

# ヒッグス粒子発見 と 日本の貢献 と その後のセルンの目標

2015年5月28日  
第1回JCG商工部会/文化部会合同講演会

茨城県つくば市 高エネルギー加速器研究機構(KEK)  
名誉教授 近藤敬比古(こんどう たかひこ)

1

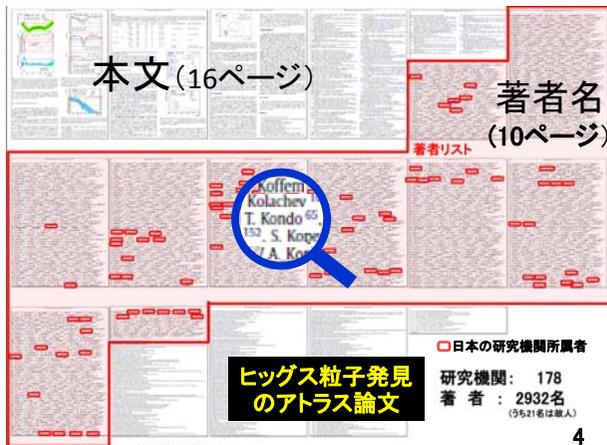


2



2013.10.9 NHKおはよう日本

3



4

## CERN(セルン)研究所

- ・設立:1954年
- ・加盟国(=出資国): ヨーロッパ 21カ国
- ・年間予算: 約1,000 億円
- ・職員: 約2,500 人 (+ 1,500人)
- ・ユーザー: 約10,500人(世界67カ国から)
- ・主な発見: 中性流(1973),W/Zボソン(1983)
- ・1990年 WWWを発明した。 ←
- ・15年かけてLHC加速器を建設し、現在運転中。

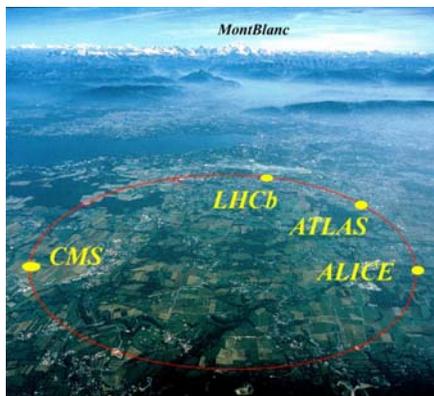
5



CERNの昔の映像 (http://cdsweb.cern.ch/record/809062 より抜粋)

6

## LHC (大型ハドロン衝突型加速器)@CERN



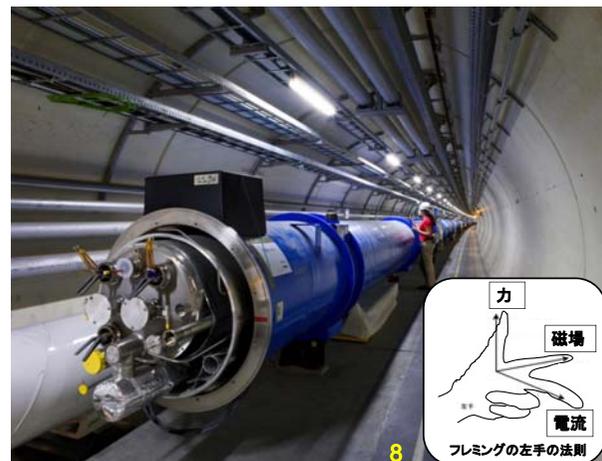
周長 27 km

主な実験装置  
ATLAS  
CMS  
ALICE  
LHCb

計画承認 : 1994年  
建設完成 : 2008年

建設コスト~1兆円

7



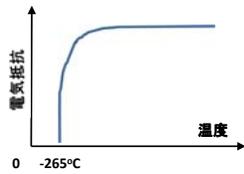
8



LHC加速器に使われた超伝導ケーブル  
組成: Nb+Ti+Cu, 13,000アンペアの電流を通す。 9

## 超伝導とは

金属を冷やしていくと電気抵抗が突然**ゼロ**になる現象  
(1911年に発見された)



大電流を流すことができる

強い磁場を作る

高いエネルギーの粒子を曲げる

超伝導の応用:

・リニアモーターカー



・磁気共鳴画像(MRI)



