質問あったら遠慮せず、メールください：takashi.kobayashi@kek.jp

大きな宇宙のひみつと ミクロな世界のひみつと 加速器と

じぇいぱーく
J-PARCセンター
こばやし　たかし
小林　隆

このファイルの置き場

https://jnusrv01.kek.jp/~kobayasi/talks/koba.230714.ochiai.v0.2.pdf

自己紹介

- 小林　隆（こばやしたかし）(1968.9.21, ことし５５歳)
  - 理学博士
  - 物理学者
- 岡山県真庭郡落合町垂水４８　出身
- 落合小学校　剣道１級、野球、河東で書道教室
- 落合中学校　野球
- 落合高校　　ハンドボール
- 広島大学 理学部 **物理学科 大学院　卒業　「はかせ」**に
- 学研まんがシリーズ「宇宙のひみつ」で理科が好きに。
- 小学校のときは、よく落合公民館の図書館で本を借りてよむ。



月刊科学雑誌 Newton 2018年4月号
2018年2月26日発売／ 本体926円＋税

イラスト：髙島達明・Newton Press

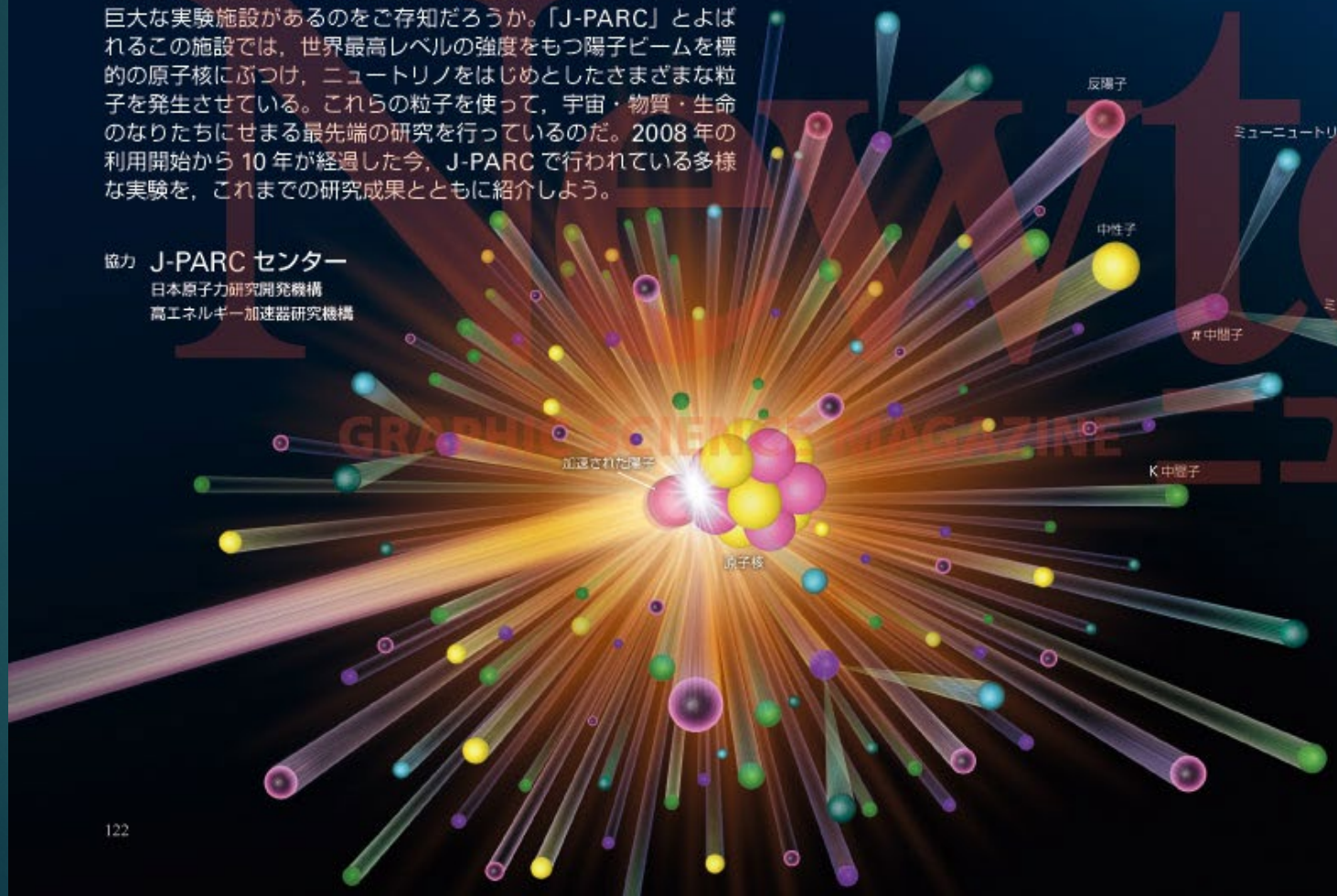
Topic

大型加速器 J-PARC が宇宙や生命の謎にせまる！

大強度陽子ビームが切り開く最先端の科学

茨城県東海村に，およそ 1500 億円の建設費をかけてつくられた巨大な実験施設があるのをご存知だろうか。「J-PARC」とよばれるこの施設では，世界最高レベルの強度をもつ陽子ビームを標的の原子核にぶつけ，ニュートリノをはじめとしたさまざまな粒子を発生させている。これらの粒子を使って，宇宙・物質・生命のなりたちにせまる最先端の研究を行っているのだ。2008 年の利用開始から 10 年が経過した今，J-PARC で行われている多様な実験を，これまでの研究成果とともに紹介しよう。

協力 J-PARC センター
日本原子力研究開発機構
高エネルギー加速器研究機構







ほぼ光速に加速された陽子が衝突！

巨大な加速器によって光速近くまで加速された陽子（水素の原子核）が標的の原子核に衝突すると，原子核からさまざまな粒子が飛び出してくる。このうち，「中性子」や「ミュオン（ミューオン，ミュー粒子ともいう）」，「ニュートリノ」，「K 中間子」などを使って，素粒子・原子核物理学や物質科学，生命科学などの最先端の研究が行われている。これらの研究によって，宇宙・物質・生命のなりたちにせまろうとしているのだ。

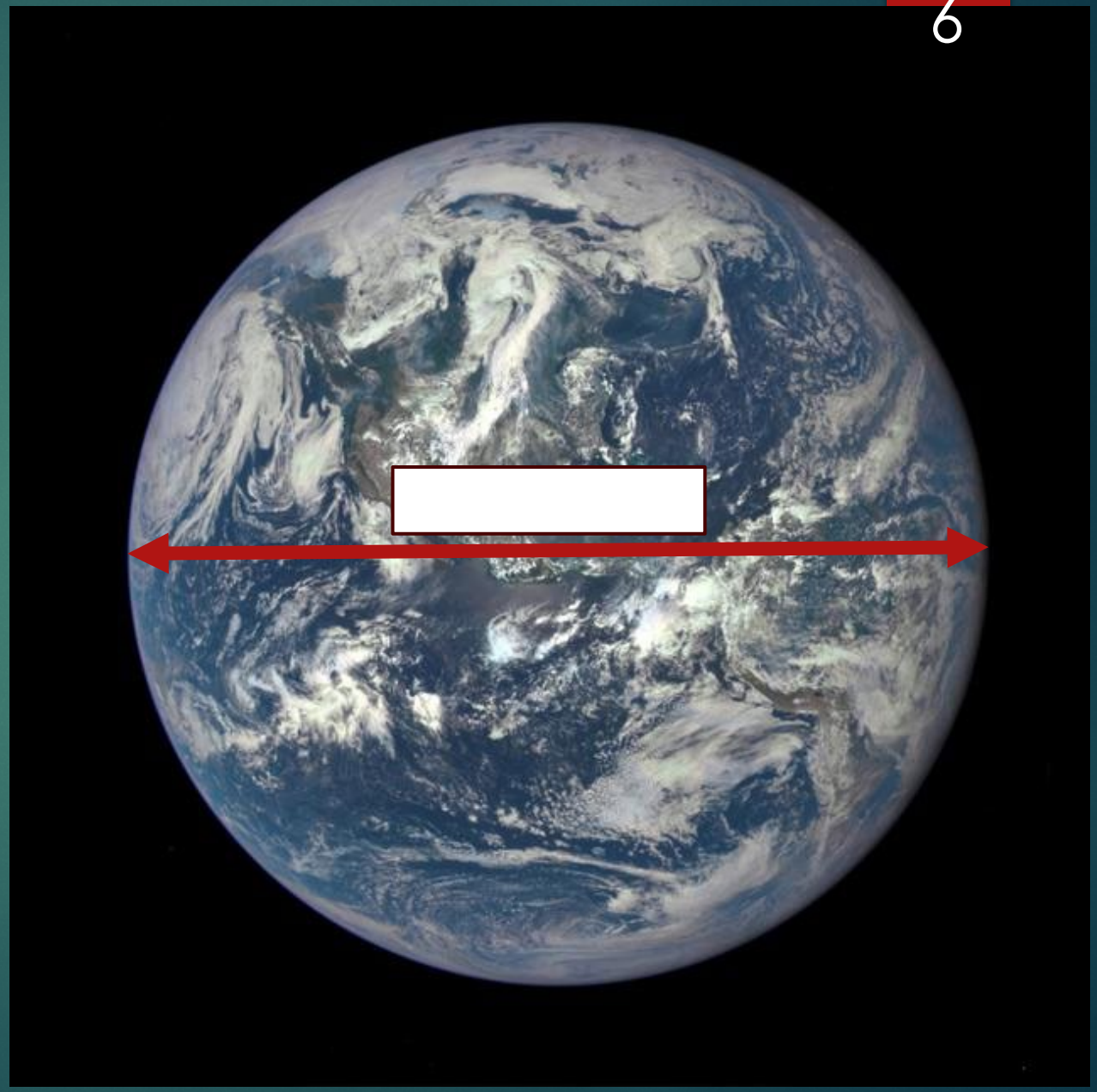
今日の目標

- 今日の話しは、　理科、とくに　物理のおはなし
- 宇宙の大きさ、ミクロの世界の小ささに感動して
- 理科やサイエンスを好きになってもらえたらうれしいです

おおきな宇宙（うちゅう）

みじかな星：地球

- 太陽系(たいようけい)のなかの、うちがわから３つめの「惑星(わくせい)」
- 自分で光らない星
- 大きさは？
- 年齢（ねんれい）は？



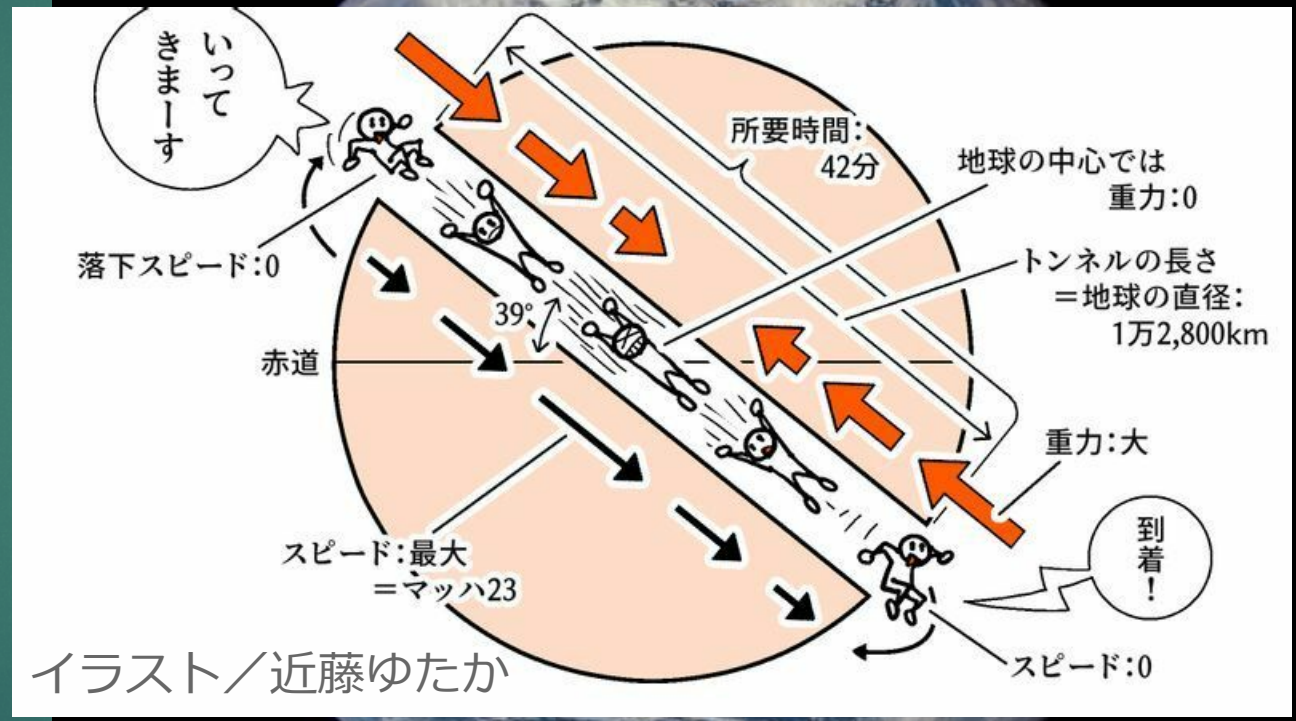
みじかな星：地球　クイズ

- 日本(にほん)の裏側(うらがわ)のブラジルまで、地球(ちきゅう)に穴(あな)を掘(ほ)って、飛(と)び込(こ)めば、どれくらいの時間(じかん)で到着(とうちゃく)できる？

1. １分
2. １時間
3. １０時間

せいかくには４２分
さいこうそく：マッハ２３(時速２万３千ｋｍくらい)

(ちなみに飛行機は３０時間くらい)



イラスト／近藤ゆたか

でもほんとは、地球の中心は６０００度！
くうきもあるので、燃え尽きちゃう！
よいこはまねしないでね！

光のはやさ

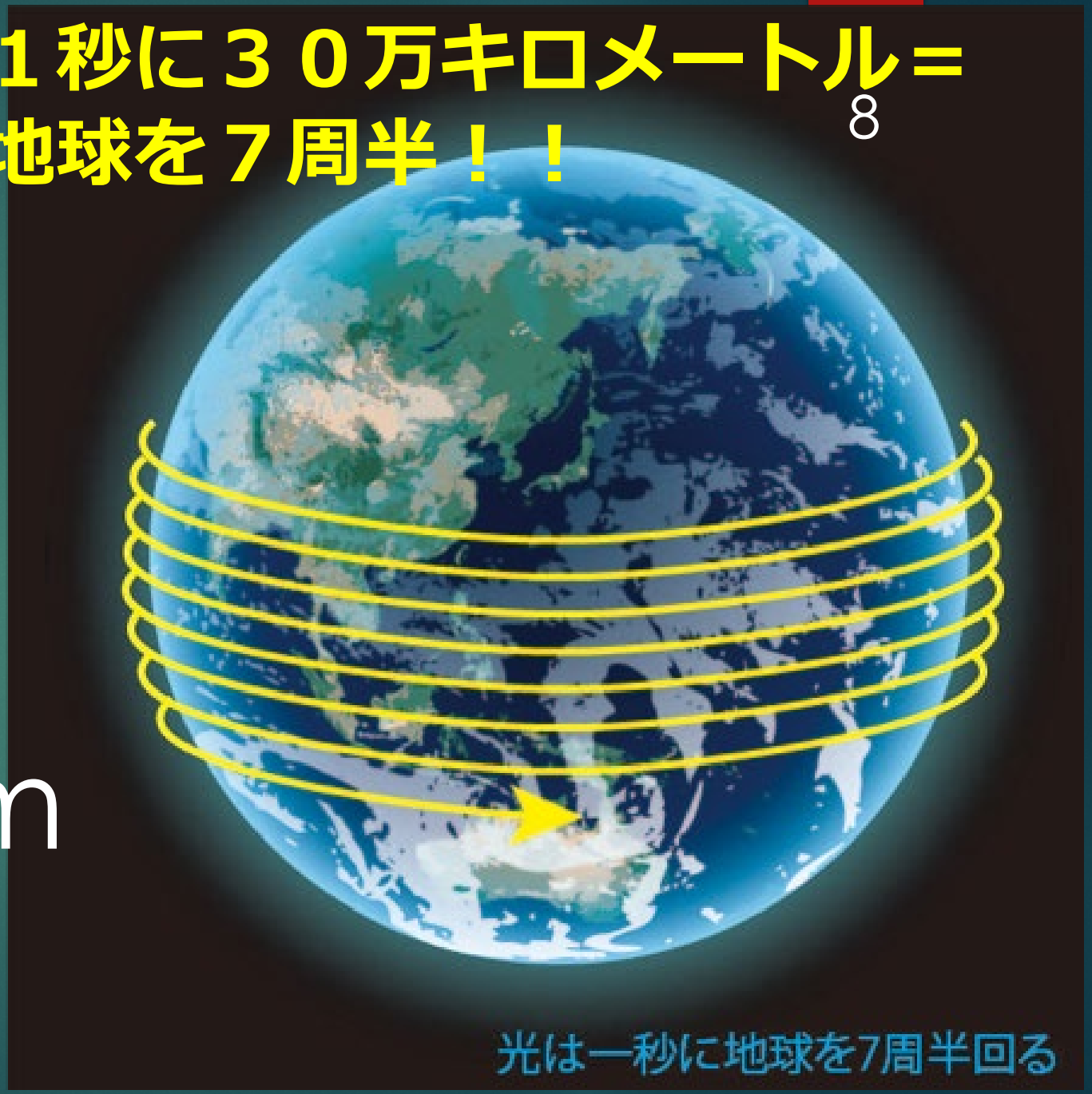
１秒に３０万キロメートル＝地球を７周半！！

光のはやさで１年かかる距離（きょり）

１光年（こうねん）＝

およそ１０兆（ちょう）km

(０が１３個)

