

地下環境における 宇宙線ミューオンの研究とその展望

2024年7月5日 (金)

学術変革領域(A)「極稀事象で探る宇宙物質の起源と進化」領域研究会

@大阪大学 豊中キャンパス



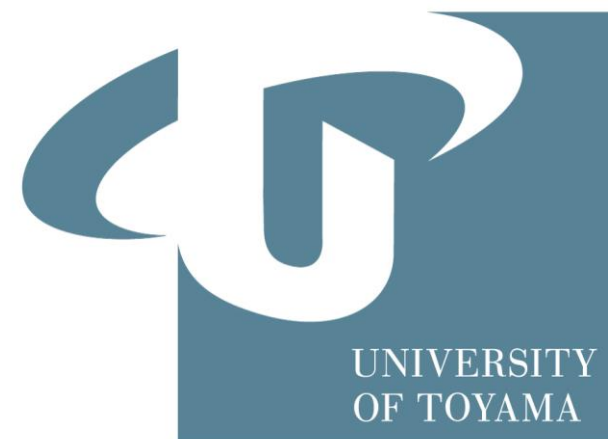
24H02243

極低放射能技術の展開

富山大学 理学部 中野 佑樹

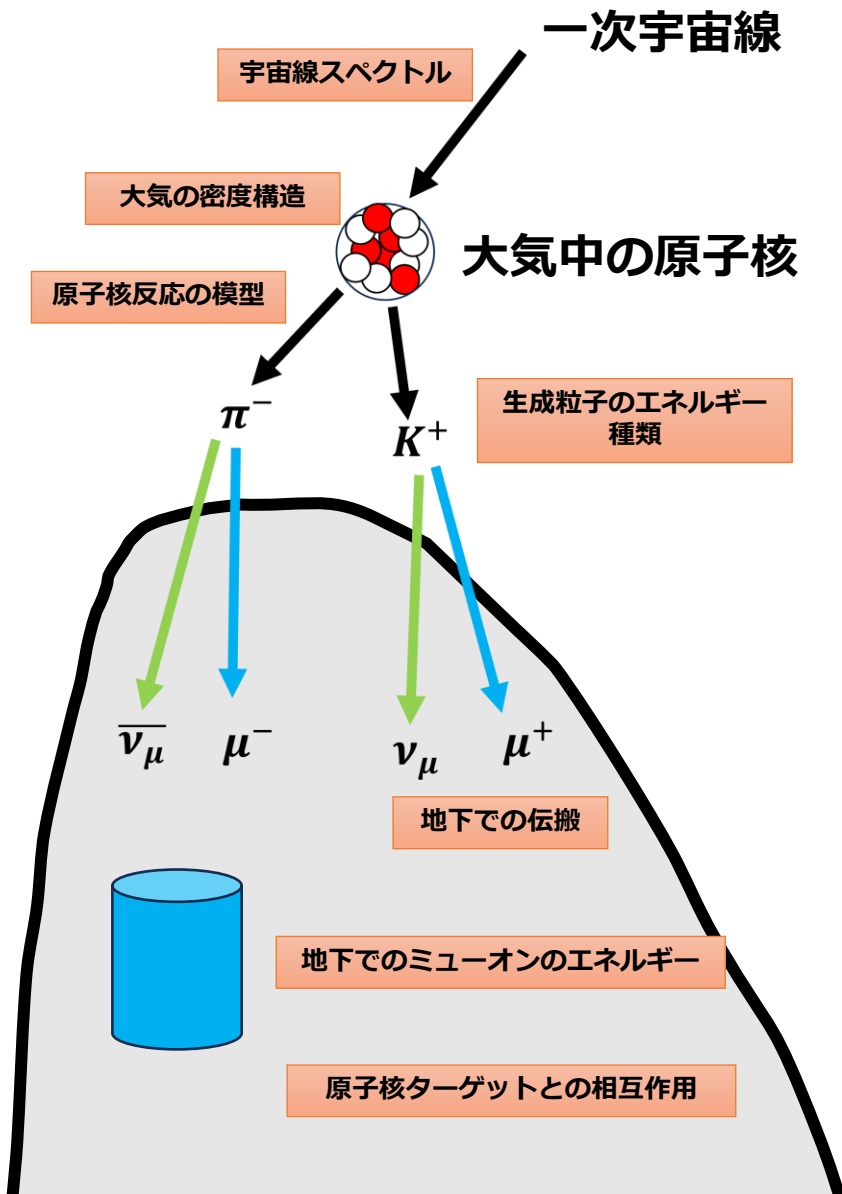
ynakano@sci.u-toyama.ac.jp

講演スライド内のリンクが有効です。
ダウンロードして追加の情報を得てください。



講演の内容

- 自己紹介
- 宇宙線ミュオン
 - 地下環境における宇宙線ミュオン
 - 宇宙線ミュオンの影響
 - 宇宙線ミュオンのシミュレーション
- 学術変革で何をやるか
 - 分担者としてできること
 - 同時期に予定されている発展 (展望)
- まとめ



自己紹介

■ Profile

- 氏名: 中野 佑樹 (Yuuki Nakano)
- 職名: 助教
- 所属: 富山大学 学術研究部 理学系
宇宙素粒子実験研究室 (2024年4月より)



