

2015.10.03 鵜沼高等学校

# ヒッグス粒子の発見で面白くなった物理学 ～巨大加速器LHCで探る誕生直後の宇宙～

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

# 自己紹介

# 自己紹介

氏名：戸本 誠

出身：愛知県名古屋市中村区生まれ、名古屋市内の公立小中高校を卒業

水泳ばかりの少年時代（そんなに速くなかったが）

高校の物理や数学の先生の影響で物理学に興味

高校2年生位から理学部への進学を希望、物質の”素”に興味を持ち始める

経歴：

名古屋大学理学部物理学科

大学4年では素粒子論研究室に配属

大学院入学試験で素粒子論研究室は不合格→素粒子実験研究室へ。

名古屋大学大学院 理学研究科博士課程 理学（博士）

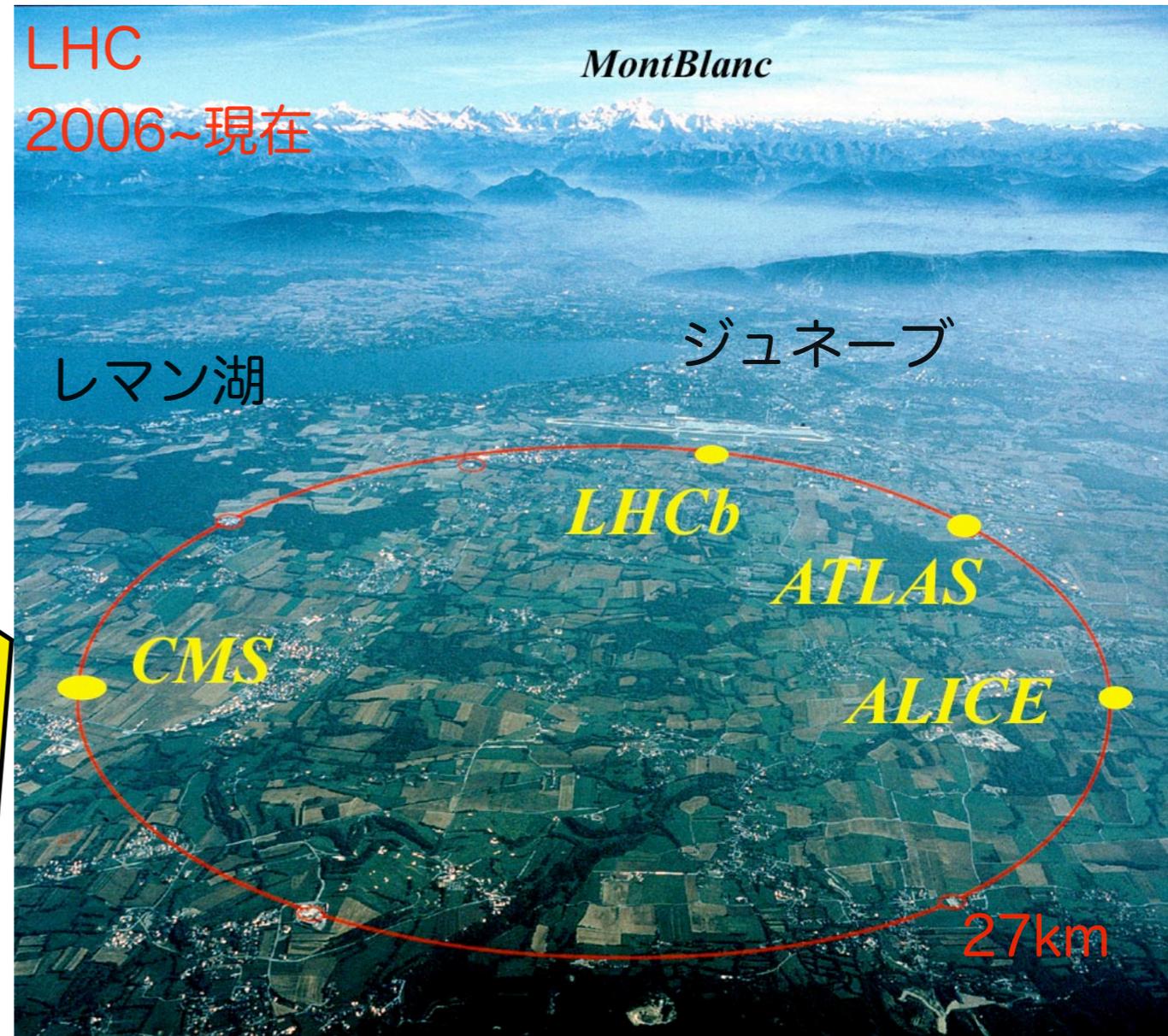
高エネルギー加速器研究機構（つくば市）研究員

米国 フェルミ研究所（イリノイ州）Research Associate

名古屋大学理学部 准教授（現在）

# 専門分野

高エネルギー加速器を用いた素粒子実験

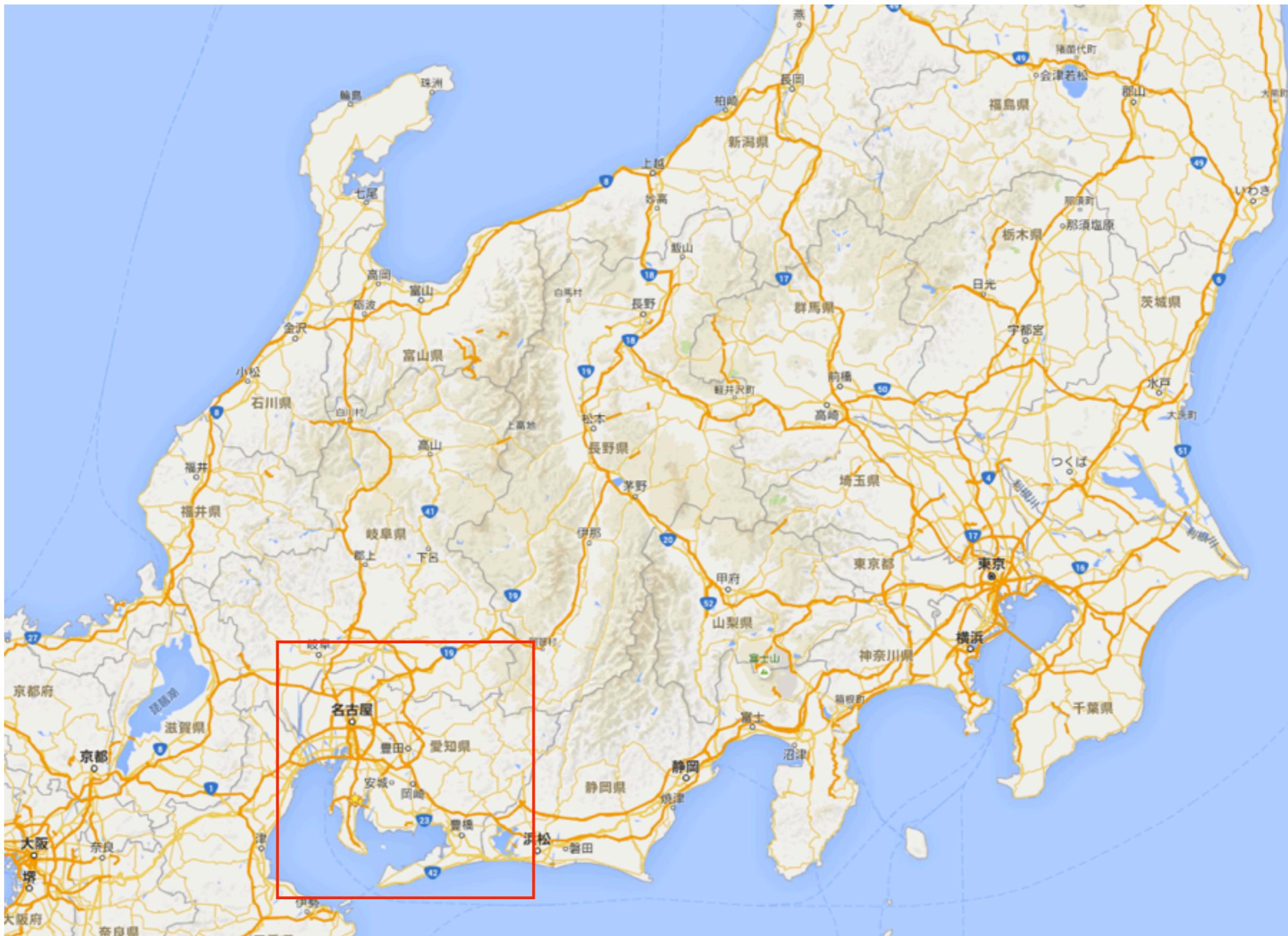


# 名古屋大学の紹介

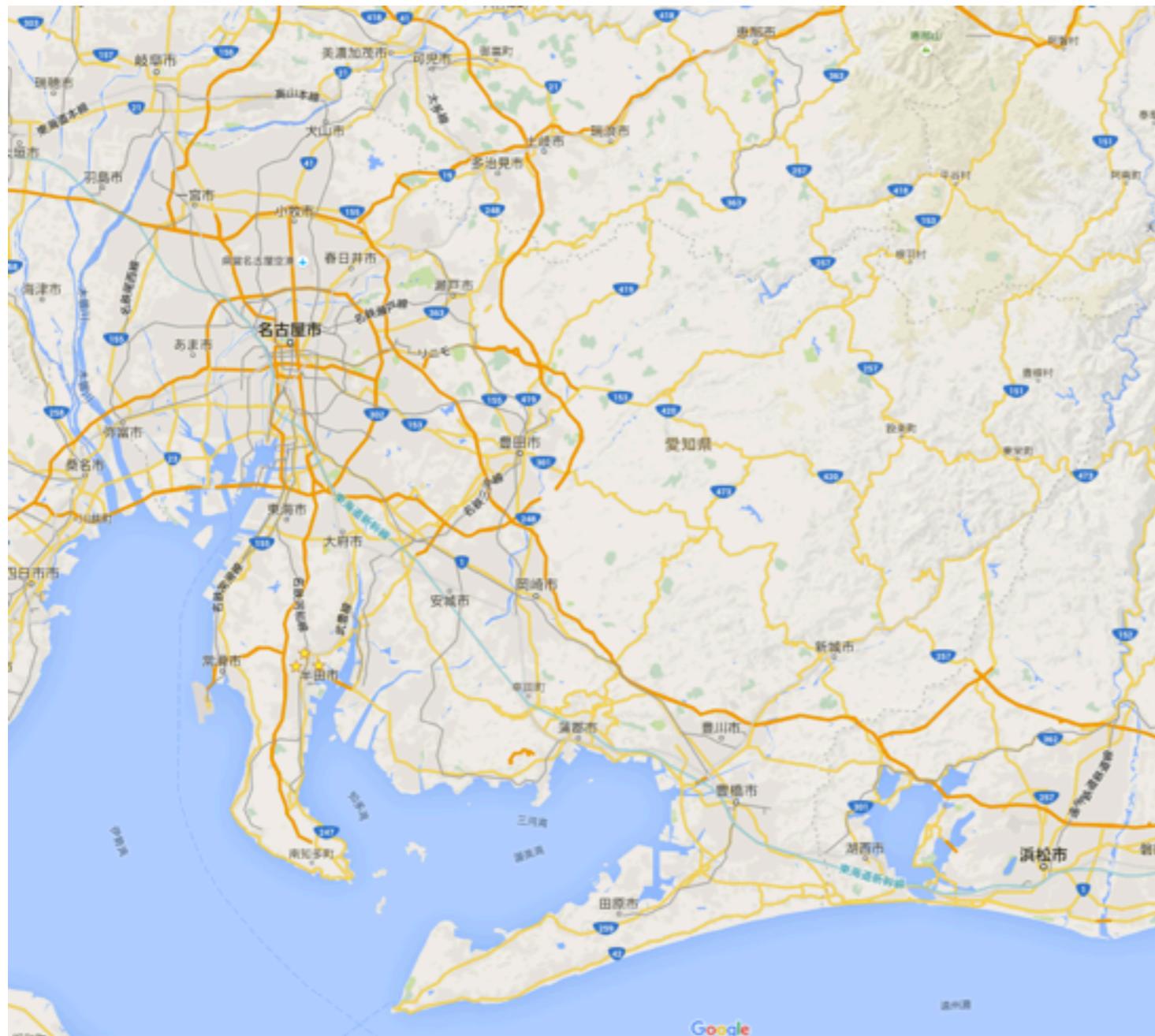
# 名古屋大学



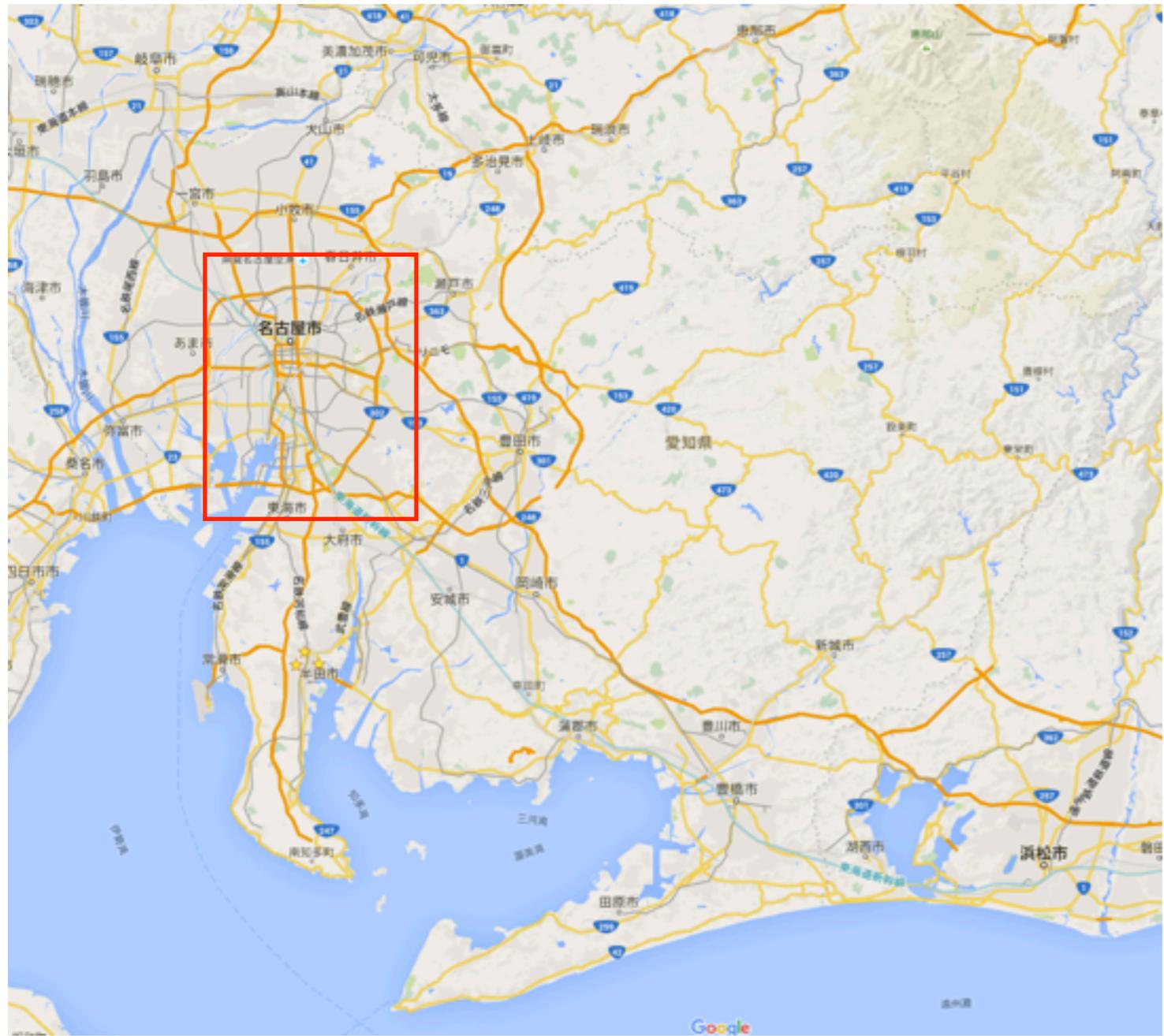
# 名古屋大学



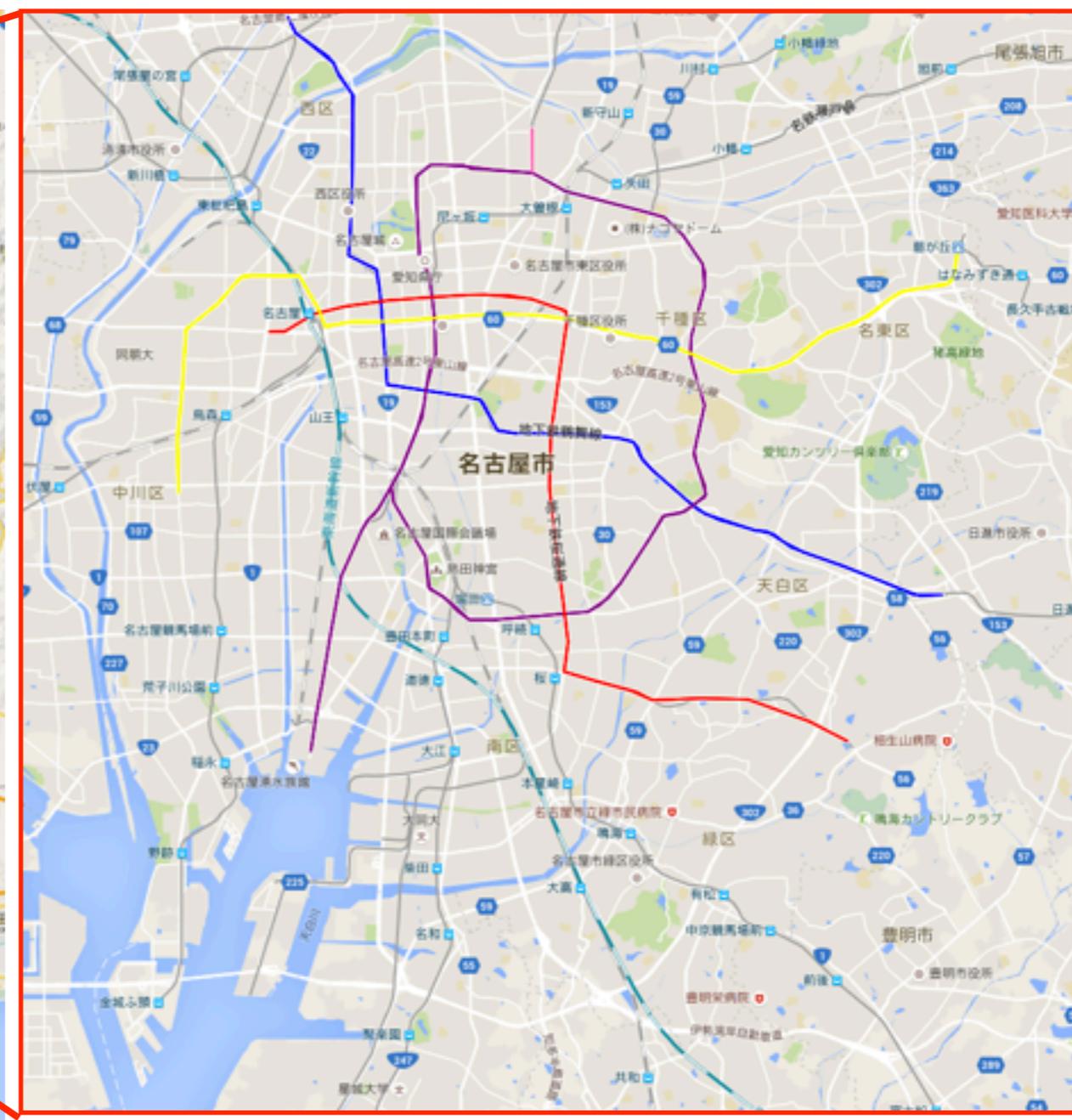
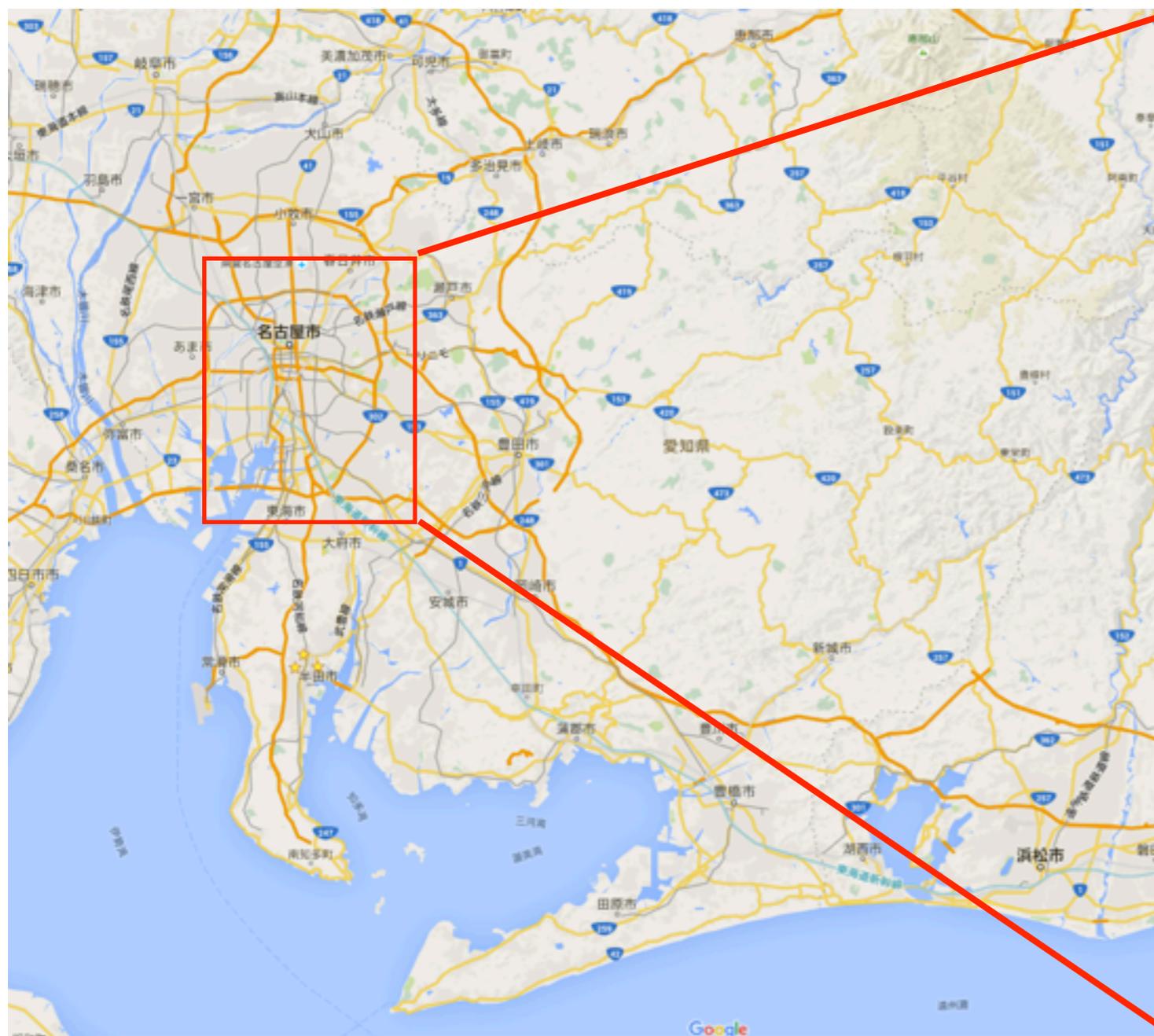
# 名古屋大学



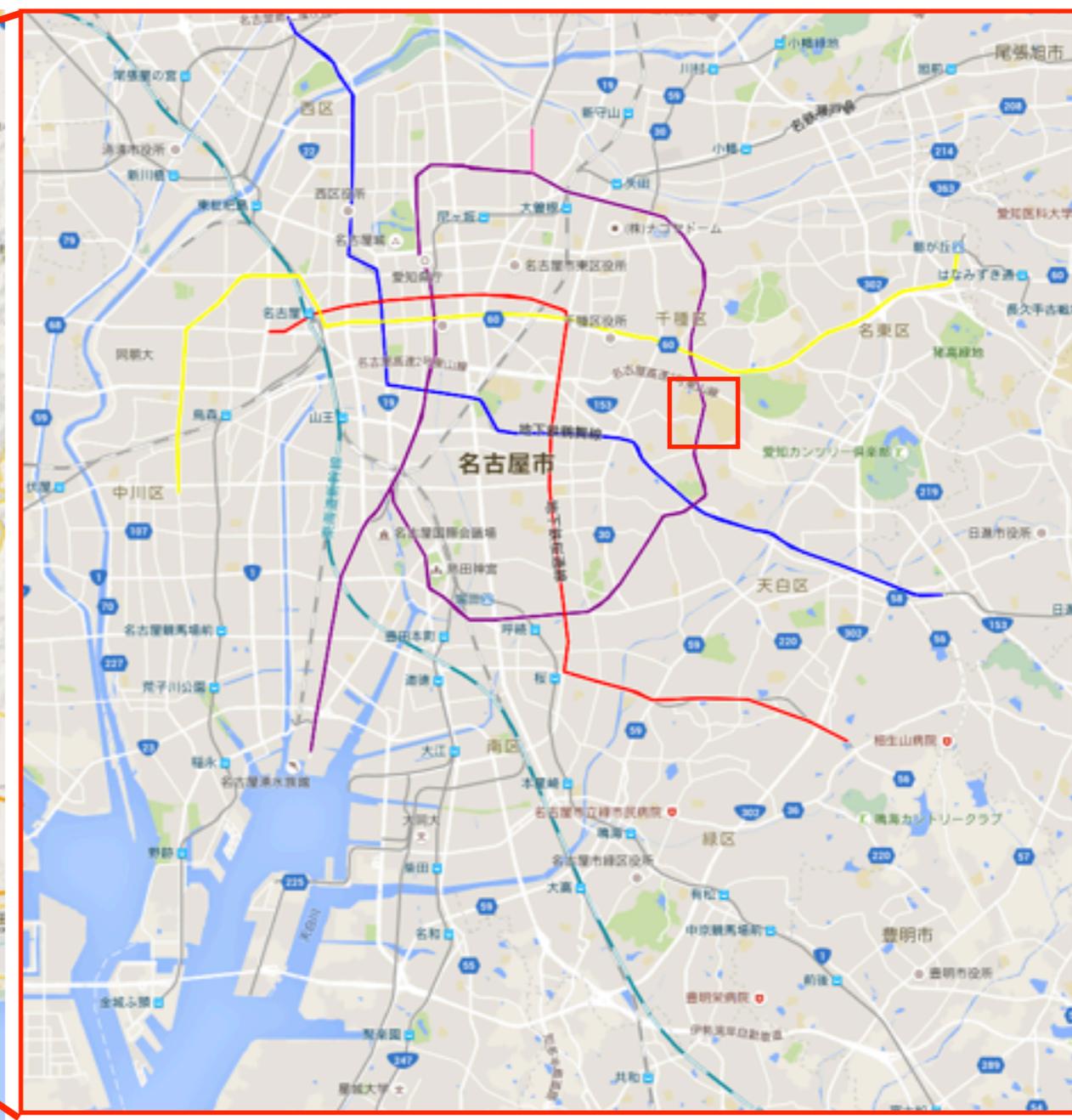
# 名古屋大学



# 名古屋大学



# 名古屋大学

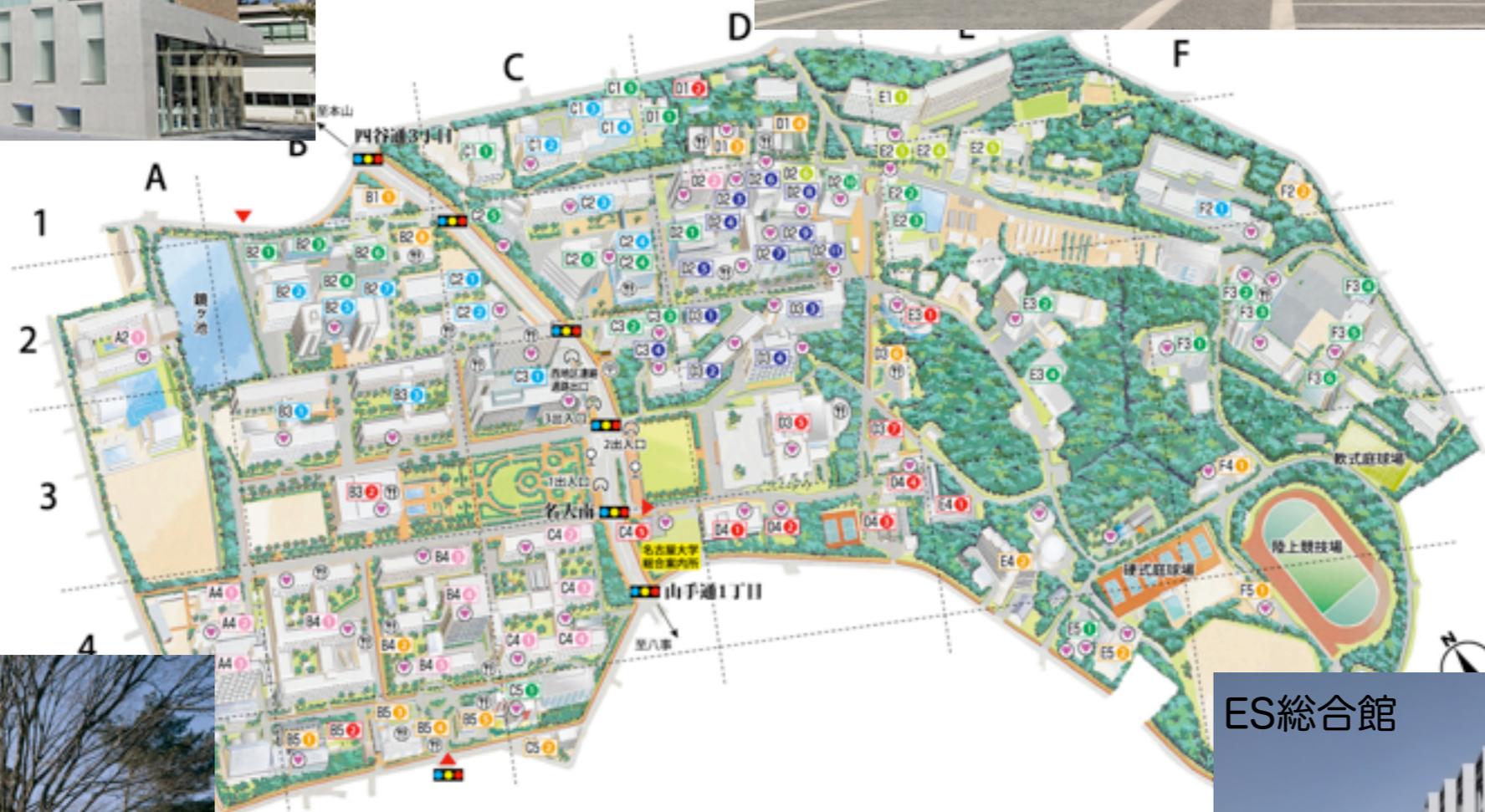


# 名古屋大学

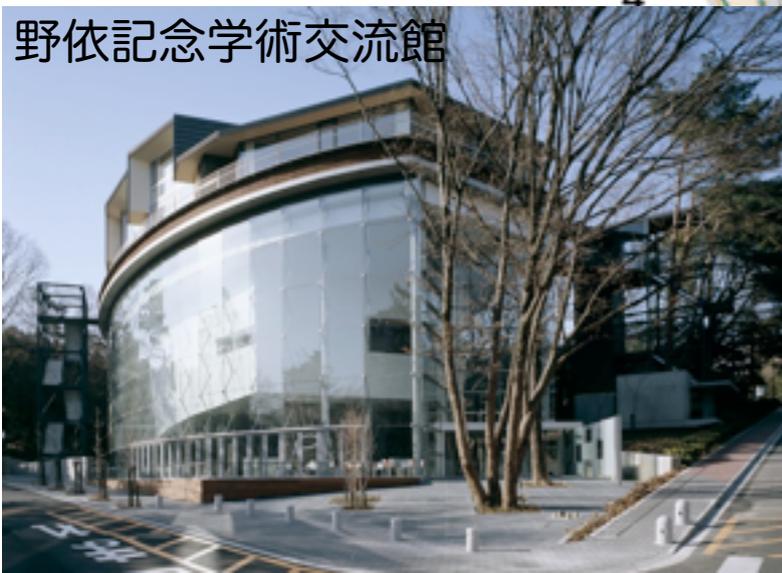
赤崎記念館



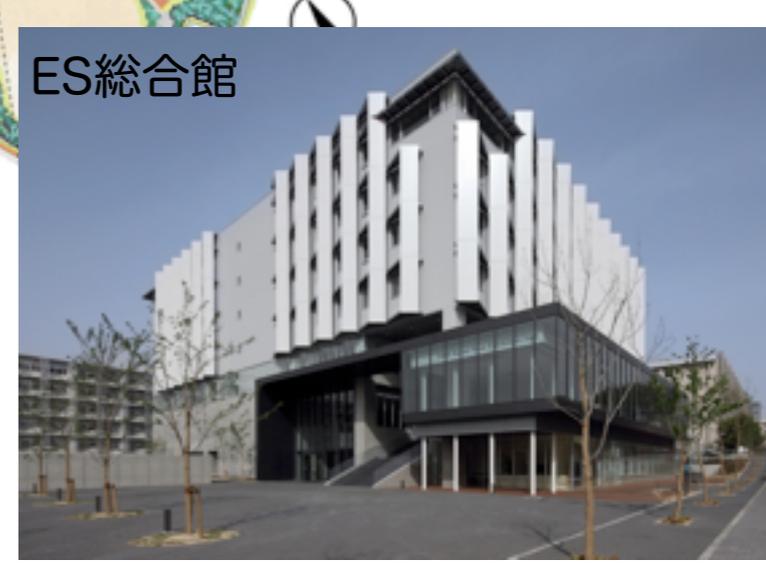
豊田講堂



野依記念学術交流館



ES総合館



# 名古屋大学の教育の基本方針

## 名古屋大学の教育研究活動

名古屋大学は、研究と教育の創造的な活動を通じて、豊かな文化の構築と科学・技術の発展に貢献してきました。本学は名古屋大学学術憲章にあるように、研究に重点をおく基幹的総合大学であり、創造的な研究活動によって真理を探究することを目指しています。また、学問の府として、多面的な学術研究活動と自発性を重視する教育実践によって、論理的思考力と想像力に富んだ「勇気ある知識人」を育てることを基本理念としています。

名古屋大学は、基礎技術を「ものづくり」に結実させ、そのための仕組みや制度である「ことづくり」を構想し、数々の世界的な学術と産業を生む「ひとづくり」に努める風土と、既存の権威にとらわれない自由闊達な学風の上に、真の勇気と知性をもった未来を切り拓く人 (Leaders with True Courage and Intellect) を育てます。

