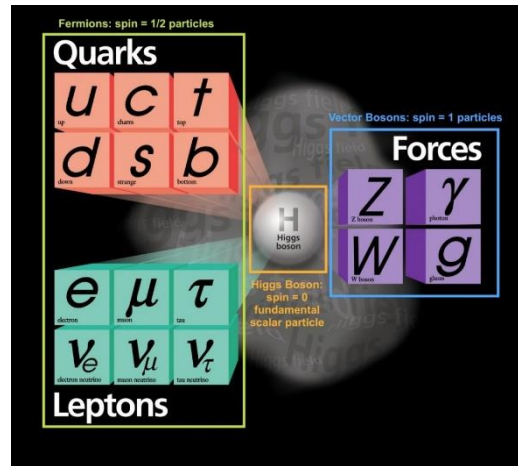


# 素粒子構造研究部門



TCHoU 宇宙史研究センター—2020年度活動報告  
2021年3月29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

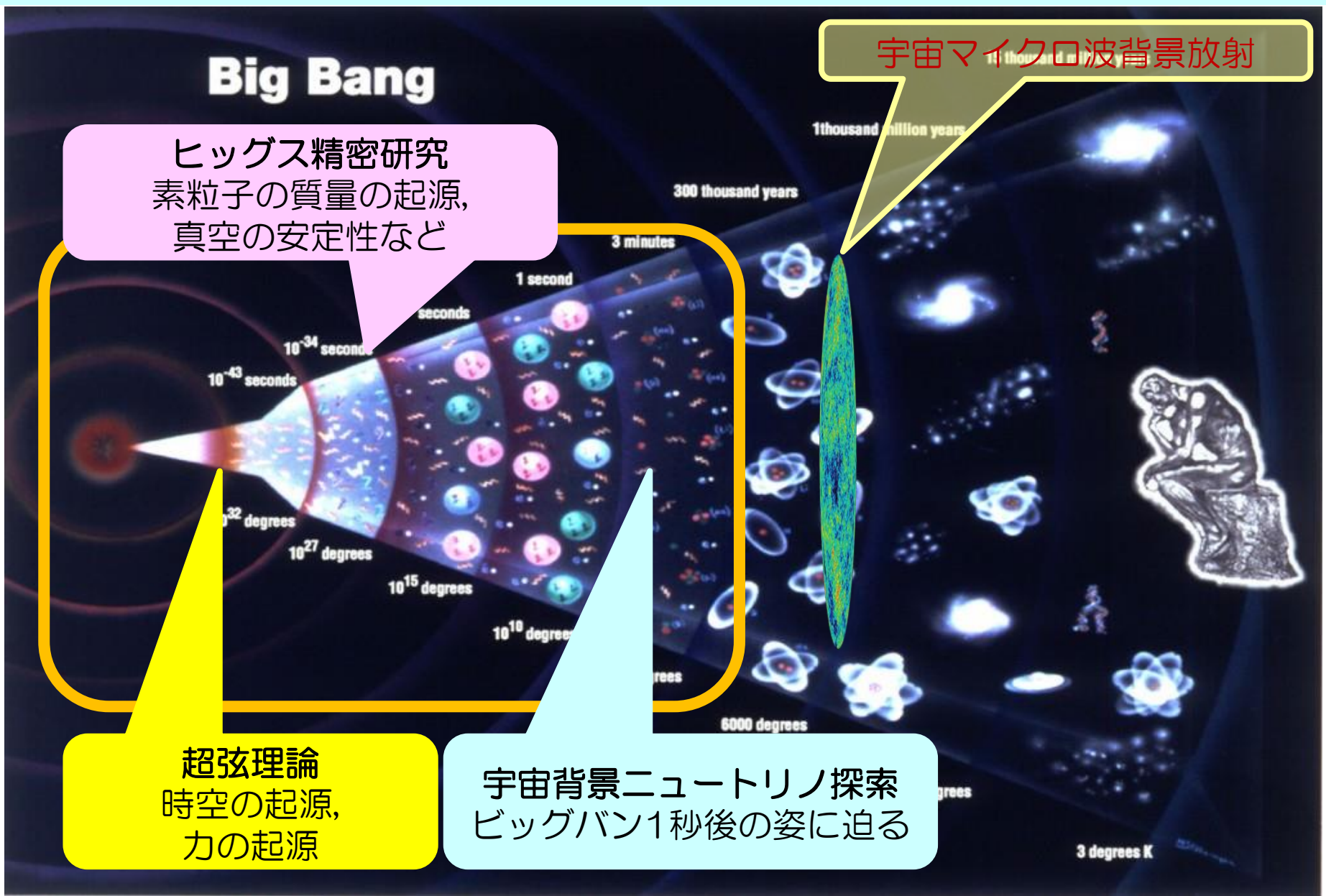
## Big Bang

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

宇宙マイクロ波背景放射



# 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
- マスタープラン2020「高輝度大型ハドロン衝突型加速器(HL-LHC)による素粒子実験」
- 講演数（国内）：14件，論文数：77件，科研費：2件

