*宇宙と素粒子の入門

2017年10月29日

岡山大学　理学部　物理学科
石野宏和

大変小さい物

||

素粒子

大変大きい物

||

宇宙

大変小さい物の話

この世の中で、これ以上分割できない物

||

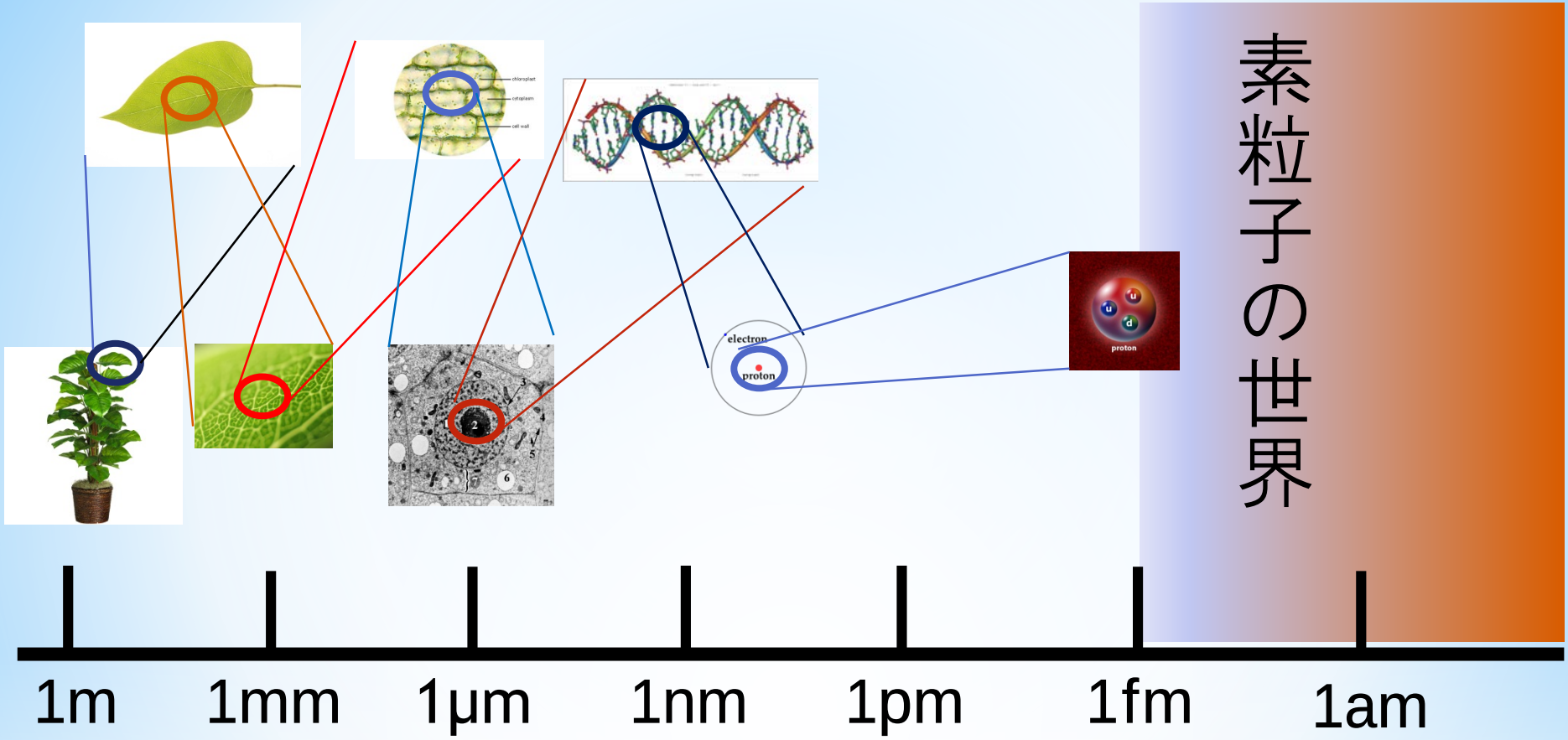
素粒子

素粒子の性質・相互作用（力）を理解し、物理学の最も基本的な法則を探求

||

素粒子物理学

どのくらい小さい話なの？



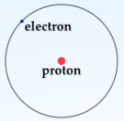
光学顕微鏡

電子顕微鏡
X線・中性子回折

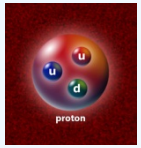
高エネルギー
加速器

小さい物を見ようとすると、エネルギーを高くする必要がある。

水素原子



陽子



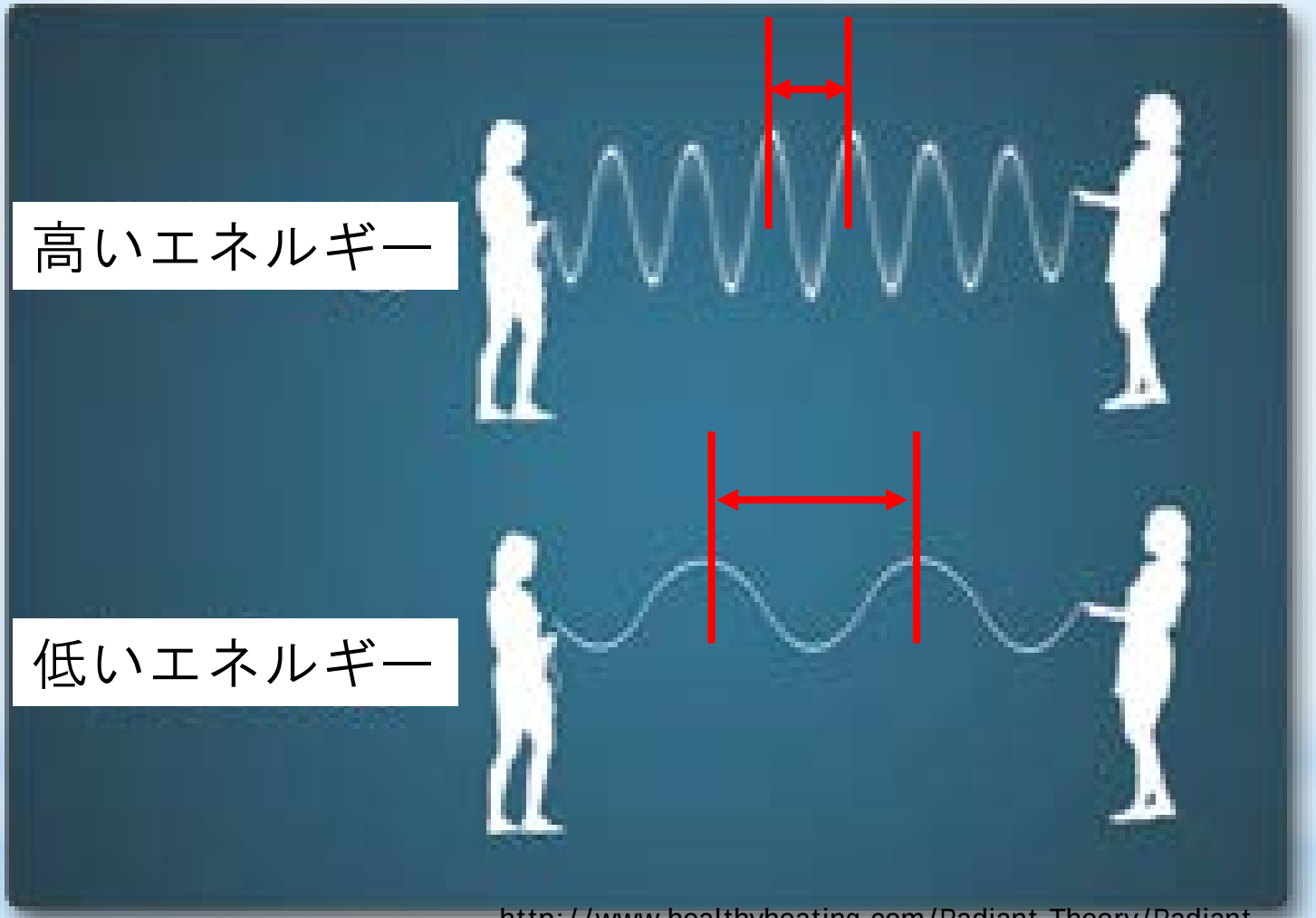
