

# MIPピーク位置の決定精度向上と時間 変化についての研究

2025/1/15 NWU M1 石垣 優衣

@立教ワークショップ

# 目次

1. 研究背景
2. 進捗
  - ① フィットの改善
  - ② 時間変化の確認
3. まとめ

# 1.研究背景

# MIPピーク解析について

[テーマ]ppデータを用いたMIPピーク位置の時間変化の研究

FPHXチップにかかる放射線ダメージがシリコンセンサーの空乏層をfullにするために必要なバイアス電圧を増やす。

Run24で行われたpp衝突では、INTTのバイアス電圧は一定(100V)。放射線ダメージが大きければMIPピーク位置が下がるはず。

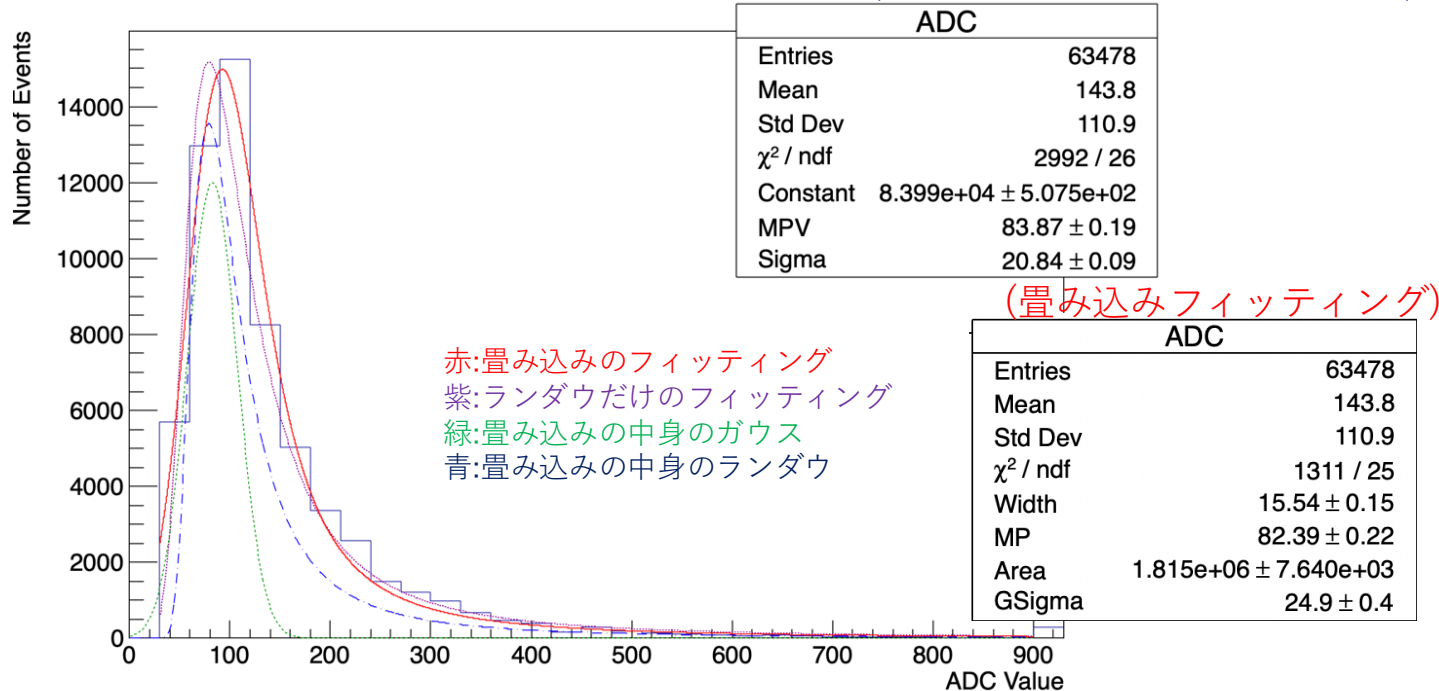
[現状の進捗] ワークショップ中にADC分布に対してMIPピーク位置の決定精度を上げるために、セカンドピーク、サードピーク(閾値以上の信号を捨てることでおこるヒット数が極端に多いピーク)のカットを行いフィッティングを行った。

その後、ランダウとガウスの畳み込み積分を用いたフィッティングコードを改善した。現在は2024年5月～8月までのデータを用い、放射線によってFPHXチップの劣化が起こっているのかを調べている。

## 2.1 フィットティングの改善

# 2-1.フィッティングの改善

ADC Distribution (80 < theta < 90) (ランダウだけのフィッティング)



[ワークショップでの課題]

Roofitのコードを用いてフィッティングを行ったが、 $\chi^2/\text{ndf}$ の値をうまく算出できず、フィット精度の比較が難しかった。

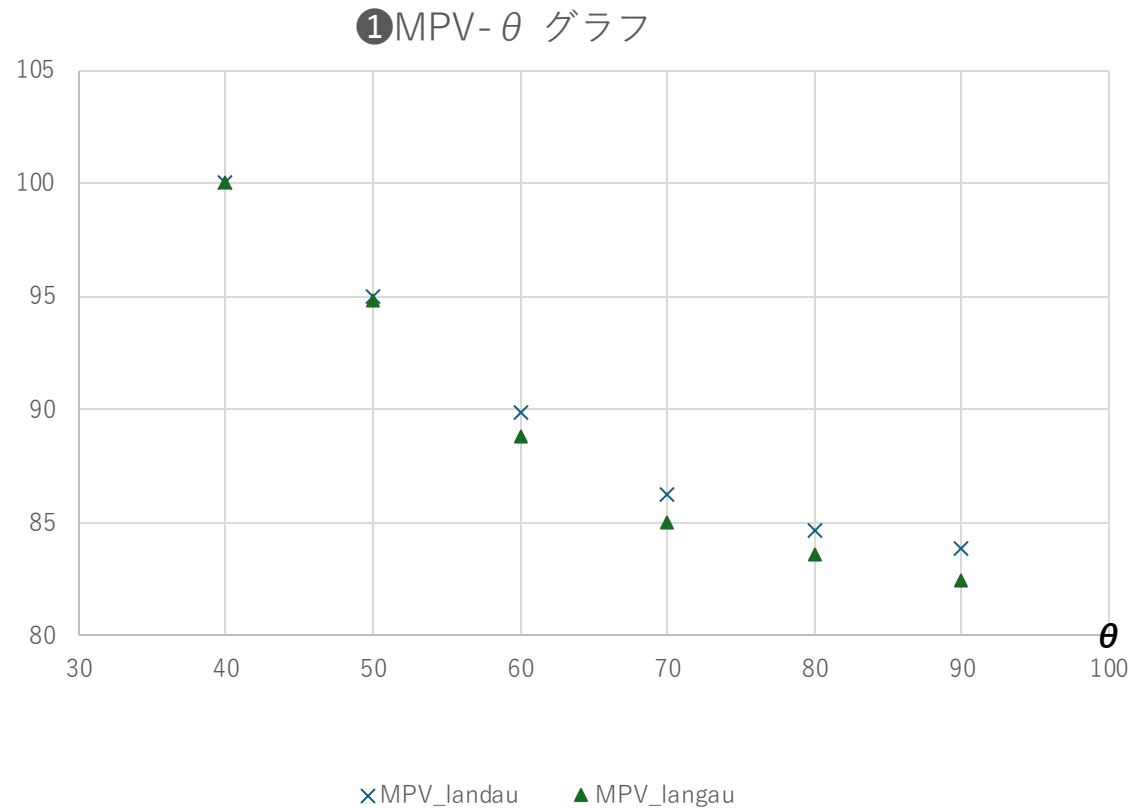
→rootが提供しているチュートリアルコードを用いてフィットをやり直した。コードの中でランダウ、ガウスの関数を定義し、畳み込みのフィッティングをした。

[結果]

ランダウのみのフィットとの比較を行った。畳み込みのフィットはピークが右にシフトしている。

# MIPピーク位置の角度依存性

MIPピーク



	landau	lan+gau
$30 < \theta < 40$	100.03	100
$40 < \theta < 50$	94.95	94.82
$50 < \theta < 60$	89.83	88.78
$60 < \theta < 70$	86.23	85.03
$70 < \theta < 80$	84.61	83.54
$80 < \theta < 90$	83.87	82.39

- ・ MIPは荷電粒子が通過した時のエネルギー損失量が最小になる粒子のこと。
- ・ 単位長さあたりのエネルギー損失 $\Delta E/\Delta x$ は、トラッキングに用いた $\theta$ が小さい程、飛行距離が長く、MIP値が大きい。
- ・ 結果として $\theta$ が小さい時MIP値が大きくなる様子が見られた。

# フィットの比較とMIPピーク値の考察

## ② $\chi^2/\text{ndf}$ 値を $\theta$ のカット毎に比較

	Lan+gau	Landau
$30 < \theta < 40$	42	392
$40 < \theta < 50$	50	300
$50 < \theta < 60$	68	235
$60 < \theta < 70$	49	141
$70 < \theta < 80$	46	120
$80 < \theta < 90$	52	115

- 畳み込み積分を用いたフィットの方が $\chi^2/\text{ndf}$ の値が低い。
- 1に近い程精度が良いが、カイスクエア/ndf値の値が大きいのが気になる。
- ランダウのみのフィットより、畳み込みのフィットの方が精度が良い

