

高校生にもわかる 相対性理論

琉球大学理学部物質地球科学科
物理系

前野昌弘



ネットにつながる環境ならば、
←このマークをクリックすることでプログラムを
ブラウザ上で動かすことができます。

ほんとに高校生にもわかるんですか？

と、よく疑いの眼で見られるのですが、

実は相対論の中でも
「特殊相対論」の方は、
難しい数学も使ってなくて、
しかも図で理解することも
できるのです！！

特殊相対論(1905) : 等速運動する系での物理

一般相対論(1916) : 重力の理論

今日家に帰ったら「相対性理論がわかったよ！」と言って
家族に説明してあげてください。そのつもりで、理解して
帰りましょう。

世間で「難しい、難しい」と言われている
「相対論」はこっちの方です。これは確かに、かなり難しい。
世の中「一般」の方が難しいのです。

というわけで、
今日は「特殊」
相対論について
図で説明します。

まず、「相対性」って何??

「相対的」というのは
「見る人の立場によって見えるものは違いますよ」

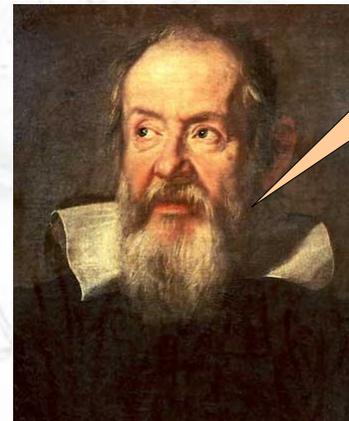
という意味です。その反対語は「絶対」で、
「誰が見ても同じ」

という意味があります。

物理の世界で「相対的」とは
どういう意味なんですか??

ガリオと言えば、...

話はガリオ・ガリレイの時代
に戻るのであります。。。。



それでも地球は
回っている

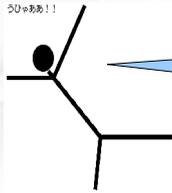
と、言った人。

でも、当時の人は信じてくれなかった。

ガリオが**相対性**にこだわったのには理由がある。

それは「なぜ、人は地球が動いていることを信じなかったのか?」と関係があるのです。

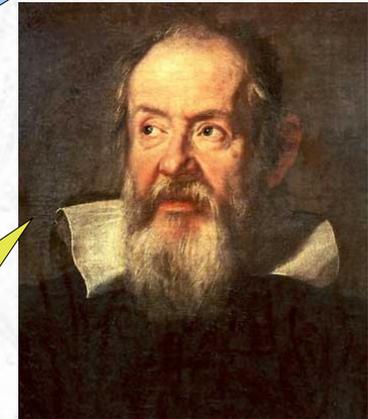
ガリレオの時代の“常識”



地球が動いているのなら、
上に乗っている我々は
落っこちてしまうではない
か!!!

