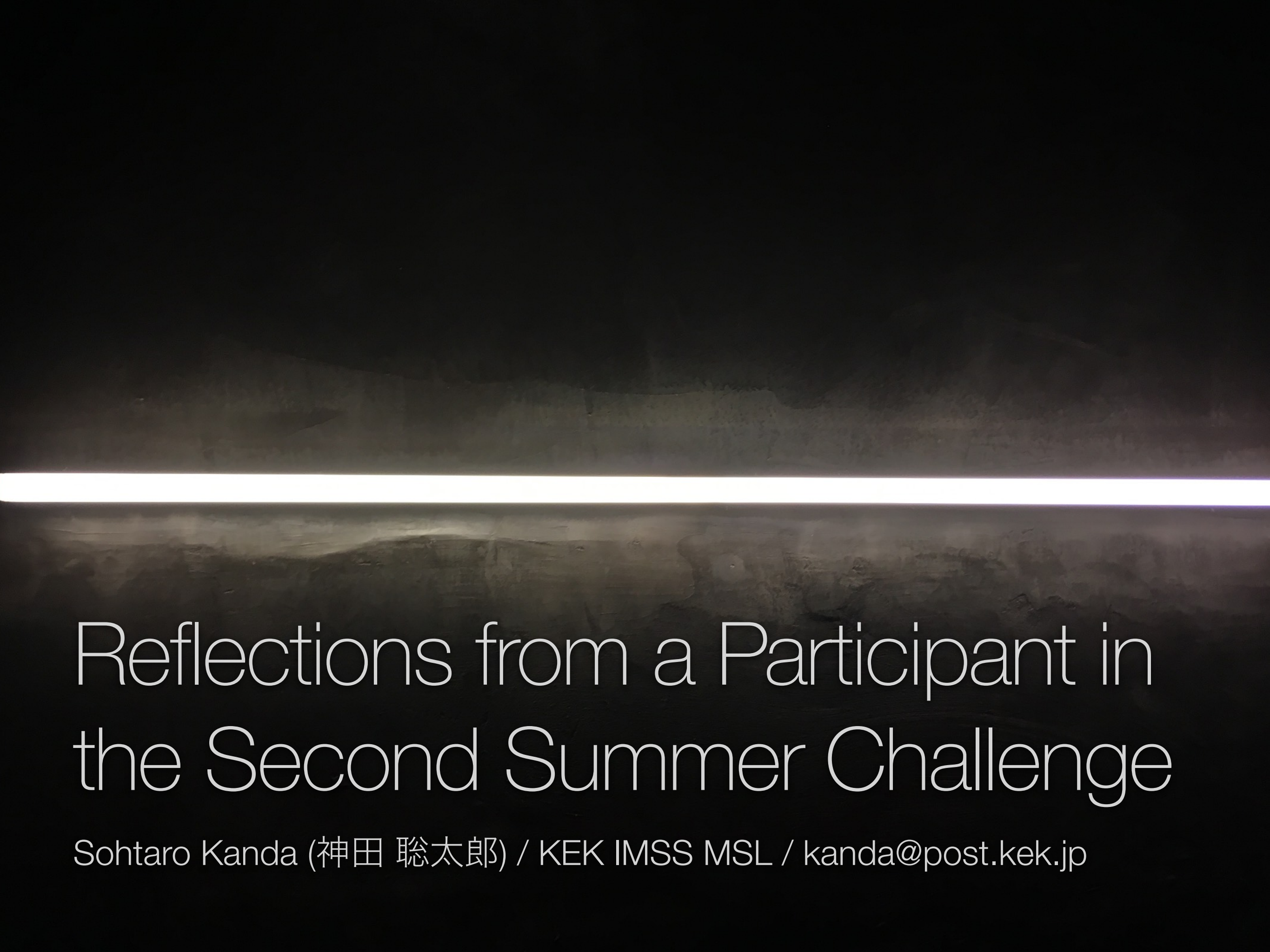


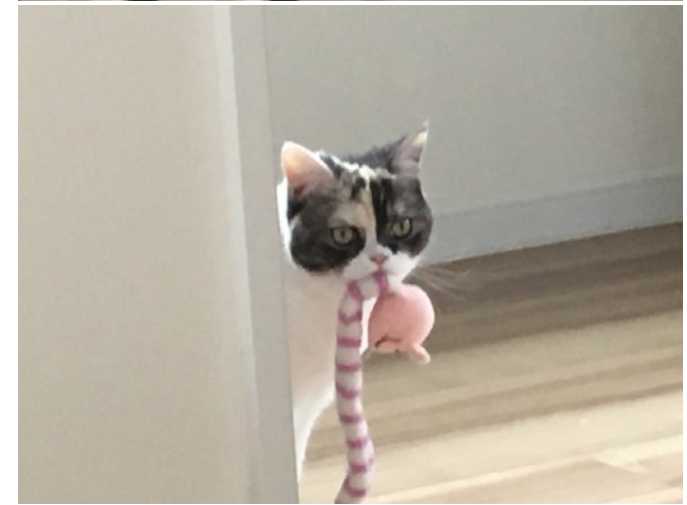
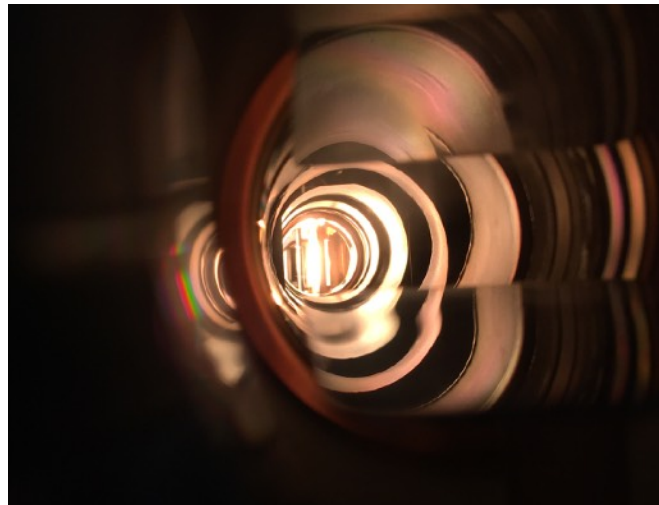
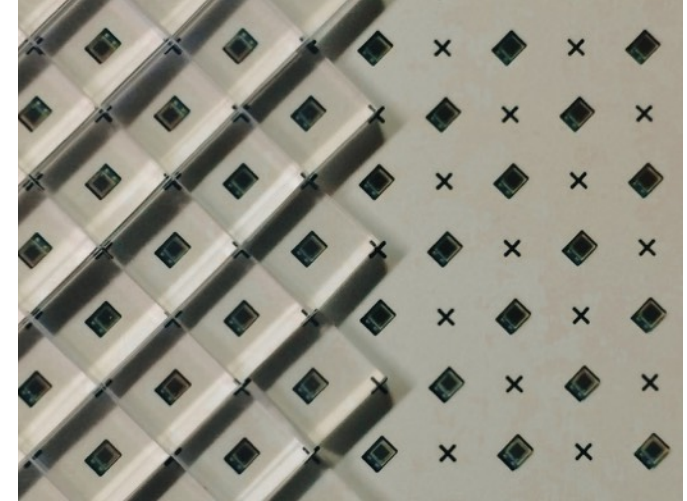


# Reflections from a Participant in the Second Summer Challenge

Sohtaro Kanda (神田 聡太郎) / KEK IMSS MSL / [kanda@post.kek.jp](mailto:kanda@post.kek.jp)

# 私について

---



