



# 素粒子物理学

## (高エネルギー物理学)

だけじゃないよ

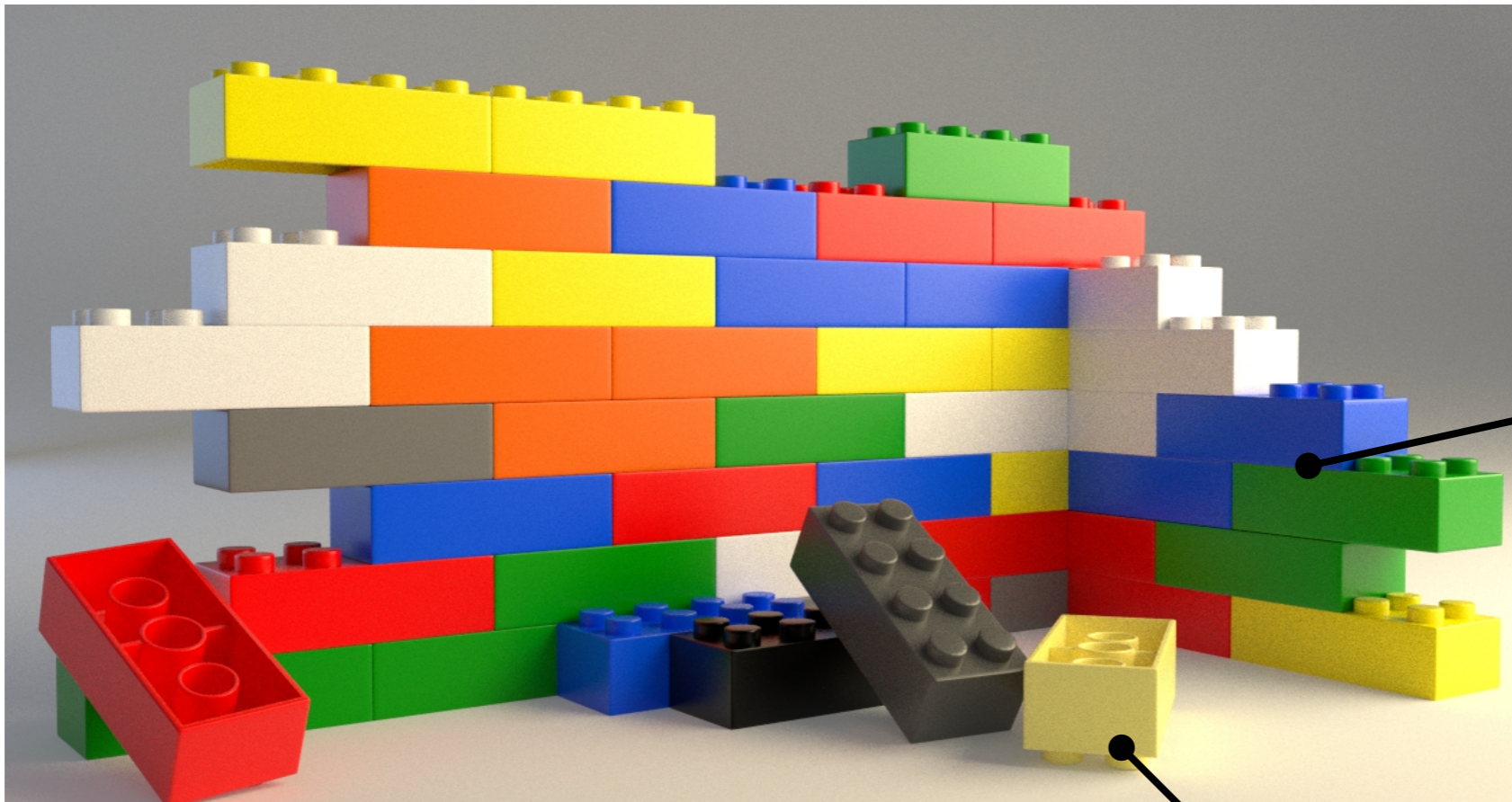
### 【プログラム】

1. 研究室紹介スライド(20分)
2. 実験グループ紹介1 (10分)
3. 実験グループ紹介2 (10分)

# 素粒子物理学とは？

この世界の物質は何で出来ているのか：**素粒子**  
素粒子同士に働く力は？その運動の**法則**は？

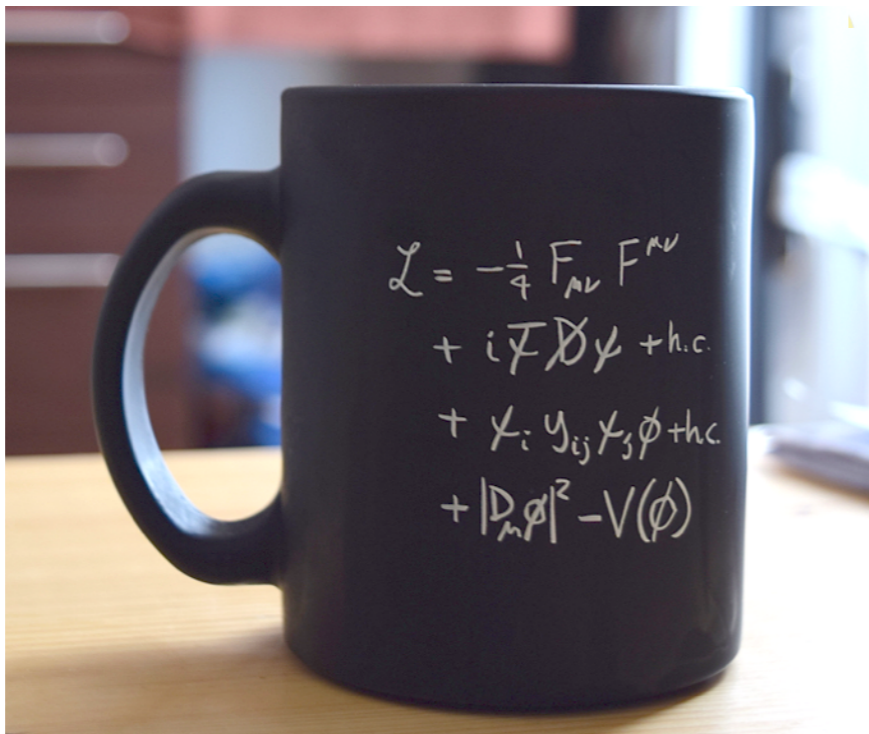
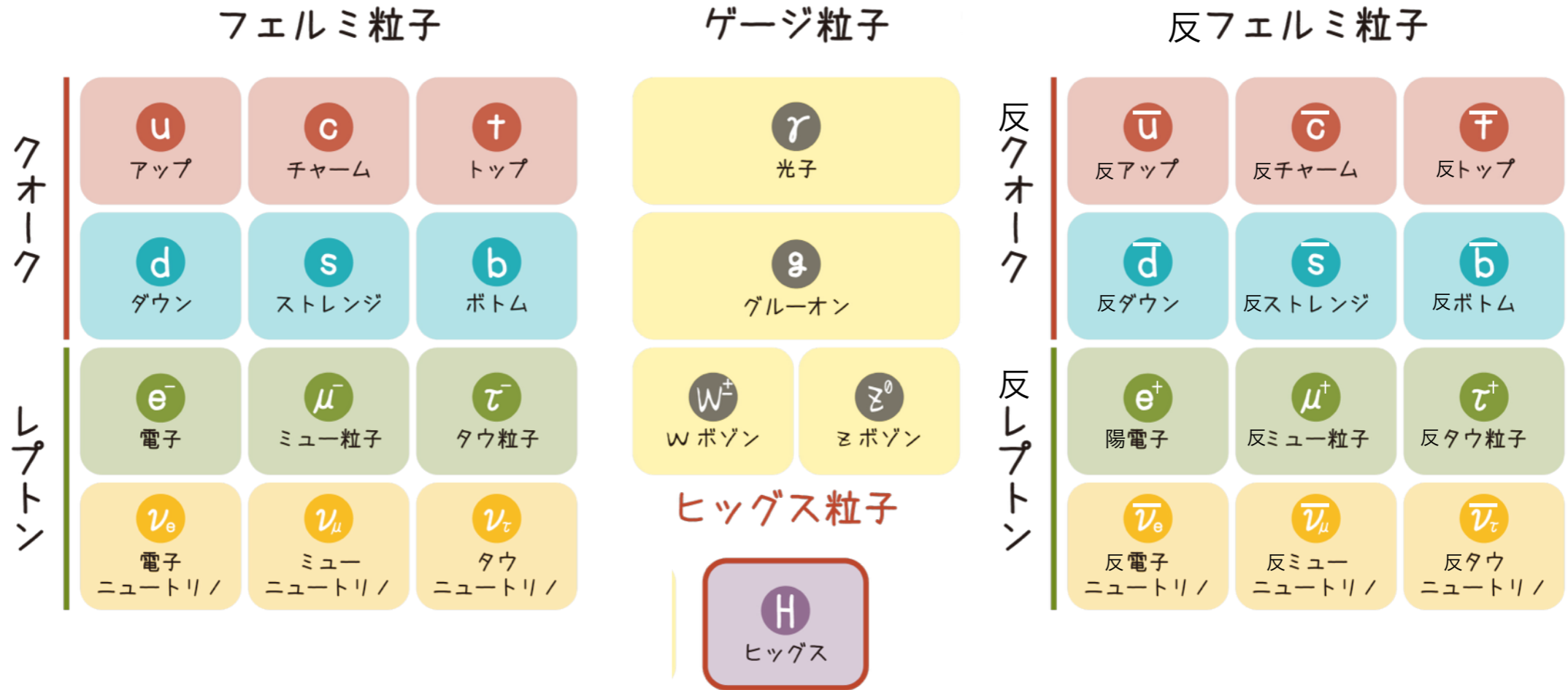
これらについて研究する学問が**素粒子物理学**



→ どういうルールでくっついている？  
(力の法則)

