

宇宙と素粒子

暗黒物質が反応しないで
すれ違う証明写真

東京大学理学系研究科
浅井祥仁

お品書き

1. 宇宙の進化と素粒子物理
2. 世界最高エネルギー・LHC
3. 重力が鍵！ 「余剰次元」
4. 超対称性の世界と暗黒物質

1. 宇宙の進化と素粒子物理

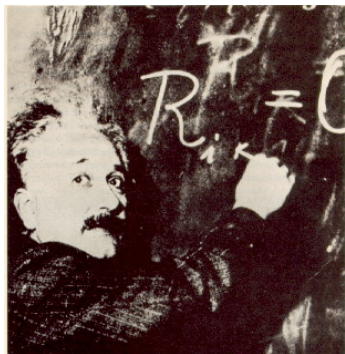


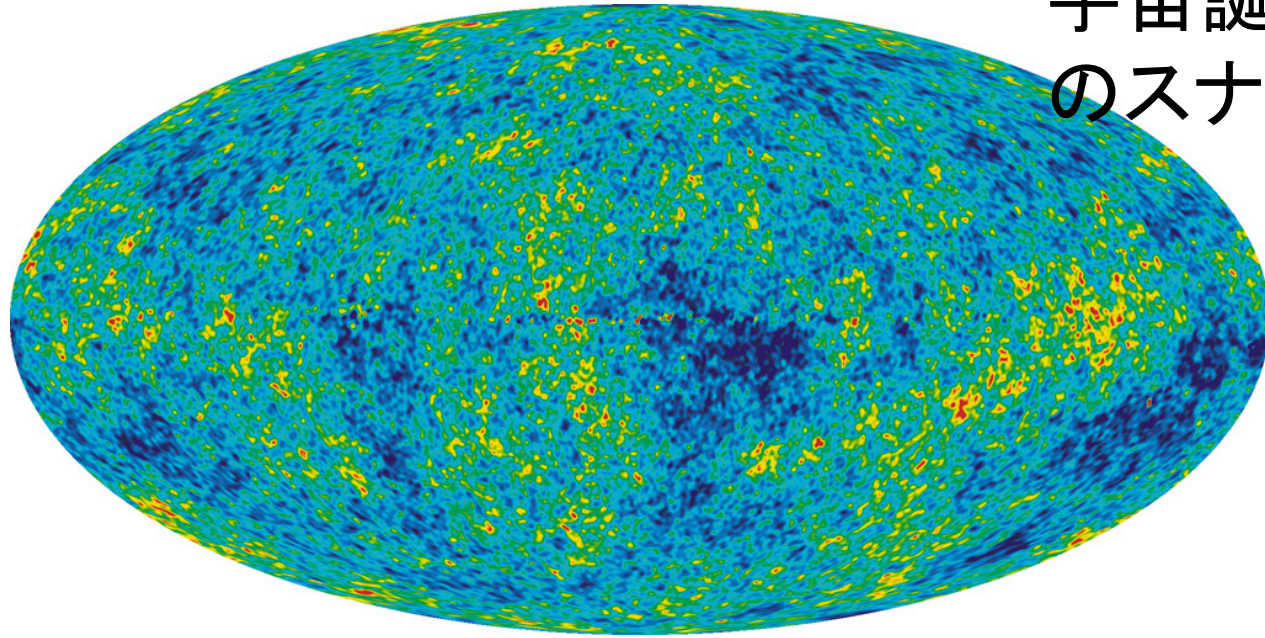
ドラえもののタイムマシンがないので
宇宙の進化を遡って理解するには



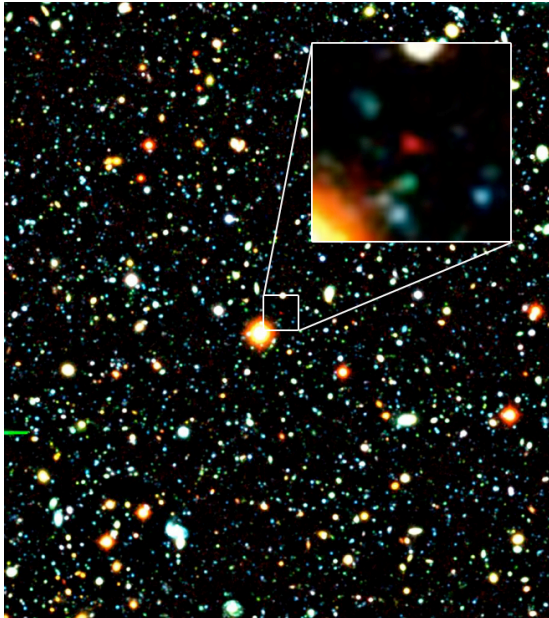
そしてよく考える

加速器実験でビッグバン直後の 遠くの銀河・宇宙を丹念に調べ
物理法則を解明し





宇宙誕生38万後の全天
のスナップ写真(WMAP)
中性の水素、
ヘリウム
濃淡は、わずかな
密度の違い



宇宙誕生9億年後の銀河
(日本のスバル望遠鏡)
銀河が形成されるのが
こんな頃(9億歳)

物質の階層構造とそのスケール

分子

原子

原子核

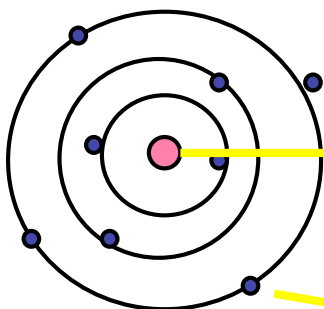
核子

素粒子

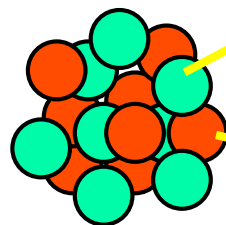
H₂O
水の分子



酸素原子



酸素原子核



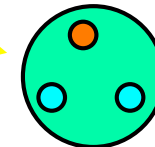
陽子



u-クォーク



中性子



d-クォーク



水素原子



原子核の大きさ
10⁻¹⁵ m

原子と比較すると
100m vs 1mm
非常に空虚な存在

10⁻¹⁵ m

電子



<10⁻¹⁸ m

10⁻¹⁰ m

0.1 nm (1Å)

1 fm

< 1 am



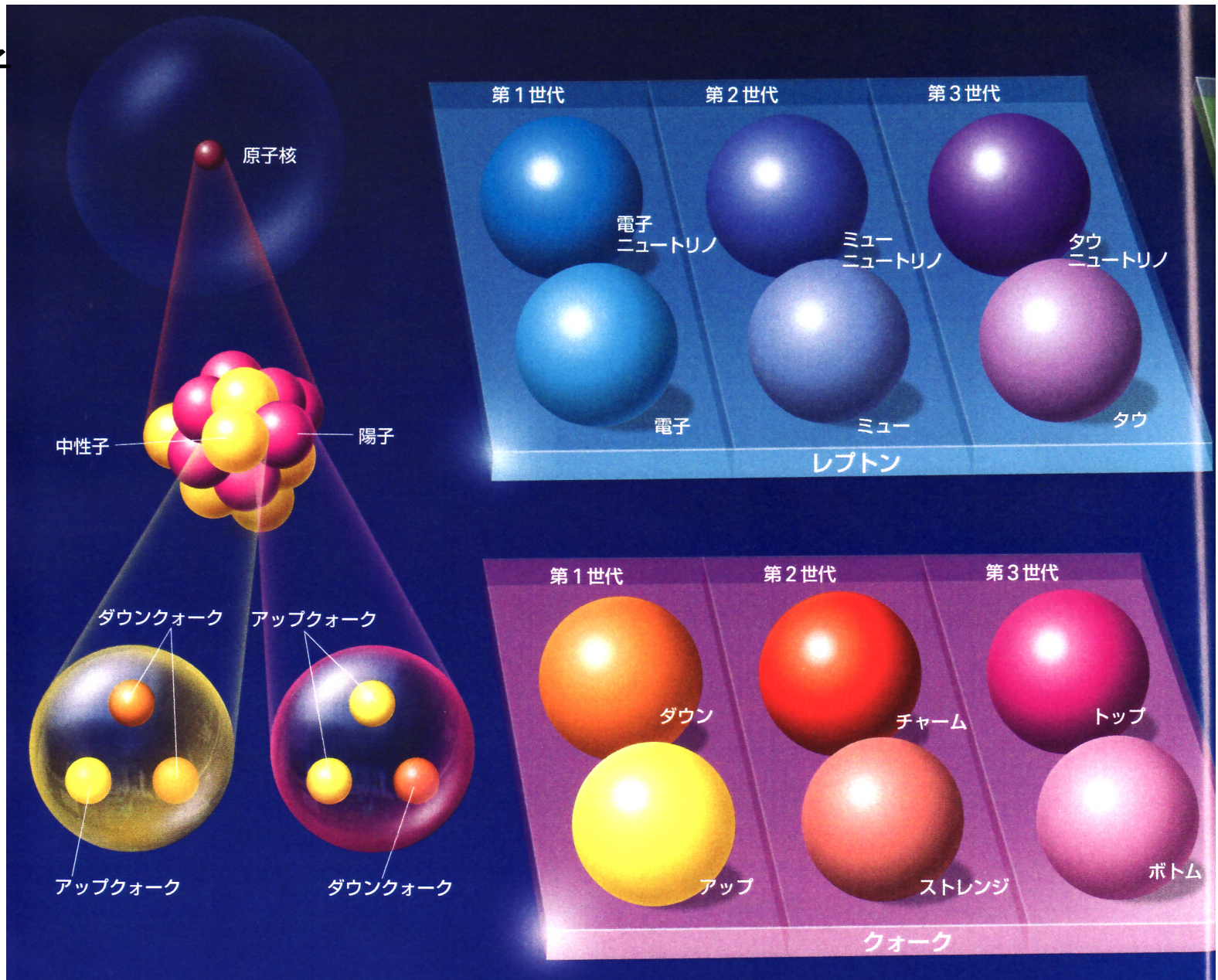
pixta.jp

素粒子I: 物質を形づくる素粒子

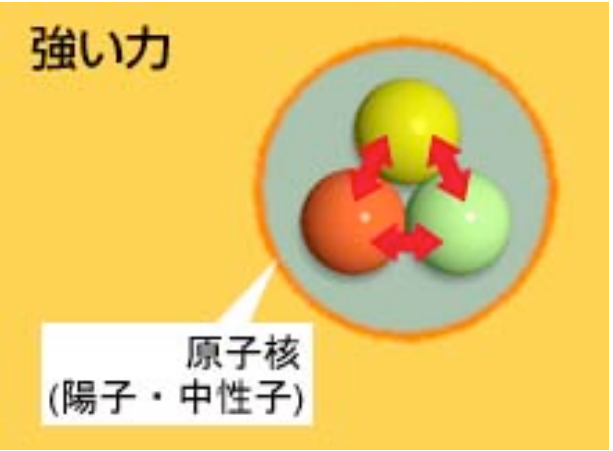
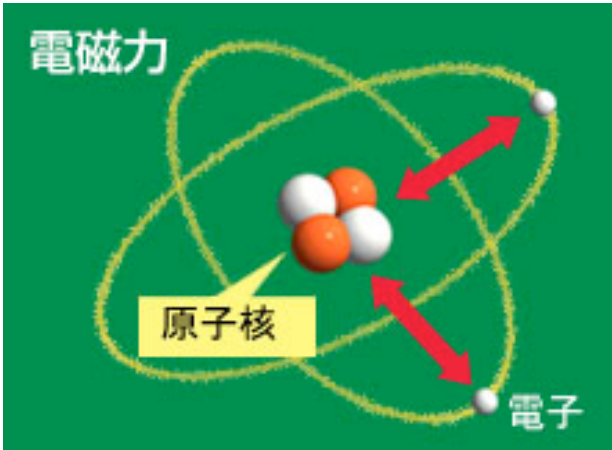
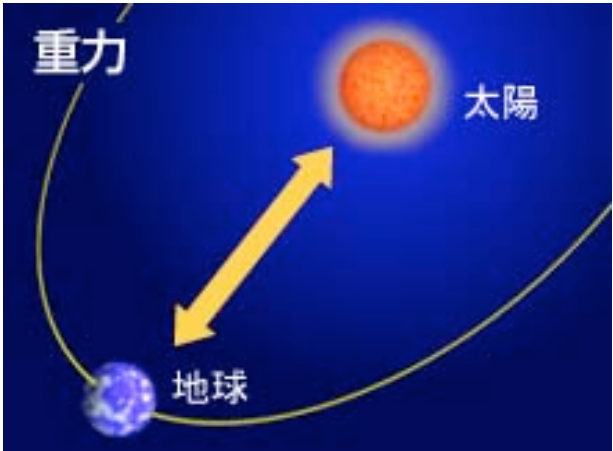
陽子・中性子の核子は、2種類のクォークで構成

