本サービスにおける著作権および一切の権利はアイティメディア株式会社またはその情報提供者に帰属します。また、本サービスの出力結果を無断で複写・複製・転載・転用・頒布等をすることは、法律で認められた場合を除き禁じます。

踊るバズワード ~Behind the Buzzword (5) 量子コンピュータ(5):

量子もつれ ~アインシュタインも「不気味」と言い放った怪現象

https://eetimes.jp/ee/articles/2008/31/news050.html

今回は、私を発狂寸前にまで追い込んだ、驚愕動転の量子現象「量子もつれ」についてお話したいと思います。かのアインシュタインも「不気味」だと言い放ったという、この量子もつれ。正直言って「気持ち悪い」です。後半は、2ビット量子ゲートの作り方と、CNOTゲートを取り上げ、HゲートとCNOTゲートによる量子もつれの作り方を説明します。

2020年08月31日 10時30分 更新

[江端智一, EE Times Japan]



「業界のトレンド」といわれる技術の名称は、"バズワード"になることが少なくありません。"M2M" "ユビキタス" "Web2.0"、そして"AI"。理解不能な技術が登場すると、それに"もっともらしい名前"を付けて分かったフリをするのです。このように作られた名前に世界は踊り、私たち技術者を翻弄した揚げ句、最後は無責任に捨て去りました一一ひと言の謝罪もなく。今ここに、かつて「"AI"という技術は存在しない」と2年間叫び続けた著者が再び立ち上がります。あなたの「分かったフリ」を冷酷に問い詰め、糾弾するためです。⇒連載バックナンバー

「夢枕通信」

長い時間をかけて「量子の非局所性」を理解して、驚愕呆然(きょうがくぼうぜん)で階下のリビングに降りていった私は、テーブルで新聞を読んでいた嫁さんに、おもむろに声をかけました。

江端:「あのさぁ、『虫の知らせ』って知っているよね」

嫁さん:「ああ、近親者が亡くなった時などに、何の根拠もないのに、その事を知ってしまう、いわゆる『**故人が夢枕に立つ**』っていうアレのこと?」

江端: 「そうそう、それ」

嫁さん:「で、それが?」

江端:「これは、例え話なんだけけど、もし、私が、木星大気圏検索探査艇 JADE-Ⅲで、古代宇宙人の母船『ジュピターゴースト』の探査をしているとして 一一」

嫁さん:「何の話?」

江端:「まあ、つまり、私がとんでもなく遠い場所、例えば、光の速度でも43分間もかかるような木星の周期軌道あたりに『出張中』だったと考えて欲しい」

14日で作る サンドラ かな はならりになった。 がでいる。 はでいる。 はでい。 はでいる。 はでいる。 はでいる。 はでいる。 はでいる。 はでいる。 はでいる。 はでいる。 はでいる。 はでい。 はでいる。 はでいる。 はでいる。 はでいる。 はでいる。 はでいる。 はでいる。 はでいる。 はでい。 はでいる。 はでいる。 はでいる。 はでいる。 はでいる。 はでいる。 はでいる。 はでい。 はでい。 はでい。 はでい。 はでい。 はでい。 はでで。 はでい。 はでい。 はでい。 はでい。 はででい。

嫁さん:「よく分からんけど ―― 分かった」

江端:「そこで、その探査艇が不慮の事故によって爆発し、私が即死したとする」

嫁さん:「うん、それで?」

江端: 「私が、地球にいる家族の『夢枕に立つ』のって、事故発生後から43分より後だと思う? それとも、事故の瞬間だと思う? □

嫁さん:「うーん、分からないけど、私は『事故の瞬間』の方がいいな。43分後というのは、なんとも味気ない」

江端:「まあ、普通、そう思うよな。それが自然だと思う。とすれば、その『"夢枕"通信』は、光速を突破して、有意な情報通信(緊急事故速報)を可能としている、ということだよなぁ・・・・。つまり、それは、相対性理論との明らかな矛盾が発生することになるが・・・」

と呟きながら、自分の部屋に戻っていく私を、嫁さんは全く気にしていない様子でした 一一 いつも通り。

ことし(2020年)の4月にこの量子コンピュータの連載を始めてから、自宅での論文や資料の印刷の枚数がハンパではありません。A4用紙やインクの消費量もすごいことになっており、私の部屋の中が資料で溢れかえっており、全く収集がつきません。

それでも、前回までで、「1量子ビット」については、自分なりに理解して纏めることができたと考えて、今回から「2量子ビット」の勉強に入っています。

そんでもって、これまで着手していなかった —— 正直に言うと、勉強を避けてきた —— 「量子もつれ」を調べ始めました。 着手していなかった理由は、「もつれ」という言葉を見ただけで、『あー、なんか、面倒くさそう』と思ったからです*)。

*)実際のところ、私は「量子の重ね合わせ」と、「量子もつれ」を混同して使っていたくらいです。

そんな訳で、今回は、この「量子もつれ」について、論文、書籍、Webサイト、果ては、YouTubeの動画に至るまで、徹底的調べたのですが、なかなか理解できませんでしたが、ある瞬間、その意味に気が付きました。そして、**呆然自失となりました**。



私は、本連載の第1回で、「観測によって状態が変化する量子」を、<u>『怪談』と言いましたが</u>、今回の「量子もつれ」 ―― **量子の非局所性** ―― の話は、『怪談』などというレベルではなく、私を発狂寸前にさせるものでした。

『1対の量子の一方の状態が確定すると、他方の量子状態も"瞬時に"確定する。たとえ、その2つの量子の間の距離が、 何百万光年離れていようとも』

(この原稿を執筆している時点の私は)この「量子の非局所性」が、超高速通信を実現するものでもなければ、いわんや物体移動(どこでもドア)なんぞとは、全く無関係であることを知っていますが ―― それでも、今なお、

一一 気持ち悪!

という感情を捨てきれていません。

『量子論は不完全である』と終生主張し続け、この量子の非局所性を『不気味な遠隔作用』とまで言い切った、あのアルバート・アインシュタインさんの味方になれる、と思っているほどです*)。

*) 江端が何を言っているのかは、今回のコラムを全部読んで頂ければ分かります(多分)。だから、最後のページまで読んで下さい(途中で止めないで下さい。数式が出てくるページは全部すっとばして構いませんから)

量子論に"タダ乗り"する宗教団体

こんにちは、江端智一です。

今回は、(1)量子論に"ただ乗り"する不愉快な宗教団体、(2)「量子もつれ」に関係する「量子の非局所性」についての量子論100年の論争のプロセスとその内容、(3)2量子ビットを、2つの量子井戸と電子を使って実現する方法および、(4)量子コンピュータでの「量子もつれ」の作り方、の4点について、お話をしていきたいと思います。

さて、この連載に関して、私は量子コンピュータや量子論について、(これまでにはないほどの膨大な)資料に目を通しています。しかし、同時に、結構な頻度で、私を不快にさせる情報も釣り上げています。

宗教団体関係です。

量子論と絡めた宗教論やスプリチュアル(って言うんですか?)を論じるWebサイトや書籍、果ては大学院の博士論文に至るまで、さまざまな資料が引っ掛かってきて、鬱陶(うっとう)しいことこの上もありません。

以前、担当編集のMさんは、編集後記で「<u>当然、江端さんなら盛大に『せせら嗤う』でしょう</u>」と書かれていましたが、もう、 『せせら嗤う』状況を越えて、『**真面目に調べてみるか**』という気になってきました。そこで、今回、これに着手してみました。

まず、前提として、量子論と宗教の間には、本質的になんの関連性もありません。

百億万歩譲って、関連があったとしても、量子の世界の振る舞いは、私達の日常に1ナノメートルたりとも影響を与えるものではありません(量子コンピュータは、量子の性質を利用して動くことが『期待されている未来の計算機』です)。

