

# Compton散乱の検証

奥村亮輔 栗林裕太 定光虎太郎 福田大樹 古市智滉 松永大

# 実験の目的と結果

- Compton散乱のエネルギーの角度依存性を検証する。  
納得のいく結果が得られた。
- Klein-Nishinaの公式を検証する。  
部分的に検証できた。

# 理論

- Compton散乱→電子と光子（放射線）の相互作用により散乱現象
- Point 散乱された光子のエネルギーの角度依存性  
微分散乱断面積（実験室系）
- エネルギーの角度依存性→四元運動量保存則
- 微分散乱断面積→Klein-Nishinaの公式

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\alpha^2}{2m^2} \left(\frac{\omega'}{\omega}\right)^2 \left(\frac{\omega'}{\omega} + \frac{\omega}{\omega'} - \sin^2 \theta\right)$$

# エネルギーの角度依存性

- 運動をxy平面のみで考えて、 $k=(\omega, \omega, 0)$ ,  $p=(m, 0, 0)$ ,  
 $k'=(\omega', \cos \theta \omega', -\sin \theta \omega')$  として、四元運動量保存則を使えば  
 $p'=k-k'+p$  となる。
- ここで、 $p'$ が質量殻上に存在することを使えば、 $kk'+k'p-kp=0$

$$\text{より } \omega' = \frac{\omega}{1 + \frac{\omega}{m}(1 - \cos \theta)}$$

# 微分散乱断面積 Klein-Nishinaの公式

- ファインマンダイアグラムを書く



- ファインマンルールで不変散乱振幅を計算して、**電子のスピンと偏光についてそれらを平均する**
- こうして求めた重心系での微分散乱断面積を実験室系に直す

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\alpha^2}{2m^2} \left(\frac{\omega'}{\omega}\right)^2 \left(\frac{\omega'}{\omega} + \frac{\omega}{\omega'} - \sin^2 \theta\right)$$

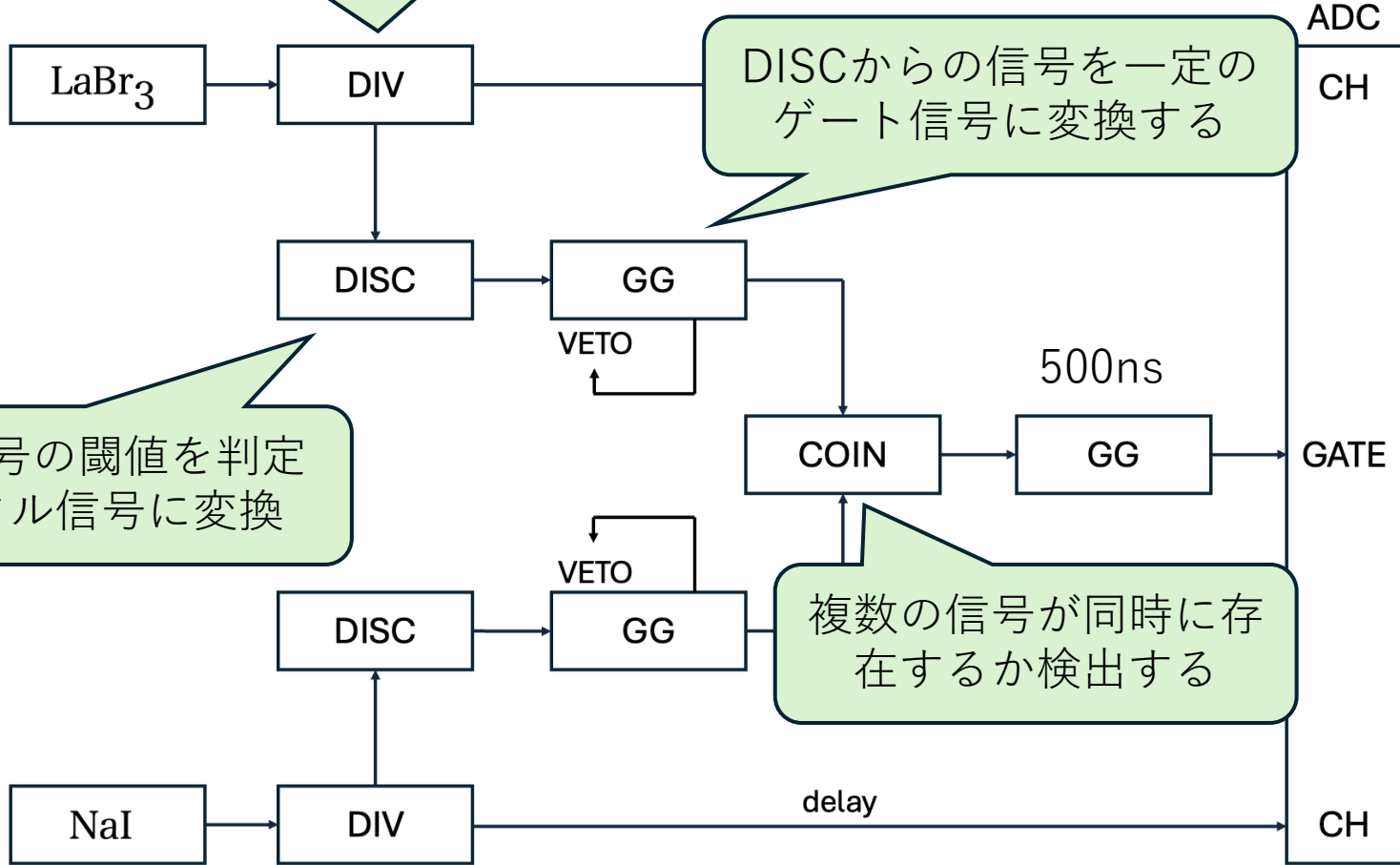
- これに $\omega'$ を代入すれば、角度のみに依存する微分散乱断面積が得られる

