

京都文教大学 2016年秋学期

宇宙の科学

担当教員：磯部洋明

京都大学大学院総合生存学館 准教授

京都文教大学・非常勤講師

第11回「相対性理論」

2015年12月19日

アルベルト・アインシュタイン

Albert Einstein, 1879-1955

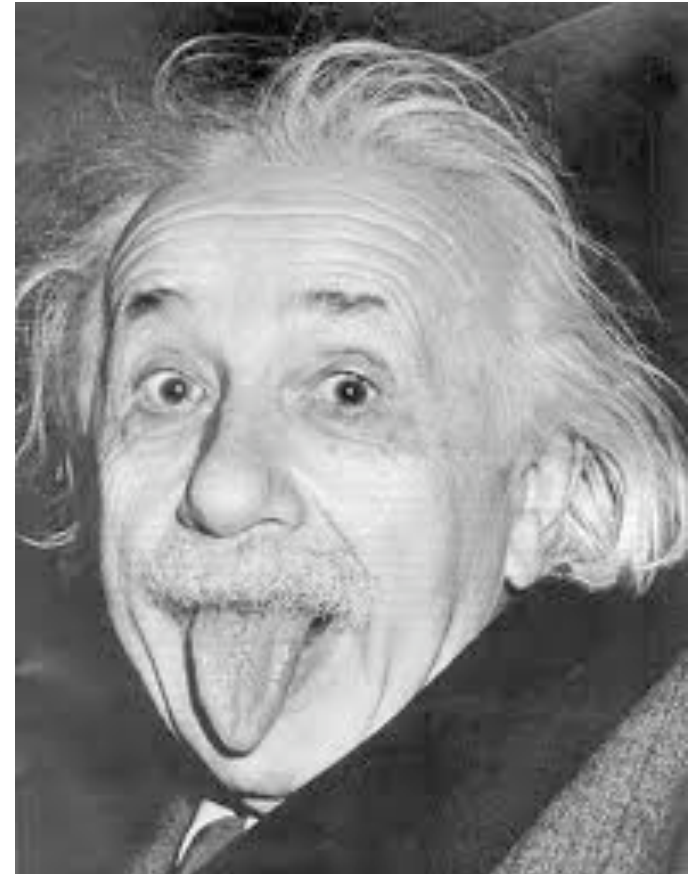
ドイツ生まれのユダヤ人。イタリア、スイスを経て、ナチス政権の迫害を逃れてアメリカへ。

「奇跡の年」1905年に、光電効果、ブラウン運動、特殊相対性理論の論文を発表。この時は特許局の職員だった。

1916年、一般相対性理論を発表

1921年、「光電効果の発見」によりノーベル物理学賞受賞

平和主義者だったが、第二次世界大戦中は当時のルーズベルト米大統領に、ナチスが先に原爆を製造してしまうことを懸念する手紙に



ラッセル・アインシュタイン宣言（1955年、ロンドン）

...私たち(宣言署名者)は、人類として、人類に向かって訴える—あなたがたの人間性を思い出しそしてその他のことを忘れなさい、と。もしそれができるならば、道は新しい樂園へむかって開けている。もしできないならば、あなたがたのまえには全面的な死（全体的破滅）の危険が横たわっている...

将来の世界戦争においてはかならず核兵器が使用されるであろうし、そしてそのような兵器が人類の存続をおびやかしているという事実からみて、私たちは世界の諸政府に、彼らの目的が世界戦争によっては促進されないことを自覚し、このことを公然とみとめるよう勧告する。したがってまた、私たちは彼らに、彼らのあいだのあらゆる紛争問題の解決のための平和的な手段をみいだすよう勧告する。

署名者：

- M. ボルン教授(ノーベル物理学賞)、P. W. ブリッジマン教授(ノーベル物理学賞)
- A. アインシュタイン教授(ノーベル物理学賞)、L. インフェルト教授
- F. ジョリオ・キュリー教授(ノーベル化学賞)、H. J. ムラー教授(ノーベル生理学・医学賞)
- L. ポーリング教授(ノーベル化学賞)、C. F. パウエル教授(ノーベル物理学賞)
- J. ロートブラット教授、B. ラッセル卿(ノーベル文学賞)、湯川秀樹教授(ノーベル物理学賞)

