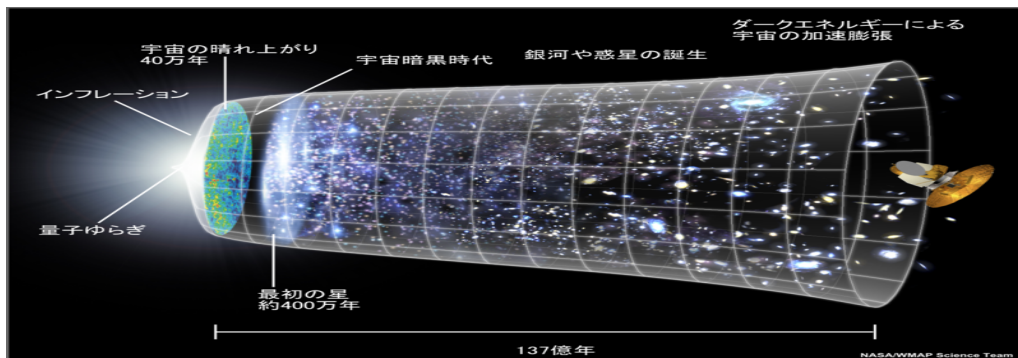


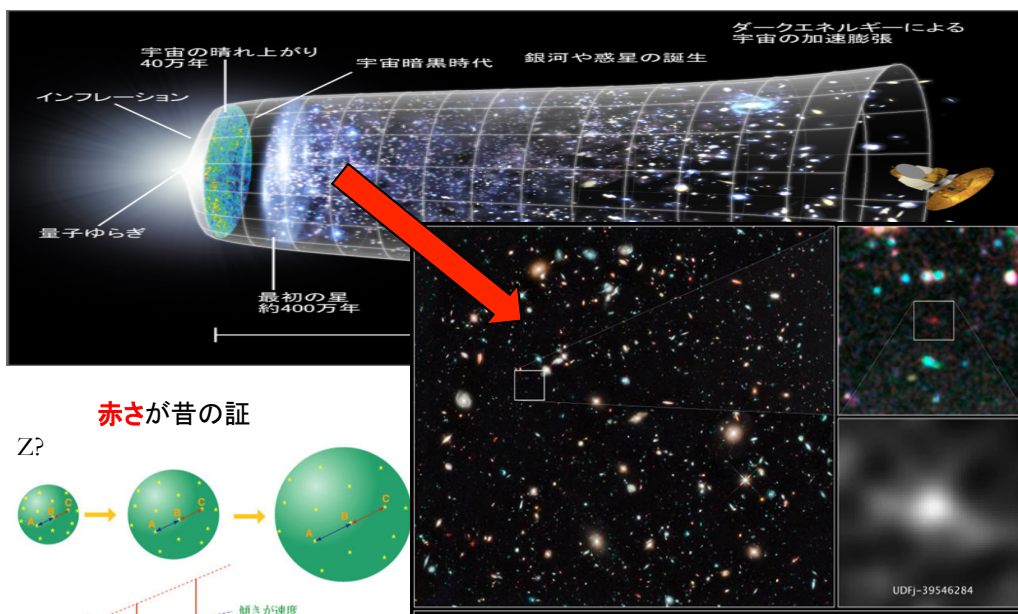
## 昔をさぐるタイムマシン = 高性能望遠鏡

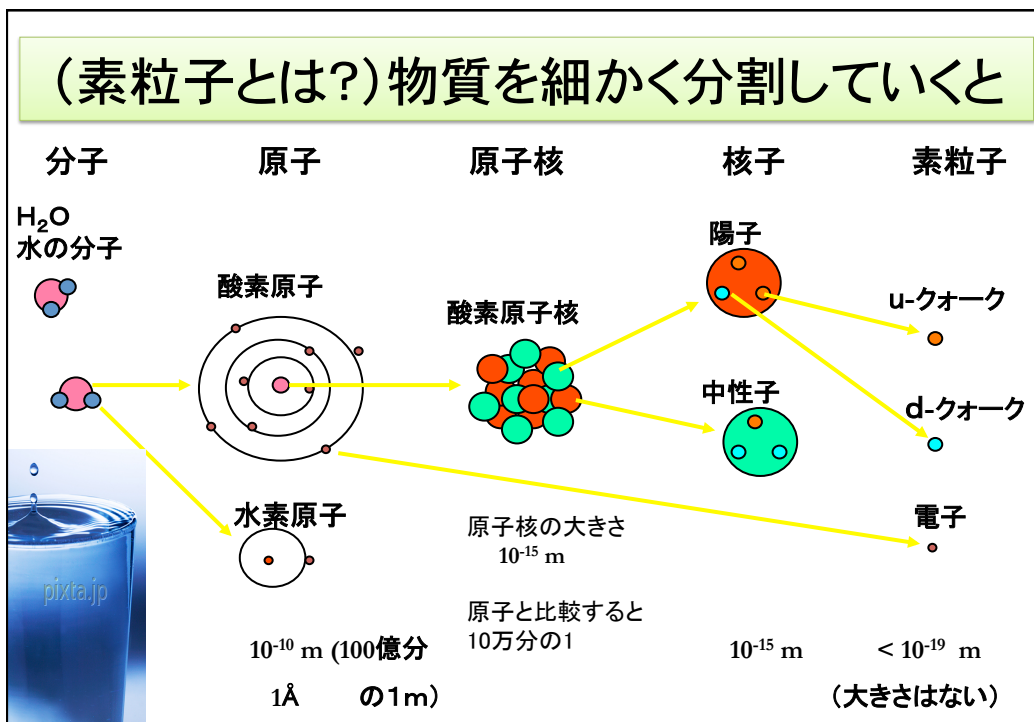
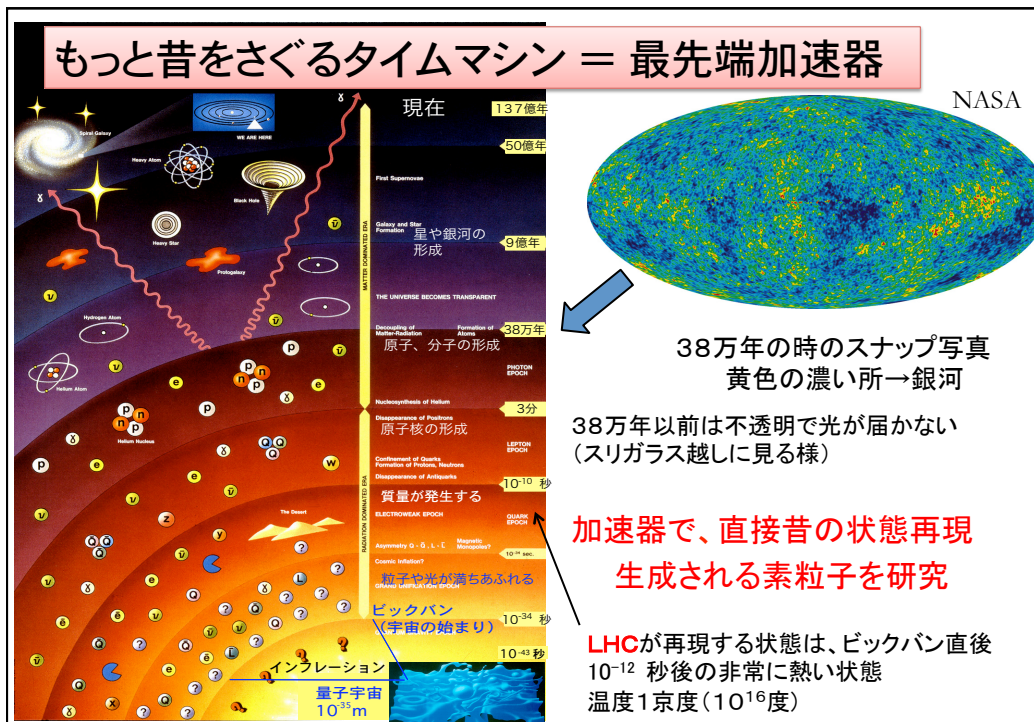


光の速度 30万km/秒  
 遠くの天体をみる  
 = 昔の宇宙を見ている



## 今から133億年前の銀河も見えている





10<sup>-19</sup> 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**

あるかどうか程度しか分からない。  
対象物の小さな構造を見るには、より短い波長で見る必要：  
短い波長で物質を「見る」

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 →  
電子でも干渉が見える

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

波の広がりの分だけぼやける

波長

λ =

$$\frac{h}{p}$$

プランク定数

運動量 ~ エネルギー


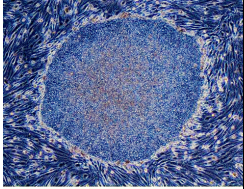
(世界で最も美しい実験:  
外村先生)