# 実験器具

- LaBr3シンチレーター：-1550Vで使用
- NaIシンチレーター：1450Vで使用
- 線源：Co60とCs137
- 鉛塊：放射線の遮蔽
- オシロスコープ：回路が正しく組めているかの確認
- モジュール：シンチレーターからの信号を記録する
- 延長コード：信号がモジュールに届くまでの時間を長くする

# モジュールの構成

入力と同じ信号を2つに分けて出力する

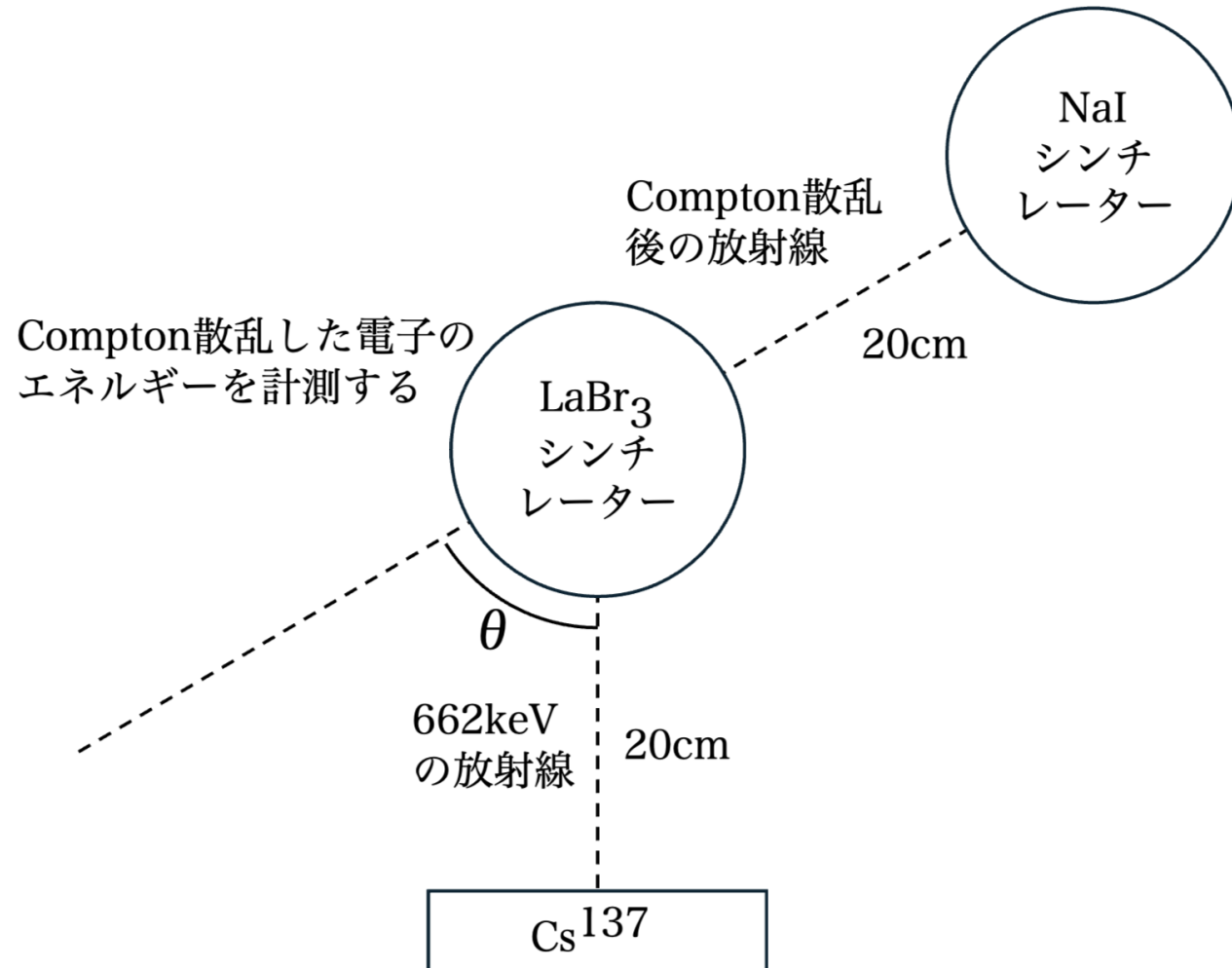


アナログ信号の閾値を判定し、デジタル信号に変換

$\text{DISC}$ からの信号を一定のゲート信号に変換する

複数の信号が同時に存在するか検出する

# 実験器具の配置



# 実験方法

- 計測前にオシロスコープでGGからの信号範囲内にNaIとLaBr3シンチレーターからの信号が含まれているか確認する。