1m　1mm　1μm　1nm　1pm　1fm　1am

1μeV　1meV　1eV　1keV　1MeV　1GeV　1TeV

電子１つを１Vの電位差で加速したときに得られる運動エネルギー

LHCでの陽子の衝突エネルギー

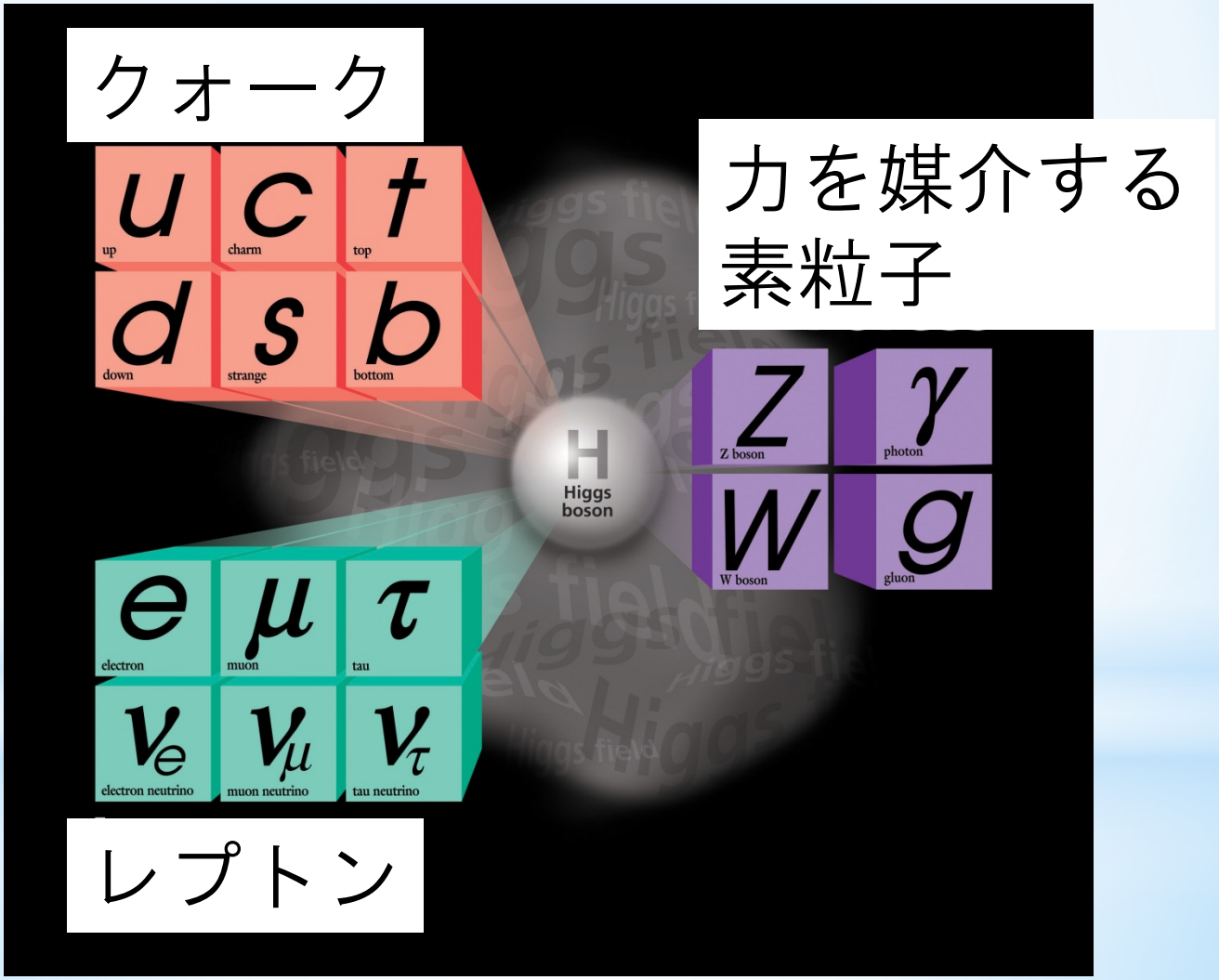
波長



http://www.healthyheating.com/Radiant-Theory/Radiant-Theory-pg11.htm#.WgLIGIu0PKk

波長が短いほど小さい物を見ることができる。

素粒子の種類

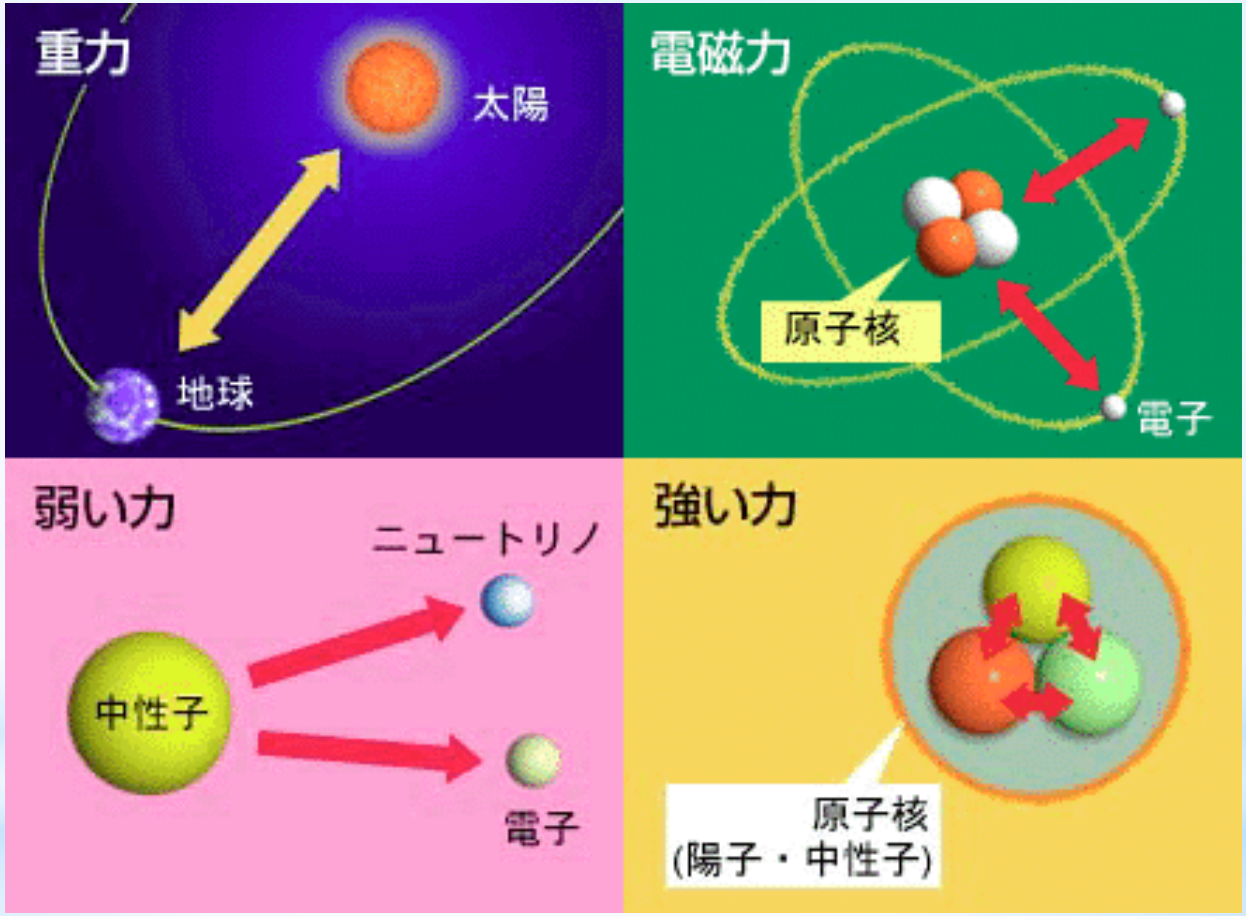


https://physics.stackexchange.com/questions/59685/so-there-are-6-quarks-what-are-anti-quarks-considered-then

