

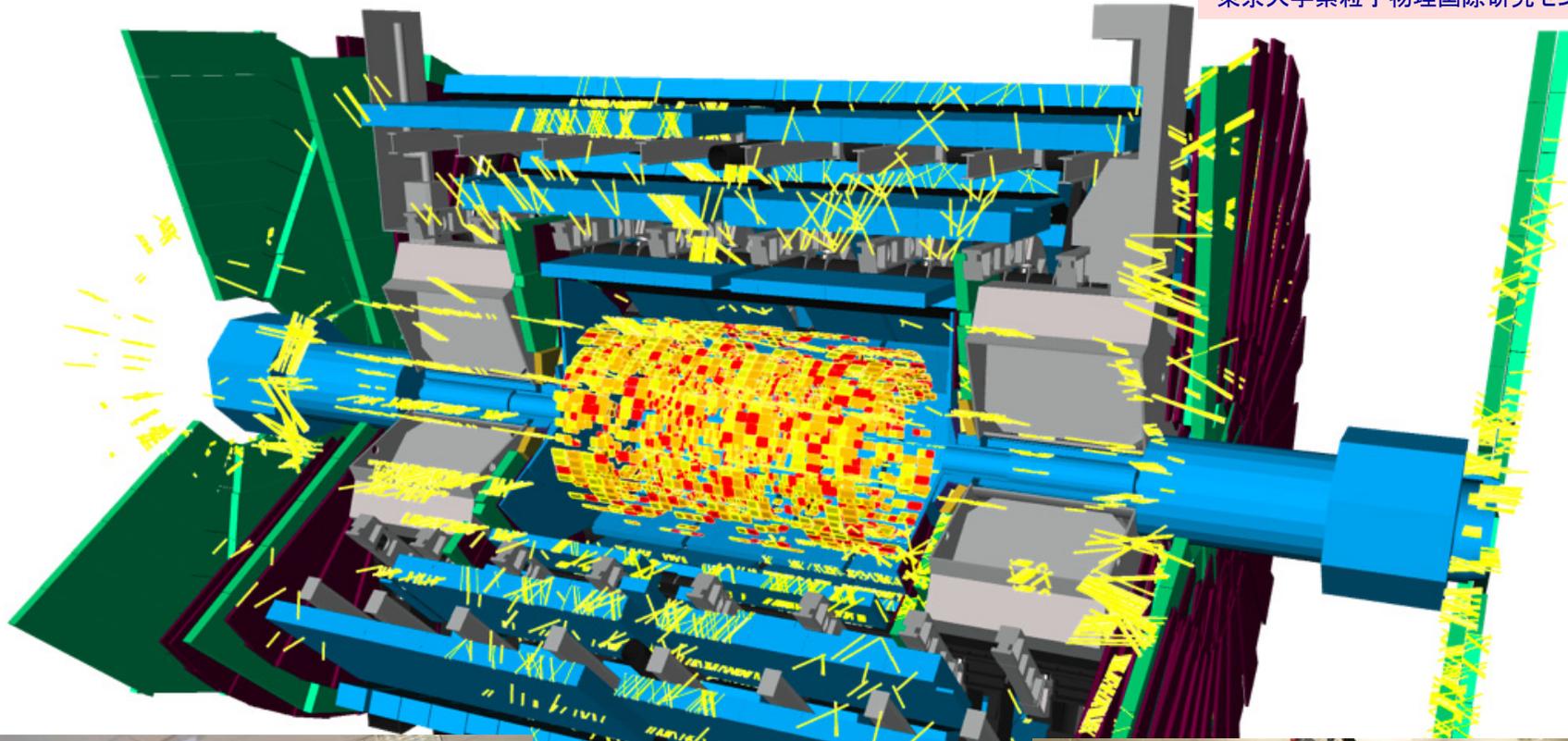
LHCで期待される物理成果

25.Sep.2008

先端加速器科学技術シンポジウム

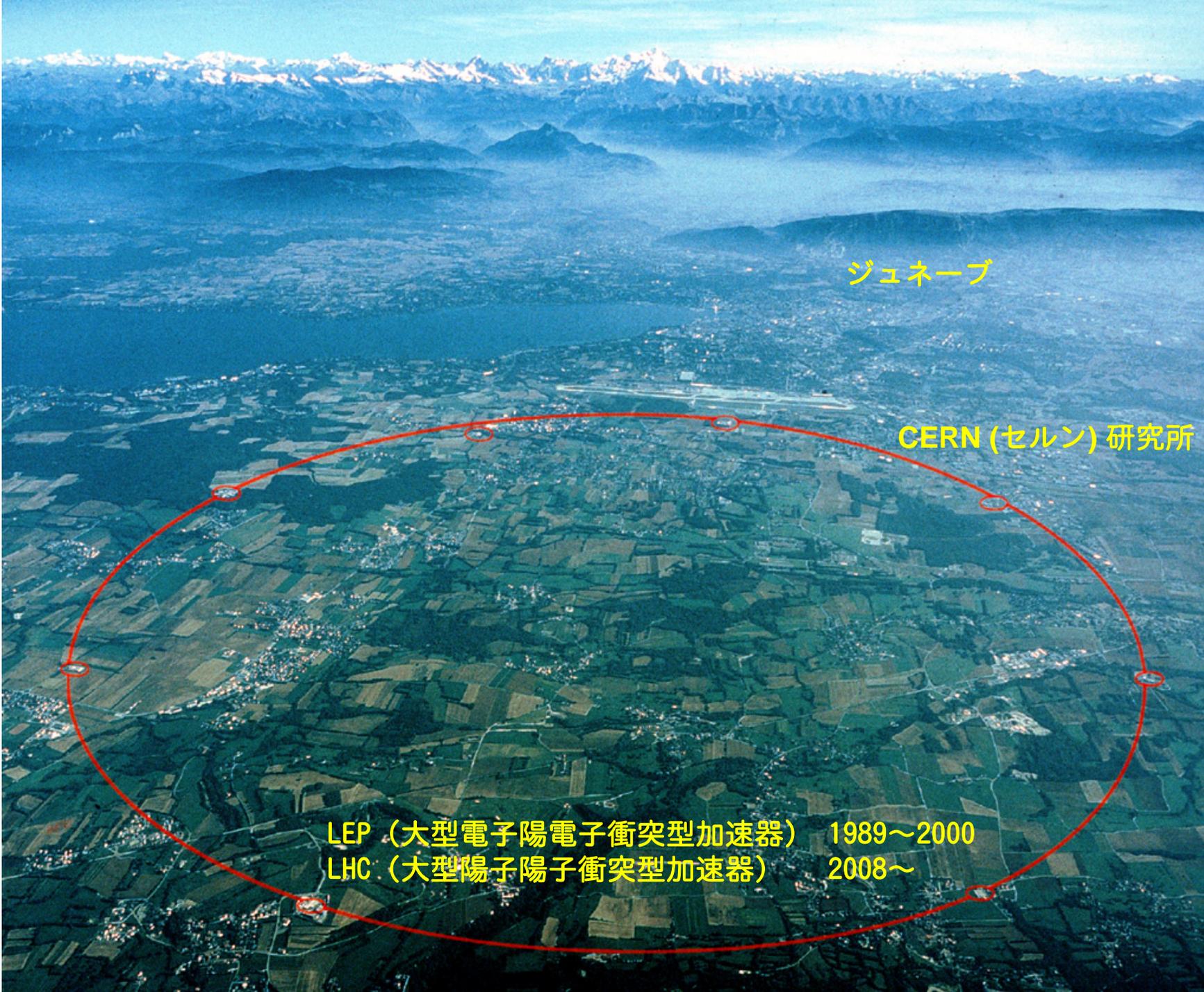
小林富雄

東京大学素粒子物理国際研究センター



First beam event
seen in ATLAS
(10.Sep.2008)



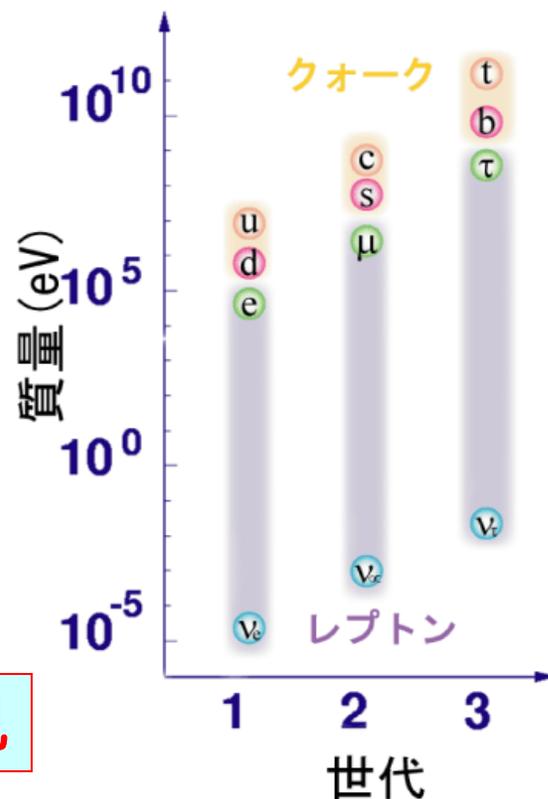
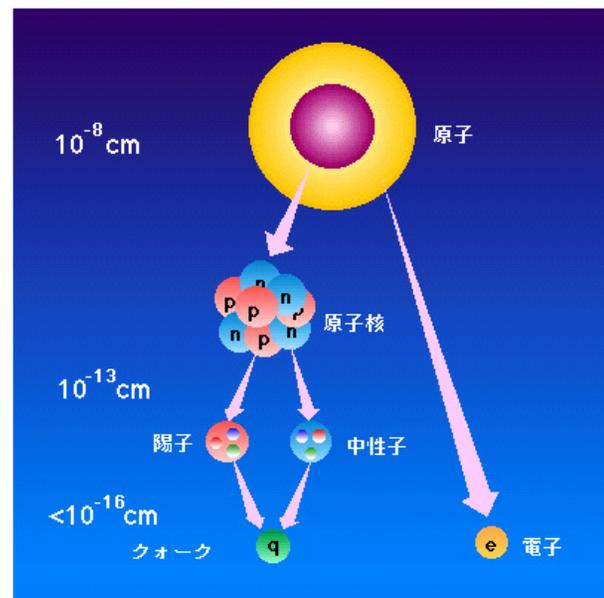
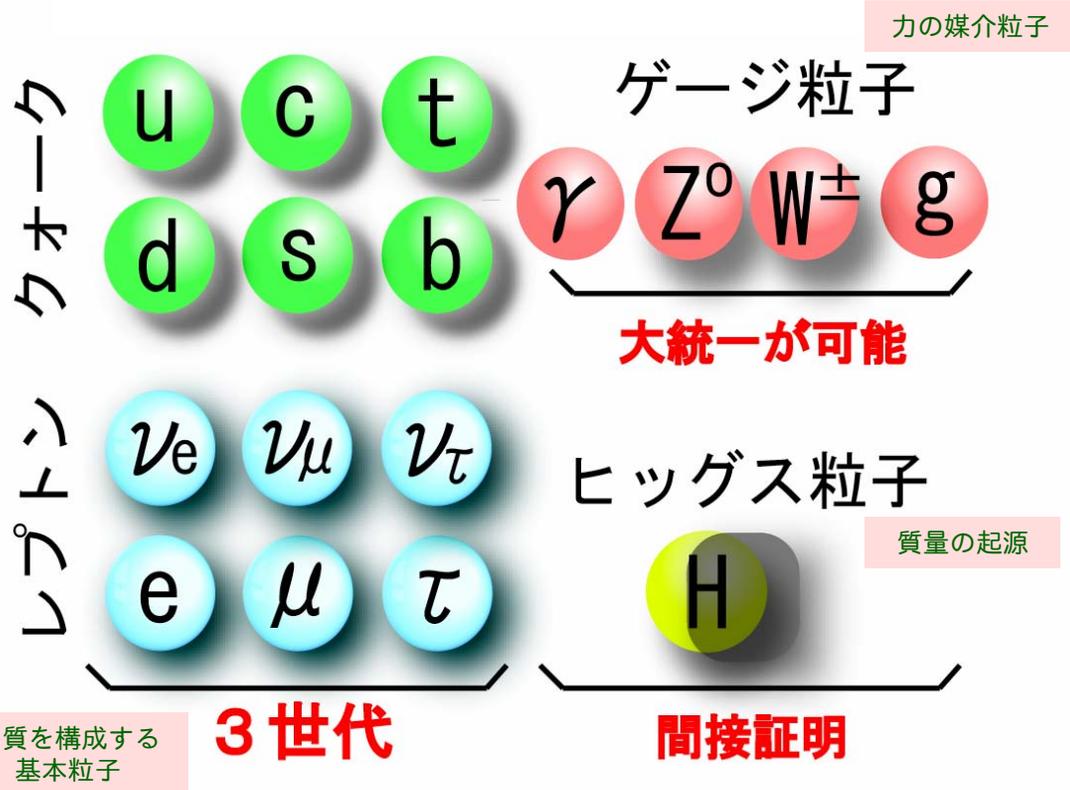