10



11



1995年6月23日に日本によるLHC建設協力を表明。

1995年6月	50億円	} 総計138.5億円
1996年12月	38.6億円	
1998年5月	50億円	

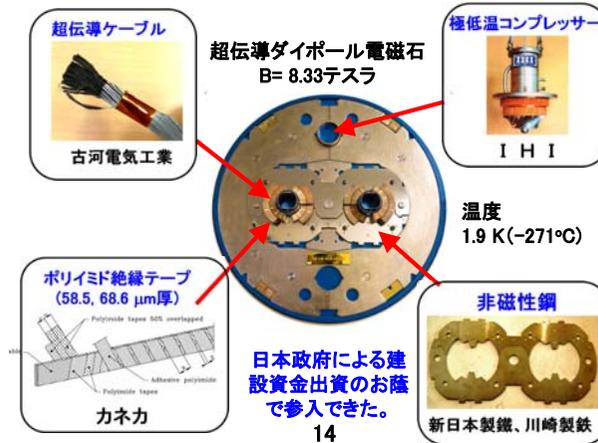
12

## LHC建設に貢献した主な日本企業

古河電気工業	超伝導ケーブル(*)	
新日鉄製鉄	超伝導マグネット用非磁性鋼(*)	
川崎製鉄	超伝導マグネット用非磁性鋼(*)	
東芝	収束用超伝導四極電磁石(*), ソレノイド	
カネカ	超伝導ケーブル用ポリイミド絶縁材(*)	
IHI	低温ヘリウムコンプレッサー(*)	
浜松ホトニクス	シリコン飛跡検出器, 光電子増倍管など	
川崎重工業	カロリメーター用低温容器, 鉄構造体	
林栄精器	ワイヤーチェンバー	
クラレ	シンチレーティングファイバー	
有沢製作所	銅箔ポリイミド電極シート	
東芝、ソニー	電子回路用特殊チップ	

(\*) 日本の協力資金で製造したもの

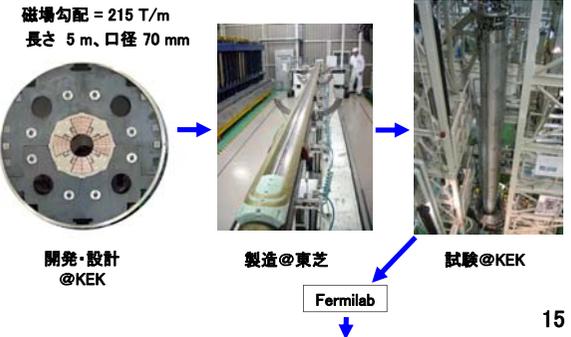
浜松ホトニクス 13



14

## ① LHC衝突点用超伝導四極マグネット

陽子ビームを約10ミクロンに絞りこむ。KEKが技術開発し東芝が製造した。



15



アトラス実験の衝突点近くに設置された超伝導四極マグネット

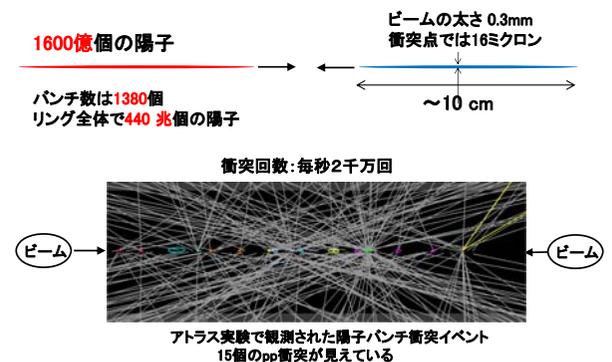
16



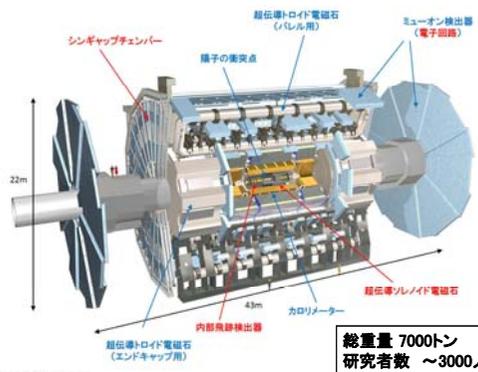
野田聖子 科学技術特命担当大臣(当時)による視察  
2009年5月3日 @Point-1