４種類の力

G

重力子？



γ

光子

Z, W

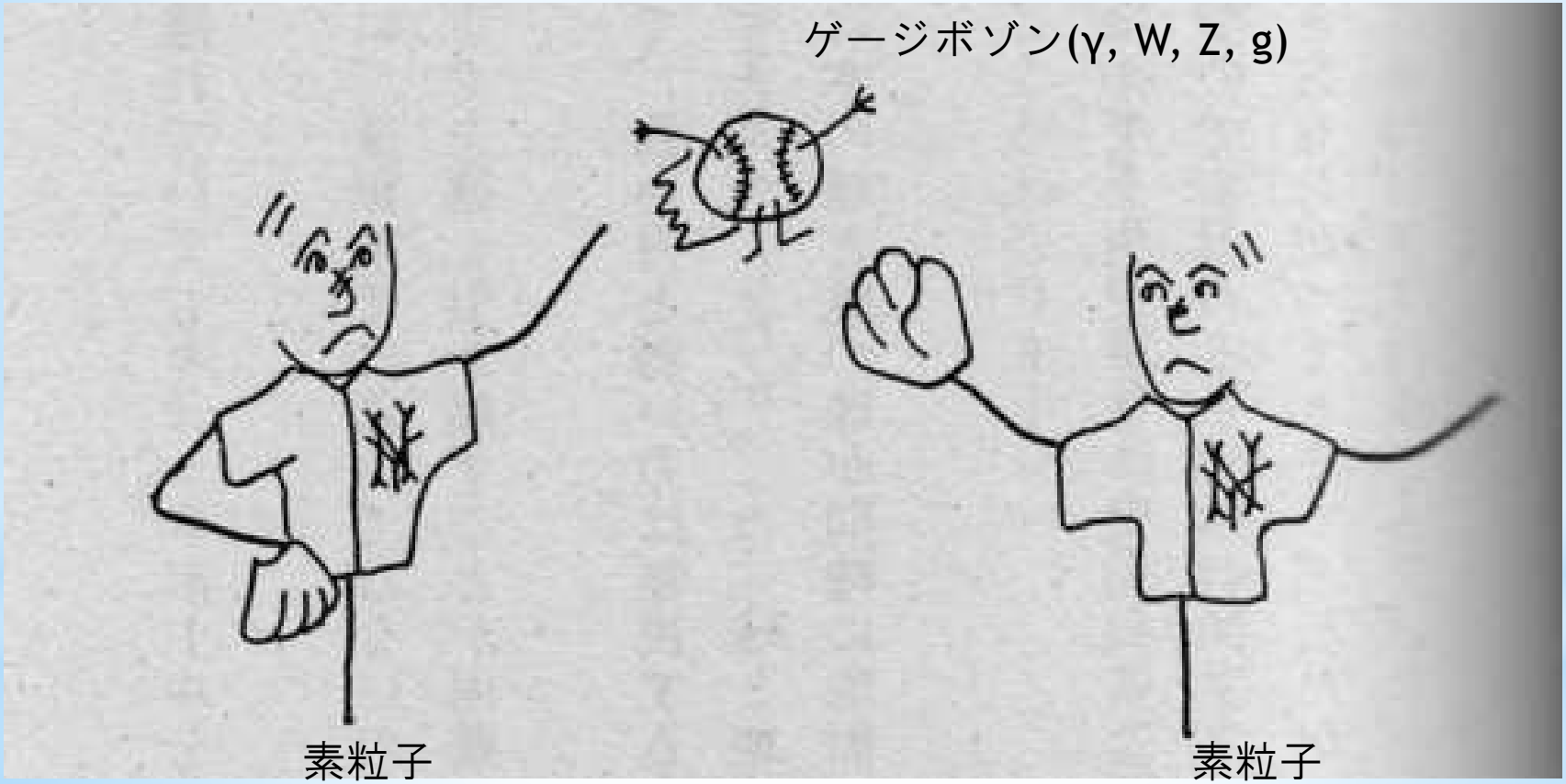
Z, Wボゾン

http://koshiro56.la.coocan.jp/contents/relativity/contents/relativity221.html

g

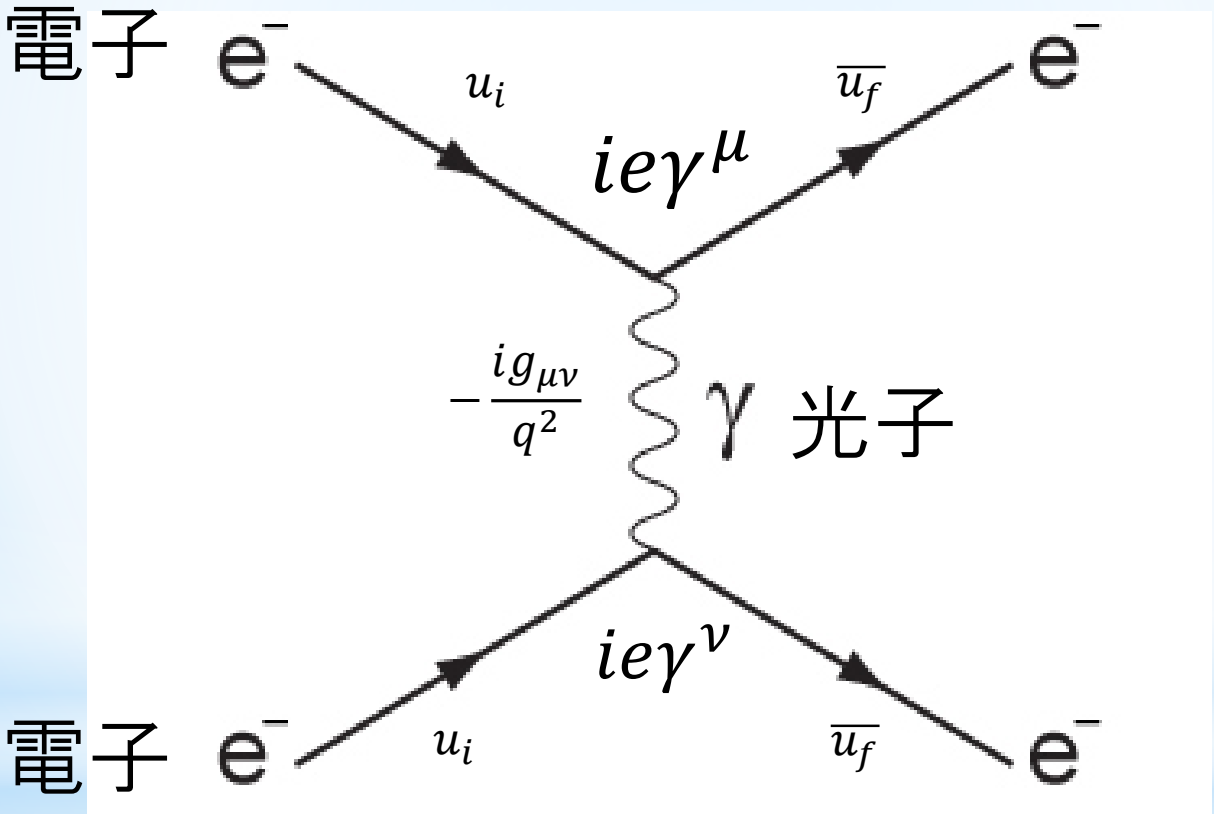
グルーオン

素粒子の世界での力の解釈：
媒介粒子（ゲージボゾン）のキャッチボール



http://kaoru.txt-nifty.com

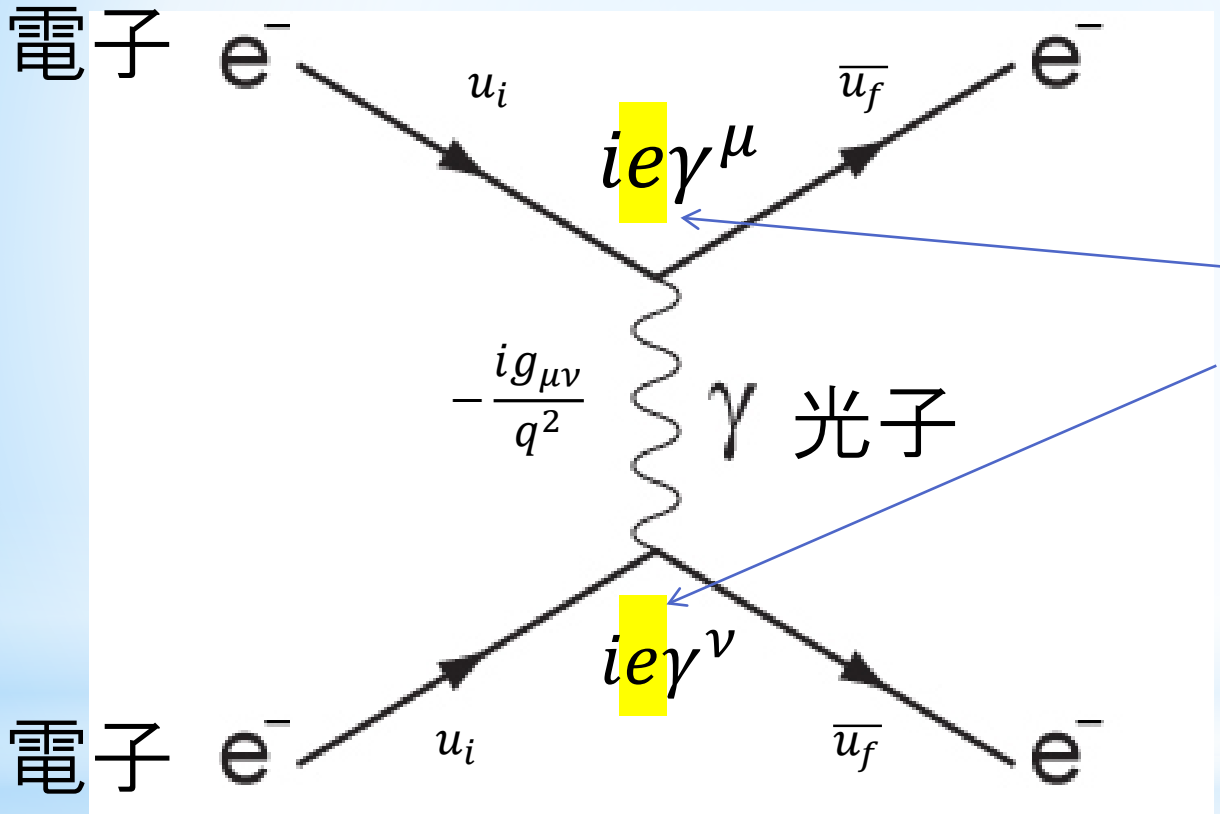
素粒子の世界での力の記述の仕方



ファインマン図

Richard Feynman

再びファインマン図

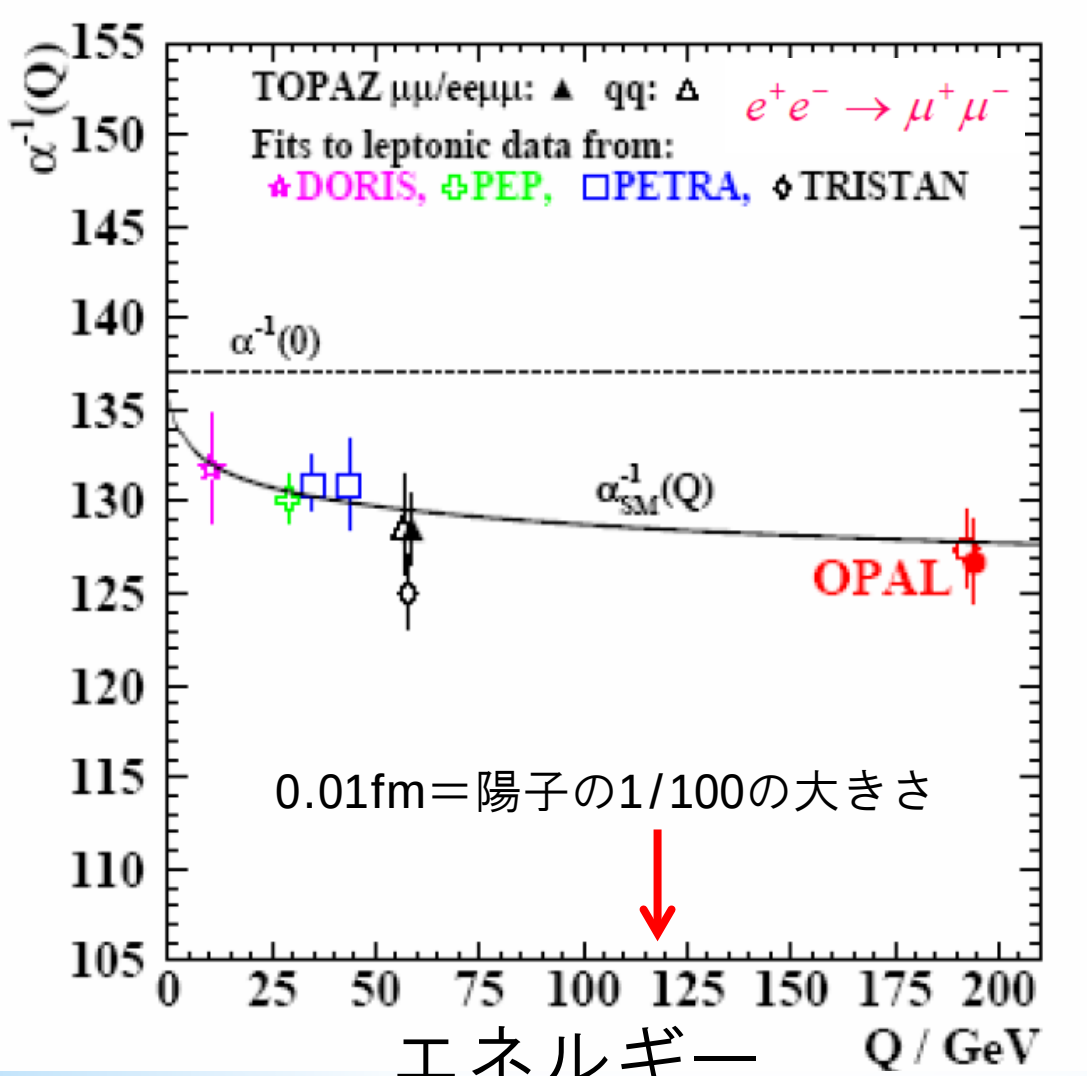


相互作用の強さを表す定数：素電荷

電磁気力における結合定数 $\alpha = \dfrac{e^2}{4\pi\varepsilon_0\hbar c} = \dfrac{1}{137}$

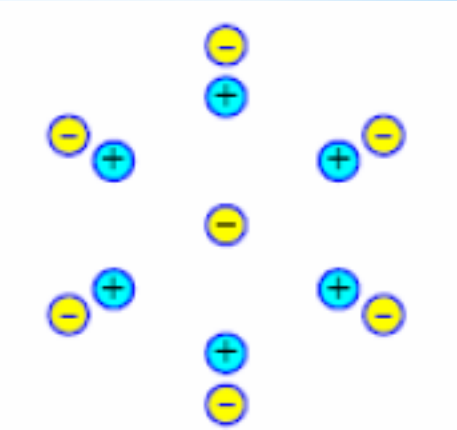
