最先端物理学が描く宇宙
Frontiers of Physics & Cosmology

第6回　2026/10/26

第3章　現代物理学1：相対性理論（1）

真貝　寿明
Hisaaki Shinkai



上田次郎風に決めた著者

真貝の武庫川講義ページtop

https://www.oit.ac.jp/labs/is/system/shinkai/mukogawa/

レポート課題締め切り10月31日23:59

レポート課題

宇宙人はいるのか？　　各自の考えを述べよ

「地球外生命体・地球外知的生命体の存在について」





提出日・様式など

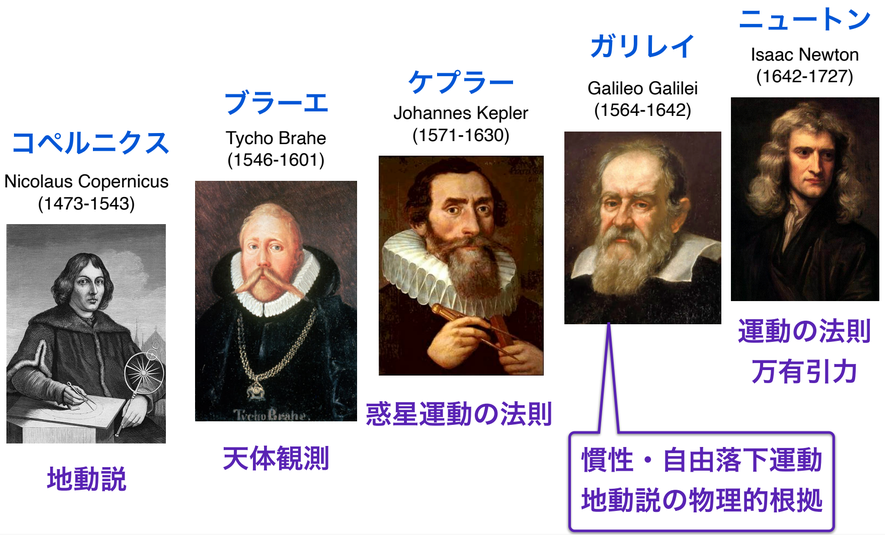
- A4 用紙 3-4 枚程度．手書き・PC 印刷どちらも可．表紙は不要．（手書きの場合は写真撮影したものを提出）
- 必要であれば，図や表を添付してよい．（上記のページ枚数に含める）．
- 〆切は，**10月31日（土）23:59**
  Google Classroom の課題として提出．
- 提出ファイルの名前は，「U 学科 XXXXXXX ○○○○」の形式とすること．（U は Universe の頭文字でレポート区別するためのもの，学科は大日/短生など２文字で，XXXXXXX は学籍番号，○○○○は氏名）とすること．
- ファイル内の初めにも，タイトル・学部学科学年・学籍番号・氏名を記載すること．
- 参考とした文献 (web ページ含む) などがあれば，**必ず**記すこと．剽窃行為が認められる場合は評価を下げます．（参考文献から引用するのは構いませんが，引用範囲は必ずそう明記すること．）

前回のミニッツペーパーから

ニュートンを中学、高校で習ったけど、今改めて学び考え方が少し変っている（自分の中で）と感じた。

なぜ月は地球に落下してこないのかを説明に納得した。

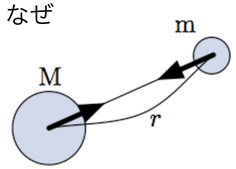
近代物理学をつくりあげた登場人物たち



【物理】

なぜ月は地球に落下してこないのか

万有引力を考えると，すべての物体は近づいてゆくように思える．地球と月も万有引力で引っ張り合っているのにも関わらず，なぜ月が地球に落下してこないのだろうか．





前回のミニッツペーパーから

楕円に親近感が湧いてきました。

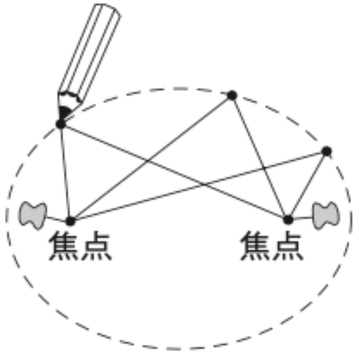
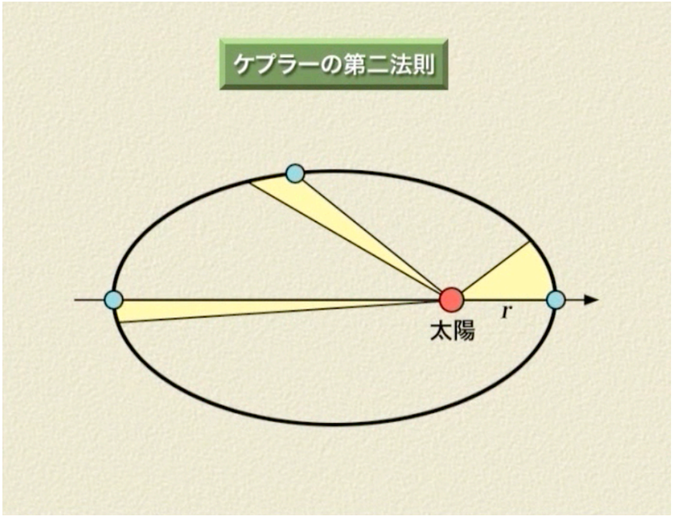


図 2.13　楕円は２つの焦点から糸を張り，ペンで一周すると描ける形である．焦点が１つに重なっていれば円になる．円は特殊な楕円である．



ずっと月がなぜ落ちてこないのか不思議でした。
月はとても速く回っているということがあんまり想像がつかなかったです。



地球の自転速度（赤道上で）	秒速 460 m （時速1666 km）
月の公転速度	秒速 1 km
地球の公転速度	秒速 29.8 km
太陽の銀河系内移動速度	秒速 230　km

前回のミニッツペーパーから

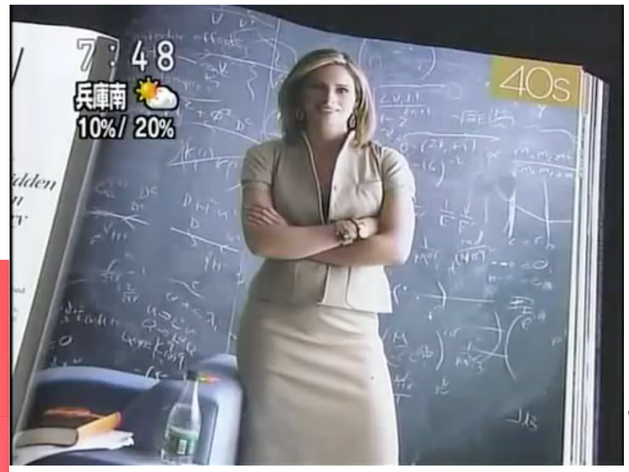
〔5-4〕リサ・ランドールの異次元世界，5次元が存在するという話はとても興味深い話でした。タイムマシン等まるでドラえもんのような世界線があるかもしれないと思うとワクワクしました。

アインシュタインの相対性理論の論文が出たのが1905年と，割と近年？だったことに驚きました。
ランドール博士の宇宙は時間で含めた4次元ではなく，空間を含めて5次元あるという説ともつながっているのか気になります。

4次元が縦、横、奥ゆき、時間という要素ならば、5次元は何の要素が加わるのだろうと思いました。

リサ・ランドールさんの唱えた「膜宇宙論」について．
5次元は3次元の複合体である．というようにも聞こえたのですが
どのように捉えたらいいですか？
もしわかりやすい本があれば知りたいです。

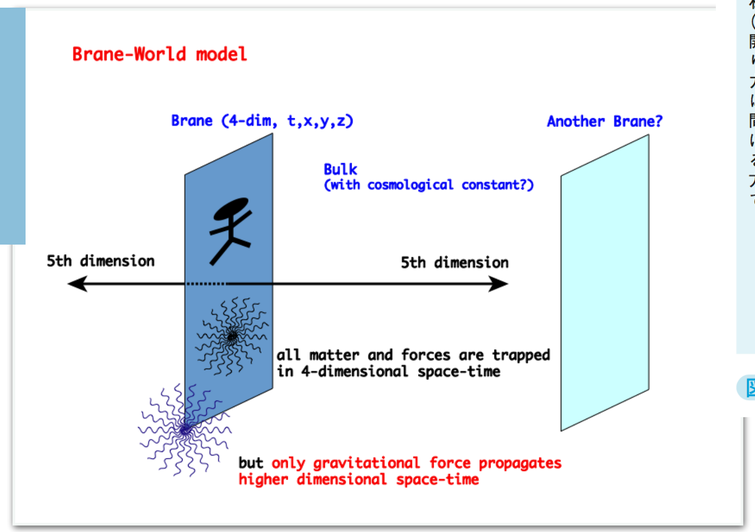
【話題】 膜宇宙論の提唱者の一人，リサ・ランドール





"Be inspired.
Keep an open mind.
Be brave and have fun!"

2007年　NHKニュース (7分)



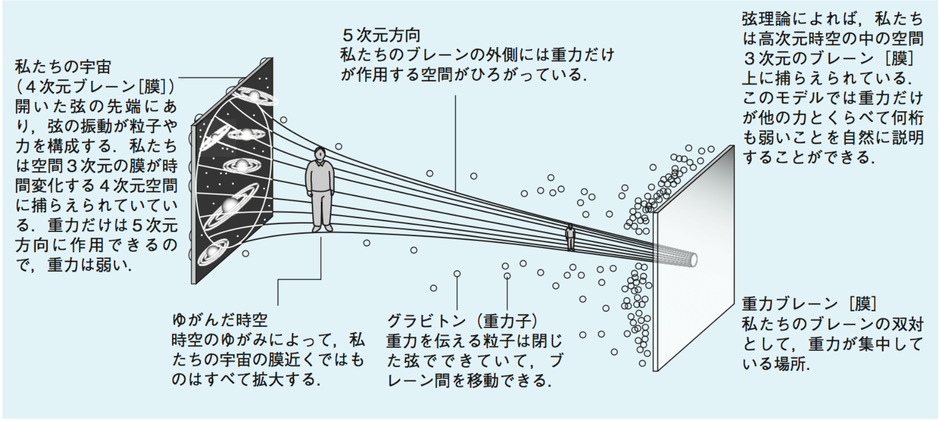


図 5.31　ランドールとサンドラムが提案したブレーンワールド・モデルの１つ．（膜宇宙モデル，1999）

教科書 p178

前回のミニッツペーパーから

10/21 のすい星の流れ星を見るのが楽しみです。
日常で感じられる宇宙の現象を紹介してくださるので日常的に物理を思い出すことができます。

オリオン座流星群を見てみたいし、
76年に1度のハレー彗星を見たいです。

流星群，天気残念でした

私は根っからの文系なので、理系で色々と研究している人はすごいなと感動しました。
もしニュートンが万有引力を発見しなくても、いつかは誰かが発見していたんでしょうか？

ニュートンではなくても，誰かがいつか発見したはず，
アインシュタインではなくても，誰かがいつか発見したはず
その一般性・再現性が科学です

宇宙で起こる現象も、地上と共通する物理法則で説明できることに興味を持った。

宇宙すべてを共通する法則で説明しようとするのが物理学です
究極の理論（大統一理論）の完成まで，もう少し，と言われ続けて40年．．．（真貝が学生の頃から）

竹取物語とかの授業をうけると、月が神秘的にかかれているけど海外もそうだったんですか？

【日本の伝説】

竹取物語（かぐや姫）

『竹取物語』は、平安時代初期に成立した日本最古の物語（作り物語）で、竹の中から生まれた「かぐや姫」が、求婚者たちに難題を出して退け、最後は帝の誘いも断って月の世界へ帰る不思議な物語。



https://www.sandwerf.com/?a=009001354826O2

かぐや姫が5人の貴公子からの求婚を断るために要求した、入手困難な宝物（5つの難題）は？

* 仏の御石の鉢（石作皇子へ）
* 蓬莱の玉の枝（車持皇子へ）
* 火鼠の皮衣（右大臣阿倍御主人へ）
* 龍の首の玉（大納言大伴御行へ）
* 燕の子安貝（中納言石上麻呂足へ）

教訓： お付き合いを断るときは, はっきりと.

かぐや姫は、月に帰る直前、地上の愛情に応えきれなかった詫びとして、帝へ手紙と共に「不老不死の薬（不死の薬）」を残した。帝は姫のいない世界で長生きすることに意味はないと悲しみ、その薬を日本で最も高い山の頂上で焼かせた。

兵士（つはもの）どもあまた具して山へ登りけるよりなん、山へのぼりけるよりなむ。その山をふしの山とは名づけゝる。その煙いまだ雲の中へたち昇るとぞいひ傳へたる。

史実： 富士山は, 活火山だった.

延暦噴火（800～802年）:『日本後紀』に残る大規模噴火。
貞観大噴火（864～866年）: 文献上最大規模の噴火。
北西斜面で割れ目噴火が発生し、青木ヶ原溶岩が流れ出した。
地形の変容: 溶岩により広大な湖「剗の海（せのうみ）」が埋まり、西湖と精進湖が誕生。
その後の活動: 10世紀以降も**932年、937年**などに噴火が記録されており、山中湖が生成されたとも推定される。

【中国の伝説】

嫦娥奔月（じょうが，月に走る）

弓の名手である英雄神の羿(げい)は，かつて天に10個の太陽が現れて地上を苦しめていた際，9個の太陽を射落とし，人々の暮らしを救った．この功績により，羿は西王母(崑崙山に住む女神)から不老不死の薬を授かった．

羿は薬を妻の嫦娥に預けたが，羿の留守中に，弟子の蓬蒙(ほうもう)が薬を奪おうと嫦娥を脅迫した．追い詰められた嫦娥は，やむなく薬を一人で飲み干してしまう．すると彼女の体は軽くなり，空へ舞い上がり，最終的に月へとたどり着いた．嫦娥は月の宮殿(広寒宮)で，夫を思いながら寂しく暮らすことになった．

また，別の伝承では月でガマガエルの姿に変えられたとも言われている．

また，別の伝承では月で不老不死の薬を作っている白うさぎ「玉兎」に変えられたとも言われている．

また，別の伝承ではうさぎが天に昇り，嫦娥と一緒に住んでいるともされる．

バージョン多すぎ！
六朝時代(3c-6c)以降，多くの詩が描かれ，次第に女神と讃えられるようになった．



嫦娥は，古くは姮娥（こうが）と呼ばれたが，皇帝の一人と発音が同じだったので，改められた．

中国の伝説の中で最も知られている話だそうです．





【インドの伝説】

サムドラマンタン　（日食と月食の由来）

神々と魔物の間では争いが絶えなかった. 魔物はマントラ(呪文)を唱えて死者を蘇らせてしまう. 神々が困り果てて. シヴァ神と共に, ヴィシュヌ神に相談に行くと, 不老不死の薬アムリットをクシルサガールの大海から取り出して手にいれる必要がある, とのことだった.

神々は, ヴィシュヌ神の言いつけにしたがって, 魔物を騙して協力させて, 大海をかき回し, なんとかアムリットを含めて14の宝物を手に入れた.

神々と魔物のどちらが, アムリットを取るかでけんかになった. ヴィシュヌ神に仲裁を頼むと, ヴィシュヌ神はモヒニという若い女性の姿で現れた. 彼女は, 神から順に薬を飲むように言った.

魔物のラーフは, 神になりすまして, スーリヤ(太陽神)とチャンドラ(月神)の間に座り, 薬を飲み始めた. スーリヤとチャンドラは正体を見破り, ヴィシュヌ神に知らせると, ヴィシュヌ神はただちにラーフの頭を切り落とした.

ラーフは頭の部分だけ不老不死になった. ヴィシュヌ神はラーフの頭を天に上げて惑星にした. 胴体をケートゥとよぶ.



『アジアの星物語』（海部宣男監修, 万葉舎, 2014）

魔物ラーフは, 告げ口した太陽と月を永遠の敵と考え, ときどき飲み込む. これが日食と月食.

前回のミニッツペーパーから

ニュートン力学が認められることになった実験や観測を1つ説明せよ.

2. 近代物理学の夜明け 》2.3 近代物理学の発展　教科書 p49

ハレー彗星の軌道



Edmund Halley (1656-1742)



http://micro.magnet.fsu.edu/optics/timeline/people/halley.html

ニュートンの「プリンキピア」の出版を手助け.
1682年の大彗星の軌道を計算し，次回は1758年に回帰することを予言した.

76年周期　前回　1986年
　　次回　2061年

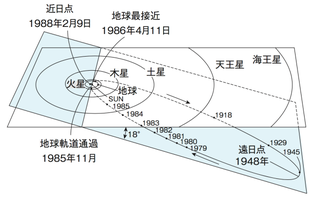
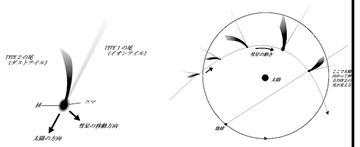


図 2.32　ハレー彗星の軌道は惑星運動面から大きく傾いている.



http://www.isas.jaxa.jp/j/japan_s_history/chapter05/01/02.shtml
http://www.astroarts.co.jp/alacarte/kiso/kiso10-j.shtml
http://www.geocities.jp/planetnekonta2/hanasi/halley/halley.html

51

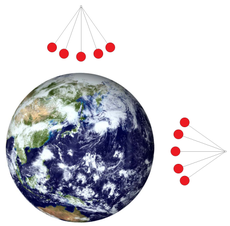
彗星軌道の確定と彗星出現の予言

2. 近代物理学の夜明け 》2.3 近代物理学の発展　教科書 p49

ニュートン力学の勝利　地球の扁平度の測定

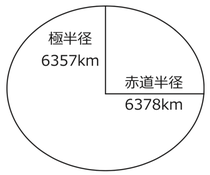
赤道付近ではふりこの周期が長い

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$$



地球の自転で，遠心力あり.
重力加速度 g は少し小さくなる.

しかし，計算が合わない．．．



1735/36年，子午線の長さの測量実施.
地球が扁平であることが確かめられる.

50

地球が楕円体であることの発見

土地球が球体でなく楕円なのに驚きました。

2. 近代物理学の夜明け 》2.3 近代物理学の発展　教科書 p51

ニュートン力学の勝利　海王星の発見

1781年　天王星の発見
ところが，天王星の軌道を長期間観測すると，予想された位置からずれが生じた．当時の計算には，他の惑星からの重力もきちんと取り入れられていたが，計算通りにはならなかった．そこで，天王星のさらに外側を回る第8惑星の存在が考えられた.





フランスのルヴェリエが予想軌道を算出．ドイツのガレに観測依頼の手紙を出した.
手紙を受けとったその晩 (1846年9月23日) に，ガレは計算値に非常に近い位置に惑星を発見した.

一方イギリスではアダムスが予想軌道を算出し，チャリスに観測を依頼していた．チャリスは，1846年7月から観測をはじめたが，星の同定作業を怠っているうちに，ガレによる海王星発見の報を知る．チャリスが観測ノートを見直してみると，ガレより 1ヶ月前に 2 度，海王星を記録していたが新惑星であることを見落としていたことがわかった.





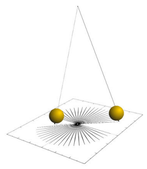
56

海王星の存在予言と発見

私たちがあたりまえに知っている太陽系の惑星も、昔の人たちの観測によって発見されたものなんだな、と改めて実感しました。惑星を発見するなんて、私からすれば全く想像ができないのでとても不思議な気持ちになりました。

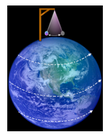
フーコーの振り子

Foucault pendulum









1851年，地球が自転していることを証明した.

Topic　フーコーの振り子

地球が自転していることを証明した実験として，フーコーが行った振り子が有名である．長いひもにおもりを付けて長時間振り子を振れさせると，振動方向が見かけ上回転していくという現象である．1851 年，パリ天文台とパンテオンにて公開実験が行われ，人々を感心させた．パンテオンの実験では，全長 67 m のワイヤーで 28 kg のおもりを吊るしたものが使われたそうだ．回転する原因はコリオリ力である．北半球では右回りに振動面が回転し，1 周するのに必要な時間 T は，緯度 θ の地点では，$T = 24$ 時間/$\sin\theta$ になる．北極点では 24 時間，赤道上では回転しない．北緯 35 度ではおよそ 41.8 時間である.

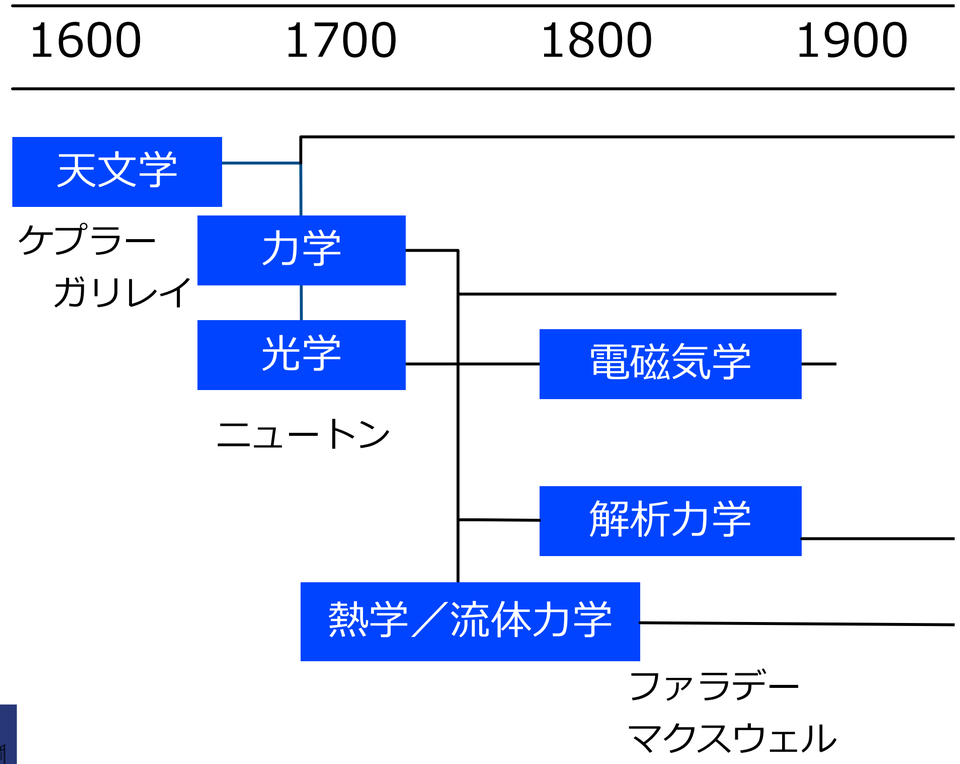
57

地球が自転している証明

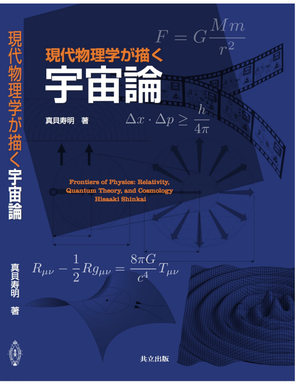
地路科学館にフーコの振りまがあるのでそれを外にいきたいです。

1905年　物理学 奇跡の年

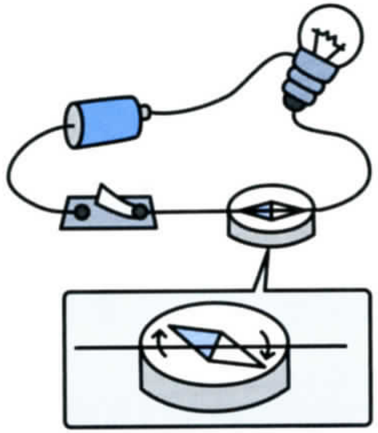
近代物理学の進展



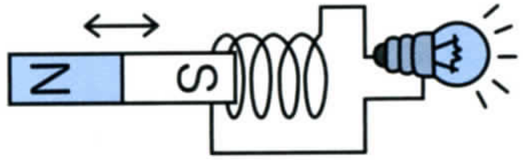
19世紀末は「物理学は完成した」と考えられていた。



電磁気学の進展



電流が流れると方位磁針の針が振れる。





ファラデー

コイルに磁石を出し入れすると電流が流れるぞ。

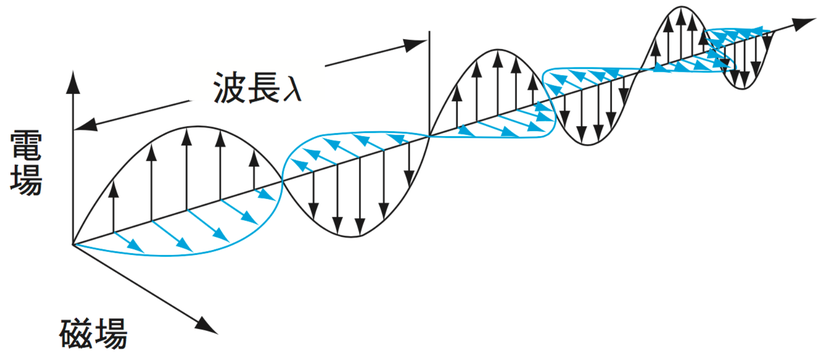
電磁誘導現象の発見（1831年）

電気力と磁石の力は関係しあうから「電磁気学」としてまとめよう。



マクスウェル

電磁気現象を説明する「マクスウェルの方程式」を完成させ（1864年）、電場と磁場が互いに作用して電磁波として伝わることを示す。





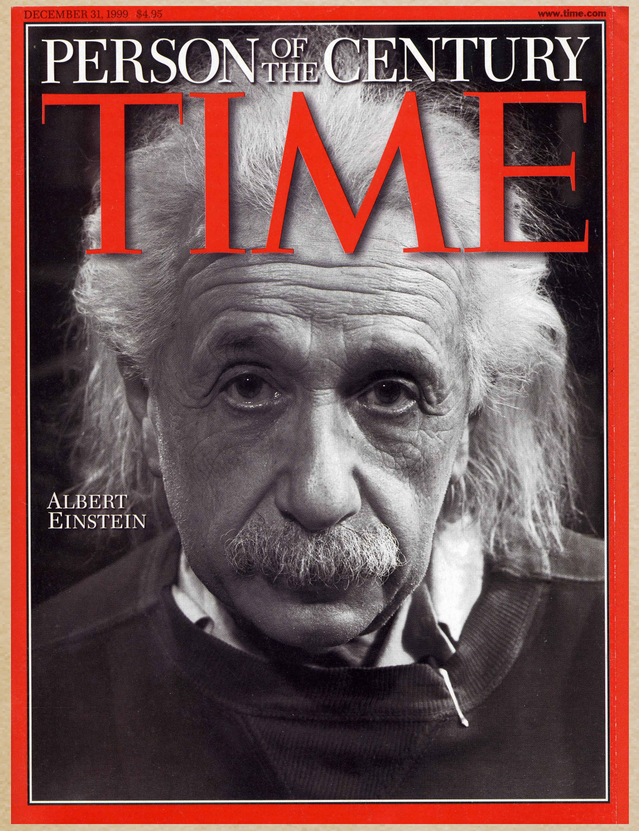
ヘルツ

電磁波は確かに光の速さで伝わっていた。

電磁波（電波）の受発信に成功し、光の電磁波説を実証する（1888年）

アルベルト・アインシュタイン

1879 (明治12)/3/14　～　1955 (昭和30)/4/18



Time　1999/12/31号



26歳のアインシュタイン
（1905年）

国際物理年2005



科学の重要性と，自然や
宇宙に対する真理探究の
重要性を訴える1年間

電磁気学の完成（Maxwell, 1864）

◆Advanced　マクスウェル方程式

マクスウェルがまとめた電磁気学の方程式は次の 4 本の式から成り立つ．$\boldsymbol{E}$ は電場ベクトル，$\boldsymbol{B}$ は磁場ベクトル，ρ は電荷密度，$\boldsymbol{j}$ は電流ベクトル，c は光速とする．また，∇ は微分演算子とする．

$$\nabla \cdot \boldsymbol{E} = 4\pi\rho, \tag{2.6}$$

$$\nabla \cdot \boldsymbol{B} = 0, \tag{2.7}$$

$$\nabla \times \boldsymbol{B} - \frac{1}{c}\frac{\partial \boldsymbol{E}}{\partial t} = \frac{4\pi}{c}\boldsymbol{j}, \tag{2.8}$$

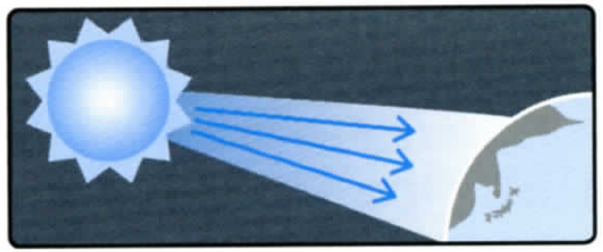
$$\nabla \times \boldsymbol{E} + \frac{1}{c}\frac{\partial \boldsymbol{B}}{\partial t} = 0. \tag{2.9}$$

3.2.1 電磁気学で生じた疑問

疑問1 電磁波を伝えるもの(媒質)は何か?



音波は空気中の分子の
振動が伝える。



電磁波(光)は真空中を満たす
未知の媒質エーテルが伝える?

疑問2 電磁波が伝わる速度が「光速」であるとは、
誰から見た時の光速なのか?



時速140km　　時速120km

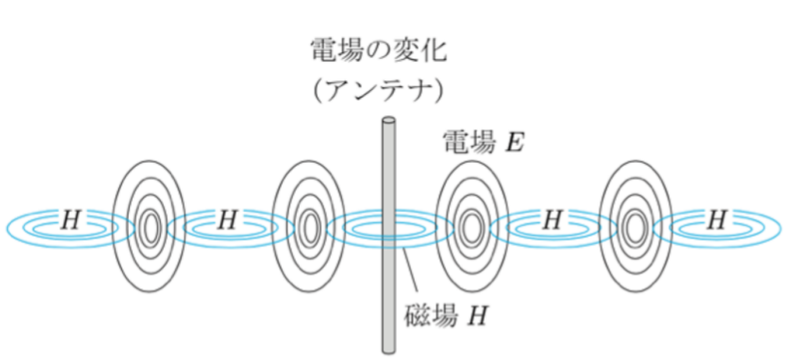
電磁波を伝える媒質として

「エーテル」(ether; 天空をみたす物質)

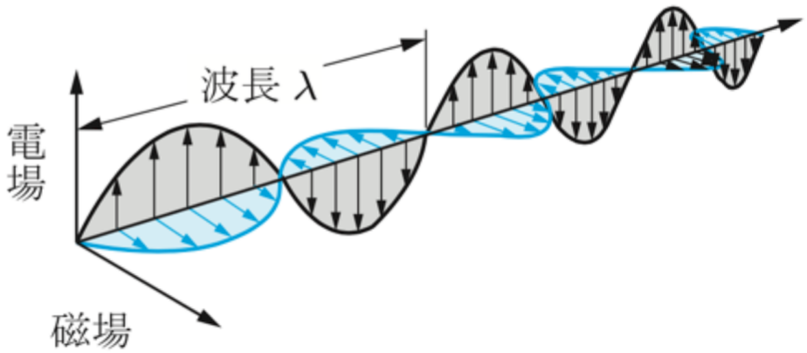
が存在するはずだ.

