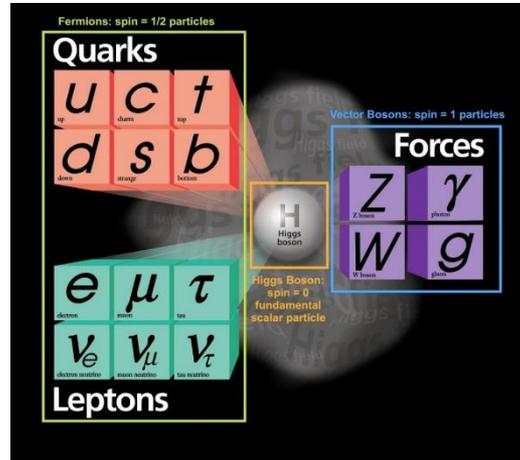
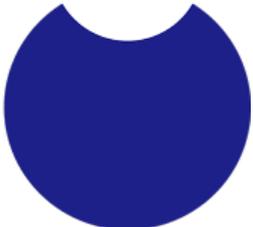
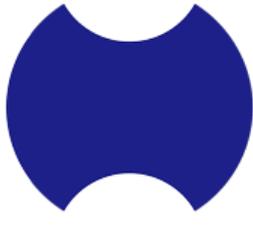
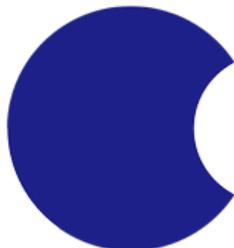


# 素粒子構造研究部門



TCHoU 宇宙史研究センター2018年度活動報告  
2019年2月5日

武内 勇司 (TCHoU 素粒子構造研究部門)



# 宇宙史研究における素粒子構造研究部門のプロジェクト

## Big Bang

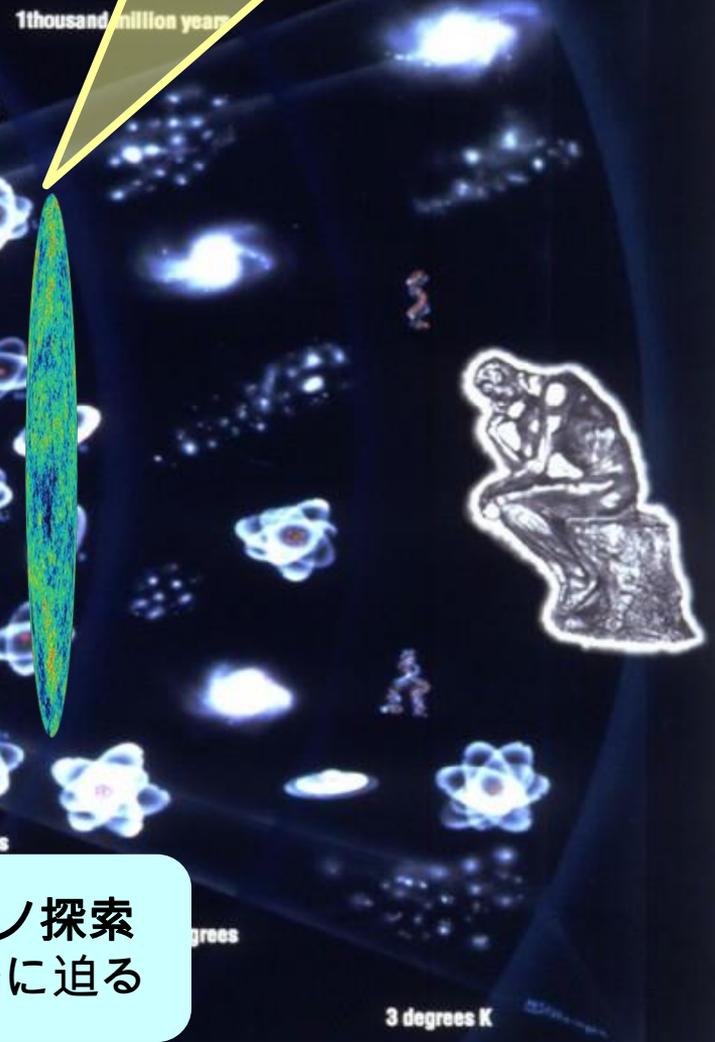
宇宙マイクロ波背景放射

ヒッグス精密研究  
素粒子の質量の起源,  
真空の安定性など



超弦理論  
時空の起源,  
力の起源

宇宙背景ニュートリノ探索  
ビッグバン1秒後の姿に迫る



# 宇宙史研究における素粒子構造部門のプロジェクト

- **陽子陽子衝突型加速器実験：ATLAS**
  - CERN LHC加速器を用いた大規模国際共同実験
  - ヒッグス粒子の精密測定，標準模型を超える物理の探索など  
受川史彦, 原和彦, 佐藤構二, 大川英希, 金信弘 (筑波大), 池上陽一(KEK)
- **宇宙背景ニュートリノ崩壊探索: COBAND**
  - 宇宙背景ニュートリノの崩壊光の検出，ニュートリノ寿命，ニュートリノの質量の絶対値決定
  - 筑波大TCHoUを中核とする国際共同研究  
金信弘, 武内勇司, 飯田崇史 (筑波大), 吉田拓生(福井大), S.B. Kim (SNU), 松浦周二(関西学院大)
- **超弦理論**
  - 量子重力の理論
  - 時空の構造，基本相互作用および基本粒子すべてを記述する統一理論の有力候補  
石橋延幸，佐藤勇二，伊敷吾郎(筑波大)

