



自己紹介

- 1949年愛媛県生まれ
- 東大物理卒、大学院修了
- 東大助手、助教授を経て
平成元年神戸大理学部教授
- 理学部長、図書館長、理事・副学長を経て
平成27年4月神戸大学長
- 専門は高エネルギー物理学(素粒子実験物理学)



天の川の写真

中学時代は天文部

夜空を眺めて
不思議な気持ちに
なっていた。



素粒子(ミクロ)と 宇宙(マクロ)



人類の大疑問

? ?



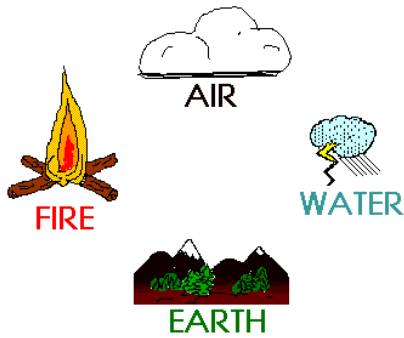
- 我々の世界は究極的には何で構成されているか？



- 素粒子:
物質の究極的構成要素

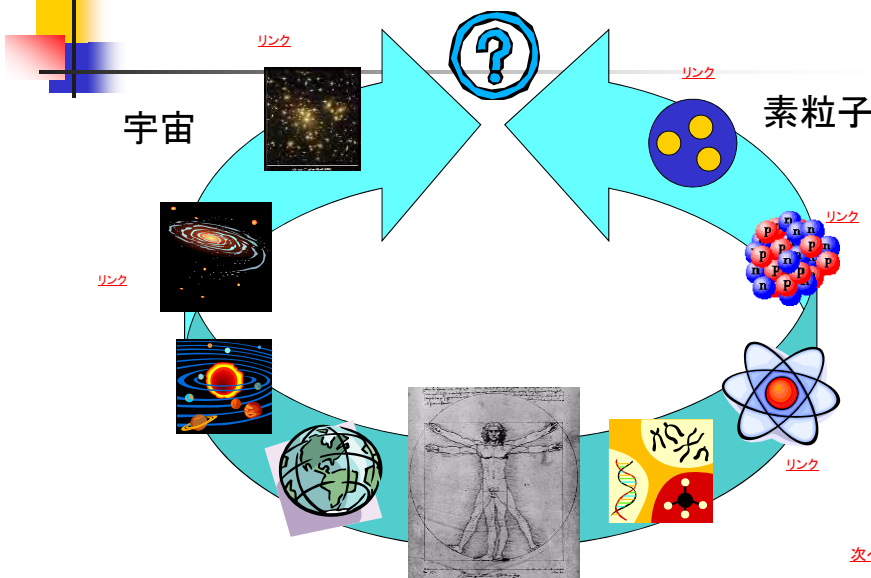


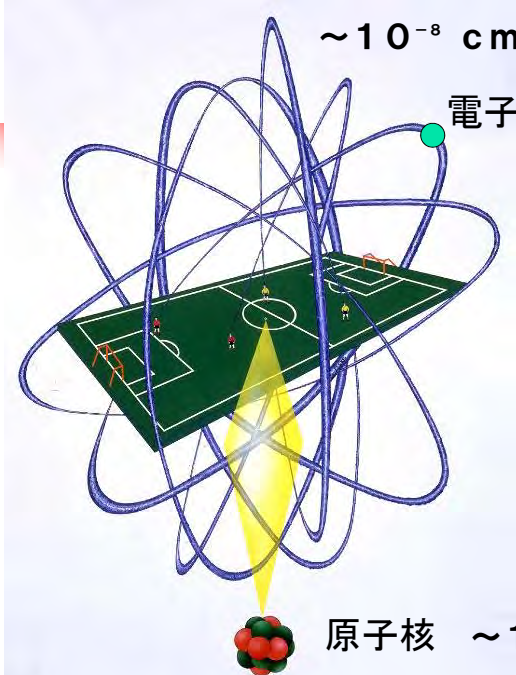
昔の哲学者も考えたが...



- 古代ギリシャのミレトス学派：
空気、水、土、火の組み合わせで万物が構成
- 結果的に間違いであるが、この**還元主義**の考え方は現代も踏襲

無限小(ミクロ)から無限大(マクロ)へ





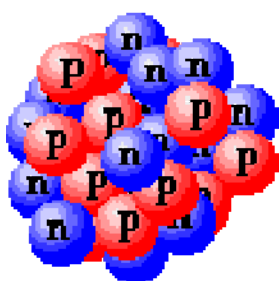

~ 10^{-8} cm
電子

原子のイメージ

中心に重い**原子核**が存在し、そのまわりを軽い**電子**が回っている。

原子核 ~ 10^{-12} cm

[戻る](#)

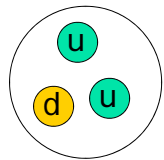



原子核

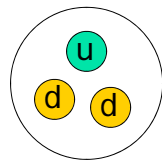
- 陽子 (proton)
正の電荷
- 中性子 (neutron)
電氣的に中性
- 質量はほぼ同じ
中性子の方が少し重い
- 陽子と中性子を
総称して核子
(nucleon)

[戻る](#)

