

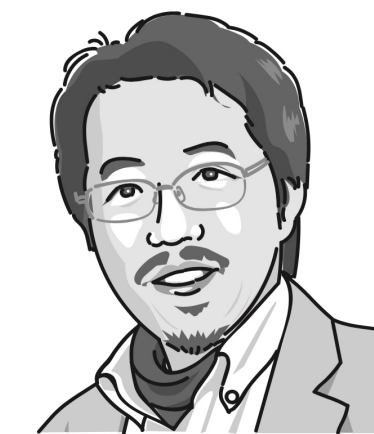
最先端物理学が描く宇宙

Frontiers of Physics & Cosmology

第7回 2025/11/4

第3章 現代物理学1：相対性理論 (2)

真貝 寿明
Hisaaki Shinkai



真貝の武庫川講義ページtop



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

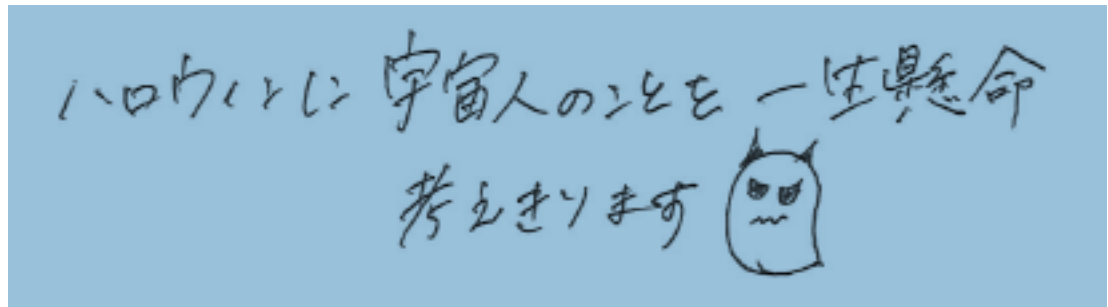
総評 気合いの入ったレポートをたくさんいただきました。

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	34
太陽系外惑星探査	12
SETI@Home	31
宇宙生物学	26



43名提出

結論

生命体, 知的生命体はいると考える	21
生命体はあるだろうが, 知的生命体はいないと考え	13
生命体, 知的生命体とも地球以外にはいないと考える	1
結論忘れ, 2種類の結論せず	6

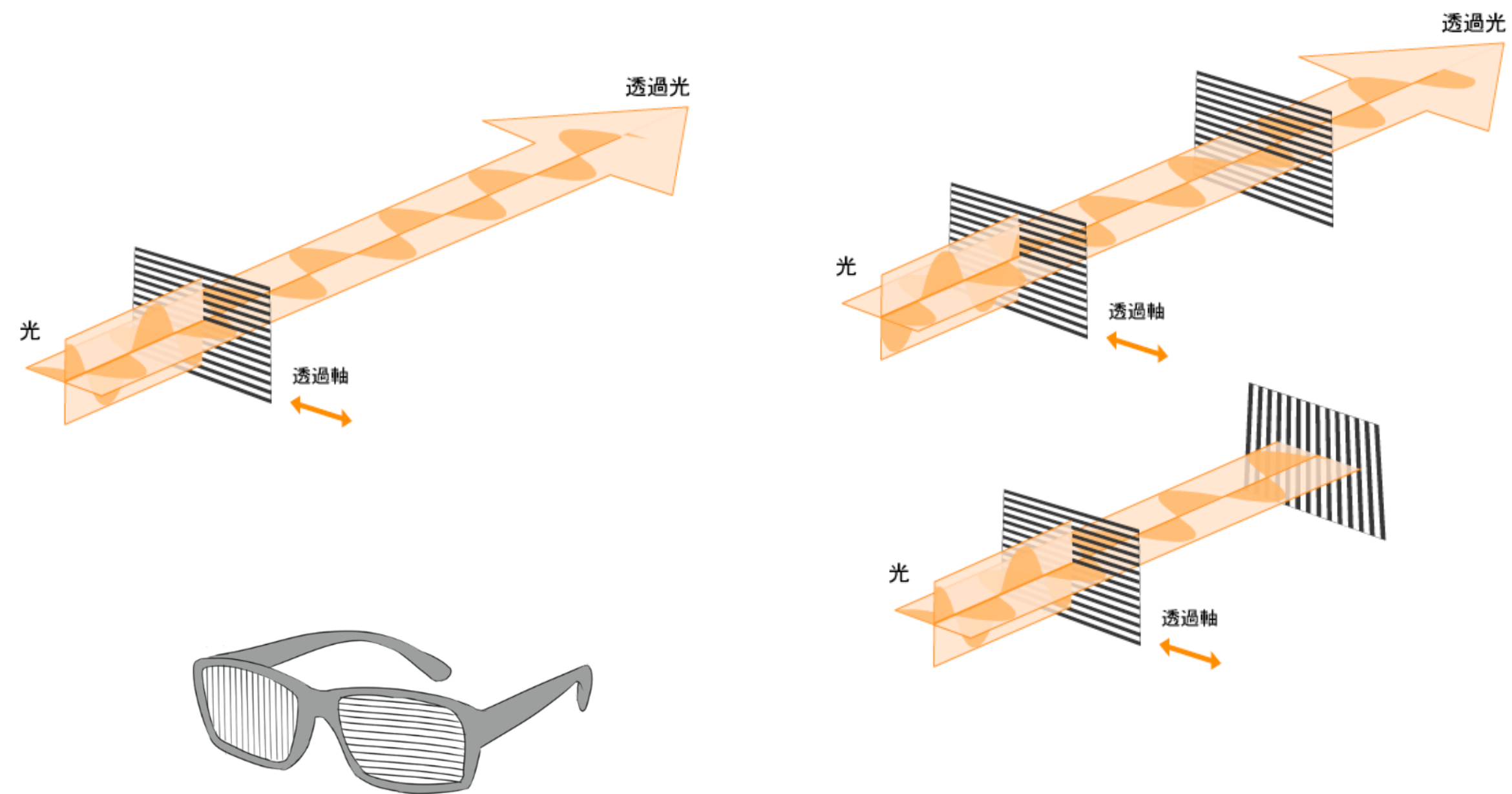
前回のミニッツペーパーから

3Dメガネ等、これ身近なところで物理を感じられませんか？

立体の映像を見る説明が納得できて面白かった。

【実験ですよ】

光は横波である



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

前回のミニッツペーパーから

相対性理論についてほとんど知らなかったが、
はきりとした。

今日の講義を聞いて、高校の頃に物理でならったとまよひからなかつた
相対性理論が分かるやうなものになりました。

今回はそのことがあつた単語が多かつた。

相対性理論, まだまだこれから.

【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

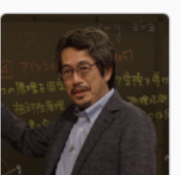


朝までラーニング!
#相対性理論 ~100分後にE=mc²を説明するサンシャイン池崎~

概要 放送予定 過去のエピソード

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るう!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。

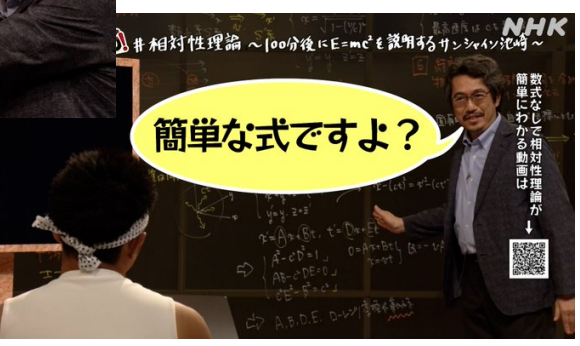
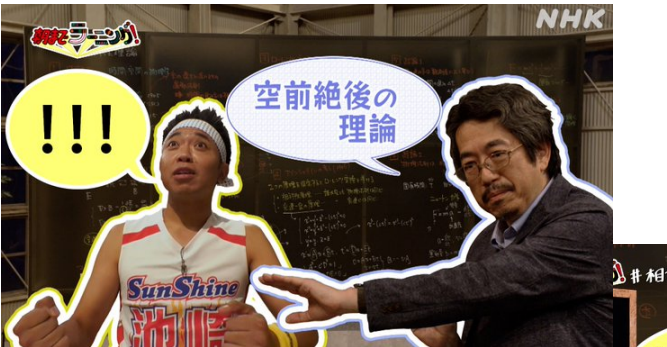
	出演 サンシャイン池崎 (お笑い芸人)		出演 真貝寿明 (大阪工業大学 教授)		出演 小池美波(櫻坂46)
---	---------------------------	---	---------------------------	---	------------------

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

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



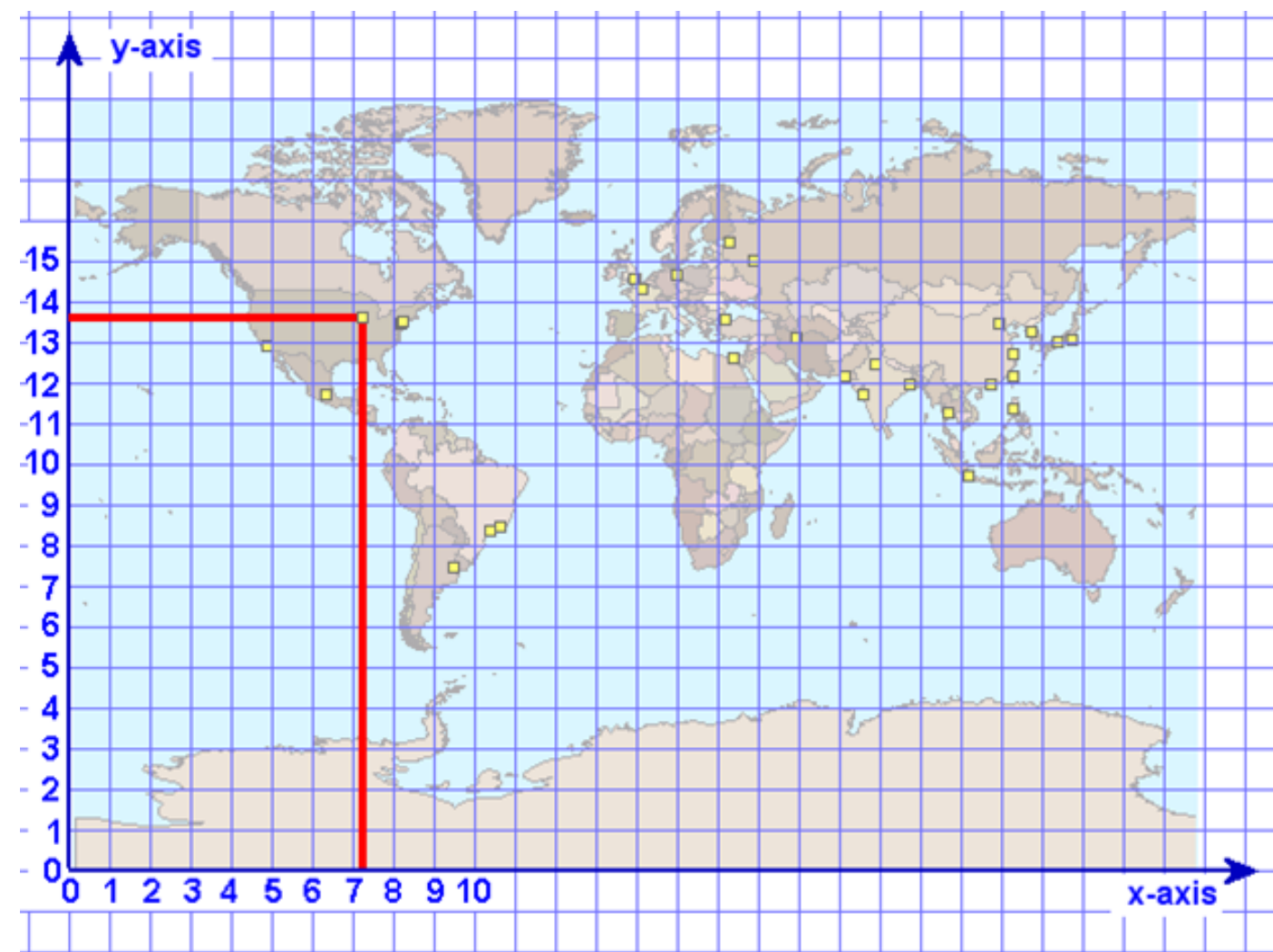
#相対性理論 サンシャイン池崎がひたすら学ぶ謎の深夜番組
初回放送日: 2023年8月27日
「相対性理論をサラッと説明できたらカッコいい!」芸人・サンシャイン池崎さんが100分の大学教授の講義に本気で挑む!難解な数式も登場!「一からちゃんと理解したい」そんな大人の知的欲求に応えます。「数式はムリ」という方にはウェブサイト・NHKラーニングのショート動画でわかりやすく解説!池崎さんの本気の推し、櫻坂46・小池美波さんが内緒で登場!ななな〜ななな〜ナレーションはジョイマン高木さん。



NHKの番組に出演し、100分間も相対性理論について説明されていて、先生はとってもやさしい方だと感じました。

前回のミニツツペーパーから

[6-4] 座標系とは何ですか。
サインタインの考えで出てきた



3. 現代物理1: 相対性理論 》 3.2 特殊相対性理論

教科書 p63

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

$$\begin{aligned} t' &= \frac{t - (v/c^2)x}{\sqrt{1 - (v/c)^2}} \\ x' &= \frac{x - vt}{\sqrt{1 - (v/c)^2}}, \quad y' = y, \quad z' = z. \end{aligned} \quad (3.7)$$

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.

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

ローレンツ変換
(Lorentz transformation)

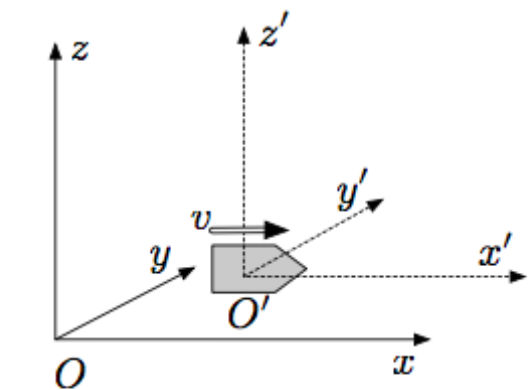


図 3.6: 静止している xyz 座標系と, 速度 v で x 方向に動いている $x'y'z'$ 座標系.

前回のミニッツペーパーから

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。

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

↑

速度 v で移動している人の1秒

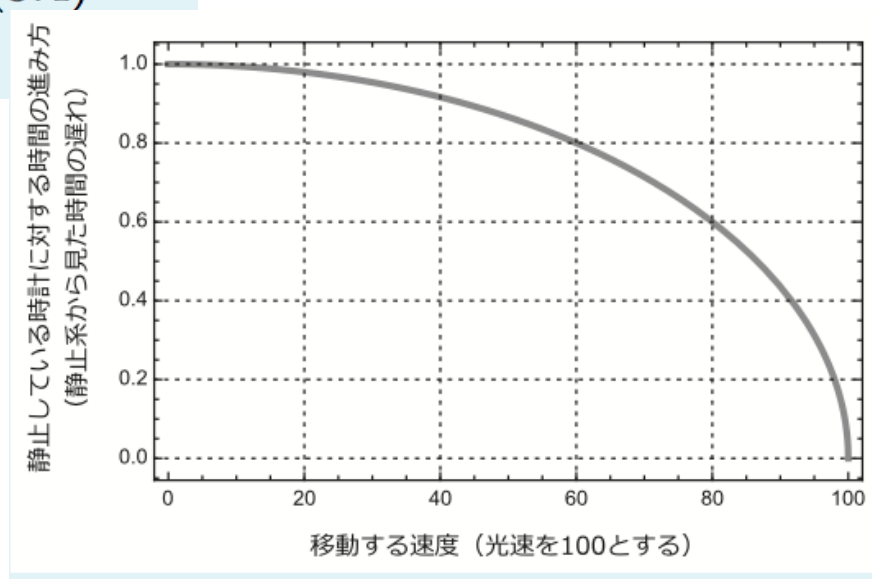
↑

静止している人の1秒

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

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



浦島太郎の話 おもしろかった。

【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。

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

↑

速度 v で移動している人の1秒

↑

静止している人の1秒

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

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 しましくは家に歸りて 父の母に事も語らひ 明日のごと我は来なむと言ひければ 妹が言へらく 常世辺にまた歸り来て 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 墨吉に歸り来たりて 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 この箱を開きて見れば 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>

浦島太郎のお話と前期に神話と授業で学習したことがあり、これと関係は宇宙の視点から語ることは可能だと思ふ。これは、 $T=a^2$ 驚きまじい。
未来に行くことは出来たかと思ふ。経緯は $T=a^2$ 浦島太郎の話と関係と、有り得るのかと考えると考え直した。

前回のミニッツペーパーから

タイムマシンを作ろうとした有名人を教えてほしいです。

タイムマシンをつくるにはどのくらいの電気が必要ですか。

光は何光年 行っても消滅しないものなのですか？
100年後の遠い未来に本格的なタイムマシンは 作れませんよね。

光の正体は波であるとともに、粒子でもあります。
だから消滅せずに届きます(個数が減って弱くなりますが)

地球では 空が上、地が下。宇宙では、上と下、がある...?

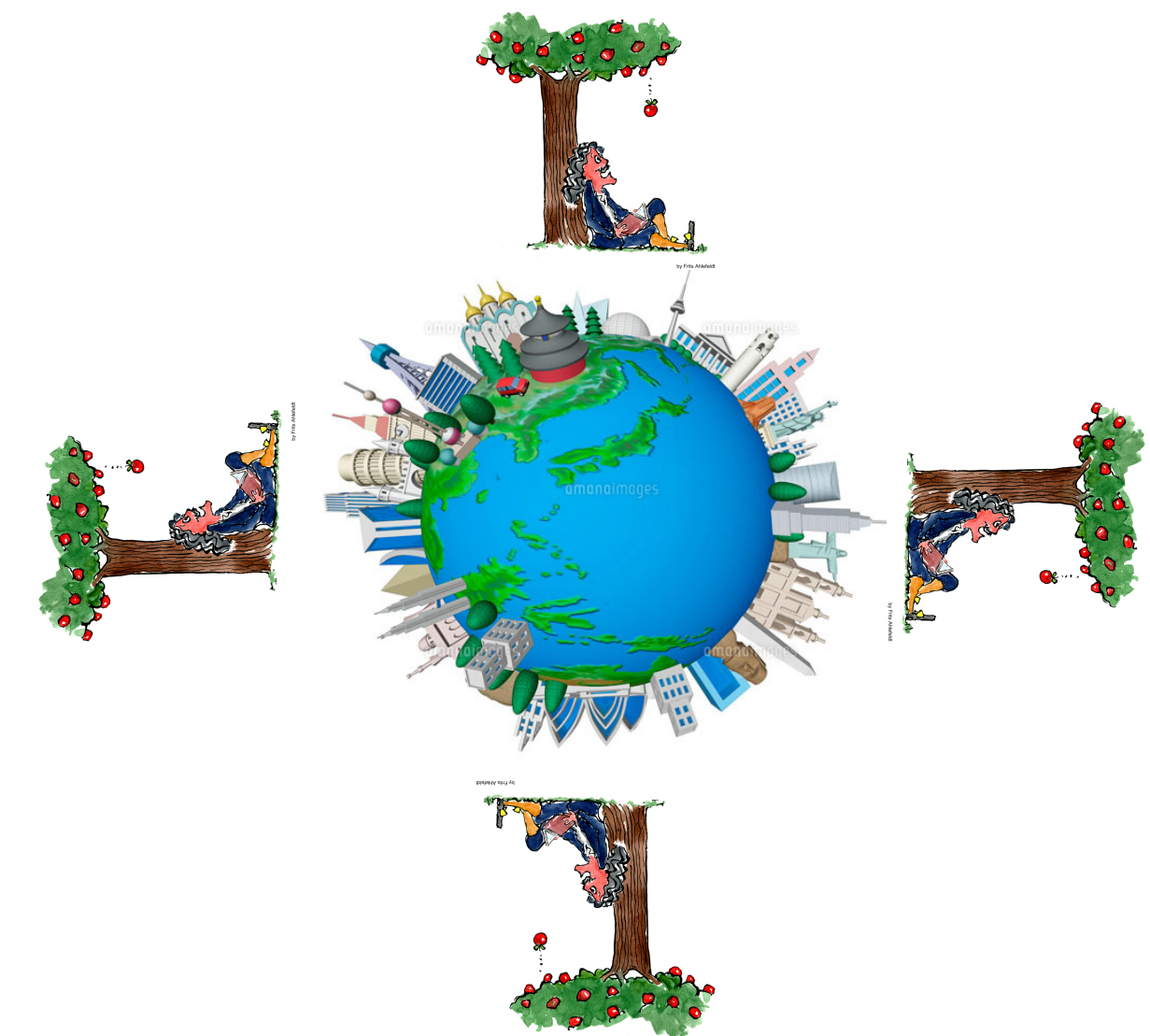
過去には行けないですか？

ほぼ不可能だと思います

もし先生が過去に 行けるとしたら、どの時代に行きたいですか？
私は縄文です。マンモスに行きたいです。

縄文時代にはマンモスいないと思いますが...

タイムマシンが本当にあったら、歴史がどう変わるかなって思う。



前回のミニッツペーパーから

最近見た「秒速5センチメートル」という映画で1991EVという小惑星の話が出てきたのですが、これは本当にあったんですか？

今日の内容は、以前少し話された、電車の中のイエは、どちらに飛んでいるのか、に似ていると感じた。

人が星に化るとよく聞きますか、なぜですか



1991EV 小惑星

AI モード すべて 画像 動画 ニュース ショッピング ショート動画 もっと見る ▾

◆ AI による概要

「1991EV」という小惑星は、**実在しない小惑星**です。これは、新海誠監督の作品『秒速5センチメートル』に登場する架空の小惑星で、物語の中では2009年3月26日に地球に衝突するとされています。

- **作品内の設定:** 『秒速5センチメートル』の物語の中で、地球に衝突するとされる架空の小惑星が「1991EV」です。
- **衝突日:** 2009年3月26日に衝突すると描かれています。

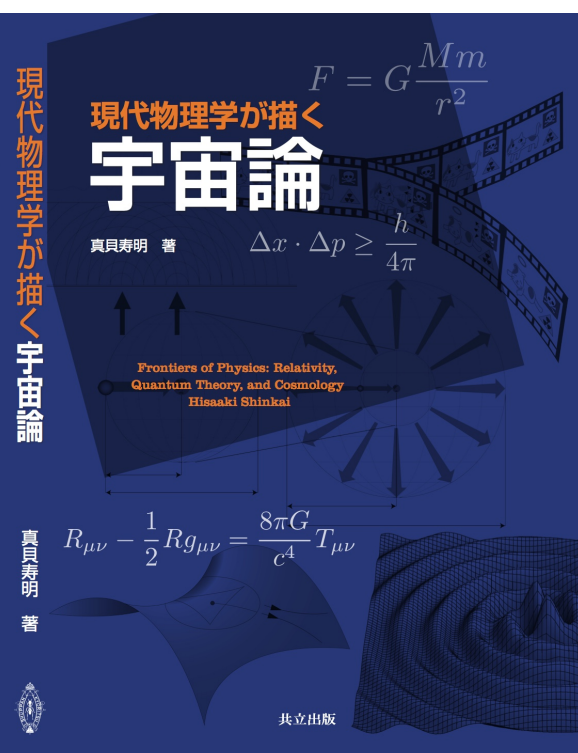
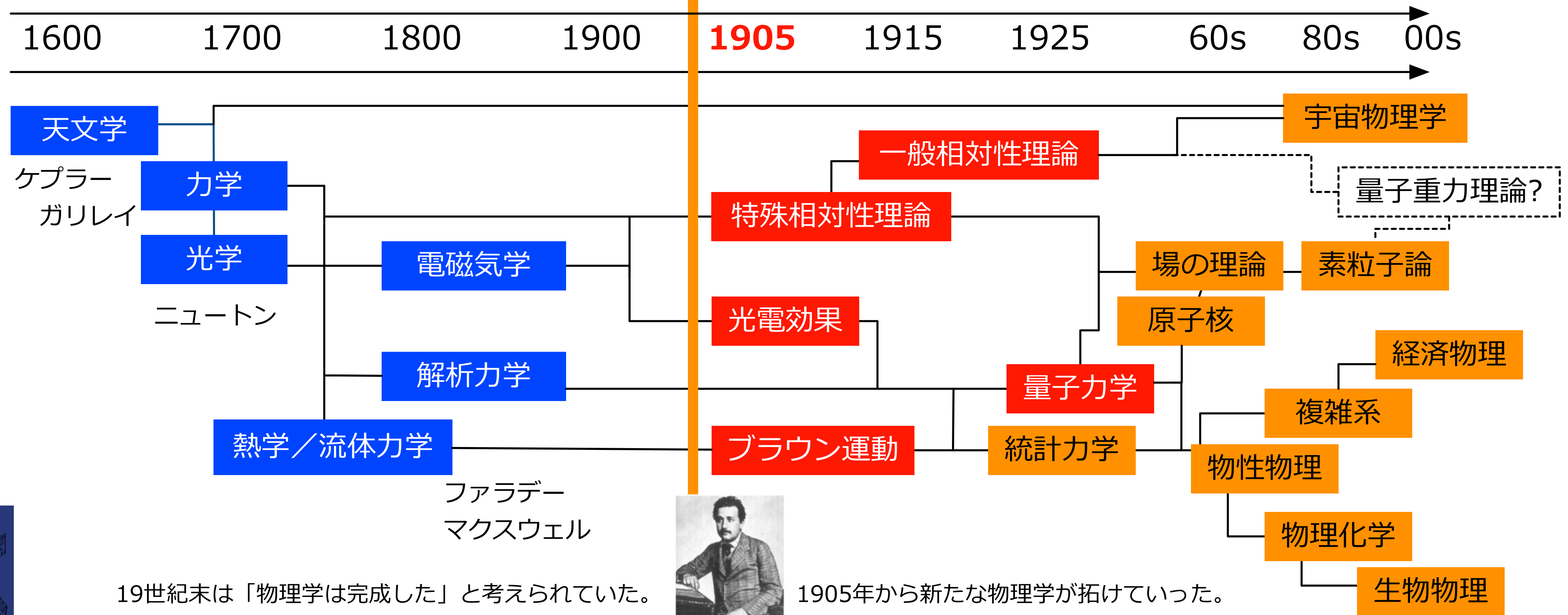
キキとララの身長は、「ふたり合わせてお月様と同じくらい」
=1737km



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

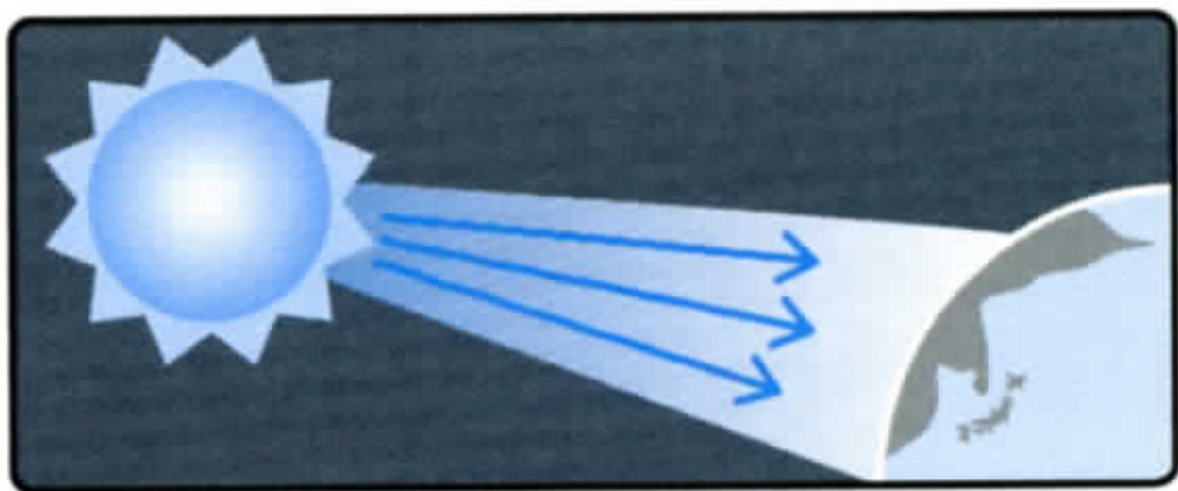


3.2.1 電磁気学で生じた疑問

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?



