

2022 卒業研究振り返り

木村 佑斗

Contents

- History
- うまくいかなかったこと
- コンプトンポラリメーターとは
- 去年の結果～実験～ (堀田)
- 去年の結果～シミュレーション～ (木村)
- 改善点

History

10月中旬：ノーベル賞関連の文献を読む。

10月下旬：測定台考案・組み立て・DAQ立ち上げ

11月：不明

12月8日～：Back to backのシグナルを探す (by Cslシンチレータ)→失敗

1月～：Geant4でのシミュレーションに着手

3月22日～：BSOシンチレータに変更→Back to back観測成功

3月30日：ELPH親睦会の中、次の日の発表資料作り・シミュ・データまとめ

3月31日：卒業研究発表()

うまくいかなかったこと

511keVが見えない！

③ ^{22}Na

^{22}Na は5.272年の半減期で崩壊し、90.2%の分岐比で ^{22}Ne の2+励起状態に β^+ 崩壊する。この励起状態はすぐ、1274.5 keVの γ 線を放出して崩壊する。

よって、 γ 線のエネルギー分布には1274.5 keV、および対消滅 γ 線による511 keVのピークが観測されるはずである。

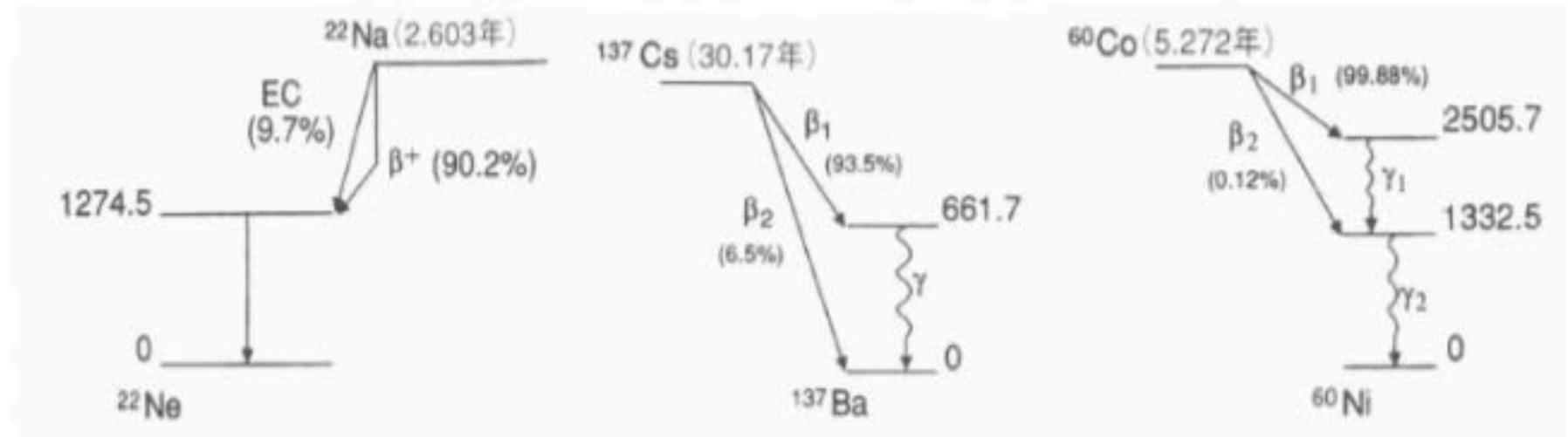
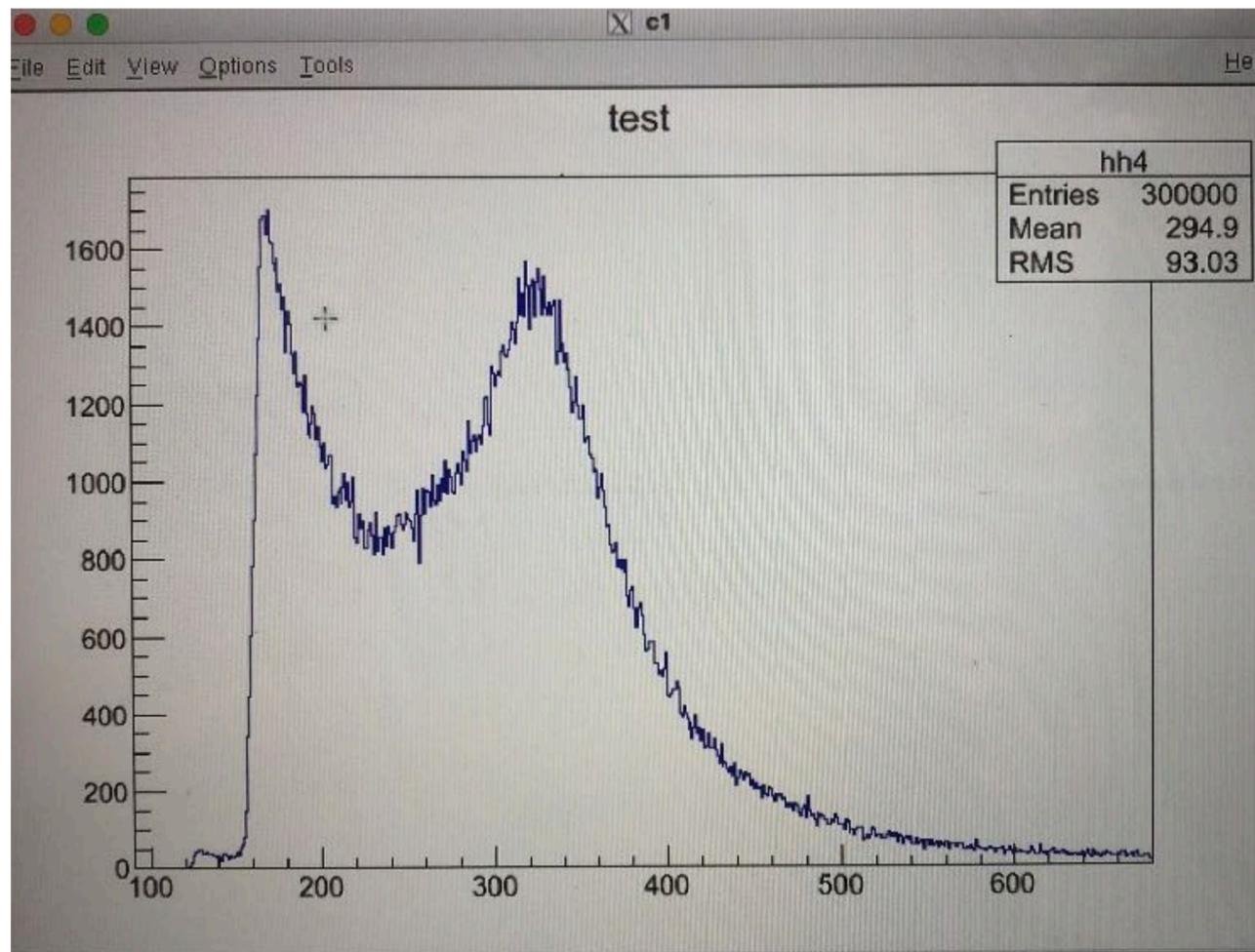


図1 各放射線源の崩壊様式

両チャンネルの相関を見ても511keVは見えなかった。

うまくいかなかったこと

- Back to backの信号を確認できたのが遅すぎた。
- BSOシンチが1cm立方くらいで、小さく、統計量が圧倒的に少なかった。
- シミュレーションのコードを完成させたのが発表前日であり、シミュレーションですら統計量が足りなかった。

Compton Polarimeter

- 511keV γ 線に使える偏光板は無い→Compton Polarimeterという手法を用いる
- この実験の説明で一番わかりやすい・シンプルなもの(2013京大の4年生)

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{2} r_e^2 \left(\frac{k^2}{k_0^2} \right) (\gamma - 2 \sin^2 \theta \cos^2 \eta)$$

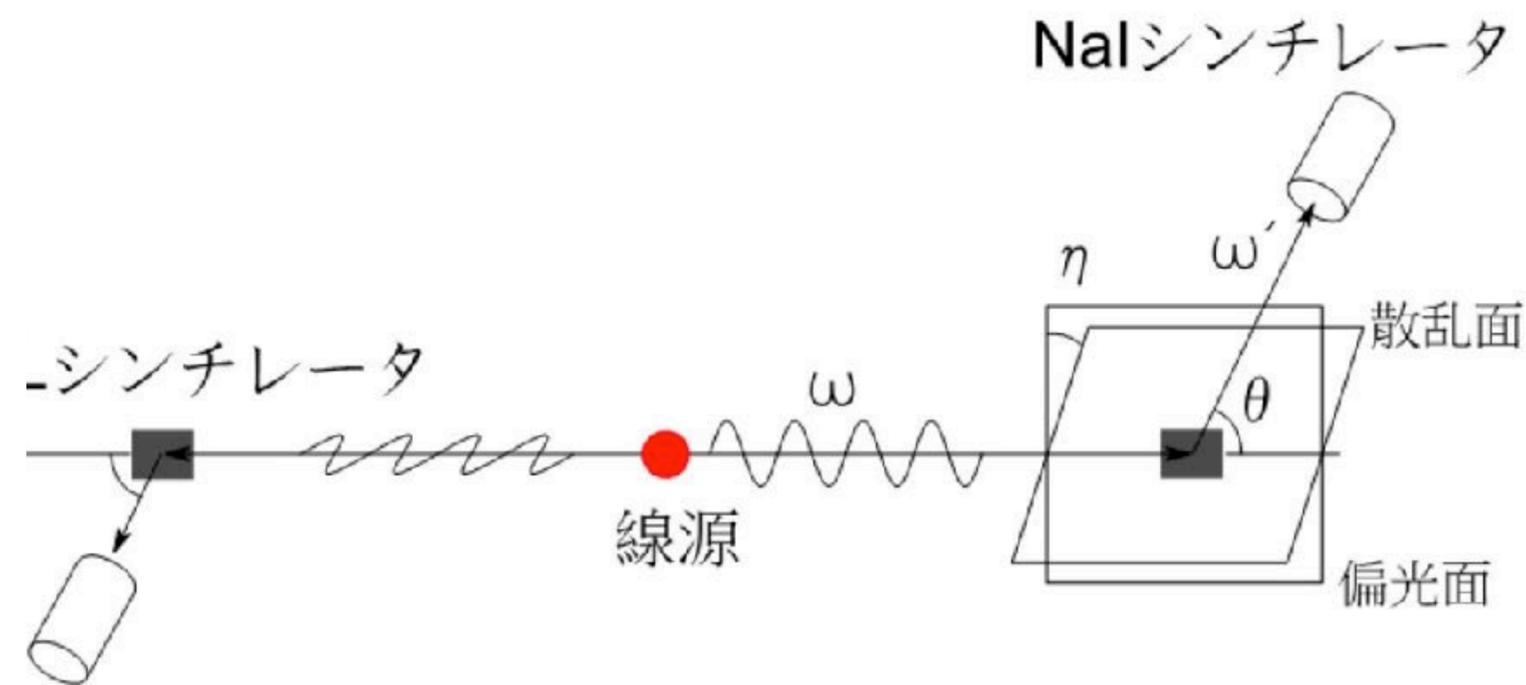
$$\langle \alpha\beta \rangle \equiv \langle \psi | \alpha\beta | \psi \rangle$$