■ 経歴

- 2011年3月 埼玉大学 卒業 (指導教員: **佐藤 丈** 先生)
- 2016年3月 東京大学大学院 修了 (指導教員: **中畑 雅行** 先生)

■ 研究分野

- 太陽ニュートリノ観測 (最近では, 太陽 g-mode振動探索)
- 天体現象由来のニュートリノ探索
→ 超新星爆発, 太陽フレア, 重力波天体 (Multi-messenger)
- 宇宙線 (ミューオン) 物理学
- 低放射線分析 (^{222}Rn)

博士課程 と ポスドク は 1回目の新学術 でラドン研究。
2回目 (前回) の新学術 でも, ラドン研究をさせていただいた。

富山大学 宇宙素粒子実験研究室

ホーム > 研究内容 > 構成員 > 研究業績 > 学位論文 > セミナー > 交通案内 > ENGLISH >

© 東京大学宇宙線研究所 神岡宇宙素粒子研究施設

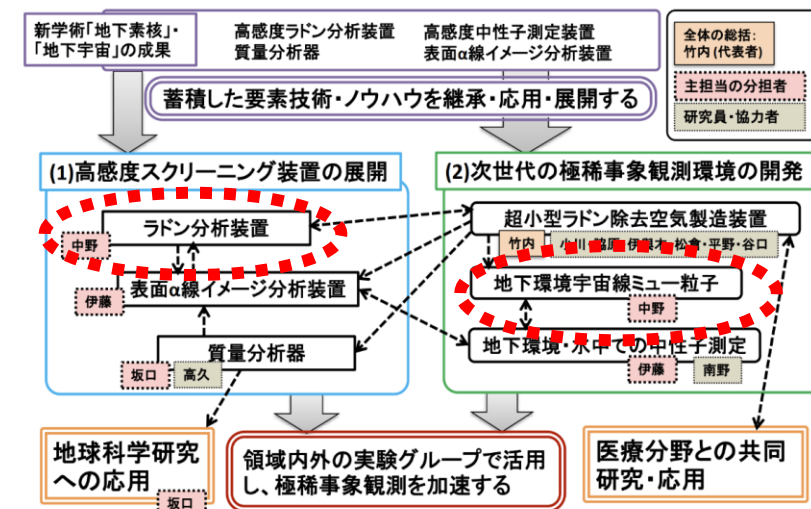
ABOUT US
富山大学 宇宙素粒子実験研究室では、宇宙線や素粒子の観測を通して、宇宙の歴史を解明する研究や素粒子標準模型を超える物理の探索を行っています。
✕ @astropo_toyamaさんをフォロー Instagram: astropo_toyama

LINKS
富山大学
富山大学 理学部
富山大学 理学部 物理学
中野 佑樹の個人HP

NEWS & TOPICS

- 2024-06-21 イタリアミラノで開催された国際会議(Neutrino2024)にて、中野が1件のポスター発表を行いました。
- 2024-06-13 東北大学の桜井 巨太氏によるセミナーが開催されました。
- 2024-05-09 大阪公立大学で開催された研究会にて、中野が1件の口頭発表を行いました。
- 2024-05-03 中野が物理解析と執筆を担当した学術論文が Phys. Rev. D誌にて出版されました。[Solar neutrino measurements using the full data period of Super-Kamiokande-IV]