まっとうな宗教団体は、量子の話を持ち出したりしません。そのナンセンスさや、無意味さを分かっているからです。

比して、頭の悪い —— 特に**頭のイカれた教祖と、それを信奉する無知性な信者からなるカルトな宗教団体**に、この傾向 が顕著に見られます。

なぜ、これらの頭の悪いカルト宗教団体は、これらの量子論に"ただ乗り"しようとするのか ―― それは、量子状態の物理現象が、日常で観測からは「説明ができない」「非常に気持ちの悪い」現象であるので、宗教論としての"理"を説くだけの知力のない教祖にとって、大変都合の良いものだからです。

そもそも、宗教(≠神、超越者)というのは、極めて論理的で、合理的で、科学的(仮説→観測→実験のプロセスが組込まれている)ですらあります。"理"で論じられないものが、千年のオーダで生き残れる訳がないのです*)。

*) そういう観点から、この本は本当に面白かったです。お勧め致します。

とりあえず、量子論に"ただ乗り"している宗教関連のページ数と書籍数を、Google数とAmazonの検索エンジンで調べてみました。

量子論に"ただ乗り"する宗教

Google検索のヒット数とAmazonの書籍数

検索ワード	日本語	英語
"量子" & "仏教"	40万	909万
"Quantum"&"Buddhism"	(17)	(187)
"量子"&"キリスト教"	28万	1590万
"Quantum"&"Christianity"	(3)	(545)
量子"&"イスラム教"	16万	1550万
"Quantum"&"Islam"	(0)	(230)

():Amazonで調べた書籍数

国外でも、結構な数の"ただ乗り"を確認

その多さに、唖然としました。私は国内(84万件)しか見えていなかったのですが、英語圏内になると、ざっと4000万件を突破しています。書籍数も含めて考えると、日本は、まだマシな方なのかもしれません。

次に私が気になったのは、彼らが量子論をどの程度理解した上で、持論を展開しているか、ということでした。

私が着目した観点は、2つ。「(1)観測によって確定する量子の性質=量子の重ね合わせ」と、「(2)量子の非局所性 = 量子もつれ」です。

宗教論に、量子論の内容を絡ませてくる以上「(1)量子の重ね合わせ」くらいは理解しているだろうと考えました。ですので(1)よりも、はるかに難しい「(2)量子もつれ」という"言葉"にたどり着けているかどうかで判定してみました(日本語ページのみ)。

宗教関係者の量子論の理解の程度

「"量子もつれ"にたどり着いているか」で判断

検索ワード	日本語	比率
"量子もつれ" & "仏教"	1.48万	3.7%(=1.48万÷40万)
"量子もつれ"&"キリスト教"	3.73万	13.3%(=3.73万÷28万)
"量子もつれ"&"イスラム教"	0.55万	3.4%(=0.55万÷16万)

ほとんどたどり着いていない →量子論を"論"として理解していない

差はあったものの、それでも3.4%~13.3%という低い値でした。もし私が、カルト宗教の教祖であれば、「量子の重ね合わせ」より、もっと強力で強烈な非日常的現象である「量子もつれ」を使うはずです。ここから導かれる仮説は「**彼らは量子論を"論"として理解していない**」ということです。

最後に、頭の悪いカルト宗教団体が、実際にどういう内容で量子論を教義に取り込んでいるかの一例を紹介します。

宗教関係者が"利用する"量子論

カルト宗教が大好物な題材

検索ワード	宗教的なこじつけの例	判定
不確定性原理	物質現象と人の観測行為との繋がり(物質と意識の繋がり?)を示す	こじつけ
量子もつれ・量子 テレポーテーション	遠く離れた二つものが一体として存 在する。宇宙・世界の一体性を示す	こじつけ
量子脳理論	意識を司るのは、脳細胞ではなく、そ の中の量子である	(何を言ってい るのか、本当に 分からなかっ た)

日常生活に全く関係のない量子の話を"こじつ け"て、一体、何を"説教"したいのか?

私なら、もっと上手い"こじつけ"を創作して、 "江端教"を立ち上げるみせる

上記の内容については、もはや、バカバカしくて論じる気にもなれませんが ―― 逆に、私は希望が湧いてきました。なぜ なら、私もそろそろ会社から定年で追い出される時のことを、真面目に考えなければならないフェーズに入ってきているから です。

日常世界で顕在化しない量子現象を、テキトーに教義に組み込んで、知性の高くない信者を取り込み、彼らのお布施で 老後の生活を担保する ——「**江端教***)の立ち上げ」が私のスコープに入りつつあります。

- *)「シュレーディンガー教」、とか、「量子猫(0猫、1猫)教」とかでもいいかも。
- *)編集担当M:「O猫1猫教」に1票です。

つまるところ、バズワードの中でも、特に量子論に関わる各種のバズワード("量子コンピュータ"、"量子の重ね合わせ"、 "量子もつれ"等)に関して言えば、

- ●「そのバズワードの内容に正面から立ち向い、理解する」ということを最初から放棄し、● そのバズワードに含まれる非日常的な現象に"ただ乗り"しようとする、● "無知性"、"無能力"、"無責任"、"無教養"、"無信念"、"無品性"、そして、"無羞恥"

の者によって、これらのバズワードが濫用(×乱用)される傾向が高い、ということが言えそうです。

では、今回の「バズワード批判」はここまでとして、本論に入りたいと思います。

驚がくの「量子もつれ」

今回から2量子ビットの話に入ります。ならば、その次は3量子ビット、4量子ビットとして、延々に続くのかというと、そうい う訳ではありません。というのは、"2量子ビット"まで理解すれば、あとは、数学的帰納法的に、"n量子ビット"まで拡張でき る 一一 らしいのです。

なぜ、「らしい」などと言っているかというと、私が、その理屈について、いまひとつ肚に落ちていないからです。

"2量子ビット"までの理解で十分な理由

"2量子ビットまで分かればそれ以上の検討は不要"と、 随所に記載されているから

フレーズ	文献	
「2量子ビットゲートまで理解 すれば十分です」	絵で見てわかる量子コンピュータの仕 組み (宇津木健 著) p.72	
「任意の量子状態は1量子 ビットに対する全ユニタリー ゲート(U)と2量子ビットに対 する制御NOTゲートの組み合 わせで原理的に実現可能」	14日で作る量子コンピュータ Visual C++版 (遠藤利平 著) p.208	
「3種のゲート{H,T,CNOT} があれば、任意のn量子ビット ユニタリー演算が実現できる」	Quantum Native Dojo (https://dojo.qulacs.org/ja/latest/noteboo ks/1.3 multiqubit representation and op erations.html)	
「古典ゲートのNANDが一つ あれば、全ての演算が実現で きる」	江端が学生の頃に学んで理解した、情報理論の一節	

偉い人(知人を含む)が言っている→疑わない

まあ、どうしても分からなかったら、「泣き付く先」に心当たりがあるので、その人に頼ろうと思っています(まあ、古典ゲートのNANDと似たような話になるんだろう、と思っていますので、あまり不安は感じていません)。

[Tさんツッコミ!] 万能な量子計算は2量子ビットまでの量子ゲートの組み合わせにより実現できますが、量子回路や量子アルゴリズム、量子誤り訂正の設計には、N量子ビットの量子ゲートの理解が必要になります。

さて、2量子ビットのデバイスイメージと制御方法については、後述するとして(基本的には、1量子ドットビットの考え方の拡張です)、今回、私が、この1カ月間の休暇(夏季休暇を含む)も費やして、調べていたのは「量子もつれ」です。

このコラムの監修をして頂いている、「量子コンピュータ大好きのTUさん、通称『量オタのTさん』」から、前回のコラムで、

[Tさんツッコミ!] これは間違いです。「重ね合わせ状態」を作り出すゲート、が正解です。江端さん、「重ね合わせ状態」と「もつれ状態」は違うものです。もつれ状態は、CNOTなどの2量子ビットゲート処理も必要です。

との指摘を受けたことがきっかけにはなったのですが 一一。

この「量子もつれ」こそが、量子論100年論争のメインターゲットであった、「量子の局所性/非局所性」のどストライクの話であることを知り、がく然としました。

加えて、これが、世の中に壮大な誤解をばらまいている「量子テレポーテーション」の病巣(?)であることも分かってきて、ウンザリした気持ちになっていました。

そして、この私の直感は、的中します。それは、私の現時点での常識を覆す程の、大パラダイムシフトであったからです。

結論からお話します。「量子もつれ」とは、以下の図で示される、(私にとっては)驚愕動転の量子現象です。

驚愕動転の"量子もつれ"という現象 その時、私は"嘘だ!"と叫んだ 江端:出張on木星の 嫁さん:自宅on地球 人工衛星 光速で43分 (Step1) もつれ状態にある、2量子ビット猫を生成 (Step2) 1量子ビット猫に分離し、2つの猫部屋に隔離 (Step3) 1つの猫部屋を出張先(木星)に移設 (Step3)嫁さんが自宅の 「猫部屋」を開けてしまった (Step4)嫁さん その瞬間に! が"0"(死んでいる 猫)を観測 もし、江端が観測すれば 必ず"1"(生きている猫)になる 量子猫に変化(確率100%で)

'(1)何光年離れていようとも、(2)瞬時に'' → 光速を突破?