- キャリブレーション

ADCが計測するのは光子や電子のエネルギーなので、いくつかの既知のエネルギーを測定し、対応関係を求める。(4000)

- Compton散乱

2つのシンチレーターに同時に信号が来る設定で、 $10^\circ$  から  $150^\circ$  まで  $10^\circ$  刻みで測定し、それまでの時間も測定した。

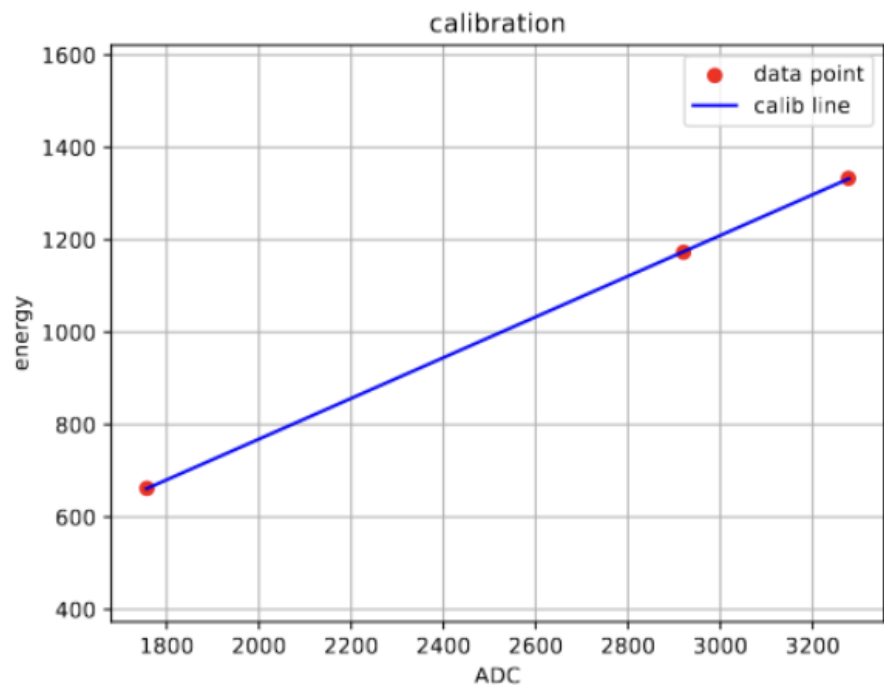


# 解析 キャリブレーション

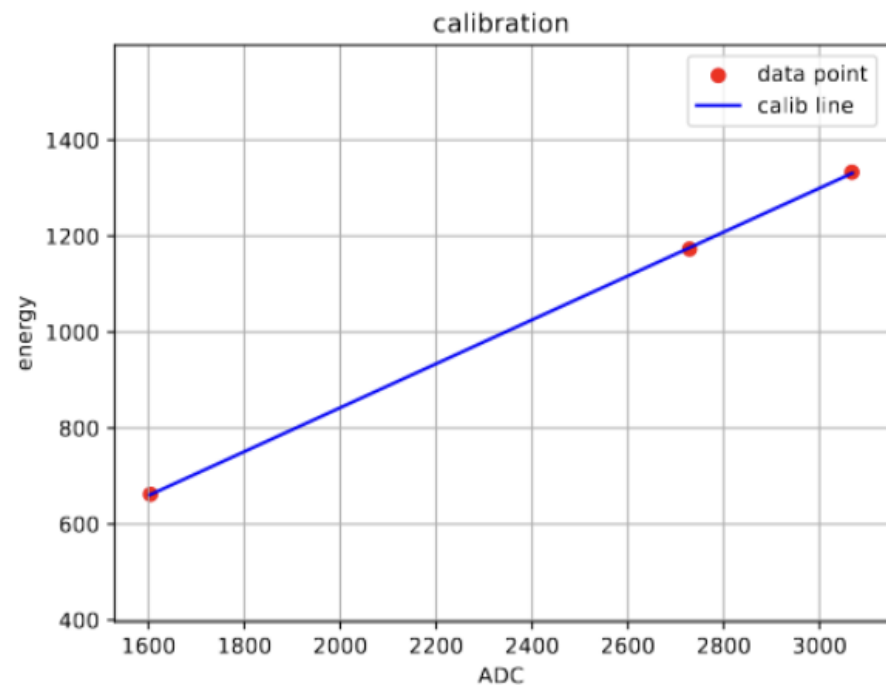
- Cs137:662keVとCo60:1173keV,1333keVのピークを既知とする。
- このピークをガウス関数でフィッティングする。
- このADCの値を横軸、既知のエネルギーの値を縦軸において、最小二乗法で傾きと切片を求めた。