結合定数は定数ではない？

電磁相互作用の結合定数



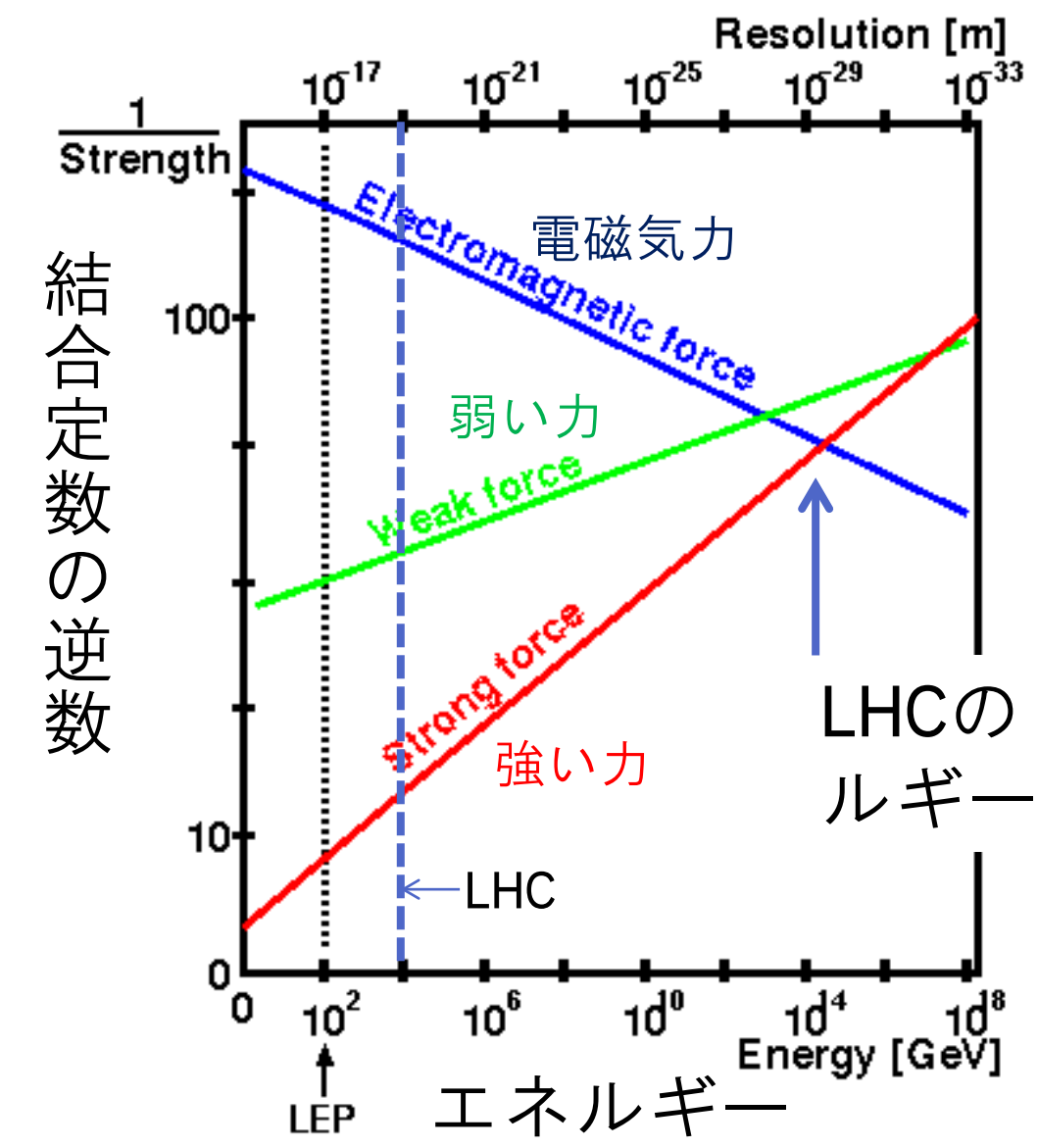
0.01fm＝陽子の1/100の大きさ

エネルギー



真空による電荷のスクリーニング効果

もっと小さい距離（大きなエネルギー）では、
３つの力は一つになる？



たった一つ結合定数で３の力を記述できる可能性：
大統一理論

LHCの１兆倍のエネルギー= 10^{15} GeV

実は、LHCの１兆倍のエネルギーでの物理を探る方法がある。

↓

陽子崩壊探索実験

宇宙背景放射の偏光精密測定

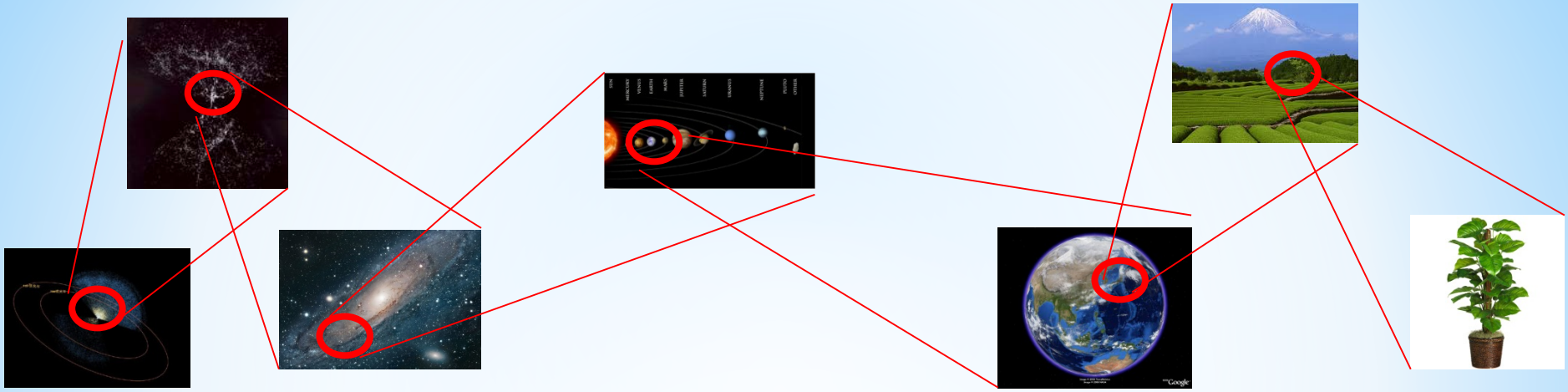
大変大きな物の話

光の速さ

この世の中で最も速い
秒速３０万km ＝地球７周半

光が１年間かけて進む距離を
１光年という。

１光年＝9.5×10^{15} m ~= 1京m



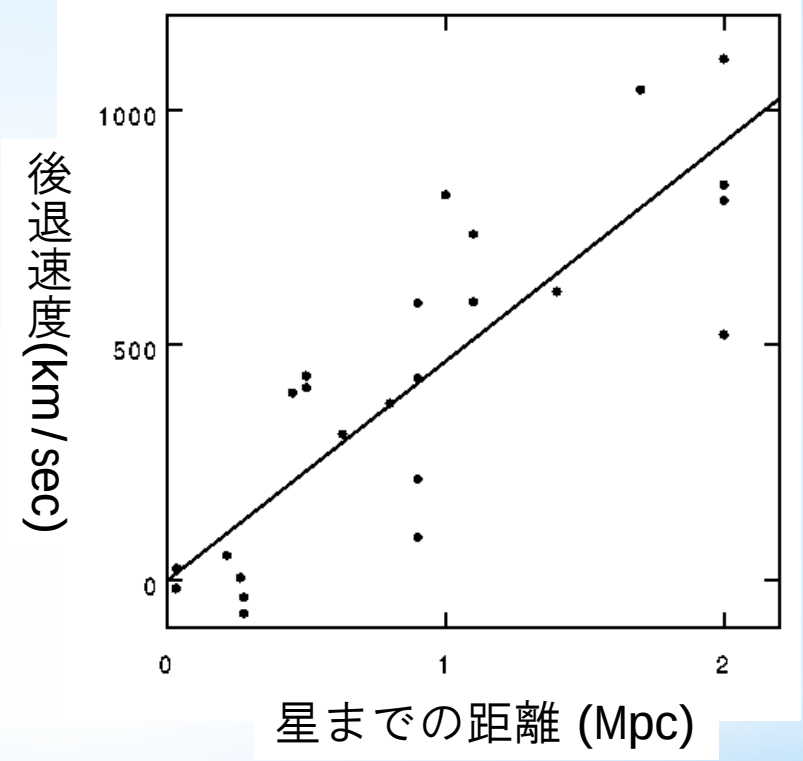
10^{24}m 秭　10^{20}m 垓　10^{16}m 京　10^{12}m 兆　10^{8}m 億　10^{4}m 万　1m

