

TCHoU 宇宙史研究センター 素粒子構造部門

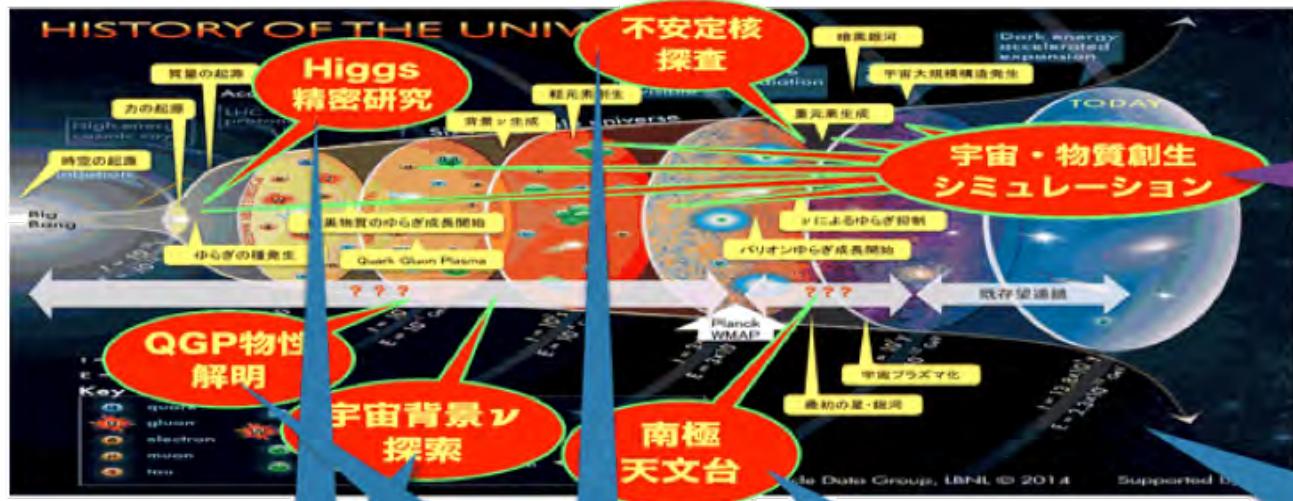
2017年度 活動報告

TCHoU運営協議会
2018年2月6日

筑波大学・宇宙史研究センター 武内勇司



素粒子構造部門



JICFuS JCAHPC

素粒子構造 研究部門

- LHC 加速器の陽子陽子衝突実験 ATLAS により、ヒッグス粒子の精査や素粒子標準理論を超える新粒子・新現象を探索
- 宇宙背景ニュートリノ崩壊の観測を目指し、超伝導素子光検出器を開発し、ロケット実験・衛星実験を実現
- 重力の量子場の理論と素粒子の統一理論の構築を目指し、超弦理論を研究



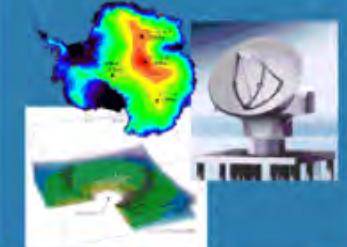
クォーク・核物質 研究部門

- 原子核衝突実験により、宇宙初期や中性子星内部の高温・高密度物質：クォーク・グルーオン・プラズマ(QGP)を探求
- 不安定核の質量測定により、ウランを含む鉄より重い重元素の半分を生成したと考えられるRプロセスの経路を解明
- QGPと原子核の強結合特性をQCD第一原理から予言



南極天文学 研究部門

- 高精度望遠鏡を南極高原地帯に設置し、暗黒銀河等を探査し、南極天文学を推進
- 鹿島34m鏡、野辺山45m鏡、アルマ等の望遠鏡を用いた、銀河、銀河系、宇宙構造等の観測的研究
- 宇宙・銀河等の構造と進化の理論的研究



光量子計測器 開発部門

- エネルギー物質科学研究センターと連携して、TIA 光・量子計測(TIA-ACCELERATE)の筑波大学拠点を構成し、宇宙史研究センター各部門で共有する超伝導体検出器、SOI 技術などの光量子計測器の開発基盤を提供



エネルギー物質科学 研究センター TIA-ACCELERATE ほか

素粒子構造部門の研究

- **陽子陽子衝突実験 ATLAS**

欧州 CERN 研究所 LHC 加速器

大規模な国際共同実験

ヒッグス粒子精査, 新物理探索など

受川, 原, 佐藤構, 大川(国際TT, テニュア獲得), 金(特任)
池上(KEK CA)

- **宇宙背景ニュートリノの崩壊探索COBAND**

ニュートリノ質量の決定, 質量起源・階層性の解明, 宇宙論の検証
筑波大学グループを主とする国際チームによる研究

金(特任), 武内, 飯田(2017/4-), 吉田(福井大CA),
S.B.Kim (ソウル大 海外ユニットPI), 松浦(関学 連携)

