

光速度不変

TOP『時間と空間の物理学』へ戻る

特殊相対性理論が二つの原理のもとに構築され、その原理の一つが『光速度不変の原理』であることはよく知られています。

しかし『光速度不変』が原理であるというのは正しくありません。なんとなれば、光速度があらゆる条件下の観測者に対して、常に決まった値を示すというのは、確認された経験的事実にすぎないからです。

原理というのは、証明された事柄か、あるいは証明を要しない自明の理（皆が無条件に納得出来る論理的内容）のことです。〈間違いない経験的事実である〉ことと、**自明である事**とは違います。〈間違いない経験的事実である〉は、どこまで行っても“我々が経験した限りにおいては”という制約がある以上、自明ではありません。

なぜそうであるかの証明が困難だから**原理（説明を要しない真実＝自明の理）**としておこうというのは感心しません。説明に成功するまでは、あくまで“仮定”扱いにしておくべきです。

以後 100 年以上もの間、主導的立場にあった物理学者の殆どが、なぜ光速度は確定不変なのかについてさほど疑問も持たず、関心も持たなかったのかは、その事実を原理（説明を要しない真実）と呼んだ所為かも知れないという不満を覚えます。

かつて昔の科学者達は、万有引力の有効性や正しさについては疑いはしなかったにもかかわらず、そのメカニズムを求めて考え続けました。そういった姿勢が大事だと思います。実際に起きている事象について、そのメカニズムを解明すること、すなわち論理的に納得出来る解答を見つけて、真実を明らかにする事が、科学者に課せられた最大の使命です。

アインシュタインは〈物差しの長さも時計の進みも基準体の運動速度に依存して変化する〉という考えを用いて、光速度不変が成り立つことを、ちゃんと説明している、と反論されるかも知れません。そういう意見に対しては、彼の次の解説文を紹介しておきましょう。

『特殊および一般相対性理論について＝金子務訳』から引用。

《……ローレンツ変換によれば、真空中の光の伝播法則は、基準体 K についても基準体 K' についても同じように満足される。このことを知るには、…… {ローレンツ変換の解説・省略} ……基準体 K' に対して相対的な伝播速度がやはり c であることがわかる。他の任意の方向に伝播する光線についても同様である。このことは、この観点からまさにローレンツ変換の方程式が導かれたのだから、当然であり、驚くにはあたらない。》

何と言っているかおわかりでしょう。光速度が色々な観測者に対して決まった値を示すという観点から、つまりそうなるように、ローレンツ変換の方程式（物差しの長さも時計の進みも基準体の運動速度に依存して変化するというアイデア）が導かれたのだから、ローレンツ変換の方程式を使って決まった値の光速度が得られるのは当然だ、と言っているのです。この解説が“光速度不変”の正しさを証明するためのものだとしたら、明らかに論理破綻しています。

1 速度

“速度”という言葉聞いて最初に思い浮かぶのは、物体の移動速度（運動速度）と波動の伝播速度でしょう。

しかし、同じ“速度”という言葉を使っていますが、**物体の移動速度**と**波動の伝播速度**は、物理学的には全く別種の事象です。

この二つの“速度”を混同しているという点で、アインシュタインの理論はそのスタートから間違っていると言わざるを得ません。“高速度不変”が相対性原理と矛盾すると考えること自体がナンセンスなのです。

2 ドップラー効果

波動の伝播についてお話しします。

ドップラー効果は媒質中を伝わっていく波動全般に見られるものですが、光と他の波動とでは、媒質の特性の違いによって、ドップラー効果の現われ方にも少し違いがあります。しかし本質的には同じと考えて良いでしょう。

2.1 一般的なドップラー効果

まず、一般的なドップラー効果についておさらいをしておきます。もっともポピュラーなドップラー効果の公式は

$$f = f_0 \frac{u - V_o}{u - V_s} \quad (1)$$

といった形で書き表されます。

f は観測される波の振動数、 f_0 は発した時の（波源系における）波の振動数、 V_o は媒質に対する観測者の移動速度、 V_s は媒質に対する波源の移動速度で、いずれも波源から観測者に向かう方向を“正”にとります。但し u は波動の伝播速度で V_o 、 V_s より大きいものとし、また波源も観測者も同一直線上を動くものとし、

