

# 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



ネットワークにつながるなら、  
このマークをクリックすると  
プログラムを見ることができます。

# 相対論を理解するために必要なこと

まず、

「光は誰から見ても  
同じ速さ、秒速299792458m  
で真空中を伝わる」

ということを認めてください

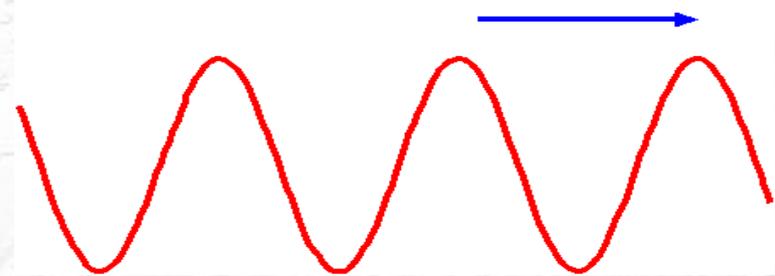
299792458

肉 喰うな 急に 仕事 や  
と覚える。

光を秒速30000mで  
追いかけて見ても、  
やっぱり  
秒速299792458mに  
見える、ということです！！

「誰から見ても」とは??

秒速299792458m



秒速30000m



えっ、そんなばかな！

299792458-30000で、  
秒速299762458m  
になるんじゃないの???

その気持ちはよくわかる。しかし、実験してみると  
そうではなかったのだ！！(後で話します)

# 光速度はほんとうに不変なのか??

アインシュタインが相対性理論を考えた時代では、光の速度は精密には測られていなかったし、測る必要もありませんでした。

でも、現代では……………

精密に測られているし、測らないと困ることがあるのです!!

なぜなら、光速の精密な値がわかってないと、動かない機械が、日常生活で使われているからです。

## その機械とは???

第1ヒント:電波(光の一種)を利用する機械です。

第2ヒント:自分がいる場所を知らせてくれる機械です。

第3ヒント:PSPにも付けられます。

答:GPS(カーナビ)です。

GPSの原理をアニメーションで解説

光の速さが変わってしまったら、カーナビは正しい位置を示さない!!

# もしも光速が不変でなかったら

地球は太陽の周りを、約秒速30キロ  
(=秒速30000m)で回ってます。

これはだいたい、光速の  
1万分の1!!!

こっちから来る光は  
299792458  
-30000  
で、秒速299762458m



秒速30000m

こっちから来る光は  
299792458  
+30000  
で、秒速299822458m

のように、地球上にいる人には見える……… **というのは、間違い!!!**

もしこうなっていたら、カーナビは人工衛星からの距離を1万分の1ぐらい間違う。  
「たった1万分の1」と思うかもしれないが、地上から人工衛星までの距離は2万キロあるのだ!!!

2キロも計算間違う  
カーナビ  
買いますか???

# 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。

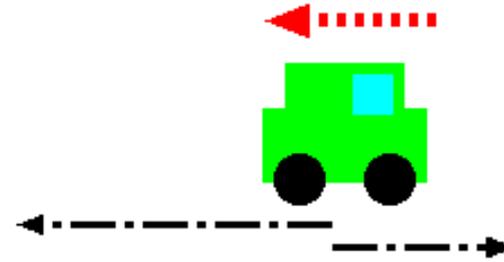
# 音と光は同じか？

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

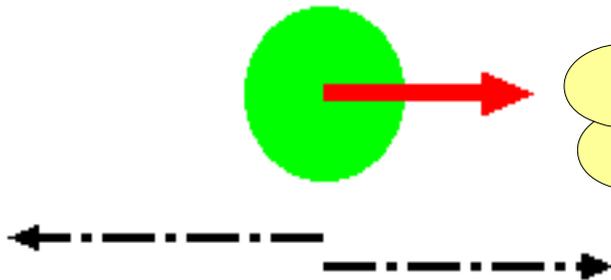
車上では風が吹いているように感じる。



速い音 (追い風)

遅い音 (向かい風)

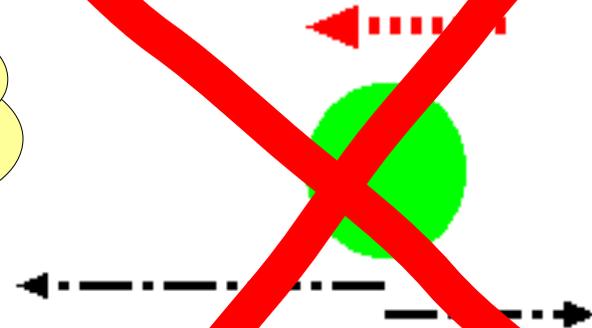
静止しているエーテルの中で地球が動くのなら



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、現代でもいろいろ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」という現象が起こっ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

