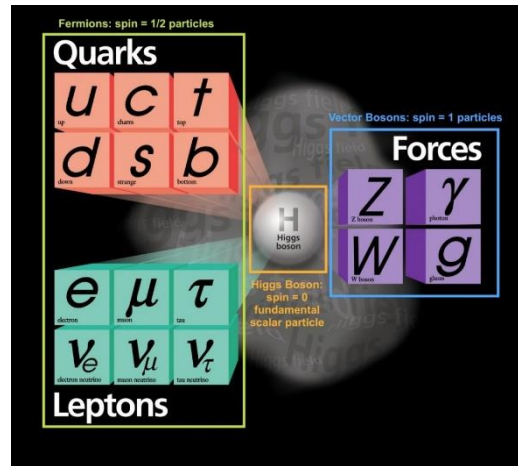


素粒子構造研究部門



TCHoU 宇宙史研究センター2019年度活動報告
2020年3月24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, 廣瀬茂輝*, 金信弘 (筑波大), 池上陽一 (KEK CA)
*2020/3/16着任

大川英希→復旦大 (中国)

• 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 CA), S.B. Kim (SNU 海外unit PI), 松浦周二 (関西学院大連携教員)

• 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, 伊敷吾郎 (筑波大), 佐藤勇二 (福井大連携教員)

素粒子構造研究部門 受賞

- 第13回（2019年） 日本物理学会若手奨励賞 素粒子実験領域
本多俊介（2018/3 博士課程修了）
“Search for the Higgs Boson Produced in Association with Top Quarks and Decaying into Bottom Quarks with the ATLAS Detector “（博士論文、筑波大学、2018年）



- 金萬有 学術賞 2019年5月11日
金 信弘

「2TeV陽子反陽子衝突実験CDFによるトップクォークの発見、
Bc中間子の発見、およびBs中間子の粒子反粒子振動の初観測を
はじめとする素粒子物理の研究」

- ヨーロッパ物理学会（EPS）2019年 高エネルギー素粒子物理学賞
CDF 実験グループ（受川，武内，原，佐藤，金，吉田，S. B. Kim）
（DO 実験グループとともに）
「トップクォークの発見とその性質の詳細な測定」



EPS HEP Prize : 過去の受賞者

2013 The ATLAS and CMS collaborations

2011 Sheldon Lee Glashow, John Iliopoulos, Luciano Maiani

2007 Makoto Kobayashi, Toshihide Maskawa

2003 David J. Gross, H. David Politzer, Frank Wilczek

1999 Gerardus 't Hooft

1997 Robert Brout, Francois Englert, Peter W. Higgs

1993 Martinus J.G. Veltman

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

LHC加速器稼働開始。

2011-12年

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

2012年

ATLAS/CMS両実験でヒッグス粒子を発見

2015-18年

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

現在

2021-23年

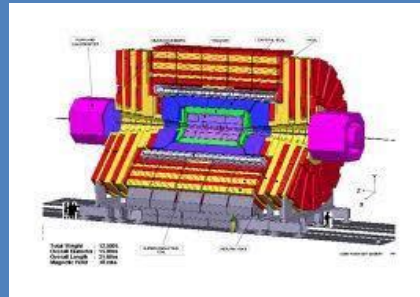
Run 3. $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$, $\sim 300 \text{ fb}^{-1}$ のデータセット

2026-3X年

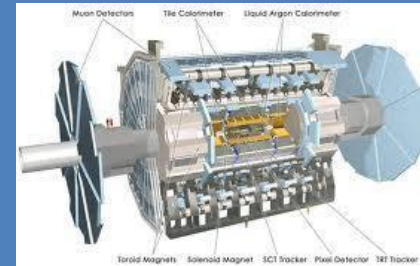
HL-LHC実験。 $\sim 3000 \text{ fb}^{-1}$ の大データセット



