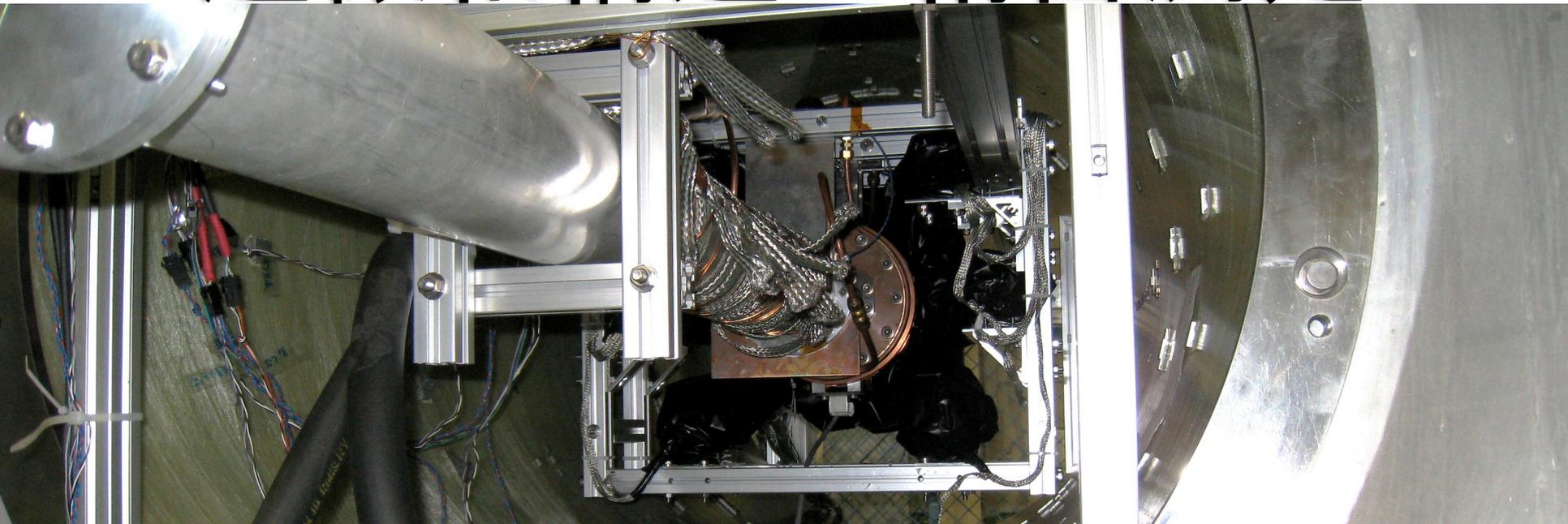


# ポジトロニウム 超微細構造の精密測定



東大・院理, 東大・素粒子センター<sup>A</sup>, 東大・院総合文化<sup>B</sup>, 高工研<sup>C</sup>

石田明, 佐々木雄一, 秋元銀河,  
末原大幹<sup>A</sup>, 難波俊雄<sup>A</sup>, 浅井祥仁, 小林富雄<sup>A</sup>,  
斎藤晴雄<sup>B</sup>, 吉田光宏<sup>C</sup>, 田中賢一<sup>C</sup>, 山本明<sup>C</sup>