電磁波が存在して，光速で伝播する

$$\left(\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}-\Delta\right)\mathbf{E}=0,\quad \left(\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}-\Delta\right)\mathbf{B}=0,\quad \text{where}\ \ \Delta=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}$$



（a）電磁波の発生



（b）電磁波の伝播

でも，光速で伝わるって，誰からみた速さ？
真空中でも光は伝わるのは何故？

宇宙は「エーテル」でみたされていると考えよう
「エーテル」を見つけよう

マイケルソン・モーリーの実験

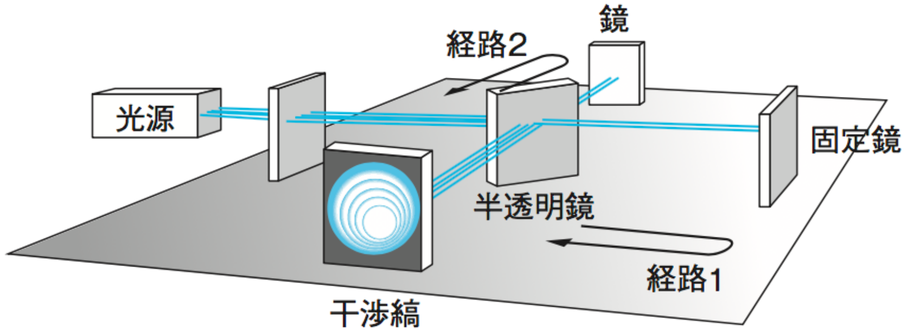
Michelson-Morley experiment　1887

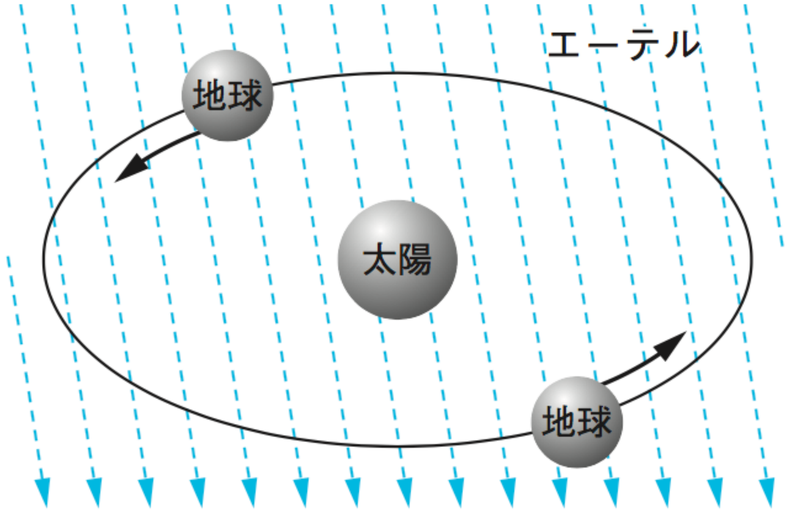




電磁波を伝える媒質としての「エーテル」を探す実験

微小距離を測定する干渉計

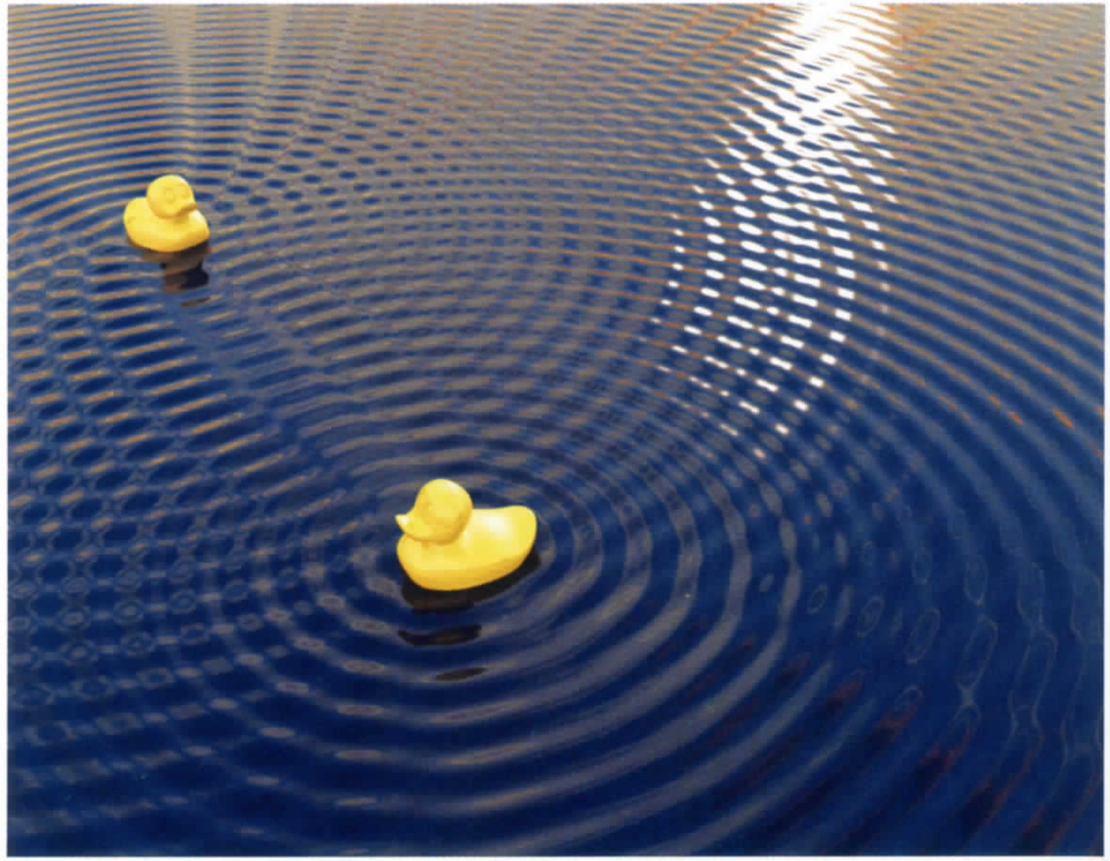




エーテルがあれば，季節で距離が変わるはず.

微妙な差でも，干渉計なら測れるはず.

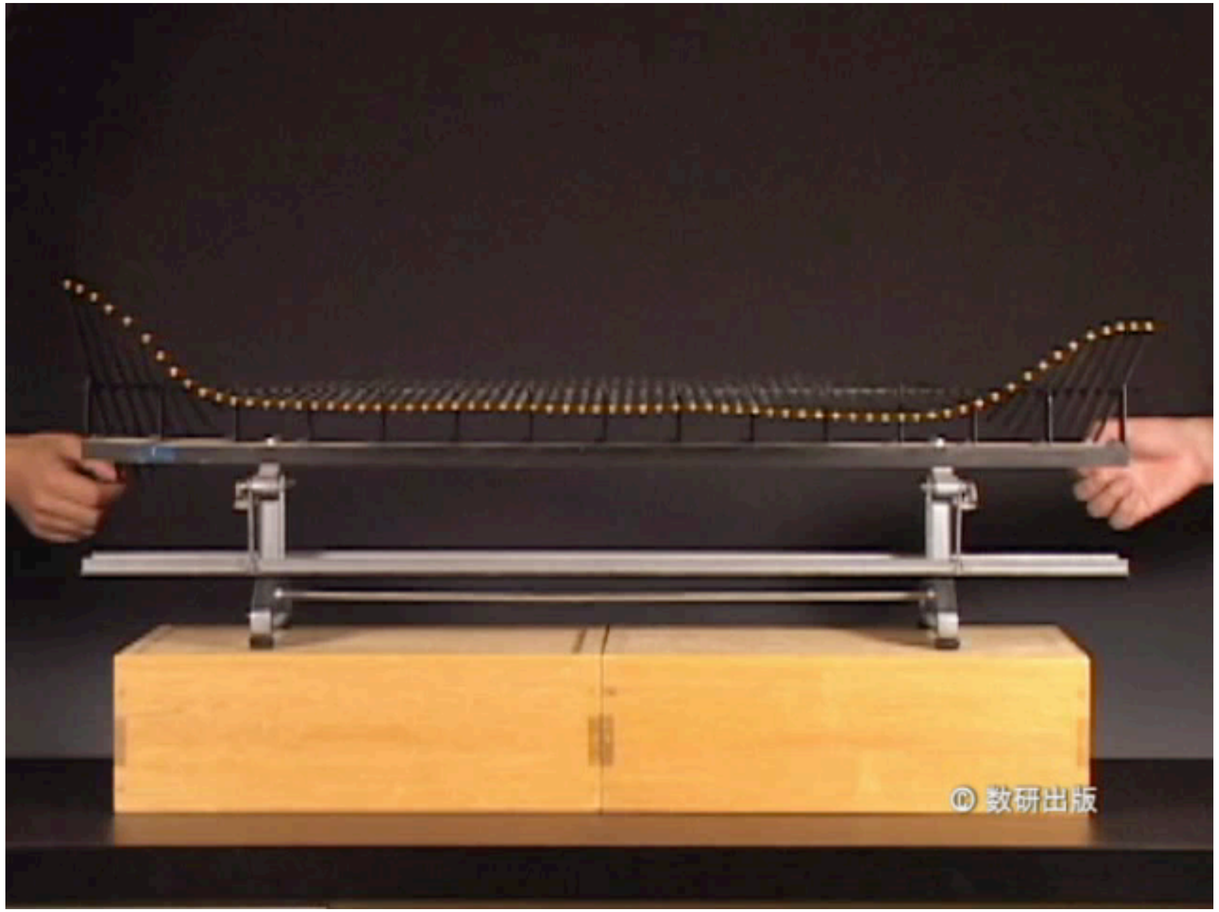
波の干渉



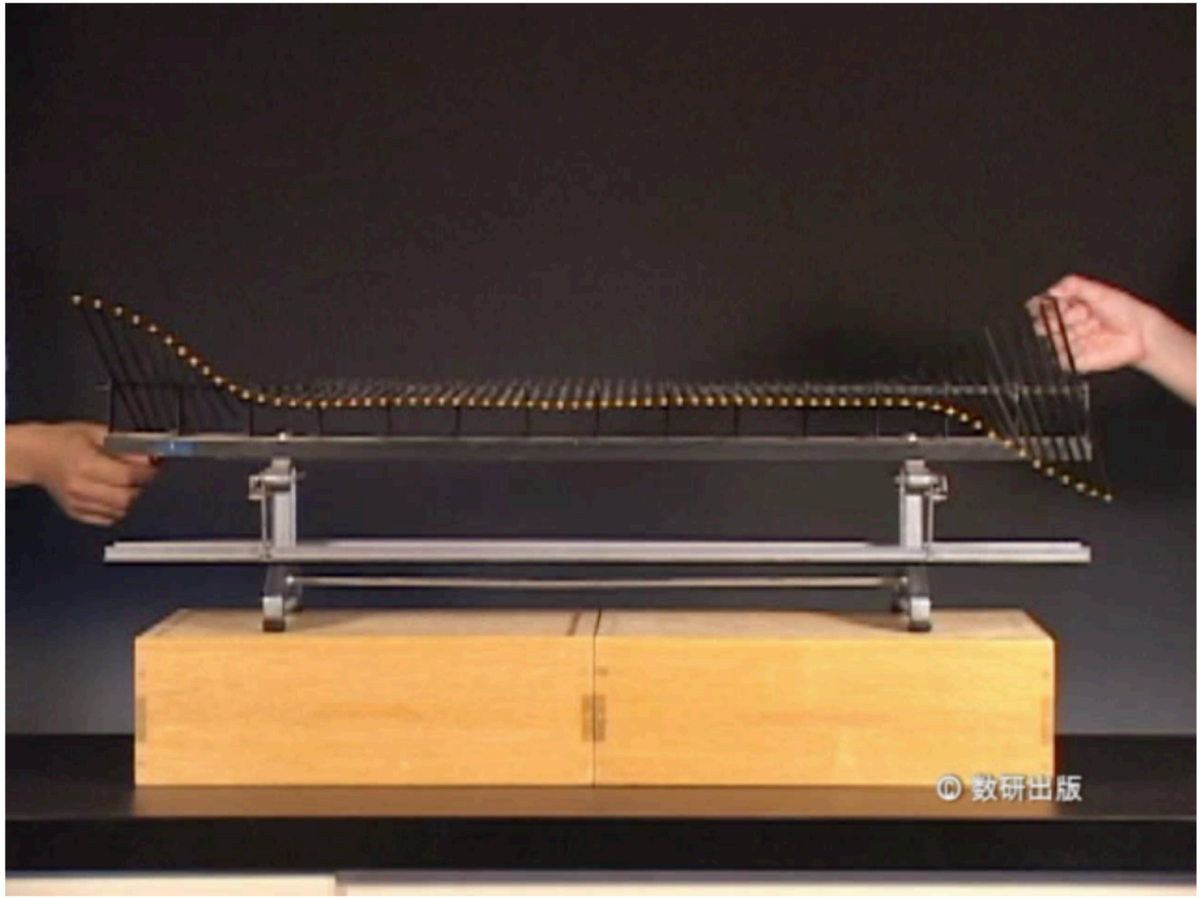
Puddle Interference The concept of interference shows up in everyday life in bodies of water, from puddles to oceans.

マイケルソン・モーリーの実験を理解しよう

波の干渉：　山＋山＝強い山　強めあう

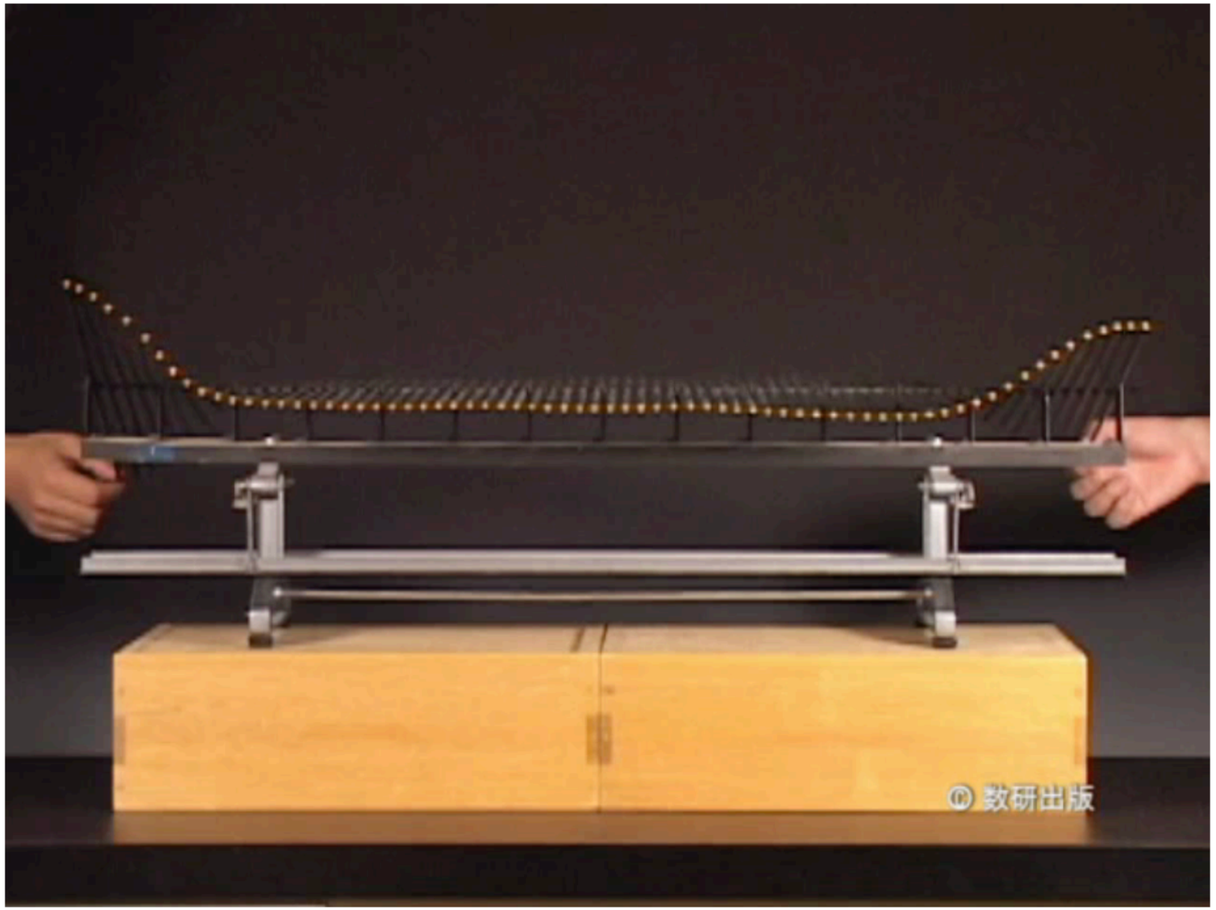


波の干渉：　山＋谷＝０　弱めあう

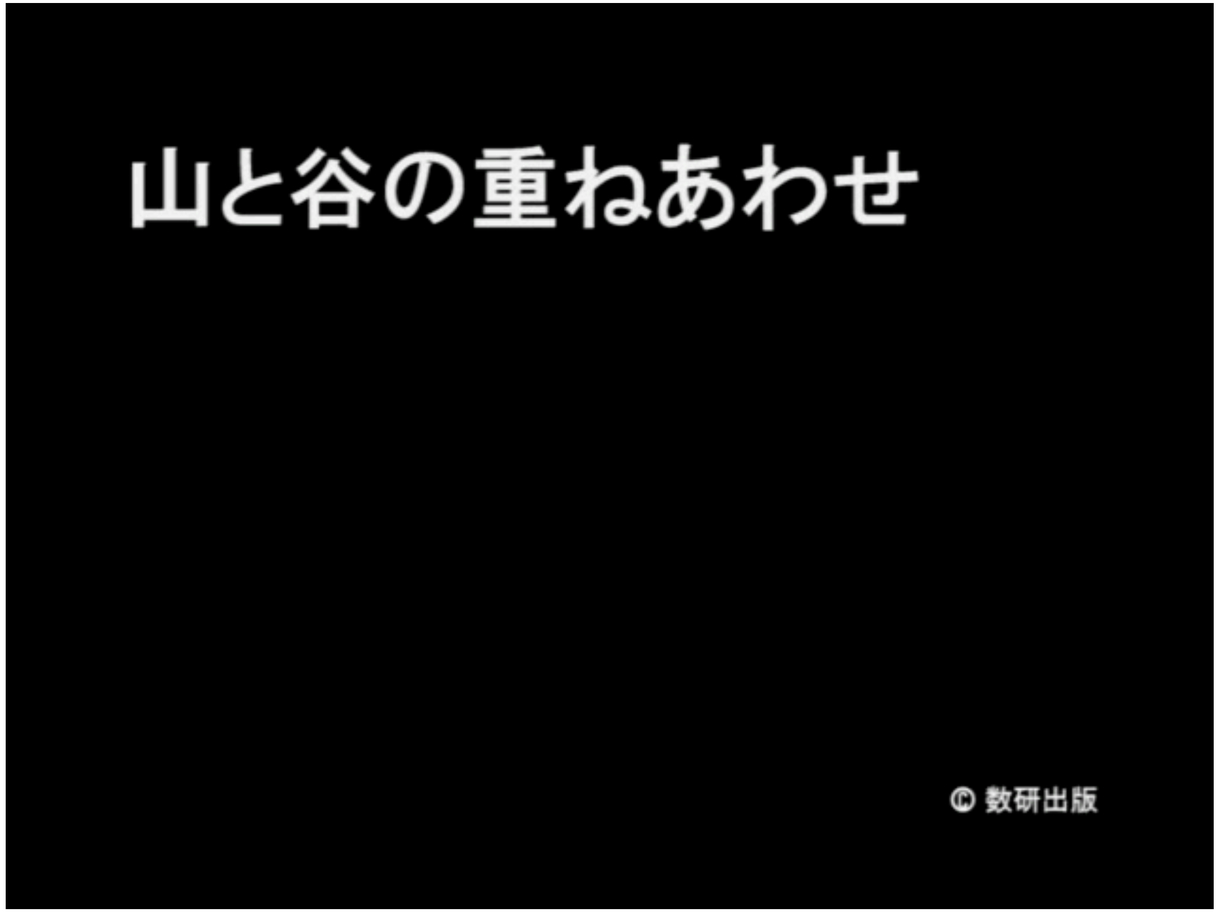


マイケルソン・モーリーの実験を理解しよう

波の干渉：　山＋山＝強い山　強めあう



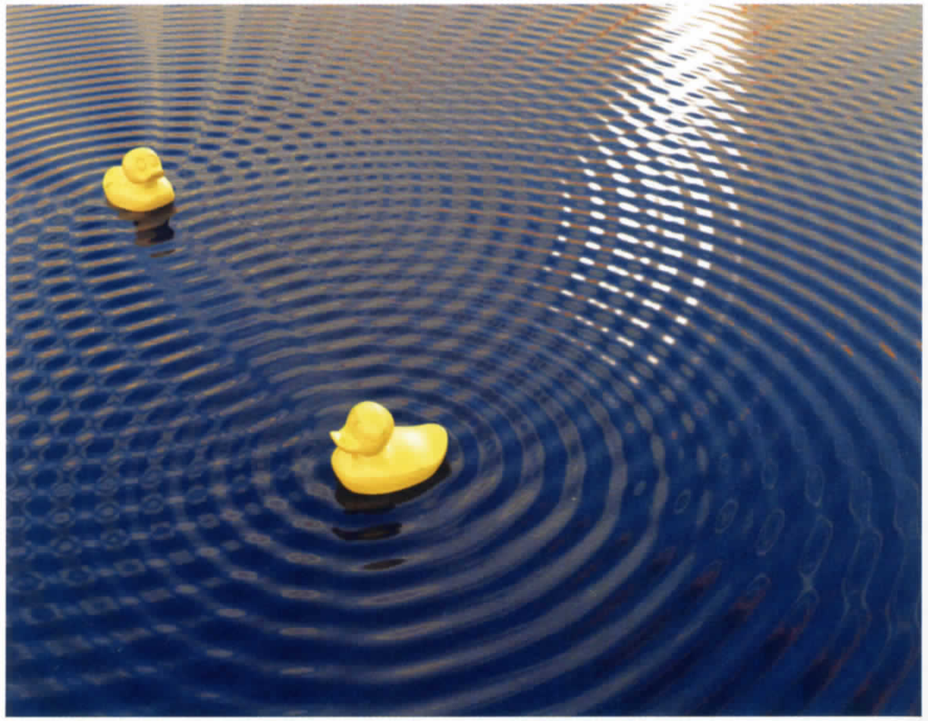
波の干渉：　山＋谷＝０　弱めあう



干渉（interference）



https://www.youtube.com/watch?v=dNx70orCPnA



Puddle Interference The concept of interference shows up in everyday life in bodies of water, from puddles to oceans.

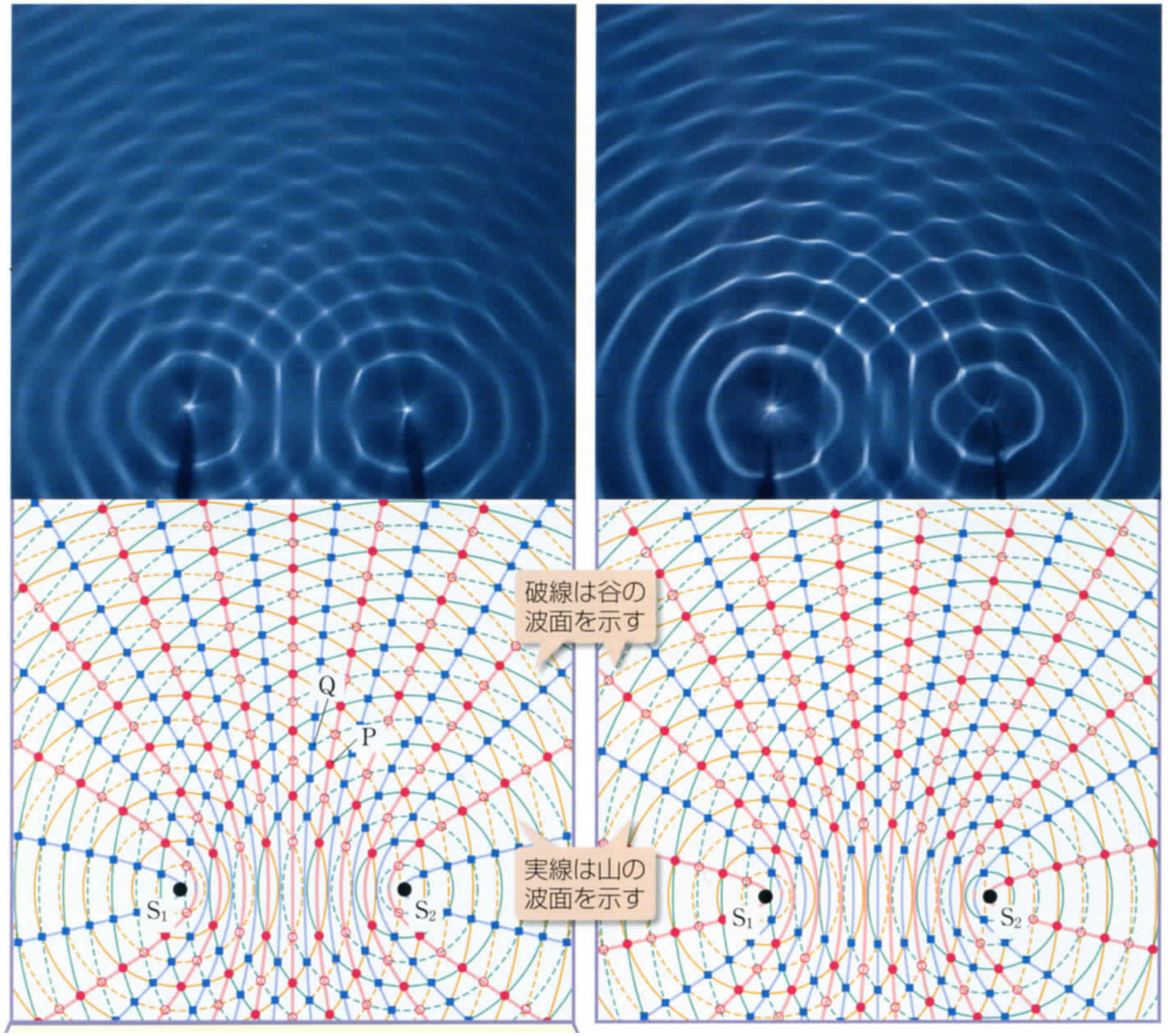
法則　**波の特徴：干渉**

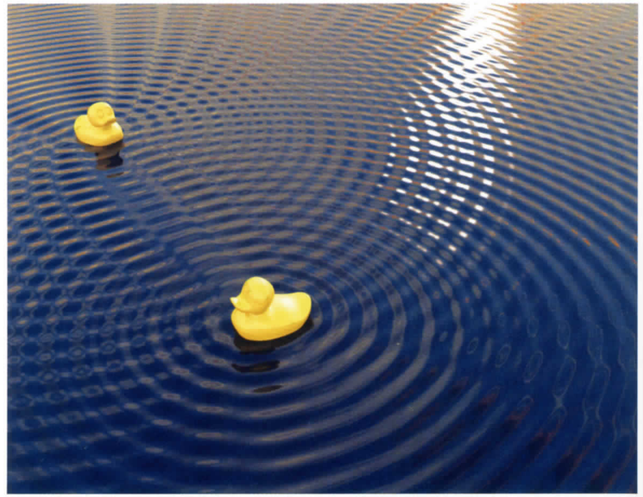
合成された波が，互いに強めあったり弱めあったりする現象を，干渉という．

波の干渉　＝　強めあったり弱めあったりする現象

●同位相で振動する 2 つの波源の場合

●逆位相で振動する 2 つの波源の場合





Puddle Interference The concept of interference shows up in everyday life in bodies of water, from puddles to oceans.

赤色で示した曲線（双曲線）―― は強めあう点を連ねて得られる曲線で，●（山と山）や○（谷と谷）の状態が移動していく経路を表している。
青色で示した曲線（双曲線）―― は，打ち消しあう点（■（山と谷））を連ねて得られる曲線であり，**節線**という。

ノイズキャンセリング ヘッドホン

ノイズキャンセリングヘッドホンとは？

周囲の騒音を低減し、クリアなサウンドを再生する
ノイズキャンセリングヘッドホン

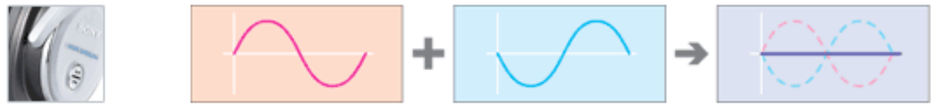
電車内や航空機※などでのリスニング時に、走行音やエンジンノイズなどさまざまな騒音を低減。
勉強や仕事のときなどは、気が散る原因となる周囲の雑音を低減し、静かな環境で聴けるので目的に集中できます。また、音量を上げ過ぎずに音楽を聴きとれるので、周囲への音漏れの心配がありません

■ノイズキャンセリングヘッドホンの活躍シーン



※航空機内の音楽サービスシステムにより、ご使用になれない場合があります
※航空機内で電子機器の使用が禁止されている場合や、機内の音楽サービスを個人のヘッドホンで利用することが禁止されている場合は、本機を使用しないでください