CMS実験



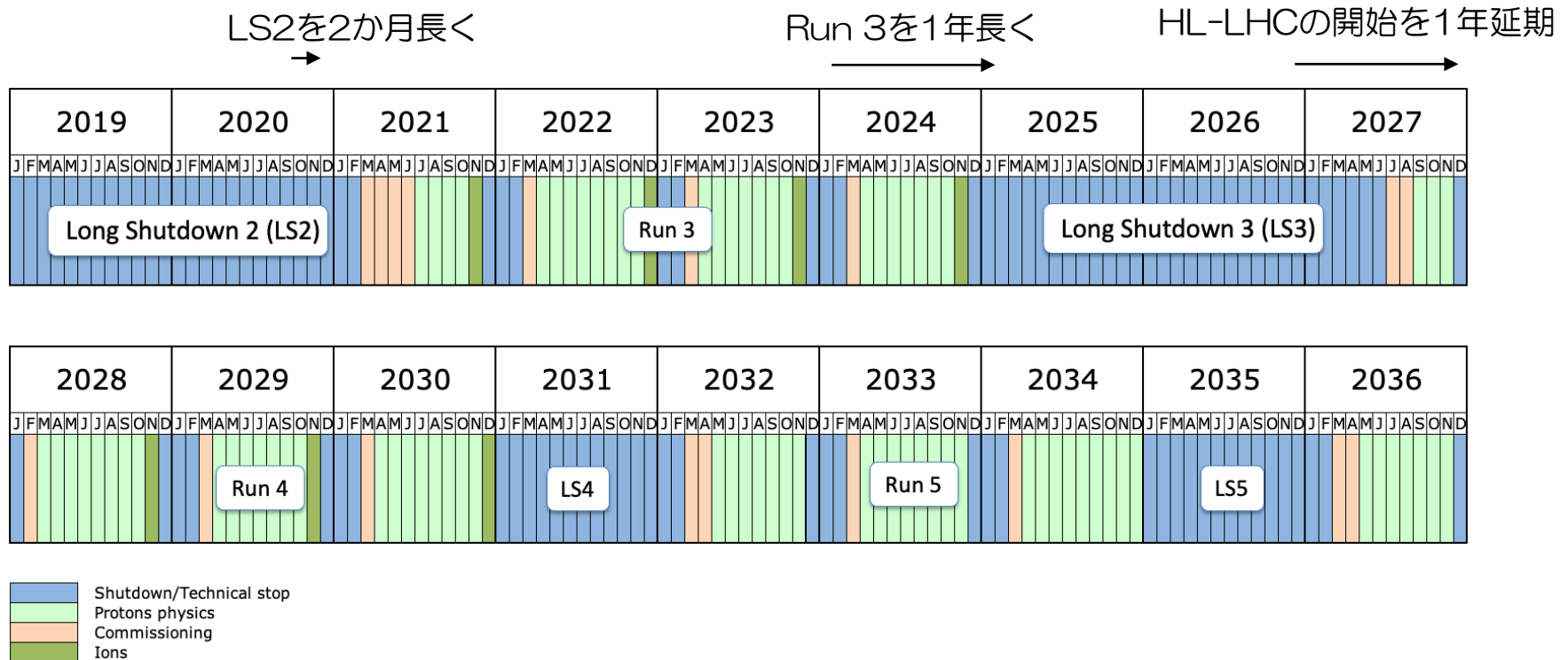
ATLAS実験



円周27km

陽子を最大7 TeVまで加速して正面衝突

LHC長期計画の変更 (2019.11)

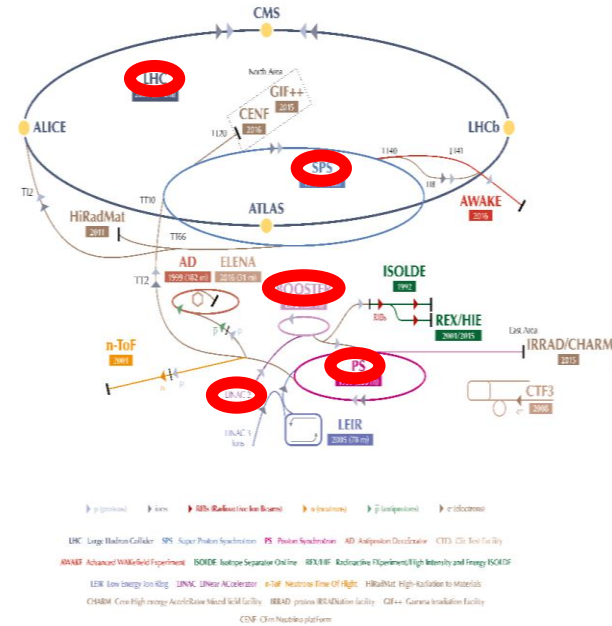


2019-2020のシャットダウン

LHC加速器と検出器のアップグレード

LHC加速器

- 2021年からのRun3の準備
 - work on dipole magnets to bring up proton energy (6.5 to 7 TeV)
- 2027年からのHL-LHCに向けた加速器
 - Replace Linac 2 with new Linac 4.
 - Upgrade Booster injection.
 - New RF system in SPS.
- インフラの整備 (install new lifts, …)、メンテナンス (電磁石交換等)
- ATLAS検出器
 - 高バックグラウンド環境に対応するため
 - 電子トリガー・エレクトロニクス
 - カロリーメータを細分化することでエネルギー測定精度を上げる。
 - ミューオントリガー
 - 高ラピディティ領域に新しい検出器をインストール



CERN、現在のCOVID-19対応

Coronavirus: information, measures and recommendations

Updated on 17 March 2020

The coronavirus COVID-19 situation is quickly evolving in many countries and CERN is adapting accordingly. **CERN is now entering Stage 3** and, as a result, will be implementing further measures in the coming days. By Friday, **activities on-site will be limited to those essential for the safety and security of the site and equipment;** necessary measures will be put in place accordingly.

Our highest priority continues to be to protect the health of all people on site and all measures are decided with this overarching objective in mind.

The CERN COVID-19 response team, set up in February 2020 (involving senior management from across the Organization, as well as health, safety and other relevant experts) is in constant contact with the relevant Host States authorities (among others, the Federal Office of Public Health in Switzerland, the Ministry of Health in France), the World Health Organization (WHO), and other intergovernmental organisations in Geneva with globally-mobile communities.

CERN's Epidemic Preparedness plan and response against COVID-19 defines three stages of increasing severity, aligned with the three stages of development that the expert health authorities have identified.

CERN's Epidemic Preparedness plan and response against COVID-19 defines three stages of increasing severity, aligned with the three stages of development that the expert health authorities have identified.