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）

## • 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決定
- 筑波大TCHoUを中核とする国際共同研究
- マスタープラン2020「宇宙背景ニュートリノ崩壊探査」
- 講演数（国内）：11件，科研費：2件

金信弘，武内勇司，飯田崇史（筑波大），吉田拓生（福井大 CA），松浦周二（関西学院大 客員教員），S.B. Kim（韓国成均館大 海外unit PI）\*

\*任用手続き中（SNU→SKKU移動のため）

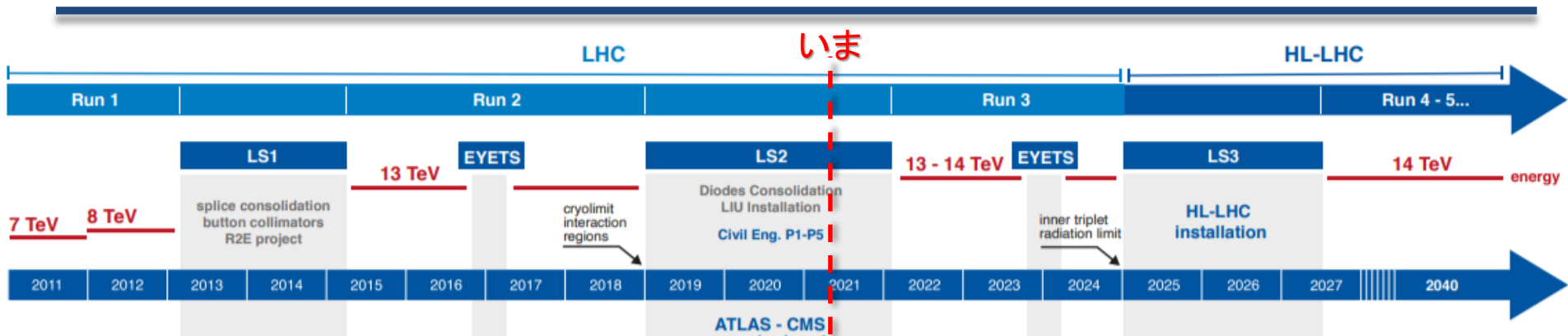
## • 超弦理論

- 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
- 論文：2件，国際会議講演：1件，国内学会：2件，科研費：2件

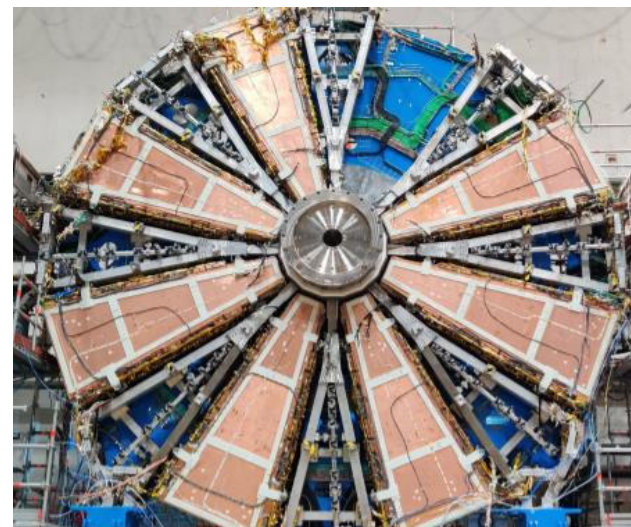
石橋延幸，伊敷吾郎（筑波大），佐藤勇二（福井大連携教員）

受賞 飯田崇史「二重ベータ崩壊探索用シンチレータ結晶の新規開発」2020.10  
東北大学金属材料研究所 第8回研究部共同利用・共同研究 若手萌芽研究最優秀賞

# ■ LHC/ATLASの状況



- 現在は長期シャットダウン中
  - 2022年に運転再開予定 (COVID-19により、当初の予定から1年延期)
  - Run 3 (2022-24) の加速器運転パラメーターはほぼRun 2と同様
  - エネルギーは13 or 13.5 TeV → 14 TeV運転を狙った調整も進行中
- ATLAS検出器の作業
  - 新しいミュオン検出器の建設 (2022/03までにインストール予定)
  - カロリメータトリガー回路のアップグレード
  - その他検出器のメンテナンス作業



