

新 技 術

「量子コンピュータ・通信の現状と将来」その1 「量子の基礎知識」について

横浜国立大学大学院工学研究院・小坂英男教授に聞く

中国の量子通信実験衛星打ち上げ、あるいは、多量子bitプロセッサ開発成功のニュースなどこのところ、量子コンピュータや通信に関するニュースが数多く聞かれる。

しかし、量子は目に見えず、人間の感覚では理解しがたい性質をもつため、量子コンピュータ・通信も理解が難しく、非科学的だと拒否反応を示す人もいます。このような拒否反応から我が国のこの分野での出遅れも指摘されている。



小坂 教授

そこで、我国の量子通信研究の第一人者である横浜国立大学の小坂英男教授(写真)に量子を使った技術について、分かりやすくご説明頂いた。なお、量子を使った技術は、幅広い分野をカバーするため、二回に分けて掲載していく。

「量子の重ね合わせとQbit」

Q: まず基本的質問ですが、量子とは?

A: 本来の意味は物理学で扱う最小単位のことですが、光子や原子など物質を構成するものの最小単位のことです。

Q: 量子の特徴は?

A: 最大の特徴は、重ねあわせの状態を取ることです。

Q: 重ねあわせ状態とは?

A: 例えば、量子を用いてデジタルコンピュータの1bitを表現すると、0と1を同時にもった状態(Φ)にできます。

これが重ね合わせ状態で、この重ね合わせ状

態の量子一つが表現できるデータの単位がQbit(注1)です。

Q: この概念は非常に難解と思いますが、どのように理解すれば?

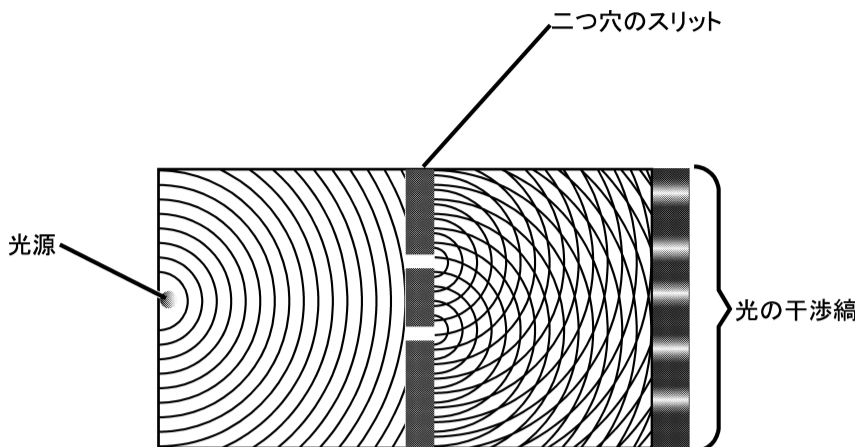
A: 乱暴にいうと、人間の直感的理解はムリです。この概念は、量子観測から出てきた結論です。後付けで理論はいろいろ出てきていますが、どの理論も数学的には同等の意味しか持ちません。

Q: どのような観測から出たのでしょうか。

A: いろいろありますが、有名などころでは、2つ穴のスリットという実験があります(図1)。

これは、光(光子)を使った実験で、箱の片側に光源を置き、中央に2つの穴が開いたスリットを置きます。これで、光源から光を出すと、光はスリットの2つの穴を通り抜け、波の性質を示し、干渉縞が光源と反対側に現れます。ここで、光量を絞って、光子一つずつが光源から出るようにします。このとき、光子は一度に1個しか光源から発せられないので、粒としての性質を帯びるはずですが、一つの光子動きは、右の穴を通過するか、左の穴を通過するか、あるいは、壁に当たって通過できないかの3通りの場合しかあり得ません。この場合、光源の反対側では、2つの光点が見えるだけで、干渉縞は見えないはずはない。しかし観測してみると、干渉縞は依然として見える。

これは、光子が単独で波としての性質を備えていることを示し、一つの光子が右の穴を通過するか、左の穴を通過する状態を同時にもっていると結論できるのです。



【図1】二重スリットの実験。波は2つのスリットを通り抜け、反対側で干渉する。光の場合は干渉縞が現れる

Q: この量子の重ね合わせ状態は、観測により壊れまわるといいますが、どのようにして、計算や通信に使うのでしょうか。

A: 重ね合わせ状態の量子は、観測すると壊れ、ある値に収束します。先の2つ穴のスリット実験では、右の穴を通るか左の穴を通るかのいずれの値になります。現在の量子コンピュータは、通常のデジタルコンピュータとは異なり、特殊な計算手法(アルゴリズム)を用い、この収束値が計算結果となるような操作を繰り返して、計算します。

「量子のもつれ」

Q: 量子通信はどうですか。

A: これには、「量子のもつれ」という別の性質も利用します。これは相互関係にある二つの量子は、その一方の状態が決まると、もう一方の状態も瞬時に決まってしまうというもので、距離も時間も関係ない特異な現象です(図2)。この現象は、アインシュタインらの量子力学の不完全を議論するための思考実験(EPRパラドックス)から出て来たもので、本来は「こんなことはありえない」ので、この理論には欠陥があるという議論だったのですが、実際にこの現象が観測され、通信や計算に利用できることがわかったというわけです。