## 学位授与の方針

名古屋大学は、教育研究の理念及び通則に定めた教育の目的に基づく各学部の目標と基準にそって、学力及び資質・能力等の卒業資格を満たし、かつ所定の期間在学した者に、卒業を認定し、学位を授けます。

## 人間性と科学の調和的発展

### 卓越した研究成果



## 入学者受入の方針

「論理的思考力と想像力」の養成は、名古屋大学が重点をおく共通の教育目標です。これらの力を備えた勇気ある知識人の行動指針として、①機会を「つかむ」、②困難に「いとむ」、③自律性と自発性を「育む」学生像を追求します。

したがって、基礎学力の上に立った、

主体的な創造心

立ち向かう探究心

こうした心を醸成する豊かな人間性に覆れた素養のある人を、広く日本全国及び国外から受け入れます。

## 教育課程編成・実施の方針

名古屋大学は、未来を切り拓く「主体的な創造心」、「立ち向かう探究心」、こうした心を醸成する「豊かな人間性」を育むため、総合大学の特色を活かした教育課程を体系的に編成します。

多様な授業形態の組合せによる教育課程の展開と自律学修の促進を図り、学術分野の特徴を活かした、教育実践及び学習指導を適切に実施します。

### 文学部

人間への洞察力と言葉への関心をもち、心と行為を考え、人文学に論理的思考力をもってアプローチできる人を育てます

### 教育学部

人間の成長発達と教育をめぐる課題を発見し、教育学・心理学の境地に立って様々なアプローチから、これに取り組みする人を育てます

### 法学部

現代社会の問題に対し、法的・政治的知識の修得を通じ、的確かつ総合的な判断や意思決定ができる人を育てます

### 経済学部

経済学の知識やリーダーとしての資質を身につけ、現代の経済社会が直面する諸問題に挑戦し、解決できる人を育てます

### 農学部

農学の知識と素養を身につけ、生き物に対する豊かな人間性、総合的洞察力及び創造的解決力を持ち、社会に貢献する人を育てます

### 工学部

工学を拓くための学力および資質・能力を養い、科学に対する強い興味をもとに社会に貢献する人を育てます

### 医学部

科学の論理性と倫理性・人間性に富み、豊かな創造力・社会性と使命感を持って医学研究および医療を推進する人を育てます

### 理学部

自然の探を解き明かそうとする探究心を持ち、独創的で、豊かな思考ができる人を育てます

### 情報文化学部

真の情報リテラシーを養い、システム思考を基に、人々の課題に取り組みする人を育てます

# 名古屋大学

1871年：仮病院・仮医学校設立

1939年：名古屋帝国大学へ

伝統的な学風：「自由闊達」

心がひろくのびやかで、何のこだわりもなく振る舞うさま

名古屋大学学術憲章が掲げる2つの基本目標：

1. 創造的な研究活動によって真理を探究し、世界屈指の知的成果を産み出す
2. 自発性を重視する教育実践によって、論理的思考力と想像力に富んだ勇気ある知識人を育てる