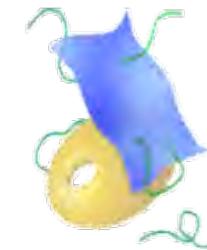
- **超弦理論の研究**

重力の量子場の理論

4つの力の統一

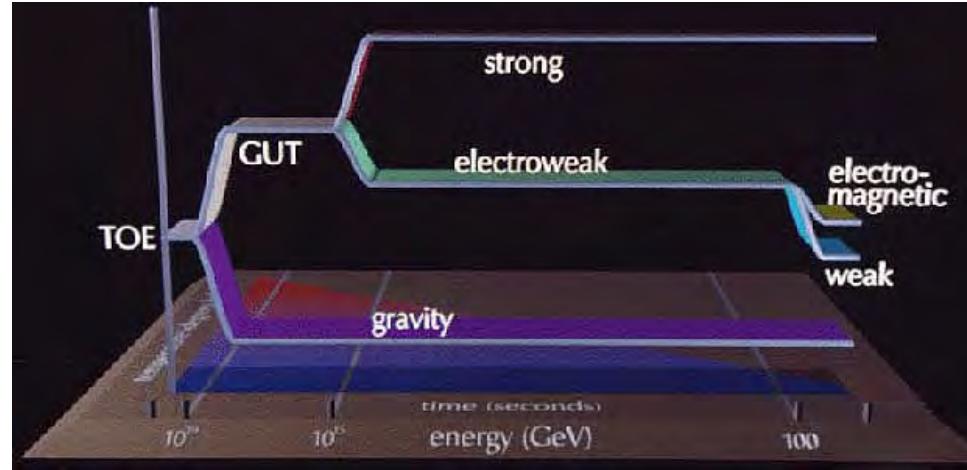
石橋, 佐藤勇, 伊敷

超弦理論の研究

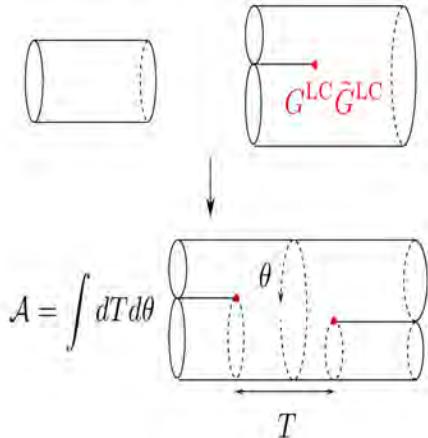


素粒子は点ではなく長さを持つ弦である

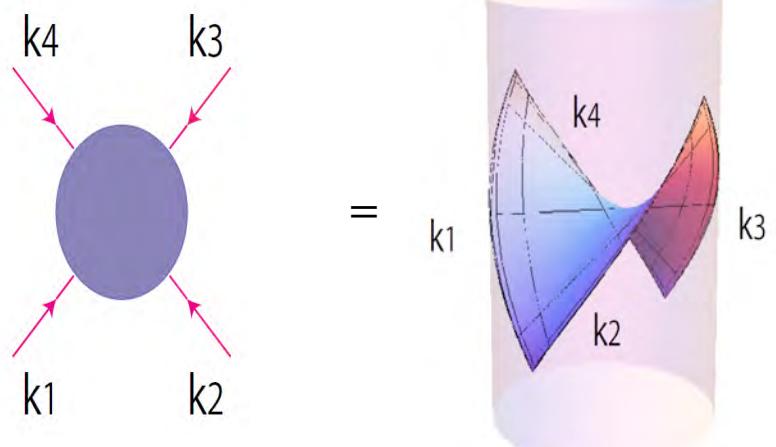
- 重力の量子論
くりこみ理論が通用しない
- 4つの力の統一
ヒグス粒子の質量を説明する



◆ 弦の場の理論



◆ AdS/CFT対応を用いた強結合ゲージ理論の研究



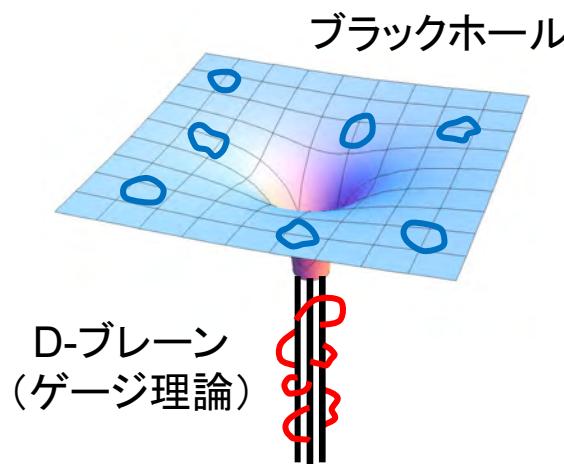
◇ 行列模型

- ・超弦理論の非摂動的定式化の構築
- ・行列を用いた新しい幾何学(非可換幾何)の理解

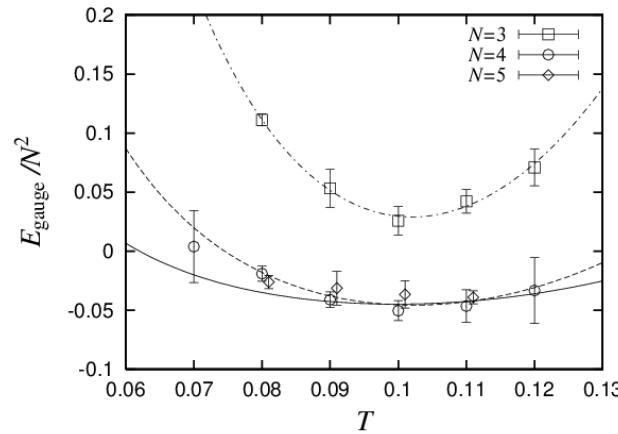
◇ 超弦理論への数値的アプローチ

- ・行列模型
- ・ゲージ/重力対応

→ 例えば、超弦理論のブラックホールの性質を、
対応するゲージ理論の数値計算により理解することが出来る

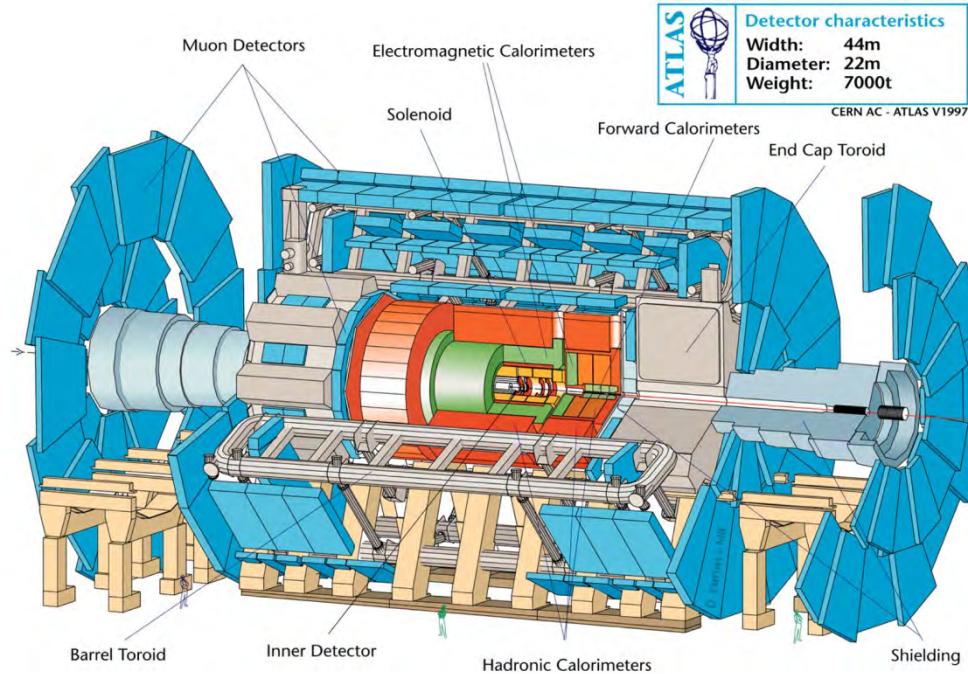


[Ishiki et al, Sience 2014]

