

京都精華大学 基礎講義

自然科学論B

～宇宙科学と人文社会科学・芸術表現～

担当教員：磯部 洋明(いそべ ひろあき)

京都大学宇宙総合学研究ユニット・特定講師

京都精華大学・非常勤講師

今日の話

- タイムマシン、ワープ、ワームホール
- それらの基礎としての相対性理論

- 竹宮先生にバトンタッチ

特殊相対性理論 (A. Einstein, 1905)

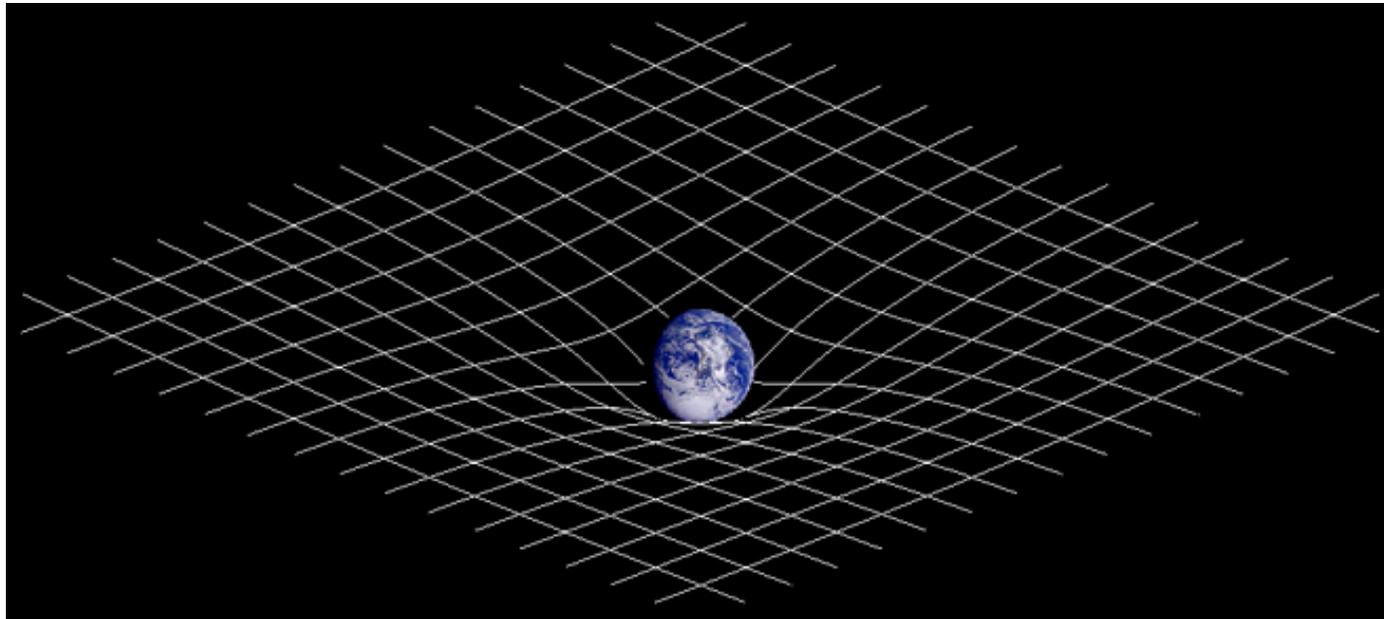
- 1905年にアインシュタインが発表した、「動いている物体の電気力学」に関する理論
 - 普通に相対性理論というと、通常この特殊相対性理論をさす
 - 特殊相対性理論を重力のある状況に一般化したのが一般相対性理論。1916年発表。
- 基本となる原理は2つ
 - 光の速度は光源の速度によらず一定(光速度不変の原理)
 - お互いに「等速度で」動いている人にとって、物理法則は同じ。

アインシュタインの一般相対性理論 (A. Einstein, 1916)

