# 小型ラドン検出器の性能評価及び改良

奈良女子大学
B4青山美嶺　西川愛

# 目次

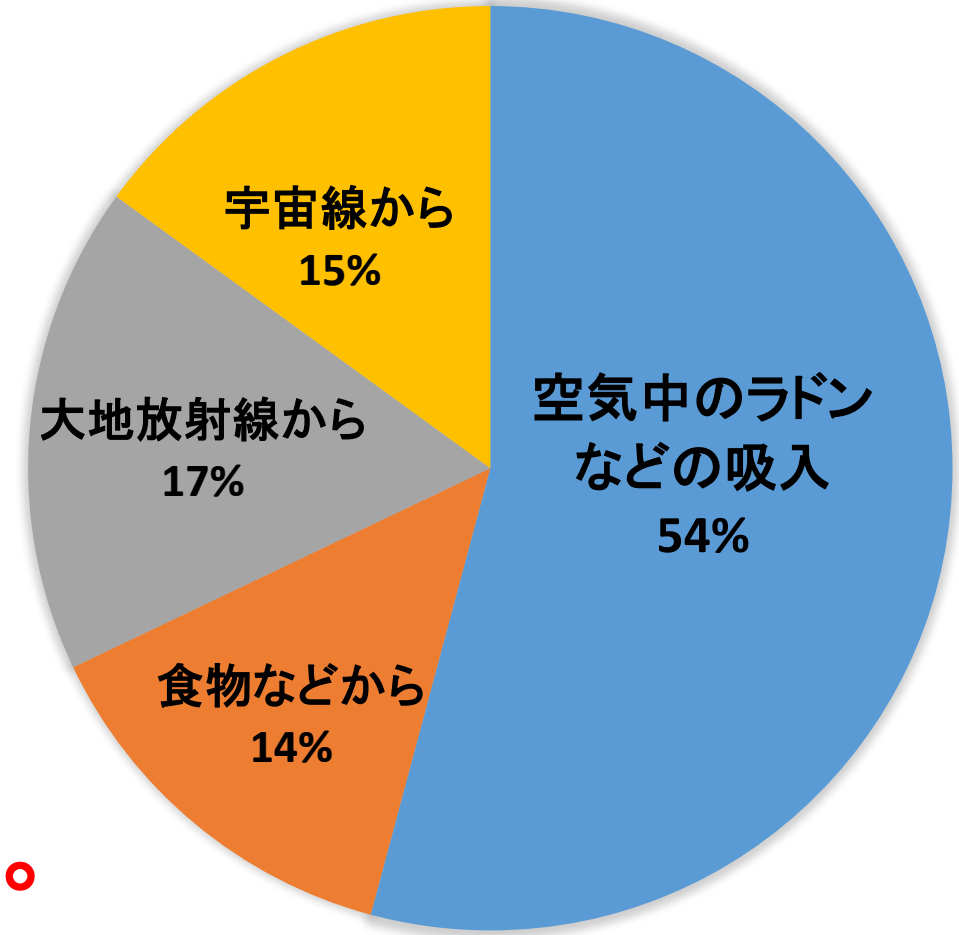
- ラドンについて
- 研究の目的
- 検出原理
- 実験　①ラドンガスの測定
  ②Am線源の測定
- 半減期の導出
- 先行実験との比較
- まとめ
- 今後の展望

# ラドンとは？

- $^{222}Rn$　原子番号は86
- 無味無臭、無色の気体
- 年間被ばく量の約半分がラドンによるもの
- ラドン温泉

**ラドンは身近な放射性物質である。**

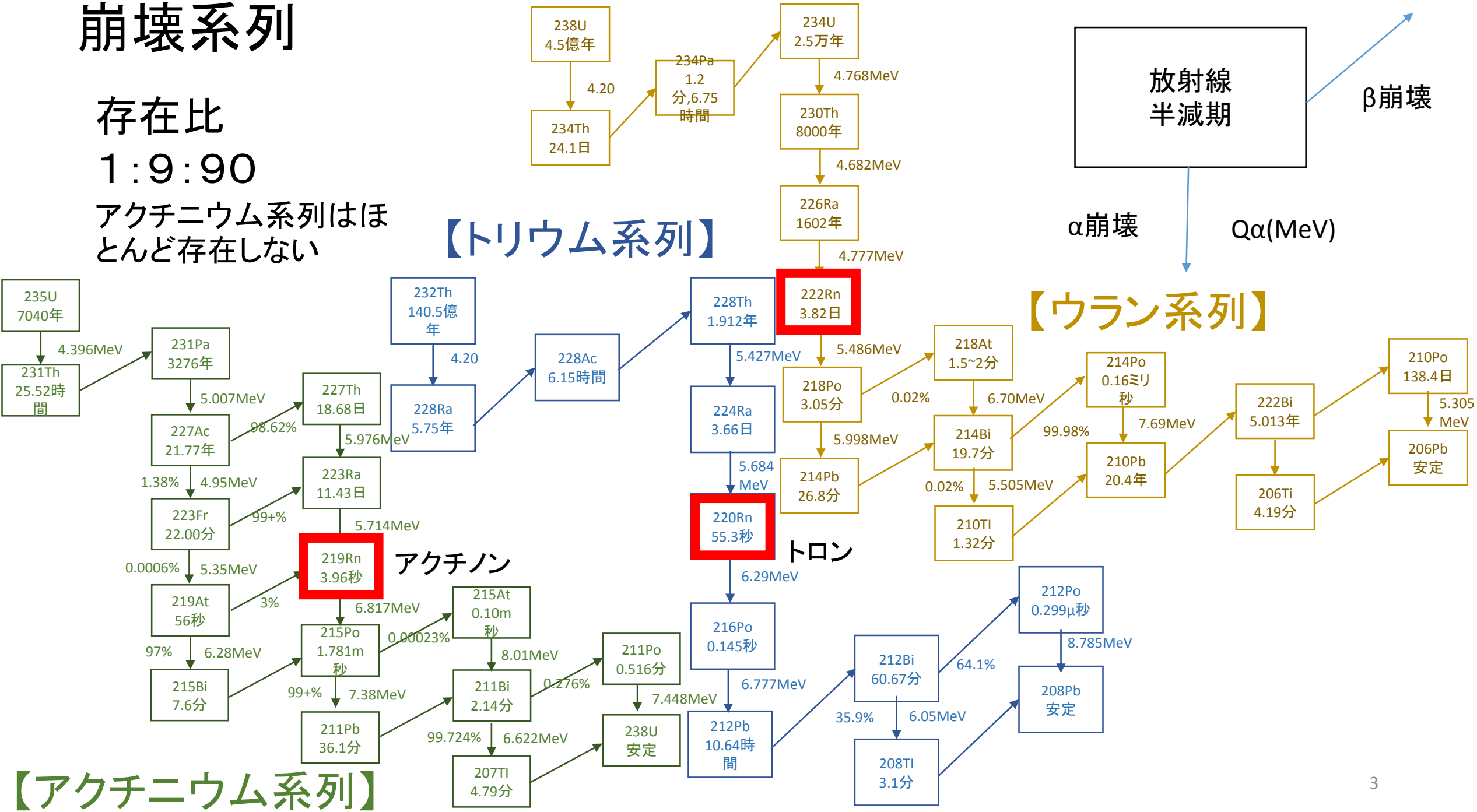
日本人の年間被ばく量2.4mSv



# 崩壊系列

存在比
1:9:90

アクチニウム系列はほとんど存在しない



# 研究目的

- 小型化、安価で入手できるようなラドン検出器を開発

- ラドン検出器の性能評価と改良

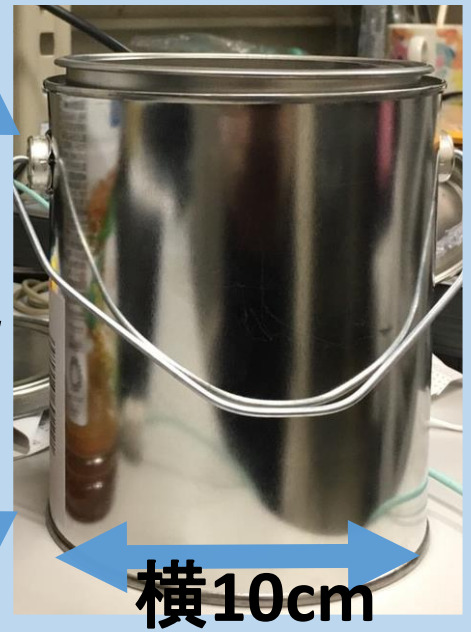
# 目次

- ラドンについて
- 研究の目的
- 検出原理
- 実験　①ラドンガスの測定
  ②Am線源の測定
- 半減期の導出
- 先行実験との比較
- まとめ
- 今後の展望

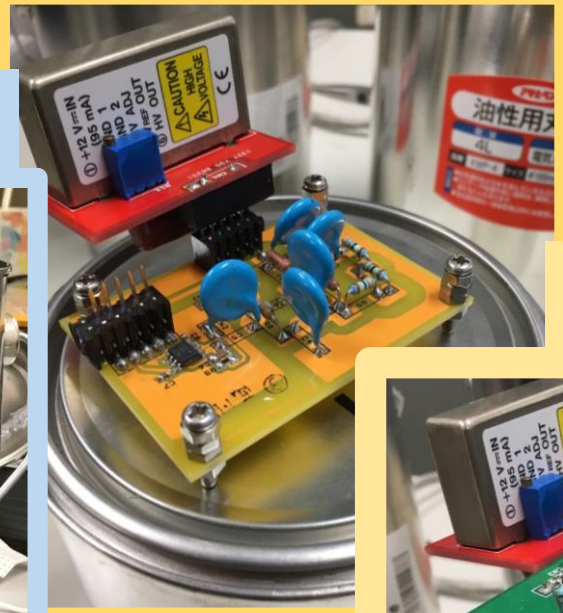
# ラドン検出の全体部

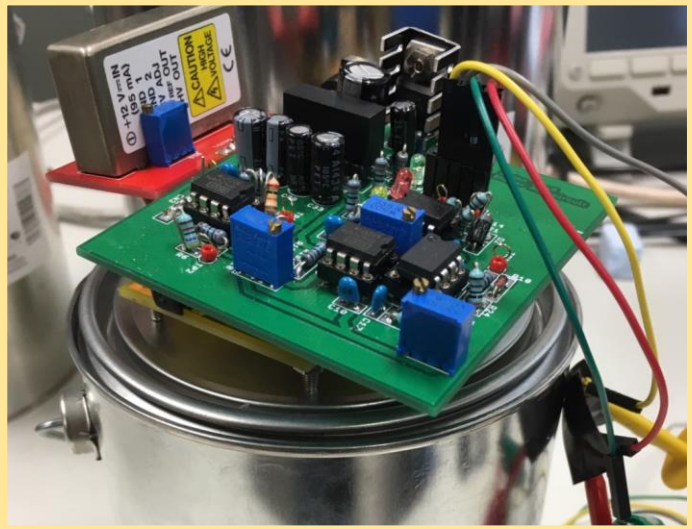
ラドン検出器＋PD → プリアンプ → シェイパーアンプ → Arduino → PC

## ラドン検出部

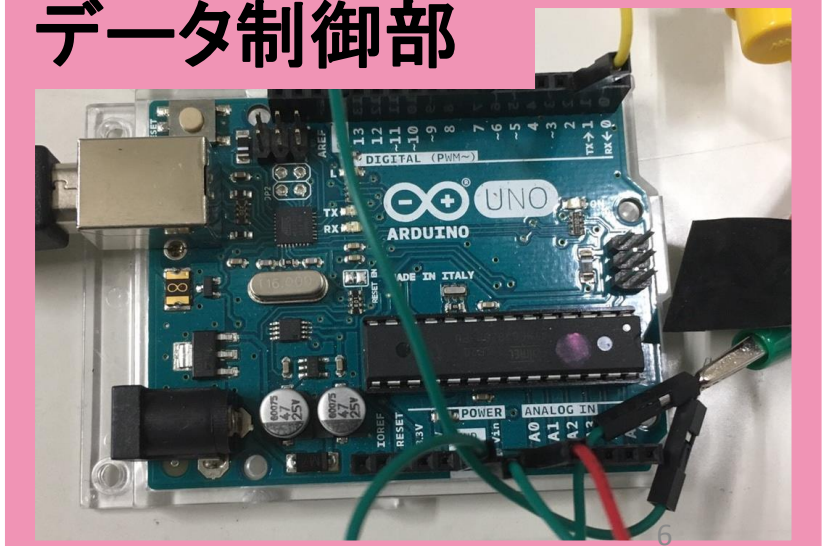



## アナログ部



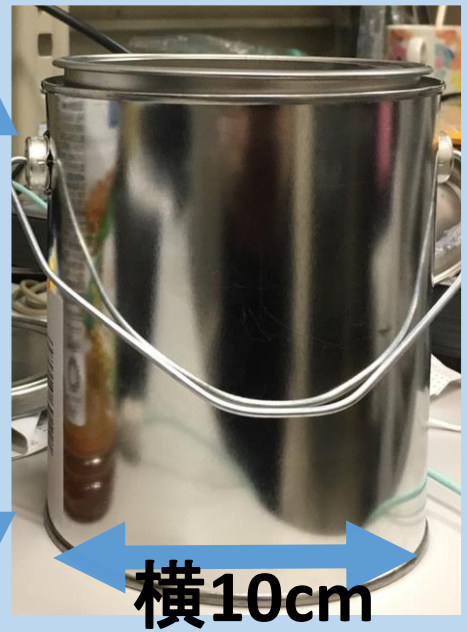

## データ制御部




## データ収集部

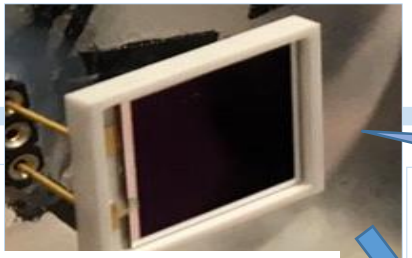
ラドン検出器
＋PD

ラドン検出部



縦13cm

横10cm



横1cm,縦1cm

5.998MeVのα線が入射することによって、
$2.7 \times 10^{-13}(C)$の電荷を作る。

シェイパーアンプ

Arduino

PC

PD(-400V)

$^{218}Po^{+}$

α

$^{214}Po^{+}$

$^{218}Po^{+}$

$^{218}Po^{+}$

$^{218}Po^{+}$

$^{222}Rn$

α

$^{222}Rn$

α

α

$^{222}Rn$

ウランを含む石

静電捕集法
PD表面に負の高電圧をかけ、缶をGNDにし、缶内部に静電場を作ることによって、陽イオンになっているPoをPD表面に効率よく集める。

0V

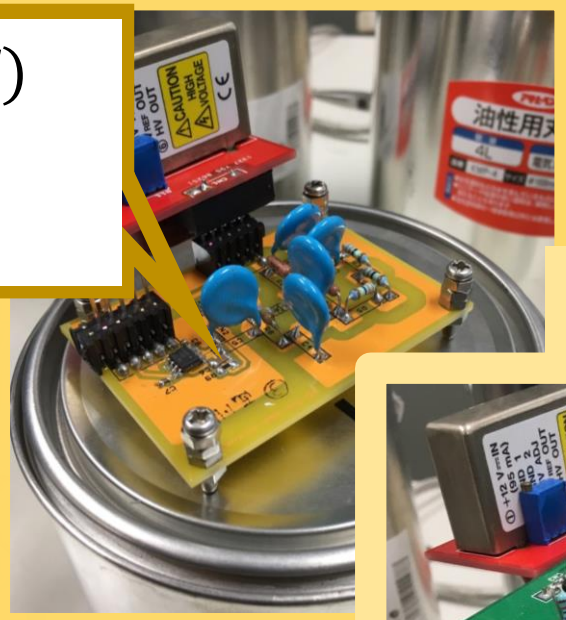
ラドン検出器
＋PD

プリアンプ

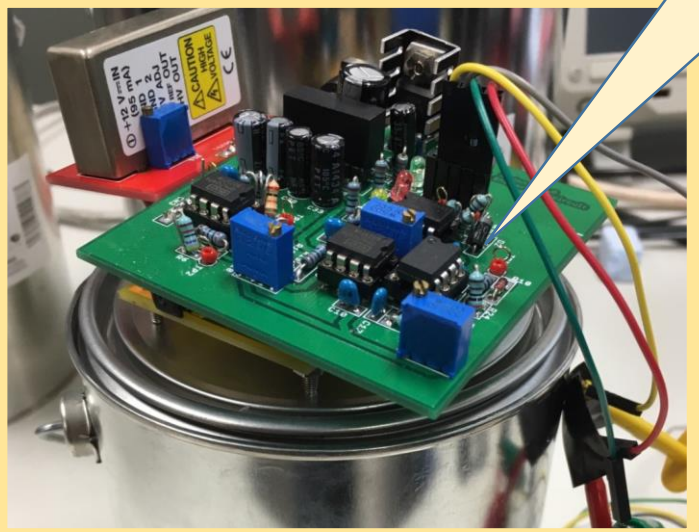
シェイパー
アンプ

Ard

$2.7 \times 10^{-13}(C)$
の電荷を27mVの
電圧に変える。



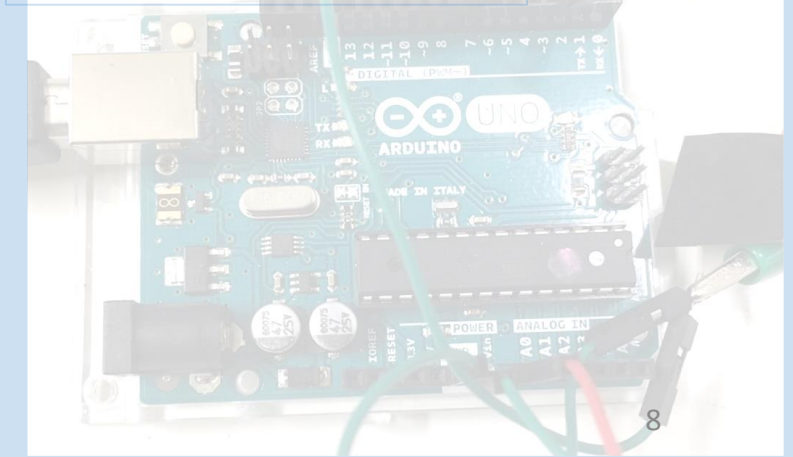
アナログ部



プリアンプからきた
電圧値を増幅し、
ノイズ軽減も行う。
プリアンプからきた
信号を約100倍にして
Arduinoに出力。

縦
13
c
m

横10cm



ラドン検出器
＋PD

プリアンプ

シェイパー
アンプ

Arduino

PC

Arduinoはハードウェア、ソフトウェアともにオープンソースである。
デジタル･アナログ信号の入出力が可能であり、0V～5Vの電圧値を1024chに変換する。
2.7Vは約580chに変換され、PCへ。

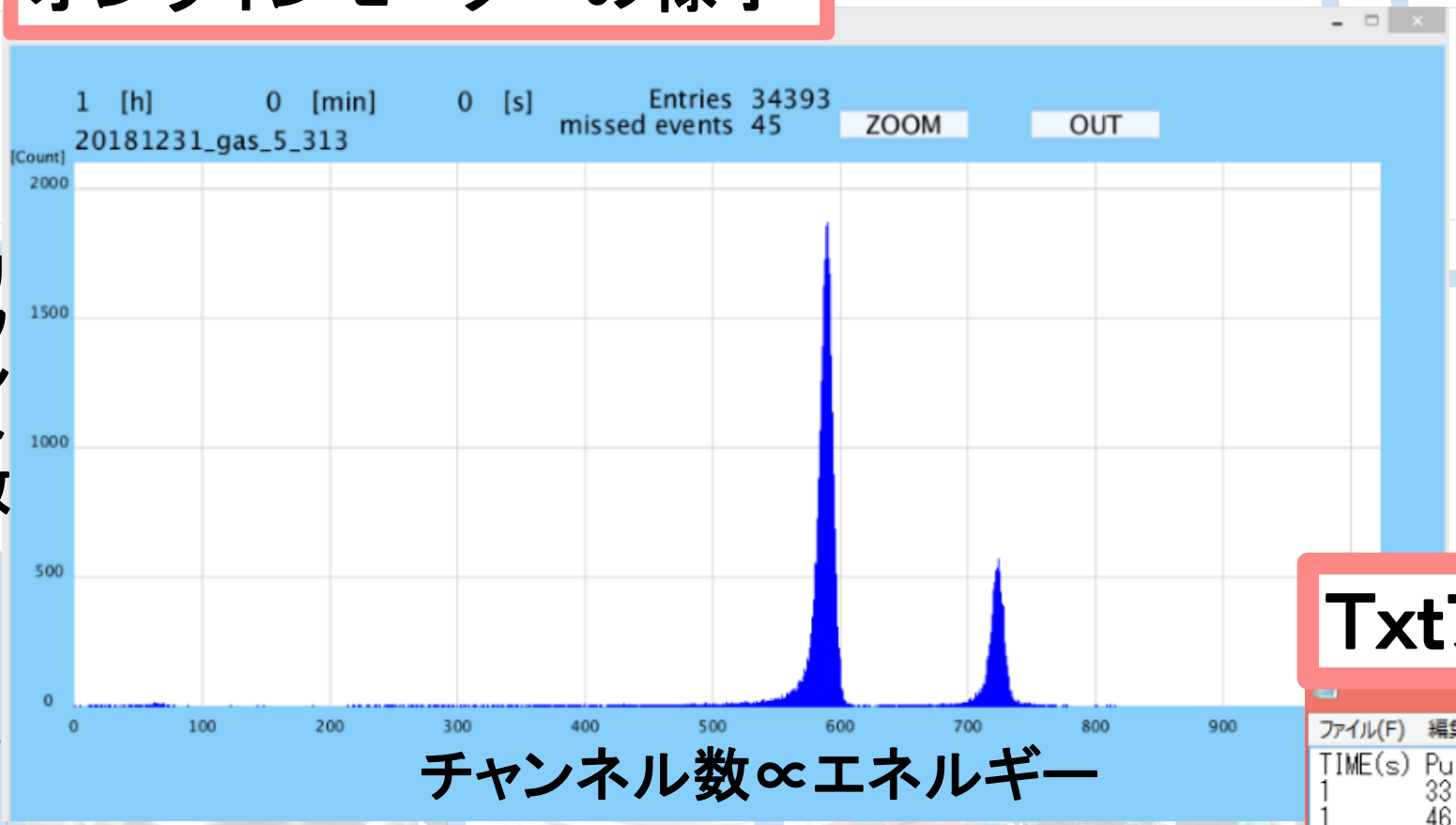
データ収集部

データ制御部


縦
13
cm

横10cm

# オンラインモニターの様子




カウント数

チャンネル数∝エネルギー

縦13cm

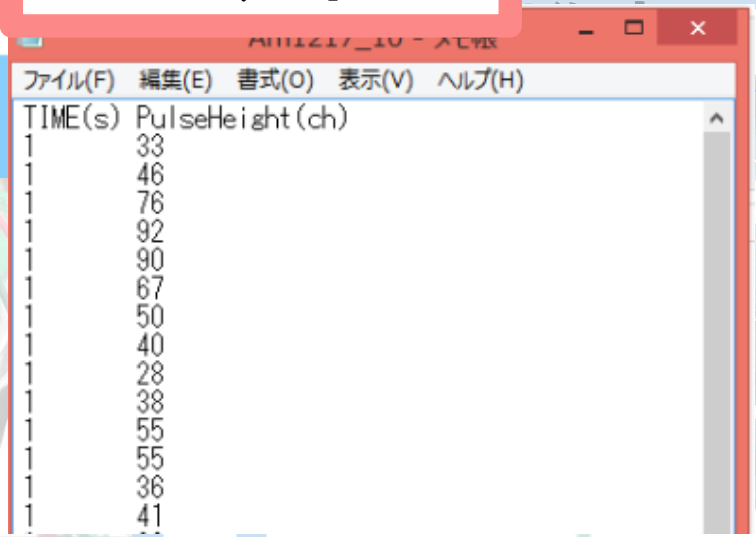
横10cm

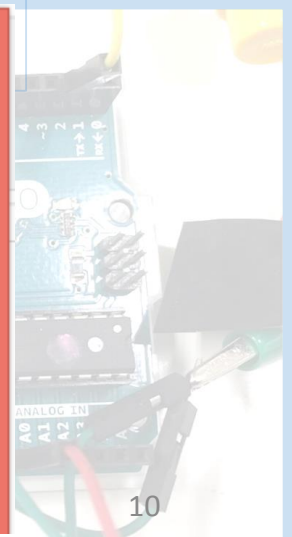
Arduino

PC

データ収集部

Txtファイル



# 目次

- ラドンについて
- 研究の目的
- 検出原理
- 実験　①ラドンガスの測定
　　②Am線源の測定
- 半減期の導出
- 先行実験との比較
- まとめ
- 今後の展望

