

ミューオンの寿命と g因子の測定

栗林 宗一郎
春名 純一
平野 稜
福田 飛鋭

2018年4月4日 P1P2発表会

発表の流れ

- * 1. イントロダクション
- * 2. 実験の方法
- * 3. 測定
- * 4. 解析
- * 5. 考察
- * 6. 結果

1. イントロダクション

μ 粒子の寿命とは

- * 大気中で宇宙線の陽子と原子核が衝突することで π 中間子が生成される
- * π 中間子が崩壊することで、 μ 粒子が生成される
- * μ 粒子は時間が経つと、弱い相互作用により崩壊する
- * 崩壊は一定の時間で一定の確率で起こるので、時間に対する崩壊イベント数のグラフ(崩壊曲線)は指数関数的に減少する
- * (崩壊曲線の時定数を寿命という)
- * 今回の実験では銅板で μ 粒子を捕まえ、捕まったときから、崩壊して出てくる陽電子の信号の時間を測ることで測定する

g因子について

- * μ 粒子は電子と同様にスピンをもち、磁気モーメントをもつ
- * g因子はスピンによる磁気モーメントと角運動量による磁気モーメントとの関係の特徴付ける結合定数である
- * 今回の実験では、磁場をかけることにより、スピンの歳差運動する
- * 歳差運動の角振動数 ω が以下の式で与えられる:
$$\omega = g \frac{eB}{2m_{\mu}}$$
- * 場の量子論を考えなければ、g因子の値は2ではあるが、場の量子論において輻射補正まで考えると2から微妙にずれる

動機

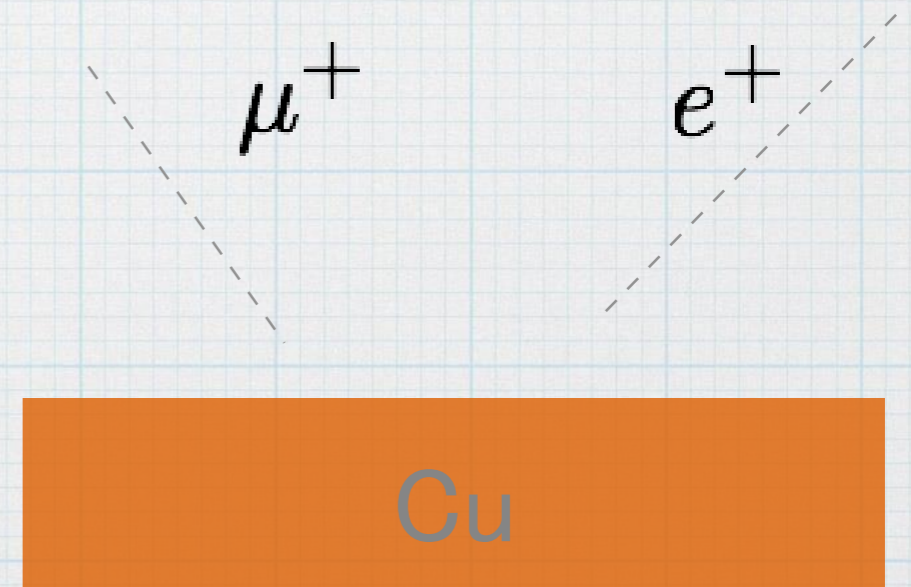
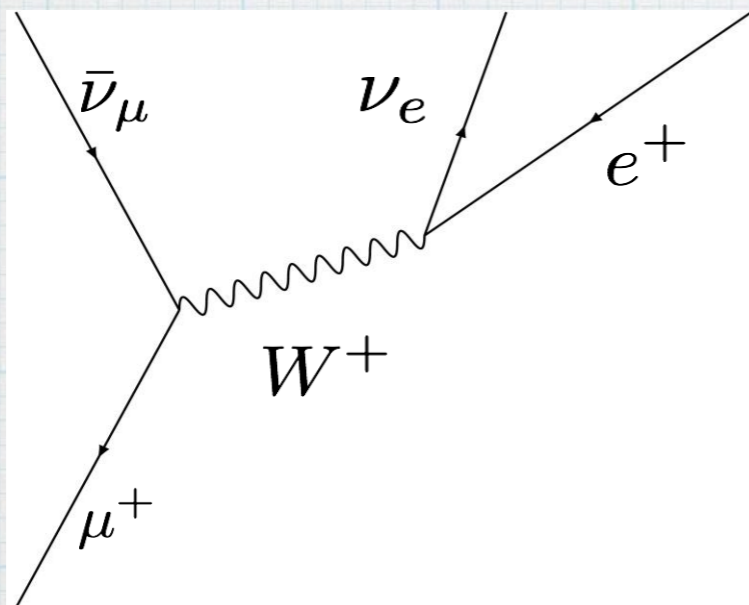
- * 実際に、 μ 粒子の寿命とg因子を測定し、一般的に言われている標準模型の正しさを確かめたい

