

ボソンを特定領域に最密充填すると どうなるべきか

藤井 純一

要旨

ボソンを特定領域に最密充填した場合に、空間と時間と物質がどうなるべきかを考察する。特に、重力を量子化したボソンとして予想されているグラヴィトン、一定の領域に充填した空間を考える。ボソンは同じ座標に複数存在してもよいが、作用対象がある場合は量子化され、粒子として振る舞い、空間において一定の大きさを占めるため、作用対象近傍ではボソンの存在数に限界がある。グラヴィトン最密充填空間においてはグラヴィトンが空間を埋め尽くしていると想定して扱えるはずである。そのような状況であっても同じボソンである光子を媒介した電磁相互作用がなくなることはない。ボソンの極限状態を思考実験することで、ボソン同士のかかわりがどうあるべきかを考える。

この結果を鑑みると、時間という単位の定義を考え直す必要が出てくる。時間の定義を、「時間とは、特定の因果関係の濃度の尺度」として捉えることができ、そのように定義した方がより厳密である。

単位の定義には、厳密には2つある。単位そのものの物理的定義と、単位の計測の定義である。そして、「時間」の定義は、単位そのものの定義は曖昧であり、計測の定義だけが先立っている。しかし、時間という単位の物理的意味をないがしろにして計測精度だけをあげても意味がない。

この定義は、根本的には「光速度不変とすることの物理的な意味」を問うことと同義であり、また、「なぜ光速度不変が我々にとってわかりやすいのか」を物理的に説明する事に等しい。そして、「光速度不変のみ」を基準とすることの恣意性と、なぜ「光速度不変にのみ着目してしまったのか」を説明することでもある。一般相対性理論が対象としているマクロ世界においては、電磁相互作用と重力相互作用とヒッグス相互作用がメインとなるのは「力の作用距離(スケール)がマクロであるため」である。そのため、電磁相互作用を基準として物理系を観測すると、あとは重力と加速にのみ注目すればよく、しかもこの二つが同スケール、同強度で電磁相互作用を阻害するために一見すると区別できない(重力と加速の等価性)。しかし、ミクロのスケールでは、さらにスケールも強度も異なる強い力と弱い力が目立つようになり、この二つが物理現象に対して支配的になる。十分に「強い相互作用」が働く量子スケールでは、他の3つの相互作用はほぼ止まって見えるため、計算方法によっては時間変数が無限に発散する。

一方、時間の定義としてボソン数を採用する定義を用いれば、時間 t は完全な0にはならない。そのため、時間変数 t を原因とする特異点は発生しない。

1. 緒言

本稿では、グラヴィトンをはじめとしたボソンを、一定のサイズを持った空間に充填した状態で何が起こるかという思考実験を元に、ありうる状況を考察する。なお、通常は T_p といったプランク時間を表すが、この論文では触れないため別の用途で用いることを付記する。

2. 目的

- 1) ボソンが最密充填された空間の性質を考察する
- 2) ボソンと時間の関係を考察する

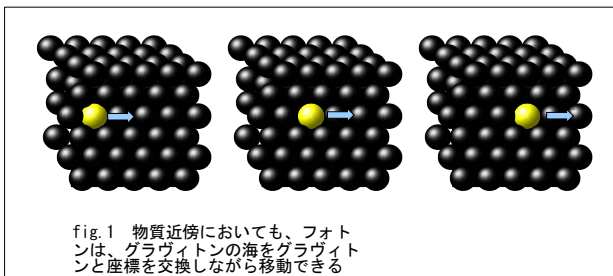
3. 方法

ボソンは、同じ座標に複数存在できるが、作用対象がある場合はその限りではない。例えば、グラヴィトンは通常物質に作用するが、その際には相互作用するために量子化する必要がある、つまり作用直前には粒子として振舞う。粒子としての振る舞いをみせている瞬間には空間内である程度の体積を占めており、無限に存在することはありえない。つまり、通常物質の近傍では重力は粒子として振る舞い、その数には制限がある。そこで、通常物質がごく近傍に存在する場合においてグラヴィトンは粒子のように充填することが理論上可能である。別の言い方をすれば、重力は物体の距離の2乗に反比例して強くなる。ということは、重力の担い手であるグラヴィトンは、必ず一定の大きさを持つべきである(でなければ接した物質の間の重力は ∞ である)。さらに言い方を変えれば、一ヵ所に無限のボソンが存在することは許されるが、無限の相互作用が働くことは許されない。この**グラヴィトンの存在の大きさ**をもって、空間に与える影響を考察する。

