

「第4回サイエンスカフェ」レポート

（講演内容にQ&Aを加え、
修正・加筆して報告します）

科学は万能か —量子力学をめぐる論争と量子コンピュータの誕生

量子力学は、20世紀の物理学・化学と技術を刷新した重要な理論ですが、その原理をめぐる**世界観の対立**に根ざした**論争**が今も続いています。

この論争によって量子力学が進歩するとともに、今話題の量子コンピュータの原理が生まれる契機が与えられたことを説明して**科学の本質**を探ります。

【今回のポイント】

- § 1 量子力学とは
 - § 2 量子力学の原理をめぐる論争
 - § 3 多世界解釈と量子コンピュータ
- 【結論】、【次のシリーズの予告】

【Q&A1】電子を観測する方法は？

【Q&A2】人間の行動(観測)が電子の存在の仕方を変えるとは？

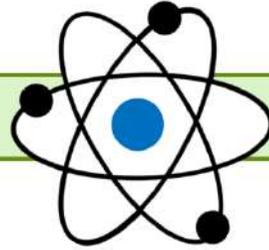
【Q&A3】ボーアが信奉していた哲学は？

【Q&A4】量子コンピュータで用いられている「量子力学的な性質」とは？

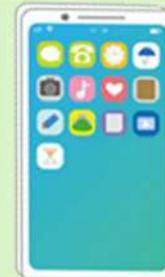
【Q&A5】マイクロ世界の究極のリアリティーとは？

答えは22ページ以降

今回のポイント



量子力学は、
原子より小さなサイズのマイクロ世界の現象を解明し、
エレクトロニクス社会をもたらして世界を変えた理論。



量子力学の**原理**が奇妙奇天烈で受け入れ難いため、
世界観の対立に根ざした**論争**が今も続いています。

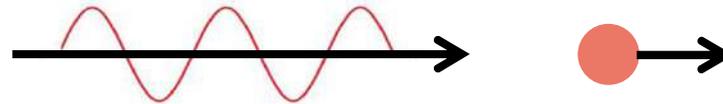
この論争によって量子力学が進歩し、
量子コンピュータの原理が生まれました。



量子力学、したがって科学は自然を
完全に解明したとは言えないのです。

§ 1 量子力学とは

20世紀初期にアインシュタインが、マイクロ世界  では

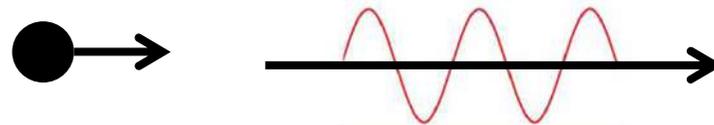


光は**波動**であるが**粒子**でもある

ことを示してノーベル賞を受賞しました。

その後、他の物理学者たちが

電子は**粒子**であるが**波動**でもある



ことを示しました。以上を合わせて **粒子・波動の二重性** と呼びます。

粒子・波動の二重性 に基づいて作られた

量子力学 が大成功を収め、20世紀に物理学、化学、および技術を刷新して世界を変えたのです。

【粒子・波動の二重性】

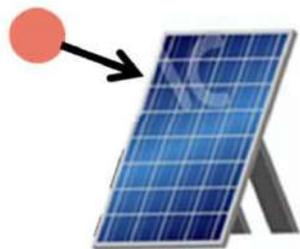
電子は**粒子**であるが**波動**でもあることは、



電子顕微鏡では、
電子が**波動**として
光学顕微鏡と同様
の原理で像を拡大する

ことによって実証され、

光は**波動**であるが**粒子**でもあることは、



太陽光パネルでは、
光が**粒子**(フォトン、
光子)として発電する

ことによって証明されています。

したがって現在、すべての物理学者が、

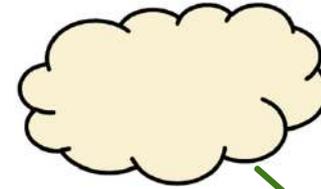
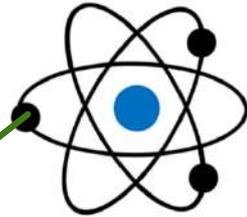
粒子・波動の二重性は事実であると認めています。

