

P6

GROWTH-DAQボードを用いた 簡易コンプトンカメラ

発表者

小柴 鷹介

林 亮太

2019年2月22日

目次

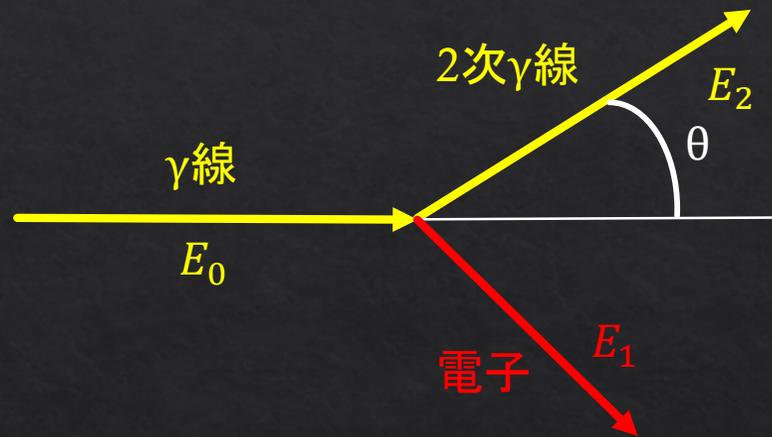
- ◇ 研究動機・目標
- ◇ コンプトンカメラとは
- ◇ GROWTH-DAQボードとは
- ◇ 実験
- ◇ 解析
- ◇ 考察
- ◇ まとめ

研究動機・目標

- ◇ 宇宙線の研究において地球からの宇宙線源の距離や方角を知ることは重要
- ◇ X線の位置検出においてはピクセル検出器とミラーで検出が可能
- ◇ しかし、ガンマ線においては集光が難しいためコンプトン散乱などの現象を用いて位置検出をする
- ◇ 今回はNa22線源・シンチレータ2つ・GROWTH-DAQボード(高速ADCボード)を用いて簡単なコンプトンカメラとし線源の位置をイメージングすることやコンプトンイベントの同時計測ができることを確認したい

コンプトンカメラとは

- ◇ コンプトン散乱を用いて線源をイメージングする
- ◇ コンプトン散乱角 θ の求め方



$$E_2 = \frac{E_0}{1 + \frac{E_0}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)}$$

$$E_0 = E_1 + E_2$$

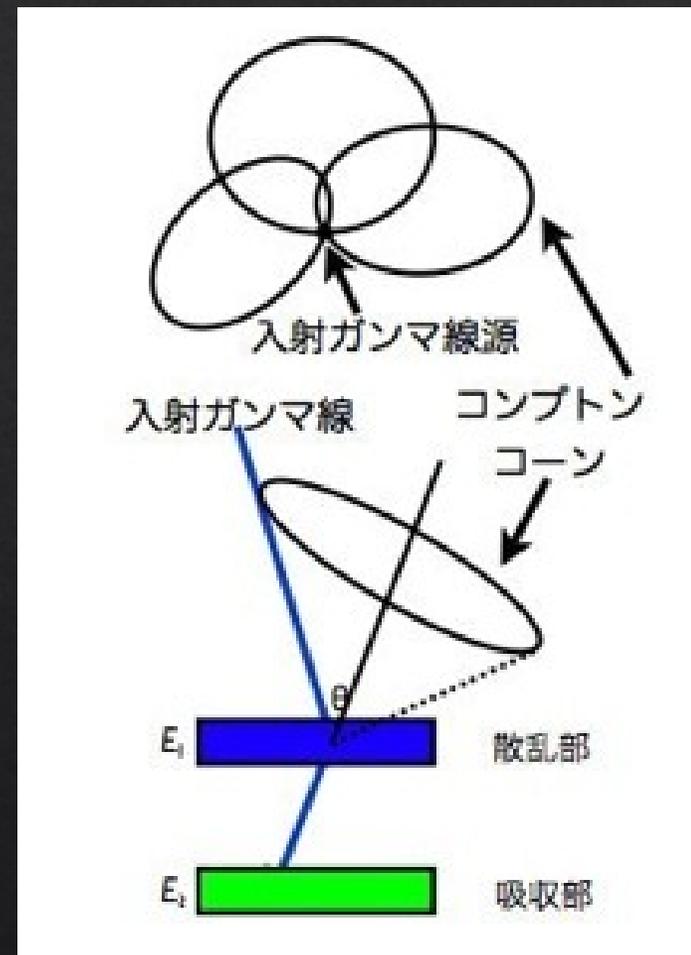
なので

$$\cos \theta = 1 - m_e c^2 \left(\frac{1}{E_2} - \frac{1}{E_1 + E_2} \right)$$

となる

コンプトンカメラとは

- ◇ ガンマ線を散乱部に入射させてコンプトン散乱を起こす
2次ガンマ線が吸収部で光電吸収される
- ◇ 散乱部・吸収部でのエネルギー E_1, E_2 と散乱した場所・吸収した場所
が分かれば散乱角 θ を求めることができ、線源があると予想される
円錐(コンプトンコーン)が描ける
- ◇ 3か所で測ることでコンプトンコーンが3つ出来て
入射ガンマ線源の位置が特定できる

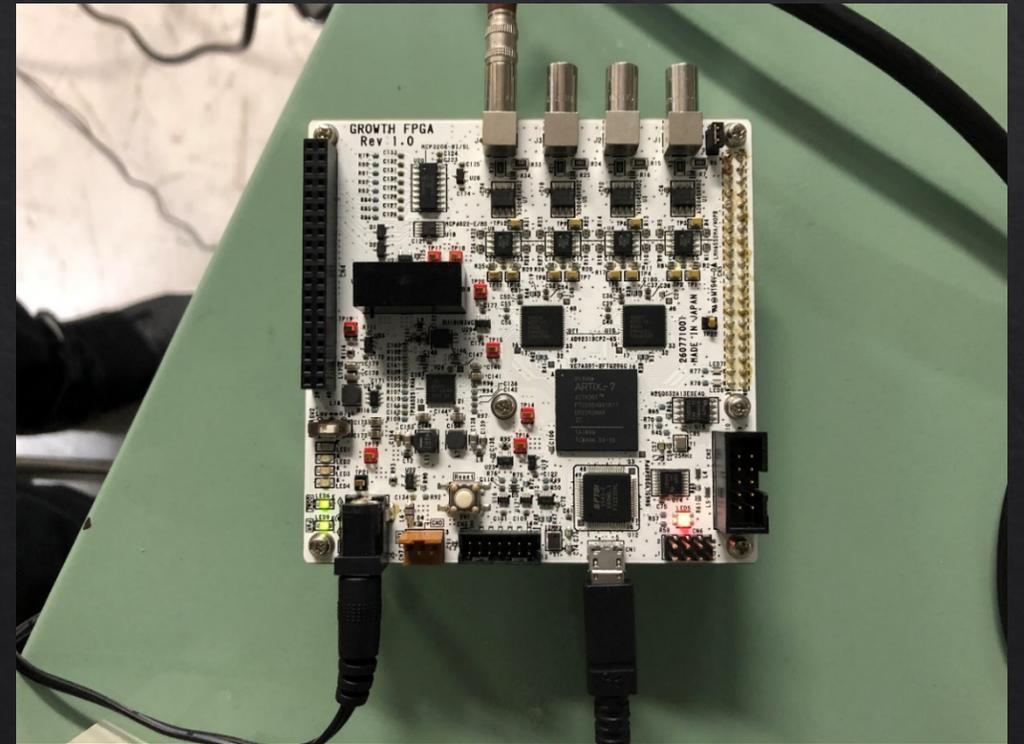


コンプトンカメラとは

- ◇ コンプトン散乱を2つのシンチレータで計測する
- ◇ その際にシンチレータに入ってきたイベントがコンプトン散乱によるものだと判断するために2つのシンチレータに同時にイベント入ってきたことを確認する必要がある
- ◇ そこで今回用いるのがGROWTH-DAQボードである

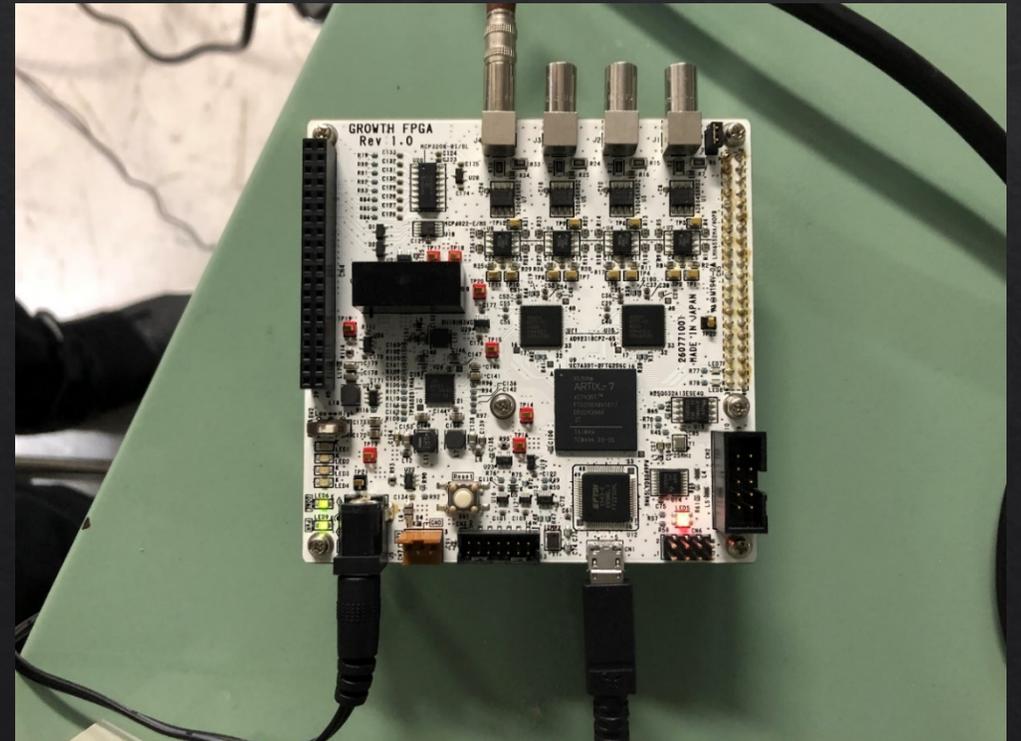
GROWTH-DAQボードとは

- ◇ 雷雲ガンマ線の検出のために京都大学榎戸先生によって開発されたFPGAを備え、4ch同時に高速ADC処理をすることができるボード
- ◇ GROWTH実験において
今まではデスクトップPCサイズくらい大きなボードが必要であったが、このボードは9.5 cm × 9.5 cmとかなりコンパクトになった
- ◇ 100 MHzでのイベント検出が可能
(つまり10 nsごとにイベントを計測できる)



GROWTH-DAQボードとは

- ◇ ADCを通して得られたデータにはTimeTag(時間情報)やphaMax(波高値)、channel情報(どのチャンネルから入ってきたのか)といった情報がイベントごとに紐づけされている



実験

- ◇ Na22(線源)

- ◇ プラスチックシンチレータ

- ◇ NaIシンチレータ

の3つを用いて実験

- ◇ シンチレータはそれぞれPMTに繋がれており、

プラスチックシンチレータのPMTはE974-22、NaIシンチレータのPMTはH7195である

それぞれHIGH VOLTAGE は-1.0 kV、-1.5 kVの電圧をかけた

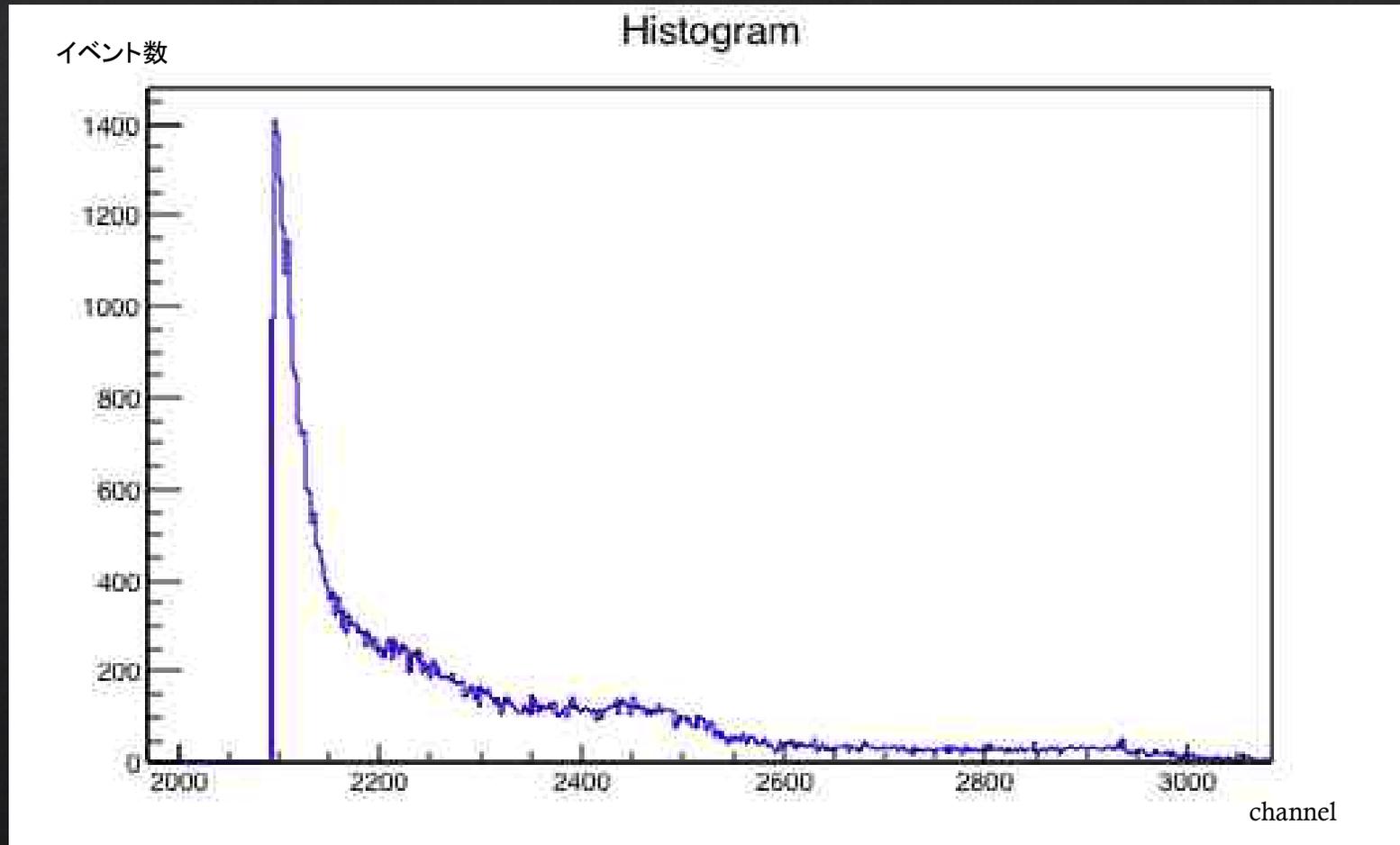
実験



まずは、Na22の対消滅を利用して
GROWTH-DAQボードを用いて
コインシデンス回路を用いずに
コインシデンスを取ることができる
ということを確認する

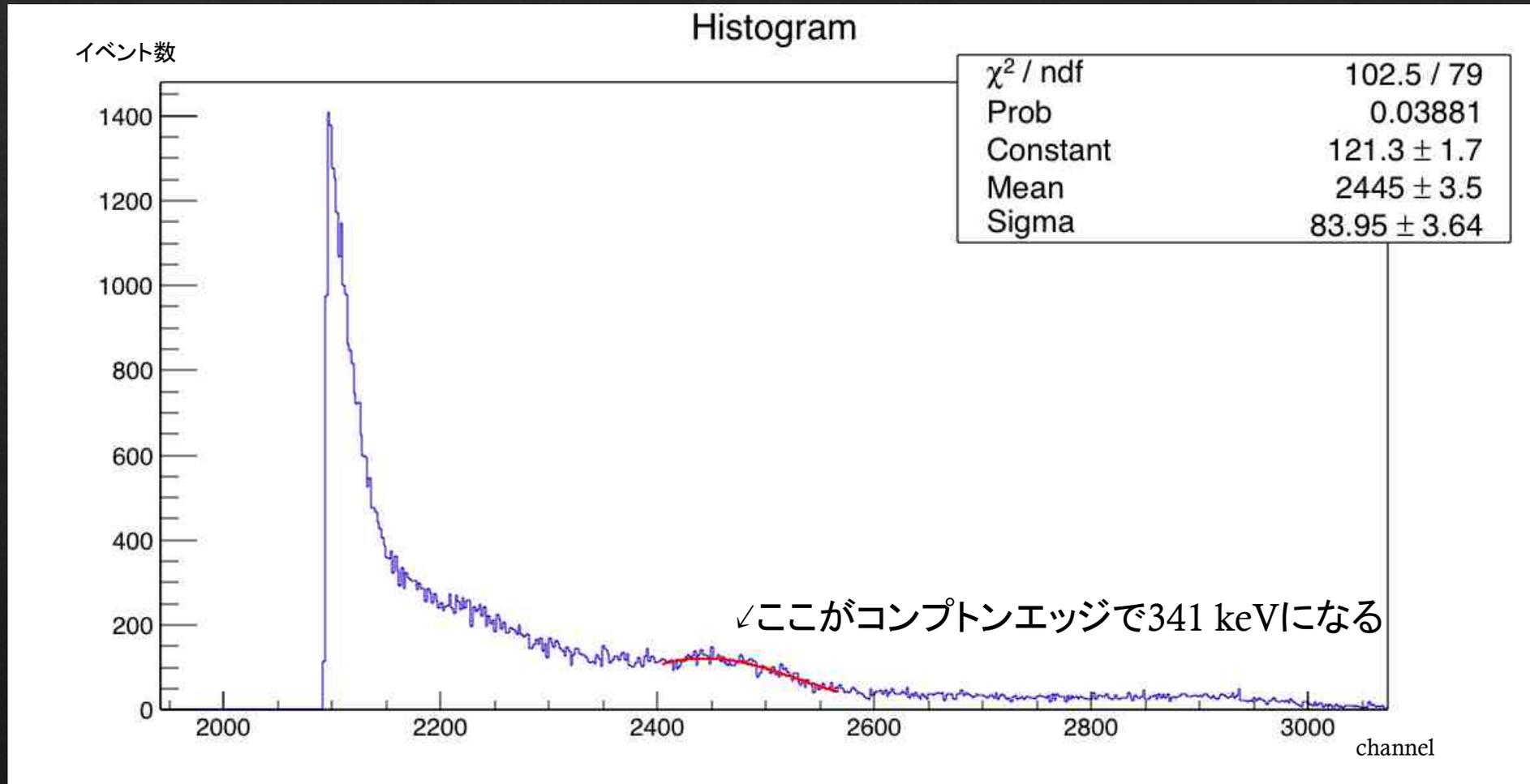
実験結果

- ◇ プラスチックシンチレータ(Back to back)



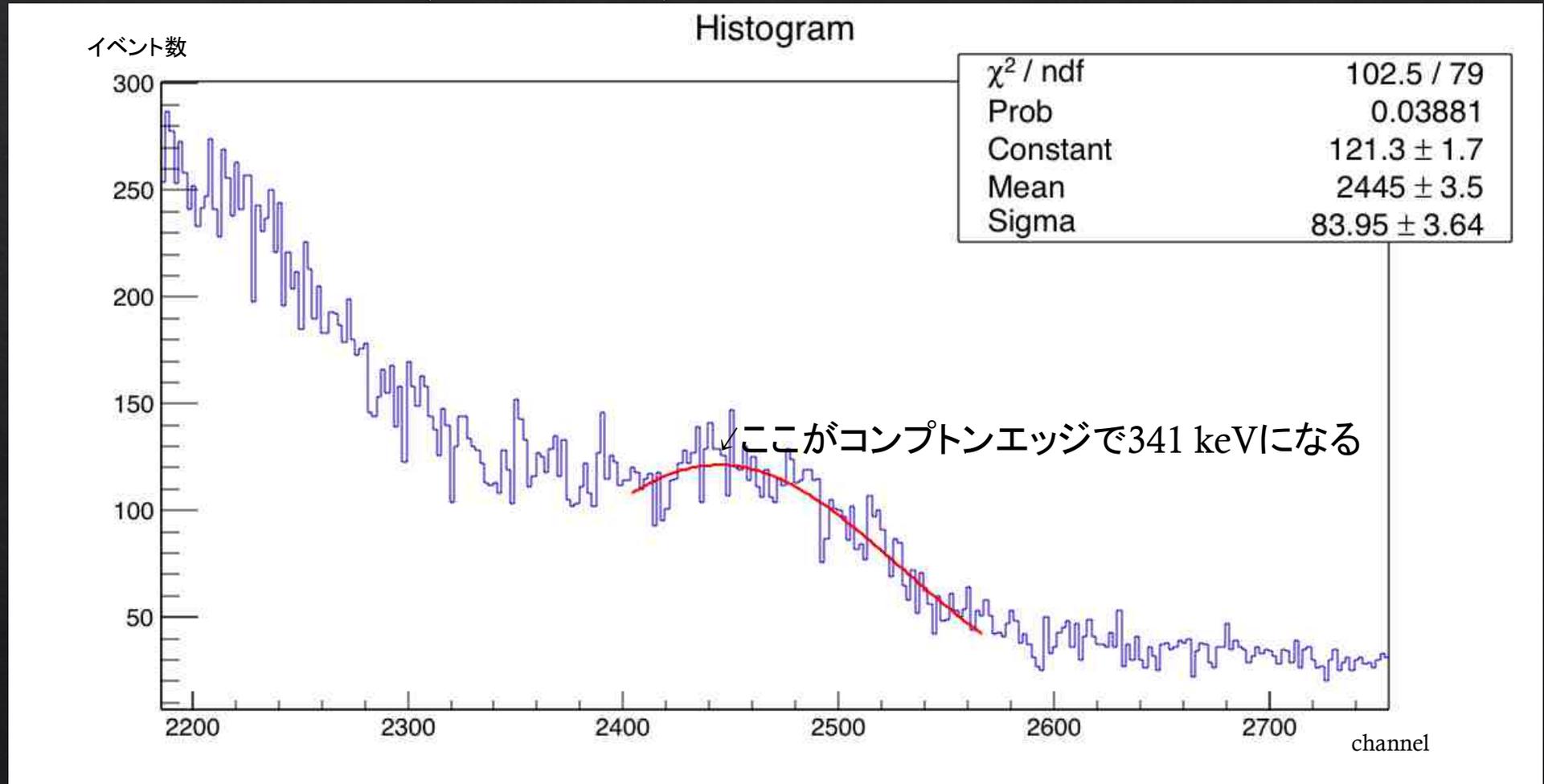
解析

◇ プラスチックシンチレータ(Back to back)