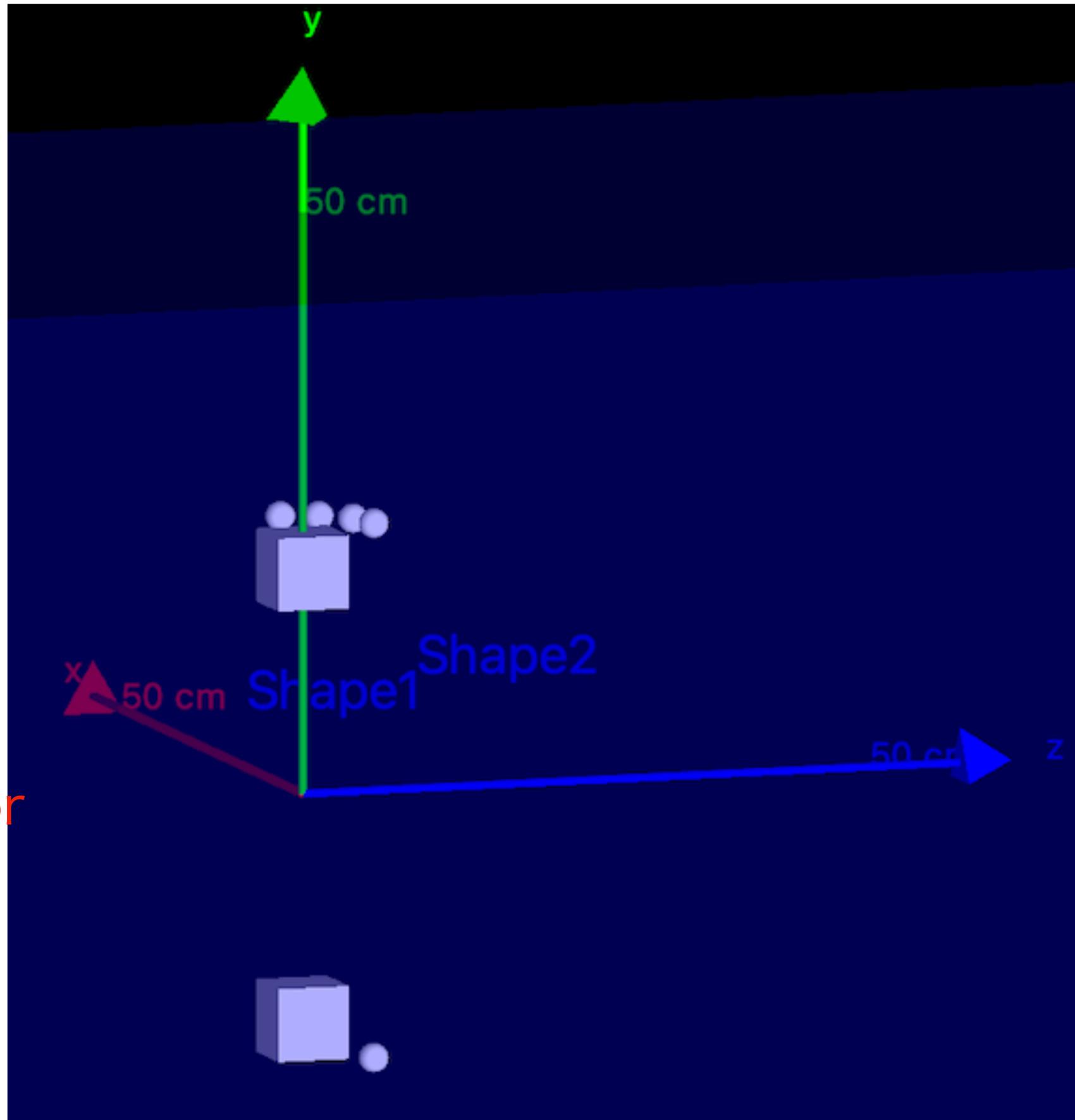
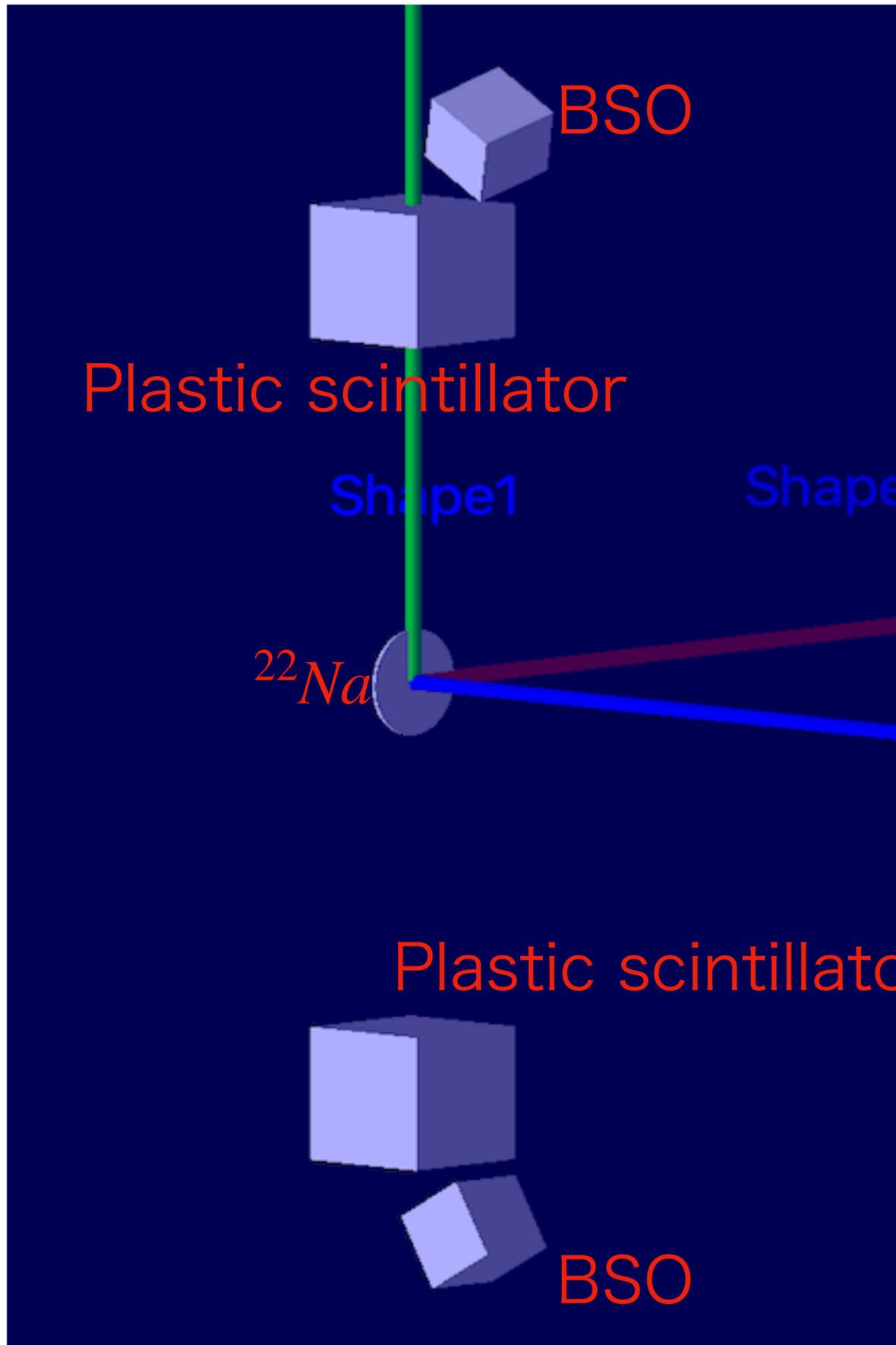
$$= \frac{1}{2} \left\{ -(\sin \phi' \langle xx' | + \cos \phi' \langle xy' |) + (\cos \phi' \langle yx' | - \sin \phi' \langle yy' |) \right\}$$

$$\alpha\beta \left\{ -(|xx'\rangle \sin \phi' + |xy'\rangle \cos \phi') + (|yx'\rangle \cos \phi' - |yy'\rangle \sin \phi') \right\}$$

$$= \frac{1}{2} (\sin^2 \phi' - \cos^2 \phi') - \frac{1}{2} (\cos^2 \phi' - \sin^2 \phi')$$

$$= -\cos 2\phi'$$





Compton Polarimeter

隠れた変数があるときの相関関数として

$$\langle \alpha\beta \rangle = -\kappa \cos 2\phi' \quad (3.8)$$

の形を仮定する。一般に隠れた変数があるときの相関関数は隠れた変数の分布 $\rho(\xi)$ に依存するが、 ϕ に関する周期性からこの形を仮定し実験結果からこの仮定が妥当であるか判断する。 [詳細はこのリンクへ](#)