これが冒頭でお話した「"夢枕"通信」につながります。

対になった量子(後で説明します)を、とんでもなく遠い場所に置いて、その一方を観測して量子状態を確定させたら、その瞬間に他方の量子状態が"量子状態のまま確定する"ということであり ―― 理解不能な現象です。

2つの量子の間に、光ケーブルがある訳でもなければ、電波が飛んでいる訳でもありませんし、そもそもそれらがあったとしても、光も電波も、光速を突破して伝わることはできない —— なるほど、カルト宗教が飛び付くのも無理からぬことかと思います。

そもそも、私は、これ、最初に理解した時は「うそだ」と思いましたし、実験的に検証され尽した(後述します)現時点であっても「うそであって欲しい」と思っているくらいです。

ちなみに、量子論を学ぶ人は、誰もが「量子の重ね合わせ」と「量子もつれ」の洗礼を受けることになっているようです。

著名人の言葉を集めてみました。

アインシュタイン:「(量子論は)すばらしく頭の良い偏執症患者が、支離滅裂な考えを寄せ集めて作った妄想体系に見える」

ボーア: 「(量子論に)はじめて出会った時にショックを受けない者に、量子論は理解できない」

パウリ:「(量子論のことなど)聞いたこともない、というのならよかった」

マレー:「(量子論は)真に理解している者はひとりもいないにもかかわらず、その使い方だけは分かっている」

歴史的な天才たちを持ってしても、この"言"です。

ましてや、著名人でも天才でもない私(江端)が、

江端:「この(量子コンピュータの)連載は、早々に引き上げよう」

という"言"を発するのは、無理からぬことです ―― この言葉が、後世に残るかどうかは、さておき。

「量子もつれ」アンチ派の主張

本連載の第1回で、「量子の重ね合わせ」について、シュレーディンガーさんと、アインシュタインさんが、徹底的にネガティブな主張を続けていたことを説明しました。

再掲:シュレーディンガーの猫

「こんな"変な悪い猫"がいるか!」と、 シュレーディンガー先生は叫んだ(・・・と思う)



(1) 江端が扉を開ける前: 半分死んで、半分生きている猫がいる

(2) 江端が扉を開けた瞬間: 猫の生死が確定する

コペンハーゲン解釈の批判(×肯定)

アインシュタインさんは、「神はサイコロを振らない」と主張し続けて、量子力学における確率論の考え方を、ガンとして認めませんでした*⁾。

*) ちなみに現在は、「神は、四六時中、サイコロを振りまくっている」でケリがついています。ケリがついていなければ、IBMやGoogleの実験用の量子コンピュータは1mmも動いていないハズです。

このアインシュタインさんの主張は、「量子の重ね合わせ」よりも、むしろ「量子もつれ」の方にウエイトが重かったのではないかと思うのです。「量子もつれ」は、相対性理論を脅かしかねない理論でもあったからです(後述します)。

ですから、確率論に基づく量子論を主張するボーアさん一派の主張を、アインシュタインさん(シュレーディンガーさん、ベルさん、その他の方々)は、認める訳には行かなかったのだ —— と、私(江端)は考えています。

「量子もつれ」に関して、アンチ量子論派の頭目である、アインシュタインさんが放った必殺のロジックが、「EPRパラドックス」です。アインシュタイン=ポドルスキー=ローゼンという3方による思考実験に基づくパラドックスのこと(EPRは、この3人の頭文字です)で、簡単に一言でまとめれば「相対性理論と両立しない量子論は、変だろう?」という内容です。

"量子もつれ"に対する、怒涛の反論

「ボーア! バカなこと言ってんじゃねーぞ!!」 アインシュタインさんのEPRパラドックス



「お前、俺の"相対性理論"を潰す気か!」 (*)5なみに、この図中のセリフは全て「フィクション」(江端の創作)です

さて、このままでは、アイシュタインさんと、ボーアさんの「ないもーん」「あるもーん」の子どものケンカになってしまいま t^*

*)実際には、アインシュタインさんの「神はサイコロを振らない」に対して、ボーアさんは「神が何をなさるかを貴方が語るなかれ」というような応酬をしたそうです。

で、この論争は決着は付かないまま、アイシュタインさんは1955年に、ボーアさんは1962年にお亡くなりになりました。

しかし、この闘いには決着がついていません。

結局のところ、この論争は、ケチのつけようのない、穴のない、完璧な実証実験以外の手段では、決着が付けられないのです。しかし、実証実験をやるにしても、どんな実験をすれば良いのか、全く分からない状況でした。

1対の量子をどうやって作るのか、作ったとしてもどこに貯蔵するのか、今でこそ量子状態の寿命(コヒーレンス時間)は 0.0001秒と長いです(これでも十分長いです)が、当時、量子状態を維持するどころか、量子状態を作る材料すらメドが 立っていなかったハズです(量子コンピュータは1980年に、理論から始まっていますし、ハード開発は、2000年に入ってからです)。

そもそも、1つの量子状態の量子を「とっつかまえて、調べる」などということは不可能です。観測すれば、量子状態は必ず 壊れるので、量子状態を直接知る手段はありませんし、これからもできないでしょう。

「ベルの不等式」の登場

アイシュタインさんと、ボーアさんの没後、このデッドロック状態に対して、それを破壊する現実的な手段が提案されます。 「ベルの不等式(1964年)」です

「ベルの不等式」の驚くべき点は、その内容のシンプルさにあります。その不等式は、1行で書けて、その式の意味は、確率を学び始める中学二年生でも理解できます(内容については、ちょっと……ですが)。

この「ベルの不等式」を説明する前に、まずは、その理解に必要な最低限の言葉と意味を覚えておいて下さい。

ベルさん、"勝負の付け方"を提示

まず、これらの言葉を覚えておいて下さい(重要)

キーワード	説明	Я	江端の	解説
局所性 (アインシュタ イン派)	ある地点で行われ た行為によって、遠	直ちに影響する はずがない	地球での観測が、 (光速を越えて)	はずがない
非局所性 (ボーア派)	くの現象が	直ちに影響する ことがある	木星で影響する	ことがある
EPRパラドッ クス	相対性理論と量子理論が、両立しないこと		「光速を越えて量子状態が変化するって <mark>気持ち悪い</mark> 」	
隠れた変数論	世界の確率的な振る舞いの裏に、確 固たる存在または性質が実在する、 という考え方		一言で言えば、「量子論(確率 論)は間違っている」という主張	
角運動保存法則	スピン(*)していない粒子から、スピンを持つ粒子 2 つが生成された場合、その2つのスピンの角運動量の合計は0となる		この2つの粒子のスピンが分からなくても、一方を測定して上向きだったなら、もう一方は必ず下向きになる、ということ	