【量子力学の正統的解釈】



ニールス・ボーア

ミクロ粒子、例えば電子が波動でもあるという謎めいた性質を説明するために、デンマークの物理学者ニールス・ボーアは、



従来は粒子と考えられていた電子は観測しなければ波動として存在し、粒子としては **実在しない**。

と主張しました。



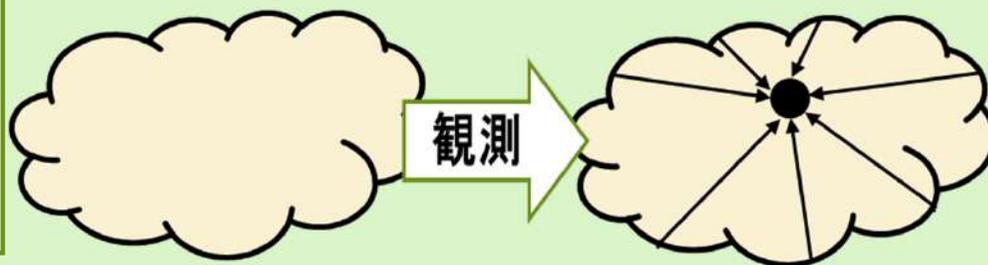
まことに奇妙な説ですが、この原理が現在、科学者によって広く受け入れられており、**量子力学の正統的解釈**と呼ばれています。

観測しなければ電子が実在しないと仮定する正統的解釈は**反実在論**である、と言われています。

反実在論とは難しそうな哲学用語ですが、電子は観測する前には実在しないと主張する**奇妙な説**、ぐらいにお考えください。

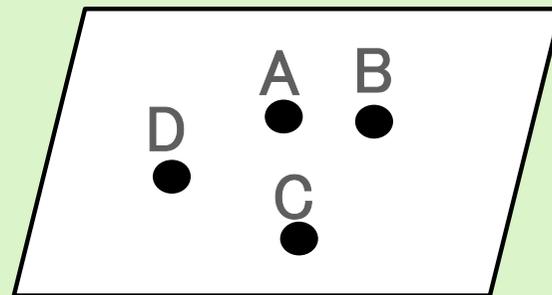
さらに奇妙なことに、正統的解釈では、

観測すると波動が一点に**収縮**し、そこに電子が粒子として出現する。



と仮定され、その上さらに、

電子がどの場所(点A,B,C,D...)に出現するかは**確率**で決まり、**予測できない**。



とも仮定されています。

【Q&A1】電子は観測によって突然姿を現わし、しかもどこに現れるか予測できない...まるで忍者ですね。こんな奇妙な電子を、一体どのような方法で観測するのですか？

【Q&A2】観測という人間の行動が電子の存在の仕方を変えてしまうなんて、とても不思議で理解できませんが？



リチャード・
ファインマン

量子力学は、摩訶不思議でとても受け入れ難い原理に立脚しているので、量子力学を発展させてノーベル賞を受賞したファインマンが次のように述べています。

もしも量子力学を理解できたと思っているならば、それは

量子力学を理解できていない 証拠だ。

20世紀に物理学・化学と技術を大変革して世界を変え、量子力学から生まれた半導体の原理が今やパソコンやスマホなどを動かしている。

ところが、量子力学が **大成功を収めた** ので、

- ◆すべての物理学者が量子力学の**有効性**を認め、
- ◆大多数の物理学者が正統的解釈を受け入れている。

のです。



昔の人々は、地球が丸いと聞かされた時、自分の常識に照らして、地球の裏側に行けば落下する、などと考えて反対したことでしょう。しかし、地球を一周してきた話などを何度も聞くうちに、地球が丸いことを受け入れるようになりました。

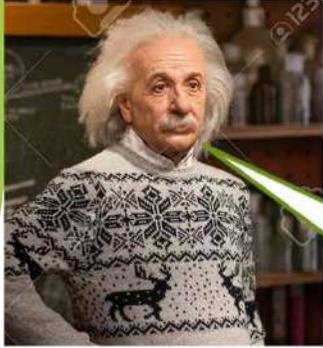


同じように、科学者も量子力学の有効性を知るにしたがって、量子力学が奇妙で謎めいた原理に根ざしていることを気にしなくなり、量子力学を分かったつもりになっているのだ、とファインマンは指摘しているのです。

私も大学で量子力学を習ったときは、常識はずれな原理に戸惑いました。しかし、数式を使って演習問題を解いたりして量子力学の有効性を学ぶうちに、だんだん量子力学の奇妙な原理に対する違和感がなくなり、分かった気になっていきました。

§ 2 量子力学の原理をめぐる論争

アインシュタインは自分の**世界観**に合わないという理由で量子力学の正統的解釈に反対しました。



アインシュタイン

彼は、哲学者スピノザが唱えた審美的で汎神論的、つまり自然界の中に**美と神**を認める哲学を信奉していました。それゆえ

世界は神が置いた**美と調和**に満ちている。人間は世界を**理解**できる。

と考えていたのです。



スピノザ

このためアインシュタインは、量子力学の正統的解釈に対して、

- ◆観測しなければ電子が**実在しない**ので、観測する前の電子については何も**知りえない**。
- ◆観測によって電子が出現する場所は**知りえない**（**確率**で決まる）。

とされているが、このように

知ることを断念する**反実在論**は科学の原則に反する。

と非難し、ボーアに論争をいどみました。

アインシュタインは、

電子が常に実在している**実在論的**な真の理論を作るべきだ!!