測定の実原理（寿命の測定）

- * 銅板とシンチレーターを重ね合わせたものに宇宙線の μ 粒子が入射する
- * μ 粒子が銅板に捕まり、弱い相互作用のために以下の式で表される崩壊をする:

$$\mu^+ \rightarrow \bar{\nu}_\mu + e^+ + \nu_e$$

- * μ 粒子が入射した時の信号と、崩壊して出たの信号の時間差を見ることで寿命が測れる



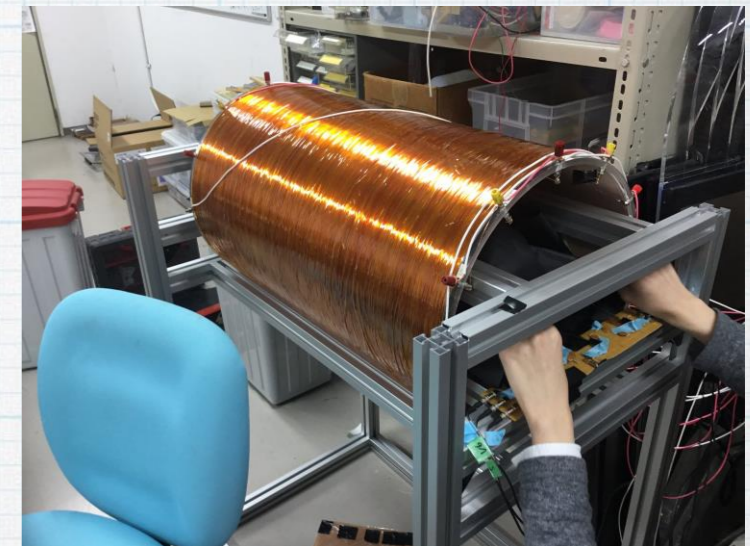
測定の実理(g因子の測定)

- * 磁場をかけるると、 μ 粒子のスピソが歳差運動する
- * 崩壊して出る陽電子がスピソ方向にでやすい(Pの破れ)