■ノイズキャンセリング機能の原理



MDR-NC6
内蔵マイク

1.騒音（元の波）
ヘッドホンに内蔵されたマイクで周囲からの騒音を拾い、ノイズキャンセリング回路がその音を分析。

2.逆位相の波
その騒音を打ち消す効果のある、逆位相の音を発生。

3.合成されて消えた波
元の波を反転させた逆位相の波を重ね、元の波を消去。これにより周囲の騒音を低減します。

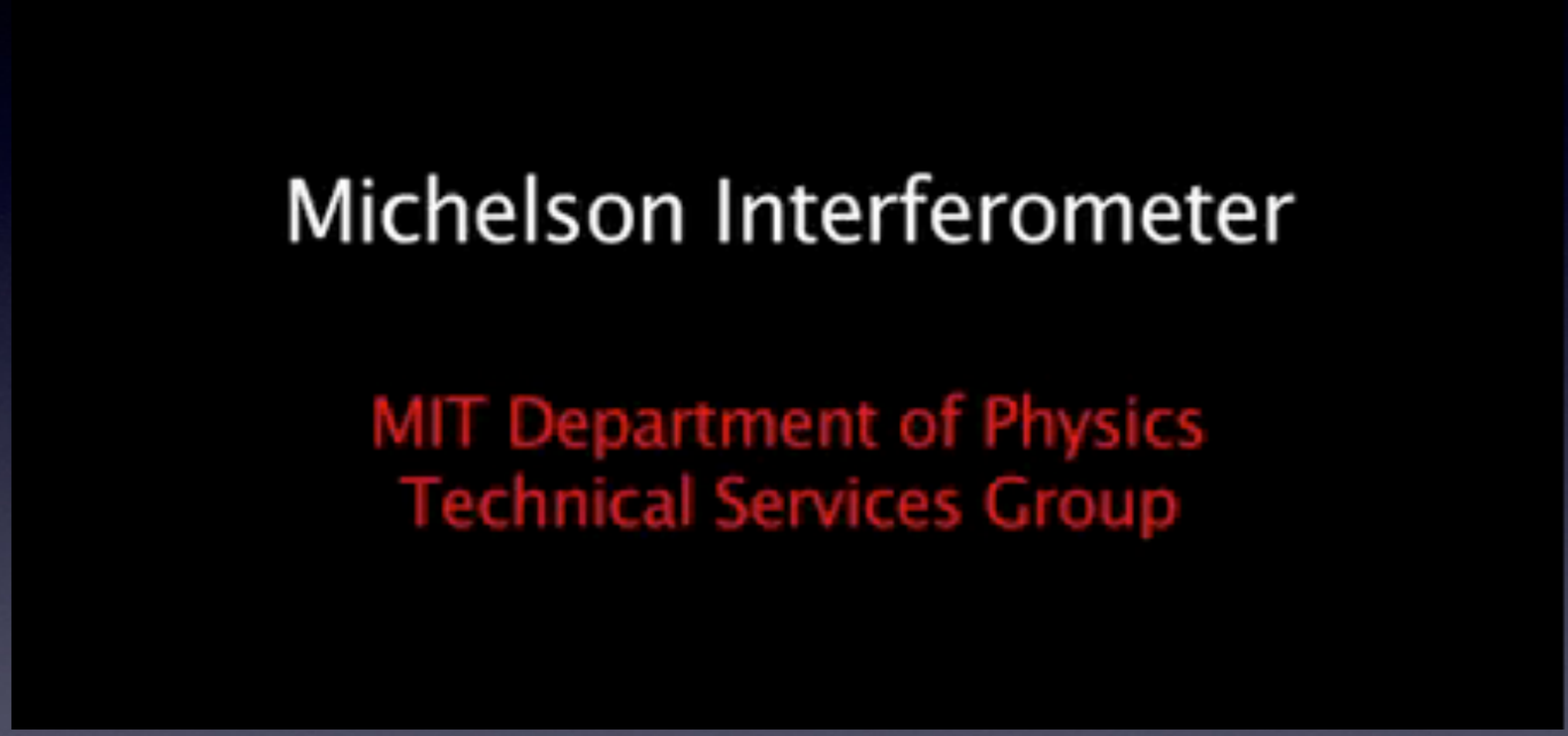
＊ノイズキャンセリング機能は、人が耳障りに感じやすい40～1,500Hzの音を低減させます。周囲からの騒音がまったく聞こえなくなるわけではありません





http://www.sony.jp/headphone/select/popup_noise_cancel.html

マイケルソン型干渉計のしくみ

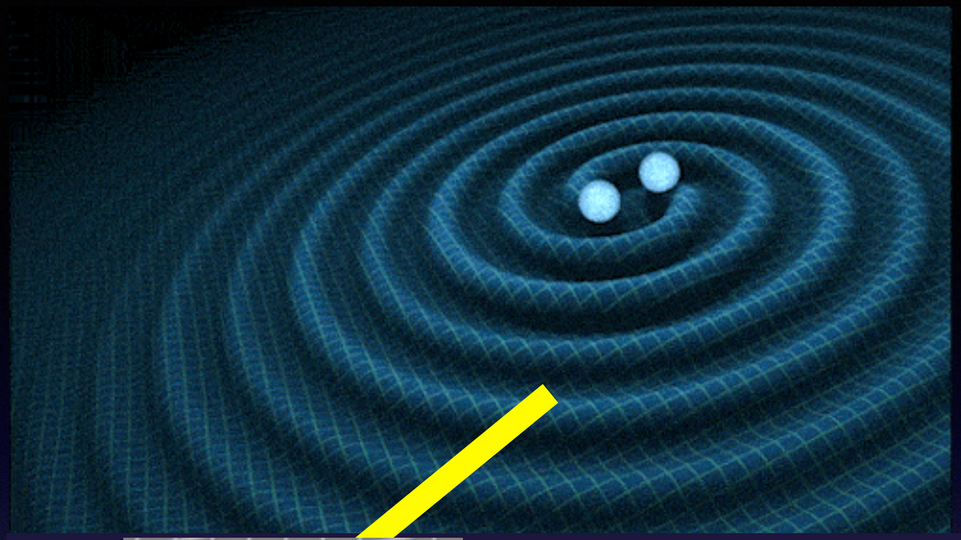


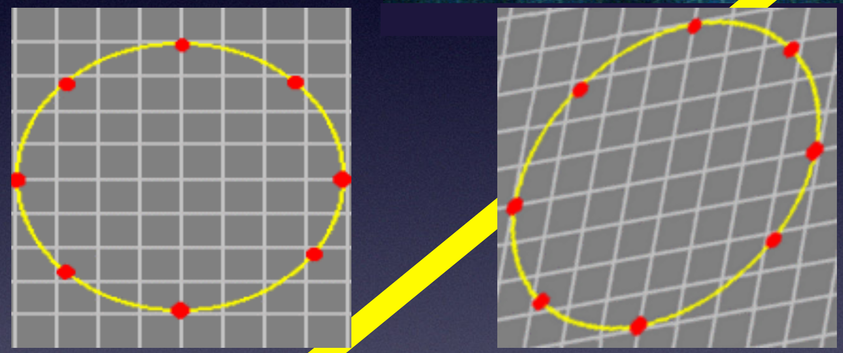
start on click, last half, 1'45"

http://techtv.mit.edu/videos/9823-michelson-interferometer

重力波の発生と伝播

連星ブラックホールや
連星中性子星





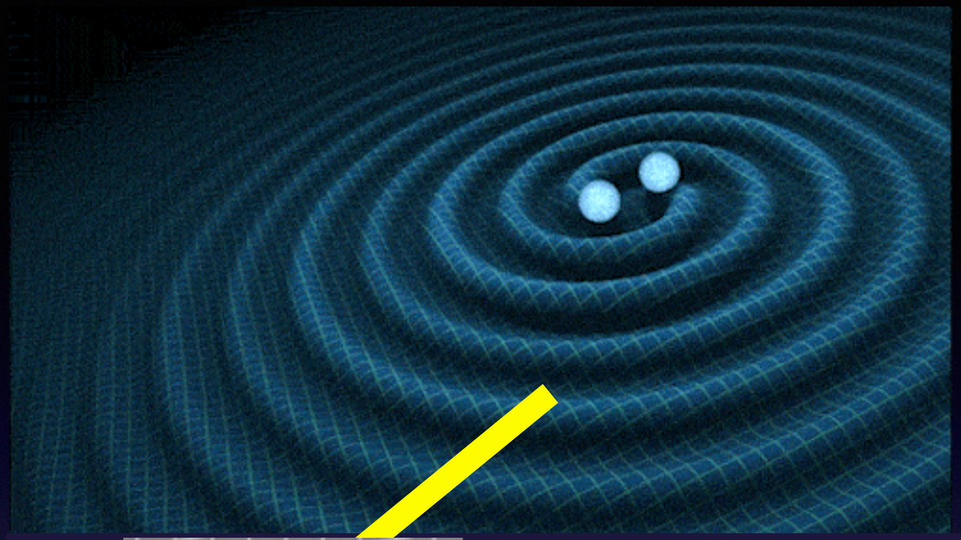


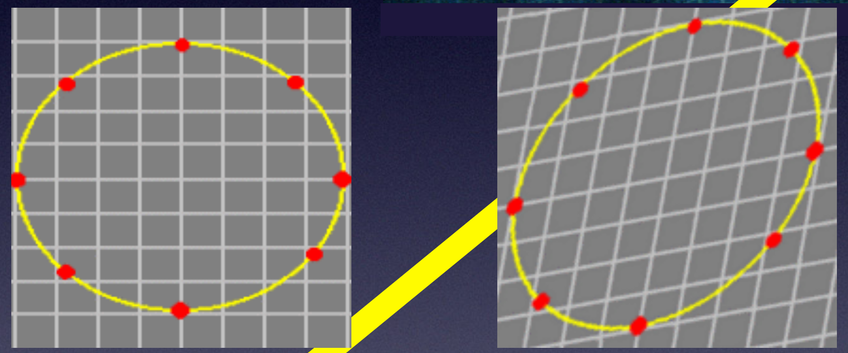
レーザー干渉計

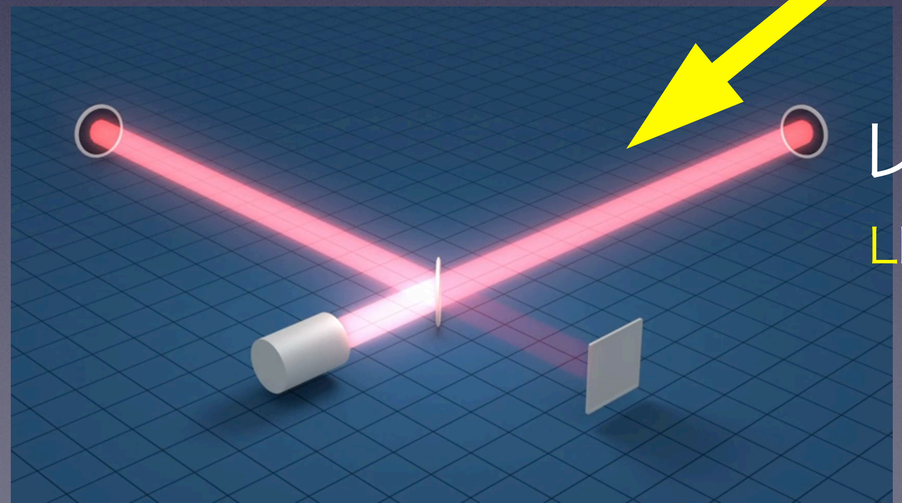
LIGO＝Laser Interferometer
Gravitational-Wave Observatory

重力波の発生と伝播

連星ブラックホールや
連星中性子星





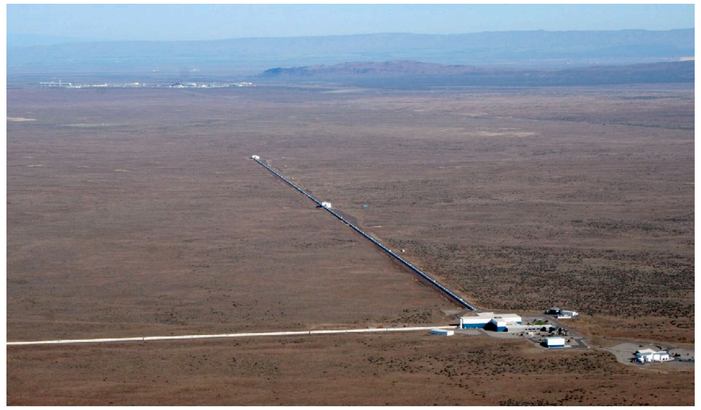


レーザー干渉計

LIGO＝Laser Interferometer
Gravitational-Wave Observatory

2023年5月から　日米欧で重力波共同観測中

アメリカ・LIGO

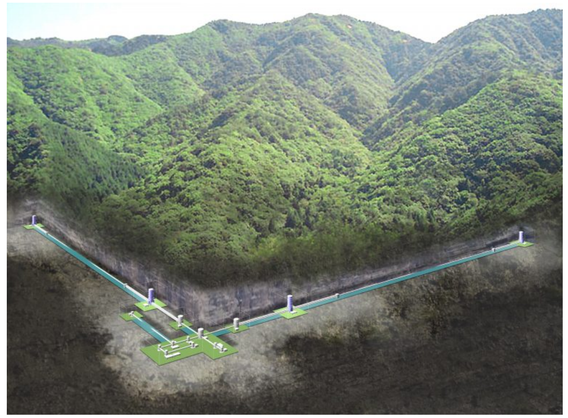


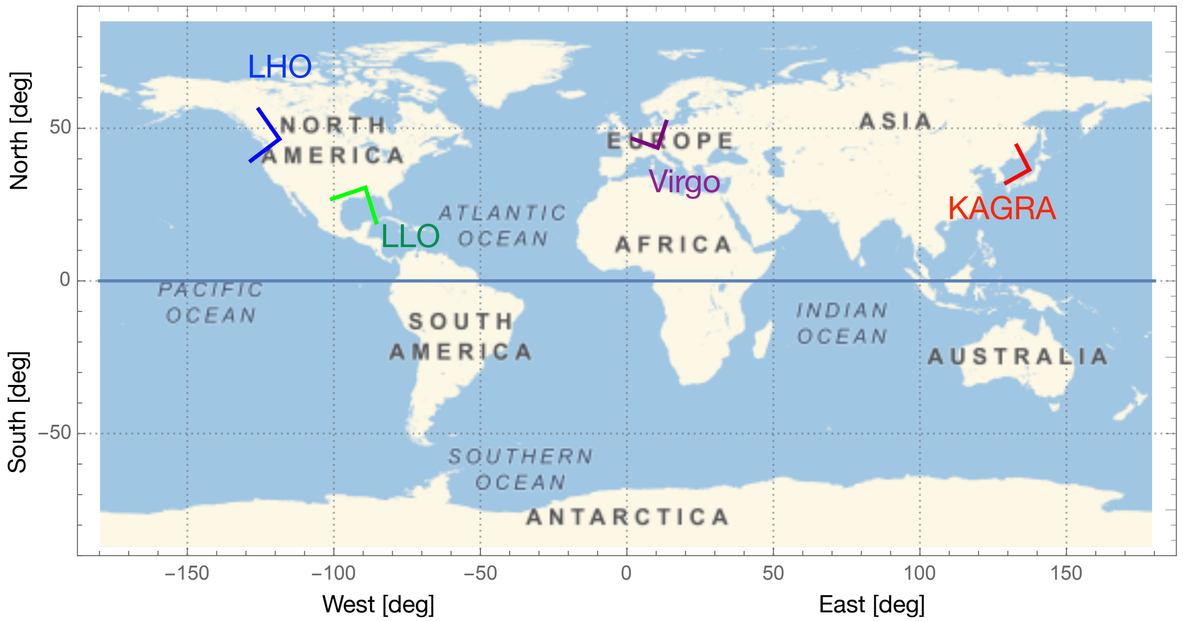


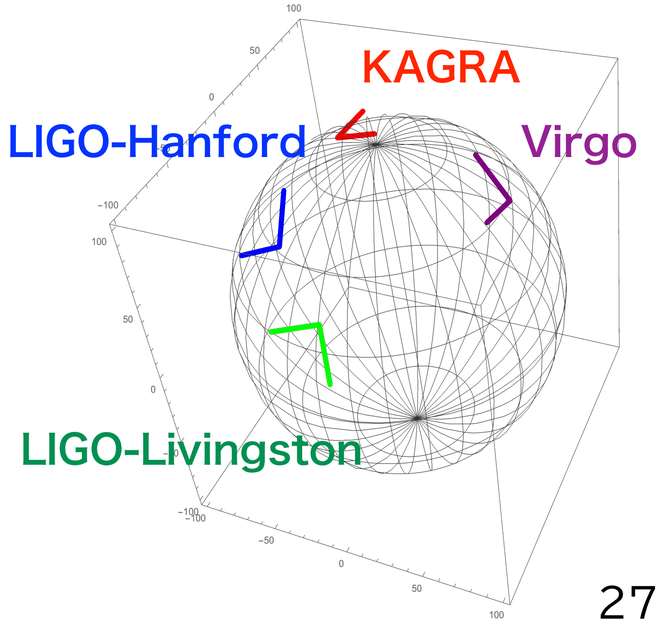
ヨーロッパ・VIRGO



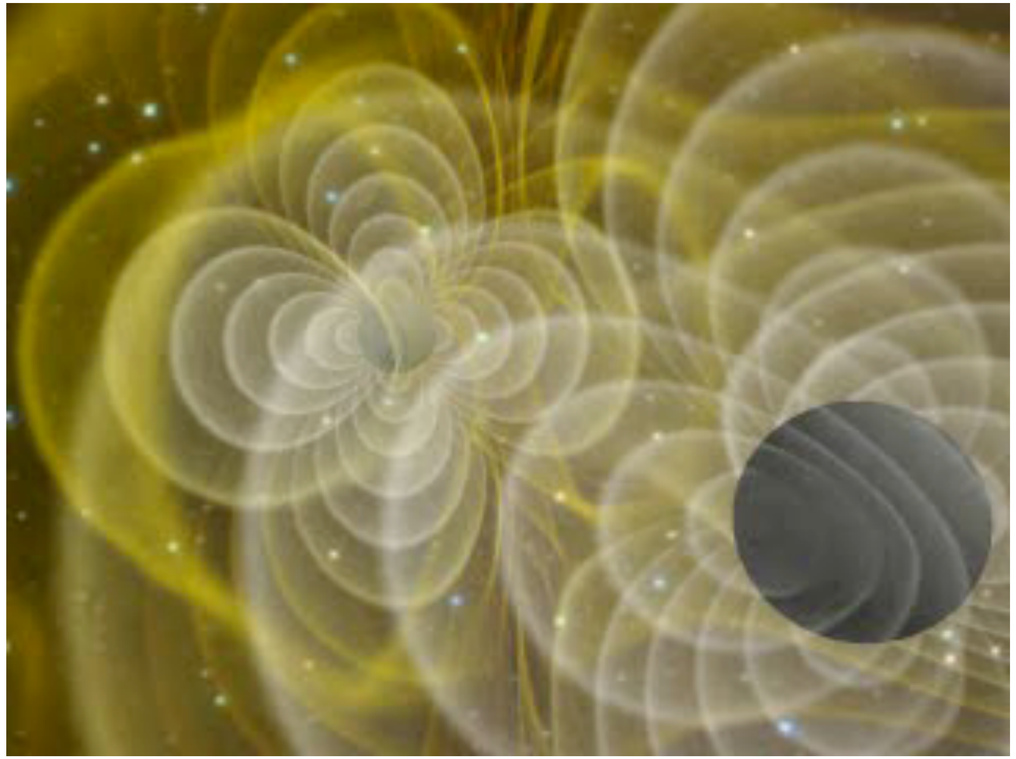
日本・KAGRA（岐阜・神岡）





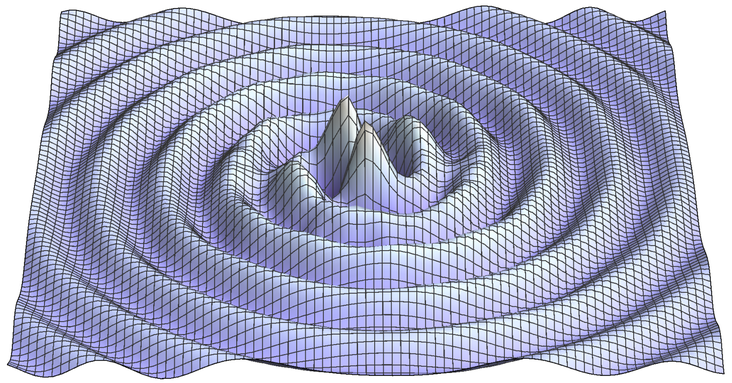


連星合体からの重力波の波形(理論予測)

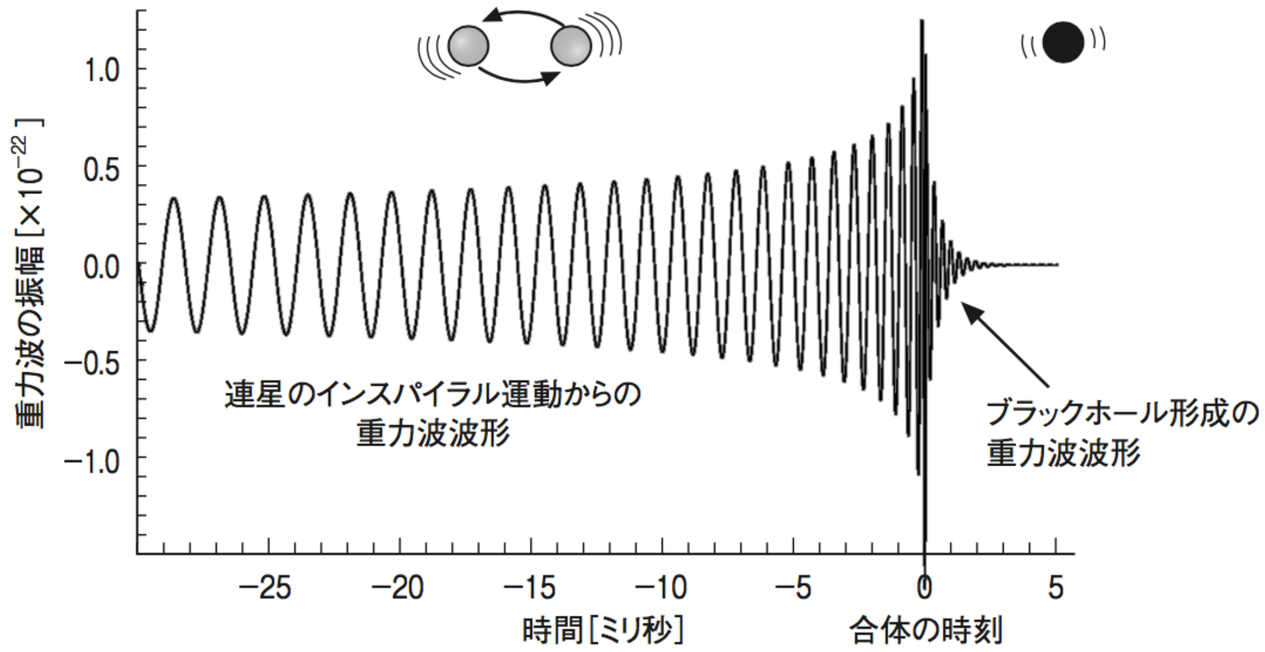


(NCSA-AEIグループ, 1998年)





Inspiral | Merger | Ringdown



KAGRA(かぐら:大型低温重力波望遠鏡)

Kamioka Gravitational wave detector, (Large-scale Cryogenic Gravitational wave Telescope)



望遠鏡の大きさ：基線長 3km

望遠鏡を神岡鉱山内に建設
地面振動が小さい岐阜県飛騨市にある神岡鉱山

鏡をマイナス250度（20K）まで冷却
熱雑音を小さくするため

鏡の材質としてサファイア
光学特性に優れ、低温に冷却すると熱伝導や機械的損失が少なくなる

http://gwcenter.icrr.u-tokyo.ac.jp/plan/history

KAGRA(かぐら:大型低温重力波望遠鏡)



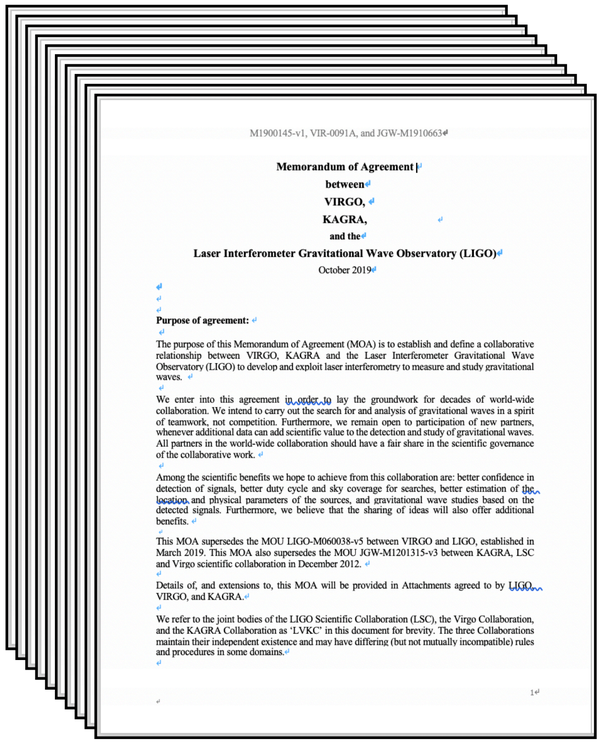








KAGRA(かぐら:大型低温重力波望遠鏡)



M1900145-v1, VIR-0091A, and JGW-M1910663

Memorandum of Agreement
between
VIRGO,
KAGRA,
and the
Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory (LIGO)
October 2019

Purpose of agreement:

The purpose of this Memorandum of Agreement (MOA) is to establish and define a collaborative relationship between VIRGO, KAGRA and the Laser Interferometer Gravitational Wave Observatory (LIGO) to develop and exploit laser interferometry to measure and study gravitational waves.

We enter into this agreement in order to lay the groundwork for decades of world-wide collaboration. We intend to carry out the search for and analysis of gravitational waves in a spirit of teamwork, not competition. Furthermore, we remain open to participation of new partners, whenever additional data can add scientific value to the detection and study of gravitational waves. All partners in the world-wide collaboration should have a fair share in the scientific governance of the collaborative work.

Among the scientific benefits we hope to achieve from this collaboration are: better confidence in detection of signals, better duty cycle and sky coverage for searches, better estimation of the location and physical parameters of the sources, and gravitational wave studies based on the detected signals. Furthermore, we believe that the sharing of ideas will also offer additional benefits.

This MOA supersedes the MOU LIGO-M060038-v5 between VIRGO and LIGO, established in March 2019. This MOA also supersedes the MOU JGW-M1201315-v3 between KAGRA, LSC and Virgo scientific collaboration in December 2012.

Details of, and extensions to, this MOA will be provided in Attachments agreed to by LIGO, VIRGO, and KAGRA.

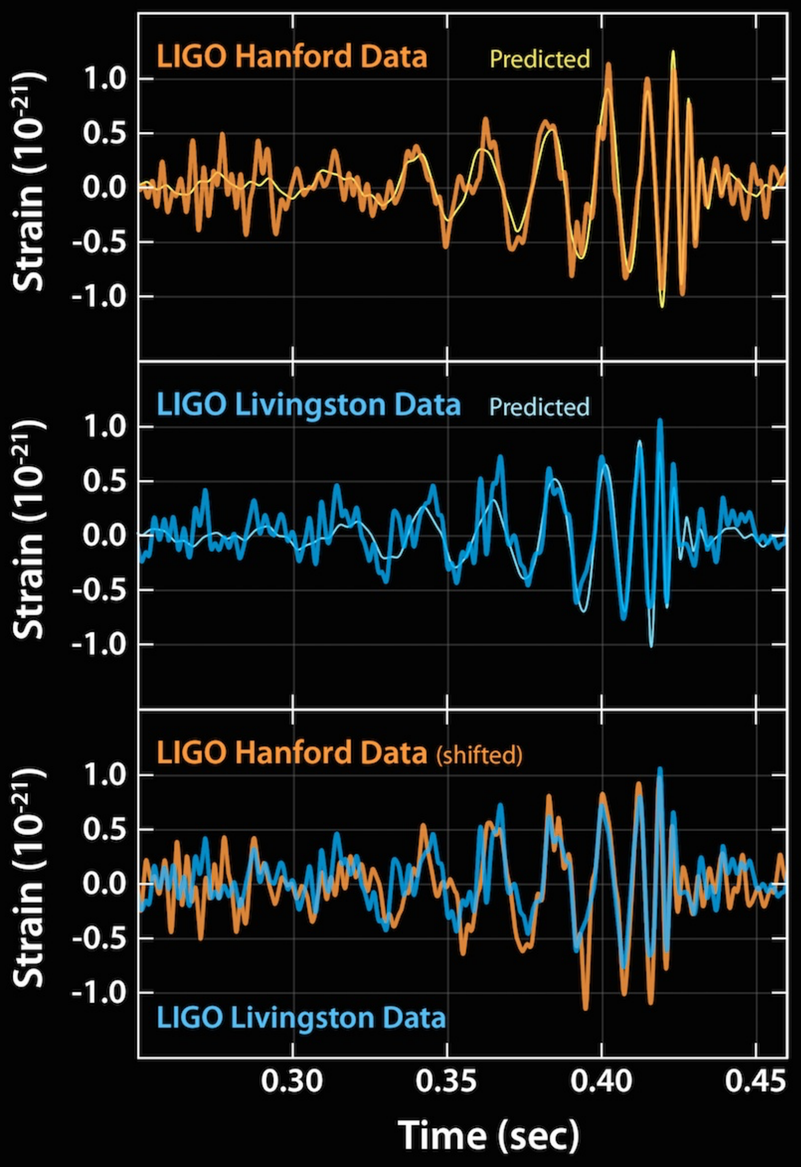
We refer to the joint bodies of the LIGO Scientific Collaboration (LSC), the Virgo Collaboration, and the KAGRA Collaboration as 'LVKC' in this document for brevity. The three Collaborations maintain their independent existence and may have differing (but not mutually incompatible) rules and procedures in some domains.

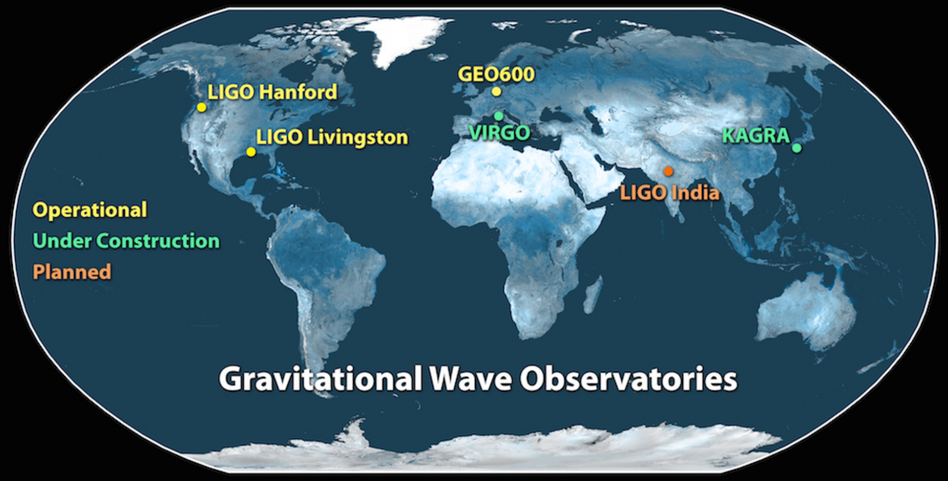
1



2019年10月，アメリカ・ヨーロッパとの研究協定に調印

2015年9月14日





太陽の36倍と29倍のブラックホールが合体して,
太陽の62倍のブラックホールになった.

3倍の質量が消失

$$E = mc^2$$

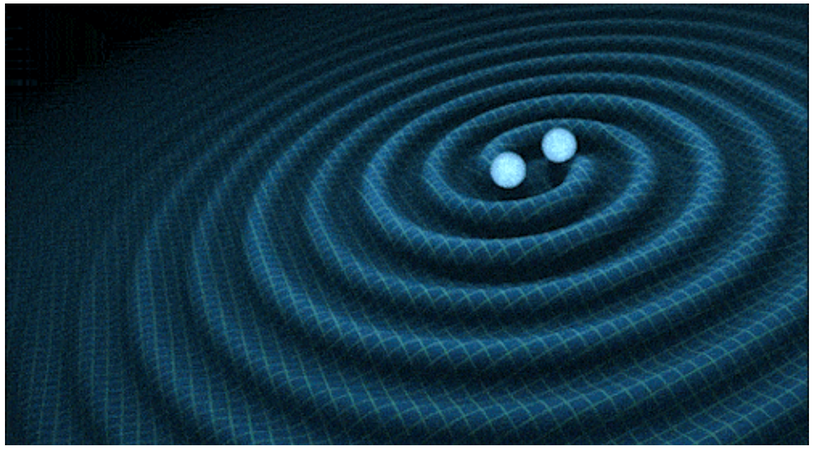
13億光年先

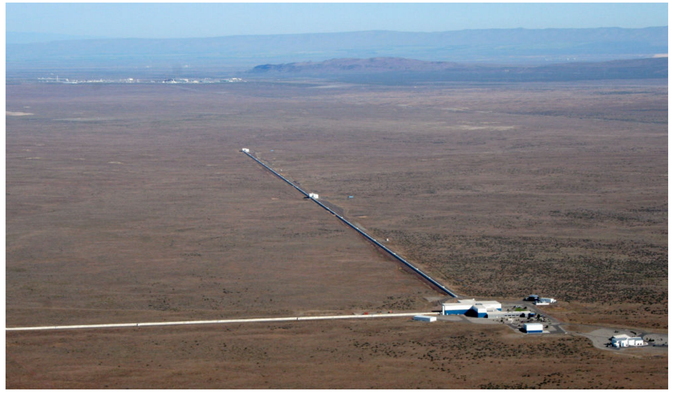
ノーベル物理学賞受賞者 2017年

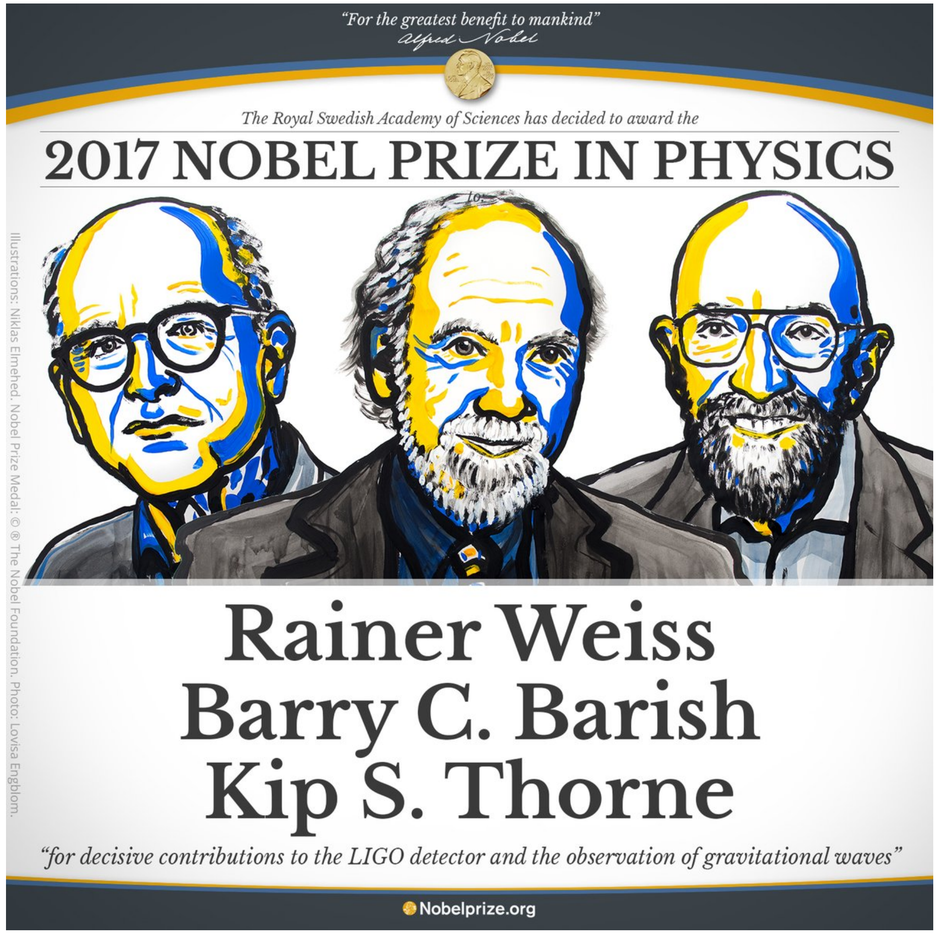
Nobel Laureates in Physics 2017

重力波の初観測に成功したアメリカの重力波検出グループLIGO（ライゴ, Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory)の３名へ.

贈賞理由は, "for decisive contributions to the LIGO detector and the observation of gravitational waves"（LIGO検出器開発への貢献と重力波の観測）.