世界的に高い研究力：

野依良治博士  
2001年化学賞

小林誠博士  
2008年物理学賞

益川敏英博士  
2008年物理学賞

下村脩博士  
2008年化学賞

赤崎勇博士  
2014年物理学賞

天野浩博士  
2014年物理学賞



高い見識と確かな知識や技術でたくましくリーダーシップをとれる人材を育てよう！

1. 時代とともに変化する社会のニーズにマッチした人材
  2. 社会の様々な分野でリーダーとして活躍できる人材
- } の育成を目指す

# リーダーシップ

## 広辞苑

- ① 指導者としての地位または任務。指導権
- ② 指導者としての資質・能力・力量・統率力

## グロービスMBA用語集 (ネット検索から)

自己の理念や価値観に基づいて、魅力ある目標を設定し、またその実現体制を構築し、人々の意欲を高め成長させながら、課題や障害を解決する行動。

リーダーシップとは、リーダーになることではない。

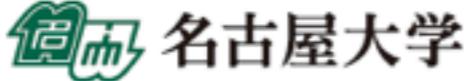
例えば、研究者によって科学の興味は異なる。研究者は、それぞれの研究目標のために必要な研究組織（この中には、立場的に目上の人もある）を作ったり研究費を獲得したりして、研究を進めていき、世界初の発見を目指している。

研究の数だけリーダーシップはあるわけです。

# 詳細はホームページから

<http://www.nagoya-u.ac.jp/index.html>

[English](#) [中文](#) [サイトマップ](#) [交通アクセス](#) [キャンパスマップ](#) [お問い合わせ](#)



[Facebook](#) [Twitter](#) [YouTube](#) [LinkedIn](#)

[大学の概要/学部・研究科](#)
[研究/産学官連携](#)
[教育/キャンパスライフ](#)

[入学案内](#)

[社会との連携/国際交流](#)

第11回 名古屋大学ホームカミングデイ

# Home Coming Day 2015

[持続可能社会の実現に向けて]

申込み期間

8/1(土)~8/31(月)17:00

参加費無料

どなたでも  
ご参加  
いただけます

10/17

sat.AM10:00~

名古屋大学

NAGOYA UNIVERSITY



● ○ ○ ○

第11回名古屋大学ホームカミングデイを10月17日(土)に開催 [read more...](#)



**総長室から**  
名古屋大学総長  
松尾清一



**スーパーグローバル大学  
創成支援事業**



**博士課程教育リーディング  
プログラム**

### 大学からのお知らせ 一覧で見る

一般向け

受験生向け

2015/09/17 ■ [平成27年度秋季卒業式及び秋季入学式のご案内](#)

平成27年度秋季卒業式及び秋季入学式を以下のとおり举行します。平成27年度秋季卒業式 日時 平成27年9月28日(月) 午前10時30分から 場所 名古屋大学豊田講堂ホール 平成27年度秋季入学式 日時 平成27年10月5日 [read more...](#)

2015/09/17 ■ [東山キャンパスATMの設置について](#)

**公募関係**

---

- [調達情報](#)
- [教職員公募](#)

**卒業生の方々へ**

---

- [名古屋大学卒業生等電子名簿への登録のお願い](#)
- [全学同窓会](#)
- [各種証明書の発行](#)

**リンク**

---

受験生向けWEBサイト



受験生のための名古屋大学発見サイト

学術研究・産学官連携推進本部



学術研究・  
産学官連携推進本部

名大の授業



名大の授業  
NMACW

Global 30 国際プログラム群



NAGOYA UNIVERSITY  
GLOBAL 30  
INTERNATIONAL PROGRAMS

# 名古屋大学理学部 推薦入試

# 名古屋大学理学部の**推薦入試**

募集人員**50名**。

センター試験、書類審査、面接で合格者を決定。

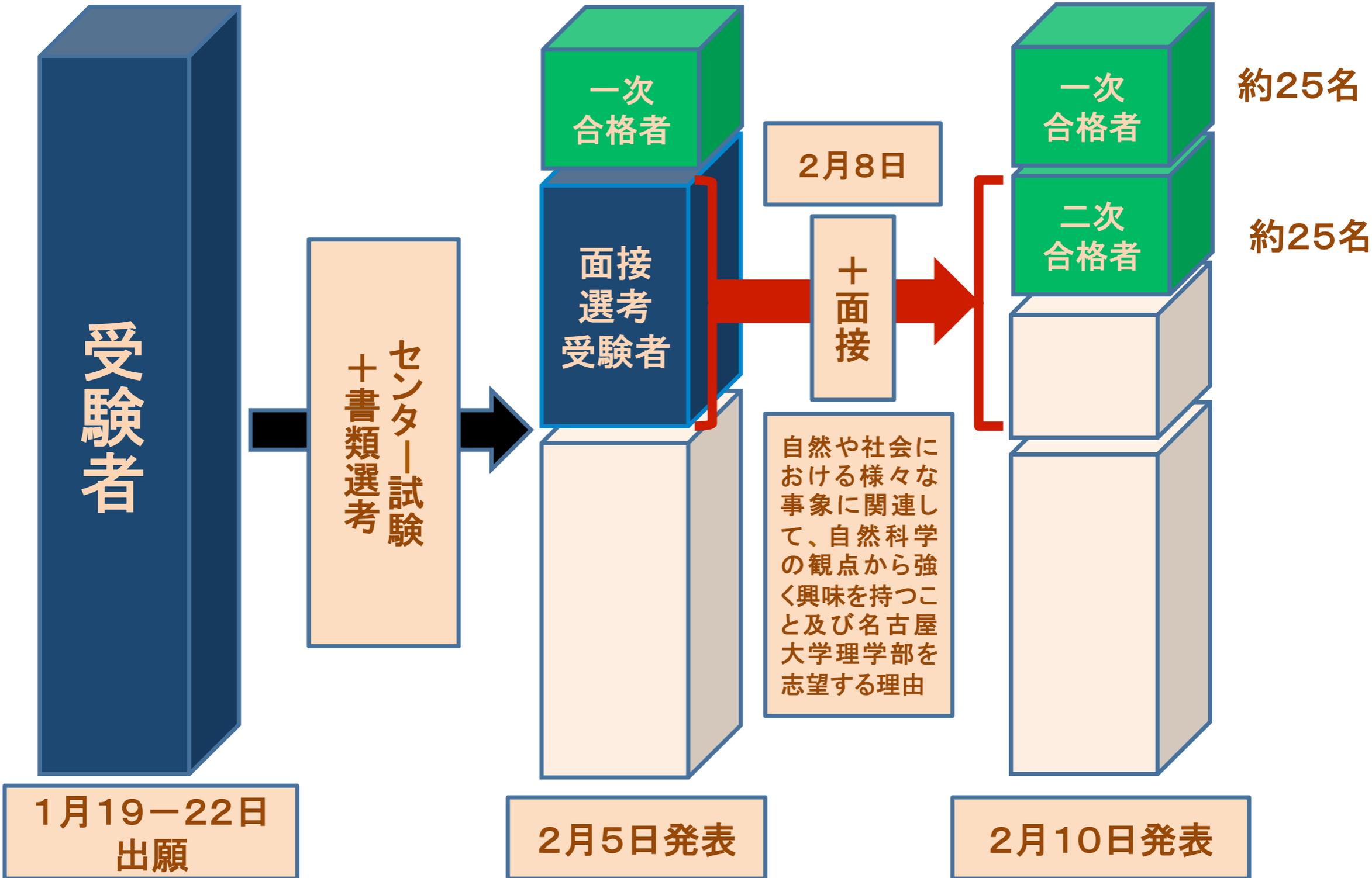
**筆記試験はありません。**

1. センター試験・書類審査の**成績優秀者は面接なし**で合格(約25名)。

2. 面接で頑張れば合格(約25名)。

数学や自然科学に強い興味を持ち、基礎となる高等学校の数学や理科の授業内容を十分に理解し、自然界を貫く真理の探究に挑むチャレンジ精神と知的好奇心に満ちあふれ、豊かな創造力を持つ人を求めます！

