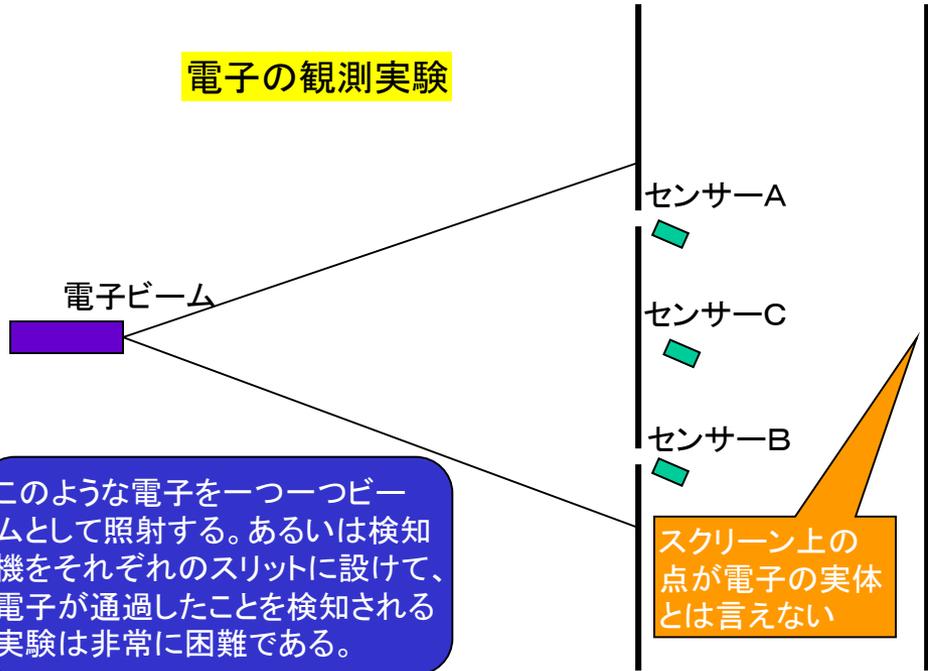


# 電子の干渉

## 電子の観測実験



このような電子を一つ一つビームとして照射する。あるいは検知機をそれぞれのスリットに設けて、電子が通過したことを検知される実験は非常に困難である。

スクリーン上の点が電子の実体とは言えない

スクリーン

電子ビームは、スリットAまたはBを通過して、スクリーン上に縞模様を作る。電子を一つ一つ照射した像を重ね合わせても同様の縞模様が作られる。これは電子の波動性として理解できる。もしも電子を粒子として解釈したならば、電子は、いずれかのスリットを通過するはずである。そこでスリットの近傍に電子の通過を検知する検知機を設置すると、縞模様は現れない。

