



COMET PHASE-I COMMISSIONING RUNにおける DIOスペクトルを用いたCDC運動量校正の検討

大阪大学

山田 千尋

(c-yamada@epp.phys.sci.osaka-u.ac.jp)



1. COMET Phase-I

探索過程：ミュオン・電子転換 w/Al 原子核

目標感度： 3×10^{-15} in Phase-I [1]

...先行実験 (SINDRUM II [2]) の100倍

信号事象：**105 MeV/c** 単色運動量電子

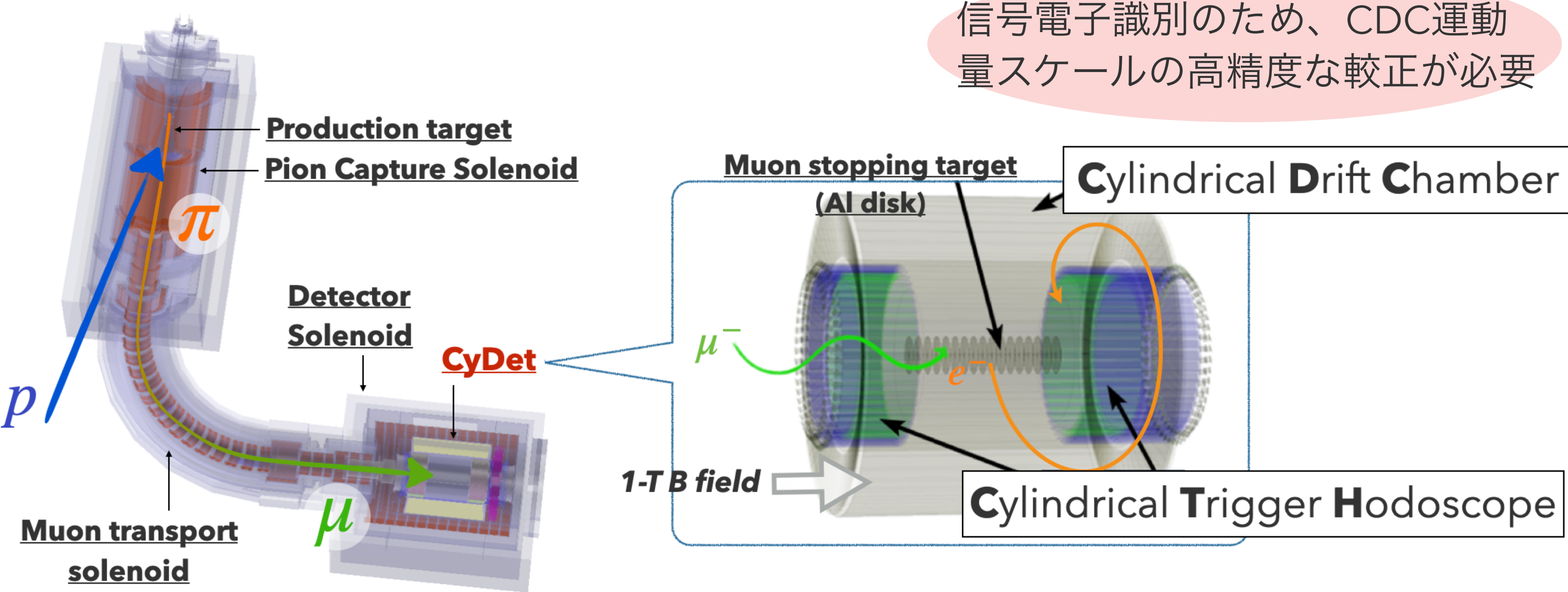
主な背景事象：**decay-in-orbit (DIO)**

ビーム：3.2 kW, 8 GeV 陽子ビーム @ J-PARC

検出器：**Cylindrical Detector (CyDet)**

CDC：飛跡検出器、運動量測定

CTH：トリガー検出器、時間測定



信号電子識別のため、CDC運動量スケールの高精度な校正が必要

2. DIOを用いた運動量校正戦略

CDCの運動量分解能要求： $\sigma_p < 200 \text{ keV/c}$

運動量校正目標精度： $|\delta p_{\text{scale}}| \lesssim 50 \text{ keV/c} \ll 200 \text{ keV/c}$