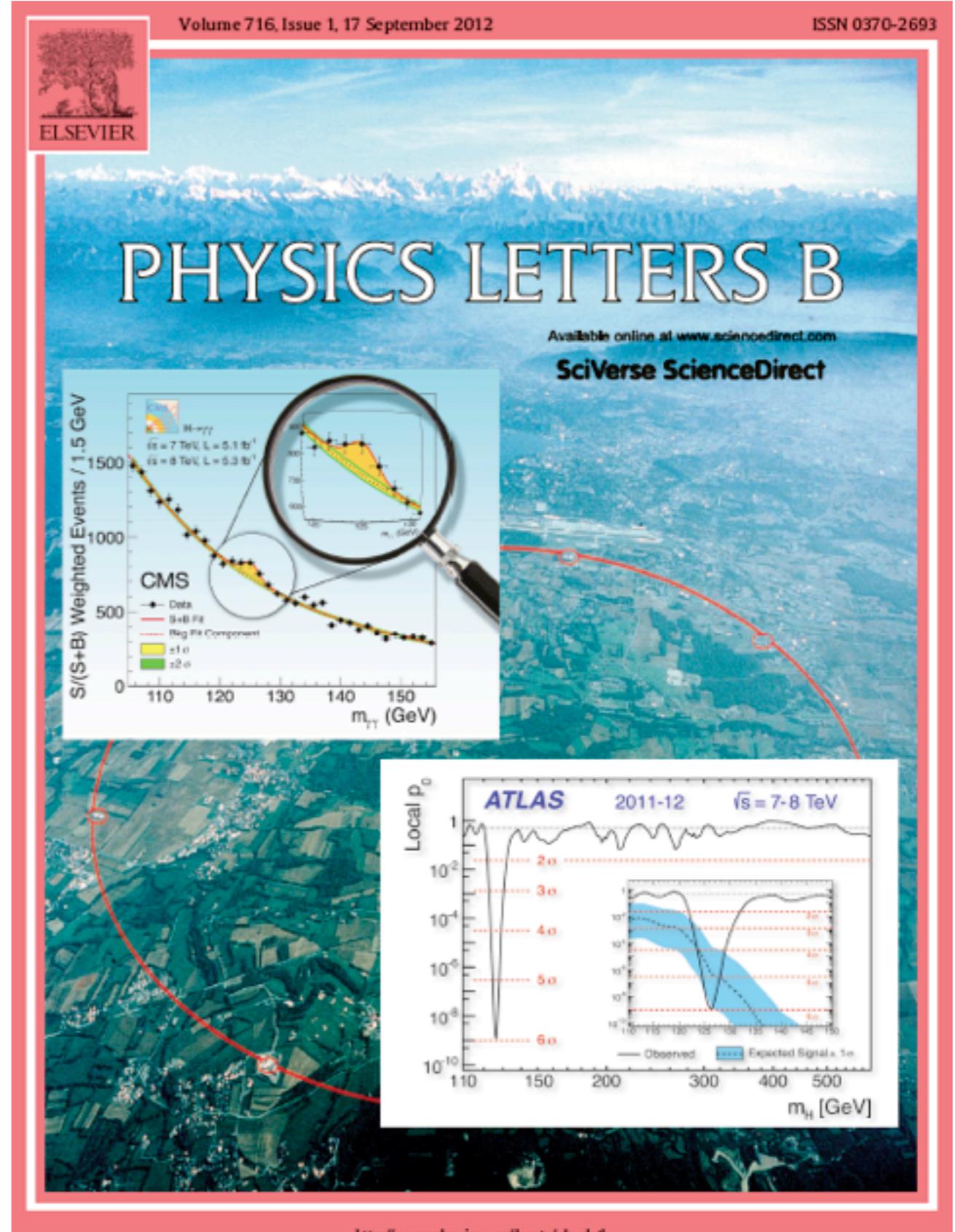
# 選考のプロセス



ヒッグス粒子の発見で面白くなった物理学  
～巨大加速器LHCで探る誕生直後の宇宙～

# 2012年7月4日

## 17番目の素粒子「ヒッグス粒子」の発見



# 内容

素粒子物理学とは？

ヒッグス発見で面白くなった素粒子物理学

最先端の素粒子実験

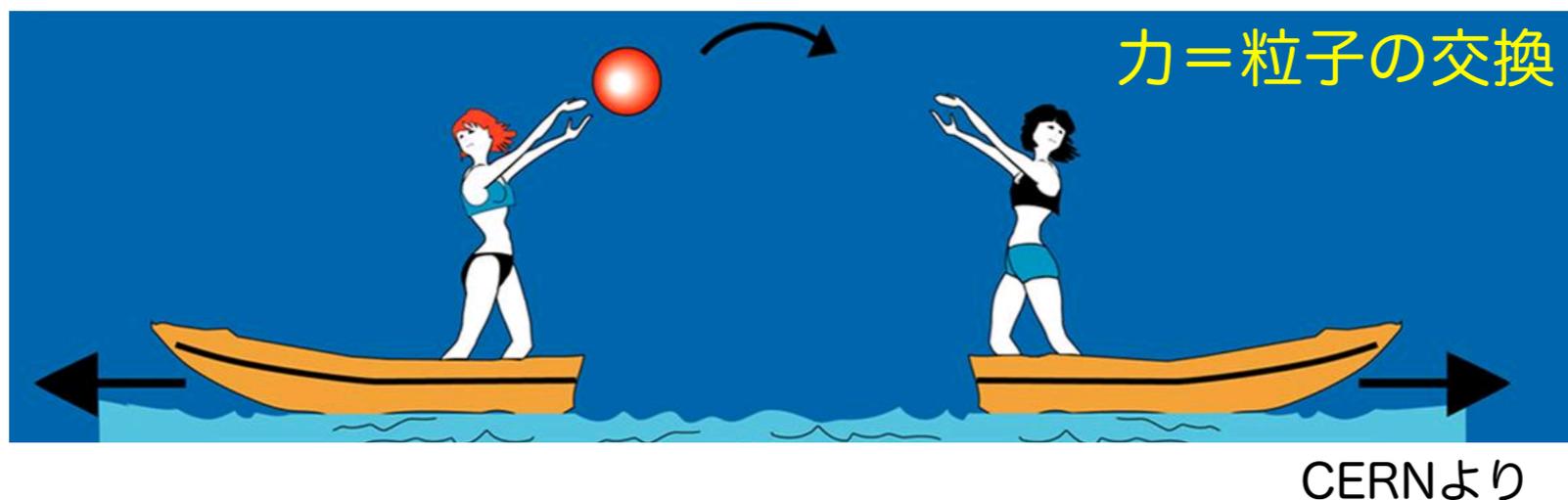
～新粒子発見を目指して～

素粒子物理学とは？

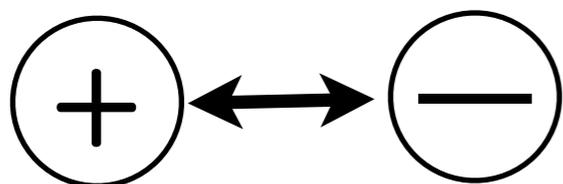


# 素粒子物理学とは？ 2

## 素粒子が従う力学法則は？

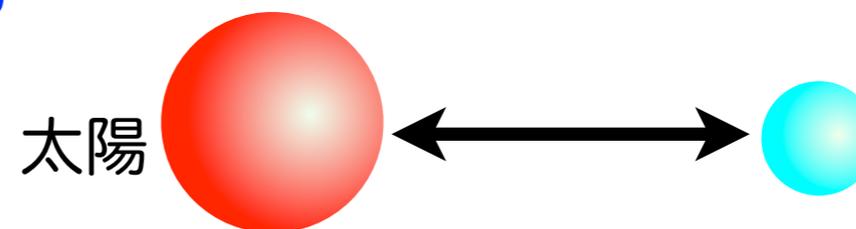


### 電磁気力



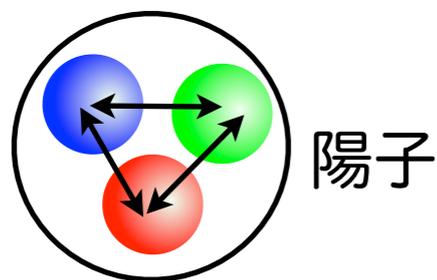
電荷：光子を交換

### 重力



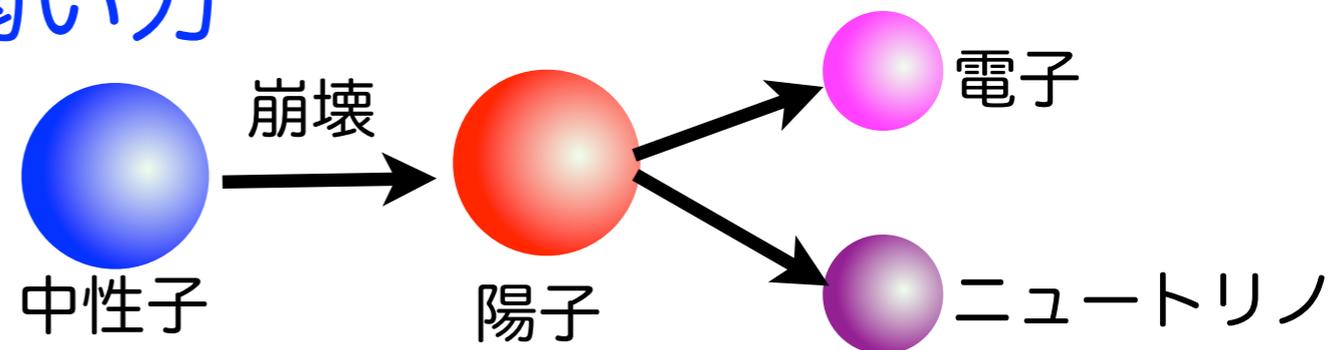
質量：グラビトン(未発見)を交換

### 強い力



色電荷：グルーオンを交換

### 弱い力

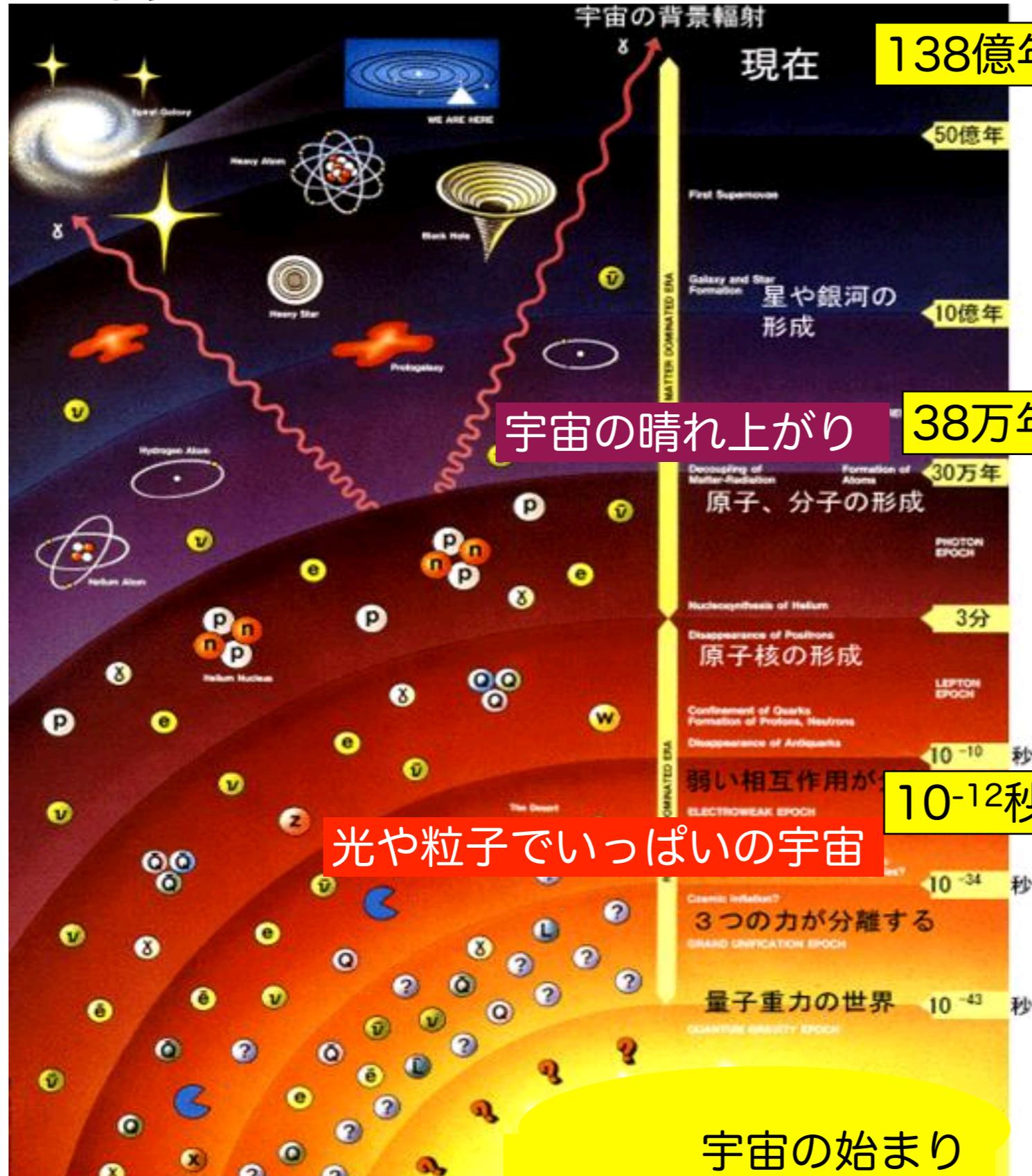


弱電荷：W、Z粒子を交換

# 素粒子物理学とは？ 3

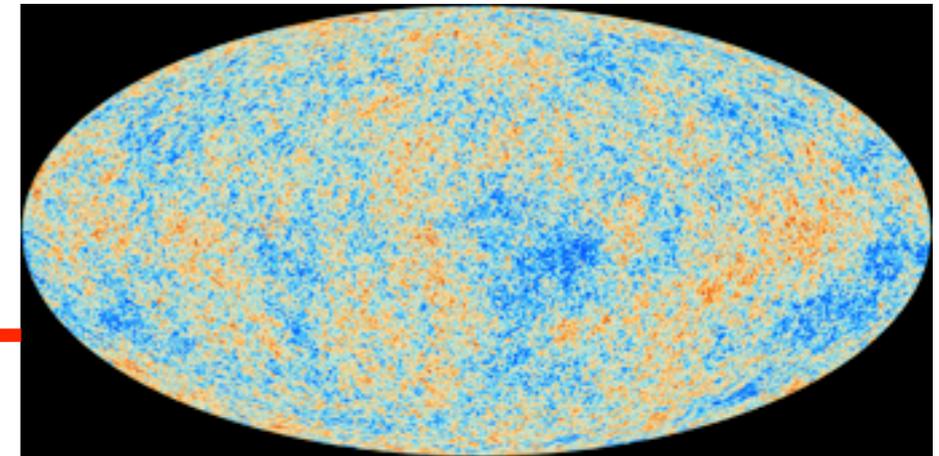
## 宇宙誕生の謎に迫る

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

光や粒子でいっぱい宇宙

宇宙の始まり

# これまでの研究でわかったこと

## 素粒子標準模型

### 物質を構成する



### 力を伝える



# これまでの研究でわかったこと

## 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 

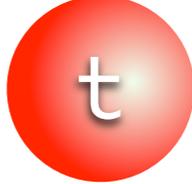
### 力を伝える

電磁気力：光子 
強い力：グルーオン 
弱い力：Z、W粒子  

# これまでの研究でわかったこと

## 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



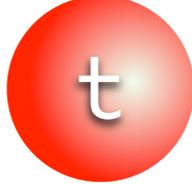
弱い力：Z、W粒子



# これまでの研究でわかったこと

## 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

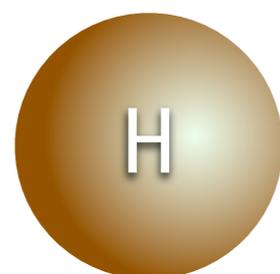
電磁気力：光子



強い力：グルーオン



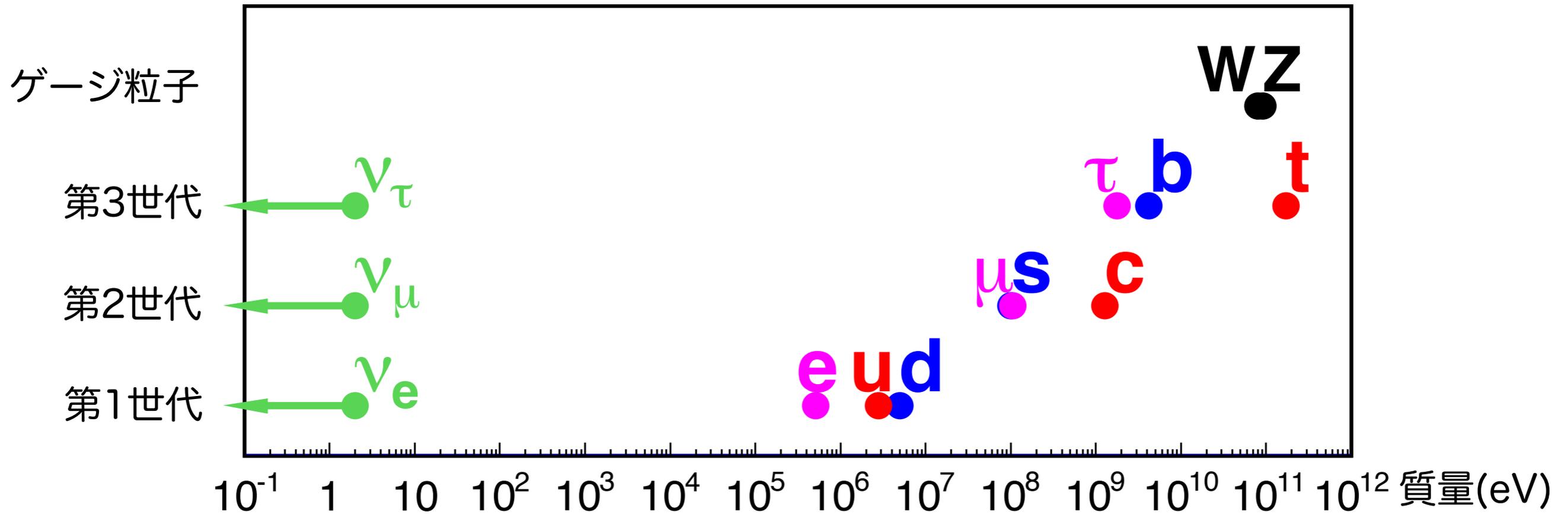
弱い力：Z、W粒子



ヒッグス粒子：素粒子に質量を与える

# ヒッグス発見で面白くなった 素粒子物理学

# 素粒子の質量起源



1/1000mg

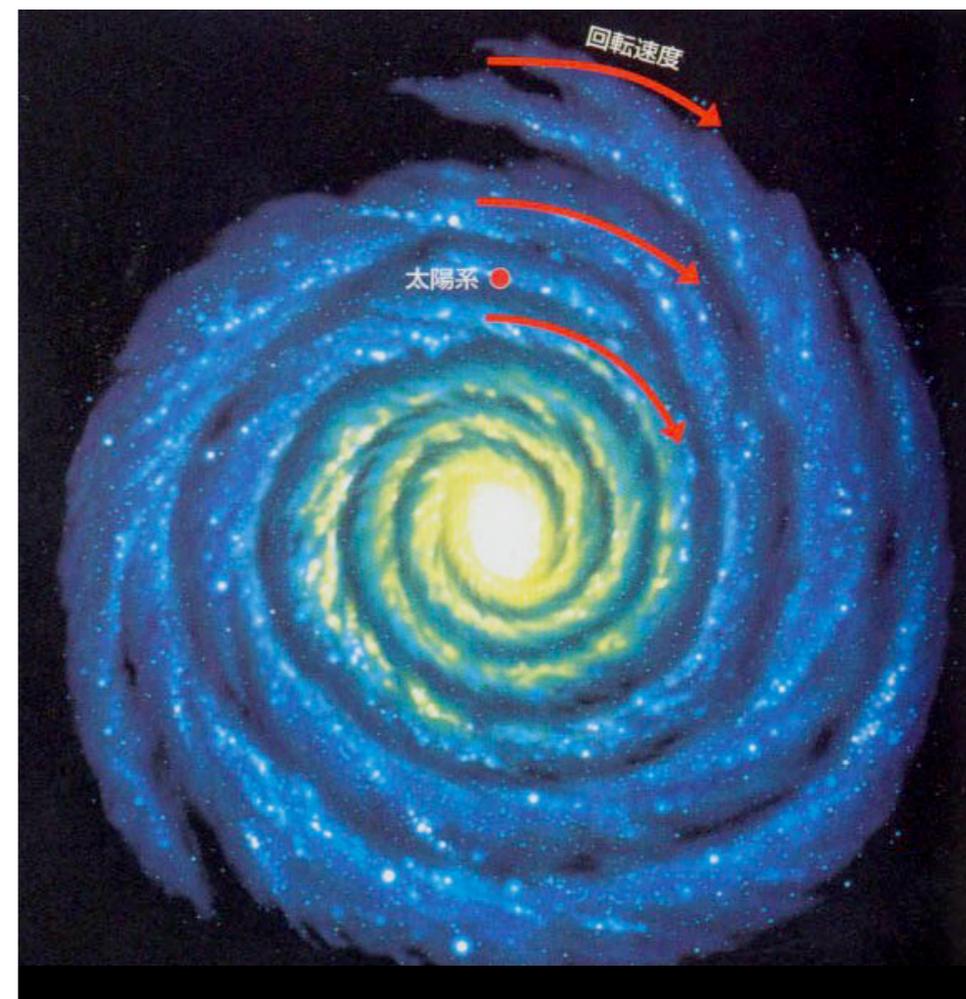
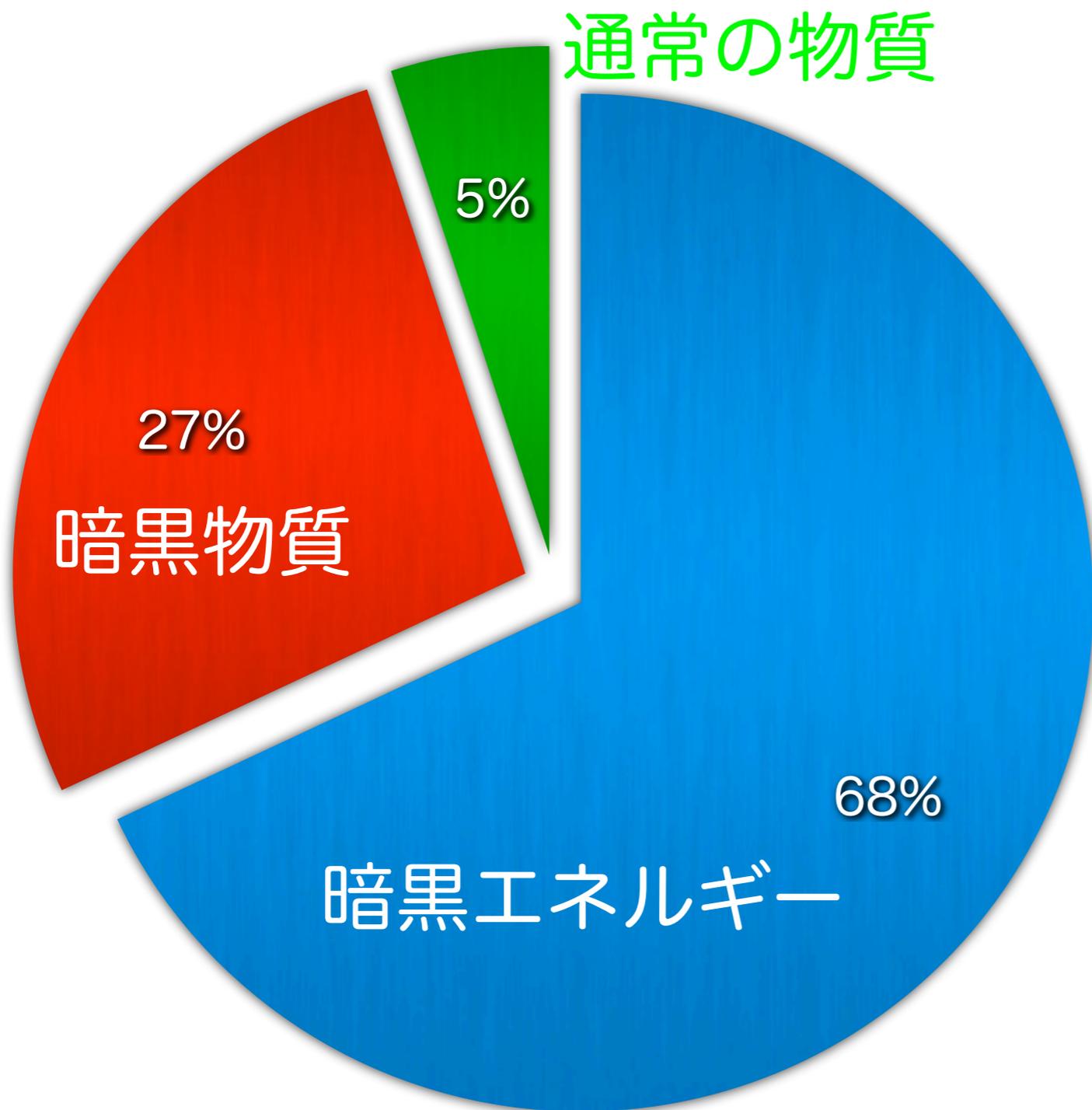


