

最先端物理学が描く宇宙

Frontiers of Physics & Cosmology

第7回 2024/11/5

第3章 現代物理学1：相対性理論 (2)

真貝 寿明

Hisaaki Shinkai



<https://www.oit.ac.jp/is/shinkai/mukogawa>

総評 気合いの入ったレポートをたくさんいただきました。

採点基準 (20点)

*期日内提出	3点	*referenceがきちんとしていない	減点
*フォーマット	2点	*結論が「生命体」「知的生命体」に分けてない	減点
*2項目調べて	8点	*結論の根拠がない	減点
*結論, 論理展開	7点	*遅れて提出	減点

調査項目

惑星探査の現状	44
太陽系外惑星探査	23
SETI@Home	32
宇宙生物学	21

52名提出

結論

生命体, 知的生命体はいると考える	18
生命体はあるだろうが, 知的生命体はいないと考える	11
生命体, 知的生命体とも地球以外にはいないと考える	4
結論忘れ, 2種類の結論せず	12

前回のミニッツペーパーから

この授業はテストあるんですか？

以前はテストでした（持ち込み可）が、今はレポート3回。

未来へ行くタイムマシンは可能かという点を取りました。

相対性理論によつて、宇宙飛行士や旅客機の乗務員の過ごす時間がわずかに短くなるというのが面白いなと思いました。

双子のパラドックス、浦島太郎みたいな話だなと思つたので考えれば考えるほどよく分らなくなりました。

宇宙の果てについて

NHKなどで動画で解説があったのが有難かったです。

ロケットにいる人と地球にいる人とでは、時間に差が生じて見えるというだけでなく、実際にロケットにいた人の寿命が長くなるのは理解が追いつかなくなりました。

動画を見ても
光がずれて見えるのが理解できませんでした。

今回の授業は夢のような話はわかりで面白かったです。

Eエネルギーは質量と等価であつて、質量はEエネルギーに変換できることに驚きました。

マイケルソン・モーリーの実験について理解することができました。

"パラドックス"という単語の意味
話を聞いて、確かにとろくに納得しました。

前回のミニッツペーパーから

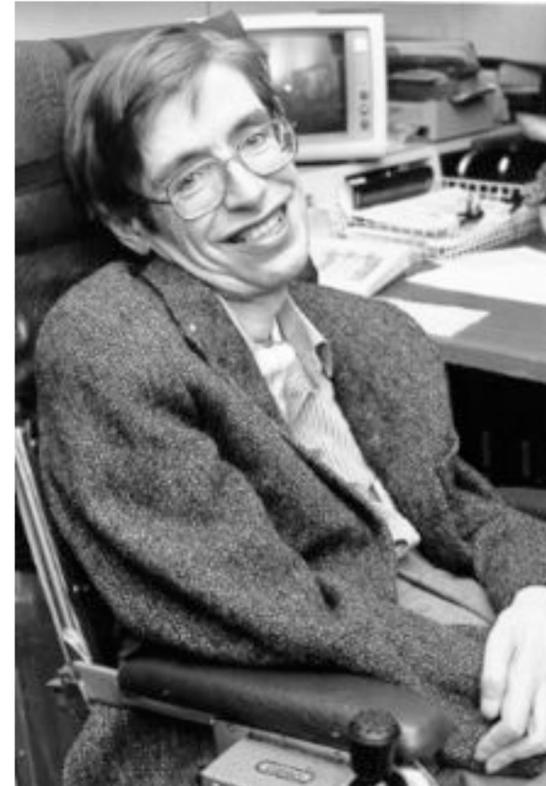
物理ではローレンツ変換の $\frac{v_1 + v_2}{1 + (v_1 v_2 / c^2)}$ のような式が色々出てきますが、
このような式はどのように作られるのでしょうか

原理から導かれた式が示した、という形です。

「物理法則は誰から見ても同じ式」「光の速度は誰から見ても一定」を元に式をだしたら、予言された、ということ。

ホーキング

体が動かないとしても物理を追い続けるにホーキングはすごい
と思える。

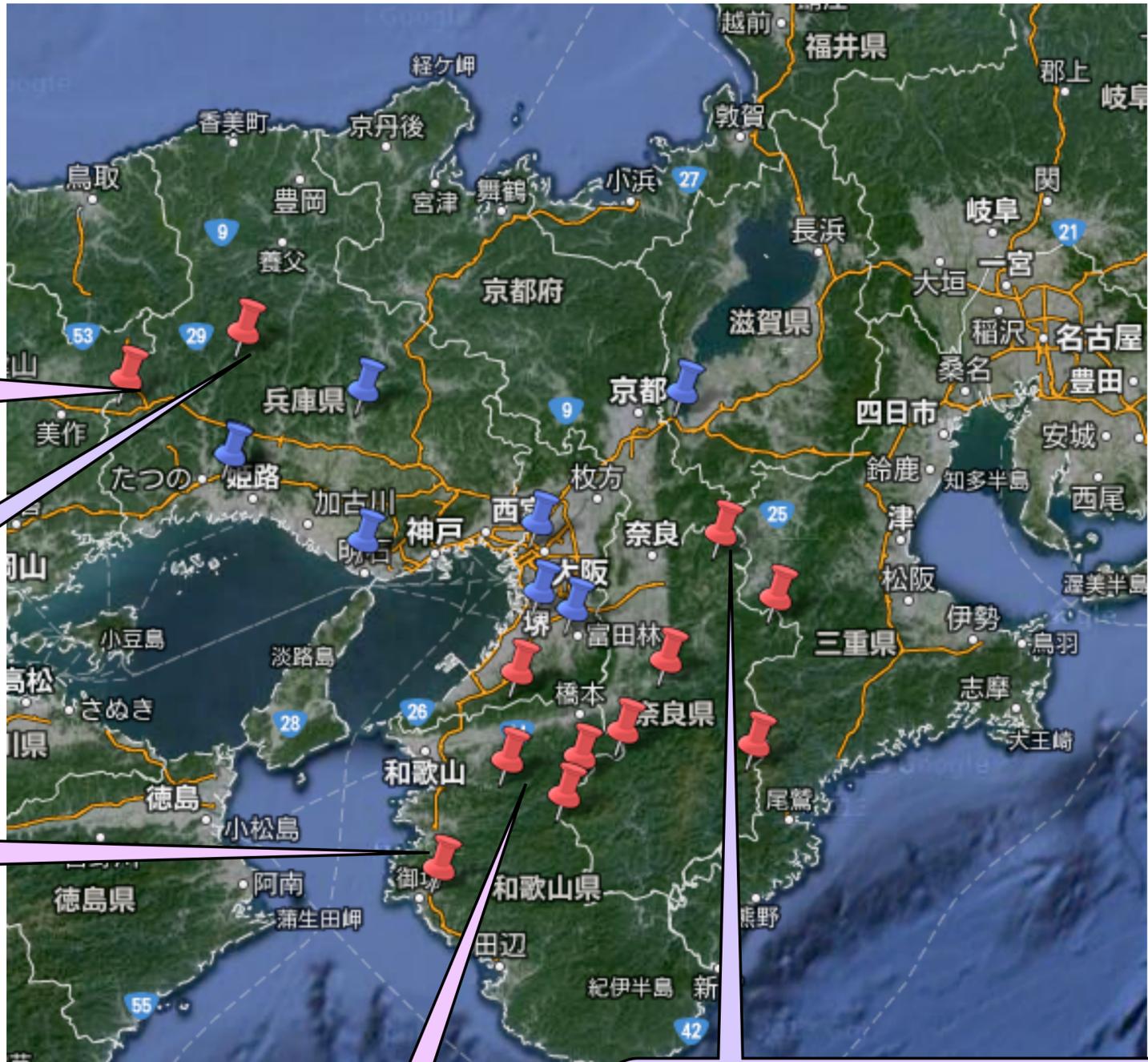


Stephen Hawking (1942–2018)

前回のミニッツペーパーから

先週、シリウス流星群が見られました！感動が
また次は山で見てほしい！

星が綺麗に見える
スポットで
お祈りしてほしいかな？



西はりま天文台

標高430m. 日本最大、公開用
では世界最大の2mのなゆた望
遠鏡あり. 公園や宿泊施設など
もある.

峰山高原 標高920m.

かわべ天文台公園

標高90m. 1mの望遠鏡あり.
プラネタリウムや宿泊施設など
もある.

みさと天文台

標高420m. 1mの望遠鏡あり.
駐車場は夜間も開放.

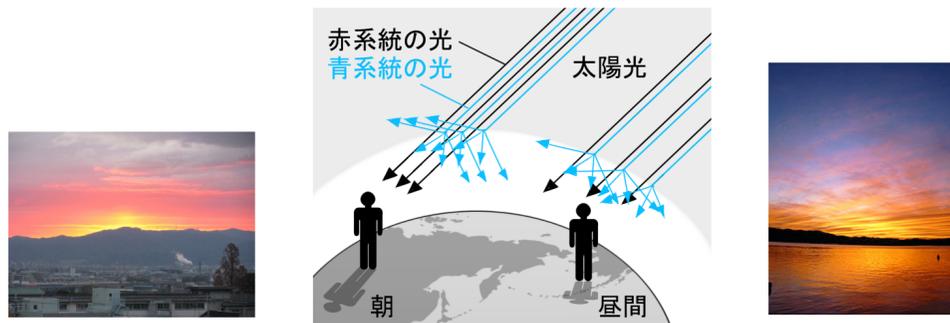
標高500m. 森林科学館近くの
駐車場.

フォレストパーク神野山

前回のミニッツペーパーから

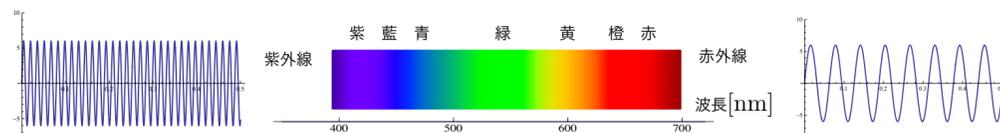
「ワウ-コフラッシュ」という現象もレイリー散乱によるものなのではうか。

朝焼け・夕焼け なぜ赤い？



レイリー散乱 (Rayleigh scattering)

光の波長よりも小さな物体（窒素分子、酸素分子）で散乱を受ける。
散乱する量は、波長の4乗に反比例するので、青い光は赤い光の5倍強く散乱する



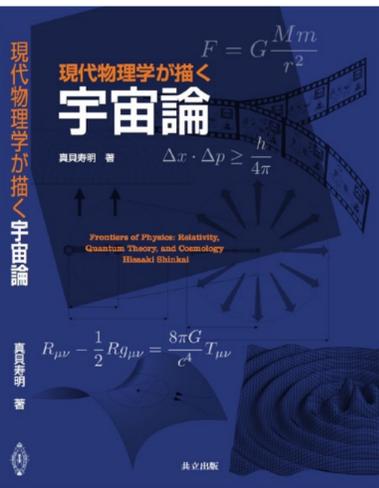
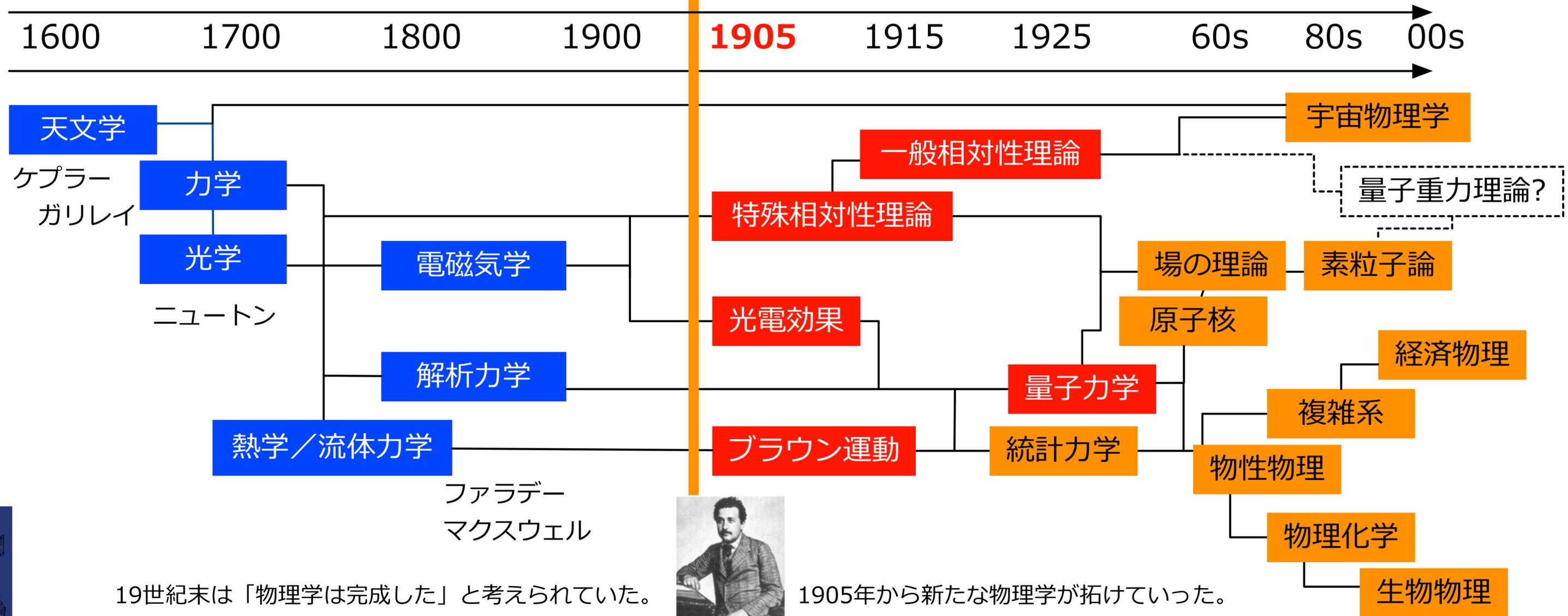
昼間は、青い光の散乱を見上げるので、青い空
朝夕は、青い光の成分が散乱されて届かないので、白-青=赤い空



1905年 物理学 奇跡の年

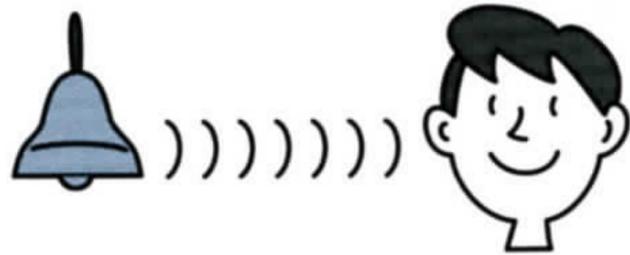
近代物理学の進展

現代物理学の進展

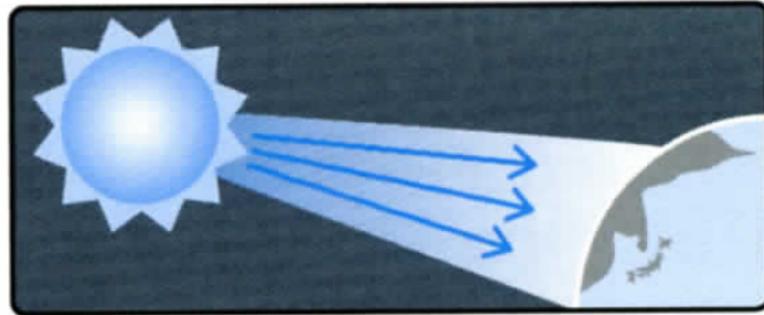


3.2.1 電磁気学で生じた疑問

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?

電磁波を伝える媒質として

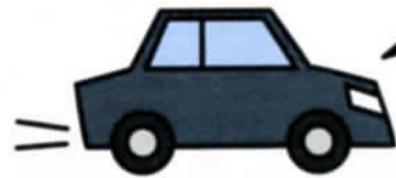
「エーテル」(ether; 天空をみたす物質)

が存在するはずだ。

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

車中の人からはパトカーの速度は時速20kmに見える。
(速度は相対的なもの)

(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。

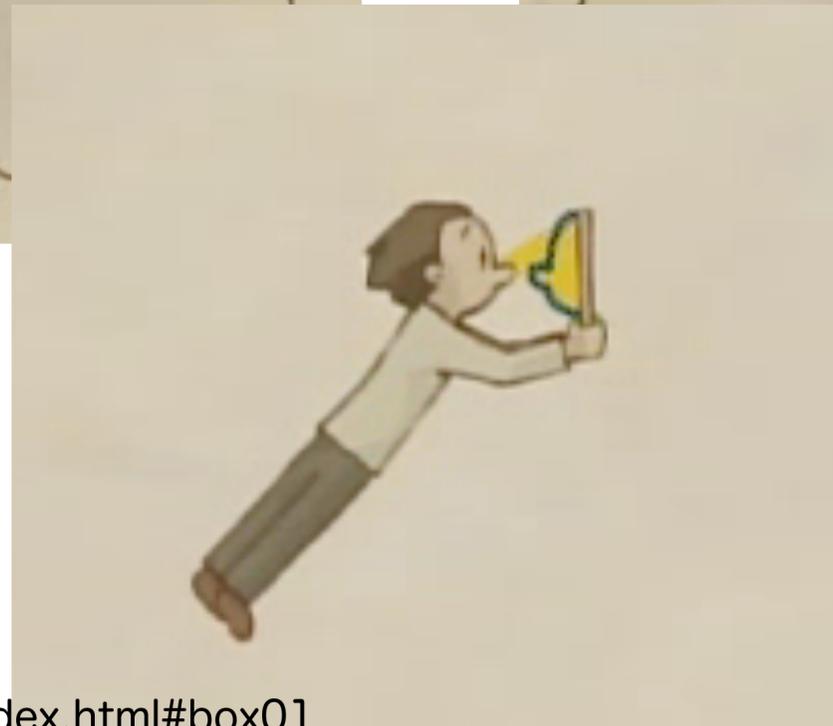
- **当時の考え：**

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。

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？



前回のミニッツペーパーから



映らない

鏡は
映らない 光を反射して映るので「光と同じはやく」と反射しないの？

映らない

光速だと、速すぎて何も見えなくなるから写らない？

映らない 29

映る 21

映る



映る：光速一定の原理から。

映る



映ると思う。
光の速さで動く人が鏡を自分で持って、見ているのであれば映ると思う。

映る



映る。
光の速さで動く人でも、鏡と一緒に動いていれば「観測できると思う。
鏡と一緒に動いていれば、鏡に反射した光が「観測者に届かないと思う。」

映る



(同じスピードで) 映る
一点で動いているから。

映る

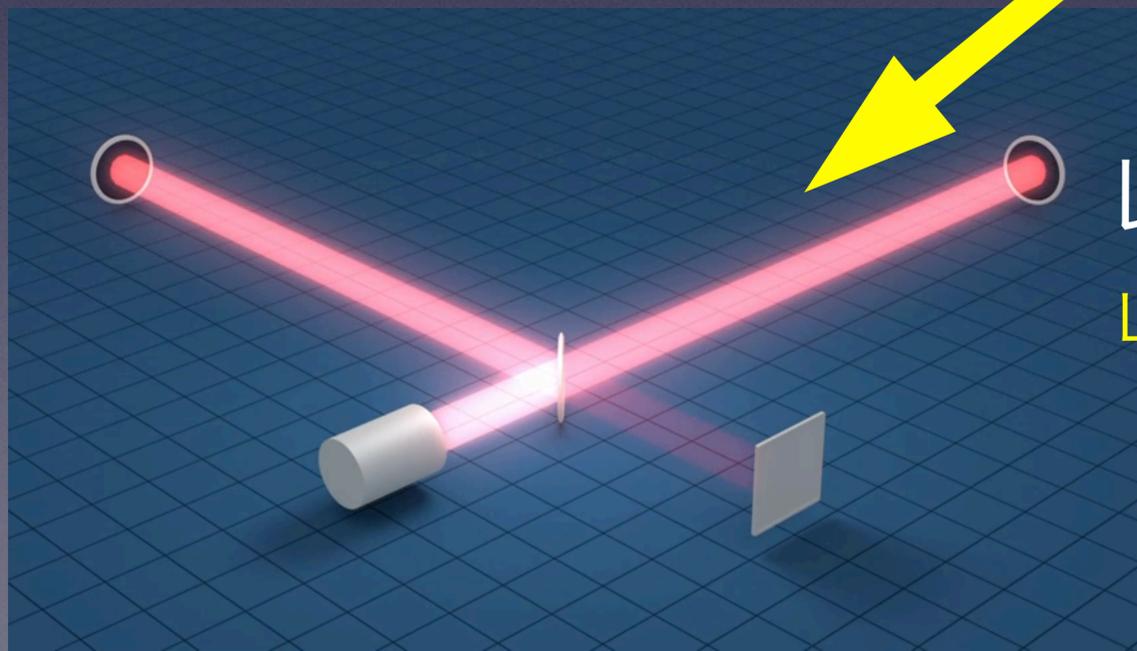
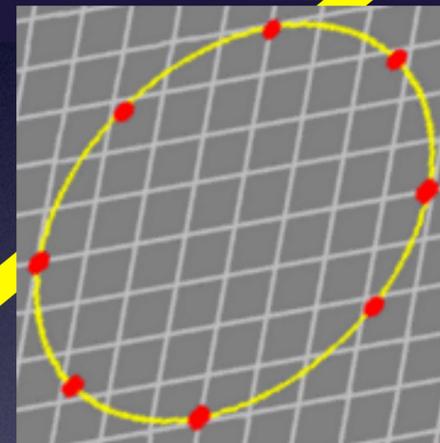
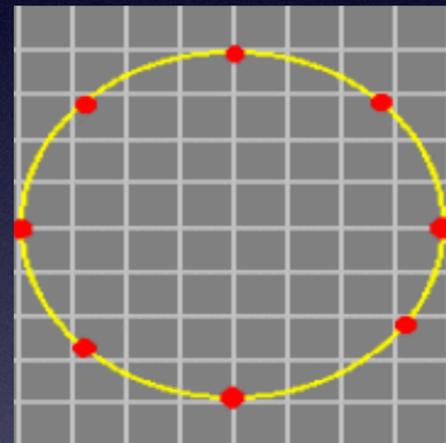
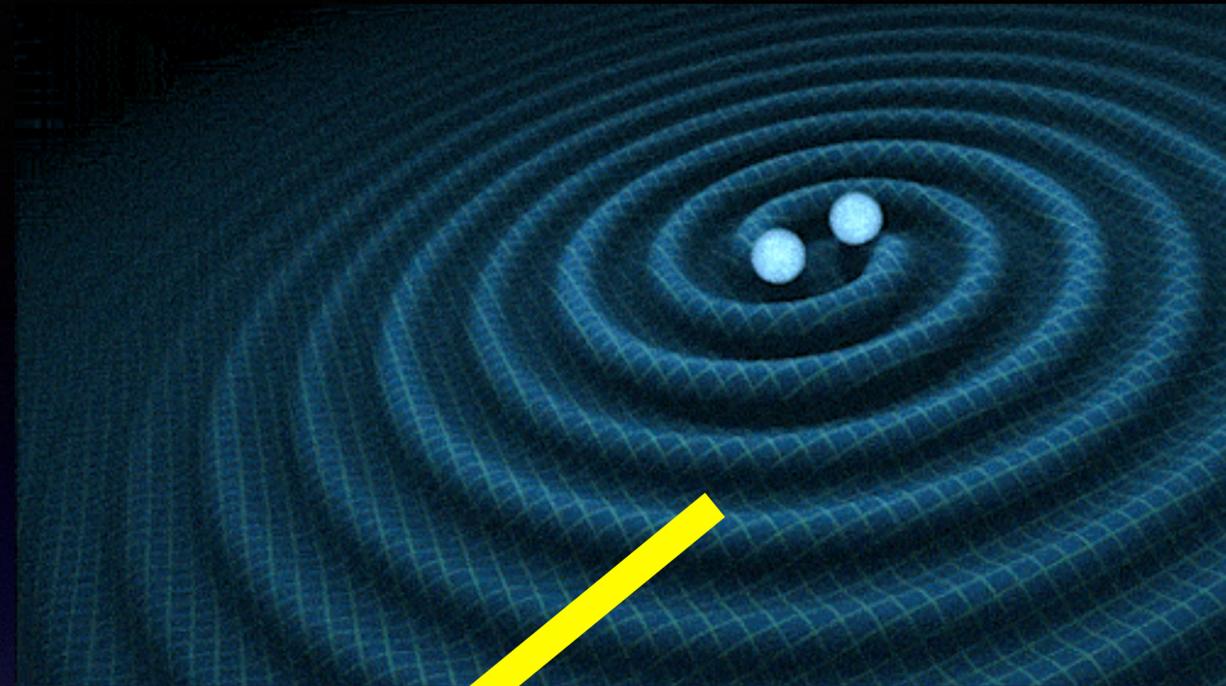


鏡も同じ速さで動いているので、鏡にうつる自分も止まっている時と同じように見えると思います。

光速は不変（誰から見ても同じ 30万km/s）と考えるので、映る

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



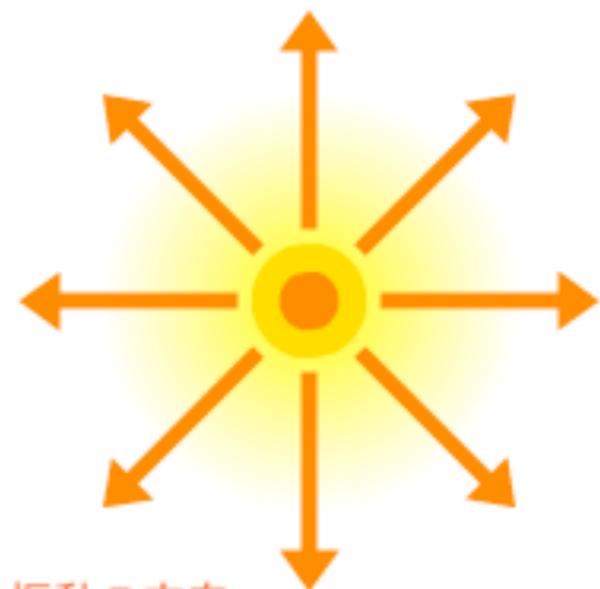
レーザー干渉計

LIGO=Laser Interferometer

Gravitational-Wave Observatory

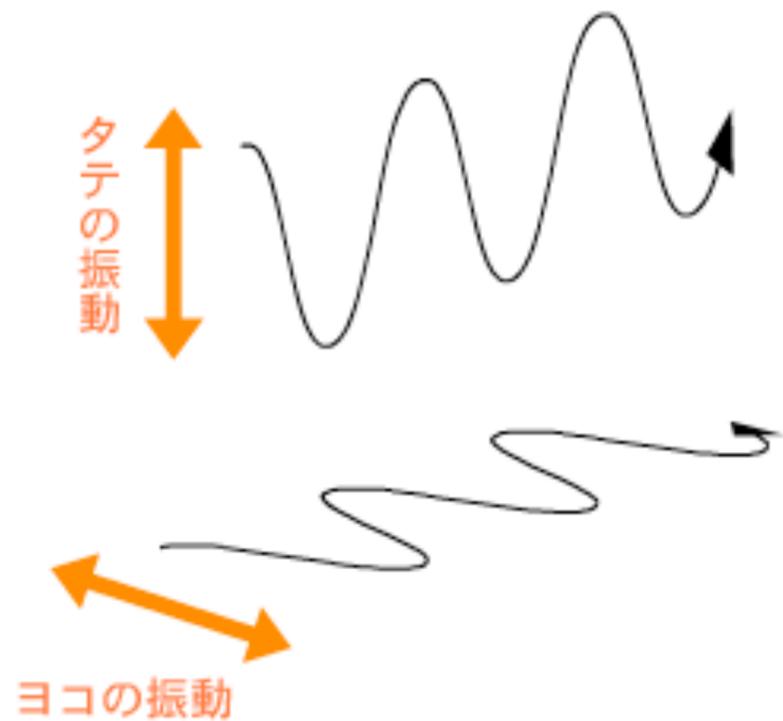
光は横波である

自然光



振動の方向

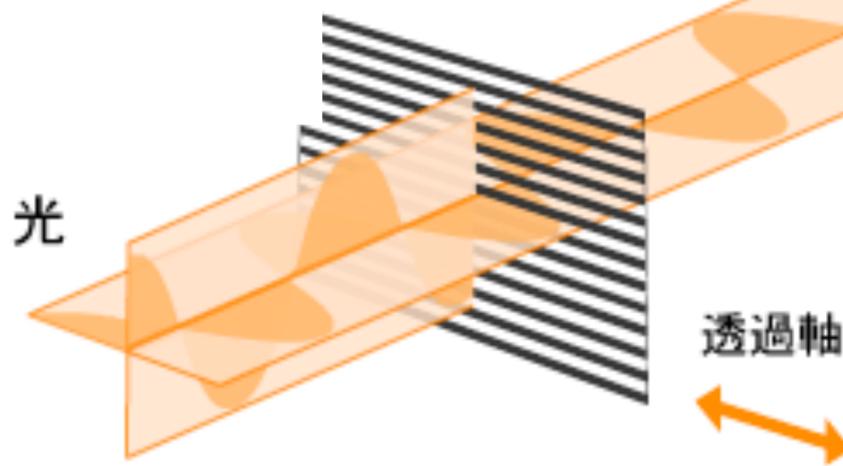
偏光



タテの振動

ヨコの振動

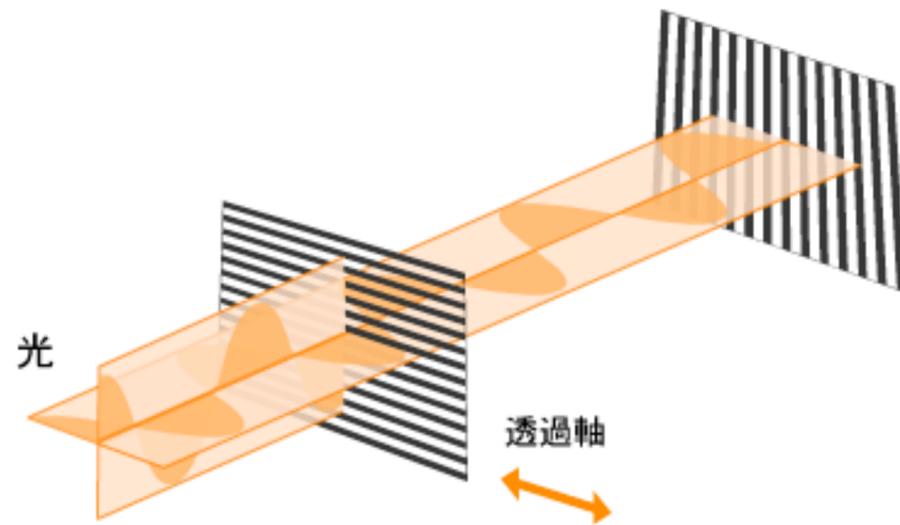
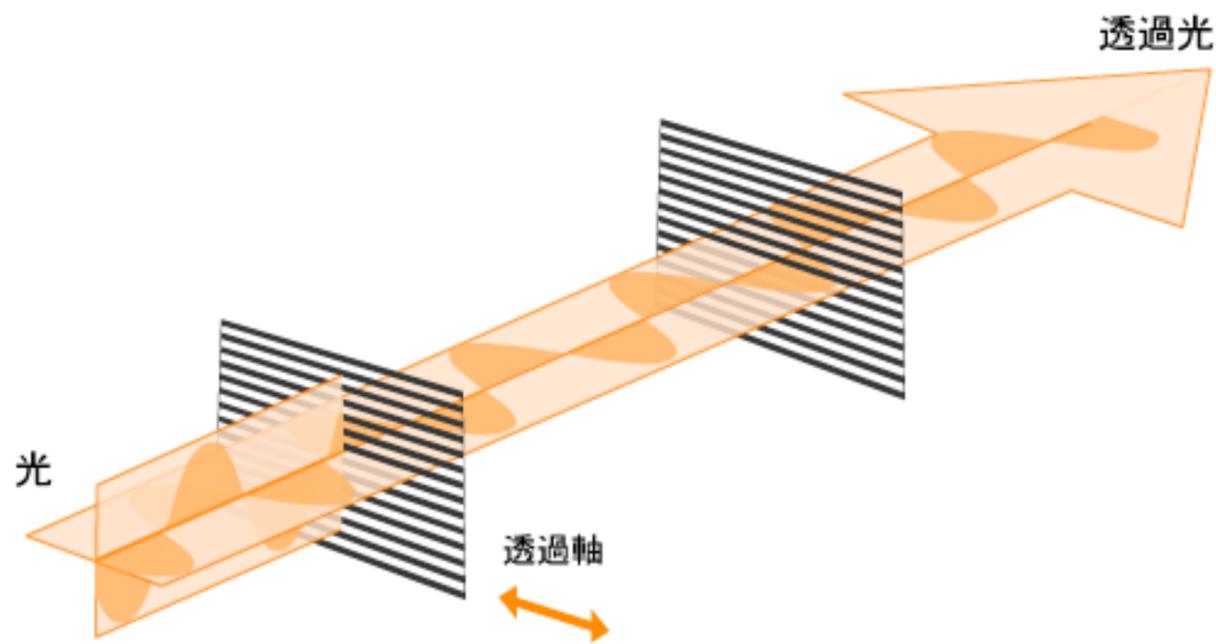
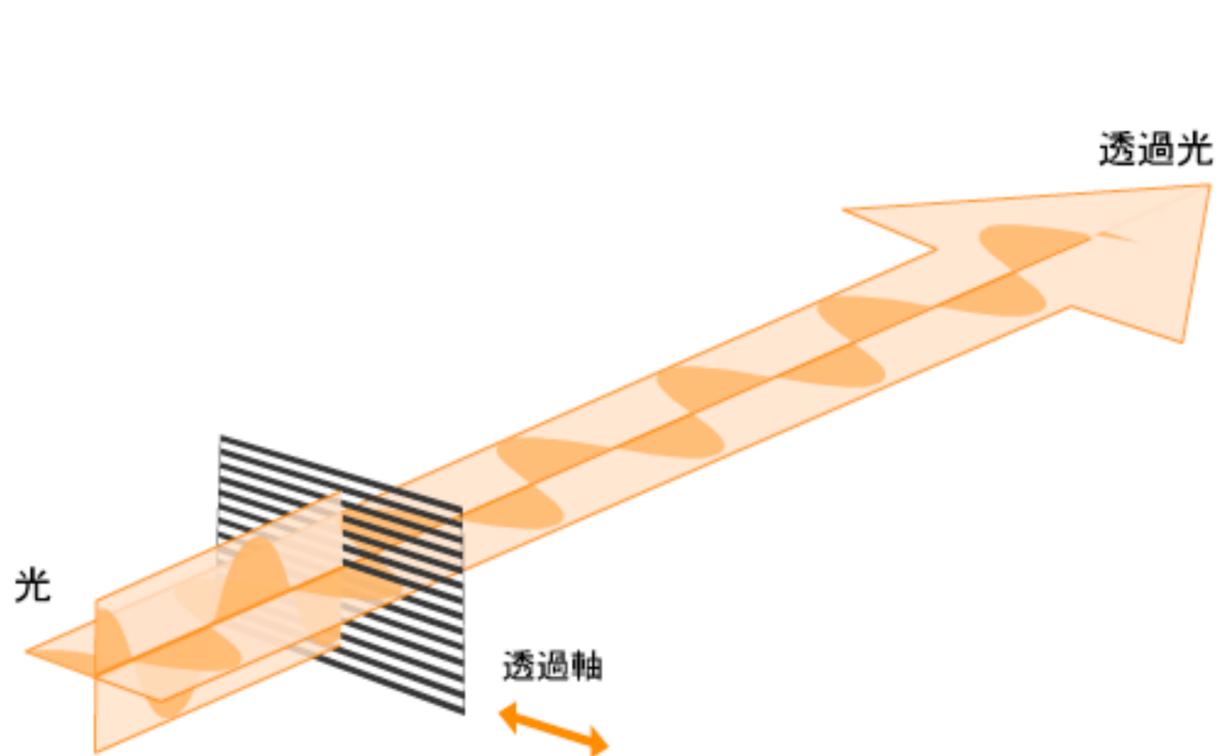
光



