

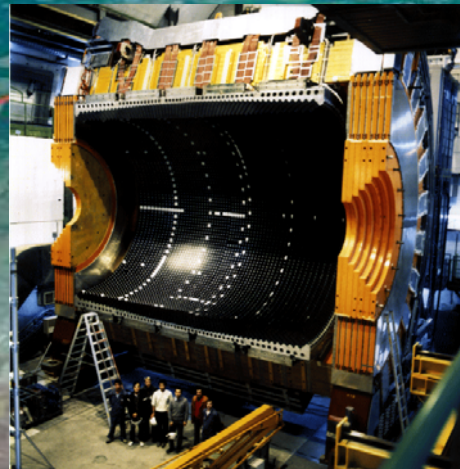
巨大加速器で見る極微の世界

-- 素粒子研究の最前線 --

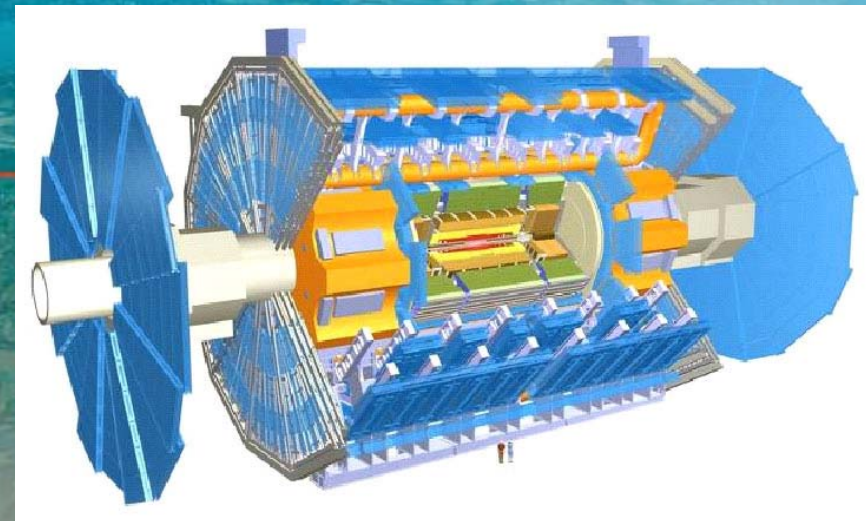
小林富雄
(東京大学素粒子物理国際研究センター)



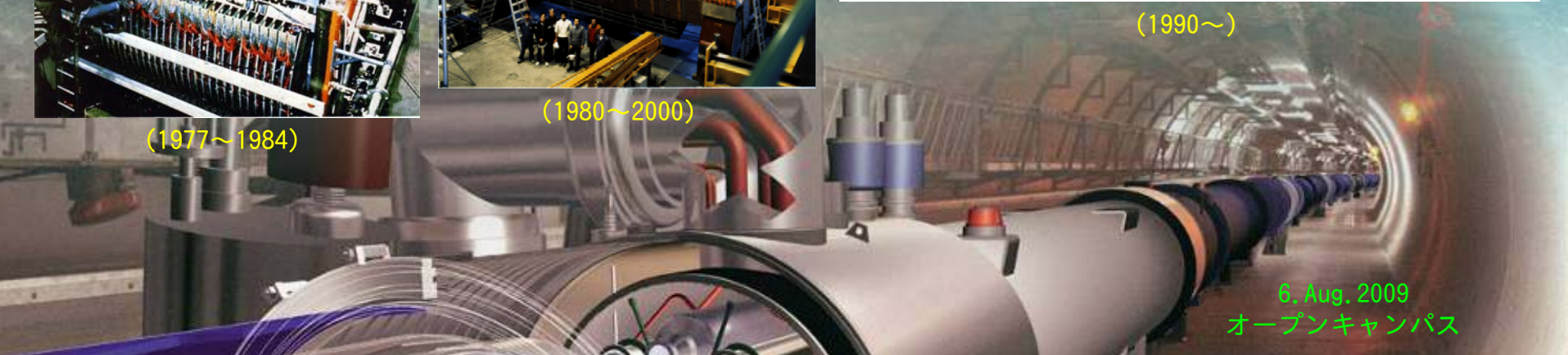
(1977~1984)



(1980~2000)

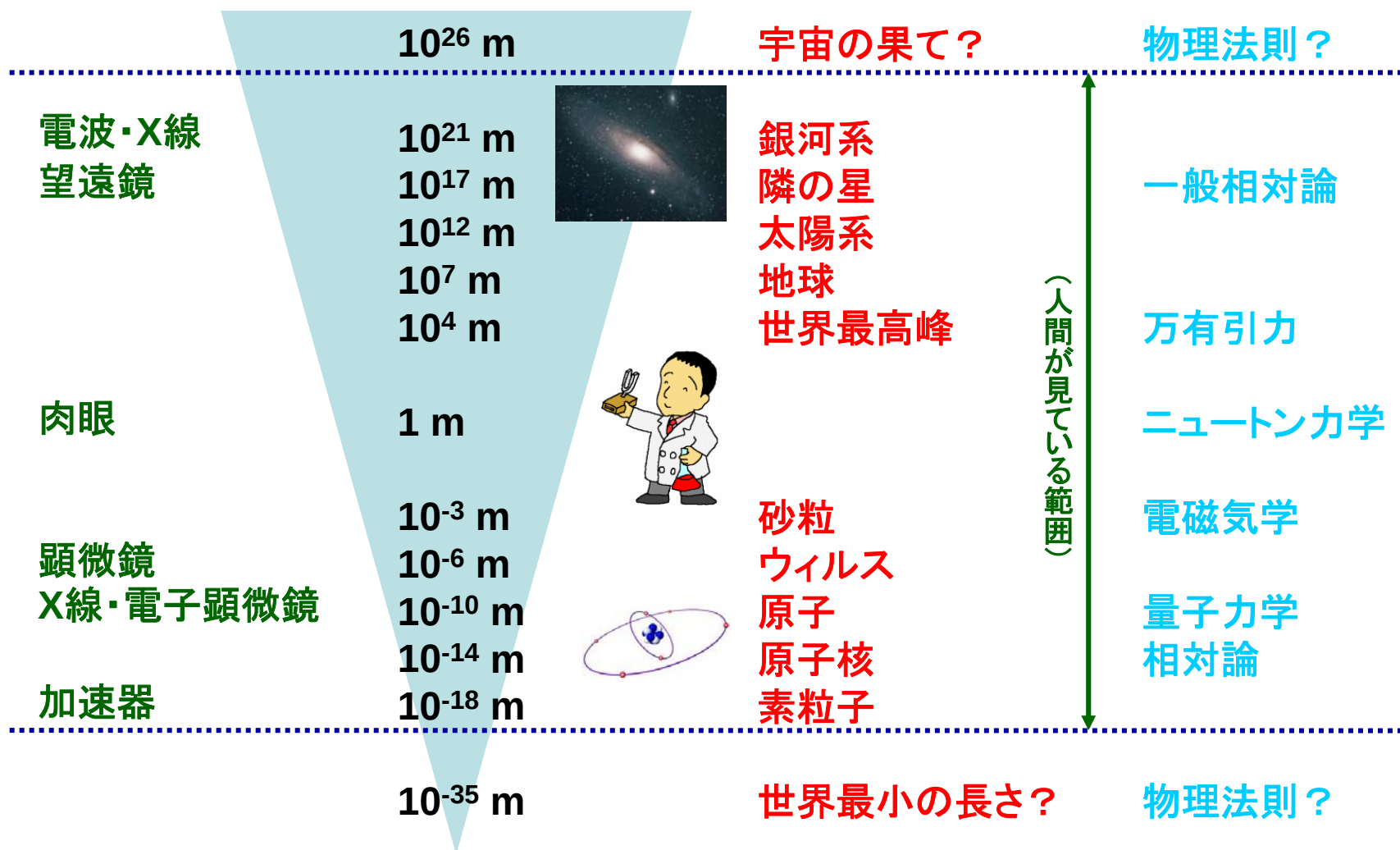


(1990~)



6. Aug. 2009
オープンキャンパス

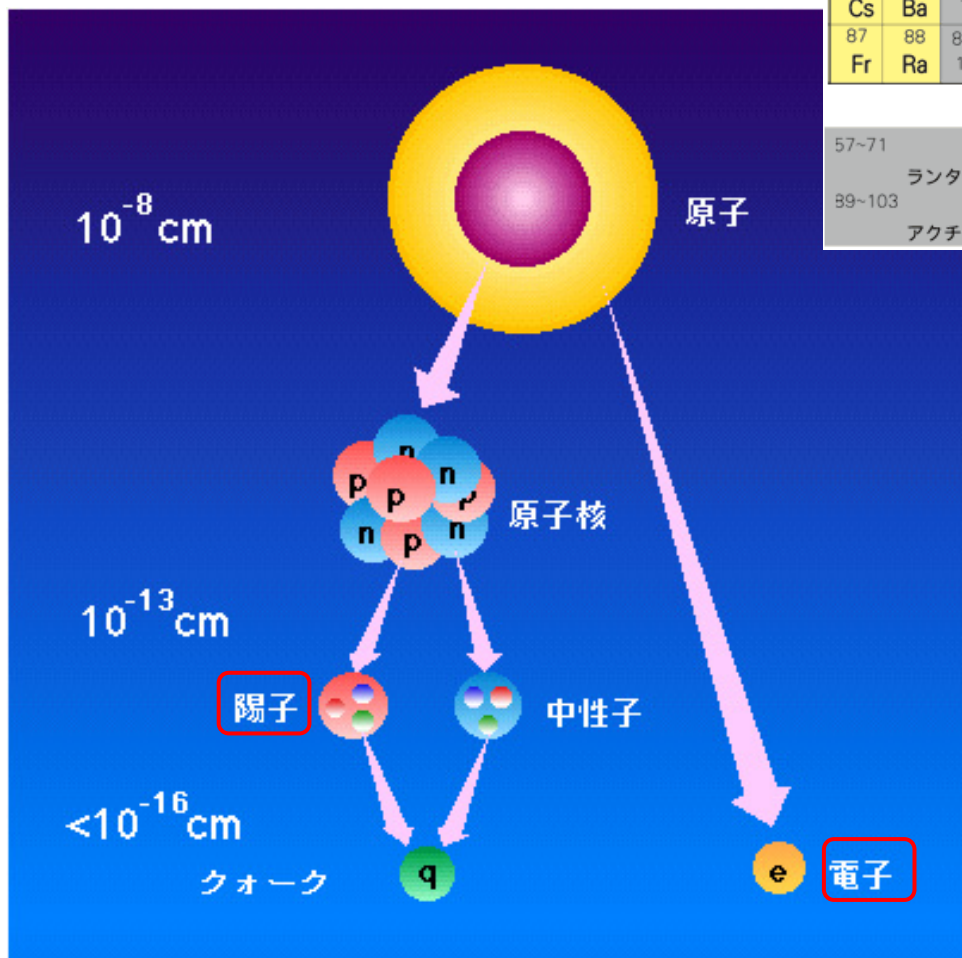
世界の大きさ



素粒子物理 の研究

1																	18
1 H	2											13	14	15	16	17	2 He
3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57~71	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89~103	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110	111	112						

57~71 ランタノイド	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
89~103 アクチノイド	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr



