



お品書き

1. 標準理論の質量問題
2. どうやってヒッグス粒子の作り方
3. ヒッグス粒子をとらえる
4. ヒッグス粒子と思われる新粒子発見
5. ヒッグス粒子同定までの道のり
6. ヒッグス粒子発見が意味すること

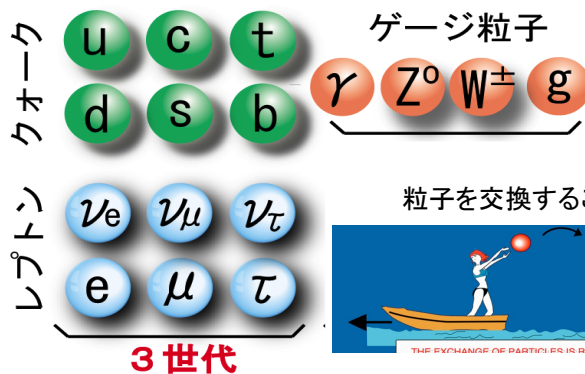
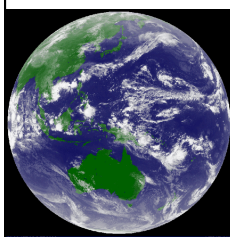
これまで16種類の素粒子が見つかった

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

地球も皆さんも
すべて



素粒子I: 物質を形づくる素粒子

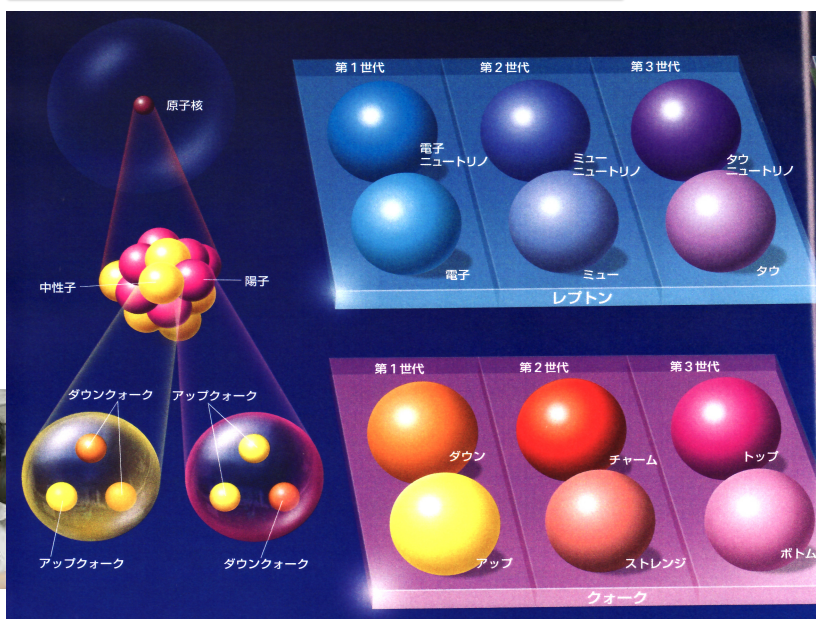
ニュートンより

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



益川・小林先生



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
ゲージ粒子

重力子 (未発見)

重力

太陽

地球

電磁力

光子

原子核

電子

グルオン

強い力

原子核 (陽子・中性子)

原子核やクォークをまとめる力
湯川先生が予言

弱い力

W,Z粒子

ニュートリノ

中性子

電子

Cs137

中性子は陽子に変わる

素粒子の質量

「止まった光??」
光は止まれない。
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)

止まった電子
の写真

この違いは何故?

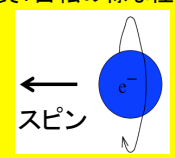
とまったから、原子核や
原子ができた。
とまらなかったら
この宇宙はできていなかった

「原子や電子」も
とめることが
出来る。

質量の問題点の例

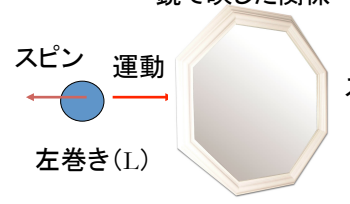
スピンの定義

スピンの定義
性質: 自転の様な性格

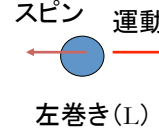


パリティ

鏡で映した関係

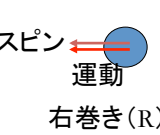


スピンの定義

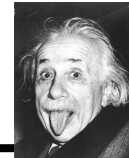


左巻き(L)

スピンの定義



右巻き(R)



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

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)
左巻きだった粒子が
右巻き粒子になってしまう

別の素粒子なのに。。。

素粒子の原理

素粒子 質量=0

⇔

矛盾

⇔

素粒子 質量≠0

素粒子の原理
質量があつては
ならない

「質量」がある
があると運動が阻害
速度も遅くなるし、
止まれる。(慣性)

重さは「重力の強さ」
質量とは違う。

でも、「重さ」と
「質量」と実験で
高い精度一致している。
(実験事実)

矛盾をどうやって??

4

矛盾をどうやって？

素粒子の原理 現実

素粒子 質量=0

矛盾

素粒子 質量≠0

素粒子の原理 現実

素粒子 質量=0

→

原理は不変
環境が悪い！！

素粒子 質量≠0

素粒子の先生は原理主義者

大事なことは、「よく検証された原理か？」

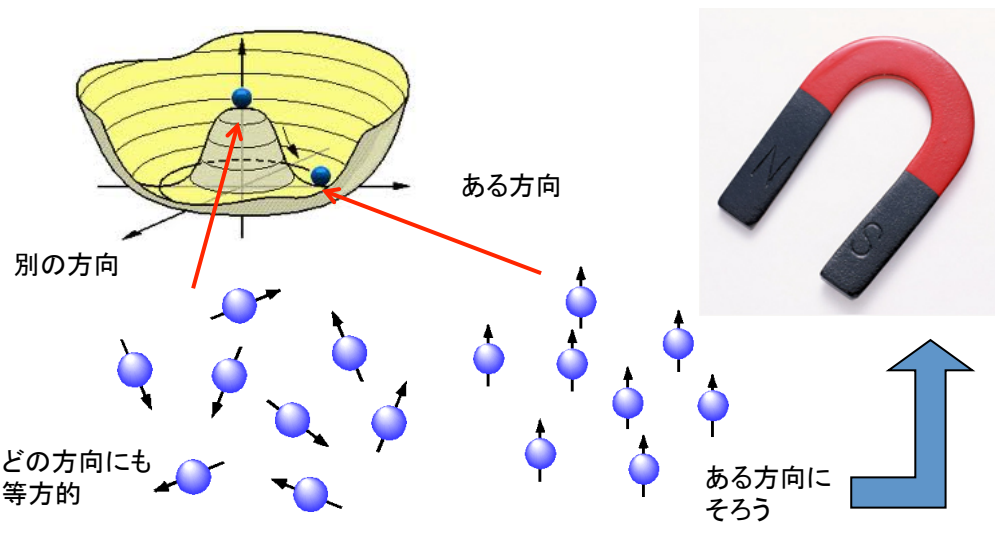
悪い環境 = ヒッグス(場)満ちた真空

「自発的対称性の破れ」

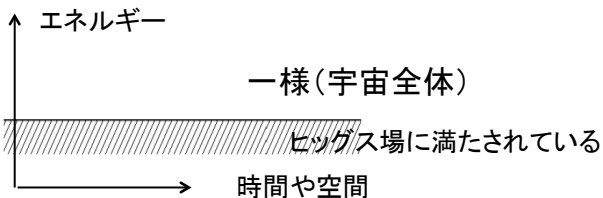
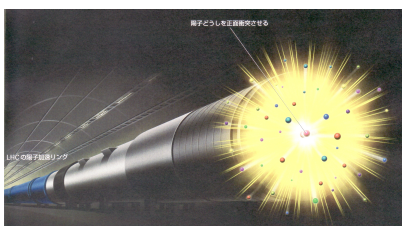
南部先生
2008年ノーベル物理学賞

「このアイデアのお世話になりました」
By Peter Higgs

(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

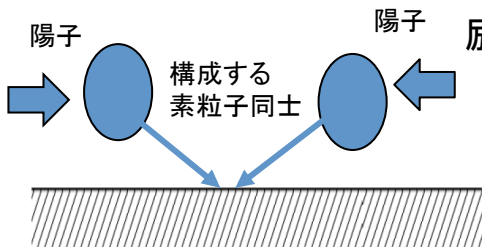


どうやって探す?

