

# オルソポジトロニウム崩壊における ガンマ線スペクトル測定

大和田健太、森永真央、難波俊雄<sup>A</sup>、浅井祥仁、小林富雄<sup>A</sup>

東京大学理学系研究科、東京大学素粒子物理国際研究センター<sup>A</sup>

日本物理学会 2011年秋季大会  
弘前大学

# 1. HFSのずれと未知粒子の可能性

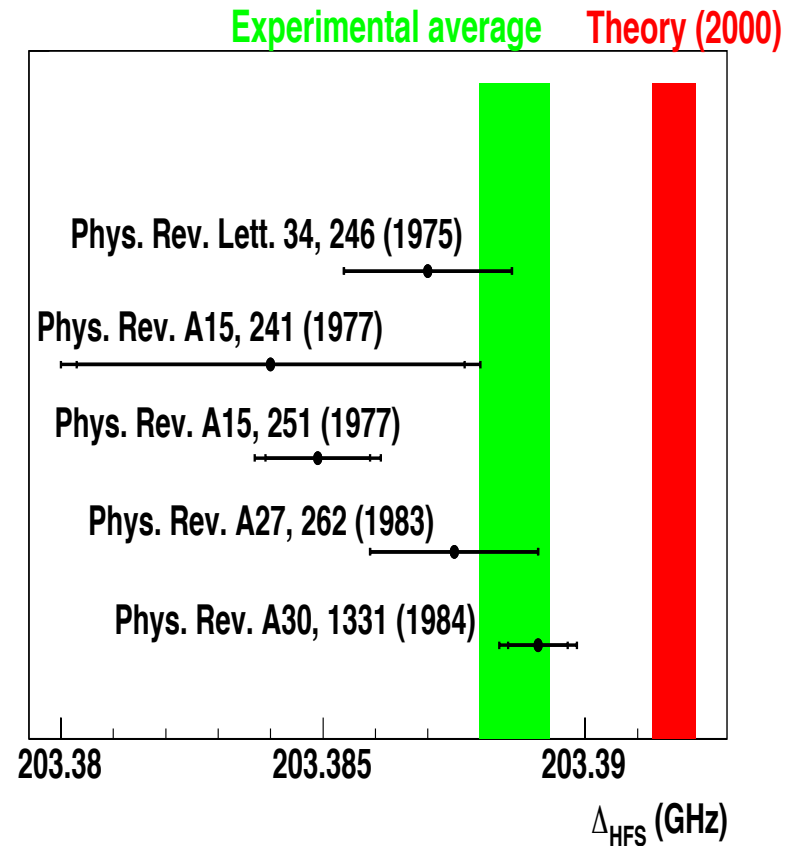
PsのHFSの値は  
実験と理論で乖離している。

→未知粒子が存在する可能性

Ex) 未知粒子の質量が数MeV  $\rightarrow \alpha_X \sim 10^{-6}$

質量が数100keV  $\rightarrow \alpha_X \sim 10^{-8}$

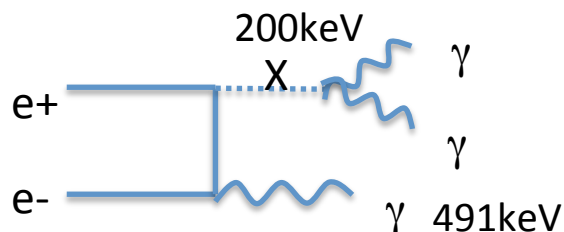
未知粒子が存在した場合、  
HFSに影響を与えるだけでなく、  
o-Psの崩壊におけるエネルギー  
スペクトルがずれてくる。



o-Ps  $\rightarrow 3\gamma$  のエネルギースペクトルは未だ精密測定されていない

→ エネルギースペクトルの測定によって未知粒子を探索する

## 2.o-Psの崩壊における未知粒子探索

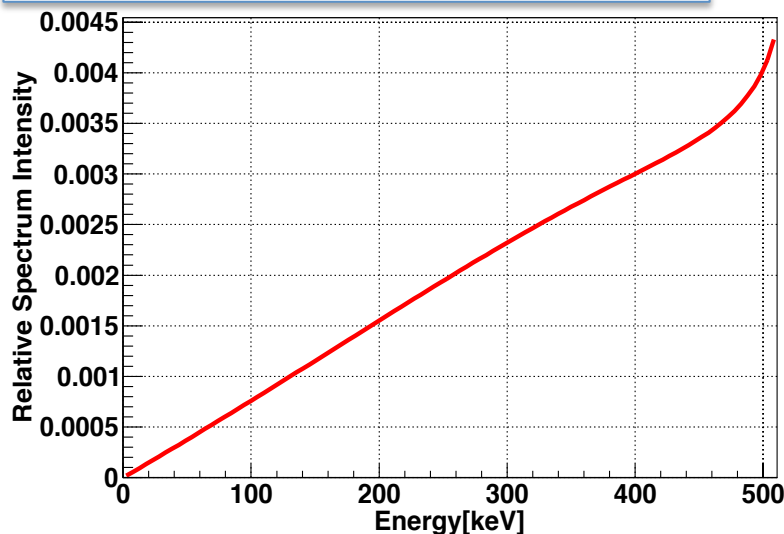


Ex.)未知粒子Xの質量が200keVのときの崩壊

短寿命の未知粒子X

弱い制限しかついていない

o-Ps $\rightarrow$ 3 $\gamma$ のエネルギースペクトル( $O(\alpha)$ )



質量が

1MeV以下 $\rightarrow$ スペクトルにピークができる

upper limit :  $3.0 \times 10^{-4}$ (※)

※Phys. Let. B 323(1994)90-94 S.Asai, et al.