既知運動量候補：

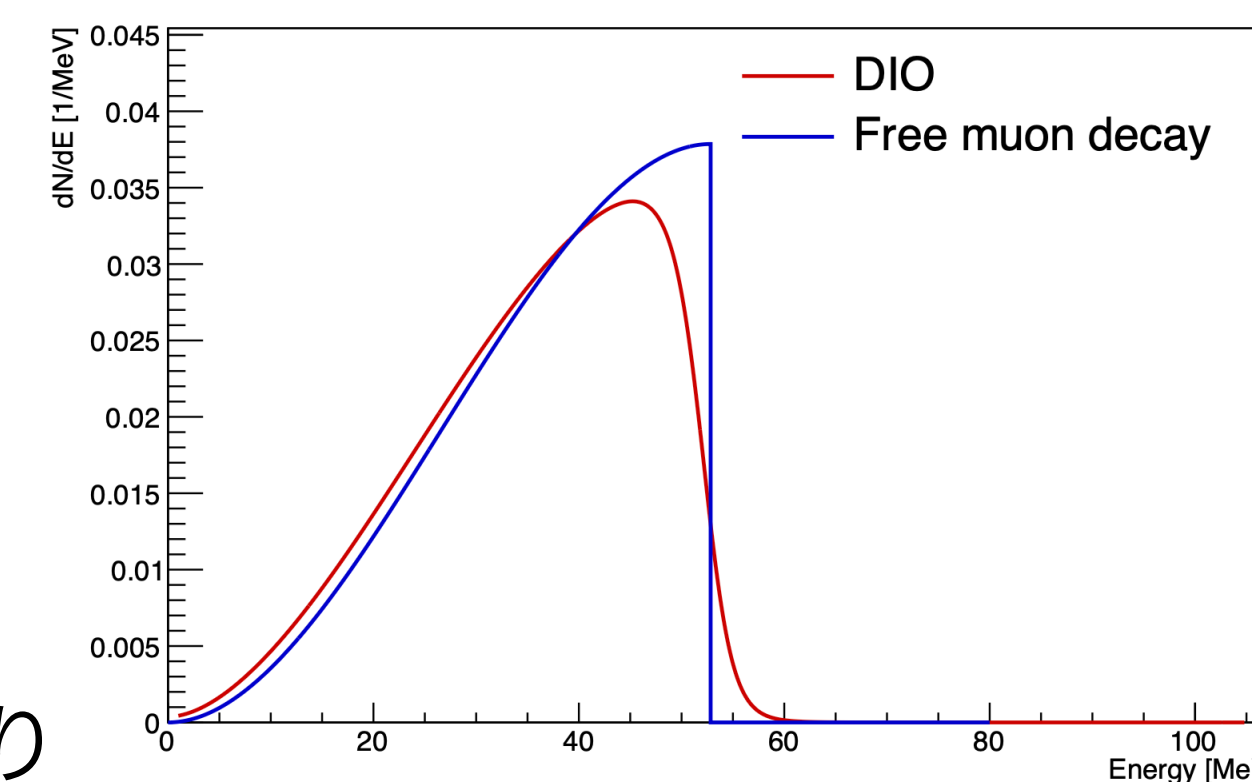
- * DIO electron ($\mu^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\mu$) peak ($\sim 50 \text{ MeV}$), endpoint ($\sim 105 \text{ MeV}$)
- * Michel positron ($\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu$) $\sim 52 \text{ MeV}$ edge,
- * π_{e2} decay positron ($\pi^+ \rightarrow e^+ \nu_e$) $\sim 69.8 \text{ MeV}$