### 確率論的解釈

電子に付随する波動は、電子の見出される確率を表す。つまり観測されていない状態では、何も言えない。電子がいずれのスリットを通過したかもわからない。

波動を確率とみなせばそれは実体ではない。観測している状態とそうでない状態とはどこが違うのか？

月が雲で隠れたときには、月は存在しないのか？ノー。月の存在は潮の満ち引きでも確認できる。

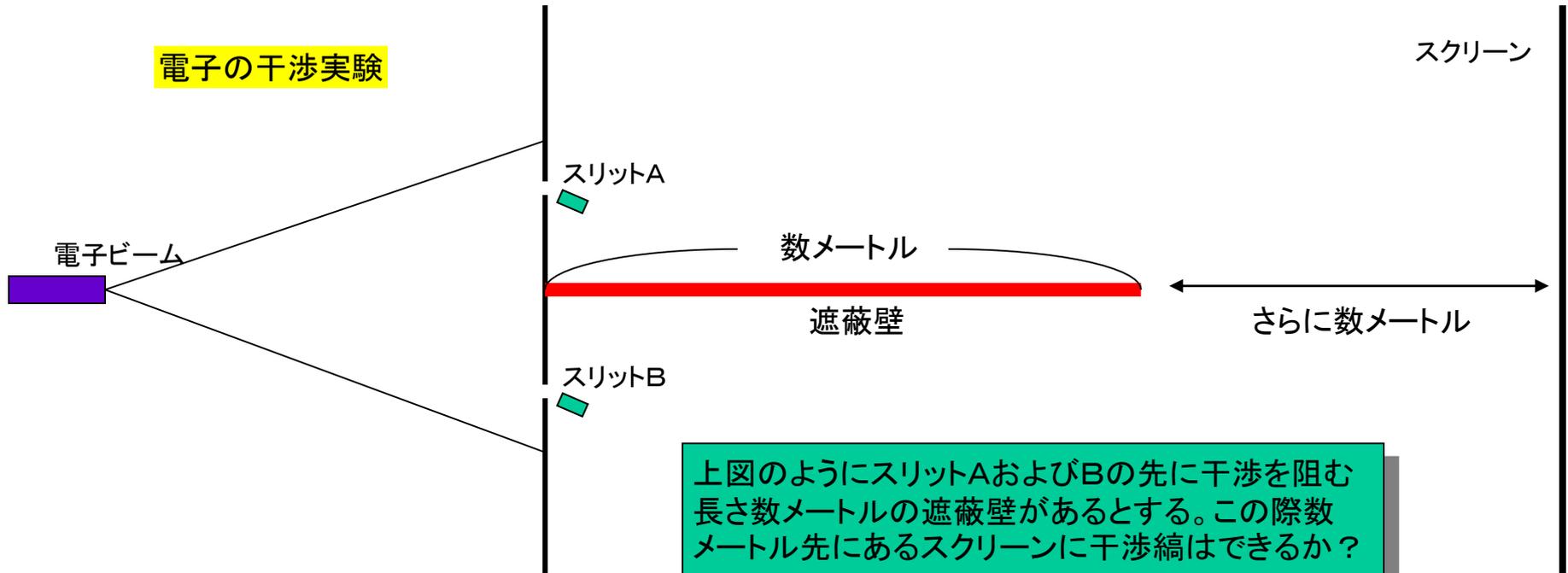
私が手に持つ一つのリンゴには多くの電子が含まれている。一つ一つの電子の挙動は検知していないが、それは波動として各原子核の近傍に存在している。従って今私の手には電子の重さ(存在)が確認される。

要は観測していないのではなく、観測の仕方が変わるだけではないだろうか？その仕方(上図のように、検知器により通過する電子に電磁波を当てているはずである)が変われば電子の状態が変化するのは避けられない。逆にスリットにて電子の状態に変化を及ぼさない弱い電磁波を当てた場合は、検知器が反応せず、スクリーン上に縞模様が現れる。これが不確定性原理の真の意味である。

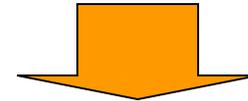
答えはこうである。両方のスリットが開いている場合は電子は波として両方のスリットを通過する。波動は実体である。(リンゴの中の電子が波動状態で存在すること)ただし、その波の痕跡はいずれのスリットでも検知できない。(検知できないものを実体だとは言えないのも道理である。しかし逆に粒子としての実体も検知できない。スクリーン上のプロットはあくまで電子の痕跡である)検知しようと電磁波を掛けると状態が変化して波の性質は消える。従って、確率のみが存在するとは言わない。ただし、スリットの模様(電子の実体ではない)は特定の統計パターン(確率)に従う。

