

素粒子物理学 (高エネルギー物理学)

研究室紹介

1. 素粒子物理学の紹介
2. 大学院での生活
3. 各実験グループの紹介

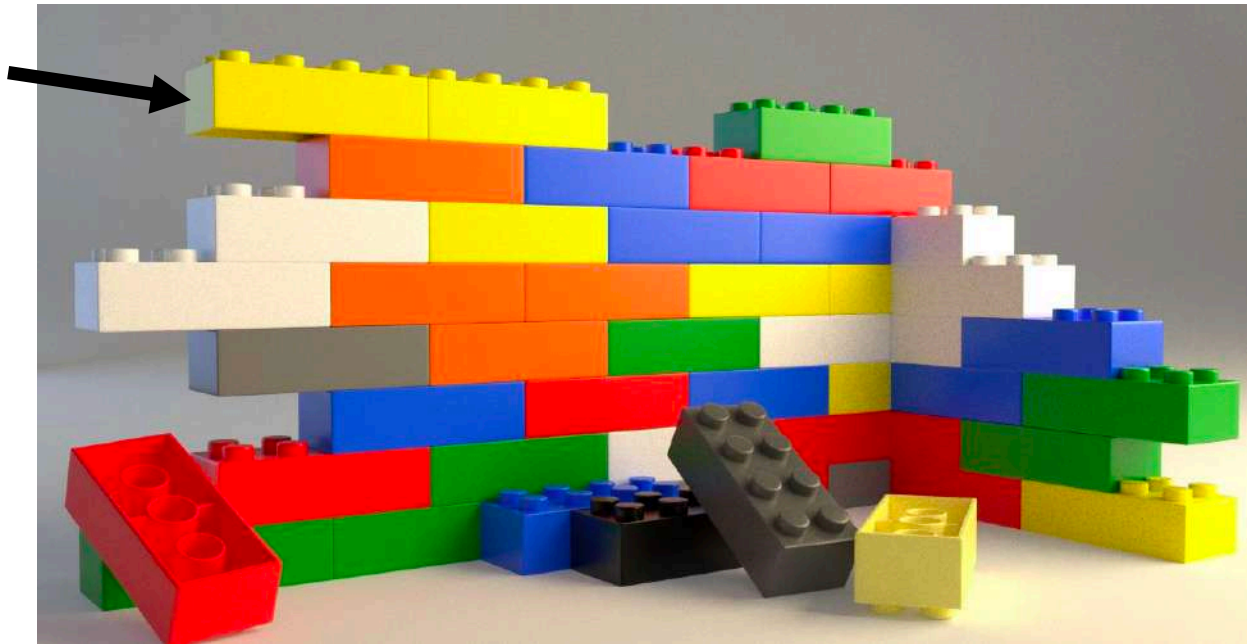
素粒子物理学とは

この世界の法則は？ この世界は何でできているのか？

→ **これらの究極の問いに挑むのが素粒子物理学！**

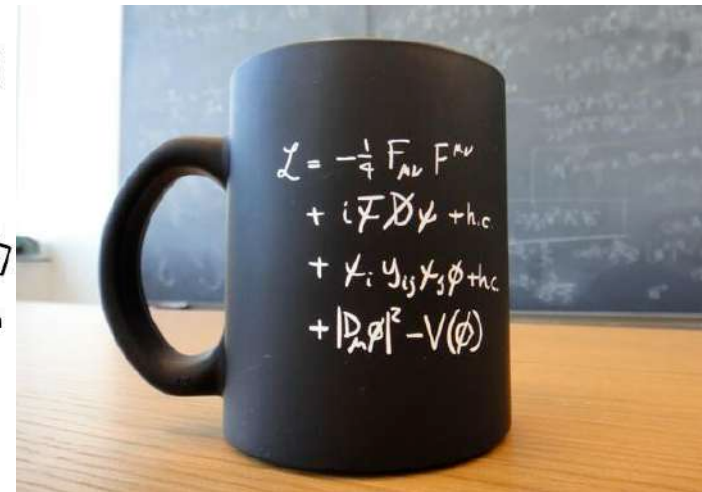
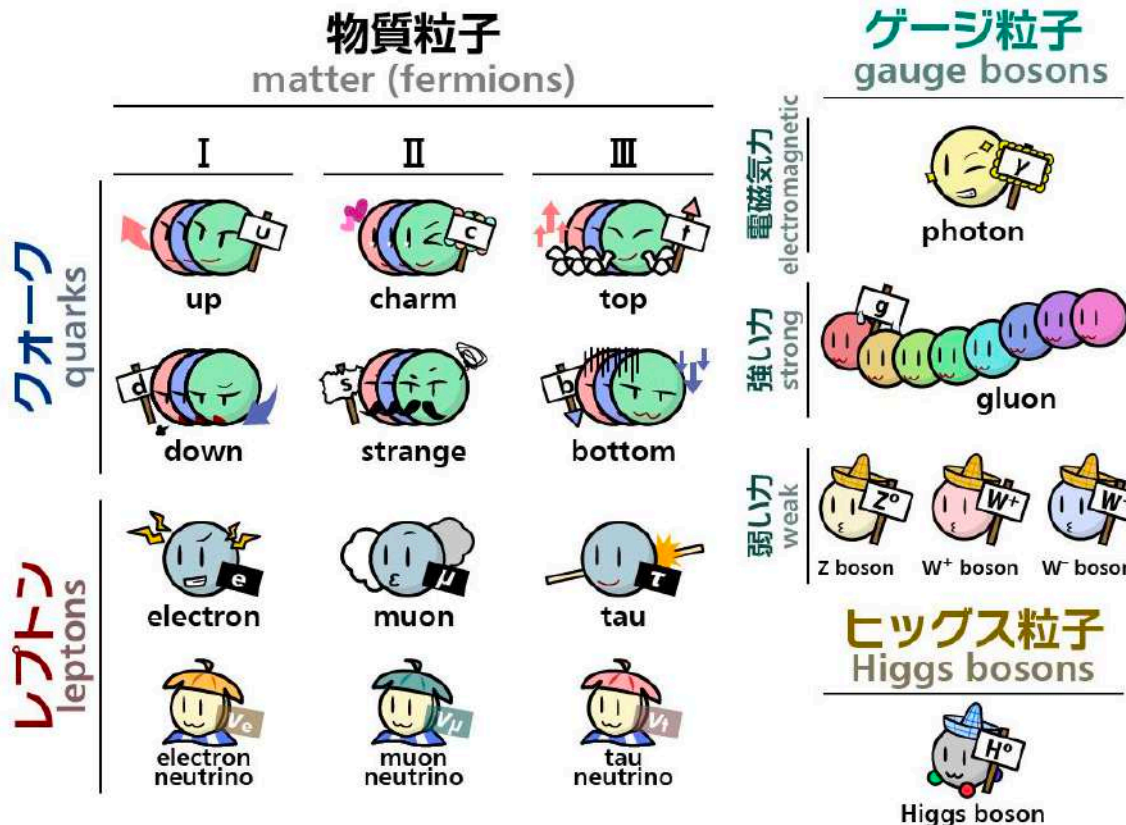
素粒子 … この世界の物質を構成する最小単位

素粒子



どのようなルールでくっついている？
(力の法則)

素粒子についてわかっていること (標準模型)

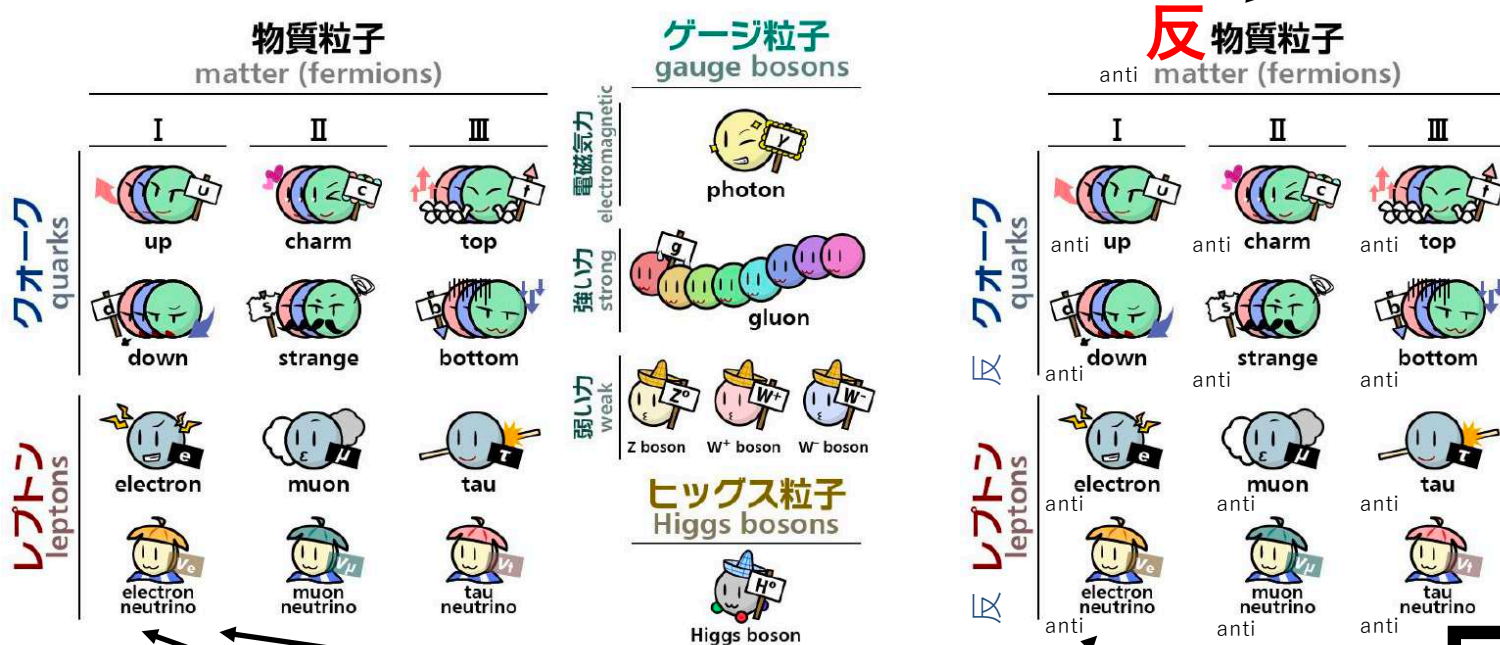


現在わかっている素粒子、力、運動の法則をまとめて記述している理論
ほぼ全ての実験、理論を説明できるすごい理論！
 → これで素粒子物理学は完成…？

素粒子についてわかっていないこと(新物理)