それ以外に電子、 ν で構成されている。

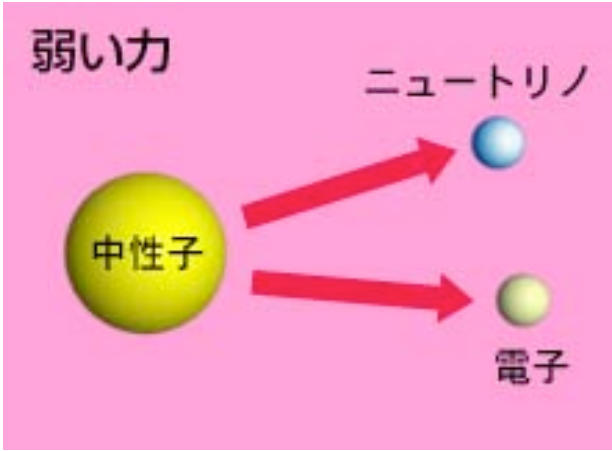
ただ、このセットが何故か3セット(3世代)ある



自然界の4つの力



湯川先生が予言



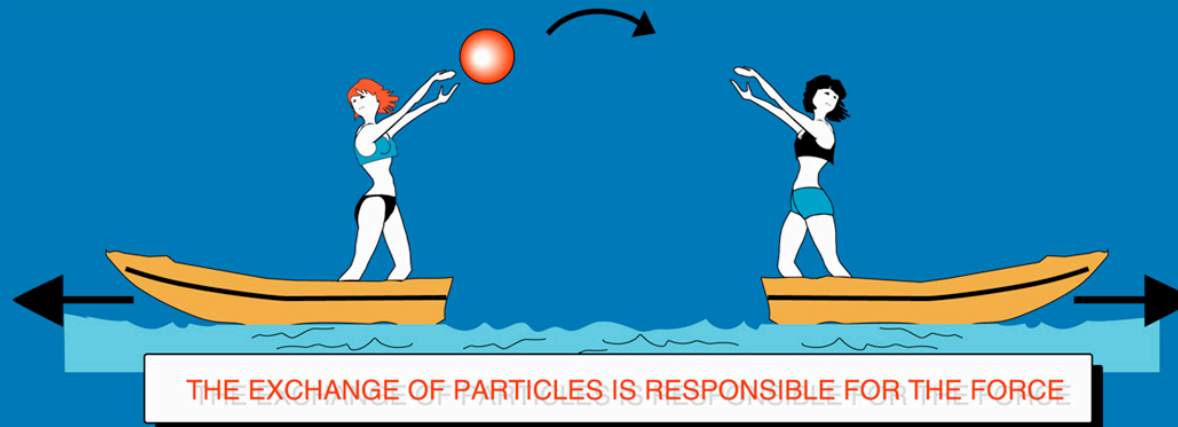
(中性子は陽子に変わる)

力は粒子を交換することによって生ずる(湯川先生)

The forces in Nature

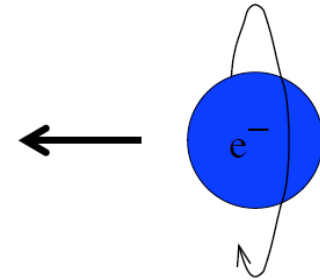


| TYPE | INTENSITY OF FORCES (DECREASING ORDER) | BINDING PARTICLE (FIELD QUANTUM) | OCCURS IN : |
|-------|---|---------------------------------------|-------------|
| 強い力 | | グルーオン (g 8種類) | |
| 電気・磁気 | | 光子 (γ 1種類) | |
| 弱い力 | | ウィークボソン (W,Z 3種類) | |
| 重力 | | 重力子 (G 未発見) | |

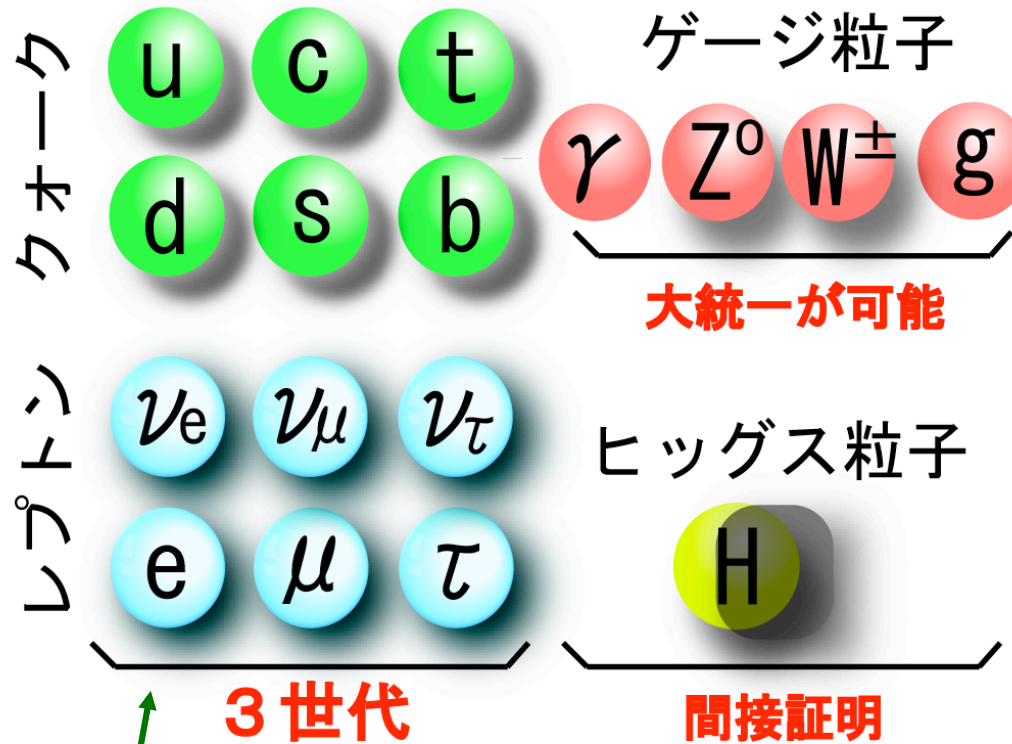


素粒子の標準モデル

スピン: 粒子のもつ
固有性質: 自転の様な性格



標準モデルに登場する素粒子



力の伝える粒子
(スピン1)

G 重力子(スピン2)

何故、質量(重さ)が
あるのか?

スピン0、質量の起源
未発見

スピン1/2、物質を構成する基本粒子

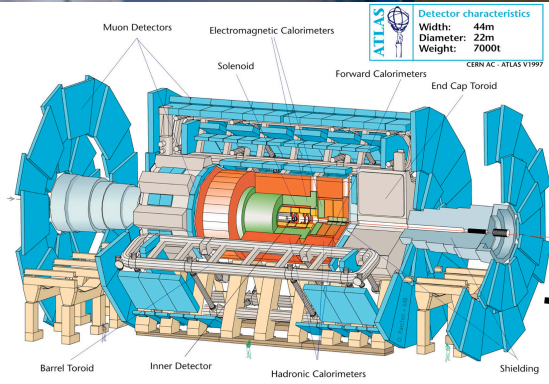
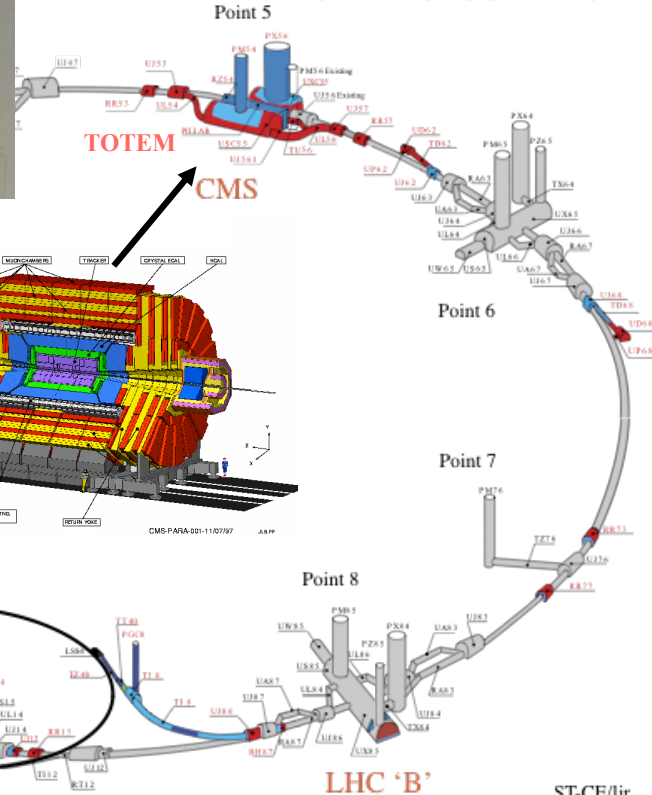
2. 世界最大の加速器LHC 稼働！？



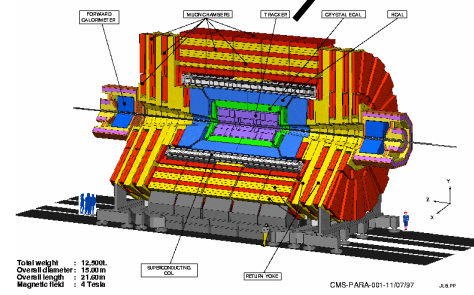
一周27 km 地下トンネル,
強力な(8.3T) 超伝導磁石
しきつめる。

光の速度 0.99999999まで
陽子を加速(7TeV)