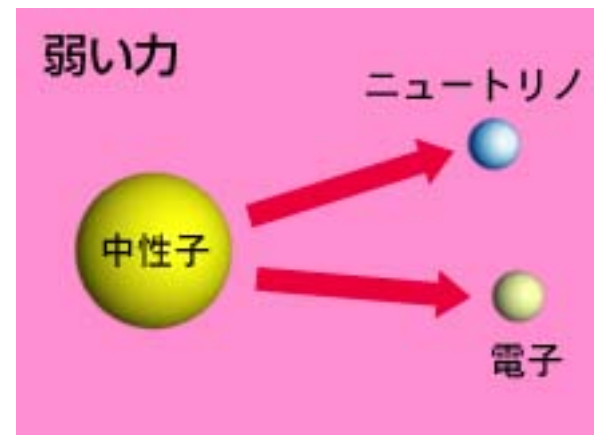
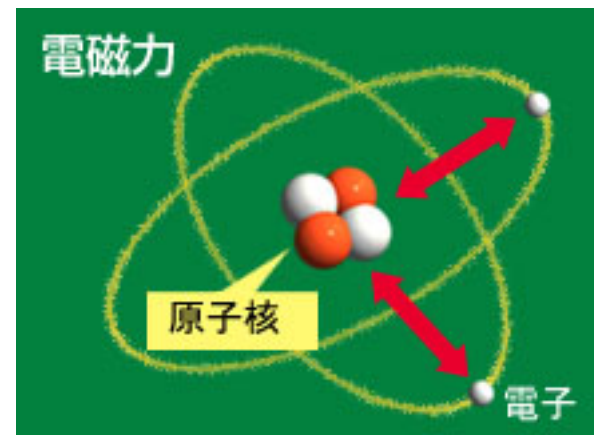
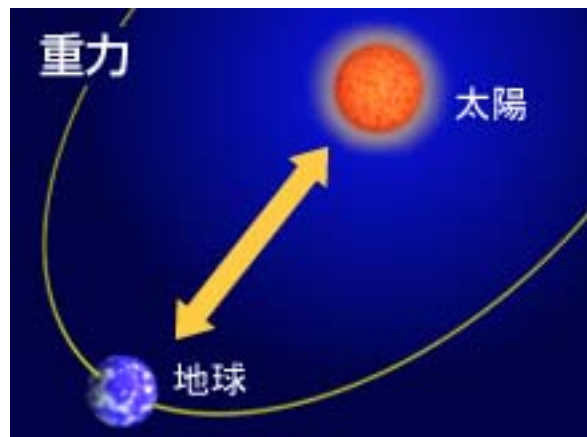
u(電荷2/3)、d(電荷-1/3)

・物質は何からできているか？
→物質を構成する基本粒子

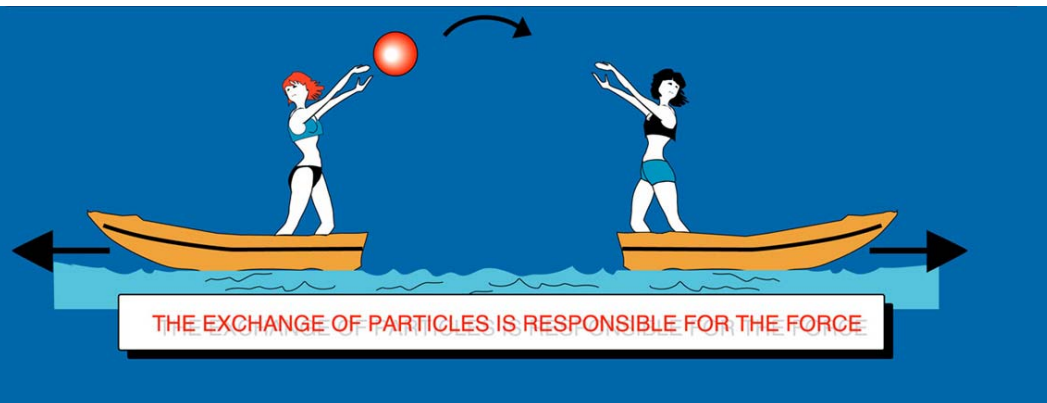
・その基本粒子間に働く力は？
→相互作用

(パイ中間子、ニュートリノ、ミューオン、陽電子、・・・)

自然界の 4つの力



(中性子は陽子に変わる)



力は粒子を交換することで伝わる

電磁力 --- 光子

弱い力 --- Z^0 , W^+ , W^-

強い力 --- グルーオン

(重力 --- 重力子)

物質の構造をより細かく見るには？

分解能

光学顕微鏡

光

光の波長 ~ 1 ミクロン ($=10^{-4}$ cm)

電子顕微鏡

電子

電子の波長 ~ 1 オングストローム ($=10^{-8}$ cm)