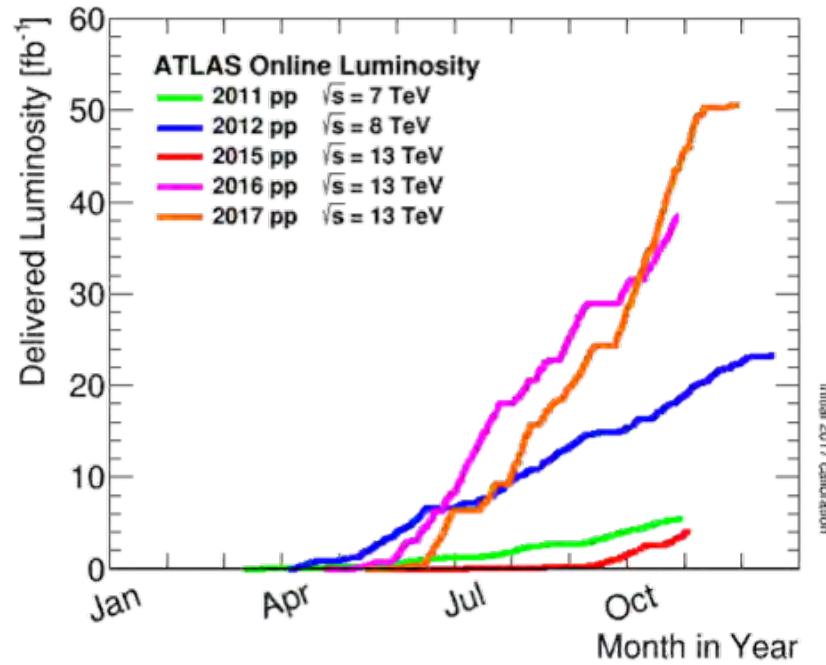


ブラックホールの内部エネルギーについてゲージ理論と超弦理論の計算結果が一致！

LHC 加速器とATLAS 実験

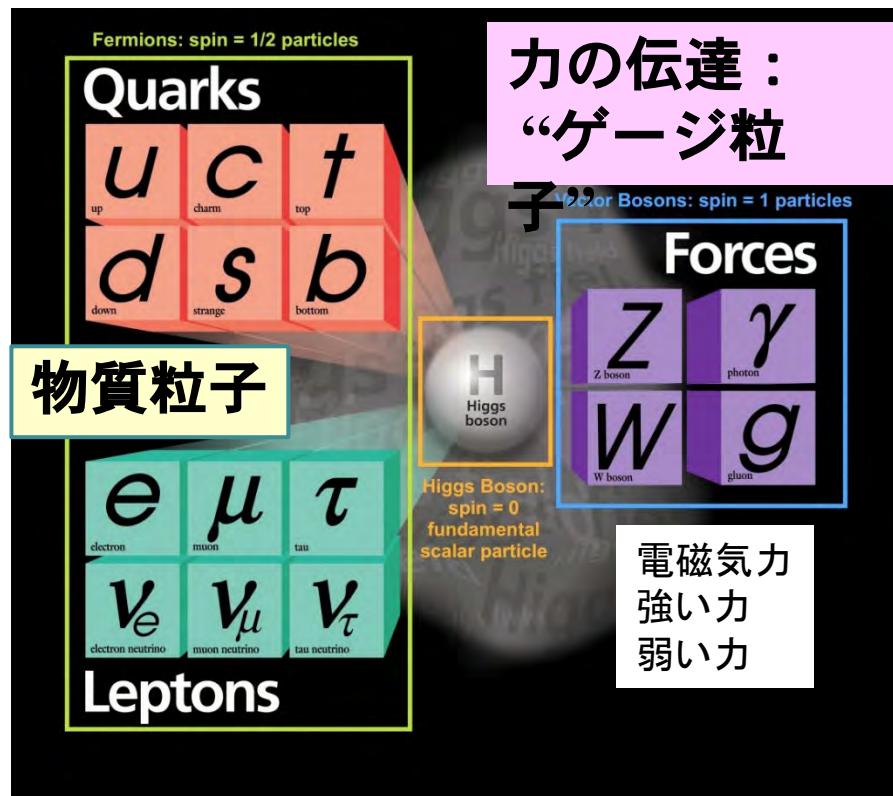


2008年9月	初のビームが周回
2009年11月	実験開始
2011・2012年	本格運転, データ収集
2012年	ヒッグス粒子発見

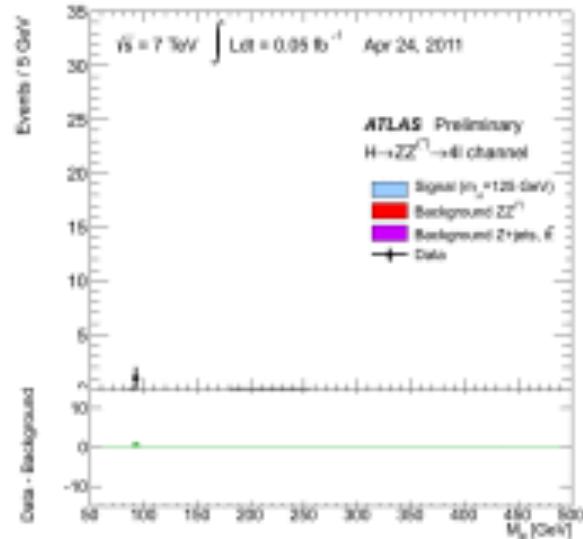
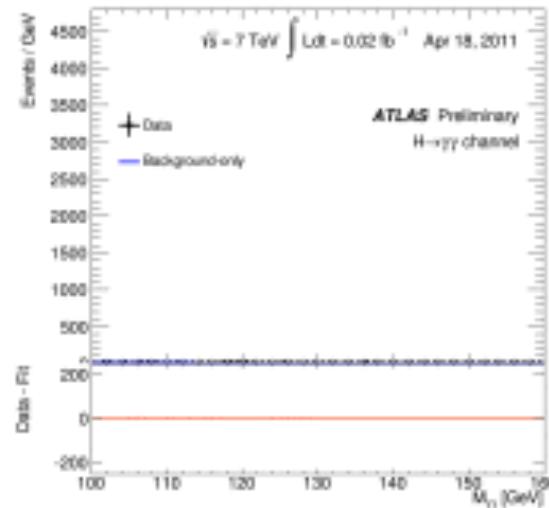