→鉛直上方向(下方向)に崩壊したイベントのみを取り出して描いた崩壊曲線は、周期的に振動する
→その振動数からg因子がもとまる

2.実験の方法

実験装置

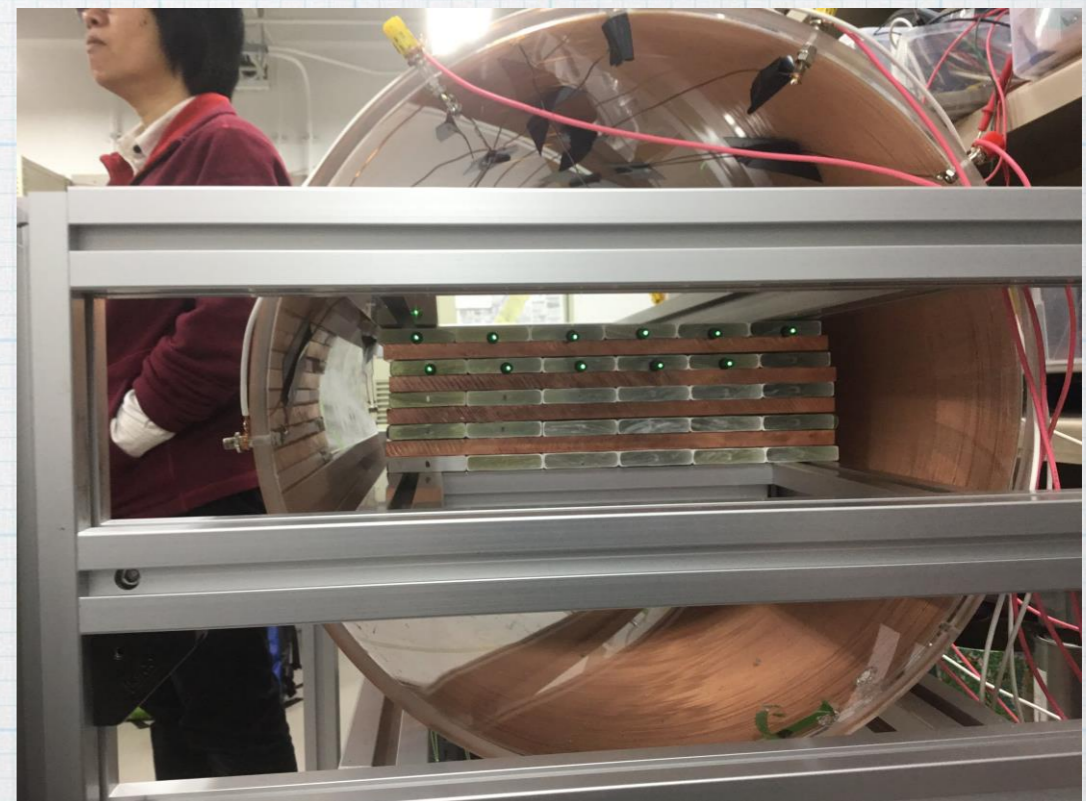
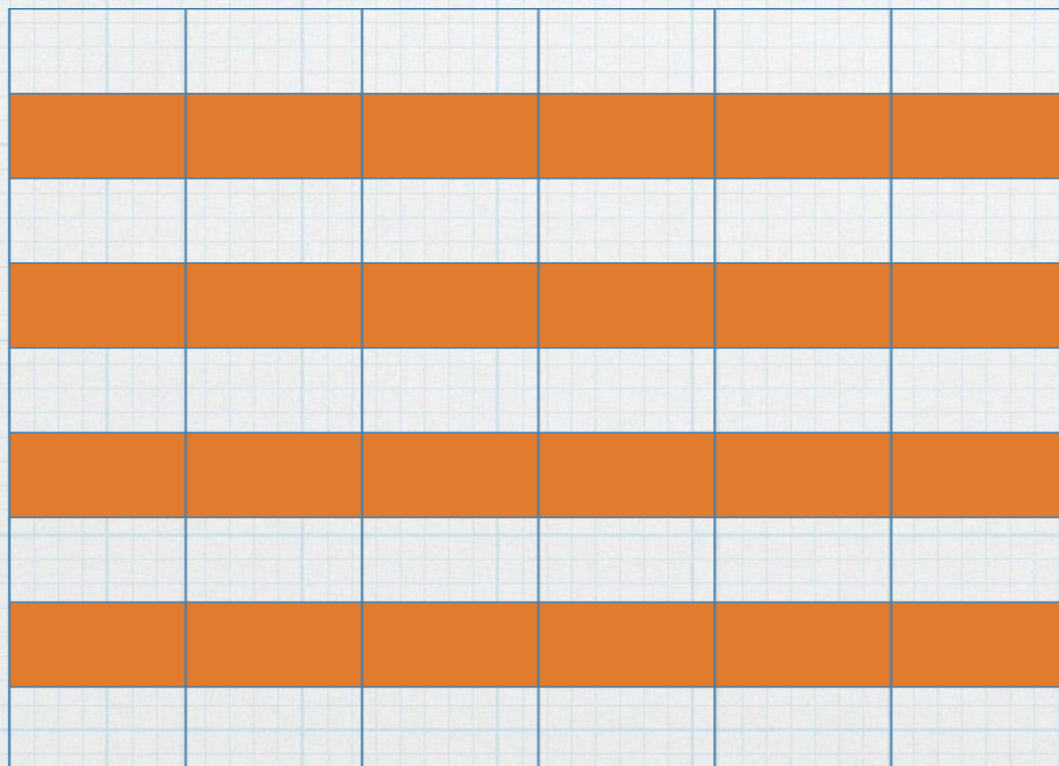
- * プラスチックシンチレータ—40cm × 5cm × 1cm 30枚
- * ソレノイドコイル 直径40cm長さ70cm (8巻/cm)
- * 銅板 40cm × 30cm × 1cm 5枚
- * mppc 30個
- * FADC 1つ (Sampling rate:62.5MHz)
- * 光ファイバー 30本



