

日本物理学会2016年秋季大会
素粒子、核物理、宇宙線、宇宙物理
会場 宮崎大学(木花キャンパス)
期間 2016年9月21日(水)~24日(金)

22aSF-3

J-PARC E36実験用CsI(Tl)カロリメータ のエネルギー較正

伊藤博士^{*1)}, 堀江圭都²⁾, 五十嵐洋一⁴⁾, 今里純⁴⁾, 河合秀幸¹⁾,
児玉諭士¹⁾, 清水俊²⁾, 田沼良介⁽³⁾, for E36 collaboration

1)千葉大、2)大阪大、3)立教大、4)KEK



CHIBA
UNIVERSITY



大阪大学
OSAKA UNIVERSITY



目次

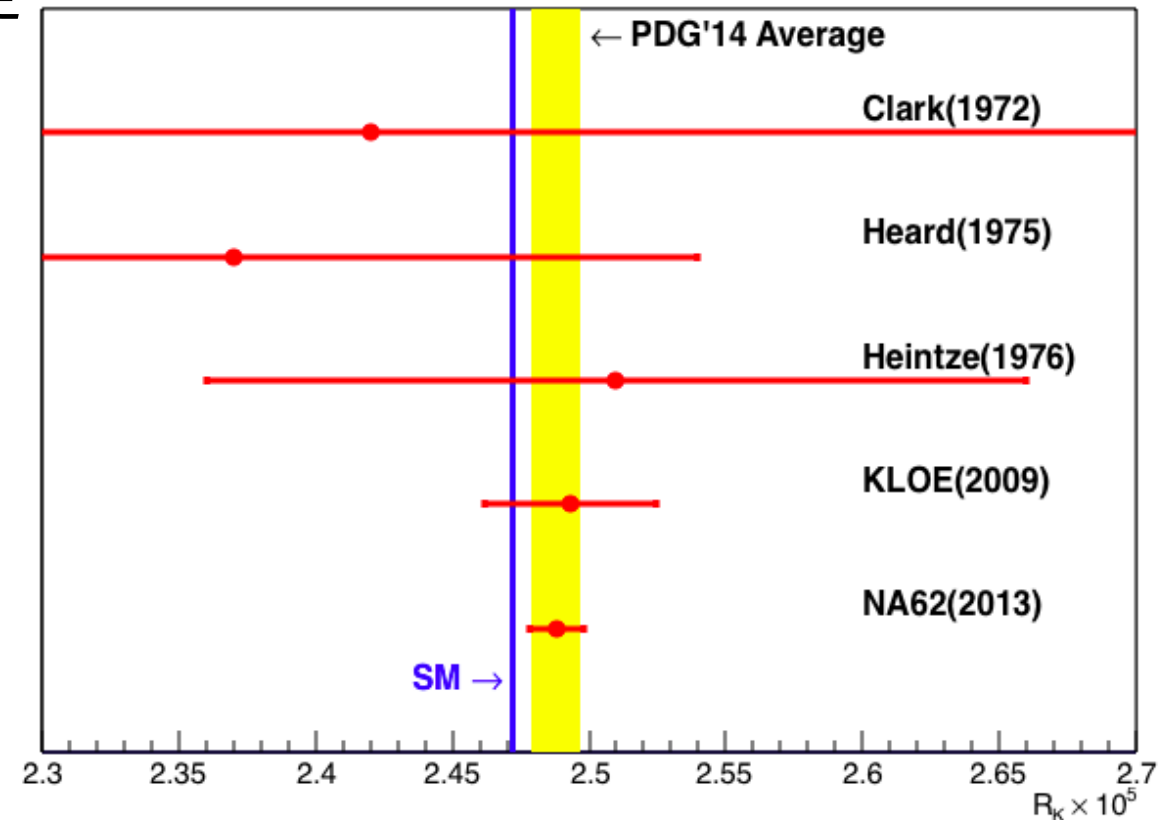
1. J-PARC E36実験
2. 検出器
3. CsI(Tl)カロリメータ
4. 波形モデル関数の開発
5. エネルギー較正測定
6. 宇宙線ミュオンを用いたエネルギー較正法
7. まとめ

J-PARC E36実験

J-PARC E36実験: 静止 K^+ を用いた R_K 精密測定

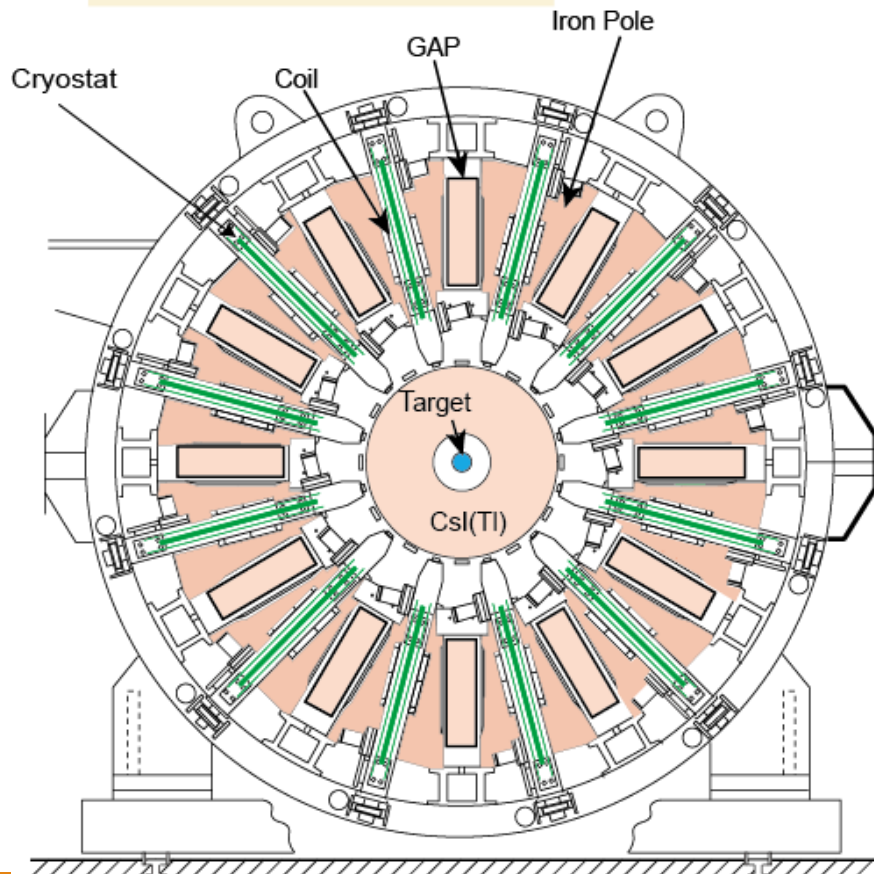
$$R_K = \Gamma(K^+ \rightarrow e^+ \nu_e) / \Gamma(K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu)$$

	$R_K \times 10^5$	$\Delta R_K / R_K$
KLOE(2009)	$2.493 \pm 0.025 \pm 0.019$ (stat) (sys)	1.26%
NA62(2013)	$2.488 \pm 0.007 \pm 0.007$ (stat) (sys)	0.40%
SM	2.472 ± 0.001	0.04%
GOAL of E36		0.25%