→ 素粒子

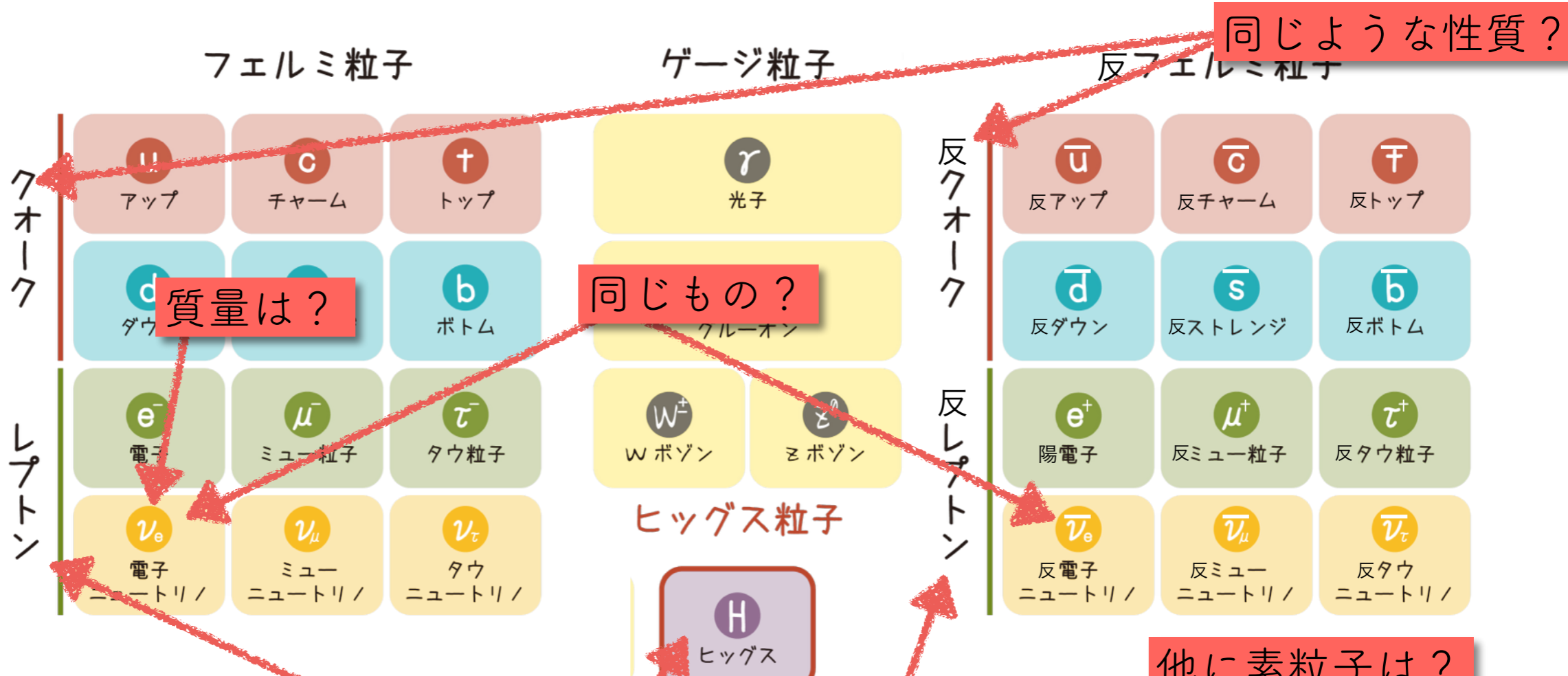
# 今わかっていること：標準理論



現在わかっている素粒子、力、運動の法則を  
まとめて記述している理論

**ほぼ**全ての実験結果を説明できる**すごい理論**！

# まだわかっていないこと → 新物理



同じような性質？

質量は？

同じもの？

他に素粒子は？

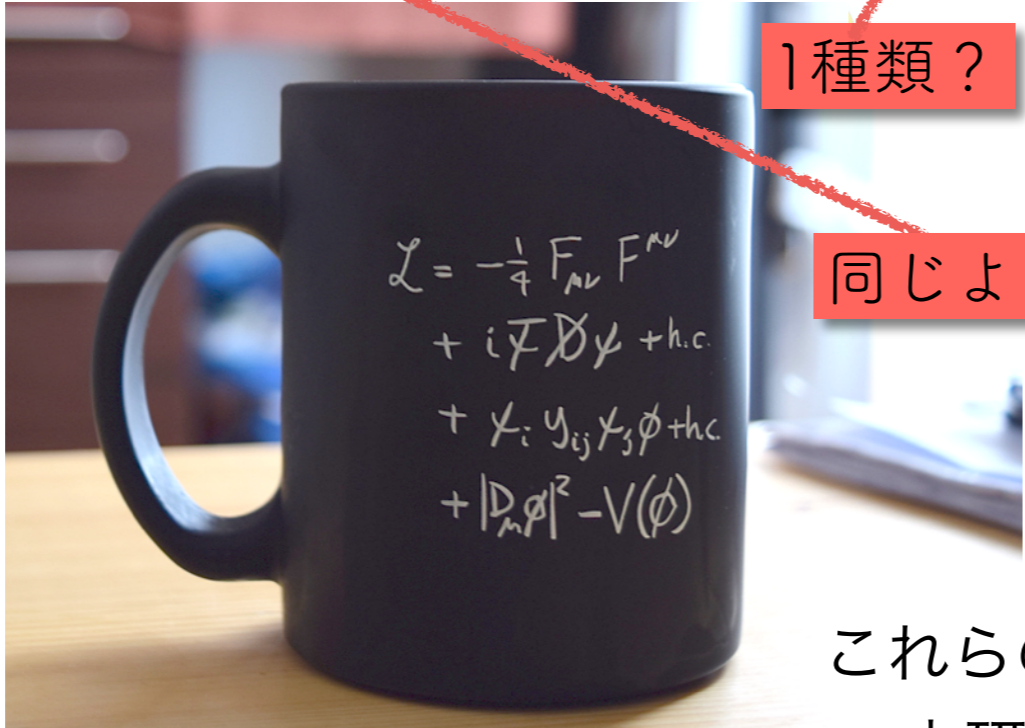
他の力はないの？

重力は？

ダークマター？

反物質はなぜ少ない？

などなど……



1種類？

同じような性質？

これらの未解決問題に実験を通してアプローチ  
-> 本研究室(素粒子物理学、高エネルギー物理学)

# 京都グループの活動



世界最高エネルギーで新物理探索！



38カ国、約3000人



世界最高強度ビームと低背景事象で新物理探索！



11カ国、約500人



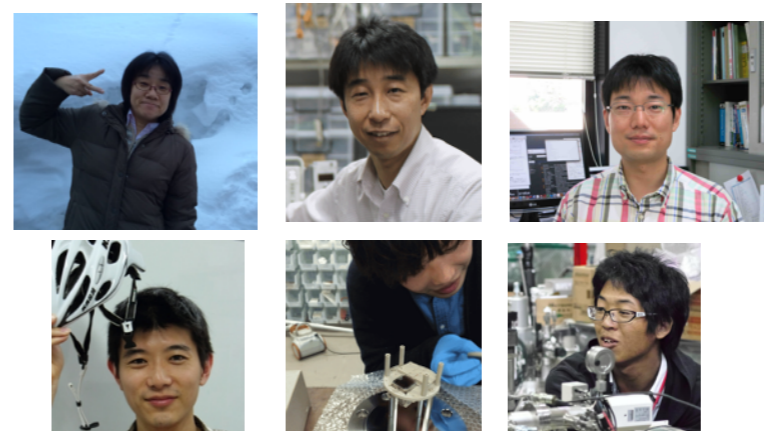
世界最高強度のビームで新物理探索！



5カ国、約60人



極低バックグラウンドで新物理探索！

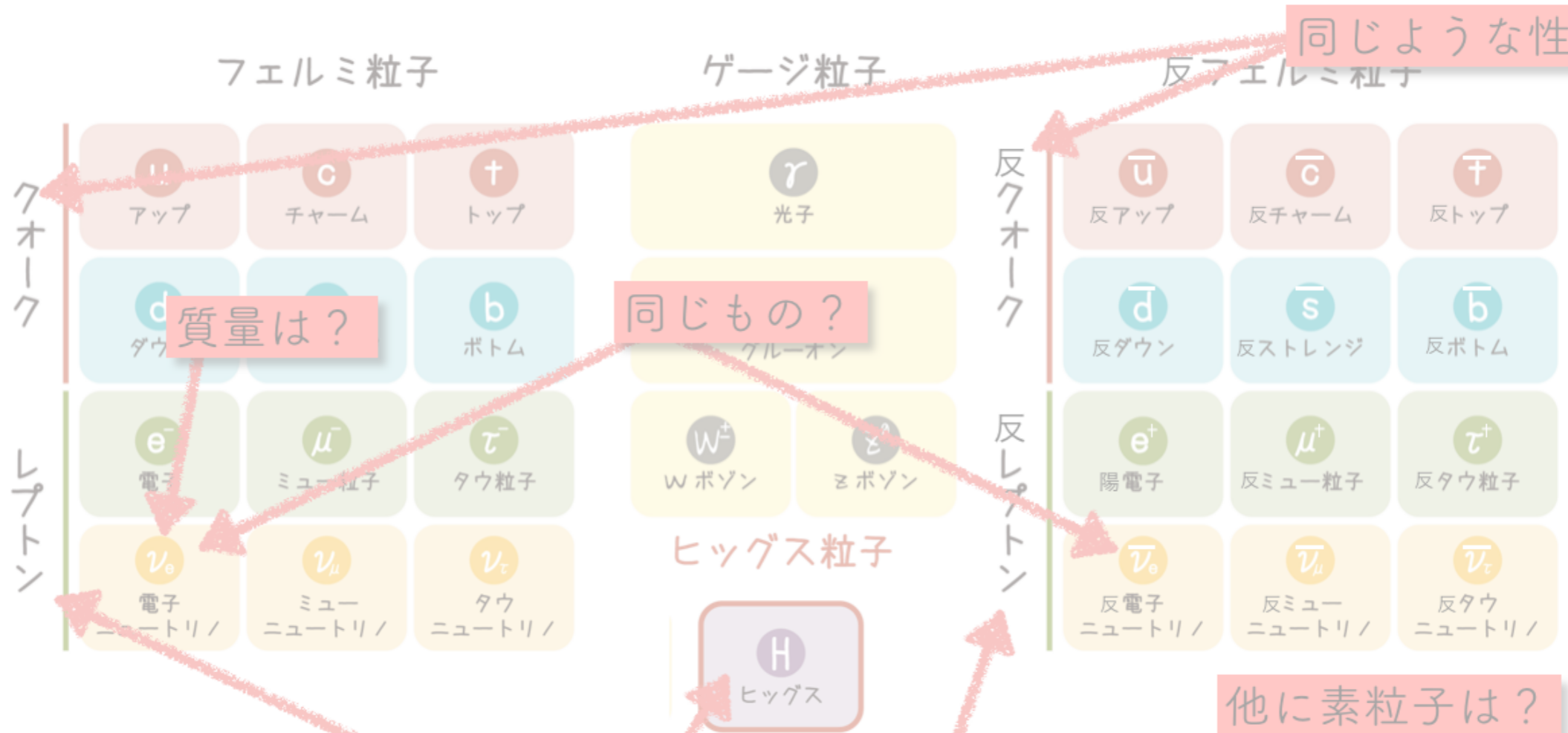


約10人

どの実験も主役は学生！

ここから、それぞれの実験について簡単に紹介します  
このあと、聞きたいグループを2つ選んでもらいます

# 京都グループの活動(各実験紹介)



同じような性質？

質量は？

同じもの？

他に素粒子は？

他の力はないの？

重力は？

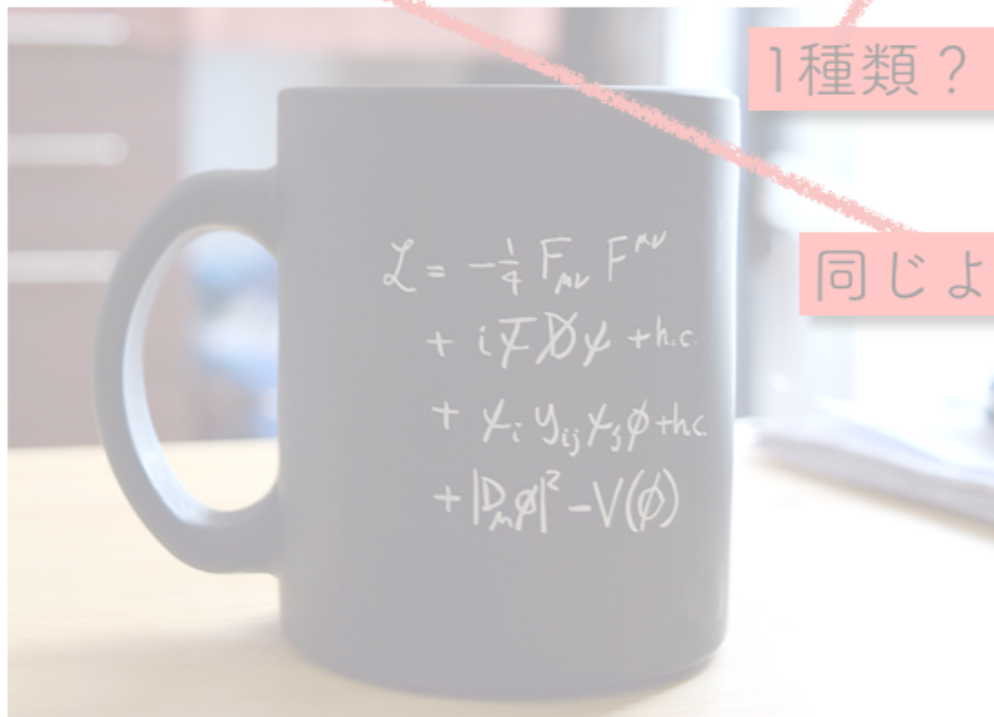
ダークマター？

反物質はなぜ少ない？

などなど……

1種類？

同じような性質？



同じような性質？

フェルミ粒子

ゲージ粒子

反フェルミ粒子

クォーク	u アップ	c チャーム	t トップ	ゲージ粒子	$\gamma$ 光子	反クォーク	$\bar{u}$ 反アップ	$\bar{c}$ 反チャーム	$\bar{t}$ 反トップ	
	d ダウン	s ストレンジ	b ボトム		グルーオン		$\bar{d}$ 反ダウン	$\bar{s}$ 反ストレンジ	$\bar{b}$ 反ボトム	
	$e^-$ 電子	$\mu^-$ ミュー粒子	$\tau^-$ タウ粒子		Wボゾン		Zボゾン	$e^+$ 反電子	$\mu^+$ 反ミュー	$\tau^+$ 反タウ粒子
	$\nu_e$ 電子ニュートリノ	$\nu_\mu$ ミューニュートリノ	$\nu_\tau$ タウニュートリノ		ヒッグス粒子		$\pi$ パイオン	$\bar{\nu}_e$ 反電子ニュートリノ	$\bar{\nu}_\mu$ 反ミューニュートリノ	$\bar{\nu}_\tau$ 反タウニュートリノ