加速器

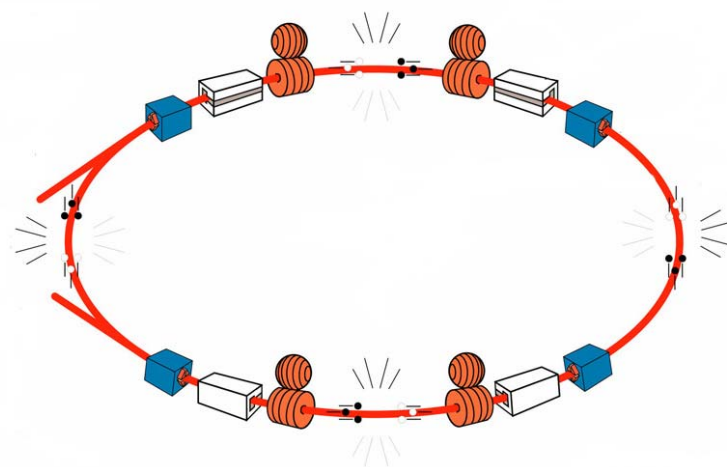
電子、陽子などの素粒子

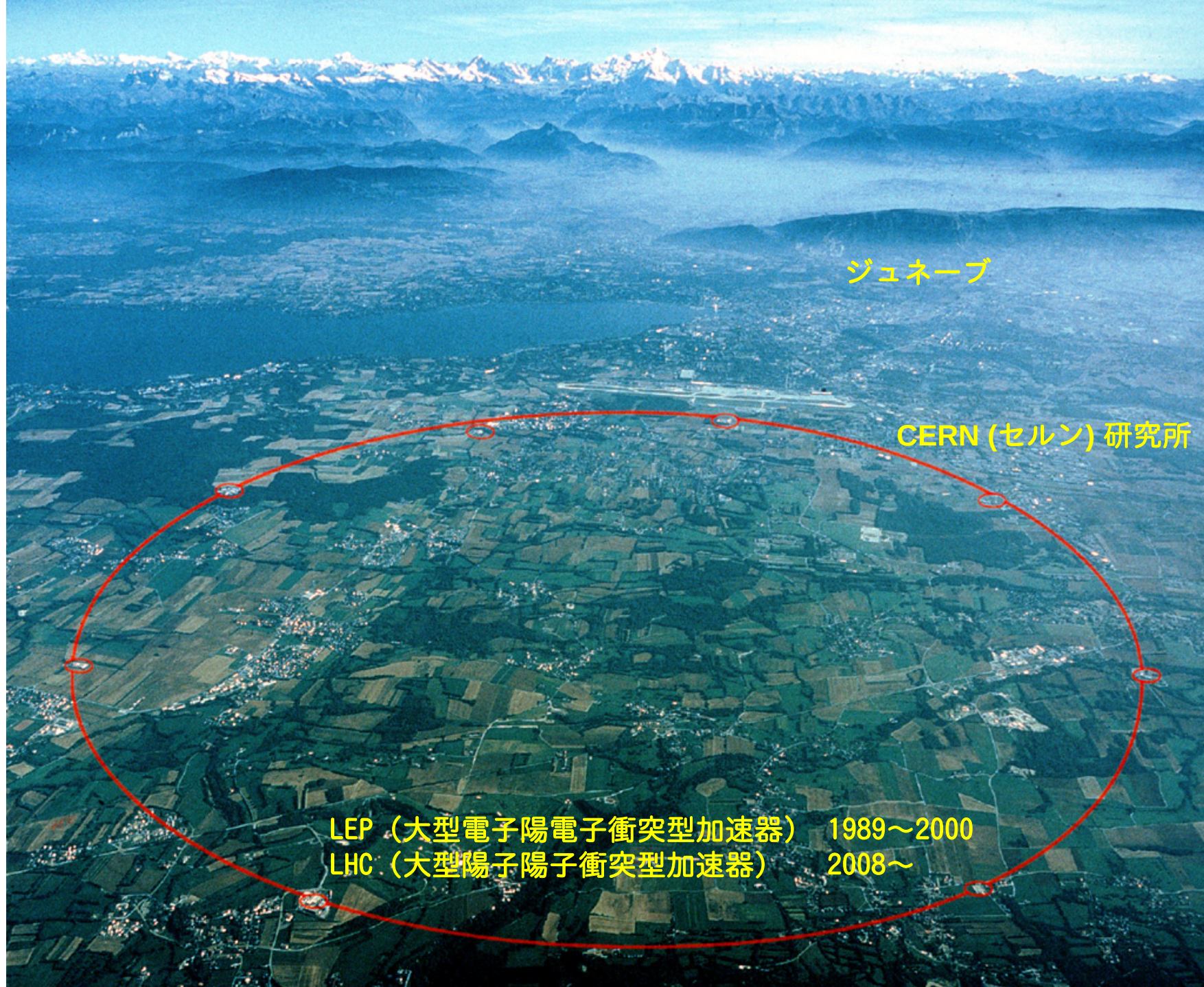
$<10^{-17}$ cm



波長をより短く

エネルギーをより高く



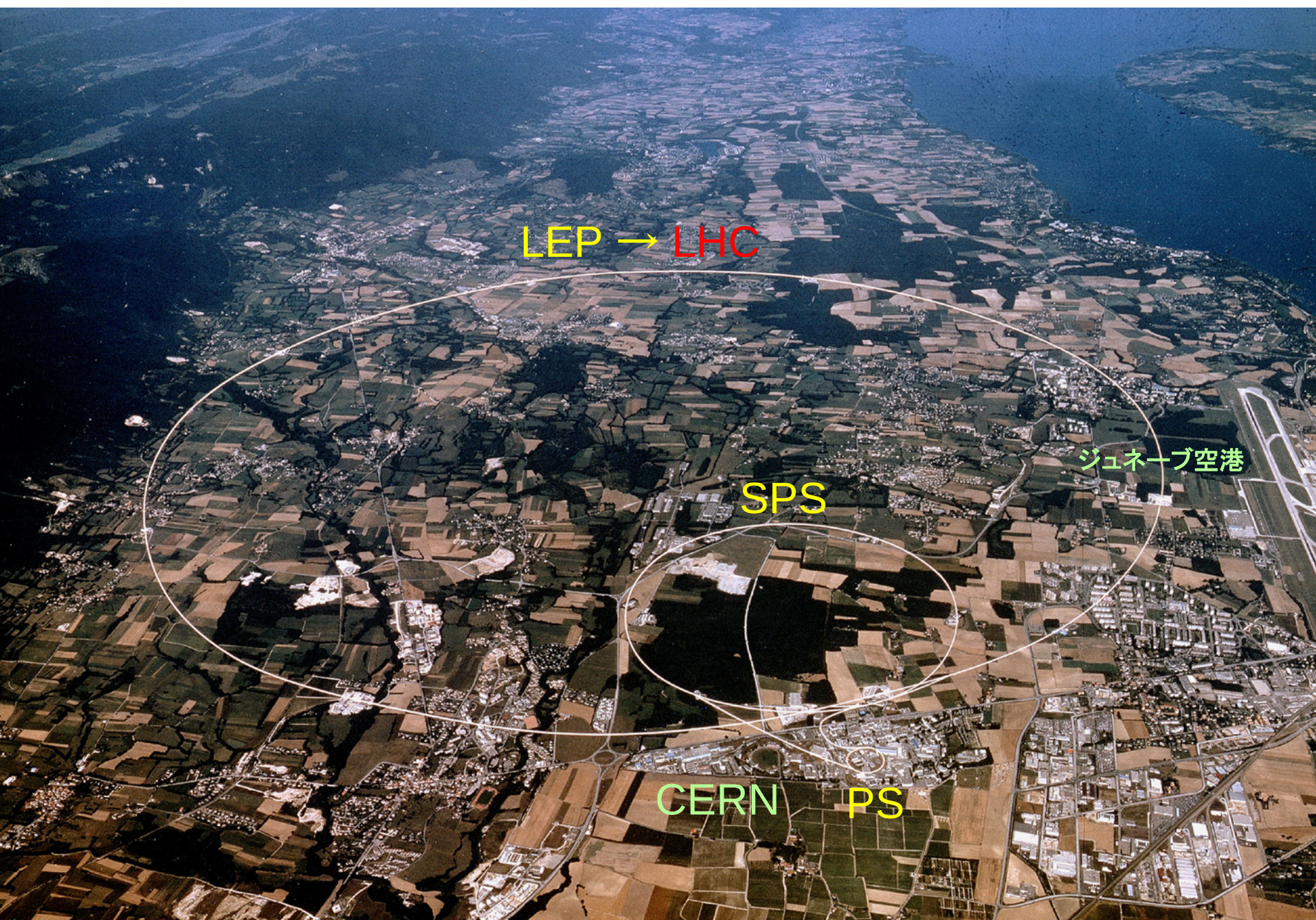


ジュネーブ

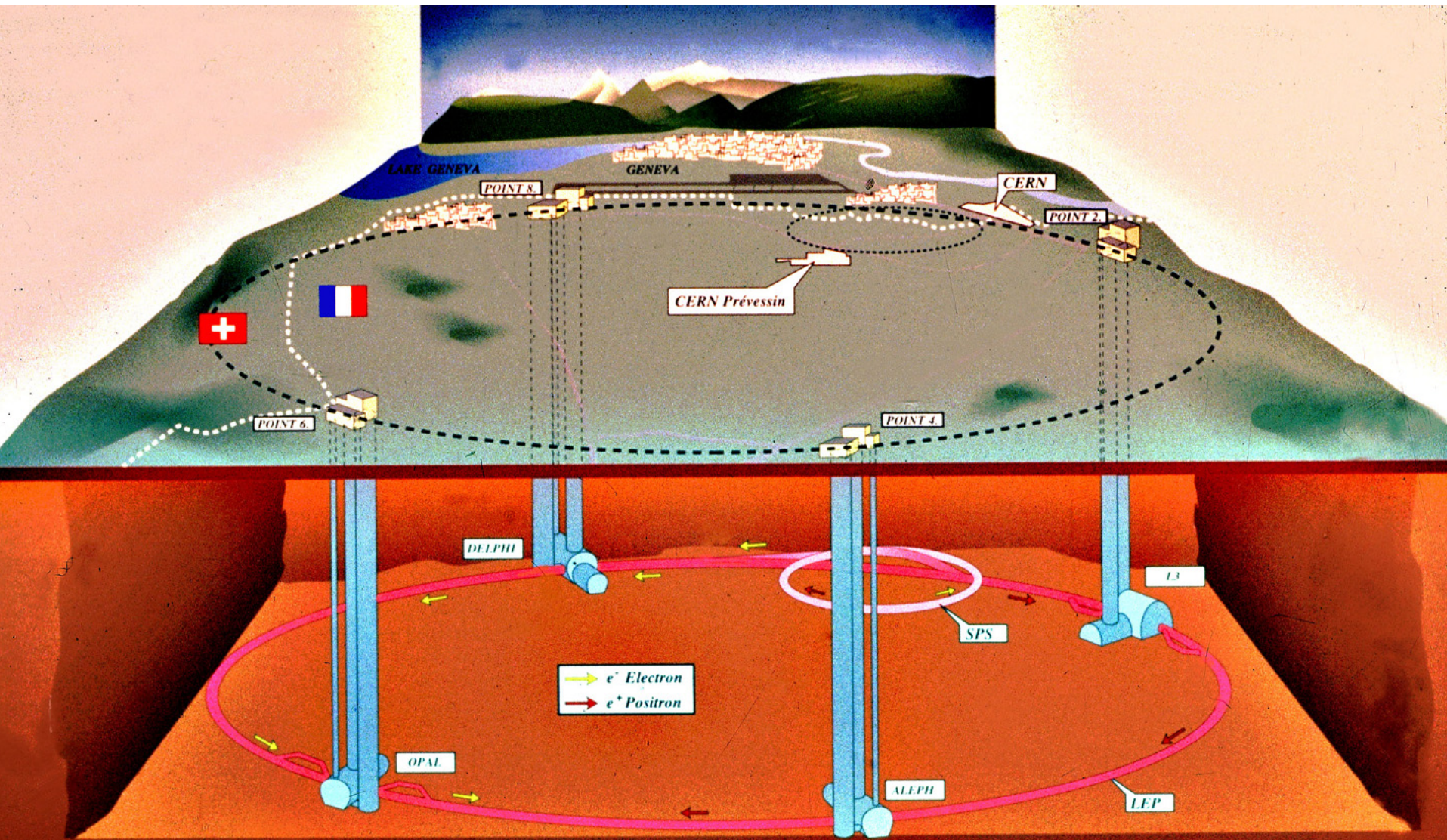
CERN (セルン) 研究所

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~

CERN研究所とLHC加速器



CERNのLEP/LHC加速器

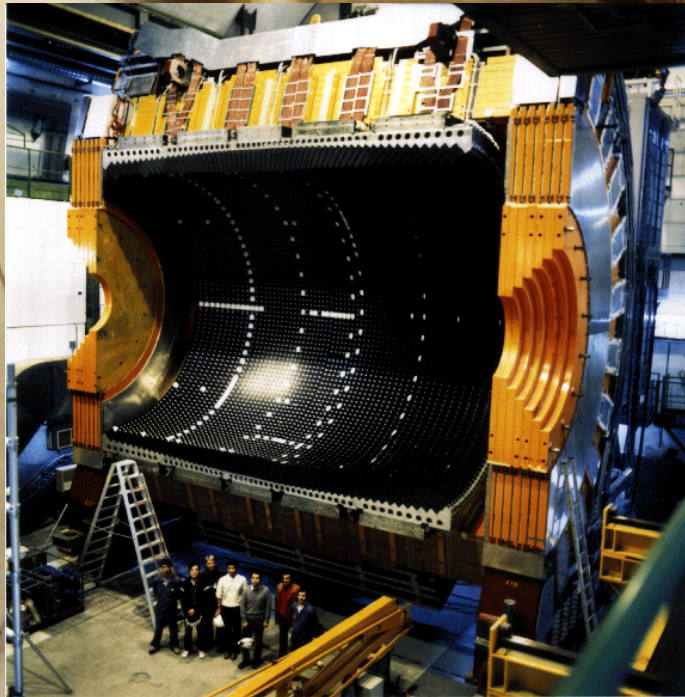
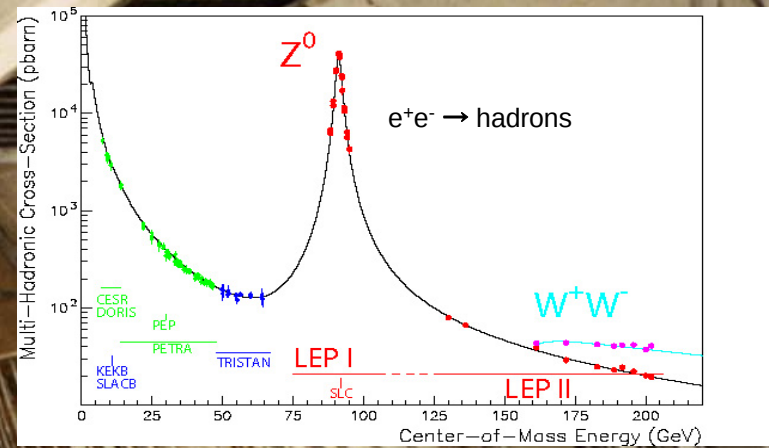


(一周27km、深さ~100m)

LEP加速器とOPAL実験

The figure is a composite image illustrating the LEP accelerator and the OPAL experiment. The top half shows a perspective view of the LEP tunnel, a long, arched structure with a series of support pillars and a yellow overhead crane. The bottom left shows a large, curved, black detector component, likely the OPAL detector, with a group of people standing in front of it for scale. The bottom right shows a blue machine component labeled "ANSALDO Component".

The graph in the top right corner shows the Multi-Hadronic Cross-Section (pbarn) on a logarithmic scale (from 10^2 to 10^5) versus Center-of-Mass Energy (GeV) on a linear scale (from 0 to 200). The curve shows a sharp peak at Z^0 (around 91 GeV) and a smaller peak at W^+W^- (around 160 GeV). The process is labeled $e^+e^- \rightarrow \text{hadrons}$. The graph also indicates the energy ranges of various experiments: CESR, DORIS, PEP, PETRA, TRISTAN, LEP I, LEP II, and SLAC.

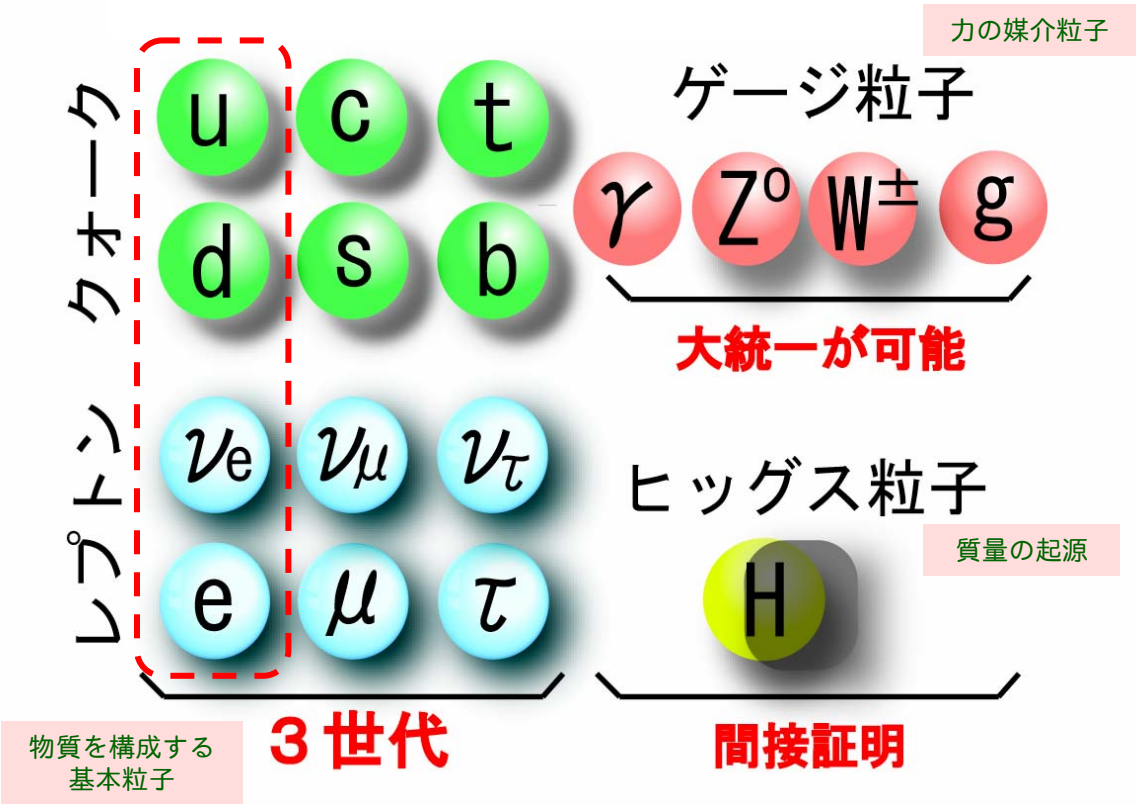


LEP加速器やOPAL測定器

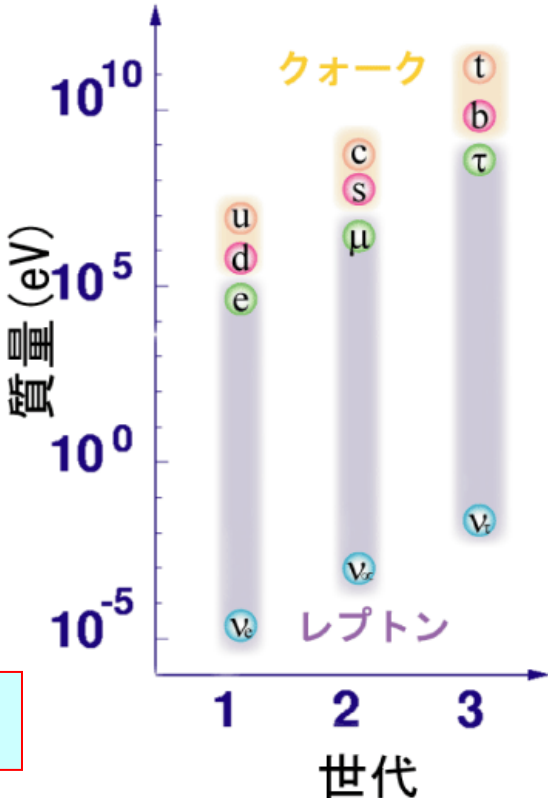
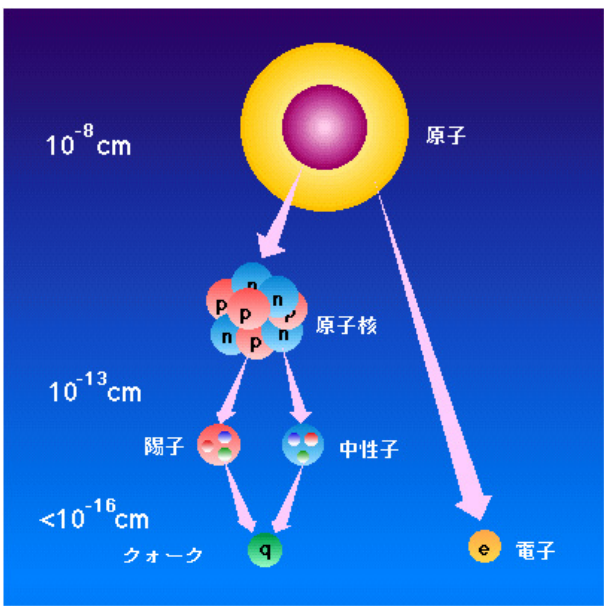
(言ってみれば、世界で最も分解能
の高い電子顕微鏡のようなもの)

