

超光速宇宙船によるタイムマシン は可能か？

---- 世界一易しい相対性理論の解説 ----

石川県金沢市

宮田英男

2012年4月

話の予定

- 超光速ニュートリノの話題
- 相対性理論の解説
 - ・速度の加法性
 - ・相対性理論の基本原則
 - ・時計が遅れるわけ
 - ・飛行物体の長さが縮むわけ
- 宇宙旅行
- タイムマシン・過去へのタイムトラベル
- まとめ
- つけたし(日食の話)

超光速ニュートリノの話題

- 最近、スイス ジュネーブにあるCERN(欧州合同原子核研究機関)から発射されたニュートリノが730km離れたイタリア グランサッソ地下研究所の検出器で光速より60ナノ秒早く検出されたとの報道があり、その真偽が話題になっています
 - **ニュートリノ**: 原子核の β 崩壊時に電子と共に放出される非常に小さな中性粒子
 - **ナノ秒**: 1秒の10億分の1 ($= 10^{-9}$ 秒)

超光速宇宙船が可能なら

- 相対性理論によると

- ・ 光速に近い速さ飛ぶと時計の進みが遅くなる
- ・ 光速なら時計が進まない



- 超光速で飛べば時計が逆に進む？
→ タイムマシンが可能？

相対性理論の解説

- そこでこれの真偽を考えるには相対性理論の理解が必要

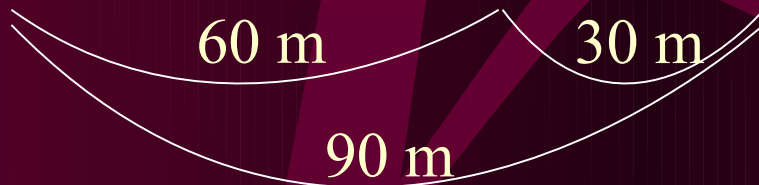


以下で説明

速度の加法性


- 秒速60mで走る列車内で進行方向に秒速30mの速さでボールを投げたとき
- 地上から見るとボールの速さは $60 + 30 = 90 \text{ m/秒}$ になる

1秒後



しかしこれは速さが光よりはるかに遅いときにしか成り立たない

特殊相対性理論の基本原則

- 光の速さ $c = 299,792,458\text{m/秒}$
 $= 1,079,252,849\text{km/時}$
 $\doteq 3 \times 10^8\text{m}$
- どこから見ても光の速さは一定(実験的事実)

- 時速200kmの列車内で前方に出した光の速さ
列車内では $1,079,252,849\text{km/時}$
地上から見ても $1,079,252,849\text{km/時}$

