければならない。ゆえに、熱輻射のエネルギー密度は有限となり、また光の伝播速度も有限となる。エネルギーの量子化も、この原則から導くことができるかもしれない。

宇宙はただちに熱的な死に向かうわけではなく、熱の伝播はつねに有限の時間を要する。それが量子化の本質ではないだろうか。

ここからプランクの公式までには何億光年もの隔たりがある。いったいどうすればそこに辿り着けるだろうか。若い世代の研究に期待したい。

5. 運動法則

この章で取り扱う問題は、これまでとは毛色が違う。量子力学以前の古典物理に属する問題であるが、新しい物理学を考えるにあたって、この問題を取り上げる必要がある。

ニュートンが発見した運動法則は以下の3つである。

1. 慣性の法則

外力を加えられない限り、運動の状態は変わらない。

2. 運動方程式

$F=ma$ 。質量と加速度の積が力である。

3. 作用反作用の法則

力を加えられた物体は、同じ大きさで反対向きの力を生み出す。

これがあらゆる物理学の基礎であり、相対論や量子論もその例外ではない。

よくある間違いとして、相対性理論によってニュートン力学は否定された、と言う人がいる。だが、アインシュタインは自身の論文のなかで運動方程式を使っており、相対論がニュートン力学に基づけられていることは明らかである。

相対論が否定したのは絶対時間・絶対空間の概念であるが、これは『プリンキピア』における数学的証明とは全く関係がない。したがって、絶対空間が否定されたからといって、ニュートン力学が否定されたことにはならない。ニュートン力学の真偽と絶対空間の真偽は無関係である。

また、量子力学によってニュートン力学が否定されたわけでもない。これは保存則に注目すると分かる。運動量保存則やエネルギー保存則など、ニュートンの運動法則から種々の保存則が導かれることはよく知られている。これらの保存則は運動法則と等価である。

ここで、ネーターの定理は保存則を別の角度から解釈する。エネルギー保存則は時間対称性の表現であり、運動量保存則は空間対称性の表現である。これらの対称性は古典力学においてと同様に、量子力学においても存在することが確認されている。したがって、各種保存則は量子力学においても真である。保存則が成り立つということは、運動法則が成り立つことを意味するので、量子力学とニュートン力学は矛盾しないと言える。

さて、私がここで提示する仮説は、ネーターの定理をさらに発展させたものである。ネーターの定理は保存則を対称性の結果として表現するが、なぜ対称

性が存在するのかを説明しない。この世界が無条件で対称性を持っているからこそ、ネーターの定理は一般性を持ちうるし、保存則も一般性を持つのである。では、対称性とは何か。

それは因果律である。私は

「因果律は運動法則の十分条件である」
と主張する。以下、この定理を説明する。

因果律

はじめに因果律を定義する。因果律とは、

「他の条件が同じならば、同一の原因が同一の結果を生み出す」
ということである。漠然としているように見えるが、これで十分である。

「因果律は運動法則の十分条件である」という命題を証明するためには、その対偶をとって、「運動法則が成り立たないとき、因果律は成り立たない」ということを証明すればよい。以下、この方針で証明を進める。

まず、第1法則について考える。慣性の法則は、ある物体が等速で移動しているとき、外力が加えられなければ、同じ速度で動き続ける、と主張する。これが偽であるということは、外力が加えられなくとも、物体の速度は変化する、ということになる。

この場合、物体の速度がいつ変化するか、ということに関して任意性が生じる。というのも、変化が始まる時刻について判断する材料がないからである。基準点から1秒後に速度が変化することもあるし、2秒後に変化することもありうる。そのどちらの場合も可能だということは、同じ条件のもとで、同一の原因から異なる結果が生じうるということである。したがって、因果律は破れていると言える。

以上の議論によって、慣性の法則が偽である場合、因果律も偽であることが証明された。原因がないときは結果もない、ということも因果律の一面である。

次は第3法則を取り上げる。作用反作用の法則は、ふたつの物体が衝突したとき、両者は大きさが同じで方向が反対の力を受ける、と主張する。これが偽であるということがどういうことなのか、まったく想像しづらいが、仮に、受ける力の大きさが異なるとしてみよう。そうすると、どちらの物体がより小さい力を受けるのか、という選択に応じて、ふたつの異なる結果が生じることになる。

たとえば、船に乗ってオールを漕ぐときに、オールが水に与える力よりも、水がオールに与える力のほうが小さかったとしよう。その場合、オールは自分が掻き出した水の量以上に先に進むことになるので、水をすり抜けてしまうことになるだろう。一方で、オールが水に与える力よりも、水がオールに与える力のほうが大きいならば、オールが水を掻く前に船が進んでしまうので、何もしなくても船は進み続けるだろう。

どちらにしろ現実にはありえないのだが、作用反作用の法則が成り立たないということは、どちらの場合が生じるのか判断できないということである。したがって、同一の原因からふたつの異なる結果が生じることになるので、因果律は破れていると言える。

以上の議論によって、作用反作用の法則が偽である場合、因果律は偽であることが証明されたとしよう(議論の中で第2法則を使ってしまった気もするが)。

最後は運動の第2法則である。これについては、時々考えてみるのだが、よい証明が思い浮かばない。なので、この証明は未完である。

私があえてこの話題を取り上げたのは、因果律の重要性を示すためである。

光が光源から放出され、スクリーンにぶつかるというイメージにおいては、放出が先で吸収が後、という前後関係が成り立つ。しかし、第2章に示したように光が存在しないとすれば、光の放出と吸収は同時に起きることになり、前後関係はないことになる。では、ここに因果関係はあるだろうか。

因果律は時間的前後関係を意味するものではない。それはすべての事象に原因があることを意味する。スクリーンが明るく照らされるのは、光源から光が放出された結果であり、その逆ではない。化学反応や電流の作用など、何らかの理由で光源から光が放出され、スクリーンがそれを受け止める。

このとき光はエネルギーを運び、運動量を運ぶ。一方から他方へ作用を行うのであるから、作用を加える側と加えられる側の区別は存在する。それが因果関係である。

現在の物理学は物質にのみ注目し、因果関係に注目しない。流体力学は物質の流れを追うが、因果の流れを追うことはない。

粒子Aが粒子Bに衝突し、AからBに運動量を与えられたとき、Bの運動はAの運動を原因としている。粒子Aが一定の速度を持っていたからこそ、Bに一定の運動量を与えることができた。Aの速度が異なるものであったならば、Bに与えられる運動量も異なるものになっただろう。これは、運動の状態がAからB

に受け渡されたことを意味する。これが因果律であり、運動法則とは因果律そのものである。

我々の物理学は物質ではなく因果律を追うものになる。そこに答えがあると私は信じる。

6. おわりに

我々はソルベイ会議のやり直しを要求する。我々の物理学は理解可能なものでなければならない。

アインシュタインは、「量子力学は現実の完全な記述ではない」と言った。その数学的記述の正しさに疑いはないが、言語による記述は不十分である。

本書で確認したとおり、量子力学は不適切な概念を使い、物理学に無用な混乱を持ち込んだ。当のアインシュタインもその混乱に一役買っている。彼の光量子論は一片の真理を含んでいるが、光に実在性を与えたことは誤りである。

その誤りを正した先に、どんな物理学があるだろうか。ゴールはまだ見えない。

著者の HP に本書に関連する記事があるので、興味のある方はどうぞ。
<https://haja.sakura.ne.jp/blog/2561/>