- 高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 ミュオン科学研究系
- J-PARCセンター 物質・生命科学ディビジョン ミュオンセクション
- 総合研究大学院大学 先端学術院 物質構造科学コース
- (主に)ミュオンを使った物理の研究

# サマーチャレンジ参加

## 宇宙・物質・生命 —21世紀の謎に挑む!



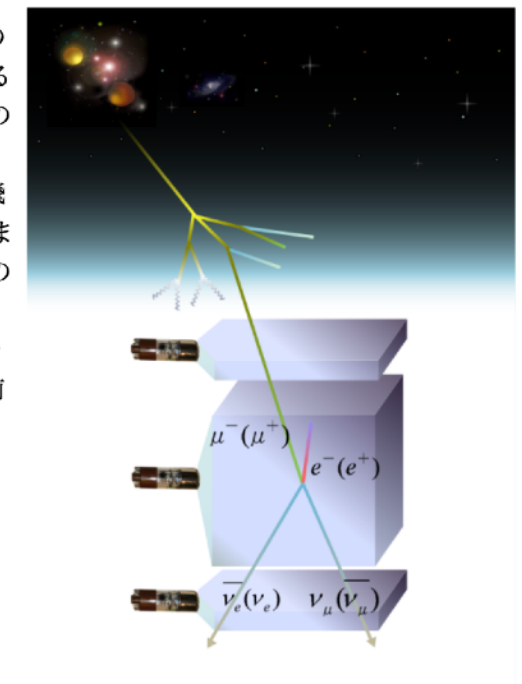
[https://www2.kek.jp/ksc/3rd\\_2009/panf.pdf](https://www2.kek.jp/ksc/3rd_2009/panf.pdf)