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。

「相対性」の意味

止まっている



動いている



区別できない



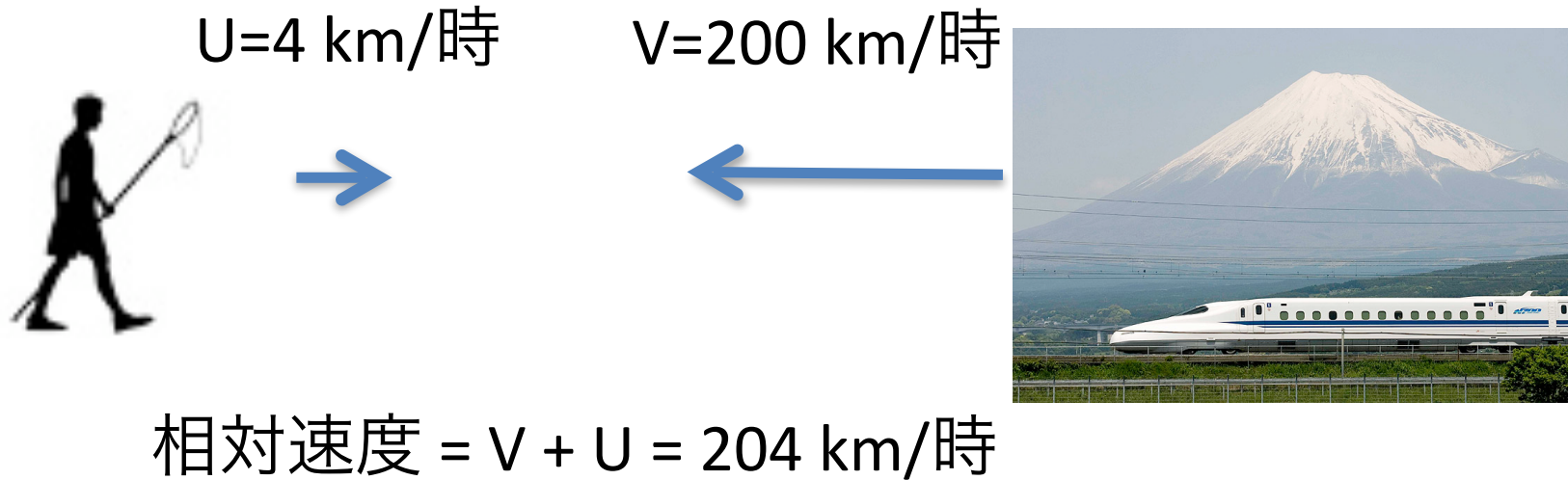
動いている



止まっている



日常感覚の世界



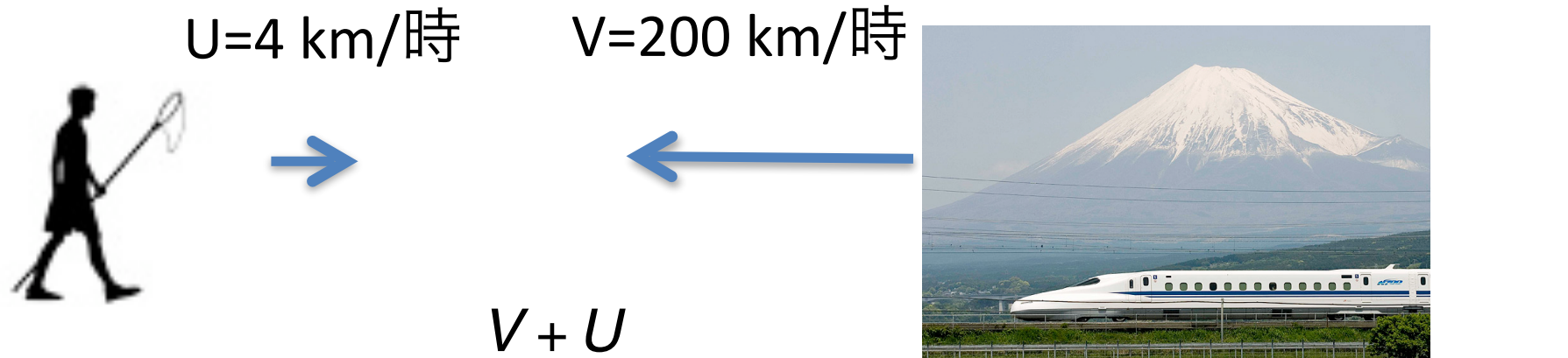
時速4kmで歩く人から、時速200kmで向かってくる新幹線を見たら、

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

U=4 km/時 V=200 km/時