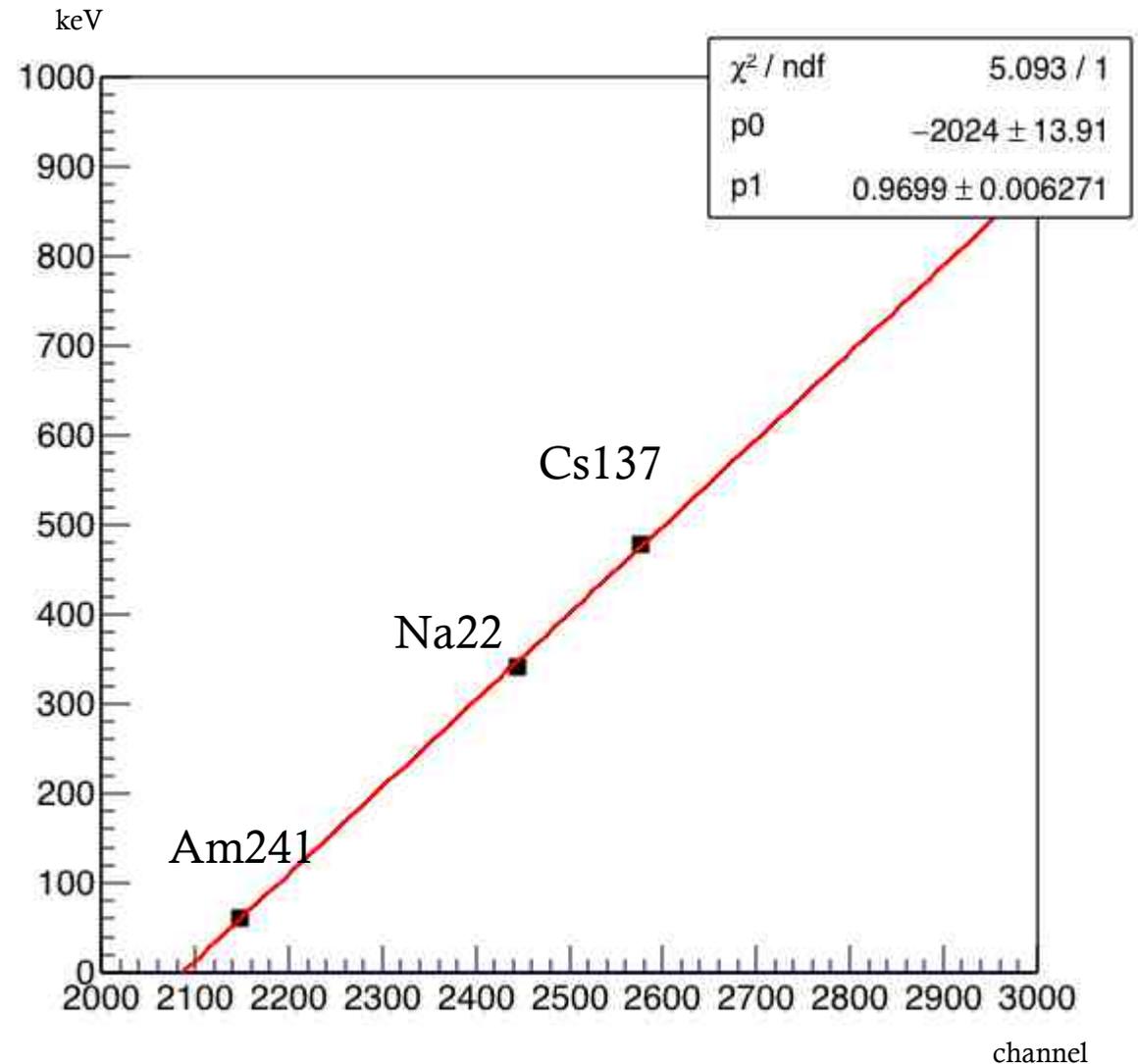
解析

◇ プラスチックシンチレータ(Back to back)



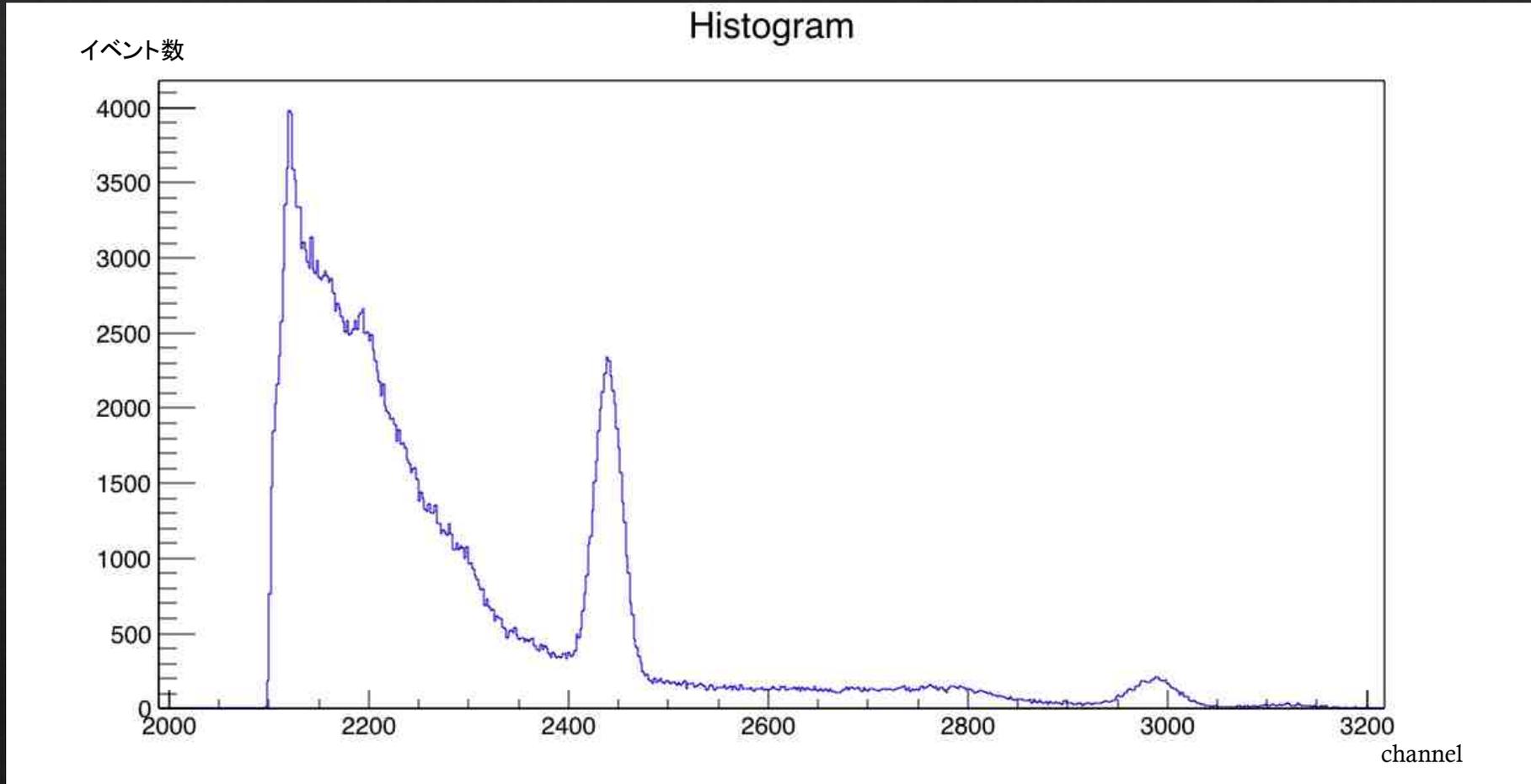
解析

- ◆ プラスチックシンチレータの
キャリブレーショングラフ
- ◆ Am241とCs137も計測をし
3つ合わせてキャリブレーションをした



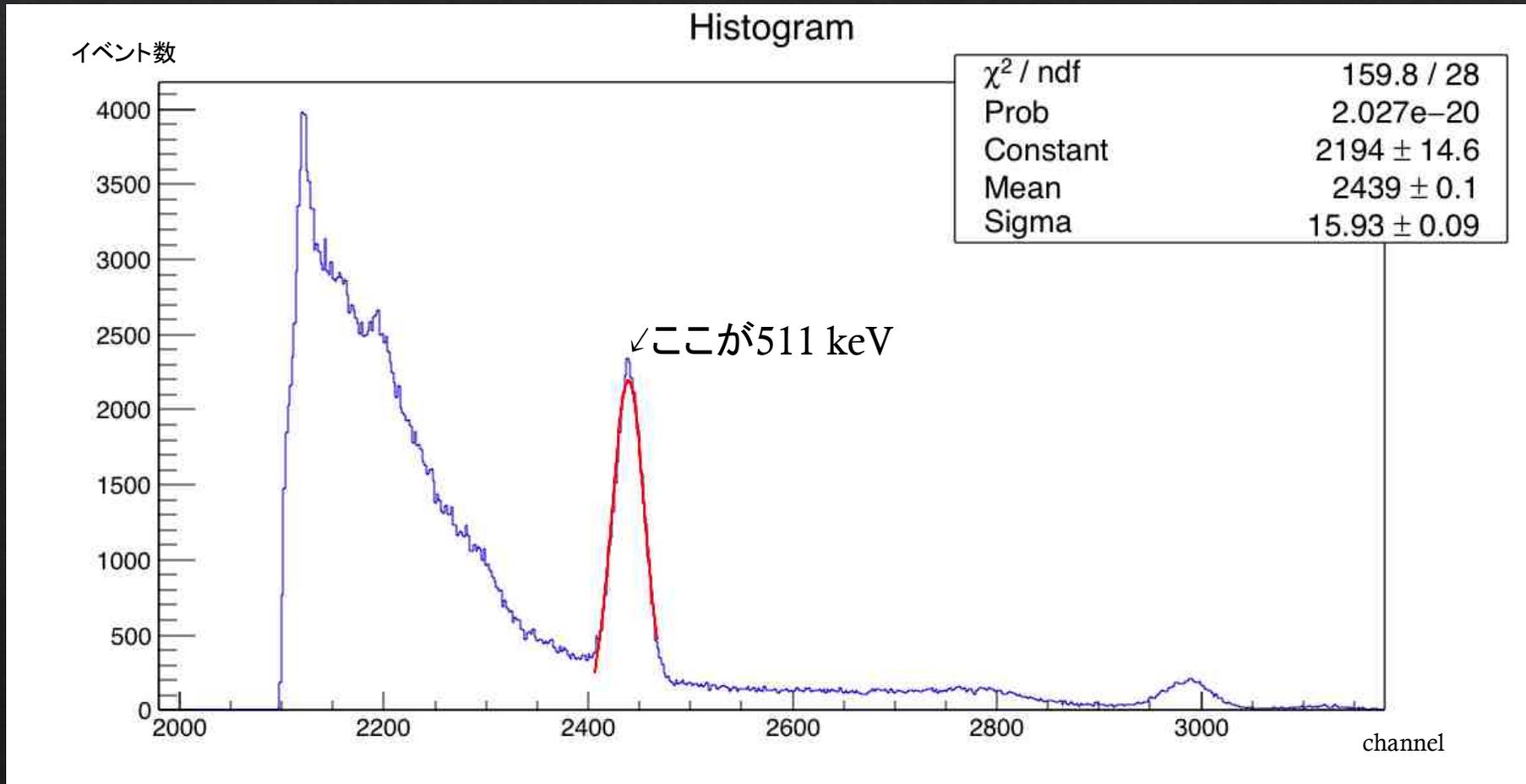
実験結果

◇ NaIシンチレータ(Back to back)



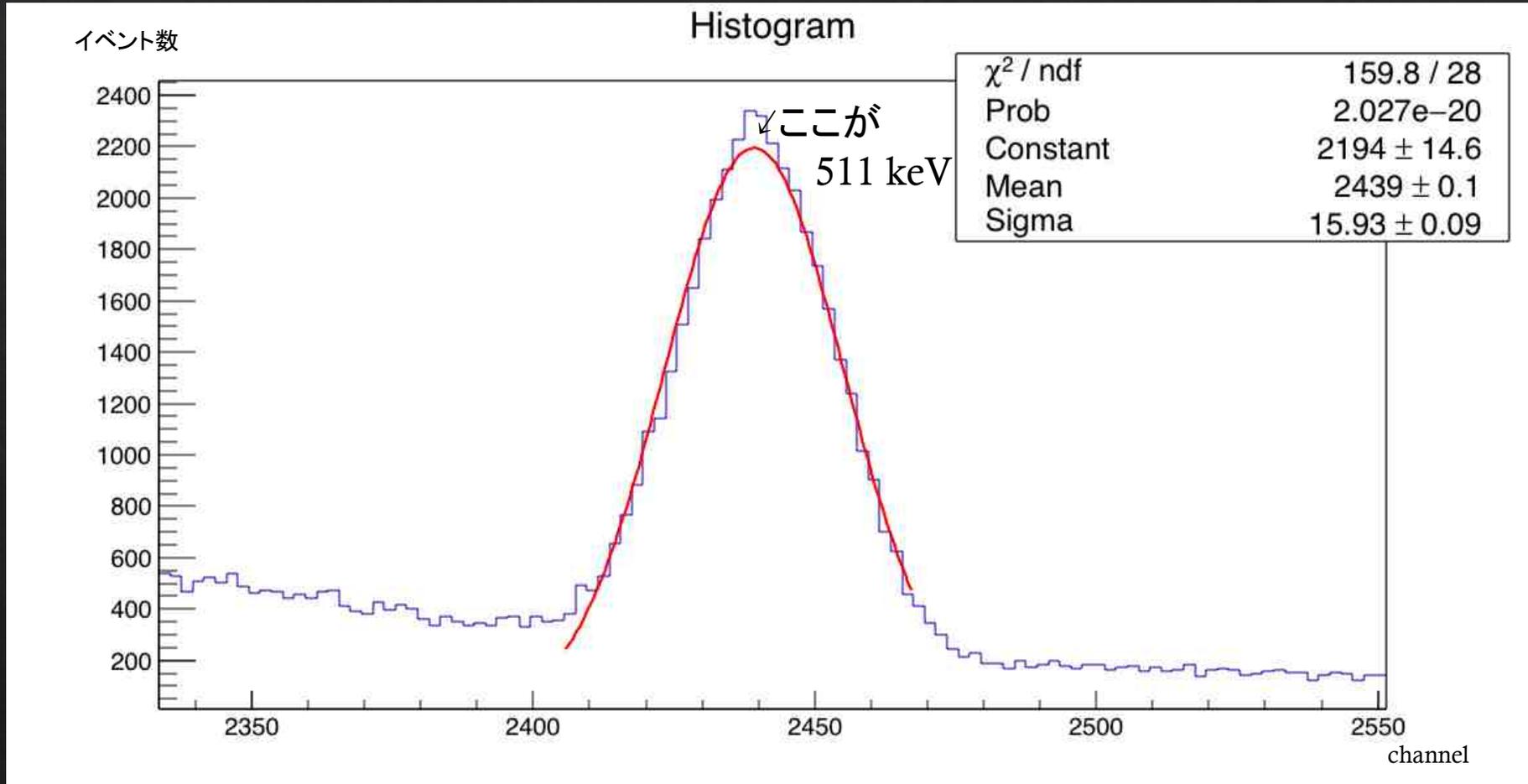
解析

◇ NaIシンチレータ(Back to back)



解析

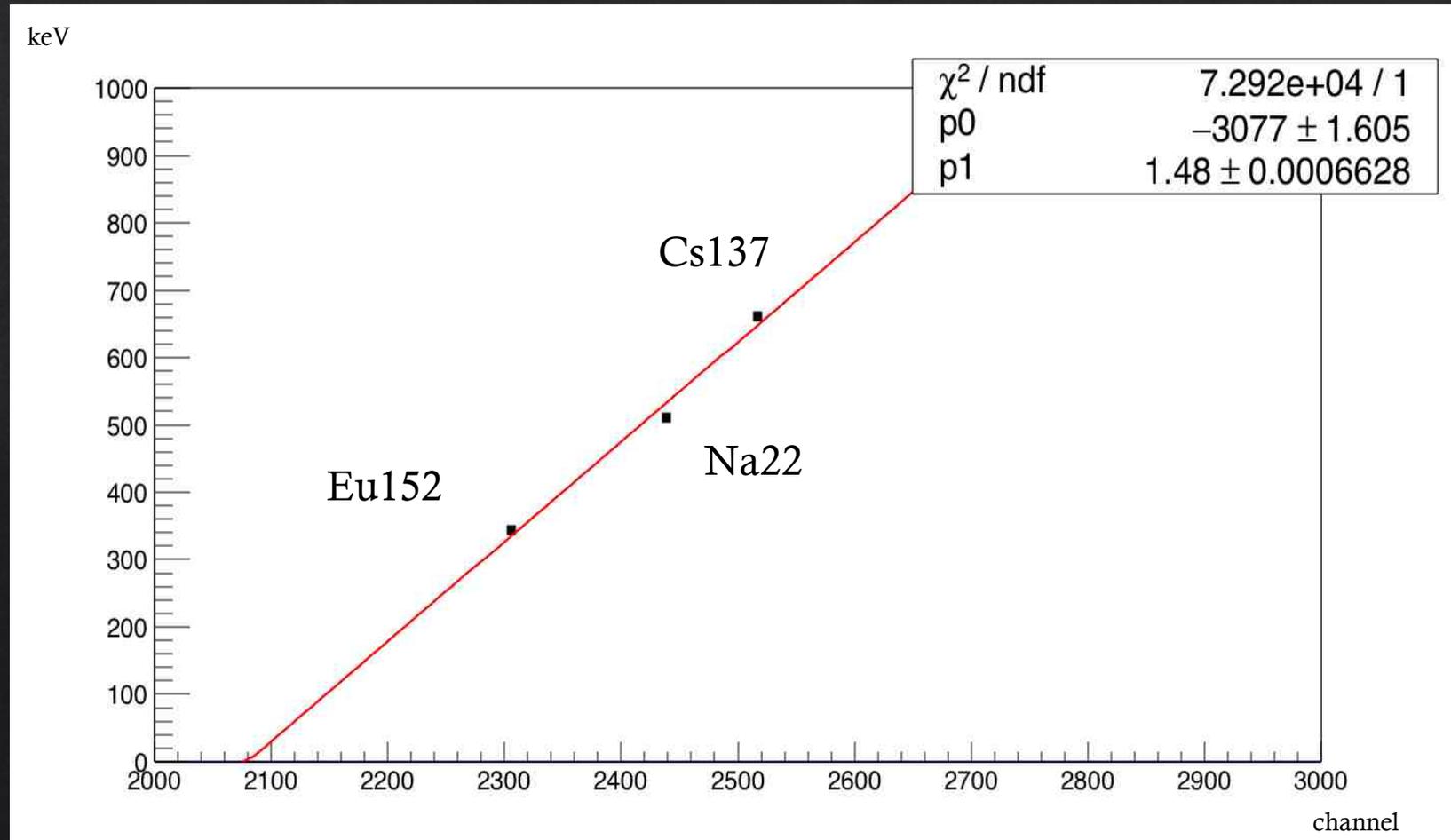
◇ NaIシンチレータ(Back to back)