DIO peakを使用する利点

- * 高統計量が期待できる
- * DS磁場半分で信号電子とほぼ同じ軌道

弱点

- * DS 磁場を半分の0.5 Tに変更する必要あり
- * 原子核に束縛される影響で、自由崩壊に比べて若干ピークが鈍る



系統誤差の要因候補

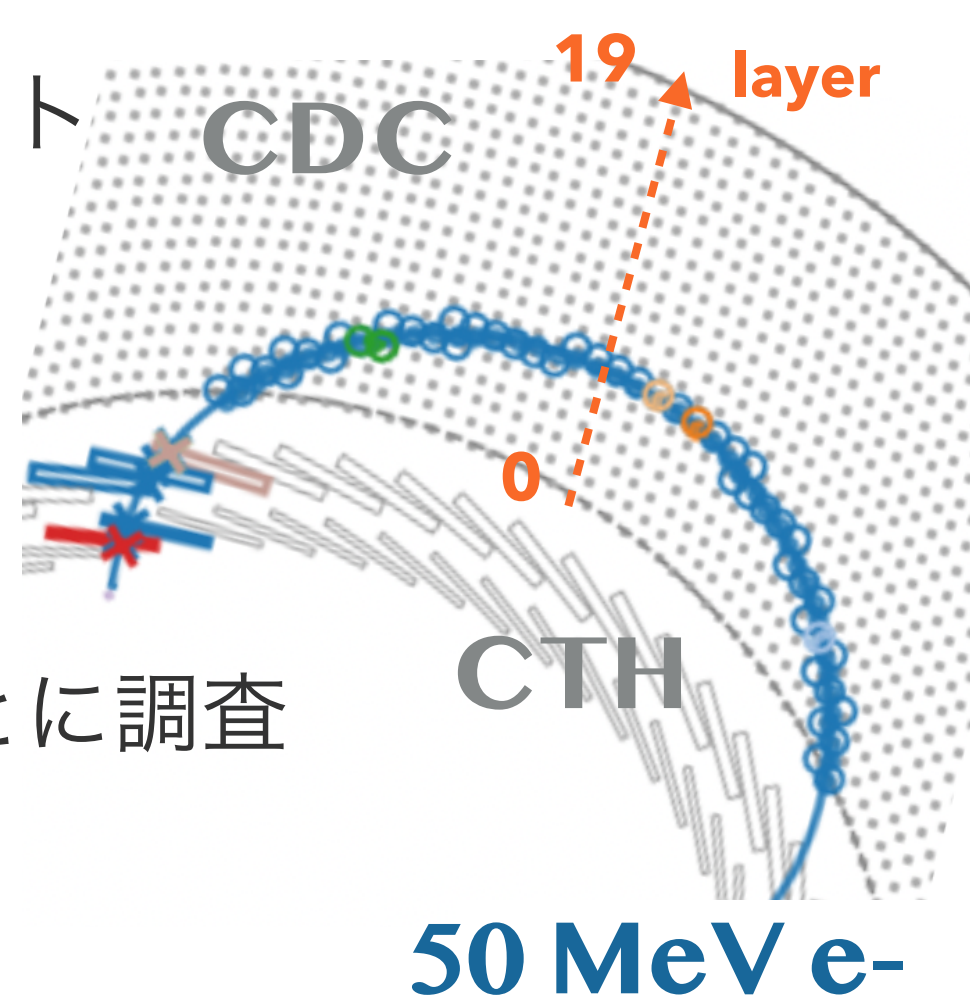
- * 理論スペクトル (シミュレーションには Szafron et al.(2016) [3] の結果を使用)
- * エネルギー損失
- * アクセプタンス
- * 磁場分布、磁場をスケールすることによる系統誤差

3. 検出器アクセプタンスと想定統計量

トリガー条件：CTH 隣接する外側2つ内側2つにヒット
(4-fold coincidence)

CDC track quality cut条件：CDC第5層以上にヒット
(CDC NL5)

→ これらを満たす電子のAcceptanceを、運動量ごとに調査



primary条件

生成位置：Al disk上一様

生成方向：等方的

(各運動量 20,000 electronずつ生成)

$$\text{統計量： } R_{\text{trg./mu}} = \left[\int_{20\text{MeV}}^{60\text{MeV}} f_{\text{theo}}(p) \times A(p) dp \right] \times 0.4$$

cut condition	CTH 4-fold	CTH 4-fold + CDC hit	CTH 4-fold + CDC NL5
Rtrg/mu	4.3×10^{-3}	2.6×10^{-3}	1.5×10^{-3}
events / hour	6.6×10^5	3.2×10^5	1.8×10^5