→隠れた変数理論(HV)、量子力学(QM)、その他の理論如何に関わらず、

相関関数は $\langle \alpha\beta \rangle = -k \cos 2\phi$ と書ける。

Compton Polarimeter

したがって A,B で同時に γ 線が検出される確率は

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{2} d\sigma_{\parallel}^{(A)} \times a \times d\sigma_{\parallel}^{(B)} + \frac{1}{2} d\sigma_{\parallel}^{(A)} \times b \times d\sigma_{\perp}^{(B)} + \frac{1}{2} d\sigma_{\perp}^{(A)} \times a' \times d\sigma_{\parallel}^{(B)} + \frac{1}{2} d\sigma_{\perp}^{(A)} \times b' \times d\sigma_{\perp}^{(B)} \\ &= \frac{1}{8} r_e^4 d\Omega_1 d\Omega_2 \left(\frac{k_1}{k_0}\right)^2 \left(\frac{k_2}{k_0}\right)^2 [(\gamma_1 - \sin^2 \theta_1)(\gamma_2 - \sin^2 \theta_2) - k \sin^2 \theta_1 \sin^2 \theta_2 \cos 2\phi] \end{aligned}$$

と求められる。 $\theta_1 = \theta_2 = \theta$ のときの同時検出の確率 R は (簡単のために $\phi = 45^\circ$ のときの確率で割り、規格化する)

$$R = \frac{P(\phi)}{P(\phi = 45^\circ)} = 1 - k \left(\frac{\sin^2 \theta}{\gamma - \sin^2 \theta} \right)^2 \cos 2\phi$$

同時検出数 $N(\phi)$ は R に比例するので、適当な定数 A,B を用いて

$$N(\phi) = A - B \cos 2\phi$$

と書ける。よって

$$k = \left(\frac{\gamma - \sin^2 \theta}{\sin^2 \theta} \right)^2 \frac{B}{A} \tag{1.7}$$

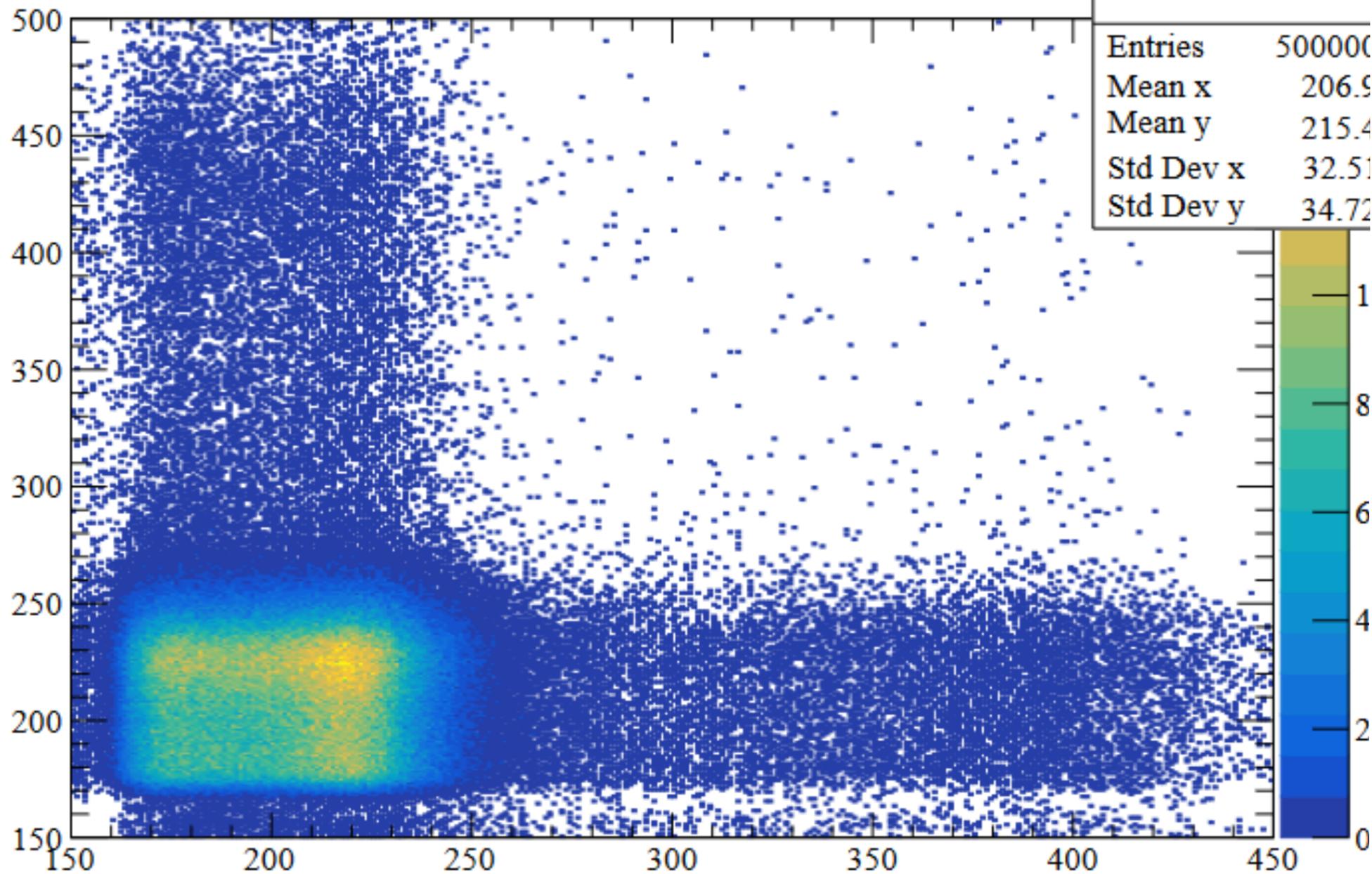
計算の詳細は参考資料へ(ここをクリック)。

となる。この式と実験値から k を求め、QM と HV の比較ができる。

去年の結果(実験)