マイケルソン・モーリーの実験

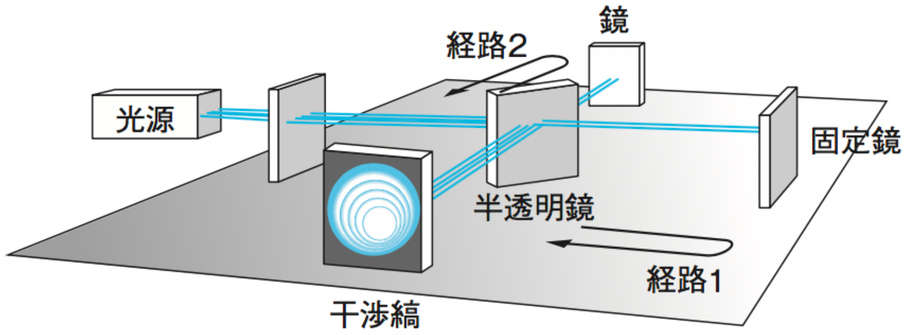
Michelson-Morley experiment　1887

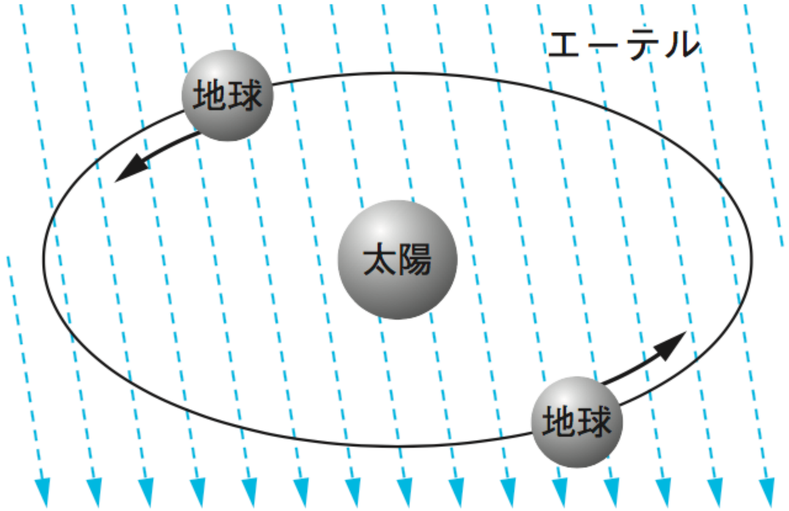




→エーテルの検出に「失敗」

微小距離を測定する干渉計



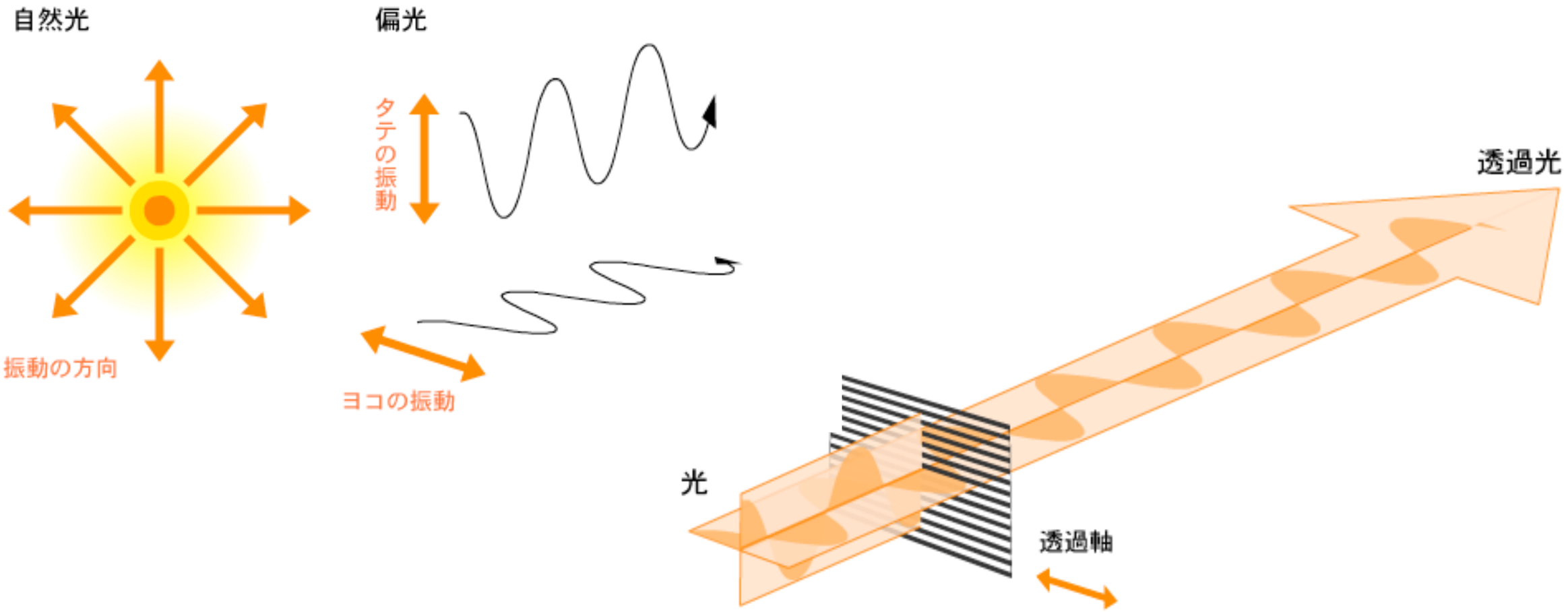


エーテルがあれば，季節で距離が変わるはず．

微妙な差でも，干渉計なら測れるはず．

【実験ですよ】

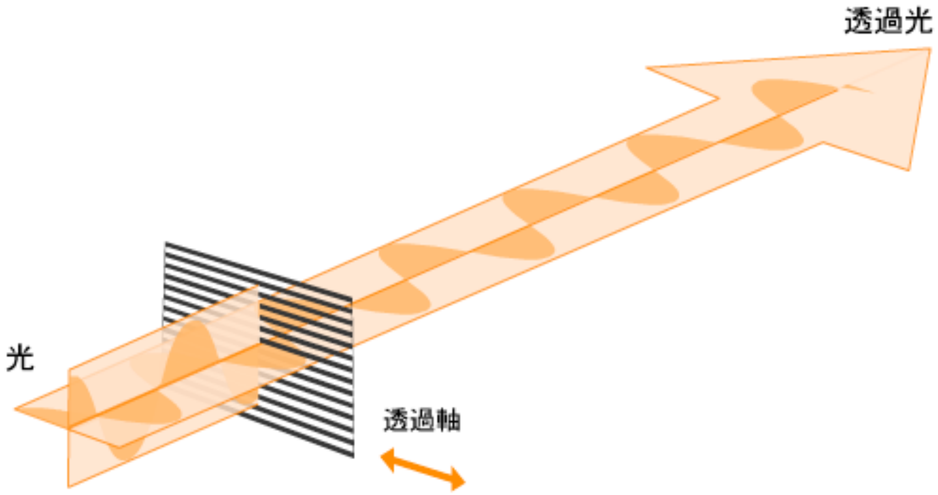
光は横波である

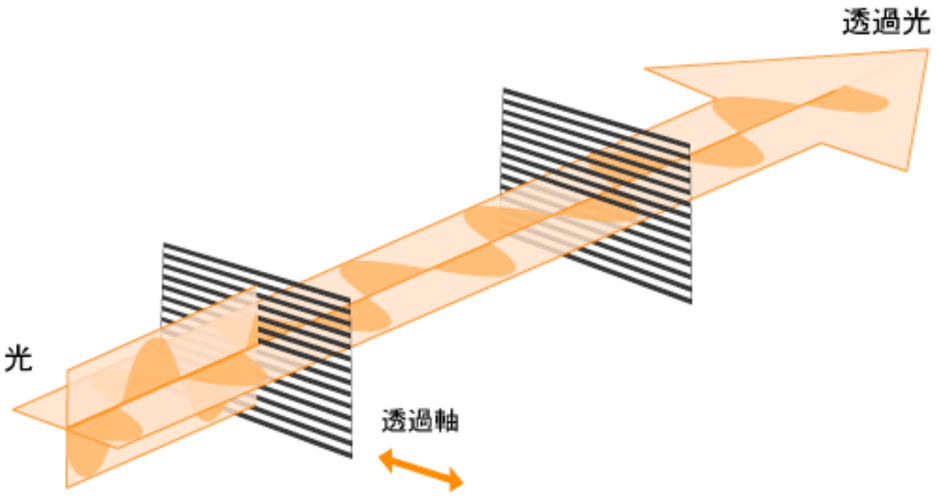


http://www.sanritz-corp.co.jp/henkoban.html

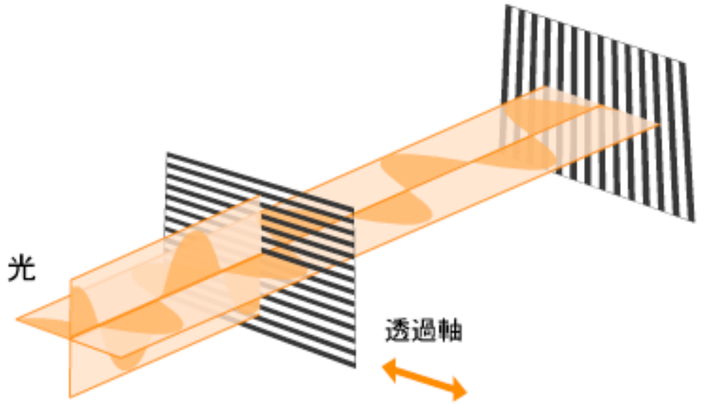
【実験ですよ】

光は横波である









http://www.sanritz-corp.co.jp/henkoban.html

（特殊）相対性理論(1905年)

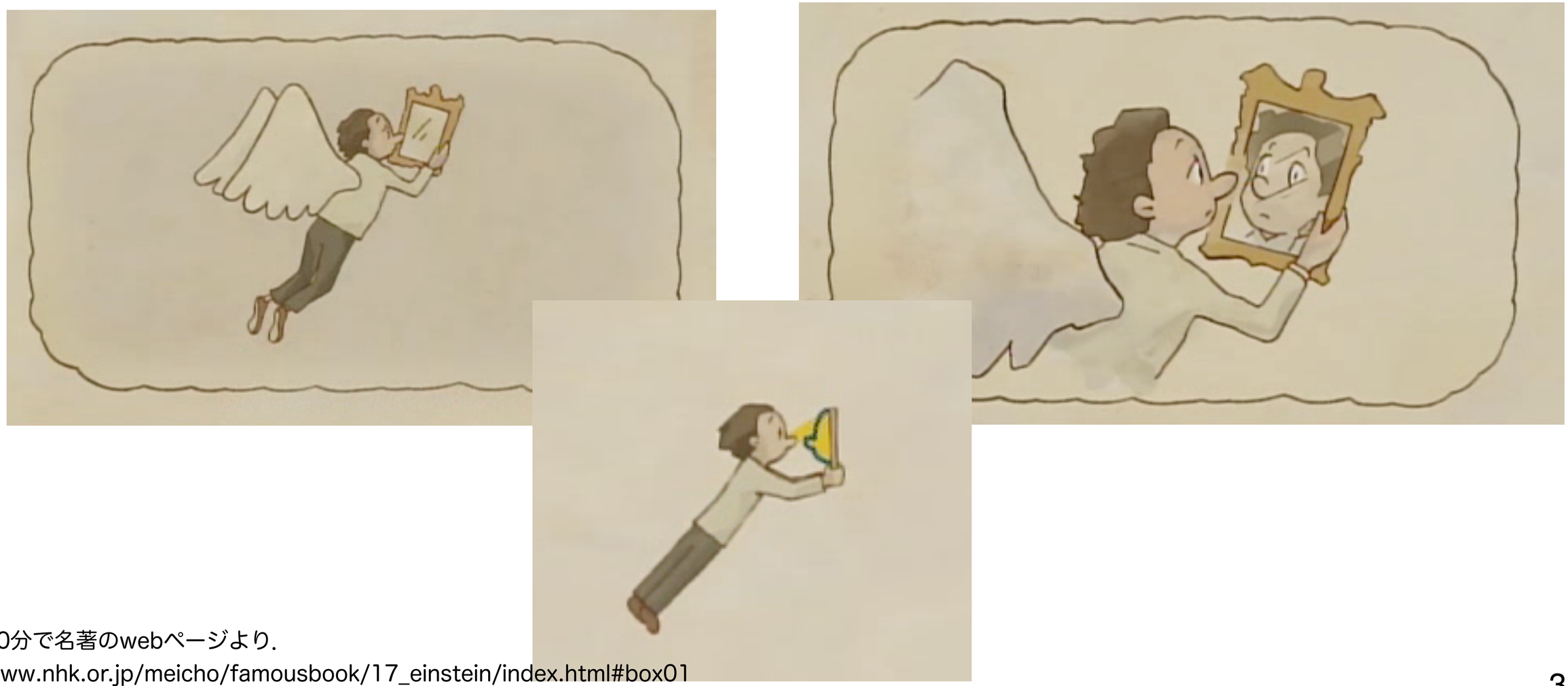
- **発端：**
  電磁気学の式に出てくる「光速c」は誰から測った速さなのか．光は真空でも伝わるのか．

- **当時の考え：**
  光はエーテル中を伝わる．「光速c」は座標系によって変化するはずだ．ただし，エーテルは未発見．．．．

- **アインシュタインの考え：**
  光速度は誰から見ても一定，光は真空でも伝わり，物理法則は座標系によらず不変のものでなければならない．

アインシュタイン，14歳の時の疑問

光の速さで動く人が鏡をみると
自分の顔が映るのを見るのだろうか？

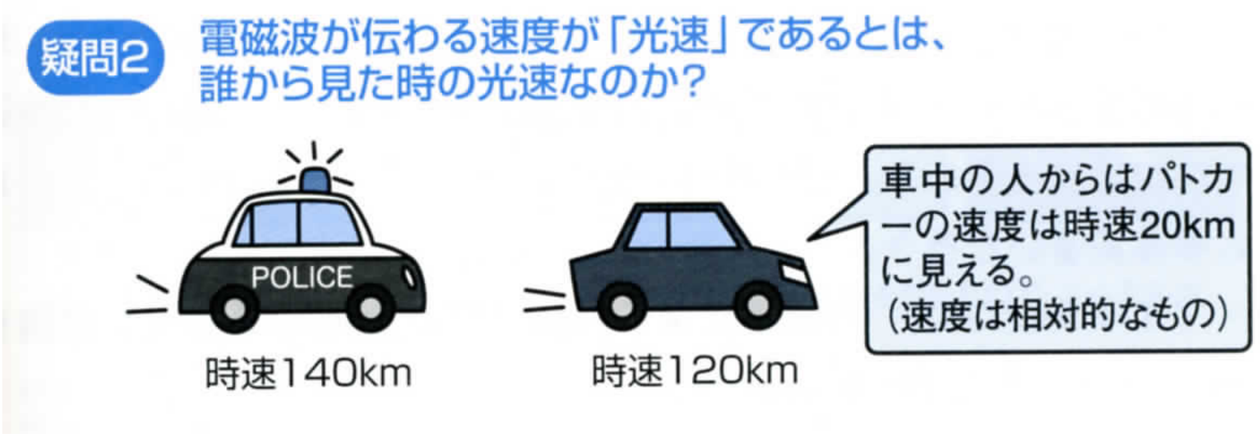


NHK 100分で名著のwebページより.
http://www.nhk.or.jp/meicho/famousbook/17_einstein/index.html#box01

3.2.2 アインシュタイン 大胆な原理の導入

★**相対性原理**：物理法則は，どのように運動をする人からみても（どのような座標系から見ても）同じ形にならなくてはいけない.

★**光速度一定の原理**：真空中の光の速度は，どのような座標系から見ても同じである.



✖特別な座標系の存在？

不要である

光速度一定を原理とすると, 時間座標も伸縮する

Advanced ローレンツ変換

ローレンツは，次のような座標変換をしてもマクスウェル方程式は不変であることを示した (1904 年)．すなわち，ある慣性系 (t, x, y, z) から $+x$ 方向に速度 v で運動する慣性系 (t', x', y', z') への座標変換として

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

$$x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1-(v/c)^2}}, \quad y' = y, \quad z' = z. \tag{3.7}$$

この式は，行列とベクトルの積として，次のようにも書ける．

$$\begin{pmatrix} t' \\ x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} & \frac{-v/c^2}{\sqrt{1-(v/c)^2}} & 0 & 0 \\ \frac{-v}{\sqrt{1-(v/c)^2}} & \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} t \\ x \\ y \\ z \end{pmatrix} \tag{3.8}$$

ローレンツ変換 (Lorentz transformation)

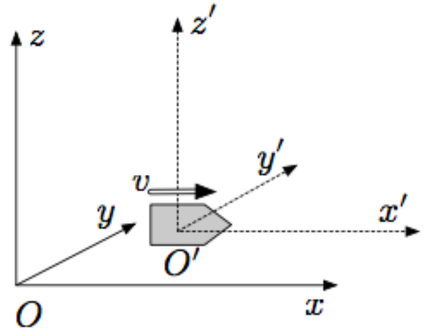


図 3.6: 静止している xyz 座標系と，速度 v で x 方向に動いている $x'y'z'$ 座標系.

【話題】 NHK 朝までラーニング　2023年8月26日放送　2025年7月18日再放送



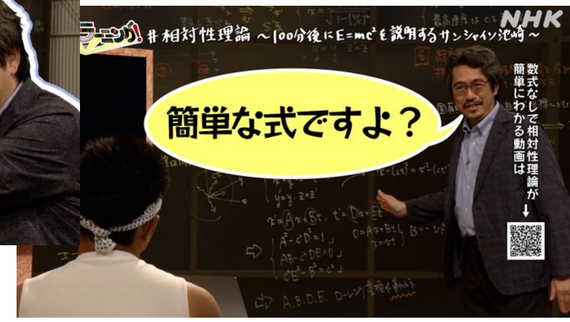


#相対性理論 サンシャイン池崎がひたすら学ぶ謎の深夜番組

初回放送日: 2023年8月27日

「相対性理論をサラッと説明できたらカッコいい！」芸人・サンシャイン池崎さんが100分の大学教授の講義に本気で挑む！難解な数式も登場！「一からちゃんと理解したい」そんな大人の知的欲求に応えます。「数式はムリ」という方にはウエブサイト・NHKラーニングのショート動画でわかりやすく解説！池崎さんの本気の推し、櫻坂46・小池美波さんが内緒で登場！なななな～なななな～ナレーションはジョイマン高木さん。





先生、テレビ出演されてたんですね!! びっくりしました。
また本編見てみます。

出演された番組 おもしろそうだったので帰ったら見ます！

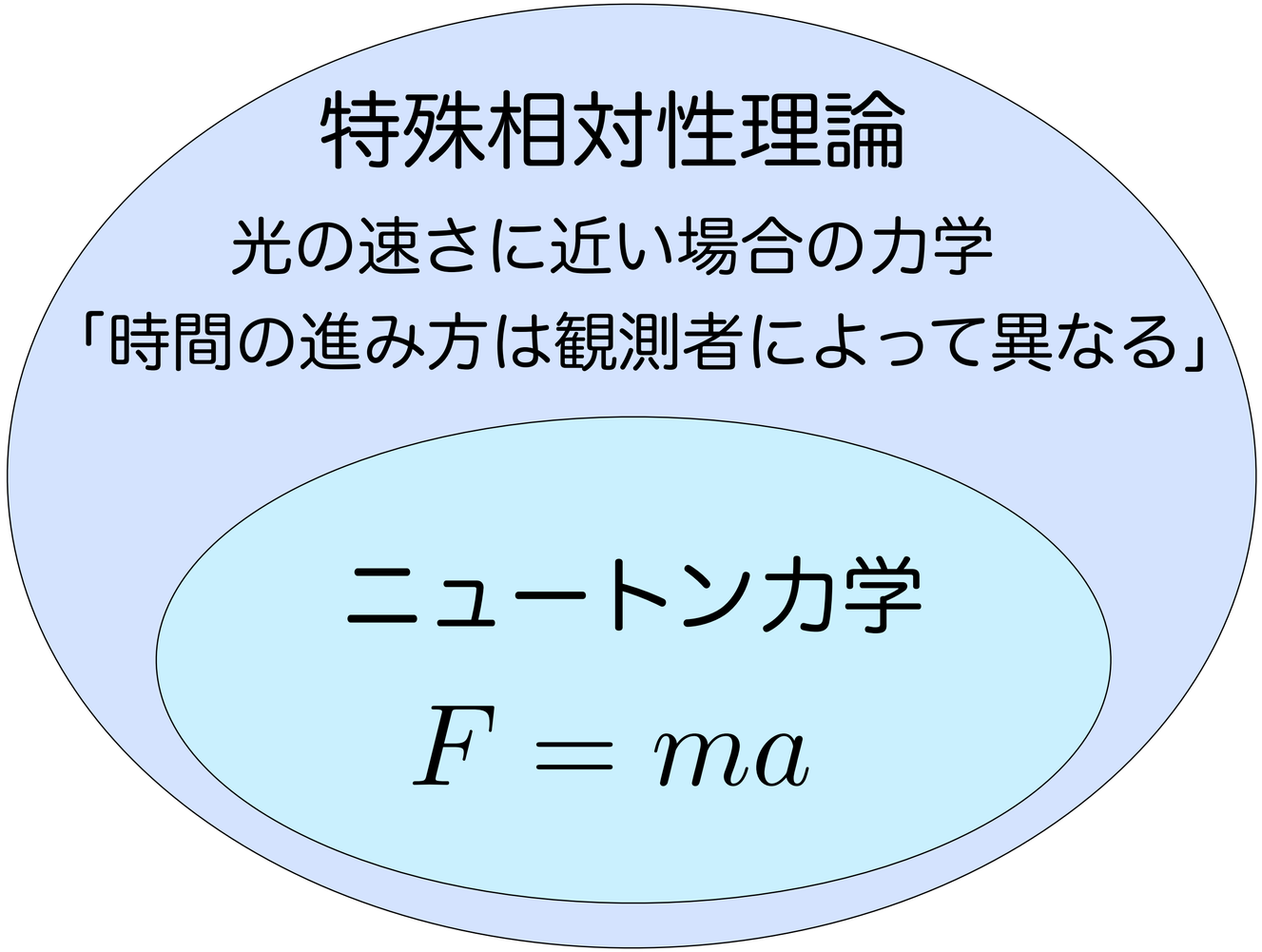
光速　＋　光速　＝　光速

ローレンツ変換では，速度の足し算は $v_1 + v_2$ ではなく，

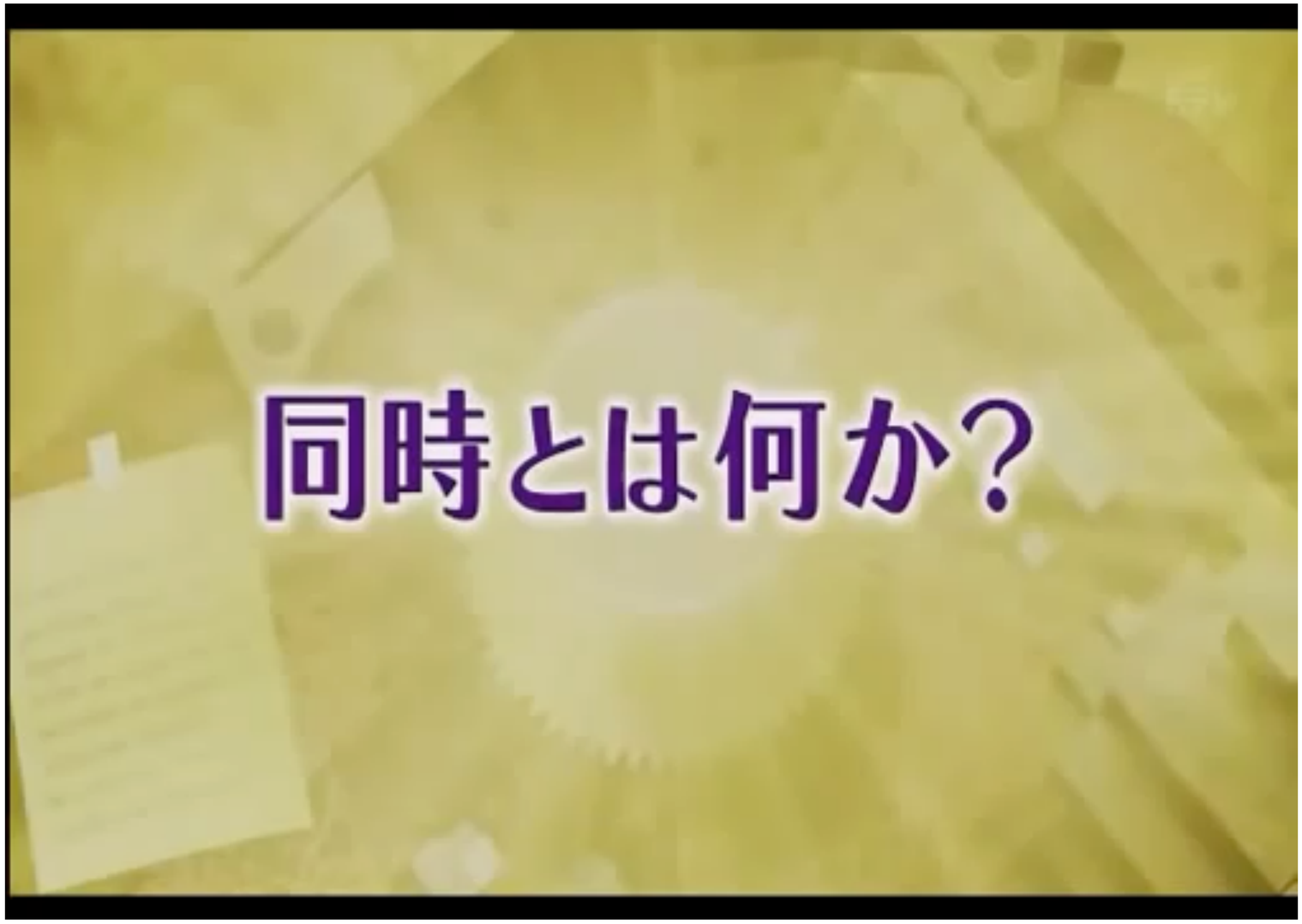
$$v_1 + v_2 \implies \frac{v_1 + v_2}{1 + (v_1 v_2 / c^2)}$$

v_1	v_2	$v_1 + v_2$
光速の 0.1%	光速の 0.1%	光速の 0.1999998%
光速の 10%	光速の 10%	光速の 19.802%
光速の 90%	光速の 90%	光速の 99.448%
光速	光速	光速

これまでの物理学を否定せず，拡張した理論！



相対性理論では,「同時」という言葉は意味を持たない

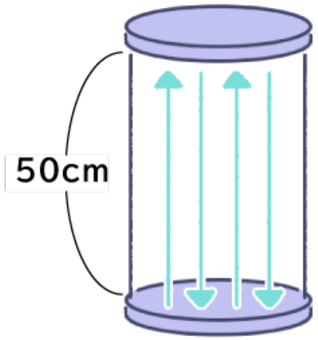


4:00

NHK 100分de名著「相対性理論」第2回（2012年）
佐藤勝彦『光速を不変とすると，時間は不変ではない』

時間の進み方は観測者によって異なる

光時計の思考実験



光時計

光が２億9979万2458回往復すると「1 秒」を刻む時計

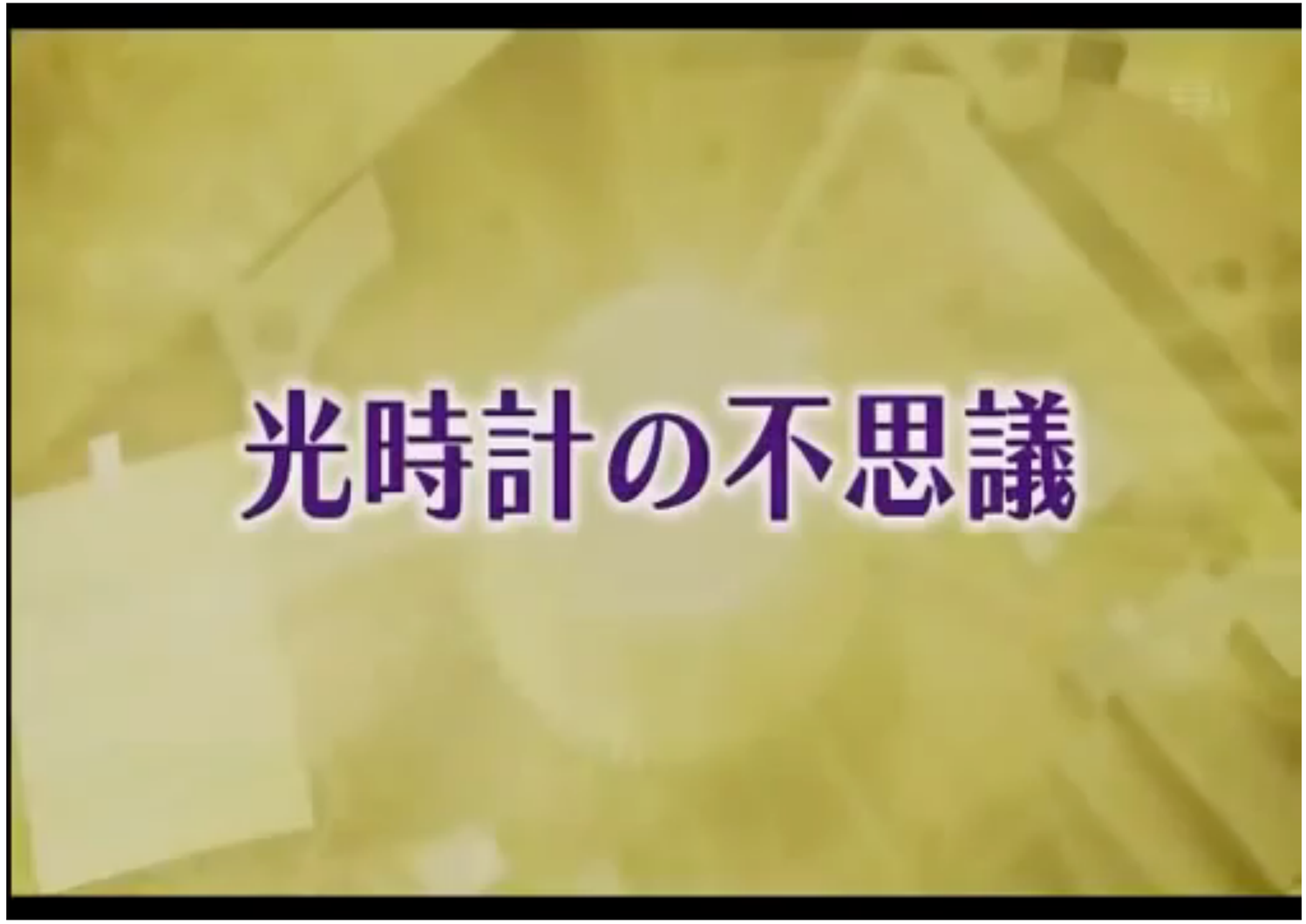


地球の人がロケット内の光時計を見ると ロケットが移動するので光は斜めの経路を進み その分長い距離を進まなければならない 光の速度は誰から見ても一定なので ロケット内の光時計は２億9979万2458回往復するのに地球の１秒より長い時間がかかる つまりロケット内の光時計はゆっくりと時を刻んでいる

動いている人の時間の進み方は 静止している人よりも遅い

時間の進み方は相対的になる

時間の進み方は観測者によって異なる



2:30'

NHK 100分de名著「相対性理論」第2回　(2012年)

未来へのタイムトラベルは可能!!