アインシュタイン方程式=時空のゆがみ具合を表す方程式

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu}$$

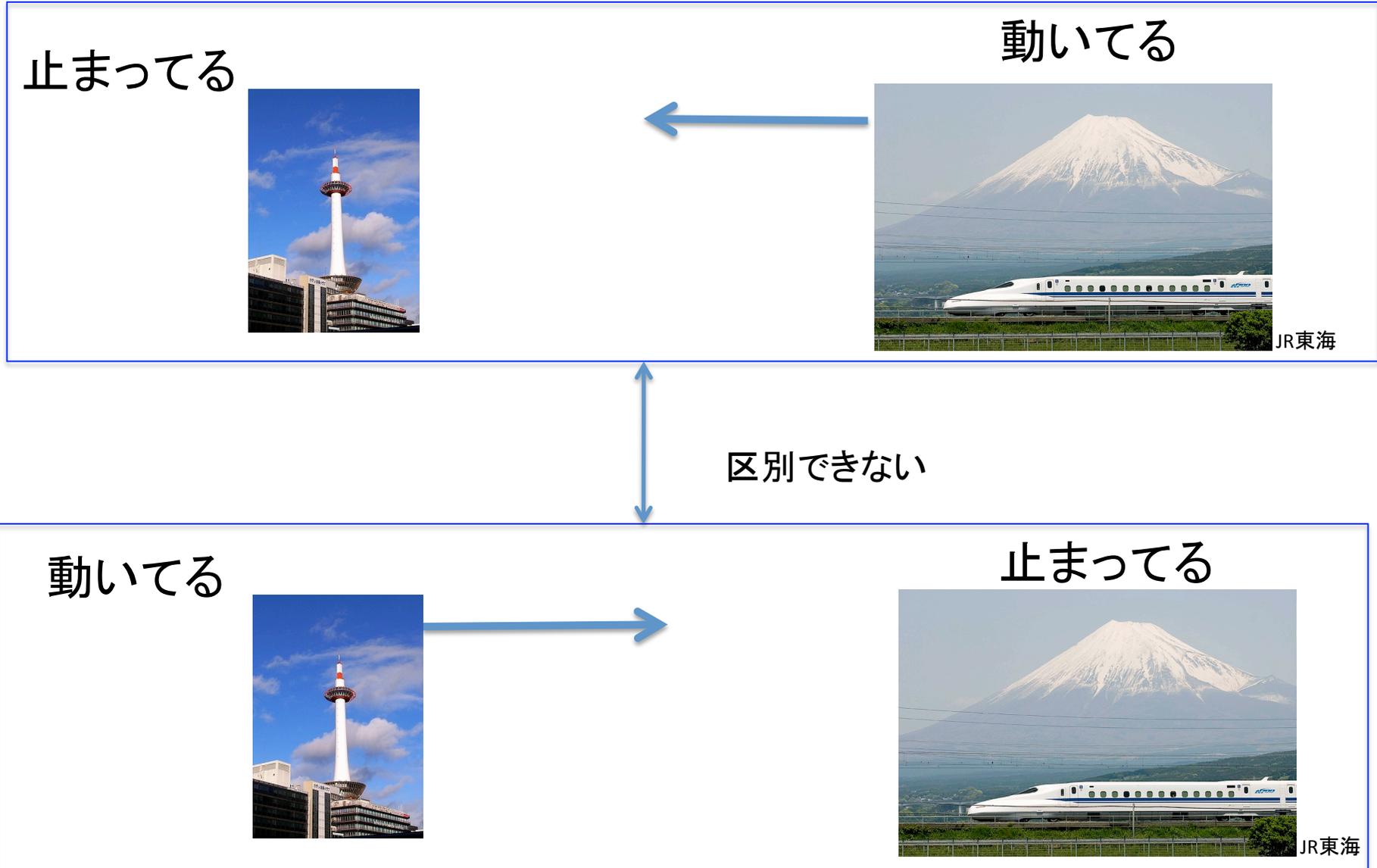
空間のゆがみ具合 = 宇宙の物質(エネルギー)の分布



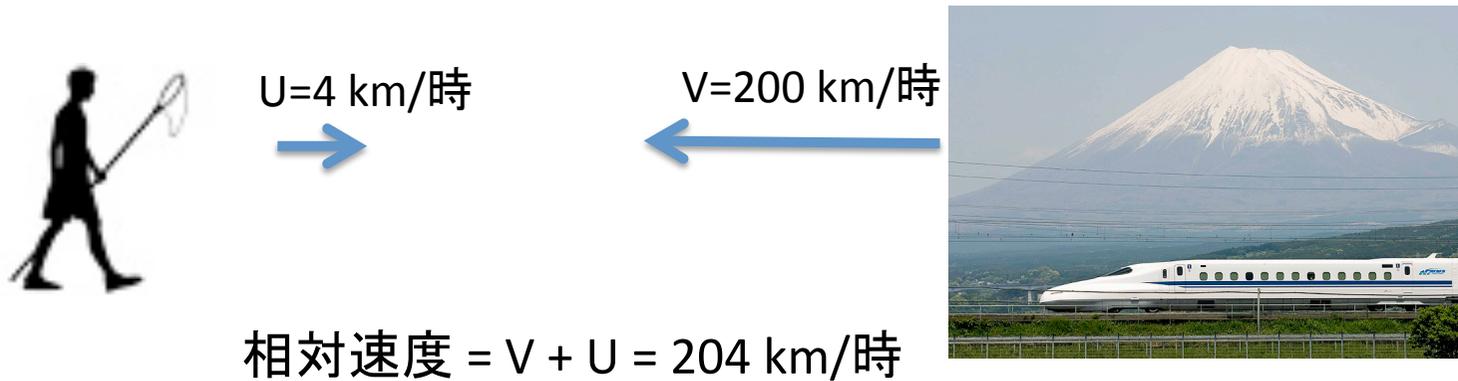
From Wikipedia Commons

一般相対性理論は時空と重力の理論。時空がゆがんでいる=>重力を感じる