相対速度 = $\frac{V + U}{1 + \frac{VU}{C^2}}$ $\approx 203.99999999999986$ km/時

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203.99999999999986km/時で向かってくるように見える。

ただし、 $C \approx 30$ 万km/秒 ≈ 10 億km/時 ≈ 1 秒間に地球を7週半

光の場合



30万km/秒
→

←
30万km/秒



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

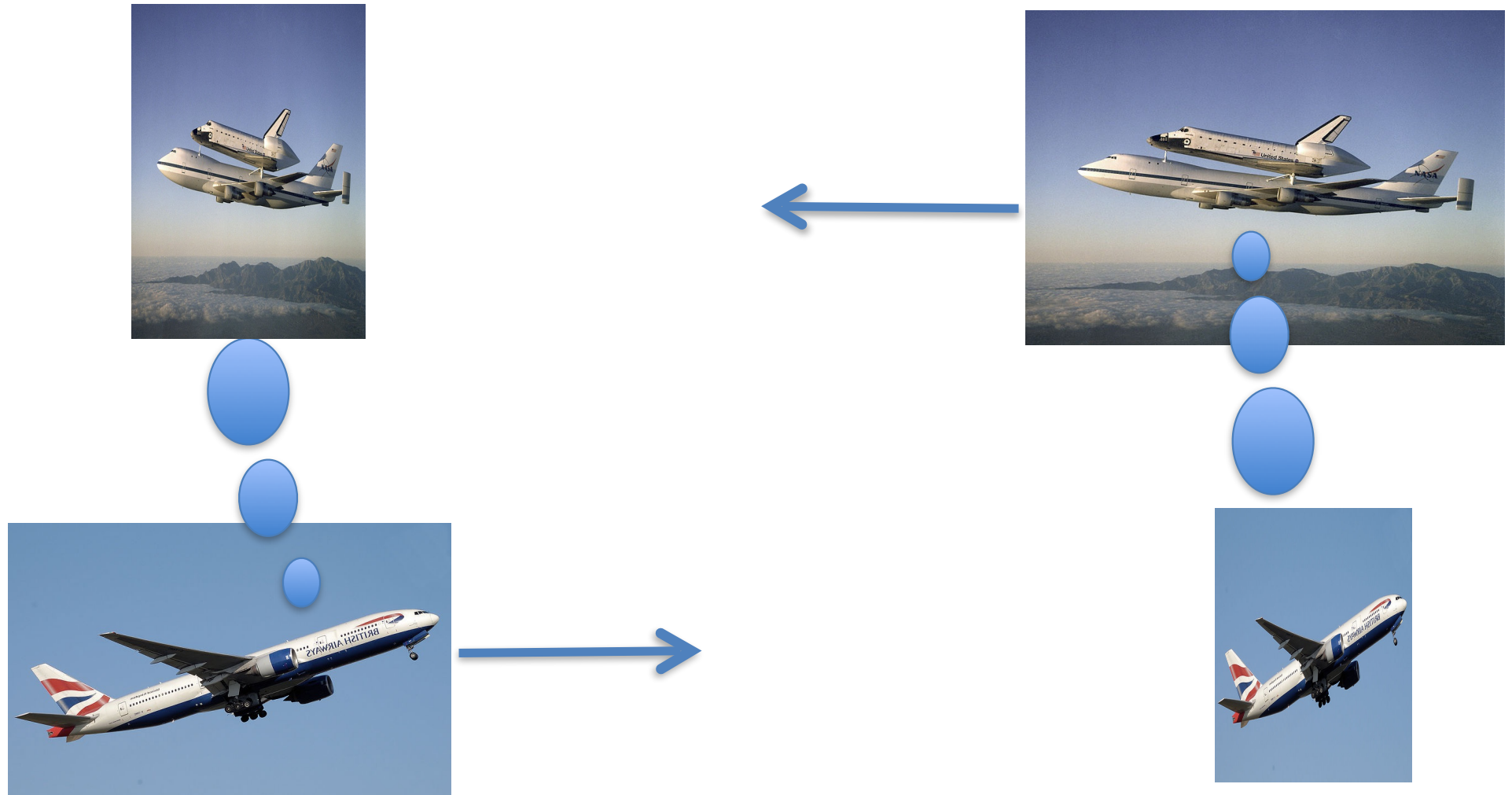
正しい相対速度は、 $\frac{V+U}{1+\frac{VU}{C^2}}$ で計算する。