コラム 16　浦島効果：未来へ行くタイムトラベルは可能！

特殊相対性理論によれば，高速で動いている人ほど 1 秒の間隔は開いてくる．計算式で表すと，速度 v で移動している人の時間 $\Delta T'$ は，静止している人の時間 ΔT と同じではなく，次式になる．

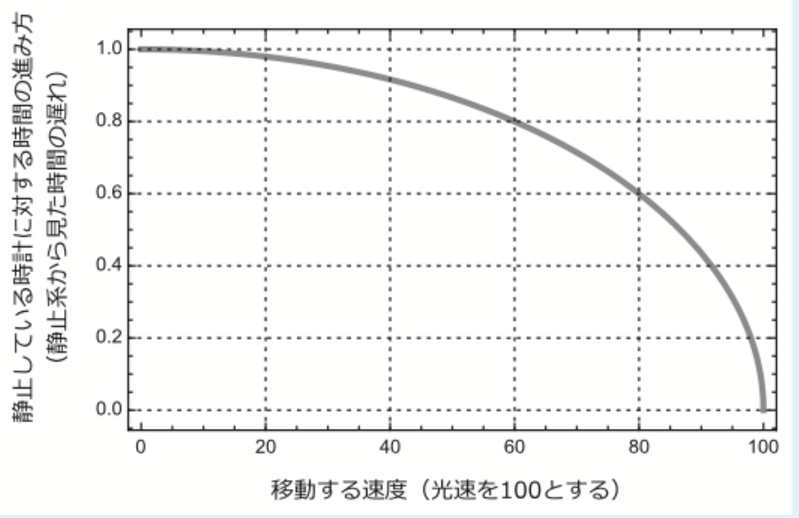
$$\Delta T' = \sqrt{1-(v/c)^2}\,\Delta T \qquad (3.4)$$

速度vで移動している人の1秒

静止している人の1秒

表 3.2

v	$\sqrt{1-(v/c)^2}$
0.1 c	0.99499
0.5 c	0.86603
0.9 c	0.43589
0.99c	0.14107



動いている人の時間の進み方は，静止している人よりも遅い

浦島太郎

コラム 16　浦島効果：未来へ行くタイムトラベルは可能！

特殊相対性理論によれば，高速で動いている人ほど 1 秒の間隔は開いてくる．計算式で表すと，速度 v で移動している人の時間 $\Delta T'$ は，静止している人の時間 ΔT と同じではなく，次式になる．

$$\Delta T' = \sqrt{1-(v/c)^2}\,\Delta T \qquad (3.4)$$

速度vで移動している人の1秒　　静止している人の1秒

$$300\ \text{year} = \int_0^{3\ \text{year}} \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} dt \qquad \Longrightarrow v = 0.9999499c$$

竜宮城は，光速の99.995%の速さで動いていた！

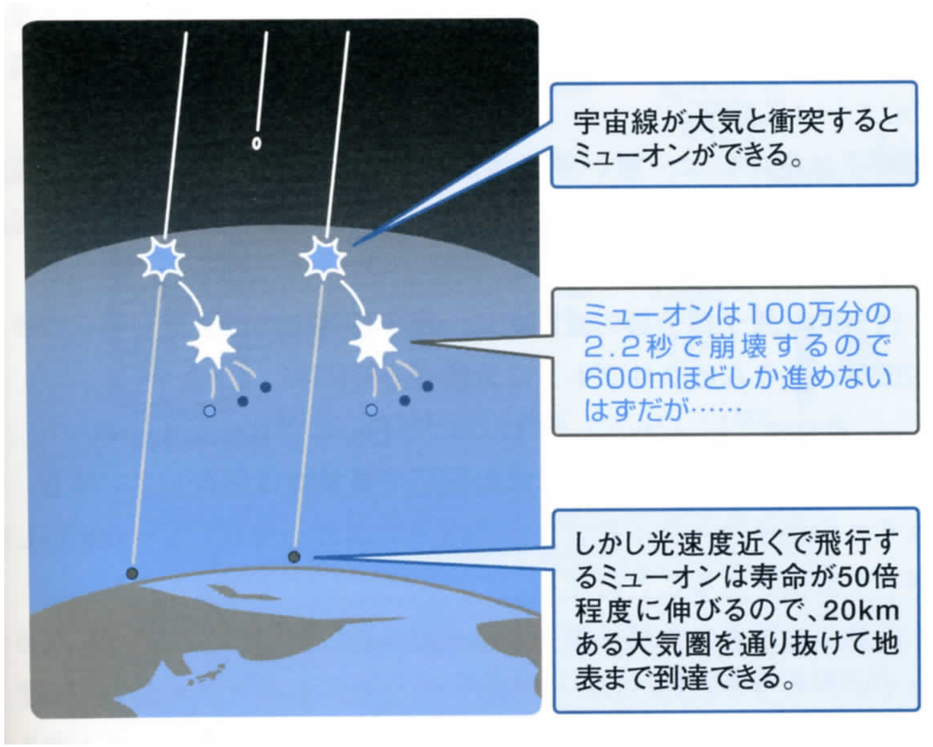
未来へ行くタイムマシンは可能

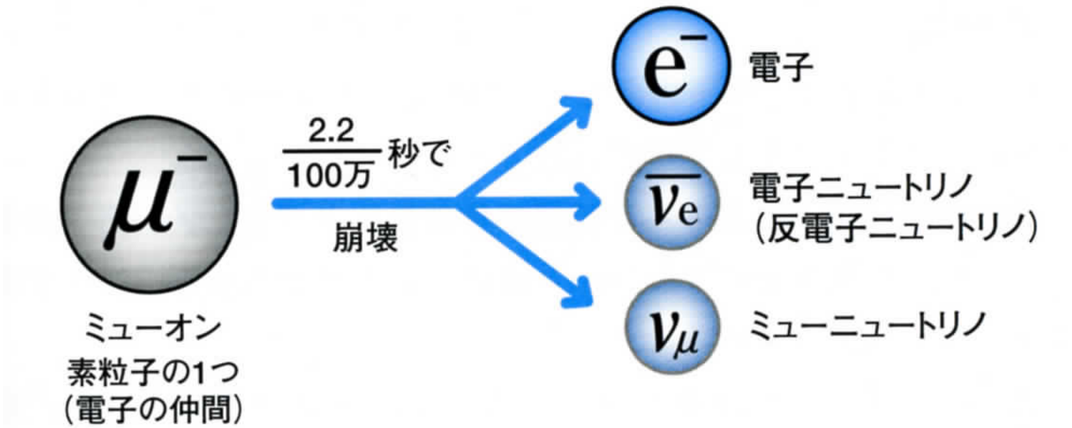
万葉集　巻九　水江の浦の島子を詠みし一首短歌を幷（あは）せたり

春の日の霞める時に　墨吉の岸に出で居て　釣船のとをらふ見れば　古のことそ思ほゆる　水江の浦の島子が　堅魚釣り鯛釣り誇り　七日まで家にも来ずて　海坂を過ぎて漕ぎ行くに　わたつみの神の娘女に　たまさかにい漕ぎ向かひ　相あとらひ言成りしかば　かき結び常世に至り　わたつみの神の宮の　内の重の妙なる殿に　携はり二人入り居て　老いもせず死にもせずして　永き世にありけるものを　世の中の愚か人の　我妹子に告りて語らく　しましくは家に帰りて　父母に事も語らひ　明日のごと我は来なむと言ひければ　妹が言へらく　常世辺にまた帰り来て　今のごと逢はむとならば　このくしげ開くなゆめと　そこらくに堅めしことを　墨吉に帰り来たりて　家見れど家も見かねて　里見れど里も見かねて　怪しみとそこに思はく　家ゆ出でて三歳の間に　垣もなく家失せめやと　この箱を開きて見てば　もとのごと家はあらむと　玉くしげ少し開くに　白雲の箱より出でて　常世辺にたなびきぬれば…

https://www.kyoto-np.co.jp/articles/-/32438

素粒子の寿命は確かに延びている！





前回のミニッツペーパーから

行けるとしたら何年後の未来へ行ってみたいですか？

1年後

5年後

8年後、30歳の自分が何をしているか気になります。

10年後の未来
自分が結婚できているのか、どんな仕事に就いたかしりたいから。

6年後

9年後　30歳になっている自分を見てみたい

10年後に行ってみたい。今も友達との親交はあるのか、仕事は順調かなりたいから。

10年後

2040年に行きたい。なので14年後
AIによって人類が滅ぼされるのが2040年説がでており、怖い反面、どうなっていくものか気になってしまっているのも事実だから。

20年後！　40さい！　台になる！

40年後。
自分のかんれきの姿をみたいから

20年後の未来へ行ってみたい。
40歳になっている自分を想像できないから

15年後

300～500年後くらいに行って、現代の歴史がどう伝わっているか知りたいです。

20年後
元気に生活しているか知りたい

20年後

40年後、100歳になる年だから、科学技術の進歩がきになる。

30年後

30年後　人生の折返し地点で何をしているか気になるから。

40年後

50年後に行ってみたい。

40年後　どんなことをしてはたらいているのかが一番分かる時期だから。

前回のミニッツペーパーから

行けるとしたら何年後の未来へ行ってみたいですか？

100年後

100年後。未来の世界の様子を知りたい。生活がどのように変わっているのか見てみたい。

100年後に行ってみたいです。
科学技術がどれくらい発展しているのか、人々がどのような生活をしているのか気になるからです。

100年後

100年後、全くどうなるかも想像できないから。逆に今から100年前はスマホもテレビもなかったから。

100年後

タイムマシンがあるのであれば、100年後の未来に行ってみたいです。今から100年前は今と大きく生活が異なっているので、これから100年後も大きく変化しているのか気になったからです。

100年後に行って、ドラえもんの道具が何個実現しているのか知りたいです。

100年後の世界に行ってみたい
ドラえもんがいる時代だから、どれだけその時代に近づいているのか知りたいから。

100年後!! 知り合いが教科書にのっていたりするかもしれないから

100年後。21世紀の世界にドラエもんがいるか気になるから。

世紀

100年後。ドラえもんの世界と未来の科学がどれだけ近づいているのか興味があるから。

100年後（科学が進歩してる年代）

100年後の未来。科学技術がどれくらい発展しているのか気になります

100年後、自分の死んだ後の世界が見てみたいから。

100年後　宇宙旅行とかが一般的になってそうだから

100年後以降
すがた今の私（20歳）が生きていないだろうから。
見られないものを見たい

100年後..!!
科学技術がどこまで進歩しているのか気になる。

100年後に行ってみたいです。
どれだけ技術が進化しているのかこの目で確認してみたいです。

100年後、大体の人の寿命分の年数でどれくらい変わっているかが知りたいから。

100年後　人々の生活の変化が知りたい

100年後くらい
ドラえもんの21世紀とどのくらい違いがあるか確かめたい

前回のミニッツペーパーから

行けるとしたら何年後の未来へ行ってみたいですか？

150年後

150年後
今生きている人は全員死んでいるから．どんな様になっているか見てみたい。

22世紀

22世紀に行きたい
ドラえもんがやってきた世界がどんなものなのか気になる。

22世紀に行ってみたいです。ドラえもんが生まれた未来がどんなのか見てみたい。

300年後

300年後

500年後

500年後　（初め100年！と思ったけど、あまり変ってない気がして…）

1000年後

思いきって千年ターとかに行ってみたい。
文明は発達しているのか．人間も進化しているのか気になるから．

1000年後　もともと地球があるのか知りたいから。あったとしたらどんな姿なのか気になるから。

1000年後

3700年後

3700年後：好きな作品が3700年後の世界が舞台だから。

8000年後

8000年後。まだ地球に人が住んでいるのか知りたい。

1億年後

1億年後
想像できない未来だから

100億年後

100億年後　世界が終わる瞬間と、すべてが終わった後の世界を見てみたい

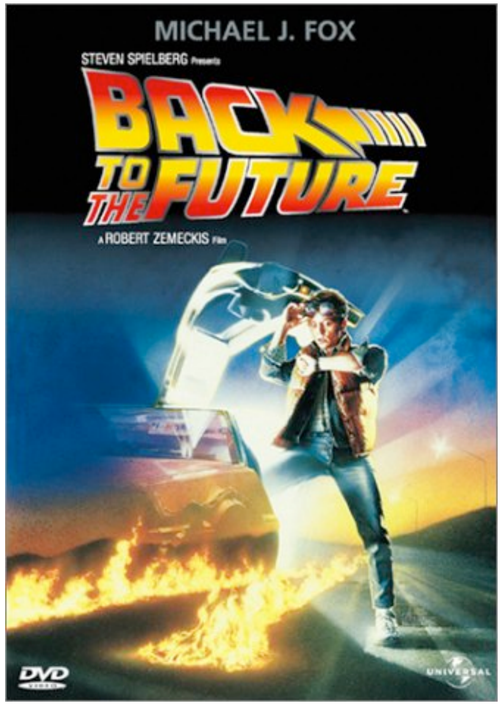
先生はいつの未来に行きたいですか？

皆既日食見たい．2035年
ハレー彗星見たい．2061年

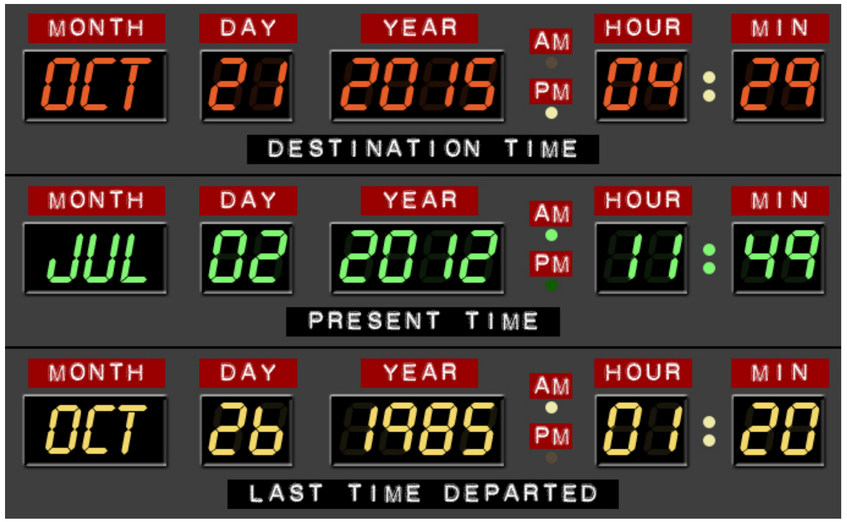
映画『Back to the Future』(1985年)で描かれた未来は2015年

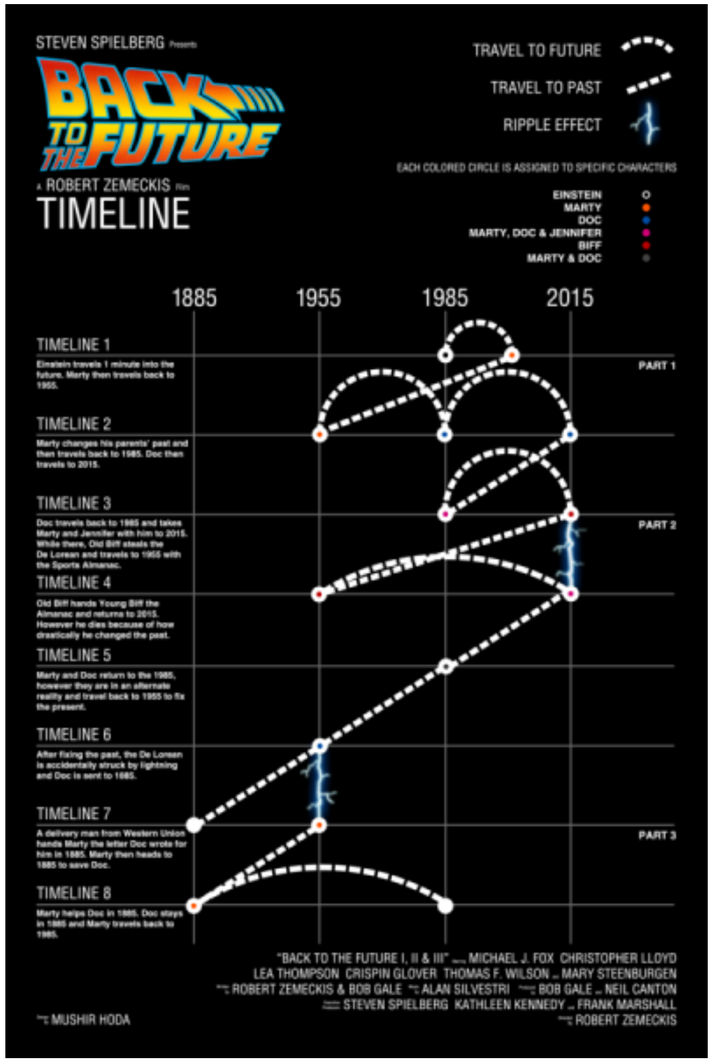
タイムマシンは将来、実現するのか

ドラえもんでタイムマシンが登場しますが、今回の講義から22世紀までの実現は難しいと考えました。今後100年で実現できそうなひみつ道具は何かあるのでしょうか。









映画『Back to the Future』(1985年)で描かれた未来は2015年















http://izismile.com/2015/01/07/back_to_the_future_iis_predictions_for_2015_18_pics.html

国際宇宙ステーションの乗務員の寿命も延びる！





ISSは秒速 7.8km

1年間乗務すると，．．．

0.01067秒 地表より時間が短くなる

旅客機の乗務員の寿命も延びる！





旅客機は時速900km (秒速 250 m)

10000時間乗務すると，．．．

0.000012517秒地表より時間が短くなる

3.2.4 時間の遅れとパラドックス

(1) お互いに「相手の時計が遅れている」という パラドックス

1-a 速度は相対的なものだ．地球からロケットを見れば速度は v でも，ロケットから地球を見れば地球は速度 $-v$ で動いていることになる．

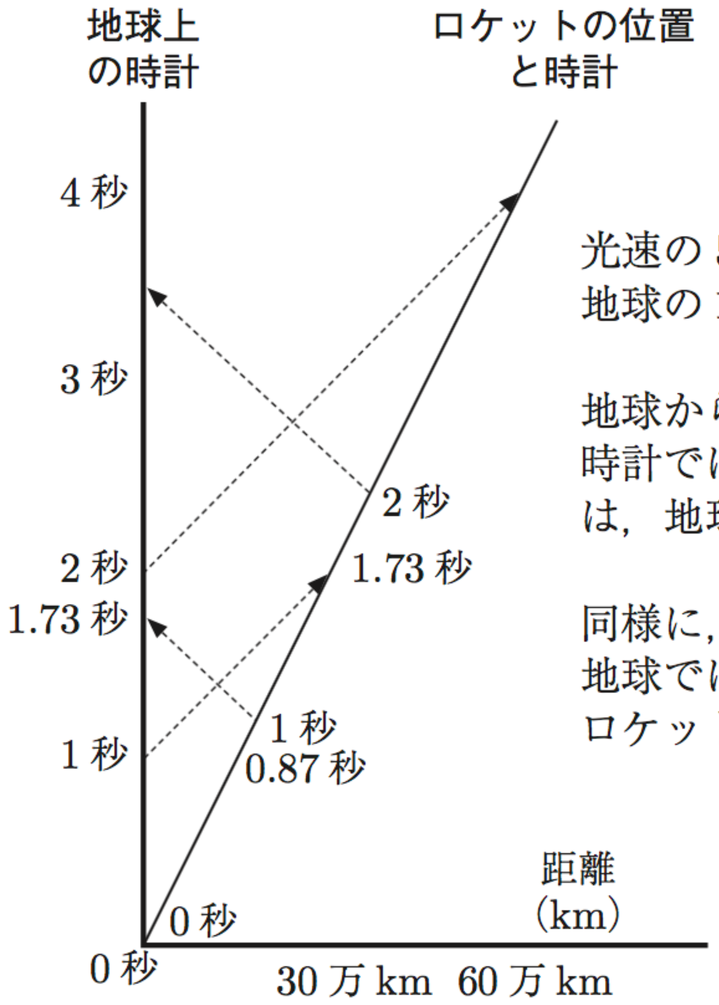
1-b だから，地球の人はロケットの時計が自分より遅く進むと観測し，ロケットの人は地球の時計が自分より遅く進むと観測する．

1-c だから，お互いどちらも「相手の時計が遅れている」と主張する．

さて，どこかに間違いはあるだろうか．

どちらも正しい

「相手の時計が遅れている」というパラドックス



光速の 50% で動くロケットでは
地球の 1 秒は 0.87 秒に，地球の 2 秒は 1.73 秒になる．

地球から 1 秒ごとに送信された信号は，ロケット内の時計では 1.73 秒間隔で受信する．だからロケット側は，地球の 1 秒は遅くなっていると考えるだろう．

同様に，ロケットから 1 秒ごとに送信された信号も，地球では 1.73 秒間隔で受信する．だから地球側も，ロケットの 1 秒は遅くなっていると考えることになる．

図 3.16　「相手の時計の方が遅れている」という主張はどちらも正しい．

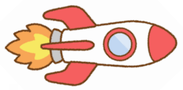
双子のパラドックス

双子のパラドックス

a 双子の兄と弟がいて，兄が光速の 80% のスピードで飛ぶロケットに乗って宇宙旅行に出た．目的地の星の近くまで一直線に飛び，すぐに引き返して戻ってきた．

b ロケットで飛行中は，どちらも相手の時計の進み方が遅いと観測していた．

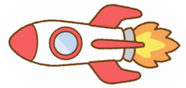
c それでは，地球時間で 30 年経って戻ってきた兄と，地球に残っていた弟が再会するとき，どちらが若いのか．



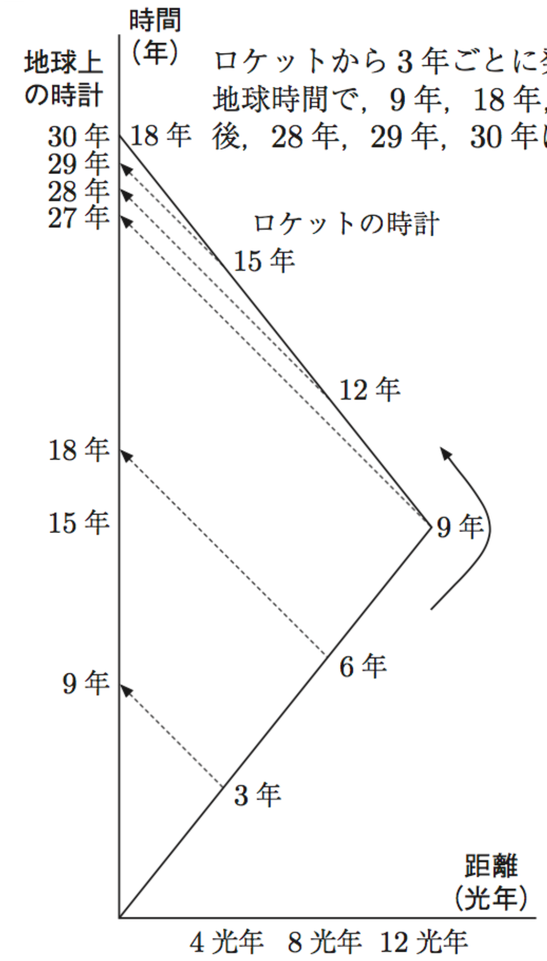
弟



兄の方が若い



双子のパラドックス



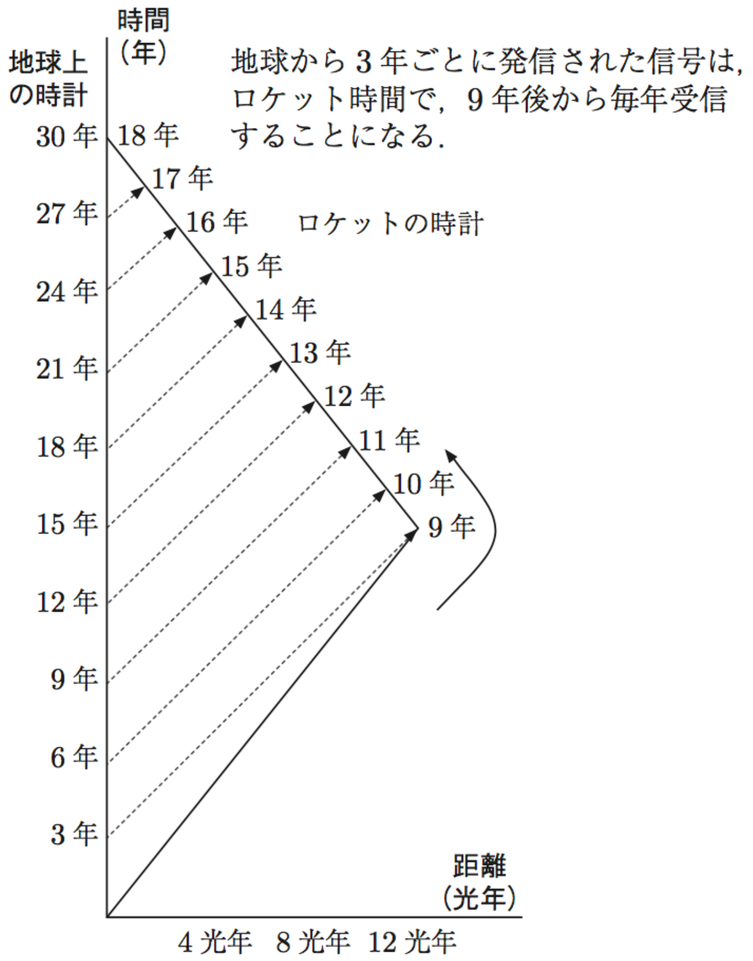


図 3.17　双子のパラドックスの理解．互いに 3 年ごとに信号を発していて，互いに相手の時計は遅いと感じつつも，再び出会うときにはロケットに乗っていた方が時間経過が短い．

ドラえもんの世界を、学問してみれば。

各界の第一人者が講師となって、タイムトラベル論、デザイン論、コミュニティ論を誌上講義。『ドラえもん』を題材に、わかりやすく解説します。

過去や未来へ行くことは、果たして可能なのか？

タイムトラベル論｜講師

真貝寿明 Hisaaki Shinkai 大阪工業大学情報科学部教授

●1966年東京都生まれ。早稲田大学理工学部物理学科、同大学大学院修了。ワシントン大学・ペンシルバニア州立大学・理化学研究所研究員を経て、2006年より大阪工業大学。専門は、一般相対性理論・宇宙論。

タイムマシンが可能かどうかを議論する学問は、物理学です。アインシュタインがつくりあげた相対性理論[1]と、ミクロの世界を扱う量子物理学の、両方に絡む問題です。

浦島太郎が竜宮城から帰ってきたら、知り合いは1人もおらず、自分だけ未来に着きました。このようないわゆるウラシマ効果[2]の説話は世界中にありますが、現代物理学の理論上、未来へのタイムトラベルは実際に可能です。

光速[3]に近いロケットを作って、そのロケットに10年間乗り、地球に戻ってきたら100年後になる、という話を聞いたことがあるでしょう。時間の進み方は状況によって異なる、というのが相対性理論の結論の1つです。ロケットの中の時間の進み方と、地球の時間の進み方が違うので、地球に戻ってきたら、100年後の未来だったというウラシマ効果がおきるのです。実験でも証明されています。素粒子を光速に近いスピードまで加速すると、崩壊するまでの寿命が延びるのです。

過去に行く話はどうでしょうか。『ドラえもん』は未来から過去へ来たわけですが、過去へのタイムトラベルが可能かどうかは現時点では未解決です。

空間も時間もジャンプする、ワームホールという存在。

キップ・ソーン[4]というアメリカの物理学者が、1988年にワームホール[5]を使ったタイムトラベルの方法を発表しました。ワームホールは、空間も時間もジャンプできる「どこでもドア」のようなものです。相対性理論は、時間と空間の物理学ですが、ワームホールのような時空のトンネル構造が方程式の解として存在します。ソーンは、ワームホール型タイムマシンを使えば、理論的には、過去へのタイムトラベルが可能である、という論文を発表し、我々に夢と希望を与えてくれました。

ところで、タイムマシンが実現可能だとすると、いろいろ矛盾が生じます。物事には順序があり、原因が先にあって結果が後にあるという因果律を基本とする物理学では、矛盾があっては許されません。未来へ行くタイムトラベルは、矛盾なくOKです。未来に行ったとしても、こうなっていたのか、と知るだけで、情報が過去に戻ってくるわけではないからです。一方、過去へ行くタイムトラベルでは、さまざまなパラドックスが考えられます。『ドラえもん』を題材に、どのようなパラドックスが生じるか、紹介しましょう。

過去へのタイムトラベルと、さまざまなパラドックス

まず、過去を変えてしまったら、現在の自分も消えてしまうかもしれません。「プロポーズ作戦」では、パパとママがきちんと結婚するように、のび太とドラえもんがタイムマシンで12年前のプロポーズの日に戻ります。この話に、いわゆる〈親殺しのパラドックス〉と呼ばれる矛盾が登場します。タイムマシンで過去に行って親を殺してしまうと、自分が存在しなくなる問題を、ソフトに変えていますね。

「あやうし!ライオン仮面」では、ドラえもんがタイムマシンで来月号の漫画雑誌を買ってきて、それを元に締め切りに追われた漫画家が描く話ですが、ここには〈作者不明のパラドックス〉が提示されています。未来から持ち帰った自分の漫画を本人が描き写したら、その作品は誰がはじめに描いたものか、という問題ですね。情報は無から生じない。何もないところから、意味のある情報が発生したとなると、因果律に反したことになります。

このようなパラドックスがあると、過去へのタイムトラベルは否定されるのでしょうか。いえいえ、物理学者は解決策も考えています。その1つが、エヴェレット[6]による多世界解釈です。量子論の確率解釈をマクロな世界に拡張した考えで、我々の世界は、多くの同じような世界（パラレルワールド）から1つ1つを選択することで実現しているという考え方です。

「のび太も天才になれる?」は、ある惑星では、いまの世界ののび太が天才になっていた、という一種のパラレルワールドものです。「あべこべ惑星」[7]も、すべてがあべこべだけど、一種のパラレルワールドといえるでしょう。

ドイッチェ[8]は、親殺しのパラドックスを多世界解釈で解決することを提案しました。タイムマシンで過去に行って親を殺した時点で、その世界は、自分が存在しない未来へ分岐する。自分自身は、パラレルワールドを移動しただけ、と考えれば、因果関係に矛盾は生じません。ただ、過去を変えて世界を変えたといっても、変わっていない世界が、常に存在することになります。

最近、パラドックスの解決策として〈事後選択モデル〉という考え方が提案されました。「未来でパラドックスになりそうな出来事は、あらかじめ除外される（ような作用がはたらく）」という考え方です。パラドックスが起こらない場合のみ、過去の改変が許されるということですね。先ほどの「プロポーズ作戦」では、のび太とドラえもんの活躍で、パパとママが元のサヤにおさまります。のび太が生まれるためには無矛盾ですから、この話はまさに事後選択モデルといえるでしょう。

『ドラえもん』には、タイムトラベル論の要素が、矛盾する問題点を含めてきちんと描かれています。

「のび太も天才になれる?」（てんとう虫コミックス32巻）
ママに説教され、家出しようと「宇宙救命ボート」でワープしたら、自分が住む町とそっくりなところに到着。学校では問題が簡単すぎて満点ばかり。天才になったとはしゃぐが……。



パラレルワールド

パラレルワールドの存在を肯定すれば、いくつもある並行世界の中で、その中のひとつを選択しながら生きていることになる。

「あやうし！ライオン仮面」（てんとう虫コミックス3巻）
フニャコフニャ夫の人気連載漫画「ライオン仮面」の来月号を読みたくなったドラえもんは、1カ月後の未来へ。締め切りに追われた先生は、ドラえもんから来月号をもらって……。



作者不明のパラドックス

フニャコフニャ夫のように、未来から持ち帰った自分の漫画を描き写した場合、その作品の本当の作者はいったい誰になるのか。

「プロポーズ作戦」（てんとう虫コミックス1巻）
12回目の結婚記念日の夜、パパとママが、どちらがプロポーズしたかで、大ゲンカ。のび太とドラえもんが、真相を確かめるべく12年前にタイムマシンで戻ってみると……。



親殺しのパラドックス＆事後選択モデル

過去に行って親を殺すと自分が存在しなくなるパラドックスと、未来で矛盾となる出来事はあらかじめ除外されるという考え方。

1【相対性理論】
アインシュタインによって発表された時間と空間に関する理論であり、2段階の理論になっている。1905年に、時間の進み方は測定する人の運動状態によって異なることを予言した特殊相対性理論を発表。1916年に、重力の正体が空間のゆがみであることを予言した一般相対性理論を発表。

2【ウラシマ効果】
亀を助けた浦島太郎が竜宮城で歓待され、戻ってきたときには、何年も経っていたという昔話を元に名付けられた。浦島太郎が竜宮城で3年間過ごし、地上に戻ってきた時300年経っていたと考えると、竜宮城が光速の99.9949%で動くロケットだと考えれば、つじつまが合う。光速に近いロケットに乗れば、そのロケットに乗って帰ってくるだけで、未来へのタイムトラベルが可能になる。



3【光速】
光の速度のこと。1秒間で約30万km進む。地球の円周が約4万kmなので、1秒間で地球を7周半まわることになる。

4【キップ・ソーン】
アメリカの物理学者。カリフォルニア工科大学教授。1988年に「フィジカル・レビュー・レター」誌にて、ワームホールを使った過去へのタイムトラベルの可能性を発表。元々、小説『コンタクト』を執筆中のカール・セーガンからアドバイスを求められ、ワームホール型タイムマシンの研究を始めた。重力波研究の権威でもある。

5【ワームホール】
虫がリンゴをくりぬいて近道をつくるように、時空の2点をつなぐ抜け道のこと。通常の宇宙空間がリンゴの表面なら、ワームホールは虫食い穴に相当。現在まで発見されたことはないが、宇宙の初期では存在していたと考えられる。