を使って、研究を行って、
何がわかったのか？

素粒子の標準モデル（理論）
が確立された

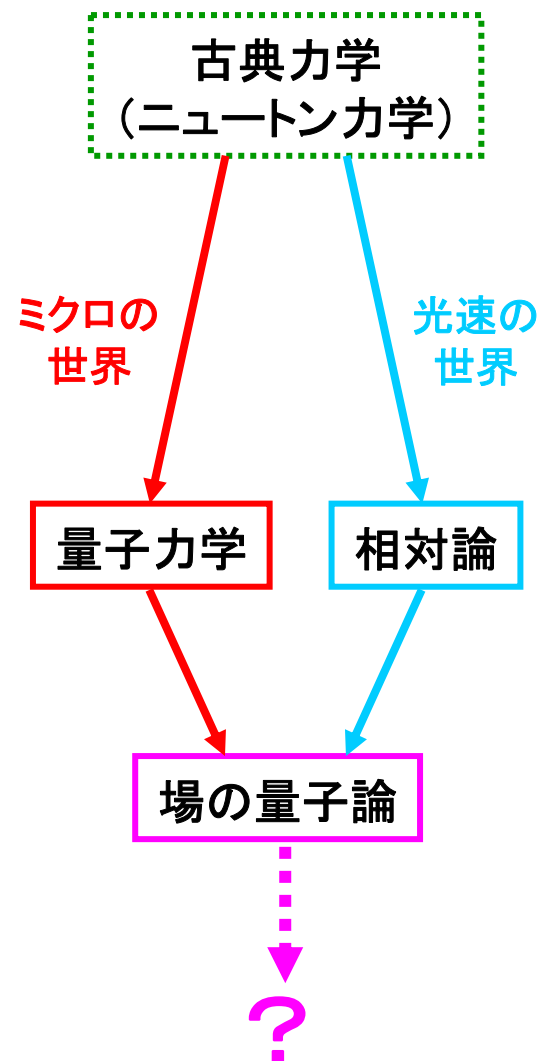
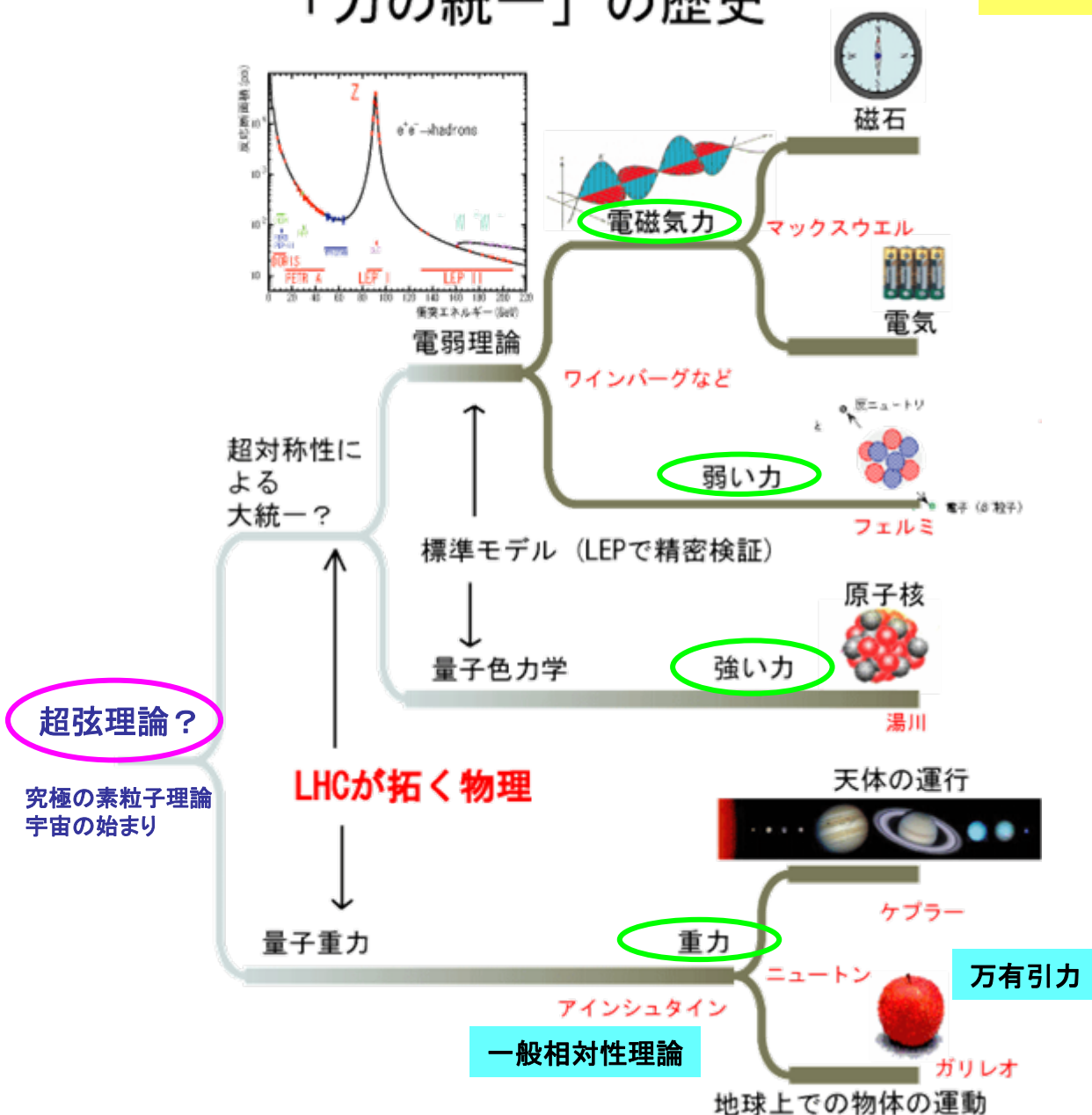


... がしかし、ヒッグス粒子だけが未発見



物理学に於ける 「力の統一」の歴史

20世紀の物理学の発展

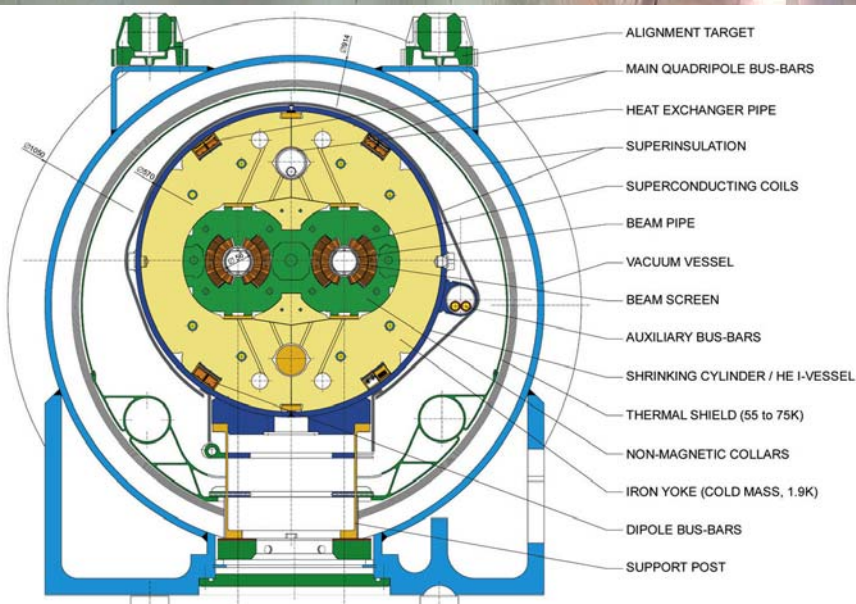


Large Hadron Collider (LHC)

- ・ 14 TeV の陽子・陽子衝突型加速器
- ・ LEPT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。
しかし9日後に事故発生。
再開は今年11月の見通し。