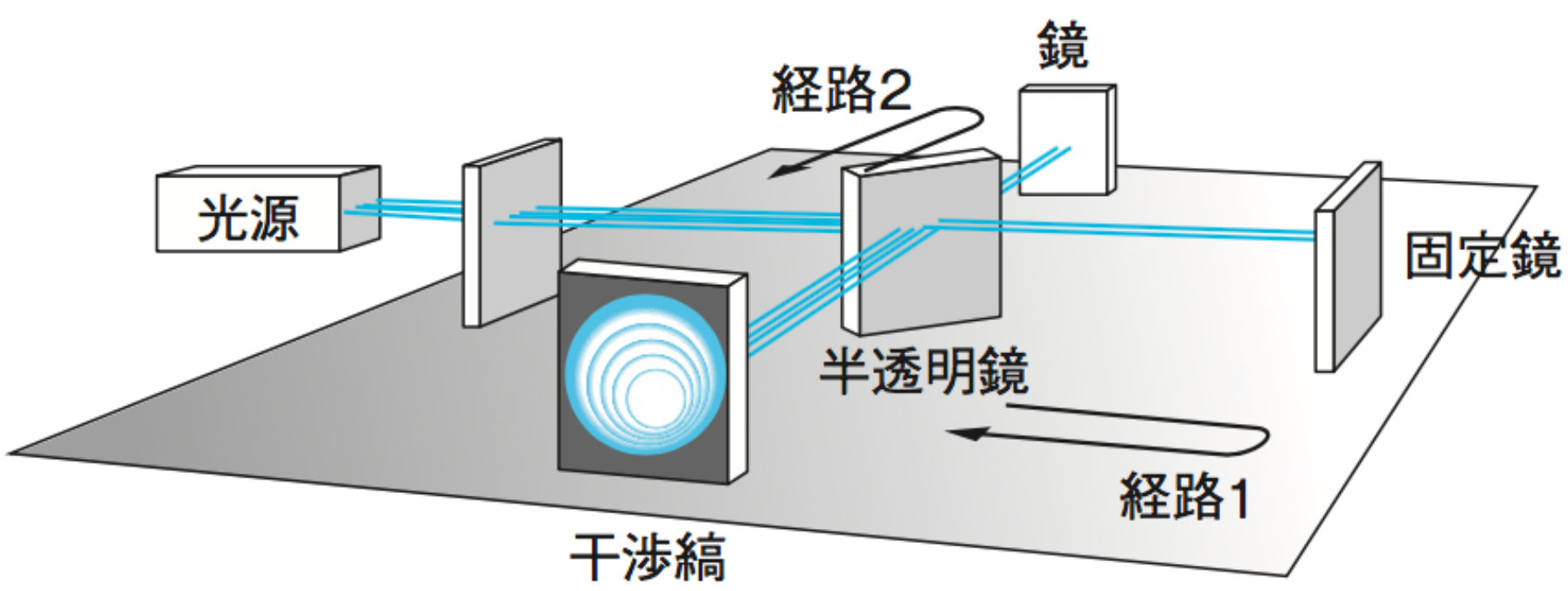
時速140km



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)

微小距離を測定する**干渉計**



エーテルは存在しない

(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。

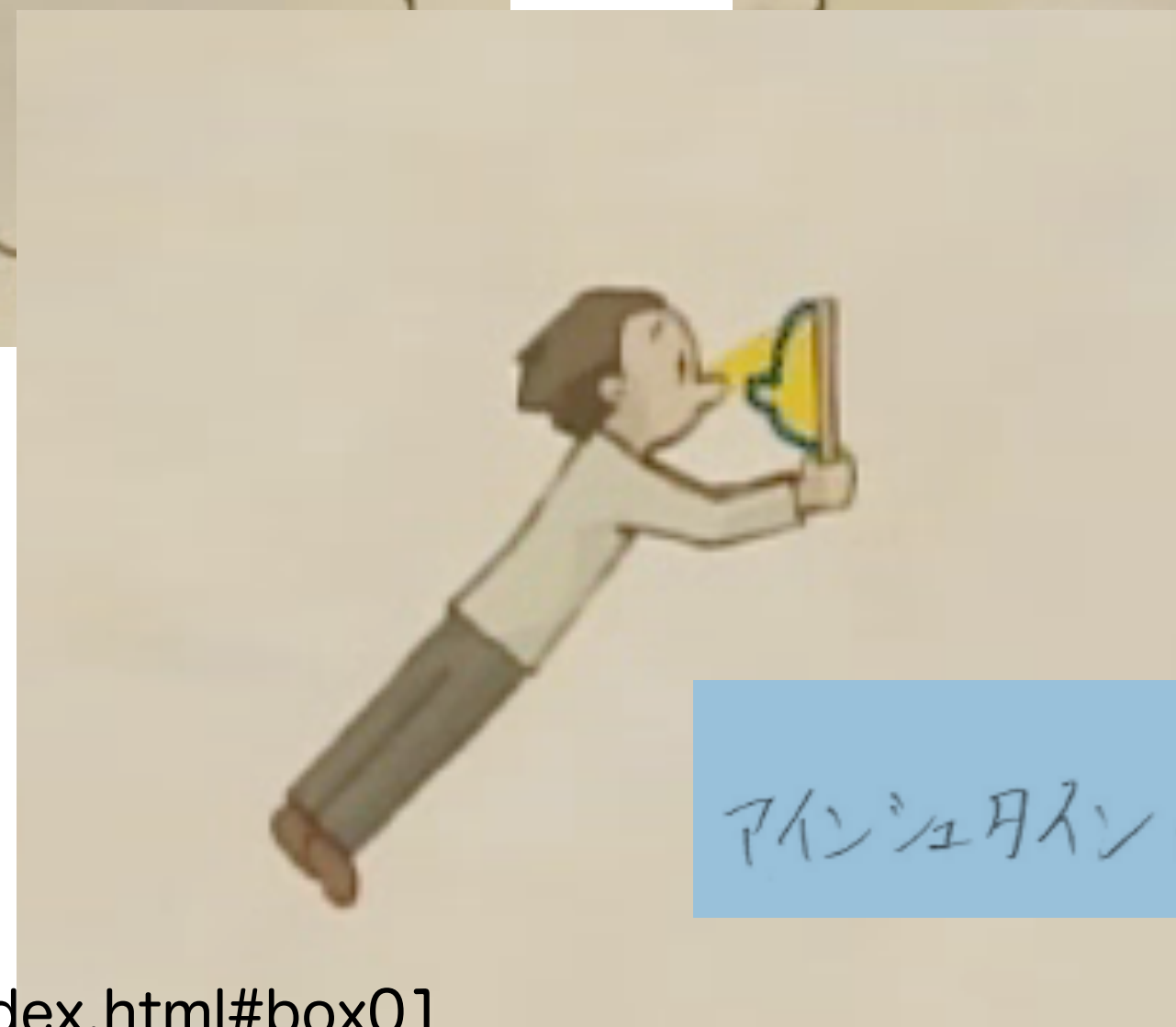
- 当時の考え：

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？



アインシュタインが14才で考える疑問が凄くてびっくりした。

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だから同じはやさで反射しないのでは？

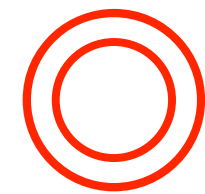
映らない

光速だから、速すぎて何も見えなくなるから写らない？

映らない 24

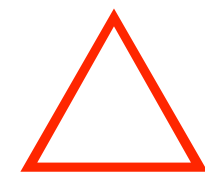
映る 20

映る



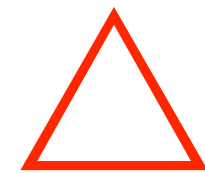
映る：光速一定の原理から。

映る



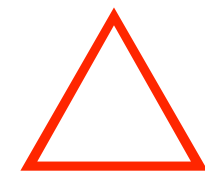
映ると思う。
光の速さで動く人が鏡を自分で持って、見ているのであれば映ると思う。

映る



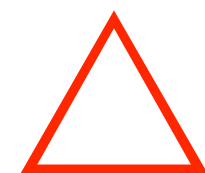
映る。
光の速さで動く人でも、鏡と一緒に動いているから観測できると思う。
鏡と一緒に動いているなければ、鏡に反射した光が観測者に届かないと思う。

映る



(同じスピードで) 氏名
映る 一緒に動いているから。

映る

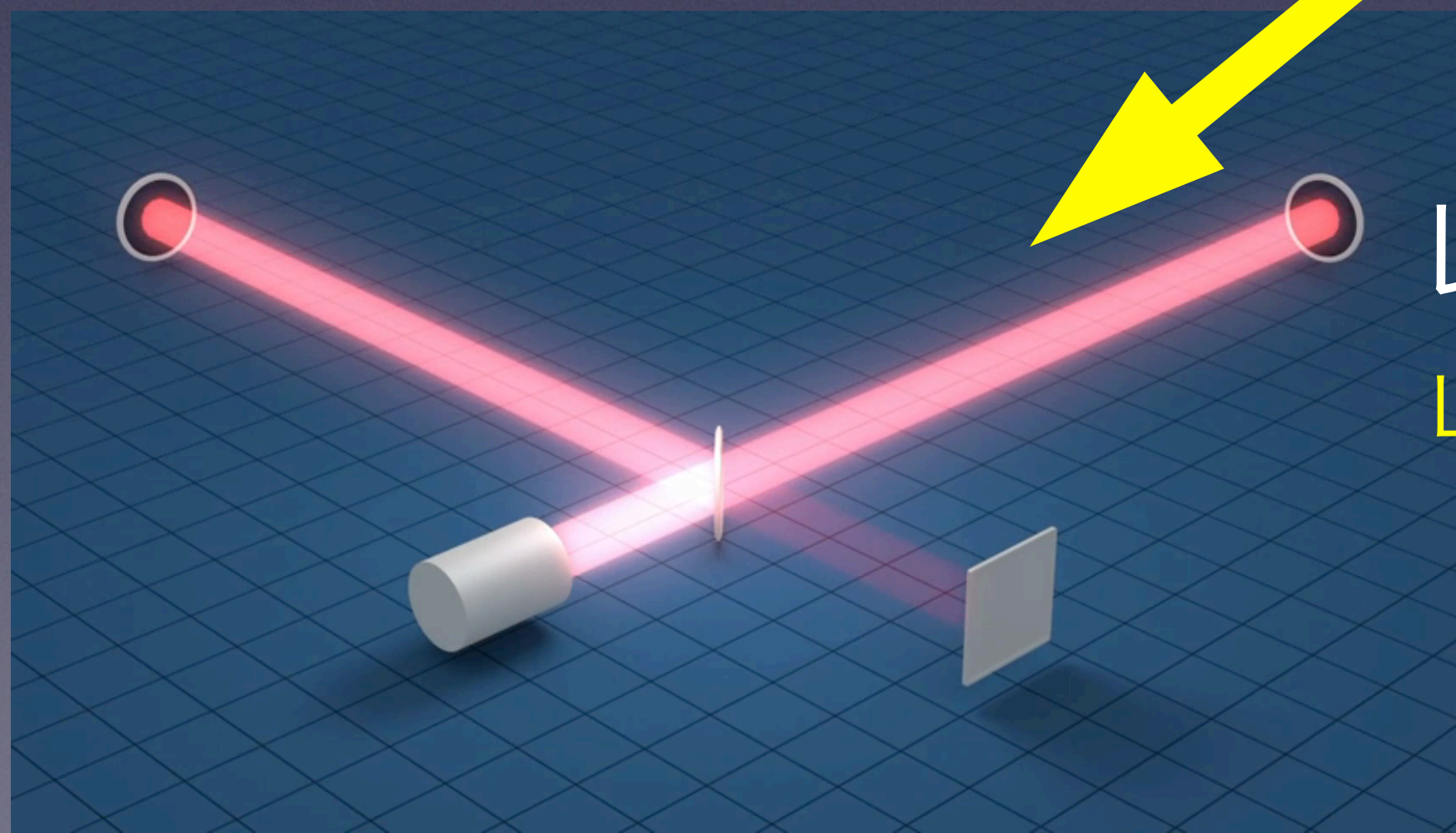
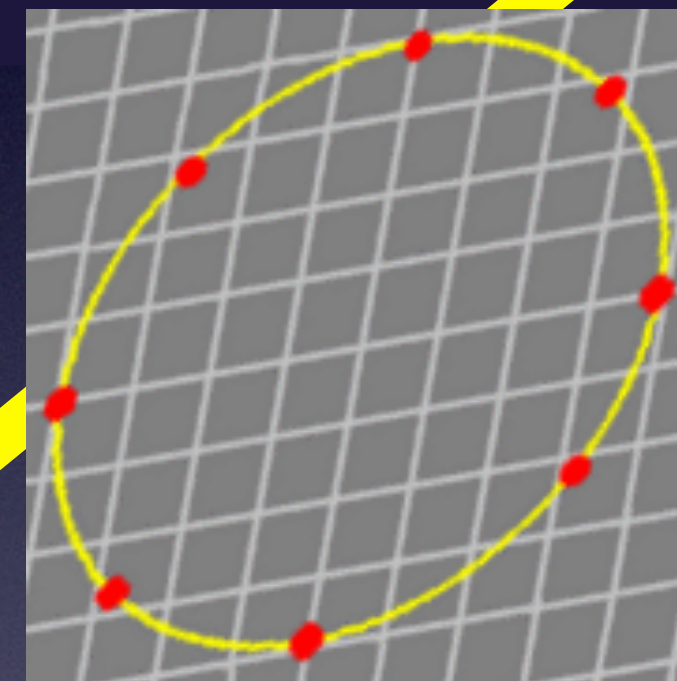
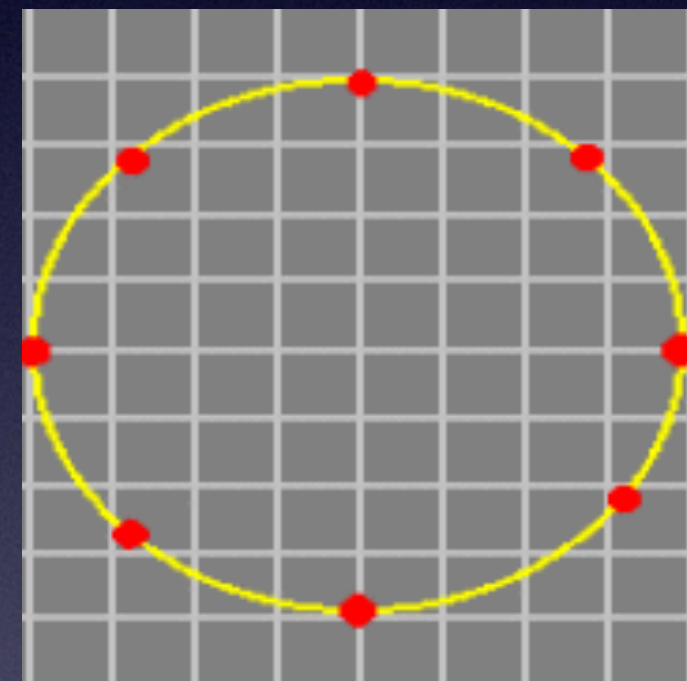
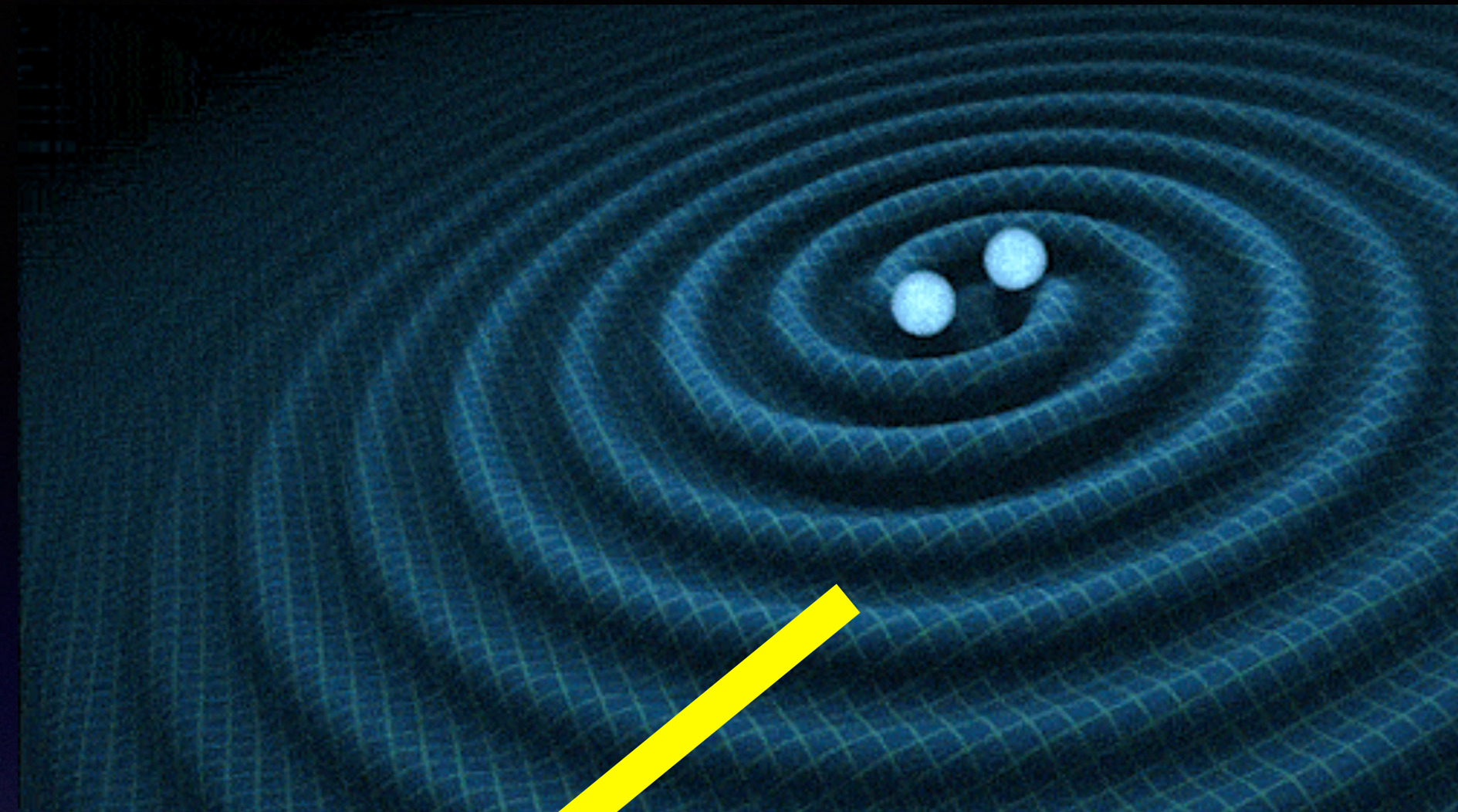


鏡も同じ速さで動いているので、鏡にうつる自分も止まっている時と同じように見えると思います。

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

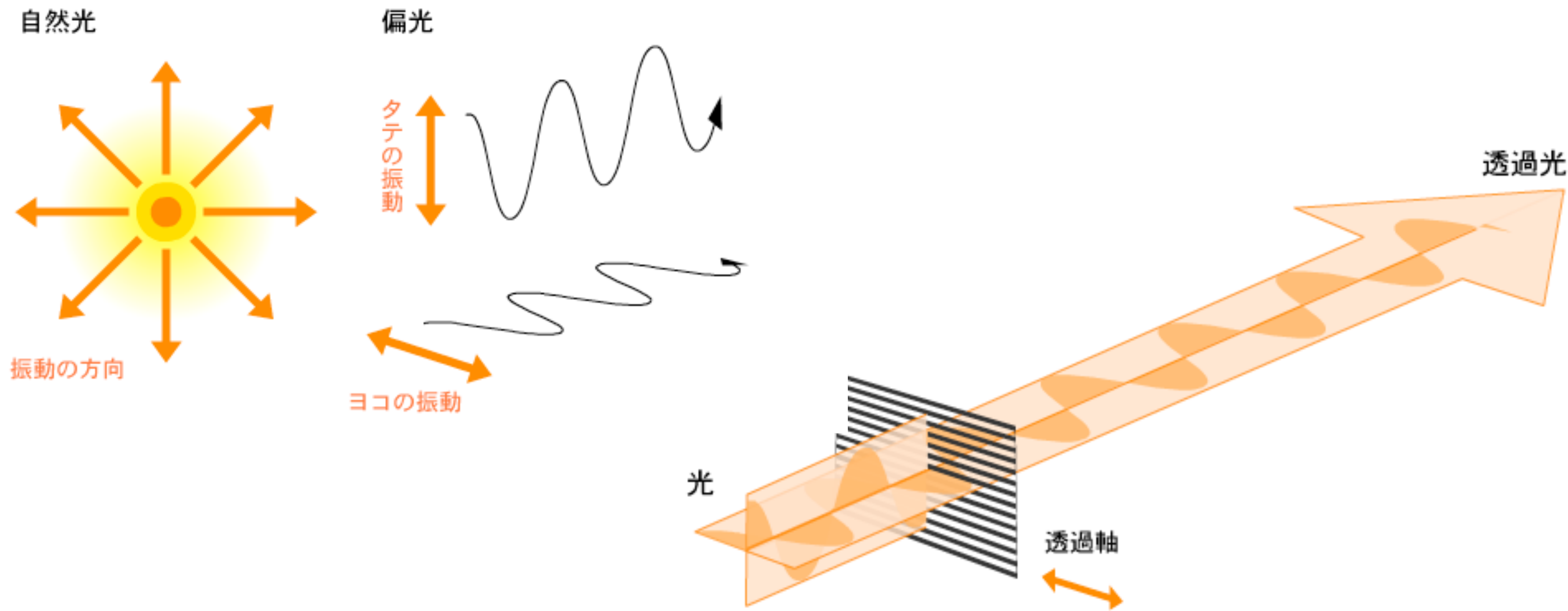


レーザー干渉計

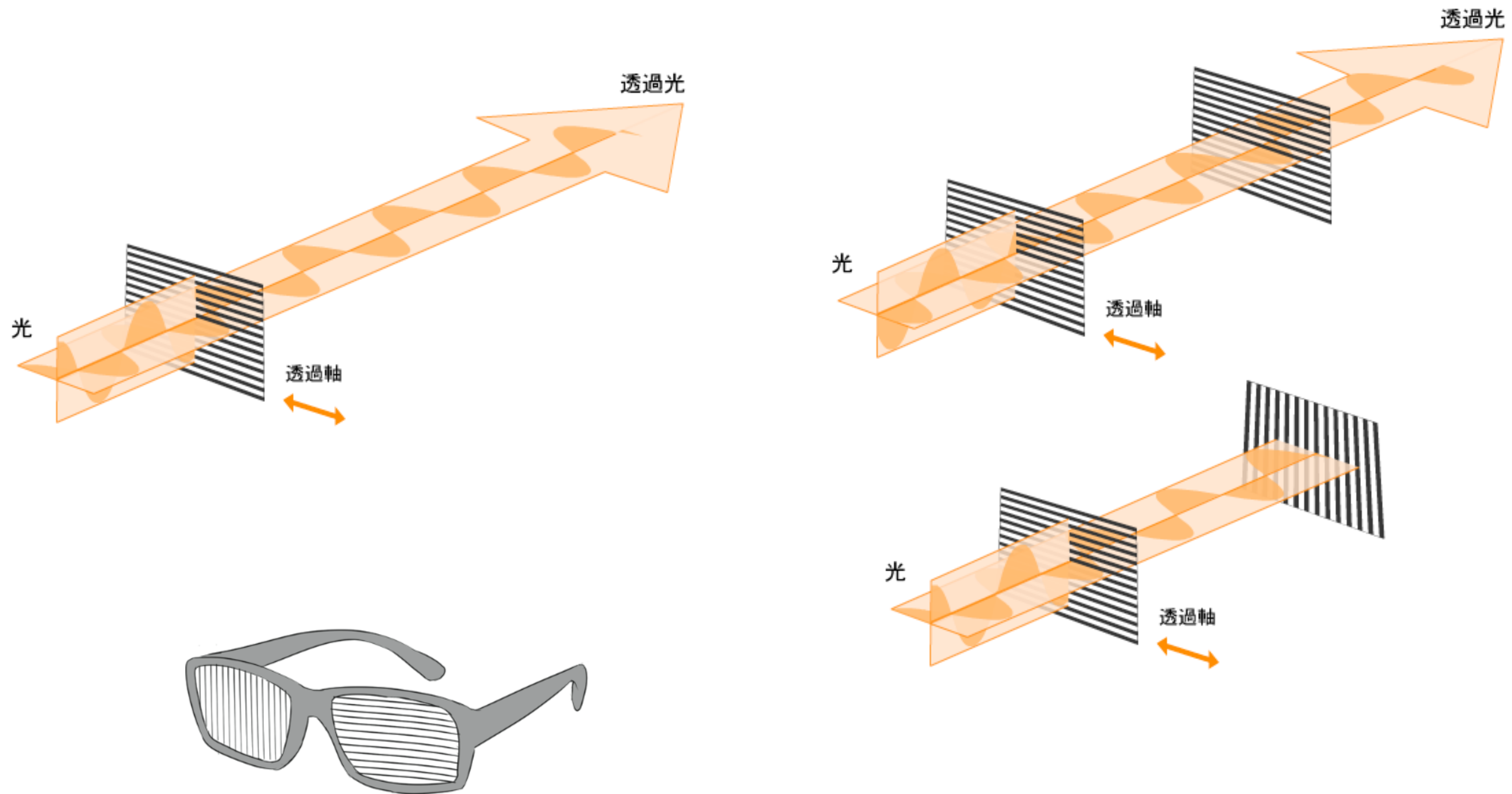
LIGO=Laser Interferometer

Gravitational-Wave Observatory

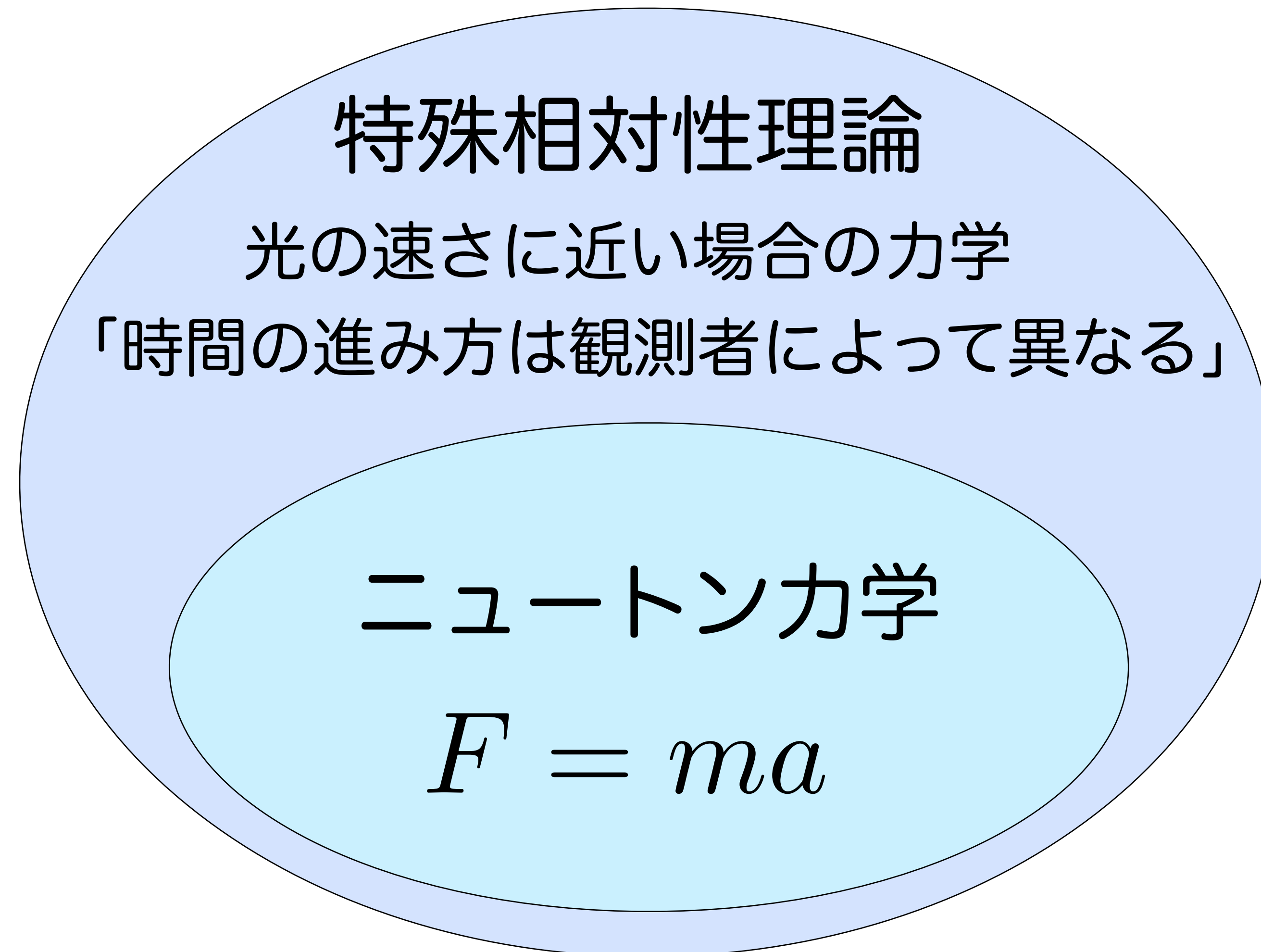
光は横波である



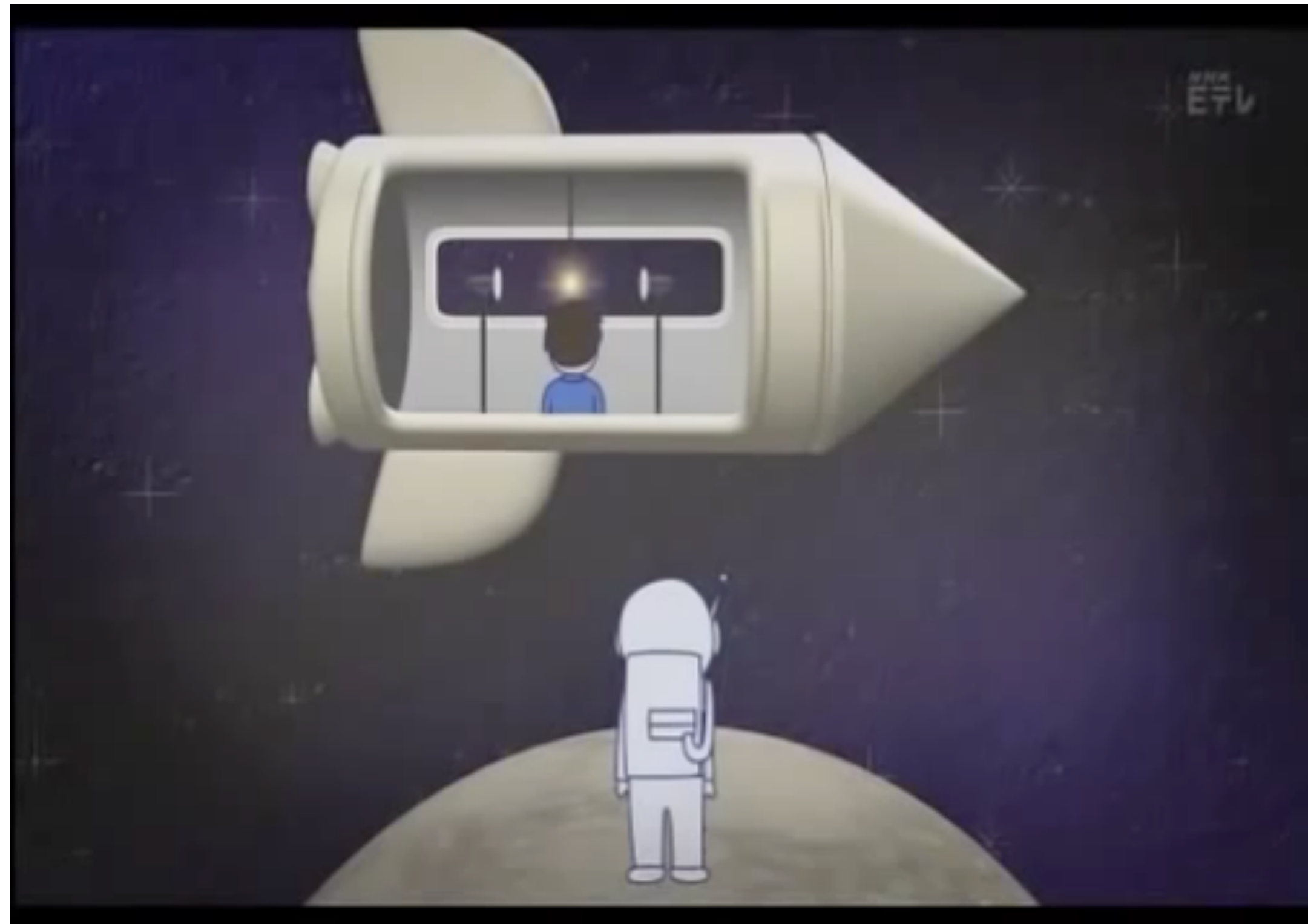
光は横波である



これまでの物理学を否定せず、拡張した理論！



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

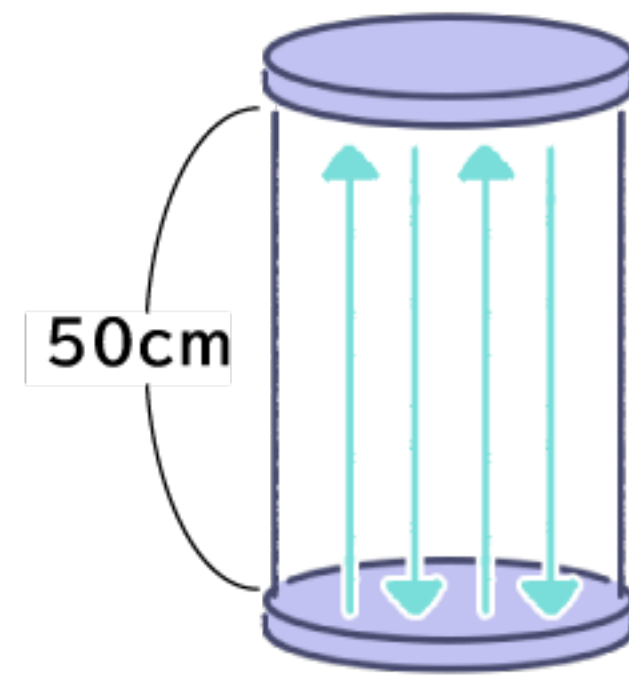
左右両方に同時に光が到着

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

宇宙船と惑星から見るハタのあがりちで、宇宙船がうごいていると光源が動かない固定立っているのに、なぜうごかないのだと不思議に思いました。

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

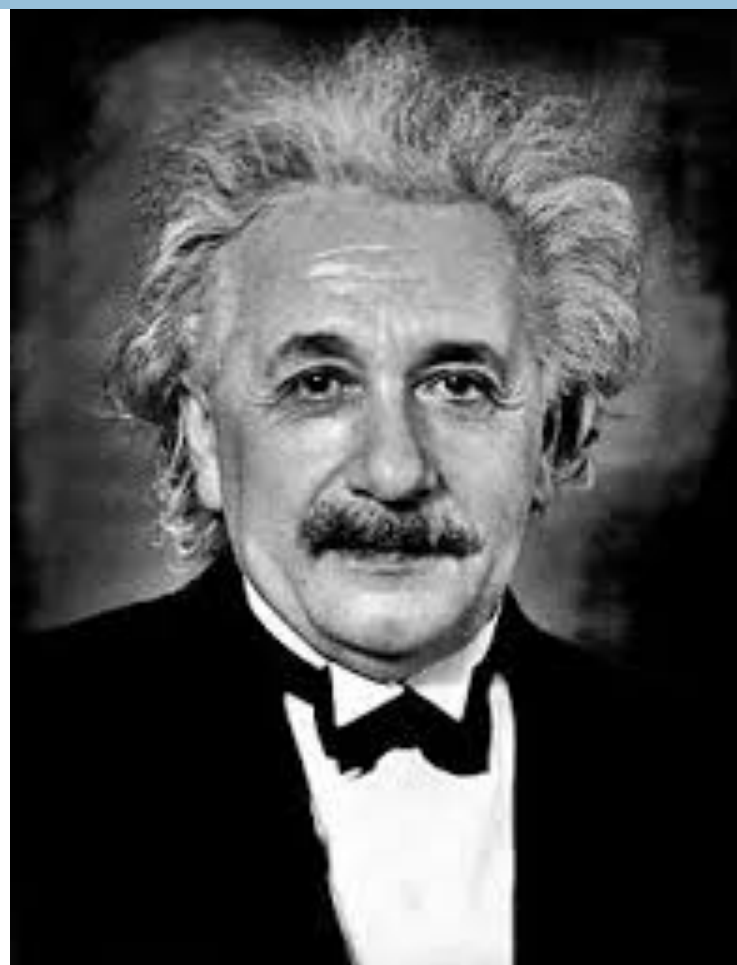
時間の進み方は相対的になる

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。

よく、お金持ちは有名人と対等なものは時間だと言われることがありますが、光の速さで動くと時間も対等ではなくなるのだと思いました。

6-4 今日の宇宙船と小惑星の話で思い出したの2つある、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「君の時間」は4つくらい金で進んでみたいな歌詞があって「しか」は「おもしろい」と思っていたの2つですが、これは金持ちの問題2つある？ 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．