1億光年　1光年

宇宙背景放射は１３７億光年先からやってくる光

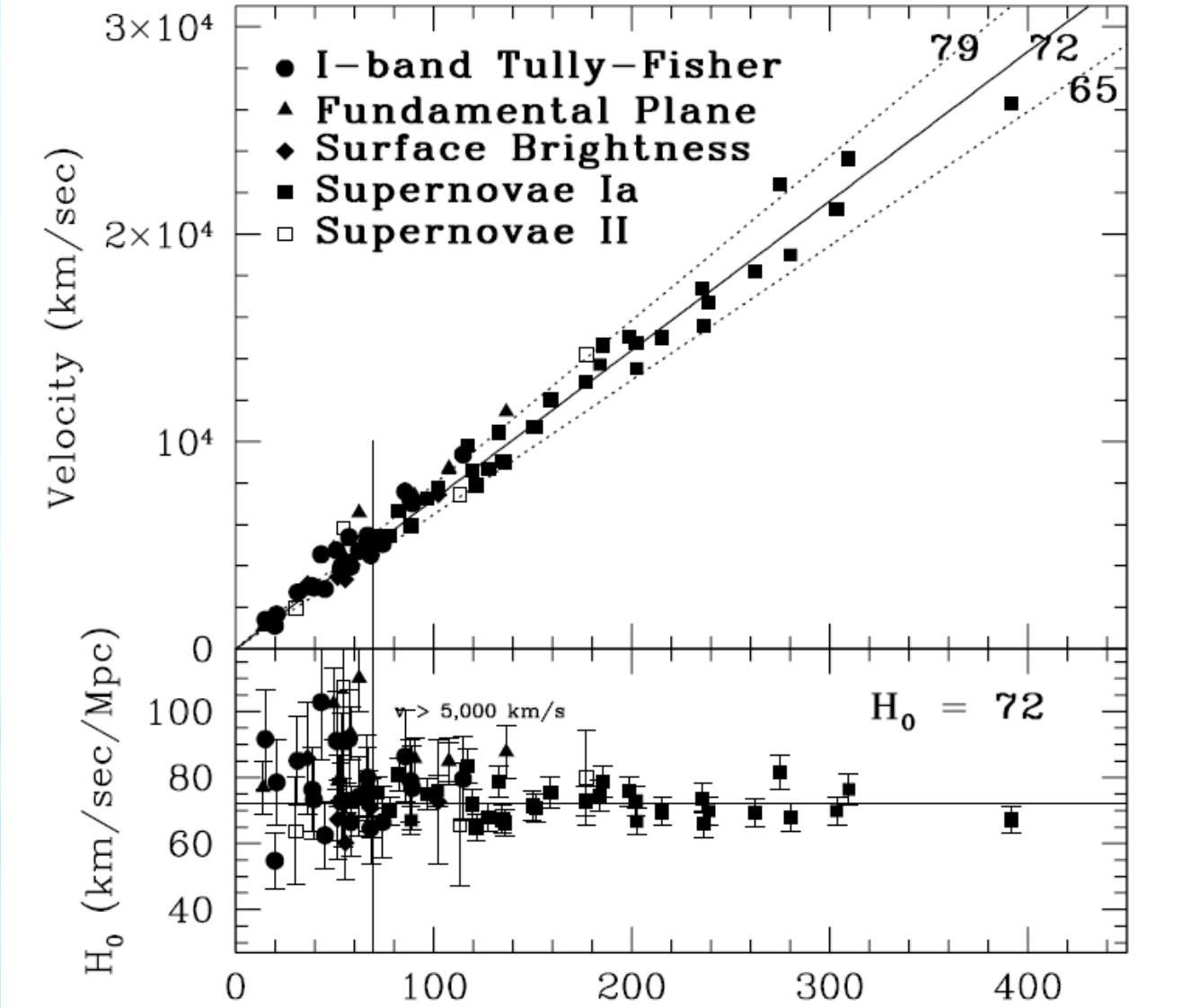
宇宙は膨張している！

Edwin Powell Hubble

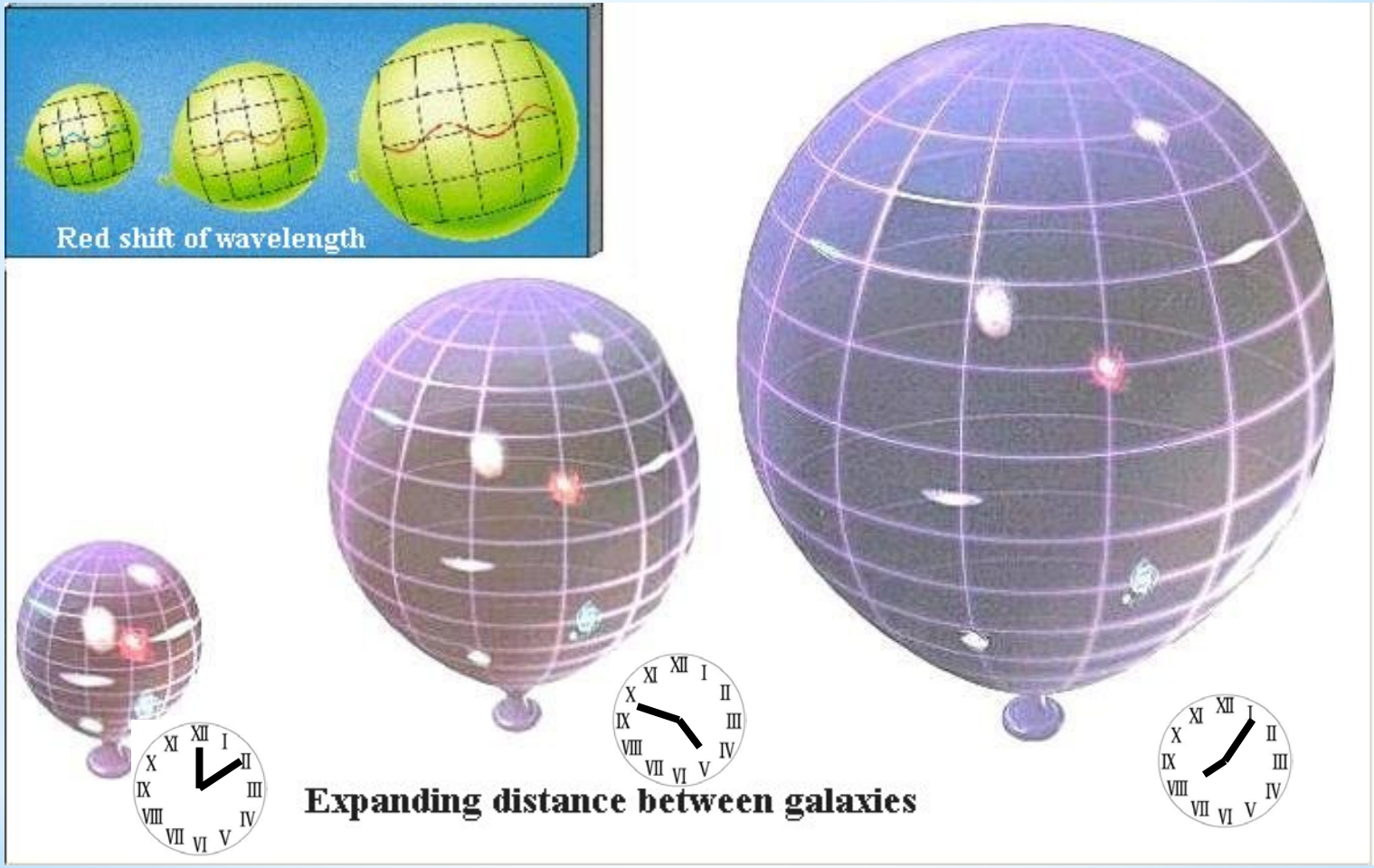


1929年に、遠い星ほど速く遠ざかっているのを発見！

現代のハッブルの法則の検証



Freedman et al., ApJ, 553, 47 (2001)