透過軸

透過光

光は横波である



これまでの物理学を否定せず、拡張した理論！

特殊相対性理論

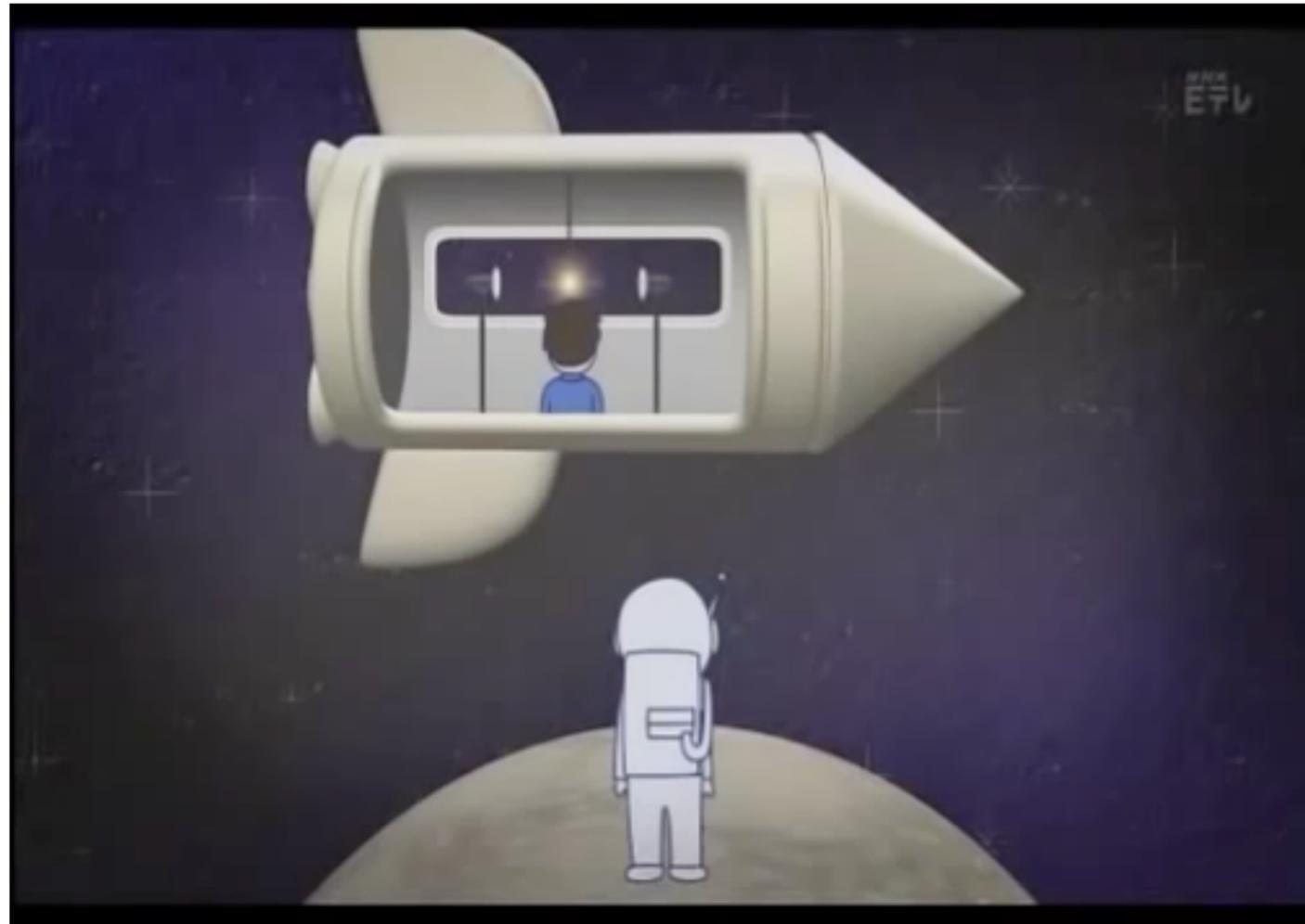
光の速さに近い場合の力学

「時間の進み方は観測者によって異なる」

ニュートン力学

$$F = ma$$

前回のミニッツペーパーから



光が左右両方の鏡に当たる時刻を判定する

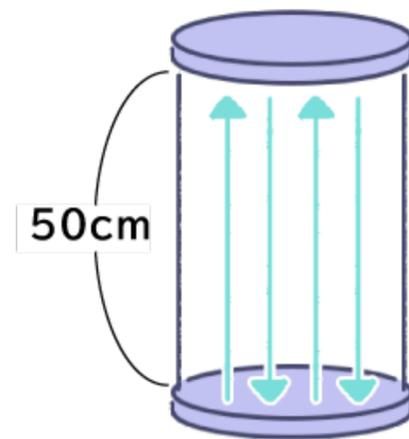
左右両方に同時に光が到着

進行方向にある鏡に光が後に到着

相対性理論では、「同時」という言葉は意味を持たない

動画で出てきたロケットにいる人と外にいる宇宙飛行士は見えているスピードが違ふというのが難しかった。理論的に説明すればなんとなく理解できるが、どちらも正しいというのが不思議だった。

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

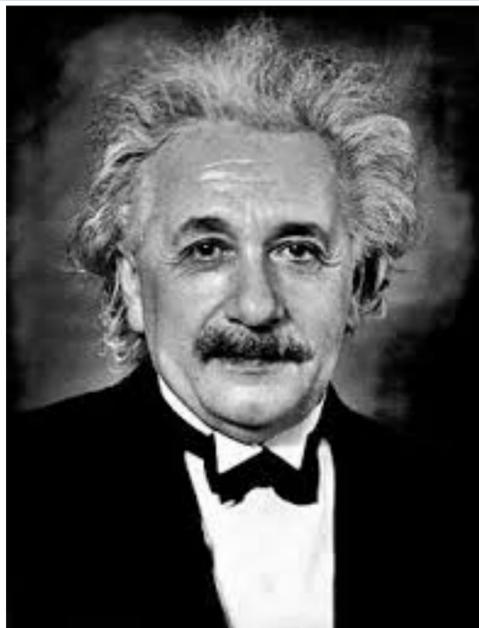
前回のミニッツペーパーから

相対性理論では
時間の進み方は観測する人の運動状態によって異なる。

動いている人の場合、時間の進み方が遅くなるという事が
おもしろい事です。

6-7
移動の速さにより時間の流れ、進み具合が変化することを知り得るから、
それにより世の中も変動する、ということを知ることが出来る。

6-4 今日の宇宙船と小惑星の話が思い出した。あの「あか」、好きなアイドル
の曲で「君といるときはあつという曲だ」けど、環国の時間では遅く
金で「遅く」みたいな歌詞が「あつ」にな。おもしろいなと思っ
たので「あか」、これは気持ちの問題か？ 科学的に何かあるのでしょうか。



熱いストーブの上に一分間手を載せてみてください。まるで一時間ぐらいに感じられるでしょう。ところがかわいい女の子と一緒に一時間座っていても、一分間ぐらいにしか感じられない。それが相対性というものです。

注：これは例えのジョークですよ

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。

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

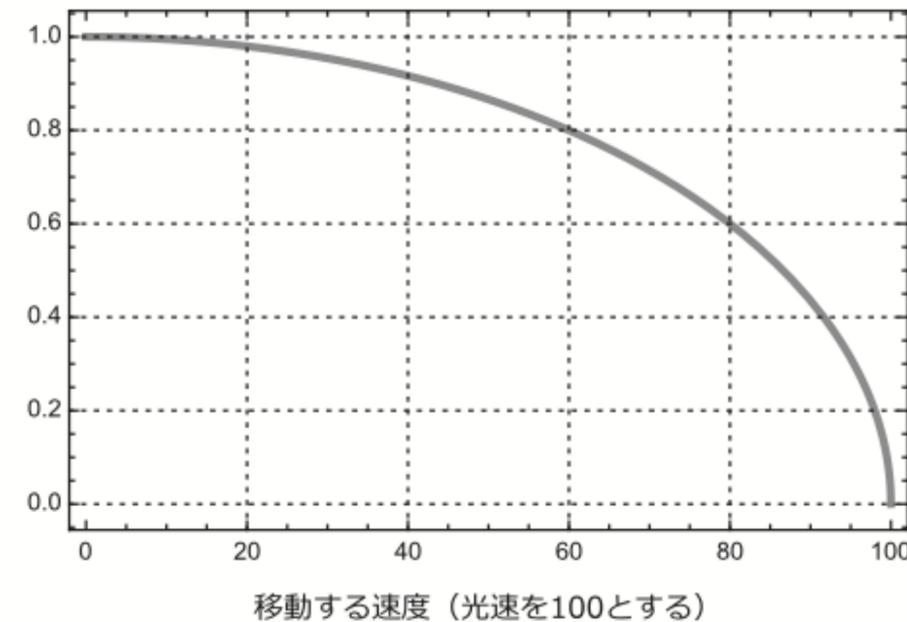
↑
速度 v で移動している人の1秒

↑
静止している人の1秒

表 3.2

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

静止している時計に対する時間の進み方
(静止系から見た時間の遅れ)



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

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．

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

↑
速度 v で移動している人の1秒

↑
静止している人の1秒

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

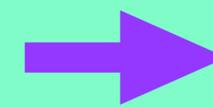
竜宮城は，光速の99.995%の速さで動いていた！

未来へ行くタイムマシンは可能

万葉集 卷九 水江の浦の島子を詠みし一首短歌を并（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 古のことと思ほゆる 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 相あたらひ言成りしかば 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 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>



『丹後国風土記』「浦嶋子」(713年+)

筒川村の嶋子, いわゆる水江の浦の嶋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. 女娘は嶋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」と嶋子に言う. 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.

嶋子と女娘は夫婦となり3年を過ごす. 嶋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, 浦嶋子

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前あり。長二千二百廿九丈、廣さ或る所は九丈より下、或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射奈藝の命、天に通行はさむが爲に椅を作り立て給ひき。

前―考證石前とし、磯崎と解す。前は崎か。
○丹後國風土記、八十卷(一八〇頁)見。

故、天の椅立といひしを、神の御宴坐せる間に付れ伏しき。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。

くしび―靈妙の意、椅に神祕性を認めたのである。

○丹後國風土記曰 與謝郡 郡家東北隅方 有速石里 此里之海 有長大前一 長二千二百廿九丈 廣或所九丈以下 立 故云三天椅立 神御寢坐間伏 仍怪三久志備濱 天爲三通行二而椅作 自レ此東海云與謝海 西海云阿蘇海 是二面海 雜魚貝等住 但蛤乏少 (釋日本紀五、天浮橋)

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。こゝの入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乗くことなし。故、略

○この條、前田木原形損じ、後の補筆多し。
舊宰―前の長官、前の國守。伊預部―預字、前田木類とす。

其所由之旨を陳べむ。長谷の朝倉の宮に天の下知らしめしし天皇の御世、嶼子獨り小船に乗りて、海中に汎び出で、釣すること三日三夜を経て、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いて、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ところに勝へず、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、懼れ疑ふ心を鎮めき。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、宜神を廻らして蓬山に往きませね」といふ。嶼子從ひて住かむとし

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参照。
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。萬葉集卷十八に今勅風雲發遣使の句がある。
解―前田木補筆にて觸とす蓬山―蓬萊山で、支那で神仙の住む海島と考へてゐた。これが我國のこのよの國の考へ方と符合してしまつた。

き。女娘、目を睨らしむ。すなはち意はざる間に、海中の博大きな嶋に至りき。その地は玉を敷けるが如く、闕臺は暎映しく、樓堂は玲瓏き、目に見ざりし所、耳に聞かざりし所なり。手を携へて徐に行き、一つの大きな宅の門に到りき。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説き、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、兄弟姉妹等は杯を擧げて獻酬し、隣の里の幼女等は紅顔にして戯れ接り、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―遠蛇、な、めに行く貌、舞の動作のたをやかなのを言つた。

の暮るることを知らず、但、黄昏の時に群仙侶等、漸々に退き散け、すなはち女娘獨り留り、雙の眉袖に接りて夫婦の理を成しき。時に嶼子、舊俗を遺れて仙都に遊ぶこと既に三歳を経たり。忽ちに土を懐ふ心を起し、獨り親を戀ふ。故、吟哀繁く發り、嗟嘆日に益りき。女娘問ひしく、「比來君夫が貌を觀るに、常の時に異なり。願はくはその志を聞かむ」といひき。嶼子對へけらく、「古の人、小人は土を懐ひ、死狐は丘を首にすと言ひき。僕、虚談なりと以ひしに、今これ信にしかなり」といひき。女娘問ひて、「君歸らむと欲すか」といひき。嶼子答へけらく、「僕、近く親故之俗を離れて遠く神仙之界に入り、戀ひ眷ぶに忍へず、すなはち輕しき慮を申べつ。望はくは、暫し本俗に還りて、二親を拜みまつらむことを」といひき。女娘、涙を拭ひて歎きけらく、「意は金石と等しく共に萬歳を期りしに、何ぞ郷里を眷ひて、一時に棄て遣るる」といひて、すなはち相攜へて俳侘ひ、相談ひて慟哀しみ、遂に袂を接へて退き去り、鞍路に就きき。ここに女娘の父母と親族と、但に悲しみて聯

聞一前田木、開とし開歌と傍書す。
小人は論語に出典がある。
死狐は禮記から出てゐる。

玉匣一木は玉匣を指す。玉匣を指す玉匣は、人の魂の遊離することを防ぐのである。

ひ送りき。女娘、玉匣を取りて嶼子に授けて謂ひしく、「君、終に寢安を遺れずして眷み尋ねむとならば、堅く匣を握り、慎みてな開き見給ひそ」といひき。すなはち相分れて船に乗り、よりて目を眠らしめき。忽ちに本土筒川の郷に到り、すなはち村邑を瞻眺むるに、人と物と遷ひ易り、さらに由る所なかりき。ここに、郷人に問ひしく、「水江の浦の嶼子が家の人は、今、何處にか在る」といひき。郷人答へけらく、「君は何處の人なれば、舊遠の人を問ふぞ。吾、古老達の相傳を聞くに、先の世に水江の浦の嶼子といふものあり。獨り蒼海に遊びて復還り來たらず。今にして三百餘歳を経つといへり。何ぞ忽ちにこれを問へる」といひき。すなはち棄てし心を啣みて郷里を廻りしかども、一の親しきものにも會はず、はやく旬月を運しき。すなはち玉匣を撫でて神女を感思ひき。ここに嶼子、前の日の期を忘れて忽ちに玉匣を開きつ。未瞻之間に芳しき蘭のごとき體、風と雲とに率ひて蒼天に翻り飛びき。嶼子、すなはち期要に乖違きて、還りても復會ひ難きことを知り、首を廻らして踟躕まひ、涙に咽びて俳侘りき。ここに涙を拭ひて歌ひしく、

常世邊に 雲立ち渡る
水の江の 浦島の子が
言持ち渡る

神女、遙に芳音を飛ばして歌ひしく、
大和邊に 風吹き上げて
雲離れ 退き居りともよ
吾を忘らすな
嶼子、更戀望に勝へずして歌ひしく、
娘らに戀ひ

朝戸を開き 吾が居れば
常世の濱の 波の音聞ゆ
後時の人追ひ加へて歌ひけらく、
水の江の 浦島の子が

○以下の歌詞、後半は前田本補筆多く、後出原文の○印はその補筆と認められるものを示す。

○やまとべに西風(にし)吹き上げて雲ばなれ退きをりとも吾忘れめや(古事記、黒日賣の歌)

○丹後國風土記ノ中ニ、嶼子更不勝戀望歌曰、古良留古愁、阿佐刀遠比良金、和我遠禮波、等許與能波麻能、奈美能等金許由トモヨメリ。(萬葉集註釋八)

玉匣 開けずありせば
又も會はましを
常世邊に 雲立ち渡る
絶ゆ間なく 言ひは繼がめど
我ぞ悲しき

○丹後國風土記曰 與謝郡 日置里 此里有筒川村 此人夫日下部首等先祖 名云筒川嶼子 爲人 姿容秀美 風流無類 斯所謂水江浦嶼子者也 是舊宰伊預部馬養連所記無相

乘一 故略陳三所由之旨 長谷朝倉宮御宇天皇御世 嶼子 獨乘小船 汎出海中 爲釣 經三三夜 不レ得一魚 乃得五色龜 心思奇異 置三子船中 即寐 忽爲婦人 其容美麗 更不レ可レ比 嶼子問曰 人宅遙遠 海庭人乏 詎人忽來 女娘微笑對曰 風流之

士 獨汎蒼海 不レ勝近談 就風雲二來 嶼子復問曰 風雲何處來 女娘答曰 天上仙家之人也 請君勿レ疑 垂三相談之愛 爰嶼子知神女 鎖三懼疑心 女娘語曰 賤妾之意 共天地一畢 俱二日月一極 但君奈何早先許不之意 嶼子答曰 更無所レ言 何解乎 女娘曰 君宜廻棹赴手蓬山 嶼子從往 女娘教令眠目 即不レ意之聞 至海中博大之嶋 其地

如敷玉 闕臺映 樓堂玲瓏 目所不_レ見 耳所不_レ聞 攜手徐行 到一大宅之門
 女娘曰 君且立此處 開門入_レ内 即七豎子來 相語曰 是龜比賣之夫也 亦八豎子來
 相語曰 是龜比賣之夫也 茲知_二女娘之名龜比賣_一 乃女娘出來 嶼子語_二豎子等事_一 女娘曰
 其七豎子者昂星也 其八豎子者畢星也 君莫怪焉 即立前引導 進_二入于内_一 女娘父母
 共相迎 揖而定坐 于_レ斯 稱_二説人聞仙都之別_一 談_二譏人神偶會之嘉_一 乃薦_二百品之芳味_一
 兄弟姊妹等 舉_レ坏獻酬 隣里幼女等 紅顔戲接 仙歌寥亮 神舞逶迤 其爲_二歡宴_一 萬_二倍
 人聞_二於_レ茲 不_レ知_二日暮_一 但黄昏之時 群仙侶等 漸々退散 即女娘獨留 雙眉接袖
 成夫婦之理 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_レ士之心_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_レ士 死狐首丘 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_二神仙之界_一 不_レ忍_二戀眷_一 輒申_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
 即相携伴 相談悽哀 遂接_レ袂退去 就_二于岐路_一 於是 女娘父母親族 但悲副送之 女
 娘取_二玉匣_一 授_二嶼子_一 謂曰 君終不_レ還_二親妻_一 有_二眷_一 者 堅誓_二玉匣_一 慎莫_二開見_一 即相分乘

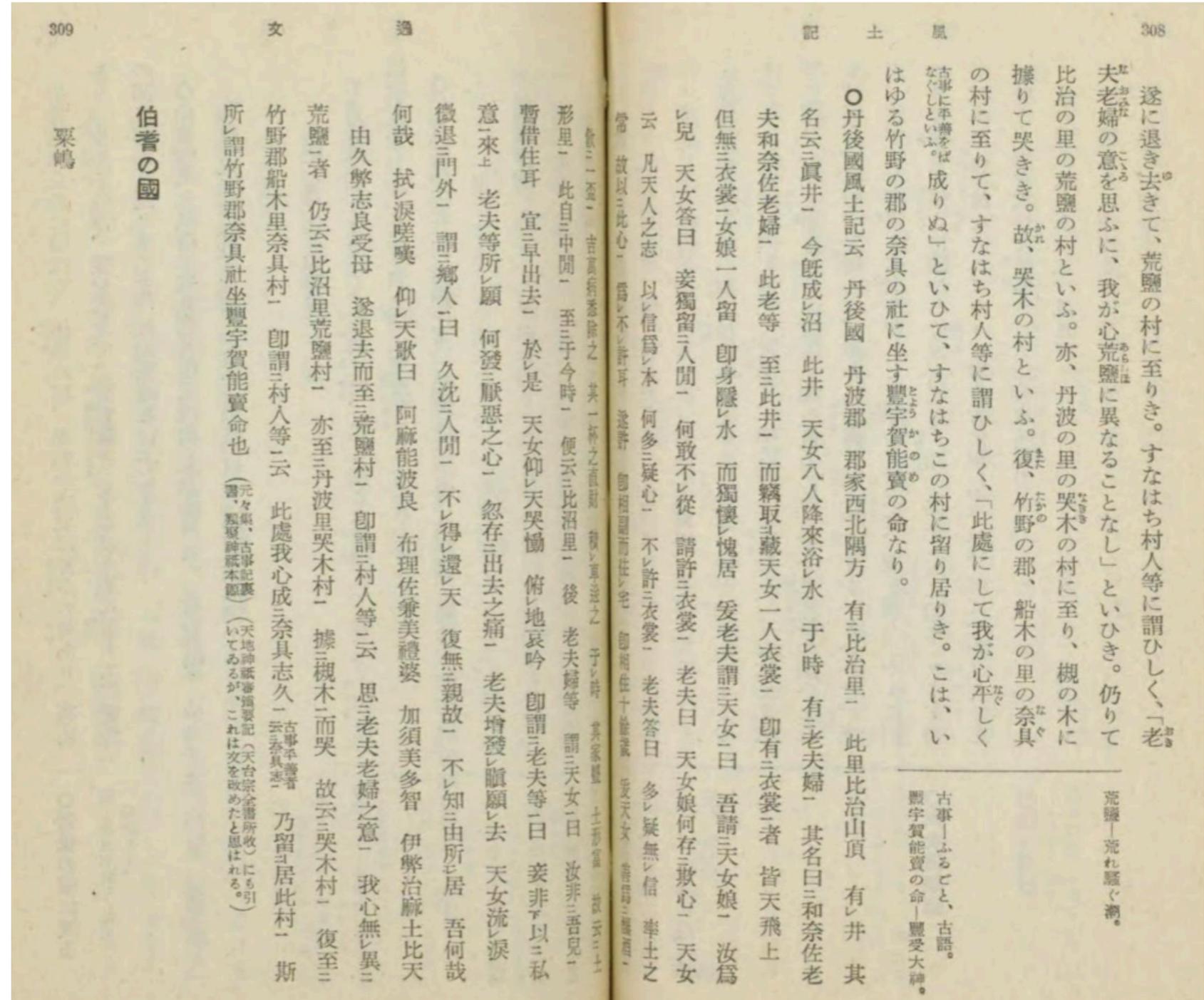
○近江國、伊香の小江(四
 一〇頁) 参照。
 ○羽衣説話
 吾が請はくは古典全集
 本、吾の下に無兒の二字
 あり。

○天女流離譚
 土形一土地の様子を言ふ
 か。比治の里一古風土記逸文原
 文、比治の里とす、今意
 改す。下同じ。

○天女流離譚
 天女、涙を流し、やゝに門
 の外に退きて郷人に謂ひしく、「久しく人聞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、何にせむく」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

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隠して獨り懷愧居り
 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、「妾獨り人聞に留れり。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、率士の常なり。故、この心を以ちて許さじと
 爲ひしのみ」といひて、遂に許して相酬へて宅に往き、すなはち相住む
 こと十餘載なりき。ここに天女、善く醗酒を爲りき。「酒を飲めば、よ

く酒の醗、酒に醗ゆ。その一杯の酒の醗が酒に醗みて送りき。時にその
 家豊にして土形富みき。故、土形の里といひき。こゝに中隠より今時に
 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、ますく發願りて去かむことを願めき。天女、涙を流し、やゝに門
 の外に退きて郷人に謂ひしく、「久しく人聞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、何にせむく」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



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	浦島子伝説		
			(風)	(紀)	(万)
滞留	3年間	○	○		○
異郷退	過去を回想	○	×		×
	父母・郷里の事情	×	○		○
退出	退出は積極的	○	×		×
	女の悲歎	×	○		○
方法	瞑目乗船	×	○		○
	鰐に乗る	○	×		×
行程	瞬時	×	○		○
	1日間	○	×		×
禁忌	呪具	×	○		○
	玉匣の開放	×	○		○
	産室視見	○	×		×
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	浦島子伝説		
			(風)	(紀)	(万)
発端	舟釣	○	○	○	○
	不漁	○	○	×	×
	豊漁	×	×	×	○
異郷名	海神宮	○	×	○	○
	蓬萊山	×	○	×	×
	洋上	×	○	×	×
異郷所在	海底	○	×	○	○
	船	○	○	×	○
	潜水	○	×	○	○
交通法	鰐	○	×	×	×
	立派な男子	○	○	×	×
	美しい女子	×	○	×	×
夫と	天神の子	○	×	×	×
	漁浦の長	×	○	○	○
	海神の女	○	×	○	○
婦	仙子	×	○	×	×
	女	○	○	×	○
発情	男	×	×	○	○
	洋上	×	○	○	○
出会	海底	○	×	×	×
	船中	×	○	○	×
神婚の場所	宮殿中	○	○	×	○
	閨房	×	○	×	×

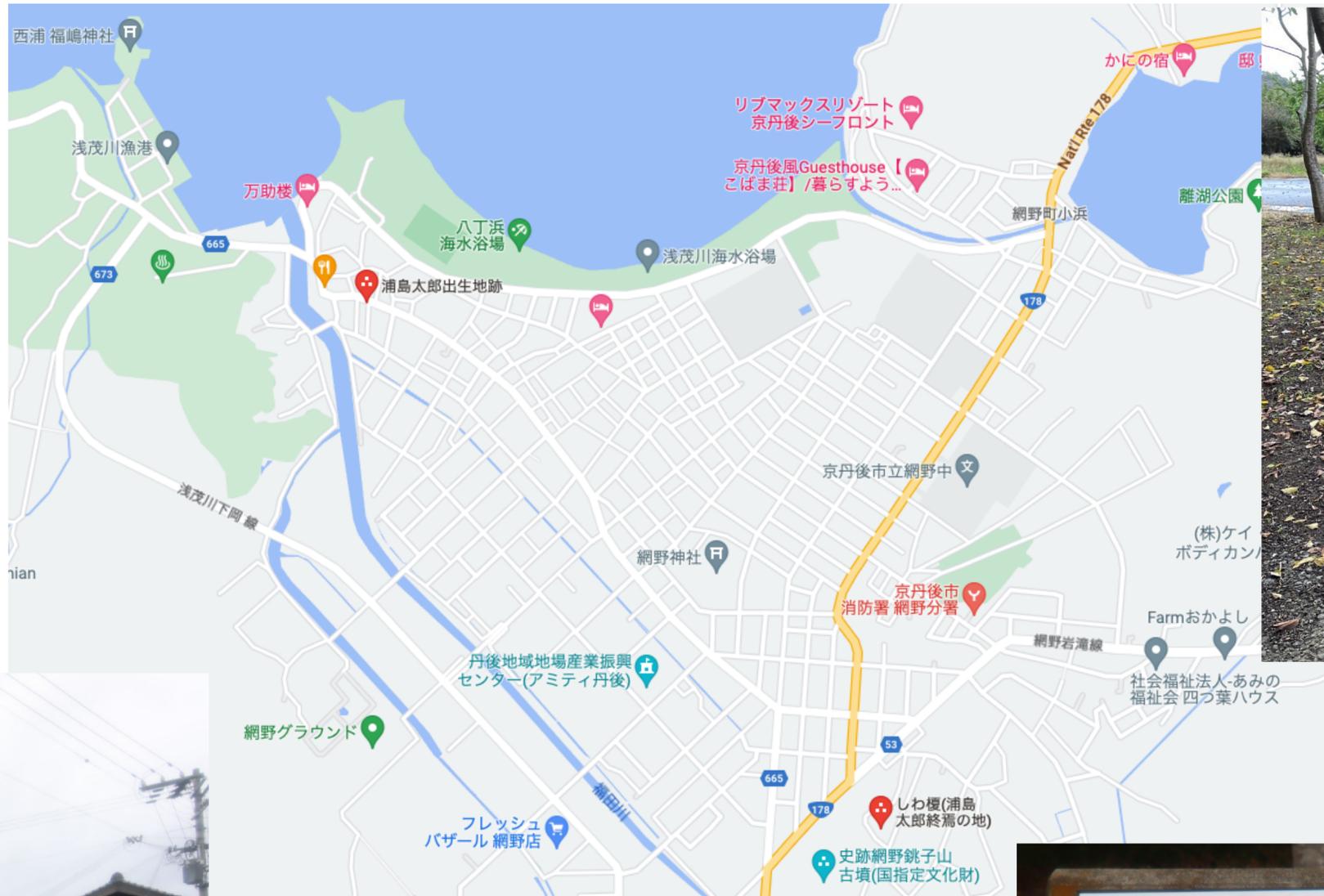
水野 祐『浦島伝説の探求』(産報ブックス, 昭和52年)

伝説の結末	禁忌干犯	呪詛	淹留生活	トコヨ			神婚	神異の媒体	伝説の発端			主人公の郷里	主人公の妻女	伝説の主人公	比較項目	
				現象	理由	行為			理由	往還法	位置					状況
亀比売と嶋子絶縁	芳蘭体もの風雲に乗り飛去る	亀比売を恋しく思って	玉匣の蓋を開く	蓋を開いてはならぬ	呪物	嶋子の望郷の念募る	宴會・交遊・閨房生活	三年、実は三百余年	亀比売の誘い	閉眼、舟で渡航	海上の大島・蓬萊山	雄略天皇の御代	丹後国与謝郡筒川	五色亀の化身、亀比売	筒川 嶋子	丹後国風土記逸文
									女に従い行く	海中に潜入	海 底	雄略二十二年七月	丹波国余社郡管川	大亀の化身の女	瑞江浦嶋子	日本書紀
嶋子肉体衰え死亡	白雲がトコヨの方へ棚引く	家里が現われるのではないかと判断して	玉匣の蓋を開く	蓋を開いてはならぬ	女の玉篋	嶋子が家・父母を恋う	閨房生活	三年	海神女と合意婚約	舟で渡航	洋上の海神の居所	遠い昔	摂津国墨吉	海若神之女	水江浦嶋子	万葉集

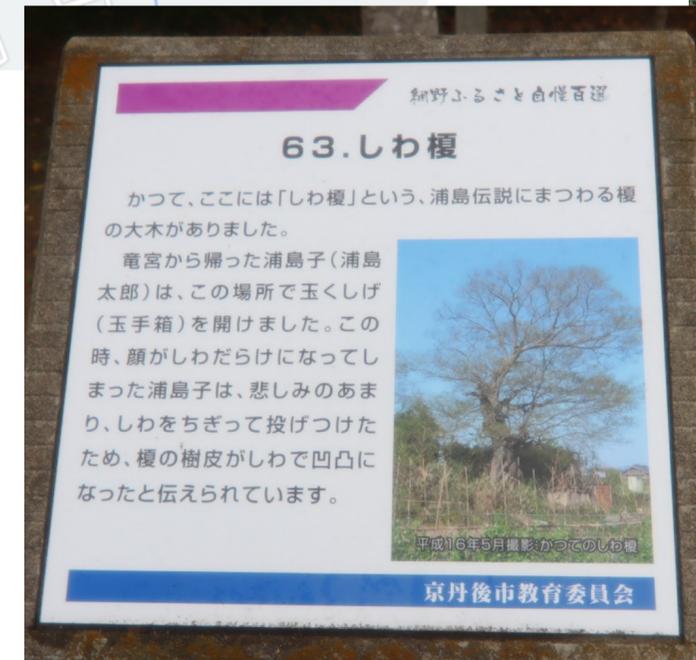
場所	状況	対象	神異の媒体	伝説の発端			主人公の郷里	主人公の妻女	伝説の主人公	比較項目
				状況	理由	年代				
宮殿内の閨房	亀比売の誘惑	五色亀の化身亀比売	五色の亀	不漁、一魚も得ず	三日三夜単独釣漁	雄略天皇の御代	丹後国与謝郡筒川	五色亀の化身、亀比売	筒川 嶋子	丹後国風土記逸文
釣舟の中	嶋子の感恩	大亀の化身の女	大 亀	大亀を釣る	単独釣漁	雄略二十二年七月	丹波国余社郡管川	大亀の化身の女	瑞江浦嶋子	日本書紀
海神の宮殿の閨房	談合の上相互合意	海神の女	な し	豊漁、堅魚・鯛を釣る	七日間単独釣漁	遠い昔	摂津国墨吉	海若神之女	水江浦嶋子	万葉集

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 (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を征伐して、田庭の国造りとなる。御子道人命又、勅命に依、四道將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。

水の江長者日下部曾却善次（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児が事なり。

爰に当社縁起に曰く、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

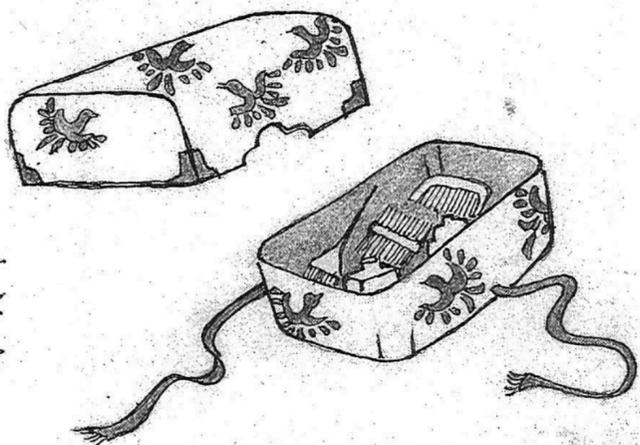
古久地の長者嶋根左衛門と号し、東日置まで二拾七ヶ村を領地す。

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



浦嶋子

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、坂戸大神

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 紙本着色浦嶋明神縁起 [国重要文化財]

紙本着色浦嶋明神縁起(掛幅)〔府指定有形文化財〕

白練緯地桐桜土筆肩裾文様繡小袖〔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(909)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、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(802-863)、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(1350)には征夷大將軍足利尊氏が来社し幣帛、神馬、神酒を奉納するなど、古来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 すめる月かけ 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「端江の浦の嶋子」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饌思想の影響を受けている。古代には竜宮城(へんろ)という物神女に誘われ蓬山(常世の国)へ至るといふ物語であった。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、海中にある竜宮城行くようになる。

明治二十九年(1896)に巖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に読み学び、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』

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．

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

↑
速度 v で移動している人の1秒

↑
静止している人の1秒

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

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，

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

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，

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

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

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，すぐに同じ大ききで逆方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！

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、微小時間 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)

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

を足し合わせて、

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

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

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

となる。これより、 $\frac{dv}{dt} = (1 - (v/c)^2)^{3/2} a'$ と書くと、微小時間 dt と微小速度変化 dv との関係 $dt = \frac{1}{a'} (1 - (v/c)^2)^{-3/2} dv$ 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、

$$\begin{aligned} T'_1 &= \int_0^{T'_1} d\tau = \int_0^{T_1} \sqrt{1 - (v/c)^2} dt \\ &= \frac{1}{a'} \int_0^{v_1} \frac{1}{1 - (v/c)^2} dv = \frac{c}{2a'} \log \frac{1 + v_1/c}{1 - v_1/c} \end{aligned} \quad (7.2.4)$$

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

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

となる。

*4) 厳密に言えば、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 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 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

$$T'_1 = \frac{c}{2g} \log_e \frac{1 + V_{\text{max}}/c}{1 - V_{\text{max}}/c} \quad (7.2.6)$$

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。 $c = 299792458 \text{ m/s}$ 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、

$$\frac{V_{\text{max}}}{c} = \frac{e^{2gT'_1/c} - 1}{e^{2gT'_1/c} + 1}$$

$$2gT'_1/c = 2 \cdot 9.8 \cdot 3 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600 / 299792458 = 6.19, \quad e^{6.19} = 485.6 \quad \text{なので、}$$



全3巻
朝倉書店, 2023/11

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

(3) 式 (7.2.5) より, $T_1 = \frac{V_{\max}}{g\sqrt{1-V_{\max}^2/c^2}} = 3893$ 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 $T_2 = \frac{1}{\sqrt{1-(V_{\max}/c)^2}} T'_2 = 4030$ 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 = 9.46×10^{15} m) で, 太陽系から一番近い恒星までは 4.2 光年である.