シンチレータ	傾き a	切片 b
LaBr <sub>3</sub>	0.46±0.0013	-167.85±3.6
NaI	0.45±0.0048	-227.29±14

# 解析 キャリブレーション



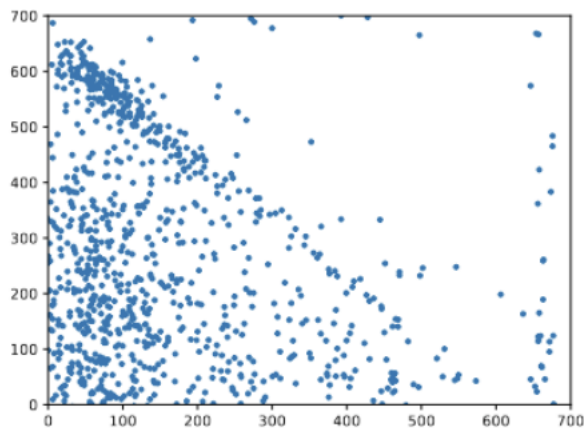
(a) NaI シンチレーター



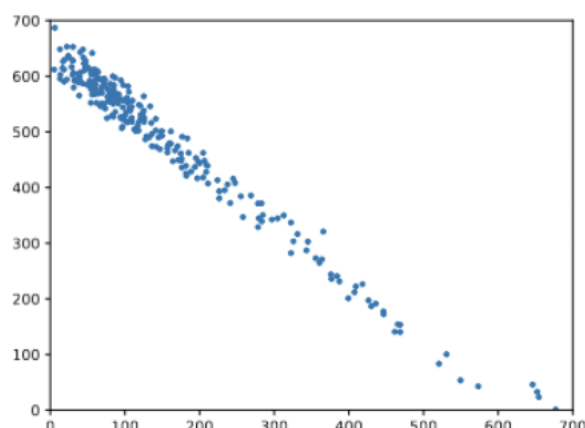
(b) LaBr<sub>3</sub> シンチレーター

# 解析 エネルギーの角度依存性

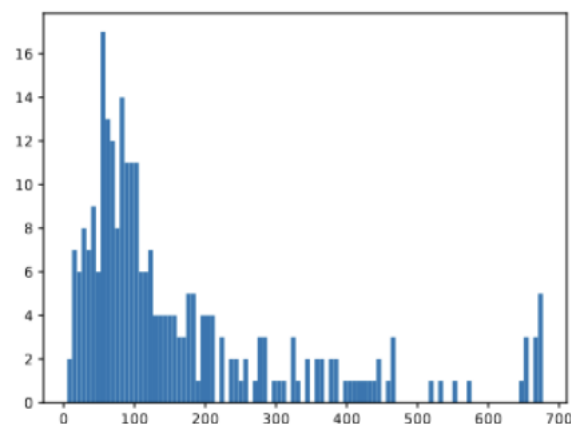
- 目視で和が一定の直線状にデータ点の集まった密度の高い部分を判別する。
- データからこの範囲を抽出する。
- このデータをヒストグラムにし、ガウス関数でフィッティングして、角度ごとにシンチレーターに落とすエネルギーを求めた。