1) グラヴィトンを最密充填した空間の考察

グラヴィトンを、何らかの方法で特定の空間に可能な限り充填した空間を「グラヴィトン最密充填空間」と仮称する。グラヴィトン最密充填空間に磁石を2つ投入した場合を考える。このとき、磁石の電磁相互作用を媒介する光子の振る舞いは次のうちいずれかであろう。

- (1). グラヴィトンをかき分けて進む。
- (2). 隣のグラヴィトンと座標を交換しながらプランク距離ずつ進む。



このとき、いずれの場合も光子相互作用は次の変化をすると考えられる。

- (1). 力の伝達速度 c_1 (光子の光速性) が大幅に低下する(ほぼ0になる)。
- (2). 力の伝達確率 e_1 が大幅に低下する(ほぼ0になる)。

一般相対性理論が予測するところでは、ブラックホールのシュバルツシルト半径の中では時間が停止するため c_1 、 e_1 は厳密に0である。しかし、グラヴィトンが最密充填されているからといって同じボソンたる光子が”全く移動できない”のは明らかに不自然であるため、限りなく0に近い確率、限りなく0に近い速度で移動できると考えるべきである。つまり、グラヴィトン最密充填空間では、電磁相互作用が極端に阻害され、**ほとんど永遠に作用しない**。しかし、永遠に観測すれば、電磁相互作用が0に近いが0でないことが確認できるであろう。

2) グラヴィトン最密充填空間における時間の考察

グラヴィトン最密充填空間に電磁相互作用を利用する時計(つまりセシウム時計もクォーツ時計もゼンマイ式時計も含めた一般的な時計)を置いたならば、その時計を利用して定義する時間はほぼ停止する。しかし、重力相互作用を利用する時計(例えば摩擦係数0の粒子を真空中に落とす砂時計)を置いたならば、重力源の方向に亜光速で粒子が落下するため、明らかに砂時計で定義する時間は亢進する。

つまり、グラヴィトン最密充填空間では、電磁相互作用に関してのみ、時間が遅れる。この状態を「時間が遅れる」と単純に表現していいのだろうか。我々が時間を厳密に計るとき、あるいは落下以外の活動をするとき、常に電磁相互作用を伴うため、無意識に電磁相互作用を基準にしてしまう。おまけに重力は電磁気力に比べて弱すぎるため精密な計時に使用するには向いていない。だからといって、電磁相互作用のみを時間の定義に使うのは極めて恣意的であり、単位系の基準たる時間の定義としては片手落ちである。

3) フォトン最密充填空間

逆に、何らかの方法で光子を最密充填した空間を作れば、重力相互作用に関して同様の減退が起こると考えられる。つまり、光子最密充填空間に重力質量を持つフェルミオンを2つ投入すれば、お互いの万有引力が阻害されるであろう。

4) 光速不変の原理の側面

通常の時計と砂時計において、状況によって時間の加減速の仕方が異なるということは、時間の定義の仕方が複数あるということである。時間の定義が一つでないなら、「光の光速度不変の原理」は、基本とすべき原理の一側面ではない。つまり、光速度不変を前提として物理体系を構築したいなら、次の少なくとも4(5)つの定義を使い分ける必要がある。

- ① フォトンの速度 c_p 不変を基準とした時間 T_p
- ② グラヴィトンの速度 c_g 不変を基準とした時間 T_g
- ③ ストレンジボソンの速度 c_s 不変を基準とした時間 T_s
- ④ ウィークボソンの速度 c_w 不変を基準とした時間 T_w

そして、例えば重力の強い状態では

$c_p \neq c_g$ かつ $c_p < c_g$ である。

(①) ~ (④) のこれらの定義は、同じ現象(ボソンの速度と異種ボソン同士の阻害)に端を発した、互いに異なる、確かに存在する定義である。通常物質がマクロサイズで大きな影響を受けるのは電磁相互作用であるから、我々にとって(①)は理解しやすい。しかし、(①) ~ (④) が全て異なるのに(①)の定義だけを使うのは不条理である。

このような議論は、これまではあまり問題にならなかった。これは、一般相対性理論では元々(①)だけを取り扱い、その他の効果については言及していないからである(つまり、電磁相互作用における時間しか取り扱っていない)。一方、量子力学においては、時間の進み方については一般相対性理論のような形で記述していない。量子力学においては、マクロサイズでは全く影響しない(③)や(④)の力が大きな影響を及ぼし、電磁相互作用を阻害すると考えられる。また、重力も距離の2乗に反比例して強くなるからマイクロサイズでは大きな影響力を持つ。これはつまり、マイクロサイズでは(①) ~ (④)までの全ての時間のはっきり現れ、(①)の定義に大きな影響を与えるということである。一般相対性理論と量子力学を結び付ける上で、両者が扱う時間の定義が不十分であることは、無視できない問題である。