質量は？

同じもの？

# ATLAS EXPERIMENT

他に素粒子は？

他の素粒子は？

重力は？

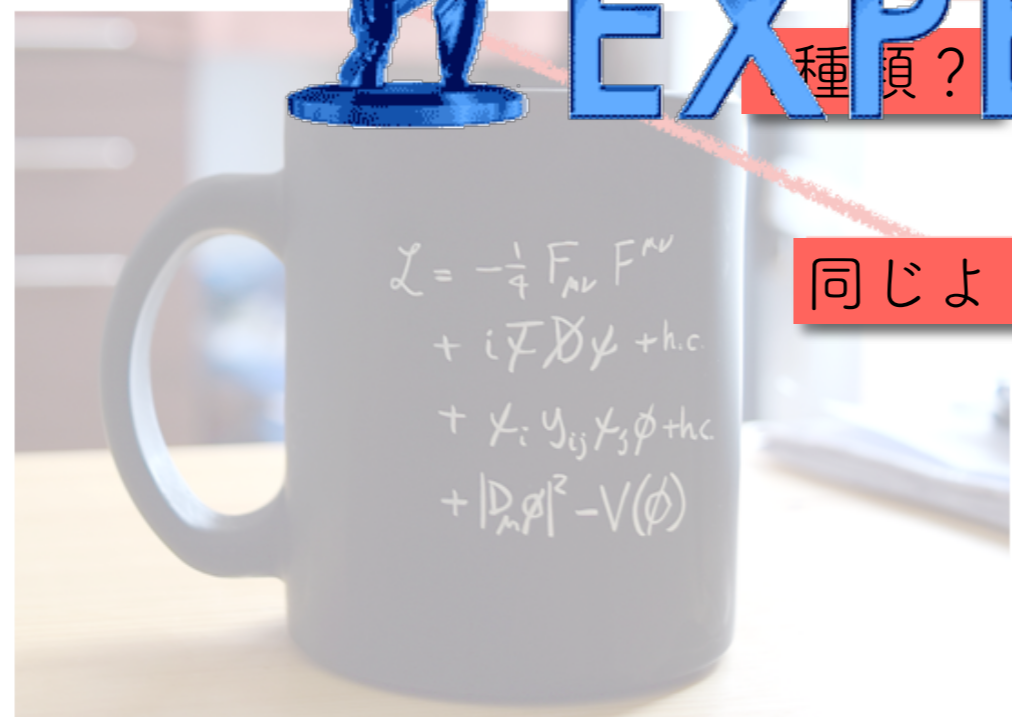
ダークマター？

反物質はなぜ少ない？

同じような性質？

種類？

などなど……



# ATLAS実験とは？

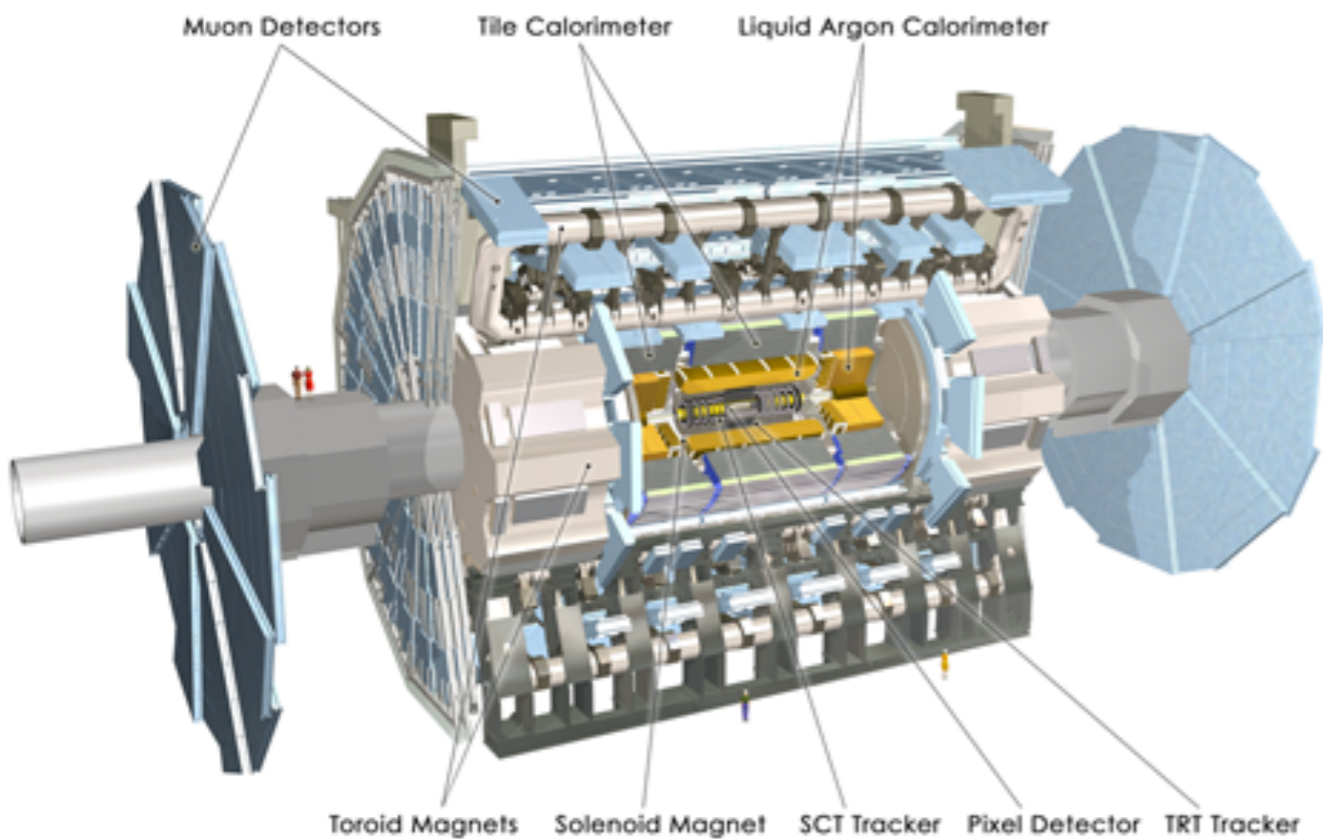
世界最高エネルギーの  
陽子-陽子衝突型加速器を  
使用した実験

$$E = mc^2$$

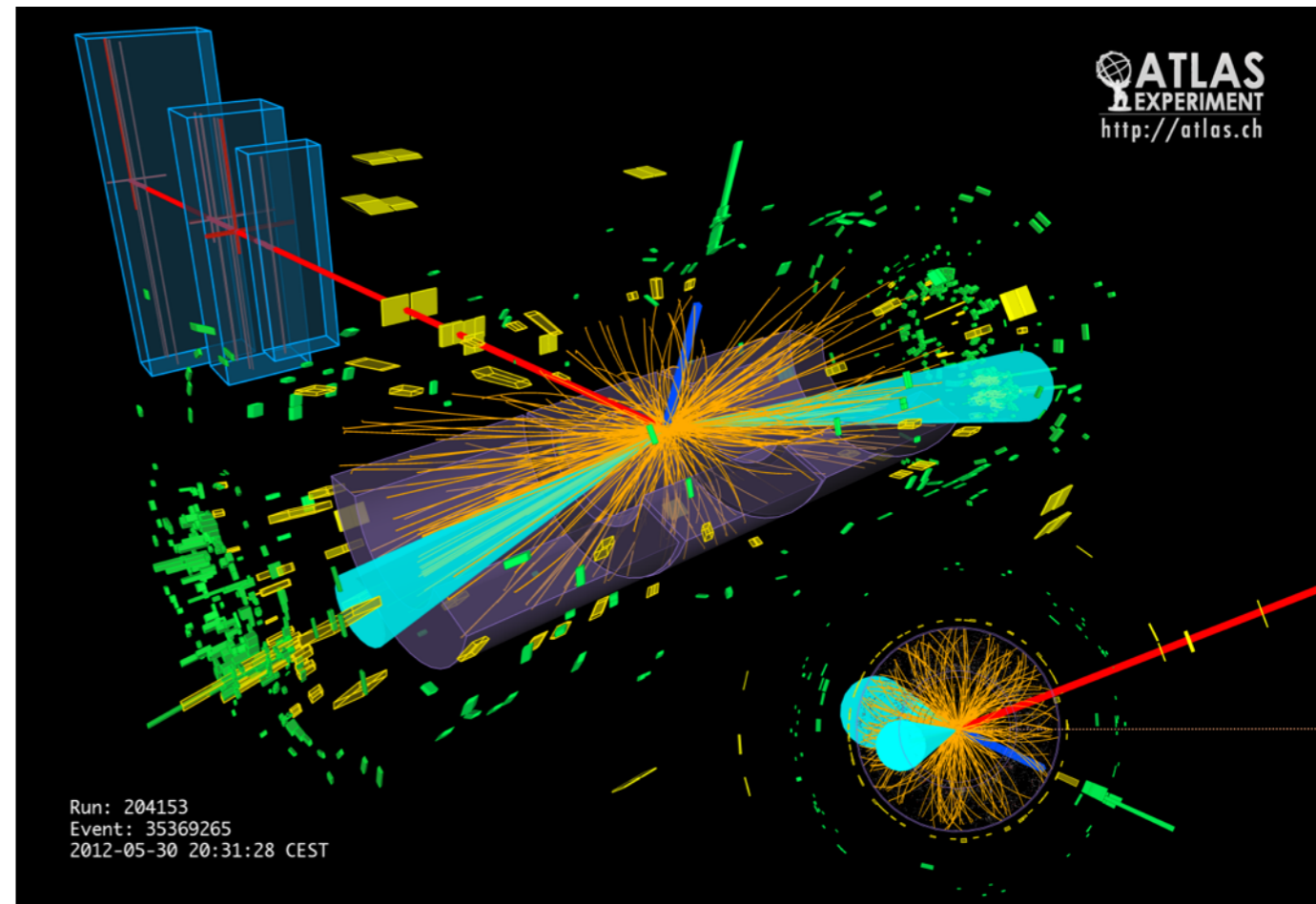
↑  
高いエネルギー

↑  
重い粒子

重い新粒子を直接探索する！！



ATLAS検出器



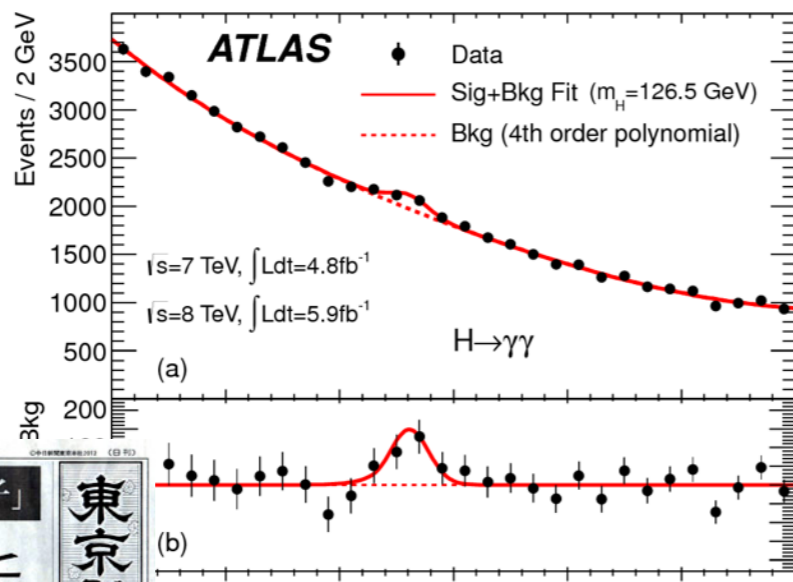
Higgs →  $\tau\tau$  の崩壊



# 更なる高エネルギーへ

2015年から、  
世界最高エネルギー13TeVで運転再開！！  
(自身のもつ世界最高記録8TeVをさらに更新！)

8 TeV



2012年(平成24年)7月5日(木曜日)

万物に質量与えた「神の粒子」

宇宙の始まり

ヒッグス粒子が働くところ

ヒッグス粒子で満たされた空間

国際チーム 99.9999%

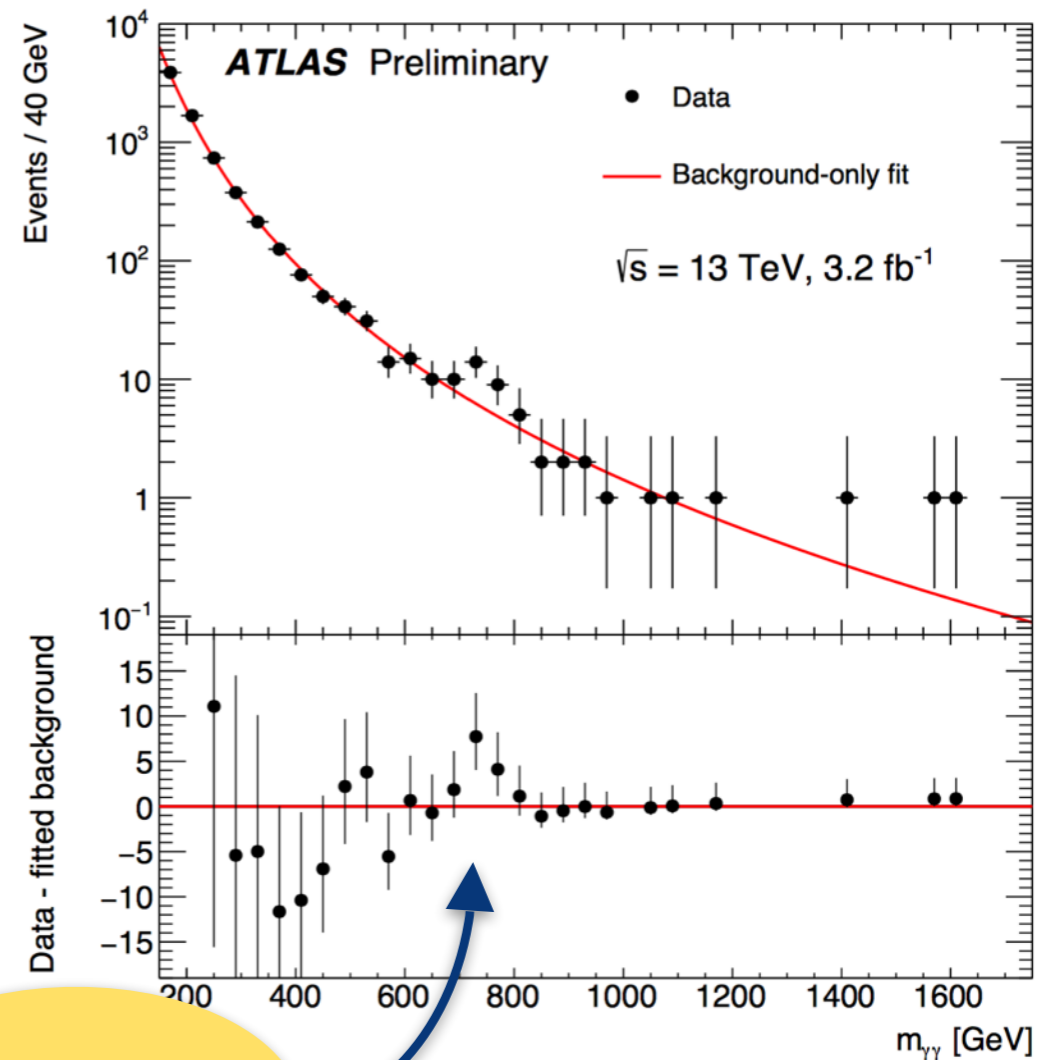
ヒッグス粒子ほぼ確認

東京新聞

VISION 今夜11:58

2012年には  
ヒッグス粒子を発見！

13 TeV



質量750GeVに  
新粒子の兆候

未知の領域へ

同じような性質？

	フェルミ粒子			ゲージ粒子	反フェルミ粒子		
クォーク	u アップ	c チャーム	t トップ	$\gamma$ 光子	$\bar{u}$ 反アップ	$\bar{c}$ 反チャーム	$\bar{t}$ 反トップ
	d ダウン	s ストレンジ	b ボトム		$\bar{d}$ 反ダウン	$\bar{s}$ 反ストレンジ	$\bar{b}$ 反ボトム
レプトン	$e^-$ 電子	$\mu^-$ ミューオン	$\tau^-$ タウ粒子	$W^\pm$ Wボゾン	$e^+$ 陽電子	$\mu^+$ 反ミューオン	$\tau^+$ 反タウ粒子
	$\nu_e$ 電子ニュートリノ	$\nu_\mu$ ミューオンニュートリノ	$\nu_\tau$ タウニュートリノ	$Z^0$ Zボゾン	$\bar{\nu}_e$ 反電子ニュートリノ	$\bar{\nu}_\mu$ 反ミューオンニュートリノ	$\bar{\nu}_\tau$ 反タウニュートリノ