ジュネーブ

CERN (セルン) 研究所

LEP (大型電子陽電子衝突型加速器) 1989~2000
LHC (大型陽子陽子衝突型加速器) 2008~

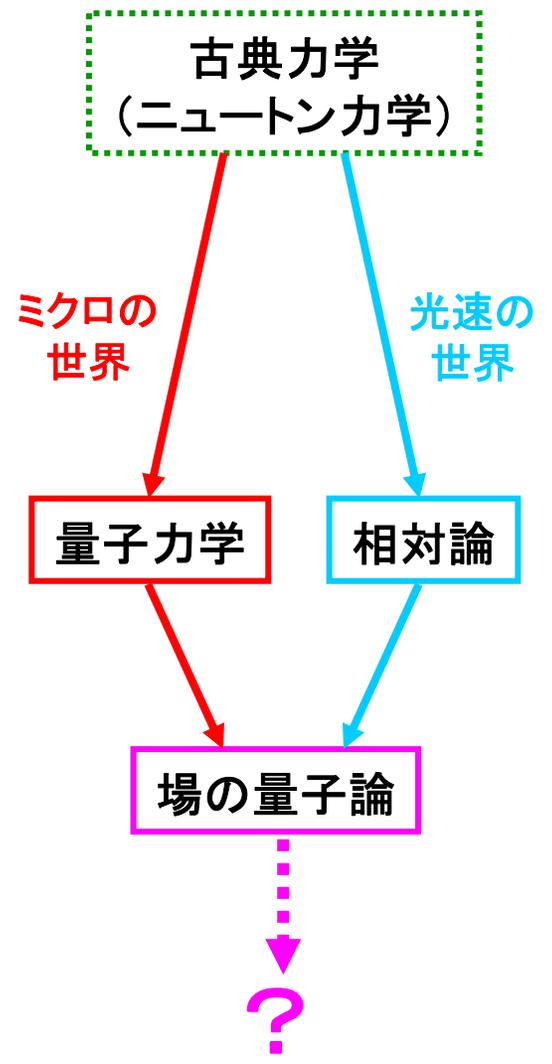
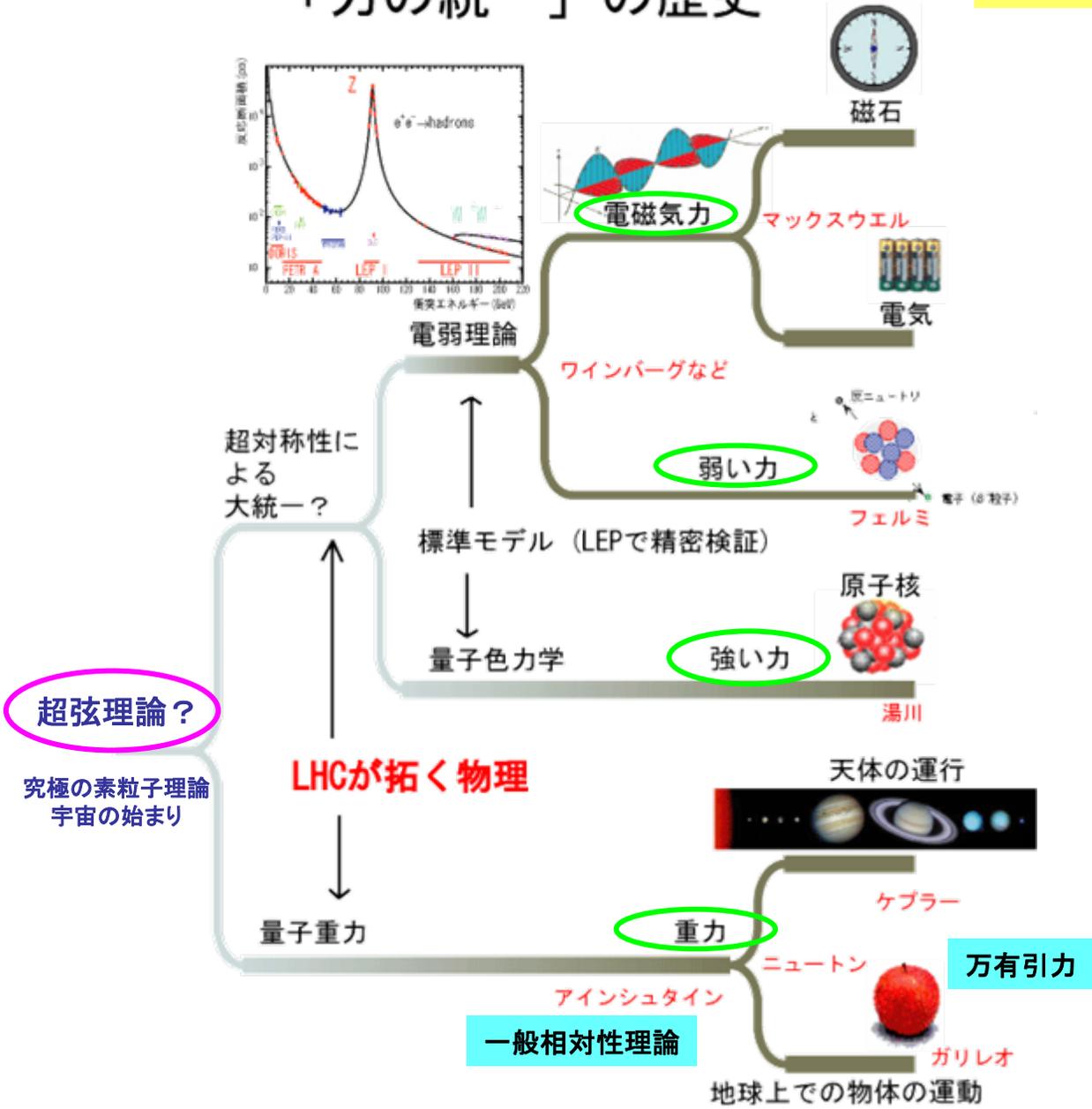
LEP実験などにより 素粒子の標準モデル（理論） が確立された



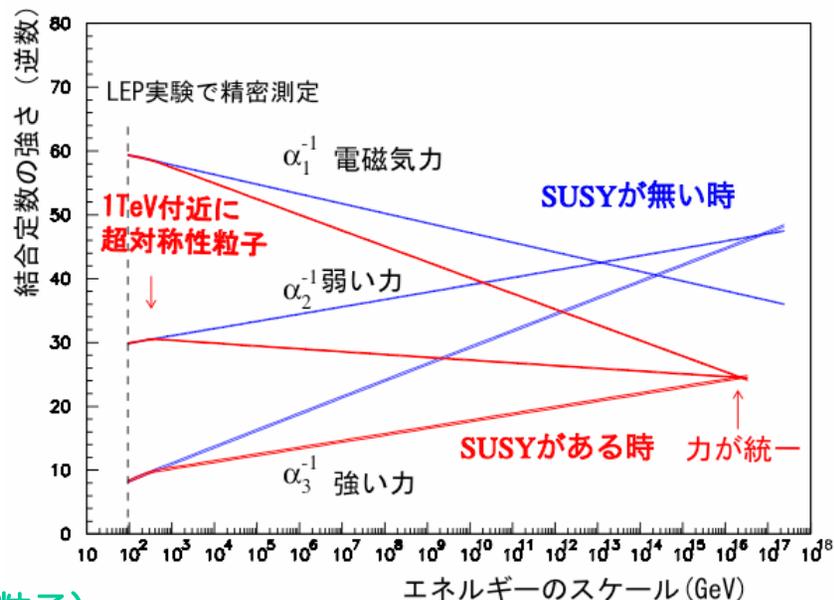
... がしかし、ヒッグス粒子だけが未発見

物理学に於ける「力の統一」の歴史

20世紀の物理学の発展

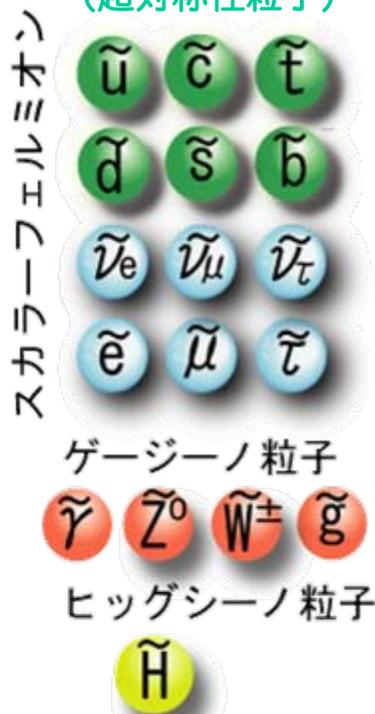


LEP実験では標準理論を
超える兆候も見られた
→ 超対称性



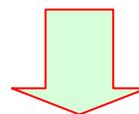
(標準理論の素粒子)

(超対称性粒子)



