

# 宇宙に関する話題の紹介(相対性理論編)

双子のパラドックス  
前田智也

時間旅行  
田村繁人

## 双子のパラドックスとは?

- 双子の兄と弟がいた。ある日、兄は弟を地球に残して、高速宇宙船にのって旅立った。そして途中で正反対の方向に向きを変え、地球に帰ってきた。
- 特殊相対性理論では、移動する物体では、時間の進みが遅れる。
- 弟から見て、兄の時計が遅れて、兄のほうが若々しく見える。
- 同様に、兄から見て弟の時計が遅れているので、今度は弟の時計が遅れ、弟のほうが若々しく見える。
- これは、矛盾ではないだろうか。
- 二人が、出会ったときに、本当は一体どちらが若いのだろうか?

## ローレンツ変換

- 等速度 $v$ で移動する慣性系 $(x', t')$ と静止系 $(x, t)$ との座標変換式(光の速度 $c=3.0 \times 10^8 \text{m/s}$ )

$$\begin{cases} x' = \gamma(x - vt) \\ t' = \gamma(t - \frac{v}{c^2}x) \end{cases}$$

- ただし

$$\gamma = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

## 未来へ

- 未来へ行く方法は過去に行く方法に比べると比較的簡易
- 方法としては、乗り物が光速に近い速度で移動すればいい

(例)

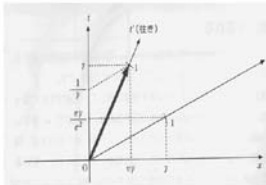
時速920kmの飛行機に8時間乗っていると10n秒未来に行くことができる

## 過去へ

- 過去に行くのは現在の科学では不可能
- しかし、いくつかの仮定をクリアすれば過去にいける
- 今回はワームホールを負のエネルギーを使って安定させて、そこを通過して過去に行くという方法を提示する

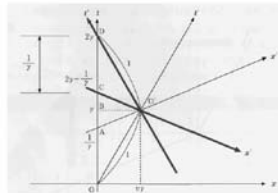
## 時空図

- 横軸に空間 $x$ 座標、縦軸に時間 $t$ 座標で表す図を時空図という。
- 兄は出発後の時計で時間1だけ経って向きを変えたものとする。
- ローレンツ変換より、弟の慣性系 $(x, t)$ 、兄の慣性系 $(x', t')$ は図のようになる。



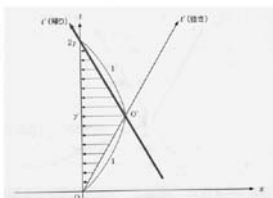
## 兄の帰路における時空図

- 往きと同時に、帰路についても時空図を描く。
- その原点を、兄の往きの慣性系における位置0時刻1になるように平行移動させる。
- 軌道O'Dが兄の運動を表している。



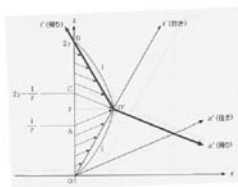
## 弟の時計による時刻の対応

- 線分O'O'上の兄の各時刻を、弟の同時刻基準として弟の各時刻に対応付ける。
- $x$ 軸に平行な同時刻線を引くことで対応する。
- 兄の時計の経過が2なのに対して、弟の時計が2 $v$ 経過していることがわかる。



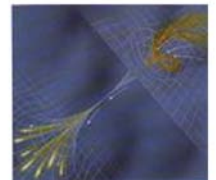
## 兄の時計による時刻の対応

- 弟の時刻と兄の時刻を兄の同時刻線に対応させる。
- OAがO'O'に対応しているため、兄にとって弟の時刻が遅れることがわかる。
- しかし、兄の帰路においては慣性系が、がらりと変わってしまうので、右図ACのように弟の時間に空白時間ができる。



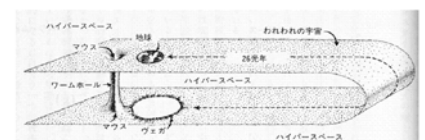
## ワームホールとは?

- 空間のゆがみによって離れた2地点間に出来たトンネル
- 実際には確認されていない
- 時空のトポロジーの考えは物理法則とは独立なので、ワームホールは否定されない



## 結論

- 同時刻による説明で、兄から見た弟の時間に空白の時間があるということがパラドックスの原因である。
- このような空白の時間が生じたのは、兄が乗っていた宇宙船の加速度を無視したため、物理法則上ありえない状態になってしまったからです。
- 結論としては、ユートーンした兄の方の時計が遅れ、地球に残った弟の方が、歳をとるということになる。
- 加速度を含めた議論には、一般相対性理論を考える必要があるが、この結論は変わらない。



キップ・ソーン著「アインシュタインのとんでもない遺産」より

## 現実に!?

- 『負のエネルギー』によって安定なワームホールを作る
- ものが通過できるくらいまで拡大する
- 出口を中性子星などの重力が大きい星の近くまで持つ
- 掃りにワームホールを通らずに帰る
- 上記のことができれば過去に行くことができる
- このように、1988年にキップ・ソーンという学者が理論的には可能であることを述べた