

# 質量起源のヒッグス粒子を探して

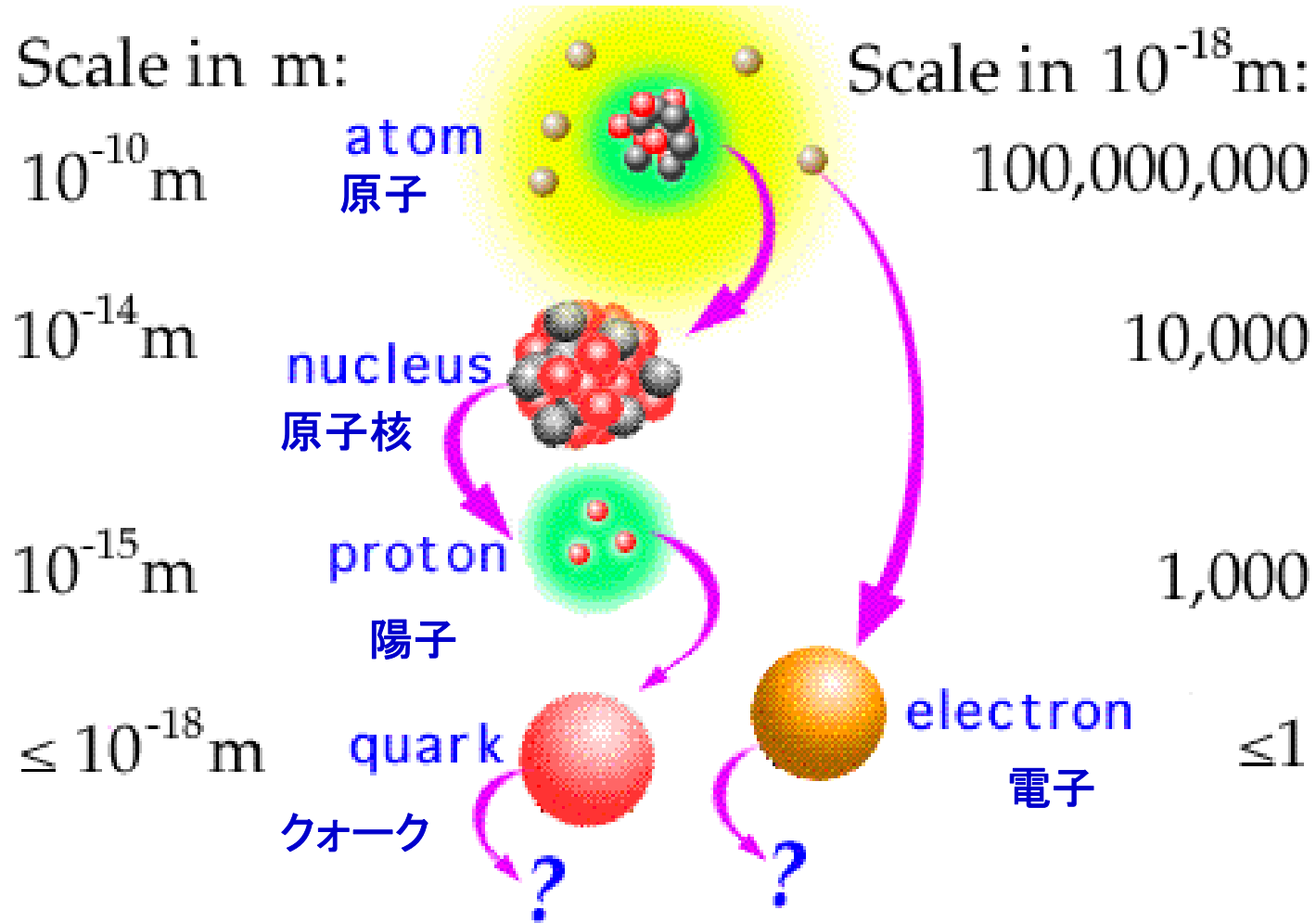
金 信弘

筑波大学大学院数理物質科学研究科物理学専攻  
理工学群物理学類

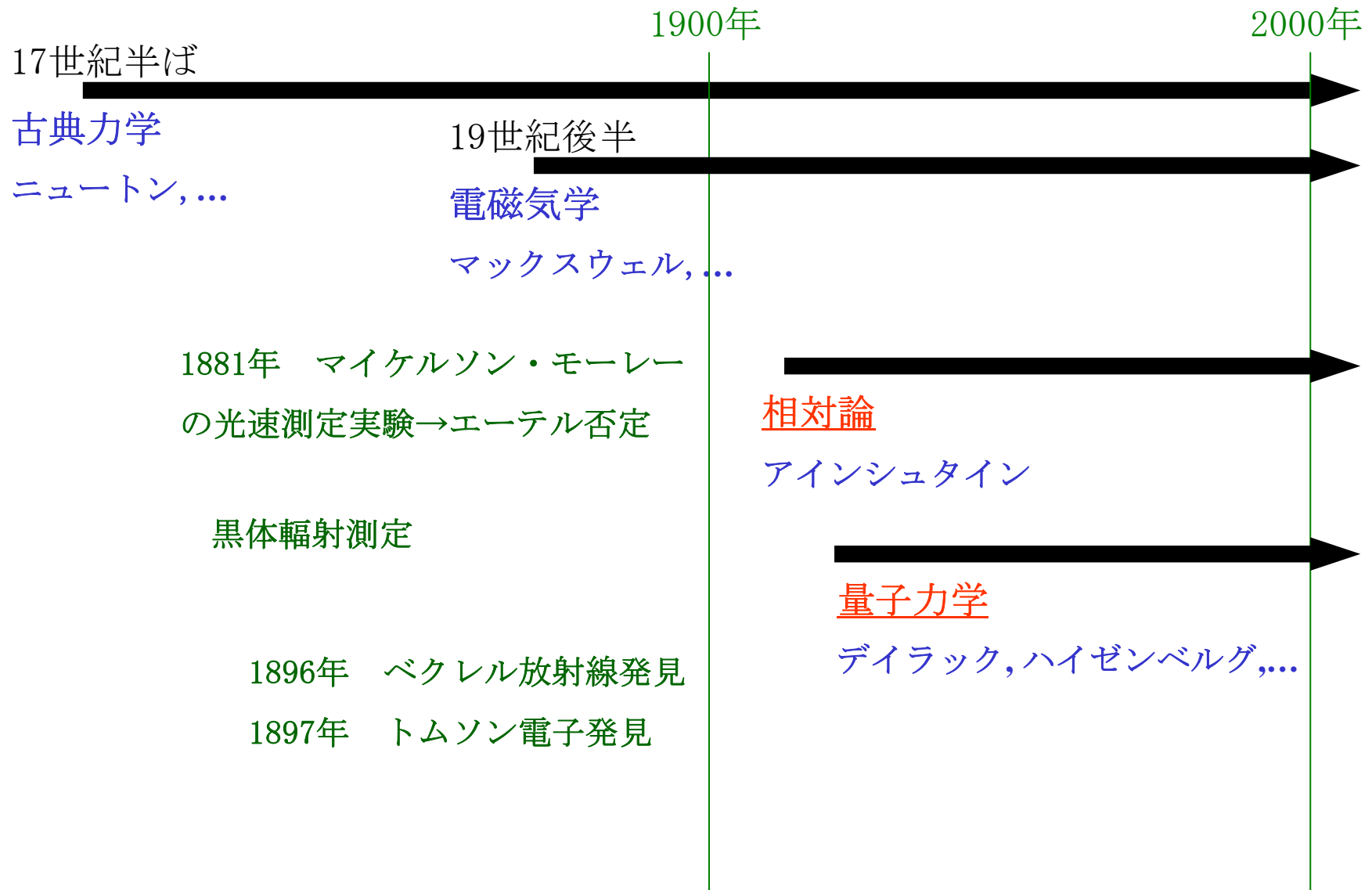
平成20年度KEK公開講座「加速器科学の新展開」  
於筑波大学春日キャンパス  
2008年10月25日

- はじめに
- 高エネルギー陽子・反陽子衝突実験(テバトロンCDF実験)  
トッブクォークの発見  
ヒッグス粒子の探索
- 高エネルギー陽子・陽子衝突実験(LHC ATLAS実験)
- 今後の展望

# 素粒子とは？



# 物理学発展の歴史



# 素粒子物理学の歴史

〜BC4c. 「物質はすべて均質で不可分のA-TOM [原子] からできている。」  
古代ギリシャ自然哲学者デモクリトス

19〜20c初め 物質の構成要素である原子の発見。

1900

1897年：電子の発見 (J. J. Thomson)

1905年：特殊相対論 (A. Einstein)  
前期量子論 (M. Planck, N. Bohr)

1911年：原子の構造＝原子核＋電子 (E. Rutherford)

1913年：一般相対論 (A. Einstein)

1913年：陽子の発見 (E. Rutherford)

量子力学 (W. Heisenberg, E. Schrodinger, P. Dirac)

1932年：中性子の発見 (J. Chadwick)

1933年：陽電子の発見 (C. Anderson)

1935年：中間子論 (湯川秀樹)

1937年： $\mu$  粒子の発見 (C. Anderson)

1950

1948年：量子電磁力学QED (くりこみ理論)  
(朝永振一郎, R. Feynman, J. Schwinger)



# 朝永振一郎

(ともなが しんいちろう)



1906年3月31日

東京小石川生まれ

1965年 **ノーベル物理学賞**

素粒子物理学

(湯川秀樹に続き、日本で2番目)



1941年～ 東京文理科大学

(現:筑波大学)教授

1956-1962年 東京教育大学

(現:筑波大学)学長

# 日本のノーベル物理学賞

1949 湯川秀樹

核力の研究と中間子の予言

1965 朝永振一郎

量子電気力学

1973 江崎玲於奈

半導体のトンネル効果

2002 小柴昌俊

天体物理学と宇宙ニュートリノ

2008 南部陽一郎

自発的対称性の破れ

益川敏英

小林誠

粒子反粒子対称性の破れの起源





ふしぎだ"と"思うこと

これが科学の芽です

よく観察してたしかめ

そして考えること

これが科学の茎です

そして最後になぞがとける

これが科学の花です

朝永振一郎

# 素粒子物理学の歴史

- 1950 — 20c半ば：1947年の $\pi$ 中間子の発見を皮切りに多くのハドロン（中間子、バリオン）発見
- 1956年： $\nu_e$ の発見 (F. Reines)
- 1956年：反陽子の発見 (O. Chamberlain, E. Segre)
- 1960 — 1956年：パリティ保存則の破れ (T. D. Lee, C. N. Yan)
- 1961年：自発的対称性の破れ (南部)
- 1962年： $\nu_\mu$ の発見 (L. Lederman, M. Schwartz, J. Steinberger)
- 1964年：クォーク模型 (M. Gell-Mann, G. Zweig) SU(3) 3重項の u, d, sクォーク
- 1964年：CP保存則の破れの発見 (J. Cronin, V. Fitch)
- 1967年：電弱統一理論  
(S. Weinberg, S. Glashow, A. Salam)+QCD= **素粒子標準理論(1973年)**
- 1969年：パートン模型 (R. Feynman)
- 1969年：電子陽子深非弾性散乱=パートン模型で説明 (J. Friedman, H. Kendall, R. Taylor)
- 1970 — 1971年：Yang-Mills 場の理論はくりこみ可能 (G. 't Hooft)
- 1973年：クォーク3世代間の小林益川混合行列 (小林、益川)
- 1974年： $J/\psi(c\bar{c})$  の発見= $c$ クォークの発見 (S. Ting, B. Richter)
- 1976年： $\tau$  の発見 (M. Perl)
- 1976年： $\nu_\mu e \rightarrow \bar{\nu}_\mu e$  の発見 (Gargamelle Group)
- 1977年： $\Upsilon(b\bar{b})$  の発見= $b$ クォークの発見 (L. Lederman)
- 1980 — 1980年：グルオンジェットの発見 (at PETRA)



# 素粒子と素粒子間の力(素粒子標準理論)

## 物質を構成する粒子(フェルミオン)

### クォーク

アップ(0.002)	チャーム(1.3)	トップ(175)	電荷 2/3
ダウン(0.005)	ストレンジ(0.14)	ボトム(4.2)	- 1/3

### レプトン

電子(0.0005)	ミュー粒子(0.106)	タウレプトン(1.8)	- 1
電子ニュートリノ $\nu_e$	ミューニュートリノ $\nu_\mu$	タウニュートリノ $\nu_\tau$	0

## 力を伝える粒子(ゲージボソン)

### 強い力

グルオン(0)

### 電磁気力

光子(0)

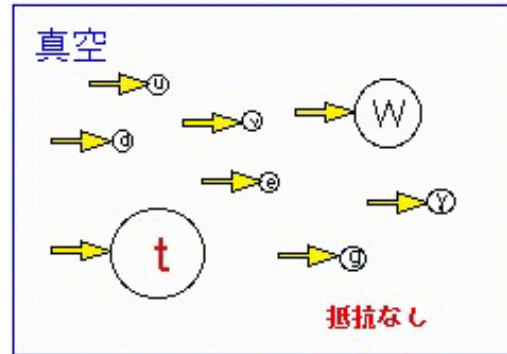
### 弱い力

W粒子(80)

