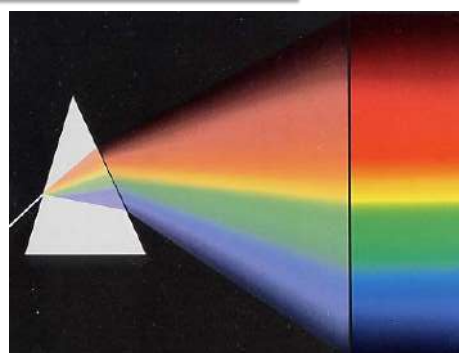


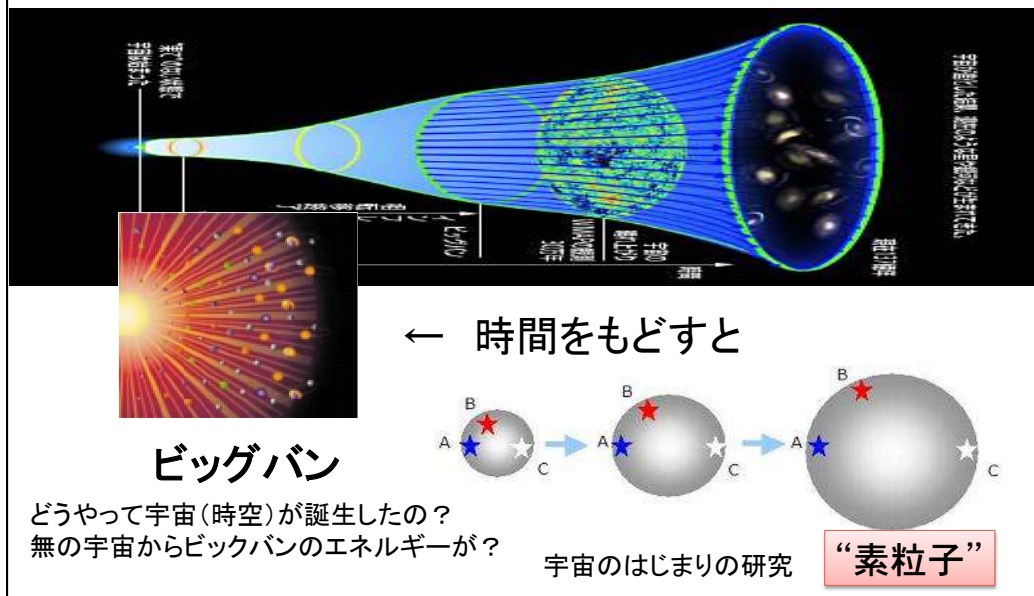
## 1929年 宇宙膨張の発見



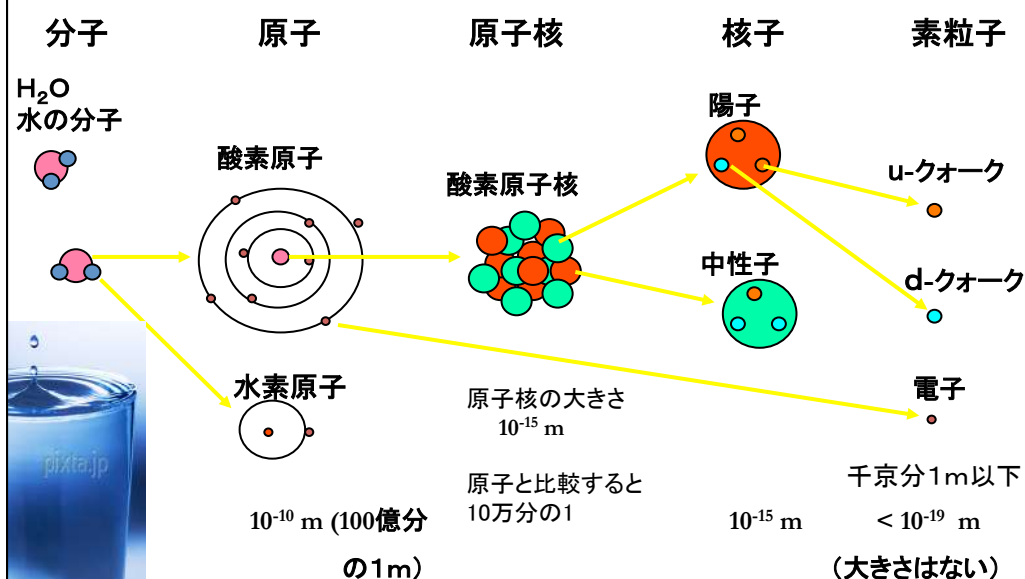
プリズムで見る  
ドップラー効果

「銀河はどんどん遠ざかっている！！」

ってことは、宇宙に始まりがある!!



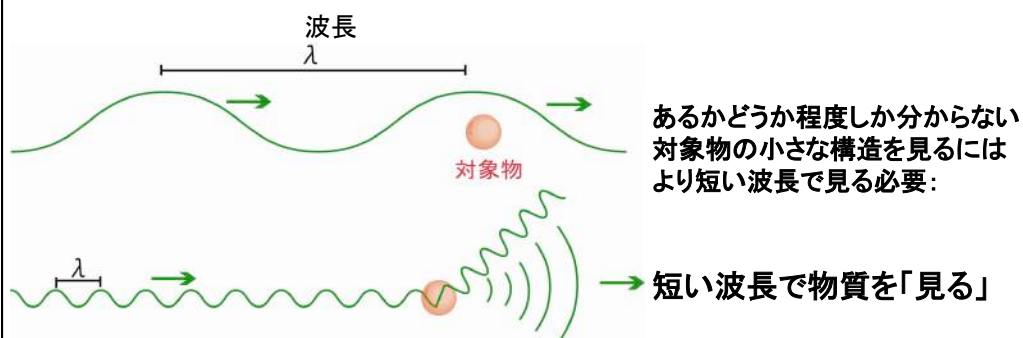
(素粒子とは?) 物質を細かく分割していくと





$10^{-19}$  m 以下 こんな小さいモノをどうやってみる？

## 小さなものをみるには、波長の短い光が不可欠



使う波長によって、測定出来る限界が決まっている

ブルーレイ > 普通のDVD(赤色レーザー)

小さな世界は **量子力学** が支配

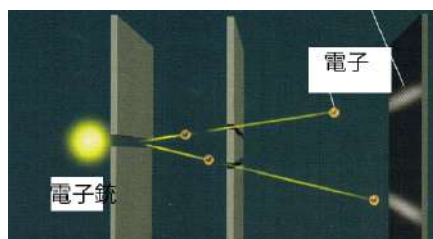
小さく視ると、粒子と波の両方の性質が見えてくる。(2重性)

素粒子 = 粒 + 波

波である証拠 → 電子でも干渉

波の広がりの分だけぼやける

ハイゼンベルグ  
不確定性原理  
 $\Delta P \Delta x > h/2\pi$



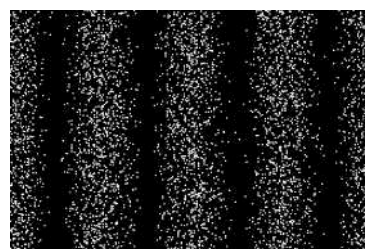
波長

プランク定数

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

運動量 ~ エネルギー

短い波長 ↔ 高いエネルギー



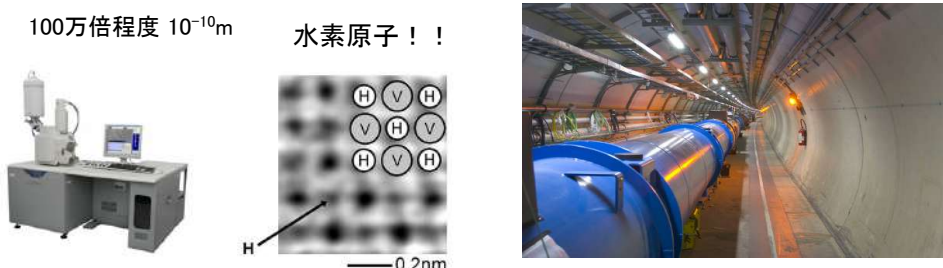
**加速器は大きな顕微鏡**

倍率1000倍程度  
iPs細胞

分解能

光学顕微鏡	光	光の波長 $\sim 0.1$ ミクロン ( $=10^{-7}$ m)
電子顕微鏡	電子	電子の波長 $\sim 1$ オングストローム ( $=10^{-10}$ m)
LHC加速器	陽子	陽子の波長 $\sim 10^{-19}$ m (原子核 10万分1)

100万倍程度  $10^{-10}$  m      水素原子！！



**実は身近な加速器：電子ボルト(単位)**

2万ボルトで加速      電子を放出      古いテレビブラウン管

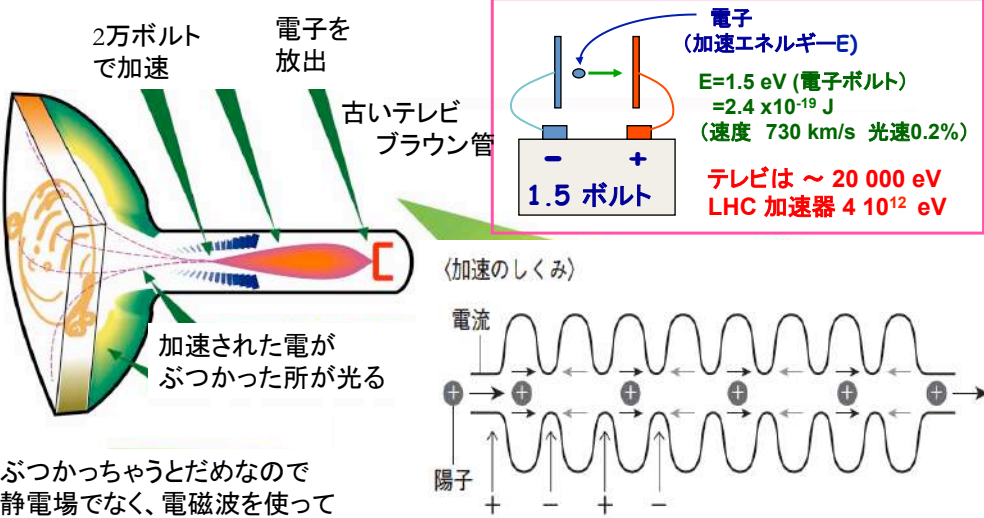
加速された電がぶつかった所が光る

ぶつかっちゃうとダメなので  
静電場でなく、電磁波を使って  
加速するのが加速器  
ブラウン管のざっと1億倍の加速能力

電子 (加速エネルギーE)  
 $E=1.5$  eV (電子ボルト)  
 $=2.4 \times 10^{-19}$  J  
 (速度 730 km/s 光速0.2%)  
 テレビは  $\sim 20\,000$  eV  
 LHC 加速器  $4 \times 10^{12}$  eV