陽子、中性子の内部には？



陽子



中性子

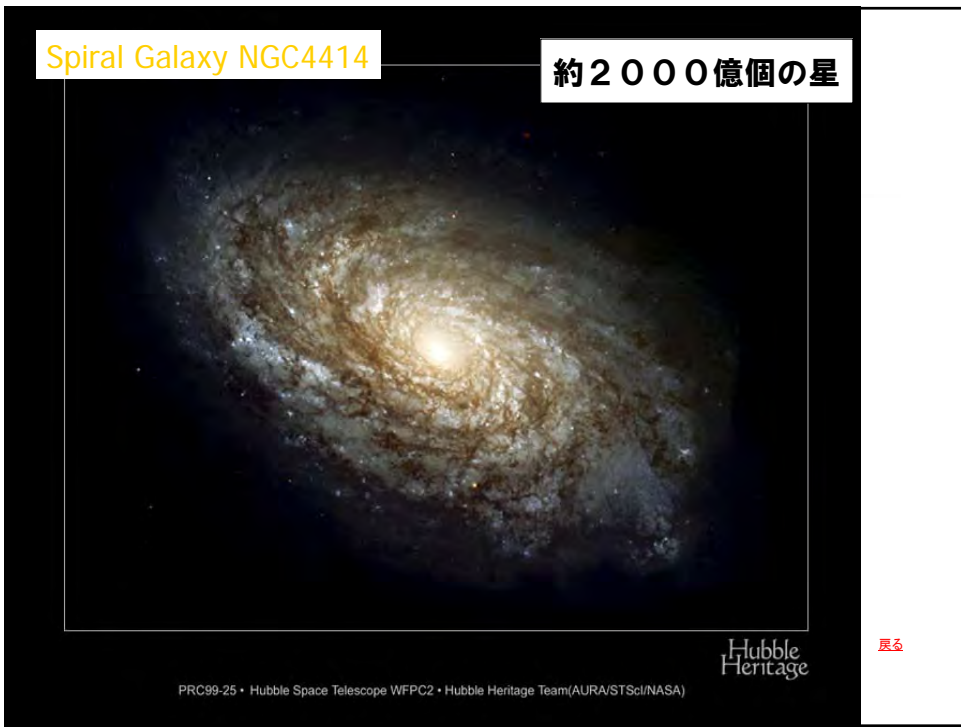
- Quark (クォーク) と呼ばれる素粒子が存在
- クォークはどうしても外へ取り出せない (閉じ込めの問題)
- クォーク同士はグルオンと呼ばれる媒介粒子で固く結合

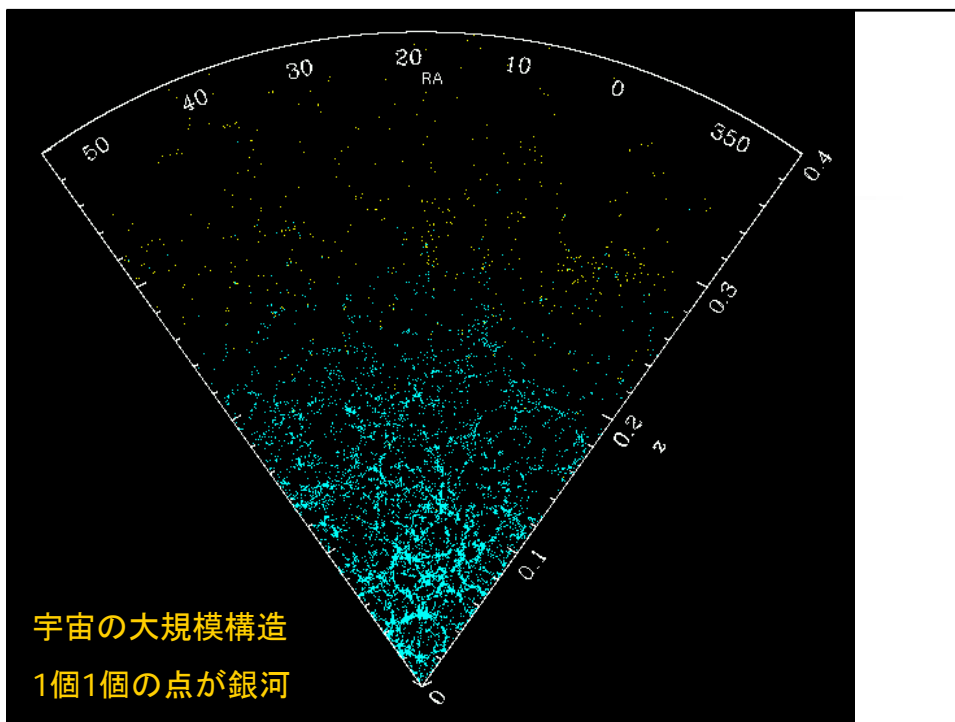
[戻る](#)

M63 Sunflower Galaxy

地球から2000万光年








地球外知的生命体の存在？

- SETI: Search for Extraterrestrial Intelligence
- 宇宙には何千億もの銀河、
銀河には約2000億もの恒星(太陽)
地球だけが特別と考えるのは不遜
- 問題は通信手段
情報伝達の上限度速度: 光速度(特殊相対性理論)
銀河の端から端へ電波を送るだけでも10万年!
知的生命体の文明の寿命との兼ね合い

戻る


ミクロ(素粒子)とマクロ(宇宙)(1)

- 現在、宇宙は膨張中。 温度 $\sim 2.7\text{K}$
- 時間を逆回しにすれば、
過去に宇宙の始まりがあったはず
=> **ビッグバン Big Bang**
- 宇宙創成(約138億年前)直後は、
高温・高密度の世界
=> **素粒子の世界**