重要なのは、決まった媒質中を伝播する波動の速度 u は確定不変である、ということ。

いま仮に波源が静止していて観測者が動いた場合、公式は

$$f = f_0 \frac{u - V_o}{u} \quad (2)$$

波源が動いて観測者が静止している場合は

$$f = f_0 \frac{u}{u - V_s} \quad (3)$$

(2) と (3) の式を見て分かるように、仮に媒質に対する観測者の動く速さと波源の動く速さが同じであっても、ドップラー効果の表れ方は同じではありません。

“運動”は相対的な認識事象ですから、静止した波源に対して観測者が動く場合も、静止した観測者に対して波源が動く場合も、動きの速さが同じなら物理的意味は同じです。

しかし“波動の伝播”は、“運動”とは全く異質な物理事象だということを理解しておくことが重要です。“波動の伝播速度”と“運動速度”は物理的な意味が全く違います。

2.2 光のドップラー効果

通常、波動の伝播には媒質の存在が不可欠です。しかし光という波動には媒質が存在しません。ではどう考えたら良いのでしょうか。

媒質が存在しないのですから、“媒質に対する速度”は定義できません。光源から放たれた光波の振動数だけが確定されます。つまり波源が静止している場合の公式(2)式だけが有効です。

光源に対する観測者の移動速度を V とし、光源から観測者に向かう方向（光波の進む方向）を“正”にとると、

$$f = f_0 \frac{c - V}{c} \quad (4)$$

となります。

3 光速度不変とエネルギーの保存則

机上に置いてあったボールを手にとって投げるという行為は、力を働かせてボールに速度を与えるということです。“力を働かせる”事によって系が失ったエネルギーは、その系に対して速度を有するボールの中に、“運動エネルギー”という形で保存されます。

運動エネルギーというのは物体が持つ質量と速度とによって規定されるエネルギーですから、質量を持たない光は**運動エネルギー**というものをもちません。というより、光はエネルギーそのものです。光のエネルギーが $E = h\nu$ で与えられ、質量要素も速度要素も含まないのは当然と言えます。

エネルギーを考える時には、光を“波動”として扱うよりも“光子”と見做した方が便利です。つまり“プランク定数 h は光子 1 個が持つエネルギーである”

と考えるのです。

したがって例えば振動数 ν の光が 10 秒間 ($10t$) 照射された場合のその光エネルギーの総量 E_a は、 $E_a = h\nu \times 10t$ となります。

さて、ある系と別の系との間で何かのやりとりがある場合に、『エネルギーの保存則』が破れることはありません。すべての物理的事象はこの保存則を満たすべく生じます。

光波の授受では、系 A から送り出された光の総てを系 B が受け取った場合、**送り出される光子の総数 E_a と、受け取る光子の総数 E_b が一致することが** [エネルギーの保存則] の証しとなります。

波の総数が一致するという事は、振動数の高い (単位時間に存在する光子数が多い) 光は短時間働き、振動数の低い (単位時間に存在する光子数が少ない) 光は長時間働くことを意味しています。

【図-1】



上図において、

観測者 (B) は光源 (A) と結ぶ直線上を、光源 (A) に向かって速度 V で進む。

光源 (A) が光を発し始めた瞬間の観測者 (B) の位置は B である。

観測者 (B) が光源 (A) の位置に達するまでに要する時間を T とする。

光源 (A) が最初に発した光が観測者 (B) に届くのが、光源 (A) が光を発し始めた瞬間から時間 t 後なら、観測者 (B) が光源 (A) の位置に達するまでに光源 (A) が発したすべての光を受け取るのに要する時間は $T - t$ である。

光源が放った光子の総数は、放った光の振動数を ν_0 として $\nu_0 T$ であり、

観測者が受け取った光子の総数は、受け取った光の振動数を ν として $\nu(T - t)$ です。

《エネルギーの保存則》はこの二つの数値が一致することを要求します。

$$\nu(T - t) = \nu_0 T$$

$$\nu = \nu_0 \frac{T}{(T-t)} \quad (5)$$

$T-t$ と T の関係は、【図-1】 から簡単に導けます。すなわち光速を c として、
 $(c+V)t = VT \Rightarrow t = \frac{V}{c+V}T$ ゆえに $T-t = \frac{c}{c+V}T$
 これを (5) 式に代入すると

$$\nu = \nu_0 \frac{c+V}{c} \quad (6)$$

(6) 式右辺の分子が+になっているのは、観測者の運動方向がドップラー公式の定義でマイナスだからです。

ドップラー効果のあり方は《エネルギーの保存則》からも導くことができました。これは光波が一般の波動と本質的に同じだということなのです。つまりその**伝播速度は確定不変**、“**光速不変**”は至極当然というわけです。

TOP『時間と空間の物理学』へ戻る