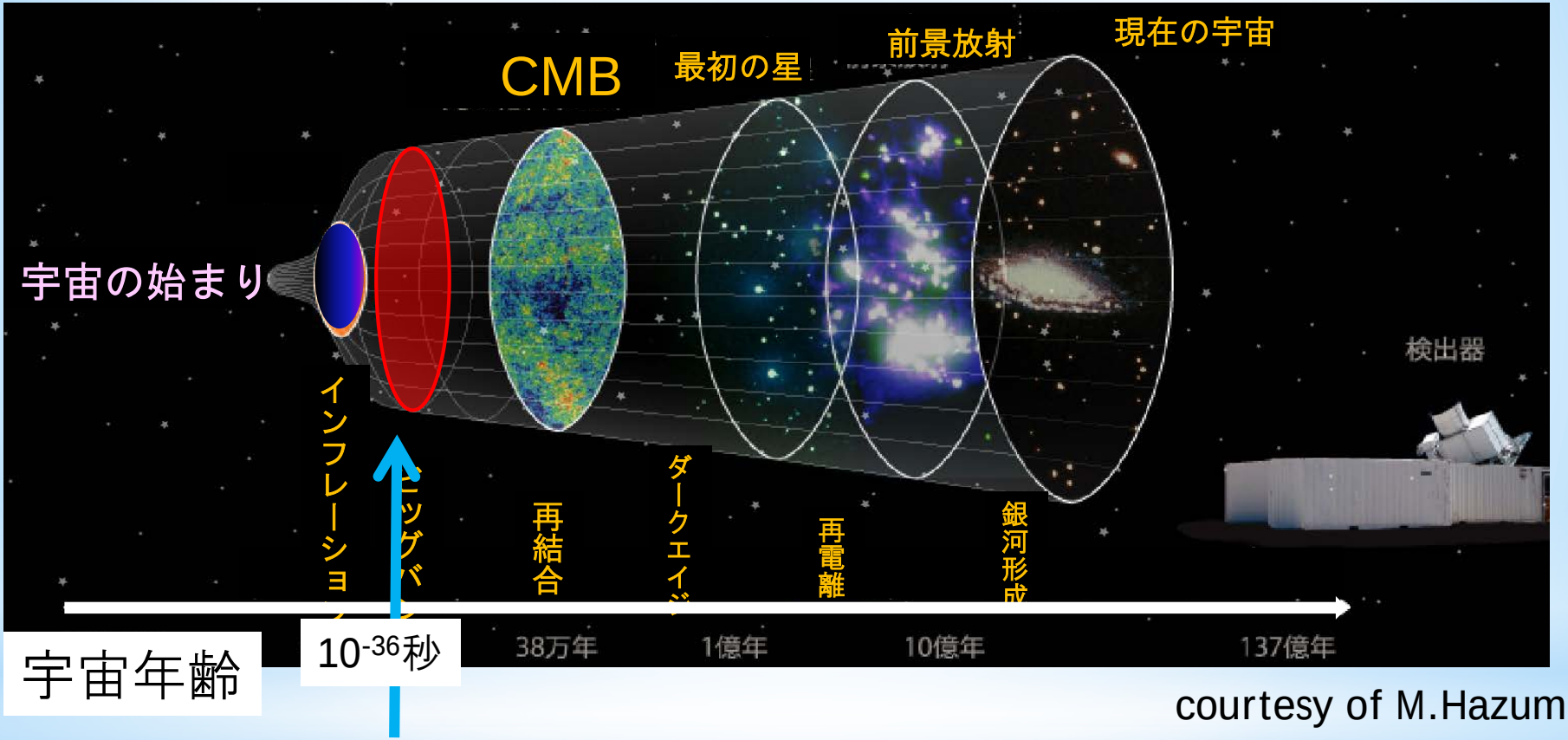


https://universe-review.ca/F02-cosmicbg01.htm

時間が経過すると宇宙は膨張し、冷えていく。

時間を逆にすれば、宇宙は縮まり、熱くなる。

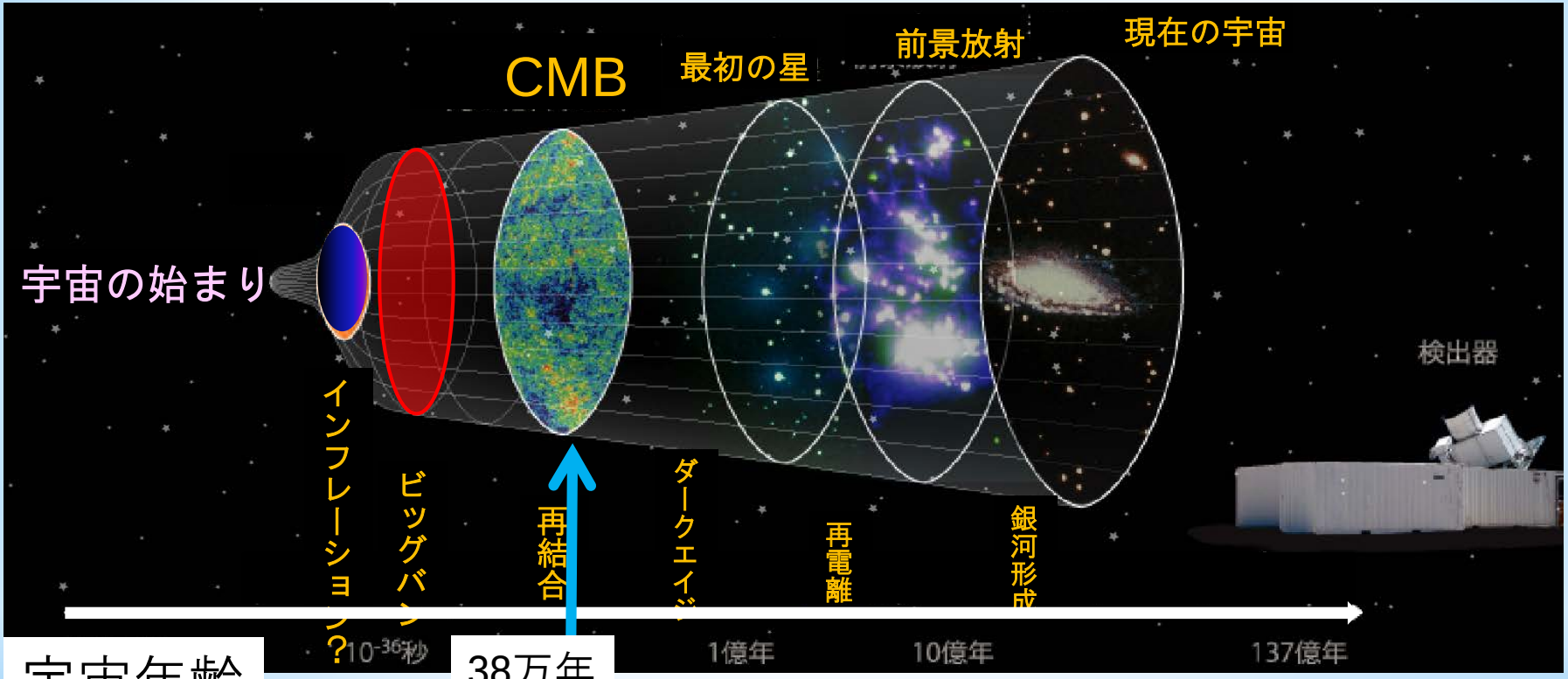
宇宙の歴史



courtesy of M.Hazumi

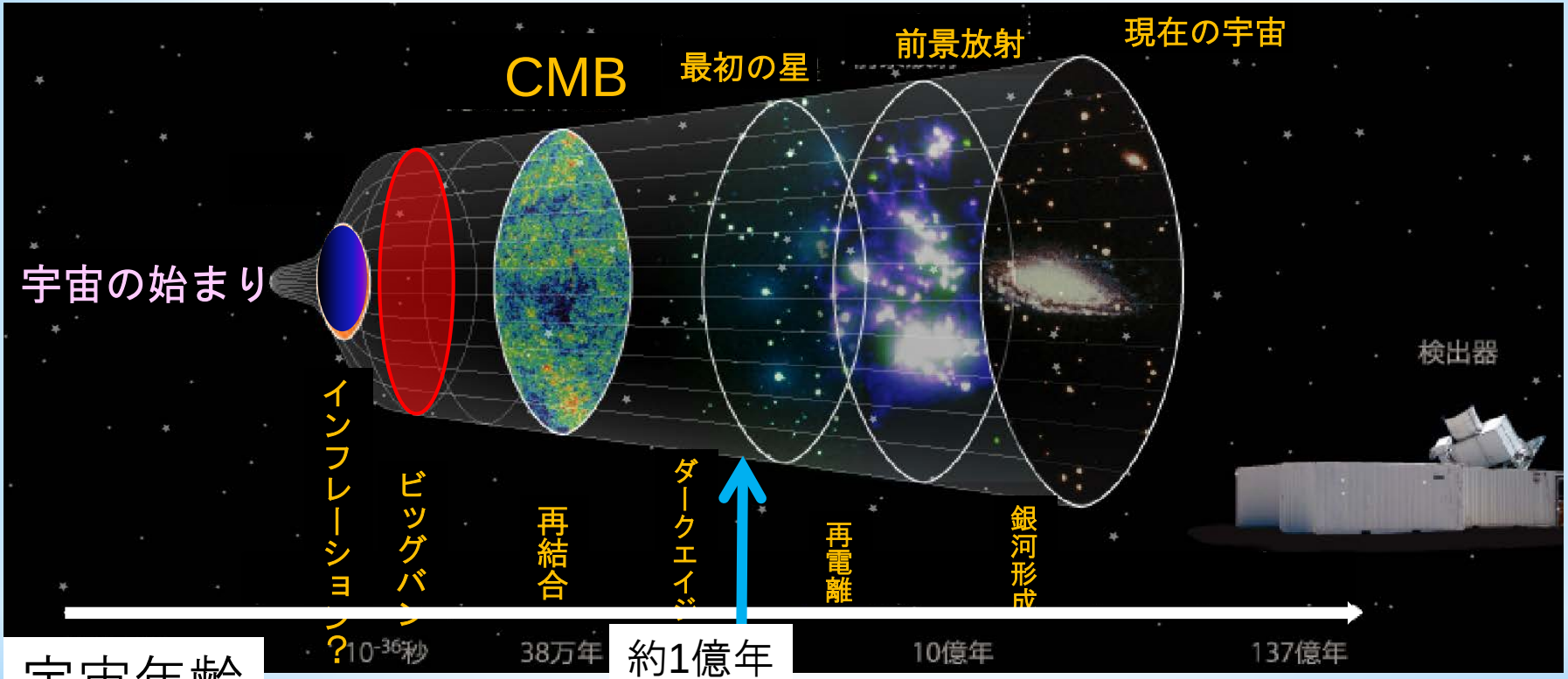
ビックバン直後は火の玉状態。
陽子・電子はばらばらのプラズマ状態。

宇宙の歴史



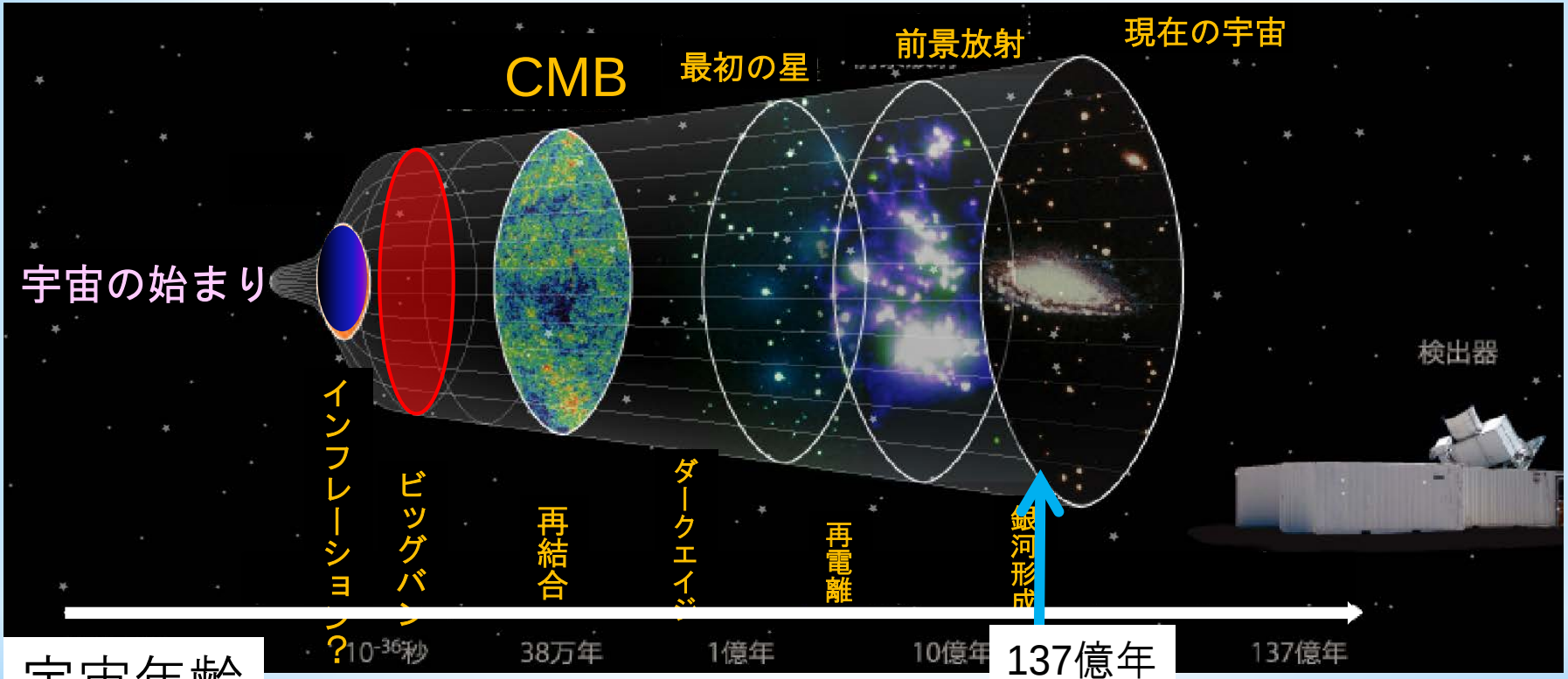
電子と陽子が束縛されて水素原子ができる。
取り残された光が宇宙背景放射(CMB)。
温度～3000K。