平成23年7月8日 第48回アイソトープ・放射線研究発表会 於日本科学未来館

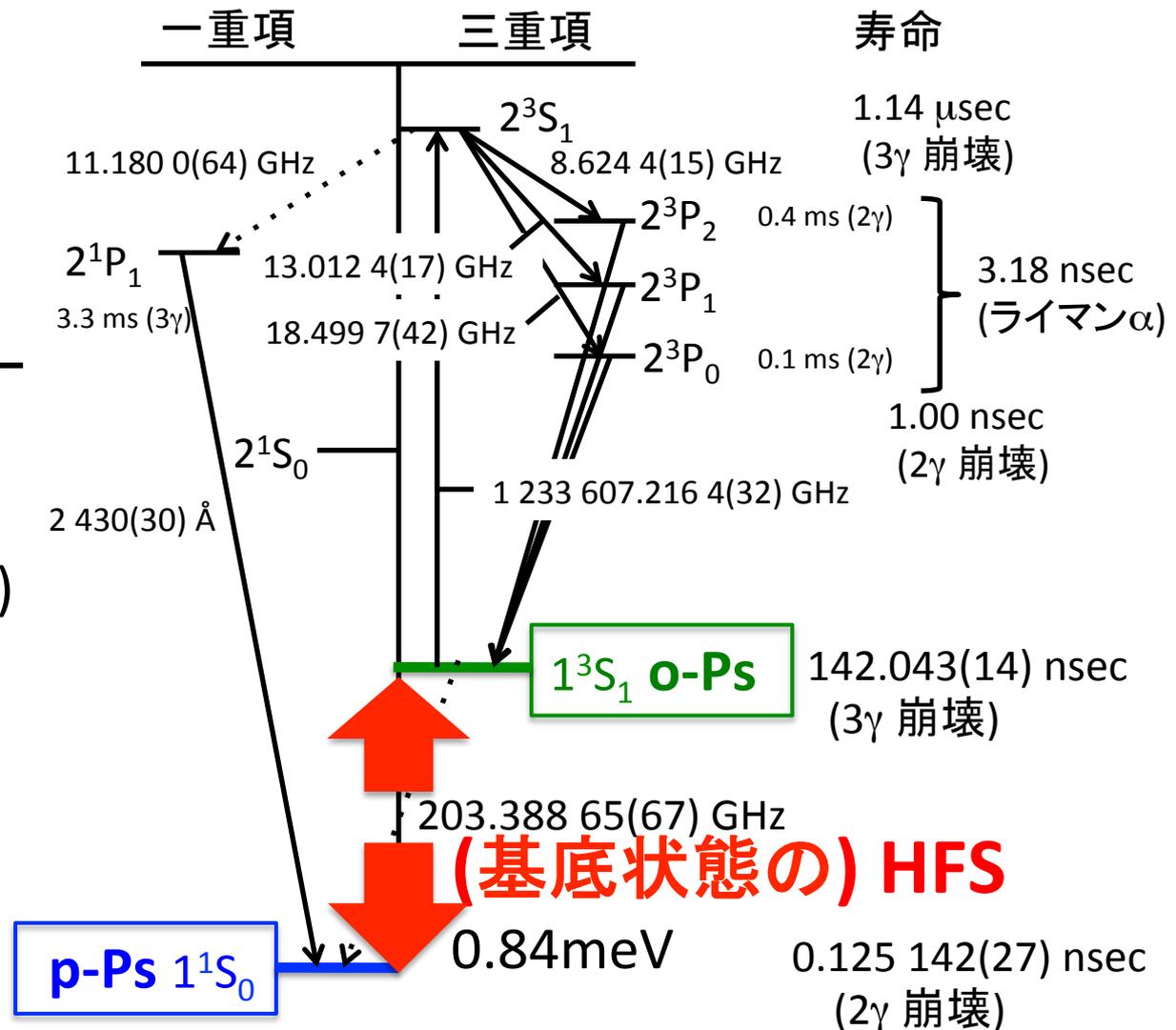
# 目次

- インTRODクシヨN
- 我々の新しい実験セツトアツプ
- 測定の途中結果
- 今後の展望

# ポジトロニウム超微細構造 (Ps-HFS)

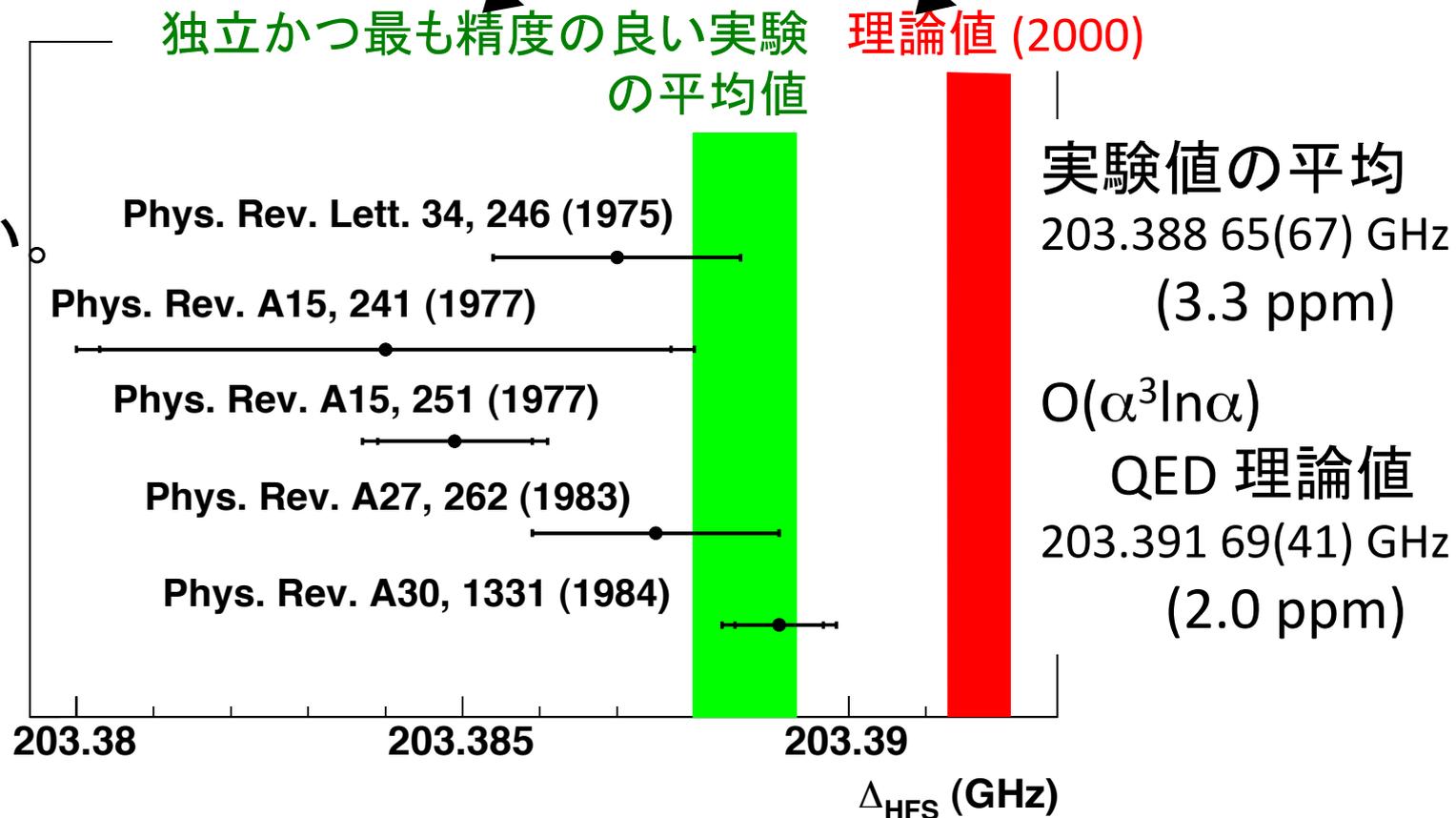
基底状態における  
2つのスピン固有  
状態間のエネルギー  
準位差

→ Ps-HFS (203 GHz)