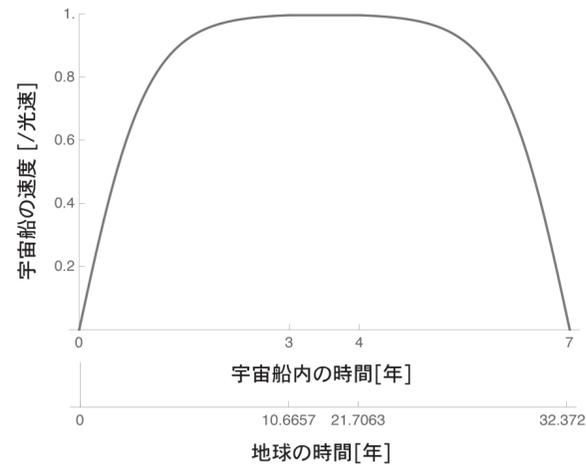


図 7.2.1 宇宙船の行きの速度

■ 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

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

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, $a = \frac{2GM}{c^2}$ 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 $a = \frac{2GM}{c^2}$ より,

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

(9) 星の表面での重力加速度の大きさが $g = \frac{GM}{R^2}$ 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かさを調整している.



全3巻
朝倉書店, 2023/11



皆様

天文文化研究会（第28回）のお知らせです。
広い意味での文化史と科学史の融合を目指す研究会です。

第28回天文文化研究会

日時 2024年12月22日（日）10時から17時までの予定
場所 大阪工業大梅田キャンパス（JR大阪駅すぐそば）
あるいは オンライン（Zoom, Slack）

招待講演は次のお二人をお願いいたしました。

加藤賢一さん（星学館）
天文学と占星術の蜜月関係 ~古代から中世へ~
中島和歌子さん（京都女子大学）
平安時代の陰陽師と星の関わり

プログラムページ（暫定ページ、随時更新します）は、こちら

<https://www.oit.ac.jp/is/shinkai/tenmonbunka/20241222/index.html>

参加登録はこちらから。

<https://forms.gle/gvvA9j31psojMS456>

オンラインでの参加、対面での参加、いずれの場合も参加登録をお願いします。

（対面参加の方の名前を事前に守衛室に届けておく必要があります）

申し込みされた方だけに、Zoom/Slack アクセス先をお知らせします。

トーク申し込みは、12月13日（金）正午までに

参加のみの申し込みは 12月18日（水）正午までに

トーク申し込みは（オンラインor対面どちらも）、20分または40分の希望を伺いますが
申し込みが多数の場合、ご希望に添えないこともありますのでご容赦ください。

会場参加の方からは、コーヒー代として300円程度のカンパをお願いする予定です。

会場都合により、懇親会は行いません。

お申し込みに関する確認メールはお送りいたしませんので、ご了承ください。

複数回登録された場合、一番最新のものを登録分とさせていただきます。

資料等は、参加登録された方にご招待するslackにてできるかぎり共有したいと考えております。

これまでの本研究会の記録は、以下をご覧ください。

<https://www.oit.ac.jp/is/shinkai/tenmonbunka/workshop.html>

このアナウンスは、ご興味を持っていただけそうな方に転送していただいて構いません。

多くの皆様のご参加をお待ちしております。

真貝寿明 Hisaaki SHINKAI

E-mail: hisaaki.shinkai@oit.ac.jp

URL: <https://www.oit.ac.jp/is/shinkai/>

Office: 大阪工業大学 情報科学部 情報システム学科

573-0196 大阪府枚方市北山 1-79-1

phone: 072-866-5393 (dial in)

oit.ac.jp/is/shinkai/tenmonbunka/20241222/index.html

Google Chrome を最新の状態に維持できない場合があります 再表示させない 自動更新を設定

[天文文化 トップページへ/Go to the top page of Cultural Studies of Astronomy](#)
[これまでの天文文化研究会のページへ/ Previous workshops](#)

第28回天文文化研究会

The 28th Workshop on Cultural Studies of Astronomy

2024年12月22日（日）， December 22, 2024 (Sun)

ハイブリッド形式，対面（大阪工業大学梅田キャンパス）あるいは ZoomとSlackを利用
Hybrid style (in person at Umeda Campus OIT, also in Zoom & Slack)

- トーク申し込みは、12月13日（金）正午までをお願いいたします。参加のみの申し込みは 12月18日（水）正午までをお願いいたします。入構時は守衛室にてカードキーを受け取る必要があります。事前に参加者名を届けておく必要がありますので、必ず期日までに参加登録をお願いいたします。
- [参加登録ページ \(Registration\) はこちら](#)
- 会場参加の方からは、コーヒー代として300円程度のカンパをお願いする予定です。なお、懇親会は、会場都合により行いません。
- [会場アクセスページ](#) Access to Umeda campus, OIT.
 - 会場は教室1004（10階）です。
- 問い合わせなどは、真貝あるいは横山まで (hisaaki.shinkai_AT_oit.ac.jp, eri.yokoyama_AT_oit.ac.jp) お願いいたします。

プログラム Program

暫定版です。時間に変更する可能性があります。

- 招待講演は、次のお二人をお願いいたしました。
加藤賢一さん（星学館）
天文学と占星術の蜜月関係 ~古代から中世へ~
中島和歌子さん（京都女子大学）
平安時代の陰陽師と星の関わり

「相手の時計が遅れている」というパラドックス

互いに「相手の時計が遅れている」というパラドックス

- 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。
- 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。
- 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。

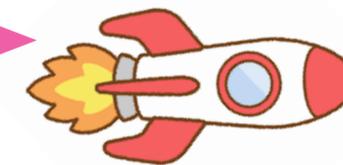


ロケットは速度 v で動いている。

だからロケットの時計の進みは遅くなる

地球は速度 v で動いている。

だから地球の時計の進みは遅くなる



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

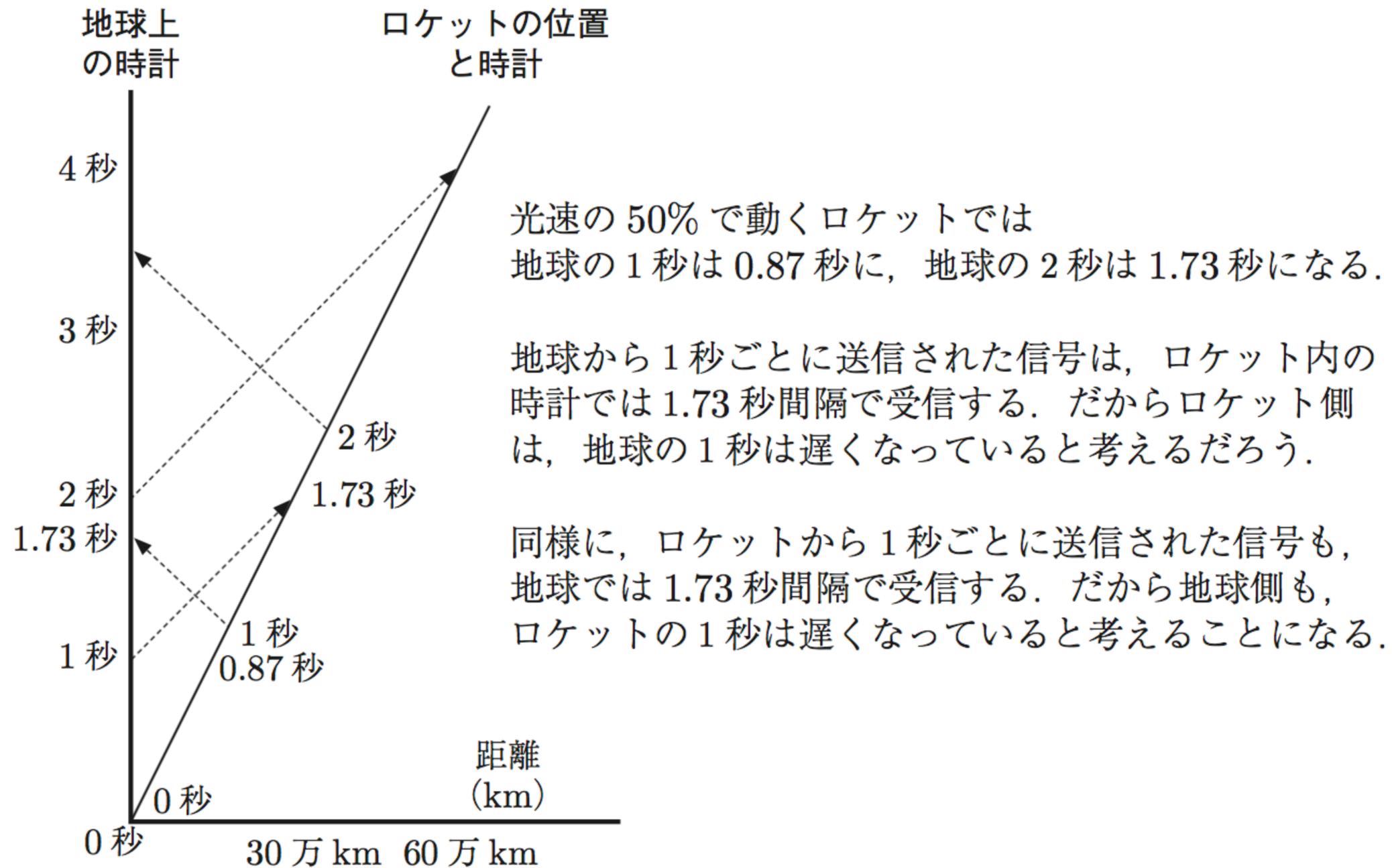


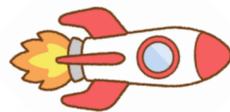
図 3.16 「相手の時計の方が遅れている」という主張はどちらも正しい。

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

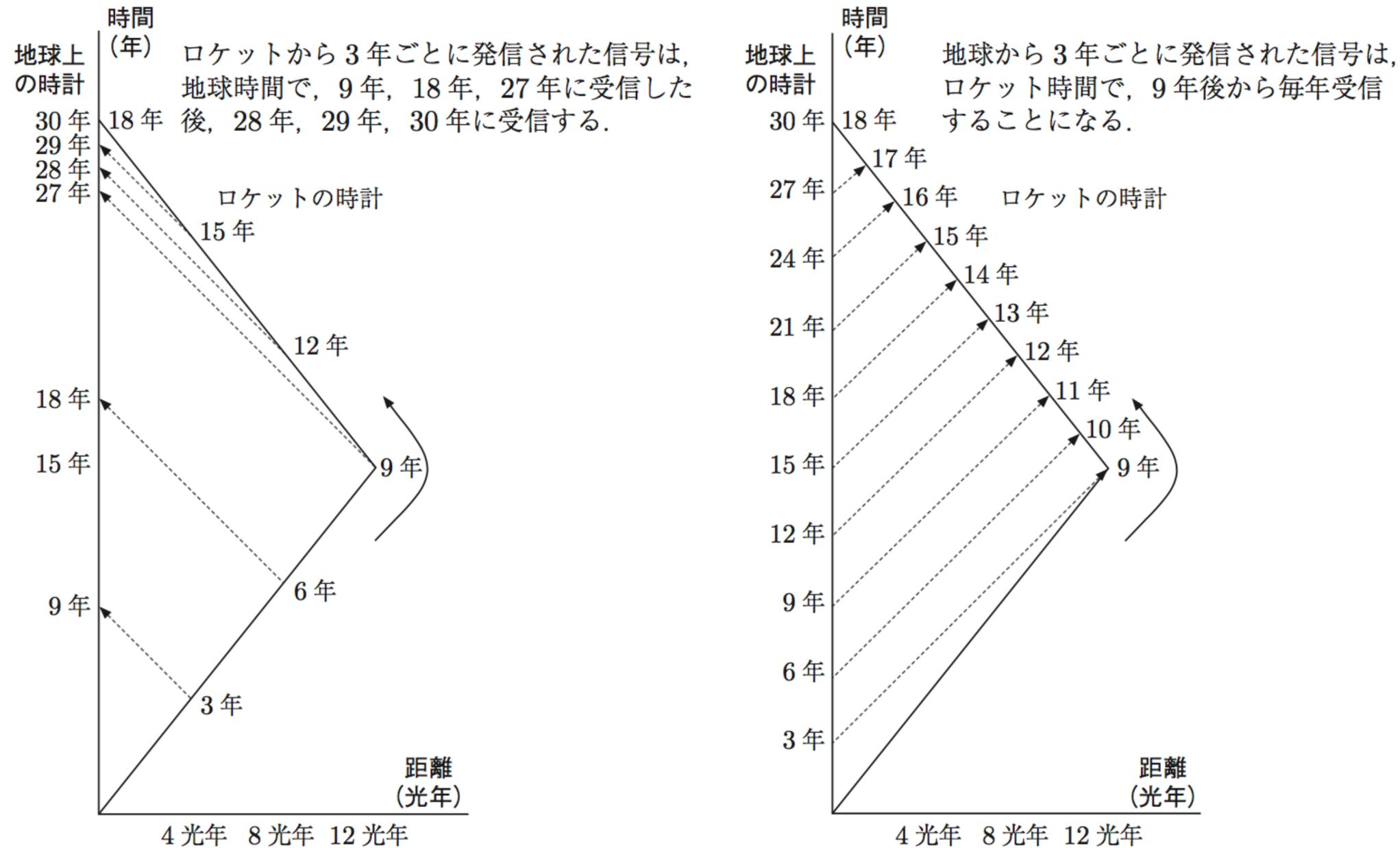
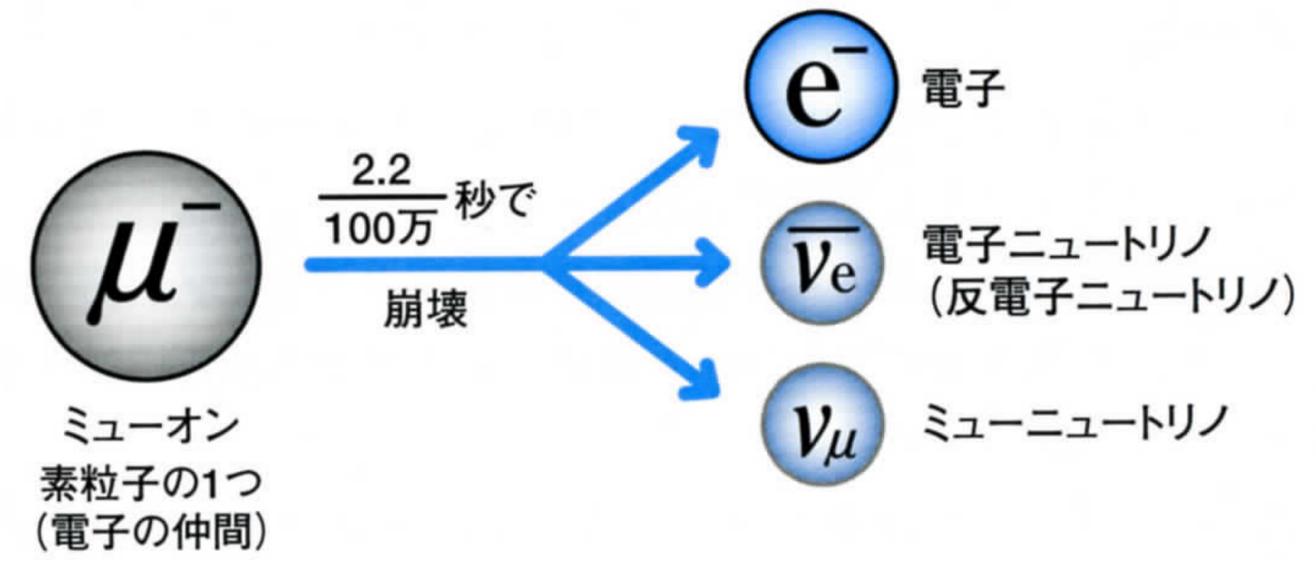
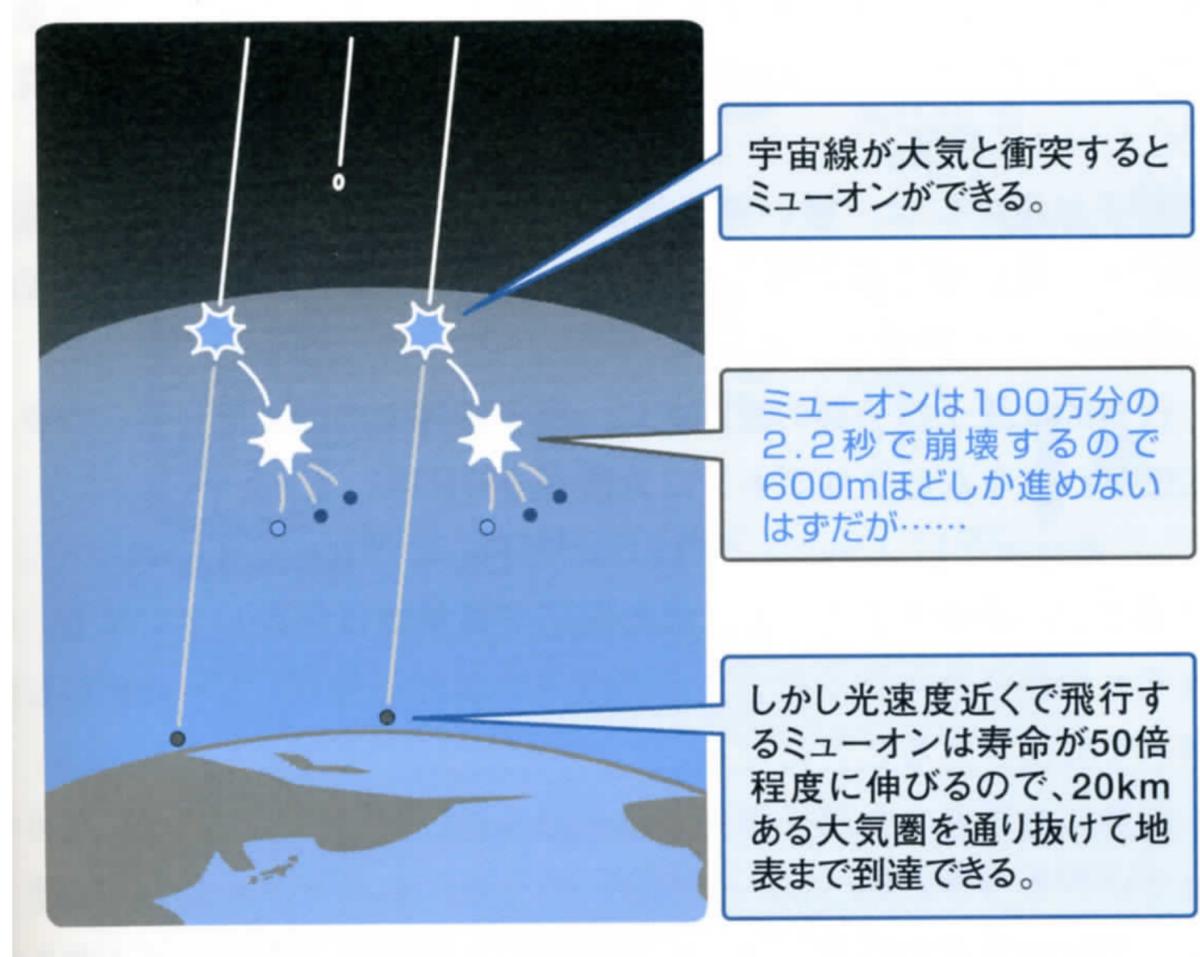


図 3.17 双子のパラドックスの理解. 互いに3年ごとに信号を発して、互いに相手の時計は遅いと感じつつも、再び出会うときにはロケットに乗っていた方が時間経過が短い。

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

[6-4] ドラエモンに出てくるようなタイムマシンや、どこでもドアは、
現実には作ることはできると思いますか。

ドラエモンの世界は本当にあるのでしょうか？

タイムマシンは夢のような話だと思っていたので、未来へのタイムトラベルが「可能だ」ということを聞きおどろきました。ドラエモンの秘密道具で可能なものはありますか？

どこでもドアを現実で行うとしたら、人体が分解し壊れてしまかておれずると聞きましたが、本当ですか？

<6-4> 中学の理科の先生が「摩擦の授業で」「摩擦の問題で」未来や過去には行かないからタイムマシンは今後何年経っても絶対に作れない」と言ったので、
「本当ですか？先生はどう思いますか？」

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,

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

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)

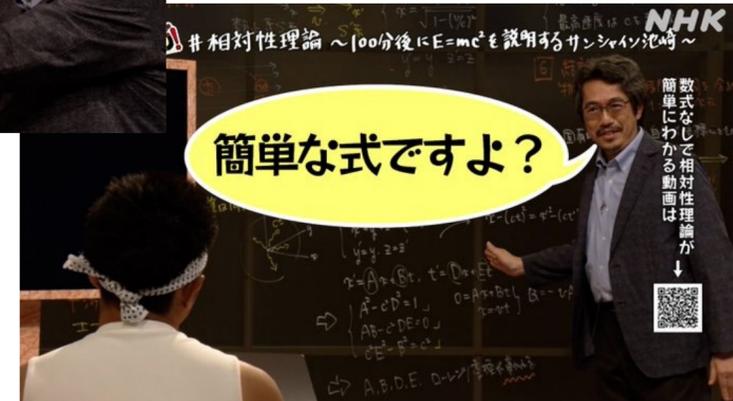
$$E = mc^2 \quad (3.11)$$



#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」という方にはウェブサイト・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。



この番組について

サンシャイン池崎と一緒に教養ある大人になろう! テーマは、聞いたことあるけどよく知らない「相対性理論」。数式が飛び交う2時間30分。NHKラーニングのショート動画も。



出演
サンシャイン池崎
(お笑い芸人)



出演
真貝寿明
(大阪工業大学 教授)



出演
小池美波(櫻坂46)

https://www2.nhk.or.jp/learning/video/?das_id=D0024010735_00000

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！

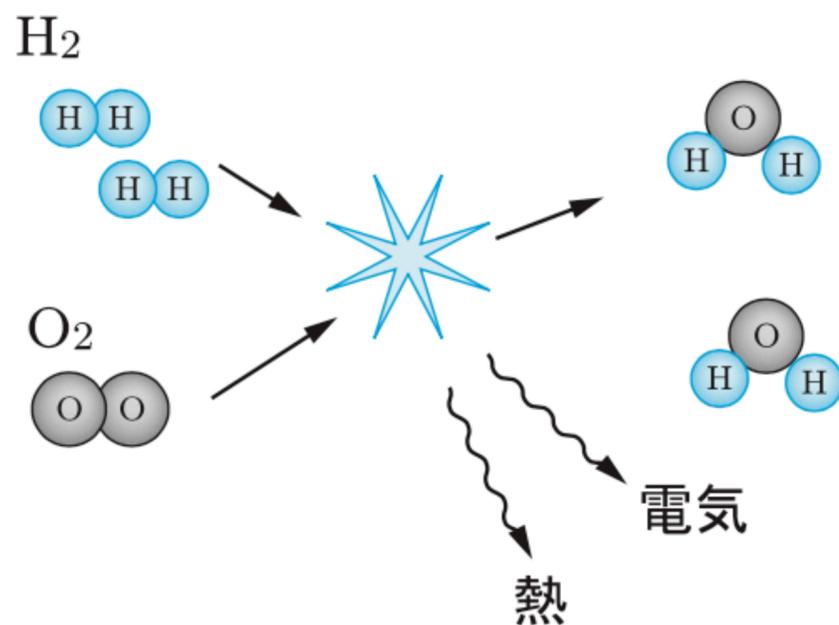
質量はエネルギーに変換できる！

3 英語が「違」は「あ」、ホーキング宇宙を語り を読んでいて、
 $E = mc^2$ が「で」で理解できたら「あ」の、今日「あ」は「あ」は「あ」

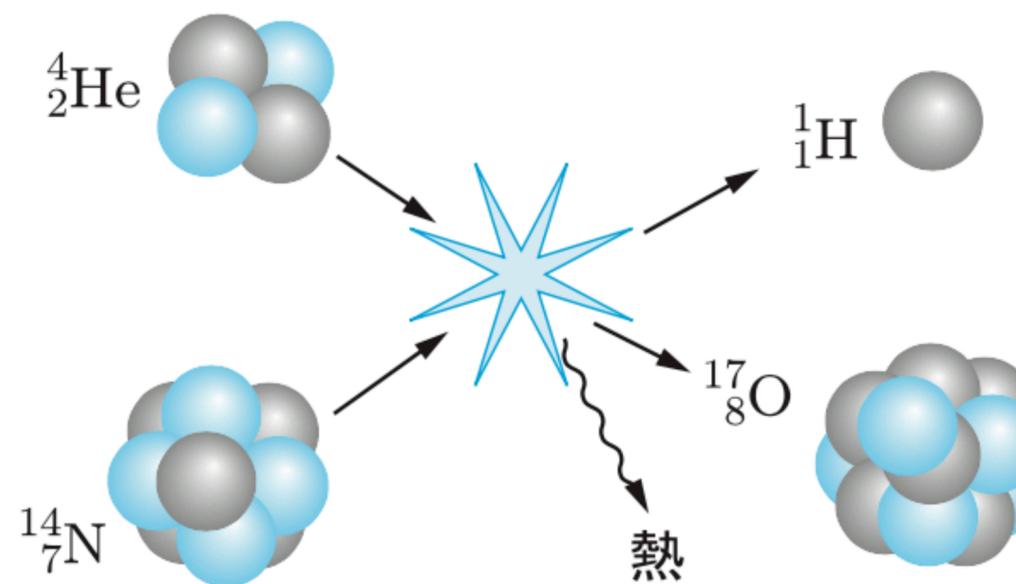
3.2.7 原子核反応

分子どうしの組み替えは、**化学反応**

原子核の組み替えは、**核反応**



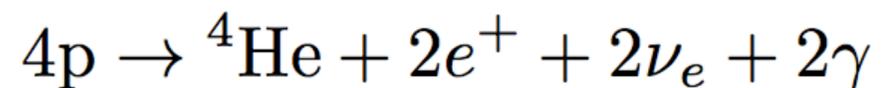
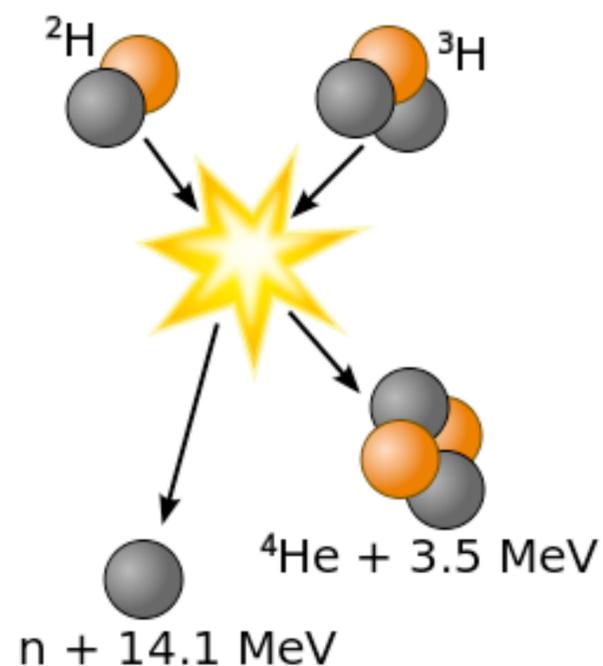
(a) 化学反応



(b) 核反応

図 3.14: 化学反応は実験室レベル. 核反応は, 原子爆弾や水素爆弾, 原子力発電や太陽の中心. エネルギーレベルがまったく異なる.