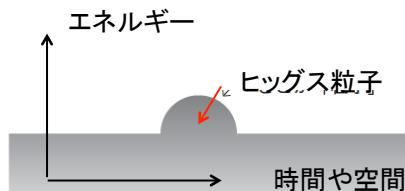


LHC加速器 粒子同士を高いエネルギーで衝突エネルギーを狭い空間に集める。

$E=mc^2$ エネルギーが粒子になる



励起する



人類は、過去40年いろいろ加速器: 励起するエネルギーが不足していた

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
詳しくは次の
小林さん

ヒッグス粒子の見え方

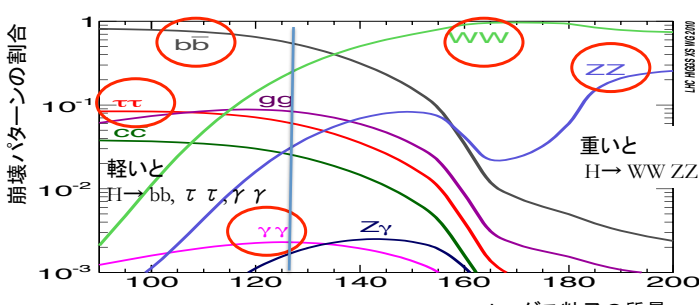
せっかくLHCで作っても、非常に短い時間(10^{-21} 秒ぐらい)で壊れてしまう粒子

H

- $W^+, Z, t, b, c, \tau^+, \dots, g, \gamma$
- $W^-, Z, t, b, c, \tau, \dots, g, \gamma$

重い粒子対に壊れやすい。
壊れ方に分けて
それぞれ探索を行っている

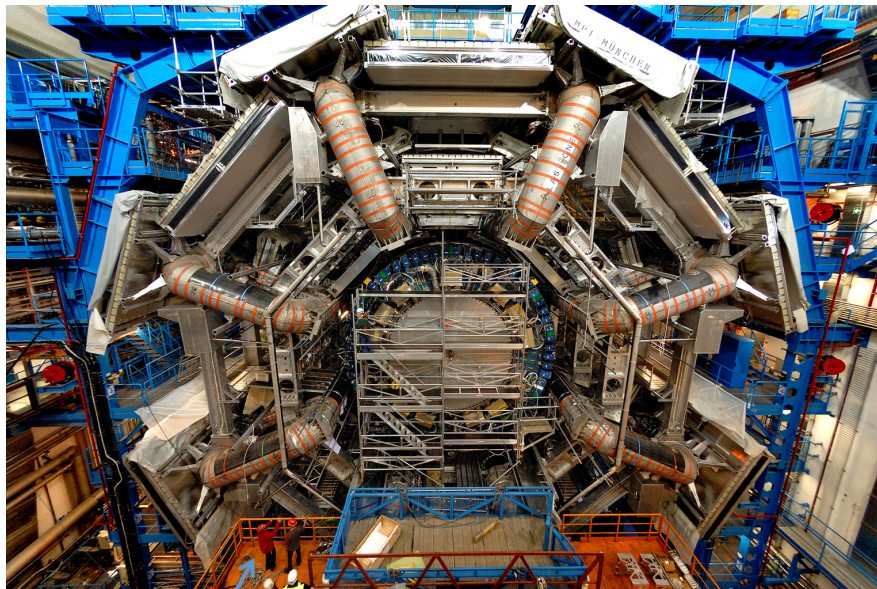


120GeVと賭けて
 $\gamma\gamma, WW, \tau\tau$
に山をはった。。

重いと
 $H \rightarrow WW, ZZ$

軽いと
 $H \rightarrow bb, \tau\tau, \gamma\gamma$

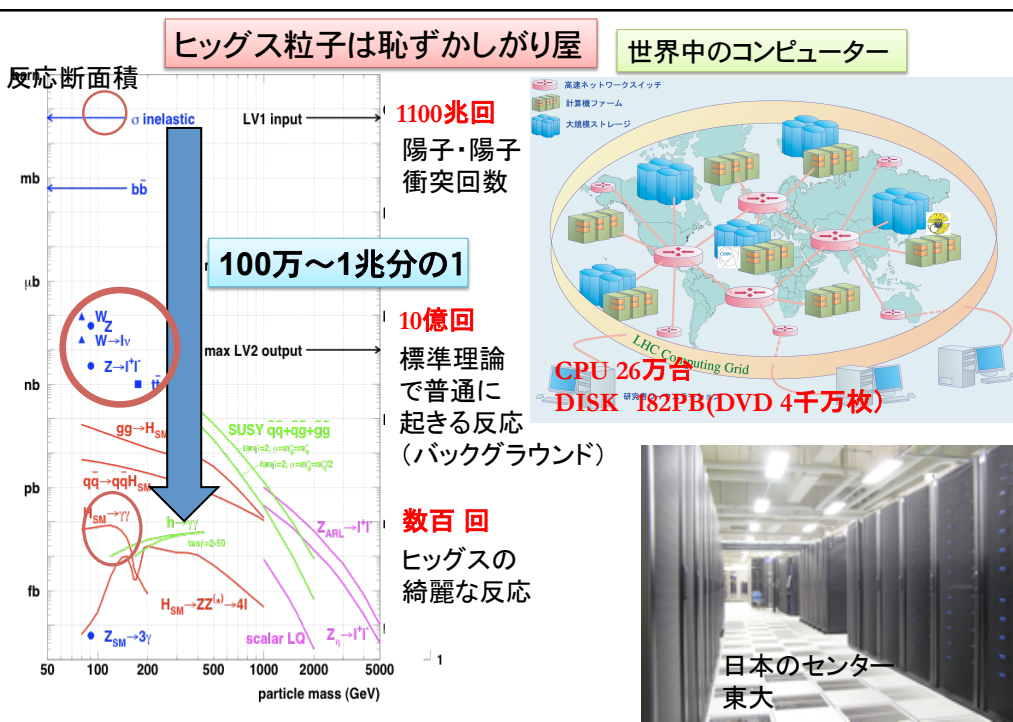
起こった素粒子反応を捕らえるアトラス検出器



人間

直径22m 長さ44m 1.5億チャンネル高性能

ビデオ



ちなみに
本人(Peter Higgsさん)もかなりの照れ屋みたい。。

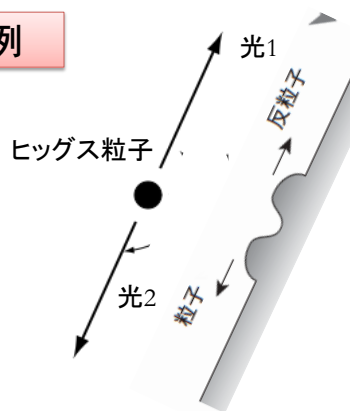
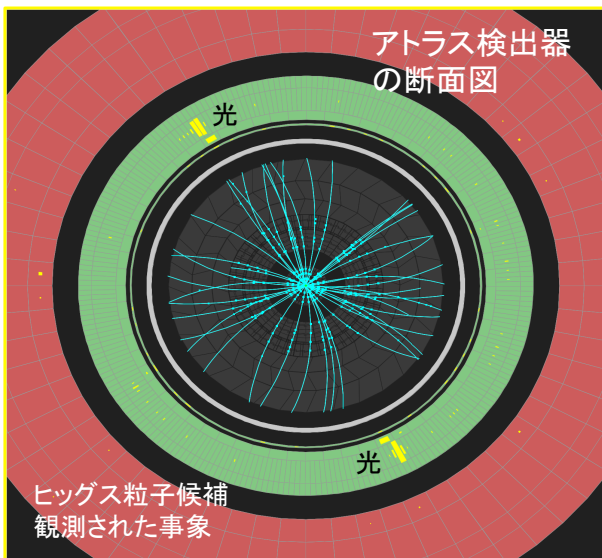


アングレーールさん
の方は、逆に
「イケイケおじさん」

いろいろな国の
いろいろなタイプの
研究者が
協力している。
国際研究の楽しさ

ノーベル賞発表当日:発表1時間遅れ
ヒッグス粒子 40年かけて、世界中が協力してようやく発見したと思ったら、
ノーベル委員会は、ヒッグスさんを発見できなかった。(と言うオチまでついている)