CH2 Channel

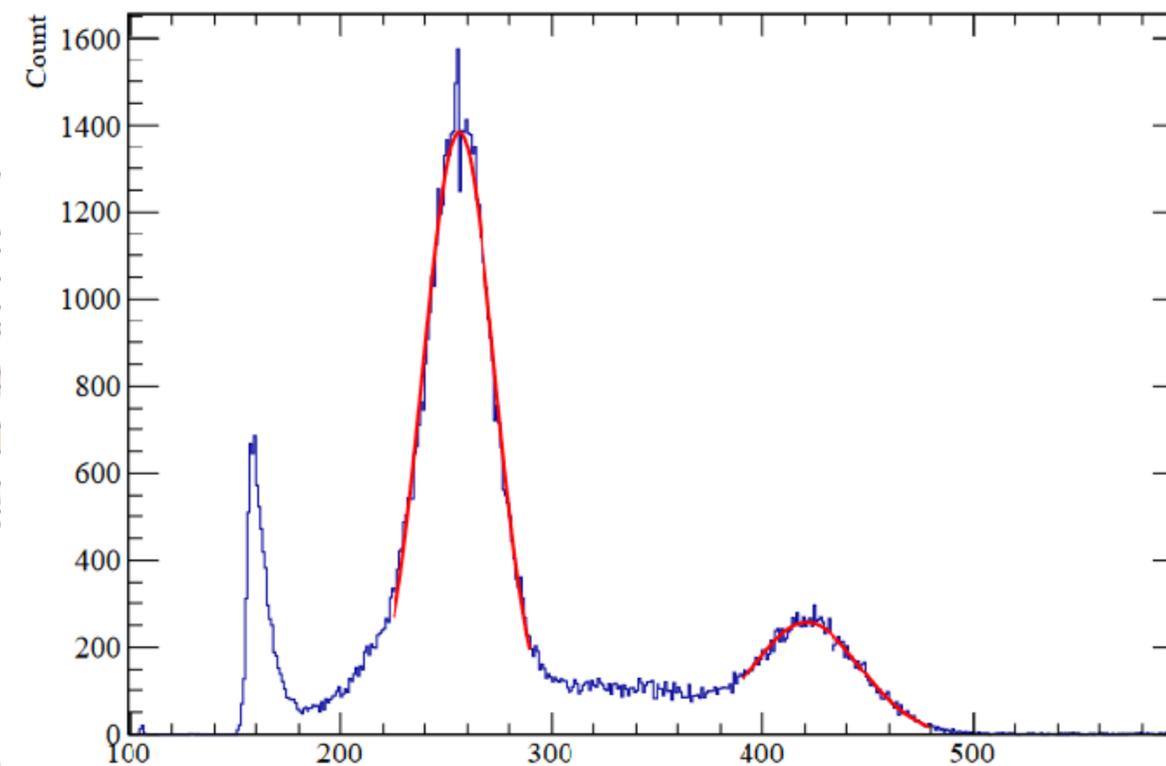
CH1_CH2



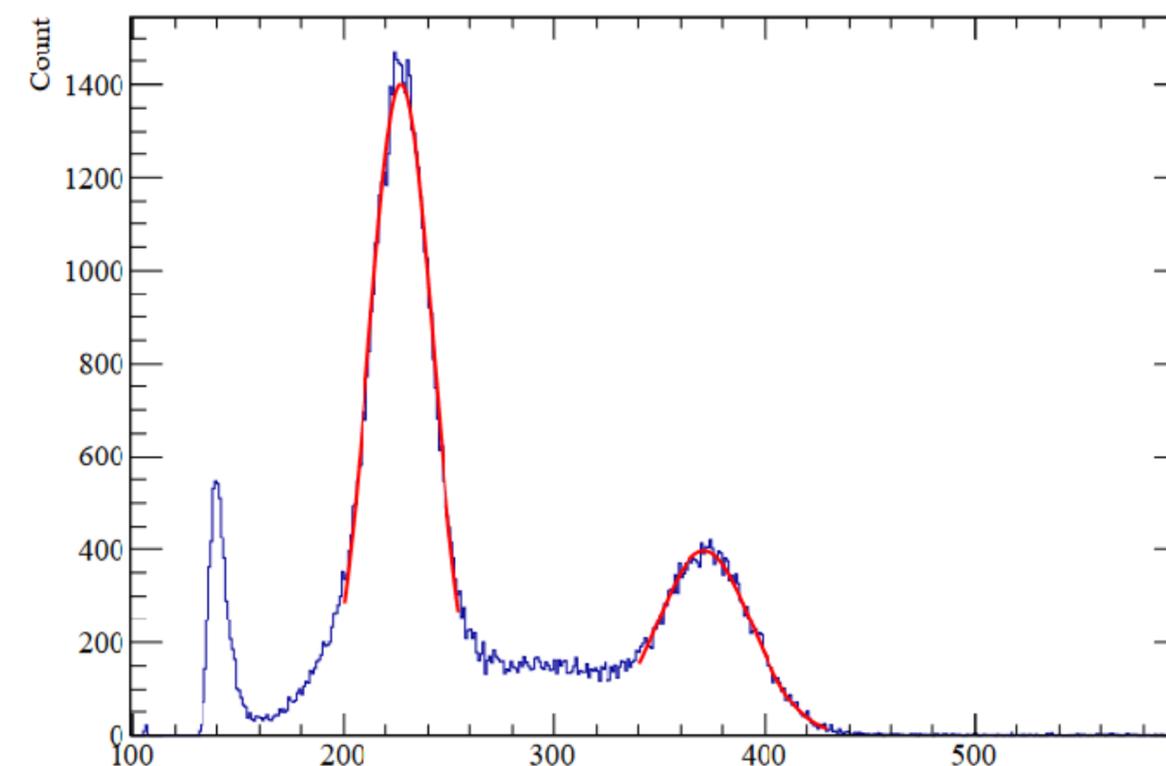
これがCslシンチでも見えるはずだった。。。

CH1 Cha

CH3_Na22



CH4_Na22

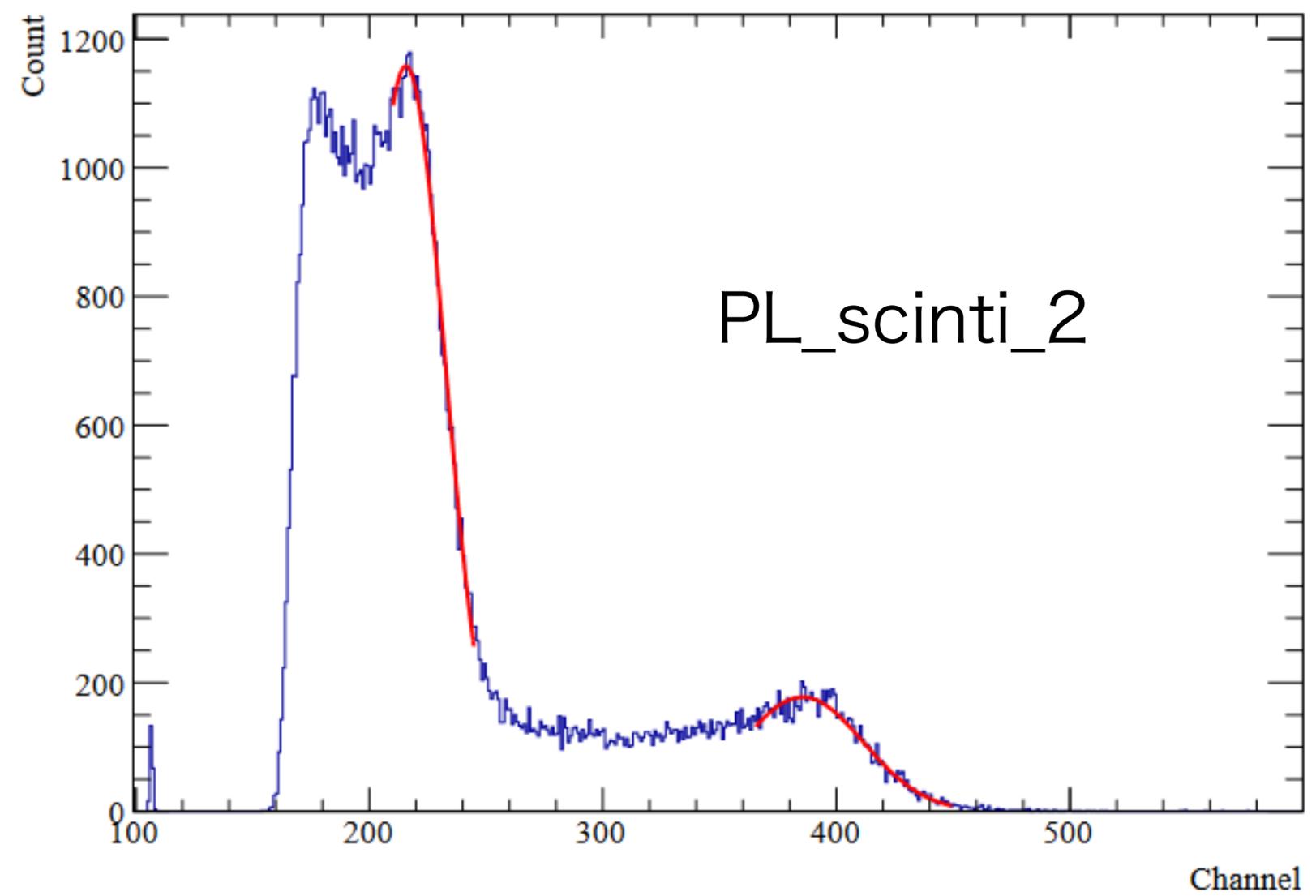
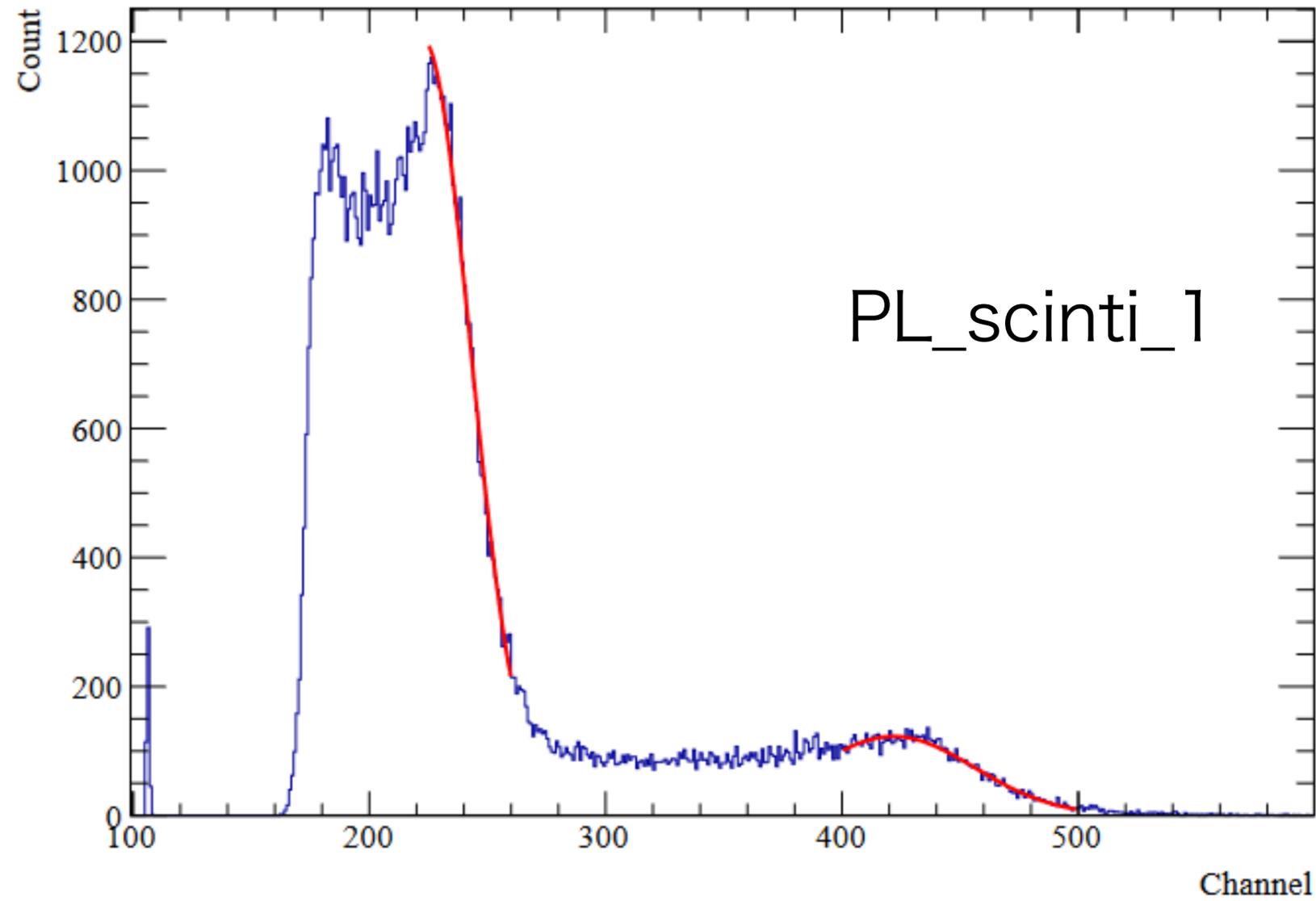


Channel

去年の結果(実験)