17

## 陽子ビームバンチの形状と衝突



18



赤は日本の分担部を示す

アトラス実験装置

総重量 7000トン  
研究者数 ~3000人  
総工費 ~500億円  
日本の分担 ~7%

アトラス超伝導ソレノイド:KEK・東芝



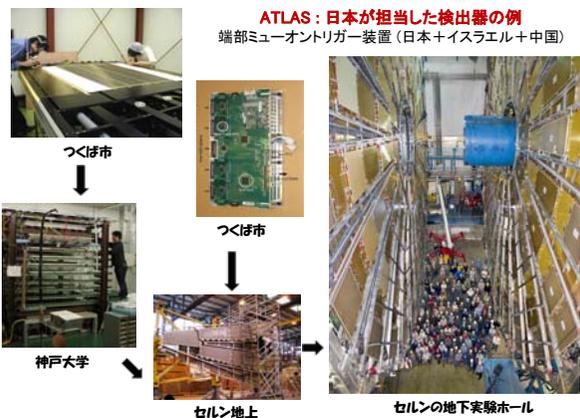
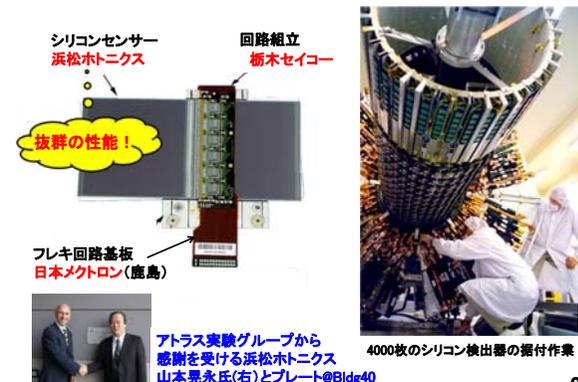
[http://atlas.kek.jp/sub/video/20140419\\_coilInsertion.mp4](http://atlas.kek.jp/sub/video/20140419_coilInsertion.mp4)

動画:TGC型ワイヤーチェンバーの製造@KEK



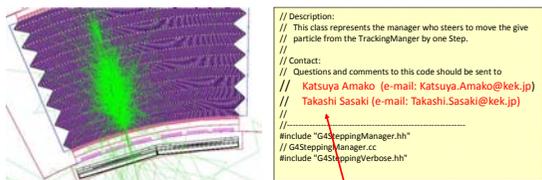
[http://atlas.kek.jp/sub/video/20140419\\_TGCconstruction.mp4](http://atlas.kek.jp/sub/video/20140419_TGCconstruction.mp4)

日本・英・米などで設計製造されたシリコン飛跡検出器



基本ソフト Geant4 (ジアント4)

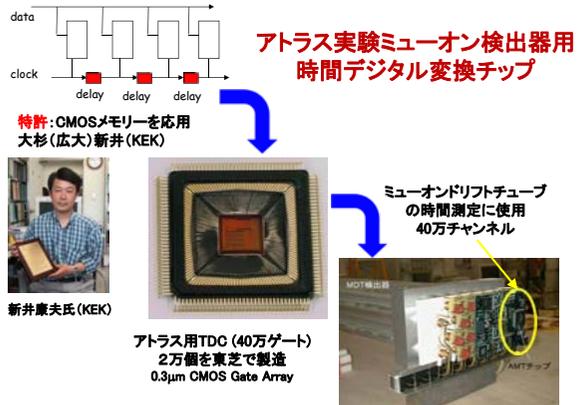
- 粒子と物質の相互作用を記述する世界標準シミュレーションソフト
- 1994年にCERNと日本などが協力開発に合意。1998年に完成



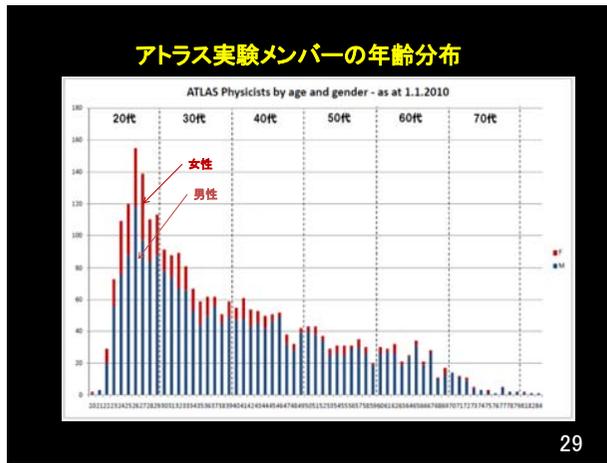
電磁シャワーのシミュレーション

基本ソフトのあちこちに日本人研究者の名前が載っている! (ソース公開)