ミクロ(素粒子)とマクロ(宇宙)(2)

- 我々の世界は何故「物質」が優勢？
(反物質世界は何故見つからない?)
- 宇宙創成の段階では、
物質(粒子)と反物質(反粒子)が同量生成。
大半は対消滅して光に(宇宙背景放射)。
- 宇宙膨張の過程で、物質と反物質に
アンバランスが発生(10億分の1程度!)
→ **素粒子レベルでの
物質と反物質の非対称性**



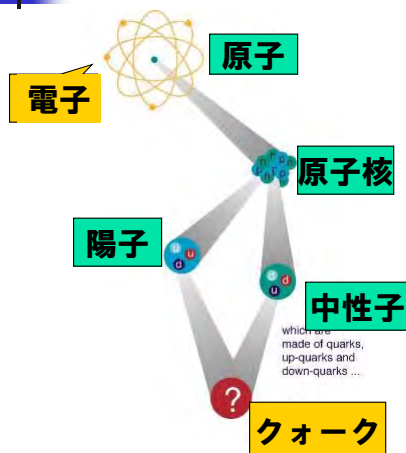
ミクロ(素粒子)とマクロ(宇宙)(3)

- 我々が見ている星や銀河などは、
宇宙全体のエネルギーの4.9%に過ぎない。
- 暗黒物質(26.8%)、
暗黒エネルギー(68.3%)の存在？
=> **超対称性粒子**と呼ばれる
素粒子が暗黒物質の有力候補


素粒子論的宇宙物理学

- Big Bang 直後の素粒子の振る舞いを解明
- その後の宇宙の時間的发展は、
基本的に宇宙の運動方程式を解けばよい
- 但し、それほど簡単ではない。
登場する素粒子の特定、性質、相互作用
などなど、まだまだ判らないことは山ほど！

究極の素粒子は？



- 電子とクォークが現時点での最小単位
- クォークは6種類
u,d,c,s,t,b
- 電子の仲間も6種類
レプトンと呼ばれる。
ニュートリノも仲間



結局、私の体も
クォークとレプトンで
構成されているのか！

媒介粒子という素粒子も
あるが、説明は割愛



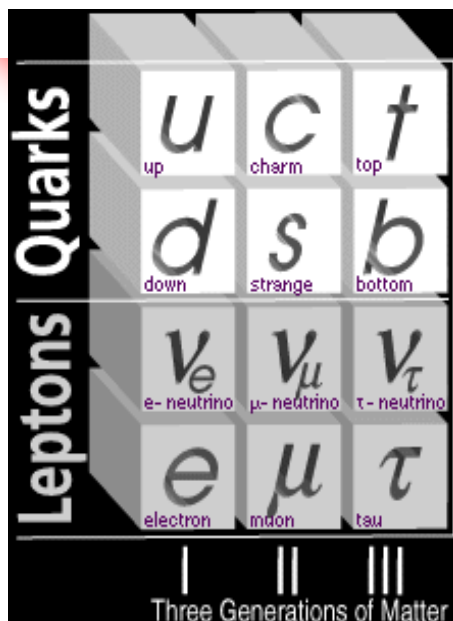
Quark(クォーク)について

- James Joyce の小説「フィンネガンの徹夜祭」に出てくる海鳥の鳴き声(quark, quark, quark)からGell-Mannが命名
- 最初は3種類であったが、その後6種類まで発見
up, down, charm, strange, top, bottom

Lepton(レプトン)について

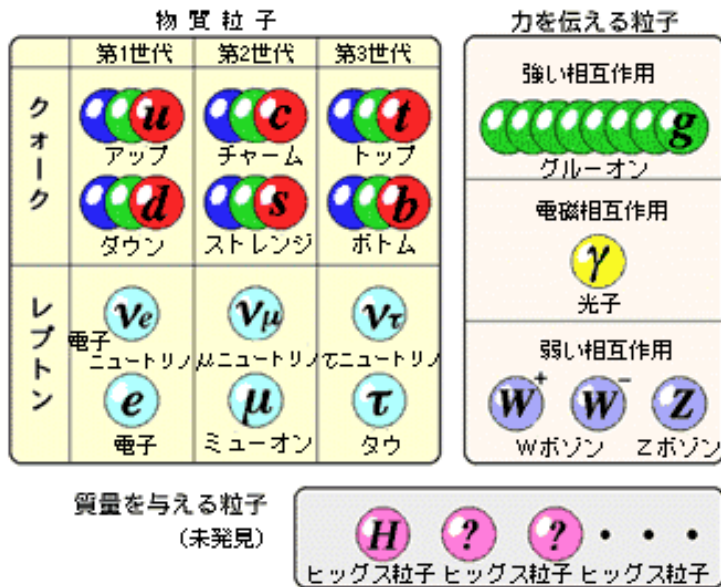
- 「軽い粒子」の意味。電子やミュー粒子が陽子などと比べて軽いことから、ギリシャ語の「軽い、小さい」を意味する単語が使われた。
- 身近には電子しかないが、宇宙線や加速器実験で6種類発見されている。
- ニュートリノもこのレプトンの仲間

