オルソポジトロニウムの寿命測定

2009年 2月 26日

実験者 川本 道久
中村 悠介
野村 紘一
比田勝 翔
平木 貴宏

オルソポジトロニウムの寿命測定

2009年　2月　26日
実験者　湯川学と不愉快な私達

目次

- 1:導入、実験目的
- 2:実験の原理
- 3:測定データを用いた解析
- 4:結論、考察

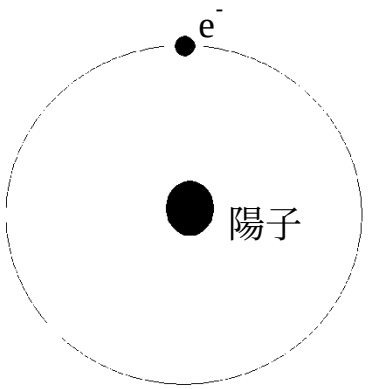
1. 導入
実験目的

・ ポジトロニウムとは

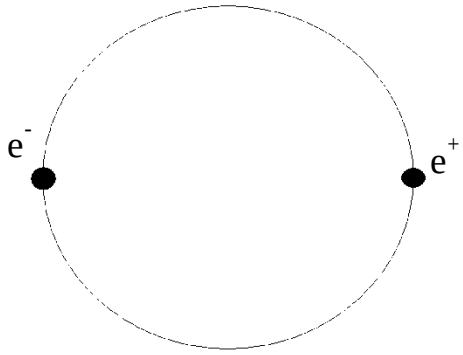
物質中でエネルギーを失ったe^+は十分低速でe^-に捕獲されて束縛状態を形成する。このe^+e^-の束縛状態が**ポジトロニウム**であり、気体や液体など電子の密度があまり大きくない物質中ではよくつくられる。

ポジトロニウムは水素原子とよく似た構造を持つが、最終的にe^+e^-の対消滅によって崩壊するという点が水素原子と大きく異なっている。

ポジトロニウムは一般にどのような物質に対しても形成されるわけではなく、金属など電子密度が非常に大きい物質中では形成されない。これはe^+の周りに分極したe^-が集り、束縛状態を作るのに十分なクーロン力が得られないからである。



水素原子



ポジトロニウム

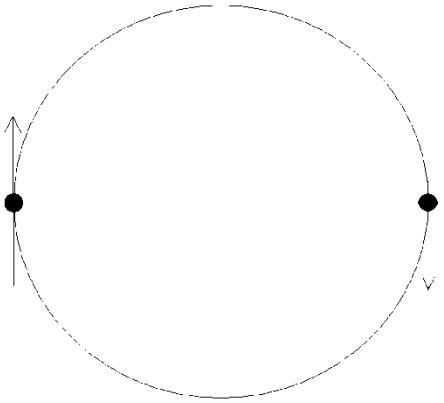
水素原子とポジトロニウムの簡単な比較

形成されたポジトロニウムは不安定で短い時間で対消滅をする。このときポジトロニウムの持つスピンの状態によって選択則が働き、放出される光子の数に制限が付く。

ポジトロニウムの全角運動量はe^+とe^-の持つスピンのヘリシティ（運動方向へのスピン成分）によって決められる。
したがってポジトロニウムは全スピン0を持つものと1を持つものに分けられる。

一方、光子はスピン1を持つが質量を持たないためにヘリシティが1か-1しか取れず、0の状態を取ることが出来ない。そのために次のような状態が存在する。

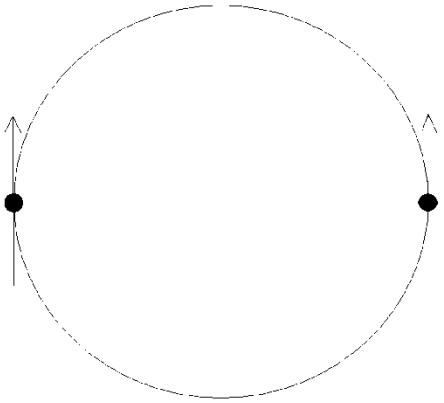
・全スピン0(singlet)・・・パラポジトロニウム



⇒　　2γ（偶数本）

ヘリシティを保存するためヘリシティ状態が1と-1の光子が同数出て行く

・全スピン1(triplet)・・・オルソポジトロニウム



⇒　　3γ（奇数本）

ヘリシティ+1 の光子・・偶（奇）数本に対し
ヘリシティ、－ 1 の光子・・奇（偶）数がでていく

発生する光子数が2つ増えると微細構造定数の2乗のオーダーで崩壊率が減少していく為、*p*-Psは大多数が2光子消滅、*o*-Psは大多数が3光子消滅することになる。

・ ポジトロニウムの寿命

上で述べた様にp-Psとo-Psは違う性質を持つため
それぞれ違う寿命を持つ
それらはややこし〜計算を経て

o-Psの寿命 ～ １４２ ns
p-Psの寿命 ～ １２５ ps

・ 実験の目的

ＱＥＤにより真空中のオルソポジトロニウムの寿命は約142ns

約142nsの寿命は直接測定が可能

↓

実験で実際に測定

理論値（約１４２ns）と比較、検証

2. 実験原理

2．1ポジトロニウムの生成
と
γ線の検出方法

検出装置

・Na線源：陽電子を放出

・シリカパウダー：①陽電子を減速させ、ポジトロニウムを生成させる
②密度や仕事関数が小さい

・NaIシンチレータ：ポジトロニウムの崩壊によって生成されたγ線を検

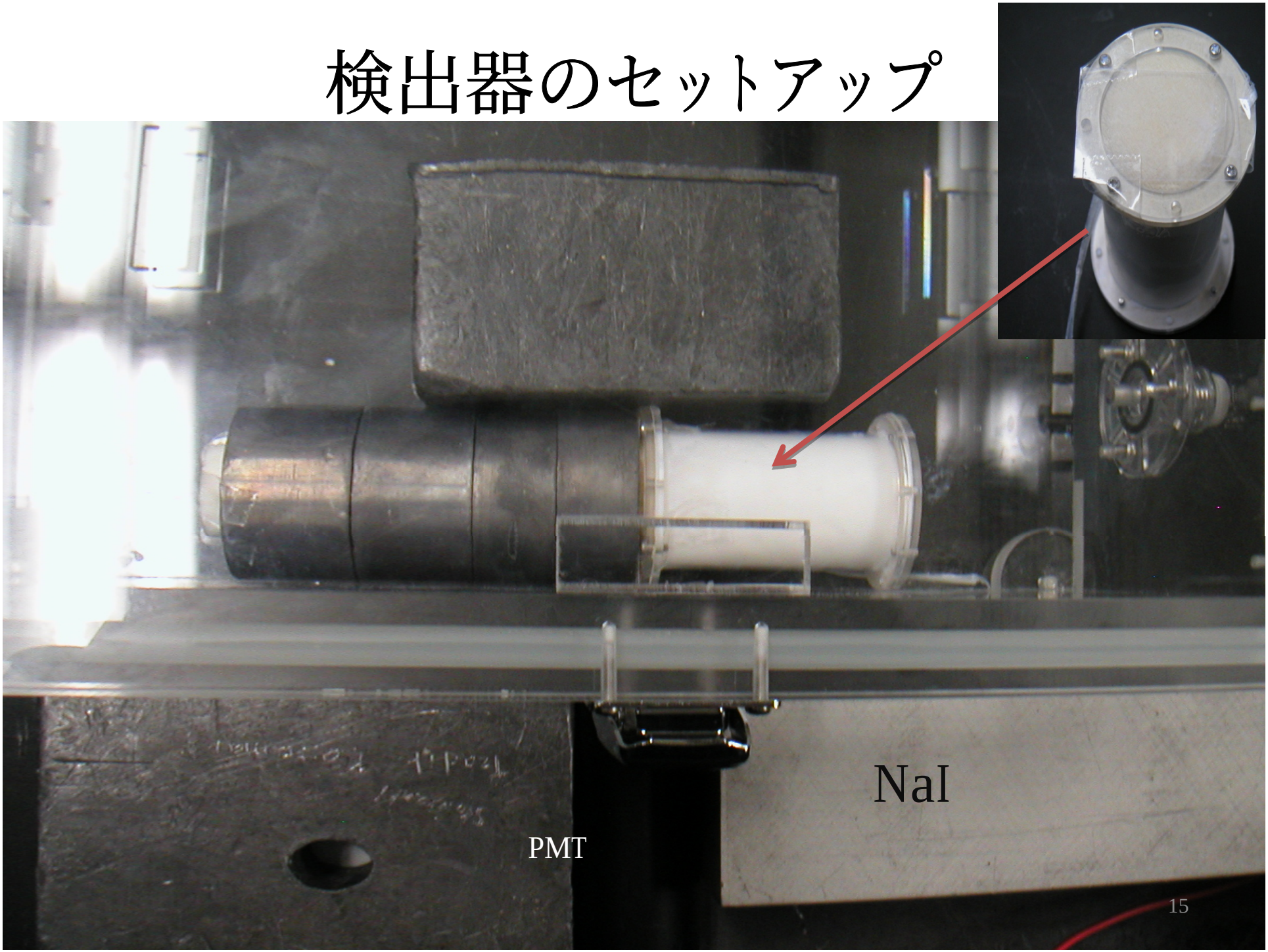
・プラスチックシンチレータ＋PMT：Na線源からの陽電子を検出

・コリメータ：Na線源から直接NaIに入るγ線の数を減らす

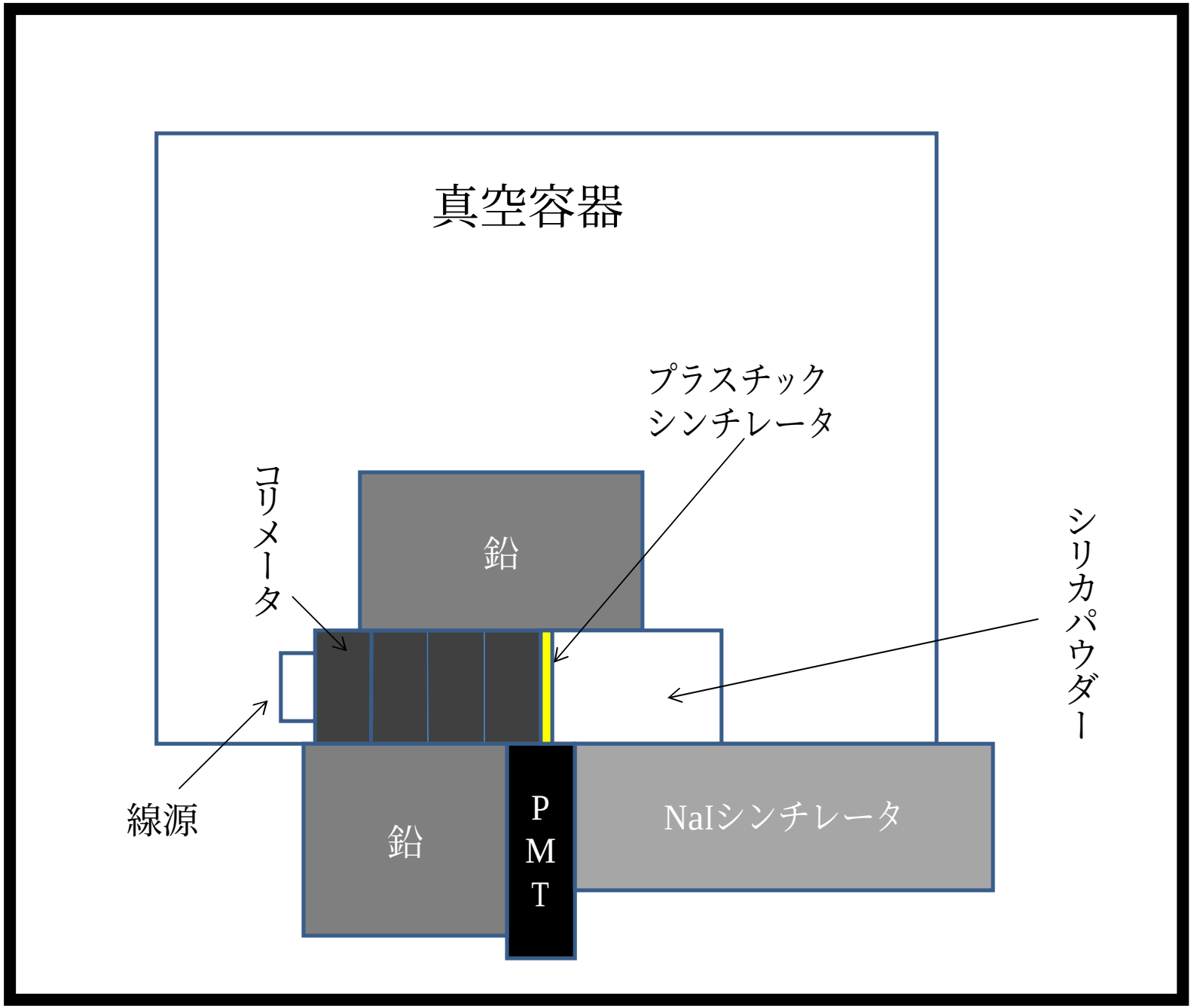
・真空容器＋真空ポンプ：容器内部の圧力を一定にする

・暗箱、黒布、カーテン：外部の光を遮断する

検出器のセットアップ



暗箱



・Naから放出された陽電子を、シリカパウダーで止め、ポジトロニウムを生成させる。
・放出された陽電子を、プラスチックシンチレータで検出し、ポジトロニウムの生成時刻と考える。
・ポジトロニウムの崩壊によってできたガンマ線をNaIシンチレータで検出し、ポジトロニウムの崩壊時刻とする。
・この二つの検出時刻の差からポジトロニウムの寿命を測定する。

・シリカパウダー（SiO_2）は、Na線源から出た陽電子を減速させ、ポジトロニウムを生成するために設置してある。また、SiO_2は水分の影響を減らすために300Wで1時間程度加熱してある。

・コリメータは、陽電子がNa線源から放出された後、シリカパウダーを通過せず直接検出器に入ることがないようにするために設置してある。

・容器の中を真空にするのは、実験の目的が真空中でのオルソポジトロニウムの寿命を求めることであり、大気の影響を除く必要があるからである。

プラスチックシンチレータの出す光は極めて微弱なため余分な光があると測定がうまくいかない。

そこでプラスチックシンチレータのすぐそばにPMTを置き、余計な光がこのPMTに入らないように、検出装置全体を暗箱、暗幕、暗幕 (分厚いカーテン) に入れて外部からの光をさえぎった。

2．2寿命を測定するための回路

回路に用いる装置

・Negative high Voltage:光電子増倍管に電圧をかける

・AMP：検出器からの信号を１０倍に増幅させる

・Discriminator：スレッシュホールドをかけ、閾値以上の信号がきた場合に
ロジックパルスを返す

・Gate generator:ロジックパルスに対してゲートパルスを出力する

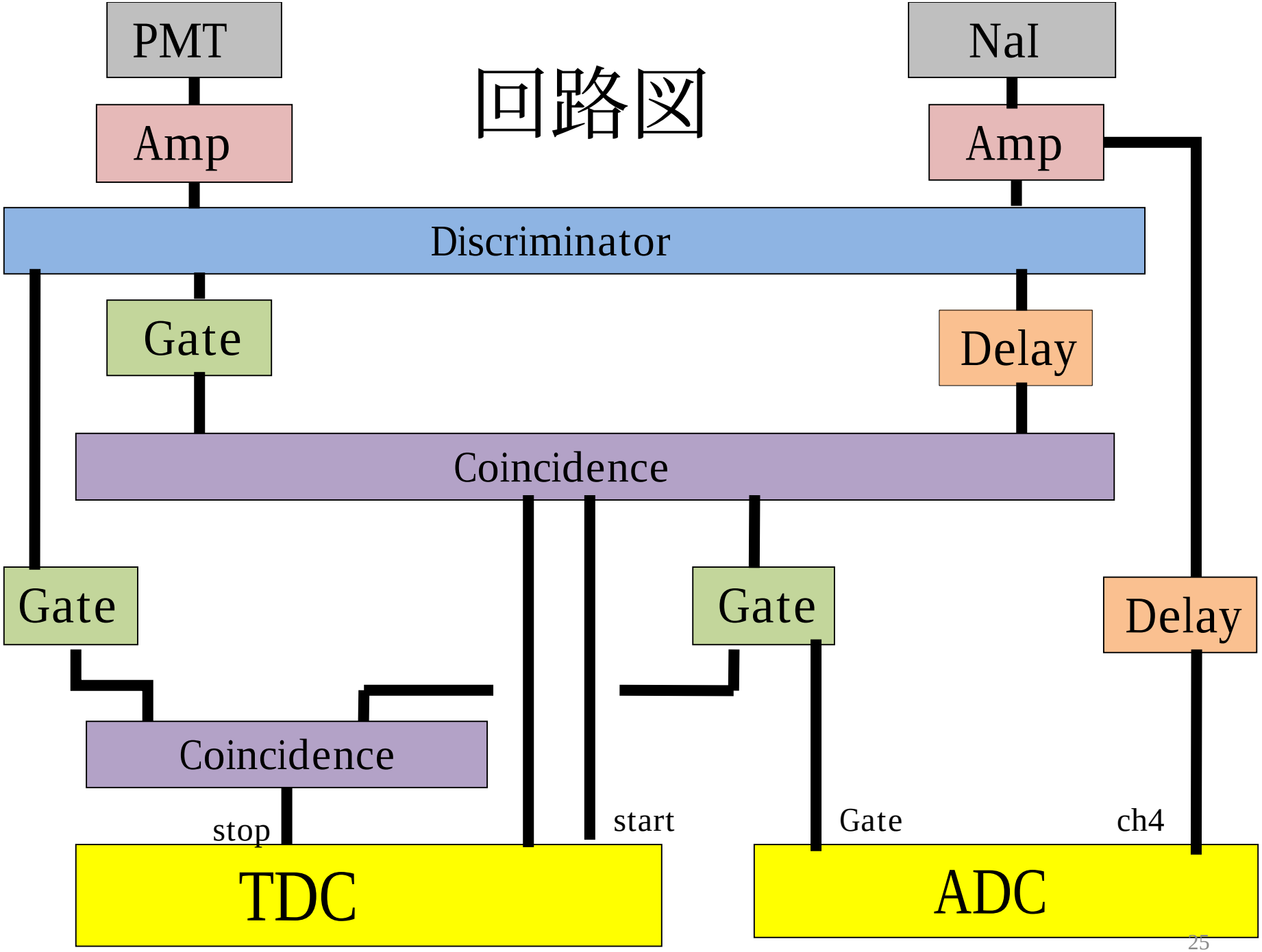
・Coincidence:ふたつのロジックパルスを　同期させる。

・Fixed delay：信号を遅らせる

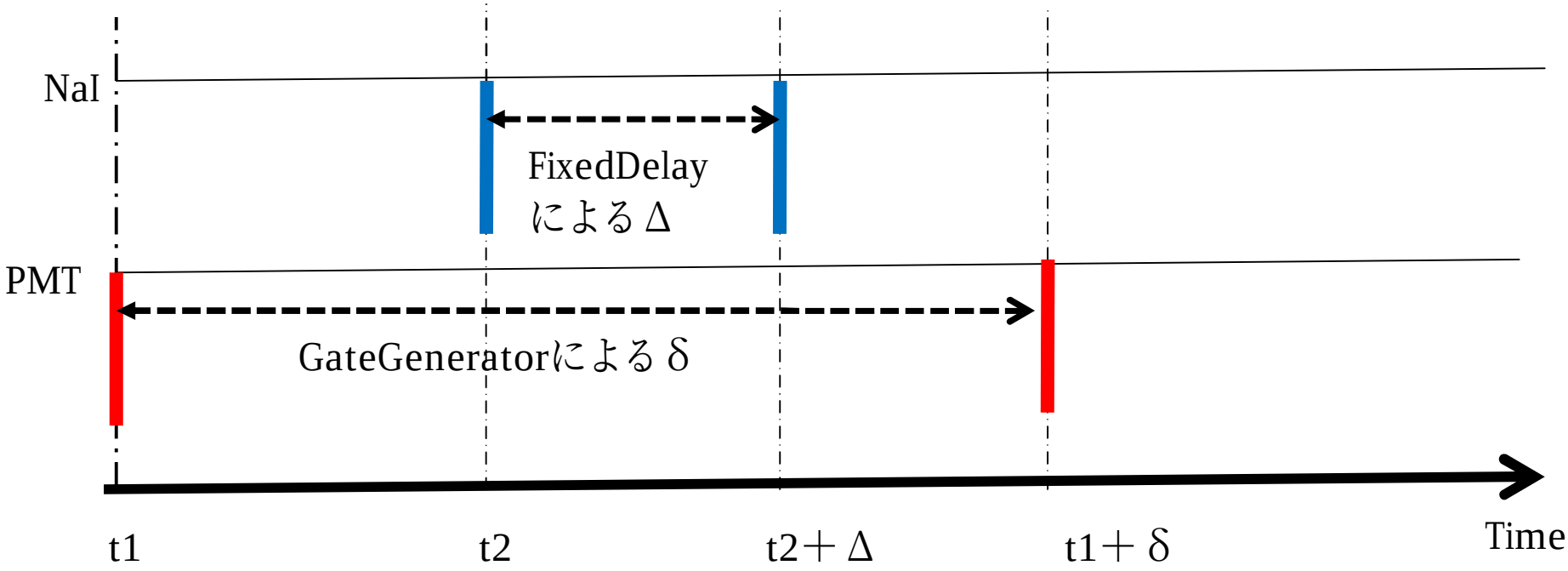
・ADC:ゲートパルスの入力がある場合に、
他端子からの信号の波高の積分値に対応した数値をかえす

・TDC:スタート信号が入力されてから、ストップ信号が入るまでの時間に線形に
対応した数値をかえす

回路図


PMT
NaI
Amp
Amp
Discriminator
Gate
Delay
Coincidence
Gate
Gate
Delay
Coincidence
stop
start
Gate
ch4
TDC
ADC

ポジトロニウムの崩壊に要した時間の求め方



t1：PMTへガンマ線が入射した時刻
t2：NaIでガンマ線が検出された時刻
t2＋Δ ： TDCのStart
t1＋δ ： TDCのStop

崩壊に要した時間τ＝t2−t 1
TDCで測定される時間T＝(t1＋δ)−(t 2＋Δ)＝− τ＋δ− Δ
τ以外は既知となりτが求まるが実際には較正と補正等が必要になるのでそれ等を以下で議論する

2・3実験装置の較正

ADCのキャリブレーション

目的：ADCの出力値を検出されたγ線のエネルギーに直す

$$(energy[\mathrm{keV}]) = a \times (\text{ADCの出力値}) + b$$

NaIシンチレータについて、上のaとbを決めた。

・このaとb値は、2種類以上の実際のエネルギーがわかっているγ線と、何も信号が入ってない状態とをNaIシンチレータで検出し、ADCの出力値との対応をみれば求まる。

・我々の実験では、Na線源からでる511keVとCs線源からでる662keVのγ線を利用した。

TDCのキャリブレーション

目的：TDCの出力値を対応した時間間隔に直す

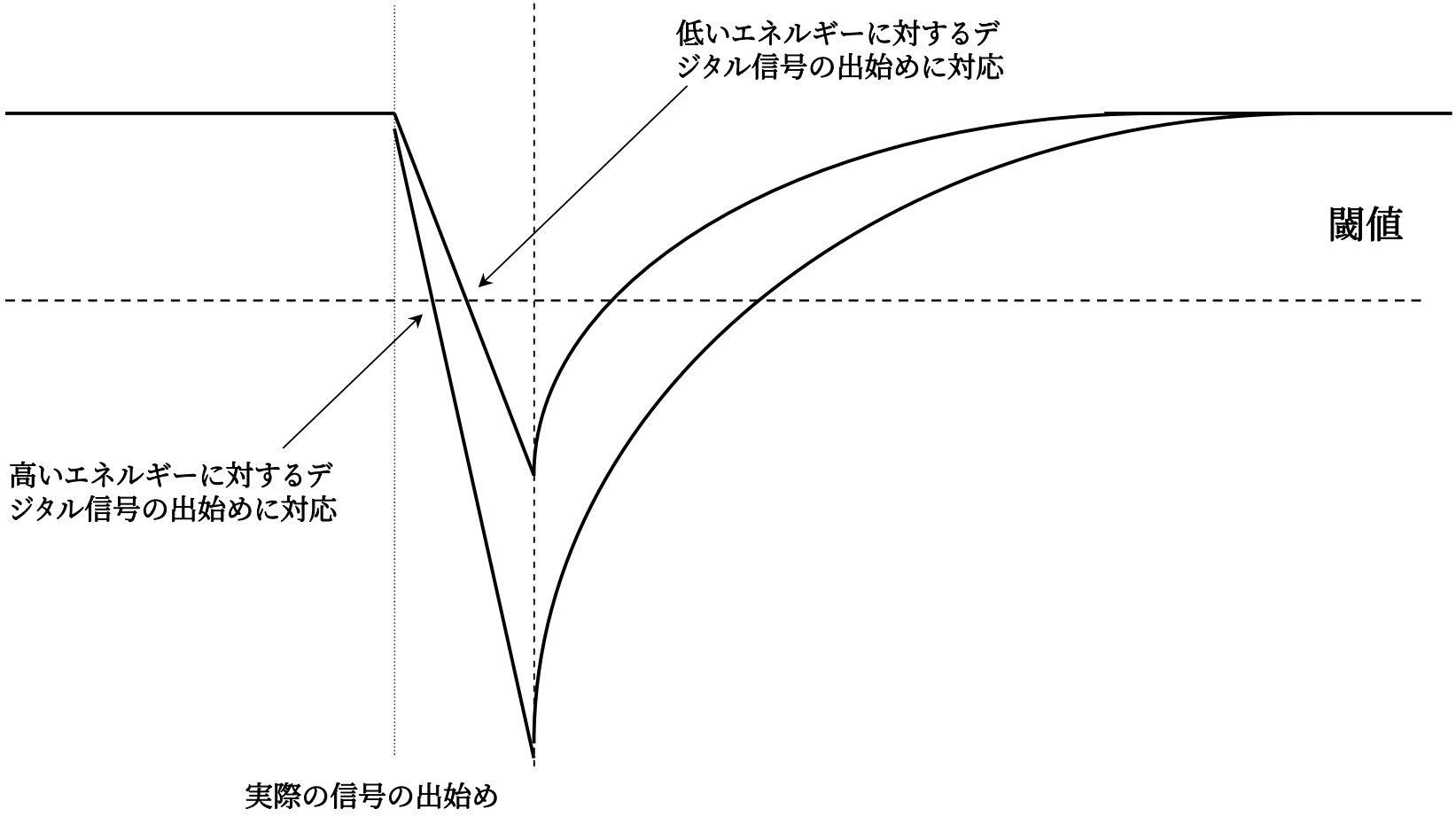
$$\left(time[\mathrm{ns}]\right) = a \times \left(\text{TDCの出力値}\right) + b$$

TDCの出力値と実際の時間は線形(上式の関係)であり、TDCのチャンネルによって決まる。

・1つのstart信号とそれに対して2種類以上の実際の時間間隔（0ns, 118ns, 580ns , 932ns）がわかっている信号を用意し、その時間間隔とTDCの出力値を対応からaとbを求める。

t-Q補正

スレッシュホールドを設定してあるため信号がDiscriminatorを通過するとき、エネルギーによって立ち上がり方が違い、デジタル信号の出始めがずれてくる。



・NaIシンチレータに対して時間の「ずれ」をエネルギーの関数として求めた。

・補正用の実験データのエネルギーと時間の「ずれ」の関係を次の関数でfitした。

$$f(E) = \frac{a}{E - b} + d$$

E：検出したエネルギー

a,b,d：NaIシンチレータで決まるパラメータ

上の関数でfitした理由は、我々の関心があるPsの3γ崩壊で出てくる光子の主なエネルギーの範囲（約250keVから約400keV）付近で第一次近似としてうまくfitできるからである。

2・4実験データの解析方針

オルソポジトロニウムの寿命が短く検出される主な要因

・ピックオフ：ポジトロニウム中の陽電子が、ポジトロニウム外の電子と対消滅をおこしてγ線を放出する

・スピン交換反応：ポジトロニウム外の電子とスピンを交換し、オルソポジトロニウムがパラポジトロニウムに変化して短い寿命で崩壊する

・化学反応：ポジトロニウムの構造が水素原子に似ているために起る酸化反応や、化合物の生成

・完全な真空が実現できた理想的な場合

$$\frac{dN}{dt} = -\Gamma_{3\gamma} N$$

$$\tau_{3\gamma} = \frac{1}{\Gamma_{3\gamma}}$$ これが求めたいo-Psの寿命

・我々の実験の場合

$$\frac{dN}{dt} = -\left(\Gamma_{3\gamma} + \Gamma_{\text{pick-off}}\right) N = -\Gamma_{\text{total}} N$$

$$\tau_{\text{total}} = \frac{1}{\Gamma_{\text{total}}} = \frac{1}{\Gamma_{3\gamma} + \Gamma_{\text{pick-off}}}$$

pick-offの影響が出てくる

・崩壊に要した時間と、
崩壊のイベント数のヒストグラムを

$$N(t) = N_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau_{\text{total}}}\right)$$