UNDERGROUND WORKS



2つの General purpose Detectors
ATLAS and CMS

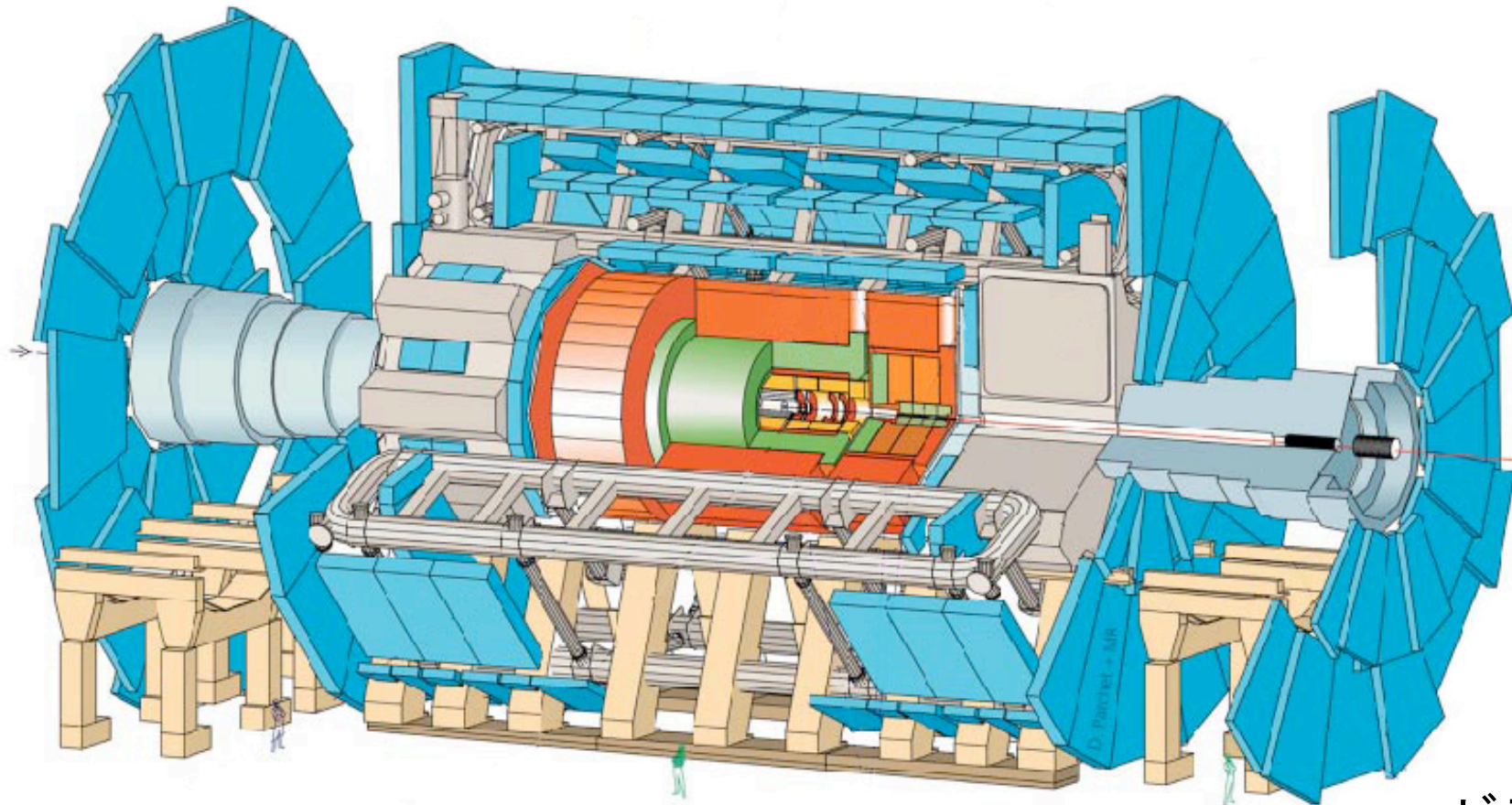


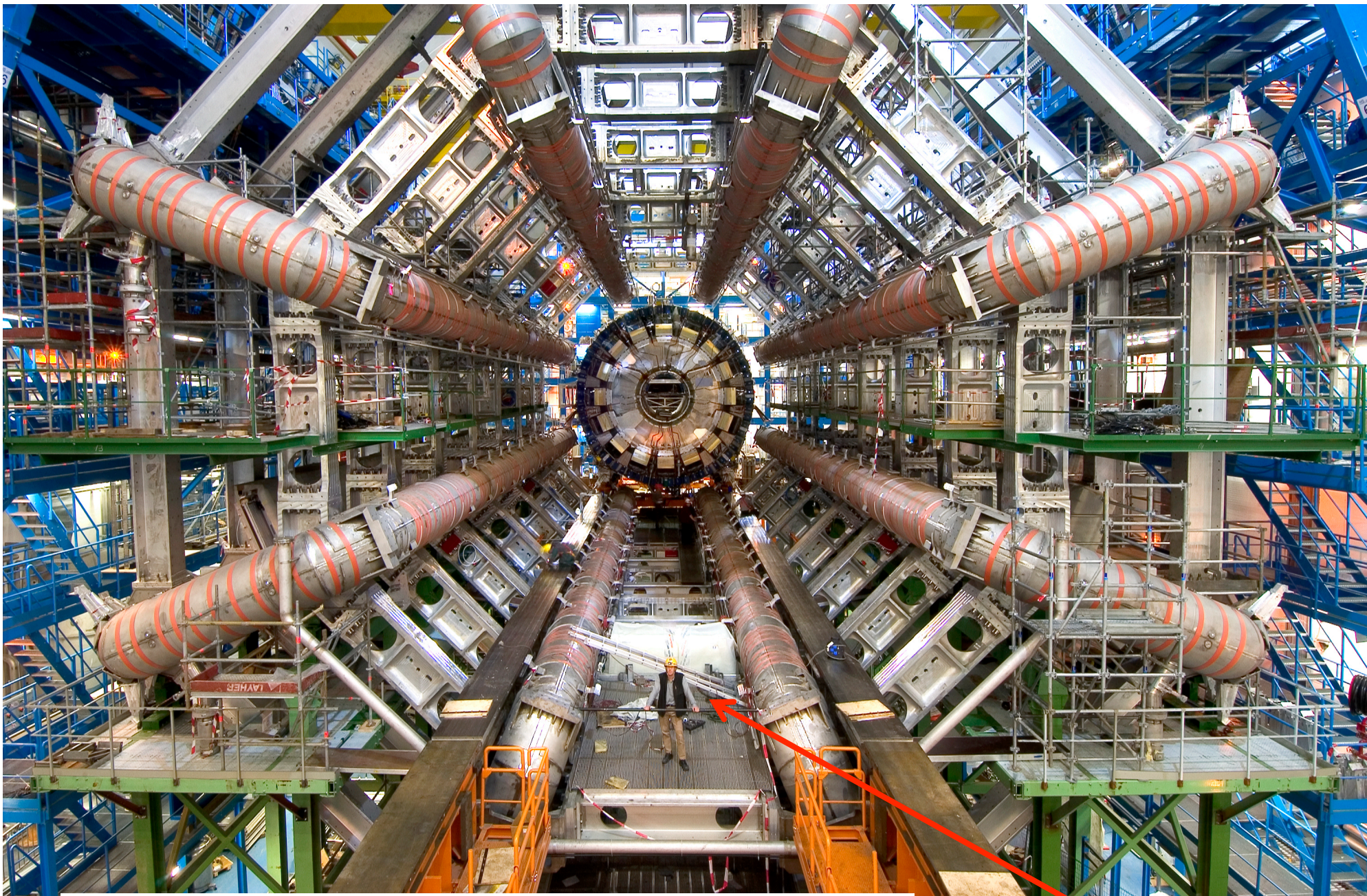
ビデオでも

ST-CE/ljr
18/02/2002

反応で出てきた粒子(種類・エネルギー・方向)を測定し
どんな反応が起こったか理解する。 → 検出器

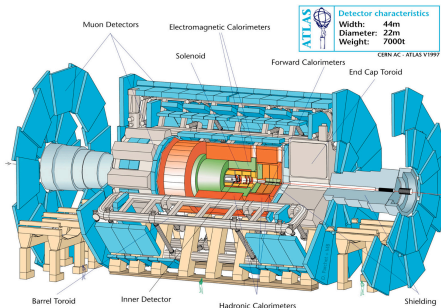
- ・直径 22 m、長さ 44 m、重さ 7000 t
- ・世界最大の超伝導トロイド磁石
- ・センサー数 1.1億チャンネル
- ・35カ国、1800名の研究者による国際共同実験





粒子を曲げるために大型超伝導磁石

人間

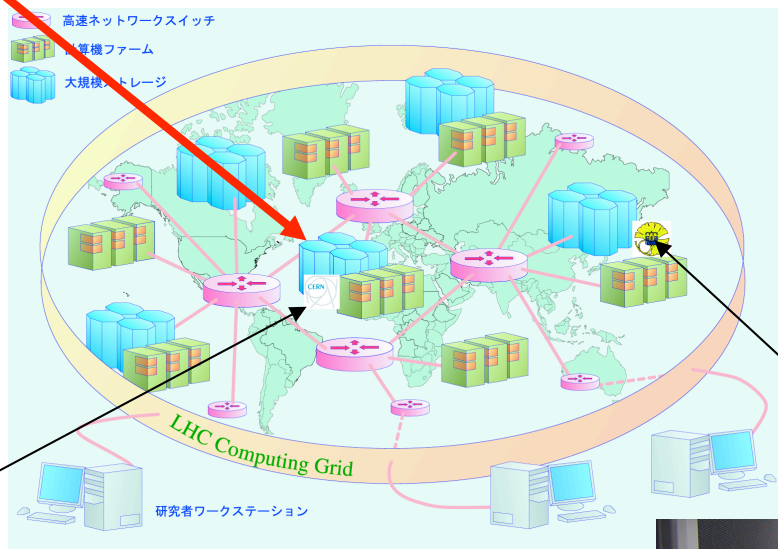


実験データ

1TB/hour → 年間 **3PB**のデータが**つぎつき**生成される。
これを解析するには
20 PB程度のテープとDISK がそれぞれ (DVD1億枚程度)
100MSI₂₀₀₀のCPUが必要
5万台づつDISK,CPU

世界の**計算機資源**を
統合して使う。

CERN
中央**計算機**



データ・CPU
が共有され**あたかも**
巨大な**一つの**計算機の
様に**みえる**。(Grid技術)