超対称性があると

- ・すべての力を統一する可能性
- ・宇宙の暗黒物質の有力候補



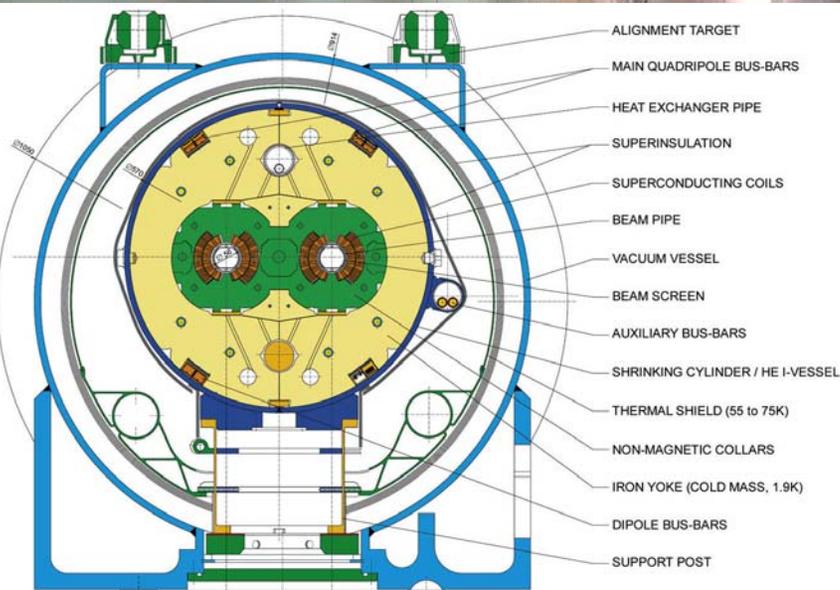
ヒッグス粒子や超対称性の
発見を目指すのがLHC実験

Large Hadron Collider (LHC)

- ・ 14 TeV の陽子・陽子衝突型加速器
- ・ LEPトンネルを利用
- ・ 建設に14年
- ・ 総建設費は約5000億円
- ・ 2008年9月10日 first beam 周回に成功

* CERNのLEP(e^+e^-)は 200 GeV

* 米国フェルミ研究所のTevatron($p\bar{p}$)は 2 TeV



2-in-1 超伝導ダイポールマグネット：
磁場強度 8.3T、超流動ヘリウム温度 1.9K、長さ 14.3m、1232台

Incident in LHC sector 34

Geneva, 20 September 2008. During commissioning (without beam) of the final LHC sector (sector 34) at high current for operation at 5 TeV, an incident occurred at mid-day on Friday 19 September resulting in a large helium leak into the tunnel. Preliminary investigations indicate that the most likely cause of the problem was a faulty electrical connection between two magnets, which probably melted at high current leading to mechanical failure. CERN 's strict safety regulations ensured that at no time was there any risk to people.

A full investigation is underway, but it is already clear that the sector will have to be warmed up for repairs to take place. This implies a minimum of two months down time for LHC operation. For the same fault, not uncommon in a normally conducting machine, the repair time would be a matter of days.

Further details will be made available as soon as they are known.

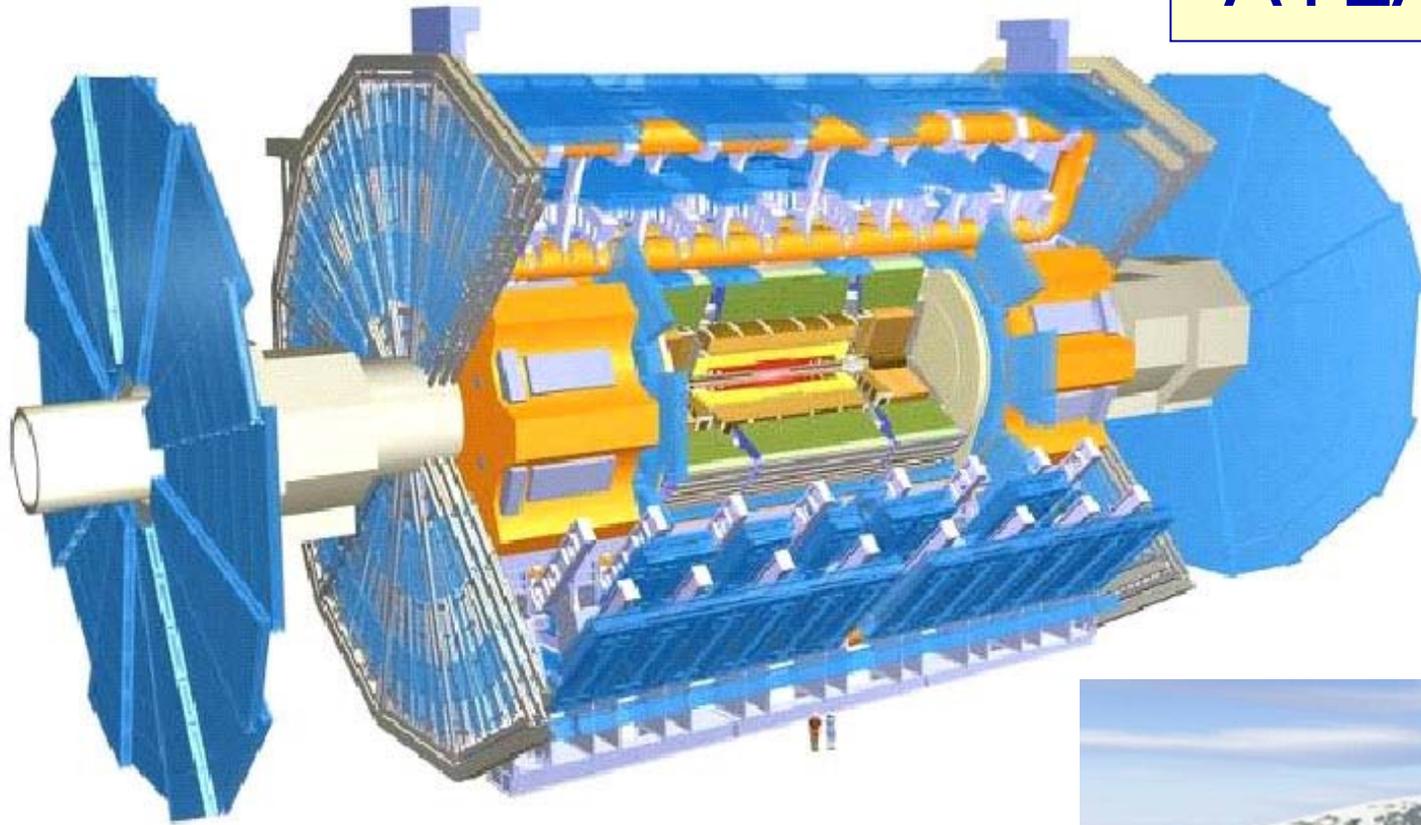
LHC re-start scheduled for 2009

Geneva, 23 September 2008. Investigations at CERN1 following a large helium leak into sector 3–4 of the Large Hadron Collider (LHC) tunnel have indicated that the most likely cause of the incident was a faulty electrical connection between two of the accelerator's magnets. Before a full understanding of the incident can be established, however, the sector has to be brought to room temperature and the magnets involved opened up for inspection. This will take three to four weeks. Full details of this investigation will be made available once it is complete.

“Coming immediately after the very successful start of LHC operation on 10 September, this is undoubtedly a psychological blow,” said CERN Director General Robert Aymar. “Nevertheless, the success of the LHC's first operation with beam is testimony to years of painstaking preparation and the skill of the teams involved in building and running CERN's accelerator complex. I have no doubt that we will overcome this setback with the same degree of rigour and application.”

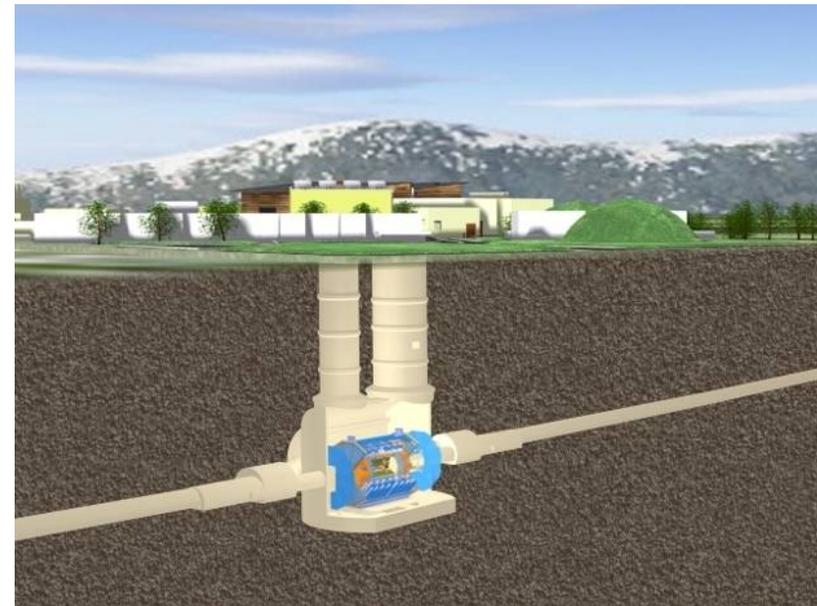
The time necessary for the investigation and repairs precludes a restart before CERN's obligatory winter maintenance period, bringing the date for restart of the accelerator complex to early spring 2009. LHC beams will then follow.