6【エヴェレット】
ヒュー・エヴェレット3世。1957年、プリンストン大学の大学院生時に多世界解釈を提唱。

7【「あべこべ惑星」】
左右が逆で、西から太陽が昇り、ジャイアンやスネ夫が女の子で、しずちゃんが男の子。さらにのび太が世界一の天才になっているという、すべてがあべこべの星。



（てんとう虫コミックス17巻）

8【ドイッチェ】
イギリスの物理学者。量子計算理論のパイオニア。エヴェレットの多世界解釈の支持者。

Pen+『大人のための藤子・F・不二雄』特集号(2012年9月発売)

【実験ですよ】

浦島太郎

コラム 16　浦島効果：未来へ行くタイムトラベルは可能！

特殊相対性理論によれば，高速で動いている人ほど 1 秒の間隔は開いてくる．計算式で表すと，速度 v で移動している人の時間 $\Delta T'$ は，静止している人の時間 ΔT と同じではなく，次式になる．

$$\Delta T' = \sqrt{1-(v/c)^2}\,\Delta T \qquad (3.4)$$

速度vで移動している人の1秒　　静止している人の1秒

$$300\ \text{year} = \int_0^{3\ \text{year}} \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} dt \qquad \Longrightarrow v = 0.9999499c$$

竜宮城は，光速の99.995%の速さで動いていた！

未来へ行くタイムマシンは可能

万葉集　巻九　水江の浦の島子を詠みし一首短歌を幷（あは）せたり

春の日の霞める時に　墨吉の岸に出で居て　釣船のとをらふ見れば　古のことそ思ほゆる　水江の浦の島子が　堅魚釣り鯛釣り誇り　七日まで家にも来ずて　海坂を過ぎて漕ぎ行くに　わたつみの神の娘女に　たまさかにい漕ぎ向かひ　相あとらひ言成りしかば　かき結び常世に至り　わたつみの神の宮の　内の重の妙なる殿に　携はり二人入り居て　老いもせず死にもせずして　永き世にありけるものを　世の中の愚か人の　我妹子に告りて語らく　しましくは家に帰りて　父母に事も語らひ　明日のごと我は来なむと言ひければ　妹が言へらく　常世辺にまた帰り来て　今のごと逢はむとならば　このくしげ開くなゆめと　そこらくに堅めしことを　墨吉に帰り来たりて　家見れど家も見かねて　里見れど里も見かねて　怪しみとそこに思はく　家ゆ出でて三歳の間に　垣もなく家失せめやと　この箱を開きて見てば　もとのごと家はあらむと　玉くしげ少し開くに　白雲の箱より出でて　常世辺にたなびきぬれば…

https://www.kyoto-np.co.jp/articles/-/32438

浦島太郎のオリジナルストーリー → 浦島伝説

『丹後国風土記』「浦嶋子」（713年＋）

筒川村の嶼子，いわゆる水江の浦の嶼子は一人釣りに出て3日間何も釣れずにいたが，5色の亀を釣り上げた．その**亀は女娘に替わり**，**蓬山（とこよのくに）へ**と案内する．

寝ている間に大きな島に着くと，今までに見たことのない所だった．女娘は嶼子を残して先に門の内に入るが，そこへ7人の子供，8人の子供がきて「亀比売（かめひめ）の夫となる人だ」と嶼子に言う．女娘は7人の子供は昴星（すばる）で，8人の子供は畢星（あめふりほし）だという．

嶼子と女娘は夫婦となり3年を過ごす．嶼子は故郷が懐かしくなり，女娘は止めたが結局は帰ることにする．

故郷に帰ると300年後の誰も知り合いはいない場所になっていた．動転して，「帰る時まで開けてはならない」と言われた玉手箱を開けると，白い煙が出て，浦島太郎は一気に歳をとってしまった．

- 男の名前は，浦嶼子
- 亀を助けたわけではない
- 亀が仙女に変身，男を誘う
- 竜宮城ではなく，常世の国へ
- プレアデス星団とヒアデス星団が登場
- 3年のはずが300年
- 約束やぶって玉手箱開ける

『丹後国風土記』逸文　浦島子(1)

丹後の國

天の椅立

丹後國風土記に曰はく、與謝の郡、郡家の東北の隅の方に速石の里あり。この里の海に長く大きなる前あり。長さ二千二百廿九丈、廣さ處る所は九丈より下、處る所は十丈より上廿丈より下なり。先を天の椅立と名づけ、後を久志の濱と名づく。しかいへるは、國生みましし大神伊弉諾尊の御、天に通行はさむが爲に梯を作り立て給ひき。故、天の椅立といひしを、神の御寢坐せる間に倒れ伏しき。仍りてくしびに坐すことを怪しみ給ひき。故、久志備の濱といふ。この中の間を久志といふ。これより東の海を與謝の海といひ、西の海を阿蘇の海といふ。この二面の海に雜の魚貝等住めり。但し、蛤は乏少し。

○丹後國風土記曰　與謝郡　郡家東北隅方　有三速石里一　此里之海　有三長大前一　長二千二百廿九丈廣處所九丈以下　先名三天椅立一　後名三久志濱一　然云者　國生大神伊弉奈藝命　天爲三通行一而椅作立　故云三天椅立一　神御寢坐間仆伏　仍怪三久志備坐一　故云三久志備濱一　此中間云久志一　自レ此東海云三與謝海一　西海云三阿蘇海一　是二面海　雜魚貝等住　但蛤乏少（釋日本紀五、天浮橋）

○この條、前田本原形損じ、後の補筆多し。

くしび―靈妙の意、椅に神秘性を認めたのである。

前―考證石前とし、磯崎と解す。前は崎か。

○播磨國風土記、八十丹（一八〇頁）參照。

浦島子

丹後國風土記に曰はく、與謝の郡、日置の里、この里に筒川の村あり。こゝの人夫日下部首等が先祖は、名を筒川の嶼子といひき。人となり姿容秀美しく風流なること類なかりき。こはいはゆる水江の浦の嶼子といふ者なり。これ舊宰伊預部馬養連が記せるに相乘ることなし。故、略

葛幸―前の長官、前の國守。伊預部―預字、前田本類とす。

き所由之旨を陳べむ。長谷の朝倉の宮に天の下知らしめしし天皇の御世、嶼子獨り小船に乘りて、海中に汎び出で、釣すること三日三夜を經て、一の魚だに得ず、すなはち五色の龜を得たり。心に奇異しと思ひて船の中に置きて、やがて寐ねつるに、忽ちに婦人と爲りき。その容美麗しく、更比ふべきものなかりき。嶼子、問ひしく、「人宅遙遠にして、海庭に人なし。詎人の忽ちに來たれるぞ」と云ひき。女娘微笑みて對へけらく、「風流之士獨り蒼海に汎べり。近しく談らむとするこころに勝へず、就風雲來つ」といひき。嶼子、復問ひしく、「何處よりか來つる」といひければ、女娘答へけらく、「天上仙家の人なり。請はくは君な疑ひそ。相談ひて愛み給へ」といひき。ここに嶼子、神女なることを知りて、懽れ疑ふ心を鎭めき。女娘語ひしく、「賤妾が意は、天地と畢へ日月と極らむとおもふを、但、君奈何にかする、許不の意を早先にせむことを」といひき。嶼子答へけらく、「更に言ふところなし。何をか解らむや」といひき。女娘、「君、暫く目を閉らして蓬山に到さまさね」といふ。嶼子從ひて仕かむとし

長谷の朝倉の宮に天の下知らしめしし天皇―雄略天皇。雄略紀二十二年の記事參照。

就風雲來―文選卷第五、吳都賦に徑路絕風雲通とあり、注に風雲通者唯風雲能交通也と云ふ。萬葉集卷十八に今勤風雲發遣歡使の句がある。

蓬山―蓬萊山で、支那で神仙の住む海島と考へてゐた。これが我國のとこよの國の考へ方と融合してしまつた。

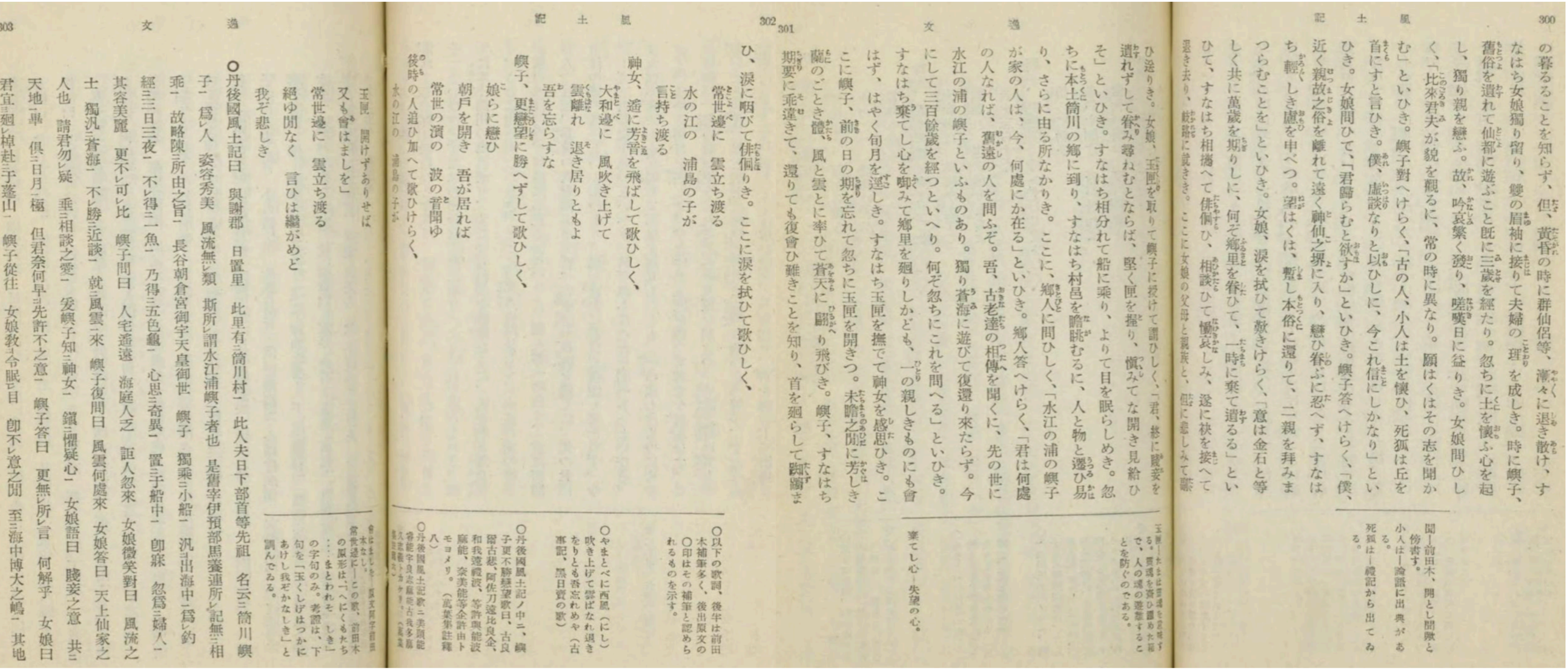
き。女娘、目を眠らしむ。すなはち意はざる間に、海中の博大き鳥に至りき。その地は玉を敷けるが如く、闕臺は晻映しく、樓堂は玲瓏き、目に見ざりし所、耳に聞かざりし所なり。手を攜へて徐に行き、一つの大きなる宅の門に到りき。女娘、「君しばし此處に立ち給へ」といひて、門を開きて内に入りき。やがて七の豎子來たりて相語らひけらく、「こは龜比賣の夫なり」といひき。亦八の豎子來たりて相語らひけらく、「こは龜比賣の夫なり」といひき。ここに、女娘の名は龜比賣なることを知りき。すなはち女娘出で來たりしとき、嶼子、豎子等の事を語りき。女娘、「その七の豎子は昴星なり。その八の豎子は畢星なり。君な怪しみそ」といひて、すなはち前に立ちて引導き、内に進み入りき。女娘の父母、共に相迎へ揖みて坐を定めき。ここに人間と仙都との別を稱說き、人と神と偶に會へる嘉を談議り、すなはち百品の芳しき味を薦め、兄弟姉妹等は坏を擧げて獻酬し、隣の里の幼女等は紅顏にして戲れ接り、仙歌は寥亮に神舞は逶迤に、その歡宴を爲すこと人間に萬倍れり。ここに日

昴、畢―各二十八宿の一つ。すばるはすばりともむつらぼし（六連星）とも言ひ、我國の農村に親しい星である。

逶迤―逶蛇、なめに行く貌、舞の動作のたをやかなのを言つた。

風土記 (岩波文庫 ; 1478-1481) 武田祐吉 編 岩波書店　昭和12

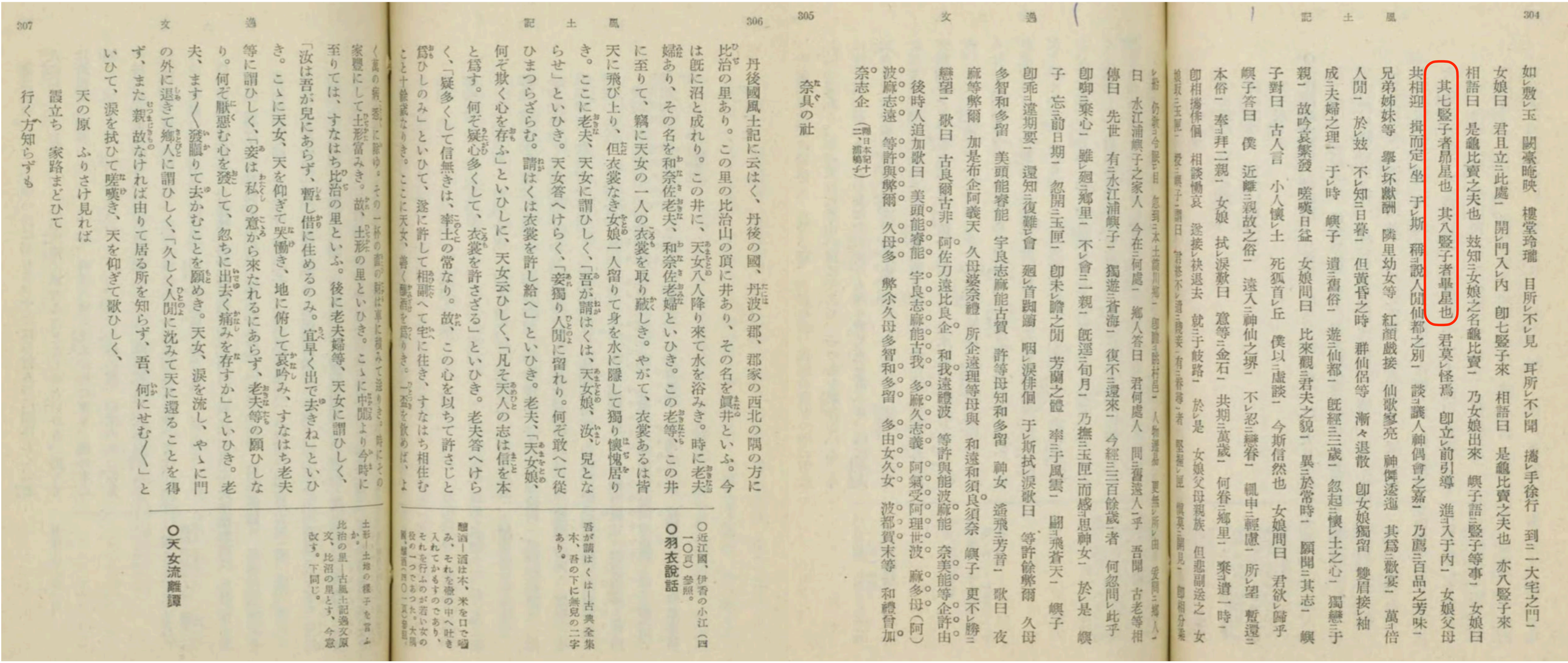
https://dl.ndl.go.jp/pid/1173165/1/137



風土記 (岩波文庫 ; 1478-1481) 武田祐吉 編 岩波書店　昭和12

https://dl.ndl.go.jp/pid/1173165/1/137

『丹後国風土記』逸文　浦島子(3) 奈具の社(1)



304
如レ敷レ玉　闕豪晻映　樓堂玲瓏　目所レ不レ見　耳所レ不レ聞　攜レ手徐行　到二大宅之門一
女娘曰　君且立二此處一　開レ門入レ内　卽七竪子來　相語曰　是龜比賣之夫也　亦八竪子來
相語曰　是龜比賣之夫也　玆知二女娘之名龜比賣一　乃女娘出來　嶼子語二竪子等事一　女娘曰
其七竪子者昴星也　其八竪子者畢星也　君莫レ怪焉　卽立レ前引導　進二入于内一　女娘父母
共相迎　揖而定レ坐　于レ斯　稱二說人間仙都之別一　談二議人神偶會之嘉一　乃薦二百品之芳味一
兄弟姉妹等　擧レ坏獻酬　隣里幼女等　紅顏戲接　仙歌寥亮　神儀遙迤　其爲二歡宴一　萬二倍
人間一　於レ玆　不レ知二日暮一　但黃昏之時　群仙侶等　漸々退散　卽女娘獨留　雙眉接レ袖
成二夫婦之理一　于レ時　嶼子　遺二舊俗一　遊二仙都一　既經二三歲一　忽起二懷レ土之心一　獨戀二于
親一　故吟哀繁發　嗟嘆日益　女娘問曰　比來觀二君夫之貌一　異二於常時一　願聞二其志一　嶼
子對曰　古人言　小人懷レ土　死狐首レ丘　僕以二虛談一　今斯信然也　女娘問曰　君欲レ歸乎
嶼子答曰　僕　近離二親故之俗一　遠入二神仙之堺一　不レ忍二繼眷一　纔申二輕慮一　所レ望　暫還二
本俗一　奉二拜二親一　女娘　拭レ淚歎曰　意等二金石一　共期二萬歲一　何眷二鄉里一　棄二遺一時一
卽相攜俱行　相談慟哀　遂接レ袂退去　就二于岐路一　於レ是　女娘父母親族　但悲副送之　女

305
文
過
奈具の社
多智和多留　美頭能賚能　宇良志麻能古賀　許等母知和多留　神女　逾飛二芳音一　歌曰　夜
麻等弊爾　加是布企阿義天　久母婆奈禮　所企遠理等母與　和遠和須良須奈　嶼子　更不レ勝二
繼望一　歌曰　古良爾古非　阿佐刀遠比良企　和我遠禮波　等許與能波麻能　奈美能等企許由
後時人追加歌曰　美頭能賚能　宇良志麻能古我　多麻久志義　阿氣受阿理世波　麻多母(阿)
波麻志遠　等許與弊爾　久母多　弊尒久母多智和多留　多由女久女　波都賀末等　和禮曾加
奈志企　(續日本紀十二、補遺)

306
丹後國風土記に云はく、丹後の國、丹波の郡、郡家の西北の隅の方に比治の里あり。この里の比治山の頂に井あり、その名を眞井といふ。今は既に沼と成れり。この井に、天女八人降り來て水を浴みき。時に老夫婦あり、その名を和奈佐老夫、和奈佐老婦といひき。この老等、この井に至りて、竊に天女の一人の衣裳を取り藏しき。やがて、衣裳あるは皆天に飛び上り、但衣裳なき女娘一人留りて身を水に隱して獨り懷愧居りき。ここに老夫、天女に謂ひしく、「吾が請はくは、天女娘、汝、兒とならせ」といひき。天女答へけらく、「妾獨り人間に留れり。何ぞ敢へて從ひまつらざらむ。請はくは衣裳を許し給へ」といひき。老夫、「天女娘、何ぞ欺く心を存ふ」といひしに、天女云ひしく、「凡そ天人の志は信を本と爲す。何ぞ疑心多くして、衣裳を許さざる」といひき。老夫答へけらく、「疑多くして信無きは、率土の常なり。故、この心を以ちて許さじと爲ひしのみ」といひて、遂に許して相副へて宅に往き、すなはち相住むこと十餘歲なりき。ここに天女、善く醸酒を爲りき。一盃を飲めば、よ

○近江國、伊香の小江（四一〇頁）參照。

○羽衣說話

吾が請はくは―古典全集本、吾の下に無兒の二字あり。

醸酒―酒は本、米を口で噛み、それを甕の中へ吐き入れてかもすのであり、それを行ふのが若い女の役の一つであつた。大隅國、醸酒（四一〇頁）參照。

307
文
過
く貴の病、悉に除ゆ。その一杯の酒の氣は、亭に滿みて溢りき。時にその家豐にして土形富みき。故、土形の里といひき。こゝに中間より今時に至りては、すなはち比治の里といふ。後に老夫婦等、天女に謂ひしく、「汝は吾が兒にあらず、暫し借に住めるのみ。宜早く出で去きね」といひき。こゝに天女、天を仰ぎて哭慟き、地に俯して哀吟み、すなはち老夫等に謂ひしく、「妾は　私の意から來たれるにあらず、老夫等の願ひしなり。何ぞ厭惡む心を發して、忽ちに出去く痛みを存すか」といひき。老夫、ますゝ發瞋りて去かむことを願めき。天女、涙を流し、やゝに門の外に退きて鄉人に謂ひしく、「久しく人間に沈みて天に還ることを得ず、また親故なければ由りて居る所を知らず、吾、何にせむ〳〵」といひて、涙を拭ひて嗟嘆き、天を仰ぎて歌ひしく、

天の原　ふりさけ見れば
霞立ち　家路まどひて
行く方知らずも

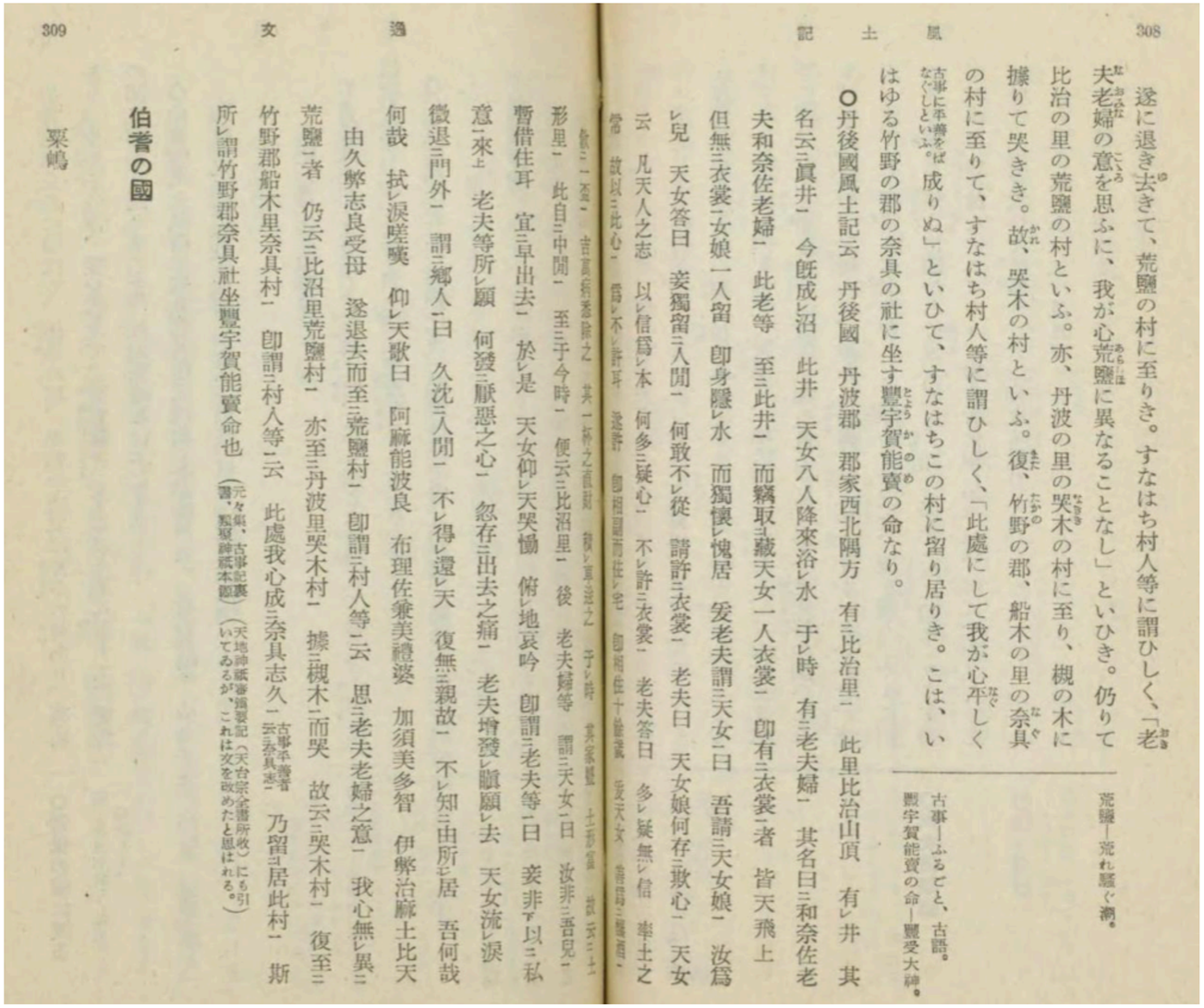
土形―土地の樣子を言ふか。
比治の里―古風土記逸文原文、比沼の里とす、今意改す。下同じ。

○天女流離譚

風土記 (岩波文庫 ; 1478-1481) 武田祐吉 編 岩波書店　昭和12

https://dl.ndl.go.jp/pid/1173165/1/137

『丹後国風土記』逸文　　奈具の社(2)



遂に退き去きて、荒鹽の村に至りき。すなはち村人等に謂ひしく、「老夫老婦の意を思ふに、我が心荒鹽に異なることなし」といひき。仍りて比治の里の荒鹽の村といふ。亦、丹波の里の哭木の村に至り、槻の木に據りて哭きき。故、哭木の村といふ。復、竹野の郡、船木の里の奈具の村に至りて、すなはち村人等に謂ひしく、「此處にして我が心平しく古事に平癒をばなぐしといふ。成りぬ」といひて、すなはちこの村に留り居りき。こは、いはゆる竹野の郡の奈具の社に坐す豐宇賀能賣の命なり。

荒鹽―荒れ鹽ぐ潮。

古事―ふるごと、古語。
豐宇賀能賣の命―豐受大神。

○丹後國風土記云　丹後國　丹波郡　郡家西北隅方　有比治里一　此里比治山頂　有井　其名云眞井一　今既成沼　此井　天女八人降來浴水　于時　有老夫婦一　其名曰和奈佐老夫和奈佐老婦一　此老等　至此井一　而竊取藏天女一人衣裳一　即有衣裳一者　皆天飛上　但無衣裳一女娘一人留　即身隱水　而獨懷愧居　爰老夫謂天女一曰　吾請天女娘一　汝爲兒　天女答曰　妾獨留人間一　何敢不從　請許衣裳一　老夫曰　天女娘何存欺心一　天女云　凡天人之志　以信爲本　何多疑心一　不許衣裳一　老夫答曰　多疑無信　率土之常　故以此心一　爲不許耳　遂許　即相副而往老宅　即相住十餘歲　安天文　皆得時之驗一　飲酒一甕一　吉酒名酒是也　其一缶之直財　稱數不盡　于時　其家富饒　土形容美　故云天女　形里一　此自中間一　至于今時一　便云比沼里一　後　老夫婦等　謂天女一曰　汝非吾兒一　暫借住耳　宜早出去一　於是　天女仰天哭慟　俯地哀吟　即謂老夫等一曰　妾非乍以私意一來上　老夫等所願　何愛厭惡之心一　忽存出去之痛一　老夫增愛膩願去　天女流涙　徵退門外一　謂鄉人一曰　久沈人間一　不得還天　復無親故一　不知由所以居　吾何哉何哉　拭涙嗟嘆　仰天歌曰　阿麻能波良　布理佐氣美禮婆　加須美多智　伊弊治麻止比天由久弊志良受母　遂退去而至荒鹽村一　即謂村人等一云　思老夫老婦之意一　我心無異荒鹽一者　仍云比沼里荒鹽村一　亦至丹波里哭木村一　據槻木一而哭　故云哭木村一　復至竹野郡船木里奈具村一　即謂村人等一云　此處我心成奈具志久一（古事平癒者云奈具志一）　乃留居此村一　斯所謂竹野郡奈具社坐豐宇賀能賣命也（元々槻、古事記裏書、風窓神紙本缺）（天地神祇審鎭要記（天台宗全書所收）にも引いてあるが、これは文を改めたと思はれる。）

伯耆の國

粟嶋

風土記 (岩波文庫 ; 1478-1481) 武田祐吉 編 岩波書店　昭和12

https://dl.ndl.go.jp/pid/1173165/1/137

浦島伝説のオリジナルストーリー比較（丹後国風土記逸文/日本書紀/万葉集）



モチーフ＼説話		交換説話	浦嶼子伝説（風）	浦嶼子伝説（紀）	浦嶼子伝説（万）
滞留	3年間	○	○	｜	○
異郷退出方法	過去を回想	○	×	｜	×
	父母・郷里の慕情	×	○	｜	○
	退出は積極的	○	×	｜	×
	女の悲歎	×	○	｜	○
	瞑目乗船	×	○	｜	○
	鰐に乗る	○	×	｜	×
行程	瞬時	×	○	｜	○
	1日間	○	×	｜	×
禁忌	呪具	×	○	｜	○
	玉匣の開放	×	○	｜	○
	産室覗見	○	×	｜	×
禁忌干犯	玉匣の開放	×	○	｜	○
	産室を覗く	○	×	｜	×
	通路閉塞	○	×	｜	×
結末	絶縁	○	○	｜	○
	贈答歌	○	○	｜	×

モチーフ＼説話		交換説話	浦嶼子伝説（風）	浦嶼子伝説（紀）	浦嶼子伝説（万）
発端	舟釣	○	○	○	○
	不漁	○	○	×	×
	豊漁	×	×	×	○
	亀	×	○	○	×
異郷名	海神宮	○	×	○	○
	蓬萊山	×	○	×	×
異郷所在	洋上	×	○	×	×
	海底	○	×	○	○
交通法	船	○	○	×	○
	潜水	○	×	○	○
	鰐	○	×	×	×
夫と婦	立派な男子	○	○	×	×
	美麗な女子	×	○	×	×
	天神の子	○	×	×	×
	漁浦の長	×	○	○	○
	海神の女	○	×	○	○
	仙子	×	○	×	×
発情出会	女	○	○	×	○
	男	×	×	○	○
	洋上	×	○	○	○
	海底	○	×	×	×
神婚の場所	船中	×	○	○	×
	宮殿中	○	○	×	○
	閨房	×	○	×	×

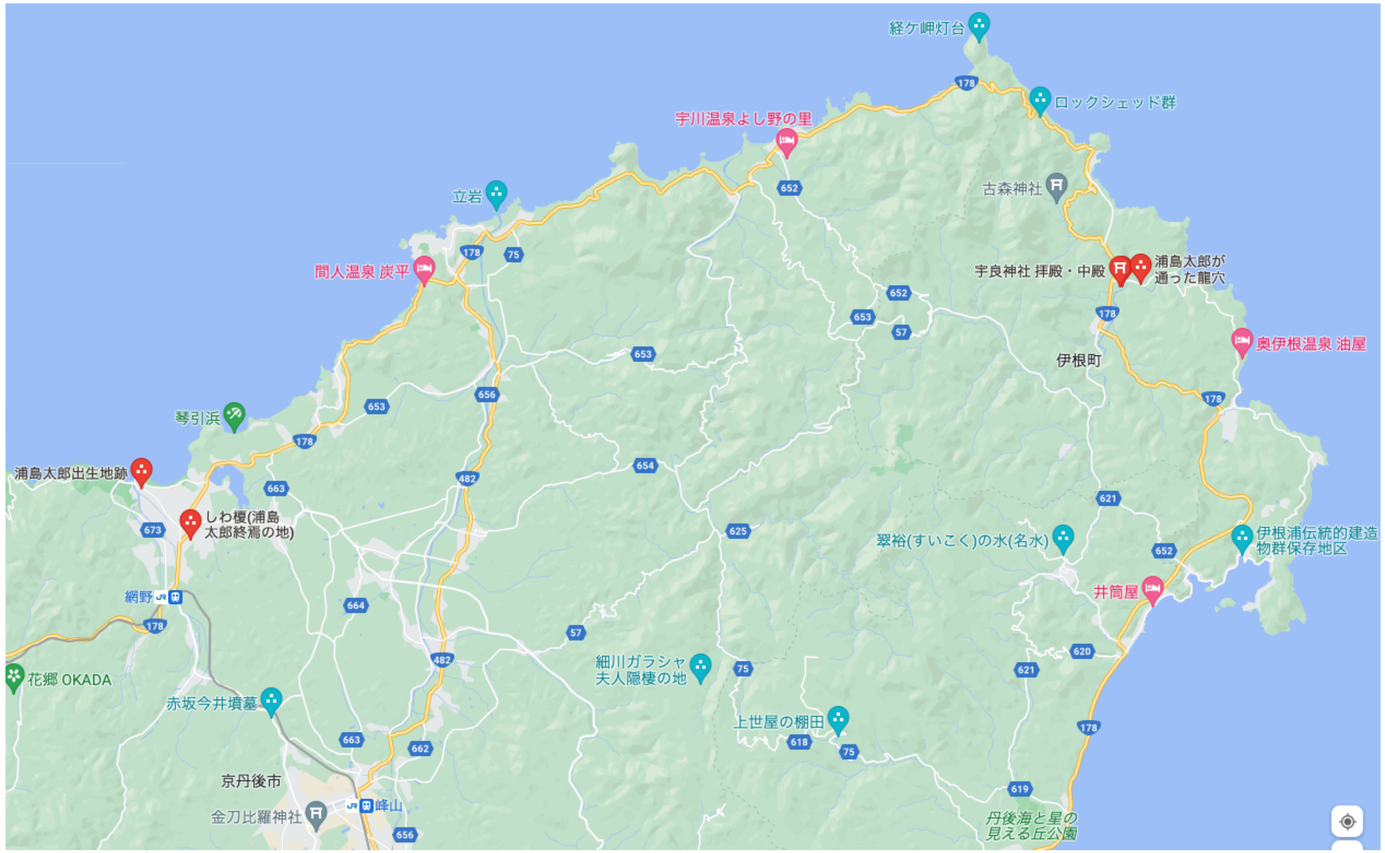
水野 祐『浦島伝説の探求』(産報ブックス, 昭和52年)