ATLAS 実験
38ヶ国, 176機関
~3000人
日本: 16機関, ~110人

CERN ATLAS 実験 ヒッグス粒子研究



ヒッグス粒子発見により素粒子標準理論に必要な粒子が全て揃った。

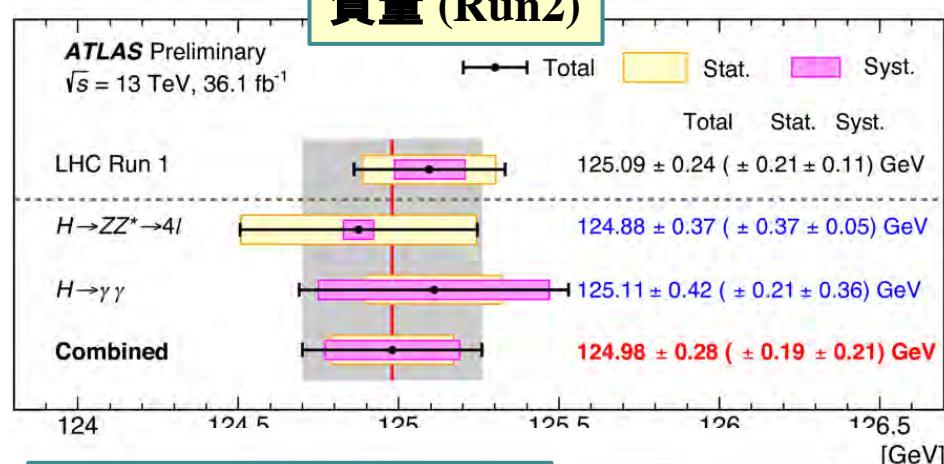


<https://cds.cern.ch/record/2230893>

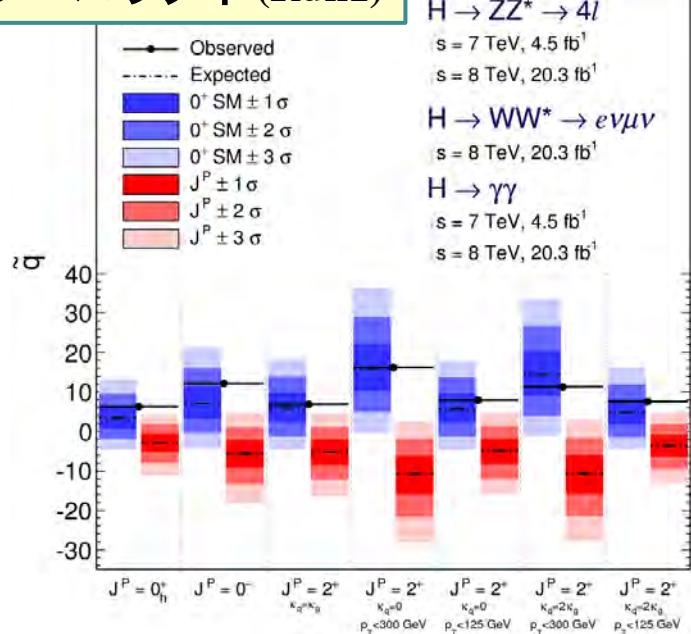
ヒッグス粒子研究

結合強さ(Run1)

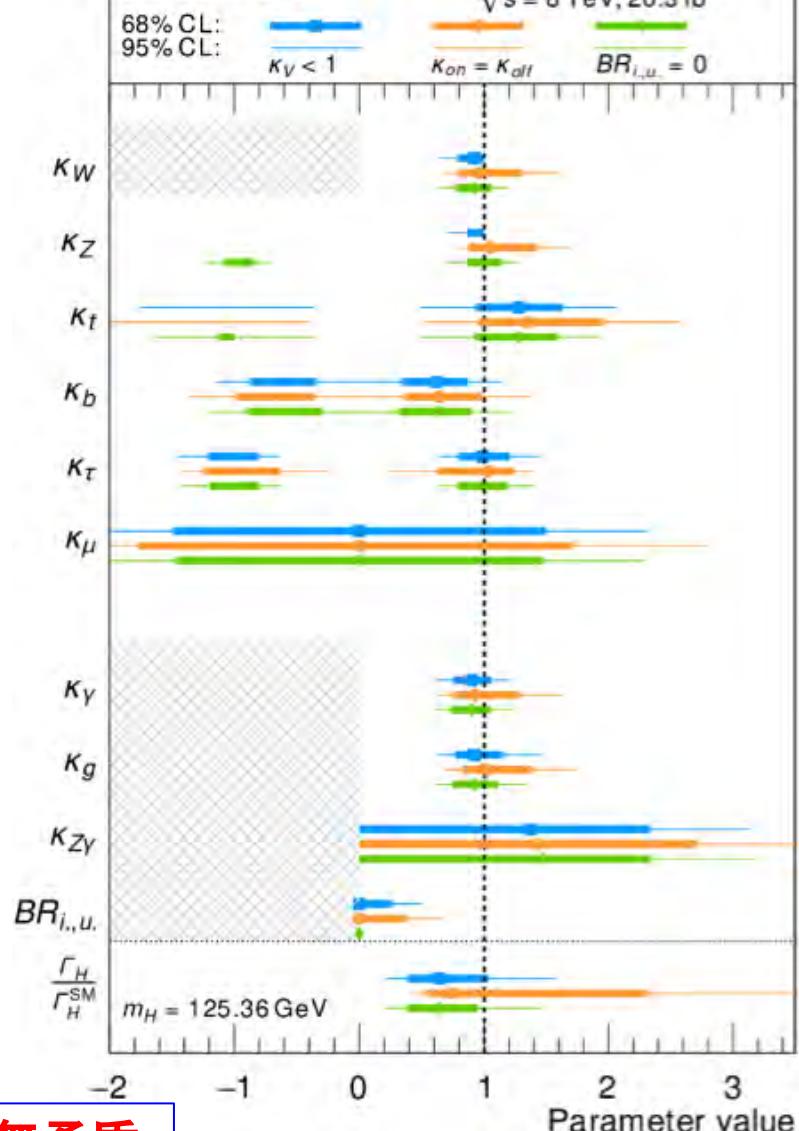
質量 (Run2)



スピン・パリティ (Run1)