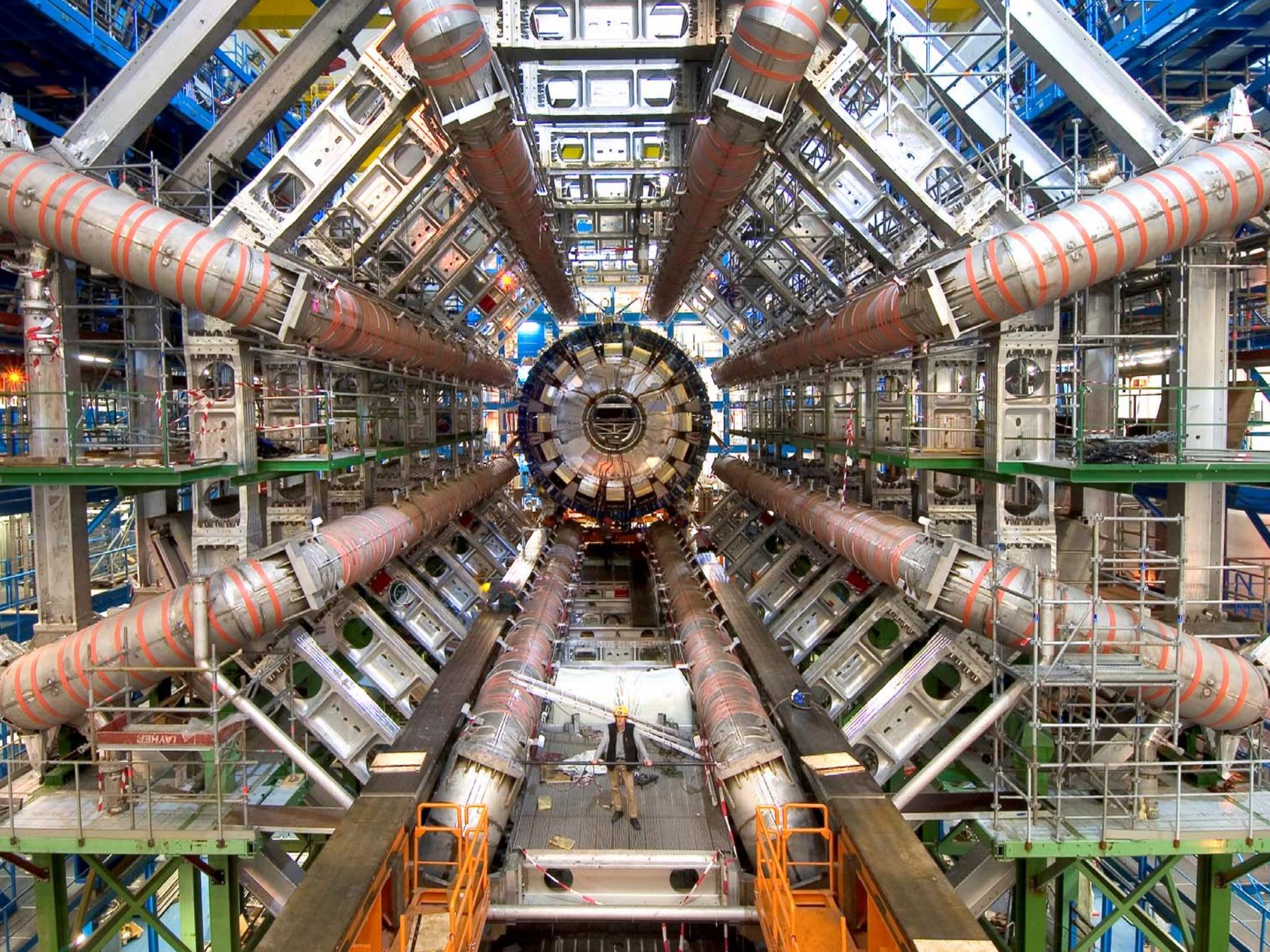
ATLAS測定器



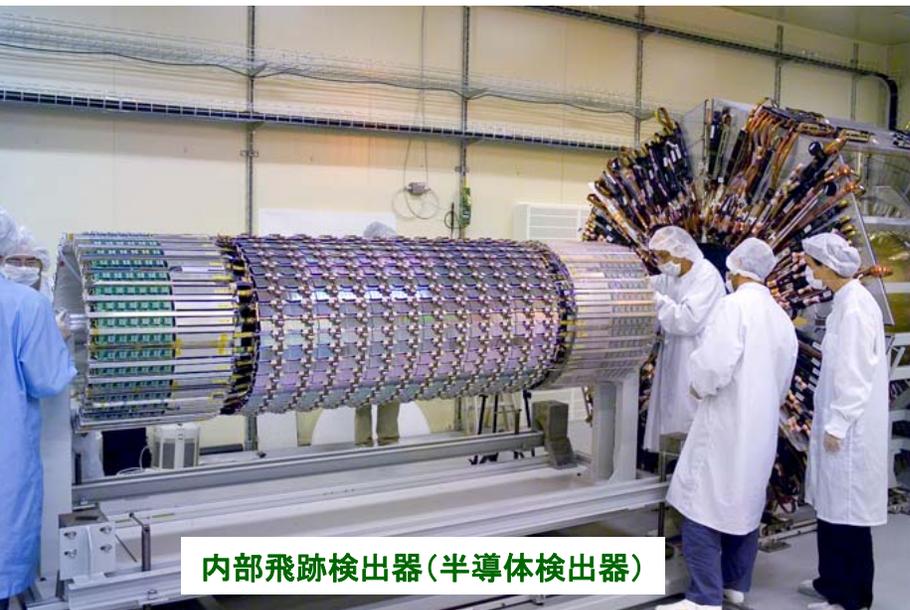
他にCMS,
LHCb, ALICE
などの実験も

- ・直径 22 m、長さ 44 m、重さ 7000 t
- ・世界最大の超伝導トロイド磁石
- ・センサー数 1.1億チャンネル
- ・37カ国、2000名の研究者による国際共同実験
- ・日本グループはミュオントリガー検出器、内部飛跡検出器、ソレノイド超伝導磁石などに貢献





アトラス測定器 (日本担当部分)



内部飛跡検出器(半導体検出器)

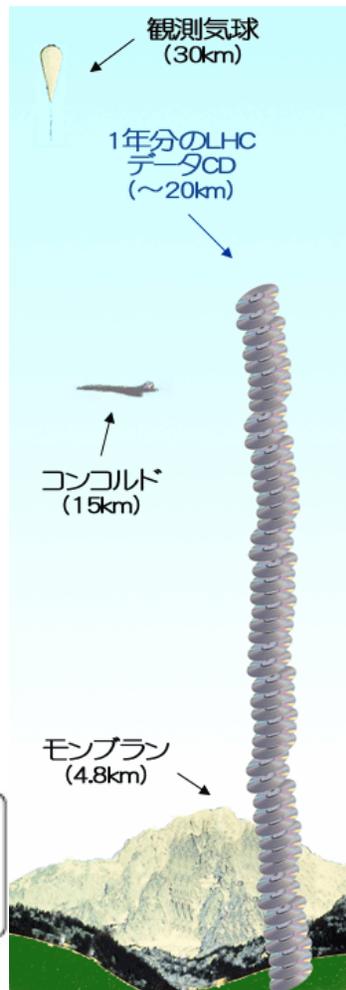
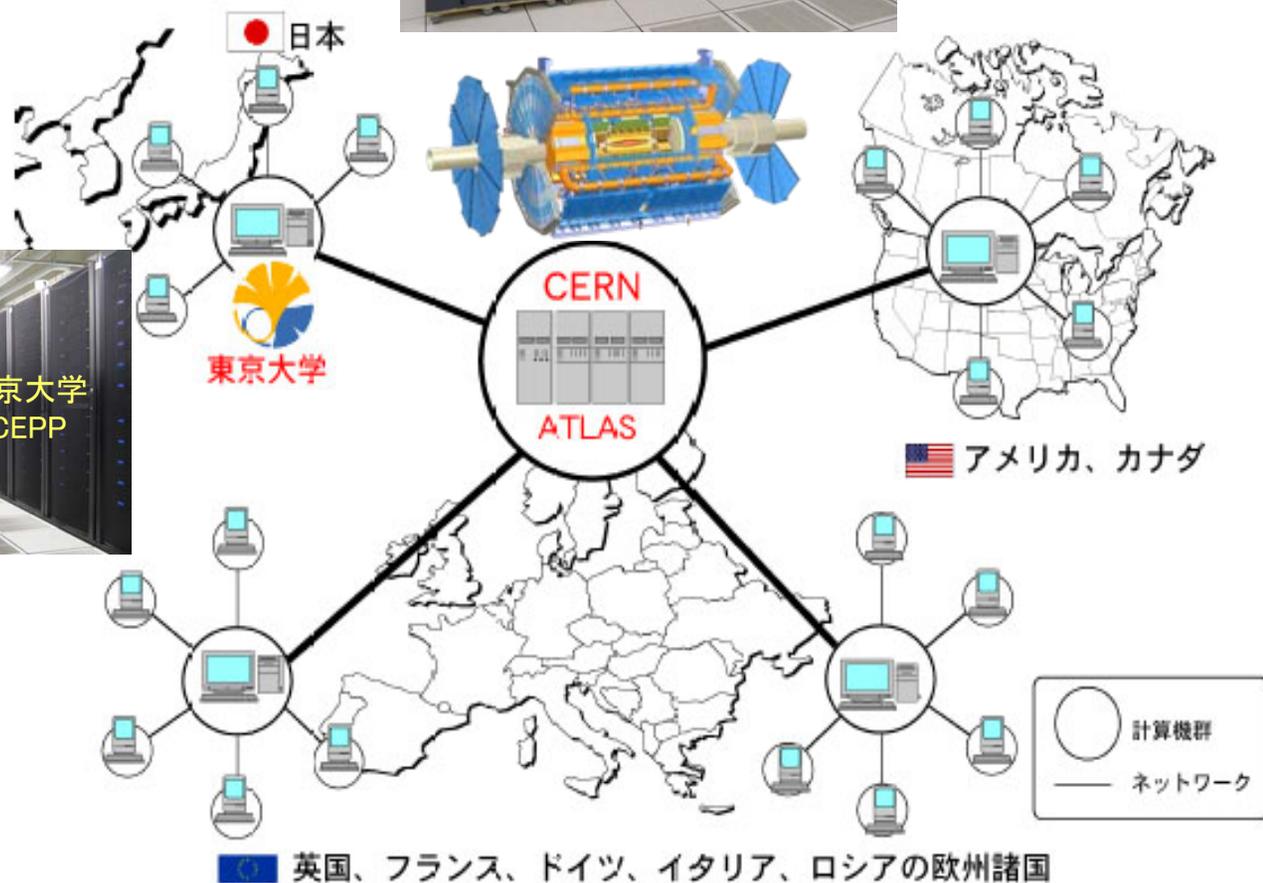
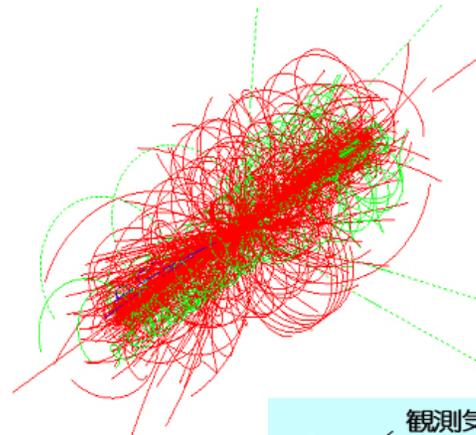


ソレノイド超伝導磁石



ミュオントリガー検出器

LHC実験データ解析のため 地域解析センターと国際解析網を構築 (LHC Computing GRID)

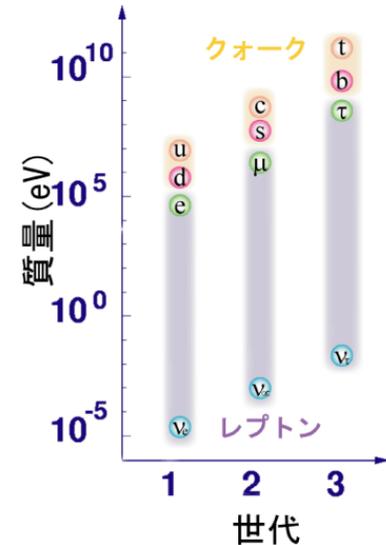


LHCで期待されるもの(その1)