で、フィットしτ_{total}を求める。

最終的に

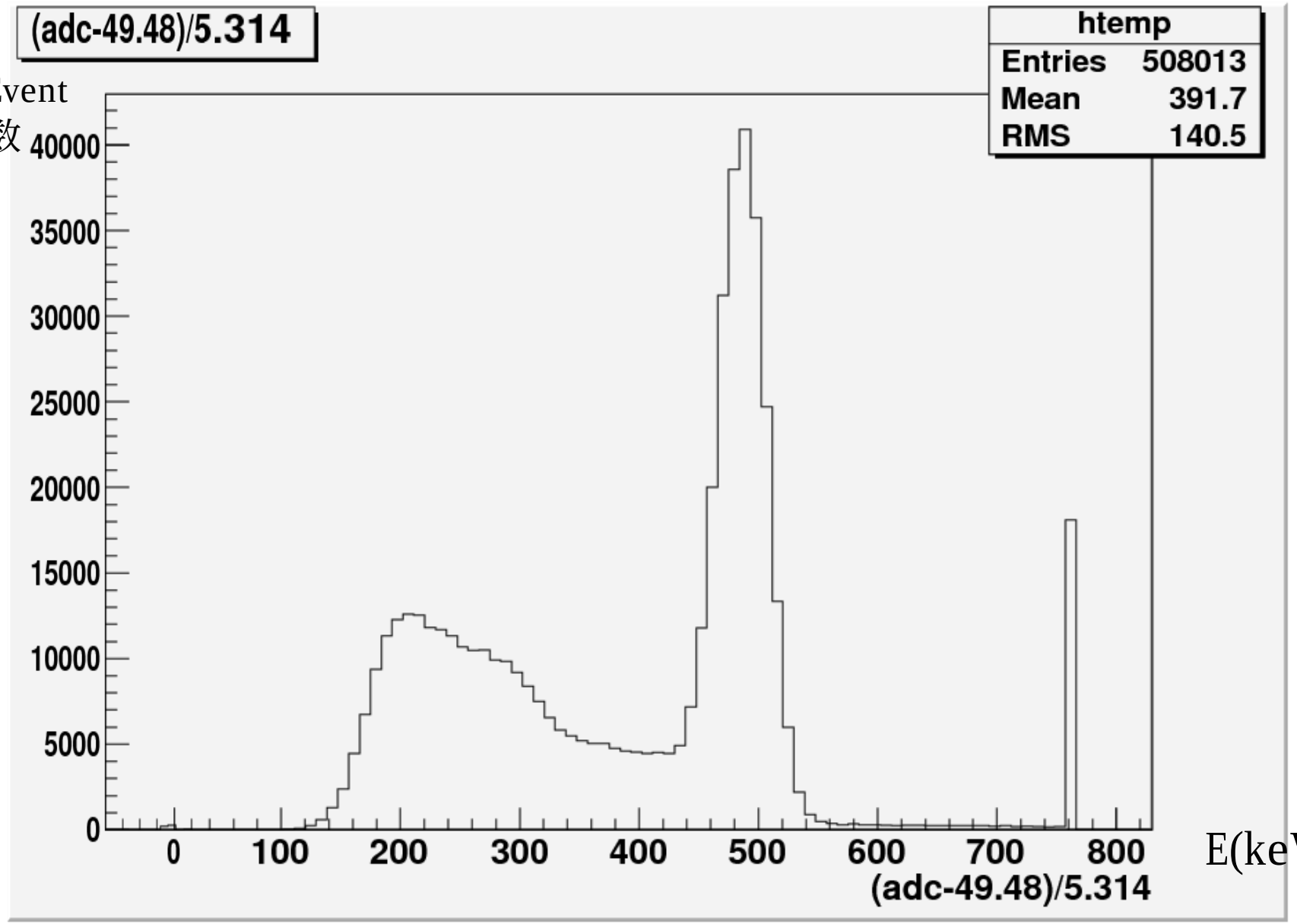
・シリカパウダーは密度が小さいため、ピックオフ等の影響はほとんど空気によっている。

・また、真空容器を用いても完全な真空は得られない。

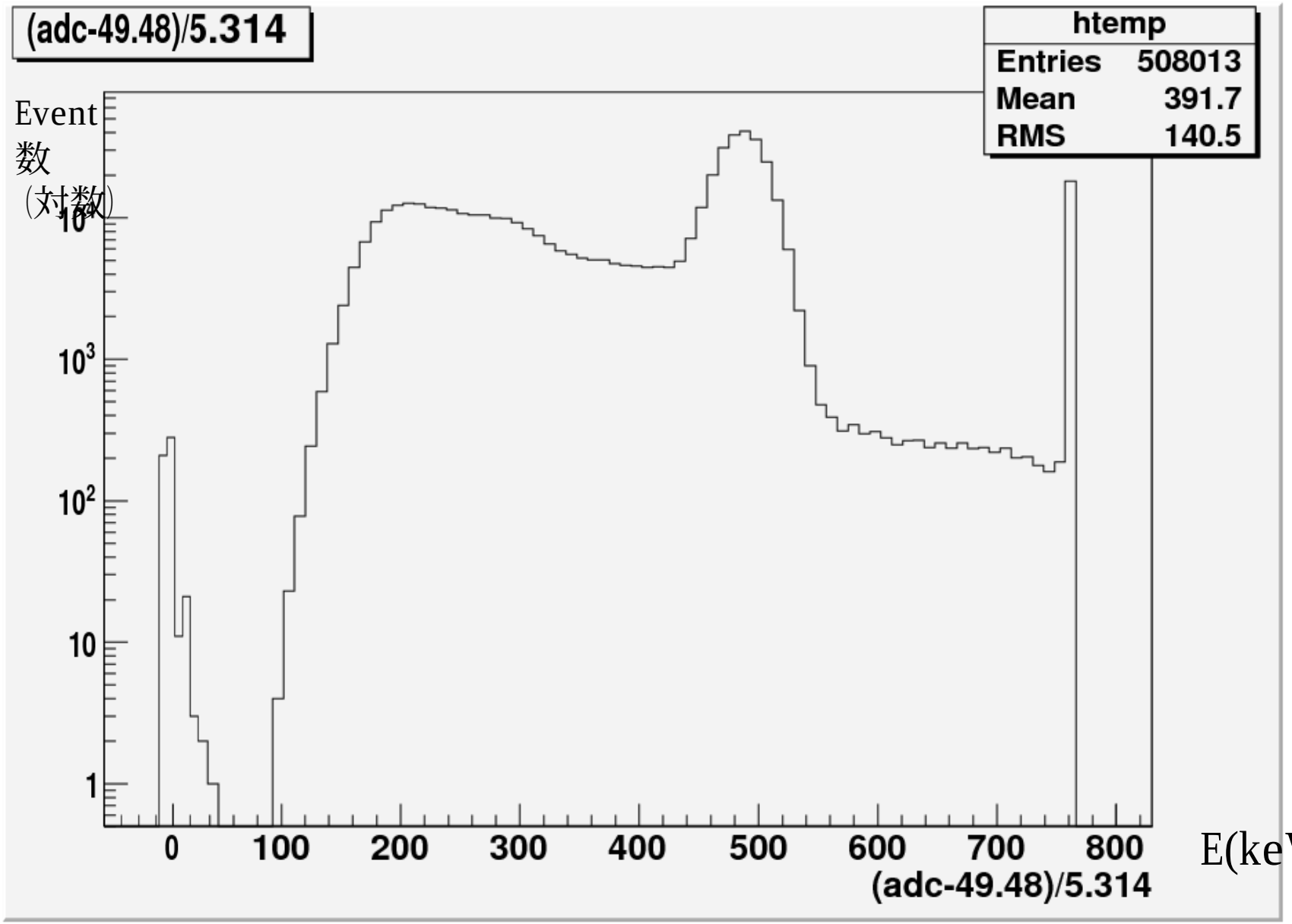
・そのため、本実験では、
真空容器を用いて気圧を変えて測定を繰り返し
気圧とτのグラフを外挿しオルソポジトロニウムの寿命を求める。

3. 測定データを用いた解析

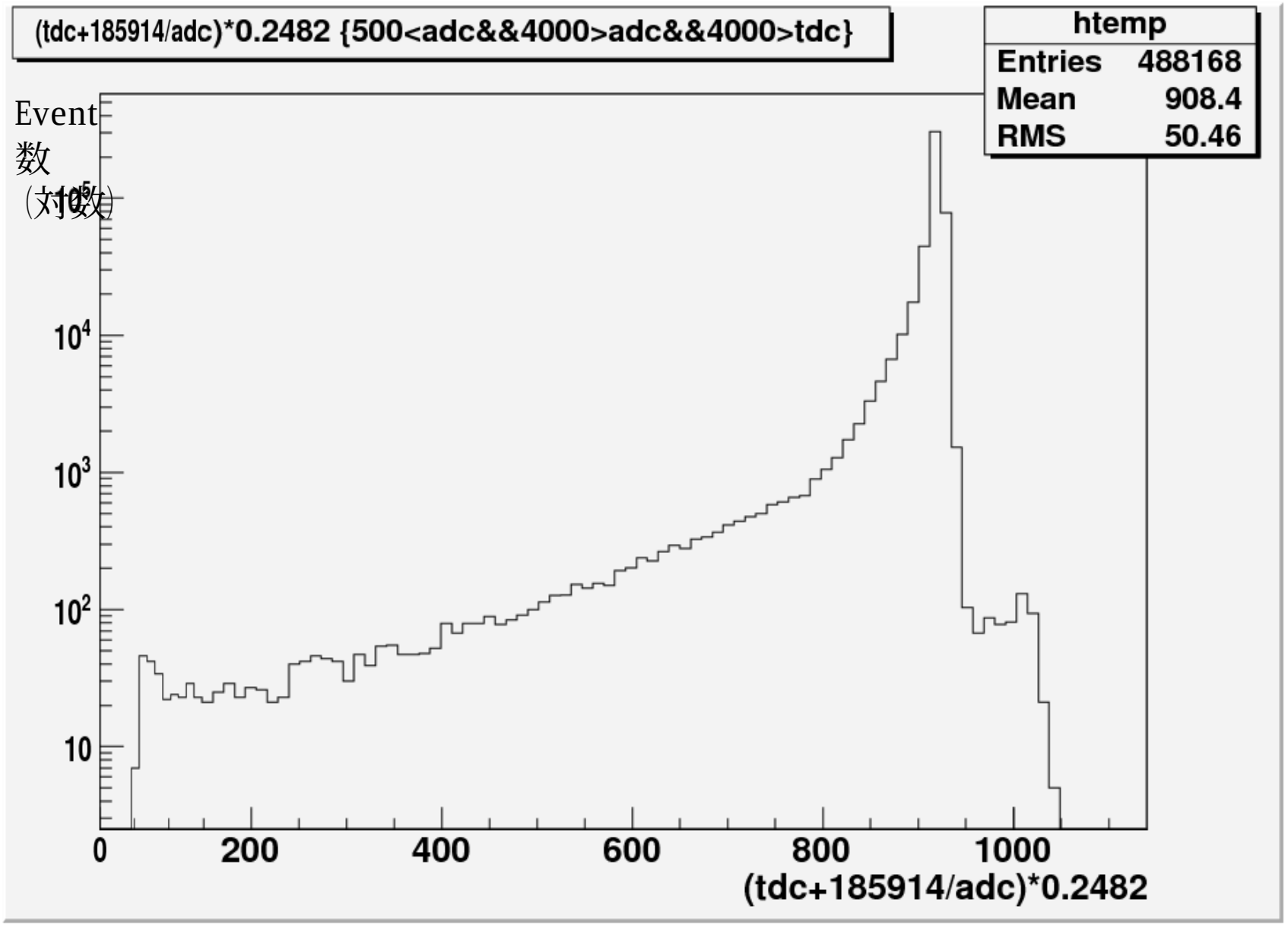
Energy V.S. Events



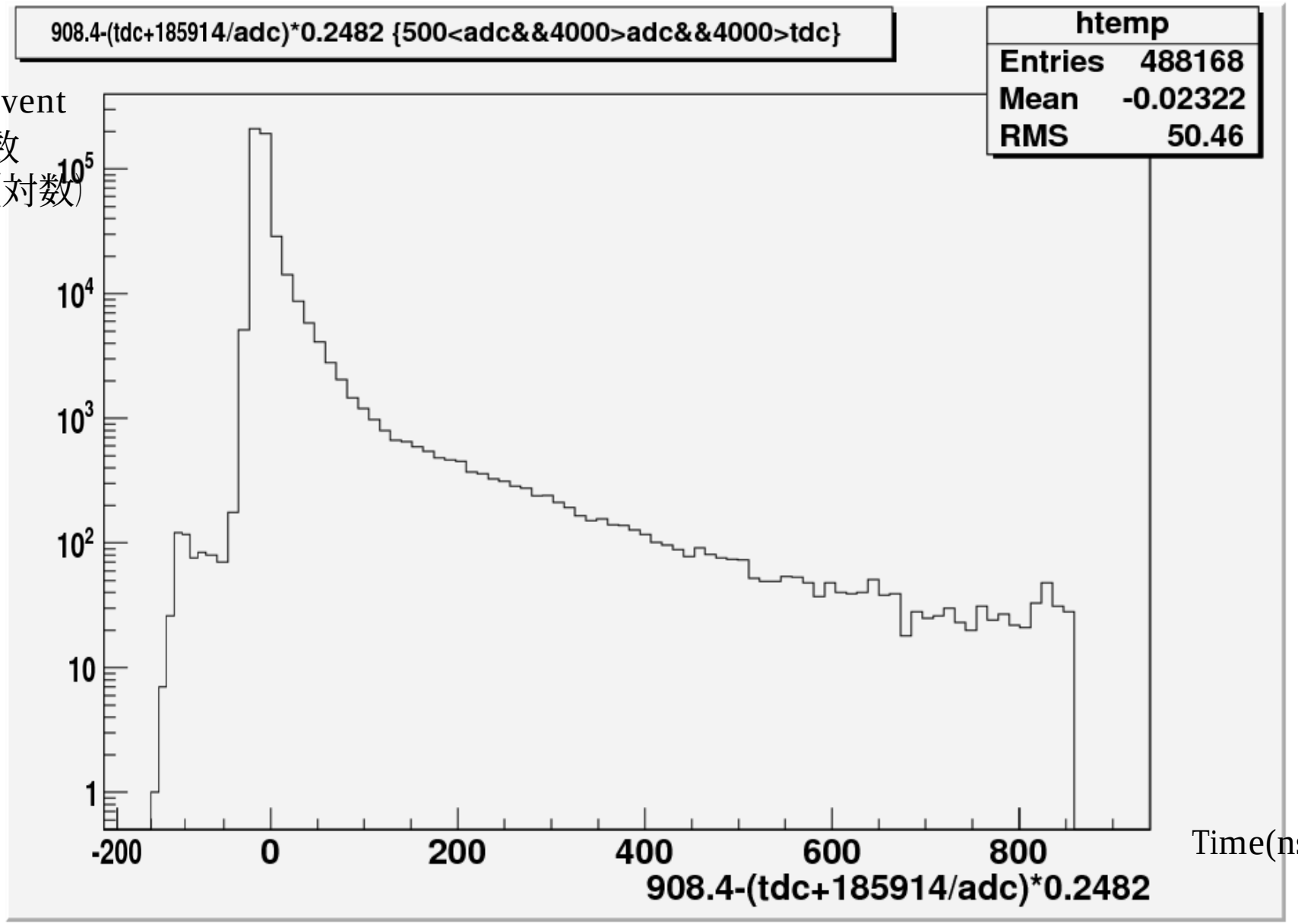
Energy V.S. Events

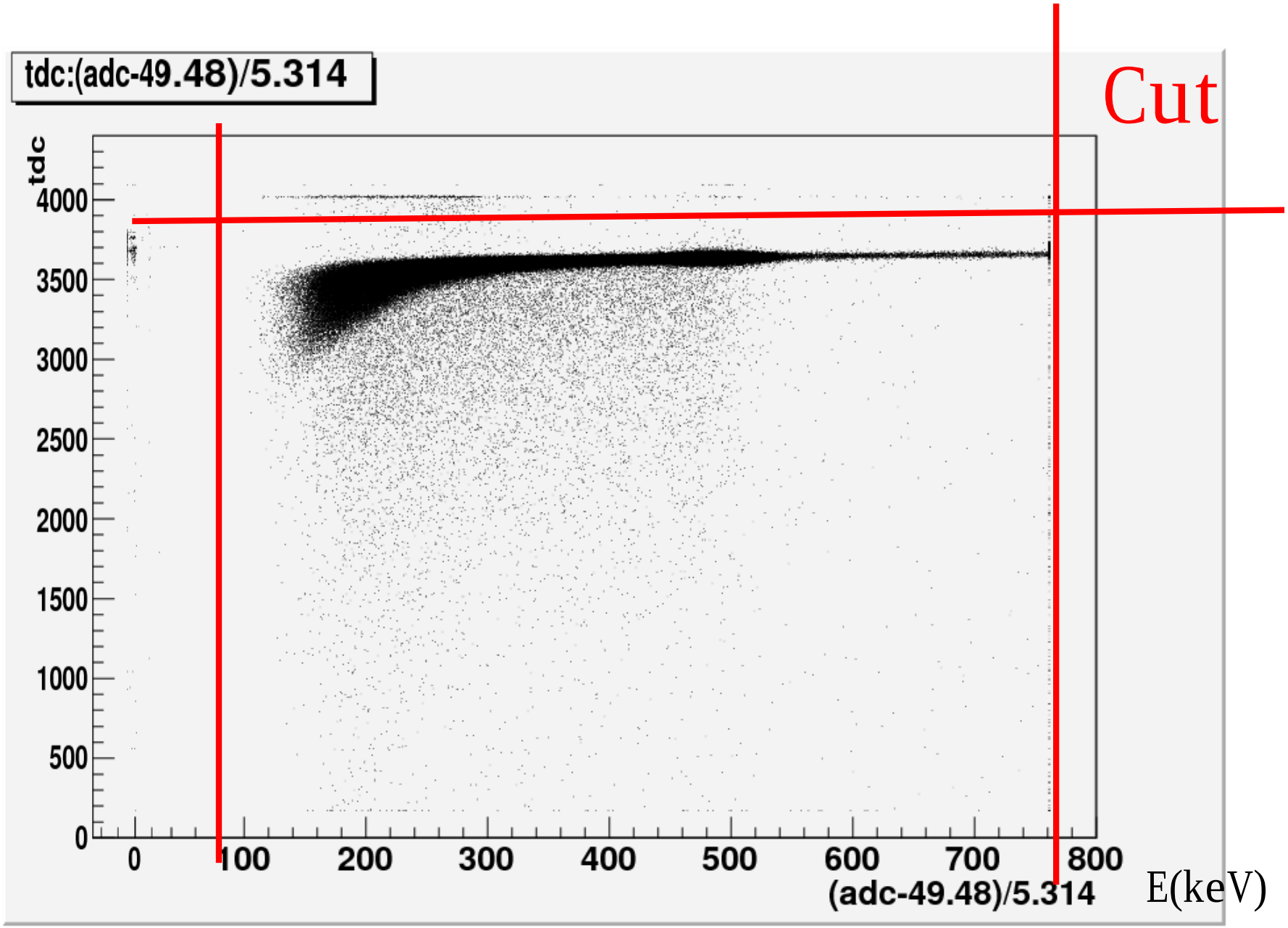


Time V.S. Events

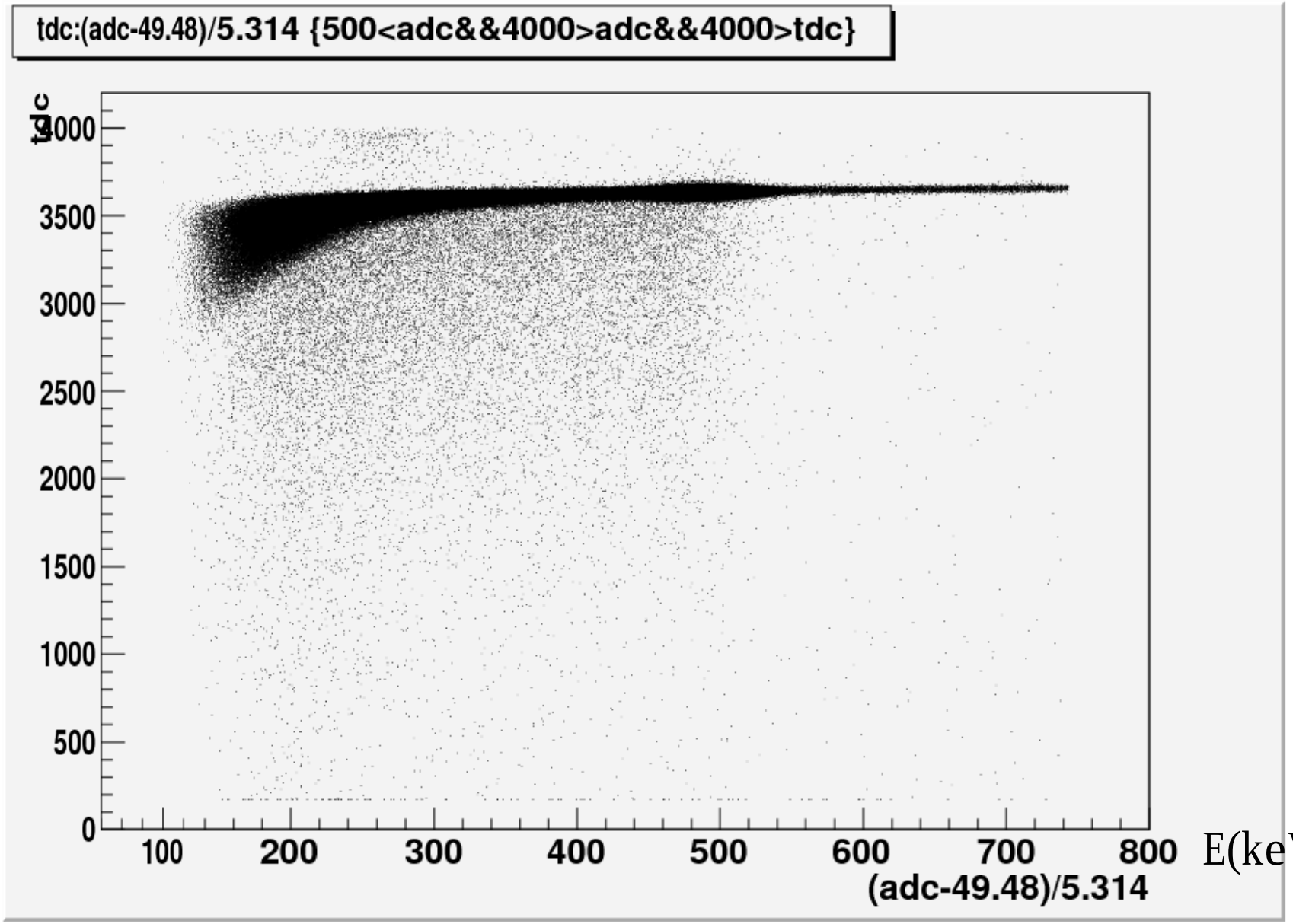


時間軸の変更


908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482 {500<adc&&4000>adc&&4000>tdc}
htemp
Entries 488168
Mean -0.02322
RMS 50.46
Event 数 (対数)
10^5
10^4
10^3
10^2
10
1
-200
0
200
400
600
800
908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482
Time(ns)

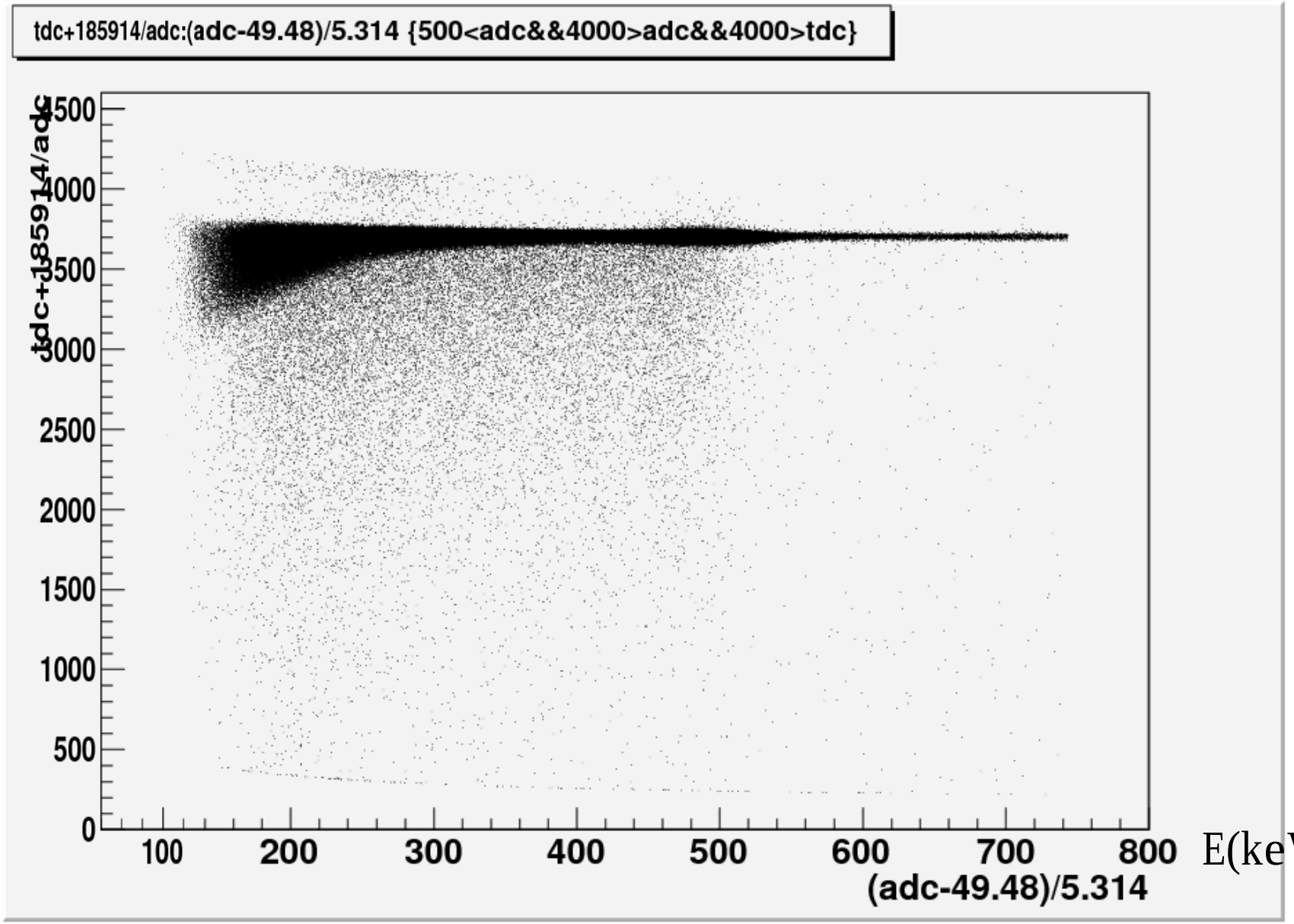

tdc:(adc-49.48)/5.314
Cut
tdc
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
0
100
200
300
400
500
600
700
800
(adc-49.48)/5.314
E(keV)

Cut 後


tdc:(adc-49.48)/5.314 {500<adc&&4000>adc&&4000>tdc}
tdc
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
100
200
300
400
500
600
700
800
(adc-49.48)/5.314

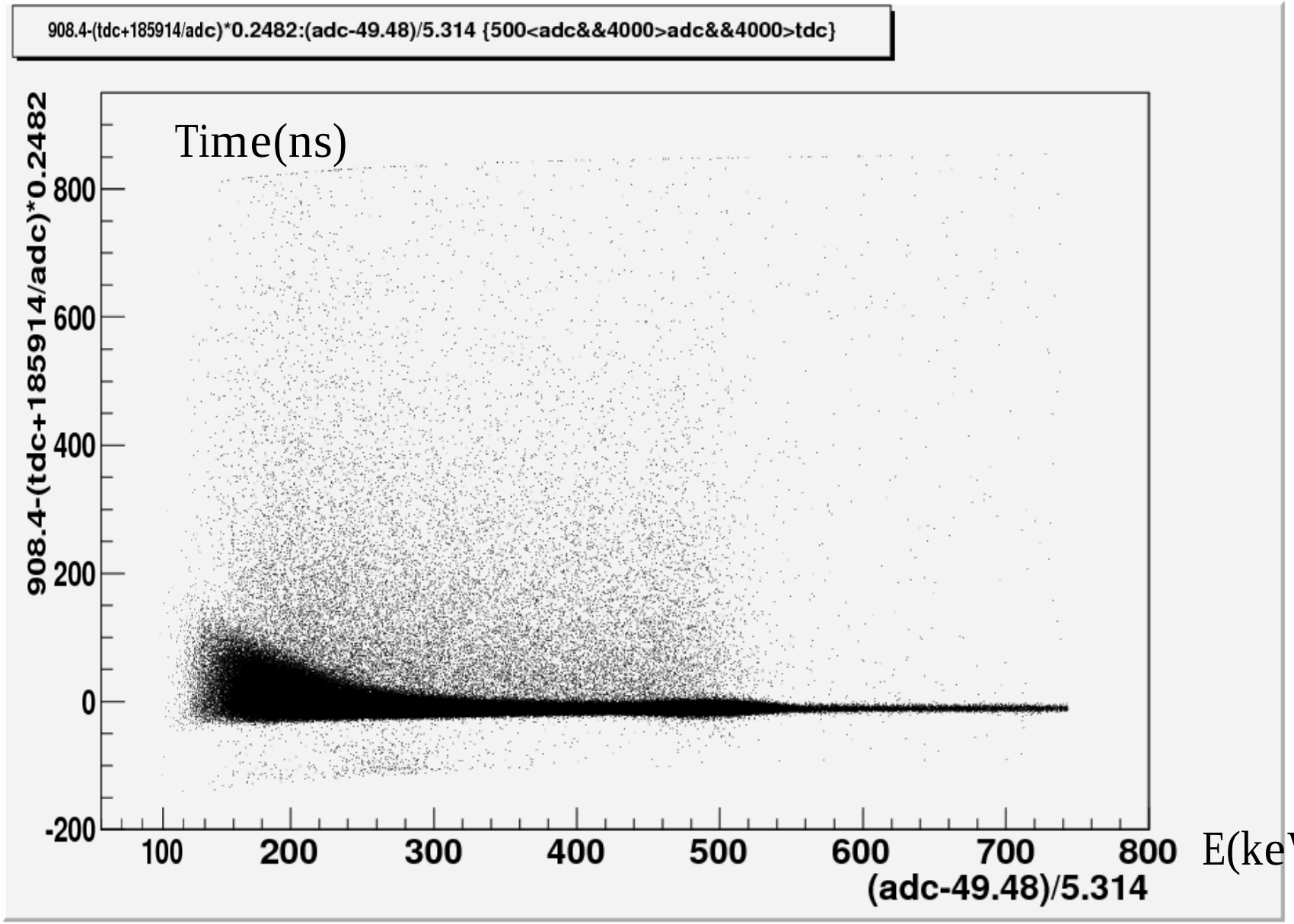
E(keV)