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



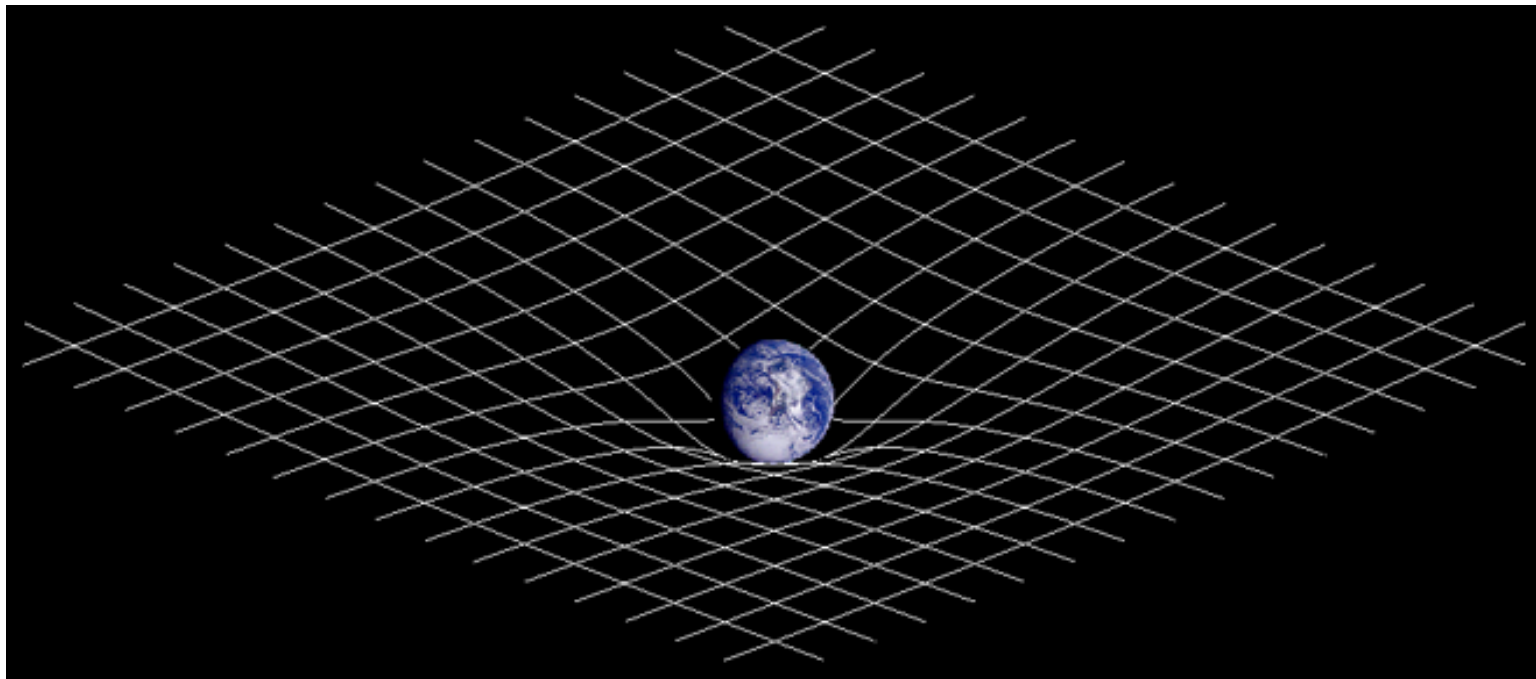
注：運動する他人が縮んで「見える」のであって、動いている本人にとっては同じ時間もゆっくり進んでみえる（双子のパラドックス）