クォーク と レプトン



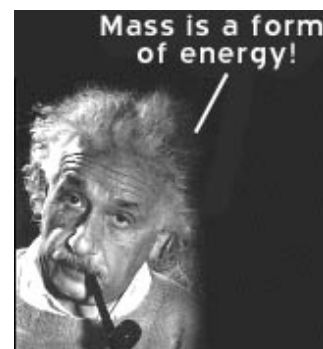
- 素粒子の世代数=3
何故3なのか？
- 我々の現在の世界は第1世代のみで構成
第2、第3世代の役割？

素粒子標準模型の粒子群



現代物理学の理論的2本柱

- **量子力学**
 - * 粒子と波動の二重性
 - * 確率論的世界観
- **相対性理論**
 - * 時間、空間の相対性
 - * エネルギーと質量の同等性
$$E = m c^2$$



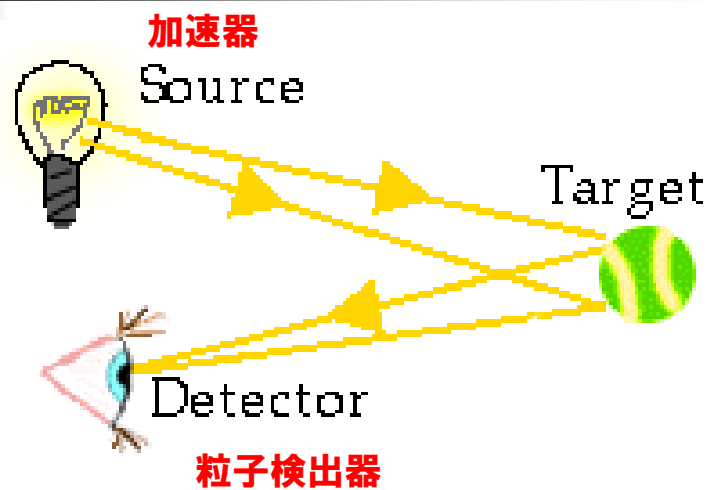
素粒子物理学の実験的手段

微小な素粒子の世界を探るために

皮肉なことに(必然ではあるが)

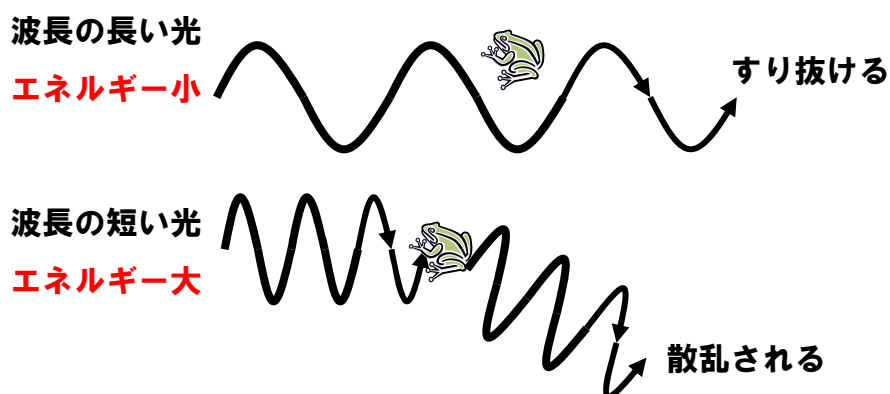
粒子加速器などの巨大な実験装置が必要になった。

物を「見る」とは？ (対象物の構造を探る)



微小な構造

→ エネルギーの大きな光



素粒子実験の例

- 巨大加速器実験
ドイツ電子シンクロトロン研究所
(DESY)
欧州素粒子物理学研究所
(CERN)

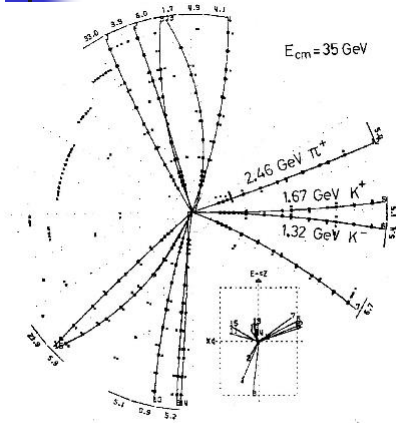
ドイツ電子シンクロtron研究所
DESY@Hamburg



PETRA/DESY完成記念式典
1979 Hamburg



電子+陽電子 \rightarrow 3-Jets



- 強い相互作用の媒介粒子Gluonの存在
- 欧州物理学会特別賞を受賞(JADE実験) 1995年

22.8.80

CERN(欧州素粒子物理学研究所)航空写真



ヨーロッパアルプスを望む



周長27kmの加速器内部(地下)