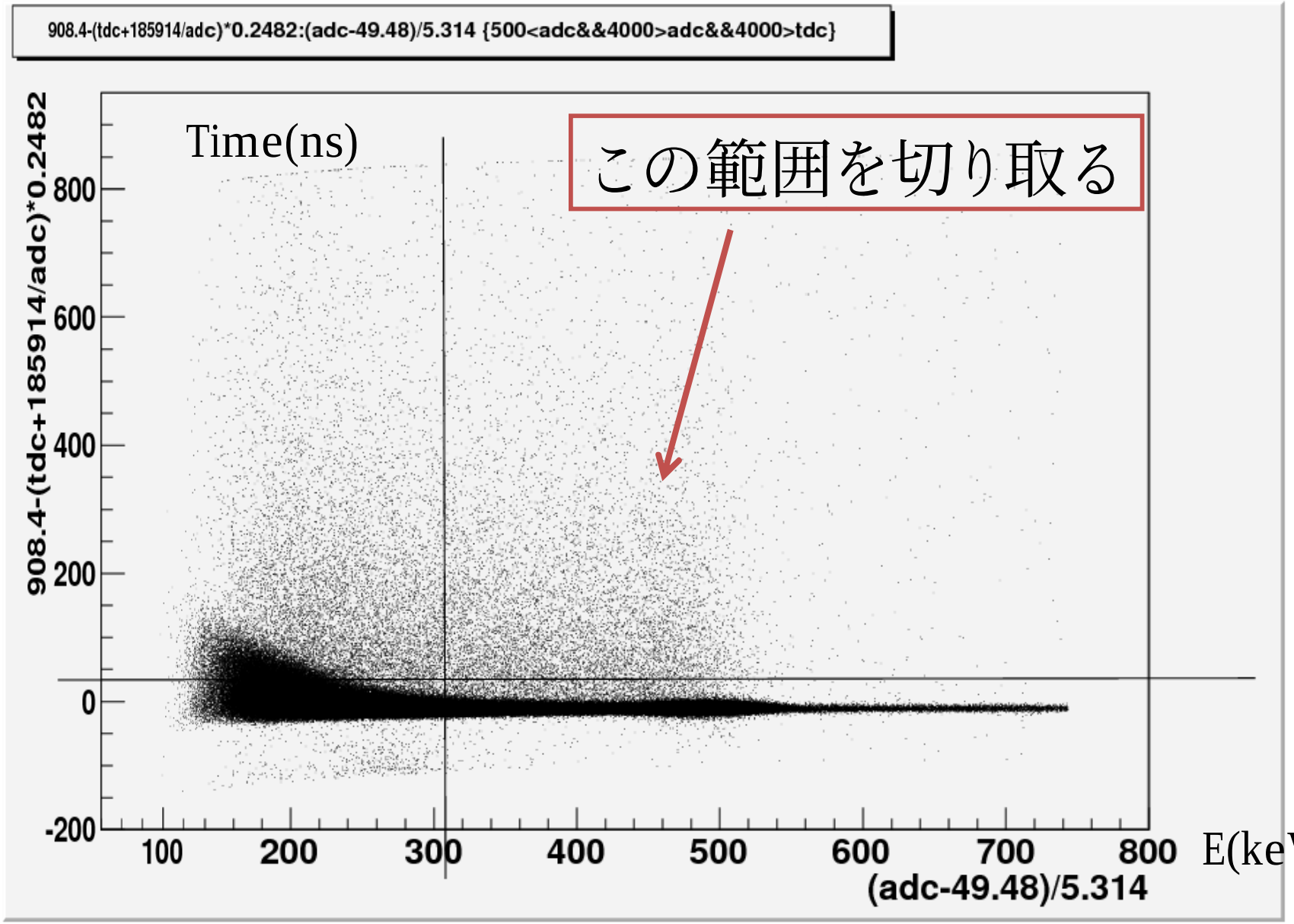
T− Q補正後


tdc+185914/adc:(adc-49.48)/5.314 {500<adc&&4000>adc&&4000>tdc}
tdc+185914/adc
4500
4000
3500
3000
2500
2000
1500
1000
500
0
100
200
300
400
500
600
700
800
(adc-49.48)/5.314

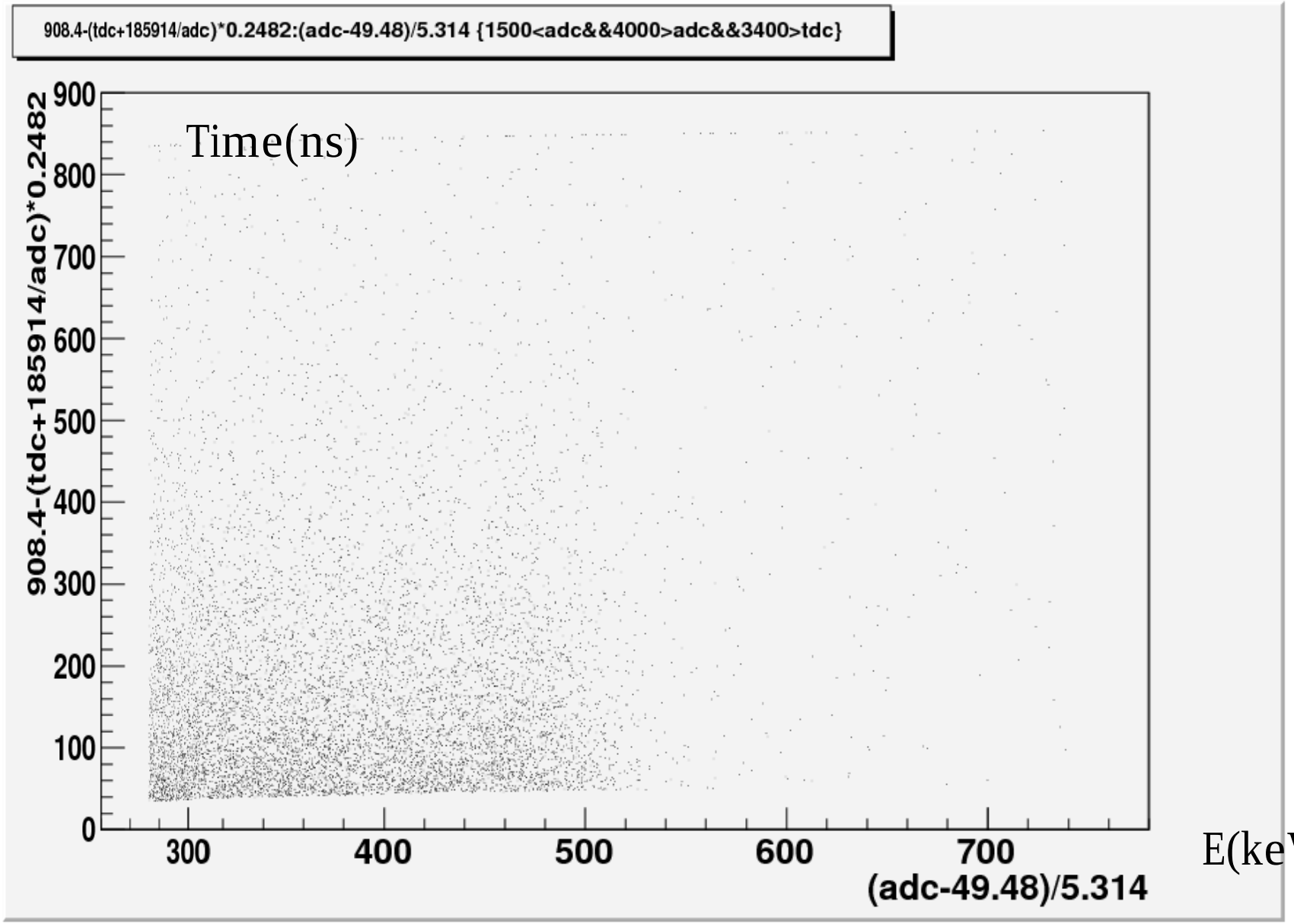
E(keV)

時間軸の変更

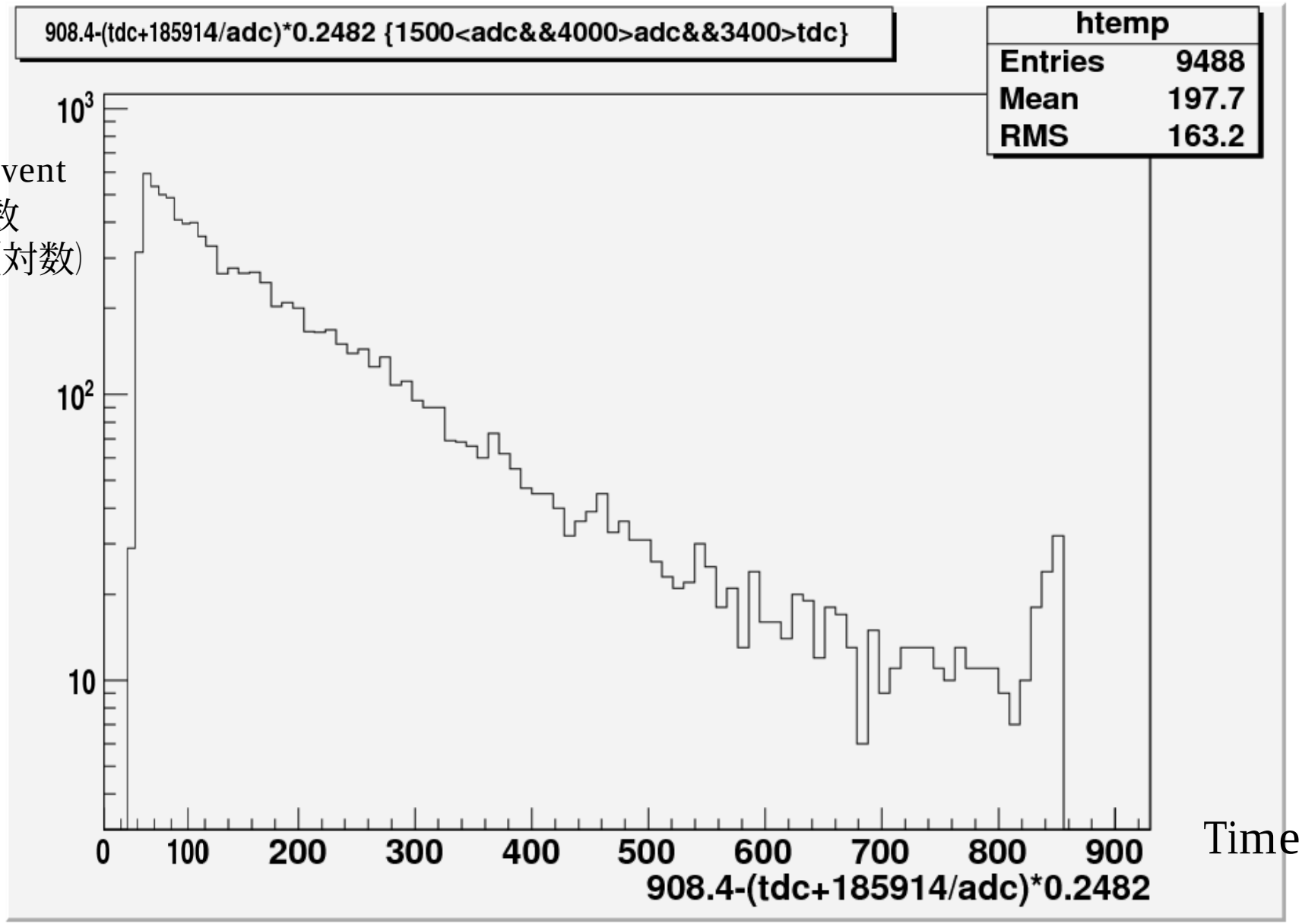

908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482:(adc-49.48)/5.314 {500<adc&&4000>adc&&4000>tdc}
Time(ns)
908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482
800
600
400
200
0
-200
100
200
300
400
500
600
700
800
(adc-49.48)/5.314
E(keV)


908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482:(adc-49.48)/5.314 {500<adc&&4000>adc&&4000>tdc}
Time(ns)
この範囲を切り取る
908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482
800
600
400
200
0
-200
100
200
300
400
500
600
700
800
(adc-49.48)/5.314
E(keV)

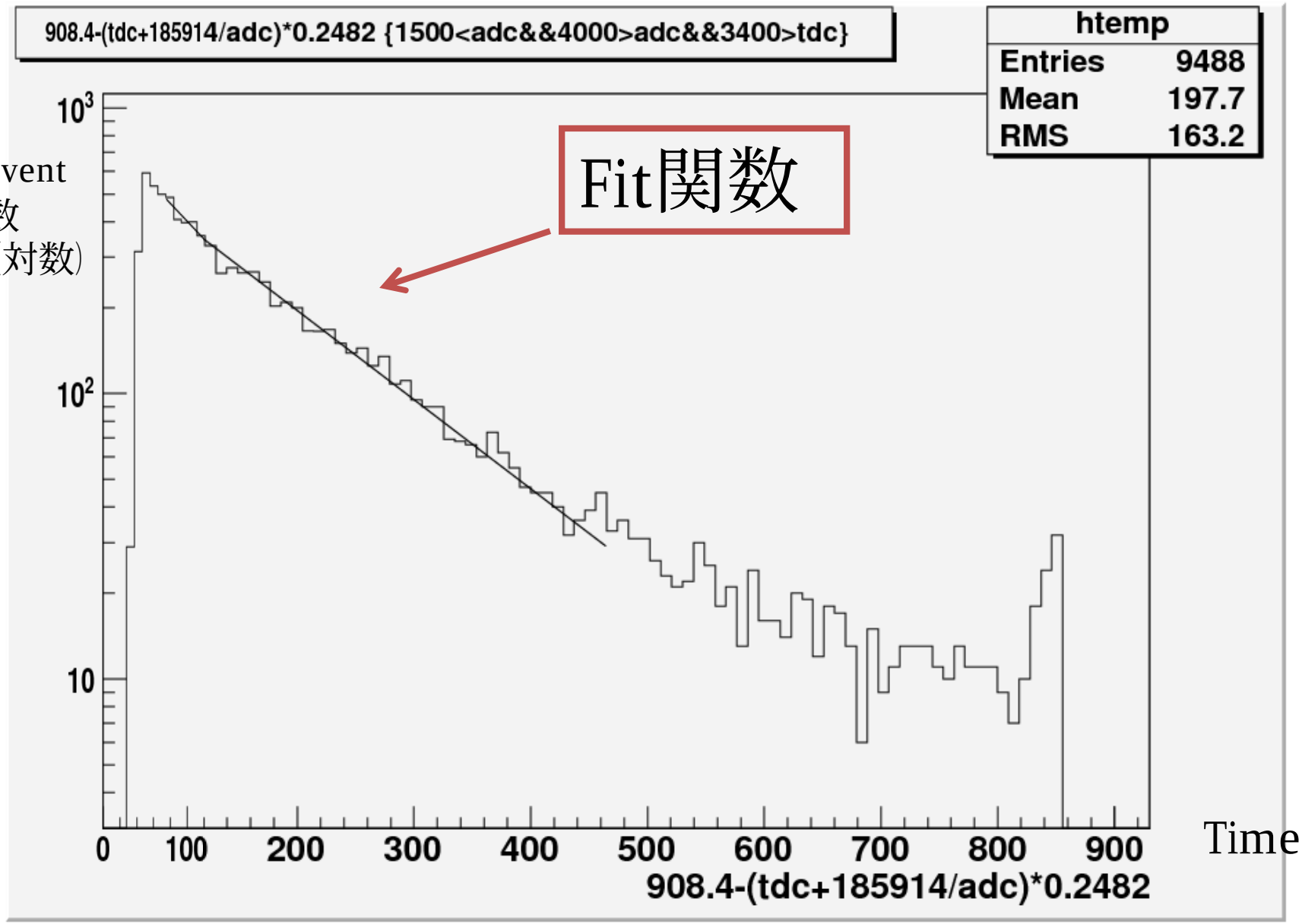
切り取った部分


908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482:(adc-49.48)/5.314 {1500<adc&&4000>adc&&3400>tdc}
Time(ns)
908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
300
400
500
600
700
(adc-49.48)/5.314
E(keV)

切り取った部分での Time V.S. Events



傾きが寿命の逆数

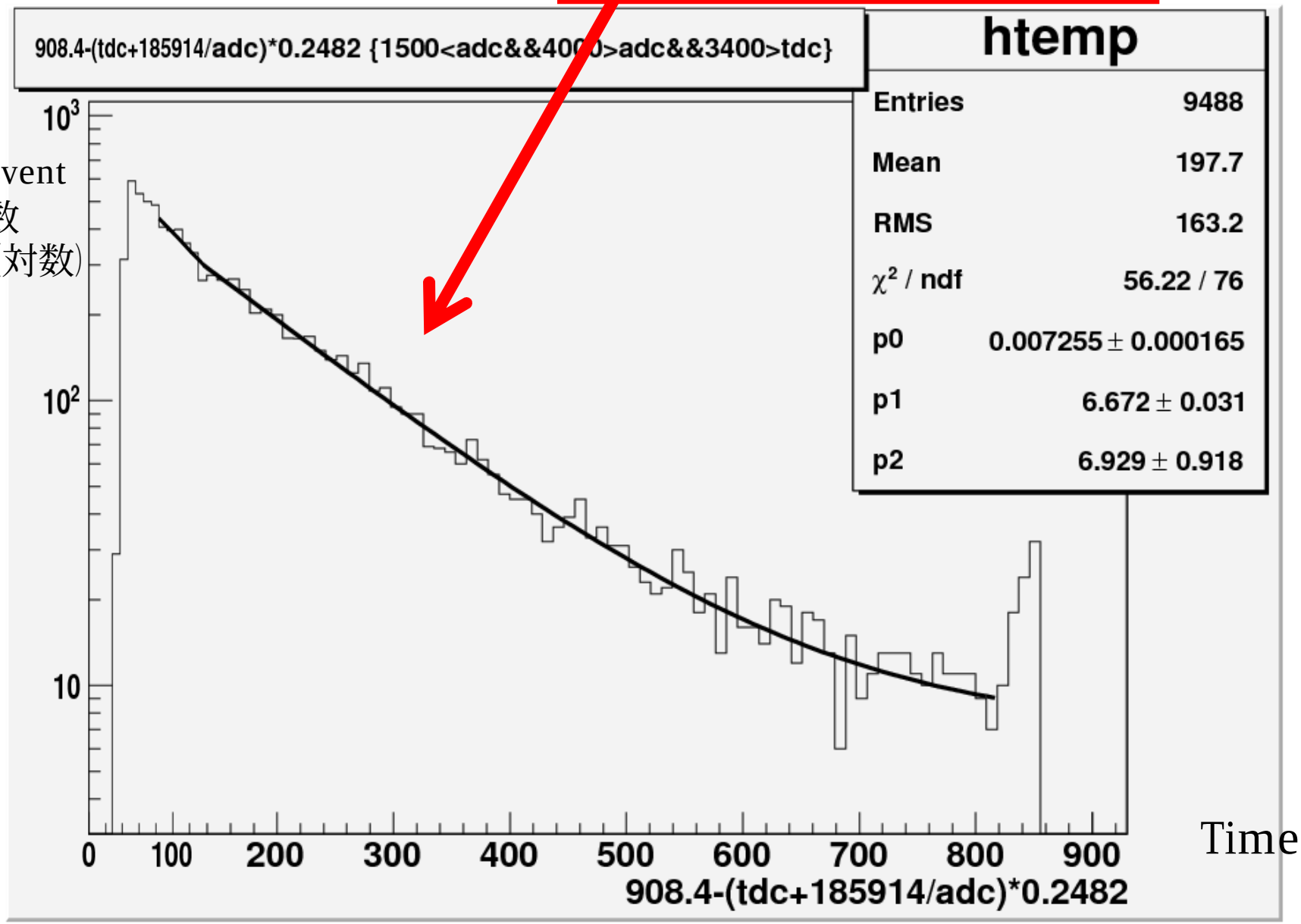

908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482 {1500<adc&&4000>adc&&3400>tdc}
htemp
Entries 9488
Mean 197.7
RMS 163.2
Fit関数
Event 数 (対数)
10^3
10^2
10
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482
Time(ns)

Fitting　その1

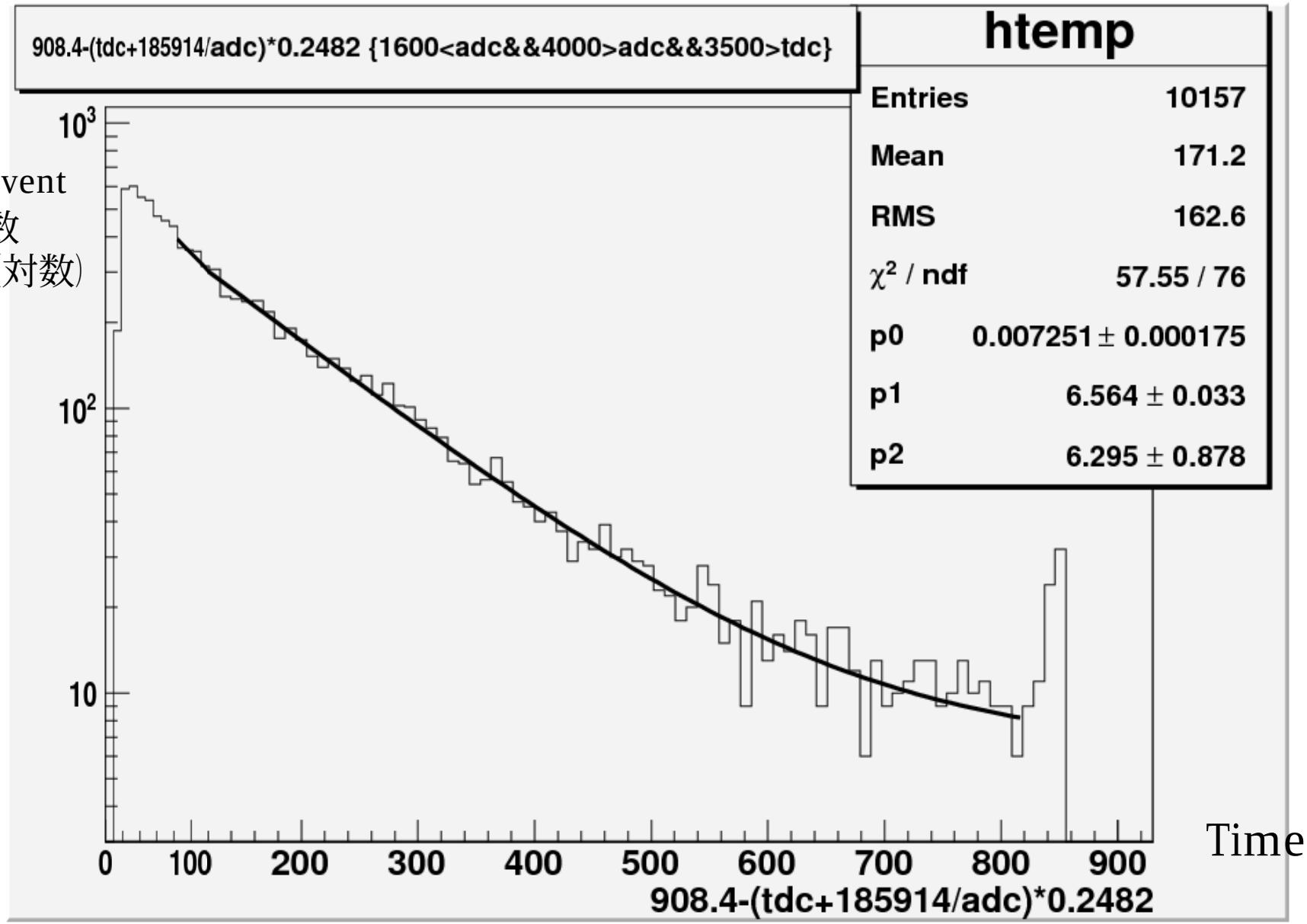
$$\exp\left(-p[0]x+p[1]\right)+p[2]$$

でFit

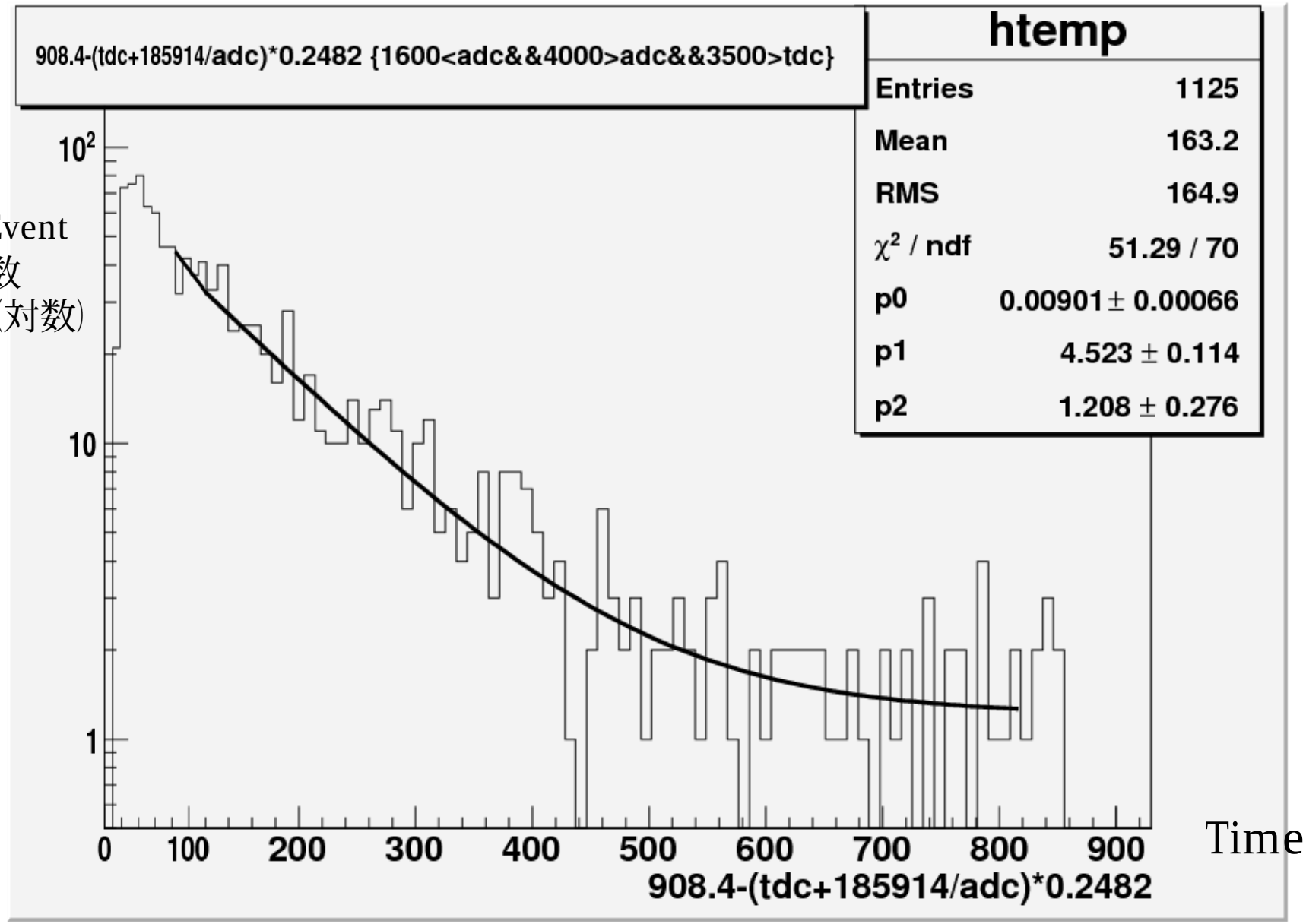
Fit $\exp(-p[0]x+p[1])+p[2]$



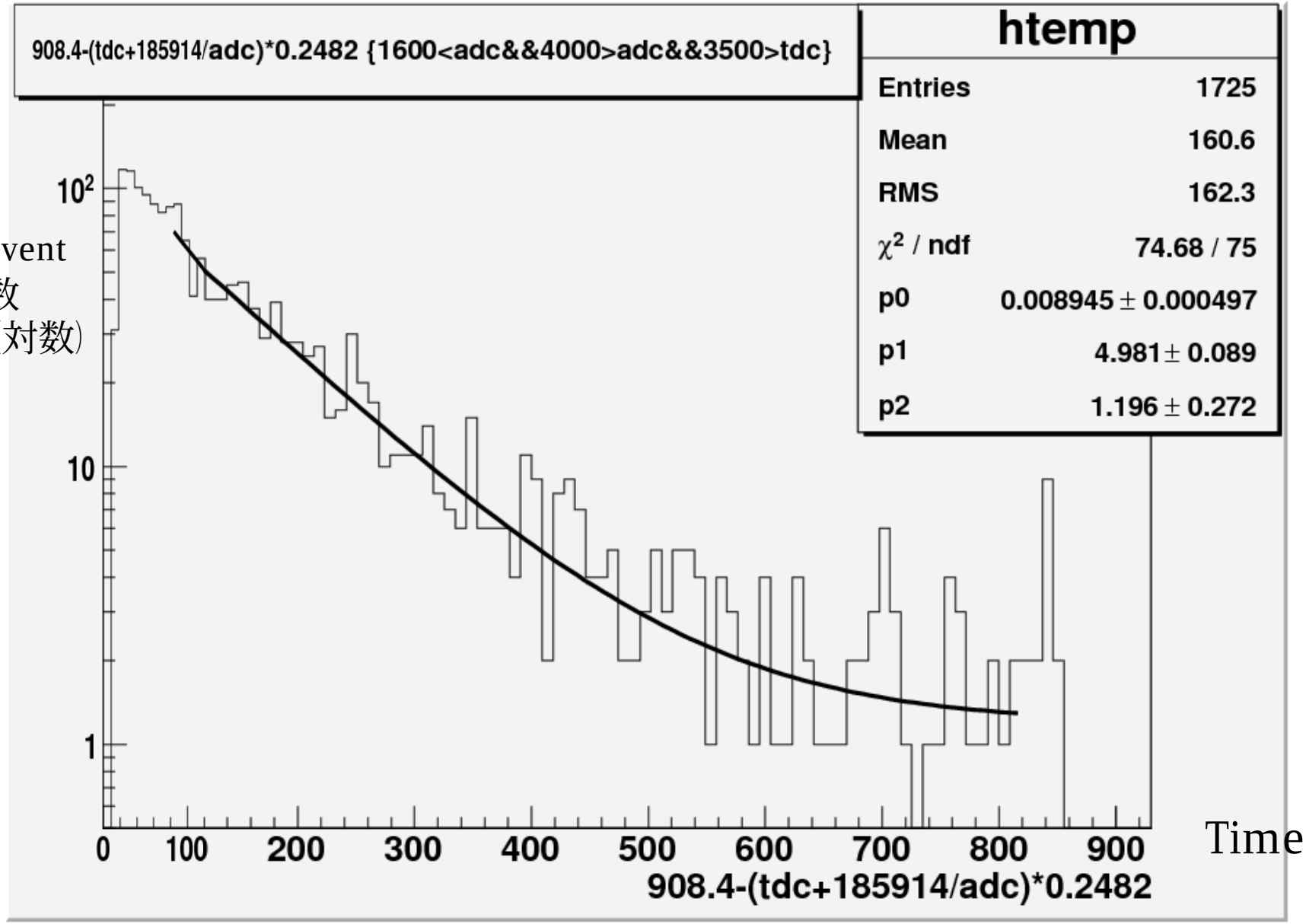
2%80-820ns


908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482 {1600<adc&&4000>adc&&3500>tdc}
htemp
Entries 10157
Mean 171.2
RMS 162.6
χ² / ndf 57.55 / 76
p0 0.007251 ± 0.000175
p1 6.564 ± 0.033
p2 6.295 ± 0.878
Event 数 (対数)
10³
10²
10
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900
908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482
Time(ns)