# 電子の干渉 問題

## 電子の干渉実験



波動は確率ではない。  
実体を持っている。従ってその収束は瞬時ではなく、光速を超えることはない。

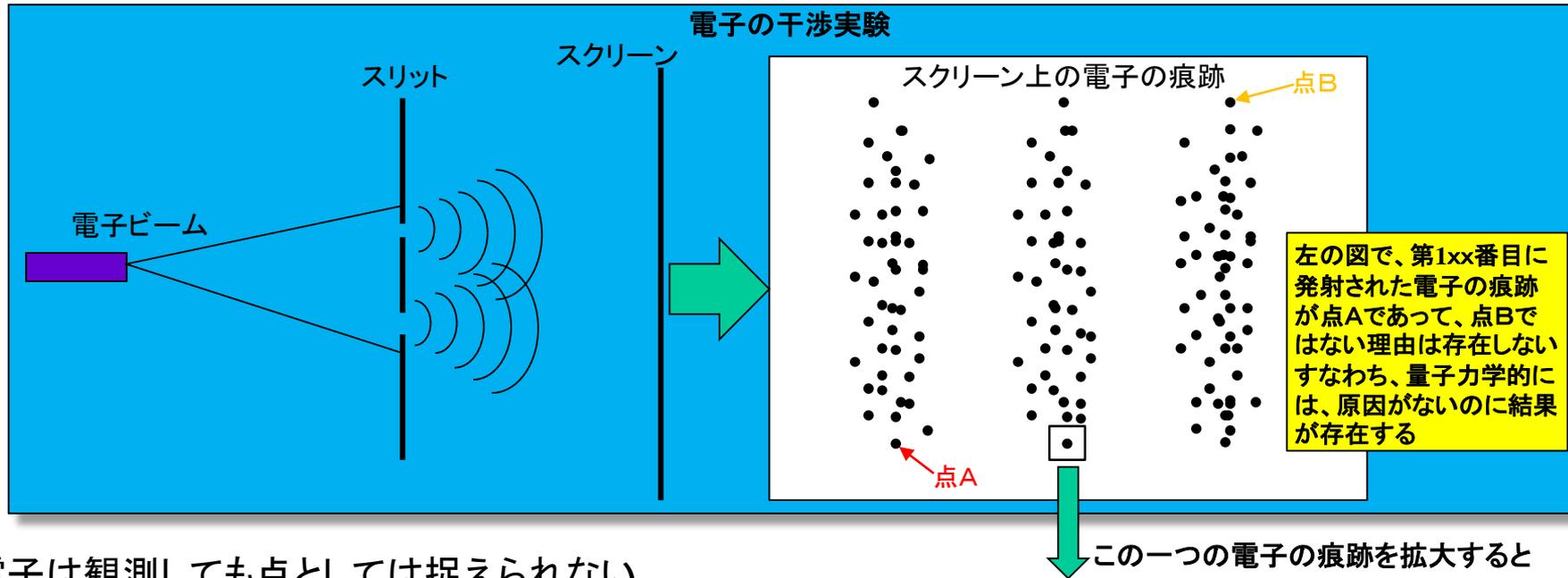


## 答え

大半の電子は遮蔽壁に衝突する。その衝突した時点で電子は粒子として観測される。  
ごく一部(限りなくゼロに近い)の電子が数メートル先まで波として残り、それがわずかに干渉縞を表す。

# 干渉実験の考察

## 1. 原因がないのに結果が存在する



## 2. 電子は観測しても点としては捉えられない あくまで波(位置があいまい)として捉えるしかない

スクリーン上に残した一個の電子の痕跡は、もしそれが確認できるのであれば、それはあくまで広がりを持たない点ではない。すなわち一点に収まらない位置があいまいなある広がりを持った“波”として現れる

電子などの量子は、「観測していないときは波として振る舞い、観測した途端、それは粒子として振る舞う」のではない。

量子(電子など)はあくまでも波動であり、それに作用を施す(観測する際の照明など)ことによって、波動(状態)が変化する(波の大きさや形などが変わる)