電子が**確率**で決まるように振る舞うメカニズムを説明する理論を作るべきだ。

と主張して、ボーアに執拗に反対しました†。

†しかし二人は尊敬と友情で結ばれ、アインシュタインはボーアが反論を考え出すのを助け、ボーアはアインシュタインの死後も彼に話しかけるようにして考察したと伝えられています。



ボーア

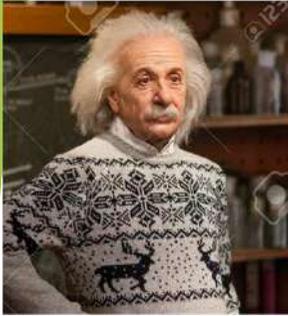
ボーアはアインシュタインに反論すると共に、若い研究者に対して、

アインシュタインがしかけてきた哲学的な**世界観の対立**に根ざした**論争**に巻き込まれずに、正統的解釈の枠の中で研究に励もう!!

と勧めました。ボーアが勧告したおかげで

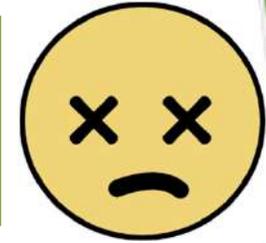
量子力学が**大成功**を収めたのです。

【Q&A3】 ボーアはどのような哲学の影響を受けていたのですか？



アインシュタインの主張は、彼の死後、
理論的にも実験からも**否定**されました†。

†【Q&A4】の脚注参照。



その結果、正統的解釈が **標準的な原理** として受け入れられ、今日に至っているのです。

ところが、あくまでも反実在論的な正統的
解釈に反対する物理学者が**実在論**的な
代替案をいくつか提唱しました。

その中で比較的支持者が多い説は量子
力学の **多世界解釈** と呼ばれ、そこから
量子コンピュータ の原理が発想される
きっかけが生まれたのです。

§3 多世界解釈と量子コンピュータ

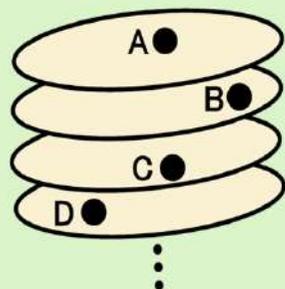
多世界解釈では、この世界以外に多くの世界、すなわち **多世界** が存在すると考えます。



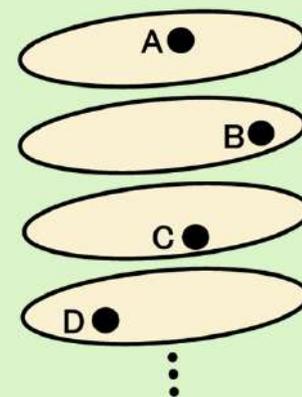
そして、電子を観測する前の世界は、観測によって、

電子がA点に出現する世界、
電子がB点に出現する世界、
電子がC点に出現する世界、
.....

が **重ね合わされた状態** があると仮定します。



観測



さらに、観測すると **重ね合わせ** が解消し、世界は、

電子がA点に出現した世界、
電子がB点に出現した世界、
電子がC点に出現した世界、
.....

に **分離** し、観測者は、いずれかの世界で電子を点A,B,C...のどこかで見出すと考えます。

ただし、観測によってどの点に電子が出現するかは **確率** で決まり、 **予測できない** のです。



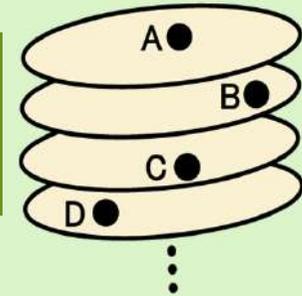
このように

多世界解釈によれば、**正統的解釈と同じ観測結果**
(電子が出現する場所が確率で決まる)が得られる。

のですが、さらに、

多世界解釈では、電子が各世界で**実在**している
ので、**実在論**の要求が満たされている。

のです。



ところが、多世界解釈では、実在論を確保したかわりに、

証明が不可能な多世界の存在†を仮定し
なければなりません。

それゆえ、

多世界解釈は**SFめいた奇説**と
みなされています。



† 多世界の存在が証明できない理由は、仮に訪問・通信によって「他の世界」の存在が確かめられたら、その世界はこの世界に属するからです。宇宙論における多宇宙の存在が証明不可能なのと同じです(第3回レポート11ページ参照)。

ところが、

反実在論よりは**多世界**を仮定するほうが
ましと考える科学者が少なからず存在した
のです。

今も
存在する!