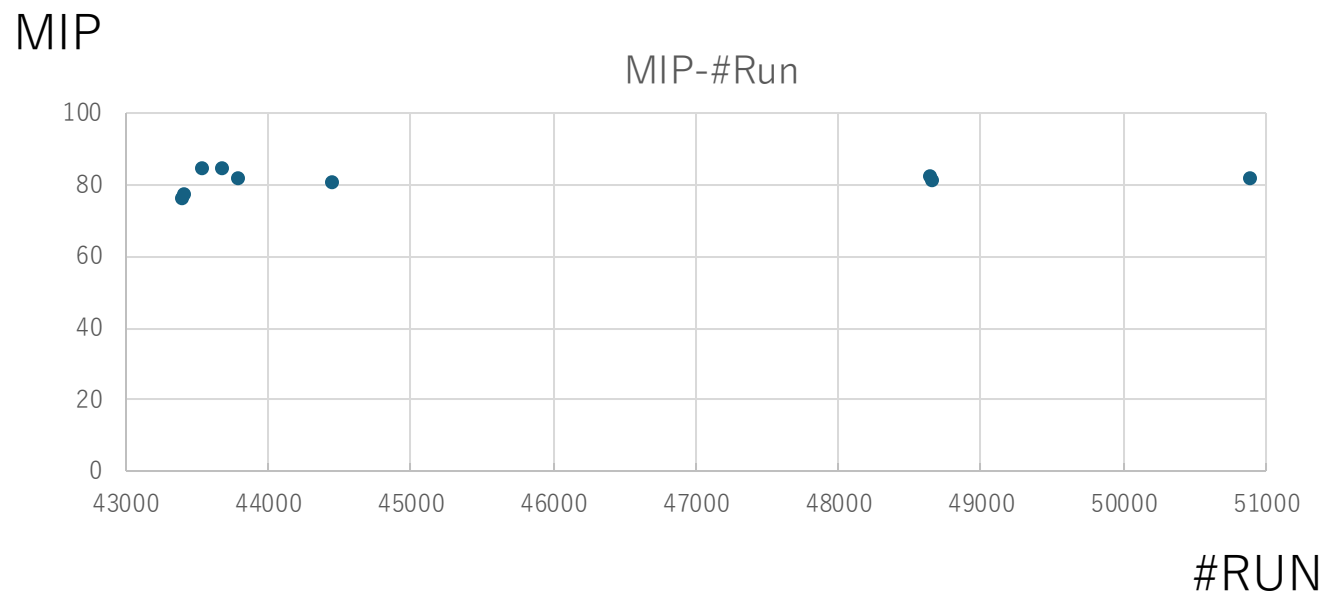


## 2.2 MIPピーク位置の時間変化

## 2.2 ピーク位置の時間変化を調べる

- 今までにはRUN50889(2024/08/09)のデータのみでフィットの改善を行ってきた。
- 2024年5月～8月までのデータを用い、放射線によってFPHXチップの劣化が起きているのか時間変化を調べた。もし放射線ダメージが大きければ、年月が経つにつれてMIPピーク的位置が下がっているはず。
- 今回たくさんのrootファイルを回せるようにコードを改善する時間がなかったため、RUN43392(2024/5/21)～RUN50889(2024/08/09)までで9ラン分持ってきて時間とMIPピーク位置のプロットを作成した。
- トラッキングに用いた $\theta$ のカットは80度～100度に設定した。

# ピーク位置の時間変化



2024.5.21

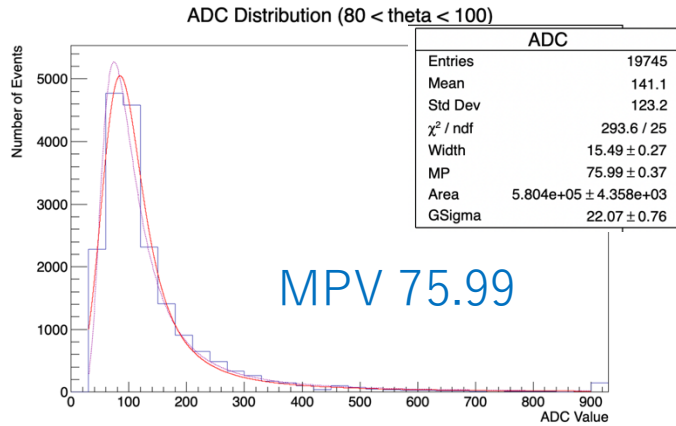


2024.8.9

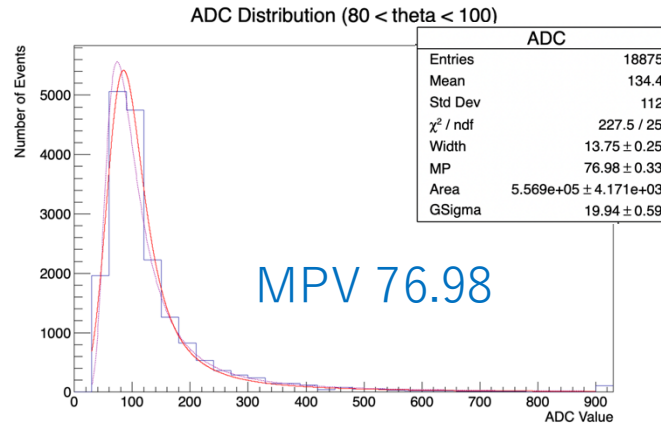
RUN #	Day	MIP
43392	2024/5/21	75.99
43404	2024/5/21	76.98
43537	2024/5/23	84.33
43676	2024/5/24	84.29
43790	2024/5/25	81.92
44447	2024/6/2	80.42
48645	2024/7/18	82
48660	2024/7/18	81.27
50889	2024/8/9	81.43

MIPの位置が 75-85 でふらついている。ピーク位置の大きい変化はない。解析の系統誤差？

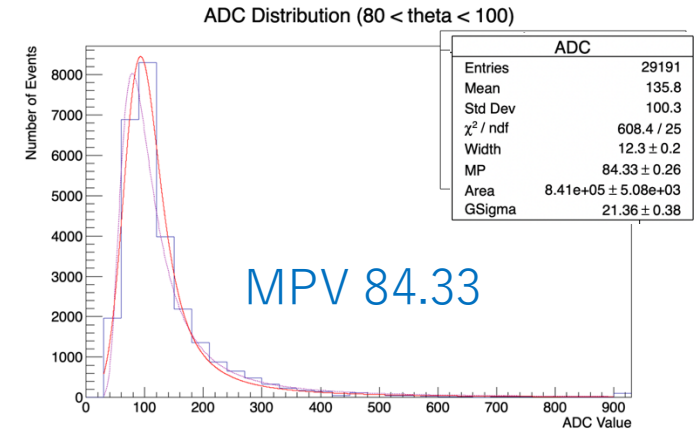
# 5月～8月までのデータを用いたADC分布



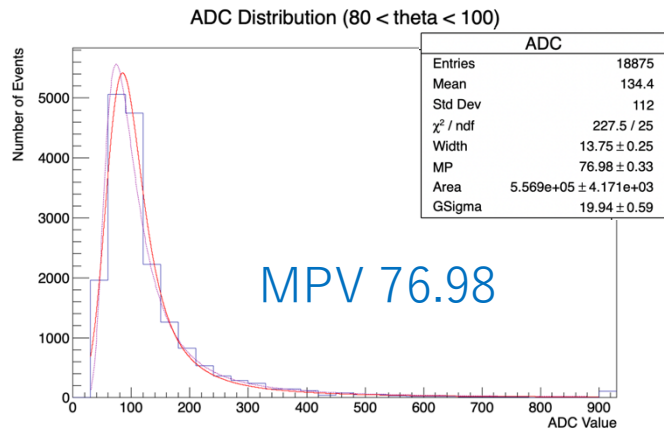
run43392(2024/05/21)



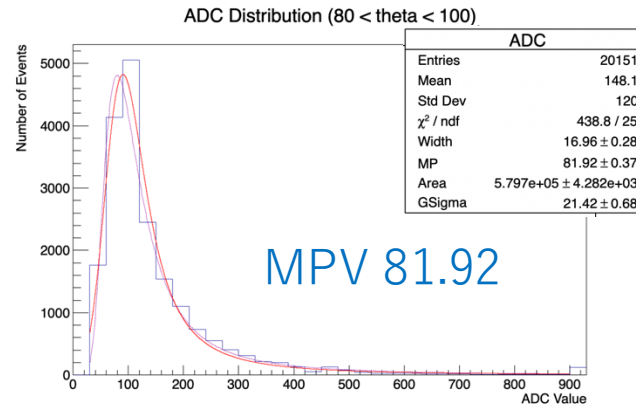
run43404(2024/5/21)



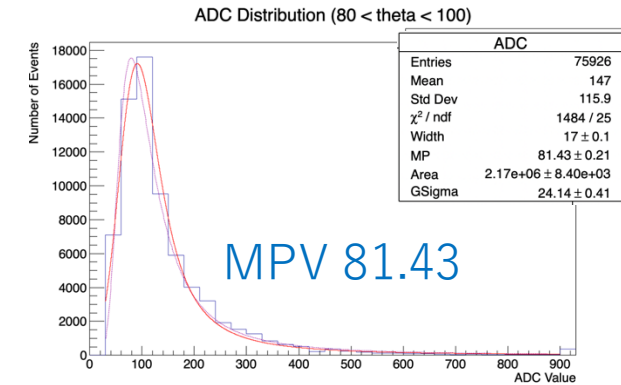
run43537(2024/5/23)



run43676(2024/5/24)



run43790(2024/5/25)



run50889(2024-08-09)

今まで用いたRUN50889以外のデータでもフィットは上手くいっている。  
フィットのアルゴリズムが時間変化に影響を及ぼしていることはなさそう。  
FPHXチップの劣化は起こっていない？

## 3.まとめ

### 3.まとめ・今後の展望

- フィッティング手法を改善し、ランダウだけでフィットした時よりも精度の良いフィットを行った。
- 2024年5月から8月までの9ラン分のデータを用いてMIPピーク位置の時間変化を調べた。
- APRの提出までには、60ラン分の時間変化のプロットを載せられるようにコードを書き換える。
- 横軸をシミュレーションデータを用いた被爆量にする。
- MIPピーク位置を決めているZバーテックスのコードをアップデートする。

# 1/15 発表議事録

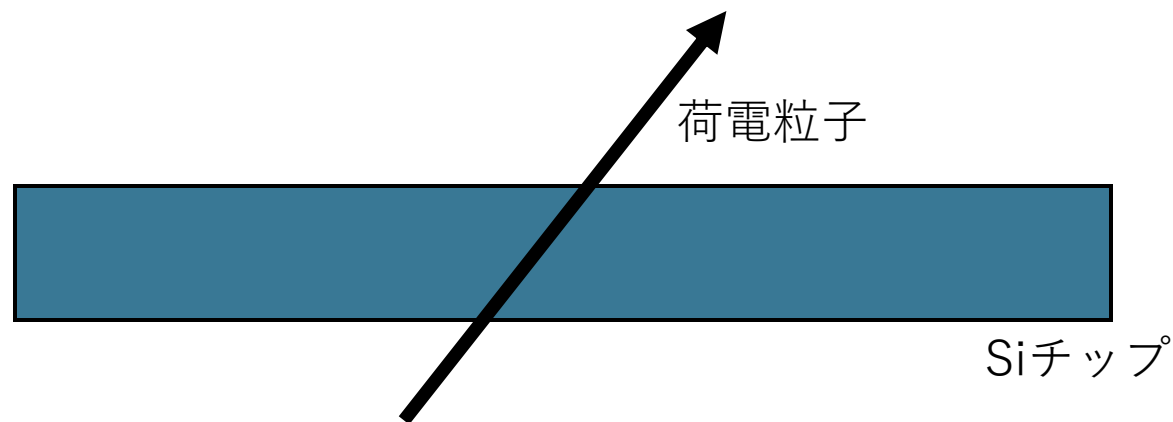
- MIP位置の角度依存性は、簡単な手計算で求められるので2つのフィットモデルの結果に加えて理論計算による予想もプロットに加える。
- フィットの範囲を変化させて、フィットの安定性を確認する。
- Run24を通してゲインの劣化は見られなかったという結果が出ているので、INTT英語ミーティングで発表する。