# LHC実験

世界最高エネルギーでの加速器実験  
 $\sqrt{s} \leq 14 \text{ TeV}$ での陽子・陽子衝突

2010年

2011-12年

2012年

2015-18年

2021-23年

2026-3X年

LHC加速器稼働開始。

物理Run開始。  $\sqrt{s} = 7 - 8 \text{ TeV}$ ,  $25 \text{ fb}^{-1}$ のデータ取得

ATLAS/CMS両実験でヒッグス粒子を発見

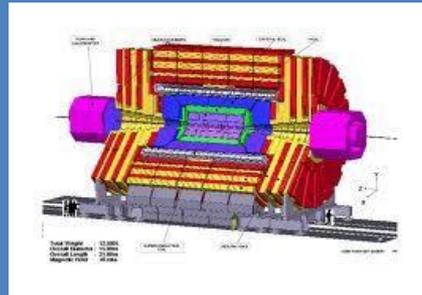
エネルギーを  $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$  に上げてRun 2実験

Run 3.  $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$ ,  $\sim 300 \text{ fb}^{-1}$ のデータセット

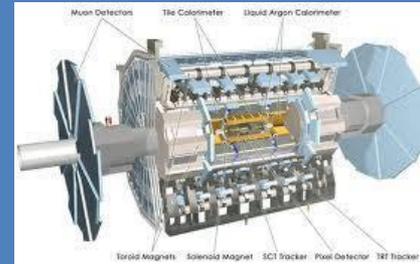
HL-LHC実験。  $\sim 3000 \text{ fb}^{-1}$ の大データセット