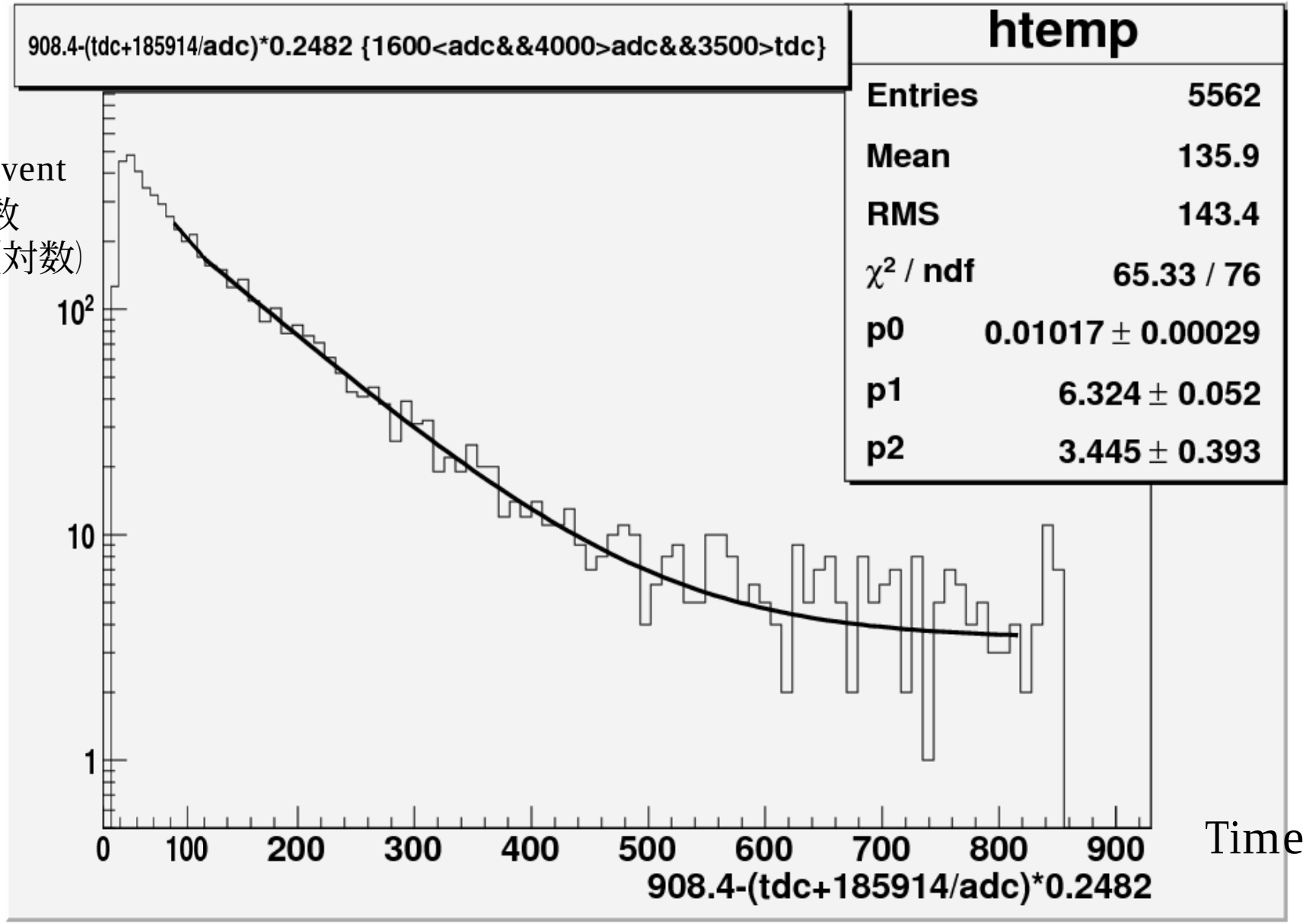
10%80-820ns


908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482 {1600<adc&&4000>adc&&3500>tdc}
htemp
Entries 1125
Mean 163.2
RMS 164.9
χ² / ndf 51.29 / 70
p0 0.00901 ± 0.00066
p1 4.523 ± 0.114
p2 1.208 ± 0.276
Event 数 (対数)
10²
10
1
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900
908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482
Time(ns)

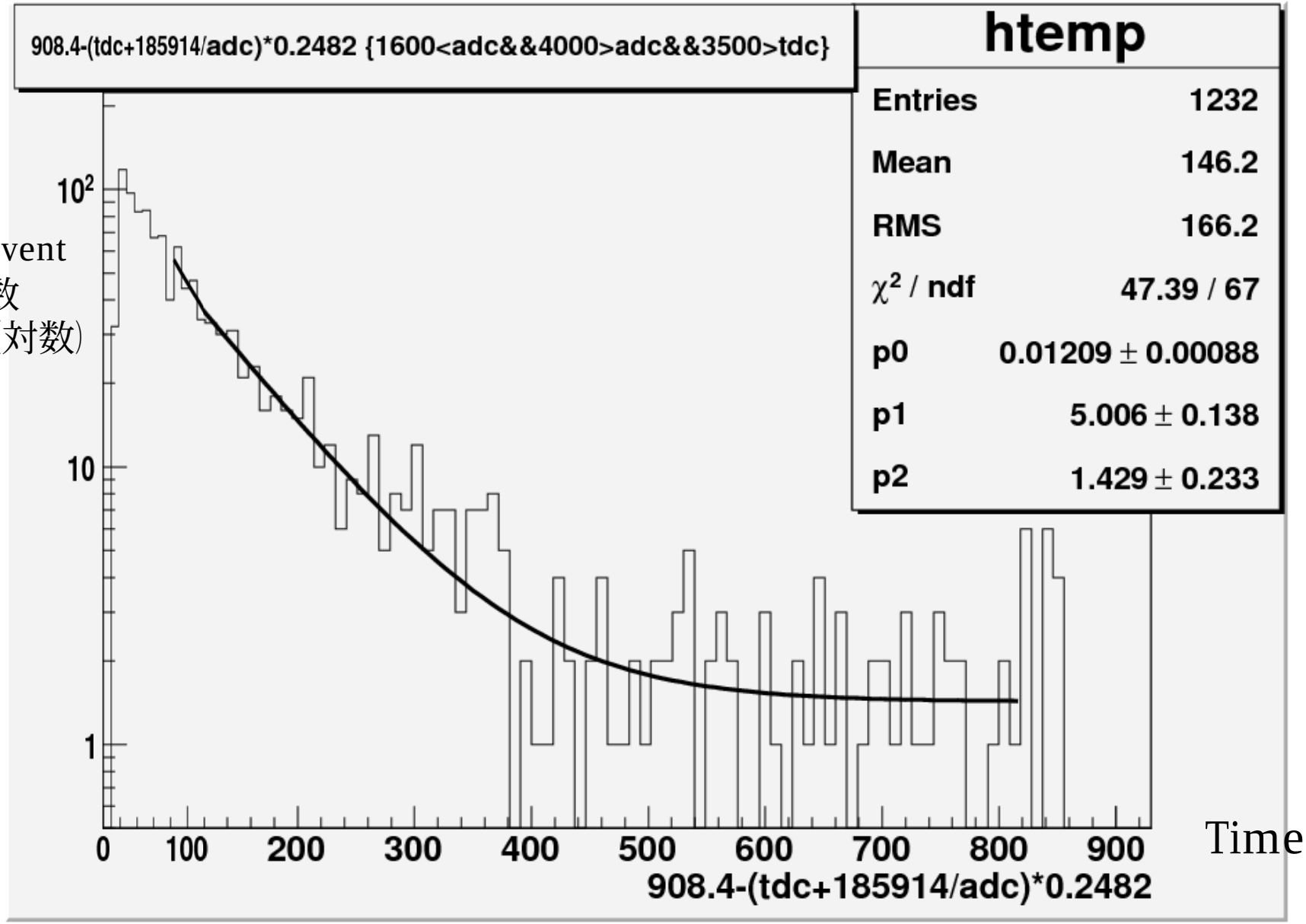
20%80-820ns


908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482 {1600<adc&&4000>adc&&3500>tdc}
htemp
Entries 1725
Mean 160.6
RMS 162.3
χ² / ndf 74.68 / 75
p0 0.008945 ± 0.000497
p1 4.981 ± 0.089
p2 1.196 ± 0.272
Event 数 (対数)
10²
10
1
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900
908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482
Time(ns)

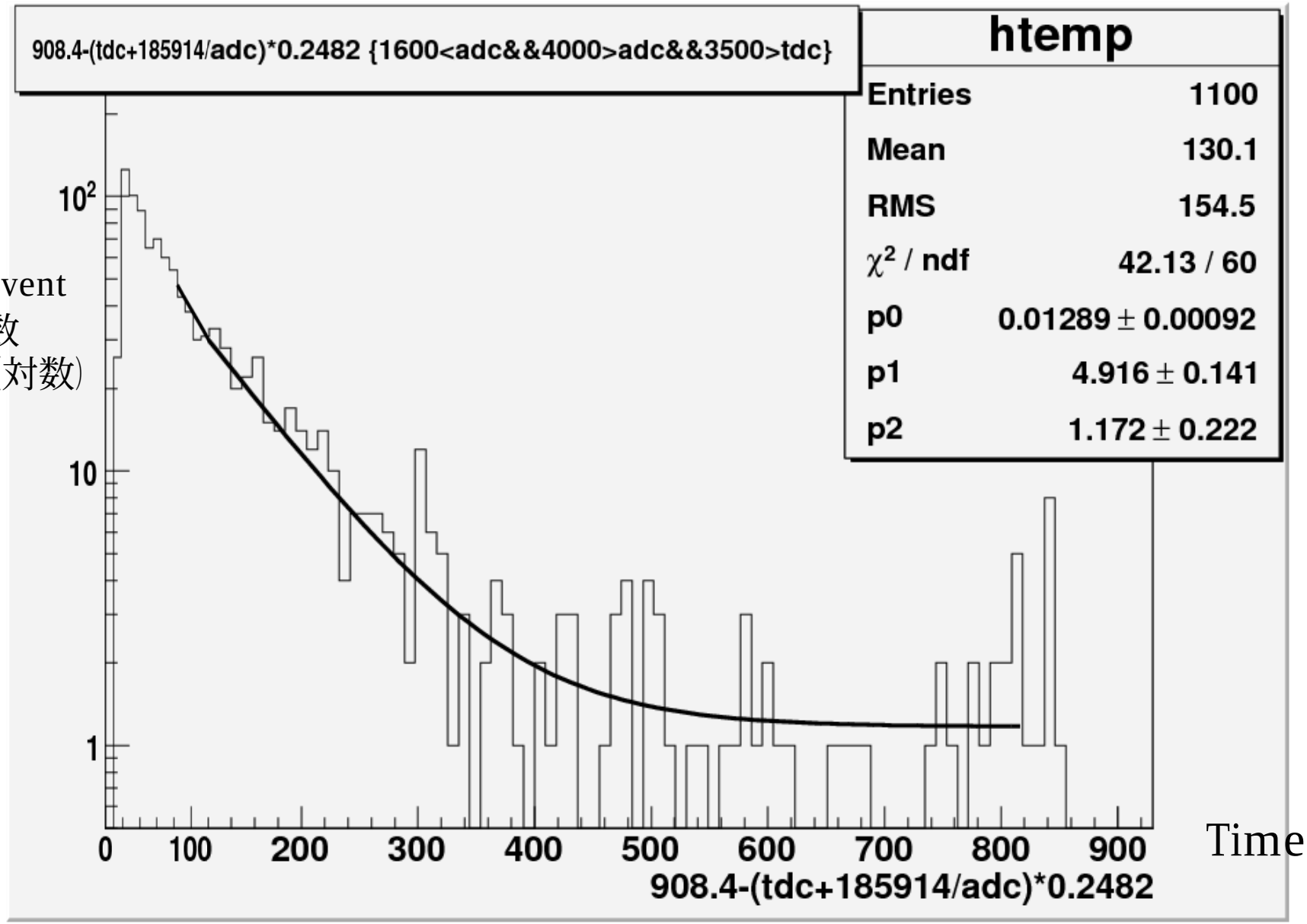
50%80-820ns


908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482 {1600<adc&&4000>adc&&3500>tdc}
htemp
Entries 5562
Mean 135.9
RMS 143.4
χ² / ndf 65.33 / 76
p0 0.01017 ± 0.00029
p1 6.324 ± 0.052
p2 3.445 ± 0.393
Event 数 (対数)
10²
10
1
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900
908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482
Time(ns)

80%80-820ns


908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482 {1600<adc&&4000>adc&&3500>tdc}
htemp
Entries 1232
Mean 146.2
RMS 166.2
χ² / ndf 47.39 / 67
p0 0.01209 ± 0.00088
p1 5.006 ± 0.138
p2 1.429 ± 0.233
Event 数 (対数)
10²
10
1
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900
908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482
Time(ns)

100%80-820ns


908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482 {1600<adc&&4000>adc&&3500>tdc}
htemp
Entries 1100
Mean 130.1
RMS 154.5
χ² / ndf 42.13 / 60
p0 0.01289 ± 0.00092
p1 4.916 ± 0.141
p2 1.172 ± 0.222
Event 数 (対数)
10²
10
1
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900
908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482
Time(ns)

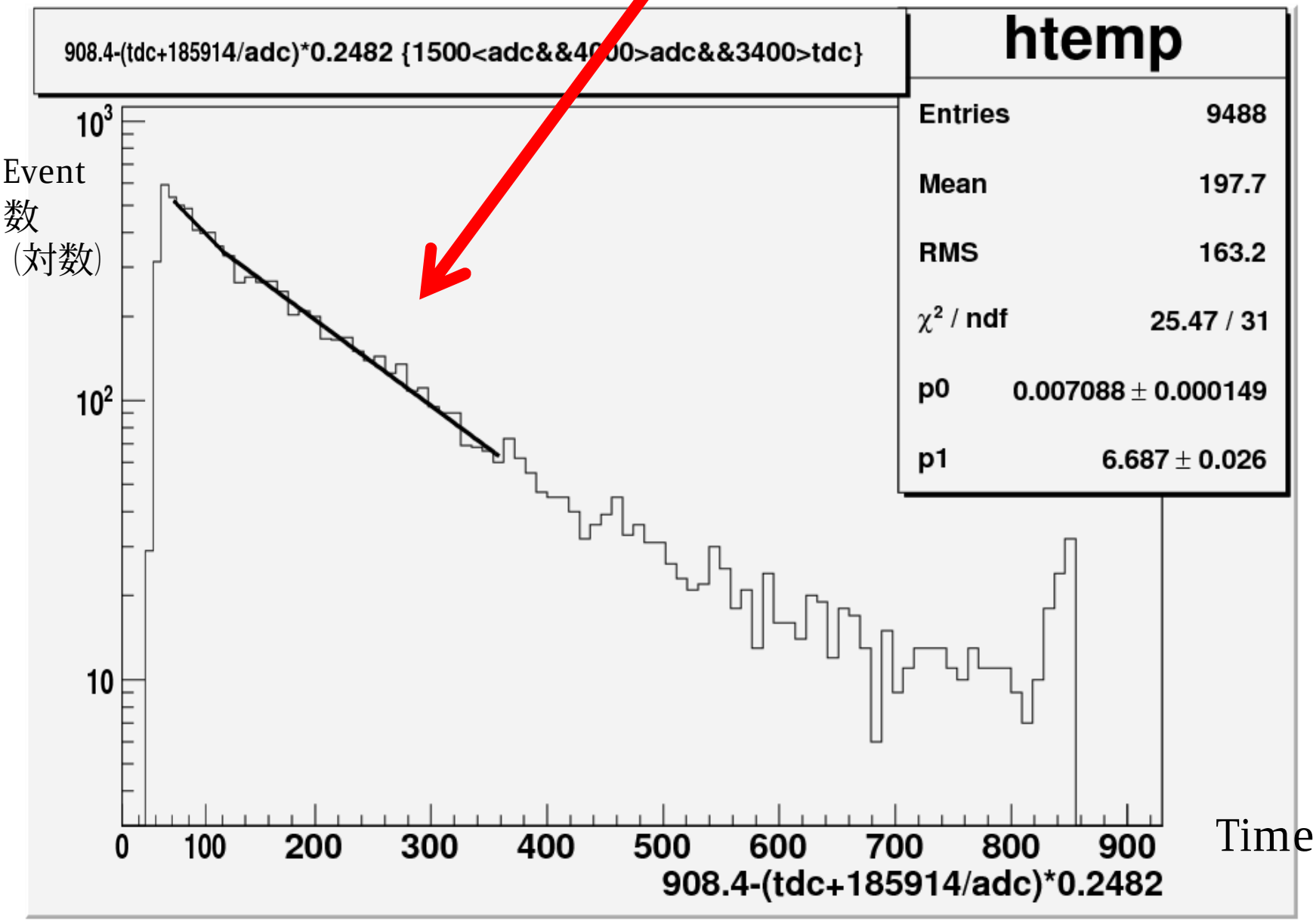
Fitting その2

$\exp(-p[0]x + p[1])$

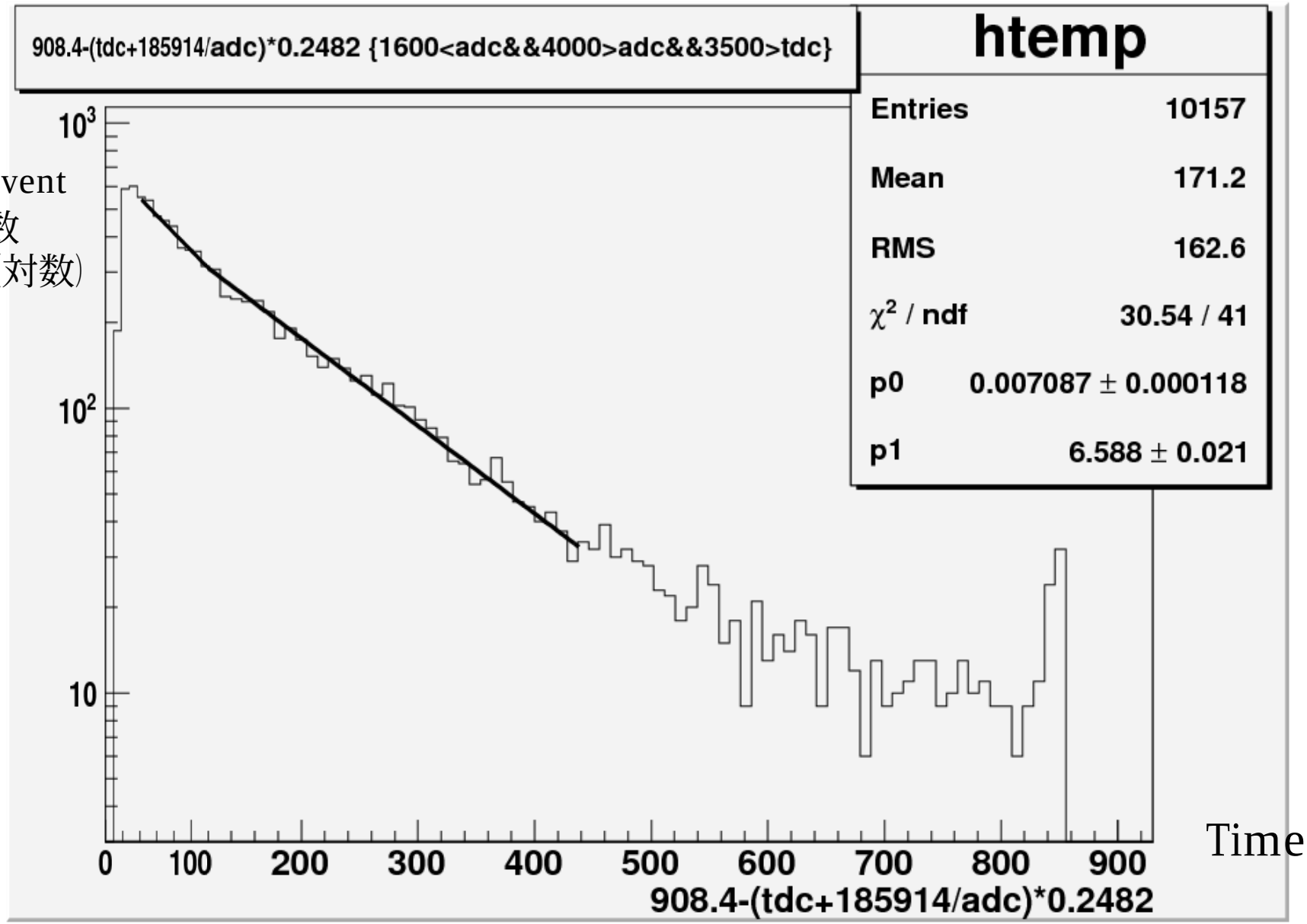
でFit

直線でFit

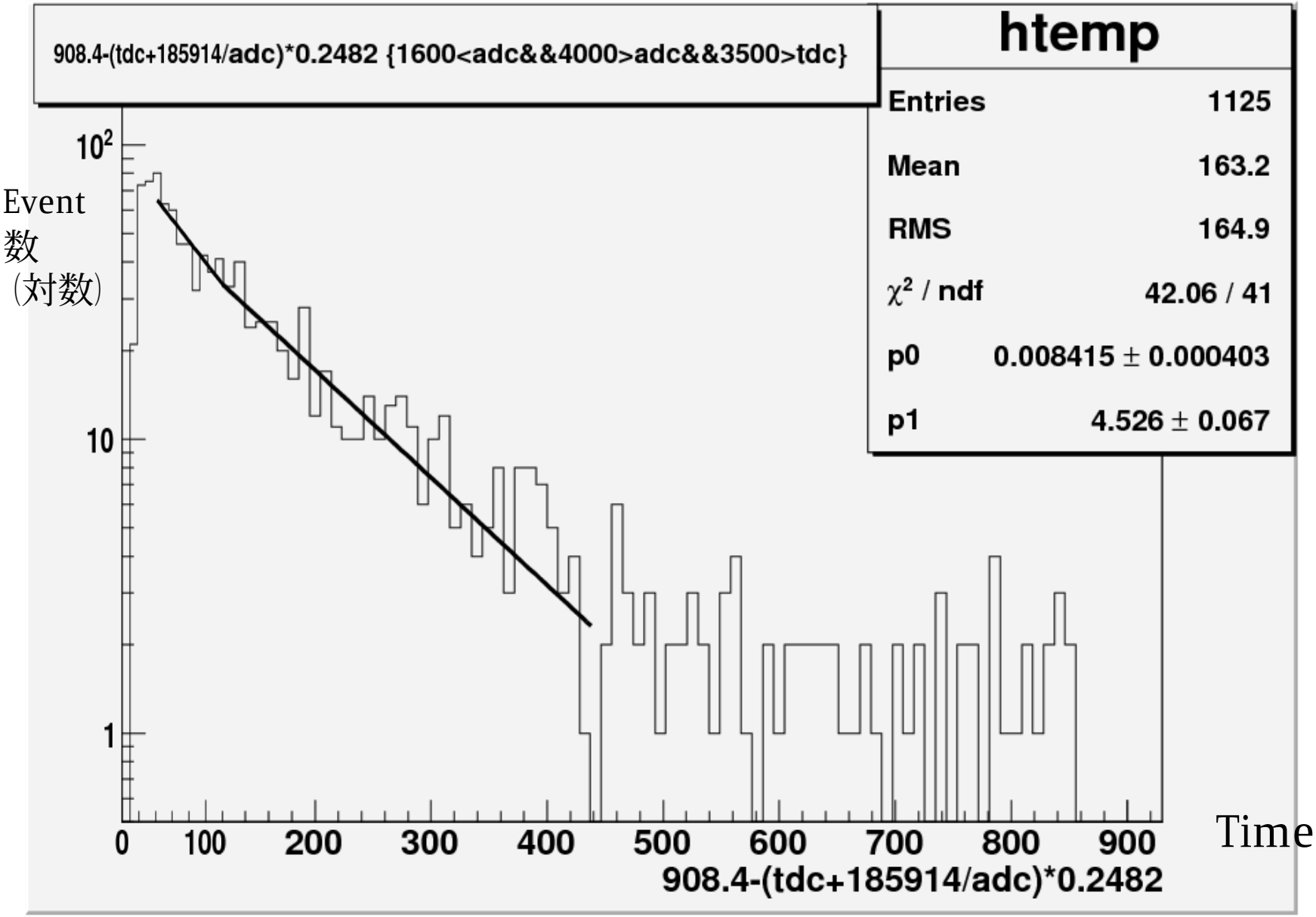
$\exp(-p[0]x + p[1])$



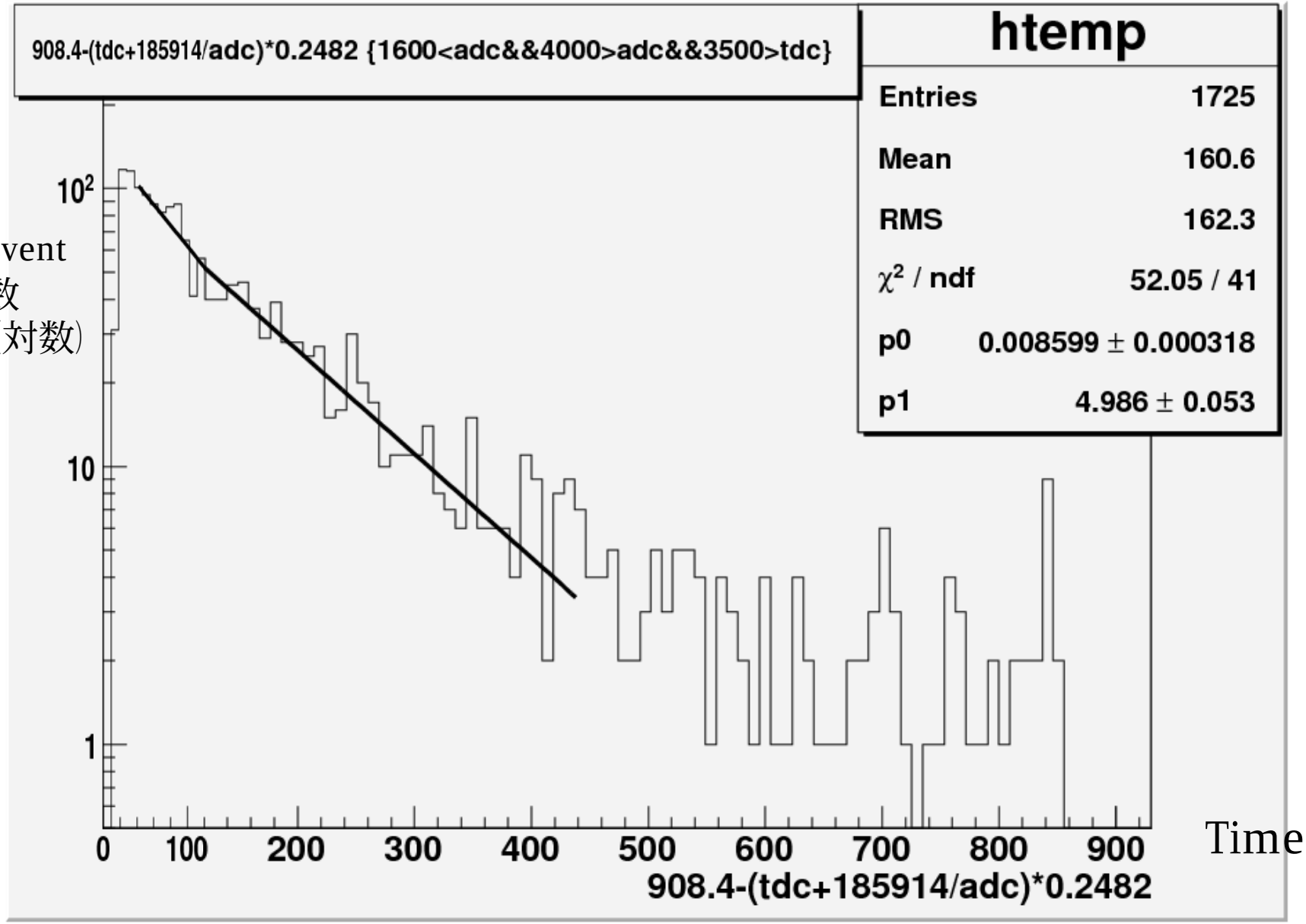
2%40-440ns


908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482 {1600<adc&&4000>adc&&3500>tdc}
htemp
Entries 10157
Mean 171.2
RMS 162.6
χ² / ndf 30.54 / 41
p0 0.007087 ± 0.000118
p1 6.588 ± 0.021
Event 数 (対数)
10³
10²
10
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900
908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482
Time(ns)

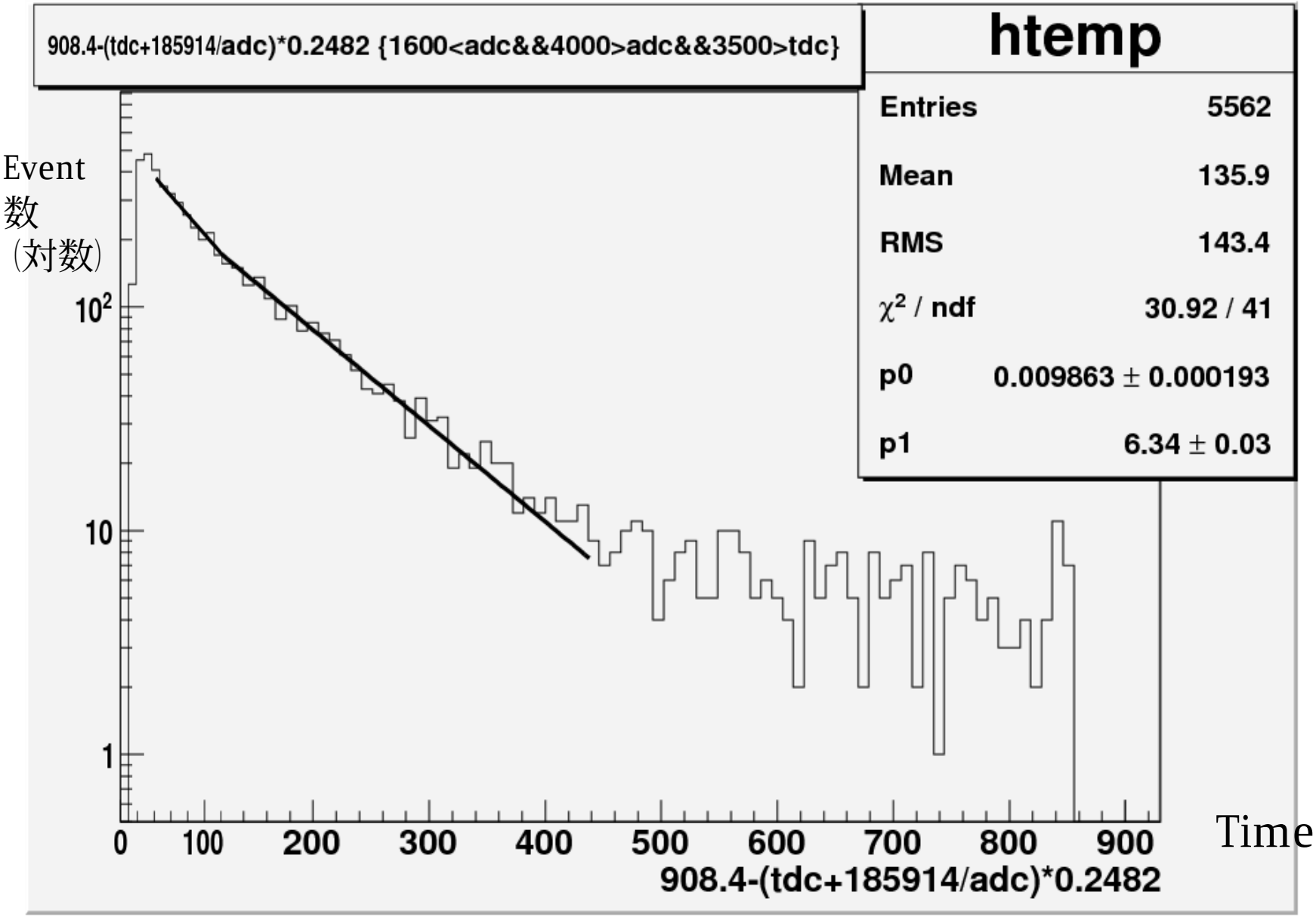
10%40-440ns


908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482 {1600<adc&&4000>adc&&3500>tdc}
htemp
Entries 1125
Mean 163.2
RMS 164.9
χ² / ndf 42.06 / 41
p0 0.008415 ± 0.000403
p1 4.526 ± 0.067
Event 数 (対数)
10²
10
1
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900
908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482
Time(ns)

