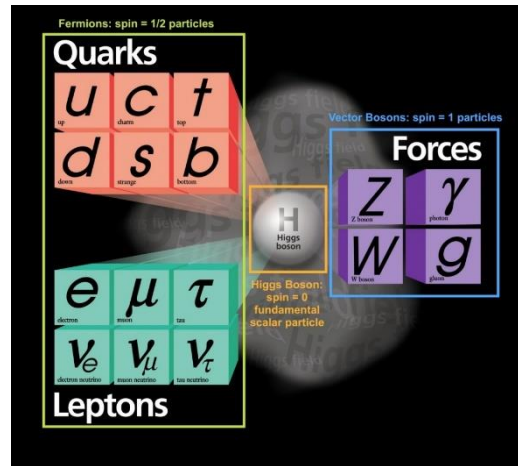
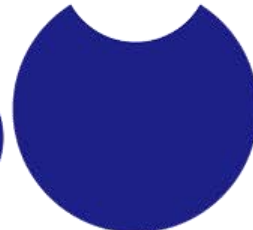


素粒子構造研究部門



TCHoU 宇宙史研究センター2021年度活動報告
2022年3月18日

武内 勇司 (TCHoU 素粒子構造研究部門)

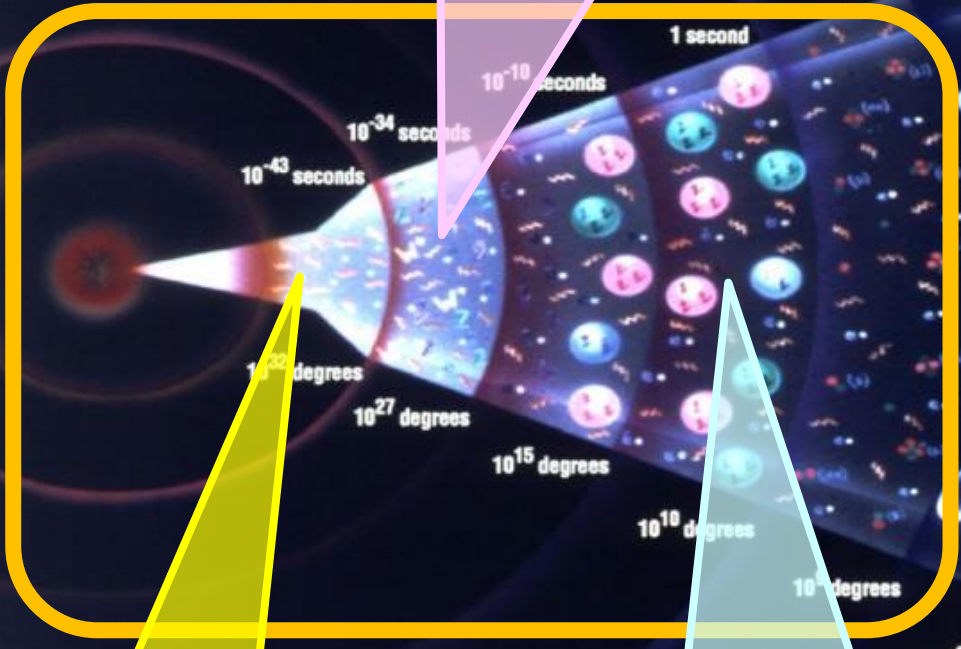


宇宙史研究における素粒子構造研究部門のプロジェクト

Big Bang

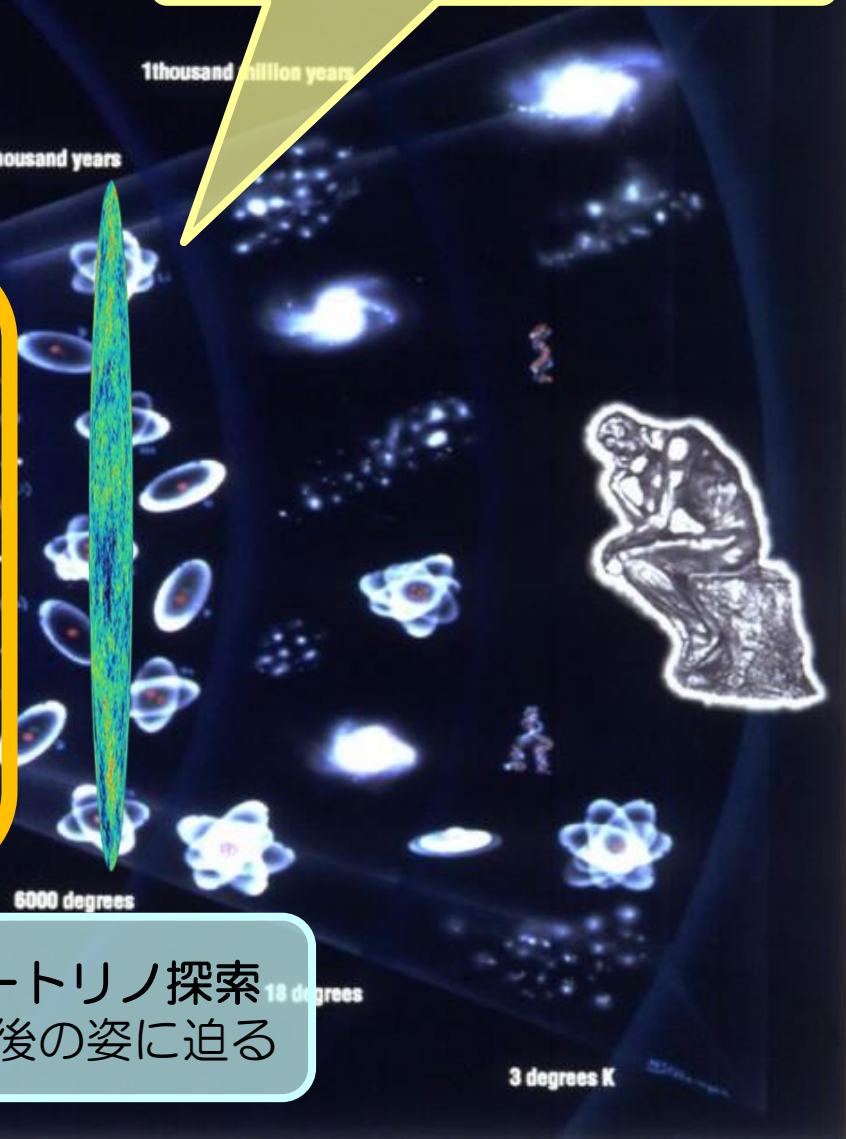
宇宙マイクロ波背景放射

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
- 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」
- 論文数：71件，国際会議講演：1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」
- 会議紀要(査読無)：2件，国際会議講演：1件，科研費：1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）**

