

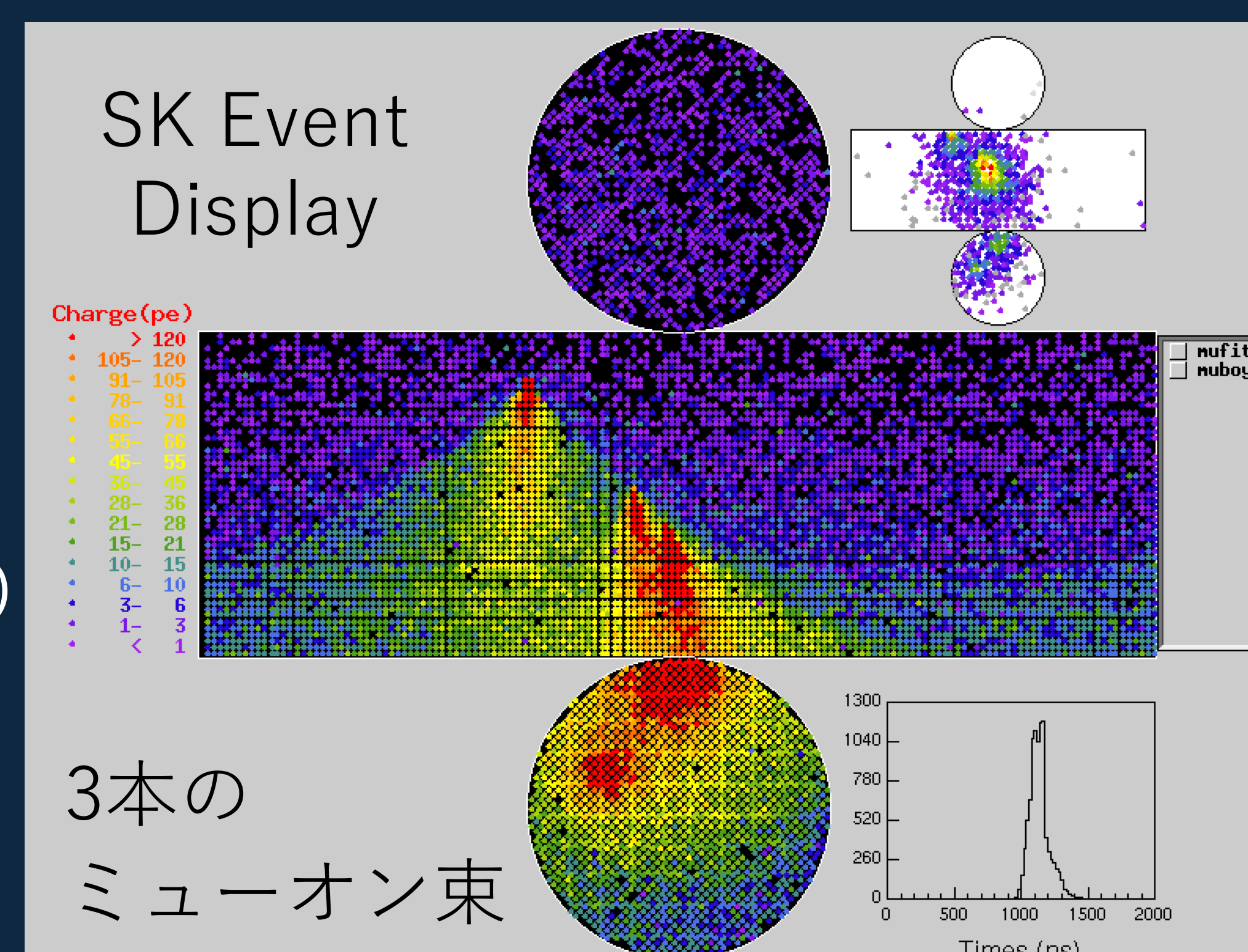
スーパーカミオカンデにおけるミュオン束 フィッターの開発とミュオンフラックスの測定