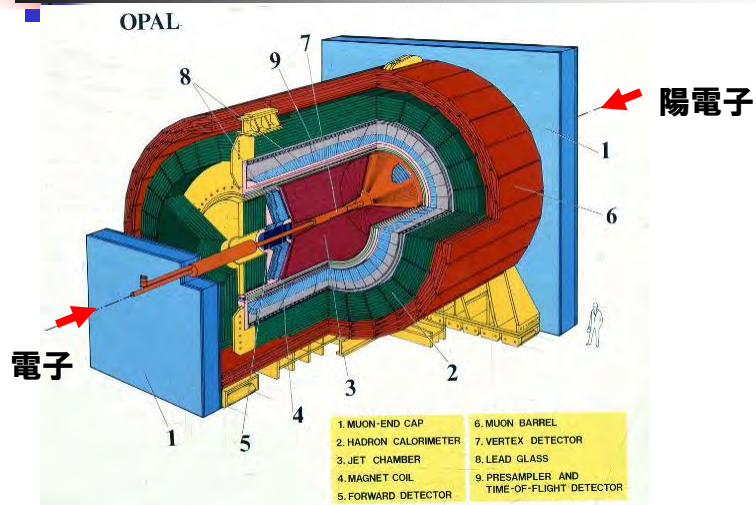


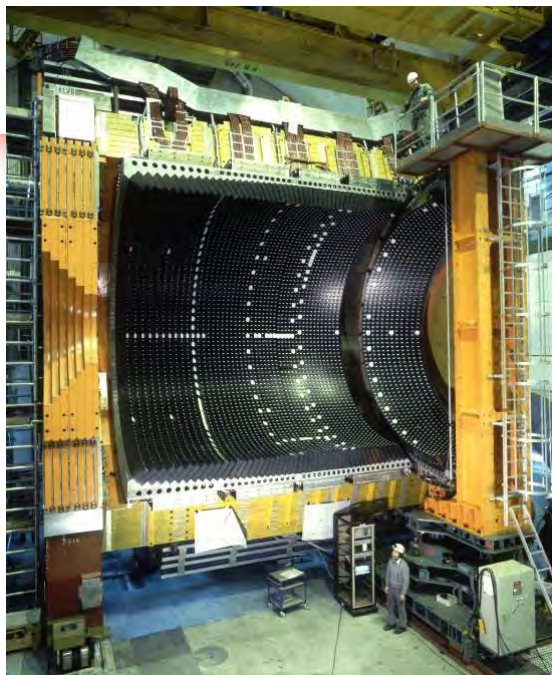
電磁石中の真空パイプを荷電粒子が走る

加速器その2



国際共同OPAL実験装置

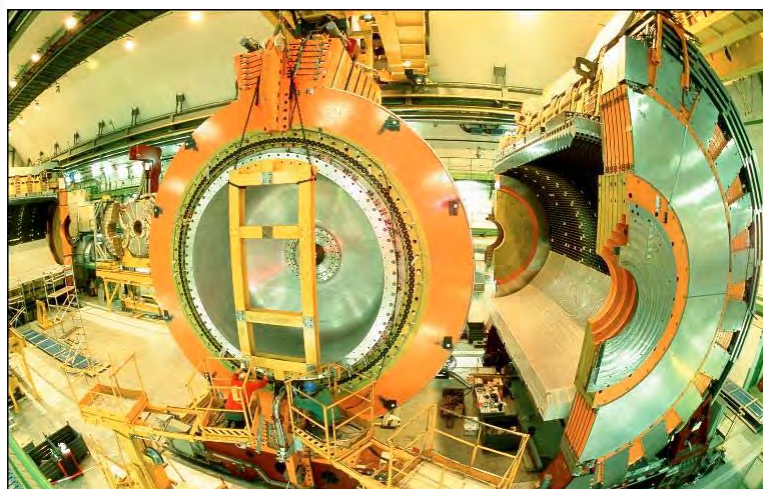


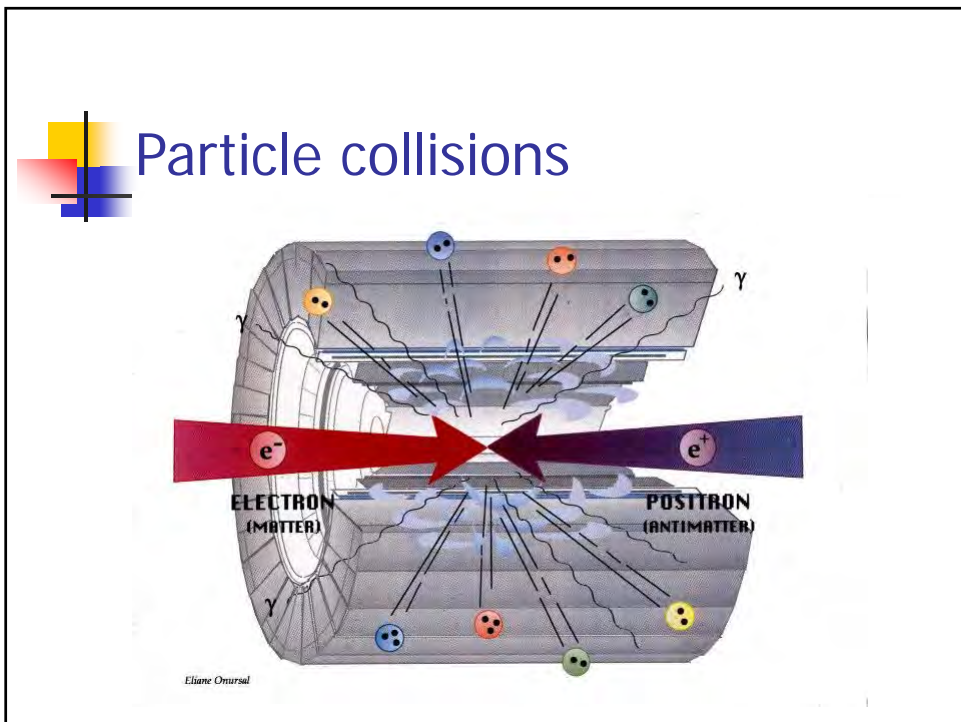