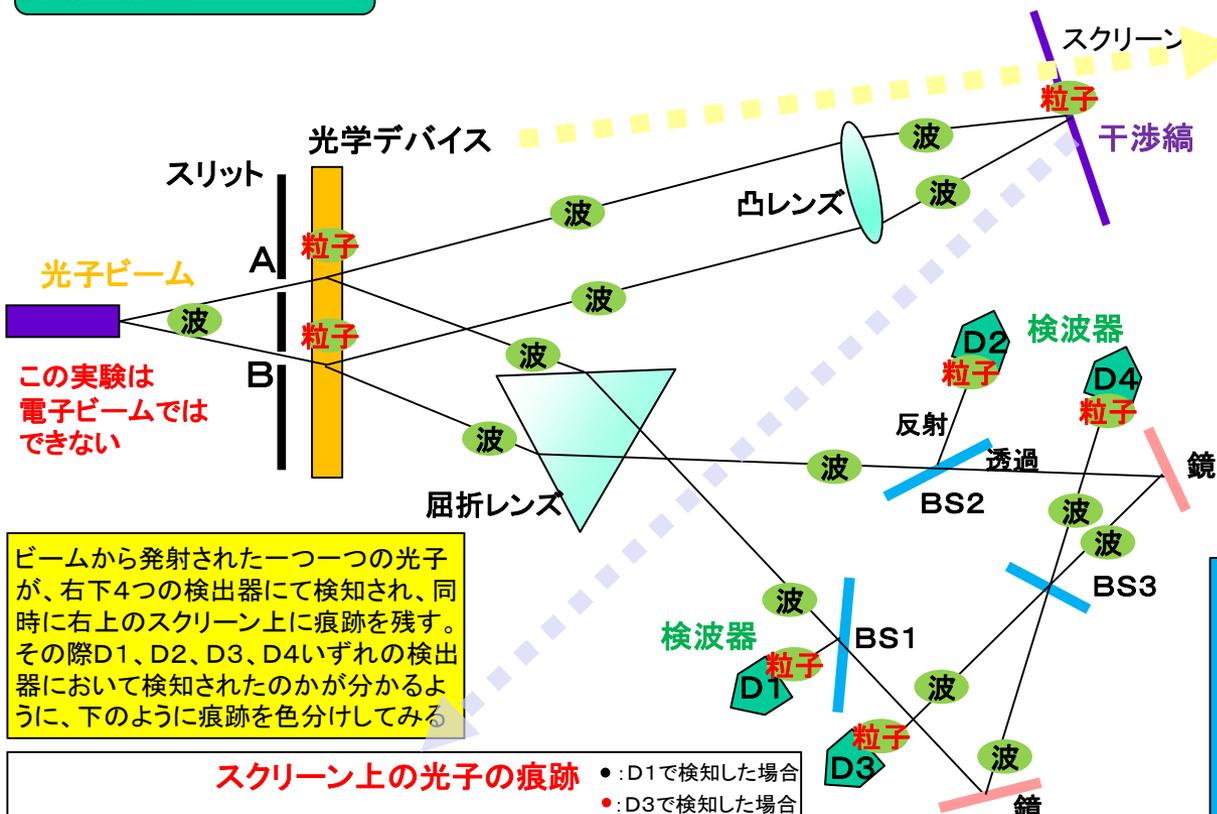
あくまで広がりを持つ痕跡はぼんやりしている位置を一点に特定できない。

電子の位置は、痕跡の中心にあるとは限らないそこはあくまで平均

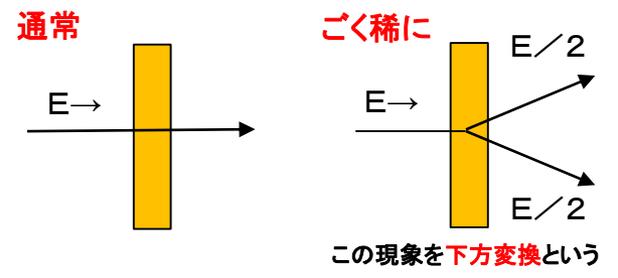
スクリーン上に電子が描く痕跡パターンは、一定のバラツキを持ったあくまでランダムな点の集まりであり、この際電子の軌跡(ビームからスクリーンまでの経路)は特定できない。そのことは、スリットが一つの場合も、スリットが二つ(二重スリット)の場合もまったく同じである。違いは、痕跡のパターンが干渉縞を作るか、もしくは作らないかのみである。

# 参考 量子消しゴム実験

## 実験イメージ



特殊な光学デバイス(メタホウ酸バリウム)に光が入射すると、通常は上図の通り透過する。稀に下図のようにエネルギーが半分づつの二つの光子に分離する(下方変換)。上に行った光子は干渉縞を観測するために使い、下に行った光子は検出器により検知されることによって、スリットAまたはBのいずれかから来たのかを観測するために使用される