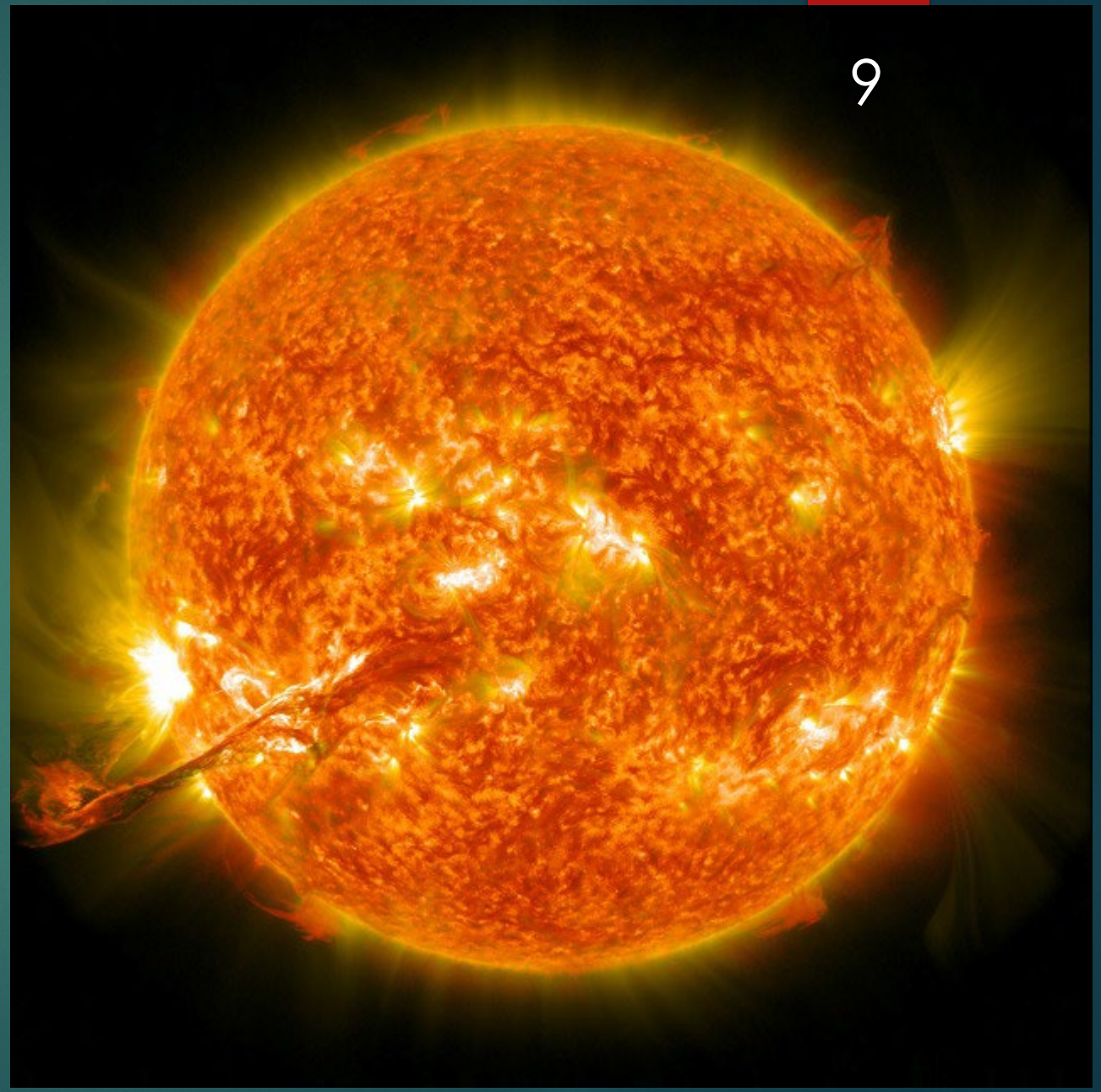


みぢか

身近な光る星：太陽

- 太陽がちょっけい１ｍだったとしたら、地球のおおきさは？
  1. 1mm
  2. 1cm
  3. 10cm
- 地球から太陽まで新幹線でいったらどれくらいかかる？
  1. １年
  2. １０年
  3. １００年

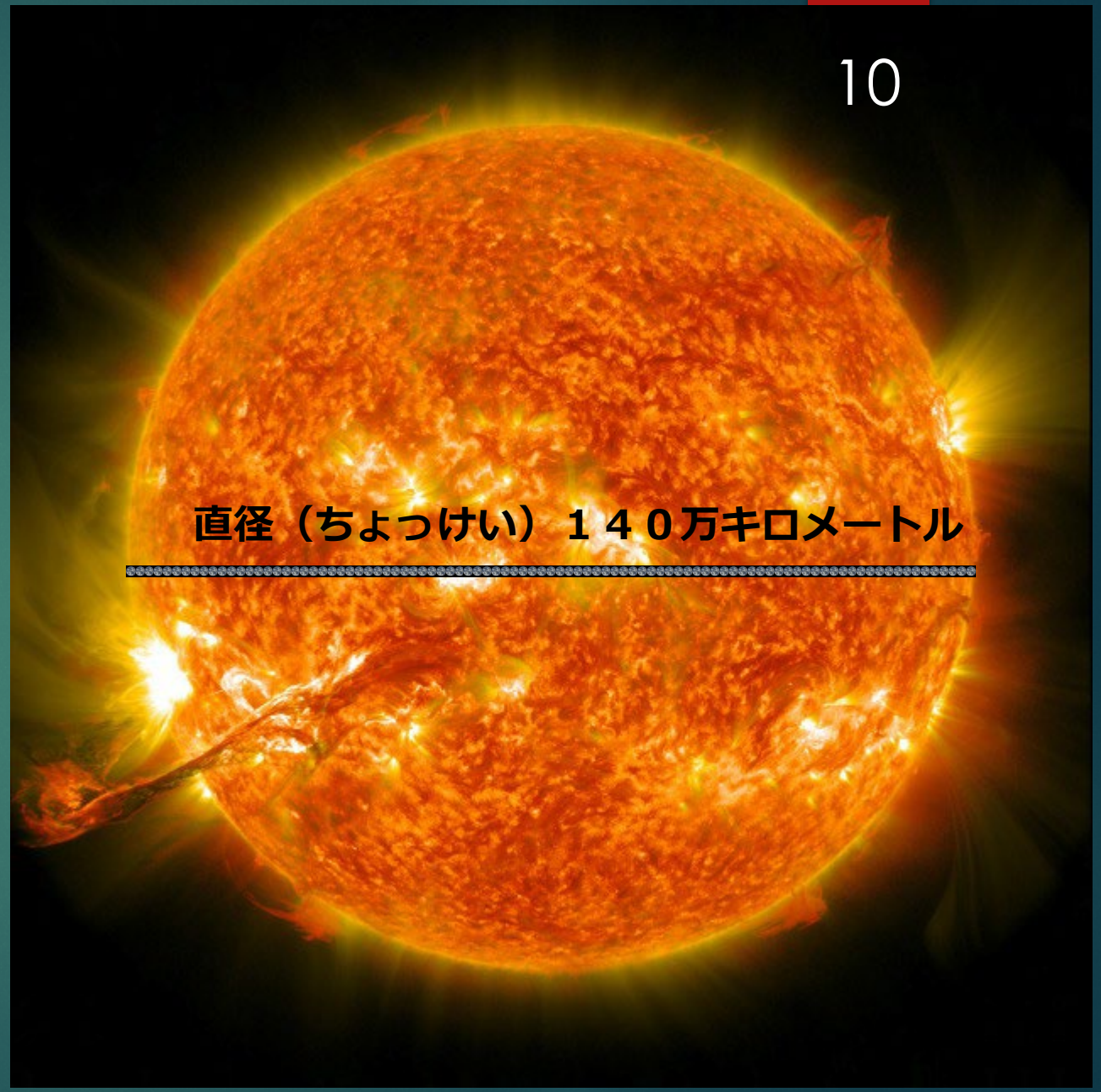
せいかくには～７０年



みぢか

身近な光る星：太陽

- 自分で光る「恒星(こうせい)」
- なかで　核融合(かくゆうごう)はんのう
- クイズ
  - 大きさは？
  - 地球からの距離（きょり）は？
  - 温度（おんど）は？
  - 年齢（ねんれい）は？