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

速度 v で移動している人の1秒

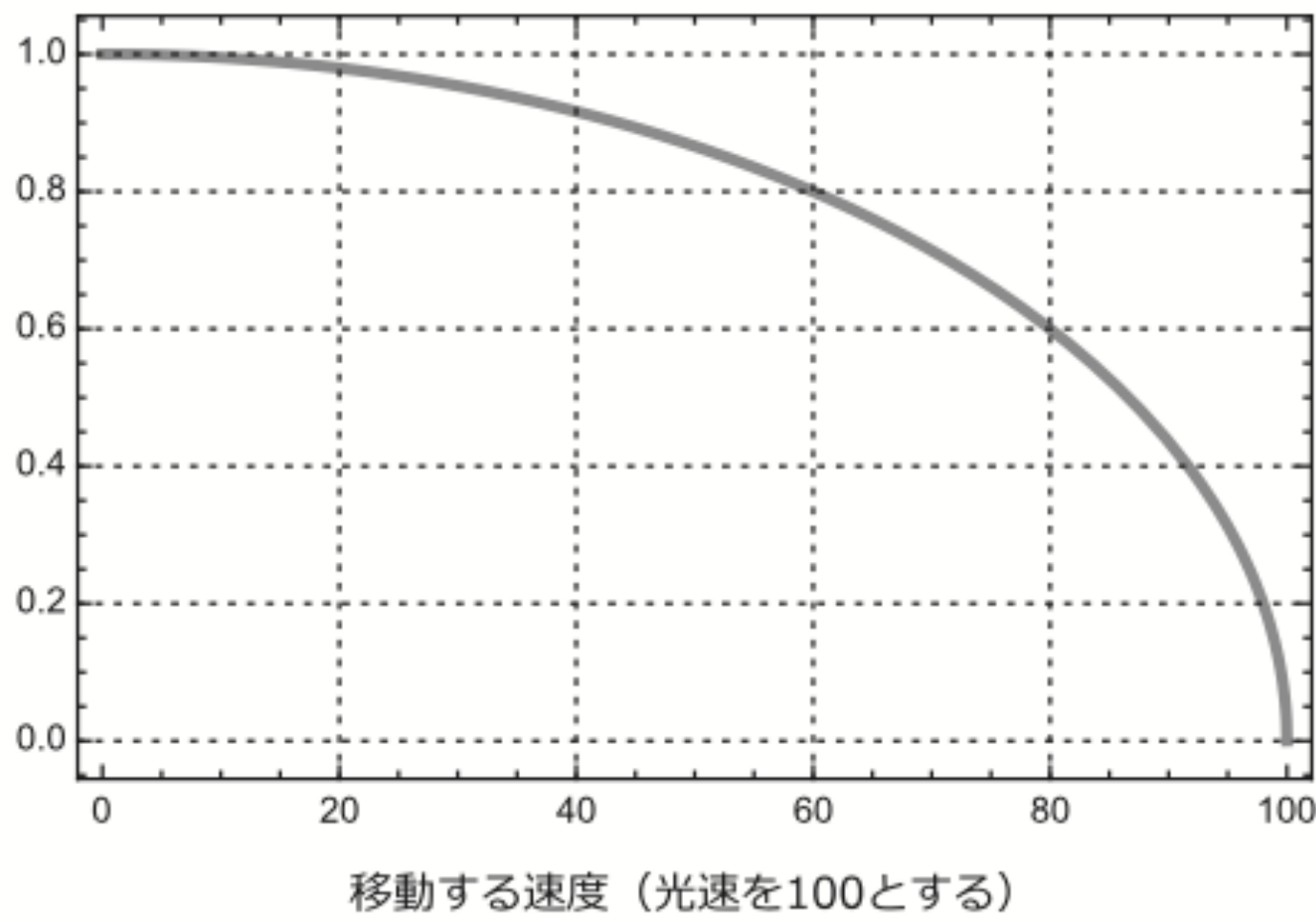
静止している人の1秒

今日の講義で、光の速度がどれだけ特別の
実感です。

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

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

「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。

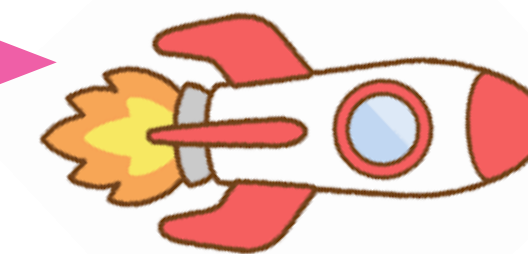


ロケットは速度 v で動いている。

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

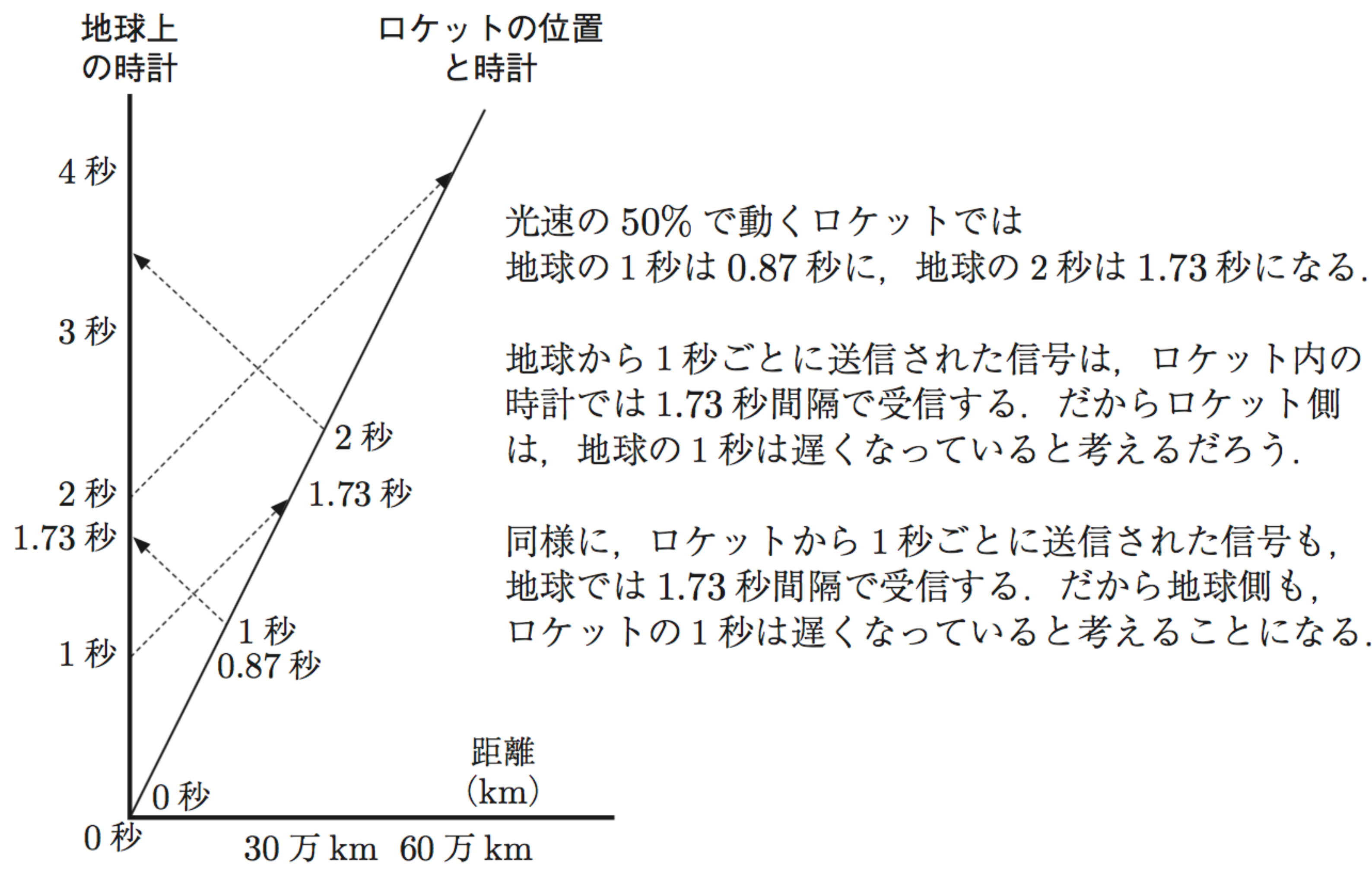


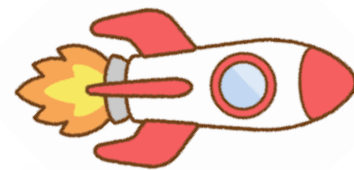
図 3.16 「相手の時計の方が遅れている」という主張はどちらも正しい。

双子のパラドックス

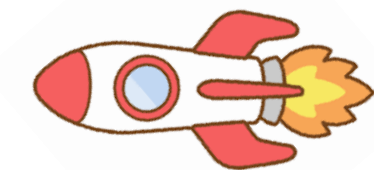
双子のパラドックス

- 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

正直、双子のパラドックスの時間経過の話がよく分からなかった。

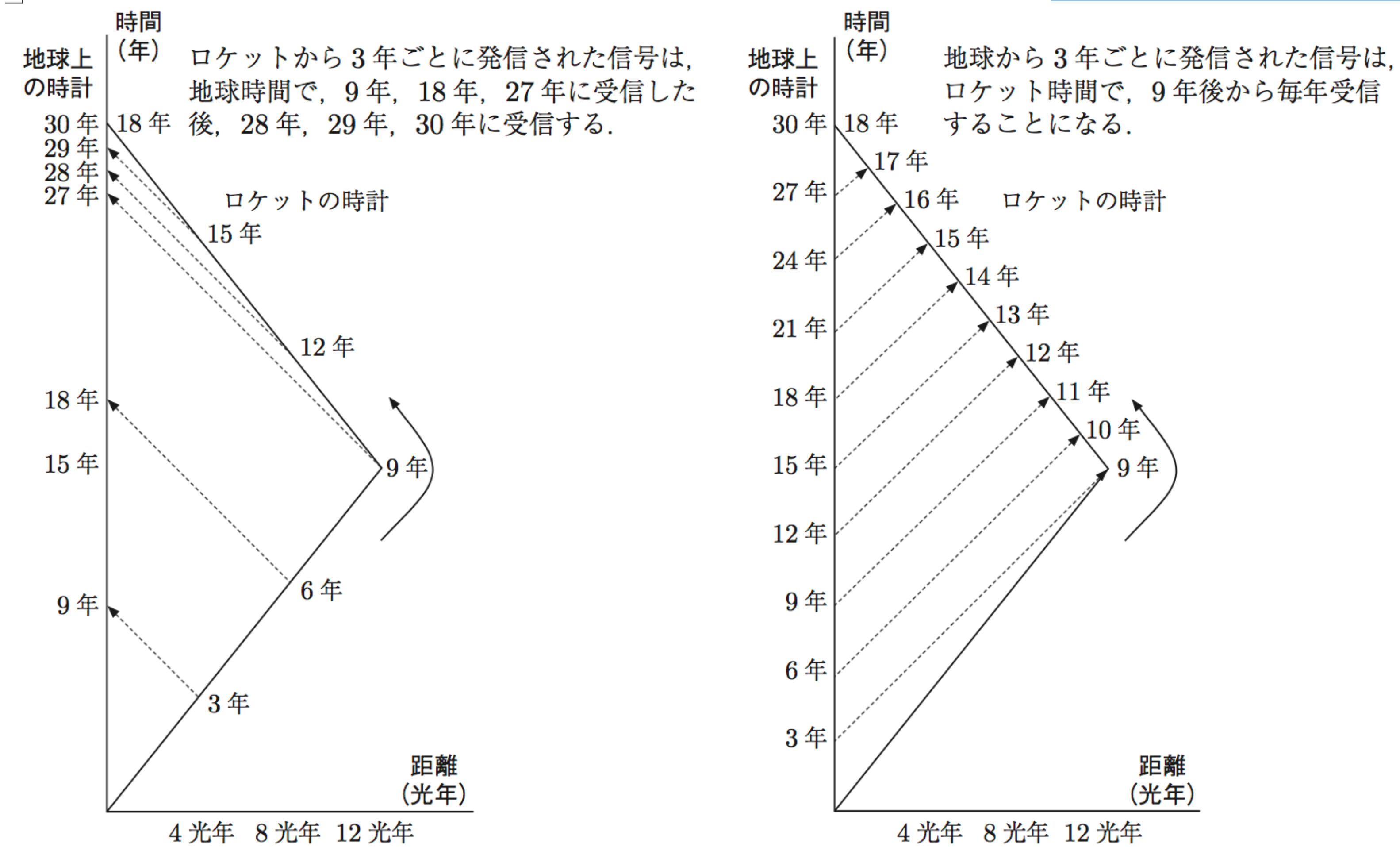
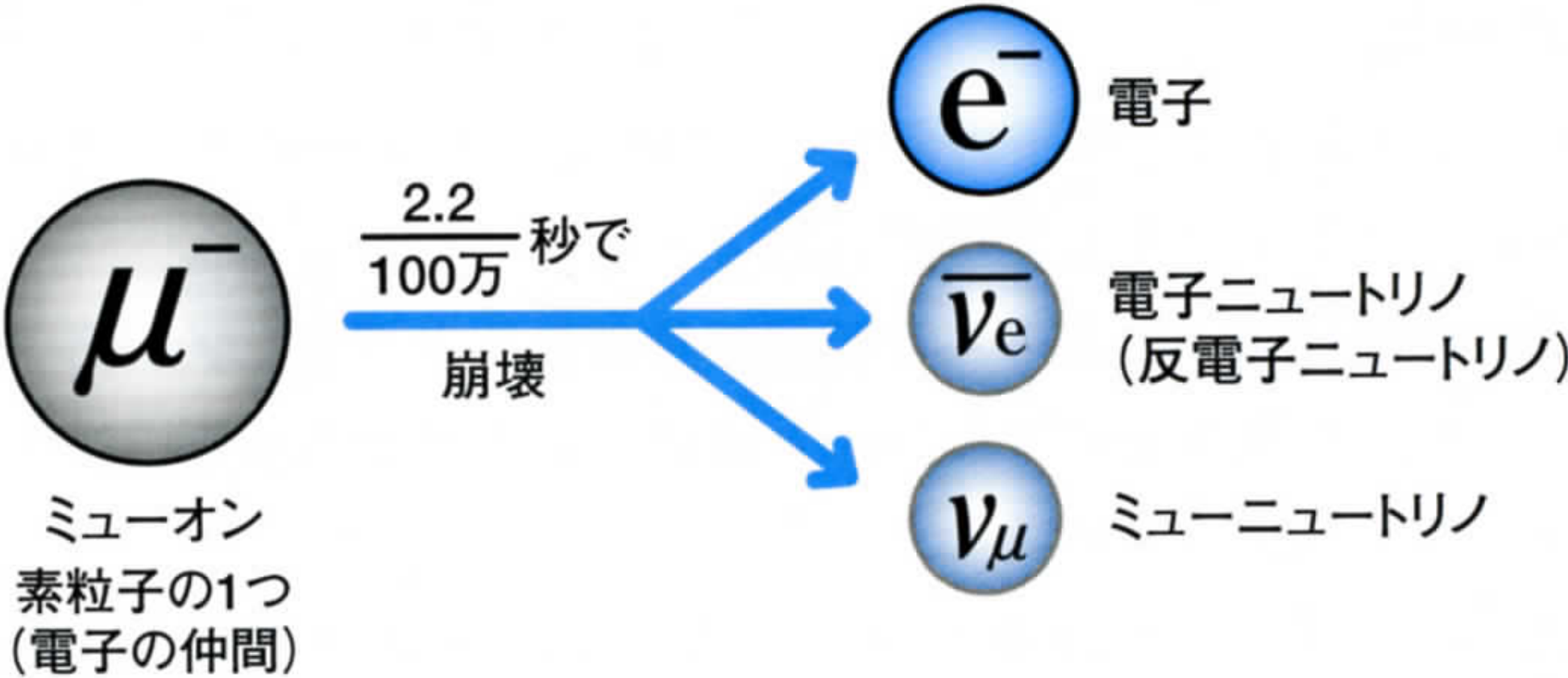
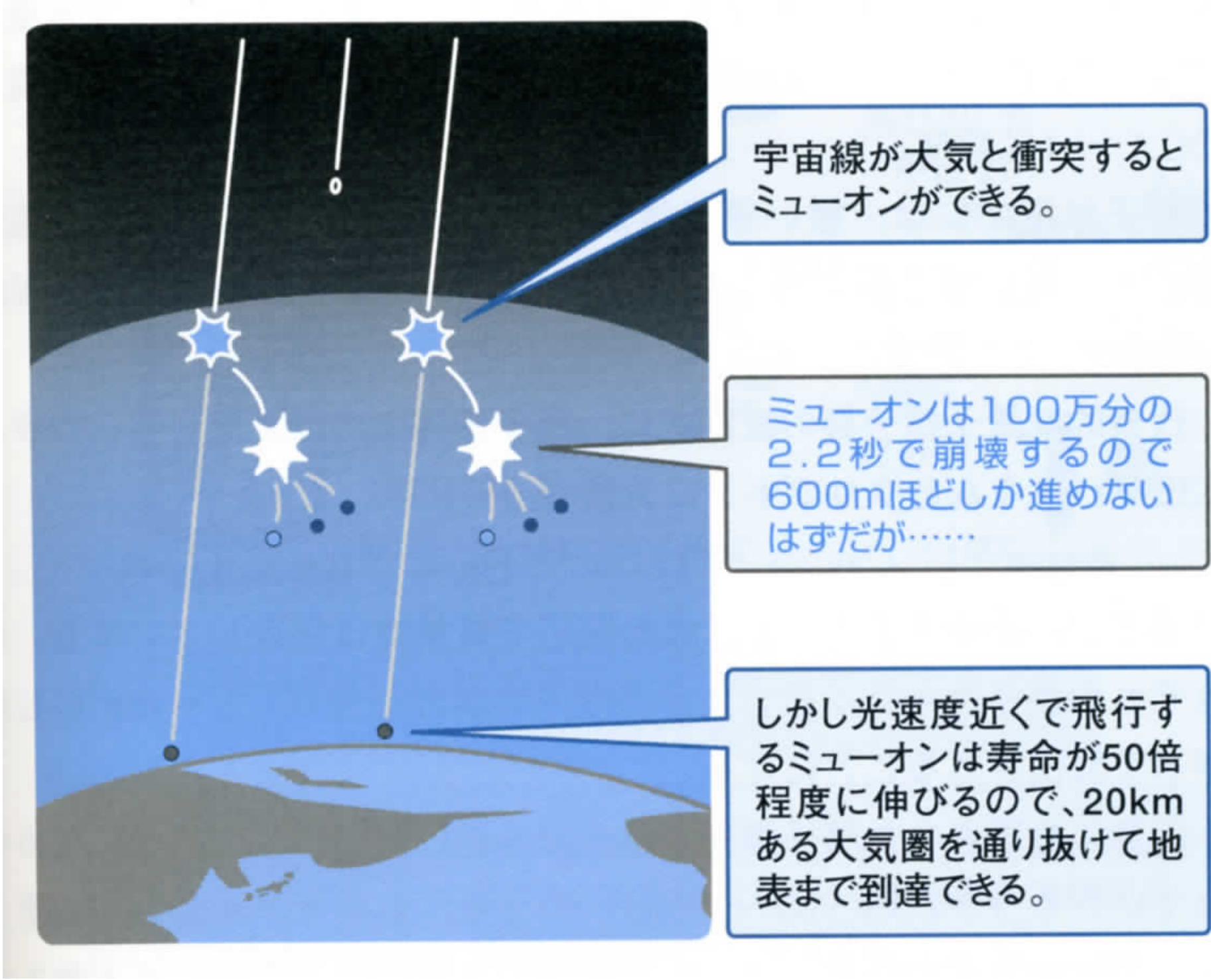


図 3.17 双子のパラドックスの理解. 互いに3年ごとに信号を発して、互いに相手の時計は遅いと感じつつも、再び出会うときにはロケットに乗っていた方が時間経過が短い。

素粒子の寿命は確かに延びている！



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）

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

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ある。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。……



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.

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.

1988

10 Questions to Stephen Hawking

**If you could talk to
Albert Einstein, what
would you say?**

Ju Huang, Stamford, Conn.

TIME

<https://www.youtube.com/watch?v=geybTGQnF4s>

Start on Click, first 1'40" part

A Brief Interview with Stephen Hawking



<https://www.youtube.com/watch?v=hB60SVvZTEM>

Start on Click, first 1'40" part

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×光速×光速

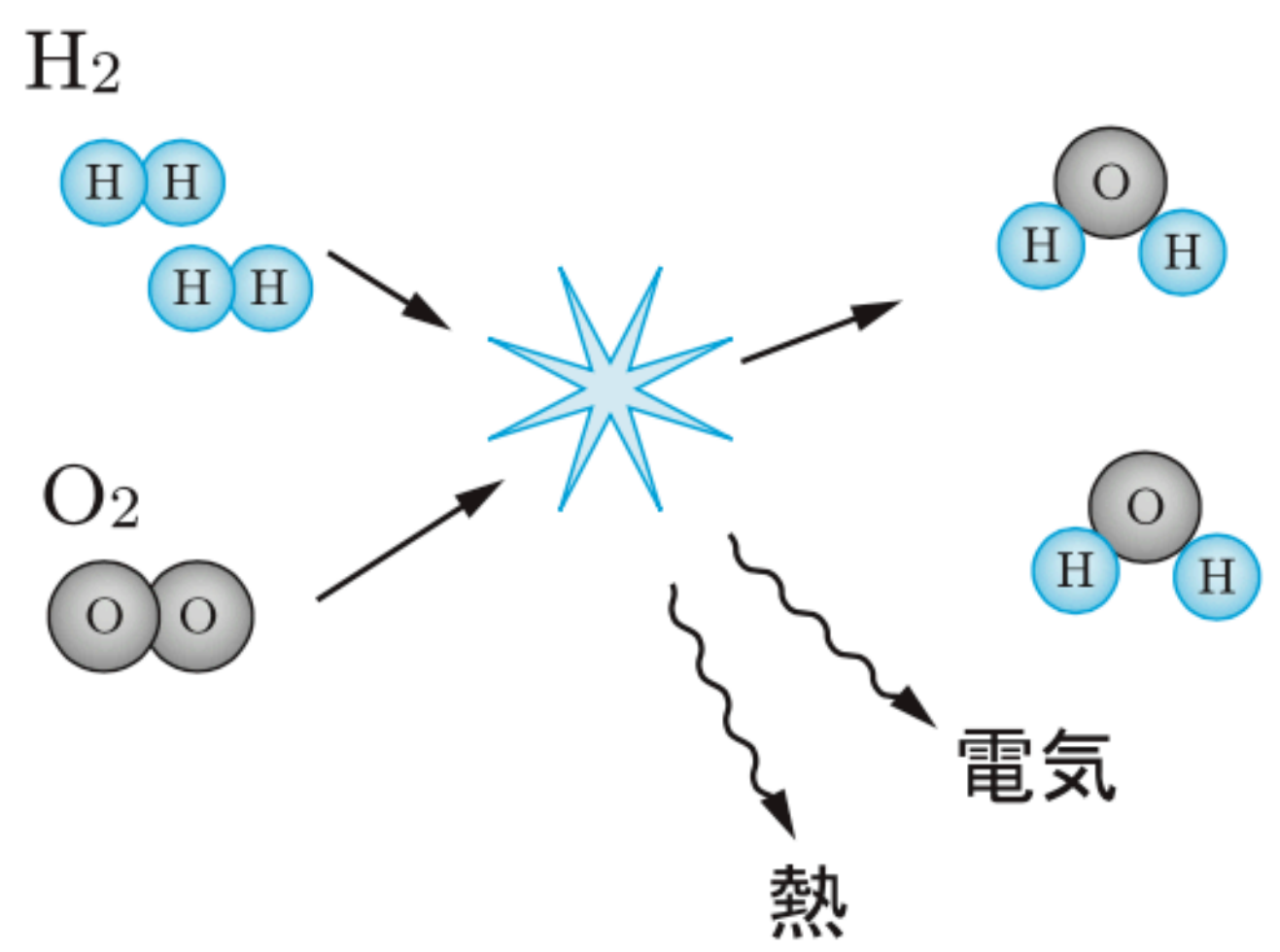
エネルギーは質量と等価である！

質量はエネルギーに変換できる！

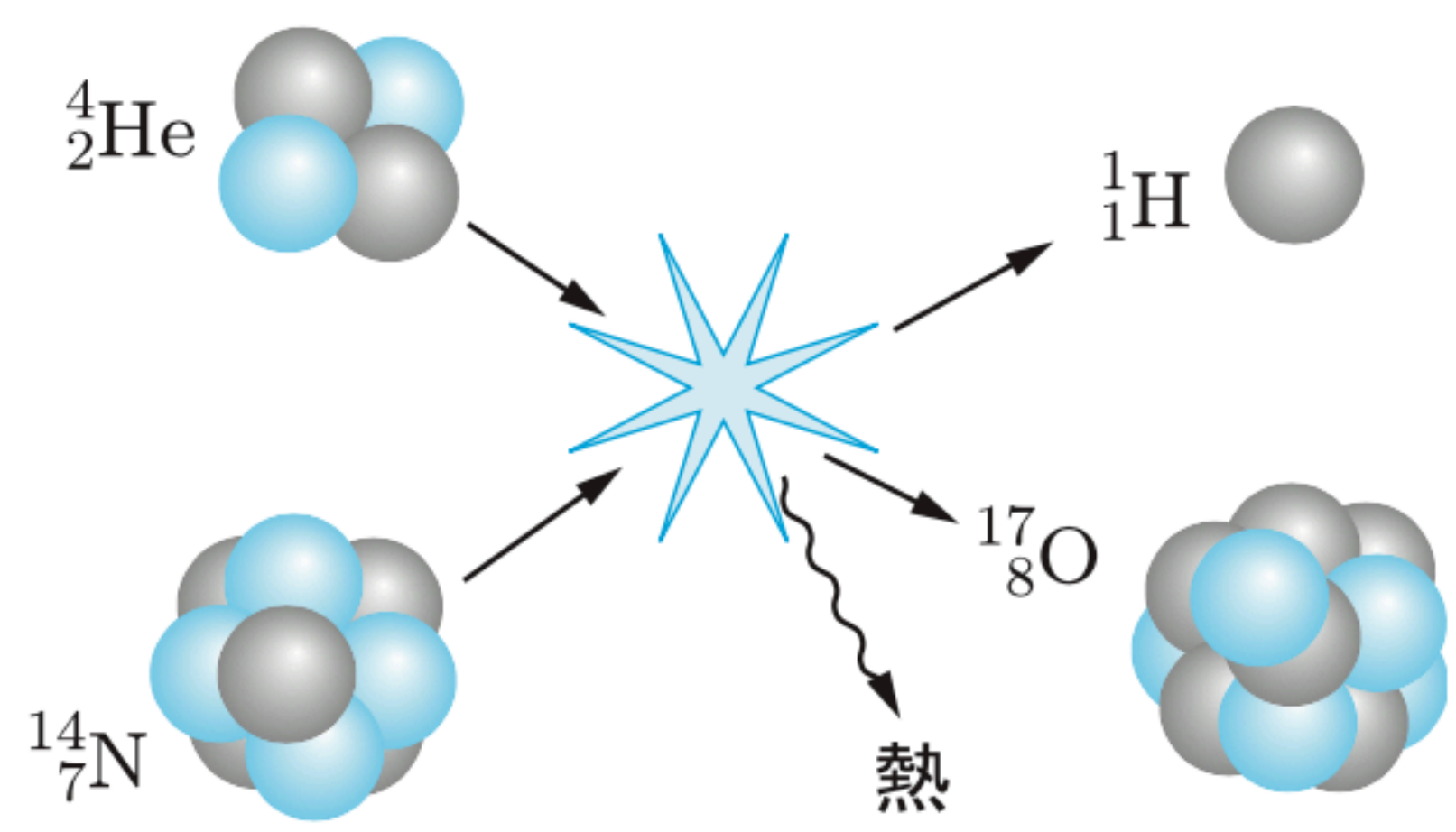
3.2.7 原子核反応

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**



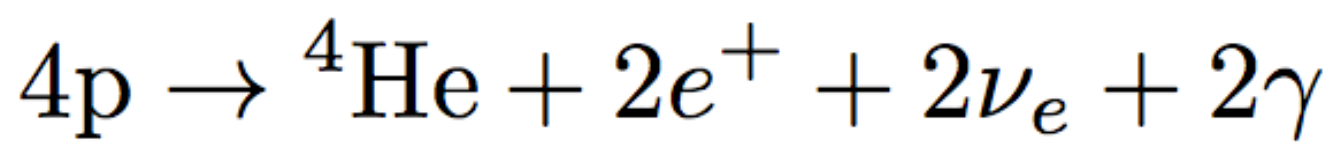
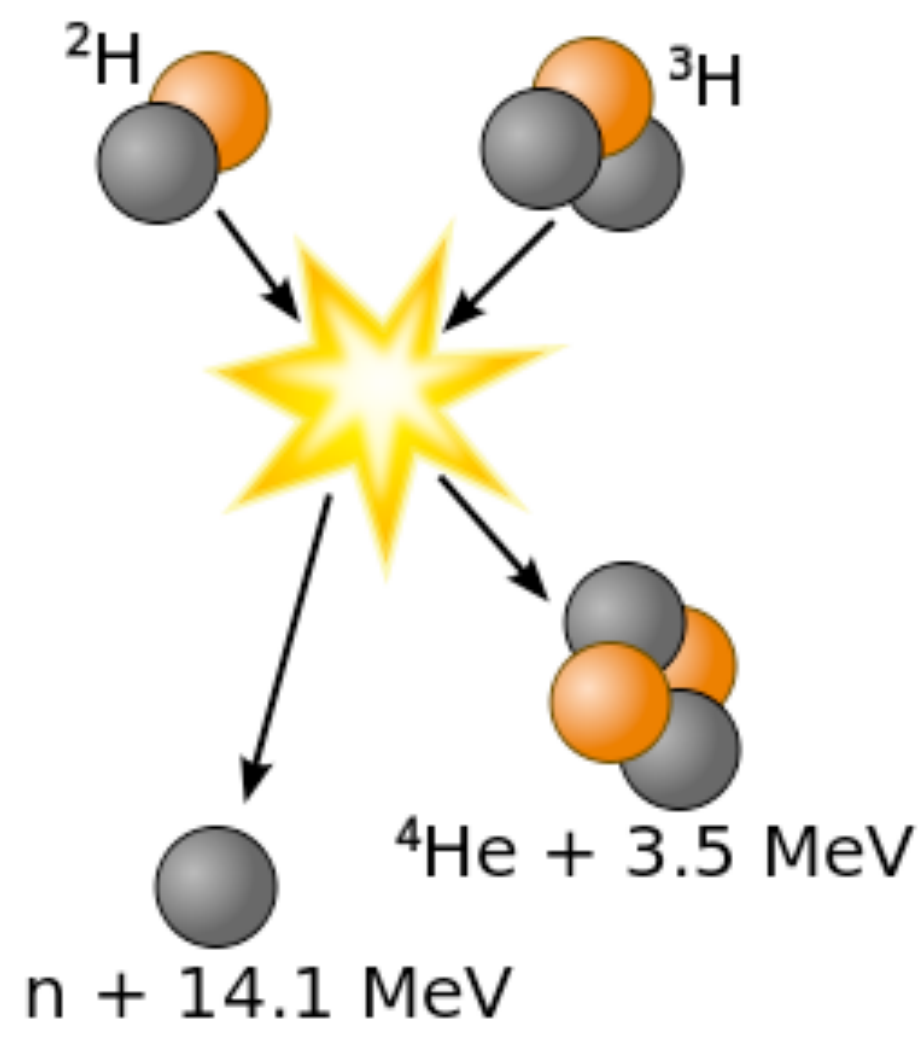
(a) 化学反応



(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.