BACK UP (MIP基礎知識)



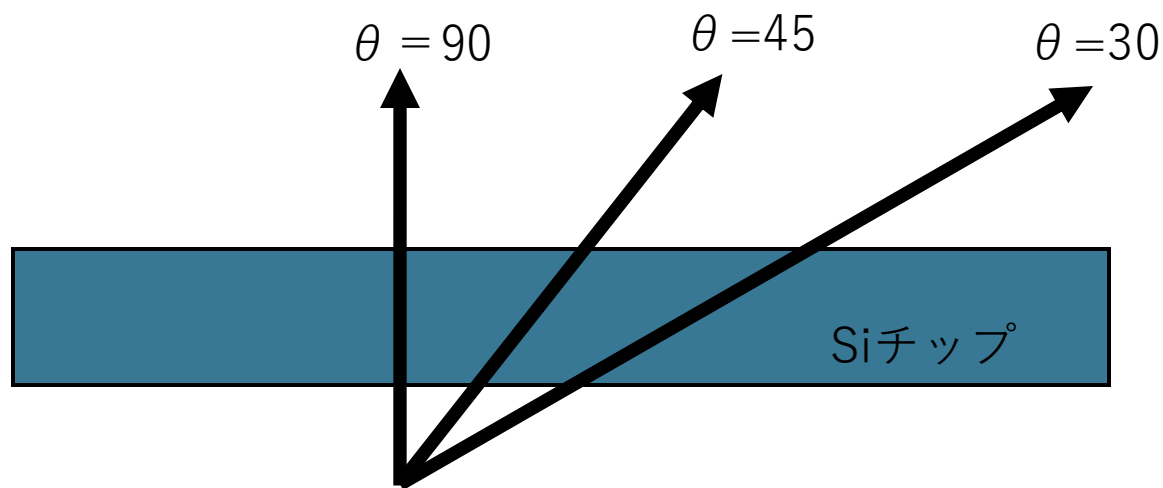
# MIPとは

- Minimum Ionizing Particle (Ionizationではない)
- 荷電粒子が通過した時のエネルギー損失量が最小になる粒子
- $\frac{\Delta E}{\Delta x}$  (エネルギー損失)
- $dE$ : 失ったエネルギー、 $dx$ : 単位長さ (=飛行距離)

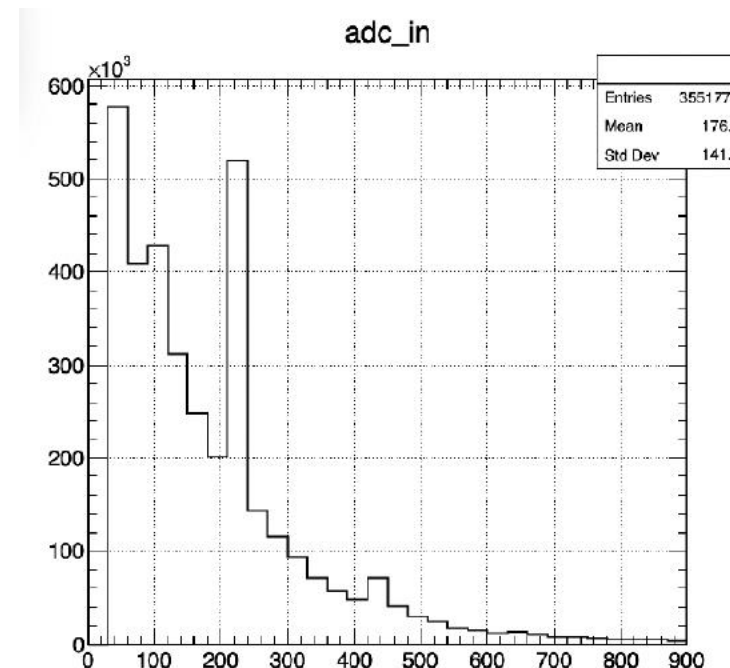


高エネルギーを持つ荷電粒子が物質中を通過するときに失うエネルギーは小さく、ほぼ一定の値

# トラックを引いた後の $\theta$ でカットをかける



エネルギー損失量( $\frac{\Delta E}{\Delta x}$ )は単位長さ辺りなので、飛行距離が変わればエネルギー損失量も変わる



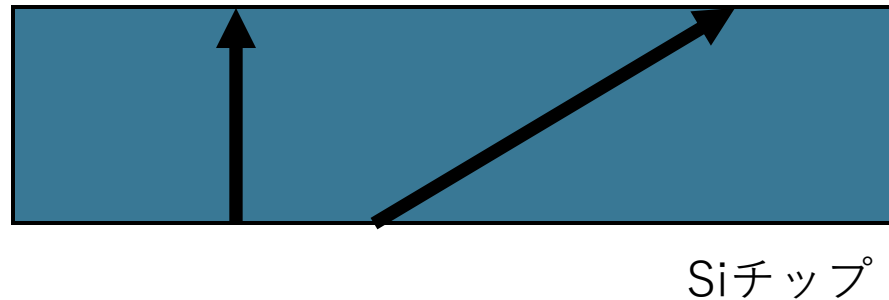
$\theta$ でカットをかけていないADC分布

**MIP** ピークがよく見えない

いろいろな角度の粒子によるエネルギー損失が混ざって、分布を汚くしている

→単位長さ辺りに揃えなくてはいけないので、チップへの入射角度でカットをかける

# トラックを引いた後の $\theta$ でカットをかける理由

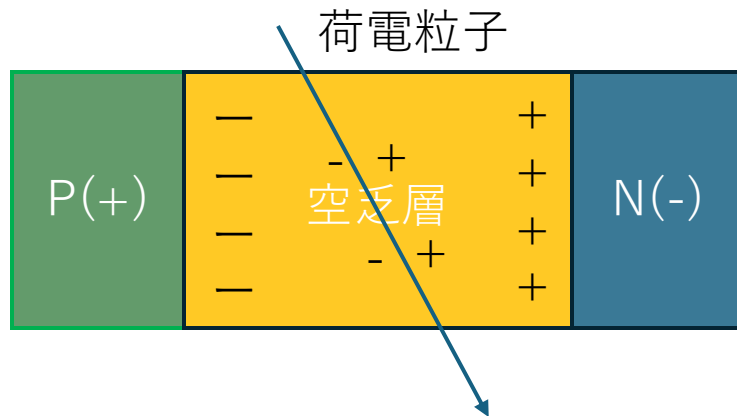


エネルギー損失量( $\frac{\Delta E}{\Delta x}$ )は単位長さ辺りなので、飛行距離が変わればエネルギー損失量も変わる

単位長さを揃えなくてはいけないので、チップへの入射角度でカットをかける

# 半導体検出器の原理

- P型の半導体とN型の半導体が接合(ダイオード)



ダイオードに逆電圧を流すと、マイナス電極側に+が集まり、プラス電極側に-が集まるので空乏層(キャリアの存在しない部分)が出来上がる  
荷電粒子が入射すると、電離作用によって電子正対が生成される。

# ADC

- アナログ信号をデジタル化した時の1信号
- ADC分布=イベントーADCのグラフは、ADCの大きさごとに積算されていくヒストグラムとしてみれる
- DAC値 = エネルギー損失(eV)の値を電圧値(mV)に変換したもの
- INTTではそのDAC値を閾値で8分割している

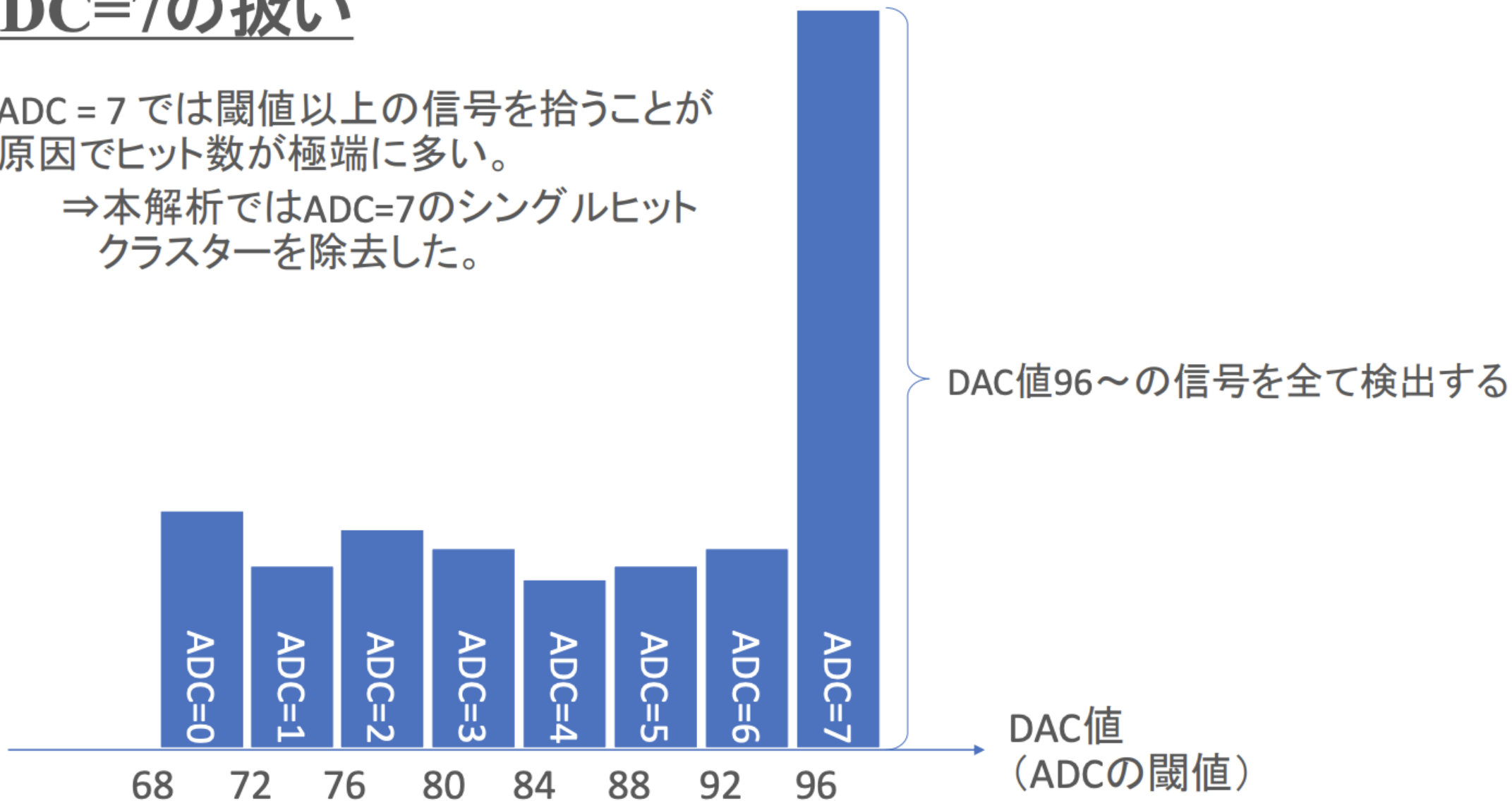
ADC 0 ~ 7

DAC 0 ~ 255

# ADC=7の扱い

ADC = 7 では閾値以上の信号を拾うことが原因でヒット数が極端に多い。

⇒本解析ではADC=7のシングルヒットクラスターを除去した。



# 畳み込みする物理的な理由(参考:チェンウェイが送った論文)

## 1. エネルギー損失の分布の特徴

荷電粒子が物質を通過する際のエネルギー損失分布は統計的性質を持つ。実験結果では理論値よりも広がりが大きくなる。

## 2. 電子の束縛エネルギーの影響

Landau分布は自由電子を仮定しているが、固体中の電子は束縛されている。この影響がエネルギー損失分布を変化させる。

## 3. 検出器のノイズ(熱雑音)をgaussで近似

※電子の束縛エネルギーとは→原子核や結晶格子内で特定の状態に束縛されている電子が、自由になるために必要なエネルギー。電子が物質内の異なるエネルギー準位間を移動する際のエネルギーギャップや、電子が完全に物質を脱出するのに必要なエネルギーとして現れる。