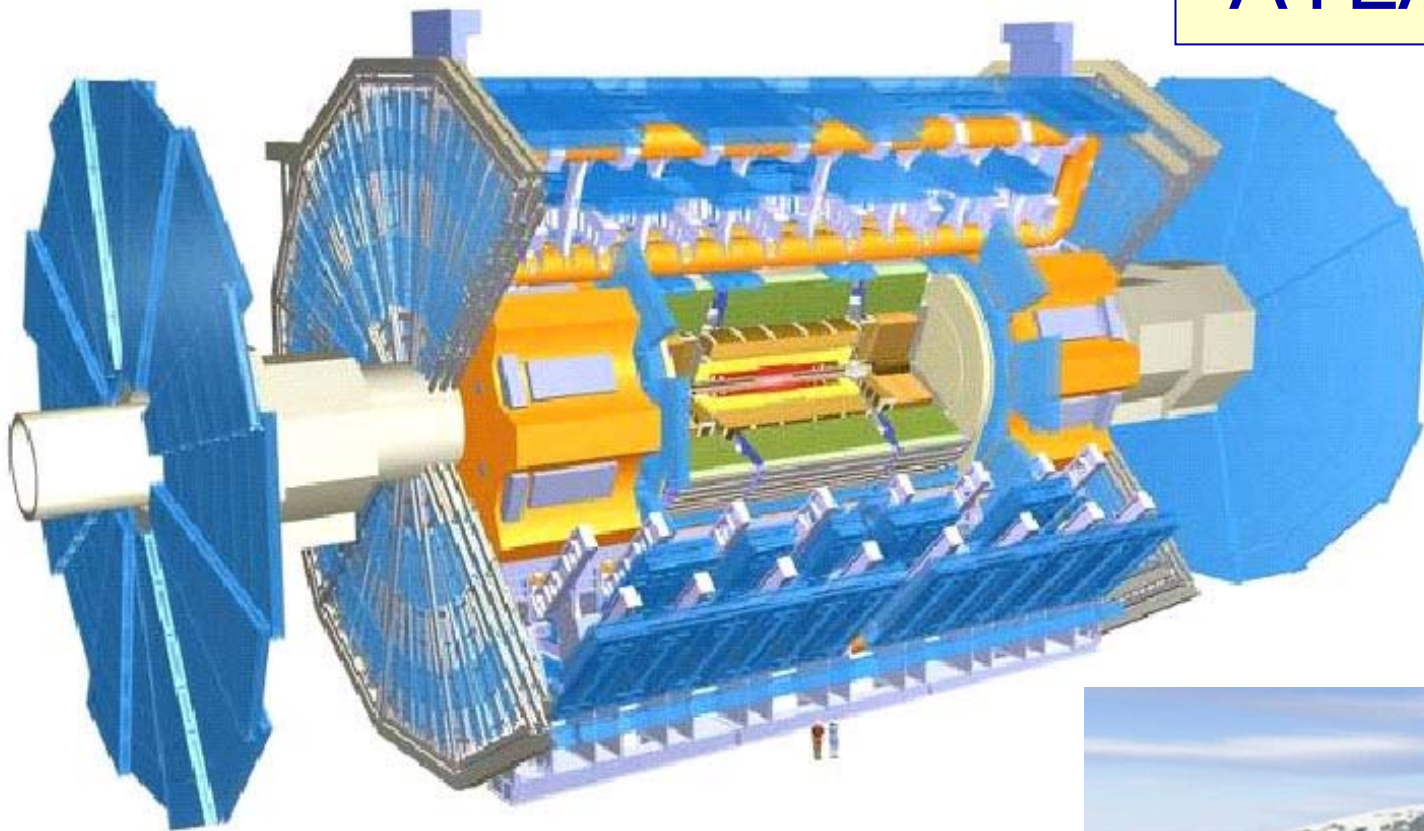
* CERNのLEP(e^+e^-)は 200 GeV

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



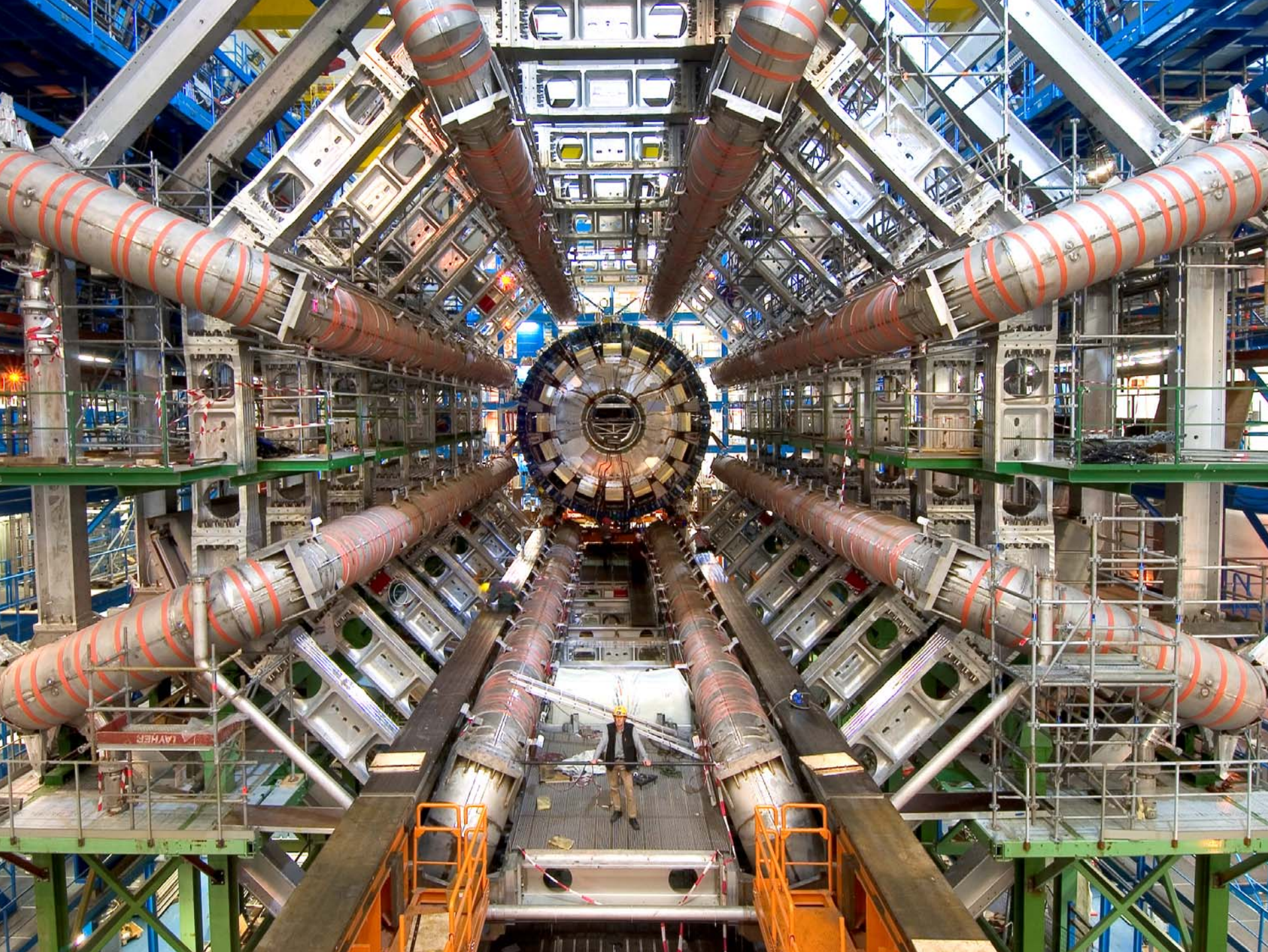
2-in-1 超伝導ダイポールマグネット:
磁場強度 8.3T、超流動ヘリウム温度 1.9K、長さ 14.3m、1232台

ATLAS測定器

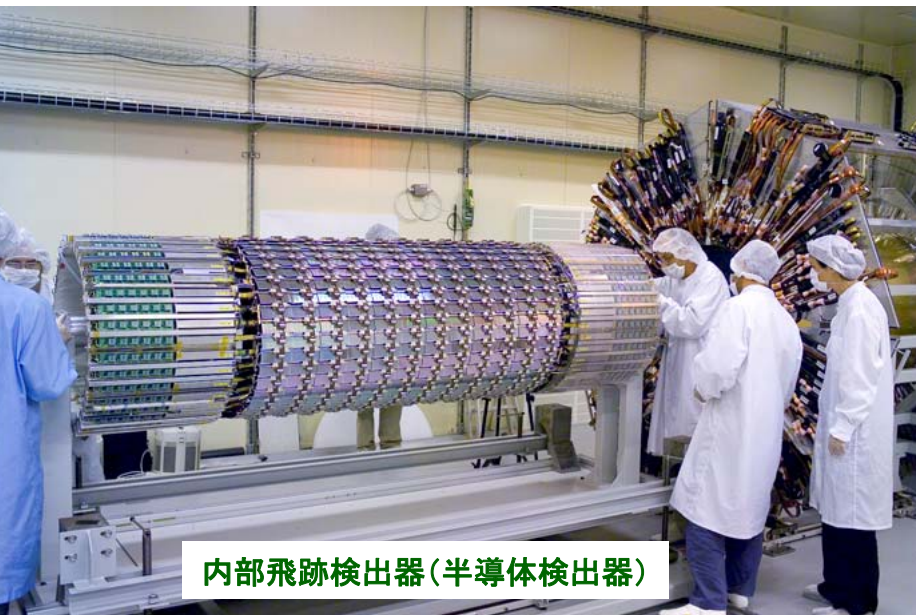


- ・直径 22 m、長さ 44 m、重さ 7000 t
- ・世界最大の超伝導トロイド磁石
- ・センサー数 1.1億チャンネル
- ・35カ国、2000名の研究者による国際共同実験
- ・日本グループはミュオントリガー検出器、内部飛跡検出器、ソレノイド超伝導磁石などに貢献





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)



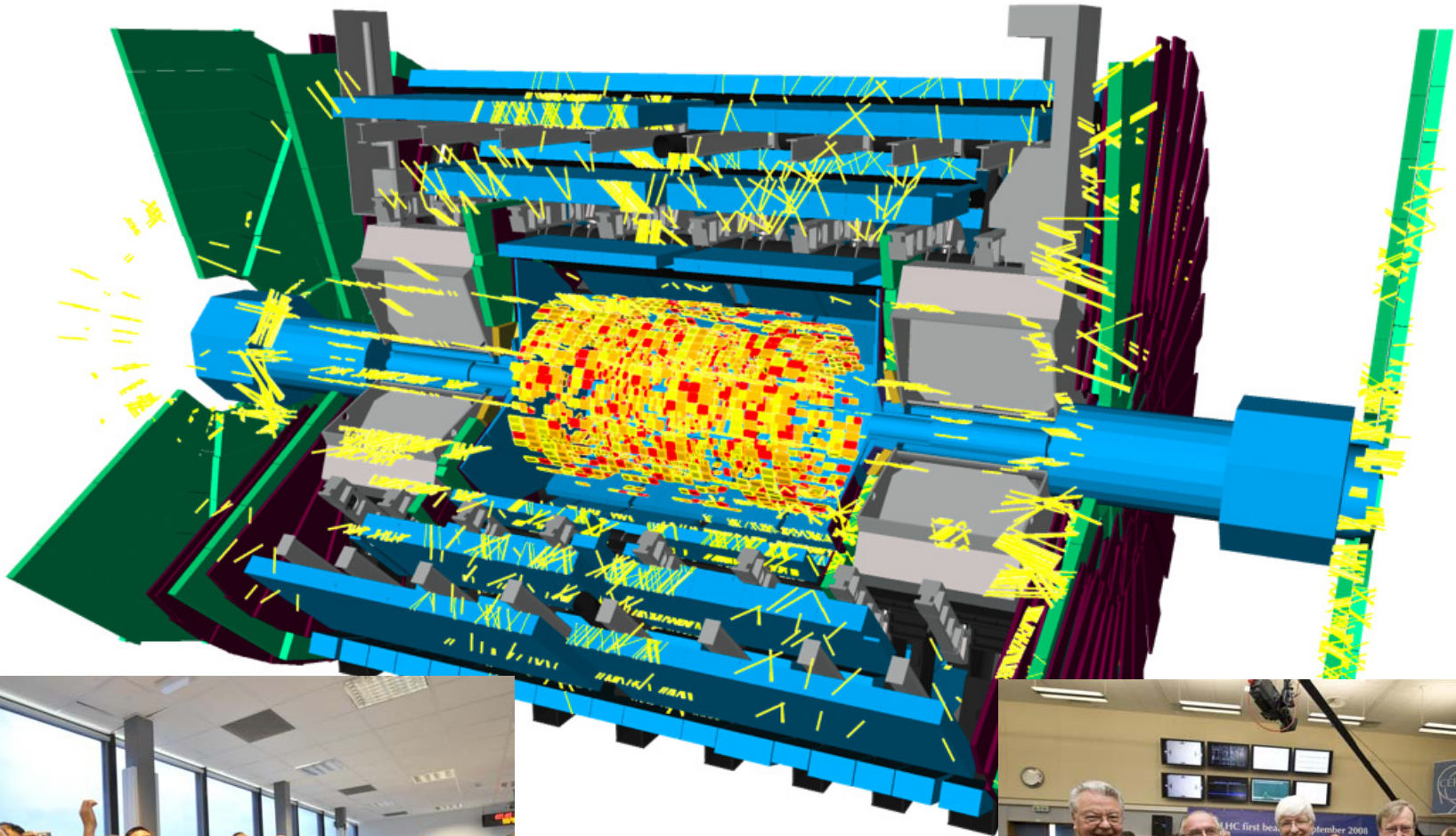
ソレノイド超伝導磁石



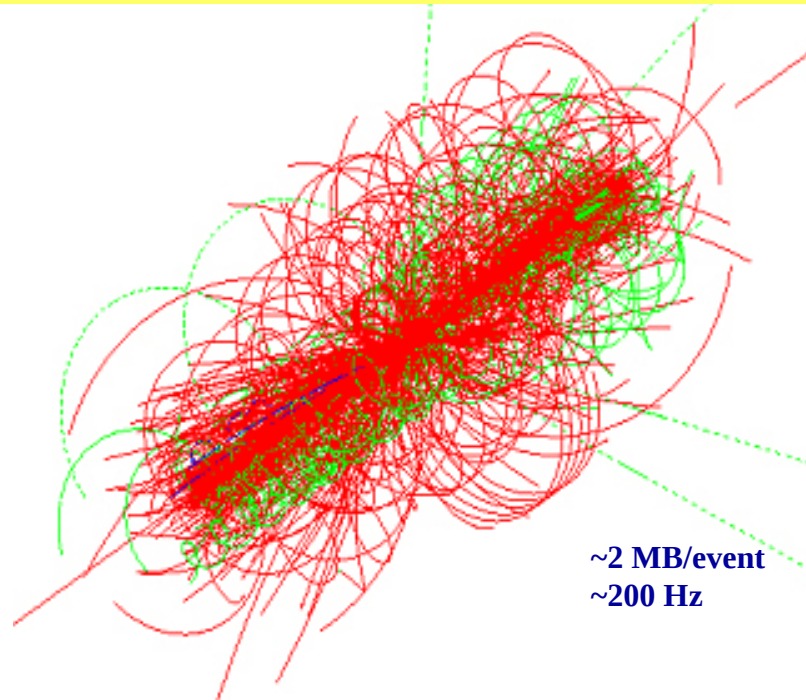
ミューオントリガー検出器

First beam event seen in ATLAS

(10.Sep.2008)

