

# Muon の $\beta$ 崩壊からニュートリノの質量を探る

9 8 s 2 0 0 3 c

伊藤 さおり

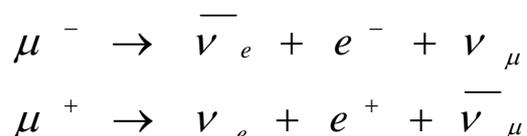
2002 年 2 月 27 日

# 目次

1. 目的
2. 理論
  - 2.1 Muon とは
  - 2.2 Muon の  $\beta$  崩壊による電子の運動エネルギー
  - 2.3 Muon の life time
3. 装置
4. 測定結果
  - 4.1 実験
  - 4.2 光電子増倍管への電圧の決定
  - 4.3 Muon の lifetime
  - 4.4 測定方法決定の経緯
  - 4.5 通過 Muon のエネルギー分布
  - 4.6  $\beta$  崩壊後の電子のエネルギー分布
5. まとめ
6. 卒業研究を終えて
7. 付録 (CAMAC プログラム)

## 1. 目的

Muonは不安定であり、自由空間では弱い相互作用により約 $2.2 \mu\text{sec}$ の平均寿命でそれぞれ次のように三体に崩壊する。この $\beta$ 崩壊により



となることを利用し、まず電子のエネルギー分布を測定する。次にニュートリノの質量 $=0$ とした時の電子のエネルギー分布と比較し、もしずれがあれば、ニュートリノの質量を推定する。

<ニュートリノについて>

ニュートリノは、弱い力で他の素粒子と反応しするが、その反応の確率は非常に小さい。その結果ほとんどのニュートリノは地球を通り抜けてしまう。

ニュートリノは原子核のベータ崩壊でエネルギーの保存則を満たすために仮定された粒子である。ベータ崩壊で出てくる電子または陽電子のエネルギーは一定の値でなく、広いスペクトルを持っている。それは、ベータ崩壊で電子と共に出てくるニュートリノがエネルギーを持ち出すためである。原子核のベータ崩壊前後でエネルギーは保存されるはずである。ニュートリノの運動エネルギーがゼロの場合に、電子のエネルギーは最大になるが、ニュートリノの質量の大きさによって、その最大エネルギーの値、およびその付近のエネルギースペクトルの形状が変わってくるのが期待される。

## 2. 理論

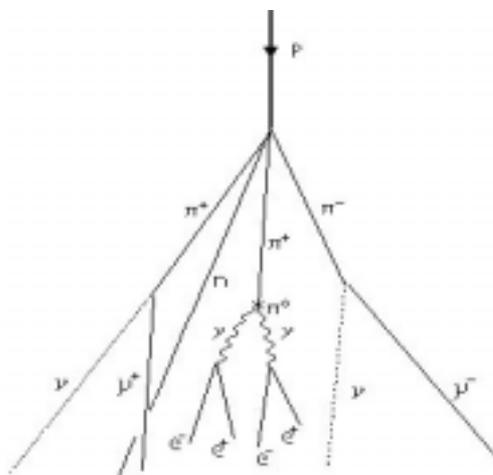
### 2.1 Muon とは

電子と同じレプトンに属し、 $+$ の電荷を持つ粒子 ( $\mu+$ ) と $-$ の電荷を持つ粒子 ( $\mu-$ ) の 2 種類がある。またスピン  $1/2$  のフェルミ粒子で、電磁相互作用と弱い相互作用をするが、強い相互作用はしない。以上は電子と性質の同じ点である。

一方、質量は  $105\text{MeV}$  で電子 ( $0.5\text{MeV}$ ) に比べてはるかに重い。また lifetime は  $2.2\ \mu\text{s}$  で電子とニュートリノに崩壊するが、これに対して電子は安定で崩壊しない。なお、 $\mu+$  も  $\mu-$  も物質中に存在しないが、 $e-$  は陽子、中性子とともに物質を構成している。以上のような電子と異なる性質を持っている。

宇宙から地球にやってくる 1 次宇宙線の大部分は陽子 (proton) だが、これが大気中の空気分子と反応を起こして、 $\pi$  中間子、K 中間子などの 2 次宇宙線が発生する。これらの粒子は短時間のうちに電磁または弱い相互作用によって  $\mu$ 、ニュートリノ  $\nu$ 、光子  $\gamma$  などの粒子に崩壊する。

地上に届く荷電宇宙線は  $\mu$  が一番多く約 70 パーセントを占め、残りのほとんどが電子である。なお  $\mu$  は地上では 1 分間に  $1\ \text{個}/\text{cm}^2$  の割合で観測される



## 2.2 Muon の $\beta$ 崩壊による電子の運動エネルギー

先に述べたように、muon は  $\beta$  崩壊により電子と 2 つのニュートリノの 3 体に崩壊をする。ここで、電子の運動エネルギーの最大値  $T_{\max}$  を考える。(P : 運動量)

ここで  $P_e, P_{\nu_e}, P_{\nu_\mu}$  はそれぞれ電子、電子ニュートリノ、 $\mu$  ニュートリノの運動量



図 1

この  $\beta$  崩壊の前後で運動量は保存しており、図 1 のとき (つまり  $\nu_e$  と  $\nu_\mu$  のなす角ゼロのとき) 電子の運動エネルギーは最大となる。

ただし  $P_\nu = P_{\nu_e} + P_{\nu_\mu}$

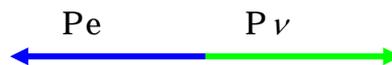


図 2

よって、図 2 の 2 体崩壊を考えることと同等である。

$\beta$  崩壊の前後でエネルギー保存則も成り立つので、

$P_e = P_\nu = \mathbf{p}$  とすると

$$M_\mu c^2 = \sqrt{M_e^2 c^4 + p^2 c^2} + \sqrt{M_\nu^2 c^4 + p^2 c^2}$$

$$\therefore p^2 = \frac{c^2}{4M_\mu^2} (M_\mu^4 + M_e^4 + M_\nu^4 - 2M_\mu M_e - 2M_e M_\nu - 2M_\nu M_\mu) \quad (*)$$

となる。よって  $T_{\max}$  は

$$T_{\max} = E_e - M_e c^2 = \sqrt{M_e^2 c^4 + p^2 c^2} - M_e c^2$$

(\*) 式 を代入し、 $M_\mu \gg M_e$  とから

$$\therefore T_{\max} \approx \frac{M_\mu c^2}{2} = 52.5 \text{ MeV}$$

となる。

ここで、崩壊電子のエネルギースペクトルは、

$$\frac{dN}{dE_e} = \frac{G^2}{12\pi^3} M_\mu^2 E_e^2 \left(3 - \frac{4E_e}{M_\mu}\right) \quad 0 < E_e < \frac{M_\mu c^2}{2}$$

ただし、 $N$ ：崩壊率、 $E_e$ ：崩壊電子のエネルギー、  
 $G$ ：フェルミ結合定数

下図は磁気スペクトロメータで観測された陽電子の運動量スペクトルと理論曲線である。

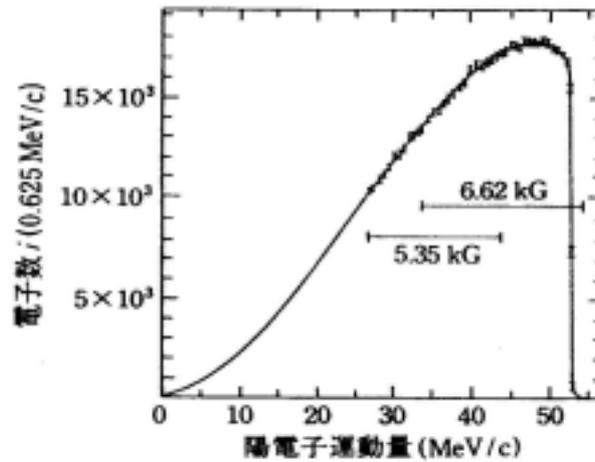


図 10.8  $\mu \rightarrow e\nu$  電子エネルギースペクトルからミシェルパラメータを決める  
 実線は  $\rho=3/4$  として、放射補正などの補正を加えた理論値<sup>11)</sup>。