## CMS実験



## ATLAS実験



円周27km

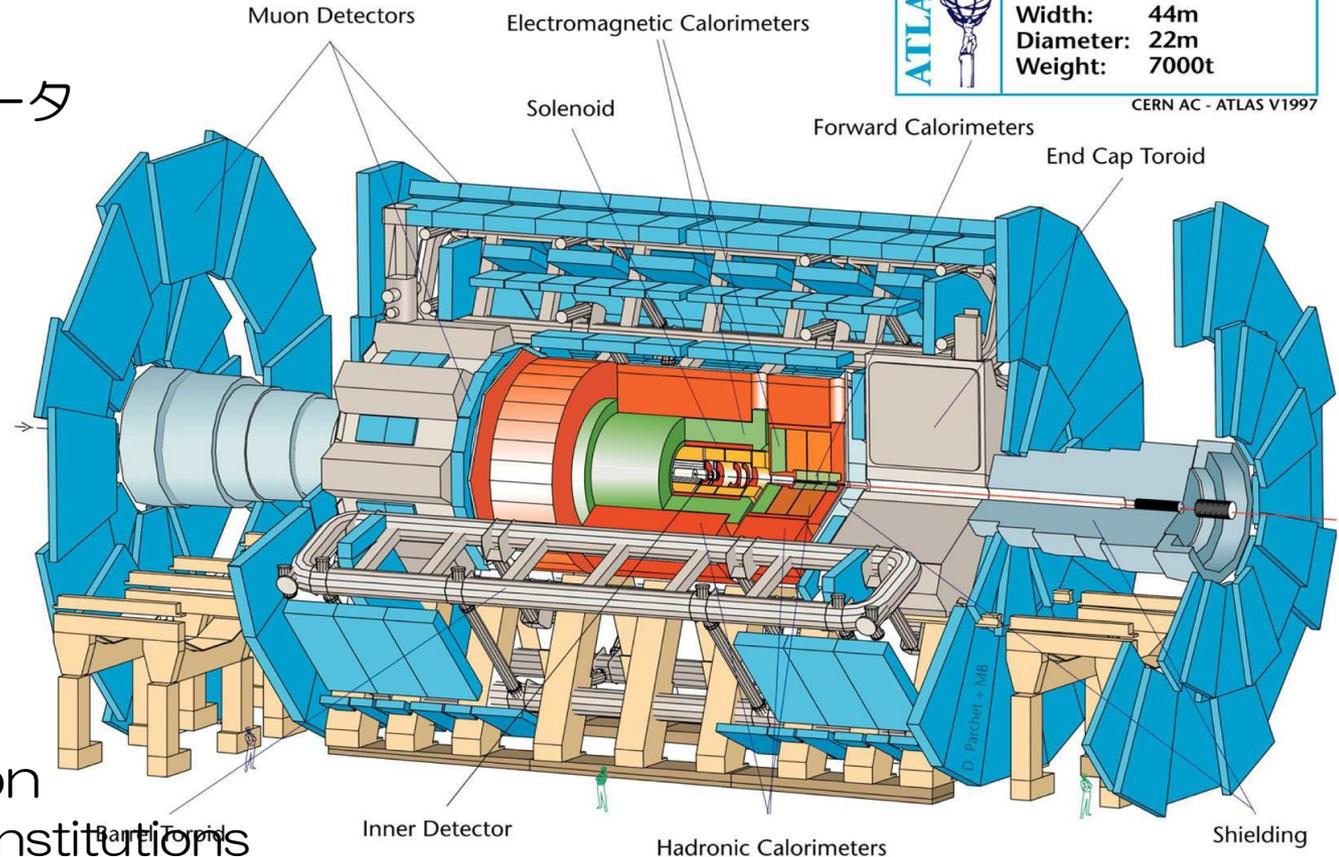
陽子を最大7 TeVまで加速して正面衝突

- シリコン検出器
- 飛跡検出器
- ソレノイド磁石
- 電磁カロリメータ
- ハドロンカロリメータ
- トロイド磁石
- ミューオン検出器

# ATLAS検出器

総重量 7,000 t

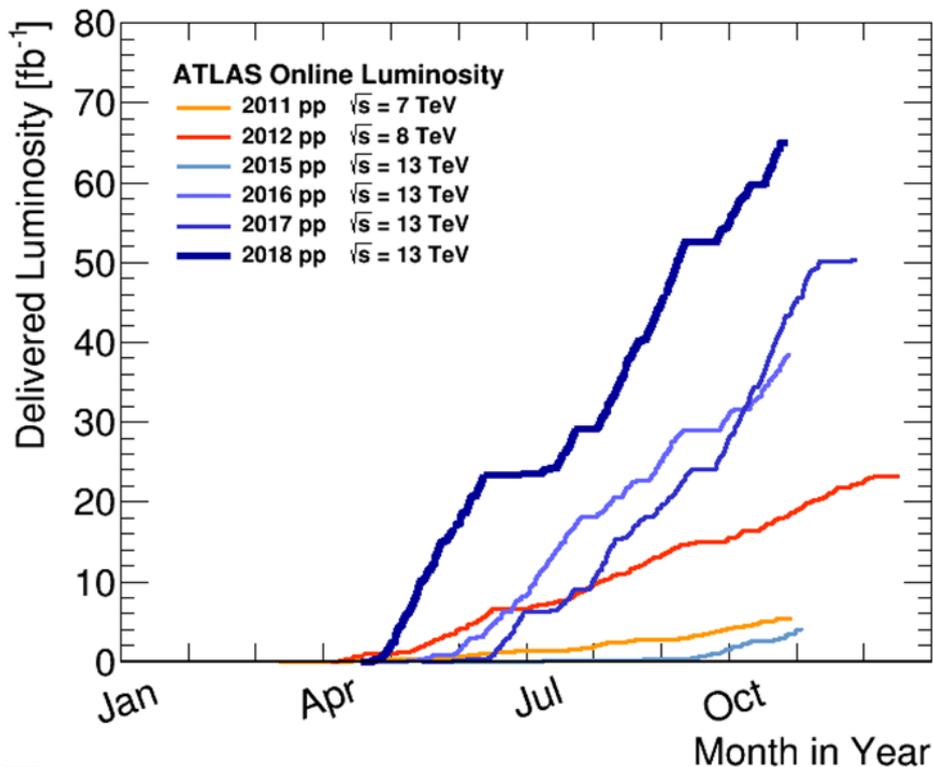
	Detector characteristics	
	Width:	44m
	Diameter:	22m
	Weight:	7000t
<small>CERN AC - ATLAS V1997</small>		



ATLAS collaboration  
 38 countries, 182 institutions  
 ~3000 scientists  
 Japan : 17 institutions, ~150 persons

- 最高エネルギーでの、**さまざまな素粒子反応の研究**
  - ヒッグス粒子、標準理論、トップクォーク、Bメソン、超対称性、新物理探索、重イオン衝突…

# Run 2での積分輝度



Run 1	$\sqrt{s}$ (TeV)	積分輝度[fb <sup>-1</sup> ]
2011	7	~5
2012	8	~21

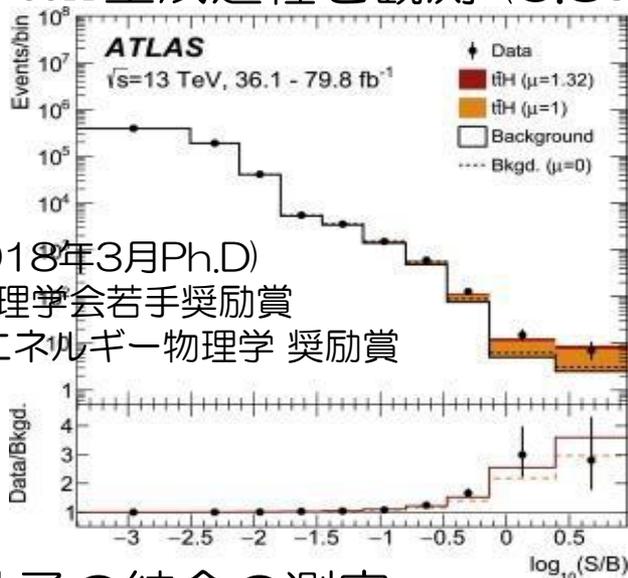
現在得られている解析結果では、2015~2016年に取得した36.1 fb<sup>-1</sup>を使用。Run 2全体では、最大~128 fb<sup>-1</sup>が使用可能。