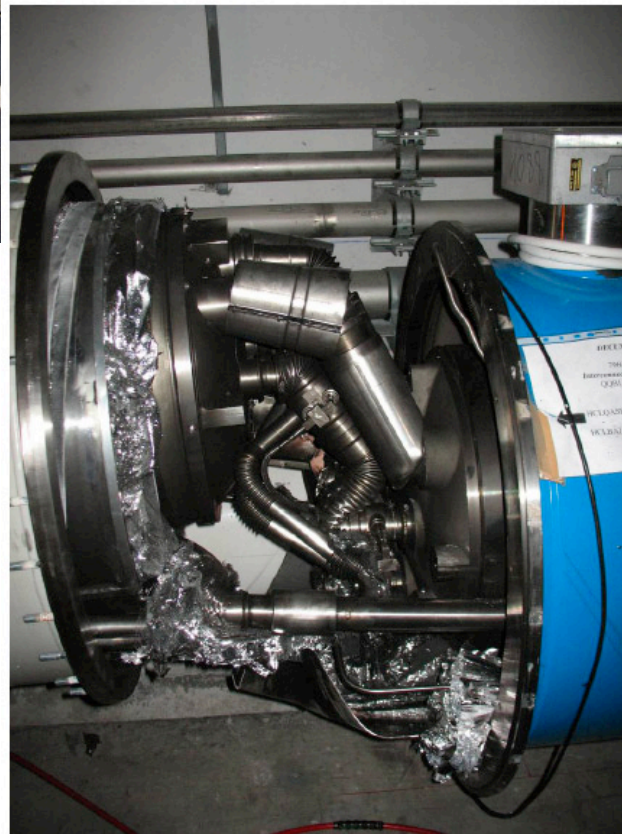
日本の**施設(のちほど)**



9月19日 超伝導磁石のヘリウム漏れの事故 破損



今年の夏 再開予定

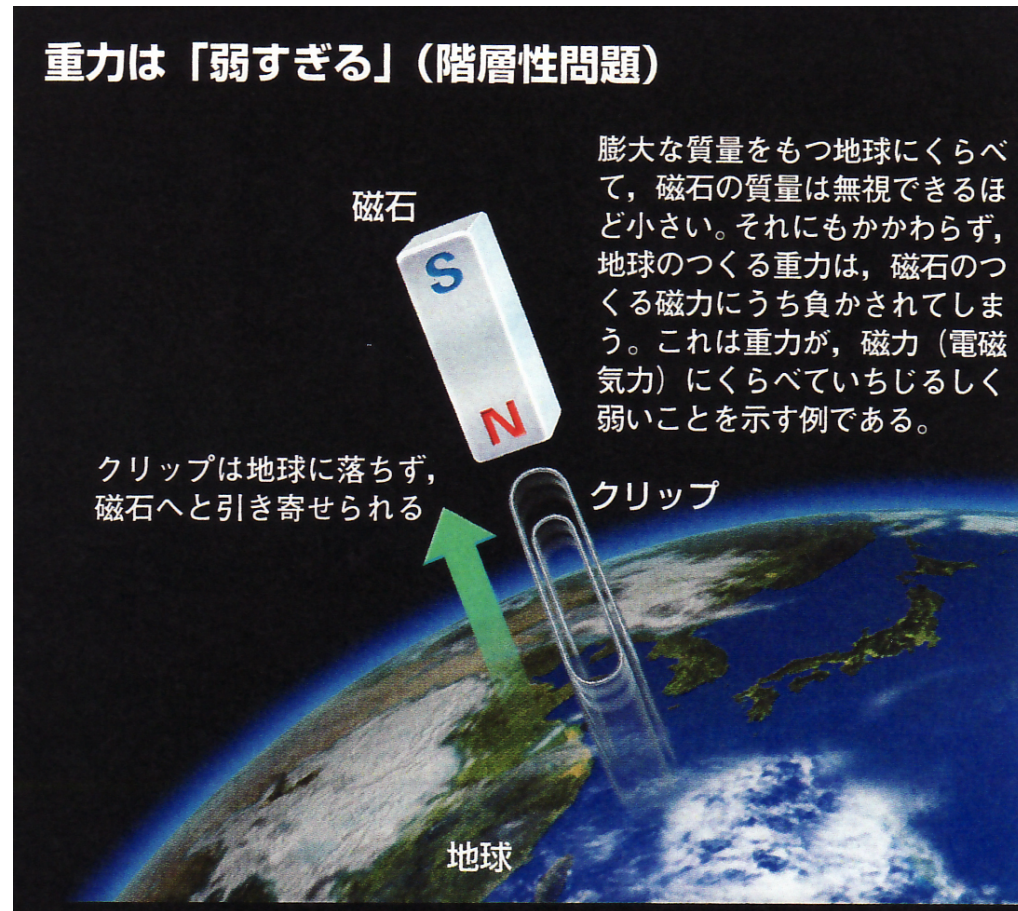


3: 重力が鍵！ 余剰次元

4つの力のうち、重力が弱すぎる。 他の力と比較して 10^{-40}



相手が地球だから感じる
地球の重さ $6 * 10^{24}$ kg

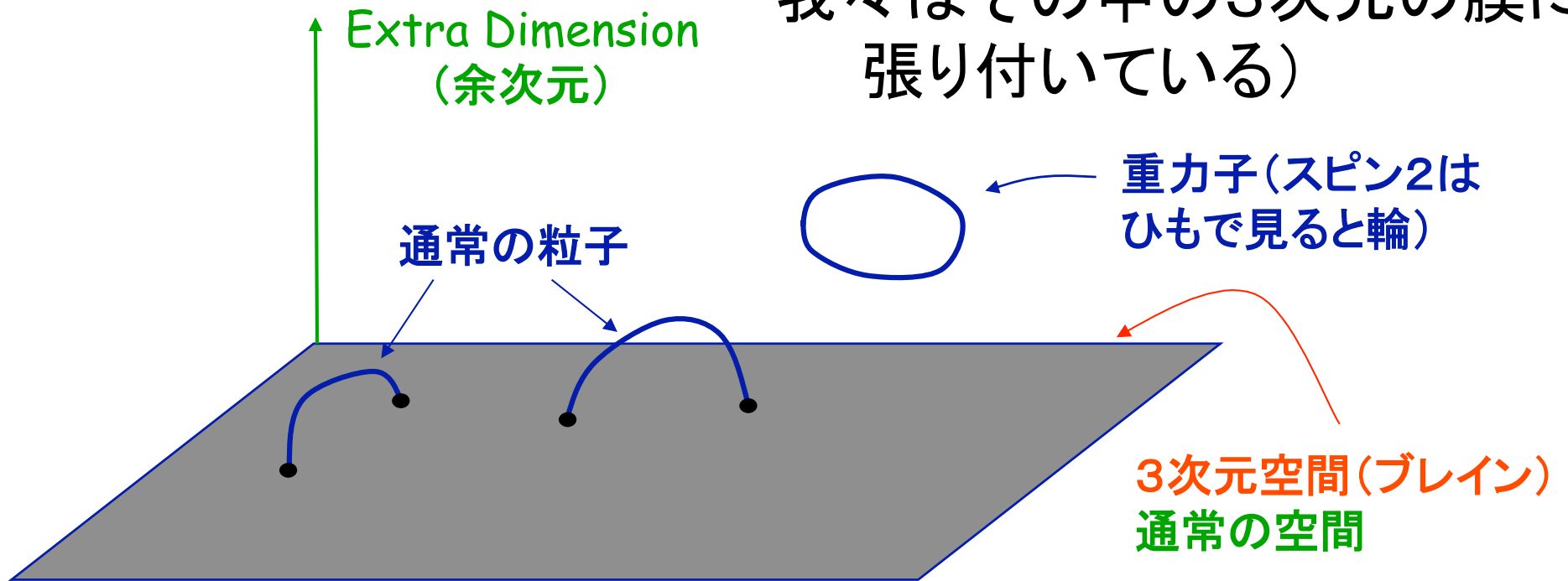


でもケチな磁石にもまけてしまう。

その解として有力な「余剰次元とブレイン理論」

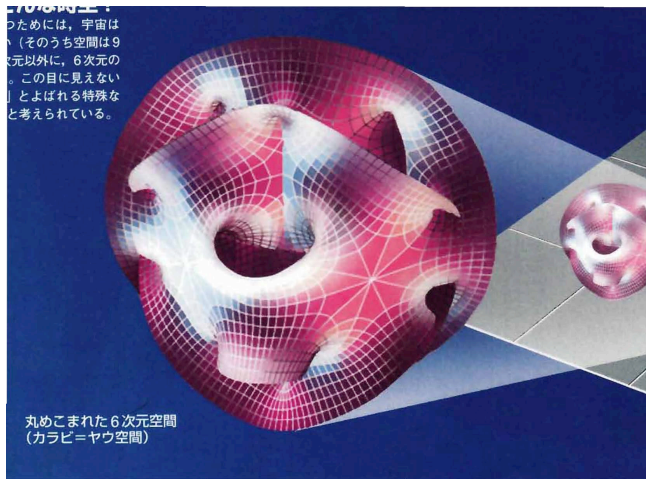
膜に張り付いた人生 (空間は9次元(ヒモ理論))

我々はその中の3次元の膜に張り付いている)



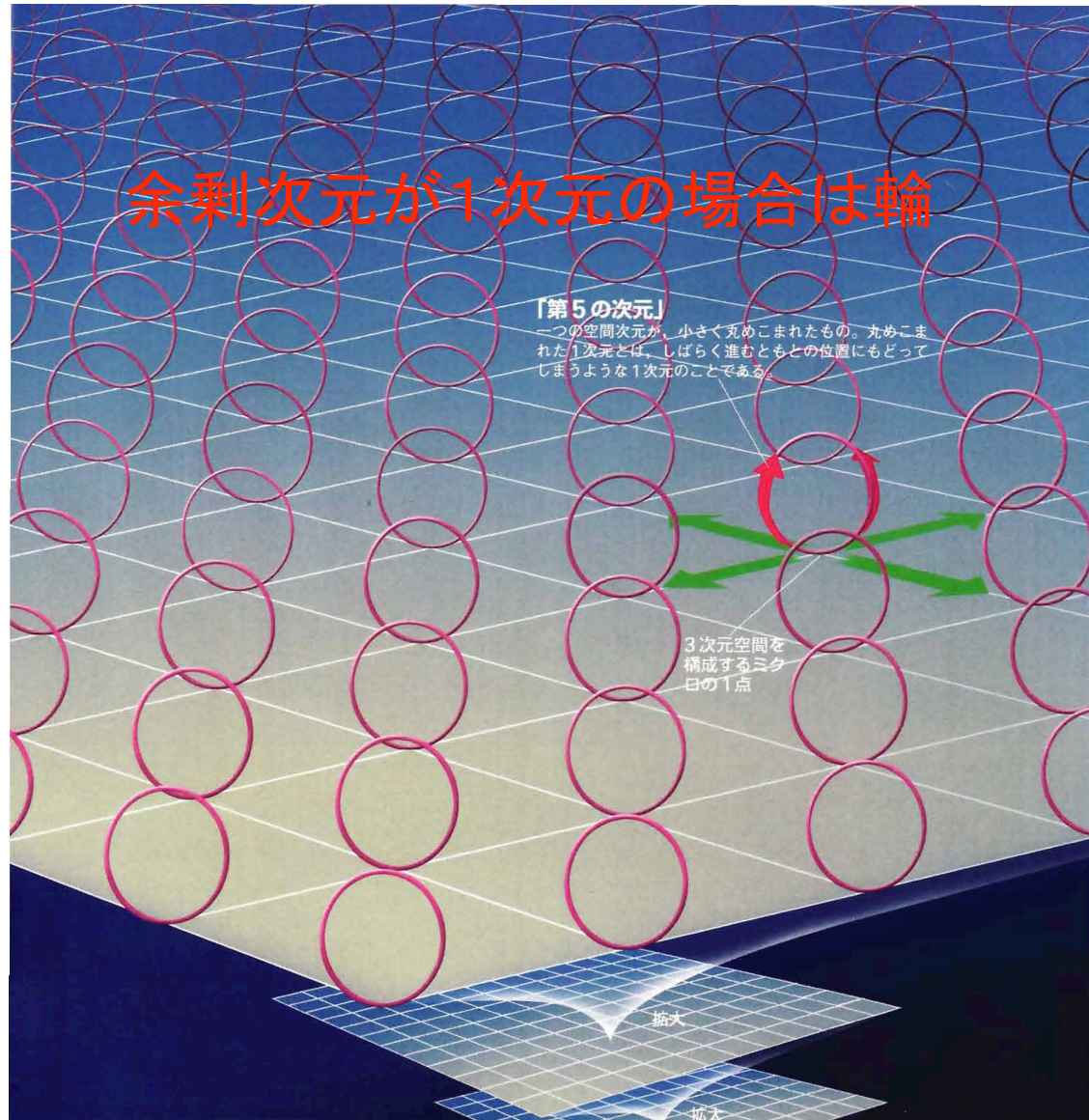
重力子は、広い空間を自由に行き来して、我々は3次元の膜にはりついている。
重力子がこの膜に来たときだけ感じる → 重力が弱くみえる。

余剰次元は
コンパクトに縮まっていて
みえない。

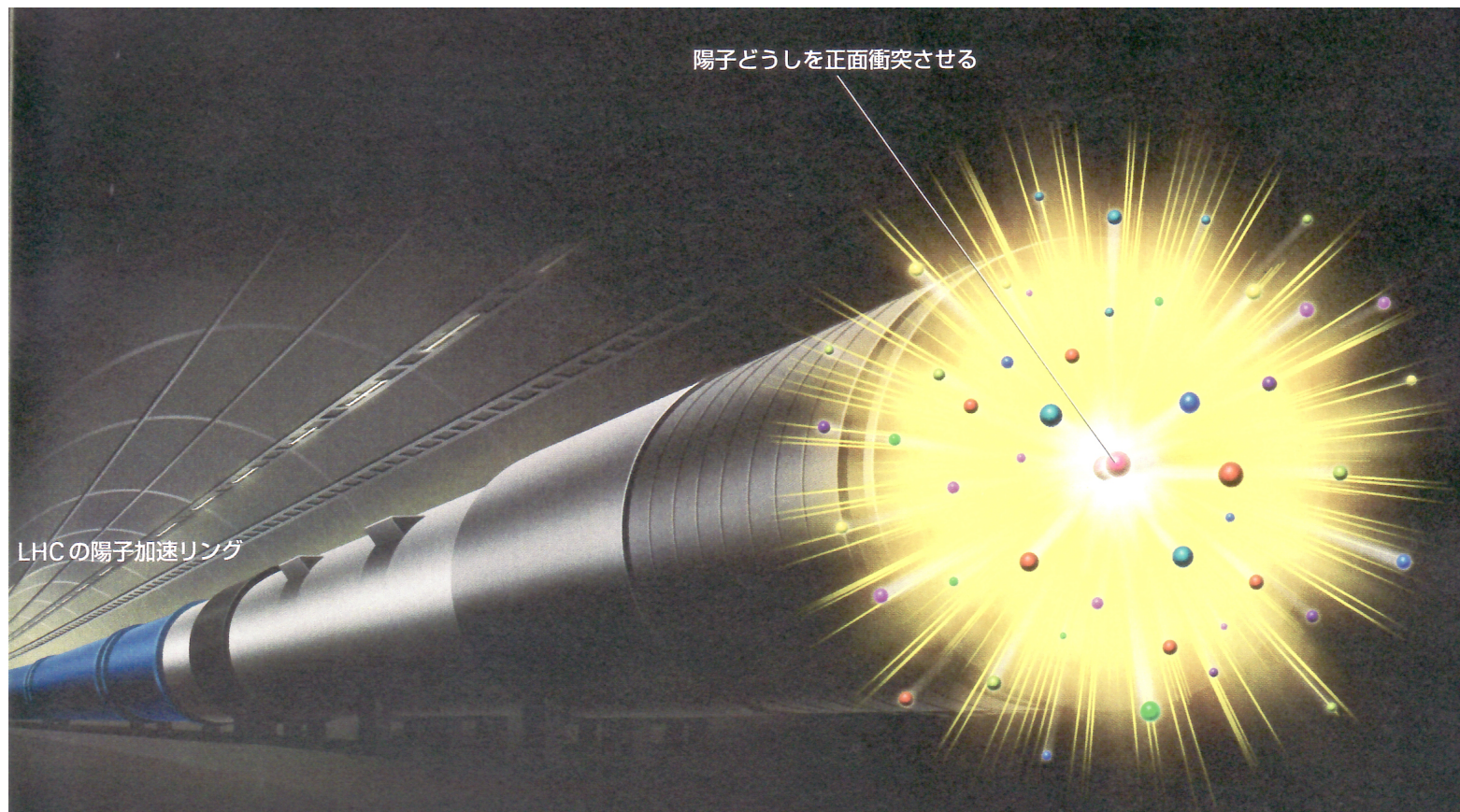


余剰次元が6次元の
場合はふしぎな形

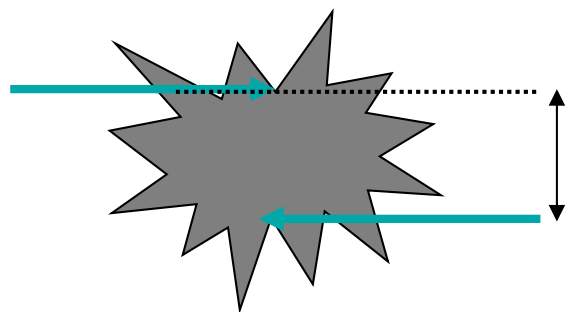
これの大きさが不明
 10^{-35}m くらいかもしれないし
 10^{-17}m と大きいかもしれない