CH1_Na22_Fit

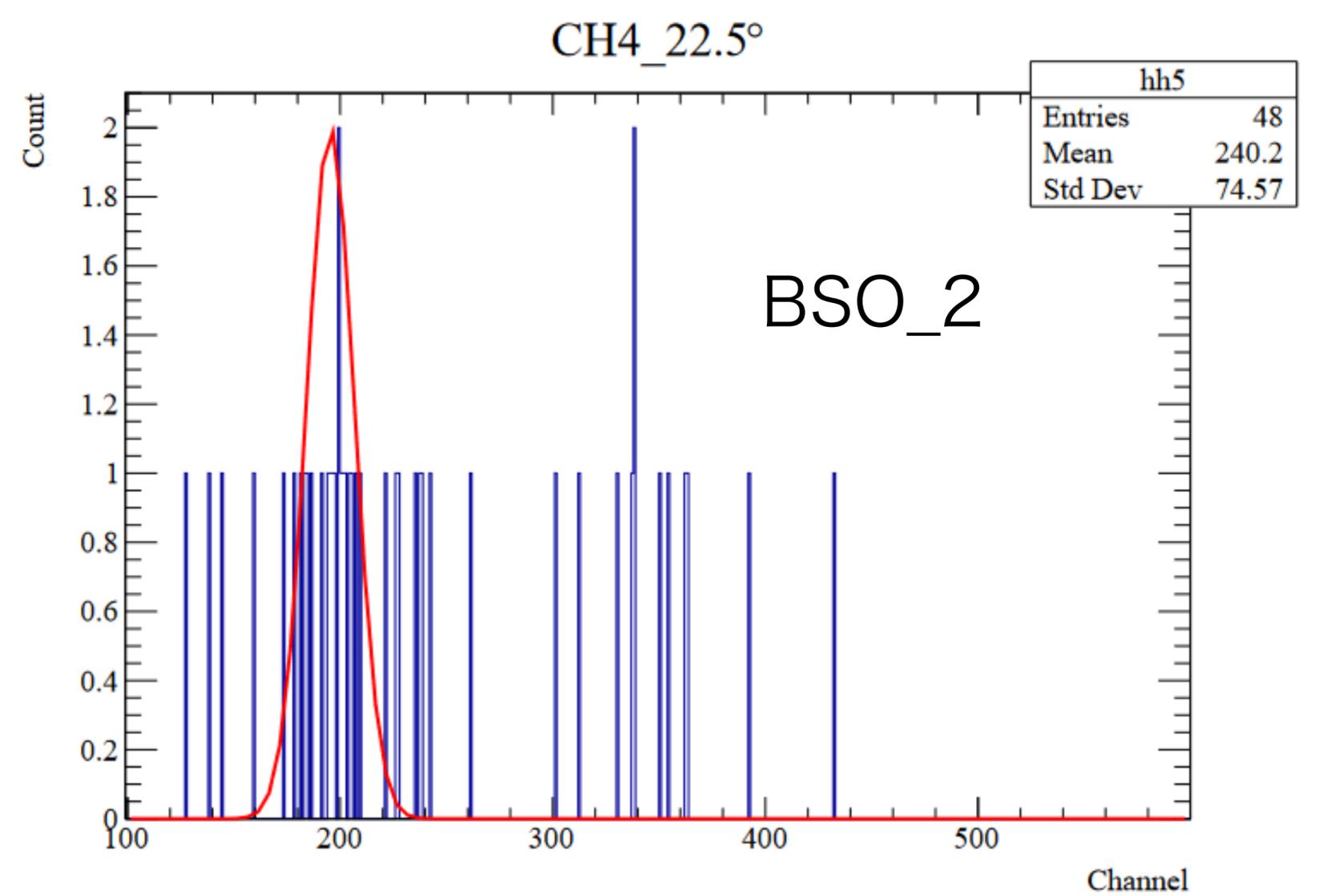
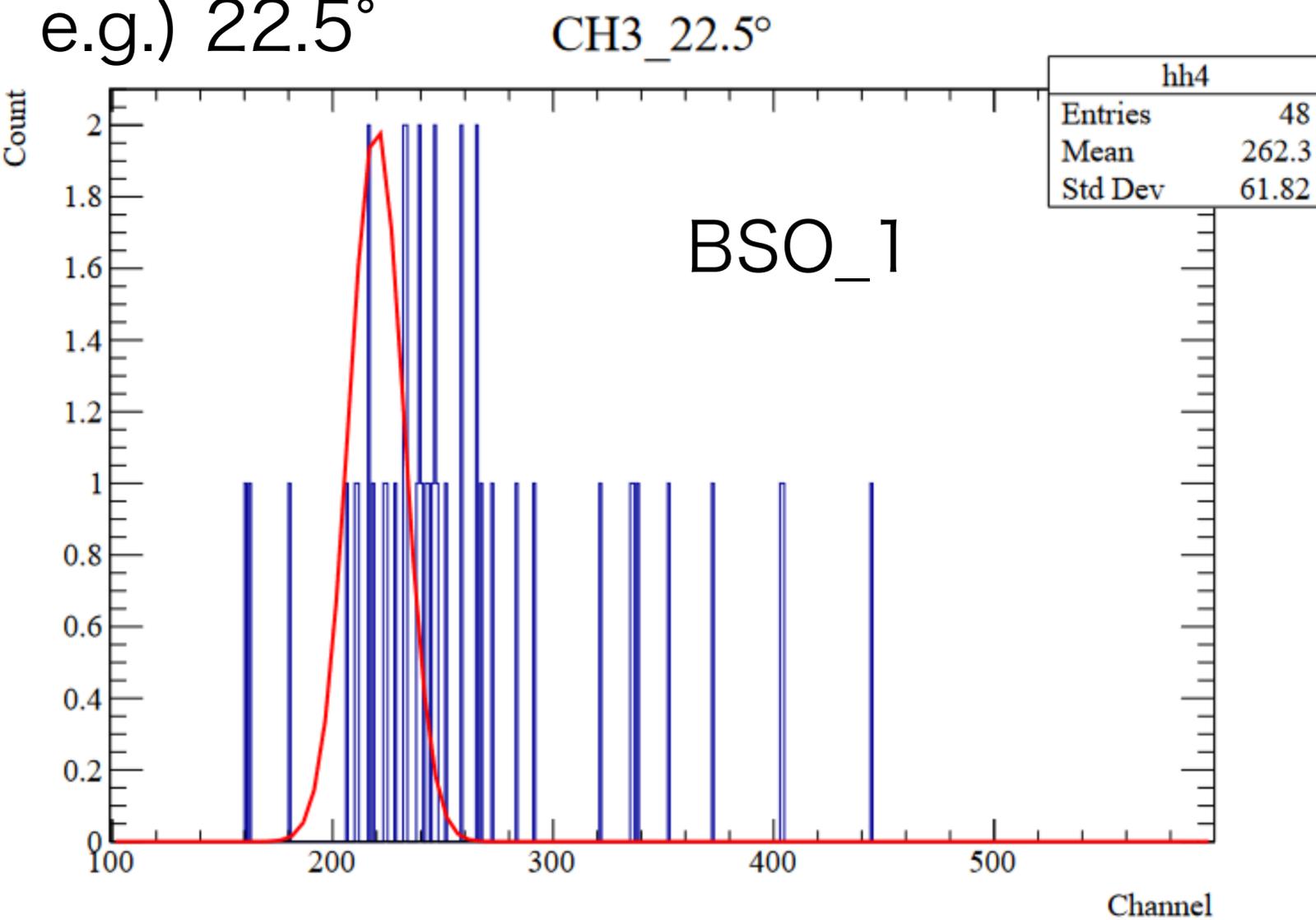
CH2_Na22_Fit