$\sqrt{s} = 13$  TeV

Run 2	最大瞬間ビーム輝度 (10 <sup>34</sup> cm <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	pp衝突運転 日数	積分輝度[fb <sup>-1</sup> ]	累積積分輝度 [fb <sup>-1</sup> ]
2015	0.5	56	3.9	3.9
2016	1.4	122	36.0	39.9
2017	1.9	150	46.9	86.8
2018	2.1	152	62.2	148.8

# 2018年のハイライト

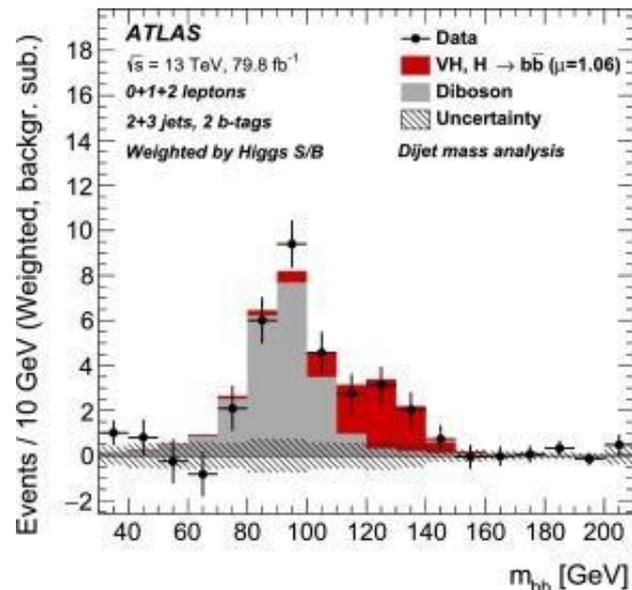
## $ttH$ 生成過程を観測 ( $6.3\sigma$ )



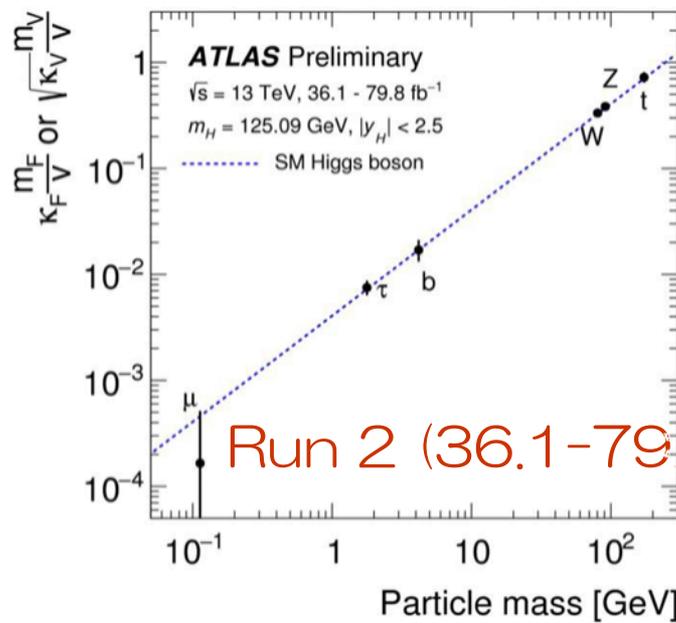
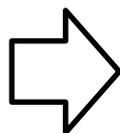
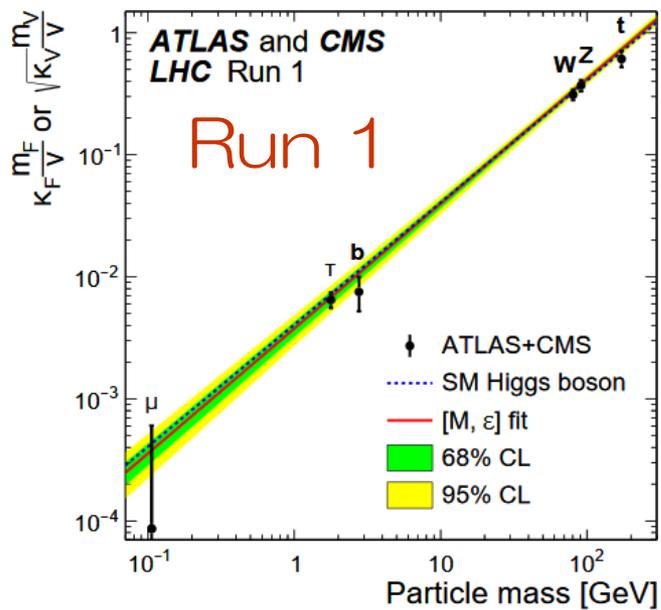
本多俊介氏(2018年3月Ph.D)