質量は？

同じもの？

**NOT**

他に素粒子は？

他の力はないの？

重力は？

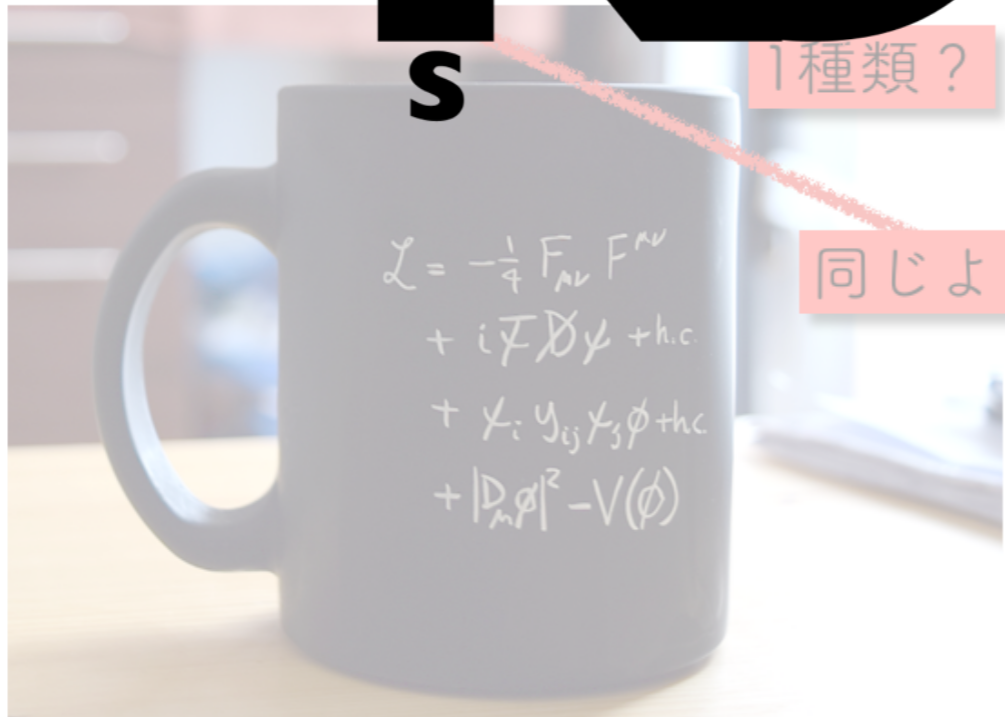
ダークマター？

反物質はなぜ少ない？

1種類？

同じような性質？

などなど……

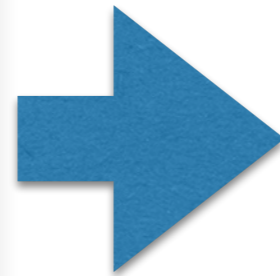


# KOTO実験グループ

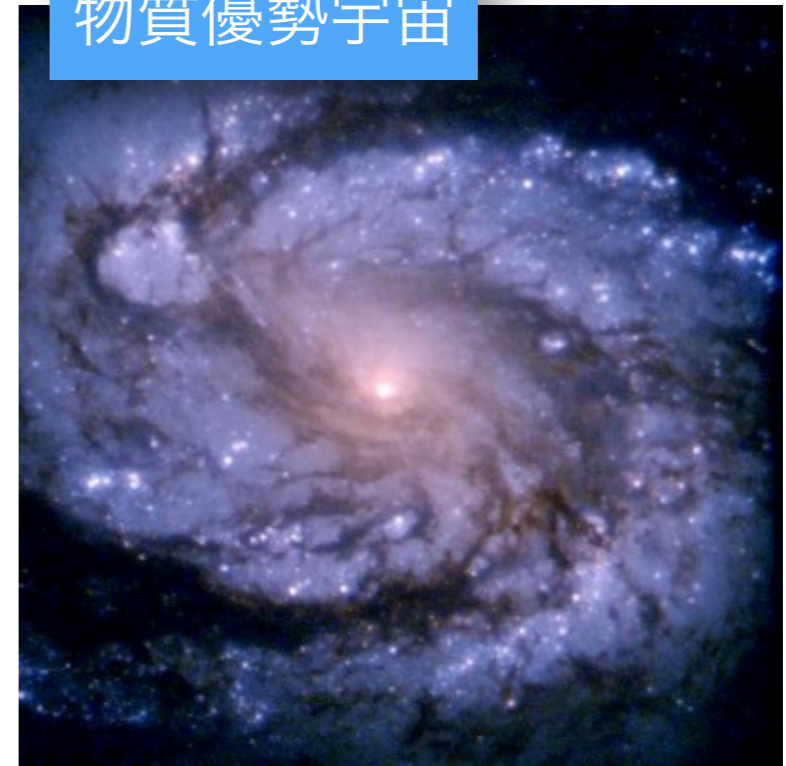
## K中間子稀崩壊探索実験

物理屋に託された宇宙の謎を解き明かす実験  
それがKOTOグループ

CP対称性の破れ  
(小林・益川理論)



物質優勢宇宙



小林さん・益川さん

2008年 ノーベル物理学賞受賞



# KOTO実験グループ

## K中間子稀崩壊探索実験

物理屋に託された宇宙の謎を解き明かす実験  
それがKOTOグループ

物質優勢宇宙

CP対称性

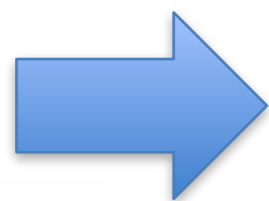
(小林・益川)

実際に説明できたのは

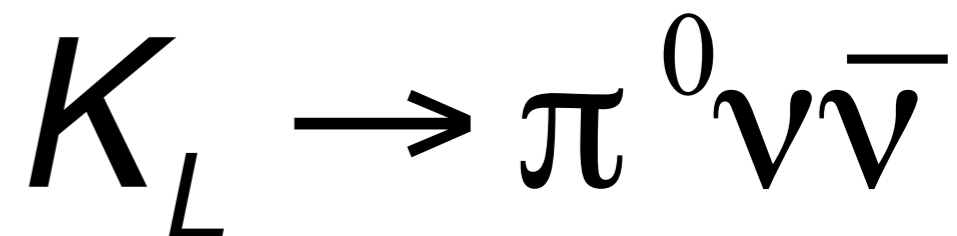
100億分の1だけ.....