(*)スピン≠回転だが、江端に説明する力量がないので省略する

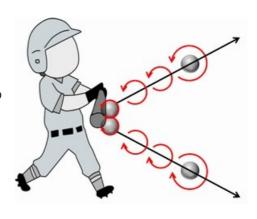
次に、アインシュタインさんの主張と、ボーアさんの主張を、簡単な図を使って説明してみます。

唐突で申し訳ありませんが、ここで1対の量子状態をイメージするために、電子対なるものを用います。電子対とは、分子や原子内で一つの電子軌道に配される電子の対であり、一つの電子軌道にスピンの符号が異なる電子が2個まで入ることができるものです。

この電子対から電子を分離すると、「一方は上向きスピンで回転し、もう一方は下向きスピンで回転する」ことになります。これは、角運動量保存法則から導かれる(かなり分かりやすい)一つの現象です。

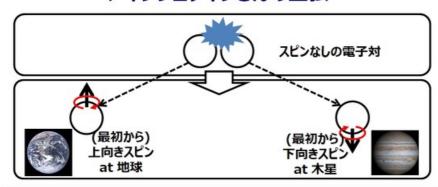
この「上向き」とか「下向き」とかは、ボンドでくっつけた状態にある2つのボールを、バットでたたいてぶっちぎった時に、ボールの一つが「左回り」をして、もう一方が「右回り」をしているイメージで理解してもいいです。

つまり、量子のスピンの方向は、バットでたたいた時に、もう「既に決定している」のであって、一方を観測すれば、他方のスピン方向が分かるというものにすぎない —— ということです。**うん、これなら、確かに分かりやすい。**



スピンを使った「局所性」の考え方

アインシュタインさんの主張



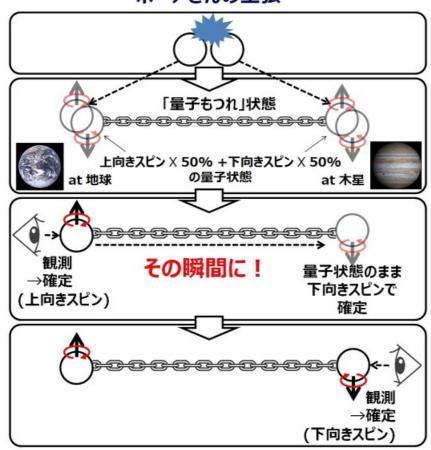
「スピンの方向は、最初から決まっている」 と考える

つまりアインシュタインさんが言いたかったことは、1つの電子対から生成された電子は、最初にその挙動は決定していて、その後、その両者は関連しあうことなく、地球と木星のそれぞれで、独立して存在しているハズである、ということです。

比して、ボーアさんの確率論に基づく量子論は、かなりぶっ飛んでいます。

スピンを使った「非局所性」の考え方

ボーアさんの主張



「スピンの方向は、片方の量子を観測すると確定し、他方の量子も"その瞬間"に確定する」 と考える

電子対から電子を分離した時、双方の電子は、いずれも、上向きのスピンと下向きスピンが、確率50%で重ね合わさった状態で存在します(なんで、逆方向のスピンが重ね合わさるの?と思いますよね。私もそう思いますが、ここは"0猫"と"1猫"の話を思い出して飲み込んで下さい)。

そして、一方の電子が、上向きスピンか、下向きスピンかのどちらであるかを観測した**瞬間**、もう一方の電子の状態が、 観測を待たずに、上向きスピンか、下向きスピンかのどちらであるかが、**観測を待たず**に確定してしまうのです。

その2つの電子の一方を**地球上の江端家宅で観測したら**、もう他方が、木星(43光分)にあろうが、アルファケンタウル星(4.4光年)にあろうが、果ては、最も遠い銀河z8_GND_5296銀河(126億光年)にあろうが、**瞬間に(同時に)確定する、**ということです。

しかし、その確定は、その電子をいくら眺めていても外部からは確認できません。木星、アルファケンタウル星、または、z8_GND_5296銀河に、最接近した宇宙船で、私が、実際に、観測機を使って観測しなければ分かりません。

そして、観測した結果(上向き/下向き)が

- (1)地球で観測されたことによる結果なのか、
- (2)地球ではまだ観測されていない状態での結果なのか

を、知る手段がありません。

もし、どうしても、それを知りたければ、地球にいる私の嫁さんからの連絡を待たなければなりません。それは、**少なくとも43分後になります**。なぜなら、地球一木星間の通信には、最短で43分かかるからです(ちなみに、私が、アルファケンタウル星に出張中なら、4年5カ月後になります)。

―― なにそれ? それって、量子の非局所性の性質があったとしても、何の役にも立たないじゃん!?

そうです。量子の非局所性は、少なくとも「通信」に関しては、完全に、問答無用で、100%「役立たず」です。

「量子テレポーテーション」に対する世間の誤解の大半が、この「量子通信」にあるのは、議論の余地がありません*)。

*) 量子テレポーテーションの正しい意味については、紙面の都合と、私の知力と体力の都合で次回の説明に回します。

このボーアさんの主張に対する私の感想を一言で申し上げますと、「 絶望的に訳が分からん」です。

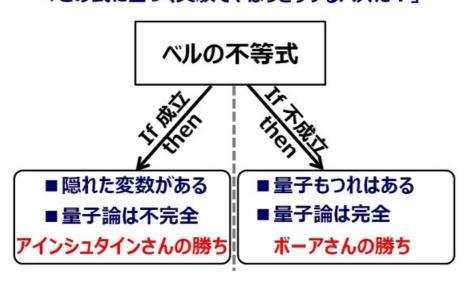
「ベルの不等式=成立」の場合

さて、ここから、再度、ベルさんにご登場いただきます。

ベルの不等式のすごいところは、「量子に局所性があるなら、不等式は破れない=アインシュタインさんの勝ち」、「量子の 非局所性が成立するなら、不等式は破れる = ボーアさんの勝ち」という図式を、明快に示す点にあります。

ベルさんの勝敗の決着方法の考え方

「この式に基づく実験で、はっきりするハズだ!!



(ちなみにベルさんは、アイシュンタイン派「量子論は不完全」の方に属していたようです)

ちょっと気を付けていただきたいのは、ベルさんは、この「ベルの不等式」を考えましたが、実証実験の方式(つまり、実験装置の作り方)までは提示していなかった、ということです。

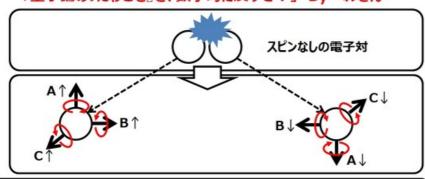
つまり「こういう実験ができれば、勝敗が付くはずだ」という可能性を、数式で示したものです。そして、現実の実証実験には、さらにここから8年の月日が必要でした(後述)。

では、まずは「ベルの不等式」を使って、アインシュタインさんが正しいと仮定した場合の話から始めます。

If "ベルの不等式=成立" then…(1)

ベルの不等式とは、「この式に基づく実験で、 はっきりするハズだ!」という方針を示したもの

「量子論の『たわごと』を、数学的に潰すぜ!」 By ベルさん



電子のスピンは3種類あると考えて下さい

電子のスピンとは、(詳しい話は省略しますが)基本的には、「概念」です。光速で移動している電子に回転があるとすれば、その回転速度は光速を超えてしまって、理論的に破綻してしまうからです。

ですが、「スピンがある」として考えると、"電子に影響を与える"or"電子が作りだす"電場や磁場の影響をスッキリ説明できて、かつ量子論的にも矛盾が発生しないので、今回は、「スピン」を使って説明を強行します(というか、私(電子工学科出身)は、それ以外の方法では説明できません)。