*10月に任期満了 **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，科研費：2件

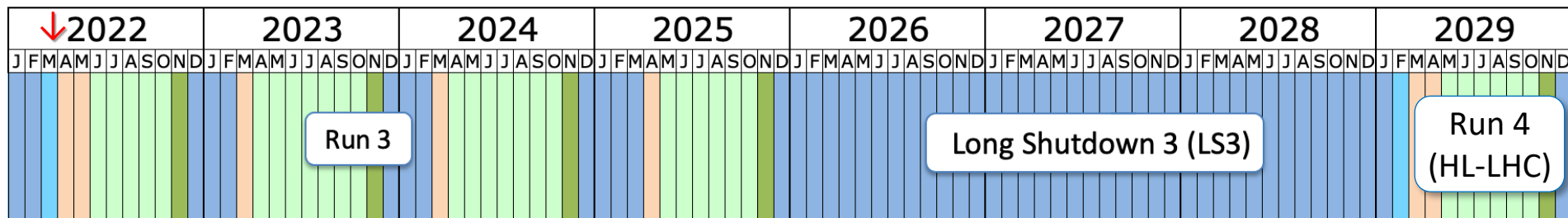
石橋延幸，伊敷吾郎，浅野侑磨*（筑波大），佐藤勇二（福井大連携教員）

* 10月より構成員として参加

受賞 原和彦「素粒子実験半導体センターの発展とその社会貢献」2021.4
文部科学大臣表彰の科学技術賞（科学技術振興部門）

■ LHC/ATLASの状況

いま



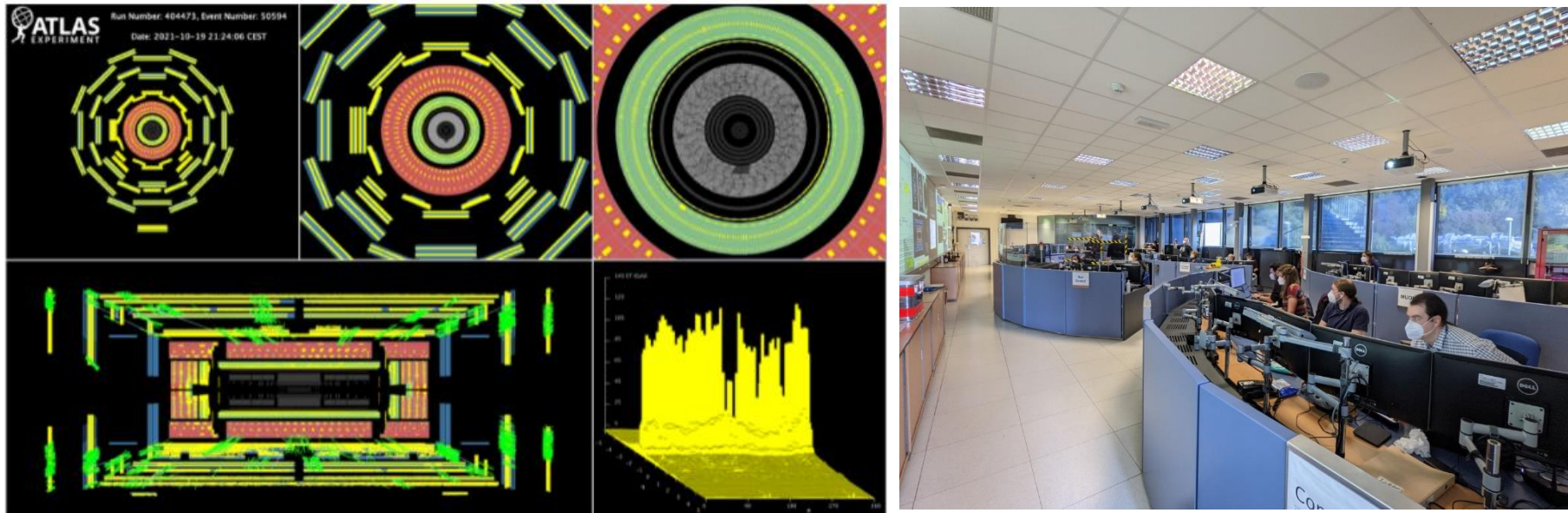
13.6 TeV

14 TeV