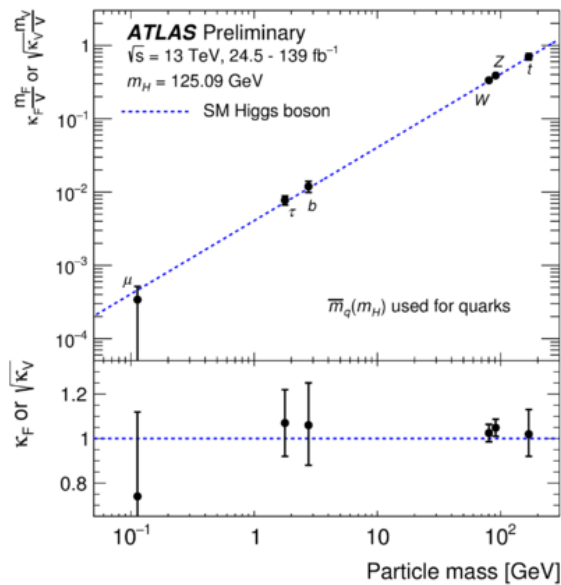
- Stage 1 – Alert of the spreading of the virus by WHO
- Stage 2 - A Host-State declares part of its territory, distant from CERN (not Geneva, Vaud, Ain or Haute-Savoie), as affected or threatened by an outbreak of COVID-19. The objective in this phase is to prevent and limit the spread of the virus.
- Stage 3 - The virus circulates widely in the area in which CERN is located, including at CERN itself.

Physics Analyses with Full Run 2 Data

Analyses of Full Run 2 Data (139 fb⁻¹) with $\sqrt{s} = 13$ TeV continuing.

Started to observe electroweak signatures which include vector boson scattering processes

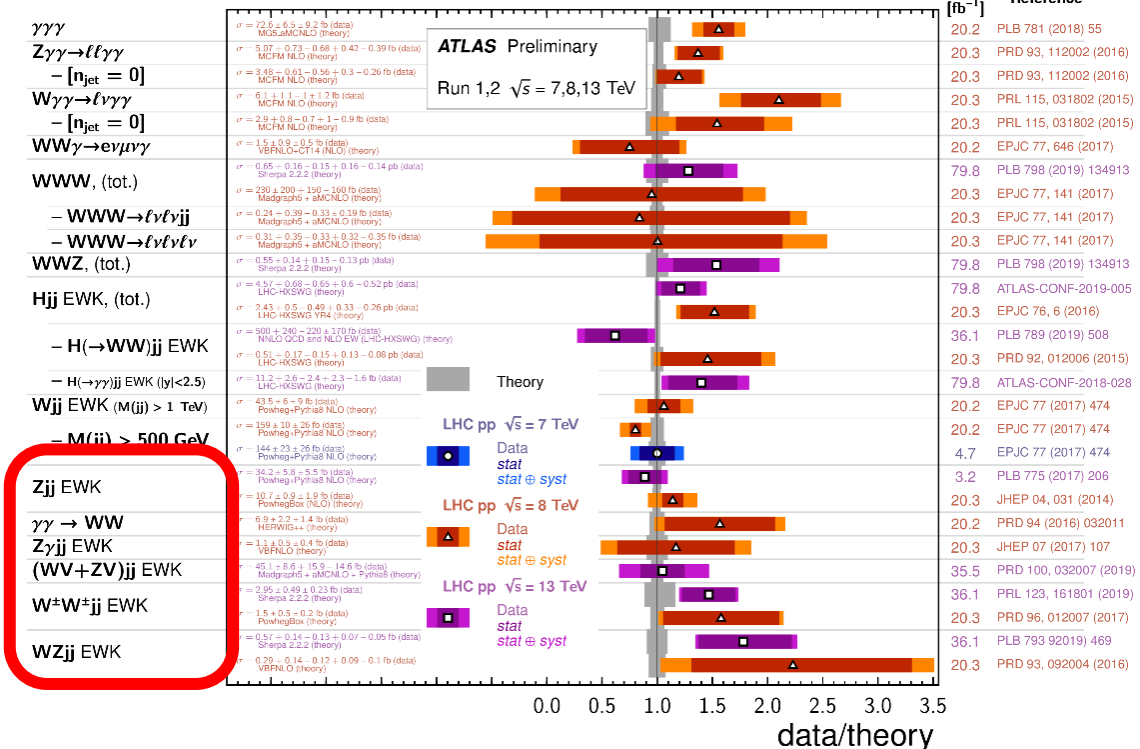
Update on Higgs couplings



Phys. Rev. D 101 (2020) 012002

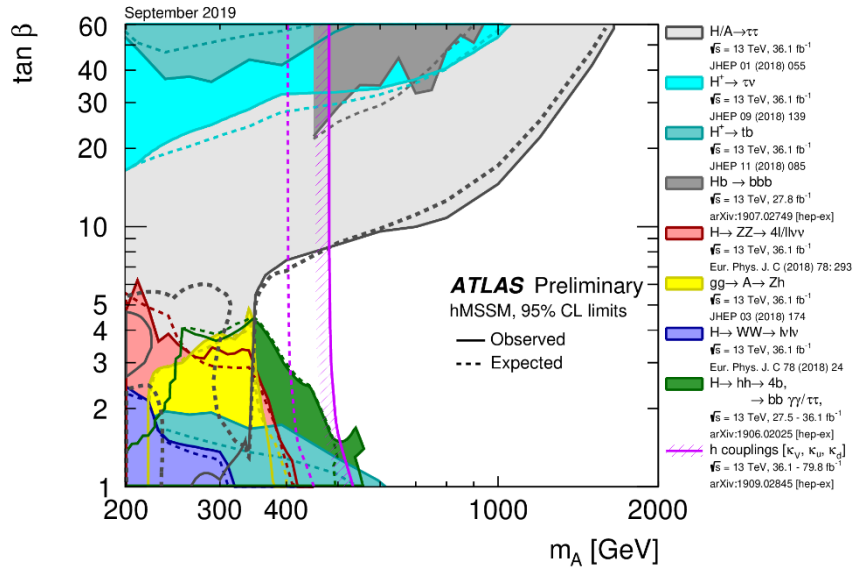
VBF, VBS, and Triboson Cross Section Measurements