このことから起こる現象

- 光速に近い速さで飛ぶ宇宙船内の時計は地上から見ると遅れて進む
- 光速に近い速さで飛ぶ物体は進行方向に縮んで見える

この理由を以下で説明

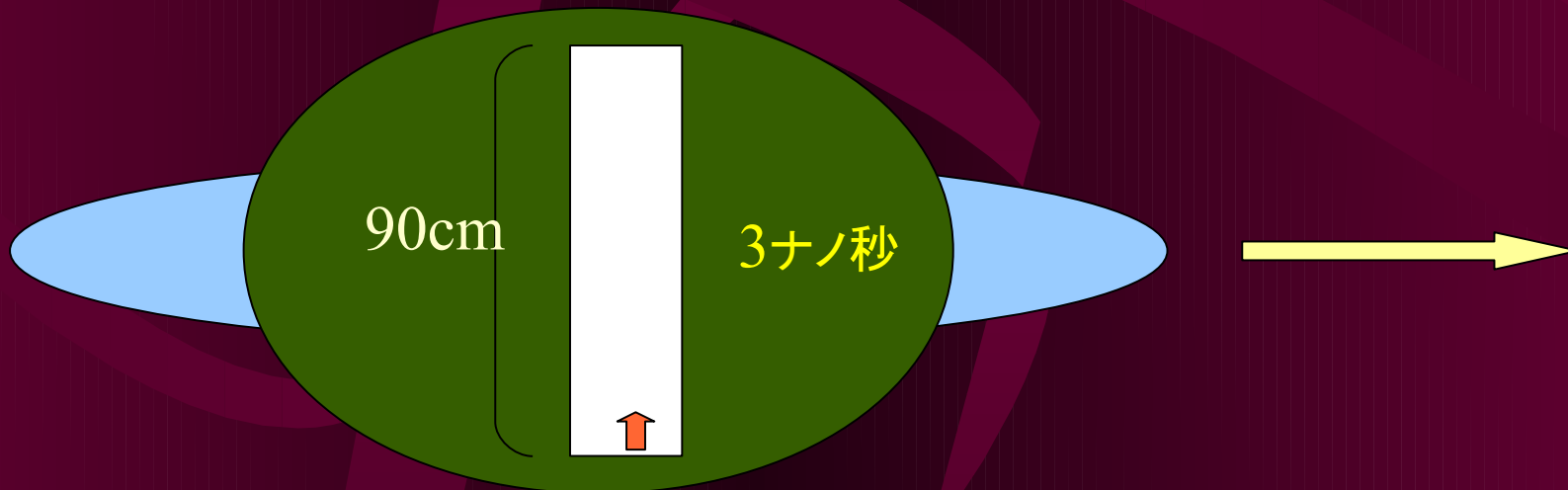
時計が遅れるわけ

- 光の速さの80%で飛ぶ飛行船を考える
- 船内で光を飛行船の進行方向と垂直に発射する

飛行船内での観察

光が90cm飛行するための時間 t'

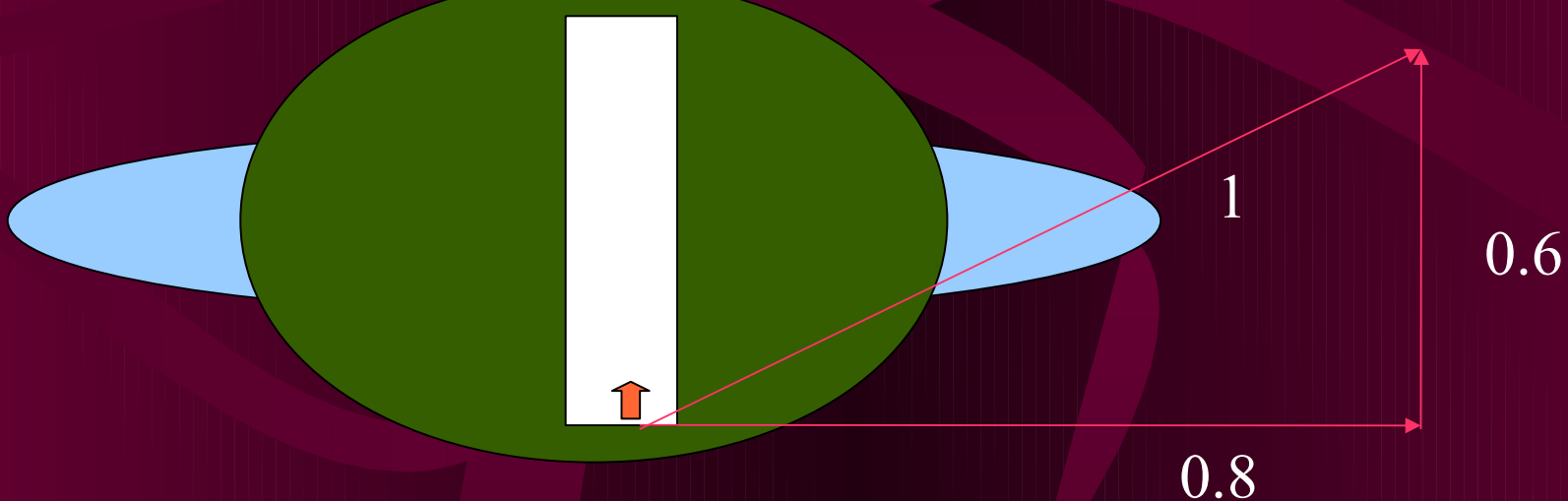
$$t' = 0.9\text{m} \div (3 \times 10^8 \text{m/秒}) = 3 \times 10^{-9} \text{秒} = 3 \text{ナノ秒}$$