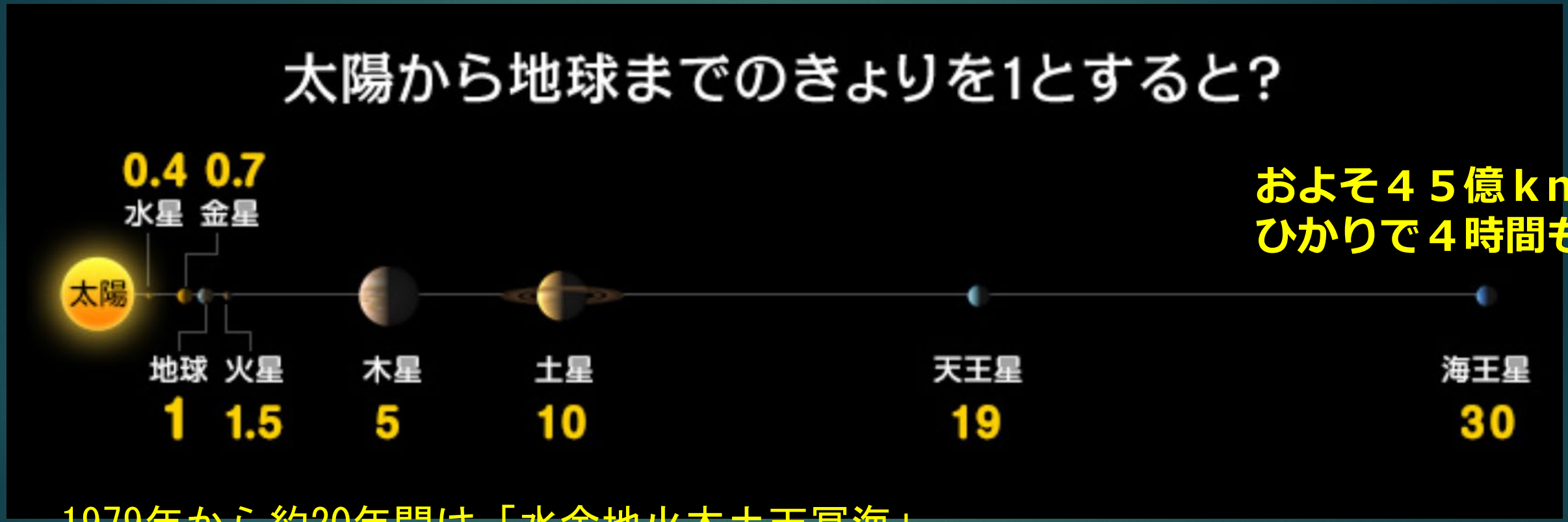
太陽のまわりをまわる惑星（わくせい）の数は？

1. 8個
2. 9個

水金地火木土天海
すいきんちかもくどってんかい

1930~2006年までは「冥王星」もわくせい
水金地火木土天冥海
すいきんちかもくどってんめいかい

太陽系

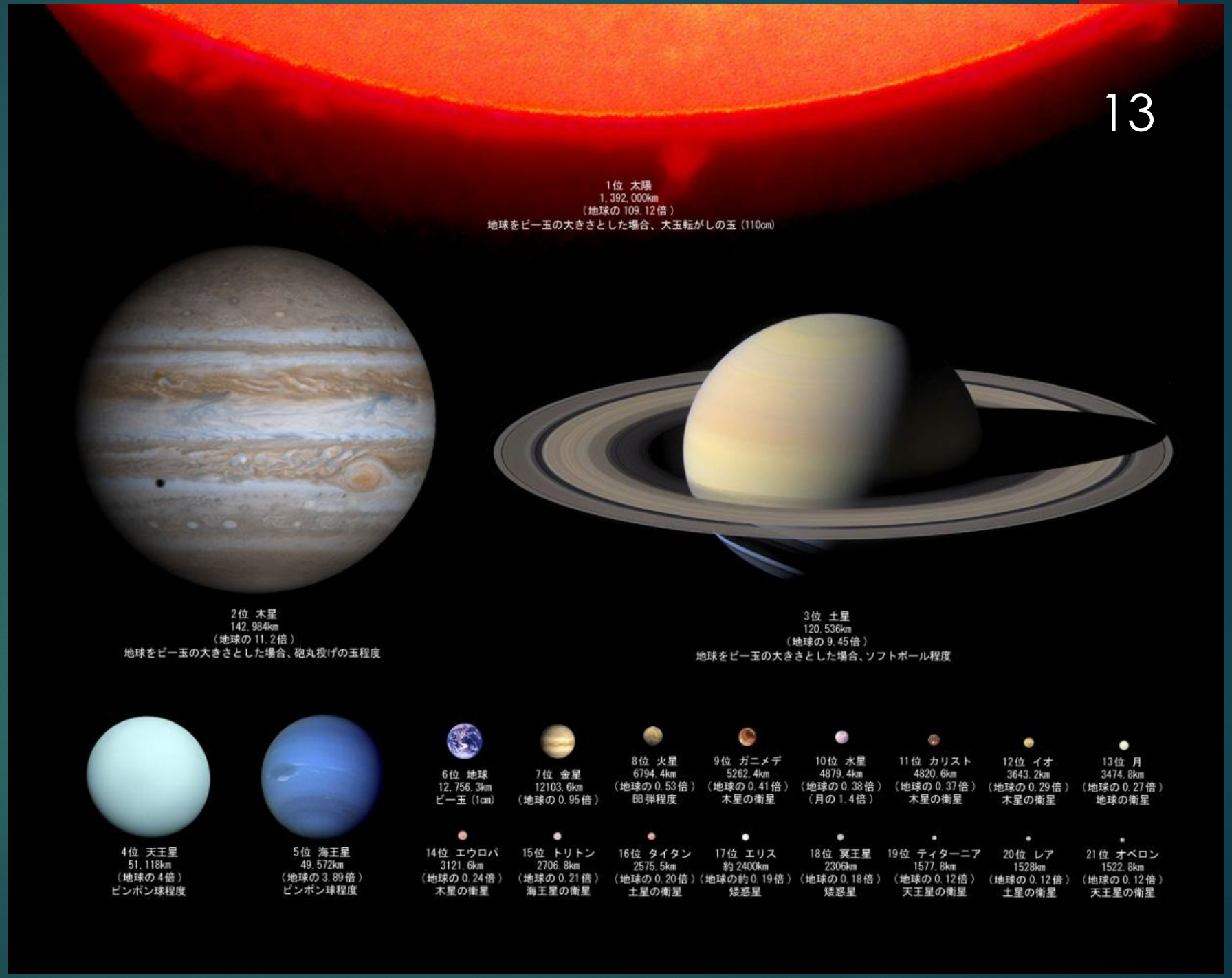


およそ４５億ｋｍ
ひかりで４時間も！

1979年から約20年間は「水金地火木土天冥海」

めいおうせい　わくせい　こうかく　じゅんわくせい
冥王星は1930年に発見された惑星。でも2006年、降格、準惑星に

太陽系

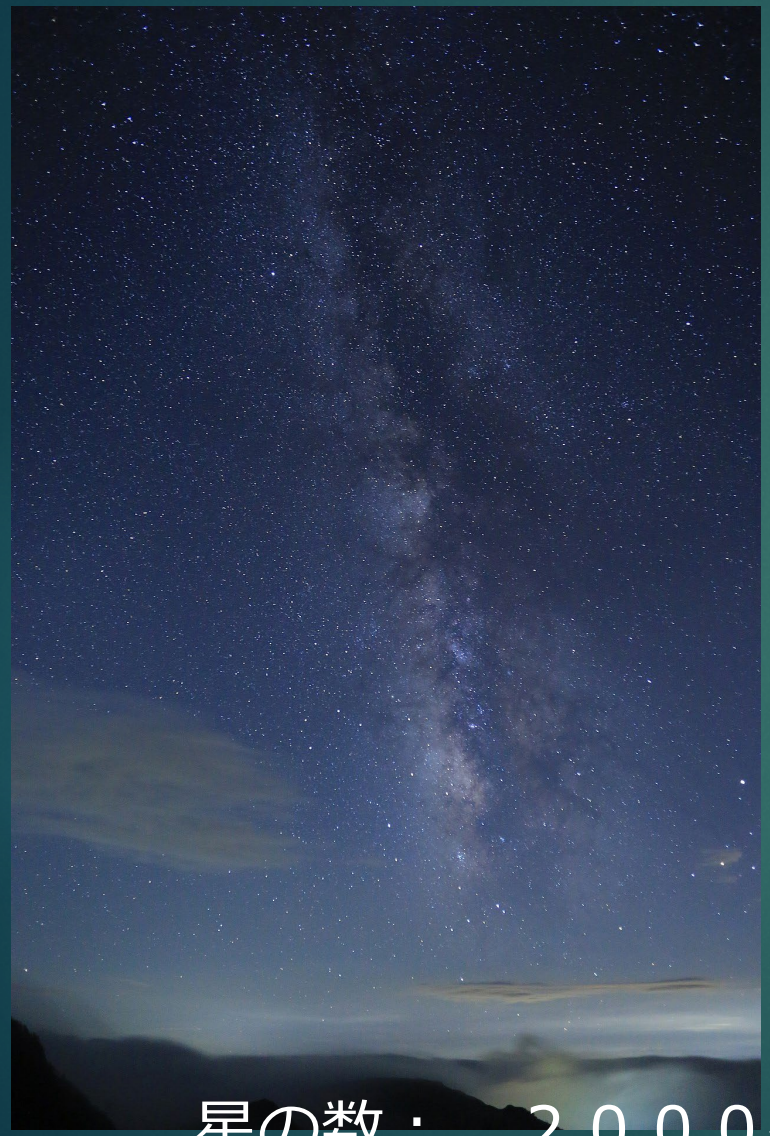

1位 太陽
1,392,000km
（地球の109.12倍）
地球をビー玉の大きさとした場合、大玉転がしの玉（110cm）
2位 木星
142,984km
（地球の11.2倍）
地球をビー玉の大きさとした場合、砲丸投げの玉程度
3位 土星
120,536km
（地球の9.45倍）
地球をビー玉の大きさとした場合、ソフトボール程度
4位 天王星
51,118km
（地球の4倍）
ピンポン球程度
5位 海王星
49,572km
（地球の3.89倍）
ピンポン球程度
6位 地球
12,756.3km
ビー玉（1cm）
7位 金星
12103.6km
（地球の0.95倍）
8位 火星
6794.4km
（地球の0.53倍）
BB弾程度
9位 ガニメデ
5262.4km
（地球の0.41倍）
木星の衛星
10位 水星
4879.4km
（地球の0.38倍）
（月の1.4倍）
11位 カリスト
4820.6km
（地球の0.37倍）
木星の衛星
12位 イオ
3643.2km
（地球の0.29倍）
木星の衛星
13位 月
3474.8km
（地球の0.27倍）
地球の衛星
14位 エウロパ
3121.6km
（地球の0.24倍）
木星の衛星
15位 トリトン
2706.8km
（地球の0.21倍）
海王星の衛星
16位 タイタン
2575.5km
（地球の0.20倍）
土星の衛星
17位 エリス
約2400km
（地球の約0.19倍）
矮惑星
18位 冥王星
2306km
（地球の0.18倍）
矮惑星
19位 ティターニア
1577.8km
（地球の0.12倍）
天王星の衛星
20位 レア
1528km
（地球の0.12倍）
土星の衛星
21位 オベロン
1522.8km
（地球の0.12倍）
天王星の衛星

太陽からもっとも近い光る星(恒星)
ケンタウルス座アルファ星

- どれくらい遠い？



身近な銀河：天の川銀河



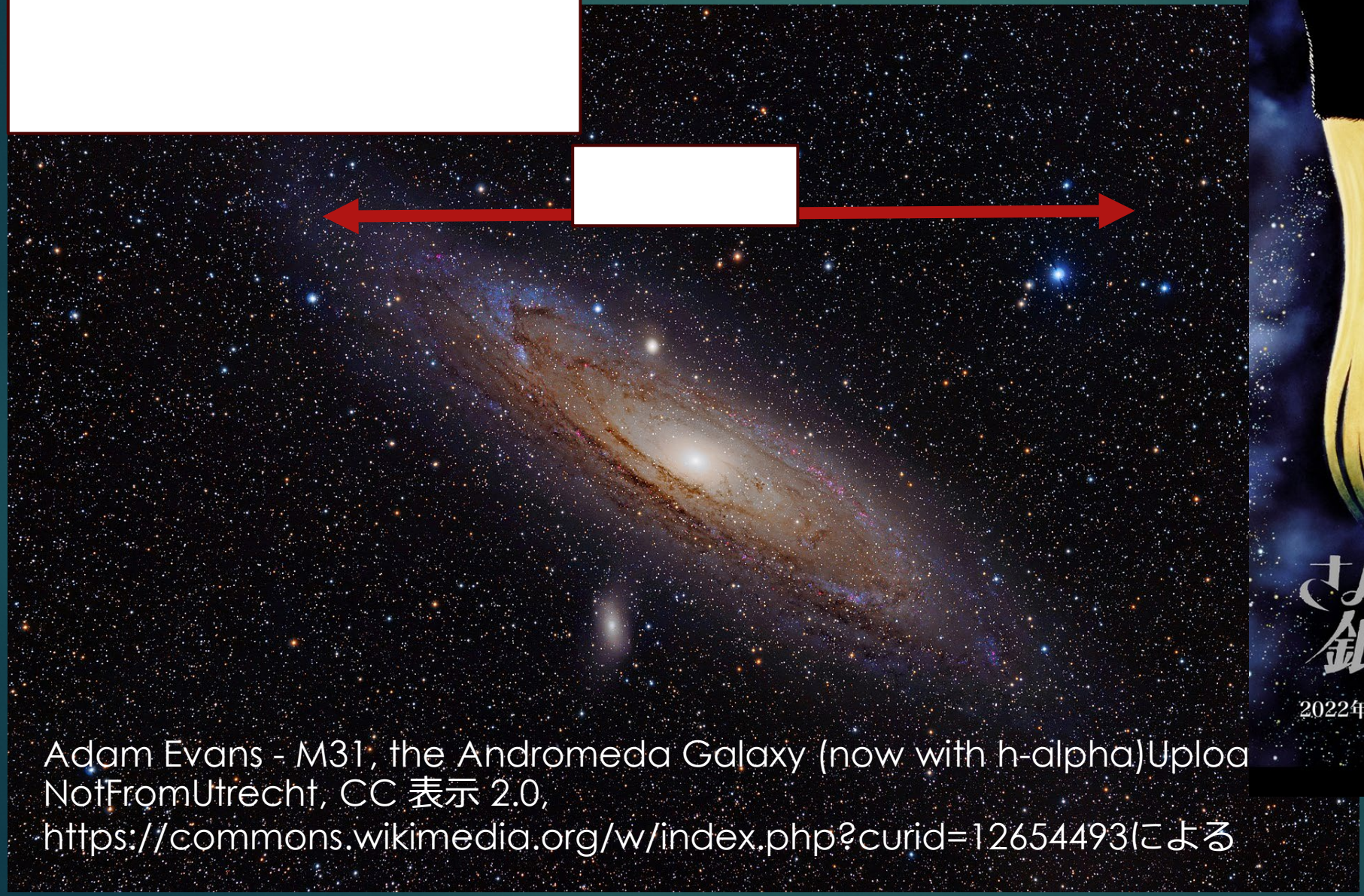


星の数：　２０００億個！＝２０００００００００００００個！(0が１１個)

おとなりの銀河



アンドロメダ銀河（ぎんが）



Adam Evans - M31, the Andromeda Galaxy (now with h-alpha)Uploa
NotFromUtrecht, CC 表示 2.0,
https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=12654493による



宇宙の階層構造

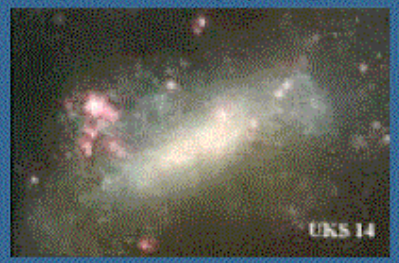
宇宙の大構造

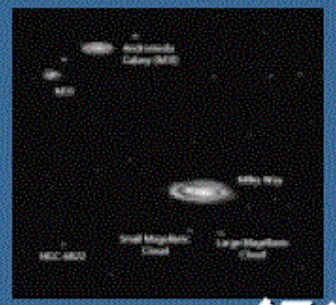
銀河群

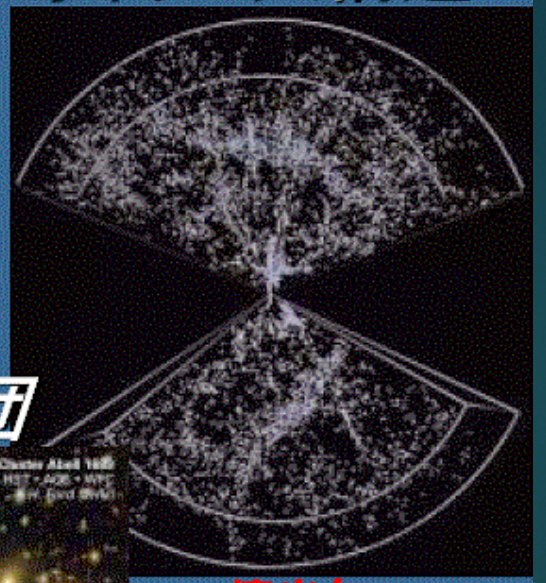
矮小銀河

太陽系





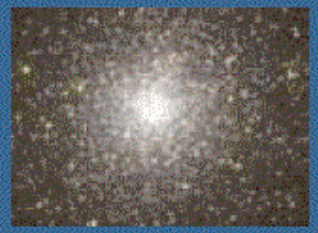


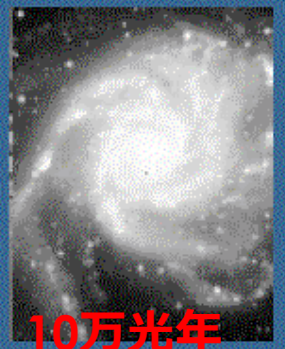


銀河団

銀河

星団





10万光年



100万~1000万光年

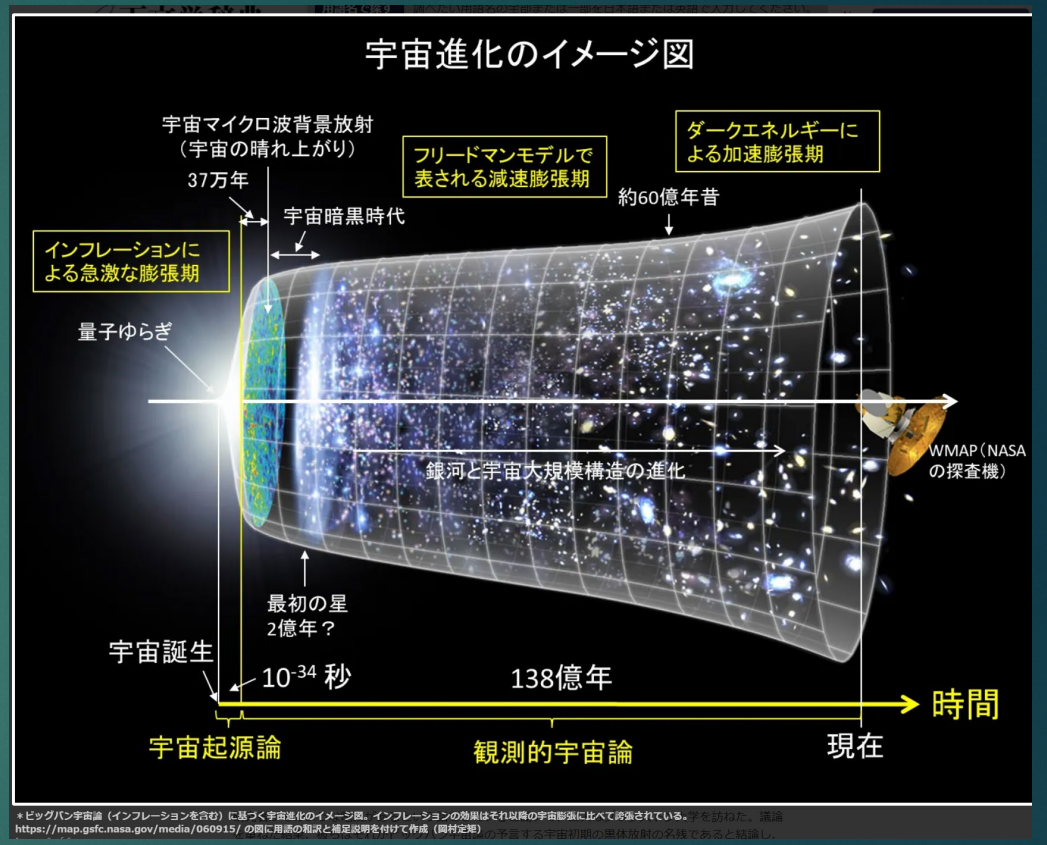
1億光年

10^0 10^1 10^2 10^3 10^4 10^5 10^6 10^7 10^8

典型的大きさ［パーセク(～3.1光年)］

宇宙

- 宇宙の大きさは？
  - ぜっさん膨張中！
  - でも大きさはわからない！
- 宇宙の年齢は？
  - １３８億歳！
- 始まったころはとっても熱かった！
  - 誕生１００秒後：１０億度