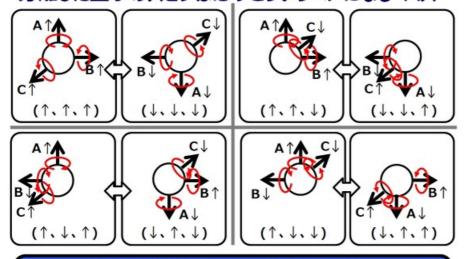
電子のスピンには(前述の"上向き"と"下向き"の)2つ、あるいは3つ、または4つとか、いろいろな考え方があります。今回の説明では3つのスピンを採用します。これはx,y,zとの3軸方向でのスピンと考えれば分かりやすいです。

x軸方向に上向きのスピンを、"A↑"と、下向きのスピンを"A↓"と記載します。同様に、Y軸方向は、"B↑"、"B↓"、Z軸方向は"C↑"、"C↓"と記載することにして、その3つのスピンを(↑、↓、↑)などと記載することとします。この組み合わせは8(=2x2x2)通りになります。

先ほどお話した通り、分離させられた電子のスピンは、かならず逆方向になりますので(直感的にも分かりますよね)、例えば、一方の電子のスピンが(↑、↑、↑)ならば、もう一方の電子のスピンは、**測定するまでもなく**(↓、↓、↓)となっているハズです。この対となるペアを記載したのが以下の図です。

If "ベルの不等式=成立" then…(2)

分離した量子のスピンは必ずこういうペアになる"ハズ"



一方の量子のスピンを調べれば、他方のスピン は、調べるまでもなく決まっている"ハズ"

ここで、電子のスピンを測定する測定器の一つは、地球上にある江端家にあり、もう一方の測定器は、江端の出張先の木星大気圏探査艇の中にある、と仮定します(あくまで、思考実験です)。

木星と地球の中間地点くらいで、電子対から分離した電子を、膨大な数、ランダムな方向にぶっぱなし続けるとします (電子の量子状態の時間(コヒーレント時間)は無視します)。

その(気の遠くなるほどの小さい確率で到着した)一部の電子を、地球と木星の両方で、とにかくカウントし続けるとします。

地球上でX軸を観測して上向き(↑)となり、木星軌道上でY軸を観測して上向き(↑)となるような確率Pは、

$$P(A\uparrow,B\uparrow) = \frac{n(A\uparrow,B\downarrow)C\uparrow) + n(A\uparrow,B\downarrow)C\downarrow)}{N}$$

と、表せます。ならば、P(B↑、C↑)も、P(A↑、C↑)も同様に表せるハズです。

[Tさんツッコミ!] この式の意味が分かりにくい気がします。PはP(地球、木星)の測定結果になる確率で、nはn(地球X、地球Y、地球Z)の測定結果で、nはその場合の数、Nは全部の場合の数(8ケース)ですね。地球と木星で色分けするとよいかもしれません。

(というアドバイスを頂きましたので、以下、地球は水色で、木星はピンクで示します)

If "ベルの不等式=成立" then…(3)

多くの電子を調べて、この8種類でカウントする



$$p(A \uparrow .B \downarrow C \uparrow) + p(A \uparrow .B \downarrow C \downarrow)$$
 $p3 + p4$

$$P(A \uparrow, B \uparrow) = \frac{1}{N} = \frac{1}{N}$$

$$P(A \uparrow B \uparrow C \downarrow) + P(A \downarrow B \uparrow C \downarrow) = \frac{1}{N}$$

$$P(B\uparrow,C\uparrow) = \frac{n(A\uparrow,B\uparrow,C\downarrow) + n(A\downarrow,B\uparrow,C\downarrow)}{N} = \frac{n2 + n6}{N}$$

$$P(A\uparrow,C\uparrow) = \frac{n(A\uparrow,B\uparrow,C\downarrow) + n(A\uparrow,B\downarrow,C\downarrow)}{N} = \frac{n2 + n4}{N}$$

$$P(A\uparrow,B\uparrow) + P(B\uparrow,C\uparrow) = P(A\uparrow,C\uparrow) + \frac{n(A\uparrow,B\downarrow,C\uparrow) + n(A\downarrow,B\uparrow,C\downarrow)}{N}$$

$$P(A\uparrow,B\uparrow) + P(B\uparrow,C\uparrow) = P(A\uparrow,C\uparrow) + \frac{n3 + n6}{N}$$

ということは、最初から量子の状態が決まっているのでれば

P(A↑,B↑) + P(B↑,C↑) ≥ P(A↑,C↑) が、絶対的に成立する"ハズ"

最初から量子の状態が決っているなら、上記の不等式は、絶対的に成立するハズ

ここでは、スピンの方向がX,Y,Z軸と記載したので、あたかもスピンが直交しているように見えるかもしれませんが、このX,Y,Zは、全く同じ軸(角度 0°)でなければ、どの方向に向いていたって構わないものとします。

もし、X,Y,Zがキレイに直交していなければ、n1~n8回の個数は、平均的にはならず、かなり偏ったものになるかもしれません(例えば、n3=0, n6=0というような極端なケース)が、それでも、この不等式が破れることはありません*)。

*)試しに、n1~n8に好きな数(0以上の整数)を入れて計算してみて下さい。

ベルさんのすごいところは、「もし確率に基づく量子論が成立するなら、この不等式を破れる」ということを示したということです*⁾。

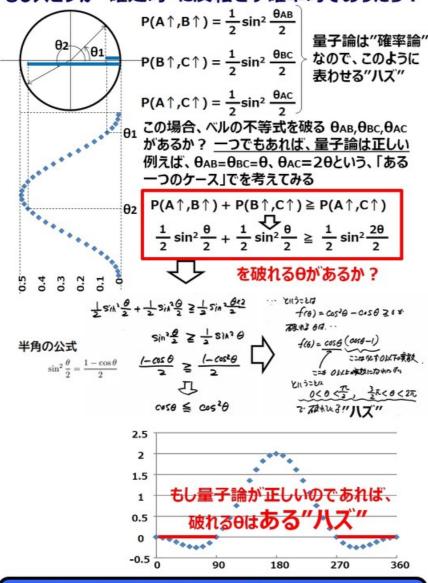
*) 私には、ベルさんが「できるものなら、この私の不等式を破れる実証実験結果を見せてみな!」と、ボーア派を挑発しているように見えました。

では、次に「ベルの不等式」を使って、ボーアさんが正しいと仮定した場合の話から始めます。

こちらでは整数は登場しません。徹頭徹尾、確率(%)を使います。

If "ベルの不等式=不成立" then…(2)

もしスピンが"確定的"に反転せず確率的であったら?



実験で、ベルの不等式を破る現象が確認できれば、アインシュタインさんの敗北が確定

この式の意味は意外に簡単です。

$$P(A \uparrow, B \uparrow) = \frac{1}{2} \sin^2 \frac{\theta_{AB}}{2}$$

これは、片方の量子の回転が反転(180°)する確率が1/2になることを示す式である点では、「アインシュタインさんが正しいと仮定した場合」と同じです。

しかし、この式では、確実な反転(180°)だけではなく、中途半端な反転である、179°も181°の存在はもちろん、123°だって、32°だって、下手すれば、0°の可能性すら、「**確率は小さくなるけど、それでも存在するハズ**」を示す式になっています ―― まさに「確率に基づく量子論」を体現している式と言えます。

故に「量子論が正しい」を証明するには、ベルの不等式の反例が一つ見つかれば十分なのです。

で、実際に、ある特定の条件下(図中の例では、 $\theta_{AB} = \theta_{BC} = \theta$ 、 $\theta_{AC} = 2\theta$ として式を組み立てています)では、ベルの不等式が破れる値が、バッチリ存在するのです。

だからベルさん(アインシュタイン派)の、ボーア派への挑発(?)とは「実証実験で、この不等式の反例を1つでもいいから、見つけてみやがれ」ということになるのです。

「ベルの不等式」破れまくり

この不等式の発表から8年後、この確率に基づく量子論が「**大嫌い**」で、量子論を「**否定してやりたい**」という野望に燃える、若き大学院生、ジョン・クラウザーさんが、この実験方法と実験装置を真面目に考え出し、ついにその装置を完成させてしまいます*⁾。

*)この辺、「夏休みの宿題が終わらないので、学校に放火する小学生」とか、「レポートが書けないので、担当教官を殺害しようとした大学生(<u>著者のブログ</u>)」とかの話を思い出させます。