- 2019年物理学会若手奨励賞
- 第20回高エネルギー物理学 奨励賞

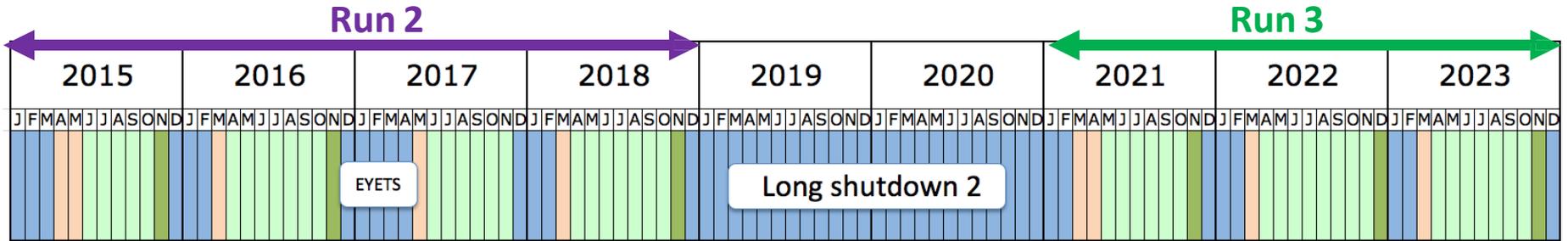
## $H \rightarrow bb$ 崩壊モードを観測 ( $5.4\sigma$ )



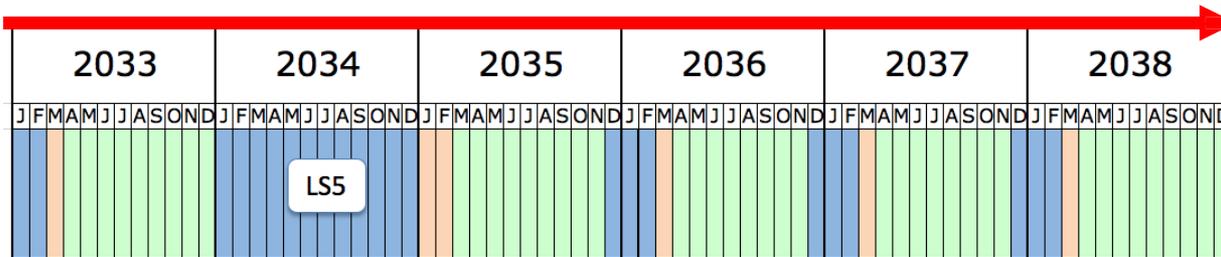
## ヒッグス粒子の結合の測定



# LHCの長期将来計画



## HighLumi-LHC



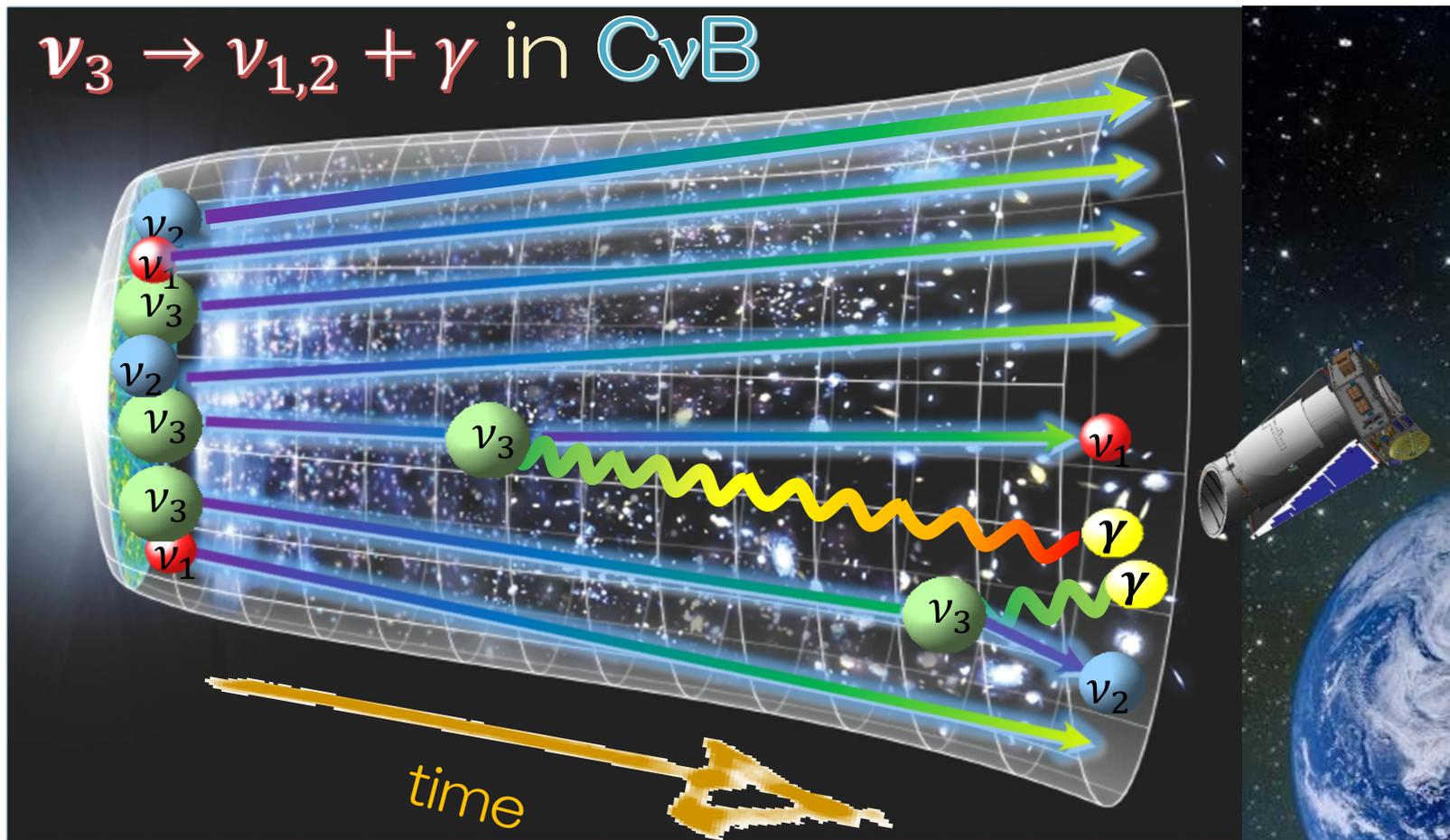
- Shutdown/Technical stop
- Protons physics
- Commissioning
- Ions