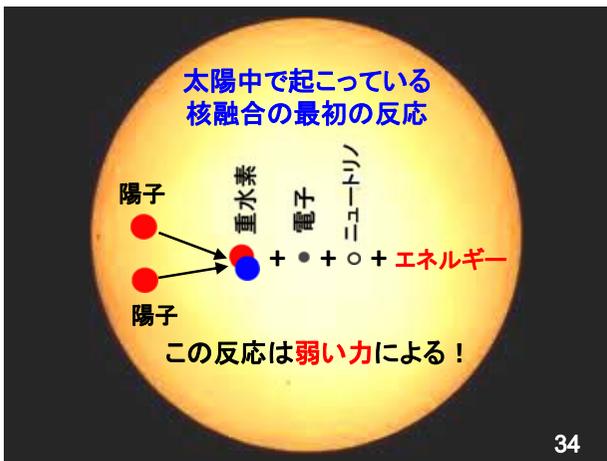
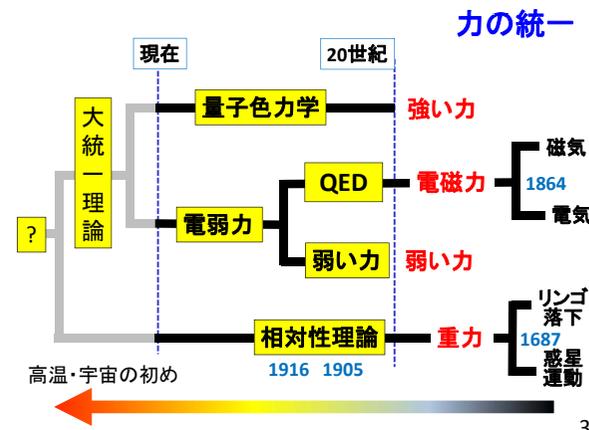
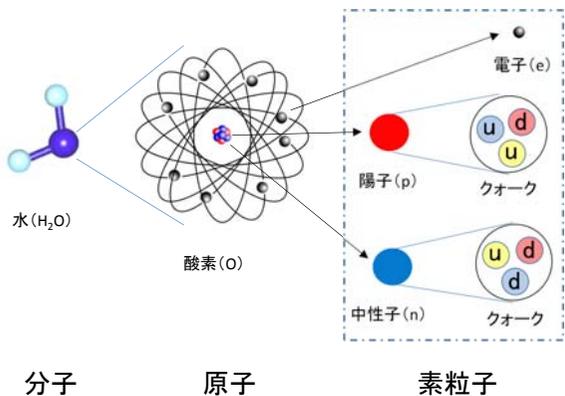
このソフトは素粒子のみならず宇宙や医学など広く応用されている!



建設中のアトラス実験装置 2005年11月



なぜヒッグス粒子の発見が  
そんなに重要なのか？



古典電磁気学 (Maxwell方程式) → 量子力学 → 量子電磁力学(QED)

朝永・ファインマン・シュビンガー (1965)

朝永振一郎らによるくりこみ理論が成功した。

例: 電子の異常磁気能率

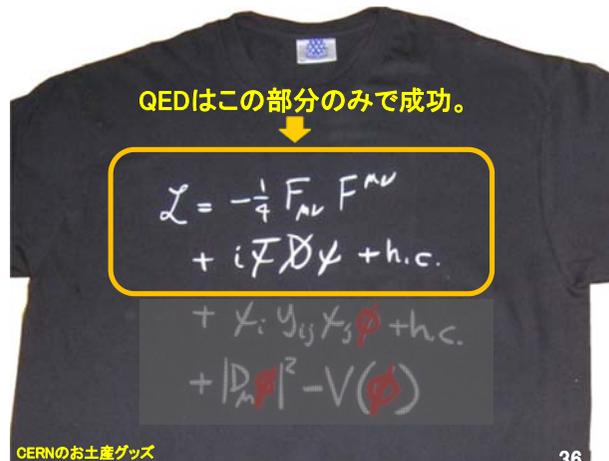
$$a_e \equiv \frac{g-2}{2} = 0.00115965218085 \text{ (実験値)}$$

$$= 0.00115965218870 \text{ (理論値)}$$

100億分の1の精度で一致！

この根本原理には局所ゲージ不変性がある。  
(内部座標の回転に対し物理法則が不変)

