

# 窒素ガス中でのポジトロニウム 熱化曲線の測定

東大理, 東大素セ<sup>A</sup>

佐々木雄一, 石田明,

難波俊雄<sup>A</sup>, 浅井祥仁, 小林富雄<sup>A</sup>

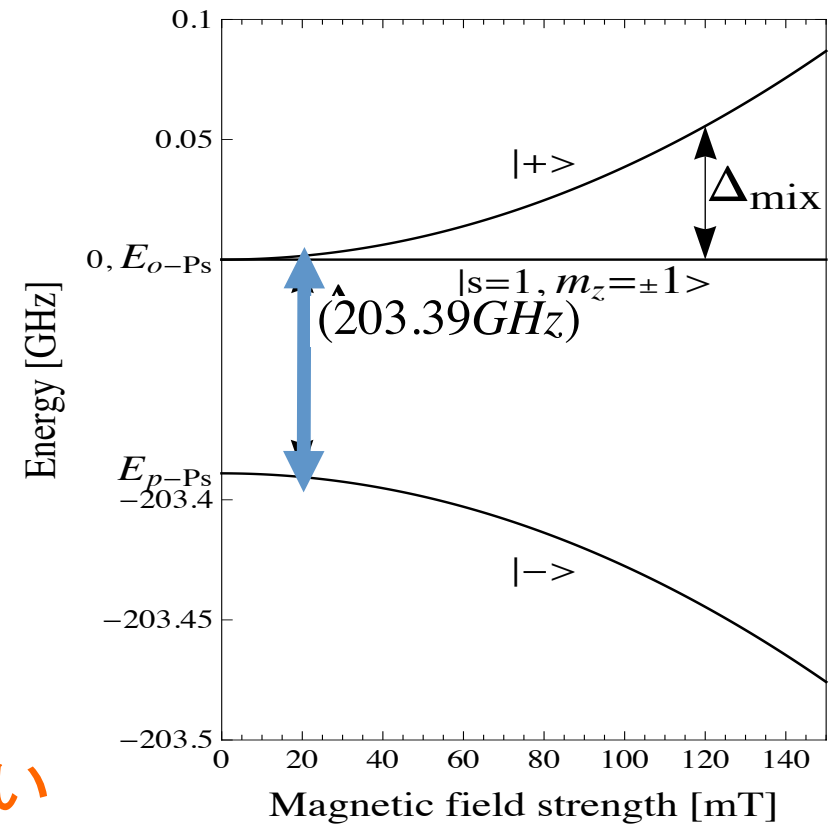
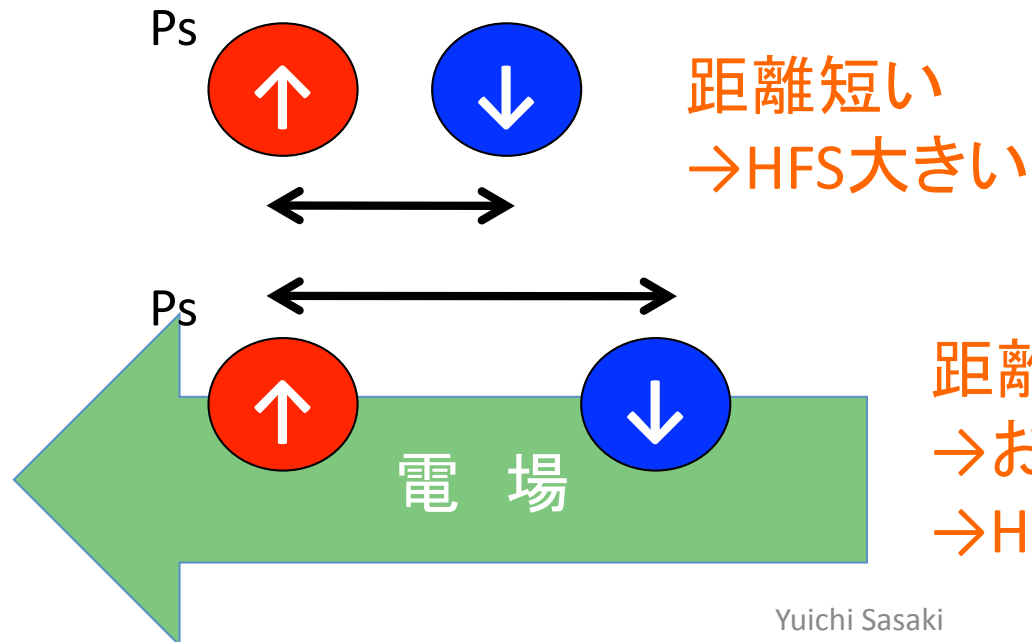
日本物理学会 第65回年次大会

2010/3/23 岡山大学

# 測定の目的

## ポジトロニウムHFSに周囲の物質が与える影響

- Ps-HFSの第一項  
= 電子陽電子の  
スピン-スピン相互作用  
→ 両者の距離によって変化する
- 周囲の物質の電場  
→ 電子陽電子間の距離が変化  
→ HFSの変化 (シュタルク効果)



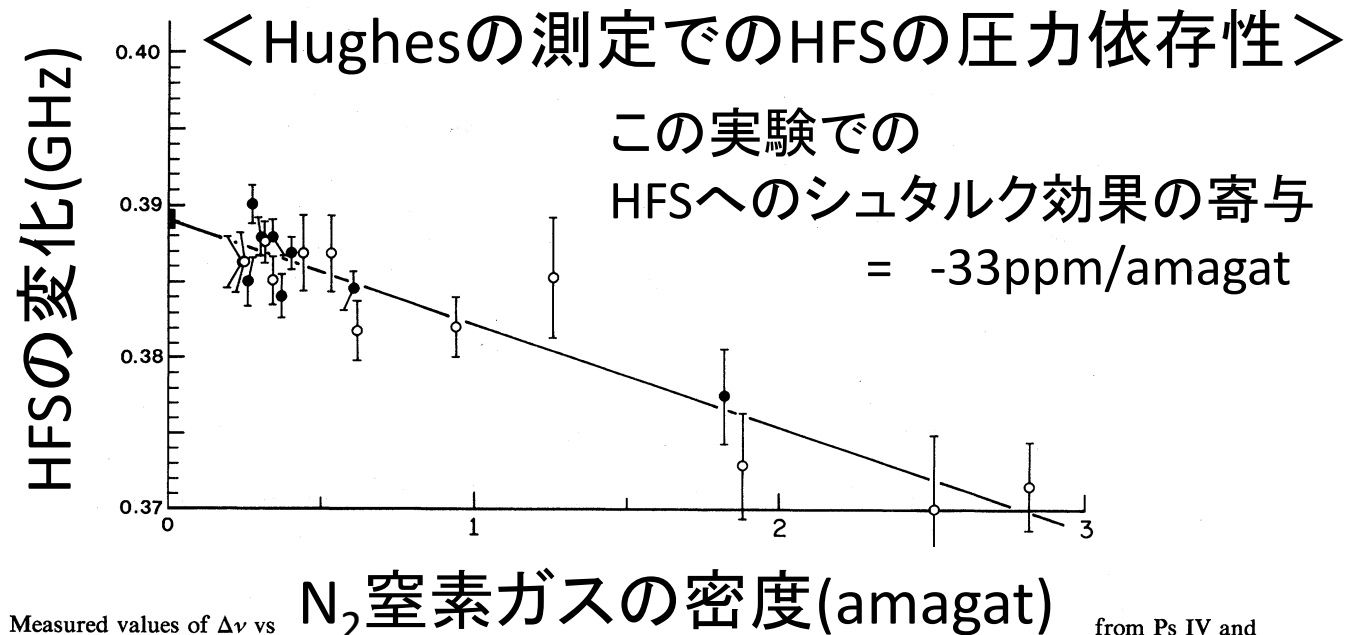
## 過去の実験での物質の効果の評価

- Psが周りの原子に近づく  
→電場を感じてシュタルク効果が始まる

HFSに効くシュタルク効果の大きさ  
 $\propto$  周りの分子との衝突頻度  
 $\propto$  (周りの分子の密度)  $\times$  (Psの速度  $v$ )

→Ps速度一定だと思えば、HFSはガス圧に比例してずれる

→過去の実験



Phys. Rev. A  
1984 (30) p.1331  
Ritter, Egan, Hughes et al.