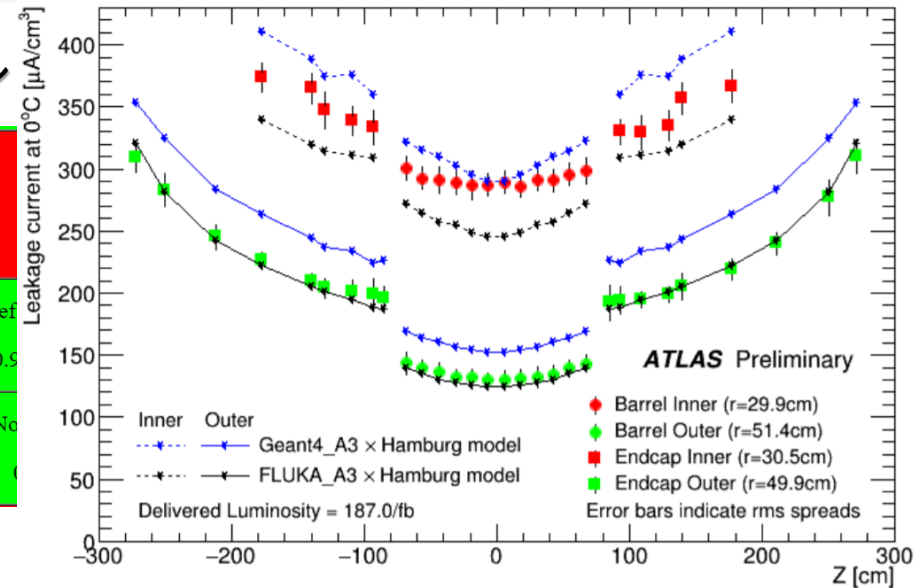
# ■ シリコンストリップ検出器

## SCTモジュールごとのヒット検出効率評価ツール

[20220240100642](#)

efficiency		efficiency		efficiency		efficiency	
0.600520		0.609425		0.607920		0.608241	
hitmap		hitmap		hitmap		hitmap	
effside0	effside1	effside0	effside1	effside0	effside1	effside0	effside1
0.985709	0.215331	0.985594	0.233256	0.986933	0.228907	0.985895	0.230588
Noisy	Bad	Dead	Noisy	Bad	Dead	Noisy	Bad
0	5	30	1	5	30	0	5

← 時間の向き

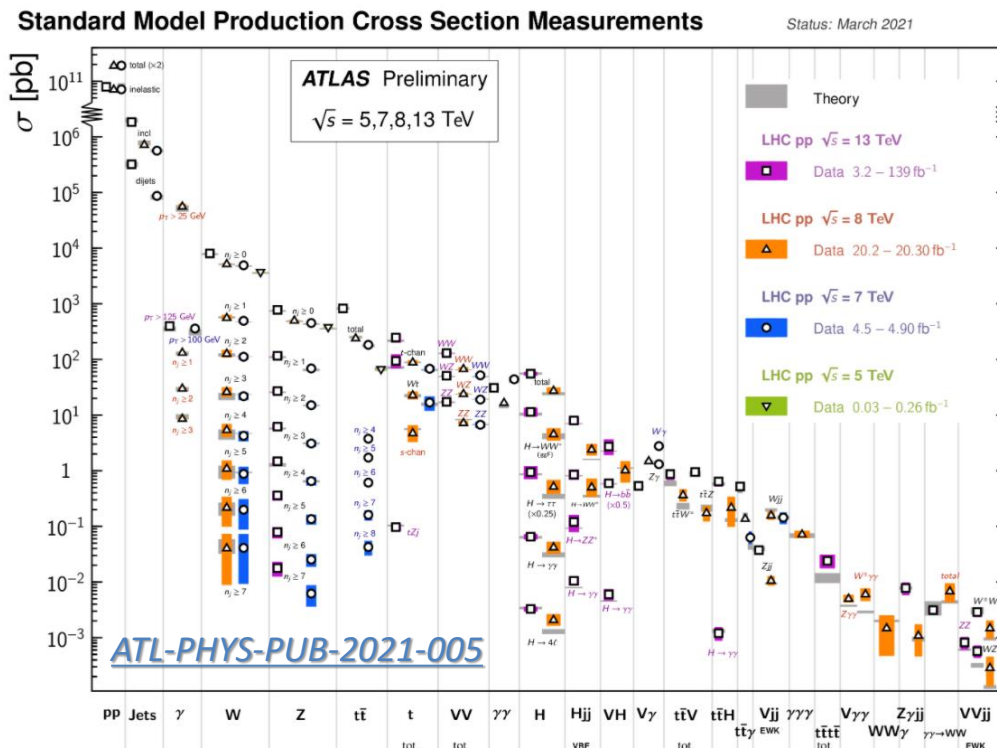


- 筑波大学はシリコンストリップ検出器(SCT)のメンテナンスおよび性能評価研究に大きく貢献
    - メンテナンス作業などをコーディネート **廣瀬 (~2020/06)**
    - Run 3用SCTモジュール性能モニタリングツール開発 **山内**
  - 様々なデータを使って現在のSCTの性能や放射線損傷を評価
    - ヒット検出効率など基礎性能の評価 **若狭**
    - TCADを使った放射線損傷の詳細な理解 **和田・原**
- Run 2で得られた知見をまとめた論文を執筆中(廣瀬が取りまとめ役)

# ■ Run 2全データを使った物理解析

- 2021年度も、ATLASグループは精力的に物理成果を発表
  - Run 2で蓄積された大量のデータをフルに活用
  - SUSYをはじめとする重い新粒子探索の他、標準模型過程(ヒッグス含む)精密測定でも、ATLAS(およびCMS)は重要な役割を担っている
  - Moriond 2021でも様々な重要結果を公表予定