ヒッグス粒子が2つの光子に崩壊した例

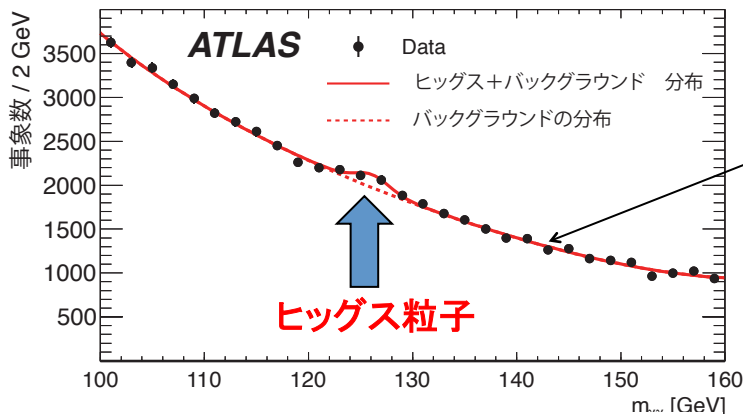


二つの光のエネルギーと方向を
正確に測定する。その和は、
もともとの粒子のエネルギー

アインシュタインの有名な式
 $mc^2 = \sqrt{E^2 - p^2c^2}$
をつかってもともと粒子(壊れる
前の粒子)に質量をもとめてみる

約1100兆回の衝突の中から“光”が2個ある現象を探し出してくる

2012年7月4日までの 約1100兆回 陽子と陽子を衝突させている。



バックグラウンド

ニセモノ反応:
ヒッグス粒子から
ではないけど
似た現象
(2個の光が出る。)

2個の光は
無相関にでるので
質量は
バラバラになる。

ヒッグス粒子の質量
126GeV

こわれる前の粒子の質量 (GeV)

$$mc^2 = \sqrt{(E^2 - p^2c^2)}$$

よく、新聞に確率が書いてあったけど。。。

ヒッグス粒子の存在

世界的な素粒子物理の研究機関である欧州合同原子核研究機関 (CERN) は、宇宙の物質を構成する素粒子に質量を与える「ヒッグス粒子」を99.99%の確率で見つけたと発表した。ヒッグス粒子は、宇宙の成り立ちを説明する素粒子物理学の標準理論に欠かせない存在で、世界の物理学者が40年以上にわたって探索してきた。最終結論は、来春以降にさらにデータを収集したうえで下すこと。

発表したのは、東京大学や高エネルギー加速器研究機構など日本の15機関も参加するATLAS実験グループと、欧米を中心とする「CMS」実験グループ。両グループは、2010年から本格稼働したCERNの「大型ハドロン衝突型加速器 (LHC)」という実験装置を使い、原子核を構成する陽子とよばれる粒子を光速近くまで加速。二つの陽子を正面衝突させ、中から飛び出してくる様々な種類の粒子からヒッグス

確率 99.98%

質量の源 探索40年
2011年12月 (読売新聞)

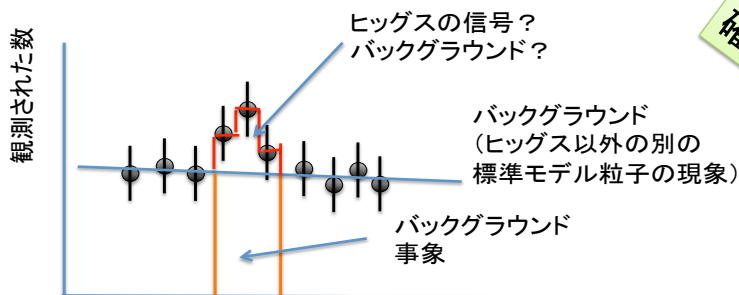
国際チーム 99.999999%

ヒッグス粒子 (ほぼ) 確認

年内断定へ追加実験

2012年7月 (東京新聞)

バックグラウンド(にせもの現象)があるときに
まちがいに「発見」するには？



- バックグラウンドのふらつき: 標準偏差 $\sigma \sim \sqrt{N}$
- 「発見」 赤の数 $> 5\sigma$ (偏差値で100点以上)
(ふらつきで起きる確率 100万分1以下)
- 「兆候」 赤の数 $> 3\sigma$ (偏差値で80点以上)
(ふらつきで起きる確率 0.1%)

2012年7月

2011年の12月

ふらつきでたまたま見えてしまう可能性が十分低くなるまでデータが必要

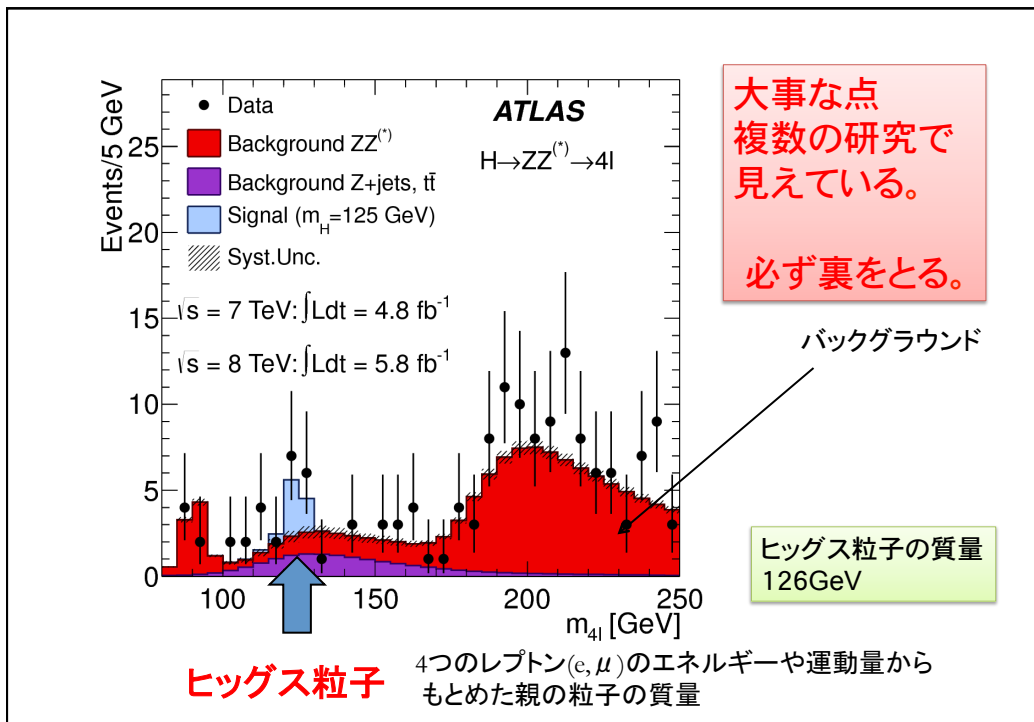
ヒッグス粒子がZZに崩壊 ($ZZ \rightarrow \mu\mu ee$)

ATLAS EXPERIMENT
<http://atlas.ch>

Z粒子は
弱い力を伝える粒子
すぐに二つの素粒子に
壊れる。
素粒子4つが終状態

Run: 182796
Event: 74566644
2011-05-30 07:54:29 CEST

22



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。

5:00 ヒッグス粒子とみられる粒子発見
現代物理学の大きな謎解明へ

ニュース速報
まで出ました。.....

NHKの武田アナウンサーも

動きにくさ = 重さ

新聞各紙も一面で

CERNの歴代の所長さんも

**First observations of a new particle
in the search for the Standard
Model Higgs boson at the LHC**

でも、、、
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

**ヒッグス粒子
と考えられる
新粒子??**

昨年7月4日の段階で分かっていたのは 条件(1)だけ

ゲージ原理

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

湯川結合

↑

↑

自発的対称性の
破れ

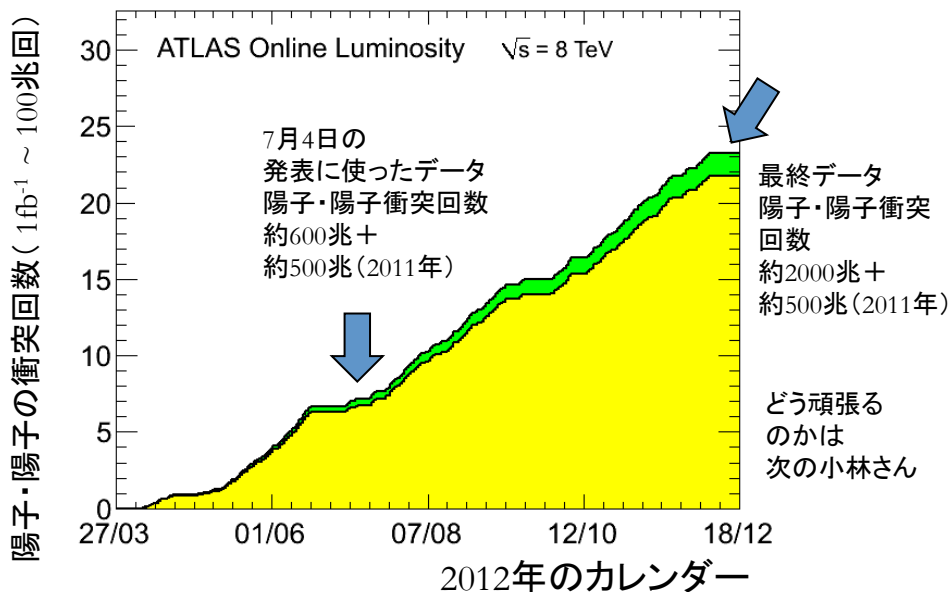
質量を生み出す真空
ヒッグス場

ヒッグス粒子の条件

- (1) 力を伝える粒子への結合 $\gamma\gamma > ZZ > WW$ (LHCでの見えやすさ順)