小林・益川理論を越える

新しい物理が必要！



この物理を調べるために非常に有効なのが



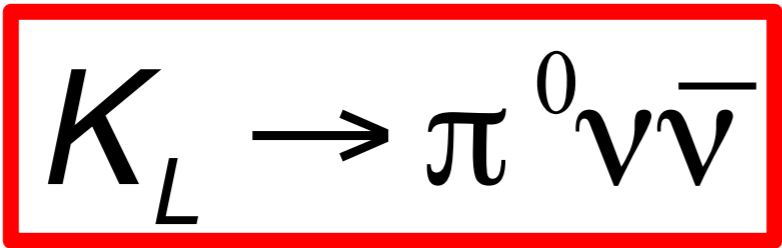


# KOTO実験グループ

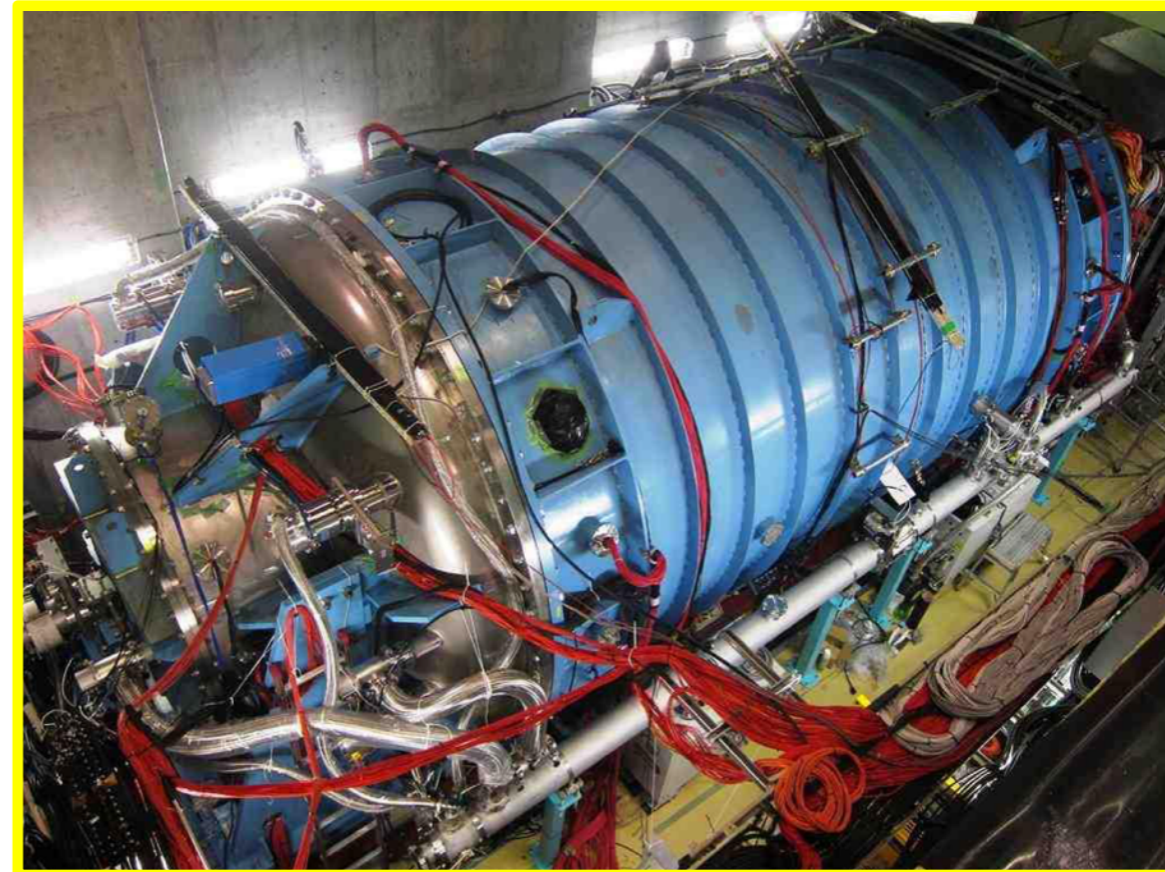
## K中間子稀崩壊探索実験

検出器外観

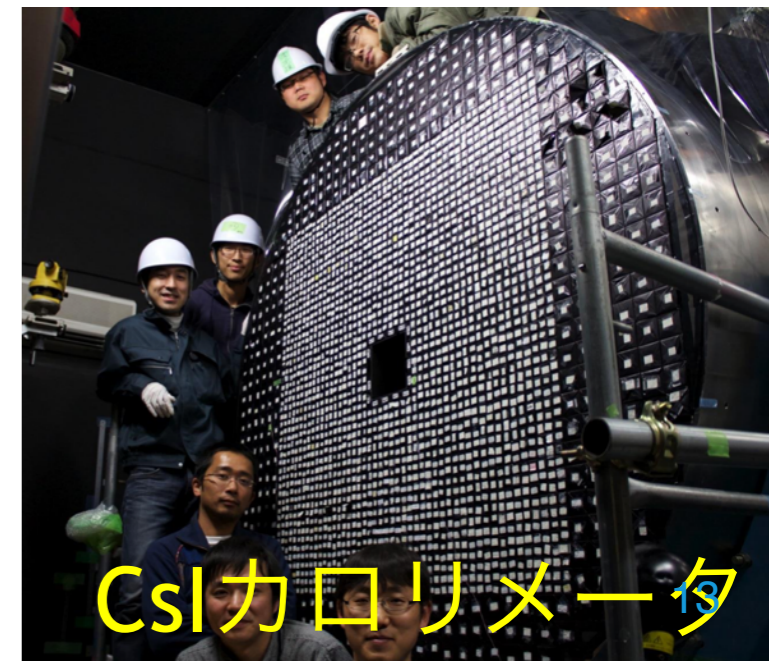
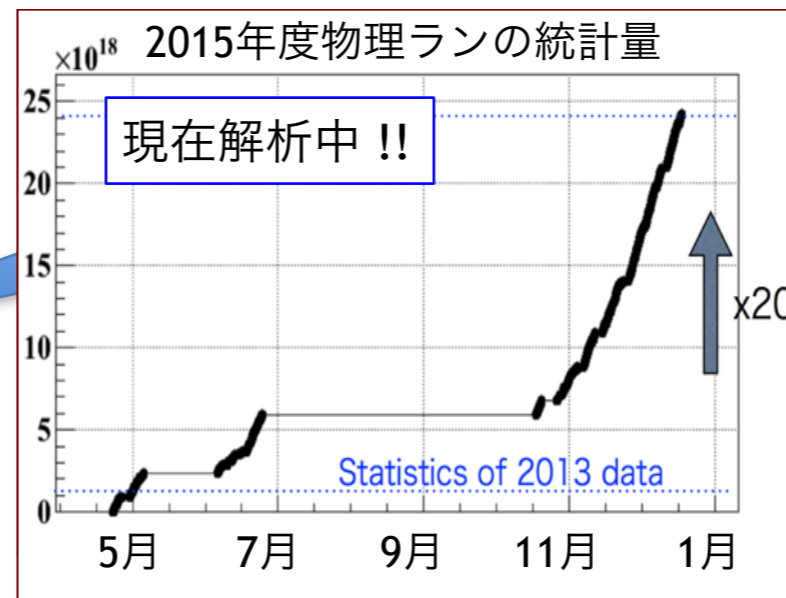
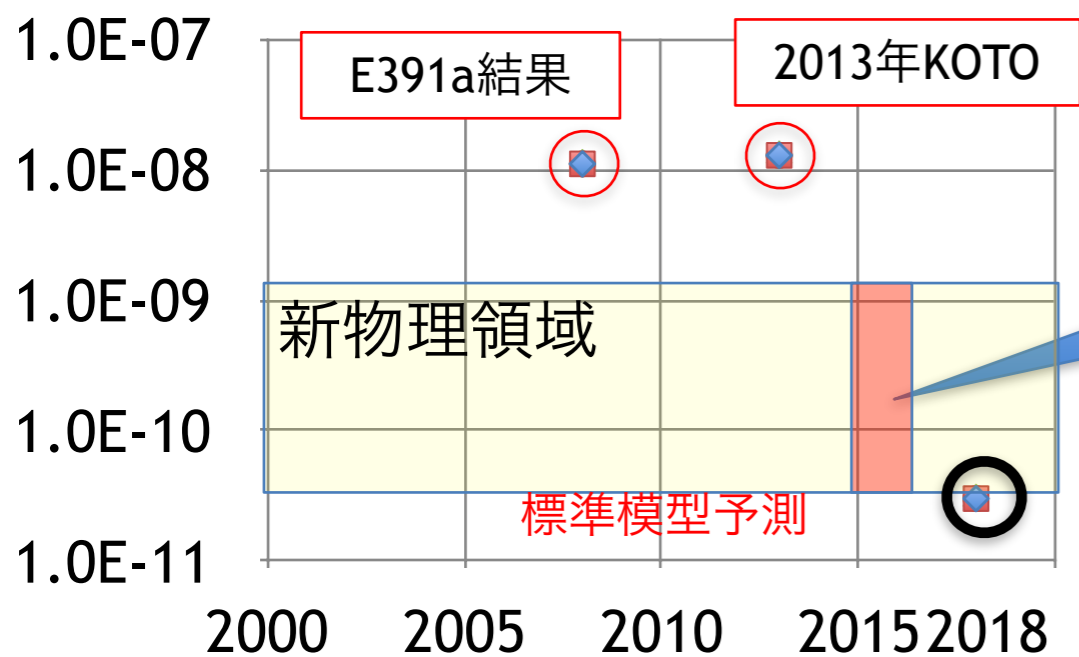
今年度中に新物理領域感度に到達を目指し実験&解析中！



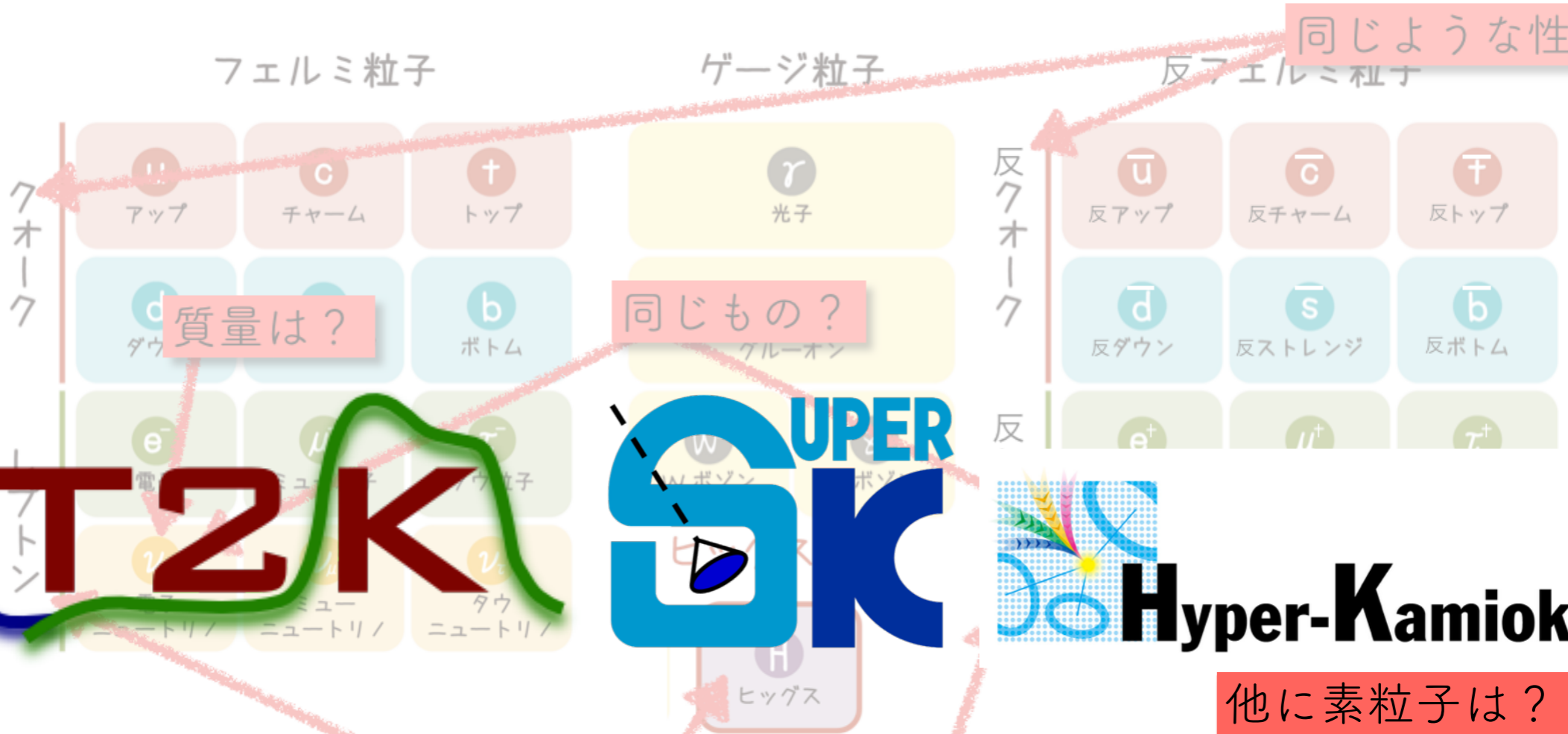
世界初観測を目指す！！



実験感度



CsIカロリメータ



同じような性質？

質量は？

同じもの？

T2K

SUPER SK



# Hyper-Kamiokande

他に素粒子は？

他の力はないの？

重力は？

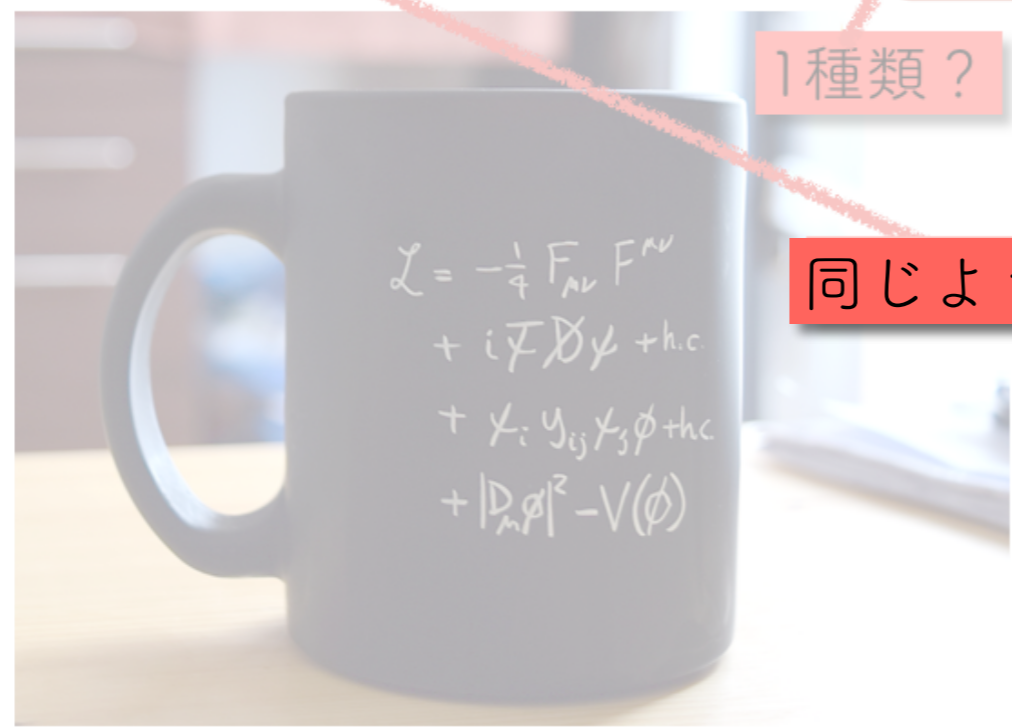
ダークマター？

反物質はなぜ少ない？

などなど……

1種類？

同じような性質？




# ニュートリノ振動



ニュートリノの種類が勝手に変わっちゃう！

**ニュートリノ振動**

- ・ ニュートリノの質量がゼロならば起こらない現象
- ・ 発見すればニュートリノの質量の存在を証明 -> 発見！！ 
- ・ 精密測定をおこなうことで
- ・ **CP対称性の破れの測定**：(クォークでは発見済、レプトンでは未発見)
- ・ ニュートリノの種類(本当に3種類？)

# ニュートリノ振動の発見 スーパーカミオカンデ実験

<http://higgstan.com> より

上から飛んで来る  
ミューニュートリノ

スーパー  
カミオカンデ

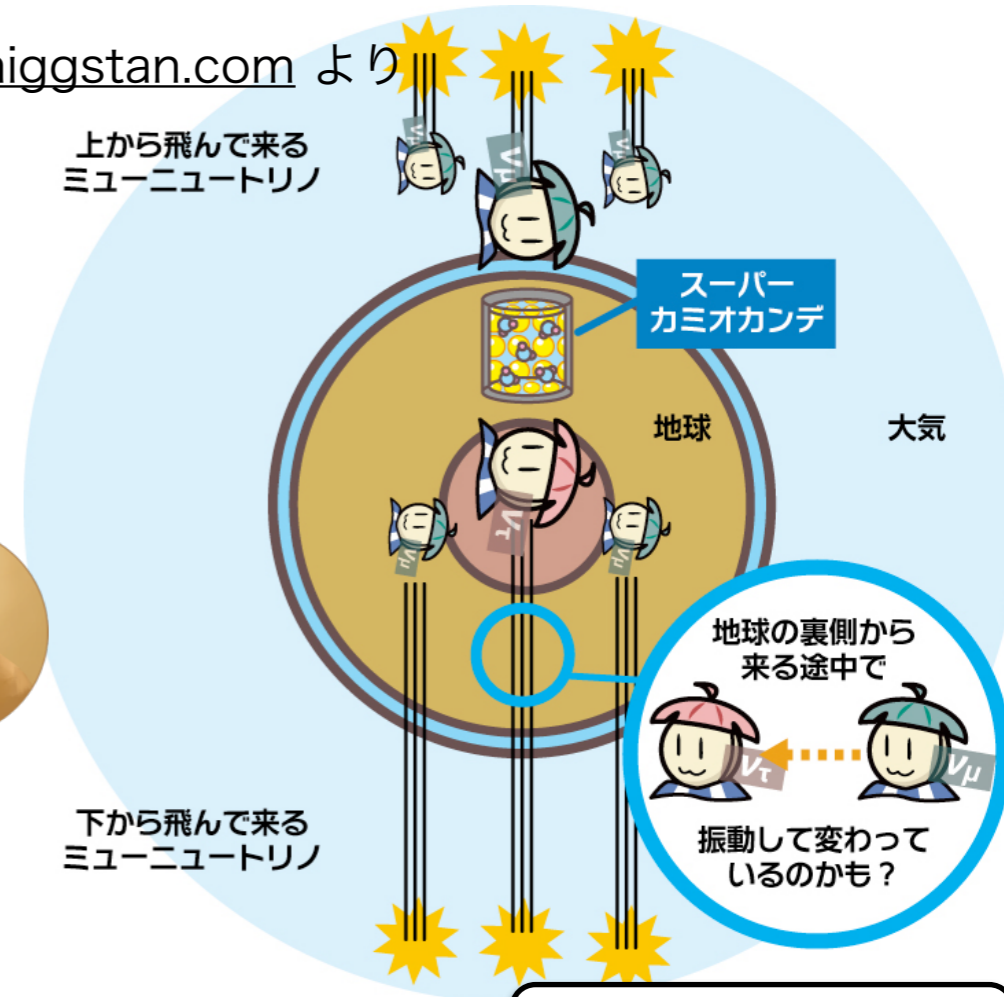
地球

大気

下から飛んで来る  
ミューニュートリノ

地球の裏側から  
来る途中で

振動して変わって  
いるのかも？

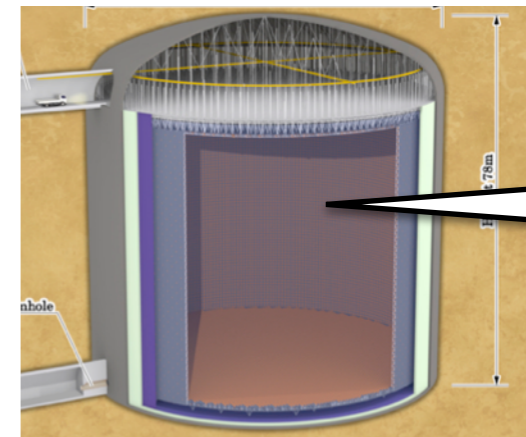


- ・ スーパーカミオカンデ

- ・ **5万トン!** の純水を蓄えたニュートリノ検出器
- ・ **ニュートリノ振動の発見でノーベル物理学賞受賞!**

- ・ しかし、まだわかっていないことはたくさんある

- ・ ニュートリノ振動の精密測定
- ・ **レプトンにおけるCP対称性の破れの測定**
- ・ ハイパーカミオカンデ計画
- ・ スーパーカミオカンデの **10倍の大きさ**
- ・ 陽子は崩壊するのか？