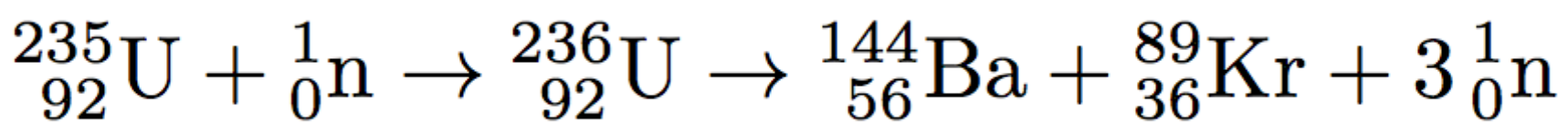
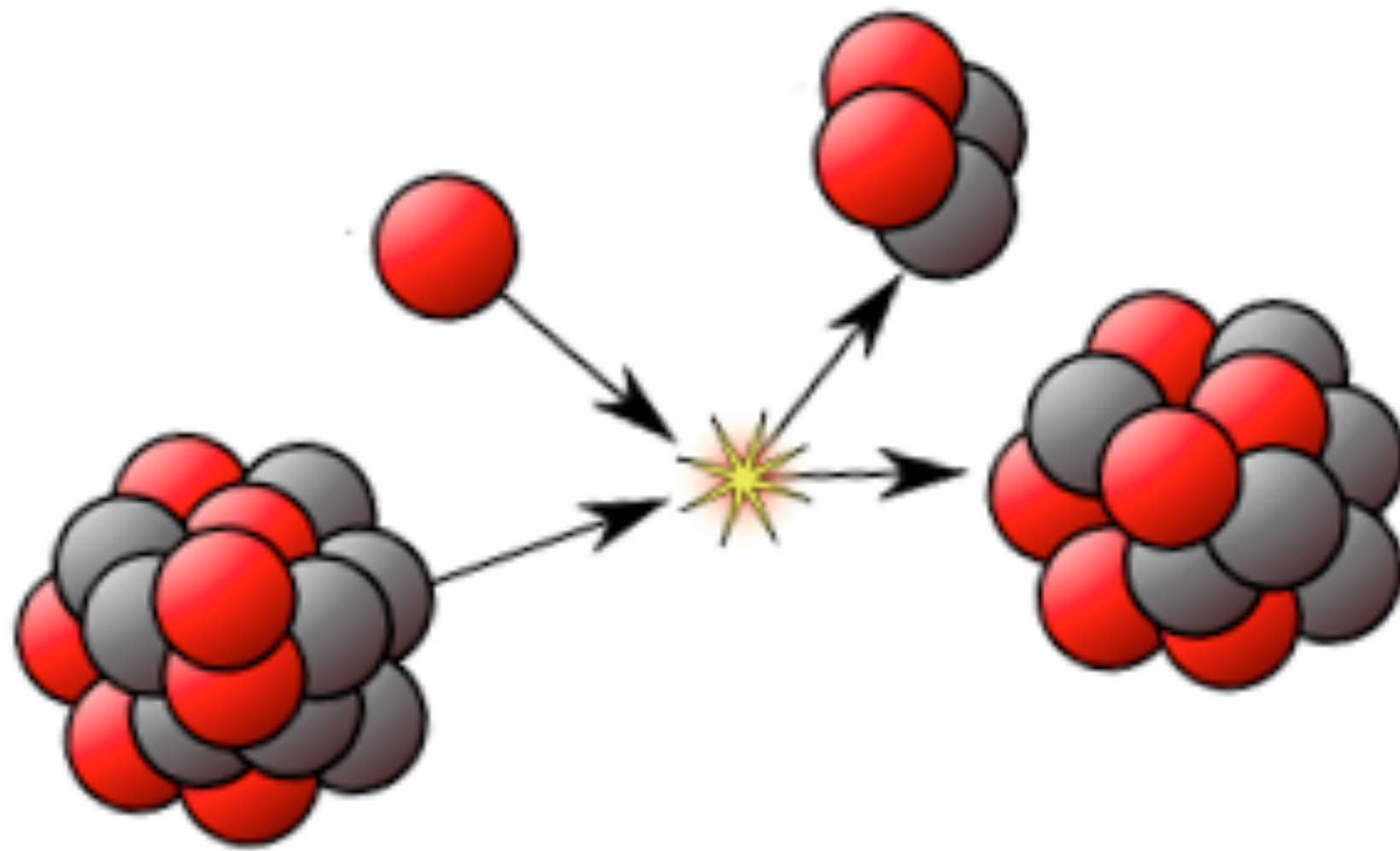
核融合 と 核分裂



核融合

(nuclear fusion)

合体した方が安定
(エネルギー放出)

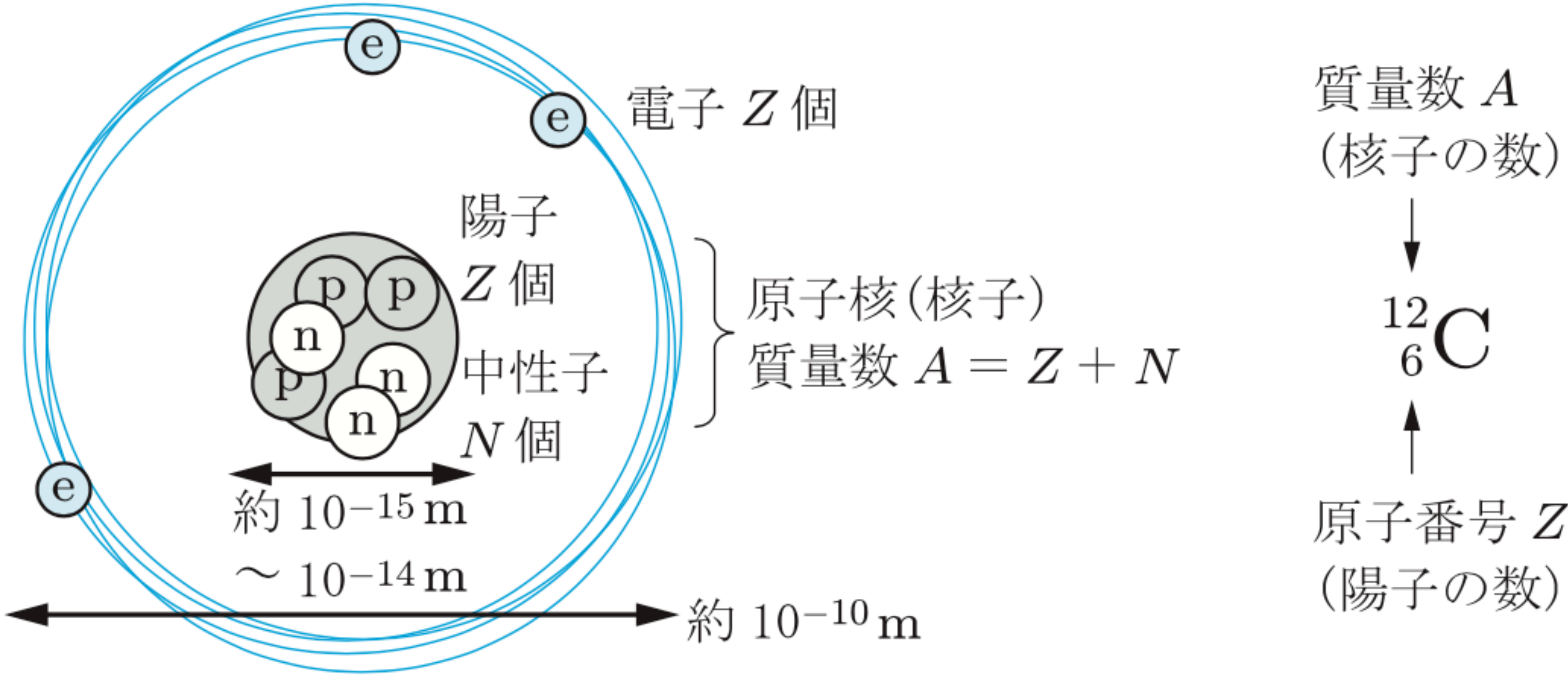


核分裂

(nuclear fission)

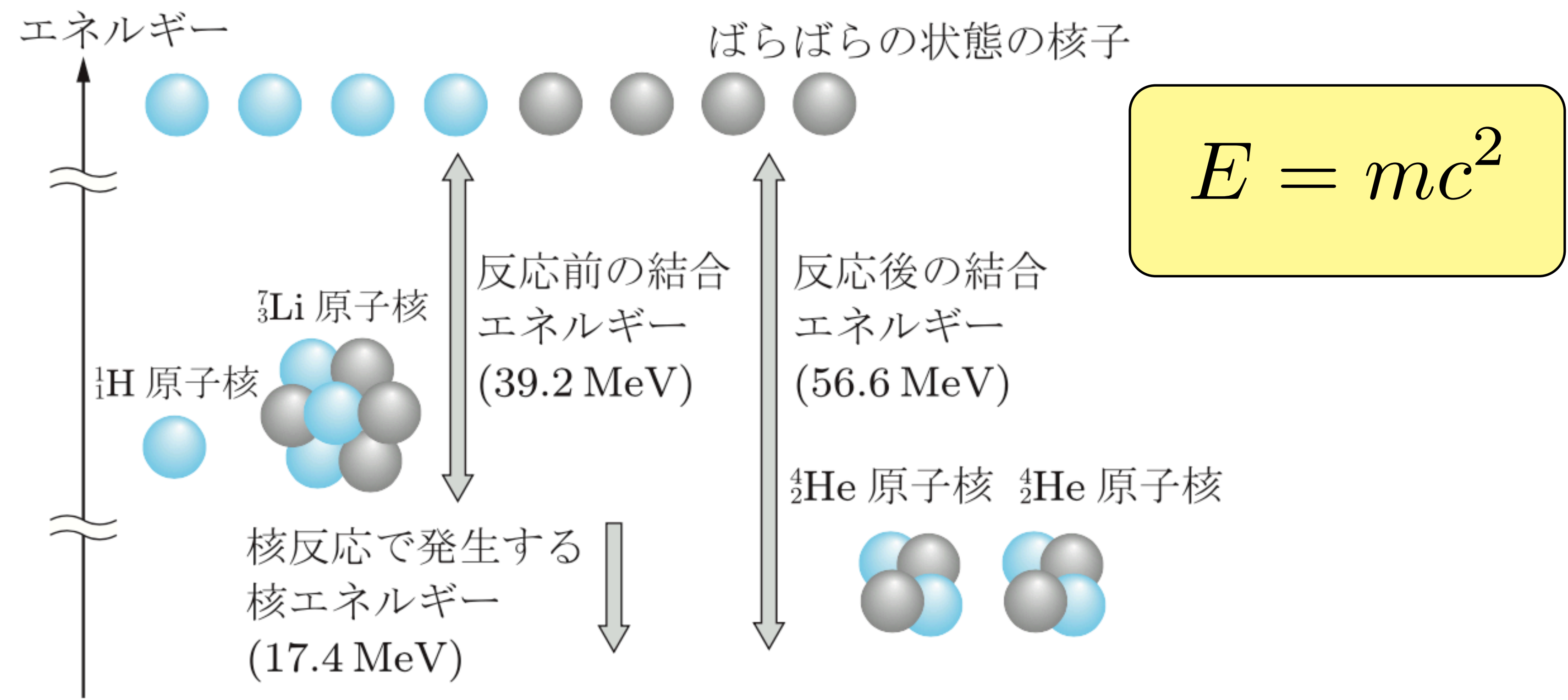
分裂した方が安定
(エネルギー放出)

陽子・中性子・電子



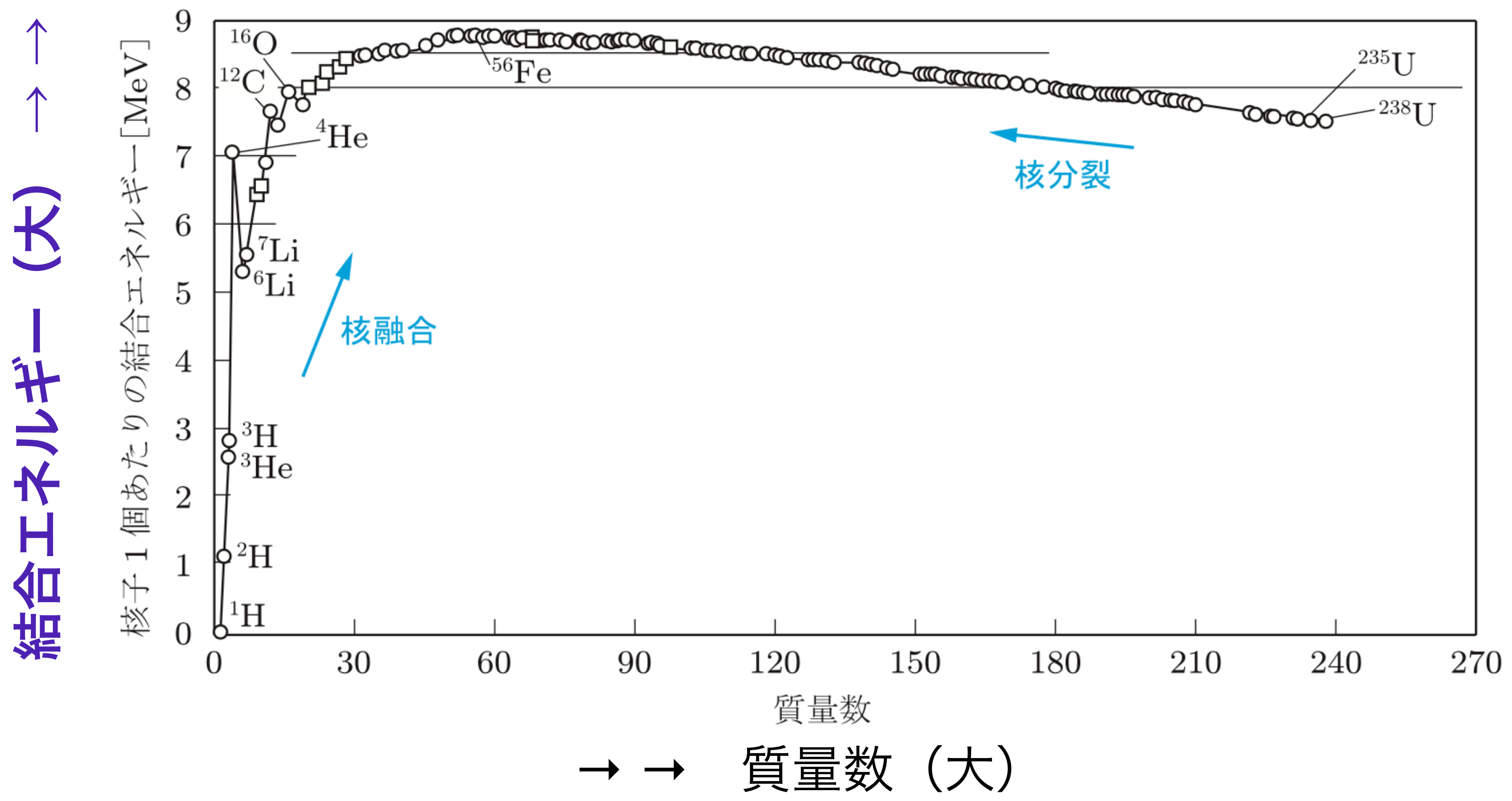
記号			電荷	質量	質量比
陽子	p	proton	+1	$1.67262158 \times 10^{-27} \text{ kg}$	1836.15
中性子	n	neutron	0	$1.67492735 \times 10^{-27} \text{ kg}$	1838.68
電子	e	electron	-1	$9.10938188 \times 10^{-31} \text{ kg}$	1

結合エネルギー

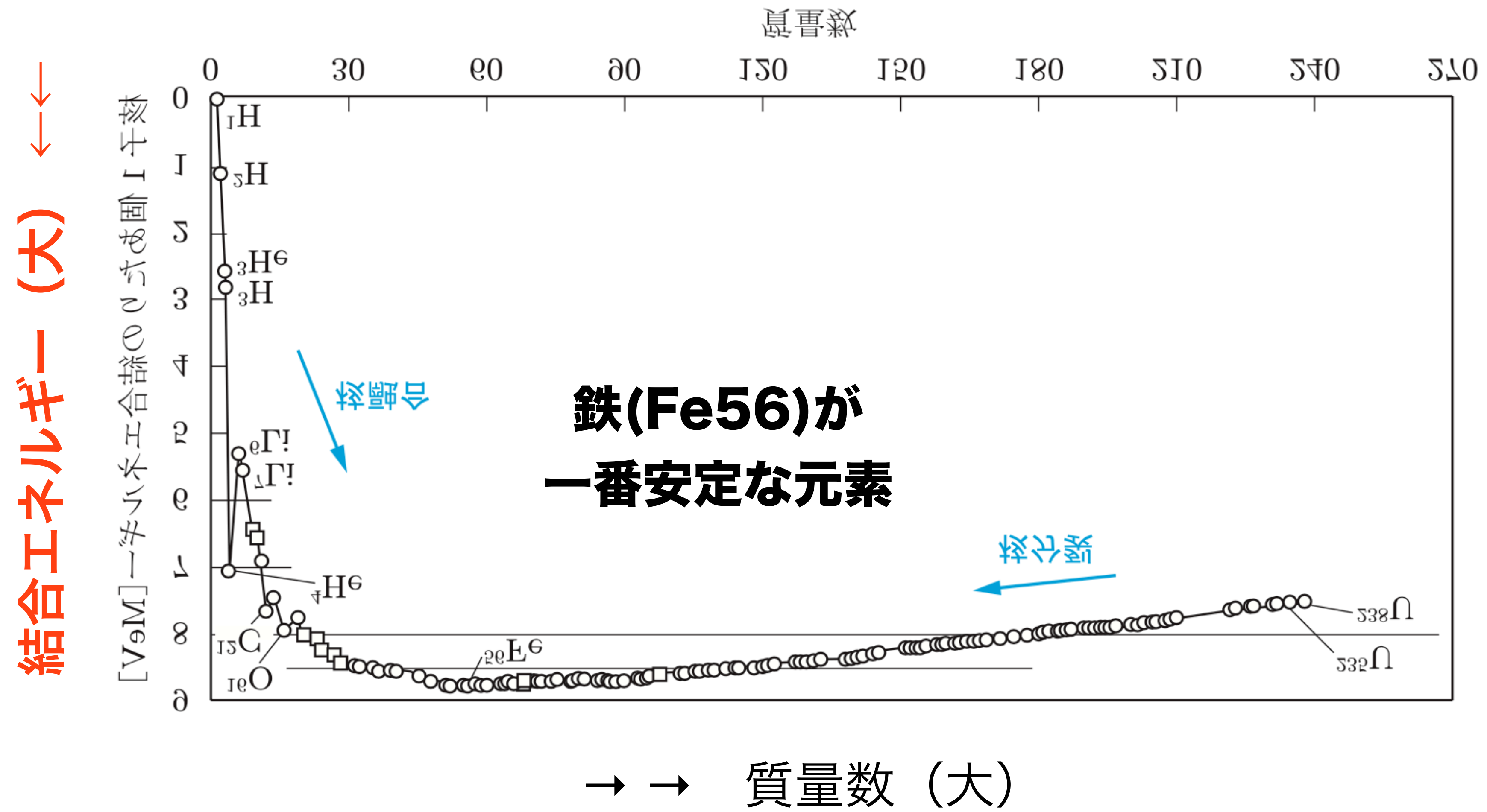


ばらばらでいるより，結合している方が，エネルギーが低い

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)

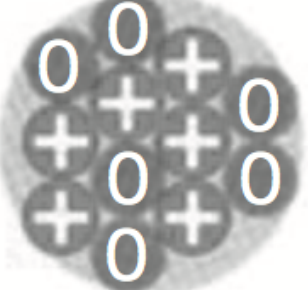
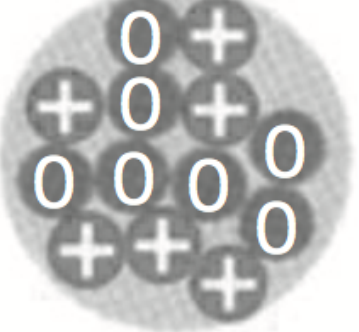
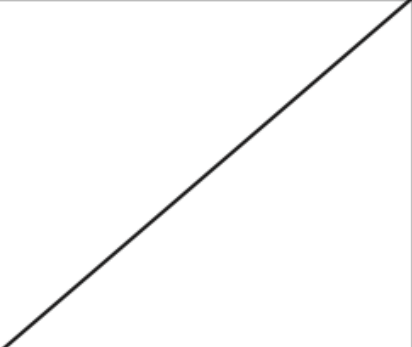
→ → 質量数 (大)

教科書 後ろ見開き

93番以降は、すべて人工合成されたもの

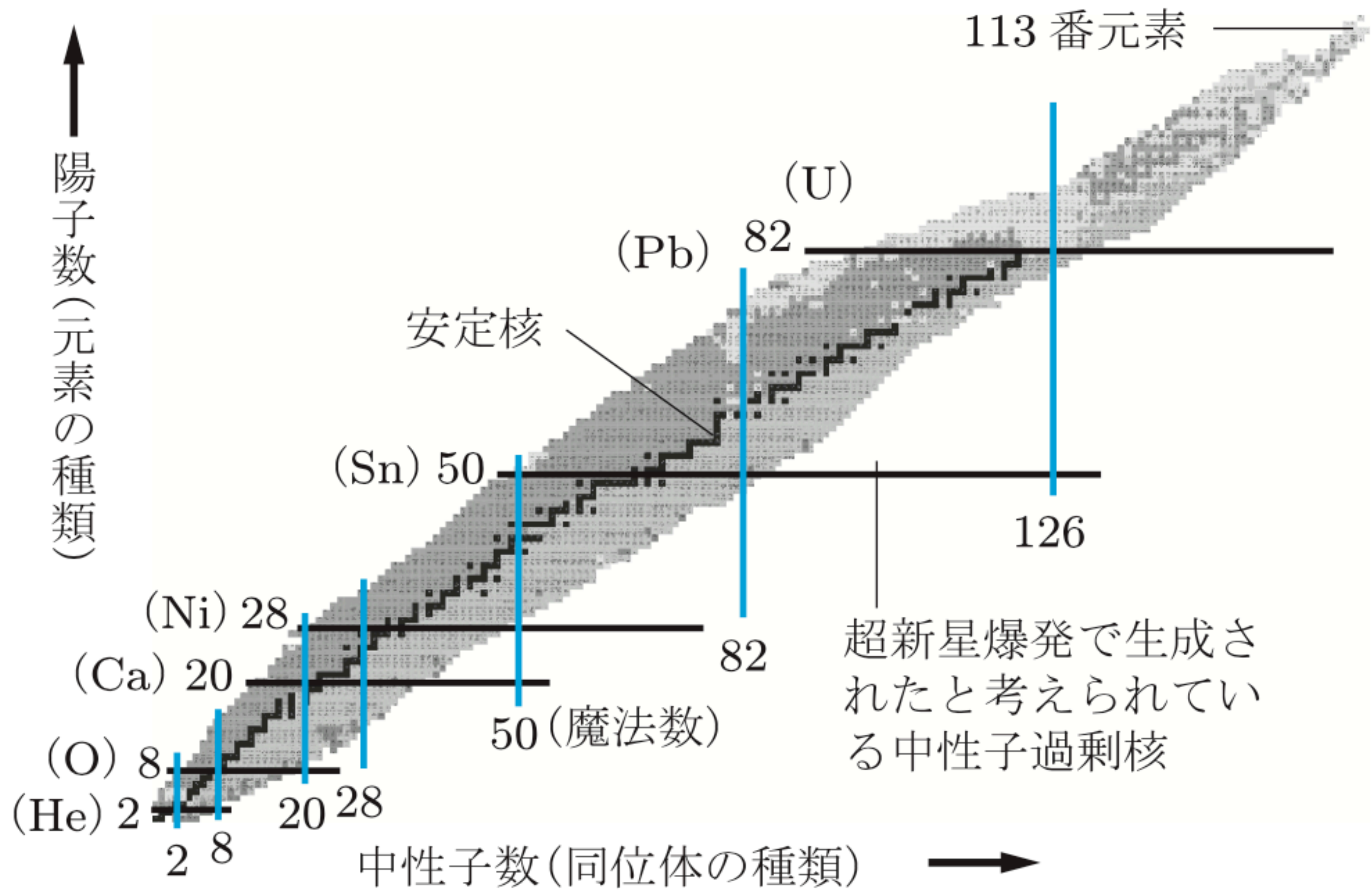
同位体 (isotope)

●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

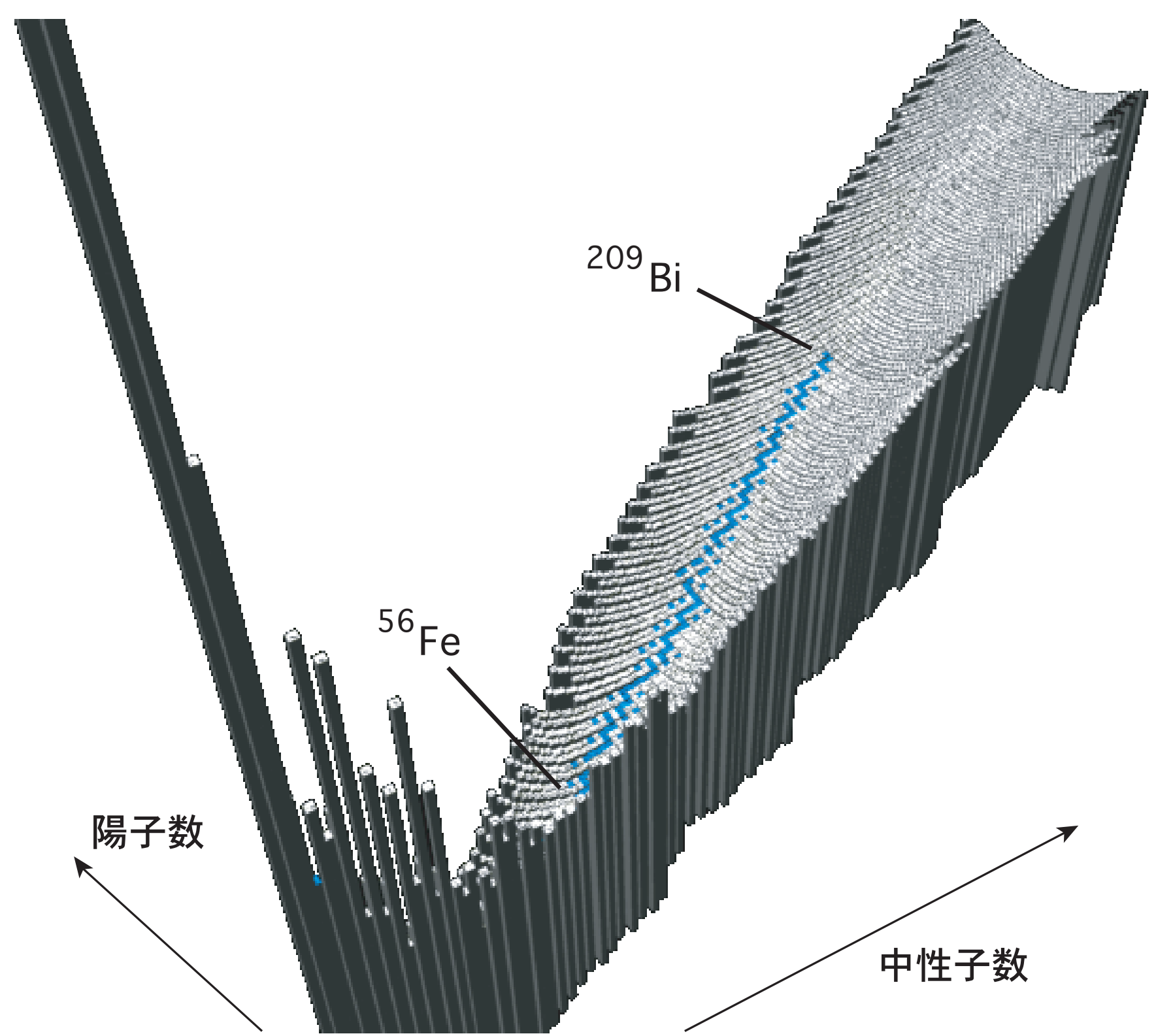
同位体の名称は、「炭素 12」のように「元素名 + 質量数」で表す。水素は例外的に、 ${}^1_1\text{H}$ （記号 D も用いる）を**重水素**という。また、**三重水素**（ ${}^3_1\text{H}$ または T）も発見されている。

核図表

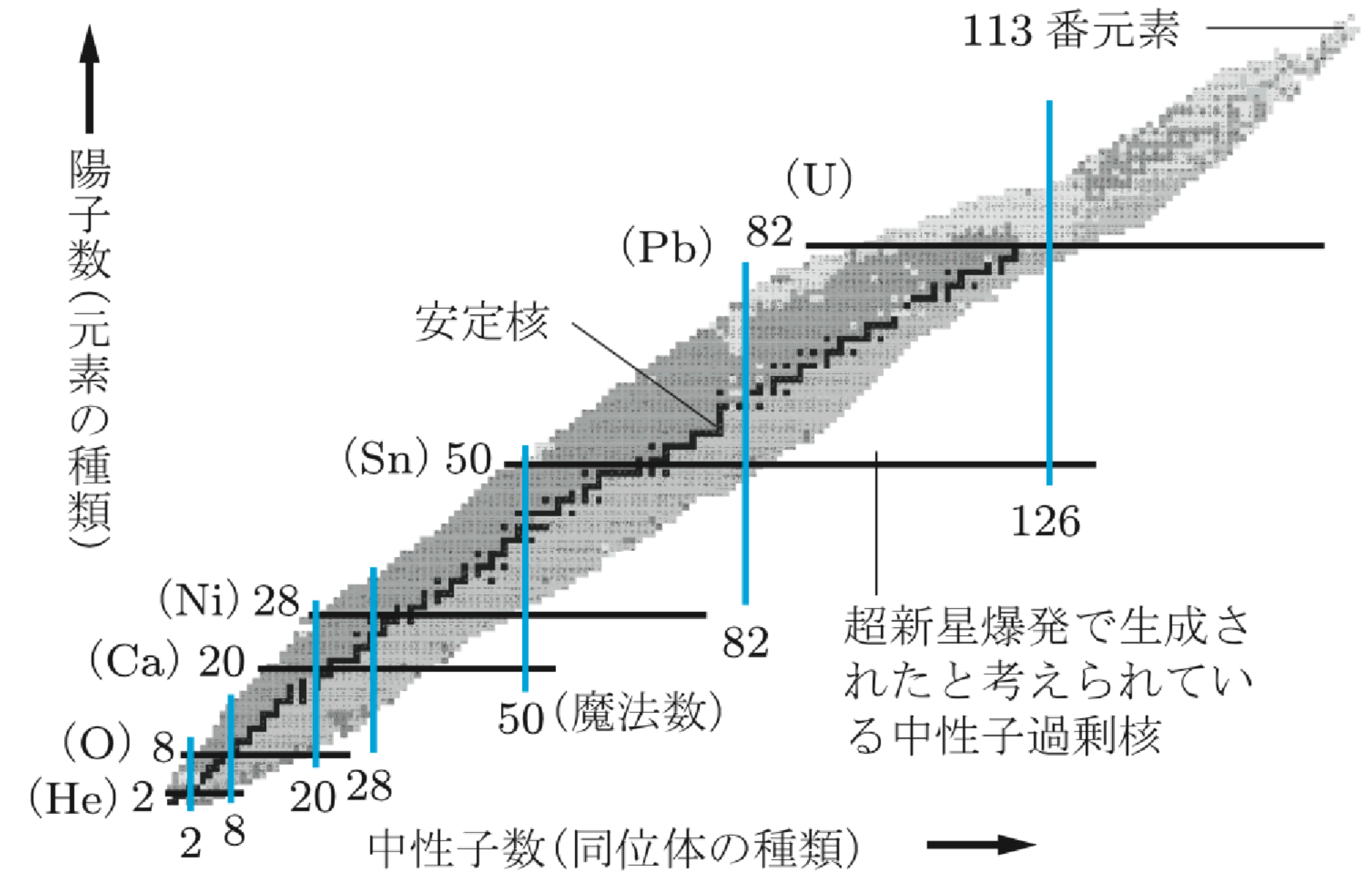


核融合も核分裂もどちらもおきる理由は何か？

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？

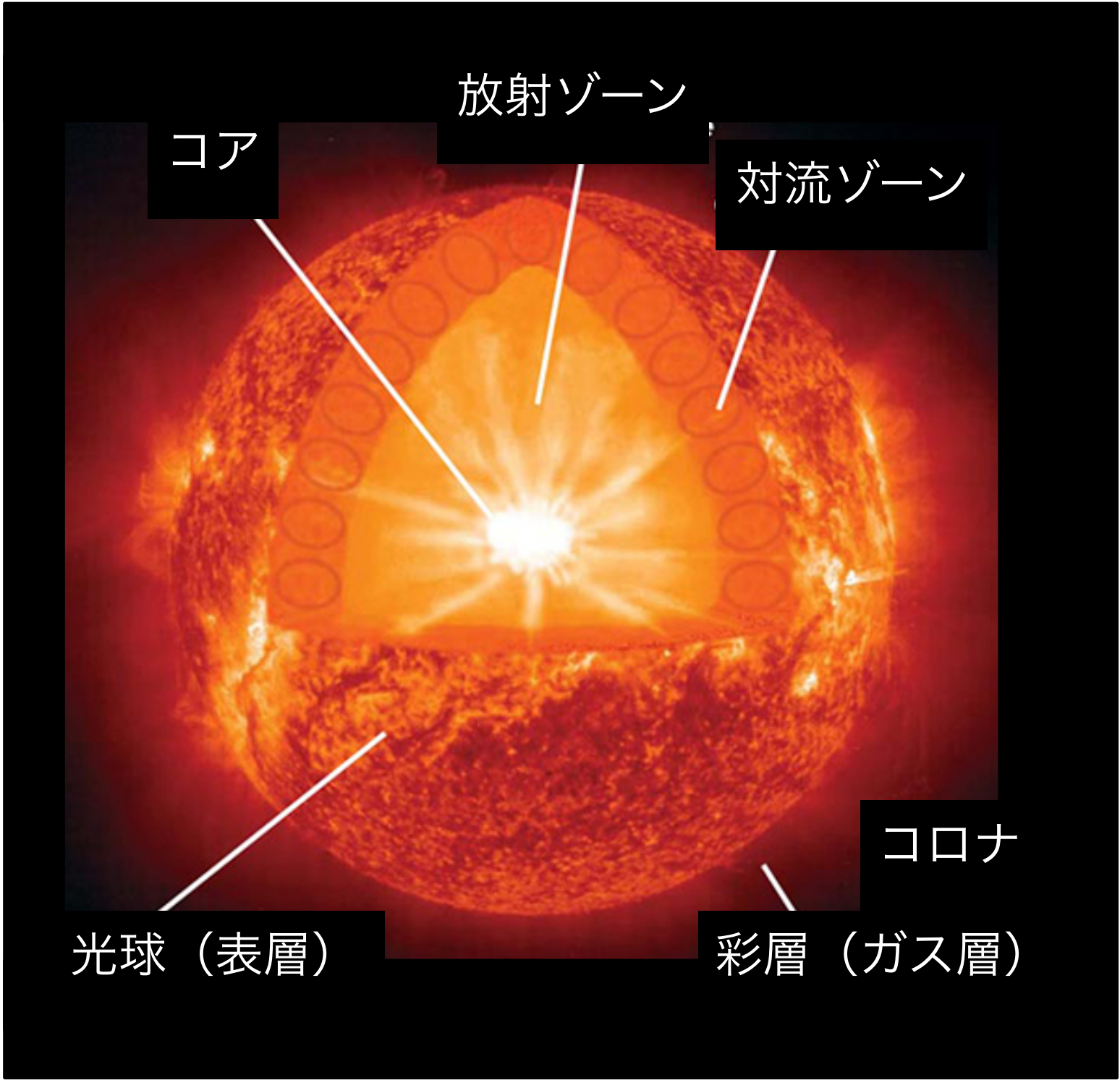
太陽系の起源は約 50 億年前と考えられている。物理学がそろい始めた 19 世紀末、太陽のエネルギー源は何か、という大問題が解けずにいた。（当時、太陽の年齢は 3 億年以上ということしかわかっていなかったが）単純に化学反応で説明するには寿命が長すぎっていたのだ。ケルビンとヘルムホルツ (von Helmholtz, H. L. F. 1821–94) は「太陽は大きな重力で収縮しているため、周囲に熱を放出する」という説を考えたが、それでも太陽年齢は 2000 万年以上にはならなかった。

