

### スタッフ

教授	中家 剛	ニュートリノ実験
准教授	市川 温子	ニュートリノ実験
准教授	Roger Wendell	ニュートリノ実験
准教授	田島 治	CMB実験
助教	隅田 土詞	ATLAS実験
助教	木河 達也	ニュートリノ実験

# 高エネルギー物理学 (素粒子物理学) 研究室

～高エネルギー物理学とは～

実験を通して物質の起源や宇宙の成り立ちを探究する学問。

## 素粒子実験の方向性

**高エネルギー実験**  
(高いエネルギーでの現象を見る)

ATLAS

**大強度実験**  
(たくさんの粒子を生成して、  
稀にしか起こらない現象を見る)

T2K, KOTO

**宇宙実験**  
(天体観測により宇宙の秘密を探る)

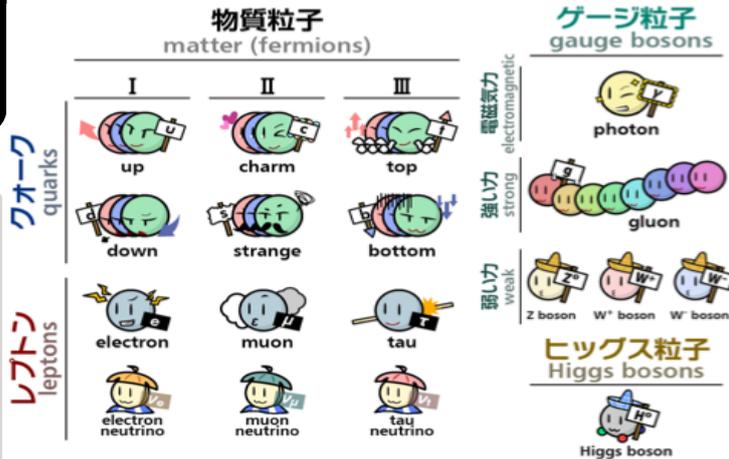
CMB実験、SK

**地下実験**  
(低バックグラウンド環境で稀な現象を探る)

AXEL実験、SK、HK

## 素粒子物理学の現状

標準模型  
電磁気学、強い相互作用、弱い相互作用のほとんどの実験結果を矛盾なく説明するが、解決すべき問題を抱える。当研究室ではこの理論を超える、新しい物理を探究している。



## 未解決問題

- ニュートリノはCPを破る？
- マヨラナ粒子？
- 反物質はなぜ少ない？
- ダークマターの正体は？
- 未発見の粒子はある？
- 力は統一される？
- 他にも相互作用はある？
- ヒッグス粒子はなぜ軽い？
- ニュートリノの質量は？
- インフレーションの起源は？

京都大学のニュートリノグループは、SK(Super Kamiokande)実験、HK(Hyper Kamiokande)実験、T2K(Tokai to Kamioka)実験を進めている。ニュートリノがスーパーカミオカンデのような超大型の検出器を必要とするのはなぜか。ニュートリノは、弱い相互作用と重力相互作用しかしないため、反応確率がとても小さいからである。また、ニュートリノ振動といった不思議な性質を持っている。そんなニュートリノを捕まえて研究するのが、以下のニュートリノ実験である。

Super-Kamiokande



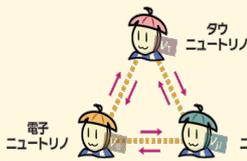
Hyper-Kamiokande



Tokai to Kamioka

## ニュートリノ振動とは？

3種類のニュートリノ( $\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$ )が飛行中に種類を変えること。  
ニュートリノ振動の発見によって、ニュートリノに質量があることがわかった。



## ニュートリノ振動から判明する未解決問題(例)

- レプトンのCP violation (粒子・反粒子の性質の相違) \*95%の確からしさで観測(2017年8月)
- ニュートリノの質量階層性 \*ニュートリノ質量が ( $m_1 < m_2 < m_3$ )なら順階層 ( $m_3 < m_1 < m_2$ )なら逆階層

## 飛んでくるニュートリノ

- 加速器ニュートリノ →レプトンCP破れの探索
- 大気ニュートリノ →質量階層性
- 天文ニュートリノ →宇宙の歴史や太陽活動

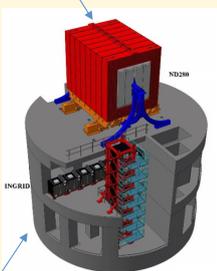


J-PARC陽子ビームで作られたニュートリノをSKへ  
ニュートリノ振動の解析を中心に、レプトンにまつわる未解決問題の解答を与えようとする実験。

## 京都大学の研究内容

- J-PARC加速器のパワーを上げるための研究
- ニュートリノビーム方向測定器(INGRID/MUMON)の管理・運用・アップグレード研究
- 新しい前置検出器(ND280)の開発研究
- 後置検出器(Super-Kamiokande)における新しい解析手法の開発