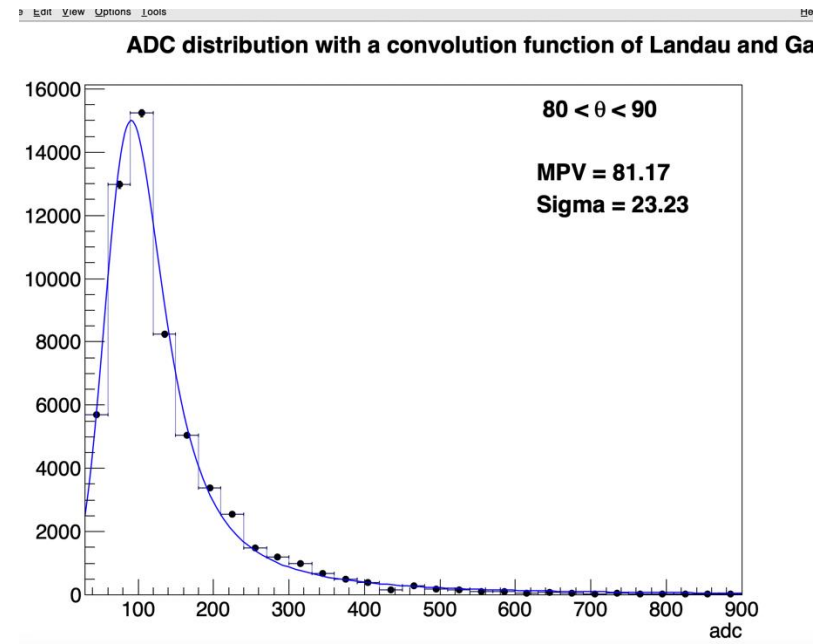
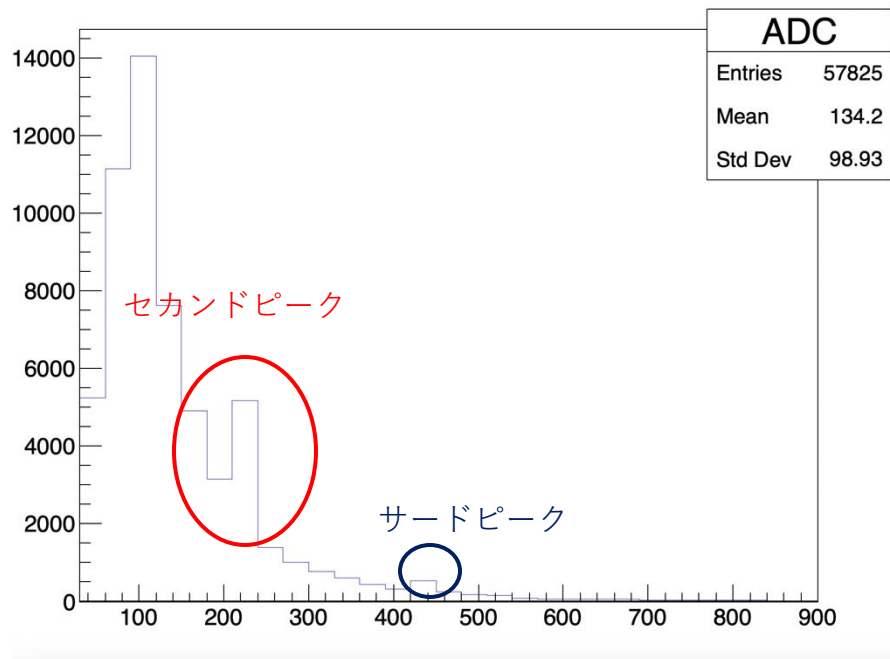
※熱雑音→内部で流れる電流や電圧が熱運動している時の雑音

BACK UP (fitting)

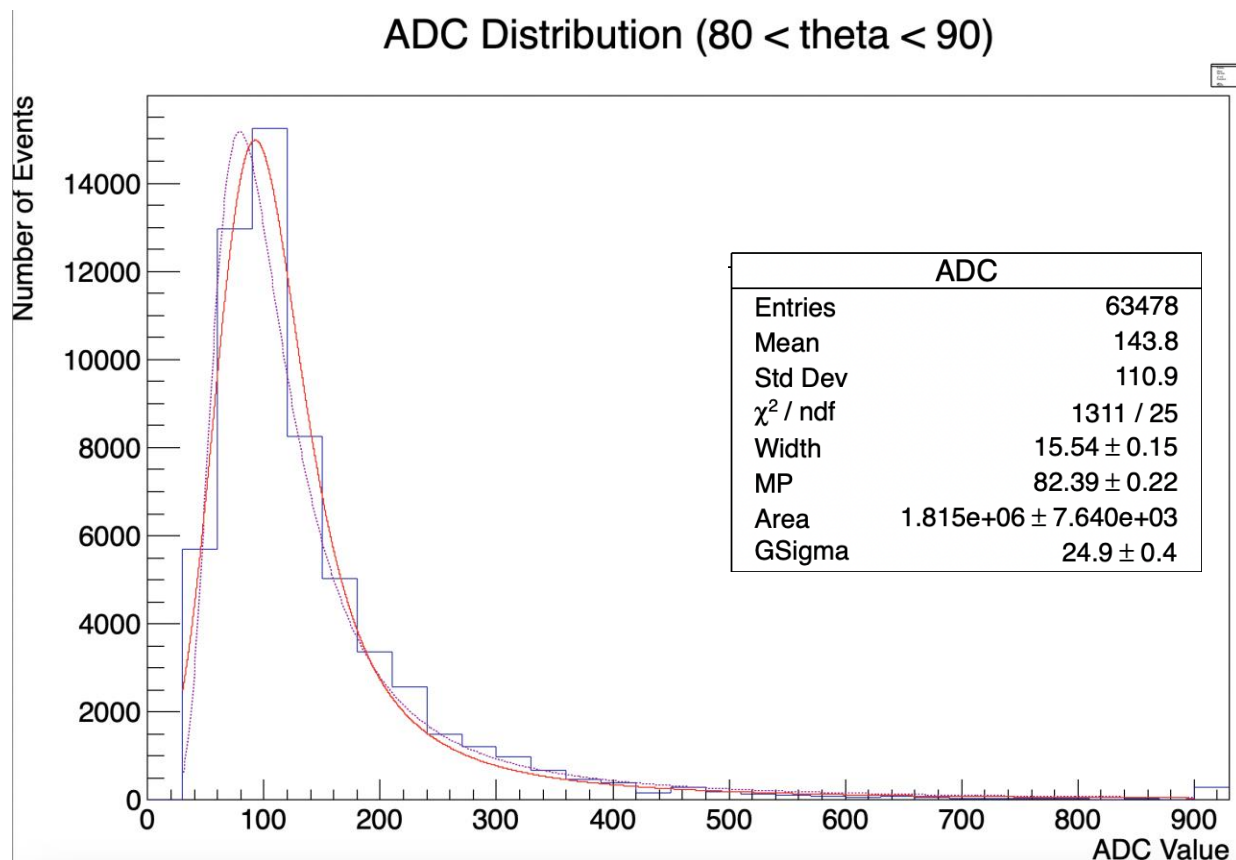


# workshopでの進捗

- ADC分布のセカンドピーク、サードピーク(閾値以上の信号を拾うことでおこるヒット数が極端に多いピーク)のカットを行った。
- Roofitを用いて、ADC分布に対してガウスとランダウの畳み込み積分を用いたフィッティングを行った。