ビーム設定

proton beam : 27 W, 1-bunch,
 2.11×10^{10} POT/s

muon stopping yield : $1.6 \times 10^{-6} \mu^-/\text{POT}$

結論：CTH 4-fold + CDC NL5 を使用する場合、

55 MeV 未満のAcceptanceはerror functionで近似する

1時間のランで、 $O(10^5)$ 程度のイベントが見込める

今後の課題：track fit 結果に基づくquality cutを導入する

4. フィットting試験

① 1.6×10^5 DIO MC primaryを生成
～実際のrun 3分程度に相当

② CTH 4-fold coincidence & CDC NL5 を適用

③ initial momentum (P_ini)と CDC入射前のtruth momentum (P_r200) を比較

→ エネルギー損失により、meanが0.48 MeV減少

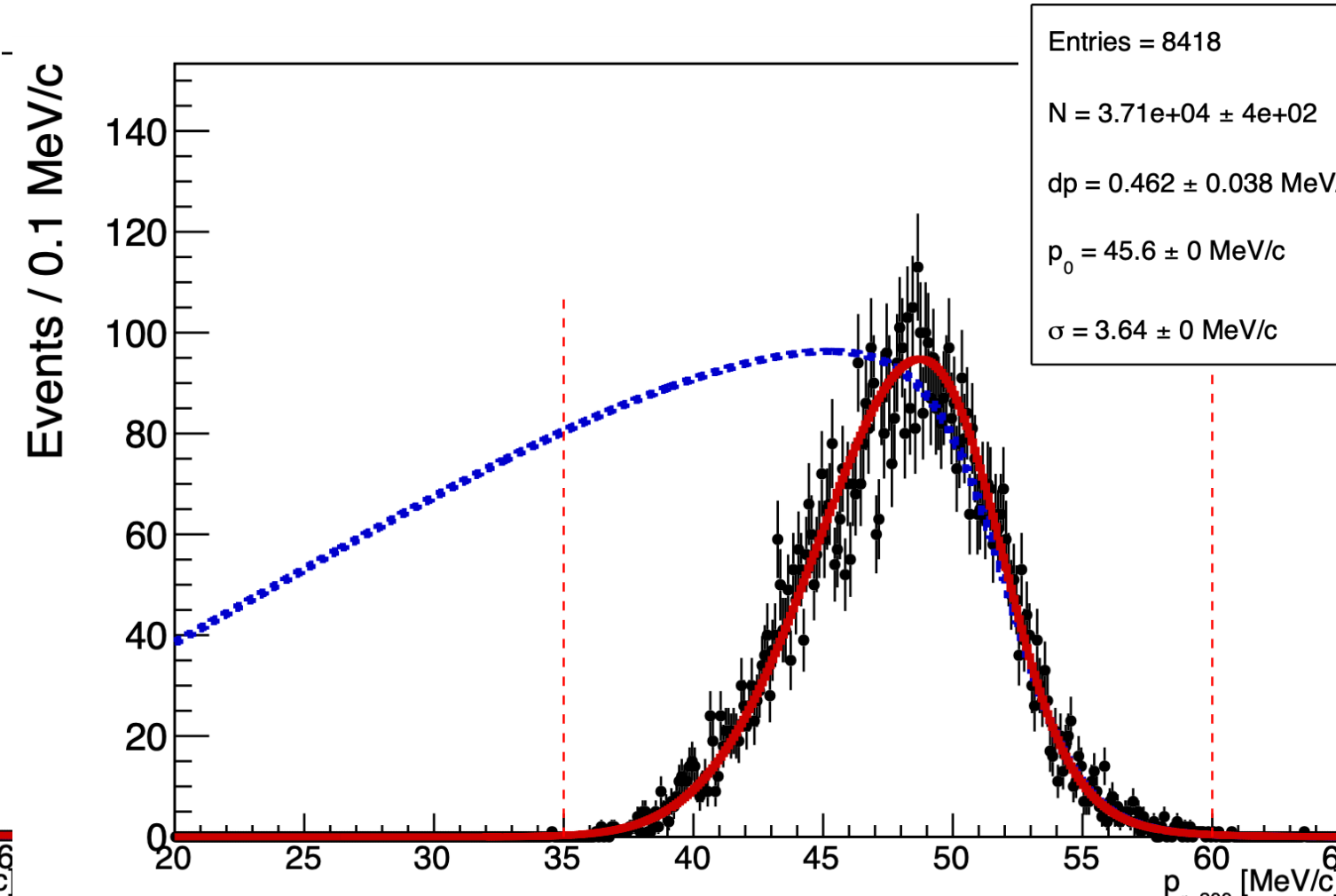
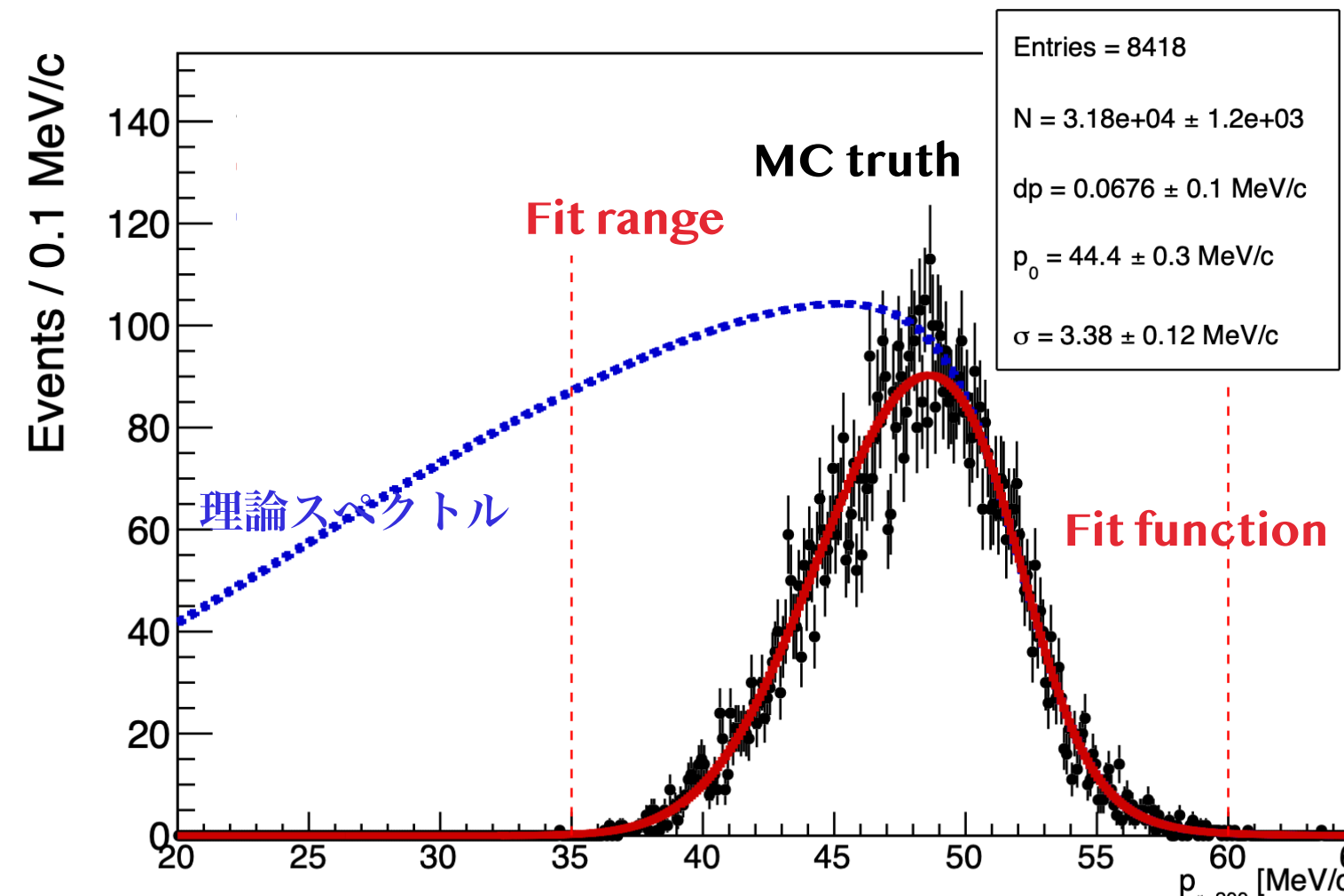
④ P_r200スペクトルをフィットし、運動量シフト (dp) を再構成