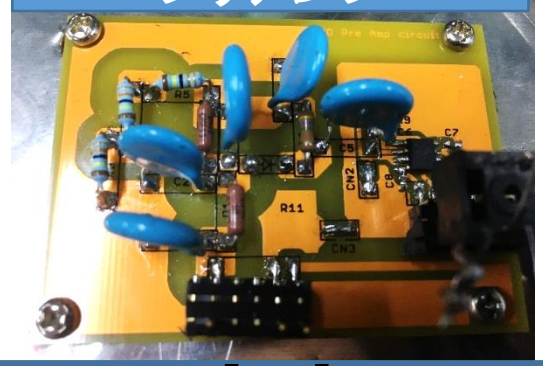
コンセント

シェイパーアンプ

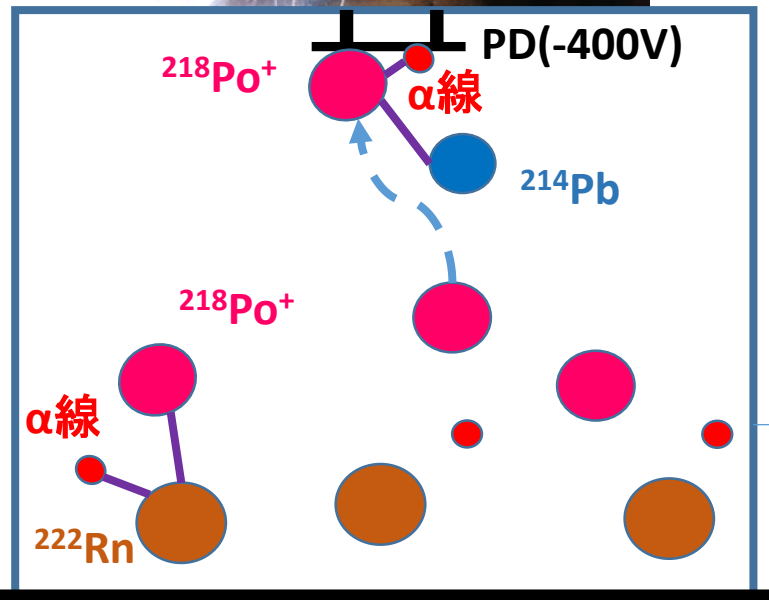
HV

Arduino


プリアンプ



暗幕




PC

→ラドン検出器の全体写真

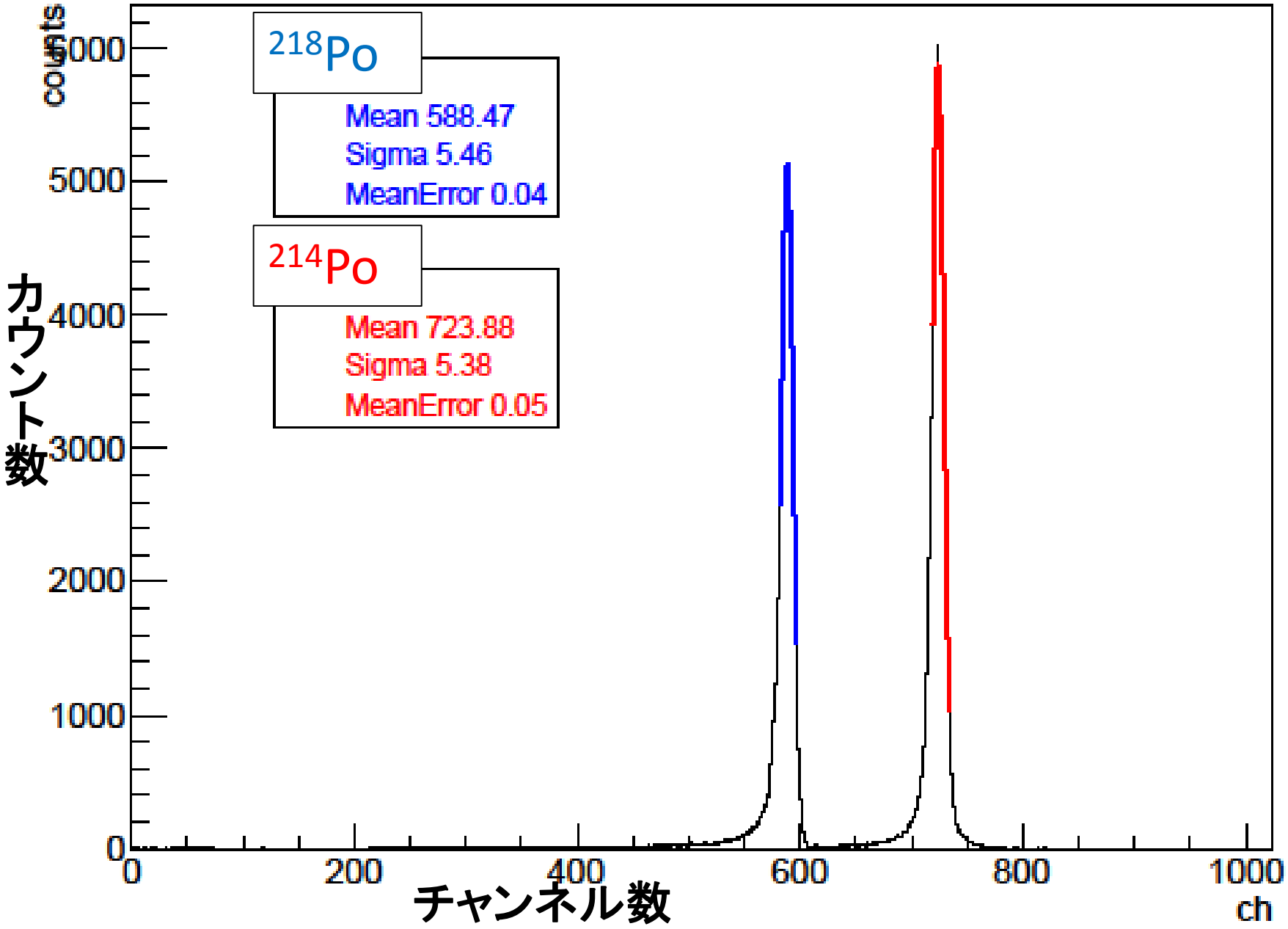
# ラドンガスの測定

DOLL STONEを検出器に入れてラドンガスを充満させ、測定開始時にDOLL STONEを取り除いて測定した。

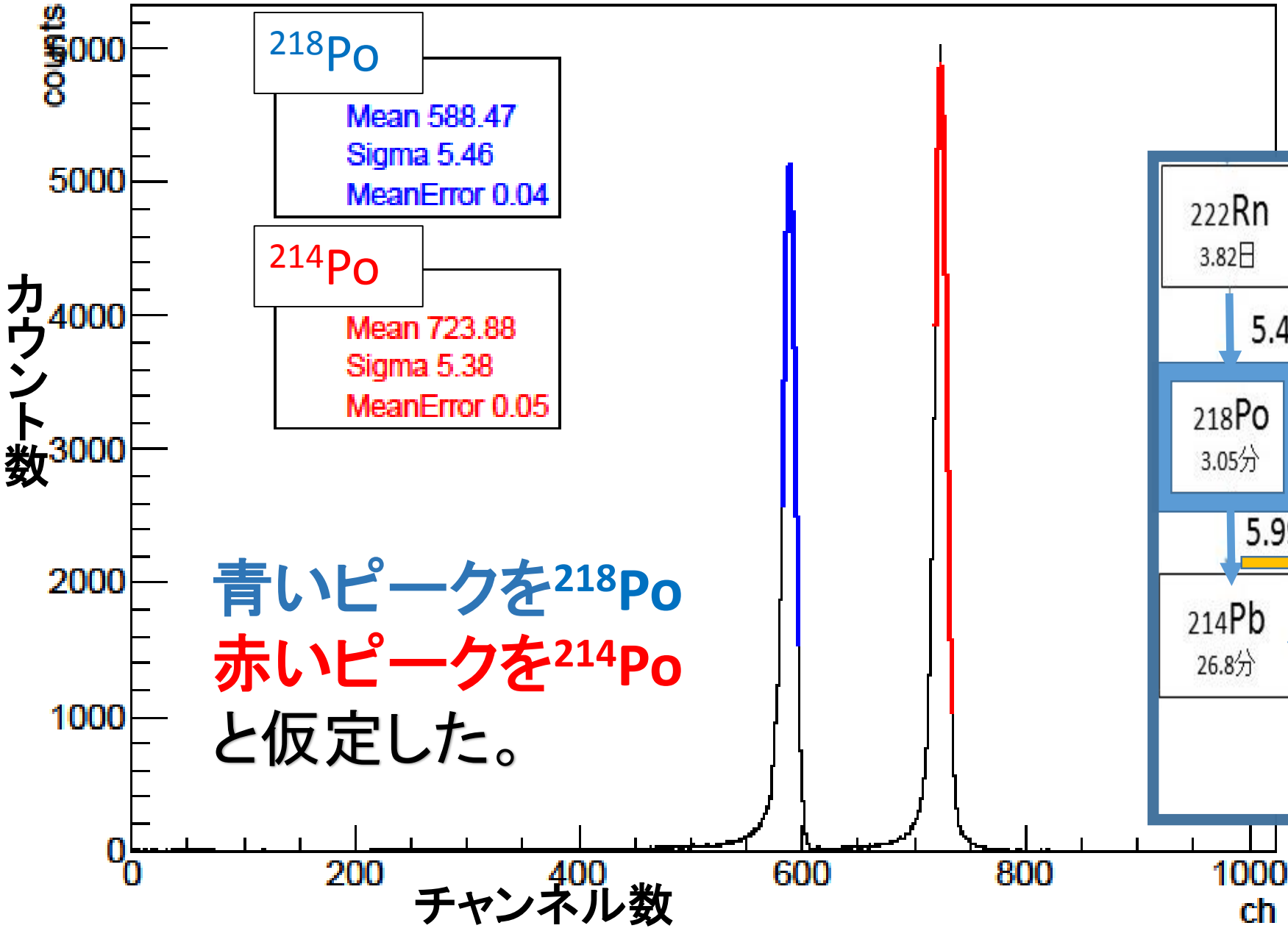

**DOLL STONE**

天然のウランが少し含まれている

# ラドンガスの波高分布


counts
$^{218}$Po
Mean 588.47
Sigma 5.46
MeanError 0.04
$^{214}$Po
Mean 723.88
Sigma 5.38
MeanError 0.05
カウント数
チャンネル数
ch
0
1000
2000
3000
4000
5000
0
200
400
600
800
1000

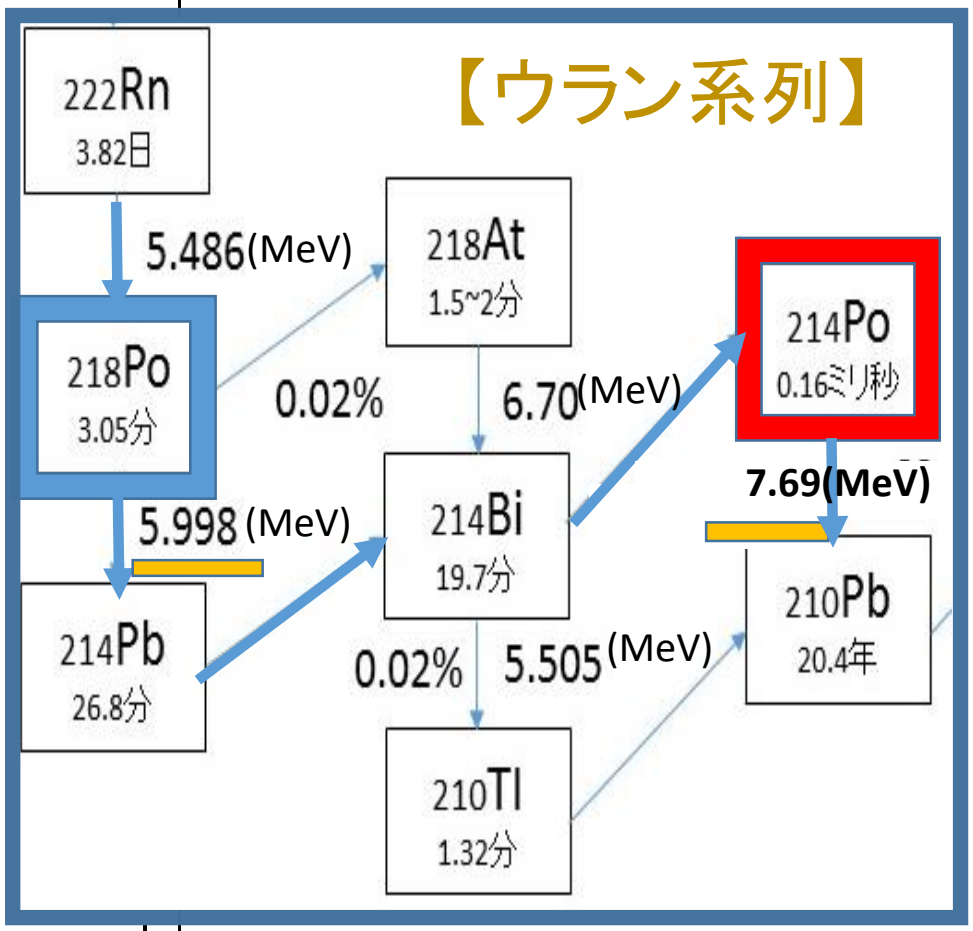
# ラドンガスの波高分布




青いピークを$^{218}$Po

赤いピークを$^{214}$Po

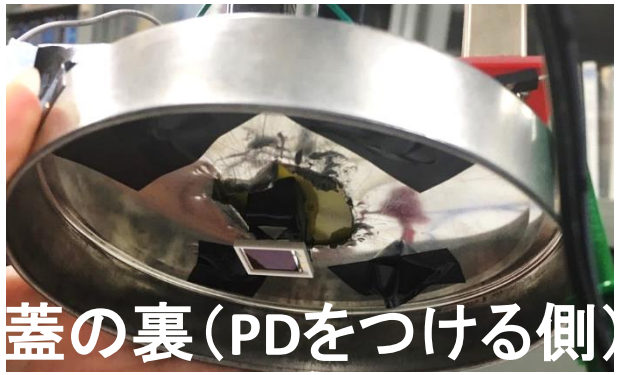
と仮定した。

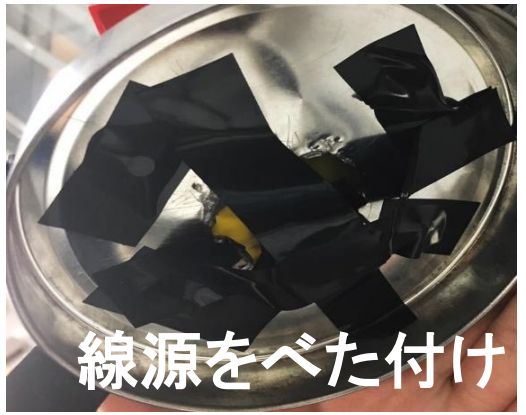


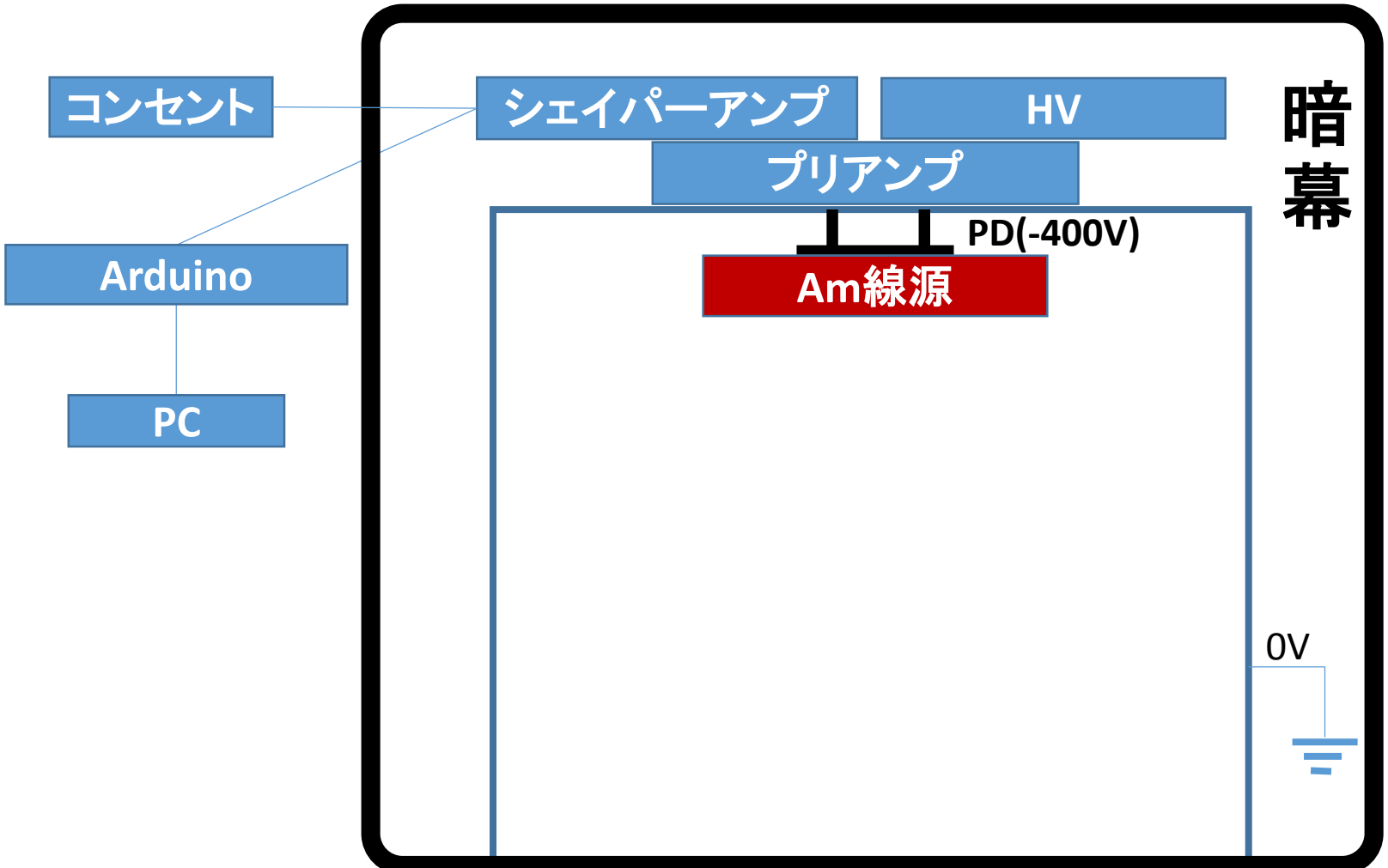
# 目次

- ラドンについて
- 研究の目的
- 検出原理
- 実験　①ラドンガスの測定
  ②Am線源の測定
- 半減期の導出
- 先行実験との比較
- まとめ
- 今後の展望