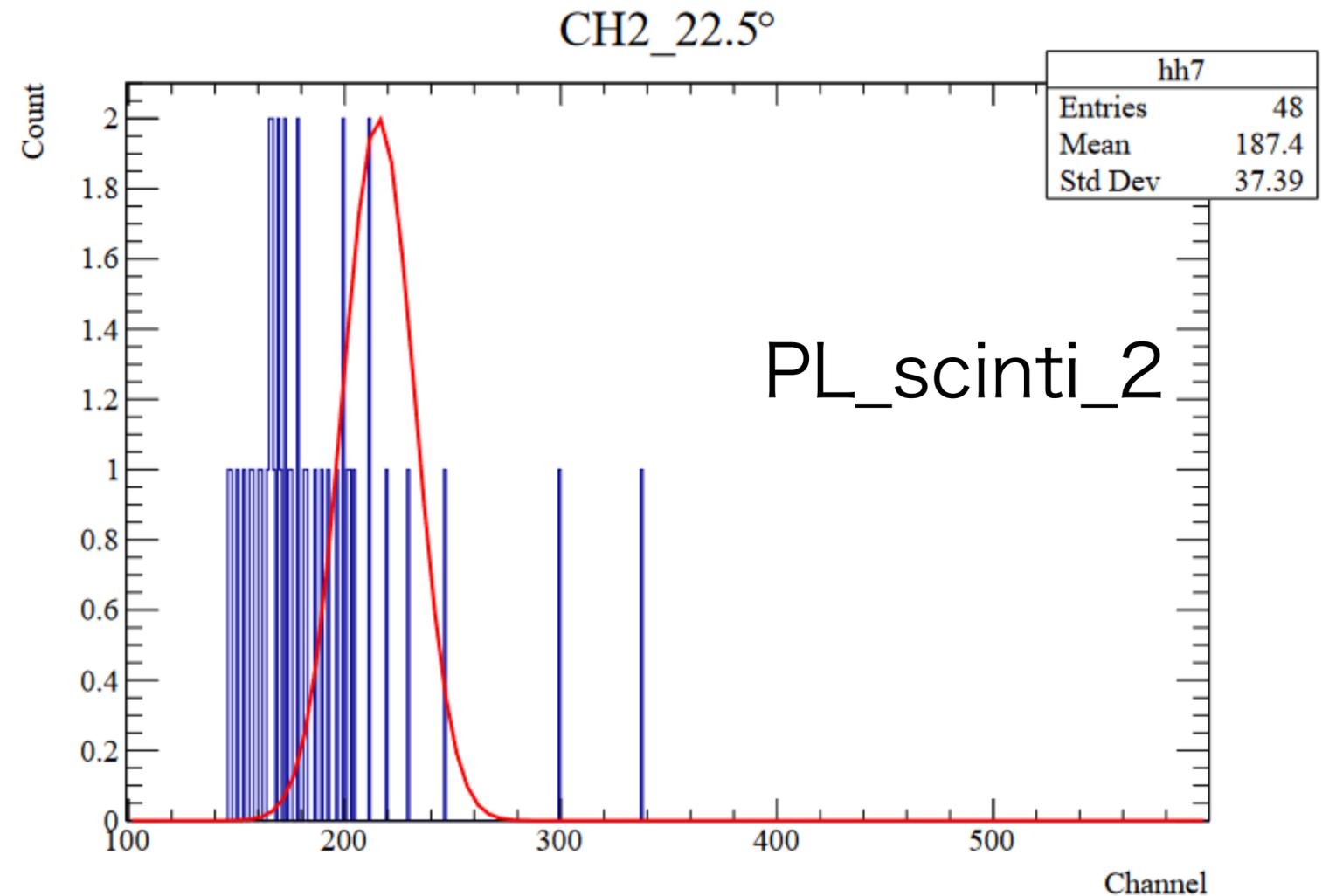
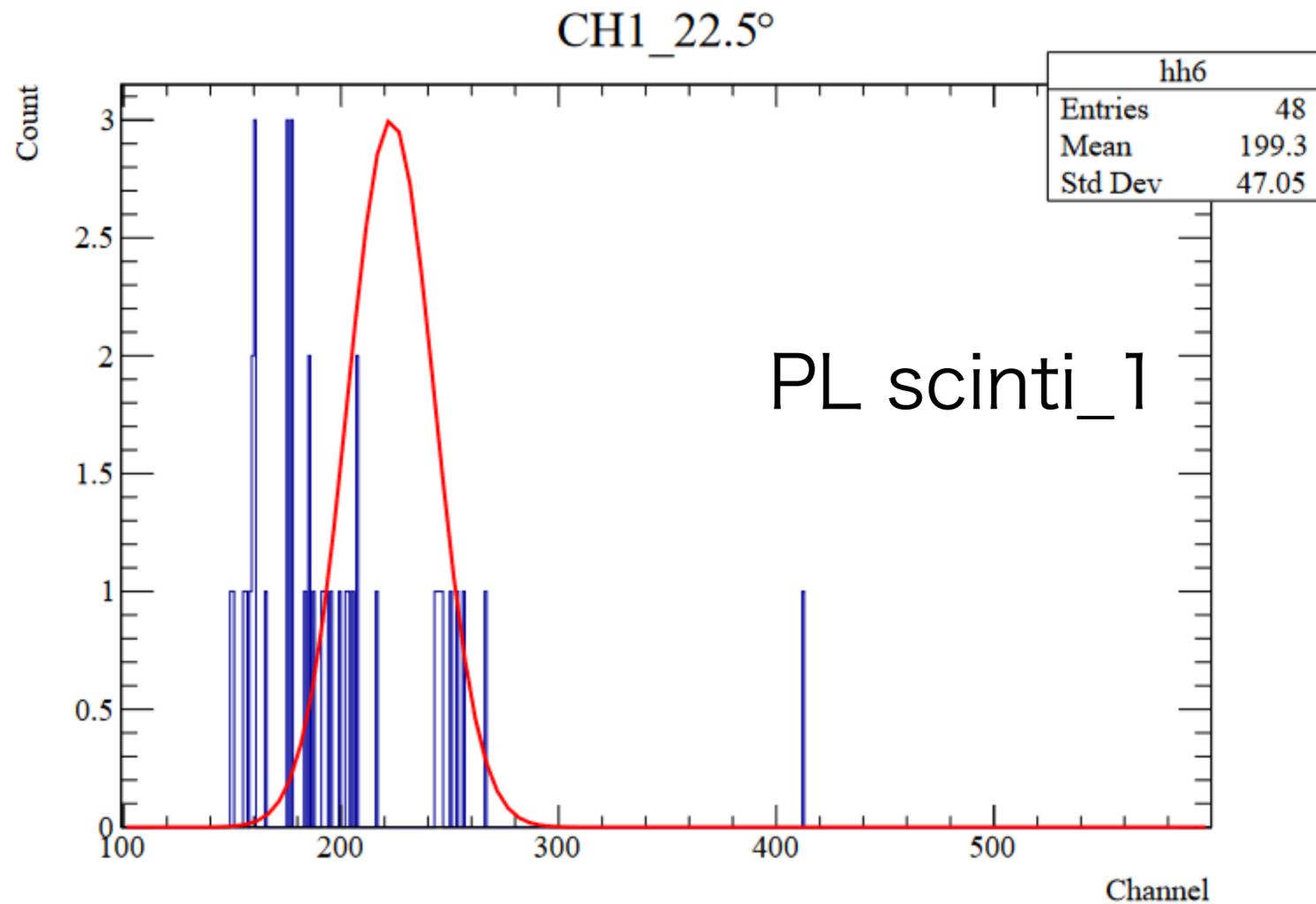
去年の結果(実験)

4コインシデンス測定、24時間で22.5°: 50イベント、67.5°: 48イベント

e.g.) 22.5°



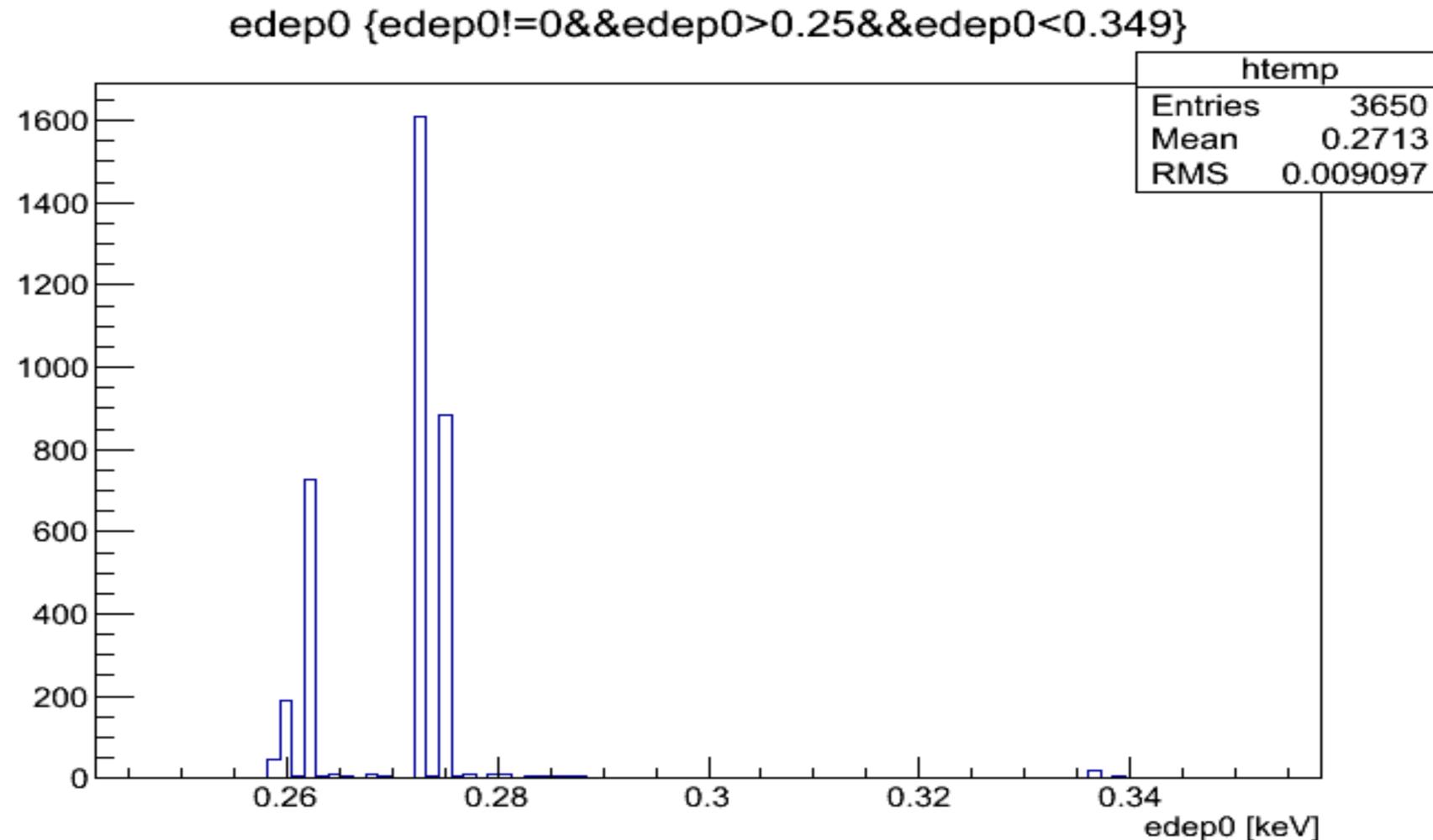
去年の結果(実験)



- 2点しか測定できなかつたので、角度分布のfitはできていない。

去年の結果(sim)

- 511keVの γ 線が60°方向に散乱---->散乱後のエネルギーは約350keV
- Compton Polarimeterでは0.25MeVまでを有効イベントとすることに。