$$\text{Fit model function : } N \times f_{\text{theo}}(p + dp) \times \frac{1}{2} \text{erfc}\left(-\frac{(p + dp) - p_0}{\sqrt{2}\sigma}\right)$$

同時Fit：4つのパラメータを同時に
フィット

二段階Fit：アクセプタンスを先に決定

→ P_r200のフィット (自由パラメータ:N, dp)



→ momentum shift と Acceptance curve
を再構成できていない
失敗の原因：パラメータ間の強い相関

→ bias = 20 keV/c
precision = 37 keV/c
精度の範囲内でtruth valueと一致

5. まとめと今後の展望

COMET Phase-I における、DIO電子を用いたCDC運動量校正手法を検討

- * アクセプタンスカーブをerror functionで近似し、独立に決定することで、シミュレーションから得られた運動量シフトを正しく再構成できた。

約8000 eventで、運動量シフトの統計精度 37 keV/c

→ 高精度な運動量校正には、検出器アクセプタンスの正確な理解が不可欠

今後の展望：

- * CDCの運動量分解能・検出器応答を導入
- * 磁場スケールの直接測定 (ポスター：阪大高見)
- * 背景事象も含め、現実的なtrack quality cutとtracking efficiencyを評価

高統計・高精度なDIOスペクトル測定が可能になると、

原子核効果の検証をはじめ、核物理への新たな展開が期待できる

Reference

- [1] COMET Collaboration, Prog. Theor. Exp. Phys vol. 2020, Issue 3, (2020), 033C01; [doi:10.1093/ptep/ptz125](https://doi.org/10.1093/ptep/ptz125)
[2] W. Bertl et al. Eur. Phys. J. C 47, 337–346 (2006), [doi:10.1140/epjc/s2006-02582-x](https://doi.org/10.1140/epjc/s2006-02582-x)
[3] R. Szafron et al. Phys. Rev. D 94 051301(R) (2016); [doi:10.1103/PhysRevD.94.051301](https://doi.org/10.1103/PhysRevD.94.051301)