FIG. 7. Measured values of  $\Delta\nu$  vs the closed circles are from the present work. The straight line is the best fit described in Eq. (14).

from Ps IV and



HFSに効くシュタルク効果の大きさ

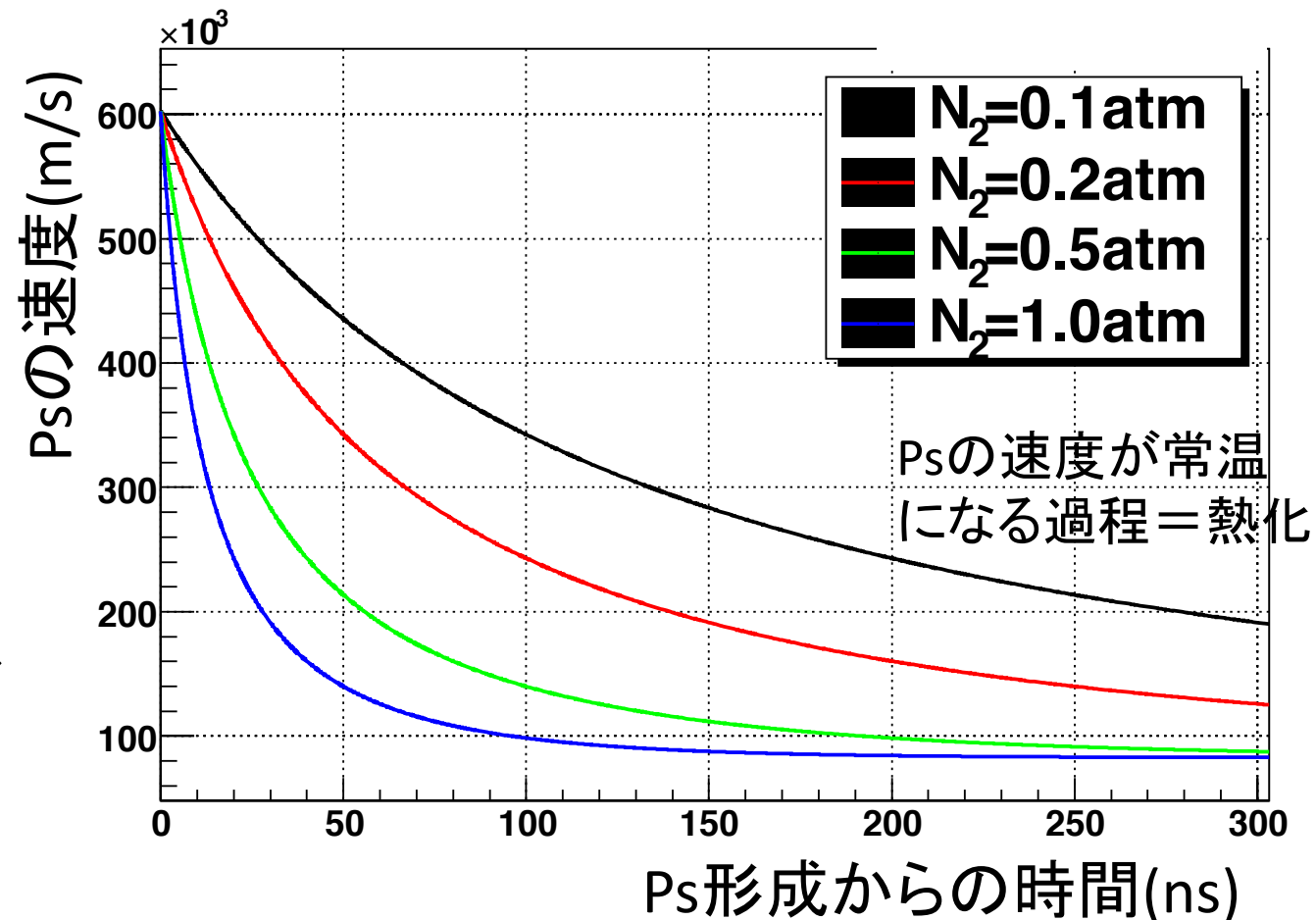
$\propto$  周りの分子との衝突頻度

$\propto$  (周りの分子の密度)  $\times$  (Psの速度  $v(t)$ )

過去の実験では  
一定という扱い

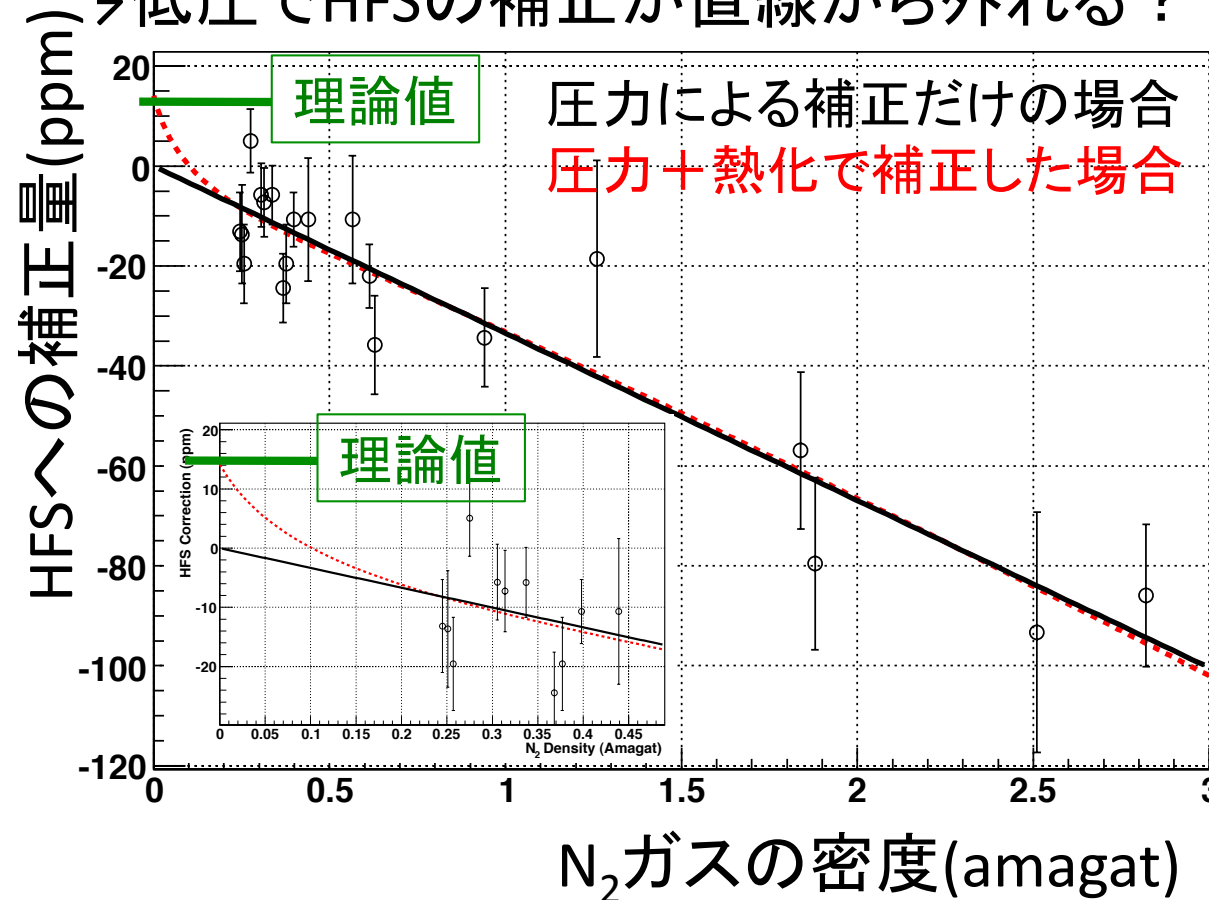
<PsがN<sub>2</sub>ガ  
ス中で形成さ  
れた時の減  
速の様子(シ  
ミュレーショ  
ン)>

パラメーターは、  
 $\sigma_m = 10.2 \times 10^{-16} \text{ cm}^2$   
 $E_0 = 2.06 \text{ eV}$ を  
使用



## 圧力＋熱化を含めた物質の効果がHFSへ及ぼす影響

- 圧力に加えて、熱化の時間変化を考慮する  
→ 低圧でHFSの補正が直線から外れる？



＜熱化によるHFSの補正量のシミュレーション＞

$\sigma_m = 10.2 \times 10^{-16} \text{ cm}$ 、  
 $E_0 = 2.06 \text{ eV}$   
RF周波数=2.32GHz、  
RFパワー=10Gauss、  
静磁場=0.78Tesla  
を使った。

