

夢ナビライブ2014 名古屋会場 2014.7.22

ヒッグス粒子の発見で 面白くなった物理学

戸本 誠

名古屋大学 理学部 物理学科

高エネルギー素粒子物理学研究室 (N研)

内容

素粒子物理学とは？

素粒子の質量とヒッグス粒子

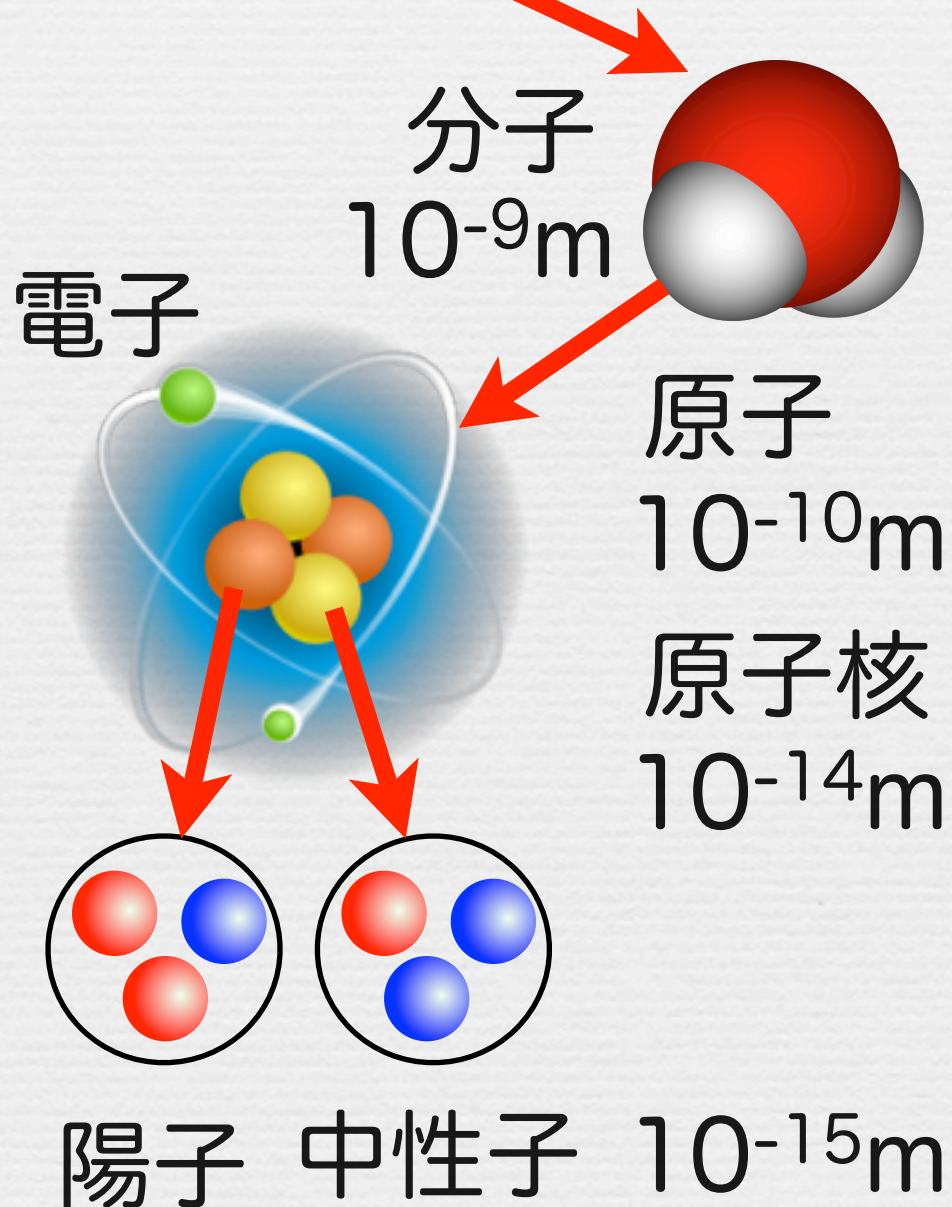
ヒッグス粒子の発見

ヒッグス発見で面白くなる素粒子物理学

素粒子物理学とは？

素粒子物理学とは？ 1

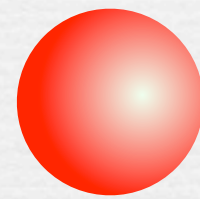
全ての物は何からできているのか？



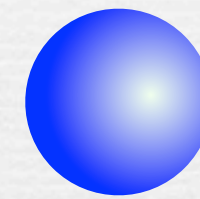
クォーク

アップ(u)

ダウン(d)