D01での研究トピック概要



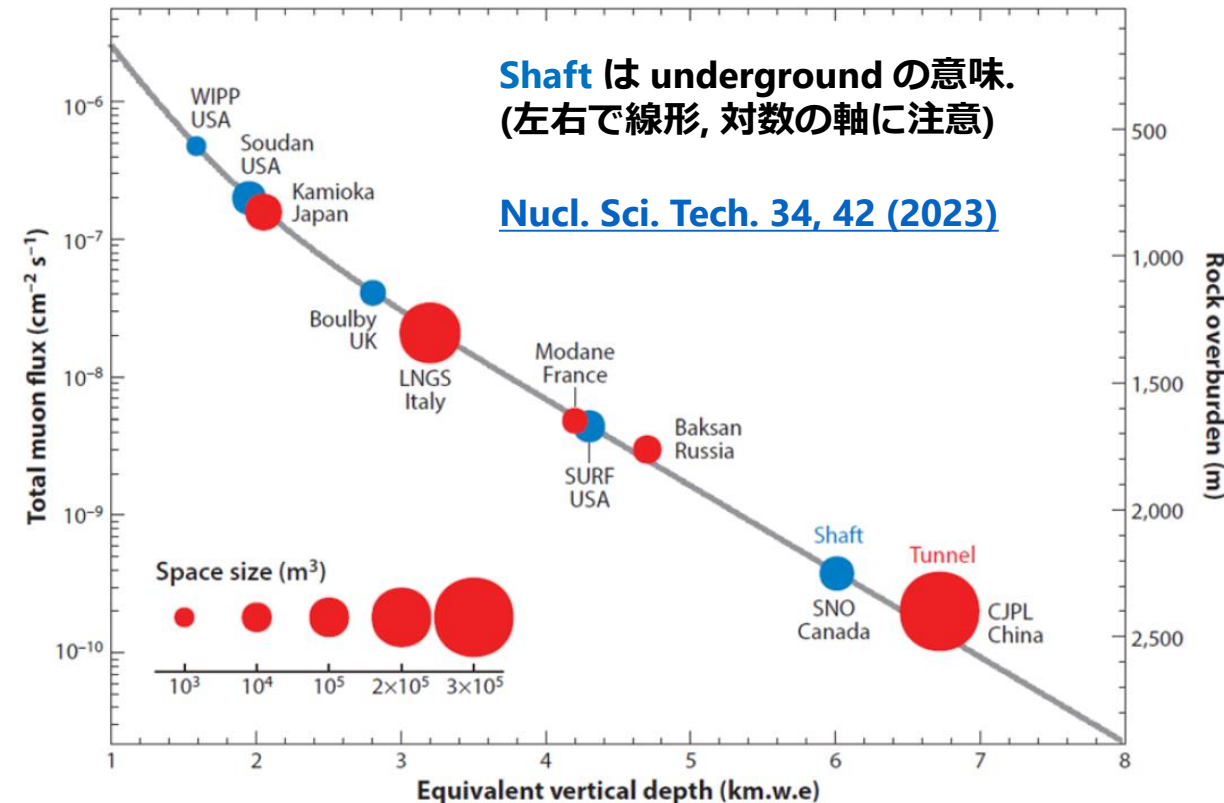
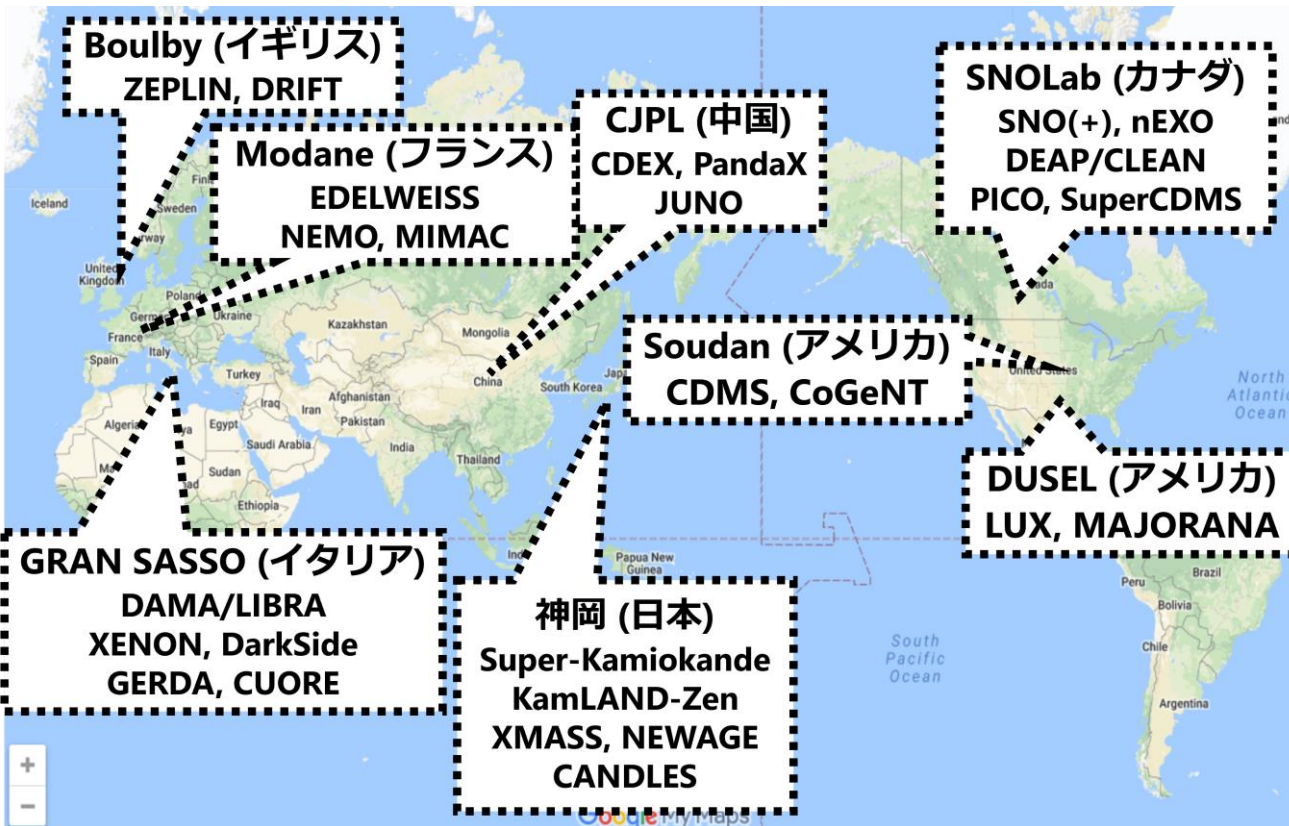
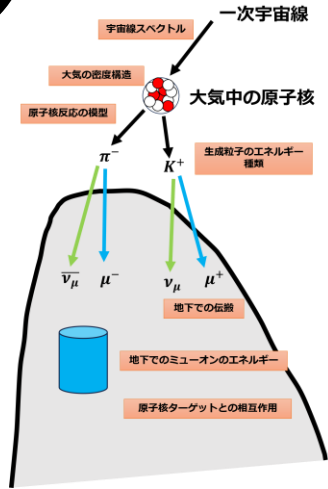
■ 領域内(外)の技術連携の維持・発展: 「極低放射能技術」研究会を開催する