理論値はKniehl et al.,

- ただし、熱化のパラメーターの文献値にかなりのばらつきがある→自前で測定する必要性

# 現在実施中の実験

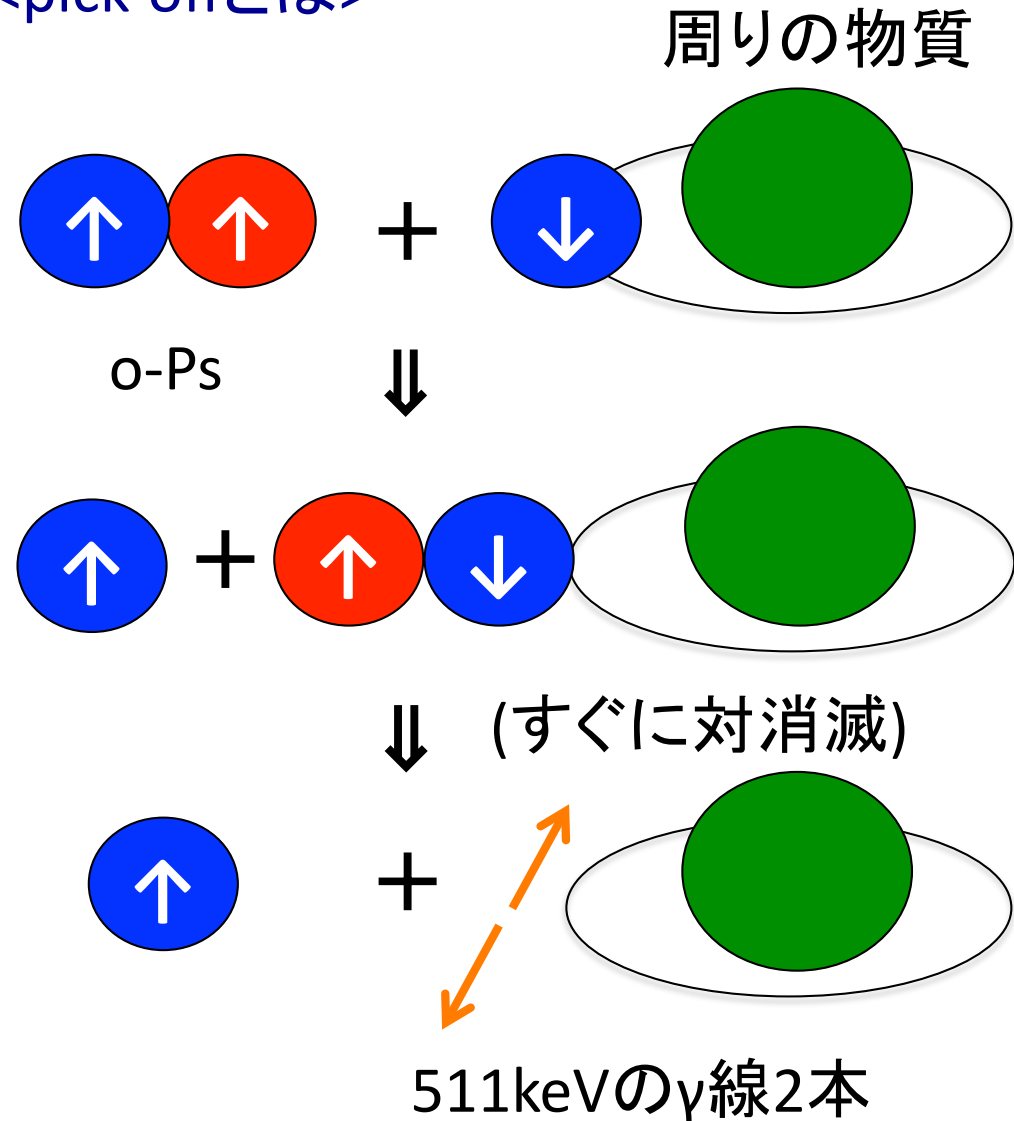
# どのようにしてポジトロニウムの $v(t)$ を測定するか？

- o-Psのpick-offを用いて測定

- pick-off の量(t)  
= pick-offの断面積  
× 物質の密度  
× o-Psの量(t)  
×  $v(t)$

$$v(t) \propto \frac{\text{pick-offの量}(2\gamma\text{崩壊})}{\text{o-Psの量}(3\gamma\text{崩壊})}$$

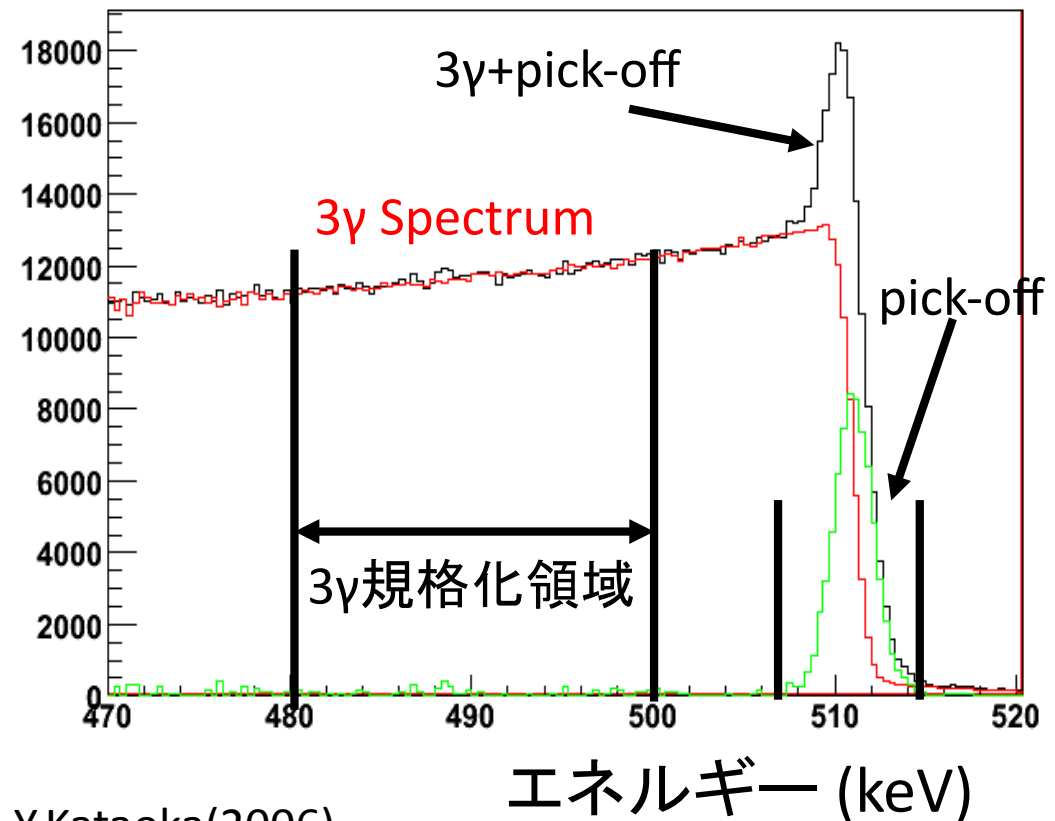
<pick-offとは>



## 2 $\gamma$ 、3 $\gamma$ の量の見積もり方

- 右下の図は2006年に同様な解析を行った時の絵
- 大雑把には、
  1. o-Ps量  
 $\propto$  511keVより下の連続部分の量
  2. pick-off量  
 $\propto$  511keVピークの量
- これにシミュレーションによる補正をかける