1000kg



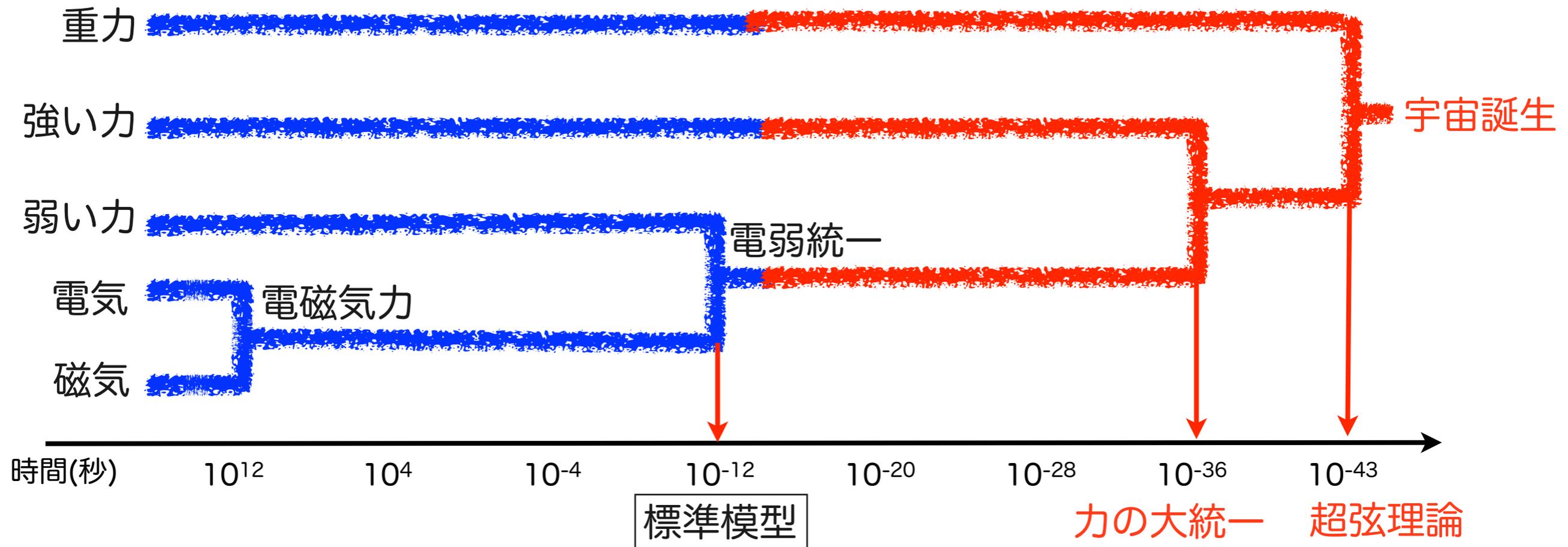
ヒッグス粒子が鍵を握る

# 暗黒物質の謎

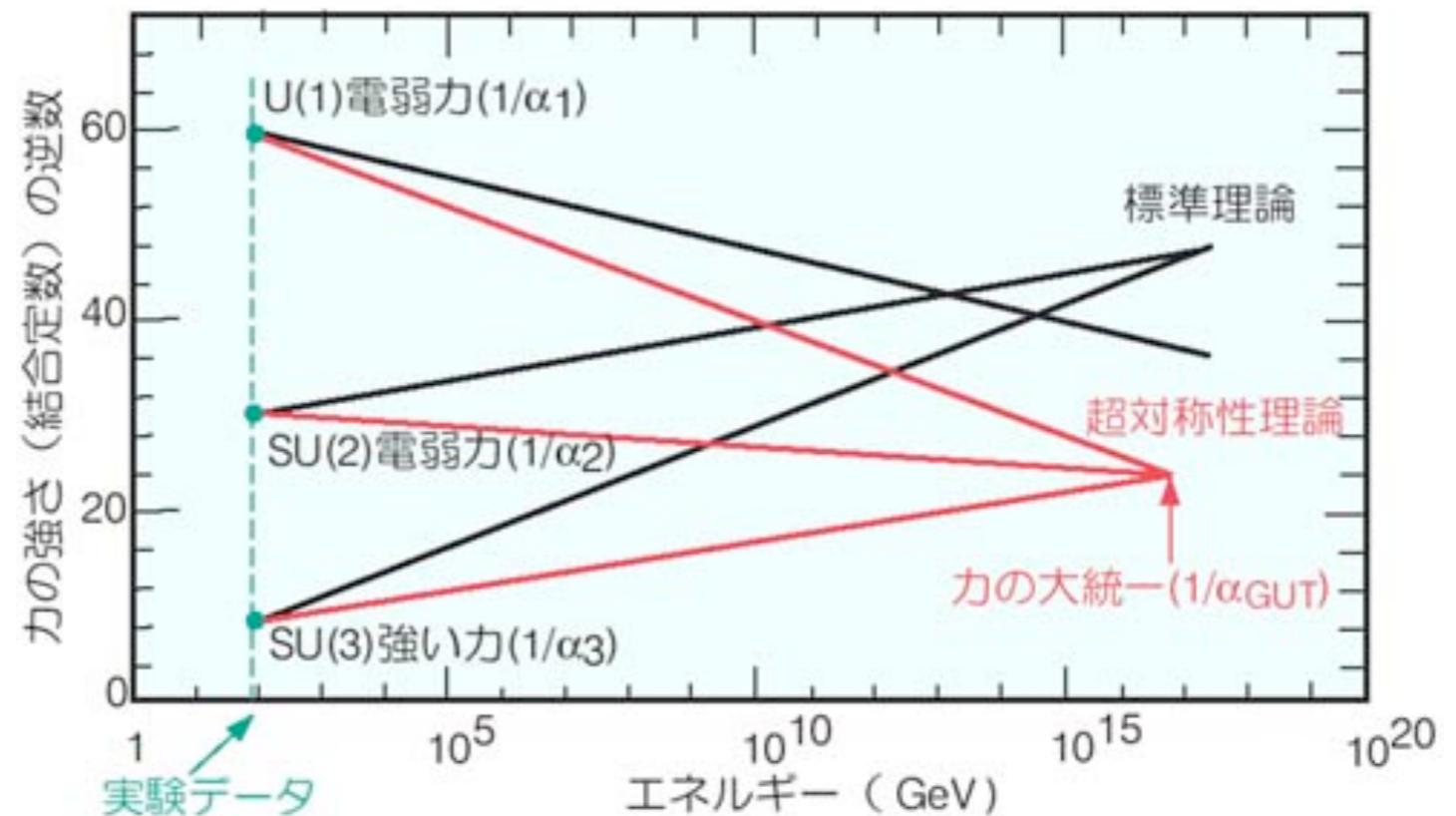


新しい素粒子の存在？

# 力の統一

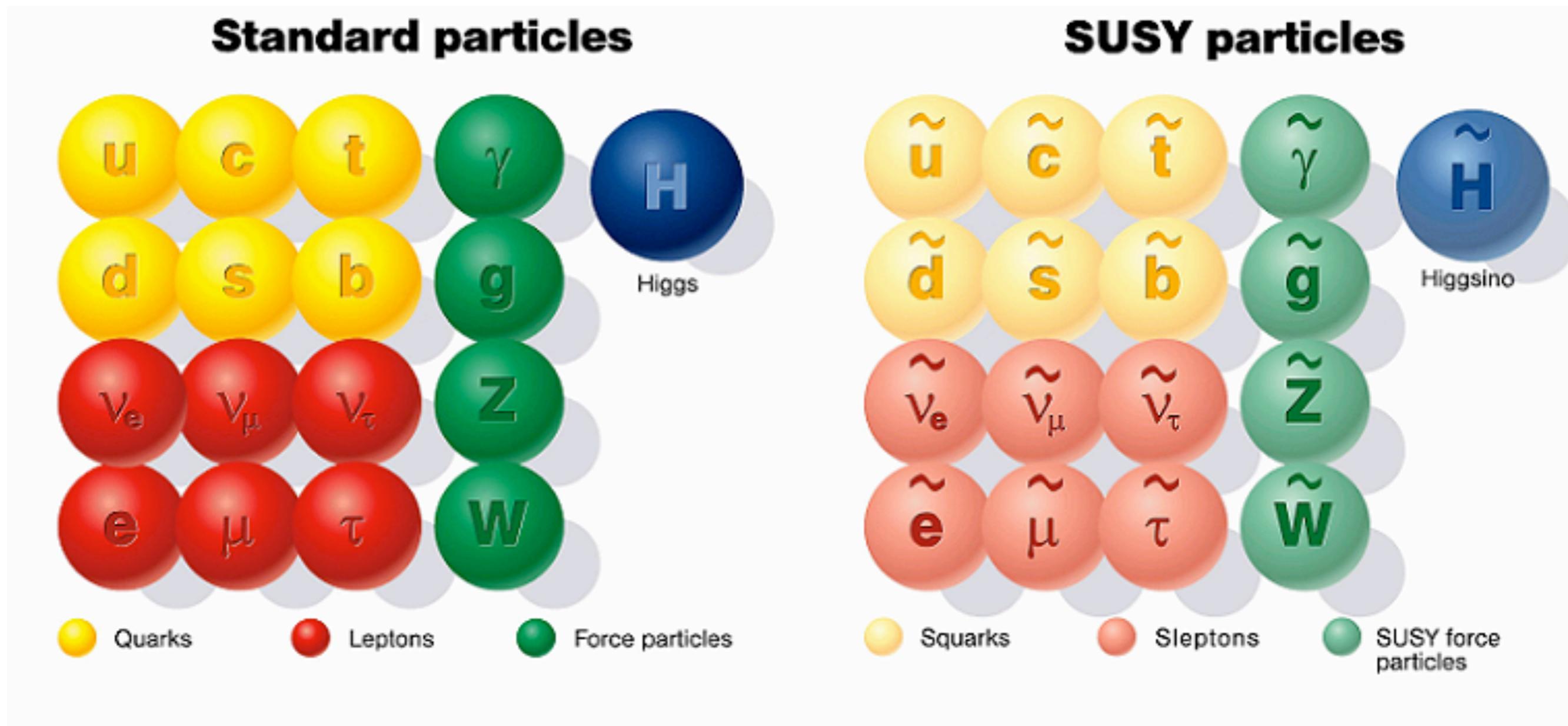


1TeV程度の質量の超対称性粒子が存在すると3つの力がもともと同じであることが言える。



# 超対称性粒子

“スピン”という素粒子固有の性質だけが違う



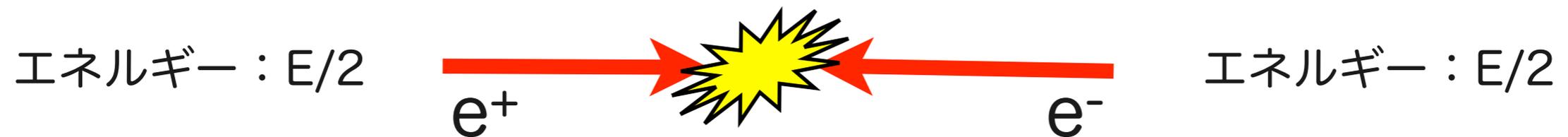
力の大統一の可能性  
暗黒物質の候補

最先端の素粒子実験  
～新粒子発見を目指して～

# 素粒子実験の考え方

未知粒子を作り出し、それを観測する

未知粒子 = これまでの実験では作り出せない → 重い



$$E = Mc^2$$

質量  $M = E/c^2$  の未知なる素粒子を生成する能力

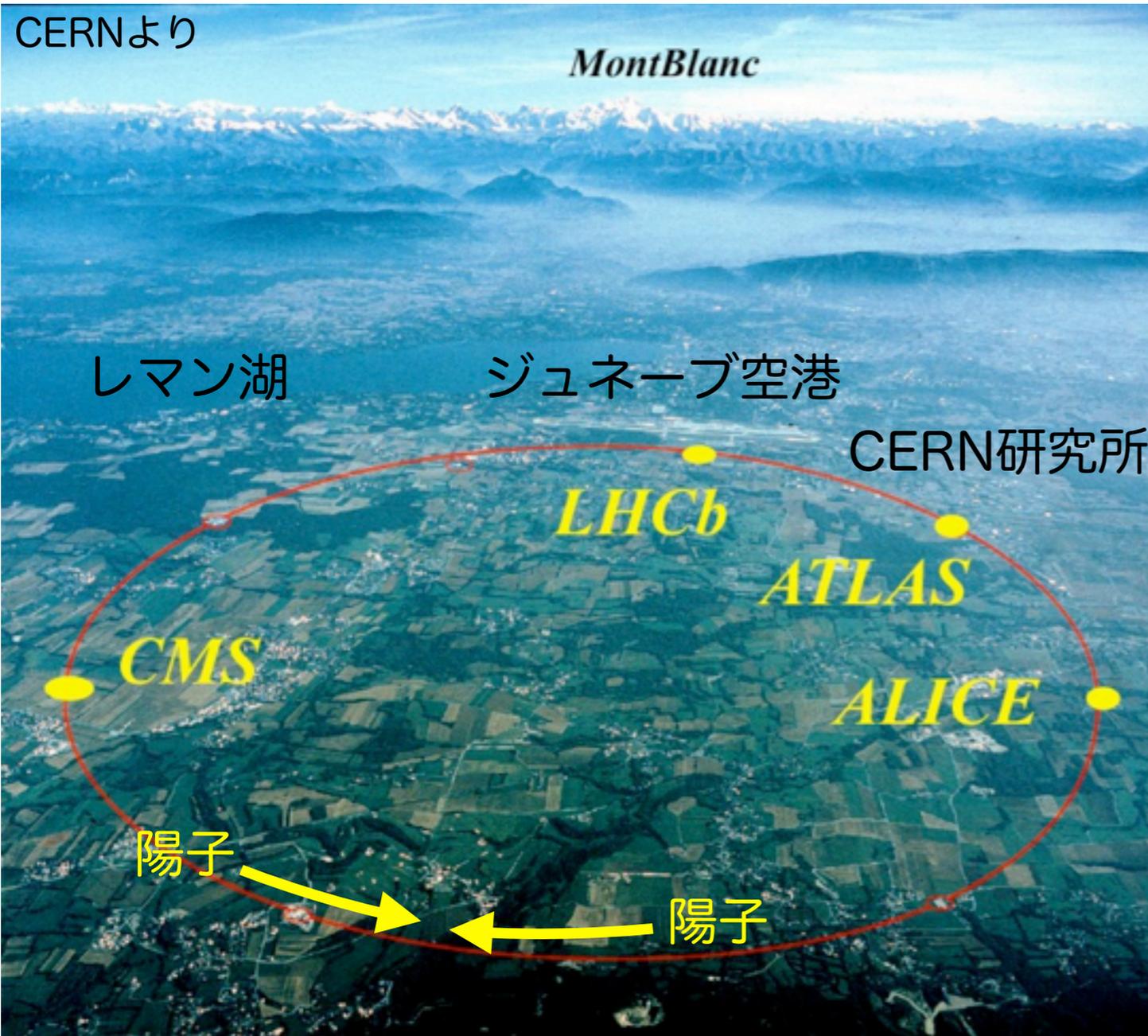
加速した粒子を衝突させる

高エネルギー！

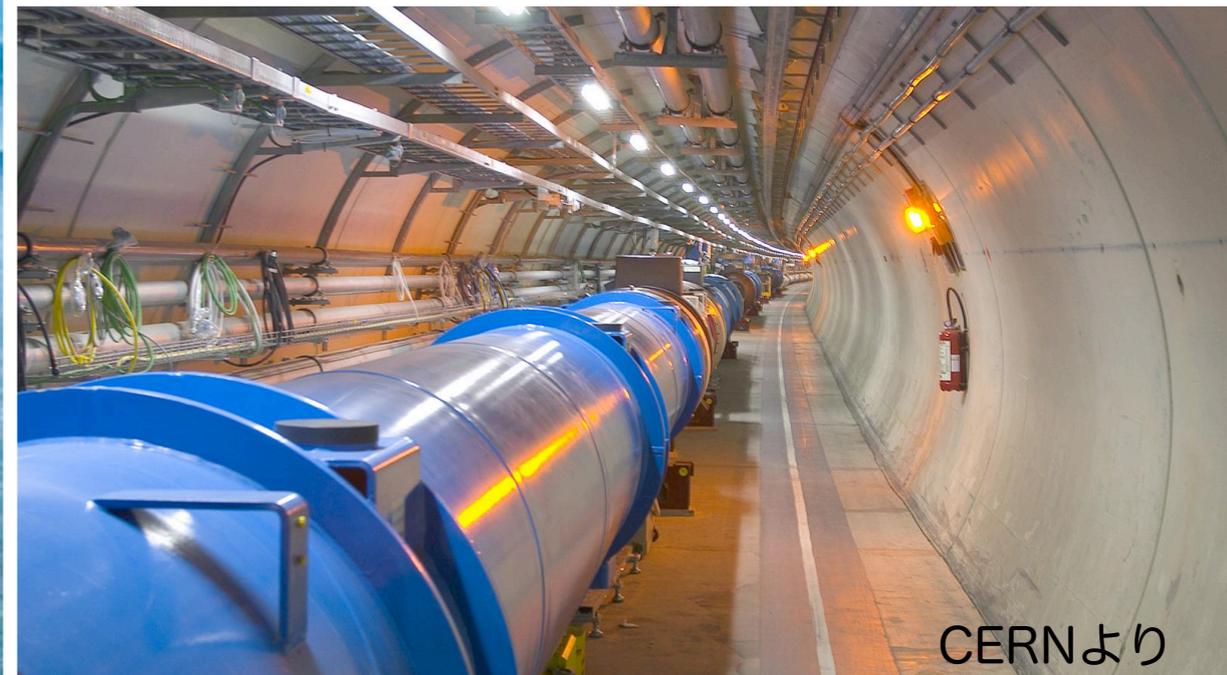
# 最先端加速器 Large Hadron Collider

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。トップクォークやヒッグス粒子, 未知の素粒子を作る。

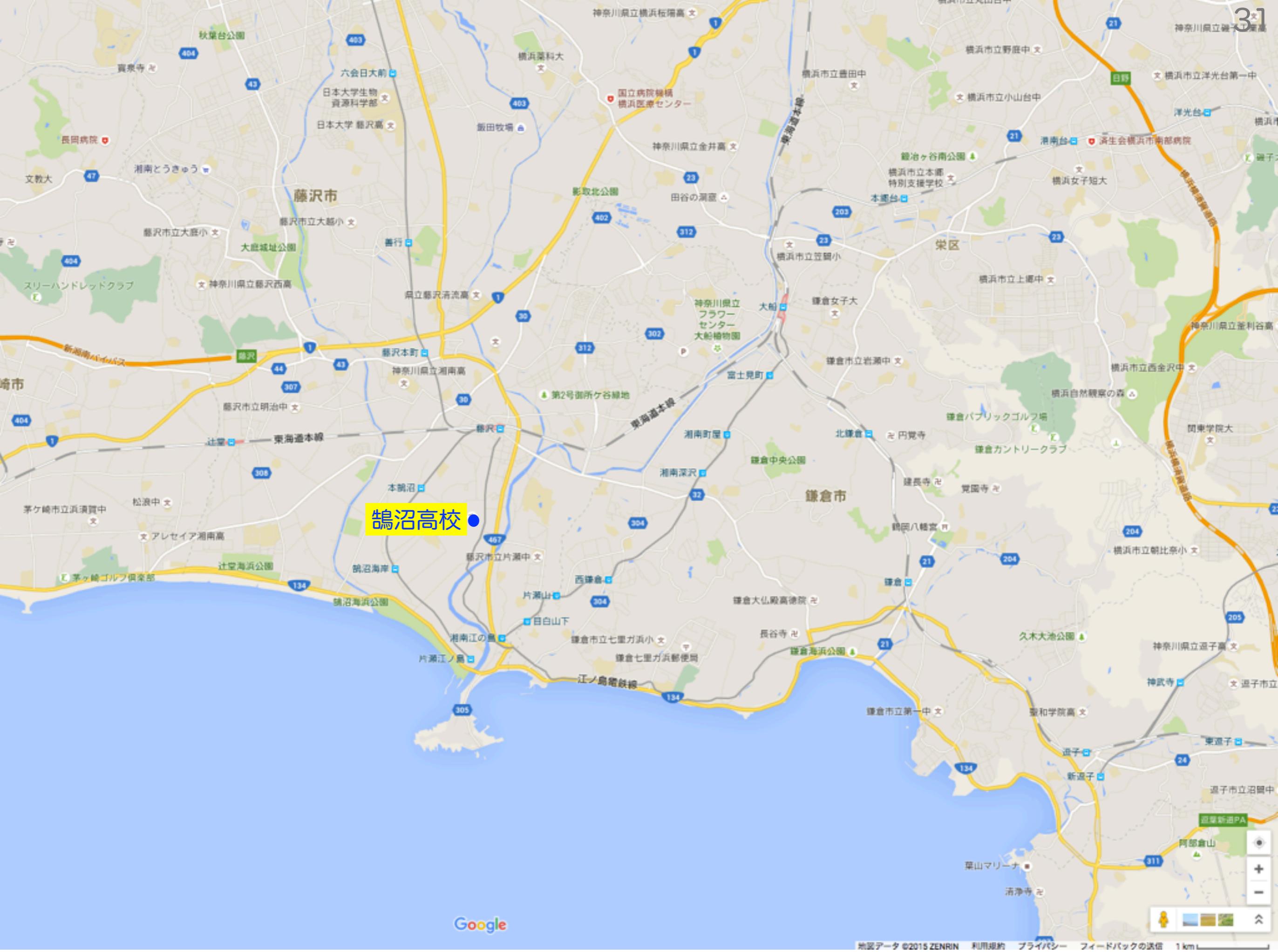
CERNより



1232台の8.33T超伝導磁石(15m)  
液体ヘリウムで冷却,  $-271^{\circ}\text{C}$

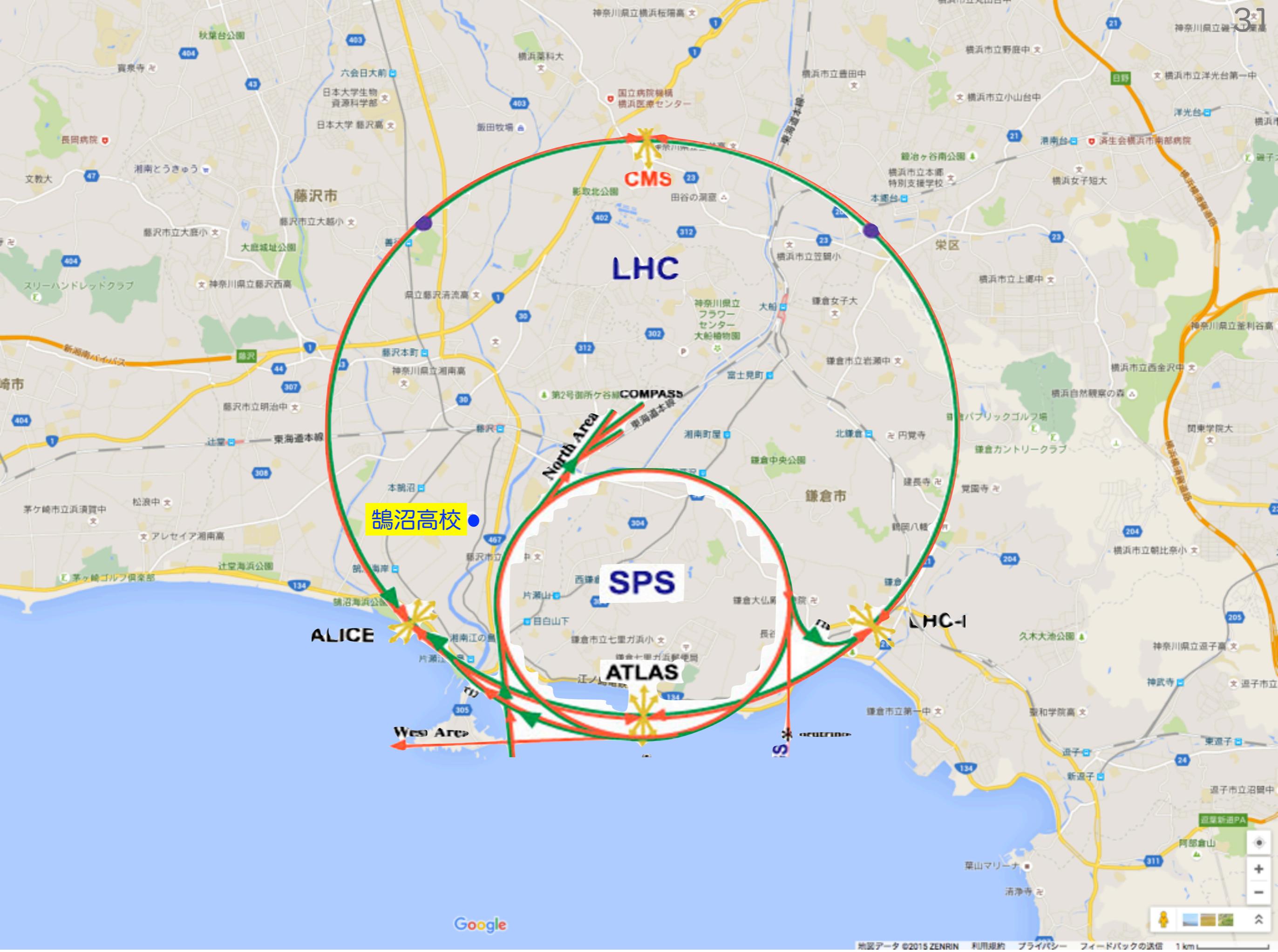


毎秒1億回の陽子・陽子衝突  
(1年=31,536,000秒 → 千万秒)  
2011年と2012年に第1実験  
2000兆回の陽子・陽子衝突データ取得  
2015年6月から新しい実験スタート！！