まだわかっていないことがたくさん！！

同じような性質？



質量は？

1種類？

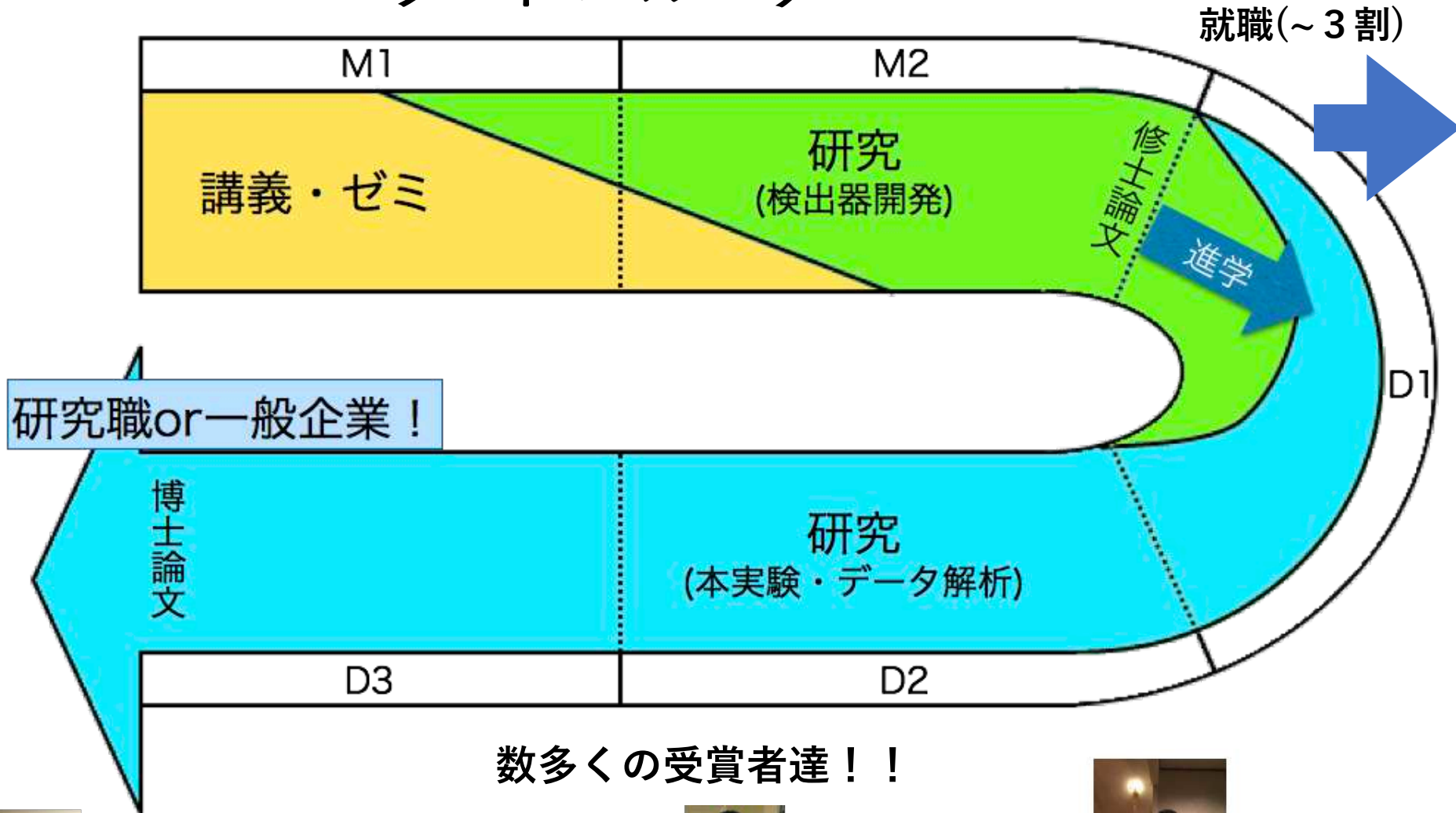
同じもの？

他に素粒子は？
重力は？
他の力はないの？
ダークマター？
などなど.....

これらの謎に実験的アプローチで挑んでいく！

→ 本研究室(素粒子物理学研究室)

タイムスケール



2015年度
測定器開発優秀論文賞
とHUA修士論文賞のW受賞
篠原(D3)



2017年度
測定器開発特別賞
吉田(D1)



2016年度
日本物理学会若手奨励賞を受賞
木河(当研究室助教)



2020年度
測定器開発優秀論文賞
池満(当研究室OB)

研究グループ紹介

この後4つの実験グループ紹介

1. ATLAS
2. CMB
3. T2K/SK
4. AXEL

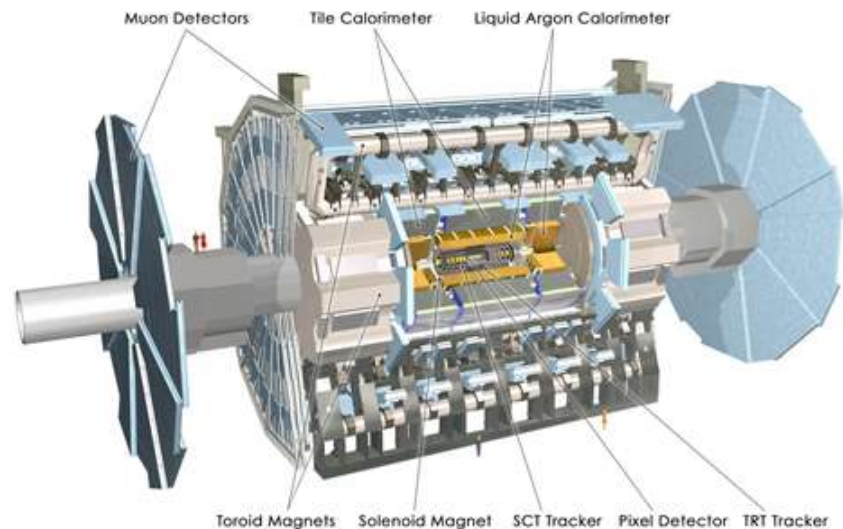
時間内にできなかつた質問はチャットでの質問と質問受付サイトで受け付けます

研究室ホームページ <https://www-he.scphys.kyoto-u.ac.jp/faq/index.html>

ATLAS 実験紹介

ATLAS 実験 @ LHC

- 標準模型の検証、新物理の探索を目的とした汎用実験
- CERN の LHC 加速器を用いて、**世界最高エネルギー**で陽子同士を衝突させ、新粒子を生成し、それをATLAS 検出器で観測する



ATLAS 検出器

(高さ 22 m, 全長 44 m)

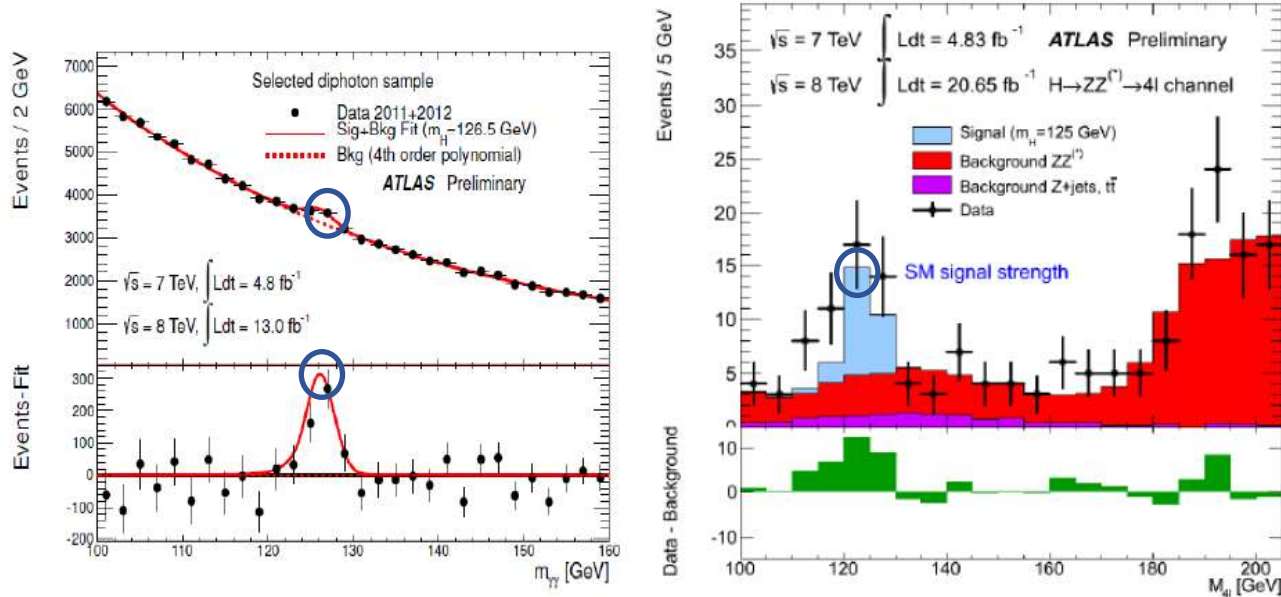


LHC 加速器

(周長 27 km, **最大重心衝突エネルギー 14 TeV**)