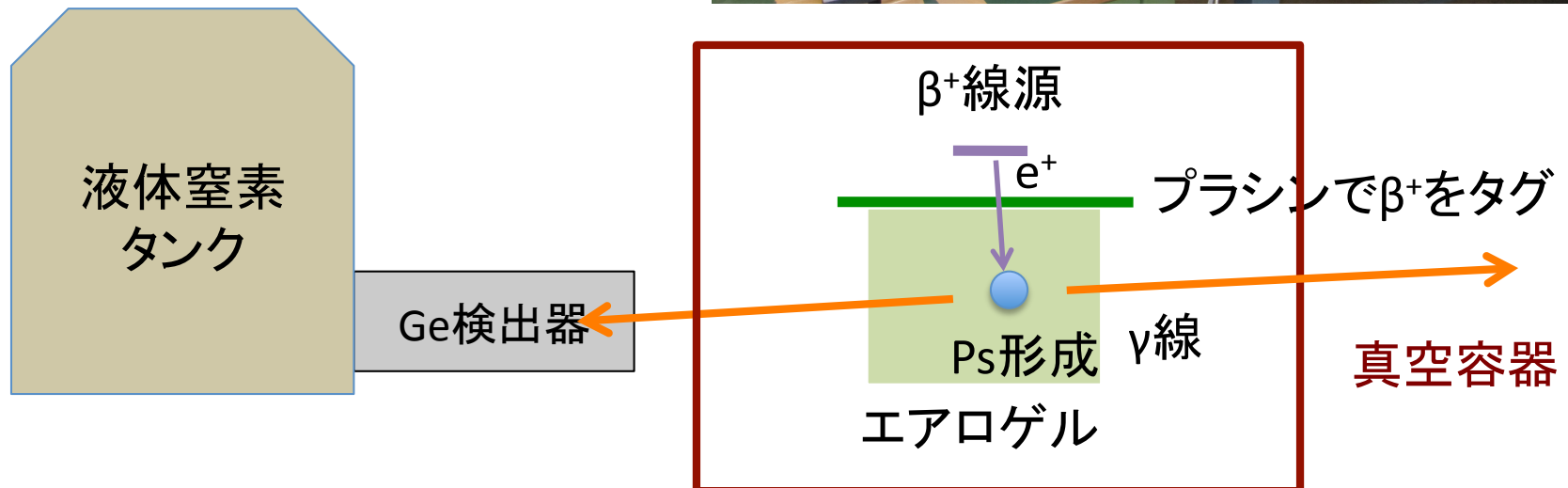
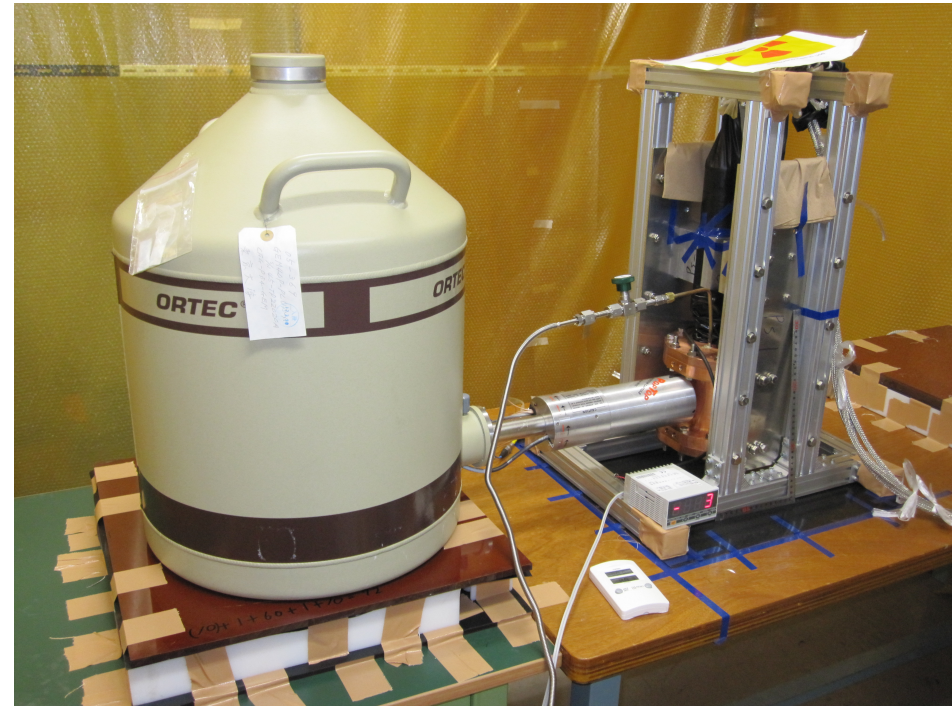
$$v(t) \propto \frac{\text{pick-offの量}(2\gamma\text{崩壊})}{\text{o-Psの量}(3\gamma\text{崩壊})}$$



Y.Kataoka(2006)

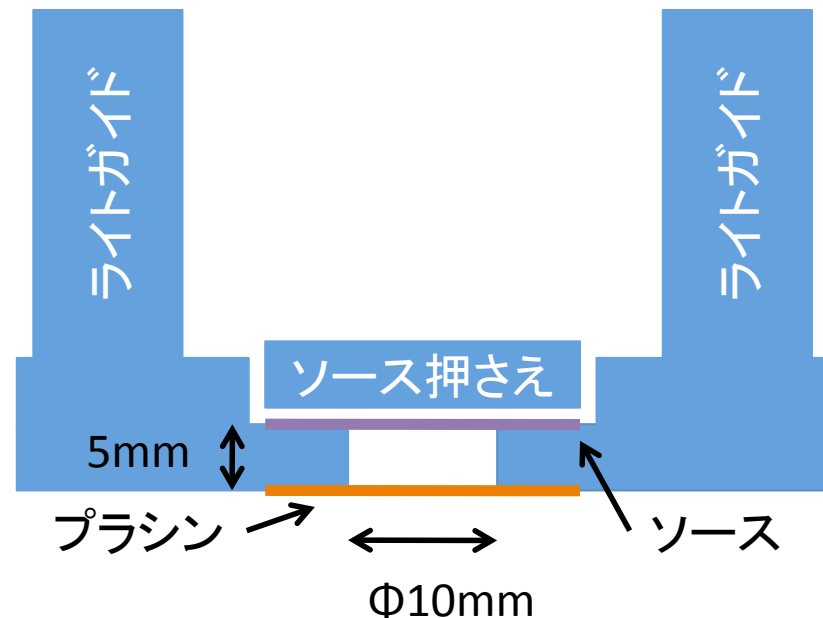
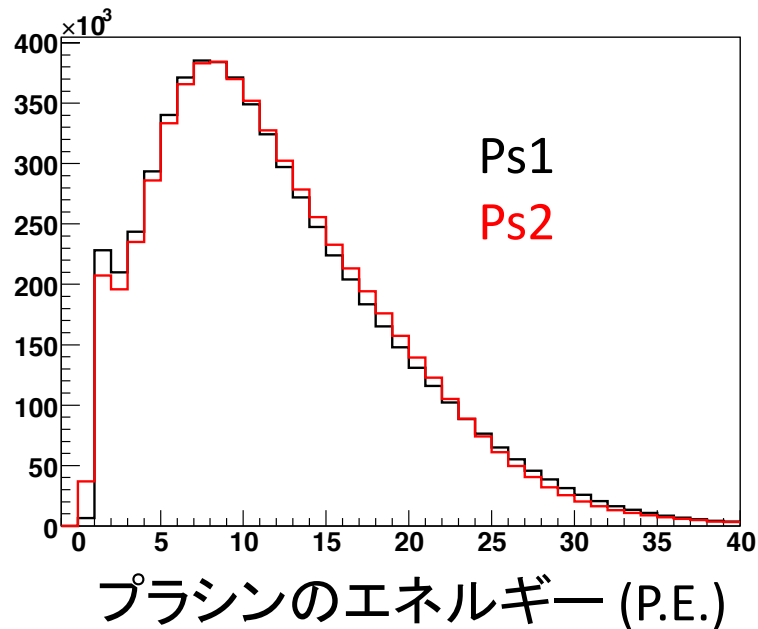
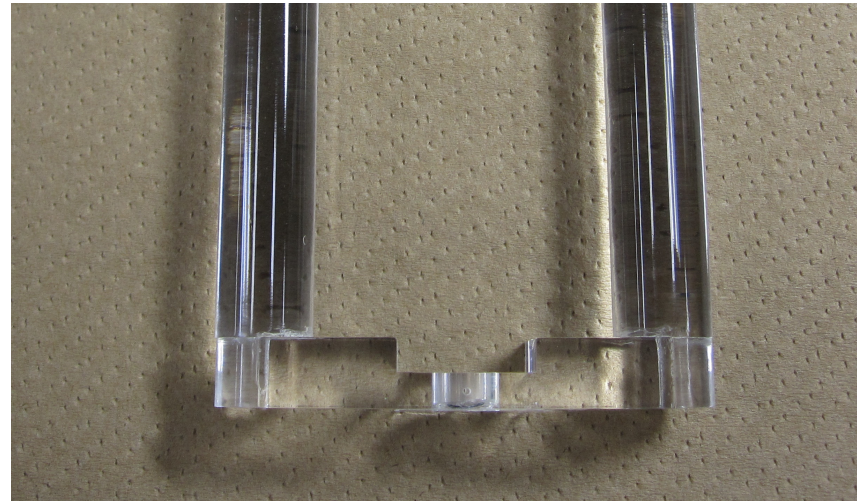
## セットアップ(全体の様子)

- タイミング: プラシンでスタート、Geでストップ
- エアロゲルで $e^+$ を止めてPsを作る
- ソース周りは真空容器に入っている
- ガスを封入して熱化の条件を変化させる