この問題は、次のように言い換えることができる。つまり、通常のマクロサイズの空間は、ボソン最密充填空間に比べて極めてスカスカで疎であるのに対し、マイクロサイズの空間ではボソン濃度が濃い場面が比較的多く、局所的にはボソン最密充填空間に近いのである。そのため、マイクロサイズに注目しない限りは電磁相互作用が大幅に阻害されて時間が遅れることはほとんどないのである。

5) 量子力学と一般相対性理論の違い

なぜ、一般相対性理論が量子サイズで破綻するのか、

イメージで言えば次のような感じである。

例えていうなら、水の流れと水分子の違いである。一般相対性理論では、時間を水の流れのように連続的に捉える。マクロスケールでは、水の流れ(時間の流れ)を大まかに捉えていればよいのだ。しかし、観測対象を細かく見ていけば、いずれ水分子(時間の単位)に突き当たる。このサイズ(量子サイズ)では、水は離散的な粒となり、しかも粒子同士の違いが見えてくる。流れているときは見る必要のなかった、水分子、それに混ざる塩化物イオンやナトリウムイオンといったふうに、いくつかの違いが現れるのだ。マクロサイズでは均質に見えていたものが、実はいくつかの混合物(いくつもの時間の総体)であったことがわかるのである。

6) 一般相対性理論の意味

これらの考察は、一般相対性理論が間違っているということを示しているのではない。むしろ、一般相対性理論自体の枠組みは完璧に正しく、我々の理解が十分でなかったということだと思われる。アインシュタインが光速度不変の原理を提示したとき、次の2つの要素が理解に影響を及ぼした。一つ目は、アインシュタイン自身が光の光速性を理論の中心に据えたこと。二つ目は我々自身が電磁相互作用によって命を繋ぎ、世界を観測するため注意が電磁相互作用に向きがちで、電磁相互作用のほうが(重力よりも)理解しやすいこと。我々人類は明らかに電磁相互作用寄りの存在である。我々は少なくともマクロ的には弱い「重力」を除いて電磁相互作用で活動している。そんな我々が光や電波やその他電磁相互作用の時計を使って時間の遅れを観測するのは自然だが十分ではない。そのため、無意識のうちに「光の光速度不変」のみに注目した一種の思い込み、理由のない前提を置いてしまったのである。しかし、前述したように光の速度は明らかに不変でないことと見ることができるときがあり、その状況下では電磁相互作用以外の相互作用が充進すると考えられる。この点を考慮して物理現象を理解し、一般相対性理論を扱う必要があると思われる。

7) 時間の定義についての再考

これらを総合すると、時間についていえることが2つある。1つめは、光の速度を時間の基準とすることは、基準となる電磁相互作用の作用確率を時間の基準とすることと物理的には同値であるということである。2つめは、時間変数にいくつかの縛りを与えることができるということである。

(1). 光の速度を時間の基準とすること

光の速度を時間の基準とすることは、基準となる電磁

相互作用の作用確率を時間の基準とすることと物理的には同値である。つまり

$$c_p \equiv E_\varphi$$

ただし E_φ は電磁相互作用の作用確率
 c_p は光子の伝達速度

と定義できるのである。

言い換えれば、光の速度を時間の基準とすることは、規準となる電磁相互作用における、作用できた光子数を時間の基準とすることと物理的に同値である。

これらの定義のうち、「基準となる現象における光子作用確率」を時間の基準とすることは明確な利点がある。光子数は個数なので明らかに無次元数であり、単位の定義としてこれ以上ないほど厳密である。さらに、「時間とは何か、時間とは何の計量なのか」を定義する事につながる。また、「作用光子数が増えていく」のが時間の定義であるなら、これがそのまま「時間の矢」であり、エントロピー増大の法則とも相性がよい。時間の矢が現れるのは我々が結局のところ「光子数」「相互作用の流れ」または「因果の連続」として時間を捉えるからであり、その根底には「光子の数」という負数にならないパラメータが隠れている。これらのことから、「作用した光子数(ボソン数)」で時間を定義することが、時間の定義としてより望ましいと考えられる。