### 演習課題10：粒子の寿命は誰が決める？ ～ミュオン粒子の検出と寿命測定から弱い力の「弱さ」まで～

極小世界の粒子の多くは有限の寿命で崩壊して他種の粒子に移りかわります。物質の究極の構成要素である「素粒子」ですら崩壊することがあります。自然界の粒子の寿命は誰が決めるのでしょうか？この演習では、自分たちで製作した検出器を用いて、宇宙から飛来する素粒子の一つ「ミュオン粒子」の寿命を測定します。この寿命測定から、自然界に存在する4つの力のうち、ミュオン粒子を崩壊させる「弱い力」の「弱さ」（「結合定数」と呼びます）を算出し、より身近な力である電磁気力の結合定数と比較します。弱い力の名前の由来を実感してください。

演習の大まかな内容とゴールは以下の通りです：

1. シンチレータと光電子増倍管を用いた検出器の製作を通じて、放射線検出器の基本動作原理を理解する。
2. 比較的高度なデータ収集系を構築し、宇宙から飛来する放射線（「宇宙線」）を自ら測定して実感する。
3. 飛来粒子の寿命測定計画を自分たちで立案し、原子核・素粒子実験の手法を実体験する。
4. 飛来粒子の正体を見極める過程を通じて、実験論的思考法を学ぶ。
5. 測定値から物理量を導く過程（「データ解析」）に慣れ親しみ、同時に統計誤差と系統誤差の扱いに習熟する。
6. 「弱い力」の「弱さ」を算出し、電磁気力との比較から弱い力の名前の由来を確認する。



宇宙のかなたから飛んできた高エネルギーの陽子が地球を取り巻く大気中の原子核に衝突し、原子核・素粒子反応を起こします。この反応で発生するミュオン粒子が実験装置に到達します。絵をクリックすると原画 (Tif 32 MB) がダウンロードされます。

[https://www2.kek.jp/ksc/2nd\\_2008/gaiyou/sc08/#title10](https://www2.kek.jp/ksc/2nd_2008/gaiyou/sc08/#title10)

- 第2回 (2008年)に参加、ミュオンの寿命測定
- ほぼわかっていなかったが楽しかった

広島大学クォーク物理学研究室の  
皆様に大変お世話になりました

# 学んだこと (今思えば)

$$R_{\mu/\text{Ps}} \equiv \frac{\tau_{\mu}}{\tau_{o\text{Ps}}} \begin{cases} \Gamma_{\mu} = \frac{1}{\tau_{\mu}} = \frac{G_F^2 m_{\mu}^5}{192\pi^3} (1 + \delta_{\mu}) \\ \Gamma_{o\text{Ps}} = \frac{1}{\tau_{o\text{Ps}}} = \frac{2(\pi^2 - 9)}{9\pi} \alpha^6 m_e (1 + \delta_{o\text{Ps}}) \end{cases}$$

単位系  $\hbar = c = 1$   
質量比  $r_{\mu} \equiv \frac{m_{\mu}}{m_e}$   
無次元量  $G_F m_e^2 \sim 3 \times 10^{-12}$

$$R_{\mu/\text{Ps}} = \frac{128}{3} \pi^2 (\pi^2 - 9) \frac{\alpha^6}{(G_F m_e^2)^2 r_{\mu}^5} \frac{1 + \delta_{o\text{Ps}}}{1 + \delta_{\mu}} \longrightarrow G_F m_e^2 = \alpha^3 \left[ \frac{128 \pi^2 (\pi^2 - 9)}{3 R_{\mu/\text{Ps}} r_{\mu}^5} \frac{1 + \delta_{o\text{Ps}}}{1 + \delta_{\mu}} \right]^{1/2}$$