1.5 ボルト

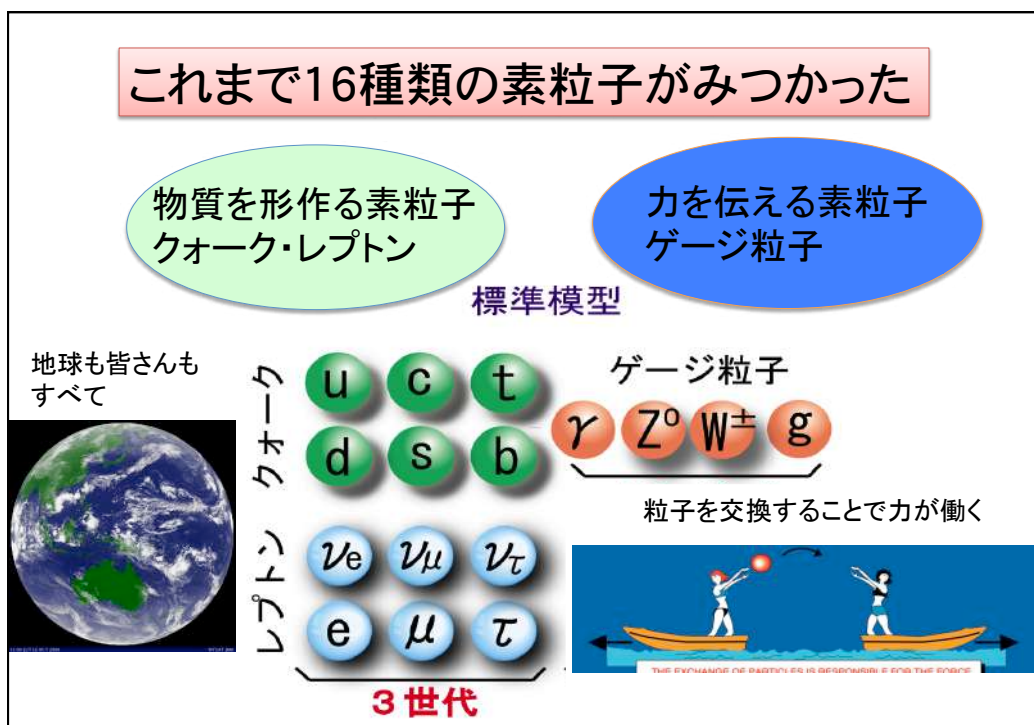
〈加速のしくみ〉



電流

陽子

プラスとマイナスの電極が交互に並んでおり、交流で電荷が入れ替わることで繰り返し加速されていく。



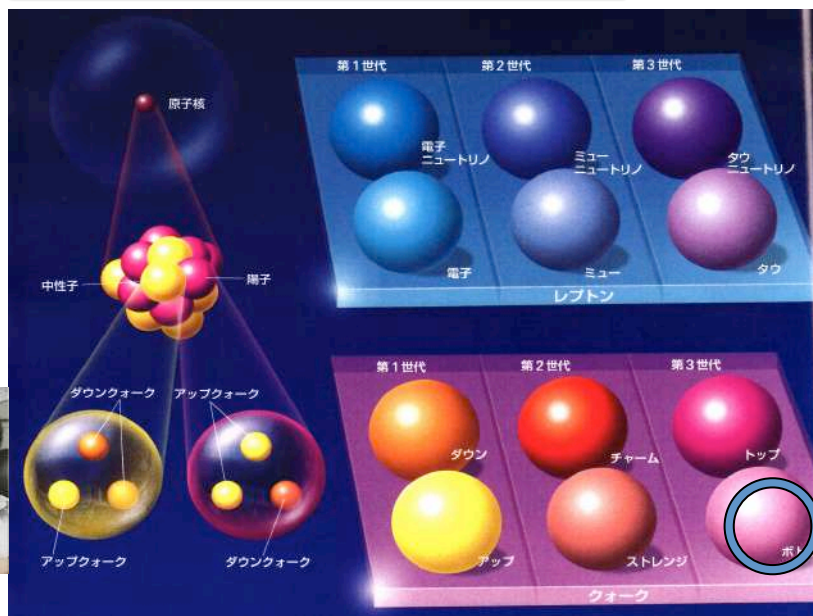


## 素粒子I: 物質を形づくる素粒子

ニュートンより

陽子・中性子の核子は、2種類のクォークで構成  
それ以外に電子とニュートリノ

このセットが3セットある



## 筑波と言えば、KEK

ここにもすごい加速器があります。一周3kmとLHCより1/10 小さいけどLHCの10倍も衝突頻度があって、すごい数の反応を観測できる



3世代目のクォークを調べて、

**粒子と反粒子(時間を遡る)の小さな違いの研究**

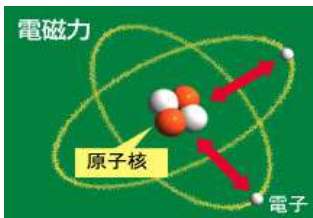
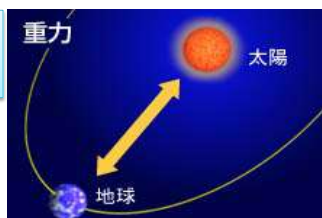
何故 今の宇宙には物質しかないのか?

3世代目は日本が深く関係

## 素粒子II: 力を伝える素粒子

### 自然界の4つの力

重力子  
(未発見)

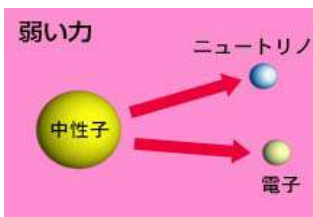


光子

グルオン



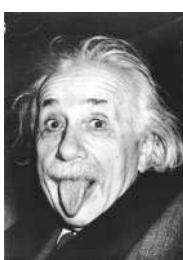
原子核やクォークをまとめる力  
湯川先生が予言



W,Z粒子

中性子は陽子に変わる

## 素粒子の質量



「止まった光??」  
光は止まらない。  
どんな人が、どうみても  
秒速30万kmで  
動いてる。  
(相対性理論)

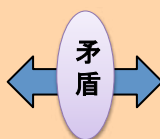
この違いは何故?



「原子や電子」も  
とめることが  
出来ます。

素粒子の原理

素  
粒  
子 質量=0



現実

素  
粒  
子 質量≠0

「質量」

があると運動が阻害されて  
速度も遅くなるし、止まれる。

重さは重力の強さなんです、  
「質量」と一致している。

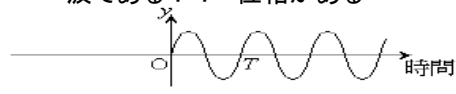
しかし、素粒子の原理からは



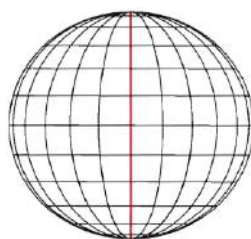
## 素粒子の原理 その1

全ての力は**ゲージ原理**

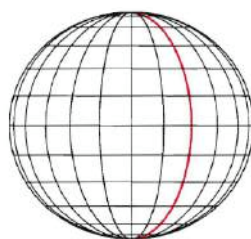
波である！！ 位相がある



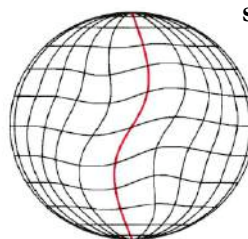
$$\sin(\omega t + \theta)$$



はじめの球



大局的対称性の  
変換



局所的対称性の  
変換

宇宙全体で位相の取り方が同じというのは、相対論を考えると変  
時空の各点で任意にとって良い(局所的対称性:ゲージ原理)  
位相差は観測出来るので物理法則は無茶苦茶になる。  
この歪みを直す様に、粒子が伝搬する“位相の帳尻あわせ”粒子  
(これがゲージ粒子で力の源)

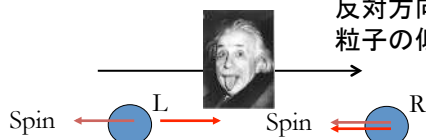
質量(m)があると $\exp(-m \cdot d)$  で弱くなる(マクスナー効果)

17

## 素粒子の原理 その2

**カイラル原理**

素粒子のスピン: 運動方向むいてる(右巻き)と  
反対方向むいてる(左巻き) とある。(スピンは後で)  
粒子の似たような2つの状態??



質量がある = 光速より遅くなる  
光速で追い越す(ローレンツ変換)  
入れ替わってしまう。

鏡で映した関係



## パリティの破れ

1957年

弱い力で パリティが破れている。  
実験で発見

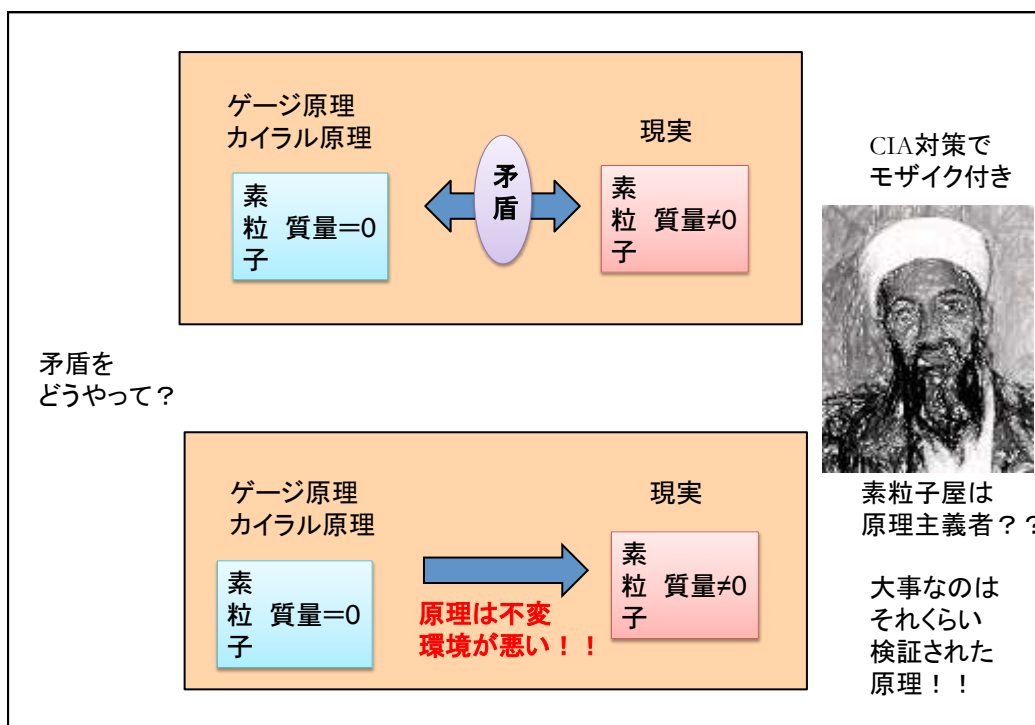
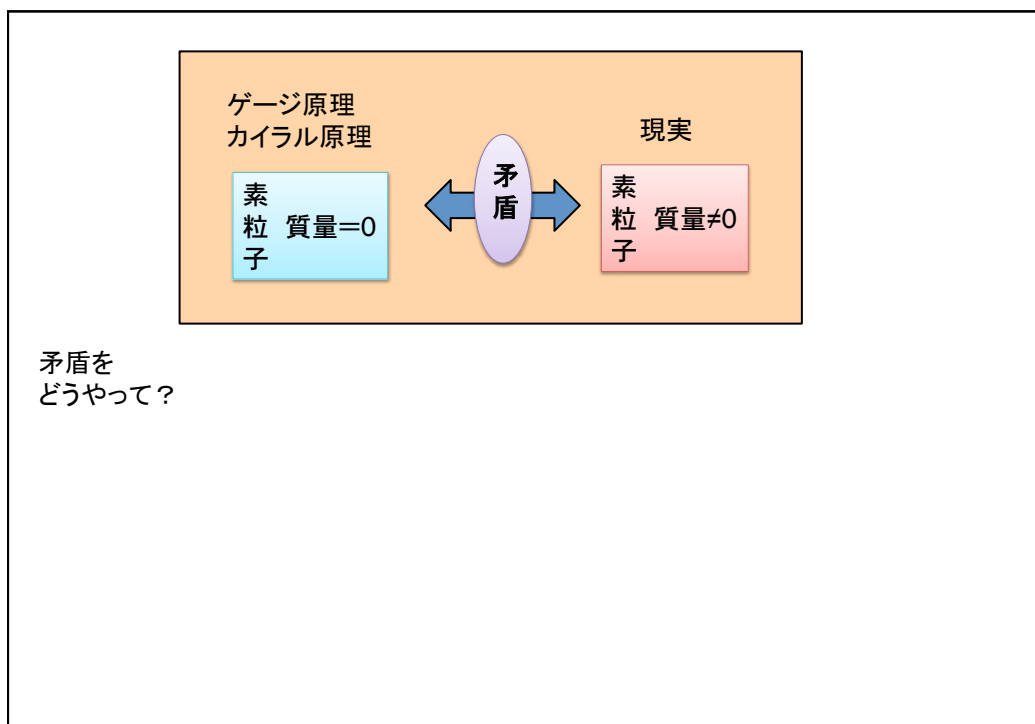
左巻き: 弱い力の電荷を持っている  
右巻き: 弱い力の電荷をもっていない