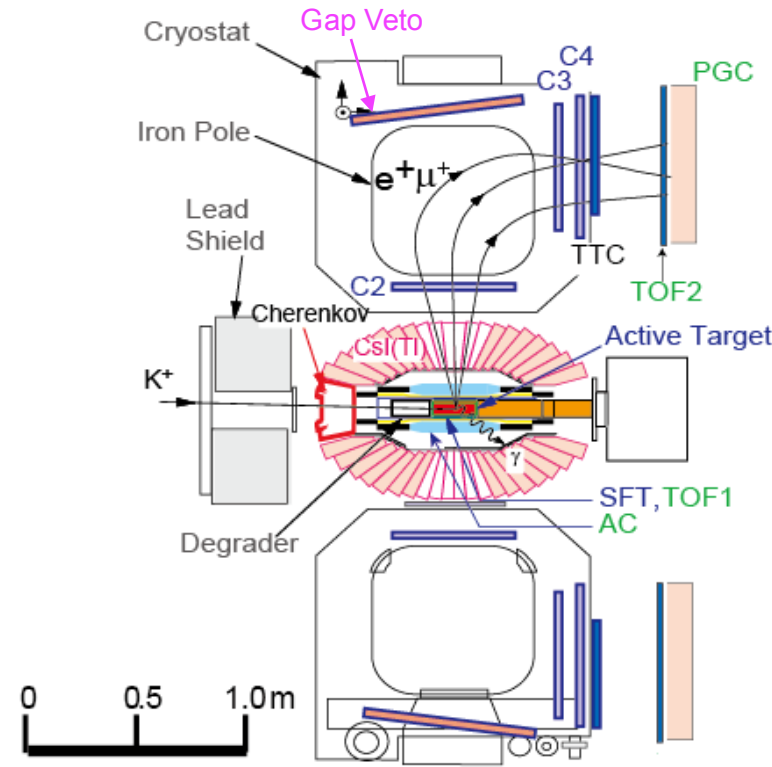


E36検出器

End View



Side View



Stopped K^+ method

- J-PARC K1.1BR beam line
- Beam Cherenkov for K^+/π^+
- Active Target

Tracking

- Spiral Fiber Tracker (SFT)
- MWPC (C2, C3, C4)
- Thin Trigger Counter (TTC)

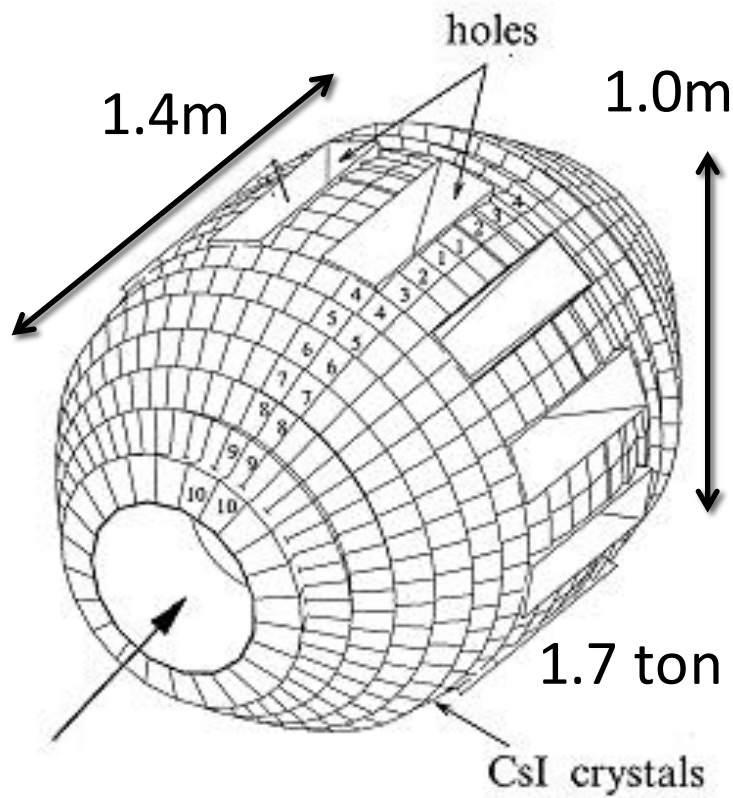
PID

- TOF1, TOF2
- Aerogel Cherenkov (AC)
- Pb Glass Counter (PGC)

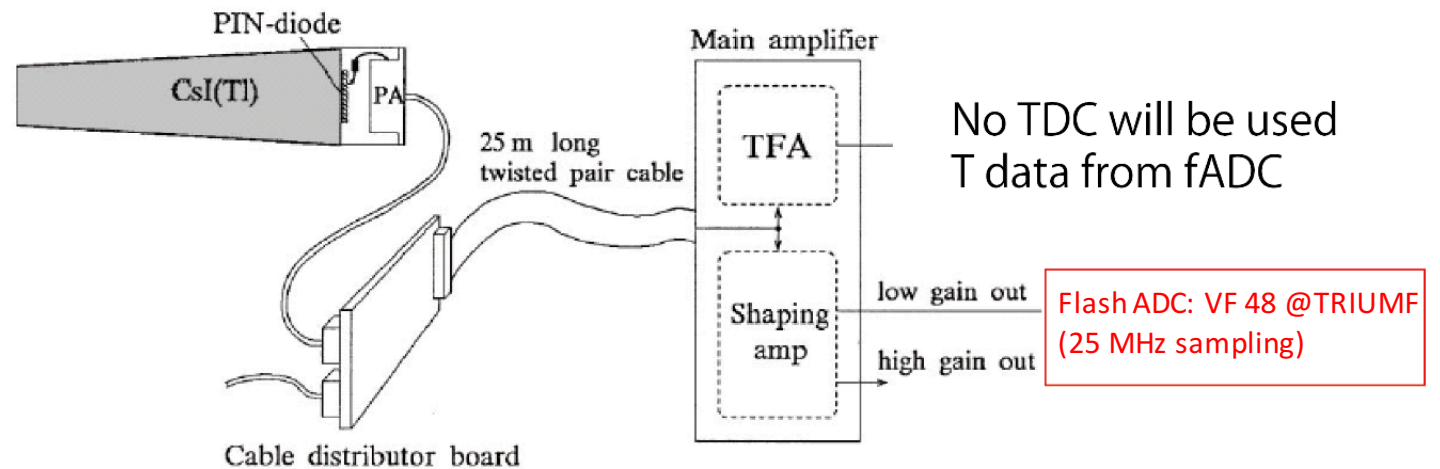
Gamma ray

- CsI(Tl) Calorimeter
- Gap Veto

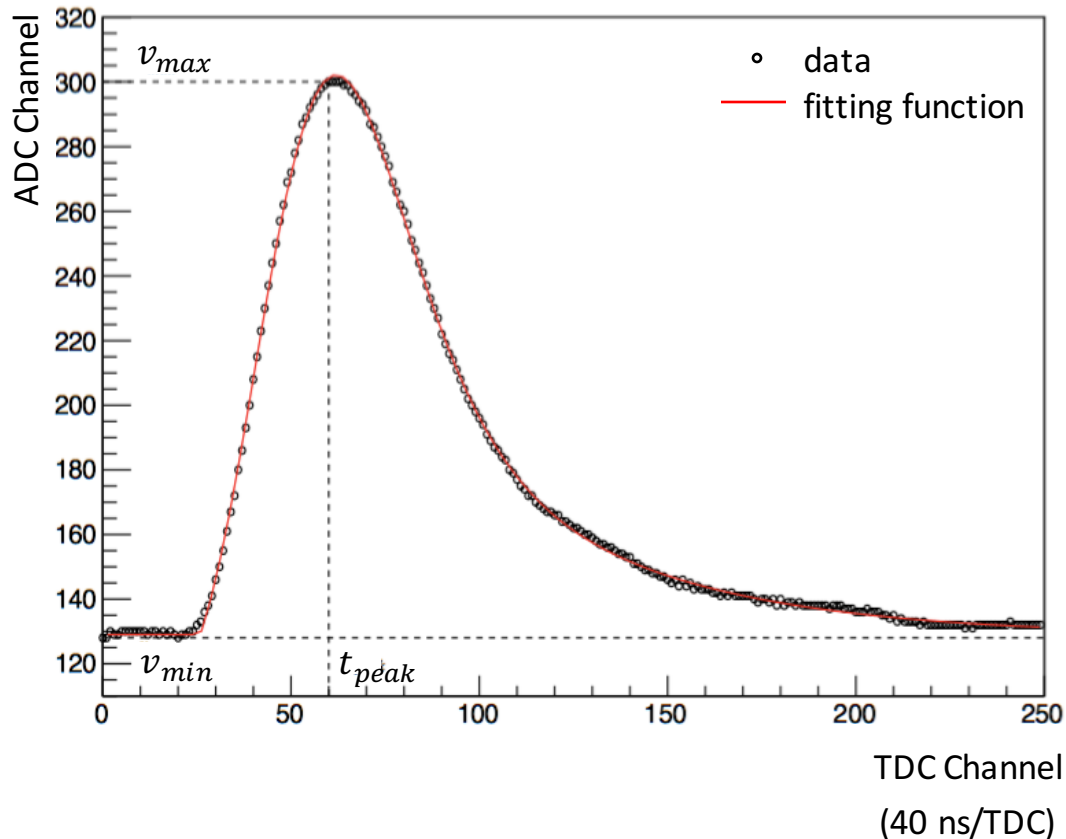
CsI(Tl)カロリメータ



768 CsI(Tl) crystal modules
 18 x 18 (28 x 28) mm² PIN diode
 + Pre-amplifier
 + Shaping-amplifier
 + Flash ADC VF48 @TRIUMF (25 MHz sampling)
 Signal full width ~ 10 μs