宇宙線ミューオン

地下環境における宇宙線ミュオン

■ 地下実験室のメリット

- 世界各地に地下実験スペースが存在。
→ **山の中に作る** (トンネル) と **地下に掘り進む** (アンダーグラウンド) がある。
- 地下に実験スペースを構築することで, 宇宙線ミュオンを**低減**。
→ **それでも地下実験スペースに到達する宇宙線ミュオン**がある。



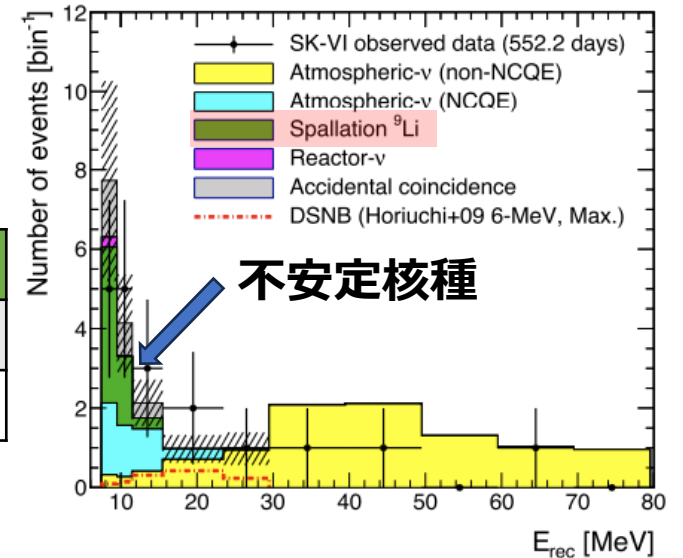
稀事象探索 (観測) 実験への影響

■ 相互作用のターゲットへの影響

- 本学術変革の稀事象探索実験でも,
バックグラウンド事象として観測にかかる。
- 生成量の見積もりが, そのまま探索 (観測) 感度に影響する。

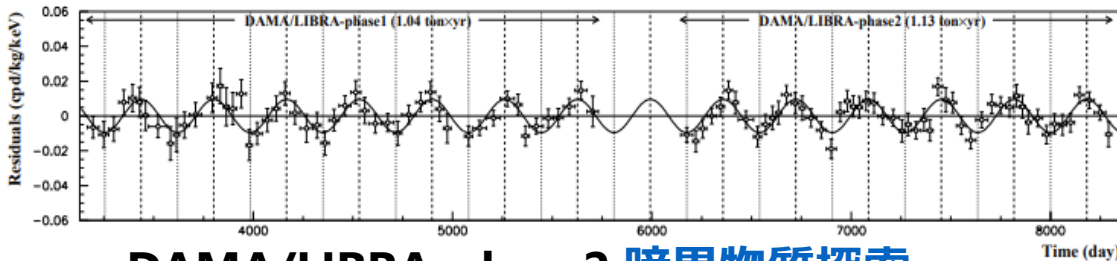
実験	ターゲット	不安定核種
SK-Gd	H ₂ O (Gd)	⁹ Li (半減期 0.18 s, Q-value 13.6 MeV)
KamLAND-Zen	Xeと液シン	¹³² I, ¹³⁰ I, ¹²⁴ I, ¹²² I, ¹¹⁸ Sb, ¹¹⁰ In, ⁹⁹ Y, ¹⁰ C

SK-Gd 0.011% 超新星背景ν探索



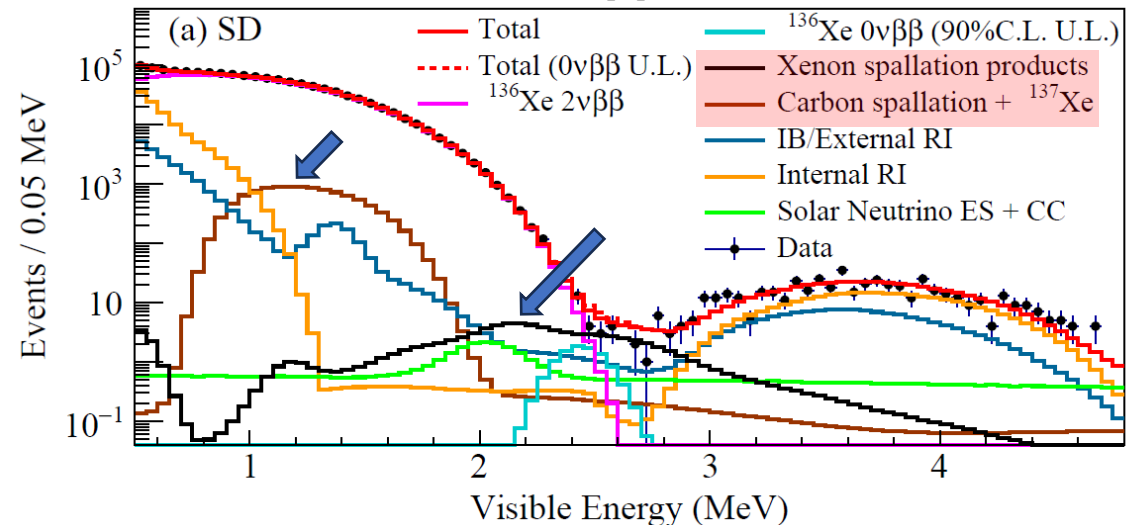
■ 実験施設の周辺での影響

- 宇宙線ミュオンが**岩盤の物質**と相互作用。
→ **中性子が暗黒物質検出器に到達する可能性。**
- DAMA/LIBRA の $> 12\sigma$ の信号を,
宇宙線ミュオン由来だと意見が分かれる。