Z粒子(91)

( )内の数字はGeVの  
単位で書かれた質量。  
1 GeV = 10<sup>9</sup>電子ボルト

# 質量の起源(ヒッグス機構)



標準理論の考え方

ビッグバン直後

真空から抵抗を受けないので粒子の質量は0。

ヒッグスポテンシャル

$$V(\phi) = \mu^2\phi^2/2 + \lambda\phi^4/4 \quad (\lambda > 0)$$

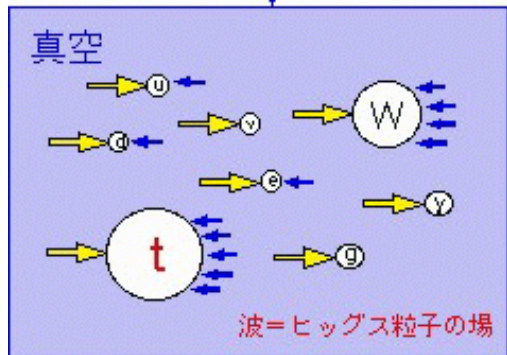
$\mu^2 > 0$  (ビッグバン直後)

真空の相転移(対称性の破れ)

$\mu^2 < 0$  (現在)

真空の相転移

宇宙が膨張するとともに冷え、水蒸気が水になるように真空中にヒッグス粒子の場が凝結する。



現在

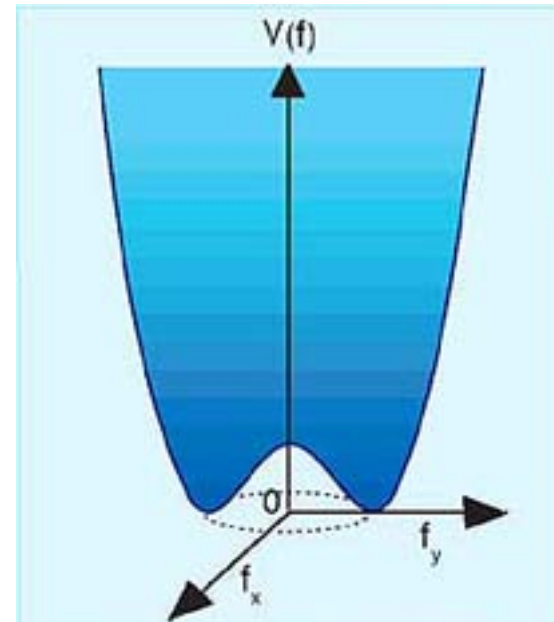
真空にはヒッグスが充滿している!

粒子を加速しようとする時、ヒッグスにぶつかる。

$$m(\text{質量}) = g(\text{衝突確率}) \times v(\text{ヒッグスの密度})$$

ぶつかりやすいほど重い!

→ 力      → 抵抗

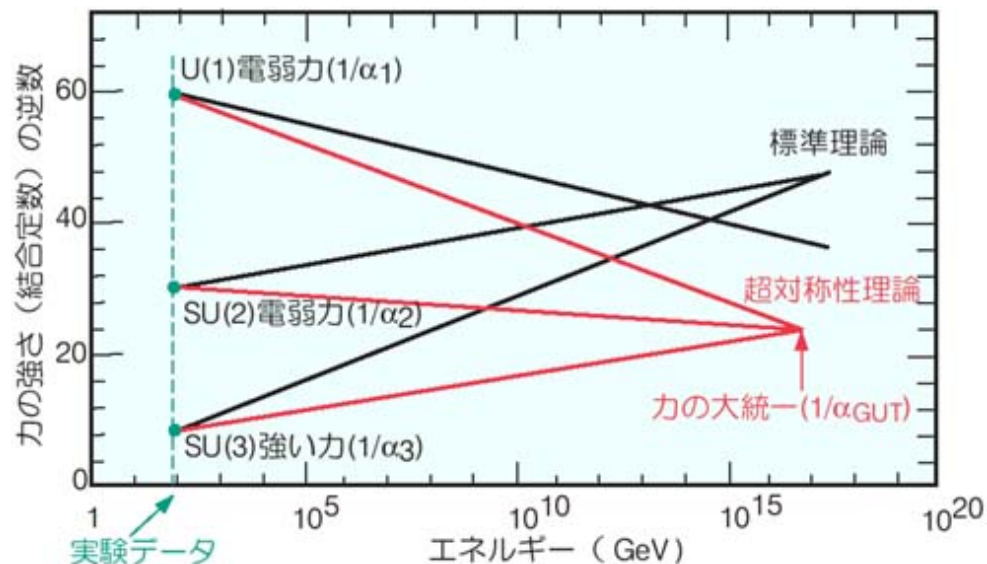


ヒッグスポテンシャル $V(\phi)$ : ヒッグス場が点線上任意の所で最小値0を持てるため(ヒッグスボソンの凝縮)、真空の対称性が破れてしまいます。

南部「自発的対称性の破れ」理論を基にしている標準理論の根幹となる仮説

## 大統一理論

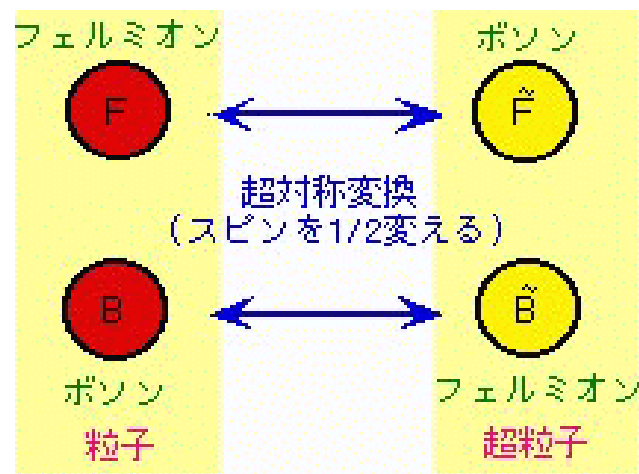
三つの力(電磁力、弱い力、強い力)は、宇宙創生直後の高温時には対称性が成り立ち、同一の力であった。それが冷えてきたときに対称性が破れて異なる力に見えるようになった。



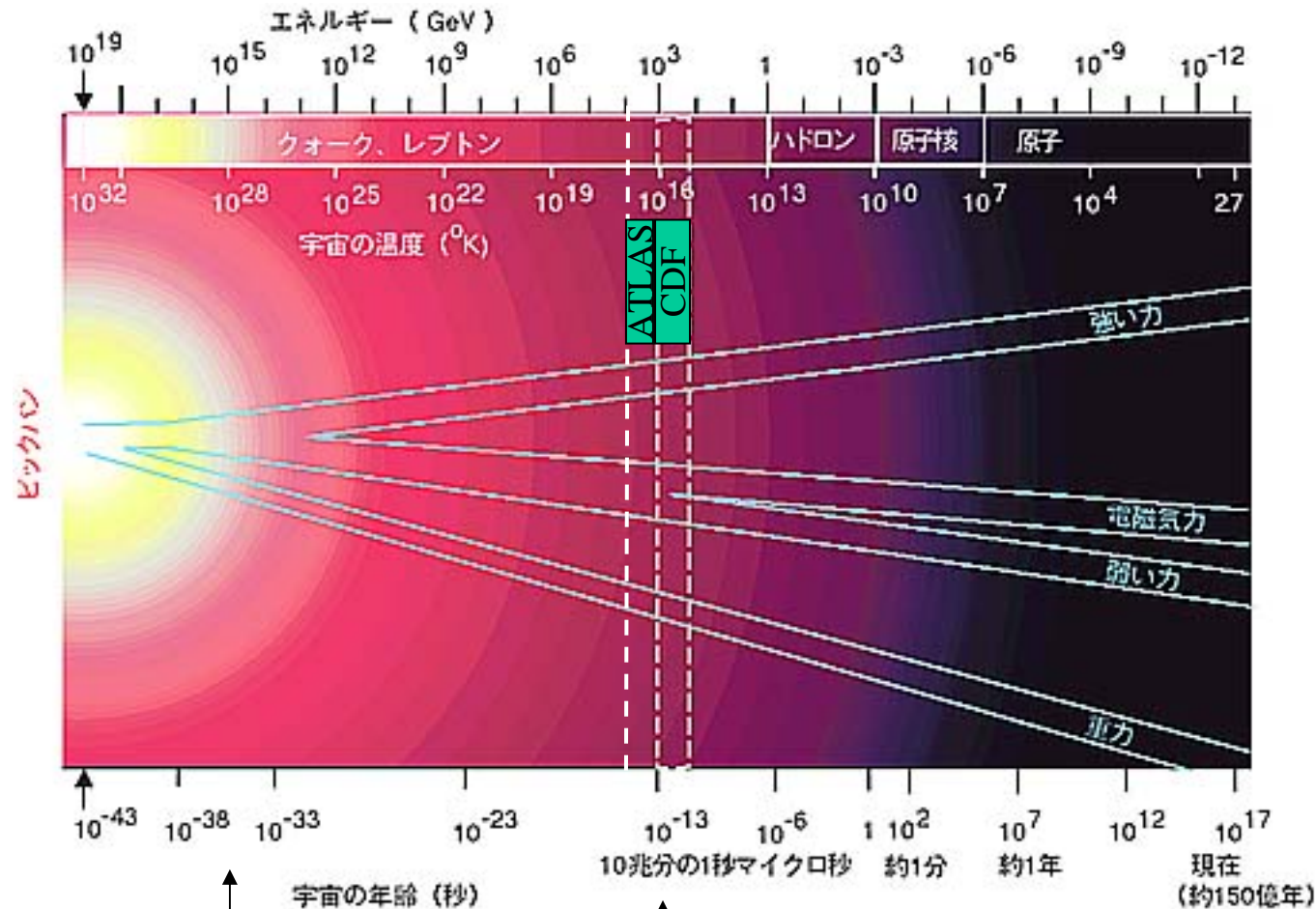
## 超対称性理論

すべてのフェルミオン(ボソン)には超対称粒子のボソン(フェルミオン)のパートナーが存在する。この超対称性を仮定すると、三つの力の統一がある高温状態で成り立つ。

この理論は有望であると考えられている。この理論が正しいければ、質量 $150\text{GeV}/c^2$ 以下のヒッグス粒子が存在するし、また標準理論で期待される以上のK中間子、 $\tau$ 粒子、B中間子の稀崩壊が起こる。