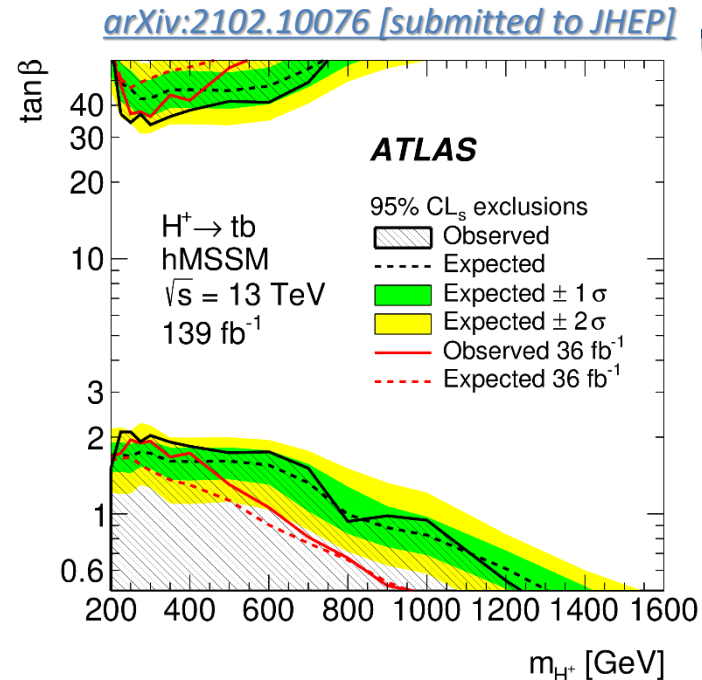
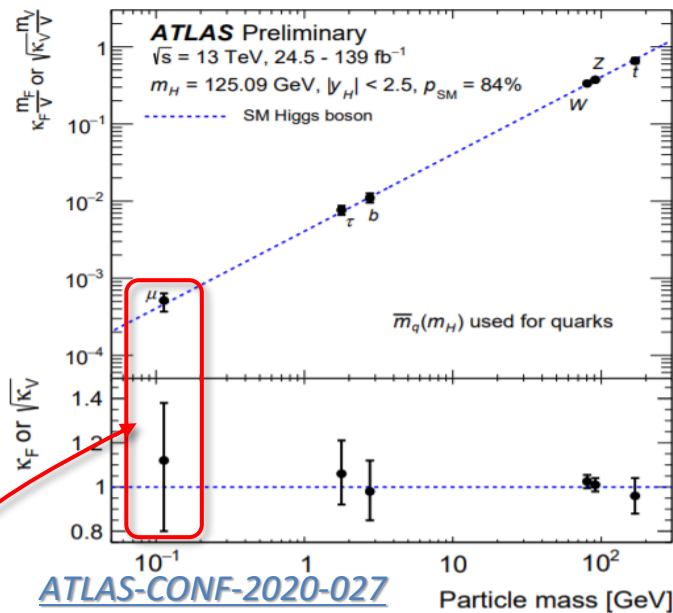
## 標準模型過程測定まとめ(2021年春時点)



- $O(1 \text{ fb})$ の過程も測定され始めている
- ベクターボソン散乱を複数のチャンネルで測定  
→ ヒッグス機構の間接的検証

若狭・受川

# ■ ヒッグスの物理



- 標準模型ヒッグス粒子の精密測定

- $H \rightarrow \mu\mu$ の兆候が初めて見えた!

- $H \rightarrow \tau\tau$ との比較が面白い → Run 2全データの結果を夏に公表予定 **廣瀬**

- 拡張ヒッグスモデルにおける余分なヒッグス粒子探索

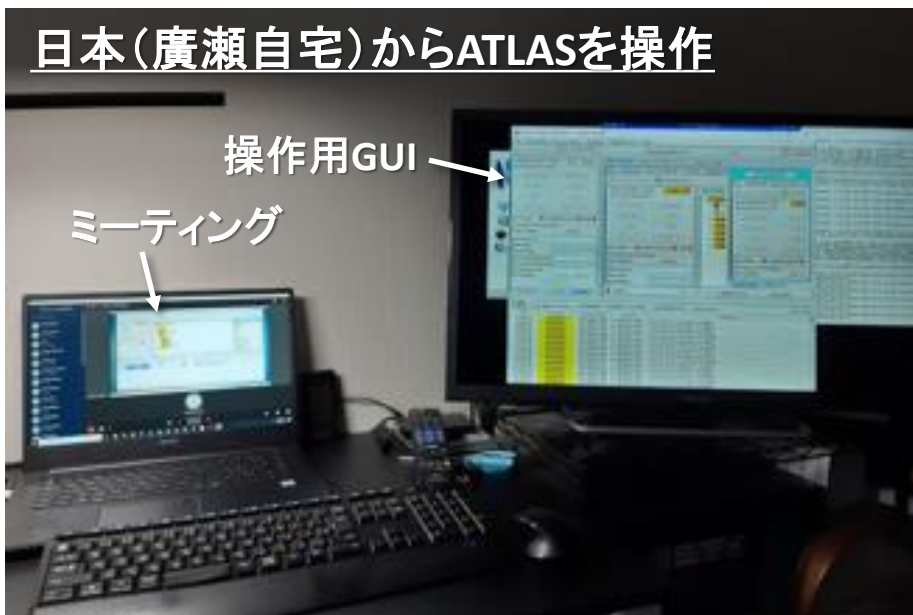
- 荷電ヒッグス探索:  $H^+ \rightarrow tb$ を2020年夏に公表