日本グループが担当した約1万個の鉛ガラスシャワーカウンター

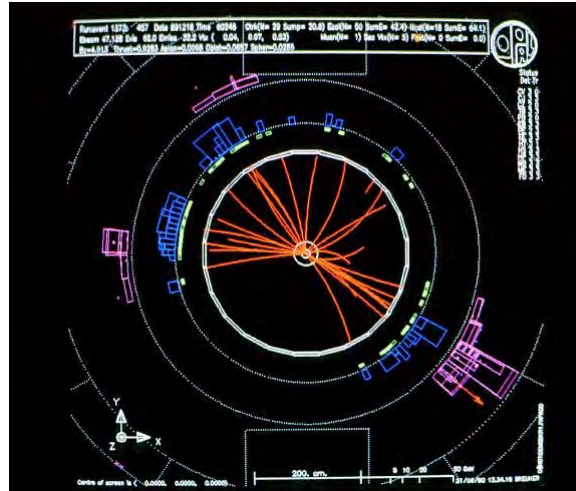
電子、陽電子、ガンマ線を測定

OPAL測定器の組み立て

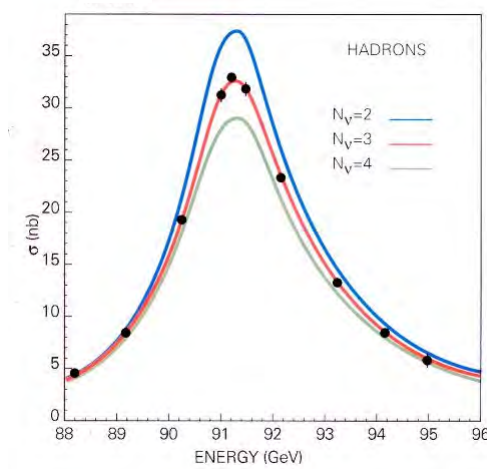




電子・陽電子衝突事例



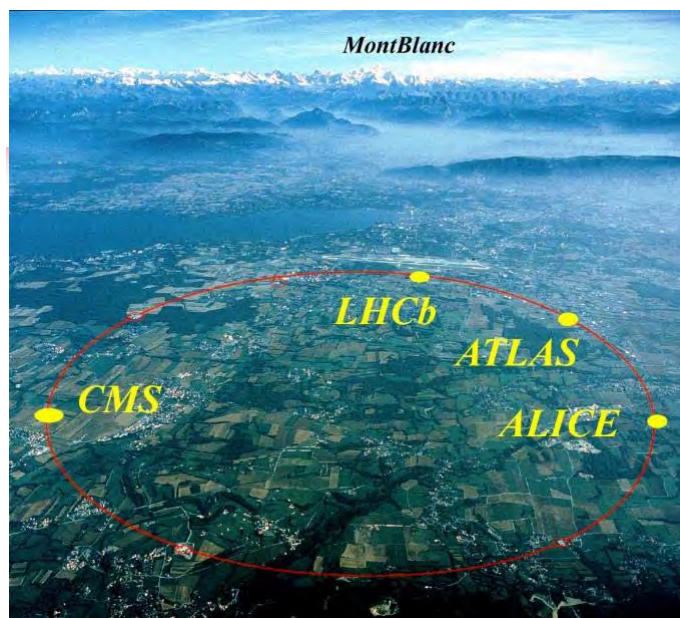
ニュートリノの世代数=3 !!