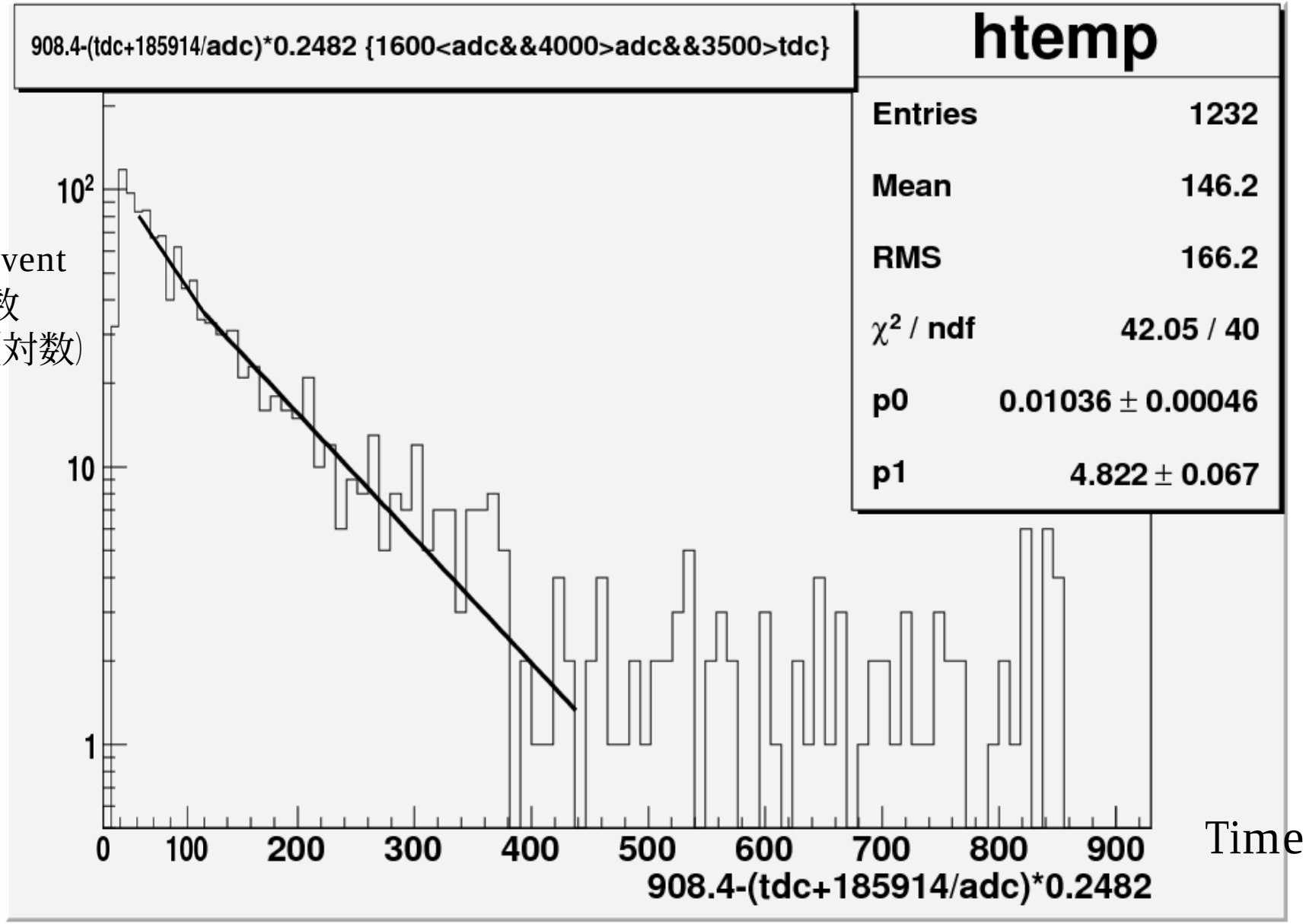
20%40-440ns


908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482 {1600<adc&&4000>adc&&3500>tdc}
htemp
Entries 1725
Mean 160.6
RMS 162.3
χ² / ndf 52.05 / 41
p0 0.008599 ± 0.000318
p1 4.986 ± 0.053
Event 数 (対数)
10²
10
1
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900
908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482
Time(ns)

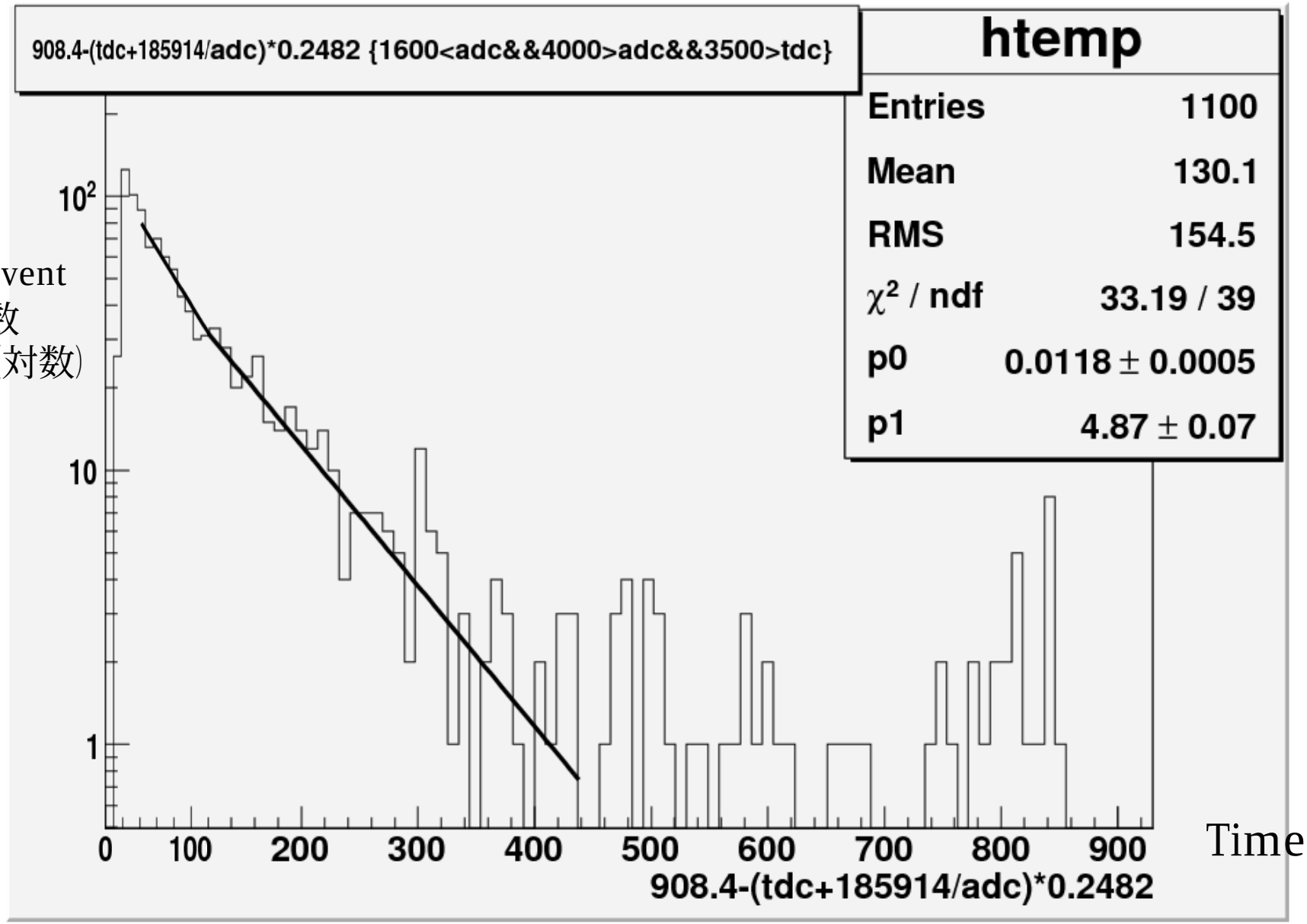
50%40-440ns


908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482 {1600<adc&&4000>adc&&3500>tdc}
htemp
Entries 5562
Mean 135.9
RMS 143.4
χ² / ndf 30.92 / 41
p0 0.009863 ± 0.000193
p1 6.34 ± 0.03
Event 数 (対数)
10²
10
1
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900
908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482
Time(ns)

80%40-440ns


908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482 {1600<adc&&4000>adc&&3500>tdc}
htemp
Entries 1232
Mean 146.2
RMS 166.2
χ² / ndf 42.05 / 40
p0 0.01036 ± 0.00046
p1 4.822 ± 0.067
Event 数 (対数)
10²
10
1
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900
908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482
Time(ns)

100%40-440ns


908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482 {1600<adc&&4000>adc&&3500>tdc}
htemp
Entries 1100
Mean 130.1
RMS 154.5
χ² / ndf 33.19 / 39
p0 0.0118 ± 0.0005
p1 4.87 ± 0.07
Event 数 (対数)
10²
10
1
0 100 200 300 400 500 600 700 800 900
908.4-(tdc+185914/adc)*0.2482
Time(ns)

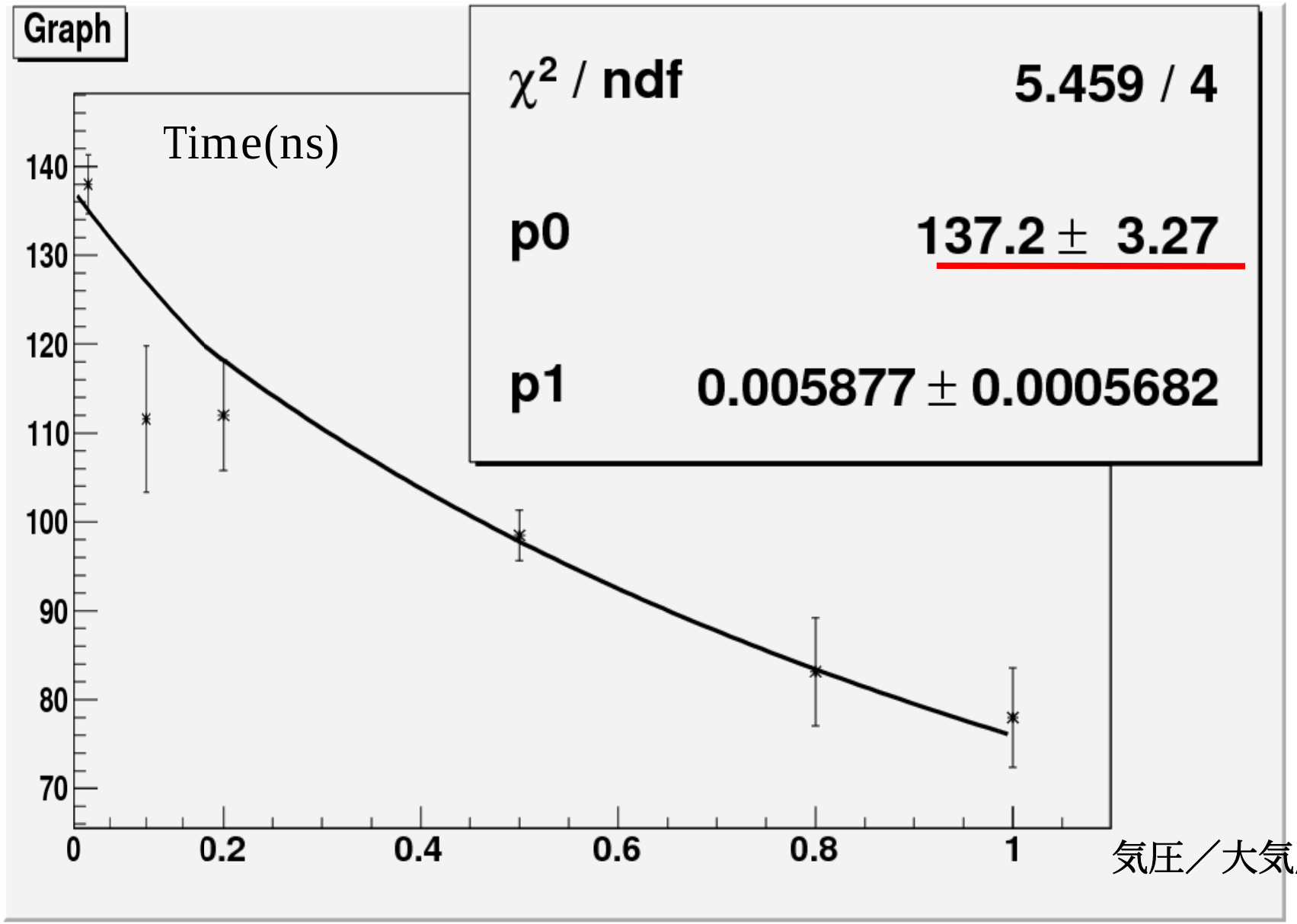
5.結論

気圧と寿命のグラフを

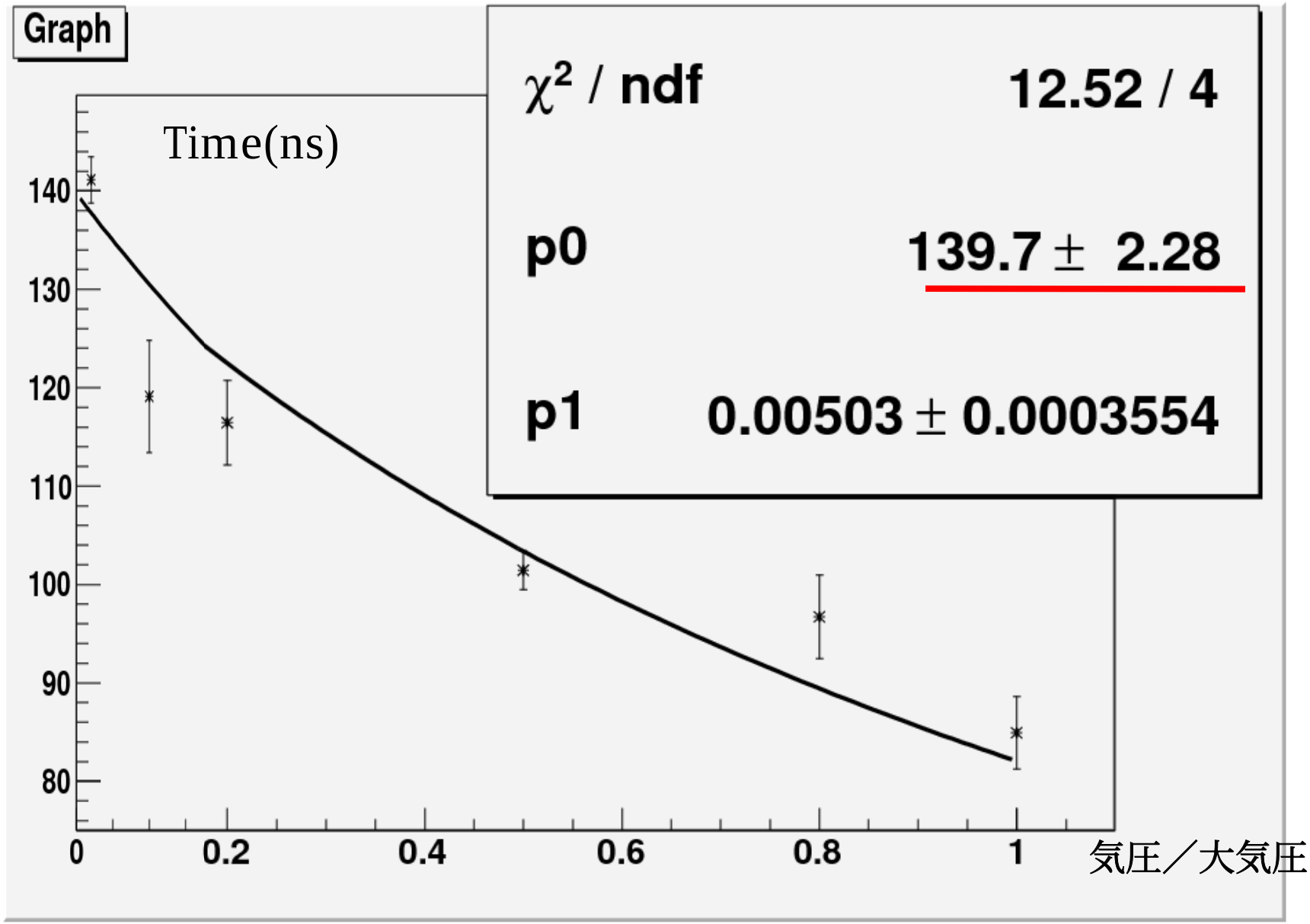
$$(p[0]^{-1} + p[1]x)^{-1}$$

でFit

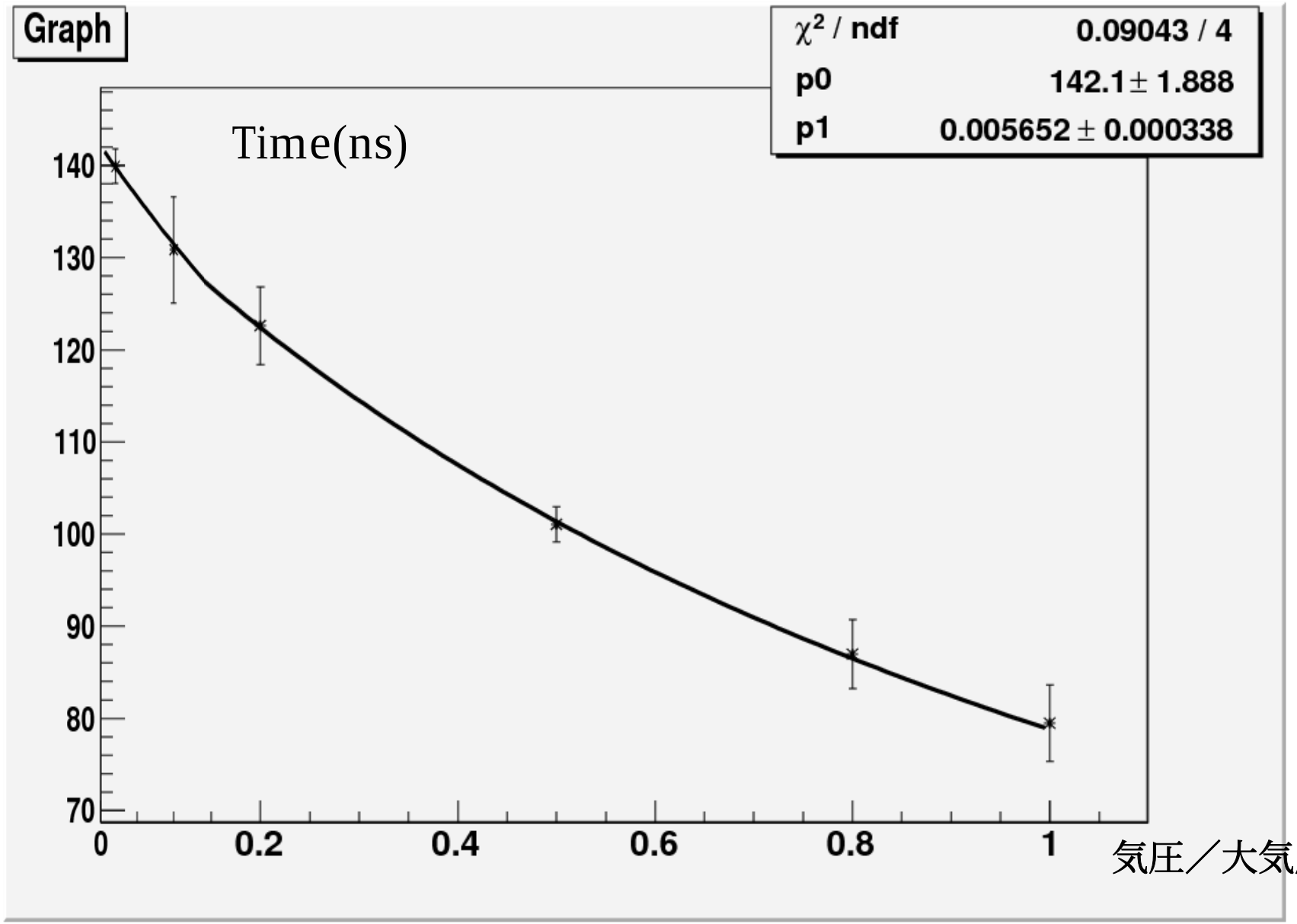
Fit1lifetime



Fit2lifetime



理想


Graph
χ^2 / ndf 0.09043 / 4
p0 142.1 ± 1.888
p1 0.005652 ± 0.000338
Time(ns)
140
130
120
110
100
90
80
70
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
気圧／大気圧

誤差の評価

①単なる統計誤差（データ数を増やす）

②TQ補正による誤差（再現性の問題）

③TQ補正の誤差の伝搬（無視できるほど①に比べて小さい）

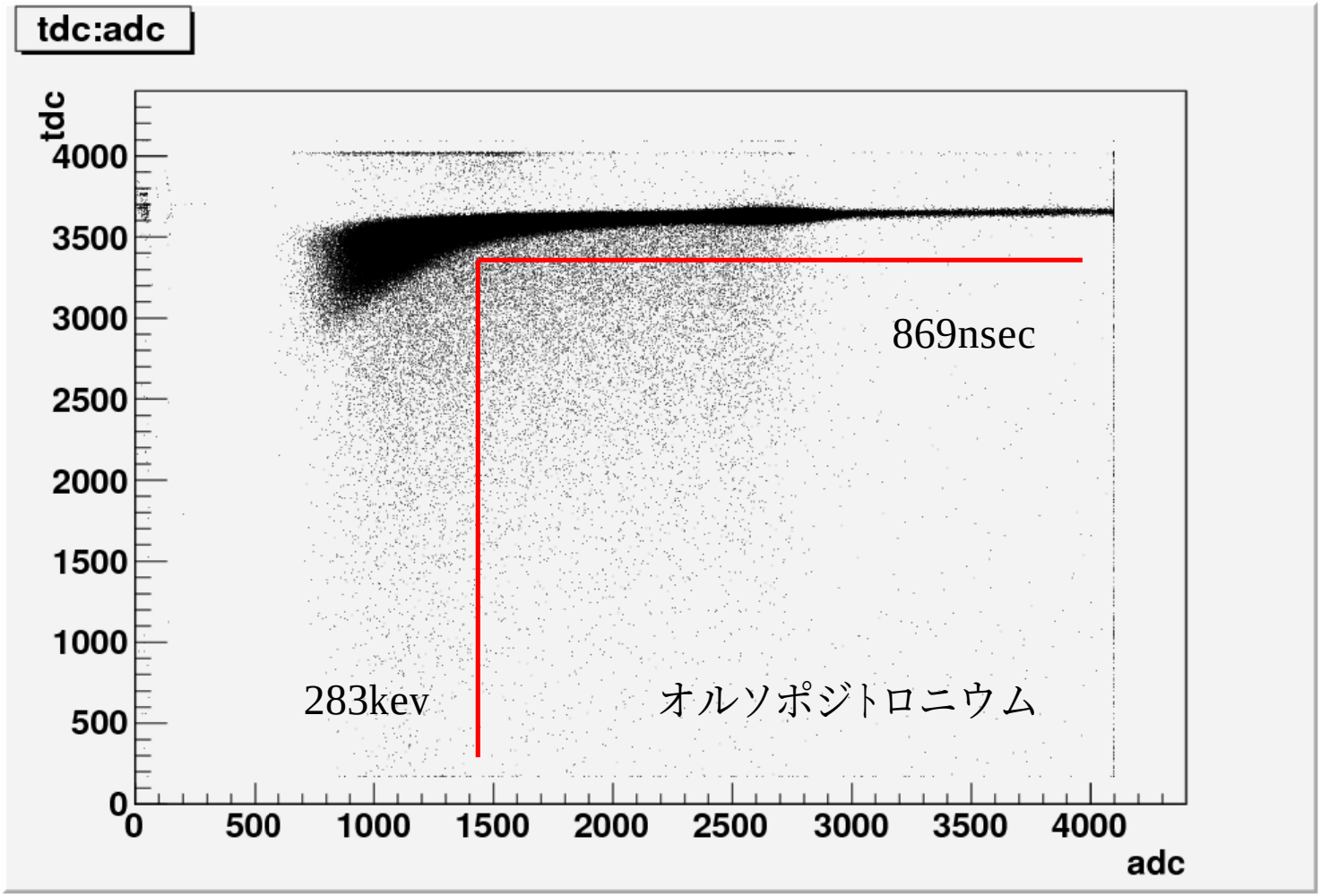
④TDC校正からの誤差（無視できるほど②に比べて小さい）

⑤ADC：TDCカットによる誤差

⑥fittingの範囲による誤差

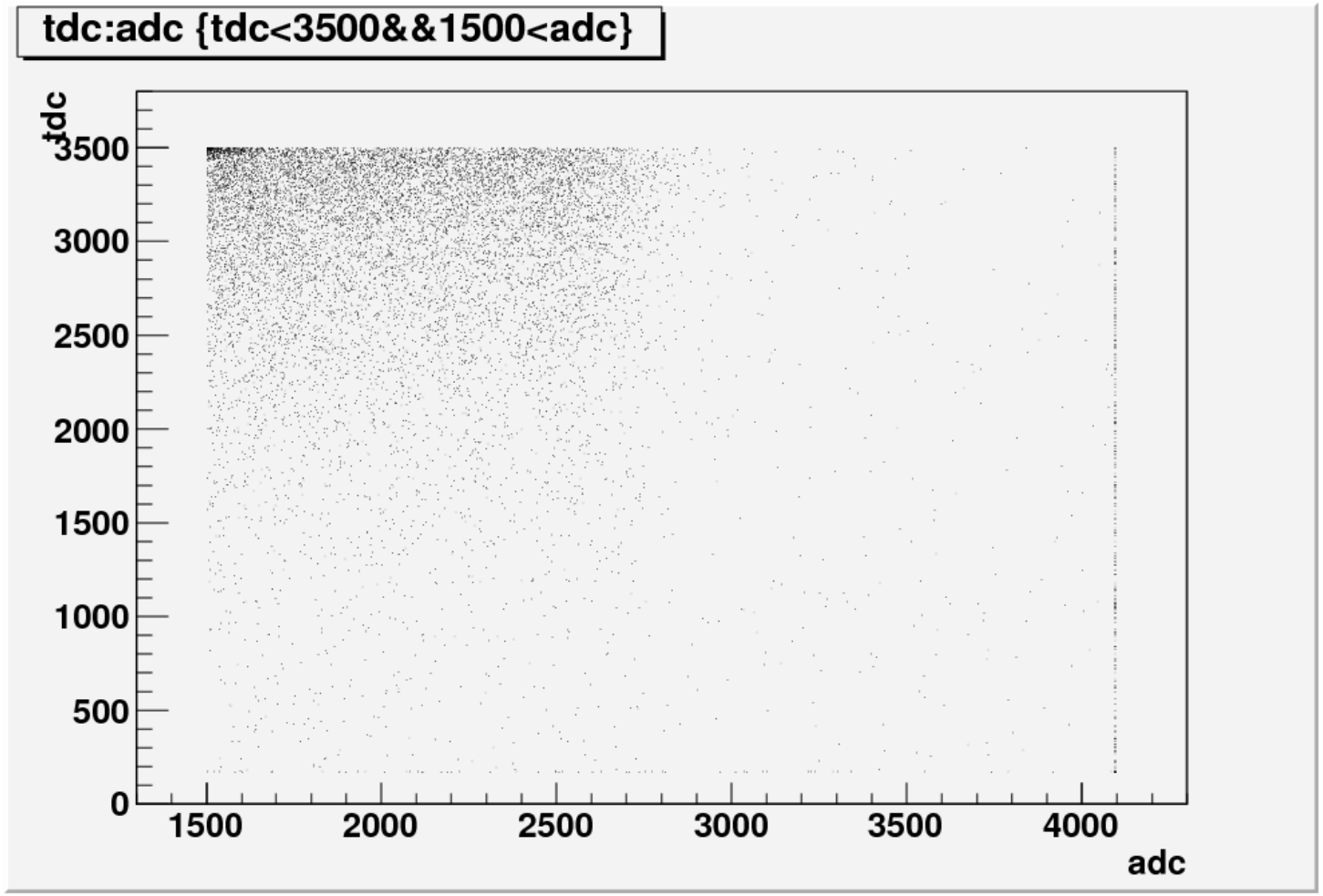
その前に・・・
寿命の出し方をおさらいします！

(Na08vacuum0220tdc-adcGraph)



(Na08vacuum-cutGraph1)