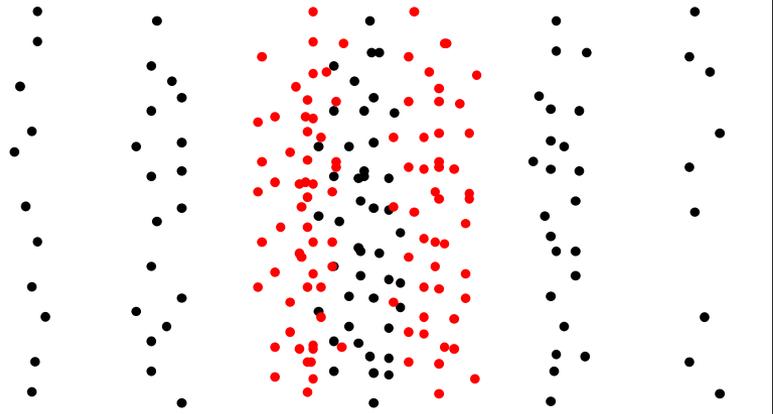


ビームスプリッタ(BS1, BS2, BS3)に光子が入射すると50パーセントの確率で反射し、残りの半分は透過する

スリットAまたはBを通過した光子が、光学デバイスで二つの光子に分離し、右下に向かった光子は屈折レンズで方向を変えた後、ビームスプリッタBS1またはBS2で反射または透過する。反射した光子は検出器D1またはD2で検知される。もしD1(またはD2)で検知された場合は、光子がスリットA、Bどちらを通過したのかを特定できる(D1ならA、D2ならB)。それに対して、BS1またはBS2を透過した場合は、一旦鏡で反射した後、BS3で反射または透過する(反射するか透過するかは分からない)ことからスリットA、Bいずれかを通過してきたかを特定できない(スリットAを通過した光子がBS1を透過した後、BS3で反射した場合はD3で検知され、D3を透過した場合はD4で検知される。つまり、スリットA、BともにD3、D4の両方で検知される可能性あり)

スクリーン上の光子の痕跡

- : D1で検知した場合
- : D3で検知した場合

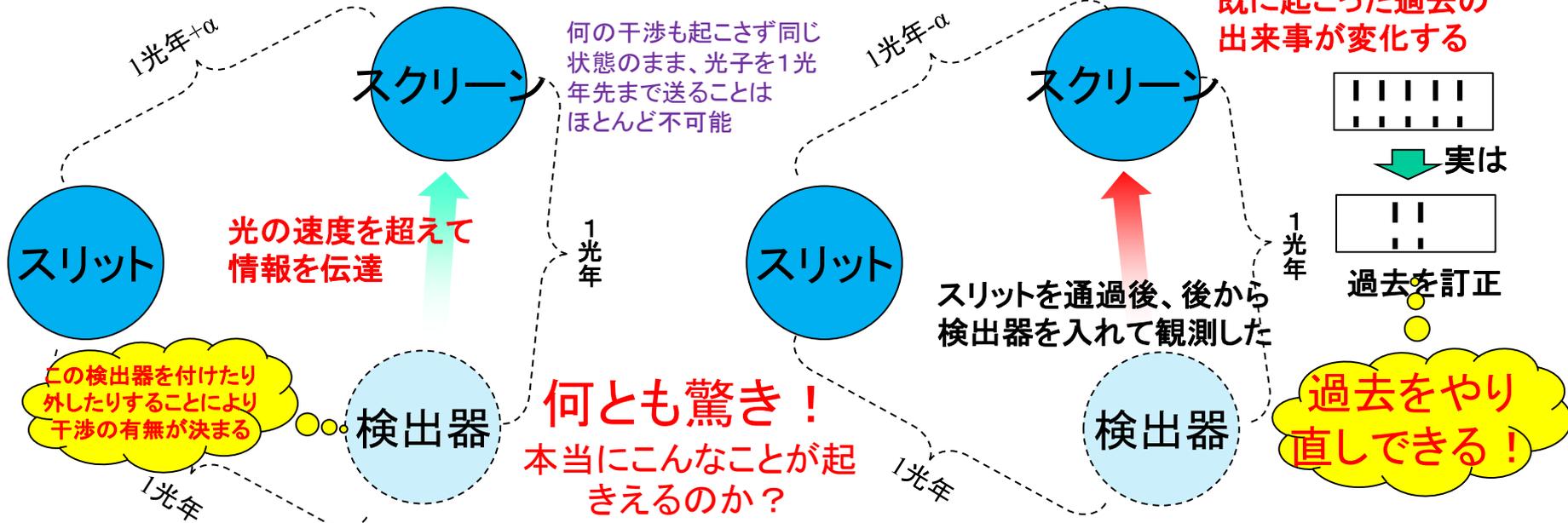


色分けしたスクリーン上の痕跡と、光子を捉えた検出器(D1, D2, D3, D4)を対応させたところ、通過したスリットが分かるD1またはD2で検知された場合、スクリーンには干渉縞が現れず、どのスリットを通過したか分からないD3、D4の場合は、干渉縞を現す。つまり、電子の干渉実験と同様、光子の経路が特定された場合(観測した場合)は粒子としての性質を持ち、特定されない場合(観測していない場合)は波の性質を持つ?