検出器のセットアップ

- * 以下の写真のように銅板とプラスチックシンチレーターを重ね合わせ、銅板を4層、シンチレーターを5層をコイルの中に置いた
(寿命の測定は銅板2層シンチレーター3層で行った)
- * 装置を置く枠はレコフレームで設計、作成した
- * 各チャンネル毎にアンプを通して、FADCの各チャンネルにつないだ

プラスチックシンチ
レーター→
Cu→



工夫点

- * 銅板を用いた理由

宇宙線としては μ^- , μ^+ がともに降ってくる

金属中では, μ^- が先に挙げた崩壊以外に, 金属原子核に捕獲され崩壊する:



→ μ^- は μ^+ に比べ, 寿命が短くなる

(崩壊曲線は μ^- のと μ^+ のの重ね合わせになる)

- * 銅は原子番号が大きく捕獲が起こりやすい

(文献値: 銅板中 μ^- の寿命が160 ns, μ^+ の寿命が2.197 μ s)

→ μ^- の崩壊は, 測定のしたいスケール($\sim 1 \mu$ s)では無視できる

工夫点

- * (たまたま落ちてた)ソレノイドコイルを使った
→ 一様な磁場を印加できる

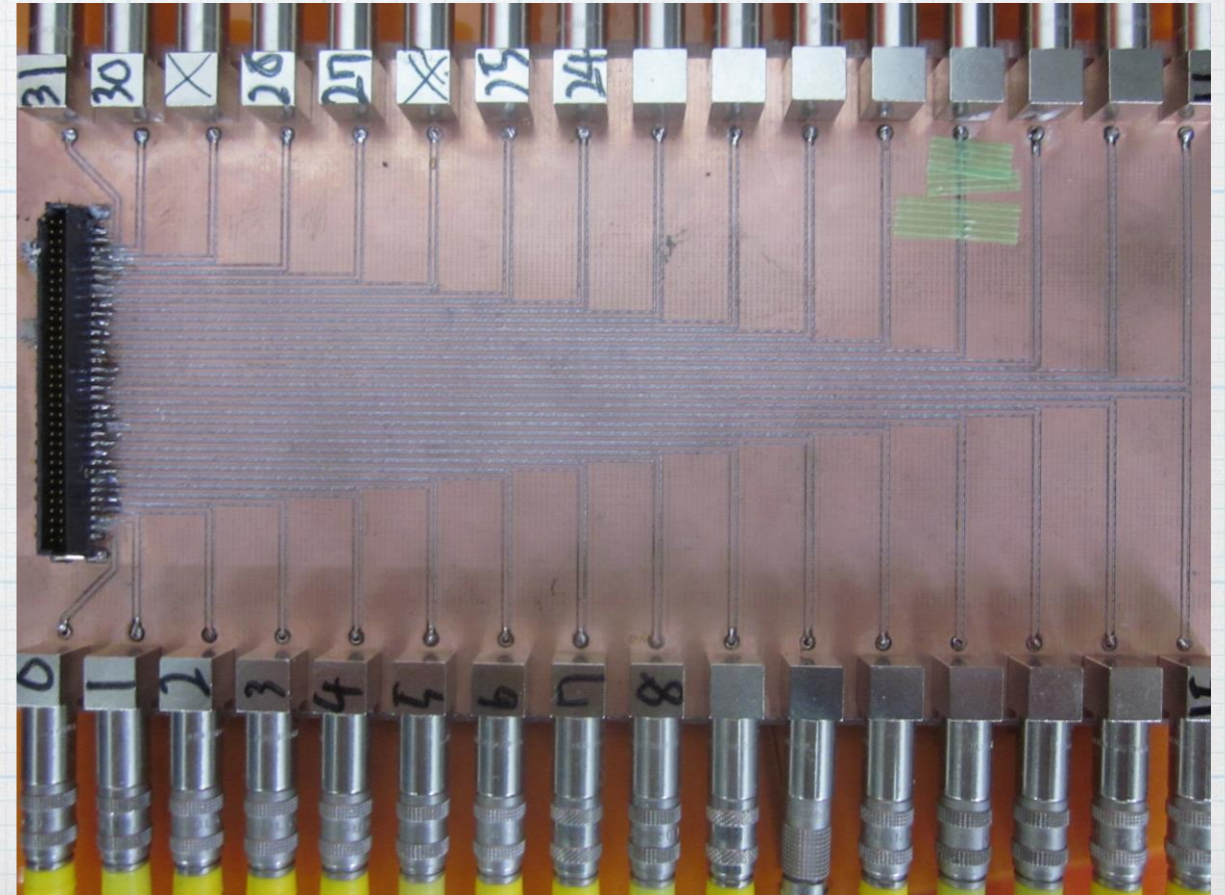
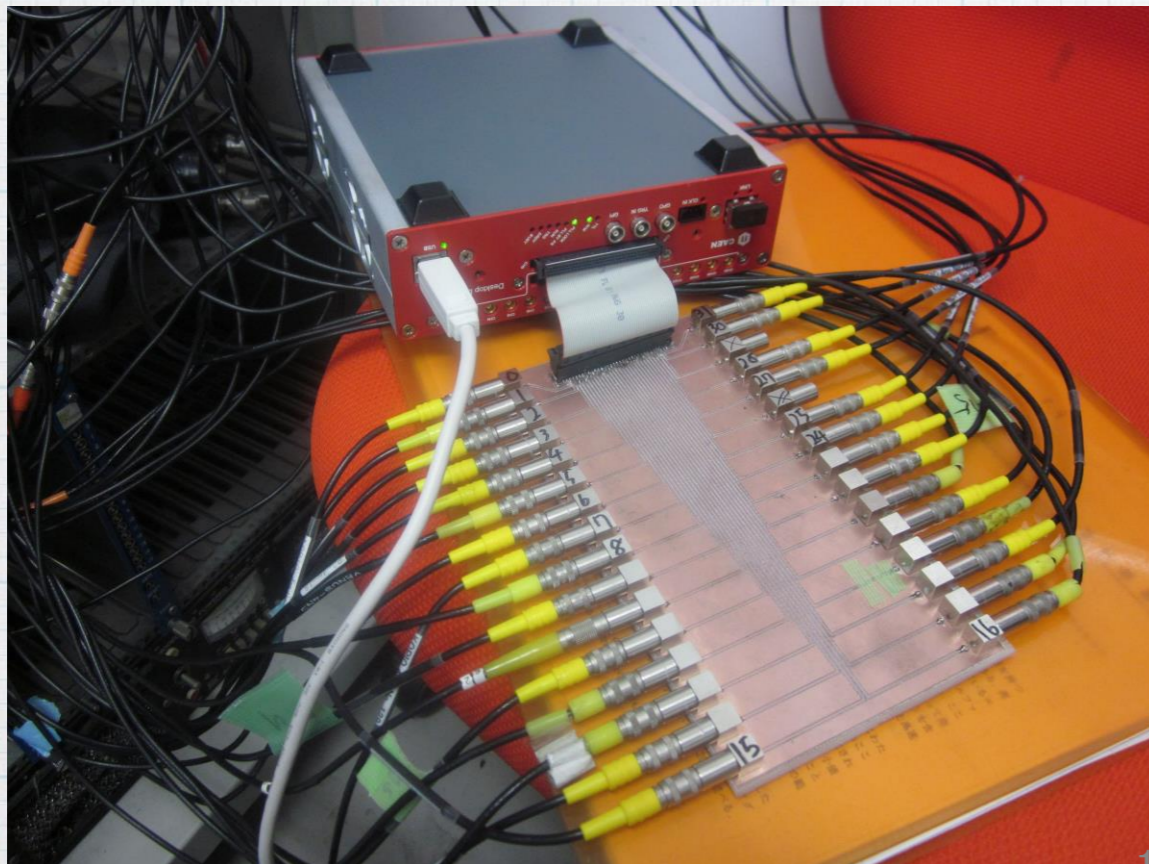
FADC