1MeV以上 $\rightarrow$ スペクトル全体がゆがむ



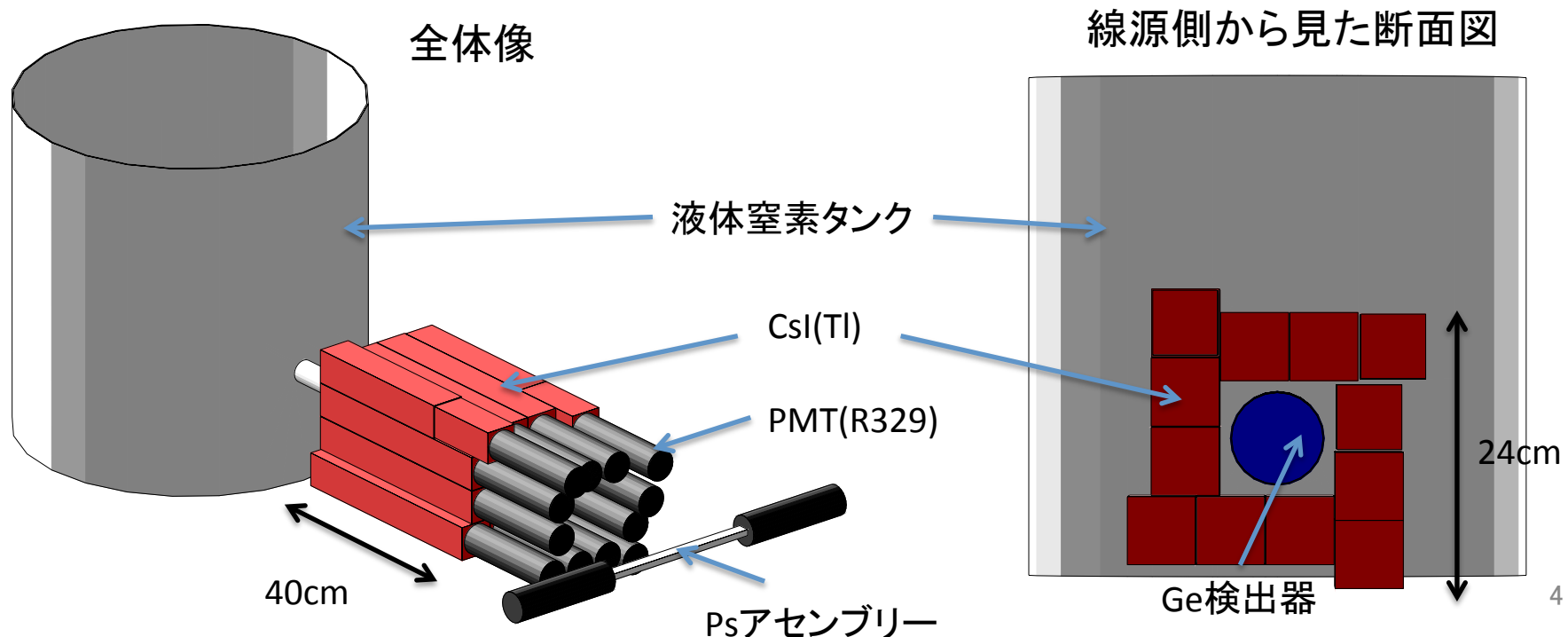
エネルギースペクトルの精密測定によって  
包括的に未知粒子の探索を行うことを目指すが、  
今回は1MeV以下のものをピークサーチによって  
探索した

# 3.1 検出器(コンセプト)

エネルギースペクトルを精密測定するために、  
分解能の良い半導体Ge検出器を用いる

Geは原子番号が小さく  
コンプトン散乱が多い

コンプトン散乱を抑制する為に、Ge検出器の周りをveto検出器で囲み、  
veto検出器でエネルギーを落としたイベントをvetoする



## 3.2 $\gamma$ 線検出器(Ge)

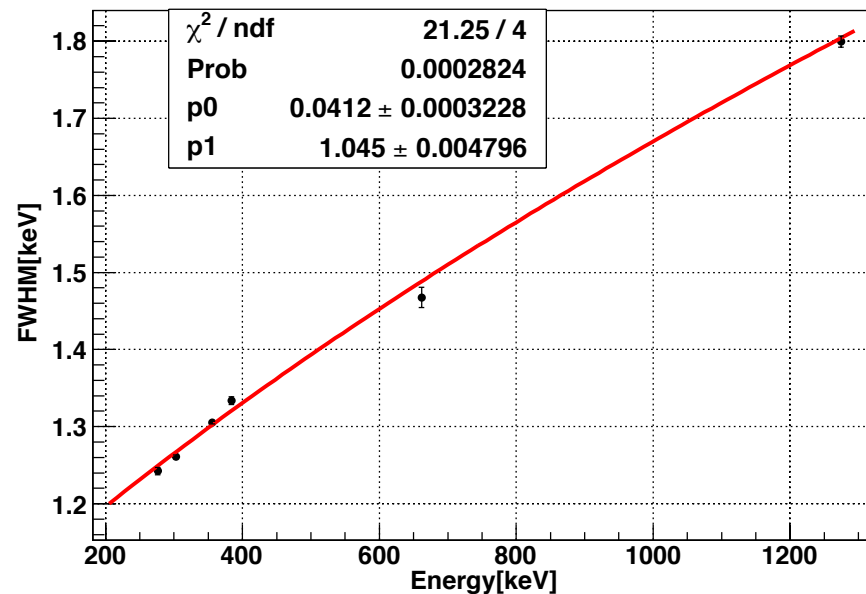
液体窒素タンク



Ge結晶:  $\phi 60.3 \times 67.4 \text{ mm}$

型番: 28-TP10096

Ge検出器でのエネルギー分解能(FWHM)