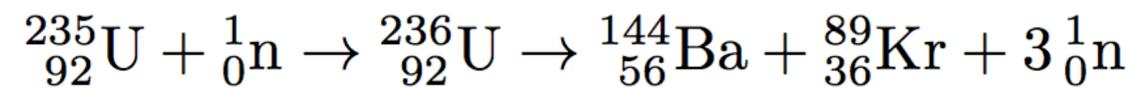
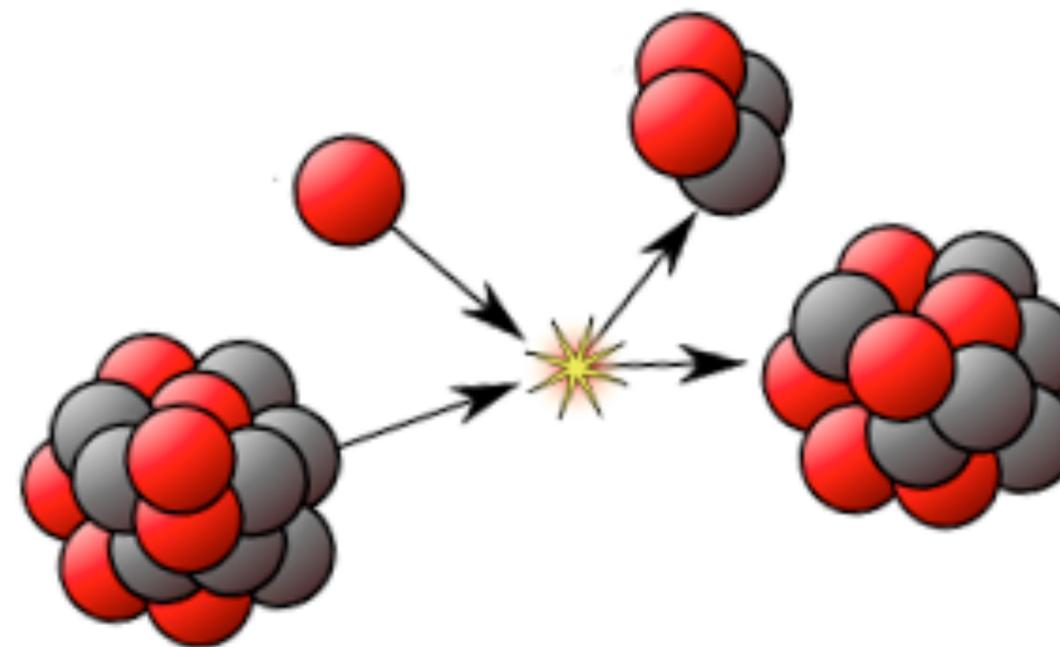
核融合 と 核分裂



核融合

(nuclear fusion)

合体した方が安定
(エネルギー放出)

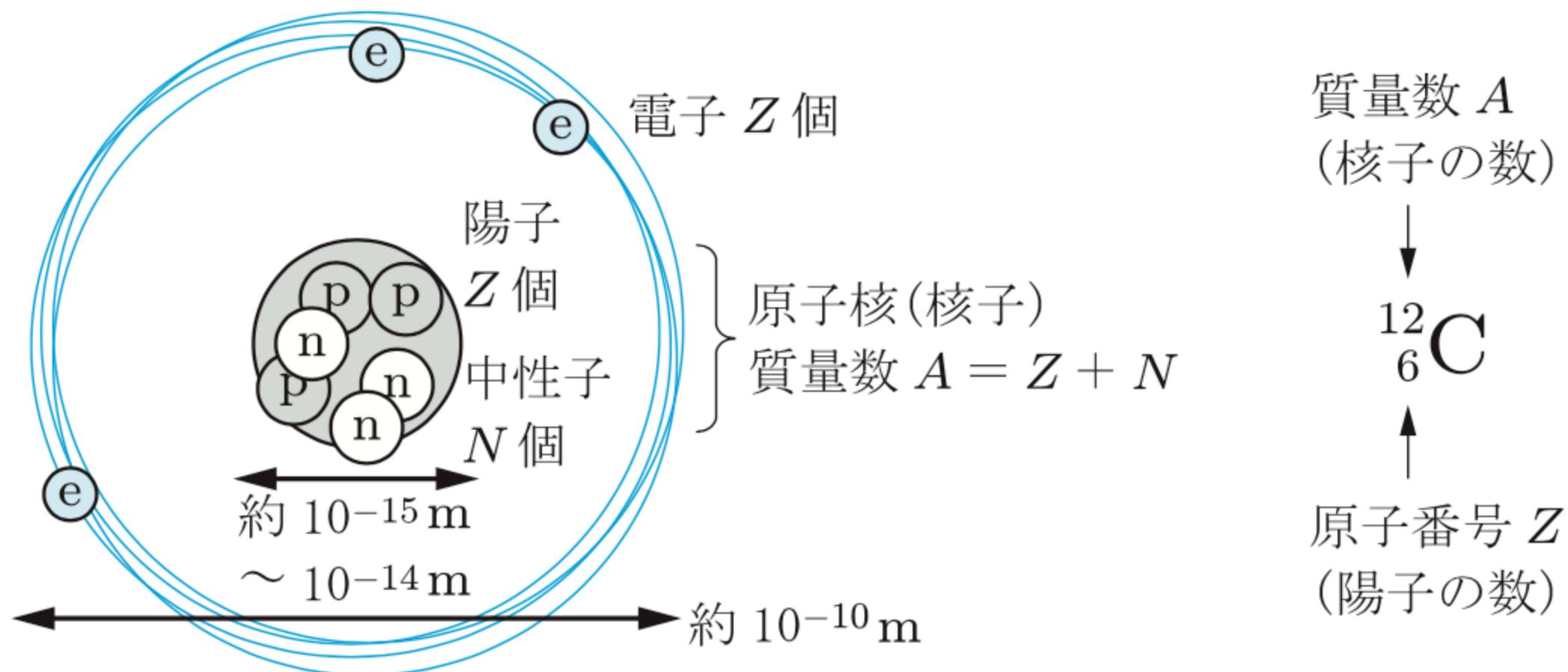


核分裂

(nuclear fission)

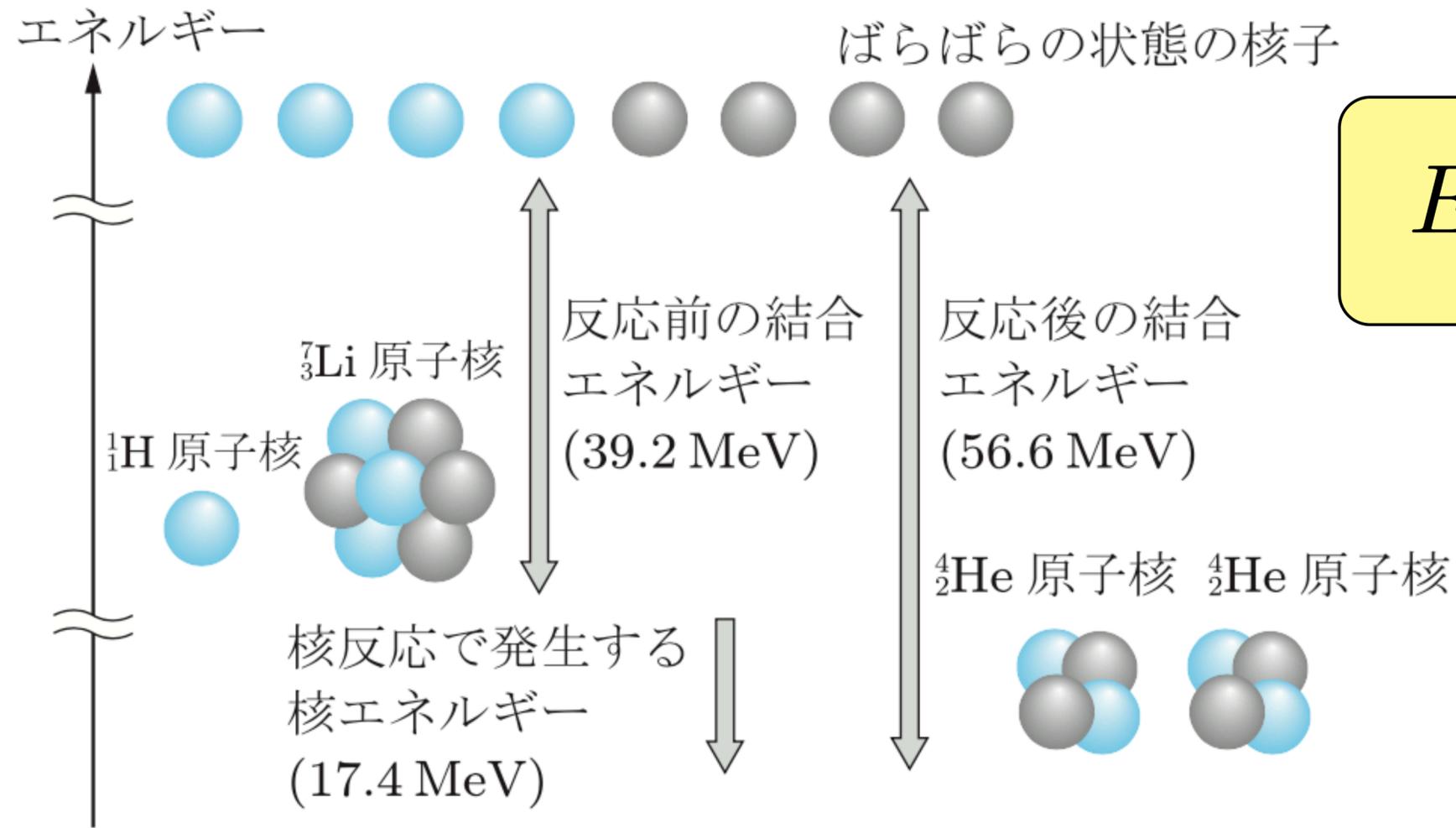
分裂した方が安定
(エネルギー放出)

陽子・中性子・電子



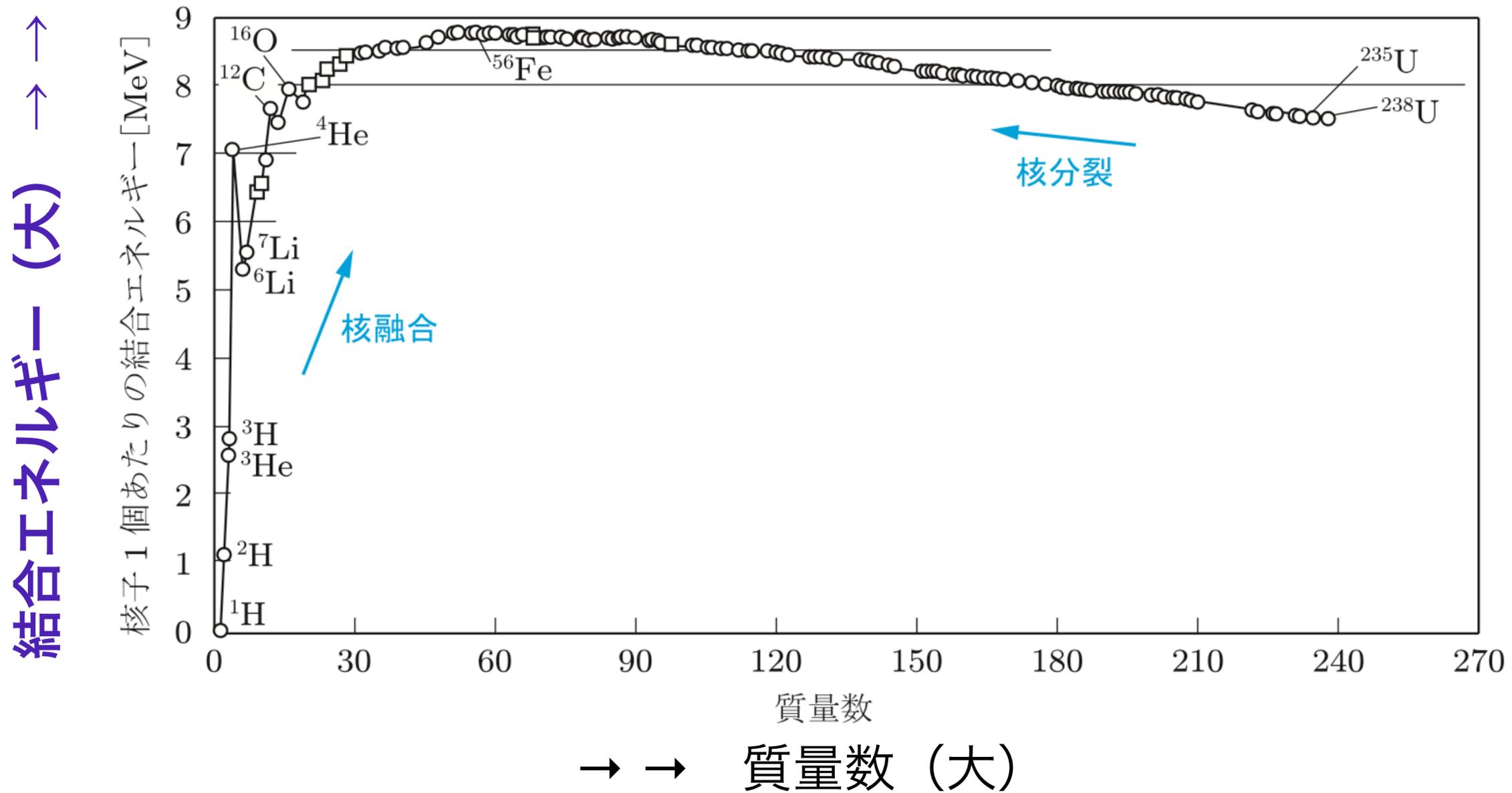
	記号		電荷	質量	質量比
陽子	p	proton	+1	$1.67262158 \times 10^{-27}$ kg	1836.15
中性子	n	neutron	0	$1.67492735 \times 10^{-27}$ kg	1838.68
電子	e	electron	-1	$9.10938188 \times 10^{-31}$ kg	1

結合エネルギー



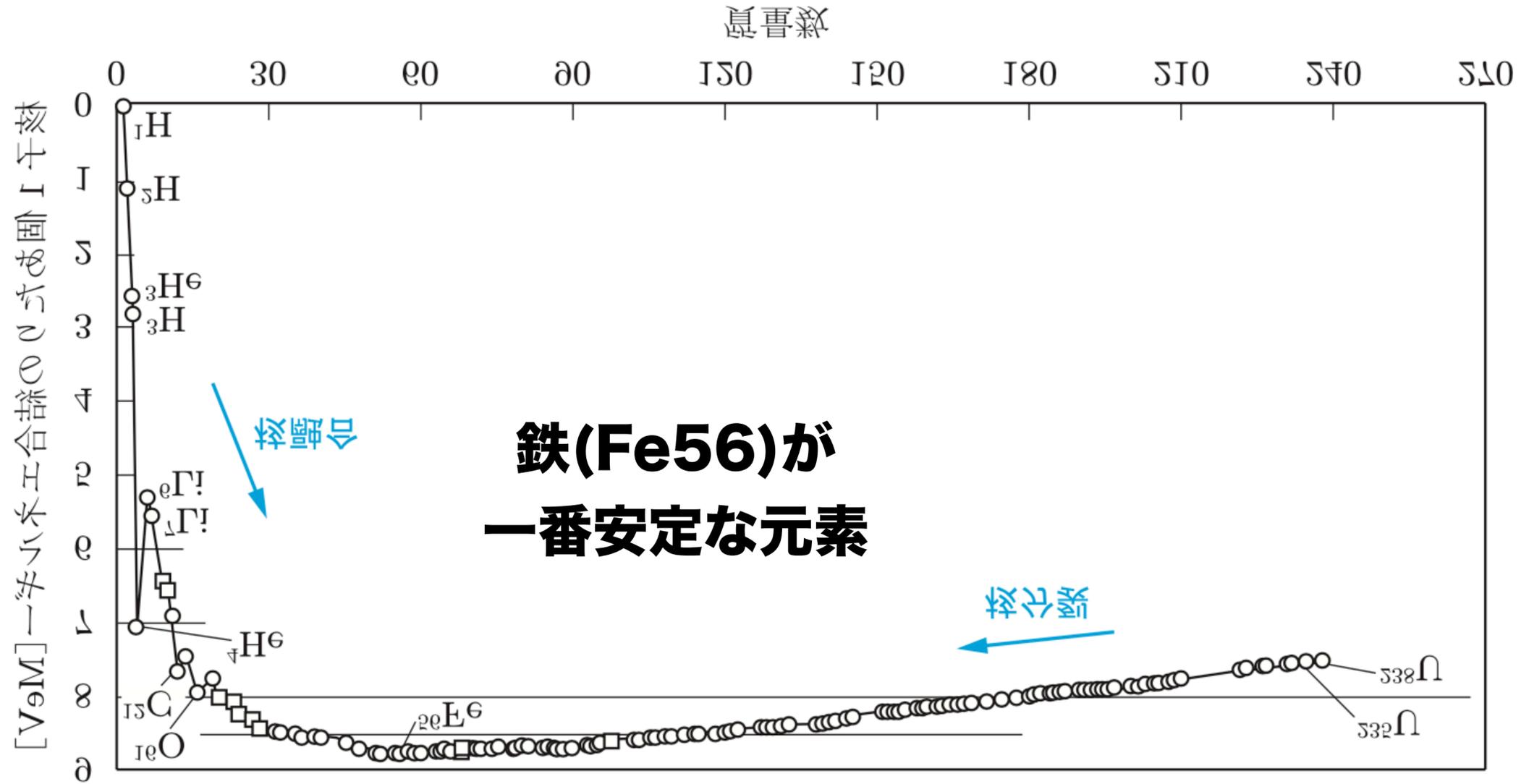
ばらばらでいるより、結合している方が、エネルギーが低い

核融合も核分裂もどちらもおきる理由は何か？



核融合も核分裂もどちらもおきる理由は何か？

結合エネルギー (大)



→ → 質量数 (大)

周期表 (periodic table)

Period	1 IA	2 IIA											13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIII A
1	1 1s H 水素 hydrogen 1.008																	2 He ヘリウム helium 4.003
2	3 2s Li リチウム lithium 6.941	4 Be ベリリウム beryllium 9.012											5 2p B ホウ素 boron 10.81	6 C 炭素 carbon 12.01	7 N 窒素 nitrogen 14.01	8 O 酸素 oxygen 16.00	9 F フッ素 fluorine 19.00	10 Ne ネオン neon 20.18
3	11 3s Na ナトリウム sodium 22.99	12 Mg マグネシウム magnesium 24.31	3 3d III B	4 IV B	5 V B	6 VI B	7 VII B	8 VIII B	9 VIII B	10 VIII B	11 IB	12 IIB	13 3p Al アルミニウム aluminum 26.98	14 Si ケイ素 silicon 28.09	15 P リン phosphorus 30.97	16 S 硫黄 sulfur 32.07	17 Cl 塩素 chlorine 35.45	18 Ar アルゴン argon 39.95
4	19 4s K カリウム potassium 39.10	20 Ca カルシウム calcium 40.08	21 3d Sc スカンジウム scandium 44.96	22 Ti チタン titanium 47.87	23 V バナジウム vanadium 50.94	24 Cr クロム chromium 52.00	25 Mn マンガン manganese 54.94	26 Fe 鉄 iron 55.85	27 Co コバルト cobalt 58.93	28 Ni ニッケル nickel 58.69	29 Cu 銅 copper 63.55	30 Zn 亜鉛 zinc 65.41	31 4p Ga ガリウム gallium 69.72	32 Ge ゲルマニウム germanium 72.64	33 As ヒ素 arsenic 74.92	34 Se セレン selenium 78.96	35 Br 臭素 bromine 79.90	36 Kr クリプトン krypton 83.80
5	37 5s Rb ルビジウム rubidium 85.47	38 Sr ストロンチウム strontium 87.62	39 4d Y イットリウム yttrium 88.91	40 Zr ジルコニウム zirconium 91.22	41 Nb ニオブ niobium 92.91	42 Mo モリブデン molybdenum 95.94	43 Tc テクネチウム technetium 98	44 Ru ルテニウム ruthenium 101.1	45 Rh ロジウム rhodium 102.9	46 Pd パラジウム palladium 106.4	47 Ag 銀 silver 107.9	48 Cd カドミウム cadmium 112.4	49 5p In インジウム indium 114.8	50 Sn スズ tin 118.7	51 Sb アンチモン antimony 121.8	52 Te テルル tellurium 127.6	53 I ヨウ素 iodine 126.9	54 Xe キセノン xenon 131.3
6	55 6s Cs セシウム cesium 132.9	56 Ba バリウム barium 137.3	57-71 † 5d ランタノイド lanthanides	72 Hf ハフニウム hafnium 178.5	73 Ta タンタル tantalum 180.9	74 W タングステン tungsten 183.8	75 Re レニウム rhenium 186.2	76 Os オスミウム osmium 190.2	77 Ir イリジウム iridium 192.2	78 Pt 白金 platinum 195.1	79 Au 金 gold 197.0	80 Hg 水銀 mercury 200.6	81 6p Tl タリウム thallium 204.4	82 Pb 鉛 lead 207.2	83 Bi ビスマス bismuth 209.0	84 Po ポロニウム polonium 209	85 At アスタチン astatine 210	86 Rn ラドン radon 222
7	87 7s Fr フランシウム francium 223	88 Ra ラジウム radium 226	89-103 ‡ 6d アクチノイド actinides	104 Rf ラザホージウム rutherfordium 261	105 Db ドブニウム dubnium 262	106 Sg シーボーギウム seaborgium 266	107 Bh ボーリウム bohrium 264	108 Hs ハッシウム hassium 277	109 Mt マイトネリウム meitnerium 268	110 Ds ダームスタチウム darmstadtium 281	111 Rg レントゲニウム roentgenium 272	112 Cn コペルニシウム copernicium 285	113 7p Nh ニホニウム nihonium 284	114 Fl フレロビウム flerovium 289	115 Mc モスコビウム moscovium 288	116 Lv リバモリウム livermorium 292	117 Ts テネシン tennessine 293	118 Og オガネソン oganesson 294
			† 4f ランタノイド lanthanides (レアアース金属) rare earth metals	57 La ランタン lanthanum 138.9	58 Ce セリウム cerium 140.1	59 Pr プラセオジウム praseodymium 140.9	60 Nd ネオジウム neodymium 144.2	61 Pm プロメチウム promethium 145	62 Sm サマリウム samarium 150.4	63 Eu ユウロピウム europium 152.0	64 Gd ガドリニウム gadolinium 157.3	65 Tb テルビウム terbium 158.9	66 Dy ジスプロシウム dysprosium 162.5	67 Ho ホルミウム holmium 164.9	68 Er エルビウム erbium 167.3	69 Tm ツリウム thulium 168.9	70 Yb イットルビウム ytterbium 173.0	71 Lu ルテチウム lutetium 175.0
			‡ 5f アクチノイド actinides	89 Ac アクチニウム actinium 227	90 Th トリウム thorium 232.0	91 Pa プロトアクチニウム protactinium 231.0	92 U ウラン uranium 238.0	93 Np ネプツニウム neptunium 237	94 Pu プルトニウム plutonium 239	95 Am アメリシウム americium 243	96 Cm キュリウム curium 247	97 Bk バークリウム berkelium 247	98 Cf カリホルニウム californium 251	99 Es アインスタイニウム einsteinium 252	100 Fm フェルミウム fermium 257	101 Md メンデレビウム mendelevium 258	102 No ノーベリウム nobelium 259	103 Lr ローレンシウム lawrencium 262

原子番号 → 29 +2.1 ← 通常できるイオンの価数
 元素記号 → **Cu** ← 元素記号が灰色のものは人工合成された元素
 元素名(日本語) → 銅
 元素名(英語) → copper
 ← 原子量

↑ 非金属元素
↓ 金属元素

■ 常温で気体 ■ 単体は半導体
 ■ 常温で液体 ■ 単体は強磁性体 ■ 放射性同位体のみからなる元素

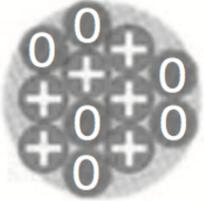
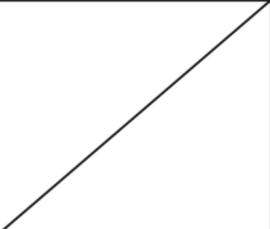
→ 非金属元素
↓ 金属元素

↑ 非金属元素
↓ 金属元素

93番以降は、すべて人工合成されたもの

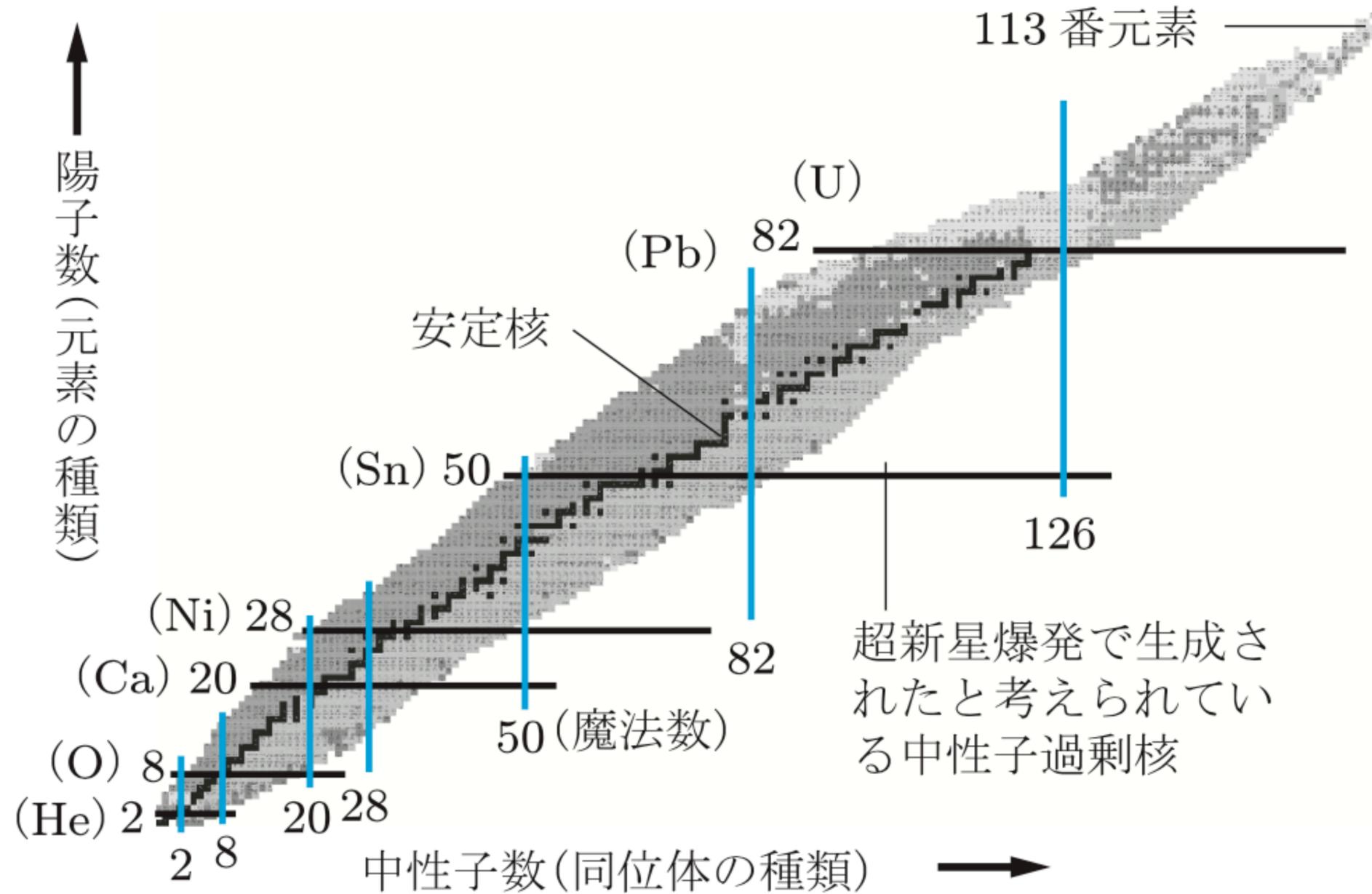
同位体 (isotope)

●自然界に存在する同位体の例

	名称	記号	模式図	陽子の数	中性子の数	質量 (u) [†]	存在比 (%)
水素	水素	${}^1_1\text{H}$		1	0	1.0078	99.9885
	重水素	${}^2_1\text{H}$ D			1	2.0141	0.0115
炭素	炭素 12	${}^{12}_6\text{C}$		6	6	12	98.93
	炭素 13	${}^{13}_6\text{C}$			7	13.0034	1.07
ウラン	ウラン 234	${}^{234}_{92}\text{U}$		92	142	234.0409	0.0054
	ウラン 235	${}^{235}_{92}\text{U}$			143	235.0439	0.7204
	ウラン 238	${}^{238}_{92}\text{U}$			146	238.0508	99.2742

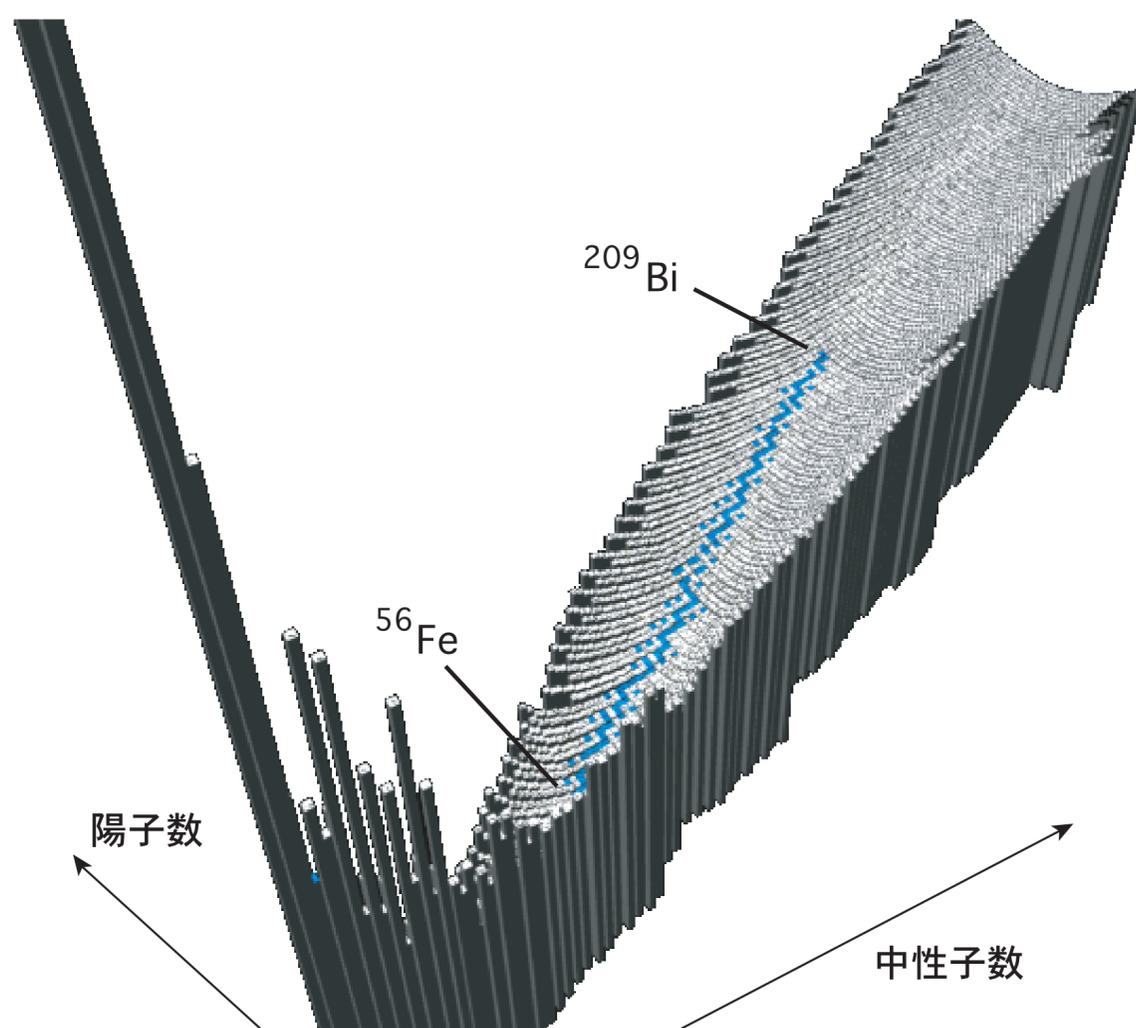
同位体の名称は、「炭素 12」のように「元素名 + 質量数」で表す。水素は例外的に、 ${}^2_1\text{H}$ (記号 D も用いる) を**重水素**という。また、**三重水素** (${}^3_1\text{H}$ または T) も発見されている。

核図表

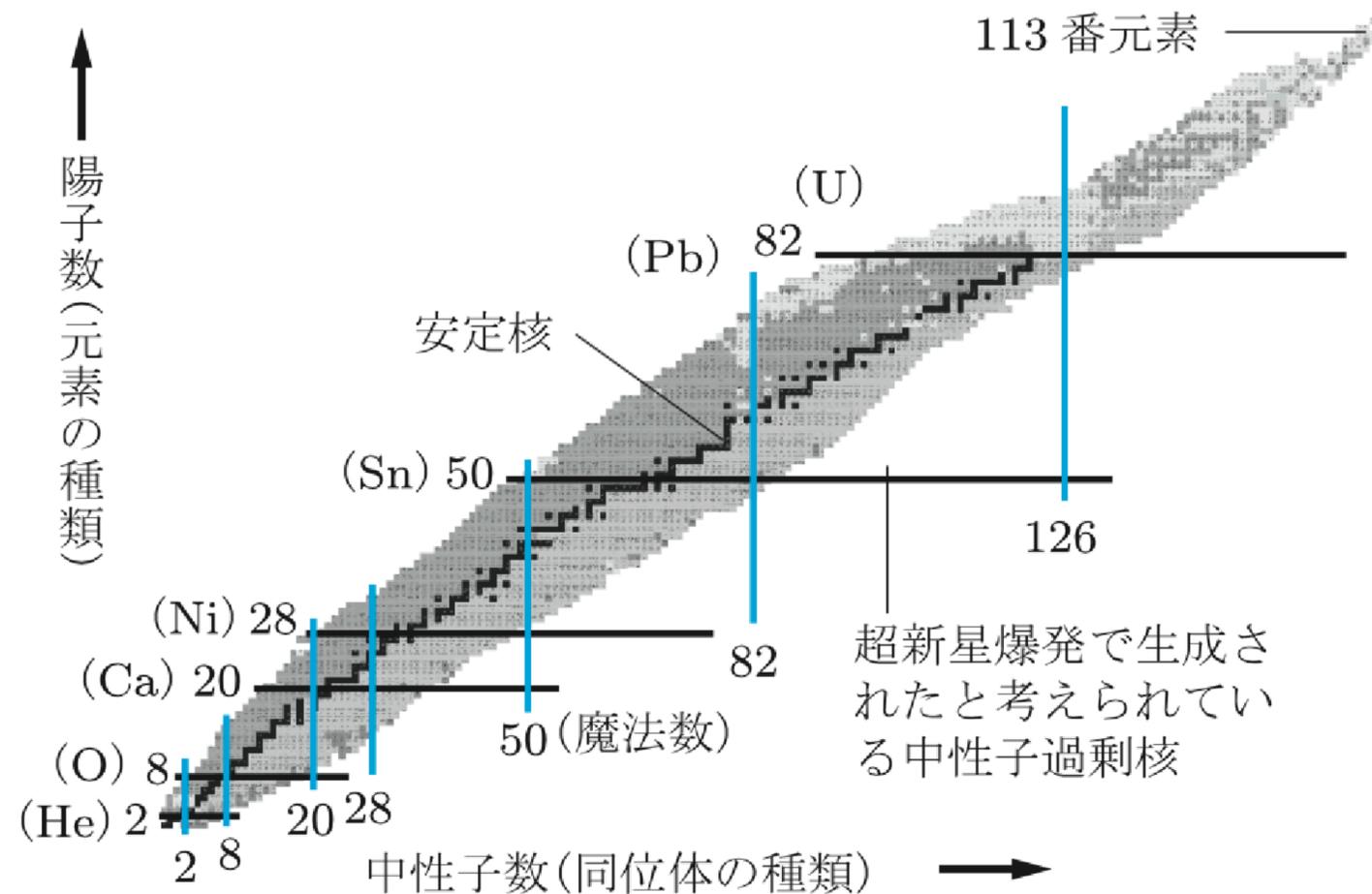


核融合も核分裂もどちらもおきる理由は何か？

教科書 p75



核図表 教科書 p213



結合エネルギーの大きなモノが下になるように描いた核図表

酸素がない宇宙で太陽が燃えているのはなぜ？

コラム 18 酸素がない宇宙で太陽が燃えているのは何故？

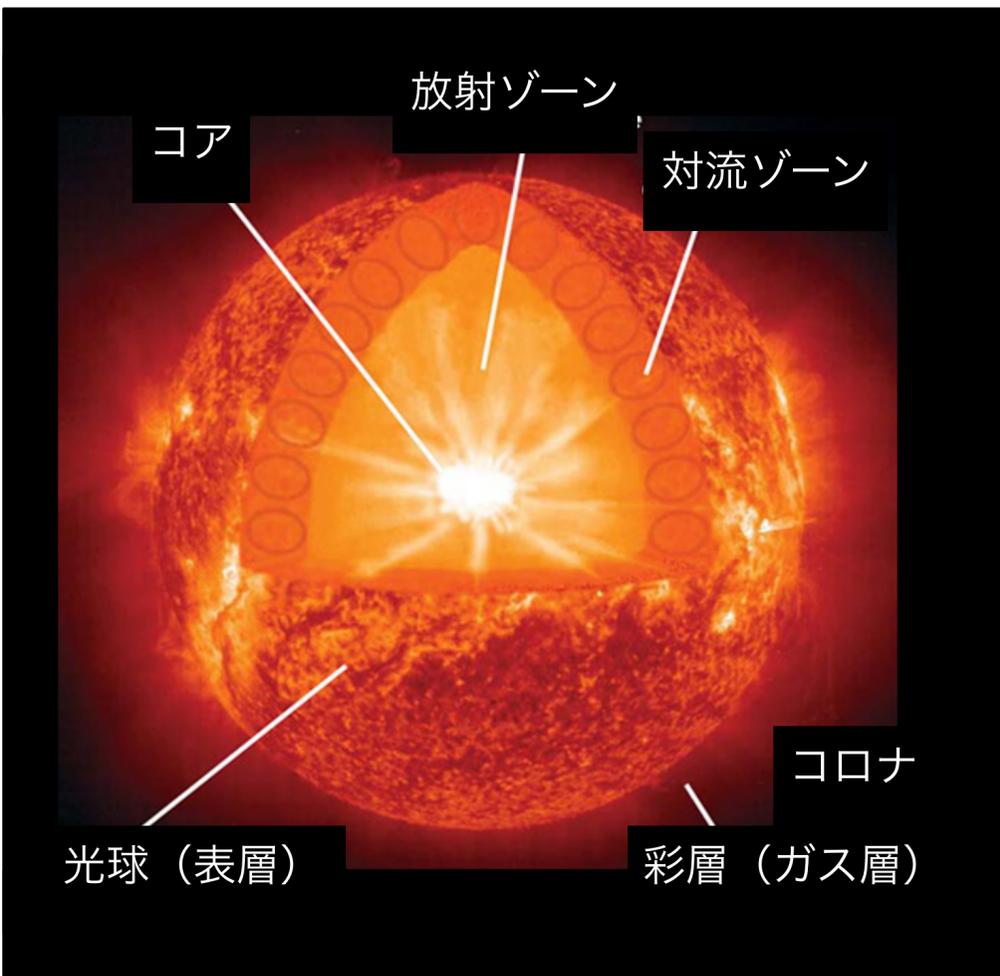
太陽系の起源は約 50 億年前と考えられている。物理学がそろい始めた 19 世紀末、太陽のエネルギー源は何か、という大問題が解けずにあった。（当時、太陽の年齢は 3 億年以上ということしかわかっていなかったが）単純に化学反応で説明するには寿命が長すぎていたのだ。ケルビンとヘルムホルツ (von Helmholtz, H. L. F. 1821–94) は「太陽は大きな重力で収縮しているため、周囲に熱を放出する」という説を考えたが、それでも太陽年齢は 2000 万年以上にはならなかった。