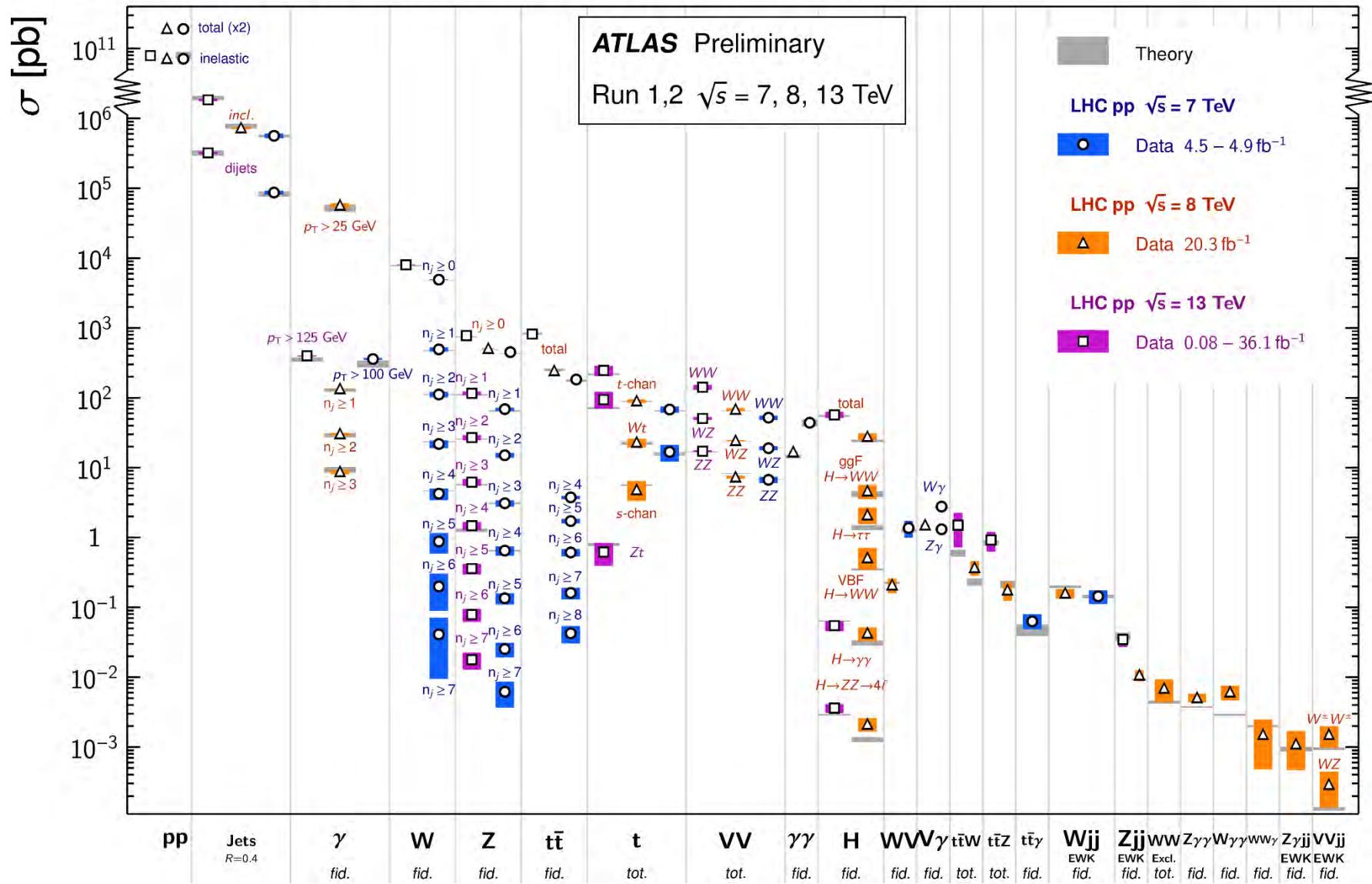
ATLAS



素粒子標準理論で予言されたヒッグス粒子と無矛盾

Standard Model Production Cross Section Measurements

Status: July 2017



素粒子標準理論は非常にうまくいっている。
だが残された課題も多い

- 新粒子・新現象の直接探索

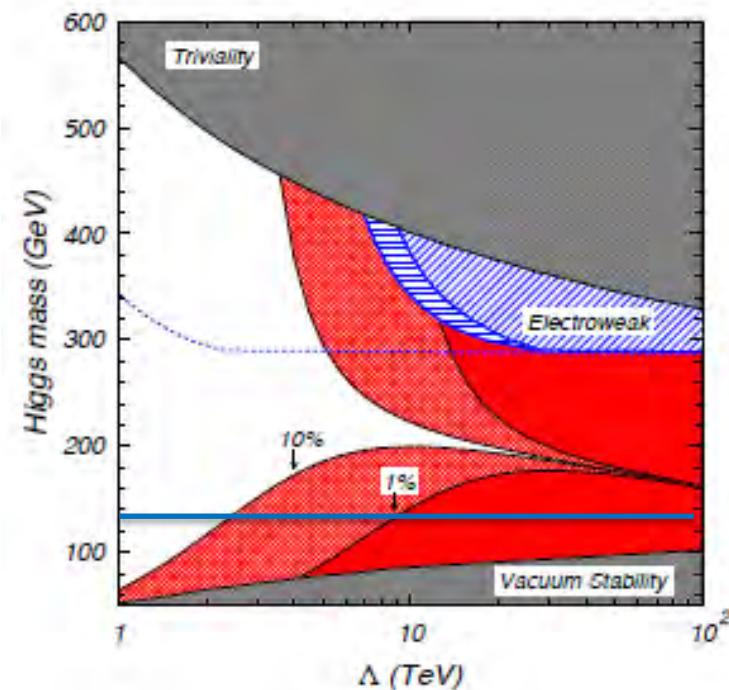
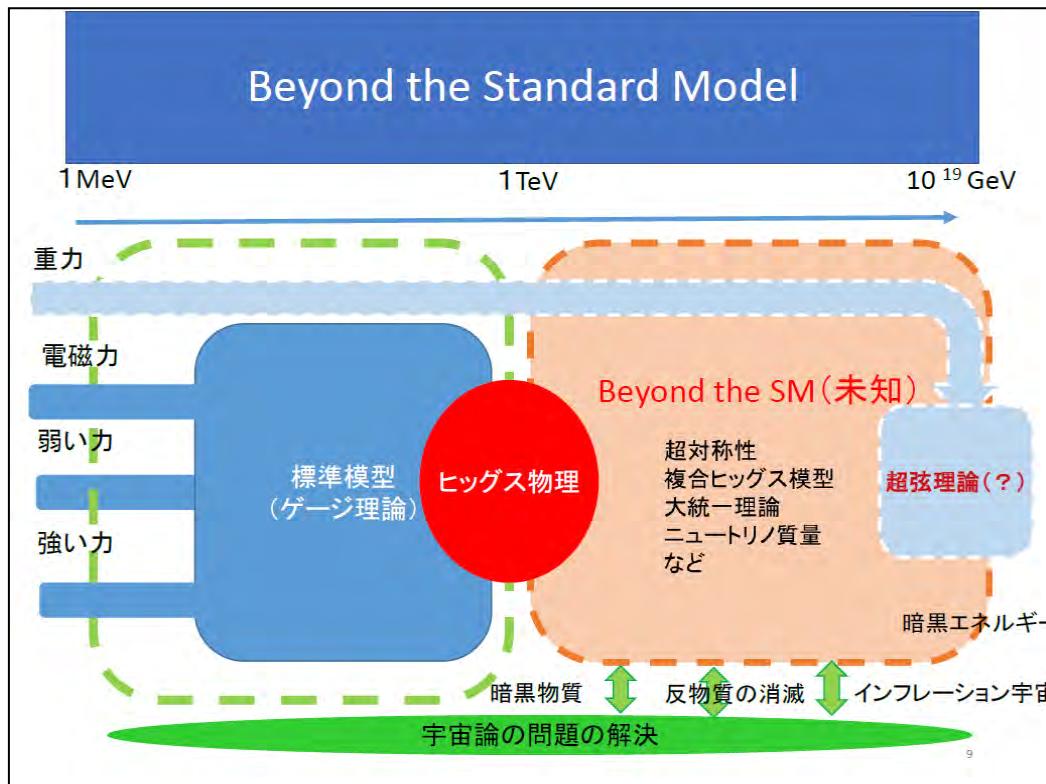
超対称粒子