# COBAND (COsmic BAcground Neutrino Decay)

宇宙背景ニュートリノのニュートリノ崩壊探索

波長約 $50\mu\text{m}$ (遠赤外線)の光として観測 ( $\nu_3$ の静止系で)

現在の $\nu_3$ 寿命の下限値:  $3\sim 5 \times 10^{12}$ 年



# COBAND (COsmic Background Neutrino Decay)

ニュートリノ崩壊は標準模型では、非常に厳しく抑制:  $\nu_3$  寿命  $\sim 10^{43}$  年

→ 新物理に極めて敏感

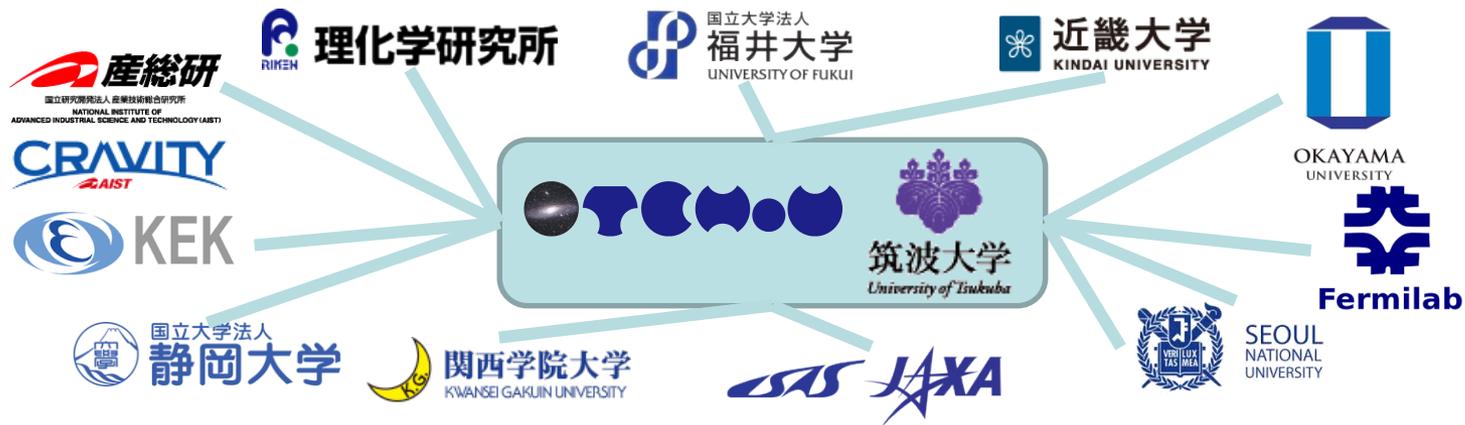
ビッグバンの1秒後に自由となり現在に至るまで存在し続けていると予想されながらも未発見の宇宙背景ニュートリノ。このニュートリノの崩壊時に出る光を捕まえられれば