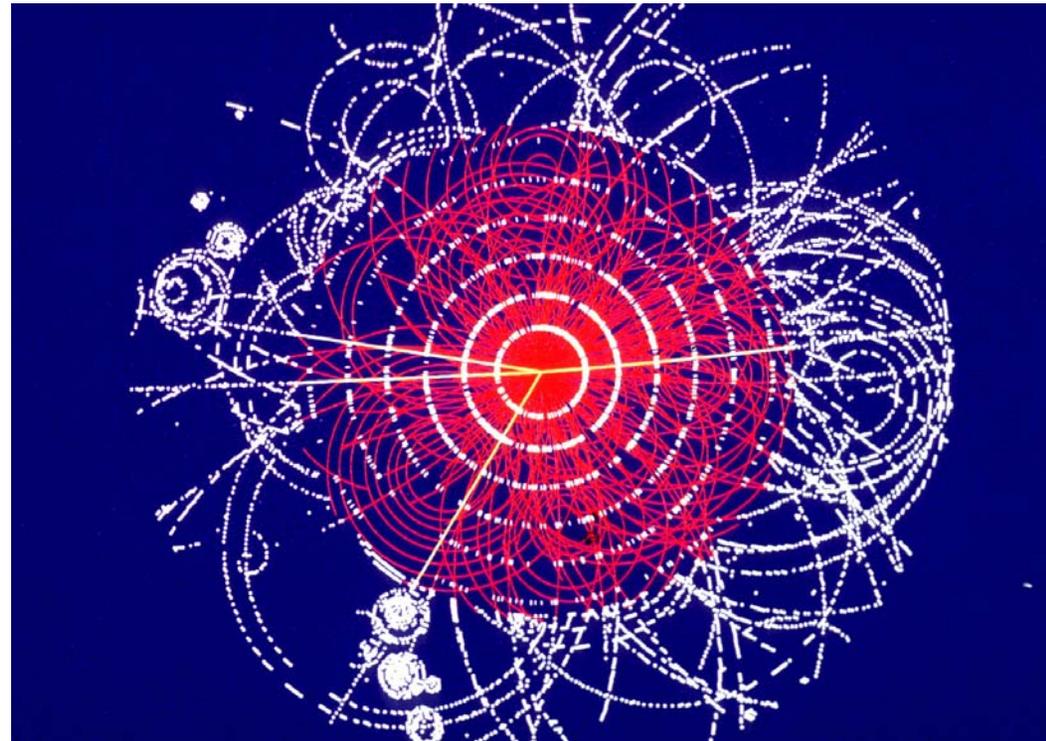
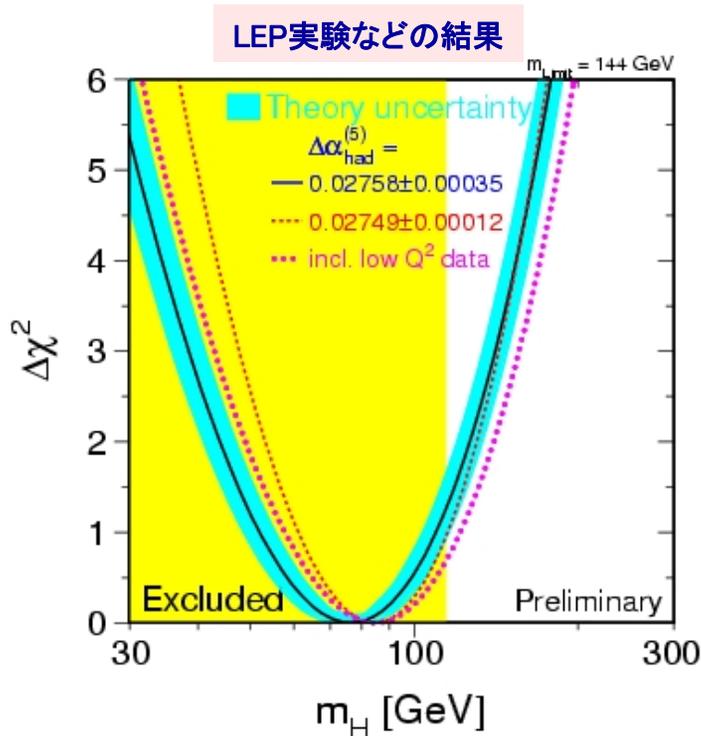
質量の起源を担うHiggs粒子



Higgs粒子は重い粒子と強く結合

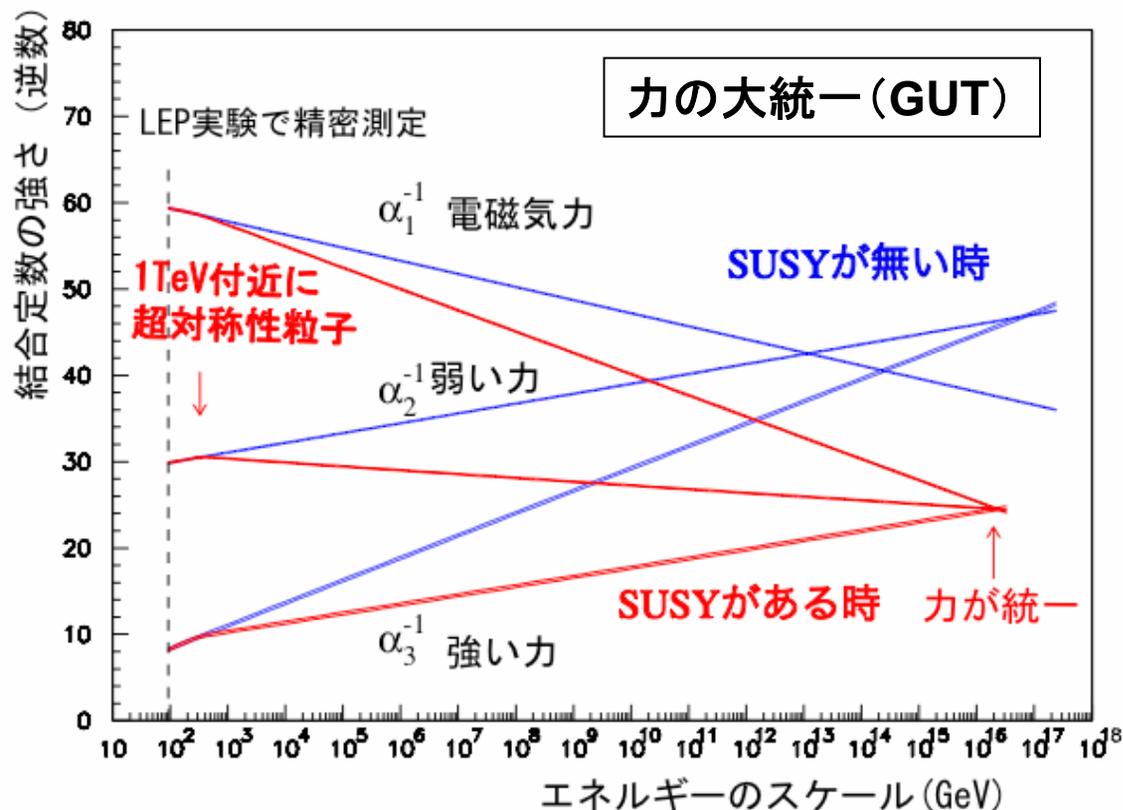
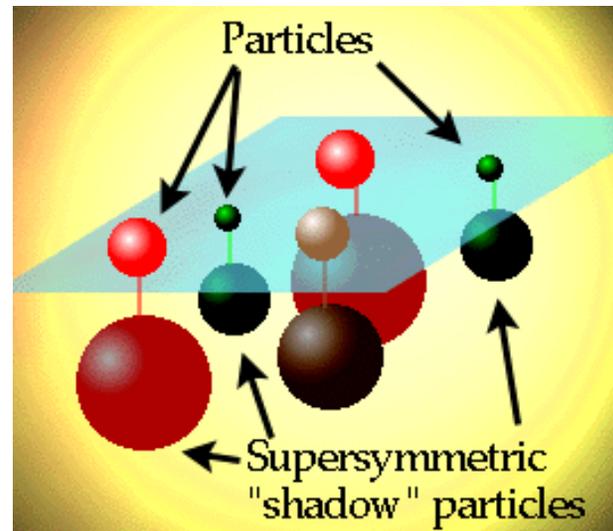


ATLAS実験でのHiggs event



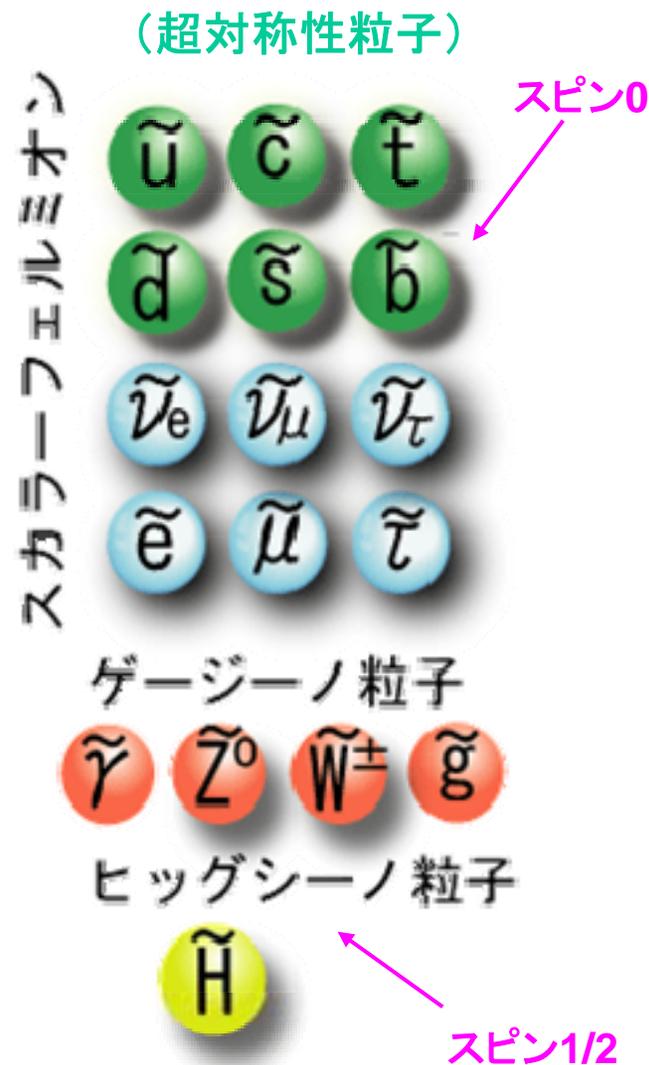
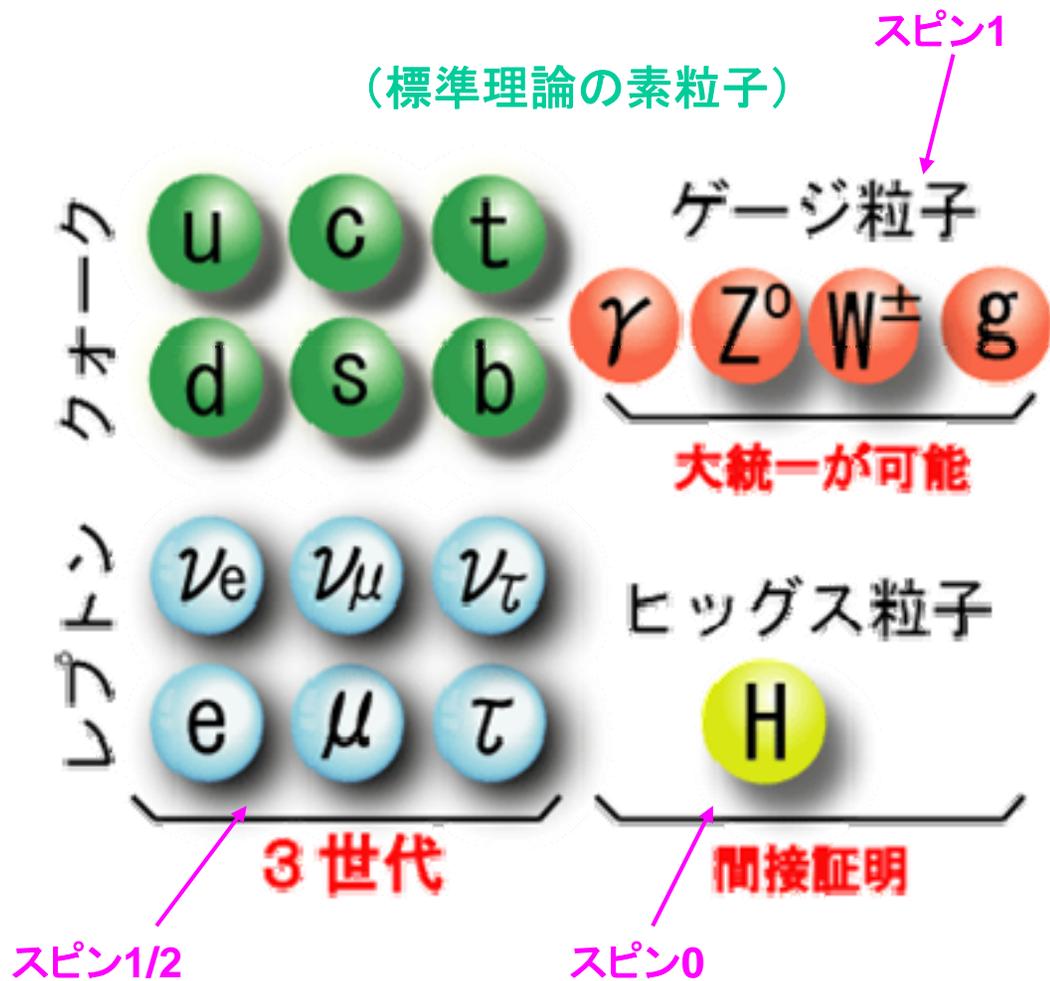
超対称性 (SUSY)