# 実験と、理論でずれている

実験結果は  
一様に理論  
値より小さい。



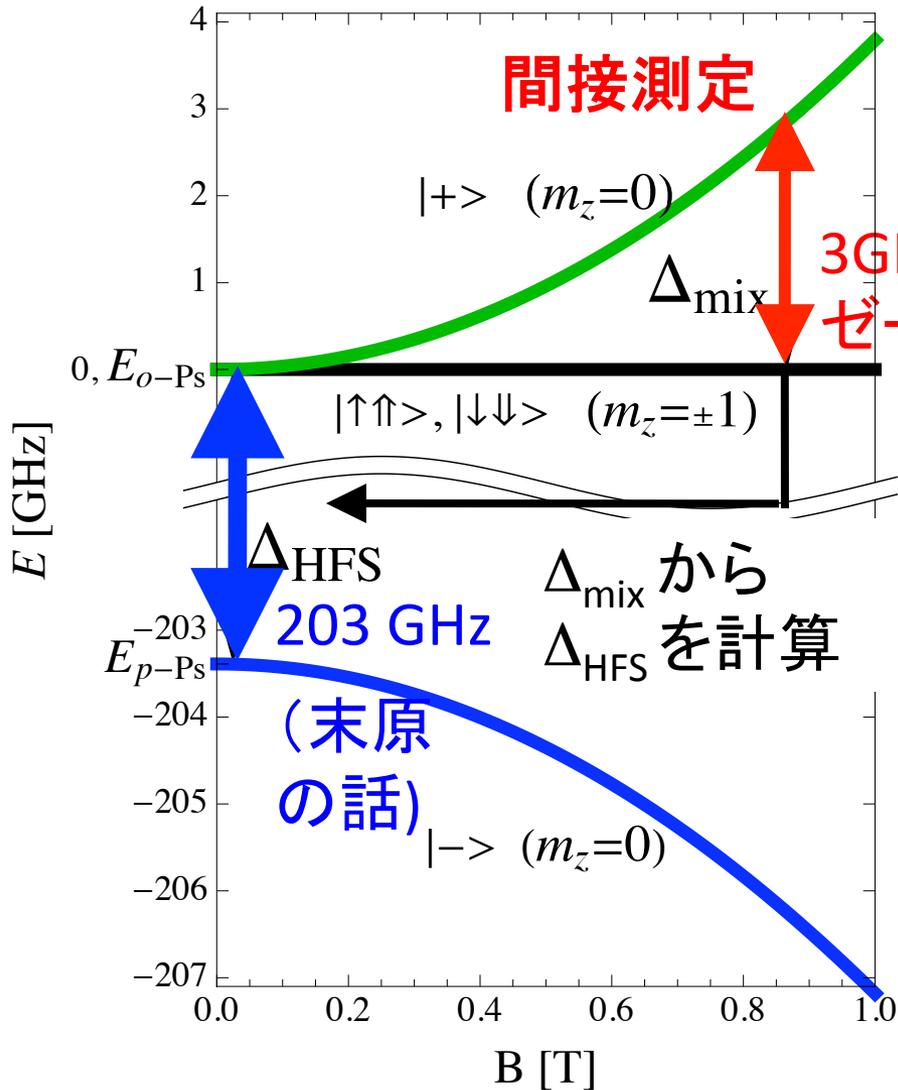
15 ppm (3.9  $\sigma$ ) の有意なずれ

# 考えられるずれの原因

- **過去の実験に共通した系統誤差**
  - 物質の効果の過小評価。熱化していない o- $\text{Ps}$  は、特に低物質密度で大きな影響を及ぼす。 *cf.* オルソポジトロニウムの寿命問題 (1990年代)
  - 磁場の非一様性。大きな $\text{Ps}$ 生成領域内で、ppmレベルの一樣磁場を供給するのは極めて困難。
- **束縛系QEDの計算に新しい発展が必要、素粒子標準模型を超えた新しい物理が存在**

**我々は、上記の系統誤差を抑えた、新しい方法による精密測定を行い、ずれを検証する。**

# ゼーマン効果を用いた間接測定の方法



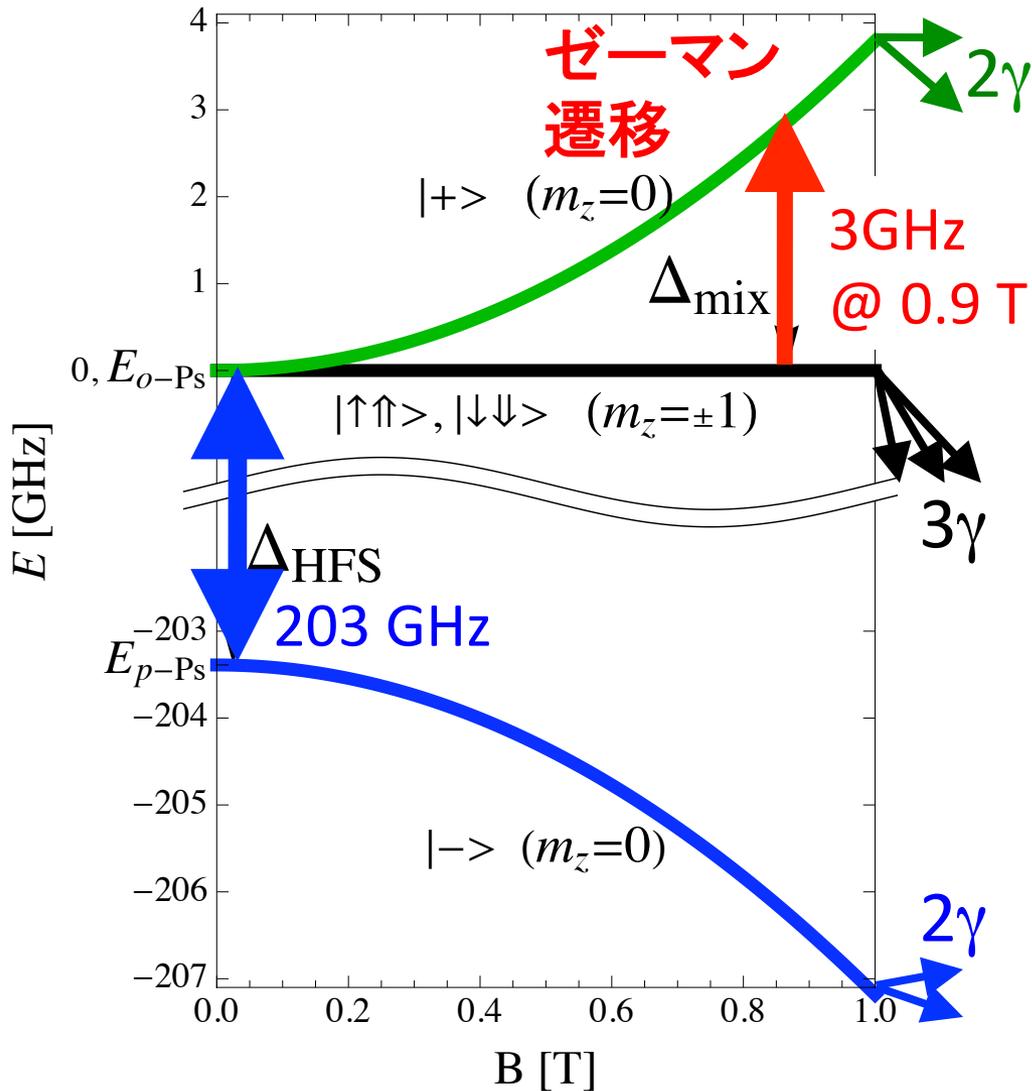
静磁場中では、**p-Ps** は **o-Ps** の  $m_z=0$  成分と混合する。(2 $\gamma$  崩壊).

$\Delta_{\text{mix}}$  を精密に測定し、 $\Delta_{\text{HFS}}$  を以下の式で求める。

$$\Delta_{\text{mix}} = \frac{1}{2} \Delta_{\text{HFS}} \left( \sqrt{1 + 4x^2} - 1 \right),$$