Status: November 2019



Physics Analyses with Full Run 2 Data (2)

Limits on MSSM parameters from MSSM Higgs Searches

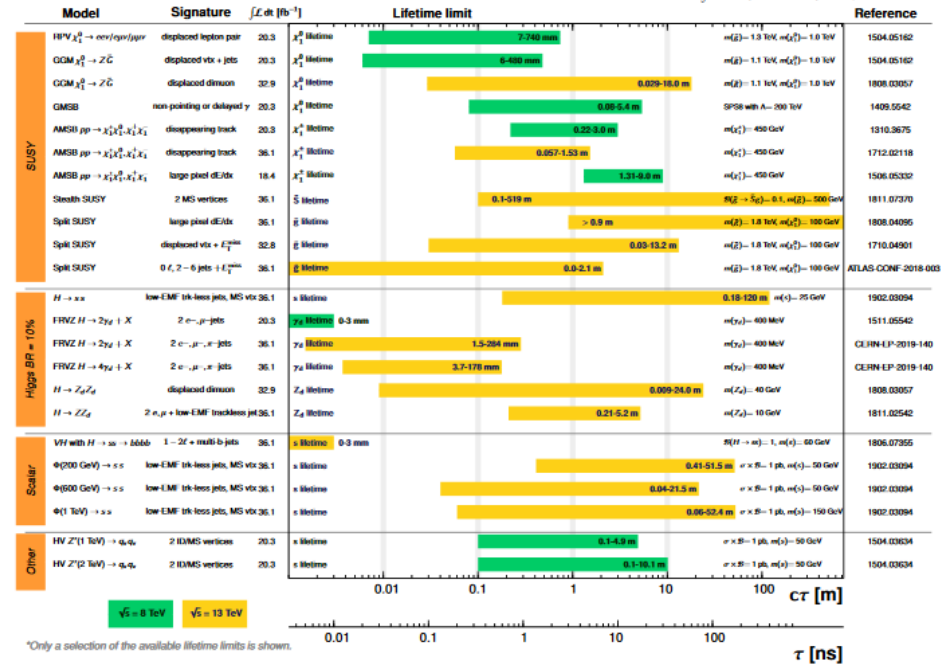


Plot to be updated very soon

Wide variety of Long-lived Particles are searched for

ATLAS Long-lived Particle Searches* - 95% CL Exclusion
Status: July 2019

ATLAS Preliminary
 $\int \mathcal{L} dt = (18.4 - 36.1) \text{ fb}^{-1}$ $\sqrt{s} = 8, 13 \text{ TeV}$



Tsukuba Group Activities

Operation of SCT (silicon detector in medium layers)

- Efficiency studies
- Performance as a function of radiation dose
- Software development and maintenance