$+2/3e$



$-1/3e$

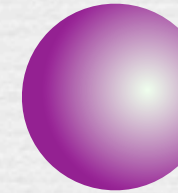
レプトン

電子

ニュートリノ



$-e$



0

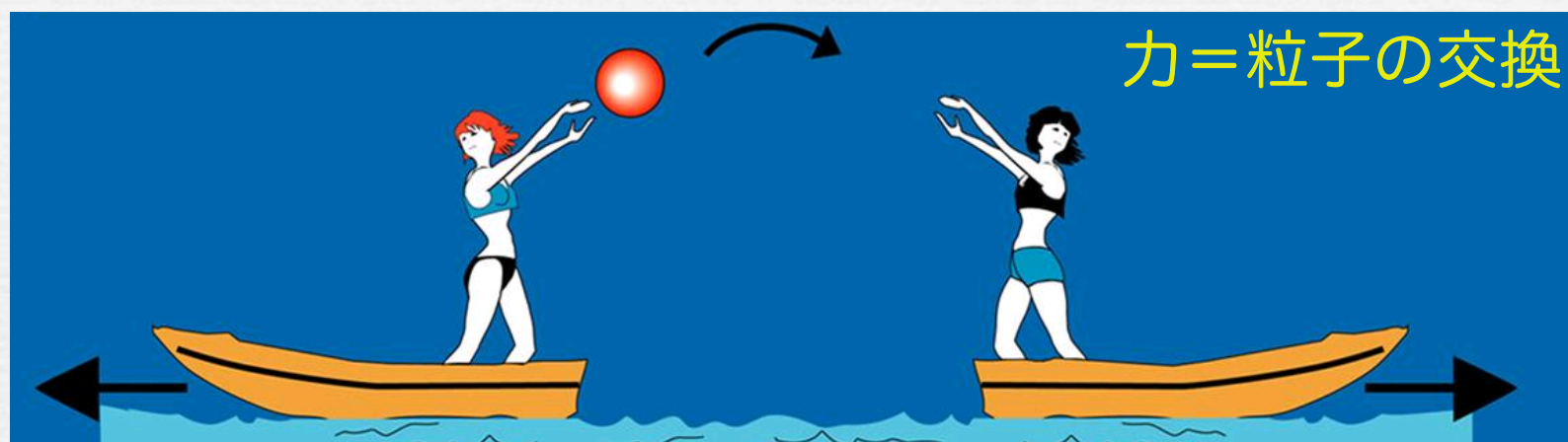
$10^{-18}\text{m} =$

0.0001m

10億分の1 m の 10億分の1

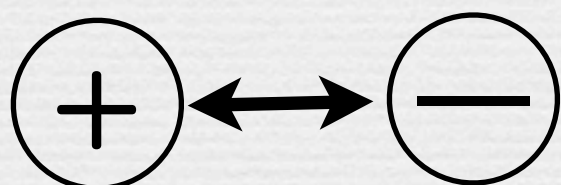
素粒子物理学とは？ 2

素粒子が従う力学法則は？



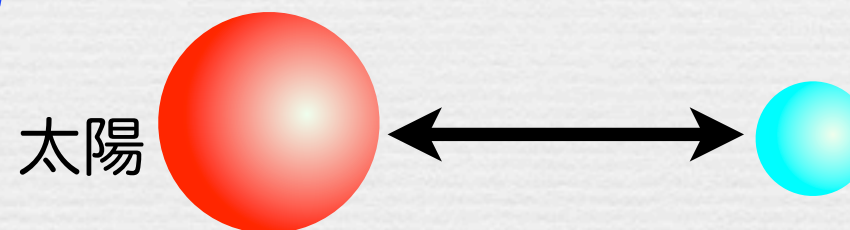
CERNより

電磁気力



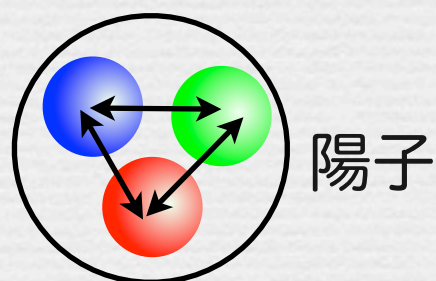
電荷：光子を交換

重力



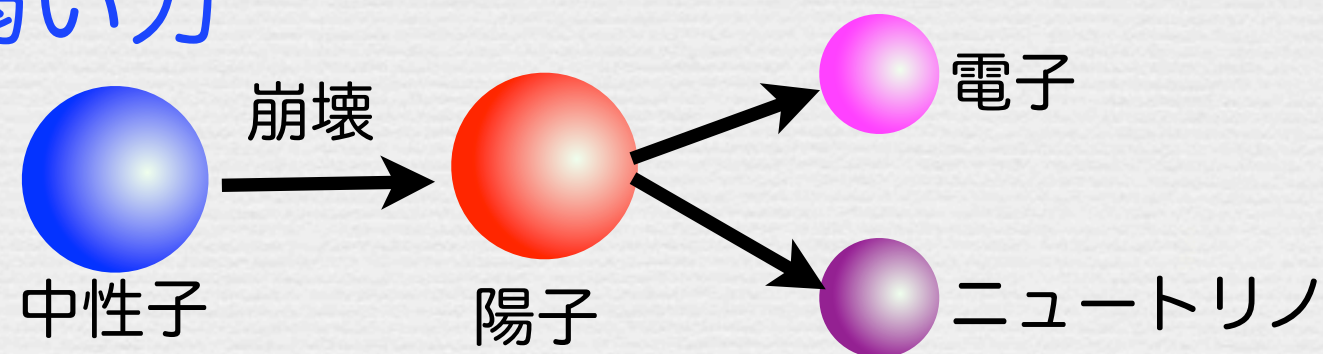
質量：グラビトン(未発見)を交換

強い力



色電荷：グルーオンを交換

弱い力

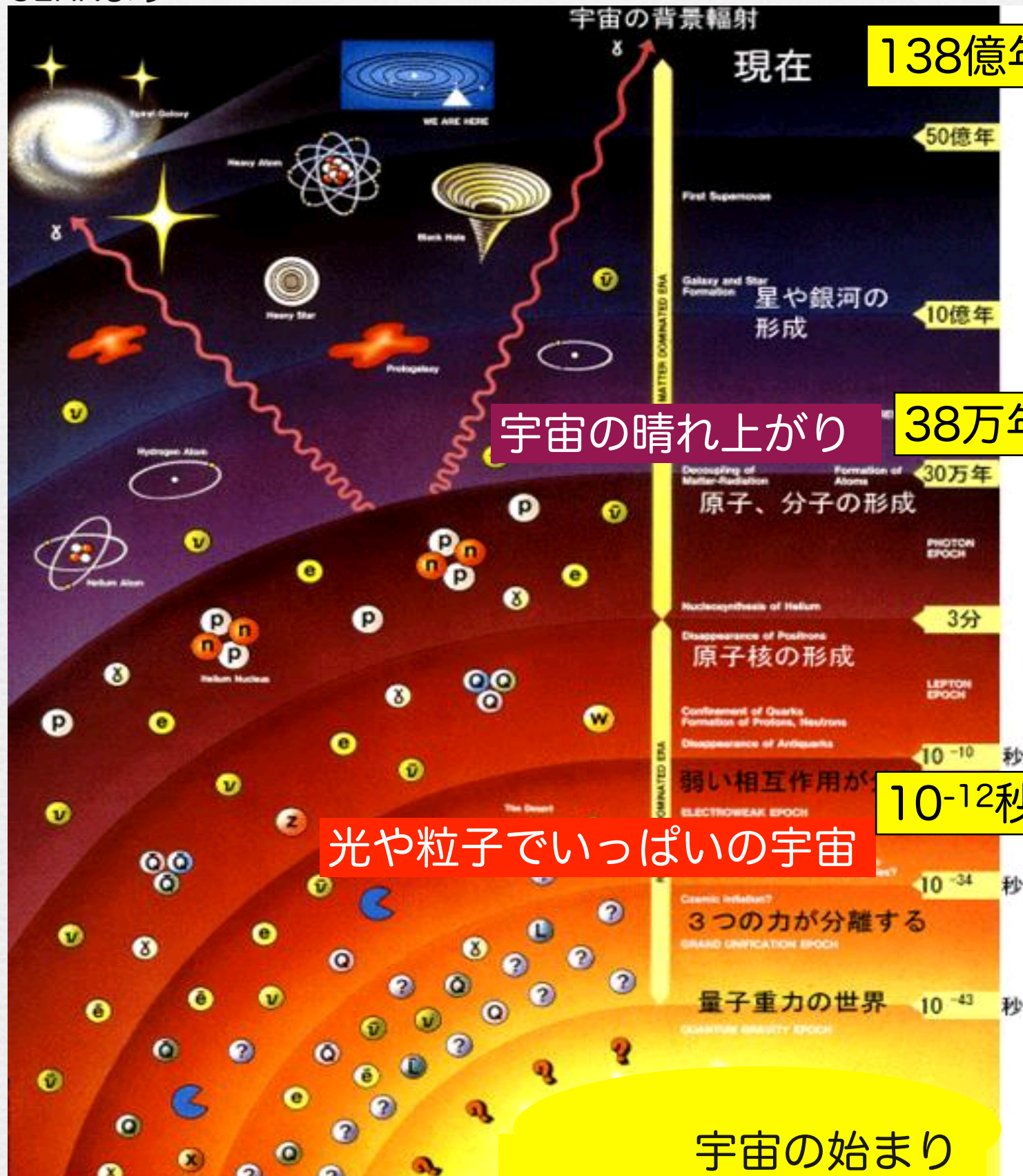


弱電荷：W、Z粒子を交換

素粒子物理学とは？ 3

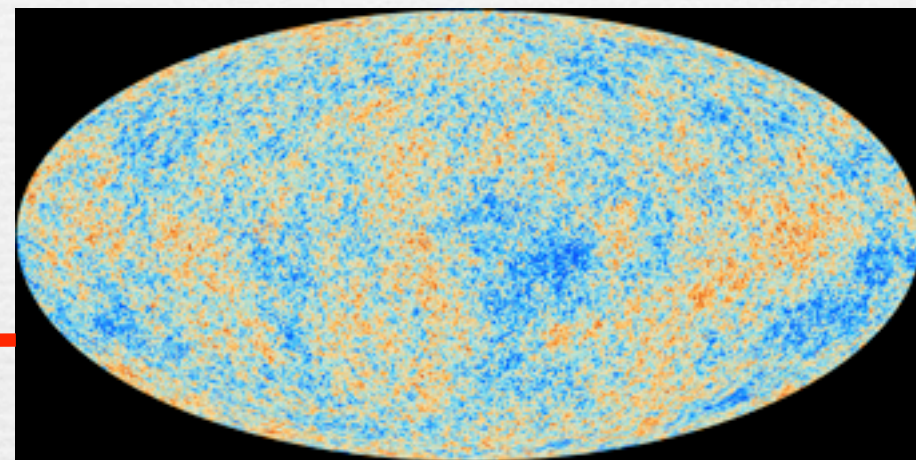
宇宙誕生の謎に迫る

CERNより



← 現在の宇宙の姿

光で38万年後の宇宙を観測



プランク <http://www.esa.int>

光による

それ以前の宇宙の観測は無理

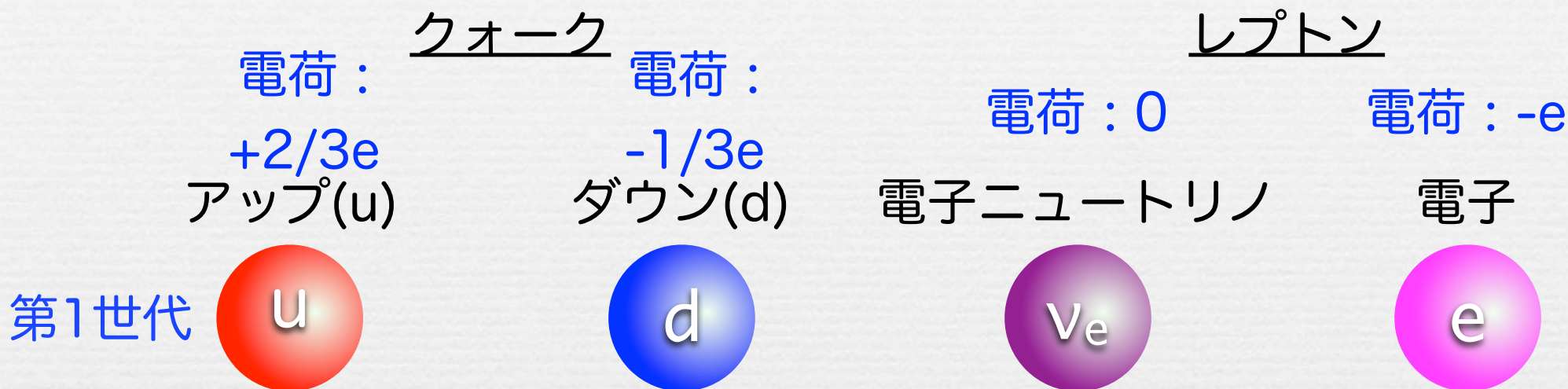
← 加速器で初期宇宙を再現

LHCで10⁻¹²秒後までさかのぼる

これまでの素粒子物理学

素粒子標準模型

物質を構成する



力を伝える



これまでの素粒子物理学

素粒子標準模型

物質を構成する







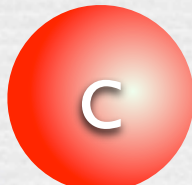



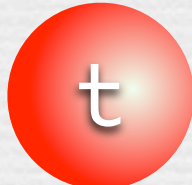



力を伝える



これまでの素粒子物理学

素粒子標準模型

物質を構成する

	クォーク		レプトン	
	電荷： $+2/3e$	電荷： $-1/3e$	電荷： 0	電荷： $-e$
第1世代	アップ(u) 	ダウン(d) 	電子ニュートリノ 	電子 
第2世代	チャーム(c) 	ストレンジ(s) 	ミューニュートリノ 	ミュー粒子 
第3世代	トップ(t) 	ボトム(b) 	タウニュートリノ 	タウ粒子 





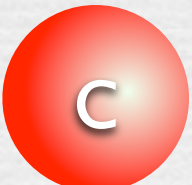



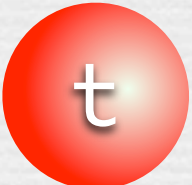



力を伝える

電磁気力：光子 
強い力：グルーオン 
弱い力：Z、W粒子  

これまでの素粒子物理学

素粒子標準模型

物質を構成する

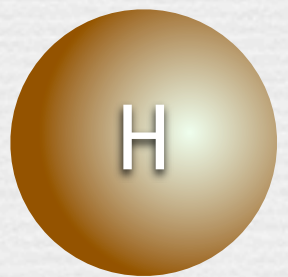
	クォーク		レプトン	
	電荷： $+2/3e$	電荷： $-1/3e$	電荷： 0	電荷： $-e$
第1世代	アップ(u) 	ダウン(d) 	電子ニュートリノ 	電子 
第2世代	チャーム(c) 	ストレンジ(s) 	ミューニュートリノ 	ミュー粒子 
第3世代	トップ(t) 	ボトム(b) 	タウニュートリノ 	タウ粒子 

力を伝える

- 電磁気力：光子

- 強い力：グルーオン

- 弱い力：Z、W粒子
 



ヒッグス粒子：素粒子に質量を与える

素粒子の質量とヒッグス粒子

質量とは？

質量とは？

1. 重力のもと (重力質量)

2. 動きにくさ (慣性質量)

← ヒッグス粒子はこれを説明
重力質量 = 慣性質量 (等価原理)