# ビッグバン宇宙と素粒子物理



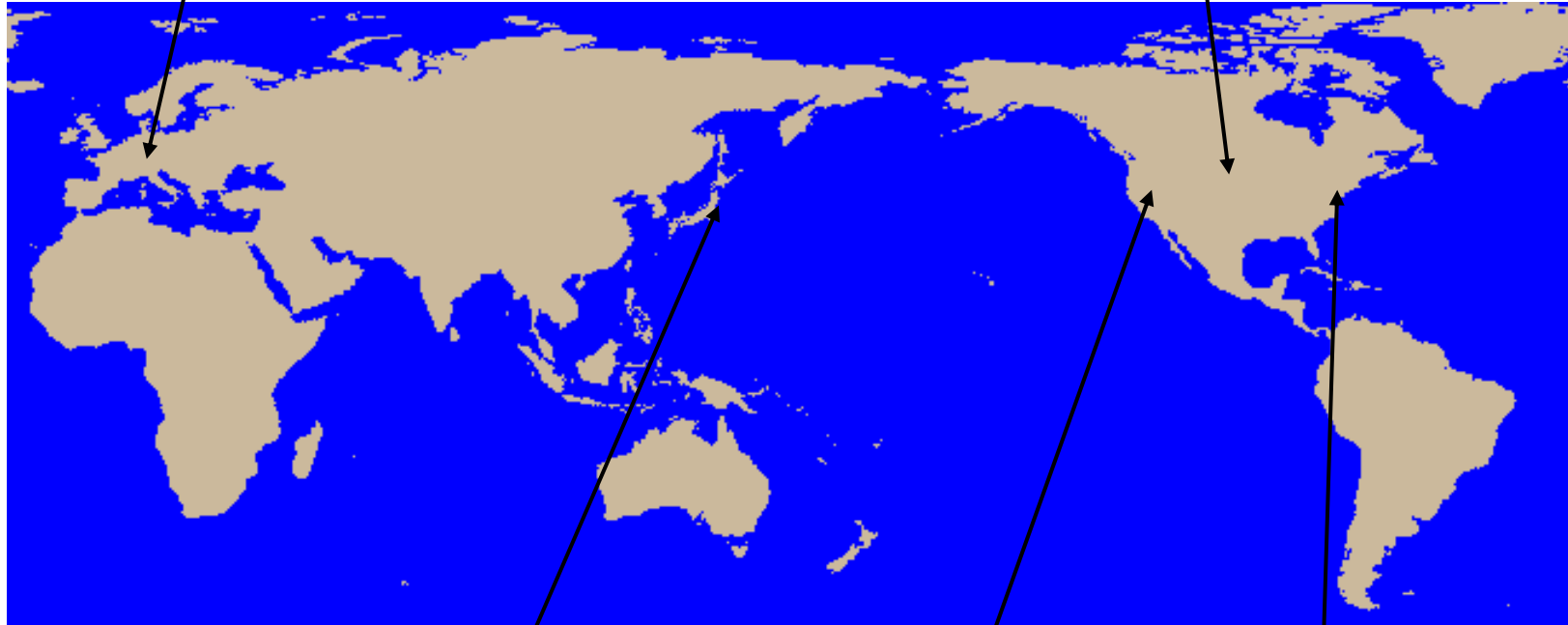
大統一理論  
真空の相転移  
粒子反粒子対称性の破れ

電弱統一理論  
ヒッグス粒子

# 主要な高エネルギー加速器研究所

欧州共同原子核研究所(欧) CERN

フェルミ国立加速器研究所  
(米国) FERMILAB



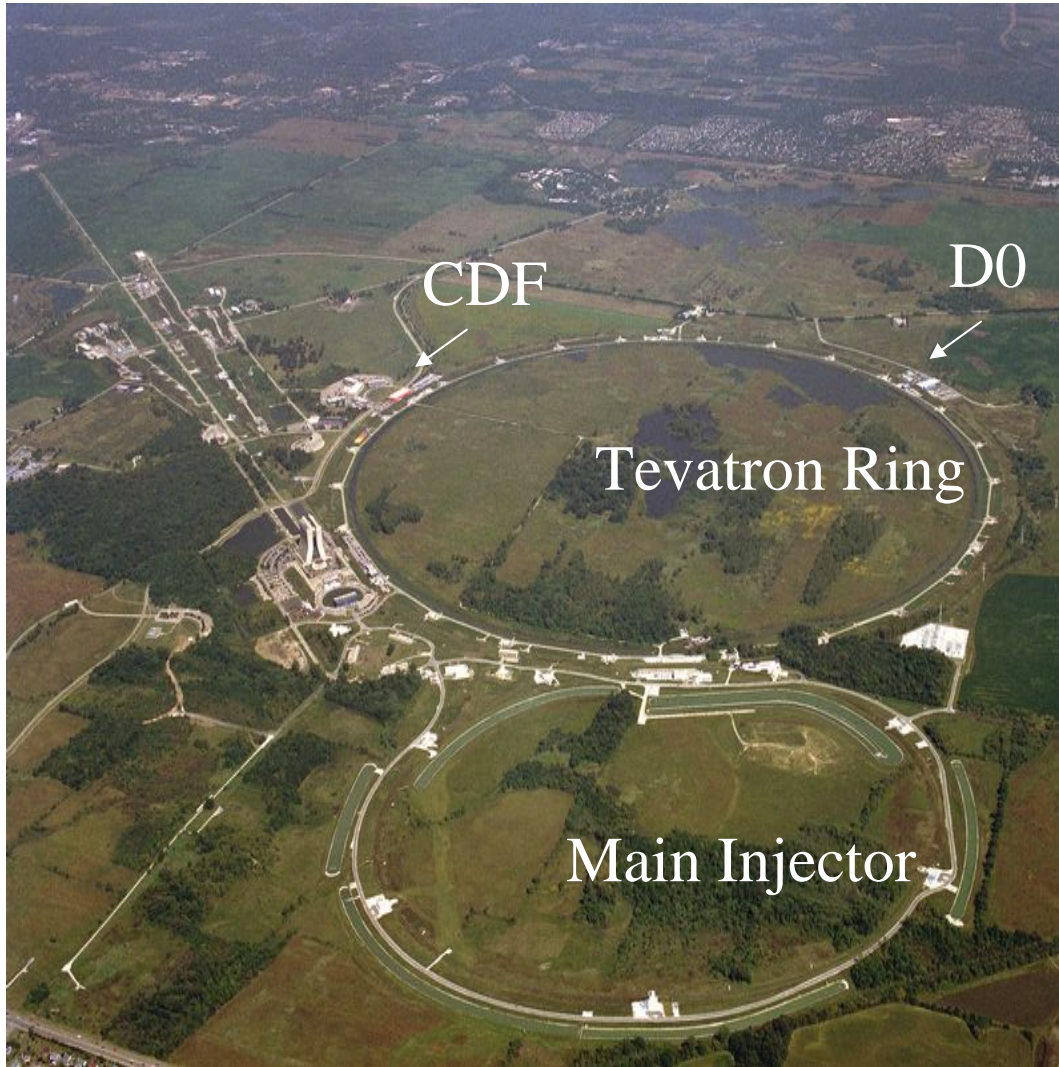
高エネルギー加速器研究機構(日本) KEK

ブルックヘブン国立加速器  
研究所(米国) BNL

スタンフォード線形加速器研究所(米国) SLAC



2TeV陽子・反陽子衝突実験(CDF実験、D0実験)  
米国フェルミ国立加速器研究所テバトロン加速器



米国シカゴ郊外の研究所。

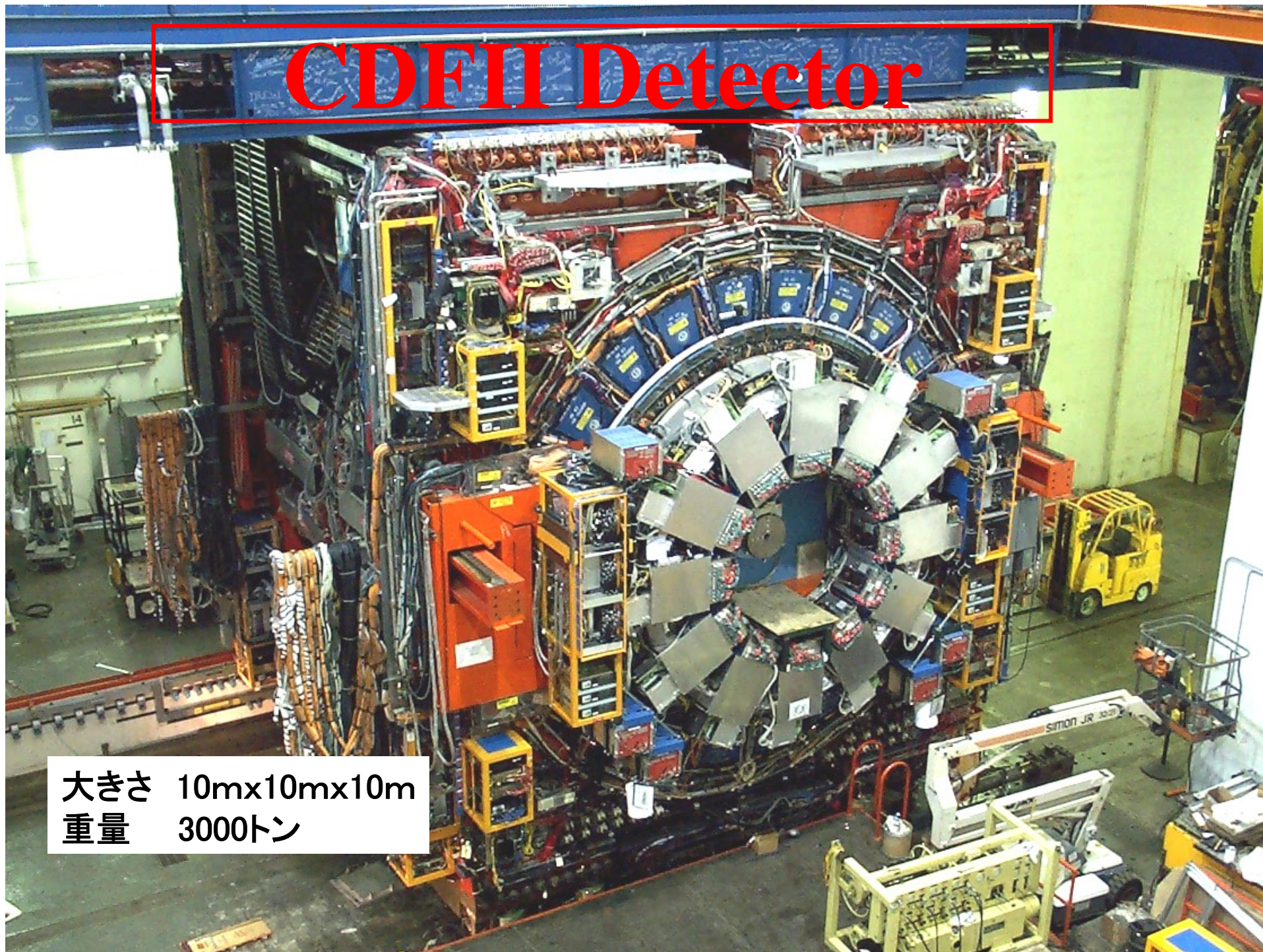
直径2kmの加速器。

陽子・反陽子衝突エネルギーが  
2TeV( $2 \times 10^{12}$ 電子ボルト)



# CDFII Detector

大きさ 10m x 10m x 10m  
重量 3000トン



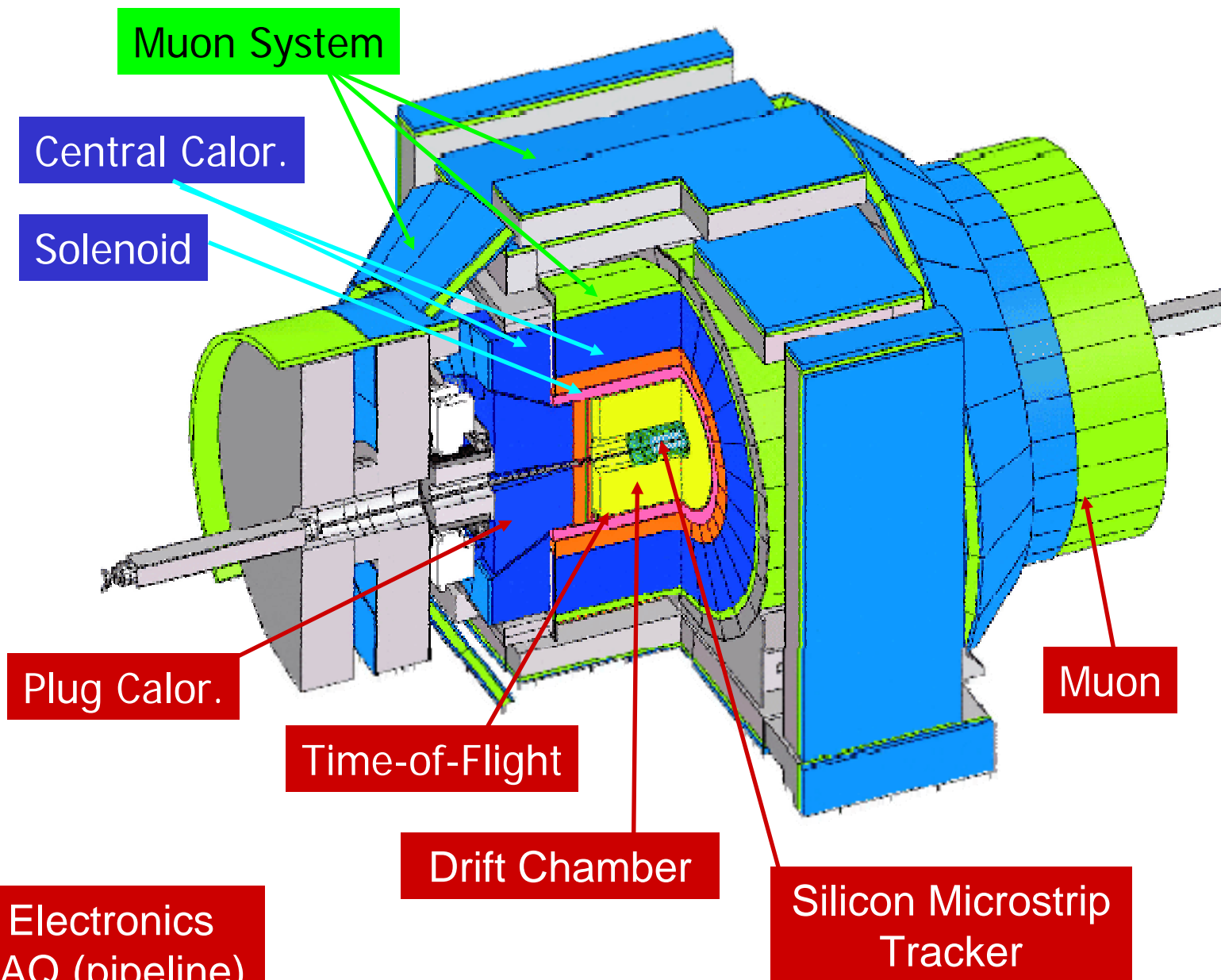




New

Old

Partially  
New



Plug Calor.