Very good



### 質量問題

素粒子	記号	理論予想 (上の2行のみ)	実験値
光子	$\gamma$	0	0
電子	e	0	0.00051 GeV
アップクォーク	u	0	0.002 GeV
ダウンクォーク	d	0	0.005 GeV
トップクォーク	t	0	173.1 GeV
W粒子	W	0	80.4 GeV

(GeV=10億電子ボルト)

南部陽一郎 自発的対称性の破れ (1959) 2008

2008

2013

ヒッグスメカニズムの提案 (1964)

R.プロウト F.アンブレール P.ヒッグス

電弱理論の提案 (1967) S.ワインバーグ A.サラム

1979

38

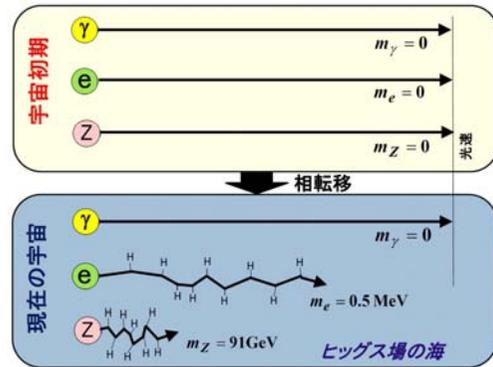
弱い力の運動方程式

弱い力を持つヒッグス場  $\phi$  が必要

$$\mathcal{L} = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + i\bar{\psi}\not{\partial}\psi + h.c. + \bar{\psi}_i \gamma_{ij} \psi_j \phi + h.c. + |D_{\mu}\phi|^2 - V(\phi)$$