波形モデル関数の開発



v_{max} : 観測データの最大ADC
 v_{min} : " 最小ADC
 t_{peak} : " ピーク時刻

初期パラメータとして使用

$$F(t) = \frac{A}{f(t_0)} \text{Freq}\left(\frac{t - \tau_0 - d}{\lambda}\right) \left\{ \frac{t - \tau_0}{\tau_1} \exp\left(1 - \frac{t - \tau_0}{\tau_1}\right) + \varepsilon \frac{t - \tau_0}{\tau_2} \exp\left(1 - \frac{t - \tau_0}{\tau_2}\right) \right\} \theta(t - \tau_0) + v_{min}$$

$$f(t_0) = \frac{\varepsilon \tau_1 (\varepsilon \tau_1 + \tau_2)}{\varepsilon \tau_1^2 + \tau_2^2} \exp\left(1 - \frac{\tau_1 (\varepsilon \tau_1 + \tau_2)}{\varepsilon \tau_1^2 + \tau_2^2}\right) + \frac{\tau_2 (\varepsilon \tau_1 + \tau_2)}{\varepsilon \tau_1^2 + \tau_2^2} \exp\left(1 - \frac{\tau_2 (\varepsilon \tau_1 + \tau_2)}{\varepsilon \tau_1^2 + \tau_2^2}\right)$$

$$\text{Freq}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp(-t^2/2) dt$$

自由パラメータ:

A: 波高値

τ_0 : 立上り時刻, $\sim 1.02 \mu\text{s}$

d: 立上り自由度, $\sim 1.10 \mu\text{s}$

λ : 立上り係数, $\sim 0.71 \mu\text{s}$

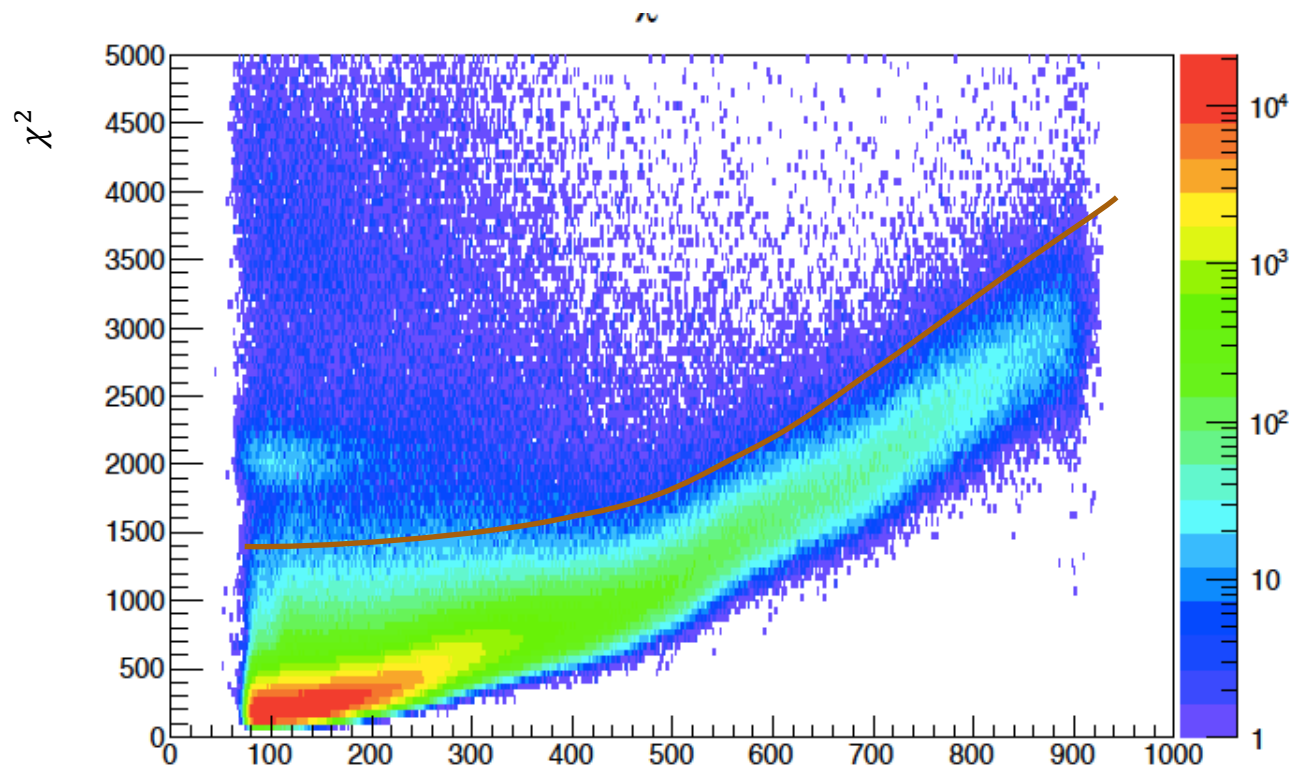
τ_1 : 時定数1, $\sim 0.68 \mu\text{s}$

τ_2 : 時定数2, $\sim 1.71 \mu\text{s}$

ε : 時定数1, 2割合, ~ 0.069

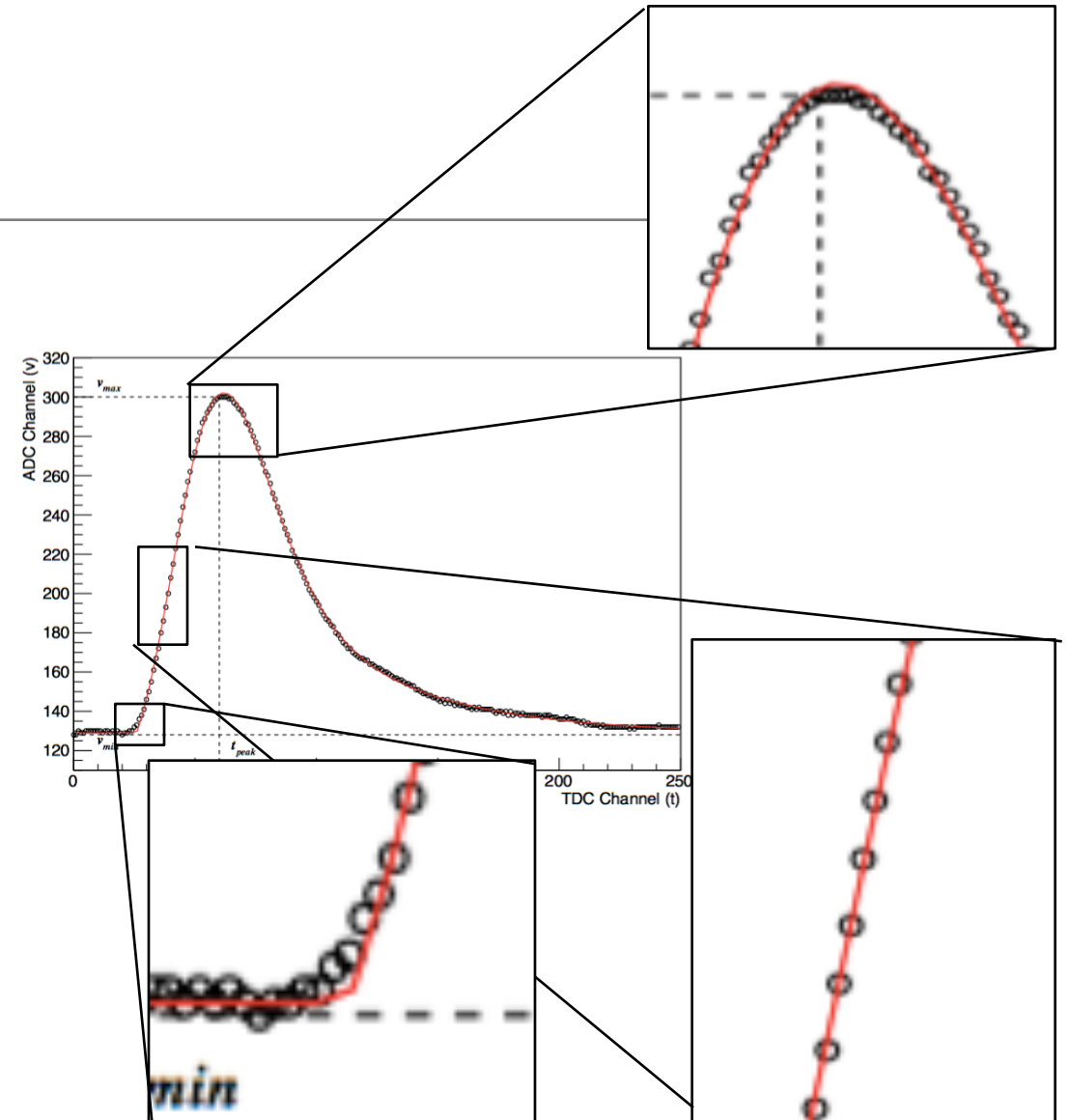
$f(t_0)$: 規格化定数

モデル関数の性質



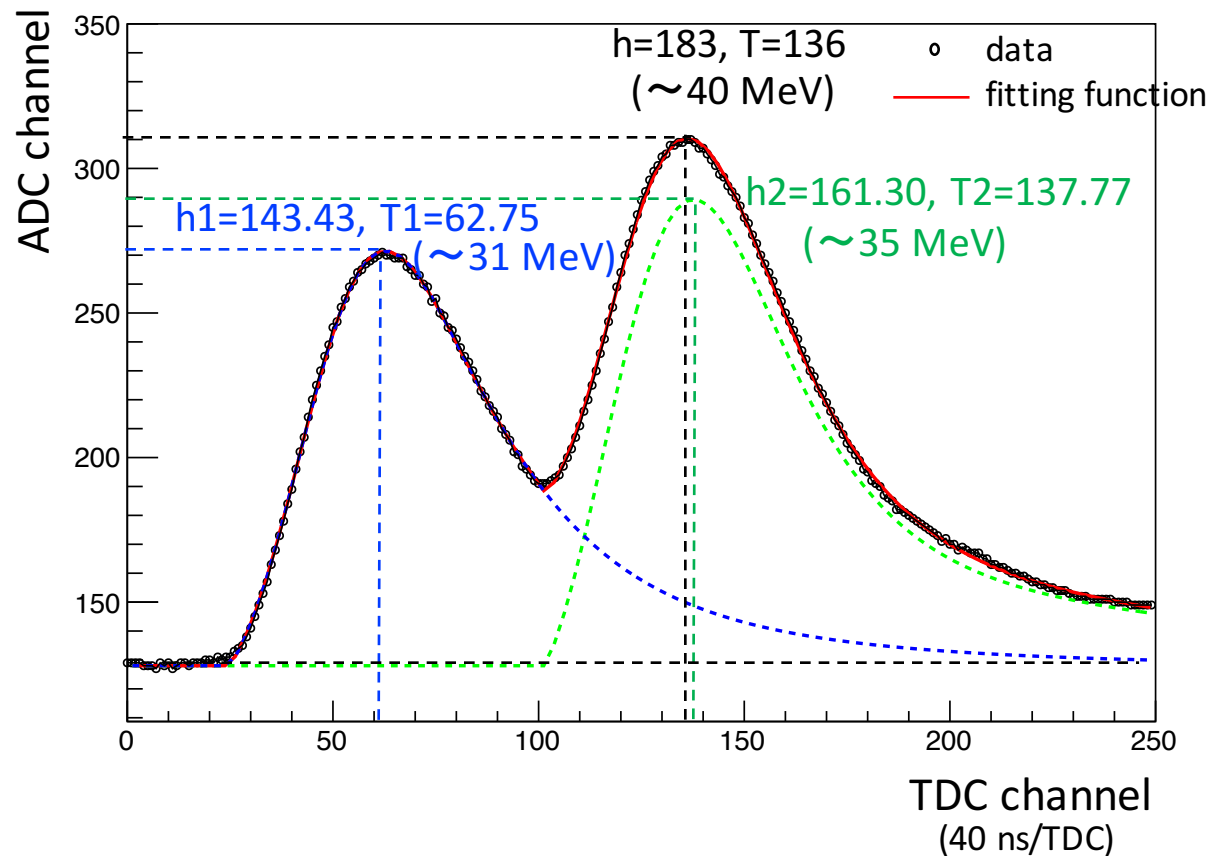
$$\chi^2 = \sum_i^{250} \frac{(f(t_i; a_1, a_2, a_3 \dots) - v(t_i))^2}{\sigma_i^2}, \sigma_i = 1$$