# Am線源の測定

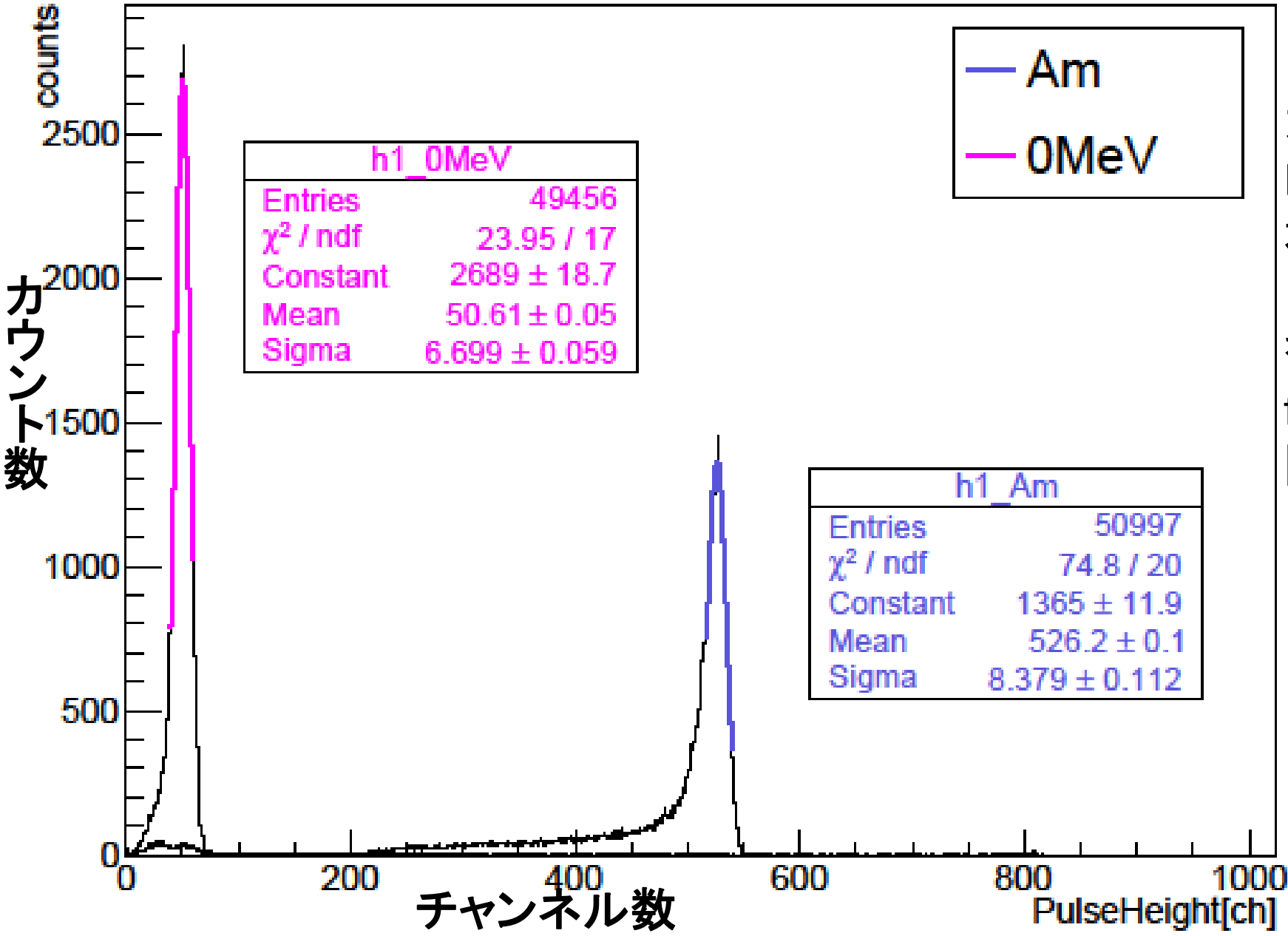




chとエネルギーの関係を調べるため、
線源を用いて0MeV時と線源から出るα線のchを測定。
今回使用した$^{241}$Am線源のα線のエネルギーは密封線源の窓の損失分を考えて5.3MeVであるとした。


使用した$^{241}$Am線源

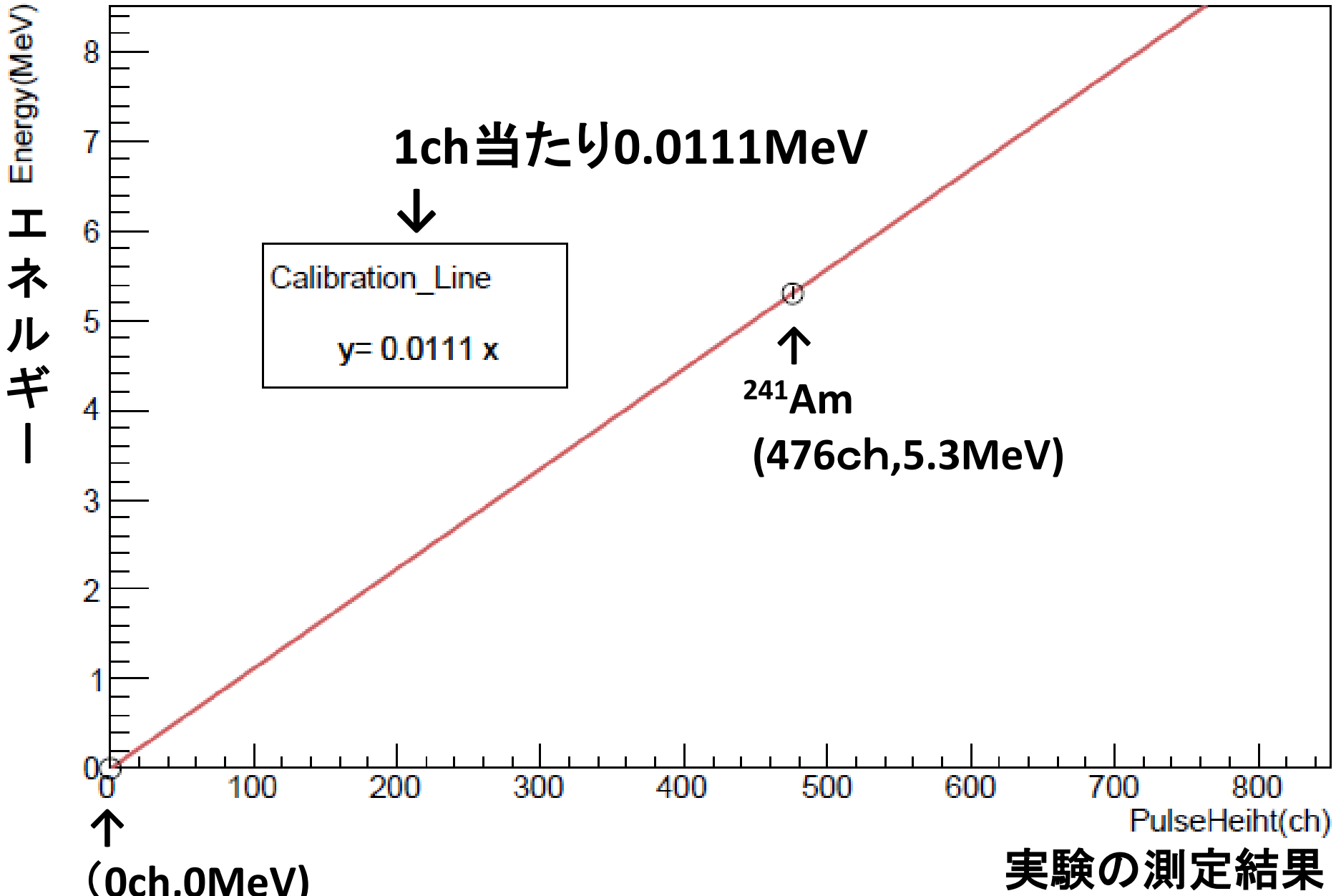
# Am線源測定時の波高分布




左側のピンク色でfitしているヒストグラムが0MeVの、
右側の青色でfitしているヒストグラムがAmのヒストグラムを表している。
fitting 結果とエネルギーの関係は以下のようになる。

| | 0MeV | Am |
|---|---|---|
| エネルギー[MeV] | 0.0 | 5.3 |
| 対応するch | 50.61 | 526.2 |
| 対応するchの誤差 | 0.05 | 0.1 |

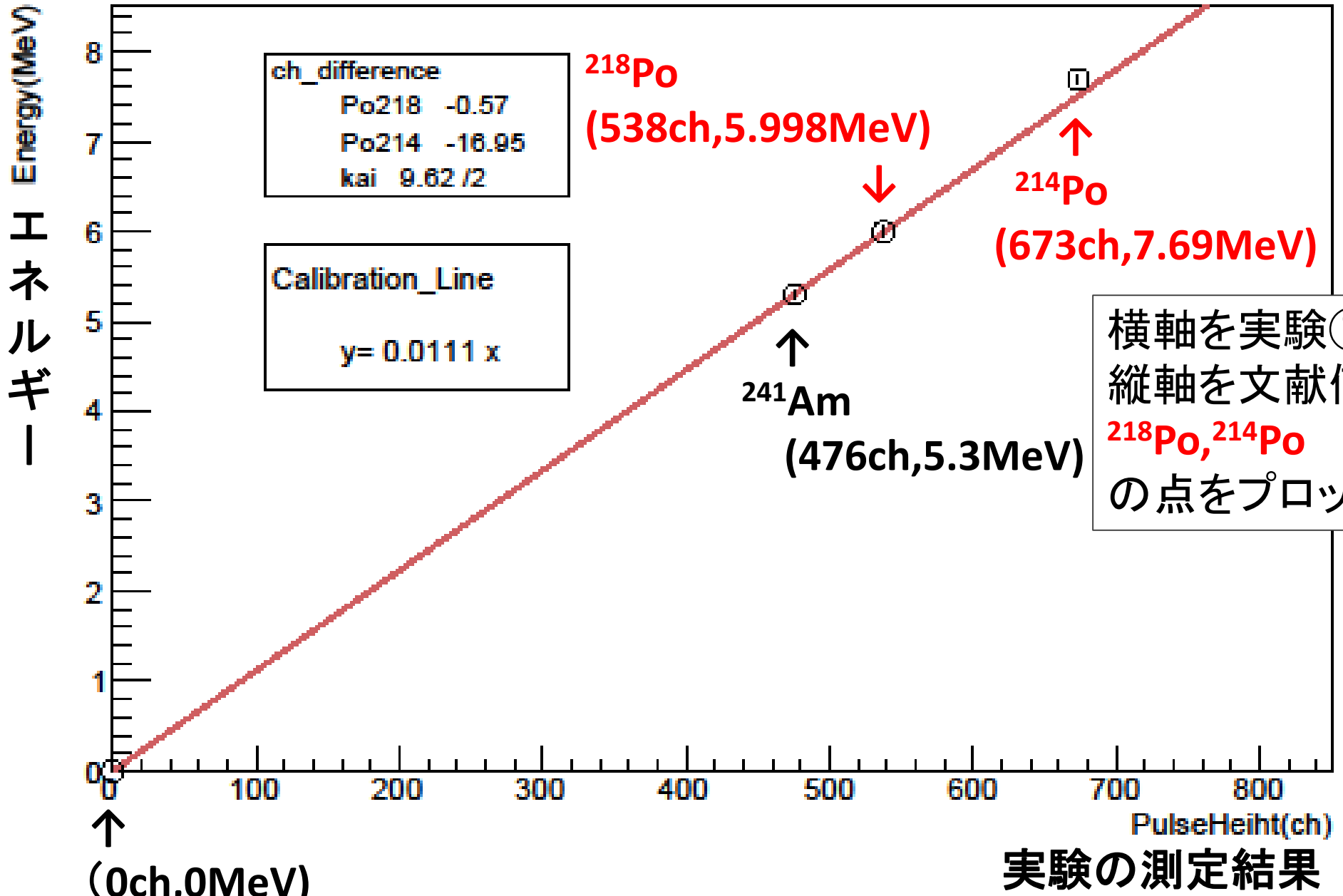
# Am較正直線との比較




実験の測定結果

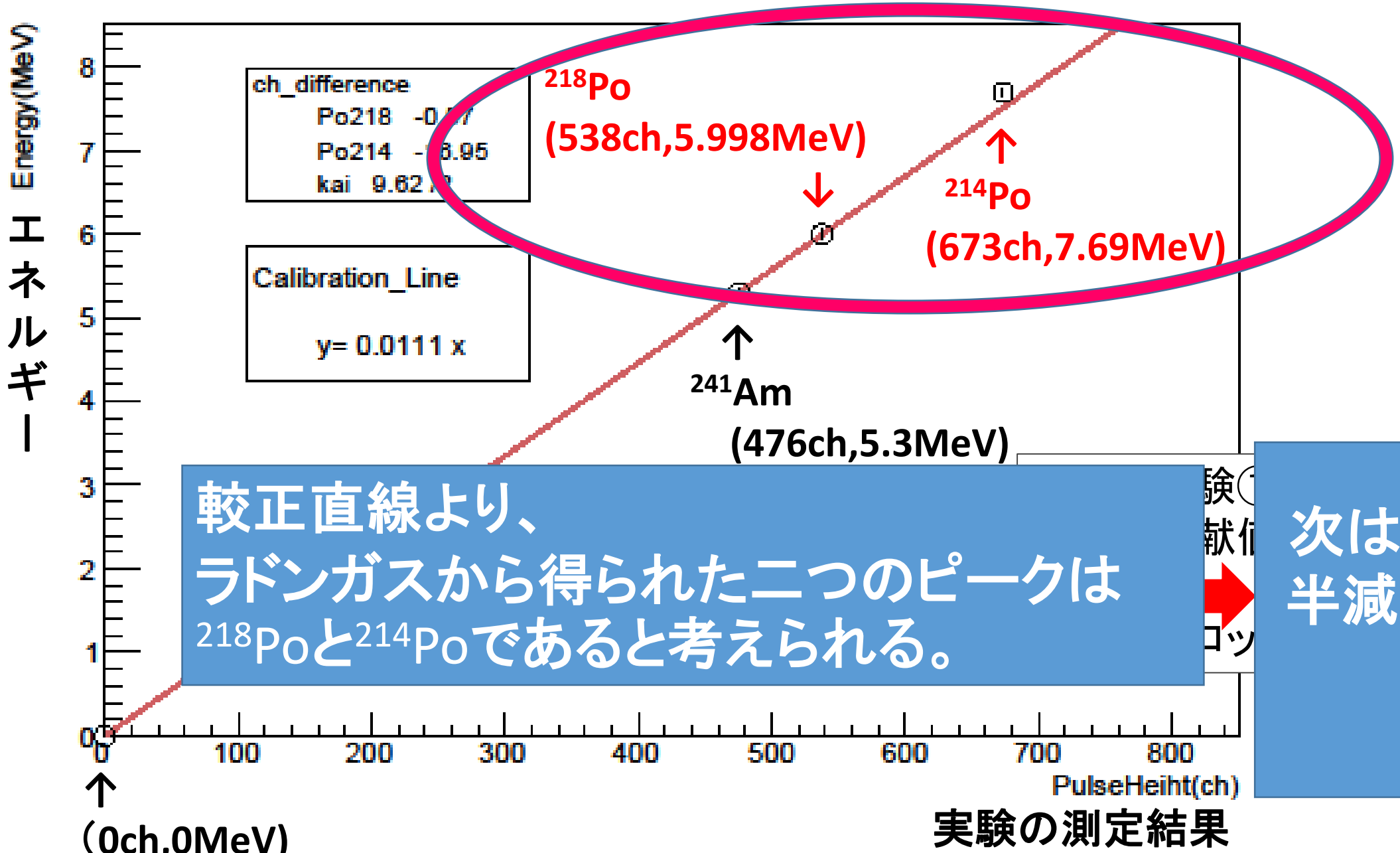
二点を用い
較正直線を引いた。

# Am較正直線との比較




横軸を実験①で求めたch、
縦軸を文献値のエネルギーにして
$^{218}$Po,$^{214}$Po
の点をプロットした。

# Am較正直線との比較



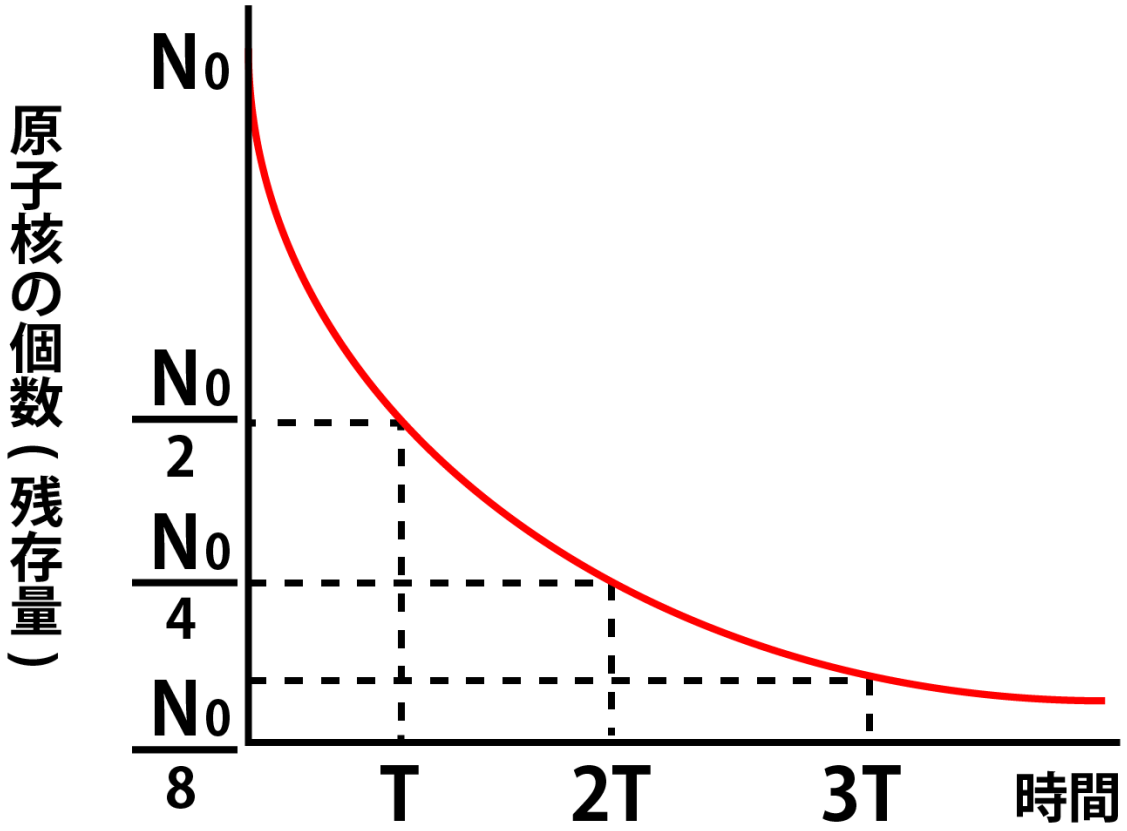

較正直線より、
ラドンガスから得られた二つのピークは
$^{218}$Poと$^{214}$Poであると考えられる。

次はそれらの
半減期を求める。

# 目次

- ラドンについて
- 研究の目的
- 検出原理
- 実験　①ラドンガスの測定
  ②Am線源の測定
- 半減期の導出
- 先行実験との比較
- まとめ
- 今後の展望

# 崩壊定数




半減期がTの原子核が$N_0$個あるとすると、

$$N(t) = N_0\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} \quad (1)$$

崩壊定数とは単位時間当たりに放射性原子核が崩壊する確率のことであり、

微小時間dtの間に崩壊する核の個数dN(t)は、崩壊定数λを用いて

$$dN(t) = -\lambda N(t)dt \quad \text{であり、}$$

微分方程式を解くと

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

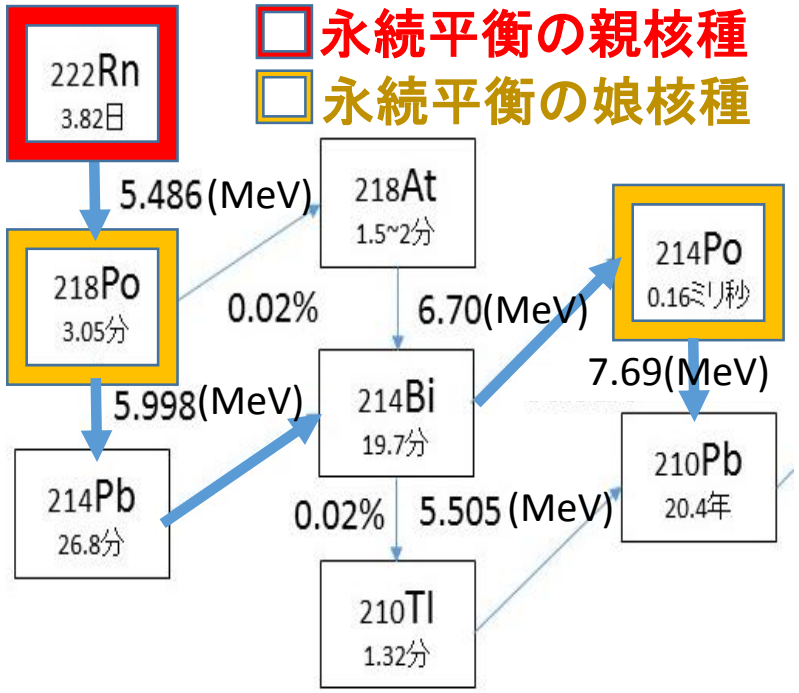
よって(1),(2)より　　$\lambda T = \ln 2$

**→崩壊定数がわかれば半減期が求まる!!!**

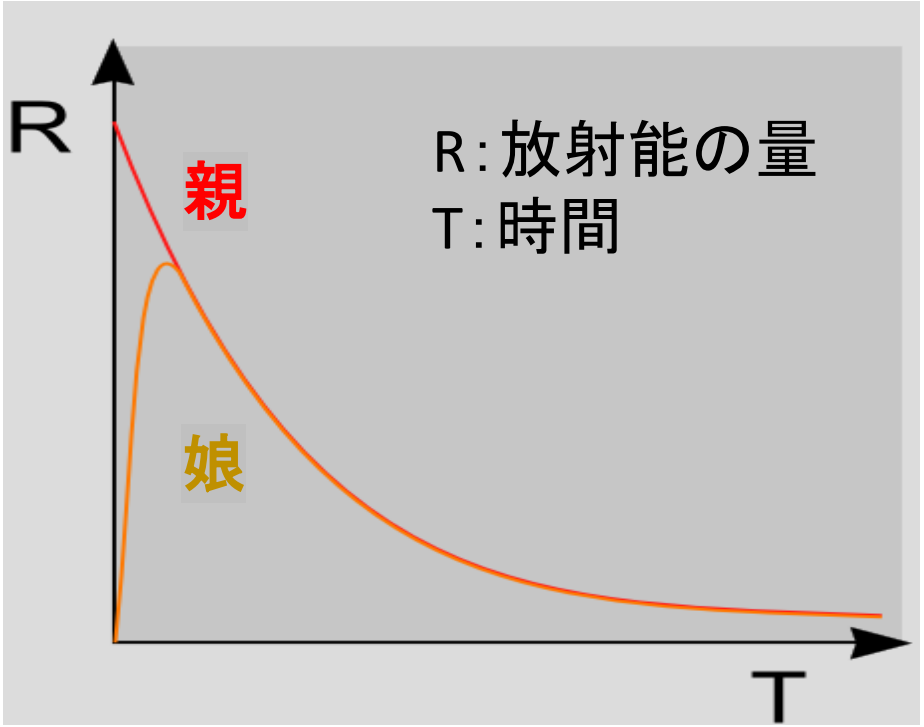
# 永続平衡

**親核種が娘核種より半減期が非常に長ければ…**

親核種の崩壊が娘核種の量を決めるために、
親核種の放射能量と娘核種の放射能量は等しくなり、
親核種の半減期カーブに沿って時間とともに減衰していく。
このことを**永続平衡**という。




| 名前 | T(半減期) |
|---|---|
| $^{222}$Rn(親) | 3.82日 |
| $^{218}$Po(娘) | 3.05分 |
| $^{214}$Po(娘) | $1.6\times 10^{-4}$秒 |