CERNのお土産グッズ

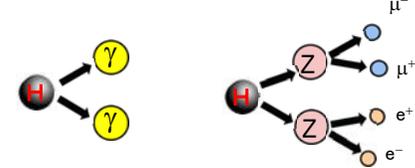
39



ヒッグス場の海があればヒッグス粒子があるはず  
1964年の理論による予言 ← 50年前！

### ヒッグス粒子の探索法

- ヒッグス粒子の質量は不明。
- 頻度と崩壊が予言できる。2つの有力チャンネルは

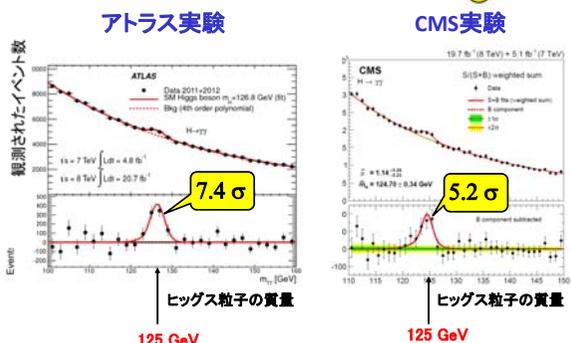


### ヒッグス粒子探し～ Look for a needle in a haystack

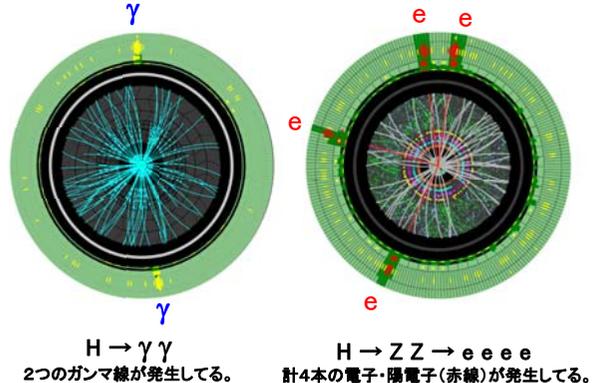


これまで3000兆回の陽子・陽子衝突を調べたら

### ヒッグス粒子の発見: (1) $H \rightarrow \gamma\gamma$



### ヒッグス粒子の候補イベント例



2012年7月4日 CERNはヒッグス粒子(らしきもの)を観測したと発表

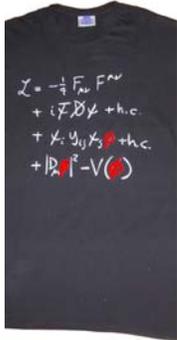
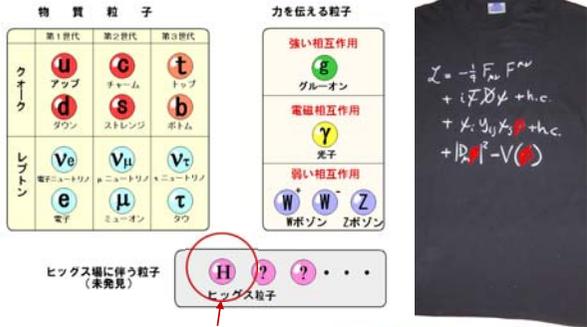
ここに [http://atlas.kek.jp/sub/video/CERN-MOVIE-2012-110\\_digest.mov](http://atlas.kek.jp/sub/video/CERN-MOVIE-2012-110_digest.mov) を貼り付ける。

and the rest of the community following live from physics institutes all over the world.

(<http://cdsweb.cern.ch/record/1462525> より抜粋)

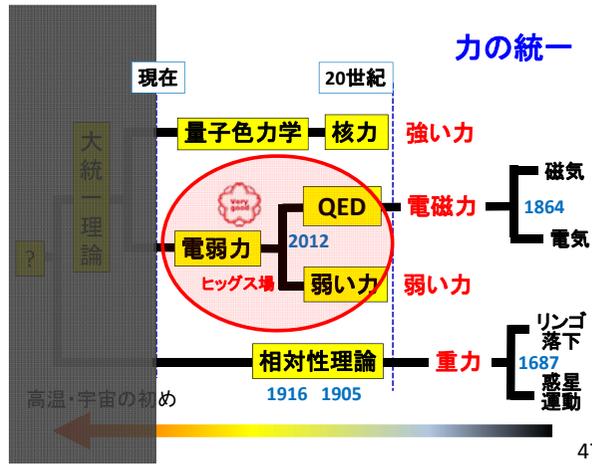
45

# 素粒子の「標準モデル」の完成!



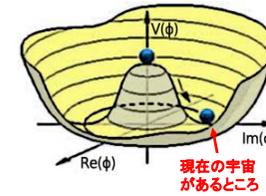
最後のあるべき粒子が見つかった!

# 力の統一



をあげたけど.....

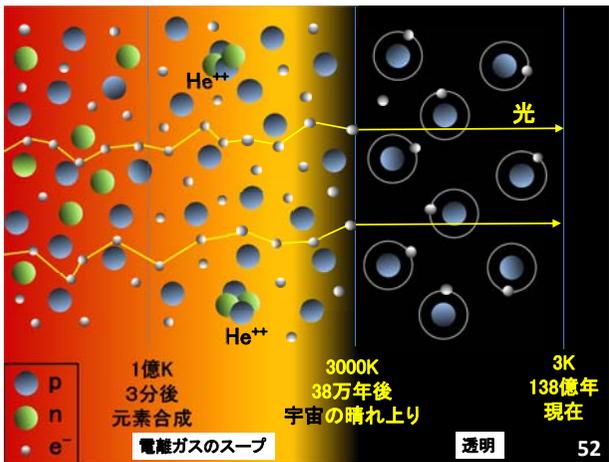
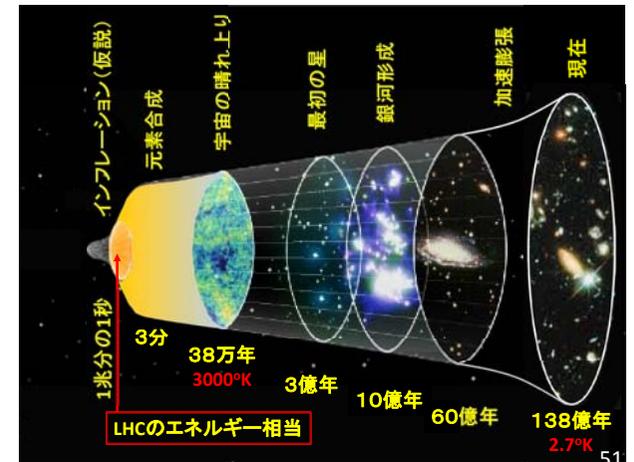
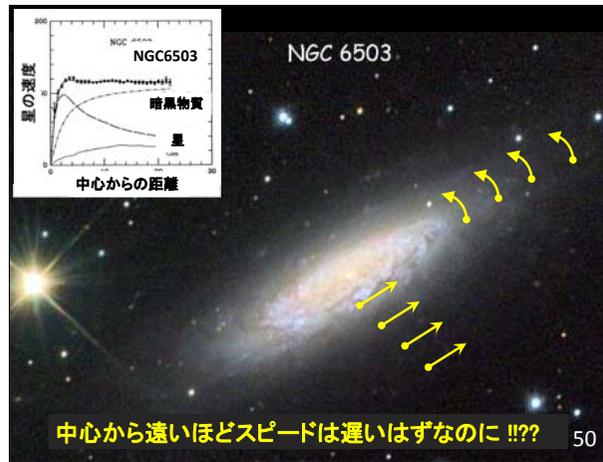
なぜヒッグス場の海が存在するのか  
まったくわかっていない!