$$h = v_{max} - v_{min}$$

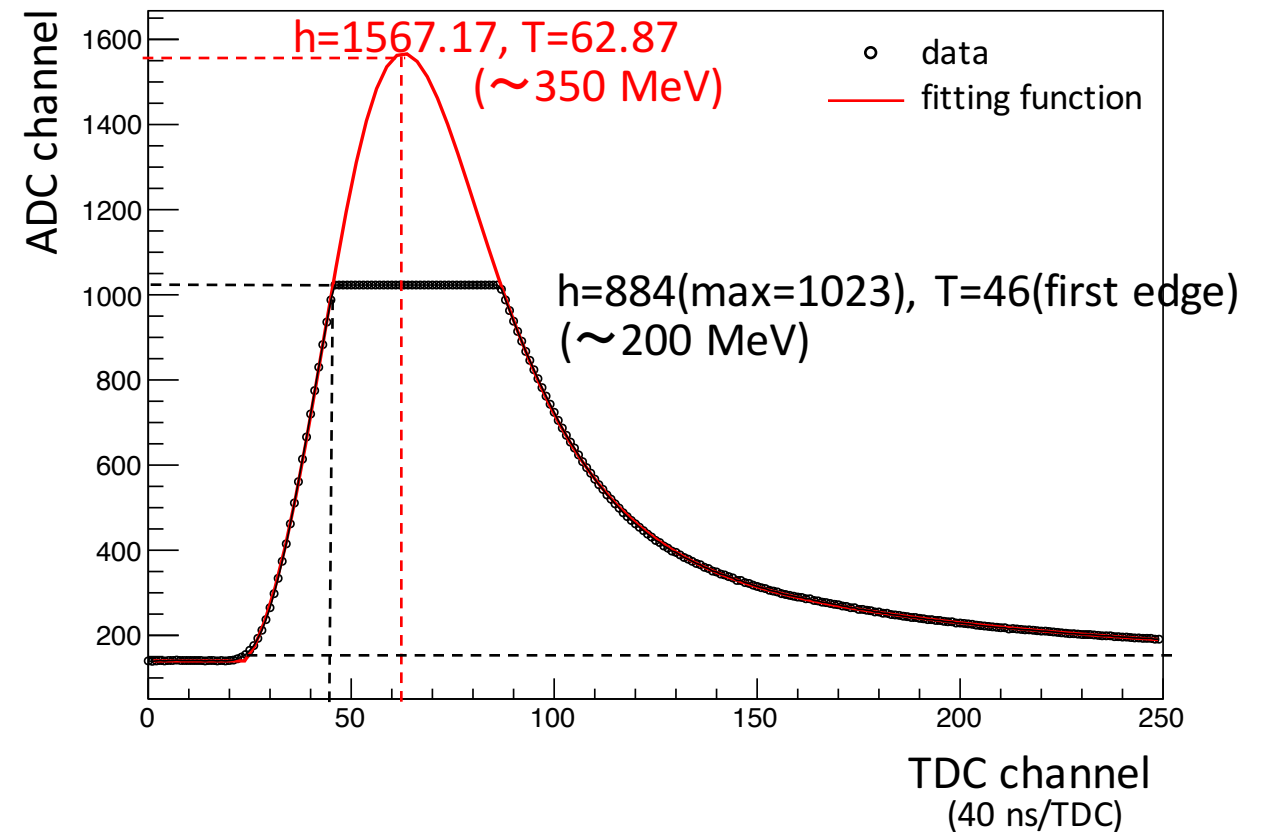


パイルアップとオーバーフロー補正

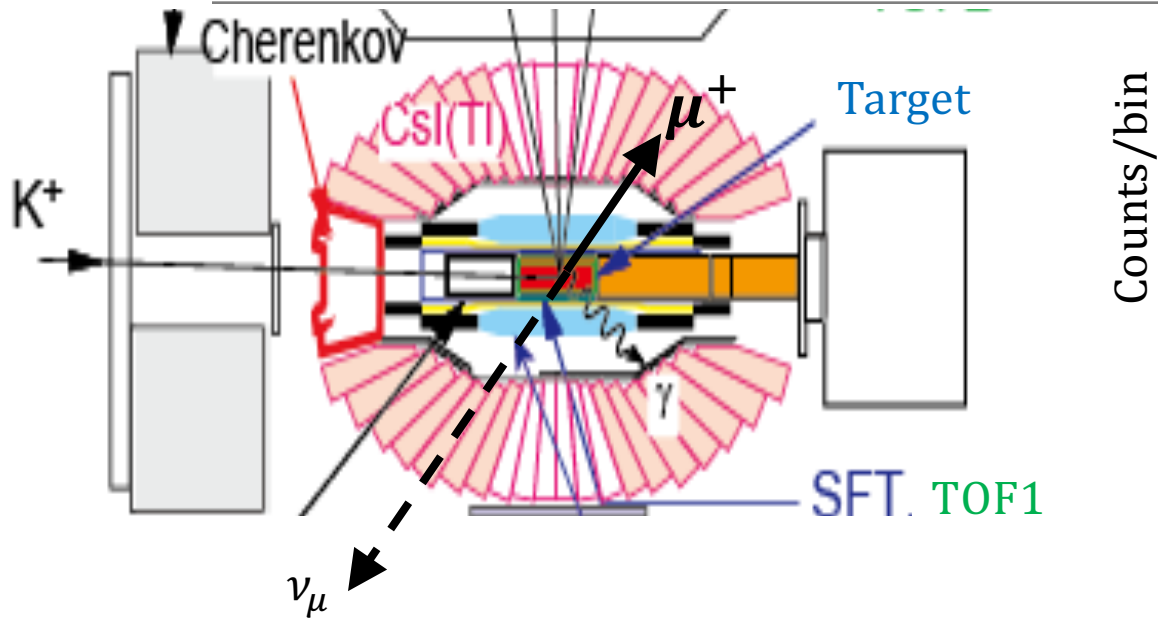
#Run4563, n=60367, (x,y)=(14,5)



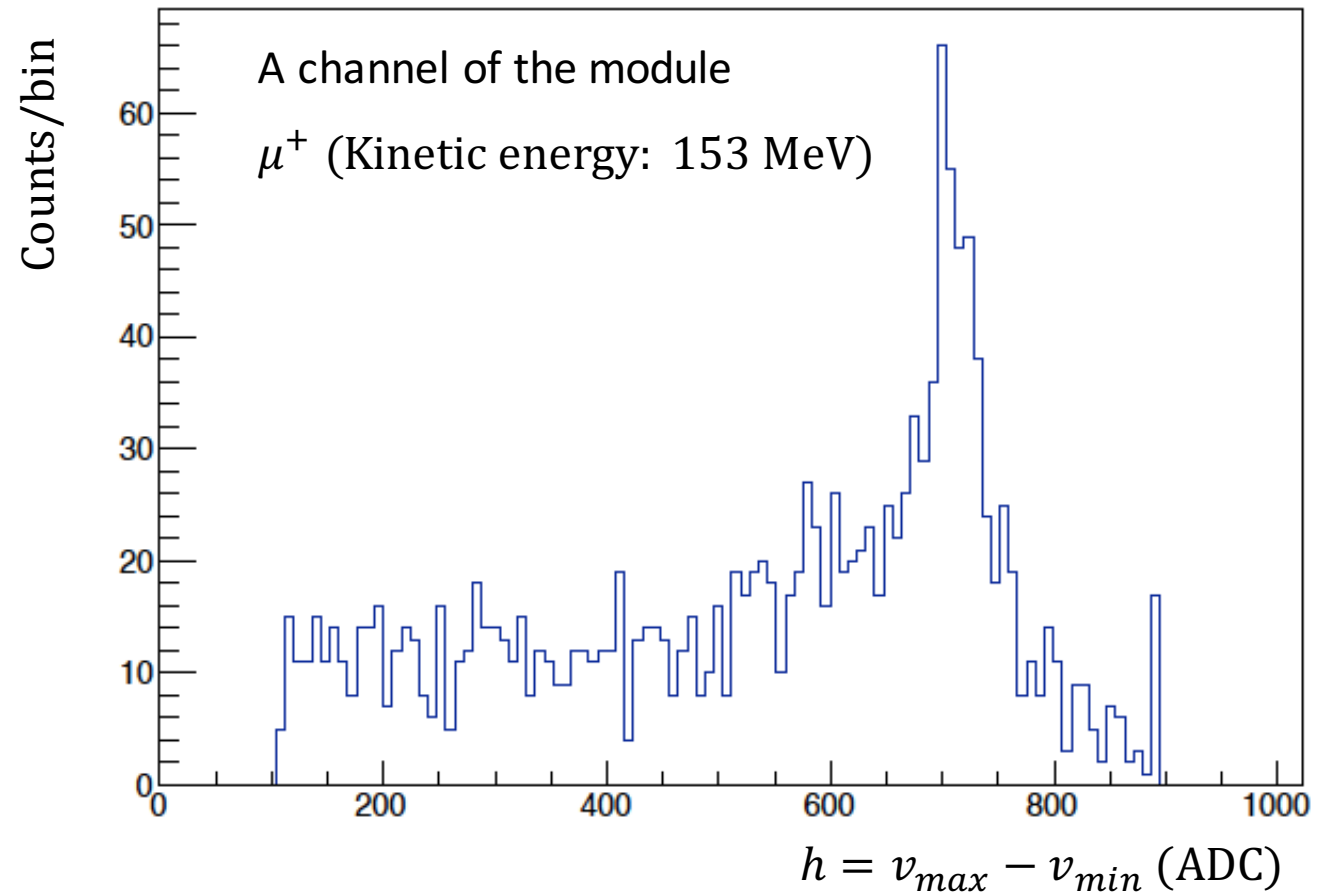
#Run4563, n=1135, (x,y)=(10,4)