解析

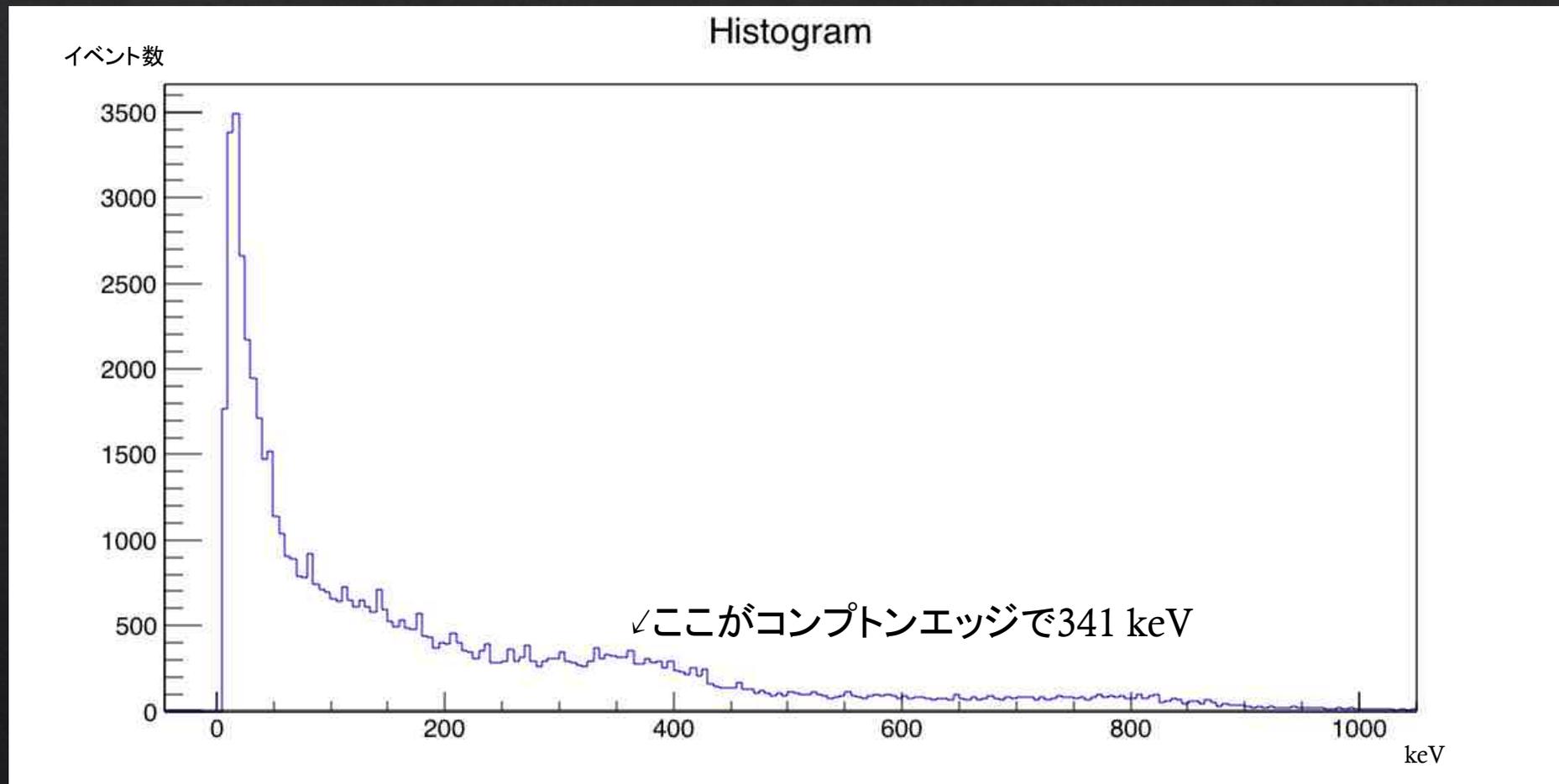
◇ NaIシンチレータのキャリブレーショングラフ

◇ Cs137とEu152も合わせて
キャリブレーションした



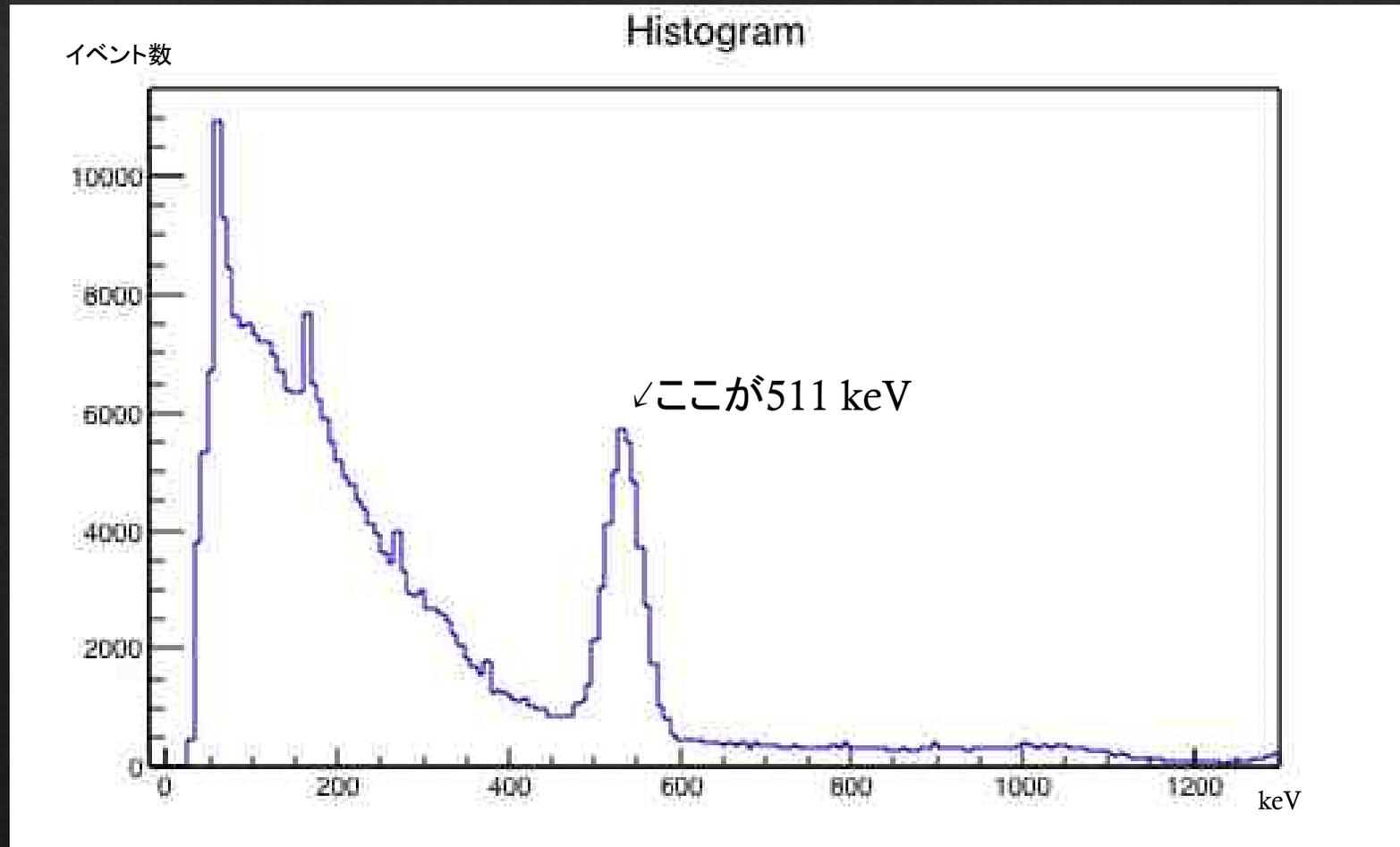
解析

- ◇ プラスチックシンチレータ(Back to back) キャリブレーション後



解析

◇ NaIシンチレータ(Back to back) キャリブレーション後

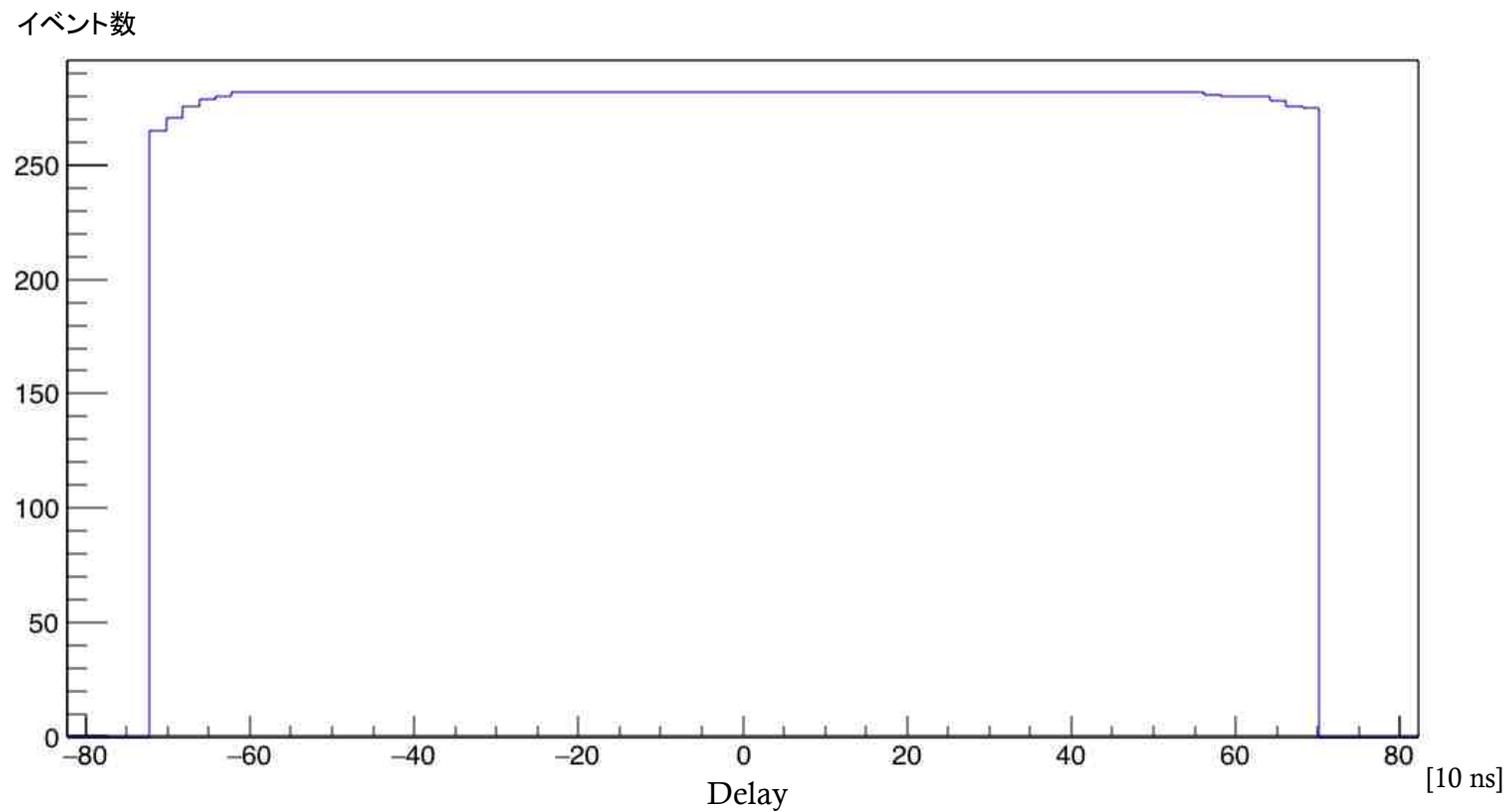


解析

- ◇ キャリブレーションの次はコインシデンスの確認
- ◇ 2つのシンチレータで取れたデータの中からコンプトン散乱によるものだけを取り出すためにコインシデンスを取らなければいけない
- ◇ しかし、PMTやケーブルの長さの違いによる時間のズレ(Delay)があると考えられるので横軸をDelay(プラスチックシンチレータで観測してからNaIシンチレータで観測するまでの時間)縦軸をコインシデンスイベント数とするグラフを作った

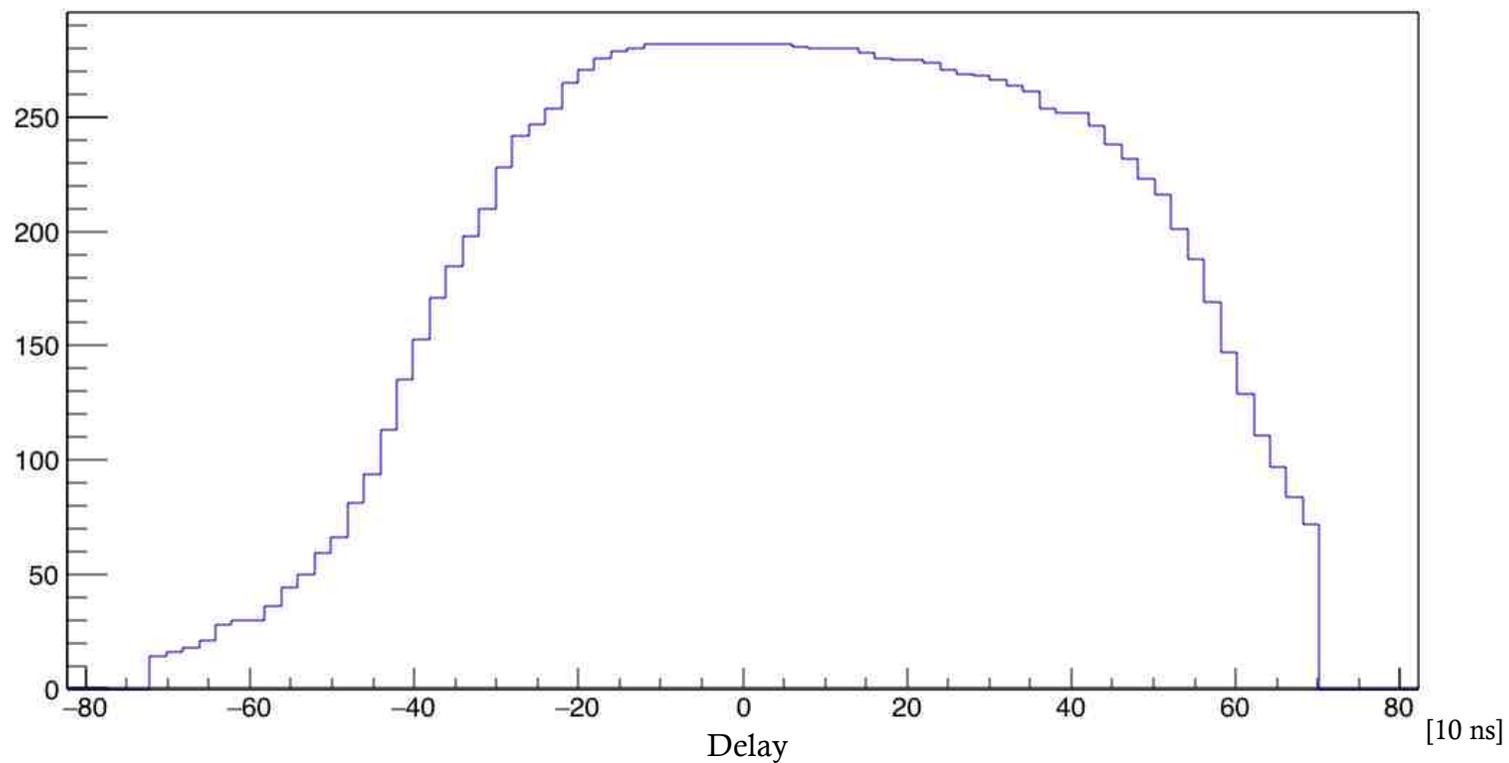
また、コインシデンス幅としてどれくらいの値が良いのかを確かめるためにも様々なコインシデンス幅でグラフを作った