ところが実験結果を見てみて茫然自失 ―― なんと、ベルの不等式は「破れていた」のです。

で、それから、出るは出るわ、ベルの不等式、"破れまくり"の実験結果が、世界中で報告されます。

1972年から今に至るまでの代表的実験

各種の実験の結果、ベルの不等式"破れまくり"

実験名称	説明	その他
CHSH-ベル定理 予測の最初の実 験的試験	ジョン・クラウザーさんと、スチュアート・フリードマンさんが最初の実験的試験を行った。量子もつれ(数千個)を大量に作る装置を作成(1972)	量子力学の間違いを証明 しようとして、逆の結果を得 てしまった
アスペの実験	アラン・アスペさんが、実験でCHSH不等式(ベルの不等式の一種)が破られていることを示した。	「局所性の抜け穴」「検出 効率の抜け穴」の問題が残 るとの批判あり
古澤明氏らの研 究チームの実験	「量子(光子)の非局所性」を世界で初めて厳密に検証(2015年)	「本実験にて、上記の穴を 完全に塞いだ」との記述あり
地上-衛星間量 子テレポーテーショ ン実験	中国の研究者が、地上から500キロ メートル以上離れた上空の軌道を周 回する衛星に光子をテレポートする ことに成功(2017年)	従来の記録(100km程度)を破る、長距離テレポーテーション

結論:アインシュタインさんの敗北確定

さらに、現時点で最も有名な実験、アラン・アスペさんによる「アスペの実験」で、ベルの不等式の拡張版であるCHSH不等式でも、破れていることを確認し、さらには、2015年に、東京大学のチームの実験によって、完膚なきまでに、量子の非局所性を証明して、「アンシュタインさんの敗北」を決定づけた、と言われています*)。

*)と、EE Times Japanの記事にありましたので、私は、「忖度(そんたく)」……もとい、「信じて」います(<u>量子の非局所性の厳密検証に成功――新方式の量子コンピュータにも道</u>)。

*)編集担当M:そんた……信じて頂きまして、ありがとうございます。

今や、「量子の非局所性」を疑っている量子研究者は(ほとんど)いません —— 私も、今となっては疑ってはいませんが、「**気持ち悪!**」という感情は、捨てきれていません。

『要するに、これって、2つの量子の"共依存"だよなぁ。パートナーの稼ぎに依存する"ヒモ"みたいだなぁ』と。私には、タ

バコを吸いながらパチンコをして、日がなブラブラしている「量子」が見える(考え過ぎ)ようで、なんとなく不快な気分です(完全な誤解と偏見)。

とはいえ、この「量子の非局所性」は、実験的量子コンピュータで、既に使われているのです。

この「量子の非局所性」こそが、現在の古典コンピュータが、どんなにスケールアップしようとも、どんなに高速化しようとも、どんなに巨額の費用を投じようとも、絶対に実現できない機能 —— 「**量子もつれ**」なのです。

以上、CNOTなどの2量子ビットゲートを説明するための、「量子もつれ」に関する簡単な説明は、ここまでにさせていただきたいと思います。

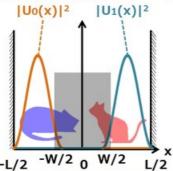
2量子ビット/ゲート

さて、ここから今回の本論「2量子ビット/ゲート」についてお話したいと思います。

以前、1量子ビットゲートの時に登場させた、1量子ドットビットを実現する、量子井戸の説明をしました(関連記事:「<u>量子</u> コンピュータよ、もっと私に"ワクワク"を」

(既出)"0猫"と"1猫"の発生場所を限定する

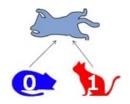
真ん中に"壁"を叩き落す 但し、今度の壁の高さは"∞"としない



井戸の中で1つの電子(の異なる波長)が、 同時に左右に存在する —— が実現する

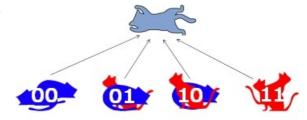
基底状態の電子(通称"0猫")と、第1励起状態の電子(通称"1猫")が、半導体の井戸の中の左右に、確率50%で存在する1量子ビットです。

で、この量子井戸に対して、ラビ振動を有する電磁波の照射を行うことで、1量子ビットを 制御することができることは、「<u>量子ビットを初期化する ~さあ、0猫と1猫を動かそう</u>」で説 明しました。



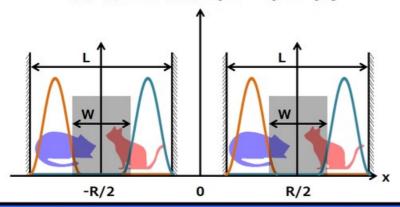
2量子ビット/ゲートについても、量子井戸で説明します(というか、江端が説明可能なデバイスって、この量子井戸ぐらいしかないので)。

2量子ビット/ゲートでは、「井戸を2つ掘って、量子ネコを2匹("0猫"と"1猫")から、4匹("00猫"、"01猫"、"10 猫"、"11猫")に、増量させます。



2量子ゲートでは、量子井戸を2つ作る

そして、量子猫は2匹→4匹になる



どちらかの井戸に、かならず量子猫がいる

2量子ビットのデバイスに関する資料は、(1量子ビットに比べると)ものすごく少なくて、本当に困っていたのですが、「<u>14</u>日で作る量子コンピュータ」(遠藤理平/2020年)だけは、2量子井戸の実現方法が具体的に記載されていました。

私、数式を数式のまま理解することは、からっきしダメなのです。しかし、それがプログラムで記述されて、実際の数値に落し込めれば理解ができるという**現場系(ガテン系)のエンジニア**です。

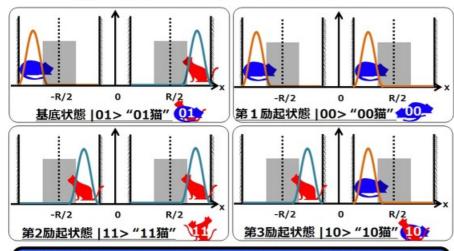
ですので、この本(以下"**14日本**"と称呼させて頂きます)を読む度に、『私のために書いてくれたの?』と **目がウルウル**としてきます。

まあ、それはさておき。

それでは、4状態の量子猫が、井戸に鎮座している状態を図示してみます。

2量子ビットは、2つの量子井戸で作る

2量子ビットでは、猫はペアで1状態になる

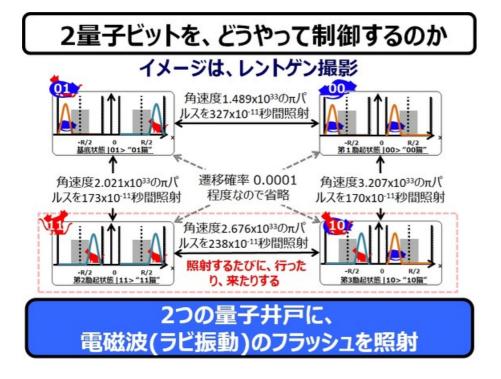


ラビ振動の時間と周期をコントロールすることで、 4状態に分けることができる

こんな感じで、2量子ビット(ここでは、2量子ドットビット)が実現されることになります。

で、この2量子ビットをどのようにコントロールするかというと、やはりこちらも、1量子ビットと同様に、電磁波のπパルスの照射時間で制御します。ただ、周波数(角速度)は超高速で、その照射時間も超短時間であり、そのコントロールの難しさは、1量子ビットよりさらに困難なものとなっています。

[Tさんツッコミ!] 第2と第3励起状態に共鳴したπパルスを照射することで、CNOTが実現されるということですね。



同じ内容のラビ振動の照射を行うことで、2状態の電子猫の状態を行ったり来たりさせることができます。

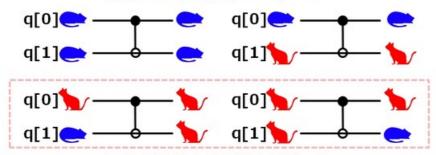
さて、今回は2量子ビットを使う2量子ゲートの中でも、もっとも有名なCNOT(制御NOTゲート)を紹介します。これは、前半で簡単に説明した「量子もつれ」を作り出すのに必須の2量子ゲートであり、また、前回のコラムでTさんから、以下のようなツッこみを頂いていたためでもあります。