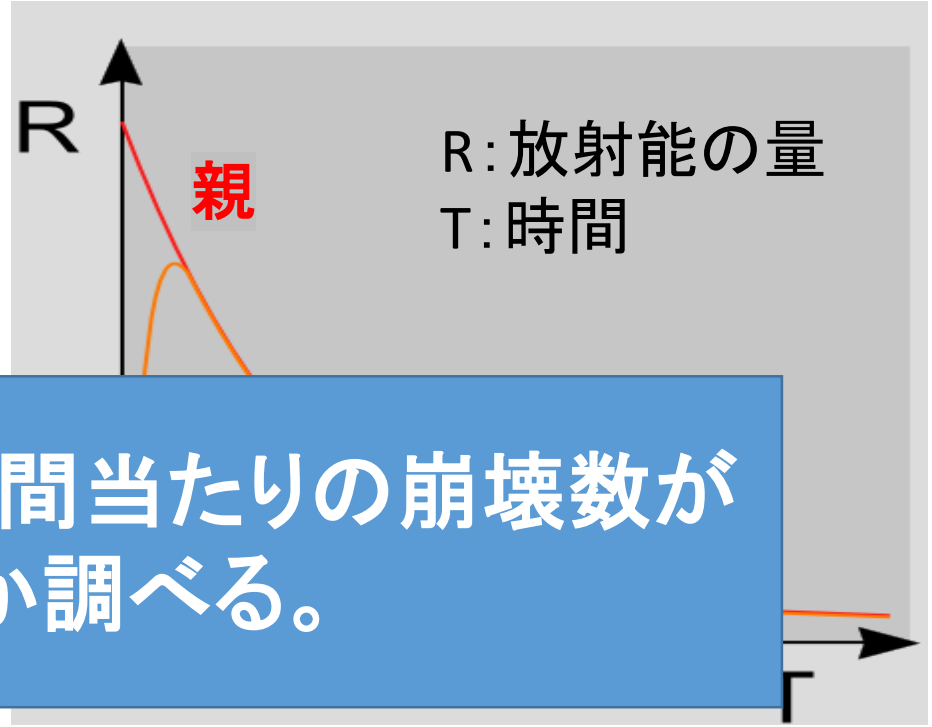



**$^{222}$Rnと二つのPoは永続平衡の関係になっている！！**

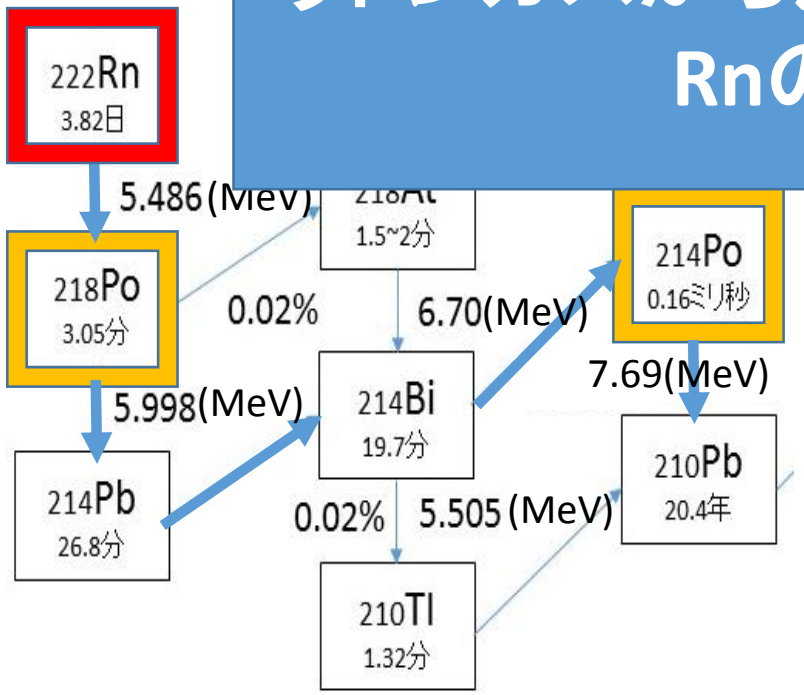
# 永続平衡

**親核種が娘核種より半減期が非常に長ければ…**

親核種の崩壊が娘核種の量を決めるために、
親核種の放射能量と娘核種の放射能量は等しくなり、
親核種の半減期カーブに沿って時間とともに減衰していく。
このことを



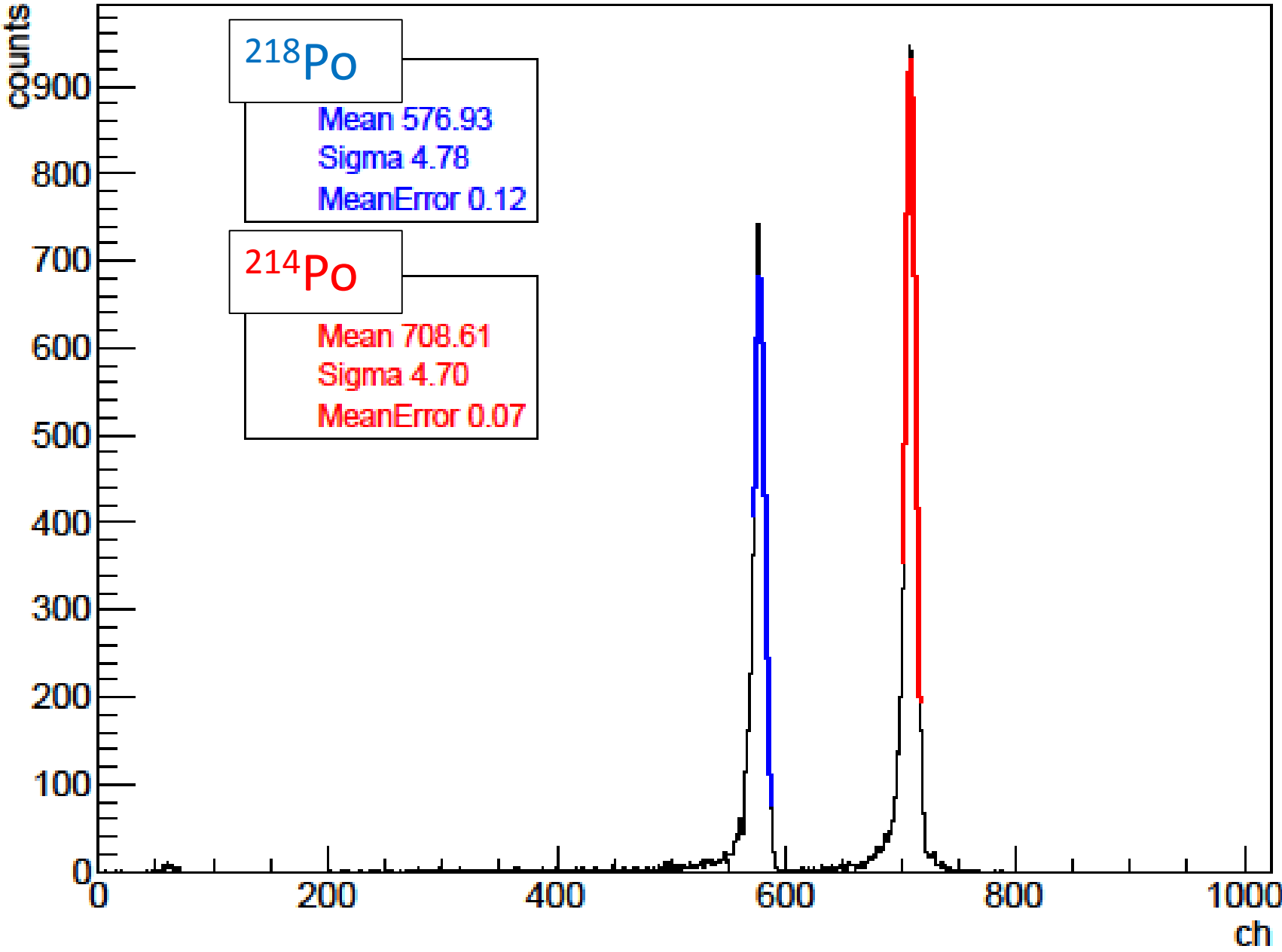

**ラドンガスから測定したPoの単位時間当たりの崩壊数がRnの半減期と一致するか調べる。**




| | |
|---|---|
| $^{222}$Rn（親） | 3.82日 |
| $^{218}$Po（娘） | 3.05分 |
| $^{214}$Po（娘） | $1.6\times 10^{-4}$秒 |

**$^{222}$Rnと二つのPoは永続平衡の関係になっている！！**

# ラドンガスの波高分布




# 半減期測定

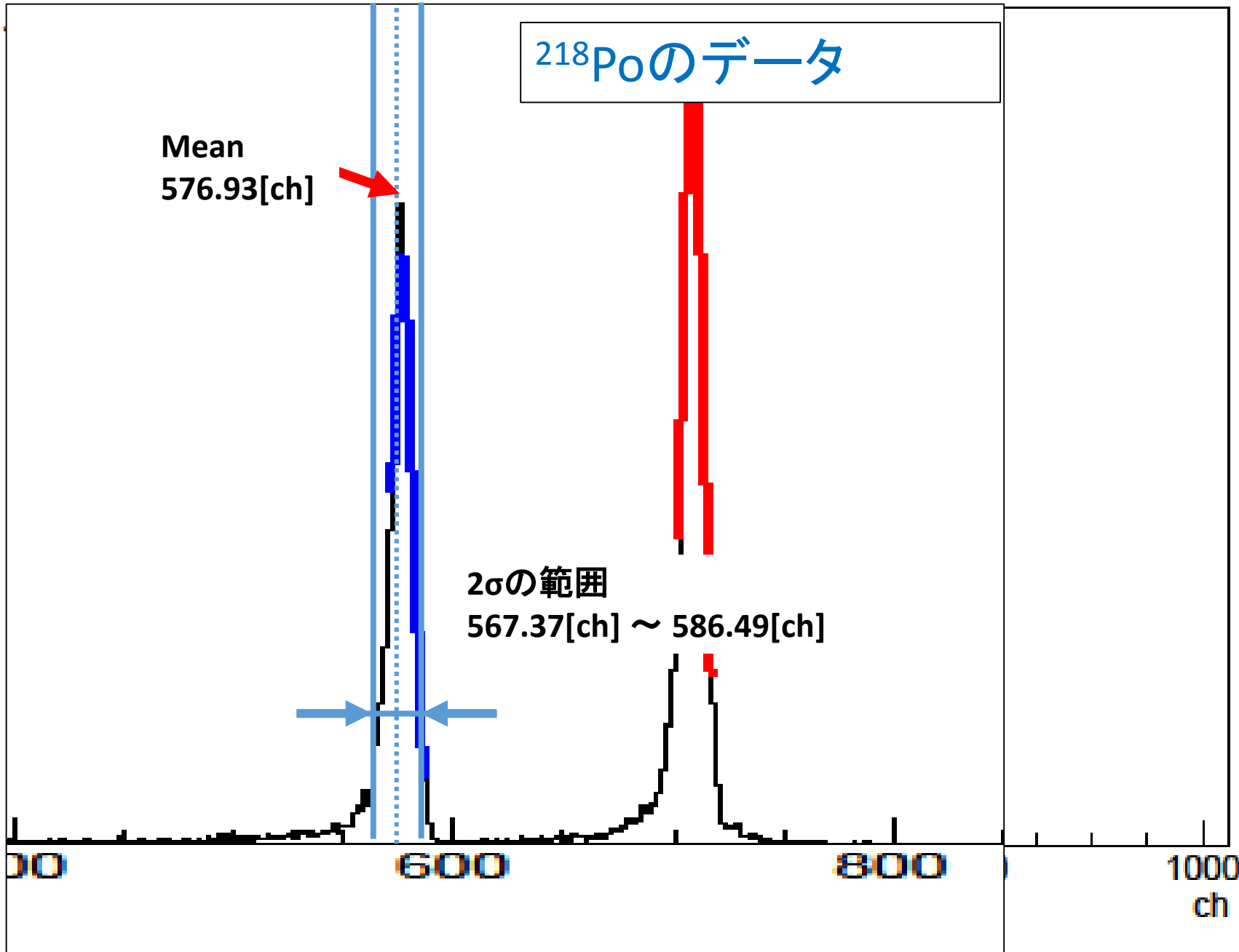
$^{218}Po$,$^{214}Po$のそれぞれの単位時間当たりの崩壊数を調べるために、

ピークから2σの範囲に入っているデータをそれぞれ$^{218}Po$,$^{214}Po$として、
単位時間ごとにいくつ検出しているかを調べる。

| | Mean | σ |
|---|---|---|
| $^{218}Po$ | 576.93 | 4.78 |
| $^{214}Po$ | 708.61 | 4.70 |

※先行実験検出器での測定データ

# ラドンガスの波高分布




# 半減期測定

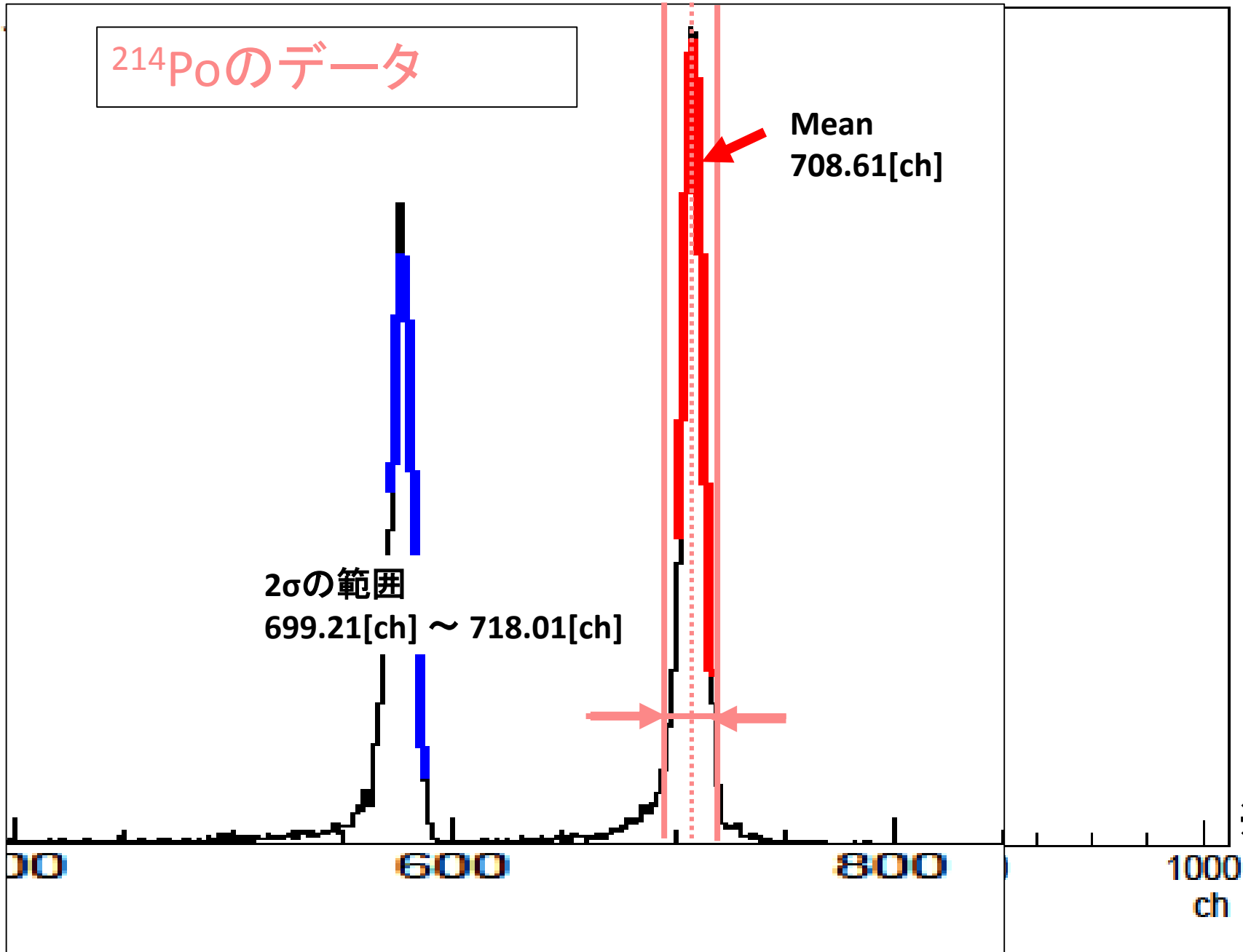
$^{218}$Po,$^{214}$Poのそれぞれの単位時間当たりの崩壊数を調べるために、

ピークから2σの範囲に入っているデータをそれぞれ$^{218}$Po,$^{214}$Poとして、
単位時間ごとにいくつ検出しているかを調べる。

| | Mean | σ |
|---|---|---|
| $^{218}$Po | 576.93 | 4.78 |
| $^{214}$Po | 708.61 | 4.70 |

※先行実験検出器での測定データ

# ラドンガスの波高分布




# 半減期測定

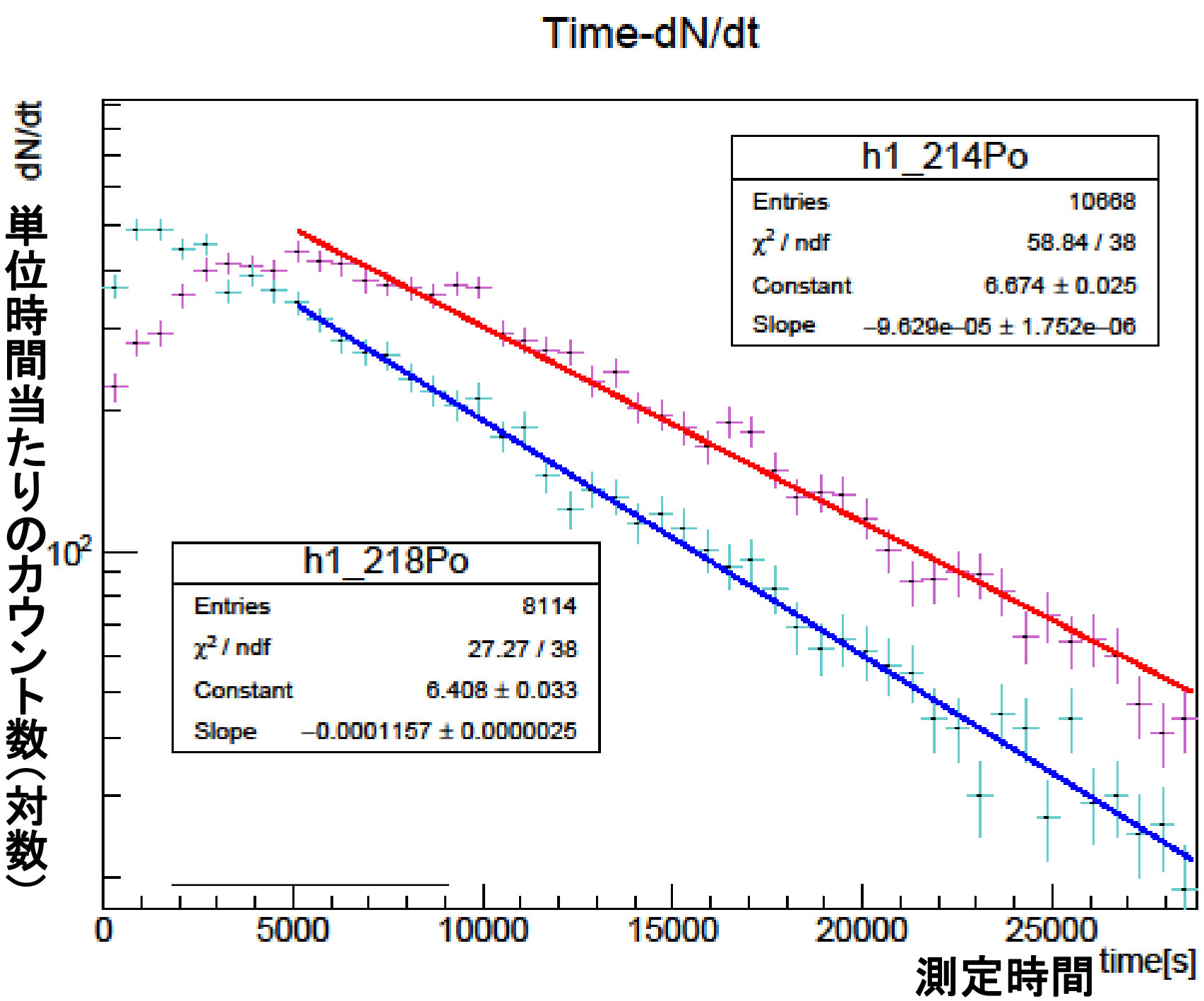
$^{218}Po$,$^{214}Po$のそれぞれの単位時間当たりの崩壊数を調べるために、