鷗沼高校





鷗沼高校

CMS

LHC

SPS

ALICE

LHC-I

ATLAS

North Area

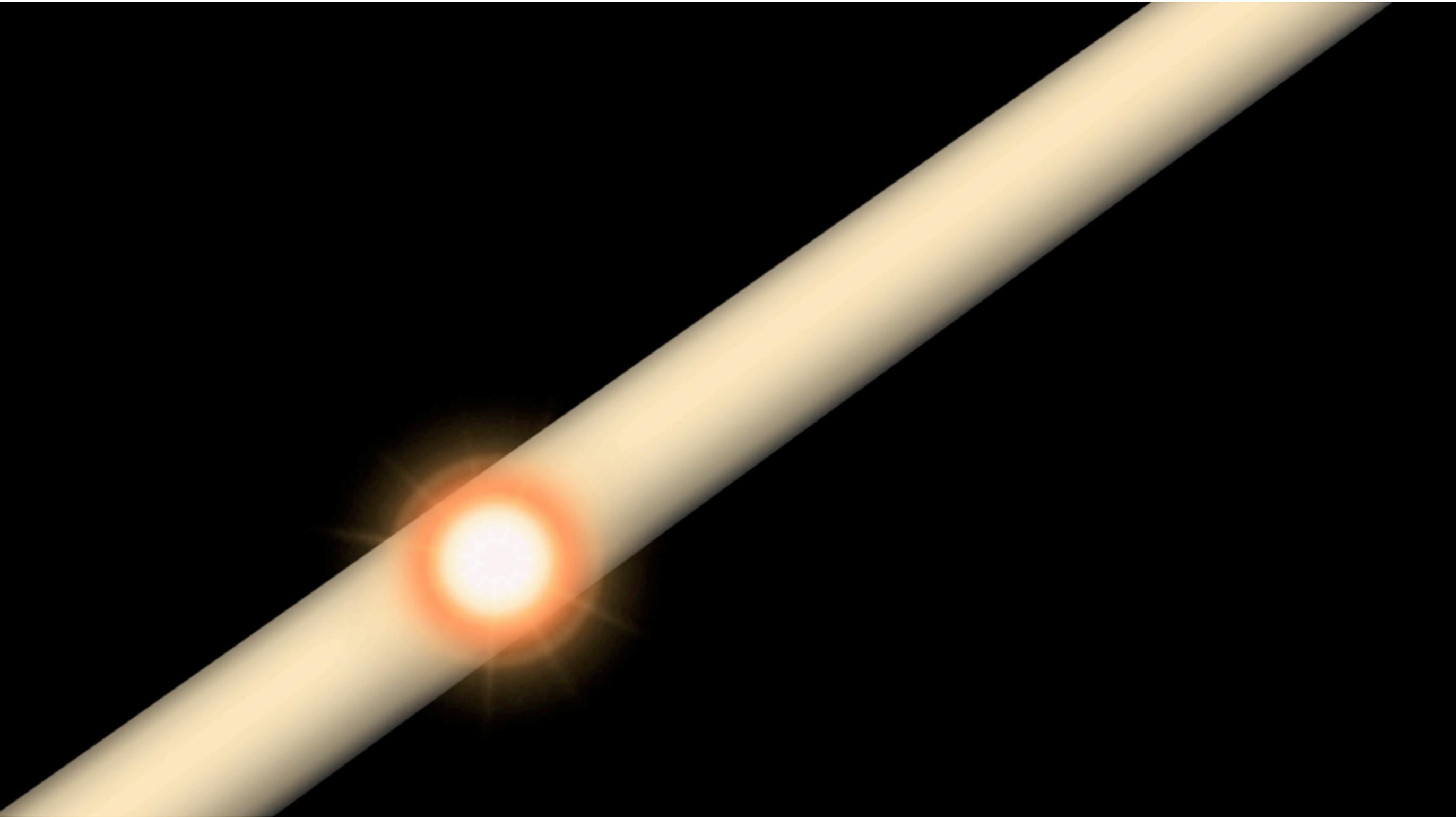
West Area

COMPASS

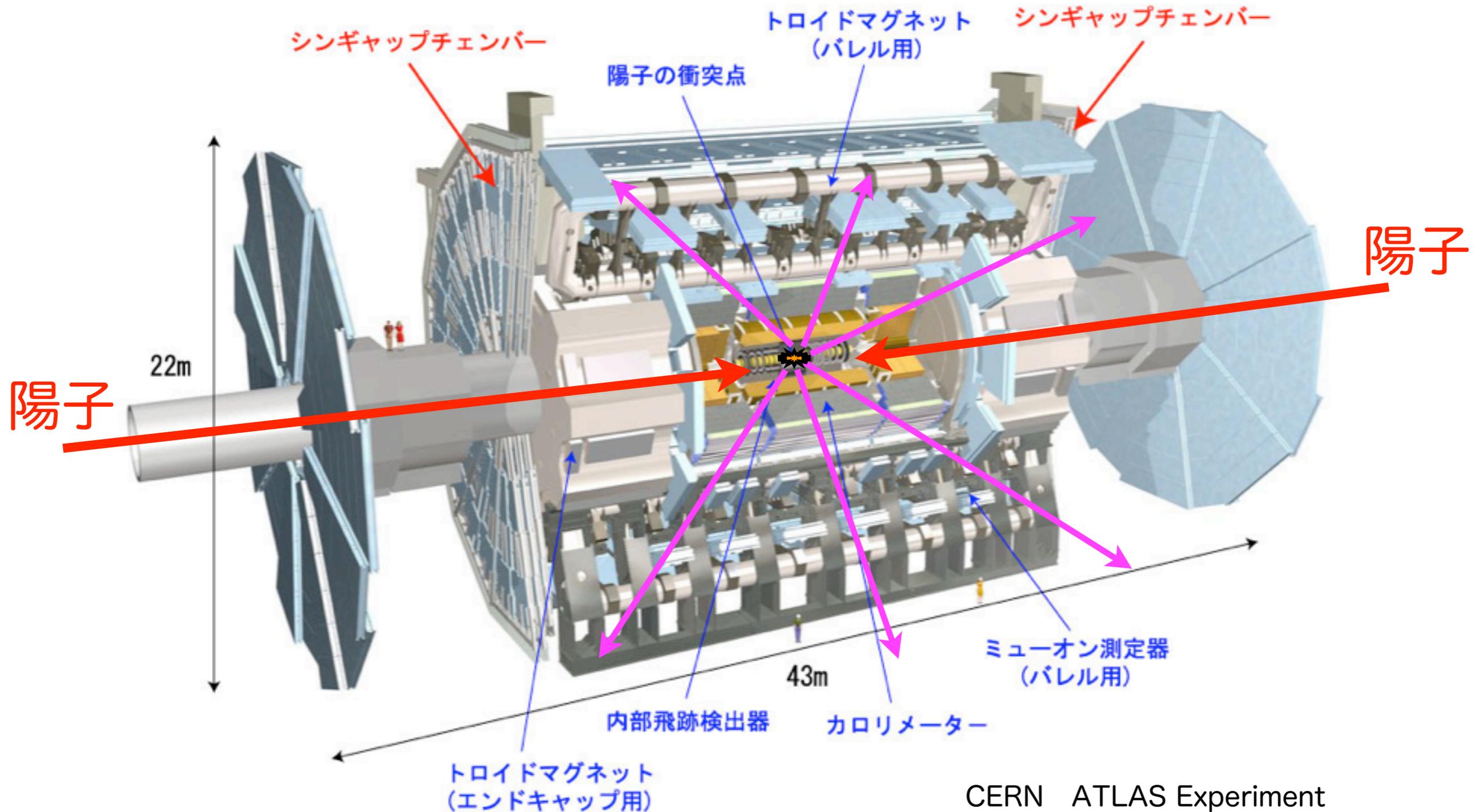


大阪環状線 < LHC~名古屋地下鉄名城線 < 東京山手線  
 ~21km ~27km ~34.5km

# 陽子・陽子衝突のアニメーション



# 検出器 アトラス検出器

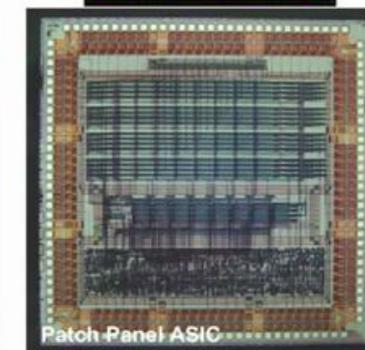
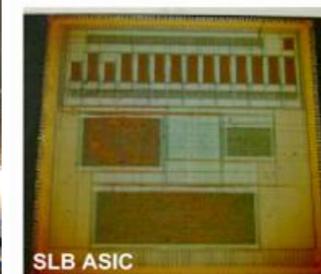
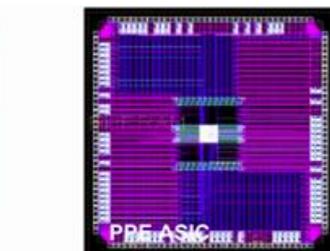
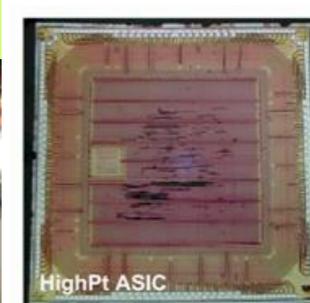
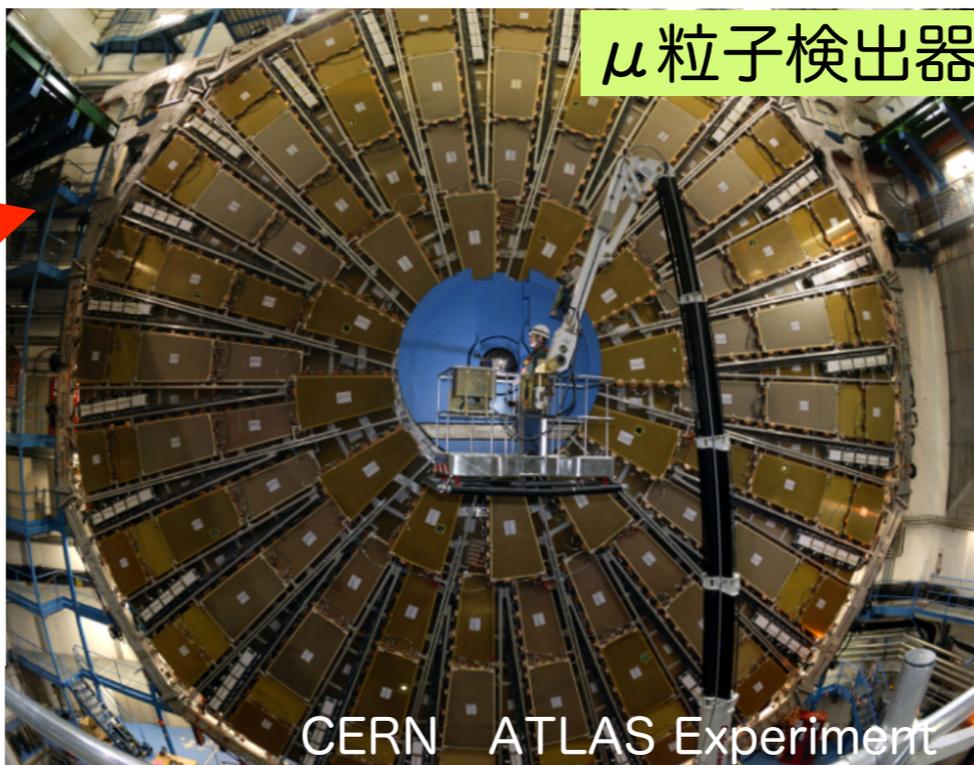
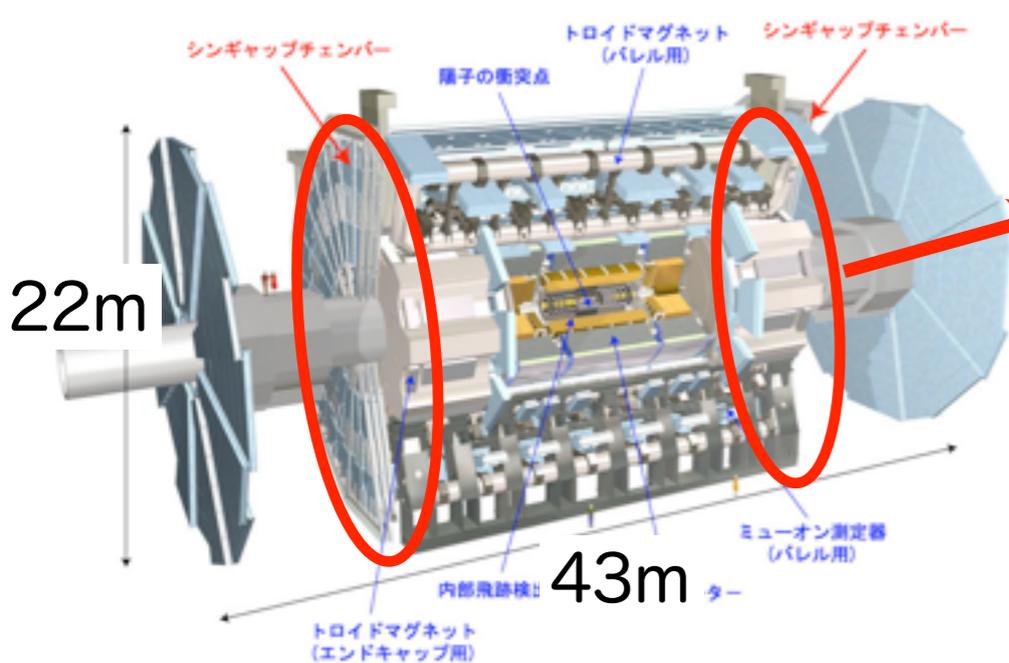


未知の素粒子を作る → 崩壊した軽い安定粒子を観測

光、電子、 $\mu$ 粒子、陽子、中性子、 $\pi$ 中間子、K中間子、ニュートリノ

# 検出器の建設

検出器も、回路も研究者の手作り

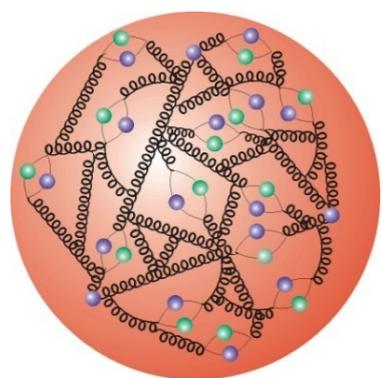


若い学生達が頑張っています！！！！

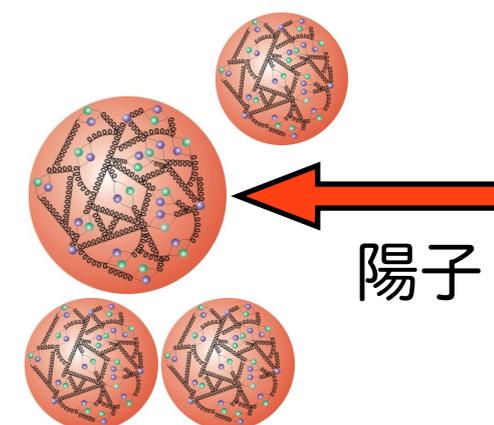
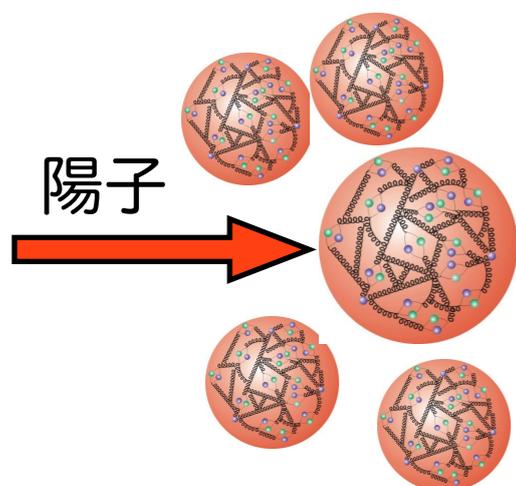