$^{22}\text{Na}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、 $^{133}\text{Ba}$ 線源を用いて測定

FWHM  $1.305 \pm 0.002$  @ 356keV

$1.47 \pm 0.01$  @ 662keV

Fitting 関数は

$$(\text{FWHM}) = (p_0^2 \times E(\text{keV}) + p_1^2)^{1/2}$$

# 3.3 Ps アセンブリー

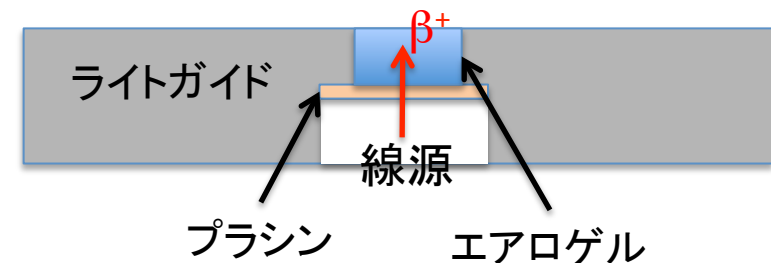
- $^{22}\text{Na}$ (380kBq)線源で $\beta^+$ を生成する。
- プラスチックシンチレータで $\beta^+$ をタグし、Psの生成時間を求める。



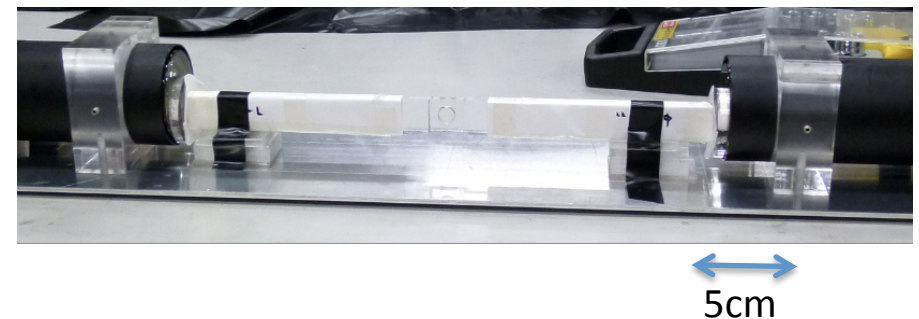
Ge検出器とdelayed coincidenceをとり、o-Psのeventを選択する

- 窒素ガスで満たしたエアロゲル中でo-Ps を生成
- 線源周りは物質を少なくして、ライトガイドで左右のPMTまでのばす
- 2つのPMTでcoincidenceをとる事により、 $\beta^+$ を確実にタグする。