- ニュートリノ崩壊への新物理の寄与を検証
- 宇宙背景ニュートリノの証拠
- ニュートリノ質量の絶対値の決定

ロケット実験, およびその後に衛星実験を計画

→  $\nu_3$  寿命として  $10^{13} \sim 10^{17}$  年の領域を探索

→ 超伝導トンネル接合素子を用いた波長  $50\mu\text{m}$  域の一光子分光



# COBAND遠赤外一光子検出のための超伝導検出器の開発

## Nb/Al-STJ のSOI極低温増幅回路読出

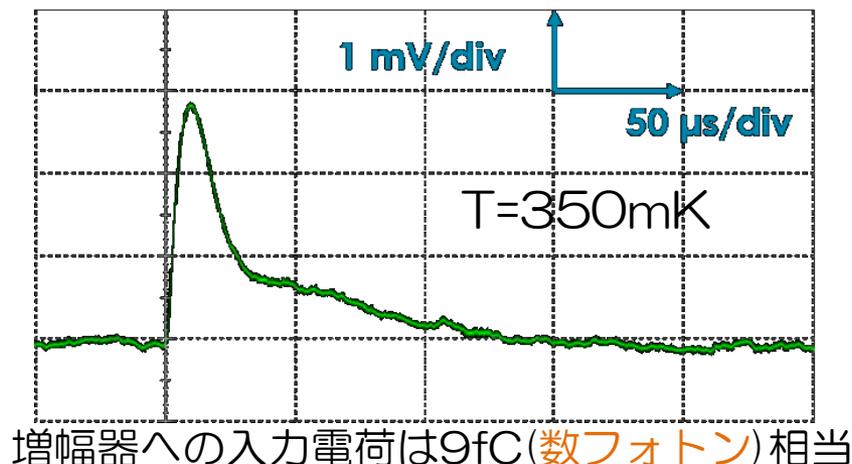
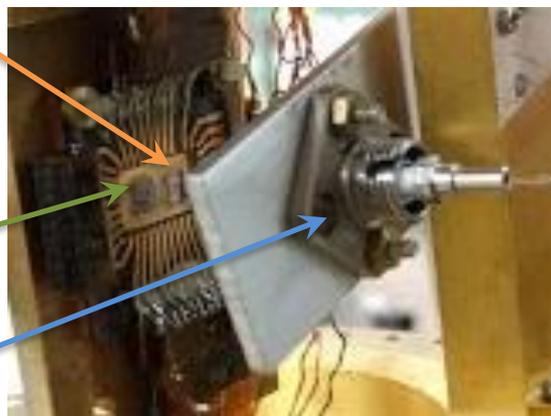
2018年度のハイライト:低入カインピーダンス電荷積分型SOI増幅器の超伝導トンネル接合素子(STJ)光応答信号増幅の実証テスト

STJチップ

産総研  
CRAVITY製

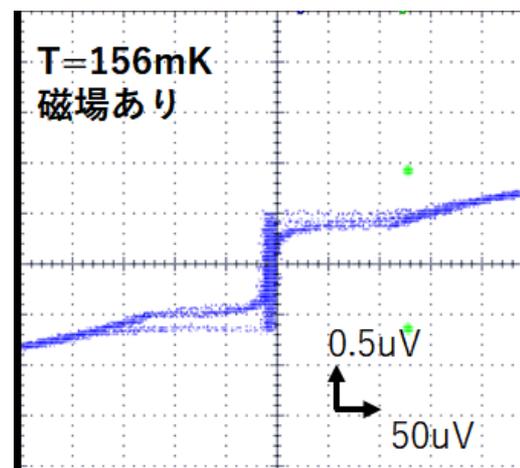
SOIチップ

光ファイバ



## ハフニウムを用いたSTJ光検出器の開発

2018年度の主な成果: 読出し配線の制約により、従来は200μm角のHf-STJサイズであったが、10μm角サイズへの小型化が可能となりリーク電流0.3μAまで減らすことに成功した(これまでは、200μm角でリーク電流7μAが我々のグループでの記録)。素子の製作は、KEK先端計測器開発棟クリーンルームプロセス装置群を使用。



# COBAND実験

- ロケット実験に向けたNb/Al-STJ光応答の極低温SOI増幅器読出

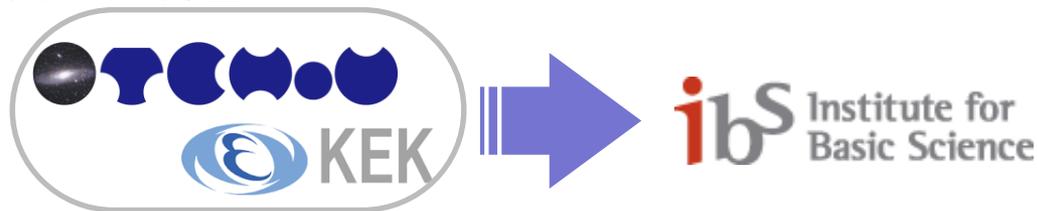


- 可視光1光子検出まであと一歩
- 遠赤外1光子信号増幅用に高ゲインの増幅器を試作，テスト中

- ロケット実験に向けた望遠鏡・分光光学系



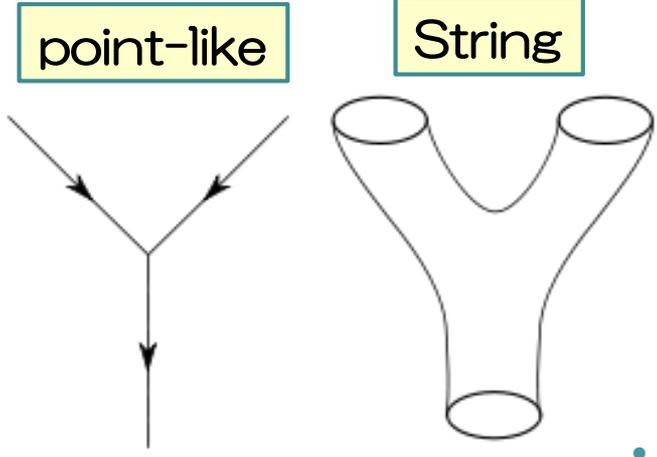
- ロケット搭載冷凍機： TCHoUと企業による試作機製作
- ロケット実験のその他の開発要素：  
アンテナ付STJ, STJ反射防止膜, 長波長フィルター, 校正用遠赤外線源  
フロントエンドエレクトロニクス, DAQ, 無線データ転送
- 衛星実験に向けたHf-STJ開発：韓国IBS CUP (地下物理実験センター)での測定