藤田紗希（東大 IPMU・saki.fujita@ipmu.jp）、多田智昭、島村蓮、中野佑樹、小汐由介、大山雄一
for the Super-Kamiokande Collaboration

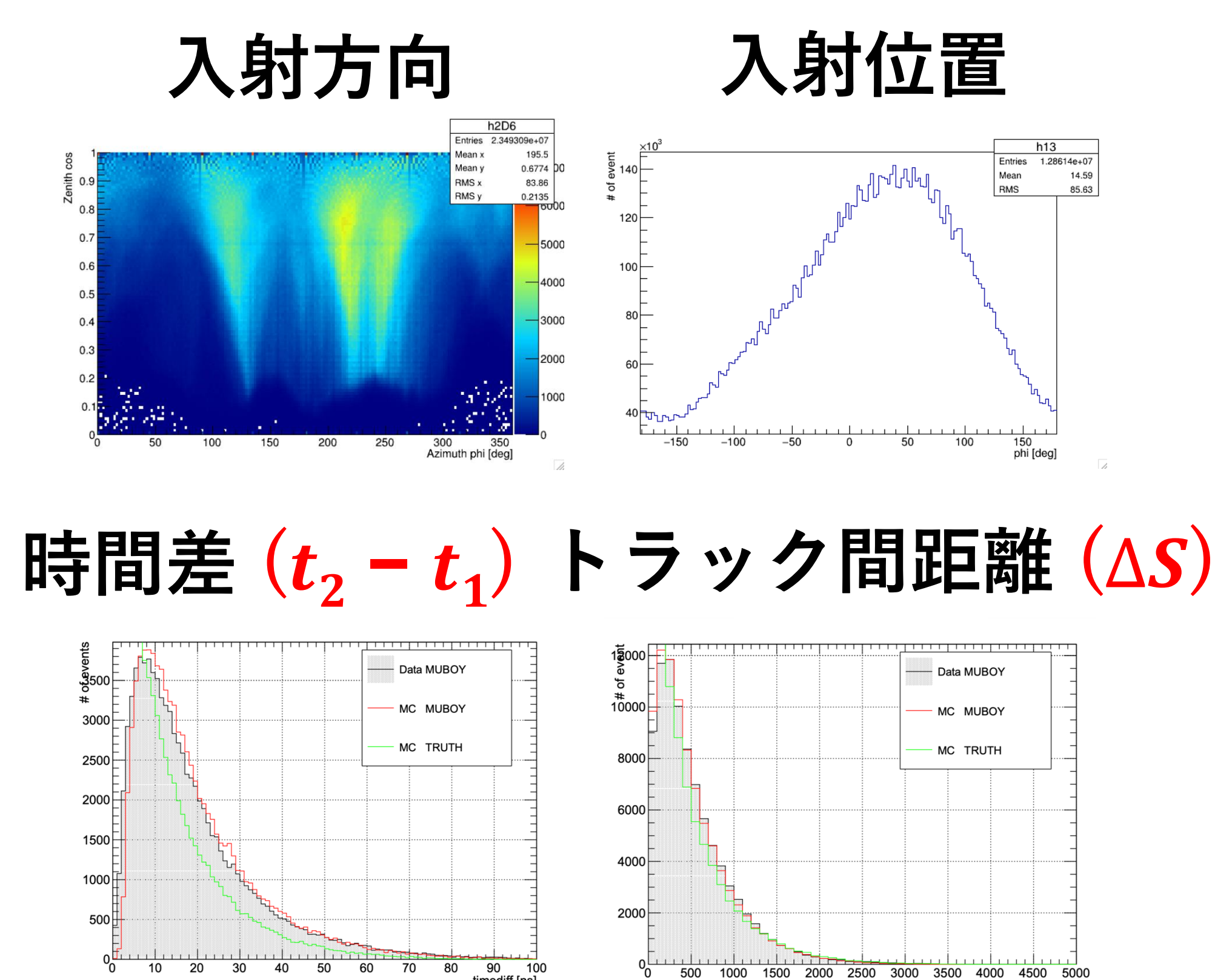
地下実験における宇宙線ミュオン事象

- 地下実験における正しいミュオンフラックス測定の重要性
 - ミュオンシミュレーションの検証
 - ミュオン起源のバックグラウンドの正確な見積もり
 - ミュオンそのものの研究（フラックスの周期変動 [1] など）
- 今までスーパーカミオカンデ（SK）で言っていたミュオンフラックスは複数本同時に届くミュオン束が考慮されていなかった