ハイパーカミオカンデ



Hybrid Photo Detector



# T2K実験

## ・ T2K実験

- ・  $\nu_\mu$ ニュートリノビームを生成する**J-PARC加速器**
  - ・ 30GeVの陽子ビームを炭素標的に打ち込む
  - ・ 世界最高レベルの強度
- ・ 生成直後のニュートリノビームを調べる**前置検出器**
- ・ ニュートリノの変化を捉える**スーパーカミオカンデ**
- ・ **これら全てで京都大学の学生が活躍！**
- ・  $\nu_\mu \rightarrow \nu_e$ に変化する振動を世界で初めて発見！
- ・ これからは、「粒子と反粒子の振動の違い」を調べ、なぜ宇宙が物質できているのかという謎に迫る！

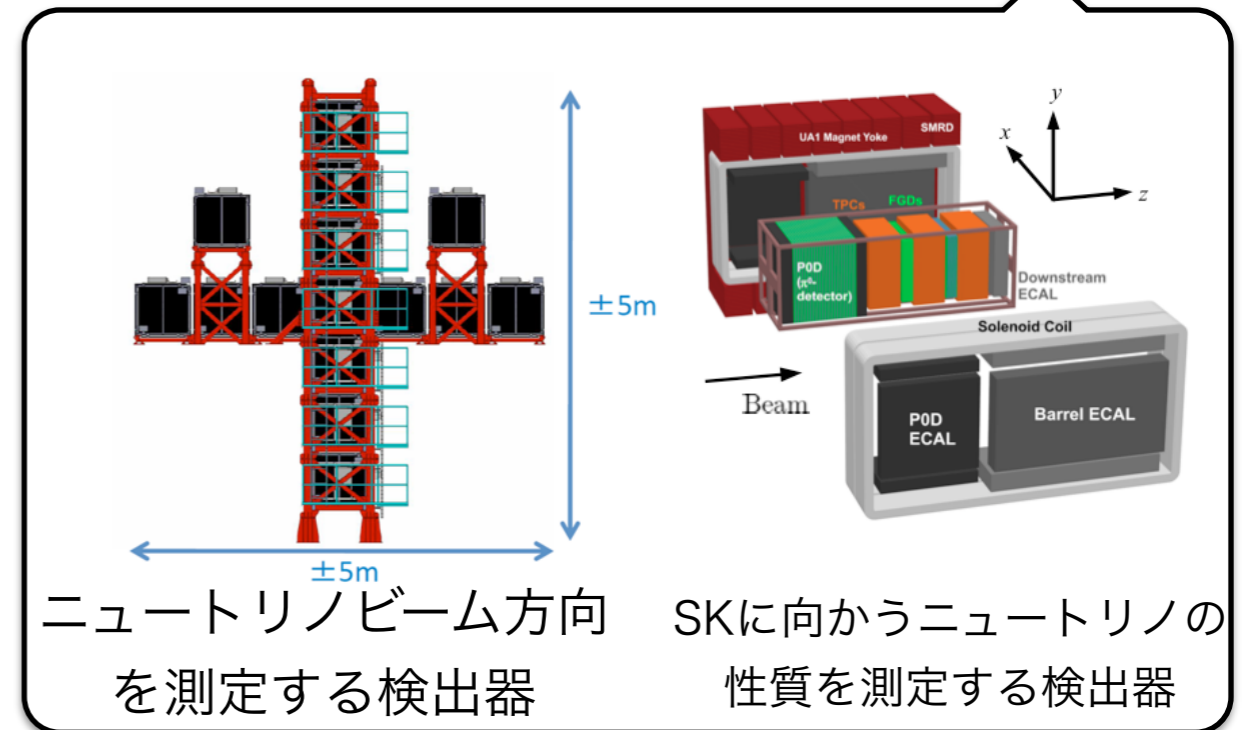
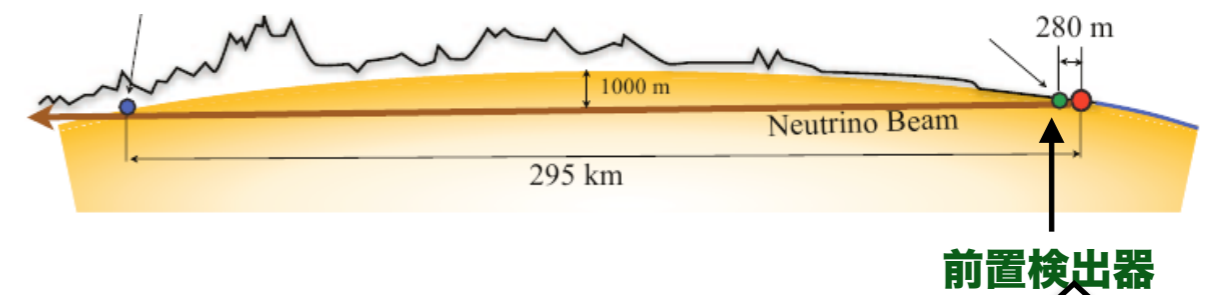


$\nu_\mu$ と $\bar{\nu}_\mu$ は同じ数変化するか??