$$x = \frac{g' \mu_B B}{\Delta_{\text{HFS}}}.$$

# ゼーマン効果を用いた間接測定の方法



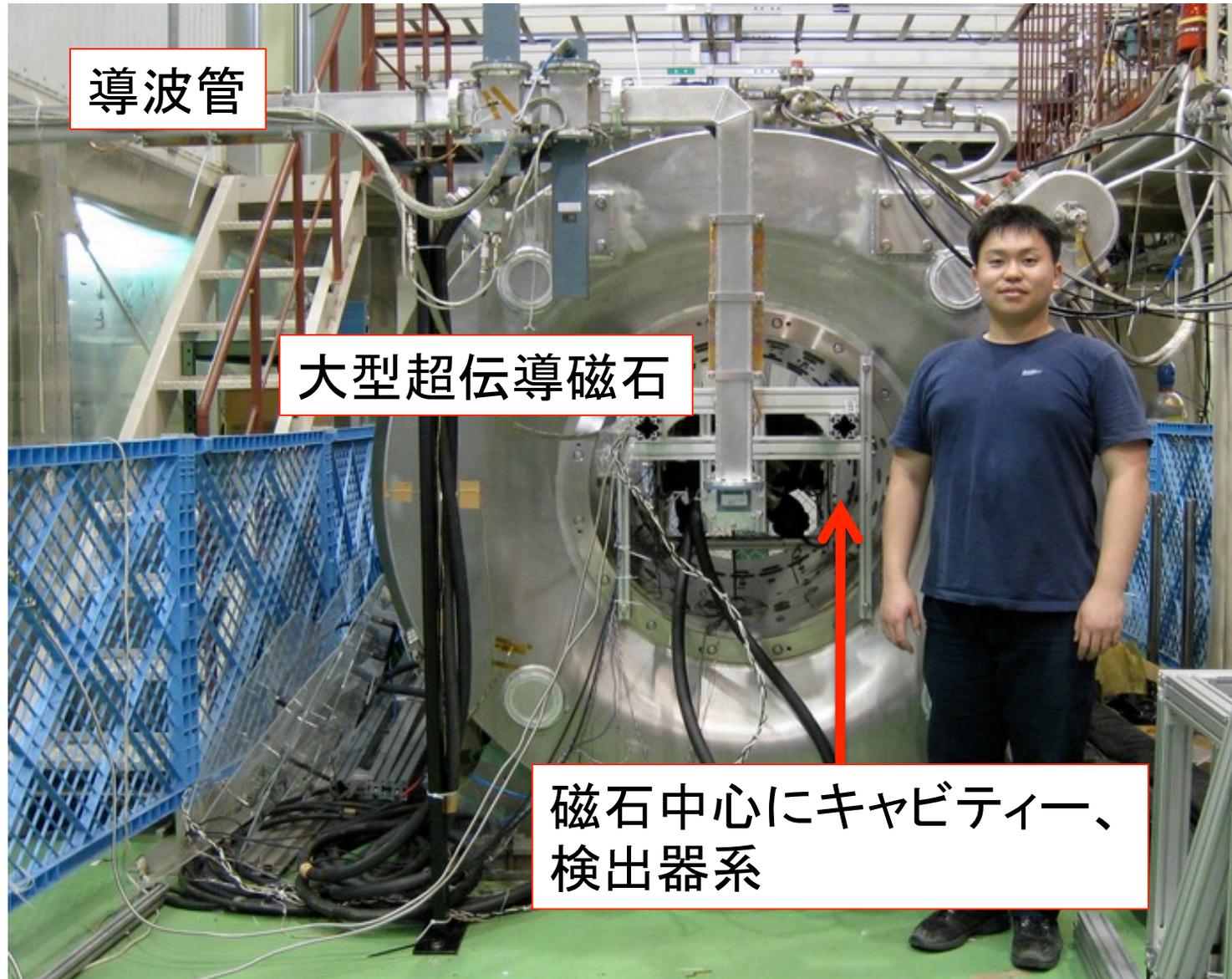
周波数が  $\Delta_{mix}$  のマイクロ波を供給すると、o-Ps の  $m_z=0$  と  $m_z=\pm 1$  成分の間で遷移が起こる。