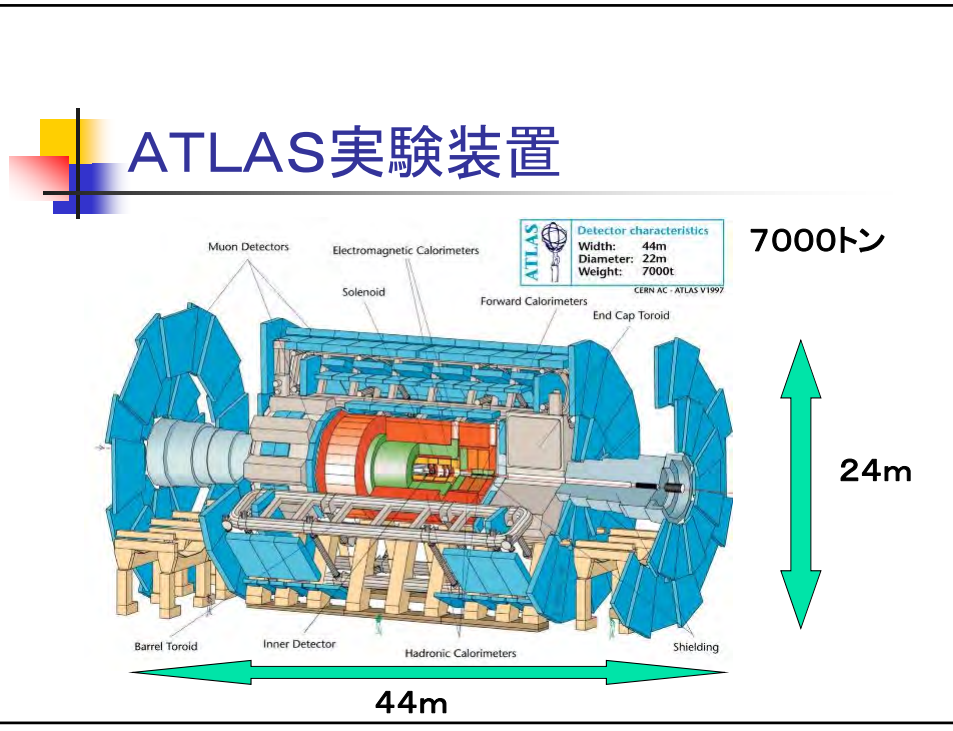
黒丸が実験データ

ATLAS実験

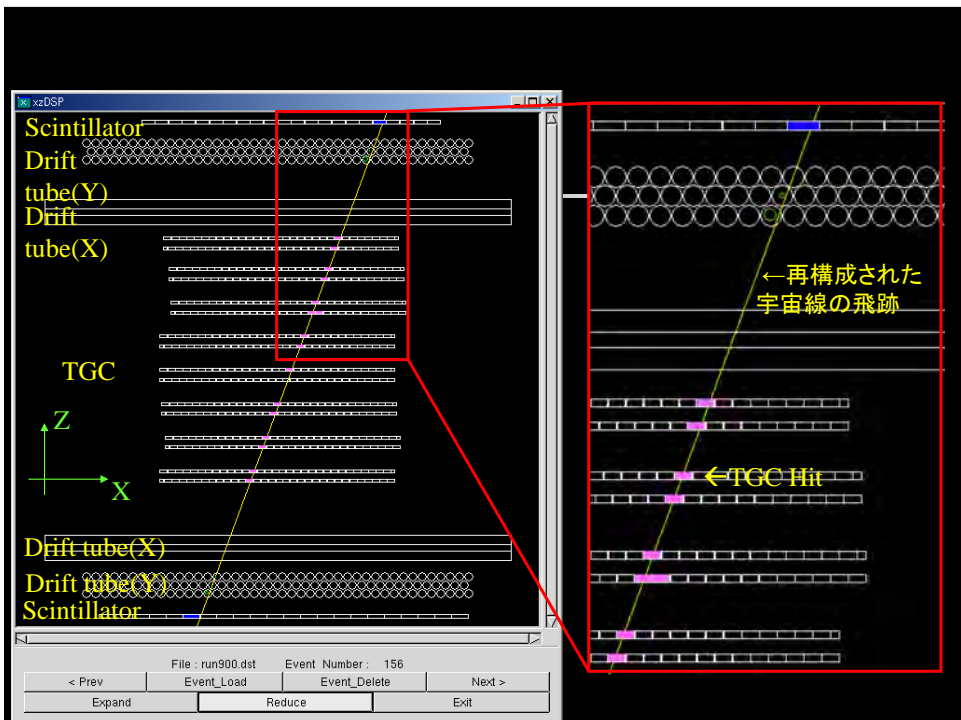
- 2007年からスイスのCERNで実験開始
- 神戸大学の研究グループも参加
 ミュー粒子検出器を担当
- 素粒子物理学の未発見粒子探索
 Higgs粒子(質量の起源)
 超対称性粒子(宇宙暗黒物質の候補)



円形の赤線の地下約100メートルに周長27kmのLHC加速器トンネルがある。4つの実験装置の場所が黄色丸で示してある。



神戸大学でも準備(1)