Time-of-Flight

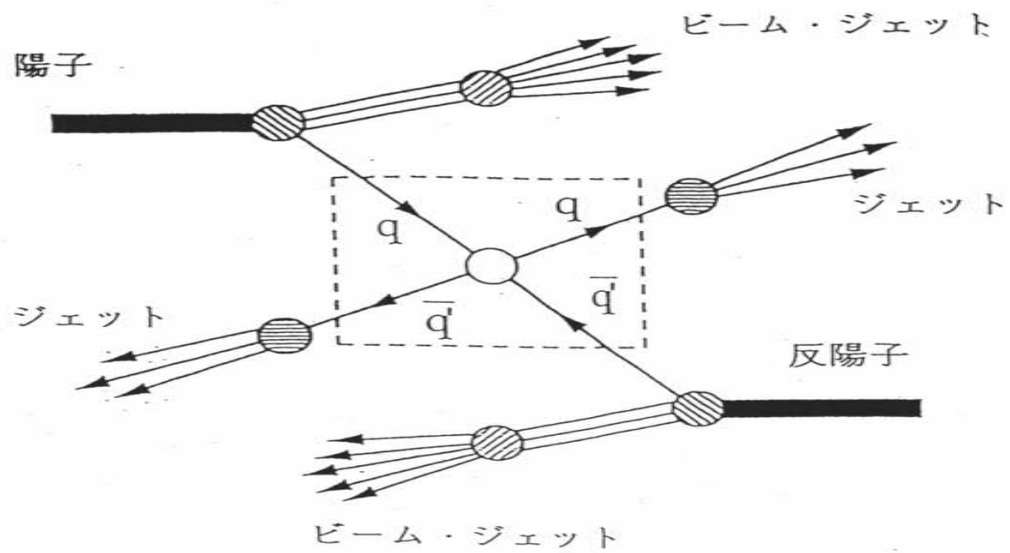
Drift Chamber

Silicon Microstrip  
Tracker

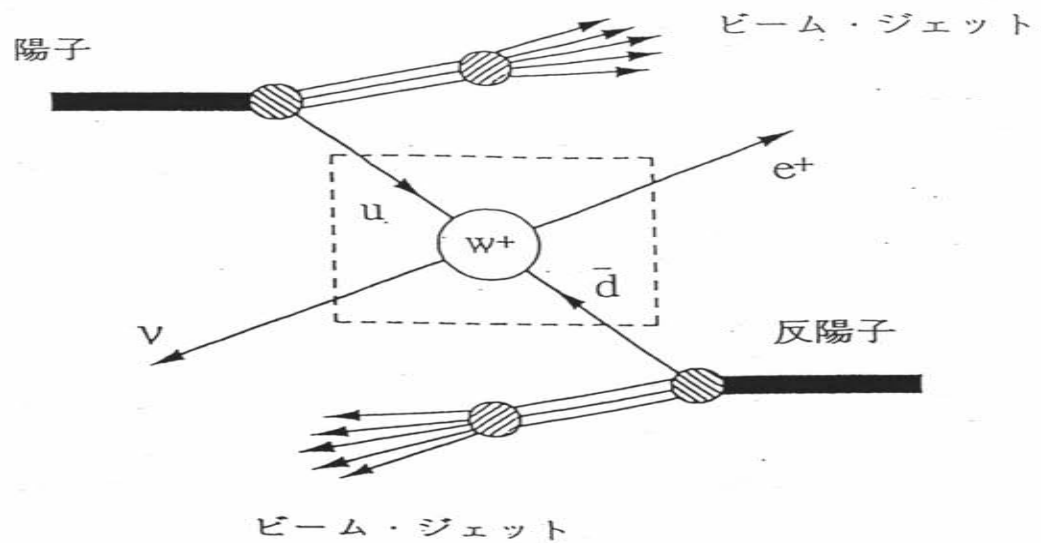
Muon

Front End Electronics  
Triggers / DAQ (pipeline)  
Online & Offline Software

(a)



(b)



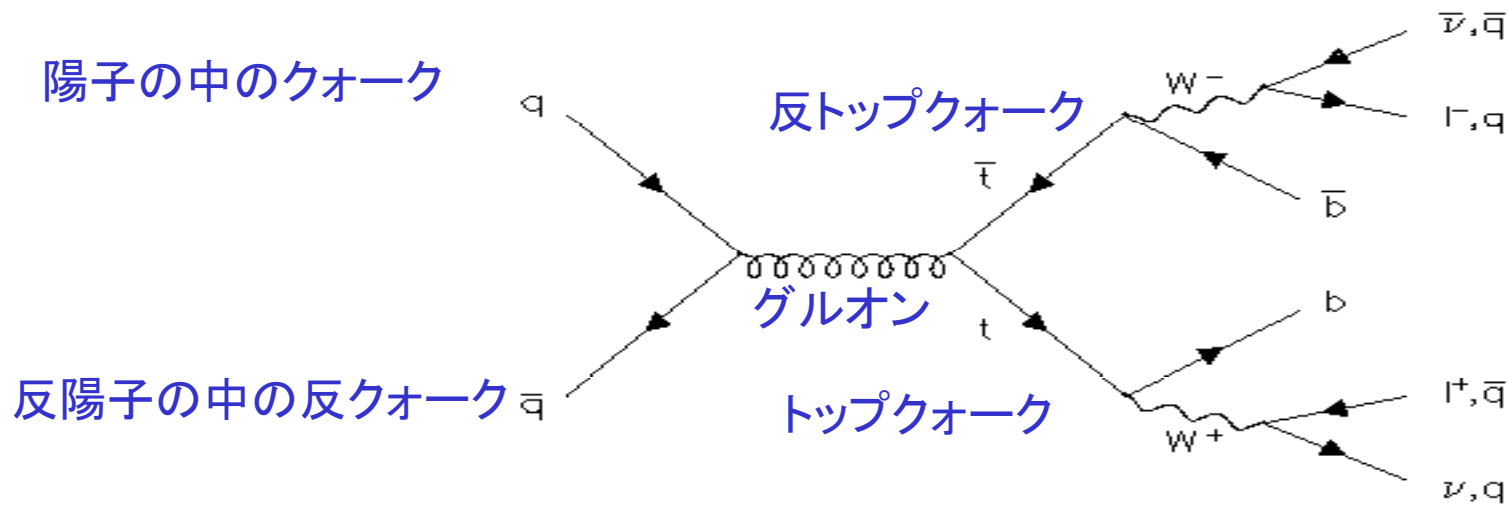
# CDF実験の経過と主要な成果

陽子・反陽子衝突実験(米国フェルミ国立加速器研究所)

- 1981年8月 CDF設計報告書  
(日米伊87名)
- 1985年10月 陽子・反陽子初衝突
- 1987年 テスト実験
- 1988年6月 物理実験(Run0)  
〜1989年5月
- 1992年4月 物理実験(Run1)  
〜1996年2月 (7カ国445名)
- 1994年 **トックオーク発見**
- 1998年  **$B_c$ 中間子発見**
- 2001年4月〜 物理実験(Run2)再開  
(12カ国600名)
- 2005年 **ヒッグス粒子の質量上限決定**
- 2006年  **$B_s$ 中間子の粒子反粒子振動  
の発見**



# トップクォーク対生成のファインマン図



- Dilepton チャンネル

$$t \bar{t} \rightarrow W^+ b W^- \bar{b} \rightarrow l^+ l^- \nu \bar{\nu} b \bar{b}$$

- ● Lepton + Jets チャンネル

$$t \bar{t} \rightarrow W^+ b W^- \bar{b} \rightarrow l^\pm \nu q' \bar{q} b \bar{b}$$

- Multi-Jets ( All Hadronic )チャンネル

$$t \bar{t} \rightarrow W^+ b W^- \bar{b} \rightarrow q' \bar{q} q' \bar{q} b \bar{b}$$

# トップクォーク候補事象の一例

## e + 4 jet event

40758\_44414

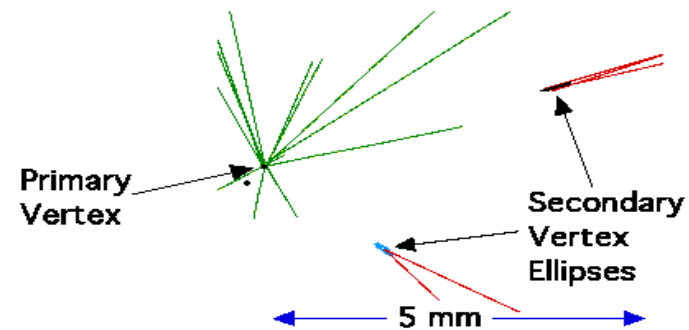
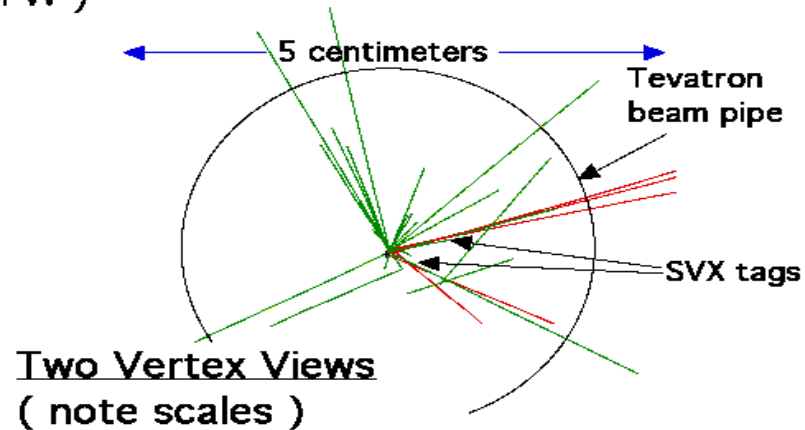
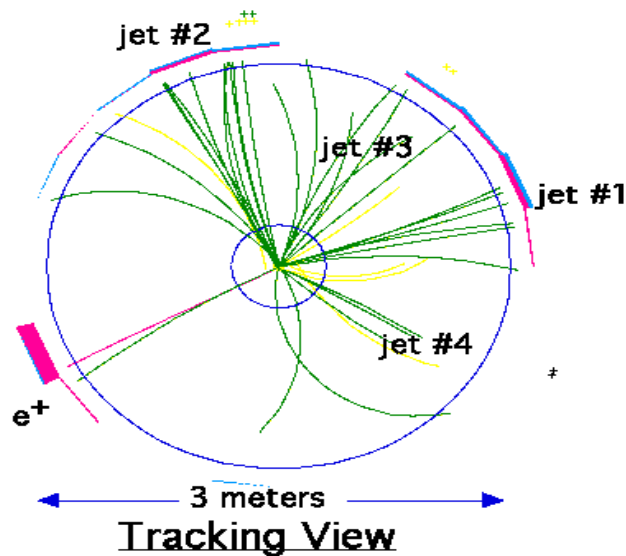
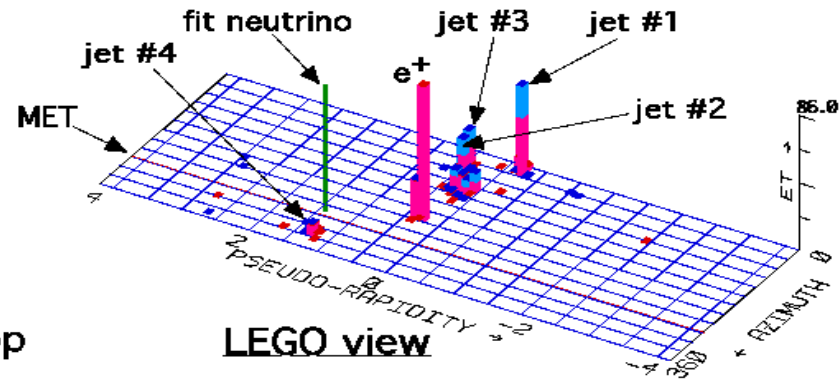
24-September, 1992