→  $2\gamma$  崩壊(511 keV 単色) 率が大きくなる。  
この崩壊率の変化が、実験のシグナルになる。

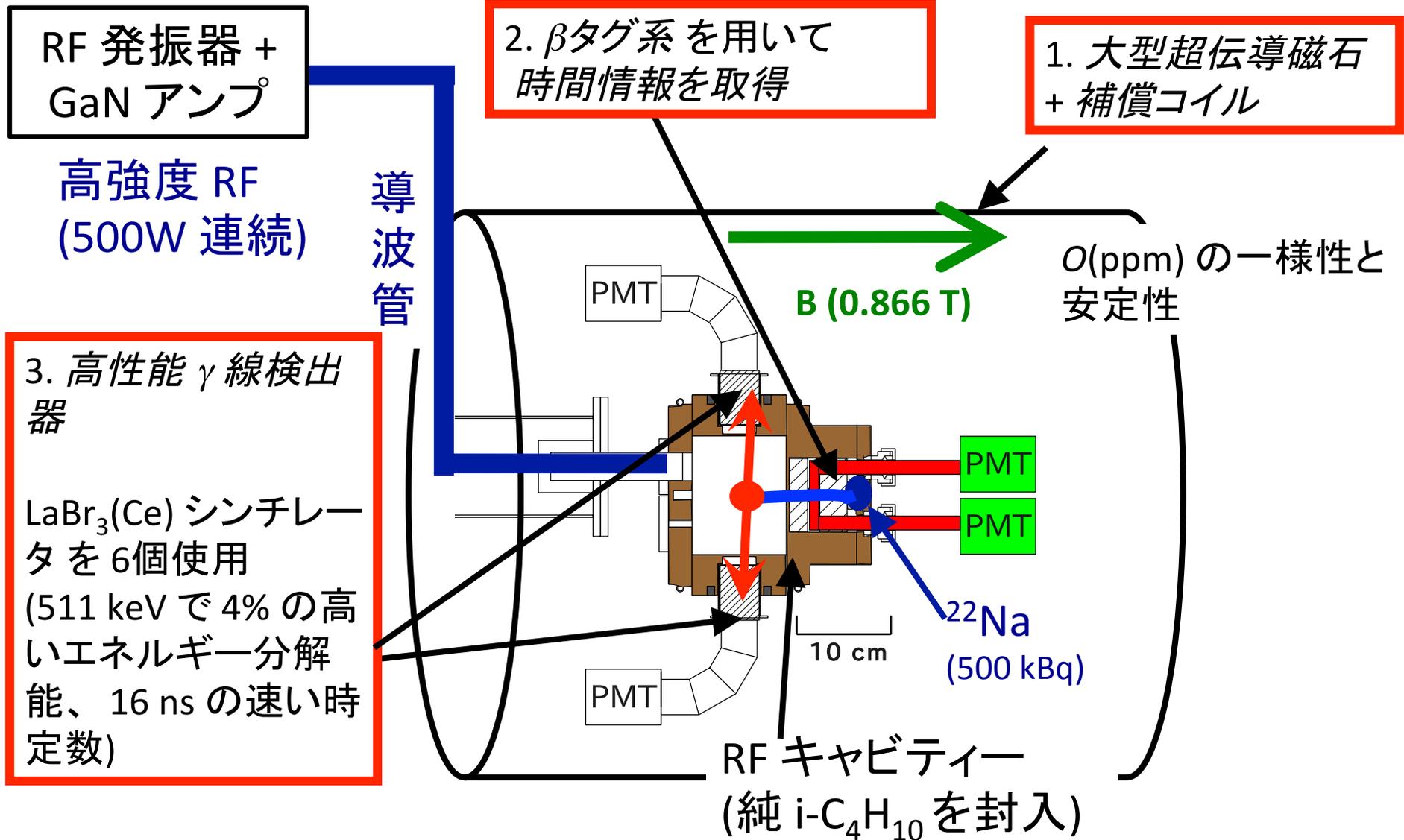
→ 過去の全ての実験と同じ方法

# 測定 @ KEK低温棟

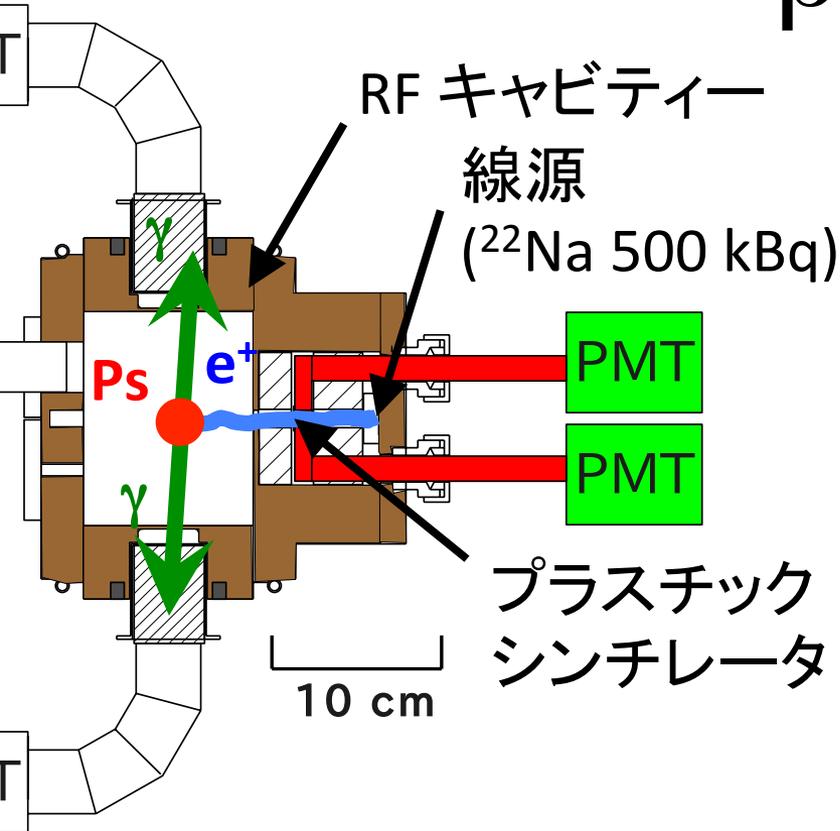
## 平成22年7月～平成23年3月11日



# 我々の新しい実験セットアップ



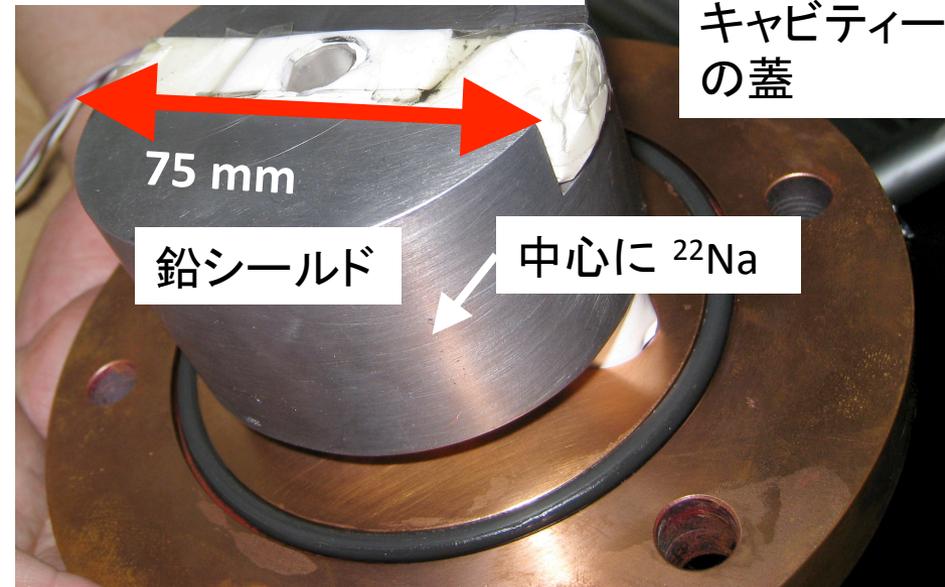