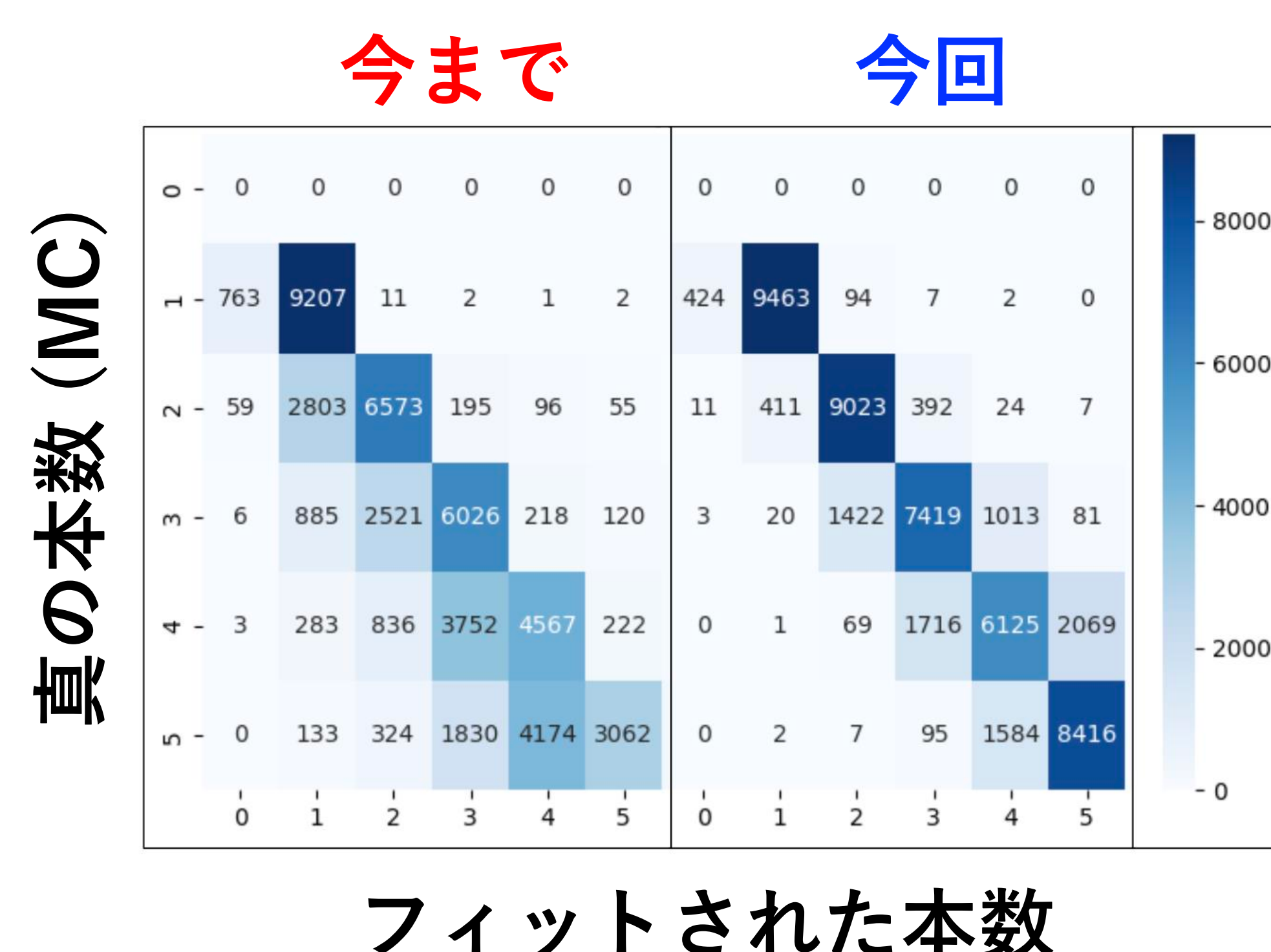
機械学習を用いたミュオン束フィッター



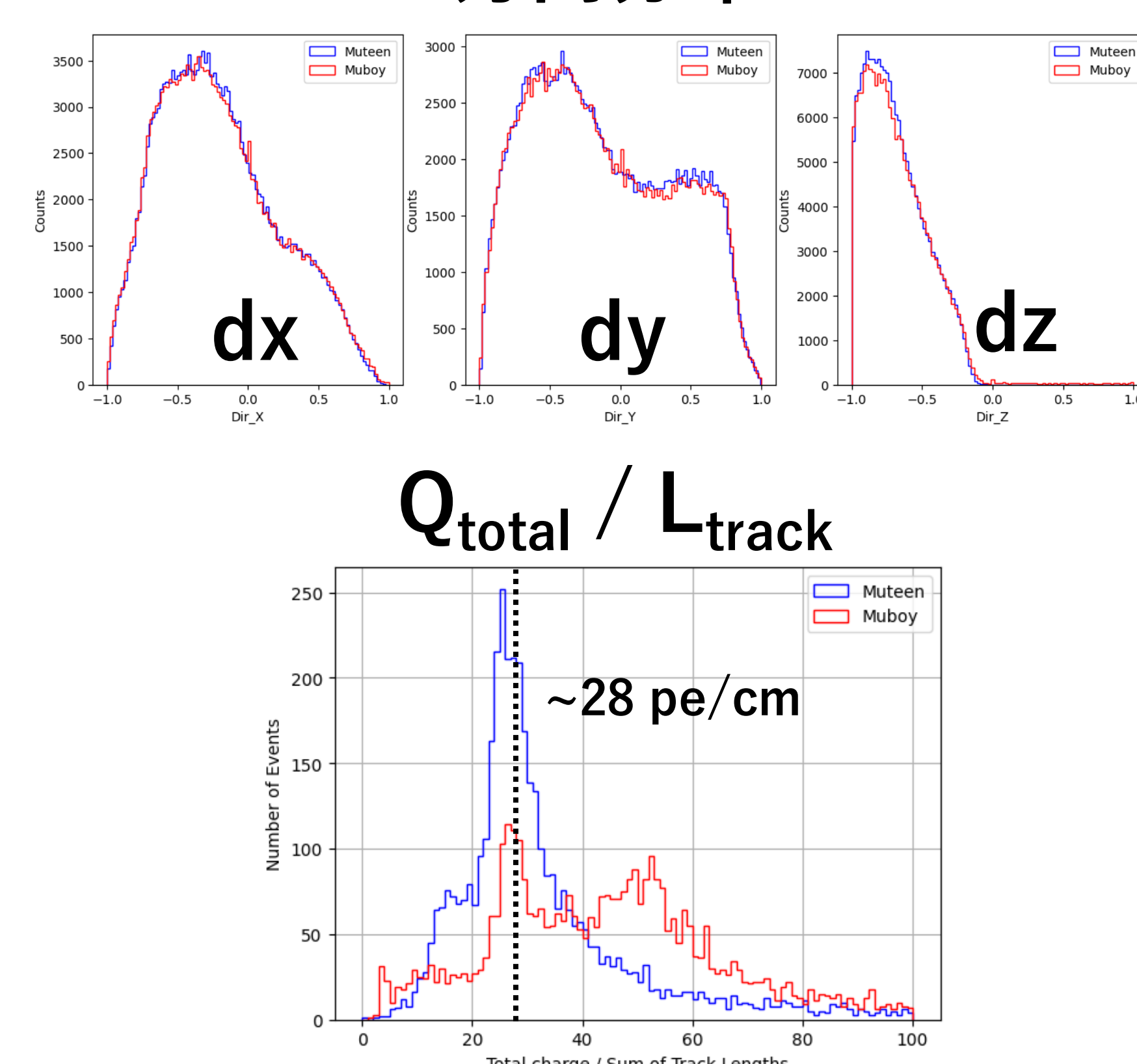
(1) ミュオン束 Monte Carlo の開発



(2) Transformer [2] ベースの フィッターをトレーニング



(3) データで正当性を評価 方向分布

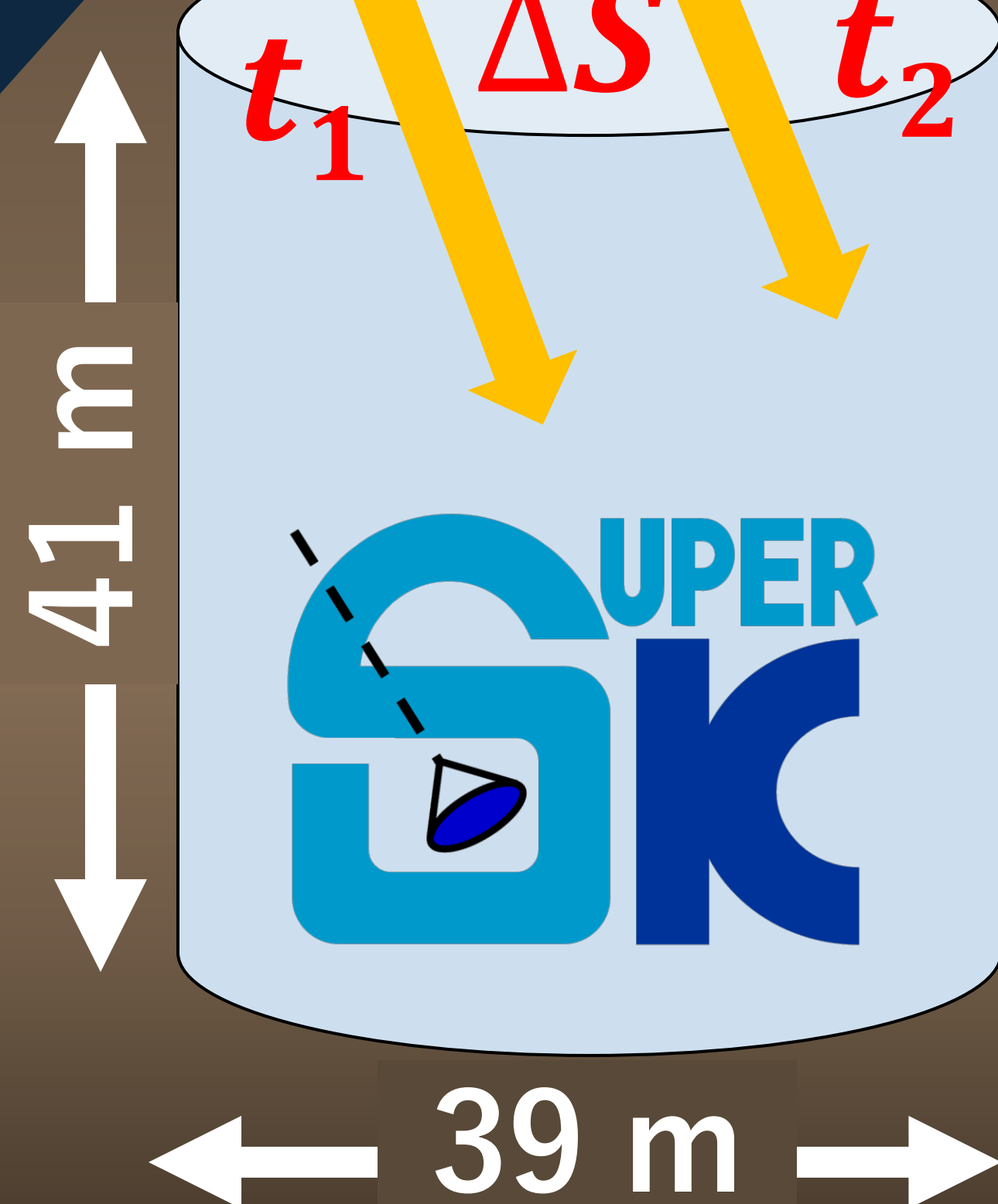


$p, He, \dots$

15 km

$\pi^\pm$
 μ

SKのミュオン事象
1日に約18万事象
~10%がミュオン束