余剰次元

暗黒物質粒子

- ヒッグス粒子の精査

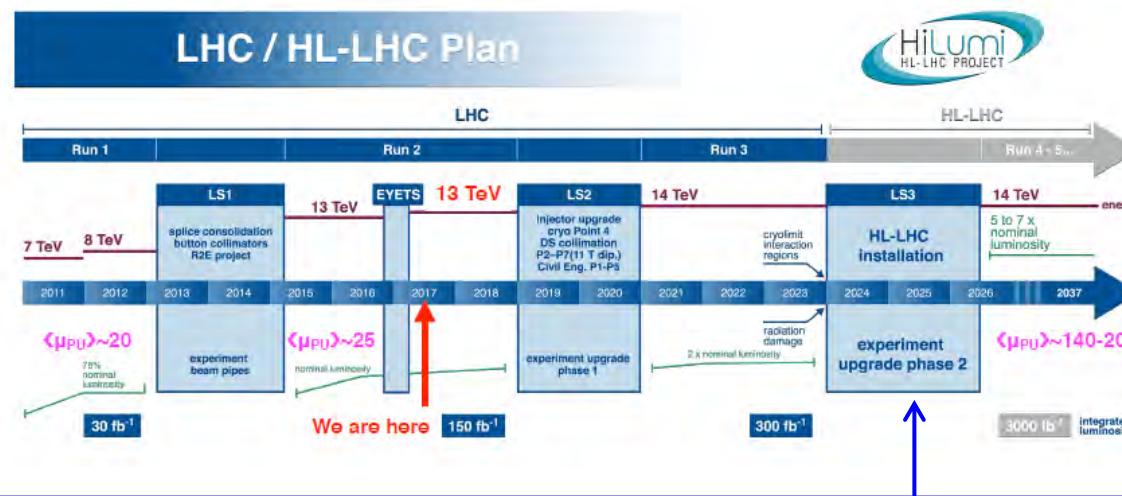
種々の粒子との結合
未知粒子への崩壊



ヒッグスを手掛かりに未知の領域へ

125 GeV のヒッグス粒子：標準理論の予言する（唯一無二の）ヒッグスと無矛盾
他の直接探索（超対称粒子など）も、これまでのところ兆候は無し

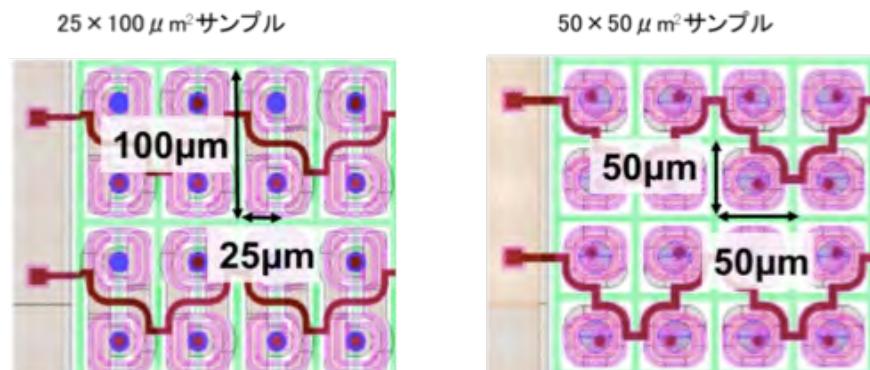
- データ蓄積を継続し、より精密な測定、探索範囲の拡大
- 2020年代半ばに LHC 加速器の大幅増強 Hi-Lum LHC（輝度が一桁向上）