ND280検出器

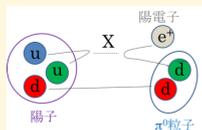


INGRID検出器



飛んでくるニュートリノを捕まえて、それを飛ばした物質の研究を行う。

- SK実験ではニュートリノ以外に、当初の予定であった大統一理論を検証する陽子崩壊の探索も行なっている。  
 $p \rightarrow \pi^0 + e^+ \rightarrow 2\gamma + e^+$
- 超新星爆発の観測も行っている。



## 京都大学の研究内容

大気ニュートリノを用いた質量階層性の解析  
地球の裏側から飛んでくるニュートリノの種類から質量階層性が決定される。

どれもT2K実験において中核をなす研究で、学生が中心となって研究を行っている！

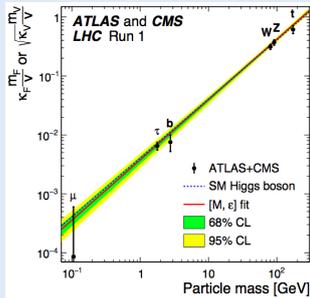
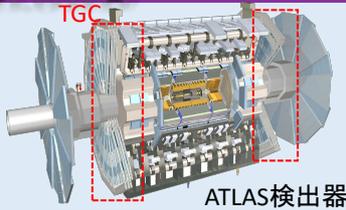
# ATLAS group

## ATLAS実験とは

◆ 世界最大エネルギー(重心13TeV)を誇る LHC による陽子-陽子衝突事象を観測する実験

## ◆ 目標とする物理

- Higgs 粒子の精密測定
  - ・ 2013年 Higgs 粒子の発見によりノーベル賞受賞!
  - ・ 結合定数をより正確に測ることで標準模型の検証を行う!
- 標準模型を超えた新しい物理の探索
  - ・ **新粒子**を探す!!

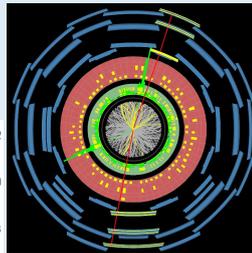
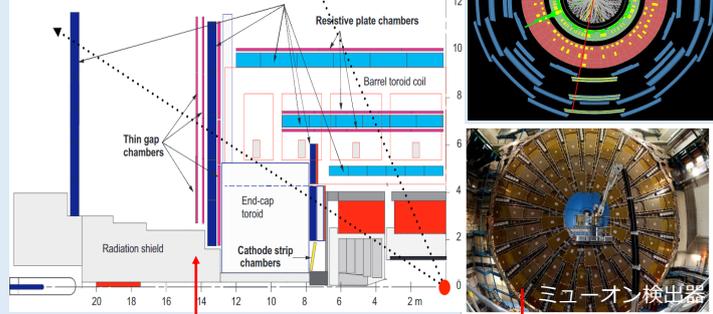


Higgs 粒子の結合定数 \*CERN HP4.0

## 京都ATLASグループの貢献

当グループでは **ミュオントリガー** の性能向上のための研究と、**新物理探索**のための様々な研究を行っています。

## ミュオン検出器の全体図



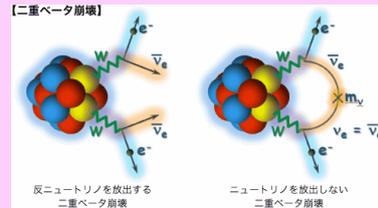
ミュオン検出器

# AXEL

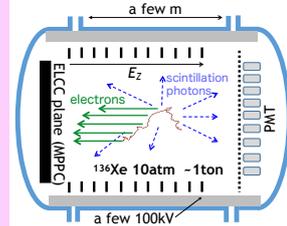


10νBB識別でAIと対決!