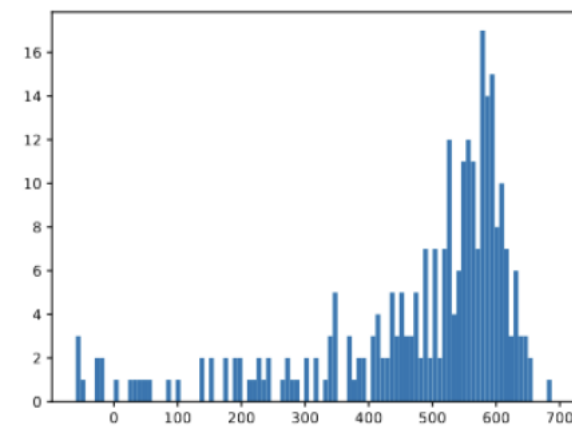
(a) 元の散布図



(b) コンプトン散乱の散布図



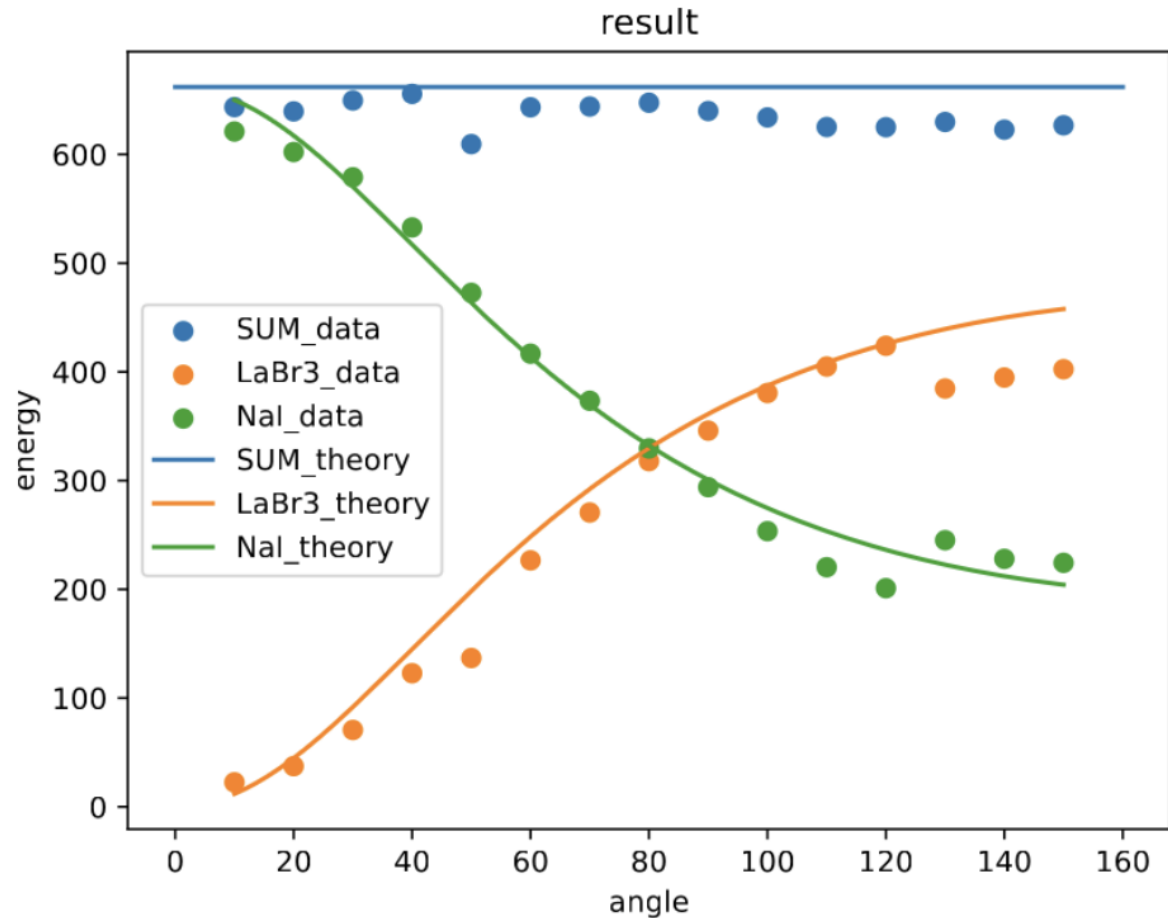
(c) LaBr<sub>3</sub>



(d) NaI

# 解析 エネルギーの角度依存性

散乱角 (°)	LaBr <sub>3</sub> (keV)	NaI(keV)	エネルギー和 (keV)
10	4.86±3.63	621±15.4	626±19.0
20	27.7±3.67	606±17.3	633±21.0
30	81.2±3.71	574±16.3	655±20.0
40	125±3.73	519±14.9	644±18.6
50	182±3.75	458±14.3	640±18.1
60	228±3.75	411±14.3	640±18.0
70	271±3.75	373±14.2	644±17.9
80	318±3.76	330±14.1	648±17.9
90	346±3.75	294±14.1	640±17.8
100	381±3.77	253±14.1	634±17.9
110	405±3.73	220±14.1	625±17.8
120	424±3.75	201±14.1	625±18.1
130	385±4.76	245±14.4	630±18.1
140	395±4.77	228±14.4	623±18.1
150	431±4.12	203±14.2	634±17.9