また、量子計算や通信では、誤り訂正機能が重要ですが、これにも「量子のもつれ」が利用されます。(つづく)

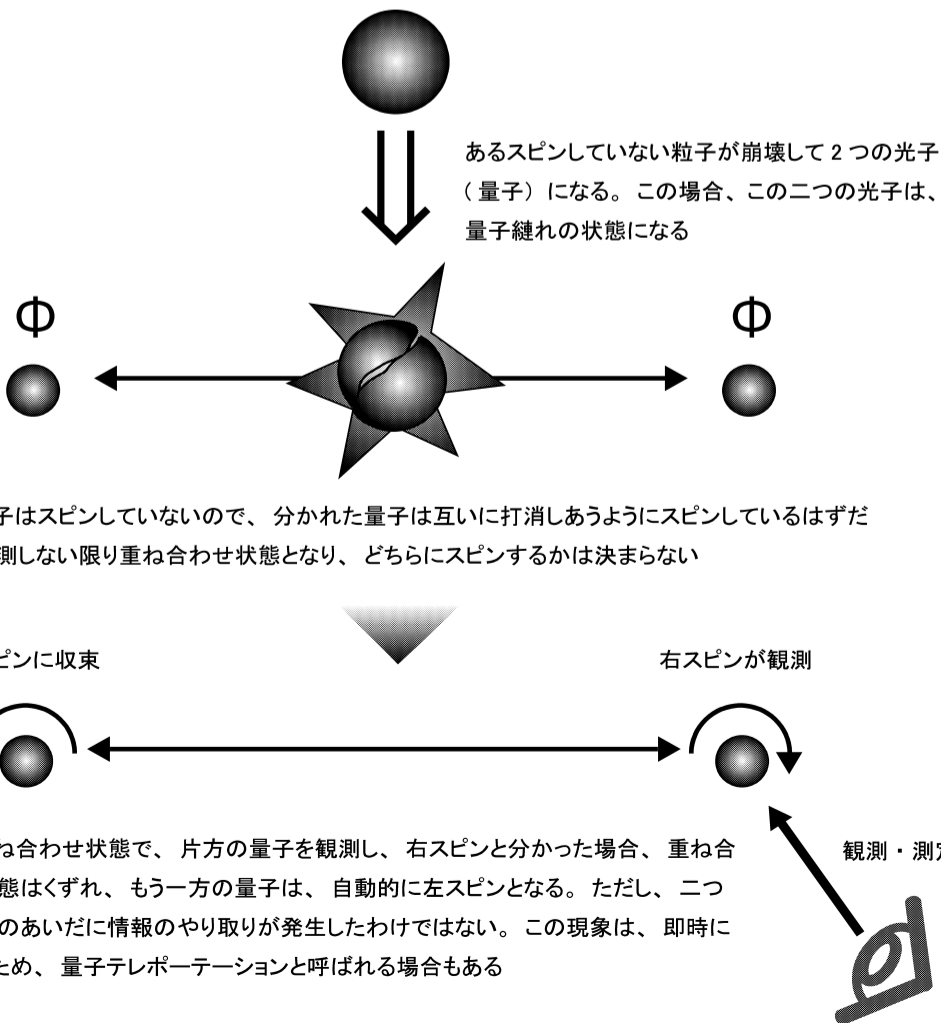
<取材協力: 横浜国立大学大学院工学研究院 物理情報工学専攻 小坂・堀切研究室>

注1: 量子ビット(Quantum bit) 現在デジタルコンピュータで用いる古典bitは二つの異なる状態で、0と1という数値を表す。

この古典bitが表現できるのは、1bitの場合は、0もしくは1のどちらか1つで、4bitの場合には、0000から1111までの16種類の値のどれか1つを表現できる。

これに対し量子ビットの場合は、1 Qbitでも Qbit=2^n-2の1乗(n=1)で2通りの状態を同時に表現できる。4 Qbitの場合は同様に16通りの状態が同時に表現可能となる。

小坂英男(こさか ひでお) 横浜国立大学 大学院工学研究院教授 略歴: 1963年生まれ 1987年 京都大学理学部卒業 1999年 工学博士(京都大学) 1989~2003年 日本電気株式会社 光エレクトロニクス研究所および米国カリフォルニア州立大学ロサンゼルス校(UCLA)客員研究員 2003~2014年東北大学助(准)教授 専門・研究分野: 物性物理(物性I)、量子物性、量子物理、量子情報 所属学会・団体: 日本物理学会、応用物理学会 主な役職: 応用物理学会新領域グループ「量子情報研究」幹事 現在、横浜国立大学 大学院工学研究院教授



【図2】量子もつれと量子テレポーテーション

元の粒子はスピンしていないので、分かれた量子は互いに打ち消しあうようにスピンしているはずだが、観測しない限り重ね合わせ状態となり、どちらにスピンするかは決まらない

左スピんに収束

右スピんに観測

この重ね合わせ状態で、片方の量子を観測し、右スピんと分かった場合、重ね合わせ状態はくずれ、もう一方の量子は、自動的に左スピんとなる。ただし、二つの量子のあいだに情報のやり取りが発生したわけではない。この現象は、即時に起こるため、量子テレポーテーションと呼ばれる場合もある

観測・測定