参照: Yoon-Ho Kim, Rong Yu, Sergei P. Kulik, Yanhua Shih, Phys. Rev. Letters, vol. 84, 1 (2000, Jan. 3)

# 量子消しゴム実験(考察)

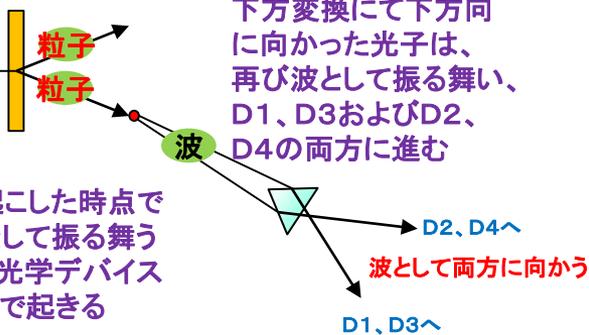
光子は観測されている場合とされていない場合ではその振る舞いが異なる。ならば、検出器の有る無し(前頁のD1~D4をすべて取り払う)によって、干渉が起きる起きないが変化することになる。つまり観測者の意志(検出器を置くか置かないか)によって、遠方のスクリーン上の模様を瞬時に決めることができる?? (ただし、干渉の有無は、一つや二つの痕跡からでは判別できない。それはあくまで観測者の主観(俺の目にはそう見える)による。仮に、スリット・スクリーン・検出器をそれぞれ1光年づつ離し、検出器による測定を行う、または行わないとした場合、その情報は1光年の距離を光の速度を超えて一瞬に伝わる(スリットとスクリーンの距離を1光年からわずかに遠ざけた場合)あるいは、既に干渉縞が現れた結果に反して、光子がスリットを通過してしばらく経った後検出器を設置する。そのことにより、過去に遡り干渉縞が現れない結果に戻すこともできてしまう(スリットとスクリーンの距離を1光年からわずかに近づけたとき)



## 考察1

波としてA、B両方のスリットを通過した場合でも光学デバイスの一点で下方変換を行う

下方変換を起こした時点で光子は粒子として振る舞う即ち、光子は光学デバイスどこか一点で起きる



## 考察2

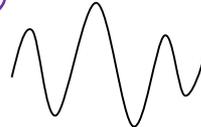
下方変換にて下方向に向かった光子は、再び波として振る舞い、D1、D3およびD2、D4の両方に進む

## 考察3

光子は波として両方に向かったとしても、検出器においては再び粒子に戻り、一つの検出器において検知される

## 考察4

D1、D2で検知された場合は光子は(波として)干渉を起こさず、D3、D4にて検知された場合は、両方の経路から来た波が干渉を起こす(干渉縞を示す)



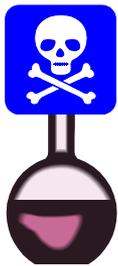
波として両方に向かった光子は、ビームスプリッターで反射・透過の際位相差(180°)が生じる  
D3、D4で検知された波形は、ちょうど180°ずれた(反転した)ものになる



時間の逆転など、人間が検知できないミクロな領域ではありえても、マクロ的な日常で起きると、世界そのものがおかしくなってしまう

# 観測問題の考察

## シュレディンガーの猫



猫の生死の情報が別室のコンピュータに送られる

本文「存在しているものは？」参照

## 別室

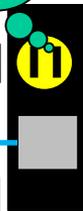
猫の生死は不明？



しまった！  
老眼鏡を  
忘れた！



パソコンは動作中  
モニターの電源はたまたま  
コンセントが抜けていた



量子論的事象を観察する際、その時観測者がたまたま確認できなかったと言って、事象が不確定のまま存在している(波動関数が重ね合わせの状態のまま)わけではない。決定された痕跡が既に(コンピュータのディスクなどに、誰もが分かるように)記録されているはず。それを後から(観測者個人が)確認するだけ