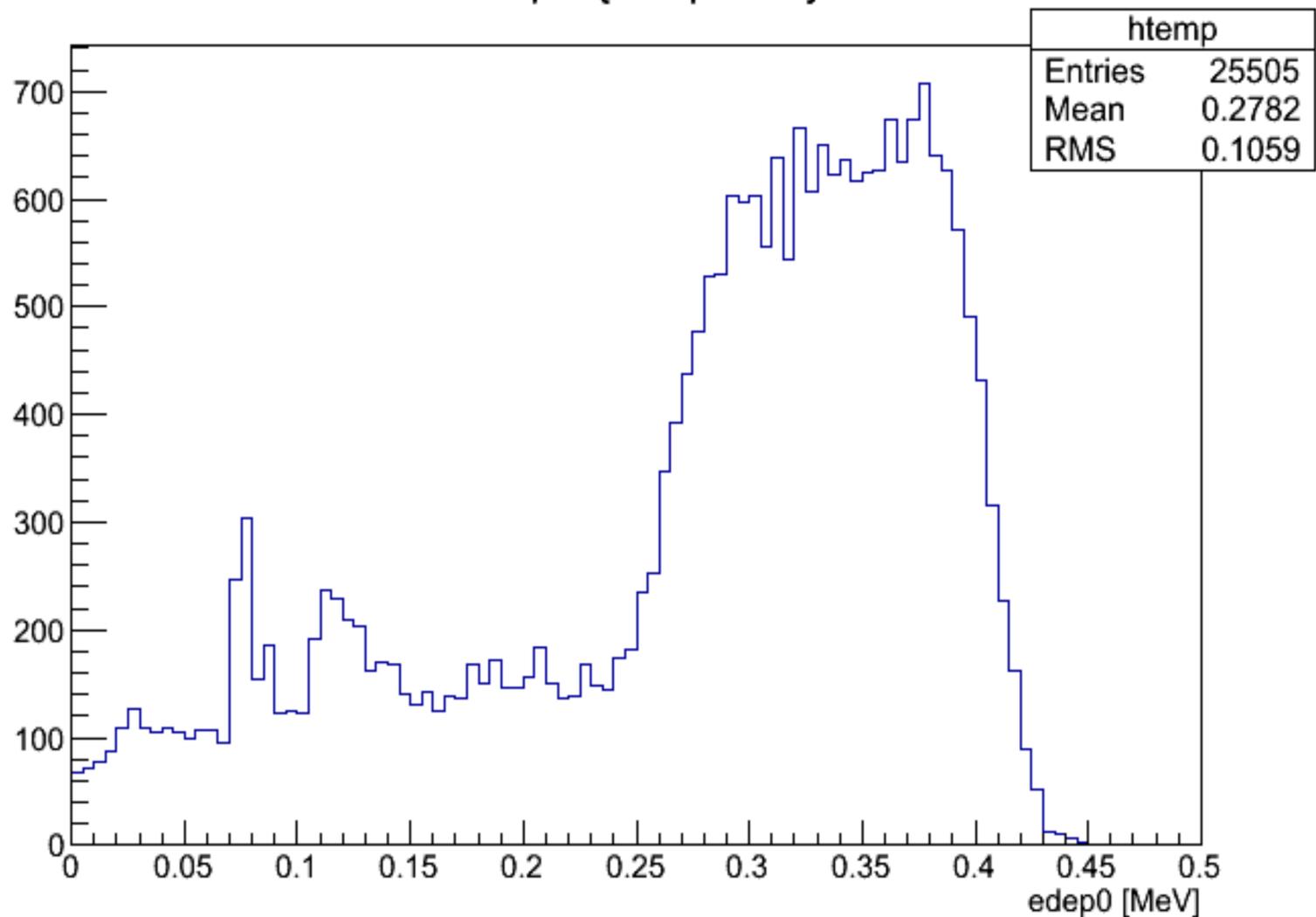


去年の結果(sim)