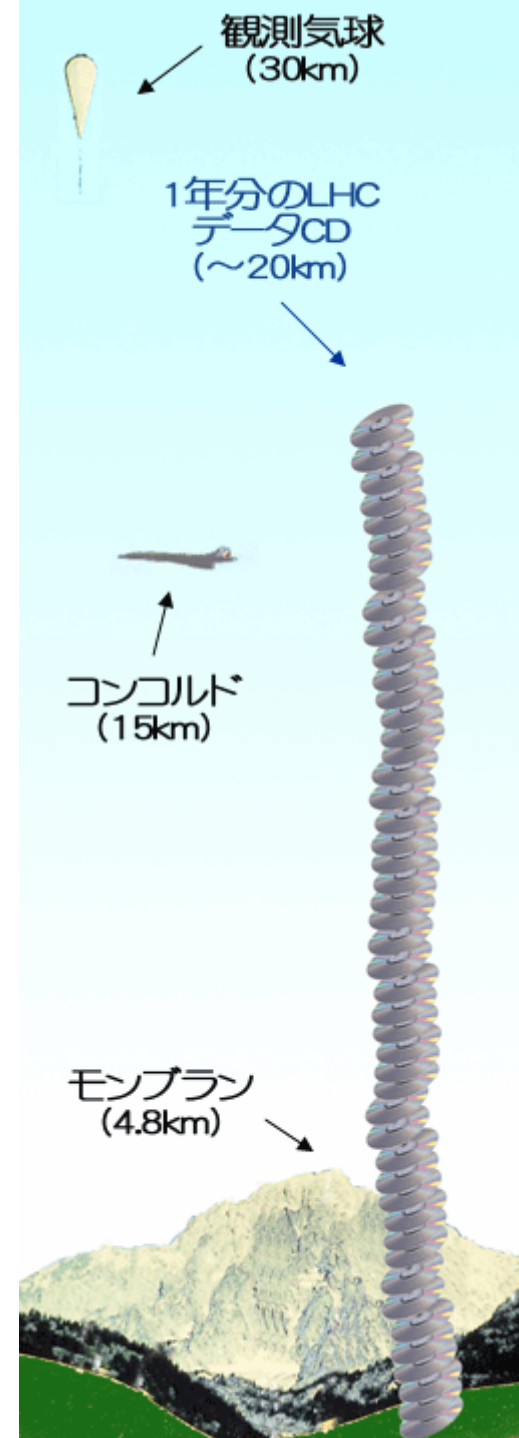


アトラス実験のデータ解析

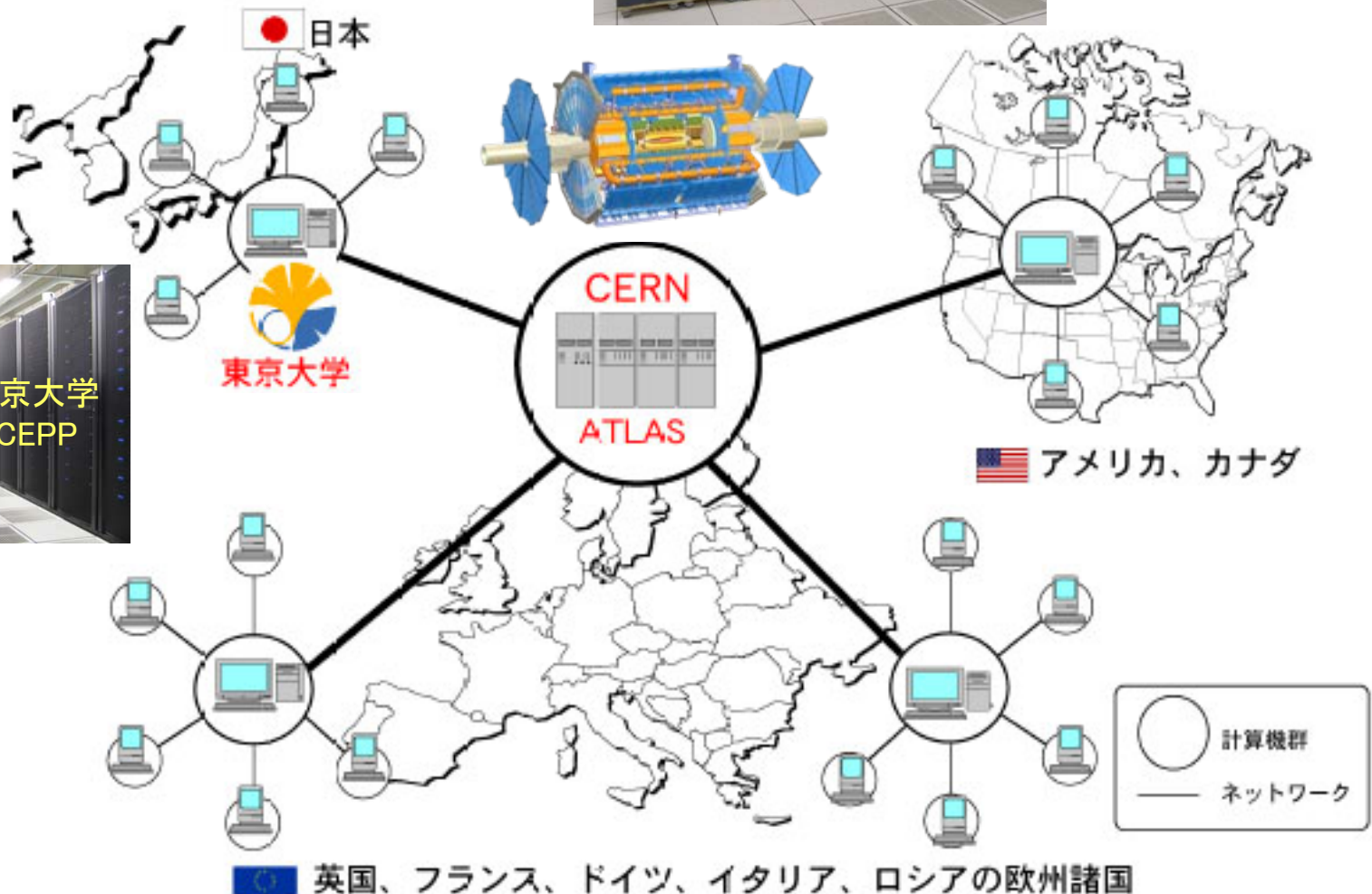


~2 MB/event
~200 Hz

- ・ データ量
 - 約15秒でDVD(4.7GB)が一杯に
 - 年間5~6PB(10の15乗バイト) DVD100万枚相当
- ・ 計算時間
 - 検出器シミュレーション1事象 最新のCPUで5分
 - 年間1億事象
 - 数万CPUを動員して解析



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)

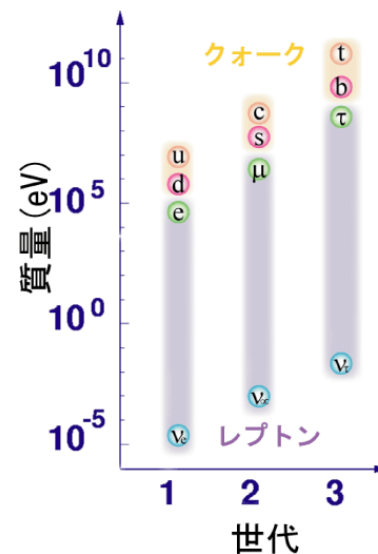


LHCで期待されるもの(その1)

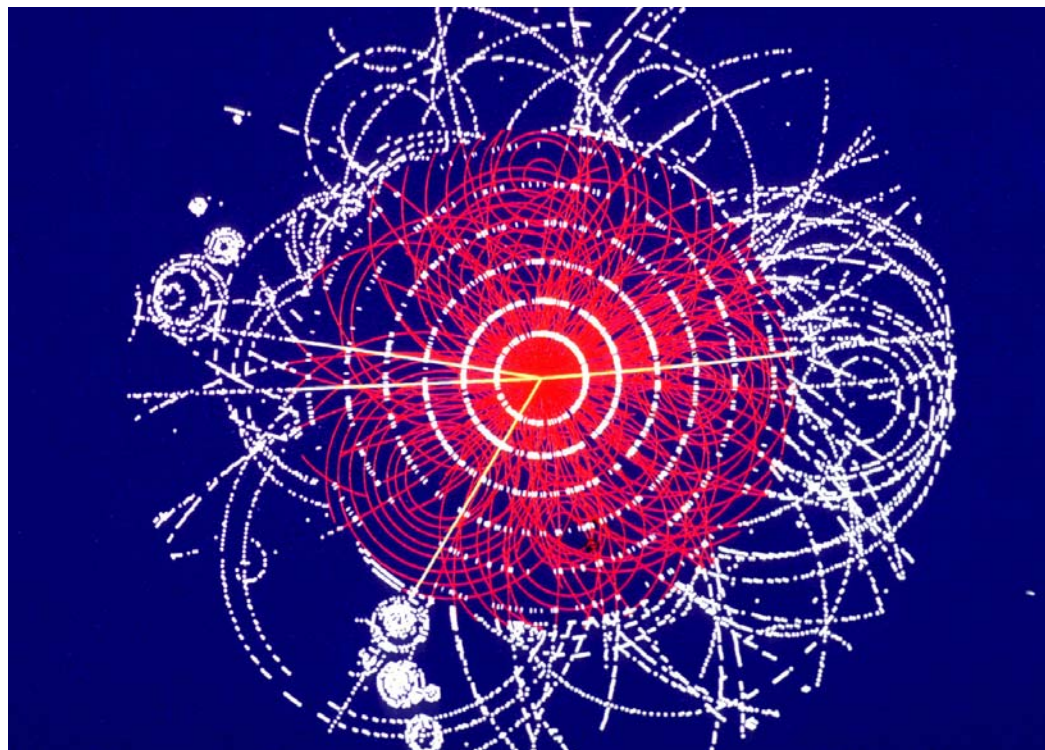
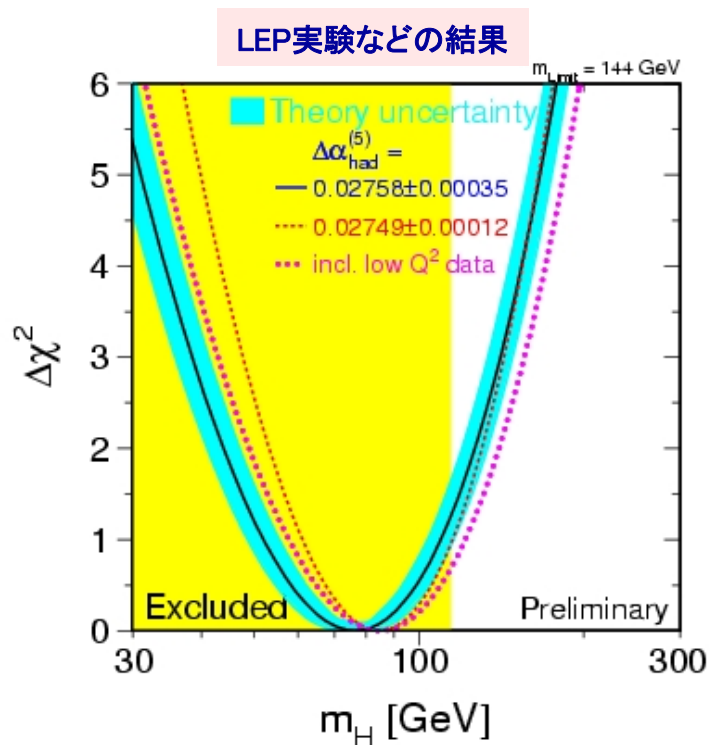
質量の起源を担うHiggs粒子



Higgs粒子は重い粒子と強く結合



ATLAS実験でのHiggs event



標準モデルによる素粒子の質量の説明

- ・真空は空っぽの空間ではなく、ヒッグス場で満ち満ちている

“パーティーでの有名人” モデル (クォーク、レプトン)