## バーチャルリアリティ

今巷では、「仮想現実」(バーチャルリアリティ)なる言葉がはやりだ。目の前の現実とは真の世界ではなく偽物だと言う。何の何を言っているのか分からない。もしも偽物なら本物はどれだ？本物が分からない以上、それが偽物だとは言えない。目の前に見えている世界が実は、見えている部分のみが存在し、裏(見えてない部分)には何もない。などということがありえるだろうか？もし神がいたとして、故意に我々から真実を隠しているなら、我々は真実を知ることが絶対に不可能。ならば、これは「仮想現実」であると認識すること自体無意味である。見えているものだけが現実などと言うことは単なるオカルトである。



目の前の風景が仮に映像であったとしても、裏に回れば何かしらの装置(作為)が確認できるはず

私が見ている景色は本物か？偽物か？

映写機



今我々の目の前に見えている姿こそが真実であり、それが現実の全てである。ただ、それをどう解釈するかによる。いづれどう解釈しても、そこには必ず誤りが含まれる

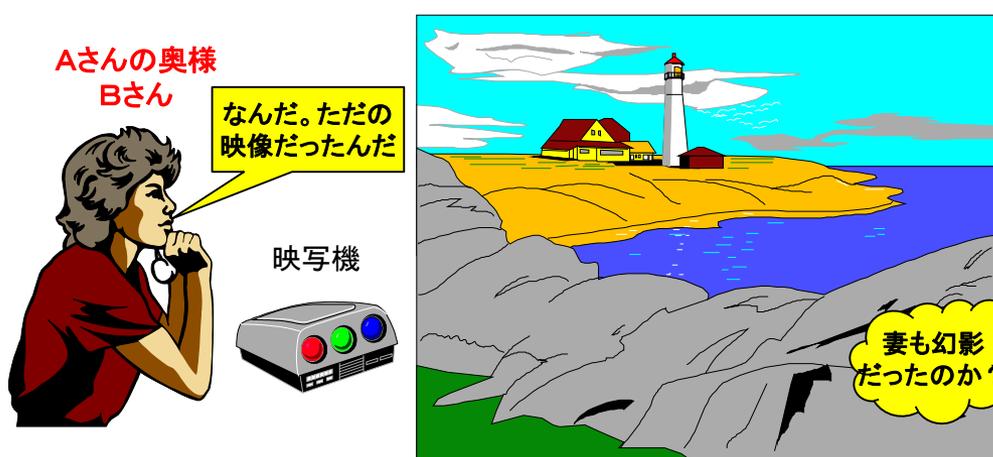
この裏には何もない？  
なんてことは科学的にあり得ない

バーチャルリアリティ 関連の誤解

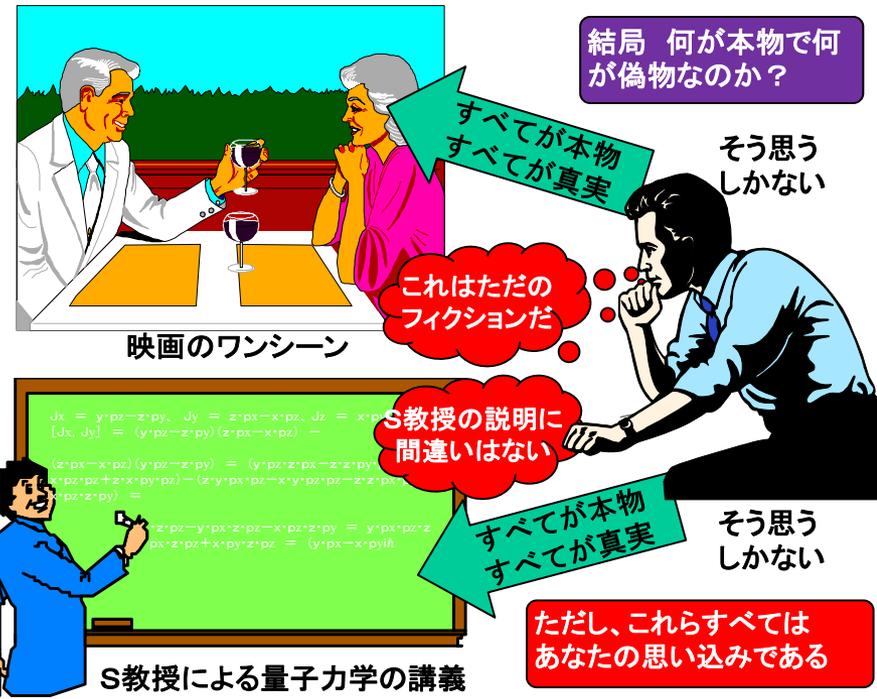
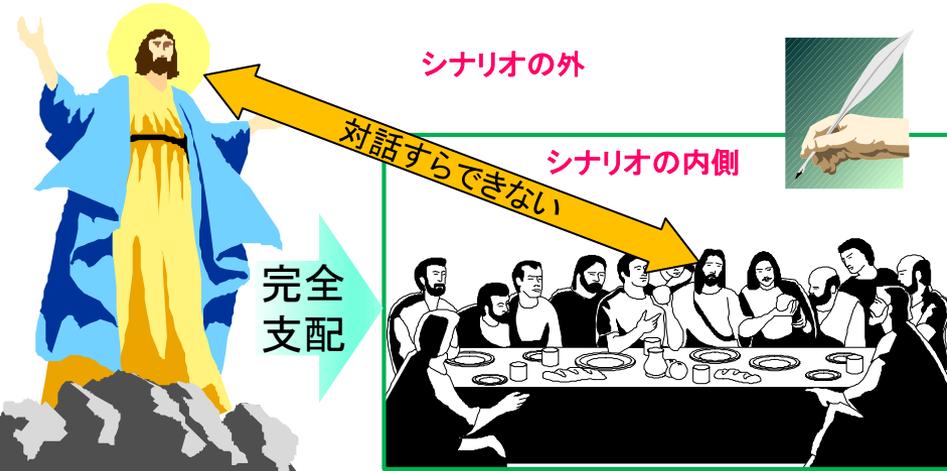
- (1) この世界は数式によって支配されている → この世界に合うように人間が数学を作った (たとえば虚数は便利だから使っているに過ぎない)
- (2) テクノロジーの進歩によってコンピュータゲームと現実との区別がつかなくなる → 作られた偽の現実には必ず作為の跡が見つかる

# この世界は仮想現実であるとする考え方の間違い

この世界は見えている部分のみが存在して、裏には何も無い？もしAさんがある映像を見ている時、同時にBさんがそれを裏から見ていたならば、やはり「裏」は存在する？否、あくまで観測者は自分一人である。Aさんから見れば、Bさんも仮想キャラクター（2次元の映像）に過ぎない。これは、この宇宙には自分のみが存在していることを意味する。つまり、恋人も家族も友人も、皆“幻影”ということになる。ならば、隣人に対して「この世界は仮想現実だよ」と語ることも自体無意味である。