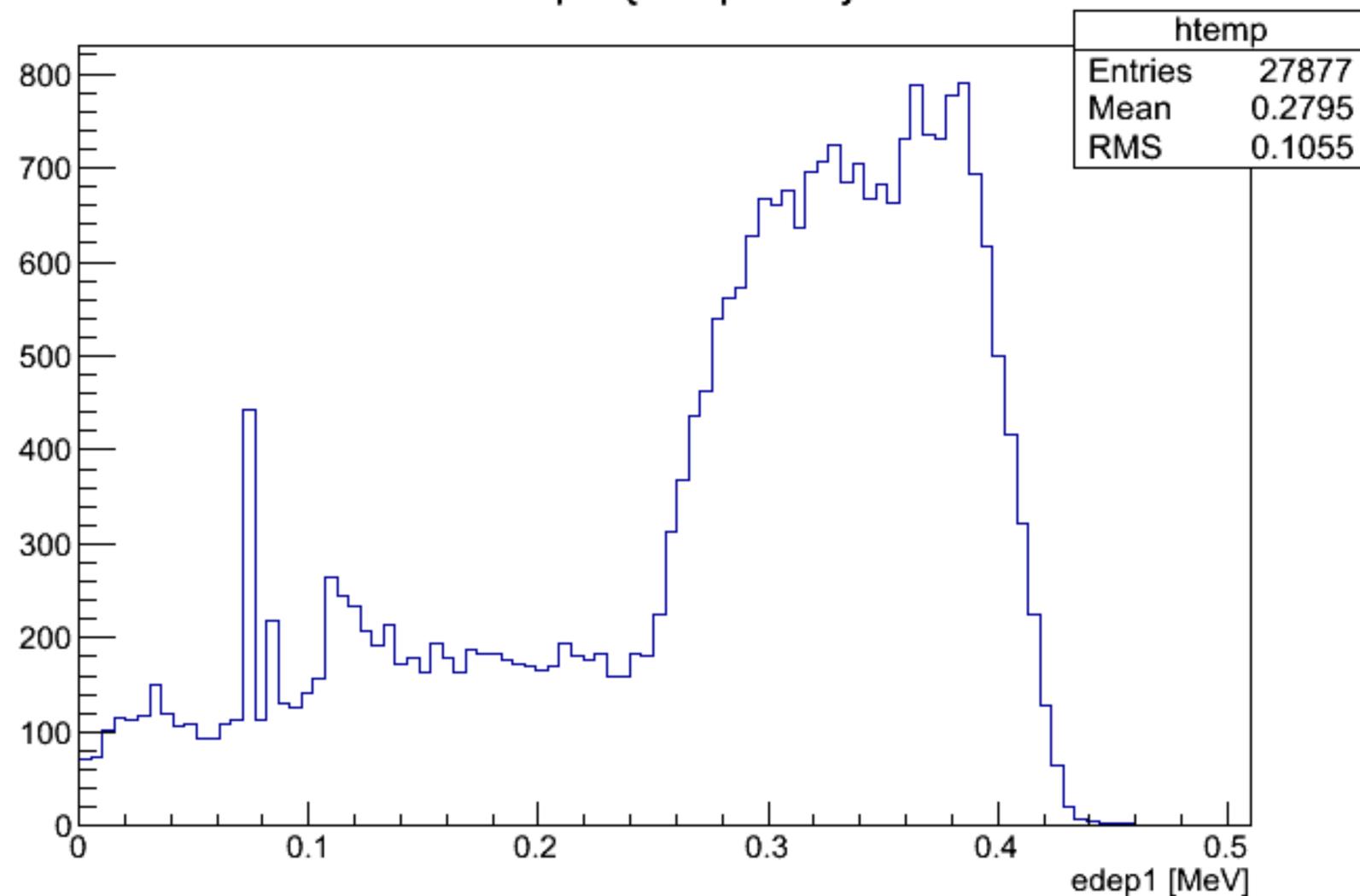
BSOのなす角 (偏光面のなす角) ϕ

$\phi=135^\circ$ で得られたデータ

edep0 {edep0!=0}

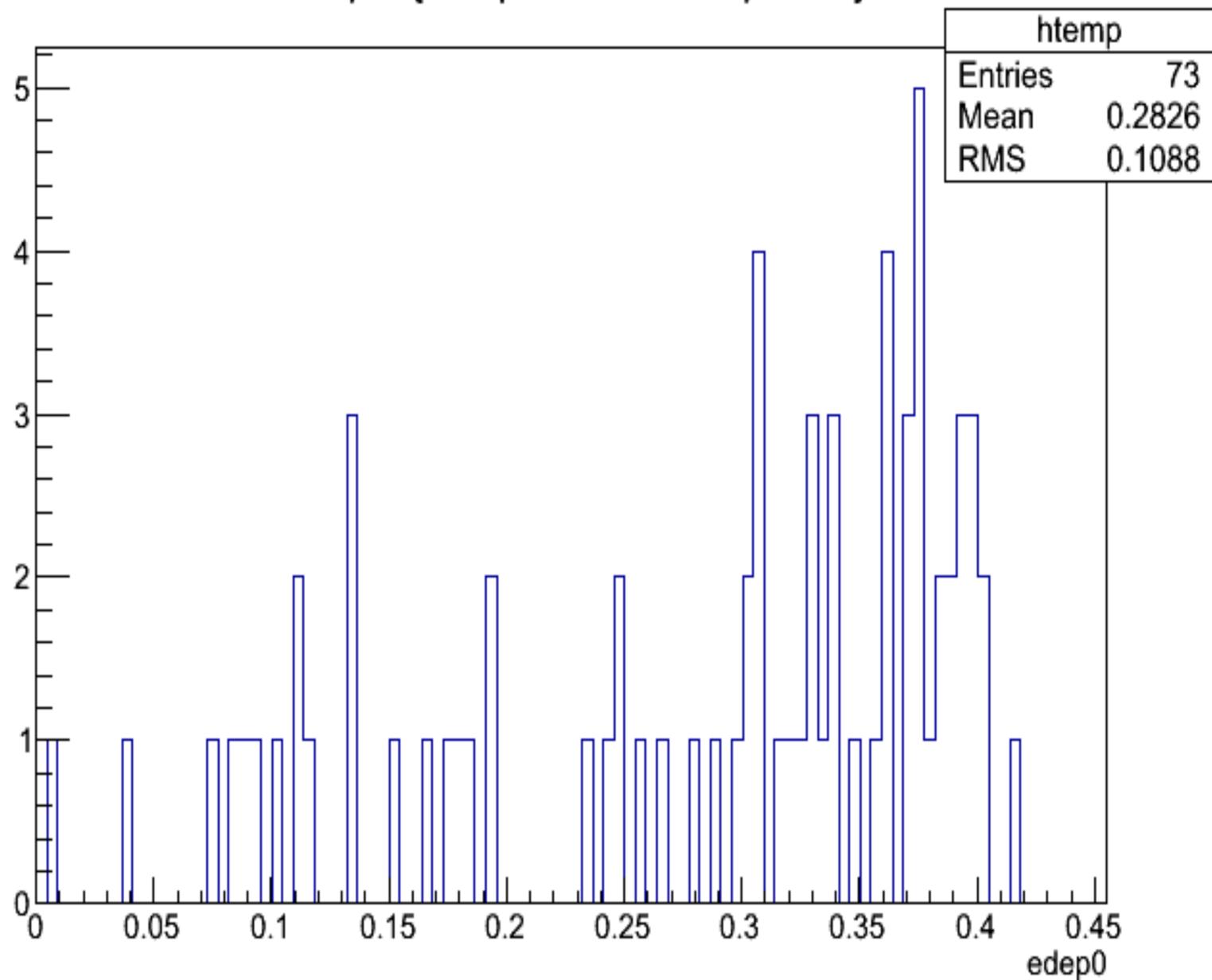


edep1 {edep1!=0}

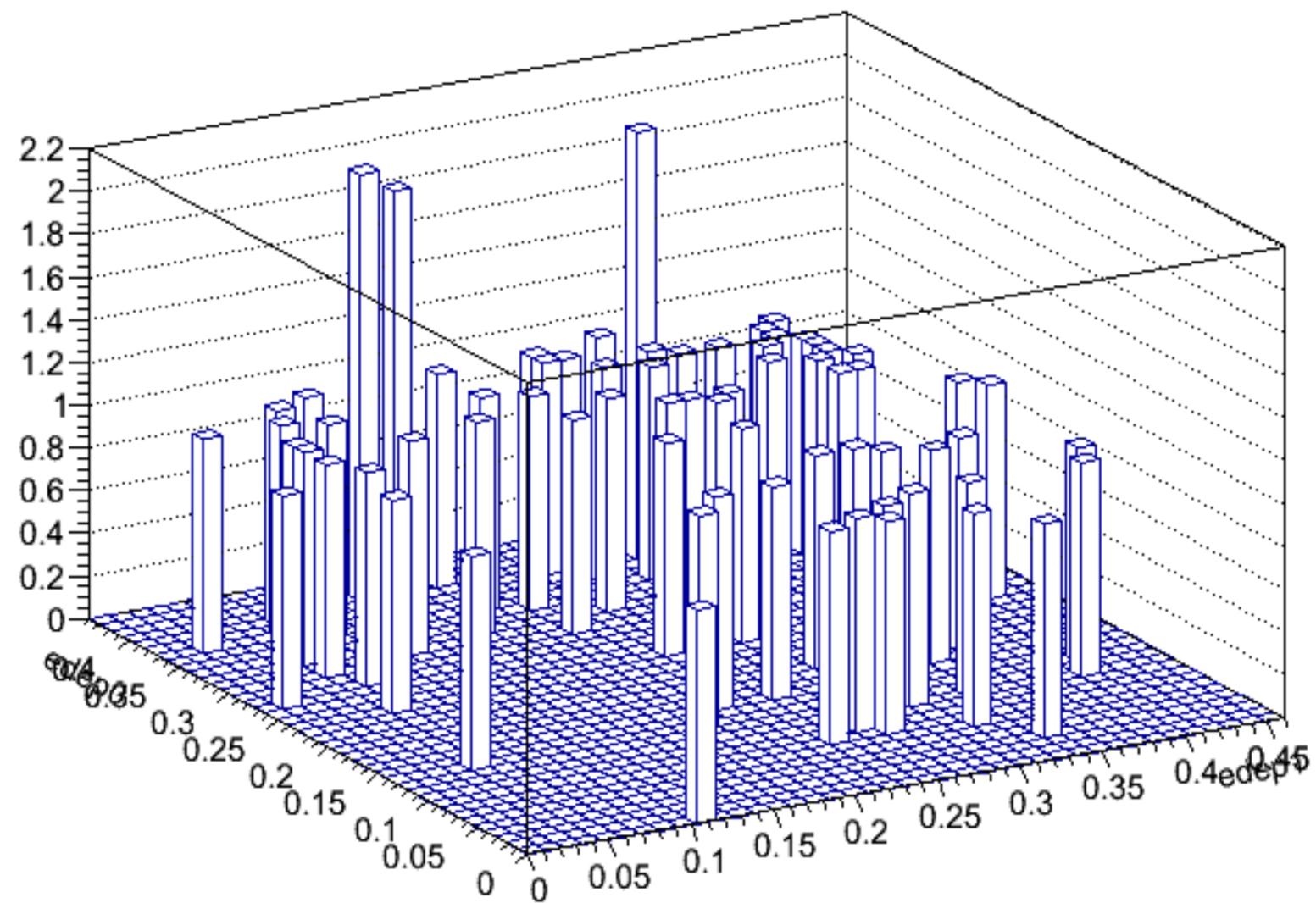


去年の結果(sim)

edep0 {edep0!=0&&edep1!=0}



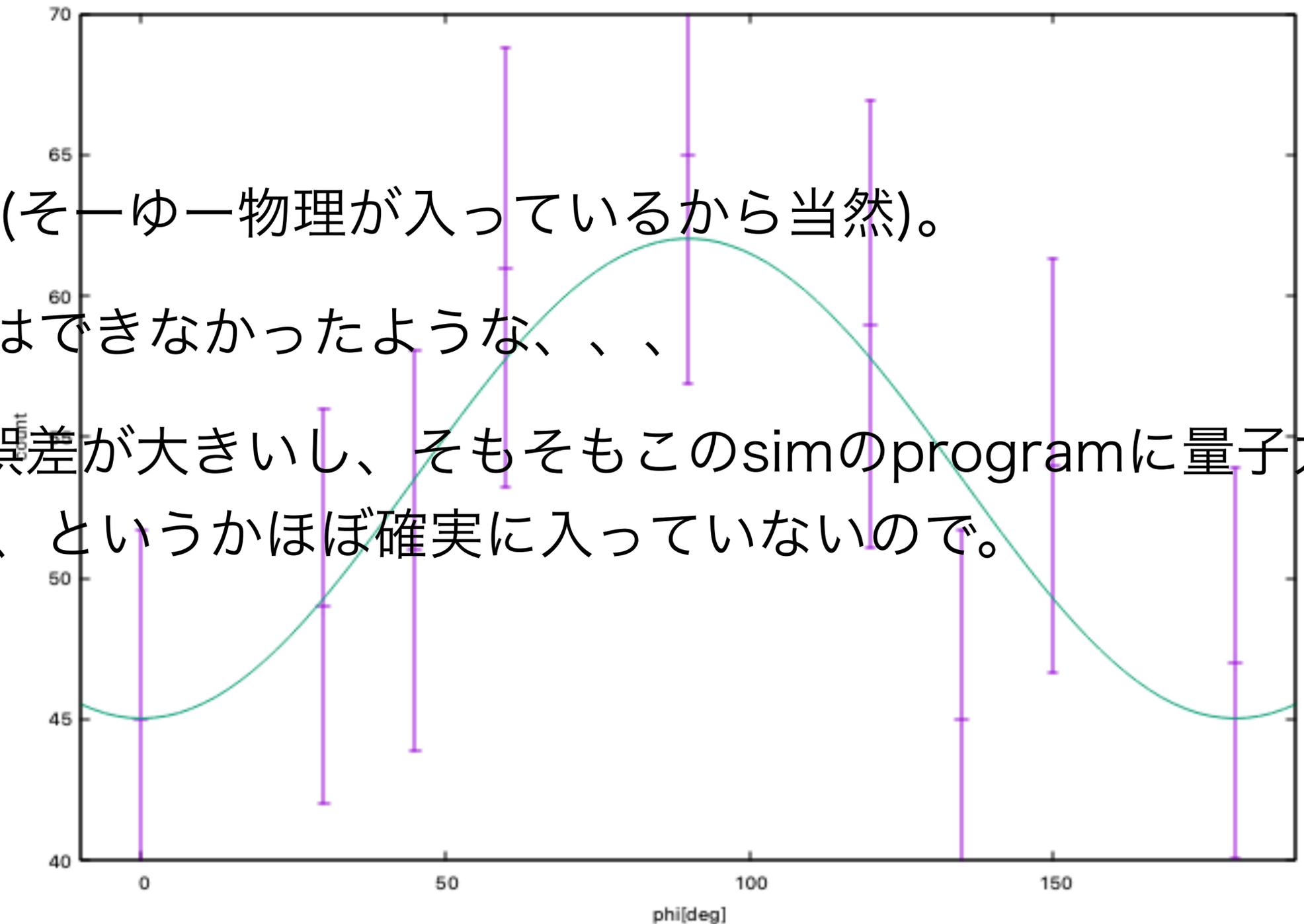
edep0:edep1 {edep0!=0&&edep1!=0}



去年の結果(sim)

$a \cdot (1 - 0.54 \cdot k \cdot \cos 2\phi)$ で fit

- $\cos 2\phi$ の形にはなっている(そーゆー物理が入っているから当然)。
- 結局、ベルの不等式の否定はできなかったような、、、
- というのも、simのくせに誤差が大きいし、そもそもこのsimのprogramに量子力学が入っていない可能性がある、というかほぼ確実に入っていないので。



改善点

- プラスチックシンチレーターのイベントを判別できるようにするために、TDCを用いる。
- カウントレートが低いのでBSOの代わりに大きなシンチレーターを用いる (予定ではCsIシンチレーターを使うつもりだった)。
- 測定時間を長く取る。
- Simをやる場合は量子力学的な相関を入れる。あるいは量子力学が入ったPhysics Listを見つける。

参考資料

- 京大のP1/P2課題研究のページ ←クリックで行けます
- 2022年ノーベル物理学賞のページ → Read more about this year's prize 1
2