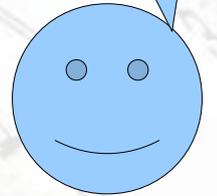
# 16歳のアインシュタインが考えたこと

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。

しかし、見る立場が変わったら物理法則が変わるのは変だ……



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  
(電気と電気の間)

$\epsilon_0$

から、

真空の透磁率  
(磁石と磁石の間)

$\mu_0$

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

を計算すると、ちゃんと、  
299792458 m/sになる。

(物理法則が光速を決めている)

# 26歳のアインシュタインが考えた事

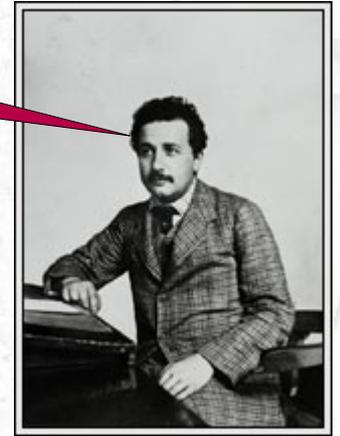
## アインシュタインの相対性原理

「物理法則はどんな立場の人が見ても同じである」べきだ。  
そして、その「物理法則」の中には  
「光の速度が299792458m/sである」  
という事実を含む。

「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



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！！

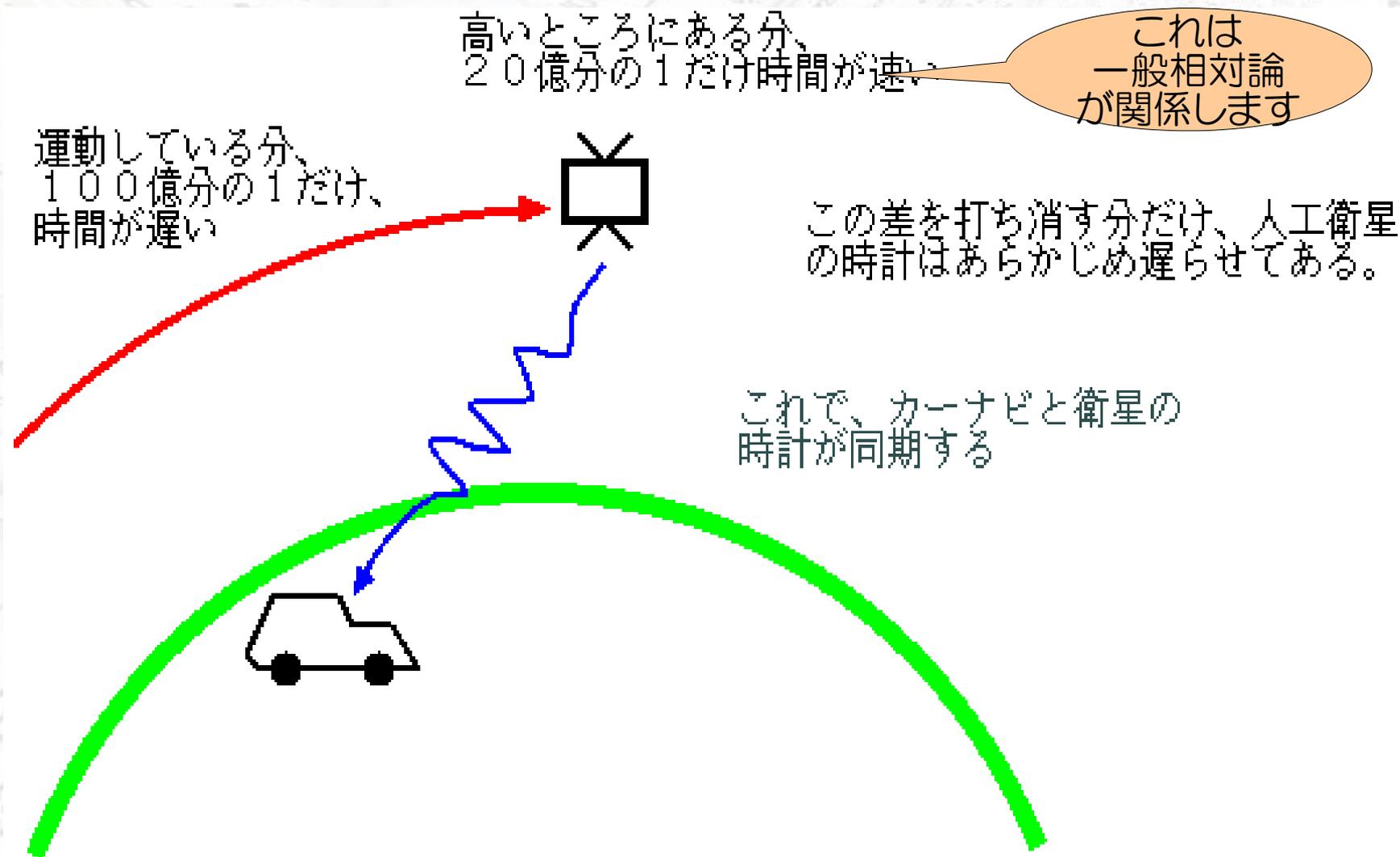
光速度が不変だとすると、  
時間の経過すら変わってしまうこと  
になるよ！！さっきのアニメーションをよ  
く見てみよう。



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??