**佐藤・廣瀬・山内**

- ブーストされたトップクォーク再構成手法を利用し、より高い質量領域の探索に挑戦中

# ■ COVID-19への対応

## 日本(廣瀬自宅)からATLASを操作



*F. Gianotti, New-Year online meeting*



Proximeter: デバイス同士が2 m以内に接近すると振動する

- COVID-19の影響は大きかった
  - 2020/03-05の間、約2か月間CERNが閉鎖状態に
  - 様々なプロジェクトが遅れ、Run 3の開始が2022年からに変更された
- できる限りリモート化し、現場の必要最小限の人員と協力しながらアクティビティを継続
  - CERN入構中は常にproximeterの装着が義務化
  - SCTも、可能な限りリモートで操作しながら運転を継続



# COBAND (COsmic BAckground Neutrino Decay)

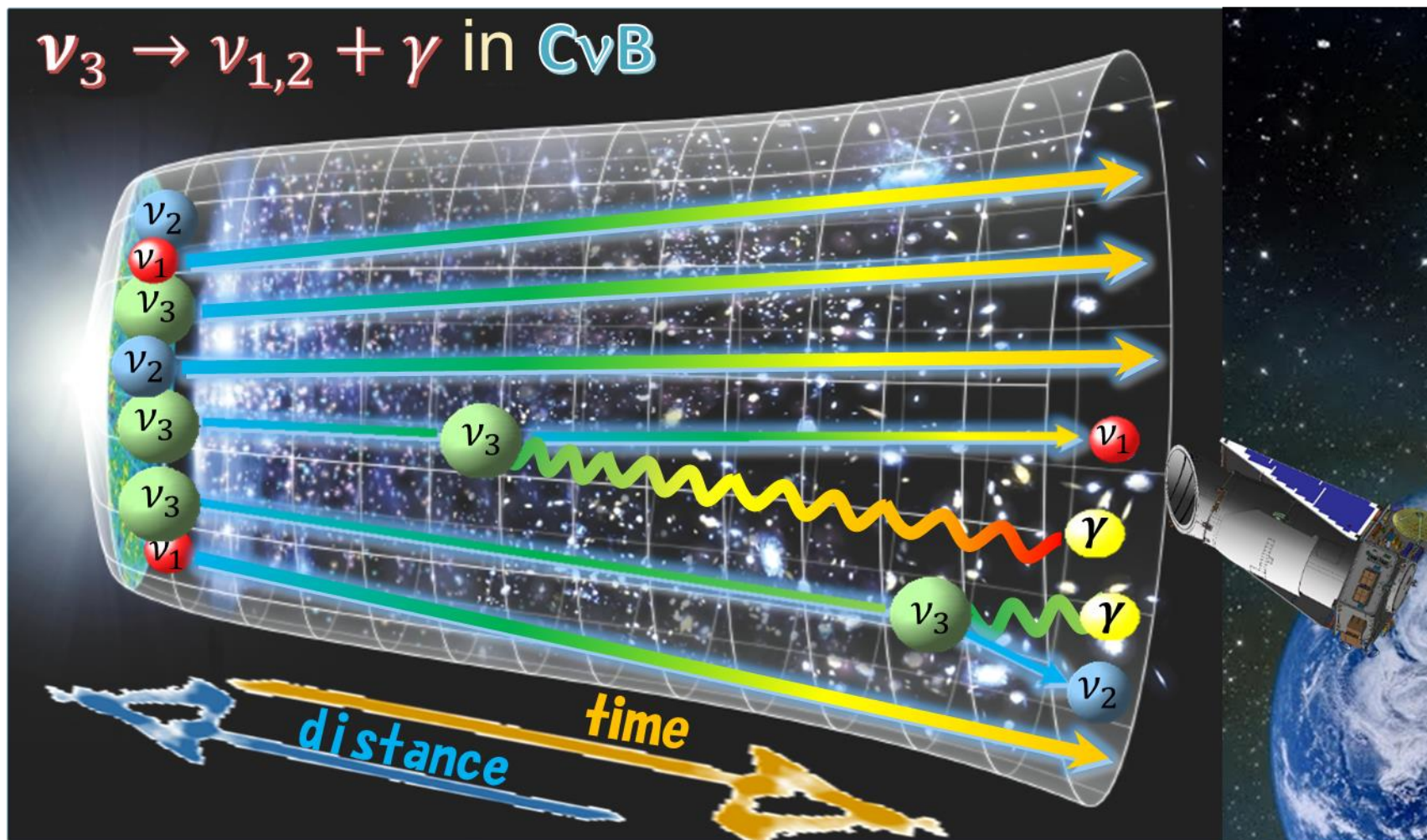
宇宙背景ニュートリノのニュートリノ崩壊探索

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

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



$$\nu_3 \rightarrow \nu_{1,2} + \gamma \text{ in CvB}$$



# 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 (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、

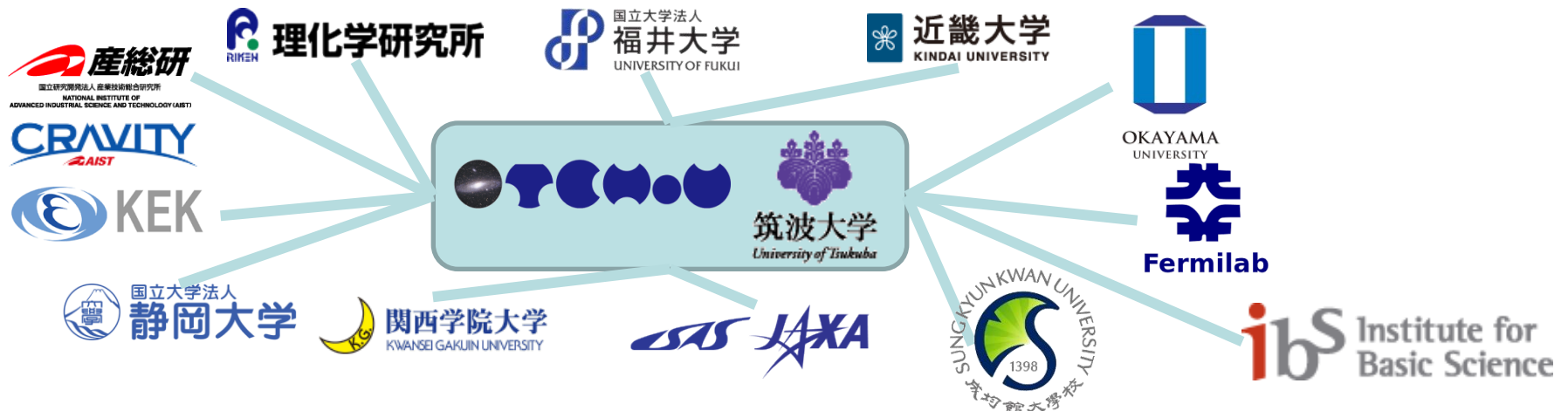