参考文献 長島順清著 素粒子物理学の基礎

先に述べたように、

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

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

は三体崩壊であるから放出される電子または陽電子のエネルギースペクトルは連続で、エネルギーの最大値は 52.5 MeV となる。

## 2.3 Muon の life time

K、 $\pi$  中間子、muon などそれぞれ固有の寿命平均値(life time)を持ち、それぞれの過程で崩壊する。

今、時刻  $t$  と  $t+dt$  の間に崩壊する粒子数  $-dN$  はそのときの粒子数  $N(t)$  に比例する。崩壊定数  $\lambda$  とおくと、

$$\begin{aligned}dN &= -\lambda N dt \\ \therefore N(t) &= N(0)\exp(-\lambda t)\end{aligned}$$

よって  $t = 1/\lambda$  のとき粒子数は  $N(0)$  の  $1/e$  に減少する。寿命  $t$  で崩壊する粒子数が  $-dN$  なので、life time  $\tau$  は平均値の定義により

$$\tau = \frac{\int_{N(0)}^0 t dN}{\int_{N(0)}^0 dN} = \int_0^{\infty} \lambda t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

muon は life time :  $\tau = 2.2 \mu s$  で  $\beta$  崩壊をする。

### 3. 装置

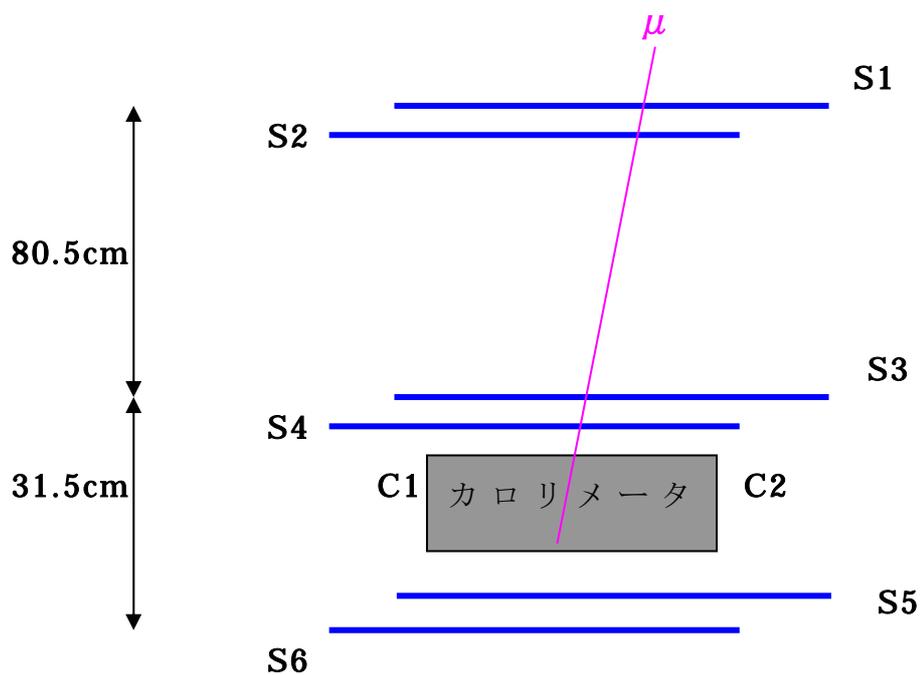
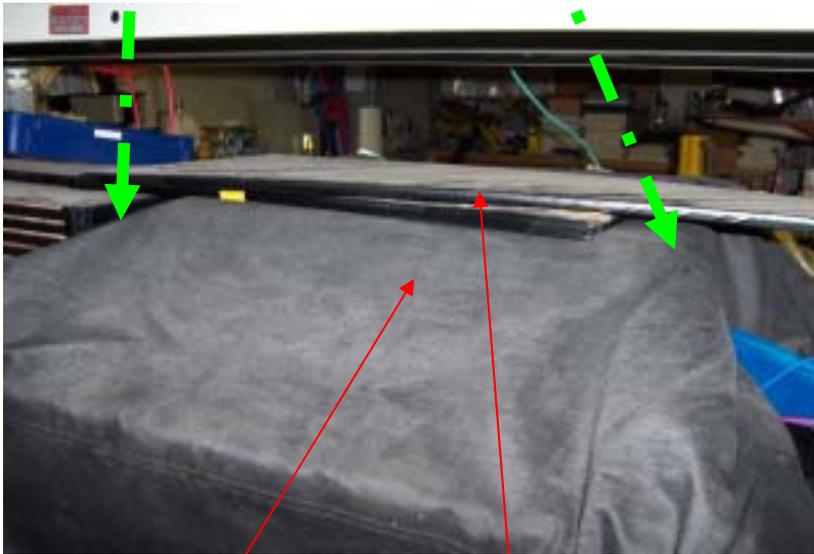


図 3

装置は6枚のシンチレーションカウンター (S1~S6) とカロリメータ (C1,C2) から成っている (図3)。基本的には、カウンターで粒子の通過の有無を確認し、カロリメータで粒子の落としたエネルギーを測定する(トリガーカウンターについては 4.4)。