そして、

彼らの中から、**量子コンピュータ**の
原理が発想されました。

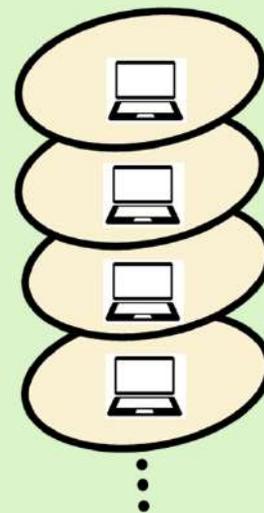


デイヴィッド・
ドイッチュ

英国の物理学者、ドイッチュは、
多世界を思索しているうちに、

各世界に置かれたコンピュータ
が**一斉に計算する光景**

を思い浮かべ、量子コンピュータ
の原理を思いついたのです。



量子コンピュータでは、電子などのミクロ粒子の

重ね合わせ状態、その他の
不思議な**量子力学的な性質**

を利用して計算するので、

従来型のコンピュータをはるかに上回る**超高速性能**
が得られる可能性があると言われています。

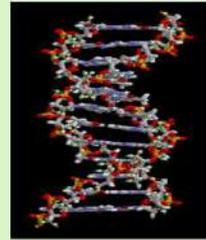
そこで、

- ◆量子コンピュータの開発研究が現在、各国で重要な**国家戦略**として行われ、
- ◆量子コンピュータは、すでに**一部実用化**され、市販とインターネットによるクラウド利用が行われています。ただし、それらの用途は、今のところ研究や人材育成に限られているようです。

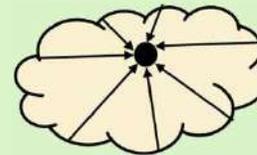
【Q&A4】量子コンピュータで「量子力学的な性質」がどのように用いられているのですか？

【結論】

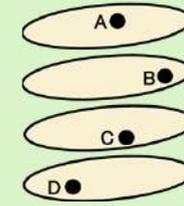
量子力学が**大成功**を収め、世界を変えました。



量子力学の正統的解釈をめぐり
世界観の対立に根ざした論争
が今も続いています。



正統的解釈



多世界解釈

論争によって **量子力学が進歩し** †、論争から生まれた
多世界解釈から **量子コンピュータが発想** されました。

†この論争によって、正統的解釈に対する理解を
ボーアが深めるとともに、量子コンピュータで利用
されている「量子力学的な性質」(【Q&A4】の脚注
参照)が発見される契機が与えられたのです。