- いよいよ、LHC Run 3運転が始まる
 - 2022～25年の4年間: HL-LHCに向けた各実験のスケジュール遅れを考慮し、1年延長された
 - エネルギーは13 TeVから13.6 TeVに上昇
 - 4年間で、約 300 fb^{-1} (これまでの約2倍)のデータ収集を目指す
- トリガーシステムを大幅に改良
 - 新しいミュオン検出器 (NSW) の実装
 - カロリメータトリガー回路のアップグレード



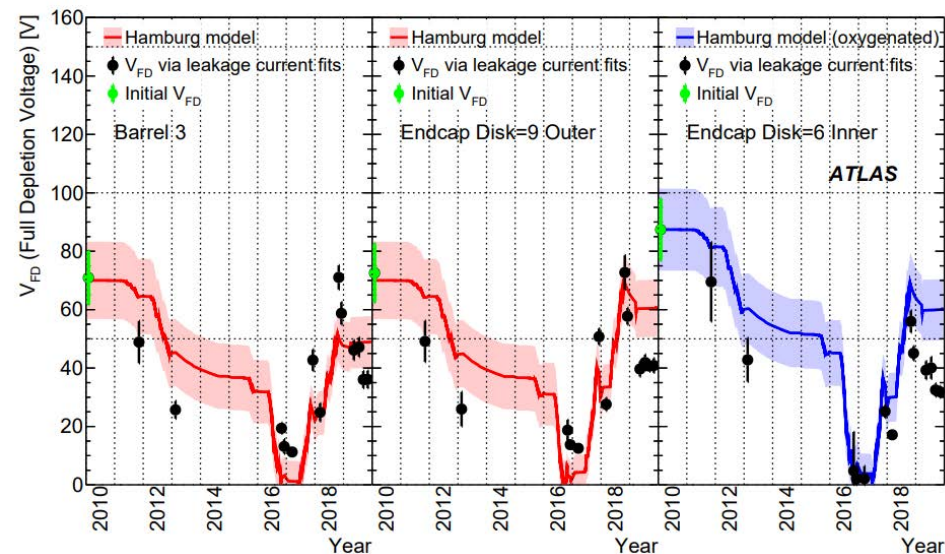
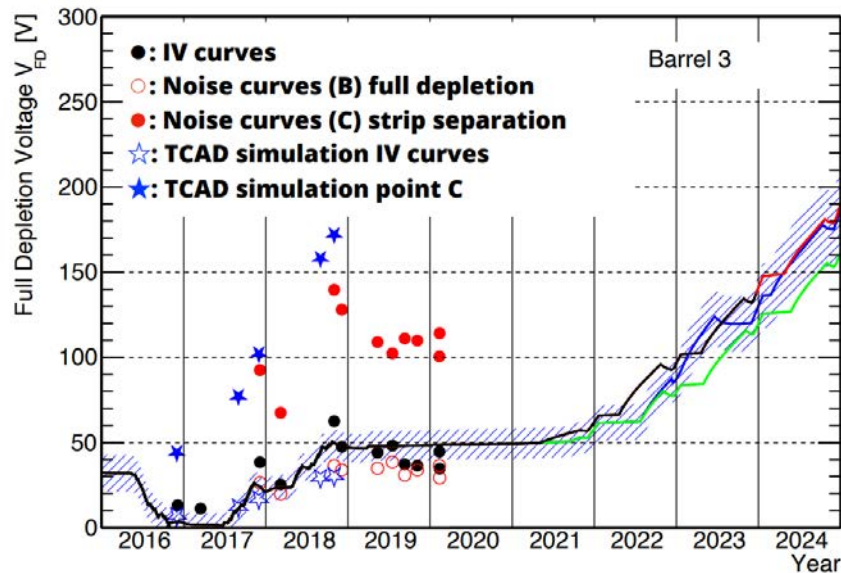
■ Run 3運転に向けた準備