決定的な理論となったのは、アインシュタインが 1905 年に提出した相対性理論による、 $E = mc^2$ という式である。この式から、1920 年、天文学者エディントン (Eddington, A. S. 1882–1944) は、太陽内部での水素からヘリウムへの核融合の可能性を指摘している。太陽が水素で満たされていることが 1925 年にわかり、1930 年代に物理学者チャンドラセカール (Chandrasekhar, S. 1910–95) とベーテ (Bethe, H. 1906–2005) によって核融合の理論が進むと、太陽のエネルギー源が核融合反応であることがようやく明らかになる。

このコラムのタイトルにした疑問はよく科学館に寄せられる質問だそうだ。核融合反応は物理的な結合エネルギーの組み替えで発生している反応であり、化学的燃焼とは違うので酸素は不要なのである。

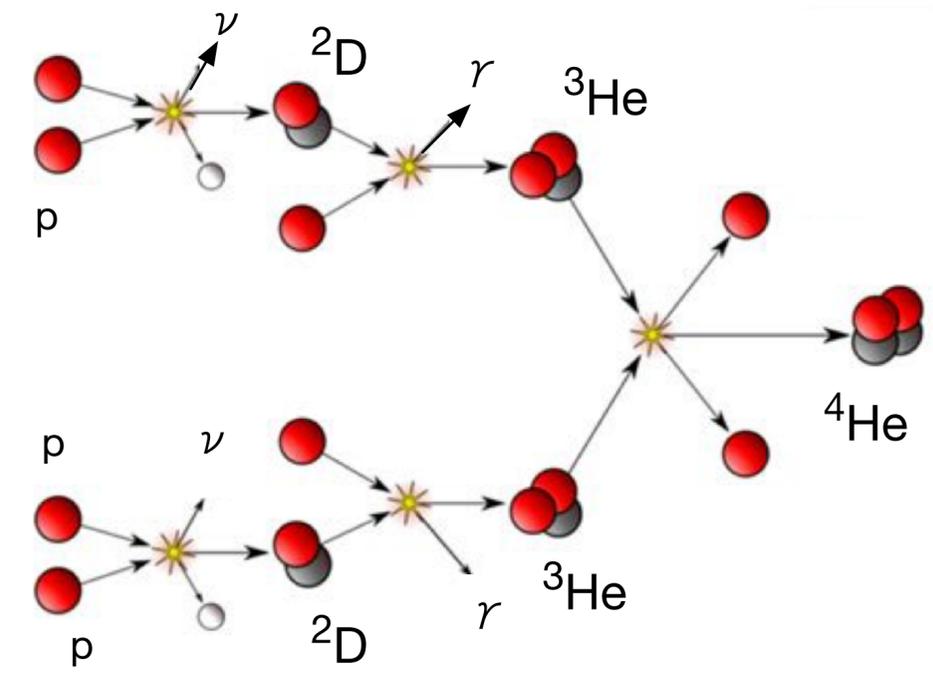
星は核融合反応で光を放っている

3.2.8 星の一生

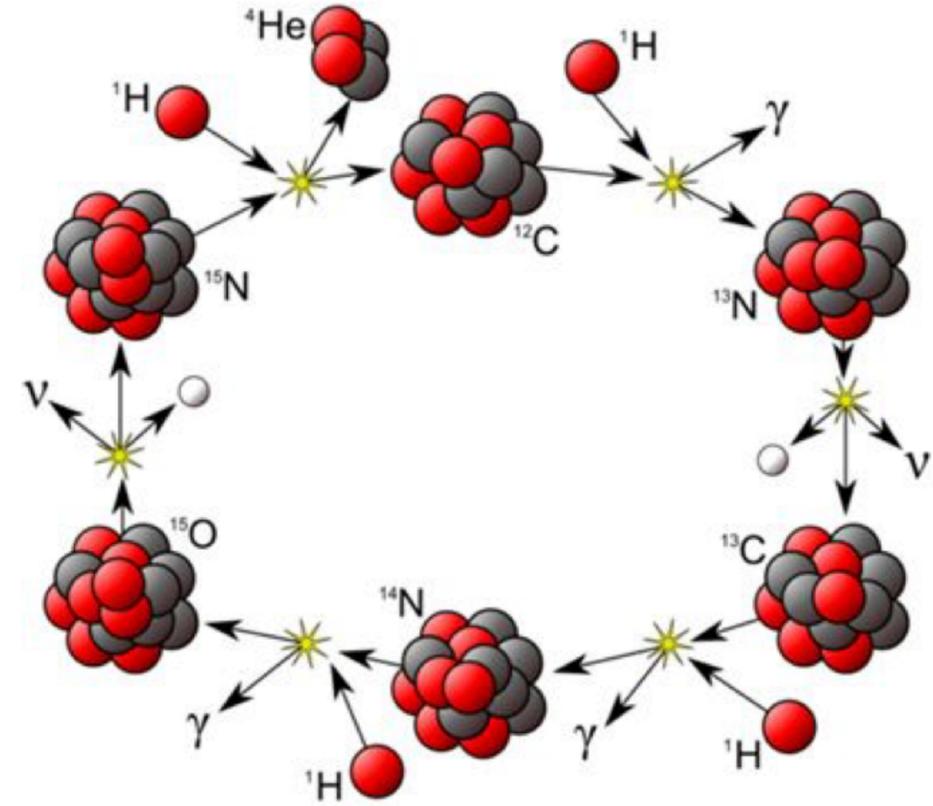


- 陽子 (proton)
- 中性子 (neutron)
- 陽電子 (positron)
- γ ガンマ線
- ν ニュートリノ

ppチェーン



CNOサイクル



The Convection Zone

Energy continues to move toward the surface through convection currents of heated and cooled gas in the convection zone.

The Corona

The ionized elements within the corona glow in the x-ray and extreme ultraviolet wavelengths. NASA instruments can image the Sun's corona at these higher energies since the photosphere is quite dim in these wavelengths.

The Radiative Zone

Energy moves slowly outward—taking more than 170,000 years to radiate through the layer of the Sun known as the radiative zone.

Sun's Core

Energy is generated by thermonuclear reactions creating extreme temperatures deep within the Sun's core.

Coronal Streamers

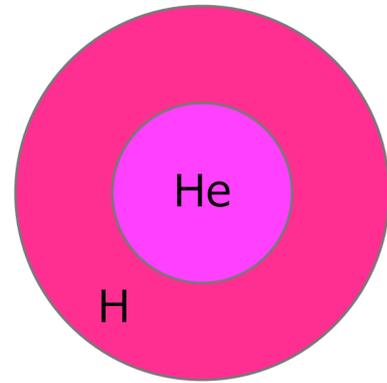
The outward-flowing plasma of the corona is shaped by magnetic field lines into tapered forms called coronal streamers, which extend millions of miles into space.

The Chromosphere

The relatively thin layer of the Sun called the chromosphere is sculpted by magnetic field lines that restrain the electrically charged solar plasma. Occasionally larger plasma features—called prominences—form and extend far into the very tenuous and hot corona, sometimes ejecting material away from the Sun.

鉄まで核融合が進むと燃え終わる

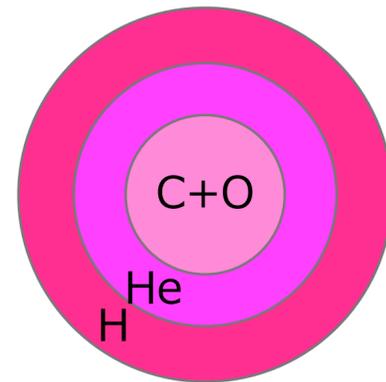
水素HからヘリウムHeへ (pp chain)



中心部がHeになると、核融合止まる。

冷却し、収縮し、温度上昇して、次の核融合に点火

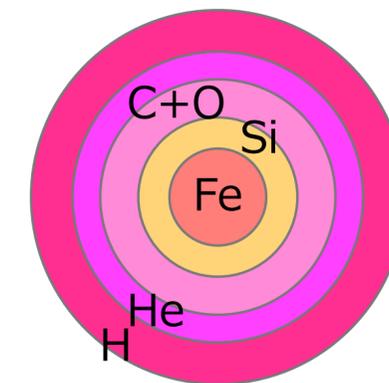
ヘリウムHeからCNOへ (pp chain)



中心部がCNOになると、核融合止まる。

冷却し、収縮し、温度上昇して、次の核融合に点火

中心部がFeになると、...



周期表 (periodic table)

Period	1	1A																	18	VIII A		
	1	1s	1																			2
			H 水素 hydrogen 1.008																			He ヘリウム helium 4.003
	2	2s	3	4																	10	
			Li リチウム lithium 6.941	Be ベリリウム beryllium 9.012																	Ne ネオン neon 20.18	
	3	3s	11	12																	18	
			Na ナトリウム sodium 22.99	Mg マグネシウム magnesium 24.31																	Ar アルゴン argon 39.95	
4	4s	19	20																	36		
		K カリウム potassium 39.10	Ca カルシウム calcium 40.08																	Kr クリプトン krypton 83.80		
5	5s	37	38																	54		
		Rb ルビジウム rubidium 85.47	Sr ストロンチウム strontium 87.62																	Xe キセノン xenon 131.3		
6	6s	55	56																	86		
		Cs セシウム cesium 132.9	Ba バリウム barium 137.3																	Rn ラドン radon 222		
7	7s	87	88																	118		
		Fr フランシウム francium 223	Ra ラジウム radium 226																	Og オガネソン oganesson 294		

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
III B	IV B	V B	VI B	VII B	VIII B	VIII B	VIII B	IB	II B
Sc スカンジウム scandium 44.96	Ti チタン titanium 47.87	V バナジウム vanadium 50.94	Cr クロム chromium 52.00	Mn マンガン manganese 54.94	Fe 鉄 iron 55.85	Co コバルト cobalt 58.93	Ni ニッケル nickel 58.69	Cu 銅 copper 63.55	Zn 亜鉛 zinc 65.41
39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
4d									
Y イットリウム yttrium 88.91	Zr ジルコニウム zirconium 91.22	Nb ニオブ niobium 92.91	Mo モリブデン molybdenum 95.94	Tc テクネチウム technetium 98	Ru ルテニウム ruthenium 101.1	Rh ロジウム rhodium 102.9	Pd パラジウム palladium 106.4	Ag 銀 silver 107.9	Cd カドミウム cadmium 112.4
57-71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
† 5d									
ランタノイド lanthanides	Hf ハフニウム hafnium 178.5	Ta タンタル tantalum 180.9	W タングステン tungsten 183.8	Re レニウム rhenium 186.2	Os オスmium osmium 190.2	Ir イリジウム iridium 192.2	Pt 白金 platinum 195.1	Au 金 gold 197.0	Hg 水銀 mercury 200.6
89-103	104	105	106	107	108	109	110	111	112
‡ 6d									
アクチノイド actinides	Rf ラザホージウム rutherfordium 261	Db ドブニウム dubnium 262	Sg シーボーギウム seaborgium 266	Bh ボーリウム bohrium 264	Hs ハッシウム hassium 277	Mt マイトネリウム meitnerium 268	Ds ダームスタチウム darmstadtium 281	Rg レントゲニウム roentgenium 272	Cn コペルニシウム copernicium 285

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	
† 4f															
ランタノイド lanthanides (レアース金属) (rare earth metals)	La ランタン lanthanum 138.9	Ce セリウム cerium 140.1	Pr プラセオジウム praseodymium 140.9	Nd ネオジウム neodymium 144.2	Pm プロメチウム promethium 145	Sm サマリウム samarium 150.4	Eu ユウロビウム europium 152.0	Gd ガドリニウム gadolinium 157.3	Tb テルビウム terbium 158.9	Dy ジスプロシウム dysprosium 162.5	Ho ホルミウム holmium 164.9	Er エルビウム erbium 167.3	Tm ツリウム thulium 168.9	Yb イットルビウム ytterbium 173.0	Lu ルテチウム lutetium 175.0
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	
‡ 5f															
アクチノイド actinides	Ac アクチニウム actinium 227	Th トリウム thorium 232.0	Pa プロトアクチニウム protactinium 231.0	U ウラン uranium 238.0	Np ネプツニウム neptunium 237	Pu プルトニウム plutonium 239	Am アメリシウム americium 243	Cm キュリウム curium 247	Bk バーケリウム berkelium 247	Cf カリホルニウム californium 251	Es アインスタイニウム einsteinium 252	Fm フェルミウム fermium 257	Md メンデレビウム mendelevium 258	No ノーベリウム nobelium 259	Lr ローレンシウム lawrencium 262

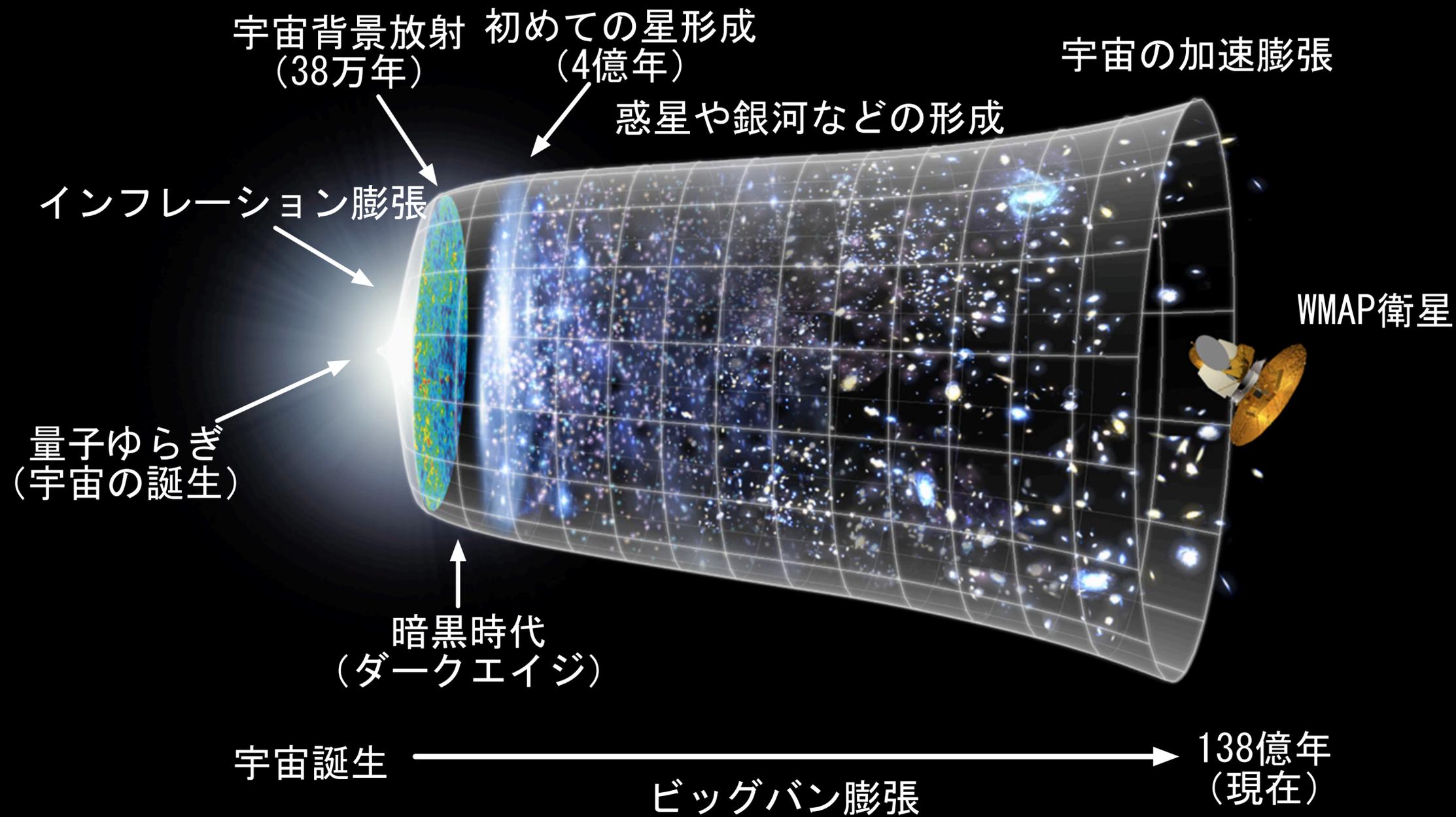
原子番号 → 29 ← 通常できるイオンの価数
 元素記号 → Cu ← 元素記号が灰色のものは人工合成された元素
 元素名(日本語) → 銅
 元素名(英語) → copper
 ← 原子量

↑ 非金属元素
 ↓ 金属元素

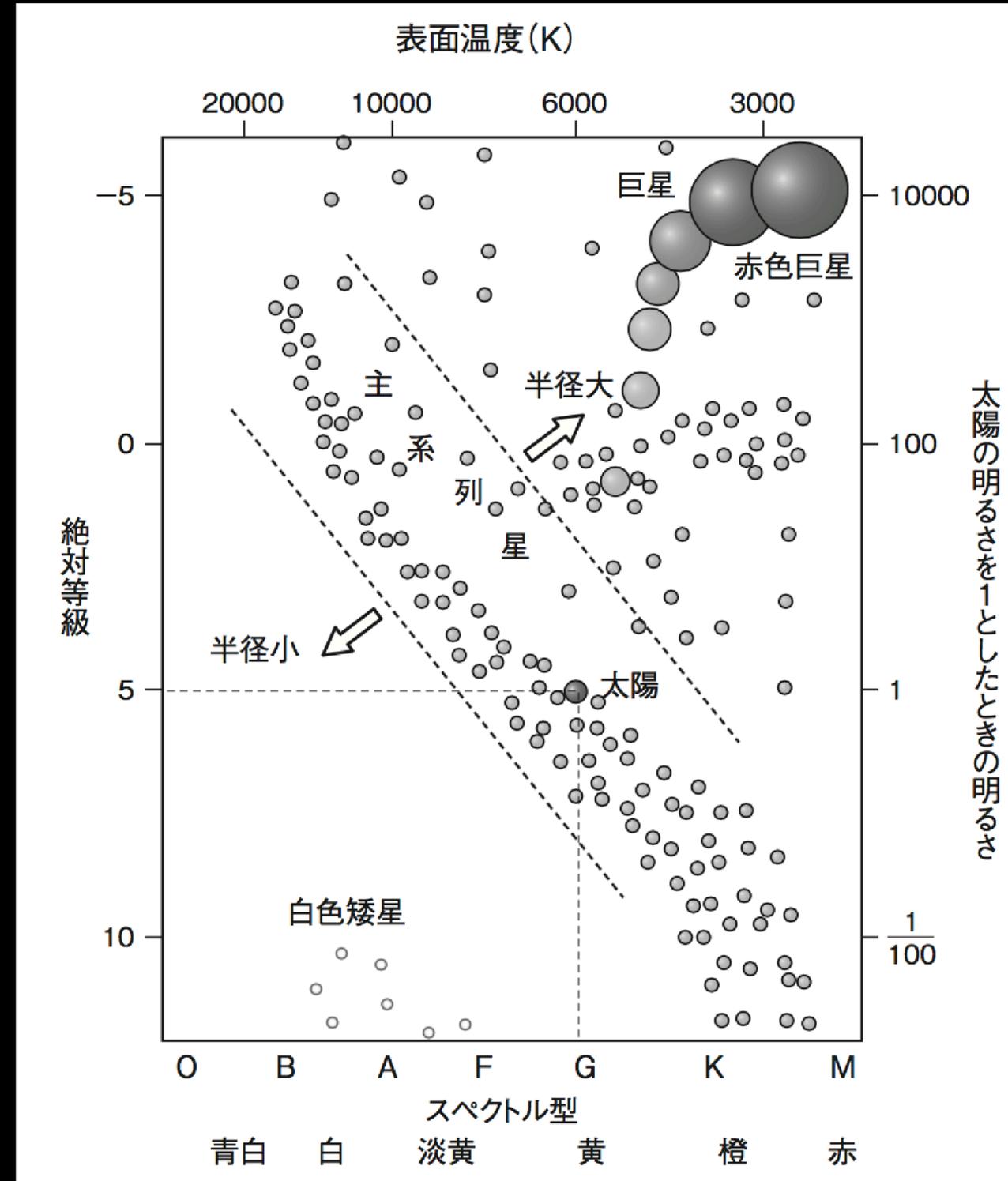
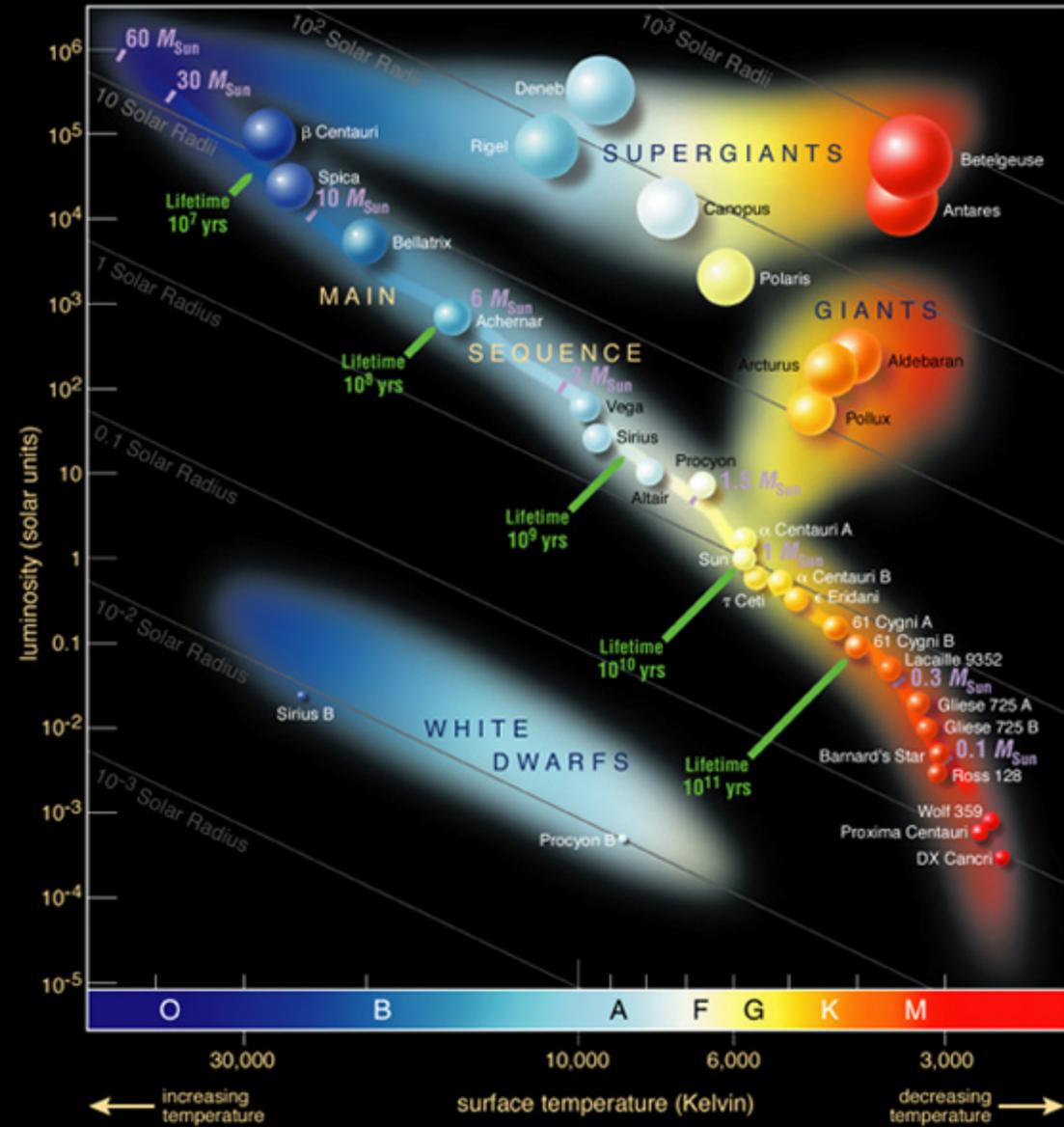
■ 常温で気体 ■ 単体は半導体
 ■ 常温で液体 ■ 単体は強磁性体 ■ 放射性同位体のみからなる元素

→ 非金属元素
 ↓ 金属元素

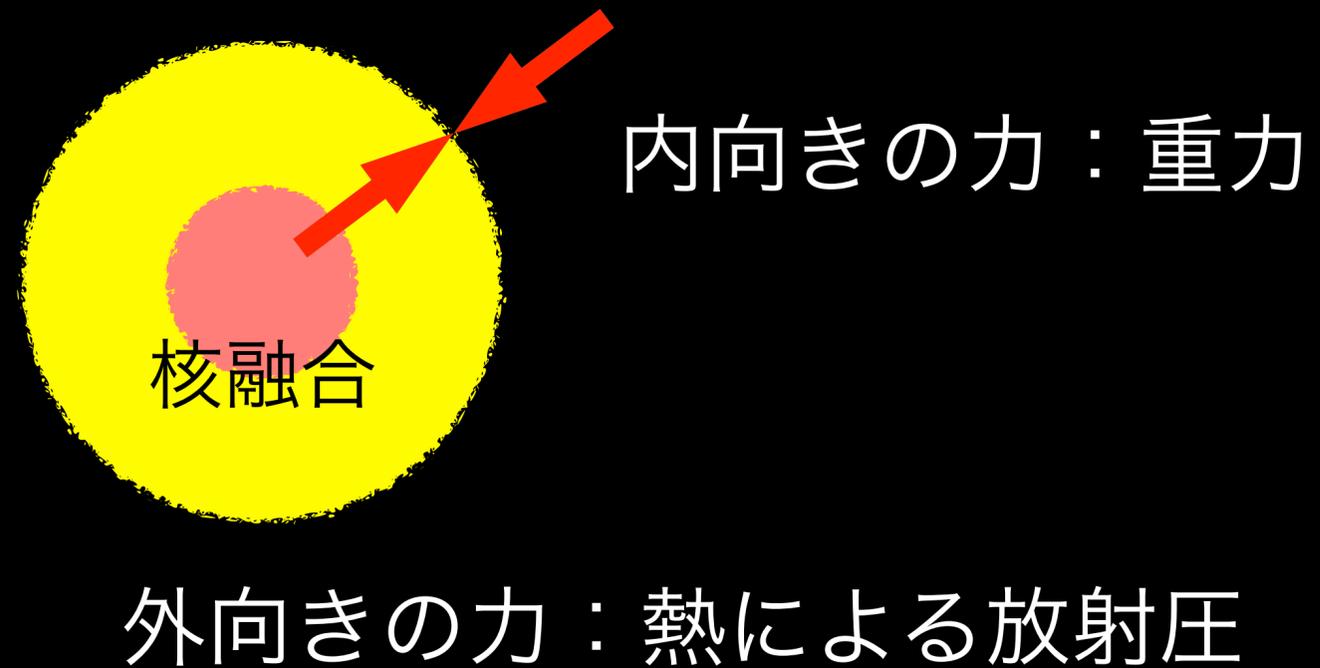
↑ 非金属元素
 ↓ 金属元素



HR図 (Hertzsprung-Russell Diagram)