ヒッグス粒子の発見

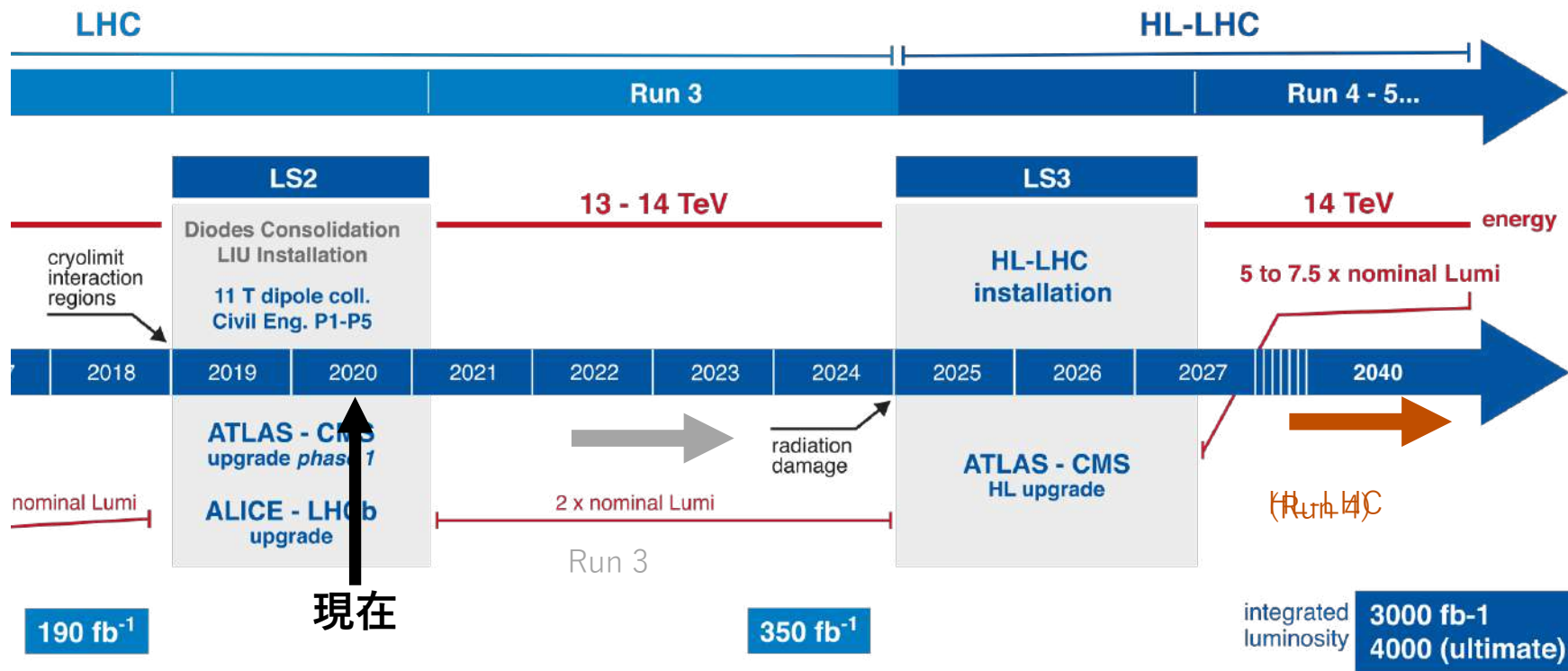
- 2012年、LHCでヒッグス粒子を発見した
- 2013年、ノーベル賞受賞！



- 標準模型が完成、これで終わり？
 - ➔ 標準模型で説明できないこと(暗黒物質など)が残っている
 - ➔ 新粒子の探索、ヒッグス粒子の精密測定など、課題がたくさん

LHC アップグレード

- 新物理の発見のため、LHC のアップグレードが行われている

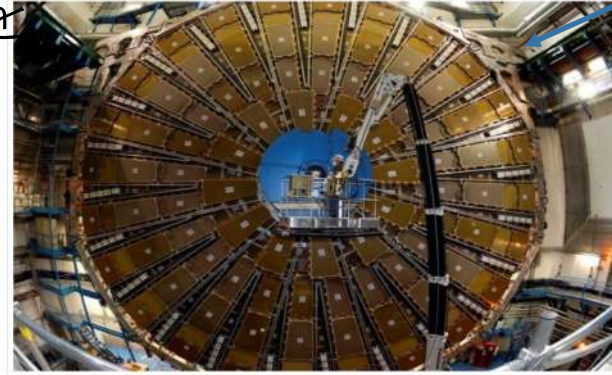
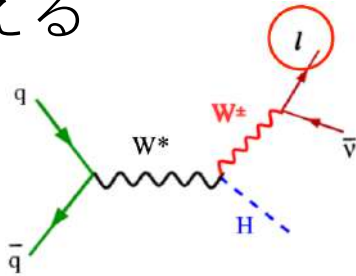


- Run 3 ではさらに高いエネルギー(13→14 TeV)で運転する予定
- HL-LHC ではさらに大統計を目指して加速器を大きく改良する
- 現在は Run 3 への準備と並行して、HL-LHC への準備も行われている

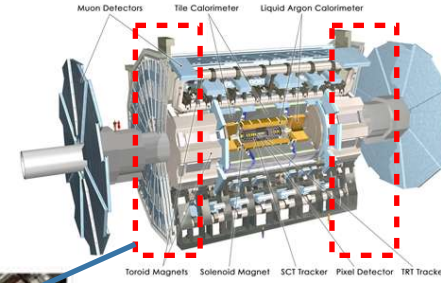
京都 ATLAS グループで研究していること

○ ミューオントリガーの性能向上のための研究

ミュオン信号を使って
ヒッグス粒子や新粒子の生成を
確実に捉える

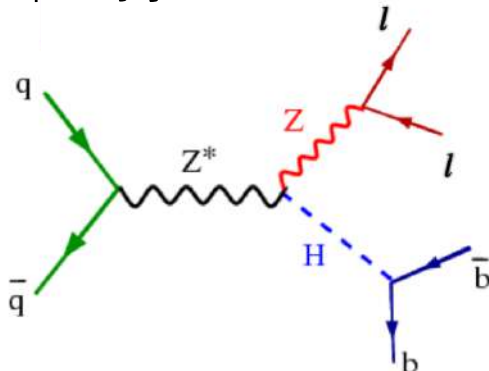


ミュオン検出器(TGC)