[CERN EP Newsletter](#)より

- 加速器のコミッショニングが始まっている
 - 2021年末にビームスプラッシュ:ビームを意図的に検出器上流のコリメータにぶつけ、大量の粒子を入射させる
→ NSWなど新システムも含めた動作確認を行った
- COVID-19の状況に配慮しつつ、コントロールルームでの運転作業も開始
 - 4月からビームコミッショニング、夏から本格的なデータ収集開始予定

シリコンストリップ検出器



- 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
 - Run 2中のDAQ改良や性能解析結果をまとめた論文を出版(廣瀬が論文執筆を主導) [JINST 17 \(2022\) P01013](#) **廣瀬・和田・若狭**
 - TCADシミュレーションを利用した放射線損傷の詳細な理解 **和田・鈴木**
→ Run 3運転終了までの推移をより詳細に予想する
 - 今後のRun 3運転にも貢献していく

■ ATLAS物理解析

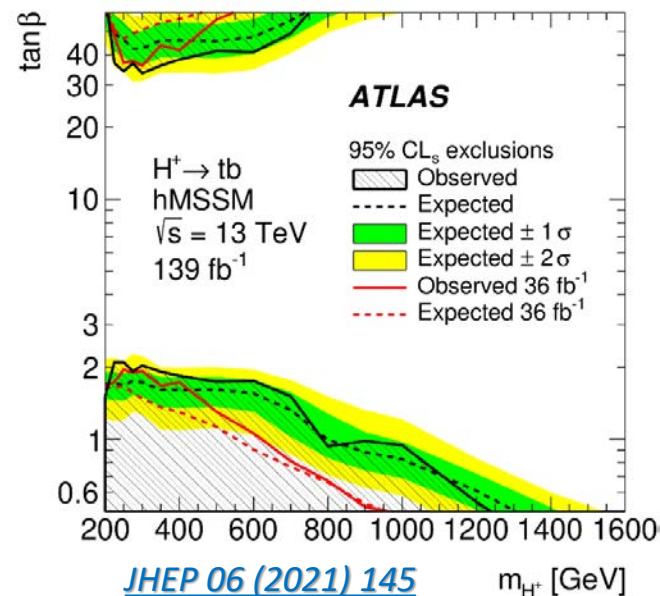
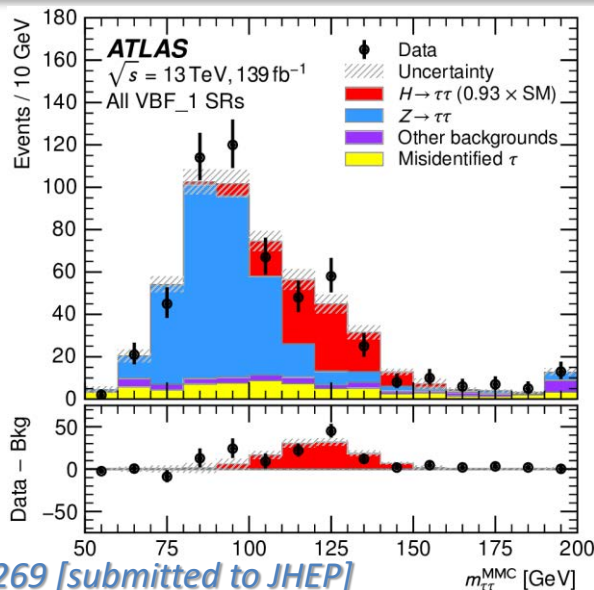
- 2021年度も、ATLASは精力的に物理成果を発表
 - SUSYをはじめとする重い新粒子探索の他、ヒッグス粒子を含む標準模型精密測定でも、ATLAS(およびCMS)は重要な役割を担っている
 - 2021年6月にATLAS実験1000本目の論文を出版



[ATLAS論文1000本の歴史を振り返る特集ページ](#)を開設

- 現在行われているMoriond 2022でも様々な重要結果を公表中
- Run 2データ解析のほか、Run 3に向けたシミュレーションサンプル生成などの準備を着々と進行中