- ニュートリノはマヨラナ粒子か?
  - ・ 粒子と反粒子が同一の粒子
- もしマヨラナ粒子だったら...
  - ・ ニュートリノの極端な軽さ
  - ・ 物質優勢宇宙を説明できる! (かも)



- 0νBB崩壊
  - ・ ニュートリノを伴わない二重β崩壊
  - ・ ニュートリノがマヨラナでないと起きない
  - ・ とても起きにくい (寿命: 10<sup>26</sup>年以上)
- AXEL検出器
  - ・ 0νBB崩壊を見つけるための、大質量、高エネルギー分解能、BG除去可能な検出器
  - ・ 世界最高感度を目指して開発中
  - ・ 開発は学生が主体!



AXEL検出器の模式図

## 大型化に向けて検出器開発中!

# KOTO

## K中間子グループ

~K中間子の稀崩壊観測で探る新物理~

### 1.背景

Belle実験によってquarkでCP対称性が破れることが明らかに!  
Belleの結果は反物質のない状態を説明できず→CP破る要因が他にも?

### 2.KOTO実験とは?

$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \bar{\nu}$  というCP破る崩壊(標準模型での分岐比: ~10<sup>-11</sup>)を観測

この崩壊の分岐比からCPを破る要因を検証

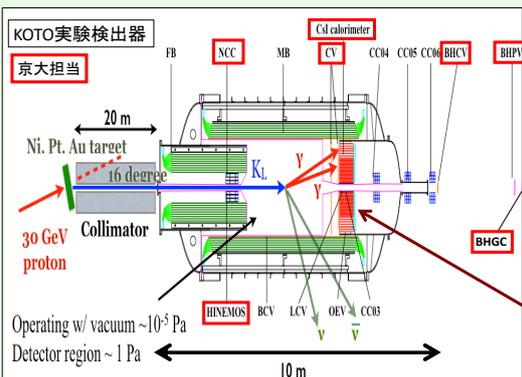
起きにくい反応を調べる利点  
・ 標準理論の精密測定可能  
・ 新物理の影響あれば顕著

標準理論の範囲で起きにくい反応観測

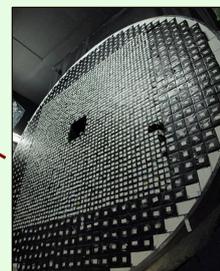
未知粒子が崩壊に関与すると分岐比の測定値と理論値がズれる

**標準理論を超える新しい物理の発見!!**

### 3.実験で使う装置



KOTO検出器外観

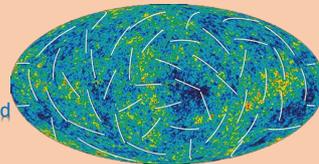


signal検出の心臓部 CsIカロリメータ

signal: ( $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$ ) + nothing  
→ CsIカロリメータ: 2γ検出  
他の検出器: "何も検出せず"を保証

# CMB観測実験

Cosmic Microwave Background

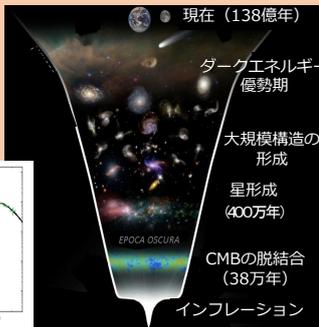
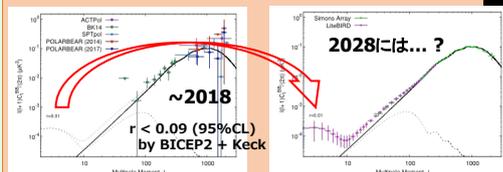


## CMB観測実験とは?

宇宙最古の光「宇宙背景放射」(CMB)の精密観測・解析  
⇒ CMBの偏光パターンから、宇宙起源・ニュートリノの謎に迫る

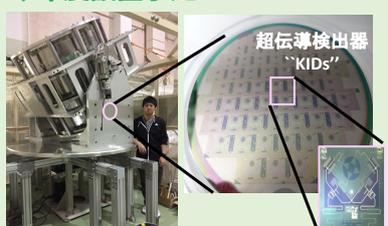
- 宇宙インフレーション仮説・重力の量子化の検証
- ニュートリノの絶対質量・世代数の探索
- ダークマターの性質測定

装置開発とデータ解析で  
世界の実験をリードするために  
今年度から京大で本格始動!!



## GroundBIRD望遠鏡

@スペイン・カナリア  
日本独自の技術の集大成  
最先端の超伝導検出器KIDs+  
高速回転望遠鏡でCMB偏光観測  
今年度設置予定



## Simons Array望遠鏡

@チリ・アタカマ  
国際コラボレーションの研究  
実績のある3台の望遠鏡を設置  
⇒ 高統計CMB偏光観測の実現  
今年度観測開始予定!