素粒子論(量子力学を発展させた理論)の分野でノーベル賞を受賞した物理学者ゲルマンが、次のように述べています。



マレー・ゲルマン

世界観の対立に根ざした論争が今も続いている。

量子力学は、真に理解している者はひとりもいないにもかかわらず、使い方だけはわかっているという謎めいて混乱した学問領域である。

各分野に応用され大成功を収めた。

ファインマンは、9ページで紹介したように、

もしも量子力学を理解できたと思っているならば、それは量子力学を理解していない証拠だ。

と述べましたが、また

科学が万能だと思っているなら、それはあなたの間違いです。

とも言っています。



ファインマン

さらにファインマンは、

私は**自分が間抜け**だと分かるくらい賢い。

と述べて、

科学の限界を知ることが真の知恵である

と唱えています。

これは、古代ギリシアの哲学者ソクラテスおよび使徒パウロが説いた **無知の知** を表しています。



ソクラテス

私は**何も知らないことを知っている**。
だから、「ソクラテスより知恵のある者はいない」というデルフォイの神託を受けたのだろう。



使徒パウロ

もし人が、自分は**何か知っている**と思うなら、その人は、知らなければならないほどの事すら、まだ知っていない。 コリント前書8:2

以上のように、量子力学はマイクロ世界の
究極のリアリティー を解明したとは言え
ません。したがって、自然科学は万能でない
ことが示唆されています。

【Q&A5】現在、マイクロ世界の究極のリアリティーは
何であると考えられているのですか？

次のシリーズの予告

次回から、別途、新たなシリーズ

オンライン・サイエンスカフェ「科学の本質と創造論」 @VIPクラブ西落合・ルワンダ

を開設し、進化論、宇宙論などの科学理論を**パラダイム**としてとらえ、その実態を明らかにして創造論を論証します。

新シリーズの第1回は次のとおり予定しています。

第1回 パラダイム論から探る進化論の実態(1) —生命の起源(化学進化説)—

詳細は新シリーズのHP

<https://www.rwandagreenpastures.com/science-cafe-2/> をご覧ください

Q&A コーナー

【Q&A1】電子を観測する方法は？

<Q>

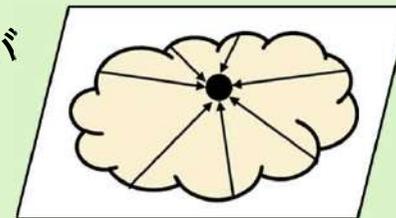
電子は観測によって突然姿を現し、しかもどこに現れるか予測できない・・・まるで忍者ですね。こんな奇妙な電子を、一体どのような方法で観測するのですか？

<A>

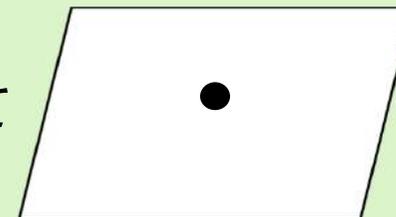
例えば、雲のような波動が矢印方向に進むとして、その先にフィルムを置いて観測するとしましょう。



正統的解釈によれば、波動がフィルムにぶつかった瞬間に波動が一点に収縮し、



その一点に電子が粒子として出現するのです。



【Q&A2】 人間の行動(観測)が電子の存在の仕方を変えるとは？

<Q>

観測という人間の行動が電子の存在の仕方を変えてしまうなんて、とても不思議で理解できませんが？

<A>

人間の行動によって電子の存在の仕方が変わってしまう・・・このような驚くべき不思議なことが量子力学によって明らかにされたのです。

「ニュートンとリンゴの木」の逸話のように、日常生活で扱う物体に関する経験(観測、実験)に基づいて作られた従来の物理学がミクロ世界では成立しないことを量子力学が明らかにしたのです。

【Q&A3】ボアアが信奉していた哲学は？

<Q>

ボアアはどのような哲学の影響を受けていたのですか？

<A>

ボアアは、彼と同じデンマークの神学者であり哲学者であった
キルケゴールの実存主義哲学 を信奉していました。

実存主義では、**社会の風潮や常識にとらわれずに、
個人が主体的に決断すべきである。**

と唱えられています。キルケゴールは、次のように説きました。

精神には、審美的、倫理的、宗教的の三段階があり、
一つの段階から次の段階へ移ることを**決断**する「心の
飛躍」を合理的に説明することを断念せざるを得ない。

このような「**決断と断念**」の哲学に傾倒していたのでボアアは、

- ◆人が**決断**し観測を行うと波動が**収縮**して「実在する
粒子」に飛躍する。
- ◆しかし、どこに収縮するかを厳密に知ることを断念し、
確率による予測に甘んじなければならない。

と主張する正統的解釈を考え出したのです。

【Q&A4】量子コンピュータで用いられている「量子力学的な性質」とは？

<Q>

量子コンピュータで「量子力学的な性質」がどのように用いられているのですか？

<A>

◆量子コンピュータでは、ミクロ粒子で構成された「量子計算素子」で計算します。

◎量子計算素子には「多くの状態」(多世界解釈では「多くの世界」)が重ね合わされています。これを利用して、量子コンピュータでは多くのデータを重ね合わせて入力一括して計算します。

◎その結果、多くの解の候補(★)が重ね合わされた波動が得られます。そこで「量子力学に基づく特別な操作」を加えて波動を収縮させて正解(★)を得ています。



◆量子もつれ(EPR相関)†と呼ばれる性質を利用して上記の量子計算素子が作られています。

† アインシュタインはボーアとの論争で、「正統的解釈によればこのような不条理な現象が起きることになる」と論難しました。ところがアインシュタインの死後、その「不条理な現象」が実際に起きることが示されてEPR相関と呼ばれるようになり、現在、量子コンピュータで利用されているのです。

【Q & A5】 ミクロ世界の究極のリアリティーとは？

<Q>

現在、ミクロ世界の究極のリアリティーとは何であると考えられているのですか？

<A>

近年、ミクロ粒子の量子力学的な性質と情報処理・通信との関係を研究する量子情報科学（およびその成果を応用に展開する量子情報工学）という学問領域が発達しました。

その結果、現在では、

ミクロ粒子の振る舞いは”情報”で決まる。
ミクロ世界のリアリティーは”情報”である。

と考える科学者が存在します。