■ ヒッグス粒子の物理



- 標準模型ヒッグス粒子の精密測定

- $H \rightarrow \tau\tau$ 結果を公表 → 機械学習の利用による大幅な改善 **廣瀬**
- 様々な生成過程が $\sim 10\%$ の精度で測定されつつある

- 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
 → ブーストされたトッブ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 **佐藤・廣瀬・山内**

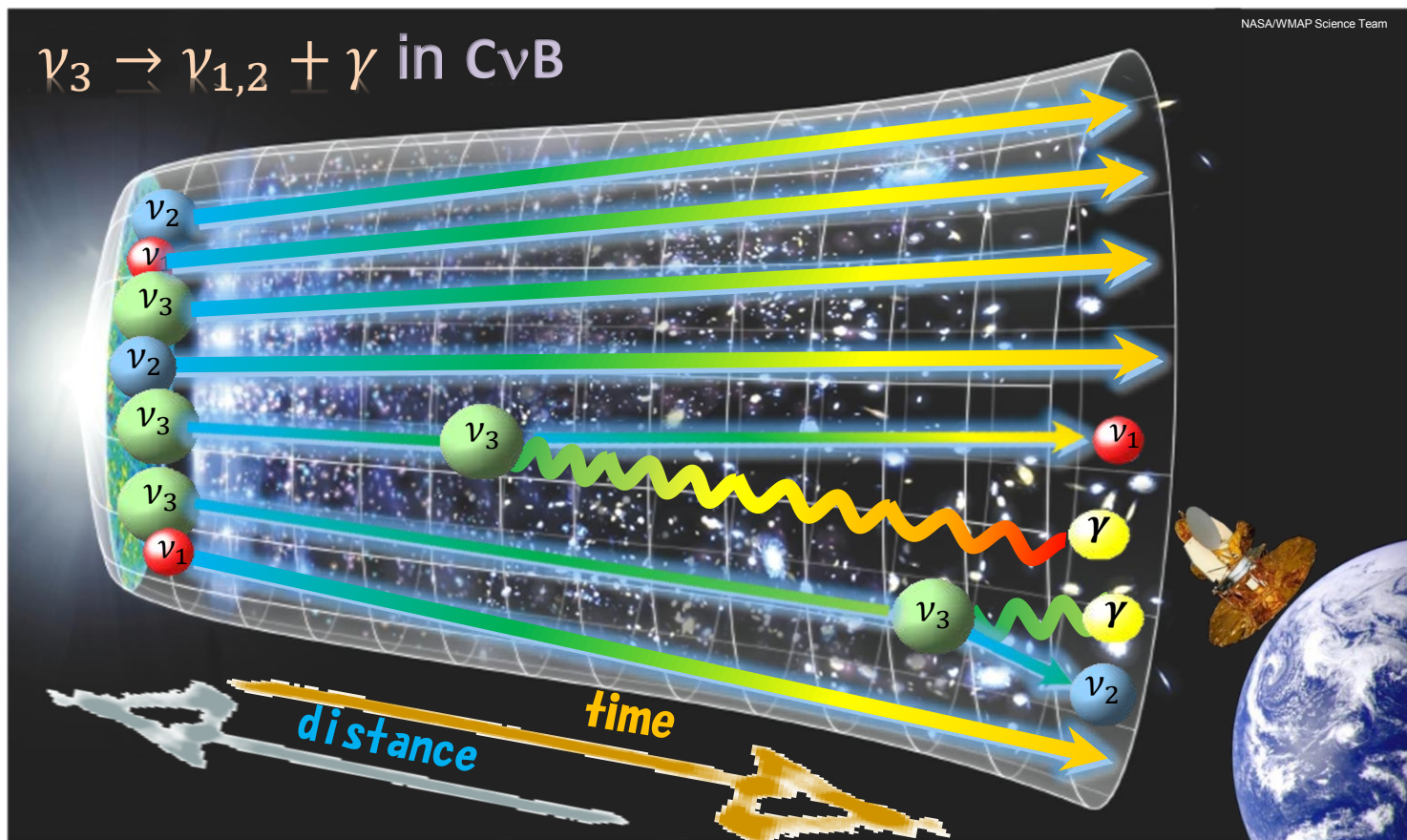
- 荷電ヒッグスが媒介するレプトンフレーバーを破る過程の探索 **和田・廣瀬**

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探索は、

- ニュートリノ崩壊への新物理の寄与を検証
- であり、もし信号が検出されたら
- 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
 - マヨラナニュートリノモデルへの制限
 - ダークエネルギー時間依存性の検証