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。太陽が水素でみ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。

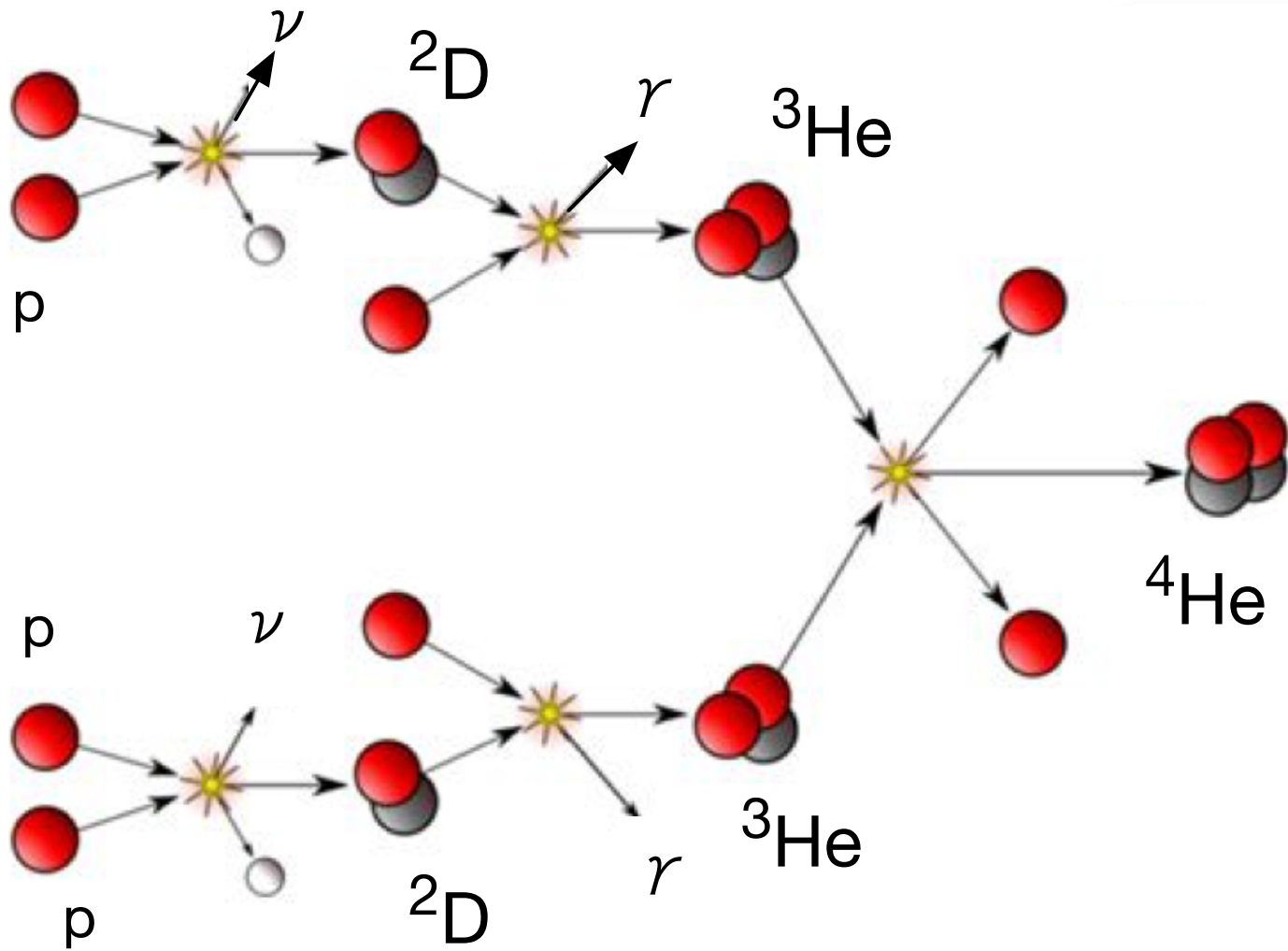
星は核融合反応で光を放っている

3.2.8 星の一生

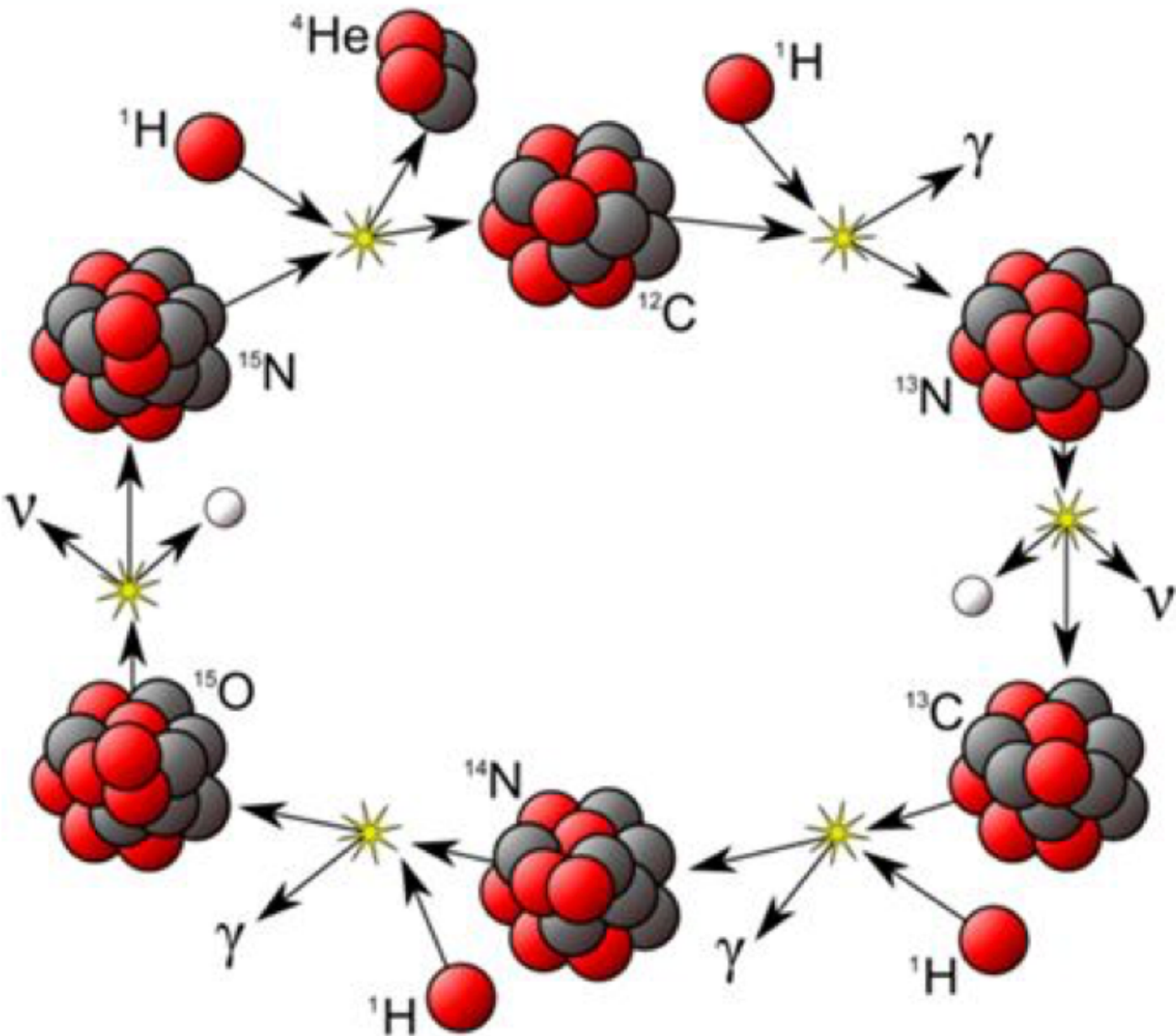


- 陽子(proton)
- 中性子(neutron)
- 陽電子(positron)
- γ ガンマ線
- ν ニュートリノ

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

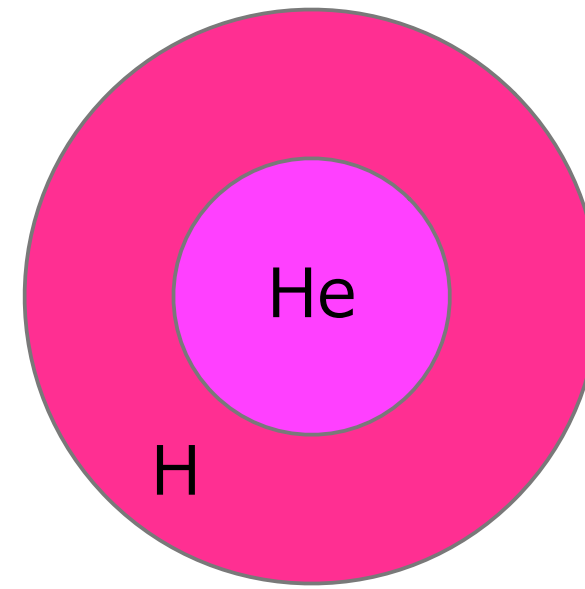
The outward-flowing plasma of the corona is shaped by magnetic field lines into tapered forms called coronal streamers, which extend millions of miles into space.

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.

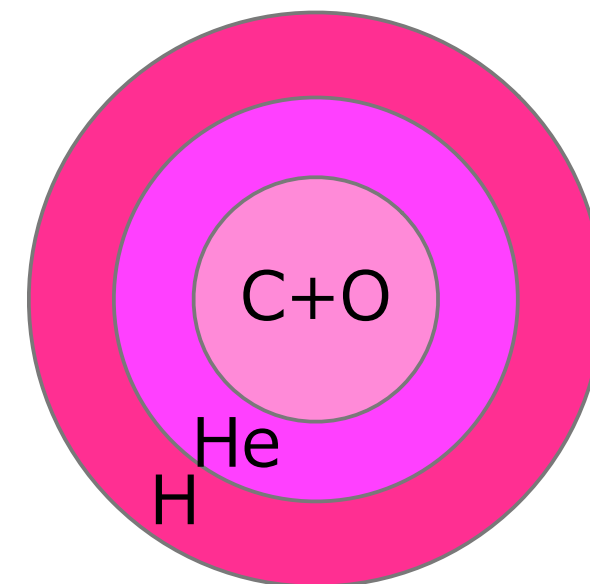
鉄まで核融合が進むと燃え終わる

水素HからヘリウムHeへ (pp chain)

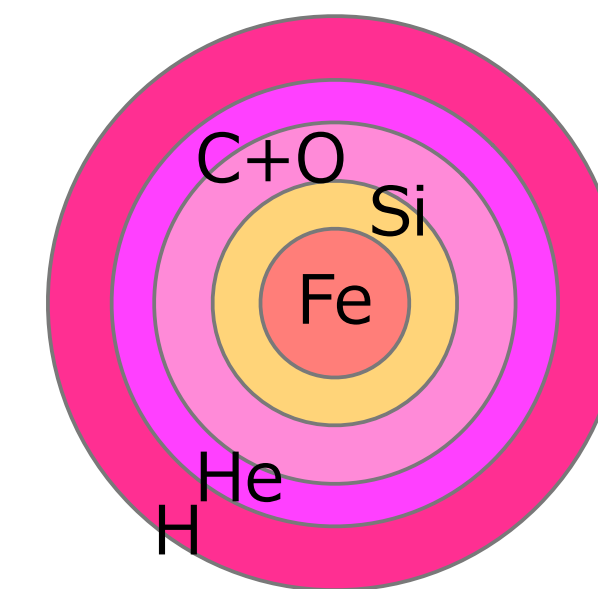


中心部がHeになると、核融合止まる。
冷却し、収縮し、温度上昇して、次の核融合に点火

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	1 I A																										18 VIII A													
	1	1s		2																		2																		2	
		H		He																		He																		He	
		水素 hydrogen		ヘリウム helium																		ヘリウム helium																		ヘリウム helium	
		1.008		4.003																		4.003																		4.003	
		↑ 非金属元素		↓ 金属元素																		↓ 金属元素																		↓ 金属元素	
		2p		2p																		2p																		2p	
		B		C																		C																		C	
		ホウ素 boron		炭素 carbon																		炭素 carbon																		炭素 carbon	
		10.81		12.01																		12.01																		12.01	
2	2s		2s																		2s																		2s		
	Li		Be																		Be																		Be		
	リチウム lithium		ベリリウム beryllium																		ベリリウム beryllium																		ベリリウム beryllium		
	6.941		9.012																		9.012																		9.012		
3	3s		3s																		3s																		3s		
	Na		Mg																		Mg																		Mg		
	ナトリウム sodium		マグネシウム magnesium																		マグネシウム magnesium																		マグネシウム magnesium		
	22.99		24.31																		24.31																		24.31		
4	4s		4s																		4s																		4s		
	K		Ca																		Ca																		Ca		
	カリウム potassium		カルシウム calcium																		カルシウム calcium																		カルシウム calcium		
	39.10		40.08																		40.08																		40.08		
5	5s		5s																		5s																		5s		
	Rb		Sr																		Sr																		Sr		
	ルビジウム rubidium		ストロンチウム strontium																		ストロンチウム strontium																		ストロンチウム strontium		
	85.47		87.62																		87.62																		87.62		
6	6s		6s																		6s																		6s		
	Cs		Ba																		Ba																		Ba		
	セシウム cesium		バリウム barium																		バリウム barium																		バリウム barium		
	132.9		137.3																		137.3																		137.3		
7	7s		7s																		7s																		7s		
	Fr		Ra																		Ra																		Ra		
	フランシウム francium		ラジウム radium																		ラジウム radium																		ラジウム radium		
	223		226																		226																		226		

原子番号 →
元素記号 →
元素名 (日本語) →
元素名 (英語) →
← 原子量

← 通常できるイオンの価数
← 元素記号が灰色のものは人工合成された元素

← 原子量

↑ 非金属元素
↓ 金属元素

→ 非金属元素
↓ 金属元素

↑ 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

ランタノイド
lanthanides
(レアアース金属)
(rare earth metals)

アクチノイド
actinides

Period	1	1 I A																										18 VIII A													
	1	1s		2																		2																		2	
		H		He																		He																		He	
		水素 hydrogen		ヘリウム helium																		ヘリウム helium																		ヘリウム helium	
		1.008		4.003																		4.003																		4.003	
		↑ 非金属元素		↓ 金属元素																		↓ 金属元素																		↓ 金属元素	
		2p		2p																		2p																		2p	
		B		C																		C																		C	
		ホウ素 boron		炭素 carbon																		炭素 carbon																		炭素 carbon	
		10.81		12.01																		12.01																		12.01	
2	2s		2s																		2s																		2s		
	Li		Be																		Be																		Be		
	リチウム lithium		ベリリウム beryllium																		ベリリウム beryllium																		ベリリウム beryllium		
	6.941		9.012																		9.012																		9.012		
3	3s		3s																		3s																		3s		
	Na		Mg																		Mg																		Mg		
	ナトリウム sodium		マグネシウム magnesium																		マグネシウム magnesium																		マグネシウム magnesium		
	22.99		24.31																		24.31																		24.31		
4	4s		4s																		4s																		4s		
	K		Ca																		Ca																		Ca		
	カリウム potassium		カルシウム calcium																		カルシウム calcium																		カルシウム calcium		
	39.10		40.08																		40.08																		40.08		
5	5s		5s																		5s																		5s		
	Rb		Sr																		Sr																		Sr		
	ルビジウム rubidium		ストロンチウム strontium																		ストロンチウム strontium																		ストロンチウム strontium		
	85.47		87.62																		87.62																		87.62		
6	6s		6s																		6s																		6s		
	Cs		Ba																		Ba																		Ba		
	セシウム cesium		バリウム barium																		バリウム barium																		バリウム barium		
	132.9		137.3																		137.3																		137.3		
7	7s		7s																		7s																		7s		
	Fr		Ra																		Ra																		Ra		
	フランシウム francium		ラジウム radium																		ラジウム radium																		ラジウム radium		
	223		226																		226																		226		

原子番号 →
元素記号 →
元素名 (日本語) →
元素名 (英語) →
← 原子量

← 通常できるイオンの価数
← 元素記号が灰色のものは人工合成された元素

← 原子量

↑ 非金属元素
↓ 金属元素

→ 非金属元素
↓ 金属元素

↑ 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

ランタノイド
lanthanides
(レアアース金属)
(rare earth metals)

アクチノイド
actinides

Period	1	1 I A																										18 VIII A													
	1	1s		2																		2																		2	
		H		He																		He																		He	
		水素 hydrogen		ヘリウム helium																		ヘリウム helium																		ヘリウム helium	
		1.008		4.003																		4.003																		4.003	
		↑ 非金属元素		↓ 金属元素																		↓ 金属元素																		↓ 金属元素	
		2p		2p																		2p																		2p	
		B		C																		C																		C	
		ホウ素 boron		炭素 carbon																		炭素 carbon																		炭素 carbon	
		10.81		12.01																		12.01																		12.01	
2	2s		2s																		2s																		2s		
	Li		Be																		Be																		Be		
	リチウム lithium		ベリリウム beryllium																		ベリリウム beryllium																		ベリリウム beryllium		
	6.941		9.012																		9.012																		9.012		
3	3s		3s																		3s																		3s		
	Na		Mg																		Mg																		Mg		
	ナトリウム sodium		マグネシウム magnesium																		マグネシウム magnesium																		マグネシウム magnesium		
	22.99		24.31																		24.31																		24.31		
4	4s		4s																		4s																		4s		
	K		Ca																		Ca																		Ca		
	カリウム potassium		カルシウム calcium																		カルシウム calcium																		カルシウム calcium		
	39.10		40.08																		40.08																		40.08		
5	5s		5s																		5s																		5s		
	Rb		Sr																		Sr																		Sr		
	ルビジウム rubidium		ストロンチウム strontium																		ストロンチウム strontium																		ストロンチウム strontium		
	85.47		87.62																		87.62																		87.62		
6	6s		6s																		6s																		6s		
	Cs		Ba																		Ba																		Ba		
	セシウム cesium		バリウム barium																		バリウム barium																		バリウム barium		
	132.9		137.3																		137.3																		137.3		
7	7s		7s																		7s																		7s		
	Fr		Ra																		Ra																		Ra		
	フランシウム francium		ラジウム radium																		ラジウム radium																		ラジウム radium		
	223		226																		226																		226		

原子番号 →
元素記号 →
元素名 (日本語) →
元素名 (英語) →
← 原子量

← 通常できるイオンの価数
← 元素記号が灰色のものは人工合成された元素

← 原子量

↑ 非金属元素
↓ 金属元素

→ 非金属元素
↓ 金属元素

↑ 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

ランタノイド
lanthanides
(レアアース金属)
(rare earth metals)

アクチノイド
actinides

Period	1	1 I A																										18 VIII A													
	1	1s		2																		2																		2	
		H		He																		He																		He	
		水素 hydrogen		ヘリウム helium																		ヘリウム helium																		ヘリウム helium	
		1.008		4.003																		4.003																		4.003	
		↑ 非金属元素		↓ 金属元素																		↓ 金属元素																		↓ 金属元素	
		2p		2p																		2p																		2p	
		B		C																		C																		C	
		ホウ素 boron		炭素 carbon																		炭素 carbon																		炭素 carbon	
		10.81		12.01																		12.01																		12.01	
2	2s		2s																		2s																		2s		
	Li		Be																		Be																		Be		
	リチウム lithium		ベリリウム beryllium																		ベリリウム beryllium																		ベリリウム beryllium		
	6.941		9.012																		9.012																		9.012		
3	3s		3s																		3s																		3s		
	Na		Mg																		Mg																		Mg		
	ナトリウム sodium		マグネシウム magnesium																		マグネシウム magnesium																		マグネシウム magnesium		
	22.99		24.31																		24.31																		24.31		
4	4s		4s																		4s																		4s		
	K		Ca																		Ca																		Ca		
	カリウム potassium		カルシウム calcium																		カルシウム calcium																		カルシウム calcium		
	39.10		40.08																		40.08																		40.08		
5	5s		5s																		5s																		5s		
	Rb		Sr																		Sr																		Sr		
	ルビジウム rubidium		ストロンチウム strontium																		ストロンチウム strontium																		ストロンチウム strontium		
	85.47		87.62																		87.62																		87.62		
6	6s		6s																		6s																		6s		
	Cs		Ba																		Ba																		Ba		
	セシウム cesium		バリウム barium																		バリウム barium																		バリウム barium		
	132.9		137.3																		137.3																		137.3		
7	7s		7s																		7s																		7s		
	Fr		Ra																		Ra																		Ra		
	フランシウム francium		ラジウム radium																		ラジウム radium																		ラジウム radium		
	223		226																		226																		226		

原子番号 →
元素記号 →
元素名 (日本語) →
元素名 (英語) →
← 原子量

← 通常できるイオンの価数
← 元素記号が灰色のものは人工合成された元素

← 原子量

↑ 非金属元素
↓ 金属元素

→ 非金属元素
↓ 金属元素

↑ 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

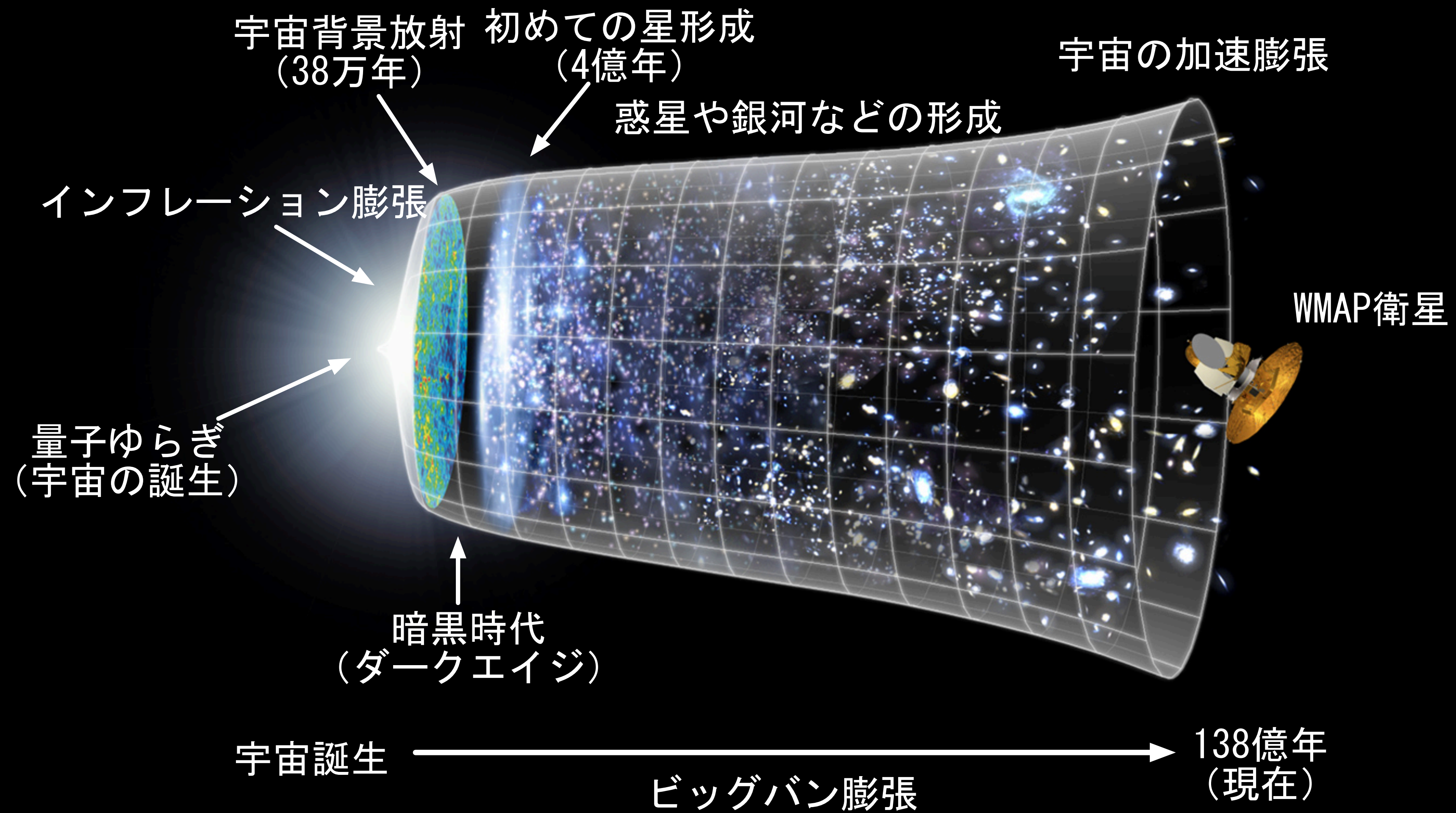
単体は強磁性体

放射性同位体のみからなる元素

ランタノイド
lanthanides
(レアアース金属)
(rare earth metals)

アクチノイド
actinides

Period	1	1 I A																										18 VIII A													
	1	1s		2																		2																		2	
		H		He																		He																		He	
		水素 hydrogen		ヘリウム helium																		ヘリウム helium																		ヘリウム helium	
		1.008		4.003																		4.003																		4.003	
		↑ 非金属元素		↓ 金属元素																		↓ 金属元素																		↓ 金属元素	
		2p		2p																		2p																		2p	
		B		C																		C																		C	
		ホウ素 boron		炭素 carbon																		炭素 carbon																		炭素 carbon	
		10.81		12.01																		12.01																		12.01	
2	2s		2s																		2s																		2s		
	Li		Be																		Be																		Be		
	リチウム lithium		ベリリウム beryllium																		ベリリウム beryllium																		ベリリウム beryllium		
	6.941		9.012																		9.012																		9.012		
3	3s		3s																		3s																		3s		
	Na		Mg																		Mg																		Mg		
	ナトリウム sodium		マグネシウム magnesium																		マグネシウム magnesium																		マグネシウム magnesium		
	22.99		24.31																		24.31																		24.31		
4	4s		4s																		4s																		4s		
	K		Ca																		Ca																		Ca		
	カリウム potassium		カルシウム calcium																		カルシウム calcium																		カルシウム calcium		
	39.10		40.08																		40.08																		40.08		
5	5s		5s																		5s																		5s		
	Rb		Sr																		Sr																		Sr		
	ルビジウム rubidium		ストロンチウム strontium																		ストロンチウム strontium																		ストロンチウム 		