ピークから2σの範囲に入っているデータをそれぞれ$^{218}Po$,$^{214}Po$として、
単位時間ごとにいくつ検出しているかを調べる。

| | Mean | σ |
|---|---|---|
| $^{218}Po$ | 576.93 | 4.78 |
| $^{214}Po$ | 708.61 | 4.70 |

※先行実験検出器での測定データ

# 半減期測定結果




指数関数でfitしており、

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\log N(t) = \log N_0 - \lambda t$$

より、

fit線の傾きの大きさが崩壊定数λとなり、

λT＝ln2より

崩壊定数がわかれば半減期が求まる!!

| | 崩壊定数 λ[/s] | 半減期 [day] |
|---|---|---|
| 文献値 $^{222}$Rn | $2.09 \times 10^{-6}$ | 3.82 |
| $^{218}$Po | $1.157 \times 10^{-4}$ $\pm 2.5 \times 10^{-6}$ | 0.069± 0.001 |
| $^{214}$Po | $9.629 \times 10^{-5}$ $\pm 1.752 \times 10^{-6}$ | 0.083± 0.002 |

# 半減期測定結果

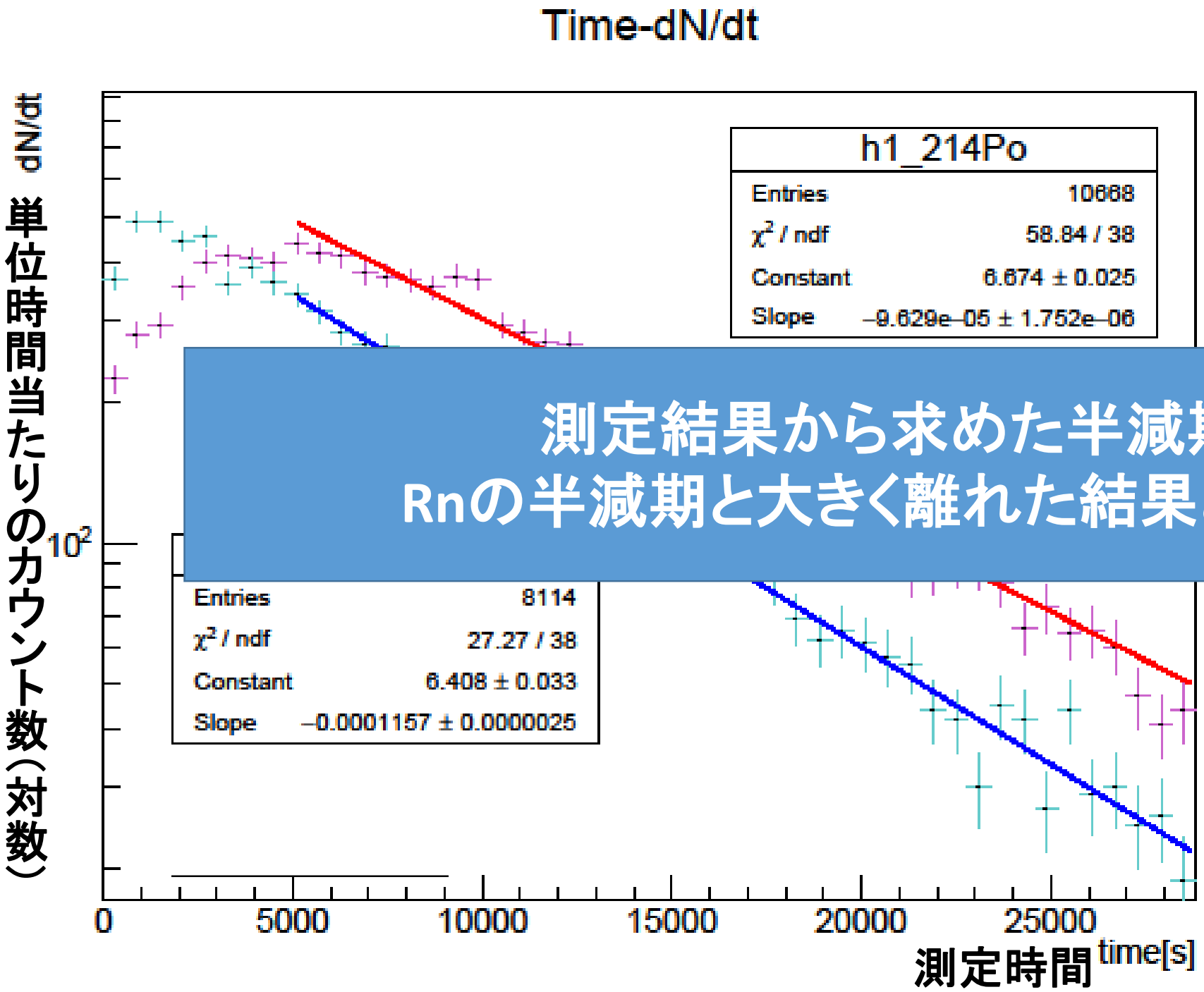
指数関数でfitしており、

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\log N(t) = \log N_0 - \lambda t$$

より、

fit線の傾きの大きさが



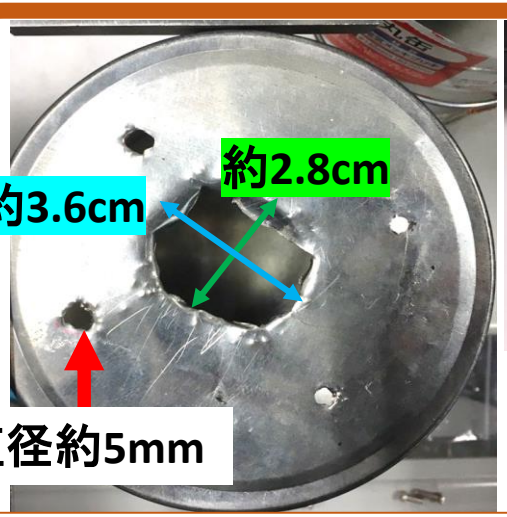

**測定結果から求めた半減期は**
**Rnの半減期と大きく離れた結果となった。**

| | 崩壊定数 λ[/s] | 半減期 [day] |
|---|---|---|
| 文献値 $^{222}$Rn | $2.09 \times 10^{-6}$ | 3.82 |
| $^{218}$Po | $1.157 \times 10^{-4}$ $\pm 2.5 \times 10^{-6}$ | 0.069± 0.001 |
| $^{214}$Po | $9.629 \times 10^{-5}$ $\pm 1.752 \times 10^{-6}$ | 0.083± 0.002 |