# 解析 微分散乱断面積

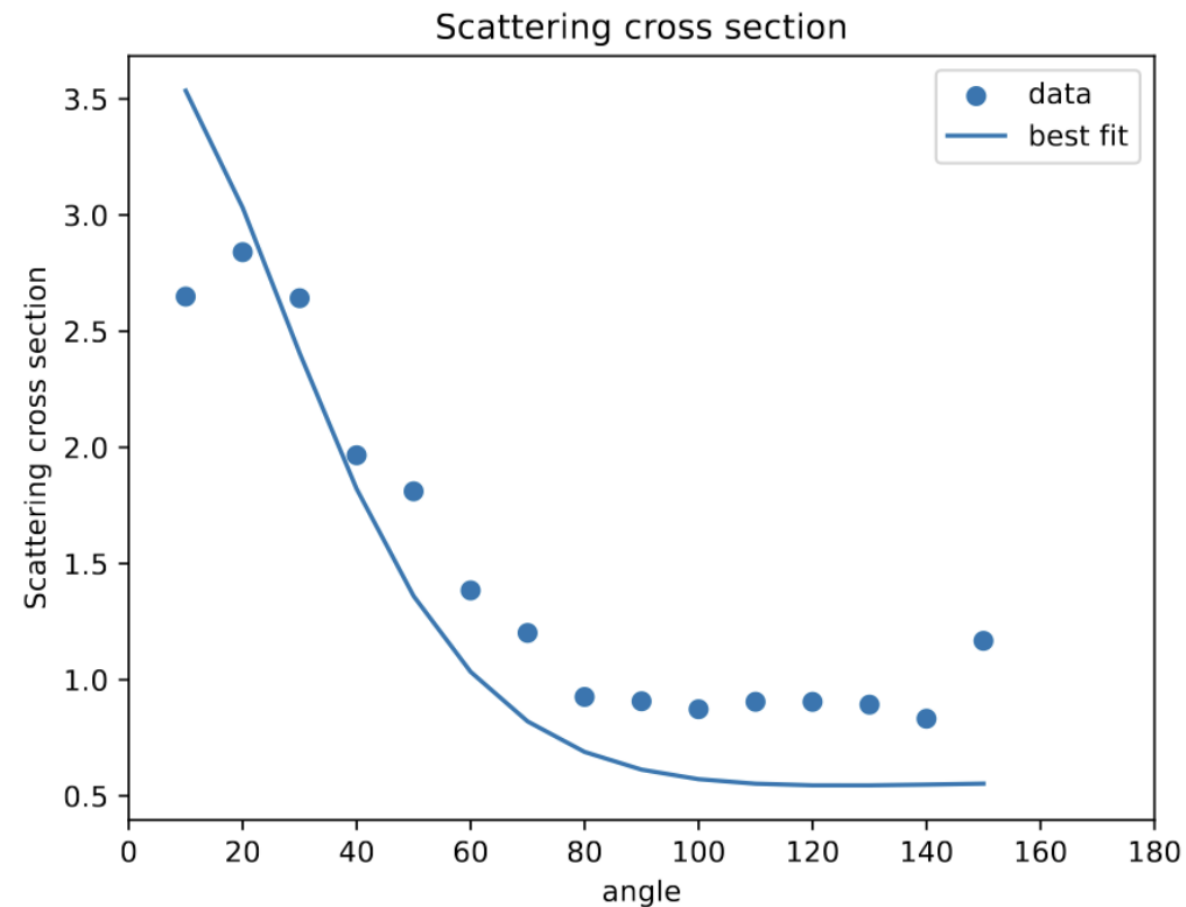
- コンプトン散乱として抽出したデータ点の数をN、計測時間をTとする
- $N/T \propto$  微分散乱断面積  
 $\propto$  比例定数  $\times$  クライン仁科の角度毎の公式

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\alpha^2}{2m^2} \left(\frac{\omega'}{\omega}\right)^2 \left(\frac{\omega'}{\omega} + \frac{\omega}{\omega'} - \sin^2 \theta\right)$$