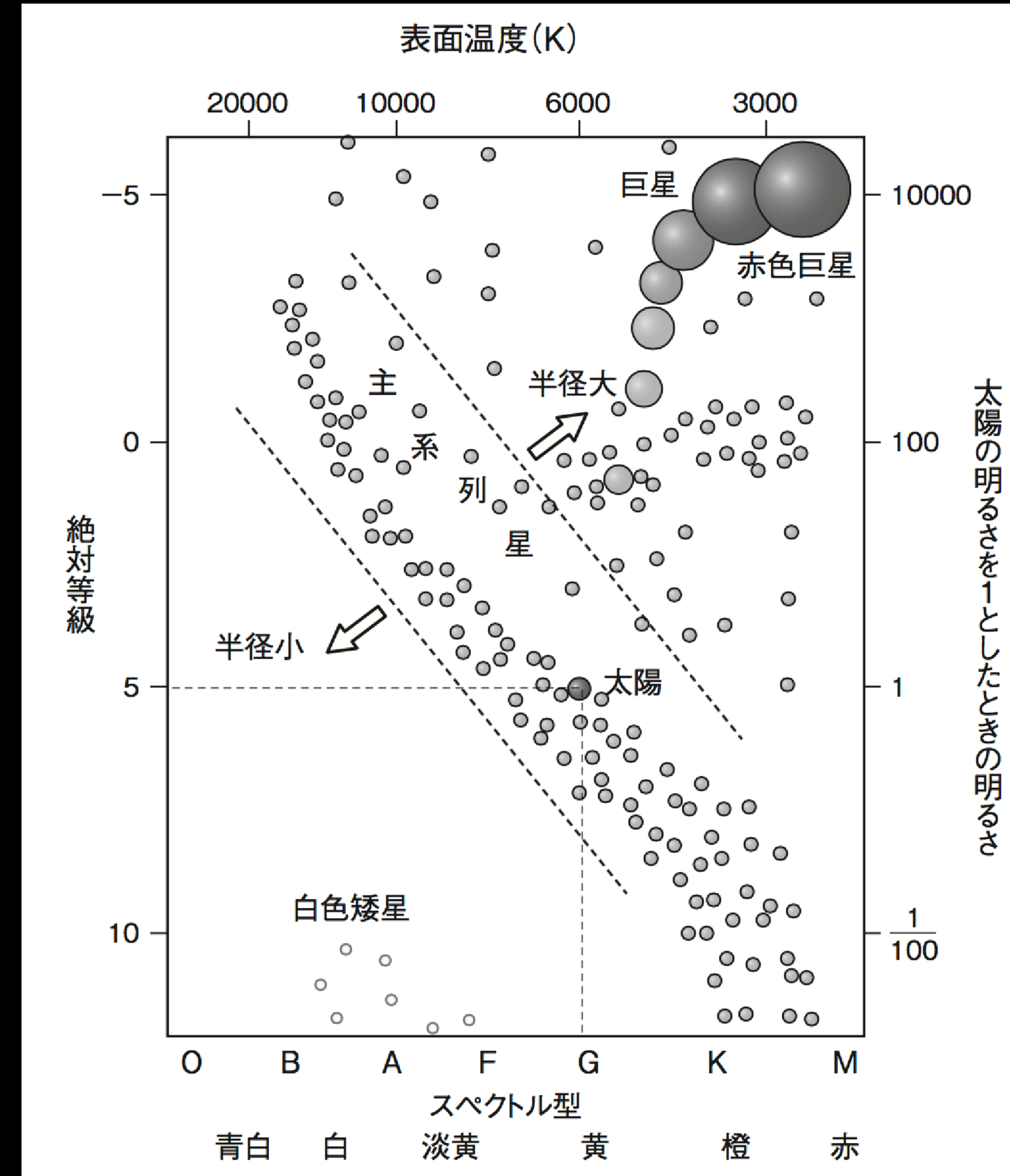
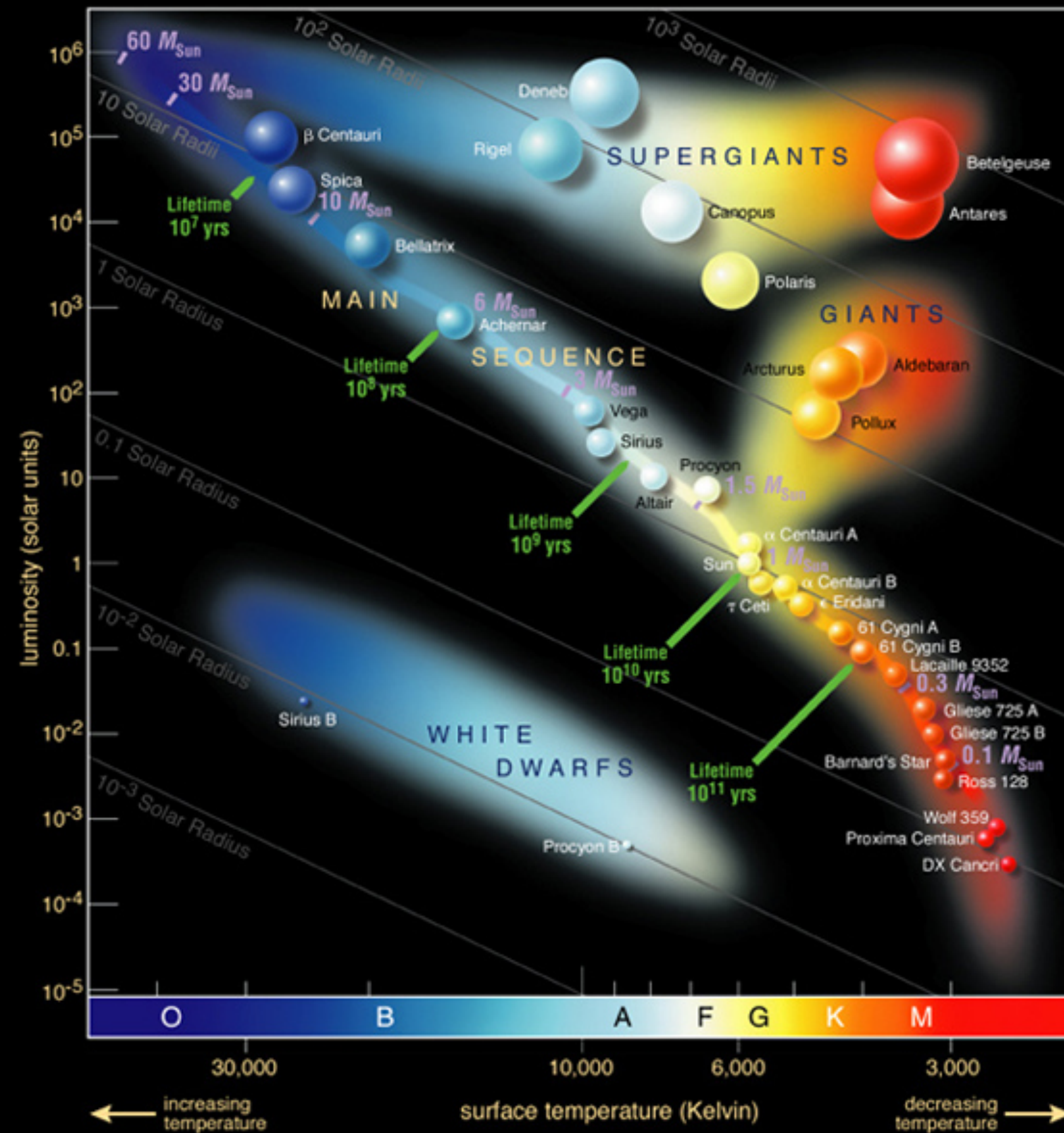


教科書 後ろ見開き

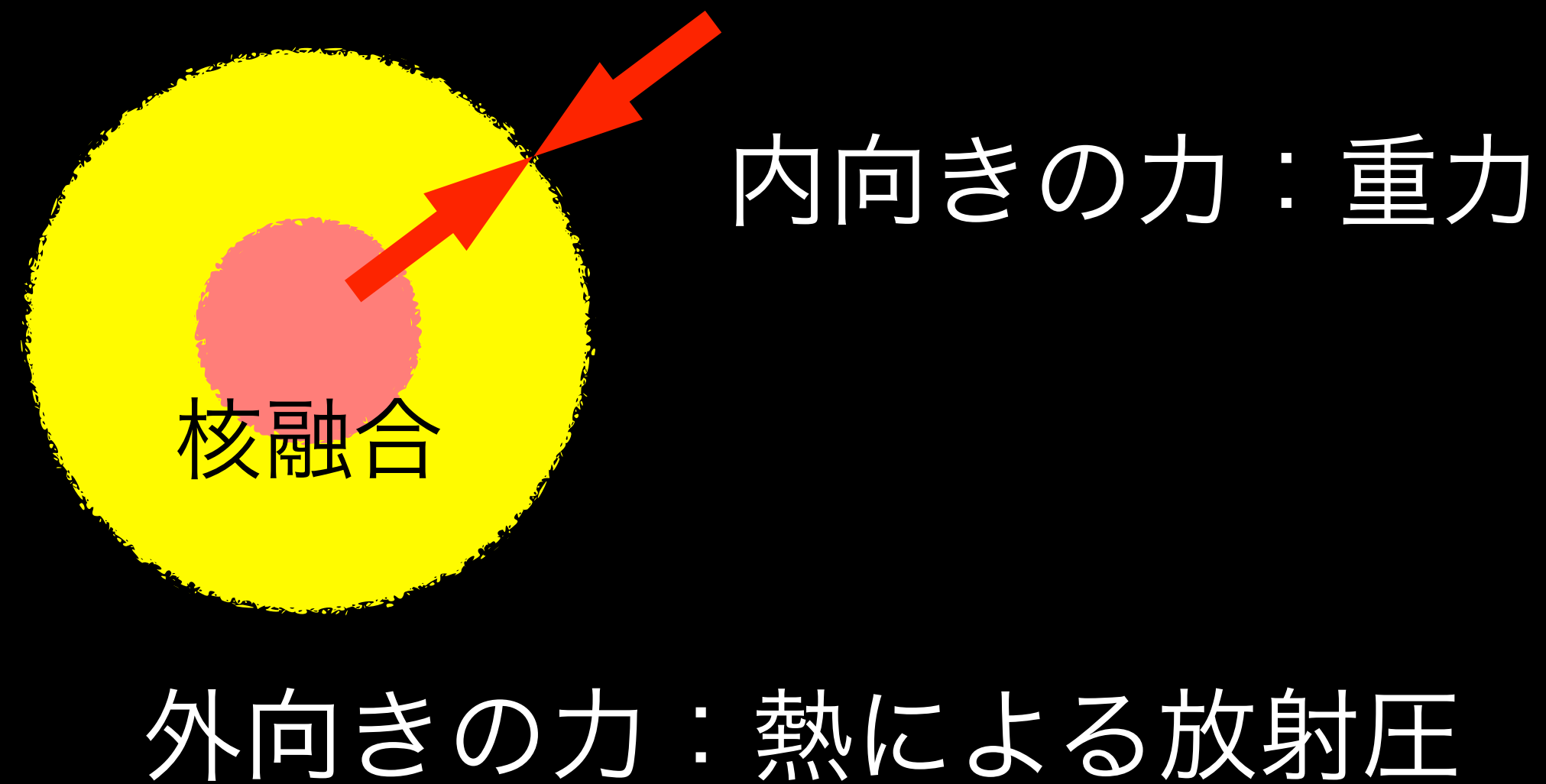


HR図 (Hertzsprung-Russell Diagram)

教科書 p79



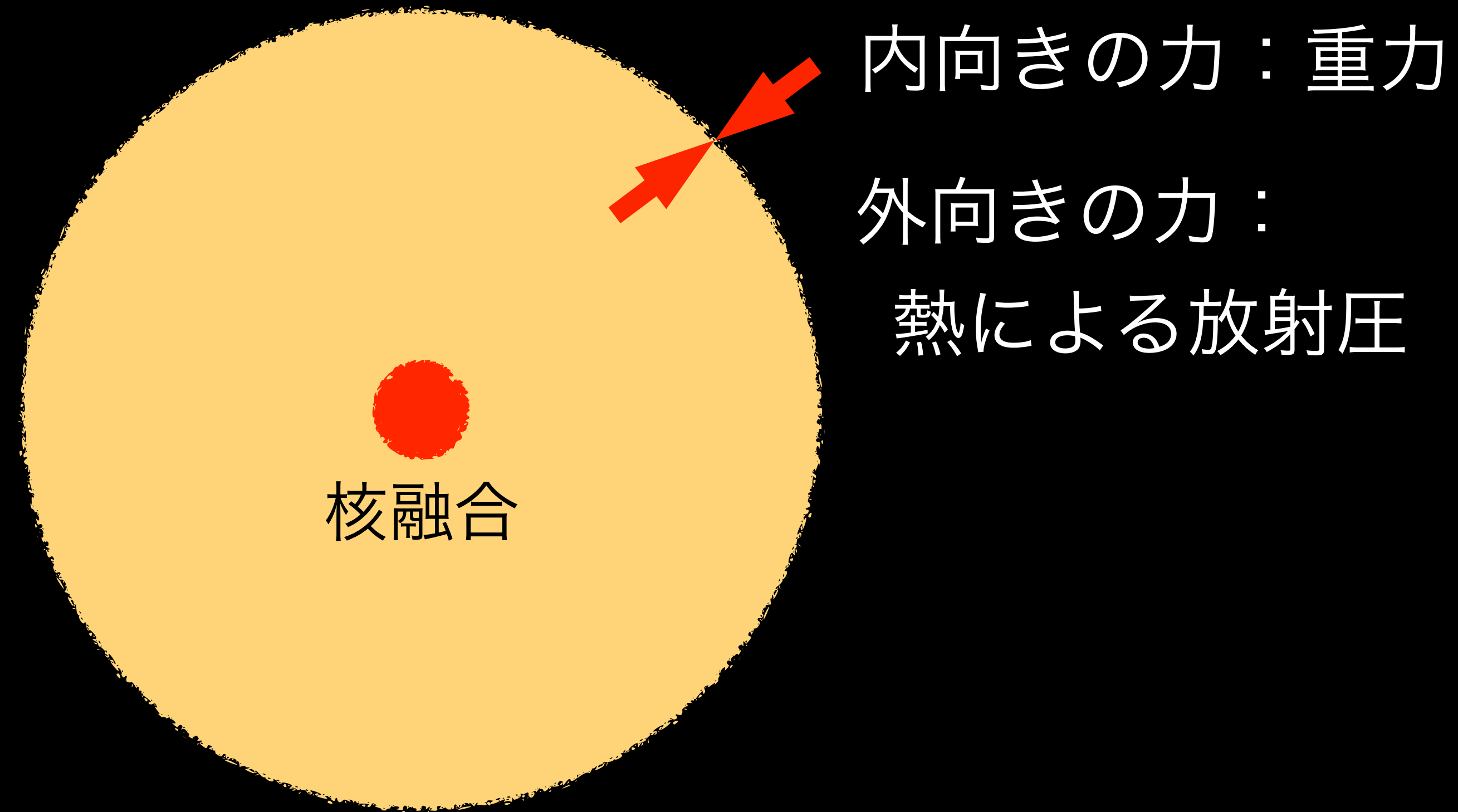
超新星爆発のしくみ (1) 星の燃焼



*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

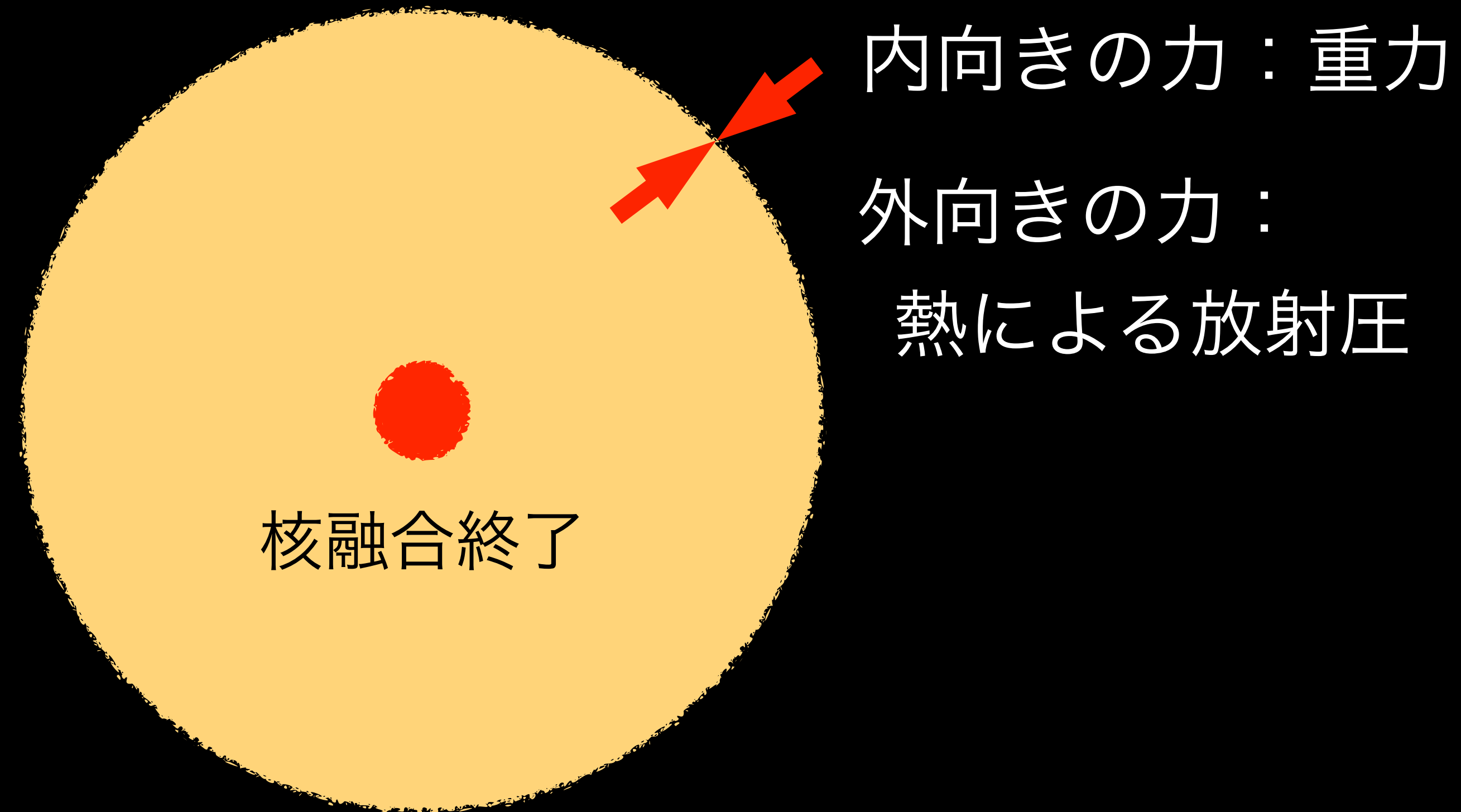
超新星爆発のしくみ (2)星の燃焼の最後



*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

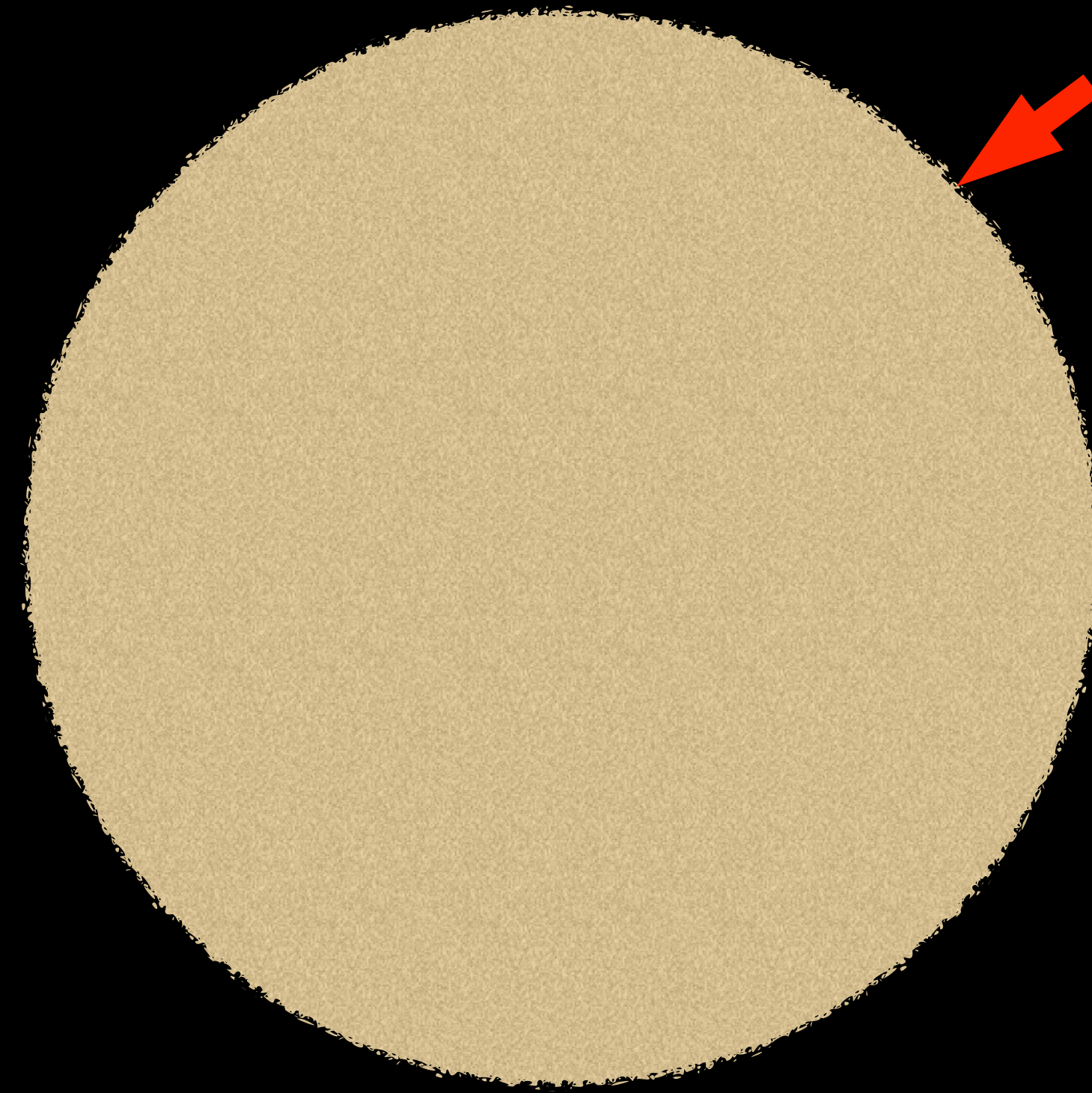
超新星爆発のしくみ (3) 核融合終了



*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

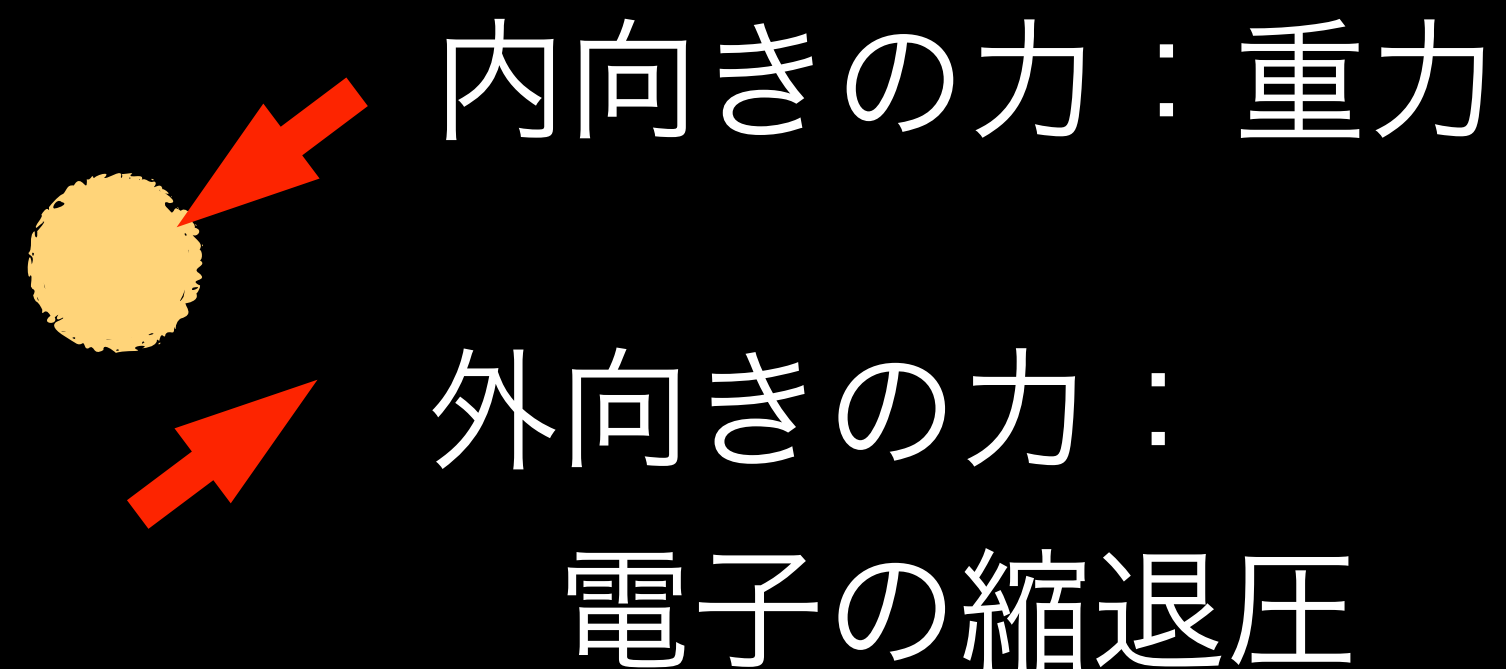
超新星爆発のしくみ (4) 重力崩壊



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

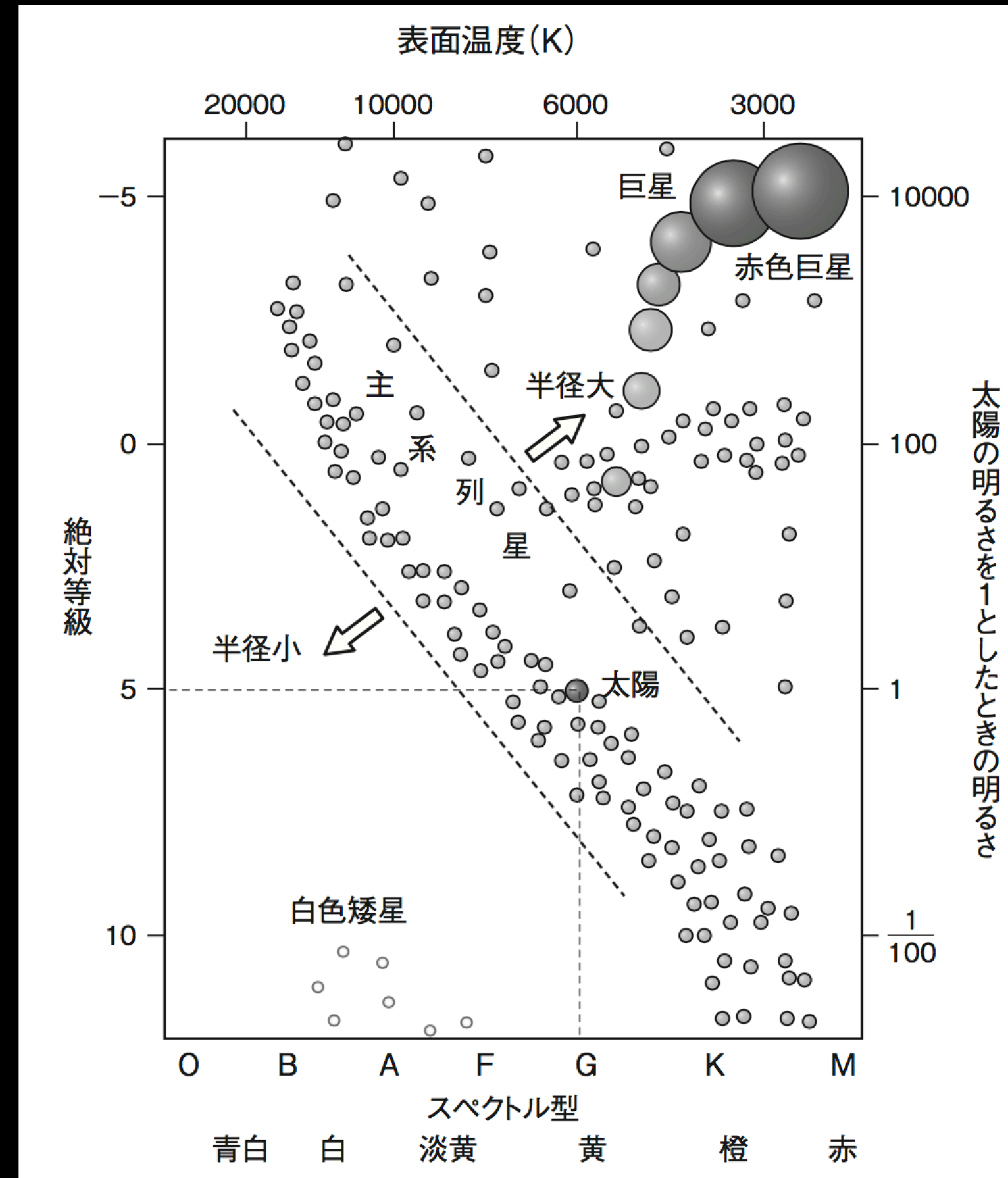
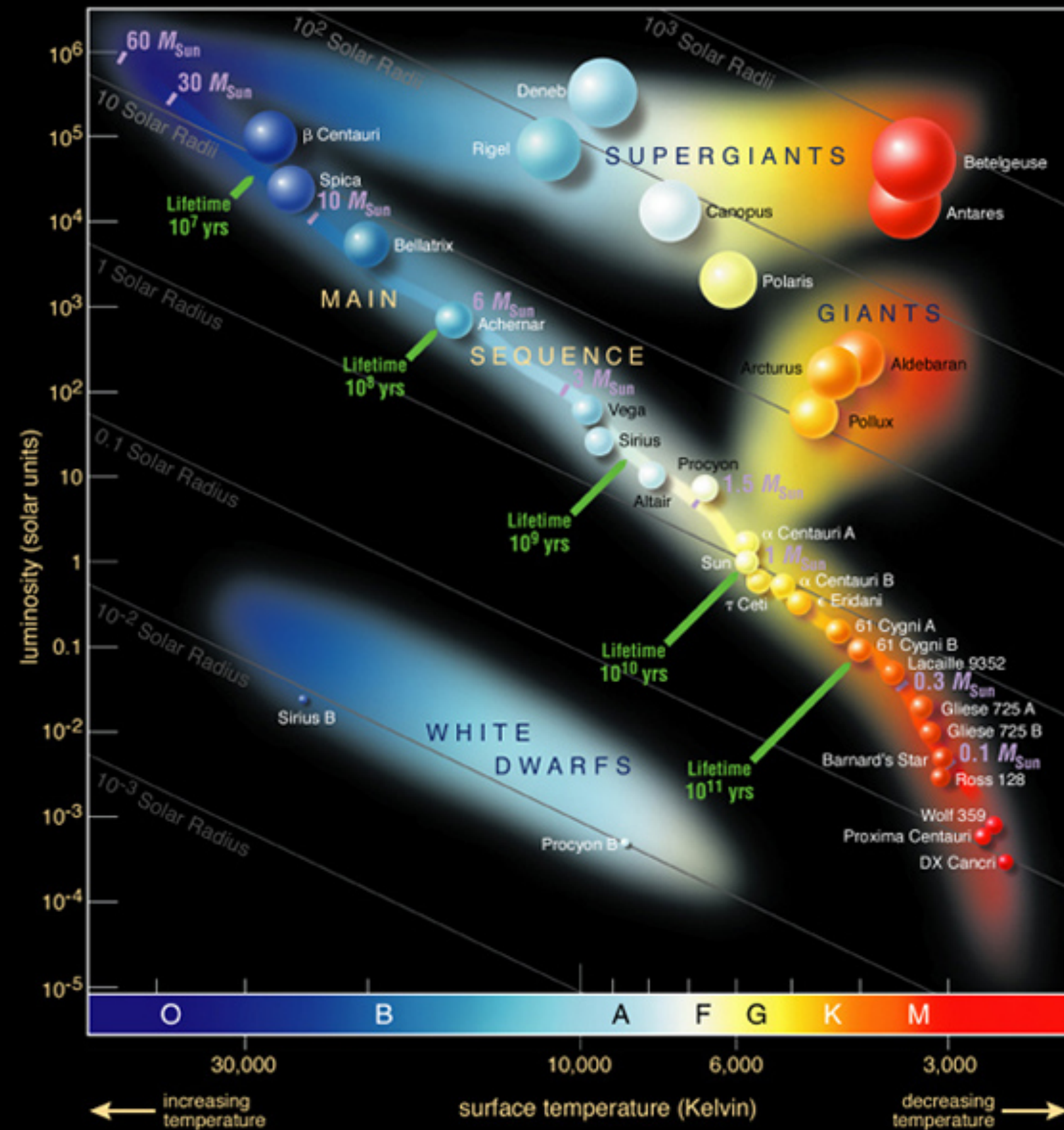