「相対性」の意味



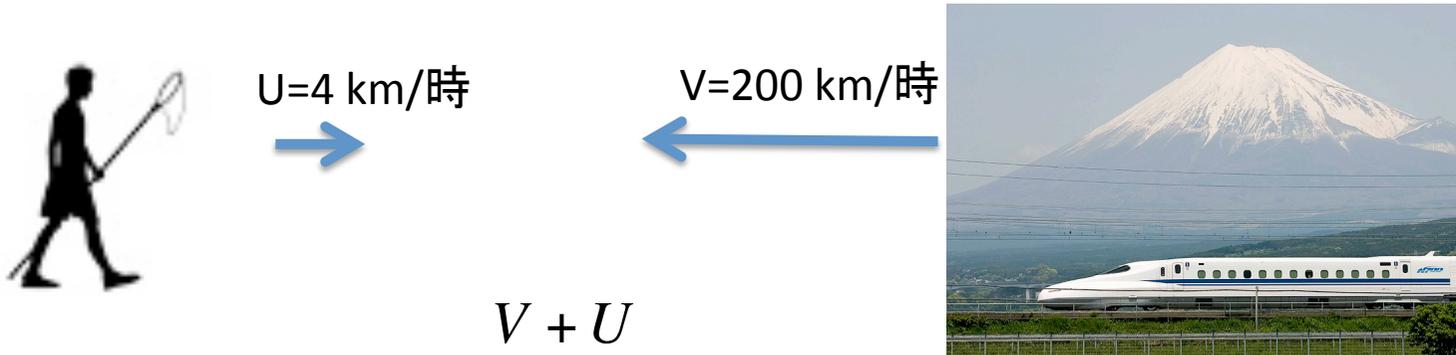
日常感覚の世界



時速4kmで歩く人から、時速200kmで向かってくる新幹線を見たら、204km/時で向かってくるように見える。

これは本当は正しくない

本当はこうなっている



$$\text{相対速度} = \frac{V + U}{1 + \frac{VU}{C^2}} \approx 203.9999999999986 \text{ km/h}$$