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

– 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可能



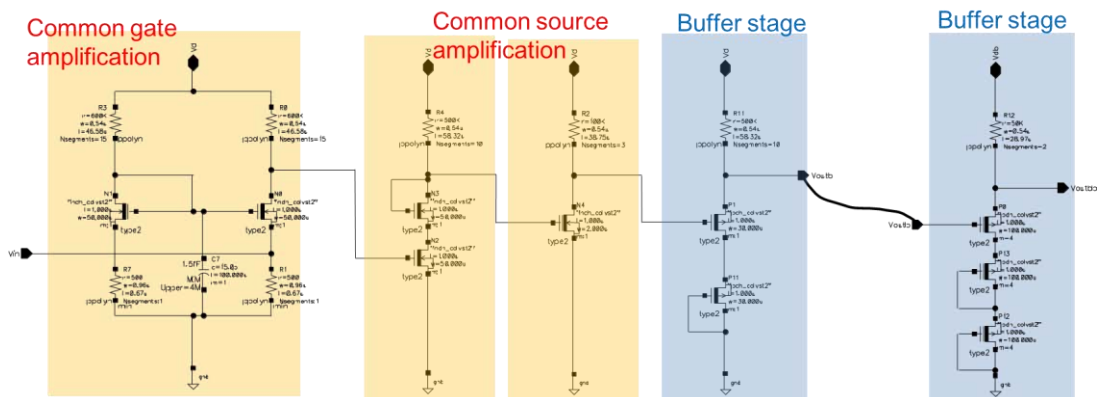
COBAND遠赤外一光子検出のための超伝導検出器の開発

光量子部門との連携：光量子部門のプロジェクトの一つ

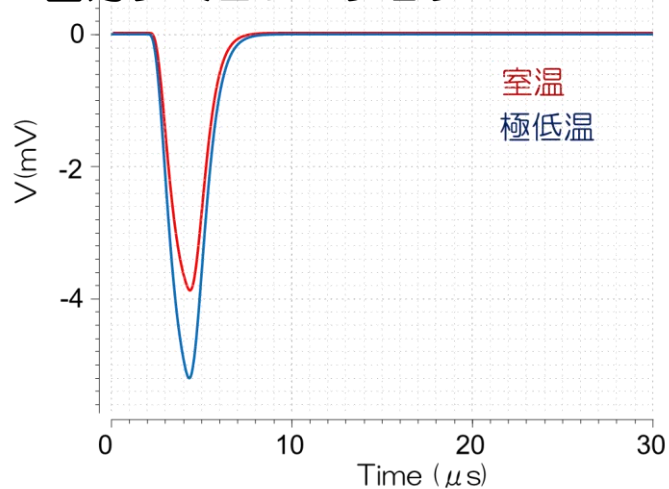
Nb/Al-STJ のSOI極低温増幅回路読出

- SOI技術を用いたMOS-FET回路の極低温(3K)での動作の理解が進み、動作実績も蓄積された。
- 今年度のSOI wafer MPWランへ新しい設計の極低温アンプをサブミット。
- 差動増幅回路のカスケード接続による高周波数帯域(100kHz→1MHz) まで高利得のオペアンプを用いた電荷積分型回路
 - 極低温で発生するドレインアバランシェ対策
 - ESD保護回路搭載
- 新規に500Ωシャント抵抗入力の3段増幅回路を追加
- 簡易極低温シミュレーションによる動作確認

500Ωシャント抵抗入力の3段増幅回路



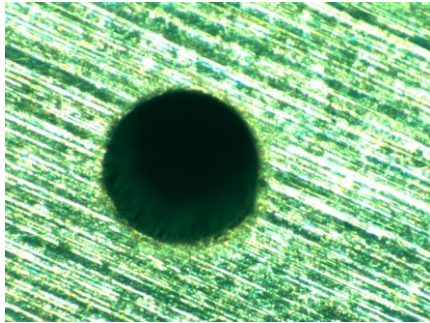
STJ信号2fCを仮定したアンプ出力シミュレーション



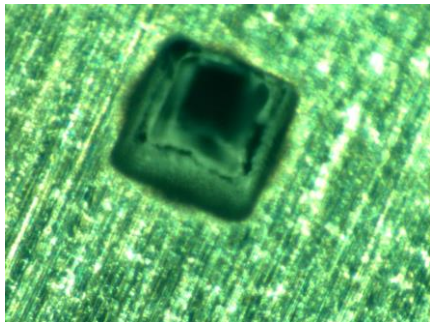
ロケット実験光学系（関西学院大，福井大，中部大との連携）

- 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・試作・テスト
- Nb/Al-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・テスト
- 反射防止膜設計のための Nb の極低温・遠赤外域での光学定数測定(n, k)の予備測定