- この比例定数を最小二乗法で求め、実験結果のグラフとフィッティングする

# 解析 微分散乱断面積

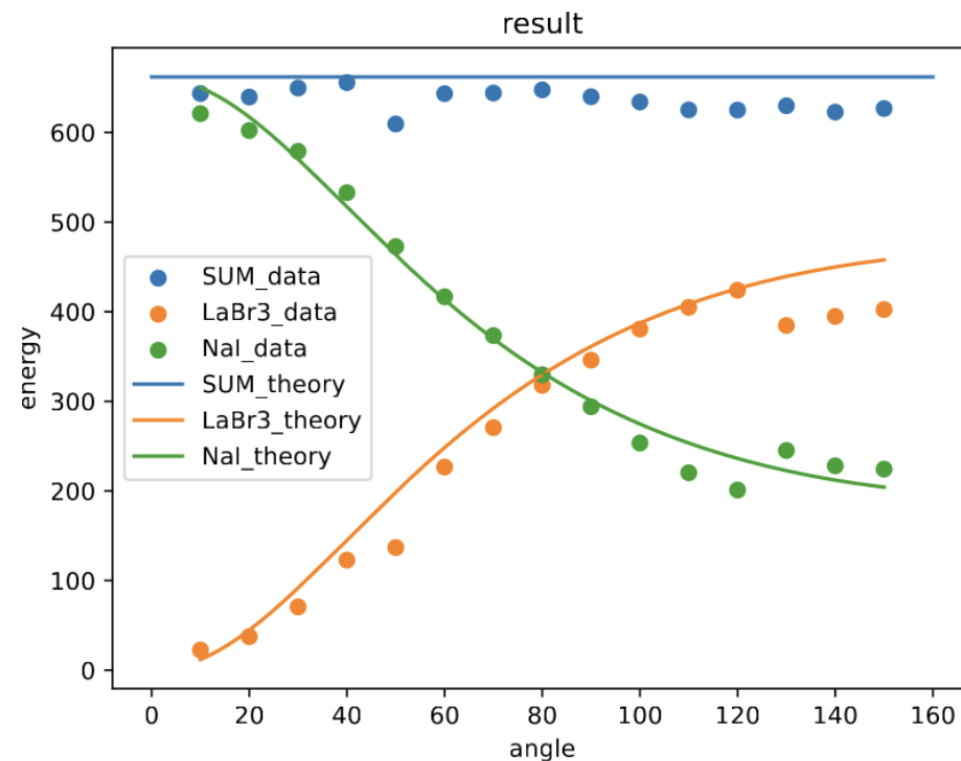
散乱角 (°)	データの個数 (回)	計測時間 (s)	微分散乱断面積に比例する値 (回/s)
10	551	208	2.65
20	551	194	2.84
30	465	176	2.64
40	405	206	1.97
50	402	222	1.81
60	371	268	1.38
70	358	298	1.20
80	312	337	0.926
90	313	345	0.907
100	316	362	0.873
110	314	347	0.905
120	332	367	0.905
130	374	419	0.893
140	337	405	0.832
150	300	257	1.17



# 考察 エネルギーの角度依存性

- 大まかには理論値曲線と同じふるまいをする結果が得られた

→コンプトン散乱現象を確認できた



# 考察 エネルギーの角度依存性

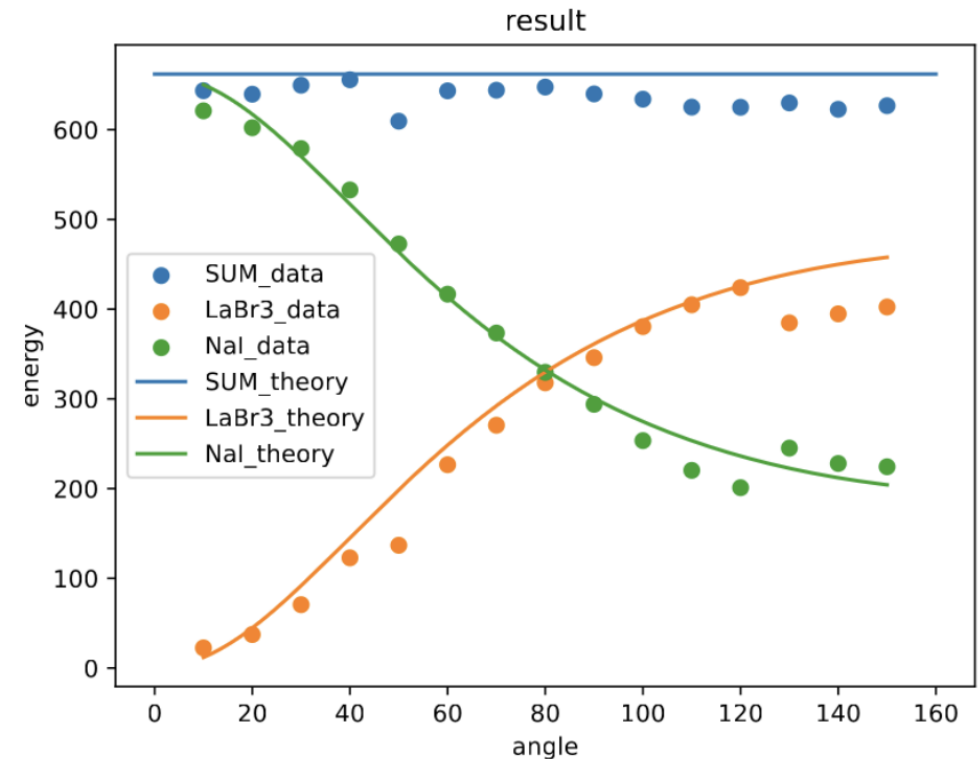
- エネルギー和が理論値よりも小さい

→ キャリブレーションの非線形性などが原因か

- $120^\circ$  と  $130^\circ$  の間には不連続に変化しているように見えるが、理由は分からなかった (→  $130^\circ$  以降を別日に測定したことが関係?)