DAMA/LIBRA-phase2 暗黒物質探索

KamLAND 0νββ (最新結果)



状況の整理

■ 実験データが (部分的に) あるもの

- 地下実験

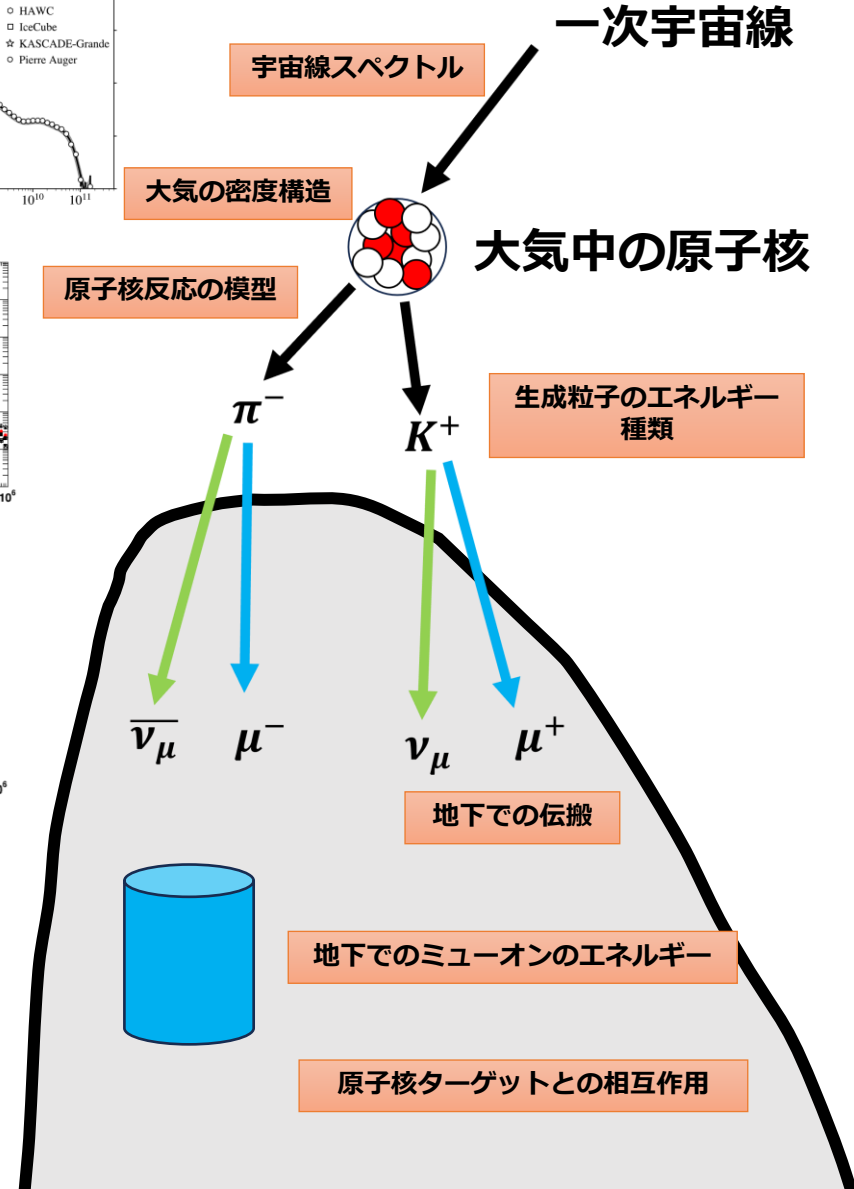
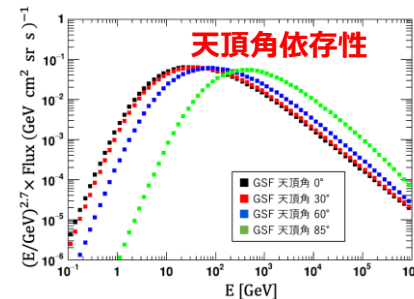
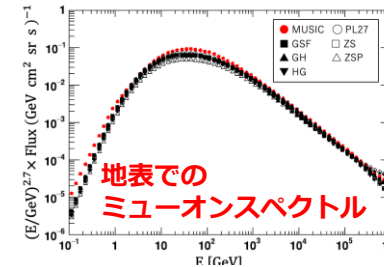
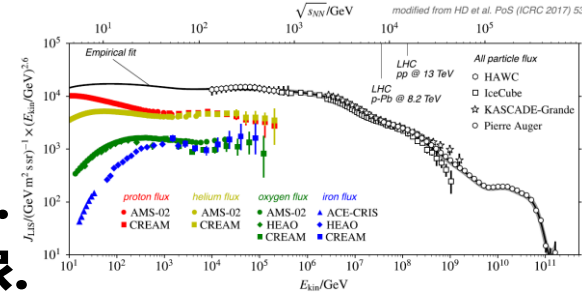
- 地下での宇宙線ミュオンの**到来数**.
- **不安定核種** (バックグラウンド) 事象.