短い波長


↔

高いエネルギー

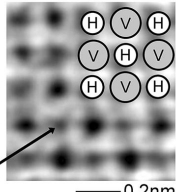
## 加速器は大きな顕微鏡


	<p>倍率1000倍程度</p> 	<p>iPs細胞</p> 
	<p>分解能</p>	
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！！





## 世界最大の加速器 LHC

一周27 km 地下トンネル  
陽子を光速の99.999997 % まで加速  
(4TeV(兆電子ボルト))

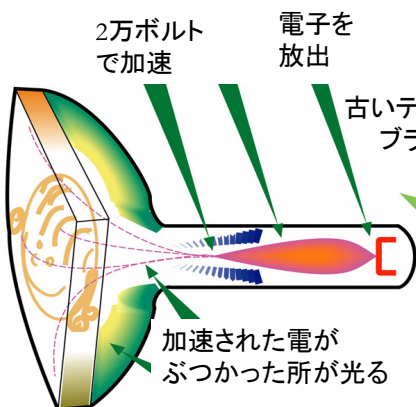




トンネル内部

ビデオ

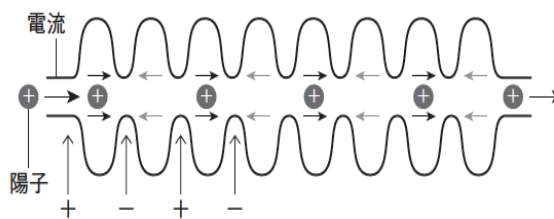
## 実は身近な加速器：電子ボルト(単位)



ぶつかっちゃうとだめなので  
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



〈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。

## LHCの加速装置

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。



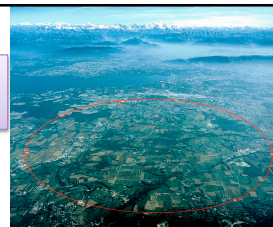
## 佐賀県と言えば、ILC(脊振)



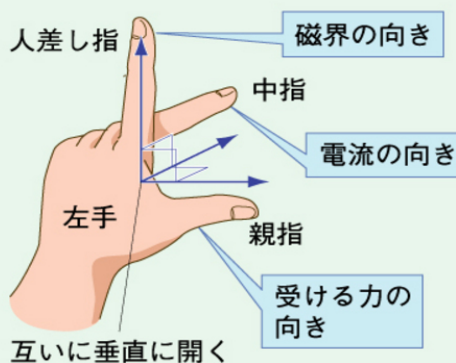
円でなくて直線  
一回で加速しないといけない。  
すごい高性能の加速器  
約10倍の性能:30km並べる