これを地上から見ると

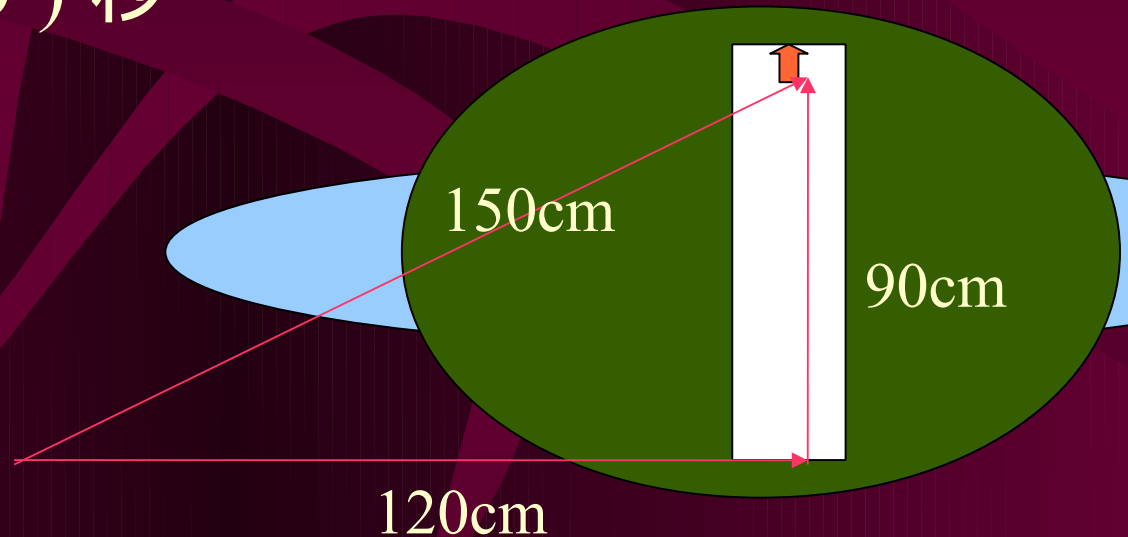
- 飛行船は $0.8c$ の速さで飛んでいるので t 秒間に $0.8ct$ 進み、光は ct 進む
- 光は飛行船につれて斜めに進行する

赤の三角形の斜辺と底辺の比は $1:0.8$ なので、高さは 0.6 になる(ピタゴラスの定理)



地上から見ると

- 赤の三角形の斜辺、底辺、高さの比は
1 : 0.8 : 0.6
- 高さが 90cm なら 斜辺は 150cm
- 斜辺を光が走るなのでその時間は
 $t = 1.5 \div (3 \times 10^8)$ 秒
= 5×10^{-9} 秒
= 5ナノ秒



地上から見ると

- 地上の時計が 5 ナノ秒進む間に宇宙船内の時計は 3 ナノ秒しか進まない



地上時計 5秒 → 船内時計 3秒
5時間 3時間

- つまり地上から見ると、船内時計は地上時計の 0.6 倍しか動かない $t' = 0.6t$

一般には

- 宇宙船の速さ $0.8c$ のとき

$$t' = 0.6t = \sqrt{1 - (0.8)^2} t$$

- 一般の速さ v のときは

$$t' = \sqrt{1 - (v/c)^2} t$$

v が光速に近づくと t' はどんどん小さくなる

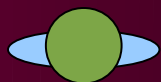
$v = c$ なら $t' = 0$ (時計が進まない)

飛行物体の長さが縮むわけ

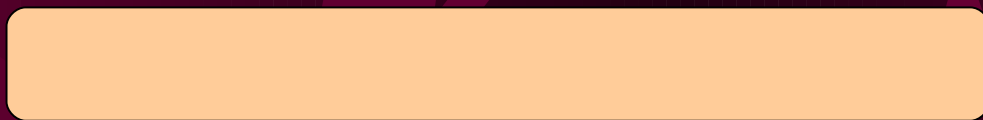
- 宇宙船が光速の80%速さ ($0.8 \times 3 \times 10^8 \text{m/秒}$)で飛ぶとき、地上から見れば

2400mの滑走路を通り過ぎる時間は

$$T = 2400 \div (0.8 \times 3 \times 10^8) = 10^{-5} \text{秒} = 10 \mu\text{秒}$$



10 μ 秒



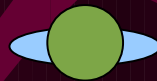
2400m

1 μ 秒
(マイクロ秒)
= 10^{-6} 秒

これを宇宙船内から見ると

- この間に船内の時計は地上の 0.6倍しか進まないなので、その時間は $0.6T = 6\mu\text{秒}$
- この時間内に滑走路は $0.8c = 0.8 \times 3 \times 10^8 \text{m/秒}$ で(逆方向に)通り過ぎる

6 μ 秒



? m

宇宙船内から見た滑走路の長さ L'

- $L' = \text{速さ} \times \text{時間} = (0.8 \times 3 \times 10^8) \times 6 \times 10^{-6}$
 $= 1440\text{m} = 2400\text{m} \times 0.6$
- 滑走路は宇宙船内からは0.6倍に縮んで見える