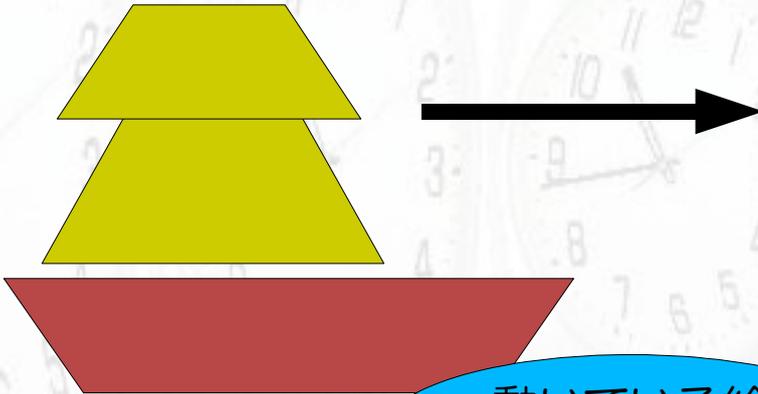


走っている船の上
で、マストから物
が落ちるところを
想像してみよ。



等速運動している船の上で起
こる現象を見てみると、それは
止まっている船の上で起こること
と同じではないか。

だから、地球の上にいる人も落ちたり
しないのだ。



動いている絵
で実感しよう。

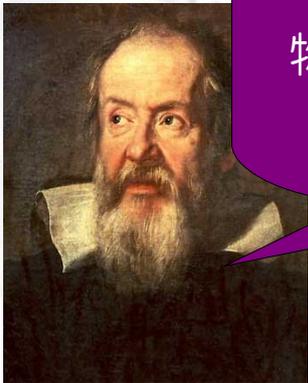


「慣性の法則」の発見

ガリレオさんが教えてくれたこと

ガリレイの相対性原理

自分が等速運動しているのか、
静止しているのかは、
区別がつかない。
物理法則は、どの人が見ても同
じなのだから。



この「自分が等速運動しているかどうかは区別がつかない」、別の言い方をすれば、

「観測者が等速運動していても、物理法則は何も変更しなくていい」

ということが、後で相対性理論を産むのです。

地球が動いていても、人々が落ちないでいられるのはこのおかげ！！

地球が動いてようがいまいが、わたしには何の関係もない。

と、安心できるのも相対性原理のおかげ。



実は地球は直線運動ではなく回っているのですが、それはここでは無視しましょう。

特殊相対性理論前夜の状況

光は波である

波である証拠：干渉、屈折、反射

波ということは、
いったい何の振動
なんだろう？

音 = 空気 の振動

光 = ????? の振動

↑
「エーテル」と名付けよう

だとすると、地球はエーテルに
対して運動してないの???

こんなものは **ない**、
ということが
後でわかった。

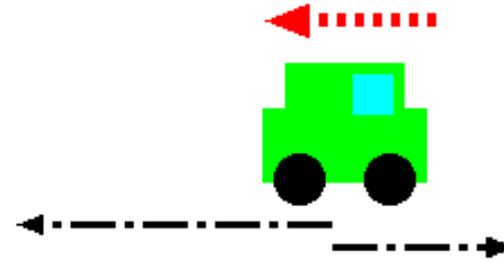
音と光は同じか？

静止している空気の中で車が動くのなら



音の速さはどちらも同じ

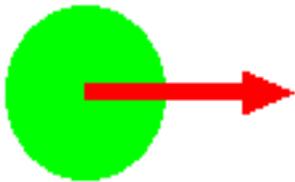
車上では風が吹いているように感じる。



速い音 (追い風)

遅い音 (向かい風)

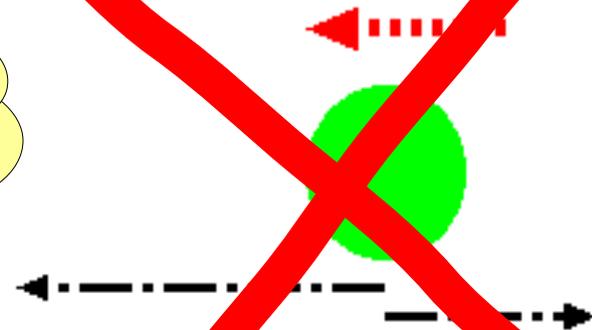
静止しているエーテルの中で地球が動くのなら



光の速さはどちらも同じ

地球の公転速度
は秒速30キロ。
つまり光速の
1万分の1！！

地球上ではエーテルの風が吹くはず。



速い光 (追い風)

遅い光 (向かい風)

この差を測定したい！！ (マイケルソンとモーリー)

マイケルソン・モーレーの実験は否定的結果に終わった。



- 1881 (マイケルソン) 120センチの干渉計
- 1887 (モーレーも加えて) 反射により11メートルの干渉計
- 1904 丘の上の実験(モーレー&ミラー)
- 1921 ウィルソン天文台で(ミラー)

こんなにがんばったのに、否定的結果だなんて……



どんな実験だったのか、アニメで解説！

この実験、1921年で終わったわけではなくて、手を変え品を変え、現代でもいろんな人がやっています。

でもいまだに、光速が変化したという結果は出ていないのです。

ローレンツさん苦肉の策

プログラムで見せたように、ローレンツさんは「ローレンツ短縮」という現象が起きているということにしてマイケルソンとモーレーの実験結果を説明しようとしてました。

きっと、地球に吹いている「エーテルの風」に押されるせいだよ。。。。

なら、エーテルの風を受けても縮まないような丈夫な物質で実験装置を作ってみよう。。。



という実験やったけど、やっぱりダメでした。。。

•ほんとに縮んでいるか、物差しで測ってみようよ。。。

そ、そんなこと言っちゃっていいんですかローレンツ先生。。

物差しも、一緒に縮むから、測れないよ。



ローレンツさんの説明その2

実験装置が縮んで
いるところって、目
に見えないの??



と、ローレンツさんに聞いてみると、...