- 標準理論を超える有力な理論
- 重力を含むすべての力の統一する可能性
- 宇宙のダークマターの有力候補
- 実験的な兆候もあり

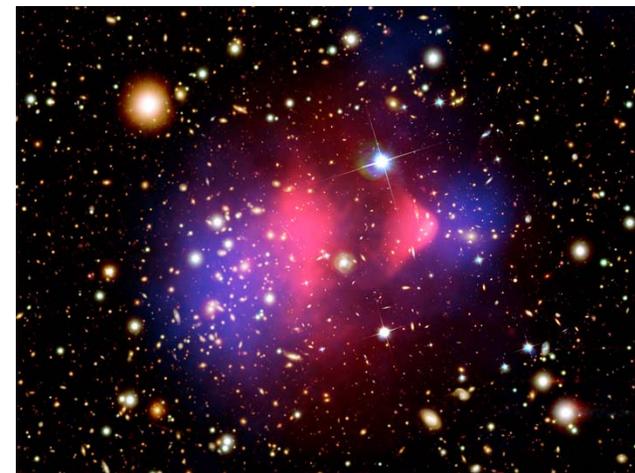
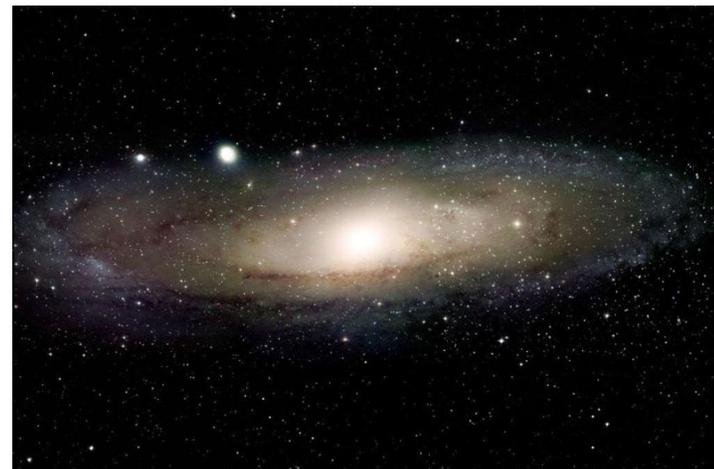


超対称性

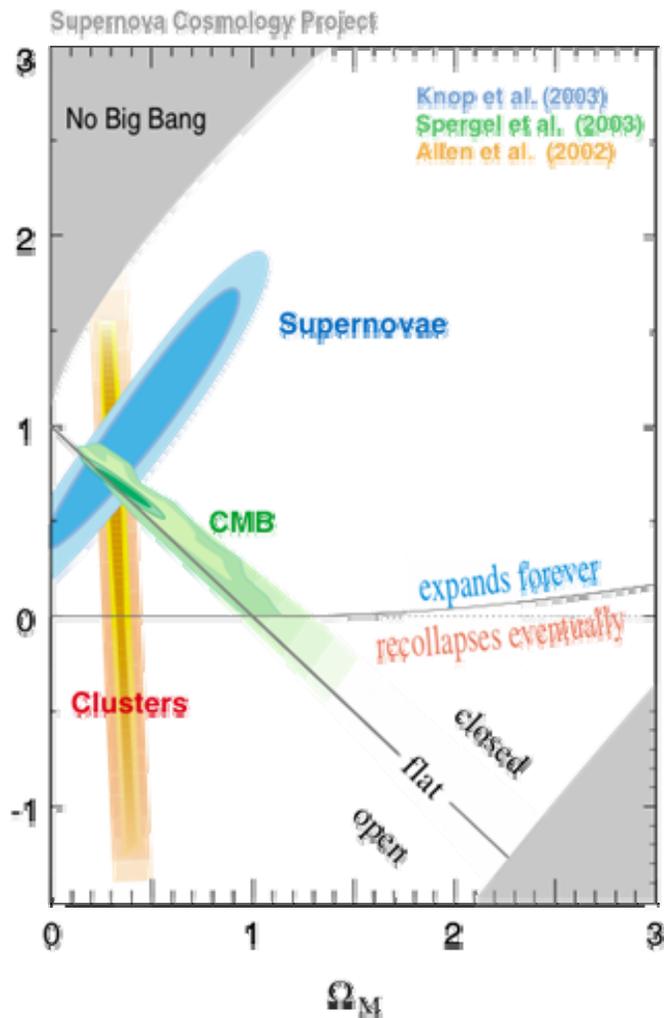
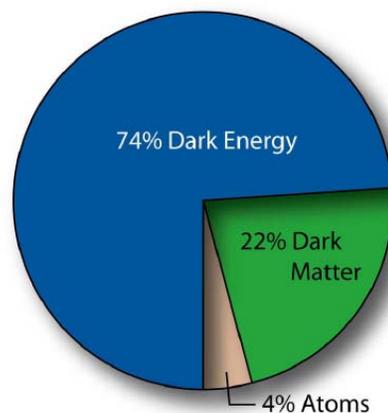
(半整数スピン \leftrightarrow 整数スピン)



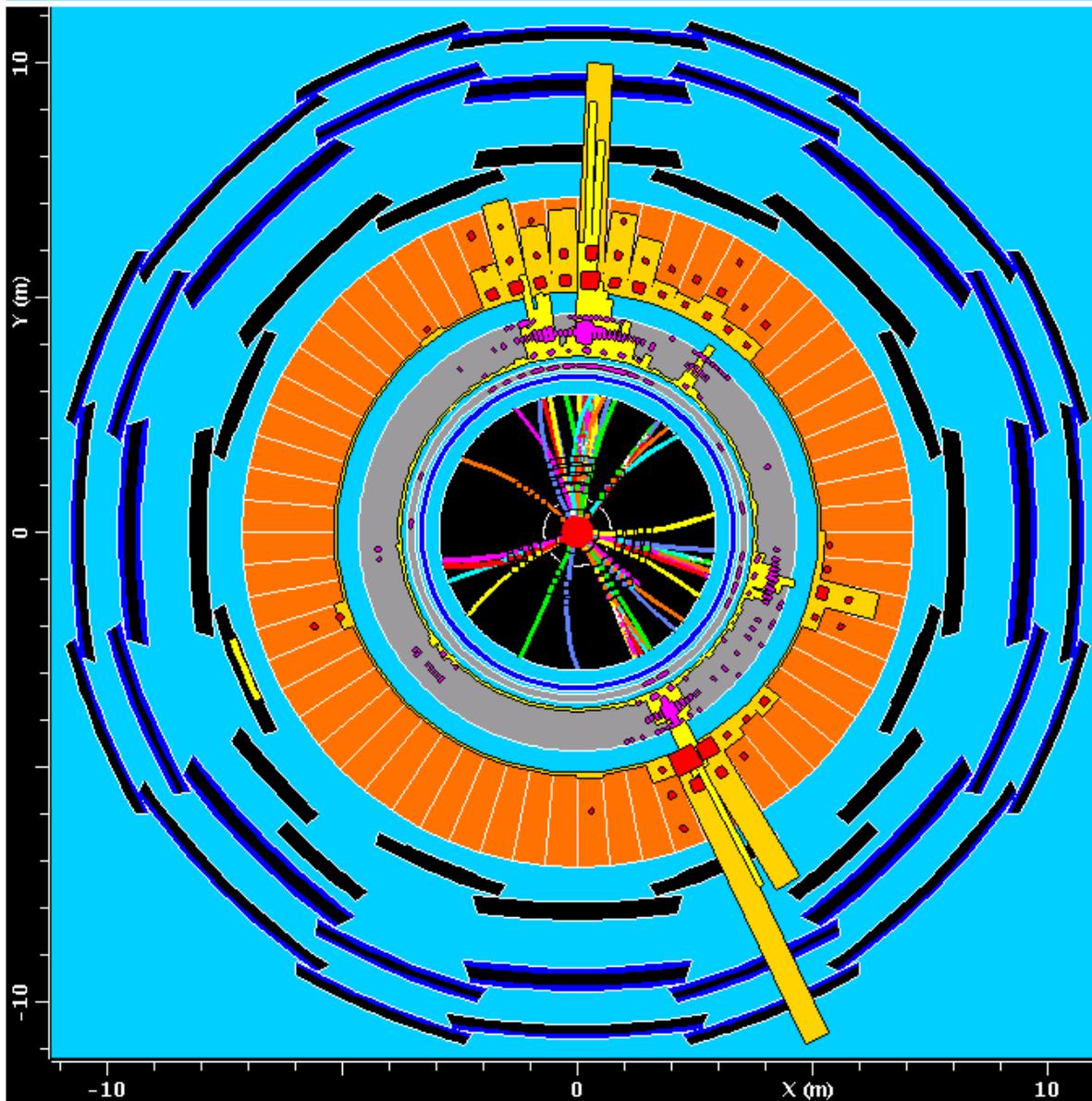
最近の天文・宇宙観測データから



(ダークマターの証拠写真、2006年8月)