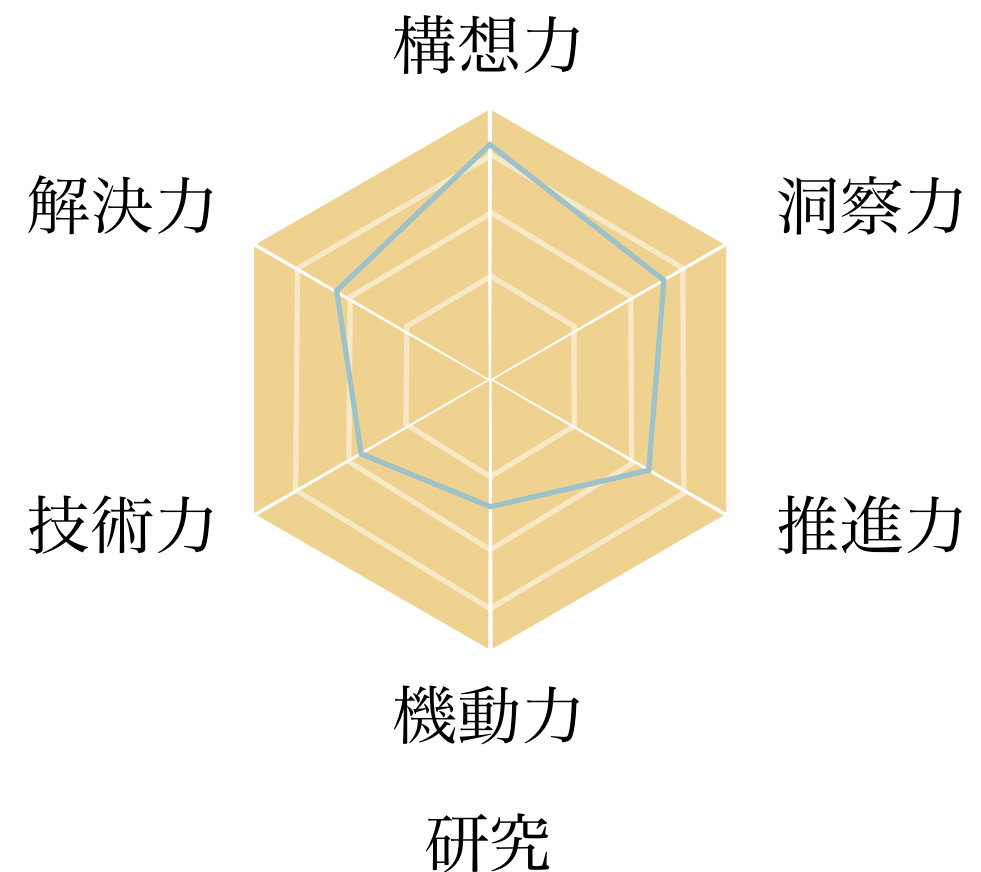
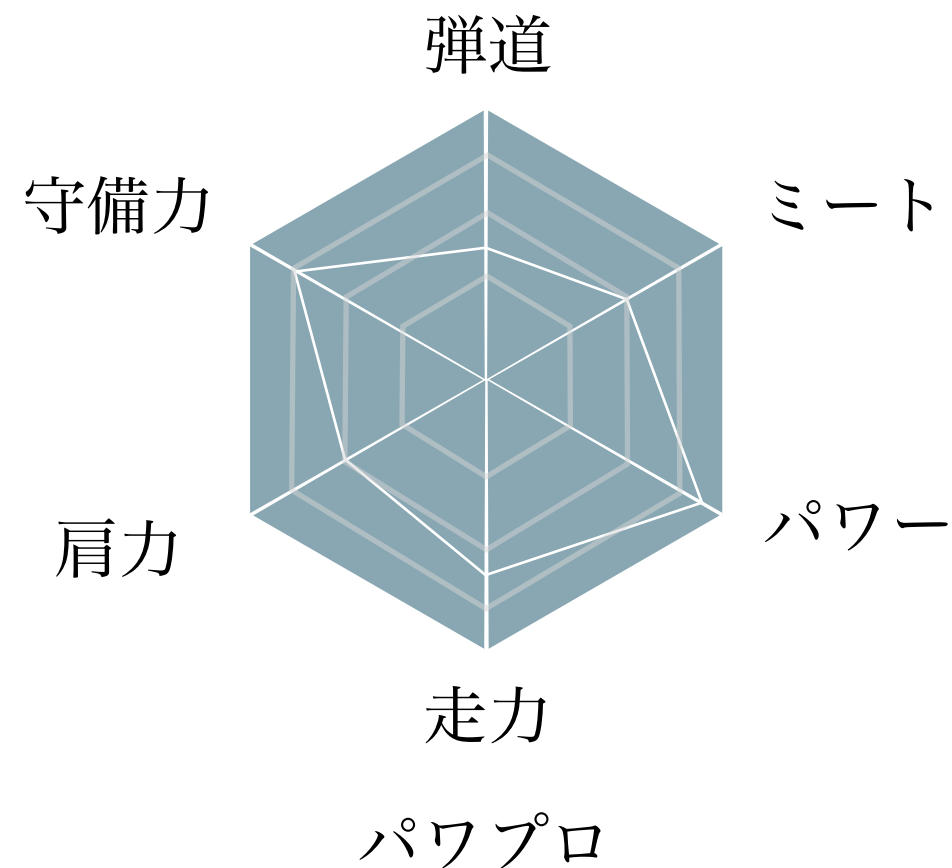
$\mu$ とo-Psの寿命比から求められる量      電子の質量スケールにおける相互作用の弱さ