見ている私も一
緒に縮んでいる
から、縮んでいる
ことに気づかな
いんだよ。



と、答えたと言う。。

この混乱した状況の中でアインシュタインが現れ、明解な答を出しました。

アインシュタインの話に行く前に、、、

ローレンツ短縮は、一見マイケルソン・モレーの実験を説明しているかに見えたが、、、それだけではだめなのだ！！

実験のアニメーションをもう一度見てみよう。



実験装置が動いている時と動いていない時で、ある物理現象が「一方では同時に起こっているけど、もう一方では違う時刻に起こっている」のである！！！！

同時の相対性

ローレンツさんは、数式の上ではこの事に気づいていたんだけど、「これはみかけの時間みたいなもので、ほんとの時間じゃないだろう」と思っていた

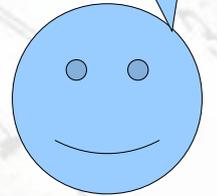
16歳のアインシュタインが考えたこと

光速で走る
人のアニメ

光速で走る人が電磁波を見たら
何が見えるのか？

止まっている電磁波は電磁気の法則を満たさない。

「光が一定の速度で進む」も物理法則の一部？



この疑問をアインシュタインは10年考え続けたことになる。いったん答が見つかり、計算して論文を書くには5週間しかかからなかった。

実は、光速度は、高校の物理の教科書に出てくる二つの数字から、“導く”ことができます。

真空の誘電率 ϵ_0

真空の透磁率 μ_0

から、

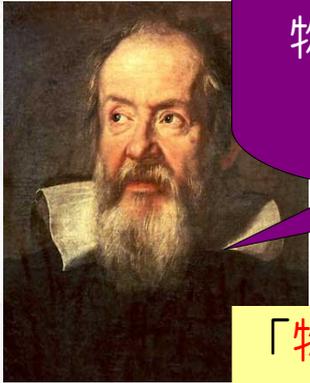
$$\frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

を計算すると、ちゃんと、
299792458 m/sになる。

26歳のアインシュタインが考えた事

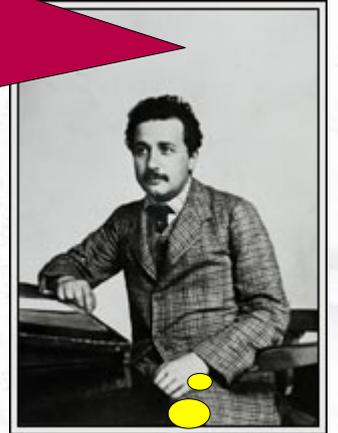
ガリレイの相対性原理

自分が等速運動しているのか、
静止しているのかは、
区別がつかない。
物理法則は、どの人が見ても同
じなのだから。



アインシュタインの相対性原理

ガリオ・ガリレイの言
う、「どの人が見ても物理
法則は同じ」という、
「物理法則」の中には
「光の速度が
299792458m/sである」
というも入っている。



「物理法則は等速直線運動しながら観測しても変化しない」
というのが

「相対性原理」。

「光が一定速度」というのはその原理の一部

開き直り
のように
聞こえる
かな??

つまり、どうやっても光の速度が一定なら、むしろそれが「原理」だということにして、
これまでの物理を作りなおしてしまった。

時間の遅れ

これだけの仮定から、ローレンツ短縮も、同時の相対性効もでてくる。
現象を説明するための苦肉の策ではない。

さらにもう一つ、すごいこともわかってしまった！！

光速度が不変だとすると、
時間の経過すら変わってしまうこと
になるよ！！さっきのアニメーションをよ
く見てみよう。



ローレンツさんやポアンカレさんもこんなふうに時間が遅れる、という数式は出して
いた。しかし、「まさかほんとに時間が遅れるはずはないから、これは数式上のまや
かしだろう」と考えてしまった。。。。。

アインシュタインの方が若い分だけ、思い切りがよかった??

時間や距離の尺度、さらには
「何が同時で何が同時でないか」は

相対的です。

つまり、立場によって違います！

そのおかげで、光速は誰から見ても同じになります。

相対「論」などと言うので
「まだ実証されていないの
かな？」と勘違いする人も
います。しかし、相対論的
効果は実証済なのです！

私が相対論を発表した1905年
に、こんな機械があったなら、
誰も相対論を疑ったりしなかつ
たらうなあ。。

**現代の科学技術は、アインシュタインの時代よりも
ずっとずっと、「時間」の本質に迫っているのです！**

いっしょん、「え、そんなばか
な？」とってしまうようなこ
とですが、実はこれが本当な
のです。。。。。。

科学技術の進歩により、アイン
シュタインが相対性理論を作っ
たことにはとてもできなかった、
精密な測定が、「日常使わ
れる機械」の中にもつかわれる
ようになりました。



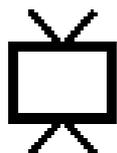
さて、
その機械
とは??