- * MPPPCの信号の読み出しには、FADCを用いた



FADCの読み出し基盤の作成

- * 基盤カッターを用いて以下の写真のような回路を作り、各チャンネル毎のデータをFADCで読みだした（作成期間:1ヶ月）



MPPC読み出しボードの作成

- * 以下の図の回路を作成した（作成期間:3ヶ月）
- * ノイズがひどくなりやすく信号線を同軸ケーブルに付け替えたり，グラウンドを銅テープで広げたりした
- * またコンデンサーが壊れやすかったり等々，結局4つほどデッドチャンネルがあった

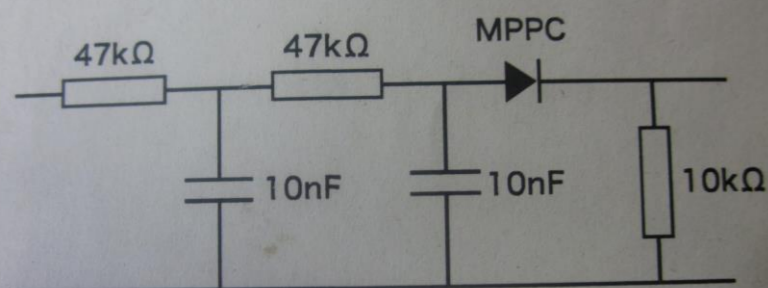
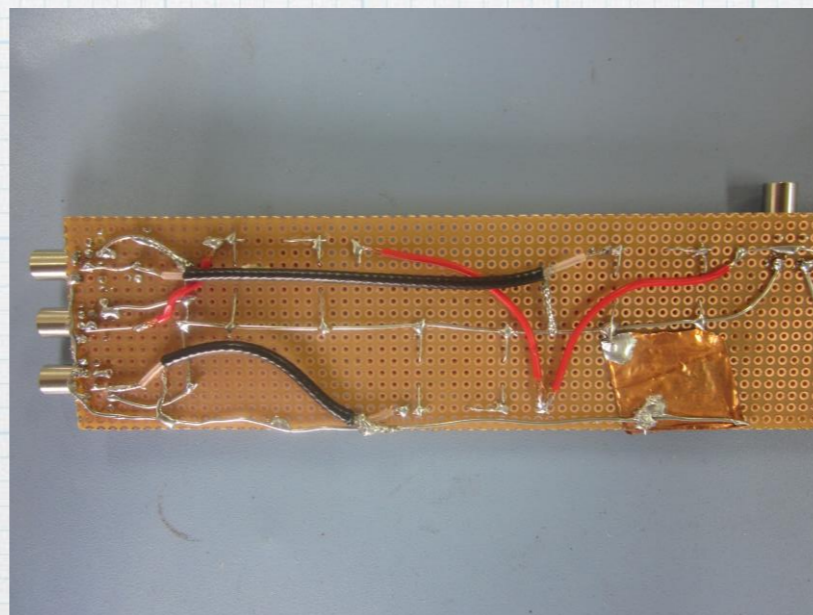
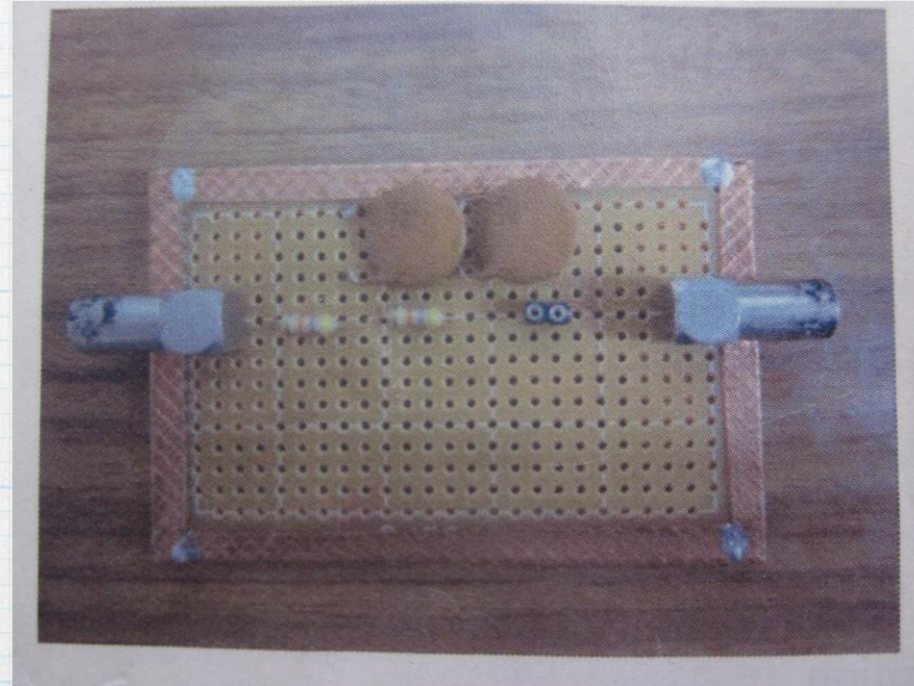