- 単純な原理、実験からでも基本的なことが調べられる
- 物理は楽しい・実験は楽しい (最初はとにかくこれが大事)
- 科学研究も人間の営みである (社会との関わり)
- うまくいかないときが腕の見せどころ (彼方にこそ栄えあり)

実習当時に  
こう理解していた  
わけではない

# 学んだこと (cont'd)

---



- 研究者の素養・能力にもいろいろある (早いうちから専門性を閉じないほうがいい)
- 研究は楽しいが、「楽」以外の諸々を引き受ける時も来る (なので今のうちに力をためる)
- 窮するも亦(また)楽しみ、通ずるも亦楽しむ。楽しむ所は窮通に非ざるなり。
- 近い問題意識を持つ人を大事にしよう/異なる価値観を持つ人も大事にしよう

# その後の関わり

---

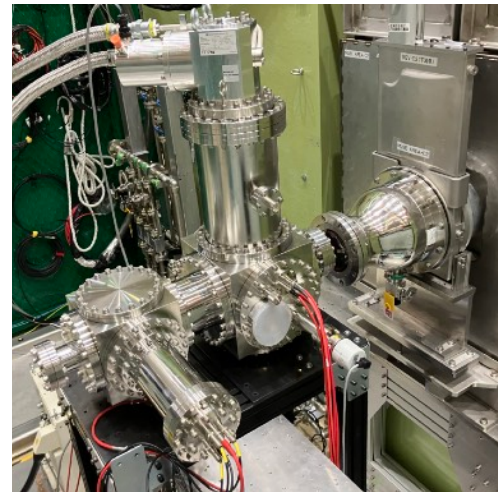
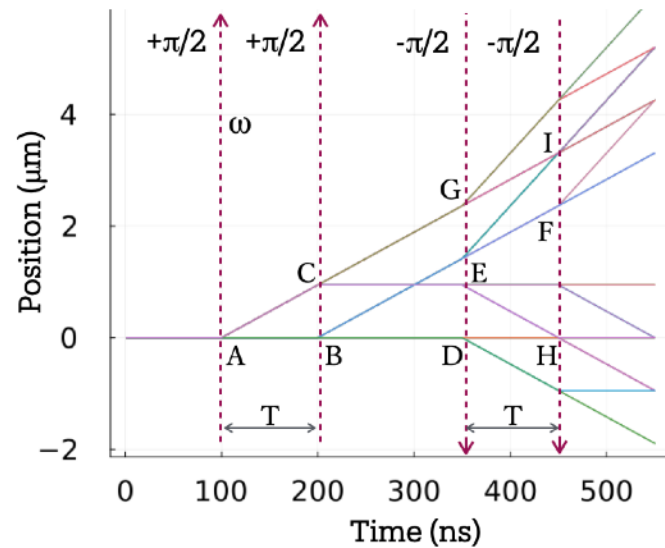


- 演習班メンバーで広島大学を訪問 (2009)
- TAとしてミュオン寿命測定の実習に参加 (2012)
- キャリアビルディングで話をした (2024)
- ありがた検討会で話をした (2025)