# 実は時間のずれはカーナビにも関係している！



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）

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、自分か  
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。  
ん。。。

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)



skip

# 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???

# 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との共同作業です。

「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！！  
全ての物理の基礎理論ですから、原子  
爆弾を作る時の計算にも使いますが、  
相対論だけあっても原子爆弾はできま  
せん。

「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。

# 私の好きな アインシュタインの言葉

「どうしてあなたは、こんなすごいことができたんですか？」  
と聞かれて。

私が賢かったからじゃない。

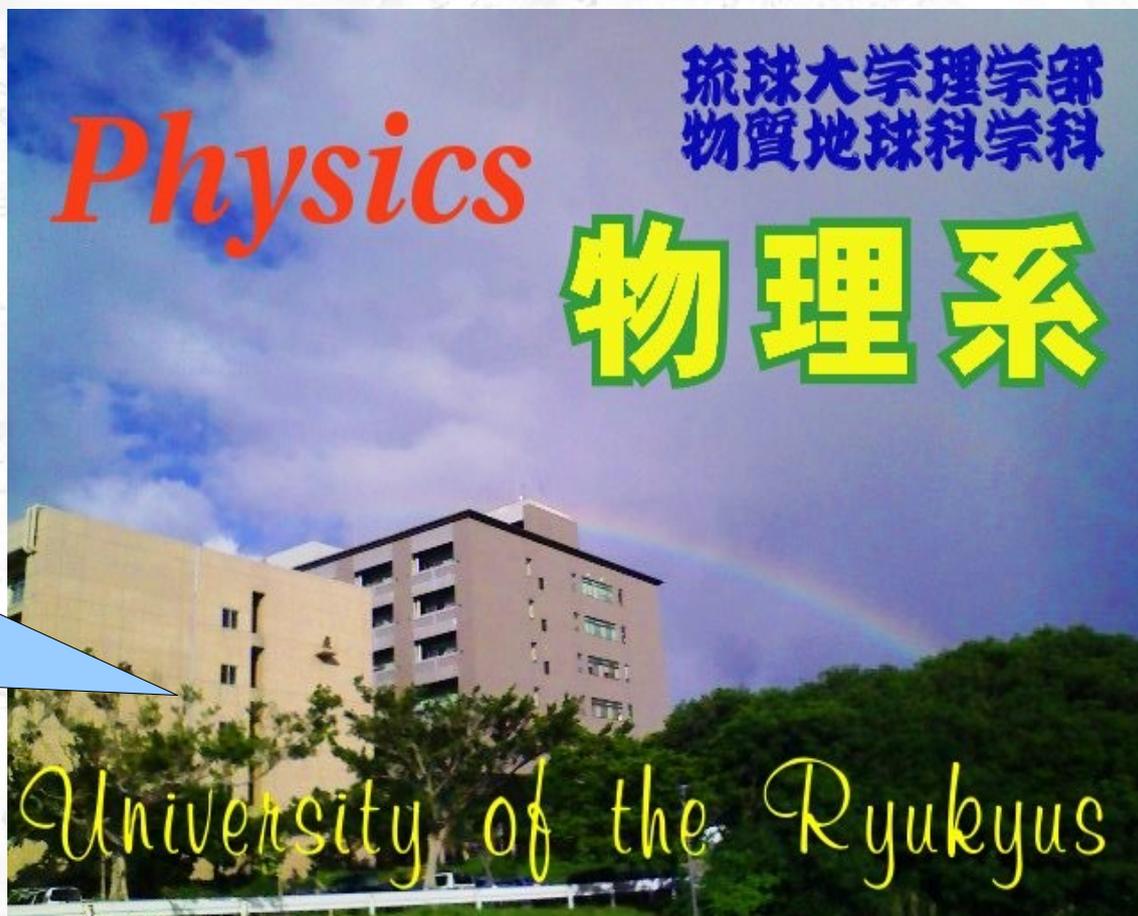
私はずっと問題のそばにいた。  
それだけなんだよ。

# おしまい

大学で物理を勉強すれば、  
もっともっと現代物理に近づく  
ことができます。

興味のある人は是非来てね。

一緒に勉強しましょう！



この講義の内容を後で見たい、と思った人は

<http://www.phys.u-ryukyu.ac.jp/wiki/>

(「琉球大 物理」で検索すれば出てきます↑)

の「公開講座・出前授業」の項目を見てください。