Set up

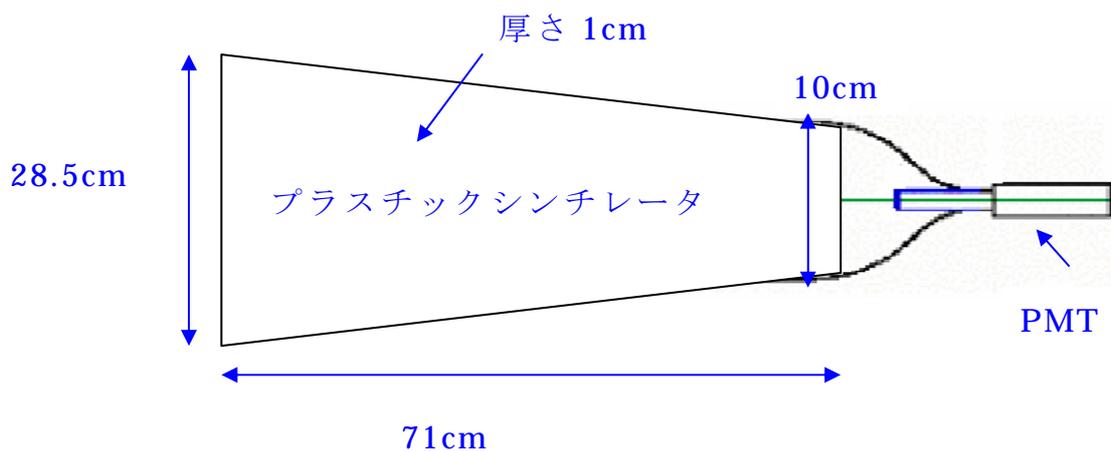


CAL

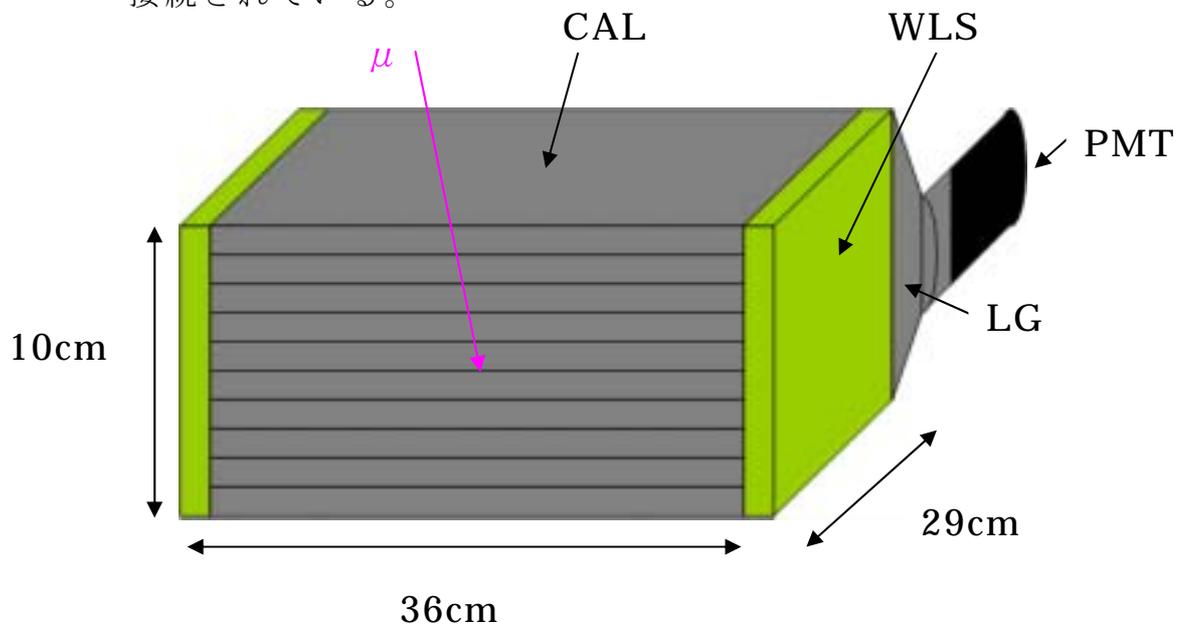
シンチレーションカウンター

## 各部の説明

- ① シンチレーションカウンター：プラスチックシンチレーターと光電子増倍管(S1～S6)から成っている。



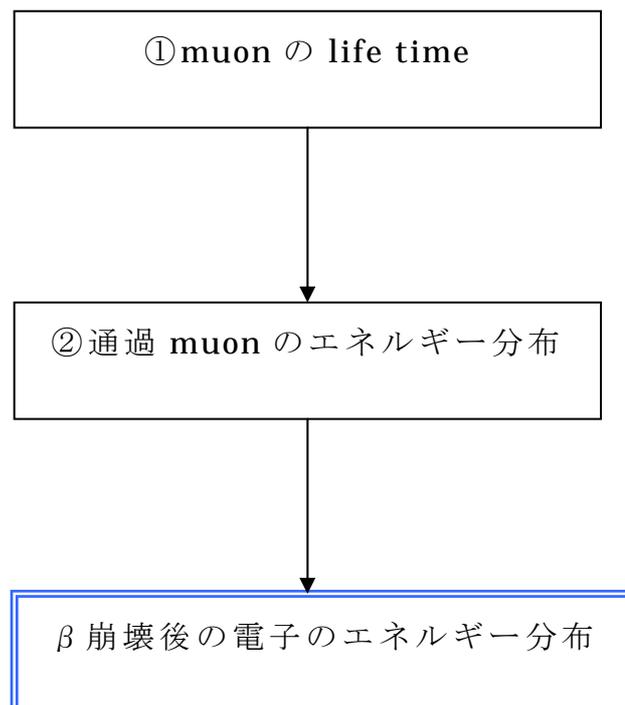
- ② カロリメータ：厚さ 1 cm のプラスチックシンチレーター10層から成っている。なお、両側面には wavelength shifter (WLS) とライトガイド (LG) と光電子増倍管(C1 C2)が接続されている。



## 4. 測定結果

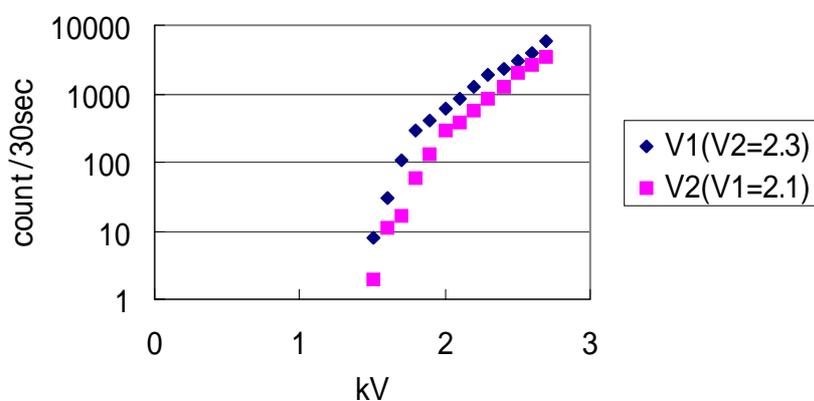
### 4.1 実験

この実験での測定目標は **muon** の  $\beta$  崩壊後に電子がカロリメータに落とすエネルギー分布を測定することである。よってその準備として以下の2つの実験を行う。まず、捕らえた信号が電子によるものであることを確認するために①**muon** の **life time** を測定する。次に、ADCの数値に対応するエネルギー値を調べるために、②通過 **muon** がカロリメータに落とすエネルギー分布を測定する。

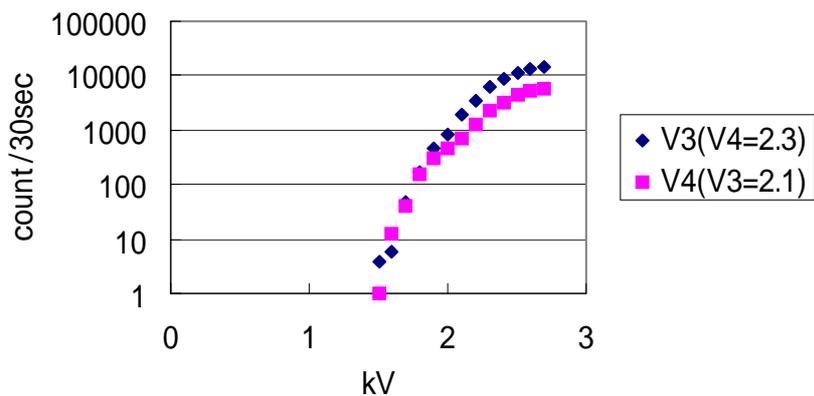


## 4.2 各電圧の決定

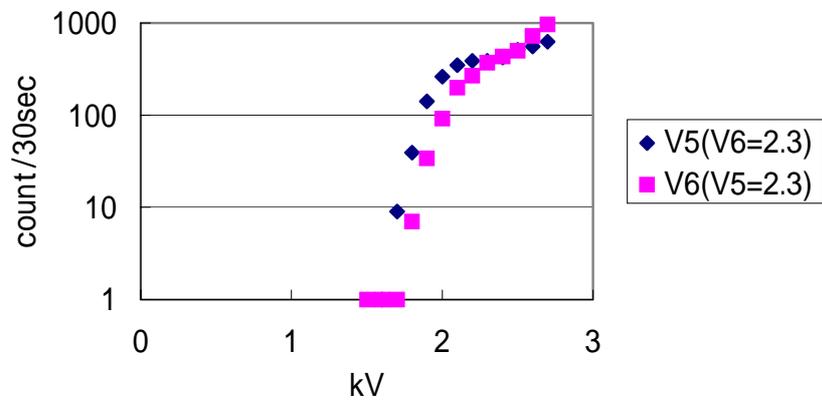
まずは各光電子増倍管への適正電圧を決定した。以下に電圧決定に用いた特性曲線を記載する。シンチレーションカウンターの S1~S6 には V1~V6 が対応し、カロリメータは C1,C2 が対応している。方法は、2 fold coincidence (S1\*S2, S3\*S4, S5\*S6) で行った。なお、Discriminator の threshold は 30mV とした。