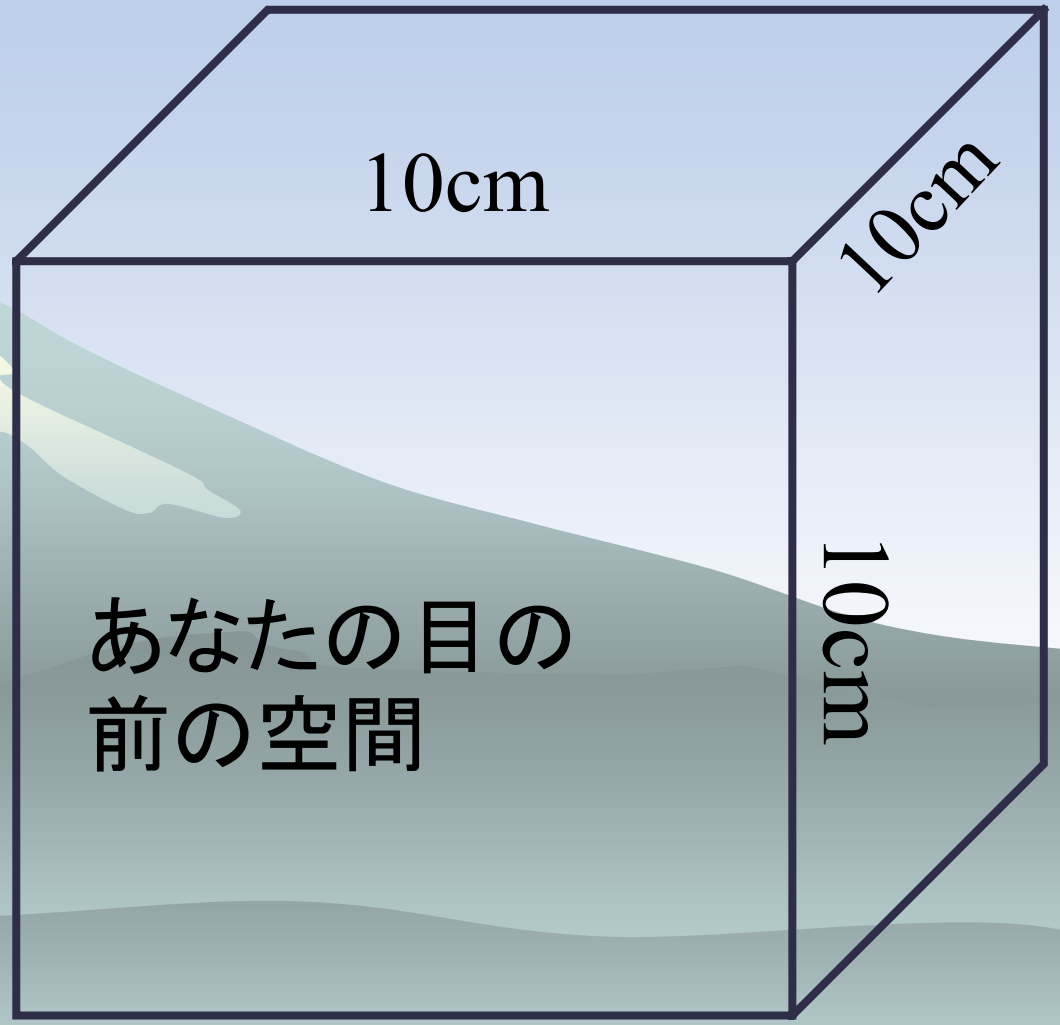


ちいさな素粒子

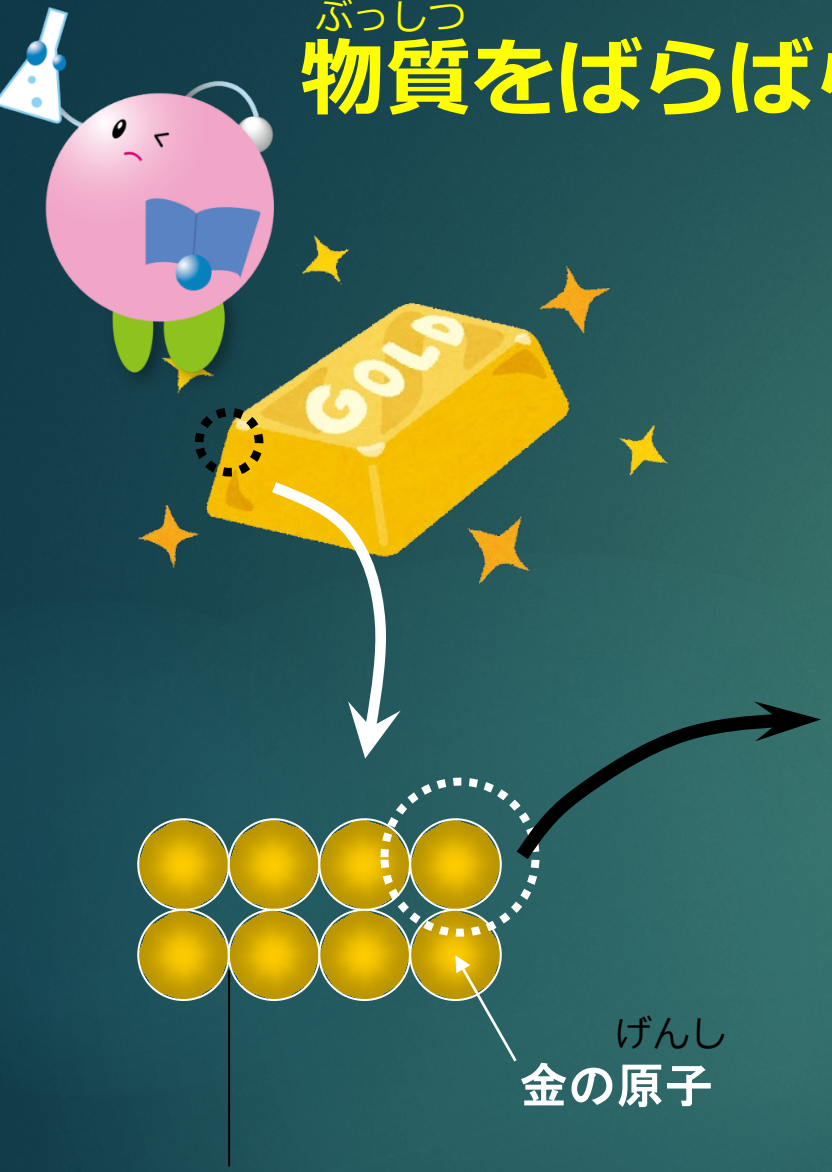
素粒子：これ以上ちいさくできないもっともちいさい粒

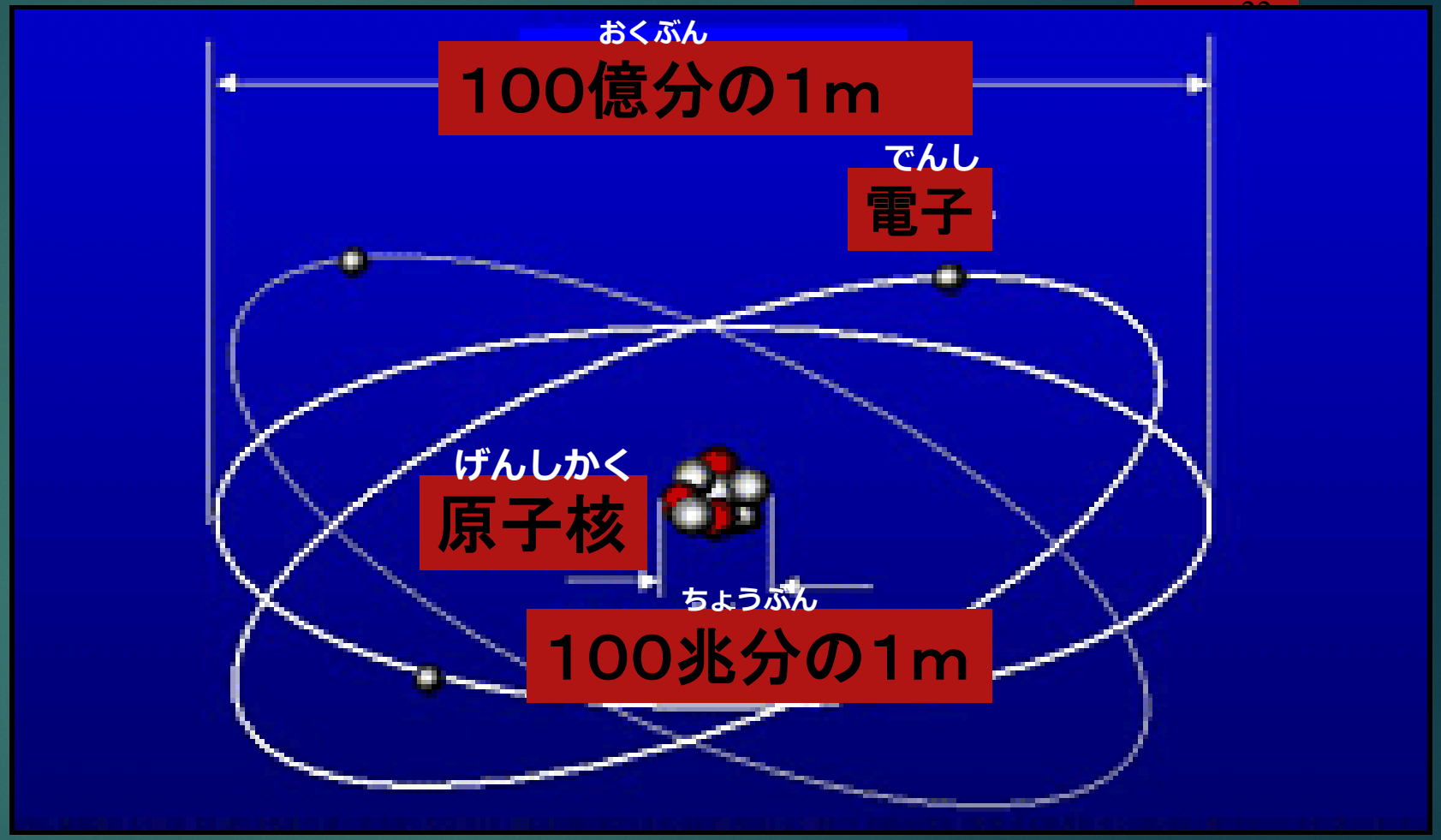
小さい方(原子分子)のおおきさ

- 目の前には、おもに酸素、窒素のつぶ(分子)がたくさんあります。
- 何個あるでしょうか？
  1. ~~1万個(0が4こ)~~
  2. ~~1億個(0が8こ)~~
  3. **100垓個(0が22個！！)**
  4. ~~1京個(0が16こ)~~
- でもすかすか！
  - 集めると1000倍詰め込める