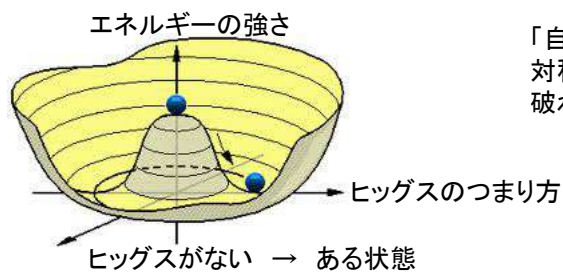
ヤンとリー



ウー



## 悪い環境 = ヒッグスに満ちた真空



「自発的  
対称性の  
破れ」

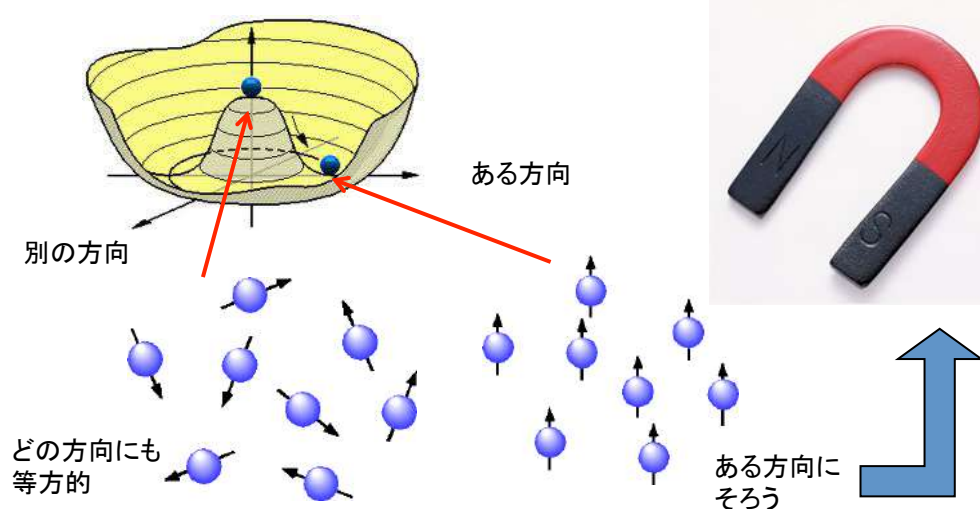


南部先生  
2008年ノーベル物理学賞



## (例えでなくて)本当に自然で起きている?? 結晶を構成する原子の向き

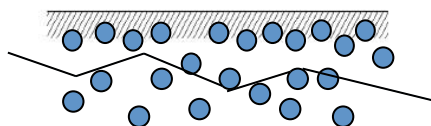
実験





## 真空につまっているのはヒッグス粒子でなく ヒッグス場

ヒッグス粒子にコツコツ  
ぶつかりながら、進んでいく  
というのは、間違いで



ヒッグス場に満たされた中を  
運動すると、たえず  
反応繰り返してまっすぐ進まない



→ これが質量がもった様に見える。

ヒッグス場に満たされた状態(粒ではない)

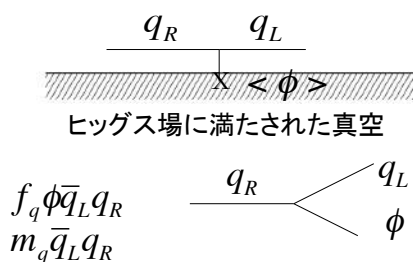
粘性がある液体の中で、どっつと動けないと言うのではなくて、  
もっと凄いことを真空はしてくれてます

## ヒッグス場は、弱い力の電荷バッファ

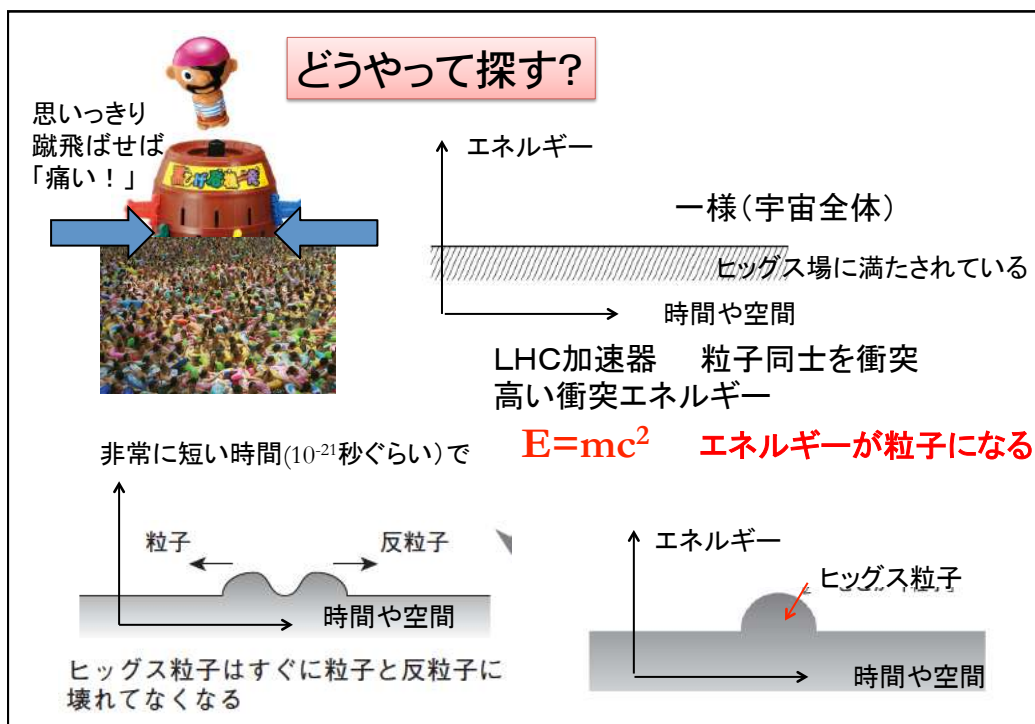


左巻きは「弱い相互作用」感じる vs 右巻きは感じない LとRは元々別の粒子

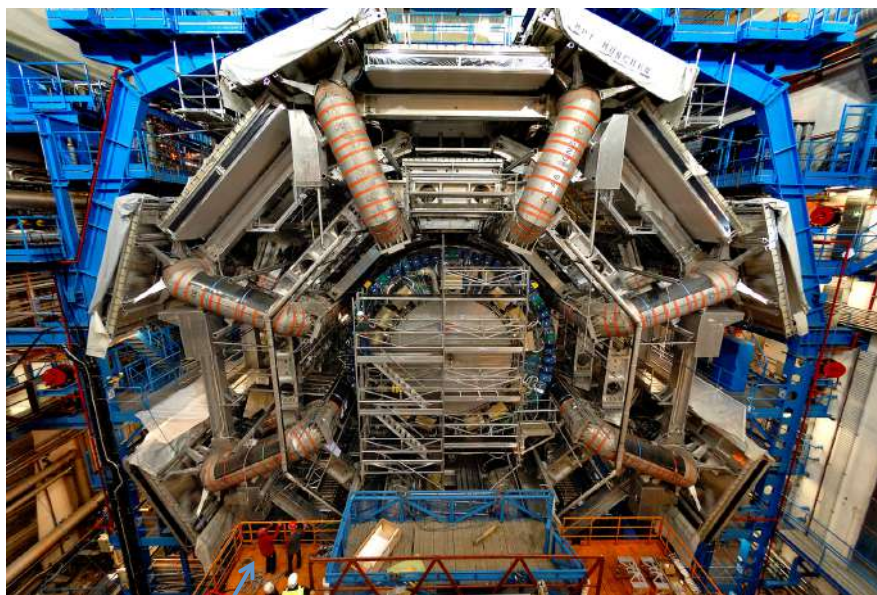
コツコツとぶつかる度に  
弱い相互作用の電荷をもらったり  
あげたり進んでいく



真空はニュートリノの様な性質(電荷)をもった、  
変な状態  
にみちている!!



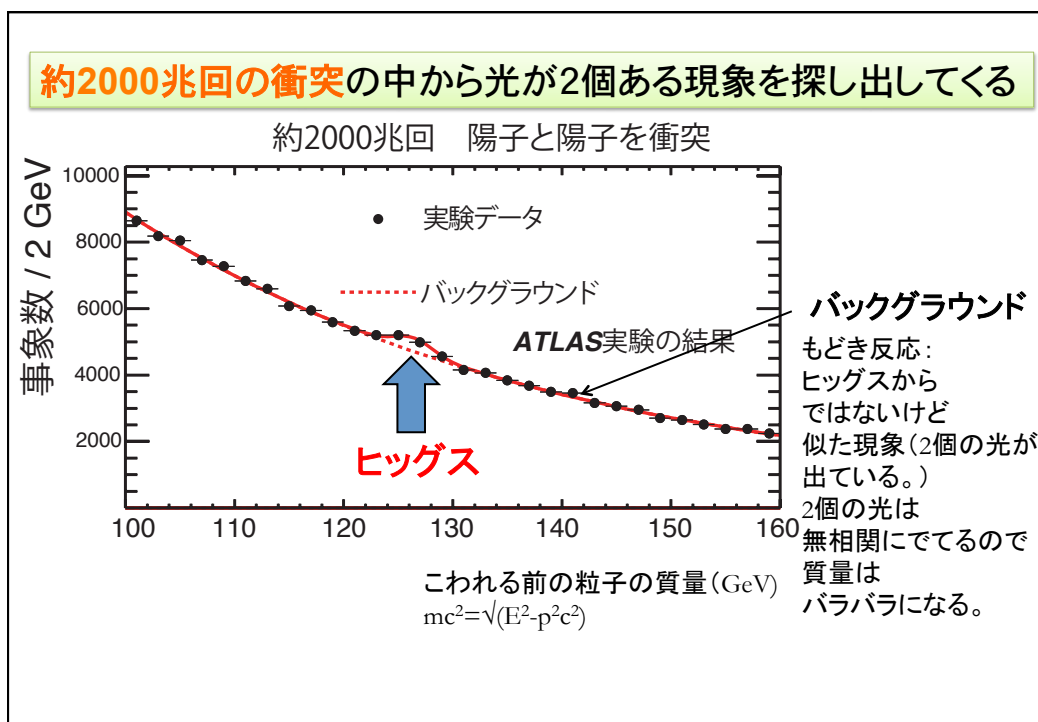
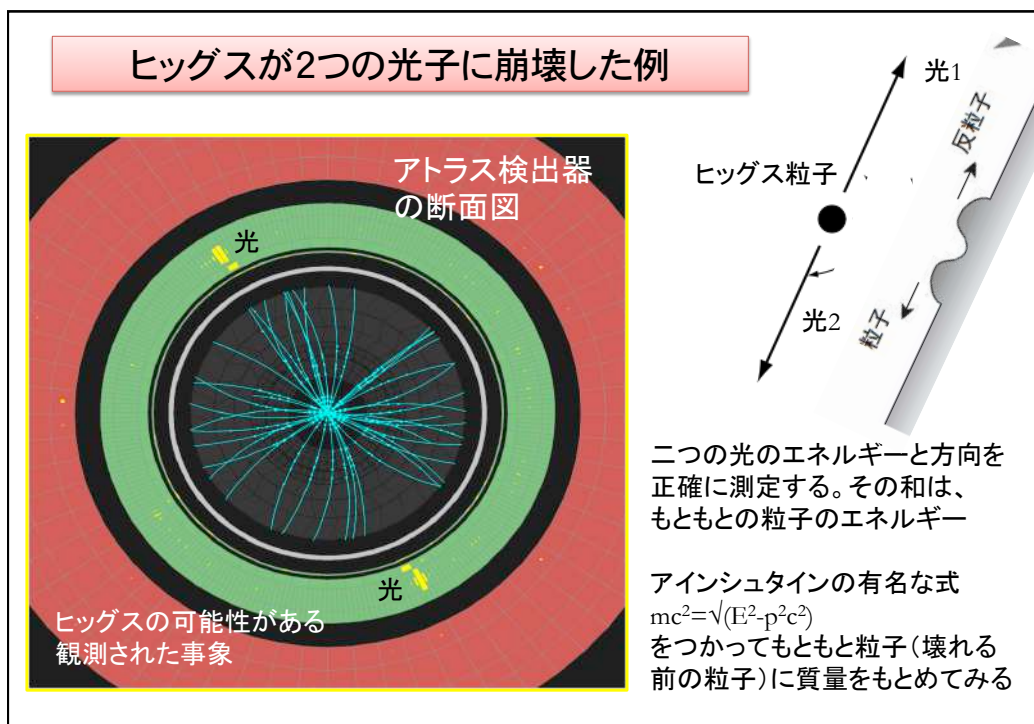
### 起こった素粒子反応を捕らえるアトラス検出器