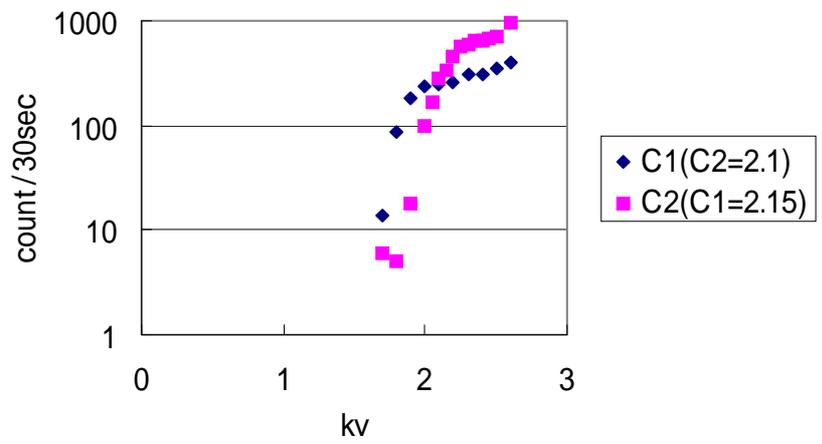
V1=2.00kV V2=2.04kV に決定。



V3=V4=2.00kV に決定。



V5=V6=2.24kV に決定。



C1=2.15kV C2=2.40kV に決定。

### 4.3 Muon の life time

先ほど述べた muon の life time の測定において、TDC を用いる。

TDC : start パルスと stop パルスを入れると、2つのパルスの時間間隔を整数値で出力する。(参考 : p.31~32 CAMAC プログラム tdc.c)

図4のように muon がカロリメータ内に止まってから  $\beta$  崩壊が起こるまでの時間  $\delta t$  を TDC で測定する。まず start 信号はカロリメータ C1,C2 とシンチレーションカウンタ S3 の AND をとった(図5)。本来トリガーロジックとしては S5 and S6 の VETO も入れなければならないが、この VETO を入れるとタイミングが合わなかった。(p.27 で考察)そこで、TDC 測定の CAMAC プログラムで tdc カウントの範囲を 400 以下 ( $2 \mu s$ ) とすることで、通過 muon のデータをカットした。(p.32 の赤字部分)。

また、p.15 のタイミング図からわかるように、stop 信号を作っている C2 の analog 信号は小さいので、C2 の Discrithreshold は 10mV に下げた。

Start:

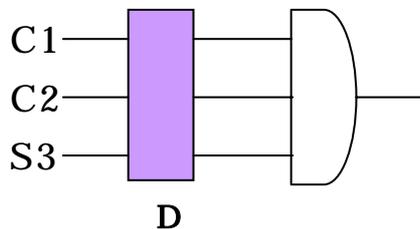


図 5

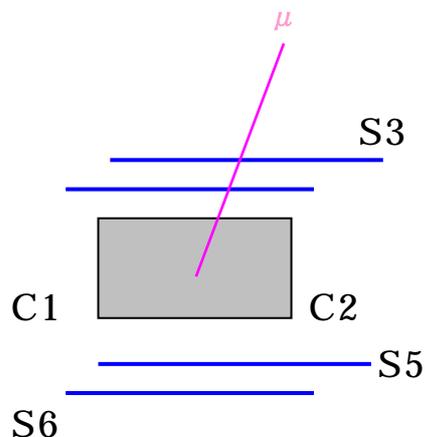


図 4

次に stop 信号は、start 信号を **G.G : Gate-Generator** に入れたパルスと C2 との AND でとった(図 6)。

ただし、**G.G : (delay) 300ns (width) 2  $\mu$ s**

Stop:

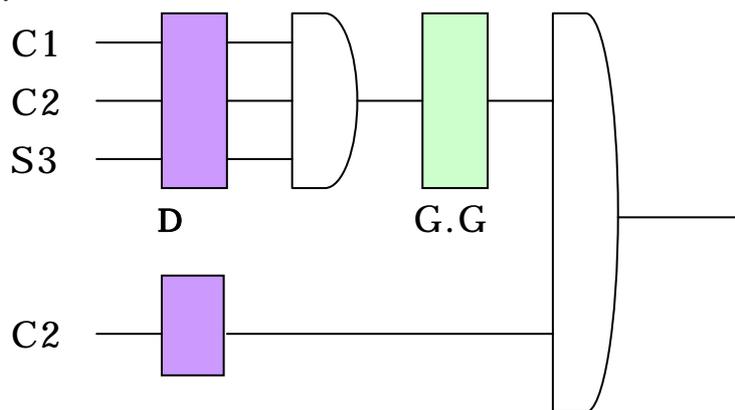
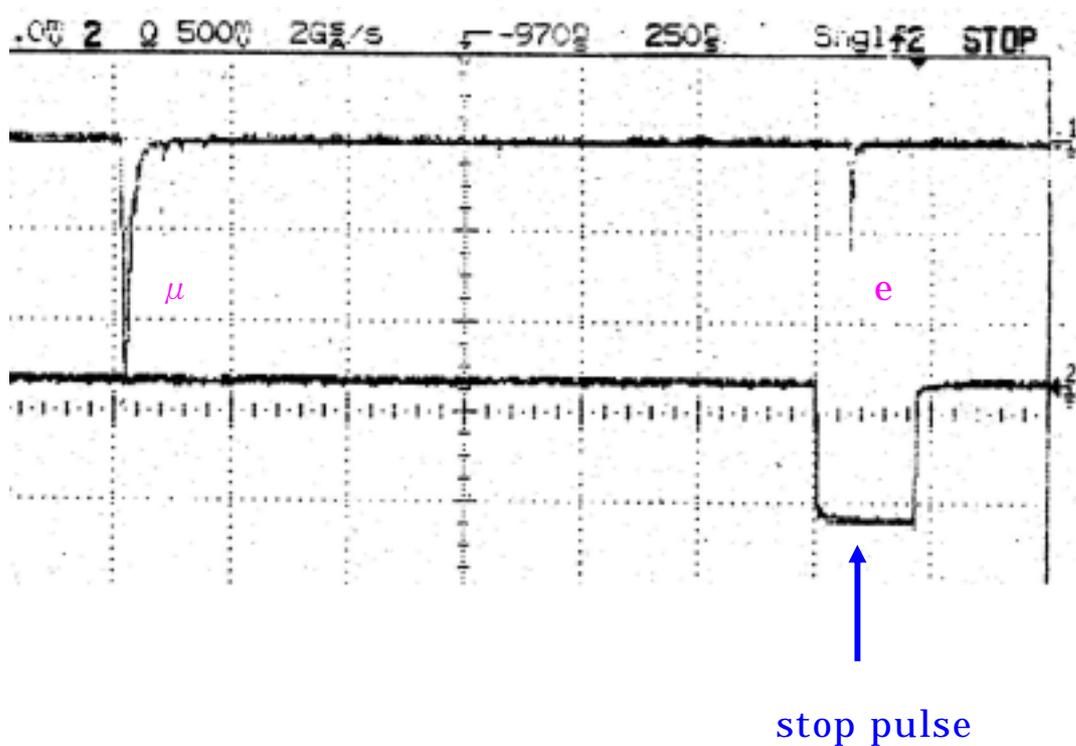