物質(ぶっしつ)をばらばらにしていくと・・・

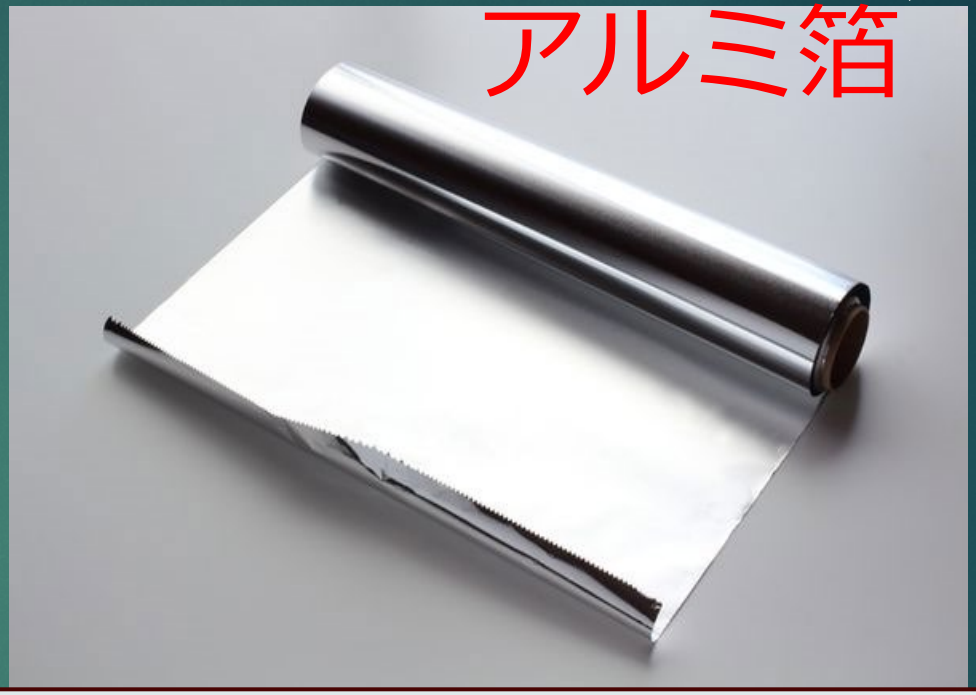




物質(ぶっしつ)をばらばらにしていくと・・・



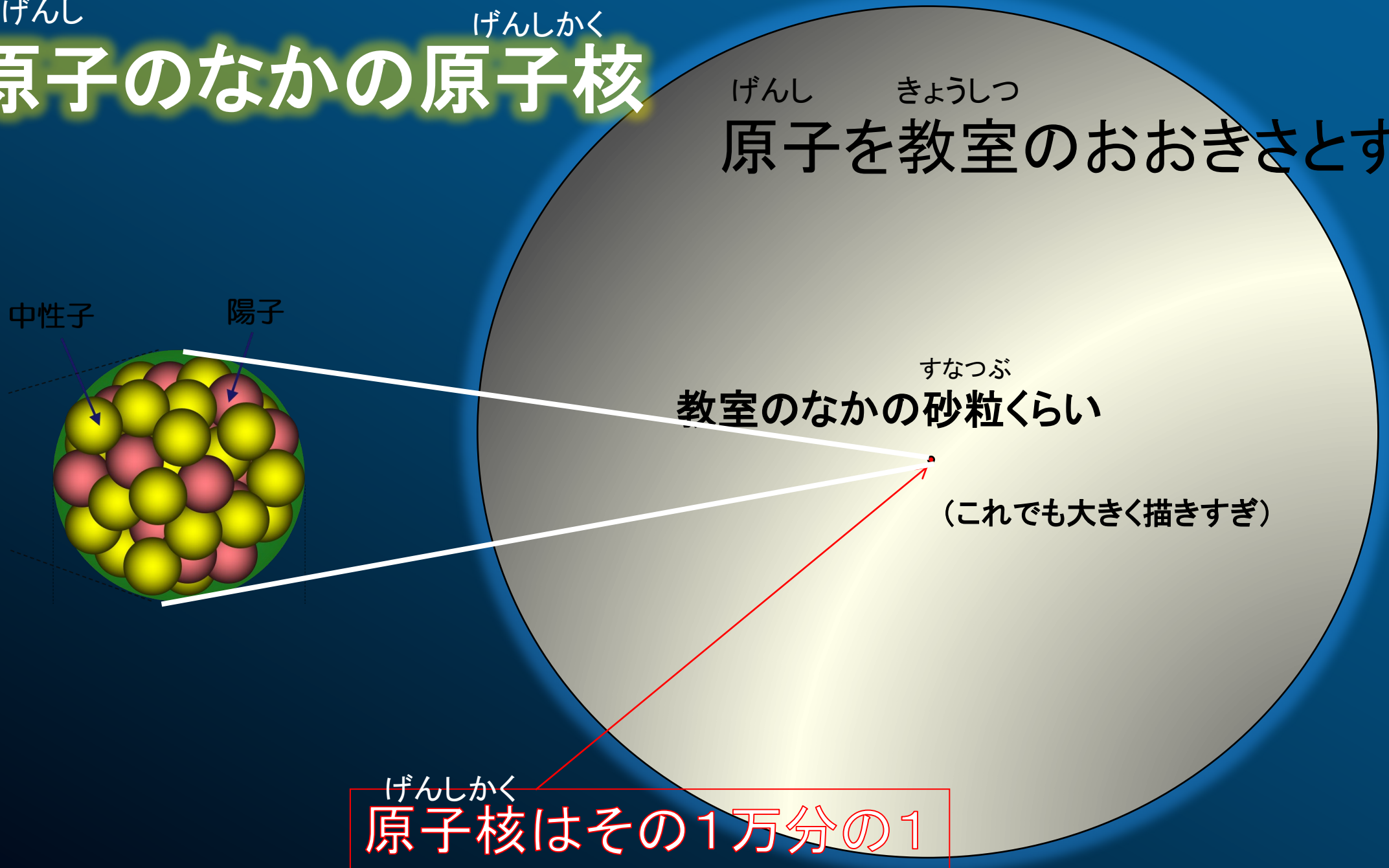
はく
アルミ箔



あつさ：およそ　１０ミクロン　＝　１００分の１mm
はく　げんし　なんそう
アルミ箔には原子は何層あるでしょうか？

1. １０００層
2. １０万層
3. １億層

原子のなかの原子核

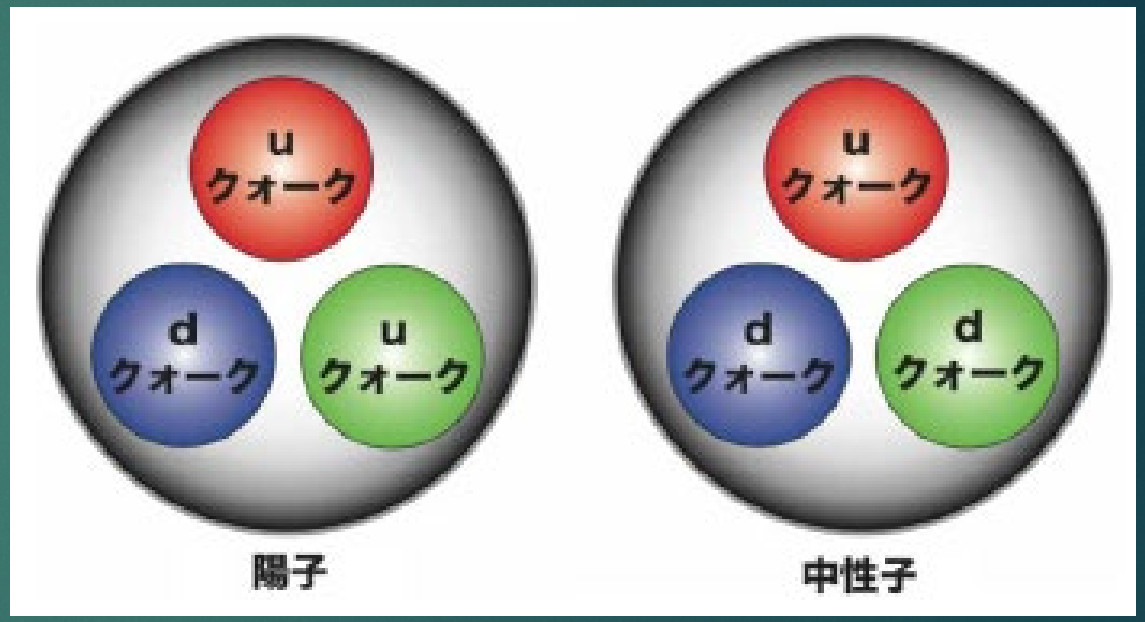

原子を教室のおおきさとすると？
中性子
陽子
教室のなかの砂粒くらい
（これでも大きく描きすぎ）
原子核はその１万分の１

素粒子

- これ以上小さく出来ない粒
- 電子やミュー粒子
- クォーク

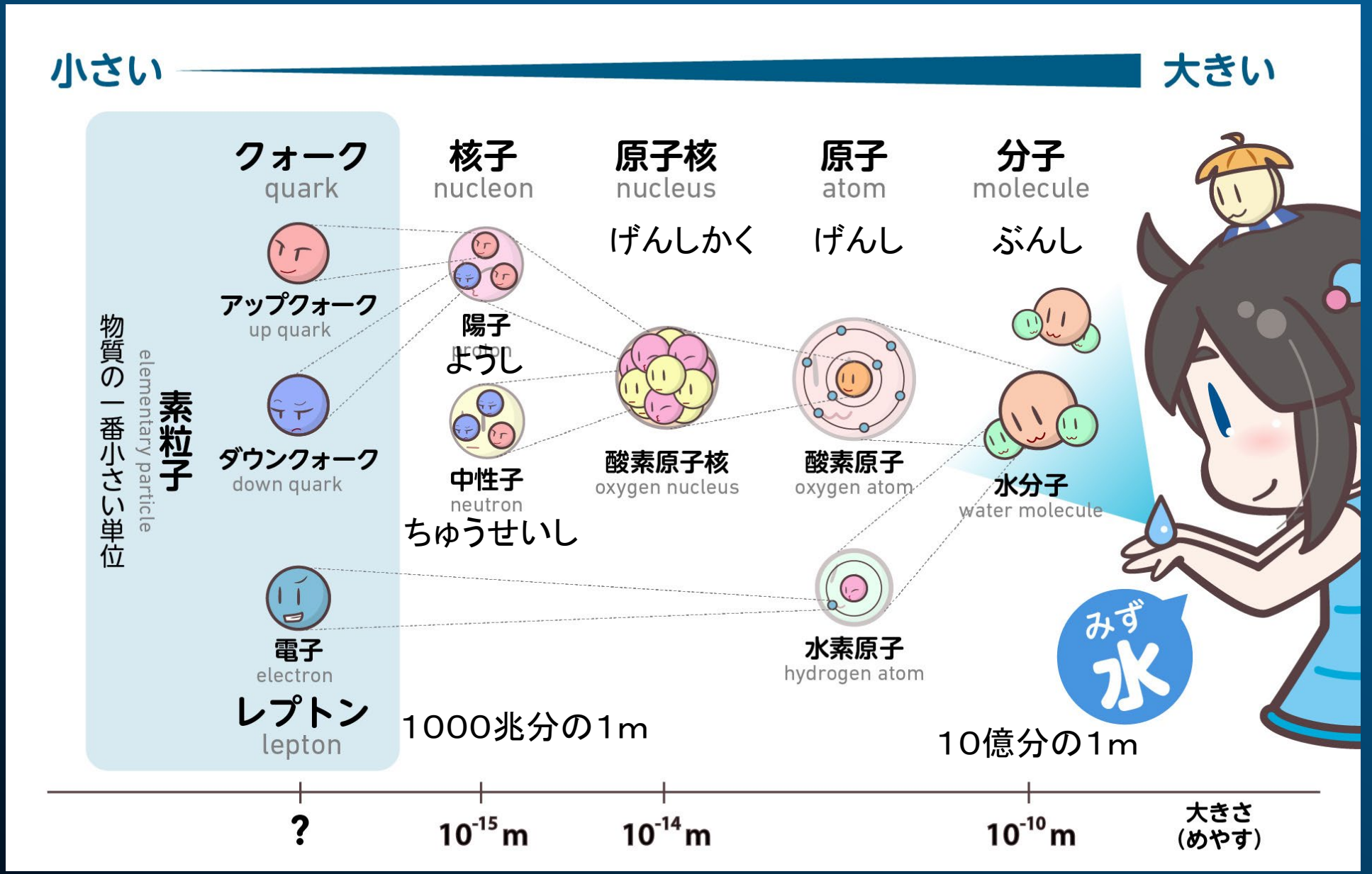
原子核のなかにある

陽子　中性子



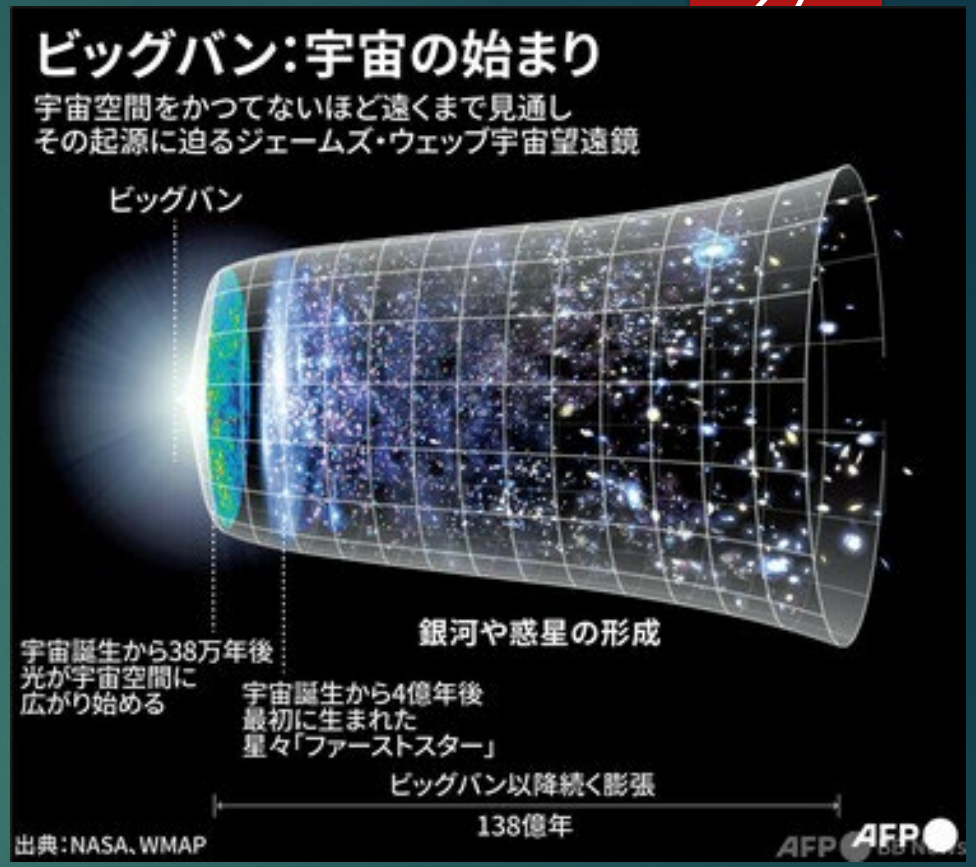
1兆分の1mm

物質のなりたち


小さい
大きい
クォーク
quark
核子
nucleon
原子核
nucleus
げんしかく
原子
atom
げんし
分子
molecule
ぶんし
アップクォーク
up quark
ダウンクォーク
down quark
素粒子
elementary particle
物質の一番小さい単位
陽子
ようし
中性子
neutron
ちゅうせいし
酸素原子核
oxygen nucleus
酸素原子
oxygen atom
水分子
water molecule
電子
electron
レプトン
lepton
水素原子
hydrogen atom
1000兆分の1m
10億分の1m
みず
水
?
10^{-15}m
10^{-14}m
10^{-10}m
大きさ
(めやす)

宇宙のなぞ

- これ以上小さくできない粒子(そりゅうし)はなに？
- それはどうして存在(そんざい)するの？私たちはどこからきたの？
- 宇宙の始まりは？
- 宇宙のはてはどうなってるの？
- 宇宙の終わりはあるの？



まだまだなぞがたくさん！
ワクワクがたくさん！

大きな宇宙の謎
小さなミクロな世界の謎
どうやって調べるの？

宇宙と素粒子と加速器と。
そりゅうし　かそくき



どんなに大きい光学顕微鏡(こうがくけんびきょう)をつくっても見えないものはみえない

- 光の波長(はちょう)約1ミクロン＝1000分の1mmより小さいものはどうしても(目では)見えない
- 原子(げんし)は1ミクロンの10000分の1



りゅうし　かそく
粒子を加速、モノにぶつけてみる

⬇

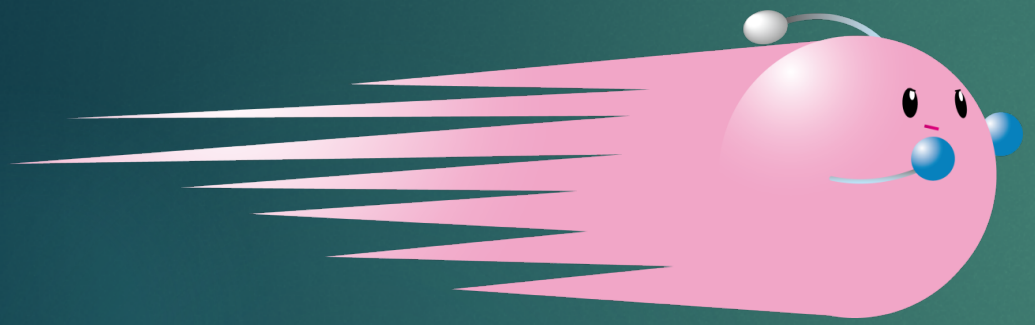
小さいものが見えるようになる！

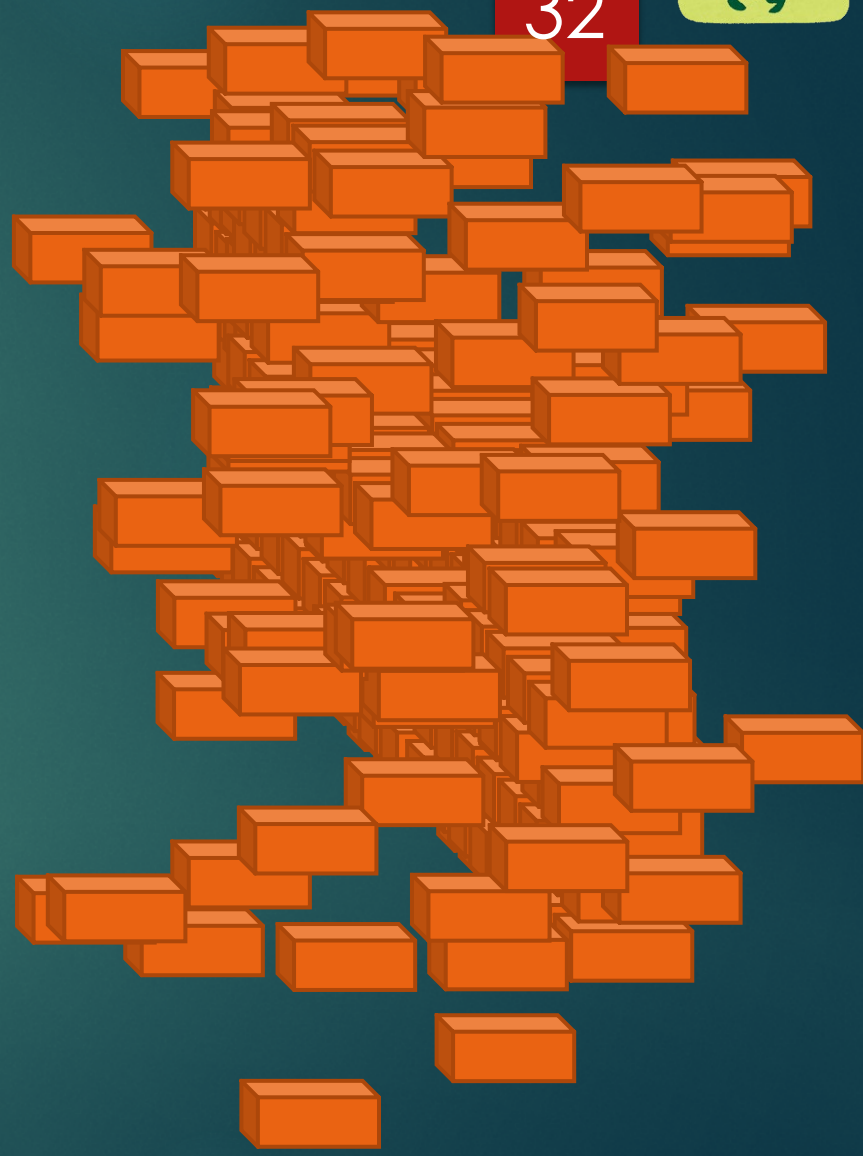


か　そ　く　き
加速器！



おそいと、、

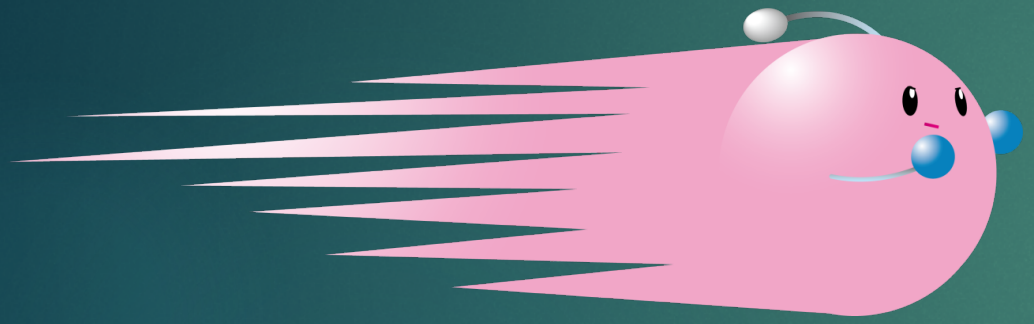




- レンガの壁（かべ）ががらがら崩（くず）れるくらい
- レンガの個数（こすう）などはわかるけど、レンガの中身までではわからない

速いと、、

画像はイメージです





- レンガが粉々（こなごな）に。
- レンガの中身が調べられる

粒子(りゅうし)を加速(かそく)、モノにぶつけてみる

↓

小さいものが見えるようになる！



加速器（かそくき）！



加速器　の　例:　電子顕微鏡

- 電子顕微鏡は電子を～10万ボルトで加速
  - 光学顕微鏡より10万分の1まで小さいものが見える＝原子スケール

https://www.jaima.or.jp/jp/analytical/basic/em/sem/

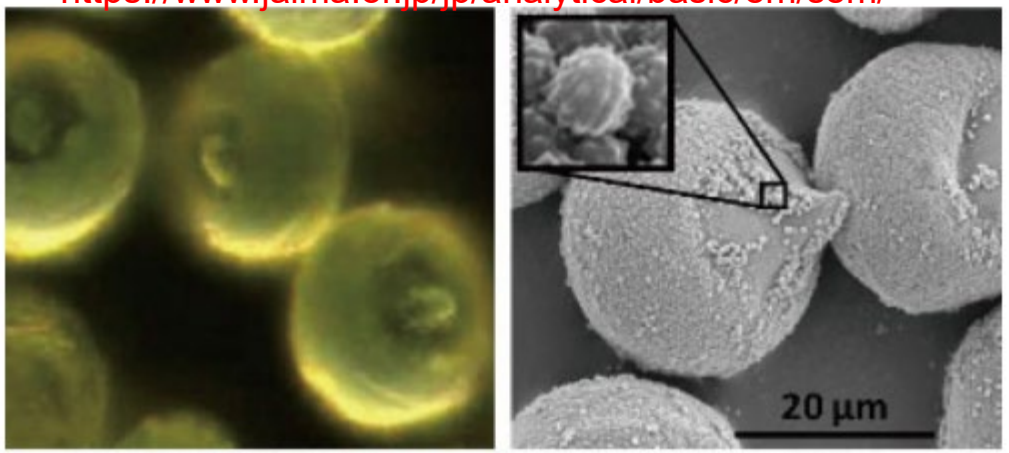
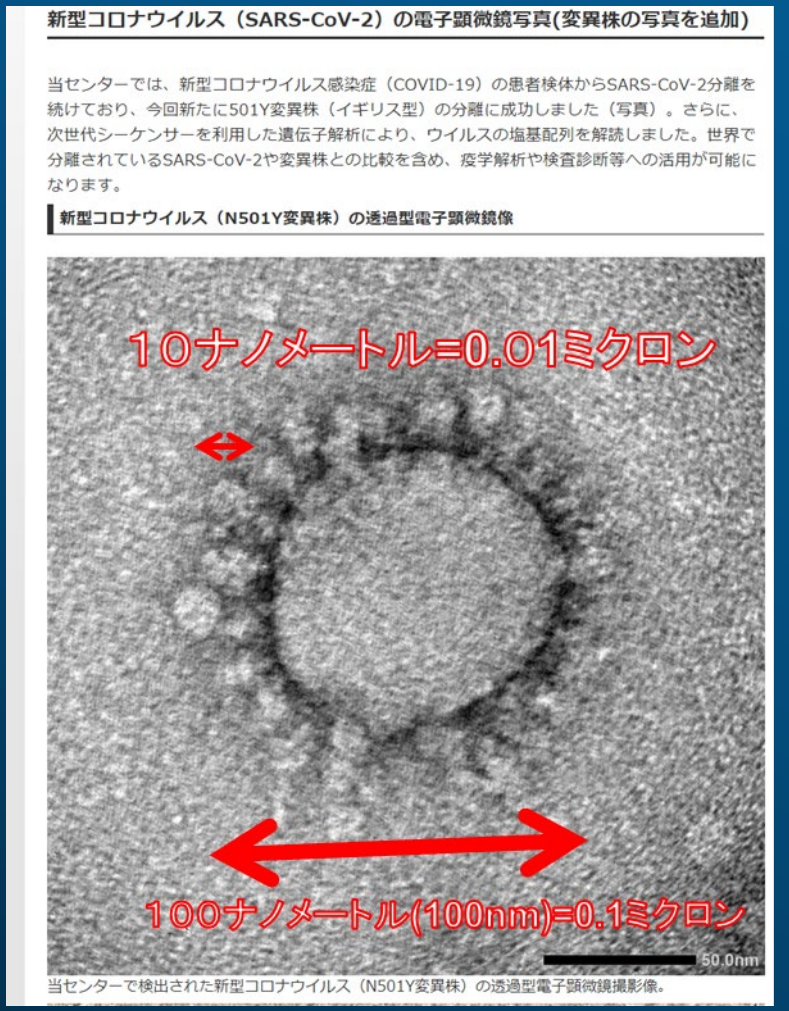