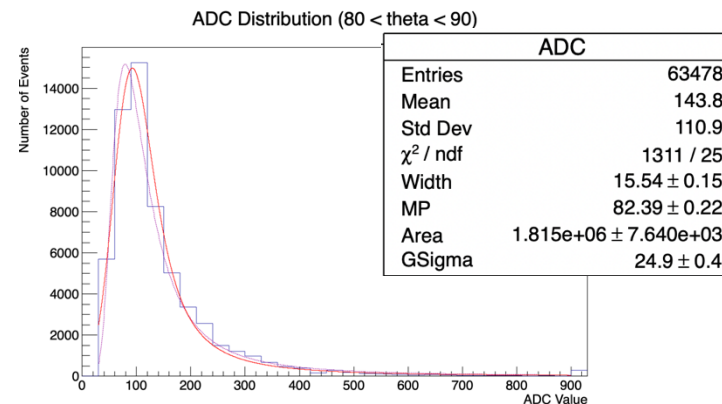
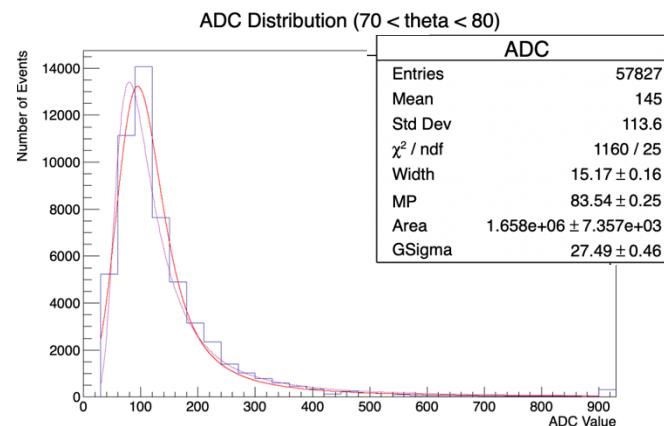
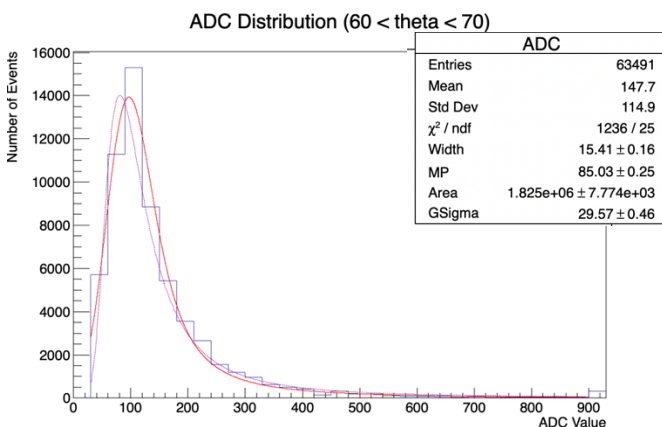
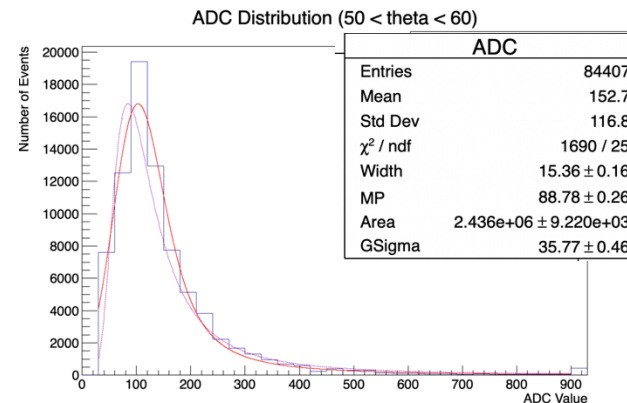
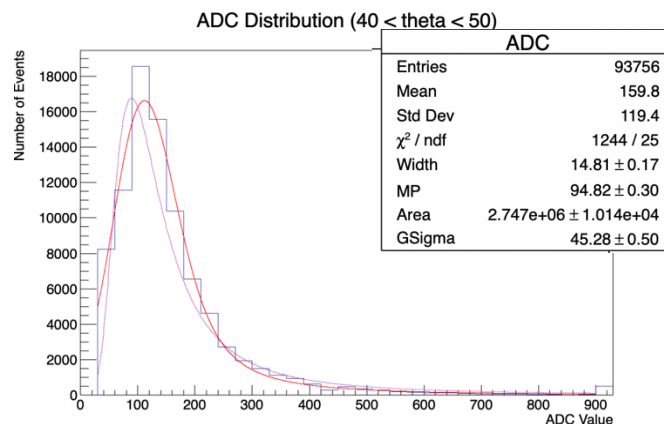
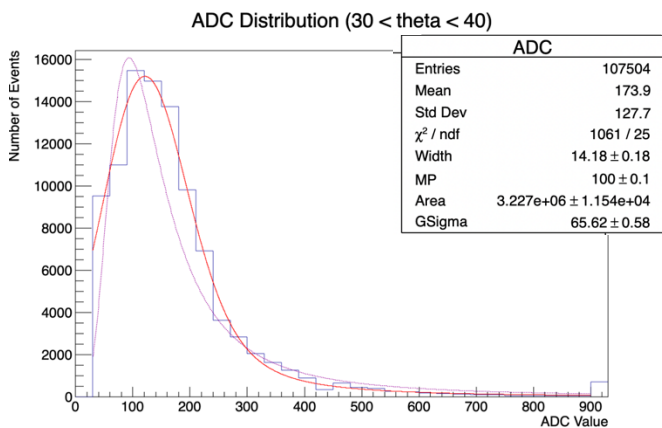
# ランダウ関数のみでフィットした時との比較



```
Y 2.4 per cent
EXT PARAMETER
NO. NAME VALUE ERROR STEP FIRST
1 Width 1.55428e+01 1.53501e-01 5.47066e-07 5.76614e-03
2 MP 8.23928e+01 2.23209e-01 4.32306e-06 3.45122e-03
3 Area 1.81490e+06 7.64018e+03 -5.68322e-08 -1.45148e+00
4 GSigma 2.48971e+01 4.08421e-01 -1.24486e-06 -5.37452e-03
Fitting done
Plotting results...
FCN=2991.87 FROM MIGRAD STATUS=CONVERGED 173 CALLS 174 TOTAL
EDM=9.66697e-08 STRATEGY= 1 ERROR MATRIX ACCURA
TE
EXT PARAMETER
NO. NAME VALUE ERROR STEP FIRST
1 Constant 8.39880e+04 5.07536e+02 9.40496e+00 -1.59336e-07
2 MPV 8.38707e+01 1.94369e-01 4.48297e-03 -2.58695e-03
3 Sigma 2.08369e+01 9.20846e-02 1.11788e-05 2.56268e-01
```

ランダウのみのフィットを同じプロットに表示させて比較した。  
→ランダウ単体のフィットと比較して、ピーク位置が右にシフトしている

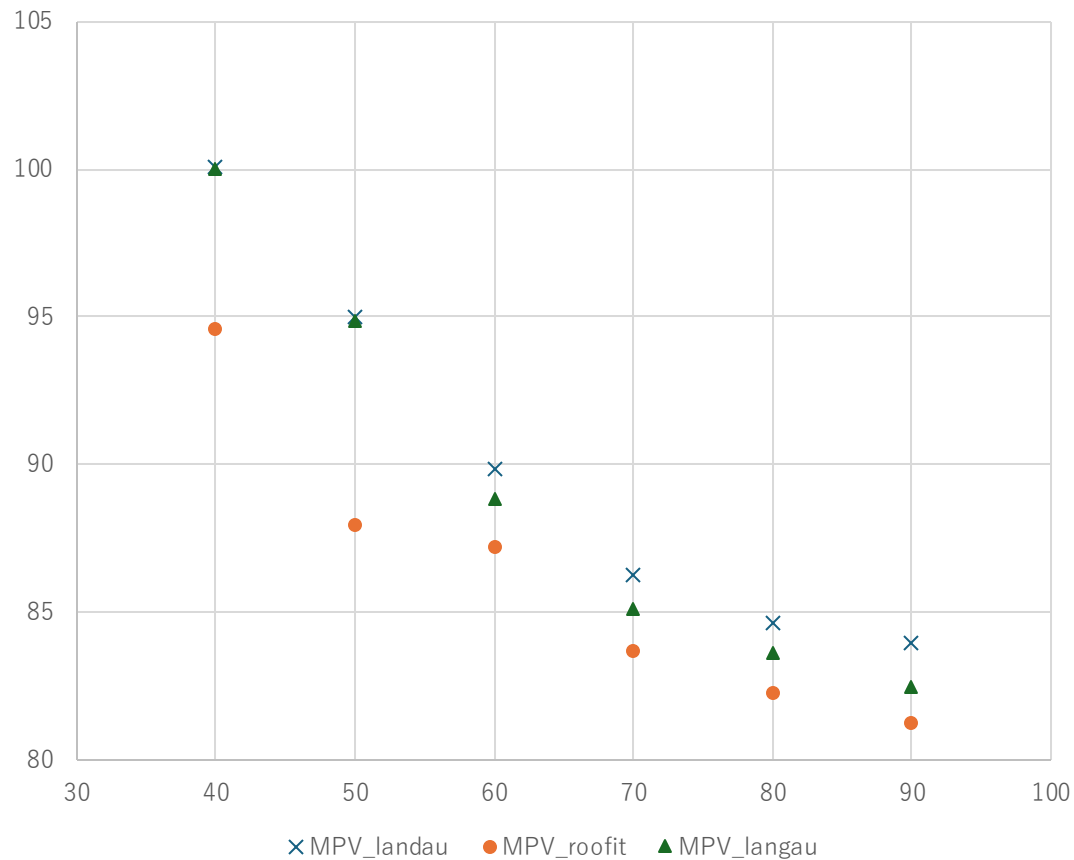
# 角度別に見たフィッティング(視覚的な比較)



角度を変えて見ても、ピーク位置が右にシフトしている

# MPV- $\theta$ を用いた比較

MPV- $\theta$  グラフ



		MPV_landau	MPV_roofit	MPV_langau
$30 < \theta < 40$	40	100.03	94.56	100
$40 < \theta < 50$	50	94.95	87.89	94.82
$50 < \theta < 60$	60	89.83	87.15	88.78
$60 < \theta < 70$	70	86.23	83.64	85.03
$70 < \theta < 80$	80	84.61	82.19	83.54
$80 < \theta < 90$	90	83.87	81.17	82.39

# カイスクエア/ndfによる比較

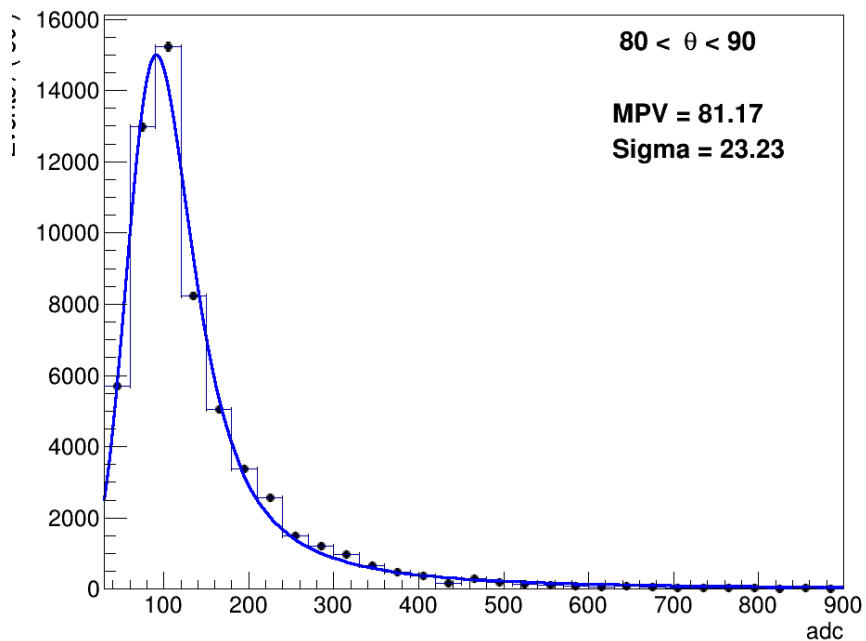
ランダウ分布のみでフィットした場合と、ランダウとガウスを畳み込んだ場合のカイスクエア/ndfの値を $\theta$ ごとに比較した。