Silicon tracker upgrade for HL-LHC

Physics Analyses

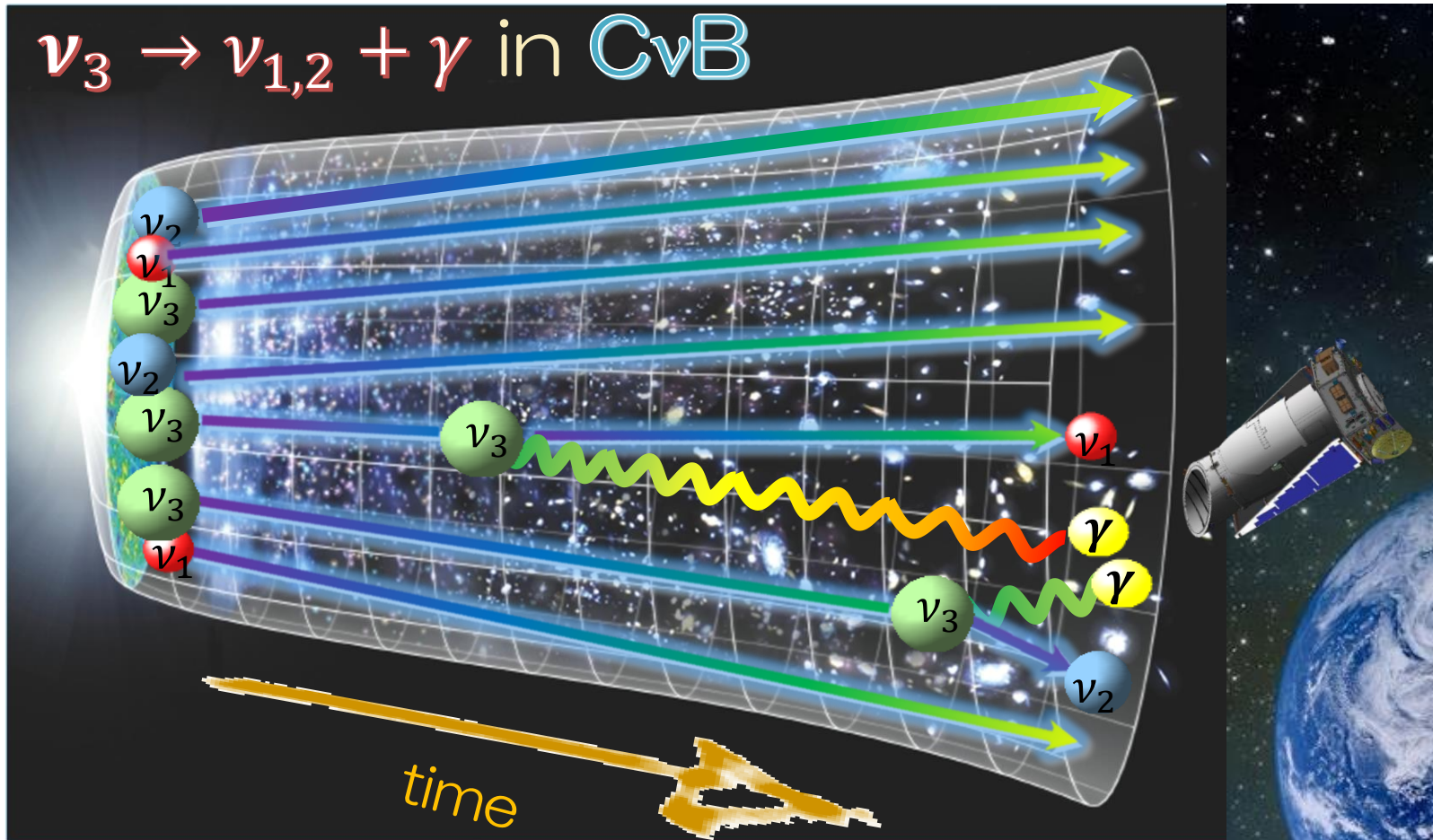
- Search for vector boson scattering process
- Search for $H^+ \rightarrow tb$
- Search for heavy long-lived neutral lepton

COBAND (COsmic BAckground 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 (ν_3 の静止系で)

現在の ν_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: ν_3 寿命 $\sim 10^{43}$ 年

→ 新物理に極めて敏感 (例えば LRSM では 10^{17} 年まで短くなり得る)

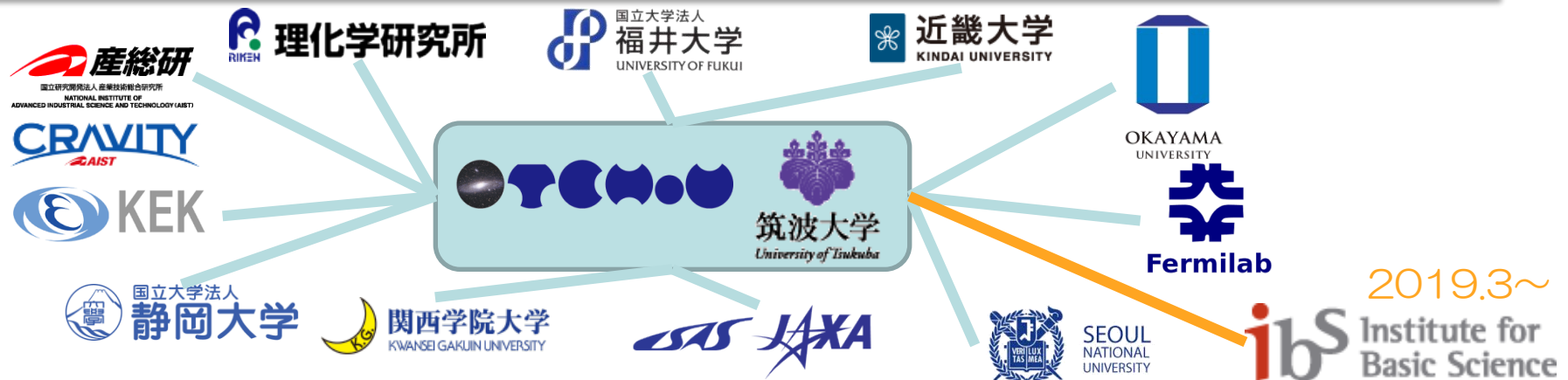
宇宙背景ニュートリノ崩壊光の検出は、

- 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

→ ν_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



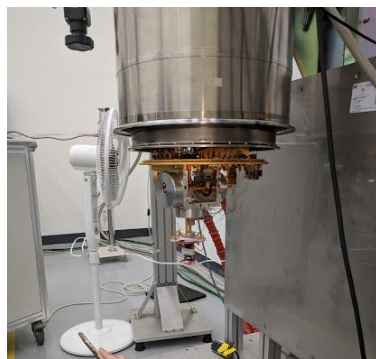
COBAND遠赤外一光子検出のための超伝導検出器の開発

ハフニウムを用いたSTJ光検出器の開発(KEK, IBSとの連携)