図1 光学顕微鏡とSEM の画像比較(試料名:スギ花粉)



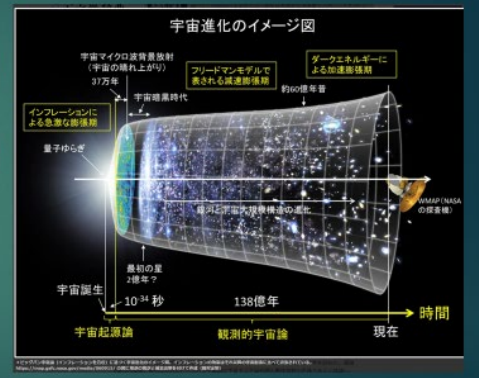


宇宙と素粒子と加速器と

- 宇宙のはじまりはとっても熱かった！
- **熱い＝速い！**
- **加速器を使って粒子を速くすると宇宙の始まりに迫れる！**
- 望遠鏡でも宇宙の始まりに迫れる

宇宙

- 宇宙の大きさは？
  - ぜっさん膨張(ぼうちょう)中！
  - でも大きさはわからない！
- 宇宙の年齢は？
  - １３８億歳！
- 昔はとっても熱かった！
  - １００秒後：１０億度

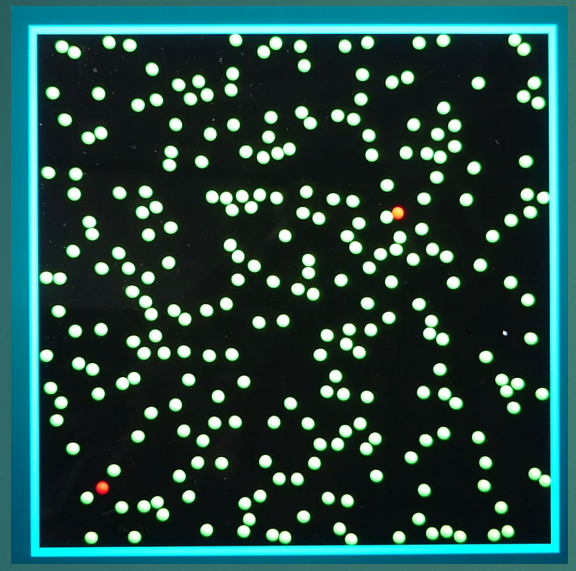


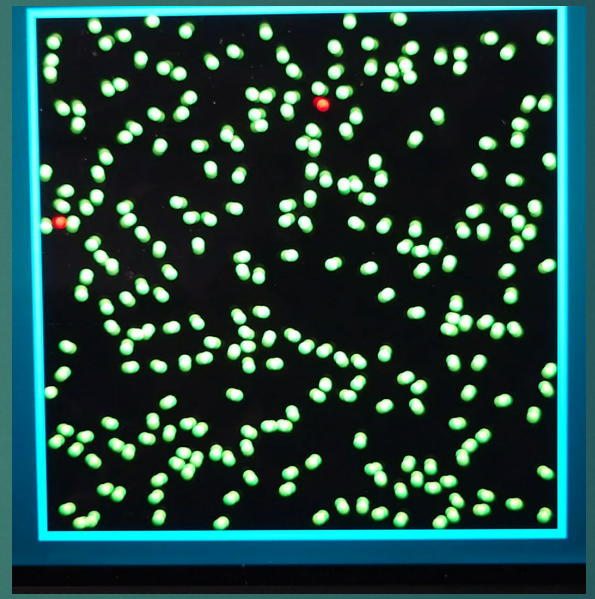


あつい　と　はやい　は同じ

さむい！！ぶるぶる







あちぃ！！だくだく



空気(くうき)の粒(つぶ)(分子(ぶんし))　の　速(はや)さ　が　違(ちが)う！！

０度：１秒におよそ５００ｍ

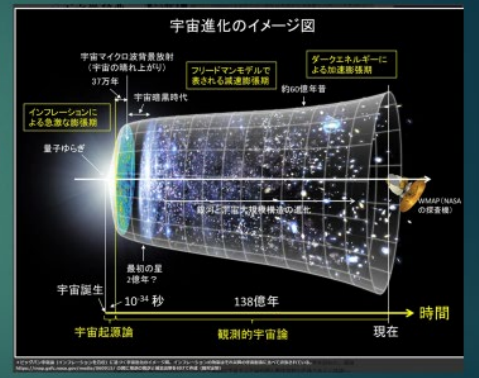
３５度：１秒におよそ５３０ｍ

宇宙と素粒子と加速器と

- 宇宙のはじまりはとっても熱かった！
- **熱い＝速い！**
- **加速器を使って粒子を速くすると宇宙の始まりに迫れる！**
- 望遠鏡でも宇宙の始まりに迫れる

宇宙

- 宇宙の大きさは？
  - ぜっさん膨張(ぼうちょう)中！
  - でも大きさはわからない！
- 宇宙の年齢は？
  - １３８億歳！
- 昔はとっても熱かった！
  - １００秒後：１０億度