- 地表実験 or 宇宙衛星

- 宇宙線ミュオンのスペクトル (Flux).
- **一次宇宙線のスペクトル, 元素組成**.

■ 計算 (シミュレーション) に頼るもの

- **原子核反応 (ハドロン相互作用) の模型**.
- 宇宙線ミュオンの**地下での伝搬**.
- 地下実験室でのミュオンの**エネルギー分布**.
- 宇宙線ミュオンと原子核ターゲットとの**相互作用**.
(および, そこから出てくる粒子)



ポスター発表 P16
横浜国立大 島村

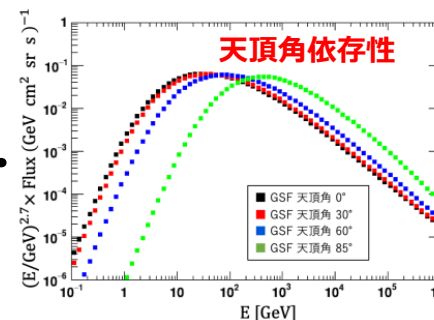
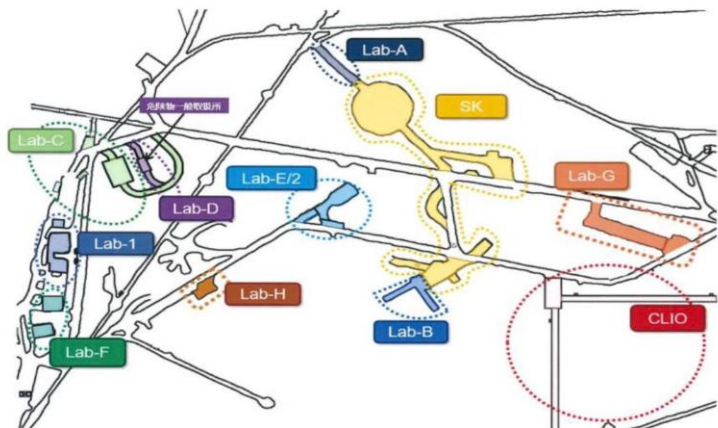
地下でのミュオンシミュレーション

■ 利用できるツール

- 地下実験室での宇宙線ミュオンの到来数を知りたい。
→ そういう要求を満たすための、**シミュレーション**がある。
- 1) [MUSIC](#), 2) [MUTE](#), 3) [COSMOS X](#) (中野はこれから利用予定)。

■ シミュレーションの現状

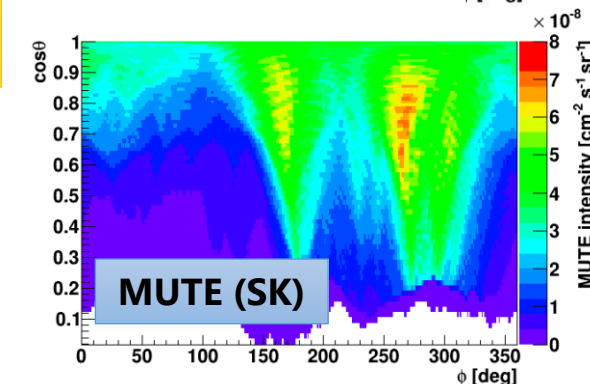
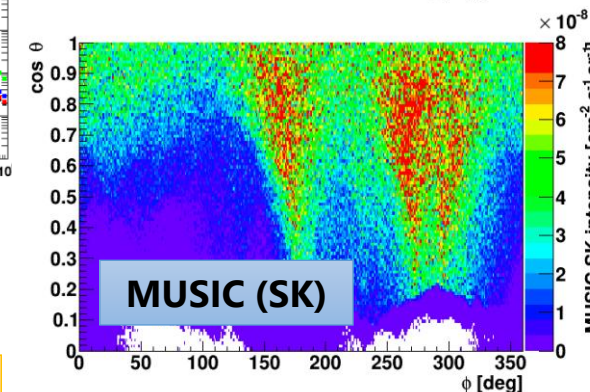
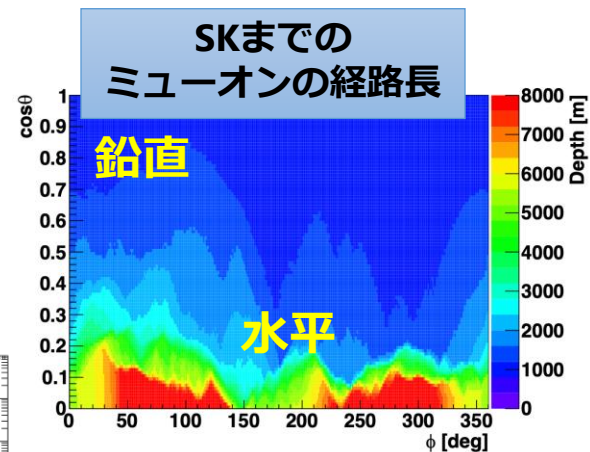
- いくつかの実験データは誤差の範囲で再現している。
→ **すべての実験データを説明できる状況にはない。**
- まずは、各実験でフラックスの数値を公表していくしかない。
→ SK実験だと、水チェレンコフ光から、方向分布も公表できるはず。



ポスター発表 P16
横浜国立大 島村

実際の発表では神岡地下の各実験領域での、
具体的なミュオンフラックスの予想数値を報告しました。

ネット上では、数値は控えさせていただきます。
数値が必要な方は、富山大学 中野までお問い合わせください。



学術変革で何をやるか

学術変革の期間中での研究トピック (1) p. 10

■ 次の5年で何をするか

- 中野 (発表者, 分担者) は SK実験の研究者.