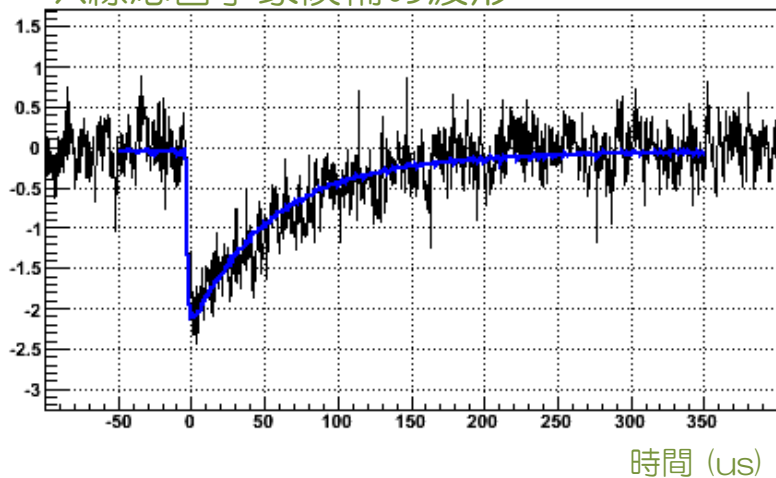
2019年度のハイライト：新素材 Hf-STJ (200 μm 角)で ^{55}Fe からのX線信号を観測

測定は、韓国IBS/CUPのグループと共同で、IBSにあるADR装置を使用

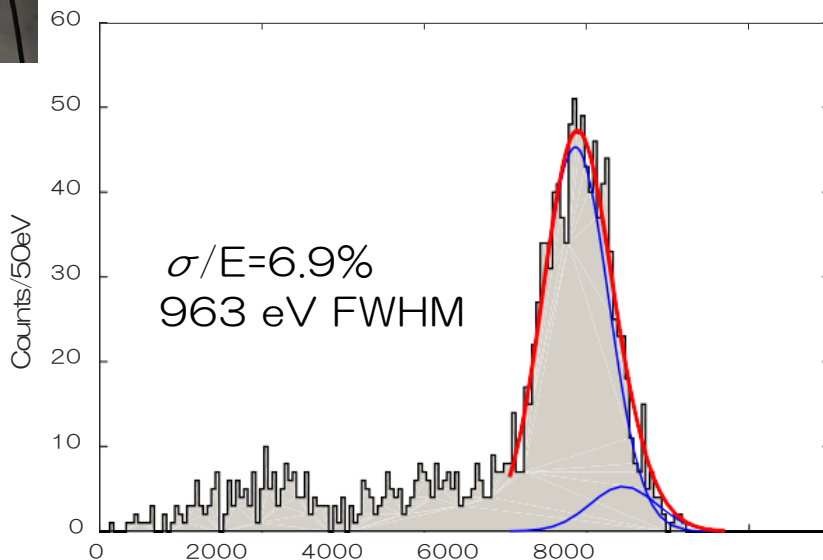
素子の製作は、KEK先端計測器開発棟クリーンルームプロセス装置群を使用



X線応答事象候補の波形



X-ray spectrum by Hf-STJ



COBAND遠赤外一光子検出のための超伝導検出器の開発

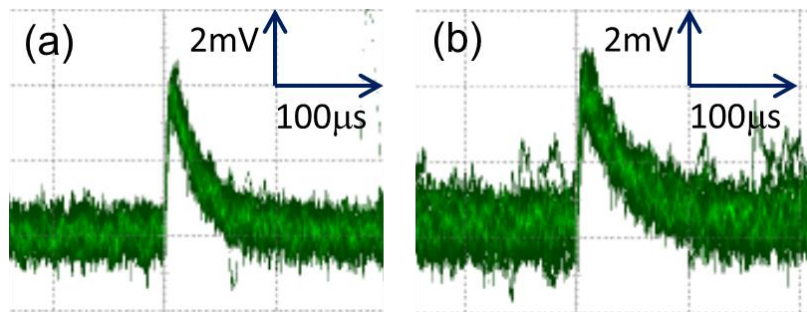
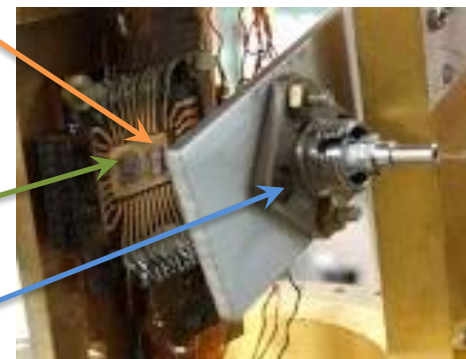
Nb/Al-STJ のSOI極低温増幅回路読出(AIST, KEK, JAXA等との連携) 2019年度のハイライト

- 容量性負帰還をもつカレントミラー差動増幅回路による低入カインピーダンス電荷積分型SOI増幅器
 - Nb/Al-STJ からの青色単一光子に対する信号電荷が約 3fC という予想に対して $C_{\text{FB}} = 300\text{fF}$ の増幅器で $T=3\text{K}$ での入力換算雑音で 0.1fC を達成。
 - 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に成功するが、青色単一光子検出には至らず。
- STJ本体やSTJの電位測定のための配線容量を通して信号電荷が散逸が原因
- 開ループ利得の更なる向上（負帰還回路時の低入カインピーダンス実現）が課題