図 6

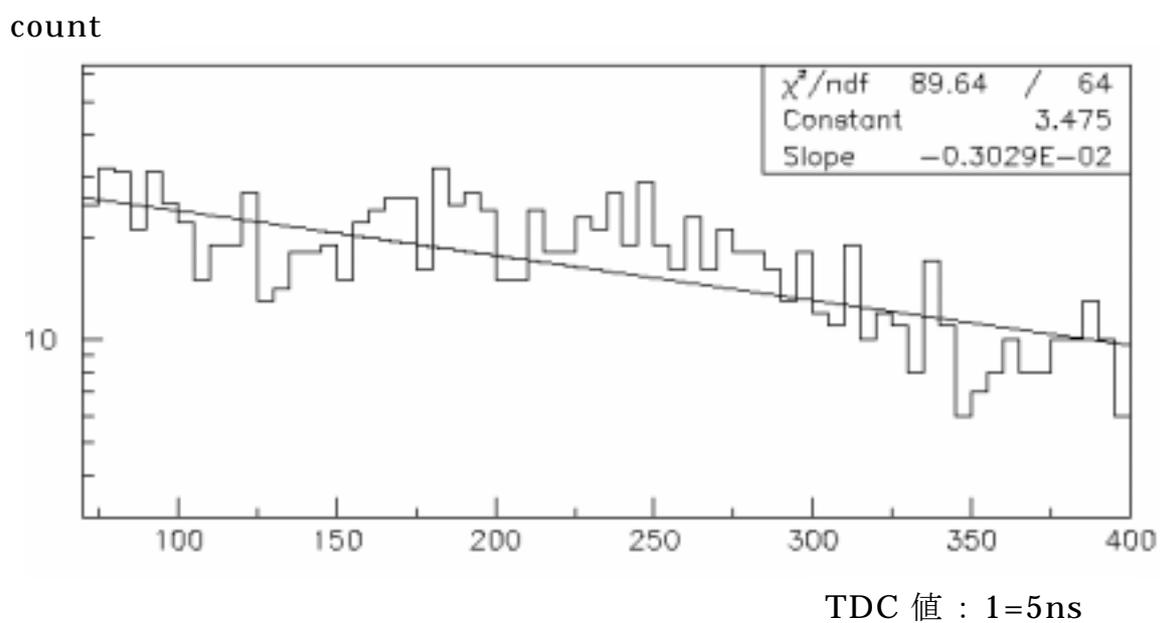
ゲートのタイミング図



TDCによる測定グラフは以下に添付した。このグラフの傾きから求められる muon の life time は以下の通りである。

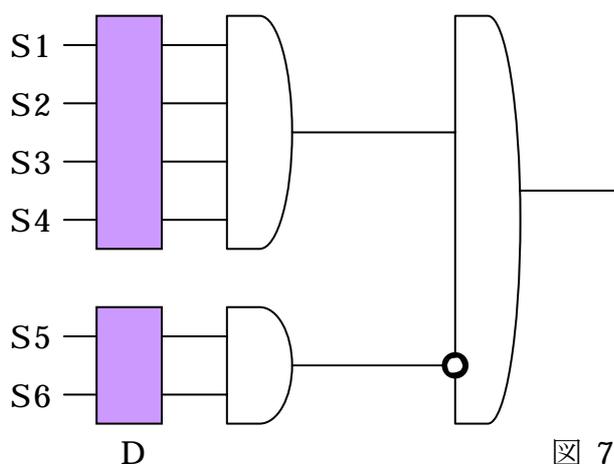
結果  $\tau = 1.65 \pm 0.19 \mu S$

よって muon の life time =  $2.2 \mu S$  と比較すると、オシロスコープで観測された信号は  $\beta$  崩壊後の電子と考えられる。



## 4.4 測定方法決定の経緯

実験の初めには、従来通り S1～S6 のカウンターを用いて S1～S4 の AND に S5 と S6 の AND の VETO を入れるタイミング(図



⇒ 失敗

7)で $\beta$ 崩壊後の電子を捕らえようとしたができなかった。(p.25, 27 で考察) しかし、カロリメータの **analog** 信号では明らかに $\beta$ 崩壊後の電子と思われる信号が観測されていたため、カロリメータの信号をトリガーに用いることにした。(参照:Muon の **life time** 測定における **stop** 信号)

ただし、この **stop** 信号には C1 と C2 の AND は用いず、C 2 のみ(p.18 図 9) を用いた。(p.18 図 8) のように **C1** と **C2** の And では電子の信号を観測することはできなかった。この原因はカロリメータ内での崩壊後の電子の振る舞いによる可能性があるため、後に考察で述べるようなカロリメータの改良が今後必要となる。

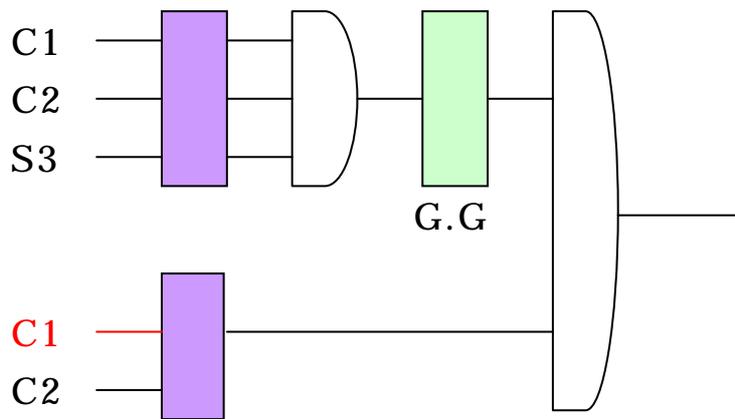


图 8

⇒ 失敗

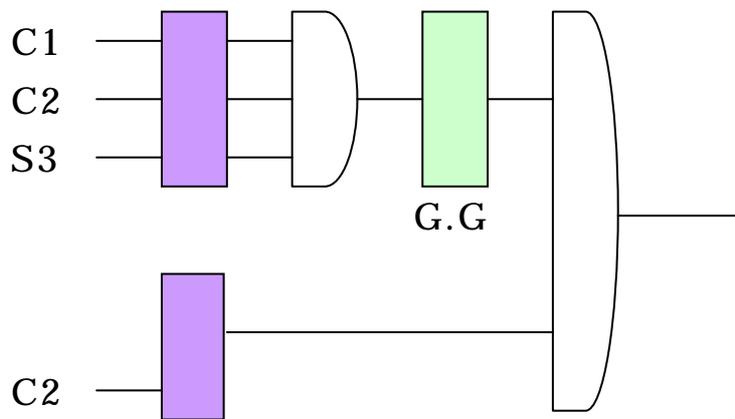


图 9

⇒ 成功

## 4.5 通過 Muon のエネルギー分布

ADC : gate 信号と analog 信号を入れると、gate 信号の間の analog 信号の面積（粒子が落としたエネルギーに比例する）を積分して整数値を出力する。（参考 p.29~30 CAMAC プログラム adc.c）

図 10 のような通過 Muon がカロリメータに落とすエネルギーを ADC で測定する。まず、gate 信号はシンチレーションカウンター S3 ~ S6 の AND とした。

また pedestal の測定のため clock pulse を使用し OR をとった。

Gate :