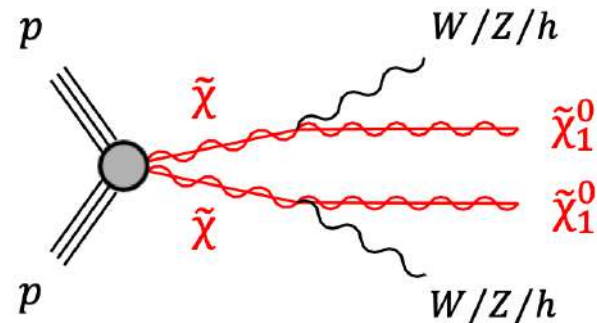


○ 新物理発見や標準模型の精密検証のための物理データ解析

自分が興味を持ったテーマに対して、様々な解析が行われている



例) ヒッグス粒子のbクォークへの崩壊測定



超対称性粒子(SUSY)の探索

京都 ATLAS グループで研究していること

- 世界40カ国から約3000人が参加する大規模な国際共同実験だが、学生一人ひとりが研究の最前線で活躍

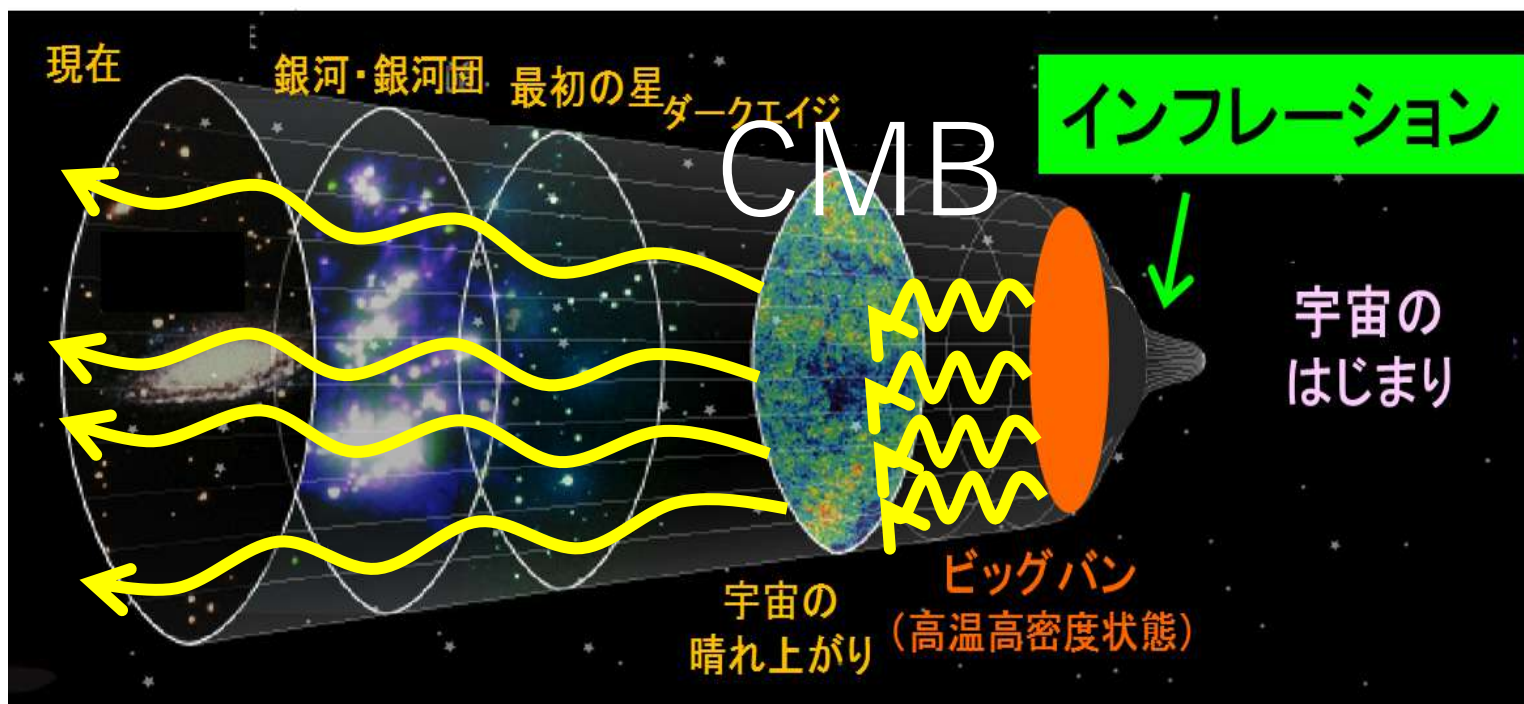
学生の作業の様子



CMB実験紹介

CMB(Cosmic Microwave Background radiation)とは？

- 宇宙背景放射と呼ばれる、観測できる**最古の光**
- 全ての方向でほぼ同じ温度(2.725K)である
- しかし、わずかな温度異方性($0(10^{-5})K$)が存在する

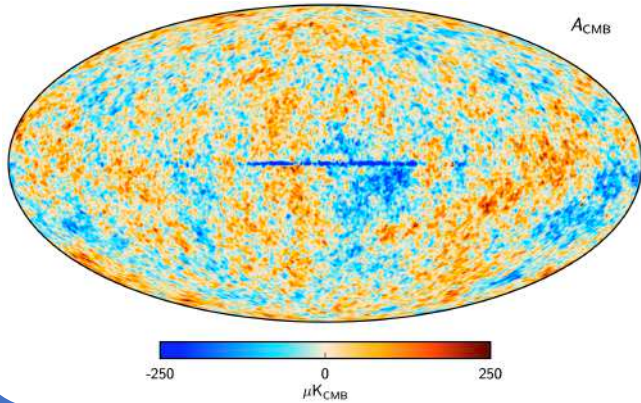


CMBの温度異方性が宇宙解明の鍵！

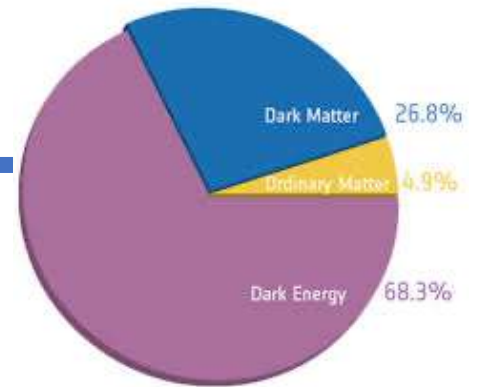
CMBで何がわかる？

無偏光観測

Credit: ESA/Planck Collaboration

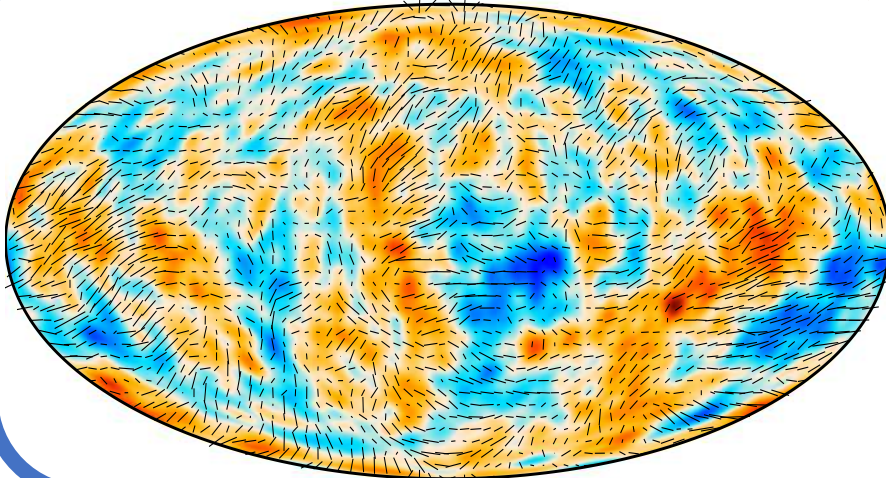


- ビッグバン宇宙論
- 宇宙論パラメータ
 - 宇宙のエネルギー密度の比



偏光観測

Credit: ESA/Planck Collaboration

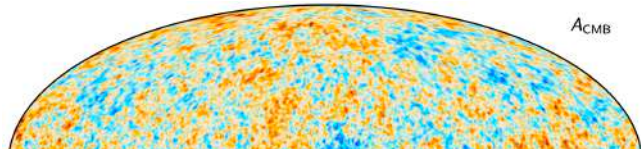


- インフレーション理論
- 重力の量子化
- 重力レンズ効果
- ニュートリノの質量和

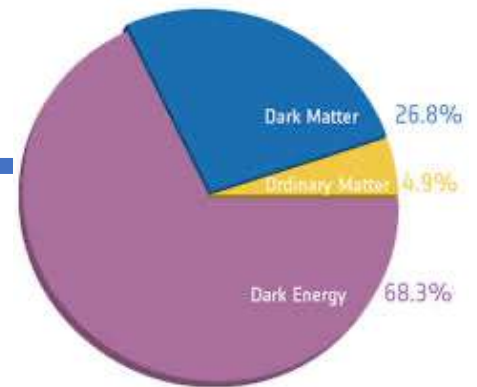
CMBで何がわかる？

無偏光観測

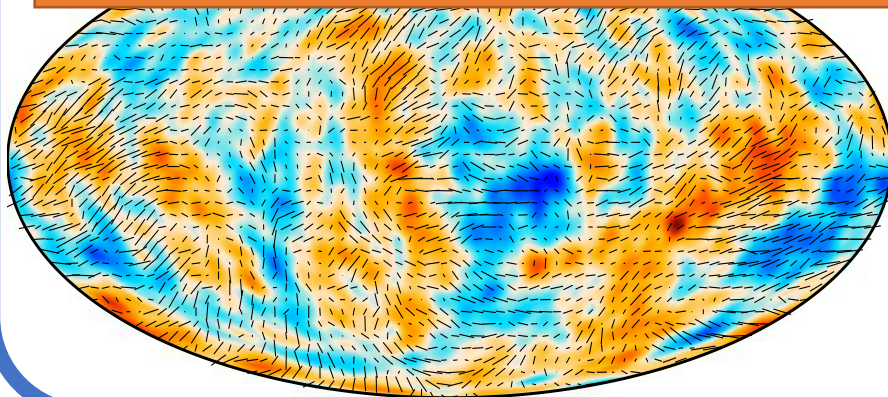
Credit: ESA/Planck Collaboration



- ビッグバン宇宙論



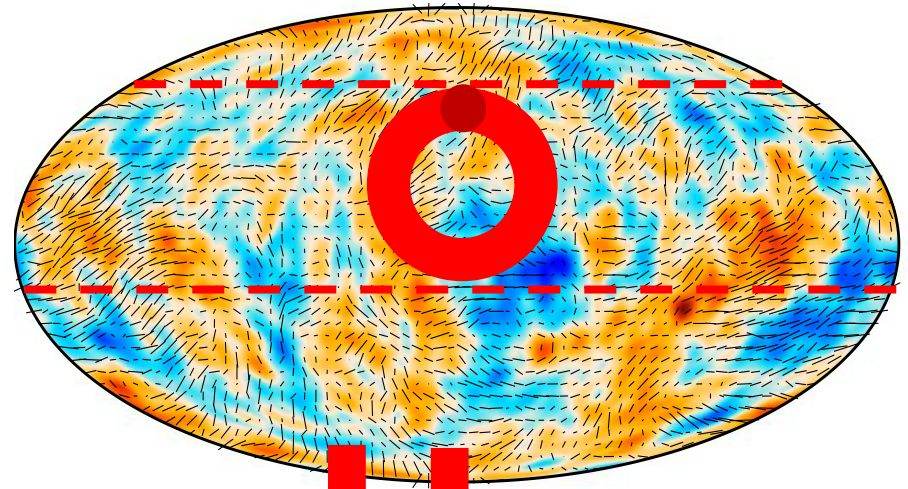
京都CMBグループでは2つのCMB偏光観測実験に注力しており、宇宙創生を支配した物理法則の解明を目指しています！