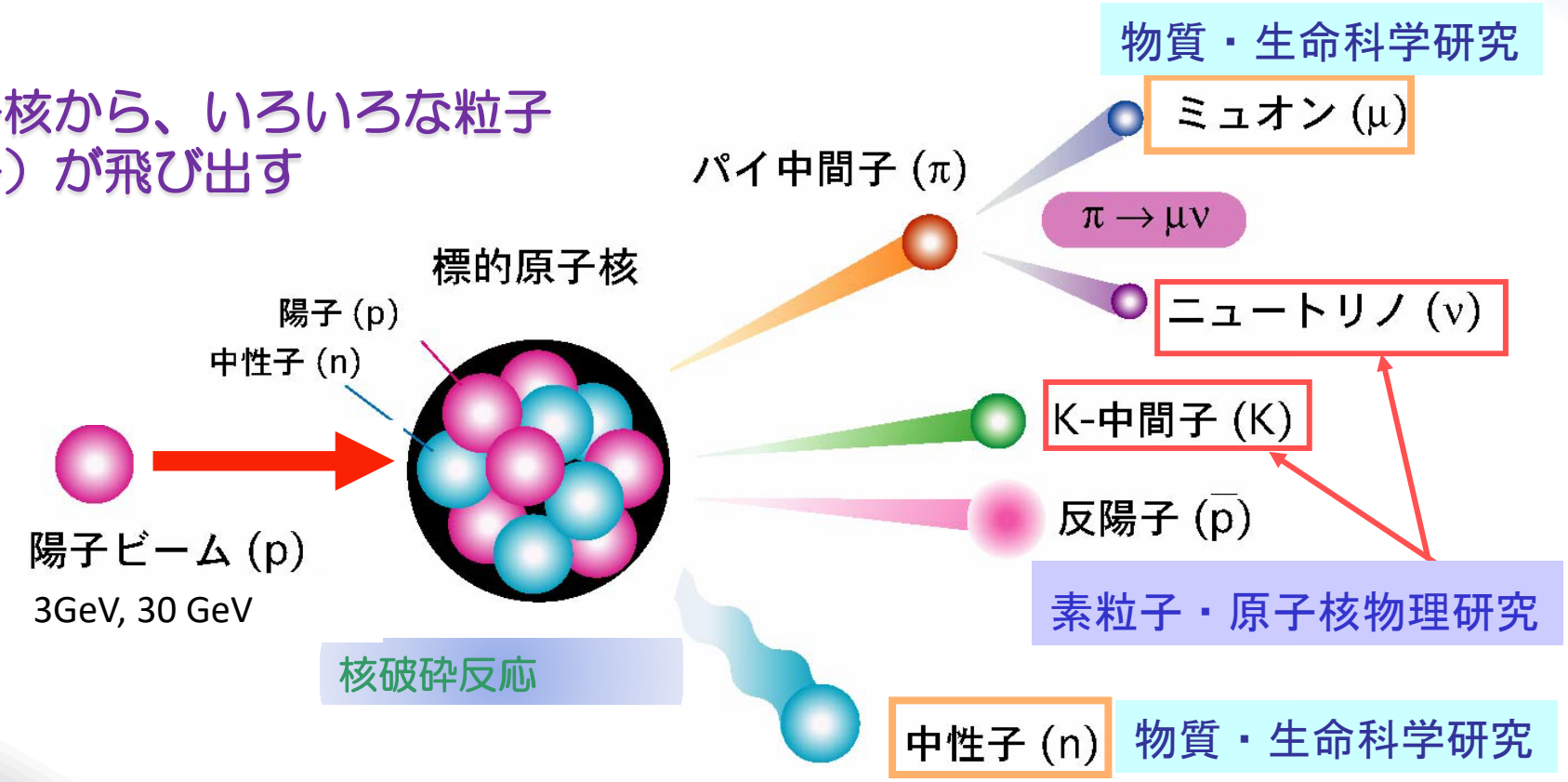
陽子を加速する「J-PARC」の登場！

大強度陽子加速器施設：J-PARC



陽子ビームを物質にあててていろんな粒子を作って使う！

標的の原子核から、いろいろな粒子
（二次粒子）が飛び出す



J-PARC(じぇいぱーく)とは？

Japan Proton Accelerator Research Complex

大強度陽子加速器施設

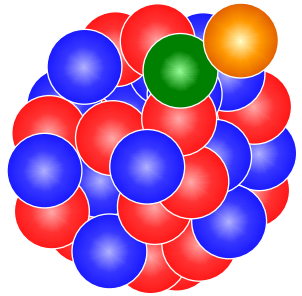
ミューオン

パイ中間子

ニュートリノ

K中間子

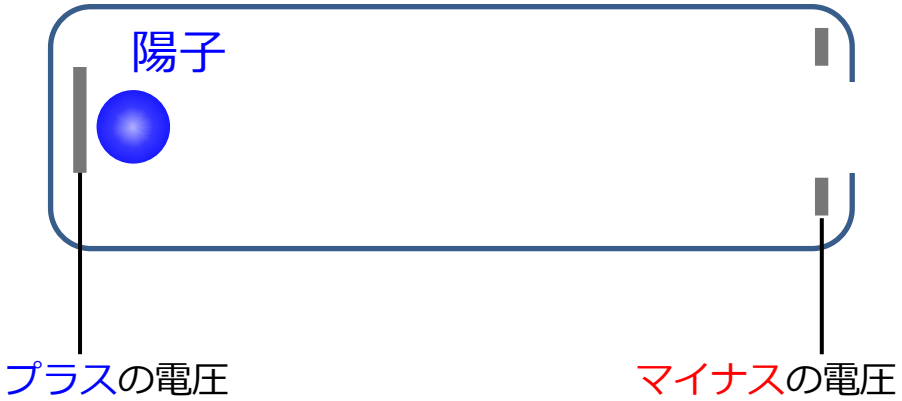
原子核標的



核破砕反応

二次粒子

実験施設



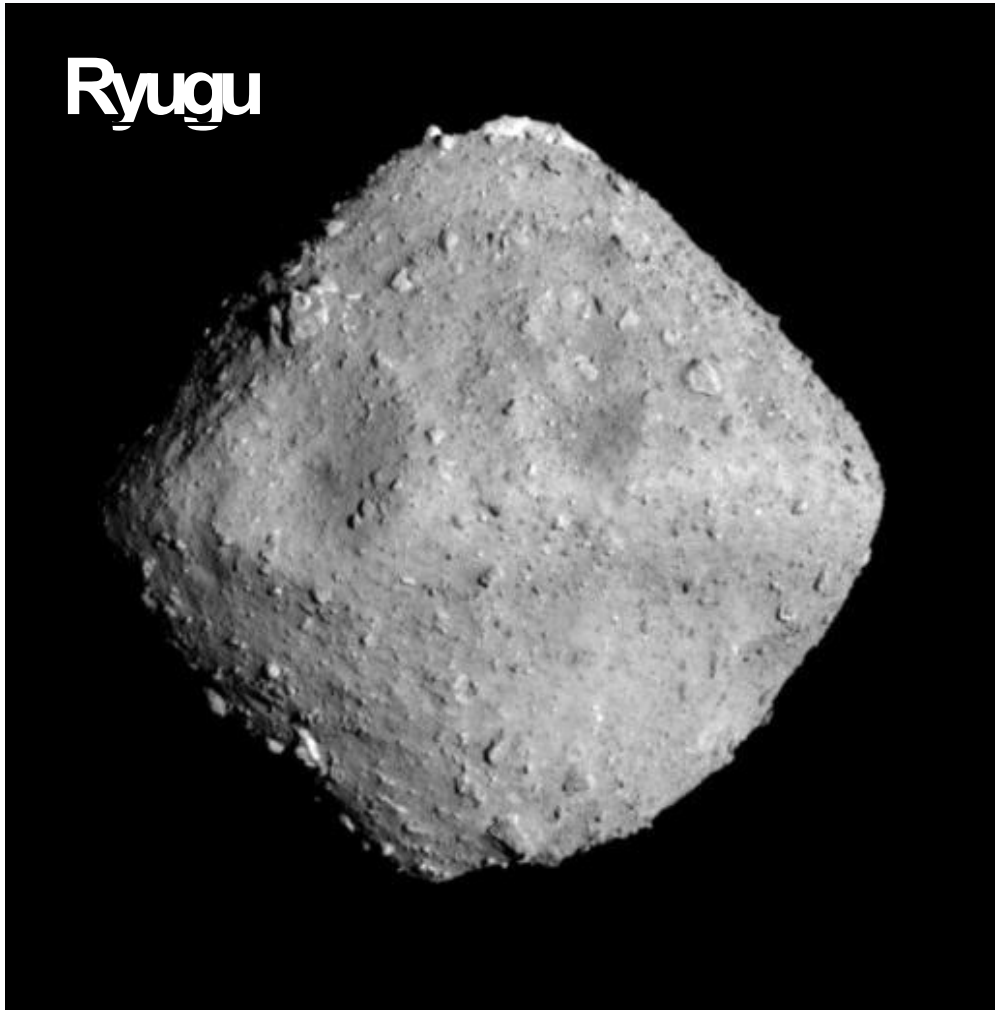
陽子加速器

中性子

陽子(ようし)をはやくして)、ぶつけて、めにみえない世界を調べる

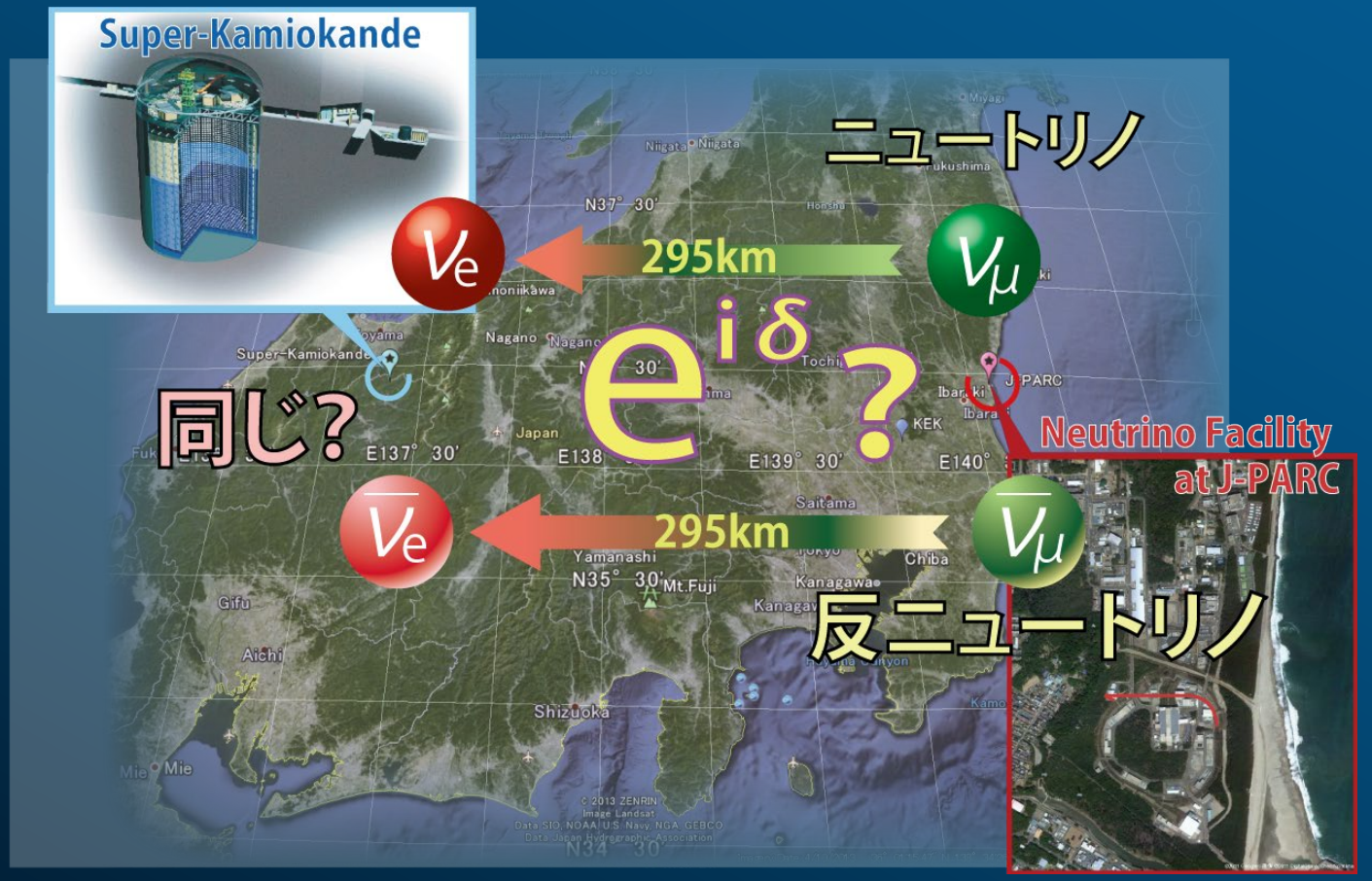
小惑星りゅうぐうのなかみを調べる！





はやぶさ２が持ち帰った小惑星「リュウグウ」の岩石のなかみがわかった！

ニュートリノ研究



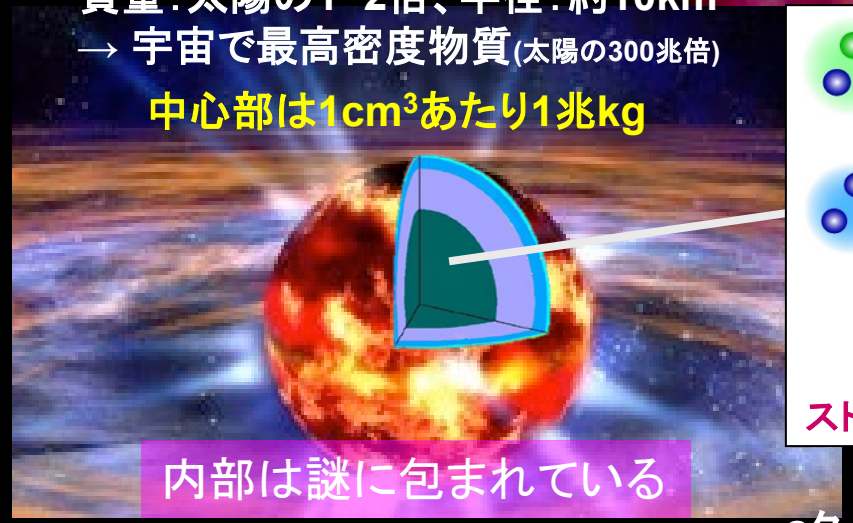
宇宙の物質起源のなぞ、宇宙になぜ私達が存在しているのか？　の解明を目指す

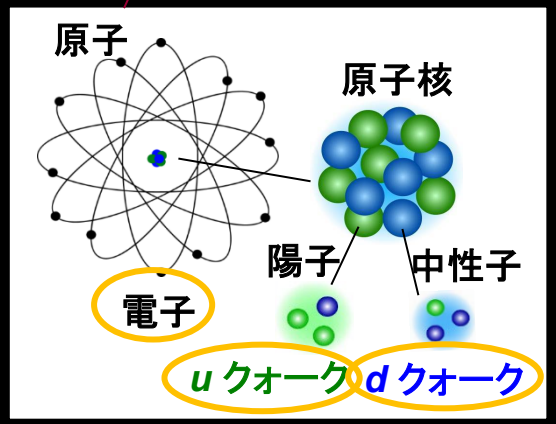
Credits: NASA/CXC/ASU/J. Hester et al., HST/ASU/ J. Hester et al.

J-PARCで
中性子星内部の解明➡ 新たな物質観の構築

中性子星

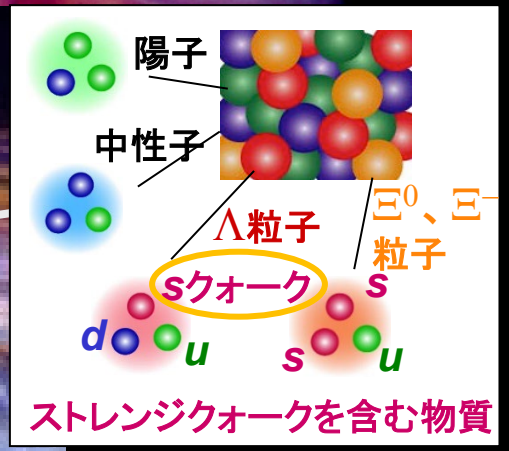
超新星爆発で
ブラックホールにならずに残った天体
質量：太陽の1~2倍、半径：約10km
→ 宇宙で最高密度物質(太陽の300兆倍)
中心部は1cm^{3}あたり1兆kg





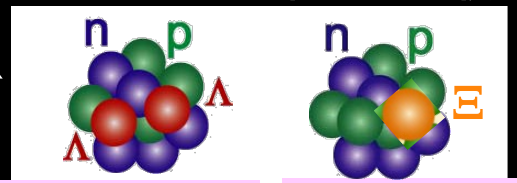
u,dクォークと電子
からなる物質

ストレンジ核物質？



ストレンジクォークを含む物質

sクォークを2個含む原子核

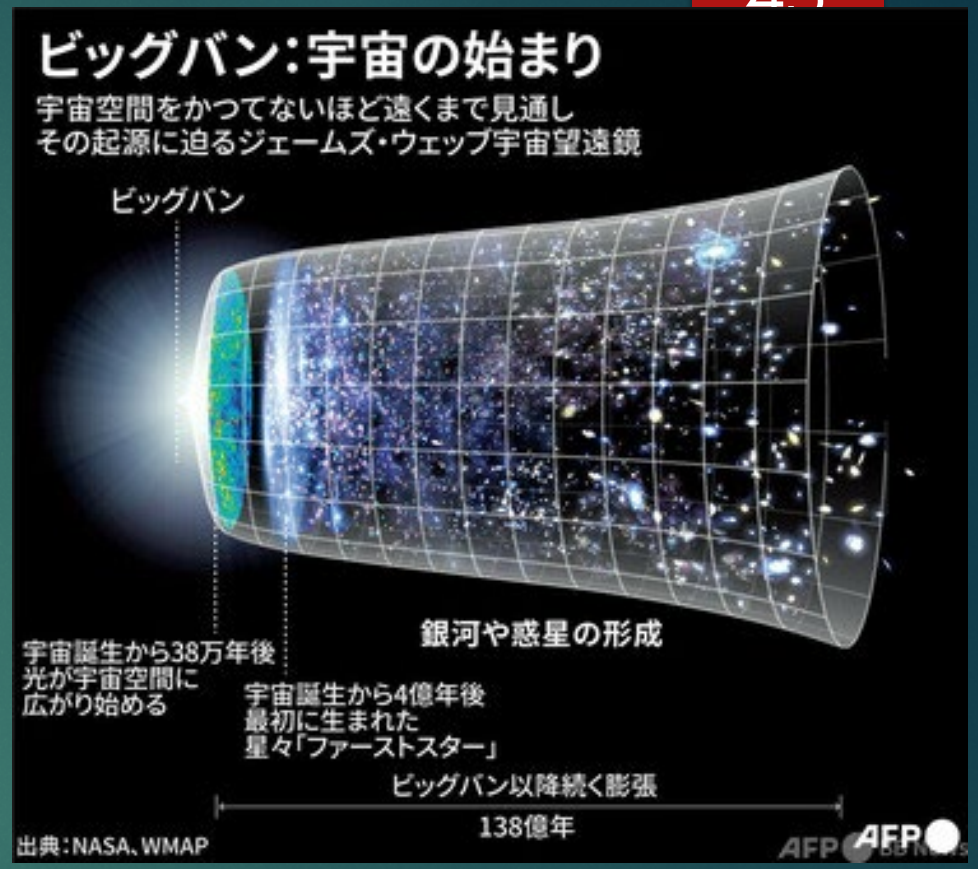


ΛΛハイパー核　ΞハイパーΞ核

“中性子星”
を人工的に作る

宇宙のなぞ

- これ以上小さくできない粒子(そりゅうし)はなに？
- それはどうして存在するの？私たちはどこからきたの？
- 宇宙の始まりは？
- 宇宙のはてはどうなってるの？
- 宇宙の終わりはあるの？



いっしょにワクワクしましょう！

いっしょに解明（かいめい）してみましょう！

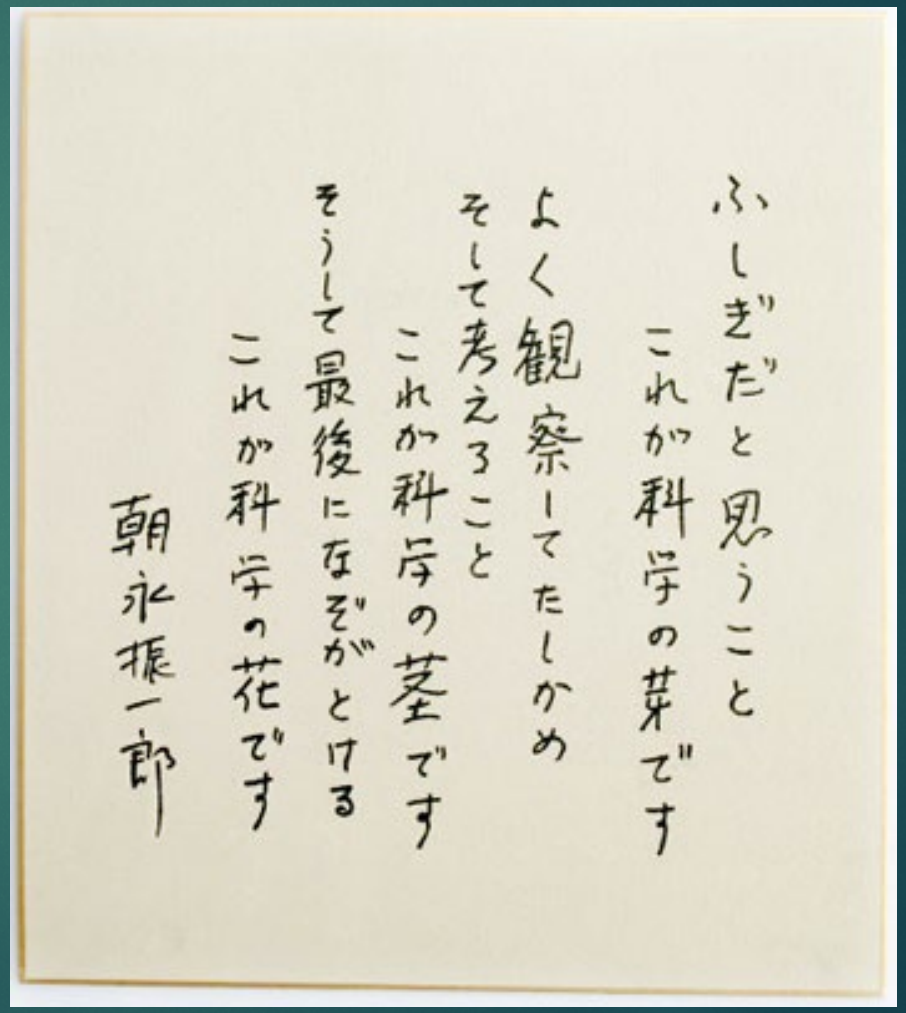
ふしぎ

- なぜ、月は　車についてくるの？
- なぜ空はあおいの？
- なぜ　ゆうやけ　は赤いの？
- なんで　惑星(わくせい)　は　まどうほしと書くの？
- 宇宙の　はては？
- でんし　と　ようし　は　電気の強さがなぜおなじなの？

朝永振一郎
(1965年ノーベル物理学賞)

- 素粒子物理理論





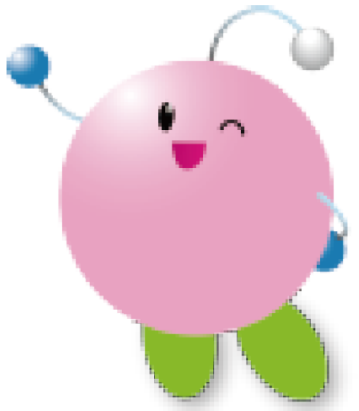
おまけ

おおきなすうじのかぞえかた

			0の数
一	いち	1	
十	じゅう	１０	
百	ひゃく	１００(10^2)	
千	せん	１０００(10^3)	
万	まん	１００００(10^4)	4
億	おく	10^8	8
兆	ちょう	10^{12}	12
京	けい	10^{16}	16
垓	がい	10^{20}	20
秭	じょ	10^{24}	24
穣	じょう	10^{28}	28
溝	こう	10^{32}	32
澗	かん	10^{36}	36
正	せい	10^{40}	40
載	さい	10^{44}	44
極	ごく	10^{48}	48
恒河沙	こうがしゃ	10^{52}	52
阿僧祇	あそうぎ	10^{56}	56
那由他	なゆた	10^{60}	60
不可思議	ふかしぎ	10^{64}	64
無量大数	むりょうたいすう	10^{68}	68

J-PARCツイッター

YouTube
J-PARCチャンネル



フォロー、チャンネル登録よろしくお願いします！

J-PARC ハローサイエンス

J-PARC ハローサイエンス

- J-PARCのサイエンスをわかりやすく紹介
- 毎月１回、金曜日１８時から
- ハイブリッド
- 録画をいつでも見られる！

- こういうイベント情報などJ-PARCからお知らせが届くメーリングリストあり。
- Twitterもあるよ。





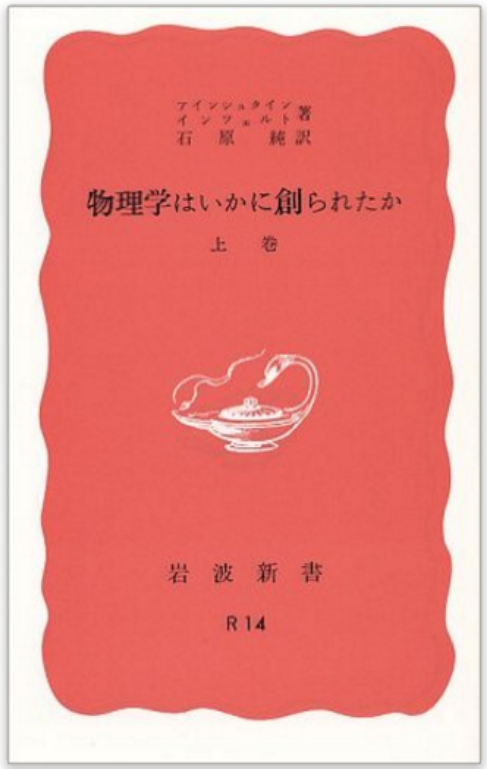
（学研まんがひみつシリーズ 1）

宇宙のひみつ

初版1972.11.25(4歳)