＊密につまった物質が星を支えるようになる

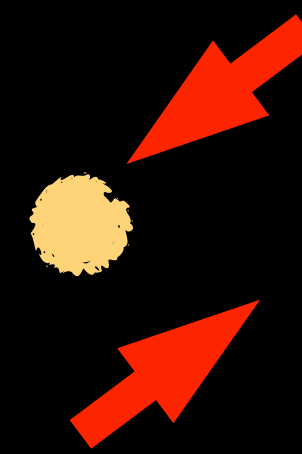
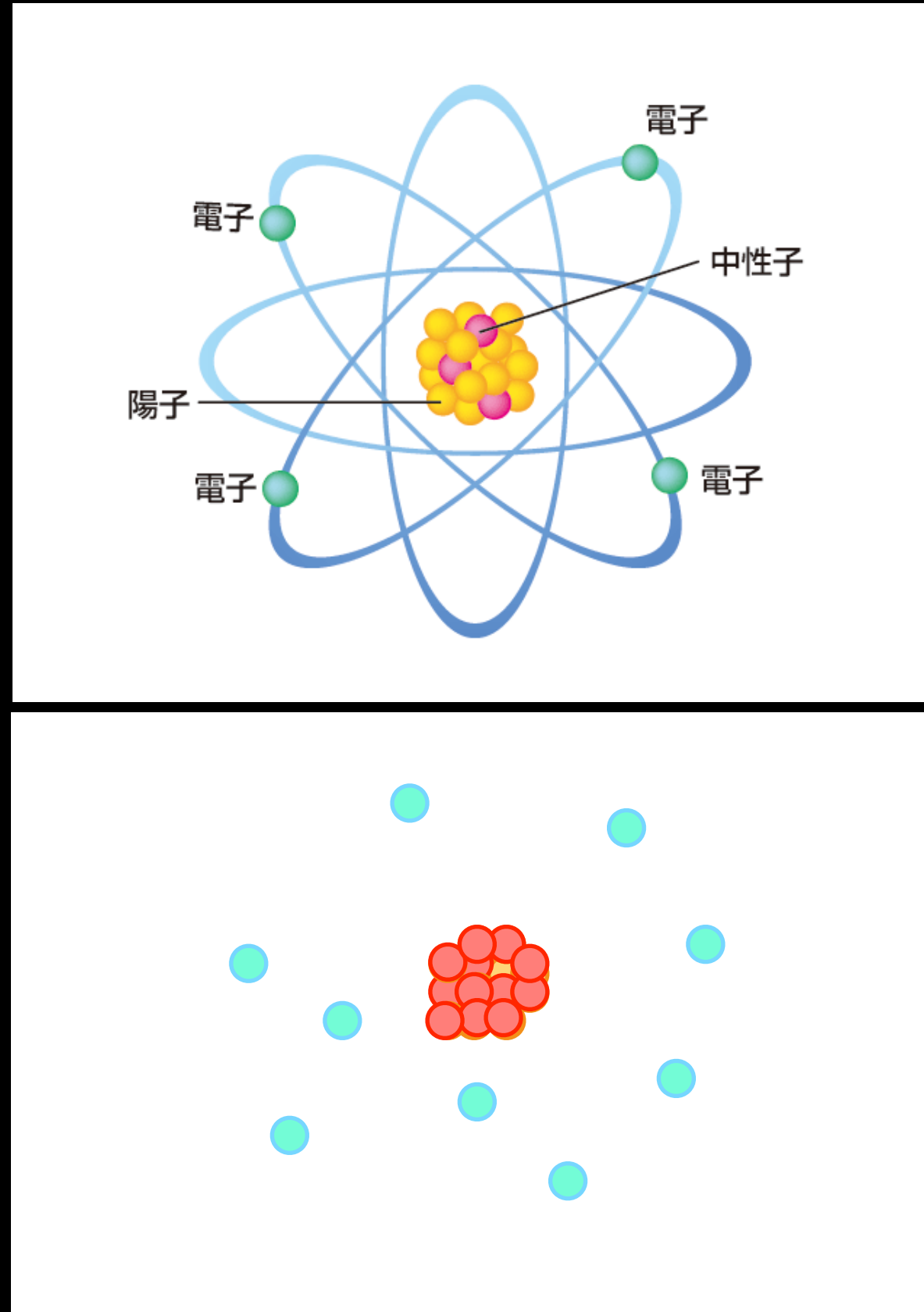
【運命その1】 電子の縮退圧で支える「白色矮星」になる

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

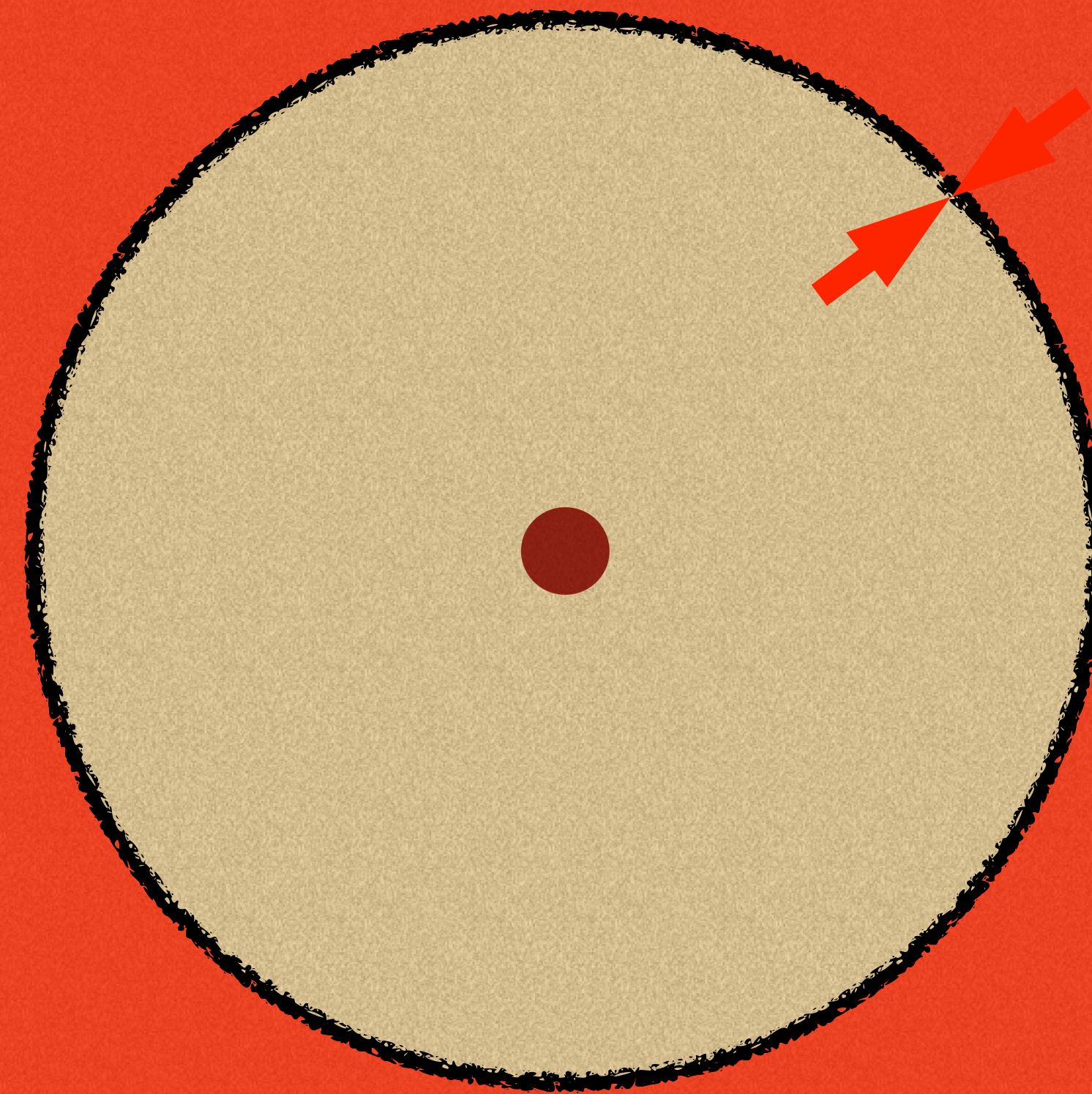


＊密につまった物質が星を支えるようになる

【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

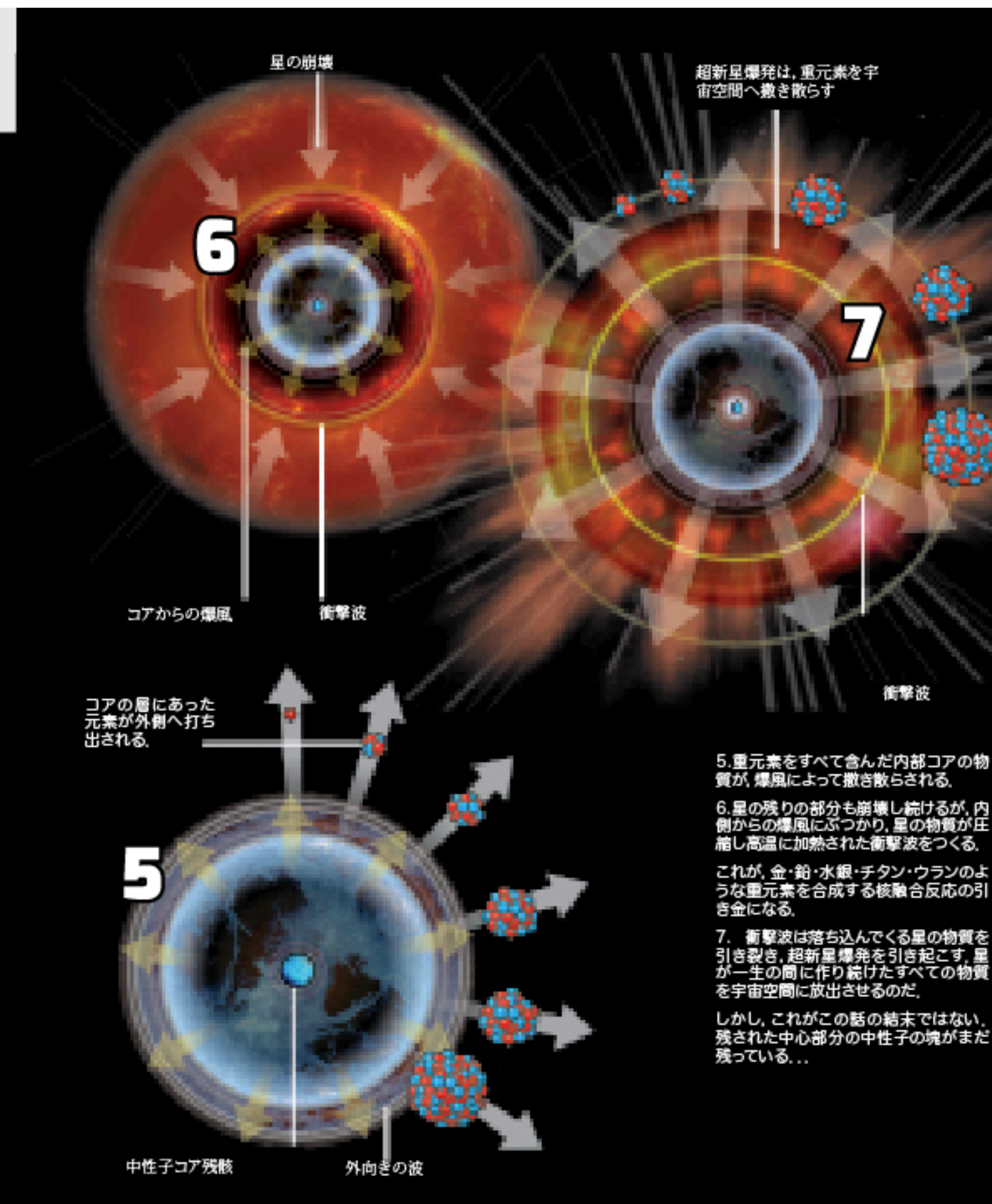
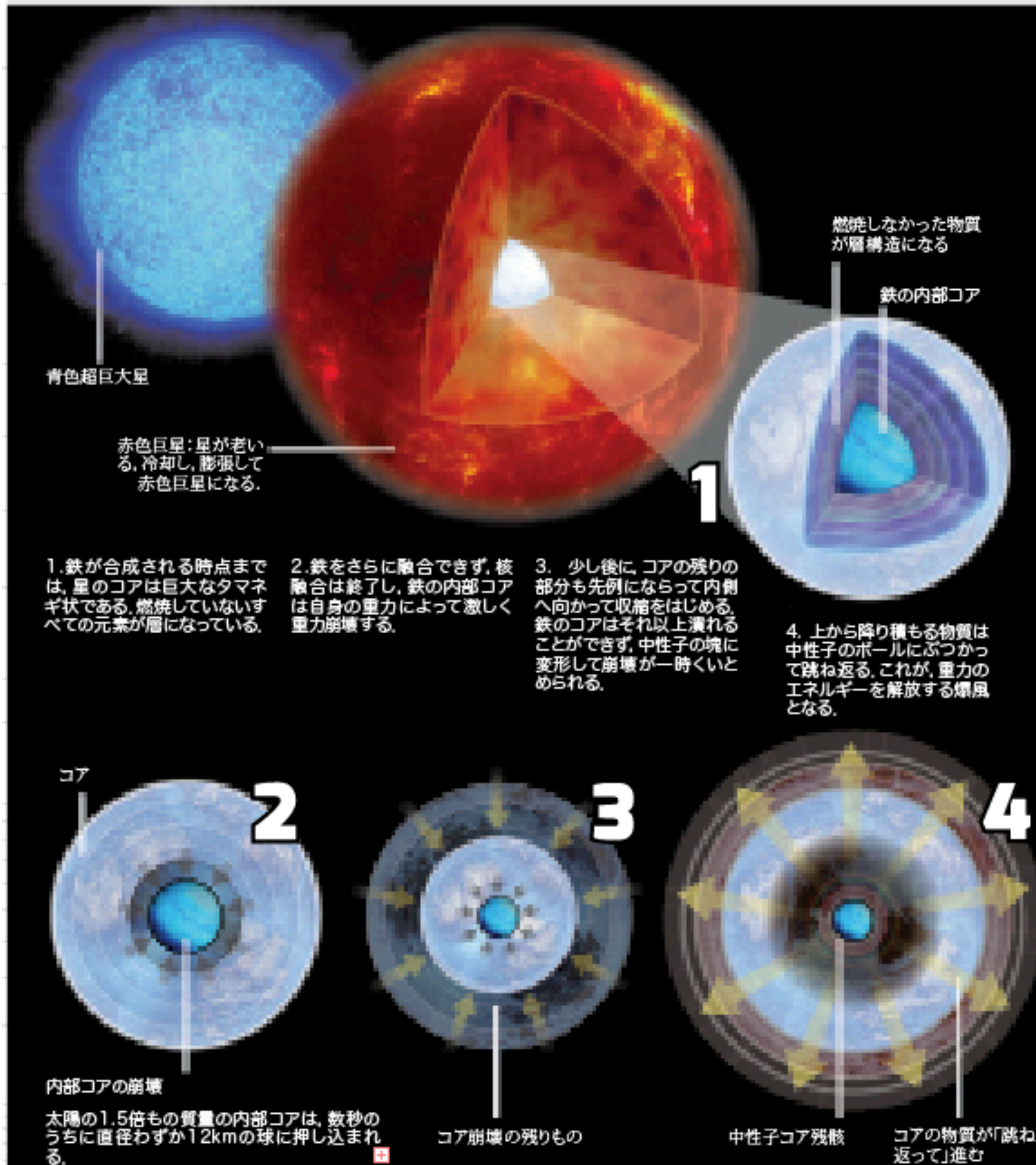
中性子の塊ができる。

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、星の仲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。

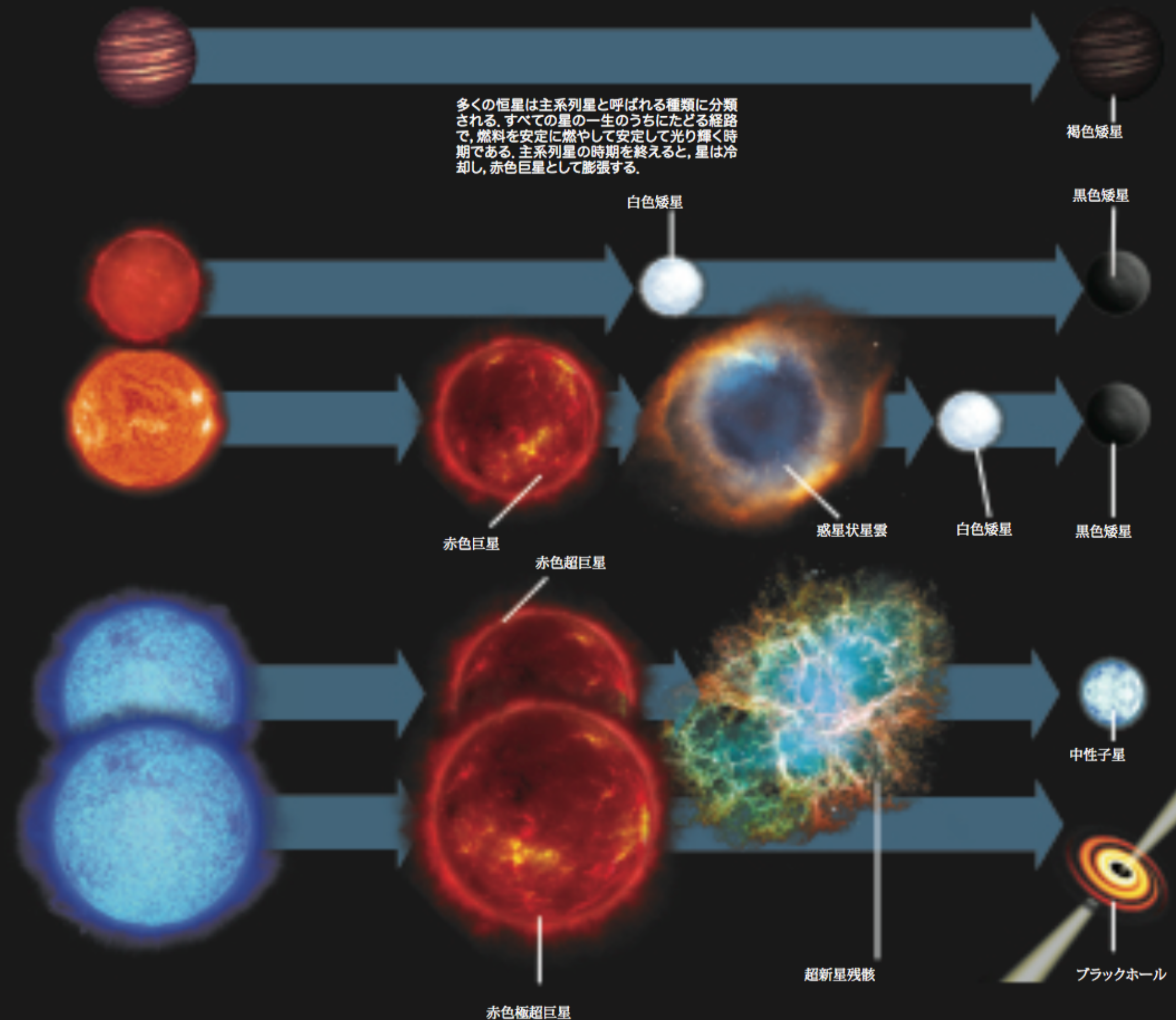
褐色矮星
質量: 太陽の0.08倍
表面温度: 1000°C
寿命(主系列): 不明

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



超新星爆発のしくみ

- 星の内部で原子核融合が進む：

水素 H → ヘリウム He → リチウム Li
..... → 鉄 Fe

- 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。

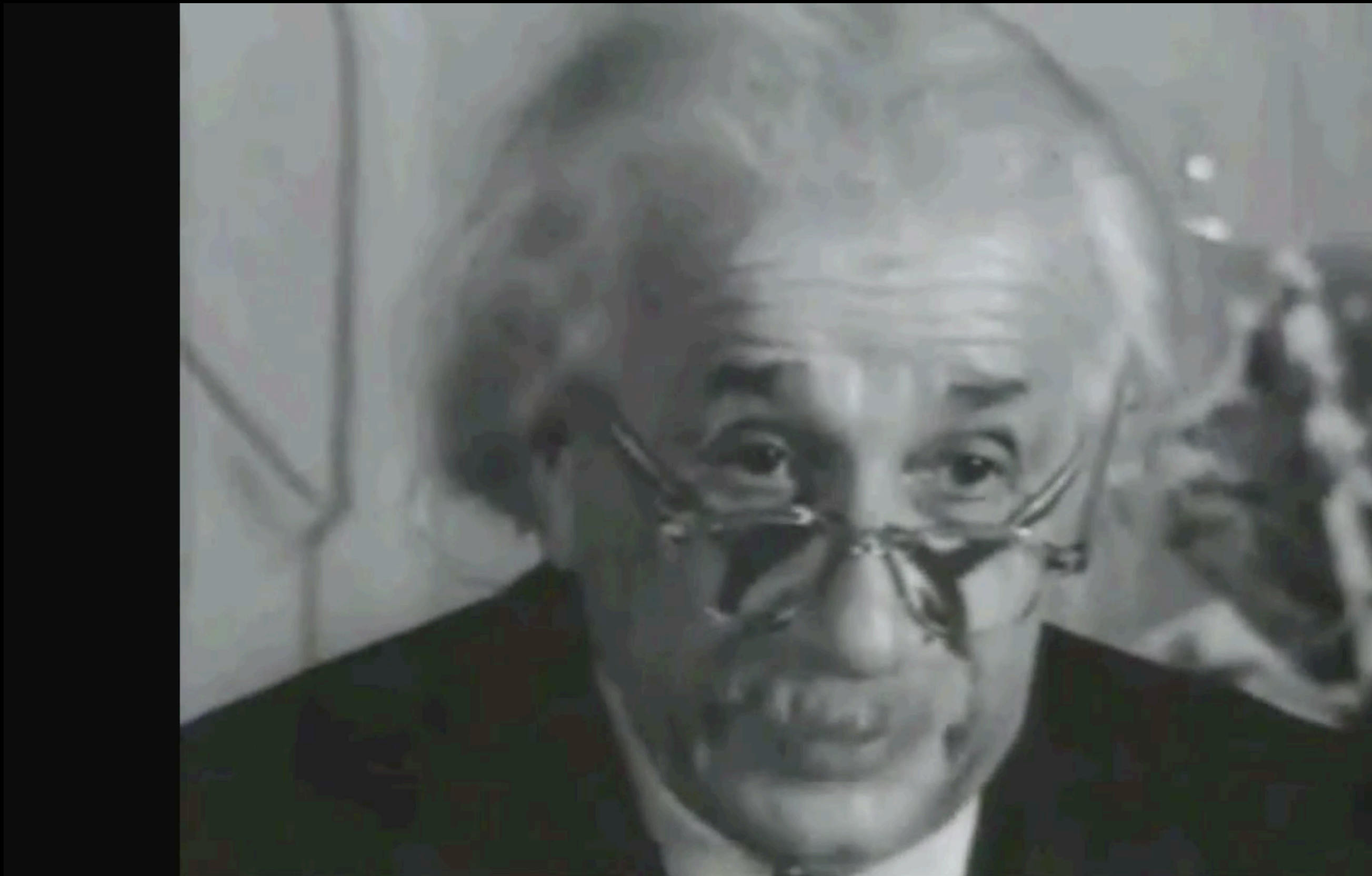
- **意味するもの：**

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.

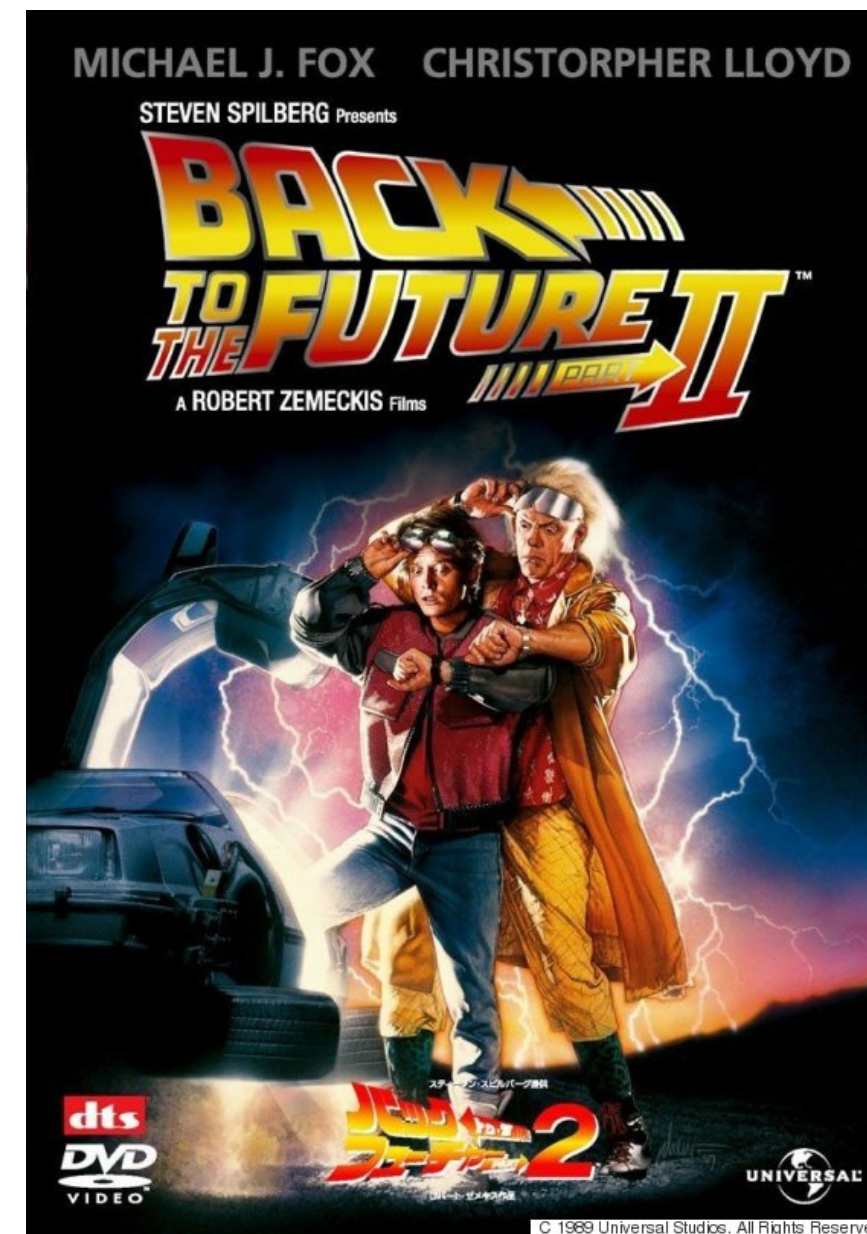
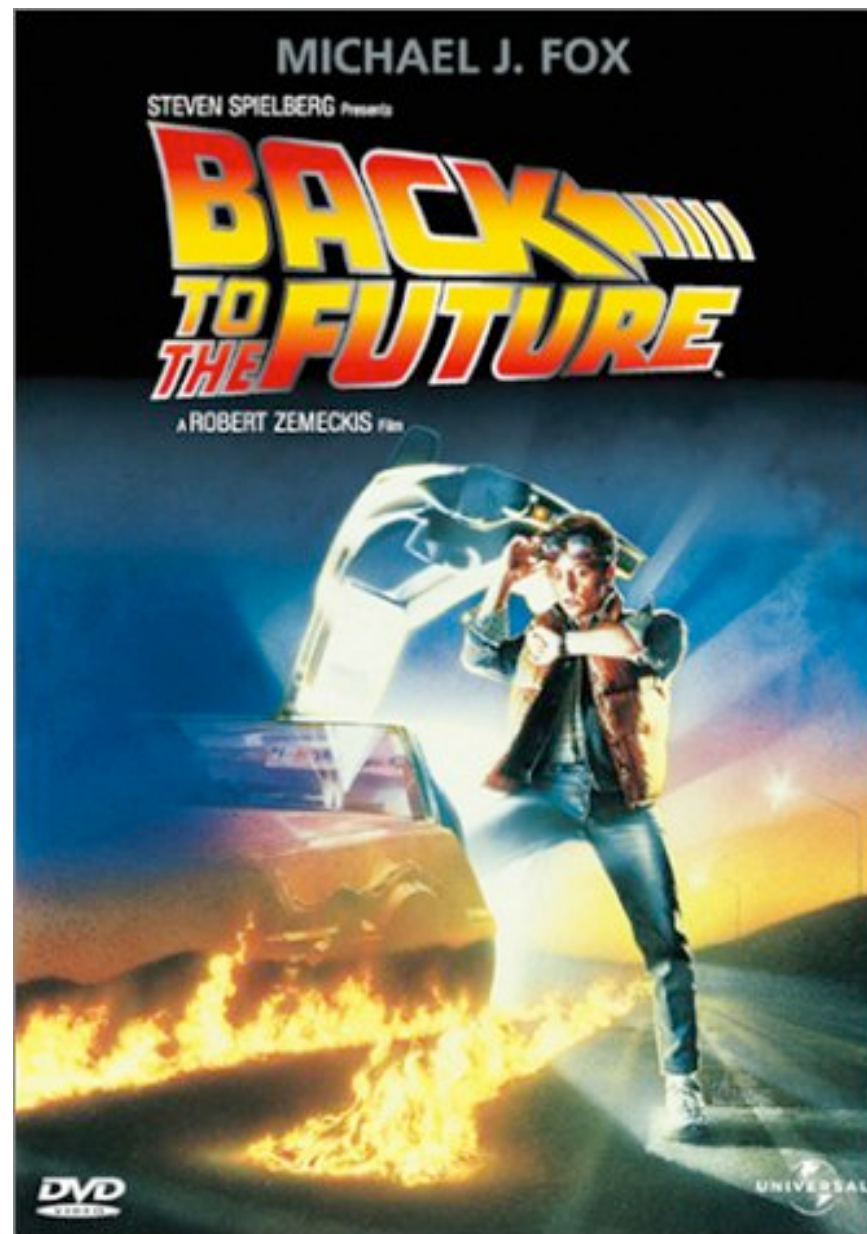
Furthermore, the equation $E = mc^2$, in which energy is put equal to mass, multiplied by the square of the velocity of light, showed that very small amounts of mass may be converted into a very large amount of energy and vice versa.