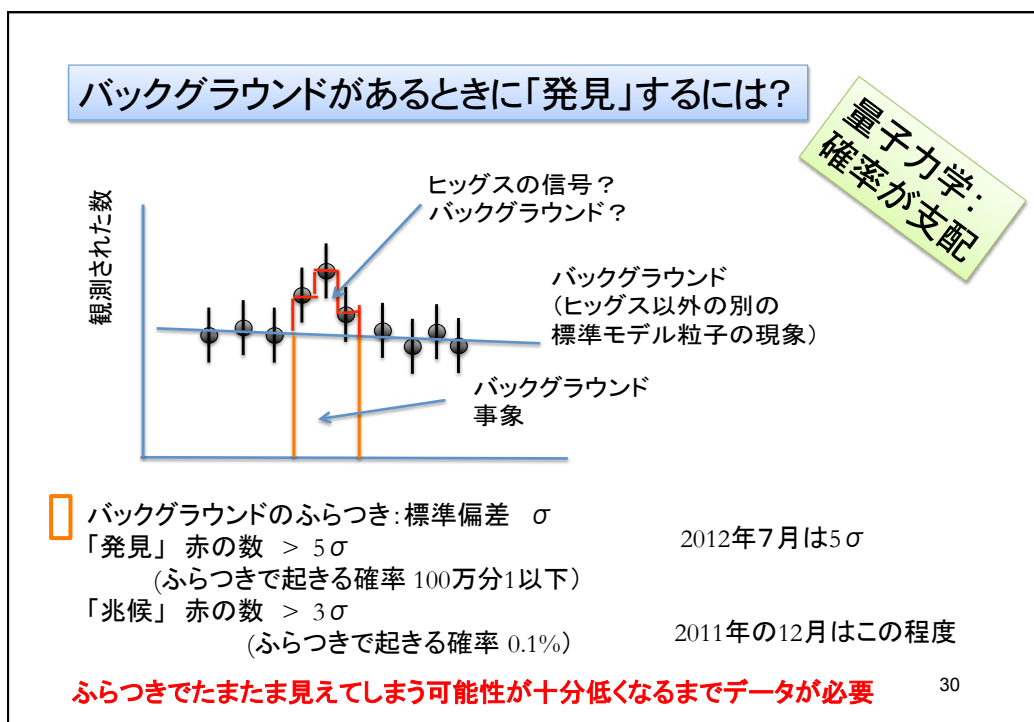
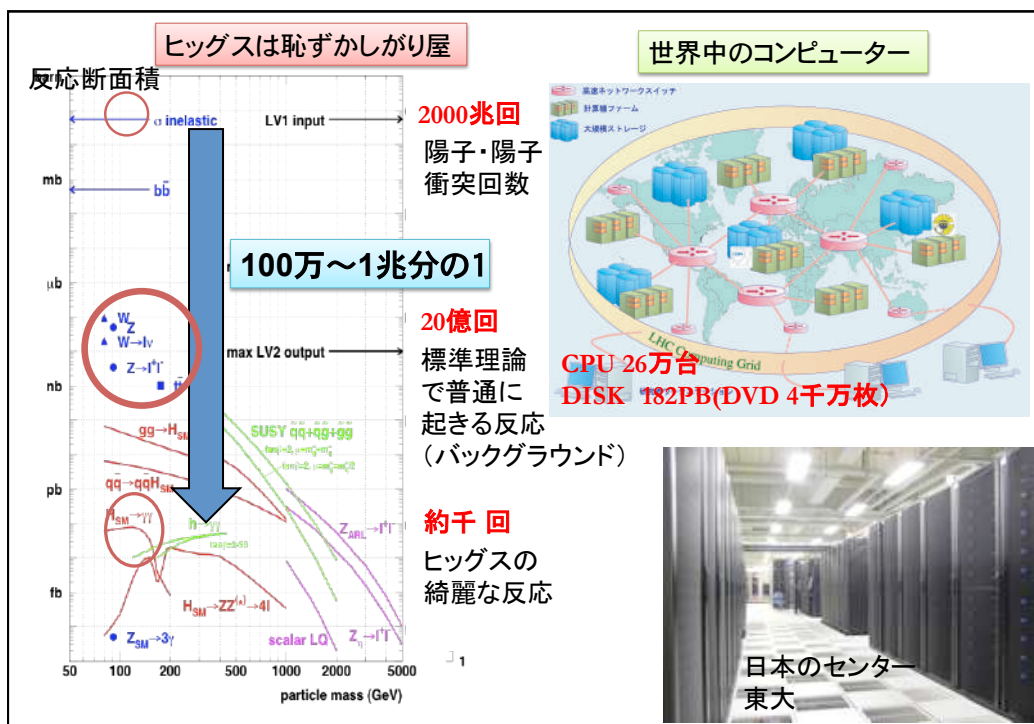
人間

直径22m 長さ44m 1.1億チャンネル高性能

ビデオ







と、言うわけで 昨年7月に大きなニュースになったわけです。



新聞各紙も一面で



## ヒッグス粒子発見の意義 (1)

「17番目の素粒子が見つかった」  
という チョロい話ではない

物質を形作る素粒子  
クォーク・レプトン

力を伝える素粒子  
ゲージ粒子

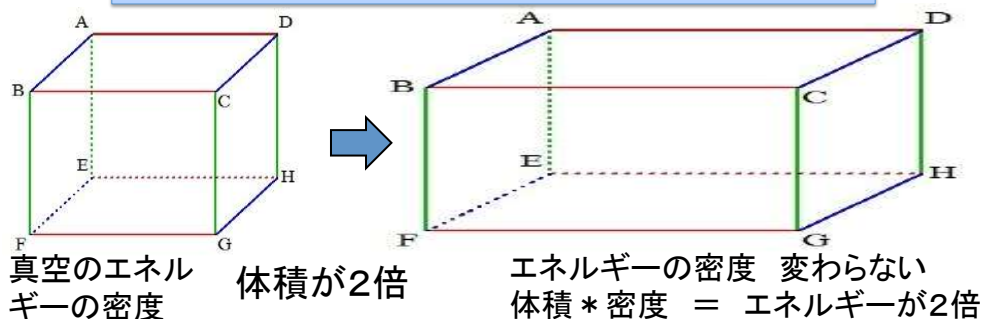
質量を生み出す  
真空: ヒッグス場

容れ物なので  
宇宙全体にひろがっている

### 「真空」の意味

**真空が「真の空」でなく、何か詰まった** 不思議な状態  
(何か? ニュートリノの電荷(弱い力)をもった  
のっぺりしたもの: 宇宙全体に一樣に、方向もなく)  
そのエネルギーが宇宙を生み、進化させていった。  
宇宙の誕生に密接に関係

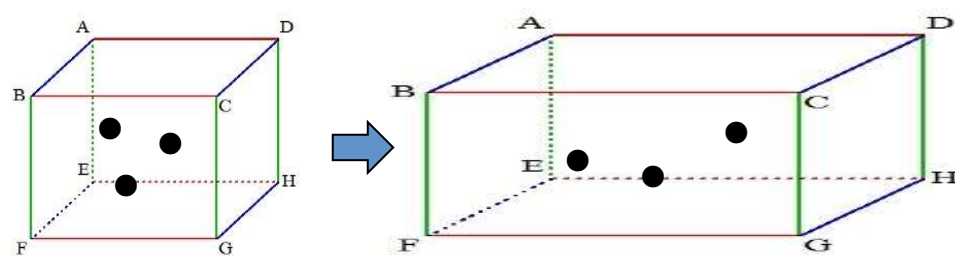
## 不思議な真空のエネルギー



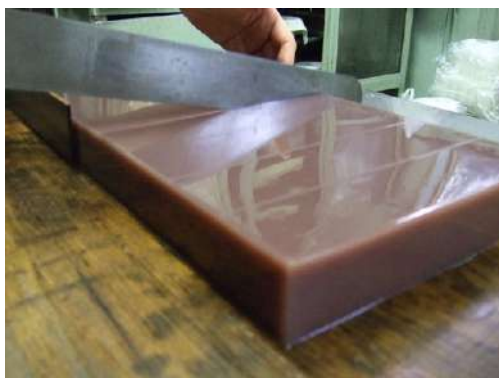
????

宇宙のインフレーション膨張にしたがって、体積が大きく  
エネルギーがどんどん増加 → **ビックバンがすごい**ことになった!!!

何もなかった宇宙から エネルギーとモノにみちた  
宇宙が誕生した!!!!



粒子の描像



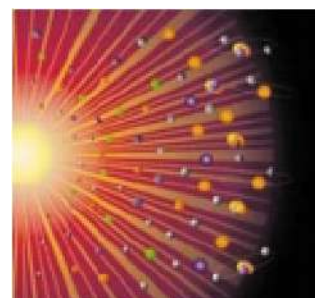
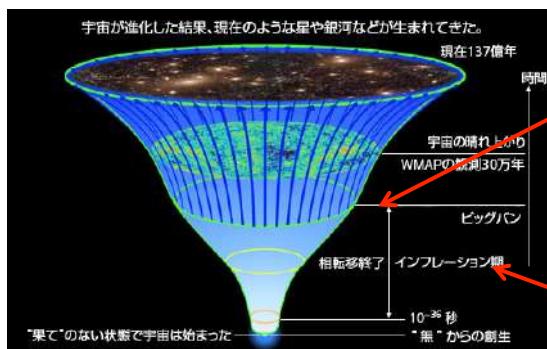
ヒッグス場(真空)の描像

ようかんを切ることを想像してください



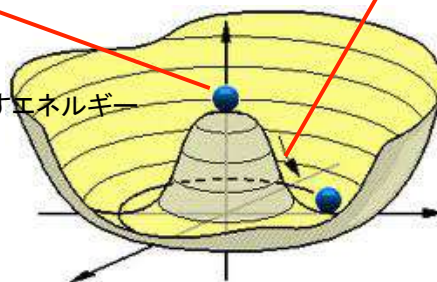
## 宇宙の誕生の謎に迫る実験結果

インフレーション宇宙、ビッグバンのエネルギーでどこから？



落ちた分のエネルギー  
「ビッグバン」

インフレーションを起こすエネルギー



今回見つかったヒッグスではないですが、  
同じような「色付きヒッグス」と言うのもあると  
考えられています。

## ヒッグス粒子発見の意義（2）

物質を形作る素粒子  
クォーク・レプトン  
**カイラル原理**

力を伝える素粒子  
ゲージ粒子  
**ゲージ原理**

質量を生み出す  
真空：ヒッグス場  
**???原理**

容れ物なので  
宇宙全体にひろがっている

## 126GeV ヒッグス粒子は軽すぎる!!!!

それぞれの質量には、質量をゼロにする原理がある

1) カイラル原理

2) ゲージ原理

だから多少、環境が変わっても、軽いまま

ヒッグスは、全く新しいカテゴリーの粒子 新しい原理が必要

何故重くなる???

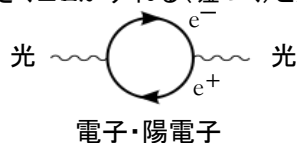
量子力学「嘘ついていい」

見えない粒子も  
足跡を残す

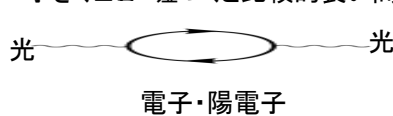
$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar \quad \Delta t \cdot \Delta E \geq \hbar$$

$$\hbar = 1.05 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

大きく  $\Delta E$  がずれる (嘘つく) と短い間



小さく  $\Delta E$  嘘つくと比較的長い間

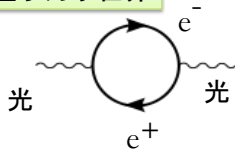


こういう、嘘の(量子力学の)効果:  
少しだけど、ちゃんと見える。痕跡を残している

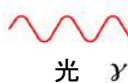
ほんとかよ?