エネルギーに直すこと。



誤差の評価

①単なる統計誤差

②TQ補正による誤差（再現性の問題）

③TQ補正の誤差の伝搬（無視できるほど①に比べて小さい）

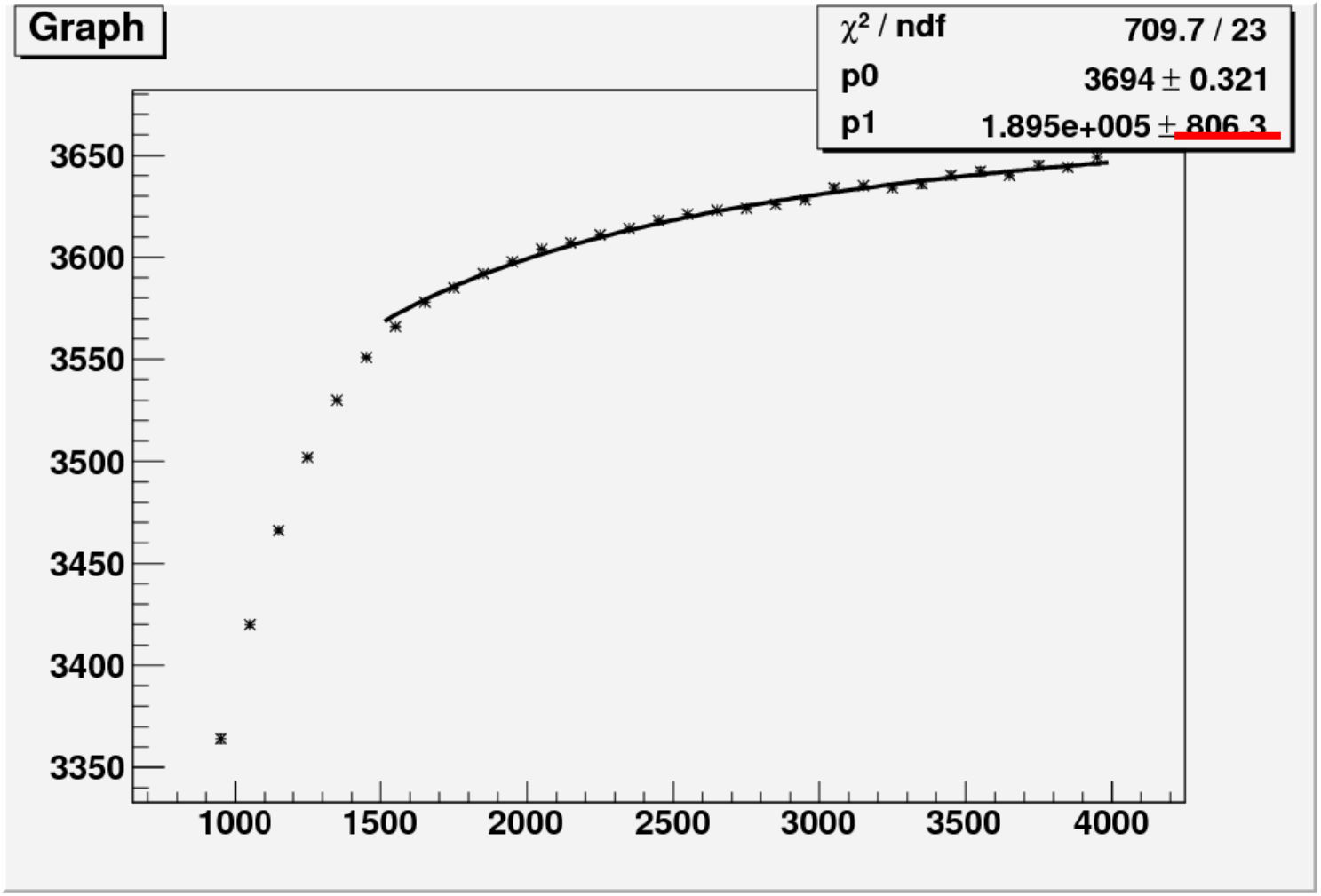
④TDC校正からの誤差（無視できるほど②に比べて小さい）

⑤ADC：TDCカットによる誤差

⑥fittingの範囲による誤差

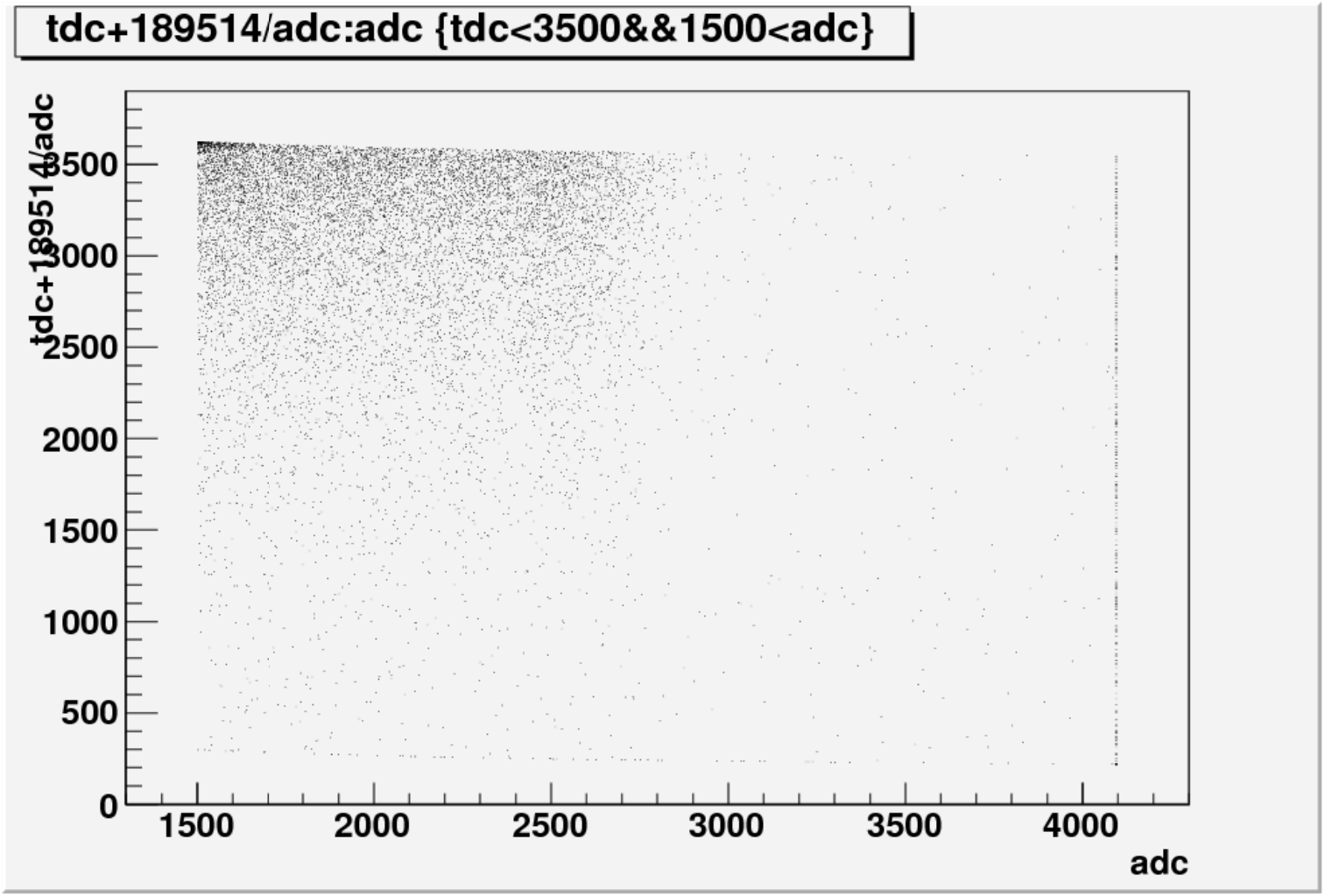
⑦fittingにたよらないと・・・（平木君）

(tqcali2Graph)



TQ補正

(Na08vacuum0220graph3)



誤差の評価

①単なる統計誤差

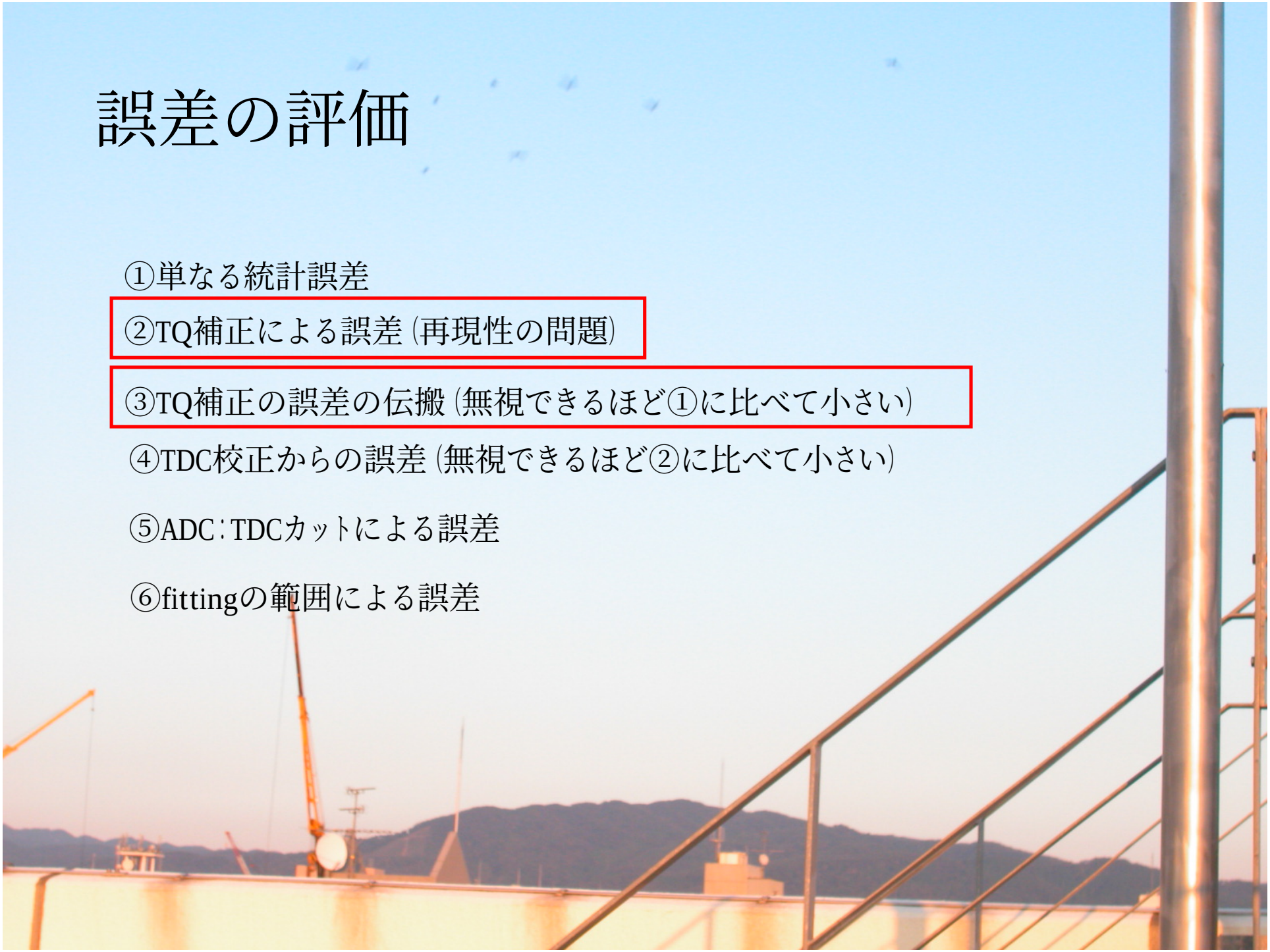
②TQ補正による誤差（再現性の問題）

③TQ補正の誤差の伝搬（無視できるほど①に比べて小さい）

④TDC校正からの誤差（無視できるほど②に比べて小さい）

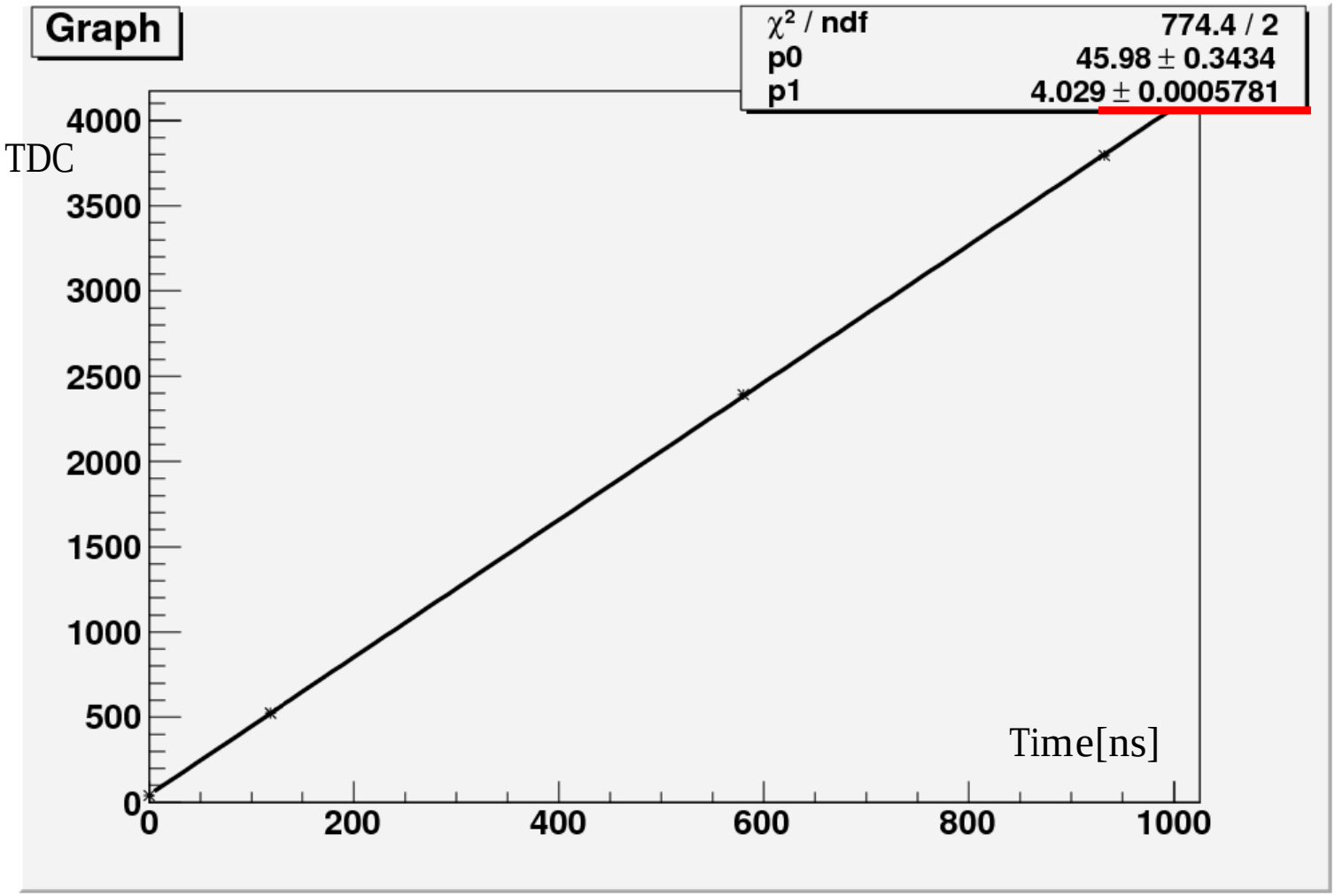
⑤ADC：TDCカットによる誤差

⑥fittingの範囲による誤差



4.029の逆数をとればＴＤＣ→Ｔｉｍｅに変換できる.
つまり、Ｔｉｍｅ＝０．２４８２＊ＴＤＣ

ＴＤＣの校正　　(TDCcaliError2Graph)



誤差の評価

①単なる統計誤差

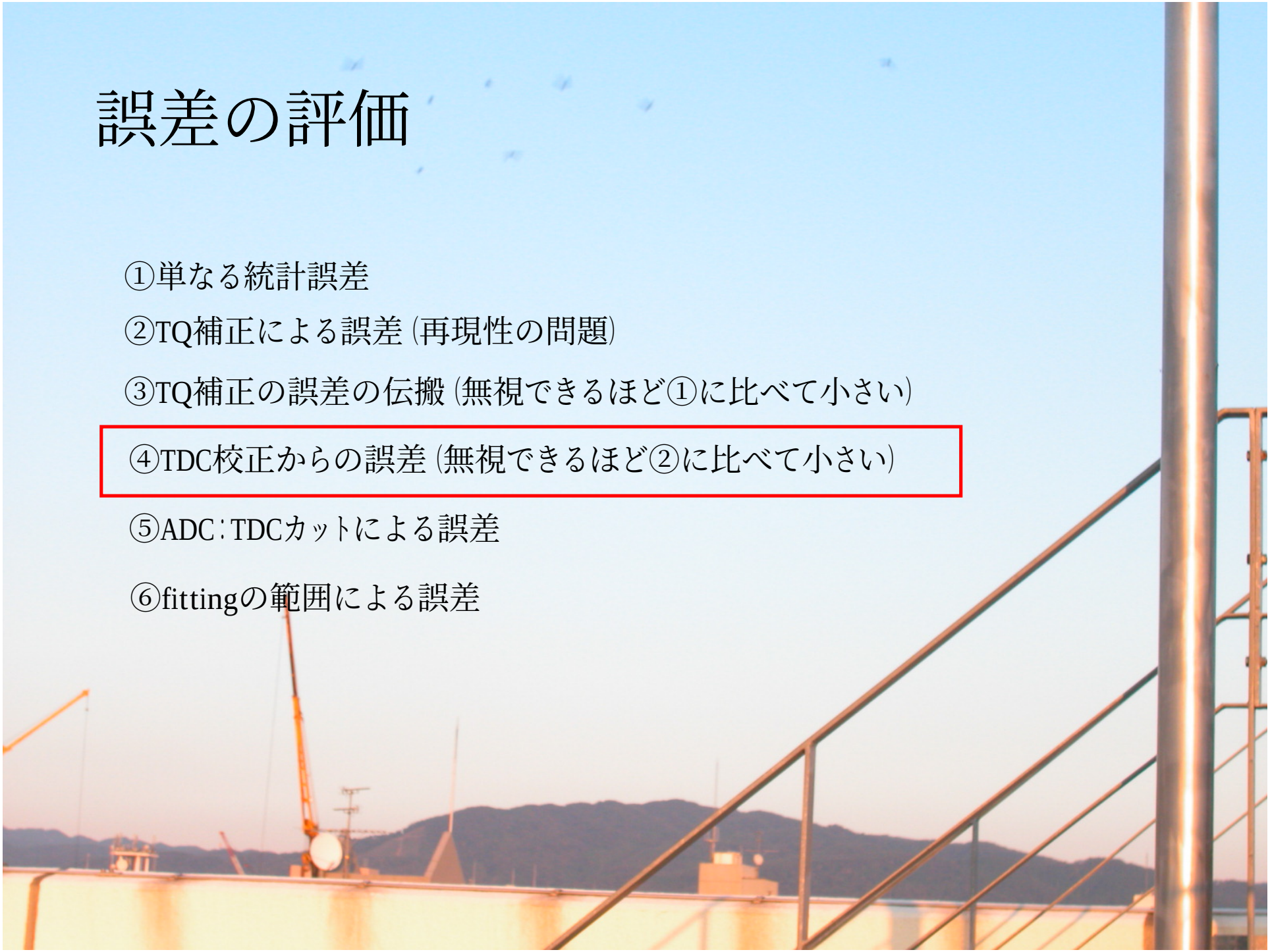
②TQ補正による誤差 (再現性の問題)

③TQ補正の誤差の伝搬 (無視できるほど①に比べて小さい)

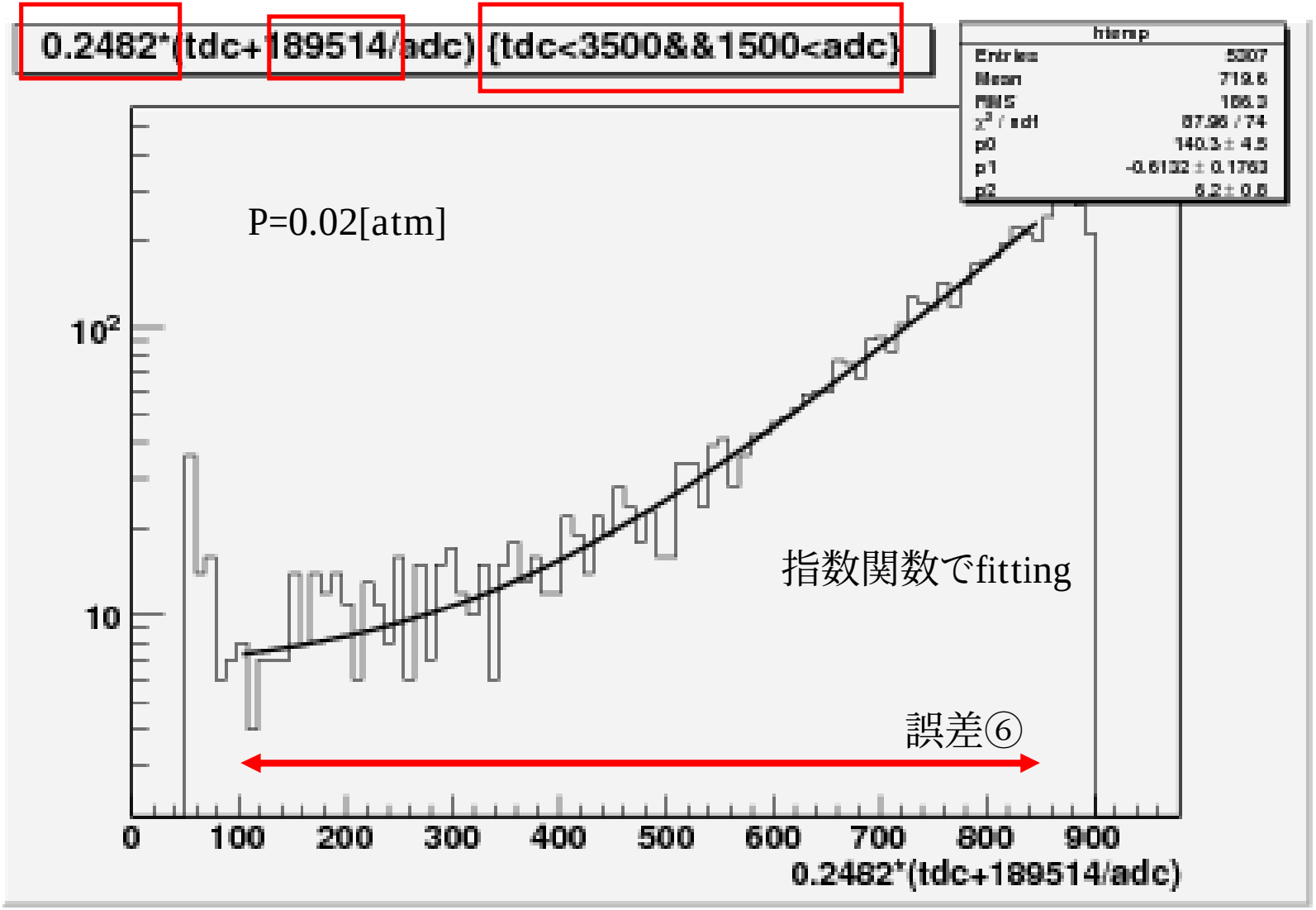
④TDC校正からの誤差 (無視できるほど②に比べて小さい)

⑤ADC:TDCカットによる誤差

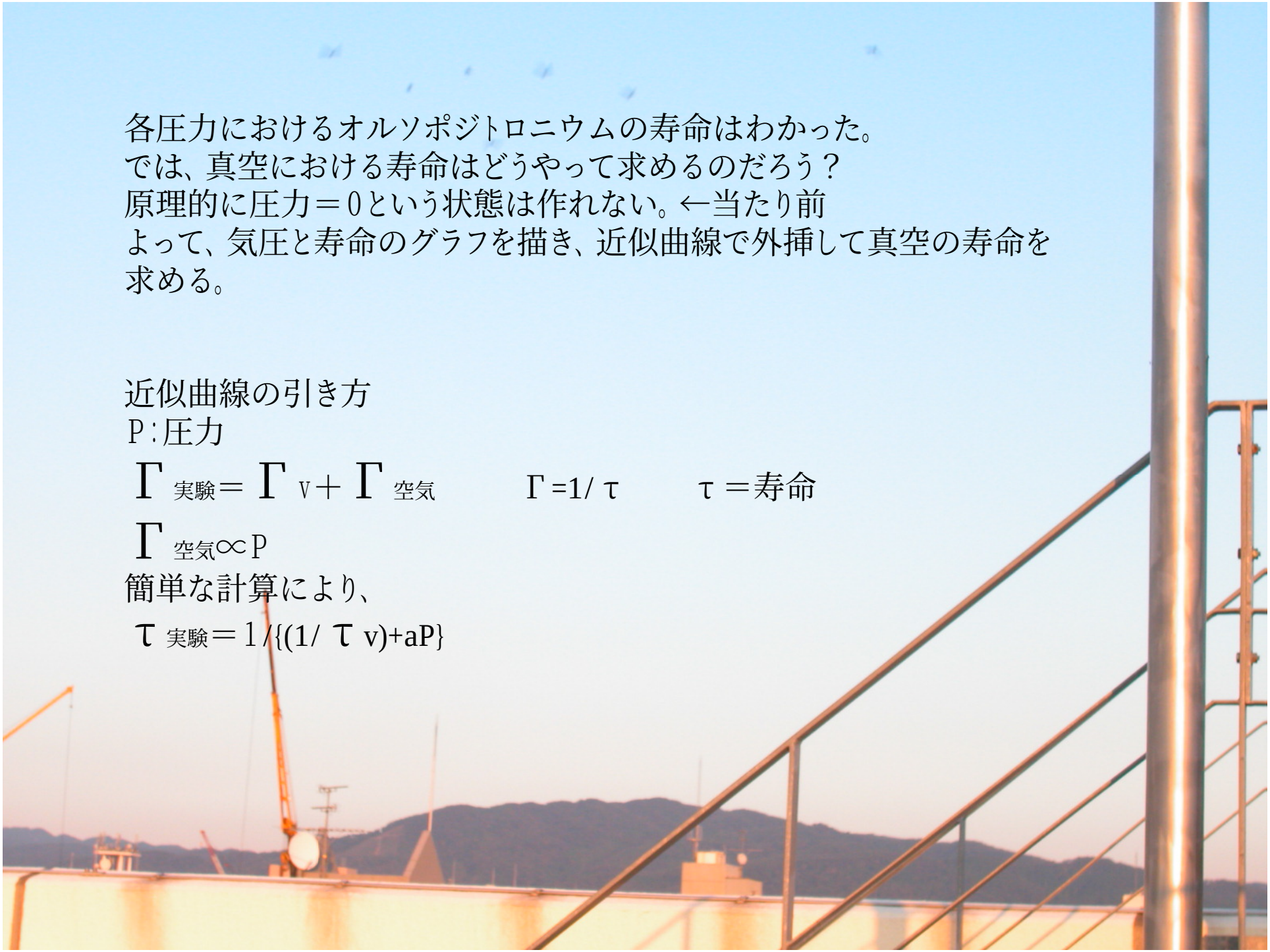
⑥fittingの範囲による誤差



誤差④　　誤差②　　誤差⑤　　(Na08vacuumGraph)



誤差①



各圧力におけるオルソポジトロニウムの寿命はわかった。
では、真空における寿命はどうやって求めるのだろう？
原理的に圧力＝0という状態は作れない。←当たり前
よって、気圧と寿命のグラフを描き、近似曲線で外挿して真空の寿命を求める。

近似曲線の引き方
P:圧力

$\Gamma_{実験} = \Gamma_{v} + \Gamma_{空気}$　　$\Gamma = 1/\tau$　　τ＝寿命

$\Gamma_{空気} \propto P$

簡単な計算により、

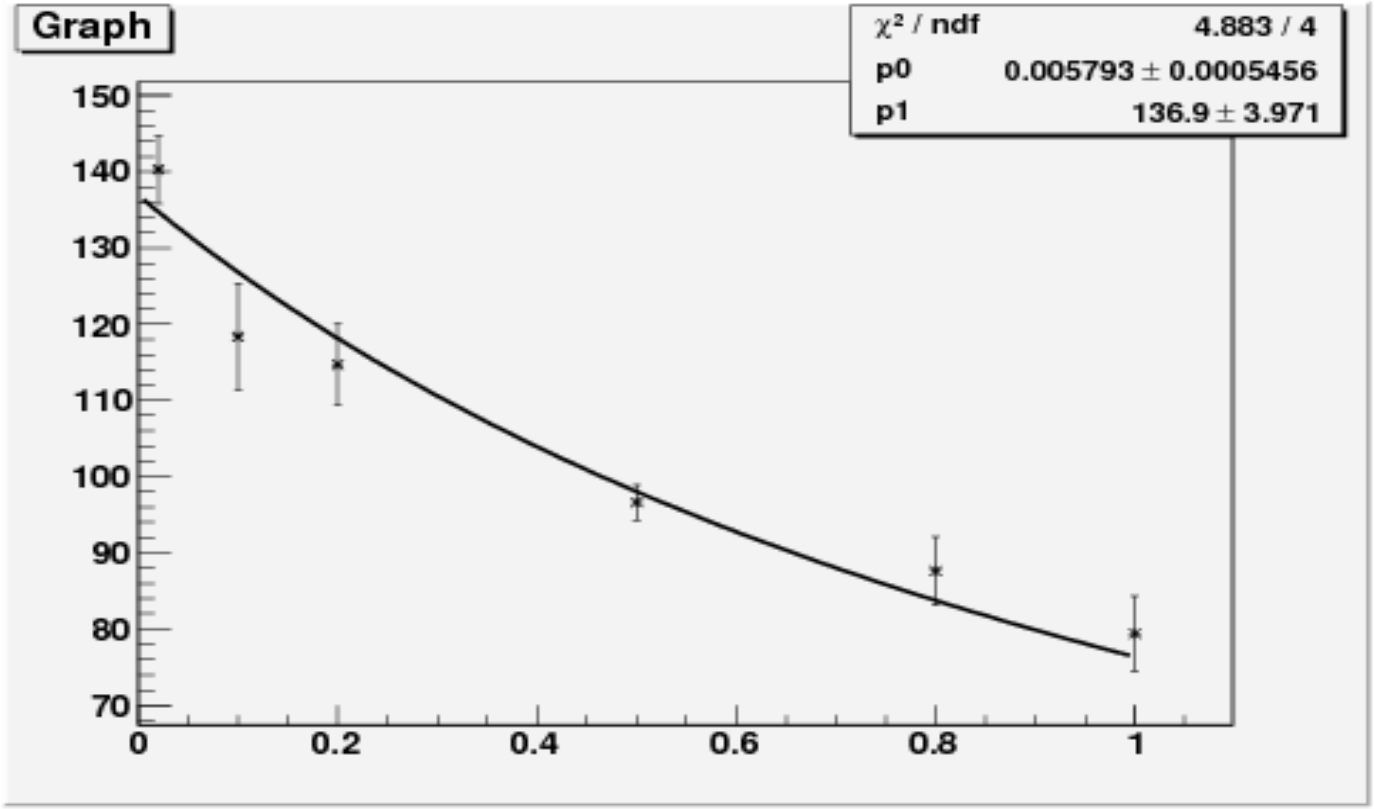
$\tau_{実験} = 1/\{(1/\tau_{v}) + aP\}$

pres	τ	pressError	τ Error
0.02	140.3	0.001	4.5
0.1	118.4	0.001	7.0
0.2	114.7	0.001	5.3
0.5	96.59	0.001	2.33
0.8	87.61	0.001	4.53
1.0	79.39	0.001	4.90

$$\tau_{\text{実験}} = 1/\{(1/\tau_{v})+aP\}$$

189514でTQ補正

(press-jumyouGraph-189514)