質量ゼロの粒子 (光) ... 光速でしか進めない。静止できない

質量0の素粒子



質量を持つ粒子

... 光速では進めない。静止できる

軽い素粒子



重い素粒子



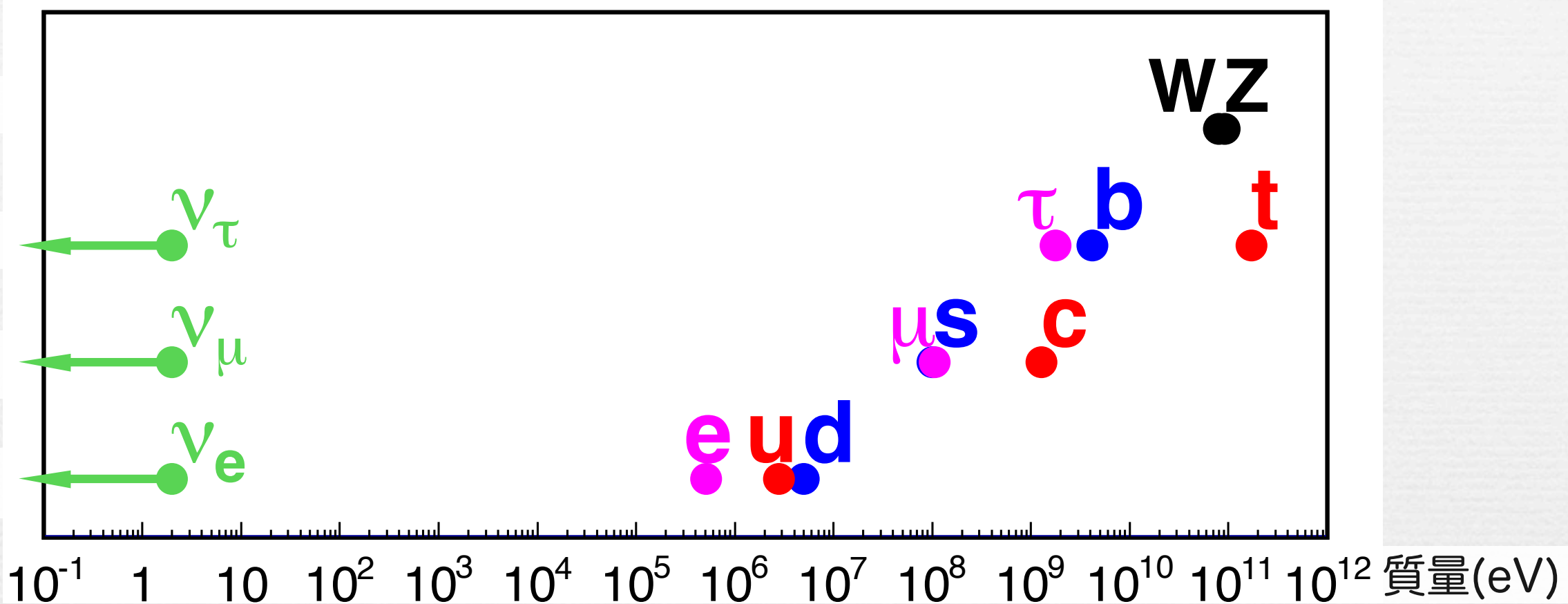
素粒子の質量

ゲージ粒子

第3世代

第2世代

第1世代



1/1000mg



1000kg



標準模型 = 量子力学 + (特殊)相対性理論 + ゲージ原理

→ 質量 = 0 でないとゲージ原理が破綻

素粒子の質量起源

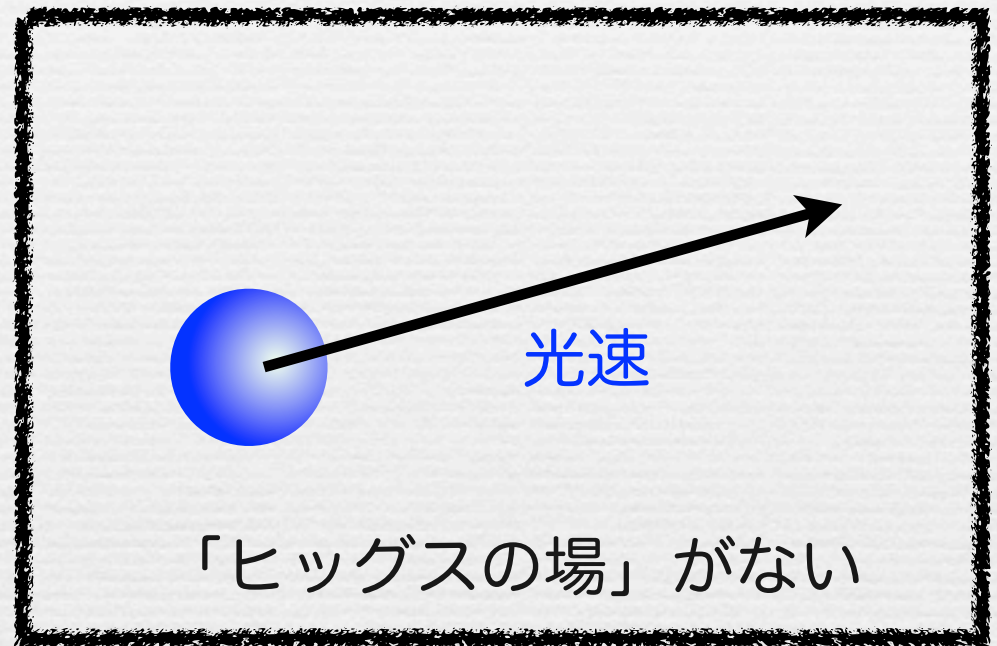
真空：物質のない空間（広辞苑）

：「ヒッグスの場」で満たされた状態（素粒子語辞典）

宇宙誕生直後：高温・高エネルギー

「ヒッグスの場」がない状態

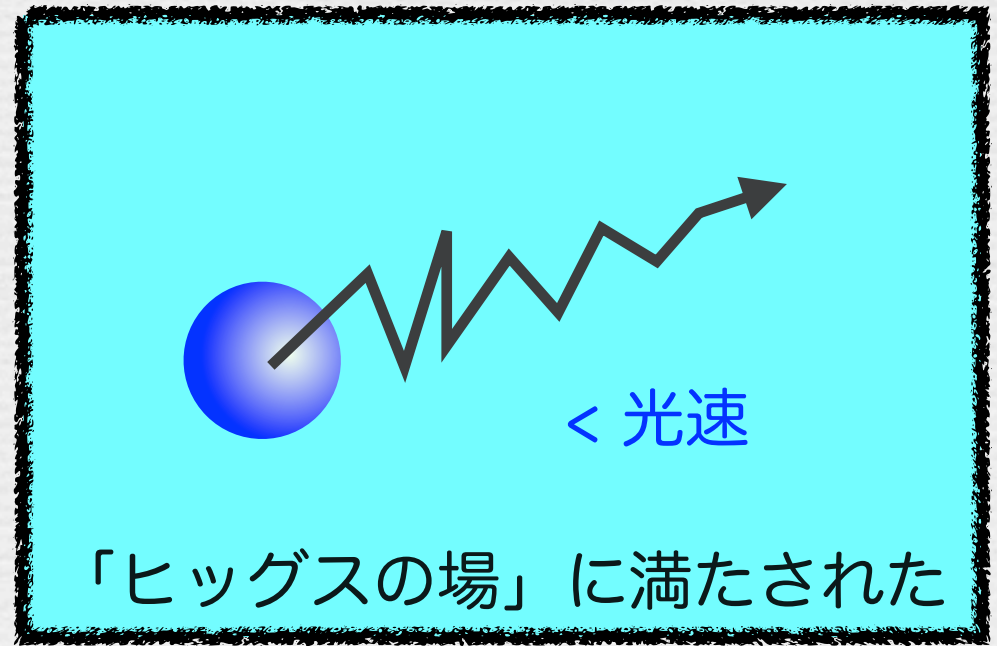
- 粒子は光速で運動
- 素粒子の質量は全てゼロ



10⁻¹⁰秒後の宇宙：宇宙が冷える

「ヒッグスの場」に満たされた状態

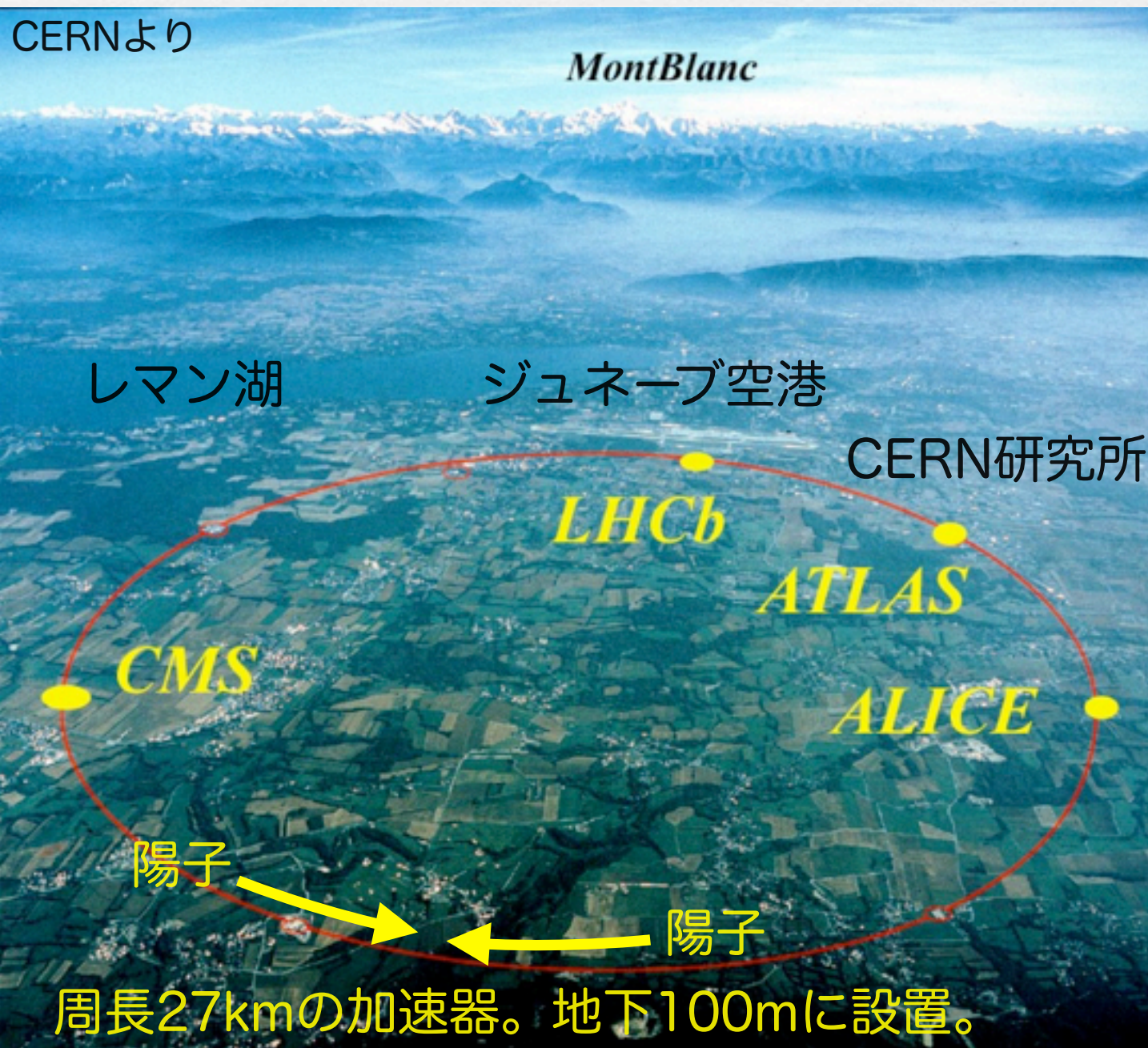
- 粒子が動きにくくなる
- 光速より遅く運動
- 素粒子が質量を持つ



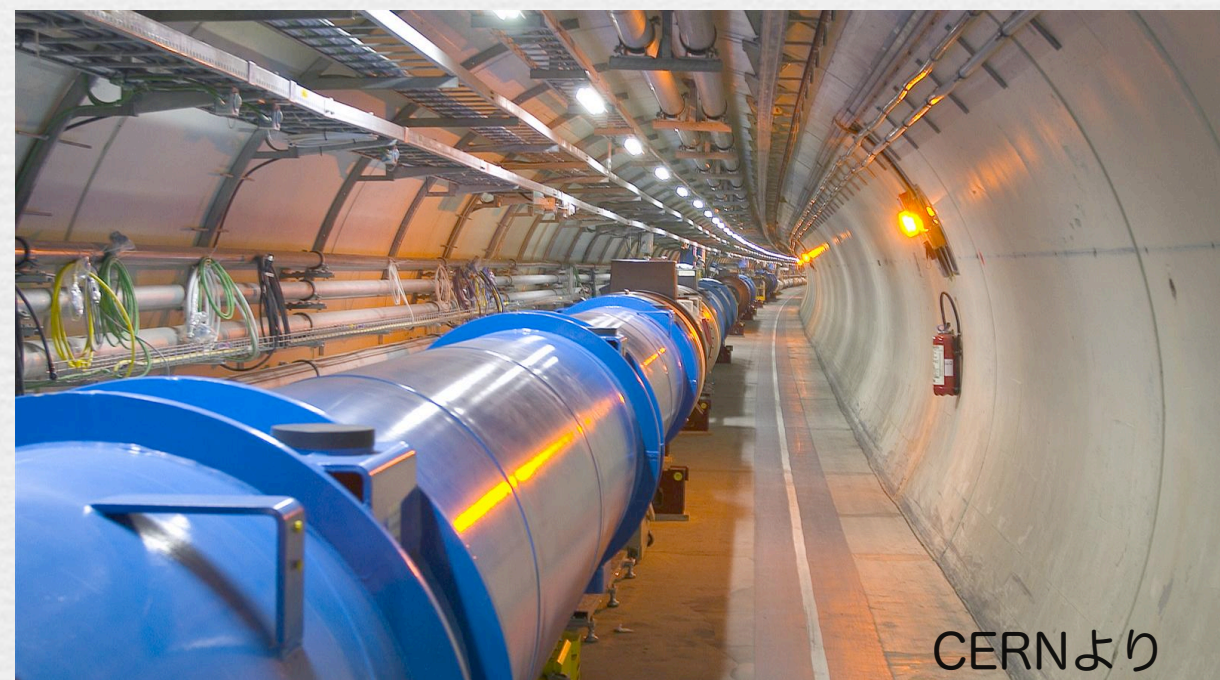
ヒッグス粒子の発見

最先端加速器 Large Hadron Collider

高エネルギー陽子を光速の99.99999991%にまで加速させ、その衝突によって宇宙誕生直後 ($\sim 10^{-12}$ 秒後)の世界を再現。ヒッグス粒子や未知の素粒子を作る。



1232台の8.33T超伝導磁石(15m)
液体ヘリウムで冷却, -271°C

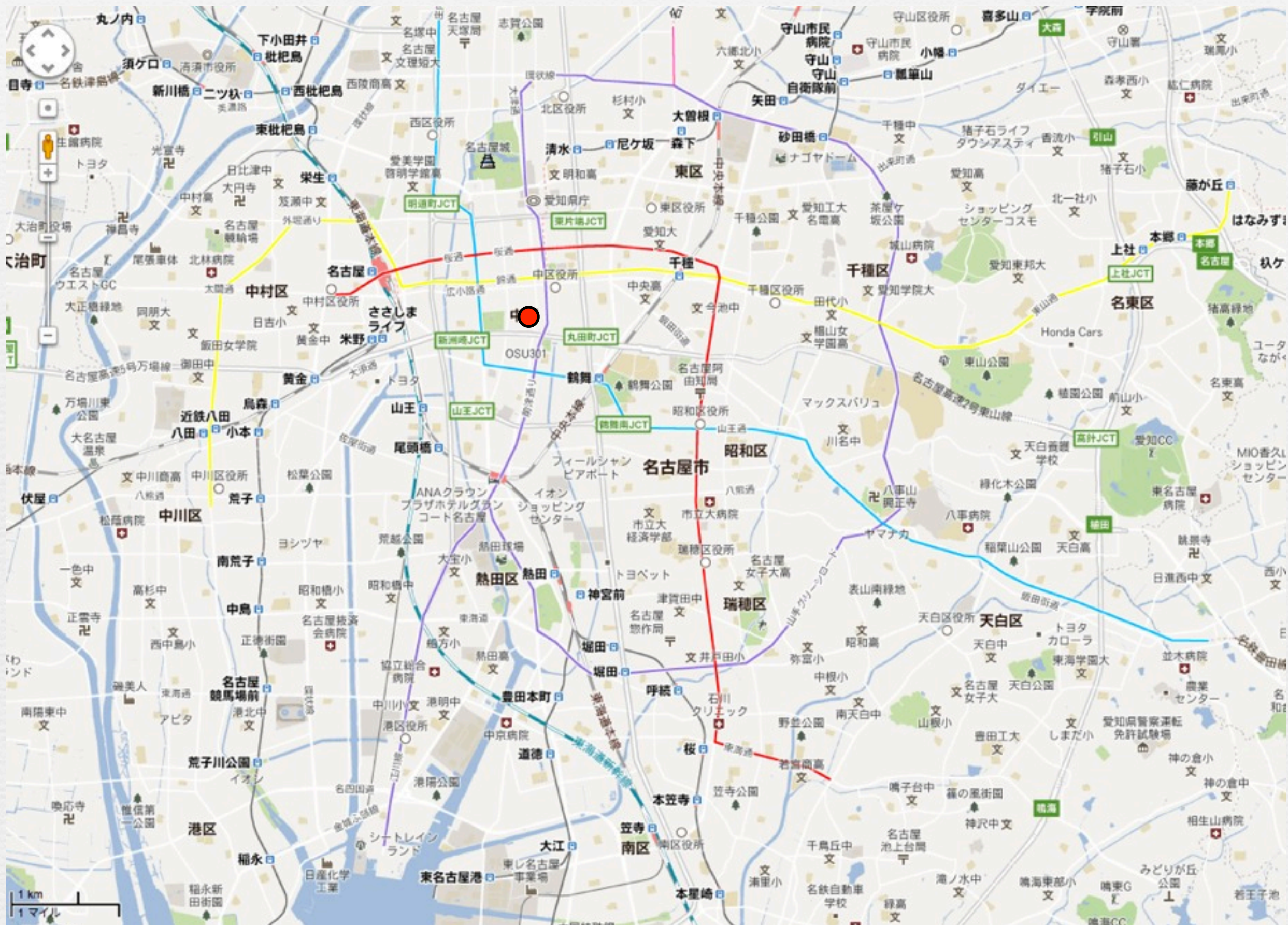


毎秒1億回の陽子・陽子衝突
(1年=31,536,000秒 → 千万秒)
年間で1000兆回の陽子・陽子衝突
2011年と2012年に第1実験
2000兆回の陽子・陽子衝突！！