図 5.2.10: MPPC 読み出し回路の回路図



予備実験(動作確認)

- * 以下の写真のようなサンプル回路を作り、MPPPC、光ファイバーとシンチレータが正常に動作するかオシロスコープで確認した



予備実験(磁場の測定)

- * ガウスメーターを用いて、コイルの生成する磁場を測定した
- * 電流11.9A,電圧13.2Vで中心付近では62 gauss
- * 中心付近に比べて、シンチレーターの端付近で2~3 gaussほど磁場が弱かった

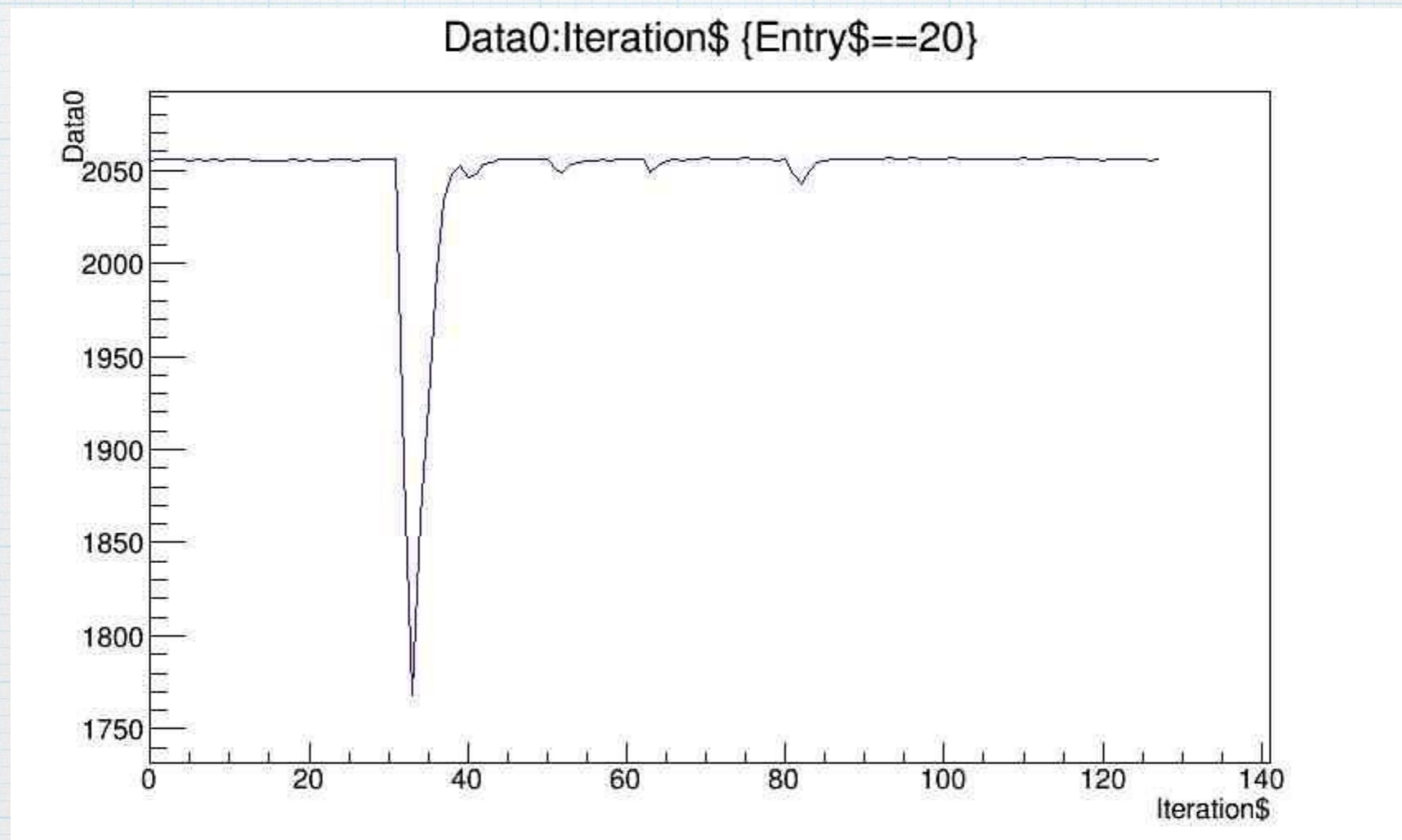
3.測定

測定

- * MPPCには55Vの電圧をかけた状態で測定した
- * コイルの電圧, 電流は磁場が62gauss欲しかったので, 13.2V, 11.9Aで測定した
- * 磁場をかけていない状態では2月24日21時から3月5日の22時までと3月9日20時から3月12日14時まで測定した
- * 磁場をかけた状態で3月18日の16時から4月3日の11時まで測定した