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薦めは？



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

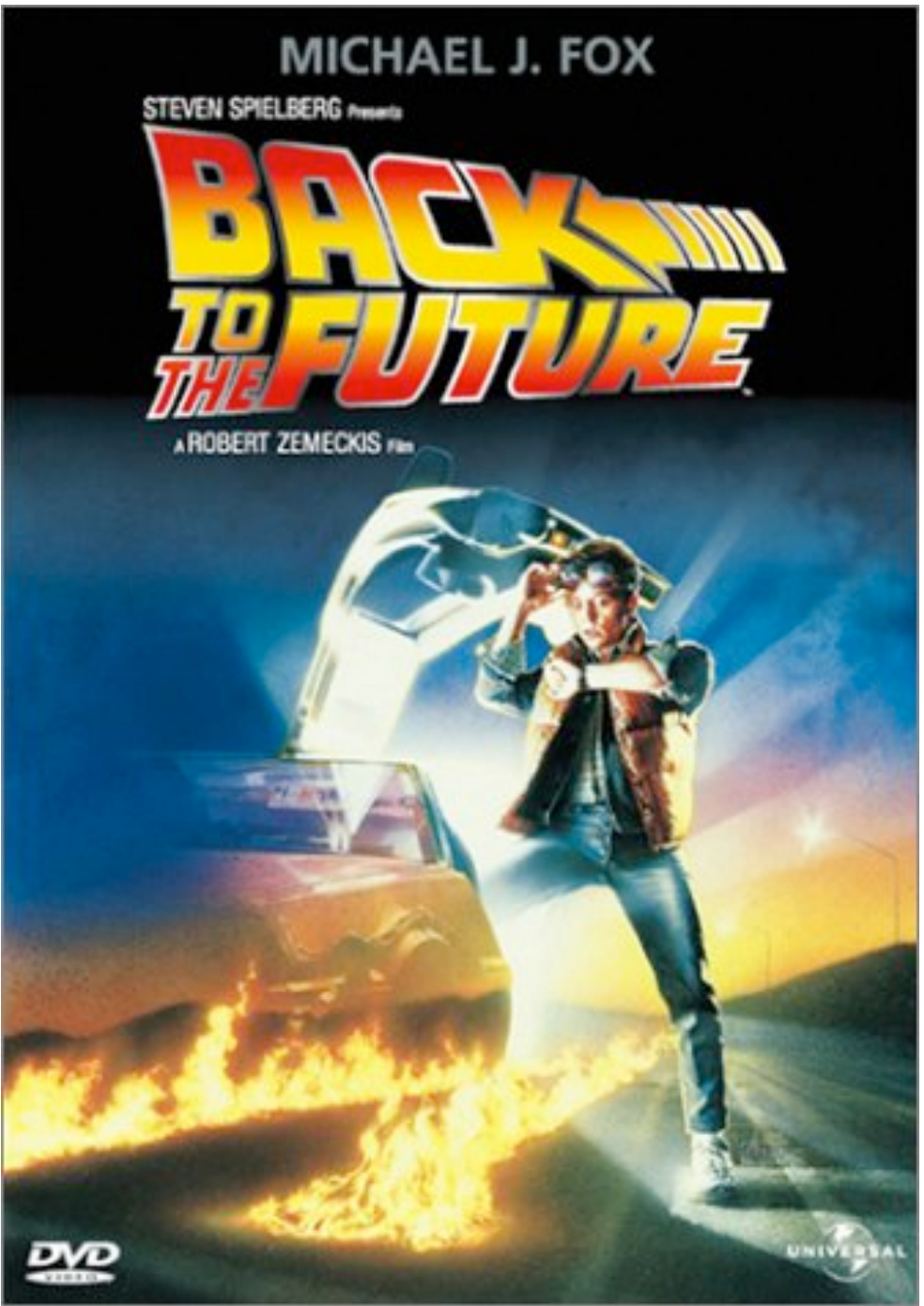
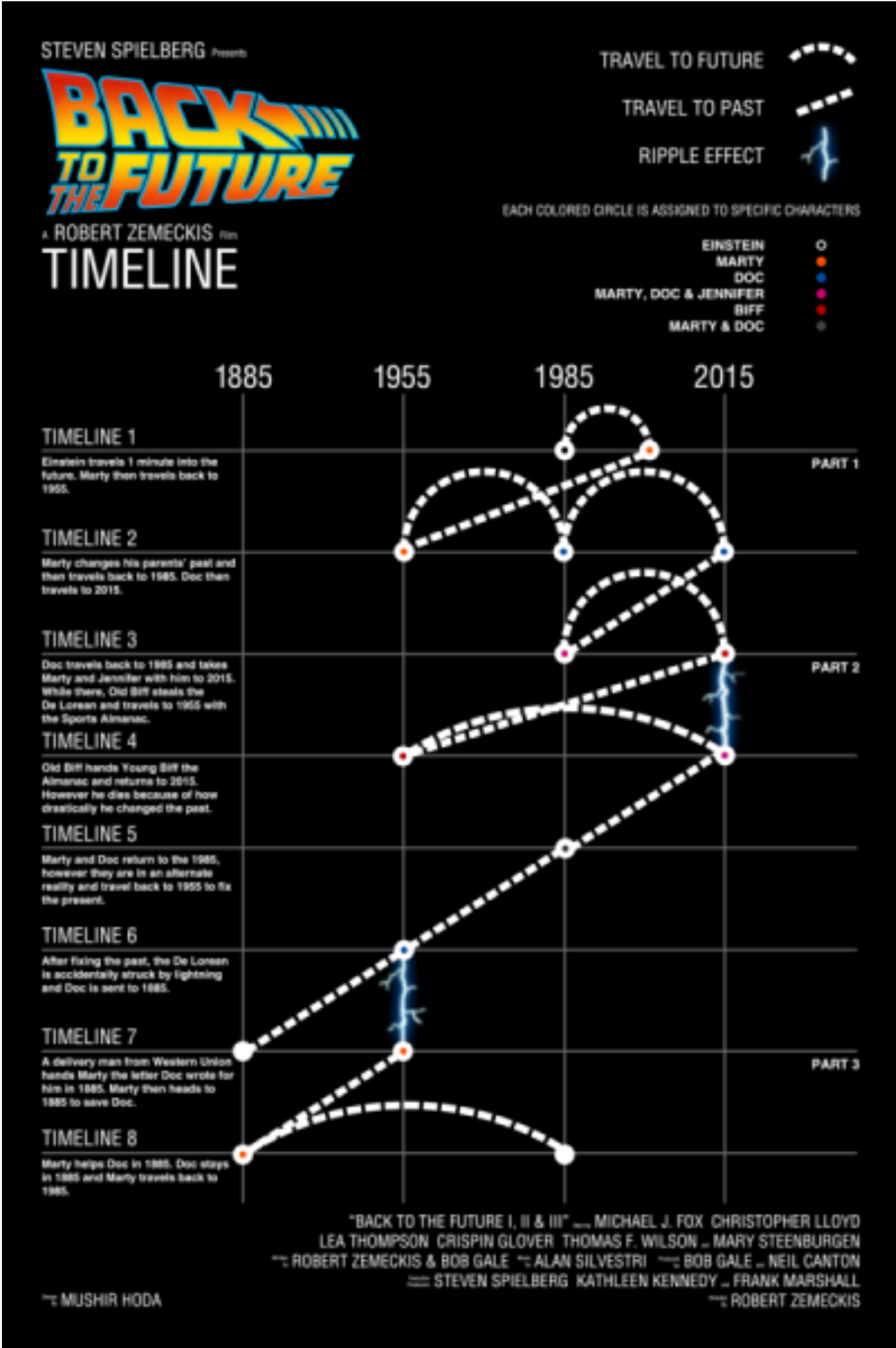
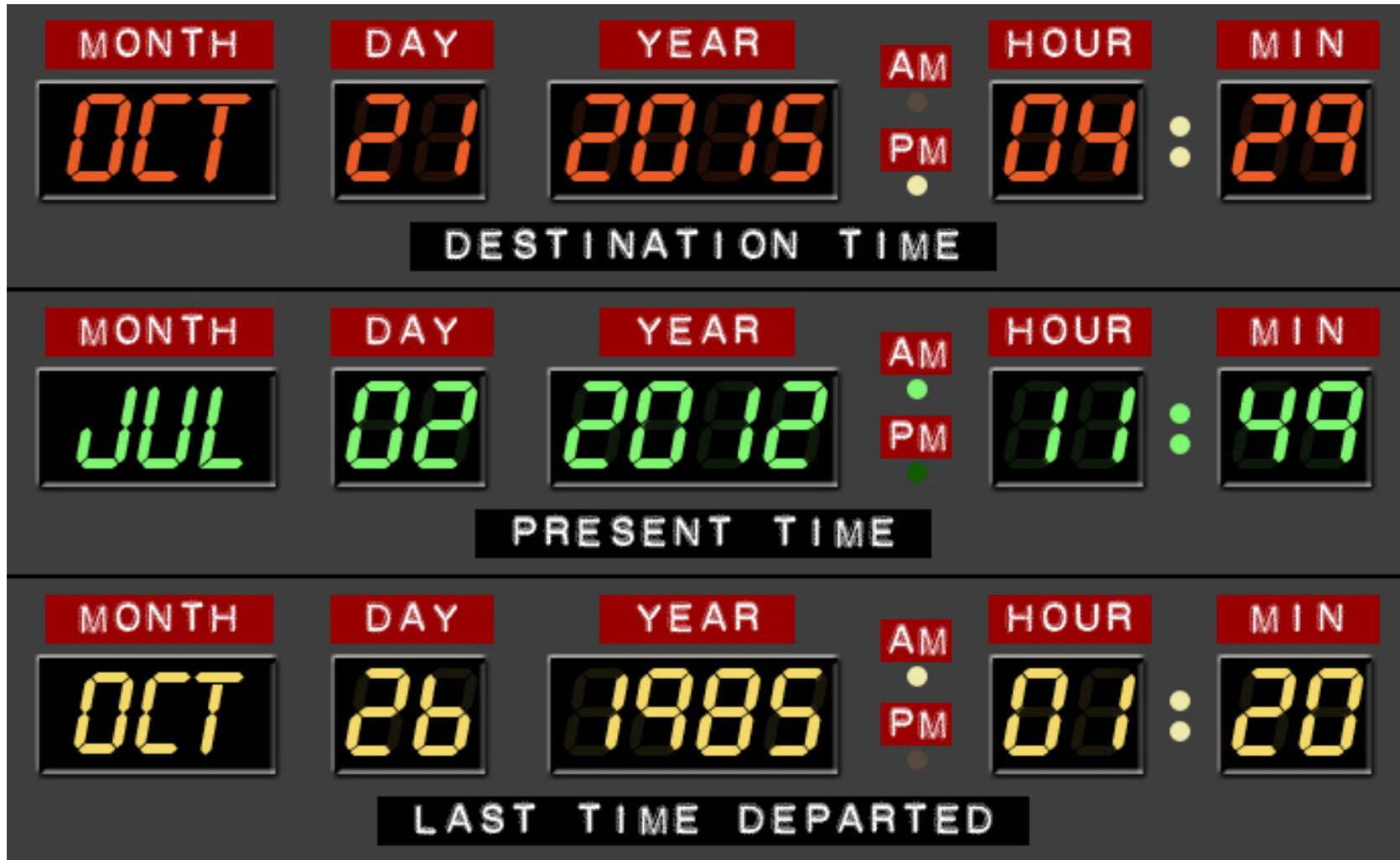
しかいってません

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薦めは？

ドラえもん

ドラえもん



ドラえもん のび太のタイムマシン!! (子供のころ見て、面白かった)

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？

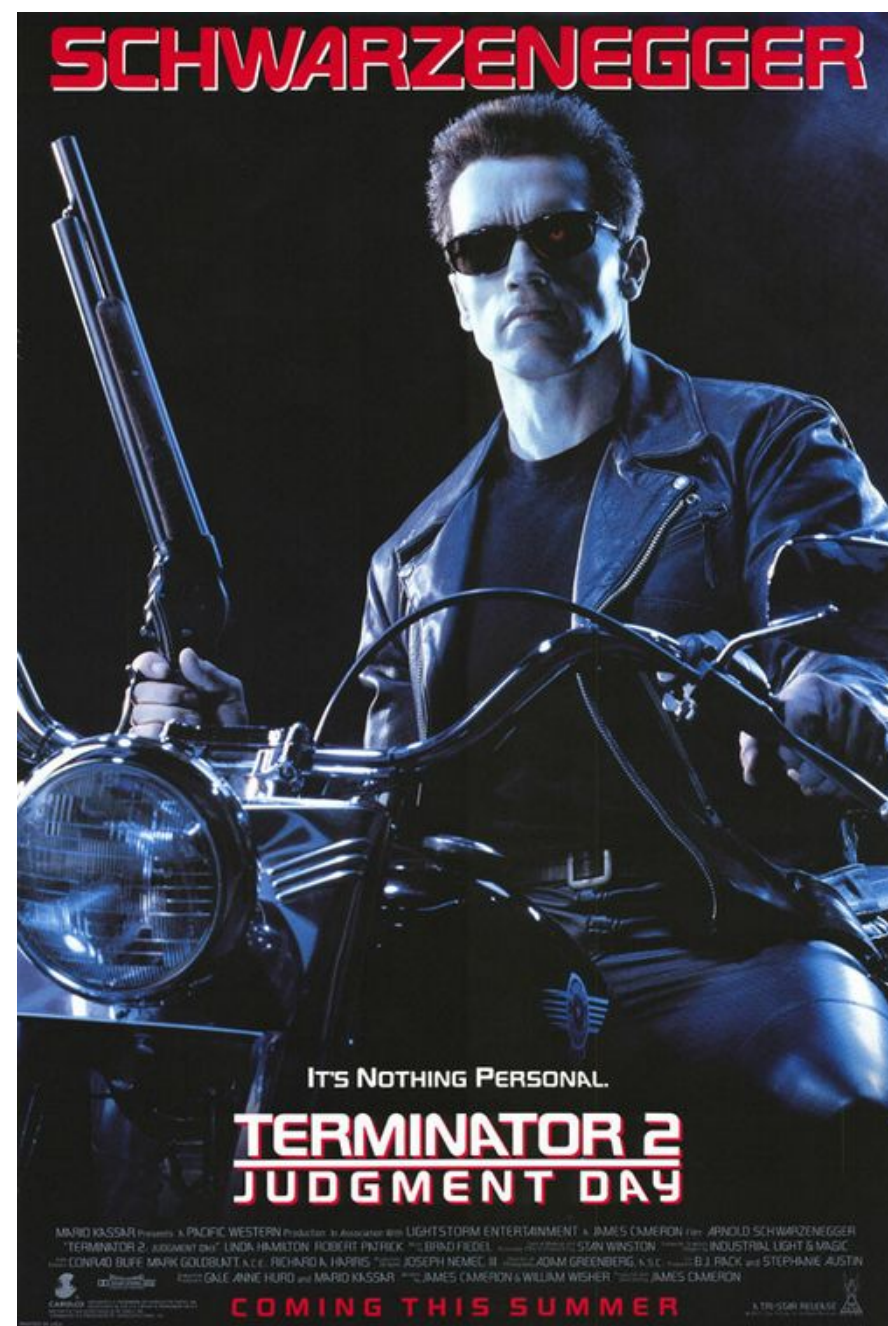
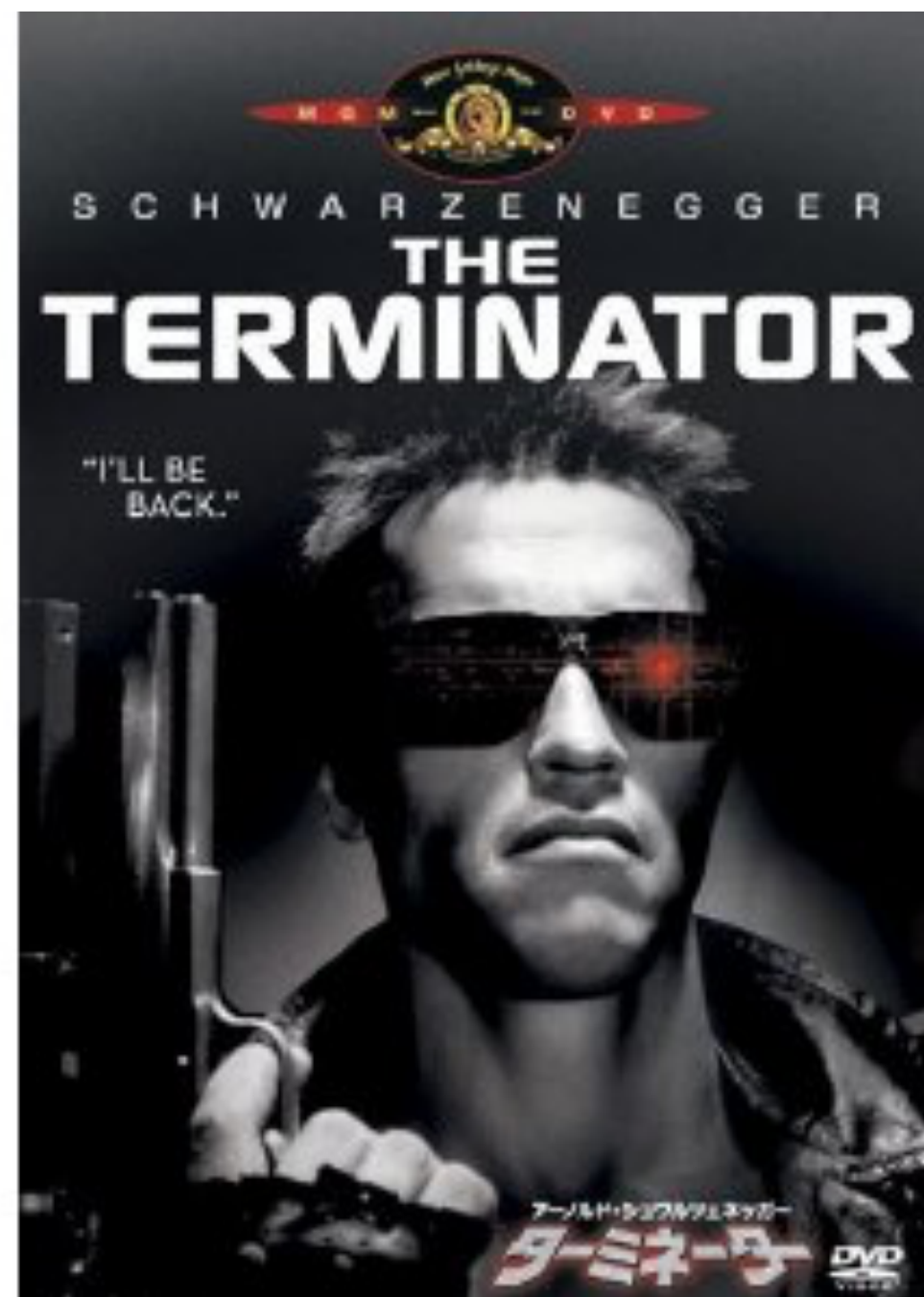
ターミネーター

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・ポッターとアズカバンの囚人」



前回のミニッツペーパーから

タイムマシンの映画でお薦めは？

タイムマシンという映画。

ト定番「バック・トゥ・ザ・フューチャー」

原典...? 「タイムマシン」(1960年...?と2002年の2つある!)



メイン・ブレイク 3



猿の惑星

タイムリフトやタイムマシンとは違う話ですが、ディズニー映画の「ベイマックス」で瞬間移動の装置が失敗作で異空間に飛ばされていてイキ組みがよく伝わってたとおもしろかったです。

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？



あの花が咲く丘で、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」
現代の高校生がタイムスリップし、戦時中に行くという
お話。とても感動しました！オススメです

🔑 オススメ映画

♥ あの花が咲く丘で君とまた出会えたら。
2023年頃。 女子高校生が1945年戦時中の日本へタイムスリップする話

？=×ですが、シュタインズ・ゲートもおもしろいです。過去へメールを送れるタイムマシンの話。



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？

タイムマシン映画ではないですが、「時をかける少女」AAお薦めです。

東京リベンジャーズ



東京リベンジャーズ
タイムスリープですが過去を変えて仲間を救う物語です。

東京リベンジャーズ

時をかける少女 (タイムマシンというか、タイムリープ?)

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...)

タイムマシンはドラえもんしか知らないですが、
タイムリープなら、「時をかける少女」と「東京リベンジャーズ」が女子きです。



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？



映画『LOOPER/ルーパー』公式サイト

loopergaga.ne.jp

アップル Yahoo! Japan Google マップ YouTube Wikipedia ニュース お役立ち pTeX for Mac OS X

映画『LOOPER/ルーパー』公式サイト

任務: 未来から来る犯罪者を消せ 標的: 30年後の自分

「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

なんと、**3人に1人!**
チケット当たる
キャンペーン
実施中

LOOPER
ルーパー

LOOPER GAME
未来から来る標的を始末しろ!

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

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

まるで、未来から来たドッペ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!

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

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

こんな未来は嫌だ! 負の連鎖に苦悩する

<http://looper.gaga.ne.jp>



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・コメディー

虹を渡る男たち

栄光と挫折の間にある時計を
3秒だけ戻してくれ

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

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っていう、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

special talk

MIYAKE YUJI × SHINKAI HISAAKI

『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ってたつもりが、帰ってみたら300年経って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

special talk
MIYAKE YUJI × SHINKAI HISAAKI



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。もっとも僕の専門は物理学といっても理論物理で、数式をいっては、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いう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、ゴーッ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。

special talk
MIYAKE YUJI × SHINKAI HISAAKI



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ませ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、理論にはかりこだわってもいられない。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

special talk
MIYAKE YUJI × SHINKAI HISAAKI



レルワールド(並行宇宙)ということを
言っている人もいます。

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」は実現してるんでき
どね(笑)。

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

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が
、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
たらあ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、
毛が逆立っ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ッて
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。

special talk
MIYAKE YUJI × SHINKAI HISAAKI

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か
とかいう話は出来ても「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
もしれない？

真貝 かもしれませんね。

三宅 先生が存在って大きいんですね。
僕はどういう芝居を作ろうかと、ど
ういう演出にしようかとか悶々とする
こと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
題ばっかりなので、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
る作品は観てて面白いですね。でも一
番の気分転換は歩き回ることでしか
ね。

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
はサッカーをやってたか
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 やっぱり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 放火はちょっと(笑)。

special talk
MIYAKE YUJI × SHINKAI HISAAKI

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 ですよね。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好きのお客さんに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で、もし戻れるんだっ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っ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。

笑い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言えないかなあ、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)。



special talk
MIYAKE YUJI × SHINKAI HISAAKI



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か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

「のび太の新恐竜」(2020年)



「サマータイムマシン・ブルース」(2005年)
ブルーレイ&DVD発売中
発売元:ショウゲート/販売元:ポニーキャニオン



「バック・トゥ・ザ・フューチャー」(1985年)
ブルーレイ:2075円(税込)
DVD:1571円(税込)
発売元:NBCユニバーサル・エンターテイメント



「タイムマシン」(2002年)
デジタル配信中
DVD特別版:1572円(税込)
発売元:ワーナー・ブラザース 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
© 2002 Warner Bros Entertainment Inc. All Rights Reserved.



「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・ブラザース 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・ブラザース 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
Tenet © 2020 Warner Bros. Entertainment Inc. All rights reserved.

ほかにも、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。

著名な小説家で「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ことがわかってい

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



『バッセンジャー』
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



『アバター』
ディズニープラスのスターで配信中



『エイリアン』
ディズニープラスのスターで配信中



『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10万光年）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、雨はまったく降らない。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）。

タトゥイーンの 「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1億500万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ち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？」

宮藤官九郎

元旦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。

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にに缶ビール飲んでいいのか？ なんだか後ろめたくなってくる。それは真っ当な思考だし、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！」

のぎぎゅうい

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ん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！「わゝタイムリープものなんですねぇ」

のぎぎゅうい

「時かけ、みたいな？ 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」

「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、タイムパドックスが起きて、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。



くどうかんくろう 1月26日(金) 22時から、新作ドラマ『不適切にもほどがある！』がTBSで放送スタート！ また、作・演出を手がけた新作歌舞伎『唐茄子屋 不思議国之若旦那』が、シネマ歌舞伎として全国の映画館で上映中です！

【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、

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

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

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

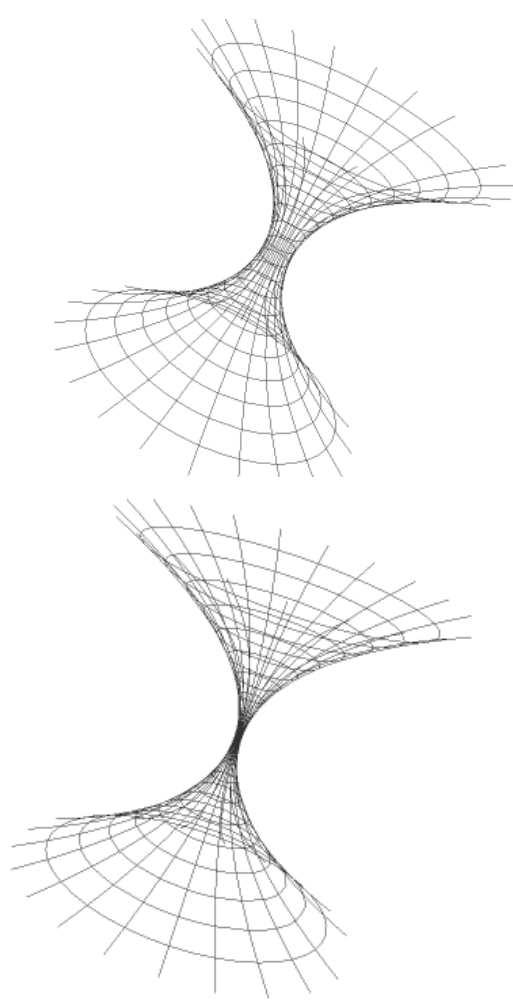
とすると、

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

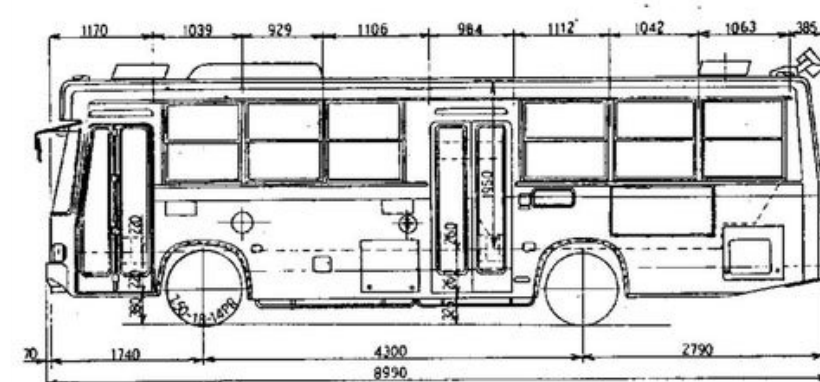
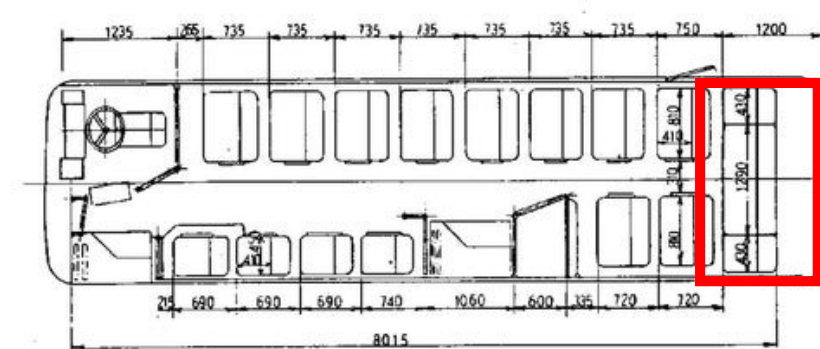
である。整理すると、

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

となり、これらを解けばワームホール解が得られる。

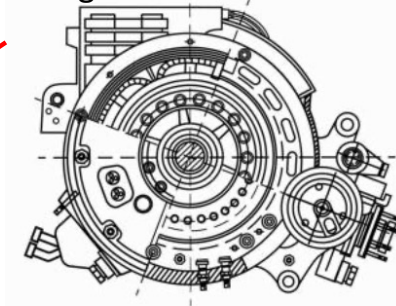


【タイムトラベルバス 設計図】

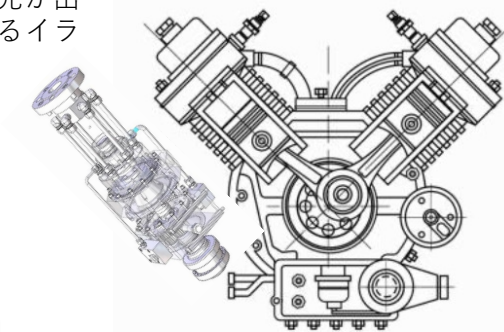


※ライト部分からも負のエネルギーを照射できるようにしている記載をする

【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



船のインターステラーをみたよ!! ありませう。
2回見たよ!! 理解できたよ!!

インターステラー
人生で一番面白いと思った映画でした。



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>

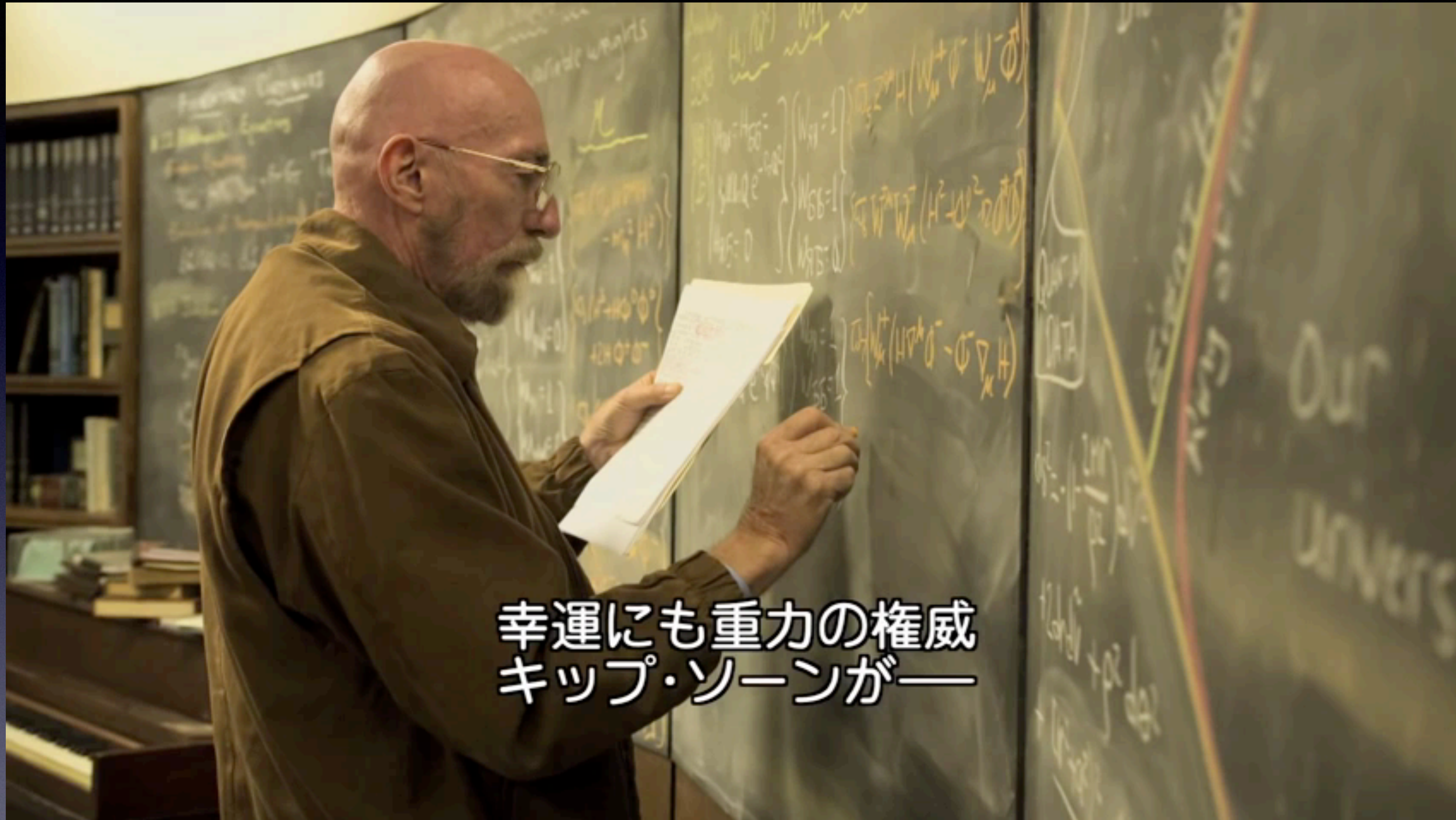


Interstellar (2014)



Executive Producer: Kip Thorne

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



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



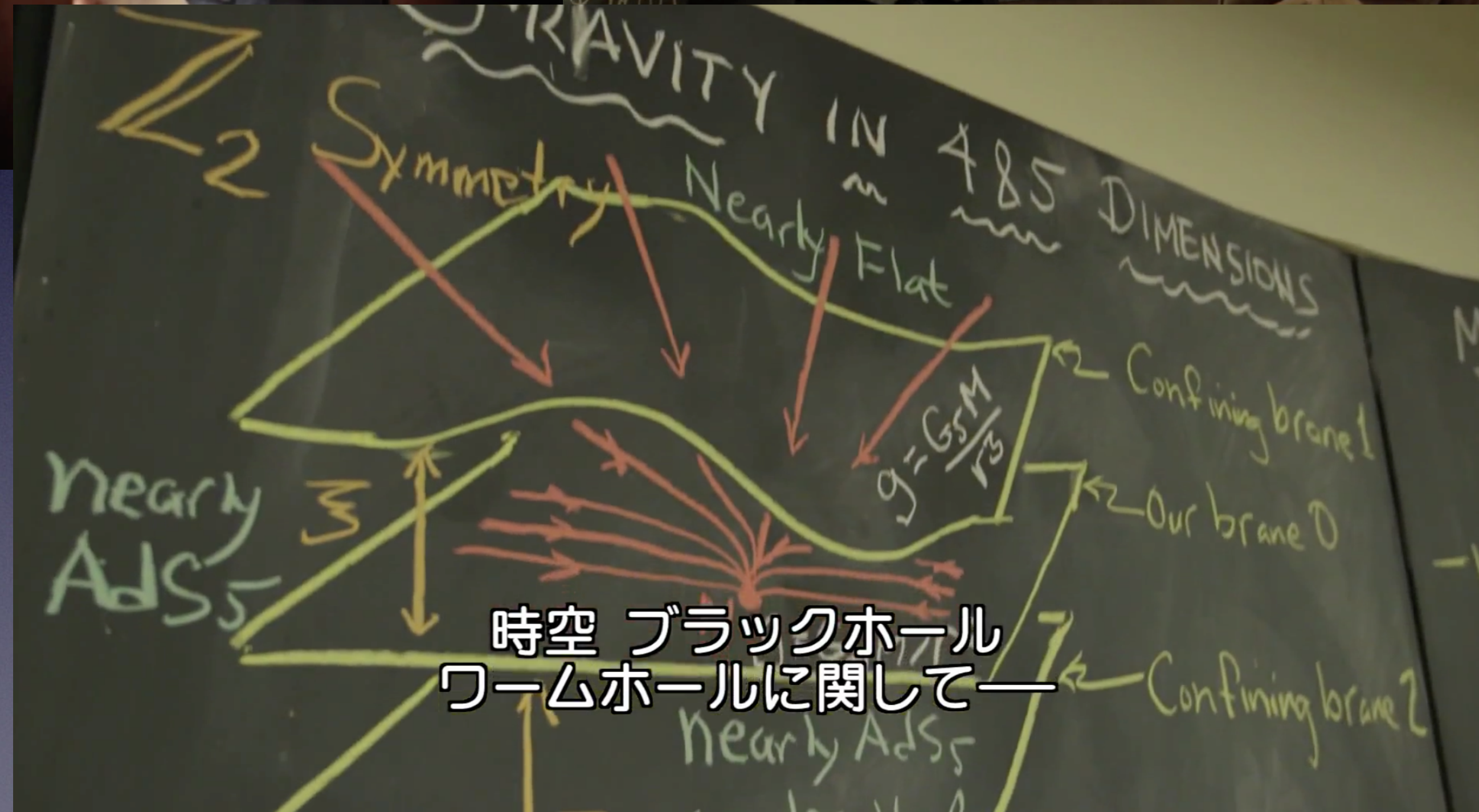
Interstellar (2014)

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)