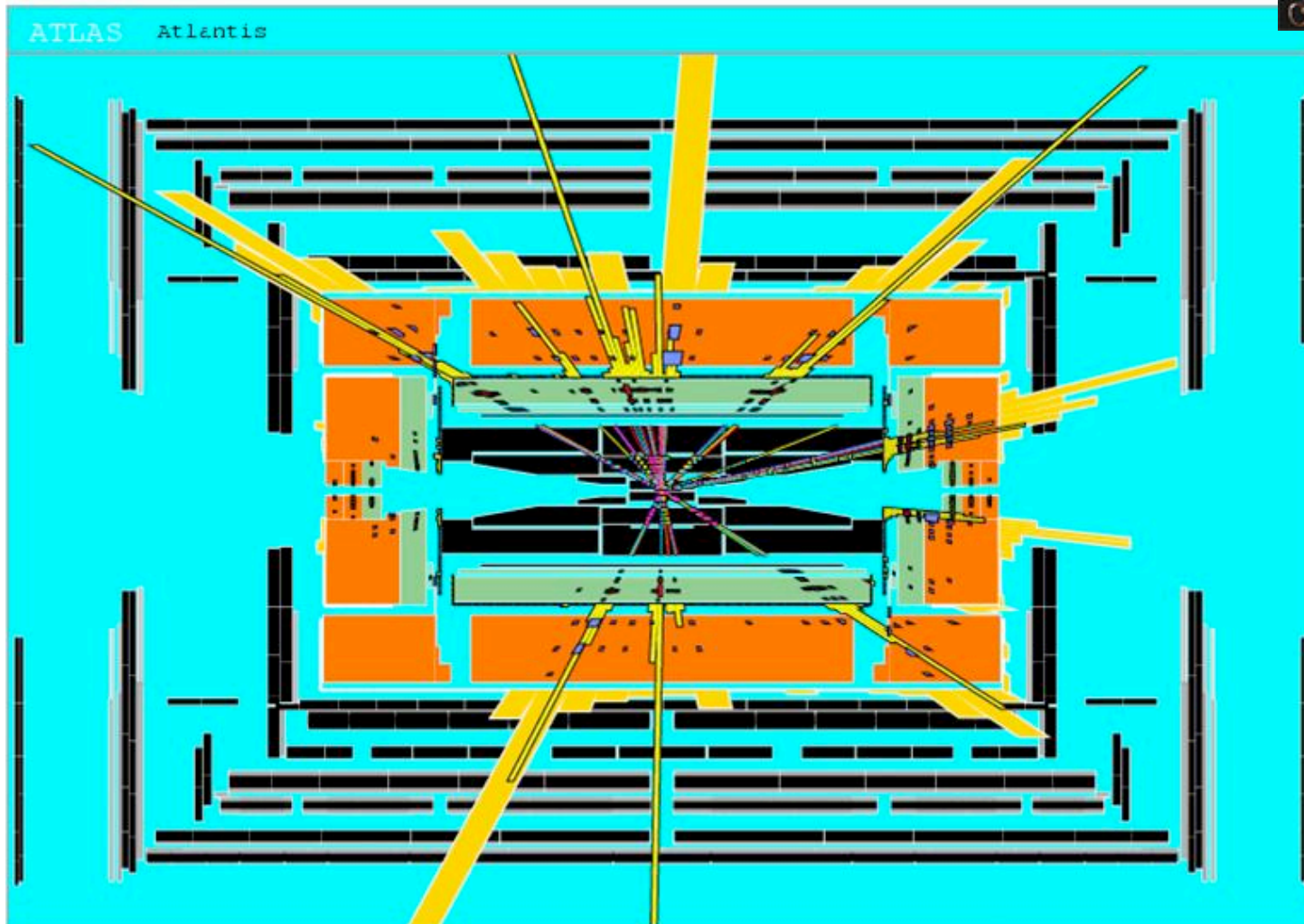
もし、大きさが 10^{-17} - 10^{-18} m だとLHCで効果が見える。
この距離まで近づくと、次元数が大きくなり 重力が強い力となる。



陽子の中のクォークが反対側の陽子のクォークとぶつかる距離が
ブラックホールの地平線の大きさ
(R_s シュバルツシルド半径)小さいと
 $d < R_s$ 吸い込まれてブラックホールになる。

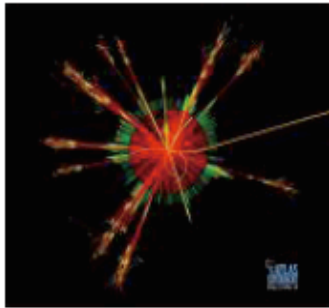


ブラックホールはすぐにホーキング輻射(蒸発)する。
地球を飲み込む心配はない。
蒸発で出てきた粒子が下の様に発見される。



エネルギー
の高い粒子
がいっぱい
発生する事象
(計算機で予想
したもの)

米国でLHCの運用禁止を求める訴訟、ブラックホール生成実験は安全性が確認されていない



🔍 画像を拡大する

【Technobahn 2008/3/28 13:15】
 欧州原子核研究機構（CERN）が
 スイスとフランスの国境沿いの地
 域に建設を進めてきた大型ハドロン
 衝突型加速器（LHC: Large
 Hadron Collider）の運用の禁止を
 求める訴訟が21日、米ハワイ州地
 方裁判所に提訴していたことが27
 日までに明らかとなった。

原告は米国政府の原子力保安検査官を務めたウォルター・ワグナーさん。ワグナーさんはLHCでの極小ブラックホール生成実験は、安全性が確認されているとは言えないとした上で、不用意にブラックホールを生成することは、その影響で災害が起きる可能性があるとして主張。その上で第三者機関によってLHCの安全性を確認できるまでの間、LHCの運用を禁止する仮処分命令を出すように裁判所に求めている。

CERNでは年内にもLHCの稼働を開始する予定で現在、最終準備作業を進めている。

LHCでは実際に、極小ブラックホールの生成実験が予定されている。しかし、LHCによってミニ・ブラックホールが生成できたとしてもそのミニ・ブラックホールは、理論上はホーキング放射によって直ぐに消滅することなども予想されており、実験そのものには危険性はないとする考えが今のところ、大勢を占めている。

ただし、一部では実験の危険性を指摘する声なども上がっていた。

画像はLHCで予定されている極小ブラックホール生成実験の概念図
 (画像提供：CERN)

ちなみに、そういう 罪な研究をLHCで初めてした 論文

ATL-PHYS-2003-037

Study of Black Holes with the ATLAS detector at the LHC

J. Tanaka^{1,†}, T. Yamamura², S. Asai¹, J. Kanzaki³

¹ International Center for Elementary Particle Physics (ICEPP), University of Tokyo

² Department of Physics, Faculty of Science, University of Tokyo

³ High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

[†] Mail address: Junichi.Tanaka@cern.ch

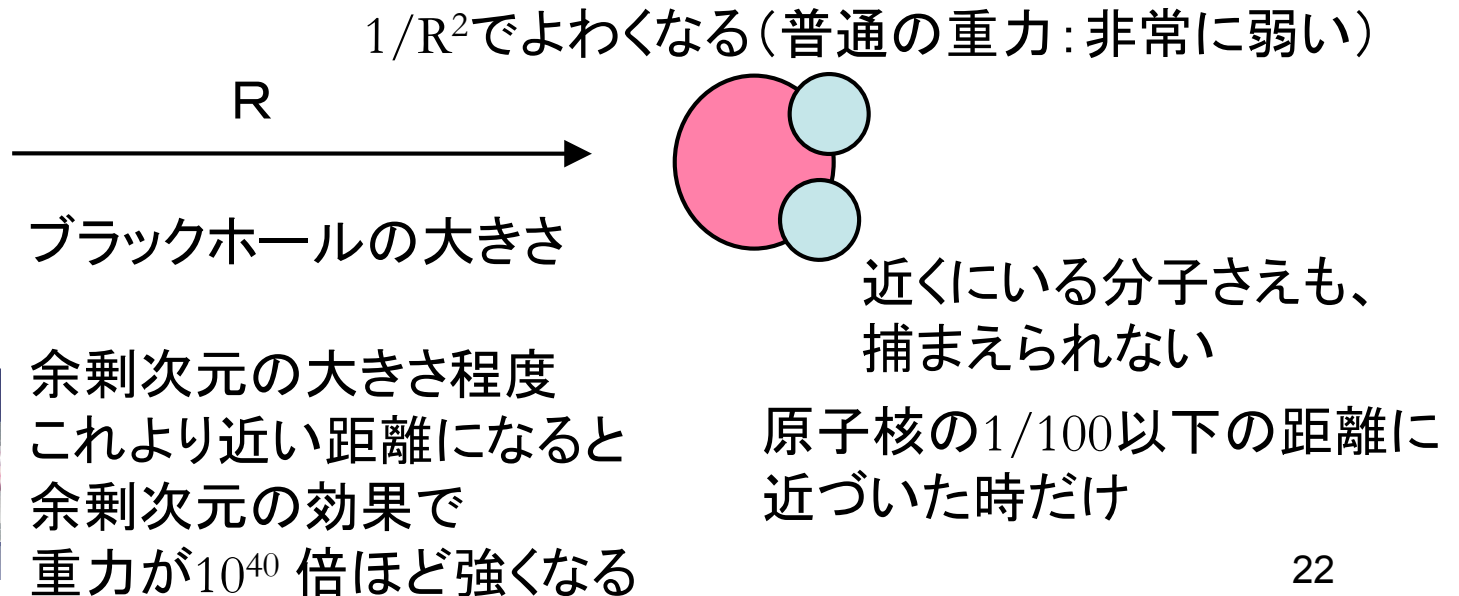
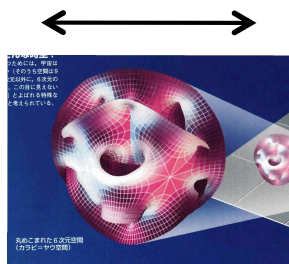
Abstract

We evaluate the potential of the ATLAS detector for discovering black holes produced at the LHC, as predicted in models with large extra dimensions where quantum gravity is at the TeV scale. We assume that black holes decay by Hawking evaporation to all Standard Model particles democratically. We comment on the possibility to estimate the Planck scale.

ユーチューブでも

安全な理由(1):

(1) もの(地球)を飲み込めない ブラックホールと言っても大きさは 10^{-17}m 以下(原子核の1/100)で、その重さも水素原子の1万倍(せいぜい蛋白質分子)です。このブラックホールのもつ重力は非常に小さい。なぜブラックホールになったかと言うと、 10^{-17}fm 以下に近づいた時、隠れていた次元が見えて、重力が急に大きくなったからです。しかし、それ以上離れると、余剰次元は見えなくなり皆さんがよく知っている重力になり、非常に弱いです。(分子の大きさのなるのに $10^{13}\sim 10^{28}$ 年 : 宇宙の寿命 137億より圧倒的に長い)



安全な理由(2):

(2) ブラックホールの蒸発(ホーキング放射)

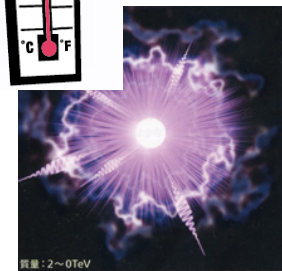
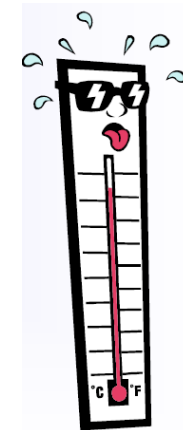
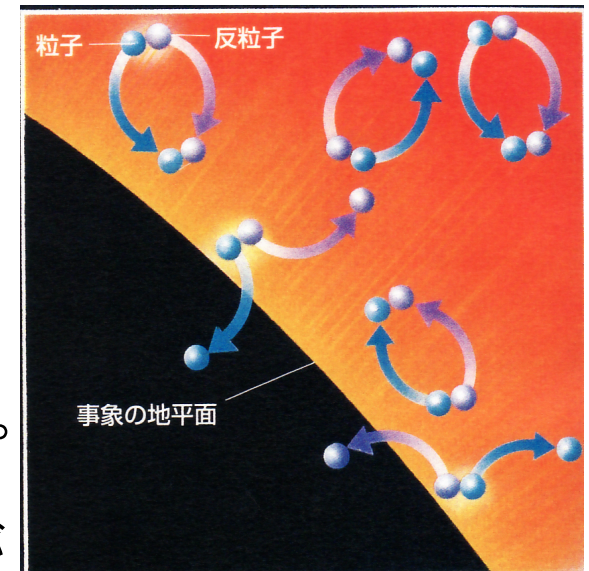
光さえも出てこれないと言うのは古典的に考えた時です。量子力学で考えると、粒子と反粒子は絶えず生成消滅を繰り返しています。事象の地平線の付近で粒子・反粒子ができて一方が放出されもう一方が落ち込む。ブラックホールのエネルギーを使って粒子・反粒子を生成していることになります。