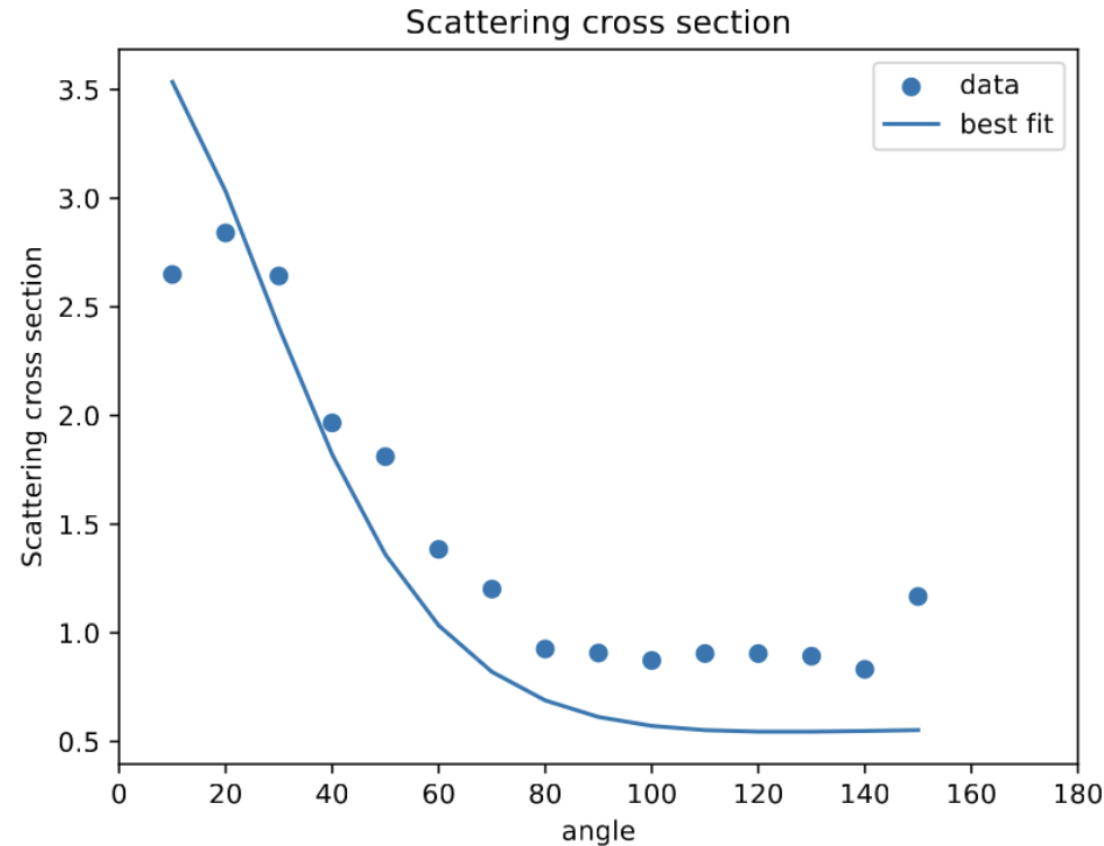
- NaIシンチレーターの誤差が大きい

→ キャリブレーション直線の切片の誤差が大きいから



# 考察 微分散乱断面積

- 角度大…微分断面積小  
小… 大の関係
- 理論値へのフィッティングからずれている  
→散乱角の振れ幅は  $\Delta \theta \sim R/L$  であるので、20cmでは短い  
加えて、計測数が少なく誤差が大きくなる要因もある



# 考察 微分散乱断面積

## 他に考えられるずれの原因

- NaIシンチレータでは入射してきた光子をすべて検知できるわけではない  
→ 実際より少なくカウントしている
- コンプトン散乱しているとみなして抜き出したデータ点の中にも、そうでないデータ点が混じっている(背景放射線)

# 結論

- エネルギー和が全ての角度で同程度に理論値より小さくなったので、Compton散乱が起きていることが確認できた。
- Klein-Nishinaの公式については角度が大きいたころが微分散乱断面積が小さく、角度が小さいところで大きくなっていることが検証できた。理論値とずれてしまったが、計測数と距離のためだと考えられる。