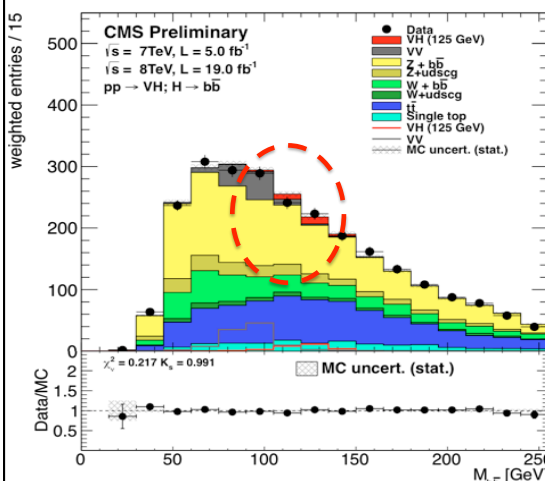
- (2) 物質を構成する粒子への結合 $\tau\tau > bb > \mu\mu$
- (3) スピンやパリティなどのヒッグス粒子自体の性質が真空の性質

そのあと頑張って、実験データを約2.5倍に増やした。

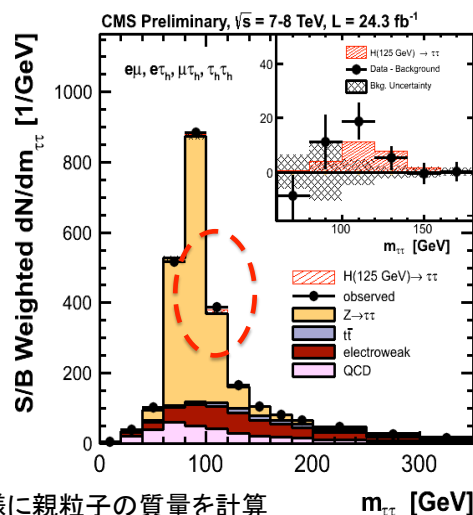


物質を構成する素粒子への結合 (H → bb, H → ττ)

ヒッグス粒子 → ボトムクォーク対



ヒッグス粒子 → タウペアー対



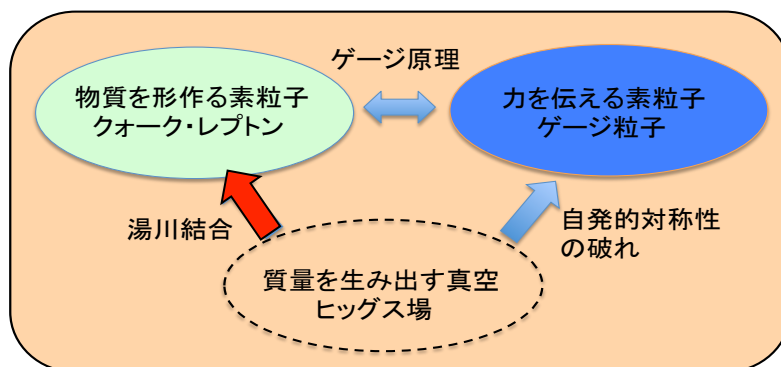
ボトムクォーク対や τ 対を選んできて、同様に親粒子の質量を計算
エネルギーの測定精度が、bや τ は、光、電子、ミュオンなどに比べて悪いため、
分布が広がって見にくい。ヒッグス粒子の兆候がみている

まだ、誤差が大きいですが条件(2)もクリアー

ヒッグス粒子の条件

- (1) 力を伝える粒子への結合 $\gamma\gamma > ZZ > WW$ (LHCでの見えやすさ順)
- (2) 物質を構成する粒子への結合 $\tau\tau > bb > \mu\mu$

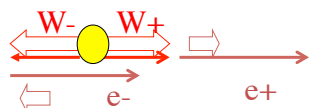
- (3) スピンやパリティなどのヒッグス粒子自体の性質



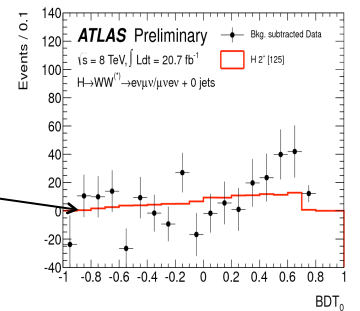
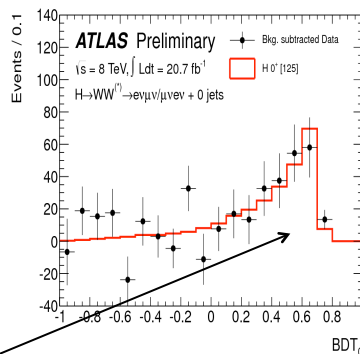
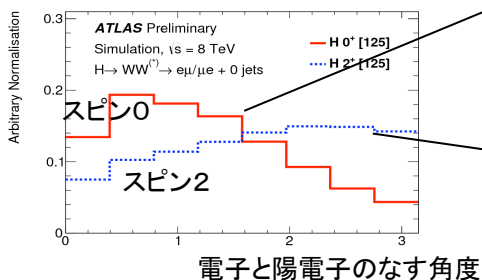
スピン0 : 真空の性質

真空
方向の特徴をもたない:
スピンもない スピン0

Wのスピンは
それぞれ逆向き
太矢印
スピンの向き
細矢印運動方向



弱い相互作用は、パリティを破っている。
電子: 左巻き 陽電子: 右巻き




条件(3)もクリアー

ヒッグス粒子の条件

- (1) 力を伝える粒子への結合
- (2) 物質を構成する粒子への結合 $\tau\tau > bb > \mu\mu$
- (3) スピンやパリティなどのヒッグス粒子自体の性質

CERN 所長
ホイヤー



アレは
やっぱり
ヒッグス
だった。

今年の3月

ゲージ原理

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

湯川結合

↑

↑

自発的対称性の破れ

質量を生み出す真空
ヒッグス場 真空に関係したもの

ヒッグス粒子発見の意義

新聞やTVが言うように
「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

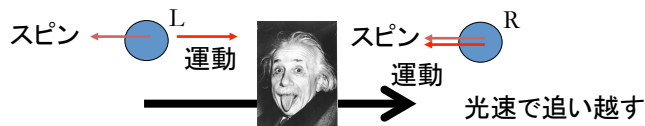
「真空」の意味

真空が「真の空」でなく、何か詰まった不思議な状態

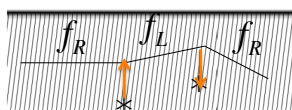
(何か? ニュートリノの電荷(弱い力)をもった
のっぺりしたもの:宇宙全体に一様に、方向もなく)
そのエネルギーが宇宙を生み、進化させていった。
宇宙の誕生に密接に関係

真空(ヒッグス場)は、粒子の性質も変える!!

質量があると、光速より必ず遅くなる。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。



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

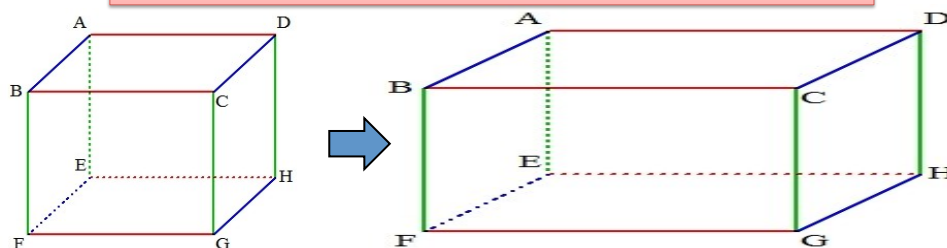


ヒッグス場に満たされた真空

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。
右 → 左 → 右 ..