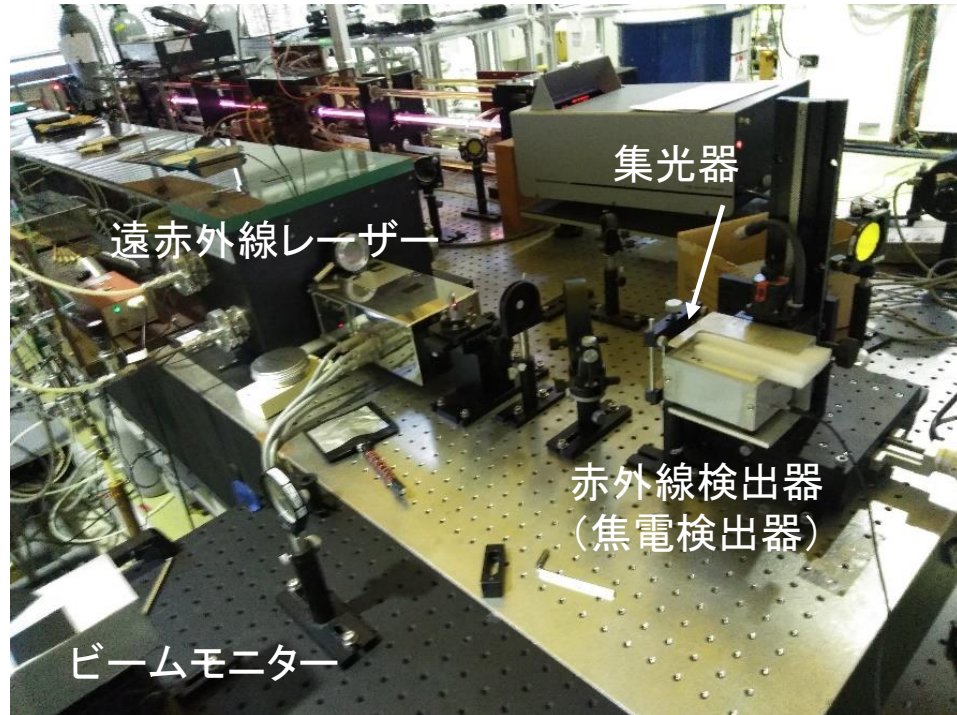
試作集光用ホーン
ウィンストンコーン
開口部 $400\mu\text{m}\Phi$



角錐
開口部 $400\mu\text{m}$ 角



福井大遠赤センターの遠赤外分子レーザー装置（波長 $47.6\mu\text{m}, 118.8\mu\text{m}$ ）を用いた集光器・反射防止膜・ニオブ光学定数測定（2022.3）



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

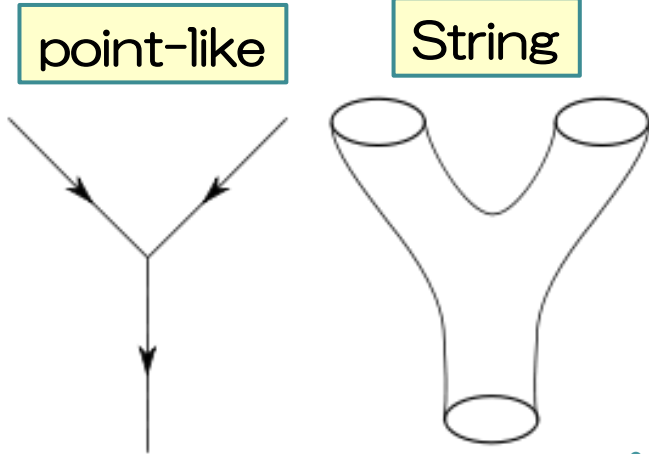
- ロケット実験に向けた望遠鏡・分光光学系



- 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, 2020 (不採択：検討後の再提案を推奨)
サイエンスの重要性は評価されたが, 実機製作の目処が立っていない点の指摘を受けた。
2022年度も提案書を準備中