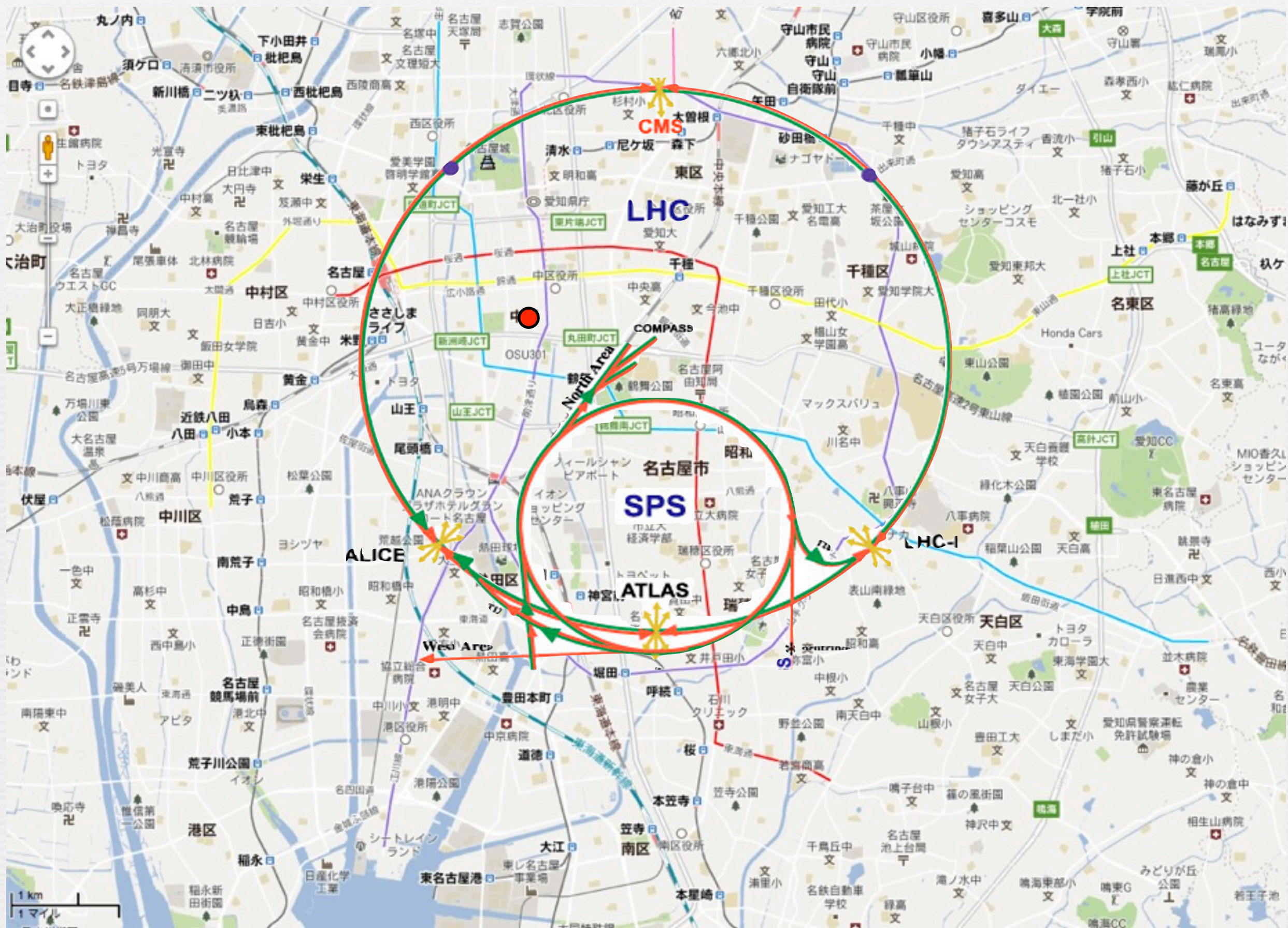
LHC加速器の大きさ



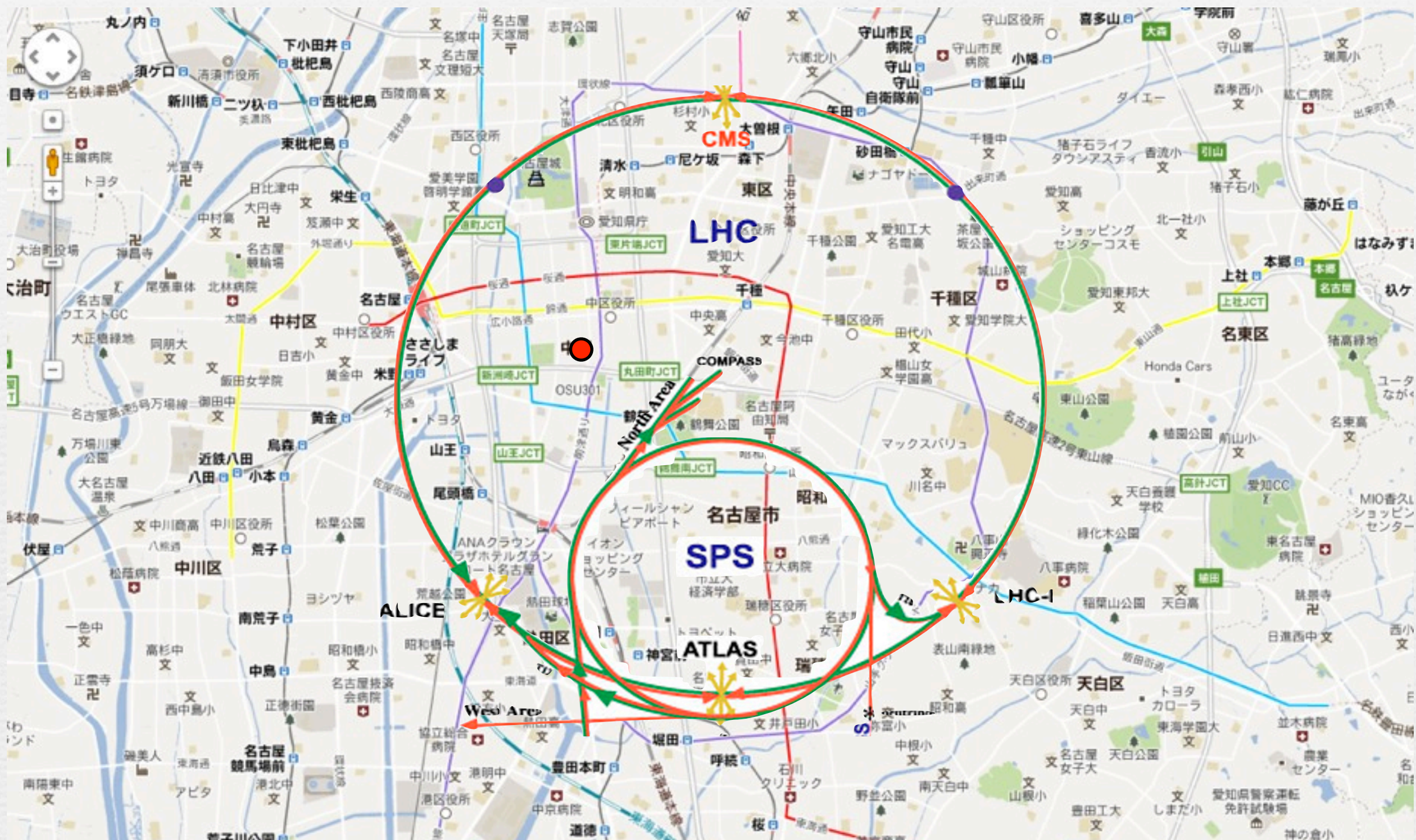
LHC加速器の大きさ



LHC加速器の大きさ



LHC加速器の大きさ



大阪環状線 < LHC~名古屋地下鉄名城線 < 東京山手線
 ~21km ~27km ~34.5km

LHC実験は国際交流の場

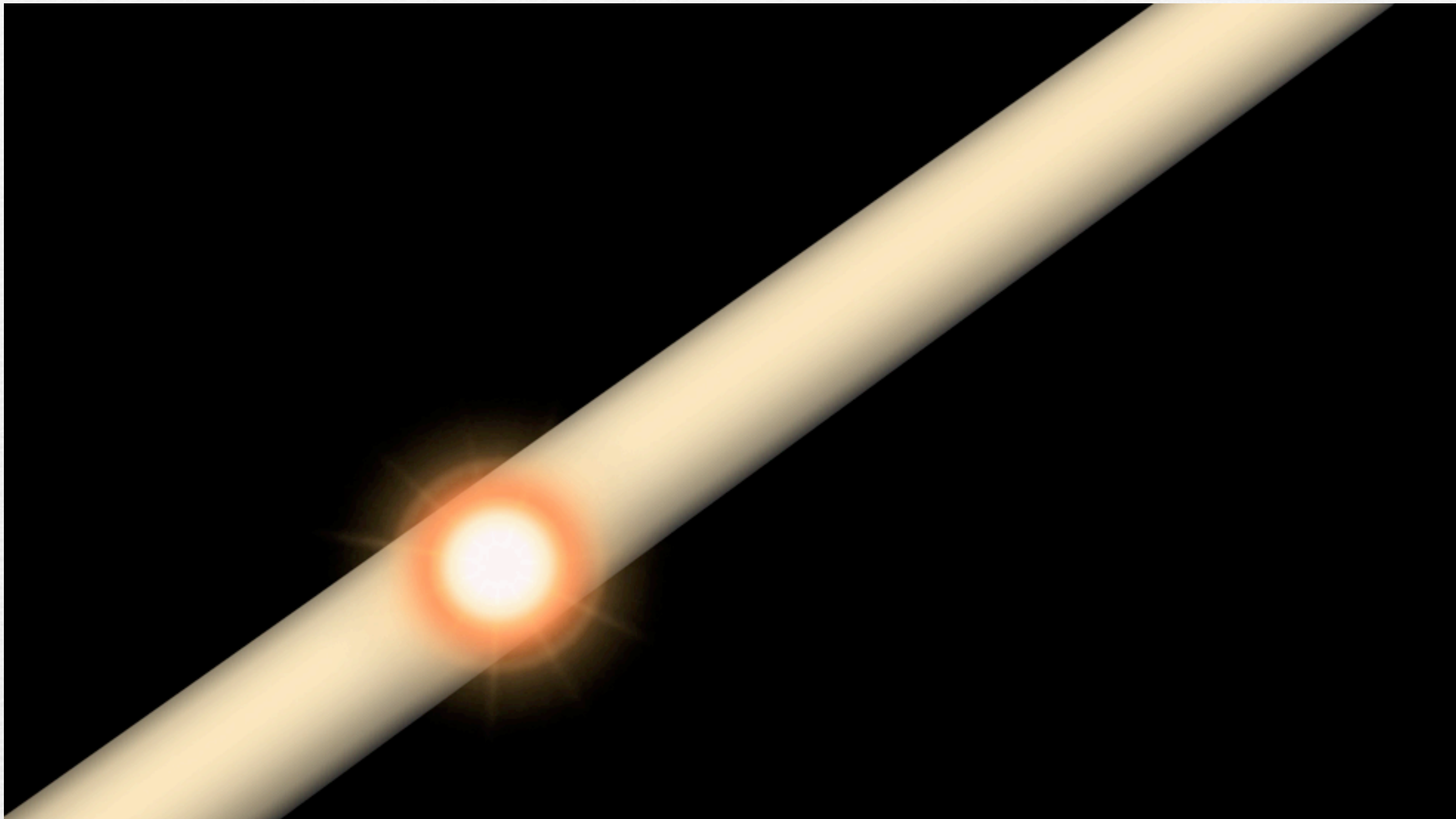
38カ国から約3千人の国際共同実験

世界中から一流の研究者が集結

検出器建設と物理解析で協力と競争

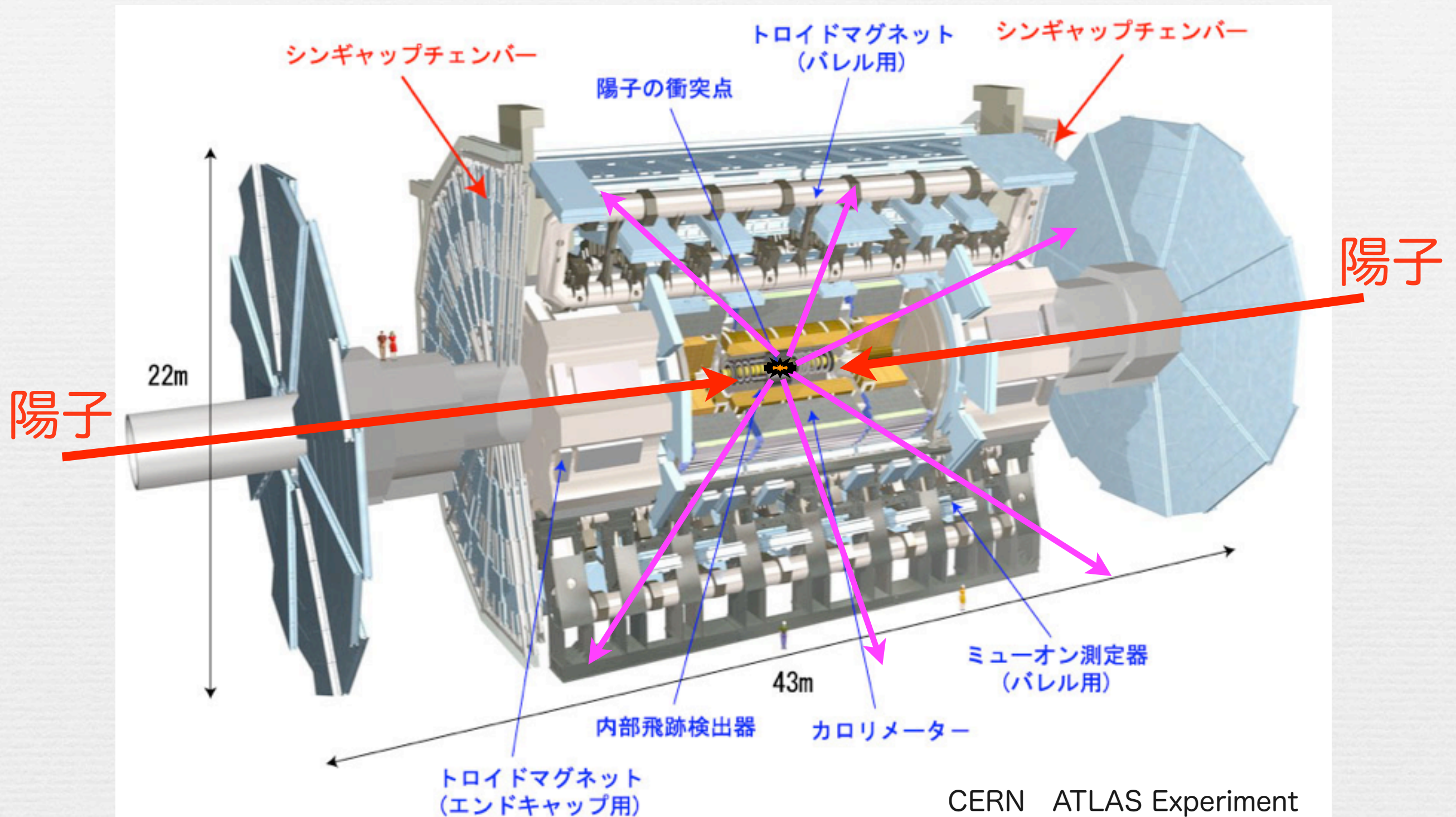


陽子・陽子衝突



CERN ATLAS Experiment