(2). 時間変数の縛り

時間 t という値を扱う際に、実質的に t がどんな値でも取れるという点は問題であった。物理的な計算上の手続きとして、過去を類推するために t として負の数を与えるのは問題ない。しかし、現実問題として負の時間があってよいのかといえば、エントロピーの法則からいっても、時間は一方通行であるべきで、つまり正の数であるべきである。また、さらに t が 0 より大きい値しかとらないというならなお都合がよい。なぜなら、極限状態において t を分母として持つ方程式でも

$t = 0$ でなく $t > 0$ なら解が得られるからである。本定義では、現代物理で使われている時間 t は電磁相互作用時間 T_p として定義され、これは作用したボソン数を基準とするため負数はありえない。また、グラヴィトン最密充填空間において考察したように、0 に近づくことはあっても厳密に 0 にはならない。従って、時間変数 T_p は、必然的に以下の縛りを受ける。

$$T_p \neq 0 \text{ かつ}$$

$$T_p > 0 \text{ かつ}$$

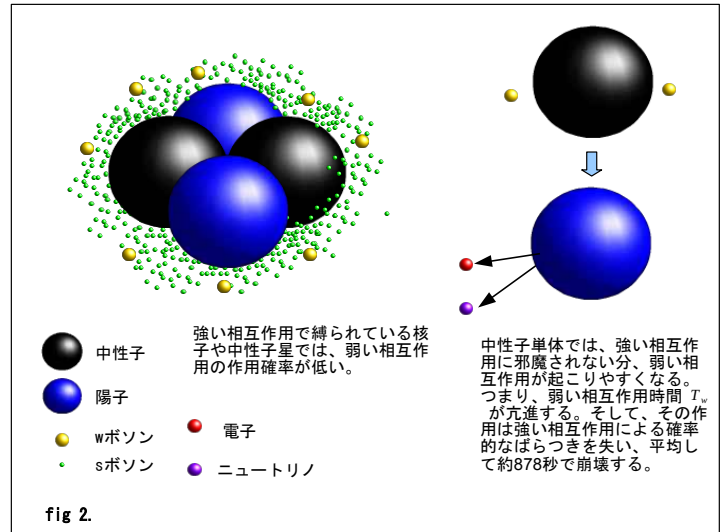
$$T_p \neq \text{無限小}$$

である。まとめると、 T_p はボソンの数で決まるので、

無限ではないし、0 より大きいし、無限小にもならないのである。

8) 弱い相互作用で定義する時間

弱い相互作用を定義に使った時間 T_w では、中性子の寿命もシンプルに説明できる(fig2)。



中性子は核子中ではほぼ安定しており、半減期も長い。しかし、中性子単体になったとたんに平均して15分(約878秒)程度で崩壊する。弱い相互作用による崩壊が加速するこの現象は、弱い相互作用の作用確率が上がったということであり、つまり T_w という時間が速まったということにほかならない。核子の中(正確には核子構成要素から $10^{-15}m$ 程度の近傍)は、強い相互作用によってかなりの確率で弱い相互作用が阻害される、「ストレンジボソン密充填空間」であるといえる。この範囲では、強い相互作用以外の相互作用が大きく阻害され、電磁相互作用時間 T_p なども遅れると考えられる。別の表現をすれば、原子の半減期は、強い力による拘束範囲からはみ出したウィークボソンの数(およびはみ出た体積)の確率的な統計量により決まる。原子核の内部では強い力により十分に拘束されるため、弱い相互作用の確率は強い力の拘束範囲からはみ出た粒子の統計的個数を考慮すればよいことになる(fig3)。

9) 時間の定義を区別することの効果

時間というものを基本相互作用で定義し区別することにより、副次的に解釈が簡単になる効果もある。例えば、一般相対性理論における「重力と加速の等価原理」をより具体的に、根本的に解釈できる。つまり、「重力相互作用とヒッグス相互作用はともに電磁相互作用を阻害して時間(電磁相互作用の時間)を遅らせる点で等価」と言い換えることができる。明らかにこの解釈のほうが単純でわかりやすい。