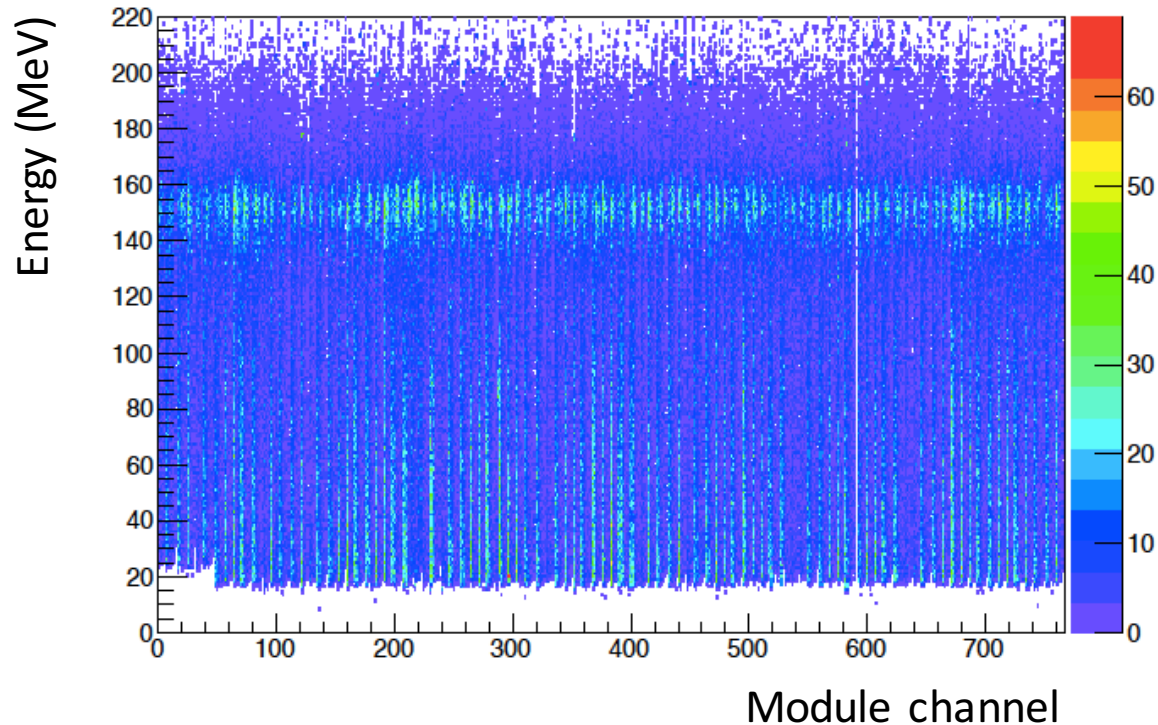
エネルギー較正測定



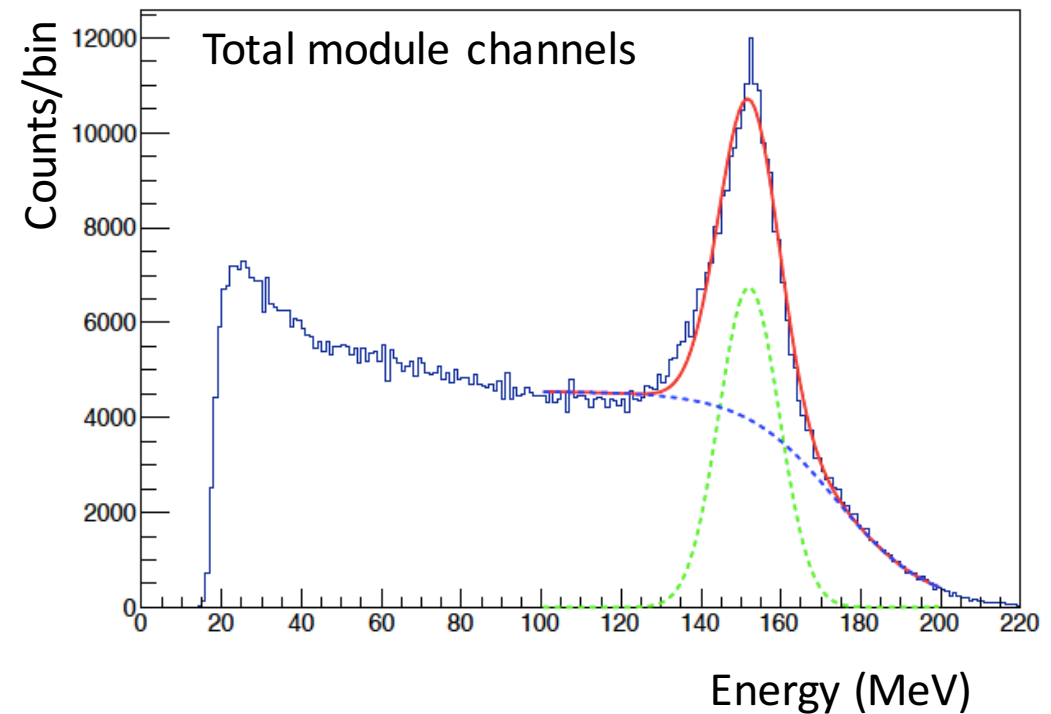
- トリガー: $Beam \checkmark \otimes Target \otimes TOF1$
- $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$
- Timing Cut
- Hit CsI(Tl) Crystal = 1



エネルギー較正測定

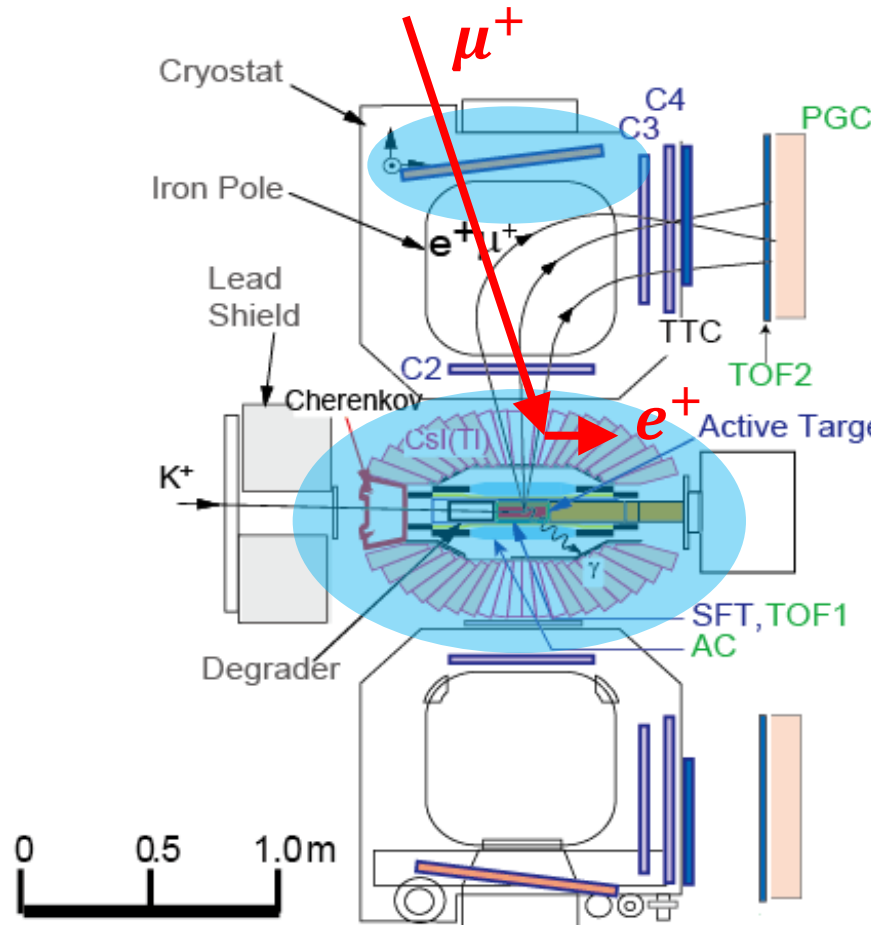


Result: E36 CsI(Tl) Calo. 715 ch + dead 5 ch
 変換係数: **0.22 MeV/ADC** (mean)