コインシデンス幅 ± 1000 ns



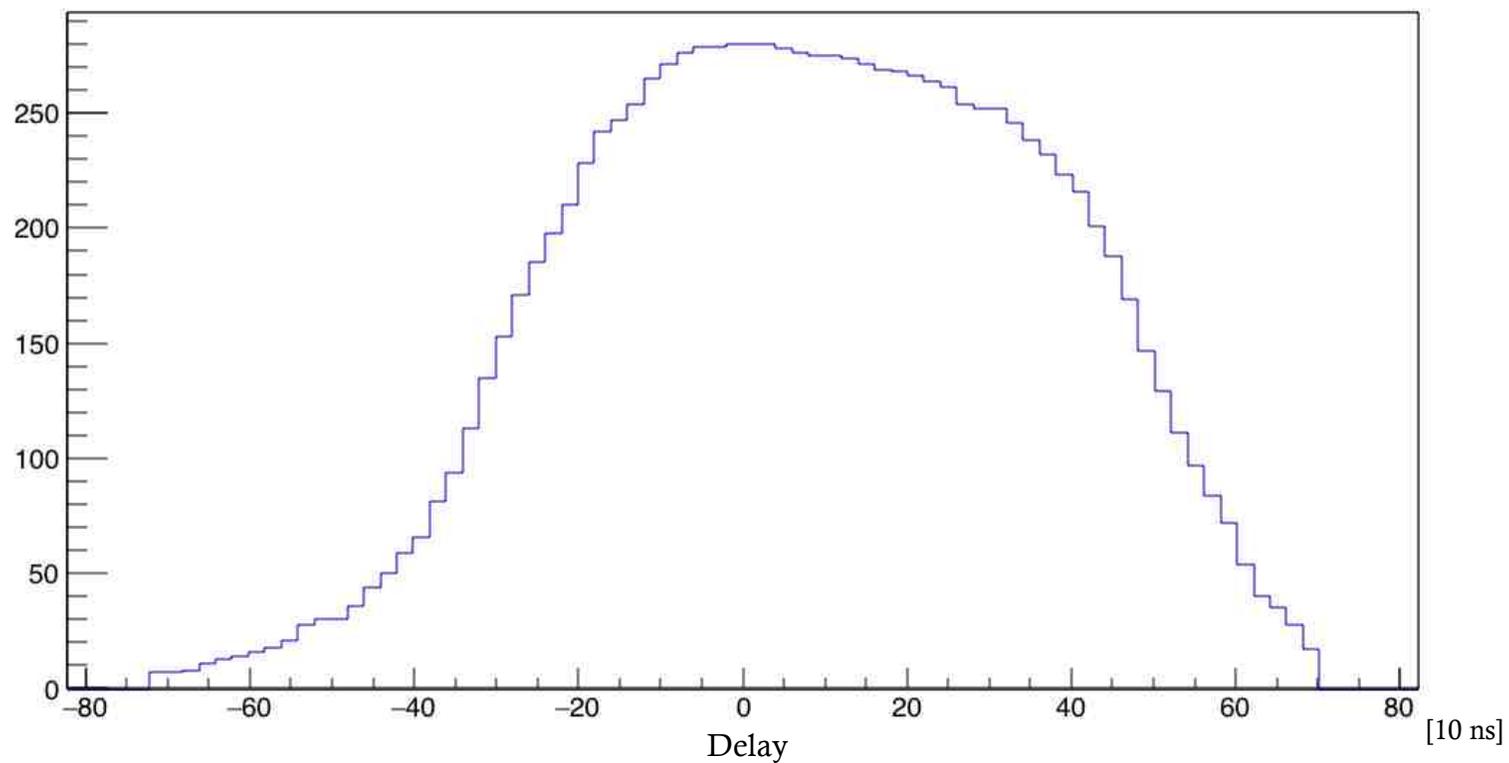
コインシデンス幅 ± 500 ns

イベント数

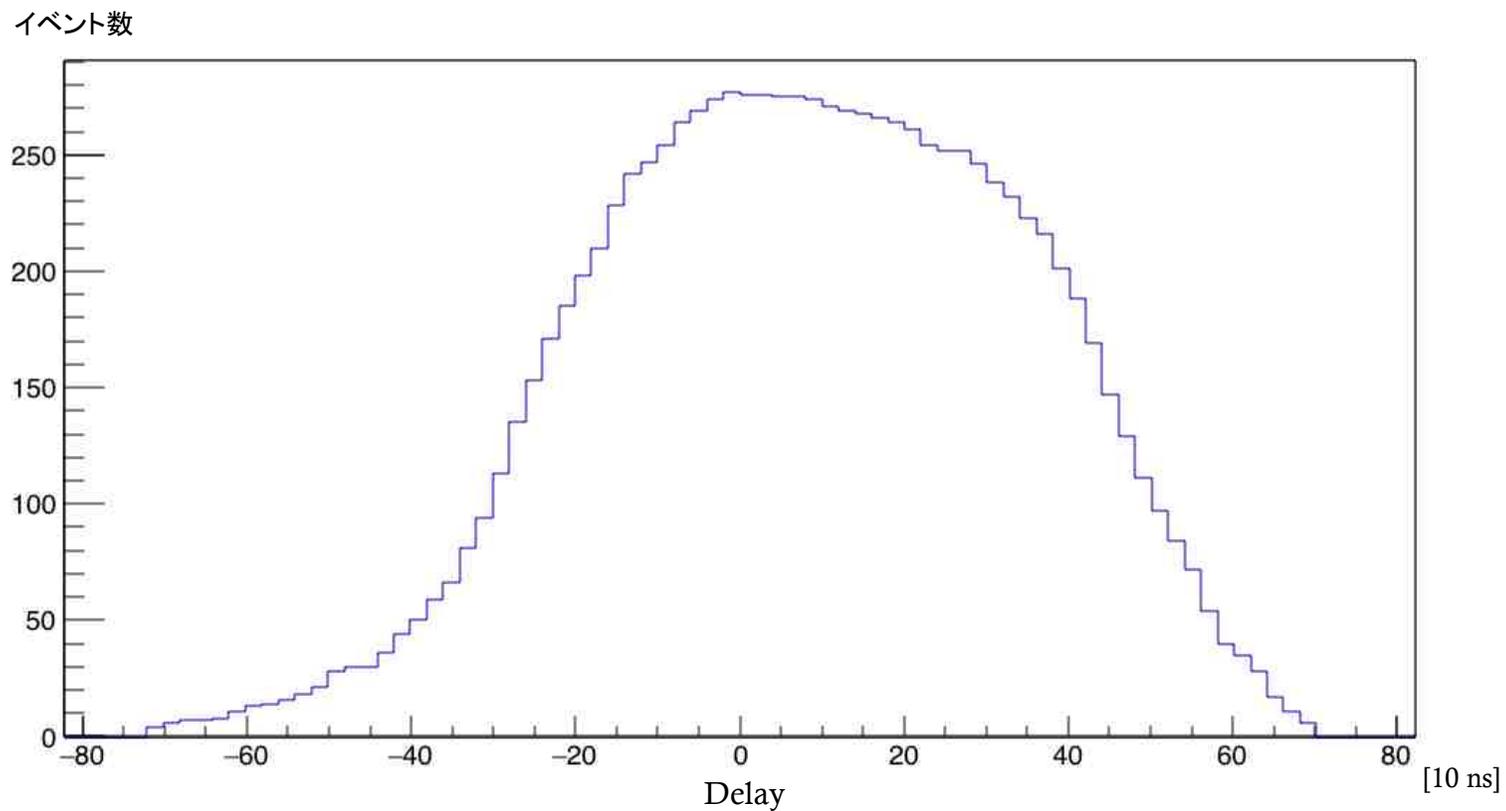


コインシデンス幅 ± 400 ns

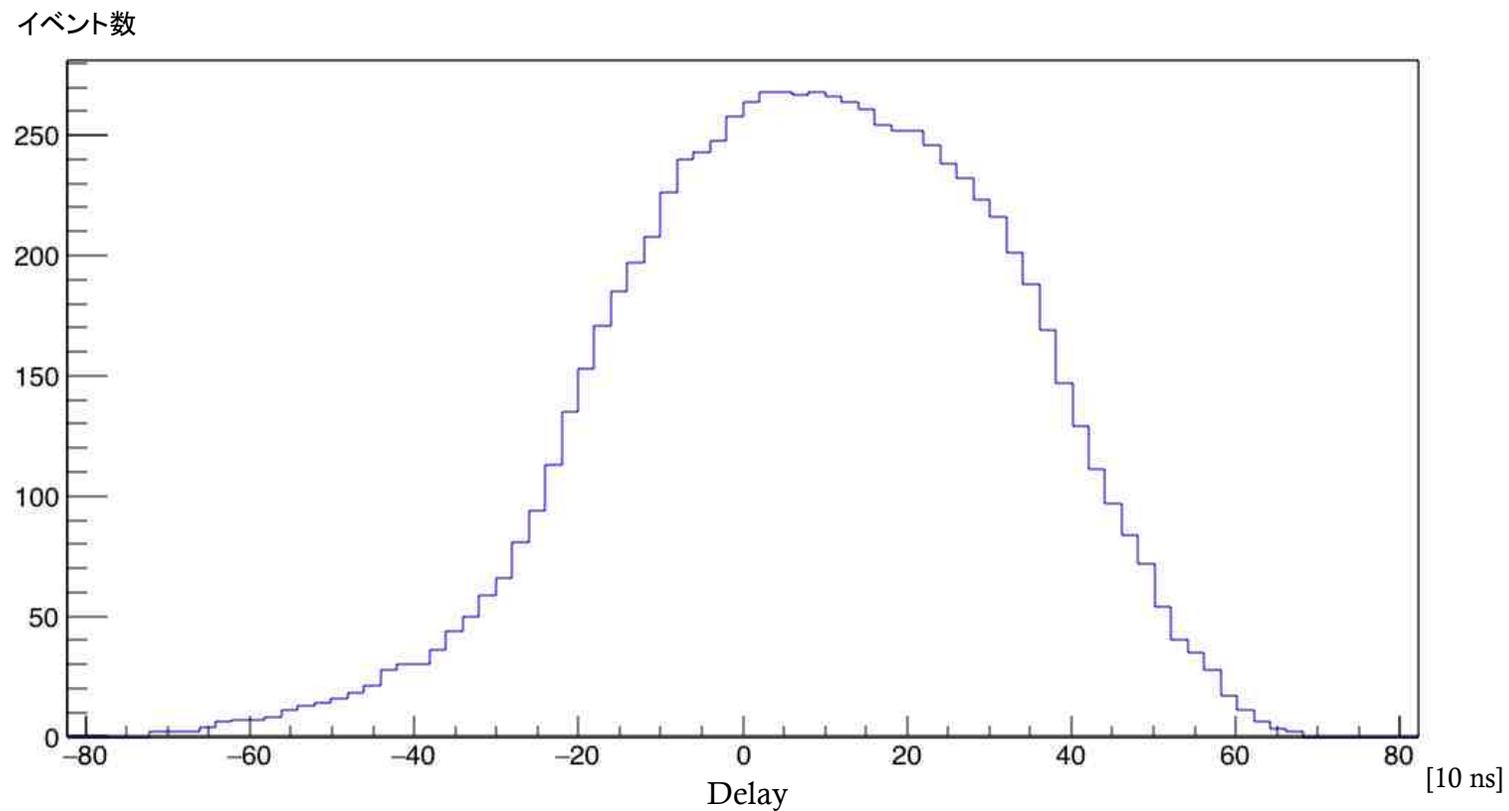
イベント数



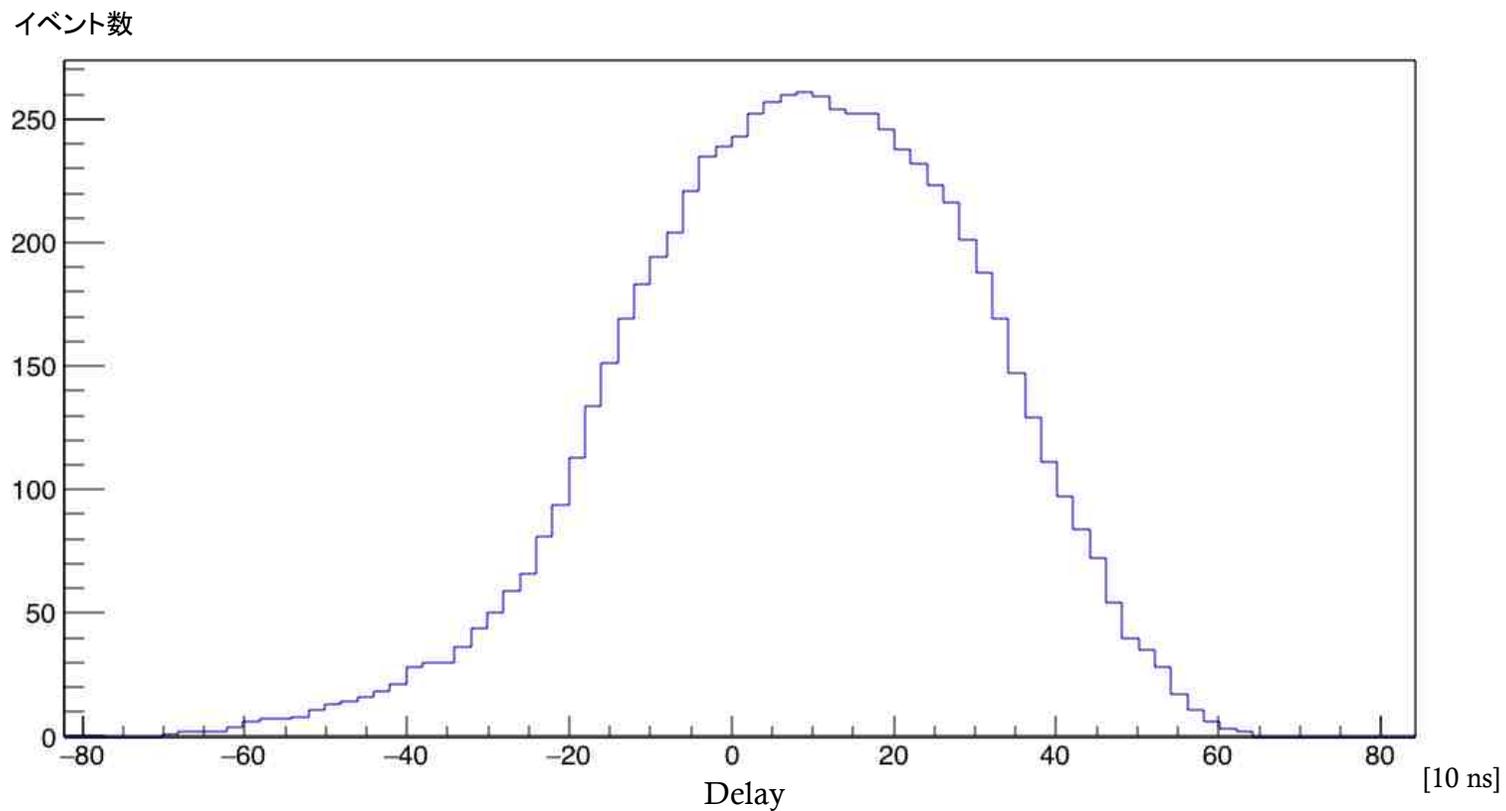
コインシデンス幅 ± 350 ns



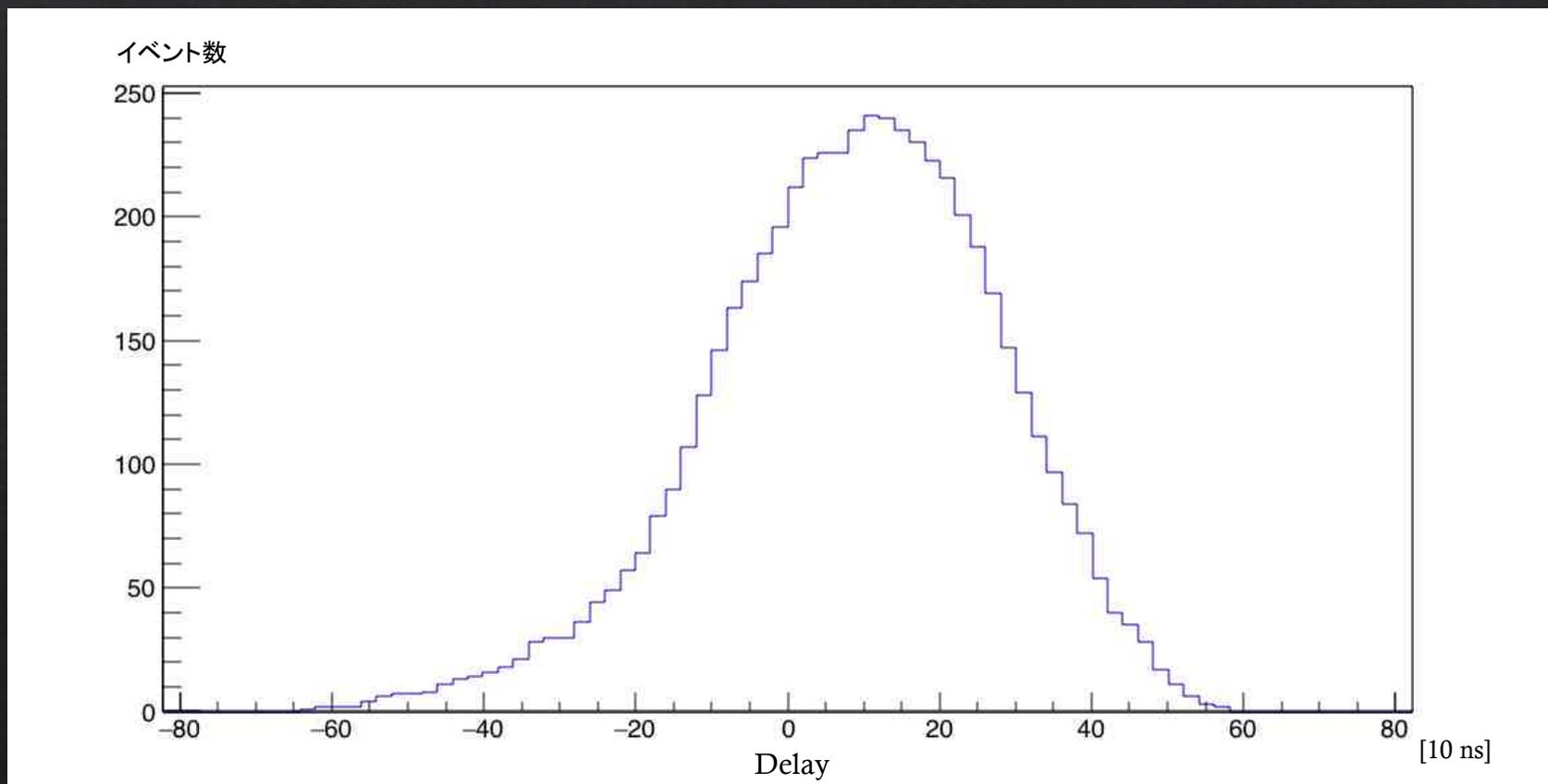
コインシデンス幅 ± 300 ns



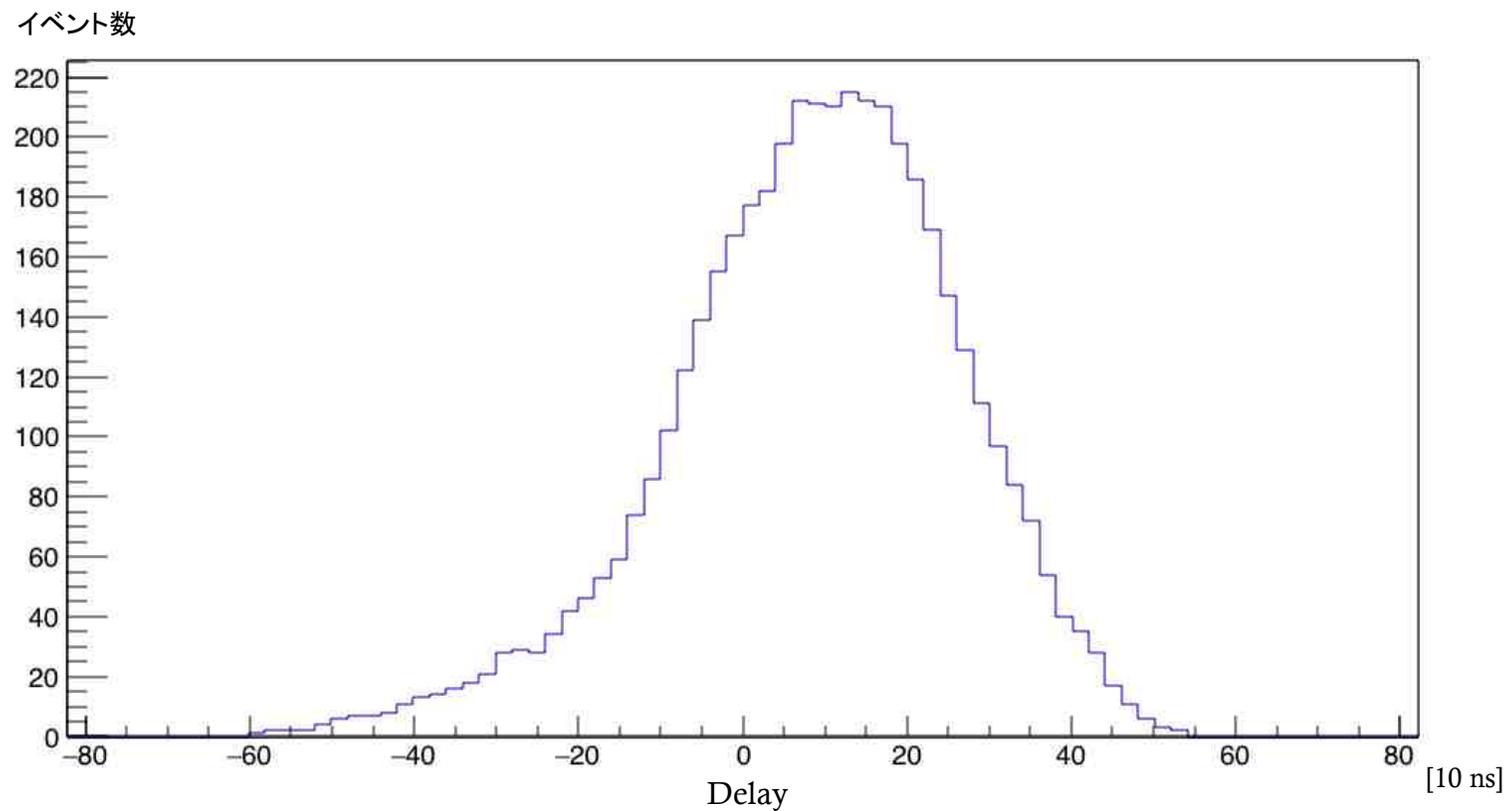
コインシデンス幅 ± 250 ns



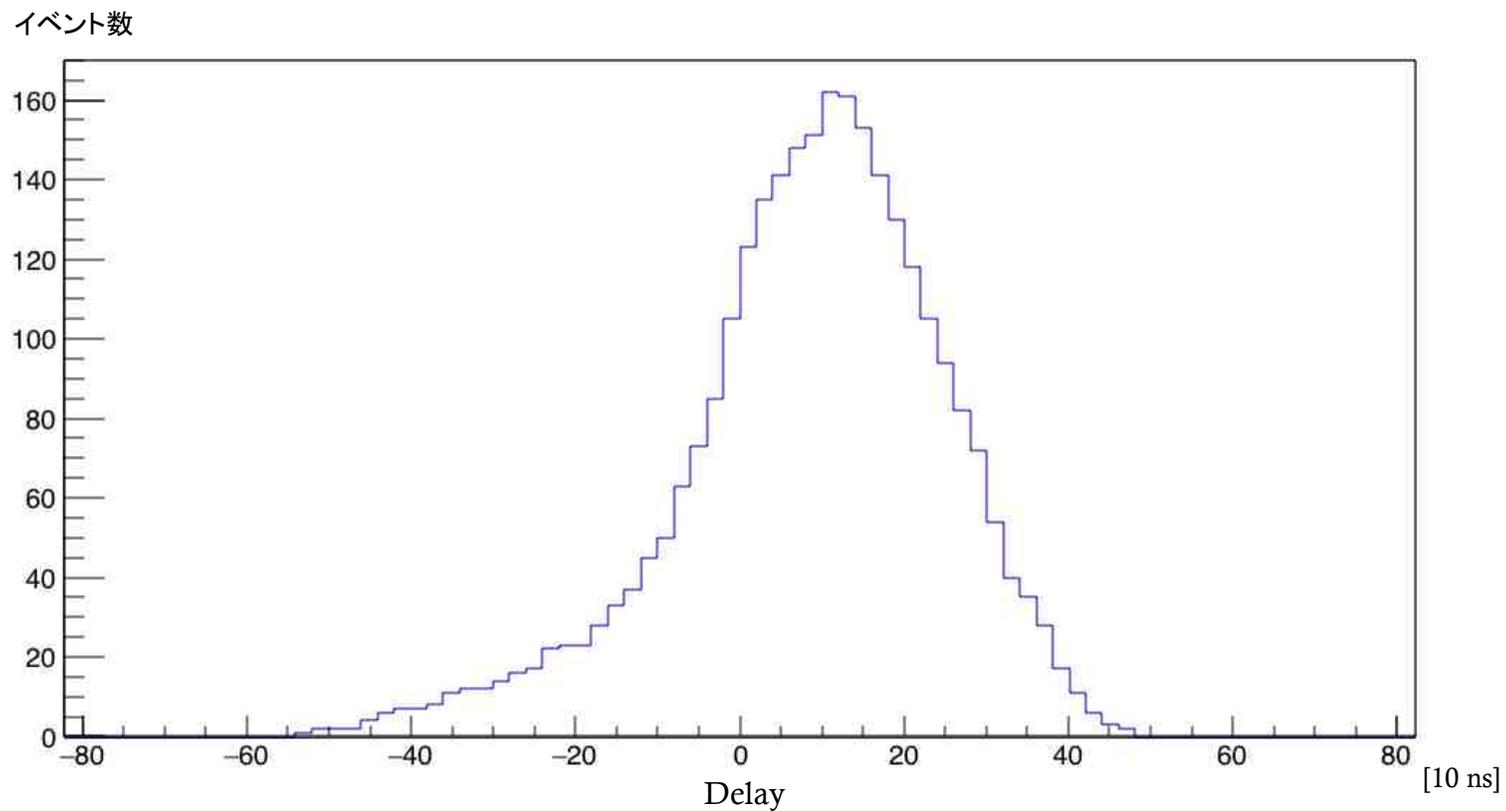
コインシデンス幅 ± 200 ns



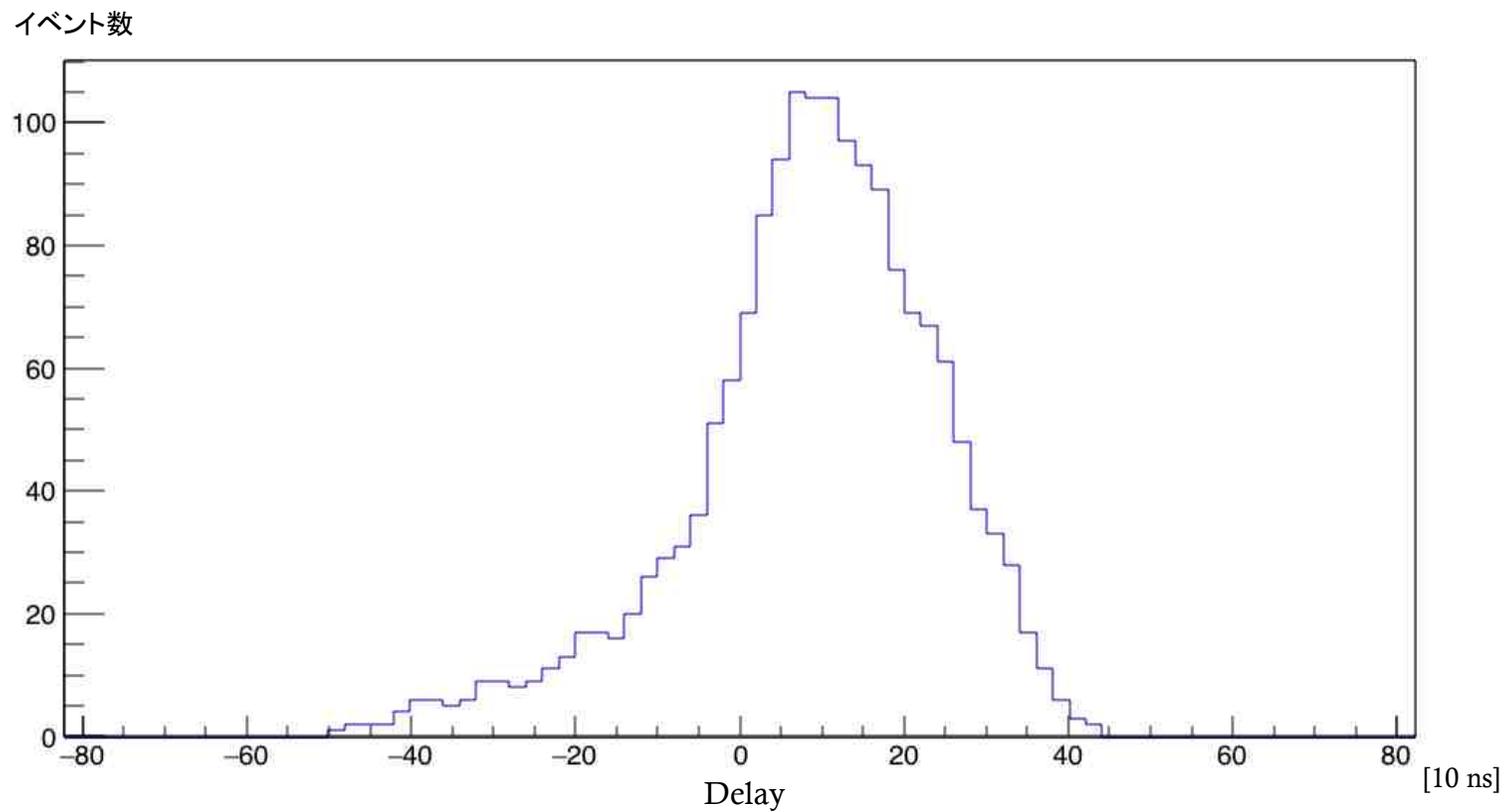
コインシデンス幅 ± 150 ns