# βタグ系



- 薄い (0.2 mm) プラスチックシンチレータを使って、 $^{22}\text{Na}$  から出てくる  $e^+$  をタグ

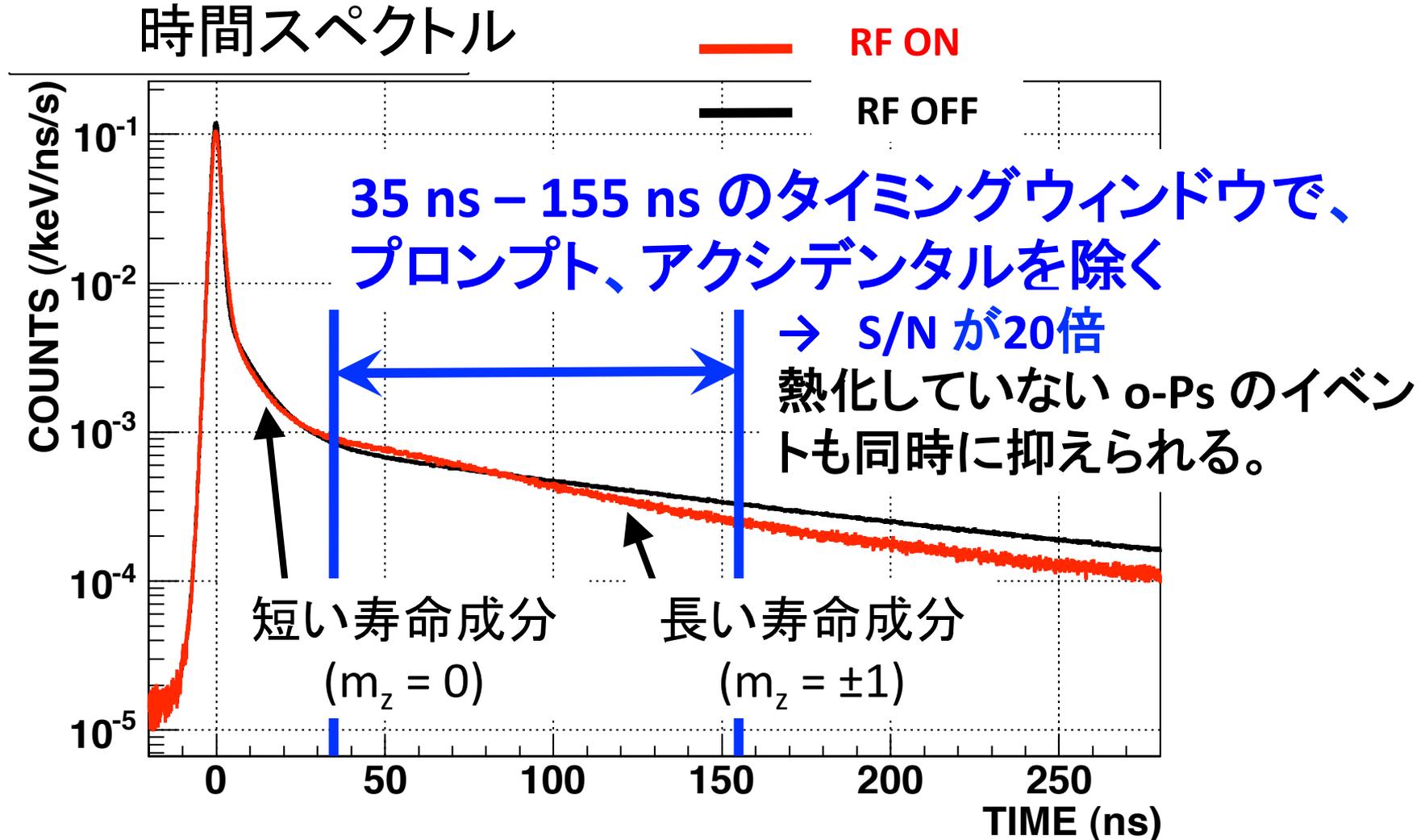
→  $t=0$

15 mm x 15 mm x 0.2 mm  
プラスチックシンチレータ



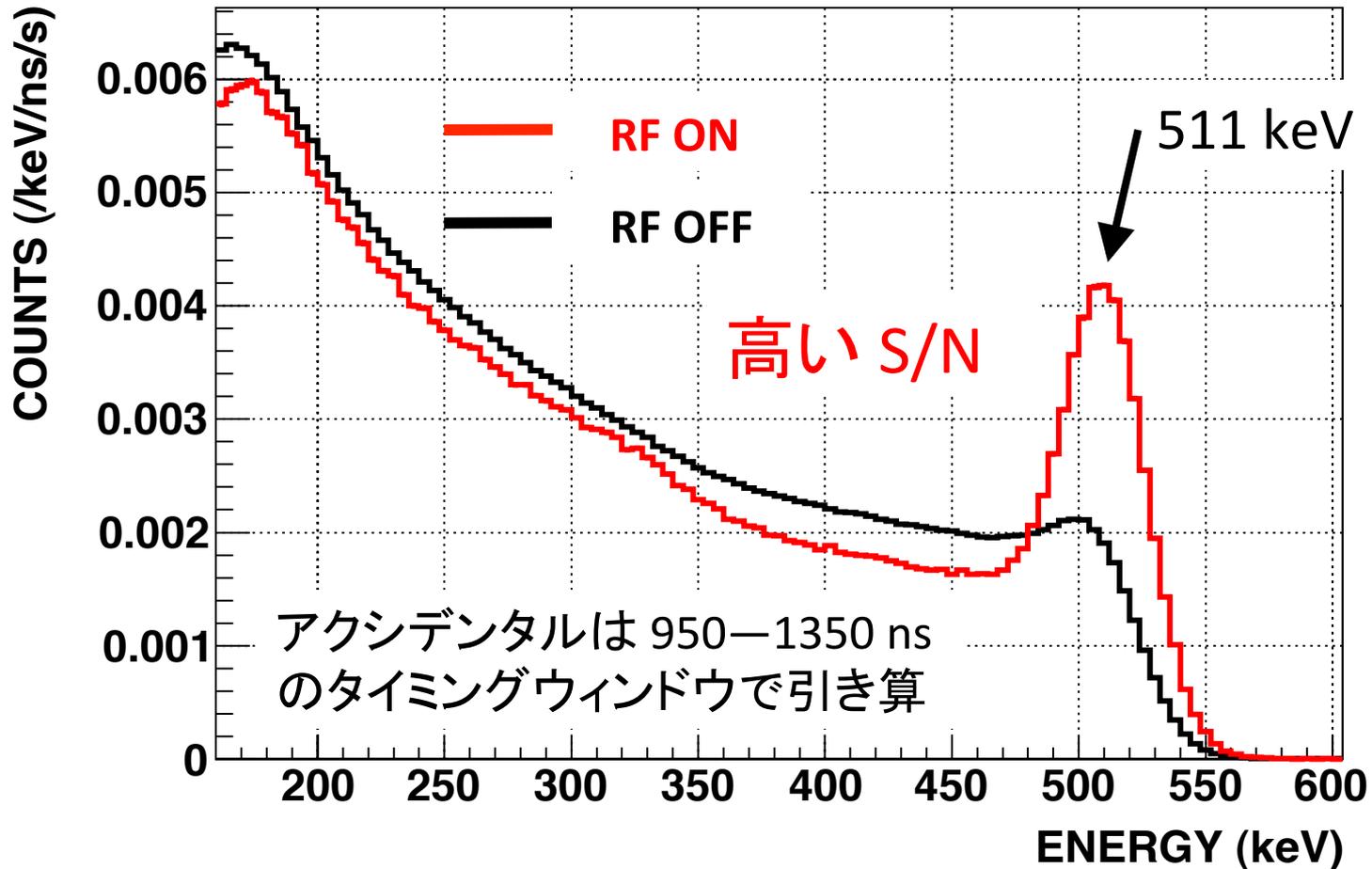
- DAQ のトリガーは、 $e^+$  タグと  $\gamma$  線検出のコインシデンスでかける。
- 2つの信号の時間差が、各イベントにおける  $\text{Ps}$  の寿命。