もしもこの世界の外に神がいて、すべては神の描いたシナリオ通りに作られているとしたら…。それは小説家とその小説の登場人物との関係と同じである。小説の登場人物は、この世界が仮想(小説家のシナリオ)であることを認識できない。つまり我々は神を認識できない。要するに我々にとって神は存在しないに等しい。ただし、それでもこの世界が「仮想現実」であることは否定できない。



S教授による量子力学の講義

$$J_x = y \cdot p_z - z \cdot p_y, J_y = z \cdot p_x - x \cdot p_z, J_z = x \cdot p_y - y \cdot p_x$$

$$[J_x, J_y] = (y \cdot p_z - z \cdot p_y)(z \cdot p_x - x \cdot p_z) - (z \cdot p_x - x \cdot p_z)(y \cdot p_z - z \cdot p_y) = \dots$$

$$(z \cdot p_x - x \cdot p_z)(y \cdot p_z - z \cdot p_y) = (y \cdot p_z \cdot p_x - z \cdot p_y \cdot p_x - x \cdot p_z \cdot p_z + z \cdot p_y \cdot p_z) - (z \cdot p_x \cdot p_z - x \cdot p_z \cdot p_z - z \cdot p_y \cdot p_z + y \cdot p_z \cdot p_x)$$

$$= z \cdot p_x \cdot p_x - y \cdot p_x \cdot p_z - x \cdot p_z \cdot p_z + y \cdot p_z \cdot p_z - z \cdot p_x \cdot p_z + x \cdot p_z \cdot p_z - z \cdot p_y \cdot p_z + y \cdot p_z \cdot p_x$$