[arXiv: 2403.08619](https://arxiv.org/abs/2403.08619)

→ これまでに**宇宙線ミュオンの電荷比と偏極**を測定した.

1) 宇宙線ミュオンのフラックス測定 分担者

- a) シミュレーションとの差異を検証, **天頂角 (方向) 分布**.
- b) **周期変動** (K と π の寿命の違い).
- c) **本数分布**の評価 (ミュオン束, strangeの物理).

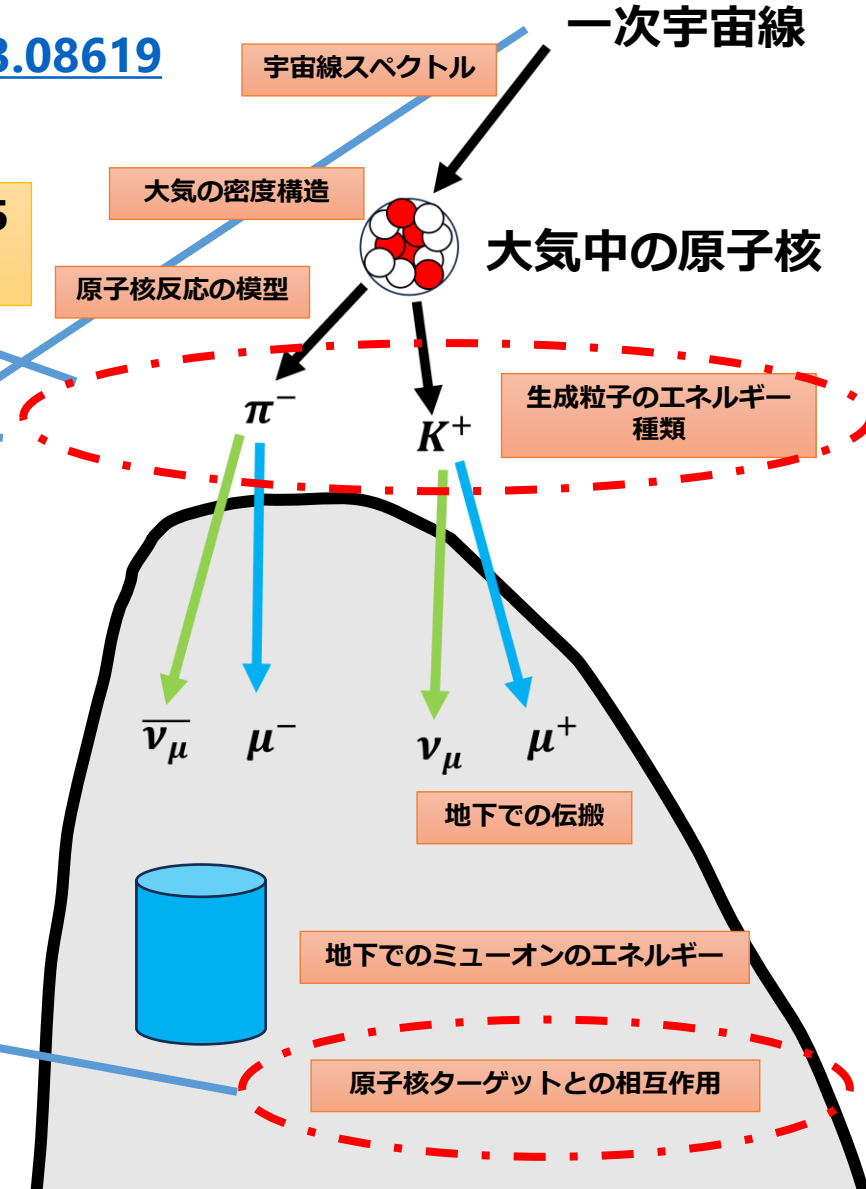
2) 宇宙線ミュオンの異方性の検証 自分の興味

- a) 太陽と月の影 (**太陽磁場の時期変動**)
- b) 一次宇宙線の異方性と合うか (宇宙空間での伝搬).

3) 放射性不純物の評価 分担者

- a) SKでの既存の**バックグラウンド事象の生成数**の測定.
 ^{16}N , ^{15}C , ^9Li など.

可能であれば, 地下環境での
宇宙線ミュオン由来の中性子を評価したい



学術変革の期間中での研究トピック (2) p. 11

■ 他力本願なトピック

- 本学術変革の時期に何が更新されそうか。

1) 一次宇宙線と地表ミュオン

- a) それぞれ, 観測データは増える.
- b) 2025年(予定) LHC が陽子-酸素 の衝突を見る.
- c) Muon puzzle (1 TeV以上の観測データの10%超過問題).