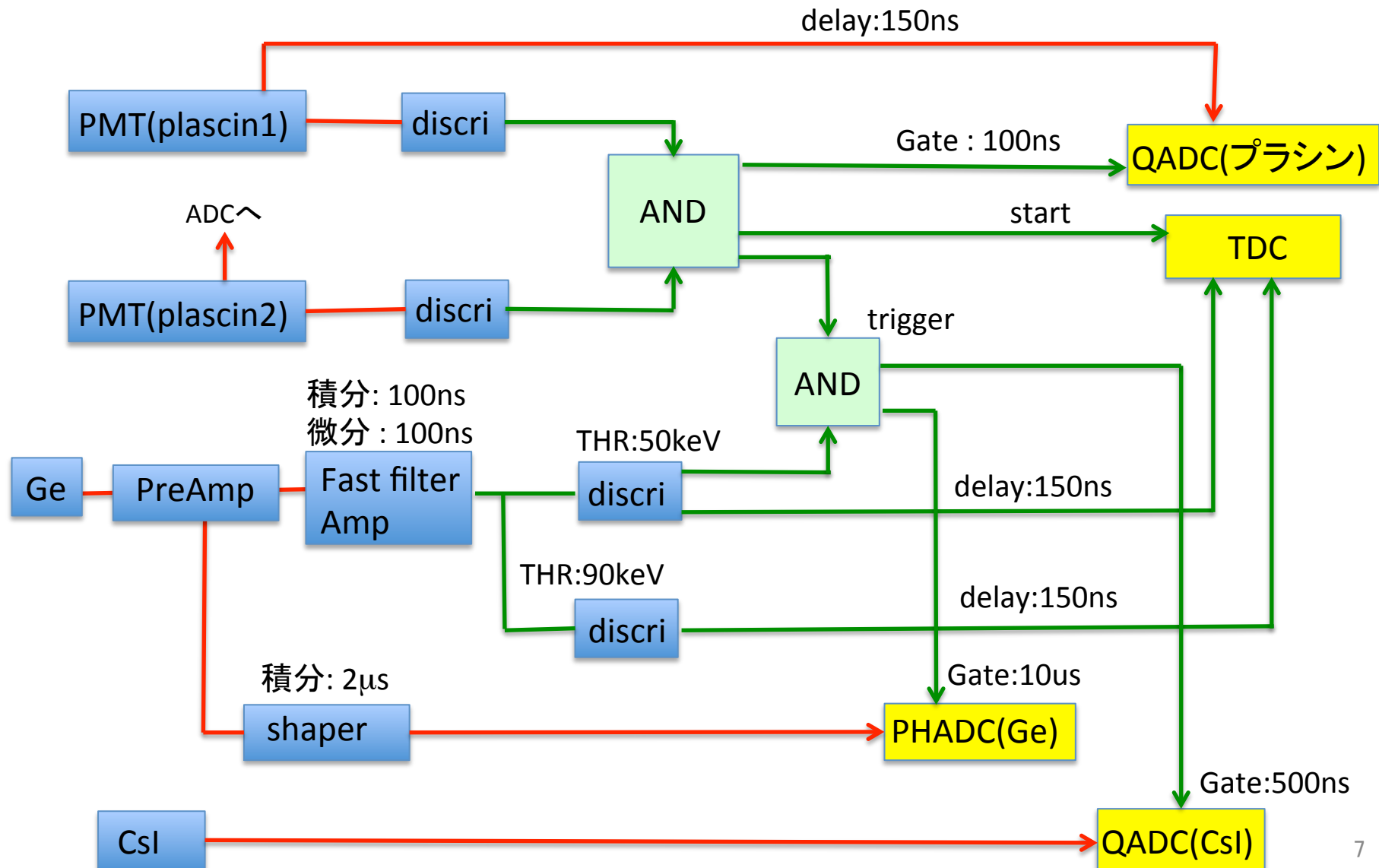
線源周りの断面図



線源周りの写真(上図を下から見た図)



## 3.4 エレクトロニクス

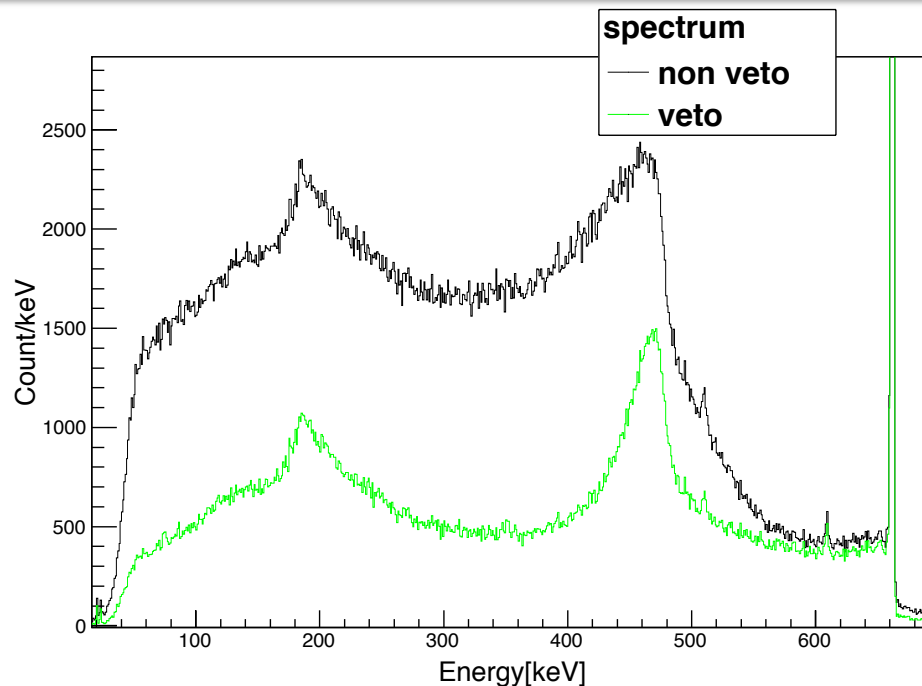


# 4. compton vetoのパフォーマンス

$^{137}\text{Cs}$ を使い、662keV単色光に対してvetoによりどれだけコンプトン散乱を抑制出来るかテストした

CsIに100keV以上エネルギーがあったらvetoをした。

Ge検出器のエネルギースペクトル(コンプトン散乱領域)



光電吸収(660keV~664keV):  
コンプトン散乱(50keV~659keV)

=1:3.11      vetoなし

=1:1.27      vetoあり



Vetoにより、コンプトン散乱を  
40%に抑制できる



## 5. 測定

- 1ヶ月間の測定を行った。
  - 線源  $^{22}\text{Na}$  : 380kBq
  - 両側のプラスチックシンチレータがなって、かつ Ge 検出器もなったらトリガー  
trigger rate 210Hz
  - $3.36 \times 10^8$  eventを得た。これにセレクションをかける

# 解析

# 6.1 イベントセレクション(1)

Slow rise time cut : Ge検出器の電場の非一様性による立ち上がりの遅い信号をカットして、タイミングを正確に求める。

Delayed coincidence :