# 陽子・陽子衝突

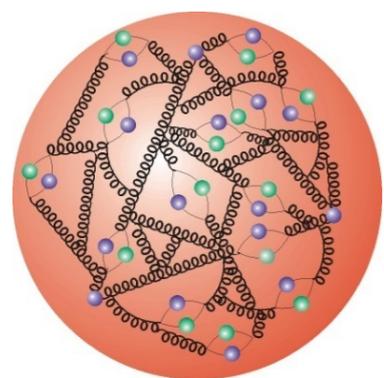
# 陽子・陽子衝突



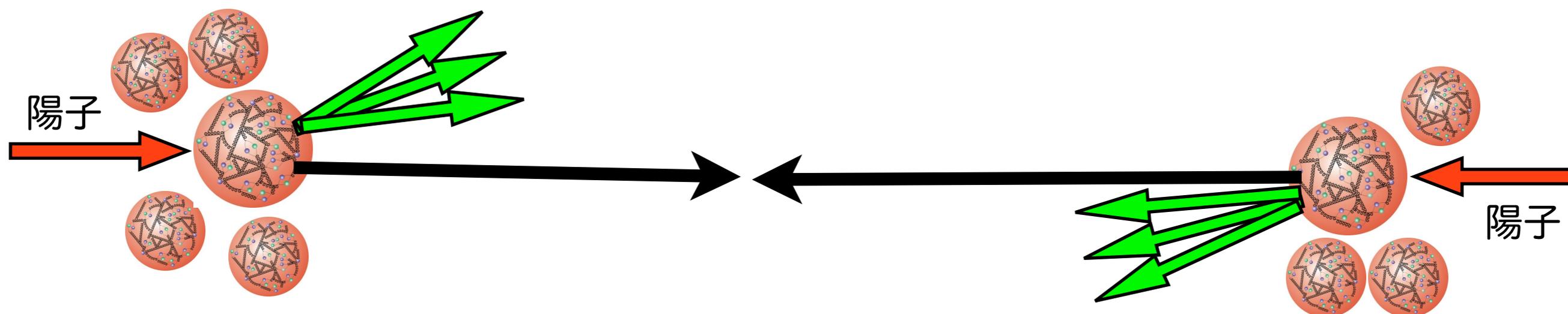
陽子の中は沢山のクォーク、グルーオン  
一部だけが衝突による反応に関与



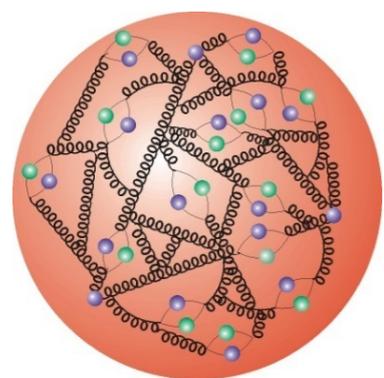
# 陽子・陽子衝突



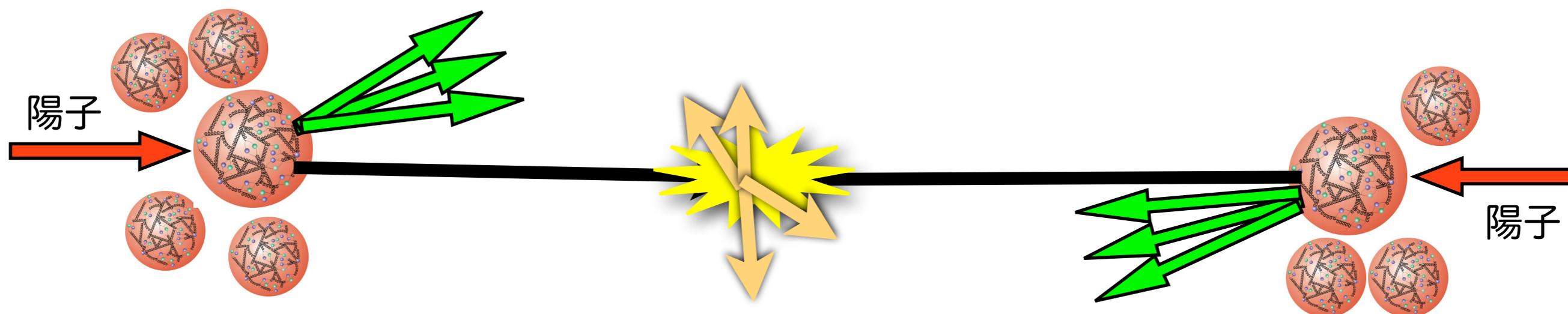
陽子の中は沢山のクォーク、グルーオン  
一部だけが衝突による反応に関与



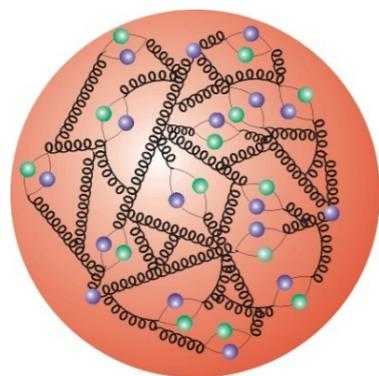
# 陽子・陽子衝突



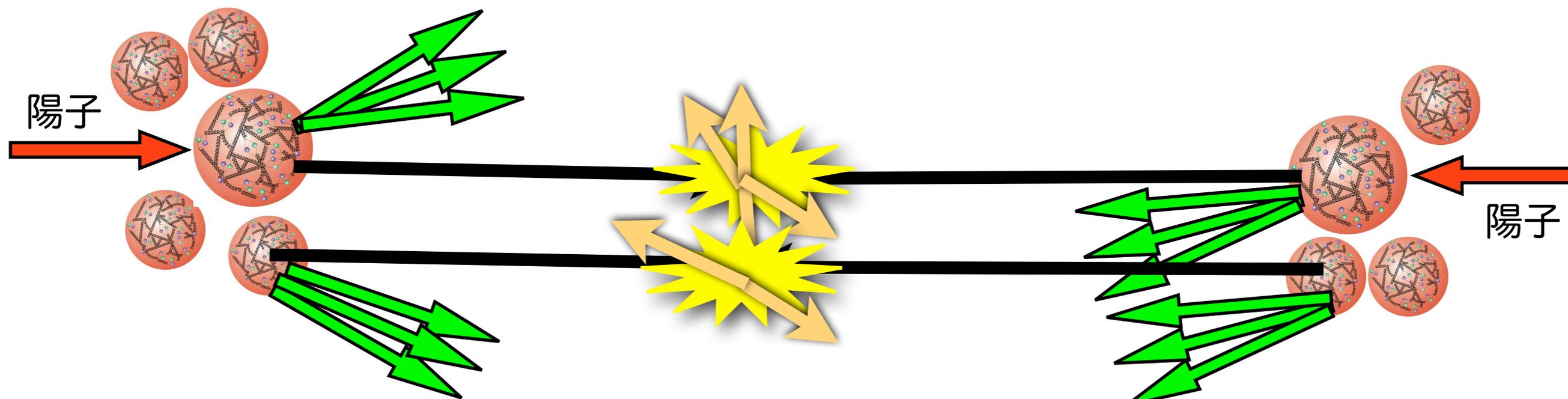
陽子の中は沢山のクォーク、グルーオン  
一部だけが衝突による反応に関与



# 陽子・陽子衝突

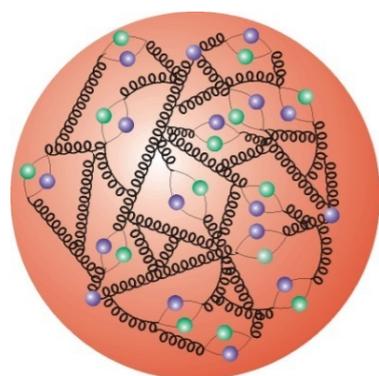


陽子の中は沢山のクォーク、グルーオン  
一部だけが衝突による反応に関与

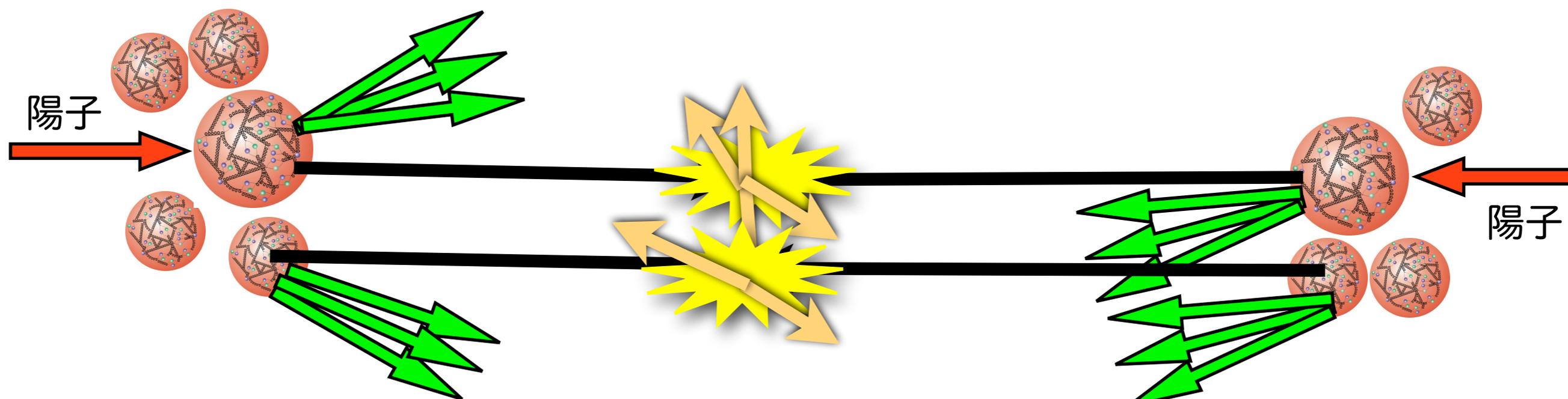


他の陽子の反応も同時多発

# 陽子・陽子衝突



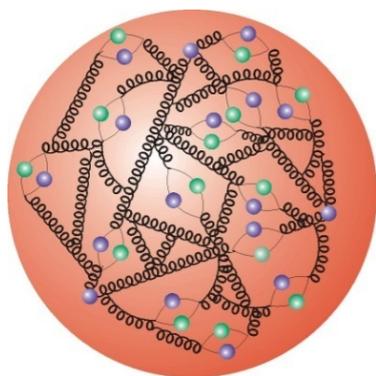
陽子の中は沢山のクォーク、グルーオン  
一部だけが衝突による反応に関与



他の陽子の反応も同時多発

反応	反応頻度
LHC加速器で起こる任意の反応 (ほとんど、軽いクォーク、グルーオン)	毎秒 5千万 回
ヒッグス粒子生成	100秒間に1回

# 陽子・陽子衝突



陽子の中は沢山のクォーク、グルーオン  
一部だけが衝突による反応に関与

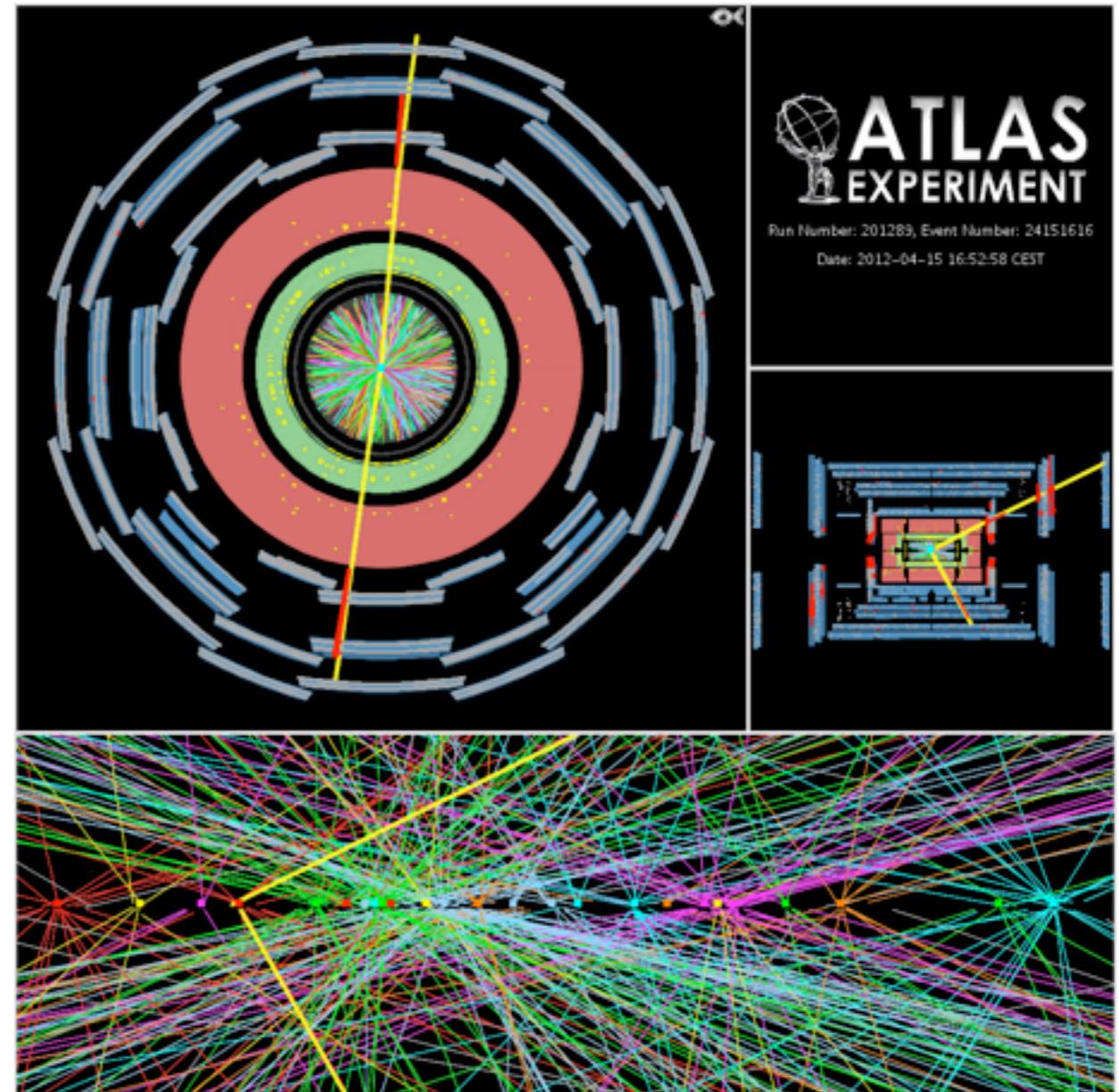
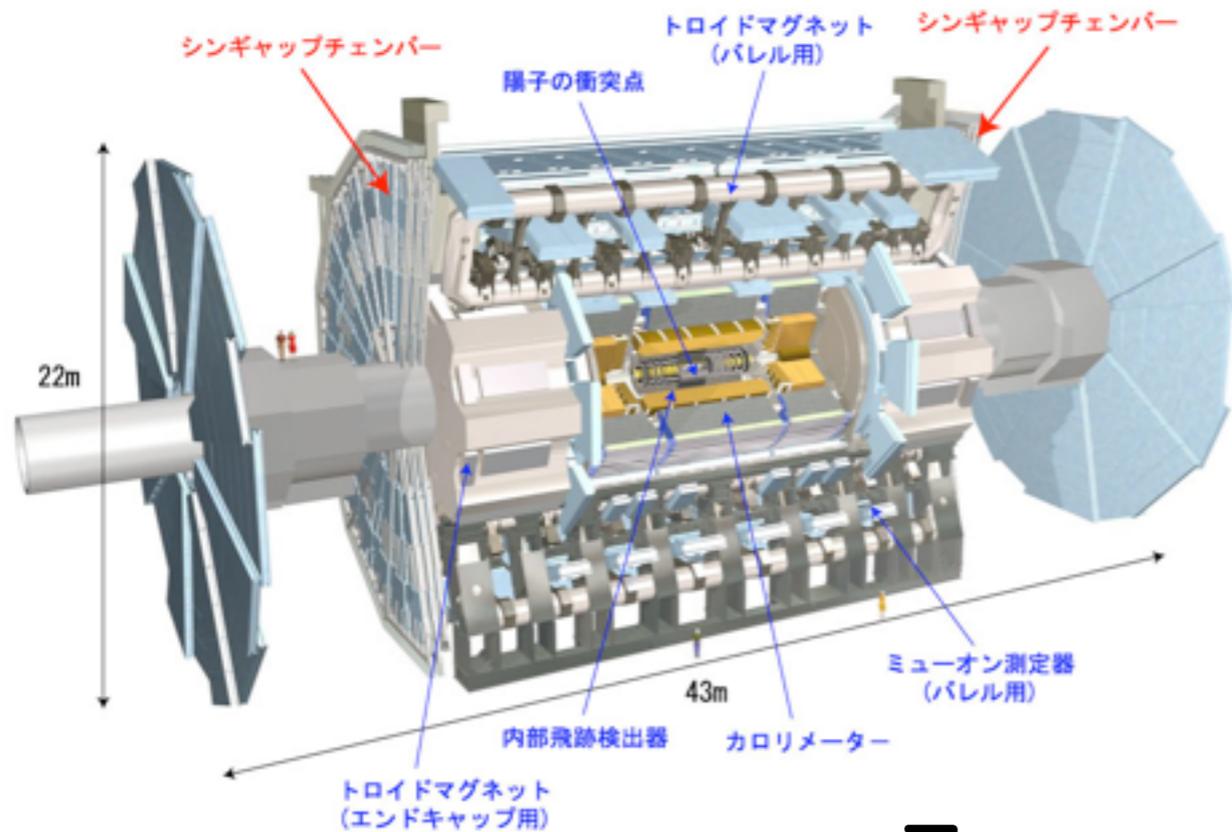
例えば、ヒッグス粒子は、  
5,000,000,000(五十億)回に1回程度しか生成しない！  
2,000兆回の陽子衝突では、40万個のヒッグス粒子が生成