誤差の評価

①単なる統計誤差（データ数を増やす）

②TQ補正による誤差（再現性の問題）

③TQ補正の誤差の伝搬（無視できるほど①に比べて小さい）

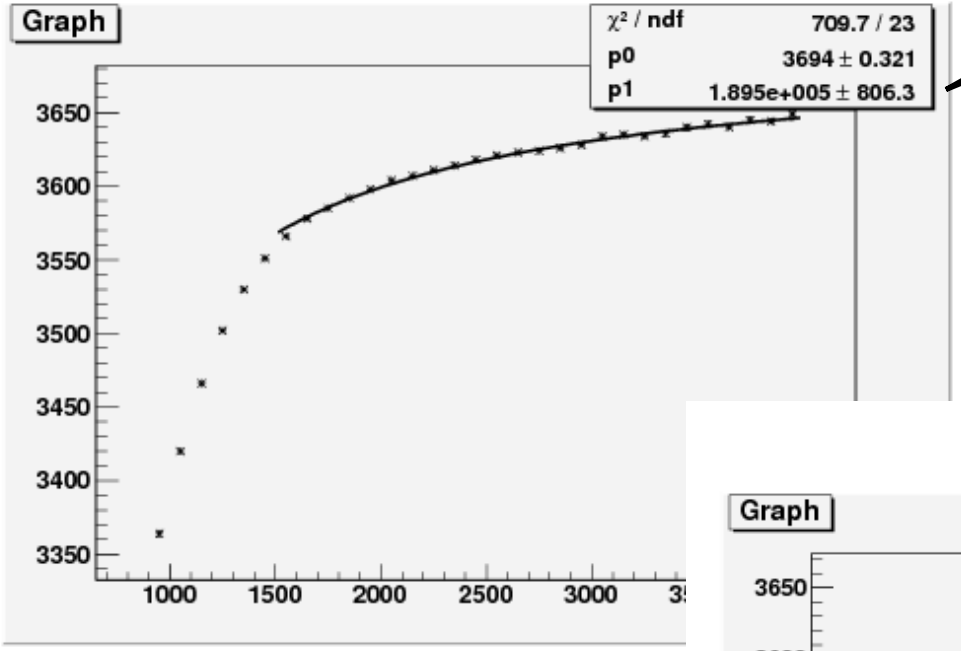
④TDC校正からの誤差（無視できるほど②に比べて小さい）

⑤ADC：TDCカットによる誤差

⑥fittingの範囲による誤差

②TQ補正による誤差

0210data (tqcali2Graph)



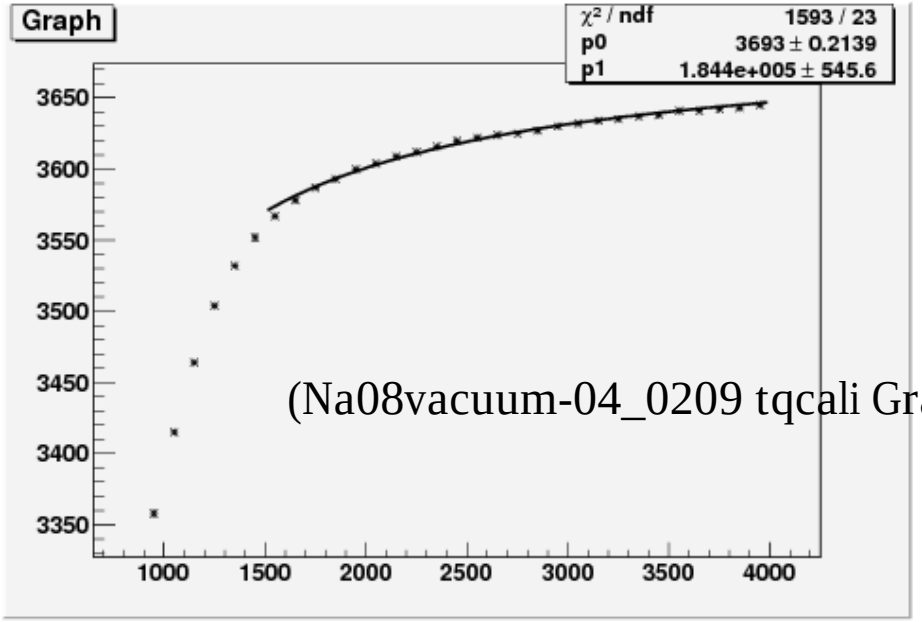
189514±806

a1

誤差④

184437±545

0209data

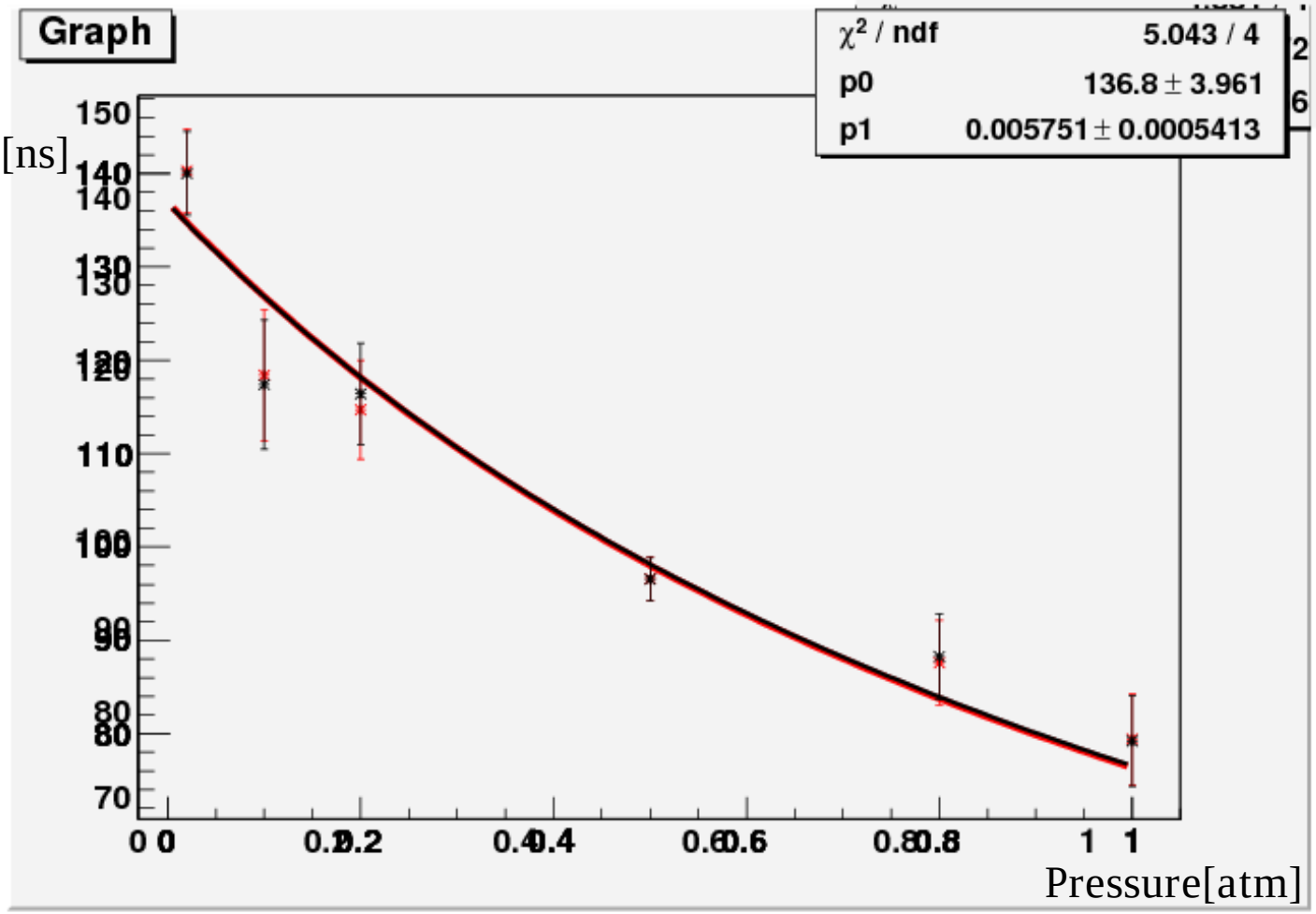


(Na08vacuum-04_0209 tqcali Graph)

再現性はあるのか？
189514と 184437ではどれくらい寿命に影響が出るのか？

a1 a1, 2009/02/23

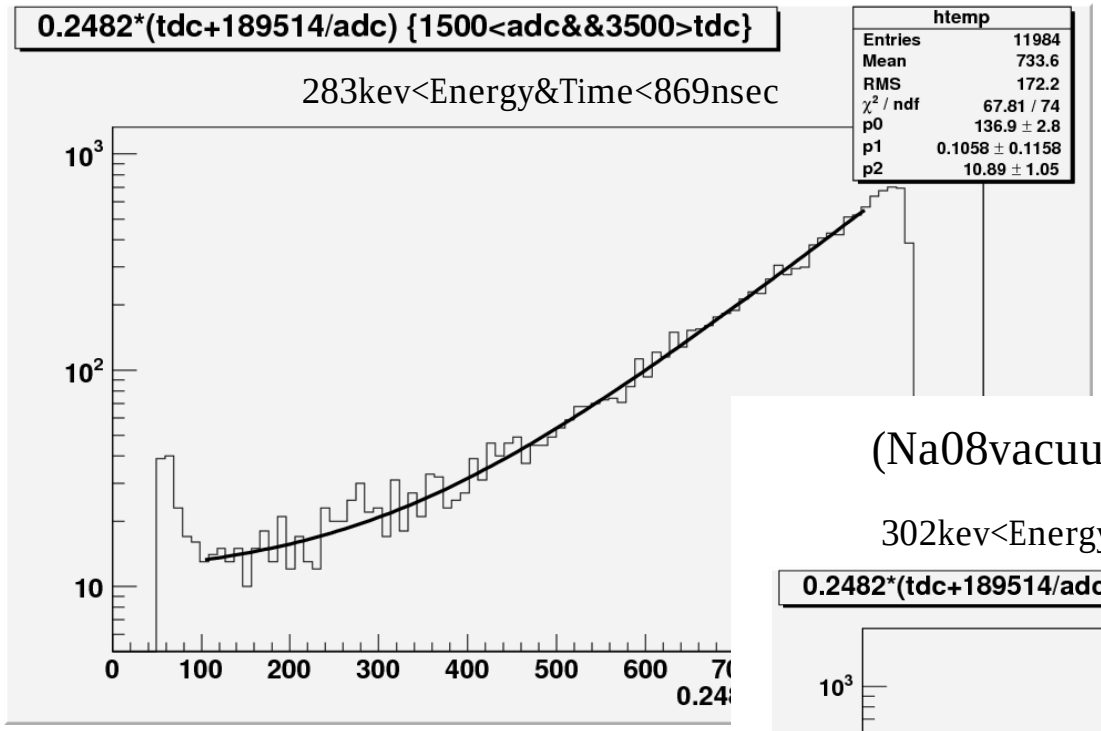
赤線:189514でTQ補正0210データ　寿命136.891±3.97
黒線:184437でTQ補正0209データ　寿命136.775±3.96



⑤TDC:ADCカットの範囲による誤差

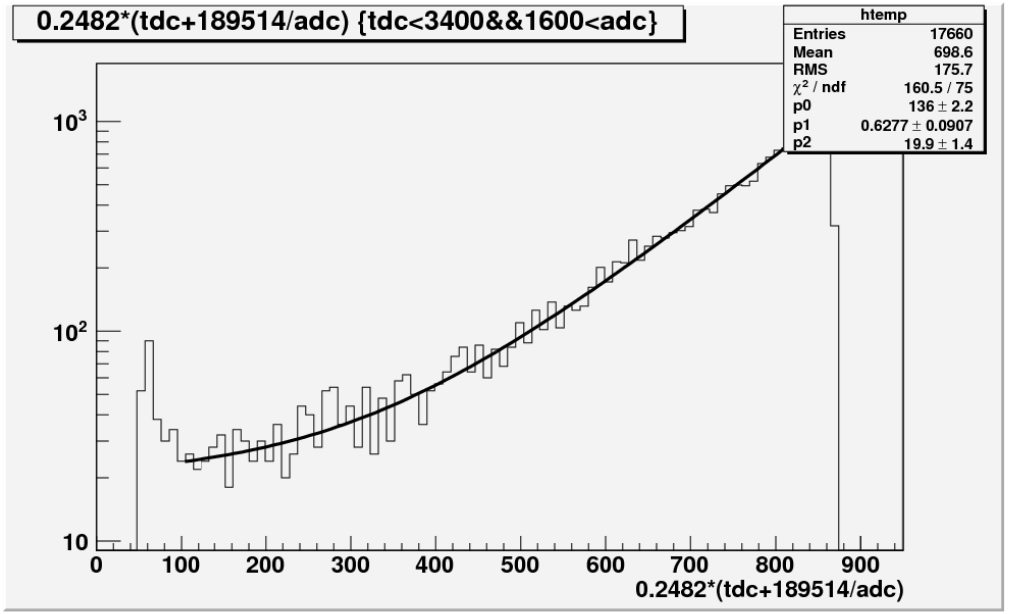
(Na08vacuum0220Graph)

136.9±2.8

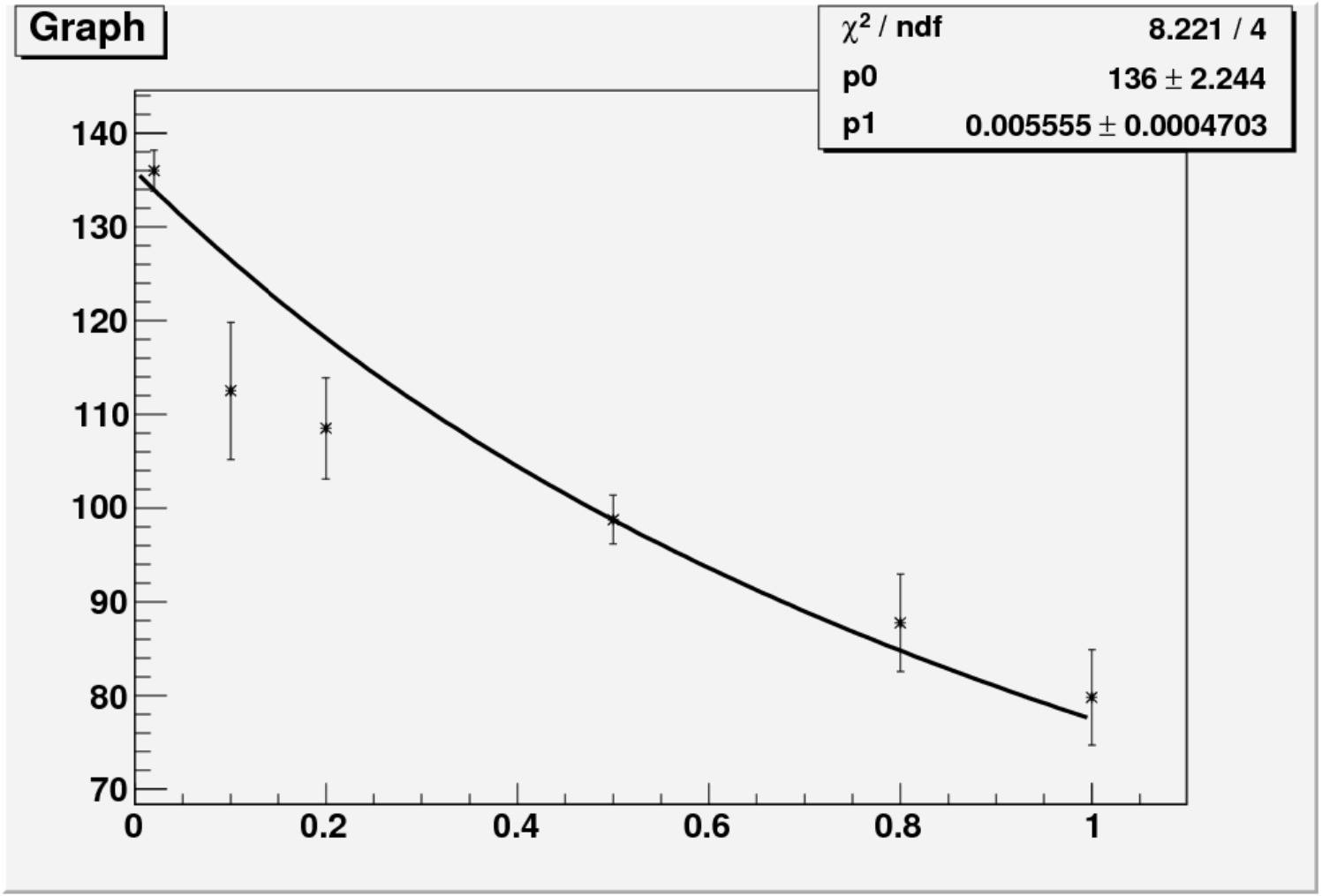


(Na08vacuum0220Graph3)

136.0±2.2



189514でＴＱ補正(press-jumyouGraph3)



★tdc<3500&&1500<adc

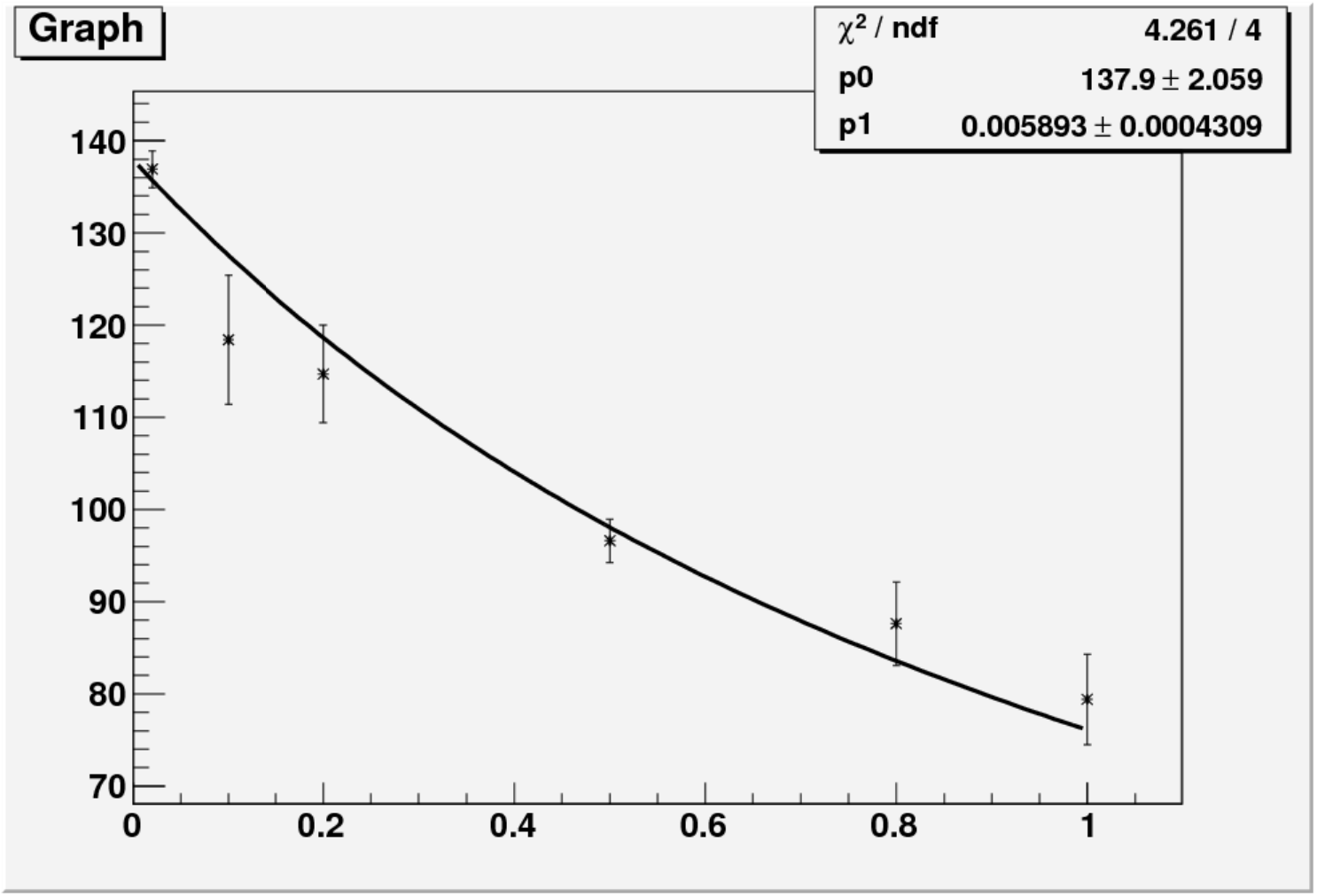
pres	τ	pressError	τ Error
0.02	136.9	0.001	2.8
0.1	118.4	0.001	7.0
0.2	114.7	0.001	5.3
0.5	96.59	0.001	2.33
0.8	87.61	0.001	4.53
1.0	79.39	0.001	4.90
0.0	136.9		3.97

★tdc<3600&&1600<adc

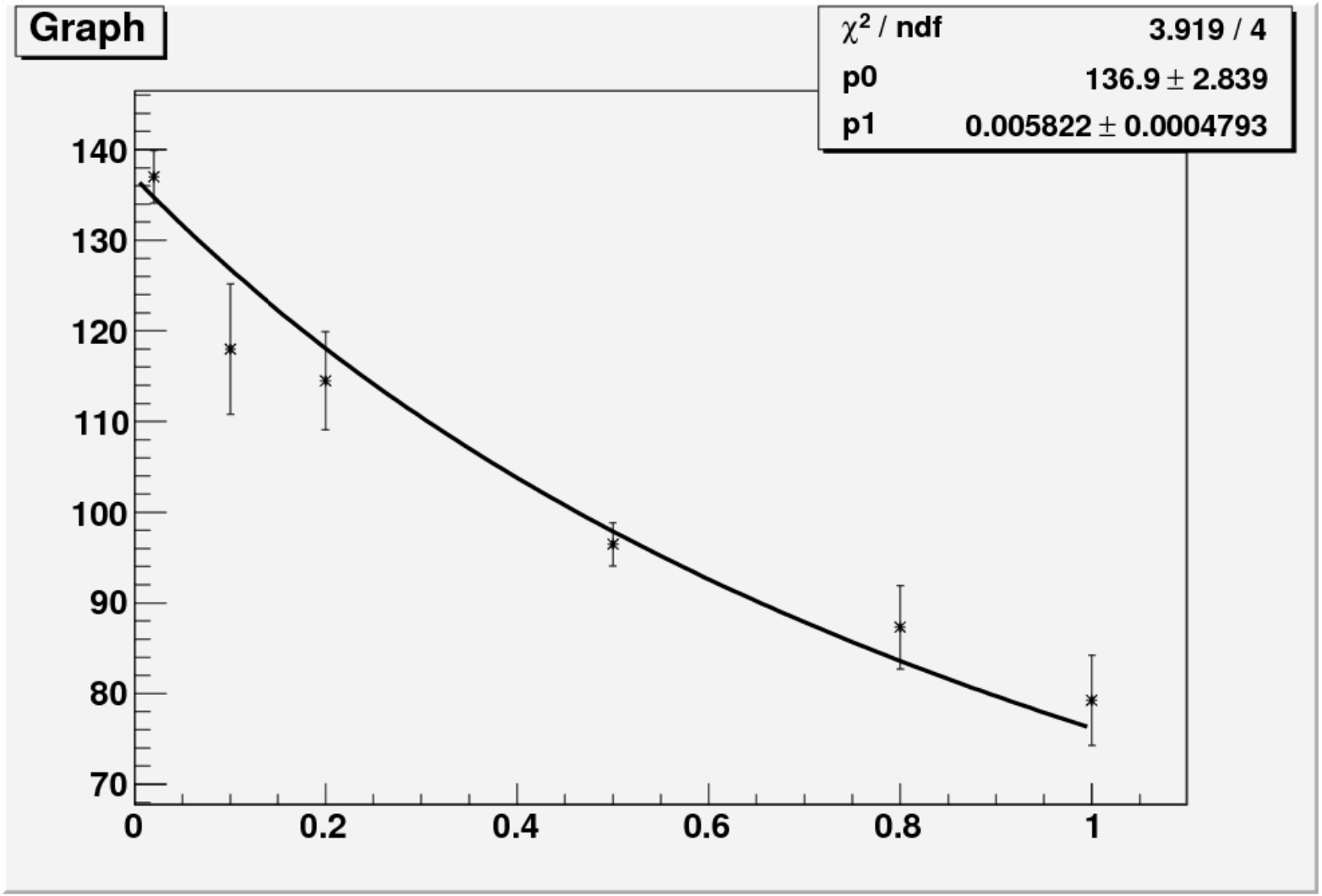
pres	τ	pressError	τ Error
0.02	136.0	0.001	2.2
0.1	112.5	0.001	7.3
0.2	108.5	0.001	5.4
0.5	98.77	0.001	2.60
0.8	87.74	0.001	5.21
1.0	79.80	0.001	5.10
0.0	136.0		2.24

⑥fittingの範囲による誤差

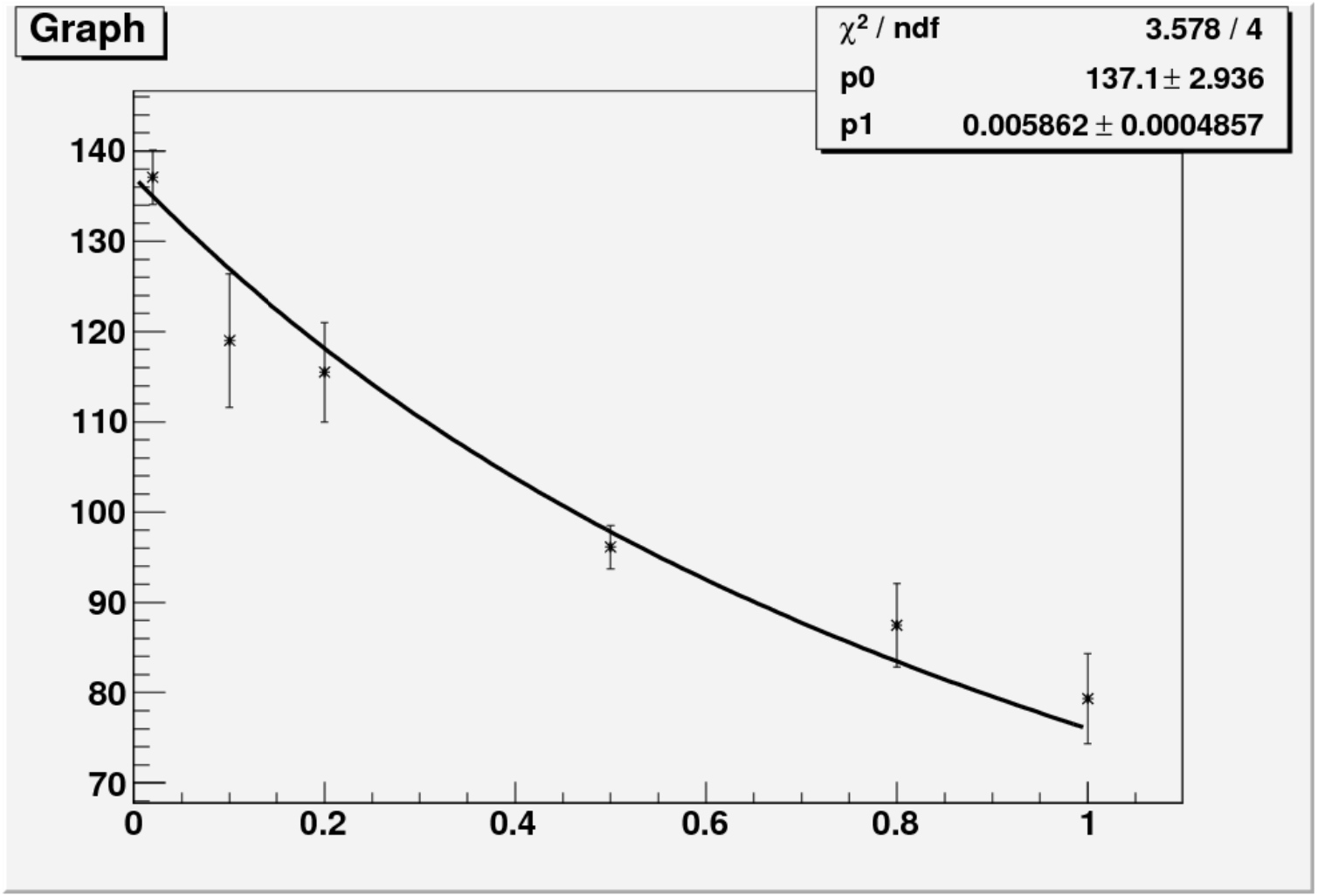
(press-jumyouGraph4-189514)
100-850fitting　　189514cali



(press-jumyouGraph4)
125-850fitting　　189514cali



(press-jumyouGraph5)
150-850fitting 189514tqcali



100-850fitting

pres	τ	pressError	τ Error
0.02	136.9	0.001	2.0
0.1	118.4	0.001	7.0
0.2	114.7	0.001	5.3
0.5	96.59	0.001	2.33
0.8	87.61	0.001	4.53
1.0	79.39	0.001	4.90
0.0	137.9		2.059