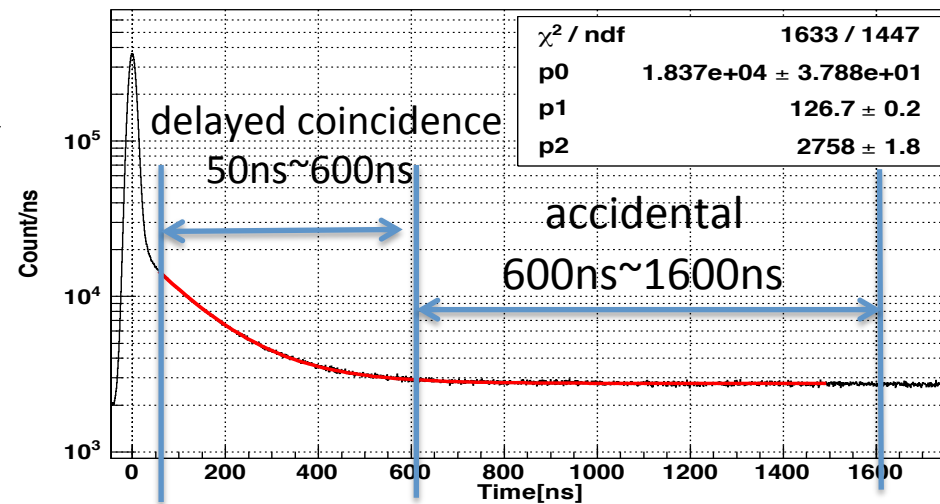
プラスチックシンチレータと  
Ge検出器のdelayed coincidence  
(50ns~600ns)とり、o-Psのイベント  
を選択的に選ぶ

Delayed coincidence領域 と accidental 領域  
のエネルギースペクトルの引き算によって  
o-Psのエネルギースペクトルを得る

Veto:

CsIに100keV以上のエネルギーが  
あったイベントはvetoする

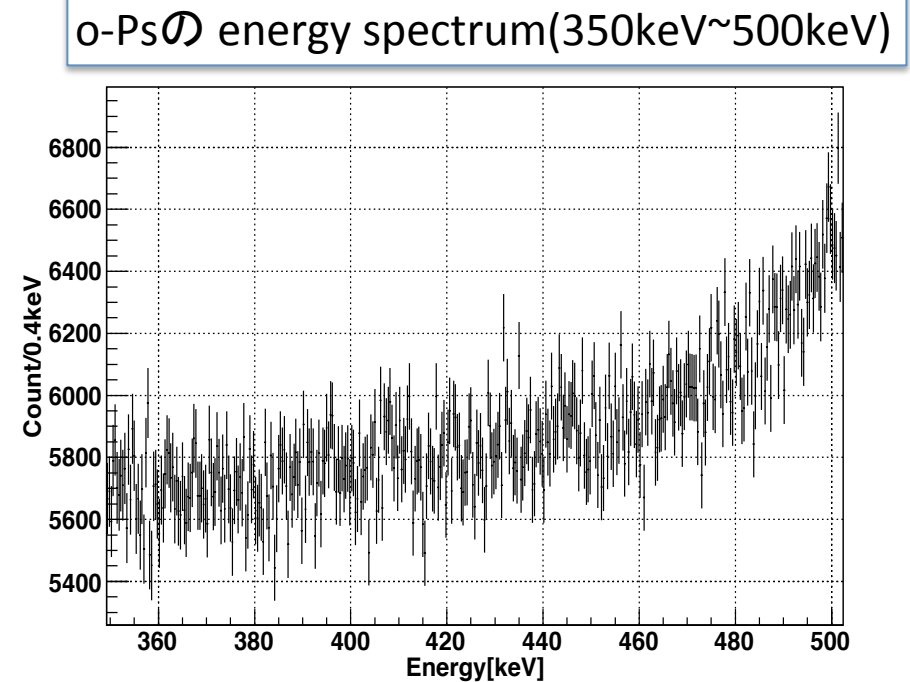
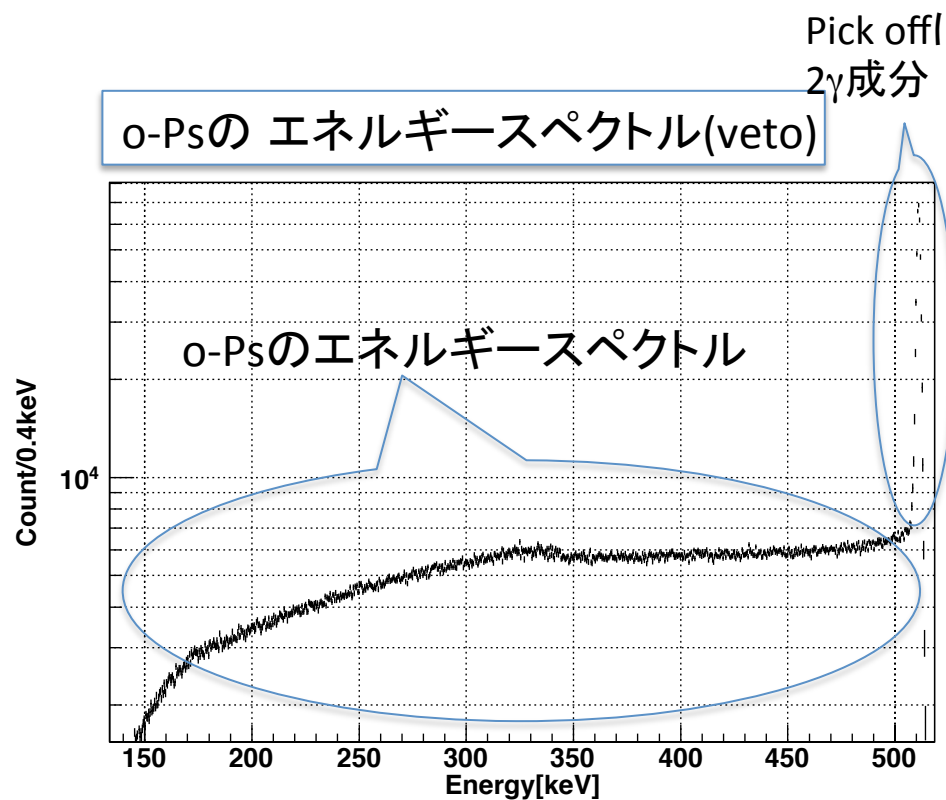
360keV~500keVのイベントのタイミングスペクトル