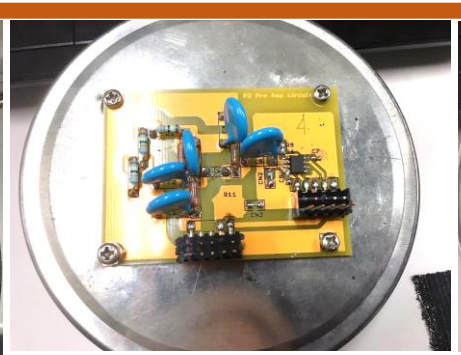
# 原因の考察と改良

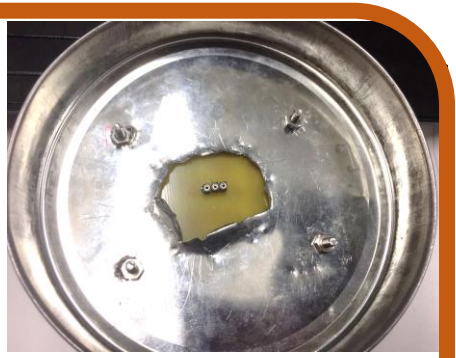
## 原因の考察…
・缶の密封度
・缶の体積
・温度や湿度

## 改良…
まず缶の密封度を高める工夫をした。




先行実験での缶の蓋

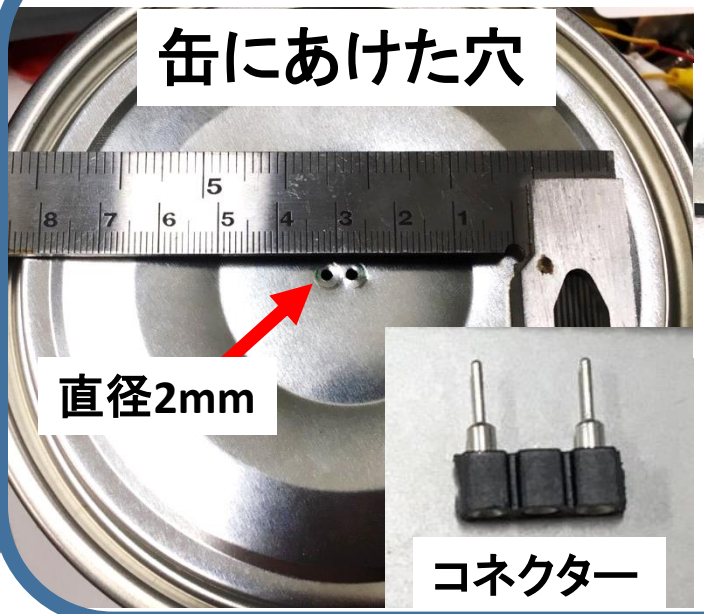




プリアンプ装着時

## 改良した缶の蓋

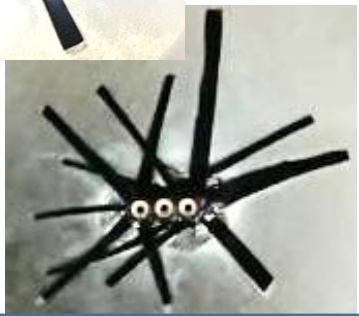
缶にあけた穴




最終的な完成図

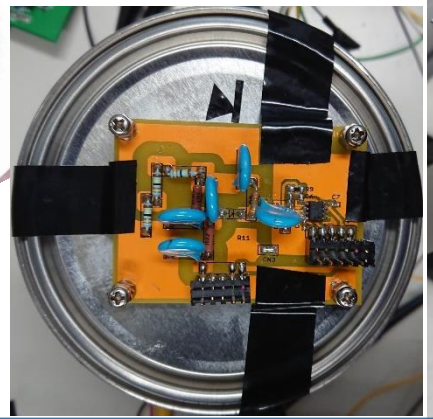
←表

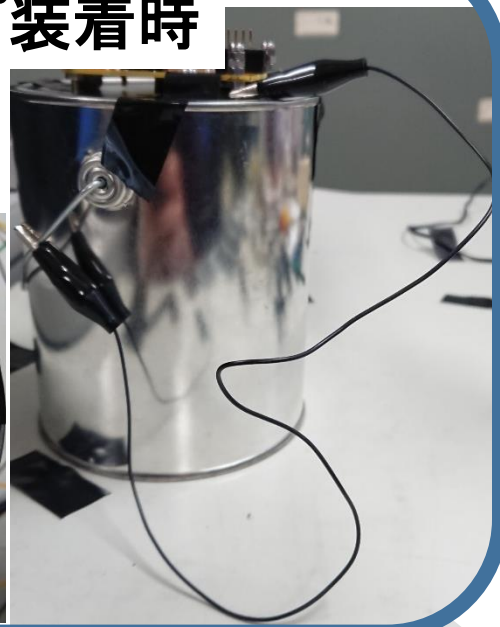
裏→



バスコーク

プリアンプ装着時





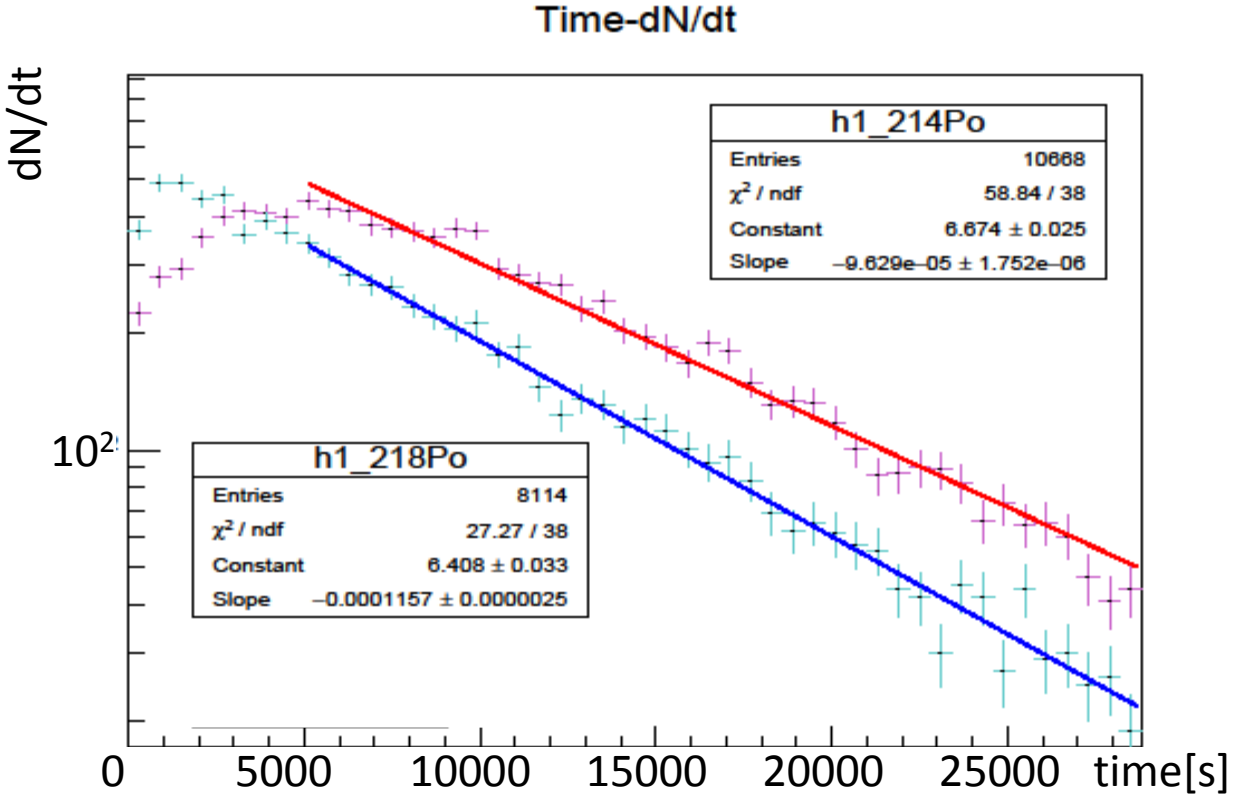
# 目次

- ラドンについて
- 研究の目的
- 検出原理
- 実験　①ラドンガスの測定
  ②Am線源の測定
- 先行実験との比較
- まとめ
- 今後の展望

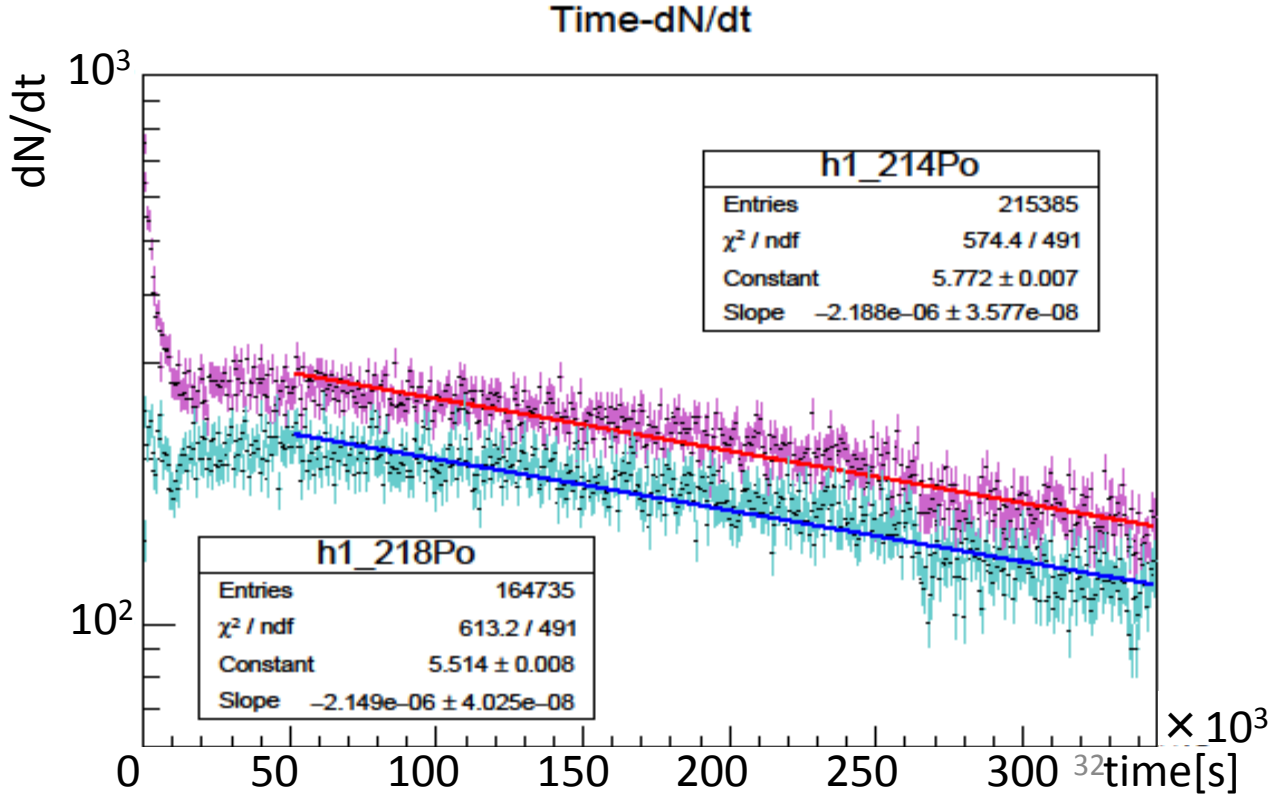
# 先行実験との比較

左は先行実験で作成した小型ラドン検出器での測定結果、
右は体積がほぼ同じで密封度を高める工夫をした小型ラドン検出器での
測定結果である。（1bin=10分）

## 先行実験の小型ラドン検出器




## 密封度を高めた小型ラドン検出器



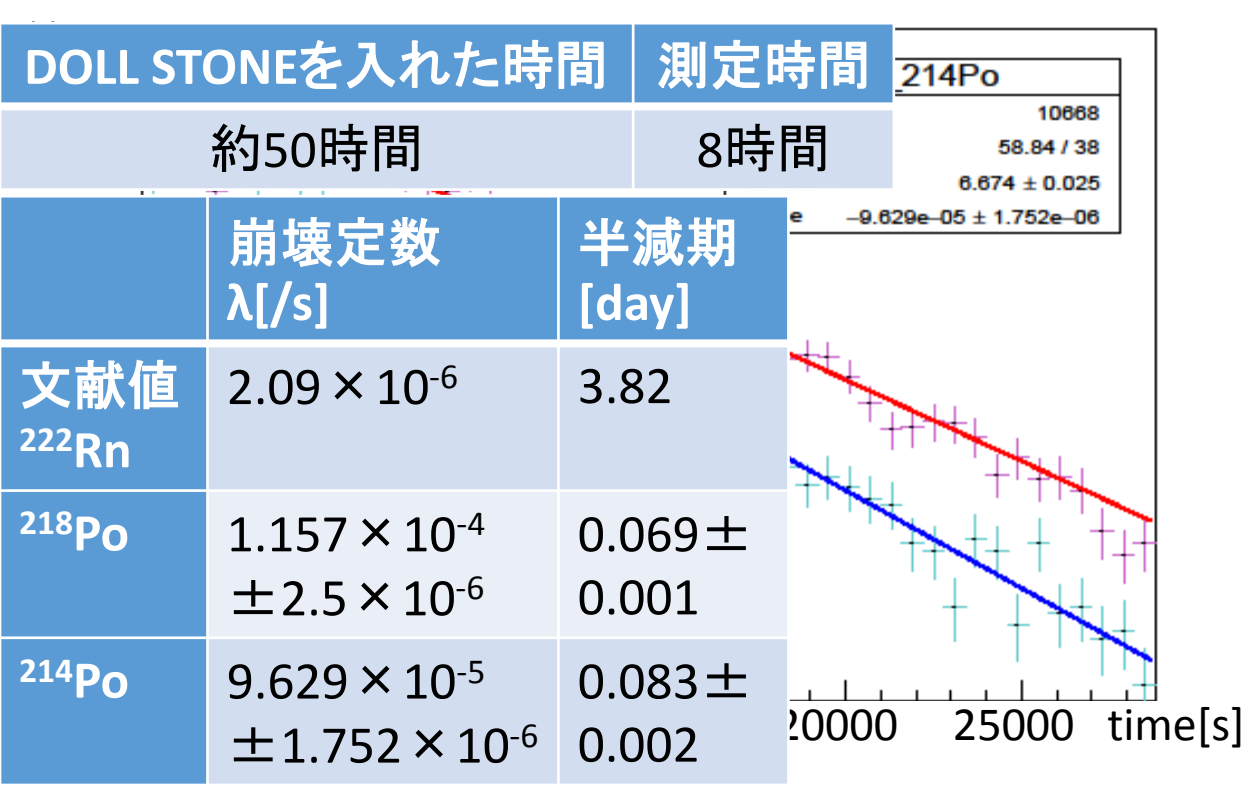
# 先行実験との比較

左は先行実験で作成した小型ラドン検出器での測定結果、
右は体積がほぼ同じで密封度を高める工夫をした小型ラドン検出器での
測定結果である。（1bin=10分）

## 先行実験の小型ラドン検出器

| DOLL STONEを入れた時間 | 測定時間 |
|---|---|
| 約50時間 | 8時間 |

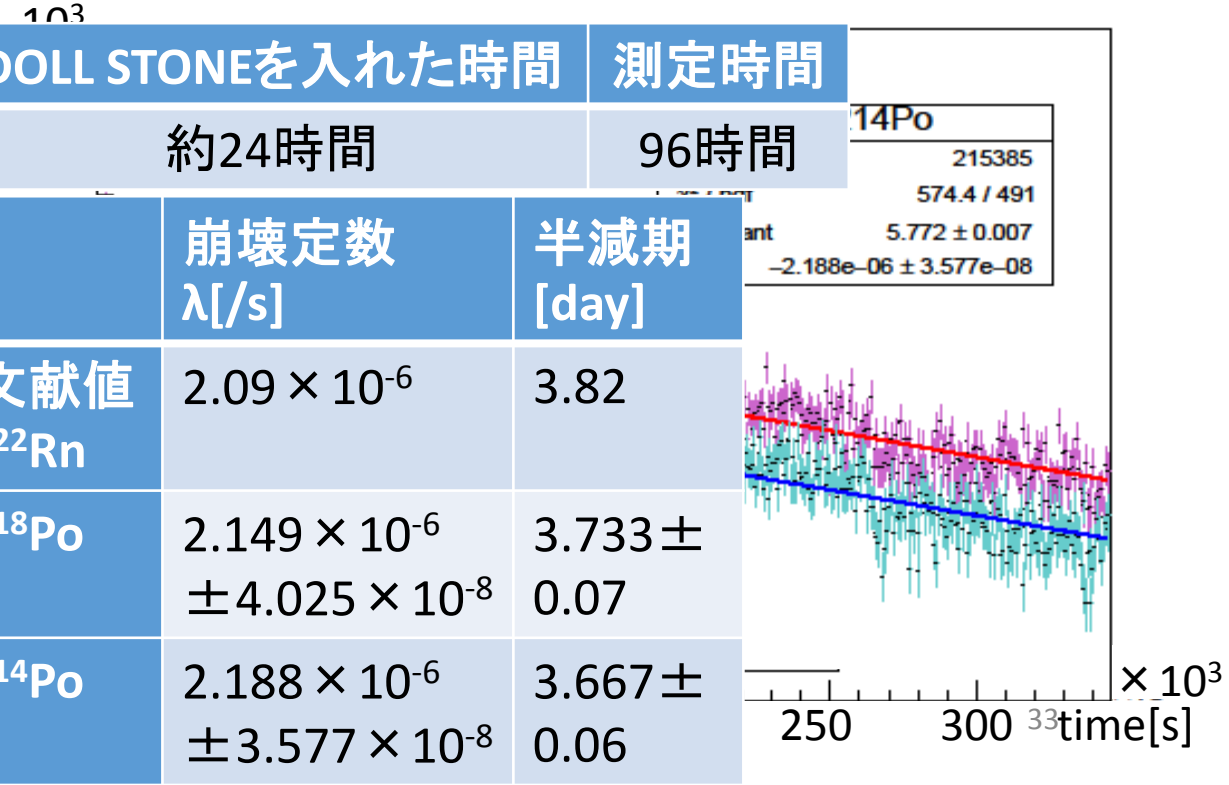
| | 崩壊定数 λ[/s] | 半減期 [day] |
|---|---|---|
| 文献値 $^{222}$Rn | $2.09 \times 10^{-6}$ | 3.82 |
| $^{218}$Po | $1.157 \times 10^{-4} \pm 2.5 \times 10^{-6}$ | 0.069±0.001 |
| $^{214}$Po | $9.629 \times 10^{-5} \pm 1.752 \times 10^{-6}$ | 0.083±0.002 |




## 密封度を高めた小型ラドン検出器

| DOLL STONEを入れた時間 | 測定時間 |
|---|---|
| 約24時間 | 96時間 |

| | 崩壊定数 λ[/s] | 半減期 [day] |
|---|---|---|
| 文献値 $^{222}$Rn | $2.09 \times 10^{-6}$ | 3.82 |
| $^{218}$Po | $2.149 \times 10^{-6} \pm 4.025 \times 10^{-8}$ | 3.733±0.07 |
| $^{214}$Po | $2.188 \times 10^{-6} \pm 3.577 \times 10^{-8}$ | 3.667±0.06 |



# 先行実験との比較

左は先行実験で作成した小型ラドン検出器での測定結果、
右は体積がほぼ同じで密封度を高める工夫をした小型ラドン検出器での
測定結果である。（1bin=10分）

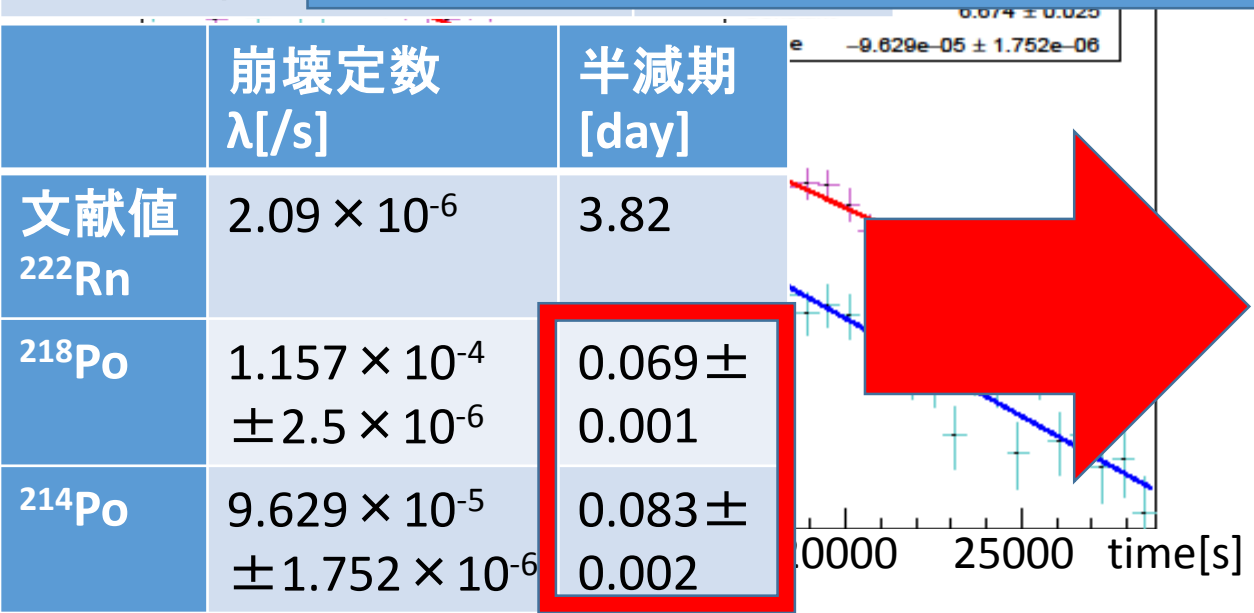
先

**測定結果から求めた半減期が
Rnの半減期と同じオーダーとなった！！**

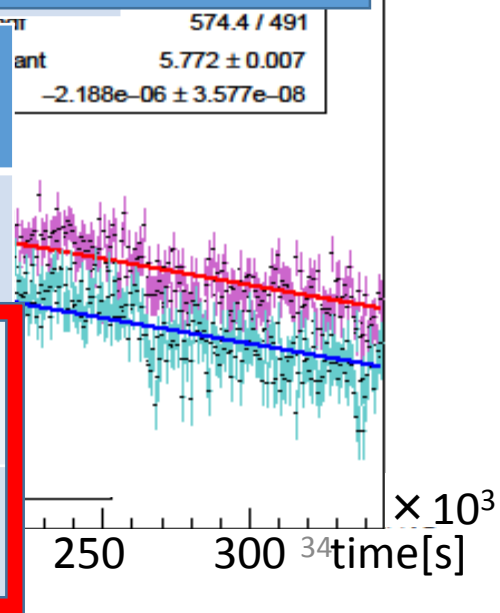
DOLL STONE

約50

| | 崩壊定数 λ[/s] | 半減期 [day] |
|---|---|---|
| 文献値 $^{222}$Rn | $2.09\times10^{-6}$ | 3.82 |
| $^{218}$Po | $1.157\times10^{-4}\pm2.5\times10^{-6}$ | 0.069±0.001 |
| $^{214}$Po | $9.629\times10^{-5}\pm1.752\times10^{-6}$ | 0.083±0.002 |



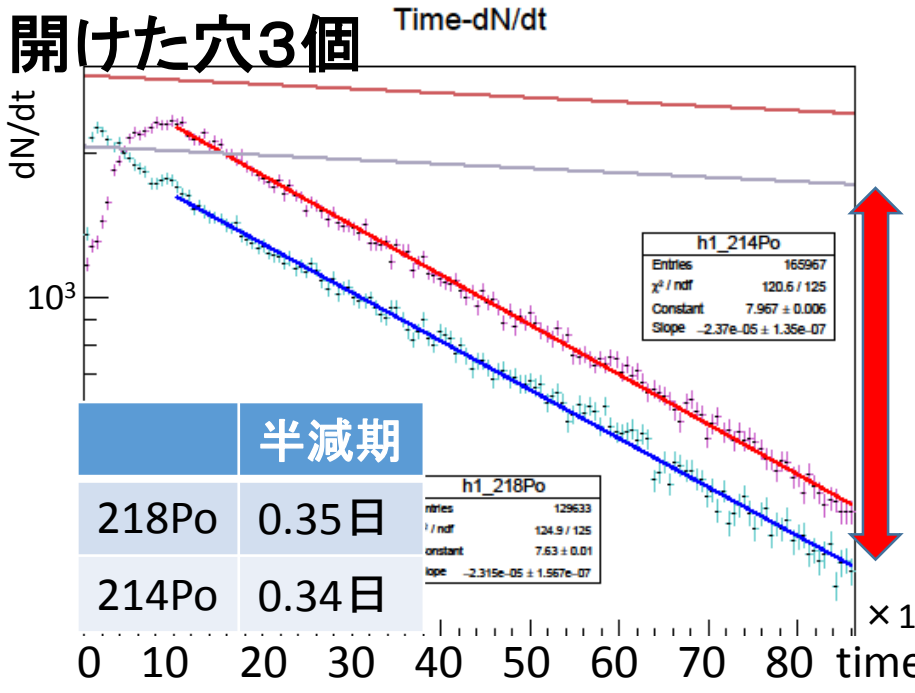

| | 崩壊定数 λ[/s] | 半減期 [day] |
|---|---|---|
| 文献値 $^{222}$Rn | $2.09\times10^{-6}$ | 3.82 |
| $^{218}$Po | $2.149\times10^{-6}\pm4.025\times10^{-8}$ | 3.733±0.07 |
| $^{214}$Po | $2.188\times10^{-6}\pm3.577\times10^{-8}$ | 3.667±0.06 |



# 密封度の効果

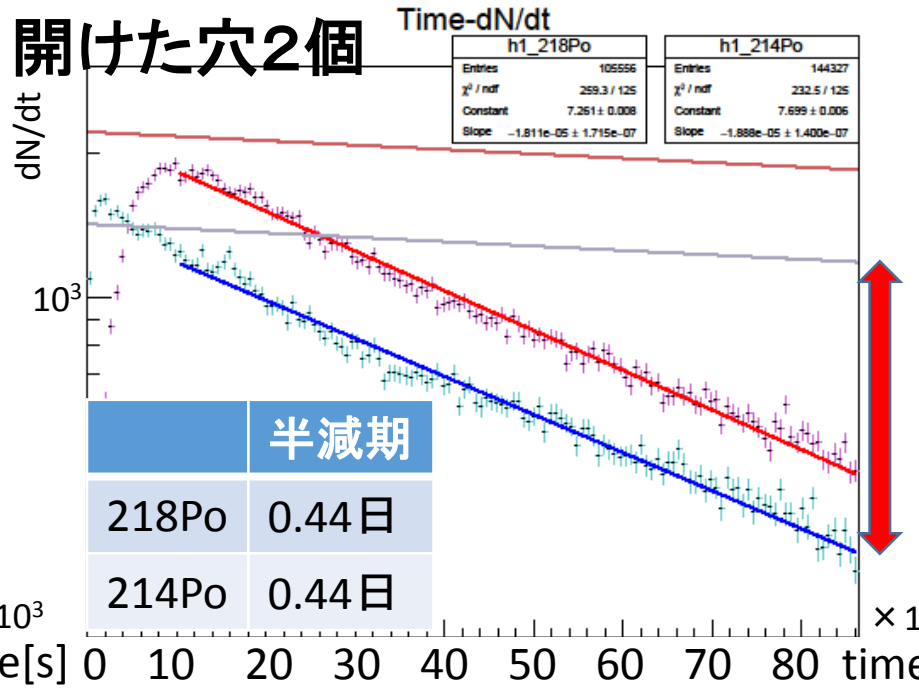
DOLL STONE入れる時間・測定時間を同じにして開けた穴の数を変える実験を行った。

## 開けた穴3個



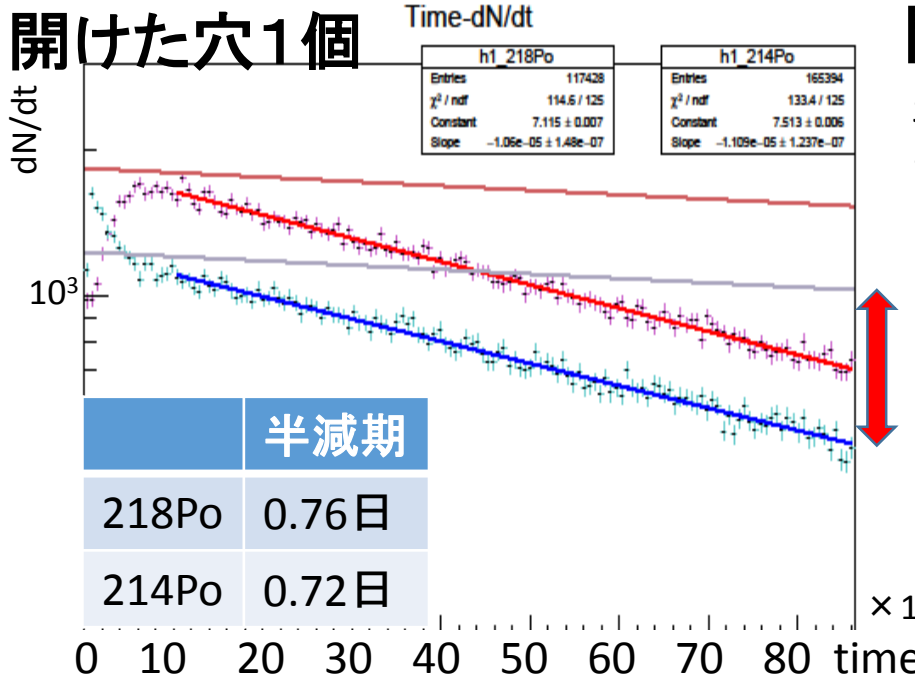

| | 半減期 |
|---|---|
| 218Po | 0.35日 |
| 214Po | 0.34日 |

## 開けた穴2個



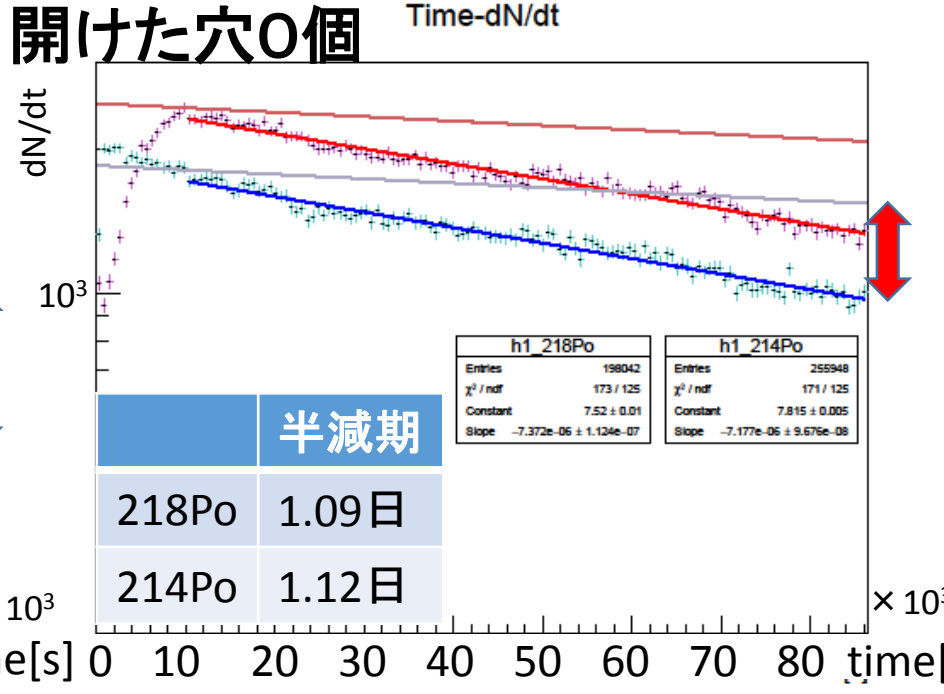

| | 半減期 |
|---|---|
| 218Po | 0.44日 |
| 214Po | 0.44日 |

## 開けた穴1個

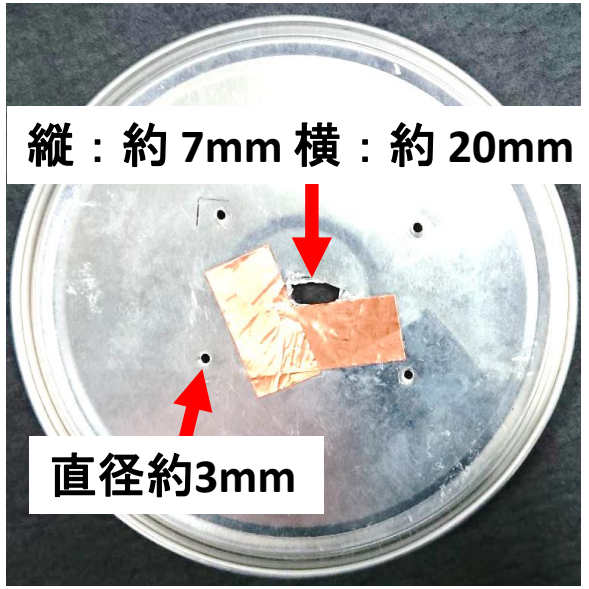



| | 半減期 |
|---|---|
| 218Po | 0.76日 |
| 214Po | 0.72日 |

## 開けた穴0個




| | 半減期 |
|---|---|
| 218Po | 1.09日 |
| 214Po | 1.12日 |




開けた穴が少なくなる
→fit線の傾きが文献値の傾きと差が小さくなる。
→**缶の密封度が重要**

# まとめ

- ✓静電捕集法でPoが放出するα線を検出することで間接的にラドンを検出
- ✓検出器を用いてラドンガスの測定、二つのピークを検出
- ✓$^{241}$Am線源を用いてエネルギーと波高の関係を表す較正直線を導出→較正直線より二つのピーク＝$^{218}$Poと$^{214}$Po
- ✓$^{218}$Po,$^{214}$Poの単位時間当たりの崩壊数を調べて半減期を導出
- ✓密封度を高めることで検出器の性能がよくなる