- 重力の量子化
- 重力レンズ効果
- ニュートリノの質量和

GroundBIRD

- スペイン、テネリフェ島で観測
- 超高速スキャン(3秒/1回転)
- 全天の40%の観測領域

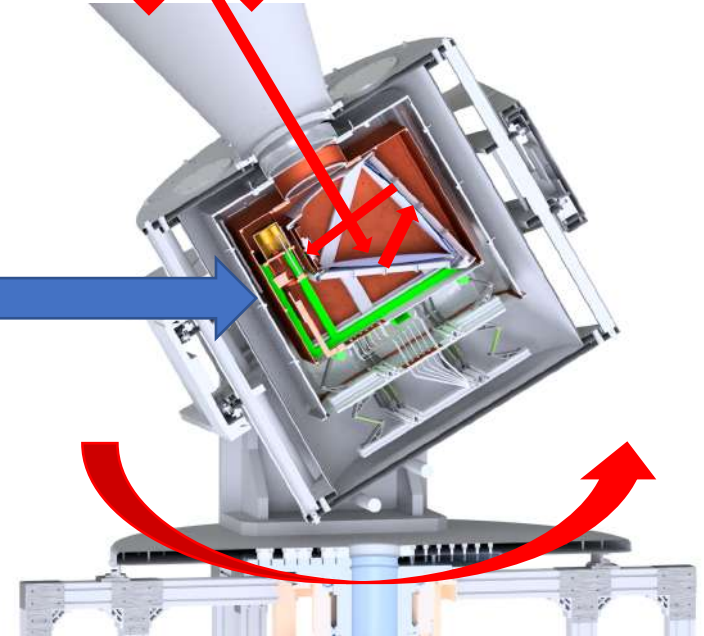
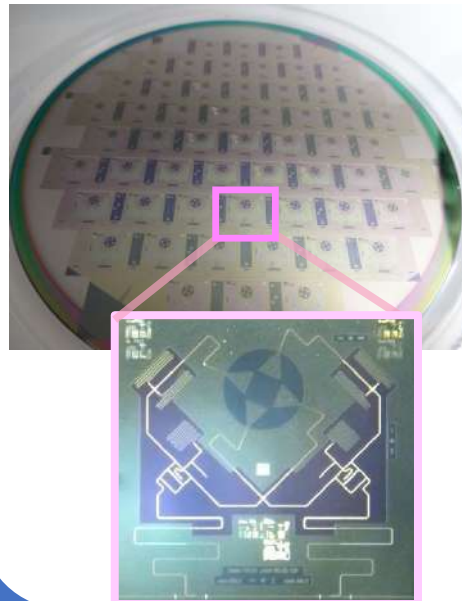


CMB

読み出し回路



超電導検出器



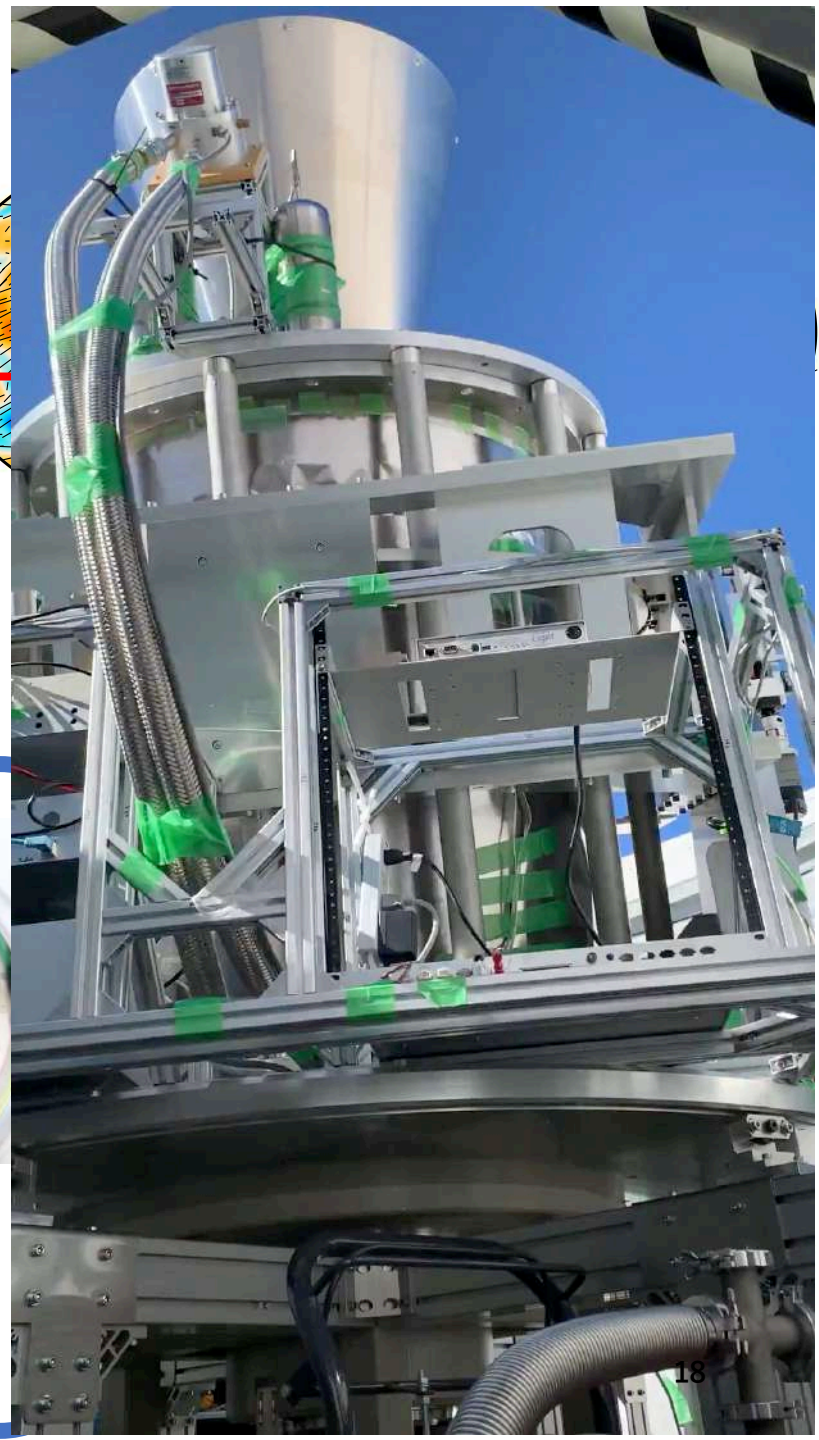
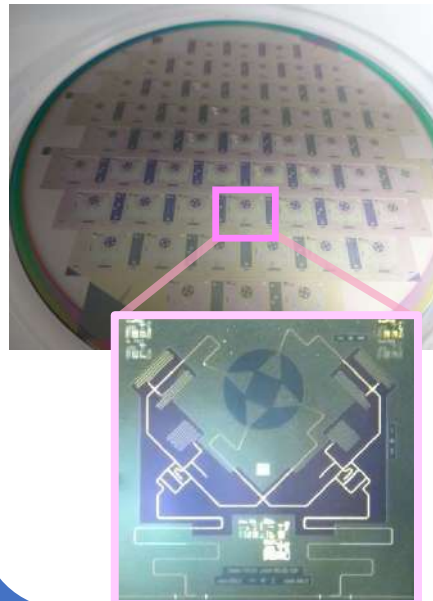
GroundBIRD

- スペイン、テネリフェ島で観測
- 超高速スキャン(3秒/1回転)
- 全天の40%の観測領域

読み出し回路



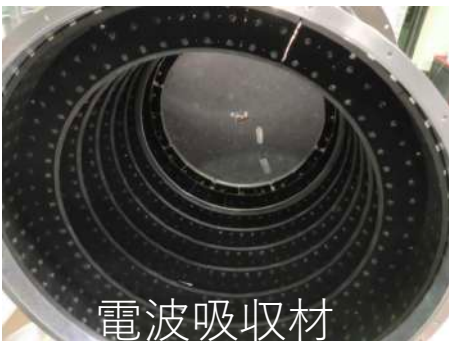
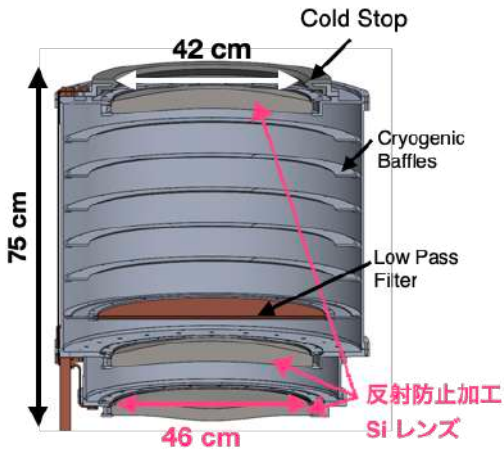
超電導検出器



Simons Observatory

- チリ、アタカマ砂漠の高地で観測
- 3つのSATと1つのLATの望遠鏡群
- 世界最大の検出器数での最高感度の測定

1K 光学筒



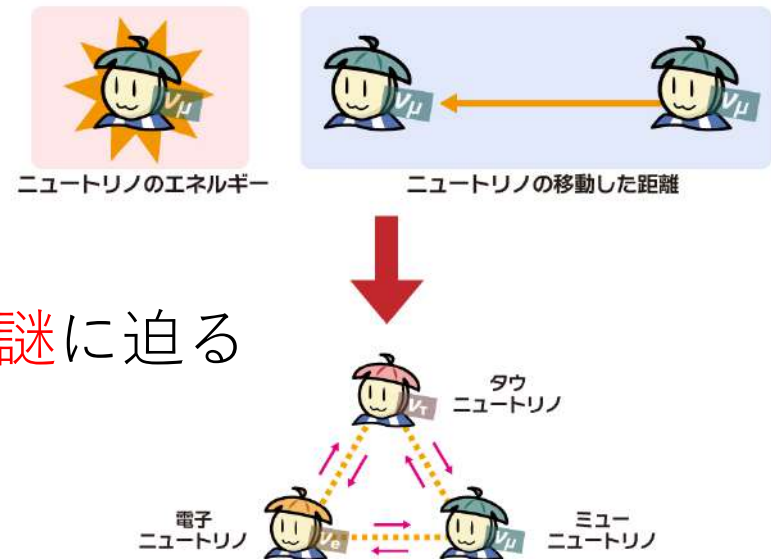
T2K/SK 実験紹介

ニュートリノ

- ニュートリノ：標準模型における中性レプトン
-> まだまだわかっていないことがある
 - ニュートリノの質量が不自然に軽い？
 - 宇宙からくるニュートリノを用いて様々な天体現象を明らかにしたい！（太陽，超新星爆発．．．）
 - ニュートリノ振動を精密に測定！
-> 加速器で生成したニュートリノビームを用いて精密な測定（後述）