宇宙の歴史

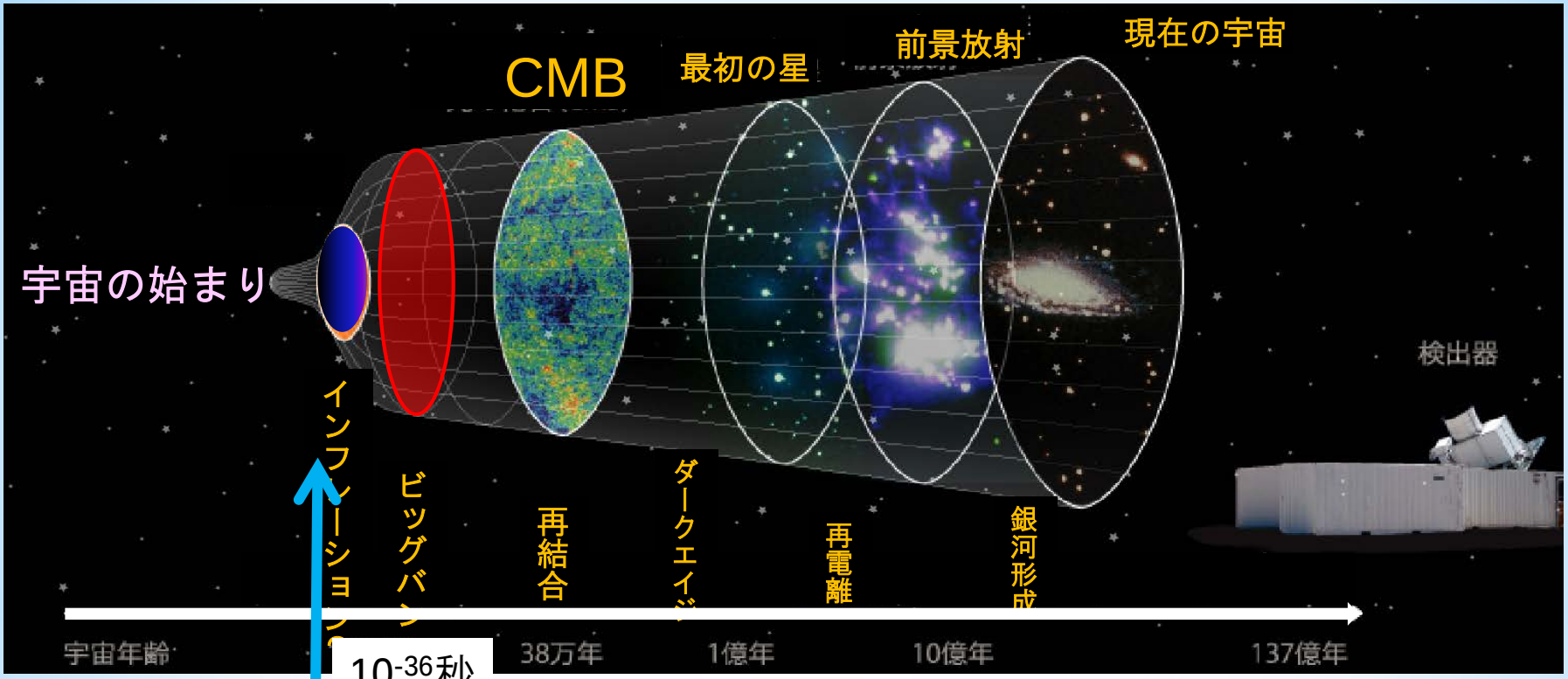


最初の星が生まれた。

宇宙の歴史



現在の宇宙。
温度３K = –270度。



10^{-36}秒

ビックバンよりも前に宇宙の大膨張があった。

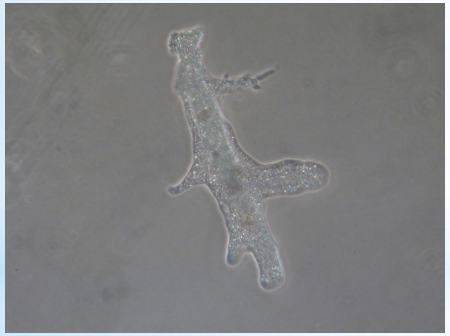
||

インフレーション

宇宙のインフレーション

宇宙の初期に起きた宇宙の大膨張。

0.000000000000000000000000000000001秒間
に
1000000000000000000000000000倍に膨張。



アメーバ：～10^{-6}m

10^{-36}秒間

銀河：～10^{21}m

佐藤勝彦教授、アラン・グース教授によって
1981年に提唱された。

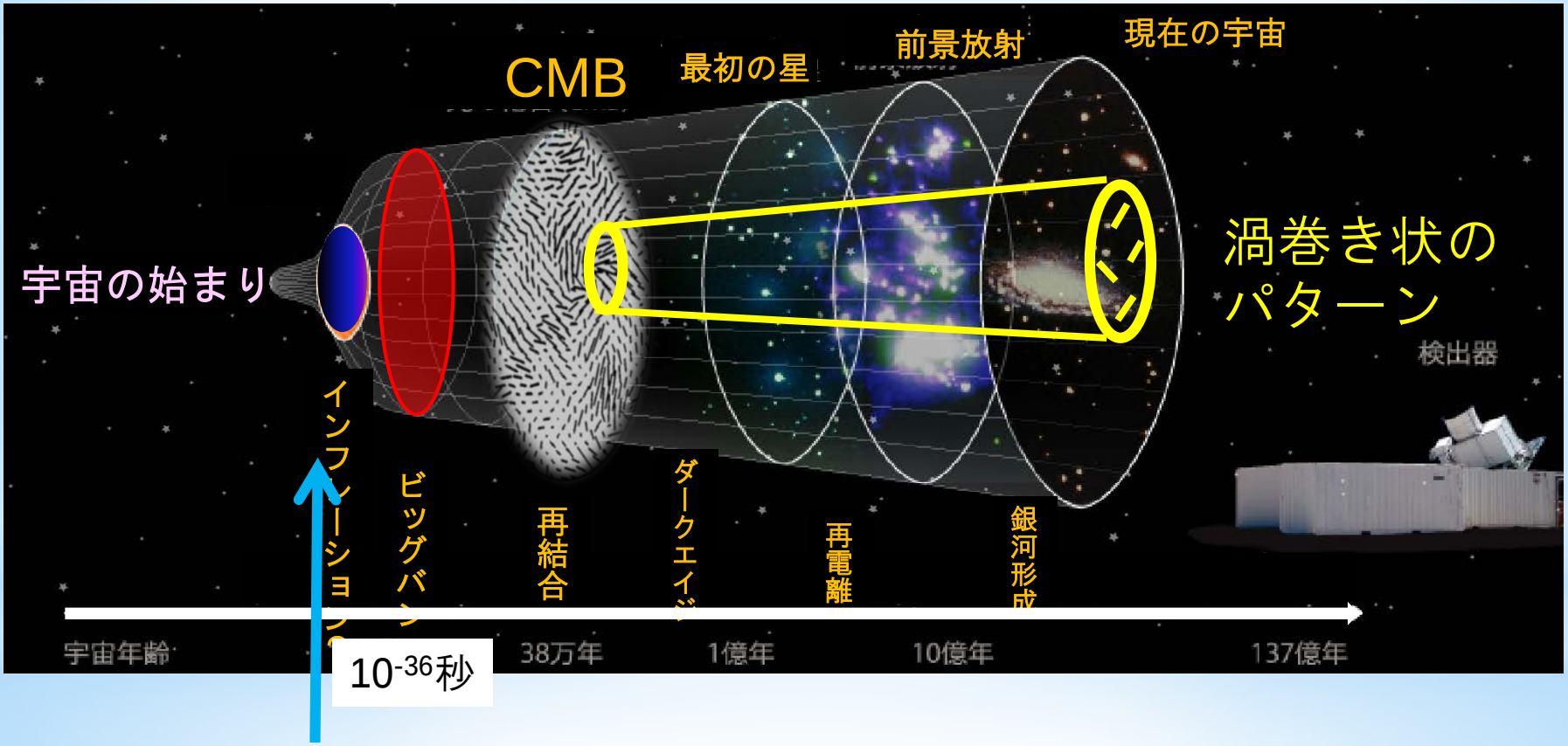
宇宙のインフレーション

宇宙の平坦性問題・地平線問題・モノポール問題を解決する。

様々な宇宙観測から、インフレーションが起きたことは分かっている。が、何故起きたかはわからない。

エネルギーが10^{15}GeVでの物理法則によって引き起こされたと考えられている。