ブラックホールの中の粒子のエネルギーは、ブラックホールの温度で決まります。

実はブラックホールにも温度があり、軽い程、温度が高くなります。今考えているミニブラックホール程度は、大変温度が高く(10^{15} 度、100兆度)です。

温度が高いのですぐに、たくさん粒子を放出します。放出された粒子が、先のページ(P20)の様に観測されます。あっという間(10^{-27} 秒ぐらい)に蒸発します。

飲み込む量(1) <<<< 蒸発量(2)



銀河の中心 約1000万太陽質量のブラックホール

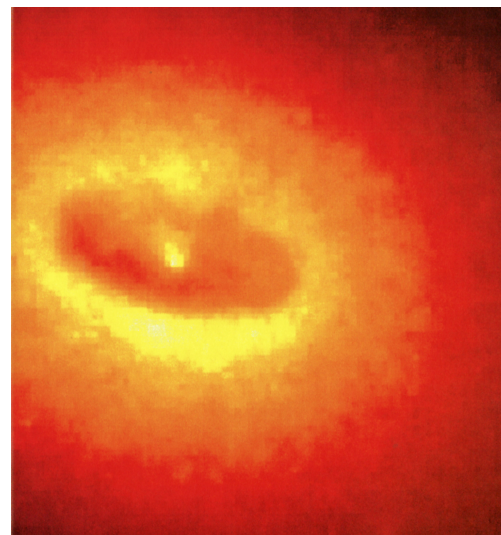
$T=0.00001$ 度ぐらいの冷たい

宇宙年齢より長い寿命

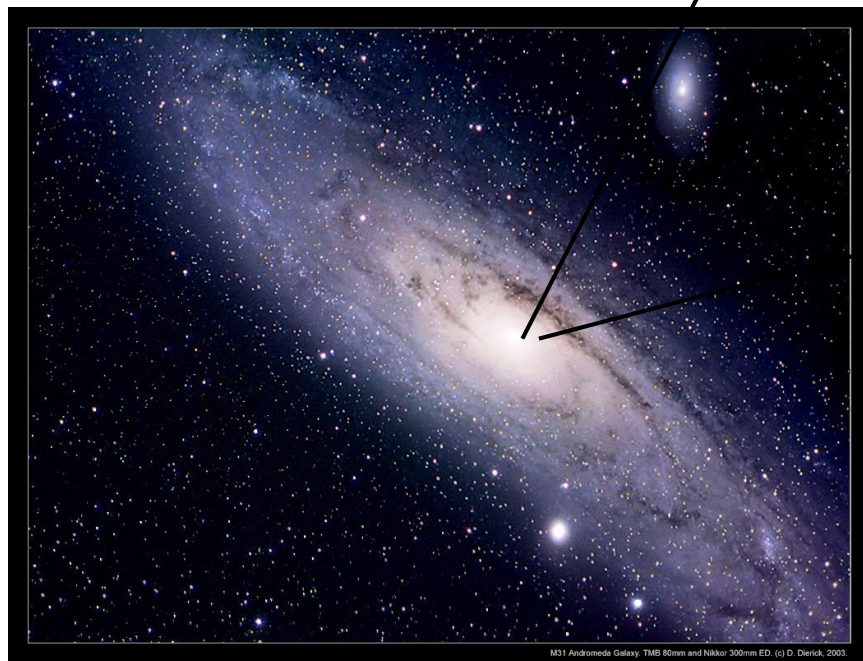
飲み込む>>>蒸発

こいつらは十分重いので

4次元のムチャクチャ弱い重力でも
ブラックホールになった正統派



大きなガスが
巻き付きながら
吸い込まれている
様子



同じブラックホールでも
小さい距離でしか出来ない上に
軽いので全然ちがう。

4. もう一つの鍵

ちよー 「超」対称性

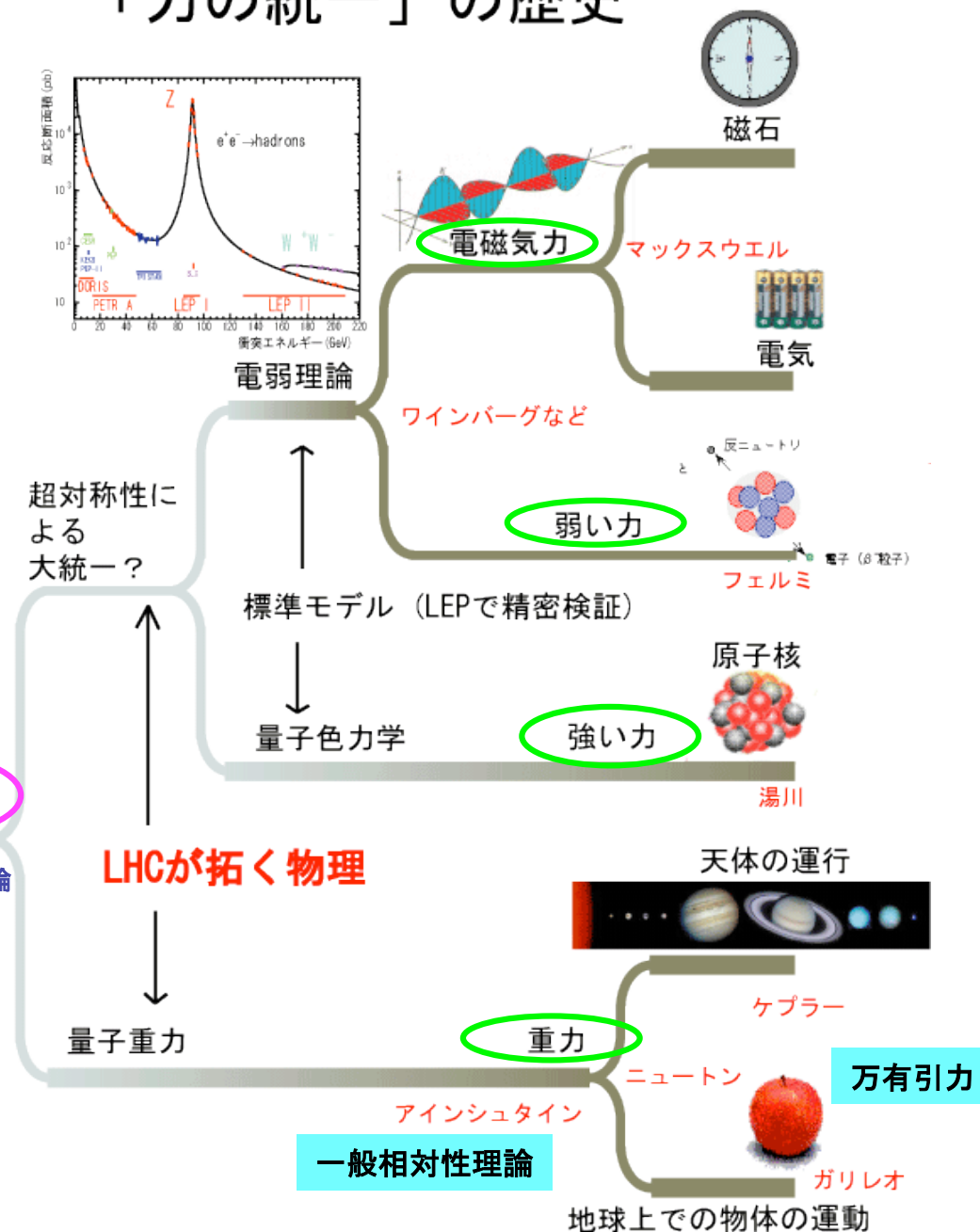
(1) 一般相対性理論
量子力学
このふたつを融合
ひも理論で不可欠
超弦理論

(2) 3つの力を合わせる **超弦理論?**

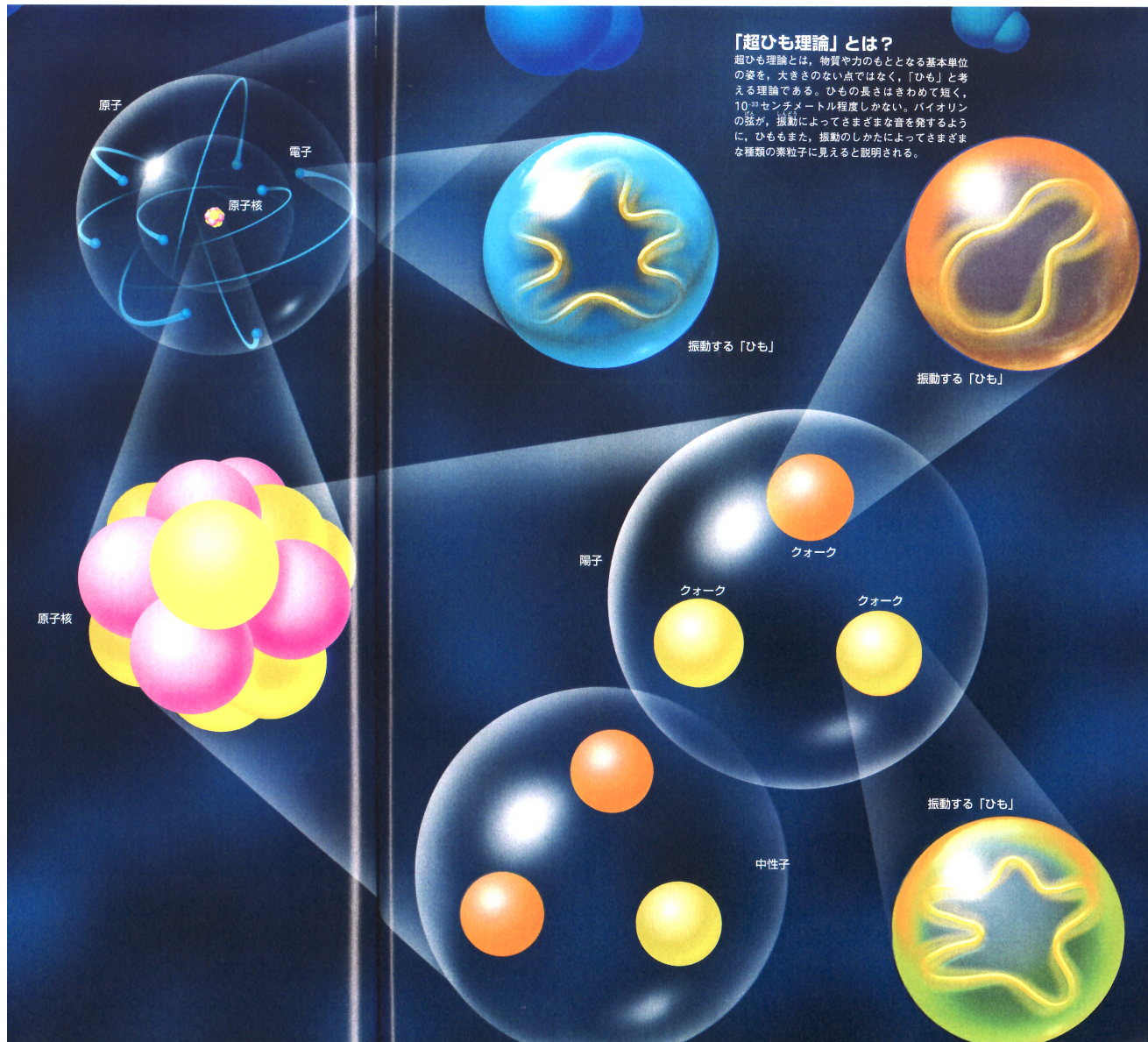
(3) 暗黒物質の解明

究極の素粒子理論
宇宙の始まり

物理学に於ける 「力の統一」の歴史