真空はニュートリノの性質(電荷)をもった、変な状態
ニュートリの電荷のバッファー

不思議な真空のエネルギー



真空のエネルギーの密度 体積が2倍

エネルギーの密度 変わらない
体積 * 密度 = エネルギーが2倍

????

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 → **ビッグバンがすごい**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!!!!

$PV=nRT$

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

なんかだまされた感じが
 するのが、
 真空のエネルギーの
ヘンさ

宇宙の誕生の謎に迫る成果

ビッグバンのエネルギーはどこから？

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」と言うものもあると
 考えられています。

ヒッグス粒子が発見で、標準理論が完成めでたし、めでたし??

標準理論

クォーク

ゲージ粒子

レプトン

ヒッグス粒子

物質を形成

2012年発見

問題点その1

宇宙の成分表

問題点その2

3つ(4つ)も力があるのは気持ちわるいな。

問題点その3 見つけた「ヒッグス粒子」が軽すぎる!!!

量子力学「嘘ついていい」

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

大きく ΔE がずれる(嘘つく)ても短い間ならいい。

トップ・反トップ

ヒッグス粒子を重くする効果

ヒッグス粒子はむちゃくちゃ重くないといけないでも 126GeV ???

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

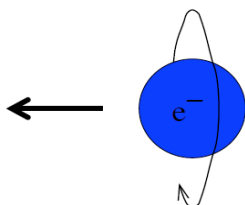
光や電子について、この問題を解決したのが朝永先生

問題!!!

何か新しい物理(標準理論を超えた)があることを示唆している

素粒子のスピ

スピ:角運動量と同じ性質

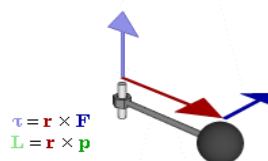


素粒子はスピをもっている。

粒子の持っている“固有の性質”: (起源不明)

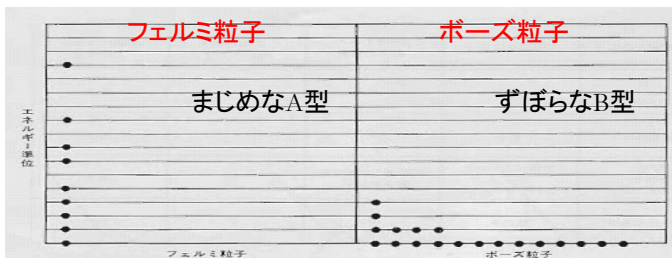
半整数 スピ $\frac{1}{2}$ ($\frac{h}{2\pi}$)
 整数 スピ $h/2\pi$

フェルミ粒子:物質を形成
 ボソン粒子:力を伝える



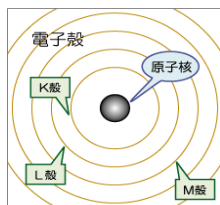
素粒子の回転に関係している (角運動量=回転)

ボソン粒子 (整数スピ) 360度でもとの状態に戻る。(我々の感性)
 フェルミ粒子 (半整数スピ) 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2回転対称のような世界
スピ:素粒子固有の性質であると同時に、空間の見え方を表している



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 $\frac{1}{2}$
 「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、同じ状態に入れられないから、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)
 ボソン粒子とよばれ スピ 1,0

同じ状態にいくつでも入れる
 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

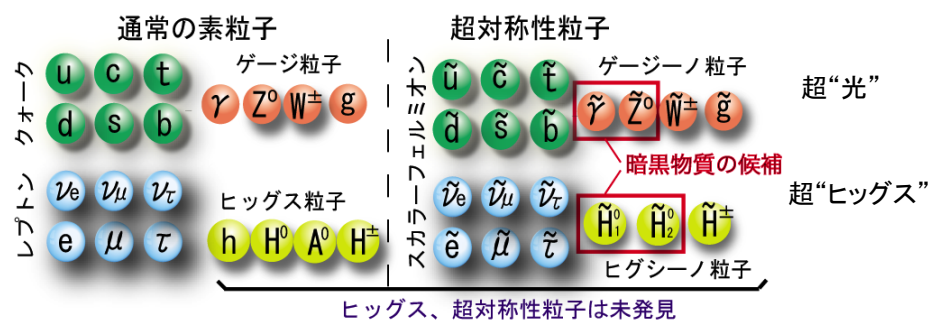
フェルミ粒子ーボソン粒子の区別が様々な問題を引き起こす

→ これがヒッグス粒子を無茶苦茶重くする

(半整数スピ ⇔ 整数スピ) 区別をなくす → 超対称性

ちょ～
“超” 対称性

スピン: 素粒子から空間がどう見えているか？
 “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



- 超対称性の利点 → 宇宙の暗黒物質の解明:
 → 力の大統一

ちょ～
“超” 対称性



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



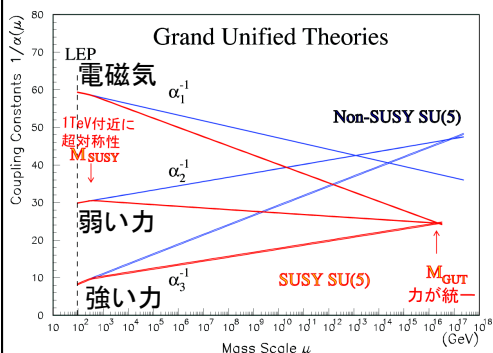
暗黒物質がダーク(暗黒) である証明写真

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) ヒッグス粒子の質量 126GeVが説明出来る

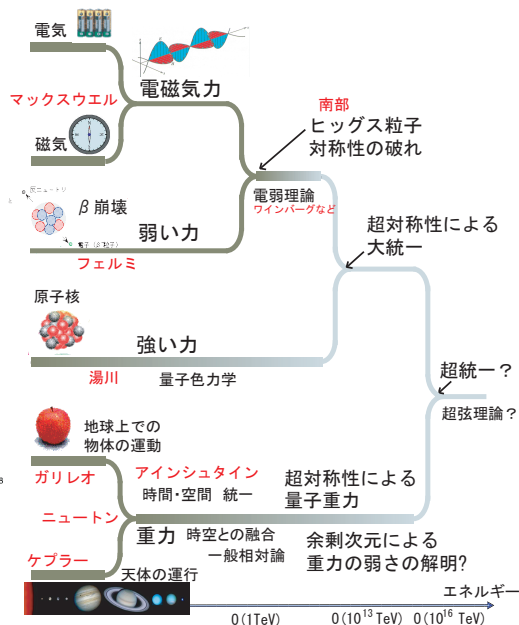
超対称性すごい(3) 大統一・超統一

力の強さは、どんな種類の
粒子がいるかで変化する。
“超”粒子があると、



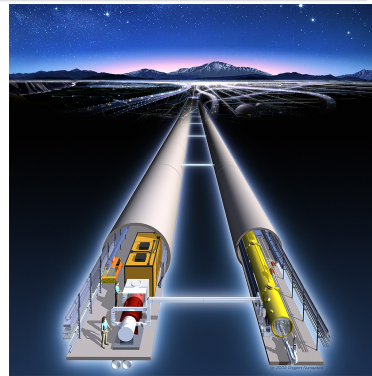
3つの力がひとつだった!