ATLAS 検出器：高輝度に対応するための増強（入れ替え）が必要

新型シリコン飛跡検出器（ピクセル型、ストリップ型）

KEK 等と共同で開発・性能評価
→ 実機製作に向けた最終設計

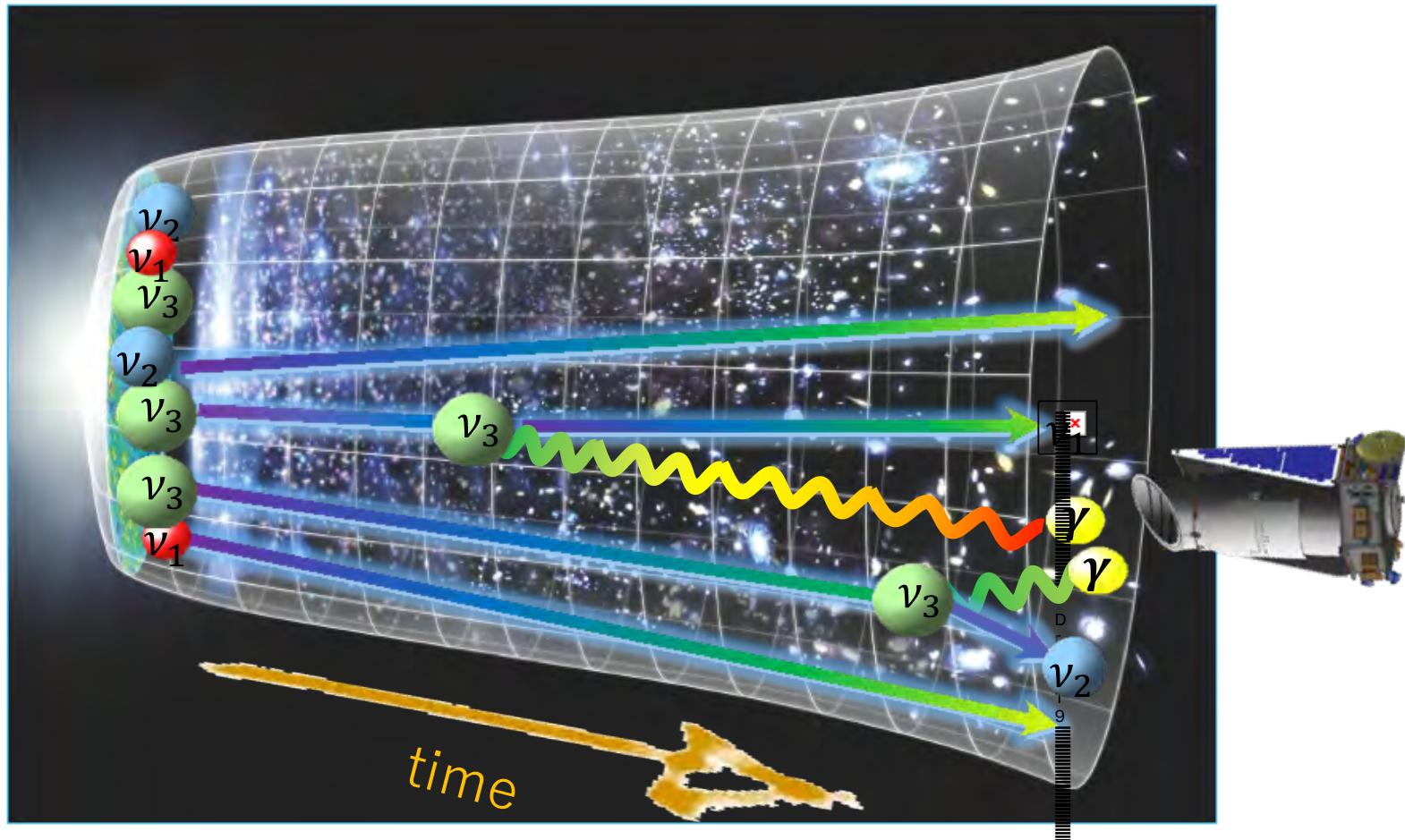


宇宙背景ニュートリノ崩壊探索

「宇宙背景ニュートリノ」の「ニュートリノ崩壊」

波長約 $50\mu\text{m}$ (遠赤外線)の光として観測 (ν_3 の静止系で)

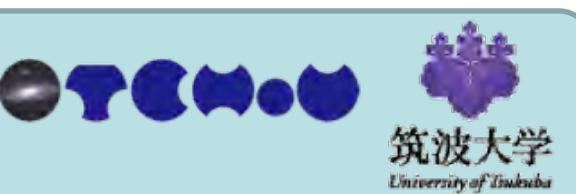
現在のニュートリノ寿命下限値: $3\sim 5 \times 10^{12}\text{年}$



COBAND (COsmic Background Neutrino Decay) 実験

宇宙背景ニュートリノからのニュートリノ輻射崩壊光が標準模型予想よりもずっと短い $10^{12} \text{年} < \tau(\nu_3) \ll 10^{43} \text{年}$ で観測されたら

- 宇宙背景ニュートリノの直接検出！！
 - ニュートリノ質量の絶対値測定！！ $m_3 = (m_3^2 - m_{1,2}^2)/2E_\gamma$
 - ニュートリノの異常な遷移磁気能率の測定！！
→ 標準模型を超える物理の発見！！
-
- 観測ロケット実験、それに続く衛星実験を計画中
 - 国際共同実験グループ COBANDコラボレーション