素粒子は、長さの最小単位である 10^{-35} mのひも状である

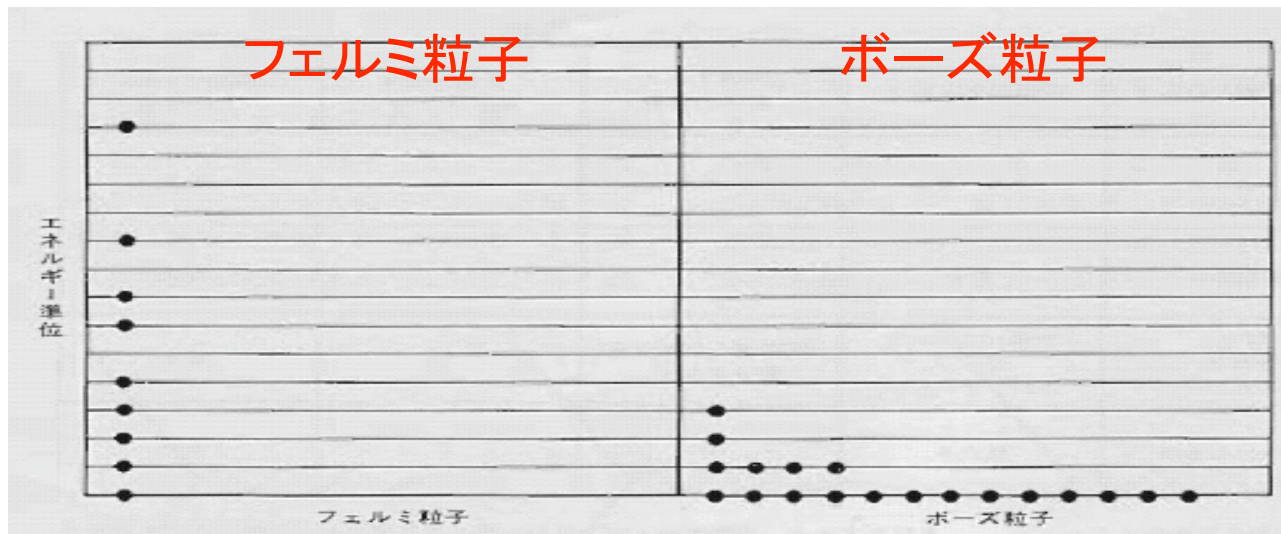


大きさがある。
深刻な特異点の
問題を回避できる。

いっぱいある素粒子
をすべて
ひもの振動の仕方
で表現出来る。

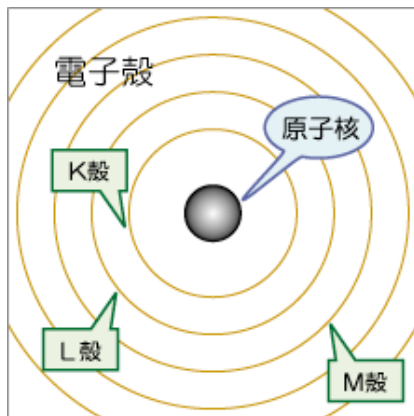
このひも理論が要請
することが

- (1) 超対称性
- (2) 時空が10か
11次元



血液型で言えば
A型とB型だと
思って下さい

物質を作る: (クォーク・レプトン)
フェルミ粒子と呼ばれ スピン $\frac{1}{2}$
「秩序」を重んじ、同じ状態には1個
しか入れない



化学の時間で電子の
軌道を勉強したと
思いますが、同じ状態に
入れないから、下の状態
から詰まっていく

力を伝える: (光、W、Z、グルーオンなど)
ボーズ粒子とよばれ スピン 1,0

同じ状態にいくつでも入れる
(レーザー、超伝導は同じ状態に
いっぱい入っている)

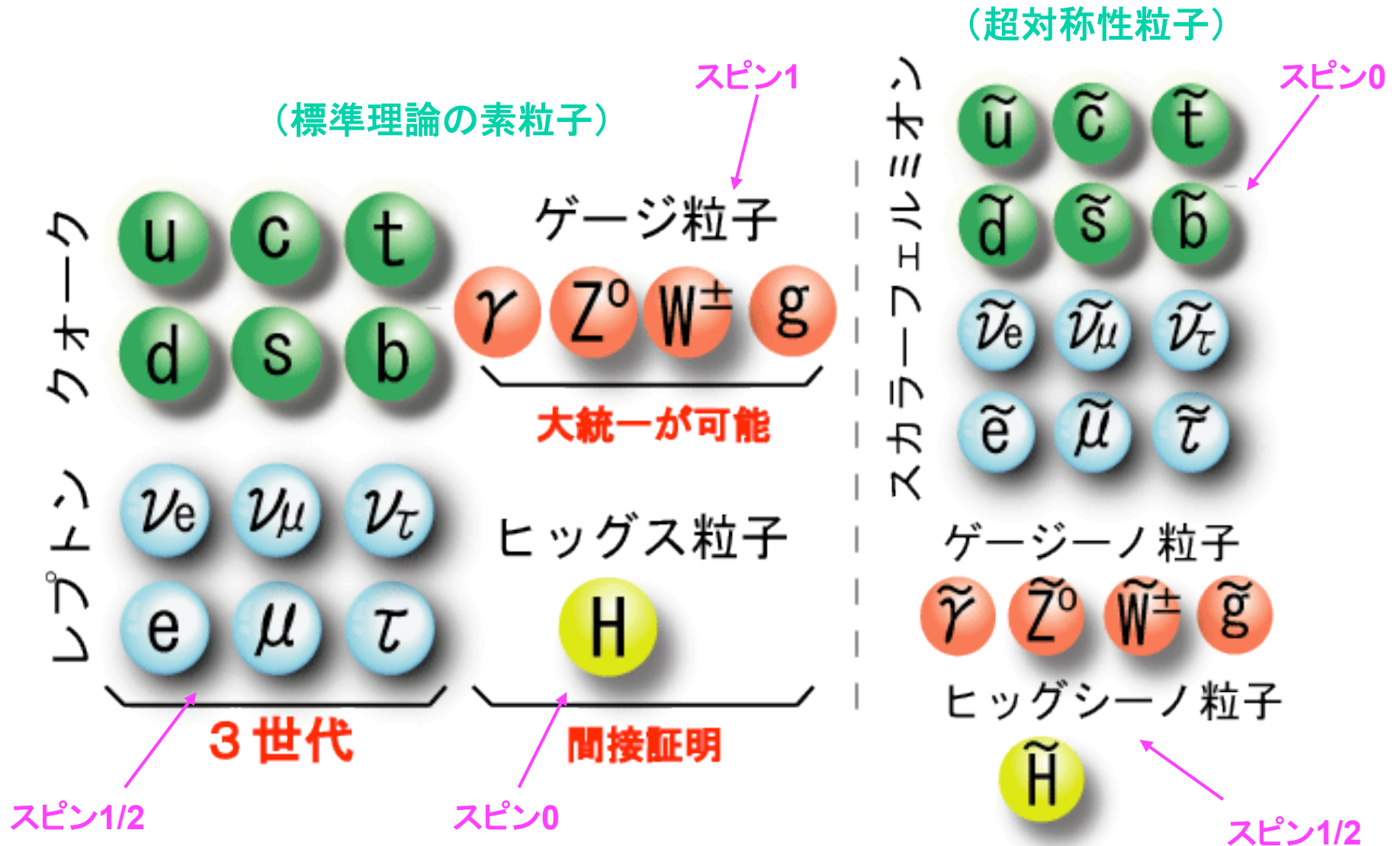
一個ぐらい消えてもいい
自由に生成あたり、消滅したり出来る
力を伝える性質

フェルミ粒子ーボーズ粒子の区別が様々な問題を引き起こす

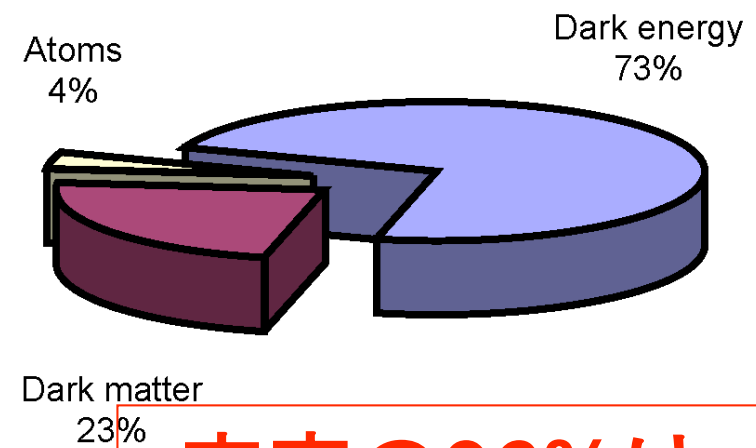
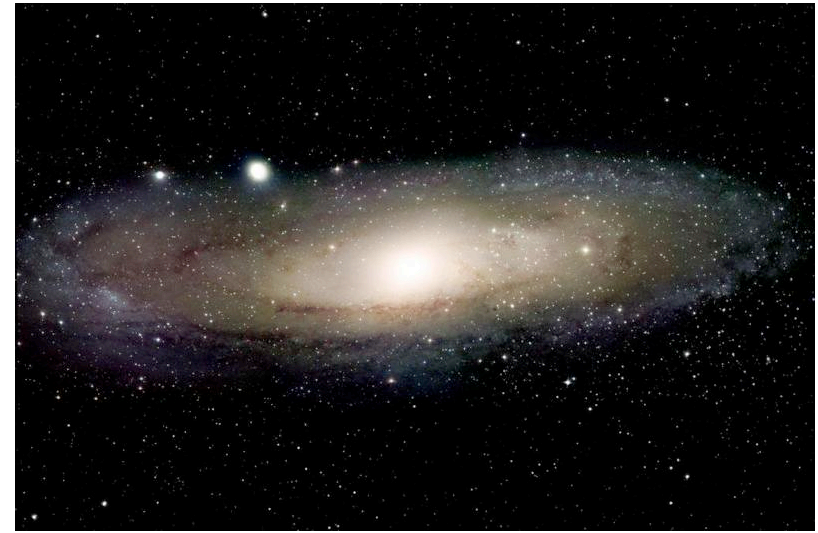
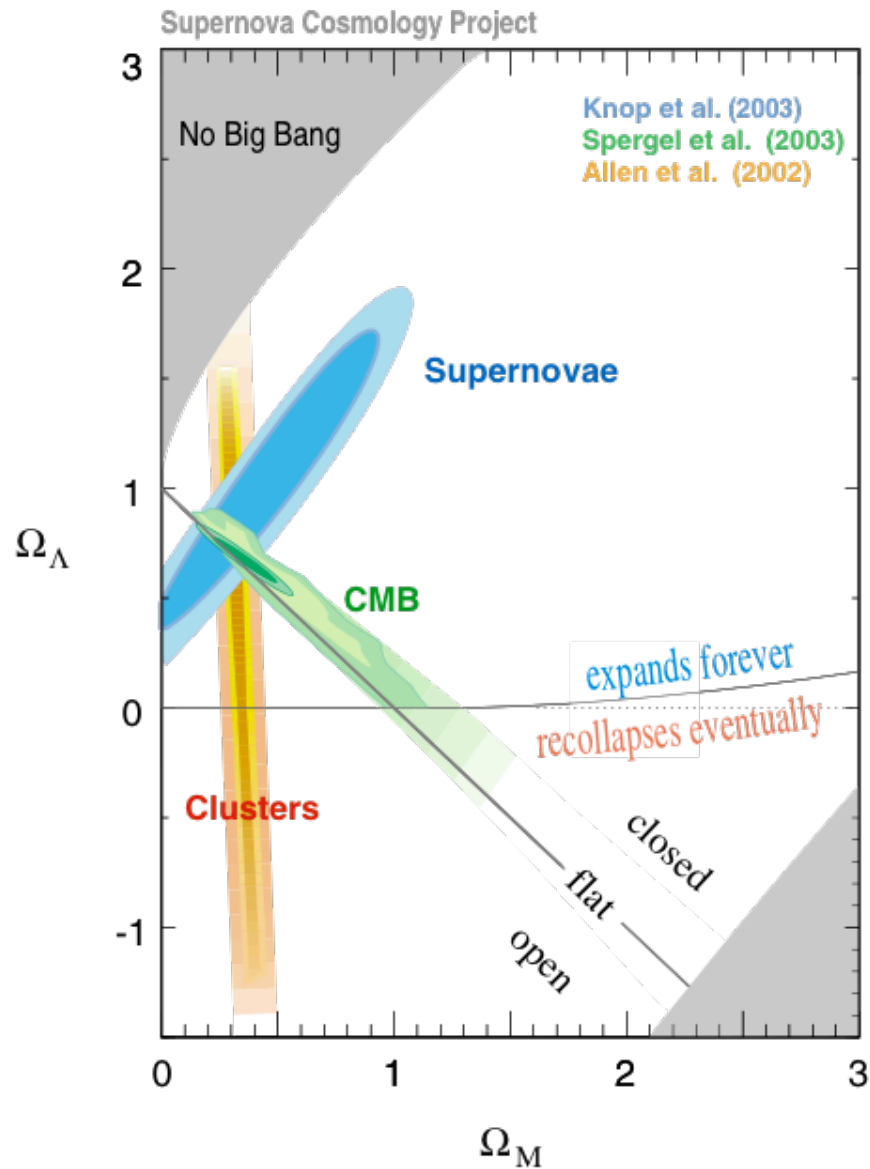
(半整数スピン ⇔ 整数スピン) 区別をなくす → 超対称性

