

**第6回 講義内容**

2024/10/28

**配布物**

- 06\_Cosmology\_contents.pdf このファイル Google classroom, web  
次のページにドラえもんのタイムマシンを検証した文章を付けます。
- 06\_Cosmology2024\_Viewgraph.pdf スライド Google classroom, web  
スライドファイルは当日朝に配布します。
- 202406\_タイムトラベルの数理.pdf 雑誌コピー Google classroom,  
数理科学 2024 年 6 月号から。

**講義内容 (予定)**

- §3.1 奇跡の年 1905 年  
p208 波の干渉  
重力波の観測方法
- §3.2 特殊相対性理論  
双子のパラドックス,  $E = mc^2$ .

**本日の復習課題例**

こんなことを観たり, 調べたり, 考えてもらったら面白いかな, という程度のおまけ.

- アインシュタインの業績
- 高速ロケットで 1 年かけて飛行したときに, 10 年先まで行きたい場合, ロケットの速度はどのくらいにすればよいか.  
高速ロケットで 1 年かけて飛行したときに, 100 年先まで行きたい場合, ロケットの速度はどのくらいにすればよいか.

**次回の予習項目**

こんなことを調べてもらったら面白いかな, という程度の課題.

- 放射性元素の崩壊, 原子力発電の放射性廃棄物の問題
- 超新星爆発のしくみ
- 映画『インターステラー』

**レポート**

第3回の講義のときに, レポート課題 (第1回)『地球外生命体・地球外知的生命体について』を出しました.  
締め切りは, 本日, 10月31日(木) 23:59 です.



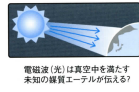
3. 現代物理1:相対性理論 3.2 特殊相対性理論 教科書 p60

3.2.1 電磁気学で生じた疑問

疑問1 電磁波を伝えるもの(媒質)は何か?



音波は空気中の分子の振動が伝える。



電磁波(光)は真空中を満ちた未知の媒質エーテルが伝える?

電磁波を伝える媒質として「エーテル」(ether; 天空をみたく物質)が存在するはずだ。

疑問2 電磁波が伝わる速度が「光速」であるとは、誰から見た時の光速なのか?



時速140km



時速120km

車中の人からは「バタ」の速度は時速20kmに見える。(速度は相対的なもの)

3. 現代物理1:相対性理論 3.2 特殊相対性理論 教科書 p61

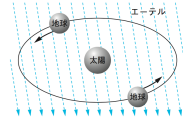
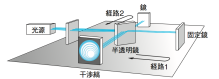
マイケルソン・モーリーの実験

Michelson-Morley experiment 1887



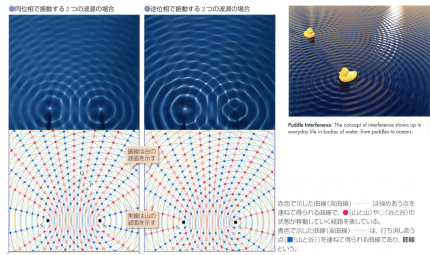
→エーテルの検出に「失敗」

微小距離を測定する干渉計



エーテルがあれば、季節で距離が変わるはず。微妙な差でも、干渉計なら測れるはず。

マイケルソン・モーリーの実験を理解しよう 波の干渉 = 強めあったり弱めあったりする現象



3. 現代物理1:相対性理論 3.2 特殊相対性理論 教科書 p63

3.2.2 アインシュタイン 大胆な原理の導入

- ★相対性原理: 物理法則は、どのように運動をする人からみても(どのような座標系から見ても)同じ形にならなくてはならない。
- ★光速一定の原理: 真空中の光の速度は、どのような座標系から見ても同じである。

疑問2 電磁波が伝わる速度が「光速」であるとは、誰から見た時の光速なのか?



時速140km



時速120km

車中の人からは「バタ」の速度は時速20kmに見える。(速度は相対的なもの)

×特別な座標系の存在? 不要である

3. 現代物理1:相対性理論 3.2 特殊相対性理論 教科書 p63

光速一定を原理とすると、時間座標も伸縮する

Advanced ローレンツ変換

ローレンツは、次のような座標変換をしてもマクスウェル方程式は不変であることを示した(1904年)。すなわち、ある慣性系(t, x, y, z)から+x方向に速度vで運動する慣性系(t', x', y', z')への座標変換として

t' = (t - (v/c^2)x) / sqrt(1 - (v/c)^2), x' = (x - vt) / sqrt(1 - (v/c)^2), y' = y, z' = z. (3.7)

この式は、行列とベクトルの積として、次のようにも書ける。

(t', x', y', z') = (1/sqrt(1 - (v/c)^2), -v/c\*sqrt(1 - (v/c)^2), 0, 0) \* (t, x, y, z) (3.8)

ローレンツ変換 (Lorentz transformation)

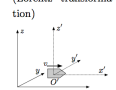
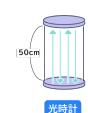


図 3.6: 静止しているxyz座標系と、速度vでx方向に動いているx'y'z'座標系。

特殊相対性理論の結論 時間の進み方は観測者によって異なる 教科書 p65

光時計の思考実験



光時計 光が1往復するの時間2L/cを1秒と定義する。



地球の人がロケット内の光時計を見ると、ロケットが移動するので光は斜めの経路を進み、その分だけ往復するの時間が増える。光の速度はどの慣性系から見ても一定なので、ロケット内の光時計は2L/c \* 1/ sqrt(1 - (v/c)^2)だけ長い時間がかかる。つまりロケット内の光時計はゆっくりと進んでいる。

動いている人の時間の進み方は、静止している人よりも遅い 時間の進み方は相対的になる

3. 現代物理1:相対性理論 3.2 特殊相対性理論 教科書 p66

未来へのタイムトラベルは可能!!

コラム16 浦島効果: 未来へ行くタイムトラベルは可能!

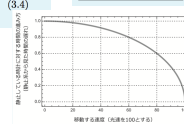
特殊相対性理論によれば、高速で動いている人は1秒の間隔は開いてくる。計算式で表すと、速度vで移動している人の時間ΔT'は、静止している人の時間ΔTと同じではなく、次式になる。

ΔT' = sqrt(1 - (v/c)^2) ΔT (3.4)

速度で移動している人の1秒

静止している人の1秒

Table 3.2: Values of sqrt(1 - (v/c)^2) for different velocities v/c.



動いている人の時間の進み方は、静止している人よりも遅い

【実験ですよ】 浦島太郎 教科書 p66

コラム16 浦島効果: 未来へ行くタイムトラベルは可能!

特殊相対性理論によれば、高速で動いている人は1秒の間隔は開いてくる。計算式で表すと、速度vで移動している人の時間ΔT'は、静止している人の時間ΔTと同じではなく、次式になる。

ΔT' = sqrt(1 - (v/c)^2) ΔT (3.4)

速度vで移動している人の1秒

静止している人の1秒

300 year = ∫\_0^3 year 1/sqrt(1 - (v/c)^2) dt => v = 0.9999499c

電音線は、光速の99.995%の速さで動いていた!

未来へ行くタイムマシンは可能

万葉集 巻九 水江の浦の島子を詠みし一宮姫歌を并(あは)せたり... 昔の日本の成る所... 浦島太郎の物語... 特殊相対性理論... 時間遅延... 電音線... 未来へ行くタイムマシン...