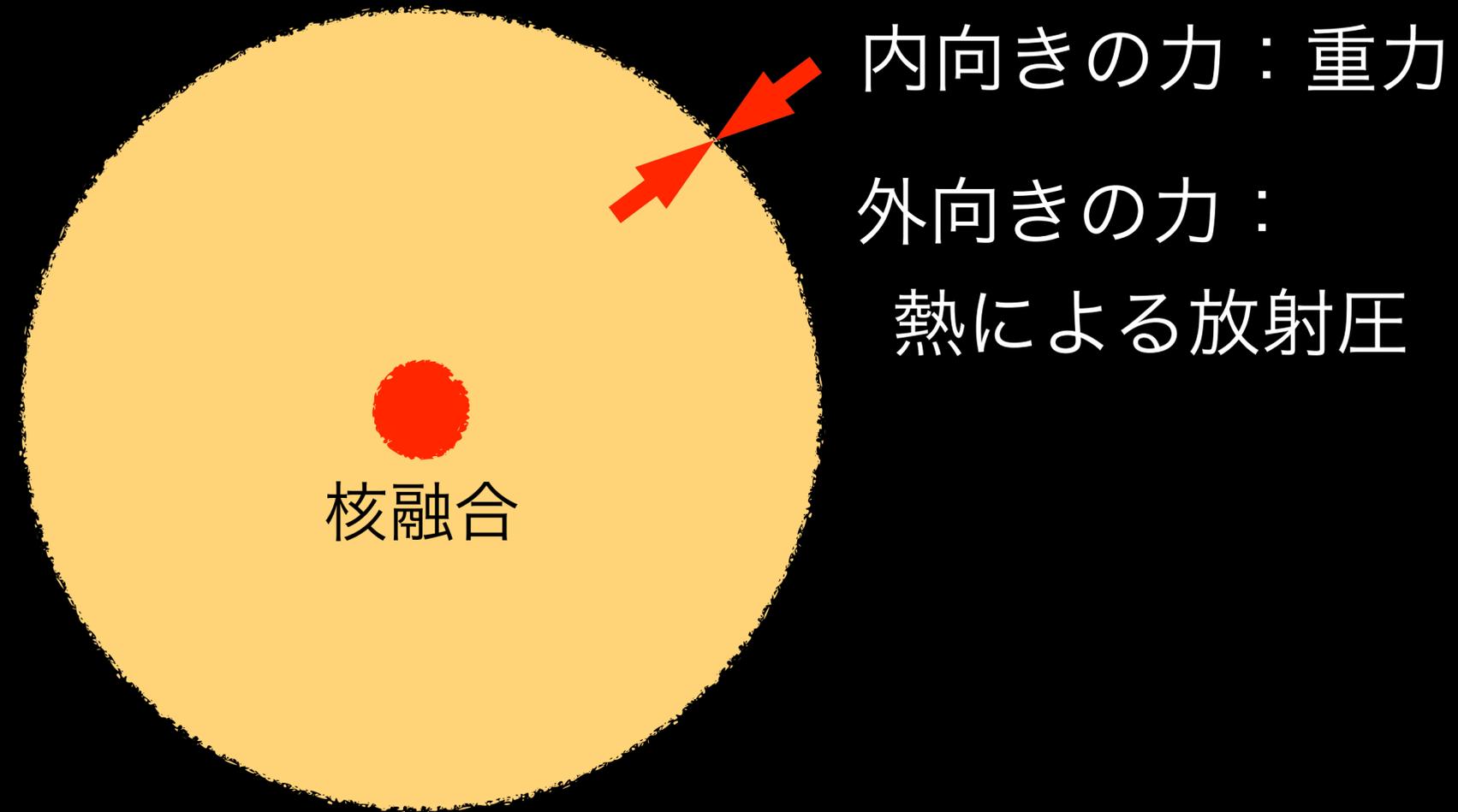
超新星爆発のしくみ (1)星の燃焼



*現在の太陽：水素がヘリウムに核融合

*放射圧＝重力 となるところで星の半径が決まる

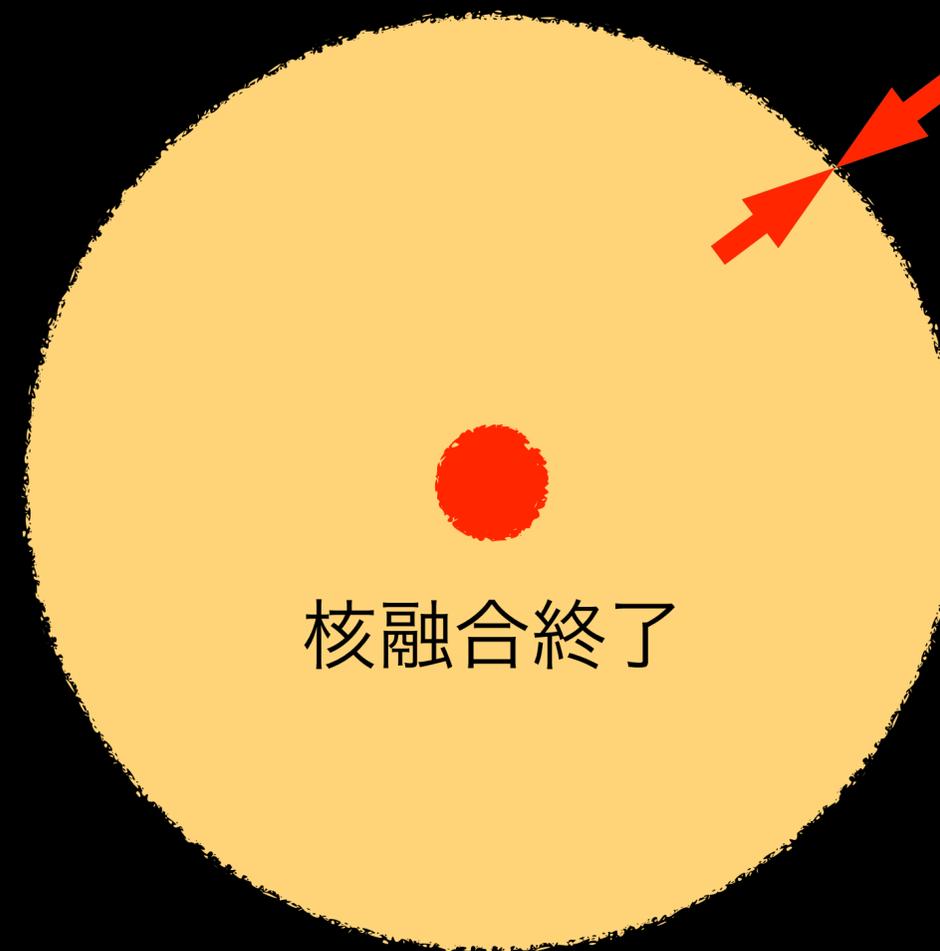
超新星爆発のしくみ (2)星の燃焼の最後



*核融合反応で質量をエネルギーに変換し続けると、
軽くなるので重力が弱くなる。

*放射圧=重力 となるところで星の半径が決まる

超新星爆発のしくみ (3) 核融合終了



内向きの力：重力

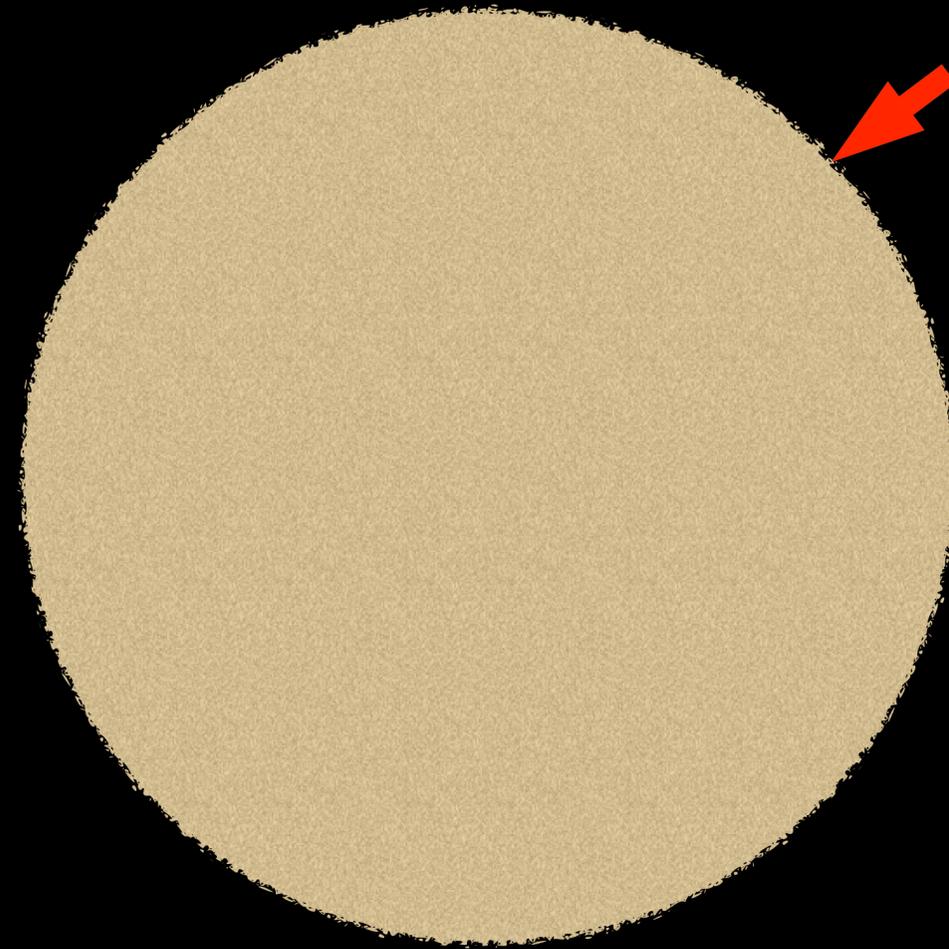
外向きの力：

熱による放射圧

*核融合反応は鉄まで進むと終了

*放射圧がなくなるので星の収縮が始まる

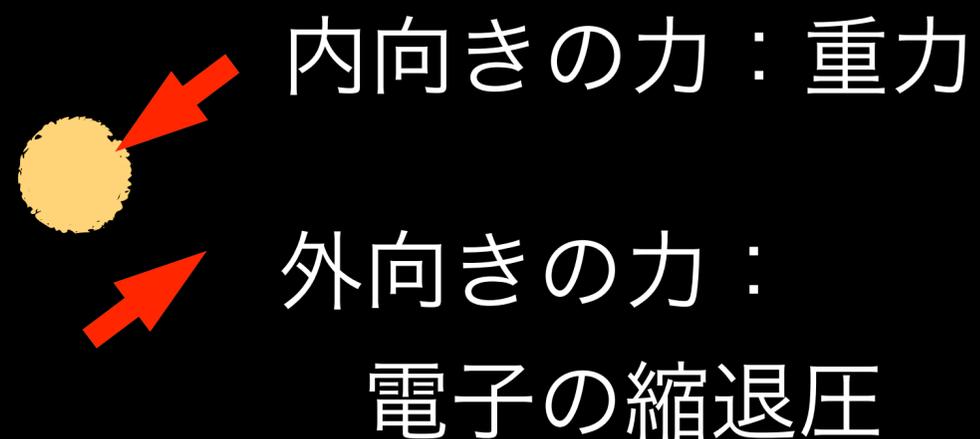
超新星爆発のしくみ (4) 重力崩壊



内向きの力：重力

*収縮が始まる

超新星爆発のしくみ (5) 重力崩壊後の運命1

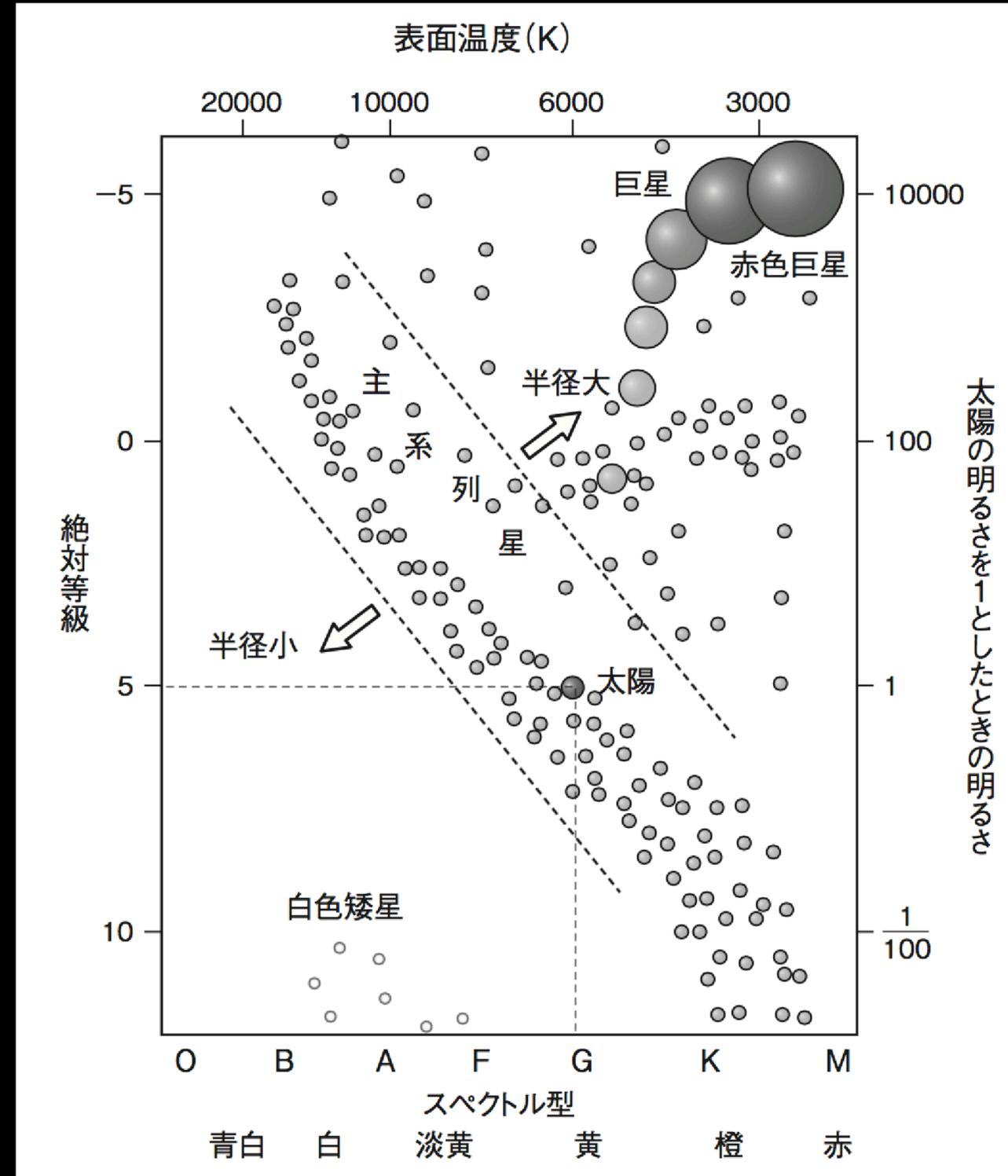
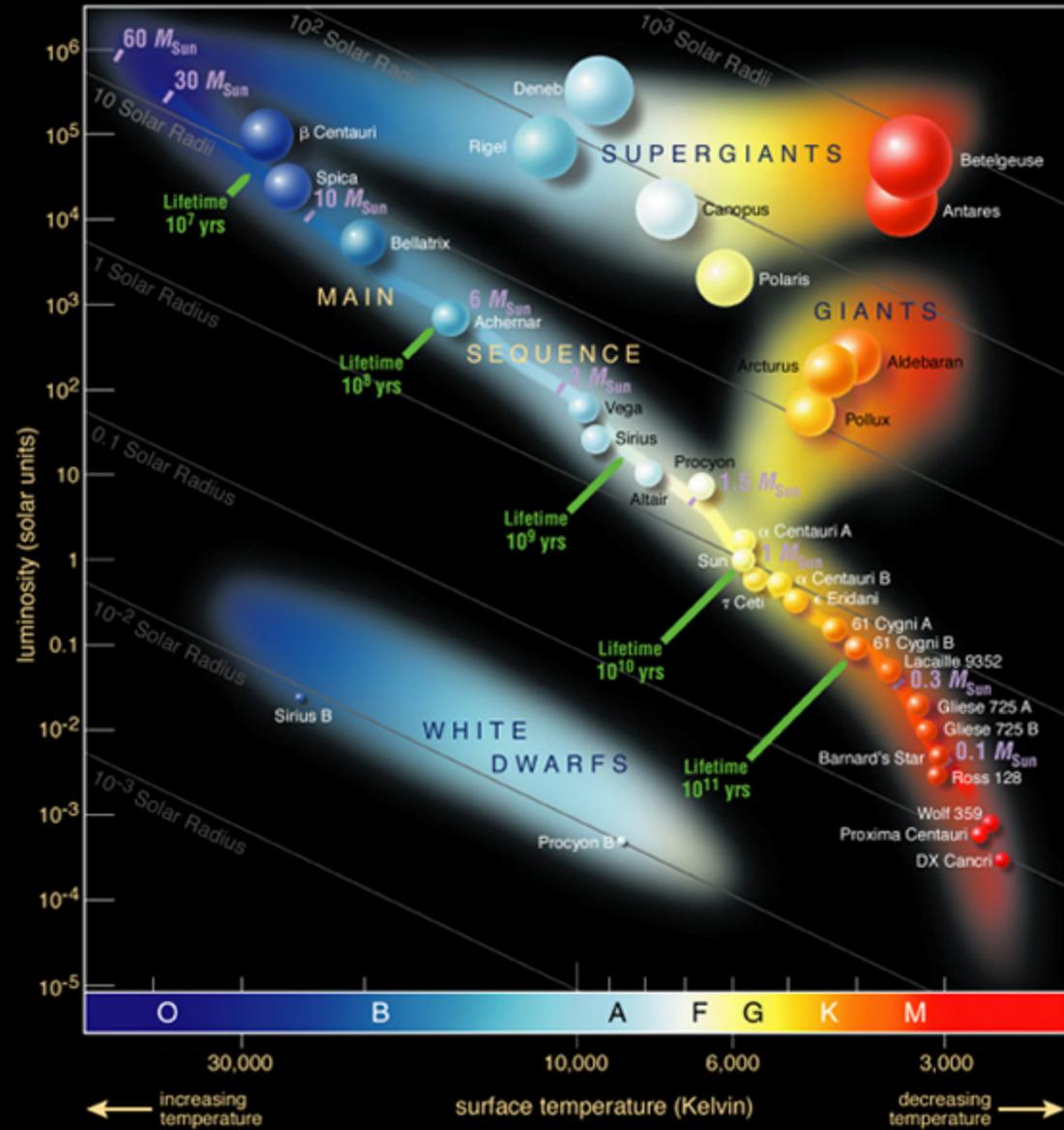


*密につまった物質が星を支えるようになる

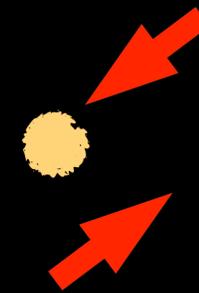
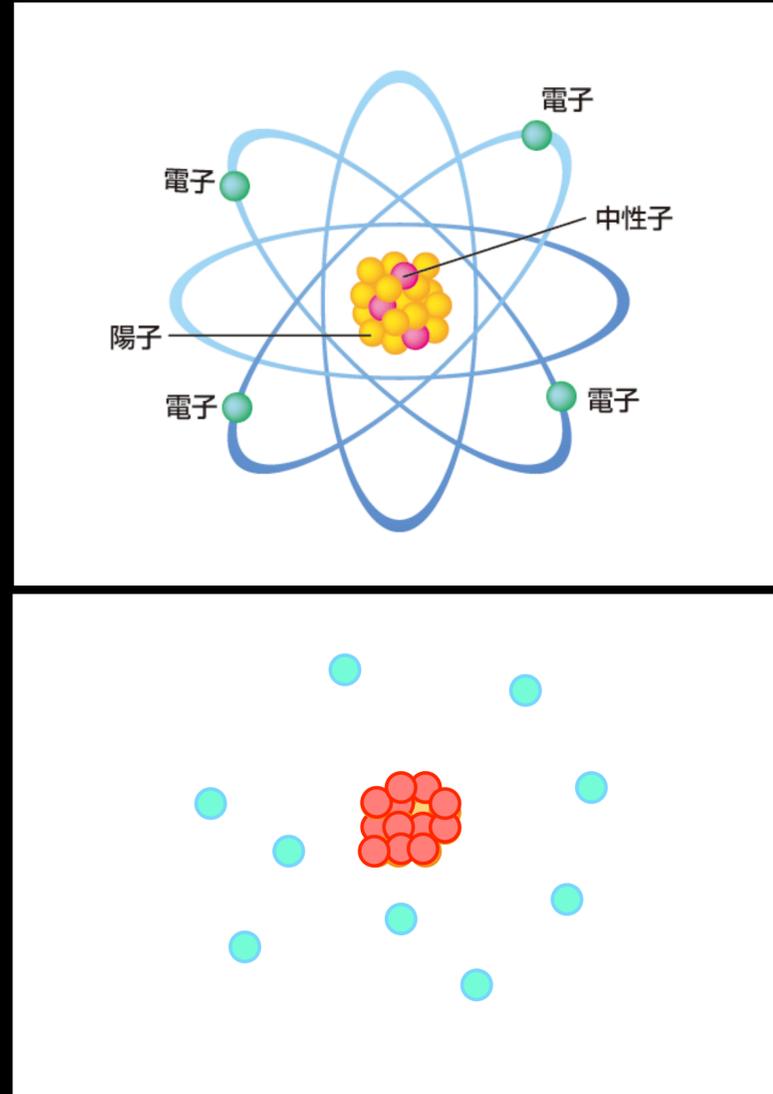
【運命その1】 電子の縮退圧で支える「白色矮星」になる

1933年チャンドラセカールの考え

HR図 (Hertzsprung-Russell Diagram)



超新星爆発のしくみ (6) 重力崩壊後の運命2



内向きの力：重力

外向きの力：
中性子の縮退圧

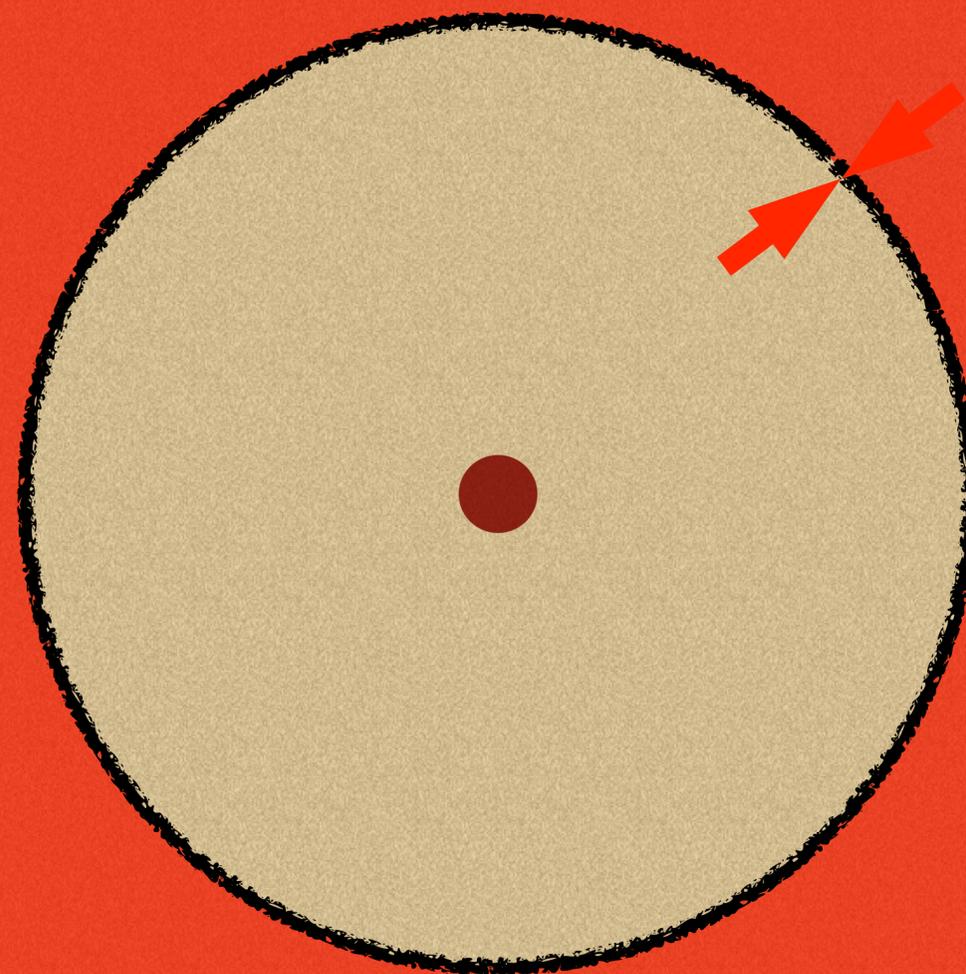


*密につまった物質が星を支えるようになる

【運命その2】 中性子の縮退圧で支える「中性子星」になる

1938年ツヴィツキーの考え

超新星爆発のしくみ (7) さらに降り積もると...



内向きの力：重力

外向きの力：

中性子の縮退圧

硬い殻ができる

*収縮が始まる

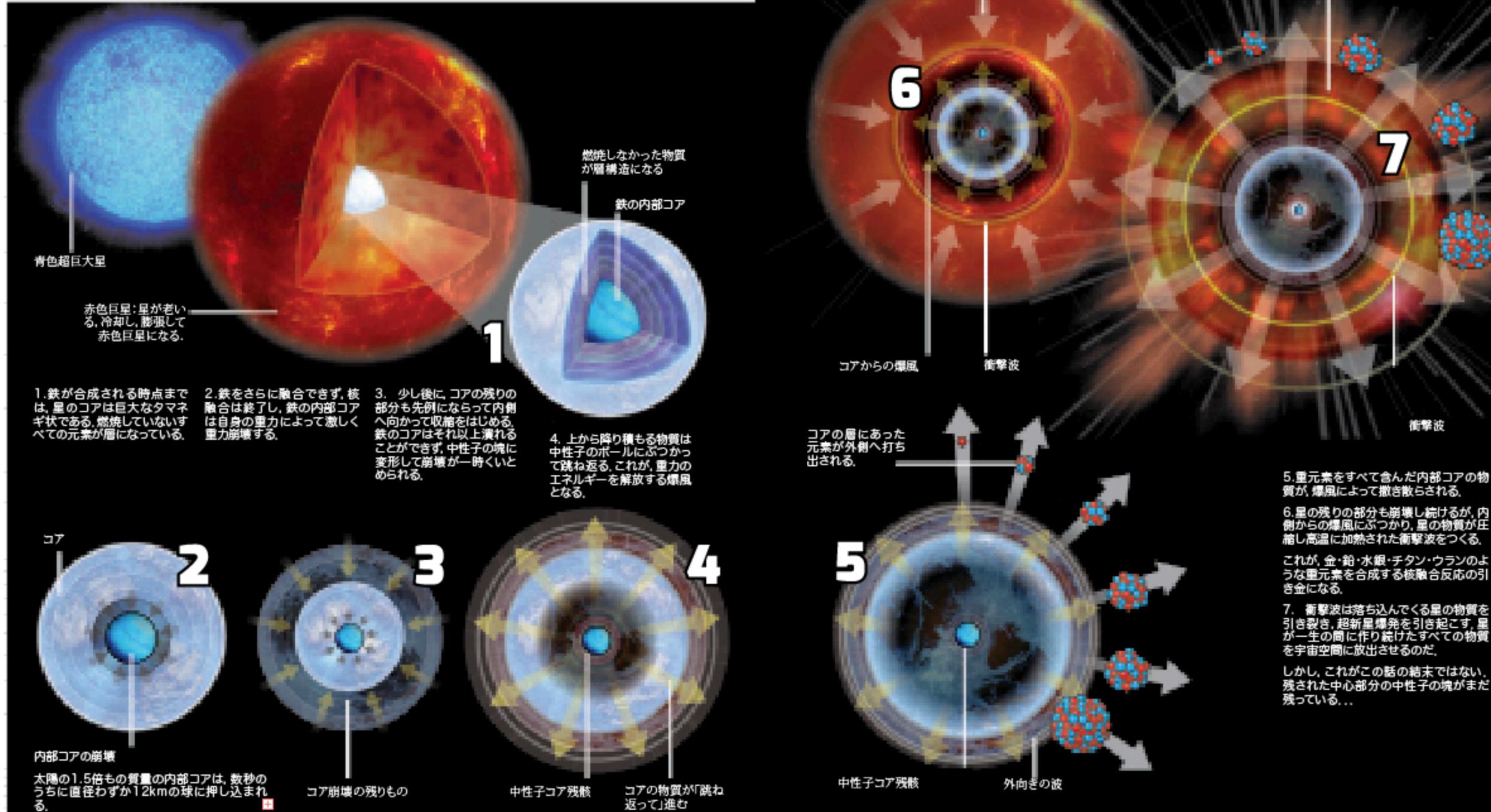
中性子の塊ができる。

さらに外側からガスが落下すると...

星の一生

ダイハード:重元素を合成するまでは死ねない

鉄の核融合を発生させるには、エネルギーを解放するよりも多くのエネルギーを必要とする。ひとたび星のコアに鉄ができれば、それは死を意味する。核融合反応は終了し、星は重力の報酬を受けることになる。重元素が合成されるのは、この星の断末魔の時期である。



「宇宙のつくり方」 Ben Gilliland著, 真貝・鳥居訳 (丸善, 2016/12)

星の輪廻

星(恒星)の一生を決めるのは、どれだけの質量があるか、そしてどのように燃えていくかの2つの要素だ。巨大な星は、核燃料の消費もはやく、数万年くらいの寿命しかないが、小さな星は現在の宇宙年齢の数倍も燃焼し続ける可能性がある。

褐色矮星*はよく「星のなりそこない」と呼ばれる。水素の核融合反応に点火するほどの質量を持ってなかった星の残骸だからだ。これらの星は、まわりの空間に熱を放出して、ゆっくりと死んでゆき、やがて消えてゆく。巨大なガス惑星と同じなので、「できすぎた惑星」と考えてもよいかもしれない。[*訳注：矮星(dwarf)は、小さな星という意味。]

赤色矮星は小さいけれども水素の核融合を起こすことのできる星だ。低い温度で燃えるために、宇宙が今の何倍の年齢になったとしても薄暗く輝き続けることができる。宇宙にある多くの星は -- 全体のおよそ75パーセントの星は -- 赤色矮星である。

太陽型恒星(あるいは黄色矮星)は、水素とヘリウムの両方の核融合反応に点火できる十分な質量を持つ星だ。これらの星がヘリウムを失ったあとは赤色巨星になり、周囲のガス層を照らして惑星ガス雲とし、そしてやがて白色矮星となる。100億年以上の時間をかけて(もし宇宙がそれだけ長く続くならば、だが)、これらの星はゆっくりと冷却して、黒色矮星になってゆく。

超巨星や極超巨星は、星の間たちからみても病的に肥満している星である。太陽の10倍から数百倍の大きさの質量のものは、燃料の消費も大きく、数十万年程度の寿命である。

宇宙におけるすべての重元素の合成主の星たちは、その星のコアでひとたび鉄が合成されると、超新星として爆発する。

痩せている星は中性子星やパルサーとなって生き延びるが、肥満している星は、自分の巨大な体重で押しつぶされてブラックホールに変貌する。

図にした星の大きさは正しいものではない。例えば、太陽の20倍の質量をもつ超巨星は、太陽の75倍の大きさになる。

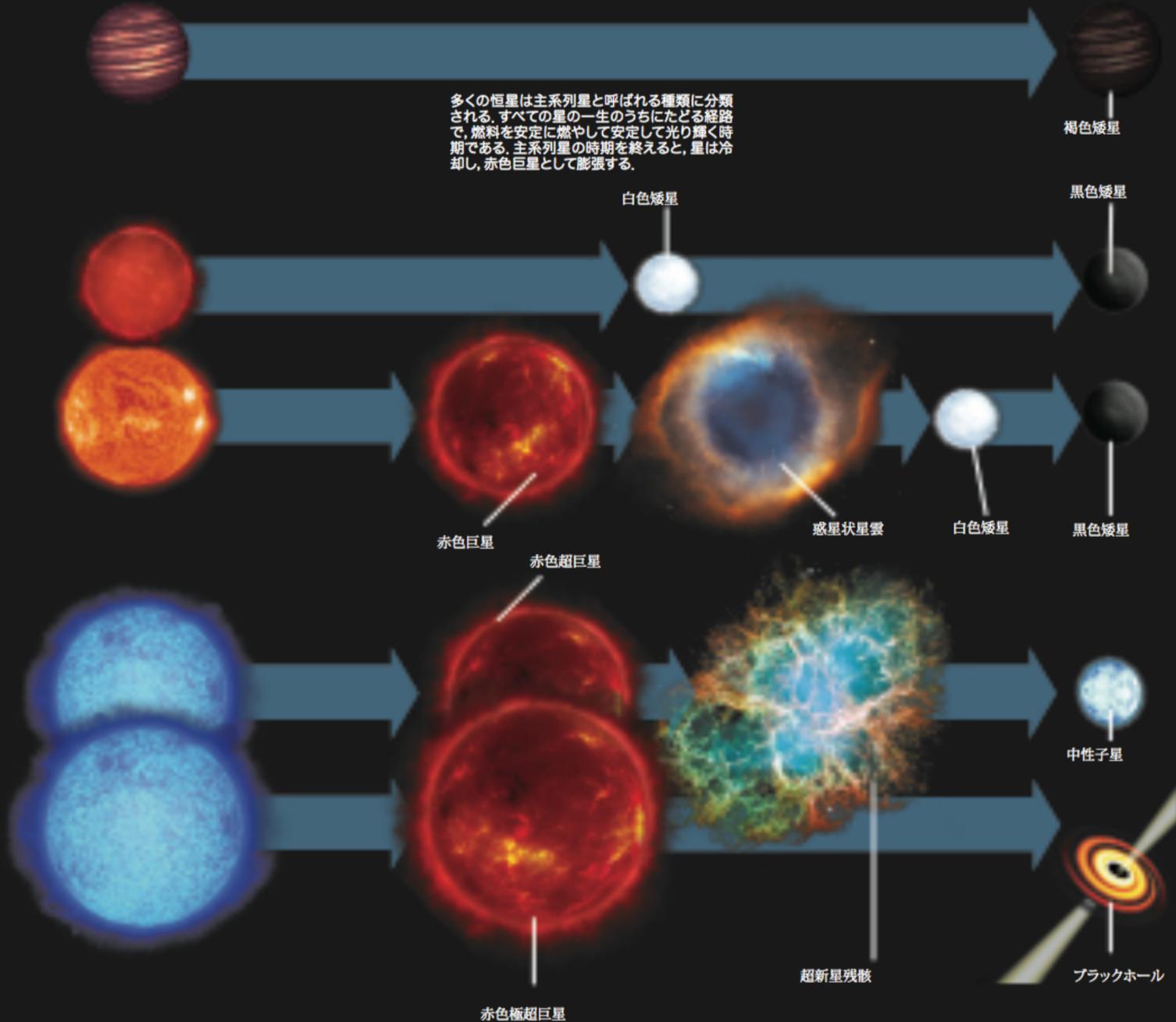
褐色矮星
質量：太陽の0.08倍
表面温度：1000°C
寿命(主系列)：不明

赤色矮星
質量：太陽の0.2倍
表面温度：3000°C
寿命：10兆年

太陽型恒星
質量：太陽の1倍
表面温度：5000°C
寿命：100億年

超巨星
質量：太陽の20倍
表面温度：12000°C
寿命：500万年

極超巨星
質量：太陽の100倍
表面温度：40000°C
寿命：100万年



多くの恒星は主系列星と呼ばれる種類に分類される。すべての星の一生のうちにとどる経路で、燃料を安定に燃やして安定して光り輝く時期である。主系列星の時期を終えると、星は冷却し、赤色巨星として膨張する。

超新星爆発のしくみ

- 星の内部で原子核融合が進む：



- 質量を失って、膨張する。 放射の力 > 重力
- 核融合が生じなくなる。 放射の力 < 重力
急速に潰れる。

- 星の内部は押しつぶされて、
原子核 は 中性子の固まり に

- 大爆発：

外から降り積もってきた物質が中性子核ではね返る

$$E = mc^2$$

- **発端：**

相対性理論の考えにより，運動法則をどの座標から見ても同じ形になるように書き換えると登場した。

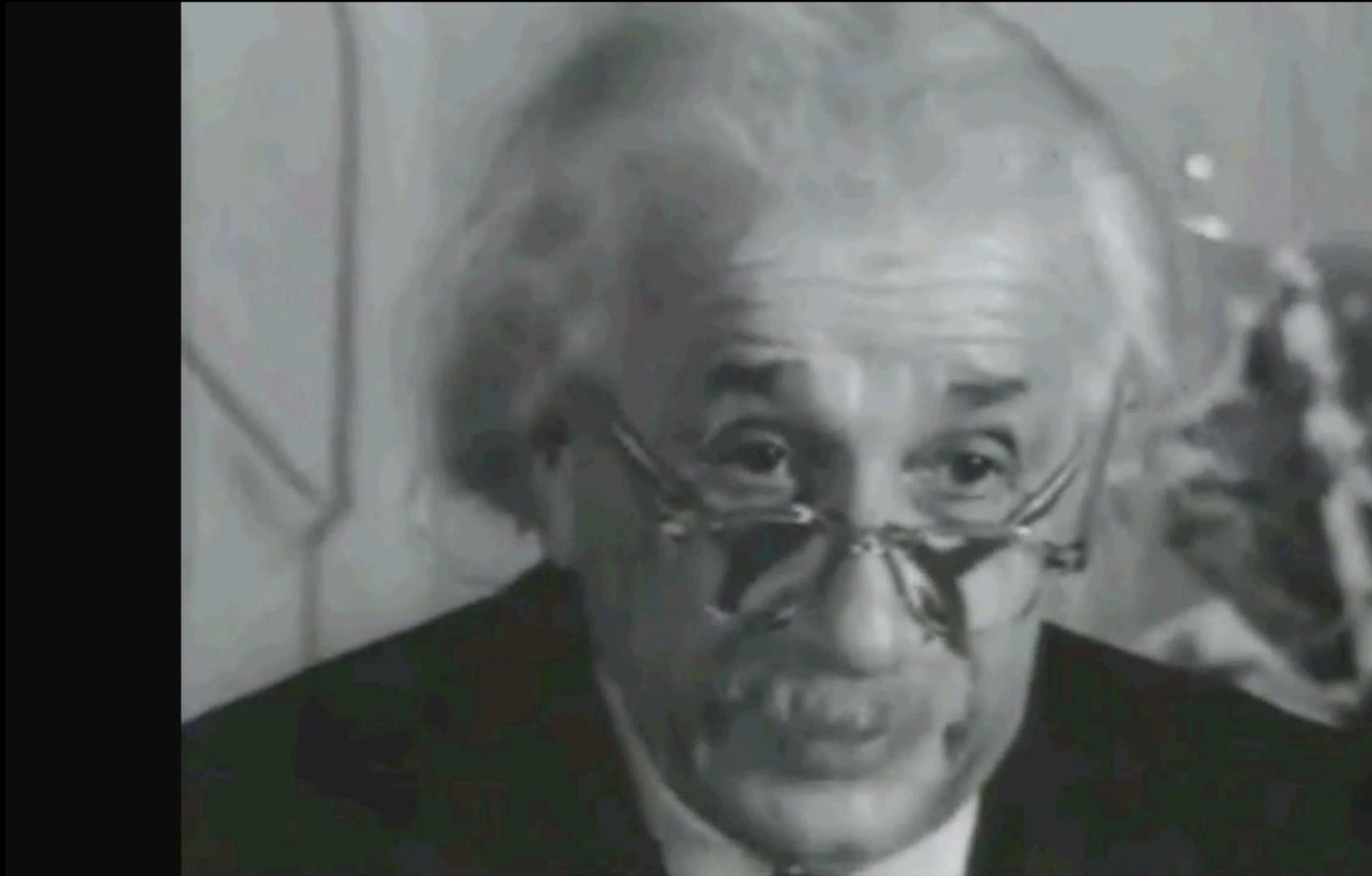
- **意味するもの：**

質量とエネルギーは同じ。原子核反応により，世の中から質量がわずかでもなくなれば，莫大なエネルギーが得られる。

- **応用：**

核融合反応：星の輝く原理，水素爆弾

核分裂反応：原子爆弾，原子力発電



Einstein 自身による $E = mc^2$ の説明

It followed from the special theory of relativity that mass and energy are both but different manifestations of the same thing — a somewhat unfamiliar conception for the average mind.