物理学の大まかな歴史と「統一」



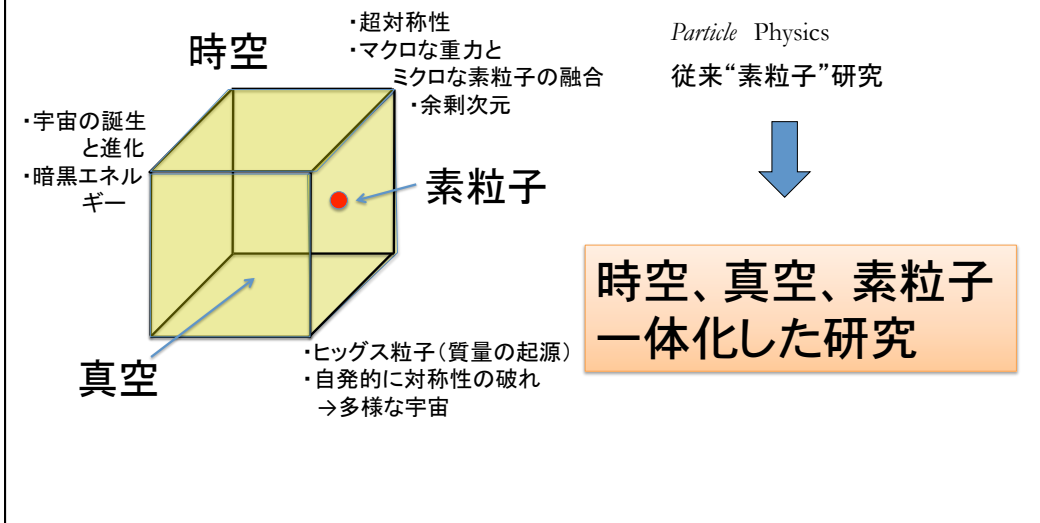
まとめ ヒッグス粒子発見 新しい時代の始まり

2015 LHCはエネルギーを倍増 (4+4 TeV → 7+7TeV)
2030(ころ) ILC
超対称性をさがす

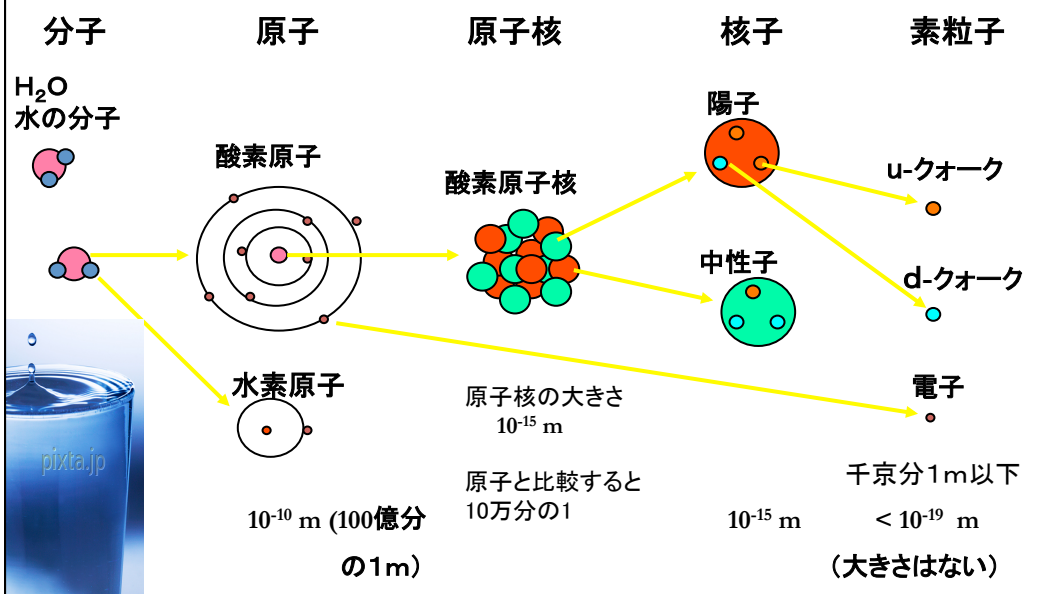


おまけ

ヒッグス発見が新しい時代の幕開け

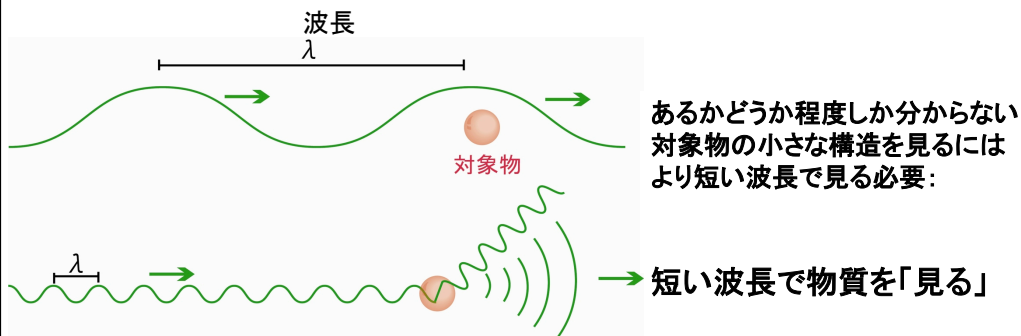


(素粒子とは?) 物質を細かく分割していくと



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

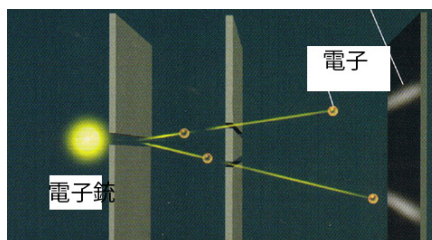
小さく視ると、粒子と波の両方の性質が見えてくる。(2重性)

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
 $\Delta P \Delta x > h/2\pi$



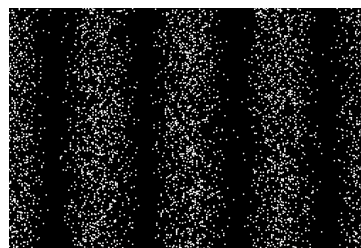
波長

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



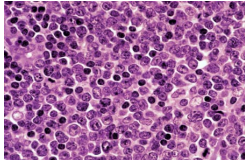
加速器は大きな顕微鏡

倍率1000倍程度

がん細胞



光学顕微鏡




がん細胞

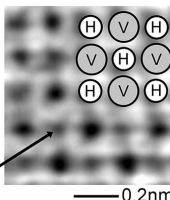
分解能

光学顕微鏡	光	光の波長 ~ 0.1 ミクロン ($=10^{-7}$ m)
電子顕微鏡	電子	電子の波長 ~ 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！！

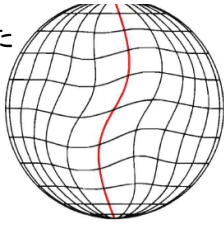


H ——— 0.2nm



質量の問題点(1)

θ のとりかた
を自由



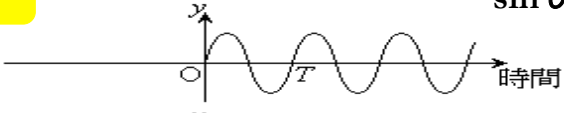
局所的対称性の
破れ

小さな世界は 量子力学

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！！ 位相がある



$\sin \theta$

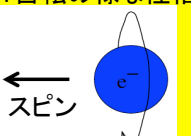
宇宙全体で位相の取り方が同じというのは、
相対論を考えると変
時空の各点で任意にとって良い(ゲージ原理)
「力をつたる素粒子」は、じつは、“位相の帳尻あわせ”粒子
(これが力の実態)

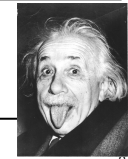
質量(m)があると、 $1/m$ くらいの距離しか帳尻あわせできなくなる

26

質量の問題点(2)

スピン: 粒子のもつ固有性質: 自転の様な性格





スピン ←

← 運動

L

→ 運動

→ スピン

R

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)
 左巻きが右巻きになってしまう
別の素粒子になってしまう

パリティの破れ

鏡で映した関係

スピン ←

← 運動

左巻き L

→ 運動

← スピン

右巻き R

パリティ

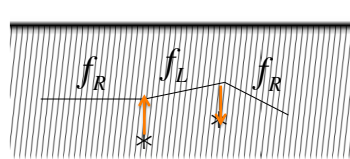
カイラル原理

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

真空は、「弱い力」を感じる何かに満ちている

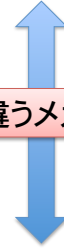
物質を構成する素粒子



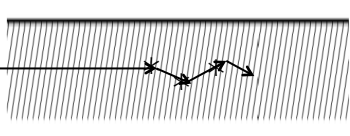
電荷をもらって 左巻き返して、右巻きにもどる
 こんなイソガシいことをしている

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

違うメカニズム



弱い力を伝える素粒子



Z粒子やW粒子は、弱い力を感じる。ヒッグス場を振動させる。
 その分、自分が振動して質量

ほんとにかよ?