他の陽子の反応も同時多発

反応	反応頻度
LHC加速器で起こる任意の反応 (ほとんど、軽いクォーク、グルーオン)	毎秒 5千万 回
ヒッグス粒子生成	100秒間に1回

# 実際の陽子陽子衝突反応

全ての反応は、無数の安定粒子になる



新粒子の見つけ方：

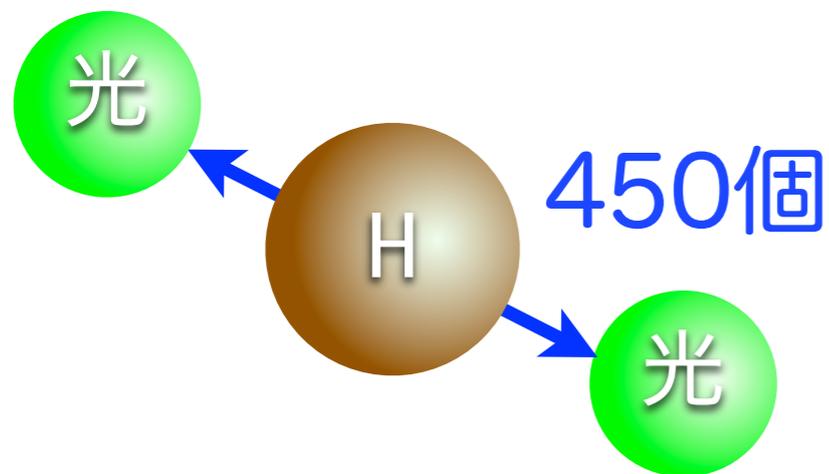
2000兆回 (2018年には1京回) の陽子衝突から、

1. 興味のある反応を選ぶ
2. 選んだ反応の中に、本物があることが立証する

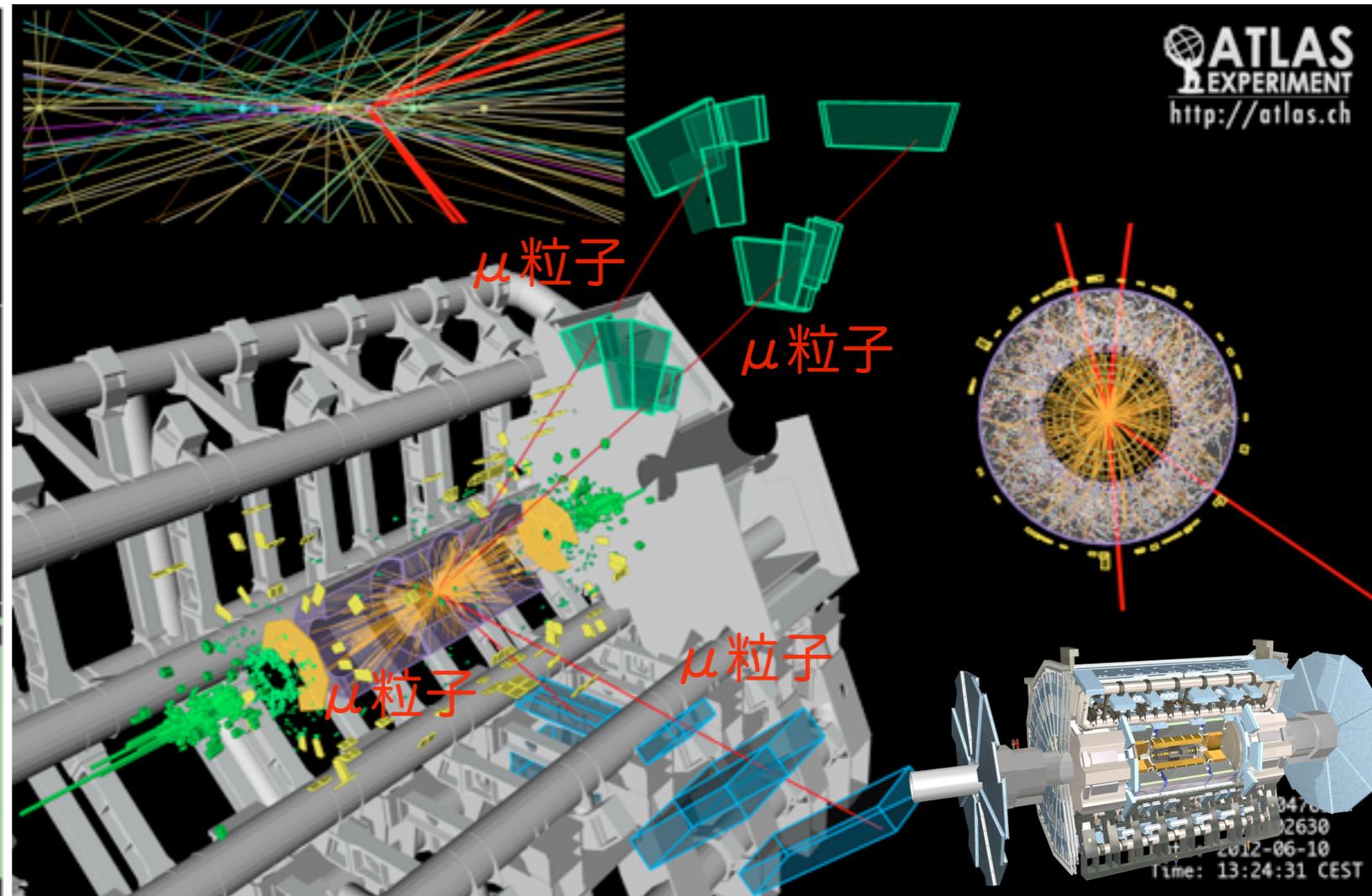
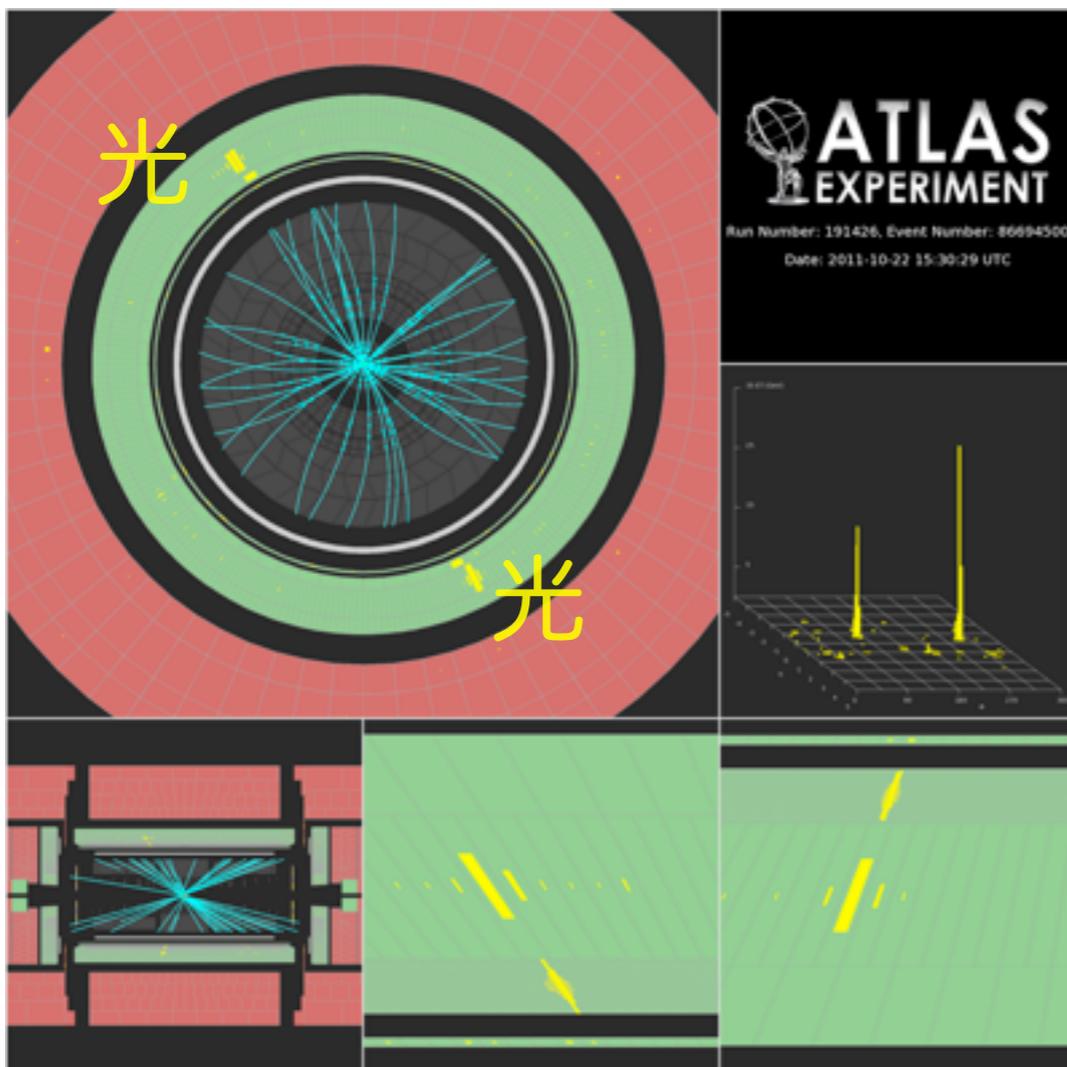
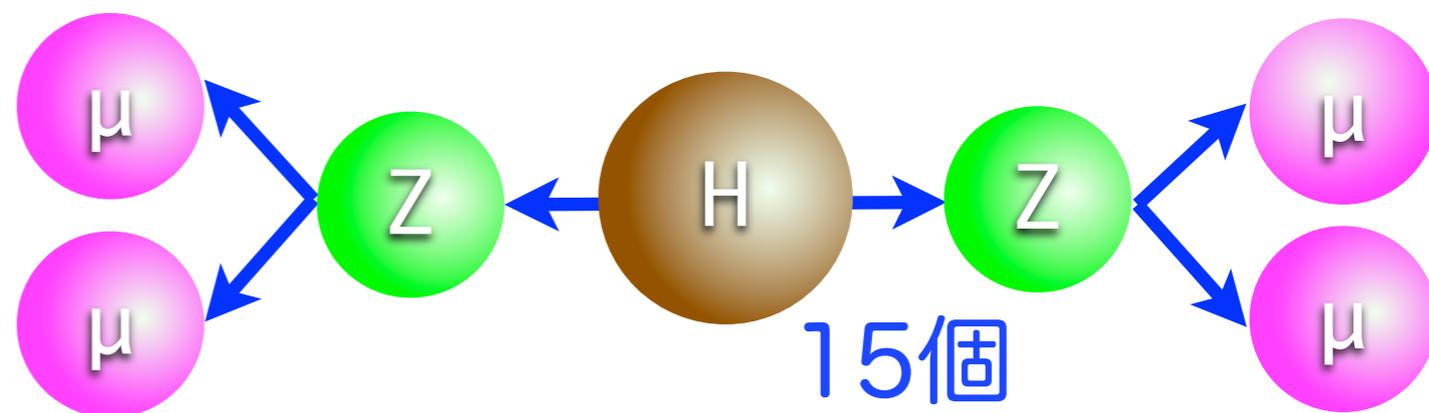
# 例えば、ヒッグス粒子の反応

2千兆回の陽子陽子衝突 → 40万個のヒッグス粒子が生成

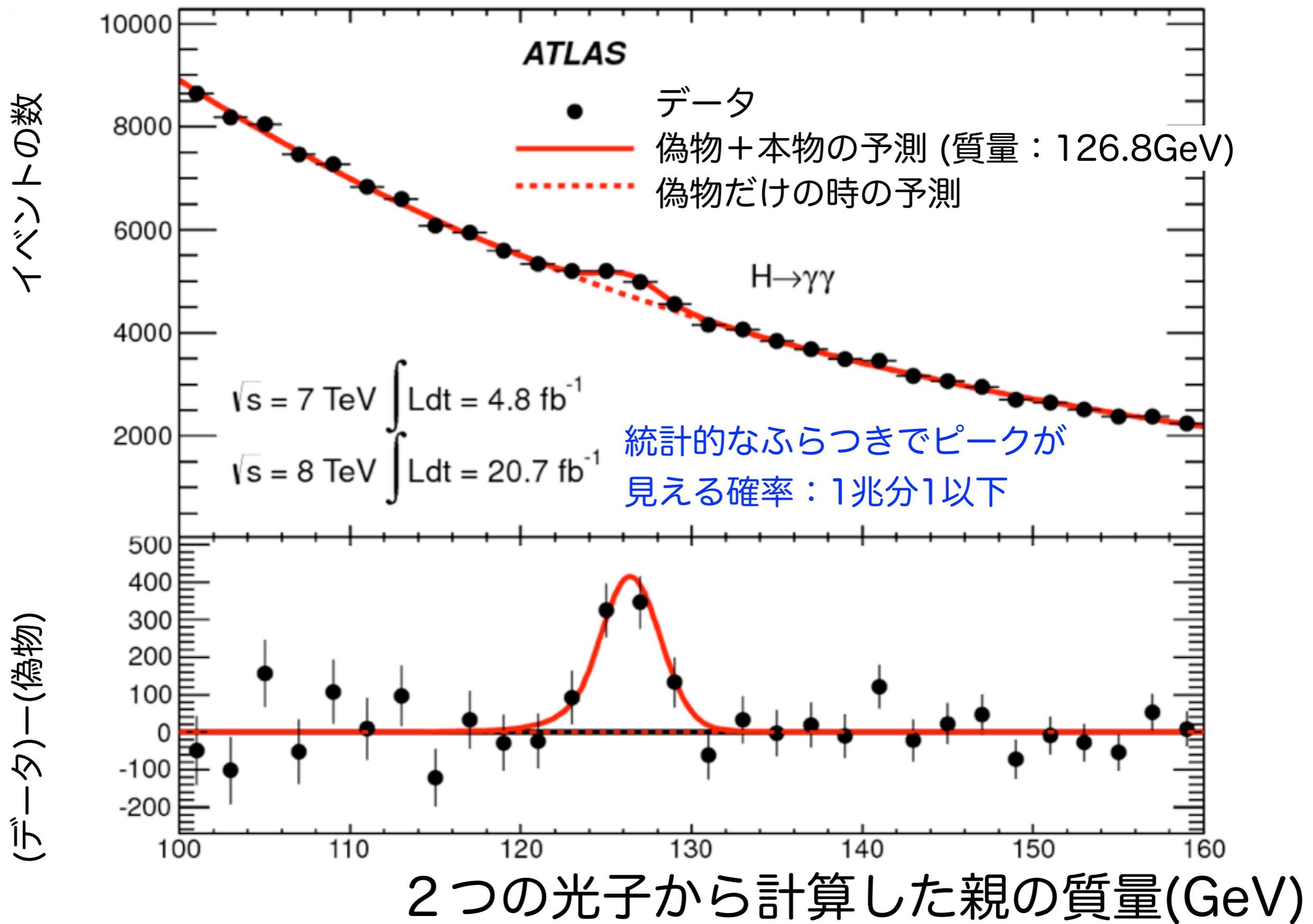
○ ヒッグス粒子 → 光子 + 光子の候補



○ ヒッグス粒子 → ZZ → 4本のμ粒子の候補



# ヒッグス粒子があることの立証



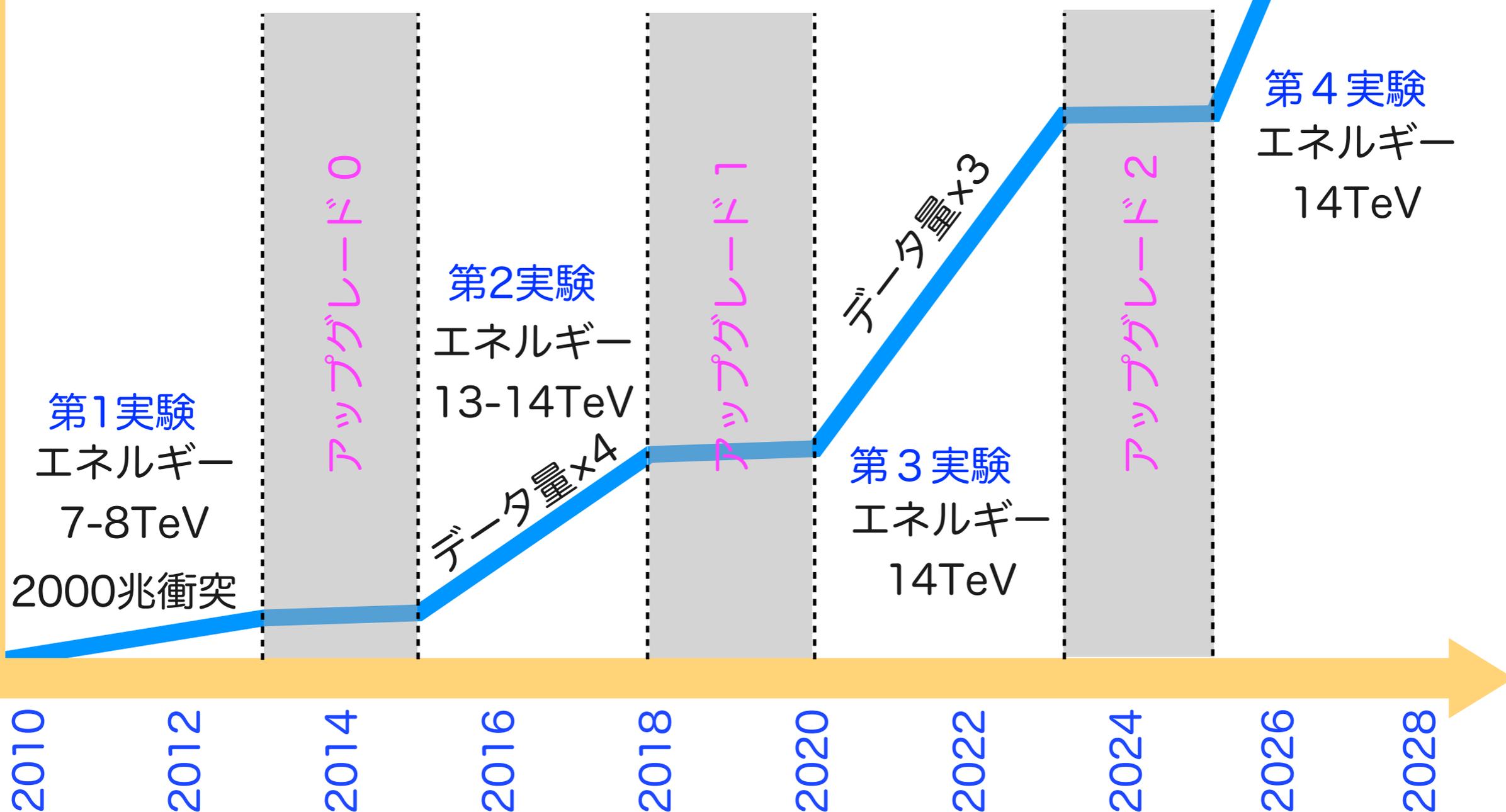
# LHC実験の今後

より高エネルギーへ、より沢山の陽子衝突を

新しい素粒子の発見  
ヒッグス粒子の精密測定

→ 新しい標準模型を作り上げる！！

データ量

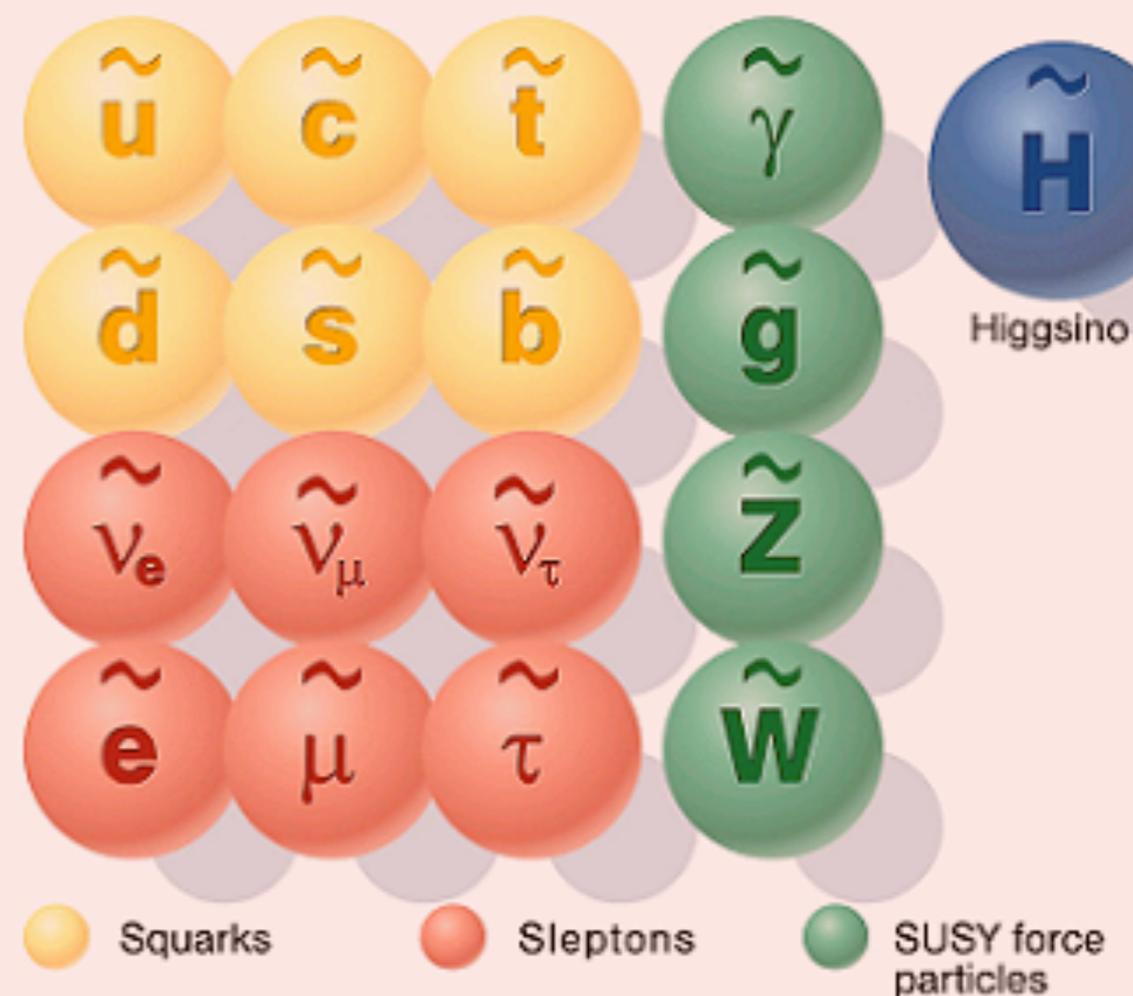


# 今後の展開

## 標準模型の素粒子



## 超対称性粒子 未発見



- 新しい素粒子(暗黒物質、超対称性粒子、、、)の発見  
→ 衝突エネルギーを13~14TeVに
- ヒッグス粒子の性質の理解  
→ 沢山の陽子衝突

→ 新しい素粒子物理学の幕開け

素粒子物理は  
これからが面白い！

# Backup