## スーパーカミオカンデ

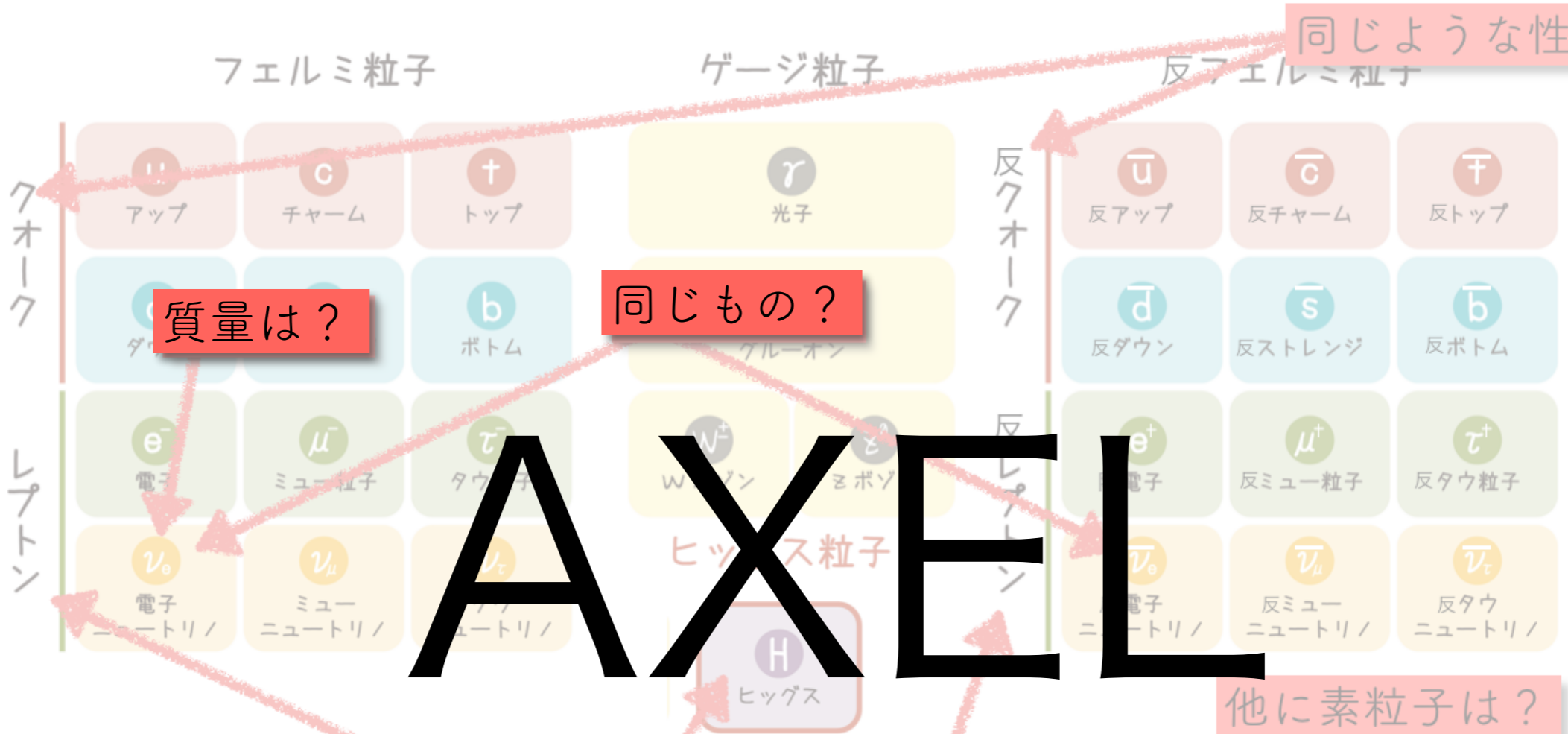
## J-PARC加速器



ニュートリノビーム方向  
を測定する検出器

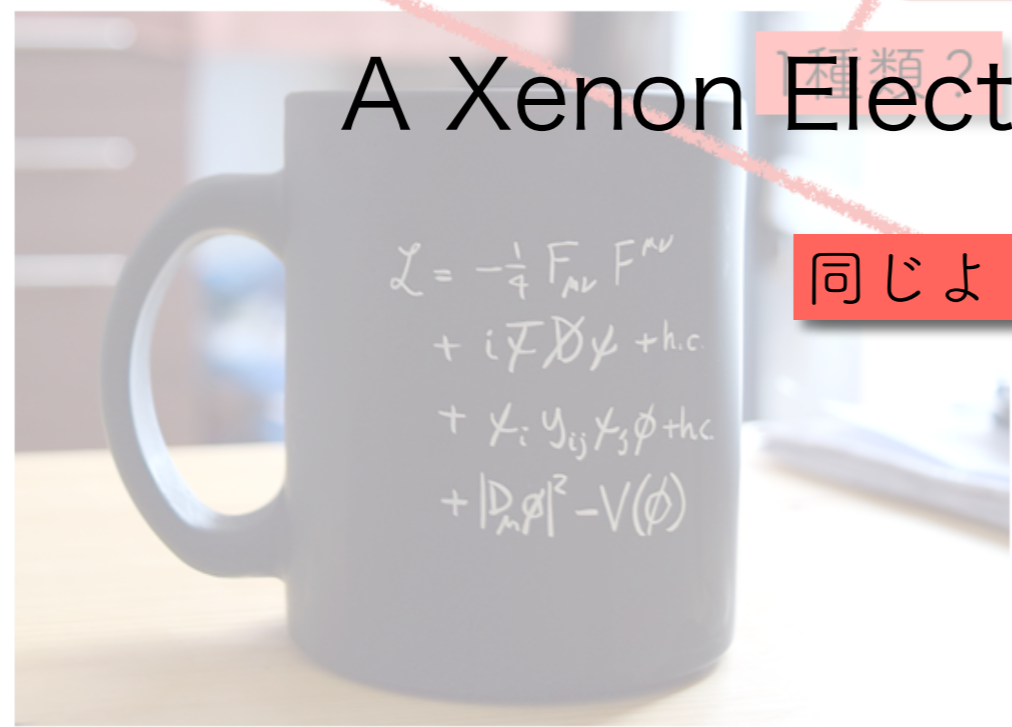
SKに向かうニュートリノの  
性質を測定する検出器

**数年以内に発見に立ち会える可能性！！**



# AXEEL

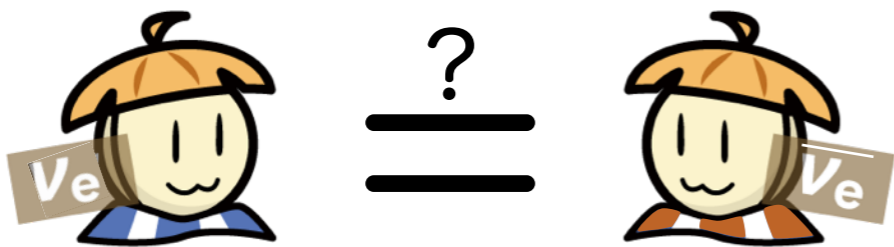
## A Xenon ElectroLuminescence



# AXEL実験とは

## 知りたいこと

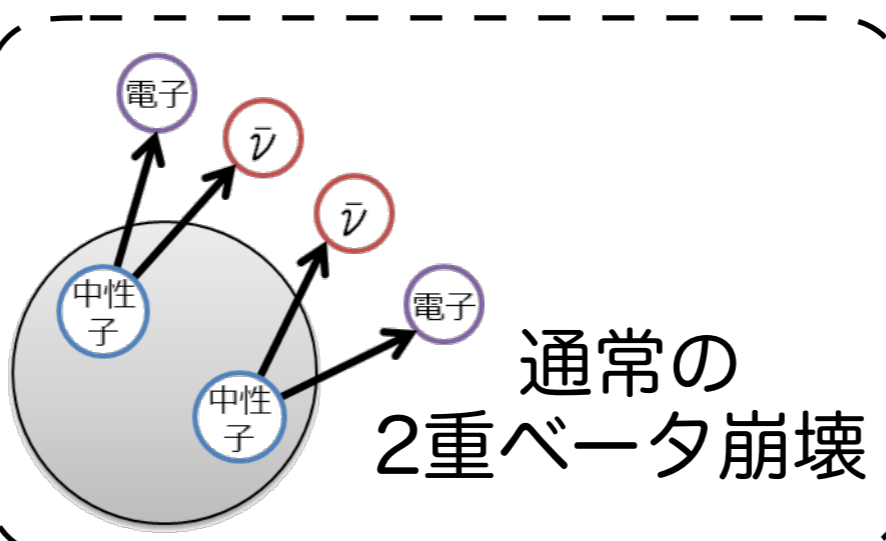
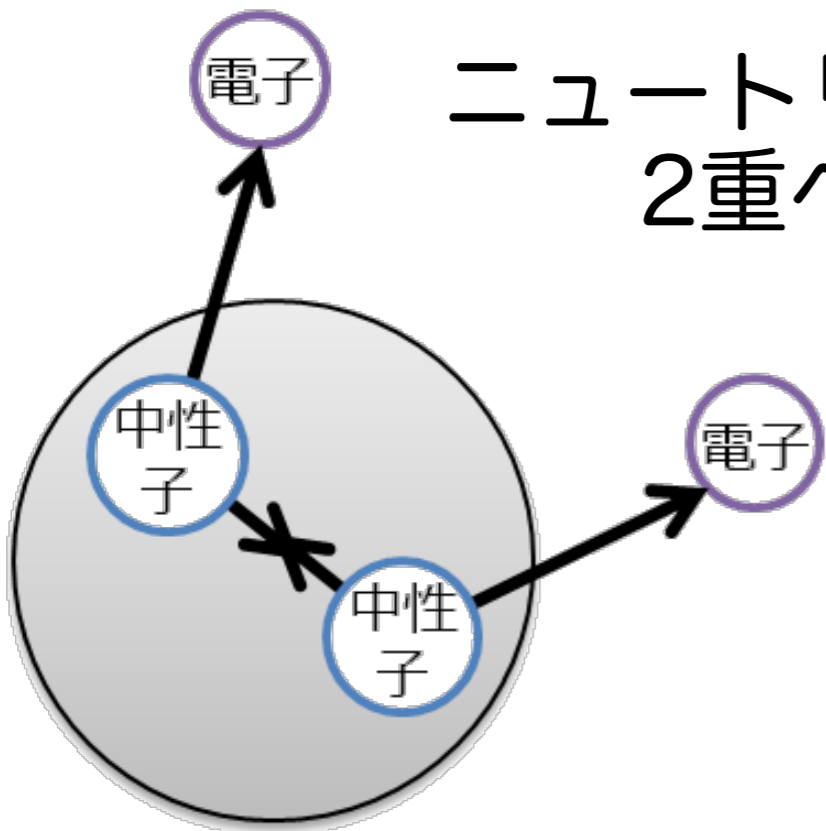
ニュートリノがマヨラナ粒子かどうか



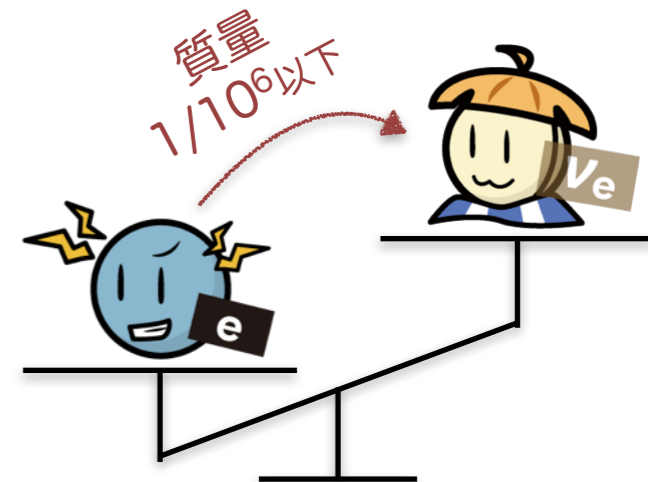
つまり、ニュートリノと反ニュートリノが同一の粒子かどうか？

## 見たいもの

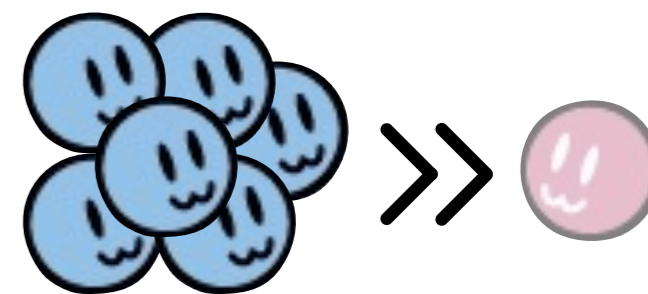
ニュートリノを伴わない  
2重ベータ崩壊



## わかること



ニュートリノが  
異常に軽い理由



宇宙に反粒子が  
ほとんど存在しない  
理由

…への第一歩

# やってること

2重ベータ崩壊は  
非常に稀な現象なので…

確実に  
識別する

高エネルギー  
分解能

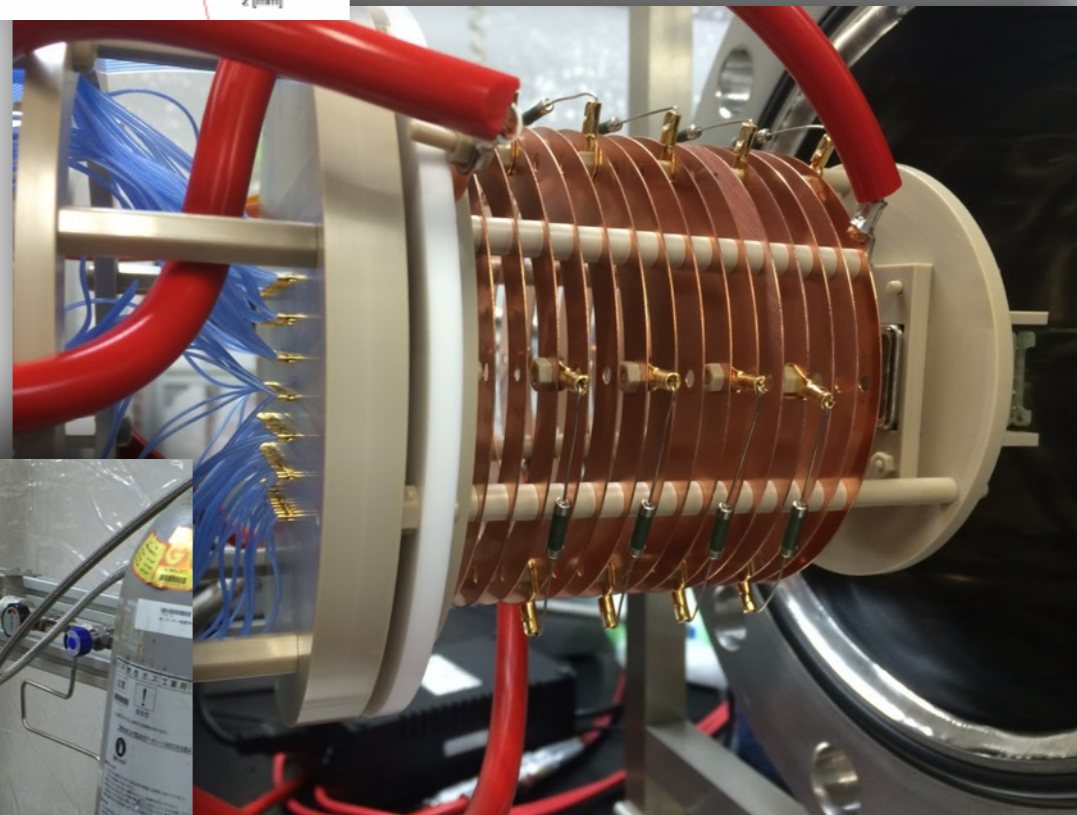
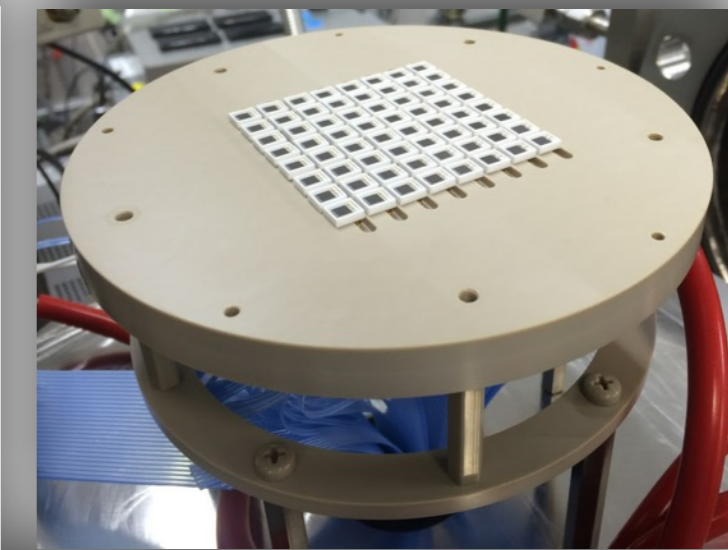
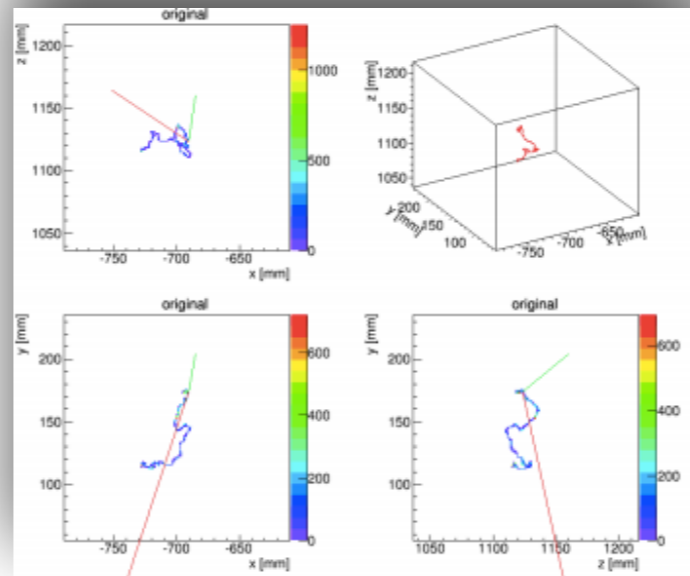
大質量

できるだけ多く  
崩壊させる

低バック  
グラウンド

間違う可能性を  
少なくする

を持った  
世界最高性能の検出器を  
作成するべく研究中!!



この後、309号室で  
実物を見られます!!