時速4kmで歩く人から、時速200kmで向かってくる新幹線を見たら、約203.9999999999986km/hで向かってくるように見える。
ここで、 $C \approx 30 \text{ 万 km/秒} \approx 10 \text{ 億 km/h}$

光の場合



右に進む光から左に進む光を見たら、30万+30万=60万km/秒で近づいてみえる？

=>間違い

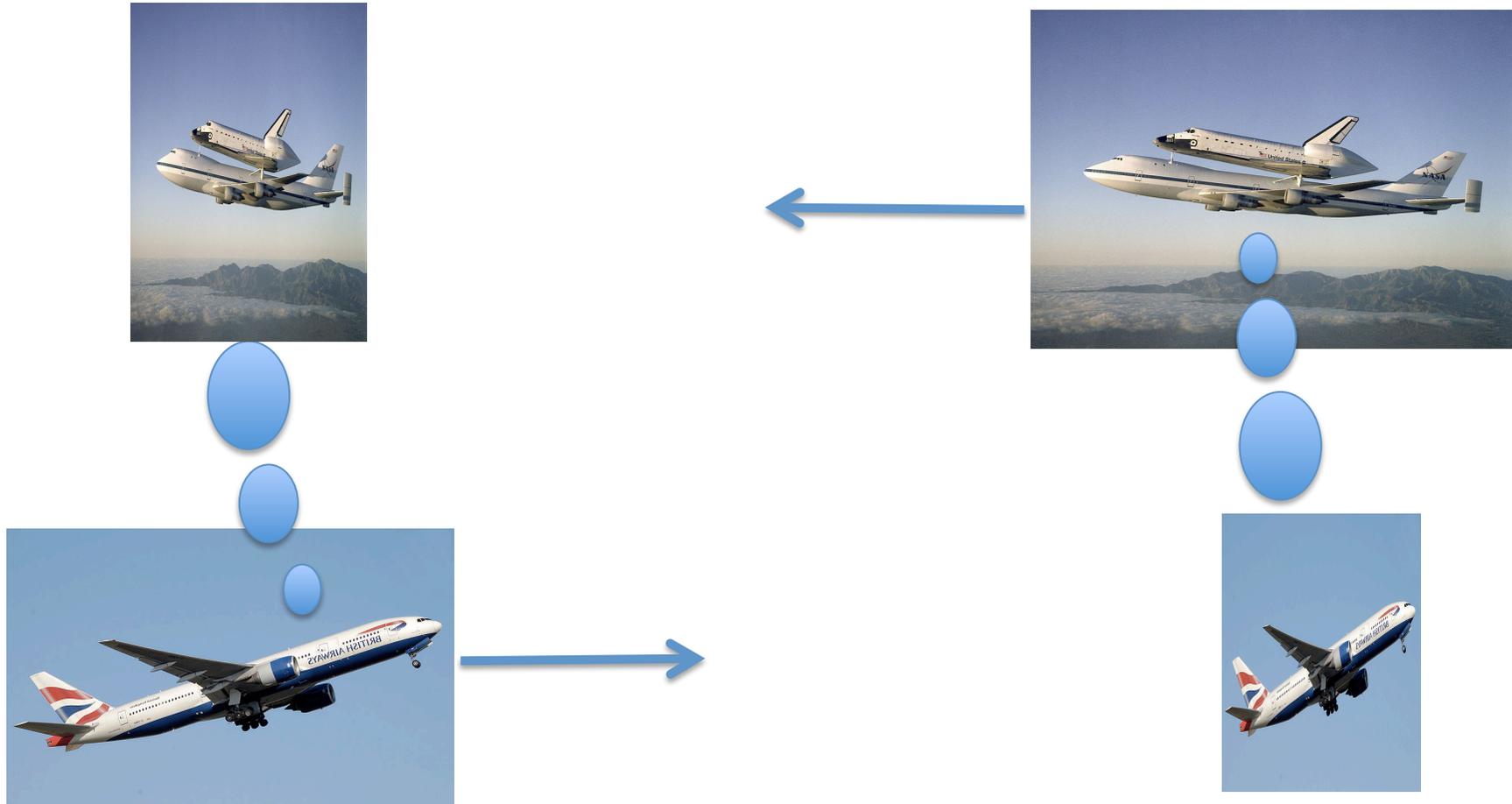
正しい相対速度は、 $\frac{V + U}{1 + \frac{VU}{C^2}}$ で計算する。