ヒッグス粒子発見後に  
取ったデータも含め全  
ての現象は標準モデル  
によく合致している。

はずれがない!  
面白みが少ない?

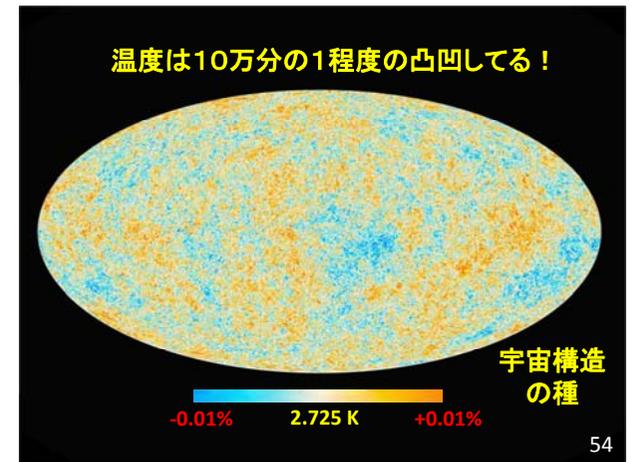
# 超対称性粒子 と 暗黒物質 (ダークマター)



# 宇宙マイクロ波背景放射の最新観測



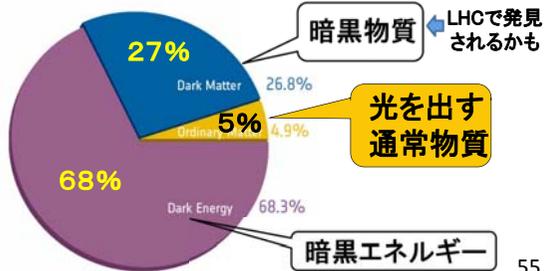
温度は10万分の1程度の凸凹してる!



プランク衛星のデータ解析の結果:

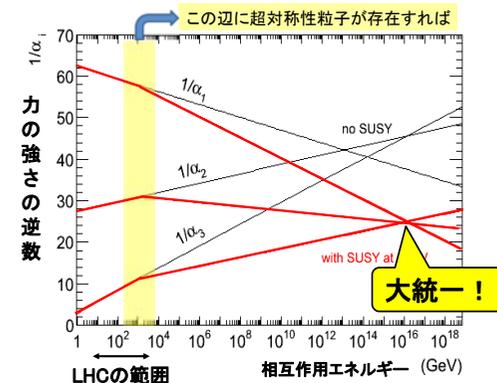
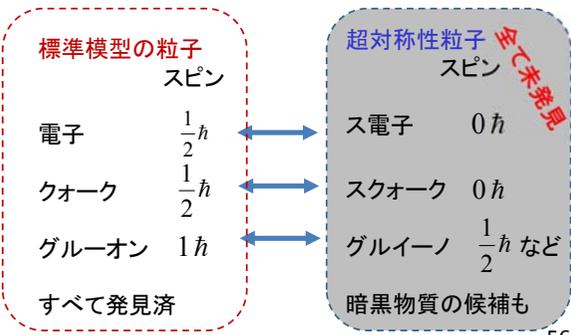