## セットアップ(線源まわり)

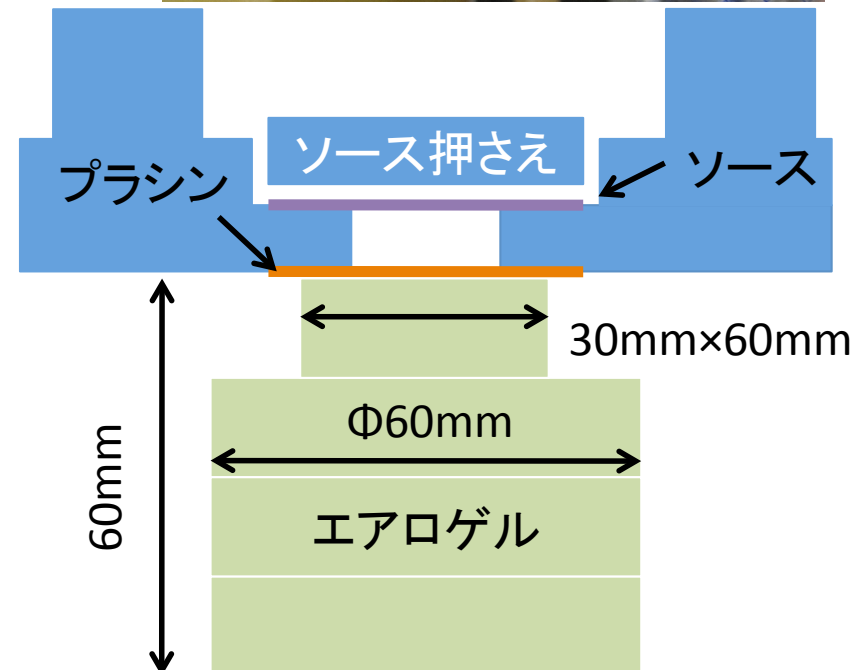
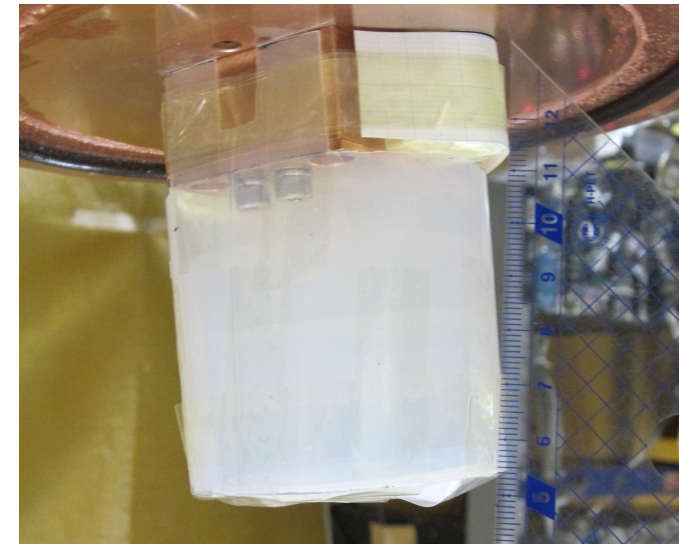
- 線源:  $^{22}\text{Na}$ (30kBq、Tiフویل)
  - $\beta^+$ : プラシン(200 $\mu\text{m}$ 厚)で検出
  - 光はライトガイドで、二本の R329に導かれる
- コインシデンスでスタートタイミグ





## セットアップ(エアロゲル、真空容器)

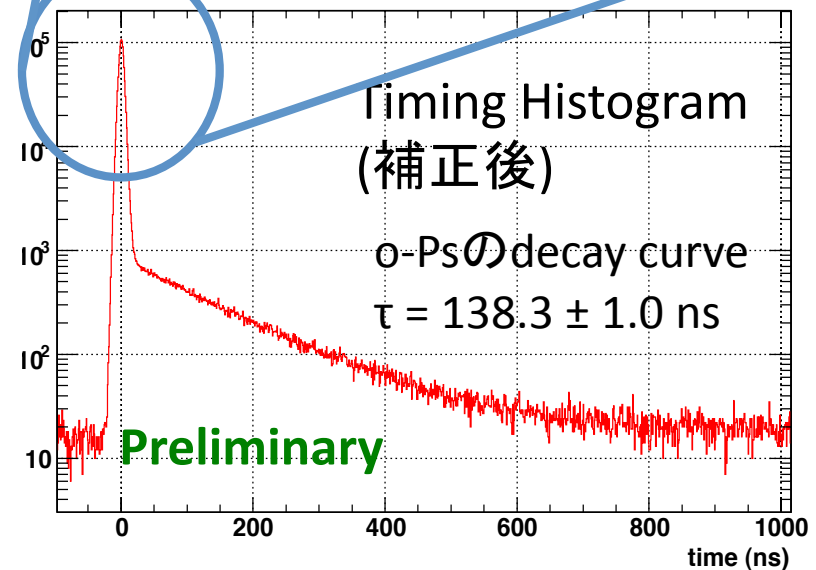
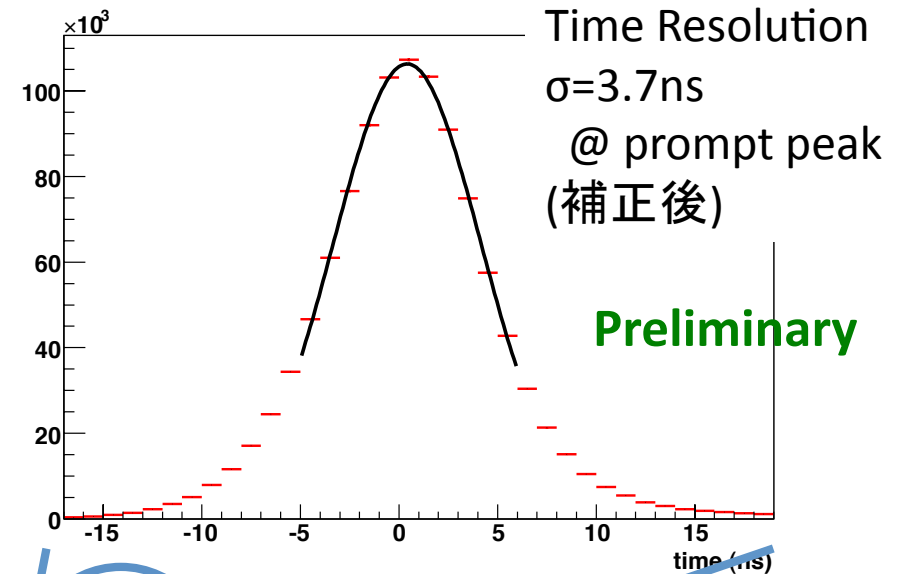
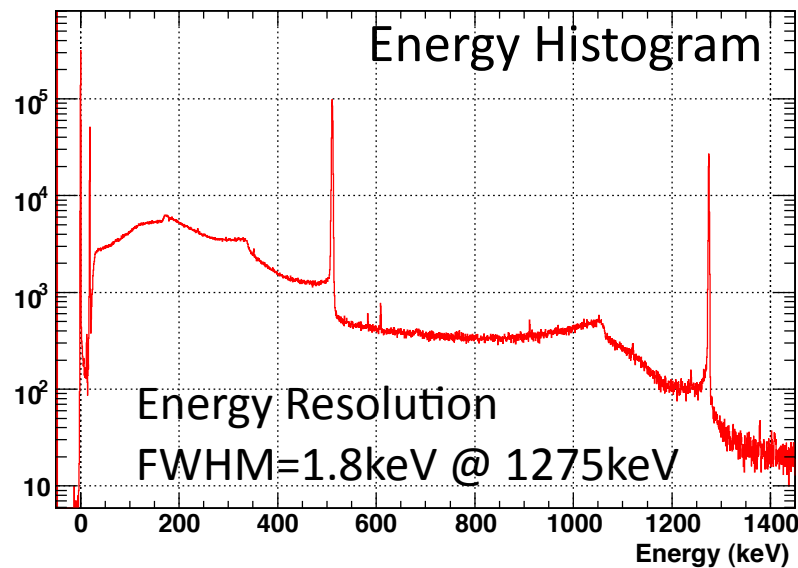
- シリカエアロゲル: 0.03g/cc  
(ポジトロニウムを効率良く生成。  
熱化への影響は別途考慮。)
- 真空容器: 無酸素銅  
Φ130mm×100mm×厚さ1.5mm





## セットアップ(ガンマ線検出器)

- Ge検出器 (Ortec GEM 38195-P-plus series) × 2 台
- 3段階のthresholdによって遅い成分をカットし、時間の補正を掛けた