コインシデンス幅 ± 100 ns

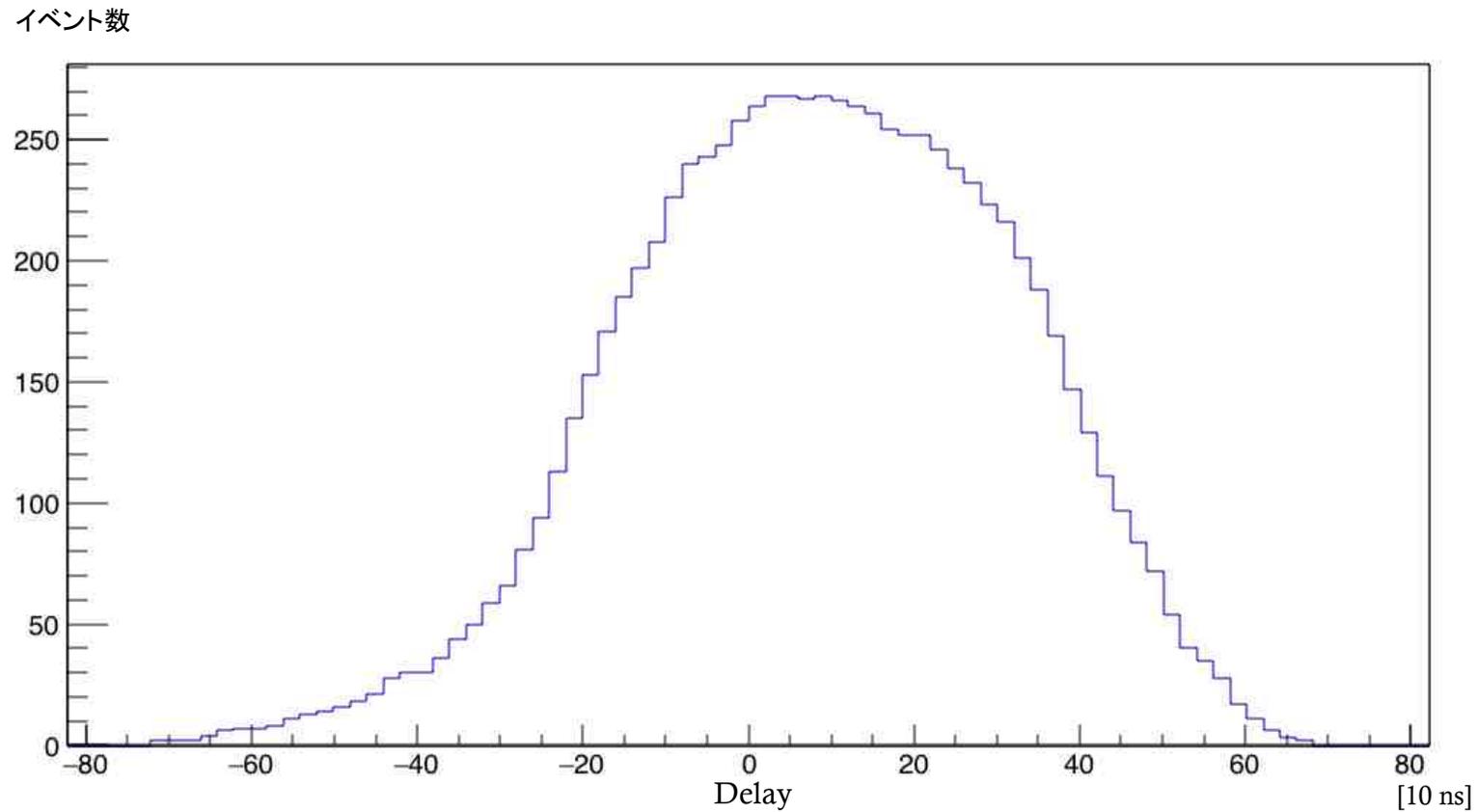


コインシデンス幅 ± 50 ns



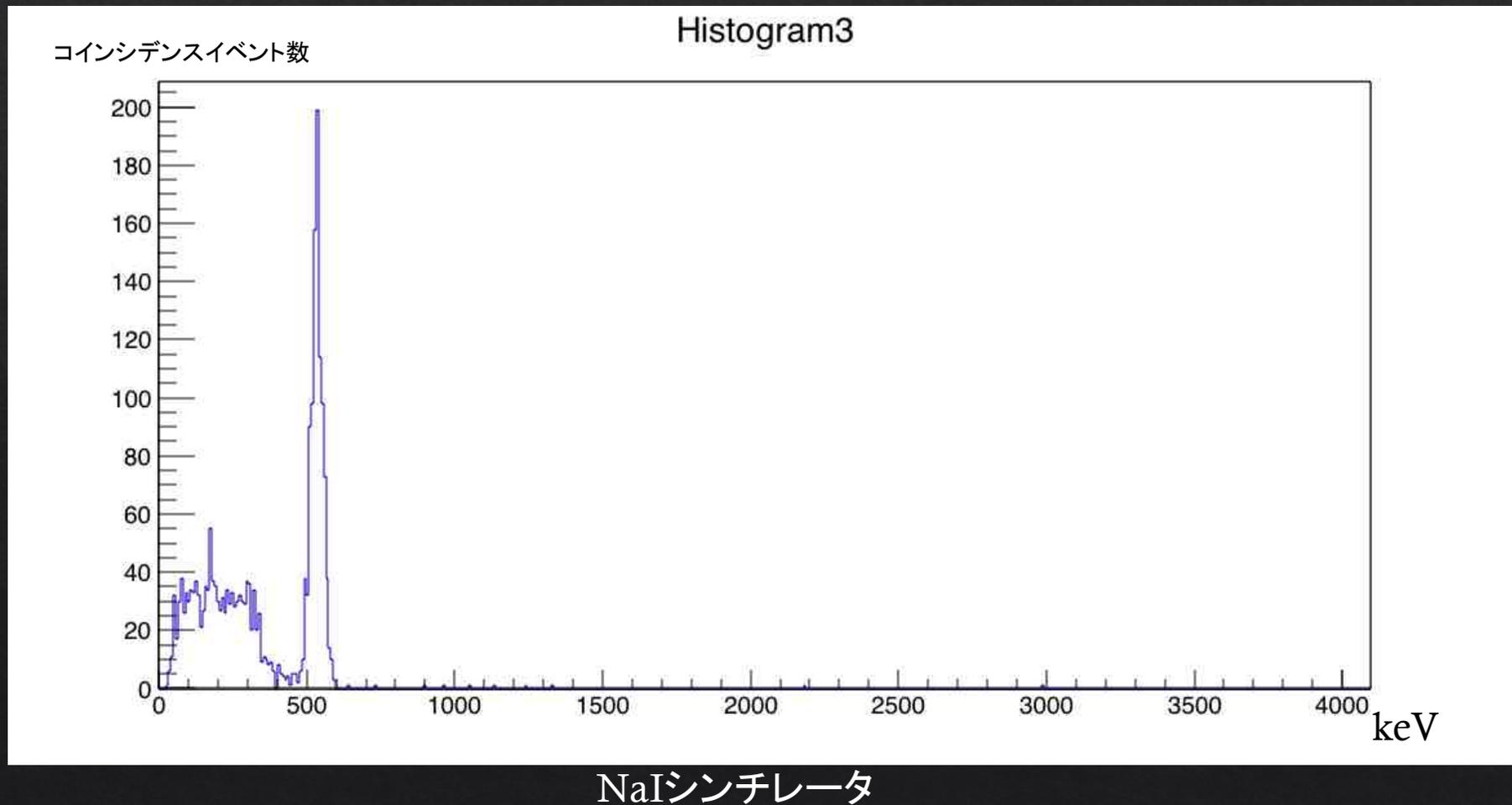
解析

- ◇ コインシデンス幅 ± 300 ns, Delay90 nsのグラフ
- ◇ ピークがきれいに出てコインシデンスイベント数も多い



解析

- ◇ ここでBack to back の実験についてコインシデンスを取り、1275keVが現れないことを確認

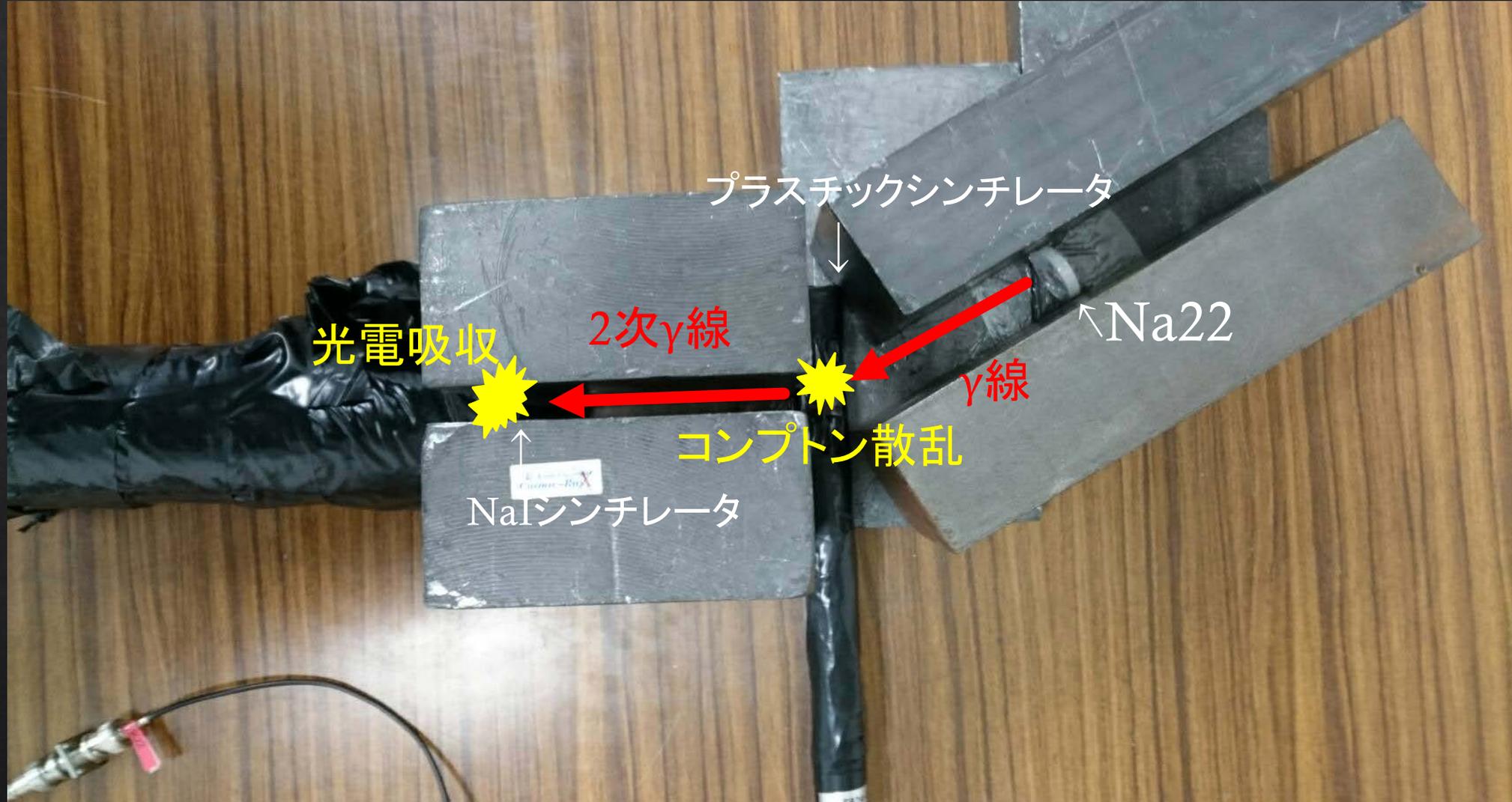


実験

これでキャリブレーションとコインシデンスを取る際のDelayやコインシデンス幅が求まったので
次に実際にコンプトン散乱を起こして線源の場所をイメージングする実験を行う

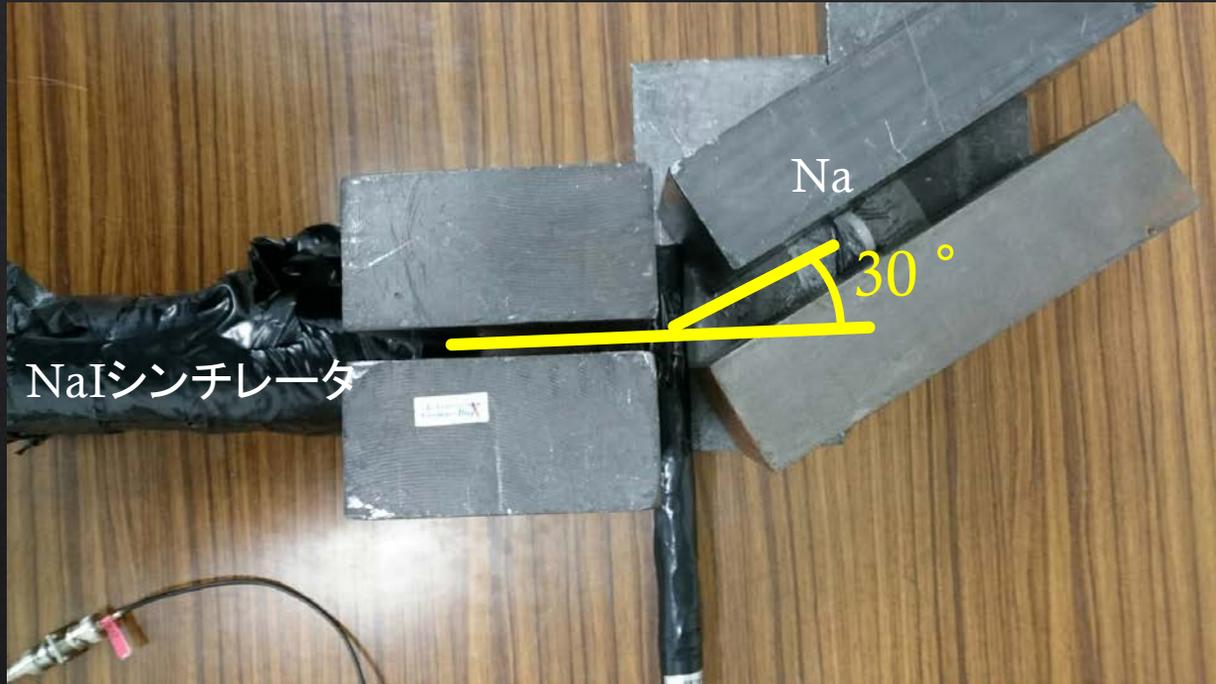


実験

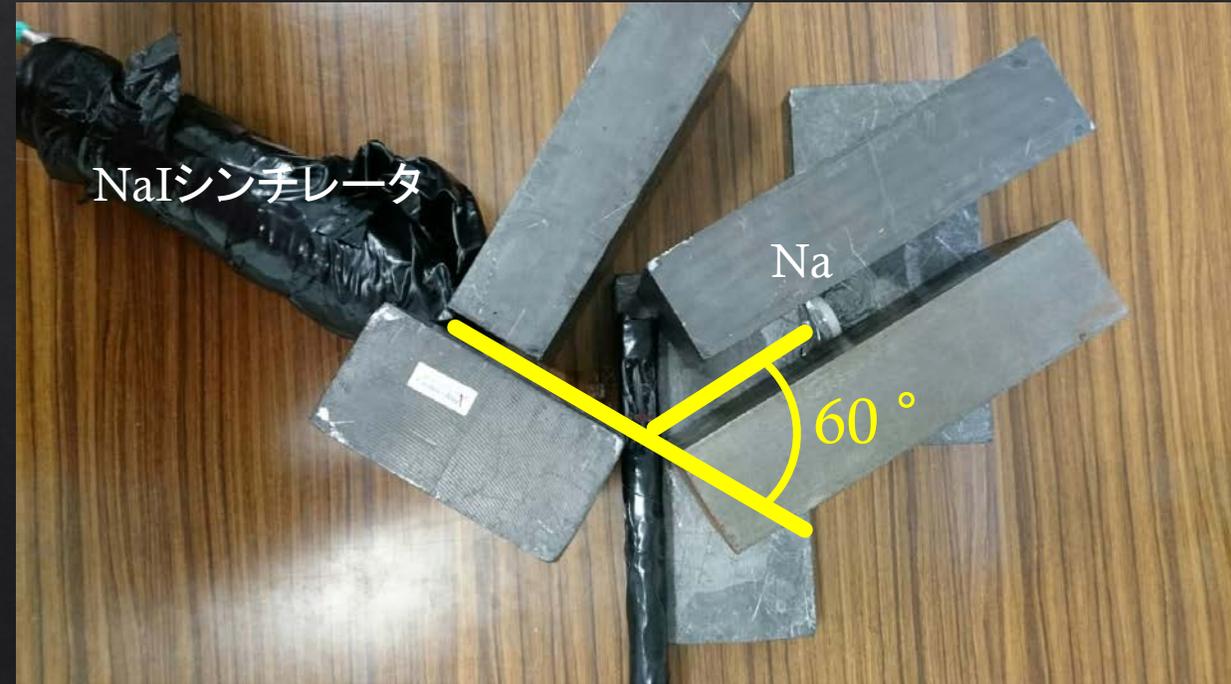


実験

- ◇ 下記の2パターンで実験をした
(Naとプラスチックシンチレータは固定)