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

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

空間のゆがみ具合 = 宇宙の物質（エネルギー）の分布

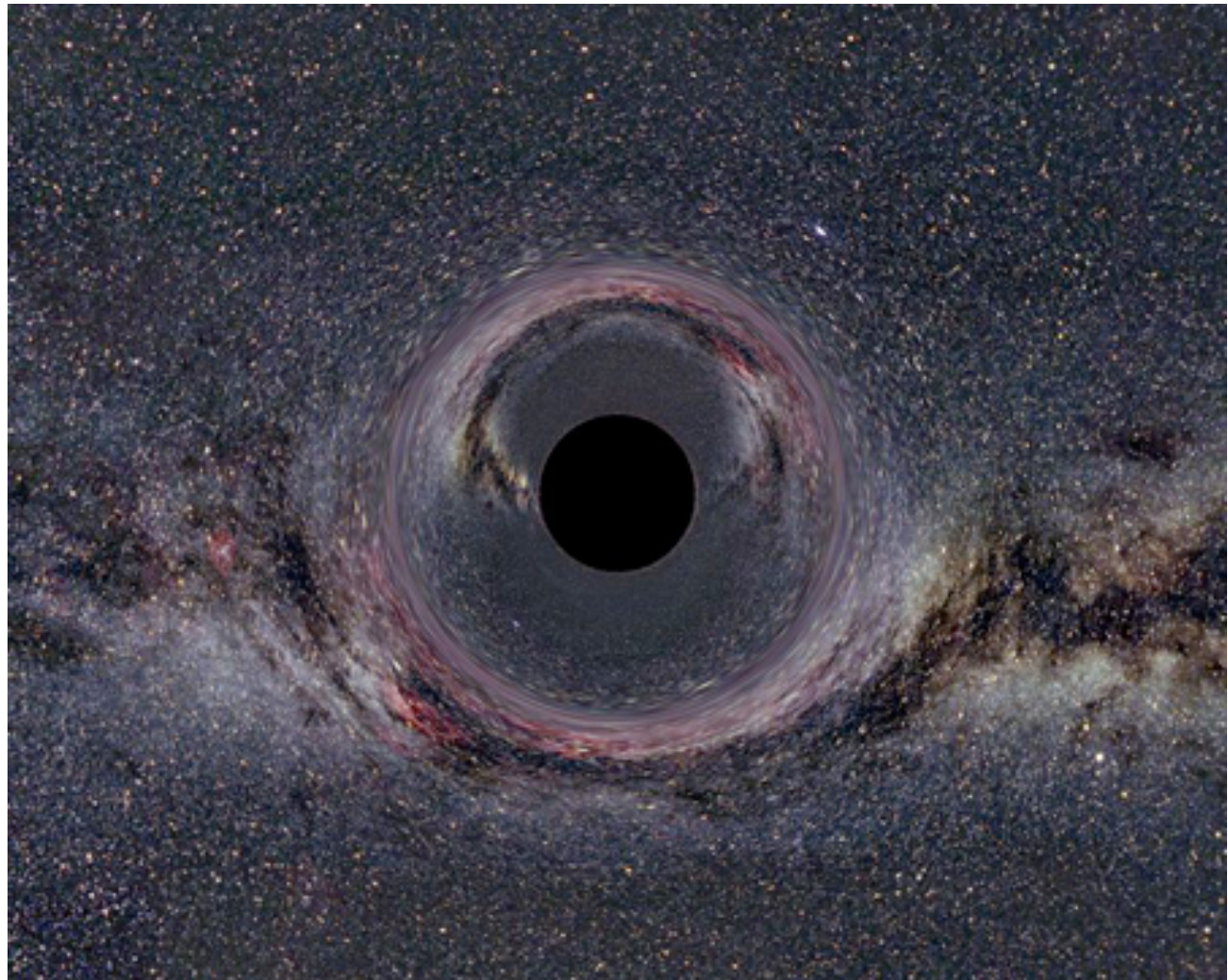


From Wikipedia Commons

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

ブラックホール

- 重力が強く、光さえも抜け出せない領域



ブラックホールをどうやって見つける？

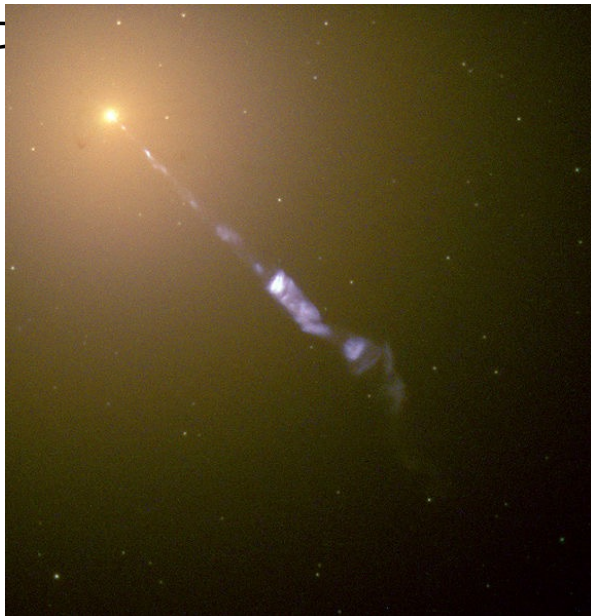
ブラックホールその物はみえない。

- ・ 周囲の天体の動き

=> すごく強い重力がある

=> ブラックホール

- ・ ブラックホールに落ち込むガスが
明るく光ったり、ジェットのように
放出した



M87銀河...中心の巨大ブラックホールから
ジェットが吹き出している

ホワイトホールって？

- ブラックホールの反対のようなもの。光の速度で突っ込んでいっても、決して中に入れない。
- もともとブラックホールは、一般相対性理論から理論的に「存在しうる」ことが示されたもので、初めは実際には存在しないと思われていた。
- ホワイトホールも、一般相対性理論的には「あってもよい」。が、まだ現実に見つかってはいない。