超対称な世界

(半整数スピン \leftrightarrow 整数スピン)



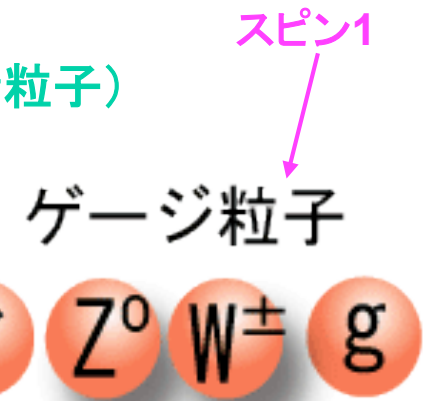
最近の天文・宇宙観測データから



宇宙の96%は
不明

未知な世界

(⇒ 整数スピン)



大統一が可能

ヒッグス粒子



間接証明

スピン0

(超対称性粒子)

スカラーフェルミオン



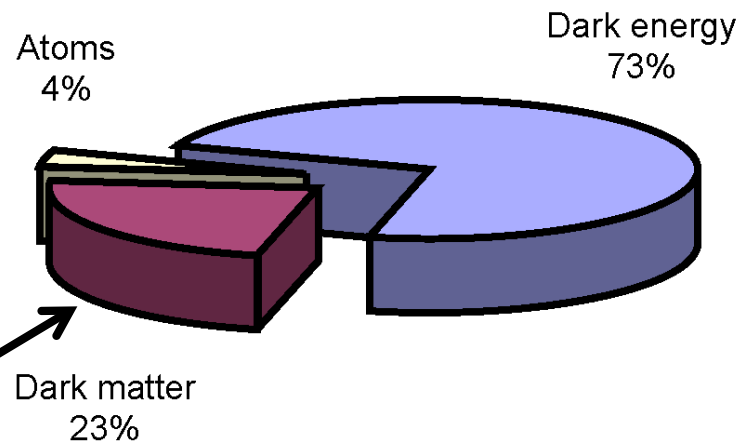
ゲージノ粒子



ヒッグシノ粒子

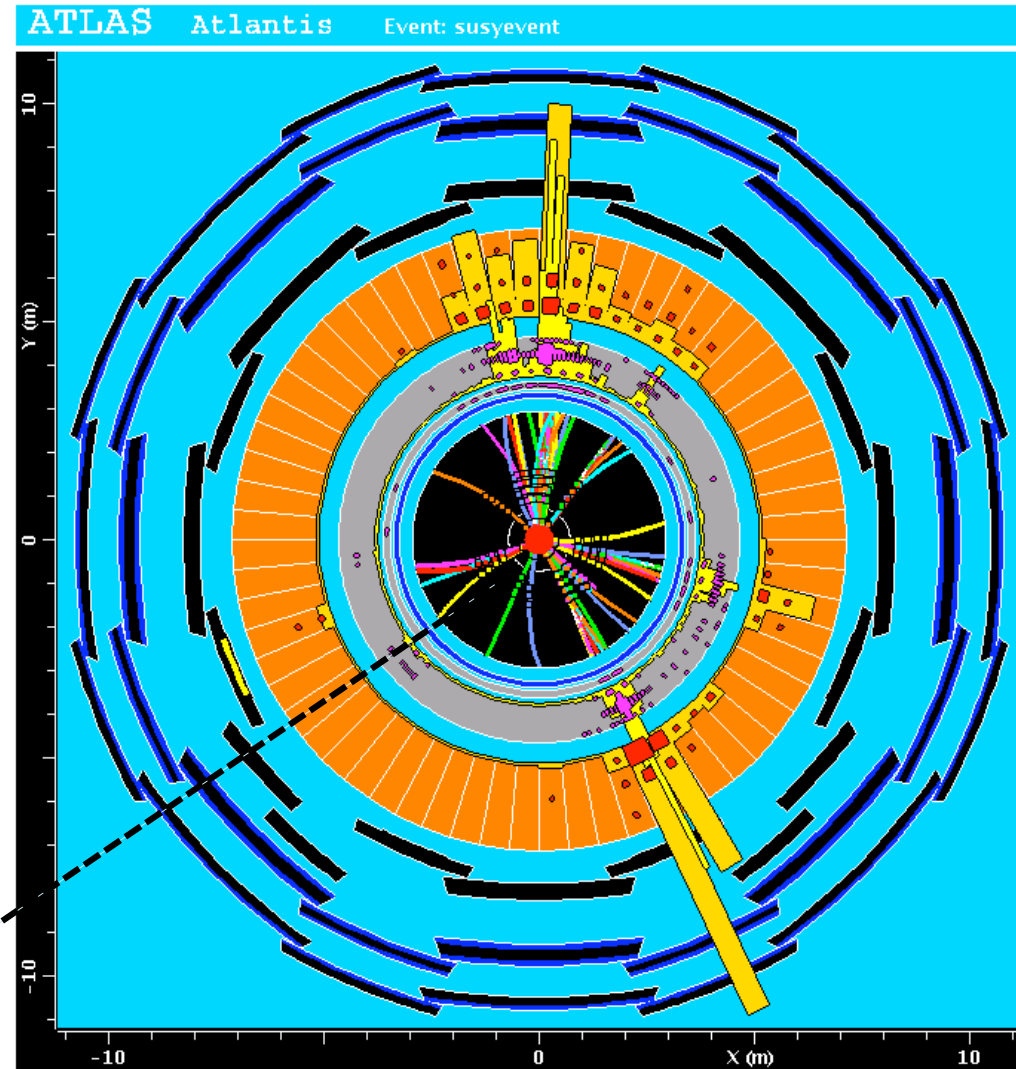
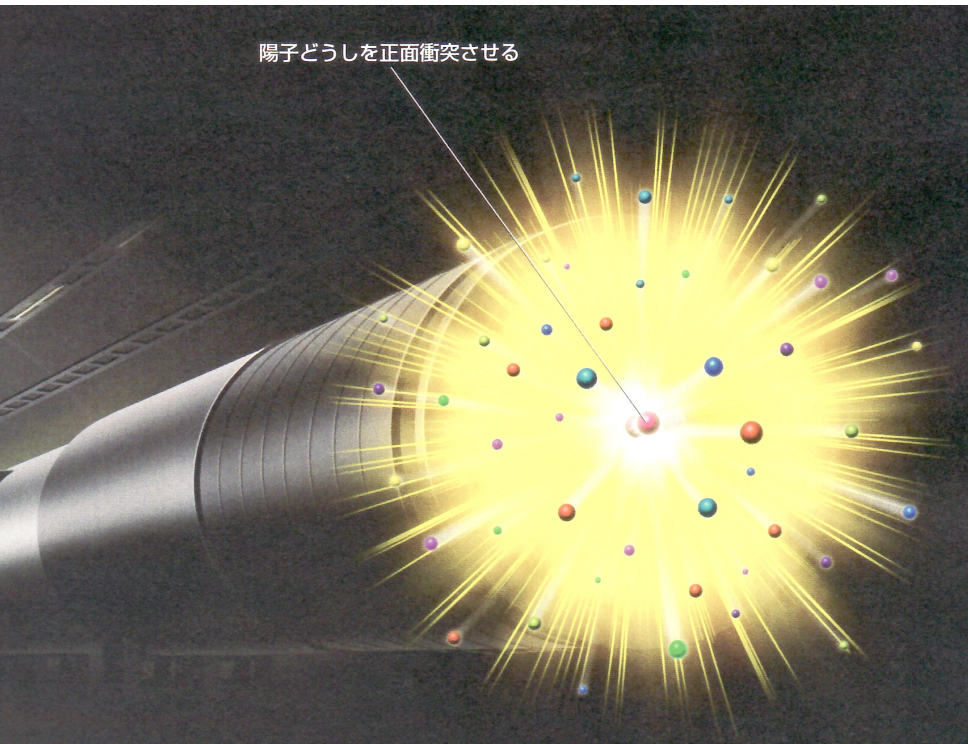


スピン1/2



重たいニュートリノのような性質で、あまり物質と反応しない

LHCでこんな感じの現象が観測されると思われる。



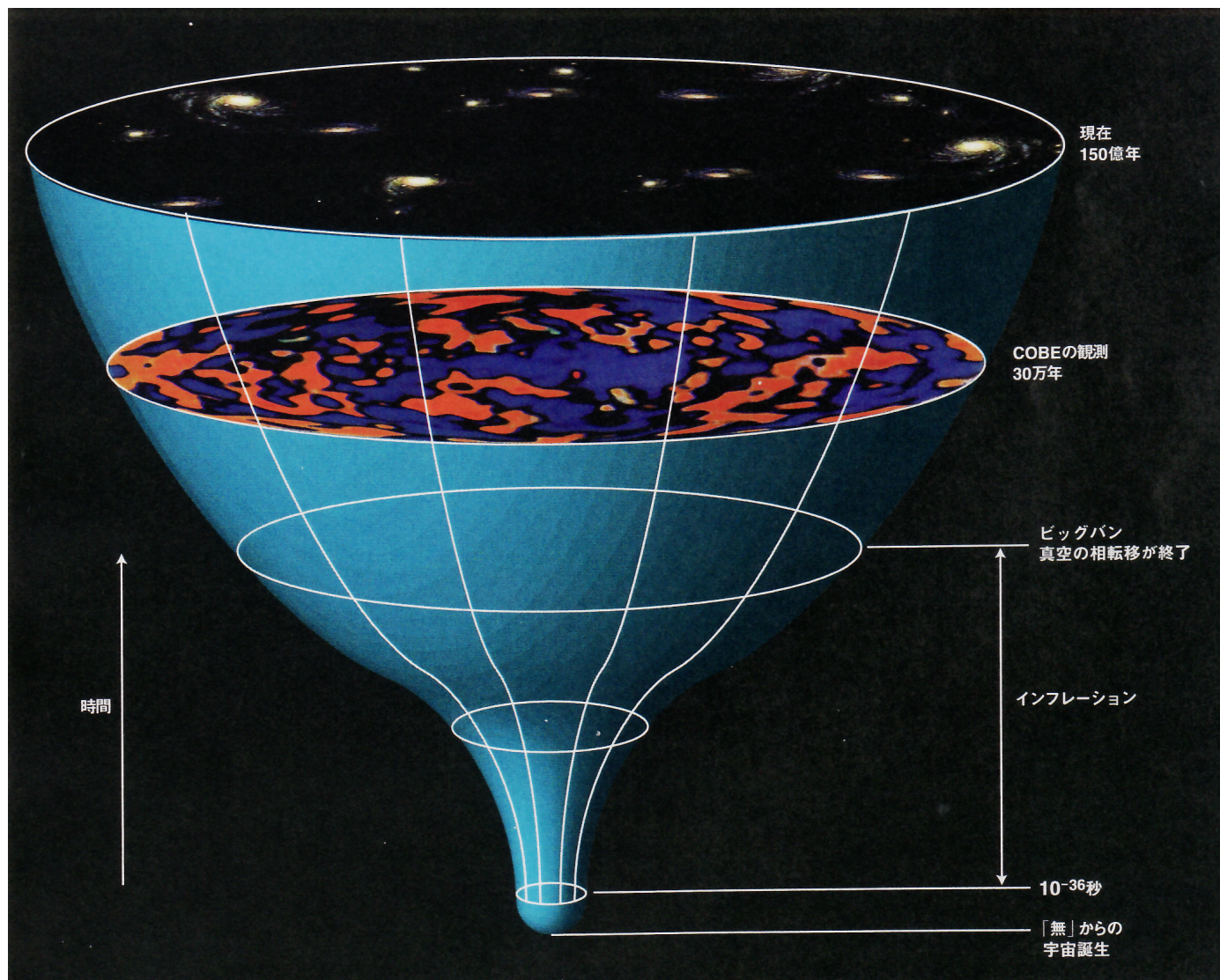
暗黒物質が最後にできて
逃げている。見えない

A dashed black arrow points from this text to the central collision point in the ATLAS detector diagram.

(予想図)

LHCで 2TeVの質量の超対称性粒子を探ることが出来る(2009-2010頃)

LHCがビッグバン直後に迫る



より現実的に
インフレーション
や宇宙のはじまり
について
考えることが
出来るように
なる。