検出器 アトラス検出器

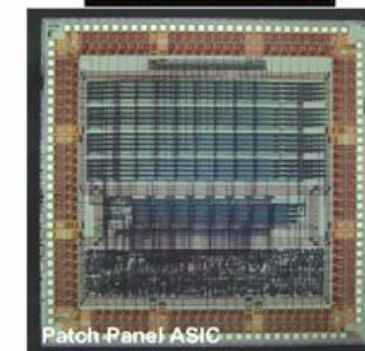
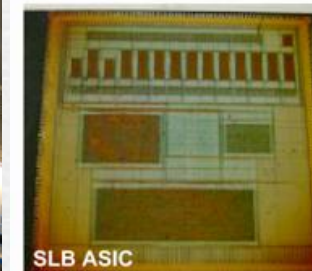
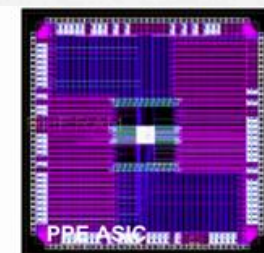
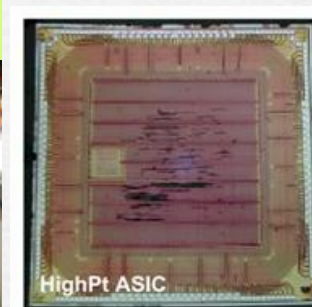
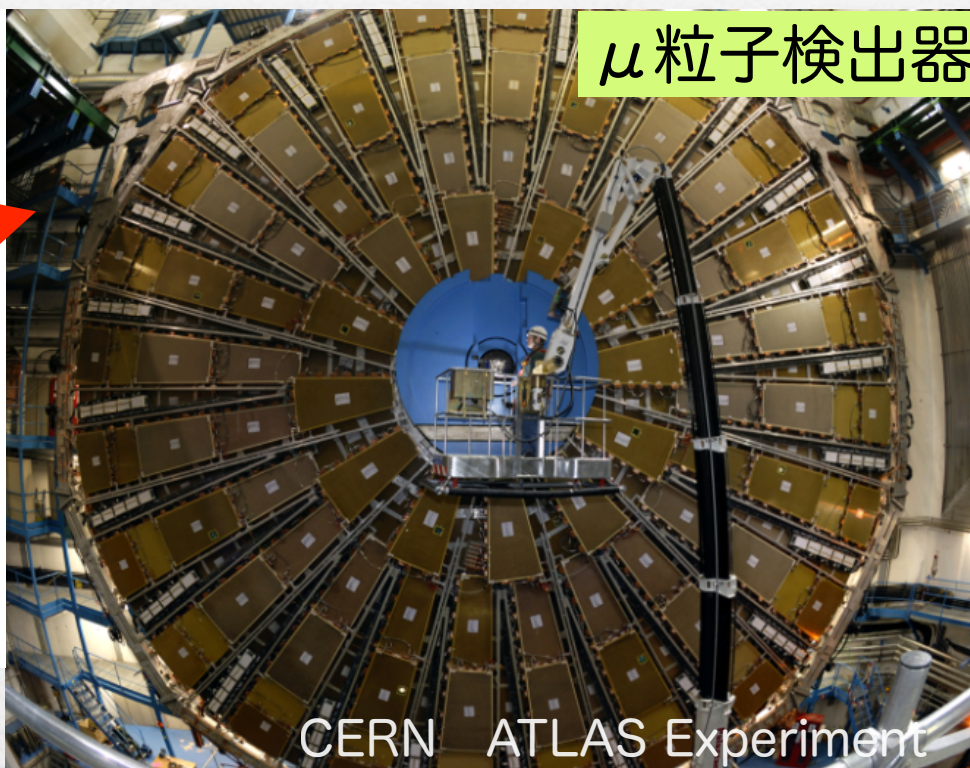
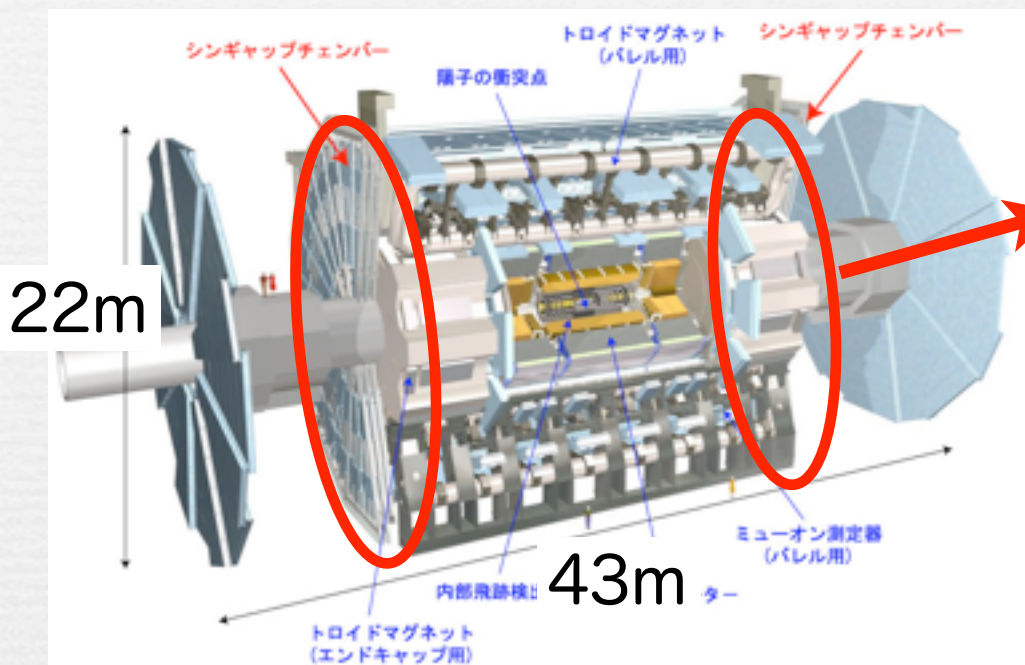


重い粒子は不安定 → 軽い安定粒子に化ける (崩壊)

光、電子、 μ 粒子、ハドロン(クォークの複合粒子)、ニュートリノ

検出器の建設

検出器も、32万チャンネルの回路も研究者の手作り



若い学生達が頑張っています!!!