測定データ

- * μ 粒子が入射した際にFADCに記録される波形の一例を示す



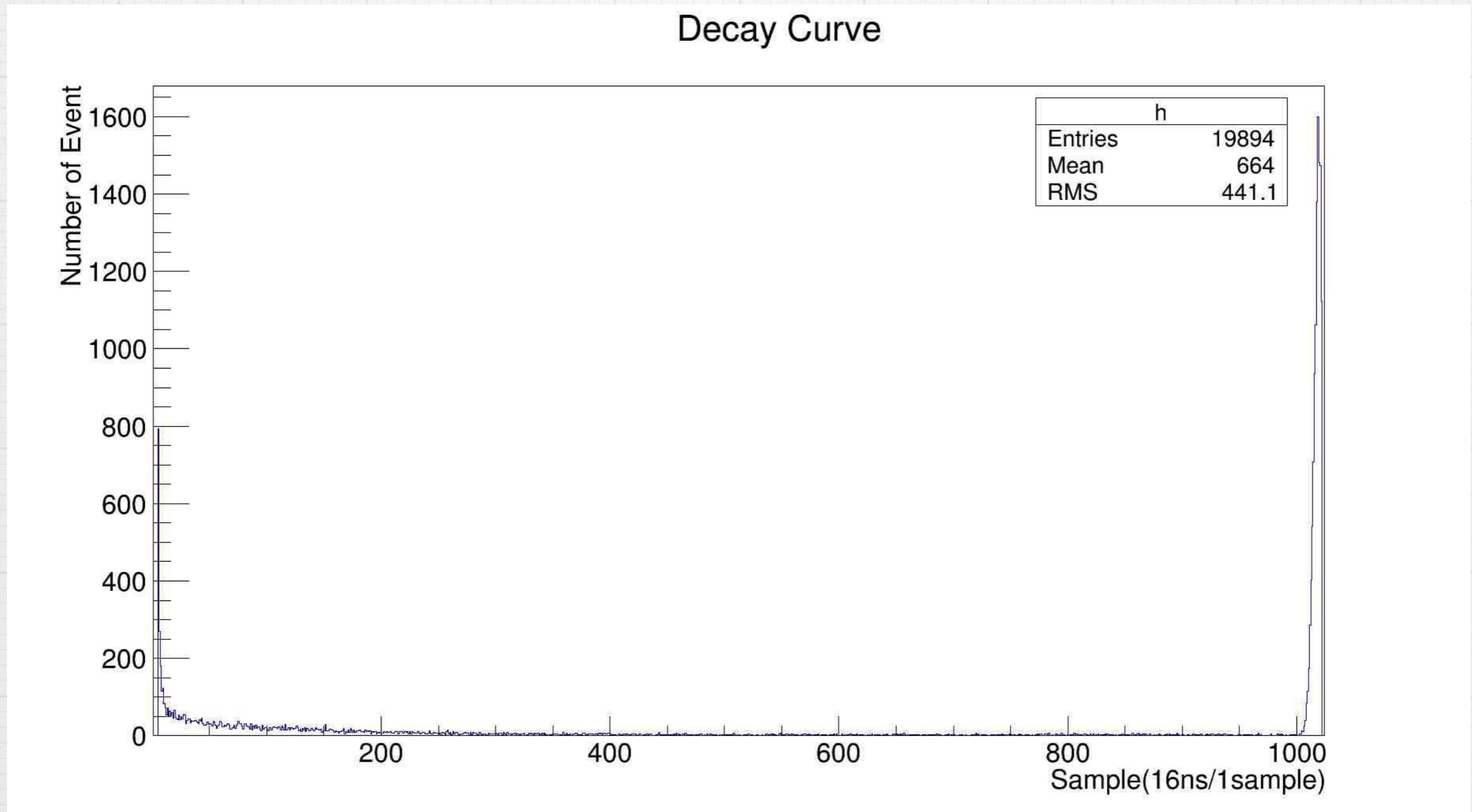
4.解析

解析方法(寿命)

- * 各チャンネルの波形に対してthresholdをたち下りで最初に横切ったcountを記録する
- * その中で最も小さな値を入射時刻とし、その値から設定した以降の値から最小の値を崩壊時刻とした(もし設定した値以降のものがないければ通り抜けたイベントとした)
- * 以上で得られた崩壊時間について、ヒストグラム(崩壊曲線)を描く
- * 解析には2月24日21時から3月5日の22時までの、約4920000イベントのデータを用いた