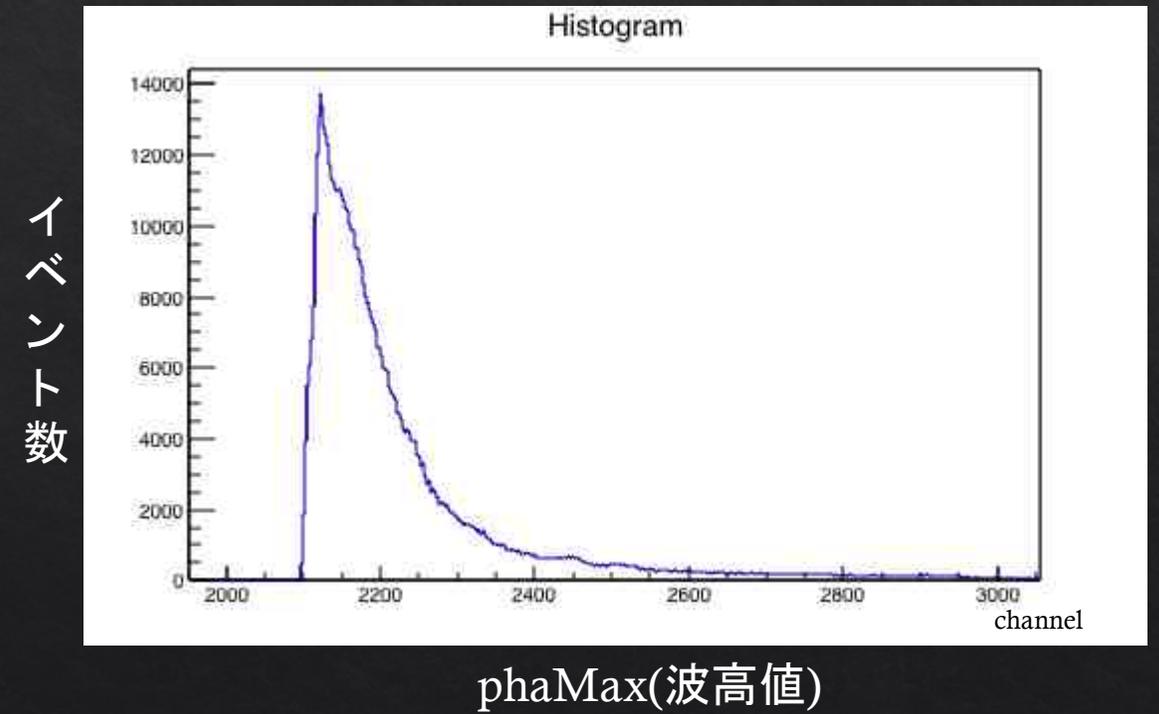
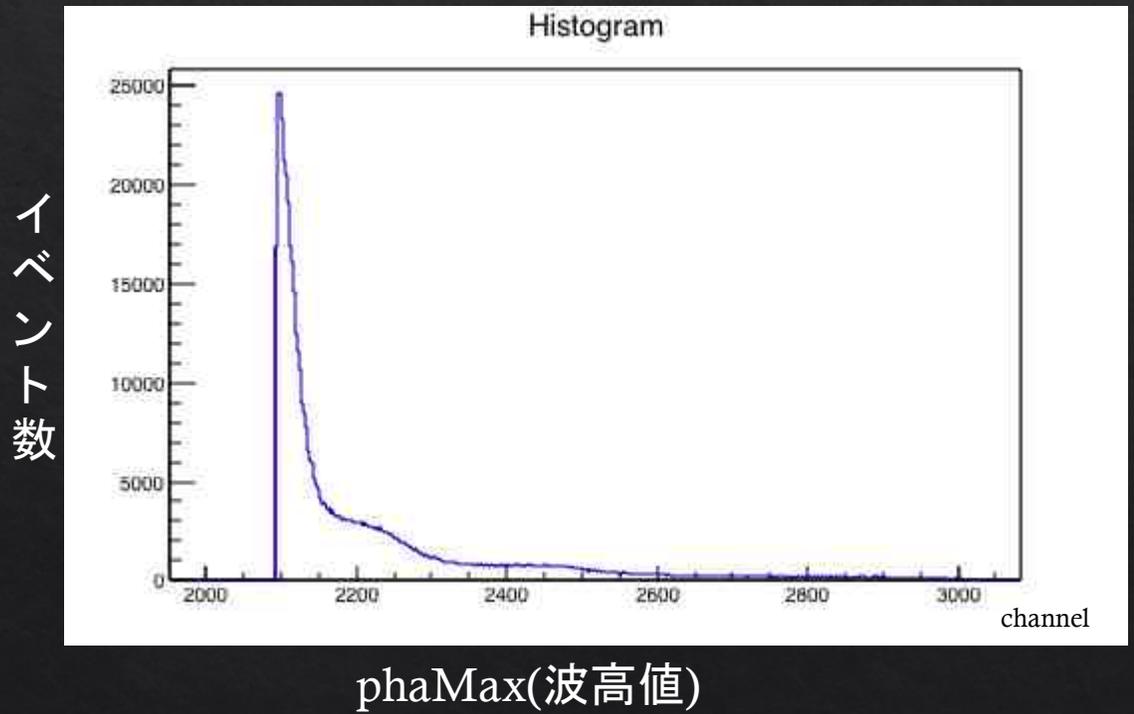
プラスチックシンチレータ



プラスチックシンチレータ

実験結果

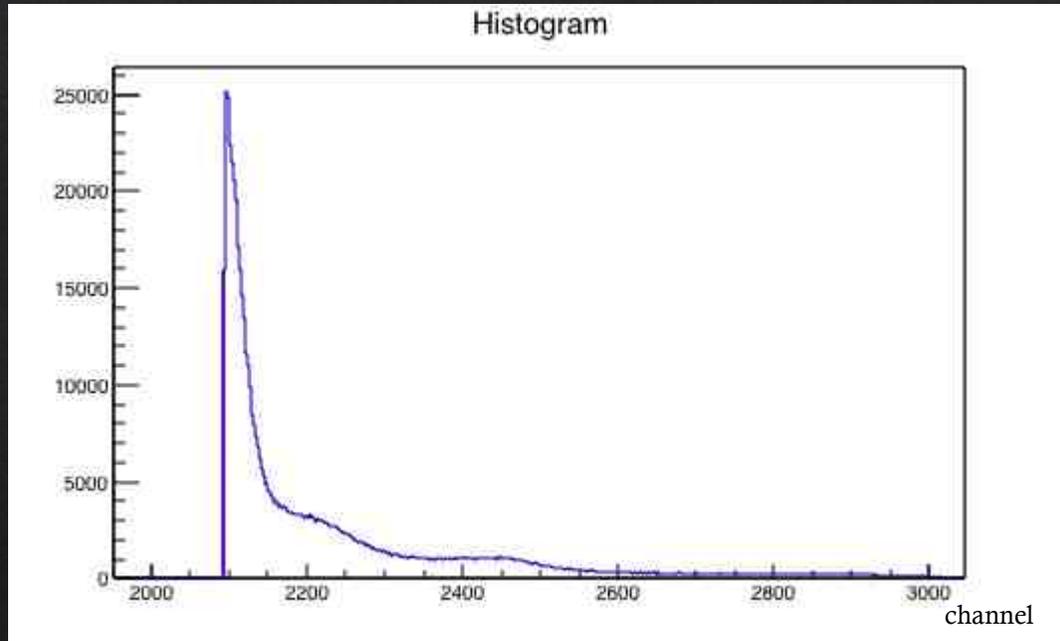
◇ $\theta=30^\circ$ での プラスチックシンチレータ と NaIシンチレータ のデータ



実験結果

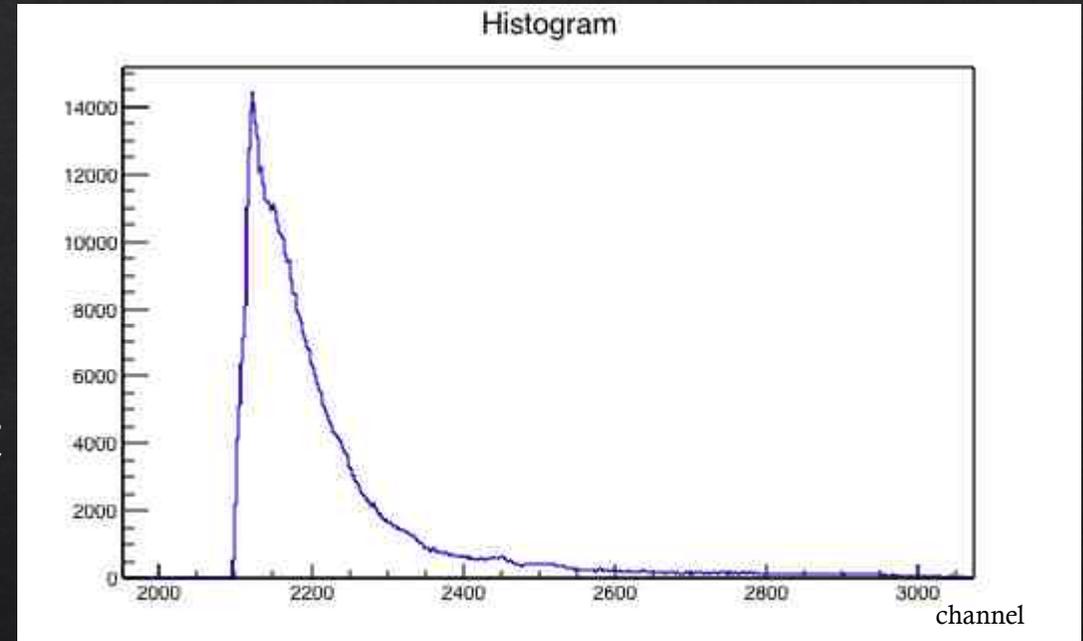
◇ $\theta=60^\circ$ での プラスチックシンチレータ と NaIシンチレータ のデータ

イベント数



phaMax(波高値)

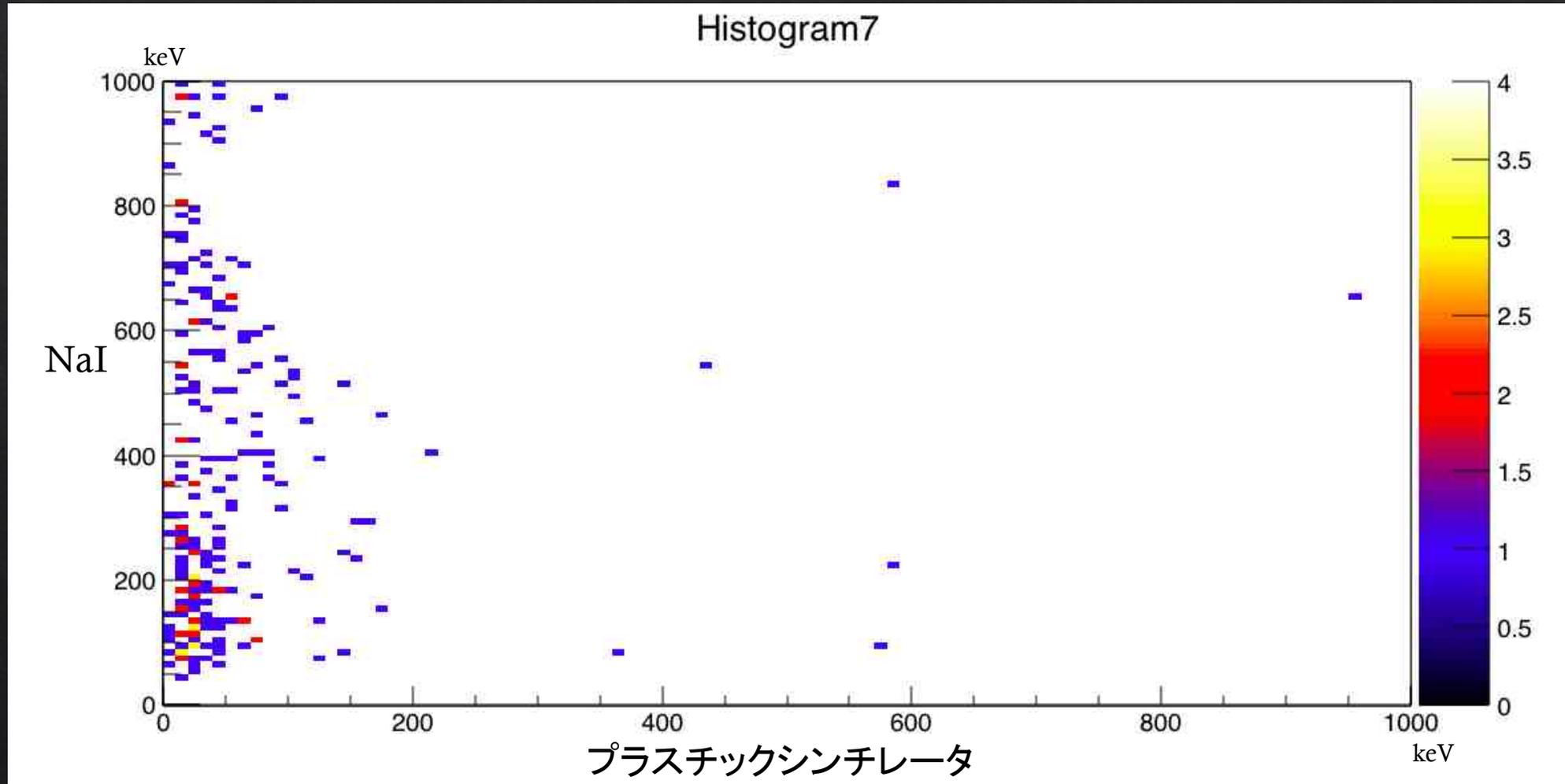
イベント数



phaMax(波高値)

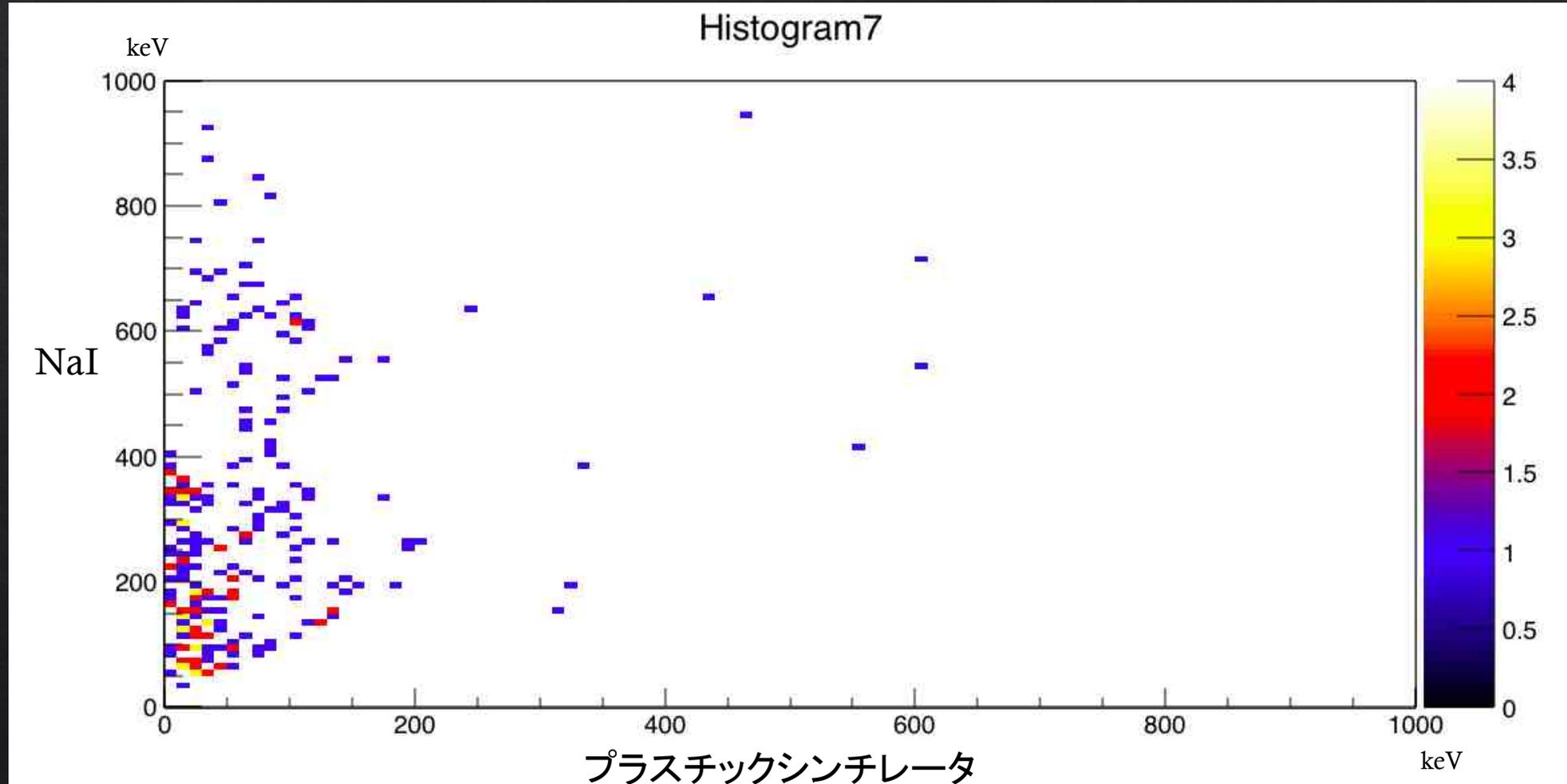
解析

- ◇ $\theta = 30^\circ$ のときコインシデンスを取った2次元ヒストグラム



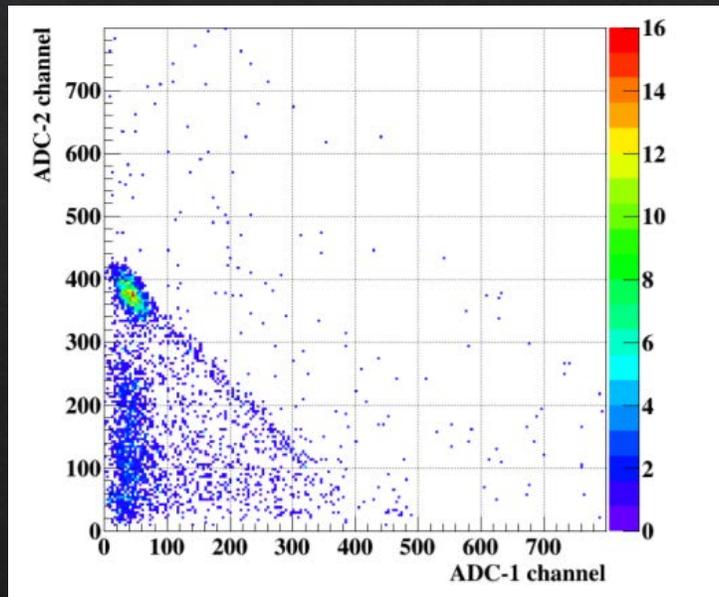
解析

- ◇ $\theta = 60^\circ$ のときコインシデンスを取った2次元ヒストグラム

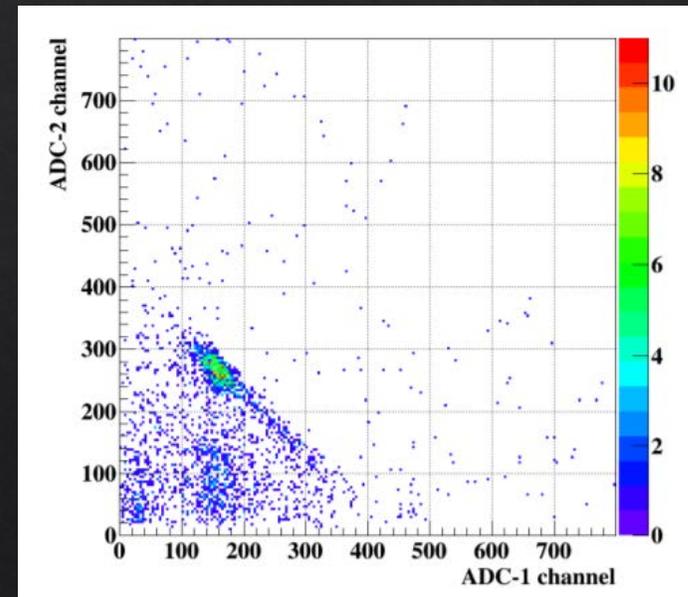


解析

- ◇ 10時間ではイベント数が少なすぎるのが分かった
- ◇ 取りたかったのはこんなデータ



$\theta = 30^\circ$



$\theta = 60^\circ$

考察

- ◇ 10時間の測定で確率的にコンプトン散乱がNaIシンチレータで光電吸収される γ 線の数は約25個である
しかし、観測されたコインシデンスの数は250~300個である
この中には偶然同時計測も含まれていたり、コインシデンス幅に広さを持たせた(± 300 ns)ゆえに同時でない観測も同時とみなしてしまった可能性がある
- ◇ シンチレータに物理的な厚み・幅があるため正確な散乱部、吸収部は分からないので θ を求めたとしても正確な線源の位置特定は難しい(geometryの揺らぎ)
- ◇ プラスチックシンチレータはNaIに比べて光量が少なく、エネルギー分解能が良くないので2次元ヒストグラムでデータがずれる可能性がある

まとめ

- ◇ GROWTH-DAQボードは多チャンネルで高速ADCをかけることができた
- ◇ そのことによりコンプトンイベントの同時計測をすることができた(一応)
- ◇ しかし、 θ を描くには統計的にイベント数が少なすぎるので
もっとイベント数を増やすために
測定時間を10時間から大幅に増やす必要があることが分かった