# 今後の展望

✓より性能の良い検出器にするため密封度を高める

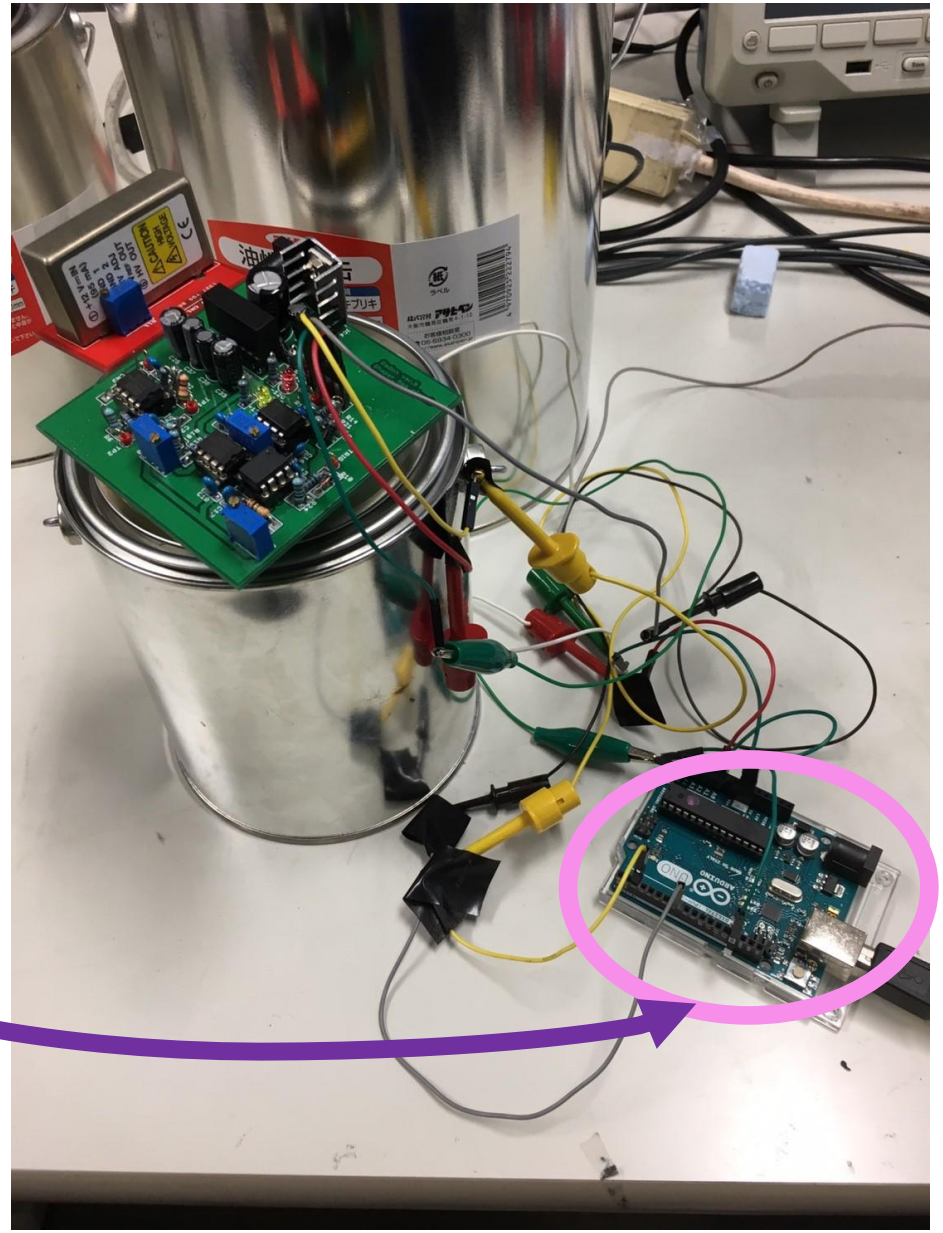
✓検出器のさらなる小型化

✓環境変化による測定精度の変化の有無を調べるため温度・湿度を変えて測定

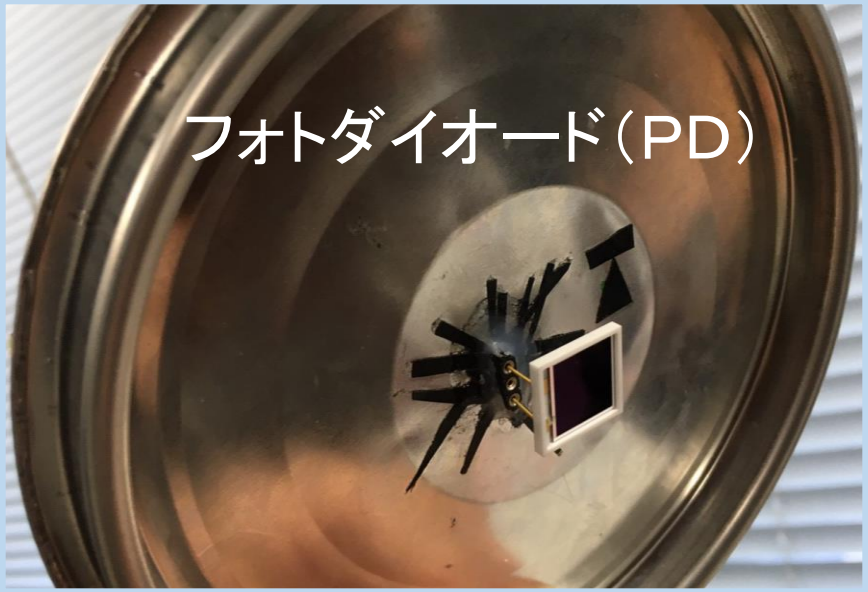
ご清聴ありがとうございました！

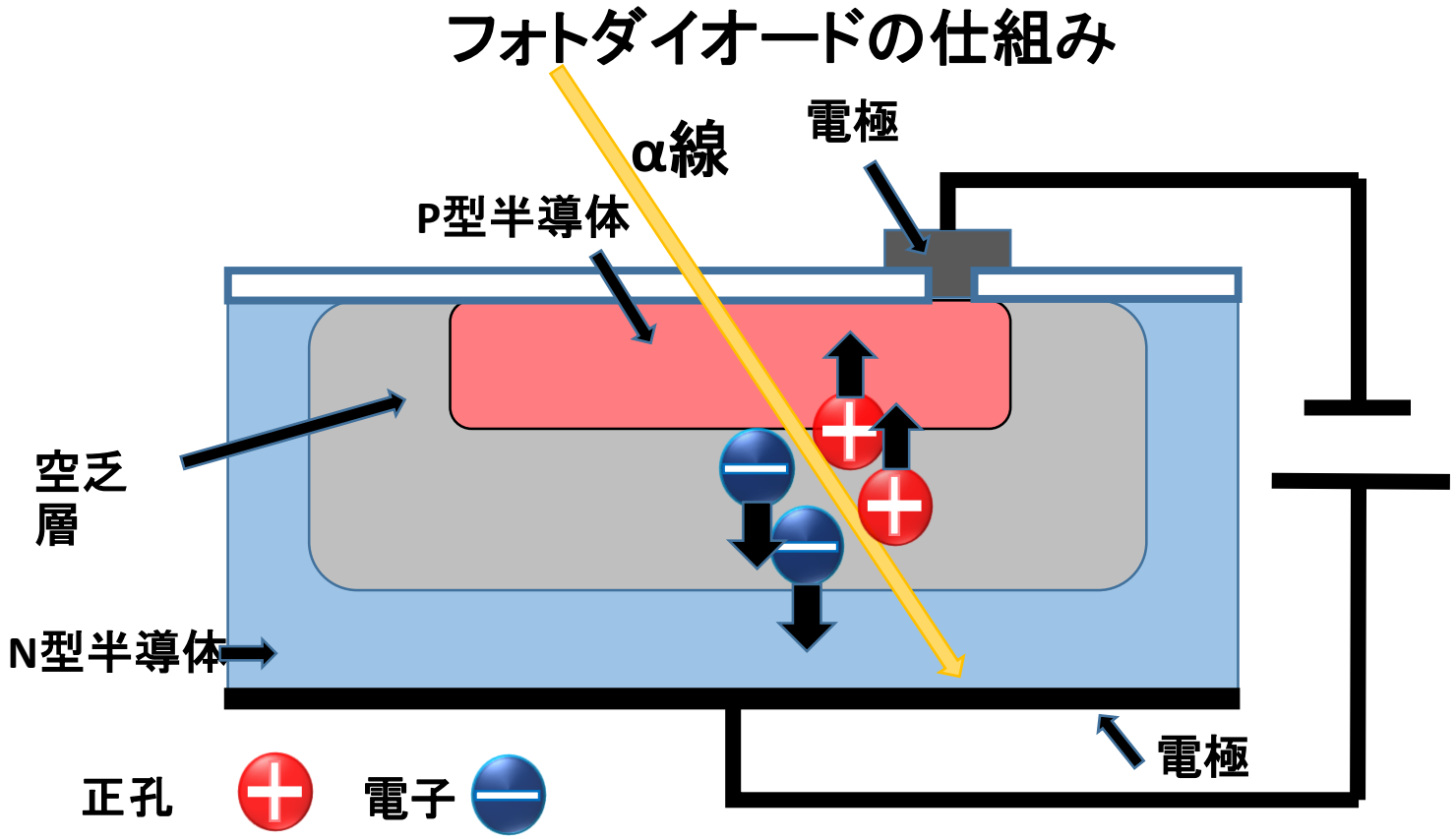
# おまけ

# ラドン検出の全体部



# ラドン検出部



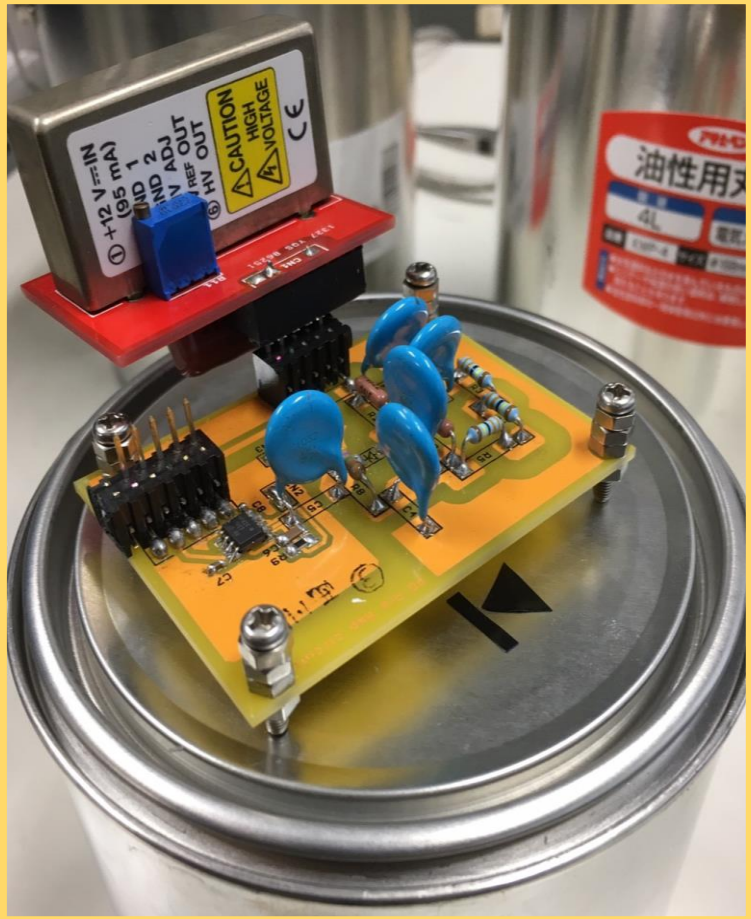

Siでは、一個の電子-正孔対を作るには約3.6(eV)のエネルギーが必要。

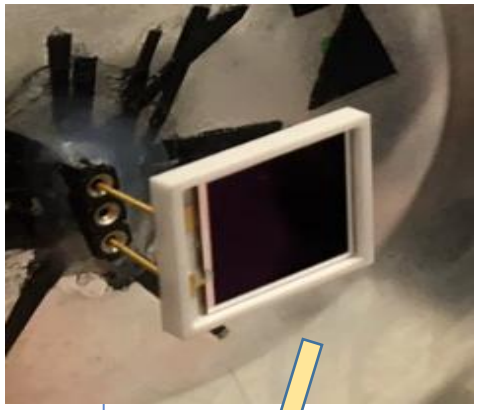
α線のエネルギー➡$5.998 \times 10^6 \div 3.6(eV) = 1.7 \times 10^6$(個)

電子一個がもつ電荷の絶対値は$1.602 \times 10^{-19}(C)$

$$1.7 \times 10^6(\text{個}) \times 1.602 \times 10^{-19}(C) = 2.7 \times 10^{-13}(C)$$

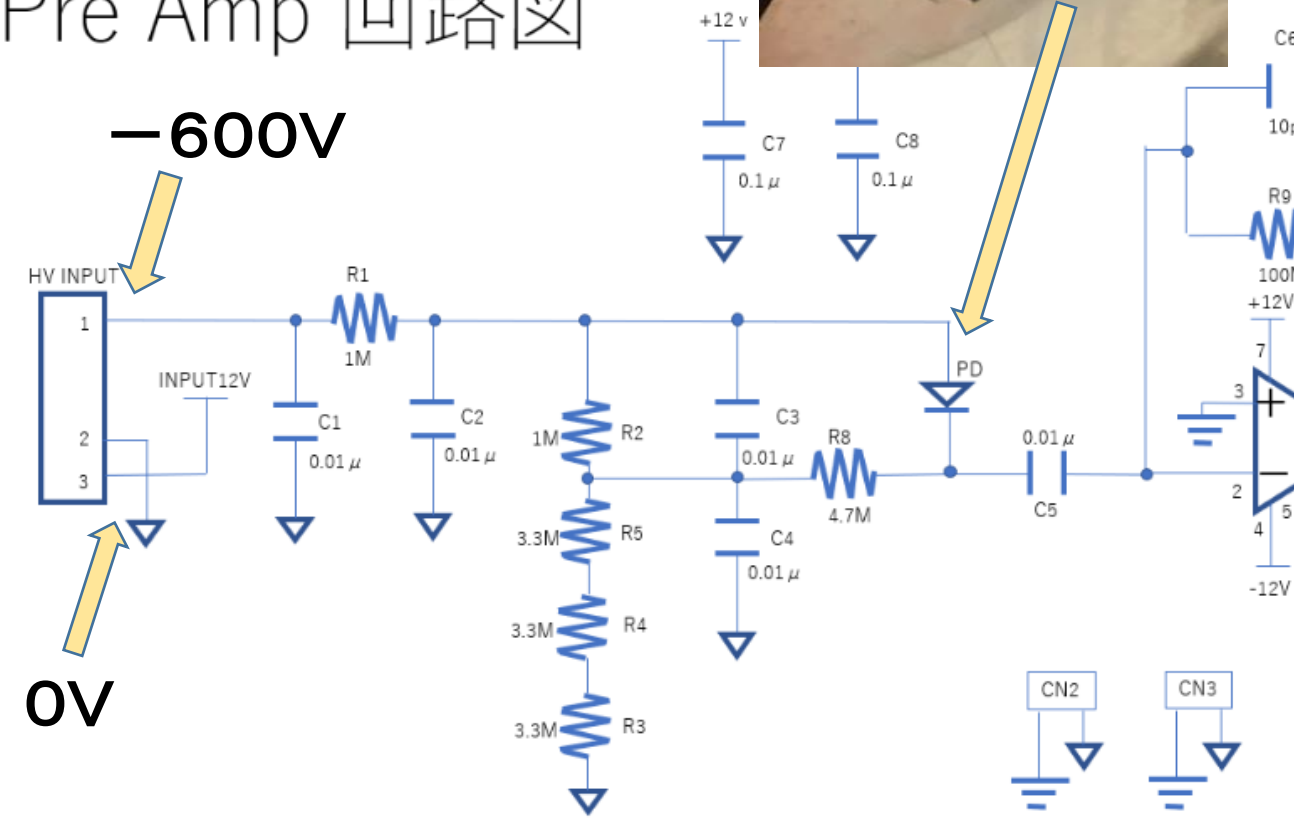
# 波高分析部～プリアンプ～



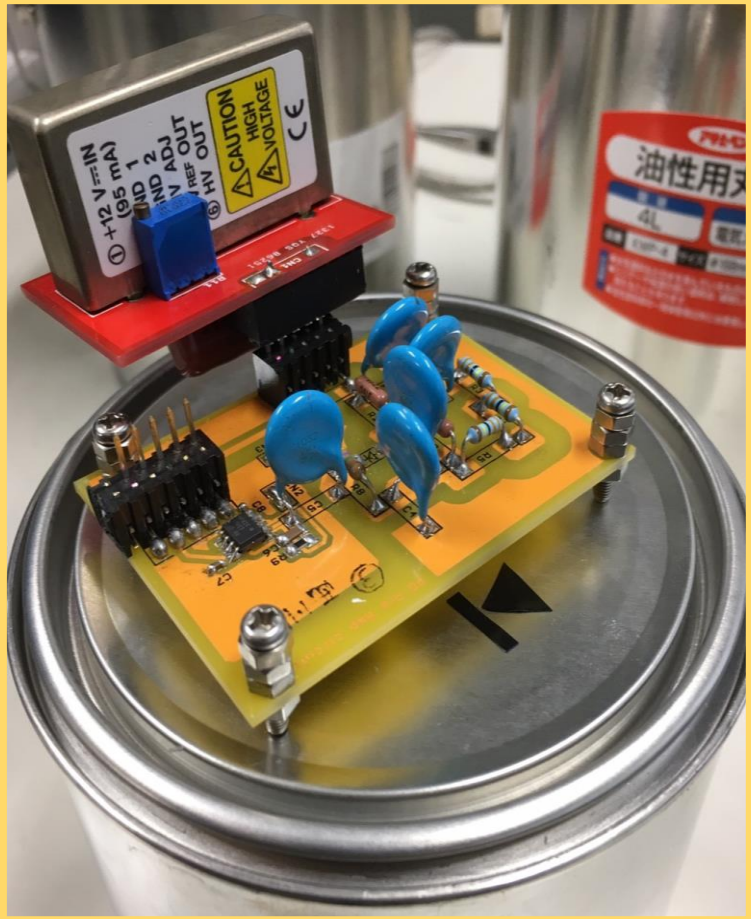
フォトダイオード（PD）

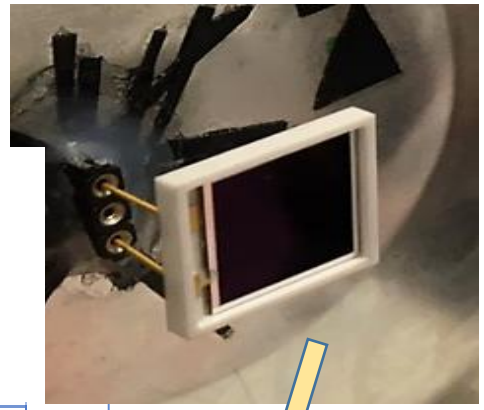
Pre Amp 回路図



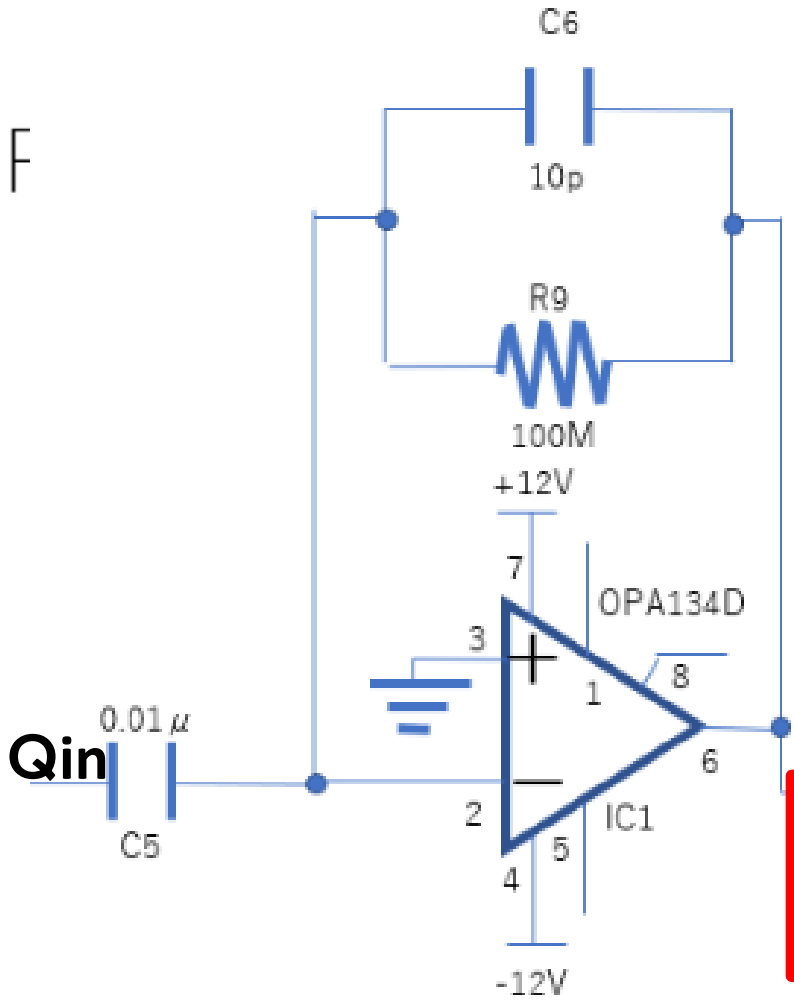

シェイパーアンプの出力→

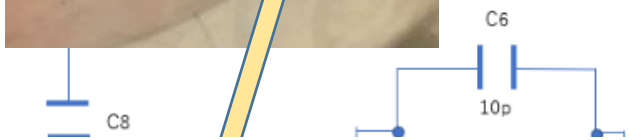
# 波高分析部～プリアンプ～



フォトダイオード(PD)