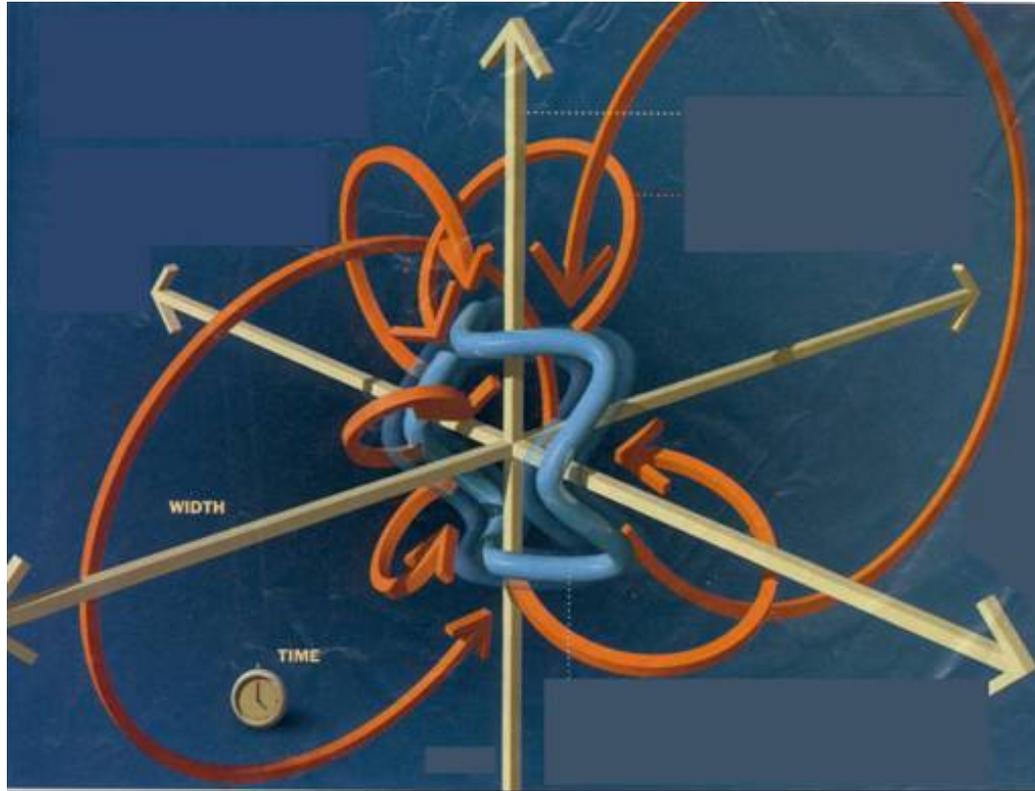


- ・一番軽い超対称性粒子(ニュートラリーノ)はダークマターの有力候補
- ・ダークエネルギーの正体は大きな謎



Simulation of a SUSY event in ATLAS

我々は4次元の時空に住んでいるのか？

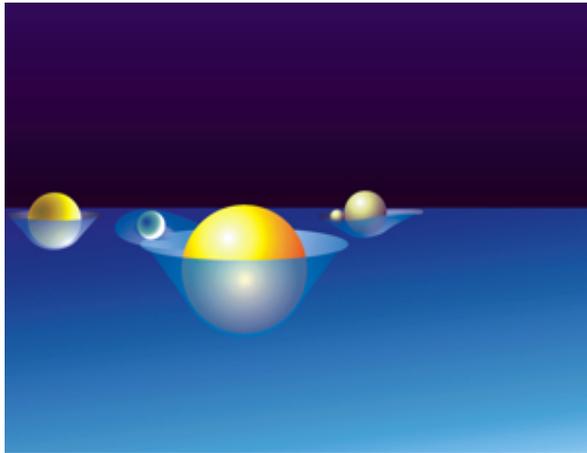
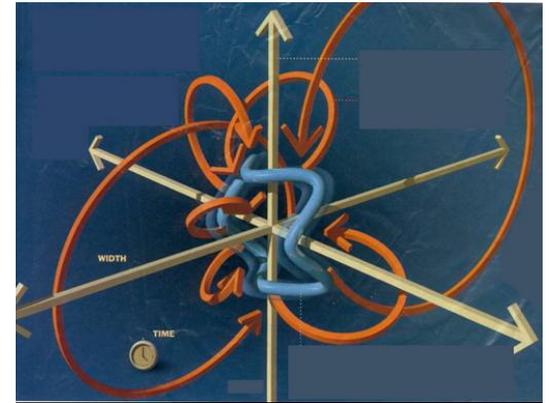


重力を含むすべての力を統一する理論では余次元が必要
(量子重力や超弦理論の世界は10または11次元)

→ ひょっとするとLHC実験でミニブラックホールができる可能性も

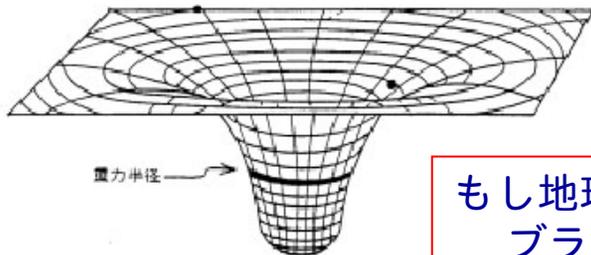
余次元とミニブラックホール

- ・ 超ひも理論の世界は10（または11）次元
- ・ 余次元が見える距離では重力が強くなる
- ・ LHCの高エネルギー（つまり短距離）で余次元が見え出すかもしれない



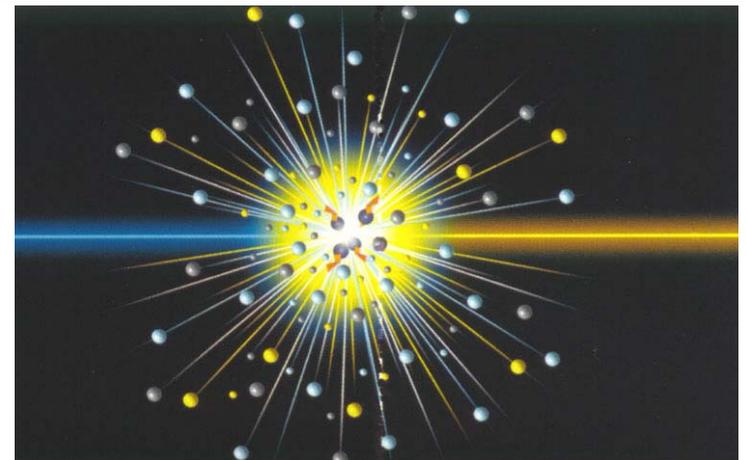
質量・エネルギー \leftrightarrow 時空のゆがみ
(アインシュタイン)

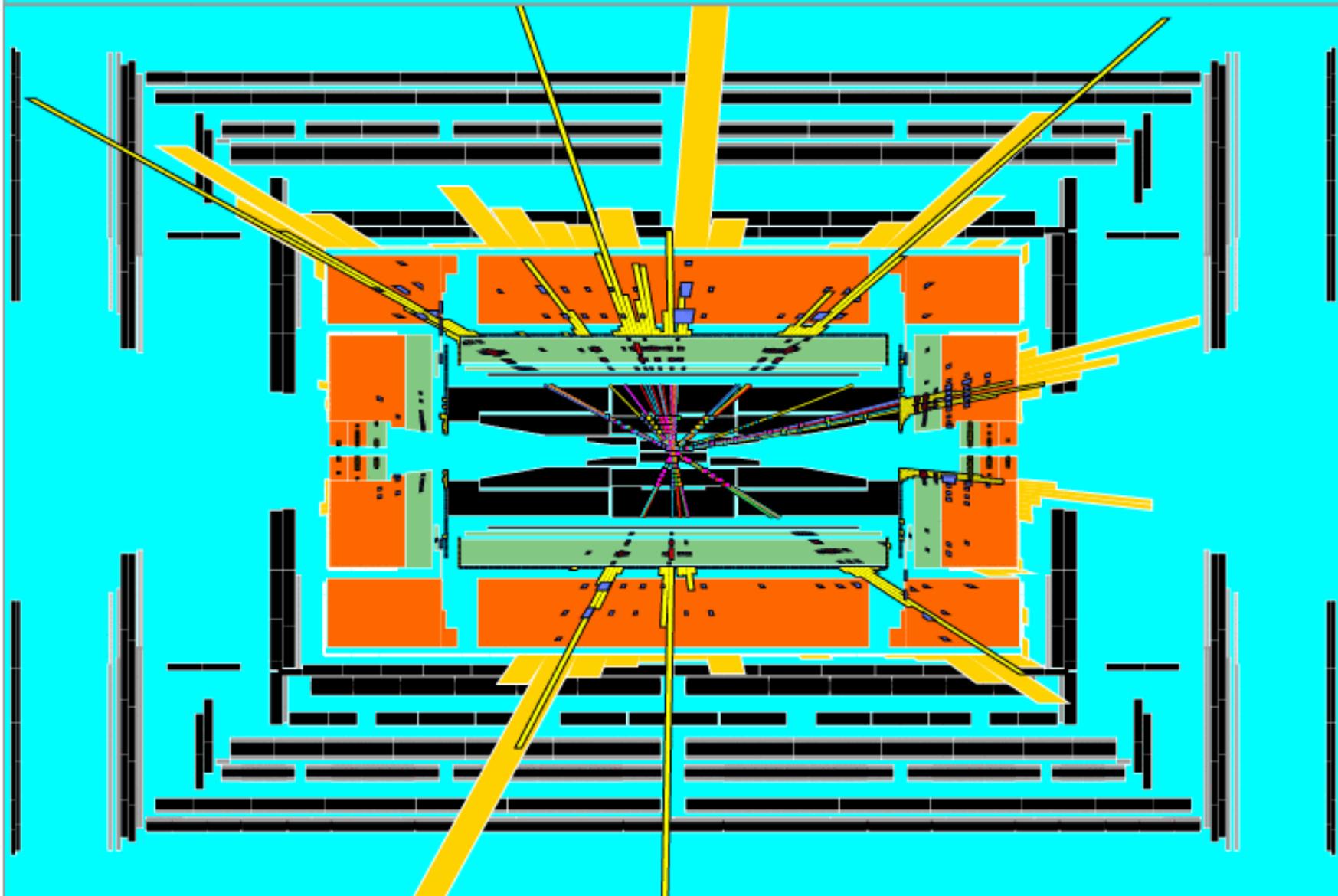
余次元の効果により、LHCでミニブラックホールが生成されるかもしれない



もし地球が $\sim 1\text{cm}$ 以下なら
ブラックホールに！

ブラックホールの蒸発
(ホーキング、1975年)





Simulation of a mini black hole event with $M_{\text{BH}} \sim 8 \text{ TeV}$ in ATLAS

Stephen HawkingがCERNを訪問

(2006年9月)

"Superpartners would be very important and I estimate a 50% probability. Black holes would also be very important. The Higgs would not be so important, and rather probable."

"I think the chance that you will find mini black holes is less than 5%. I haven't booked my ticket to Stockholm yet."



Clear Sky
at Grand Desert?