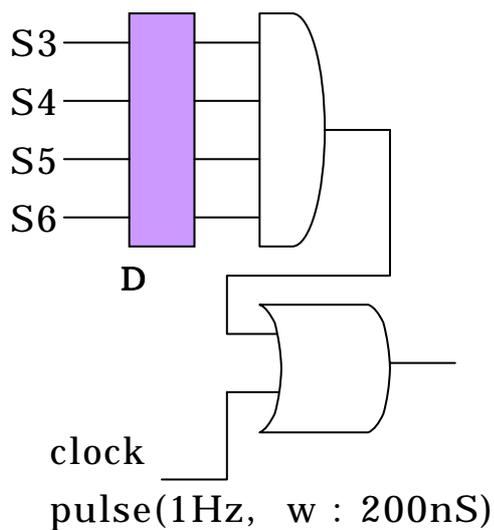


図 11

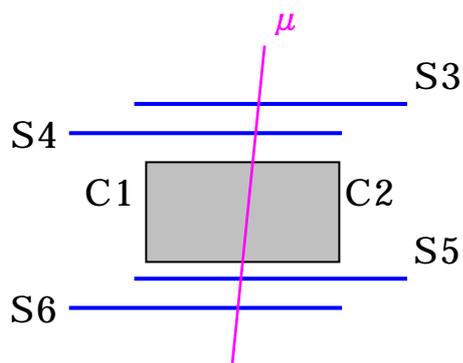
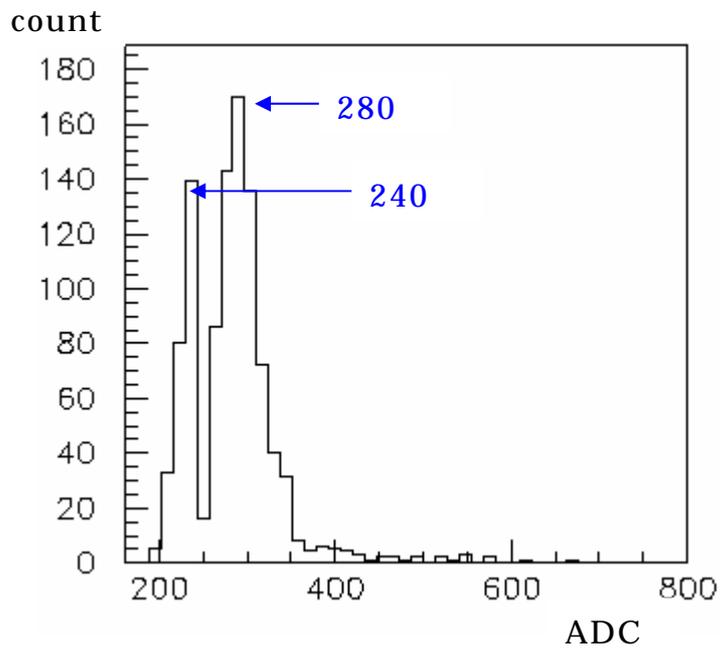


図 10

次に analog 信号は

Analog : カロリメータ C2

とした。



上図は通過 Muon のエネルギー分布を測定したグラフである。

ここで、通過 Muon はプラスチックシンチレータ 1 cm あたり 2 MeV のエネルギーを落とすので、10cm のカロリメータでは 20MeV のエネルギーを落とすことになる。

グラフから、通過 Muon のエネルギーは 280、pedestal は 240 と読めるので、結果は以下の通りとなる。

結果       $280 - 240 = 40 : 20\text{MeV}$

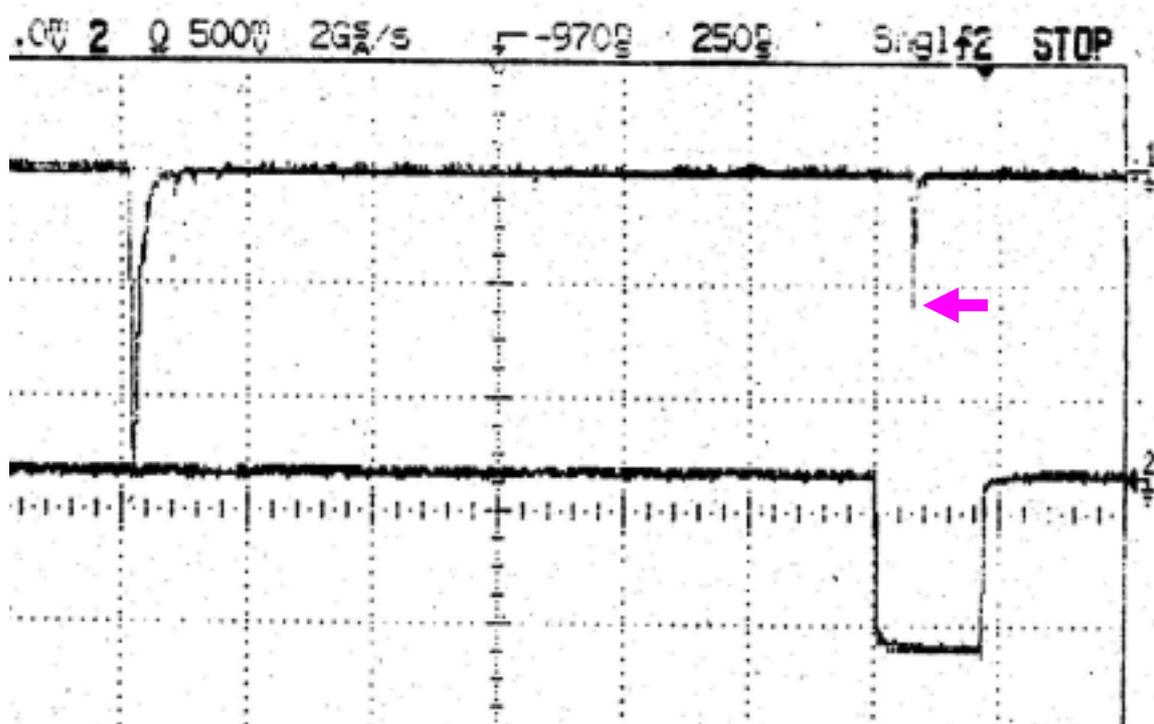
よって ADC の数値 40 が 20MeV に相当する。

\*この ADC の数値とエネルギーとの対応を用いて、後述の  $\beta$  崩壊後の電子のエネルギーを議論する。

## 4.6 $\beta$ 崩壊後の電子のエネルギー分布

$\beta$  崩壊後の電子のエネルギーを ADC で測定する。

次の図は Muon がカロリメータに止まった信号と  $\beta$  崩壊後の電子の信号をオシロスコープがとらえたものである。



なお、横軸は 250ns、縦軸は analog (カロリメータ C2) が 20mV、gate が 500mV である。

オシロの図の矢印部分の信号の ADC 分布をゲートのタイミングで測定すれば、 $\beta$  崩壊後の電子のエネルギーがわかる。

ここで、gate 信号は Muon の life time 測定時の stop 信号とし、pedestal 測定のための clock pulse(1Hz, w:200nS)との OR をとる(図 9)。

Gate :