## LHC:円形加速器なので曲げる

陽子は重い:運動量も大きい



【フレミングの左手の法則】

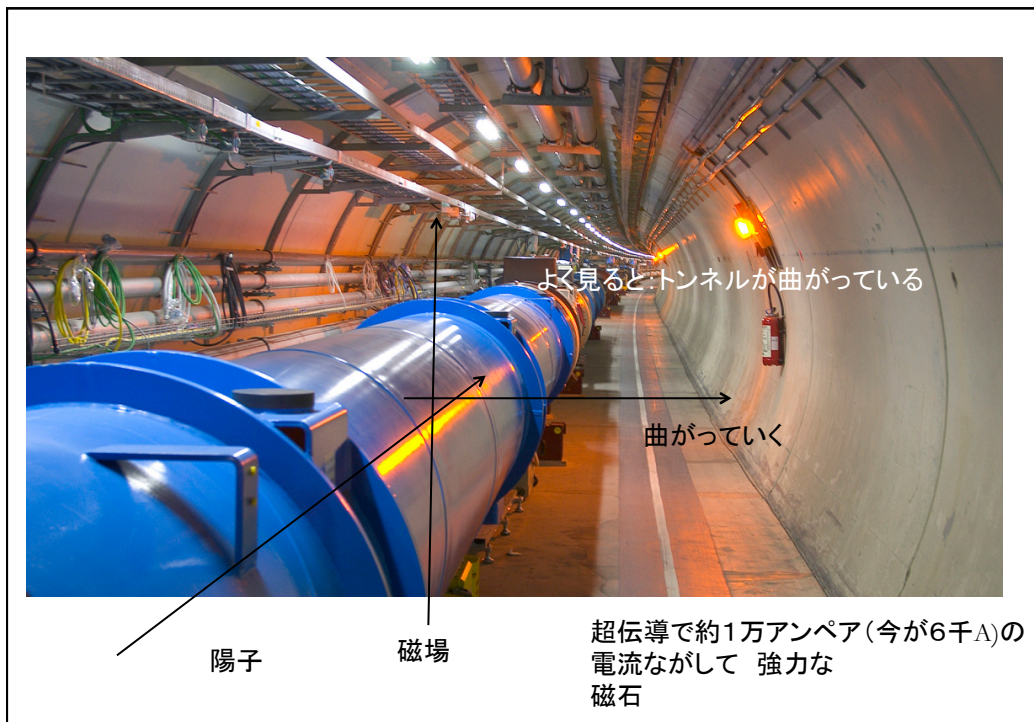


→ 曲げるのが大変

上向きの強力な磁場

陽子の方向

陽子は左に曲がっていく



## 日本の企業の大きな貢献

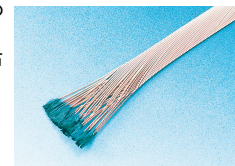
LHCの建設には、高い技術力を活かし、日本企業も大きく貢献。  
LHCプロジェクトマネージャー「日本の技術無くしてはLHCは出来なかった」



【東芝】ビーム収束用四極超伝導電磁石

【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



【IHI】1.8Kヘリウム冷凍システム



【カネカ】絶縁テープ



これまで16種類の素粒子が見つかった

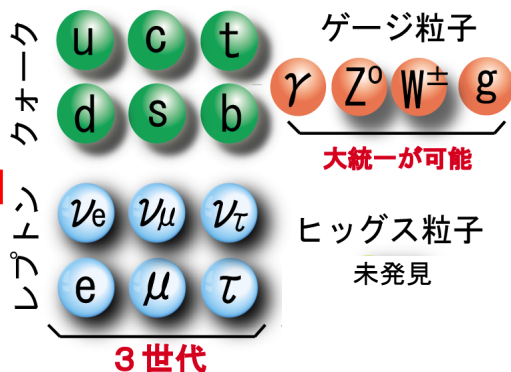
物質を形作る素粒子  
クォーク・レプトン

力を伝える素粒子  
ゲージ粒子

標準模型

それを体系だてて  
整理したのが

「標準理論」



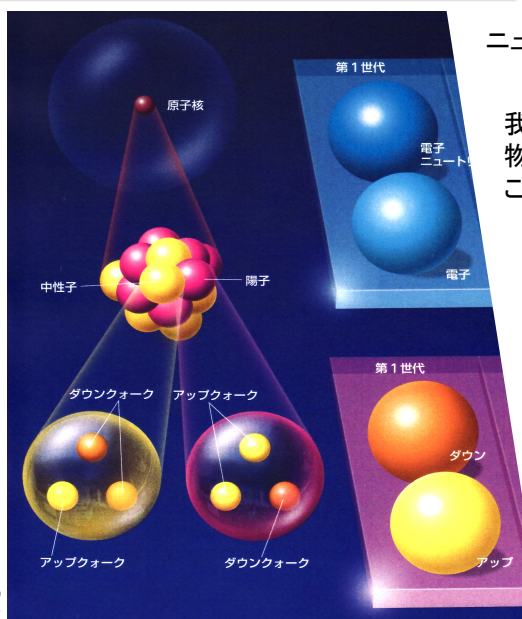
素粒子I: 物質を形づくる素粒子

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  
電子と  
ニュートリノ



小柴先生

2002年ノーベル物理学賞



ニュートンより



我々の廻りの  
物質は  
この4つでほとんど

## 素粒子I: 物質を形づくる素粒子

ニュートンより

このセットが 3セットある。  
“世代”

(1) 宇宙が現在の様に  
“物質”にみちたようになるには  
最低 3世代 必要  
(2) 実験の結果 3世代  
(3) でもなぜ3世代なのか??

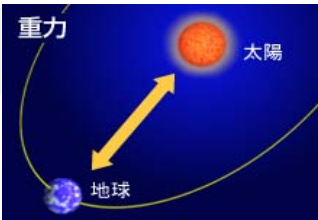
益川先生・小林先生  
2008年ノーベル物理学賞

## 素粒子II: 力を伝える素粒子

自然界の4つの力

粒子を交換することで力が働く

**重力子 (未発見)**

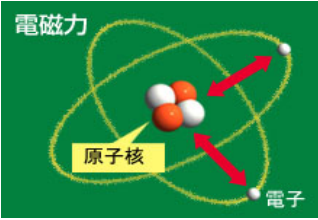


重力

太陽

地球

**電磁力**




原子核


電子

**光子**

**グルオン**



強い力

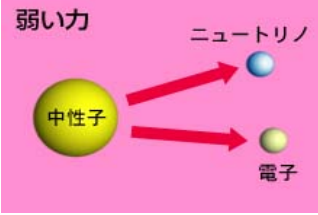


原子核  
(陽子・中性子)