比較項目	丹後国風土記逸文	日本書紀	万葉集
伝説の主人公	筒川嶼子	瑞江浦嶋子	水江浦嶋子
主人公の妻女	五色亀の化身、亀比売	大亀の化身の女	海若神之女
主人公の郷里	丹後国与謝郡筒川	丹波国余社郡管川	摂津国墨吉
伝説の発端 年代	雄略天皇の御代	雄略二十二年七月	遠い昔
伝説の発端 理由	三日三夜単独釣漁	単独釣漁	七日間単独釣漁
伝説の発端 状況	不漁、一魚も得ず	大亀を釣る	豊漁、堅魚・鯛を釣る
神異の媒体	五色の亀	大亀	なし
神婚 対象	五色亀の化身亀比売	大亀の化身の女	海神の女
神婚 状況	亀比売の誘惑	嶋子の感思	談合の上相互合意
神婚 場所	宮殿内の閨房	釣舟の中	海神の宮殿の閨房
トコヨ 位置	海上の大島・蓬萊山	海底	洋上の海神の居所
トコヨ 往還法	閉眼、舟で渡航	海中に潜入	舟で渡航
トコヨ 理由	亀比売の誘い	女に従い行く	海神女と合意婚約
滞留生活 期間	三年、実は三百余年	三年	三年
滞留生活 行為	宴会・交遊・閨房生活	閨房生活	閨房生活
滞留生活 終焉	嶼子の望郷の念募る	嶋子が家・父母を恋う	嶋子が家・父母を恋う
呪詛 呪物	亀比売の玉匣	女の玉篋	女の玉篋
呪詛 禁忌	蓋を開いてはならぬ	蓋を開いてはならぬ	蓋を開いてはならぬ
禁忌干犯 行為	玉匣の蓋を開く	玉篋の蓋を開く	玉篋の蓋を開く
禁忌干犯 理由	亀比売を恋しく思って	家里が現われるのではないかと判断して	家里が現われるのではないかと判断して
禁忌干犯 現象	芳蘭体のもの風雲に乗り飛去る		白雲がトコヨの方へ棚引く
伝説の結末	亀比売と嶼子絶縁		嶋子肉体衰え死亡

水野 祐『古代社会と浦島伝説（上/下）』(雄山閣, 昭和50年)

浦島太郎ゆかりの地


伊根町
京丹後
与謝野町
宮津
舞鶴
高浜町
おおい町
小浜
若狭町
美浜町
敦賀
南越前町
豊岡
養父
朝来
福知山
綾部
京都府
丹波
高島
長浜
彦根
滋賀県
近江八幡
東近江
比叡山
京都
大津
甲賀
兵庫県
西脇
加西
加東
三田
宇治
姫路
三木
加古川
西宮
尼崎
吹田
伊賀
明石
神戸
大阪
東大阪
奈良
名張
堺
岩橋山
橿原
岸和田
大阪府
泉佐野
淡路
奈良県


経ケ岬灯台
ロックシェッド群
宇川温泉よし野の里
立岩
古森神社
間人温泉 炭平
宇良神社 拝殿・中殿
浦島太郎が
通った龍穴
奥伊根温泉 油屋
伊根町
琴引浜
浦島太郎出生地跡
しわ榎(浦島
太郎終焉の地)
翠裕(すいこく)の水(名水)
伊根浦伝統的建造
物群保存地区
網野
井筒屋
花郷 OKADA
細川ガラシャ
夫人隠棲の地
赤坂今井墳墓
上世屋の棚田
京丹後市
金刀比羅神社
峰山
丹後海と星の
見える丘公園

浦島太郎ゆかりの地 （1）京丹後市網野町









『浦島子はこの場所で玉くしげ
（玉手箱）を開けました』





網野に残る『日下部系森家の系譜』

伴 とし子『龍宮にいちばん近い丹後』（森田印刷，平成2年）

網野に残る『日下部系森家の系譜』

網野町には、浦嶋伝説が残され、これを裏づける数々の遺跡地がある。
そして、もうひとつ、『日下部系森家の系譜』というのが伝えられており、今もこの浦嶋子の系譜につながる方が網野町に在住しておられる。
この系譜より、さらに多くの浦嶋伝説の謎がとけるであろう。

日下部系森家の系譜（写）

開化天皇――皇子彦坐命
　日下部主祖、彦坐王（この王子を以て後世王と称するの始めと成）
勅命によって日子坐王田庭の国、澄之江の賊徒陸耳御笠（くがみのみかさ）を征伐して、田庭の国造りとなる。御子道大人命又、勅命に依、四道将軍丹波道主命と云ふ
丹波国は出雲の国の次の開国とする。
姓を、日下部と称す。

日下部嶋根垂根命
　丹波国（今丹後国となる）墨の江（澄の江）網野庄に住居す。

日下部垂見宿祢
　水の江網野郷不管川村に住居す。

水の江長者日下部曽却善次（亦の名を浦島太郎と云ふ）――
　長男　嶋児
　　此の御子波多津美能娘と夫婦に成て龍宮に通いしは此の嶋子が事なり。
　　愛に当社縁起に曰く、玉手箱、白面、金銀の珠、鏡、寿命築、子珠、満珠の七種は、海神の都より古都澄ノ江網野に持ち帰りたる宝物也と云ふ。

嶋児は太郎の長男だった

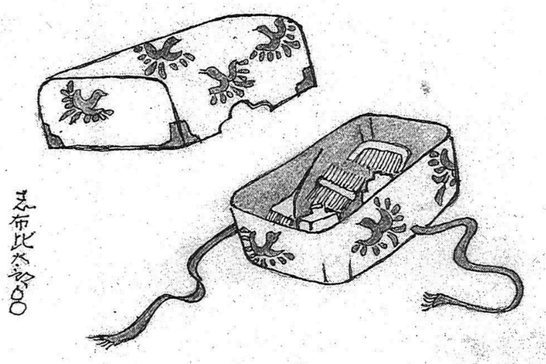
善次舎弟
伊満太（いまふとみつ）三郎　名を改め善満と称す
　能野副使として長兄の補佐たり
　安康天皇に奉仕して軍功多し

其後雄略天皇即位後に古郷に帰る。

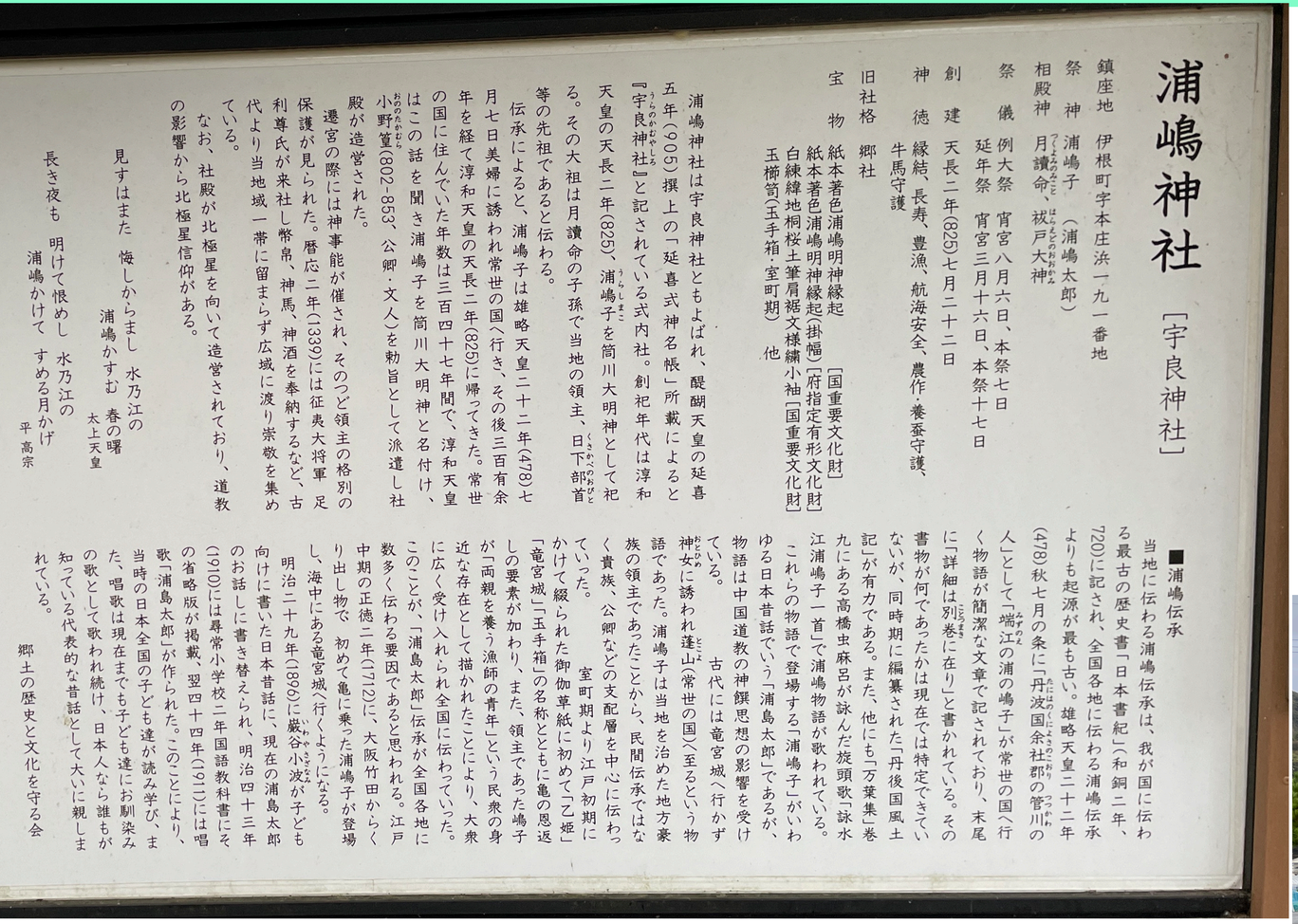
日下部善照
　古久地の長者嶋根左衛門と号し、東日置まで二拾七ケ村を領地す。

嶋根左衛門保重
　大同元年二月網野神社奉職　社職

二十五代孫社職
日下部垂見左衛門朝晴



浦島太郎ゆかりの地 （2）与謝郡伊根町



浦嶋神社［宇良神社］

鎮座地　伊根町字本庄浜一九一番地
祭　神　浦嶋子（浦嶋太郎）
相殿神　月讀命、祓戸大神
祭　儀　例大祭　宵宮八月六日、本祭七日
　　延年祭　宵宮三月十六日、本祭十七日
創　建　天長二年(825)七月二十二日
神　徳　縁結、長寿、豊漁、航海安全、農作、養蚕守護、牛馬守護
旧社格　郷社
宝　物　紙本著色浦嶋明神縁起［国重要文化財］
　　紙本著色浦嶋明神縁起(掛幅)［府指定有形文化財］
　　白練緯地桐桜土筆扇裾文様繍小袖［国重要文化財］
　　玉櫛笥(玉手箱・室町期)　他

浦嶋神社は宇良神社ともよばれ、醍醐天皇の延喜五年(905)撰上の「延喜式神名帳」所載によると『宇良神社』と記されている式内社。創祀年代は淳和天皇の天長二年(825)、浦嶋子を筒川大明神として祀る。その大祖は月讀命の子孫で当地の領主、日下部首等の先祖であると伝わる。

伝承によると、浦嶋子は雄略天皇二十二年(478)七月七日美婦に誘われ常世の国へ行き、その後三百有余年を経て淳和天皇の天長二年(825)に帰ってきた。常世の国に住んでいた年数は三百四十七年間で、淳和天皇はこの話を聞き浦嶋子を筒川大明神と名付け、小野篁(802-853、公卿・文人)を勅旨として派遣し社殿が造営された。

遷宮の際には神事能が催され、そのつど領主の格別の保護が見られた。暦応二年(1339)には征夷大将軍　足利尊氏が来社し幣帛、神馬、神酒を奉納するなど、古代より当地域一帯に留まらず広域に渡り崇敬を集めている。

なお、社殿が北極星を向いて造営されており、道教の影響から北極星信仰がある。

見すはまた　悔しからまし　水乃江の
　浦嶋かすむ　春の曙
　　太上天皇

長き夜も　明けて恨めし　水乃江の
　浦嶋かけて　すめる月かげ
　　平　高宗

■浦嶋伝承

当地に伝わる浦嶋伝承は、我が国に伝わる最古の歴史書「日本書紀」(和銅二年、720)に記され、全国各地に伝わる浦嶋伝承よりも起源が最も古い。雄略天皇二十二年(478)秋七月の条に「丹波国余社郡の管川の人」として「瑞江の浦の嶋子」が常世の国へ行く物語が簡潔な文章で記されており、末尾に「詳細は別巻に在り」と書かれている。その書物が何であったかは現在では特定できていないが、同時期に編纂された「丹後国風土記」が有力である。また、他にも「万葉集」巻九にある高橋虫麻呂が詠んだ旋頭歌「詠水江浦嶋子一首」で浦嶋物語が歌われている。

これらの物語で登場する「浦嶋子」がいわゆる日本昔話でいう「浦島太郎」であるが、物語は中国道教の神仙思想の影響を受けている。

古代には竜宮城へ行かず神女に誘われ蓬山(常世の国)へ至るという物語であった。浦嶋子は当地を治めた地方豪族の領主であったことから、民間伝承ではなく貴族、公卿などの支配層を中心に伝わっていった。

室町期より江戸初期にかけて綴られた御伽草紙に初めて「乙姫」「竜宮城」「玉手箱」の名称とともに亀の恩返しの要素が加わり、また、領主であった嶋子が「両親を養う漁師の青年」という民衆の身近な存在として描かれたことにより、大衆に広く受け入れられ全国に伝わっていった。このことが、「浦島太郎」伝承が全国各地に数多く伝わる要因であると思われる。江戸中期の正徳二年(1712)に、大阪竹田からくり出し物で　初めて亀に乗った浦嶋子が登場し、海中にある竜宮城へ行くようになる。

明治二十九年(1896)に巌谷小波が子ども向けに書いた日本昔話に、現在の浦島太郎のお話しに書き替えられ、明治四十三年(1910)には尋常小学校二年国語教科書にその省略版が掲載、翌四十四年(1911)には唱歌「浦島太郎」が作られた。このことにより、当時の日本全国の子ども達が読み学び、また、唱歌は現在までも子ども達にお馴染みの歌として歌われ続け、日本人なら誰もが知っている代表的な昔話として大いに親しまれている。

郷土の歴史と文化を守る会





825年に創建された神社

『478年7月７日に常世の国に行き，その後825年に帰ってきた』

丹後国風土記(713-714) の記載と整合しないが．．．

『浦嶋子は当地を治めた地方豪族の領主であった』

浦島効果　特殊相対性理論編

等速運動で　3年＝300年

コラム 16　浦島効果：未来へ行くタイムトラベルは可能！

特殊相対性理論によれば，高速で動いている人ほど 1 秒の間隔は開いてくる．計算式で表すと，速度 v で移動している人の時間 $\Delta T'$ は，静止している人の時間 ΔT と同じではなく，次式になる．

$$\Delta T' = \sqrt{1-(v/c)^2}\,\Delta T \qquad (3.4)$$

速度vで移動している人の1秒

静止している人の1秒

$$300\ \text{year} = \int_0^{3\ \text{year}} \frac{1}{\sqrt{1-(v/c)^2}} dt \qquad \Longrightarrow v = 0.9999499c$$

竜宮城は，光速の99.995%の速さで動いていた！

加減速運動で　3年＝300年

いきなりこんな高速の宇宙船に乗るのは不可能であるし，元の場所に戻ってくることができない．そこで，加減速する宇宙船を考えよう．速度 v の宇宙船が測定する加速度 a' と，地球から見る宇宙船の加速度 a の間には，

$$a' = \left(1-(v/c)^2\right)^{-3/2} a \qquad (2)$$

の対応が得られる（例えば [22] を参照）．宇宙船の速度が地球から見て 0 から v_1 に一定加速度 a' で到達したとき，宇宙船内の経過時間 T' と地球の経過時間 T は，

$$T' = \frac{c}{2a'} \log \frac{1+v_1/c}{1-v_1/c}, \qquad (3)$$

$$T = \frac{v_1}{a'\sqrt{1-(v_1/c)^2}} \qquad (4)$$

で与えられる．浦島太郎が 300 年先の未来へ 3 年で到達するには，重力加速度 $g = 9.8\ \text{m/s}^2$ の 9.43 倍で加速する宇宙船で 0.75 年加速，すぐに同じ大きさで逆向きの加速度で減速して 0.75 年で停止．直ちに同じ運動で地球に帰還すればよいことがわかる．しかし，この加速度はなかなか厳しい．

9.43Gで加減速される3年！

浦島効果

7.2 浦島効果と GPS 衛星電波の補正

■高速で運動する観測者の時間の遅れ ★★☆

特殊相対性理論では光の進む速さはどの座標系で見ても一定であることを原理とする．その影響として，時間の進み方が観測者によって異なってくる．その違いは，法則 7.2 に示した関係になる．相対速度 v が変化する場合は特殊相対性理論は使えないが，微少時間 Δt の間は $v=$ 一定と見なせる．これを積み重ねて（積分して），時間の遅れなどを計算できる [*4]．

まっすぐ（1 次元運動という意味）に速度 v で運動する宇宙船を考える．宇宙船に乗っている座標系の固有時間を τ と，静止系での時間を t とすると，微小時間間隔の関係式 (7.0.3)

$$\Delta\tau = \sqrt{1-(v/c)^2}\,\Delta t \tag{7.2.1}$$

を足し合わせて，

$$\tau = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{1-(v/c)^2}\,dt \tag{7.2.2}$$

となる．

つぎに，宇宙船が地球上で静止した状態から一定の加速度 a' で加速していく．この加速度 a' は宇宙船で測定したものとすると，地球から見る宇宙船の加速度 a は，式 (7.0.5) より

$$a = \left(1-(v/c)^2\right)^{3/2} a' \tag{7.2.3}$$

となる．これより，$\dfrac{dv}{dt} = (1-(v/c)^2)^{3/2}a'$ と書くと，微小時間 dt と微小速度変化 dv との関係 $dt = \dfrac{1}{a'}(1-(v/c)^2)^{-3/2}dv$ が得られる．この加速運動中の宇宙船内での経過時間を T_1'，地球から見た宇宙船の速度を v_1 とすると，

$$\begin{aligned} T_1' &= \int_0^{T_1'} d\tau = \int_0^{T_1} \sqrt{1-(v/c)^2}\,dt \\ &= \frac{1}{a'}\int_0^{v_1} \frac{1}{1-(v/c)^2}\,dv = \frac{c}{2a'}\log\frac{1+v_1/c}{1-v_1/c} \end{aligned} \tag{7.2.4}$$

の関係が得られる．また，このとき地球での経過時間 T_1 は

$$T_1 = \int_0^{T_1} dt = \int_0^{v_1} \frac{dv}{a'(1-v^2/c^2)^{3/2}} = \frac{v_1}{a'\sqrt{1-v_1^2/c^2}} \tag{7.2.5}$$

となる．

[*4] 厳密にいえば，加速している系は一般相対性理論を用いて議論しなければならない．等価原理 ▶7.5 節 により加速している系の慣性力は重力と等価なので，重力による時間の遅れが生じ，慣性系より時間の進みが遅くなる．一様加速した系の計量テンソル ▶7.0 節 はリンドラー時空として知られ，それを用いると問題 7.2.1 と同じ結果が得られる．

問題 7.2.1

浦島に住む太郎は，助けた亀に誘われて竜宮城に行き，そこで楽しく過ごして帰ってきた．太郎の時間では往復も含めて 25 年の旅だったのだが，帰ってきてみると，住んでいた村には誰も知り合いがおらず，自分が旅立ってから約 75 年が経過した未来の村にいることを知った．

思い出してみると，自分の村から竜宮城までは宇宙船に乗っていた．相対性理論の効果で自分の感じる時間の進み方が，村の時間よりもずっとゆっくりだったため，約 50 年分の差が生じたと思われる．

(1) 宇宙船の加速・減速を考えず，一定速度 v_0 の乗り物だとする．地球での経過時間に対して，宇宙船内の時間の進み方が $1/3\,(=25/75)$ のとき，宇宙船の速度 v_0 は光速の何倍の大きさか．ここでは竜宮城での滞在時間は考えないとする．

実際の宇宙船は徐々に加速し，徐々に減速する．人間が快適に過ごせるように，宇宙船は地表の重力加速度と同じ $g = 9.8\,\mathrm{m/s^2}$ のまま一定で加速できるとする．

宇宙船は $T_1' = 3$ 年間，この加速度 g を保って加速し，最高速度に到達したのち等速運動で $T_2' = 1$ 年間航行し，$T_3' = 3$ 年間加速度 $-g$ で減速して，合計 7 年かけて竜宮城に着いたとする．ここでの年数・加速度は宇宙船内で測定した値である．加速運動している期間は，式 (7.2.4) より，静止系で測る最高速度 $V_{\max}$ と

$$T_1' = \frac{c}{2g}\log_e\frac{1+V_{\max}/c}{1-V_{\max}/c} \tag{7.2.6}$$

の関係が成り立つので，$V_{\max}$ が求められる．また，式 (7.2.5) よりこの期間に相当する地球での経過日数が求められる．

(2) 宇宙船の最高速度 $V_{\max}$ は光速 c の何%か．$c = 299792458\,\mathrm{m/s}$ として計算せよ．$e^{6.19} = 485.6$ である．

(3) 宇宙船が最高速度 $V_{\max}$ に到達したとき，地球では何日経過しているか．

(4) 宇宙船が最高速度 $V_{\max}$ で航行している間，地球では何日経過しているか．

(5) 宇宙船が竜宮城に 7 年かけて到達したとき，地球では何日経過しているか．

(6) 浦島太郎が竜宮城に 11 年滞在し，再び 7 年かけて地球に戻ってきたとき，地球では何年経過しているか．

▶解

(1) 式 (7.2.1) に，$\Delta\tau = 25$，$\Delta t = 75$ を代入すると，

$$25 = \sqrt{1-(v/c)^2}\times 75 \quad\Rightarrow\quad \frac{v}{c} = \sqrt{1-(25/75)^2} = 0.943$$

となる．したがって，光速の 94.3%．

(2) 与えられた式より，

$$\frac{V_{\max}}{c} = \frac{e^{2gT_1'/c}-1}{e^{2gT_1'/c}+1}$$

$2gT_1'/c = 2\cdot 9.8\cdot 3\cdot 365\cdot 24\cdot 3600/299792458 = 6.19$，$e^{6.19} = 485.6$ なので，



全3巻
朝倉書店, 2023/11

【実験ですよ】

浦島効果

$\frac{V_{\max}}{c} = 0.9959$ を得る．したがって，光速の 99.6%．

(3) 式 (7.2.5) より，$T_1 = \dfrac{V_{\max}}{g\sqrt{1 - V_{\max}^2/c^2}} = 3893$ 日．これは宇宙船での経過時間よりも 7.67 年長い．

(4) 式 (7.2.1) より $T_2 = \dfrac{1}{\sqrt{1-(V_{\max}/c)^2}} T_2' = 4030$ 日．これは宇宙船よりも 10.0 年長い．

(5) 減速時も加速時と同じ計算になるので，$T_1 + T_2 + T_3 = 11816$ 日 $= 32.37$ 年．これは宇宙船よりも 25.37年長い (図 7.2.1)．

(6) 地球では $32.37 \times 2 + 11 = 75.74$ 年が経過している． □

以上の様子宇宙船内と地球の時間でロケットの速度を表すと図 7.2.1 のようになる．ところで，竜宮城までの距離 L はどれだけだったのか．数値的に積分すると，加速と減速が完了するまでにそれぞれ 2.33 光年，最高速度で航行している期間に 11.0 光年で，総和は 15.7 光年になる．光年は，光が 1 年間に進む距離（1 光年 $= 9.46 \times 10^{15}$ m）で，太陽系から一番近い恒星までは 4.2 光年である．

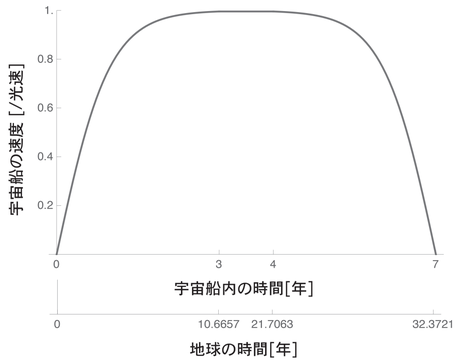


図 7.2.1 宇宙船の行きの速度

■強い重力場にいる観測者の時間の遅れ ★★☆

一般相対性理論では大きな質量があると時間と空間がゆがみ，そのため強い重力のはたらく空間では時間の進み方 $\Delta T'$ は，平坦な空間（重力がはたらかない空間）での時間の進み方 ΔT に比べて遅くなる．質量 M が一点に集中していて，そこから距離 r の位置での時間の進み方は，(7.0.24) で示した式

$$\left(1 - \frac{a}{r}\right)(\Delta T)^2 = (\Delta T')^2 \tag{7.2.7}$$

で与えられる．ここで，a はシュヴァルツシルト半径と呼ばれる長さで，$a = \dfrac{2GM}{c^2}$ で与えられる．G は万有引力定数，c は光速である．

問題 7.2.2

浦島太郎は，自分の旅立った日と帰還した日を調べると，10 日ほどさらに余計に未

来に来ていることに気がついた．竜宮城にいた 11 年の間に，地球との時間差 10 日が生じた理由として，竜宮城が大きな質量の星にあったためではないかと考えた．地球の重力はとても弱く平坦な空間と見なしてよいとすれば，式 (7.2.7) に応じた時間差が竜宮城で生じたことになる．

(7) 式 (7.0.24) において，竜宮城のある星と地球との時間の進み方を比較することにより，比 a/r の値を求めよ．

ここで求めた比 a/r は，相対性理論が有効となるスケールを表すが，ここではそれほど大きくない．そのために，地球上の重力と同じような環境が竜宮城で得られていたと考えられる．以後，星の中心からの距離 r を星の半径の位置 R としよう．

(8) 竜宮城のある星の質量 M と半径 R の比 M/R を求めよ．

(9) 竜宮城の重力加速度が地球と同じ g だったとすると，竜宮城のあった星の質量と半径はいくらか．

▶解

(7) 式 (7.2.7) より，

$$\frac{a}{r} = 1 - \left(\frac{\Delta T'}{\Delta T}\right)^2 = 1 - \left(\frac{11}{11 + 10/365}\right)^2 = 4.96 \times 10^{-3}$$

(8) (7) の結果と $a = \dfrac{2GM}{c^2}$ より，

$$\frac{M}{R} = 4.96 \times 10^{-3} \times \frac{c^2}{2G} = 3.34 \times 10^{24}\ \mathrm{kg/m}$$

(9) 星の表面での重力加速度の大きさが $g = \dfrac{GM}{R^2}$ で与えられることから，竜宮城内の重力加速度が地球と同じ g とすると，$M/R^2 = g/G = 1.47 \times 10^{11}$．これを (8) の値と比較して，星の半径 $R = 2.3 \times 10^{13}$ m，星の質量 $M = 7.6 \times 10^{37}$ kg を得る． □

現実にはありえない星の質量と半径となってしまったが，ご容赦願いたい．

■GPS 衛星電波の相対論補正 ★★☆

GPS（Global Positioning System）では，12 時間で地球を 1 周する人工衛星（GPS 衛星）と交信し，信号が伝わるのに要する時間から計算した衛星までの距離を用いて，3 次元的な位置（緯度，経度，高度）を決定している．人工衛星は，赤道面に対してそれぞれおよそ 55° 傾き，互いに 60° の角度で交わる 6 つの円軌道に対して，その 1 つ 1 つに 4 機ずつ配置され，地球上のどこでも常に 4 機以上の人工衛星と交信して，位置の測定ができるようになっている．

人工衛星には原子時計が積まれていて，時間の情報が常に地球に向けて発信されている．地上の受信機で 3 機の電波を受信できれば，3 点測量の技術から受信機のいる位置が判明する，というしくみだ．ただし，受信機の時計は不正確なので 4 機目の人工衛星で受信時刻の不確定さを調整している．



全3巻
朝倉書店, 2023/11



勉誠社，2024/10

タイムトラベルの数理
―未来へのトラベル，過去へのトラベル，ブラックホール，ワームホール

真貝　寿明

1. 丹後に伝わる浦島太郎の話

日本人なら誰でも知っている浦島太郎の話は，『丹後国風土記』（が後世に引用された形で残る逸文），『日本書紀』そして『万葉集』に記載されている．それぞれ若干ストーリーは異なるが，いずれも助けた亀が恩返しした話ではない[1]．『風土記』版では次のような展開だ．

> 与謝郡筒川[*1]の浦島子（うらのしまこ）が一人漁に出て 3 日目に亀を釣ると，その亀が若い娘（仙女）に変わり，気がつくと常世の国（神の国）に着いていた．二人は夫婦となり楽しく 3 年過ごすが，島子は故郷の両親が懐かしくなっていったん帰ることにする．娘は悲しむが「帰りたいなら絶対開けるな」と玉手箱を島子に渡す．故郷に帰った島子は 300 年が経過していることを知る．動転して箱を開けてしまい，元に戻れなくなった．

文学者の水野[1]によれば，類似の話が，九州の日向・沖縄・台湾・インドネシア・メラネシアなどにも見つかることから，浦島伝説は漁撈民の伝承と考えられるという．さらに，水野は浦島伝説が「神仙思想」や「不老不死の常世（蓬莱山）」の概念を含むことから，中国の影響も若干ある可能性を述べている．このような文化伝承経路に話が進むのは面白い．

本稿では，浦島子が未来へタイムトラベルしたことに注目し，それを可能にする数理を紹介し，浦島伝説を検証しよう．

2. 運動する観測者の時間の遅れ（特殊相対論）

Einstein が 1905 年に発表した相対性理論（当初は相対性原理と呼び，後に一般相対性理論を構築したときに，**特殊相対性理論**と呼び名を改めた）は，空間と時間を物理法則の適用対象にしたものである．その動機は，電磁気学の基礎方程式である Maxwell 方程式（1864 年）の中に，光速度 c が陽に現れたことの解釈であった．

物理法則の中に，速度が現れることは不思議である．速度は観測者によって測定される相対的なものだからだ．Maxwell 方程式中の c がどこで測られた速度なのかをめぐって，絶対静止座標系に対する相対運動の検証実験がなされた（Michelson-Morley の実験）．だがその検証に失敗すると，実験結果の整合性を求めて，**Lorentz 変換**が提案される．Lorentz 変換とは，静止する慣性座標系 (t, x) と，x 方向に速度 v で移動する慣性座標系 (t', x') の間には，

$$t' = \frac{t - (v/c^2)x}{\sqrt{1-(v/c)^2}}, x' = \frac{x - vt}{\sqrt{1-(v/c)^2}} \quad (1)$$