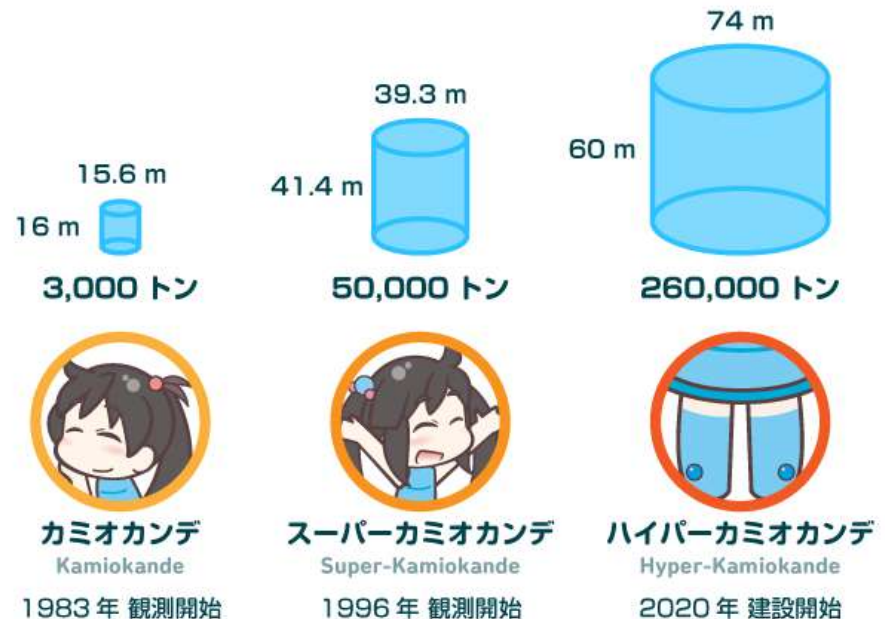
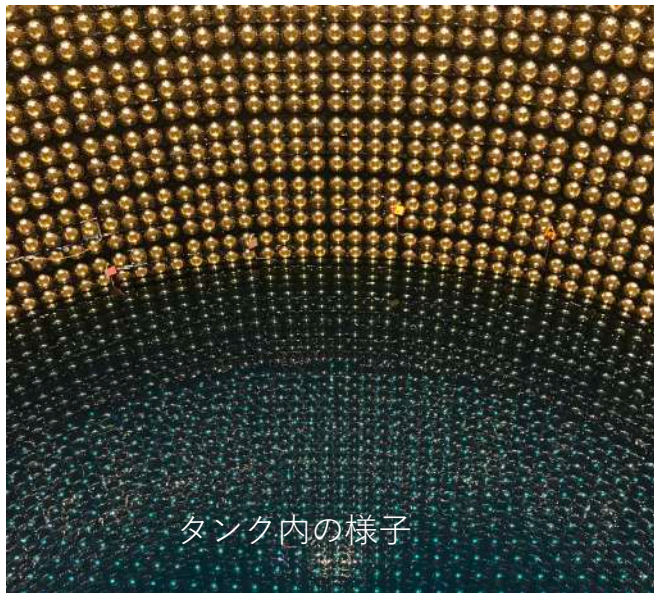
ニュートリノ振動

- ニュートリノが飛行中に種類（フレーバー）を変える現象
「ニュートリノ振動」
フレーバーと質量の固有状態が混合していることによる
- ニュートリノ質量がゼロならば起こらない
-> ニュートリノ質量の存在を発見！ **ノーベル賞**
- さらに精密測定を通して
 - 粒子と反粒子の違い
(**CP 対称性の破れ**) を測定
 - **ニュートリノ質量差や世代の謎**に迫る



SK/HK

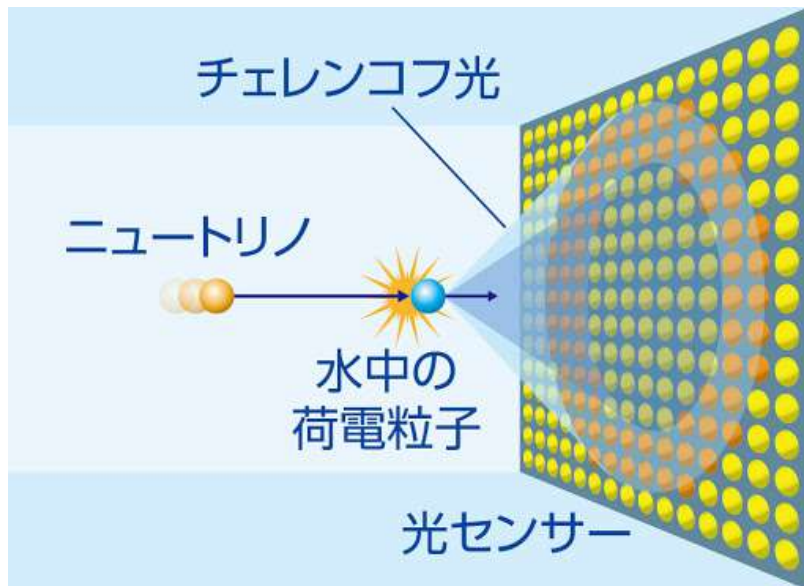
- SK: 50 kton の純水と1 万本のPMT (光検出器) を備えた日本の超大型純水ニュートリノ検出器
- ニュートリノ振動の発見でノーベル賞を受賞
- HK: SK を更に大型化した次世代計画, 昨年度建設が開始!



してること・できること

- **世界最高峰の検出器**の建設に携われる！
- 最先端の光検出器開発！
- 太陽，超新星，大気，加速器など
さまざまな場所から来るニュートリノ
を観測することができる！

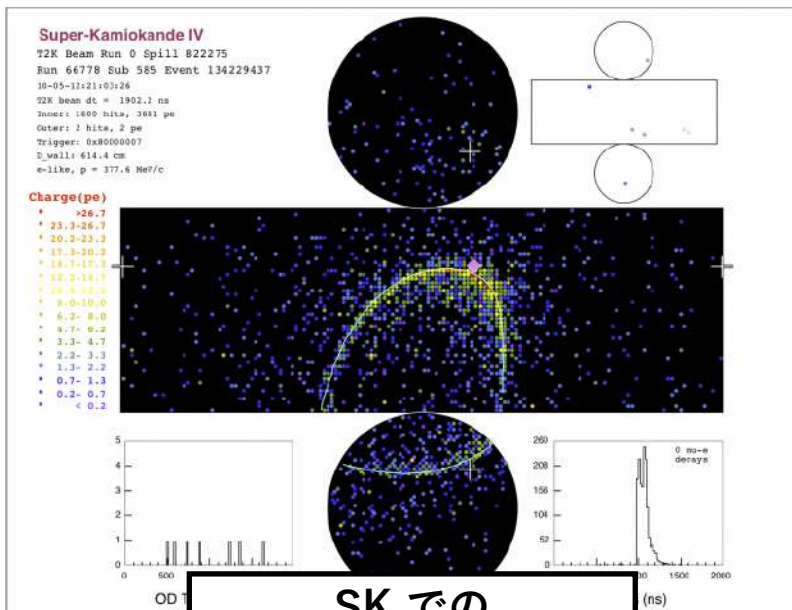
タンク内での作業の様子



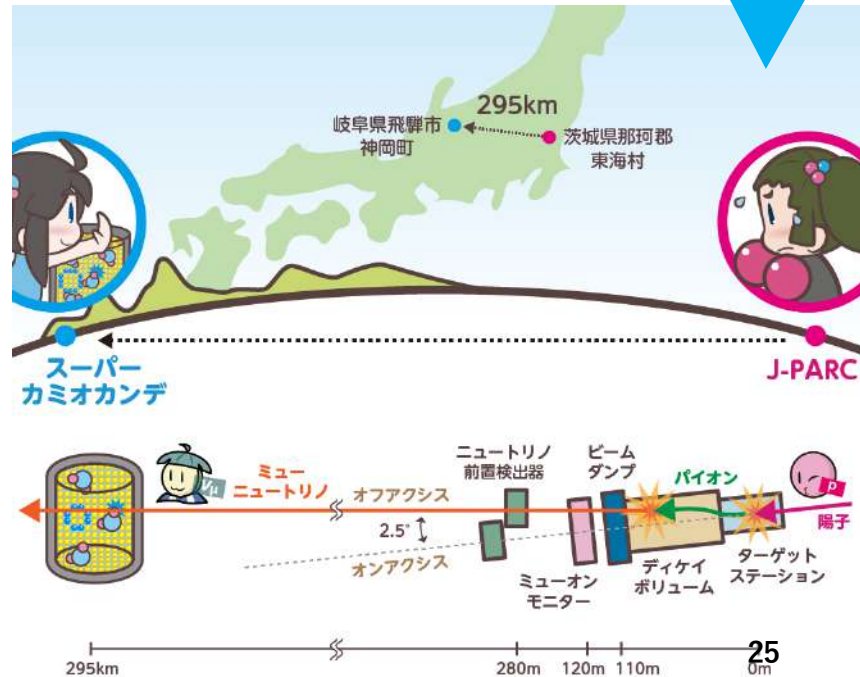
ニュートリノ振動とT2K 実験

- T2K (Tokai to Kamioka) 実験：日本で行われている世界最高精度のニュートリノ振動実験
- CP 対称性の破れの謎に迫る
- ニュートリノ世代の謎を解明する