2) シミュレーションのアップデート

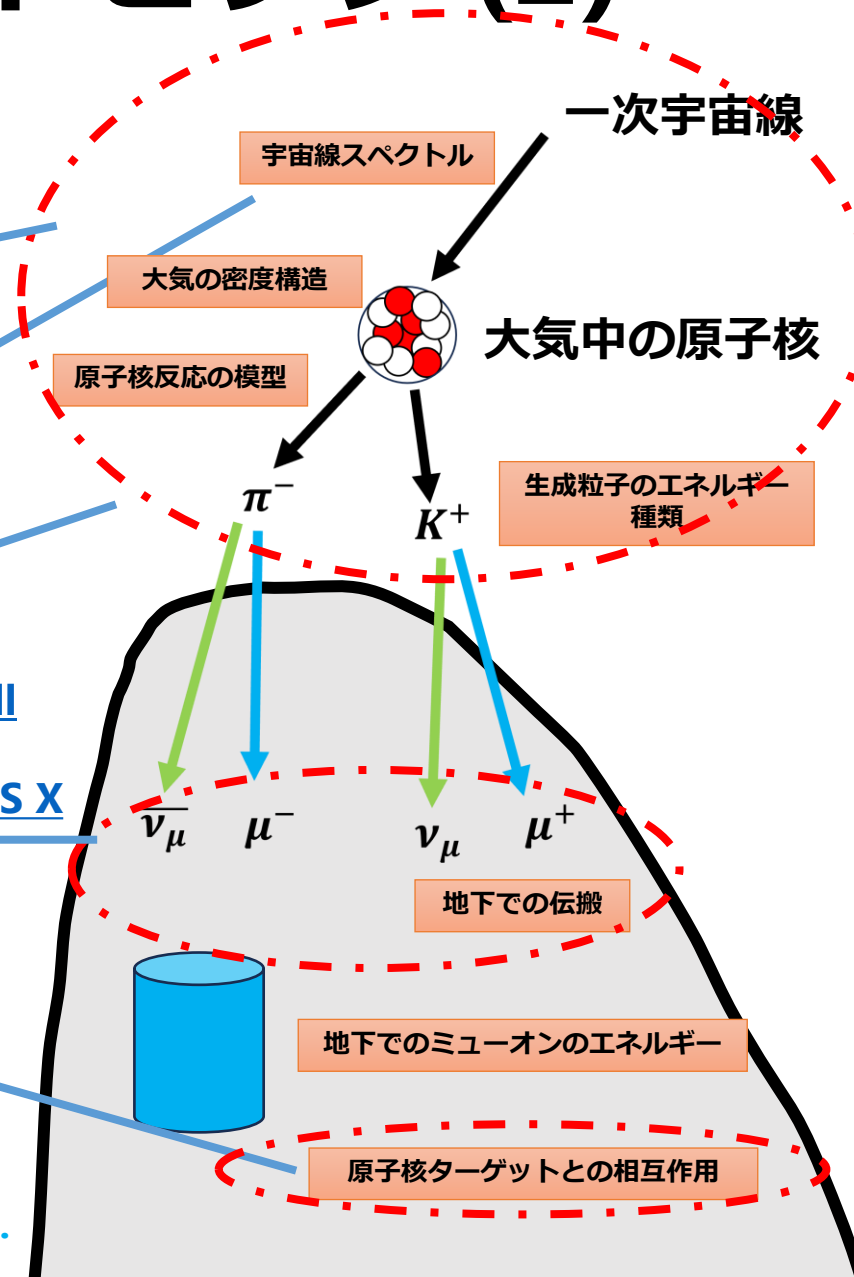
- a) 一次宇宙線のシミュレーション. Honda flux, Sibyll
- b) ハドロン相互作用(QCD) の数値計算. MUSIC, MUTE, COSMOS X
- c) 地下での伝搬のシミュレーション. Geant4, Fluka, PHITS
- d) 原子核ターゲットとの相互作用.

3) 地下での宇宙線ミュオンのエネルギー測定

予算があれば, 実験家の研究者が実施可能.

神岡地下での測定, 誰かお願いします.

平均 280 GeVと見積もり.



まとめ

• 宇宙線ミュオン

- 地下環境における**宇宙線ミュオン**は避けられない.
- 稀事象探索実験では, 宇宙線ミュオンの影響を考慮すべき.
 - **不安定核種**の生成, 岩盤からの**中性子生成**.
- 地下でのミュオン予想シミュレーションはあるが, 不定性も大きい.

• 学術変革で何をやるか

- **観測データからシミュレーションの改善につながる情報の提供.**
- 各実験の専門家 (担当者) での情報交換.
- 外部の新しい情報を加えて, **シミュレーションの改善.**
- これらの研究を通して, **稀事象探索の物理感度を向上させる.**

ポスター発表 P16
横浜国立大 島村

ポスター発表 P25
岡山大 多田

地下環境での宇宙線ミュオンを減らす, という研究ではない.
不安定核種の生成率, 混入率を分析するという手法を用いて, 不定性を削減する.
最終的に, 物理感度に対する系統誤差を減らそう, という研究になります.