1949年ノーベル物理学賞

原子核やクォークをまとめる力  
(原型核力) 湯川先生が予言

弱い力



ニュートリノ

中性子

電子

**W,Z粒子**

中性子は陽子に変わる

## 素粒子の質量



質量とは？：

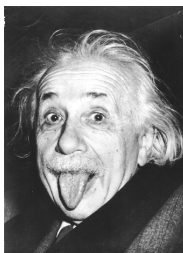
- \* 質量 光速からどのくらい遅くなるかを表す量：  
慣性: 力に対してそれだけ運動が変化しにくい  $F = m_p a$
- \* 重さ (重力  $F = m_g g$  の強さ)

等価原理(一般相対性理論)でこれらは等しい：  
(何故かは分からない。実験事実で9桁ぐらいの高い精度で一致している。  
物理学: 実験学問 実験事実がすべて)

ほとんどの素粒子は質量を持っている。しかもいろいろな値

光	➡	光	質量なし
軽い	○➡	電子:	$9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$
重い	○➡	トッブクォーク:	$3.1 \times 10^{-25} \text{ kg}$

## 素粒子の質量問題

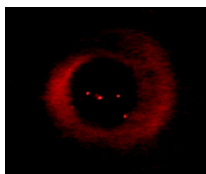


「止まった光??」  
光は止まらない。  
どんな人が、どうみても  
秒速30万kmで  
動いてる。  
(相対性理論)

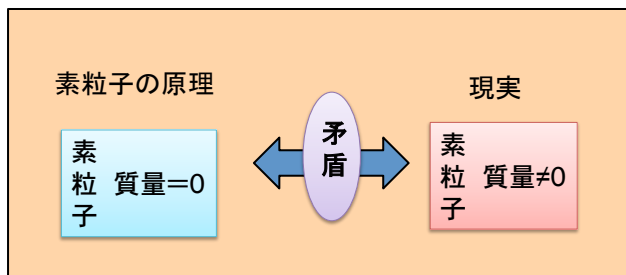
この違いは何故？



「暴走老人」  
こと石原さんも  
赤信号みたら  
止まります。



「原子や電子」も  
とめることができます。



「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。  
しかし、素粒子の原理からは  
質量はあっては困る。

矛盾を どうやって?

素粒子の原理


素  
粒  
子  
質量=0

現実

素  
粒  
子  
質量≠0

原理は不変  
環境が悪い！！

例え話ですが、



この科学教室会場(皆さん: ヒッグス場)

素粒子の原理




素  
粒  
子  
質量=0

現実

素  
粒  
子  
質量≠0

原理は不変  
環境が悪い！！

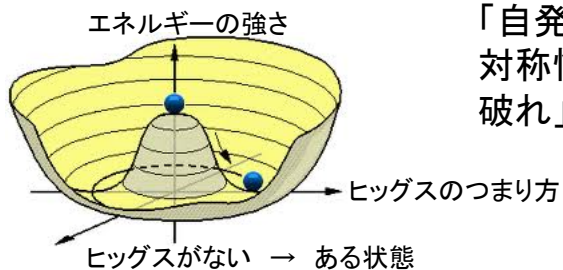
例え話で

この科学教室会場(皆さん: ヒッグス場)  
そこへ 小柴先生(素粒子)が入ってきます。  
サインを求める人が廻りに集まって歩けなくなる。  
有名人: たくさん集まる → 遅くなる (質量が大)  
普通の人: あつまらない → さっさと歩ける (質量が小)

動きにくさ=質量  
(重さ)

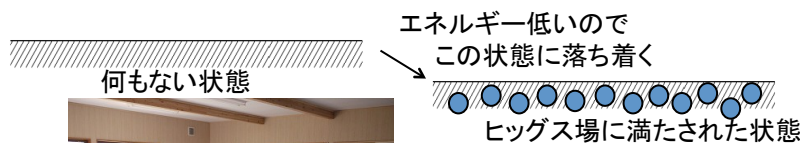
環境(真空)に私らが詰まっている???