アインシュタイン
「物理学はいかに創られたか」



物理学はいかに創られたか（上）（岩波新書） 新書 – 1963/9/20

アインシュタイン (著), インフェルト (著), 石原 純 (翻訳)

★★★★★ 12件のカスタマーレビュー

▸ その他（2）の形式およびエディションを表示する

Kindle版	**新書**
￥ 777	**￥ 756**
今すぐお読みいただけます: **無料アプリ**	￥ 1 より 52 中古品の出品 ￥ 756 より 1 新品 ￥ 500 より 10 コレクター商品の出品

住所からお届け予定日を確認 既定の住所を使用 詳細

8/4 木曜日 にお届けするには、今から**11 時間 18 分**以内に「お急ぎ便」または「当日お急ぎ
さい（有料オプション。Amazonプライム会員は無料）

amazonstudent Amazon Student会員なら、この商品は+10%Amazonポイント還元(Amazonマーケットプ
もれなくポイント1,000円分プレゼントキャンペーン実施中。

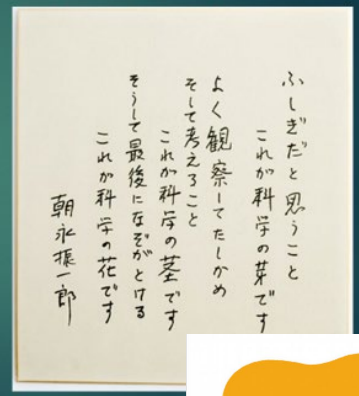
朝永振一郎

朝永振一郎
(1965年ノーベル物理学賞)

94

- 素粒子物理理論

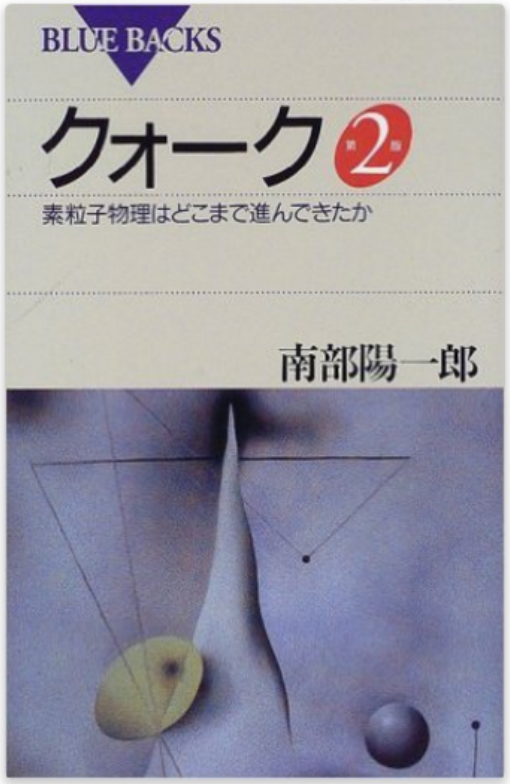








南部陽一郎(2008ノーベル賞)「クォーク」



クォーク 第2版 (ブルーバックス) 新書 – 1998/2/20

南部 陽一郎 (著)

16件のカスタマーレビュー

その他（2）の形式およびエディションを表示する

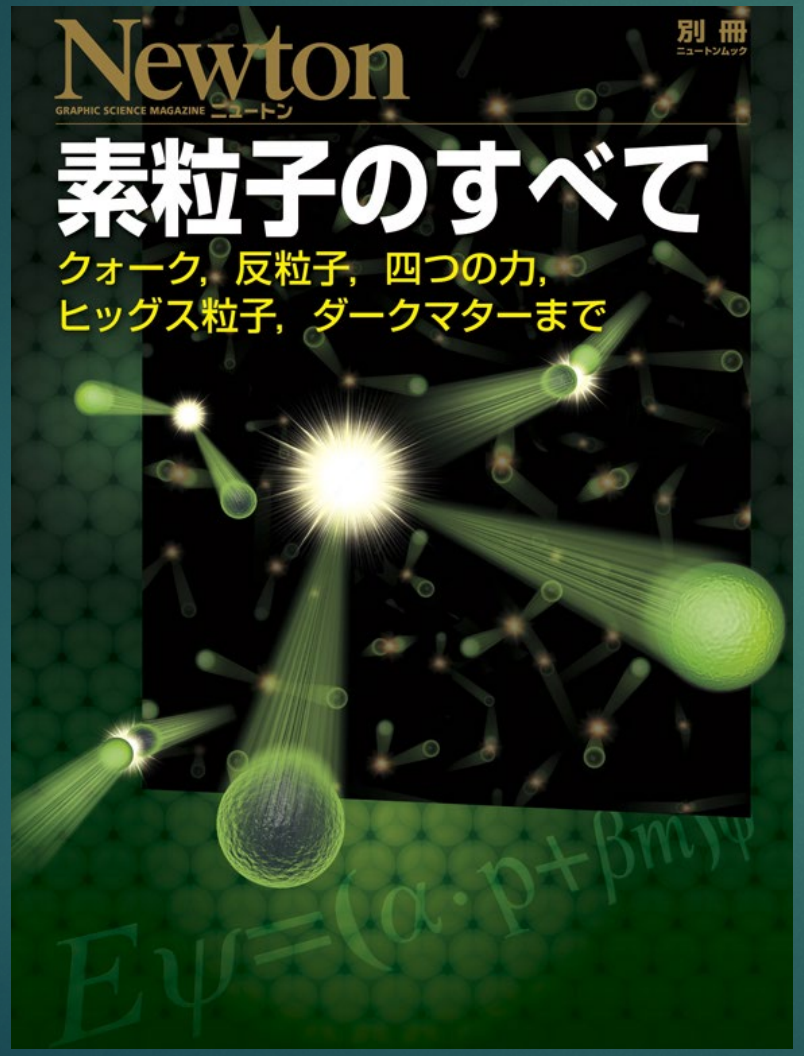
Kindle版	新書
￥ 1,188	**￥ 1,188**
今すぐお読みいただけます: **無料アプリ**	￥ 94 より 25 中古品の出品 ￥ 1,188 より 1 新品 ￥ 1,200 より 1 コレクター商品の出品

住所からお届け予定日を確認 既定の住所を使用 詳細

8/2 火曜日 にお届けするには、今から**5 時間 6 分**以内に「お急ぎ便」または
（有料オプション。Amazonプライム会員は無料）

amazonstudent Amazon Student会員なら、この商品は+10%Amazonポイント還元(Ar
もれなくポイント1,000円分プレゼントキャンペーン実施中。

ニュートン別冊
2016年12月20日発行



もっと知りたい！ コラム

物質と反物質に新たなちがいが見つかった!?

ニュートリノは，宇宙の成り立ちに深く関与しているのかもしれない

2016年8月7日，KEK（高エネルギー加速器研究機構）などの国際共同研究グループは，素粒子の一種である「ニュートリノ」と「反ニュートリノ」の間に，性質のちがいがあること（CP対称性の破れ）を約90%の確率で示す結果が得られたと発表した。この結果が確かめられれば，根源的な謎である宇宙の成り立ちの解明につながる大きな一歩となる。

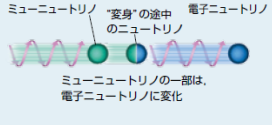
協力：小林 隆 高エネルギー加速器研究機構/J-PARC教授　市川温子 京都大学大学院理学研究科准教授

ビッグバン直後の宇宙には，「粒子」と「反粒子」は同数あったと考えられている。反粒子とは，通常の物質を構成する粒子と質量などの性質が同じで，帯びた電気などの正負だけがことなる粒子のことだ。反粒子から構成されたものは「反物質」とよばれる。

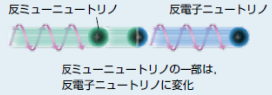
粒子と反粒子がぶつかると消滅するため，同数のままでは最終的に何も残らず，今のような物質にあふれた宇宙はできないことになる。そのため，反物質が消滅した理由は大きな謎とされてきた。反物質の消滅に必要な条件として研究が進められているのが，粒子・反粒子の「CP対称性の破れ」だ。CP対称性の破れとは，簡単にいうと，粒子と反粒子で，ことなる物理現象がおきることを意味する。

このようななか，KEKを中心とする11か国，61の研究機関からなる国際共同研究グループが「T2K実験（東海―神岡間長基線ニュートリノ振動実験）」の結果から，素粒子の一種である「ニュートリノ」にCP対称性の破れがあることを今回，約90%の確率で示したのだ。

ミューニュートリノが電子ニュートリノに変わるニュートリノ振動



反ミューニュートリノが反電子ニュートリノに変わるニュートリノ振動



T2K実験により，人工のニュートリノを用いたニュートリノ振動の測定が実施された。その結果，ミューニュートリノの一部が電子ニュートリノに変化していることを実証。つづいて，反ミューニュートリノの一部が反電子ニュートリノに変化しているかどうかを測定した。それにより，電子ニュートリノに変化する割合にくらべて，反電子ニュートリノに変化する割合の方が小さそうであるという結果が得られ，CP対称性が破れている可能性があることが示唆された。なお，ニュートリノと反ニュートリノは電気的に中性の素粒子である。反ニュートリノは，対となるニュートリノと，進行方向に対する"自転"の向き（ヘリシティ。図ではピンク色の矢印で示した）が逆になっている。

ニュートリノと反ニュートリノのちがいに注目

実は「クォーク」という素粒子では，すでにCP対称性の破れがあることが実証されている。それを理論的に説明したのが，2008年にノーベル物理学賞を受賞した小林誠，益川敏英両博士による「小林・益川理論」だ。しかしクォークのCP対称性の破れだけでは，宇宙の成り立ちを説明するには不十分だ。そこで注目されているのが，ニュートリノなのだ。

ニュートリノは非常に軽い素粒子で，電子型，ミュー型，タウ型の3種類が存在する。東京大学の梶田隆章博士は，ニュートリノが長距離を飛行するうちに種類が変化する，「ニュートリノ振動」という現象を発見し，2015年にノーベル物理学賞を受賞した。この現象は，岐阜県飛騨市神岡町にある巨大な地下

お勧め



宇宙は何でできているのか (幻冬舎新書) [新書]

村山 斉 (著)

★★★★☆ (42件のカスタマーレビュー)

価格: ￥ 840 通常配送無料 詳細

通常2~4週間以内に発送します。在庫状況について

この商品は、Amazon.co.jp が販売、発送します。ギフトラッピングを利用できます。

新品3点 ¥ 840より　中古品6点 ¥ 580より　コレクター商品2点 ¥ 1,000より

著者ページ

「著者ページ」を今すぐチェック

著者写真、略歴や著者の作品一覧など、著者情報が満載。使い方は「著
ジストア」へ。著作があれば、あなたも自分の著者ページを持つことがで
詳細は著者セントラルへ。

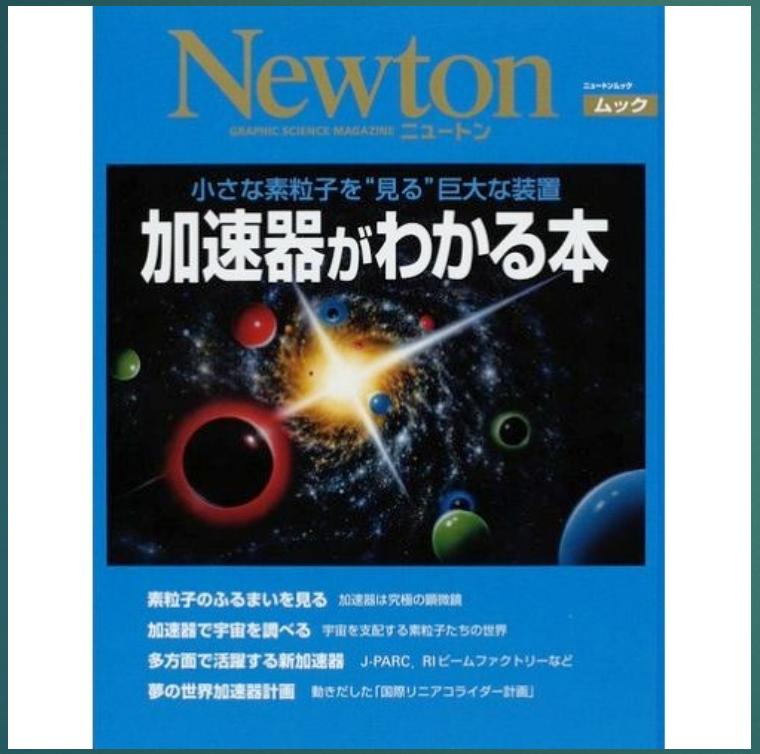
› その他のプロモーション情報を見る

参考



参考

加速器がわかる本―小さな素粒子を“見る”巨大な装置 (ニュートンムック)

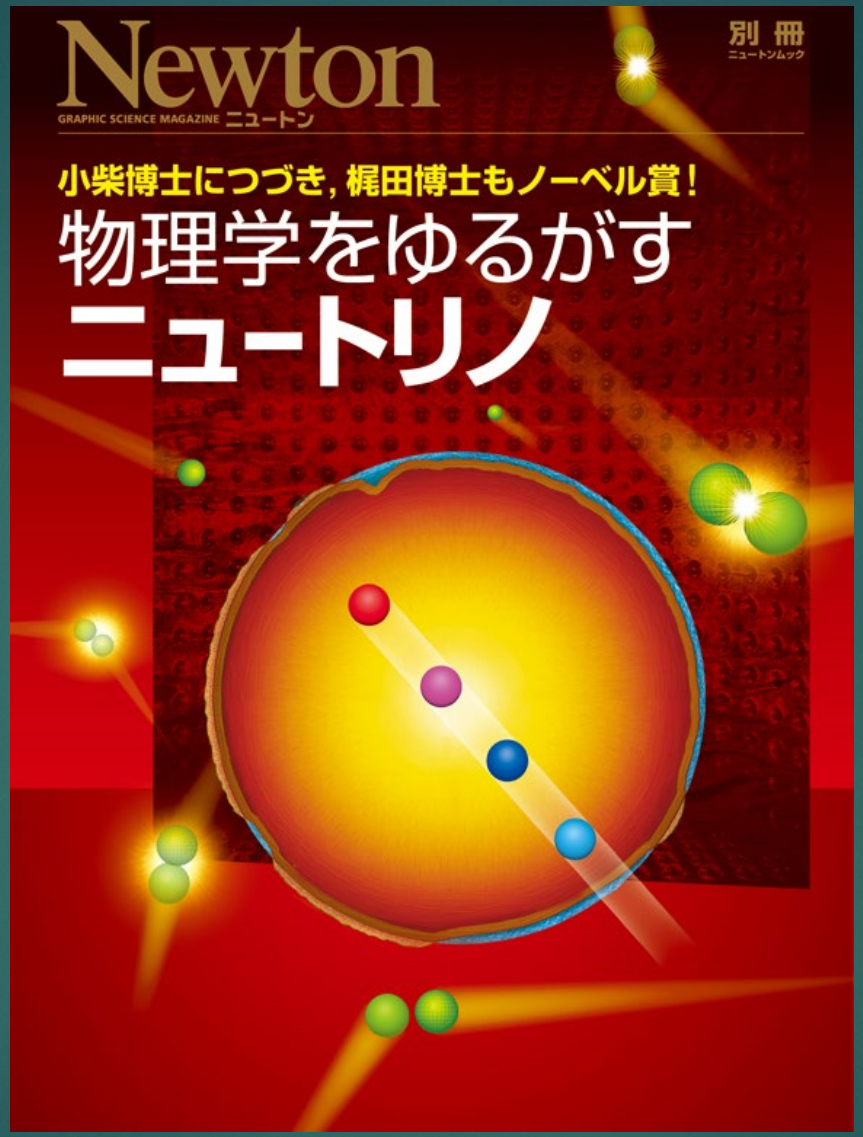


2007/03

別冊日経サイエンス164 ニュートリノで輝く宇宙(カミオカンデから始まった物理学の革新)



2009/2/19



- ２０１６年1月１８日発売
- http://www.amazon.co.jp/dp/4315520357

今日の本題をわかりやすく解説



高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所ニュートリノグループに所属する多田将理学博士。

すごい実験

検索