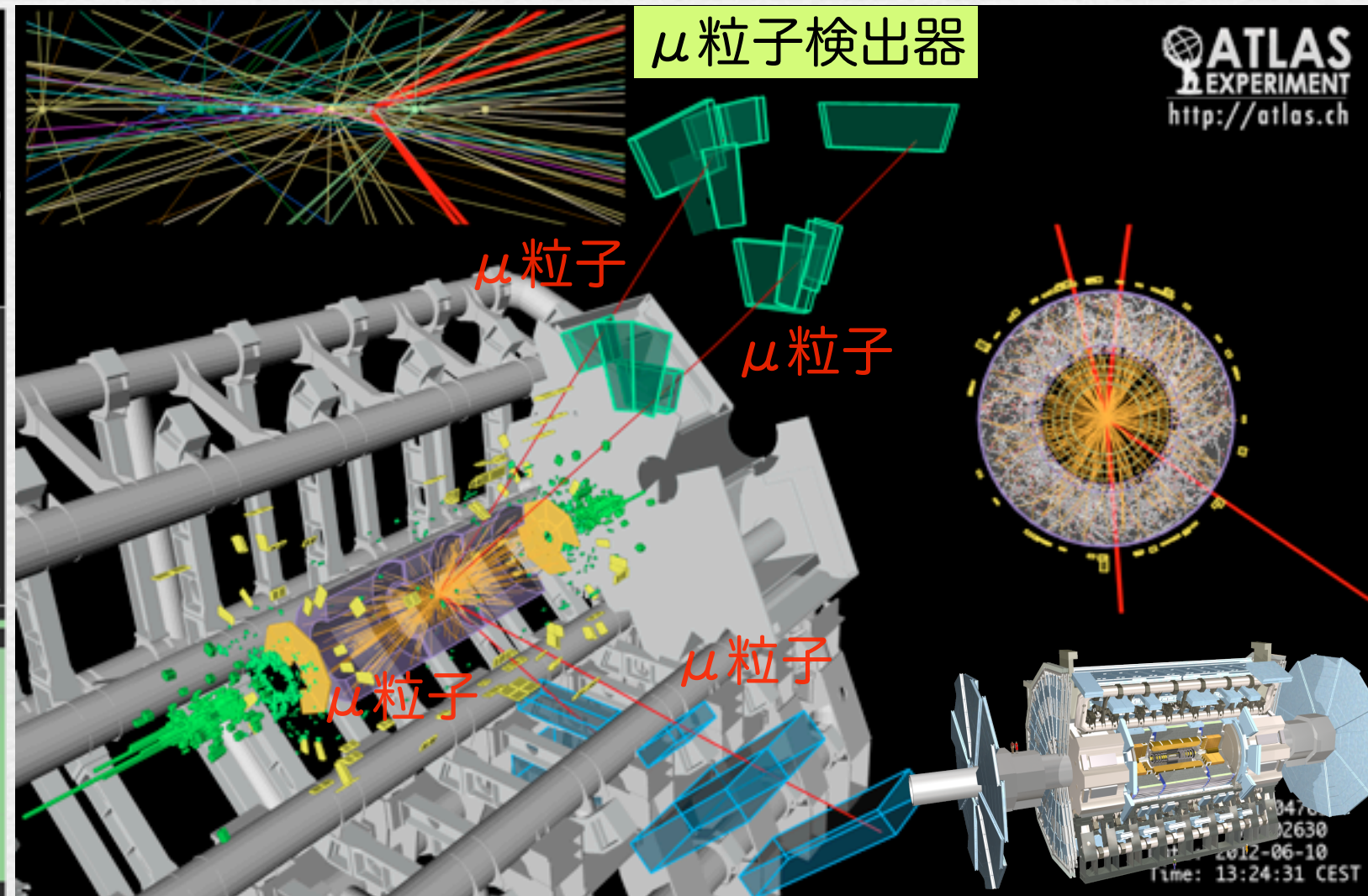
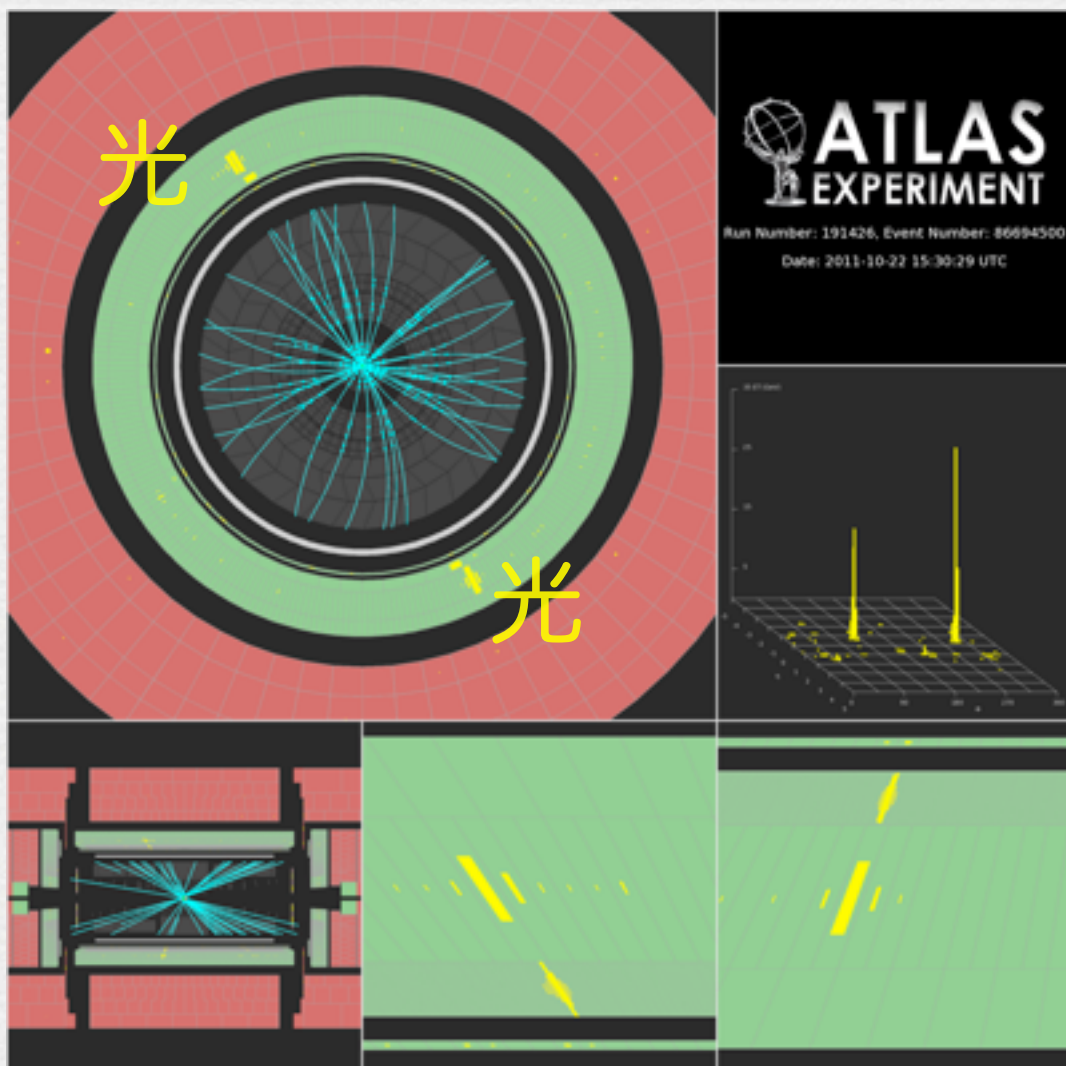
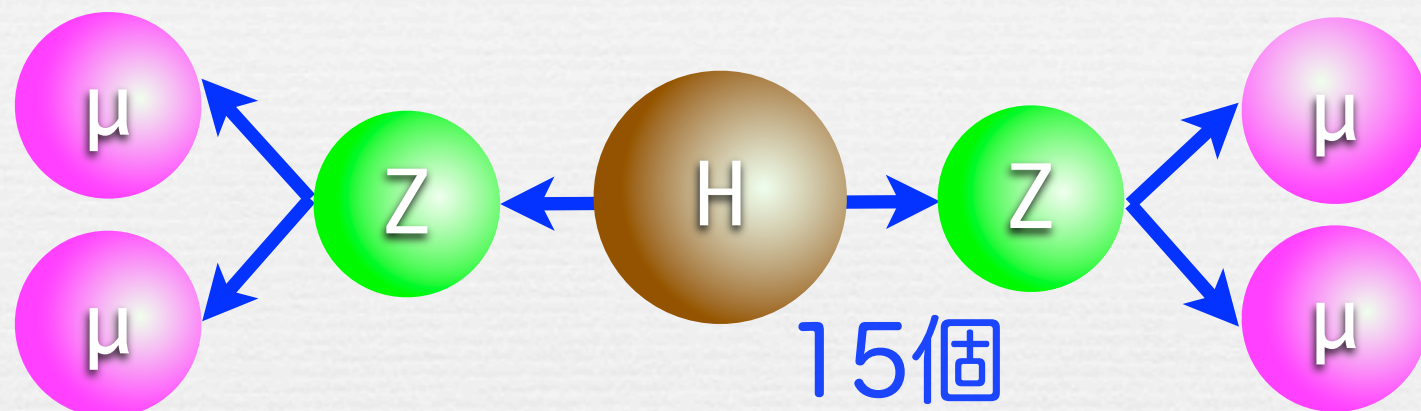
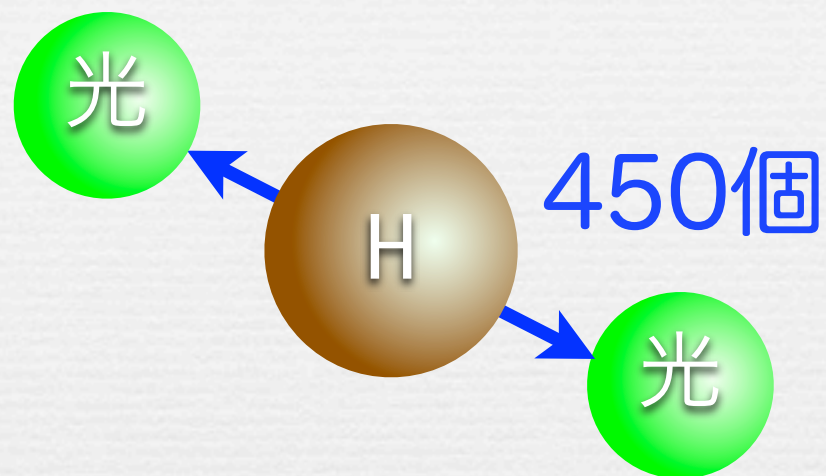