超弦理論 —より完全な定式化に向けて—

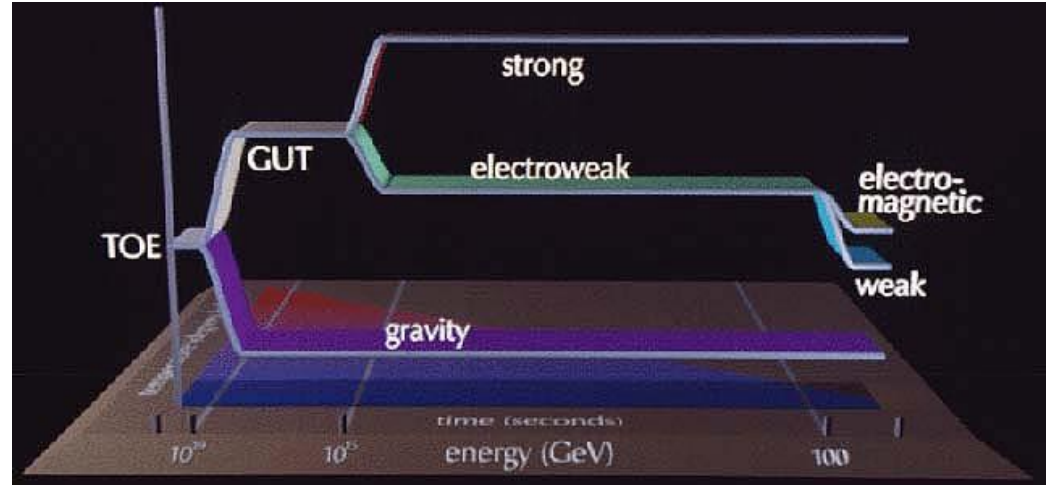
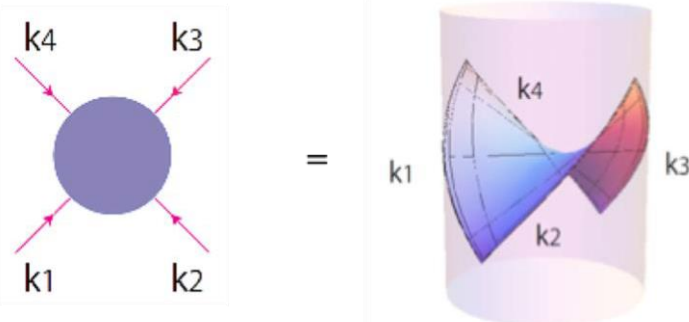
◆ 弦の場の理論



◆ 行列模型

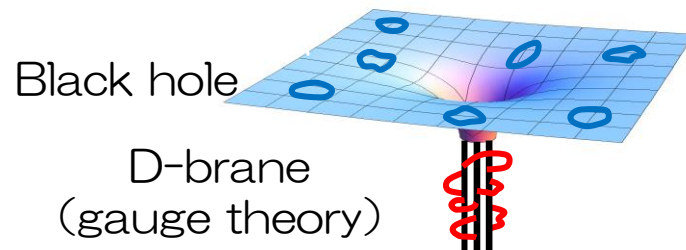
超弦理論の非摂動的定式化を与えていると予想

◆ 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。

浅野侑磨助教が構成員として参加

2021年度の成果

- 論文：2件, 国際会議講演：1件, 国内学会：0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
 - 有限温度での弦理論を数値的に調べ、弦理論で現れる相転移の構造を明らかにした

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

- 行列模型と非可換幾何学、新しい行列模型（米谷模型）
- 行列模型の散乱振幅と摂動論、時空の創発
- 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

2021年度TCHoU workshop 素粒子構造研究部門パラレルセッション

TCHoU workshop Parallel session in Division of Elementary Particles in 2021JFY

日時: 2022年3月23日(水) 13:30~18:35

場所: zoom オンライン (ミーティングID: 895 3411 5649 パスコード: 228667)

会議リンク: <https://us02web.zoom.us/j/89534115649?pwd=ZnNqYTdwd0hPUWdhTnBLRlcvWFNFUT09>

	講演者	講演時間 (分)	講演タイトル
3月23日(水)			
13:30	柳瀬 健太郎	15	HL-LHCに向けた放射線照射済みITkピクセルモジュール評価のためのクーリングシステムの開発
13:50	比江森 友太	15	HL-LHC ATLAS実験用ピクセルモジュールの70 MeV陽子線照射環境下での放射線耐性評価
14:10	飯坂 俊介	15	高輝度LHC ATLAS実験用ピクセルセンサー量産に向けた品質保証システムの構築
14:30	斉藤 功太	10	HL-LHC ATLAS用ピクセルモジュール量産に向けたモジュールのバンプ接合の熱耐性評価
14:45	原 和彦	15	ヒッグス粒子—ATLAS実験とこれから—
15:05		15	休憩
15:20	武内 勇司	15	宇宙背景ニュートリノ崩壊探索イントロダクション
15:40	守屋 佑希久	15	COBAND実験のための極低温増幅器の研究開発
16:00	柏木 隆城	15	ニュートリノ崩壊探索のためのサブミリサイズ遠赤外集光器の開発
16:20	山根 綾太	15	COBAND実験における反射防止膜設計のためのNbとHfの光学定数測定
16:40		15	休憩
16:55	大森 匠	15	SOIピクセル検出器を用いた KEK PF-AR テストビームライン用テレスコープシステムの性能評価
17:15	五屋 郁美	15	新型LGAD検出器(AC-LGAD)の光検出器への応用に関する研究
17:35	植田 樹	15	新型LGAD検出器(AC-LGAD)の放射線耐性の研究
17:55	倉持 花梨	15	TBC
18:15	村田 仁慈	15	TBC
18:35			解散

各講演の講演時間終了後5分の質疑応答時間があります。