	$30 < \theta < 40$	$40 < \theta < 50$	$50 < \theta < 60$	$60 < \theta < 70$	$70 < \theta < 80$	$80 < \theta < 90$
畳み込みの フィッティング	42	50	68	49	46	52
ランダウの みのフィッ ティング	392	300	235	141	120	115

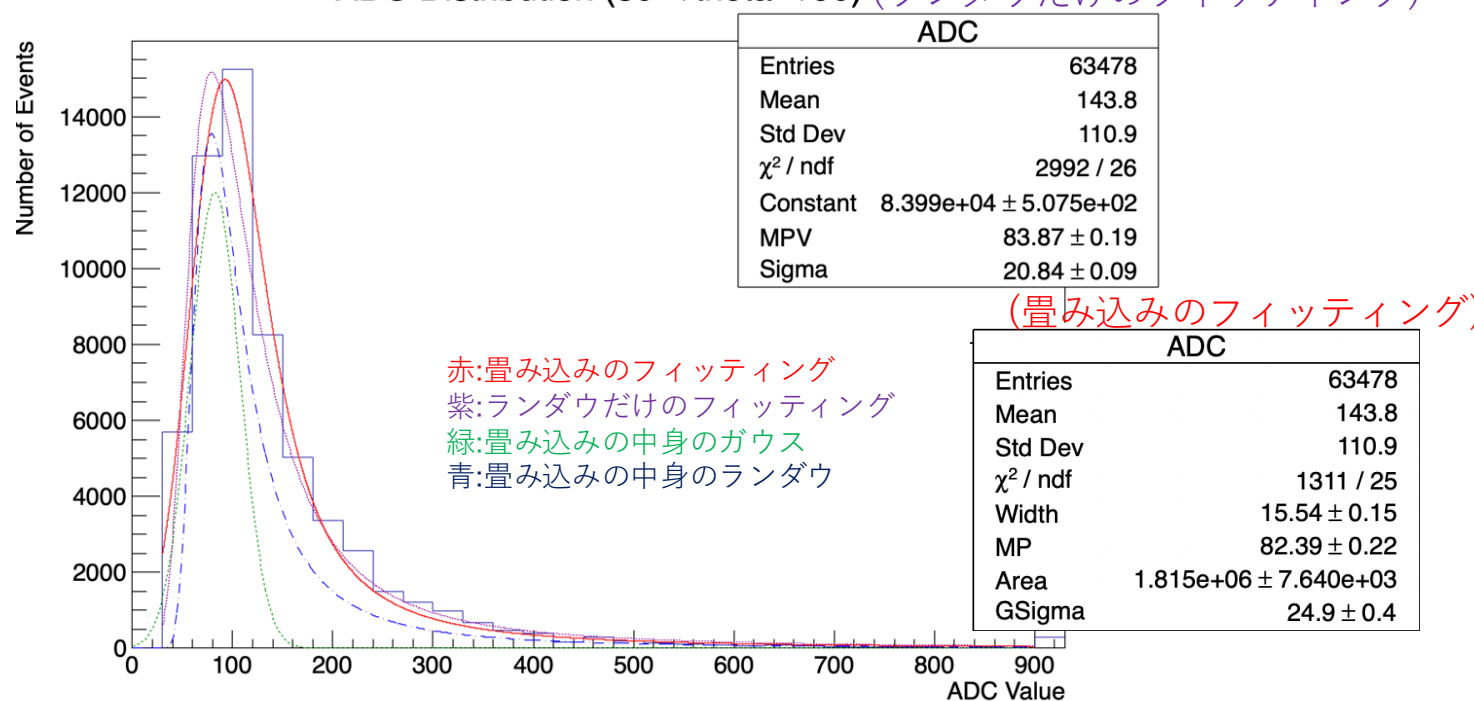
- 畳み込み積分を用いたフィットの方がカイ二乗値/ndfの値が低い。
- ランダウのみのフィットより精度が向上している。
- カイスクエア/ndf値の値が大きいのが気になる。1に近づいて欲しい。

# Roofitの結果との比較

ADC distribution with a convolution function of Landau and Gaus



ADC Distribution (80 < theta < 90) (ランダウだけのフィッティング)



	roofit	Landau+gaus
MPV	81.7	82.39
Gaus sigma	23.23	24.9

roofitの結果とチュートリアルコード用いたフィットの結果を比較した。MIP、simaの値は同じような値を取っているのか…？

BACK UP (bin幅、時間変化)

# Bin幅の考慮

```
TFitResultPtr fitResult = h1->Fit(fitsnr, "RIBS"); // Bin幅を考慮 (Iオプション)
```

- 熊岡さんに送って貰ったrootでbinの影響を減らすコードを入れてみた。
- I (Use integral of function in bin instead of value at bin center)
- 影響:通常、フィット関数はbinの中心で計算された値を比較するが、Iオプションを使うと、フィット関数がbin幅全体の積分を考慮するため、bin幅の影響を取り除ける。

## 7.1.1 The TH1::Fit Method

To fit a histogram programmatically, you can use the `TH1::Fit` method. Here is the signatures of `TH1::Fit` and an explanation of the parameters:

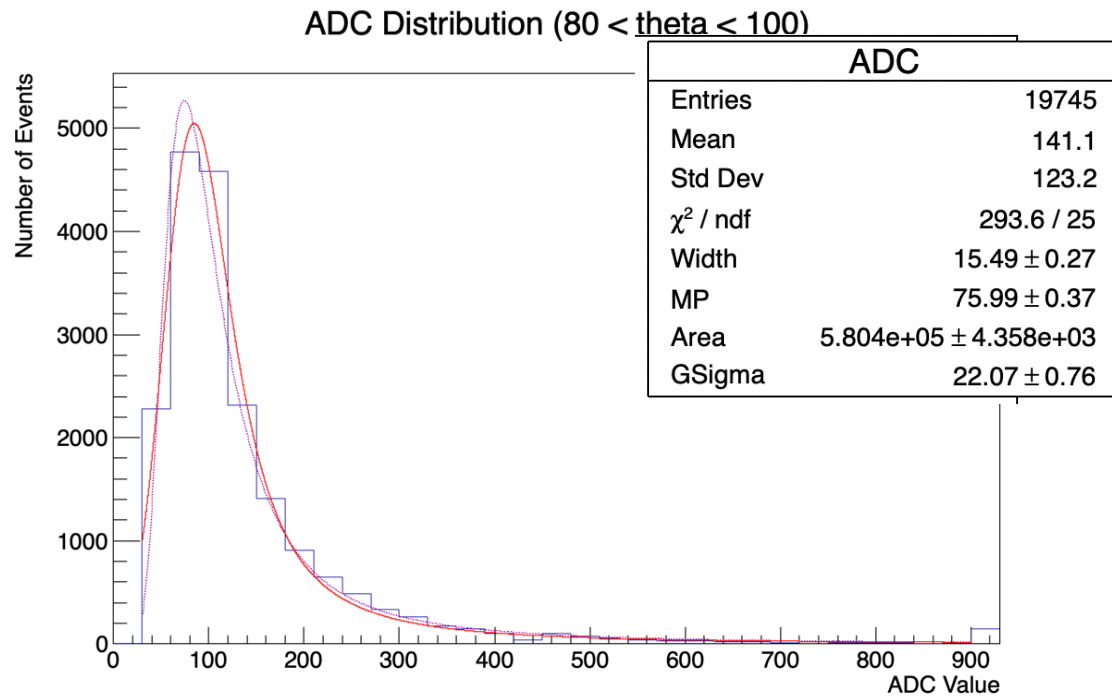
```
TFitResultPtr Fit(TF1 *function, Option_t *option, Option_t *goption,
                 Axis_t xmin, Axis_t xmax)
```

- `function` a pointer to the fitted function (the fit model) object. One can also use the function name. This name may be one of ROOT pre-defined function names or a user-defined function. See the next paragraph for the list of pre-defined functions.
- `*option:` The second parameter is the fitting option. Here is the list of fitting options:
  - " W " Set all weights to 1 for non empty bins; ignore error bars
  - " WW " Set all weights to 1 including empty bins; ignore error bars
  - " I " Use integral of function in bin instead of value at bin center
  - " L " Use log likelihood method (default is chi-square method). To be used when the histogram represents counts
  - " WL " Weighted log likelihood method. To be used when the histogram has been filled with weights different than 1.
  - " P " Use Pearson chi-square method, using expected errors instead of the observed one given by `TH1::GetBinError` (default case). The expected error is instead estimated from the square-root of the bin function value.
  - " Q " Quiet mode (minimum printing)
  - " V " Verbose mode (default is between Q and V)
  - " S " The result of the fit is returned in the `TFitResultPtr`.
  - " E " Perform better errors estimation using the Minos technique
  - " M " Improve fit results, by using the *IMPROVE* algorithm of TMinuit.
  - " R " Use the range specified in the function range
  - " N " Do not store the graphics function, do not draw
  - " 0 " Do not plot the result of the fit. By default the fitted function is drawn unless the option " N " above is specified.