ミュオンフラックスの測定

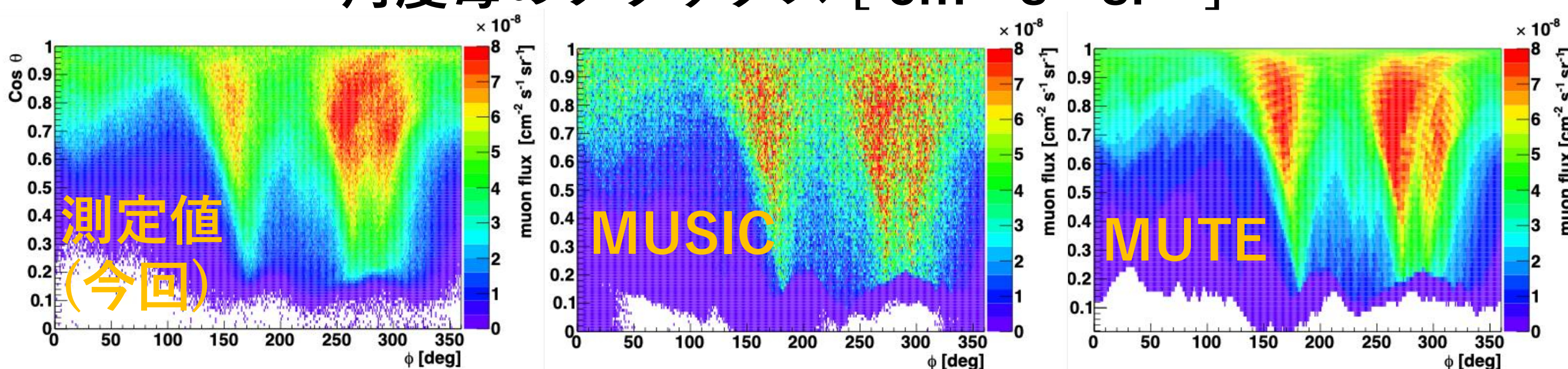
(測定期間：SK-V, 2019/2-2020/7, 380 live days)

全フラックス [$\times 10^{-7} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$] Preliminary

測定値		シミュレーション	
今まで	今回	MUSIC [3]	MUTE [4]
1.37	$1.54 \pm 0.02^*$	$1.53 \pm 0.12^*$	$1.61 \pm 0.12^*$

*系統誤差

角度毎のフラックス [$\text{cm}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ sr}^{-1}$]



まとめと今後の展望

- SKで初めてミュオン束を考慮したミュオンフラックスを得た
- 今までの値より約12%増え、MUSICの値と 0.65σ で一致した
- 今後は新しく開発したフィッターを用いミュオンの研究を行う

参考文献

- [1] P.H. Barrett et al., Interpretation of cosmic-ray measurements far underground, Rev. Mod. Phys. 24 (1952) 133
- [2] N. Carion et al, End-to-end object detection with transformers, arXiv:2005.12872 (2020)
- [3] P. Antonioli et al, A three-dimensional code for muon propagation through the rock: MUSIC, Astroparticle Physics (1997)
- [4] W. Woodley et al, Cosmic ray muons in laboratories deep underground, PRD 110, 063006 (2024)