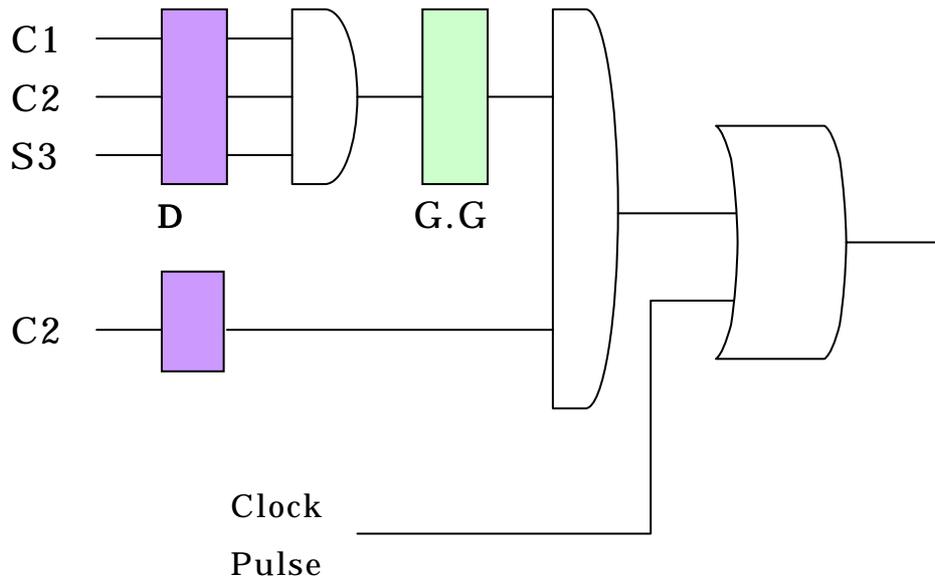
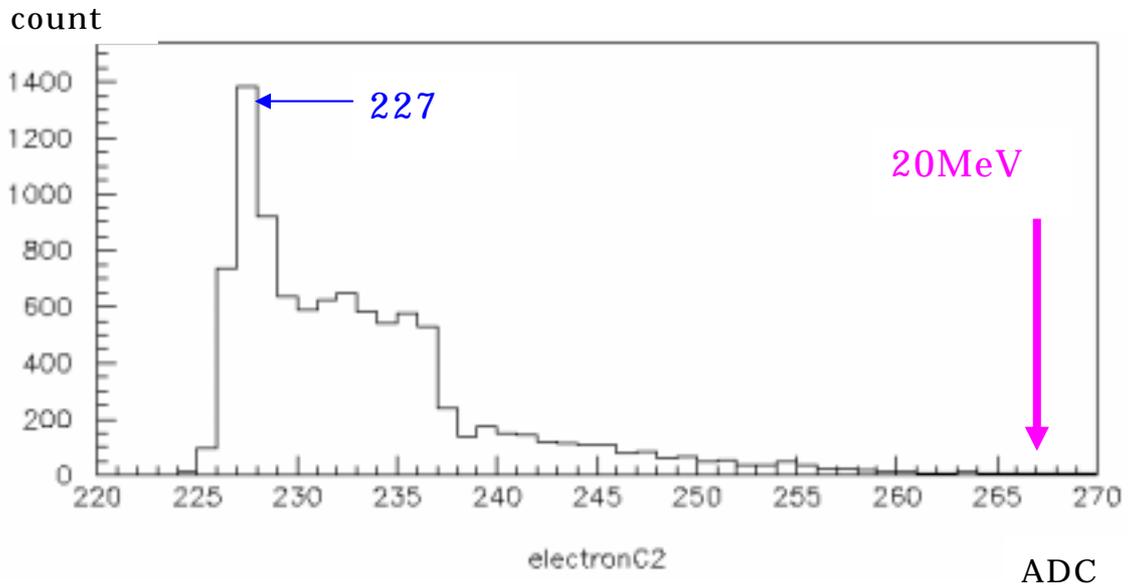


図 9

Analog : カロリメータ C2

この回路で p.21 のオシロの矢印部分の A D C を測定する。

測定の結果、 $\beta$ 崩壊後の電子がカロリメータに落としたエネルギーは次のような ADC 分布をすることがわかった。



通過 muon を用いて ADC カウント 40 が 20MeV に対応することが分かっている。ここで Pedestal は 227 なので、ADC 値 267 付近が 20MeV となる。比較のために p.6 のグラフを再度添付する。理論的にはこのように 50MeV 付近がピークとなるようなエネルギー分布をするはずである。しかし、測定した ADC 分布は上図の通り。非常に小さなエネルギーしか測定できなかった。よって結果は次ページの通り。

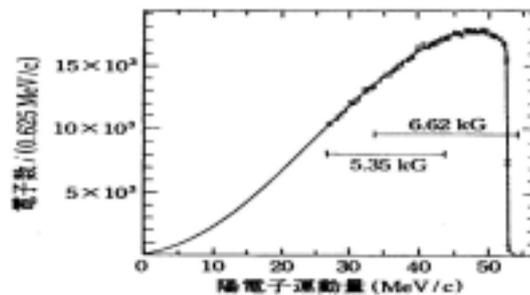


図 10.8  $\mu \rightarrow e\nu\bar{\nu}$  電子エネルギースペクトルからミシエルパラメータを決める  
 実線は  $\rho=3/4$  として、放射補正などの補正を加えた理論値<sup>11)</sup>。

**結果** 予想されるエネルギー分布よりも値が小さい。

つまり  $\beta$  崩壊後の電子のエネルギーをうまく測定することができなかった。

∴ニュートリノの質量の確認には至らなかった。

## 考察

$\beta$  崩壊後の電子のエネルギーをうまく測定できなかった原因は、カロリメータにあるのではないかと思われる。対策として考えられる点を以下に挙げてみた。

### (1)カロリメータの改良

<性能のチェック>

- ③ プラスチックシンチレータの透明度の確認
- ④ wavelength shifter の有無による違いの確認

<構造の改良>

- ⑤ 光電子増倍管の接続位置の変更
- ⑥ プラスチックシンチレータのサイズダウン。(例：半分にしてしまう。)

### (2)吸収率の計算

測定される電子のエネルギーが予想より小さい原因が、カロリメータ内で電子が吸収されるためと仮定する。

⇒⇒⇒ 吸収される割合が算出できれば理論値との比較が可能になる。

## 5. まとめ

### \*\*\*\*\* 結論 \*\*\*\*\*

この実験の目的は、**Muon** の  $\beta$  崩壊による電子のエネルギーを測定し、ニュートリノの質量  $\neq 0$  を確認することであった。

測定結果から

- ① **stop** 信号で **Muon** の  $\beta$  崩壊後の電子を捕らえることができた。
- ② 通過 **Muon** がカロリメータに落としたエネルギーの分布を測定できた。
- ③  $\beta$  崩壊後の電子のエネルギーをうまく測定することができなかった。

したがって、ニュートリノの質量の確認には至らなかった。

### \*\*\*\*\*

以上の結論について、考察を交え再度整理してみる。

まず、①**stop** 信号で  $\beta$  崩壊後の電子を捕らえることに成功したのは、トリガーカウンターの再考を試みた点にある。当初は従来通り、**S1**～**S6** のカウンターを用いて **<S1～S4 の AND>** に **<S5 と S6 の AND の VETO>** を入れることで、カロリメータ内に電子が止まったトリガーを作ろうとした。しかし、このタイミングではカロリメータに  $\beta$  崩壊後の電子の信号はなかった。原因は、複数のシンチレーションカウンターを使用した点にある（特に **VETO**）と考え、カウンターを減らした。そして、最終的にはカロリメータの信号も用い、p.15 , p.22 に書いたゲートを作った。つまり、**< $\mu$  粒子の信号(S3, C1 ,C2 の AND)をもとに gate generator で delay(300ns) width(2  $\mu$  s)させたパルス信号>** と **<片側カロリメータで作ったパルス信号>** との **AND** で作ったゲートで  $\beta$  崩壊後の電子を捉えることができた。

次に、②通過 **Muon** がカロリメータに落としたエネルギーの分布を

測定できたことで、ADC の数値とエネルギーとの対応がわかった。そしてこの対応関係を用いて  $\beta$  崩壊後の電子のエネルギーの議論をする準備ができた。