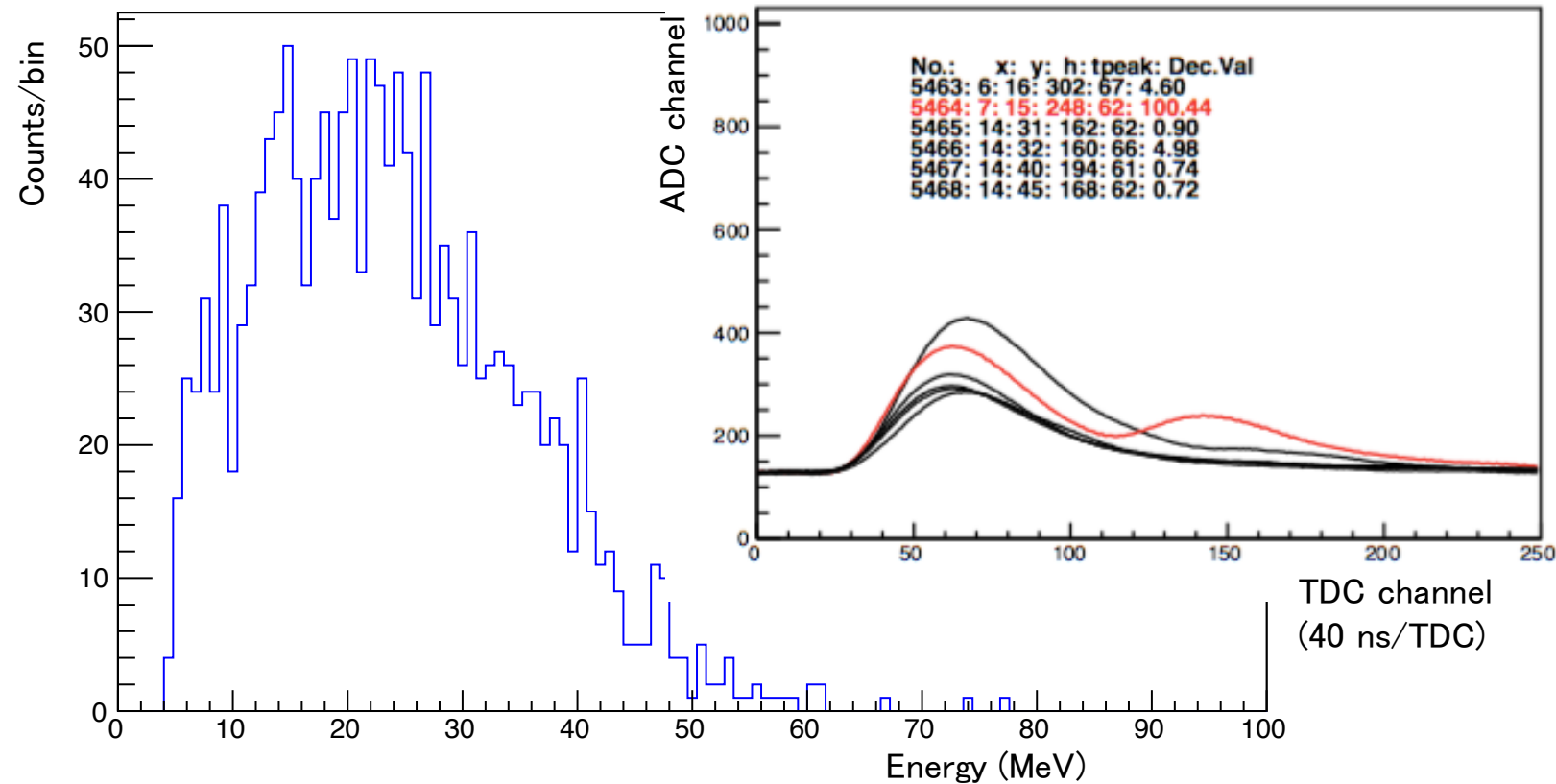


分解能: **4.96%** (σ) @153 MeV

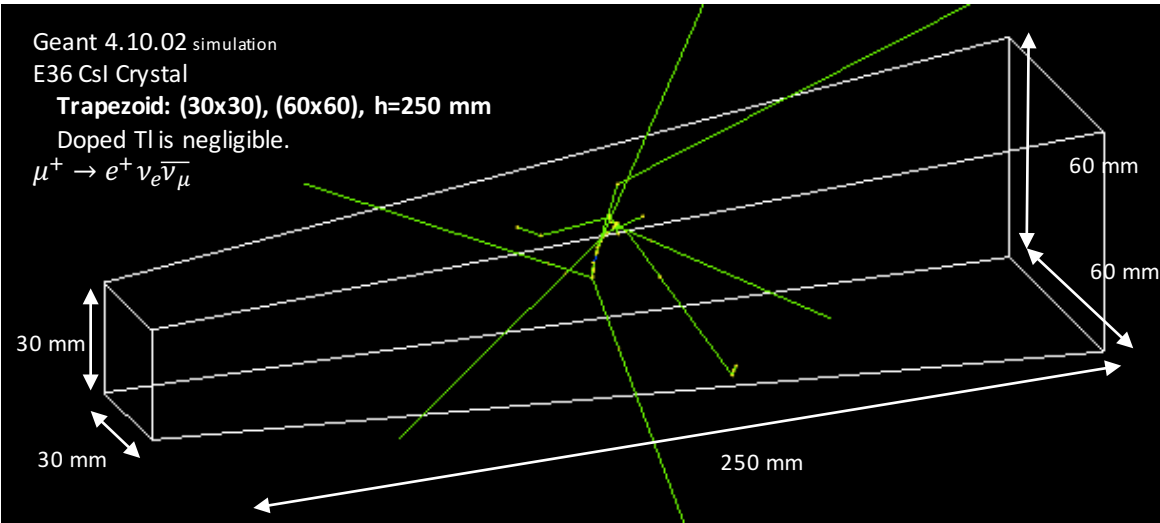
宇宙線ミュオンを用いたエネルギー較正法



Energy of e^+ in $\mu^+ \rightarrow e^+ \nu_e \bar{\nu}_\mu$



宇宙線ミュオンを用いたエネルギー較正法



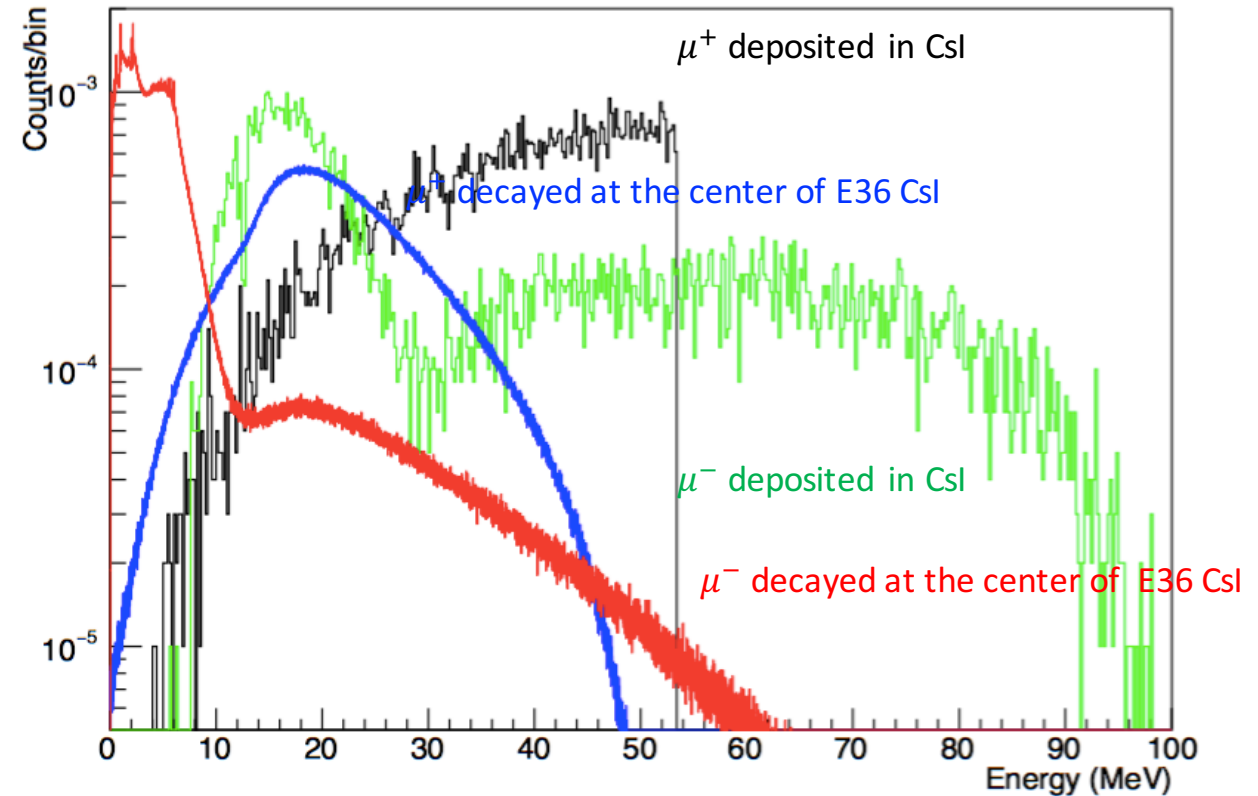
$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$$