- ニュートリノ崩壊への新物理の寄与を検証
- 宇宙背景ニュートリノの証拠
- ニュートリノ質量の絶対値の決定

ロケット実験, およびその後には衛星実験を計画

→  $\nu_3$  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

– 光量子部門との連携, 超伝導素子, 光学系関連では南極天文部門との連携もあり得る

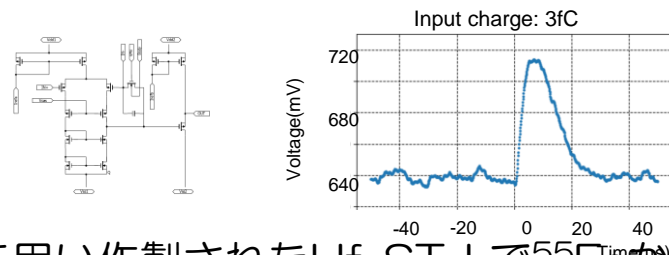


# COBAND遠赤外一光子検出のための超伝導体検出器の開発

光量子部門との連携：光量子部門のプロジェクトの一つ

## Nb/Al-STJ のSOI極低温増幅回路読出

- SOI技術を用いた負帰還差動増幅回路による電荷積分型増幅器が極低温で室温と同様に動作することを確認。超伝導体デバイスの冷凍機内信号増幅を実証。
    - 今年度60fFの負帰還容量により室温～3Kまで約20mV/fCの利得をもつ増幅器の性能を確認
  - H型ゲート構造を持つSOI-MOS FETで極低温で発生するドレインアバランシェ現象の抑制を確認
  - ESD保護回路の極低温での動作の確認
- ➔ SOI回路の極低温(3K)での動作の理解・実績も積みつつある。

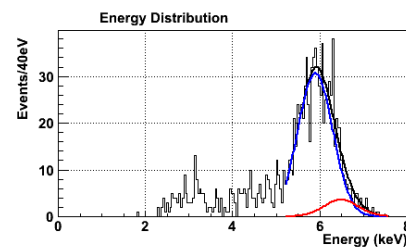


## Hf-STJ のX線応答信号

- KEK先端計測器開発棟クリーンルームプロセス装置を用い作製されたHf-STJで<sup>55</sup>FeからのX線信号を観測（韓国IBSのADRを用いて測定）