ここにエネルギーを加えると

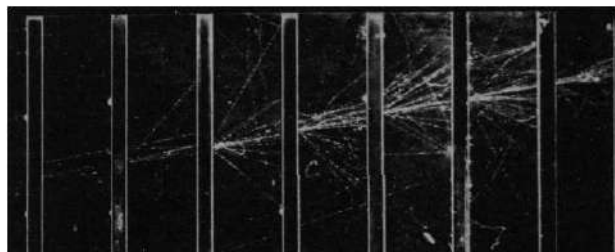
量子力学世界



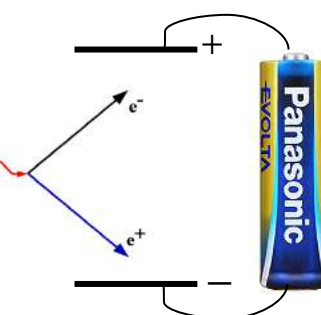
現実世界



実験データー (光から電子、陽電子が飛び出している)

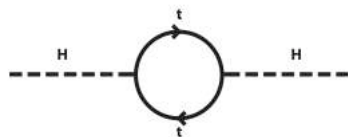


エネルギーを与えている所



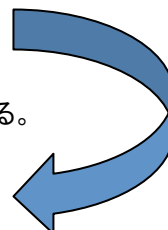
エネルギーをあたえると  
量子力学的な仮想状態から  
現実の粒子として取り出す  
ことができる。

## 量子力学の効果で重くなる!!



量子力学的状態(虚の効果)トップクォークペアになっている。  
その痕跡で、ヒッグス粒子は、無茶苦茶重くなるはず。  
でも 126GeVと軽い。何故???

新しい原理が必要

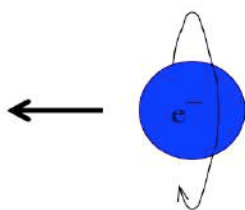


ぐるっと1周したとき、効果の符号が逆になる必要  
スピンの性質

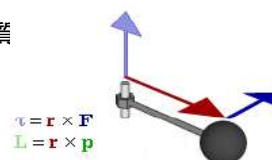
相殺??  
「超対称性」!!

## 素粒子のスピン

スピン: 角運動量と同じ性質



素粒子はスピンを  
もっている。  
スピンはよく「自転」に  
例えられる。  
本当は、大きさのないもので自転はない。


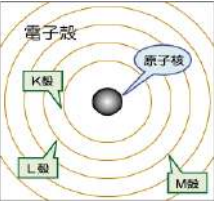
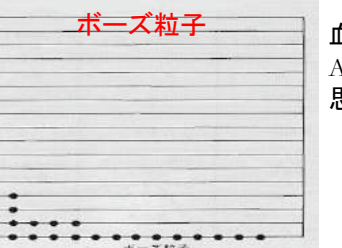


粒子の持っている“固有の性質”: (起源不明)  
スピン  $\frac{1}{2}$  ( $h/2\pi$ ) と  $h/2\pi$

素粒子の回転に関係している (角運動量=回転)

ボーズ粒子 360度でもとの状態に戻る。(我々の感性)  
フェルミ粒子 360度回しても符号が逆:  
720度回してはじめてもとの状態に戻る。  
→ フェルミ粒子から見ると720度対称のような世界



フェルミ粒子	ボーズ粒子
 <p>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 <math>\frac{1}{2}</math> 「秩序」を重んじ、同じ状態には1個しか入れない</p> <p>電子殻</p>  <p>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</p>	 <p>血液型で言えばA型とB型だと思っして下さい</p> <p>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</p> <p>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)</p> <p>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</p>

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  $\leftrightarrow$  整数スピン) 区別をなくす  $\rightarrow$  超対称性**

## “超” 対称性

スピン: 素粒子から空間がどう見えているか? スピン  $\frac{1}{2}$  2回転対称 スピン1 1回転対称

“時空”と“素粒子”をむすびつける “すごい”規則 なので “超”対称性

通常の素粒子	超対称性粒子
クォーク: $u, c, t, d, s, b$ レプトン: $\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau, e, \mu, \tau$	ゲージ粒子: $\gamma, Z^0, W^\pm, g$ ヒッグス粒子: $h, H^0, A^0, H^\pm$
	ゲージノ粒子: $\tilde{\gamma}, \tilde{Z}^0, \tilde{W}^\pm, \tilde{g}$ ヒグシーノ粒子: $\tilde{H}_1^0, \tilde{H}_2^0, \tilde{H}^\pm$

ヒッグス、超対称性粒子は未発見

超“光”

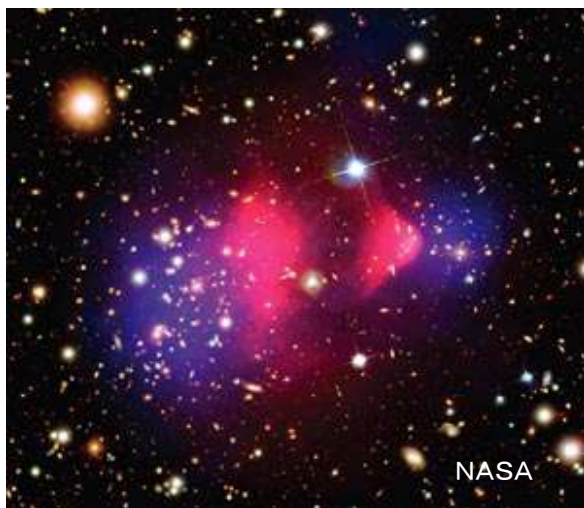
暗黒物質の候補

超“ヒッグス”

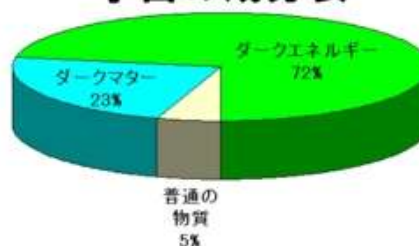
超対称性の利点  $\rightarrow$  宇宙の暗黒物質の解明:  
 $\rightarrow$  力の大統一  $\rightarrow$  色つきヒッグスの解明

## 超対称性すごい(1) 暗黒物質

弾丸銀河団(34億年): 銀河団同士の衝突



## 宇宙の成分表

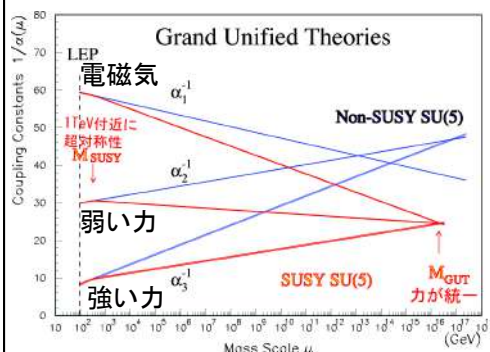


暗黒物質がダーク  
である証明写真

赤い所: 物質(Gas)がぶつかって  
熱くなってX線を出している  
青いところ: 重力レンズ効果  
銀河団の質量分布

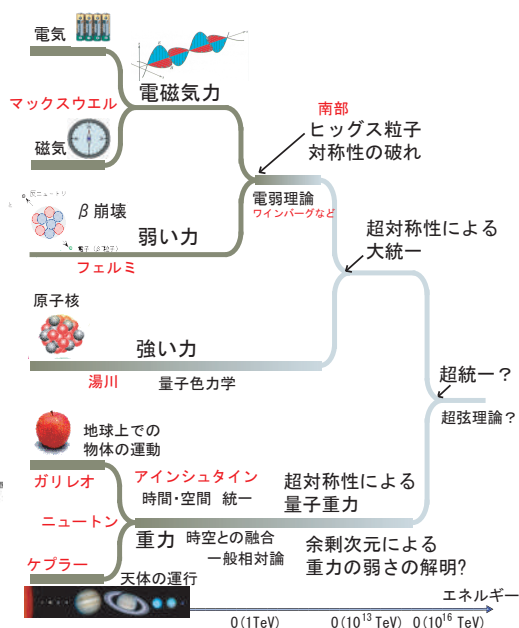
## 超対称性すごい(2) 大統一・超統一

力の強さは、どんな種類の  
粒子がいるかで変化する。  
“超”粒子がいたら、



3つの力がひとつだった！

## 物理学の大まかな歴史と「統一」



## 2015 LHCはエネルギーを増強して超対称性を探る

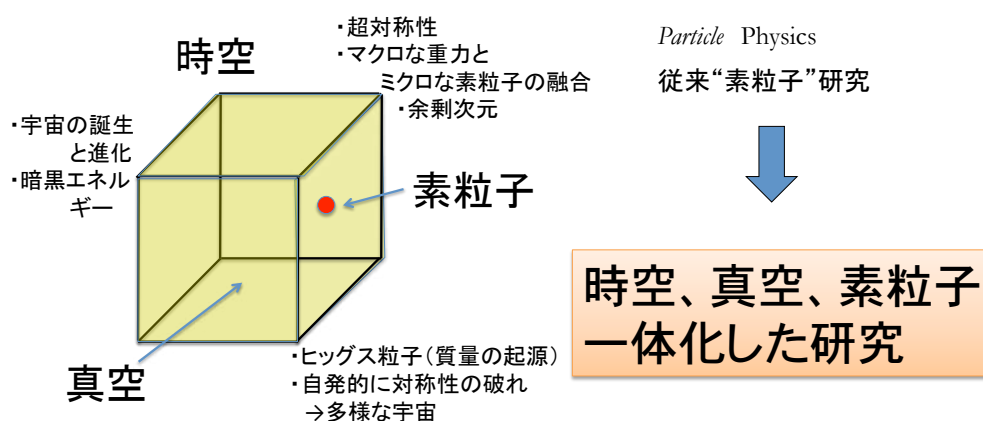


昨年(2014年)の12月17日で  
4+4 TeVの  
実験は終了

2015年再開  
14TeVに  
エネルギーを  
増強

曲げるための磁石: いまは6000アンペアの電流  
陽子4TeVまでしか曲げられない。  
増強して 1万アンペア → 7TeVまで曲げられる。

## ヒッグス発見が新しい時代の幕開け



# おまけ





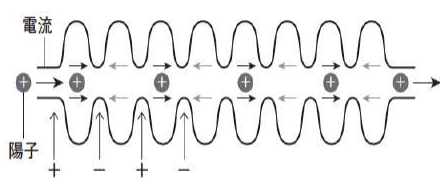
## LHCの加速装置はショボイ

一周して加速したエネルギーは16 MeV です。かなり小さいです。ただ、毎秒1万回転ぐらいしますので、毎秒0.1TeV加速できます。

こんな加速器がわずか 8個設置されているだけ。

400MHzの高周波

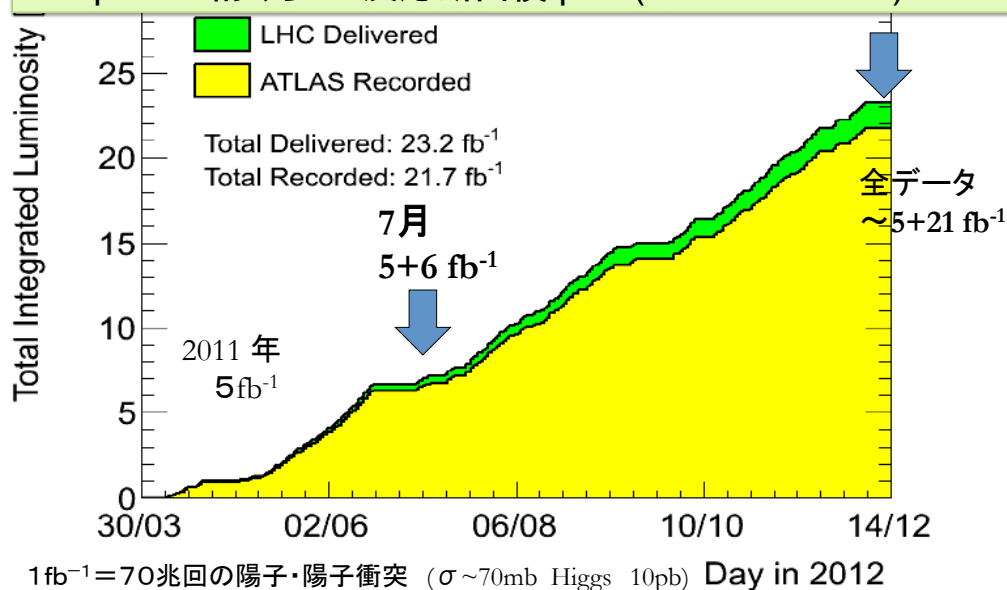
〈加速のしくみ〉



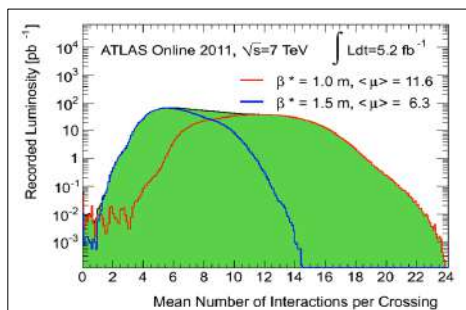
プラスとマイナスの電極が交互に並んでおり、交流で電荷が入れ替わることで繰り返し加速されていく。