さて、③  $\beta$  崩壊後の電子のエネルギーをうまく測定できなかったことへの対策として先に述べたようにカロリメータの改良が必要と考える。今回の測定で、電子の信号が小さくなってしまった主な原因は、カロリメータ内で電子が吸収されたためではないかと考える。よってまずは、プラスチックシンチレータの透明度の確認や WLS の有無による信号の違いの確認等、測定器を構成する部品の性能チェックから始める必要がある。その上で、プラスチックシンチレータの吸収率を求め、吸収される割合が算出できれば理論値との比較が可能になる。次のステップとして、カロリメータの構造的な改良が考えられる。 $\beta$  崩壊後の電子のエネルギーをうまく測定できなかった原因は、この電子の信号が大変小さかったという点にある。よって、ここでの改良は、電子の信号をいかに減らさずに捕らえることができるか、を考慮したものでなければならない。いくつか改良案を考えてみた。(案1) 光電子増倍管 (PMT) の取り付け位置を変えてみる。現在 PMT はカロリメータ (29cm×36cm×10cm) の 36cm 方向の両サイドに位置している。これを例えば 29cm 方向の両サイドに接続する、あるいはカロリメータの中心線方向にもっと間隔を詰めた位置に接続する、等が考えられる。(案2) カロリメータのサイズダウン。これは、例えばカロリメータを (29cm×18cm×10cm) のように半分にしてしまう、あるいはそれ以上にコンパクトにしてしまう (10cm×10cm×10cm)、等が考えられる。

また、4.4 測定方法決定の経緯で述べたが、muon の lifetime 測定の際 stop 信号 ( $\beta$  崩壊後の電子のエネルギー測定用の ADC ゲート信号も同様だが) に、C1 と C2 の AND を入れたらゲートタイミングが合わないが、片側だけ (C2) を入れたらうまくゲートができたことも、カロリメータの構造に起因すると考えられる。つまり、上記のような改良をすれば、C1 と C2 の AND を入れて、うまくゲート信号が作れ

るよう、改善されるものと思われる。

なお、従来通りの **S1~S6** を用いたトリガー (**S1~S4** の **AND** に **S5 and S6** の **VETO** を入れたもの) のタイミングが  $\beta$  崩壊後の電子の信号を捕らえられなかったこと、あるいは  $\mu$  の **lifetime** 測定時の **start** 信号に、**S5 and S6** の **VETO** を入れるとやはりうまく測定できなかったこと、について考える。この2つに共通する点は **coincidence** に入れた **VETO** である。今回は **VETO** を使わない方法で回避したわけだが、改めて **VETO** のタイミングを調べてみる必要があるかもしれない。

以上長々と記述したが、この卒業研究の最大の成果は、トリガーロジックを工夫して  $\beta$  崩壊後の電子の信号を捕らえることができた点である。しかし、その信号は予想されるものより大変小さかった。私の卒業研究はここで終わるわけだが、議論したようなカロリメータの改良により  $\beta$  崩壊後の電子のエネルギーをうまく測定することができるのではないかと思われる。次回この研究に取り組む場合には、まずこれらの改良を試み、最終的にはニュートリノの質量の議論にまで是非とも到達して欲しいと考える。

## 6. 卒業研究を終えて

初めて測定装置の前に立ち、期待と不安の入り混じった思いで実験を始めてからもう半年が過ぎました。今まで触れたことも無かったような器材に囲まれ、その上知識と経験の不足も手伝い、びっくりするような質問ばかりしたことと思います。それにもかかわらず、ここまでご指導して頂いた竹下徹先生に深く感謝しております。また、データの取得等について多くの助言をして下さった長谷川庸司先生に深く感謝致します。そして、ともに卒業研究に取り組んできた高エネルギー研究室の仲間とはかけがえのない時間を共有できました。本当にありがとうございました。

## 7. 付録

### adc.c

```
#include <stdio.h>
#include<sys/types.h>
#include <sys/errno.h>
#include "camlib.h"
#define LOOP 10
#define ADC 3
static int read_adc, write_adc, clear_adc, test_lam_adc, clear_lam_adc,
        test_module_adc, disable_lam_adc, enable_lam_adc,
        dummy, q, x;
main(argc, argv)
int argc;
char **argv;
{
    int i, j,a,status, nevts;
    if (argc == 1 || strcmp(argv[1], "help") == 0 ||
        strcmp(argv[1], "-h") == 0) {
        printf("Usage : adc (# of events)¥n");
        exit(0);
    }
    sscanf(argv[1], "%d", &nevts);
    read_adc      = NAF(ADC, 2, 0);
    test_lam_adc  = NAF(ADC, 0, 8);
    clear_adc     = NAF(ADC, 2, 9);
    clear_lam_adc = NAF(ADC, 0, 10);
    disable_lam_adc = NAF(ADC, 0, 24);
    test_module_adc = NAF(ADC, 0, 25);
    enable_lam_adc = NAF(ADC, 0, 26);
```

```

if (CAMOPN()){
    printf("CAMAC open error\n");
    exit(1);
}
CSETCR(1);
CGENZ();
CGENC();
CREMI();
/* clear */
CAMAC(clear_adc, &dumy, &q, &x);
CAMAC(clear_lam_adc, &dumy, &q, &x);
/* CAMAC */
for( i = 0; i < nevts; i++) {
    while(1) {
        status = CAMAC(test_lam_adc, &dumy, &q, &x);
        if (q != 0) break;
    }
    CAMAC(read_adc, &dumy, &q, &x);
    printf("%d\n",dumy);
    /* clear */
    CAMAC(clear_adc, &dumy, &q, &x);
    CAMAC(clear_lam_adc, &dumy, &q, &x);
}
/* close CAMAC */
CAM_Close();

```

## tdc400.c

```
#include <stdio.h>
#include<sys/types.h>
#include <sys/errno.h>
#include "camlib.h"
#define LOOP 10
#define ADC 7
static int read_adc, write_adc, clear_adc, test_lam_adc, clear_lam_adc,
        test_module_adc, disable_lam_adc, enable_lam_adc,
        dummy, q, x;
main(argc, argv)
int argc;
char **argv;
{
    int i, j,a,status, nevts;
    if (argc == 1 || strcmp(argv[1], "help") == 0 ||
        strcmp(argv[1], "-h") == 0) {
        printf("Usage : adc (# of events)¶n");
        exit(0);
    }
    sscanf(argv[1], "%d", &nevts);
    read_adc      = NAF(ADC, 0, 0);
    test_lam_adc  = NAF(ADC, 0, 8);
    clear_adc     = NAF(ADC, 0, 9);
    clear_lam_adc = NAF(ADC, 0, 10);
    disable_lam_adc = NAF(ADC, 0, 24);
    test_module_adc = NAF(ADC, 0, 25);
    enable_lam_adc = NAF(ADC, 0, 26);
    if (CAMOPN()){
        printf("CAMAC open error¶n");
    }
}
```

```

    exit(1);
}
CSETCR(1);
CGENZ();
CGENC();
CREMI();
/* clear */
CAMAC(clear_adc, &dumy, &q, &x);
CAMAC(clear_lam_adc, &dumy, &q, &x);
/* CAMAC */
for( i = 0; i < nevts; i++) {
    while(1) {
        status = CAMAC(test_lam_adc, &dumy, &q, &x);
        if (q != 0) break;
    }
    CAMAC(read_adc, &dumy, &q, &x);
    if (dumy<400){
        printf("%d\n",dumy);}
    /* clear */
    CAMAC(clear_adc, &dumy, &q, &x);
    CAMAC(clear_lam_adc, &dumy, &q, &x);
}
/* close CAMAC */
CAM_Close();
}

```