教育・アウトリーチは  
科学者が社会的責任を  
果たす方法のひとつ  
それでいて自分の勉強  
にもなる

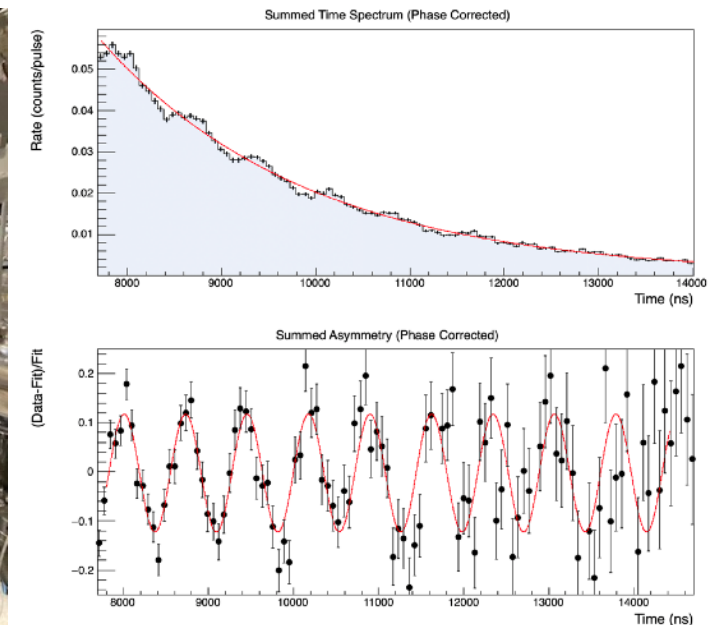
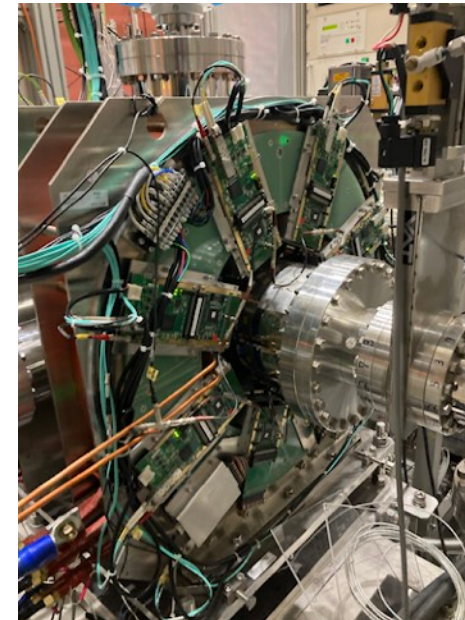
# 現在の研究

## Muonium Interferometry



- 光パルス列を使った原子干渉計
- 冷却したミュオニウム( $\mu^+e^-$ )原子線を使う
- ミュオン質量の精密測定
- 暗黒物質の探索、基本対称性の検証
- ミュオニウム源、レーザー光源、検出器など開発中
- 自分で考えた実験が一番たのしい(それに普遍的な価値を見出すには？説得するには？)
- (共同利用のような)何かのための研究も、それはそれで良さがある

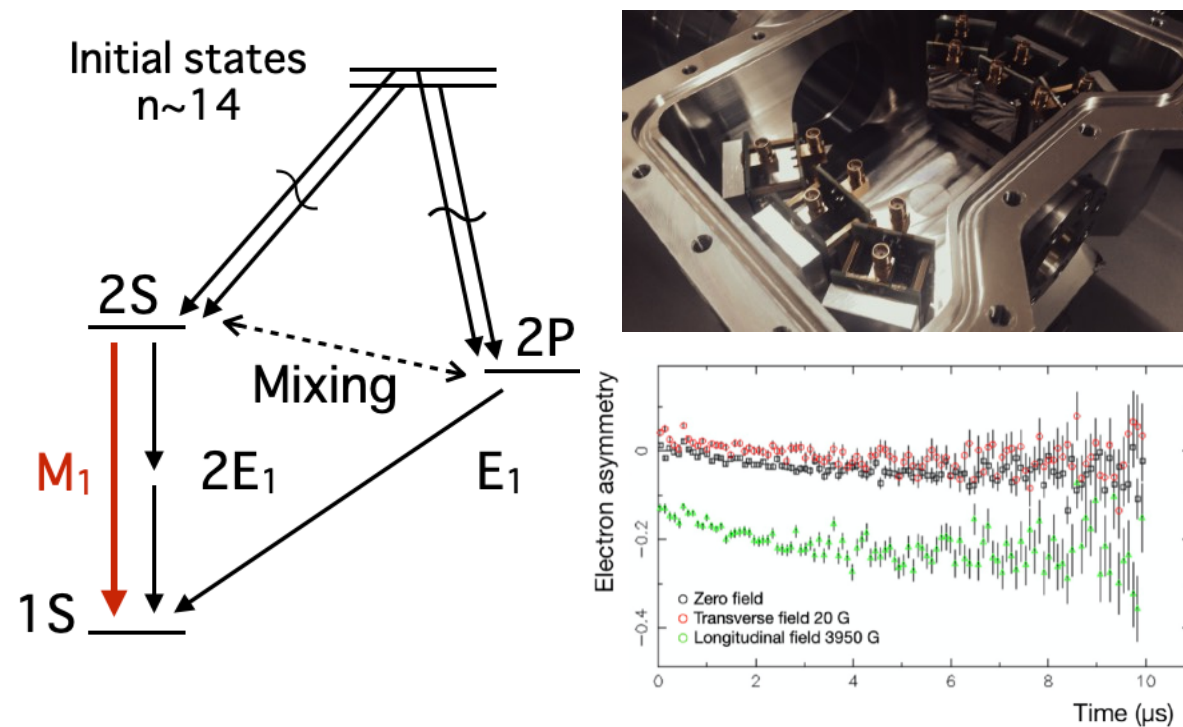
## USM- $\mu$ SR



- 低エネルギーのミュオンを使ったミュオン spin 分光 ( $\mu$ SR)
- 薄膜・界面の物質科学研究
- 実証試験に成功し実用化目前
- MLF MUSE U1Aで実験中