SPACE OUTSIDE WORMHOLE

ワームホール

LIGHT RAY

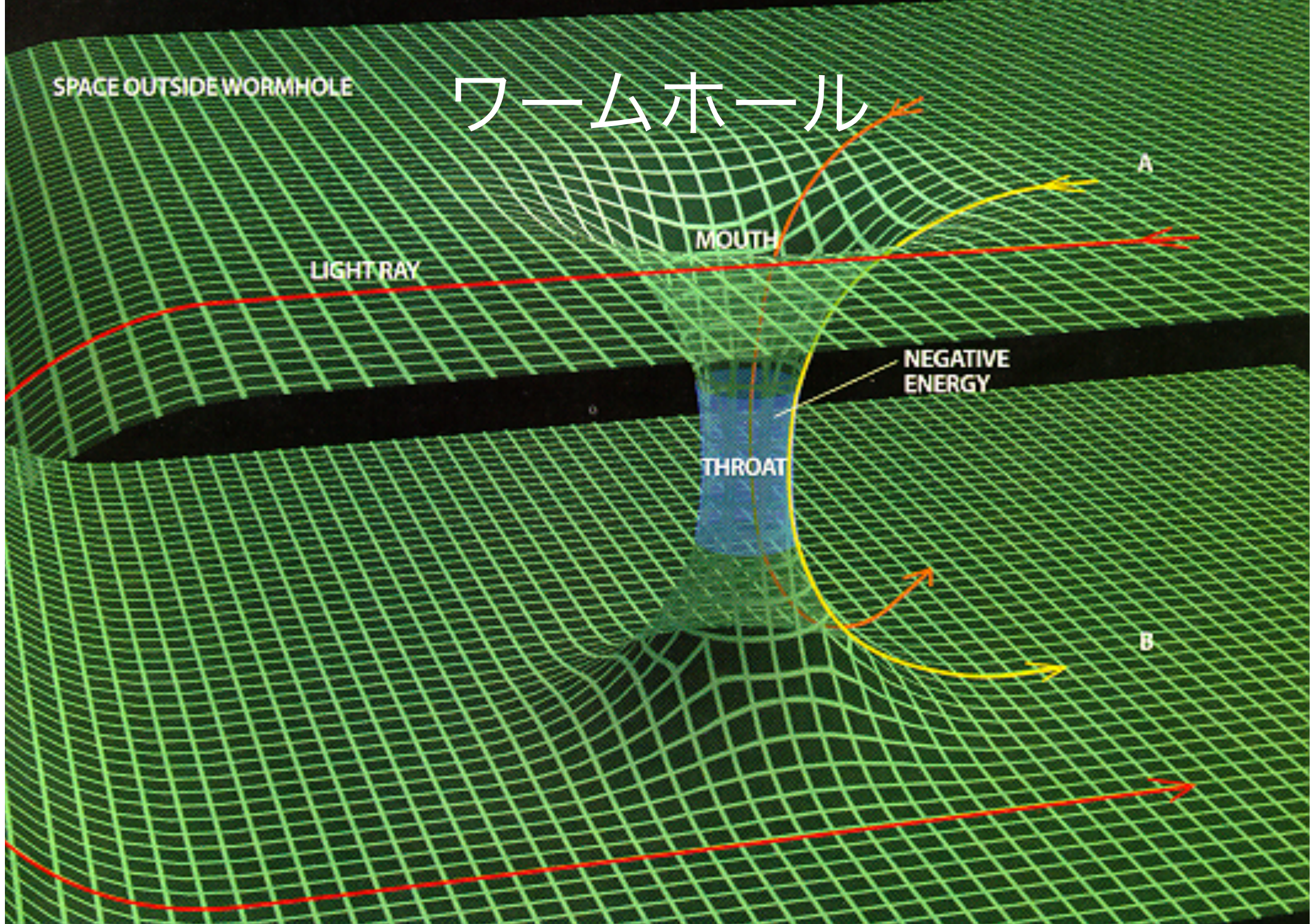
MOUTH

A

NEGATIVE ENERGY

THROAT

B



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

- ワームホールも一般相対性理論（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）
- 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

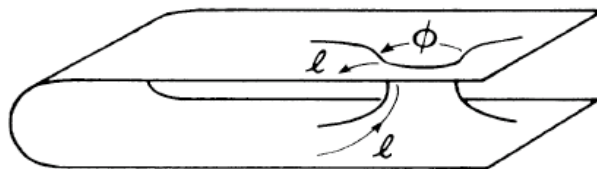
$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \quad \text{アインシュタイン方程式}$$

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)



ワームホールの存在を予言した
物理学の論文より

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

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. ワームホールを使って近道をする
- 2. 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