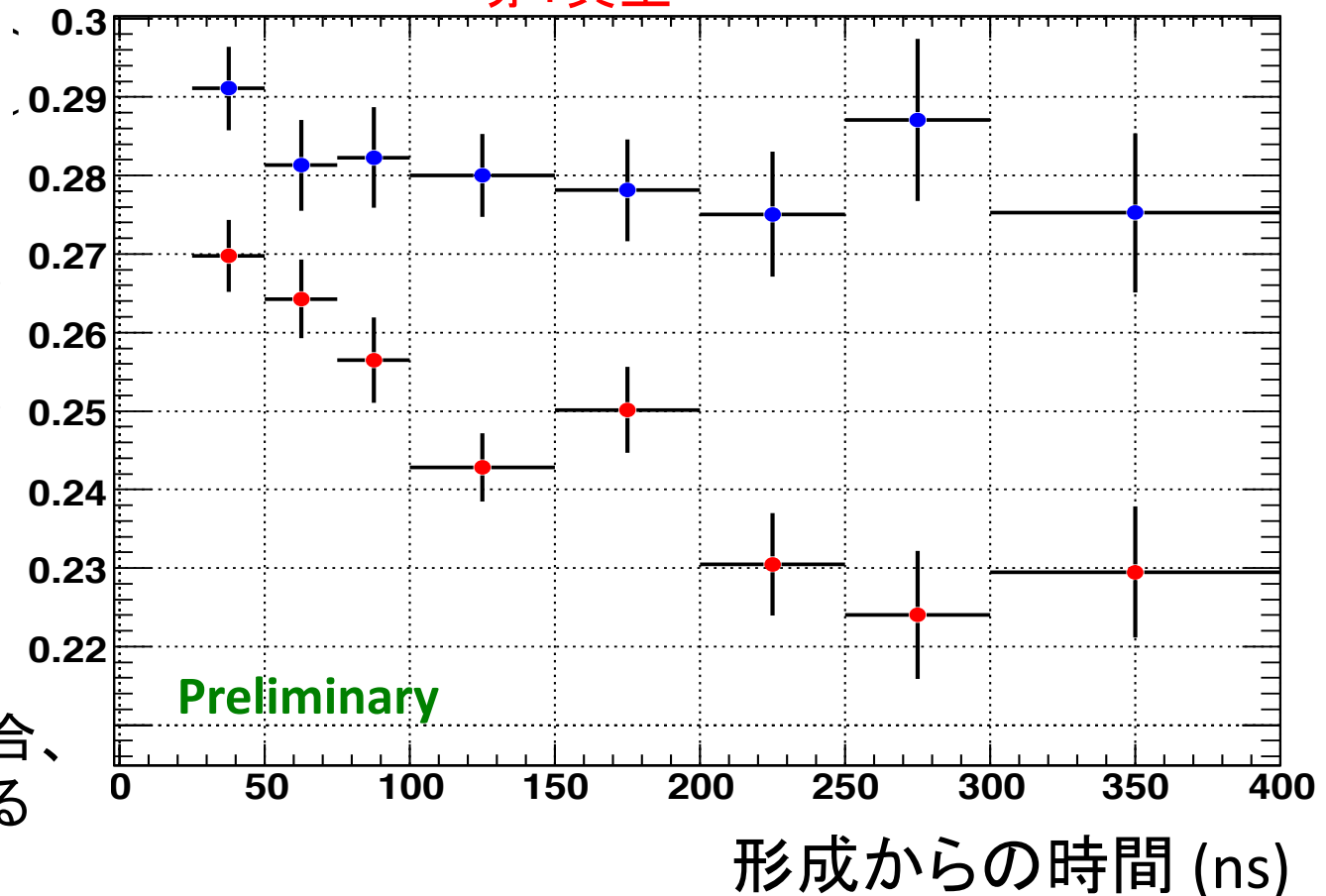
## 結果(途中経過)

- $2\gamma/3\gamma$ 比として単に  $\frac{511 \pm 4 \text{ keV}}{400 \sim 500 \text{ keV}}$  の個数比(アクシデンタルは引き算した)をプロットした

青:  $\text{N}_2(90\%) + \text{イソブタン}(10\%)$  1atm

赤: 真空

511keV $\pm$ 4keV / 400~500keV  
の個数比 (A.U.)



気体を封入した場合、  
熱化が速く進行する  
様子がわかる。

## まとめ

- ポジトロニウムのHFSはシュタルク効果によって変化する

HFSに効くシュタルク効果の大きさ

$\propto$  周りの分子との衝突頻度

$\propto$  (周りの分子の密度)  $\times$  (Psの速度  $v(t)$ )

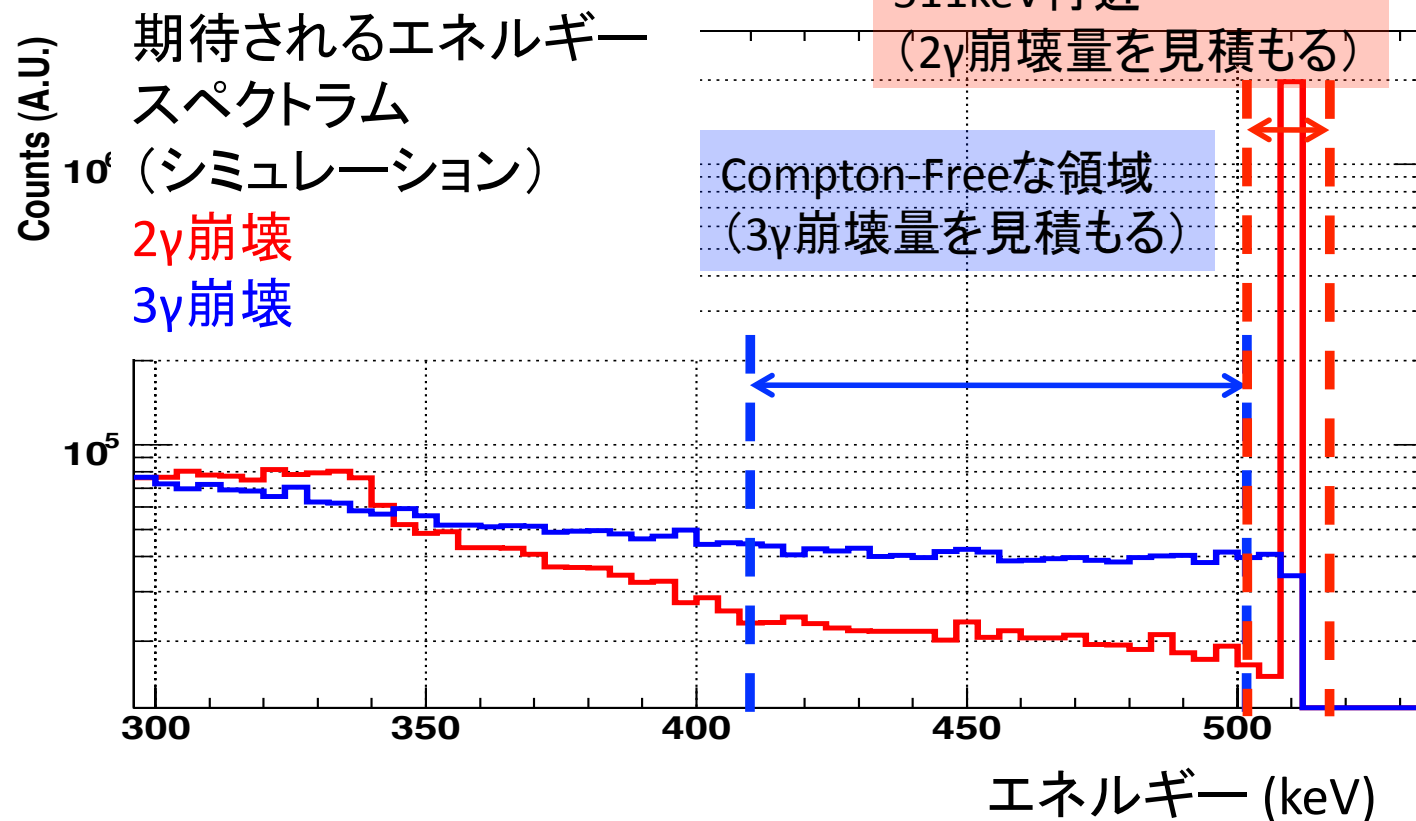
- 過去の実験では、Psの速度の変化(熱化)を考慮していなかったが、実際には最大20ppm程度効き得る。
- ただし熱化パラメーターは文献によってばらついているので、それを測定している。
- 測定はpick-offによる、 $2\gamma$ 崩壊の量を見ることによって行っている。
- 現在測定をはじめたところ。半年程度で結果を出す予定。