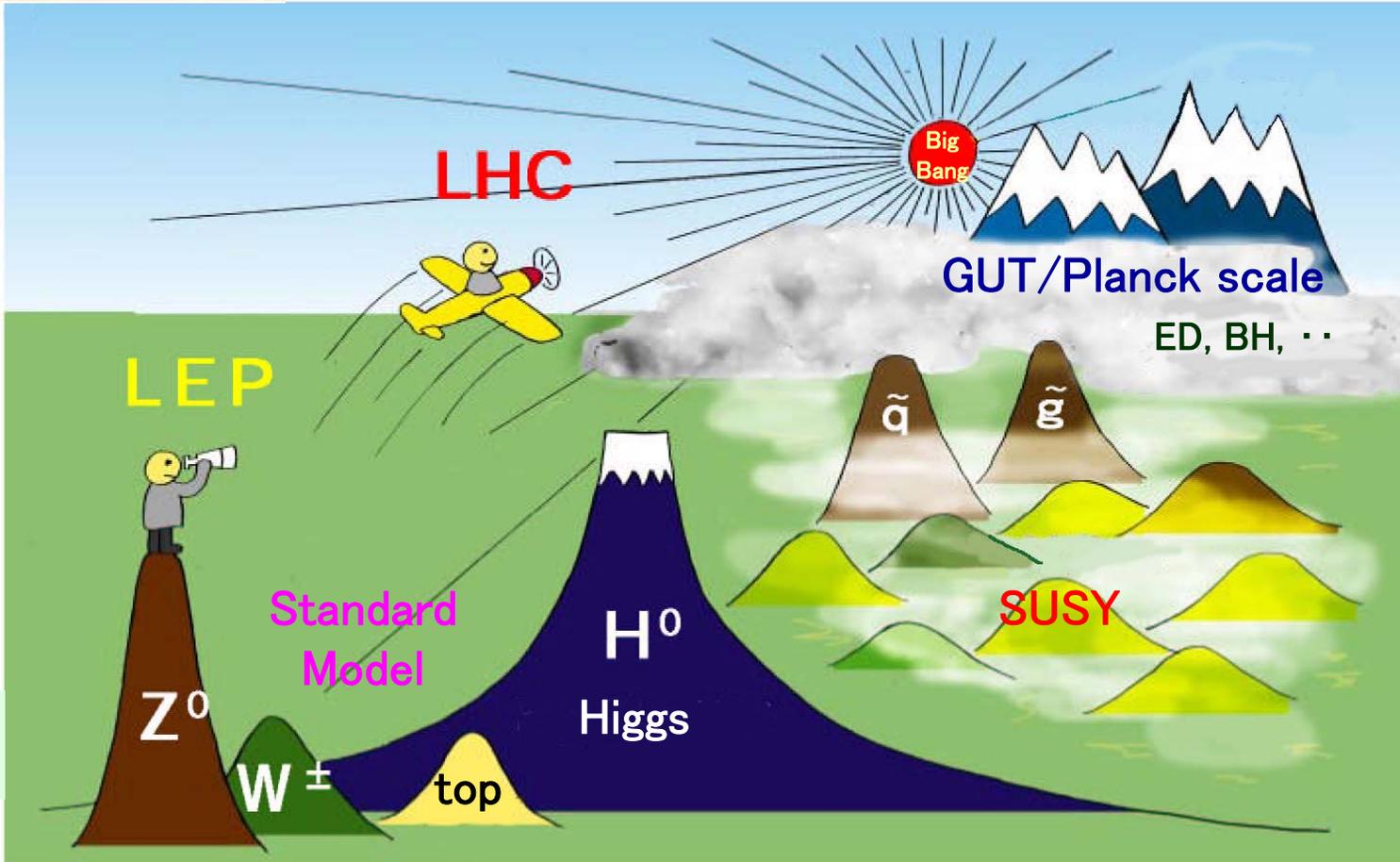


S. Orito (1992)
ICEPP Symposium
"From LEP to the Planck Scale"

LHC

Looking Down at New Phenomena in the TeV Region

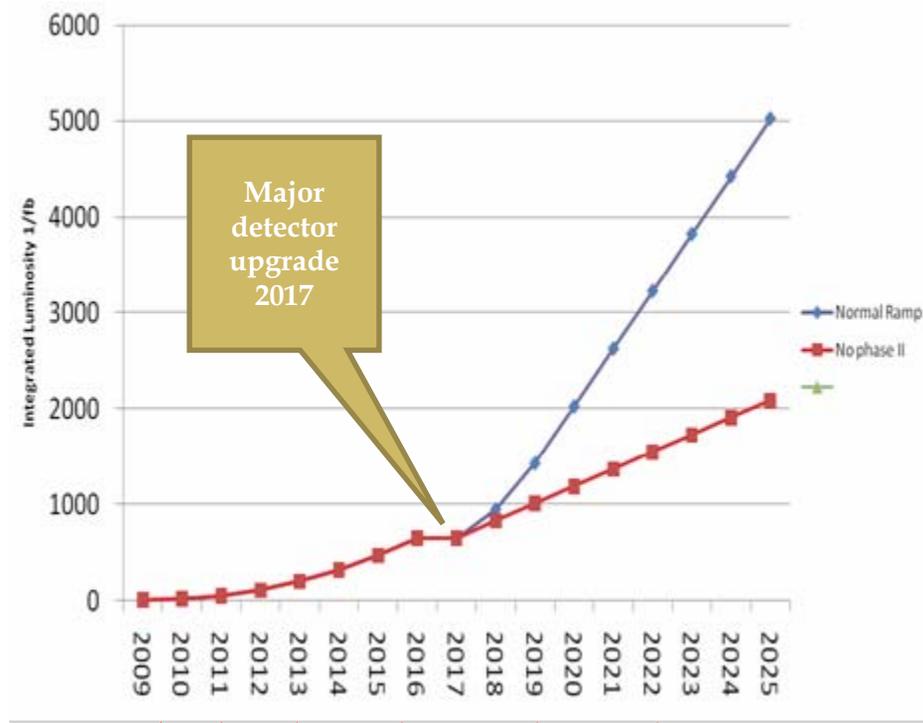
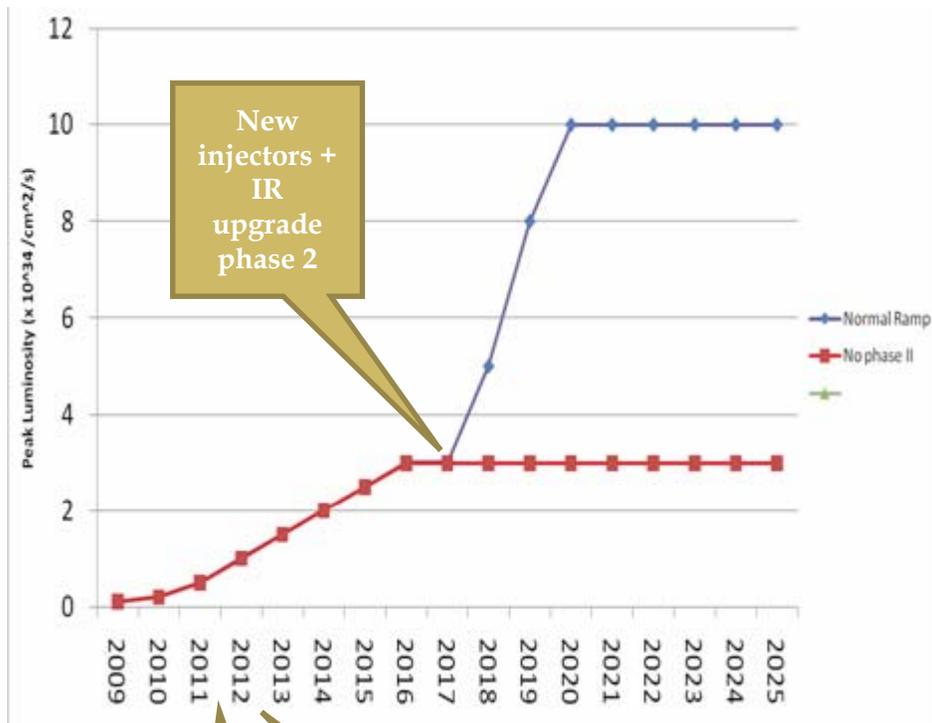
It's about to take off!



T. Mori (2001)
LEP Symposium @ICEPP
"Beyond the EW Scale"

予備のスライド

Peak and Integrated Luminosity



Collimation phase 2

Linac4 + IR upgrade phase 1

SUSY@1TeV

SM-Higgs

ADD X-dim@9TeV

Compositeness@40TeV

SUSY@3TeV

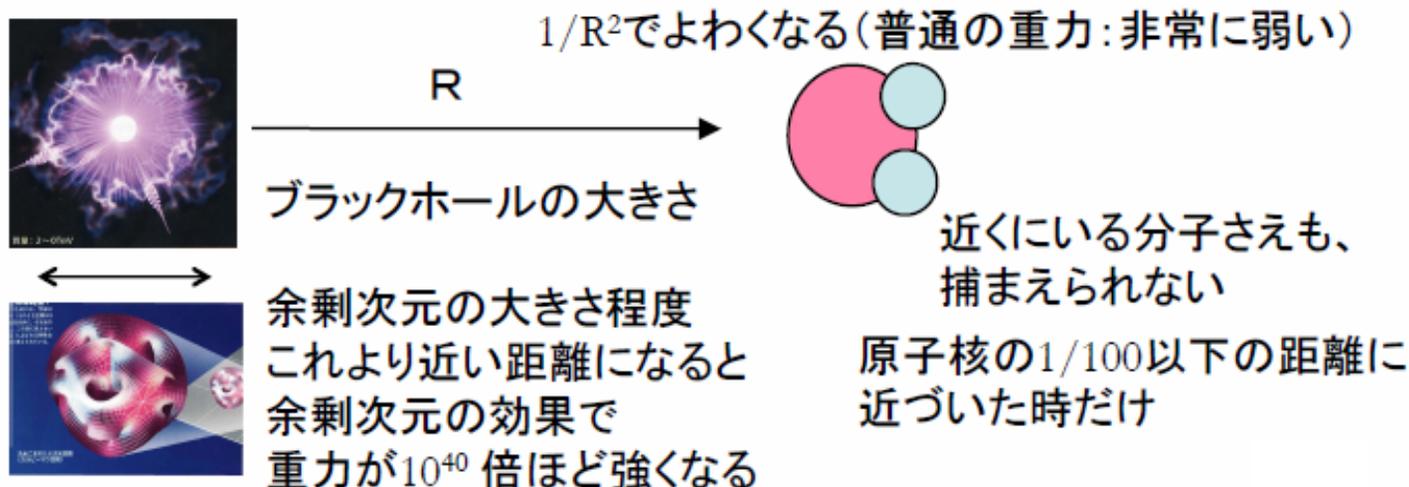
Z'@6TeV

Higgs detailed study

LHCの安全性について

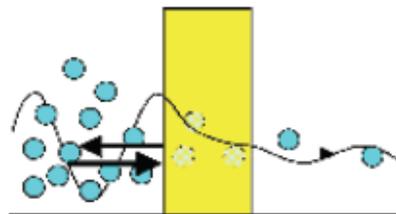
安全な理由(1):

(1) もの(地球)を飲み込めない ブラックホールと言っても大きさは 10^{-17}m 以下(原子核の1/100)で、その重さも水素原子の1万倍(せいぜい蛋白質分子)です。このブラックホールのもつ重力は非常に小さい。なぜブラックホールになったかと言うと、 10^{-17}fm 以下に近づいた時、隠れていた次元が見えて、重力が急に大きくなったからです。しかし、それ以上離れると、余剰次元は見えなくなり皆さんがよく知っている重力になり、非常に弱いです。(分子の大きさのなるのに $10^{13}\sim 10^{28}$ 年 : 宇宙の寿命 137億より圧倒的に長い)



安全な理由(2):

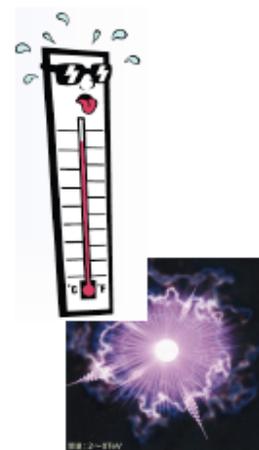
(2) ブラックホールの蒸発(ホーキング輻射)



光さえも出てこられないと言うのは古典的に考えた時です。
量子力学で考えると、どんなに重力が強くても、
そこから粒子は出てくる事が出来ます。(トンネル効果といいます)
ブラックホールの中の粒子のエネルギーが高いほどしみ出しやすくなります。

ブラックホールの中の粒子のエネルギーは、
ブラックホールの温度で決まります。
実はブラックホールにも温度があり、軽い程、
温度が高くなります。今考えているミニブラックホール程度は、
大変温度が高く(10^{15} 度、100兆度)です。

温度が高いのですぐに、たくさん粒子を放出します
放出された粒子が、P.19の様に観測されます。
あっという間(10^{-27} 秒ぐらい)に蒸発します。



万一(2)蒸発しなくても、(1)なので心配ありません。

この他、LHCの衝突エネルギーより高いエネルギーの宇宙線がたくさん地球に降り注いでいるが、地球(そして宇宙)が存在していることから危険性はない。

→ LHC Safety Assessment Group報告書 (<http://lsag.web.cern.ch/lsag/LSAG-Report.pdf>)