高エネルギー：衝突頻度が鍵（素粒子反応の断面積は小さい）  
 $\lambda = h/p$  : 10桁ぐらい 反応断面積 pb ( $10^{-12}$   $10^{-24}$   $\text{cm}^2$ )



### 高いルミノシティの代償:パイルアップ

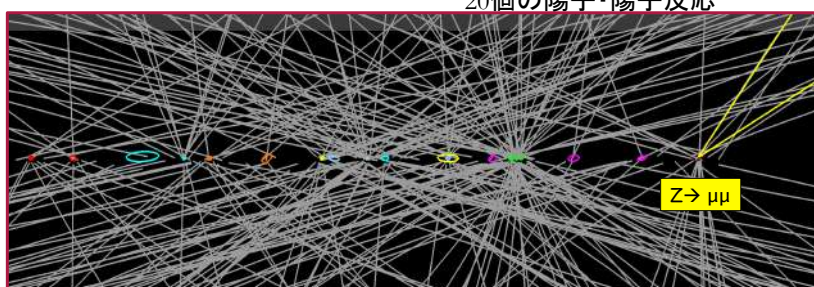


20MHzでバンチが交差すると  
平均11.6個の陽子・陽子反応  
(ミニマムバイアス)

パートンの反応でなく、  
陽子同士の反応 断面積(70mb)

(1)  $P_T \sim \Lambda_{\text{QCD}}$  order のsoft particle  
O(1000)放出され 検出器に負担  
**解析環境悪化 中性子ダメージ**

(2) **バーテックスが??**  
20個の陽子・陽子反応



6cmぐらい

### 日本の技術力はすごい!

LHC建設には高い技術が不可欠 日本企業も大きく貢献。  
LHCプロジェクトマネージャー「日本の技術無くしてはLHCは出来なかった」



【東芝】ビーム収束用四極超伝導電磁石



【IHI】1.8Kヘリウム冷凍システム



【カネカ】絶縁テープ

【新日鐵住金ステンレス】極低温完全非磁性ステンレス(8の字状のカラー部分)

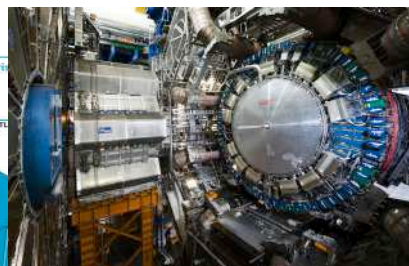
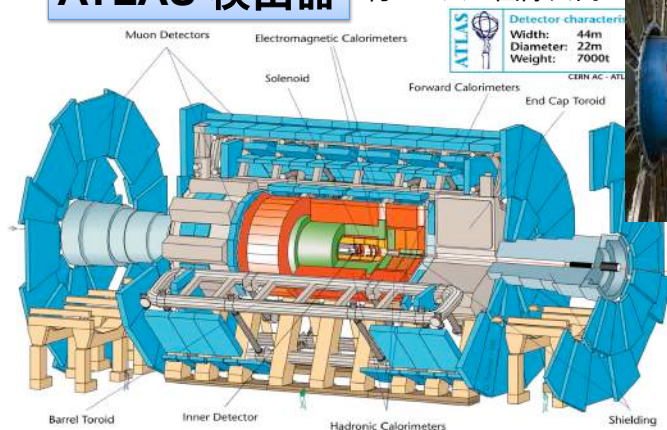
【JFEスチール】超伝導電磁石用鋼材



【古河電工】超伝導ケーブル

## ATLAS 検出器

約3000人の国際共同

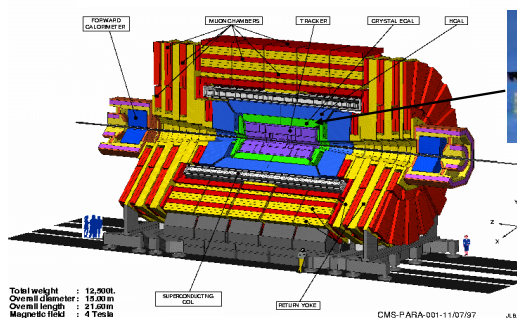


Resolution  
( $P_t=100\text{GeV}$ )

$e, \gamma$  1.5%  
Muon 2-3%  
Jets 8%

- **大きなDetector:** バランス 優先のパフォーマンス とにかく大きい  $\delta P/P \sim P/(BL^2)$  Lで勝負
- Accordion Shape of 液体 Ar カロリメータ (放射線耐性、奥行き情報、Fine granularity)
- Large air-core toroidal magnet ミューオンシステム (トロイド磁石)

## CMS検出器



$\text{PbWO}_4$

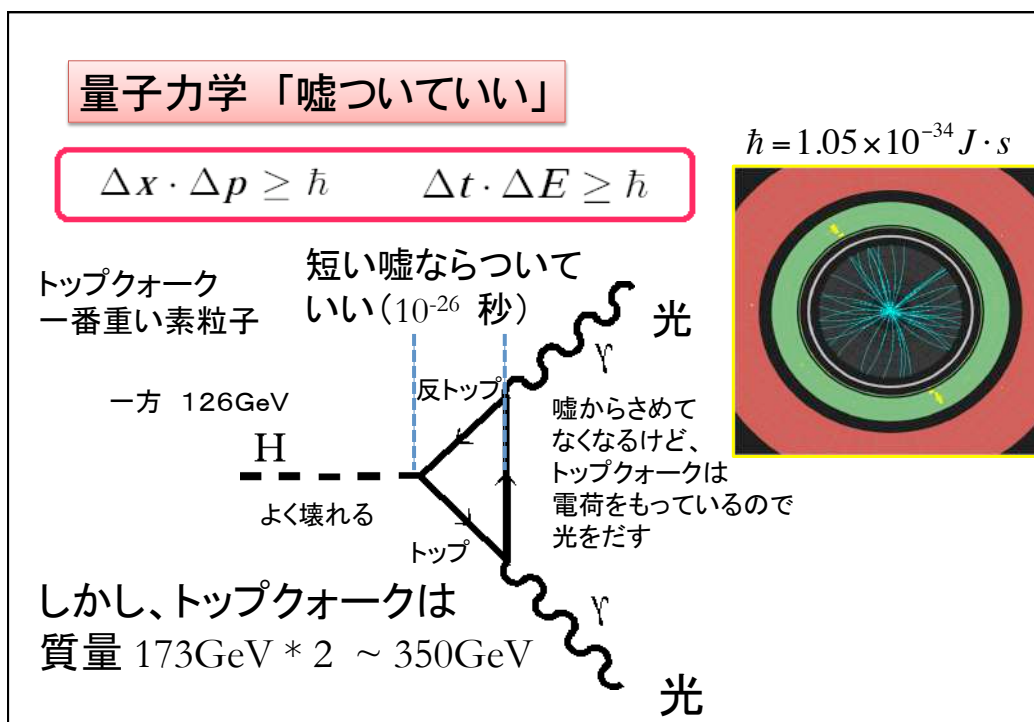
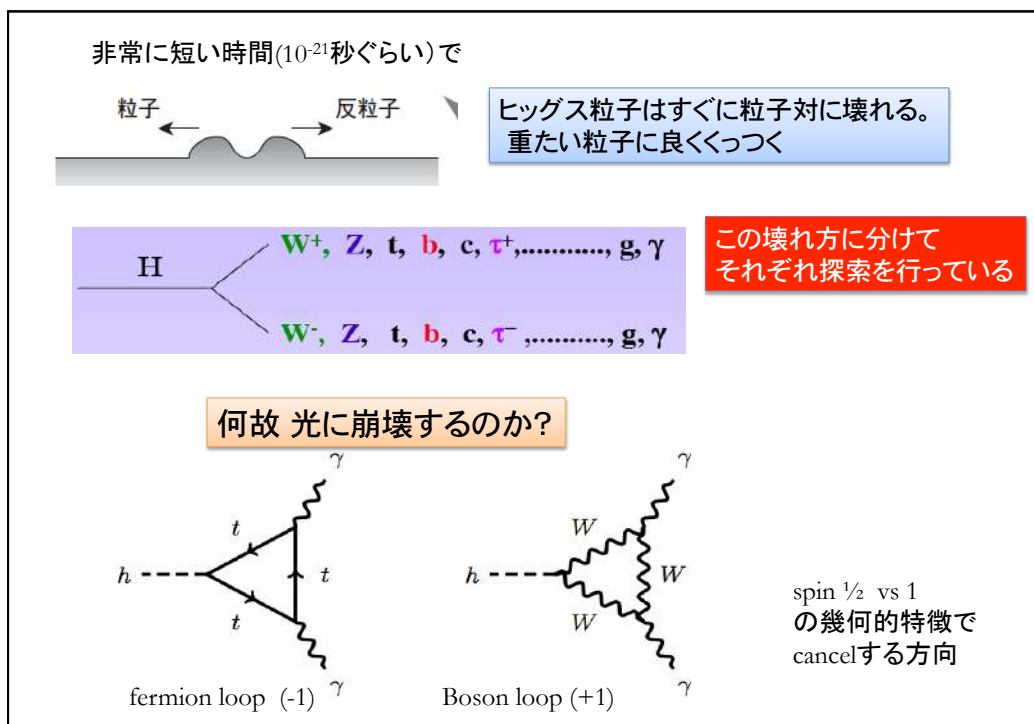


Resolution  
( $P_t=100\text{GeV}$ )

$e, \gamma$  0.9% !!  
Muon 2-3%  
Jets 12%

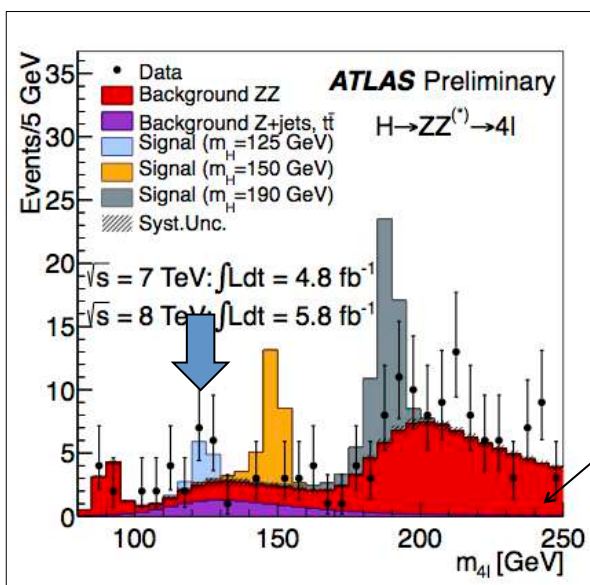
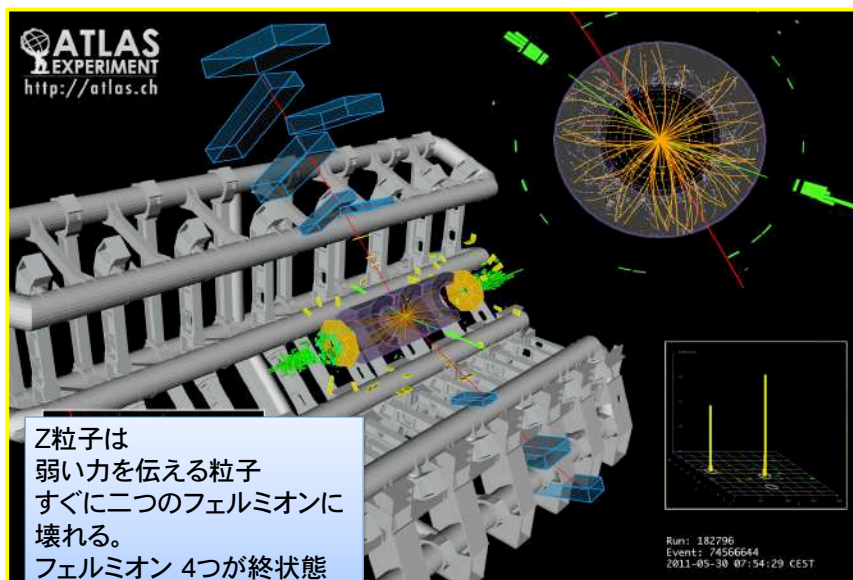
- **小さくコンパクト**  $H=15\text{m}$   $L=22\text{m}$  (about half of ATLAS)  
 $W=12,500\text{ton}$  (twice of ATLAS) 鉄のかたまり  
return yoke (密度  $3.2\text{g/cc}$ )
- **一点豪華主義**  
 $\text{PbWO}_4$  シンチ 電子・ $\gamma$ に賭けた (Higgs)  
(高いエネルギー分解能、奥行き情報無し)
- **4T (強力) ソレノイド磁石** (小さいのでBで勝負)  
ハドロンの外側: (薄いハドロンカロリメータ)