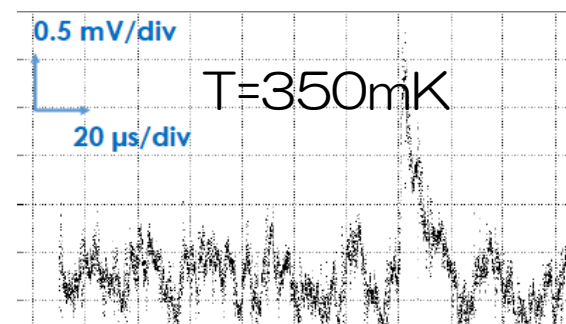
STJチップ
産総研
CRAVITY製

SOIチップ

光ファイバ



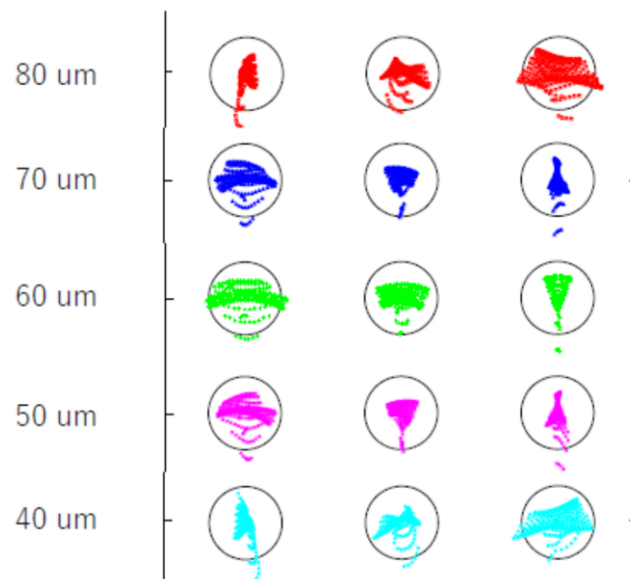
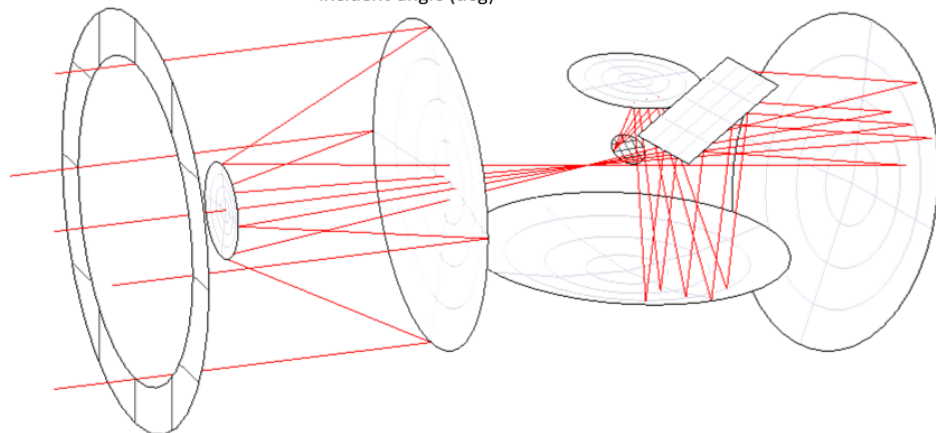
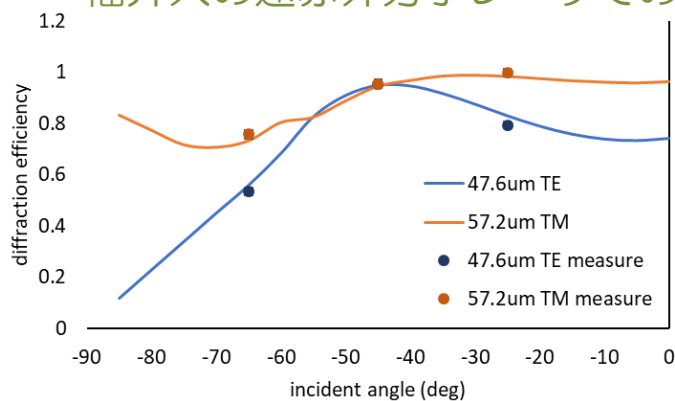
室温(a), 3K環境(b)におけるSOI電荷積分型増幅器の出力 (入力電荷 0.49fC)



光学系，他（福井大，関西学院大との連携）

- ロケット実験に向けた回折格子を含めた光学系の設計が進行中
- 回折格子を試作．福井大の遠赤外センターでの実測を行い，シミュレーションの信頼性を確認．
- 焦点位置で分光後の光をSTJ検出器へ集める集光用ホーン，STJ検出器表面の反射防止膜の設計に着手

試作回折格子の回折効率入射角依存性。
福井大の遠赤外分子レーザーでの実測とシミュレーション



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



超伝導体(STJ)と
半導体(SOI)の融合

- 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開ループゲインの増幅器の設計が必要

- 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：
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

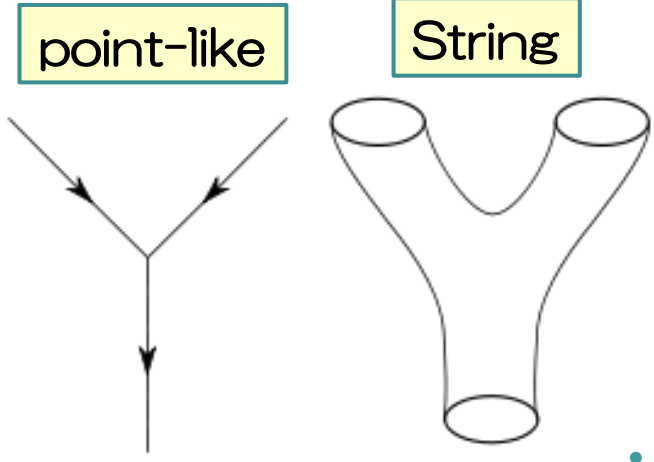
- 衛星実験に向けたHf-STJ開発：韓国IBS CUP (地下物理実験センター)での測定