インフレーションが残した形跡：宇宙背景放射(CMB)の偏光パターン

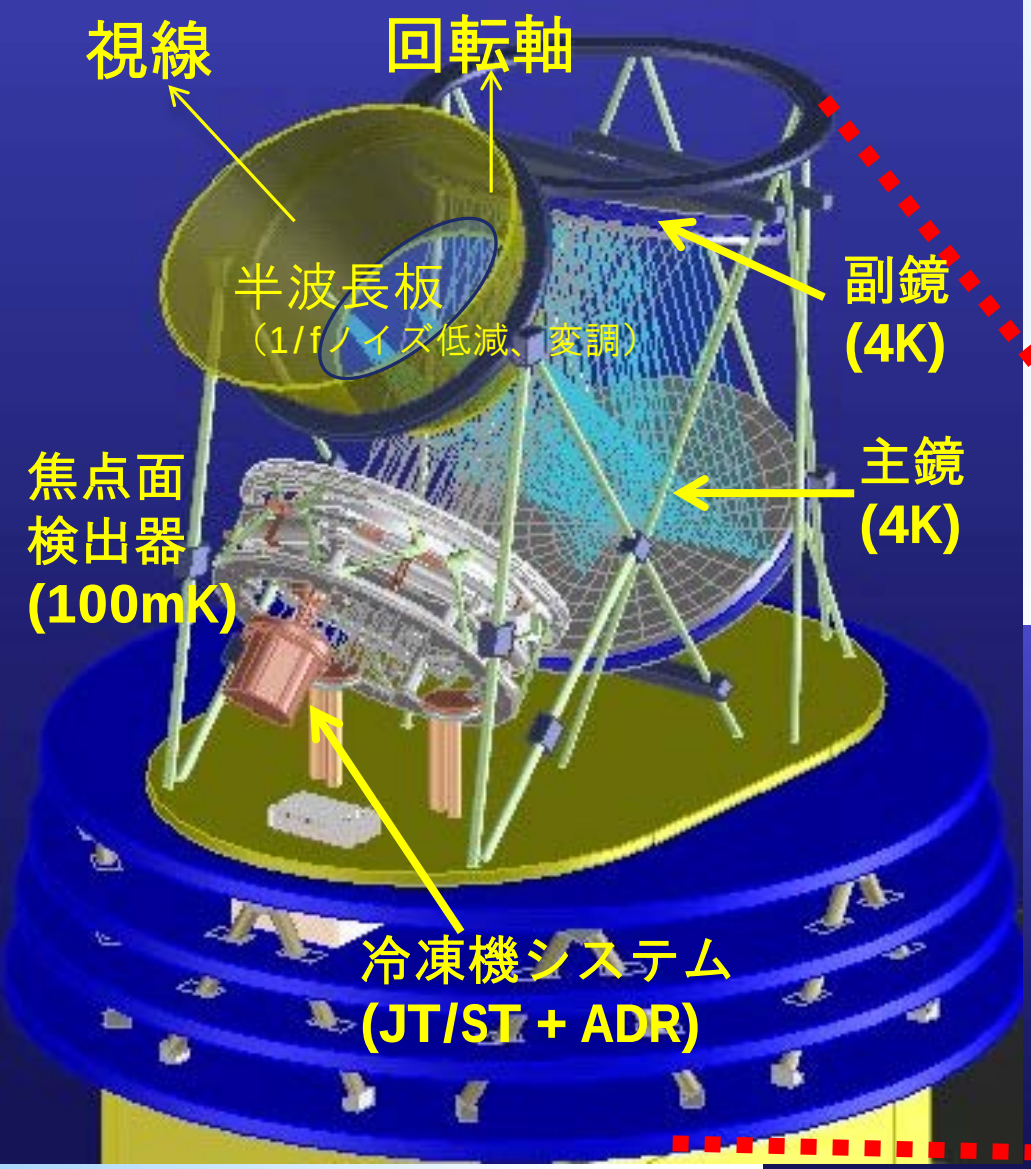


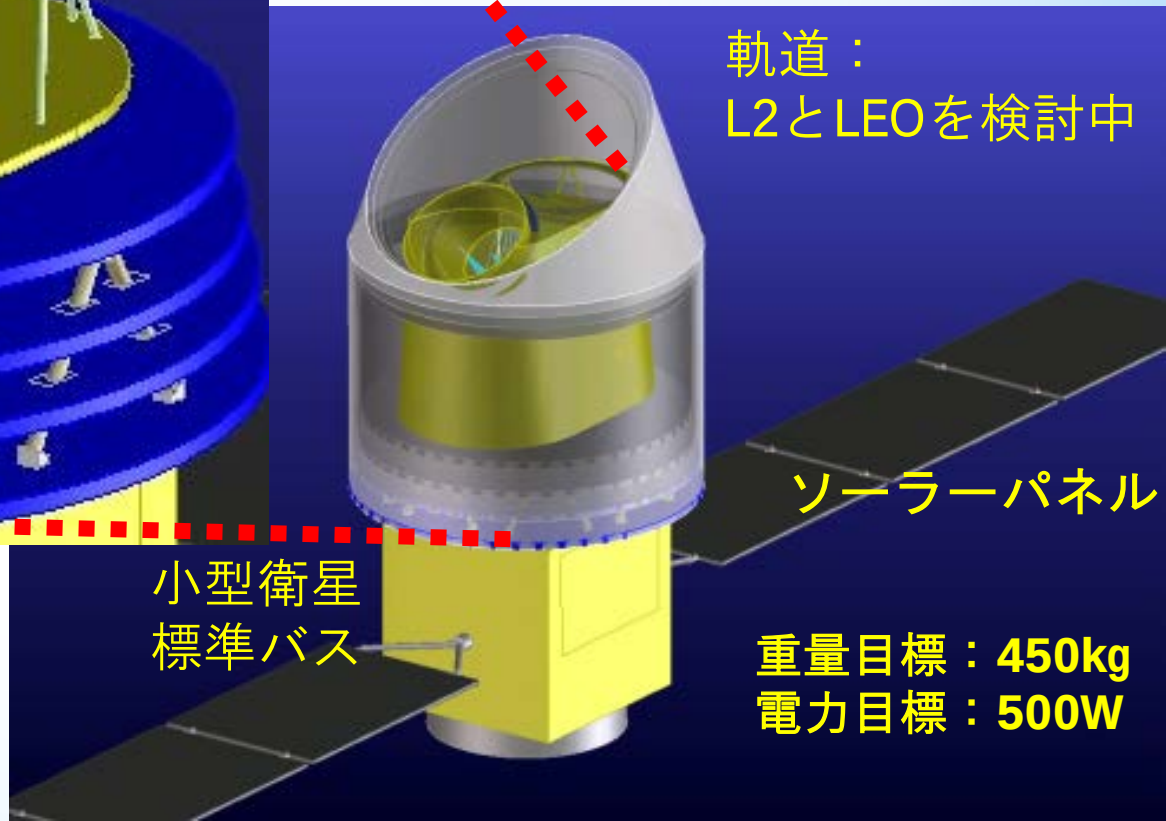
インフレーションの最中に発生した重力波が宇宙背景放射に特殊な偏光パターンを残す。

LiteBIRD

計画（２０２０年頃）

宇宙空間で宇宙背景放射の偏光を精密測定する科学衛星





日本・アメリカ・カナダの研究者約50人からなる日本主導の国際共同研究

*人類の知の地平線

* 人類は自然についてどこまで知ることができたのか？
* この世の中で最も小さい物は？
  * 分子→原子→原子核→陽子→クォーク　(<10^{-16}m以下)→？
* この世の中で最も大きい物は？
  * 太陽系→銀河→銀河団→大規模構造　(>10^{25}m以上)→？
* この世の最初は？
  * 現在→太陽の誕生→最初の星の誕生→宇宙の晴れあがり→ビックバン→インフレーション(10^{-30}秒)→？
* この世の終わりは？
  * 現在→太陽の寿命→最も寿命の長い星の寿命→ブラックホールの蒸発(10^{70}年)→光とニュートリノと電子だけからなる漆黒の宇宙→？