## ヒッグスがZZに崩壊 ( $ZZ \rightarrow \mu\mu ee$ )



4つのレプトンのエネルギーや運動量を測定して  
もとめた質量

大事な点  
ちがうタイプの研究でも  
同じように見えている。

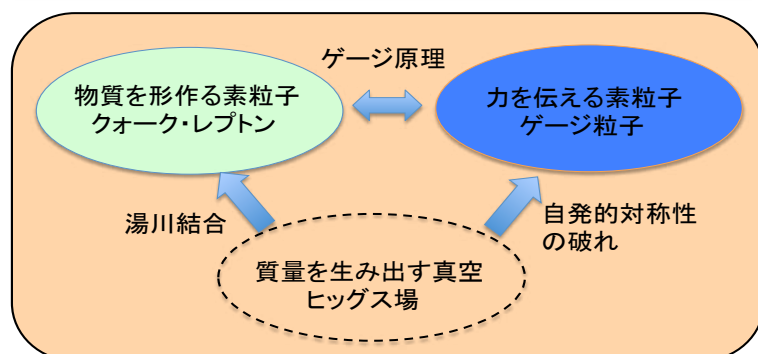
更に ATLASばかりでなく  
CMSと言う商売がたきも  
同じように見えている。

バックグラウンド

2013年3月7日  
発表の新しい  
結果

数は少ないけど  
バックグラウンド  
も少ない

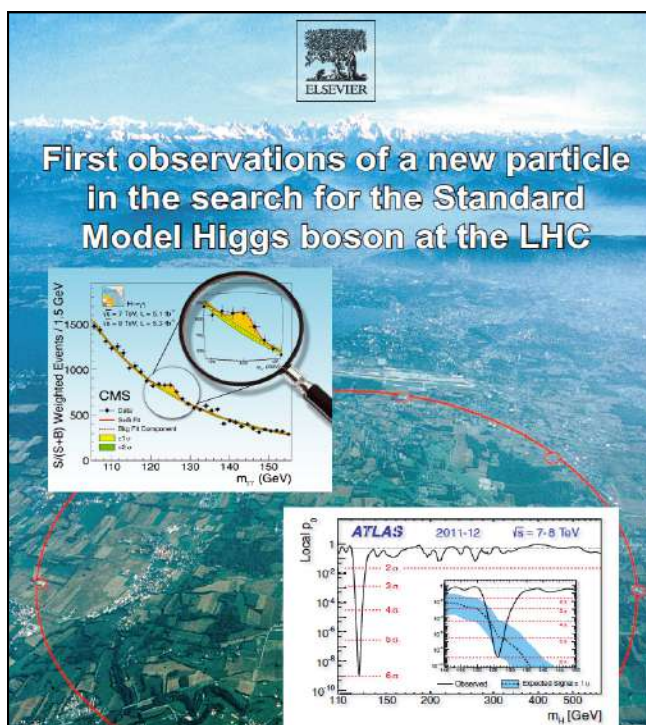
今年の段階で分かっていたのは 条件(1)だけ



SM Higgsは  
ケチ

一粒で  
二度  
おいしい  
湯川は  
あまり自明  
でない

- (1) ゲージ粒子:  $\gamma\gamma > ZZ > WW$  (LHCでの見えやすさ順)
- (2) フェルミ粒子への結合
- (3) Spin Parity
- (4) Higgs Self coupling

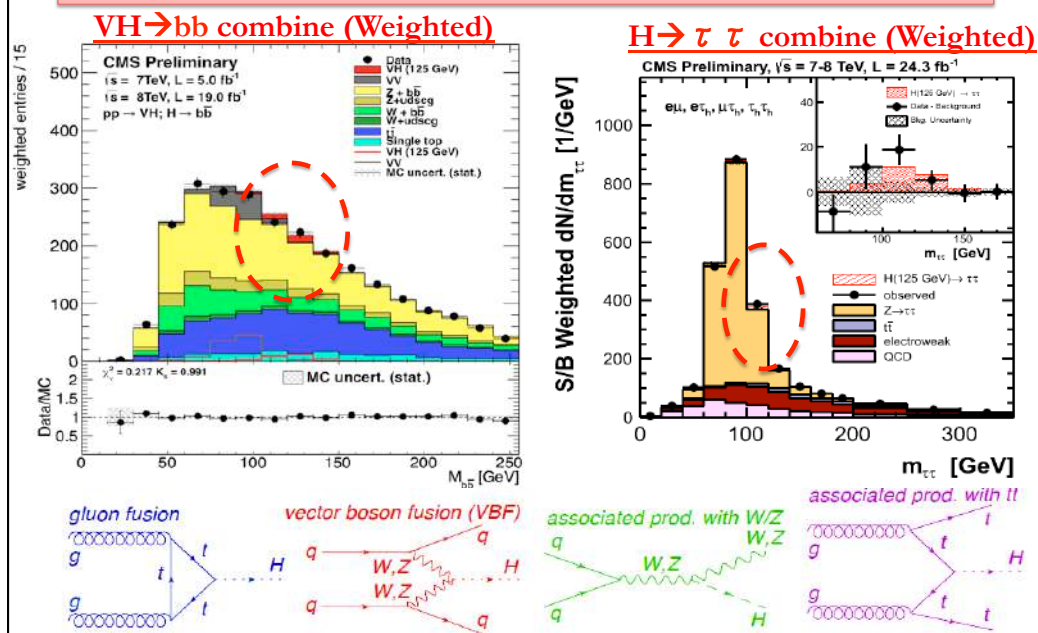


実際  
論文のタイトルは

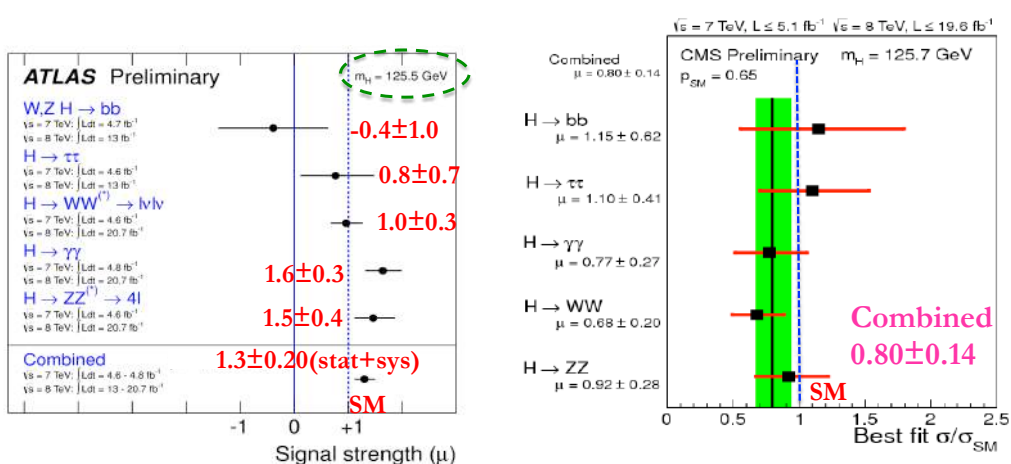
「LHCでの標準モデル  
ヒッグス探索で、  
新粒子が見つかった」  
と言う  
まどろっこしいタイトル

Higgs  
と考えられる  
Particle

## H→bb, H→ττ も見えてきた

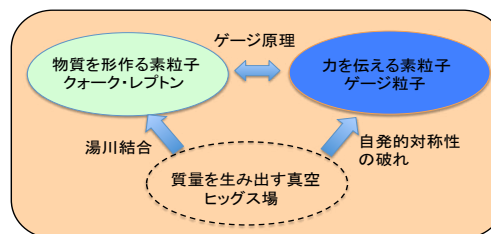
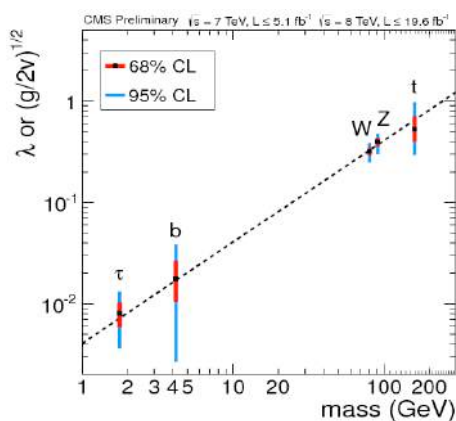


## コンバインして見ると



- (1) ATLAS 多め    CMS 少なめ    まあ統計かな?  
 二つ適当にあわすとSMどんぴしゃ
- (2) フェルミ粒子との結合もありそう    By CMS    ATLASは、まだ道の途中

## どうも 質量の起源っぽい

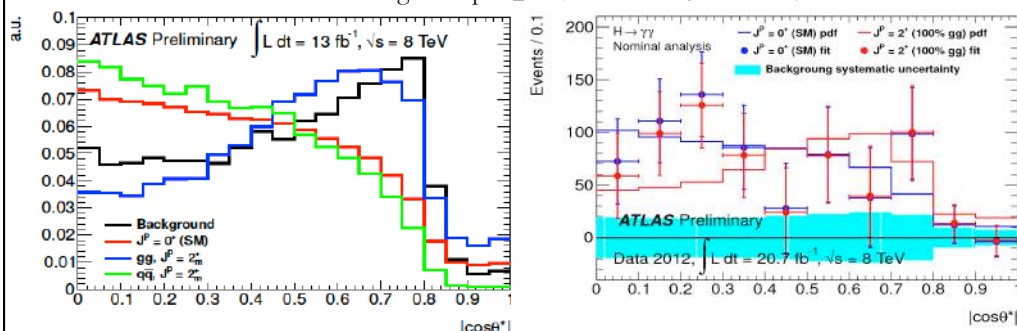


## まだ、誤差が大きい条件(2)もクリアーかな？

2シグマくらいで最終的には  $\mu$  (第2世代)の湯川も  $L=300\text{fb}^{-1}$  で

## スピン ( $\gamma\gamma$ より)

スピン:0 だったら 方向の情報ない 等方的に光が出る  
スピン:2 だったら gluon spinを反映してbeam軸に出やすくなる



Frame work in Higgs system (Collins Soper coordination)

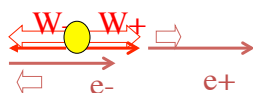
どう評価するか？ MC(線)で偽実験を10000回やって、実験のような分布になる頻度をもとめる。

赤:99.3%CL 0.7%ぐらいの頻度でしかおきない。(青:50%以上)