# 解析 (時間スペクトル)



ゼーマン遷移によって、Ps崩壊確率が大きくなった。

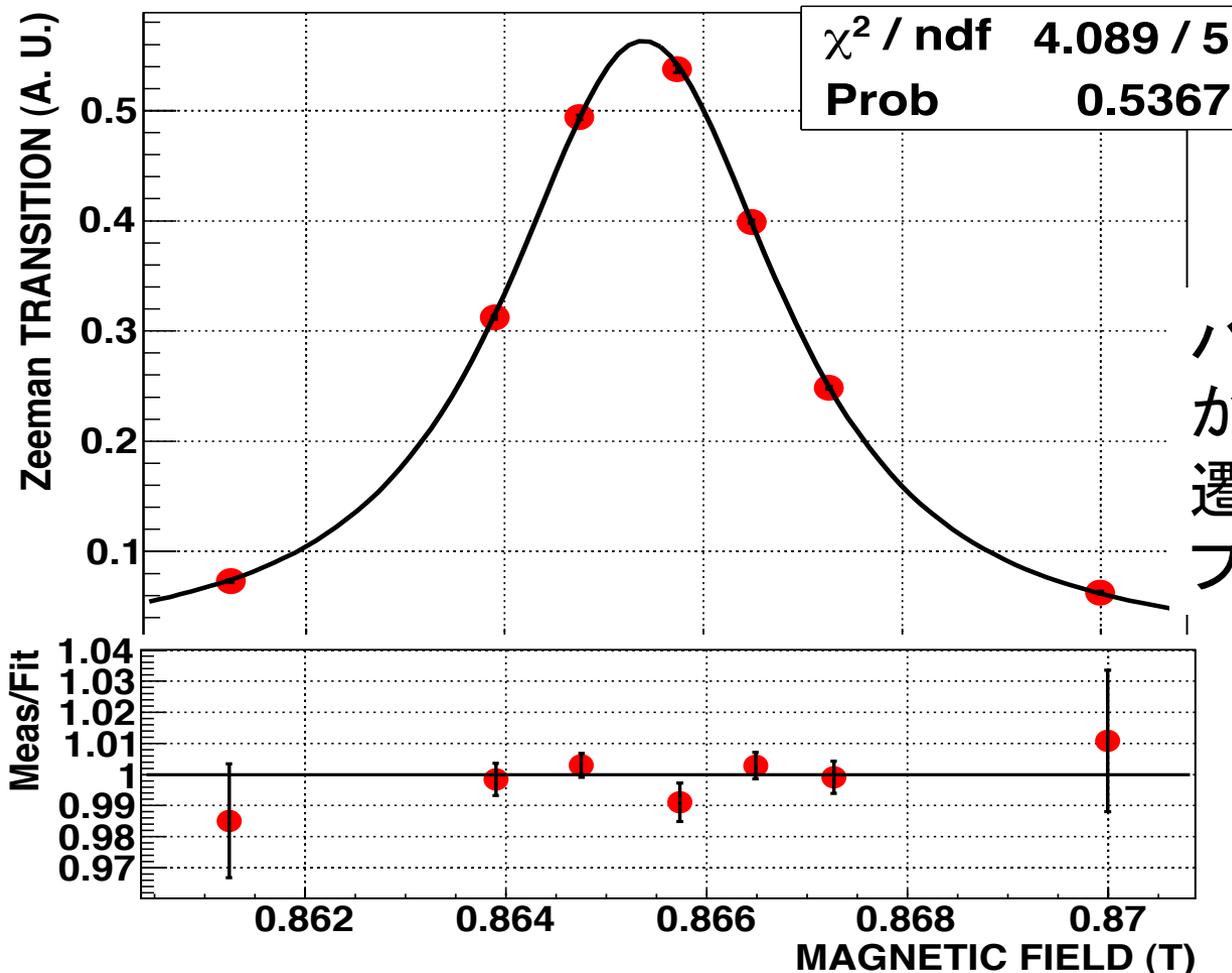
# 解析 (エネルギースペクトル)



ゼーマン遷移によって、 $2\gamma$  崩壊確率が大きくなった。  
ゼーマン遷移確率を、RF-ON と RF-OFF の差から計算。

# 共鳴曲線 (0.895 amagat)

RF の周波数、パワーを固定して、**磁場でスキャン**。

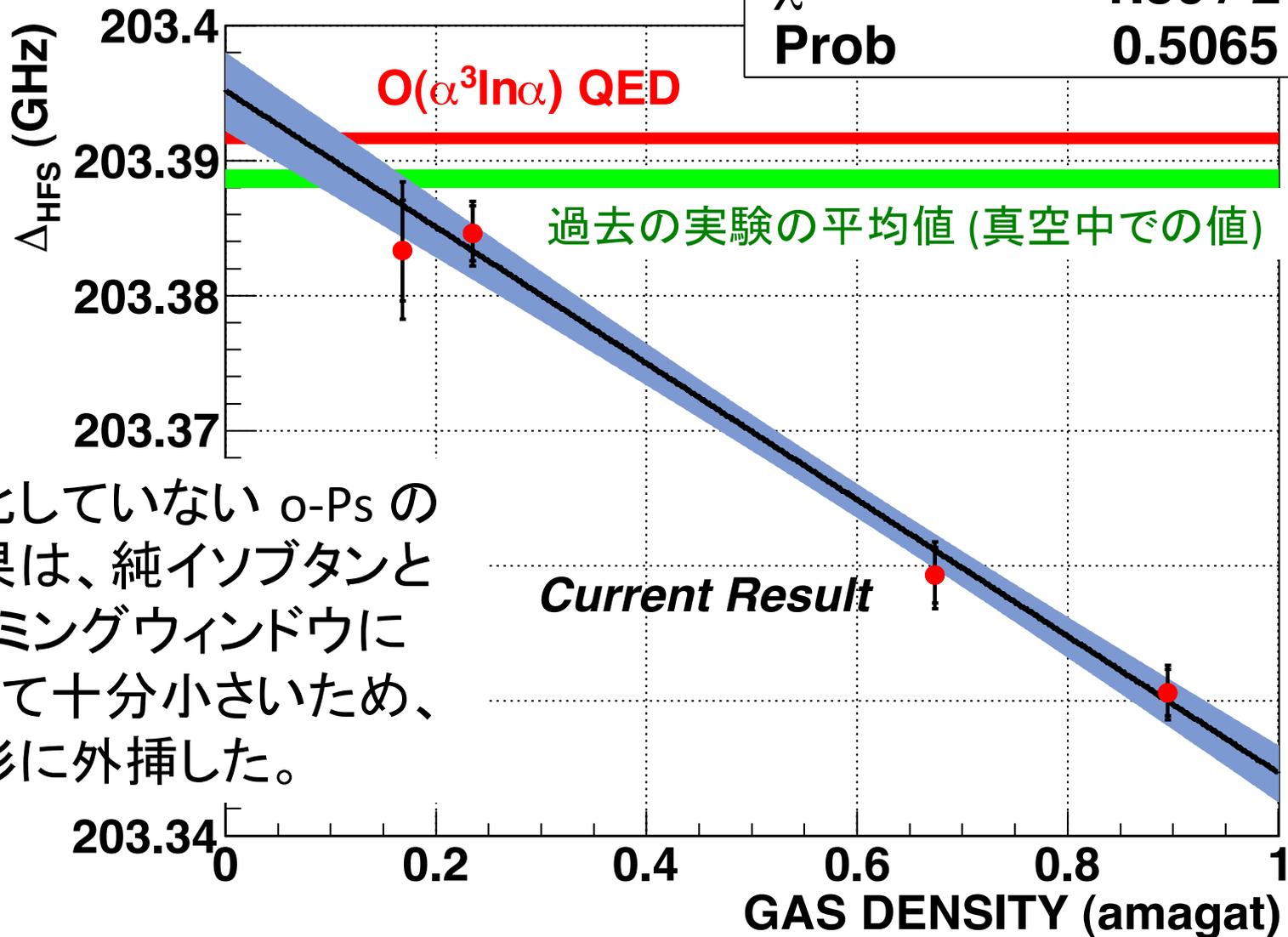


ハミルトニアン  
から求めた  
遷移曲線で  
フィット

$\Delta_{\text{HFS}} = 203.3506(20) \text{ GHz (9.8 ppm)}$  (MC統計, P, Qのエラー含む)  
→ 密度依存性の補正をして、真空での値を求める。