日常生活にも関係する！？ 時間のずれ (カーナビ)

高いところにある分、
20億分の1だけ時間が速い

これは
一般相対論
が関係します

運動している分、
100億分の1だけ、
時間が遅い



この差を打ち消す分だけ、人工衛星
の時計はあらかじめ遅らせてある。

これで、カーナビと衛星の
時計が同期する



GPSの原理を
アニメーションで解説

20億分の1のずれとは1年でやっと0.016秒程度しかずれない。
時間のずれやゆがみは、普通に生活している人間にはわからない。
しかし、カーナビにとっては大事なのだ！！(光は1秒に30万キロも走る)

よくある疑問

どうして光
だけ特別な
の???

答その1:
実験してみたらそうだったんだから仕方ありません。
物理(いや科学は)実験が全てです。

答その2:
光が特別なのではなく、電磁気学の法則が特別なのです。
光の速度が 299792458m/s になるのは、電磁気の法則のせいです。

答その3:
実は常に光速で走るのは光だけじゃなくて、他にもあります。
また、光速より遅い物質の速度も、実は単純な足し算になりません。

というわけで、「動いている物体の時間は遅くなる」
ということはもはや

実験事実

なのです。認めましょう。

ところで、こんなふうに「運動すると時間が遅れる」という現象のことを、日本では「ウラシマ効果」と呼びます。

お伽噺の浦島太郎と同様、「旅行して帰ってきたら、自分が思っていたよりもずっと長い時間が経っていた」という現象なのでこう呼びます。

でも、もしかしたら???

浦島太郎は本当の話で、浦島太郎は宇宙船に乗って「竜宮」という名前の星まで旅をしたのかもしれない。。。。



これは一種の、未来行きタイムマシンですね(一方通行ですが)

過去へ行くには??

もし、瞬間移動する手段があれば、
タイムマシンはできる!!!

現代科学では瞬間移動の方法なんてないけど、もしかしたら未来ならできるかもしれないではないか!

瞬間移動の手段(例:どこでもドア)があれば、タイムマシンができることを、アニメーションプログラムで説明しましょう

でも瞬間移動って難しいのでは???

超光速で動けばタイムマシンは
できる!!!

Skip

楽観的な考え方

じゃあ、超光速を探そう
そしたらタイムマシンも
作れるぞ!!

優勢

悲観的な考え方

だから、おそらくタイムマシンも
超光速もできないのだろう

悲観的に考える人が多い理由は、

- (1)今のところ、超光速は発見されていない。
- (2)時間旅行ができるとすると、とてもおかしいことが起こる。

の二つがある。

そこで問題になるのが、

因果律

因果律が破れると、
タイムパラドックスが
起きてしまう

超光速があればタイムマシンができる。

では、超光速はできるか??

通常の物体を超光速に加速するには無限のエネルギーが必要であることがわかっている(特殊相対性理論)

方法1:超光速粒子を使う

通常の物体ではなく、最初から超光速で走っている粒子を見つめることができれば、その粒子を使って超光速通信が可能。

未発見

方法2:ワームホールを使う

宇宙にどこもドアのような「近道の穴」を開ける。



どちらも、莫大な、しかもマイナスのエネルギーが必要だということがわかっている

方法3:空間をひん曲げる

いわゆる「ワープ」。時空間を曲げて、遠い距離の2つの点の間の空間を縮めたりして超光速で移動できるようにする。

苦しい!!!

相対性理論について、 覚えておいて欲しいこと

「一人の天才(アインシュタイン)
が作った」なんてとんでもない！！

電磁気学を作ったマックスウェル、光速度の測定をしたマイケルソンとモーレー、その意味を考えたローレンツなど、たくさんの物理学者の共同作業です。

「天才の突飛な発想が
ないと理解できない」

なんてとんでもない！
一步一步着実に、力学や電磁気学などの物理の基礎をつみあげていった先にできるものです。

「原子爆弾の元になった」
なんてとんでもない！！

全ての物理の元です。

「日常生活とは関係ないお話」

なんてとんでもない！！
現代科学は、思った以上に進んでいます。
「相対性理論を使いこなす」段階に来ているのです。

最後に、私の好きな アインシュタインの言葉

私が賢かったからじゃない。

私はずっと問題のそばにいた。
それだけなんだよ。