「自発的  
対称性の  
破れ」



南部先生  
2008年ノーベル物理学賞



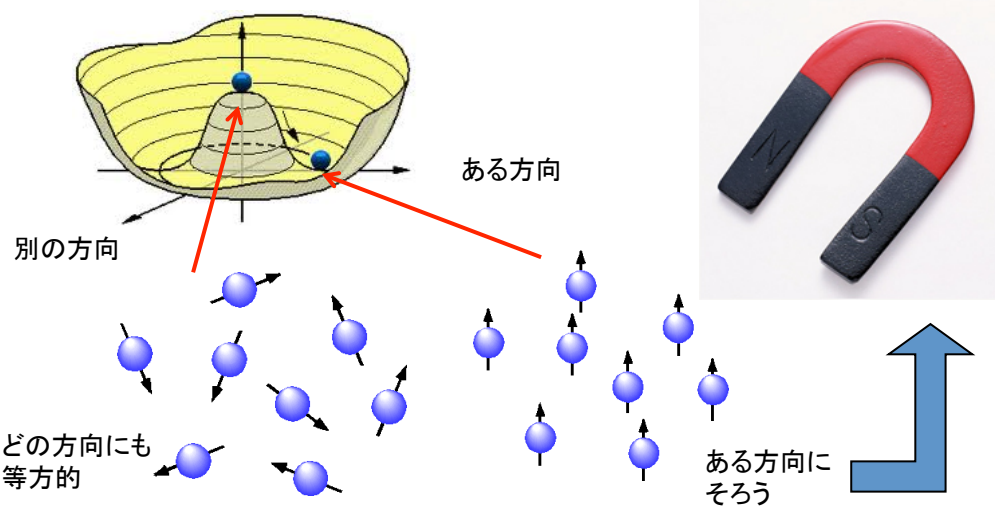
さっきの  
人の例



もちろん3次元的に詰まっています

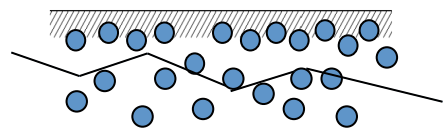


(例えでなくて)本当に自然で起きている  
結晶を構成する原子の向き

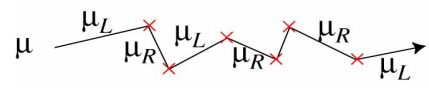


真空につままっているのはヒッグス粒子でなく  
ヒッグス場

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)

場と反応する？

実験で「場」を考えてみましょう

## ヒッグス場は、粒子の性質も変える!!

質量があると、光速より遅くなる。光速で運動する系から見ると、スピンと運動の関係 左巻き(L)と右巻き(R)が入れ替わる。

スピン ← ●<sup>L</sup> → 運動

スピン ← ●<sup>R</sup> ← 運動

→ 光速で追い越す

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

$q_R$   $q_L$

ヒッグス場に満たされた真空

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!!

## 弱い力とパリティの破れ

スピン: 粒子のもつ固有性質: 自転の様な性格

スピン ← ●<sup>e-</sup> → 運動

鏡で映した関係

スピン ← ●<sup>L</sup> → 運動  
左巻き L

スピン ← ●<sup>R</sup> ← 運動  
右巻き R

パリティ

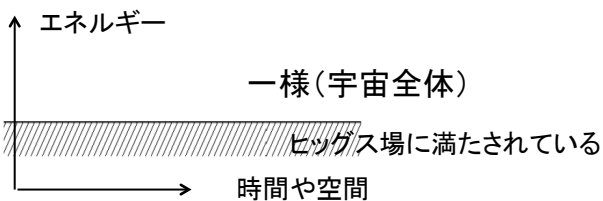
ヤンとリー

ウー

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

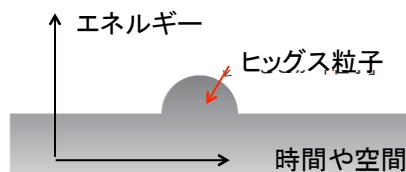
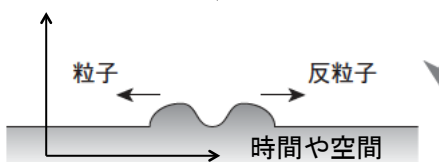
どうやって探す?



LHC加速器 粒子同士を高いエネルギーで衝突エネルギーを狭い空間に集める。

$E=mc^2$  エネルギーが粒子になる

非常に短い時間( $10^{-21}$ 秒ぐらい)で



ヒッグス粒子はすぐに粒子と反粒子に壊れてなくなる