この場合、VもUもC=30万km/秒とすると、相対速度は $\frac{C + C}{1 + \frac{CC}{C^2}} = \frac{2C}{2} = C$

つまり、光の速度は光源が速度Cで動いていてもやはりCになる。
(光の速度不変の原理)

特殊相対性理論の帰結

光の速度に近い速度で運動しているものは縮んで見える



注：運動する他人が縮んで「見える」のであって、動いている本人にとっては同じ時間もゆっくり進んでみえる。

ワープ

- ワープ＝光の速さを越える速度で空間を移動すること(この授業での定義)
- 光速度不変の原理より、空間を移動する速さは光の速度を越えられない
 - 注:「原理」とは、「世界はそういうものである」として、理論を考える時の前提に立つもの。「なぜそうなるのか」ということは分からない。(というより、「なぜそうなるのか」を考えるためには、より根源的な「原理」を探す必要がある)
 - 「光速度不変の原理」が正しくないとする観測的、実験的兆候は、今の所何もない
- 考えられる可能性は2つ。
- 1. 空間を膨張させてその膨張に乗ってサーフィンのように進む(ワープ航法)
 - 空間中を進む速度は光速を越えられないが、空間自体を膨張させる速さは光速を越えてもよいという事実を使う
- 2. 近道をする(ワームホール...後述)

ワープ航法

Class. Quantum Grav. **11** (1994) L73–L77. Printed in the UK

LETTER TO THE EDITOR

The warp drive: hyper-fast travel within general relativity

Miguel Alcubierre

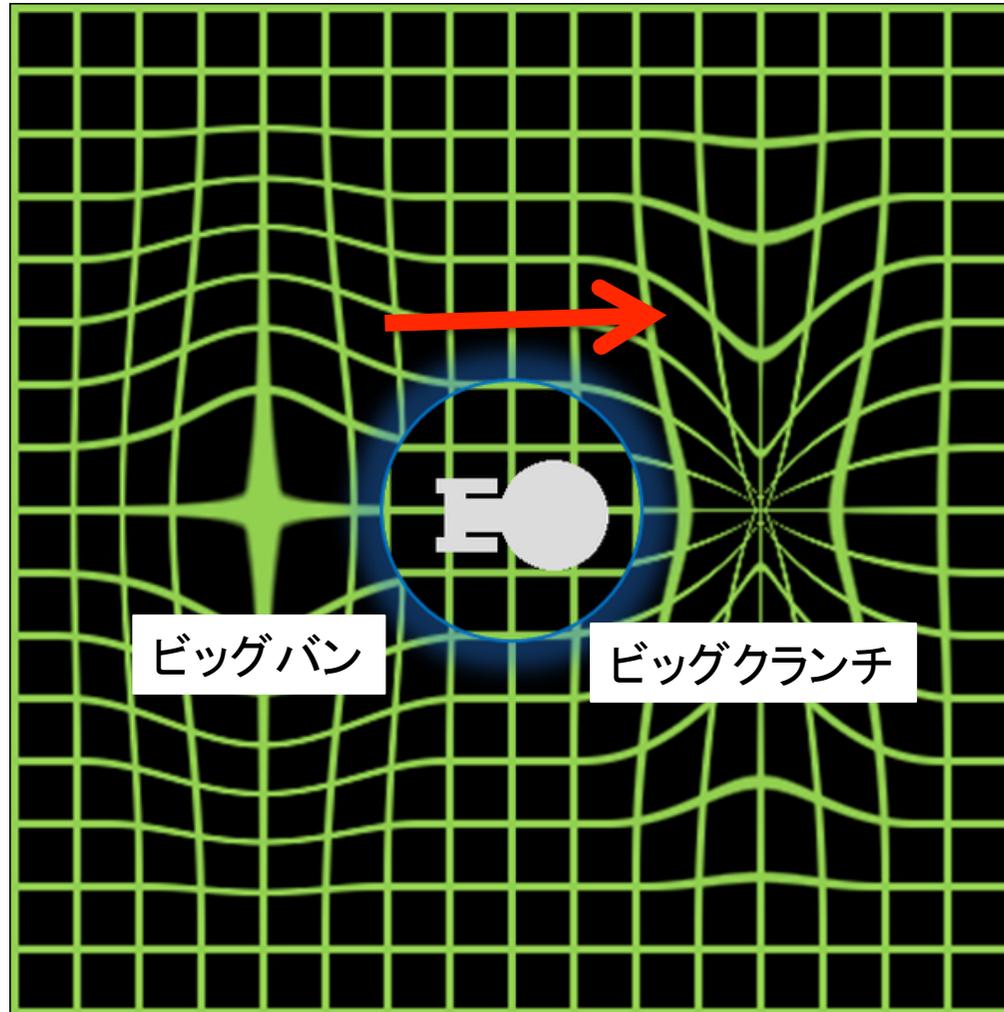
Department of Physics and Astronomy, University of Wales,
College of Cardiff, PO Box 913, Cardiff CF1 3YB, UK