また、過去へのタイムトラベルは完全に禁止される。これまでの曖昧な定義では、「時間が遅れる」「時間が止まる」といった概念の自然で明確な理解ができなかった。つまり、一般相対性理論から導かれるから時間が遅れるというだけでなく、「相互作用の阻害こそが時間の遅れである」というより根本的な理解ができるのである。そして、この理解に立てば、ワームホールを使った過去への移動もおかしな誤謬であるとわかる。ワームホールがあったとして、さらにワームホールの入り口を光速で移動する技術があったとして、さらにワームホールを建材として補強する素材と技術があったとしても、過去への移動などできない。簡単に指摘すれば、移動したワームホールの出口(過去側のマウス)は、一般相対性理論における時間の極端な遅れ(これはほぼ時間の凍結といえる)を受けるが、これは出口の建材とその周辺の物質の時間が、ヒッグス相互作用によって電磁相互作用を阻害され、新品同様で存在しているというだけである。出口は新品だが、出た先は普通に時間が経過している。これは化学反応においても同様であり、例えばワームホールを貫く巨大な巻き寿司を考えればよくわかる。同様の操作をすれば、入り口側(つまり通常で時間が経過した側)の巻き寿司の賞味期限が切れたとき、出口方向に向かっていけば少しずつ新品に近づいていき、出口から顔を出している部分はできたてであろう。

また、この定義(電磁相互作用の作用確率を時間の定義とする)を使う場合の時間 $t(T_p)$ は、電磁相互作用がある限りたとえブラックホールの中であっても厳密に0にはならない。つまり、ブラックホールの中であっても極めて微小ではあるが時間は進行し、永遠の未来においては電磁相互作用の結果を見ることができる。計算上も、時間 t の微分の粒度を細かくしていけば、極めて微小で0に近いが0でない t を得ることができるため、 t によって値を発散させることなく解を得ることができる。

10) ボソンの時間

電磁波として運動中の光子自身の時間経過は、速度 c による運動によってのみ表される。一方、ボソンとして作用する瞬間の時間経過は、相互作用によって表される。つまり、ボソン自身の時間経過は、運動と相互作用の2つの指標がある。ブラックホール内では、光子の速度が極端に低下し、相互作用の要素が増えるため、光子の時間は相互作用に費やされる。これは光子の時間が遅れたというよりは、光子の運動に基づいた時間が遅れたと表現するべきである。

11) ボソンを使って単位を定義することの意味

単位の定義には、厳密には2つある。単位そのものの

物理的定義と、単位の計測の定義である。基本単位系のうち「長さ」「質量」「電流」「温度」「物質量」「光度」については、単位そのものの定義と、単位の計測の定義はほぼ同じである。しかし、「時間」の定義は、単位そのものの定義は曖昧であり、計測の定義だけが先立っている。しかし、時間という単位の物理的意味をないがしろにして計測精度だけをあげても意味がない。さらに、「長さ」の単位については、現在の定義において「時間」の単位と不可分となっており、計測精度は申し分ないものの、物理定義としては好ましくない。

この問題については、時間の定義がより厳密になることで(時間を個数として扱えるようになることで)解決すべき問題と考えられる。

4. 計算

1) シュワルツシルト半径

シュワルツシルト半径の内部の状況は、次のように見ることができる。すなわち、

「通常物質から周囲の空間に放出されるグラヴィトン濃度が、空間のボソン許容量に達した状態」または、「通常物質から周囲の空間に放出されるグラヴィトン濃度が、因果関係におけるボソン上限量に達した状態」と見ることができる。つまり、ブラックホールとは、空間の曲率が無限大であることの言い換えとして、「空間の重力濃度が上限に限りなく近い」または「フォトン時空の曲率が限りなく無限に近い」状態であるといえる。このような視点に立てば、空間におけるグラヴィトン濃度の上限は次のようにして計算できる。

1kgの物質が放出する重力子の数 $\cdot \cdot \cdot g_n$

物質のシュバルツシルト半径 $\cdot \cdot \cdot r [m]$

物質の質量を、 $M [kg]$ とおく。

なお、 g_n はプランク時間毎に放出されるグラヴィトン数とも表現できる。

ここで、空間内のグラヴィトン上限数 B_{max} は、

$$B_{max} = \frac{M g_n}{\left(\frac{3}{4} \pi r^3\right)}$$

である。また、シュバルツシルト半径 r が

$$r = \frac{2GM}{c^2}$$

なので、

$$B_{max} = \frac{c^6 M g_n}{6 \pi G^3 M^3}$$

とも表現できる。

5. まとめ

このように、時間と空間を厳密に扱うためには、基本相互作用毎に「時間」と「空間」を別個に定義することが望ましいと考えられる。時間を基本相互作用に注目して定義することで、いくつかの有用な効果を得られる。この定義では、「相互作用の阻害こそが時間の遅れである」という事ができる。

人間が課した想定・前提は、人間自身の性質・物性に影響されやすいため、常に注意し、再考すべきである。

- 1) 時間の遅れを単純かつ具体的に説明できる。
- 2) 時間の性質を定義の中に自然に組み込める。
- 3) 一般相対性理論をより具体的に理解できる。