バックアップ

## 過去の熱化測定(ドップラーシフト)

- 大雑把には、  
pick-offの量  $\propto$  511keVピークの面積  
o-Psの量  $\propto$  compton-freeの面積

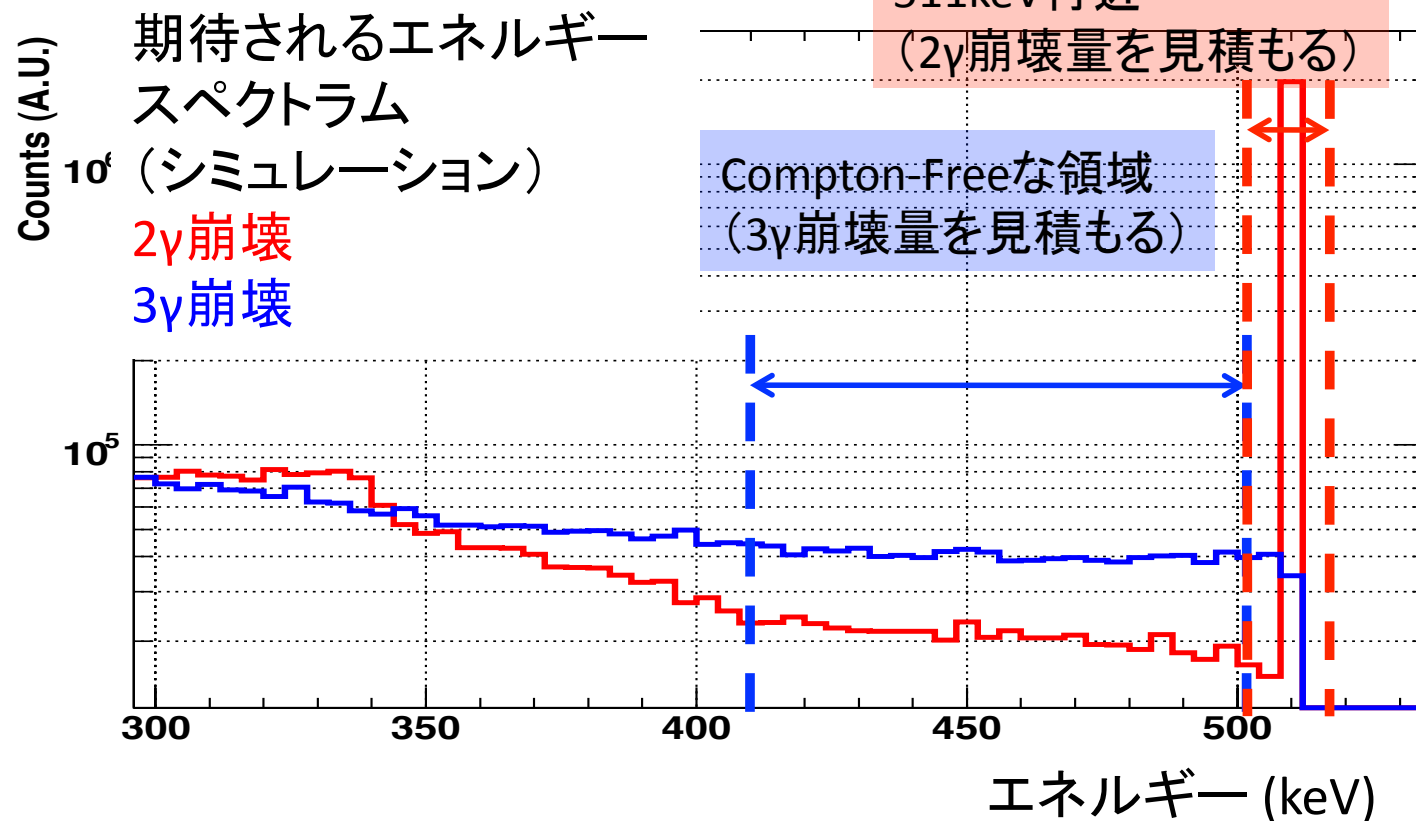
$$\frac{v(t)}{\propto} \frac{\text{pick-offの量}(2\gamma\text{崩壊})}{\text{o-Psの量}(3\gamma\text{崩壊})}$$



## 過去の熱化測定 (ACAR)

- 大雑把には、  
pick-offの量  $\propto$  511keVピークの面積  
o-Psの量  $\propto$  compton-freeの面積

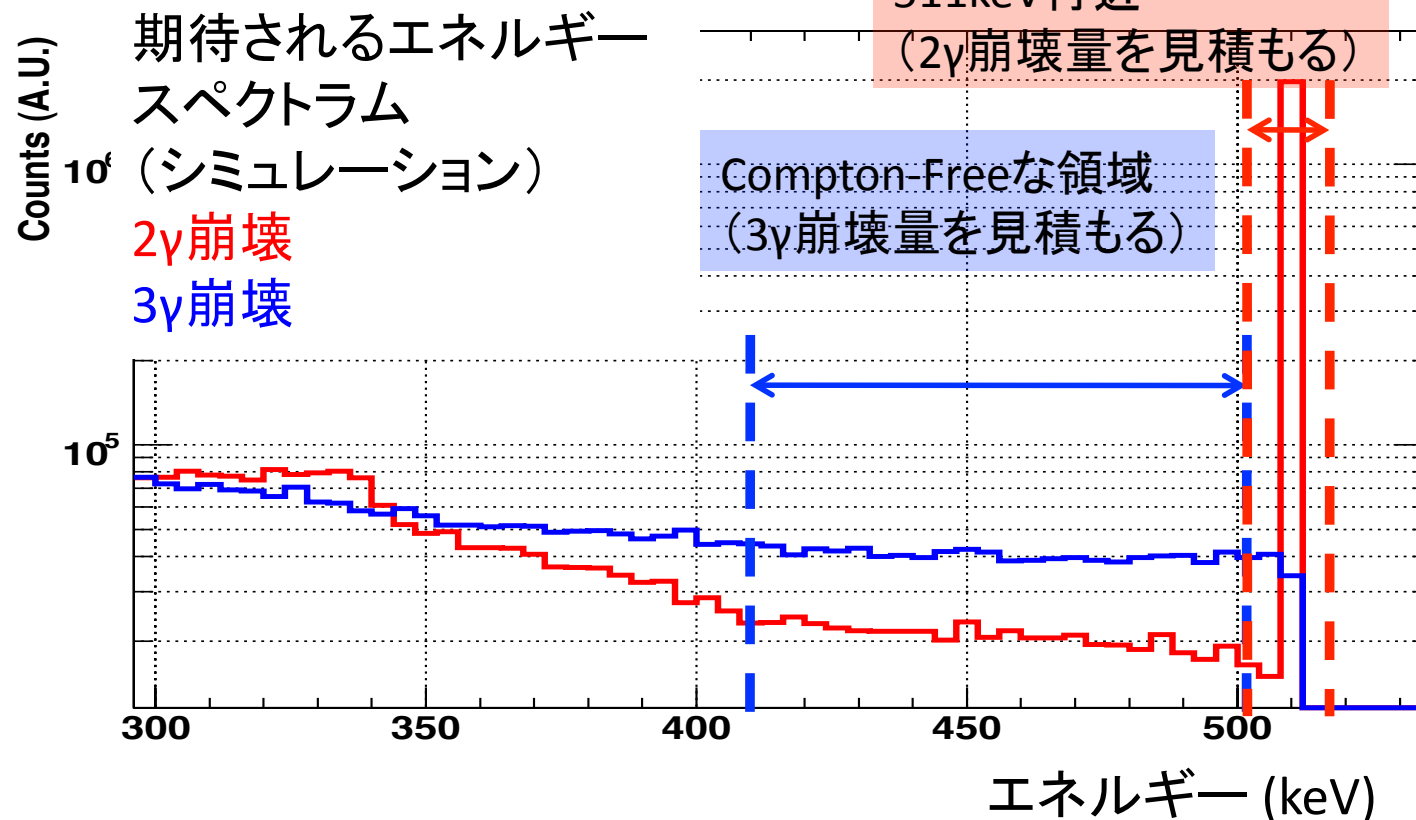
$$\frac{v(t)}{\propto} \frac{\text{pick-offの量}(2\gamma\text{崩壊})}{\text{o-Psの量}(3\gamma\text{崩壊})}$$



## 過去の熱化測定(ドップラーシフト)

- 大雑把には、  
pick-offの量  $\propto$  511keVピークの面積  
o-Psの量  $\propto$  compton-freeの面積