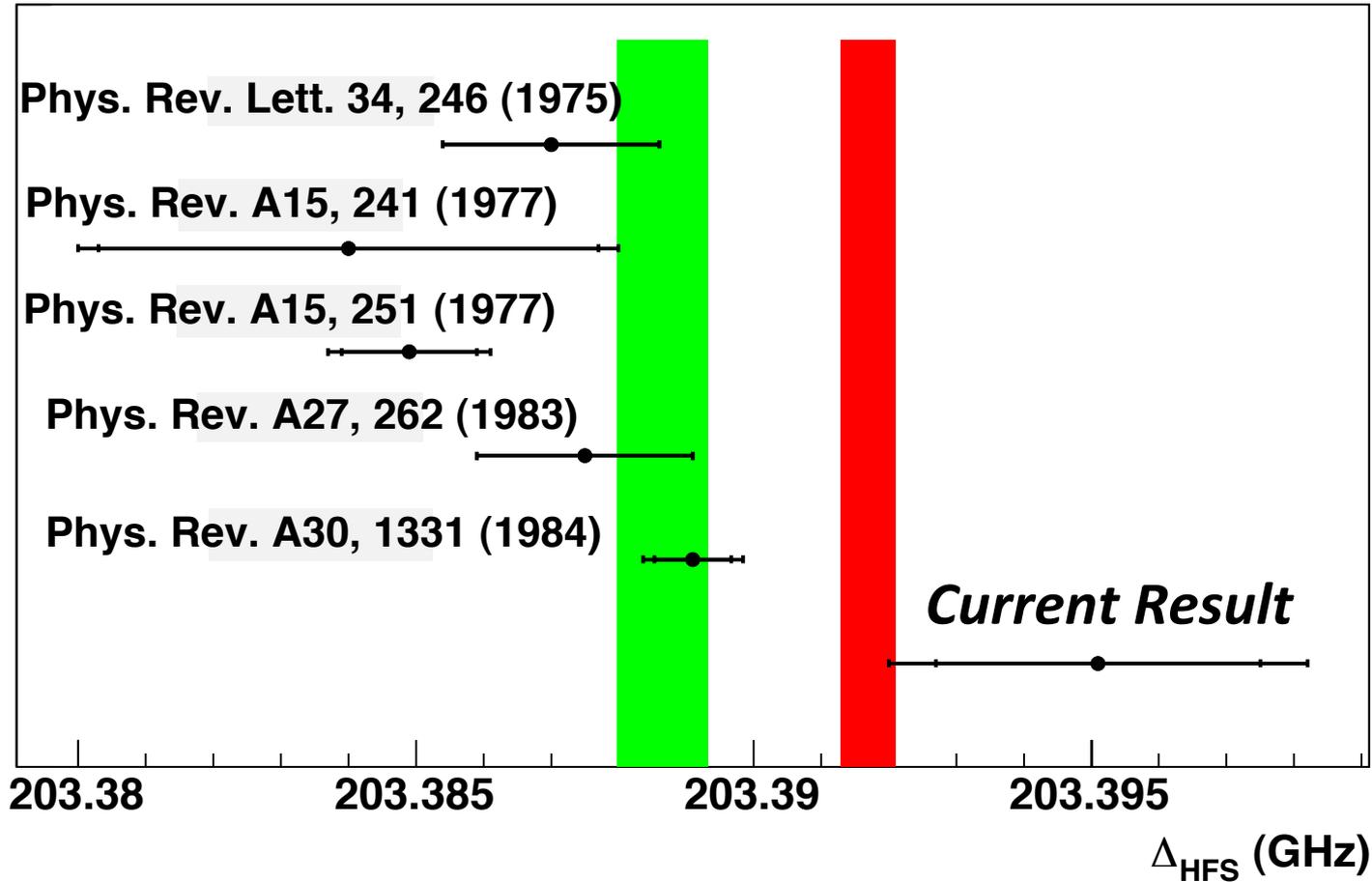
# 圧力 (密度) 依存性

$\chi^2 / \text{ndf}$	1.36 / 2
Prob	0.5065



熱化していない o-Ps の効果は、純イソブタンとタイミングウィンドウによって十分小さいため、線形に外挿した。

# 本測定 of 途中結果



本測定で得られた、超微細構造の途中結果

$$\Delta_{\text{HFS}} = 203.3951 \pm 0.0024 \text{ (stat., 12ppm)} \\ \pm 0.0019 \text{ (sys., 9.5 ppm) GHz}$$

# 系統誤差 (暫定)

系統誤差の要因		大きさ (ppm)
磁場	非一様性	1.8
	補正と再現性	1.0
	NMR測定値	1.0
検出効率	MCを用いた評価	7.0
物質の効果	ポジトロニウムの熱化	3.0
RF	RF パワー	2.9
	RF キャビティの $Q_L$ 値	4.3
	RF周波数	1.0
Quadrature sum		9.5

# 今後の展望

- 物質の効果：現状、HFSがガス圧に線形に依存すると仮定して、真空での値を求めている。熱化していない  $P_s$  の影響が大きいと、線形ではなくなる。過去の  $P_s$  熱化測定 (Skalsey et al.) の値を用いると、イソブタン中での熱化による線形からのずれは、3 ppm 以下と見積もられる。現在、異なる手法によってポジトロニウムの熱化関数を精密に測定中。
- RF：温度管理して0(ppm)を達成。
- 検出効率：現状、モンテカルロ・シミュレーションを用いて評価。実データを基にした評価にし、0(ppm) を達成していく。  
→ ポジトロニウム生成位置の分布など (これから)
- 統計誤差：今のところ 12 ppm

今後1年程度で、  
0(ppm) の精度を達成する。

# まとめ

## 本測定 of 途中結果

$$\text{HFS} = 203.3951 \pm 0.0024 \text{ (stat., 12 ppm)} \\ \pm 0.0019 \text{ (sys., 9.5 ppm)}$$

- 我々の新しい精密測定は、過去の実験において考えられる共通の系統誤差 (磁場の非一様性・ $P_s$  の熱化による効果) を小さくする。
- O(ppm) の結果が1年程度で得られる見込み。これによって HFS のずれの検証を行う。