ここにエネルギーを加えると

量子力学世界

現実世界

光 e^- e^+ 光

光 γ

e^- e^+

Panasonic

実験データ (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。

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

電子 (加速エネルギー-E)
 $E=1.5 \text{ eV}$ (電子ボルト)
 $=2.4 \times 10^{-19} \text{ J}$
 (速度 730 km/s 光速0.2%)

1.5 ボルト

テレビは $\sim 20\,000 \text{ eV}$
 LHC 加速器 $4 \times 10^{12} \text{ eV}$

〈加速のしくみ〉

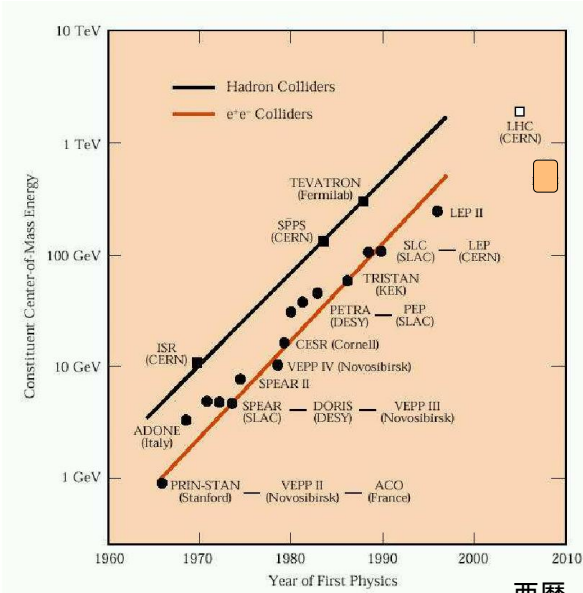
電流

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。

ぶつかわない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

加速器の性能は、この50年で約1000倍に向上した



1970年代前半までは
あんまり「標準理論」
は信用されてなかった。

1970年代後半になって
ヒッグス粒子の本格的な
探索がはじまったが、
当時の加速器は、
LHCの1/100の性能

世界中でいろいろな
加速器をつくって
ヒッグス粒子を探索してきた

よく見る写真は、加速してるんでなくて、
曲げてるだけ(でも 陽子は曲げるのが大変)



よく見るとトンネルが曲がっている

曲がっていく

陽子

磁場

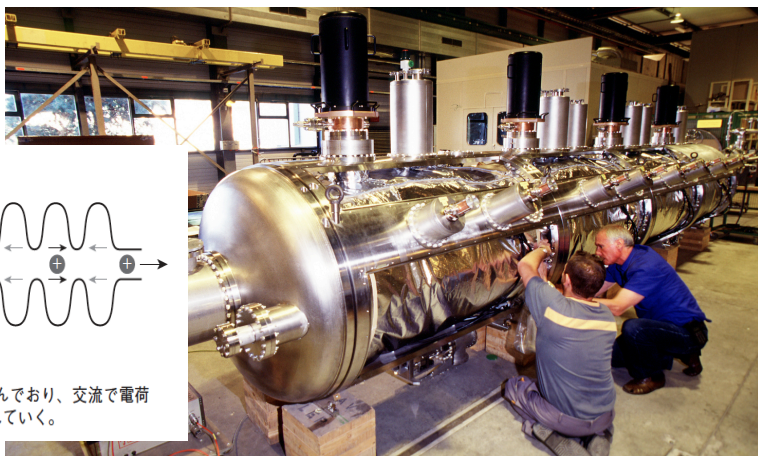
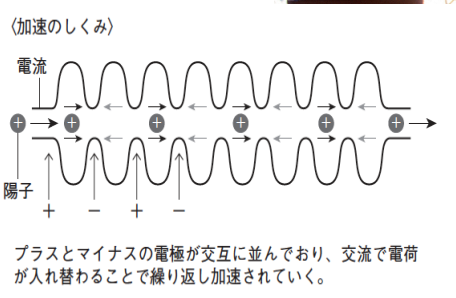
超伝導で約1万アンペア(2012: 6000A)の
電流ながして 強力な磁場8.3T (4.7T)

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1万回転ぐらい回りますので、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



日本の技術力はすごい!

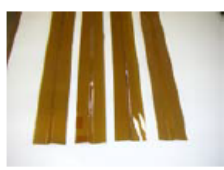
LHC建設には高い技術が不可欠 日本企業も大きく貢献。
LHCプロジェクトマネージャー「日本の技術無くしてはLHCは出来なかった」



【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

Muon Detectors Electromagnetic Calorimeters
 Solenoid Forward Calorimeters End Cap Toroid
 Barrel Toroid Inner Detector Hadronic Calorimeters Shielding

Detector characteristics

Width: 44m
 Diameter: 22m
 Weight: 7000t

CERN AC - ATLAS

Resolution (Pt=100GeV)

e, γ 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)

どうやって探す?

LHCの電子加速器

エネルギー

一様(宇宙全体)

ヒッグス場に満たされている

時間や空間

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

陽子 陽子

グルオン グルオン

エネルギー

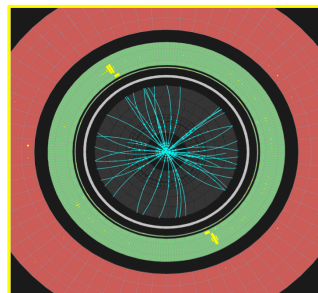
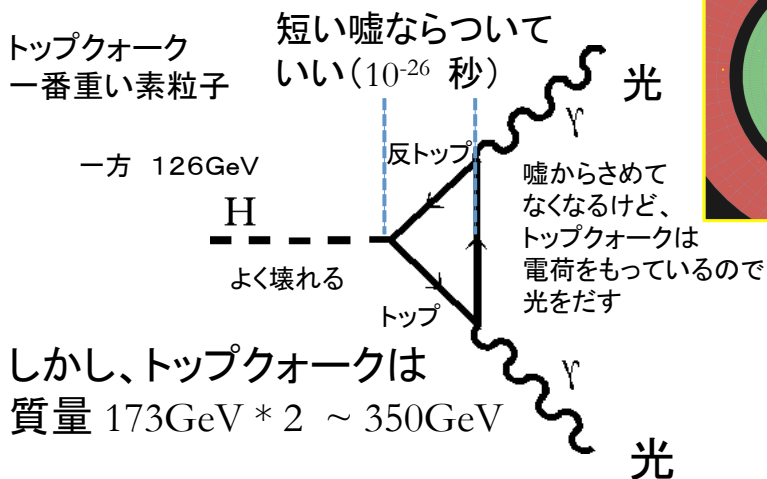
ヒッグス粒子

時間や空間

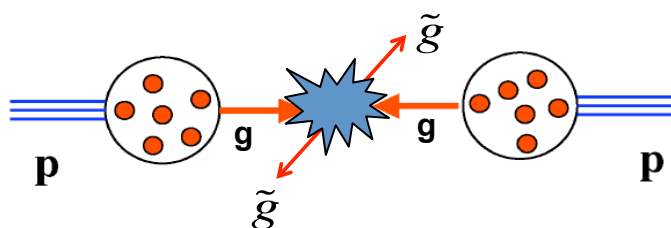
量子力学「嘘ついていい」

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

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

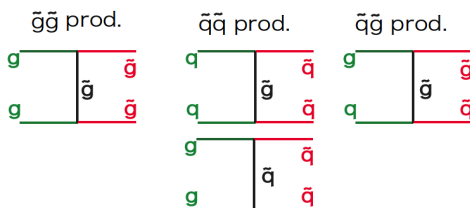


LHCで探る超対称性粒子

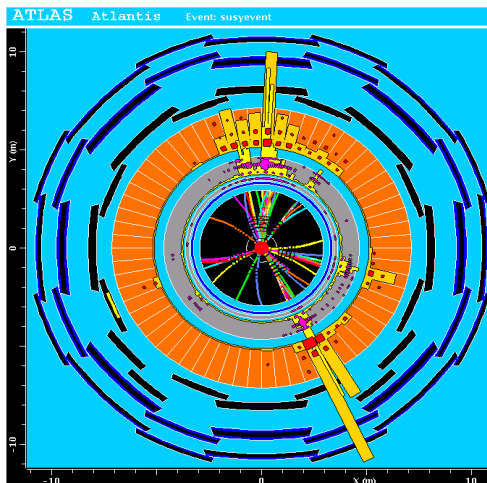
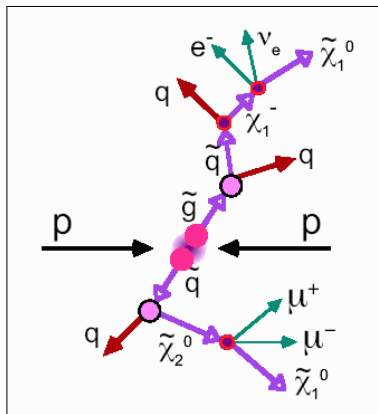