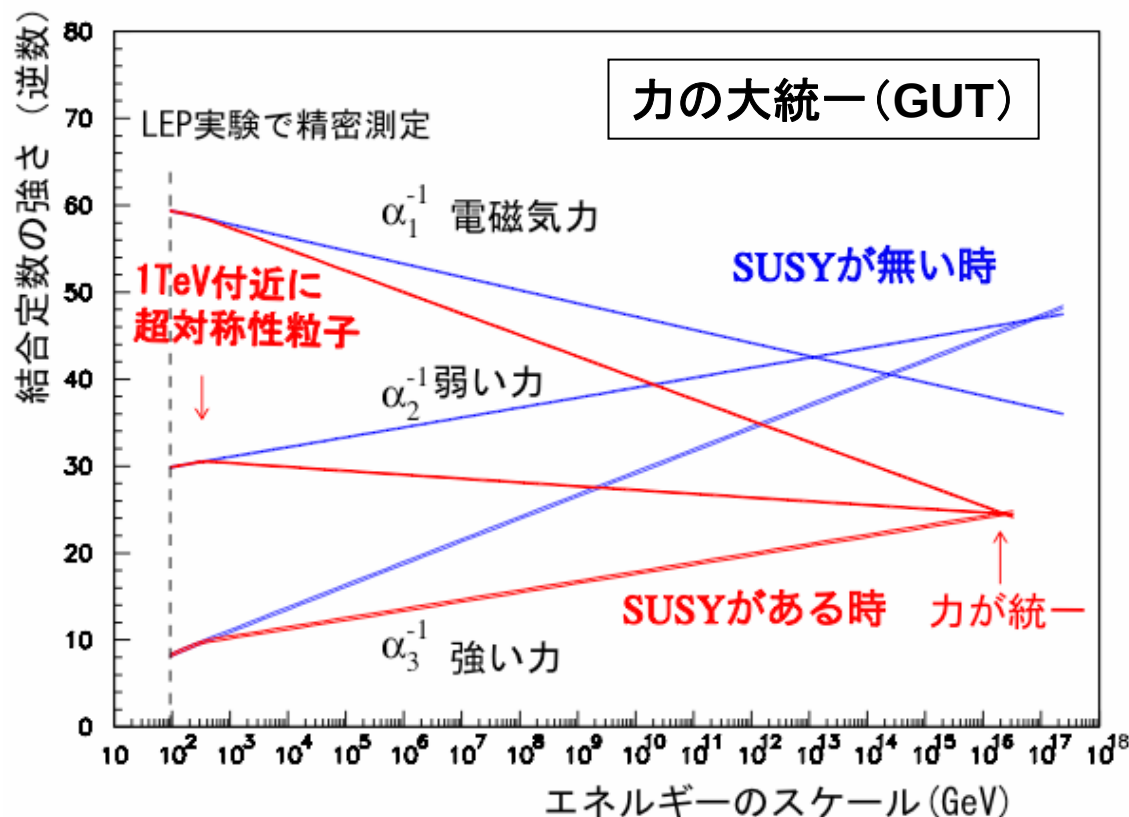
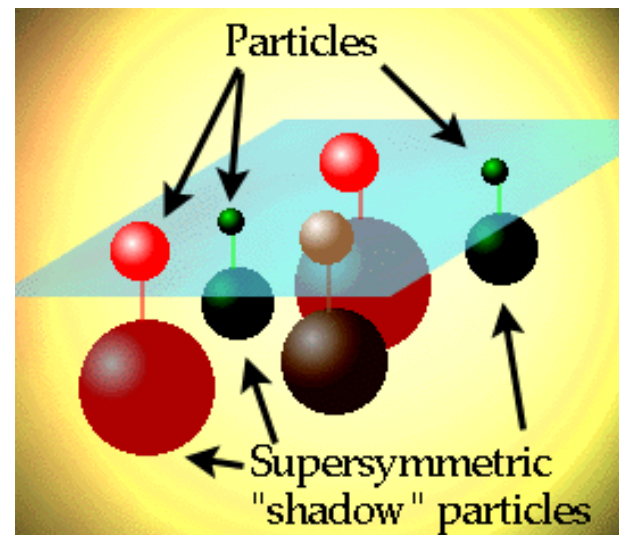
“うわさ” モデル (ヒッグス粒子)



素粒子の質量は、ヒッグス場との相互作用の強さで決まっている

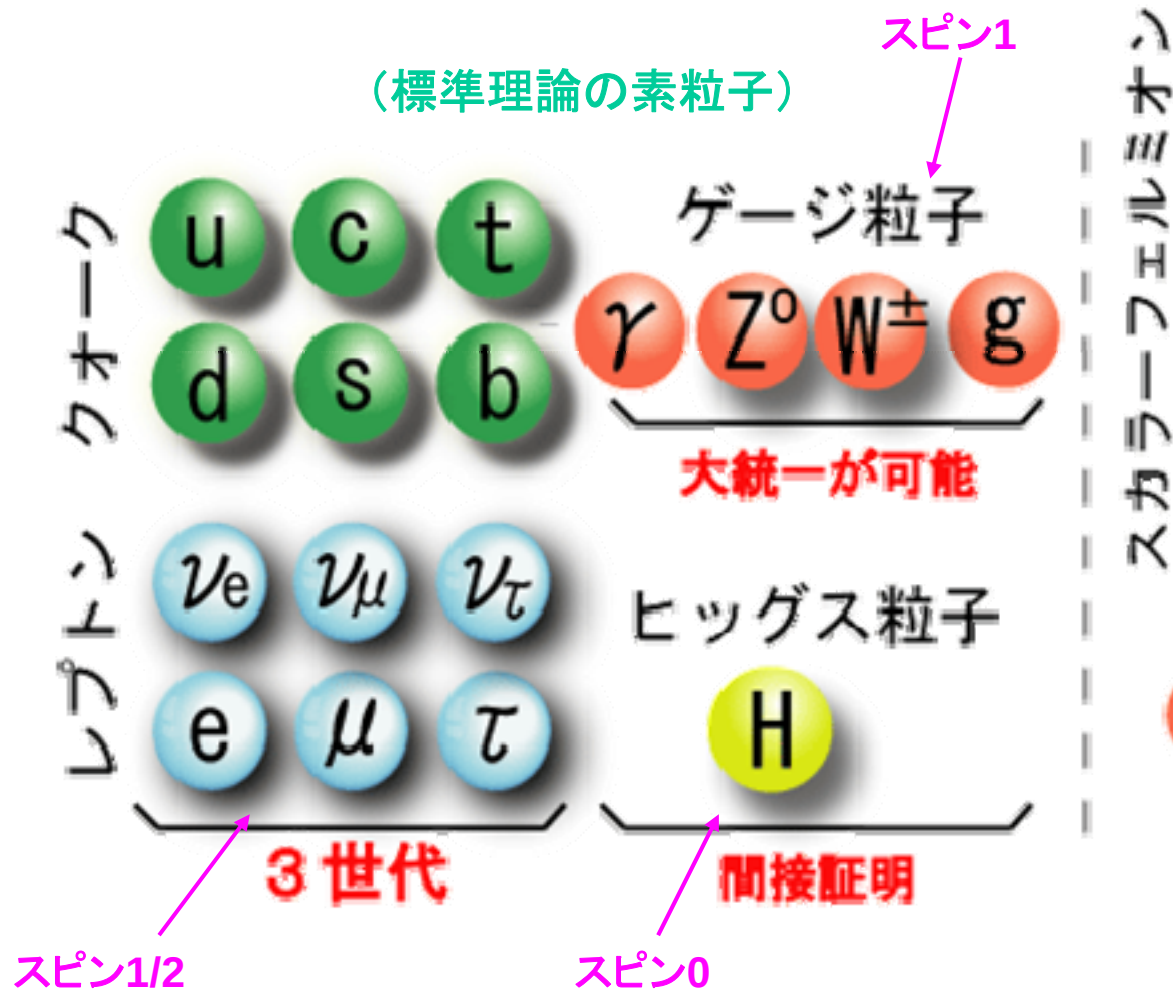
超対称性(SUSY)

- 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

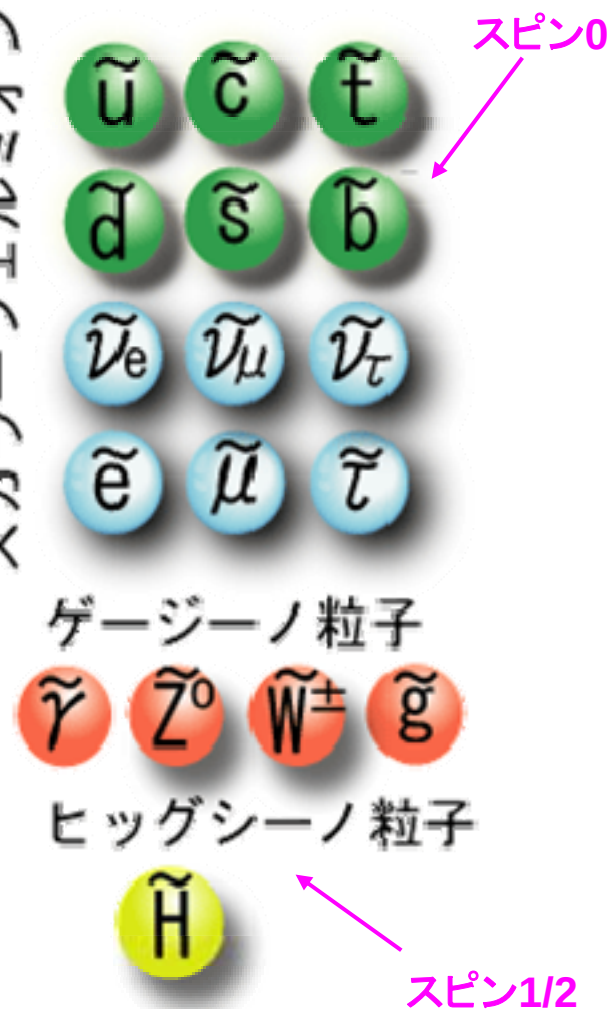


超対称性

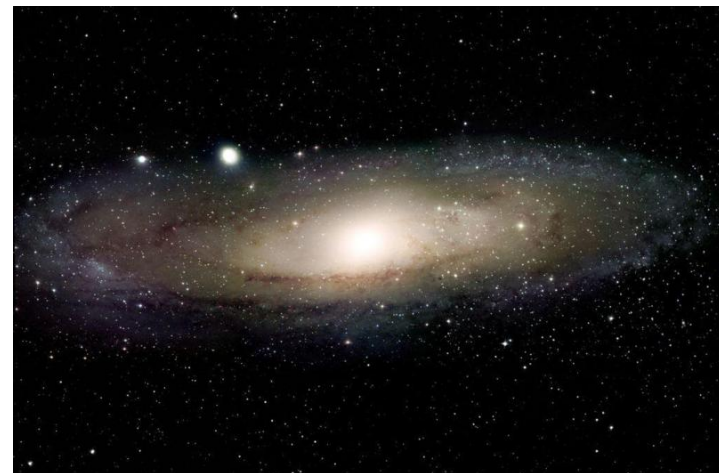
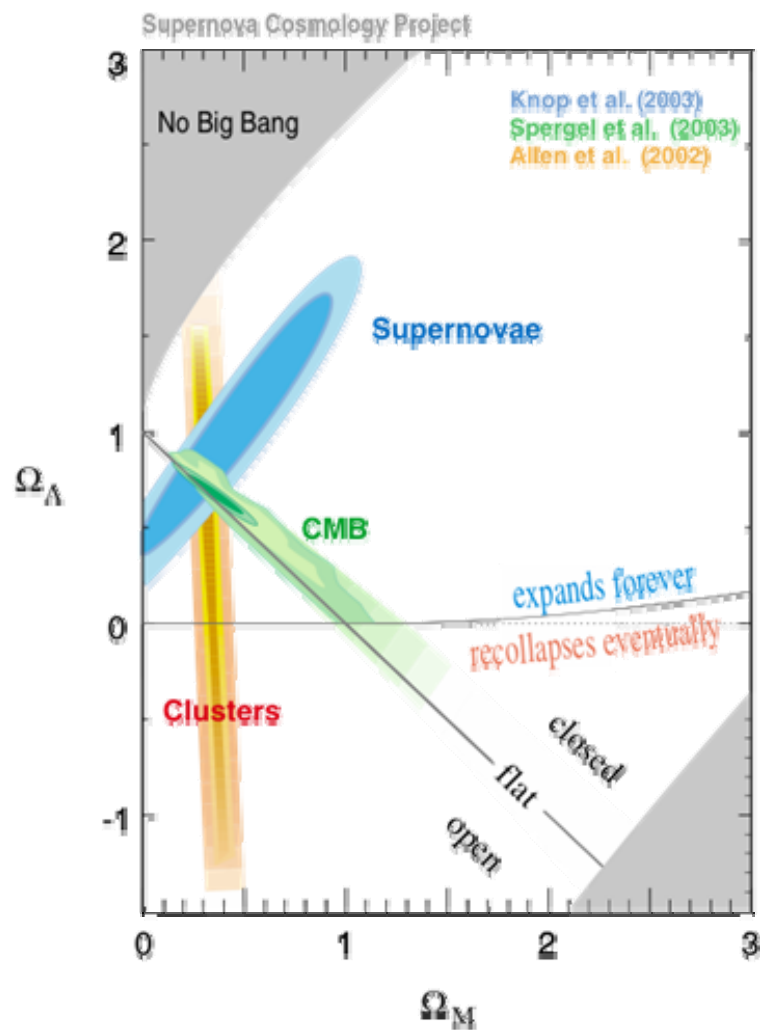
(半整数スピン $\leftrightarrow$ 整数スピン)