[**Tさんツッコミ!**] CNOTゲートなどの2量子ビットゲートは、IF-THENの量子ビット版に対応していると考えることもできませんか? 制御ビットが0か1かで、標的ビットにNOTをかけるかどうかが切り替わります。

CNOTゲートの作り方

CNOTゲートは、第2励起状態と、第3励起状態の 行ったり来たりを使う

q[0]を制御ビット、q[1]を標的ビットという



q[0]を制御ビットが"1猫"の場合のみ、 q[1]が"0猫"←→"1猫"のビット反転が発生する

量子ビットで"if~then~"が作れる

なるほど ―― 制御ビットq[0]に"1猫"をセットして、「はい、息を止めて〜、バシャ!」という、レントゲン撮影のように、ラビ振動の電磁波照射をすれば、標的ビットq[1]の猫が入れ替わります。しかし、q[0]に"0猫"をセットすれば、q[1]の猫は変化しません ―― これは、量子ゲートで、"if〜then〜"が実現されていることを示しています。

このCNOTゲートの存在によって「量子コンピュータ」は、確かに「コンピュータ」であると言えます。"if~then~"がない計算機は、単一目的の演算器に過ぎませんから。

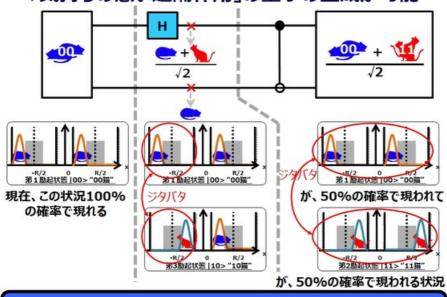
「量子もつれ」の作り方

では、今回のメインであるところの、量子コンピュータにおける「量子もつれ」の作り方のお話に入ります。

「量子もつれ」は、前回説明したHゲート(<u>アダマールゲート</u>)と、CNOTゲートを以下のように組み合わせることで実現されます。

量子もつれを量子ゲートで作る?

HゲートとCNOTゲートだけで、(アインシュタイン曰く) 「気持ちの悪い遠隔作用」の量子の生成が可能



重要なのは、出力される"猫"

順を追って説明します。最初の状態では、第1励起状態(×基底状態)の"00猫"がいるだけです。しかし、この"00猫"を、アダマールゲートに放り込むことによって、"00猫"と"10猫"が、共存する状態になっています。

もし、アダマールゲート通過後の、この井戸を観測できたとしたら、右側の井戸の猫(1ビット目の猫)だけが、ジタバタ動いている(あるいは両方が、うっすら透過して)見えるハズです。

そして、最後にCNOTゲートを通過することで、"00猫"と"11猫"が確率50%で出てくる電子猫が出てきます ―― が、

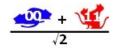
ぶっちゃけ、私にとっては、そんなことはど一でもいいのです。

問題は、なぜこのようにして生成された2量子ビットが「特別」であるか、すなわち「**2つの量子ビットのうち、どちらの状態を観測すれば、その観測結果に応じて、もう片方の量子ビットが確定する**」という不思議な(気持ちの悪い)量子ビットになっているか、ということなのです。

いろいろ調べたのですが、私の頭でなんとか理解できた内容は、"14日本"のP.209ページに記載されていた、「量子もつれ(量子エンタングルメント)の生成方法」です。以下に、私なりの理解を記載させて頂きます。

(ここから)

仮説:2つの量子が「もつれていない」、つまり、単なる「重ね合わせ」だけで存在しているなら、



は、「重ね合わせ」の式でだけで表現できるはずである。

すなわち、

 $X猫 = x_0 0猫 + x_1 1猫$

 $Y猫 = y_0 0猫 + y_1 1猫$

となる。

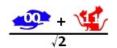
これまでのように「重ね合わせ」の式のまま展開すると

 $XY猫 = x_0 y_0 00猫 + x_0 y_1 01猫 + x_1 y_0 10猫 + x_1 y_1 11猫$

となるはずである。

検証:今, XY猫 = $1/\sqrt{2}$ (00猫 + 11猫)であるから、これを当てはめると、 $x_0 y_0 = x_1 y_1 = 1/\sqrt{2}$, $x_0 y_1 = x_1 y_0 = 0$ になる。しかし、そのような x_0 、 x_1 、 y_0 、 y_1 は、存在しない(実際に調べれば明らか)。

結論:これまでの連載で散々使ってきた量子計算のかけ算(テンソル積)を、どんなに複雑に使い倒したとしても、



は、絶対に作り出せないということである。

これこそが、**一方の量子の状態に、他方の量子の状態が、ズルズルとひっぱられてしまう**ことの証明、すなわち「量子がもつれている」ということである。

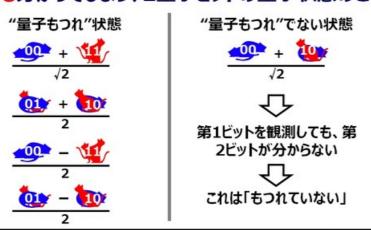
「Tさんツッコミ!] このため、よく量子もつれ状態は、「因数分解できない状態のこと」と説明されます。

つまり「量子もつれ」とは

それでは、最後に"量子もつれ"をまとめてみましょう。

"量子もつれ"ってどういう意味?

第1量子ビットを測定すれば、第2量子ビットを<mark>測定しなくても</mark>分かってしまう、2量子ビットの量子状態のこと



「2つの量子ビットを独立に操作できない」→ ずるずると"共依存"している関係

さて、この「量子もつれ」ですが、前述した通り、光を超える高速通信としては「役たたず」であることは説明しましたが、まだこの「量子もつれ」についての活用方法(アプリケーション)については、まだ十分に調査できていません(今月は「ベルの

不等式」で狂っていました)。

次回、「量子テレポーテーション(に関する、世間の壮大な誤解)」の話も含めて、「量子もつれ」のアプリについてご報告 したいと思っています。

量子の非局所性を理解することと、ベルの不等式のコンピュータシミュレーション(しかも、失敗した(<u>著者のブログ</u>)だけで、このひと月の週末と夏休みは、全部もっていかれました……。

受験生でもあるまいし、私、何やってんだろう……と、今、資料の山の中にうずもれながら、遠い目をしています。

では、今回の内容をまとめます。

【1】宗教関連のホームページに、結構な頻度で量子論の話が記載されていることに気がつき、その状況の把握と、理由を考えてみました。英語圏で4000万ページ、書籍数1000程度あること、さらに、その理解の深度を比率で調べてみたところ、「彼らは量子論を"論"として理解していない」ことが分かってきました。この理由については、宗教論としての"理"を説くだけの知力のない無羞恥な教祖にとって、量子論は大変都合の良い素材であるから、と結論付けました。

【2】量子もつれを理解するのに、避けて通れない「量子の非局所性」に関する概要を、『木星に出張した江端』というフィクションのストーリーで説明を試みました。またこの「量子の非局所性」に関する量子論100年間の論争と、その内容について「アインシュタインさん vs ボーアさん」という対立構造で説明を試みました。

【3】「量子の非局所性」に対する解決アプローチとしての「ベルの不等式」を使って、「アインシュタインさん vs. ボーアさん」の決着がつくことを説明した後、「アインシュタインさんの敗北が確定」した歴史的経緯を説明しました。

【4】2量子ビットを、2つの量子井戸と電子を使って実現する方法についての概要を説明しました。また、ラビ振動を使った電磁波の照射によって、2つの量子井戸で2ビット量子ゲートを実現する方法と、2ビット量子ゲートの中で、最も有名なCNOTゲートについて説明しました。