- (1) 宇宙の年齢  $138.17 \pm 0.48$  億年
- (2) 全宇宙のエネルギー・物質分布



### 超対称性粒子とは

クォークや電子などとスピンの半整数異なる粒子

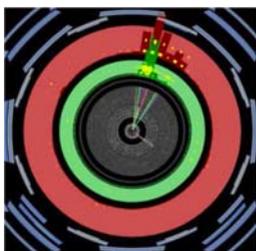


$\alpha_3$ (強い力)  $\alpha_2, \alpha_1$ (電弱力の2つの力)

超対称性粒子が  
 LHC実験で見つかるはず

- ① 3つの力が大統一できる。
- ② ヒッグス粒子が安定する。
- ③ 暗黒物質の有力候補である。

と理論屋が期待したが、



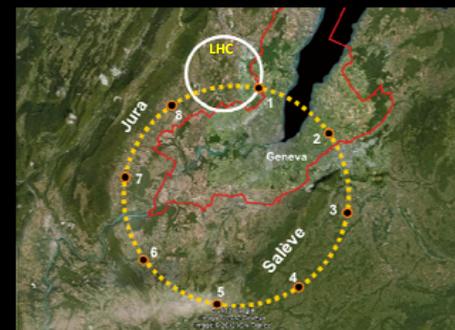
暗黒物質が発生すれば  
 こんな感じになる。

これまでのLHC実験では全く存在の兆候なし!  
 大きな期待の陰に悲観論が少しづつ台頭しつつある。

### 今後のCERN

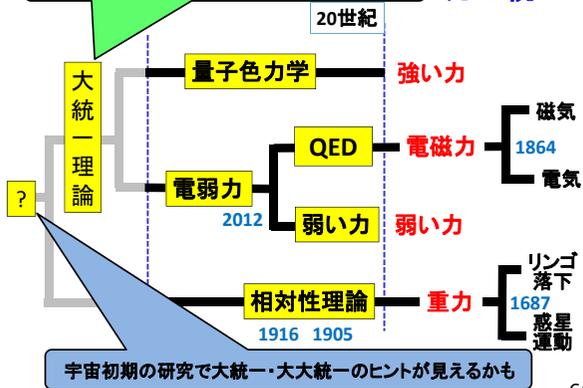
- ・ この2年間LHC加速器を修理した。衝突エネルギーを  $6.5+6.5=13$  TeVに上げた。来週から実験を再開する。
- ・ ヒッグス粒子の性質をさらに詳しく調べつくす。
- ・ 超対称性粒子や暗黒物質の探索を続ける。
- ・ LHCは2023年頃に輝度を上げ2035年まで運転する。
- ・ 周長100kmのFCCの設計を行う。
- ・ 2018年に欧州戦略会議でCERN将来計画を決定する。

### FCC(Future Circular Collider)計画



周長100km, 100TeV(pp) 基本設計中

超対称性粒子があると大統一が可能になるかも  
 力の統一



まとめの代わりに.....



LHC/日本グループの広報ページ:

<http://atlas.kek.jp>

には日本語で発表・解説・写真・ムービー・記録・報道・歴史などの数多くのリンク先が載っていますのでご利用ください。

この講演ファイルは  
[http://research.kek.jp/people/kondo/myDocuments/JCGshoko\\_bunka\\_20150528.pdf](http://research.kek.jp/people/kondo/myDocuments/JCGshoko_bunka_20150528.pdf)  
 にあります。

## テスト

1. 自然界には強い力・電磁力・・重力の4つの力が存在する。それぞれグルーオン・・WとZ粒子・グラビトンが力を伝える。このうちWとZ粒子のみが質量を持つ。
2. クォークは種類あり強い力をもつ。電子などレプトンも6種類ある。陽子は  $u + \text{} + d$ 、中性子は  $u + d + d$  の3クォークから出来ている。
3. LHCは技術で史上最高エネルギーの13兆電子ボルトを実現した。
4. 素粒子の質量は場が作りだす。その存在の証拠である粒子が2012年にCERNで発見された。
5. 宇宙の年齢は億年で、その組成は通常物質が%、物質が27%、暗黒エネルギーが68%である。
6. 暗黒物質は、ヒッグス粒子の発見で完成したモデルでは説明できない。LHCで発見されるかもしれない。