- 論文：3件, 国際会議講演：3件, 国内学会：6件

# 超弦理論

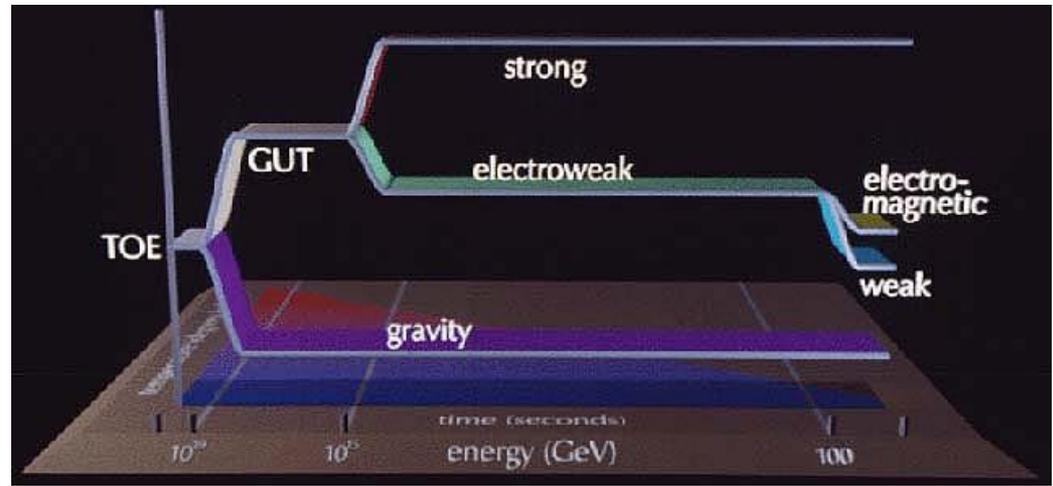
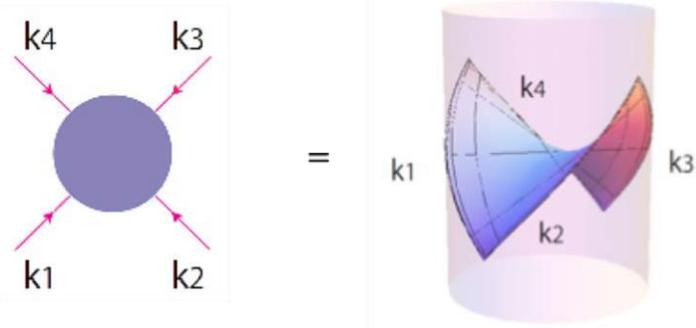
## ◆ 弦の場の理論



## ◆ 行列模型

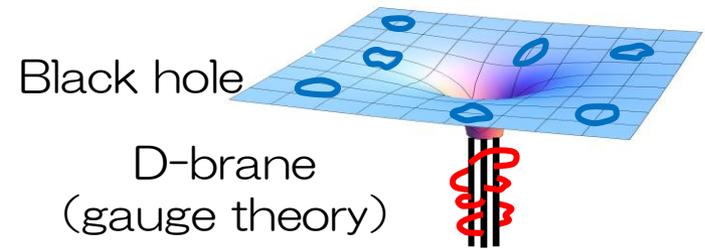
超弦理論の非摂動的定式化を与えていると予想される

## ◆ ゲージ/重力対応



- 重力の量子論
- 全ての基本的相互作用と素粒子を統一的に記述する究極の理論の有望な候補
- ➔ 宇宙の始まりを記述できると期待される
- ➔ 関連する分野に新鮮なアイデアを提供（余剰次元, ブレーン宇宙論, ...）

➔ 超弦理論におけるブラックホールの性質が対応するゲージ理論によって計算できる。



# 超弦理論のより完全な定式化に向けて

超弦理論グループでは以下のテーマについて研究している（2018年度）



- **弦の場の理論**（石橋）

弦の第二量子化された理論。

弦の場の理論の古典解の解析により、非摂動的な物理の理解が得られる。

- **ゲージ/重力対応**（佐藤）

超弦理論がゲージ場の理論により記述できるという予想。

証明できればゲージ理論によって超弦理論を非摂動的に記述できる。

- **行列模型**（伊敷）

超弦理論の非摂動的定式化を与えていると予想される模型。

# 超弦理論

## 活動報告

(1)弦の場の理論, (2)行列模型, (3)ゲージ/重力対応  
という3つの関連するテーマを中心として研究を進めた。

## 2018年度の成果

- 論文：4件, 国際会議講演：4件, 国内学会：2件
  - 弦の場の理論の磁場のある古典解の性質を調べた
  - 超対称ゲージ理論の強結合散乱振幅を評価する新たな解析的手法を開発した
  - 行列模型における幾何学量の新しい定式化を与えた

**活動計画：**引き続き,超弦理論の非摂動的側面の解明,ゲージ理論・宇宙論への応用に向けて上記テーマの研究を推めていく

## 具体的な研究課題

- 共形場理論におけるT T変形
- ゲージ/重力対応の数値的検証
- 時空の漸近対称性と低エネルギー定理
- 弦の場の理論と次元正則化
- 弦の場の理論の古典解の研究
- ゲージ/重力対応とグルーオン散乱振幅
- 弦理論の非幾何学的背景時空
- 行列模型における古典極限と幾何学の関係
- 行列模型を用いたM5ブレーンの記述