寿命: 126.7  $\pm$  0.2 ns

## 6.2測定されたスペクトル

- Delayed coincidence : 50ns ~ 600ns
- CsIに100keV以上のエネルギーがあったイベントはvetoした

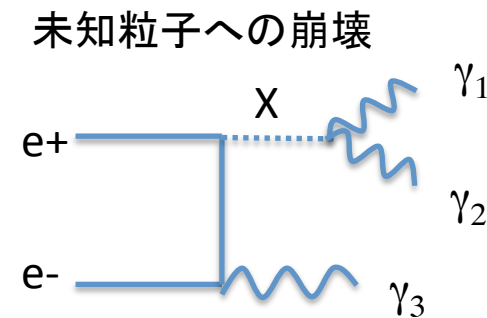


## 6.3 ピークサーチ(1)

1MeV 以下の未知粒子が存在した場合、スペクトルにピークが出来る。

➡ フィットングによってピークを探す。

未知粒子とともに出てくる $\gamma$ 線( $\gamma_3$ ) :  
単色のため狭い範囲をフィットして探す  
今回はこちらを行った



未知粒子が崩壊してでてくる $\gamma$ 線( $\gamma_1, \gamma_2$ ) :  
未知粒子Xが運動しているため、ドップラー効果によりスペクトルが広がる  
広範囲をフィットして探す  
(まだGe検出器の応答がしっかりとおさえられていないため、現在解析中)

## 6.4 ピークサーチ(2)

未知粒子とともに出てくる $\gamma$ 線の探索

150keV~500keVまでを探索する (質量140keV~860keV)

ピークを中心から $\pm 7\text{keV}$ の範囲を

$$C_1 \exp\left(-\frac{(E - \text{mean})^2}{2 \times \sigma^2}\right) + C_2 \times E + C_3 \quad \text{でフィット。}$$