筑波大学
University of Tsukuba

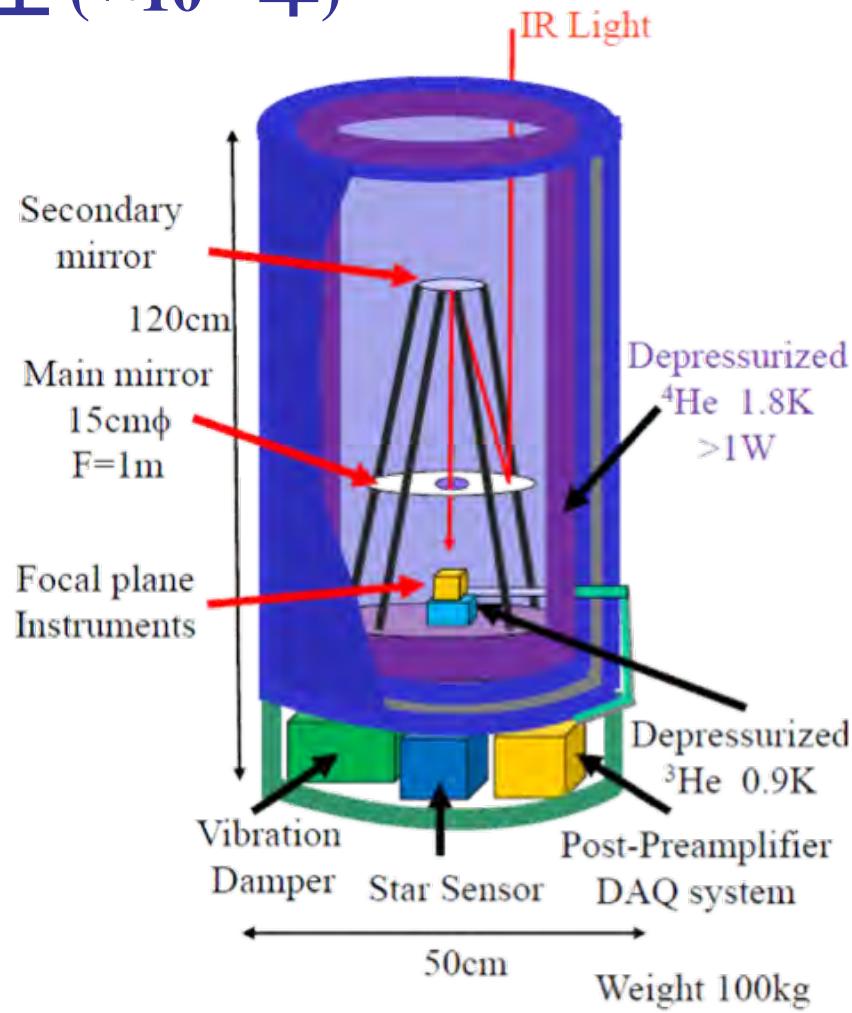
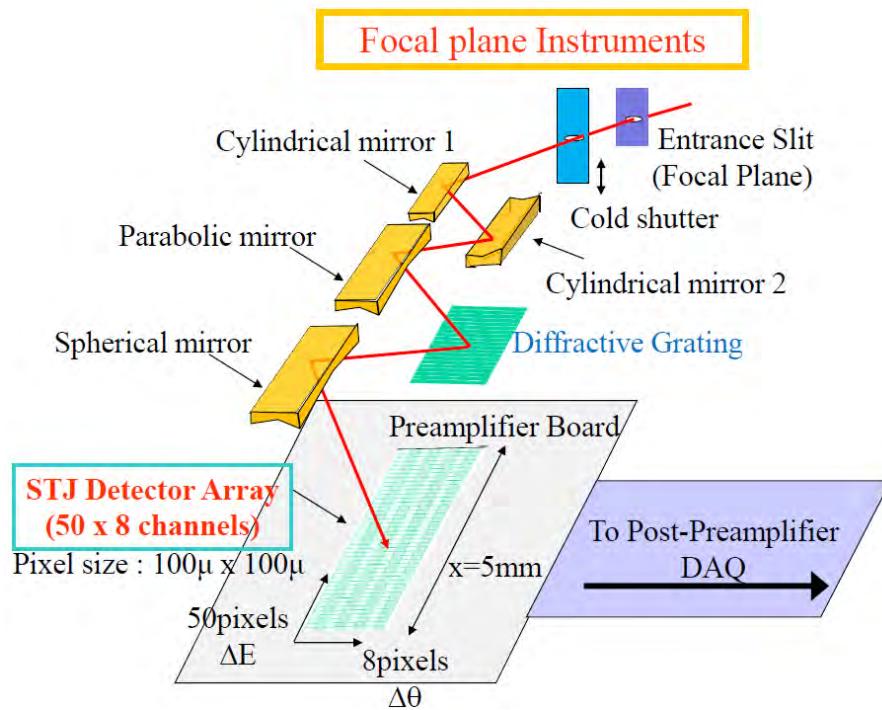


ニュートリノ崩壊探索口ケット実験

2019年度の実施に向け準備中

200 km 以上の高度で5分間データ収集

ニュートリノ寿命下限を 2 ケタ向上 ($\sim 10^{14}$ 年)



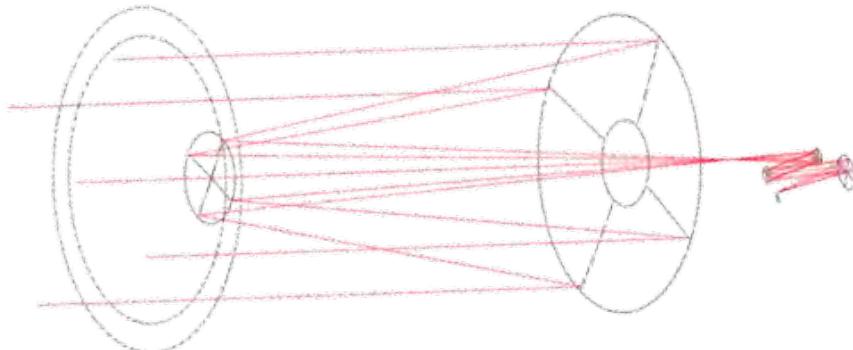
赤外線検出器部:

超伝導トンネル接合素子(STJ)検出器を用いる

高分解能, 信号微弱

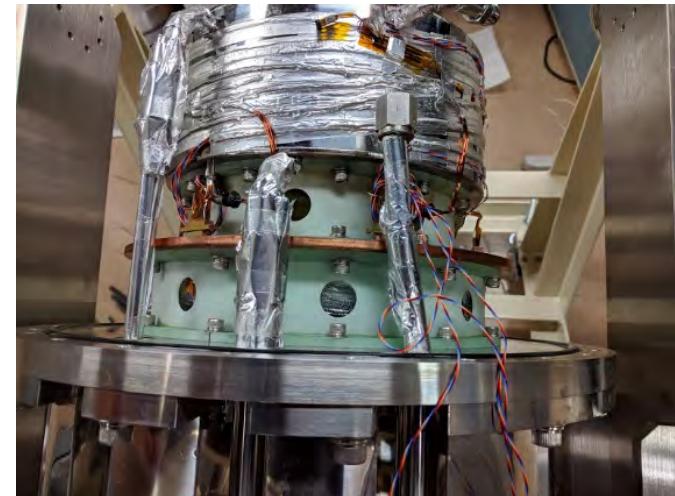
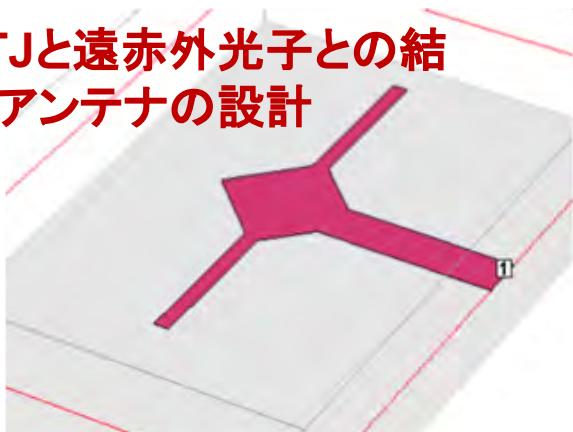
ニュートリノ崩壊探索ロケット実験

- ・ 波長50μmの遠赤外線一光子を検出可能な超伝導トンネル接合素子を用いた光検出器(産総研との共同研究)および極低温読み出し回路(KEK他との共同研究)
- ・ ロケット実験に向けた各要素の試作に着手



ロケット実験望遠鏡光学系の設計

STJと遠赤外光子との結合アンテナの設計



ロケット搭載用3Heソーブ
ション冷凍機試作

各要素の開発を同時進行で行うには、人員の拡充、コラボレーションの拡大は、必須