【5】アダマールゲートとCNOTゲートを使った「量子もつれ」の作り方について、量子井戸のイメージと照らしあわせながらの説明を試みました。また、「量子もつれ」が、通常の「量子の重ね合わせ」の積算では作り出せないことから、「2つある量子の一方の状態に、他方が、ズルズルと引っ張られてしまう状態あることである」と解説しました。

【6】本コラムでは、私は、一貫して、1対の量子の一方の状態の確定が、瞬時に他方の状態を確定させるという「量子の非局所性」について、「**気持ち悪!**」と言い続けました。

以上です。

この連載を始めてから、私の、量子コンピュータの実現性に対する疑念は深まるばかりです。

これは、私の性格(浅学、狭量、卑怯)に依存するものかと思ってきたのですが、結構、著名な物理学者も同じようなこと を考えていたのだと知って、ちょっと安心しています。

- 「量子コンピュータは夢ではなく悪夢である」(セルジュ・アロシュさん フランスの物理学者でノーベル物理学賞受賞
- 「量子コンピュータ100年プロジェクトではなく、1000年プロジェクトである」(チャールズ・ベネットさん ランダウアーの原理の提唱者)

実際に、Shorのアルゴリズムなどを現実に使えるレベルの量子ビット数を計算した人がいて、その内容を見て、かなりがく然としています。1024ビットの因数分解計算に、量子ビットが6000個必要で、その誤り訂正用の量子ビットが、4億5000万個必要とか。

ちなみに、現時点では、実験用量子コンピュータのビット数が51→53になるかどうか、という話をしている状況です。

もっとも、私は、(古典)コンピュータがプリント基板の上に乗っていたころから、今に至るまで、コンピュータ技術の進歩を ずっと見つづけることができた人間であり、時々、**驚くような技術革新によって、コンピュータの性能が、爆発的に進化する過** 程を目撃してきた、コンピュータ史の観測者です。

しかし、量子コンピュータを、現在の(古典)コンピュータと同じ枠組みで考えて良いものか、私には分からないのです 一一 状況が違い過ぎるからです。

量子コンピュータの最大の弱点は、「日常的に多くの人によって観測されるような経験的な物理現象」を「共有できな い」ということにあります。

超高度な数学や難解な理論式の中で、ようやく見えてくる物理現象 ―― それは、多くの人にとって「見えない」と同じで す。

加えて、今回の冒頭で、「量子もつれ(=量子の非局所性)」の話が、私を発狂寸前にさせた、という話をしましたし、そし て著名な物理学者たちが「量子論を理性的に理解するのは諦めろ」と呼びかけているお話もしました。

ということは、

―― 量子コンピュータの研究開発に関わる者は、少なくとも一度は、発狂寸前になる

という運命にある、ということだと思っています。

「でも、これって、かなりキツくないかなぁ?」と思っています。

なぜなら、私たちエンジニアが、人類史上、開発、改良を続けてきた「技術」というものは、基本的には科学的アプローチ (仮説→観測→実験のフィードバックループ)によるものだからです。

しかし、量子コンピュータの基盤となる量子を使った技術開発は、

- 仮説:死ぬほど難しい(数学的に無矛盾であることが必須で、量子論の数学はとても難しい)
- 観測:できない(量子状態を、直接観測する手段はない) 実験:方法の発見すら難しい(「ベルの不等式(1964年)」から、最初の実験装置の完成が8年後。完全な実験(と 言われているもの)が完了したのが、51年後の2015年

というものであり、これまでの技術開発の対象とは、(恐ろしく困難な方向に)次元の異なる"何か"のように思えるからで す。

「量子コンピュータは夢ではなく悪夢である」「量子コンピュータ100年プロジェクトではなく、1000年プロジェクトであ る」というフレーズは ―― 「量子もつれ」の勉強に疲れ果てた、今の私には、本当に心に染みるものなのです。

「江端さん、何やってんですか?」

後輩:「今回の感想を一言で言えば、『江端さん、何やってんですか?』ですかね」

江端:「……話を聞こうか」

後輩:「私、中学生の頃、NHKスペシャルで『量子もつれ』の話を知って、江端さんと同じように驚愕したのを覚えています。 ですが、その歴史的背景やら、数学的な論証手段の話・・・えっと『ベルの不等式』でしたっけ? そういうことは、知らなかっ たので、今回のコラムは大変有り難かったです」

江端:「で?」

後輩:「この連載のテーマ『量子コンピュータ』でしょ? いや、もっと正確に言えば『バズワード批判』ですよね。江端さん、量 子物理学の講義なんぞをやってどうするんですか?」

江端:「ああ、それね。実は、今回、本当に普通に簡単に、2量子ビットと2量子ゲートを記載する予定だったんだよ。で、ちょっ と『量子もつれ』を調べたら、まず内容が分からんし、分かれば分かったで気持ち悪いし ーー」

後輩:「……」

江端:「量子力学のビックネーム(アインシュタイン v.s. ボーア)のバトルと、その後の各種の実験で、そのバトルの帰趨(きすう)が明るみに出ていく歴史なんか、もう、これは**NHKで"大河ドラマ"にしてもいいくらい**だと思った」

後輩:「で、"量子沼"に"ズブズブ"、ですか」

江端:「まあ、そんなところかな」

後輩:「私、今回の江端さんのコラムを読んで思ったのですが、量子コンピュータの次世代を担う"NewType"は、『量子もつれ? うん、理解しているよ。それが何?』と答える人間になると思うんですよ」

江端:「ああ、なんとなくそれ分かる。『うん、リンゴは地面に落ちるよ。それが何?』という感じで、"量子もつれ"、あるいは、量子論と相対論の双方を、混乱なく、常識として取り込んでいる"NewType"の誕生だな」

後輩:「さらに言うとですね、これから、学校で最初に教えられる理科とか物理は、"量子物理学/量子化学(量子科学)"になるかもしれません」

江端:「それは── なるほど。確かに、現状の科学教育は、『あさがおの観察』から『リトマス試験紙の色の変化』に至るまで、"観測"を避けて通れないが ── |

後輩:「量子科学は、古典科学の全範囲を網羅していますからね。それに、今回の江端さんのように、"観測"に基づく古典科学が、量子科学の理解を妨害しているとしたら、それこそ"NewType"の誕生を妨げていることになり、本末転倒な話です」

江端:「まあ、一足飛びに、そこまで至るかは分からないけど、私としては、頭のイカれた教祖と、それを信奉する無知性な信者からなるカルトな宗教団体の、「量子論へのただ乗り」のページや書籍が減るなら、それだけでも十分にうれしいと思う」



Profile

江端智一(えばたともいち)

日本の大手総合電機メーカーの主任研究員。1991年に入社。「サンマとサバ」を2種類のセンサーだけで判別するという電子レンジの食品自動判別アルゴリズムの発明を皮切りに、エンジン制御からネットワーク監視、無線ネットワーク、屋内GPS、鉄道システムまで幅広い分野の研究開発に携わる。

意外な視点から繰り出される特許発明には定評が高く、特許権に関して強いこだわりを持つ。特に熾烈(しれつ)を極めた海外特許庁との戦いにおいて、審査官を交代させるまで戦い抜いて特許査定を奪取した話は、今なお伝説として「本人」が語り継いでいる。共同研究のために赴任した米国での2年間の生活では、会話の1割の単語だけを拾って残りの9割を推測し、相手の言っている内容を理解しないで会話を強行するという希少な能力を獲得し、凱旋帰国。

私生活においては、辛辣(しんらつ)な切り口で語られるエッセイをWebサイト「<u>こぼれネット</u>」で発表し続け、カルト的なファンから圧倒的な支持を得ている。また週末には、LANを敷設するために自宅の庭に穴を掘り、侵入検知センサーを設置し、24時間体制のホームセキュリティシステムを構築することを趣味としている。このシステムは現在も拡張を続けており、その完成形態は「本人」も知らない。

本連載の内容は、個人の意見および見解であり、所属する組織を代表したものではありません。