ヒッグス粒子の発見

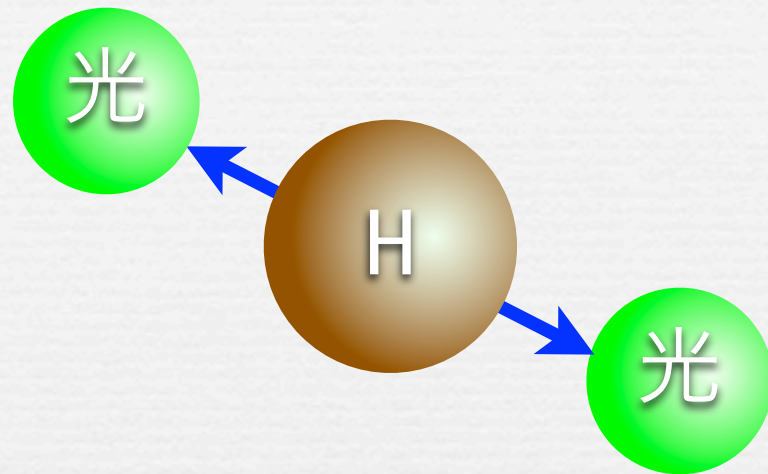
2千兆回の陽子陽子衝突 → 40万個のヒッグス粒子が生成

○ ヒッグス粒子→光子+光子の候補

○ ヒッグス粒子→ZZ→4本のμ粒子の候補

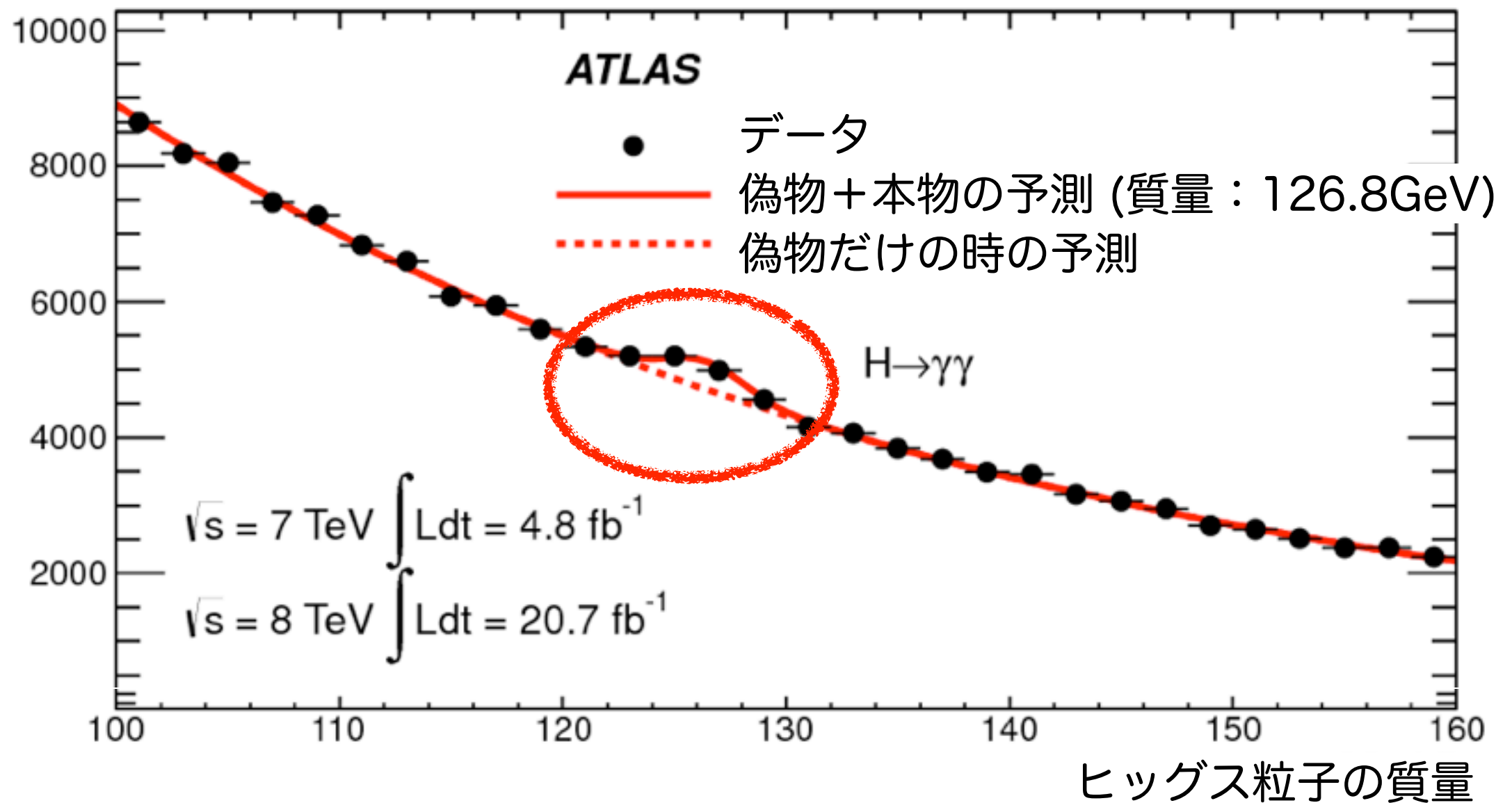


ヒッグス粒子の発見



膨大なバックグラウンド（ゴミ）の中からわずかなヒッグス粒子の信号を発見

イベントの数



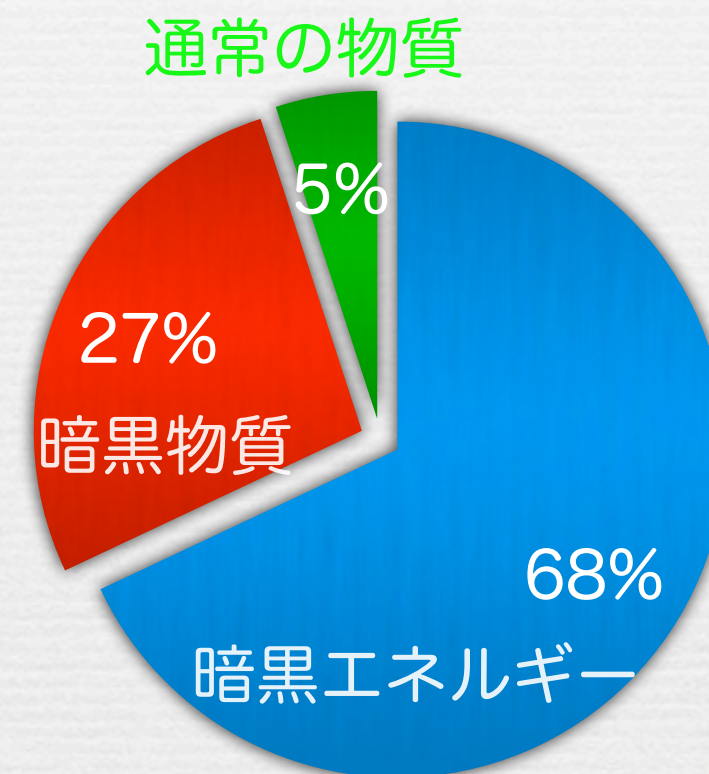
素粒子物理はこれからが面白い

ヒッグス粒子発見で物理学が面白い！！

真空(ヒッグス粒子)に対する新しい知見
ダークマター(暗黒物質)となる素粒子の追求



NASAのサイトから



超対称性や余剰次元の探索 → 時空に対する新しい知見

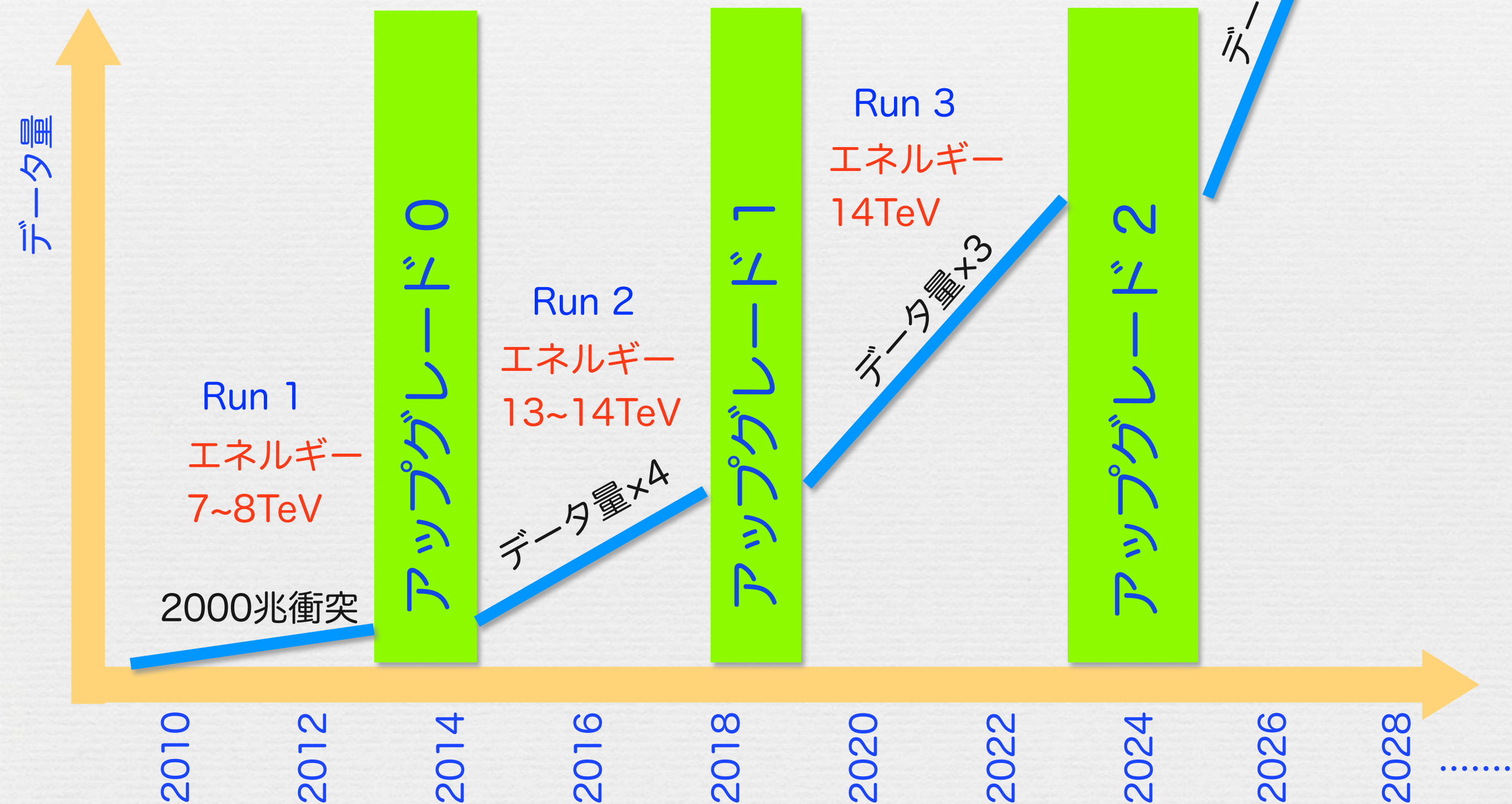
新しい素粒子物理学

素粒子を使って、真空と時空の構造を解明する

LHCアップグレード計画

加速器と検出器のアップグレード

より高エネルギー、沢山の陽子・陽子衝突



宣伝

名古屋大学理学部に興味がある人は、



名古屋大学

理学部・大学院理学研究科 多元数理科学研究科

検索



English

[問い合わせ](#) | [アクセス](#) | [キャンパス案内](#) | [リンク](#) | [サイトマップ](#)

学部長メッセージ

概要

組織・施設紹介

沿革

教員紹介

入試情報

広報誌



理学部の先人たち

動画



[動画の一覧](#)

訪問者別メニュー

学部受験生の皆さんへ



大学院受験生の皆さんへ



在学生の方へ



留学生の方へ



卒業生の方へ



お知らせ & イベント情報

イベント

[先進科学塾@名大 番外講座](#)

[「見えない粒子線を霧箱で見て、速さを測る」](#)

日時：2014年7月26日（土），27日（日）10:00～16:00

場所：名古屋大学C館2階 C207号室（物理会議室）

対象：中学生，高校生，一般

イベント

[年代測定総合研究センター 体験学習](#)

[「火成岩を観察しよう！」](#)

日程：2014年8月9日（土）～8月10日（日）

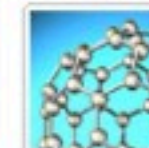
場所：西三河・奥三河、

名古屋大学年代測定総合研究センター

学科・授業紹介



数理学科



物理学科



化学科



名古屋大学理学部に興味がある人は、



名古屋大学

理学部・大学院理学研究科 多元数理科学研究科

検索



English

[問い合わせ](#) | [アクセス](#) | [キャンパス案内](#) | [リンク](#) | [サイトマップ](#)

学部長メッセージ

概要

組織・施設紹介

沿革

教員紹介

入試情報

広報誌



理学部の先人たち

動画

訪問者別メニュー

▶ 学部受験生の皆さんへ

▶ 大学院受験生の皆さんへ

▶ 在学生の方へ

▶ 留学生の方へ

▶ 卒業生の方へ

オープンキャンパス2014

8月6日から8月8日（理学部は8月8日）

<http://www.nagoya-u.ac.jp/extra/open-campus/2014/index.html>

ホームカミングデイ

10月18日(土)

プリンキピア特別講演会

「ヒッグス粒子発見のインパクト」

素粒子やヒッグス粒子に興味がある人は、

夢ナビ

ヒッグス粒子の発見で物理学はますます面白くなる
見えない粒子をつかまえる！素粒子実験の研究とは

ナショナルジオグラフィック日本版

「研究室」に行ってみた。CERN素粒子物理学CERNの日本人研究者たち

”webナショジオ「研究室」に行ってみた。”で検索。

<http://nationalgeographic.jp/nng/article/20140428/394973/>

著書

ヒッグス粒子の見つけ方 ～質量の起源を追う～

戸本誠、花垣和則、山崎祐司 著 丸善出版

愛知県立図書館「サイエンスがおもしろい」(7/11～10/8)

「サイエンスセミナー」(8月～9月にかけて 全4回)

9月14日：「ヒッグス粒子の見つけ方」

おしまい

質量とは？

$$E = mc^2$$

(静止した粒子の持つエネルギー) = (質量)

光 (質量ゼロ) のエネルギーはゼロ??

$$E = \sqrt{m^2c^4 + p^2c^2}$$

(全エネルギー) = (静止エネルギー) ⊕ (運動エネルギー)