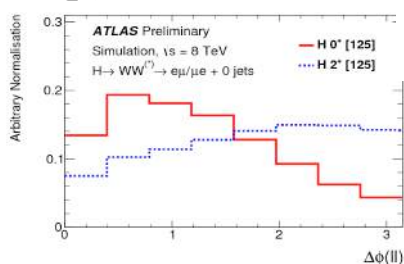


## スピン (WWより)

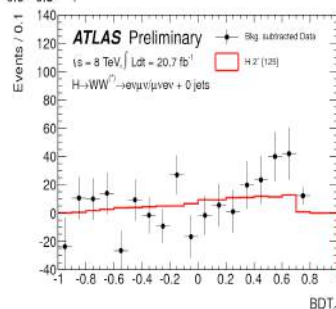
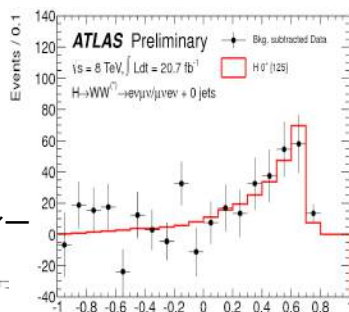
Higgs Spin0



弱い相互作用は100%パリティを破っている



スピン2は 99%の確度で除外



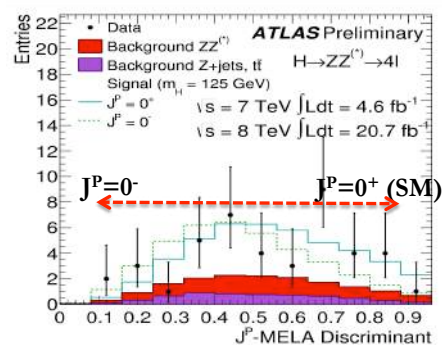
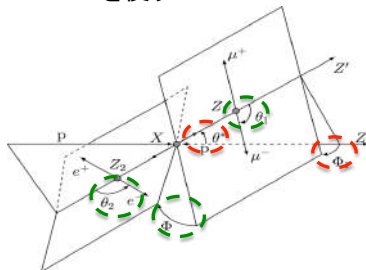
## パリティ (ZZより)

$$A = v^{-1} \epsilon_1^{*\mu} \epsilon_2^{*\nu} \left( a_1 g_{\mu\nu} m_H^2 + a_2 q_\mu q_\nu + a_3 \epsilon_{\mu\nu\alpha\beta} q_1^\alpha q_2^\beta \right) = A_1 + A_2 + A_3,$$

SM Higgs

0-

偏極ベクトルの情報が必要  
Z → ℓℓ を使う



99% CLで 0-は 除外

0+であるとおもわれる。0-や2+-や1+-を99%以上の確度で除外  
と言うわけで 条件(3)もクリアー

## と言うわけで、今年3月14日に「発見したアレはやっぱりヒッグス粒子でした」と発表

Role: 発表者: CERN Personnel (CERN Personnel - Members and Associate Members) / cern-personnel@cern.ch  
 CERN Press Release: New results indicate that particle discovered at CERN is a Higgs boson

18:31

La version française sera disponible ultérieurement ici: <http://press.web.cern.ch/fr/press-releases>

### New results indicate that particle discovered at CERN is a Higgs boson

Geneva, 14 March 2013. At the Moriond Conference today, the ATLAS and CMS collaborations at CERN's Large Hadron Collider (LHC) presented preliminary new results that further elucidate the particle discovered last year. Having analysed two and a half times more data than was available for the discovery announcement in July, they find that the new particle is looking more and more like a Higgs boson, the particle linked to the mechanism that gives mass to elementary particles. It remains an open question, however, whether this is the Higgs boson of the Standard Model of particle physics, or possibly the lightest of several bosons predicted in some theories that go beyond the Standard Model. Finding the answer to this question will take time.

Whether or not it is a Higgs boson is demonstrated by how it interacts with other particles, and its quantum properties. For example, a Higgs boson is postulated to have no spin, and in the Standard Model its parity – a measure of how its mirror image behaves – should be positive. CMS and ATLAS have compared a number of options for the spin-parity of this particle, and these all prefer no spin and positive parity. This, coupled with the measured interactions of the new particle with other particles, strongly indicates that it is a Higgs boson.

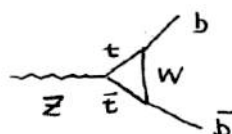
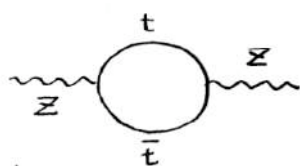
"The preliminary results with the full 2012 data set are magnificent and to me it is clear that we are dealing with a Higgs boson though we still have a long way to go to know what kind of Higgs boson it is," said CMS spokesperson Joe Incandela.

"The beautiful new results represent a huge effort by many dedicated people. They point to the new particle having the spin-parity of a Higgs boson as in the Standard Model. We are now well started on the measurement programme in the Higgs sector," said ATLAS spokesperson Dave Charlton.

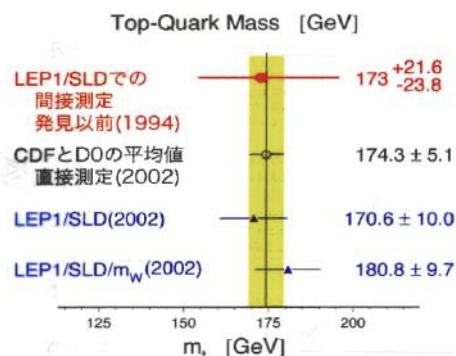
To determine if this is the Standard Model Higgs boson, the collaborations have, for example, to measure precisely the rate at which the boson decays into other particles and compare the results to the predictions. The detection of the boson is a very rare event - it takes around 1 trillion ( $10^{12}$ ) proton-proton collisions for each observed event. To characterize all of the decay modes will require much more data from the LHC.

## 論より証拠

トップ・クォークの予言をしていた。重くて直接見えていなくても



このような効果を及ぼす



弱い力を伝えるZ粒子の性質（質量・結合）を高い精度で調べることで、トップクォークの痕跡をしらべその質量を正確に予言（発見前に）

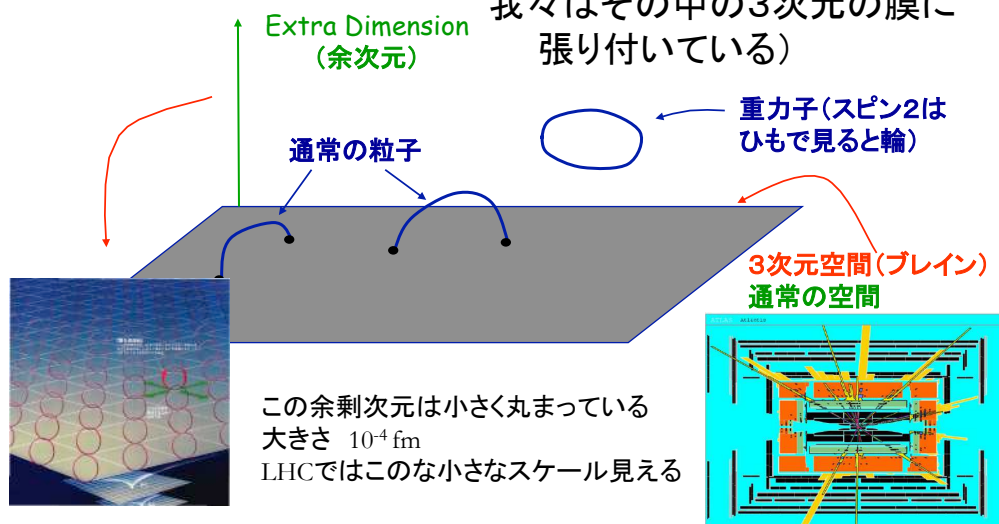
1994年に発見

68

## 可能性2 余剰次元

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)



4つの力のうち、重力が弱すぎる。他の力と比較して $10^{-40}$



重力を感じる

相手が地球だから感じる  
地球の重さ  $6 \times 10^{24} \text{ kg}$

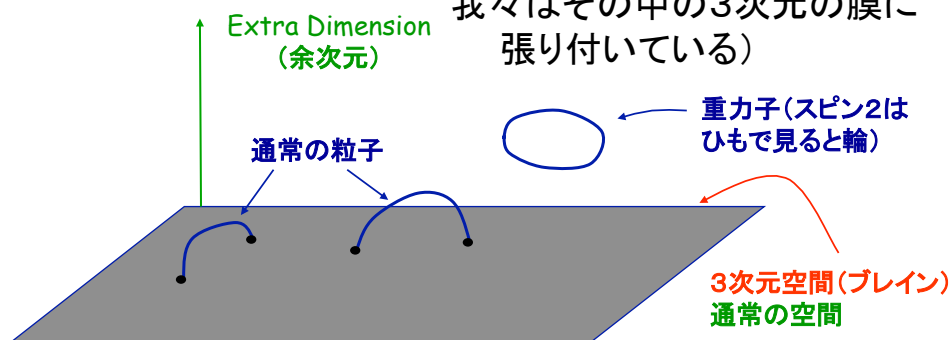


でもケチな磁石にもまけてしまう。

## その解として有力な「余剰次元とブレーン理論」

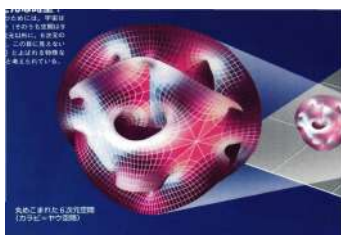
膜に張り付いた人生 (空間は9次元(ヒモ理論))

我々はその中の3次元の膜に  
張り付いている)



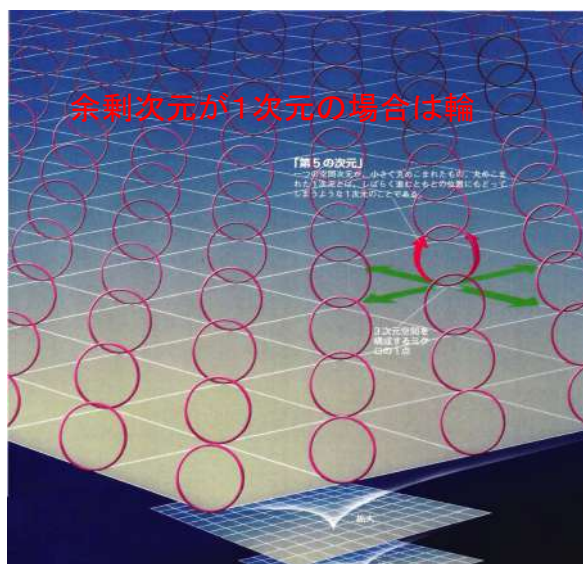
重力子は、広い空間を自由に行き来して、我々は3次元の膜にはりついている。  
重力子がこの膜に来たときだけ感じる → 重力が 弱くみえる。

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  
 $10^{-35}\text{m}$  くらいかもしれないし  
 $10^{-19}\text{m}$  と大きいかもしれない



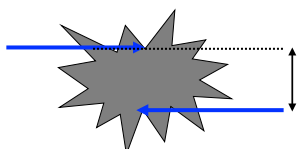
$10^{-35}\text{m}$ だと ヒッグス粒子が不安定  
 $10^{-19}\text{m}$ 程度だと 安定



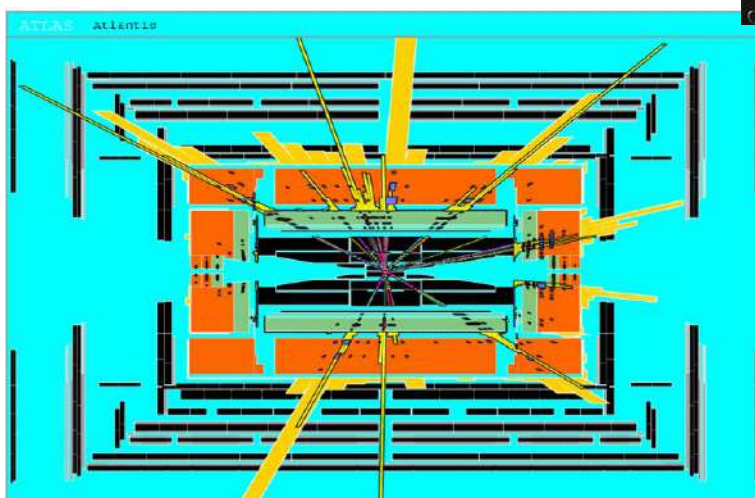
もし、**大きさが $10^{-19}\text{m}$** だとLHCで効果が見える。  
この距離まで近づくと、次元数が大きくなり 重力が強い力となる。



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)