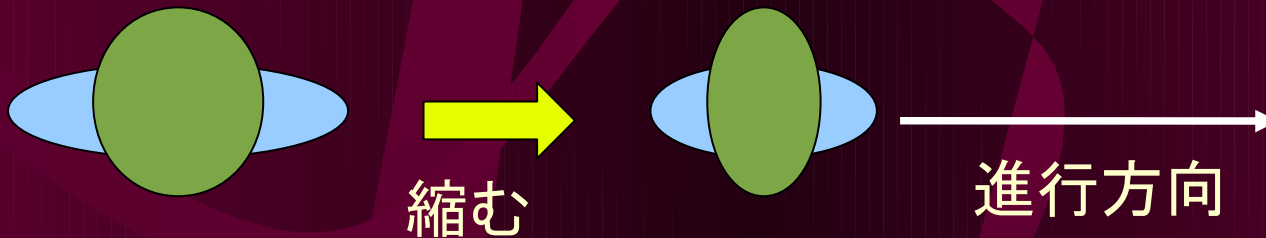
6 μ 秒



1440m

地上から飛行物体を見ても

- 同じことが起るので飛行物体の長さは進行方向に同じ割合で縮む
- 縮むのは進行方向だけでそれに垂直な方向の長さはそのまま



一般に

- 静止しているときの長さ L の物体が長さ方向に速度 v で飛行すると、その長さは

$$L' = \sqrt{1 - (v/c)^2} L \quad \text{に縮んで見える}$$

- v が光速に近づくと、長さ L' はどんどん短くなって 0 に近づく

宇宙旅行

- 光速に極近い速さで飛ぶ宇宙船を使えば船内時計はほとんど進まなくなる



- 何億光年先でも宇宙船内から見ると短時間で行ける(地球から見ると何億年もかかっている)
- 何億光年の距離も $\sqrt{1-(v/c)^2}$ 倍に縮むので、すぐ近くになる、と言っても同じ

タイムマシン

- 未来へは超光速でなくても光速にごく近い宇宙船で可能(何光年か先の宇宙へ行って戻って来ればよい)
- このままでは浦島太郎なので過去に戻れるかが問題



超光速宇宙船で可能か？

過去へのタイムトラベル

- 光速に近い速さ飛ぶと時計の進みが遅くなる
- 光速なら時計が進まない



- 超光速で飛べば時計が逆に進む？

そこで $t' = \sqrt{1 - (v/c)^2} t$ の意味

- 平方根に注意

$$v < c \text{ なら } \sqrt{1 - (v/c)^2} < 1$$

$$v = c \text{ なら } \sqrt{1 - (v/c)^2} = 0$$

しかし

$$v > c \text{ でも } \sqrt{1 - (v/c)^2} < 0 \quad \text{とはならない}$$

これは虚数になってしまう



超光速では過去には戻らず虚数時間の世界へ入ってしまう（物理的理解の範囲外）

過去へのタイムトラベル

- 光速に近い速さ飛ぶと時計の進みが遅くなる
- 光速なら時計が進まない



- ~~超光速で飛べば時計が逆に進む~~
→ 虚数時間の世界へ
- 超光速宇宙船で過去に戻れるとはいえない

まとめ:

相対性理論で言えること

- 光速にごく近い速さの宇宙船ができれば
 - 光が何百年かかるような宇宙へでも短時間で到達可能(ただし、同時に↓になる)
 - 未来の世界へ移動することもできる
 - しかし過去へ戻ることはできない
- たとえ超光速宇宙船ができたとしても
 - 過去に戻れるとはいえない