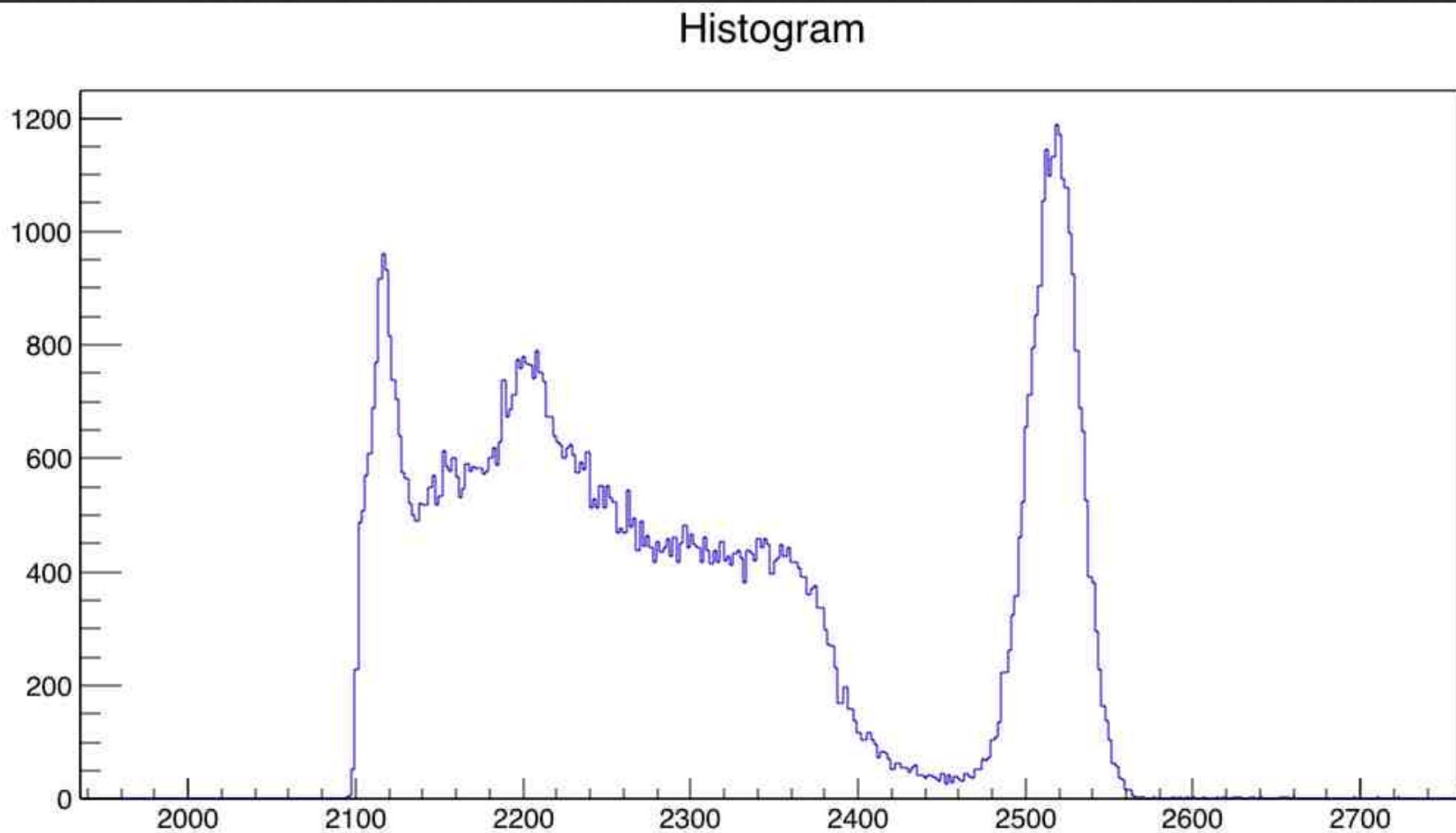
謝辞

- ◆ 田中先生・鶴先生・内田先生・高田先生といった宇宙線研究室の担当教員の方々や、実験に際し様々な準備を手伝っていただいた院生の方々、本当にありがとうございました。