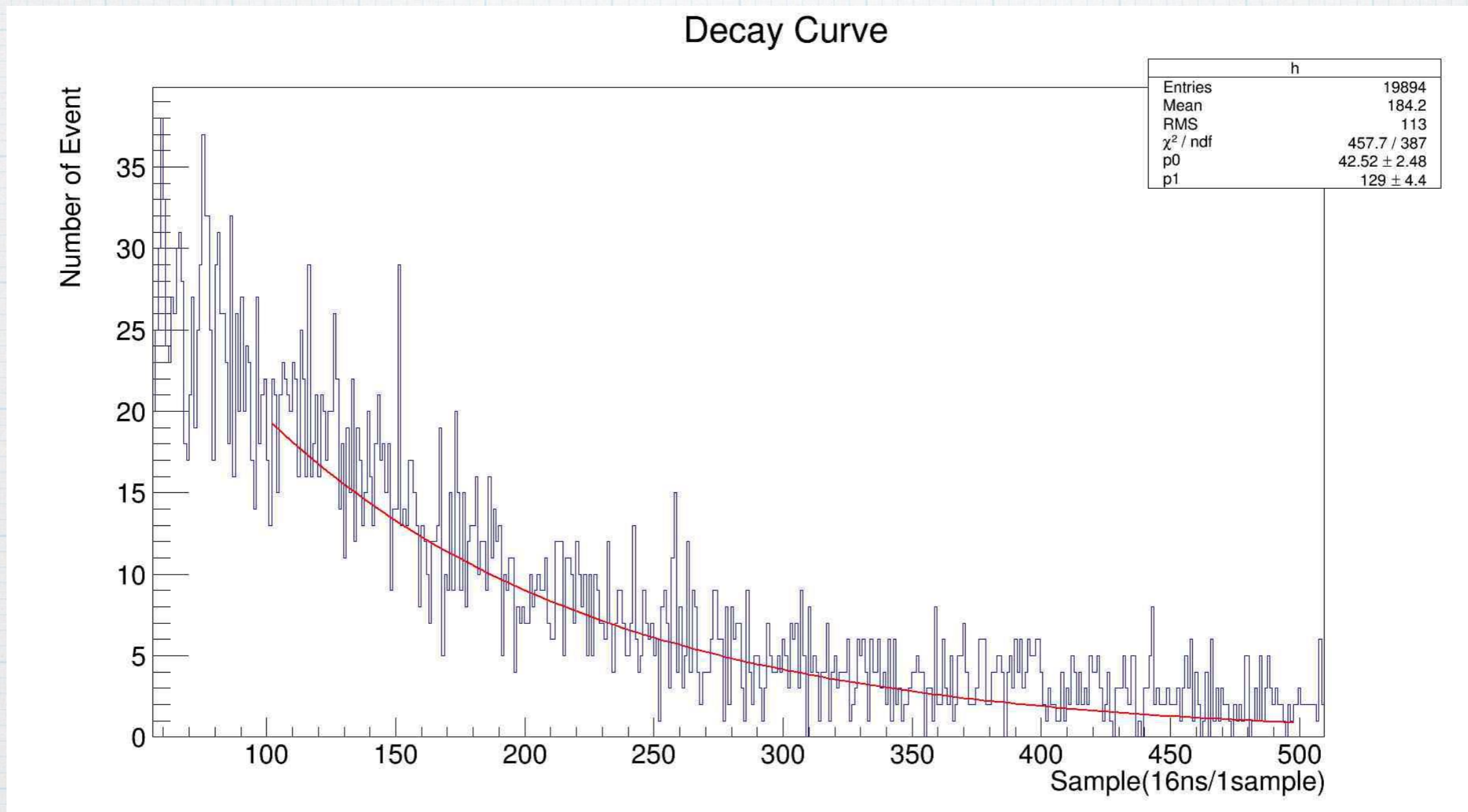
解析結果(寿命)

- * 崩壊曲線は以下の図のとおりである



解析結果(寿命)

- * 崩壊曲線の100 sampleから500 sample の部分を $a \exp(-t/b)$ でフィッティングした



解析結果(寿命)

* フィットティングの結果は

	値	誤差
a	42.5	2.5
b	129.0	4.4

$$(N(t) = a \exp(-t/b))$$

* 寿命は $2.06 \pm 0.07 \mu\text{s}$ という値を得た

解析方法(g因子)

- * 鉛直上方向(下方向)に崩壊したイベントのみを取り出して、各々について崩壊曲線を書き、

$$A \exp(-t/B) (1 + C \cos(\omega t + \alpha))$$

でフィッティングした…かった

- * まともな崩壊曲線が得られなかったなので、行わなかった

5.考察

考察(寿命)

- * μ 粒子の寿命は文献値(2.197 μs)に比べて小さくなった
- * 原因として、MPPCのアフターパルスを崩壊して出てきた陽電子のイベントとしてとってきてしまっている可能性が挙げられる

考察(寿命)

* 寿命について

2013年のA1の後期の同じ実験でmppcのthresholdの値によって極端にミューオンの寿命が変わってしまうという現象が見られた

(詳しい理由はわかっていない)

その実験ではthresholdの値を厳しくすることで文献値に近づいていたので、thresholdの値をより低く設定する必要があったかもしれない

結果

- * 得られた μ 粒子の寿命は $2.06 \pm 0.07 \mu\text{s}$
- * g 因子は求められなかった

謝辞

- * 今回の実験で市川さん, TA の中桐さんに大変お世話になりました
ありがとうございました

* 銅の反磁性について

* 銅は反磁性体なので、外部磁場に比べて内部磁場は小さくなる

* 磁化率は $-0.08\text{cm}^3/\text{g}$

* 今回の実験で測定したい精度では問題ないはず