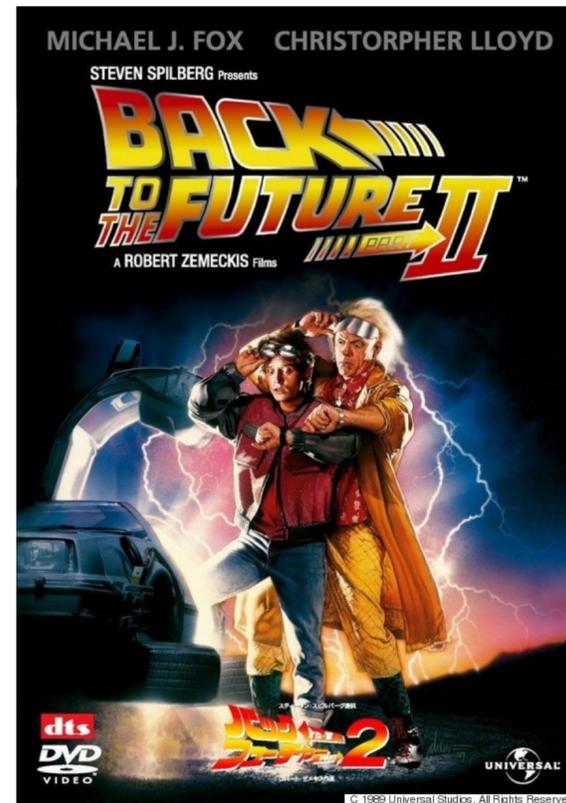
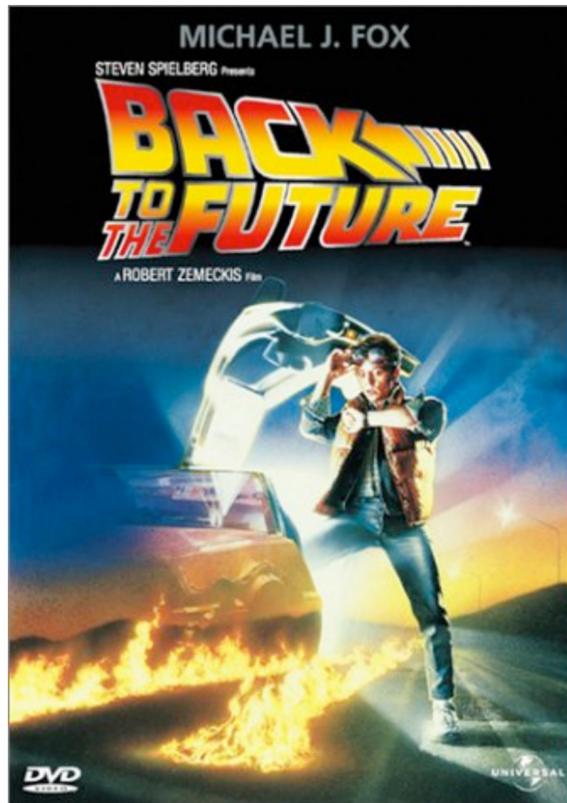
Furthermore, the equation $E = mc^2$, in which energy is put equal to mass, multiplied by the square of the velocity of light, showed that very small amounts of mass may be converted into a very large amount of energy and vice versa.

The mass and energy were in fact equivalent, according to the formula mentioned before.

This was demonstrated by Cockcroft and Walton in 1932, experimentally.

前回のミニッツペーパーから

タイムマシンの映画でお勧めは？



バックトゥザ"フューチャー

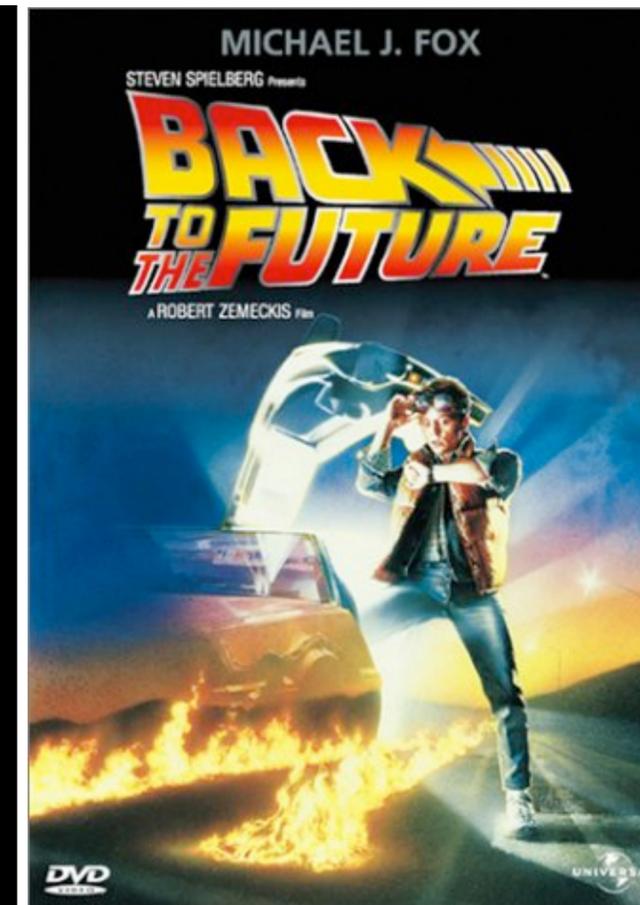
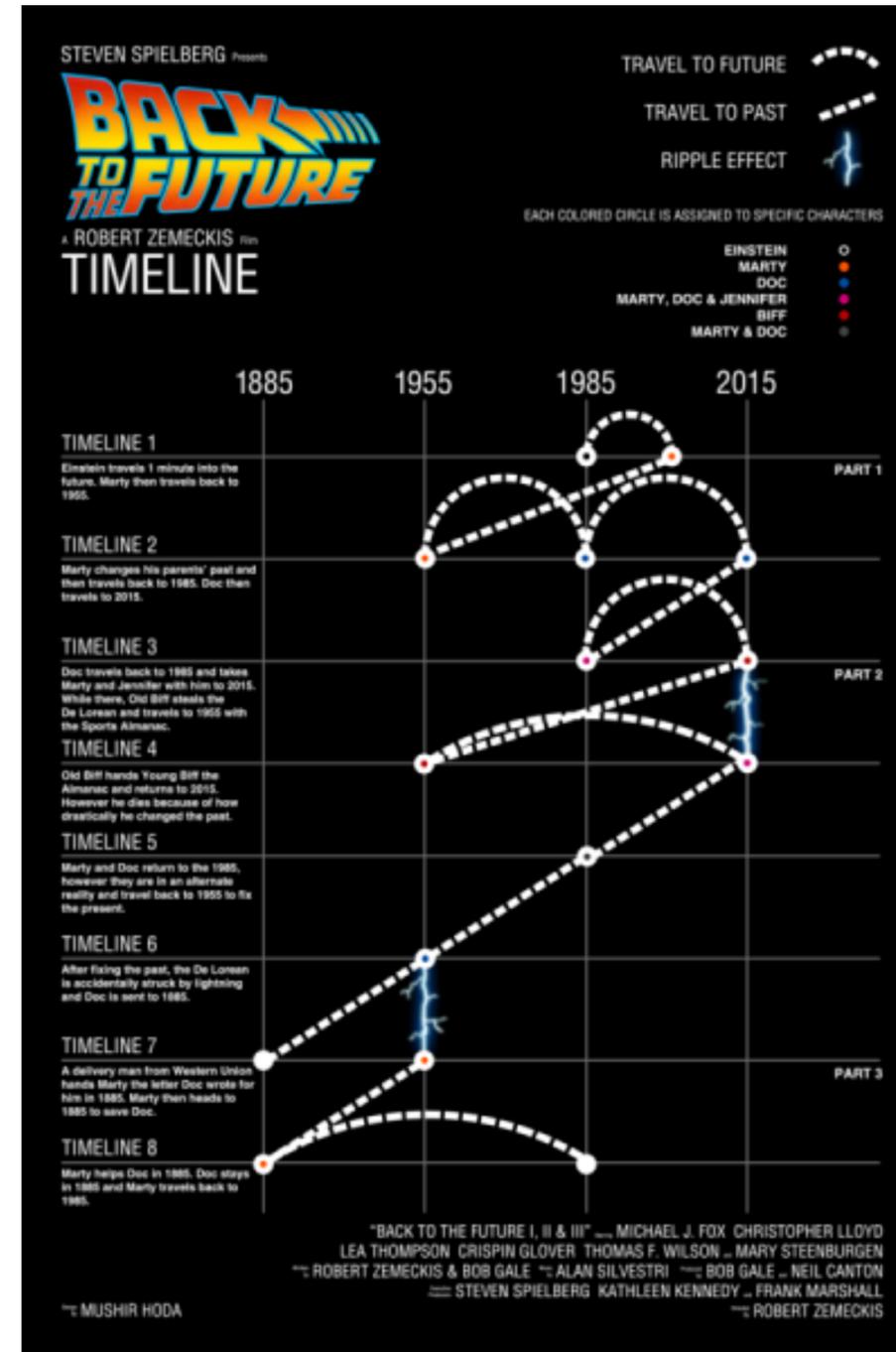
バック・トゥーザフューチャー
しかいましてません

バック・トゥ・ザ・フューチャー

バックトゥザ"フューチャー

Back to the future

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



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

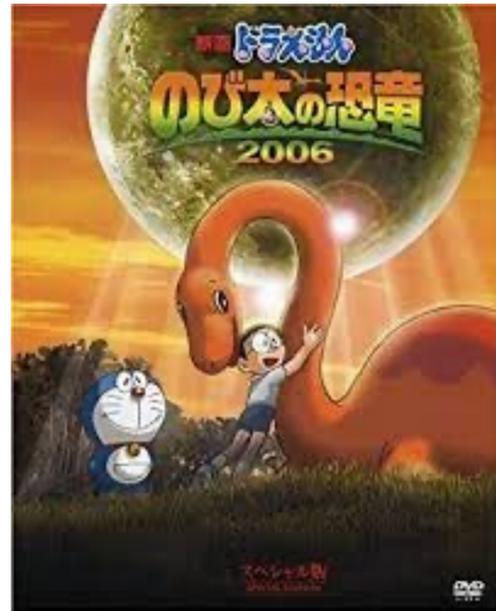


前回のミニッツペーパーから

タイムマシンの映画でお勧めは？

ドラえもん

ドラえもん



ドラえもんしか見たことないです。
未来のタイムトラベルか思っていたよりも現実的な話で
驚いた。

タイムマシンを使う系の映画。ドラえもんしか見たことか
ないです。自分もお勧めが鼻にたります。

前回のミニッツペーパーから

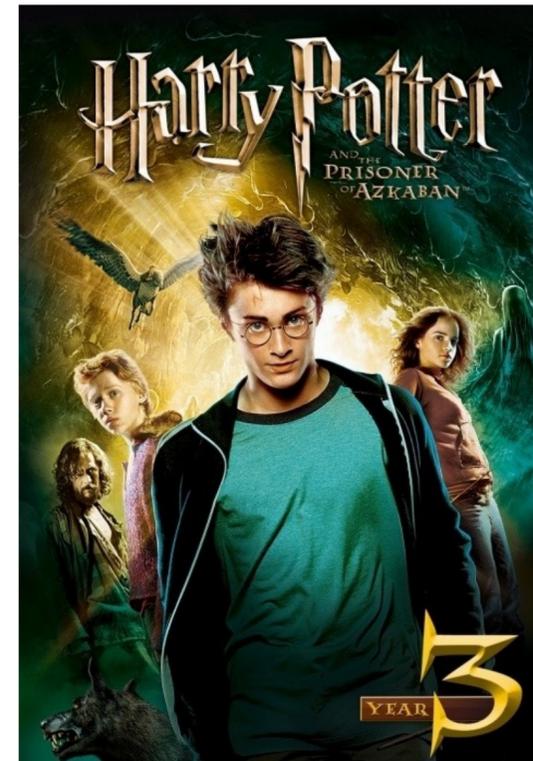
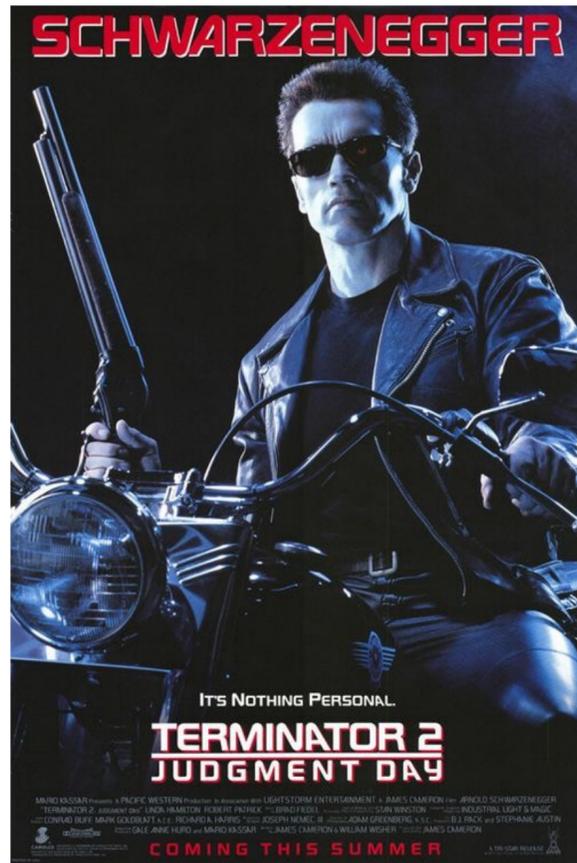
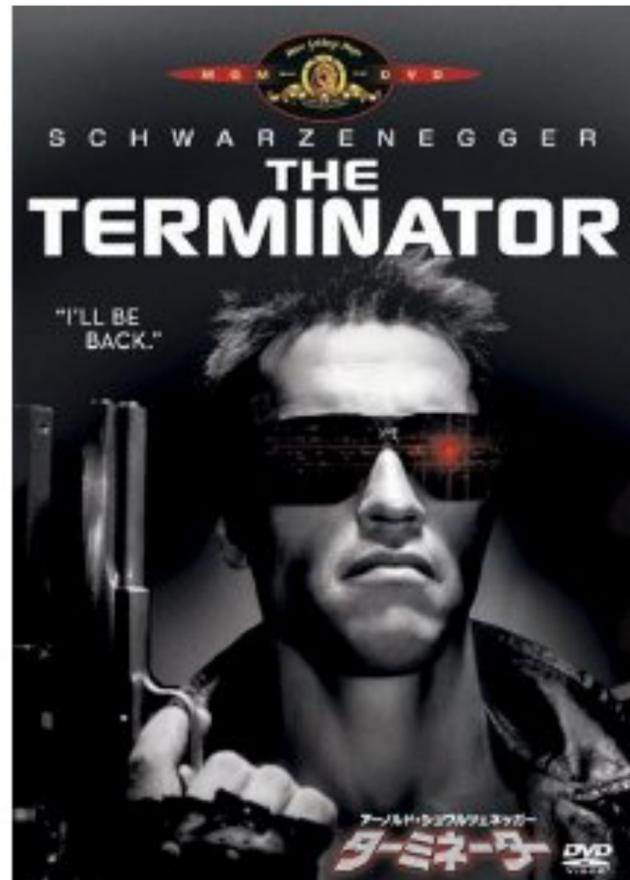
タイムマシンの映画でお薦めは？

ターミネーター、ハリーポッターとアズカバンの囚人

ターミネーター

ターミネーター

ハリーポッター アズカバンの囚人



前回のミニッツペーパーから

タイムマシンの映画でお勧めは？

タイムマシンといえば「バックトゥーザフューチャー」

タイムマシンではないが「サマータイムレンダ」や「東京リベンジャーズ」等も思い浮かんだ。

東京リベンジャーズ

君の名は。

マシンではなく
タイムトラベルですが 映画 花が咲く丘で君とまた出会えたら



あの花が咲く丘で、君とまた出会えたら。

前回のミニッツペーパーから

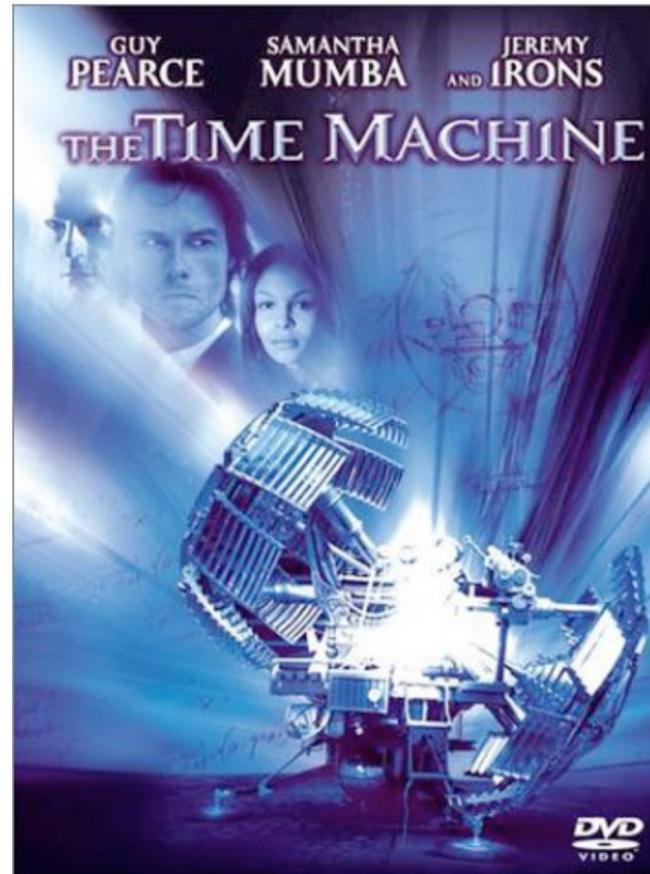
タイムマシンの映画でお勧めは？

アリス・イン・ワンダーランド2



「TIMELESS」タイムマシンに舞う2世界を歩く映画です。

ネットフリックスの「マニフェスト」
(バック・トゥ・ザ・フューチャーと同じ監督がいていいよ。)



タイムマシンという映画。

前回のミニッツペーパーから

タイムマシンの映画でお薦めは？

タイムマシンとは少し異なるかもしれませんが、「時をかける少女」がタイム7-7のものとして好きです。



時をかける少女

時をかける少女

時をかける少女

(「タイムマシン」ではなく「タイムリープ」という能力ですが...)

ドクター・ストーンというアニメもおもしろいのぞ
お薦めぞ!! 主人公の服に $E=mc^2$
と描いてあります 笑



前回のミニッツペーパーから

タイムマシンの映画でお勧めは？



※実際の映画イメージとは異なります。



任務: 未来から来る犯罪者を消せ 標的: 30年後の自分



COCO 満足度 94%
12/17現在

twitterユーザーの感想

- ariy_opp1955
2013/03/28
「LOOPER ルーパー」この映画の素いところはCGも少なくお金もかけていない(後半ほとんど畑)にもかかわらず、設定と世界観、
- MondMasa
2013/03/27
「LOOPER ルーパー」斬新な発想と思いついた設定、展開がSF映画の新たな新境地を開いてくれました。映画なんですけど、映画じゃな
- maejunhara
2013/03/21
「LOOPER ルーパー」ポール・ダノやブルース・ウィルスの髪の毛の扱い方が素晴らしい! 映画自体も意外な展開に! カルト映画決

「ダイ・ハード」シリーズ ブルース・ウィリス 「ダークナイト ライジング」 ジョセフ・ゴードン＝レヴィット 「アジャストメント」 エミリー・ブラント

LOOPER

ルーパー

LOOPER GAME
未来から来る標的を始末しろ!

なんと、**3人に1人!**
チケット当たる
キャンペーン
実施中

過去の記憶と未来への予知が交差し、正義とは何か、今をどう生きるか、
衝撃の結末で答えを突き付けられた。

作家 斎藤綾子

スリルと知的刺激に満ちたエモーショナルな物語が、
ハイスピードで駆け抜ける。
タイムトラベル映画の新たな傑作。

映画ライター 小西未来

ドキリとズシリが溶け合って、
頭と心の両方に効く幻覚剤だ。
考え抜かれた脚本が意外にいたずら好きで楽しい。

評論家 芝山幹郎

物理学者として、あれこれ学問的なツッコミを入れようと思う間もなく、
ストーリーは超高速で展開する。観賞後は、
あなたの思考もループしているに違いない。

大阪工業大学教授/「タイムマシンと時空の科学」著者 真貝寿明

まるで、未来から来たドッベルゲンガーとの対決?!
あまりにも美味しくて先に進むのがもったいない…
激旨ステーキでも食べているような気分させられた!

こんな未来は嫌だ! 負の連鎖に苦悩する



真貝 寿明

3時間前 · 編集済み ·

なぜか今日は三宅裕司さんと対談。
劇団スーパーエキセントリックシアターがタイムトラベルをネタにした
「虹を渡る男たち」を11月に公演。

<http://www.set1979.com/perform/detail/16.php>

パンフレットに登場するとか。
台本の矛盾をたくさん指摘してしまってゴメンなさい。

Chat talk with Yuji Miyake, one of the leading comedian in Japan, whose
company will show a play based on time travel this November. I apology for
pointing out many inconsistencies in the scenario.



いいね! コメント シェア

大西 浩次さん、岡崎 弥生さん、中根 秀夫さん、他32人が「いいね!」と言っています。

劇団スーパー・エキセントリック・シアター
第53回本公演

ミュージカル・アクション・コメディ

虹を渡る男たち



3秒だけ戻してくれ

栄光と挫折の間にある時計を

脚本: 金沢知樹 (劇団K助) 演出: 三宅裕司
出演: 三宅裕司 小倉久寛 劇団スーパー・エキセントリック・シアター

2015年11月7日[土]~11月23日[月・祝] サンシャイン劇場

お問合せ: チケットスペース 03-3234-9999 (オペレーター月~土10:00~12:00/13:00~18:00)

スペシャル
対談

人類悲願の夢。 「タイムマシン」に「どこでもドア」、 実現するのはどっち!?



三宅裕司 × 真貝寿明

足を捕まえて頭から落とそうが、必ず半回転して着地する猫を見ると、角運動量保存則に反しているのではと気になり、学問的に証明しようとするのが理論物理学者なら、そんな猫の動きが何かギャグのネタ、何かのオチに使えないかと脳細胞がむずむずするのが喜劇をこよなく愛し、邁進し続ける役者にして座長。落下する猫を見るだけでも、文学的に言えば天と地ほど、物理学的に言えばざっと10万光年ほど(根拠は全くない)の差がある学者と座長が、今回の舞台のキモとなるタイムマシンの可能性をめぐって、初対談。果たして話は噛み合うか? それとも予想外のクォンタム・リープ(飛躍的進歩)を遂げるか? 検証するのは、いま、この頁をご覧のあなた、だ。

Text: 浜 美雪

special talk
MIYAKE YUJI × SHINKAI HISAAKI

超タイムリー?

三宅 今日は「どこでもドア」がないにもかかわらず、京都からお越しいただいて、ありがとうございます。

真貝 いえいえ(笑)。それより、あまりにタイムリーなお話なのでびっくりしました。

三宅 タイムリーって?

真貝 『バック・トゥ・ザ・フューチャー2』(85年に公開され、世界中で大ヒットしたSF映画)に登場する“未来”が今年なんです。正確には2015年の10月21日なんですよ。

三宅 うわ、あの白髪が逆立った博士が創ったタイムマシンで行く未来がいまなんですか?

真貝 はい。だから、今回の舞台はものすごい盛り上がるんじゃないかと。

三宅 やっぱ持ってるな、俺は(笑)。ただ、物理の知識がちょっとなあ(笑)。そもそもタイムマシンって、どういう理論に基づいてるんですか?

真貝 アインシュタインが作った、相対性理論です。相対性理論は2つあって、特殊相対性理論と一般相対性理論と名前がついています。

三宅 ああ、すごい有名だけど一般人には相性が悪いのか、さっぱりわからないという、あの理論ですね(笑)。

真貝 その理論です(笑)。今年の11月はアインシュタインが一般相対性理論を作ってちょうど100年になるんですよ。だから、今回の舞台のポスターには

『一般相対性理論100年記念』と入れてください。

三宅 もうタイムリー過ぎる(笑)。その相対性理論って、うんとわかりやすく言うと、どんな理論なんですか?

真貝 光の速さに近づくと時間の進み方が遅くなり、強い重力があると時間や空間が歪んでしまうという理論です。

三宅 歪むんですか……。

真貝 はい。大きくて重い星のまわりの空間って、重力のせいで歪んでいるため、光が曲がって進むんです。

三宅 曲がるって、光が屈折するってことですか?

真貝 それと似た現象と言えますね。光にとってはまっすぐ進んでいるつもりなのですが、遠くから見ると曲がってしまっている、ということになります。この現象を「重力レンズ効果」と呼んでいます。そして重力がものすごく巨大で強力になると、歪みもものすごいことになって、光も抜け出せなくなる。伸びすぎたトランポリンが破けたようになる。それがブラックホールなんです。

三宅 そのブラックホールに、僕も入りかけてます(笑)。

真貝 じゃ、ちょっと話を変えましょう(笑)。あの、人によって時間が長く感じる人と短く感じる人がいますよね? 例えば浦島太郎。

三宅 そうか! 竜宮城で遊んでたのは短い時間のつもりだったけど、戻ってきたら何十年と経ってて……。

真貝 そうそう。辺りにはもう知り合いがいなかった、っていう。

浦島太郎の逸話はご存じの通り『日本書紀』や『丹後国風土記』にも登場しますし、『万葉集』にも歌われています(編者註 巻九、高橋虫麻呂の長歌「詠水江浦嶋子一首」に浦島伝説のもととなったエピソードが歌われている)。

三宅 神社もありますからね。僕、行って来ましたよ、浦島神社(京都府与謝郡伊根町本庄浜に現存)に。

真貝 へえ!

三宅 その浦島伝説を物理学的に考えるとどうなんですか?

真貝 浦島太郎が光の速さに近い亀に乗って行って帰ってきたとすれば、物理学的にはまあ、起こり得るという。

三宅 光の速さで動く亀か……。

真貝 「速く動くと時の経つのが遅くなる」というのが相対性理論の結論で、それは実証されてもいるんです。ですから、ちょっと竜宮城に行つてたつもりが、帰つてみたら300年経つたということにもなり得ます。

三宅 ただ、物理学的にはあり得ても、助けた亀が光に近い速さだったというのがちょっとね(笑)。

真貝 もしかすると竜宮城が光速近くで飛ぶロケットだったのかも。

タイムマシンは可能?

三宅 もし光の速さで移動出来る手段が発明されたら、未来にも行けるんでしょうか?

真貝 あり得ますね。

三宅 それは実際に未来に行けるよう



なタイムマシンが作れるってことですか？ それとも理論上あり得るってことですか？

真貝 作るのはいまの技術では、難しいでしょうね。もともと僕の専門は物理学といっても理論物理で、数式をいじっては、こういうのがあり得るとか、できるとかできないとか議論しているだけなんですけど。

三宅 その理論物理からみてもタイムマシンはむずかしいと。

真貝 理論上は可能です。でも、いまのロケットの速さはせいぜい秒速20キロとかそんなもんですから。それを30万キロ出させて言われたらもう桁が違うわけですね。

三宅 なるほど。でもまあ、理論上は未来には行ける？

真貝 はい。

三宅 じゃあ、過去は？

真貝 いい質問ですね。それが難しいというのをですね、今日はお伝えしなくちゃいけないと思ひまして。

三宅 ぎくっ(笑)。どういふことで難しいんですか？

真貝 えっとですね、物理って因果関係を非常に大事にする学問なんです。力を加えたら物が動く、原因があつて結果があるという因果関係が完璧に成立していないと、エネルギー保存則とか運動量保存則も成立しなくなっちゃう。そうなるともう、物理そのものが全部崩れてしまう、何も予言できない、物理が用をなさなくなってしまうんです。

三宅 前提がすべて覆っちゃうわけ

だ。

真貝 はい。例えば未来からやってきた人からパンチを一発食らったとしましょう。でも、そのパンチは原因も結果もつながってないわけですよ。

三宅 未来から来た人から、パンチを食らわなきゃならない原因がないですものね。

真貝 しかもパンチを食らった結果、飛ばされて倒れたとする。その力はどこから発生したのか、因果関係を破ることになる。

物理学的な言い方をすると、エネルギーが保存しないことになる。今までずっとエネルギー保存則が成り立っていたところに、唐突に力が加わって動き始めると、エネルギーは保存しないってことになるので矛盾が生じるんです。

三宅 うわっ、ここ難しいな。エネルギーが保存しないって言葉がちょっと分かんないです。

真貝 じゃ、ジェットコースターで考えてみましょう。あれって、一番初めはグイッと吊り上げられて……。

三宅 カチャカチャカチャカチャって上がりきったあと、ゴーツって猛スピードで下ってきますよね。

真貝 で、下っていったかと思うとまた上がって、また下りてというのをエンジンなしで繰り返していく。

そうした動きは、一番初めにコースターが吊り上げられた高さで決まります。初めの位置エネルギーが運動エネルギーに変わってジェットコースターを動かしている。

三宅 だけど、最初に吊り上げられたときの高さのエネルギーは超えないわけでしょう？

真貝 ええ。トータルで絶対に超えることは出来ません。

なのに、ちょっと過去に行つて、コースターをひと押ししたとしたら、はじめの高さを超えてしまうかもしれない。それはちょっとないだろうということになってしまう。

三宅 なるほどね。でも残念だなあ。

時間順序保護仮説

真貝 とはいえ、因果関係を崩さないようなものであれば、可能かも……というような理論もあることはあります。

三宅 やっぱりね(笑)。

真貝 一番有名なのは、キップ・ソーンという偉大な物理学者が考えた「ワームホール」。

三宅 あれがきついと腕が回しづらくて……って、それはアームホールだつての(笑)。

真貝 ははは。さっき言いましたブラックホールっていうのは何でも吸い込むわけですけど、物事にはすべからく表と裏があるように、方程式の答えもプラスマイナス逆のものが出てくるわけで、吸い込み口があるのなら、吐き出し口もあるだろうと。それがホワイトホールであり、ワームホールは、ブラックホールとホワイトホールをつなぐ抜け道のようなものとして考え出されたものです。

三宅 それはありそうだなあ。

真貝 でも、ブラックホールは実際に観測されているんですが、ホワイトホールは観測されていません。

三宅 見つけて欲しいなあ。

真貝 ホワイトホールがなくても、ワームホールを考えることはできます。離れた2つの場所を結ぶ抜け道があつてもアインシュタイン方程式には矛盾しません。ワームホールは「どこでもドア」と同じなんです。

三宅 あり得ますか？

真貝 少なくとも、バツとドアを開いて向こうに行くっていうのは、理論上は否定されていない。あ……誤解の無いように言っておきますが、できるとは言っていない。ですが、否定もされてない。

三宅 なんか、大臣の答弁みたいですね(笑)。

真貝 はなはだ遺憾ですが(笑)。

三宅 僕らはお客さんを楽しめるために題材としてタイムトラベルを使ってるわけなので、理論にばかりこだわってもらえない。理論を超えた夢のある要素もないと駄目なんですよ。

真貝 でしょうね。でも、そうは言っても、因果関係がおかしくなってしまうのは困るわけでしょう？

三宅 いわゆる「親殺しのパラドックス」ですね。

真貝 はい。タイムマシンで過去に行つて、もし自分の親を殺しちゃったら自分が生まれなくなっちゃうからおかしいだろうっていう。

でも、それを解決する方法としてパラ





真貝 すごい発想が自由ですね。そこへいくと車椅子の物理学者として有名なスティーヴン・ホーキングなんか、タイムマシンはできないだろうって、非常に否定的ですから。

三宅 それはどういう根拠で？

真貝 時間順序保護仮説っていうんですけど。

三宅 えっ、自宅待機保護施設？

真貝 いえ、時間順序保護仮説(笑)。

三宅 要するに、時間の順序を守れてること？

真貝 はい。ホーキングによれば、過去を変えようとしても何らかの抵抗力

レルワールド(並行宇宙)ということを書いている人もいます。

三宅 そこですよ(笑)。

真貝 過去を変えたとしても、変えられた過去がいまある現在とは別の現在につながっている筋道があり得るという考え方ですけど、それは証明されてはいない。ただ、そういう考え方を数式上で解明していこうとするのが理論物理学なんです。

三宅 是非証明してほしいですねえ、「どこでもドア」。僕らの舞台なら場面場面「どこでもギャグ」は実現してるんですけどね(笑)。

が生じて変えることができないと。

三宅 はあ……順番を守らない奴が出てくると、それを阻止しようとする勢力が出張ってくる。

真貝 そう。そういう警察官みたいな勢力が発動するんじゃないかという考えです。でも、あくまで仮説ですけど。

三宅 字面だけみると難しそうですけど、言ってる内容は人間臭い(笑)。

真貝 ですね。今回の台本、読ませていただいたんですけど、ホーキングが考えたことに近いような部分があって、興味深かったです。

三宅 遺伝子操作だとかクローンだと

か、科学技術が進化すればするほど、神の領域に近づいていくわけですけど、果たして人間にはそこまで行ってもいい資格があるだろうかというところが、永遠の命題としてあるわけで、そのあたりのメッセージもさりげなく籠められたらなって思ってるんです。

真貝 そこまで深かったんですか(笑)。

物理学者の気分転換は物理学？

三宅 ところで、そもそも何で物理学をやろうと思ったんですか？

真貝 中学のときに非常に実験好きの物理の先生がいて、毎回教室いっぱいに実験装置を並べて、次から次へと実験していくんですよ。例えば、静電気の実験で電気が逃げないようにゴム長靴を履いて自分の体に静電気をためて、毛が逆立ちちゃった電気人間状態になって、生徒に触っちゃバチバチってやったり。

三宅 それ、ものすごい印象に残りますよね！

真貝 で、「あー、こんな楽しいことがあるのか」と思って。

三宅 僕も中学のとき、技術家庭の先生が生徒を叱るときにやりましたっけ。生徒に電線のはじっこを持たせて、バチッ、ギャーッって(笑)。軽く感電させるお仕置きって、ひどいよね(笑)。

真貝 やらせてるほうは楽しいですけどね(笑)。

ただ、僕は不器用で実験が苦手だったので、理論物理の方に進んだんです。



数式を出してシミュレーションをする研究なので、宇宙全体がどうなっているのかという話は出来ても「あの星何？」とか訊かれても、よく分からない(笑)。

三宅 天文学者じゃないですもんね。でも、その髪の毛が逆立つ先生がいなかったら物理に興味持てなかったかもしれない？

真貝 かもしれませんね。

三宅 先生の存在って大きいんですね。

僕はどういう芝居を作ろうとか、どういう演出にしようとかか悶々とするのがよくあるんですけど、真貝さんもそういうことってあるんですか？

真貝 あります。というより解けない問題はたっぷりなので、わかんないわかんないって毎日悶々としてます(笑)。

三宅 そういうとき、気分転換のために芝居を観たり映画を観たりするなんてことは？

真貝 気分転換になってるかどうかは別として、僕はタイムマシン物の映画は結構見るんですけど、矛盾なく作られている作品は観て面白いですね。でも一番の気分転換は歩き回ることでか。

三宅 歩き回るとき物理のことは考えてる？

真貝 ですね。というか研究ってずっと同じことを考えているわけじゃなくて、ブラックホールはどうなっているのかとか、宇宙膨張はどうなっているのかとか、行き詰まったら別のテーマを考えたりすると、気分転換になりますね。

三宅 別ったって、物理は物理でしょ。

それが気分転換になるっていうのはすごいですね。

真貝 というのも、物理って同じ考え方で類推していくと違うものが解けることがある。そこが面白いんです。ですから、いろんな式をシミュレートしているうちに、それがどこかで役に立つなんて可能性もあるわけです。

三宅 それは人生にもいえますね。あのラグビーの五郎丸選手のキックの精度が高いのは、以前はサッカーをやったからだそうですけど、人間って、失敗も含めていろんな経験が結果的にすごいアイデアのもと

となったり、いざというときに物を言ったりしますからね。

真貝 三宅さんの気分転換法は？

三宅 僕はギャグを考えてて行き詰まったりするとドラマを叩いたりするんですけど、それが結局はライブに役立つことになるし、ギャグにも幅が出てくるような気がします。音楽って、ギャグにすごく役立つので。

真貝 音楽がギャグに役立つ？ それは僕にはちょっと難しいですね(笑)。

三宅 実は、ギャグってリズムが大事なんです。同じこと言うんでも、タイミングがちよっとでもずれるとちっとも面白く

ならない。間延びしたら間抜けだし、早すぎても前の台詞とかぶっちゃって伝わらないですから。

真貝 なるほど！

三宅 こういふ台詞やひと言があると説得力が増して、お客さんたちがなるほどなって思う言葉ってありますか？

真貝 やっぱ時間順序保護仮説ですかね。で、その仮説には抜け道があった……とか。

三宅 .ええと、自宅待機、

真貝 時間順序……

三宅 あ、時間順序ほうかせつ？

真貝 放火はちよっと(笑)。

三宅 火付けてどうする(笑)。えっと、時間順序保護法。

真貝 安保関連法じゃないんですから(笑)。

三宅 ですよ。どうも言葉があらぬ方に歪んじゃうな(笑)。ええと、時間順序保護仮説。

真貝 はい! この一言でSF好きのお客さんもなるほどなと思ってくださるんじゃないかと。

三宅 いいことを伺いました。

笑いは時空を超える?