Received 19 January 1994, in final form 24 February 1994

Abstract. It is shown how, within the framework of general relativity and without the introduction of wormholes, it is possible to modify a spacetime in a way that allows a spaceship to travel with an arbitrarily large speed. By a purely local expansion of spacetime behind the spaceship and an opposite contraction in front of it, motion faster than the speed of light as seen by observers outside the disturbed region is possible. The resulting distortion is reminiscent of the 'warp drive' of science fiction. However, just as happens with wormholes, exotic matter will be needed in order to generate a distortion of spacetime like the one discussed here.

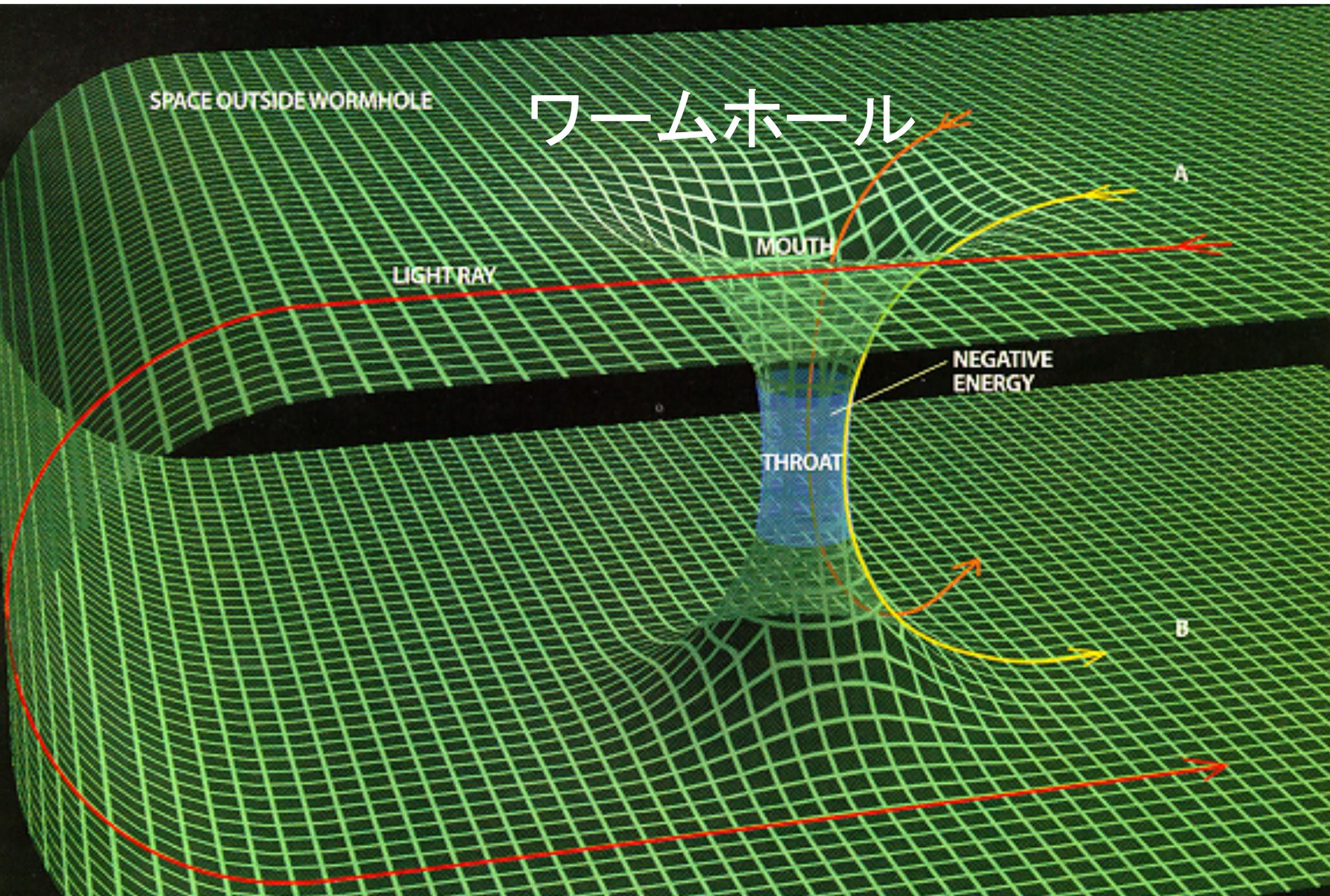
PACS numbers: 0420, 0490

ワープ航法の原理