# tracking\_run43392(2024-05-21)

MPV 75.99

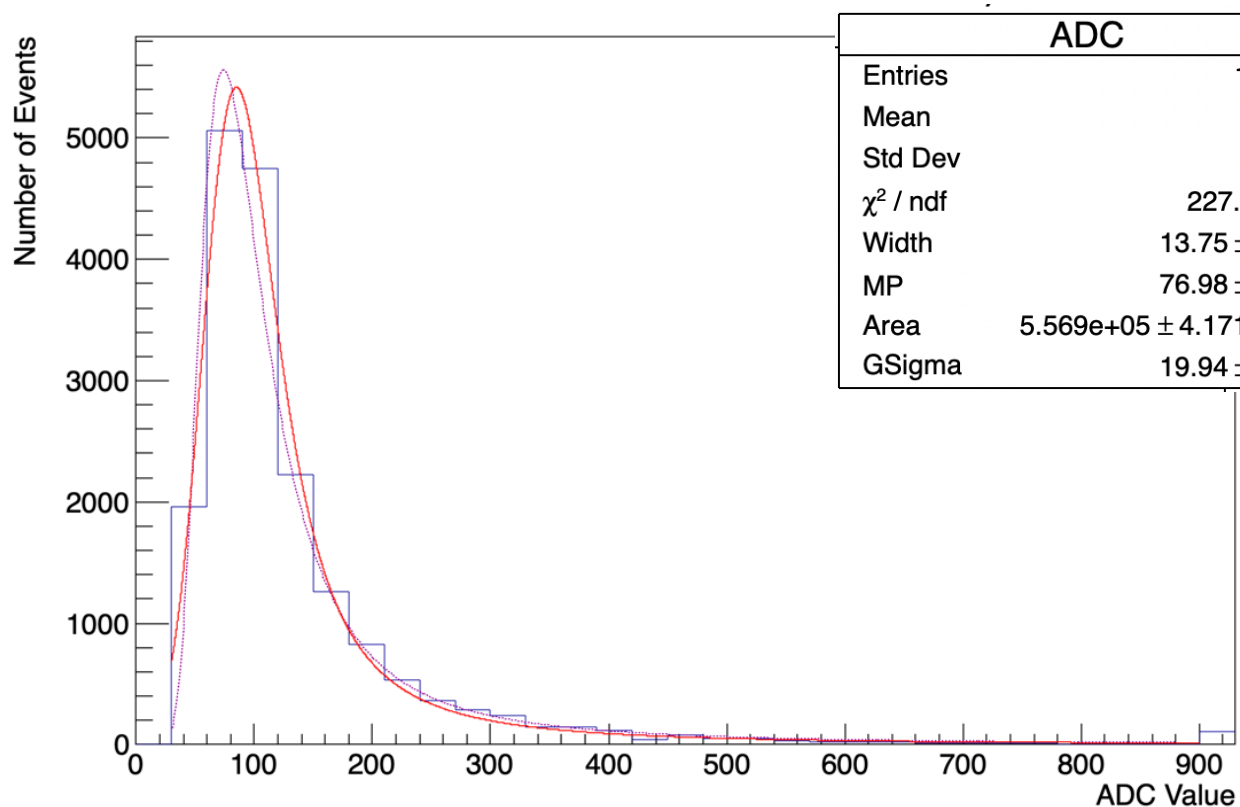


```
Info in <TCanvas::MakeDefCanvas>: created default TCanvas with name c1
Fitting...
FCN=293.553 FROM MIGRAD STATUS=CONVERGED 363 CALLS 364 TO
TAL
EDM=3.71449e-09 STRATEGY= 1 ERROR MATRIX ACC
URATE
EXT PARAMETER STEP FIRST
NO. NAME VALUE ERROR SIZE DERIVATIVE
1 Width 1.54892e+01 2.73094e-01 4.87322e-05 7.54715e-03
2 MP 7.59943e+01 3.71838e-01 2.55424e-04 9.24808e-04
3 Area 5.80369e+05 4.35811e+03 7.41749e-07 -1.01097e+00
4 GSigma 2.20734e+01 7.64167e-01 9.07933e-05 9.56338e-04
Fitting done
Plotting results...
FCN=572.661 FROM MIGRAD STATUS=CONVERGED 149 CALLS 150 TO
TAL
EDM=1.10484e-09 STRATEGY= 1 ERROR MATRIX UNCERTA
INTY 3.0 per cent
EXT PARAMETER STEP FIRST
NO. NAME VALUE ERROR SIZE DERIVATIVE
1 Constant 2.91922e+04 3.29169e+02 5.09415e+00 -3.15736e-08
2 MPV 7.86289e+01 3.10383e-01 -4.80726e-03 -2.29324e-04
3 Sigma 1.93395e+01 1.66137e-01 -2.55137e-05 3.52593e-02
11.7421
22.0254
```

# tracking\_run43404.root

MPV 76.98

ADC Distribution (80 < theta < 100)



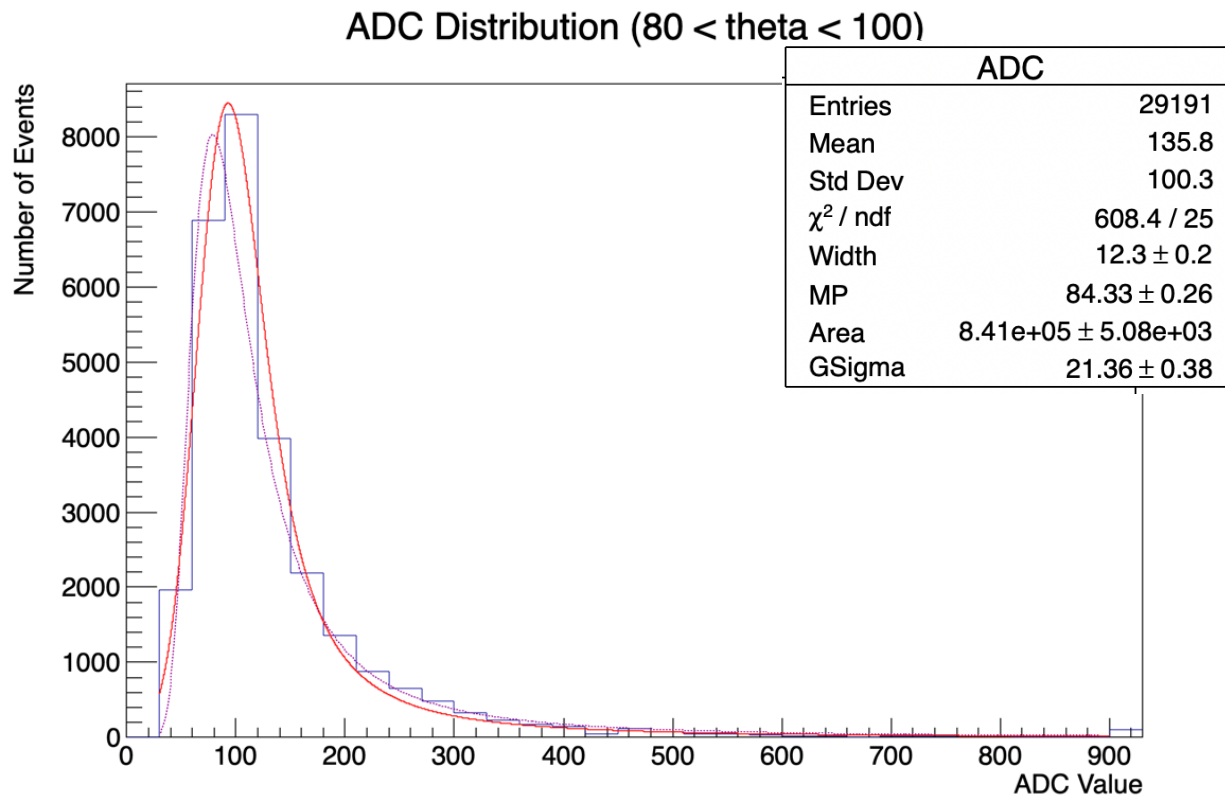
```
Info in <TCanvas::MakeDefCanvas>: created default TCanvas with name c1
Fitting...
FCN=227.49 FROM MIGRAD STATUS=CONVERGED 308 CALLS 309 TOTAL
EDM=7.89734e-09 STRATEGY= 1 ERROR MATRIX ACCURATE

TE
EXT PARAMETER          STEP      FIRST
NO.  NAME      VALUE      ERROR    SIZE  DERIVATIVE
  1  Width     1.37518e+01  2.46907e-01  4.08265e-05 -1.86542e-02
  2  MP        7.69809e+01  3.28789e-01  1.83535e-04  1.08655e-03
  3  Area      5.56867e+05  4.17124e+03  7.41897e-07  5.48681e-01
  4  GSigma    1.99360e+01  5.93183e-01  6.45668e-05  1.57857e-03
Fitting done
Plotting results...
FCN=574.013 FROM MIGRAD STATUS=CONVERGED 157 CALLS 158 TOTAL
EDM=1.6609e-09 STRATEGY= 1 ERROR MATRIX ACCURATE

E
EXT PARAMETER          STEP      FIRST
NO.  NAME      VALUE      ERROR    SIZE  DERIVATIVE
  1  Constant  3.08063e+04  3.50032e+02  2.70723e+00  4.85839e-08
  2  MPV      7.79461e+01  2.87242e-01  2.63425e-03 -2.59963e-05
  3  Sigma    1.77176e+01  1.49153e-01  7.87299e-06  6.34787e-02
9.09959
22.0774
```

# tracking\_run43537.root

MPV 84.33



```
Fitting...
FCN=608.447 FROM MIGRAD STATUS=CONVERGED 305 CALLS 306 TOTAL
EDM=3.41536e-10 STRATEGY= 1 ERROR MATRIX ACCURATE

TE
EXT PARAMETER STEP FIRST
NO. NAME VALUE ERROR SIZE DERIVATIVE
1 Width 1.23047e+01 1.78926e-01 5.33460e-05 -4.00855e-03
2 MP 8.43325e+01 2.61096e-01 1.94567e-04 7.18100e-04
3 Area 8.40993e+05 5.08431e+03 7.40268e-07 2.89565e-01
4 GSigma 2.13571e+01 3.75476e-01 6.72435e-05 1.20234e-03

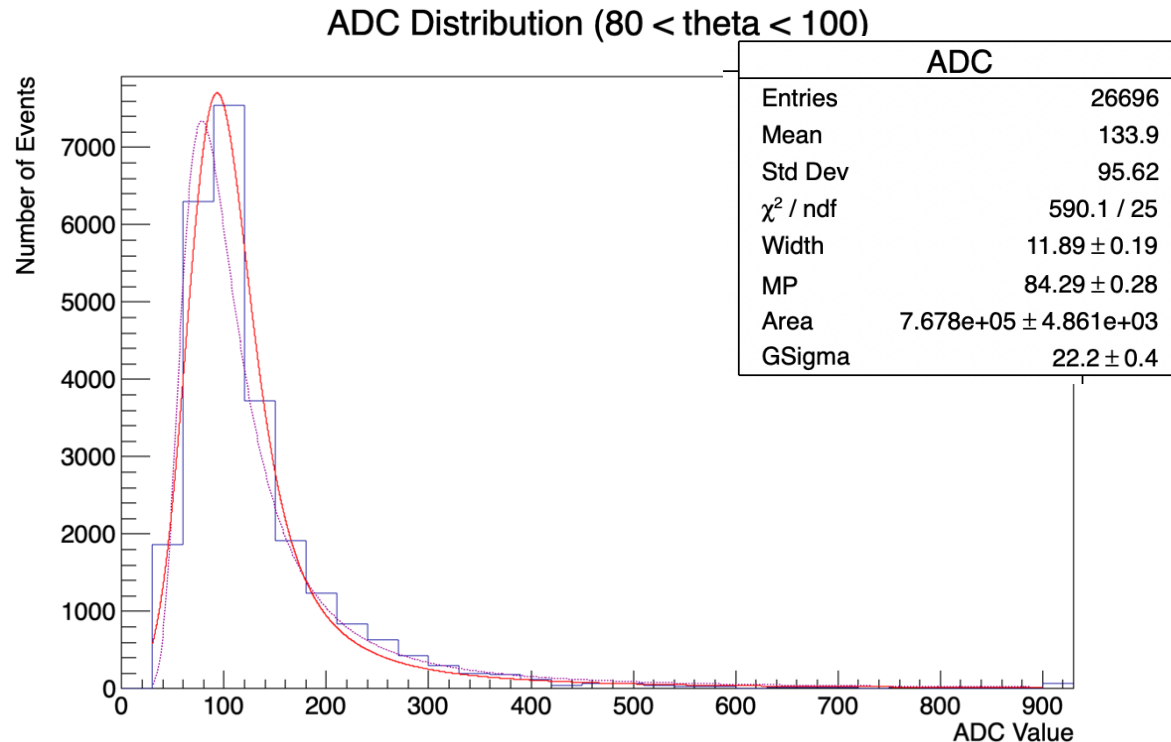
Fitting done
Plotting results...
FCN=1969.54 FROM MIGRAD STATUS=CONVERGED 172 CALLS 173 TOTAL
EDM=1.45801e-08 STRATEGY= 1 ERROR MATRIX UNCERTAINT

Y 1.7 per cent
EXT PARAMETER STEP FIRST
NO. NAME VALUE ERROR SIZE DERIVATIVE
1 Constant 4.44224e+04 3.79077e+02 1.33502e+00 4.82747e-07
2 MPV 8.29648e+01 2.59497e-01 1.38884e-05 8.03020e-04
3 Sigma 1.81516e+01 1.06257e-01 1.33095e-06 8.53896e-02

24.3379
75.7514
Info in <TCanvas::Print>: file fitresult2501013_tracking_run43537.root_80_10
0.png has been created
root [1]
```