TWO jets tagged by SVX

fit top mass is 170 +/- 10 GeV

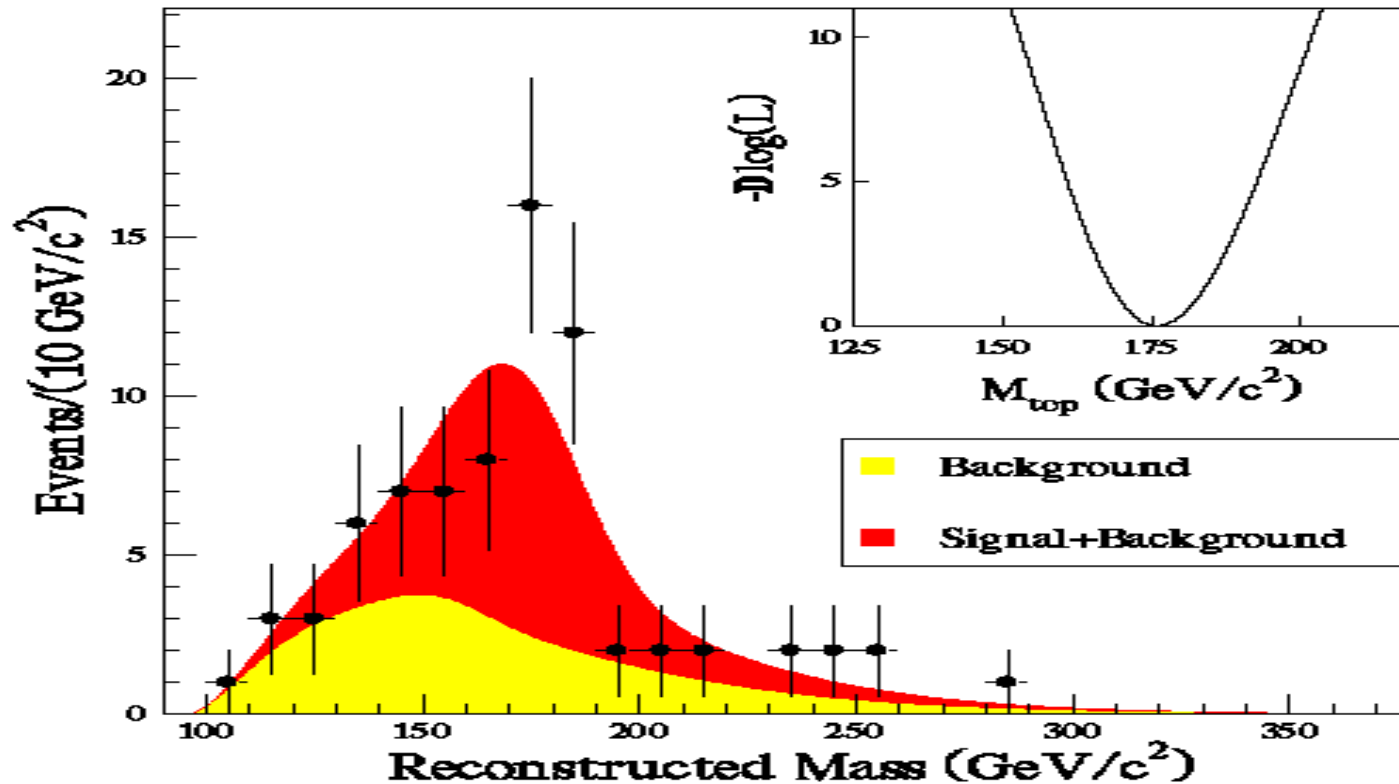
e<sup>+</sup>, Missing E<sub>T</sub>, jet #4 from top

jets 1,2,3 from top ( 2&3 from W )





# レプトン+4ジェット事象のトップクォーク質量分布: 76事象(4つのサブサンプルの和)



$$M_{\text{top}} = 175.9 \pm 4.8 \text{ (stat)} \pm 4.9 \text{ (syst)} \text{ GeV}/c^2 = 175.9 \pm 6.9 \text{ GeV}/c^2$$

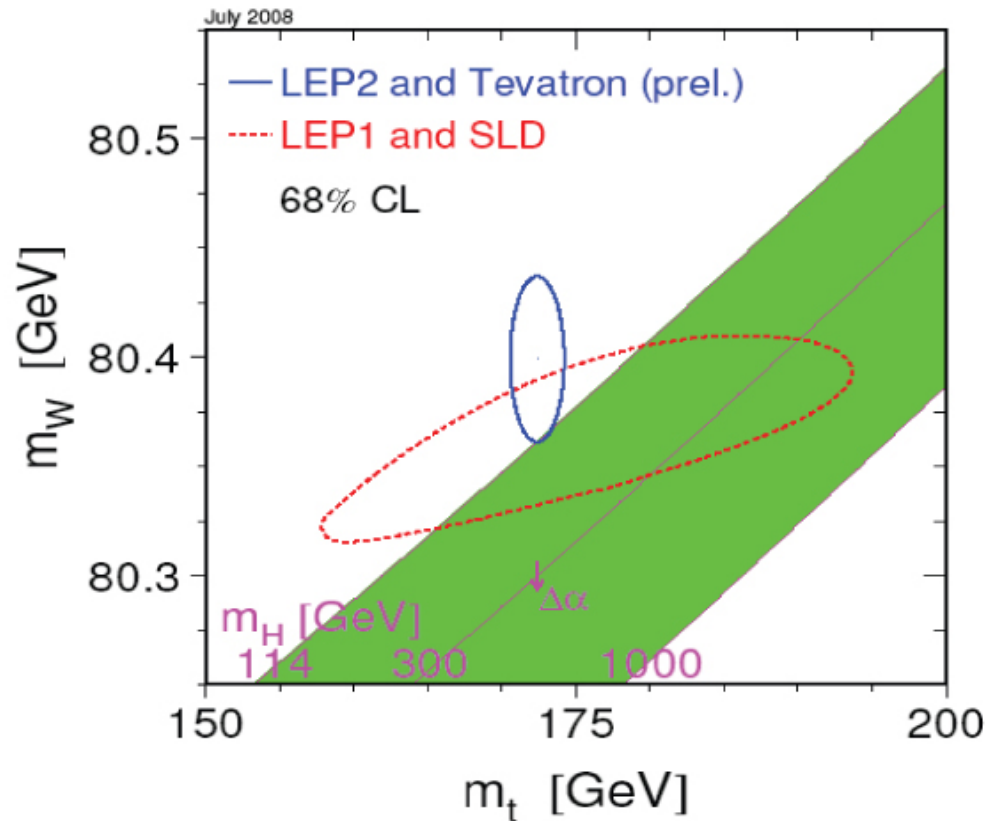
Combined CDF results ( all channels )

$$M_{\text{top}} = 176.1 \pm 6.6 \text{ GeV}/c^2$$

Combined Tevatron results ( CDF + D0 )

$$M_{\text{top}} = 174.3 \pm 5.1 \text{ GeV}/c^2$$

# トップクォーク質量測定による ヒッグス粒子の間接探索



質量の輻射補正計算より、ヒッグス粒子の質量はトップクォークの質量とWボソンの質量に左図のように関係づけられる。  
トップとWの質量測定→ヒッグスの質量決定

テバトロン実験：世界最高エネルギー  
2TeVの陽子・反陽子衝突による  
トップクォーク対生成  $p\bar{p} \rightarrow t\bar{t}X$   
(唯一のトップファクトリー)

2008年夏 テバトロン実験の結果：

トップクォークの質量： $M_{\text{top}} = 172.4 \pm 1.2 \text{ GeV}/c^2$

ヒッグス粒子の質量： $114\text{GeV}/c^2 < M_{\text{Higgs}} < 185 \text{ GeV}/c^2$

# 重さの正体つかまえる

物には重さがある。当たり前のようにだが、物理学的に説明しようとするところ簡単にではない。質量のかぎを握る未知の粒子「ヒッグスの存在をまずこれまでで最も信頼度の高いデータが、欧州合同原子核研究機関(CERN)の加速器実験で得られた。世界中の素粒子物理学者が探し続けてきた粒子で、現代物理学の基礎となっている「標準理論」を検証するだけでなく、「大統一理論」など新たな枠組みづくりにつながる可能性もある。日米欧の大型加速器計画にもはつきりがつきそうだ。

(杉本 忠)

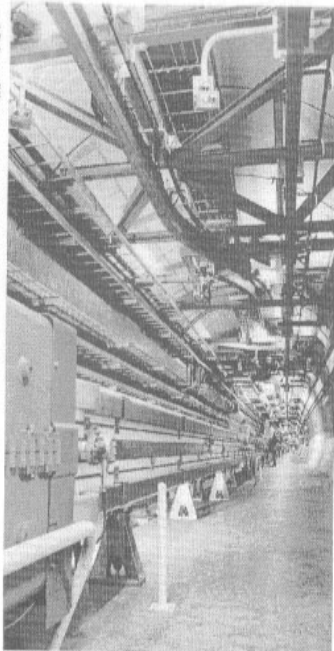
## カギ握る粒子「ヒッグス」 欧州チーム「存在示唆」

物質は原子の集まり。原子は電子と原子核の集まり。原子核は陽子と中性子の集まり。そして陽子と中性子はクォークの集まり。標準理論によれば、私たちの世界は、六種類のクォークと、電子など軽い粒子で成り立っている。標準理論では、不思議なことにはこれらの粒子の質量はゼロでなければならない。だが、現実にはほとんどの粒子に質量がある。一九六〇年代に英国の物理学者ヒッグスがこの矛盾を解決する仕組みを提唱。宇宙にはある未知の粒子が満ちている。ほかの粒子はそれに

ぶつかって、動きが鈍くなるため、質量があるように見えると説明付けた。未知の粒子は提唱者にちなみ「ヒッグス」と呼ばれる。米国フェルミ国立加速器研究所の加速器テバトロンでヒッグス探しに挑む金信弘・筑波大学教授によ

ると、標準理論では、ヒッグスは少なくとも四種類からなる。宇宙の誕生直後に消えたが、一種類を除いて消え、質量を与える粒子になった。これら消えた三種類には質量がなく、観測することはできない。残った一種類が「見えるヒッグス」。自然界では、高いエネルギーを持つ陽子同士が衝突するようまれな場合にしか現れない。人工的につくるには非常に高

いエネルギーが要る。八〇年代、ヒッグスを探す大加速器計画が登場した。米国のSSC(二周八十七キロ)とCERNのLHC(同二十七キロ)。計画では、いずれもトンネル内で陽子同士を衝突させ、十兆電子ボルトを超えるエネルギーを生む。SSCは建設費が巨額で中止になった。LHCは建設費を二千億円程度に抑え、二〇〇五年の運転開始を目指している。



ヒッグス探しのため、運転期間が11月2日まで延長されたCERNの加速器LEP。スイスとフランスの国境にある(CERN提供)

# ヒッグス粒子探索 についての記事 (2000年9月)

2000年にCERN研究所(ジュネーブ)LEP実験で質量115GeV/c<sup>2</sup>のヒッグス粒子の候補事象が見えた(95%信頼度)。同時に114GeV/c<sup>2</sup>以下のヒッグス粒子は存在しないことを示した。

フェルミ研究所テバトロン加速器を用いた陽子・反陽子衝突実験で現在ヒッグス粒子探索中。

### 既存の加速器にチャンス

ところが最近、一兆電子ボルトとされていたヒッグスの質量が、千五百億〜二千五百億電子ボルトへ下方修正された。これならCERNの運転中の加速器LEPや、テバトロン能力でも見つかるかもしれない。

LEPは性能を上げ、四月から本格的にヒッグス探しを始めた。東京大学素粒子物理国際研究センターも加わる「オパール」など四つの実験グループがあり、粒子の崩壊の様子などを観測している。

LEPは性能を上げ、四月から本格的にヒッグス探しを始めた。東京大学素粒子物理国際研究センターも加わる「オパール」など四つの実験グループがあり、粒子の崩壊の様子などを観測している。

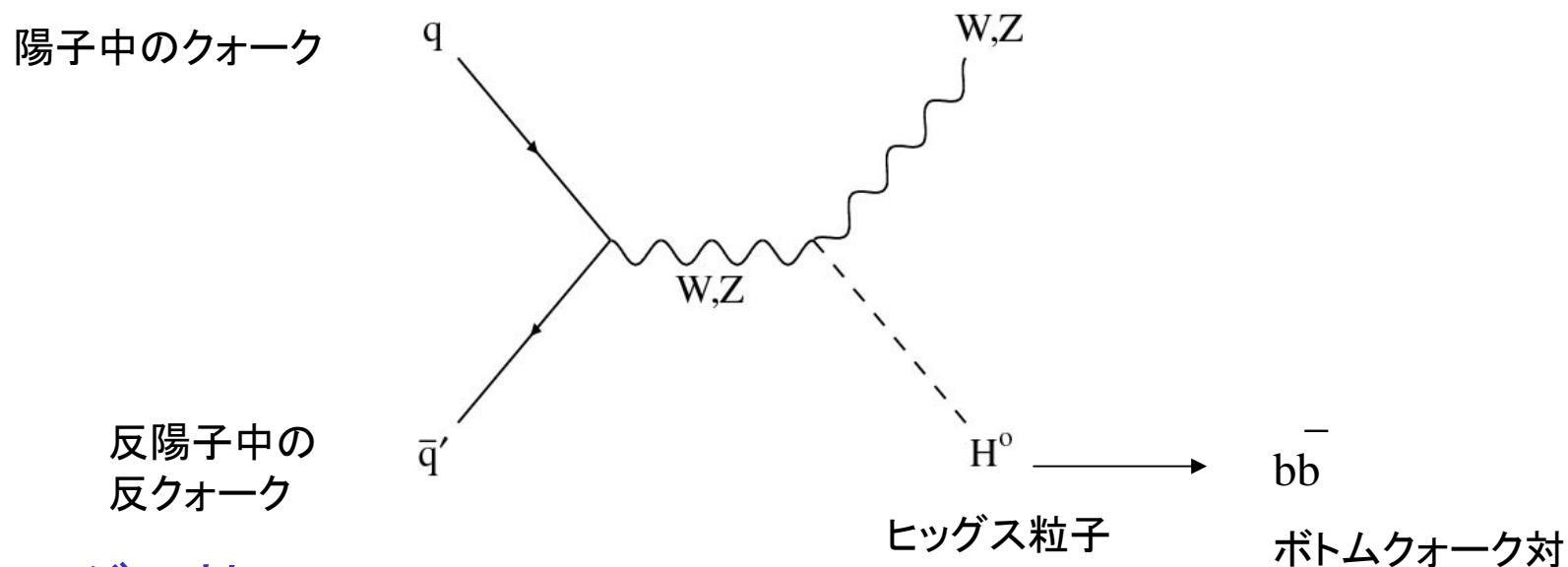
### 大統一理論への糸口にも

ヒッグスが見つければ、重さのなぞは解ける。私たちの世界にある四つの力のうち電磁気力と「弱い力」を統一した標準理論は検証されたことになる。さらに「物理学の次の枠組みも見えてくる」と胸高さん。