ご清聴ありがとうございました

Csキャリブレーション用

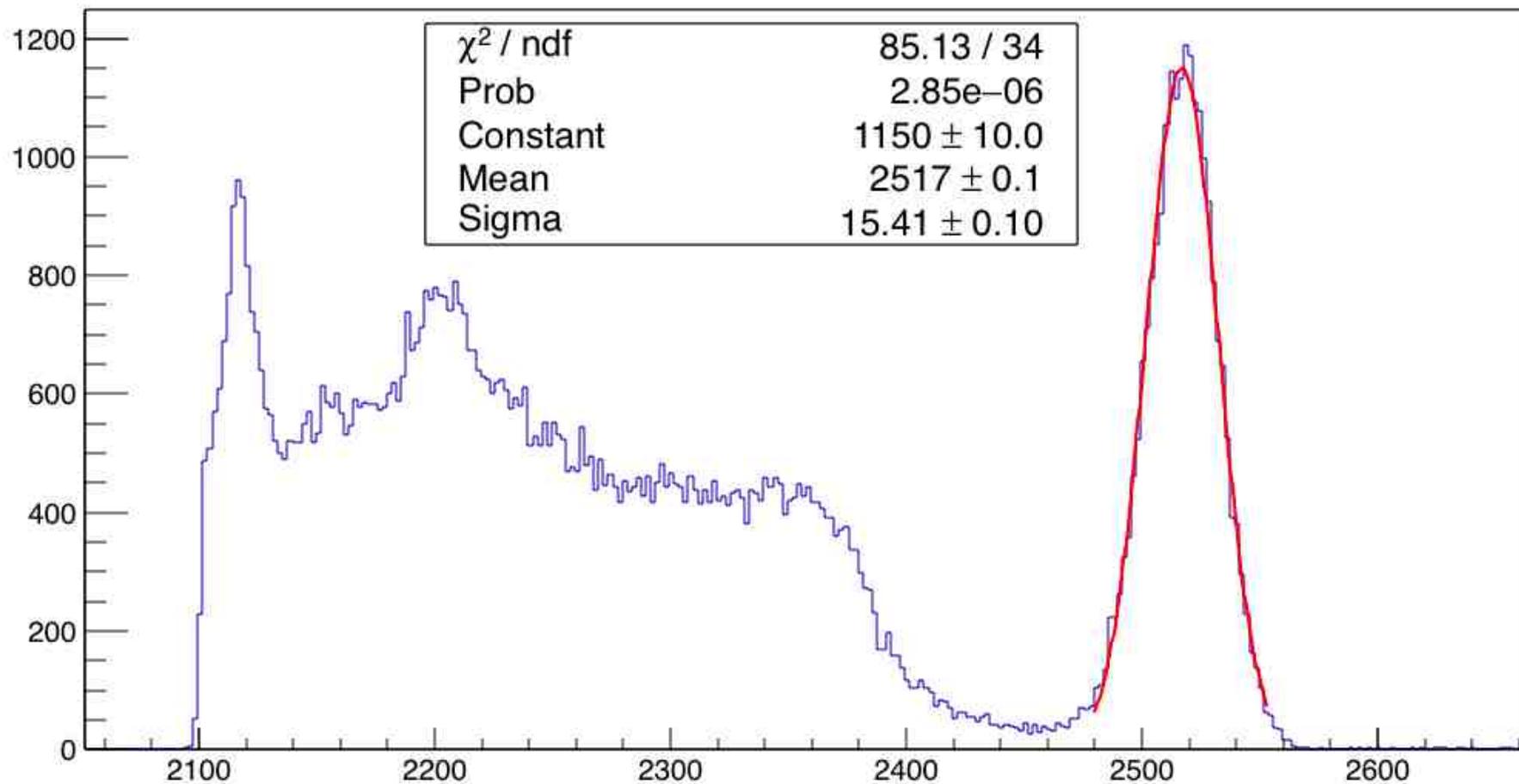
◇ NaI



Csキャリブレーション用

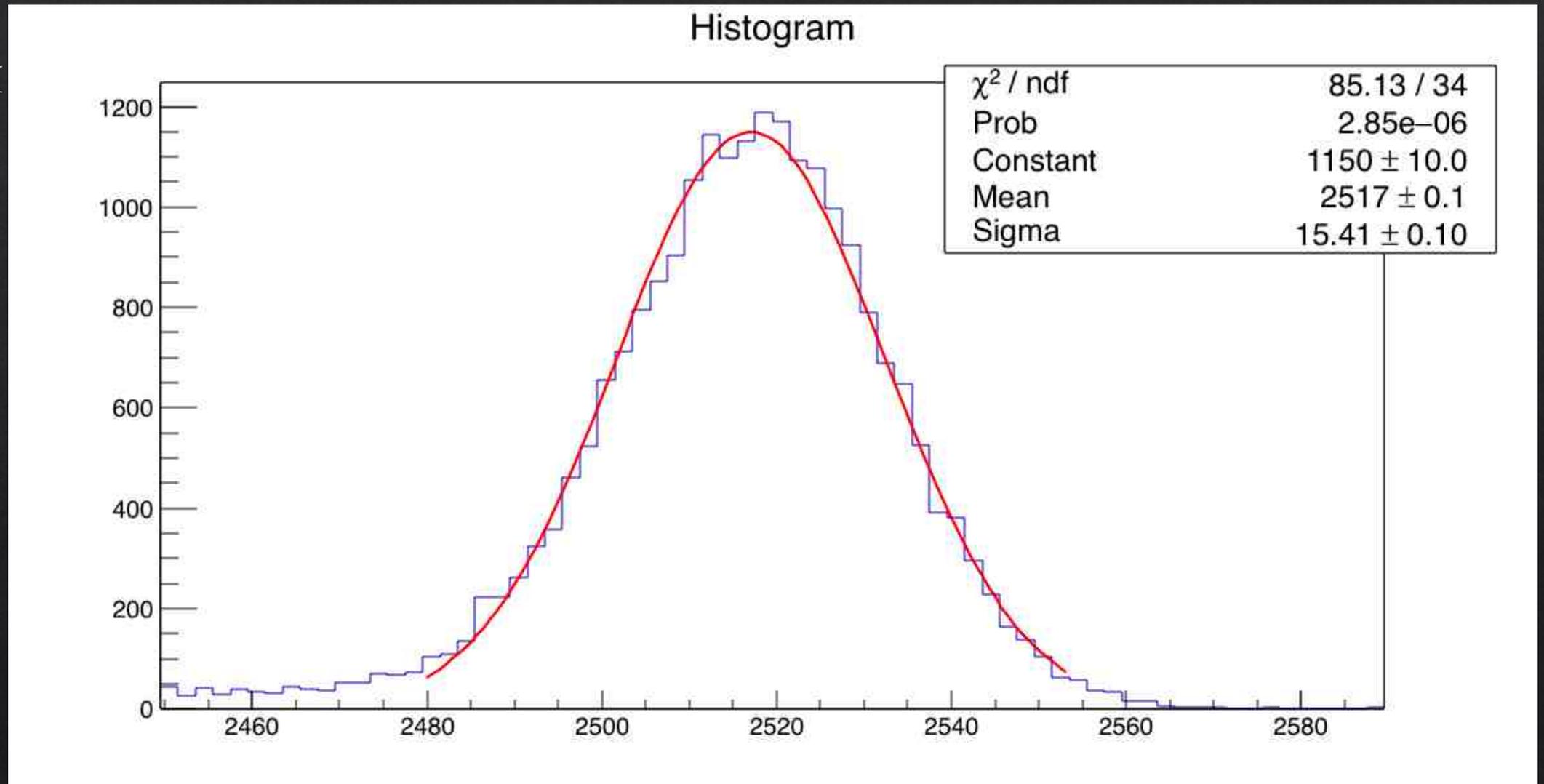
◇ NaI

Histogram



Csキャリブレーション用

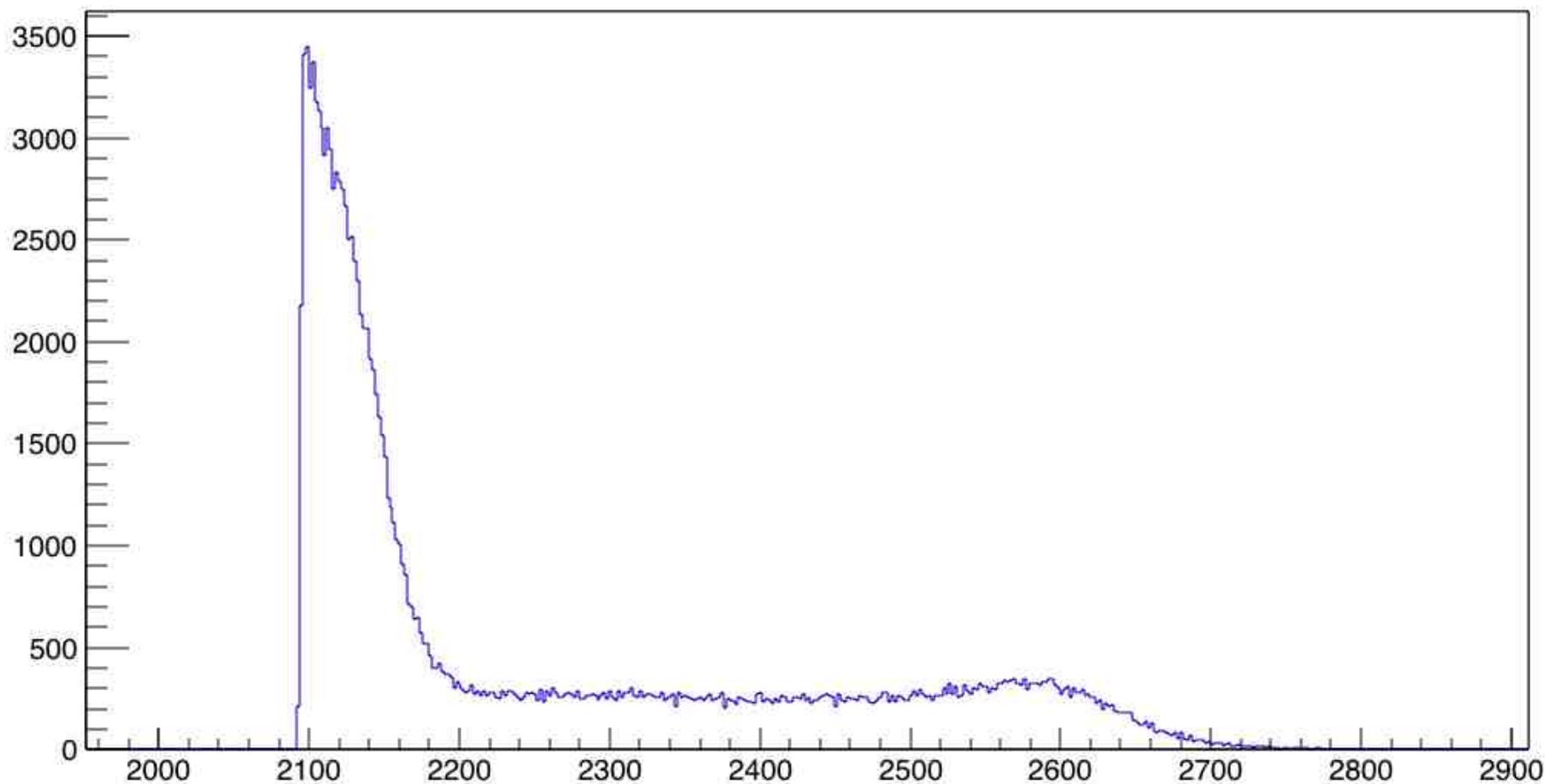
◇ NaI



Csキャリブレーション用

◇ プラシ

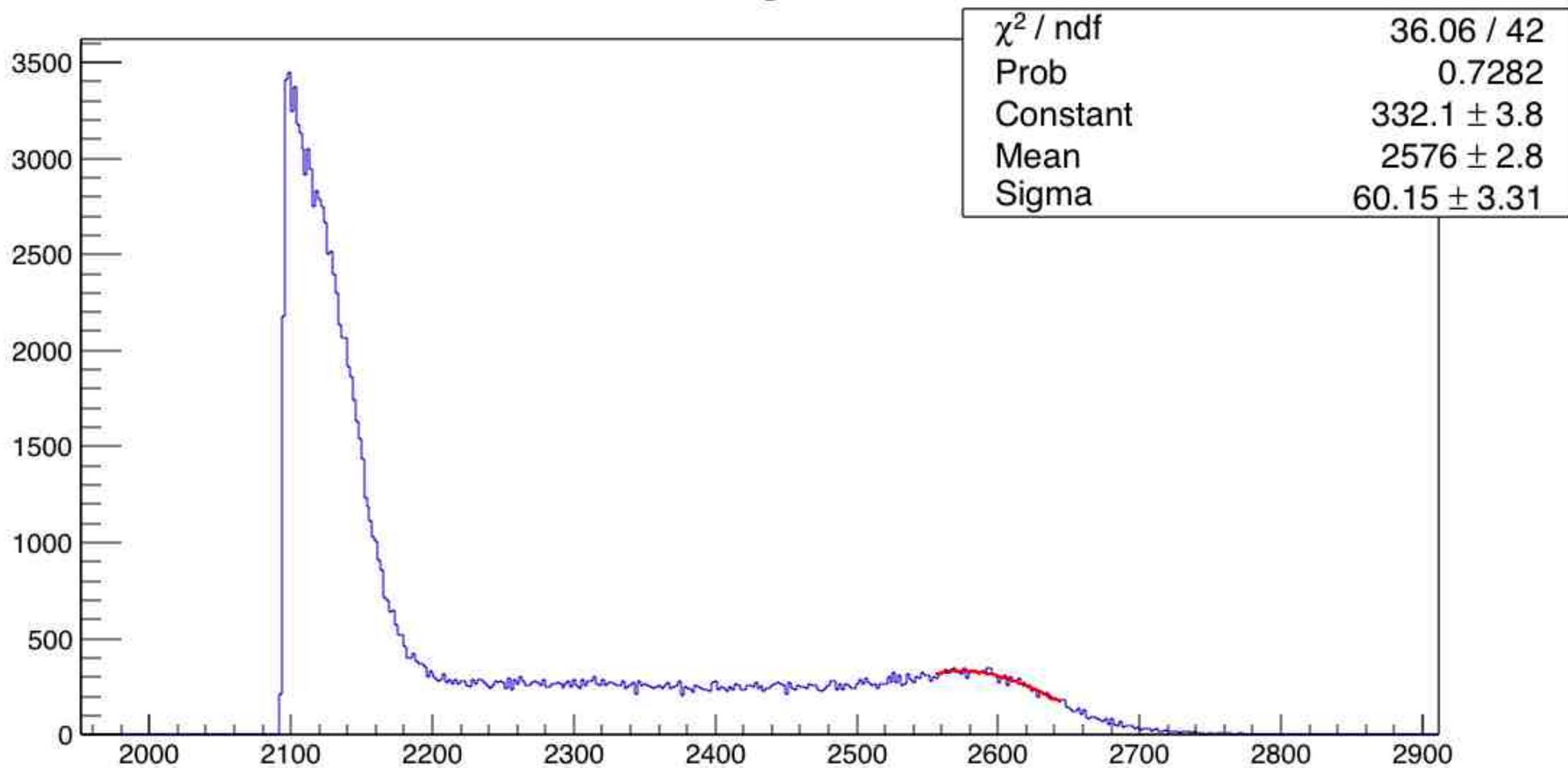
Histogram



Csキャリブレーション用

◇ プラ
シン

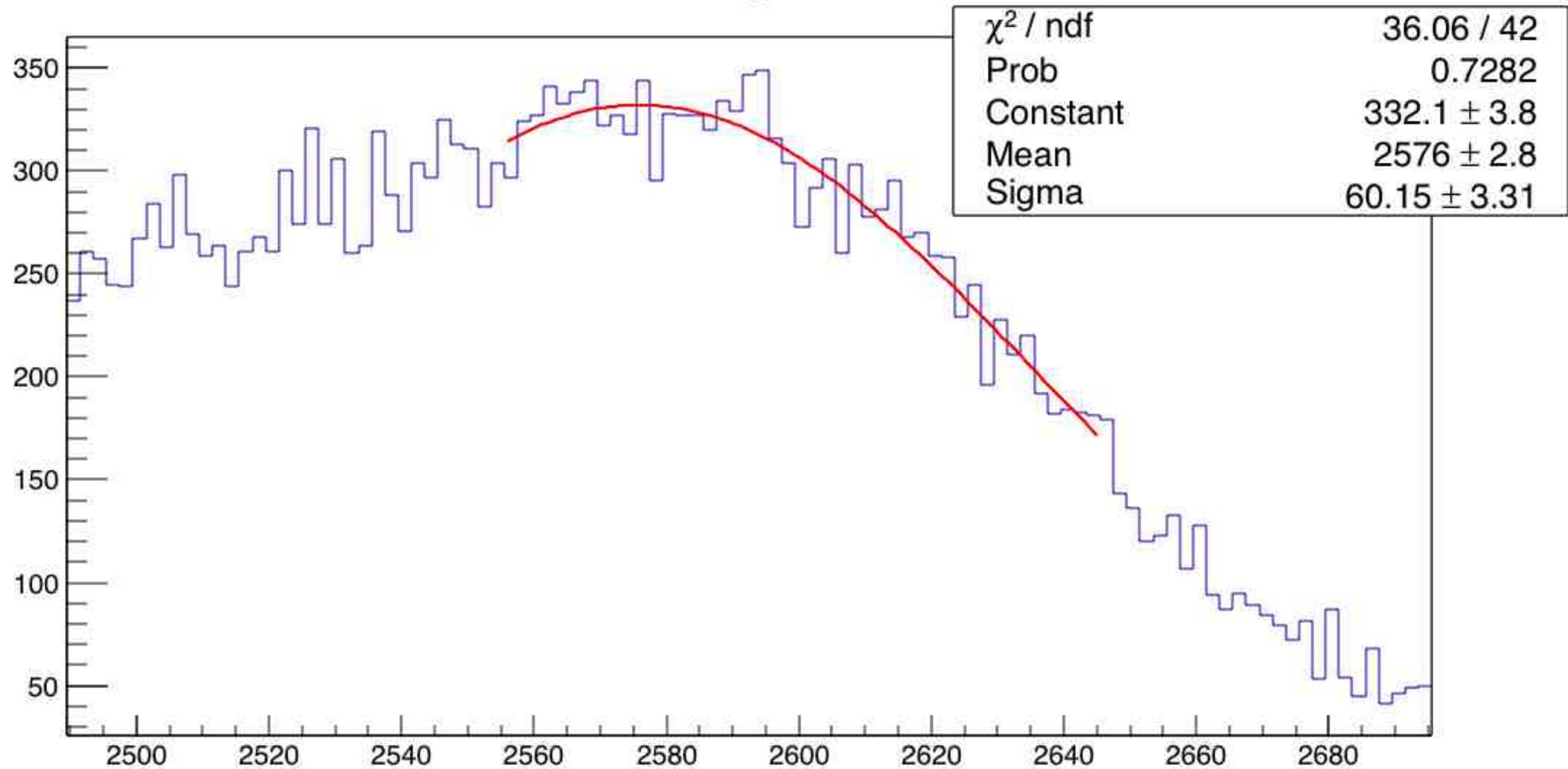
Histogram



Csキャリブレーション用

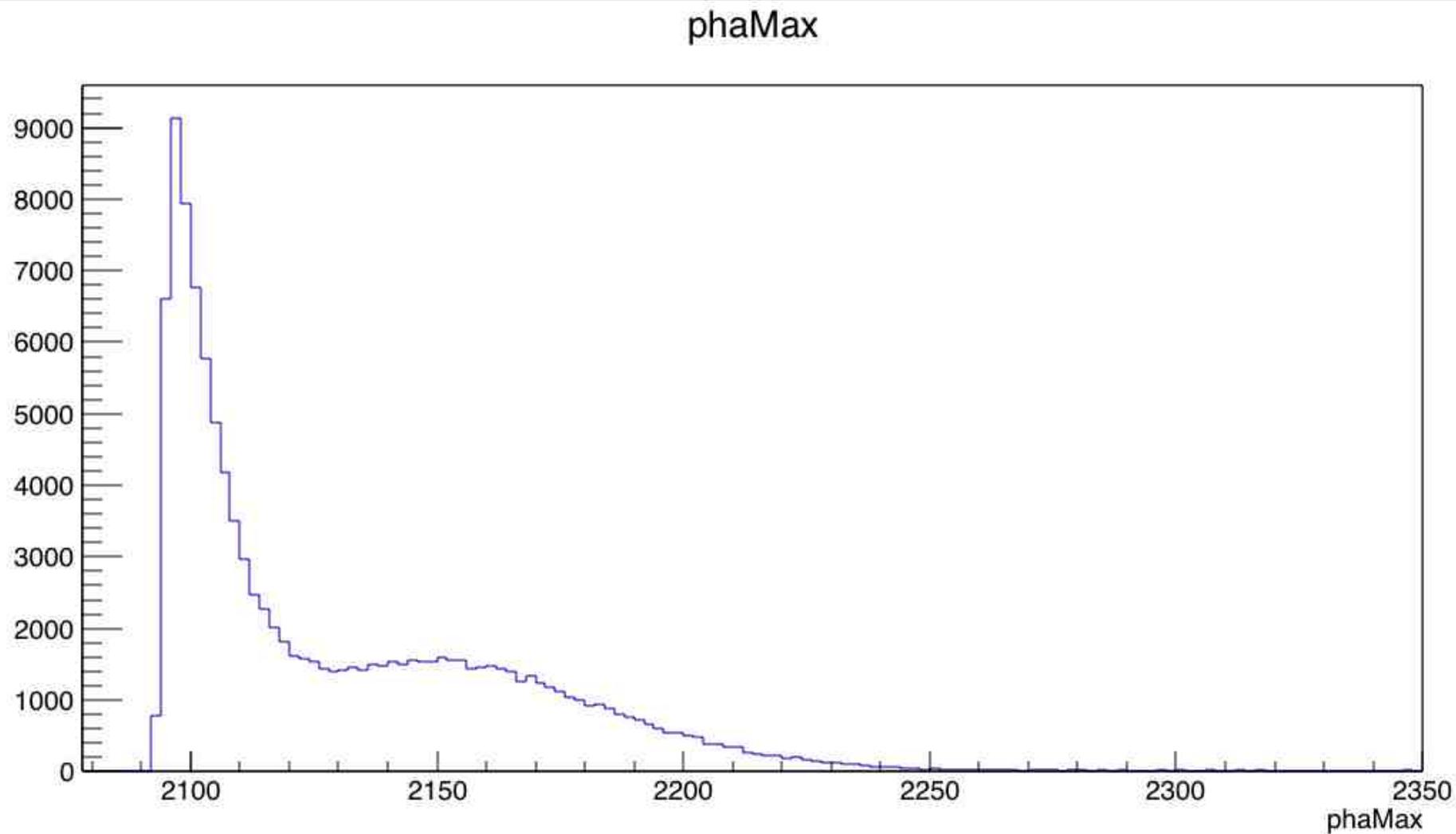
Histogram

◇ プラシ



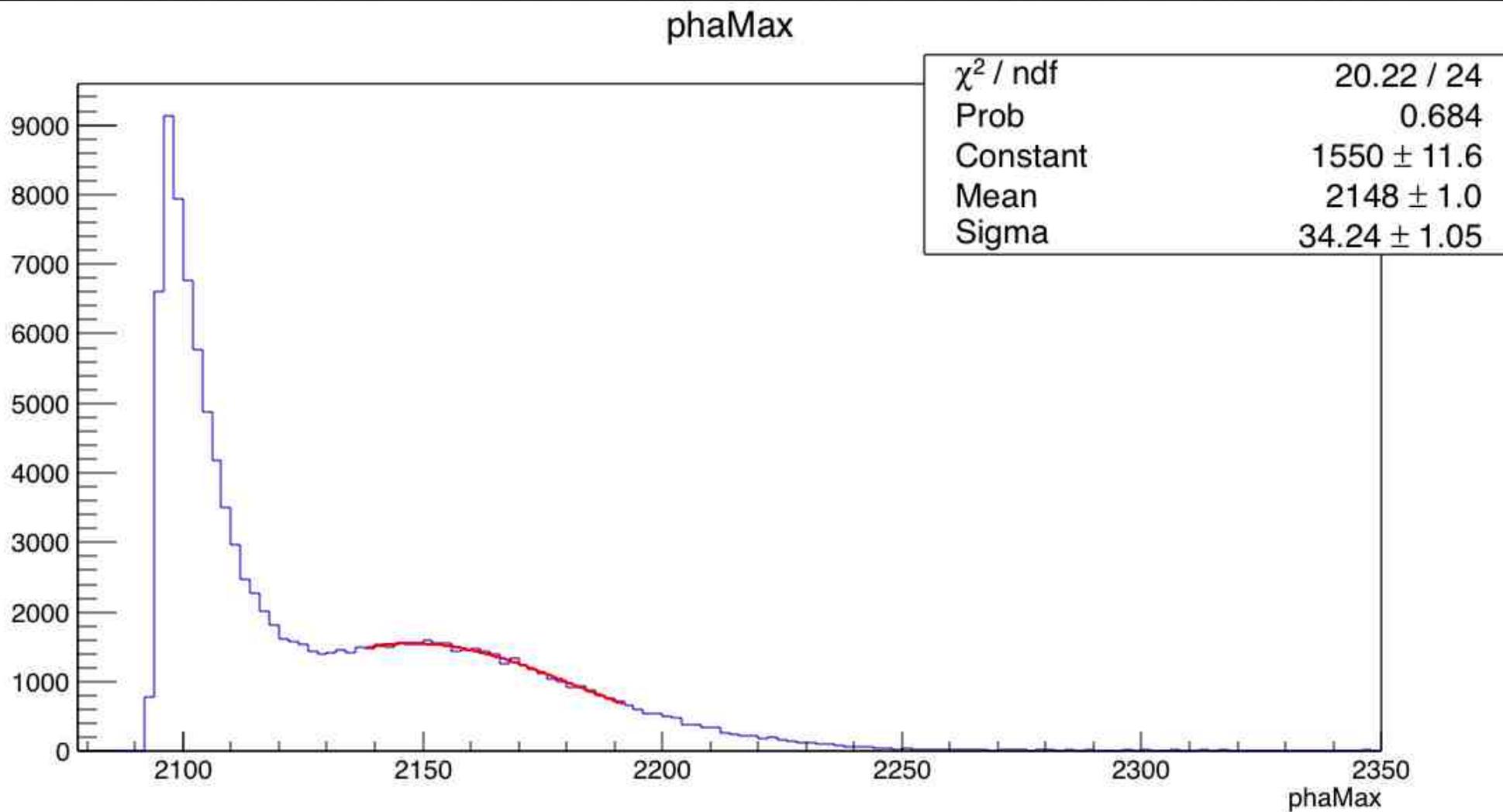
Amキャリブレーション用

◇ プラ
シン



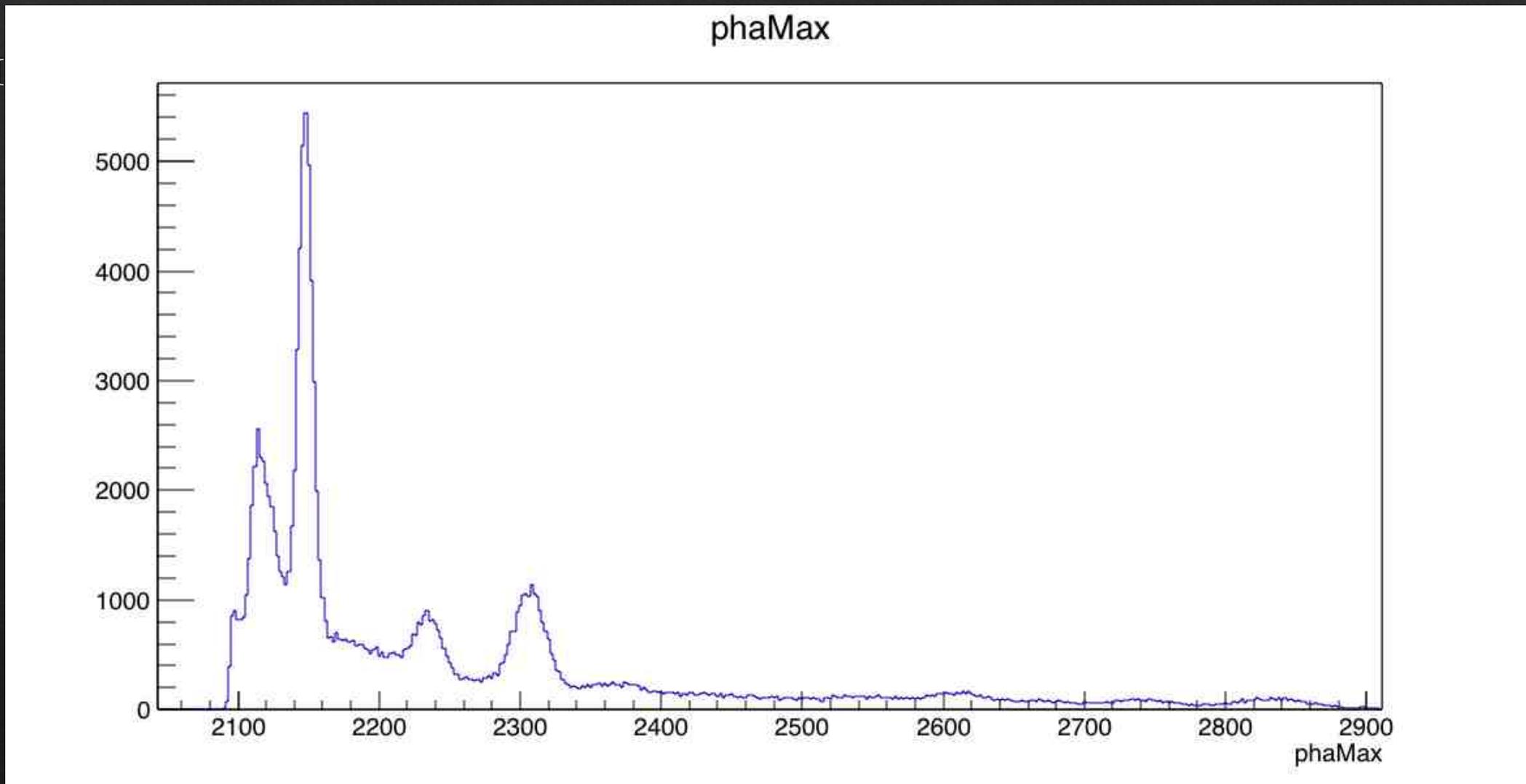
Amキャリブレーション用

◇ プラ
シン



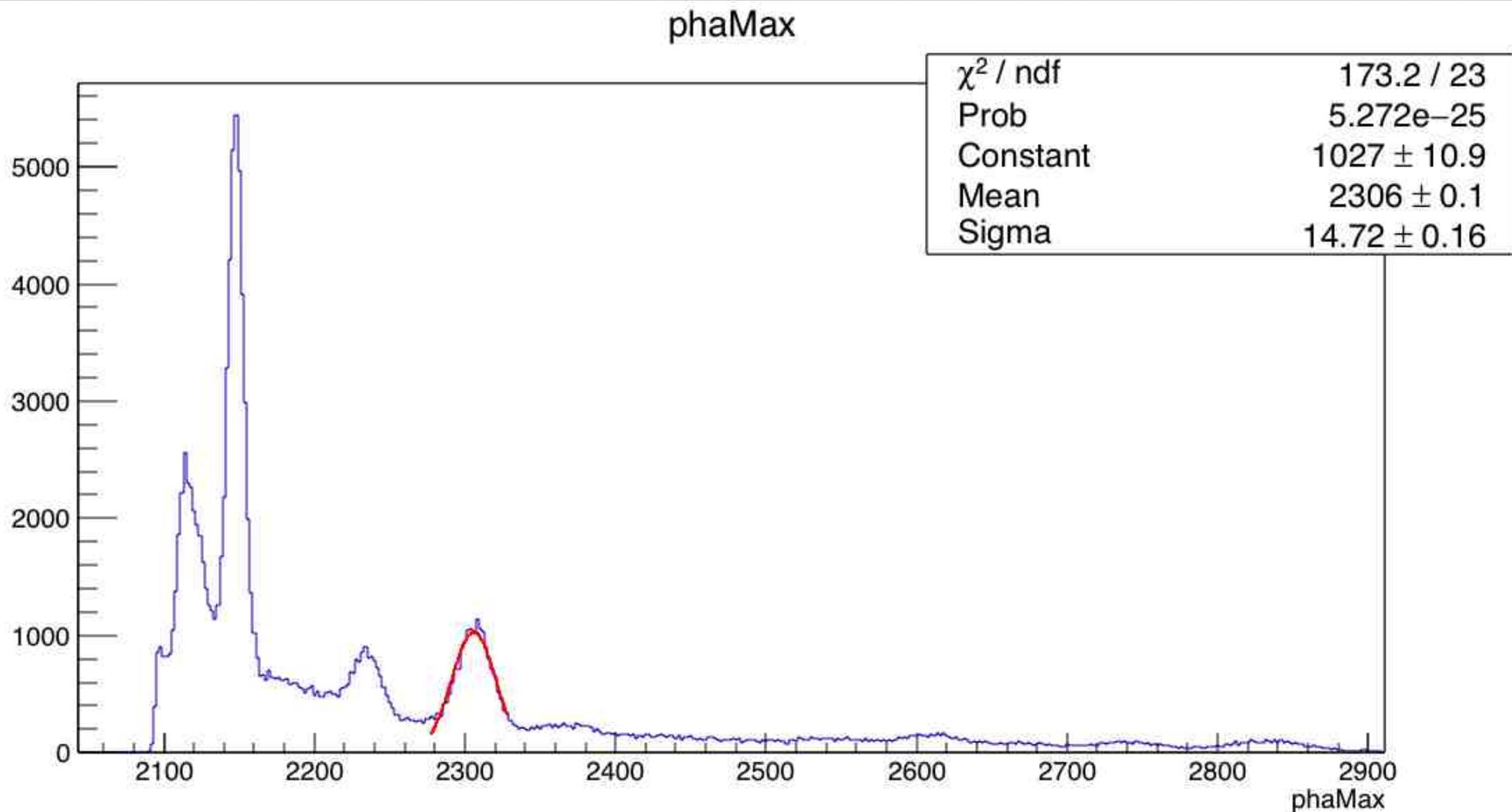
Euキャリブレーション用

◇ NaI

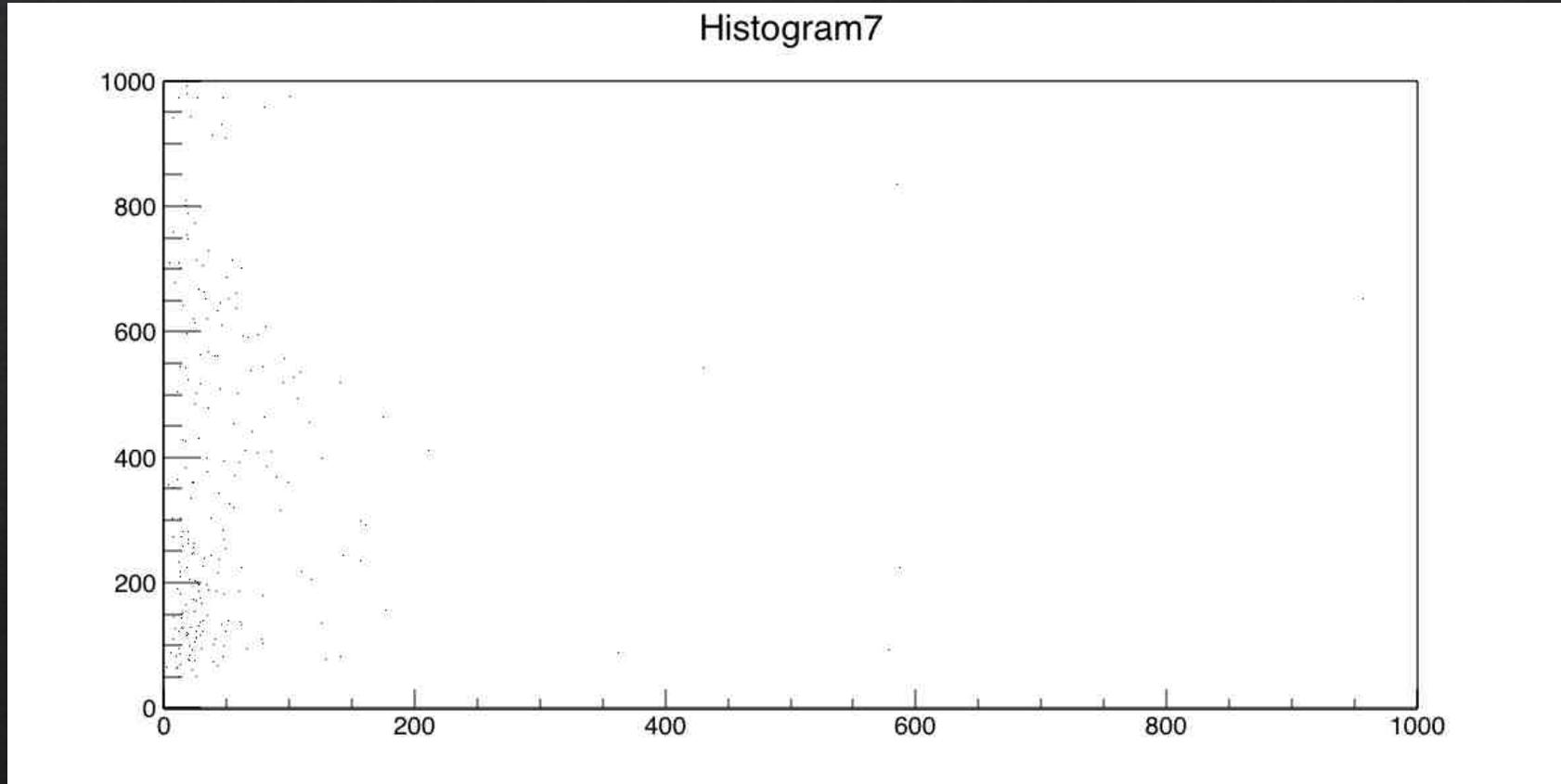


Euキャリブレーション用

◇ NaI



2次元ヒスト $\theta=30$



2次元ヒスト $\theta=60$