# tracking\_run43676.root

MPV 84.29



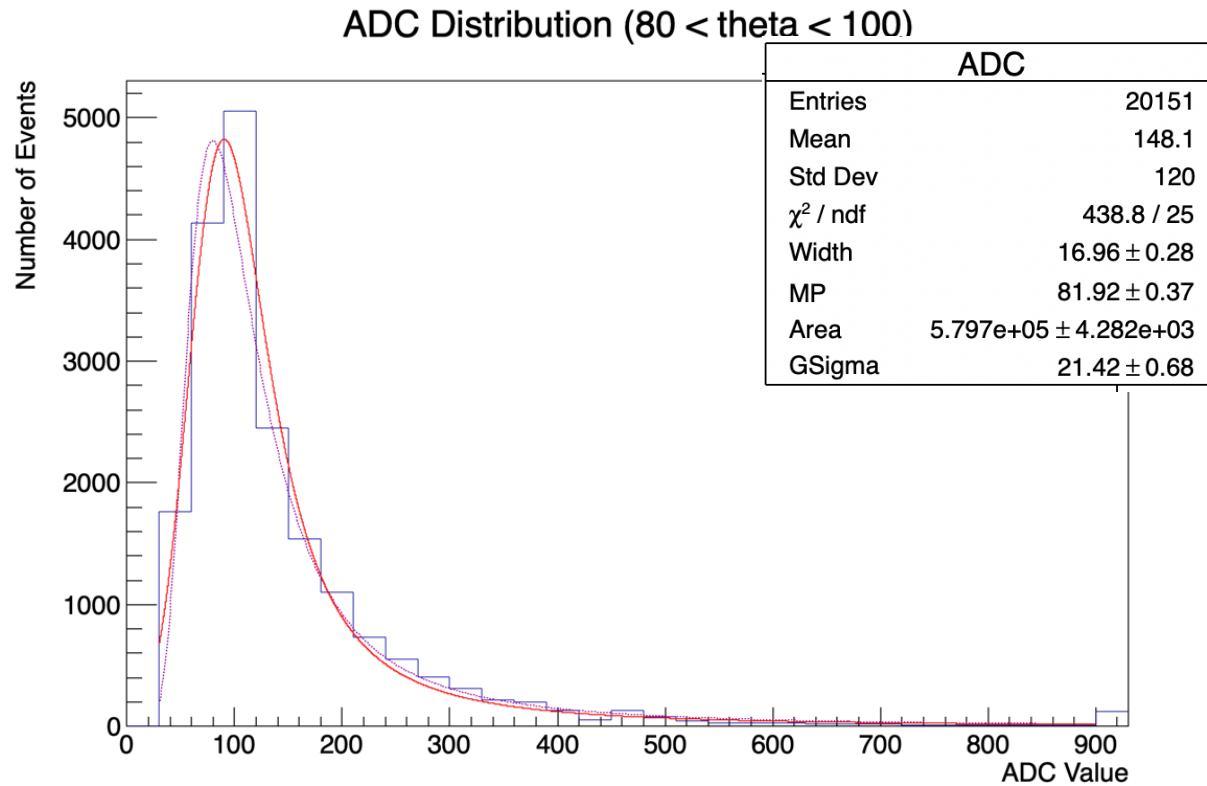
```
Info in <TCanvas::MakeDefCanvas>: created default TCanvas with name c1
Fitting...
FCN=590.139 FROM MIGRAD STATUS=CONVERGED 348 CALLS 349 TO
TAL
EDM=2.38001e-07 STRATEGY= 1 ERROR MATRIX ACC

URATE
EXT PARAMETER
NO. NAME VALUE ERROR STEP FIRST
1 Width 1.18931e+01 1.85721e-01 5.52108e-05 1.03643e-02
2 MP 8.42931e+01 2.77939e-01 2.03005e-04 3.91128e-02
3 Area 7.67797e+05 4.86056e+03 7.40657e-07 -1.39934e-01
4 GSigma 2.22006e+01 3.95998e-01 6.90705e-05 -4.97228e-02
Fitting done
Plotting results...
FCN=1973.12 FROM MIGRAD STATUS=CONVERGED 146 CALLS 147 TO
TAL
EDM=3.74319e-08 STRATEGY= 1 ERROR MATRIX ACC

URATE
EXT PARAMETER
NO. NAME VALUE ERROR STEP FIRST
1 Constant 4.06509e+04 3.66374e+02 5.72456e+00 7.98726e-08
2 MPV 8.23996e+01 2.68447e-01 4.81519e-03 1.18682e-03
3 Sigma 1.79970e+01 1.11133e-01 1.26317e-05 -9.88855e-02
23.6056
75.8891
```

# tracking\_run43790.root

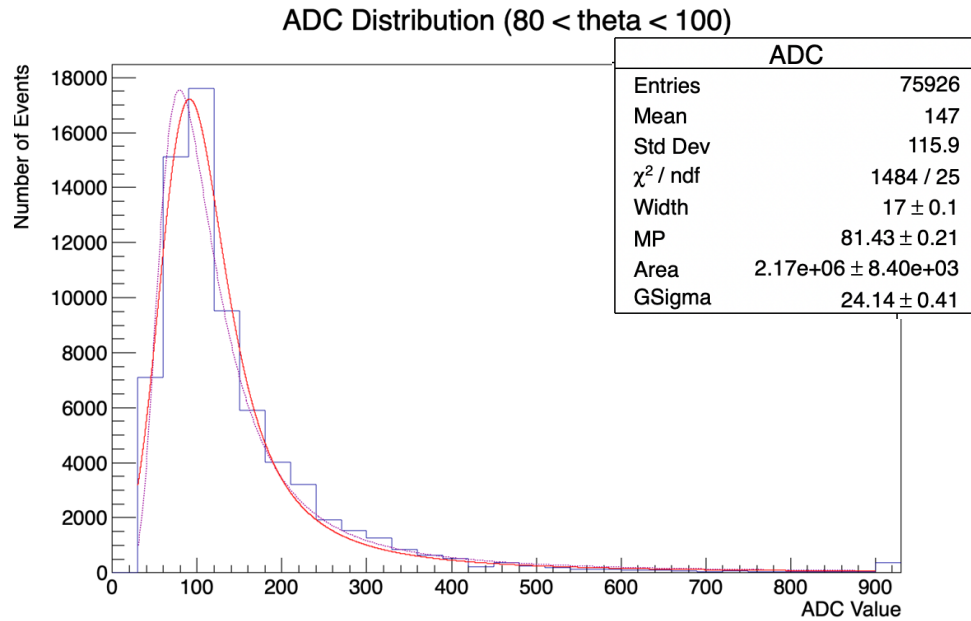
MPV 81.92



```
AL
                                EDM=1.21236e-08  STRATEGY= 1  ERROR MATRIX ACC
URATE
EXT PARAMETER                                STEP          FIRST
NO.  NAME  VALUE          ERROR          SIZE          DERIVATIVE
  1  Width  1.69574e+01  2.78703e-01  6.15295e-05  -4.96503e-03
  2  MP    8.19221e+01  3.66849e-01  2.53164e-04  -2.47910e-03
  3  Area  5.79721e+05  4.28153e+03  7.41753e-07  -2.53125e+00
  4  GSigma 2.14204e+01  6.80232e-01  1.05345e-04  3.36761e-04
Fitting done
Plotting results...
FCN=776.129 FROM MIGRAD  STATUS=CONVERGED  164 CALLS  165 TO
TAL
                                EDM=6.44931e-07  STRATEGY= 1  ERROR MATRIX ACC
URATE
EXT PARAMETER                                STEP          FIRST
NO.  NAME  VALUE          ERROR          SIZE          DERIVATIVE
  1  Constant  2.66235e+04  2.87724e+02  2.67328e+00  6.79803e-07
  2  MPV     8.46463e+01  3.42878e-01  4.01734e-03  -3.40490e-03
  3  Sigma   2.12955e+01  1.71605e-01  1.00145e-05  1.07443e+00
17.5528
29.8511
Info in <TCanvas::Print>: file fitresult2501013_tracking_run43790.root_80
_100.png has been created
root [1]
```

# tracking\_run50889.root(2024-08-09)

MPV 81.43



```
EXT PARAMETER          STEP          FIRST
NO.  NAME      VALUE      ERROR      SIZE      DERIVATIVE
1  Width      1.70002e+01  1.49615e-01  5.97887e-05 -3.25558e-03
2  MP         8.14272e+01  2.08552e-01  2.65765e-04 -1.05841e-04
3  Area       2.16950e+06  8.40083e+03  1.05114e-06  1.13669e-01
4  GSigma     2.41394e+01  4.09733e-01  1.09315e-04 -2.58906e-04
Fitting done
Plotting results...
FCN=2882.95 FROM MIGRAD  STATUS=CONVERGED  144 CALLS  145 TOTAL
                        EDM=4.31006e-07  STRATEGY= 1  ERROR MATRIX UNCERTAINTY
1.2 per cent
EXT PARAMETER          STEP          FIRST
NO.  NAME      VALUE      ERROR      SIZE      DERIVATIVE
1  Constant  9.71014e+04  5.44075e+02  3.61643e+00 -4.79246e-07
2  MPV       8.42280e+01  1.83185e-01  -4.04336e-03 -7.60016e-03
3  Sigma     2.16741e+01  9.10887e-02  -5.52686e-06  4.45363e-01
59.3602
110.883
```