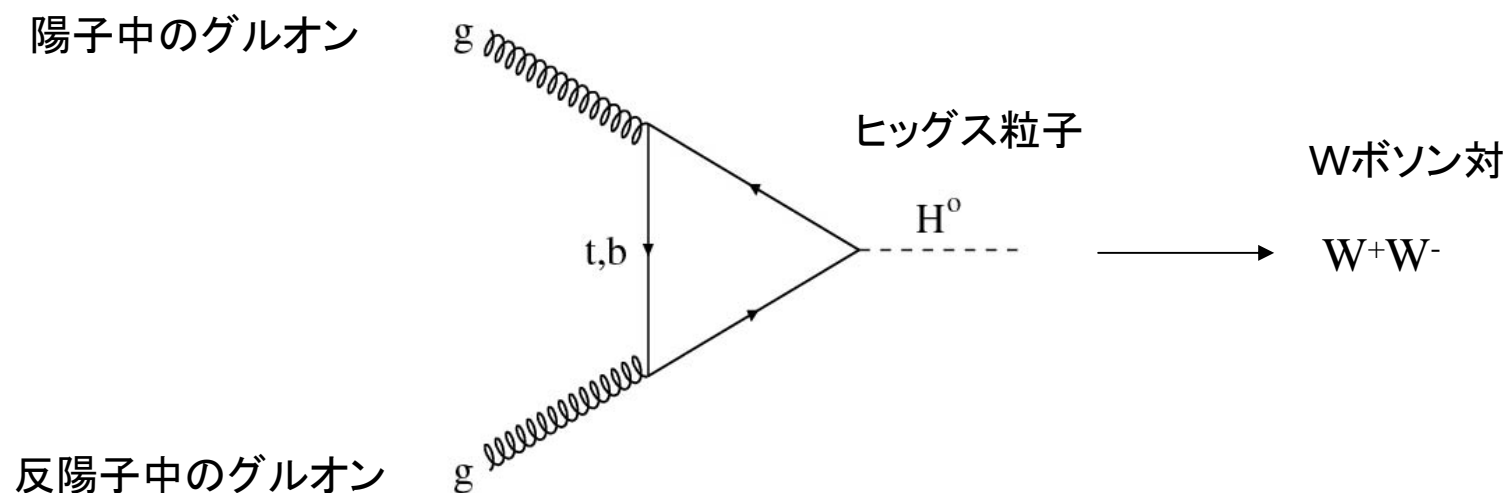
対称性」が重要な柱の一つ。超対称性を前提とする大統一理論は、質量千五百億電子ボルト以下の「軽いヒッグス」の存在を予言している。「見えるヒッグス」が正体かわかれば、大統一理論の入り口に立つことになる」と金さん。ただ、これらの理論につながるには、ヒッグスを見つけないでは不十分だ。性質を見極める必要がある。

# テバトロン実験でのヒッグス粒子の直接探索

## 軽いヒッグス粒子 ( $M_H < 135\text{GeV}/c^2$ )

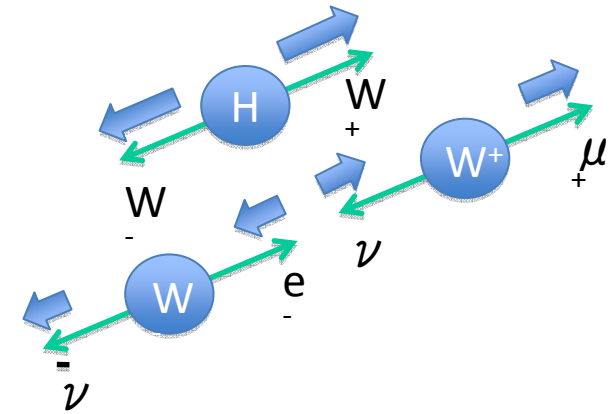
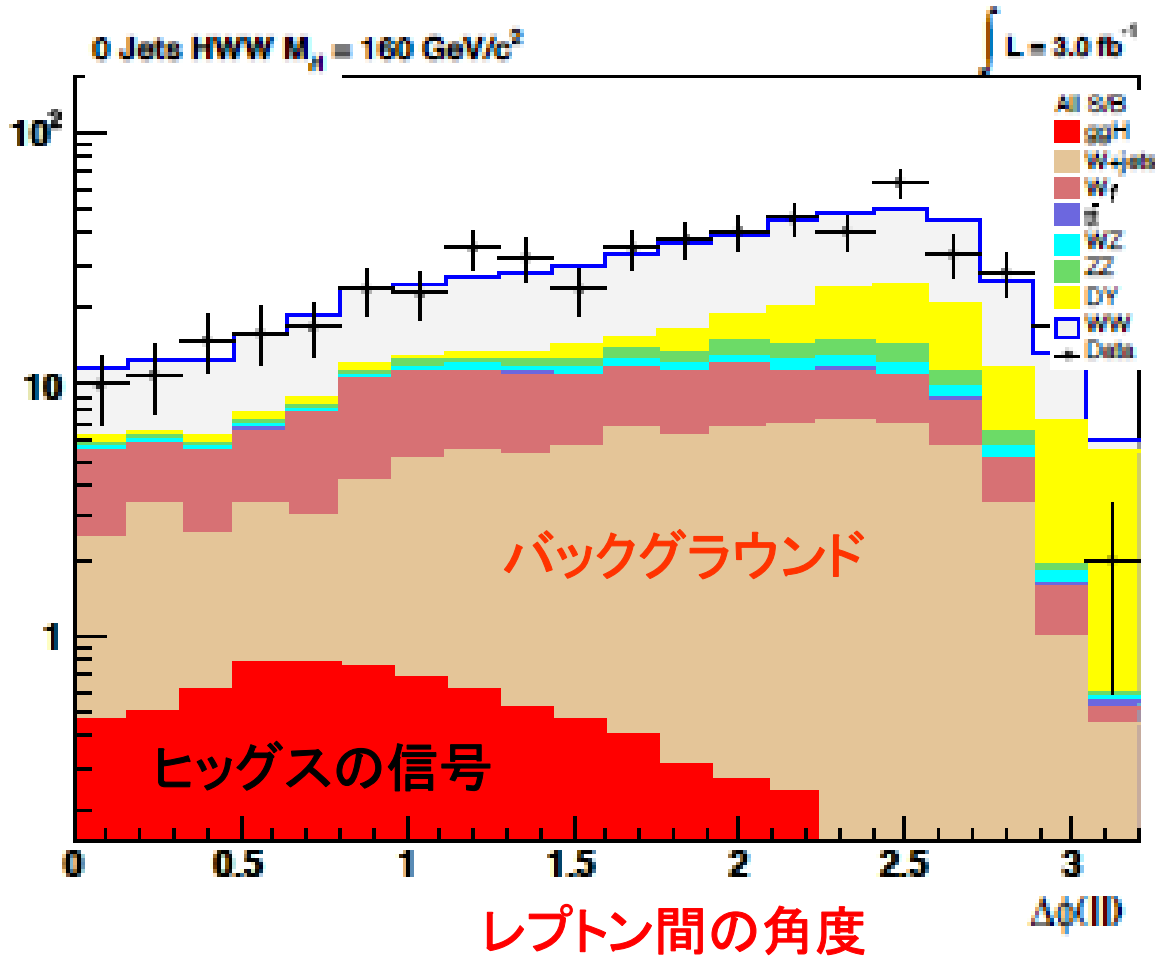
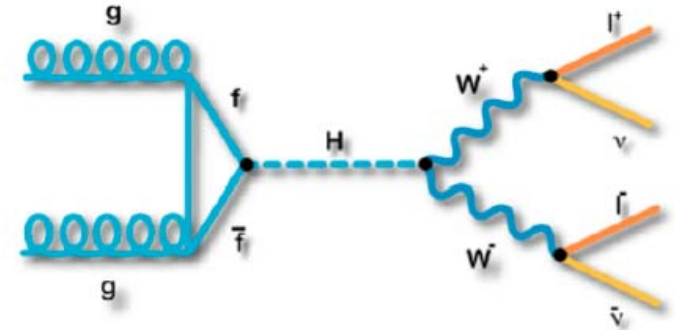


## 重いヒッグス粒子 ( $M_H > 135\text{GeV}/c^2$ )



# 重い領域でのヒッグス粒子探索

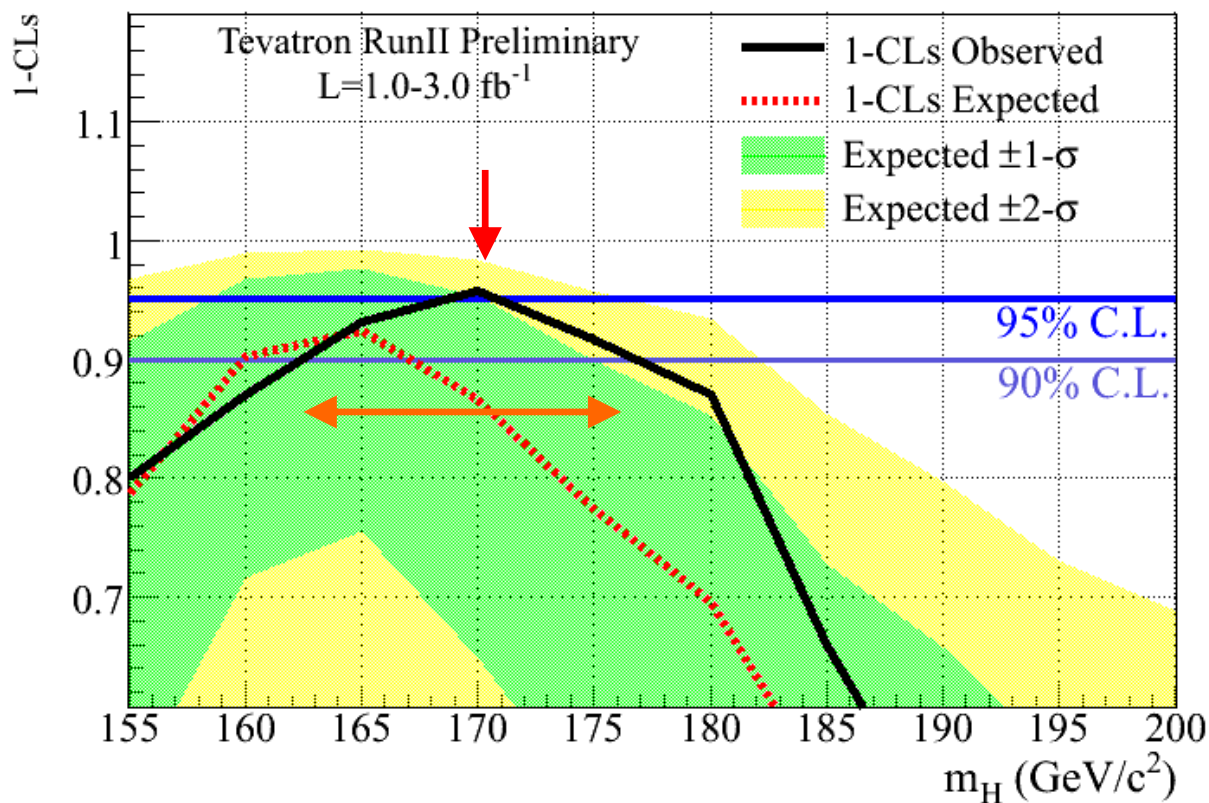
- $H \rightarrow WW \rightarrow l\nu l\nu$   
2つの荷電レプトン(電子かミュー粒子)