- 宇宙船の前方で「ミニビッグバン」を起こして空間を膨張させ、
- 宇宙船の後方で「ミニビッグクラッシュ」を起こして空間を収縮させる
- 空間の膨張の上をサーフィンするように移動する
- ビッグバンやビッグクラッシュをどのように起こすかは考えられていない。非現実的に巨大なエネルギーを必要とするので、今のところ実現可能だと考えている人は少ない。

ワームホール



- ワームホールとは、時空の歪みを表すアインシュタイン方程式の解(式を解いた結果)の一種で、ブラックホールとホワイトホールをつなぐもの。
- ワームホールを通ると、遠くはなれた時空の違う場所に出る(=一種のワープ)
- ワームホール、ホワイトホールともに、「存在していても既存の物理理論と矛盾しない」というもので、本当にあるかどうかはわからない(ブラックホールは観測的な証拠がある)
- 人間が通れるようなワームホールが存在できるかどうかは理論的にもよくわかっていない

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}Rg_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4}T_{\mu\nu} \quad \text{アインシュタイン方程式}$$

Wormholes, Time Machines, and the Weak Energy Condition

Michael S. Morris, Kip S. Thorne, and Ulvi Yurtsever

Theoretical Astrophysics, California Institute of Technology, Pasadena, California 91125

(Received 21 June 1988)