- 論文：2件，国際会議講演：3件（ポスター），国内学会：12件

超弦理論

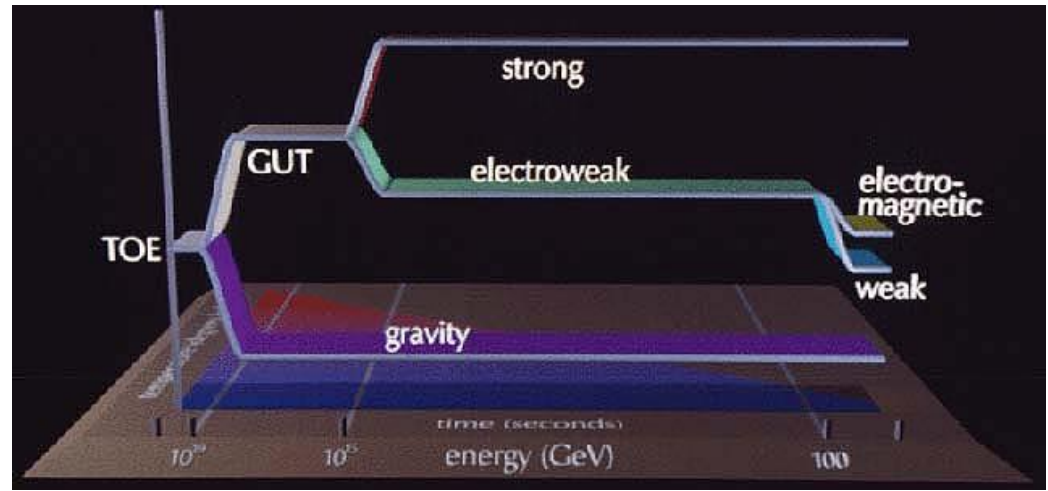
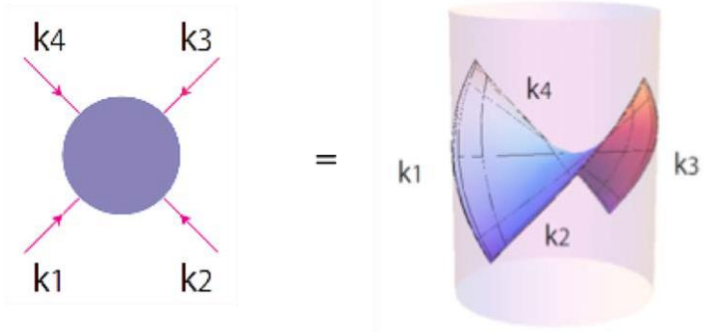
◆ 弦の場の理論



◆ 行列模型

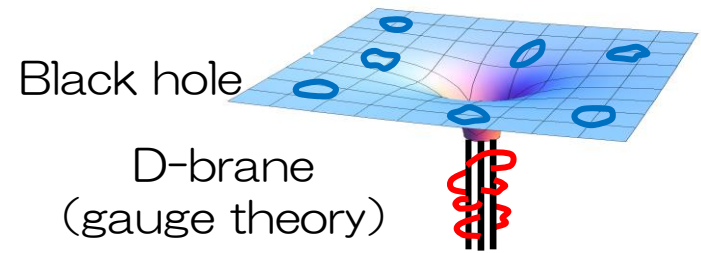
超弦理論の非摂動的定式化を与えていると予想される

◆ ゲージ/重力対応



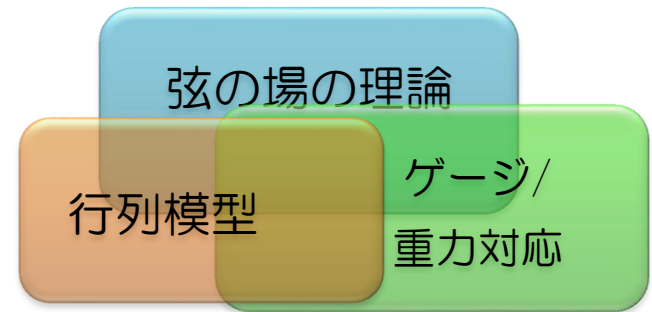
- 重力の量子論
- 全ての基本的相互作用と素粒子を統一的に記述する究極理論の有望な候補
- ➔ 宇宙の始まりを記述できると期待される
- ➔ 関連する分野に新鮮なアイデアを提供（余剰次元, ブレーン宇宙論, ...）

➔ 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（2019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。

2019年度の成果

- 論文：3件, 国際会議講演：2件, 国内学会：3件
 - 弦の場の理論の磁場のある古典解の性質を調べた
 - 境界を持つ2次元重力理論において、相関関数の満たす新しい関係式を導いた
 - 弦理論の正則化（行列正則化）の性質を調べ、その一般化を与えた

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進めていく

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