# 研究生生活など

# 高エネ研に入ってから

- 修士課程

M1前期	M1後期	M2前期	M2後期
講義・ゼミ	研究（検出器開発）		修士論文

学会                          学会                          学会

—————→ 就職

- 博士課程

本実験, データ解析 → 博士論文



2014年度  
優秀修士論文賞を受賞  
仲村さん (D2)



2011年度  
優秀修士論文賞を受賞  
木河さん (2014年度卒業)

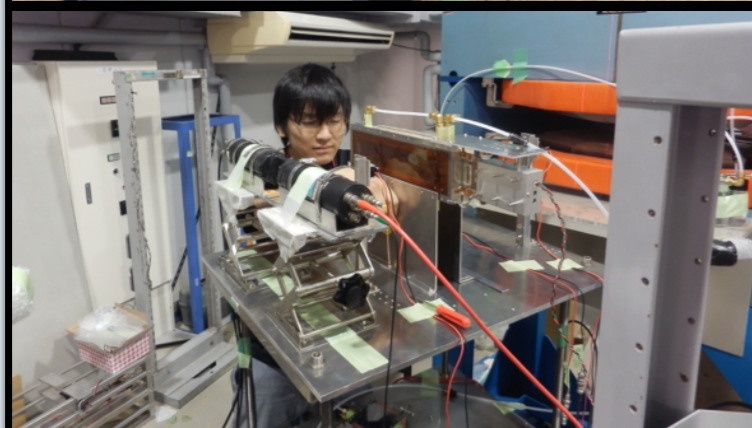
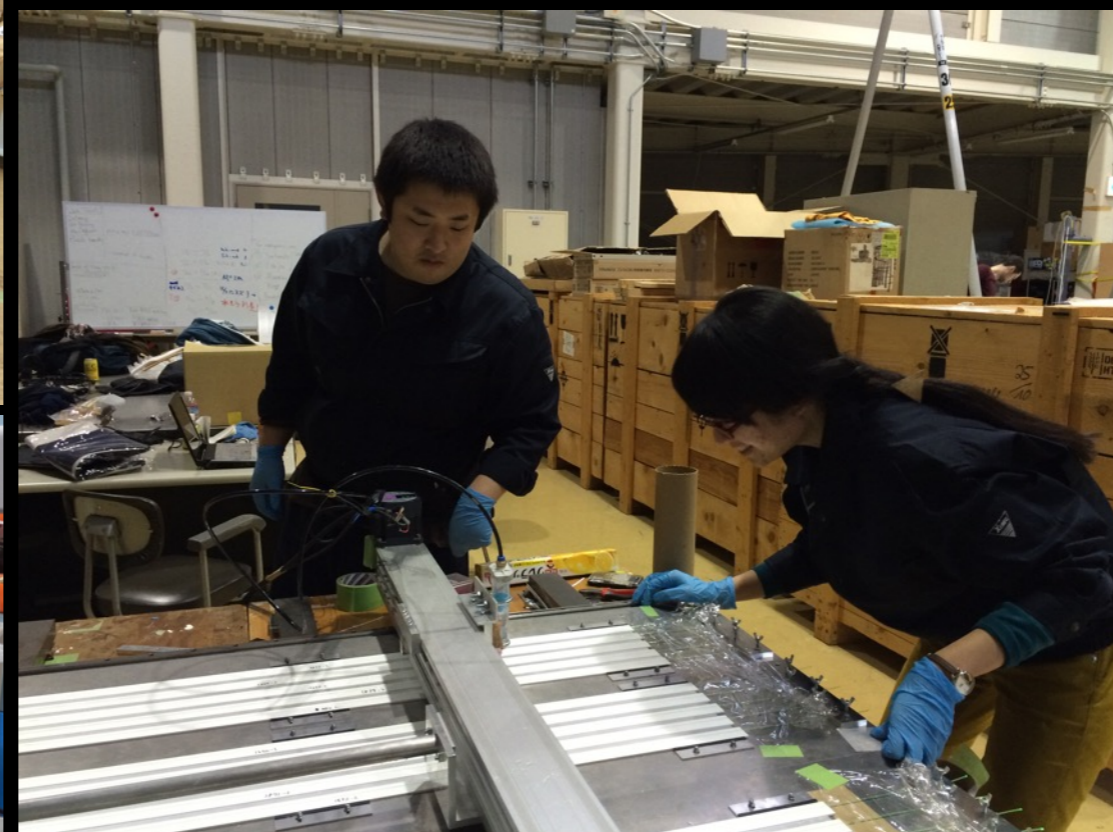
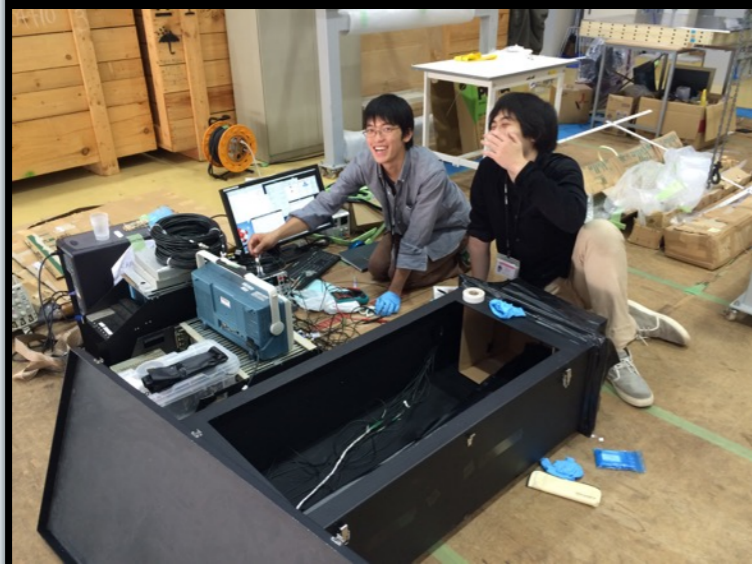
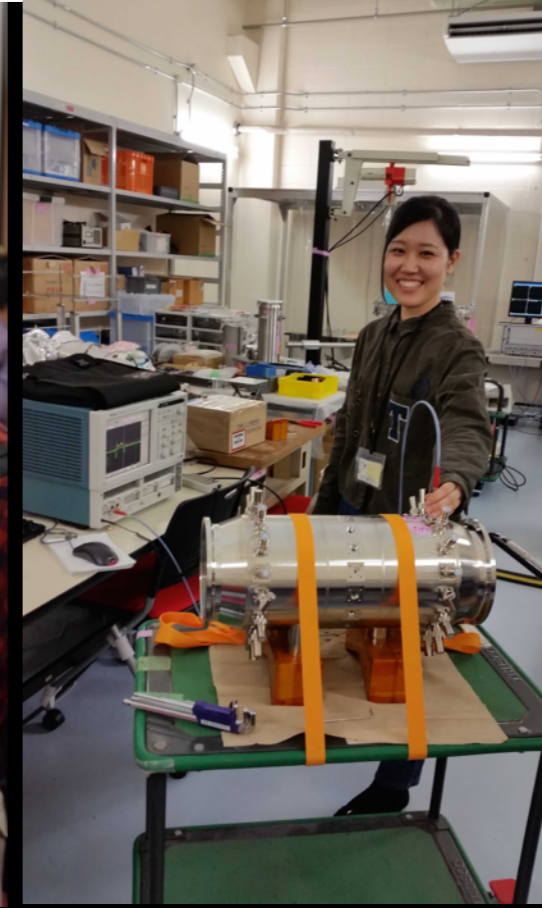
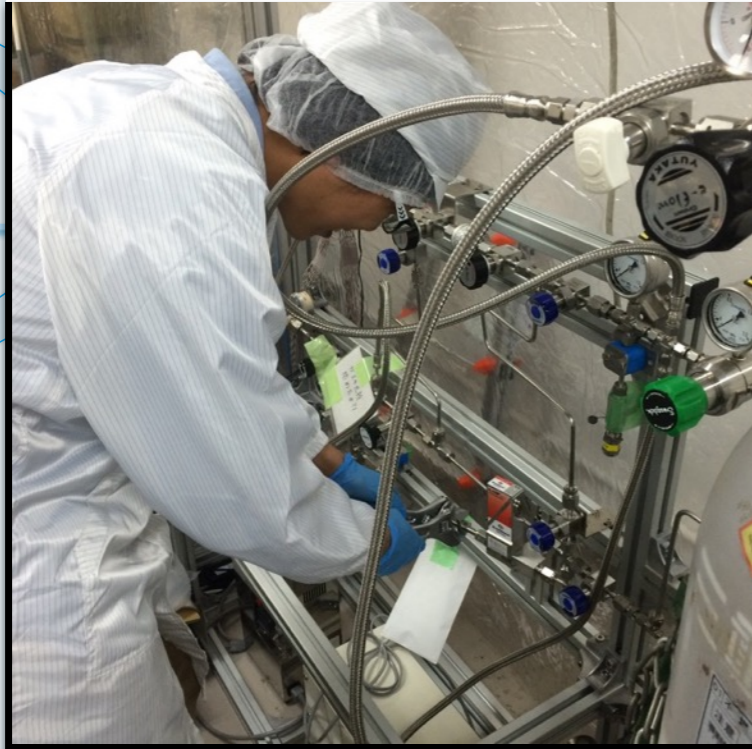


2015年度  
HUA修士論文賞を受賞  
篠原さん(D1)



2015年度  
日本物理学会若手奨励賞を受賞  
家城さん(2014年度卒業)

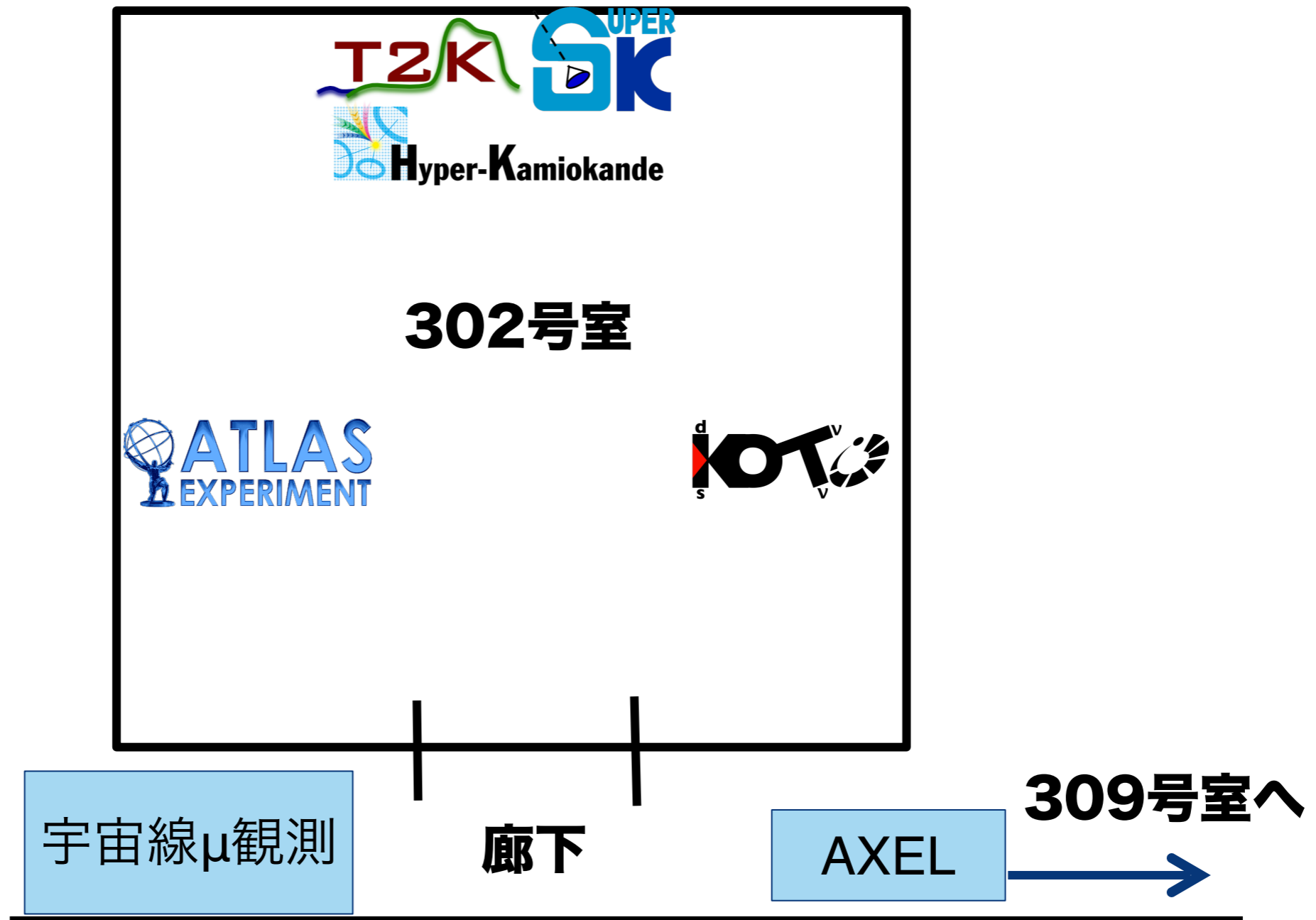
# 研究風景



このあと

興味のあるところに行って話を聞いてください！

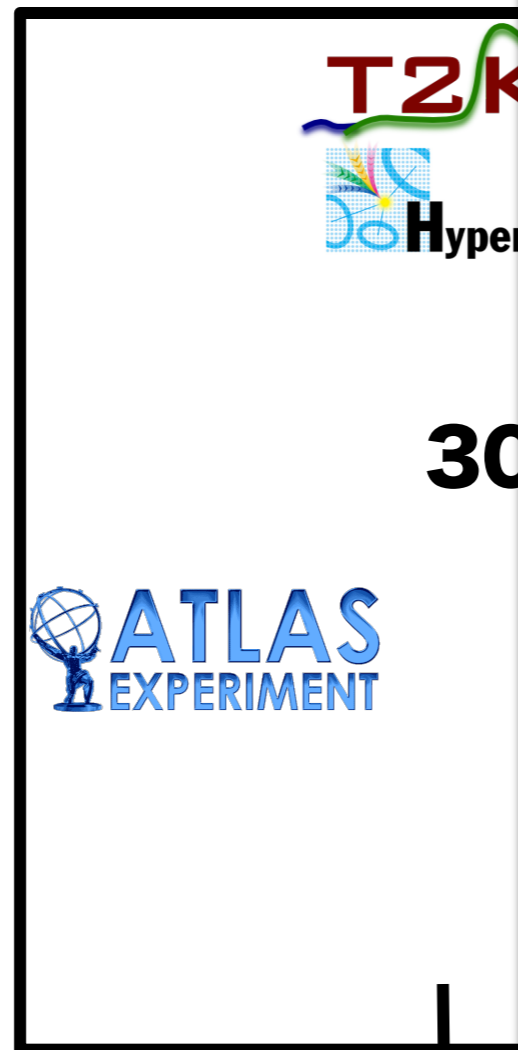
まえ





# このあと

## 興味のあるところに行



宇宙線μ観測

## 宇宙線μ検出器：EDIT

- 素粒子を体感しよう！ -

宇宙から降り注ぐ、  
今も私たちの体を突き抜ける  
宇宙線μを廊下でリアルタイムで検出中！