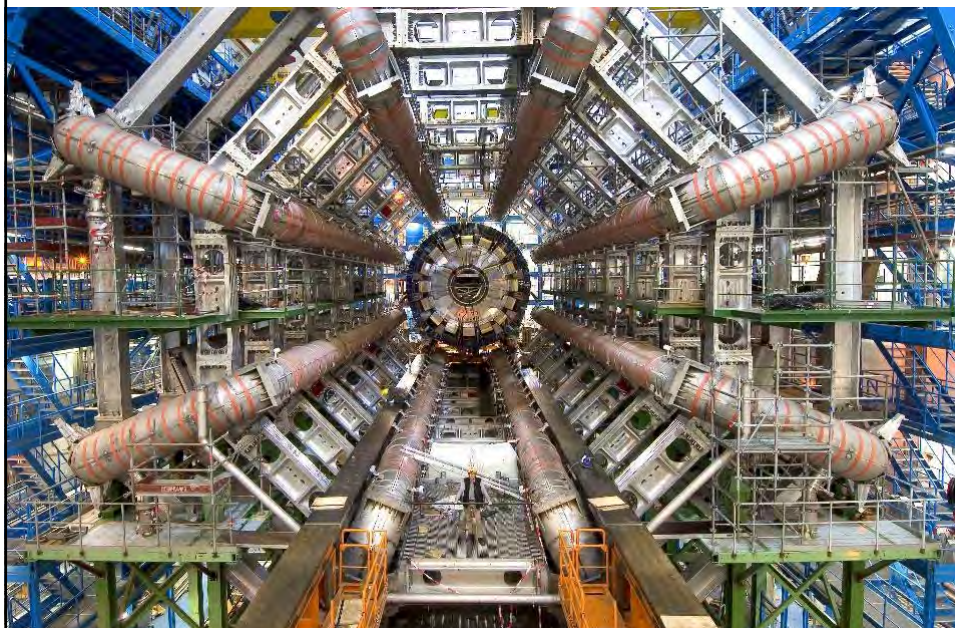


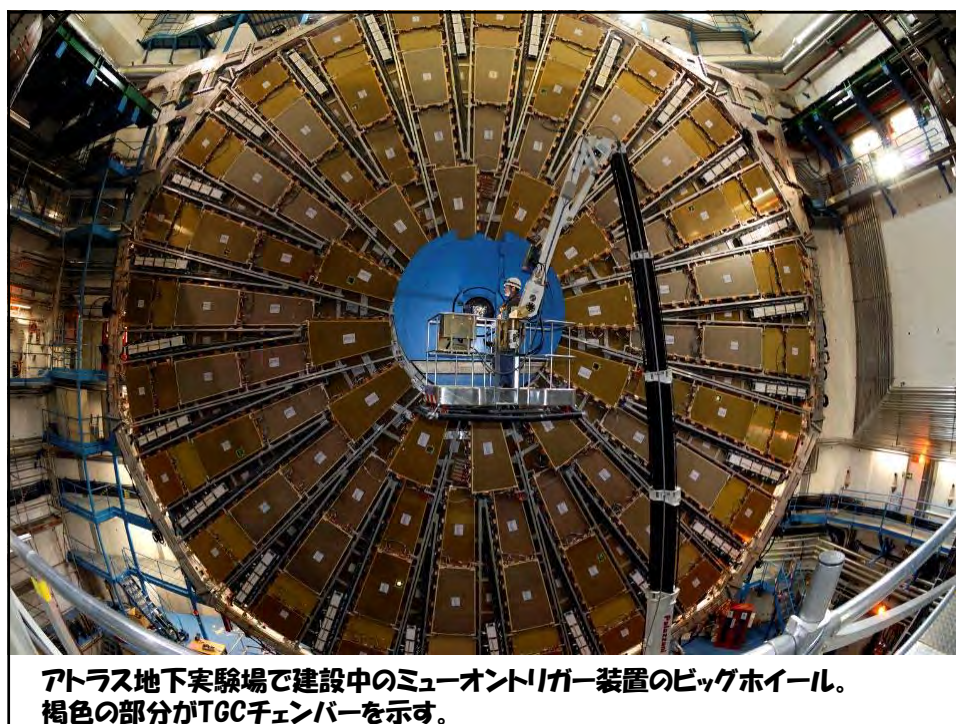


CERNへの輸送



ATLAS測定器 組み立て中







**2007年9月21日
全てのビッグホイール(8台)の組立が完成した。**



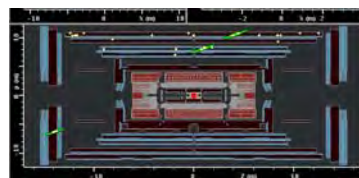
写真①:地下実験場ではTGCセクターは前後方の壁構造を利用して順次結合されてビッグホイールに組み上げられた。



写真②:ビッグホイール下部での作業中の日本人研究者



写真③:地上のアトラスコントロール室で、日本などからの研究者が地下のミュオントリガー装置の運転を制御している様子。



写真④:2007年8月末から9月の試運転で、TGCミュオントリガー装置を通過した宇宙線ミュオンが初めて観測された。

実験装置を見学中のヒッグス博士



2012年ヒッグス粒子発見 → ノーベル物理学賞

■ 最後に、



素粒子は何故かくも小さく、
宇宙は何故かくも大きいのか？
素粒子は点なのか？ → ひも理論

宇宙の中の人間の存在は必然なのか、
偶然なのか？（人間原理の考え方）

時間・空間とは？ 宇宙は他にも？



参考資料

クォークの一覧表

Flavor	Spin	Charge	Mass
香り	角運動量	電荷	質量
Up	1/2	+2/3	~100 MeV
Down	1/2	-1/3	~100 MeV
Strange	1/2	-1/3	~300 MeV
Charm	1/2	+2/3	~1500 MeV
Bottom	1/2	-1/3	~4500 MeV
Top	1/2	+2/3	~170 GeV

自然界の基本的相互作用(力)

- 重力(万有引力)
- 弱い相互作用(原子核の崩壊)
- 電磁相互作用(身の回りの電気・磁気)
- 強い相互作用(核力)

The forces in Nature

TYPE	INTENSITY OF FORCES (DECREASING ORDER)	BINDING PARTICLE (FIELD QUANTUM)	OCCURS IN:
STRONG NUCLEAR FORCE	~ 1	GLUONS (NO MASS)	ATOMIC NUCLEUS
ELECTRO-MAGNETIC FORCE	$\sim 10^{-3}$	PHOTONS (NO MASS)	ATOMIC SHELL ELECTROTECHNIQUE
WEAK NUCLEAR FORCE	$\sim 10^{-5}$	BOSONS Z^0, W^+, W^- (HEAVY)	RADIOACTIVE BETA DESINTEGRATION
GRAVITATION	$\sim 10^{-38}$	GRAVITONS (?)	HEAVENLY BODIES

THE EXCHANGE OF PARTICLES IS RESPONSIBLE FOR THE FORCE

CERN AC_Z04_V25/8/1992



荷電レプトン (Charged Lepton)

	Spin	Charge	Mass
e^-	1/2	-1	0.511 MeV
μ^-	1/2	-1	105.6 MeV
τ^-	1/2	-1	1777 MeV

中性レプトン (Neutral Lepton) → 中性微子 (Neutrino)

	Spin	Charge	Mass
ν_e	1/2	0	< 3 eV
ν_μ	1/2	0	< 0.19 MeV
ν_τ	1/2	0	< 18.2 MeV

電磁カロリメータの組み込み