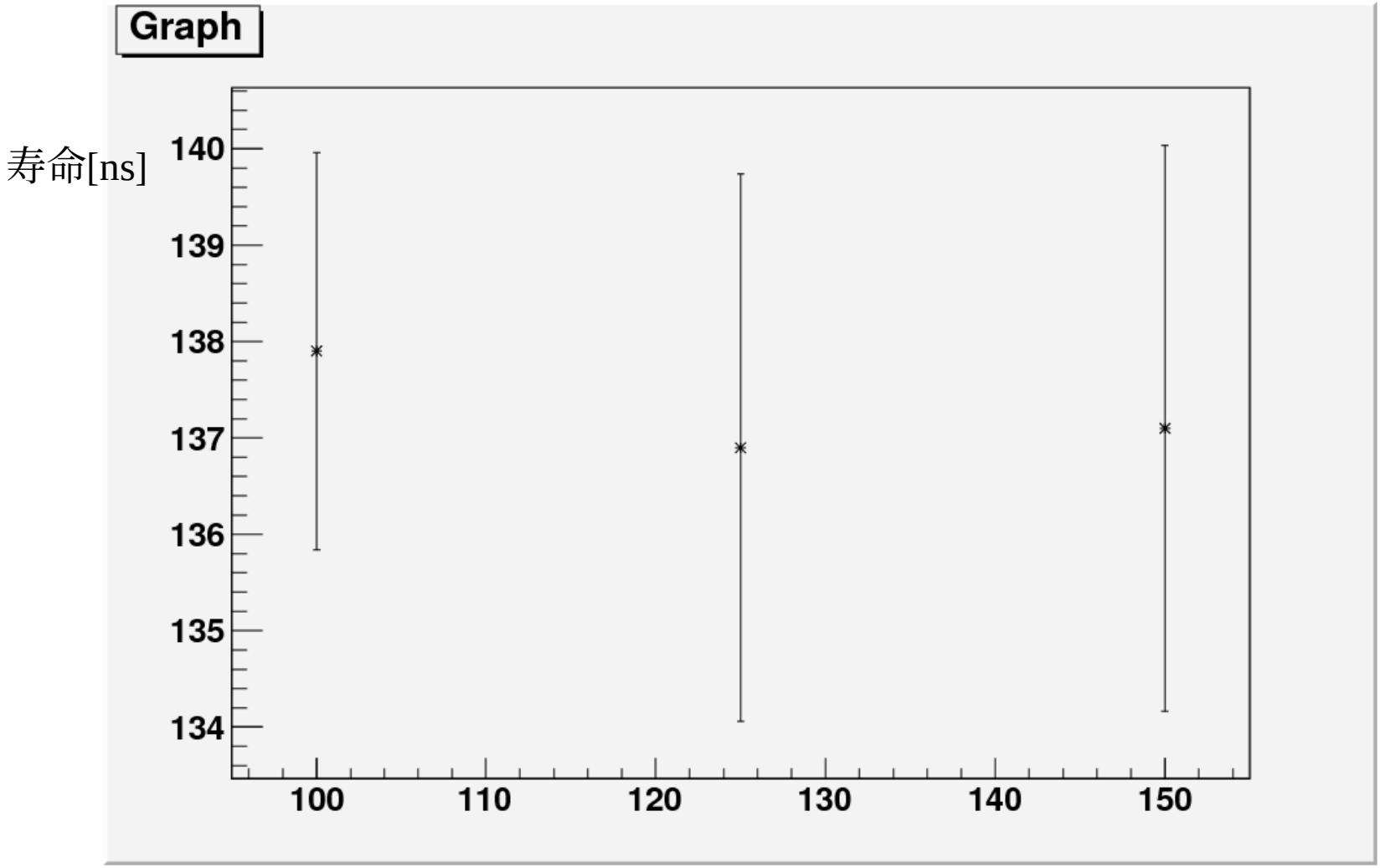
125-850fitting

pres	τ	pressError	τ Error
0.02	137.0	0.001	2.9
0.1	118.0	0.001	7.2
0.2	114.5	0.001	5.4
0.5	96.46	0.001	2.40
0.8	87.31	0.001	4.60
1.0	79.25	0.001	4.96
0.0	136.9		2.839

150-850fitting

pres	τ	pressError	τ Error
0.02	137.1	0.001	3.0
0.1	119.0	0.001	7.4
0.2	115.5	0.001	5.5
0.5	96.12	0.001	2.39
0.8	87.47	0.001	4.63
0.0	137.1		2.936

(fitting-jumyouGraph)



誤差の評価

①単なる統計誤差（データ数を増やす）⇒働く

②TQ補正による誤差（再現性の問題）⇒0.1nsecのorder

③TQ補正の誤差の伝搬（無視できるほど①に比べて小さい）

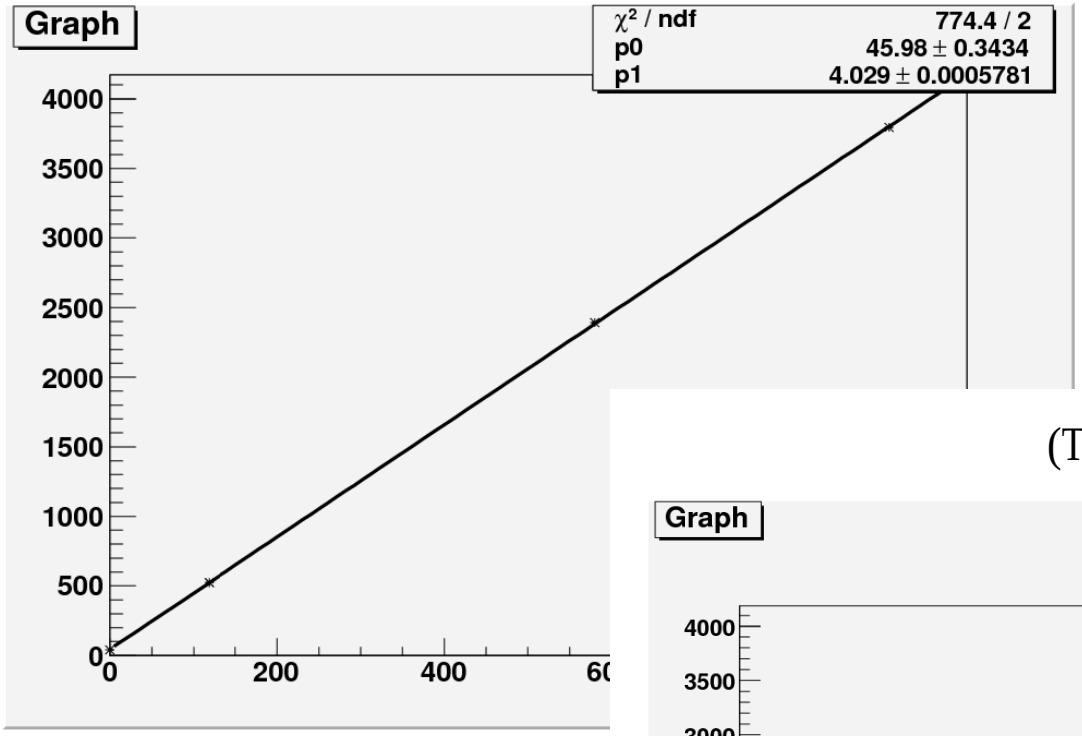
④TDC校正からの誤差（無視できるほど②に比べて小さい）

⑤ADC：TDCカットによる誤差⇒1nsecのorder。しかしどのcutが正しいとは言えない

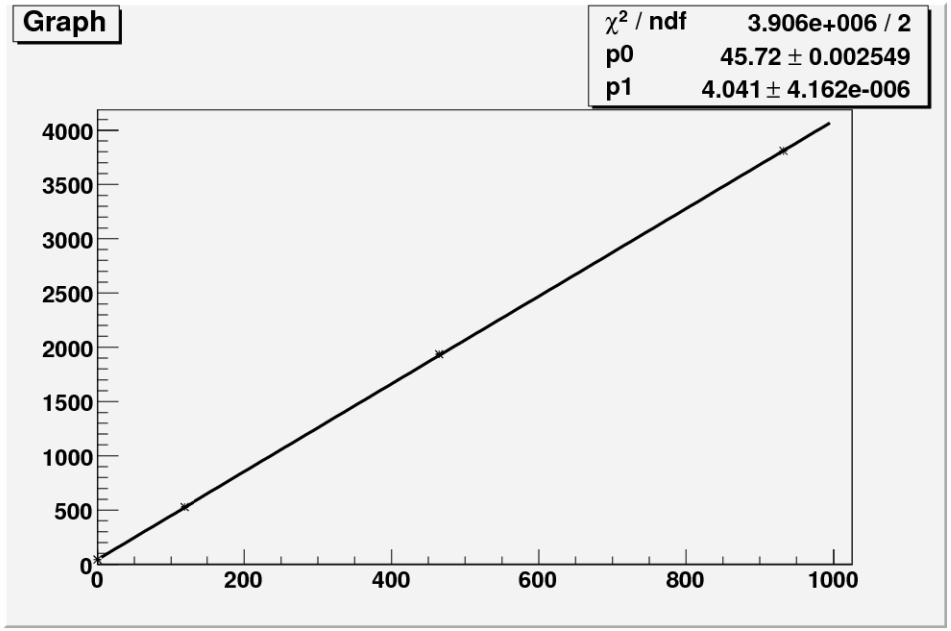
⑥fittingの範囲による誤差⇒1nsecのorder。しかしどのfittingが正しいとは言えない

ＴＤＣの再現性

(TDCcaliError2Graph)　　before

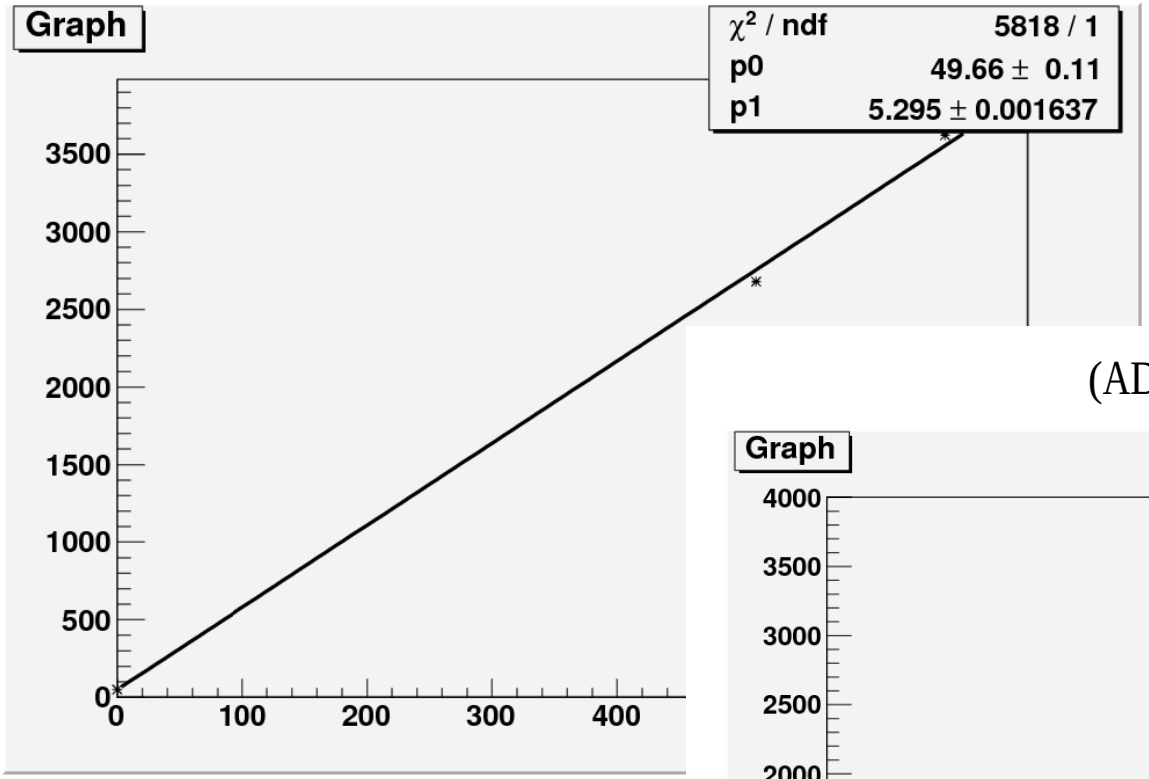


(TDCcali0224Graph)　after

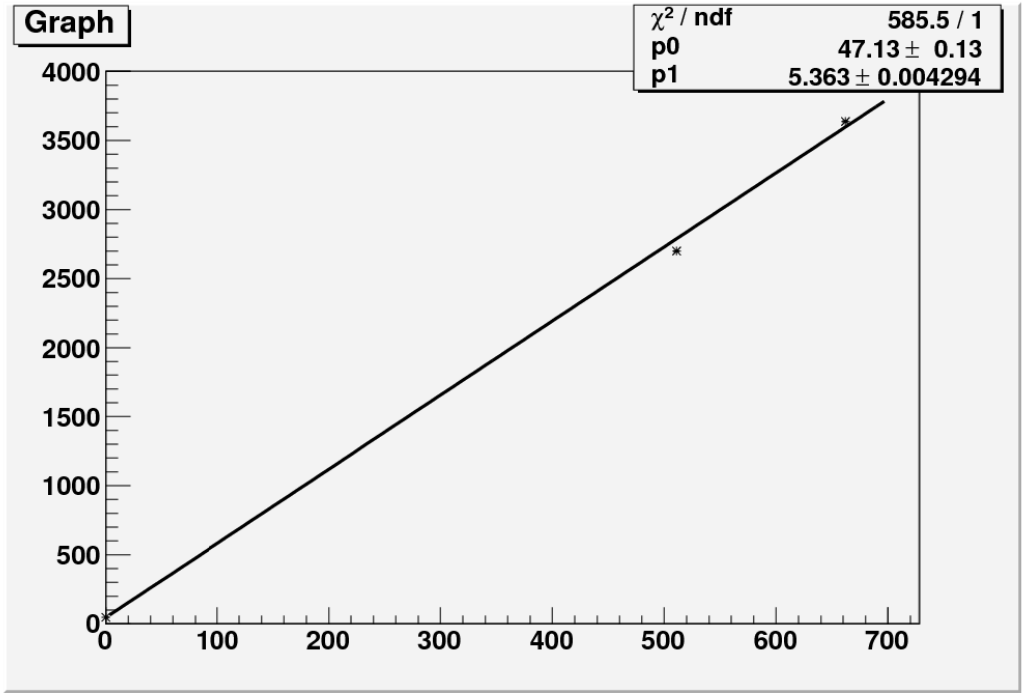


ＡＤＣの再現性

(adccaliGraph2)　before



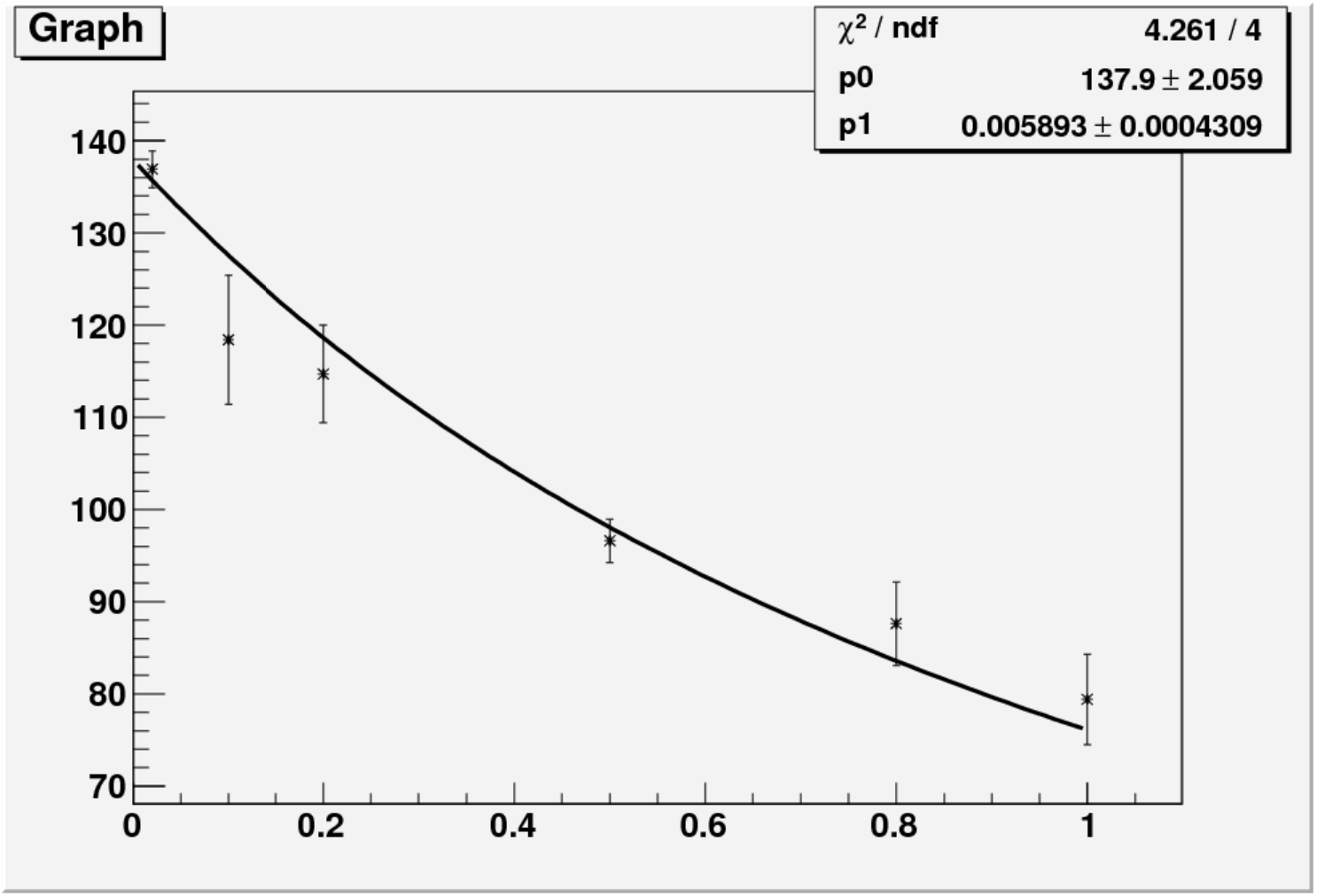
(ADCcali0224Graph)　after



5. 結論

⑥fittingの範囲による誤差

(press-jumyouGraph4-189514)
100-850fitting　　189514cali



結論に変えて・・・・・

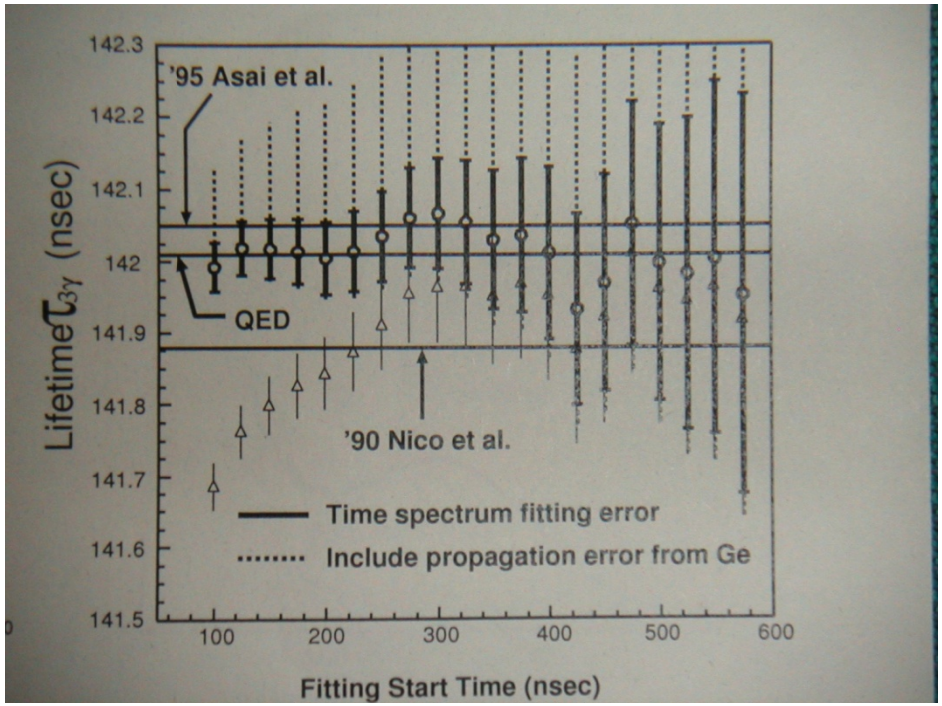
課題

①より確からしいDataにすること。

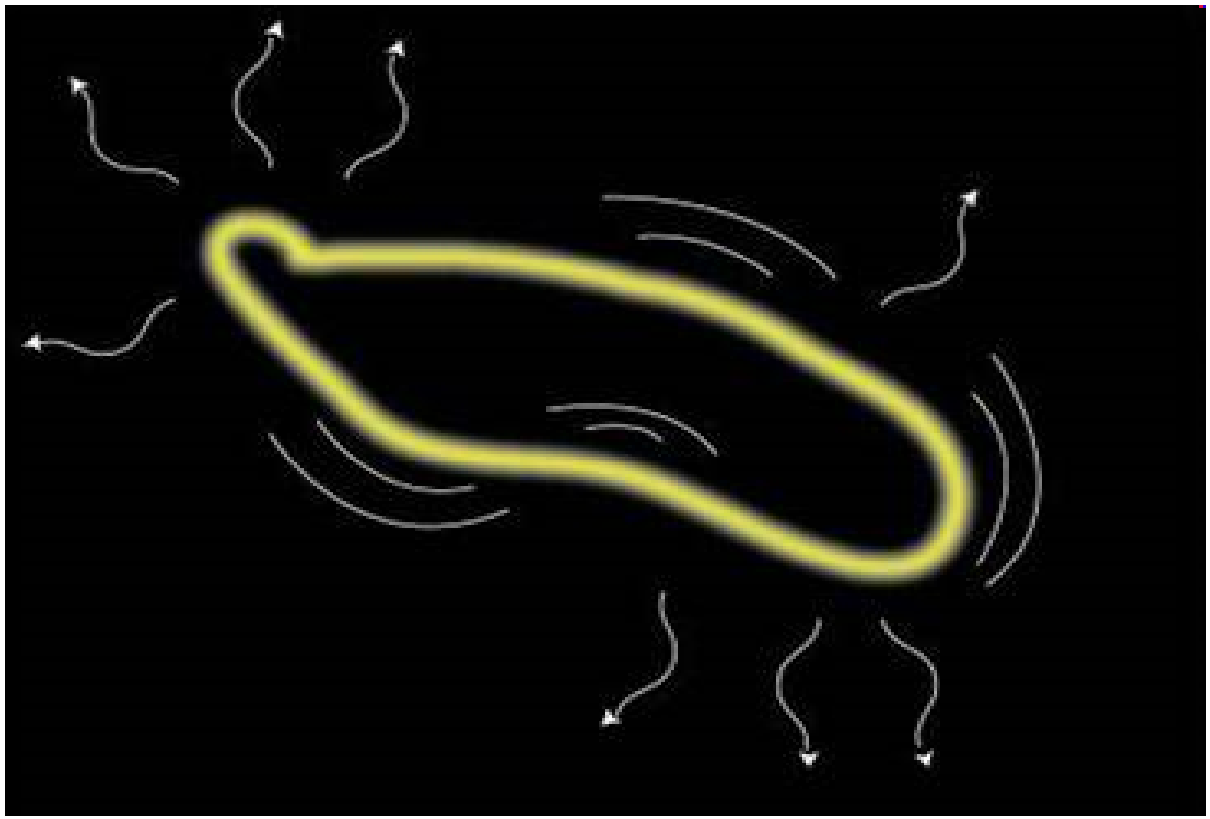
- 統計誤差を小さくする。
- より正確な解析を行う。

②QEDを検証するような寿命に近づけるか。

- 今回得た137.9±2.1⇒「QEDの予測より短い」と断定していいのか？
  しかし、論文によると、短くないらしい。

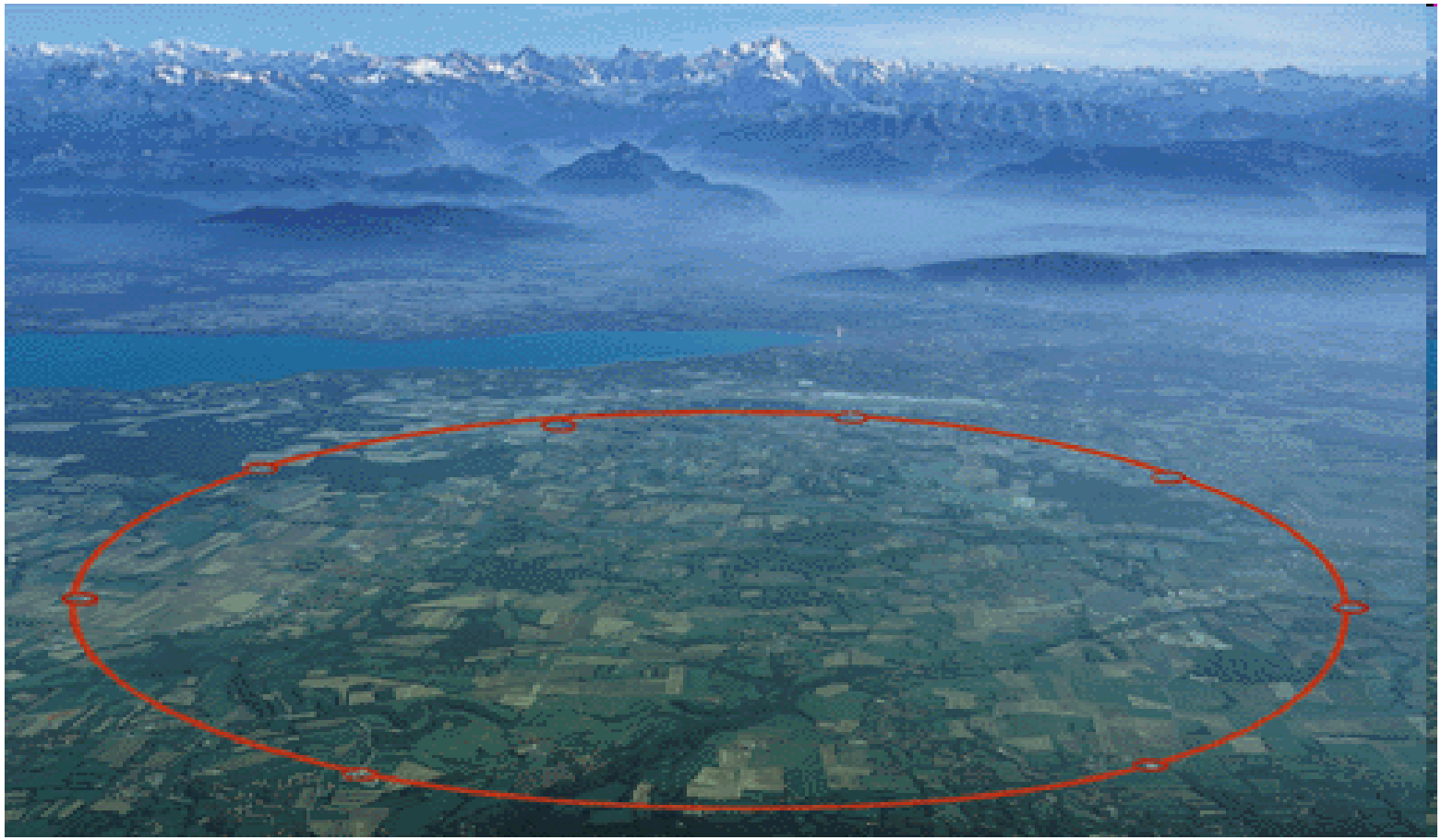


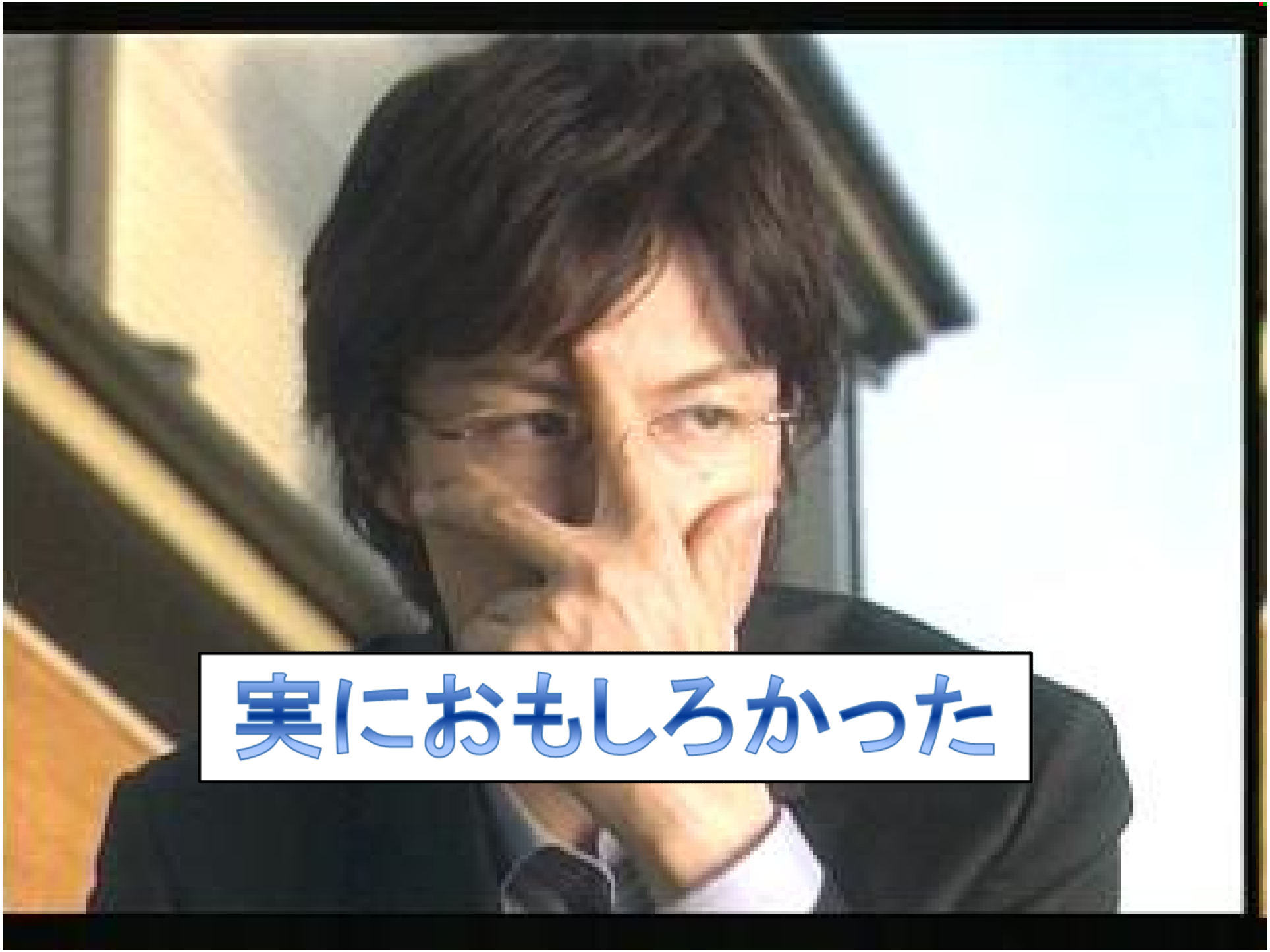
全ては紐になる



私たちが開発したNaIシンチレーター

私たちの実験場




実におもしろかった