ピークの形はガウシアンを仮定

o-Psのスペクトルを  
1次関数で近似

ガウシアンを中心を固定して150keVから500keVまで0.01keVずつずらして  
フィットしていく。

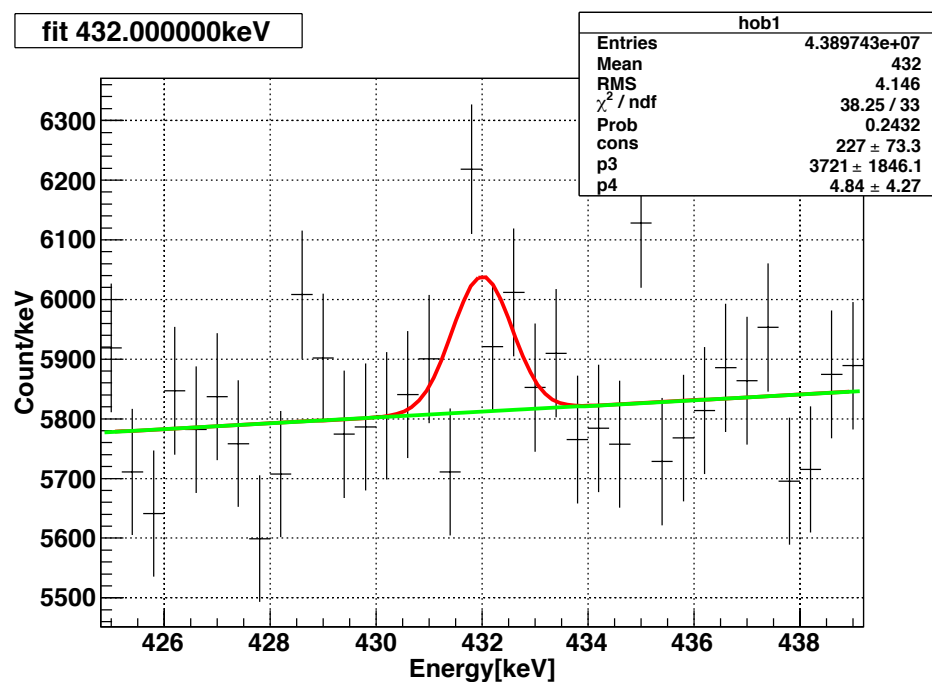
$\sigma$ は中心のエネルギーに対するGe検出器の分解能で固定

# 6.5 フィット結果

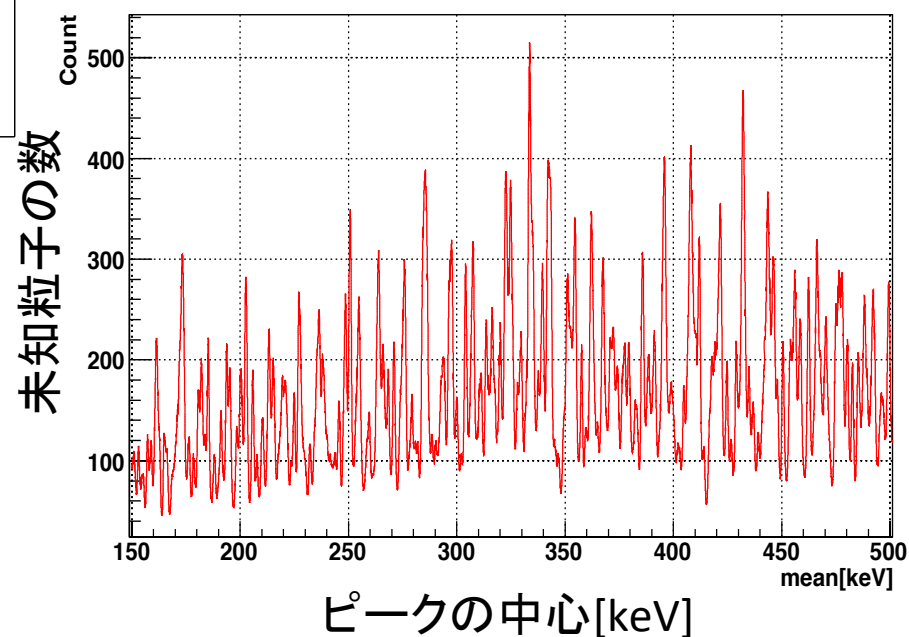
詳細な解析はこれからなので、暫定的な結果

150keV~500keVまでのフィット結果(未知粒子の質量140keV~860keV)

Fittingの例(中心 432keV)



フィット結果のガウシアン面積(CL90%)



## 6.6 peakの検出効率

フィット結果のガウシアン面積とGe検出器の検出効率を用いて生成された未知粒子の数を求める。

### Ge検出器の検出効率

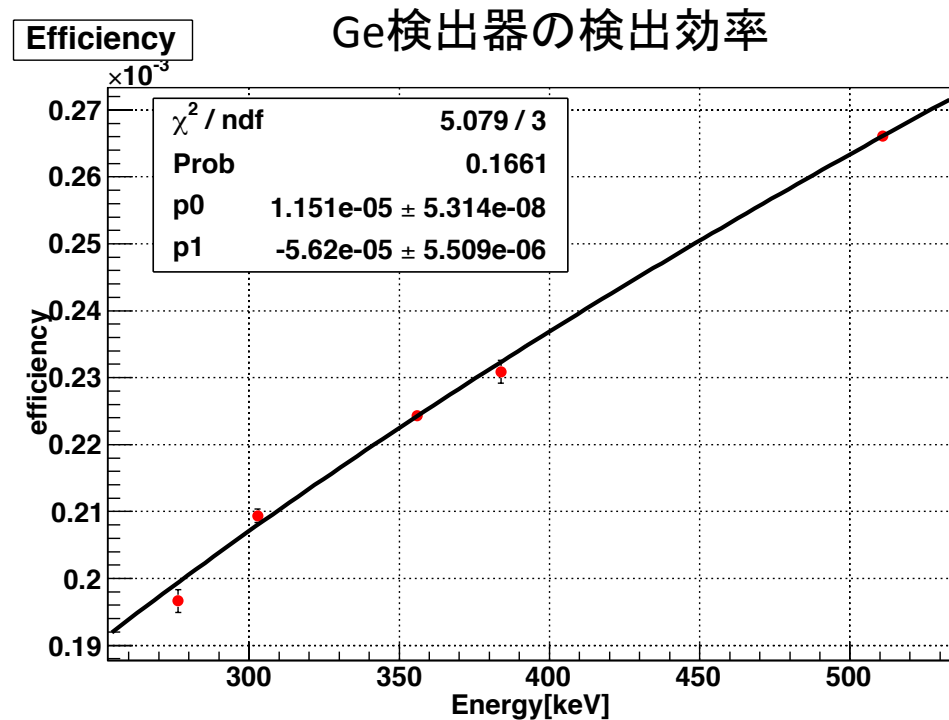
$^{22}\text{Na}$ 、 $^{133}\text{Ba}$ 線源での実測データから求めた(右図)

#### 検出効率

$2.66 \times 10^{-4}$  @ 511keV

$2.31 \times 10^{-4}$  @ 384keV

(検出効率) =  $(p_0^2 \times E(\text{keV}) + p_1^2)^{1/2}$





## 6.7 生成されたo-Psの数

### o-Psの量の求め方

1. o-Psのスペクトルの400keV~500keV(コンプトンフリー領域)の数を求める

$$1.5 \times 10^6 \text{ event}$$

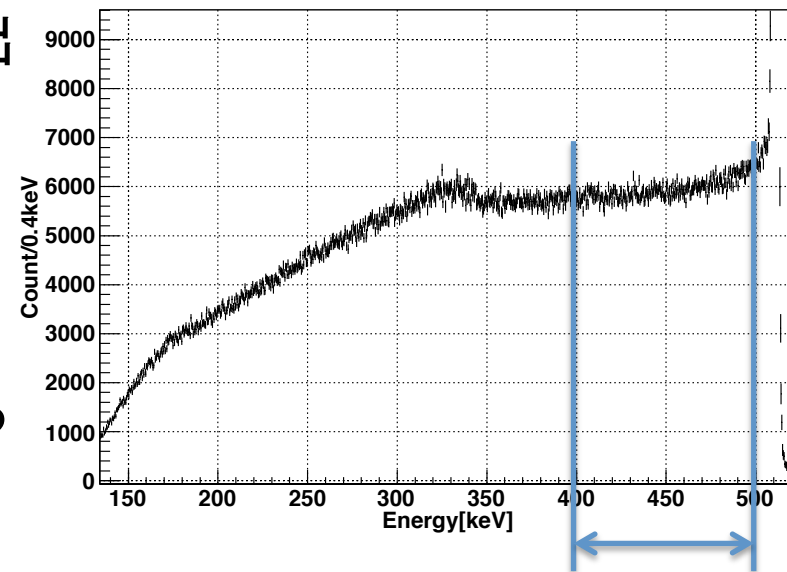
2. 1.で求めた数とGe検出器の検出効率を用いて、400keV~500keVの生成されたo-Psの量を求める

$$1.5 \times 10^6 / (3 \times 2.5 \times 10^{-4}) = 2.0 \times 10^9 \text{ event}$$