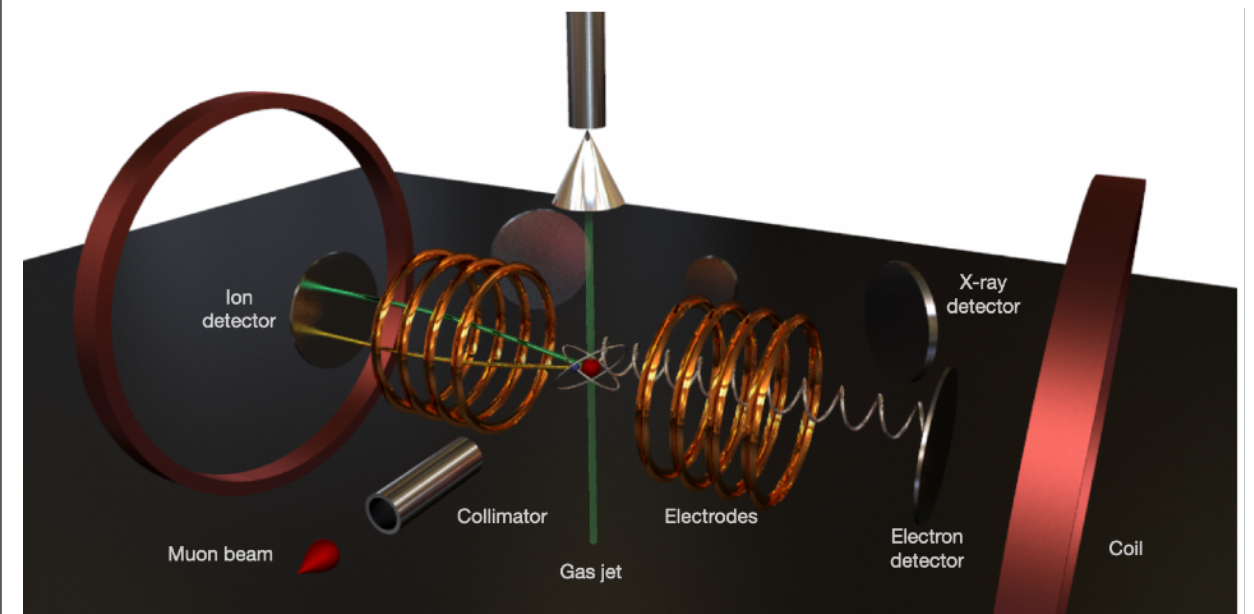
# うまくいかない研究もある

## Muonic Carbon $\mu$ SR



- ミュオン原子におけるパリティ非保存過程の探索
- ミュオン原子が完全イオン化しない
- この瞬間うまくいっていないだけ (新しい技術を仕入れれば/よりよい発想で再試行すればできるかも)
- 限界を明らかにするのも研究のひとつ (現代で最高/最良の知見に至ること)
- 問題の解決には何年もかかる場合もある (何十年も解けていない問題も自分なら解けるかもしれない)