J-PARC から
ニュートリノビームを射出
295 km 飛行する間の
フレーバーの変化を観測



SK での
ニュートリノイベント



してること・できること

- 12ヶ国，500人を超える国際実験！
その中でも京大の学生は**中心的な貢献**！！
- 検出器開発・測定・物理解析など**すべてに貢献**



作業中の学生

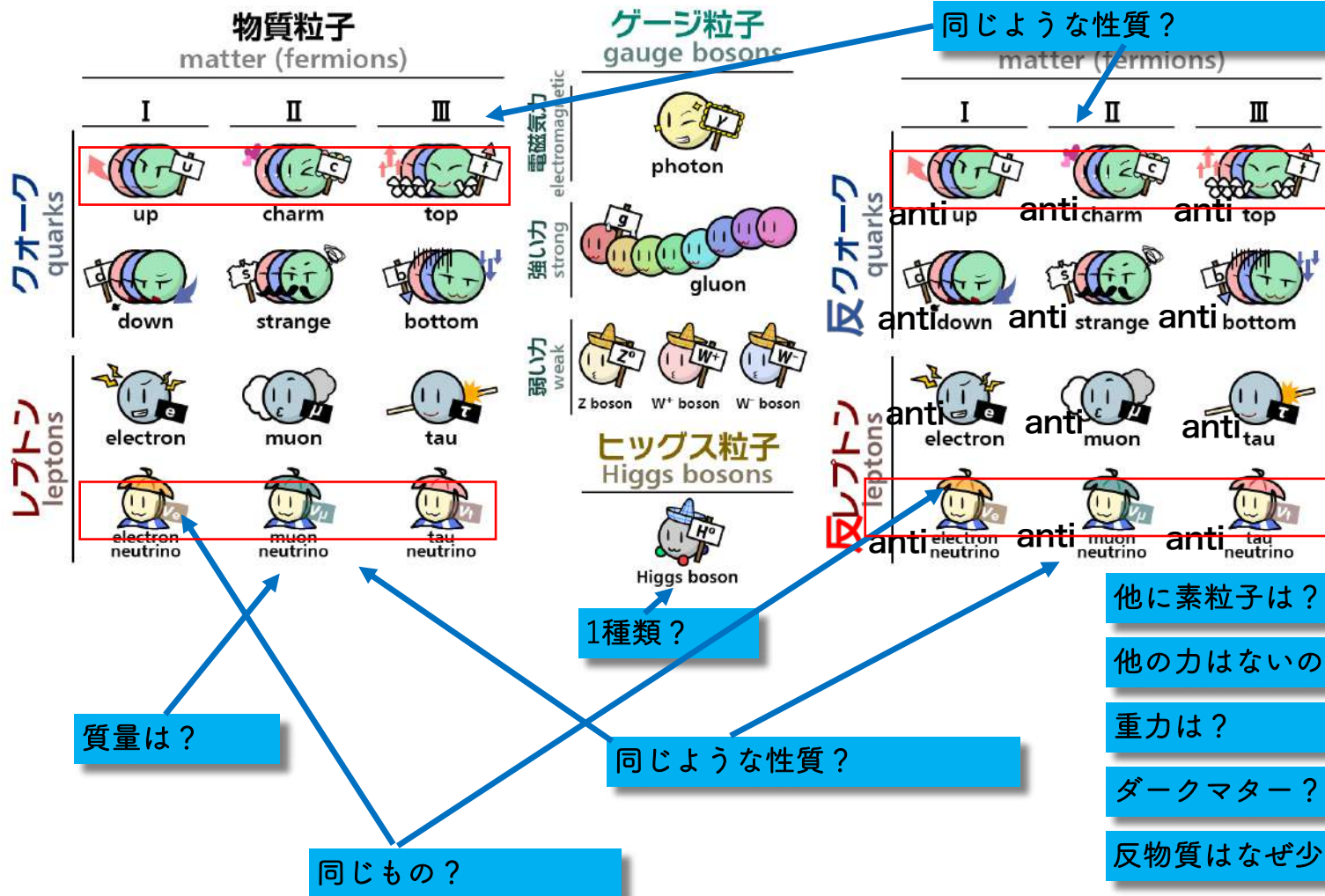


T2K メンバー集合写真

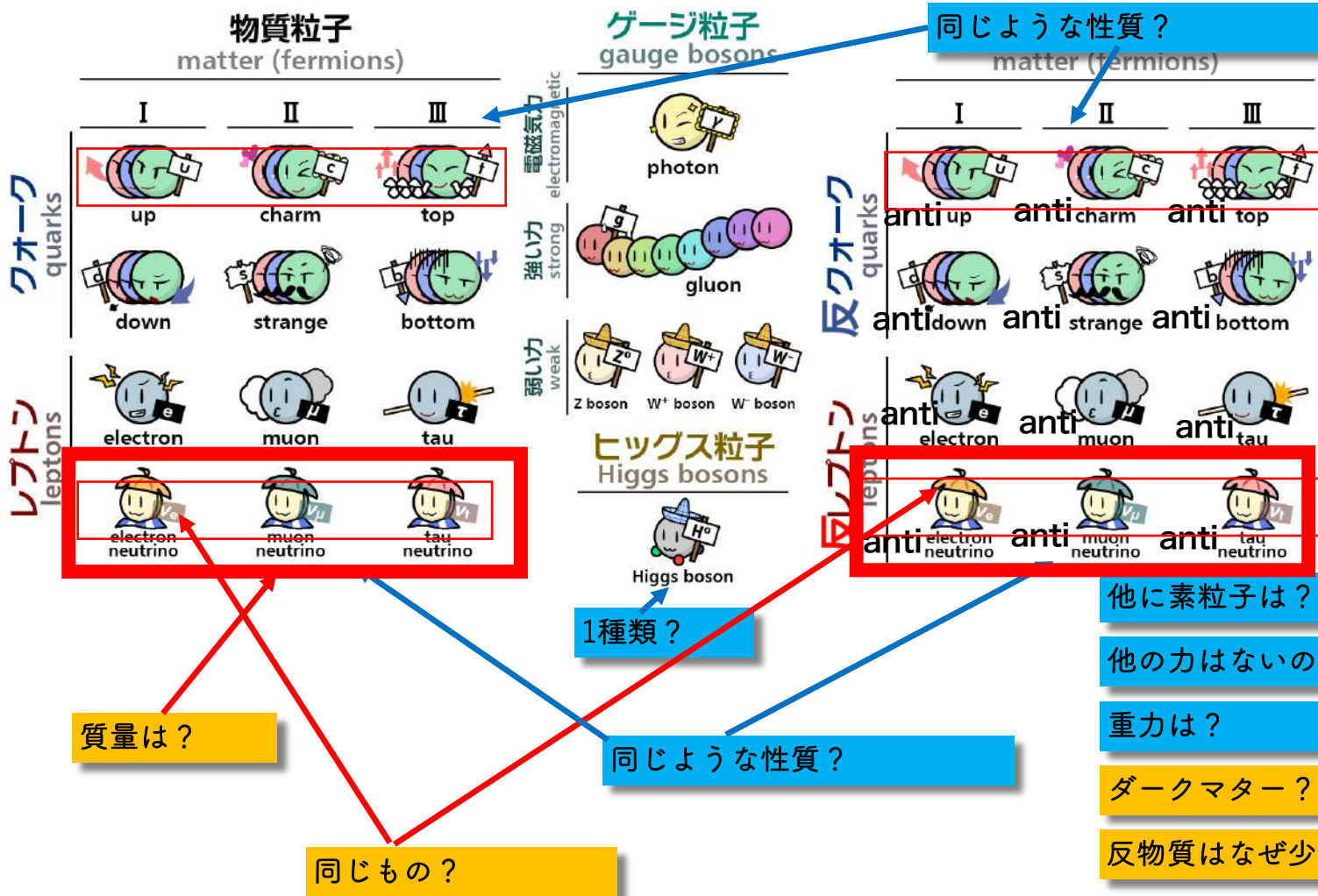
実験紹介 AXEL(あくせる)実験



素粒子にはたくさんの謎が...