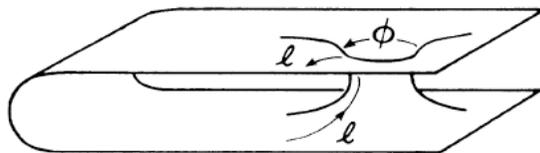
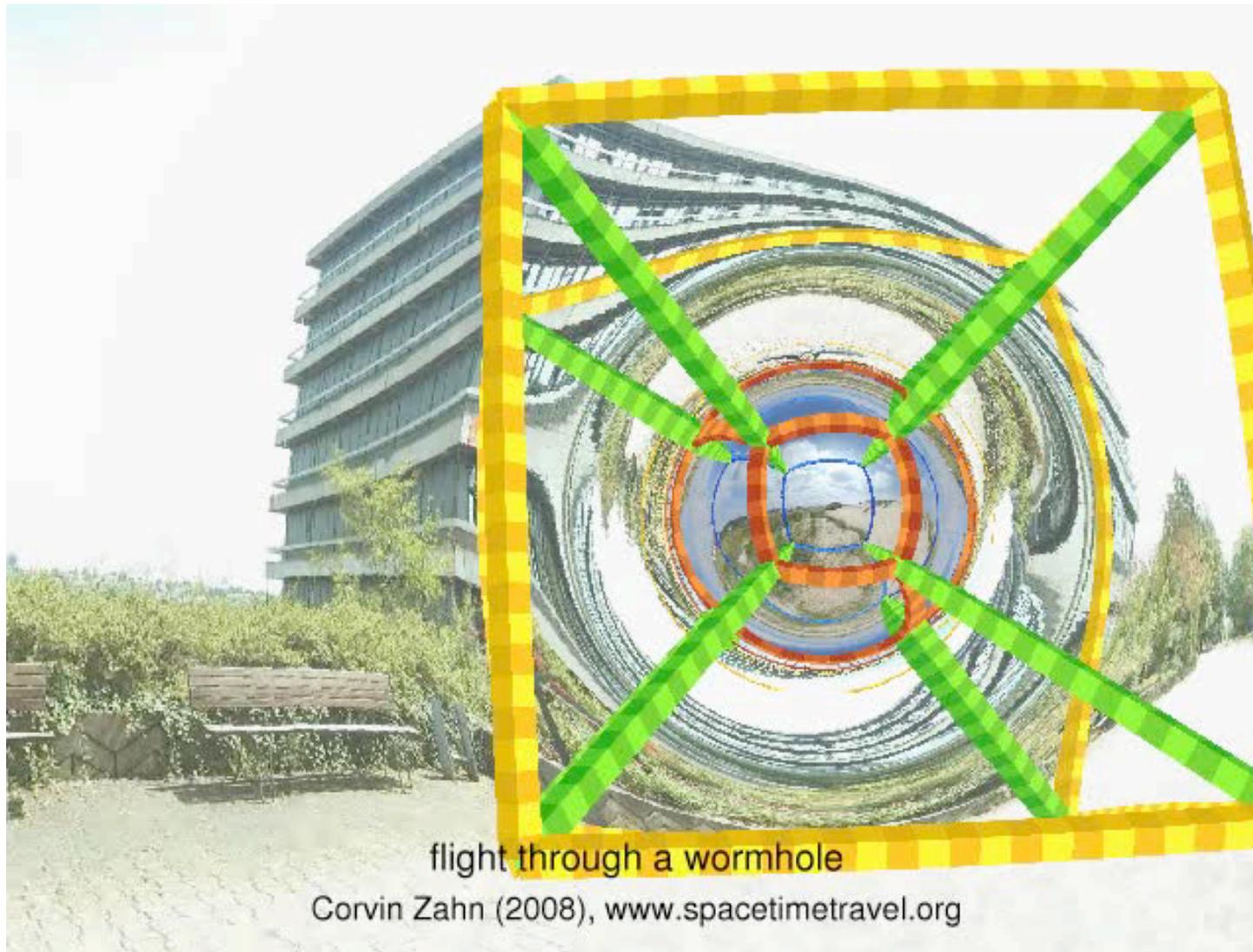


FIG. 1. A wormhole and the external universe at a specific moment of time, embedded in a fictitious higher-dimensional space.

ワームホールの存在を予言した物理学の論文より

アインシュタイン方程式にもとづいて、もしワームホールを通り抜けられたらどのように見えるかを計算した動画。



<http://www.spacetime travel.org/wurmlochflug/wurmlochflug.html>
から動画ファイルをダウンロードできます

タイムマシン

- 未来へ行くことは原理的には可能。
 - 光に近い速度で飛び回ってから地球に戻ってくると、自分自身より地球上の時間が進んでいる
 - これは(ある程度自分の時間もかけて)未来へ行くのと同じ
 - 速度を上げればいくらでも未来へ行ける
 - ブラックホールの近く(=時間がゆっくり進む)にしばらく滞在するのもよい
- 過去へ行くタイムマシンは、今の物理学の枠組みではムリそう。