の変換が成立する，というもので，この変換の自

*1) 『丹後国風土記』に登場する浦島伝説の伝承地として，京都府京丹後市網野町と与謝郡伊根町本庄の 2 つの説がある．

数理科学　2024/6

不思議の国のトムキンス

コラム 17　不思議の国のトムキンス

光速に近い速さで移動すると，ニュートン力学とは違った現象が起きる．光がドップラー効果を受けて色を変えたり，角度によって光が到着する時間差が生じるので，見かけの形が変形する．

物理学者のガモフ (George Gamow, 1904–68) は，このような現象を一般向けにわかりやすく伝えるため，物語として『不思議の国のトムキンス (Mr. Tompkins in Wonderland)』を著した．もし，光の速度が時速 30 km/s だったとしたら，日常生活でも相対性理論の効果がいろいろ見えるだろうというストーリーである．

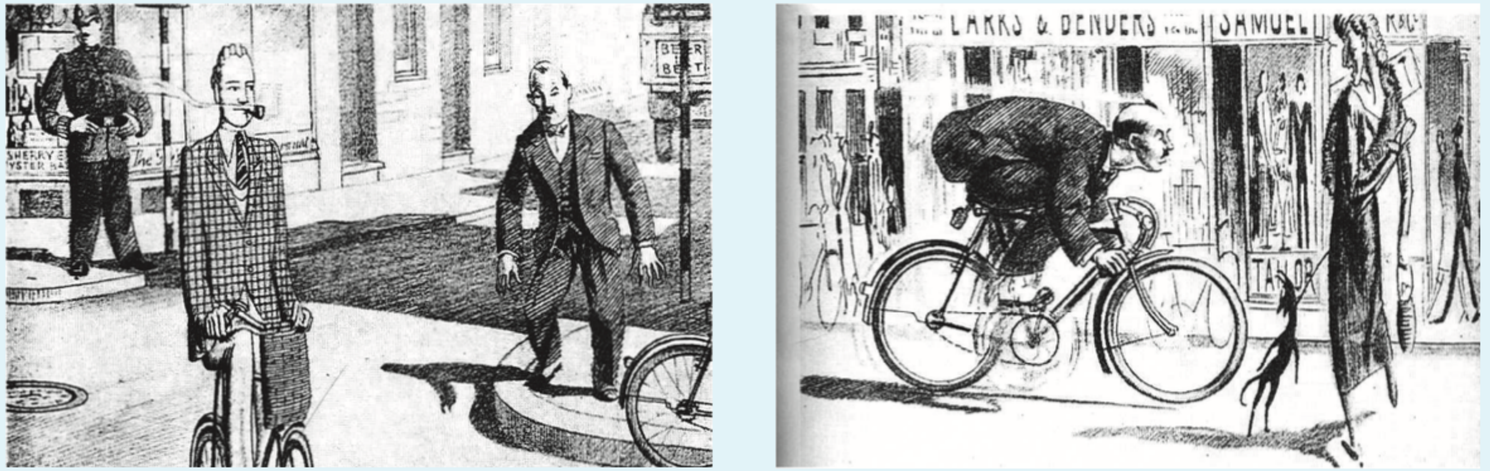


図 3.18　ガモフ著『不思議の国のトムキンス』（伏見康治 (訳)，創元科学選書，1943）の挿絵．最高速度が時速 30 km/s の世界では，自転車で移動する人から見ると世界が歪んで見え，止まっている人から自転車の人を見ると平たく見える．

「不思議の国のトムキンス」効果の由来

準光速ロケットからの眺め
（1）光のドップラー効果

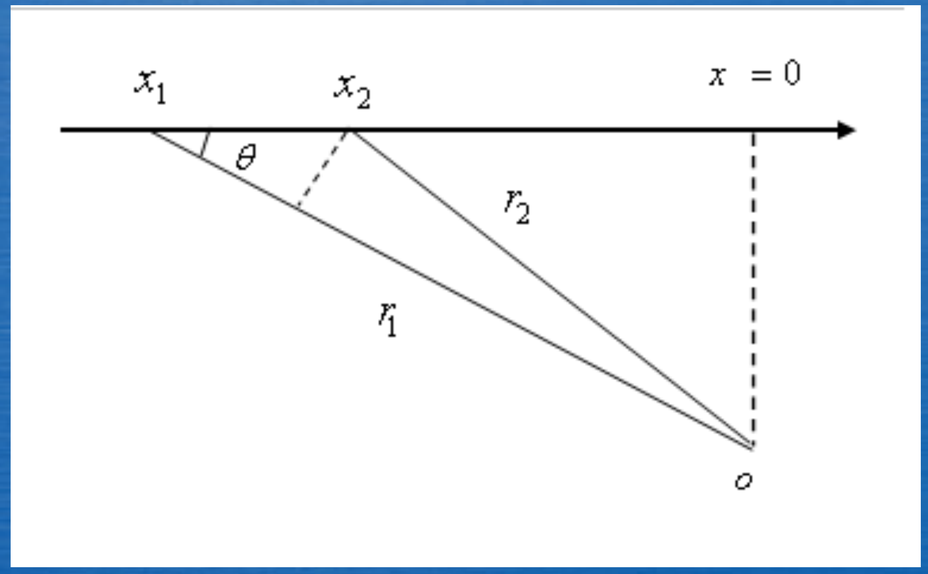


$$f_N = \frac{c + v_{source}}{c - v_{obs}} f_{source}$$

$$f_{SR} = \left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right)^{1/2} f_{source}, \quad \beta = \frac{v_{obs}}{c}$$

「不思議の国のトムキンス」効果の由来

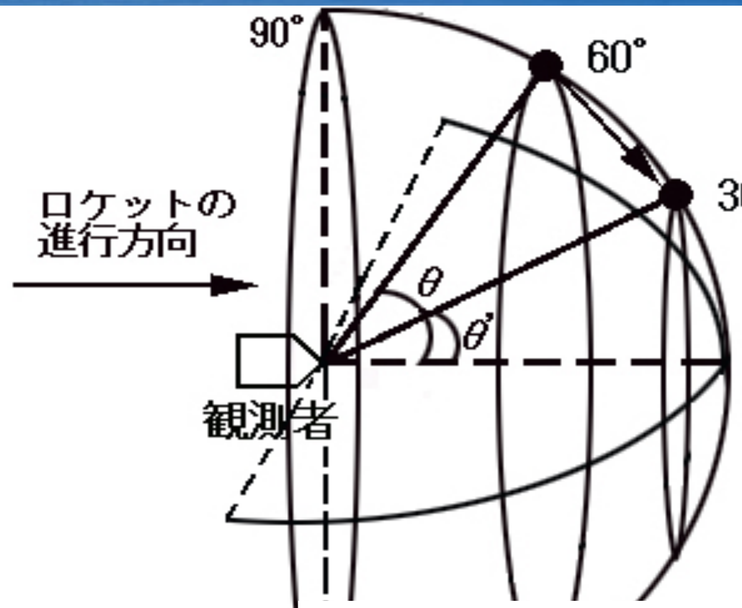
準光速ロケットからの眺め
（２）光の横ドップラー効果



$$f_{SR} = \frac{(1-\beta^2)^{1/2}}{1-\beta\cos\theta} f_{source}, \quad \beta = \frac{v_{obs}}{c}$$

「不思議の国のトムキンス」効果の由来

準光速ロケットからの眺め
（３）光行差現象



$$\tan\theta' = \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{\cos\theta+\beta}\sin\theta, \quad \beta = \frac{v_{obs}}{c}$$

準光速ロケットから見える世界(1)

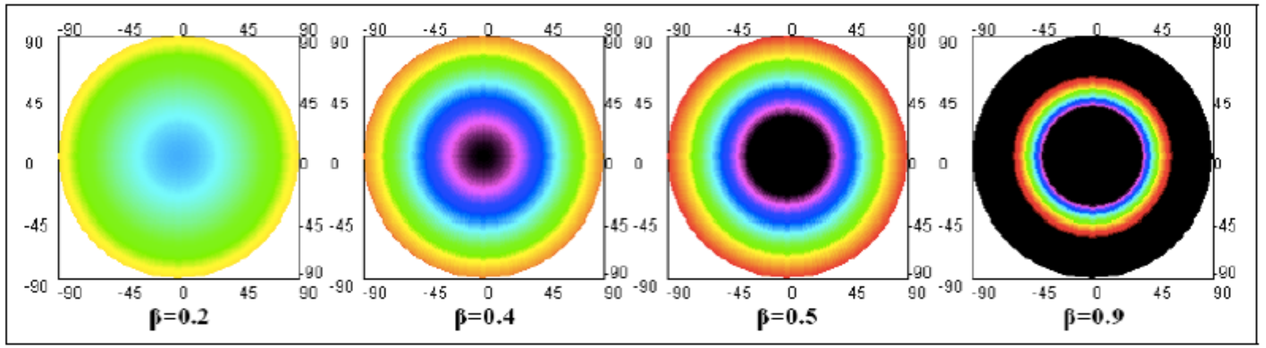


図 13: ドップラー効果のみを考えた前方の景色

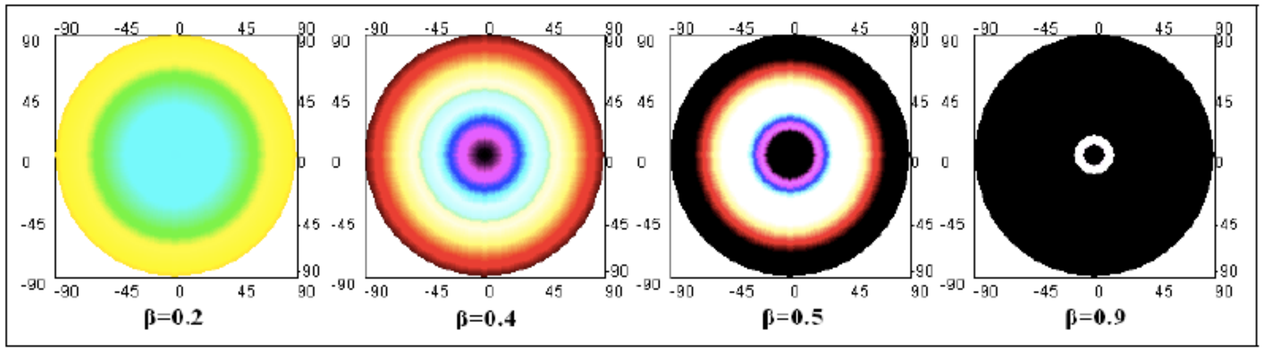


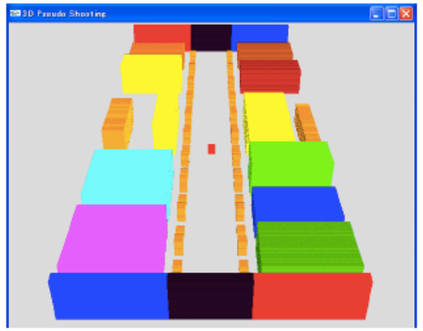
図 14: 図 13 に光行差及び明るさ変化を取り入れた前方の景色

2012年度卒業論文（葭矢景淑君）から

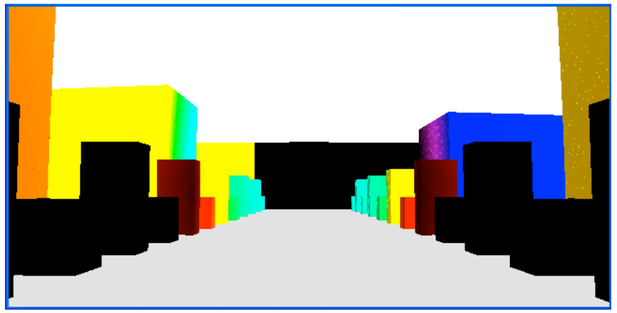
準光速ロケットから見える世界(2)

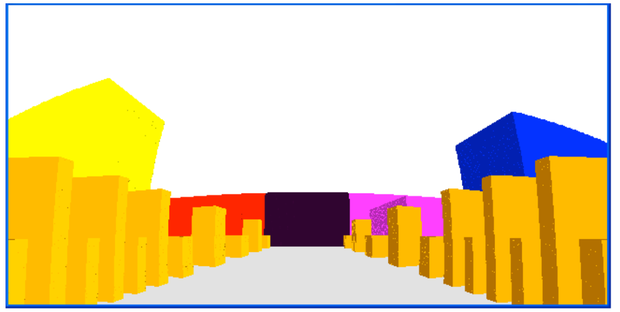
v=0

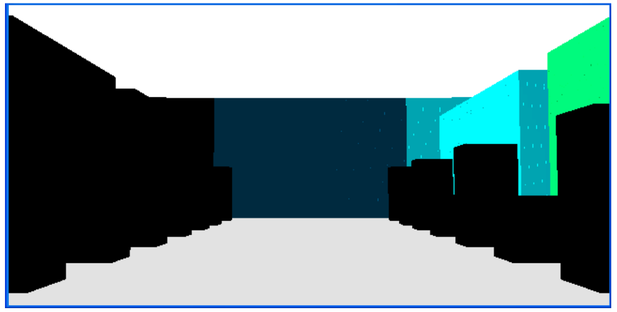




v=0.8c



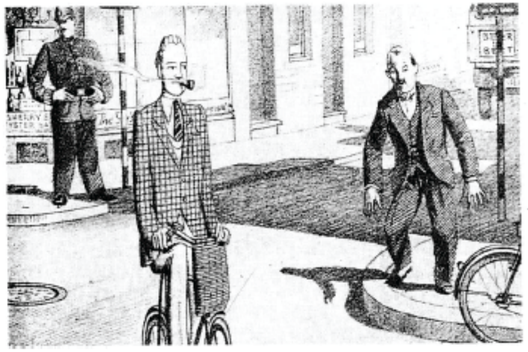






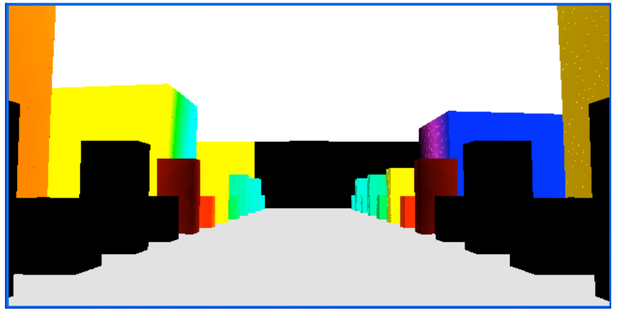
2012年度卒業論文（葭矢景淑君）から

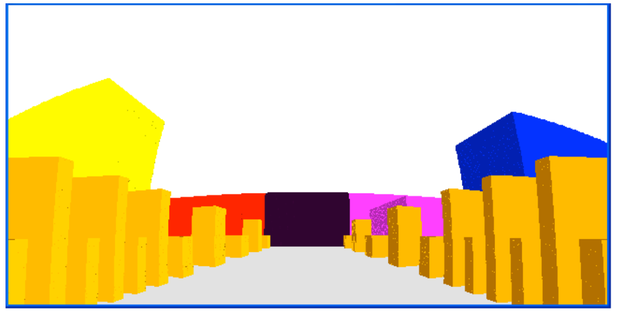
準光速ロケットから見える世界(3)

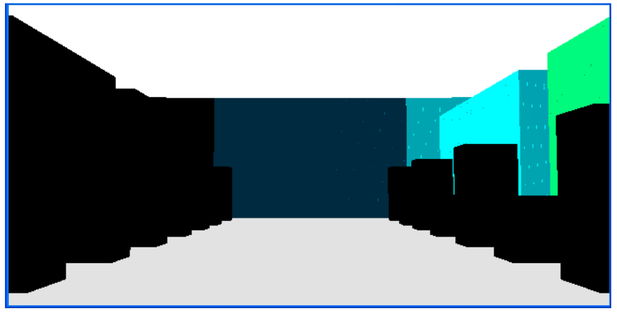




v=0.8c









2012年度卒業論文（葭矢景淑君）から

3.2.5 光円錐と因果律

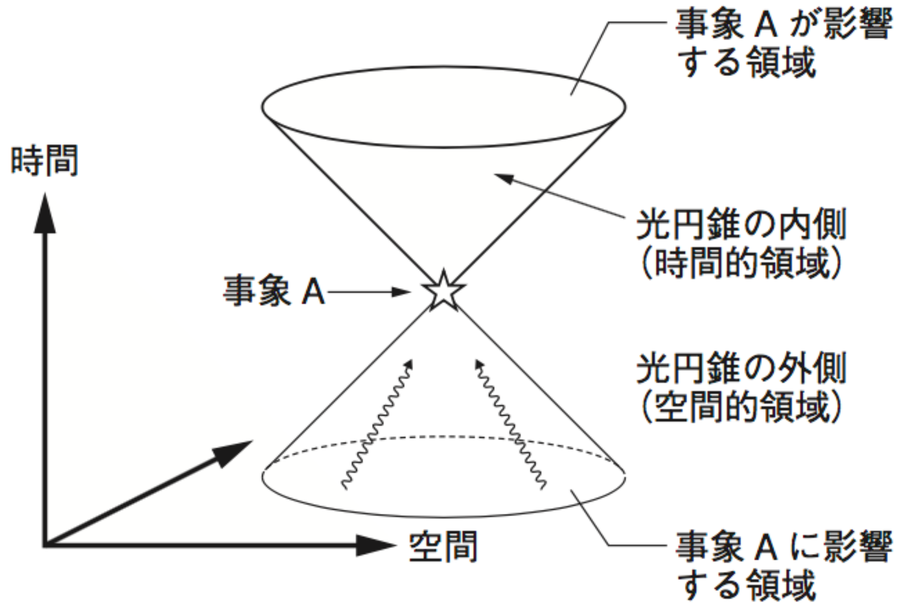




図 3.19 〔左〕4 次元時空は図にすることが難しいので，空間を 2 次元，時間を 1 次元にして図を描く．時間軸が縦である．光の伝わる経路はある点から円錐状に広がる．この円錐内であれば，情報が伝達可能な領域（因果関係があり得る時間的領域），円錐より外側は情報伝達があり得ない領域（空間的領域）である．図を過去に向かって見れば，ある 1 点に過去からの情報がどこまで影響しているかも同様にわかる．〔右〕世界物理年（2005 年）のロゴは，ミンコフスキー時空の光円錐の図だった．

3.2.6 最も有名な物理の公式

4次元時空としてエネルギー保存則を考えると，．．．

特殊相対性理論を使ってエネルギーを計算すると，

$$E = m\frac{c^2}{\sqrt{1-(v/c)^2}} = mc^2 + \frac{1}{2}mv^2 + \frac{3}{8}m\frac{v^4}{c^2} + \cdots \qquad (3.10)$$

となることがわかった．第 2 項は運動エネルギーだが，第 1 項は物体が静止しているときにももつ**質量エネルギー**である．第 3 項以下は相対論的補正項といえる．

静止質量エネルギー（エネルギーと質量の等価性）

$$E = mc^2 \qquad (3.11)$$

3.2.6 最も有名な物理の公式

4次元時空としてエネルギー保存則を考えると，．．．

$$E = mc^2$$

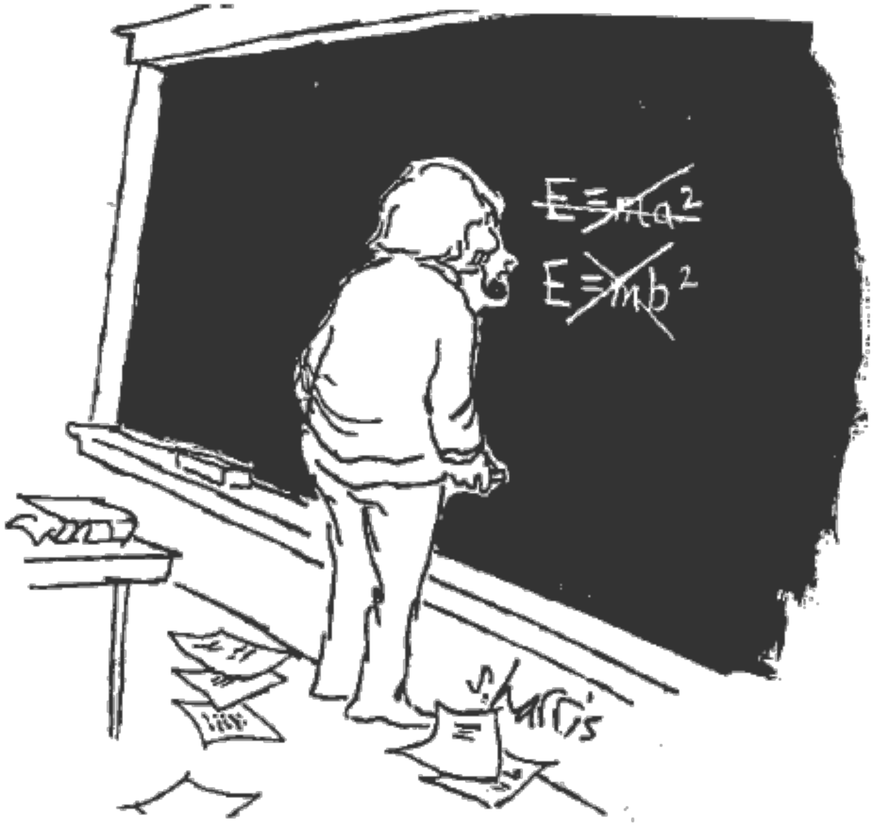
エネルギー　　質量x光速x光速

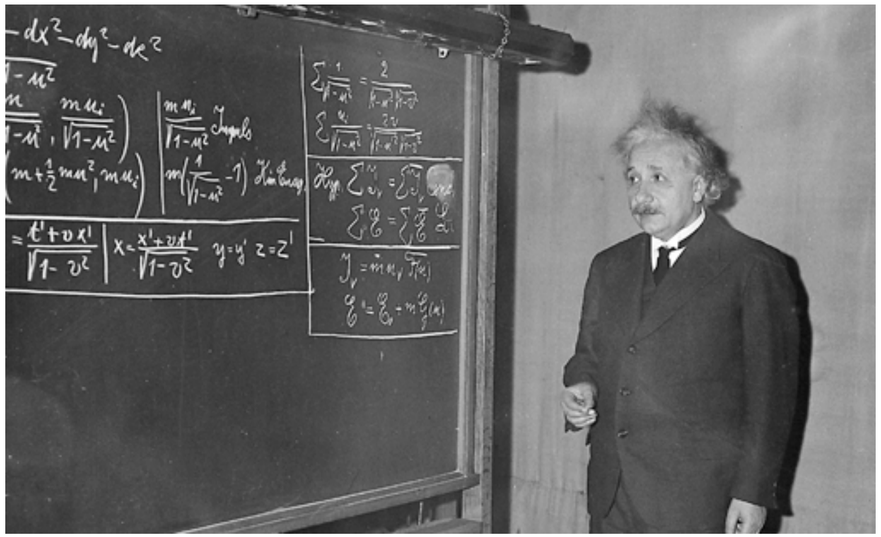
エネルギーは質量と等価である！

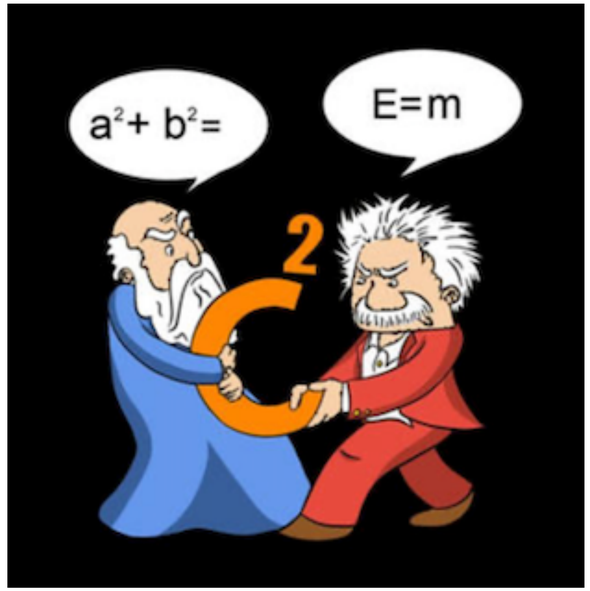
質量はエネルギーに変換できる！

教科書 p73

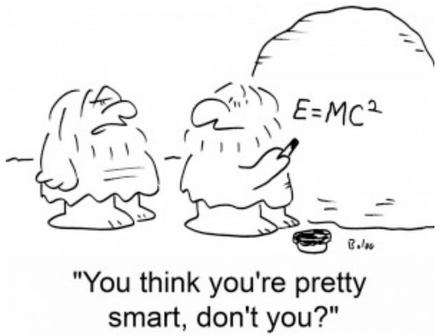
3.2.6 最も有名な物理の公式







3.2.6 最も有名な物理の公式

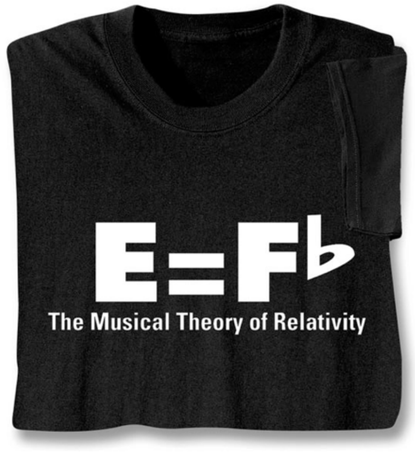








$$E = mc^2$$







【話題】 NHK 朝までラーニング　2023年8月26日放送　2025年7月18日再放送



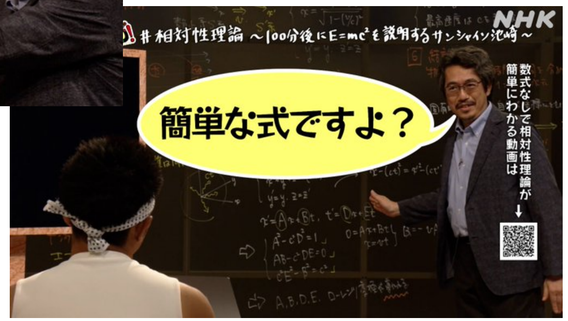


#相対性理論 サンシャイン池崎がひたすら学ぶ謎の深夜番組

初回放送日: 2023年8月27日

「相対性理論をサラッと説明できたらカッコいい！」芸人・サンシャイン池崎さんが100分の大学教授の講義に本気で挑む！難解な数式も登場！「一からちゃんと理解したい」そんな大人の知的欲求に応えます。「数式はムリ」という方にはウエブサイト・NHKラーニングのショート動画でわかりやすく解説！池崎さんの本気の推し、櫻坂46・小池美波さんが内緒で登場！なななな～なななな～ナレーションはジョイマン高木さん。





https://www.web.nhk/tv/pl/series-tep-883N4WZPGQ/ep/2W8P531W5Y

https://www.nhk.jp/p/ts/883N4WZPGQ/

Stephen Hawking（1942−2018）

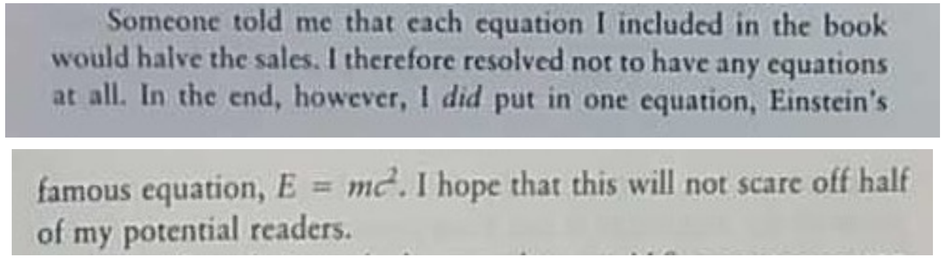


……本の中に数式を1つ入れるたびに，売れ行きは半減すると教えてくれた人がいる．そこで，数式はいっさい入れない決心をした．しかし，とうとう一つだけは入れることになってしまった．アインシュタインの有名な式 $E = mc^2$ である．この式が私の本の潜在的な読者をおびえさせ，半分に減らさないことを願っている．……

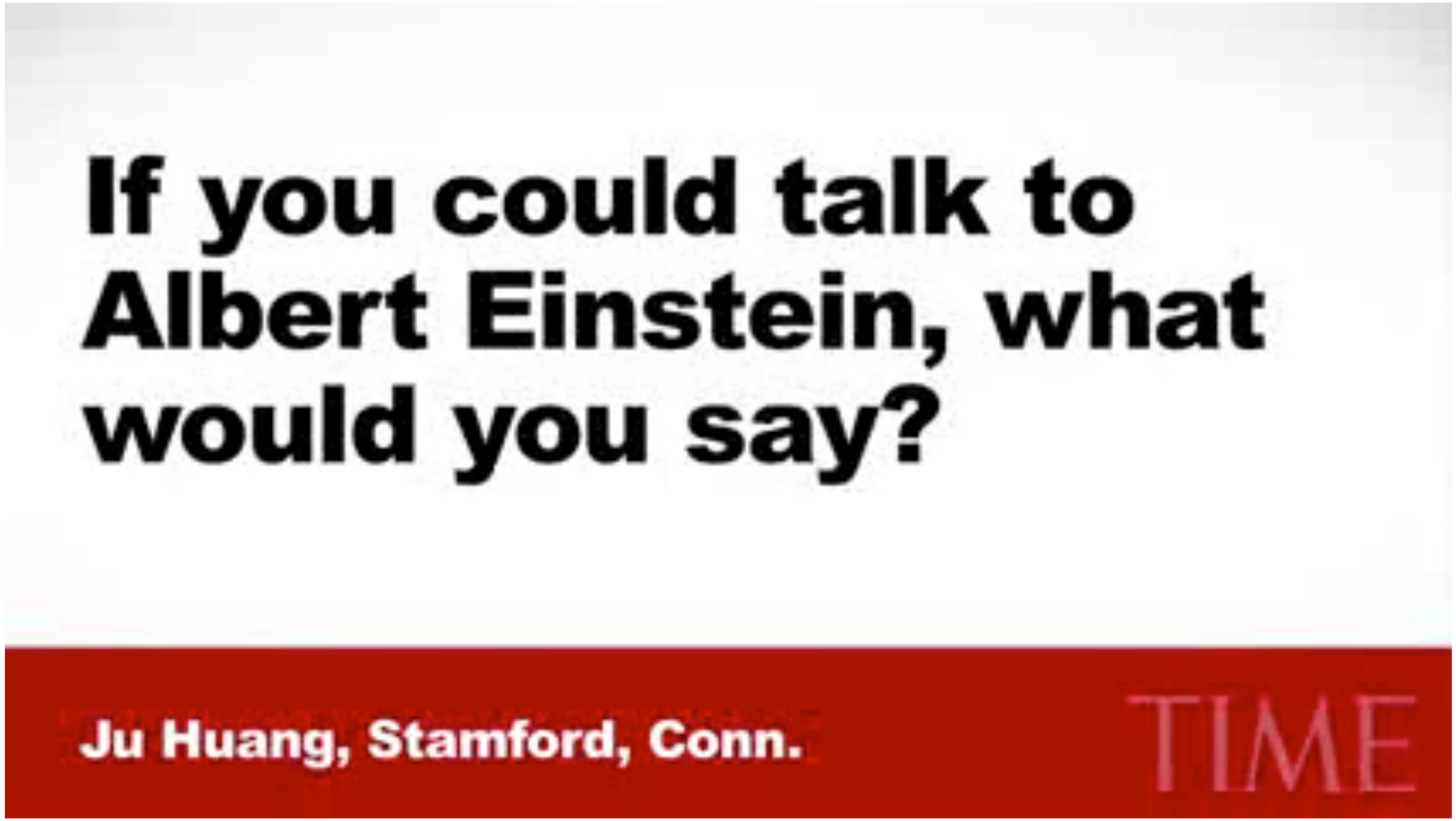


1988

Someone told me that each equation I included in the book would halve the sales. I therefore resolved not to have any equations at all. In the end, however, I did put in one equation, Einstein's famous equation, $E = mc^2$. I hope that this will not scare off half of my potential readers.



10 Questions to Stephen Hawking



http://content.time.com/time/video/player/0,32068,660287833001_2029571,00.html

Start on Click, first 1'40" part

本日のミニッツペーパー記入項目　出席票を兼ねます.



【6-1】(本日の講義から)

光の速さで動く人が鏡を見ると, 自分の顔は映る？映らない？

【6-2】(本日の講義から)

「双子のパラドックス」とは, 何がパラドックス(正しそうに思えるが間違っていること)だったのか.

【6-3】(次回のネタ)

おすすめのタイムマシン映画を教えて.

【6-4】 通信欄

(感想・講義で取り上げて欲しい疑問・要望・連絡事項など、何かあれば)

第１回レポート課題締め切り10月31日23:59