三宅 いまさらこんなこと訊くのも何ですが、もし一回だけ過去に戻れるとしたら、いつに戻って、何をやり直したい



ですか?

真貝 僕は、中学高校と男子校だったうに大学は物理学科で、女子学生はゼロ。大学院でもずっと男社会でなかなか女性と出会う機会がなかったのも、し戻れるんだしたら中高くらいはもうちょっと華やかな青春を体験したいですね。三宅さんはどうですか?

三宅 僕はね……ないですよ。

真貝 それを言えるのは格好いいなあ。

三宅 でもまあ強いて言うなら……大学のバンドの合宿のときですかね。

後輩と酒飲みながら「男は酒を飲んでも、酒に飲まれちゃいかん」みたいな話をさんざんした翌朝、トイレに行こうとしたら、その手前にもどした跡があったんで、「酒に飲まれちゃだめだつてあれほど言ったのに。ここまで来れたなら、なぜトイレまで我慢しなかった!」って後輩たちを叱ってるうちにはたと気づいたんですよ、もどしたのは俺だったって(笑)。

真貝 なので、そこに戻りたい?

三宅 戻って、もどさないようにしたい(笑)。

でもそれより、未来ですよ。

真貝 『バック・トゥ・ザ・フューチャー』ですか?

三宅 そうです!

僕はとにかく、今回の舞台をよりいいものにしたいですね。真貝さんのようなタイムマシンに詳しい人が観たとしても、多少理論的には無理があったり矛盾があったとしても、笑ってるうちに楽し

んでしまえるような。

笑って矛盾があるからこそ生まれると思うし、矛盾をも超越してしまう力があるのも笑いだと思うので。

真貝 笑いは矛盾があるから生まれる、笑いは矛盾をも超越する……名言ですねえ。舞台、楽しみにしてます!

三宅 ご期待ください! だけど、なんで物理の用語になるとちゃんと書けないかなあ、困ったもんだ(笑)。ええと、時間順序保管法でしたっけ?

真貝 はははは。記憶が前に戻っちゃいましたね(笑)。

三宅 ってことは、笑いは時空をも超える?

真貝 うーん(笑)。



真貝寿明(しんかいひさあき)

1966年東京都生まれ、横浜育ち。早稲田大学理工学部物理学科卒。ペンシルバニア州立大・理化学研究所などの研究員を経て、現在、大阪工業大学情報科学部教授。専門は一般相対性理論で、最近は高次元重力理論における時空特異点形成を研究している。ワームホールを通り抜けられるのが真面目にシミュレーションした学術論文もある。著書には大学生向けの数学書のほか、一般向けに『図解雑学 タイムマシンと時空の科学』(ナツメ社)、『ブラックホール・膨張宇宙・重力波 一般相対性理論の100年と展開』(光文社新書)、『日常の「なぜ」に答える物理学』(森北出版)などがある。



タイムトラベル映画を科学する

過去の歴史はかえられる？「時間の逆行」ってどういう意味？

SF映画をきっかけに科学に興味をもった、という人も多いのではないだろうか。SF映画は科学の入り口として格好的存在だといえるだろう。そこで本記事では、SF映画の中でも定番のテーマといえる「タイムトラベル」をあつかった名作の数々を題材に、「時間の科学」について解説していく。映画のストーリーのネタバレは極力さけるようにしてある。ただ、記事に登場する右にあげた映画を見たあとのほうが、本記事の科学解説をより楽しめるだろう。

監修 真貝寿明 大阪工業大学教授 山崎詩郎 東京工業大学助教

著 有名な小説家で「SFの父」ともよばれるH.G.ウェルズ(1866~1946)の代表作に『タイムマシン』がある。タイムマシンを発明した主人公が遠い未来へと旅立ち、そこで人類の衝撃の運命を目にする——といったストーリーだ。

注目すべきことは、この小説の発表が1895年ということだ。物理学者アルバート・アインシュタイン(1879~1955)が「時間の流れは、運動速度によって、速くなったり遅くなったりする」ということを「特殊相対性理論」によって明らかにしたのは、1905年のことである。それ以前は、「時間の流れはあらゆる場所で一定であり、変化しない」と考えられていたのだ。相対性理論の発表から

10年も前に、ウェルズは時間を「第4の次元」ととらえ、3次元の空間と同じように移動できるという設定を小説にもちこんだのである。

未来へ行くタイムマシンは実現可能！

ウェルズの『タイムマシン』は、1960年と2002年に映画化された。2002年版では、主人公がタイムマシンに乗ると、周囲の時間がものすごい勢いで流れていくように描写されている。つまりタイムマシン自体は空間的にはずっと同じ場所にとどまりつづけ、タイムマシンの中の時間の流れだけが周囲よりも遅くなっているわけだ^{※1}。さて、このようなタ

イムマシンは実現可能なのだろうか？ なお、本記事での「実現可能」とは、「近未来の人類のテクノロジーで実現可能」という意味ではなく、「物理法則がそれを禁じてはおらず、現在の文明をはるかにしのぐ超文明であれば実現可能かもしれない」といった意味である。

結論からいうと、似たようなタイムマシンは実現可能だ。「ブラックホール」のそばにしばらく滞在したあと、そこからはなれることができれば、映画『タイムマシン』のような未来旅行が可能になるのだ。

1915年~1916年にアインシュタインが発表した「一般相対性理論」によると、重い天体のそばでは、時間の流れが遅くなるということがわかってい



「インターステラー」(2014年)
ダウンロード販売中、デジタルレンタル中
ブルーレイ:2619円(税込) / DVD:1572円(税込)
発売元:ワーナー・ブラザーズ ホームエンターテイメント
販売元:NBCユニバーサル・エンターテイメント
© 2014 Warner Bros. Entertainment, Inc. and
Paramount Pictures. All Rights Reserved.

「TENET テネット」(2020年)
ダウンロード販売中、デジタルレンタル中
ブルーレイ & DVD セット(3枚組/ボーナスディスク付):4980円(税込)
発売元:ワーナー・ブラザーズ ホームエンターテイメント
販売元:NBCユニバーサル・エンターテイメント
© 2020 Warner Bros. Entertainment Inc. All rights reserved.

ほかに、記事中では、「猿の惑星」(1968年)、「ターミネーター」(1984年)、「ターミネーター:ニューフェイト」(2019年)について簡単に言及してある。

る。ただし通常の天体では、その効果は微々たるものだ。1立方センチメートルあたり数億トンもの超高密度の天体「中性子星」でさえ、その表面での時間の進み方は、地球の5分の4程度だ。中性子星の表面の重力は、地球の約1000億倍以上もある。こんなとんでもない天体でさえ、ウェルズのタイムマシンほどの時間の遅れは生みだせないのである。

しかし宇宙にはこれ以上の時間の遅れを生みだせる天体が存在する。それがブラックホールだ。ブラックホールとは、太陽の20倍程度以上の質量の恒星が、生涯の最期に大爆発(超新星爆発)をおこしたあとに残される天体である。もとの恒星の中心部分は自らの重力でかぎりなくちぢ

んでいき、「特異点」とよばれる1点につぶれてしまう。その結果、特異点の周囲には、強力な重力によって、いったん飲みこまれると、光を含む、あらゆるものが脱出できなくなる領域が生じる。この領域がブラックホールである。

ブラックホールのそばでは、時間の流れが極端に遅くなる。たとえば、ブラックホールの中心から、その半径の1.3倍の場所では、時間の進み方が地球の2分の1になるのだ。そしてブラックホールの表面では、時間の流れが完全に止まってしまう。つまり、ブラックホールの表面近くまで行き、そこにしばらく滞在し、その後そこからはなれることができれば、ウェルズのタイムマシンなみの時間

旅行も可能になるわけだ。

問題はブラックホールから無事になれることができるかだ。宇宙に存在するブラックホールのほとんどは、質量が太陽の10倍程度以下の「恒星質量ブラックホール」である^{※2}。太陽の10倍の質量のブラックホールの場合、その半径は約30キロメートルだ(なお、ブラックホールの半径は質量に比例する)。このようなブラックホールの場合、近づくと「潮汐力」によってあらゆる物体はあっという間に引き裂かれてしまう。ブラックホールに足から近づいていっただとすると、足側の方が重力が強く、頭側の方が重力が弱いので、人体は上下に引っ張られるような力を受ける。これが潮汐力だ。タイムトラベルのた

※1:単純にこのような設定だとすると、外から見るとタイムマシンはそこに存在しつづけているように見えるはずだ。ただし、映画ではタイムトラベル中のタイムマシンは外から見えない設定のようだ。

※2:宇宙誕生直後には、密度のゆらぎから直接、大小さまざまな「原始ブラックホール」が生まれたという説もある。これが事実なら、たくさんの原始ブラックホールが存在するかもしれない。

SF映画をもっと楽しもう!

空想と現実科学の絶妙な関係

SF(サイエンス・フィクション)は、科学を学ぶ入口として格好の題材だ。SFは人々の想像力をかきたて、科学の発展をうながす推進力にもなってきた。実際、SFでえがかれた空想的なアイデアが研究に活かされたり、実証されたりした事例も少なくない。本記事では、SFの定番ともいえる「宇宙」をめぐるSF作品をいくつか取り上げ、科学的に考察するとともに、それらに関連する最新の科学理論や技術についても解説する。物語の核心にふれるようなネタバレはないため、まだ見たことのない作品が登場しても、安心してほしい。

監修 真貝寿明 大阪工業大学教授

倉谷 滋 理化学研究所チームリーダー



【パッセンジャー】
デジタル配信中
Blu-ray 1,980円(税込) /
DVD 1,408円(税込)
発売・販売元:ソニー・ピクチャーズ エンタテインメント



【スター・ウォーズ エピソード4 新たなる希望】
ディズニープラスで配信中



【エイリアン】
ディズニープラスのスターで配信中



【アバター】
ディズニープラスのスターで配信中



【メッセージ】
デジタル配信中
Blu-ray 2,619円(税込) /
DVD 2,075円(税込) /
4K ULTRA HD & ブルーレイセット 7,480円(税込)
発売・販売元:ソニー・ピクチャーズ エンタテインメント

宇宙を題材とするSFといえば、『スター・ウォーズ』(1977年)を思い浮かべるとい人は多いだろう。その舞台は、直径12万光年の広大な銀河系だ。現実の私たちが住んでいる天の川銀河(直径:約10万年)とほぼ同じ大きさである。

この架空の銀河系には、数十万をこえる惑星からなる巨大国家、銀河共和国(のちの銀河帝国)が存在した。惑星間の自在な往来は、宇宙船が光速をこえて移動する技術「ハイパードライブ」によって実現しているが、この技術についてはのちに解説する。まずは、1977年に公開された『スター・ウォーズ エピソード4 新たなる希望』の主人公ルーク・スカイウォーカーの故郷である惑星タトゥイーンに目を向けてみたい。

空気から水をつくる 新技術

タトゥイーンは、銀河帝国の中心地から4万3000光年もはなれた辺境の惑星である。ルークはこの惑星に住むラーズ夫妻の養子として育てられた。

ラーズ夫妻がいとなむ家業についてくわしく知っているという人は、実はそれほど多くないかもしれない。それは「水分農家」とよばれる、農作物ではなく水分を収穫する農家である。タトゥイーンは砂漠の惑星であり、雨はいっさい降らない。そのため貧しい水分農家たちは、「水分凝結機」という特殊な装置を利用して水分を収穫し、裕福な住人たちに販売

することで生計を立てているのだ。

水分凝結機とは、空気中のわずかな湿気(水蒸気)を冷却して、水に変換する装置だ。映像をよく見ていると、ラーズ家の敷地内の至るところに高さ3~5メートルほどの白い塔のような機械が立っているのがわかる。それが、「GX-8水分凝結機」である。ブリトミン・エンパイロメンタル社という架空のメーカーの製品で、1日に最大1.5リットルの水を生成できるという。

実はこの水分凝結機、現実の世界で近年、実用化が進んでいる。イスラエルのベンチャー企業ウォータージェン社が開発し、2018年から販売しているのだ。同社が「空気から水をつくる」技術を開発した背景には、イスラエルは国土の約60%が砂漠で

あり、以前から水不足が国家の深刻な問題となっていたことがある。装置の基本的なしくみは『スター・ウォーズ』に登場する水分凝結機と同じで、空気中のわずかな水蒸気を冷却し、水に変換する。湿度は20%以上あれば水が生成できる。家庭向けにはウォーターサーバー型の製品「GENNY」が販売されており、1日に最大30リットルもの水をつくることができるという(家庭向けは湿度が40%以上必要)。

タトゥイーン 「双子の太陽」

さて、タトゥイーンはそもそもなぜ、砂漠が広がる灼熱の惑星なのだろうか。映画ではその理由もきちん

と描写されている。それは、タトゥイーンには太陽が2個あるからなのだ。2個の太陽とは、タトゥIとタトゥIIという「双子の太陽」である。すなわち、タトゥIとタトゥIIは「連星」であり、タトゥイーンはその連星のまわりを304日かけて公転している惑星だ。実際に、『スター・ウォーズ エピソード4 新たなる希望』では主人公ルークが荒涼とした砂漠の地で、隣りあう「双子の夕日」を見つめるという名シーンがある(114ページの画像)。

連星とは、二つ以上の恒星が重力によってたがいに結びつき、共通の重心のまわりを公転する恒星系のことをいう。現在では、宇宙に存在する恒星の半数以上が連星だといわれている。だが、連星のまわりを公転

する惑星は、『スター・ウォーズ エピソード4 新たなる希望』が公開された1977年の時点では一つも観測されていなかった。つまり、タトゥイーンから望む「双子の夕日」の情景は、当時まだ空想にすぎなかったのである。

連星のまわりを公転する惑星がはじめて観測されたのは、2011年のことだ。地球から、はくちょう座の方向に約200光年はなれた場所に、「ケプラー16」という連星がある。ケプラー16は、ケプラー16Aとケプラー16Bという恒星で構成されている。さらにその連星から半径約1億5000キロメートルはなれた円軌道を公転している土星サイズの惑星が、2011年に観測された「ケプラー16b」である。ただし、ケプラー16bは砂漠の

※作品名の()は作品が発表された年をあらわす。続編がある作品においては、その第1作の公開年のみを記載している。
※作品の考察には筆者の憶測が含まれている。



昭和から令和にタイムスリップしてしまった阿部サダヲが、コンプライアンスががちの令和でハラスメント男になってしまう話だそうです

週刊文春
2024/1

いまなんつうた？

「時かけ、みたいなの？」

宮藤官九郎

元且に奥さんの実家へ挨拶に行き、夕方、娘と帰省するため東北新幹線に乗り込む直前、ホームでチラ見したスマホの画面に『地震が来ます』という文字が。え？ いやいや、気のせいだよな。

着席し、揺れを感じることもないまま5分……10分……ようやく車内アナウンスが。

「只今、北陸地方を震源に強い揺れを感じたため。地震探知システムの進化に驚きつつ、天災に盆も正月もないのかと、改めて戦慄しました。痛ましい。新年を迎えるために大掃除したばかりだったのでしように。」

被害に遭われた皆さまには、心からお見舞い申し上げます。

律儀で奥ゆかしい日本人としては、被災地の様子が連日報道されると、俺だけ私だけ、こんな暖かい部屋で、ぬくぬくと風呂上がりにならぬでいいの？ なんだか後ろめたくなってきた。それは真つ当な思考だし、戦地の映像を観ていても思うことです。ただ、それが連日だと、観ること自体がストレスになって来ます。それを発散しようとして、友達に喋る感覚で、余計なことをポストしたり、そんなポストを発見して逆上したり拡散したり。「私はこんなに我慢してるのに、我慢してない人がいます！」

のぎぎゆい

元気な人まで元気がないフリなんて良いと思うんです。元気な人は、元気に普段通りの生活をして経済を活性化させて無理のない範囲で募金すれば、なにも後ろめたくはない、のでは？ ごめんなさい。新年早々の申したりして。改めて、見た目より元気な53歳として北陸の皆さまのために出来ることをやります。

金曜ドラマ『不適切にもほどがある!』。昭和の不適切オヤジが令和にタイムスリップ! 「わ〜タイムリープものなんでしょうねえ」

「時かけ、みたいなの？ いや、違う。違わないけど違う。そんなに行ったり来たりするわけじゃないんです。『時かけ』って『時をかける少女』のこと？ 尾道三部作に数えられる不朽の名作を落語の演目みたいに略さないで。タイムスリップは主

人公を浦島太郎状態にするための、あくまで物語の導入の装置であって本筋ではない。しかし脚本の打ち合わせでも、気がつくどタイムマシンの構造について話し合っている。

「50歳の主人公が38年後に来たら、88歳の自分に会ってしまいますね」

いや、だから、そこはそんなに広げるつもりもない。単に時代錯誤なおっさんの悲哀を笑うのでは一方的過ぎると思う。昭和には昭和の正義があり、カッコ良さがあがり、令和を生き



人々の目から鱗が落ちるような教訓があるかも知れない。また逆に、昭和では声を大にして言えなかったことを、令和の価値観で一刀両断したり。

「え？ 令和から昭和へタイムスリップするパターンもあるんですか？ 少年時代の自分に会ってしまうと、タイムパドクスが起きて、未来が変わってしまいます」

みんな『バック・トゥ・ザ・フューチャー』好きなんだな。

我々の目から鱗が落ちるような教訓があるかも知れない。また逆に、昭和では声を大にして言えなかったことを、令和の価値観で一刀両断したり。

「え？ 令和から昭和へタイムスリップするパターンもあるんですか？ 少年時代の自分に会ってしまうと、タイムパドクスが起きて、未来が変わってしまいます」

みんな『バック・トゥ・ザ・フューチャー』好きなんだな。

連載 766

【ワームホールについて】

ワームホールに関する数式

ワームホール解として、Schwarzschild 座標 (t, r, θ, φ) を用いて、

$$ds^2 = -e^{2\alpha(r)} dt^2 + \frac{dr^2}{1 - b(r)/r} + r^2(d\theta^2 + \sin^2\theta d\varphi^2)$$

の計量を仮定する。Einstein 方程式 $G_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$ は、

$$T_{tt} = \rho, \quad T_{rr} = -\tau, \quad T_{\theta\theta} = T_{\varphi\varphi} = p$$

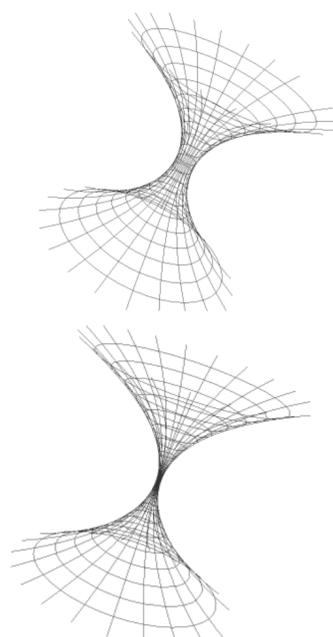
とすると、

$$\begin{aligned} 8\pi G \rho &= \frac{b'}{r^2}, \\ 8\pi G \tau &= \frac{b}{r^3} - 2\left(1 - \frac{b}{r}\right) \frac{\phi'}{r}, \\ 8\pi G p &= \left(1 - \frac{b}{r}\right) \left\{ \phi'' + \phi' \left(\phi' + \frac{1}{r} \right) \right\} - \frac{1}{2r^2} (b'r - b) \left(\phi' + \frac{1}{r} \right) \end{aligned}$$

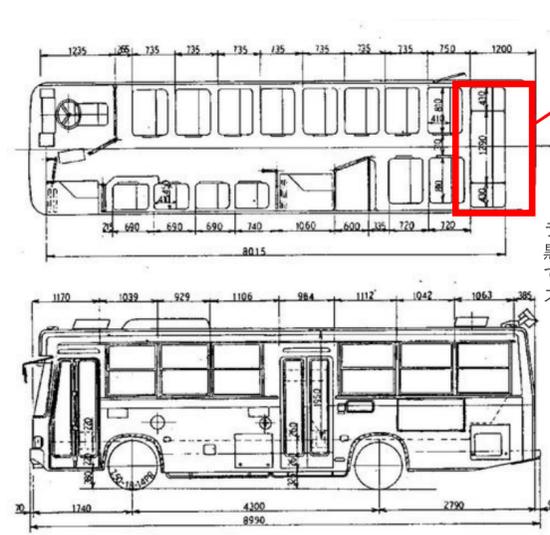
である。整理すると、

$$\begin{aligned} b' &= 8\pi G \rho r^2, \\ \phi' &= \frac{b - 8\pi G \tau r^3}{2r^2(1 - b/r)}, \\ \tau' &= (\rho - \tau) \phi' - 2(p + \tau)/r \end{aligned}$$

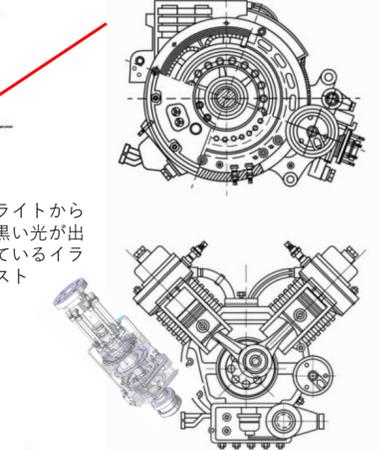
となり、これらを解けばワームホール解が得られる。



【タイムトラベルバス 設計図】



【エキゾチックスカラー・発生装置 (exotic-scalar generator)】



ライトから黒い光が出ているイラスト

※エンジンに小型負のエネルギー発電機が組み込まれている設計

※ライト部分からも負のエネルギーを照射できるようにしている記載をする



「
1:9-ステラー、を観ました。なぜブラックホール(重力の強い場所ほど)時間が遅れるんですか？」

インターステラー

映画『インターステラー』予告編3【HD】2014年11月22日公開

2'18"

<https://www.youtube.com/watch?v=cclDeJuaigo>

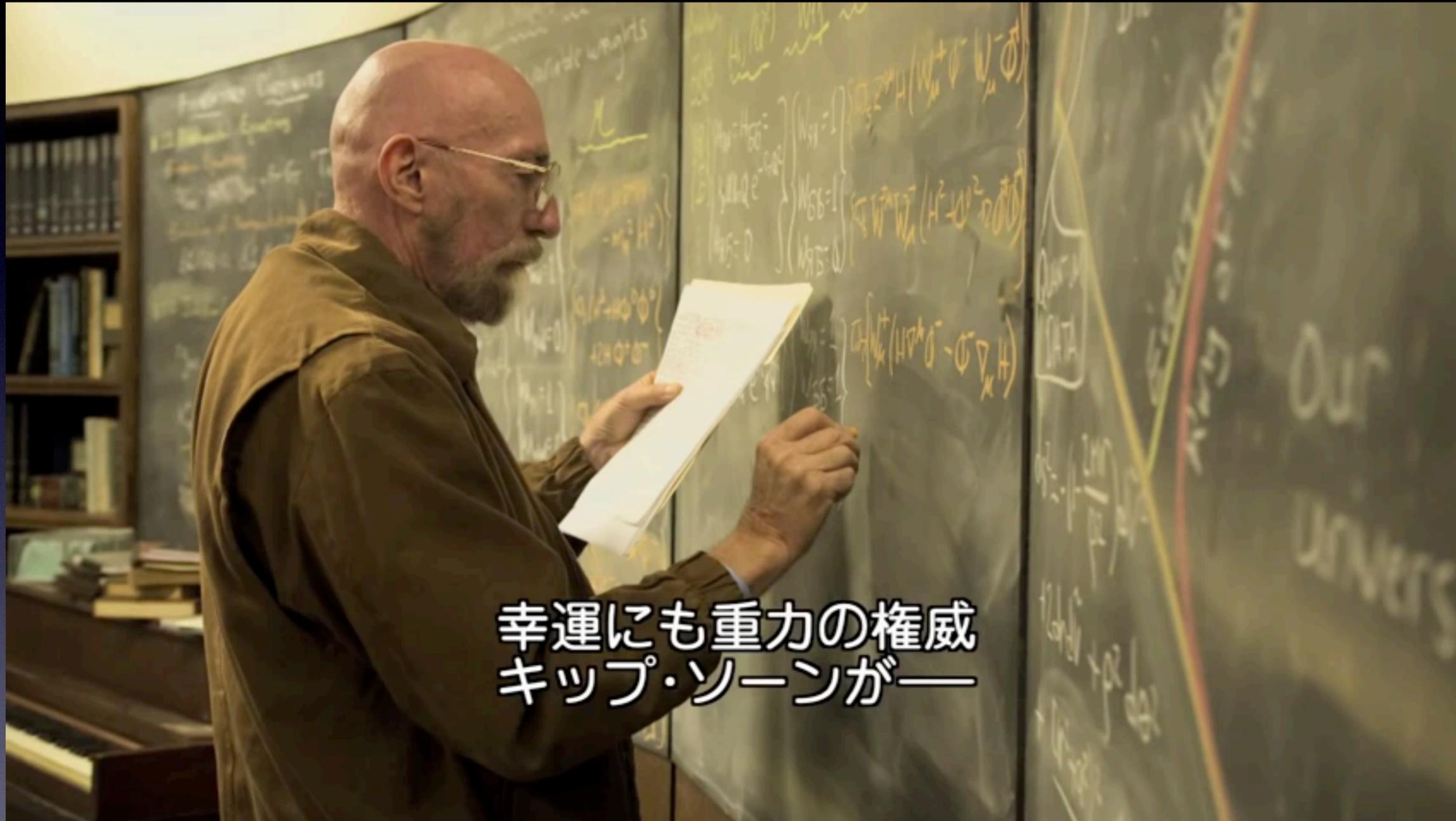


Interstellar (2014)



Executive Producer: Kip Thorne

<https://www.youtube.com/watch?v=qZZ9jRan9eo>



幸運にも重力の権威
キップ・ソーンがー

Interstellar (2014)

映画『インターステラー』スペシャル映像【HD】2014年11月22日公開

part 5'00



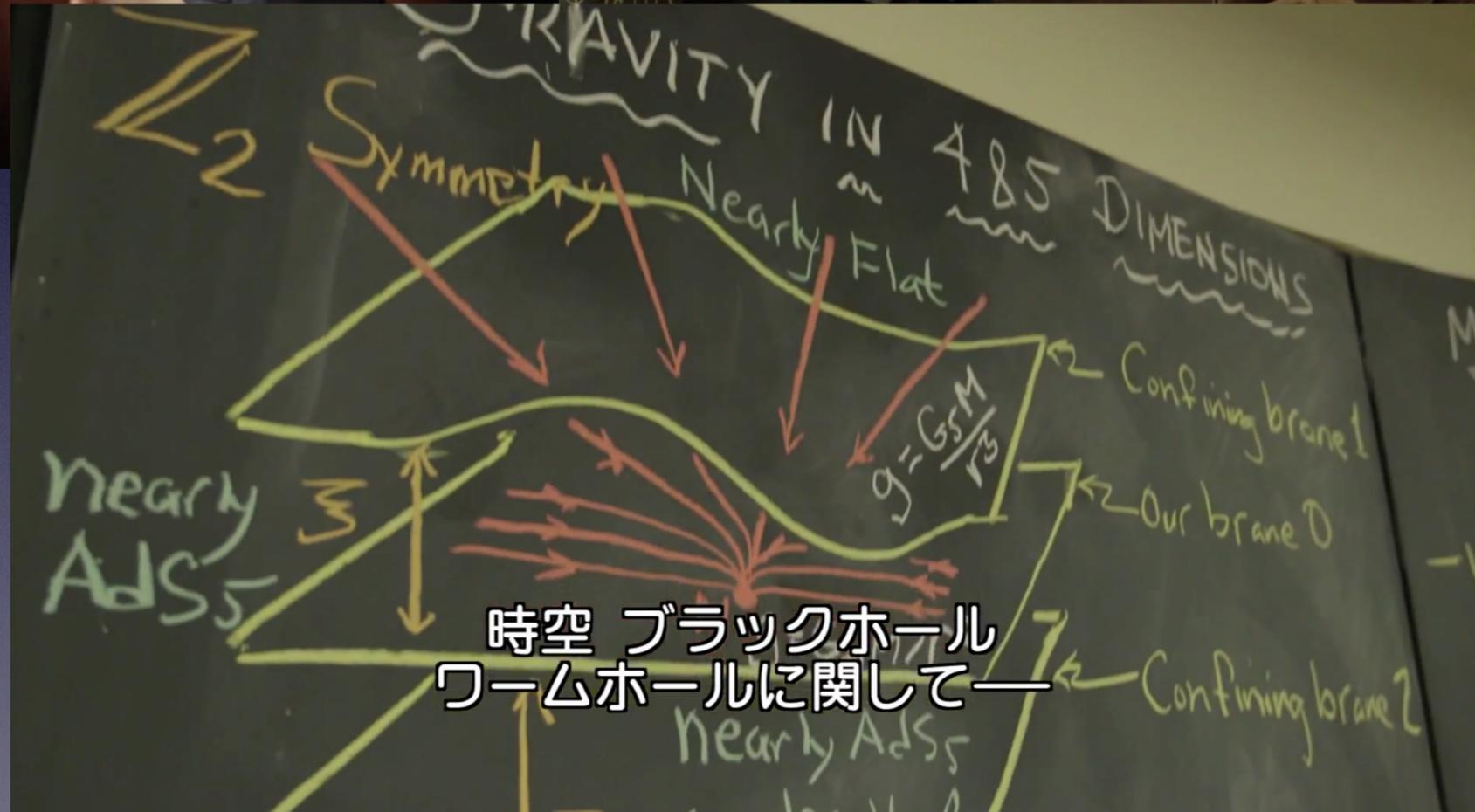
Interstellar (2014)

Executive Producer: Kip Thorne

<https://www.youtube.com/watch?v=qZZ9jRan9eo>



ストーリーに実際の科学が
製作開始当初から—



時空 ブラックホール
ワームホールに関して—

Interstellar (2014)

Executive Producer: Kip Thorne

一般相対性理論

強い重力場での時空の力学
「空間が歪むのが重力の正体である」

特殊相対性理論

光の速さに近い場合の力学
「時間の進み方は観測者によって異なる」

ニュートン力学

$$F = ma$$

【7-1】(本日の講義から)

核融合反応と核分裂反応, どちらも生じる理由は何か。

【7-2】(本日の講義関連)

原子力発電は, 放射線漏れの危険を伴うが, それ以外にも「放射性廃棄物問題」がある。
これは何が問題なのか。

【7-3】(次回以降の講義関連)

次の学説で, 過半数の宇宙物理学者が信じているものはどれか(複数)。

- (1) なんでも吐き出すホワイトホールが存在する。
- (2) ワームホールを使うと過去へのタイムマシンができる。
- (3) パラレルワールドが存在する。
- (4) 宇宙は何度もビッグバンを繰り返す。
- (5) 宇宙は11次元時空として誕生した。
- (6) ブラックホールは蒸発して消える。
- (7) 情報は瞬間移動できる。

【7-4】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)