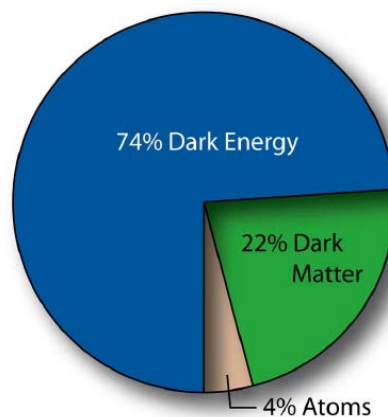
(超対称性粒子)



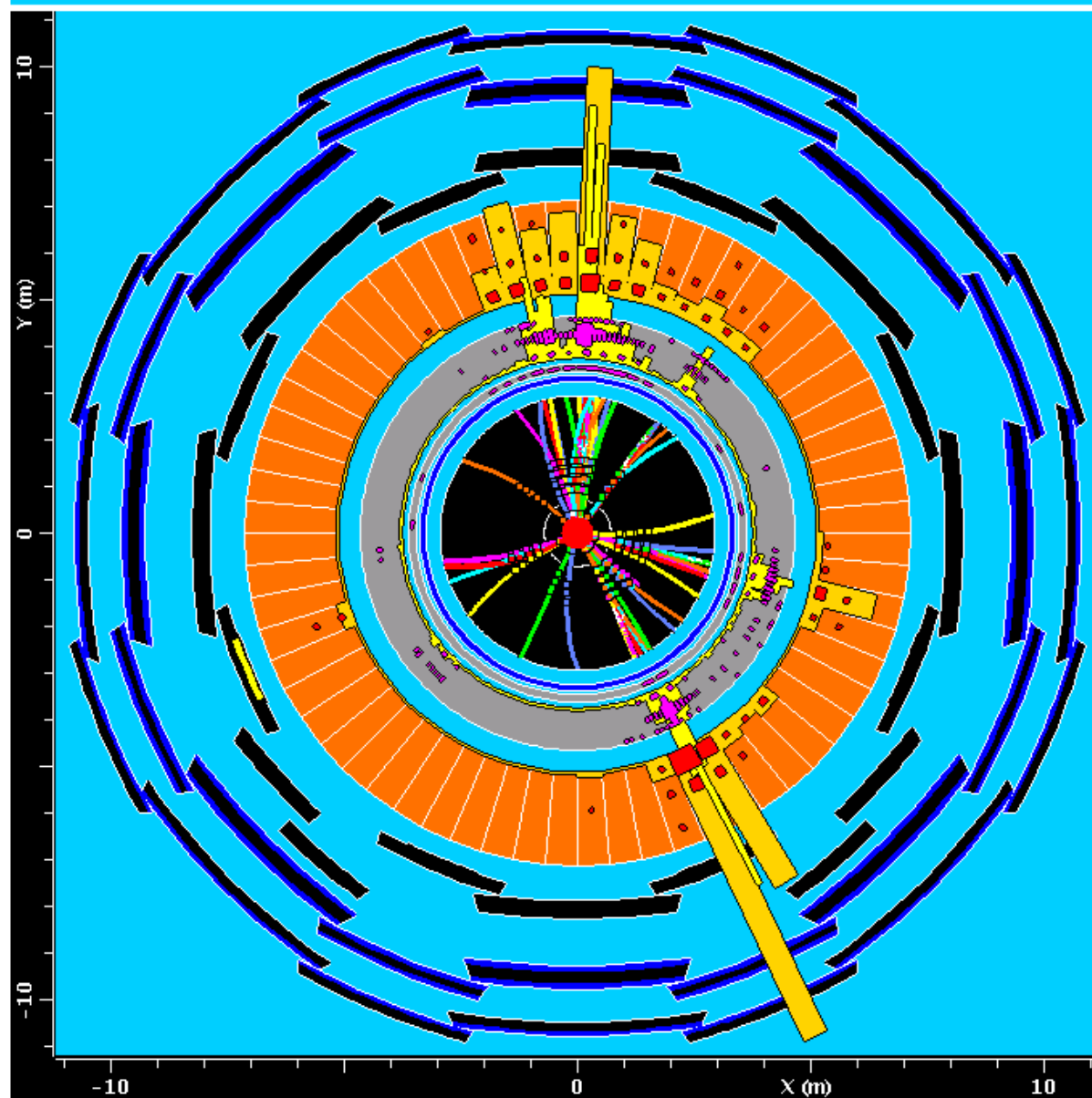
最近の天文・宇宙観測データから



(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？

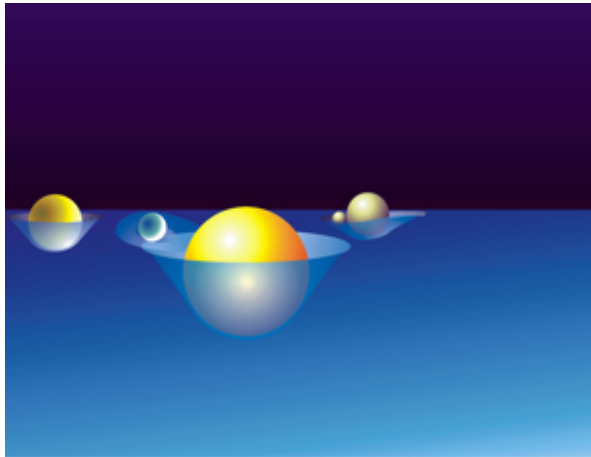


重力を含むすべての力を統一する理論では余次元が必要
(量子重力や超弦理論の世界は10(または11)次元)

➡ 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

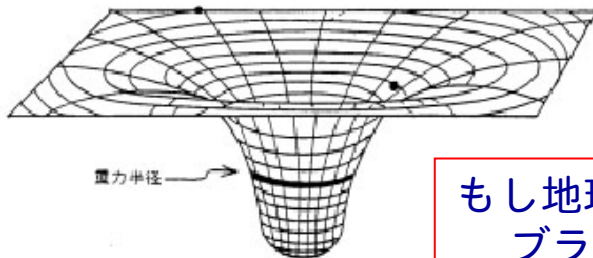
余次元とミニブラックホール

- ・ 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



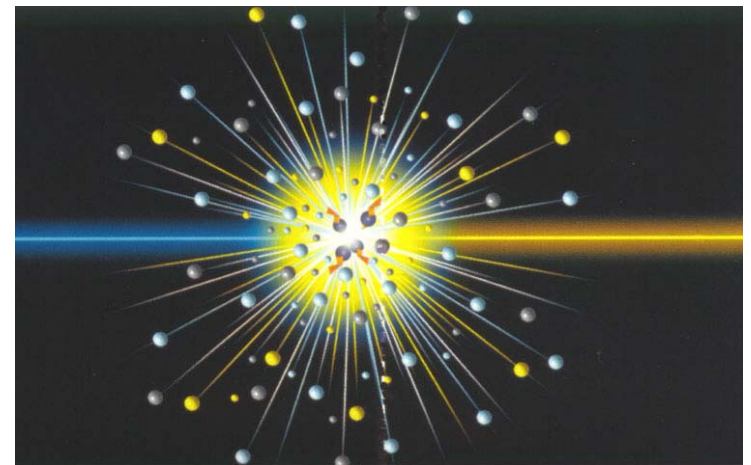
質量・エネルギー $\leftrightarrow$ 時空のゆがみ
(アインシュタイン)

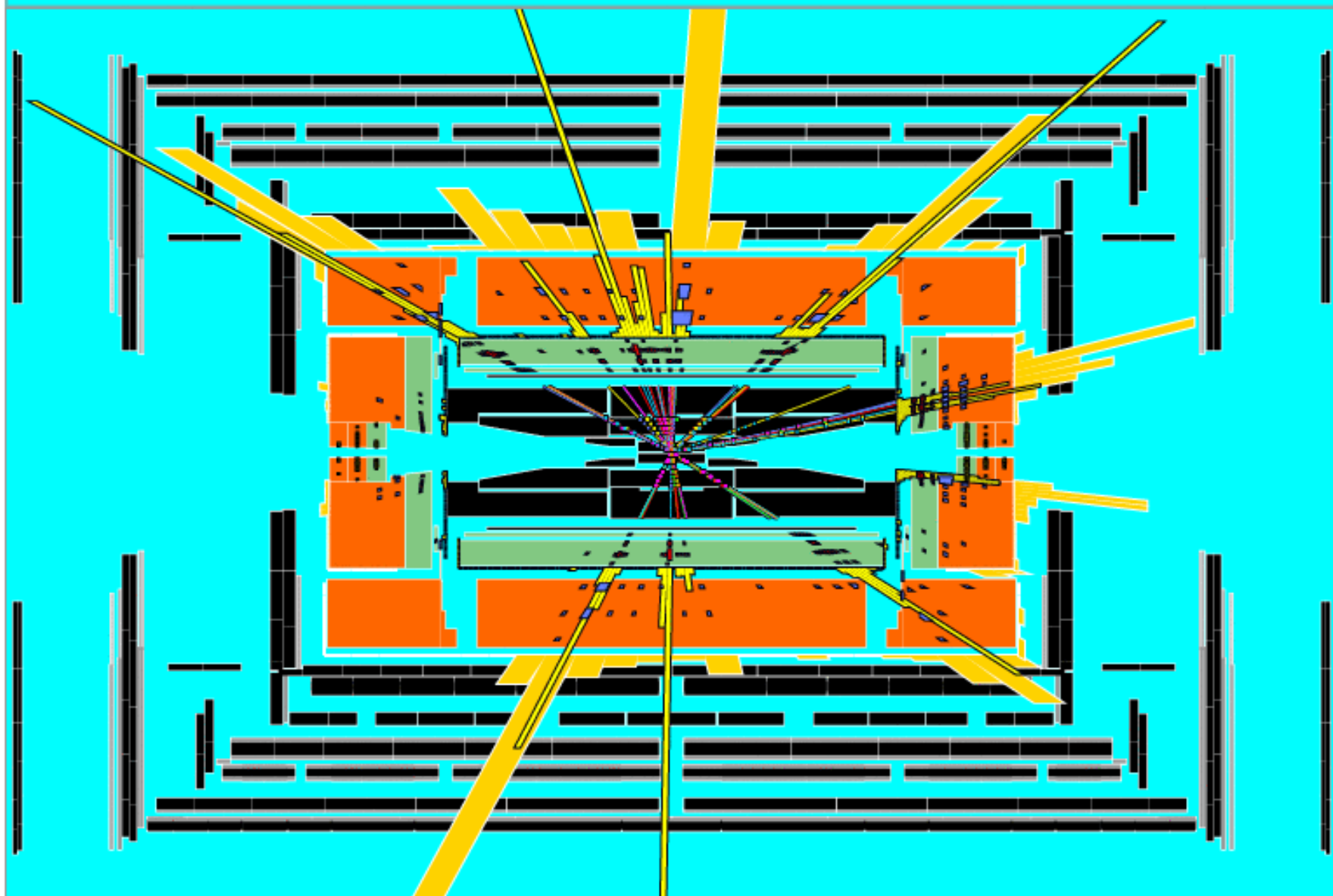
余次元の効果により、LHCでミニブラックホールが生成されるかもしれない



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."



宇宙の始まり と 素粒子研究