– 200μm角Hf-STJで5.9keVエネルギーを6.7%の分解能で測定（論文執筆中）

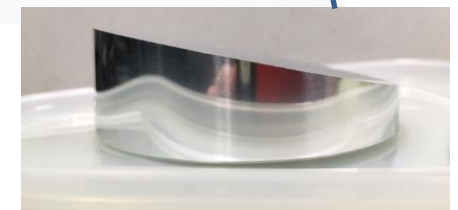
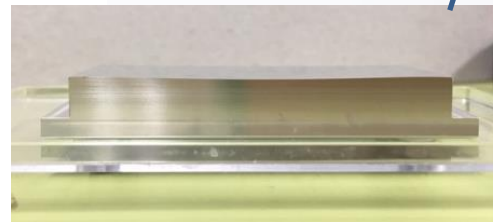
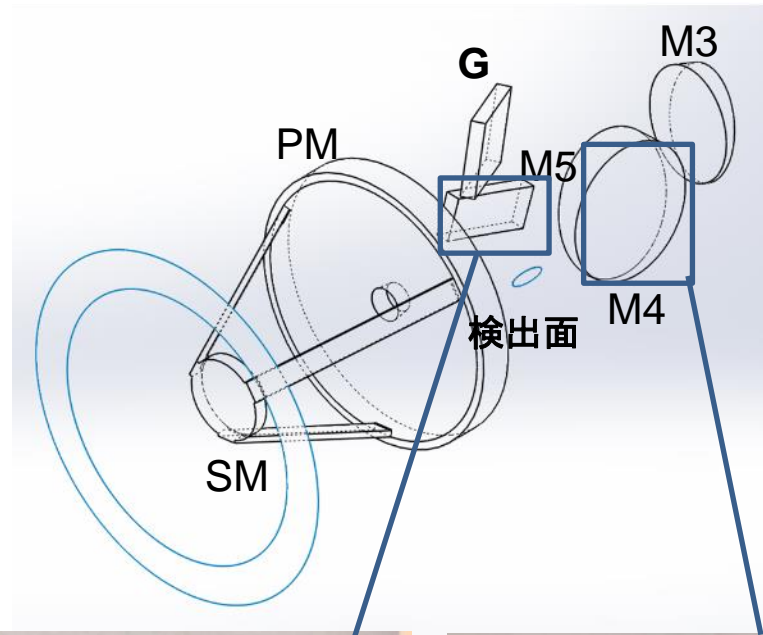
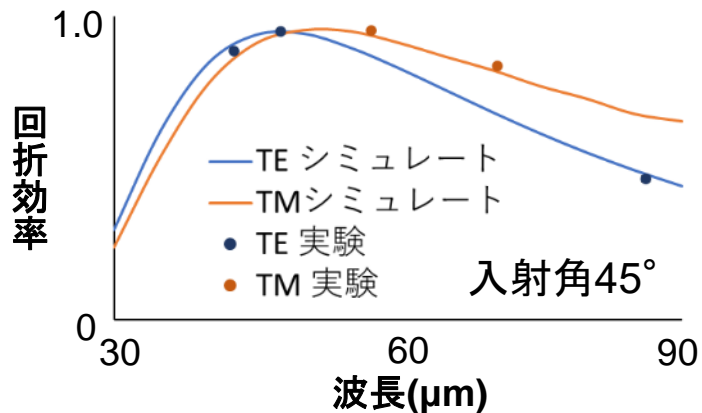
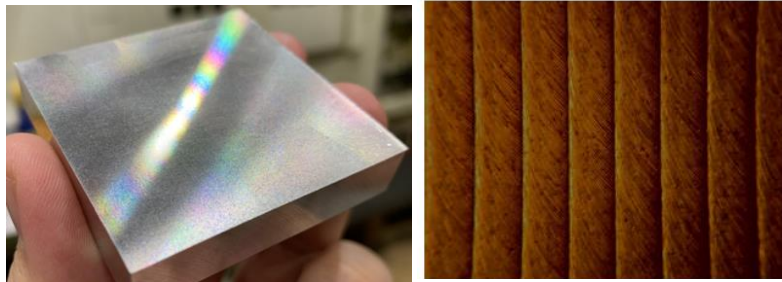
– 10μm角Hf-STJのデータは現在解析中



# ロケット実験光学系（福井大，関西学院大との連携）

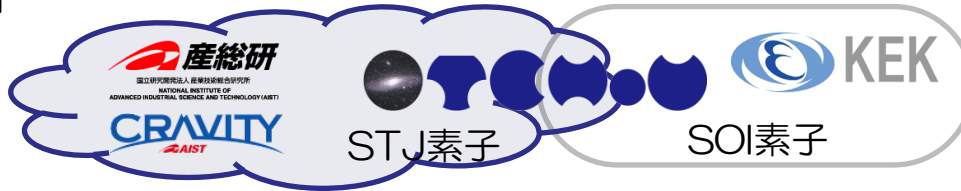
- 回折格子を試作。福井大の遠赤外センターでの遠赤外光で設計通りの回折効率を確認
- ロケット実験に向けた回折格子を含めた光学系の設計・一部のミラーの試作テスト
- 焦点位置で分光後の光をSTJ検出器へ集める集光用ホーン的设计
- STJ検出器表面の反射防止膜(シリコン薄膜 $\sim 4.2\mu$ 厚)の試作を開始

試作回折格子 (365 $\mu$ mモデル)