陽子の中のグルーオンやクォーク同士が反応して
 スカラー・クォークやグルーノを作る

- 超対称性粒子
- ゲージノ粒子
- スピンの 1/2
- ヒグシーノ粒子
- スピンの 0 スピンの 1/2
- スカラーフェルミオン
- \tilde{u} \tilde{c} \tilde{t}
 - \tilde{d} \tilde{s} \tilde{b}
 - $\tilde{\nu}_e$ $\tilde{\nu}_\mu$ $\tilde{\nu}_\tau$
 - \tilde{e} $\tilde{\mu}$ $\tilde{\tau}$
 - \tilde{H}^0 \tilde{H}^\pm
 - $\tilde{\gamma}$ \tilde{Z}^0 \tilde{W}^\pm \tilde{g}
 - \tilde{H}^\pm



生成された、グルイーノやスカラークォークは軽い超対称性粒子に崩壊し
LHCでこんな感じの現象が観測される。



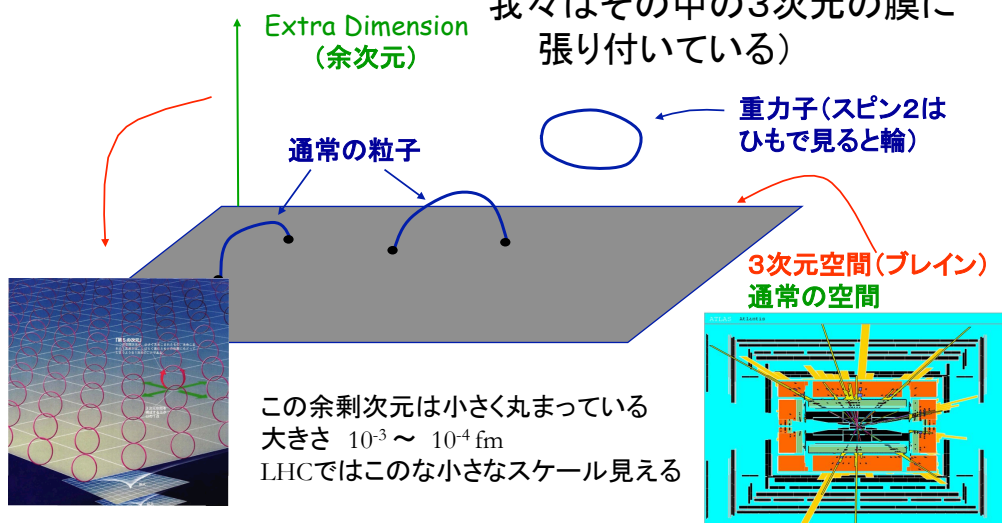
特徴は、見えない粒子(暗黒物質)によるアンバランスさ (予想図)
LHCはDark Matter 工場(factory)

65

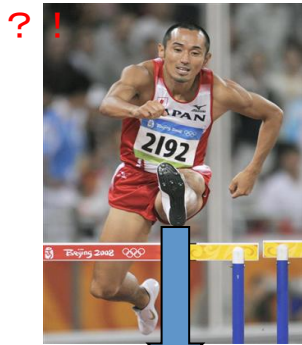
可能性2 余剰次元

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 6×10^{24} kg



重力は「弱すぎる」(階層性問題)

膨大な質量をもつ地球にくらべて、磁石の質量は無視できるほど小さい。それにもかかわらず、地球のつくる重力は、磁石のつくる磁力にうち負かされてしまう。これは重力が、磁力(電磁気力)にくらべていちじるしく弱いことを示す例である。

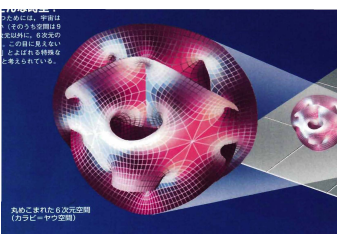
クリップは地球に落ちず、磁石へと引き寄せられる

クリップ

地球

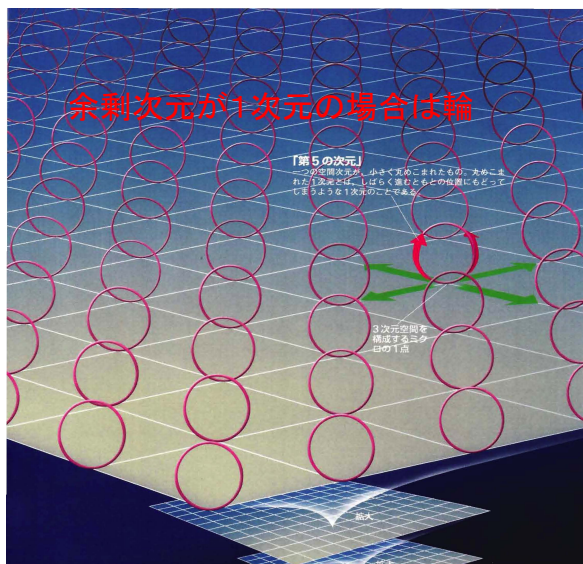
でもケチな磁石にもまけてしまう。

余剰次元はコンパクトに縮まっていて見えない。



余剰次元が6次元の場合にはふしぎな形

この大きさが不明
 10^{-35} m くらいかもしれない
 10^{-19} m と大きいかもしれない



余剰次元が1次元の場合は輪

【第5の次元】

2次元空間が、小さく丸めこまれたら、1次元で表れる。図の赤い輪は、1次元で表れる空間のことである。

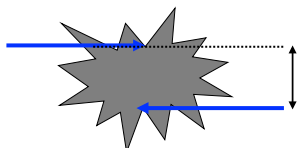
3次元空間を構成する2次元の1点

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

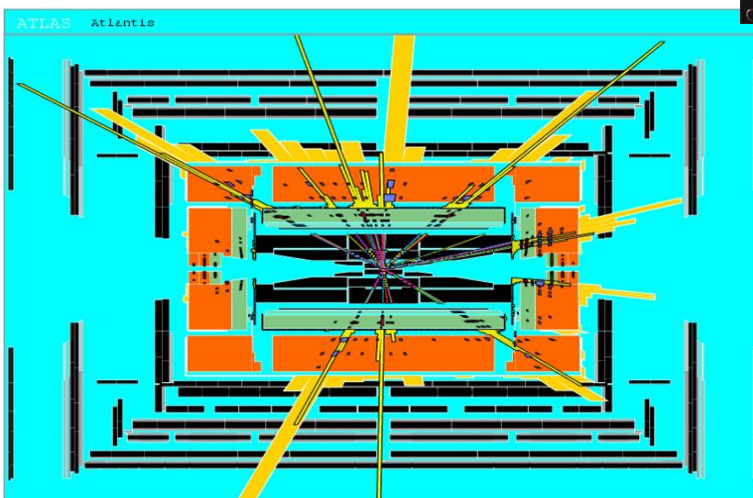
もし、大きさが 10^{-19}m だとLHCで効果が見える。
この距離まで近づくと、次元数が大きくなり 重力が強い力となる。



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)

LHC+ATLAS実験に対する 研究者としての日本の貢献(従来型国際協力)



内部飛跡検出器(半導体検出器)

超伝導ソレノイド磁石

ミュオントリガー検出器

LHC Computing Grid
地域解析センター

LHC加速器建設でもビーム最終
収束超伝導四極磁石

得意な技術や新しい提案をして、国際的な枠組みで協力「競争と協力」が基本

最先端加速器:最先端の技術の結集が必要

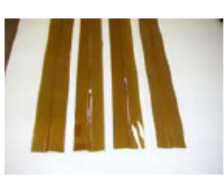
- 加速器の建設費(約3800億円)のうち、日本が**138.5億円**の資金協力 (国際化のきっかけ)
- 装置の建設には、高い技術力を活かし、日本の技術が大きく貢献。
LHCプロジェクトマネージャー「日本の技術無くしてはLHCは出来なかった」



【東芝】ビーム収束用四重極超伝導電磁石



【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

検出器も日本の技術が貢献(産業の裾野)

- ヒッグス発見: ふたつの大きな測定器 ATLASとCMS
- 日本の大学・研究機関が参加 ATLAS測定器の建設費(約500億円)のうち、**約28億円**
- ATLAS,CMS 2つの測定器の建設に際し、多くの日本企業が参加。

Detector characteristics
 Width: 44m
 Diameter: 22m
 Weight: 7000t
 CERN AC - ATLAS V1997

【東芝】超伝導ソレノイド電磁石など

【浜松ホトニクス】シリコン検出器など

【川崎重工】液体アルゴン真空容器

【林業精器】ワイヤーチェンバー

【クラレ】プラスチックシンチレーションファイバー

【フジクラ】光ファイバー

【有沢製作所】ポリイミドフィルム銅張り板