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

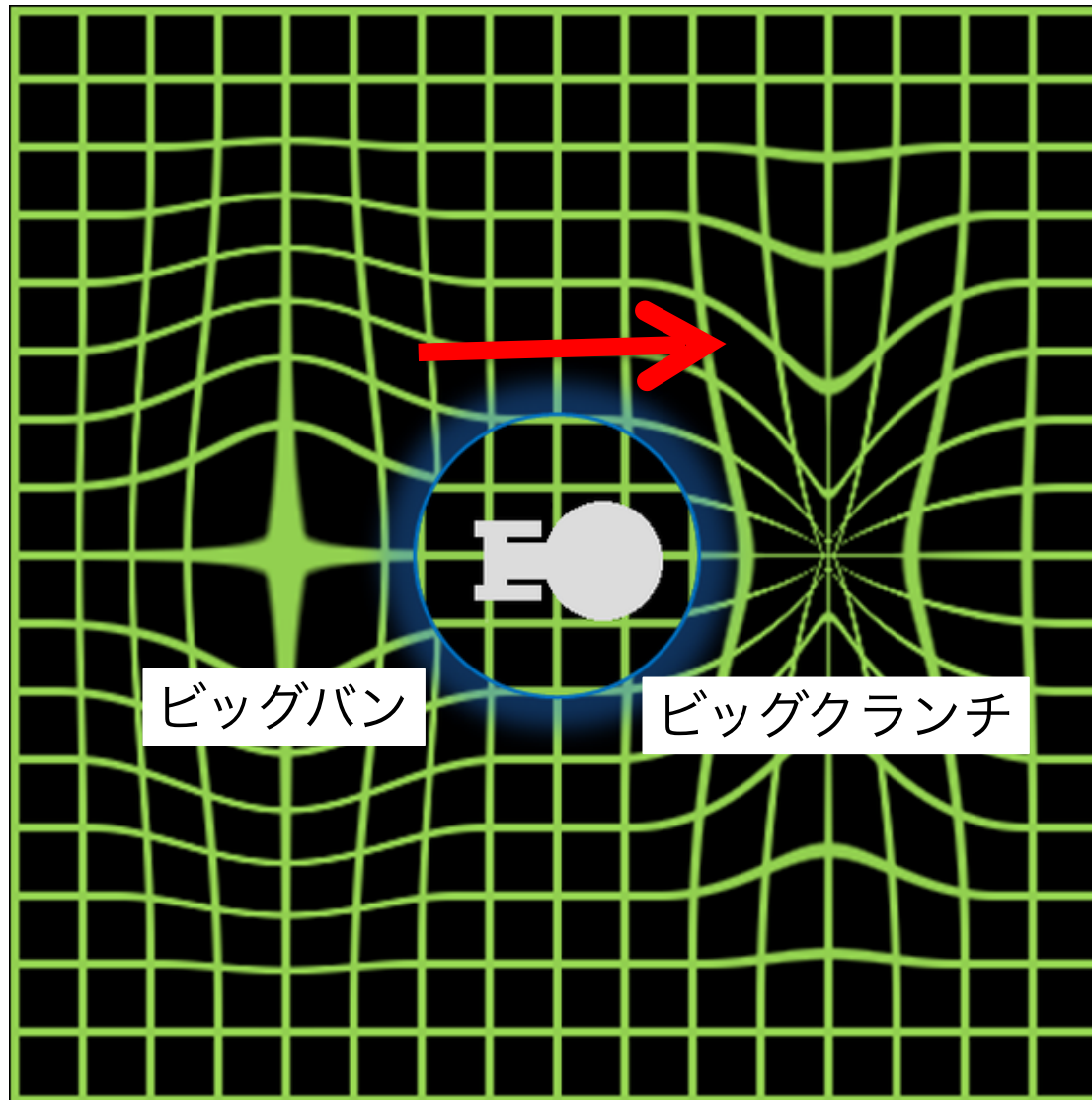
Department of Physics and Astronomy, University of Wales,
College of Cardiff, PO Box 913, Cardiff CF1 3YB, UK

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

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
 - ワームホールをくぐることができれば可能か。