# COBAND実験

- ロケット実験に向けたNb/Al-STJセンサー開発，及び光応答の極低温SOI増幅器読出



超伝導体(STJ)と  
半導体(SOI)の融合

- ロケット実験に向けた望遠鏡・分光光学系



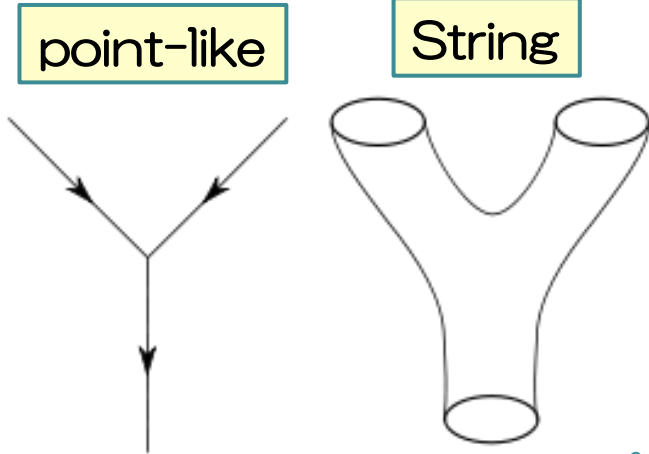
- ロケット搭載冷凍機： TCHoUと企業による試作機製作
- STJ反射防止膜： TCHoUと企業による試作機製作
- STJ検出器・光学系校正用遠赤外線源： 福井大遠赤センター
- ロケット実験のその他の開発要素：  
長波長フィルター，フロントエンドエレクトロニクス，DAQ，無線データ転送など
- ✓ ロケット実験提案書を JAXA に提出：2019/6 (不採択：検討後の再提案を推奨)  
2021年度も提案書を準備中

- 衛星実験に向けたHf-STJ開発： TCHoU+KEK+IBS/CUP  
KEK先端計測器開発棟CRプロセス装置を使用した Hf-STJ作製  
韓国IBS CUP (地下物理実験センター)での測定



# 超弦理論 —より完全な定式化に向けて—

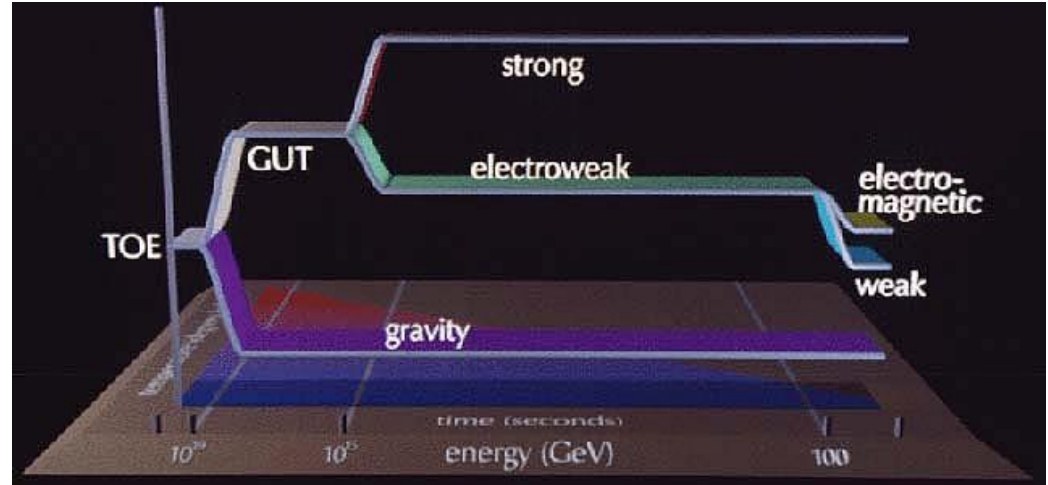
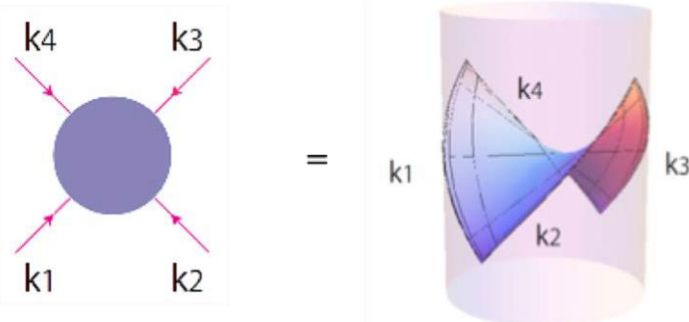
## ◆ 弦の場の理論



## ◆ 行列模型

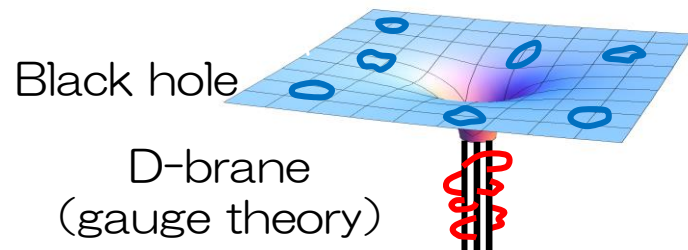
超弦理論の非摂動的定式化を与えていると予想

## ◆ 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

## 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。

## 2020年度の成果

- 論文： 2件, 国際会議講演： 1件, 国内学会： 2件
  - これまで構築されていなかった非臨界弦の場の理論を構築した
  - 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
  - 非可換空間上のラプラシアンの一般的な構成法を与えた

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

- 行列模型を用いたエンタングルメントエントロピーの計算
- 米谷模型
- 弦の場の理論の古典解と旗状態
- 弦の場の理論と確率過程量子化