日食の話

これまでとこの先



- 1963(昭和38)年7月21日
午前4時33分

最近の日本での皆既日食

- 1963(昭和38)年7月21日午前4時33分

日の出直後約35秒間

北海道知床半島 羅臼岳山頂にて

田中莊一、前島忠文氏と共に見物

- 2009(平成21)年7月22日

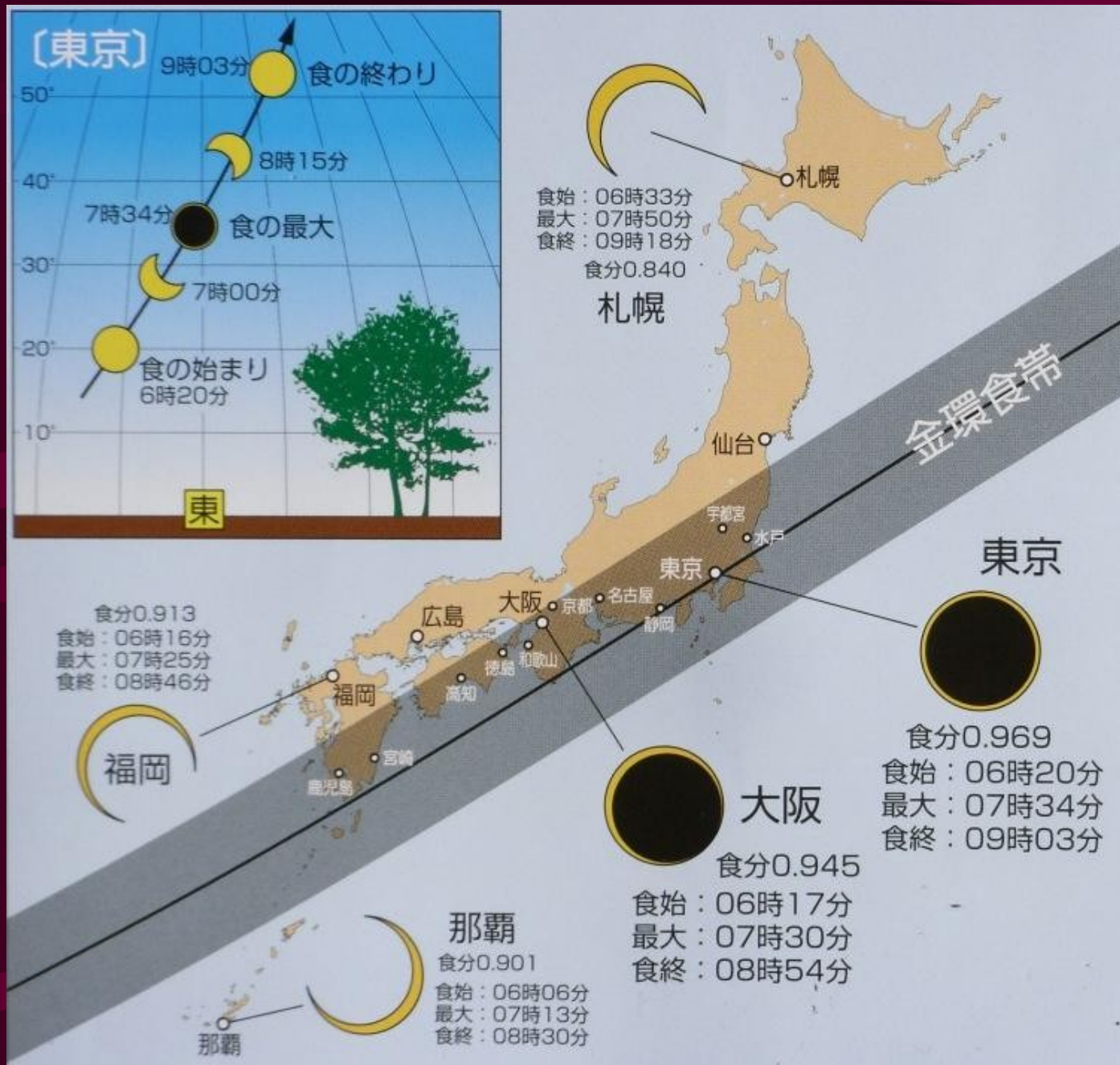
中国大陸から日本トカラ列島にかけて

午前9:34:11－9:39:40中国浙江省 杭州で見物

2012年の 金環日食

5月21日
潮岬、静岡、
東京を結ぶ
線を中心とす
る帯状域

東京では
7:32:07—
7:37:00
に金環状態



金環日食の特徴

— 皆既日食との違い —

- 部分食の一種
 - 裸眼視不可・コロナは見えない
 - あたりが真っ暗にならない
- 皆既食と違い範囲が広いほど(時間が長いほど)太陽が隠れる部分が少なく、良くない(今回はあまり良いほうではない)
- 金環帯内でも中心線から離れると、時間が短いだけでなく形が良くない(環の太さが同じでない)

近年の日本付近での日食



これからの皆既日食

- 2012年11月14日 オーストラリア北部
- 2015年3月20日 ノルウェー海、スバルバル諸島
- 2016年3月9日 インドネシア、北太平洋
- 2017年8月21日 アメリカ合衆国
- 2035年9月2日（我々92～3歳）

能登半島から水戸にかけての地域

それまで頑張ろう！

おわり