質量ゼロの粒子 (光) $E = pc$

全エネルギーは運動エネルギーから

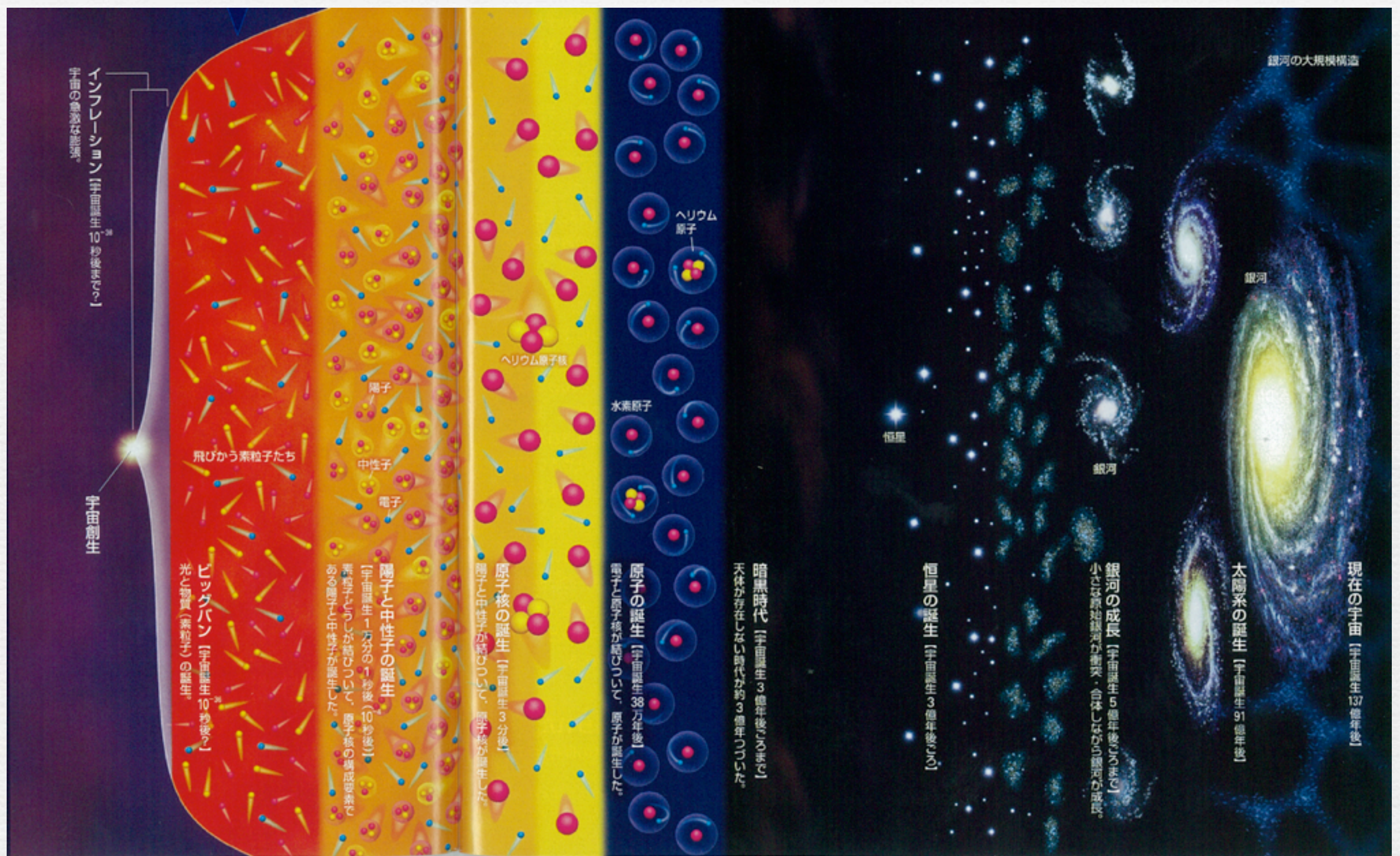
... 光速でしか進めない。静止できない

質量を持つ粒子

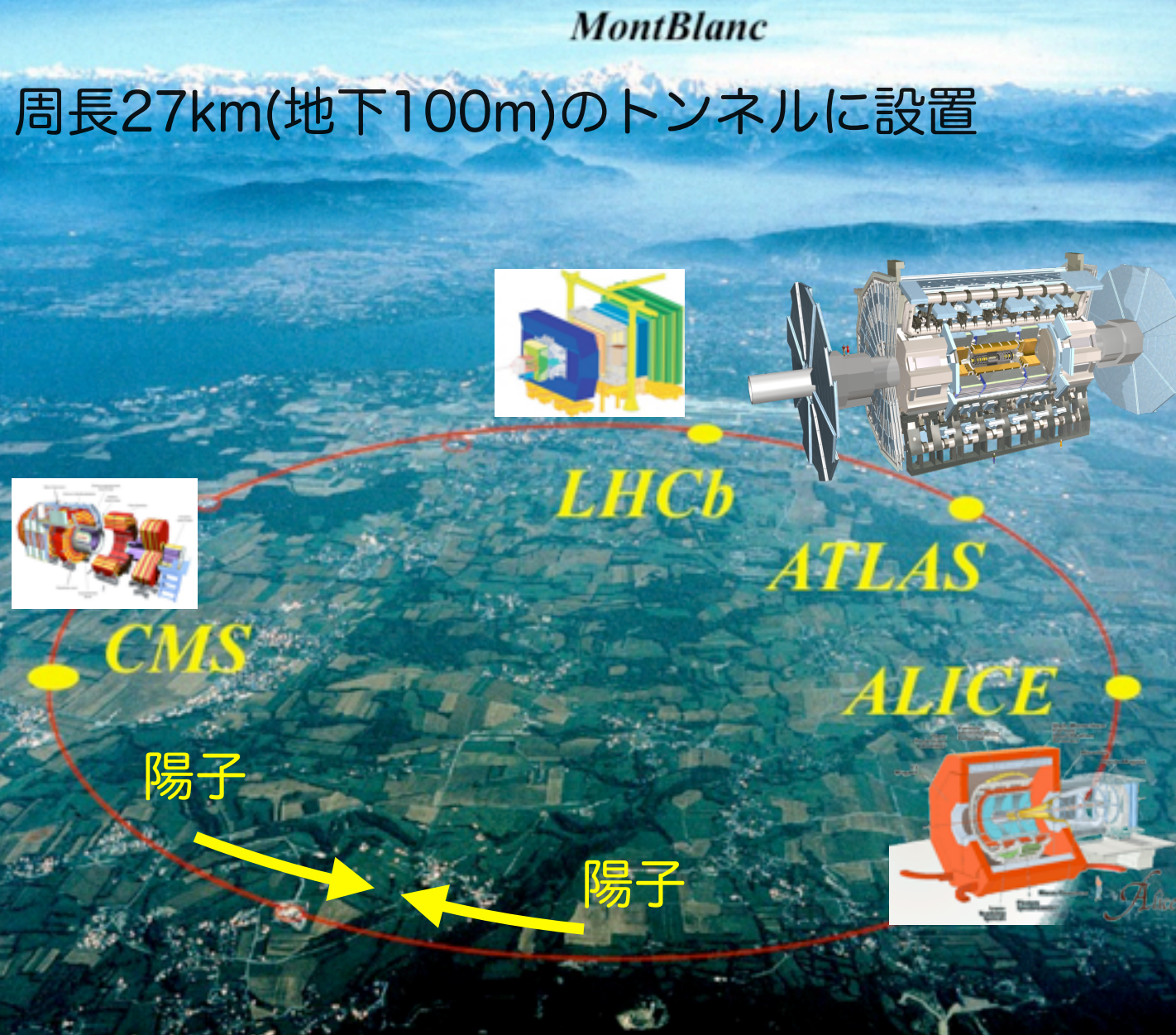
全エネルギーは質量と運動から

... 光速では進めない。静止できる

宇宙誕生の歴史



Large Hadron Collider 計画



目的

高エネルギー陽子の衝突によって宇宙誕生直後 (~ 10^{-12} 秒後) の世界を再現し、ヒッグス粒子や超対称性粒子などの未知の素粒子を作る

加速器性能

黒字：現在の性能, 青字：デザイン値

加速粒子	陽子×陽子
ビーム塊あたりの陽子数	千億 個
陽子ビーム塊の数	1380→2808
ビーム塊の間隔	50ナノ秒→25ナノ秒
衝突点でのビーム半径	~0.020 mm→0.015mm
エネルギー	3.5TeV→4TeV→7TeV

4TeVの陽子：光速の99.9999997%

7TeVの陽子：光速の99.99999991%

運用

2009年に始動

2010年-2012年からRun 1

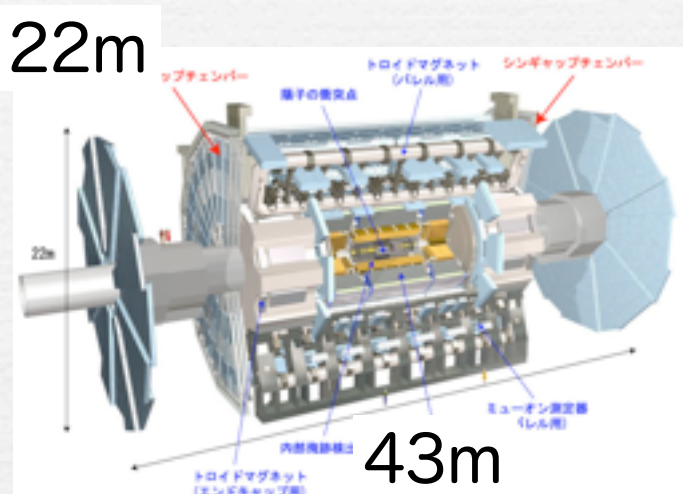
衝突エネルギー：7TeV-8TeV

データ収集量：27fb⁻¹

2000兆回の陽子衝突



検出器の建設の歴史を1分で



大きさ：22m x 43m

総重量：7000トン

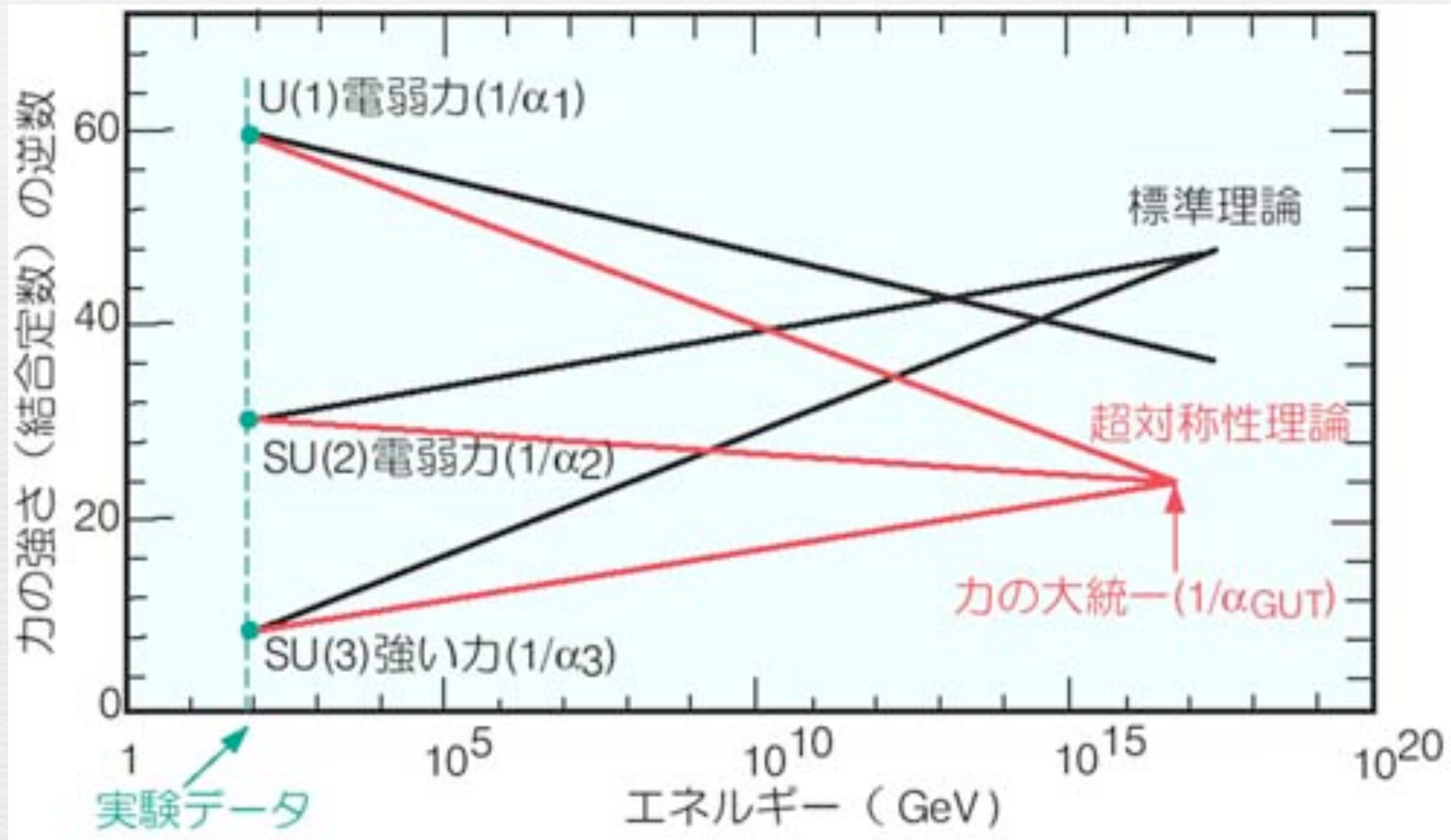
読み出し：1億6千

2003年検出器建設開始

2008年に完成

ATLAS Detector Assembly

力の統一

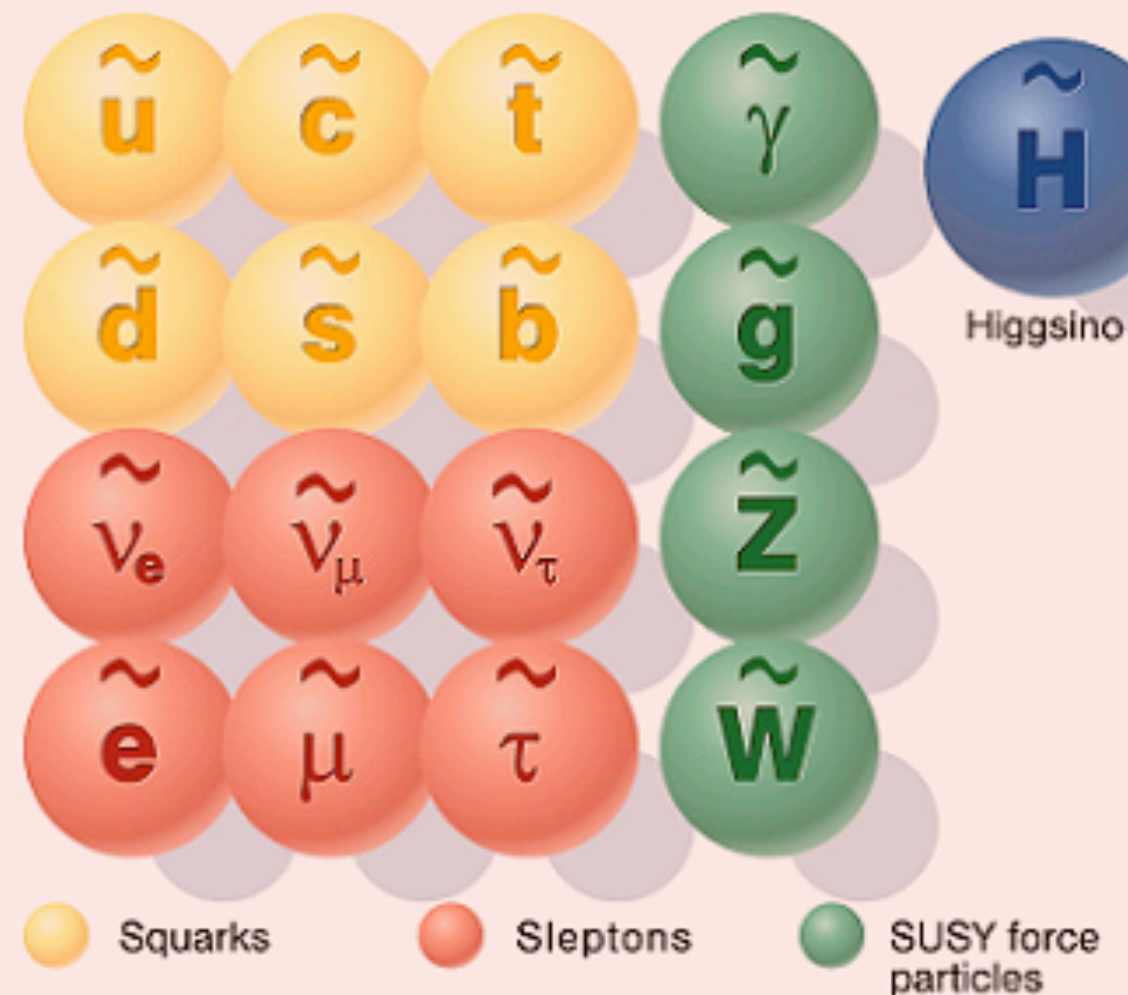


今後の展開

標準模型の素粒子



超対称性粒子 未発見



- ヒッグス粒子の発見→性質の理解

 沢山のヒッグス粒子→沢山の陽子衝突

- 新しい素粒子(超対称性粒子など)の発見

 暗黒物質の候補、力の大統一の可能性、...

 → 重い粒子：衝突エネルギーを8TeV から 13~14TeVに

- 標準模型の精密検証