素粒子にはたくさんの謎が... AXELはニュートリノの謎に迫る!
(+ α)



ニュートリノとは？



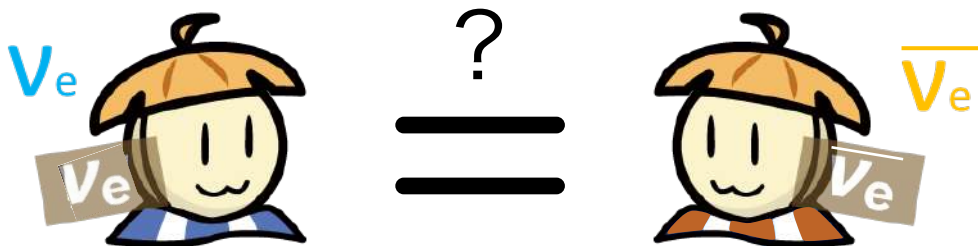
実は宇宙で光子の次に多い素粒子(標準模型中)


- ・とても軽い粒子
- ・電氣的に中性
- ・他の物とほとんど反応しない

↓
性質が謎だらけ

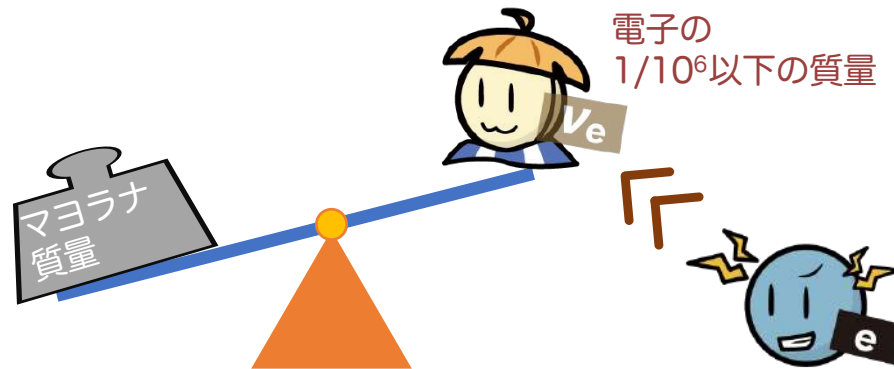
AXELのテーマ！

ニュートリノと反ニュートリノは同じもの？違うもの？



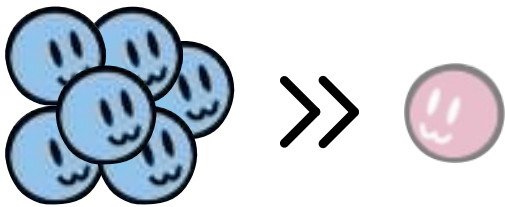
もし本当に  =  なら...

○ニュートリノが異常に軽い理由の解明？



マヨラナ粒子だけが持つ特殊な質量(マヨラナ質量)が
すごく重いのが理由かも！？ (シーソー機構)

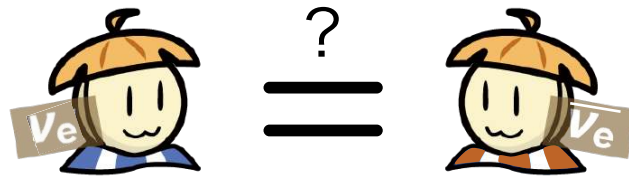
○消えた反物質の謎の解明？



粒子数保存を破る事象の
実観測が必要！？

宇宙に反物質がほとんど
存在しない理由もわかるかも…

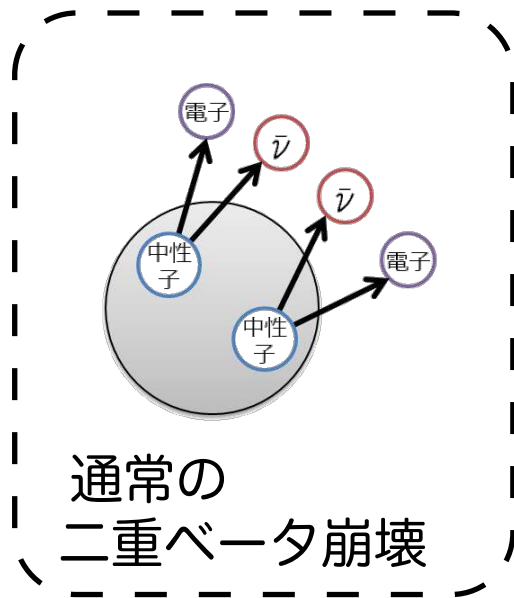
AXEL実験とは



…ニュートリノと反ニュートリノが同一の粒子かどうか？を検証する実験！

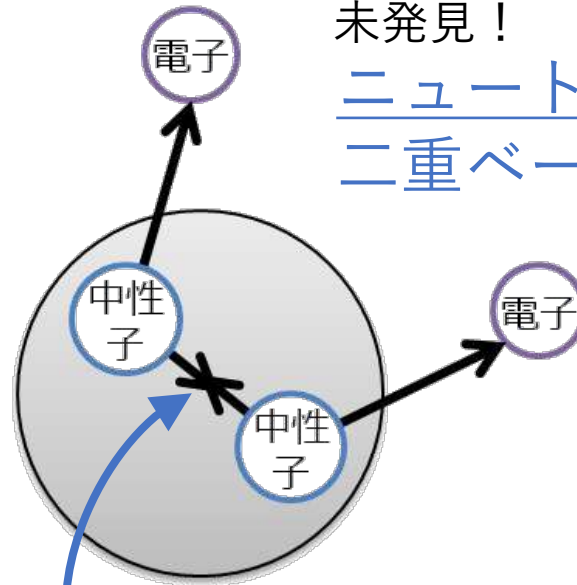
=マヨラナ粒子といいます。

どうやって？



未発見！

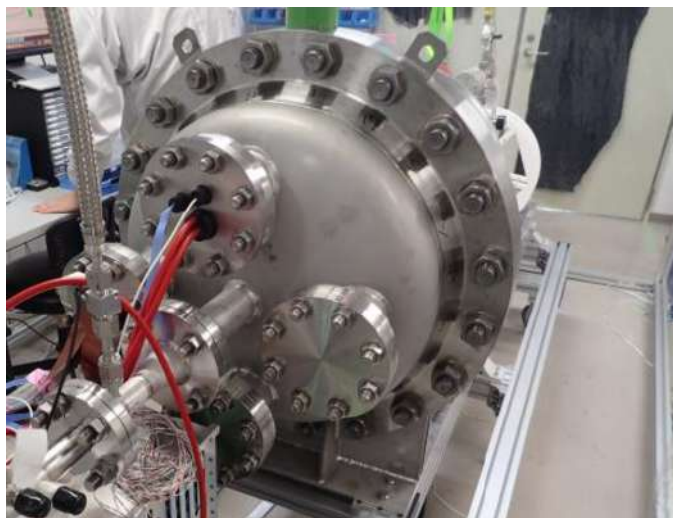
ニュートリノを伴わない
二重ベータ崩壊を探す！



反ニュートリノ同士
の(仮想的な)対消滅

= でないと起きない

AXEL180L検出器

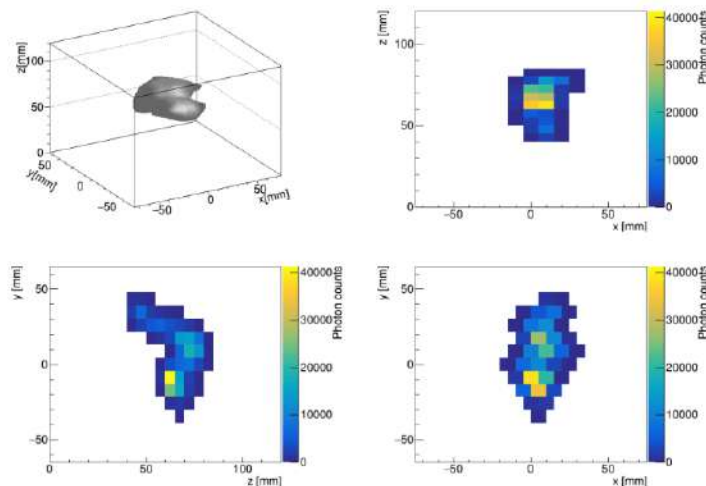
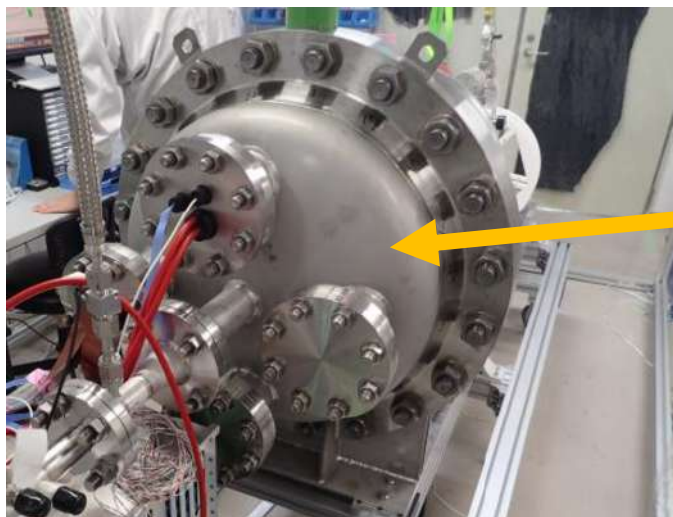


世界最高感度の検出器を
目指して研究中！！

高圧ガス **キセノン** の検出器で二重ベータ崩壊を探索

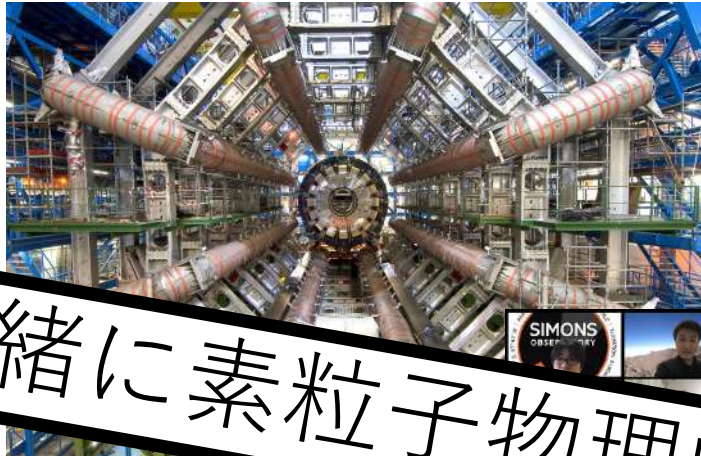
高統計 ・ 高エネルギー分解能 ・ 低バックグラウンド の実験！

AXEL180L検出器



検出器内の電子の飛跡を
3次元で観測

これからさらに大型化して二重ベータ崩壊の探索へ！！



一緒に素粒子物理学を研究しましょう！