3. 400keV~500keVのo-Psの量から全体のo-Psの量を求める

$$2.0 \times 10^9 \times 2.9 = 5.8 \times 10^9 \text{ event}$$

o-Psのエネルギースペクトル



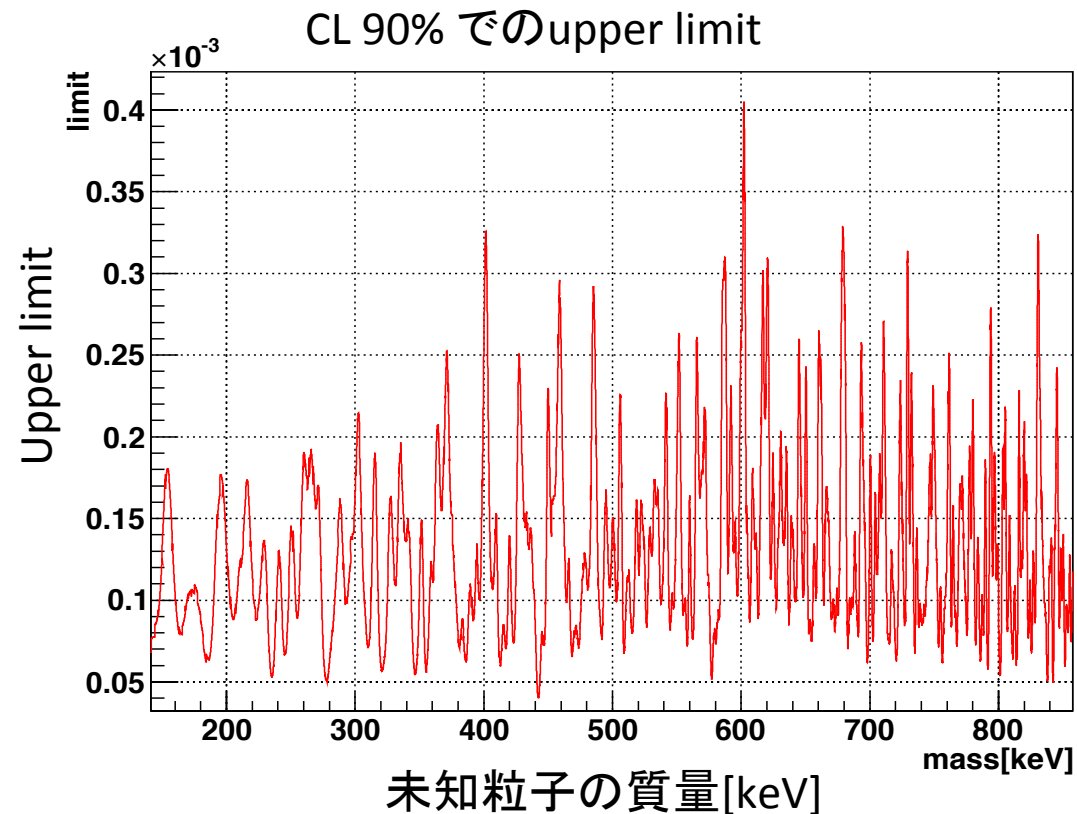
o-Psの数を求めるのに使う領域

## 6.8 結果

質量 140keV~860keVに対する upper limit (CL 90%)

$$\Gamma(o\text{-Ps} \rightarrow X\gamma) / \Gamma(o\text{-Ps} \rightarrow 3\gamma) < 4.1 \times 10^{-4} (+20\% \text{ 系統誤差})$$

現在のupper limit(質量30keV~300keV) :  $3.0 \times 10^{-4}$  (Phys. Let. B 323(1994)90-94 S.Asai, et al.)



## 6.9 今後

- 今回探索した範囲(140keV~860keV)

1ヶ月の測定で過去の制限に並ぶ事が出来た  
1年の測定で統計を増やし、さらにPsアセンブリーの改良を行う  
ことで精度をあげることを目指す

- 今回探索出来なかった範囲

Ge検出器の応答がまだ詳しく分かっていないために探索  
できなかったので、Ge検出器の応答を詳細に調べる必要がある  
様々な単色線源を用いてGe検出器の応答を調べていく

# まとめ

- PsのHFSのずれは未知粒子の存在によって説明することができ、エネルギースペクトルを測定することによって、未知粒子の探索を行う
- Ge検出器とCsIを用いてコンプトン散乱を抑制する検出器を作り、ピークサーチを行った。
- 1ヶ月の測定により現在の暫定的な140keV~860keVの質量の未知粒子に対するリミットは  $4.1 \times 10^{-4}$  で、過去の制限とほぼ同等の結果が得られた
- 1年の測定で統計を増やし精度をあげる
- Ge検出器の応答を正確に見積もり、探索範囲を広げる