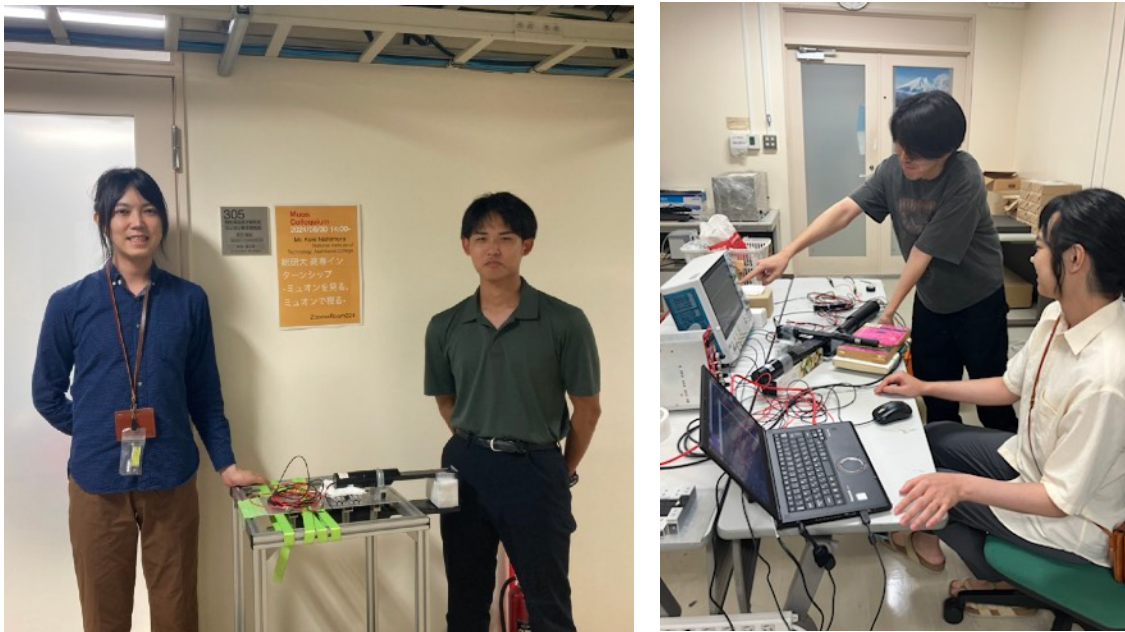
## Muonic COLTRIMS



- ミュオン原子を使ったCold Target Recoil Ion Momentum Spectroscopy
- 運動学を完全再構成可能だがレートが低い

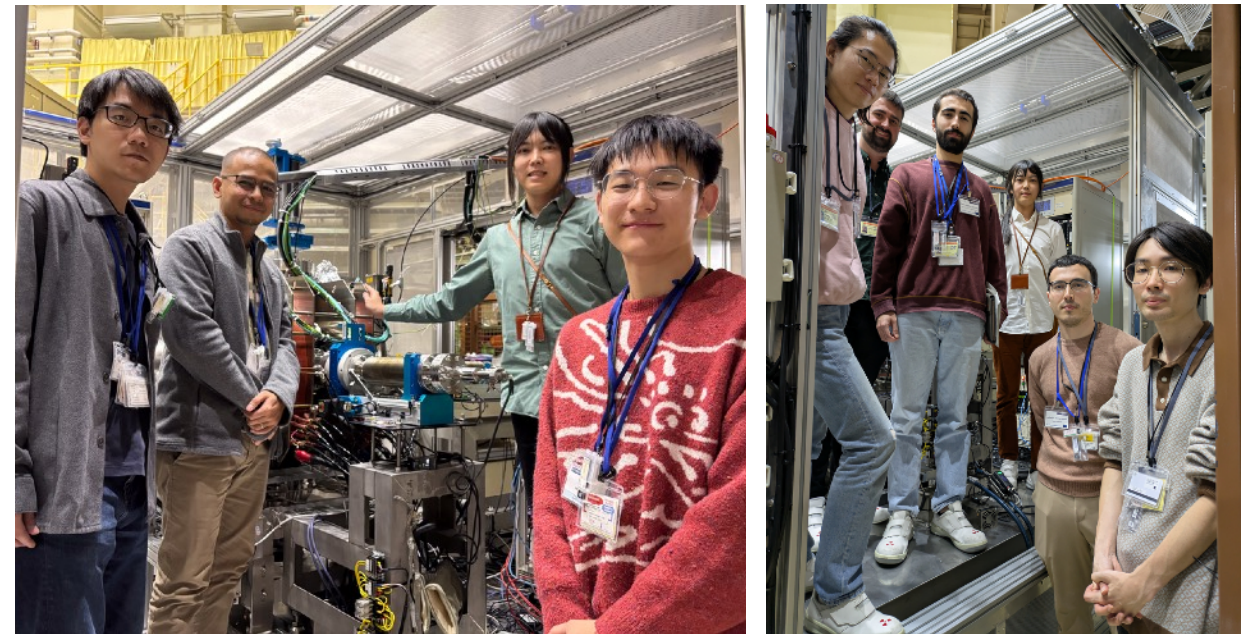
# いろいろあります

## Internship



- 総研大高専インターンシップ
  - 宇宙線ミュオンを使った実験
- KEK加速器科学インターンシップ
  - ミュオンビームを使った実験
  - 定期的に募集あり

## International School



- 中性子ミュオンスクール
  - ミュオンビームを使った実験
  - 参加者募集中 (8/31まで)
  - 今年は日本語で実施

# まとめ

---

サマーチャレンジからは多くのことを学ぶことができる

この瞬間を全力で楽しむことで、振り返っても新たな知見が得られる

科学研究も人間の営為でありリスペクトが大事

サマーチャレンジのあとも人生は続く