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

$$\mu^- + \begin{pmatrix} Z \\ A \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} Z-1 \\ A \end{pmatrix} + \bar{\nu}_\mu$$

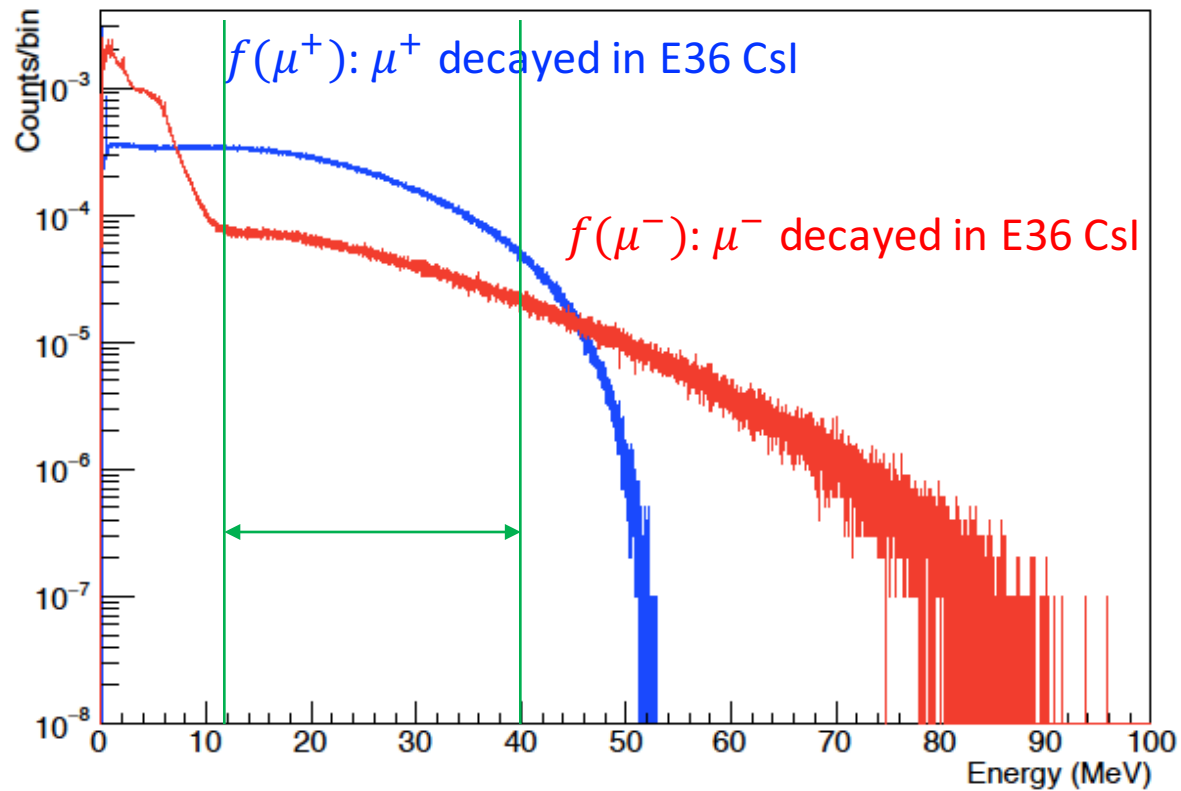
$$\mu^- + \begin{pmatrix} Z \\ A \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} Z-1 \\ A-k \end{pmatrix} + kn + \bar{\nu}_\mu$$

$$\mu^- + \begin{pmatrix} Z \\ A \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} Z-1-m \\ A-k-m \end{pmatrix} + kn + mp + \bar{\nu}_\mu$$

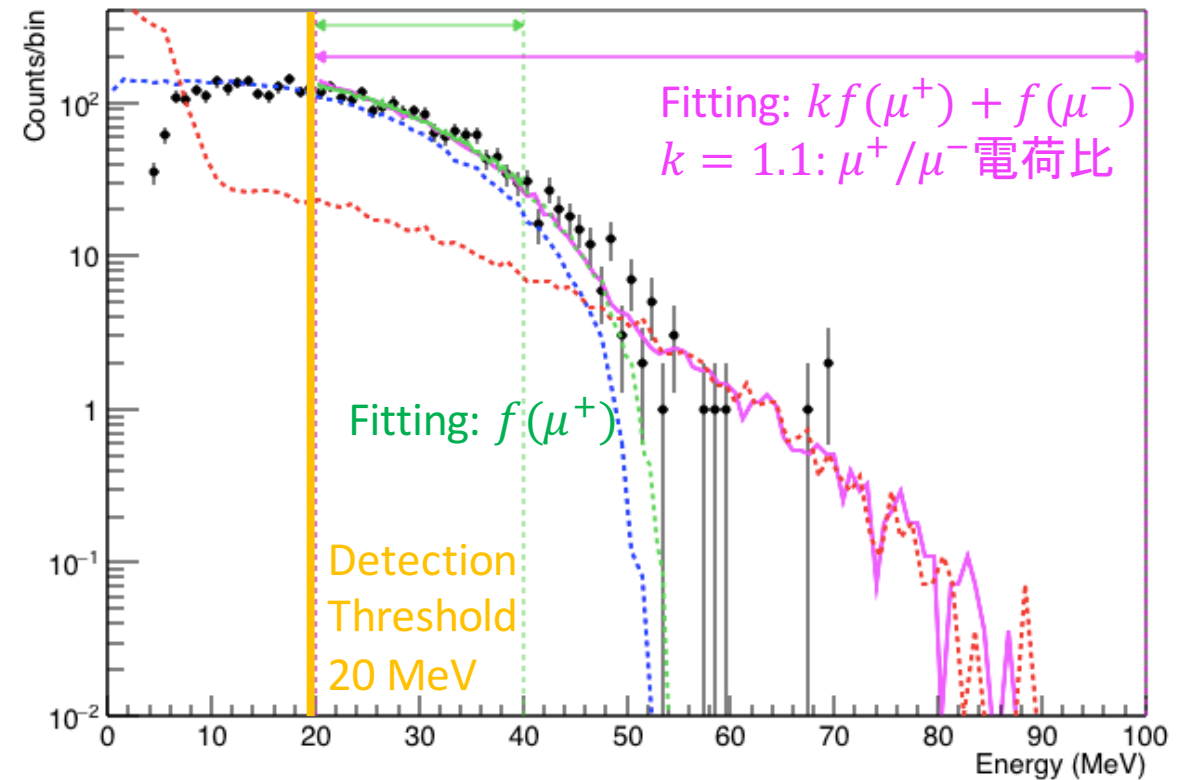


宇宙線ミュオンを用いたエネルギー較正法

結晶内崩壊位置一様分布



$\mu \rightarrow e\nu$ in a CsI(Tl) Crystal



まとめ

- 波形モデル関数を開発
 - χ^2 と $h(= v_{max} - v_{min})$ は相関関係から多重信号波形を選定
 - パイルアップ、オーバーフローのエネルギー補正のため性能十分
- $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$ を用いたエネルギー較正(715 ch)
 - 平均較正係数: 0.22 MeV/ADC
 - 平均エネルギー分解能: 4.96% (σ)
- 宇宙線ミュオンを用いた較正法
 - Flash ADCの信号から e^+ を識別
 - MCシミュレーションと比較してエンドポイント53 MeVを決定
 - μ^- について議論を詰めると精度が向上する