ヒッグス粒子の崩壊で生成したレプトン間の角度は小さくなる。一方、バックグラウンドの角度分布は異なる。

# 重い領域でのヒッグス粒子探索

## ヒッグス粒子の存在を否定する信頼度



信頼度95%で、  
質量170GeV/c<sup>2</sup>のヒッグス粒子の存在を否定した。

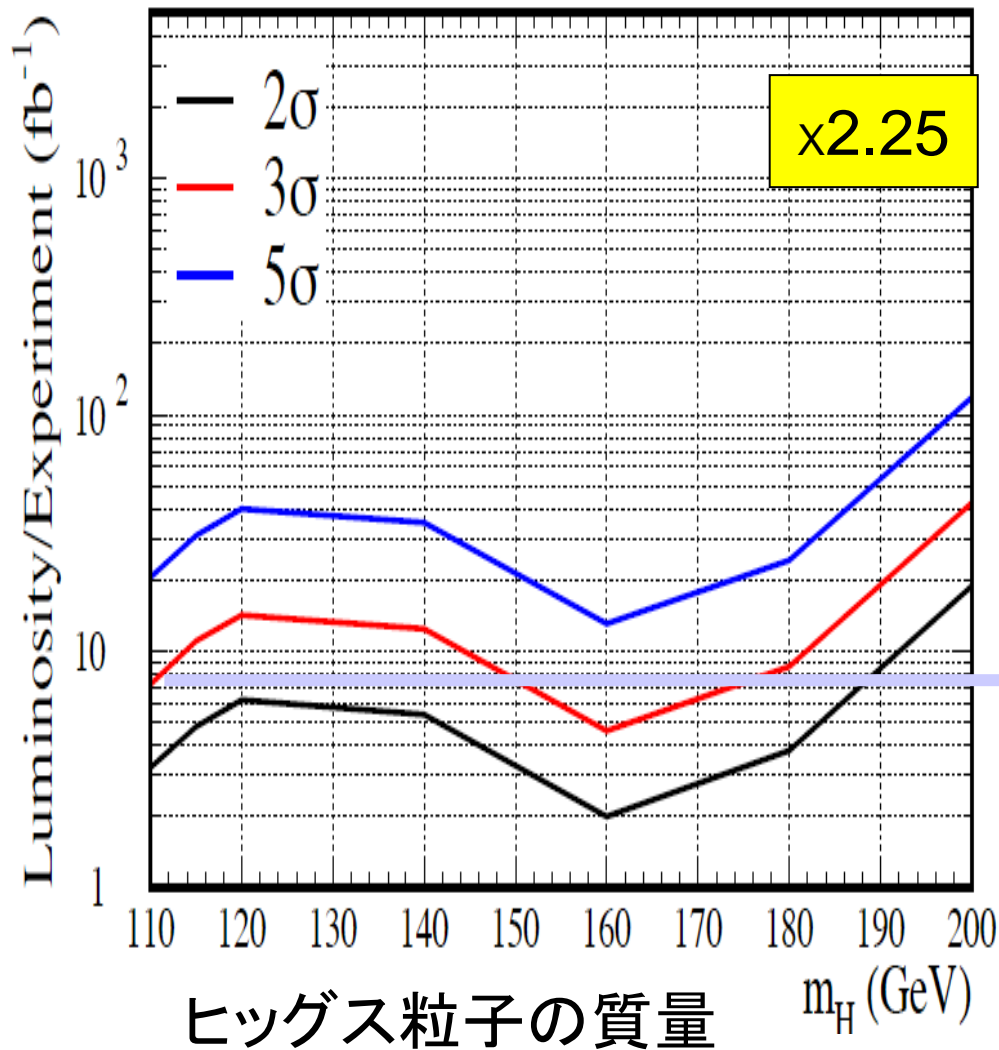
信頼度90%で、  
質量163～176GeV/c<sup>2</sup>のヒッグス粒子の存在を否定した。

## ヒッグス粒子の質量



# テバトロン実験でどこまでヒッグス粒子に迫れるか

## ヒッグス粒子検出に必要なデータ量



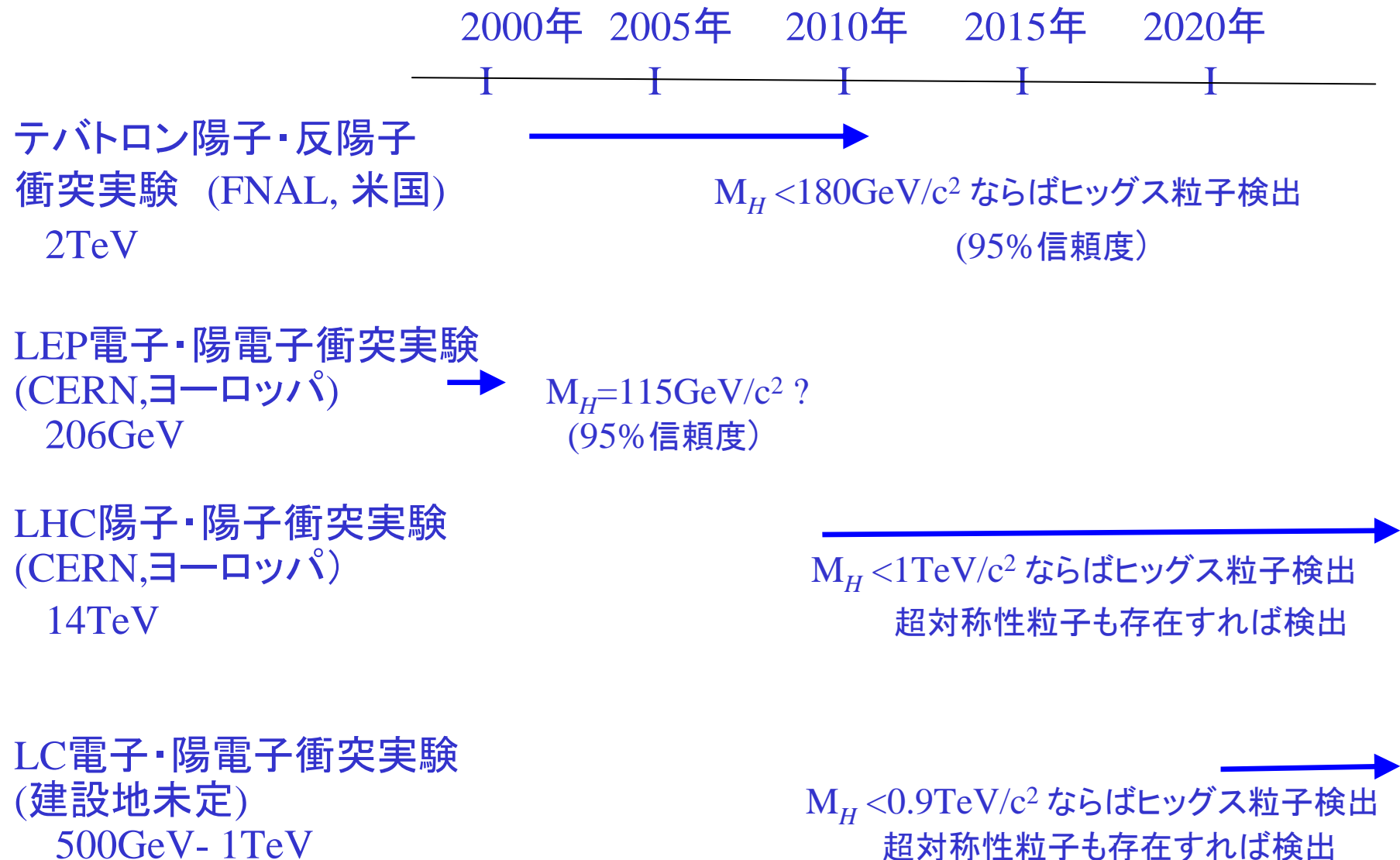
2010年末: 7 fb<sup>-1</sup>

・185GeV/c<sup>2</sup>の以下にヒッグス粒子が存在しなければ、95%の信頼度(2σ)でそれを示す

・99.7%の信頼度(3σ)で150~170GeV/c<sup>2</sup>のヒッグス粒子を検出

7.0

# 超高エネルギー衝突実験の現状と計画



# LHC 陽子・陽子衝突実験

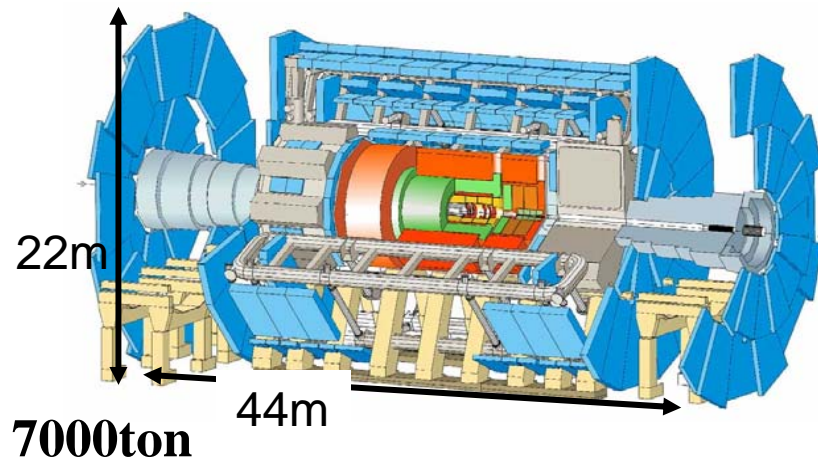


LHC (Large Hadron Collider):

スイス・ジュネーブのCERN研究所の陽子・陽子衝突型加速器。衝突エネルギー14TeV ( $14 \times 10^{12}$ 電子ボルト)。加速器の大きさは直径約8km。

2009年から本格実験開始。

実験目的: ヒッグス粒子の発見とその性質の研究、超対称性粒子の探索



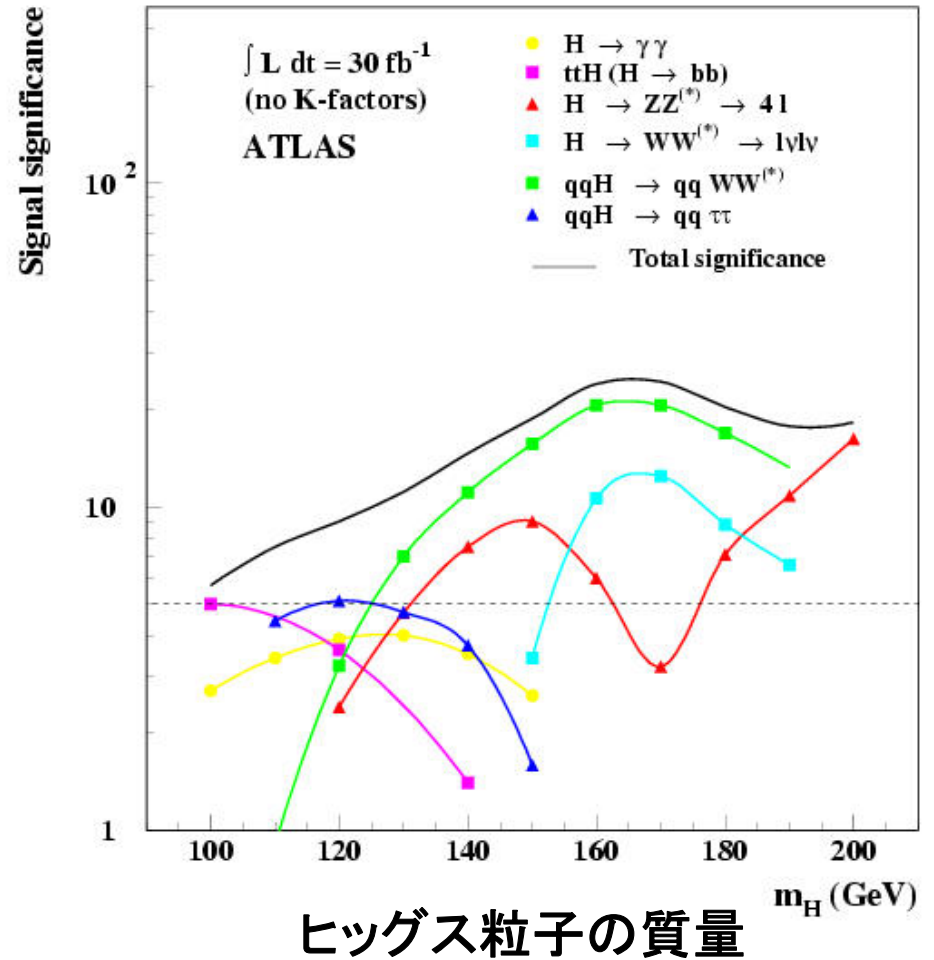
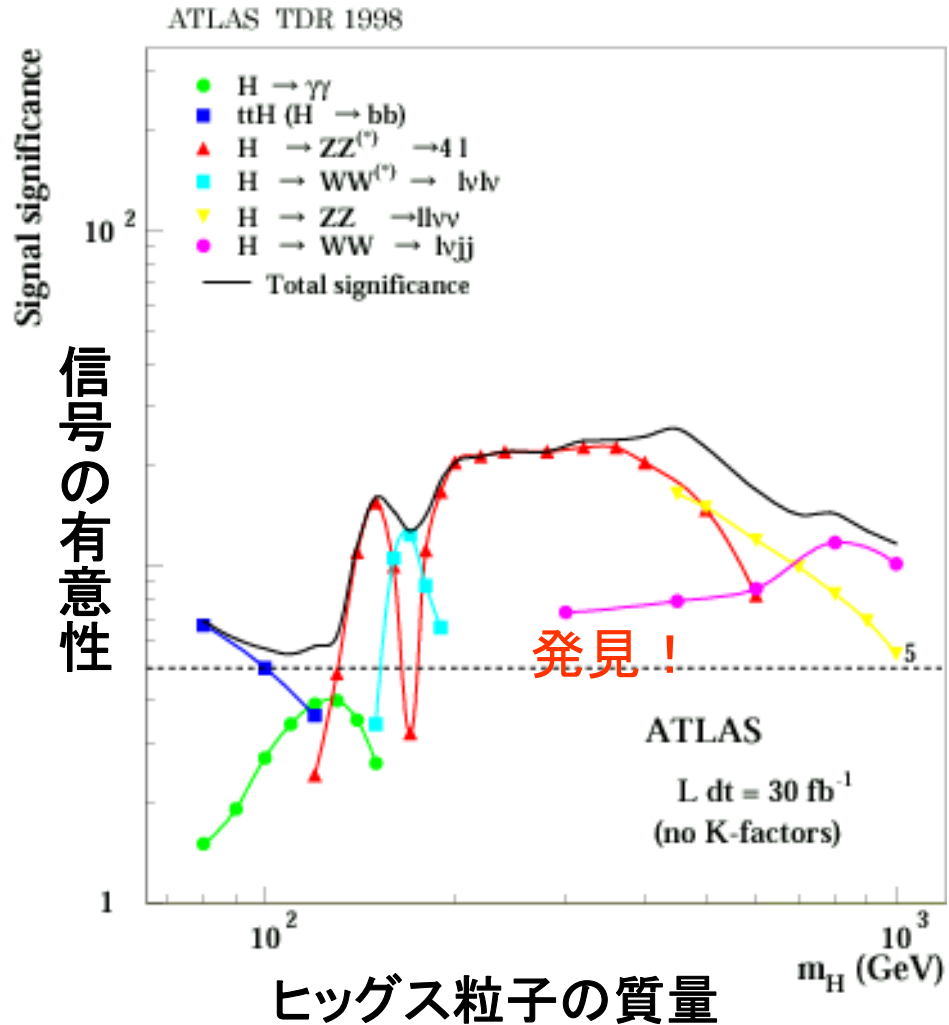
ATLAS測定器:

LHC加速器の陽子陽子衝突点に置かれて、衝突で出てくる粒子を検出し、そのエネルギーを測る。

# ATLAS実験でのヒッグス粒子探索

ATLAS TDR1998

2011年頃のデータ量



Higgs粒子が存在すれば、質量1TeVまでの領域でLHC実験で必ず発見できる。

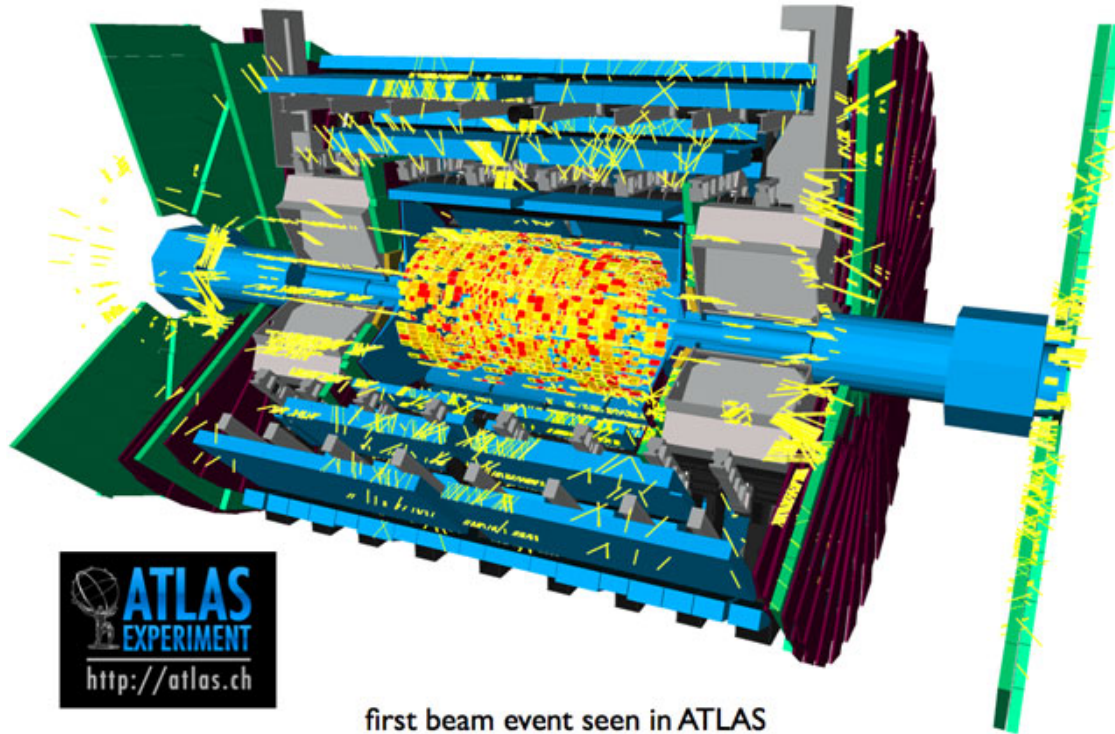


# LHC加速器で 陽子ビーム初周回に成功

2008年9月10日

LHC加速器リングを陽子ビームが周回した。

その際にATLAS測定器で最初に観測された事象。陽子ビームがビームパイプの中の残留ガスやビームを制御するためのコリメーターと衝突した際に発生する二次粒子が、ATLAS測定器を通過しながら反応して行く様子が観測された。



first beam event seen in ATLAS

2009年から本格実験開始。



# 今後の展望

## テバトロン実験 (2010年末まで運転)

・185GeV/c<sup>2</sup>以下にヒッグス粒子が存在しなければ、95%の信頼度(2σ)でそれを示す

・99.7%の信頼度(3σ)で150~170GeV/c<sup>2</sup>のヒッグス粒子を検出

## LHC実験 (2009年から本格運転)

2011年頃  
・1TeV/c<sup>2</sup>以下のヒッグス粒子を99.99994%の信頼度(5σ)で検出

### ヒッグスはこう見える

LHCでヒッグス粒子を観測したときの予想図(CERN提供)  
4個のミュオン粒子のエネルギーを足し合わせると、崩壊前のヒッグス粒子の質量になる

名前	LHC	テバトロン
衝突させる粒子	陽子-陽子	陽子-反陽子
主リング円周	27km	64m
衝突エネルギー	14000GeV	2000GeV
実験期間	2008年~	2001~09年(第2期)
所在地	ジュネーブ 郊外	シカゴ郊外

### ヒッグス粒子の質量の予想図

質量(GeV)

ヒッグス粒子がないことを確認 ← 114

トッパーク質量(171)

150

182

→ ヒッグス粒子がないと予測

LHCで確認できる領域

テバトロンが強い領域 150-170

---

### 基本粒子とその質量

粒子	質量 (GeV)
グルーオン(強い力)	0
光子(無重力)	0
W粒子(弱い力)	80
Z粒子(弱い力)	91
ニュートリノ(実発見)	0

### 電子の仲間 (3種)

電子	0.0005
ミュオン粒子	0.1
タウ粒子	1.8

### クォーク (6種)

アップ	0.003
ダウン	0.006
ストレンジ	0.1
チャーム	1.2
ボトム	4.2
トッパーク	171

陽子、中性子 1

---

### あなたはなぜ重いか

光、グルーオンなど 抵抗はなく光速で飛び回る

電子、W粒子など ヒッグス粒子の抵抗で遅く進む

クォークのみ ヒッグス(2%)

クォーク、反クォーク(98%) ヒッグス粒子の抵抗で2重の質量

クォーク・反クォークの海

ヒッグス粒子の海

## 「ヒッグス」探せ米・欧競ろ

素粒子の質量の源と考えられている「ヒッグス粒子」探しが、米国の加速器テバトロンで熱を帯びてきた。最新の研究で意外に軽いかもしれないとわかってきて、見つかる希望が出てきたためだ。間違いないらヒッグスを捕らえられるとされる欧州の加速器の本格稼働は来年。あと2年が勝負だ。

「素粒子はあと2年。きりきり、ヒッグス粒子の探せ米・欧競ろ」を積み上げられるかもしれない。米シカゴ郊外、フェルミ国立加速器研究所にある大規模加速器テバトロンの実験に加わる筑波大の金

「素粒子はあと2年。きりきり、ヒッグス粒子の探せ米・欧競ろ」を積み上げられるかもしれない。米シカゴ郊外、フェルミ国立加速器研究所にある大規模加速器テバトロンの実験に加わる筑波大の金

「素粒子はあと2年。きりきり、ヒッグス粒子の探せ米・欧競ろ」を積み上げられるかもしれない。米シカゴ郊外、フェルミ国立加速器研究所にある大規模加速器テバトロンの実験に加わる筑波大の金

### 南部博士の考え根底に

ヒッグス粒子は宇宙誕生時には水蒸気のように真空を満たしていたが、すぐに水や氷のような状態に変化したと、物理学者はみる。「相転移」という現象だ。このため多くの粒子は氷海を進む砕氷船のようにヒッグス粒子の抵抗を受けることになり、この動きにくさが質量として観測されるという。光子のように光速で飛ぶ質量ゼロの粒子は、抵抗を受けないスケート靴を履いているようなものだ。さらに、部品であるクォーク3個の質量を足しても、陽子や中性子の質量全体の2%にしかならな

それが「クォーク・反クォークの対」だ。真空にヒッグス粒子と同じように詰まっていて、この抵抗によって残りの98%の質量が生まれたという。高エネルギー加速器研究機構の橋本晋二准教授らは今春、計算機内の仮想空間にクォークを置き、クォーク対の海で起る現象を再現した。ヒッグス粒子もクォーク対も、南部陽一郎博士(米シカゴ大名誉教授)が81年に提案した「カイラル対称性の自発的破れ」という考えが根底にある。「質量起源の検証が確めれば南部先生の先見性

ヒッグス粒子の質量は、クォーク対の海で起る現象を再現した。ヒッグス粒子もクォーク対も、南部陽一郎博士(米シカゴ大名誉教授)が81年に提案した「カイラル対称性の自発的破れ」という考えが根底にある。「質量起源の検証が確めれば南部先生の先見性

ヒッグス粒子の質量は、クォーク対の海で起る現象を再現した。ヒッグス粒子もクォーク対も、南部陽一郎博士(米シカゴ大名誉教授)が81年に提案した「カイラル対称性の自発的破れ」という考えが根底にある。「質量起源の検証が確めれば南部先生の先見性

## 質量の謎解き 熱気帯びる

「素粒子はあと2年。きりきり、ヒッグス粒子の探せ米・欧競ろ」を積み上げられるかもしれない。米シカゴ郊外、フェルミ国立加速器研究所にある大規模加速器テバトロンの実験に加わる筑波大の金

「素粒子はあと2年。きりきり、ヒッグス粒子の探せ米・欧競ろ」を積み上げられるかもしれない。米シカゴ郊外、フェルミ国立加速器研究所にある大規模加速器テバトロンの実験に加わる筑波大の金

「素粒子はあと2年。きりきり、ヒッグス粒子の探せ米・欧競ろ」を積み上げられるかもしれない。米シカゴ郊外、フェルミ国立加速器研究所にある大規模加速器テバトロンの実験に加わる筑波大の金

「素粒子はあと2年。きりきり、ヒッグス粒子の探せ米・欧競ろ」を積み上げられるかもしれない。米シカゴ郊外、フェルミ国立加速器研究所にある大規模加速器テバトロンの実験に加わる筑波大の金

「素粒子はあと2年。きりきり、ヒッグス粒子の探せ米・欧競ろ」を積み上げられるかもしれない。米シカゴ郊外、フェルミ国立加速器研究所にある大規模加速器テバトロンの実験に加わる筑波大の金

## おわりに

テバトロン実験とLHC実験のヒッグス粒子の探索競争により、近い将来ヒッグス粒子が発見される。

ヒッグス粒子の質量、崩壊分岐比、生成断面積などの基本的な性質を測定することによって、ヒッグス粒子が標準理論予言どおりのものか、あるいは標準理論を超えた理論に従うものかが明らかになる。それは新しい物理の始まりを告げるものになるかもしれない。