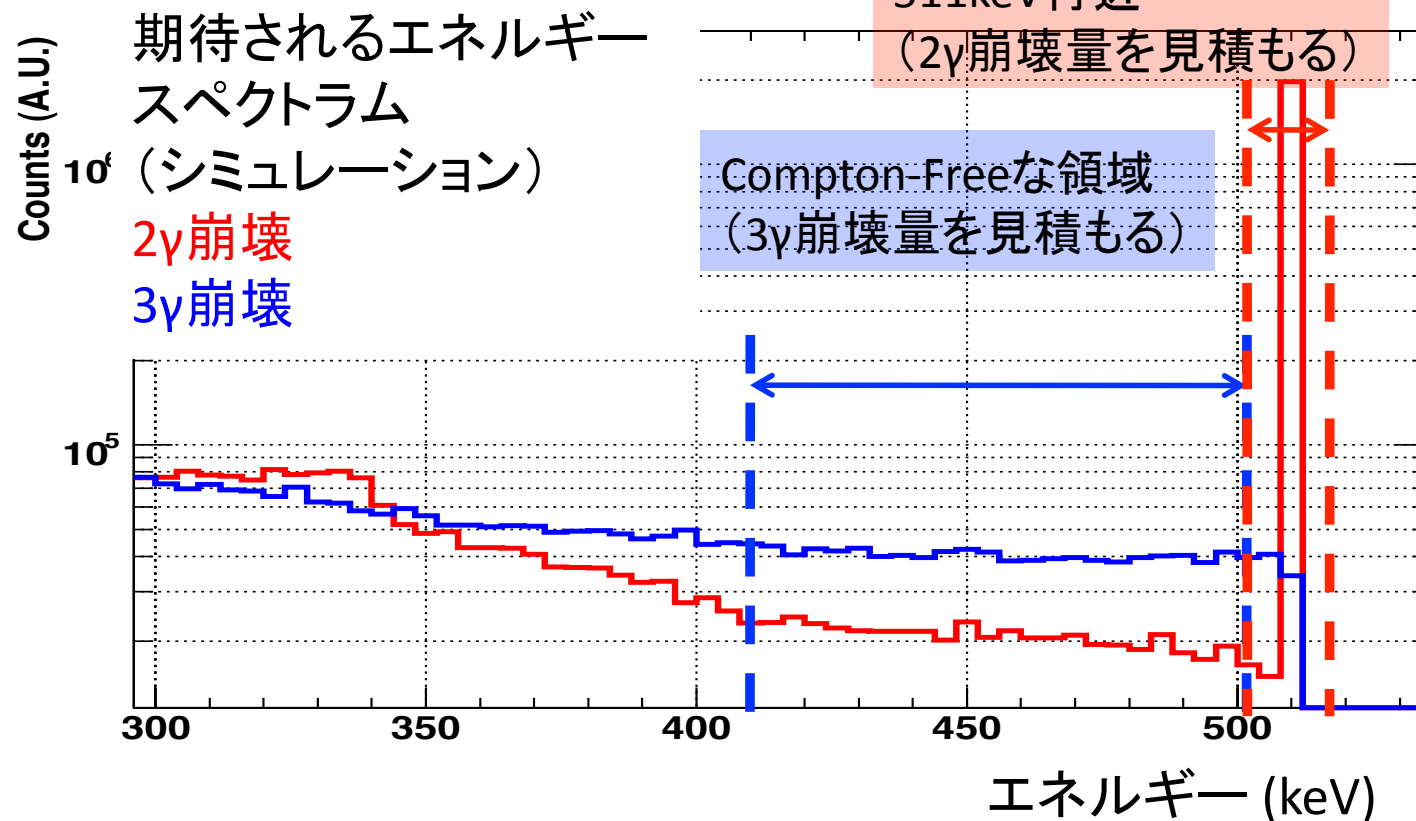
$$\frac{v(t)}{\propto} \frac{\text{pick-offの量}(2\gamma\text{崩壊})}{\text{o-Psの量}(3\gamma\text{崩壊})}$$



## 熱化の式

- 大雑把には、  
pick-offの量  $\propto$  511keVピークの面積  
o-Psの量  $\propto$  compton-freeの面積

$$\frac{v(t)}{\propto} \frac{\text{pick-offの量}(2\gamma\text{崩壊})}{\text{o-Psの量}(3\gamma\text{崩壊})}$$





## 必要な精度

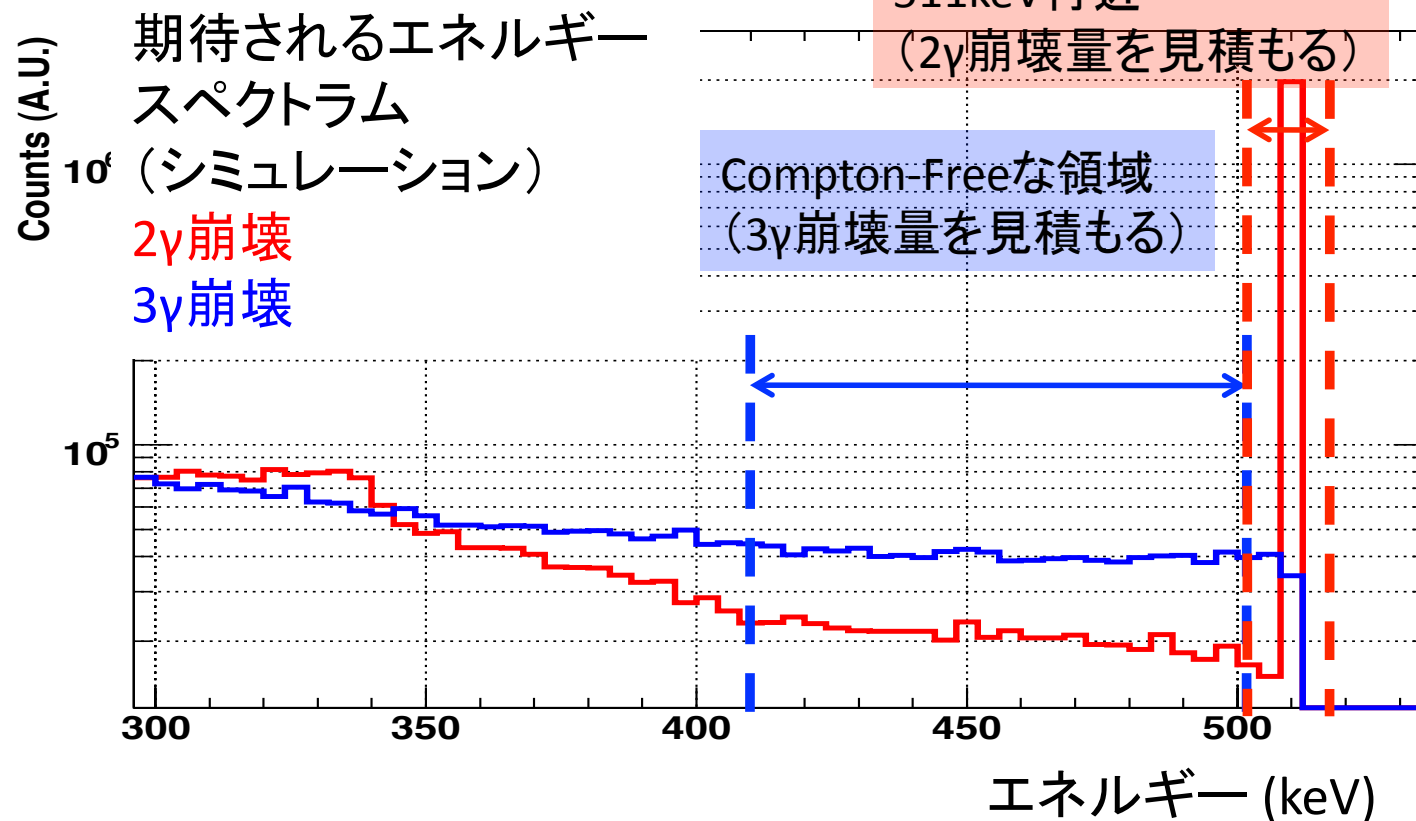
- 大雑把には、  
pick-offの量  $\propto$  511keVピークの面積  
o-Psの量  $\propto$  compton-freeの面積

$v(t)$

pick-offの量(2 $\gamma$ 崩壊)

$\propto$

o-Psの量(3 $\gamma$ 崩壊)



どのようにしてポジトロニウムの $v(t)$ を測定するか？(その2)

- 大雑把には、  
pick-offの量  $\propto$  511keVピークの面積  
o-Psの量  $\propto$  compton-freeの面積

$$v(t) \propto \frac{\text{pick-offの量}(2\gamma\text{崩壊})}{\text{o-Psの量}(3\gamma\text{崩壊})}$$