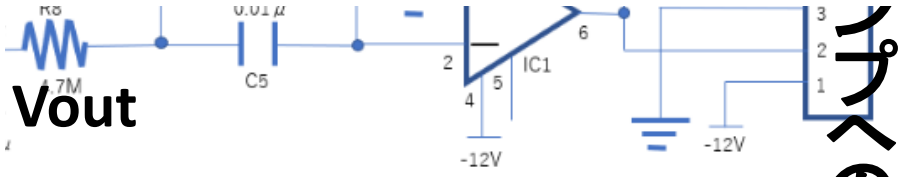




シェア

$$Q = CV$$

$$Vout = \frac{Q}{C} = 2.7 \times \frac{10^{-13}(C)}{10^{-11}}$$

$$= 27mV$$

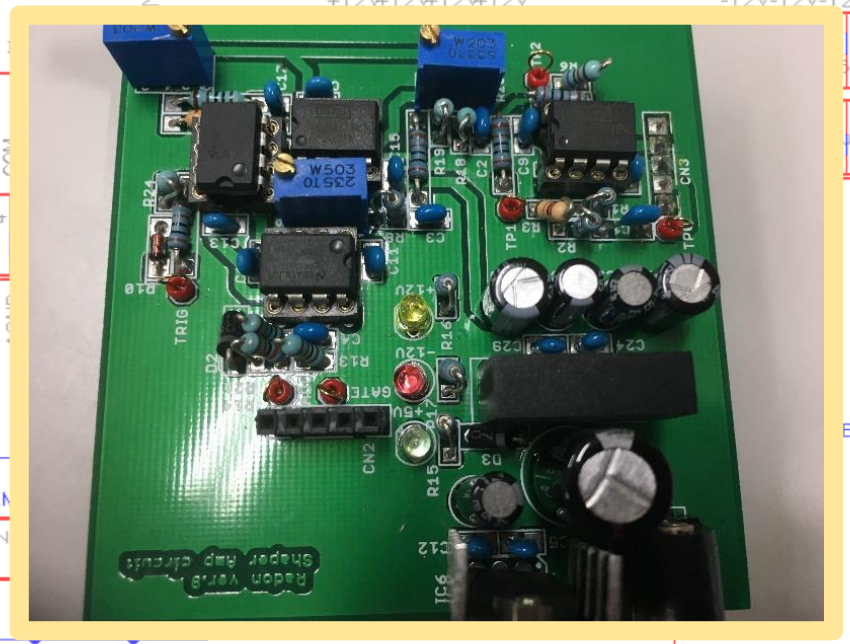



プリ

電圧が小さいので、
増幅をしないといけない……

# 波高分析部～シェイパーアンプ～

プリアンプから信号が来る→



→Arduinoへ信号を送る

# 波高分析部～シェイパーアンプ～

ハイパス
フィルター

ローパスフィルター

TPO

30mV

330mV

TP1

2V

TP2

8V

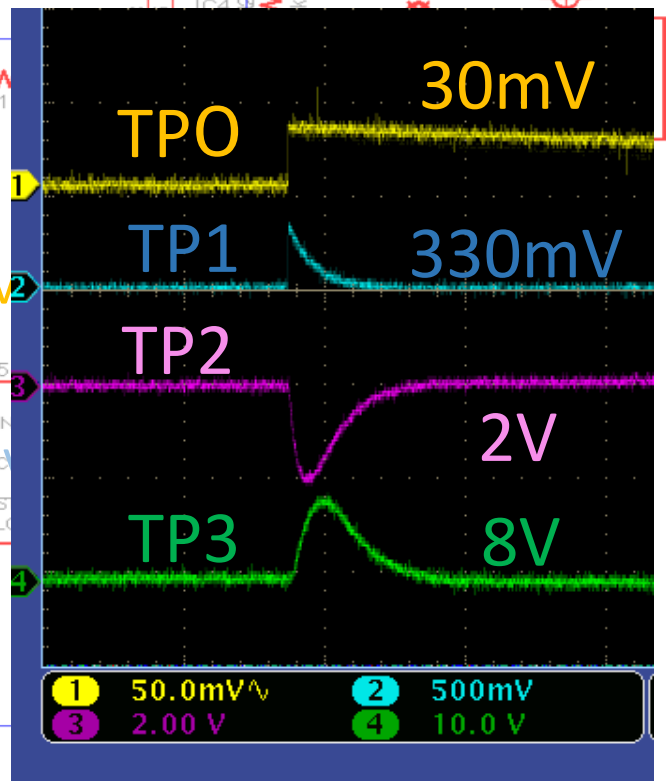
TP3

→プリアンプから信号が来る

非反転増回路
11倍

反転増幅回路
6倍

反転増幅回路
今回は4倍




サンプル＆ホールド回路

# 波高分析部＋ データ制御部

シェイパーアンプ
波形形成回路

サンプル＆
ホールド回路

Arduino

④PCへ

③ADC信号

⑤リセット用ゲート信号

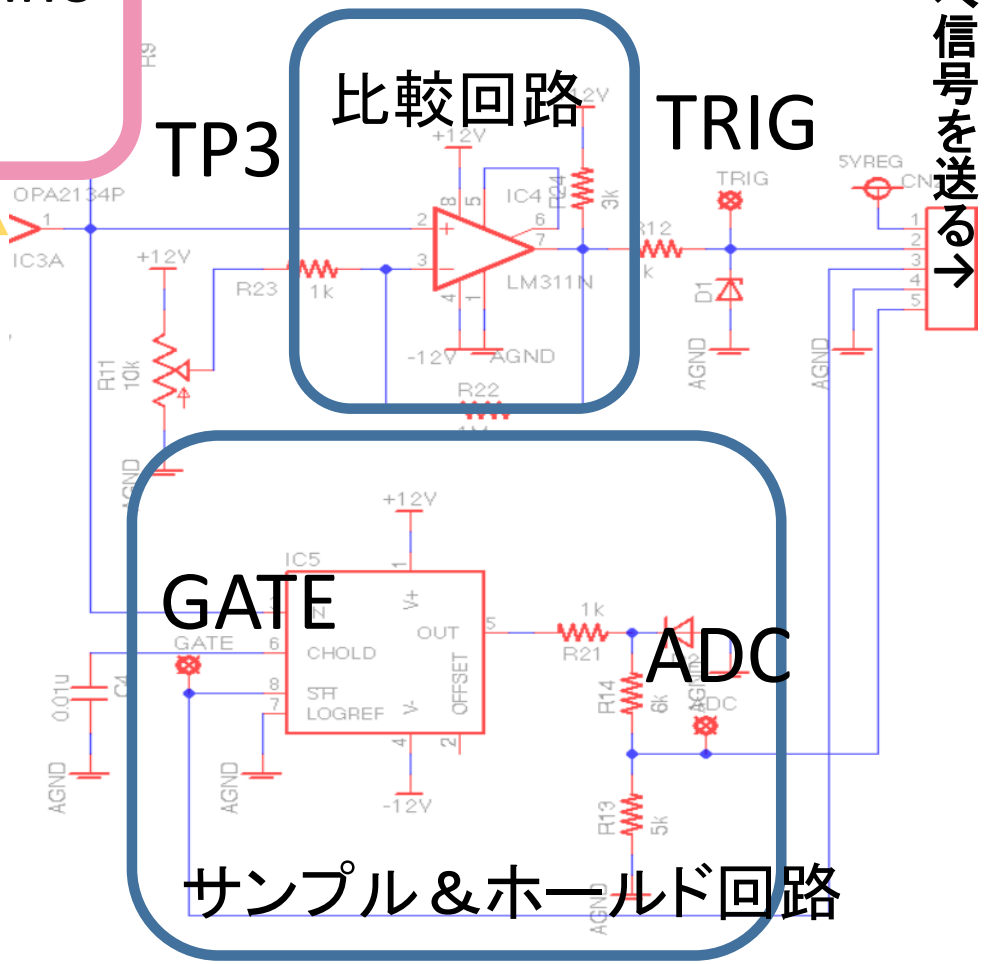
②ゲート信号

⓪

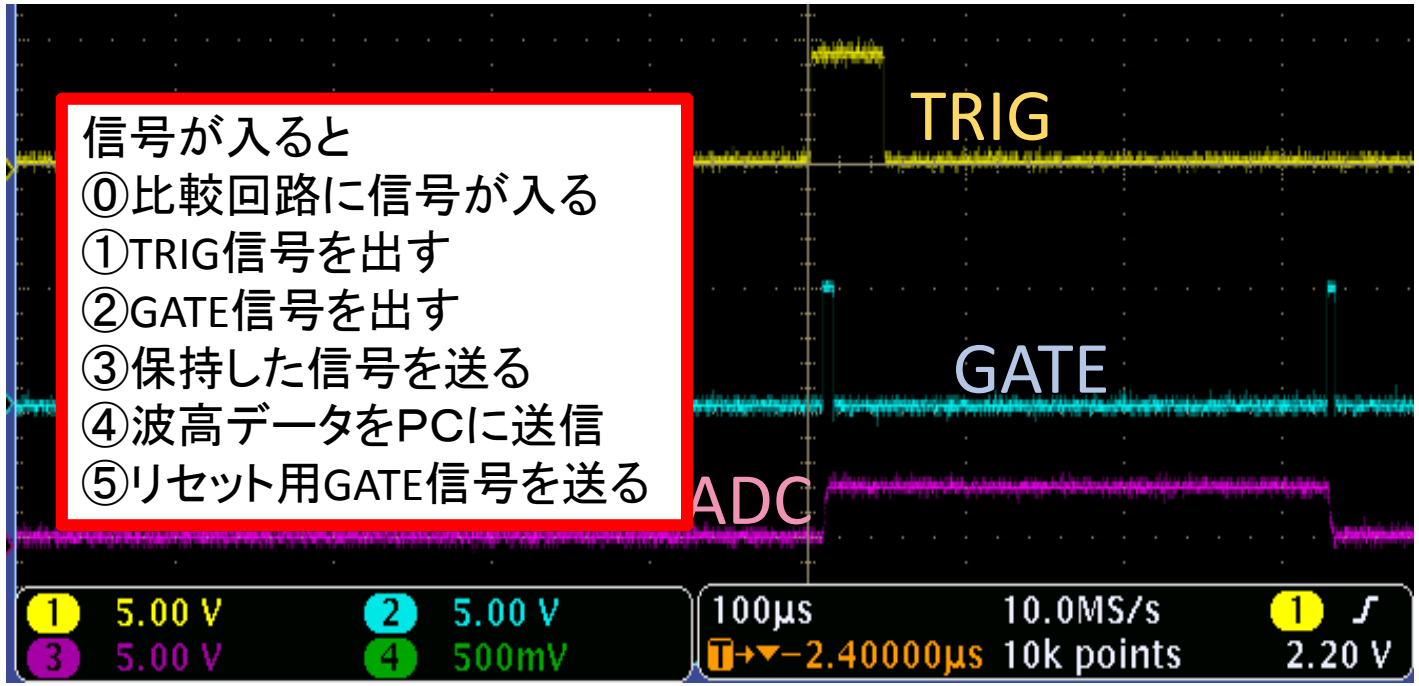
比較回路

①トリガー信号

Arduinoへ信号を送る→

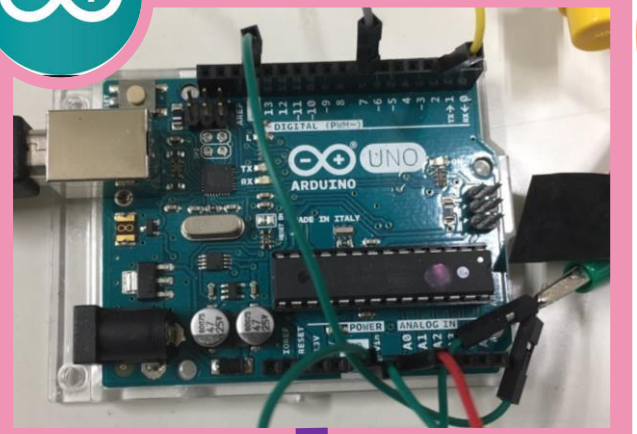



①トリガー信号



# データ制御部＋データ収集部

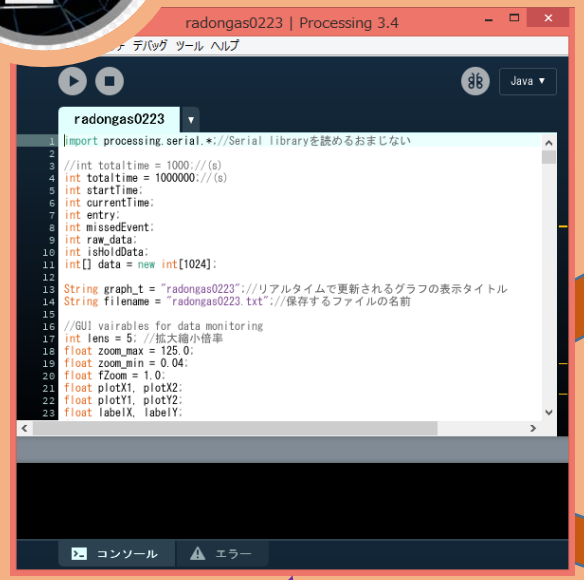
## Arduinoの基盤



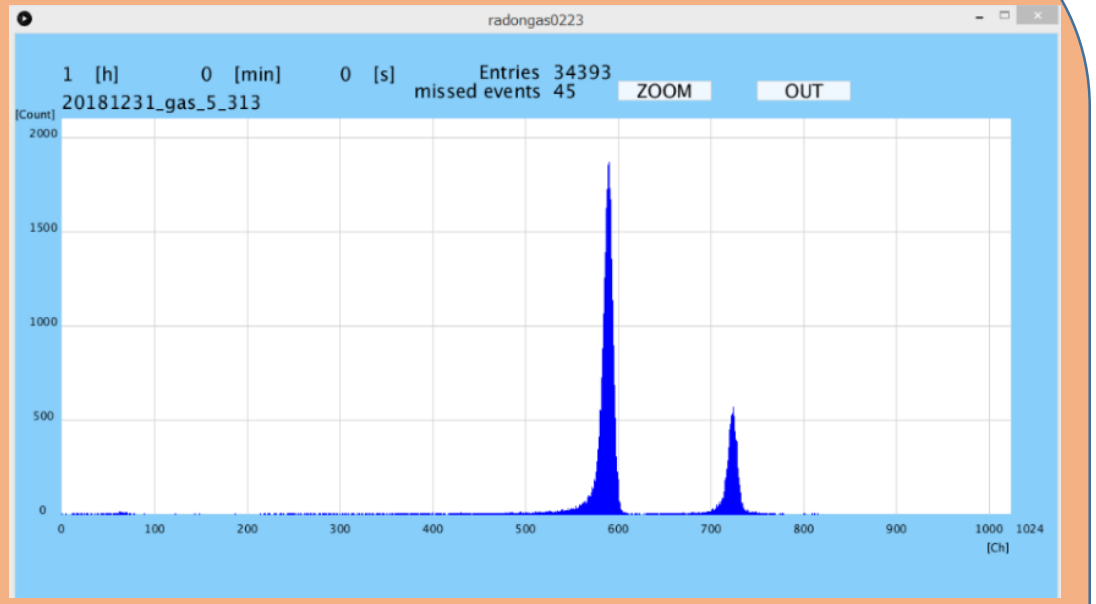

データを送る

## PC

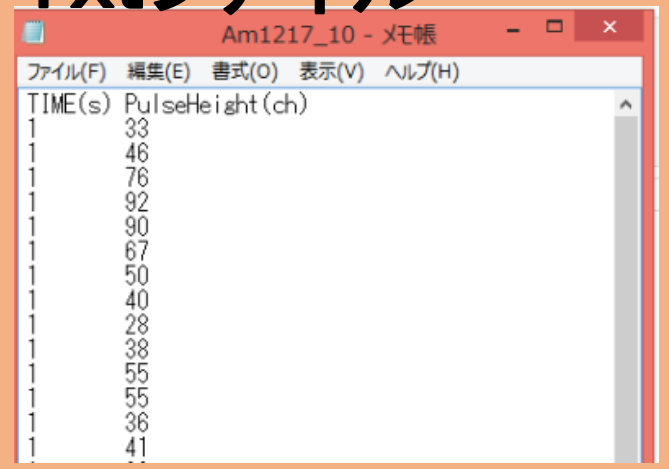
## Processing




## オンラインモニターの様子

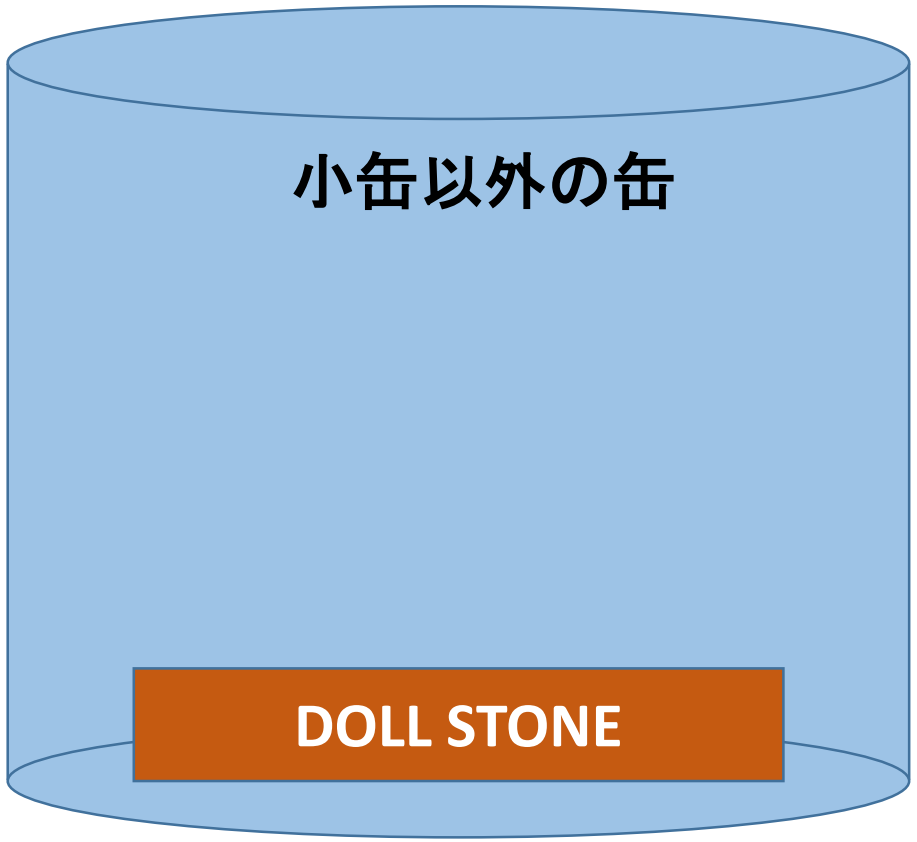


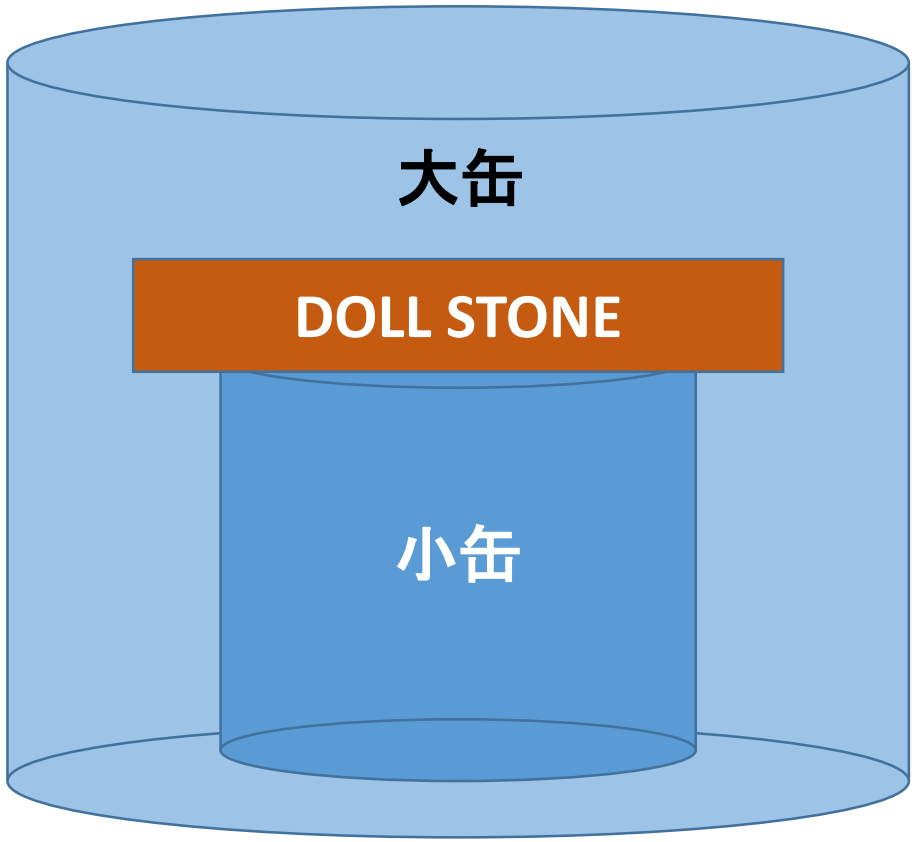

## Txtファイル



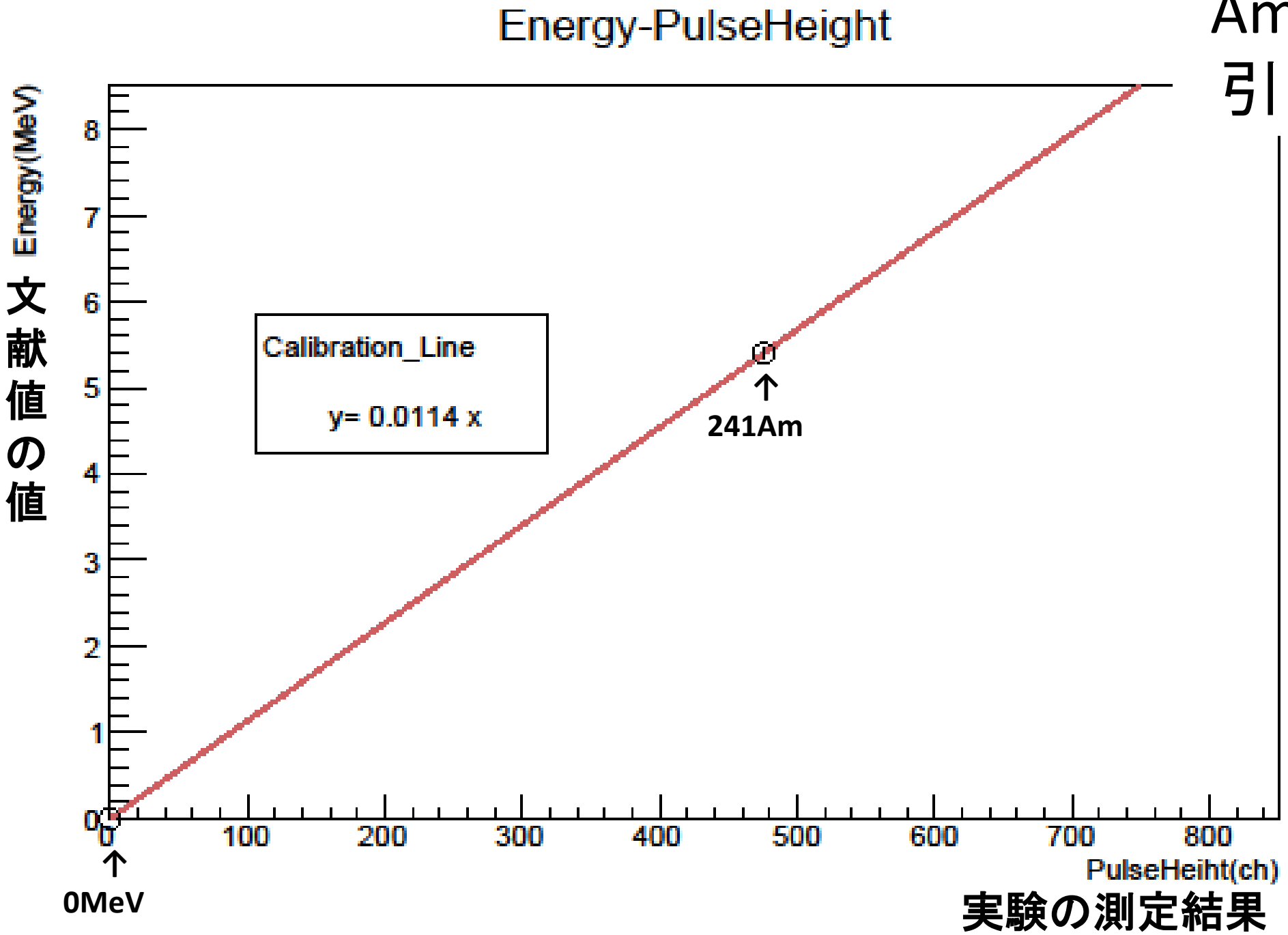
# 小缶でのラドンガス封入方法

小缶には直接DOLL STONEが入らなかったため下の右図のようなセットアップでラドンガスを封入した。



# Am線源を用いて引いた較正直線



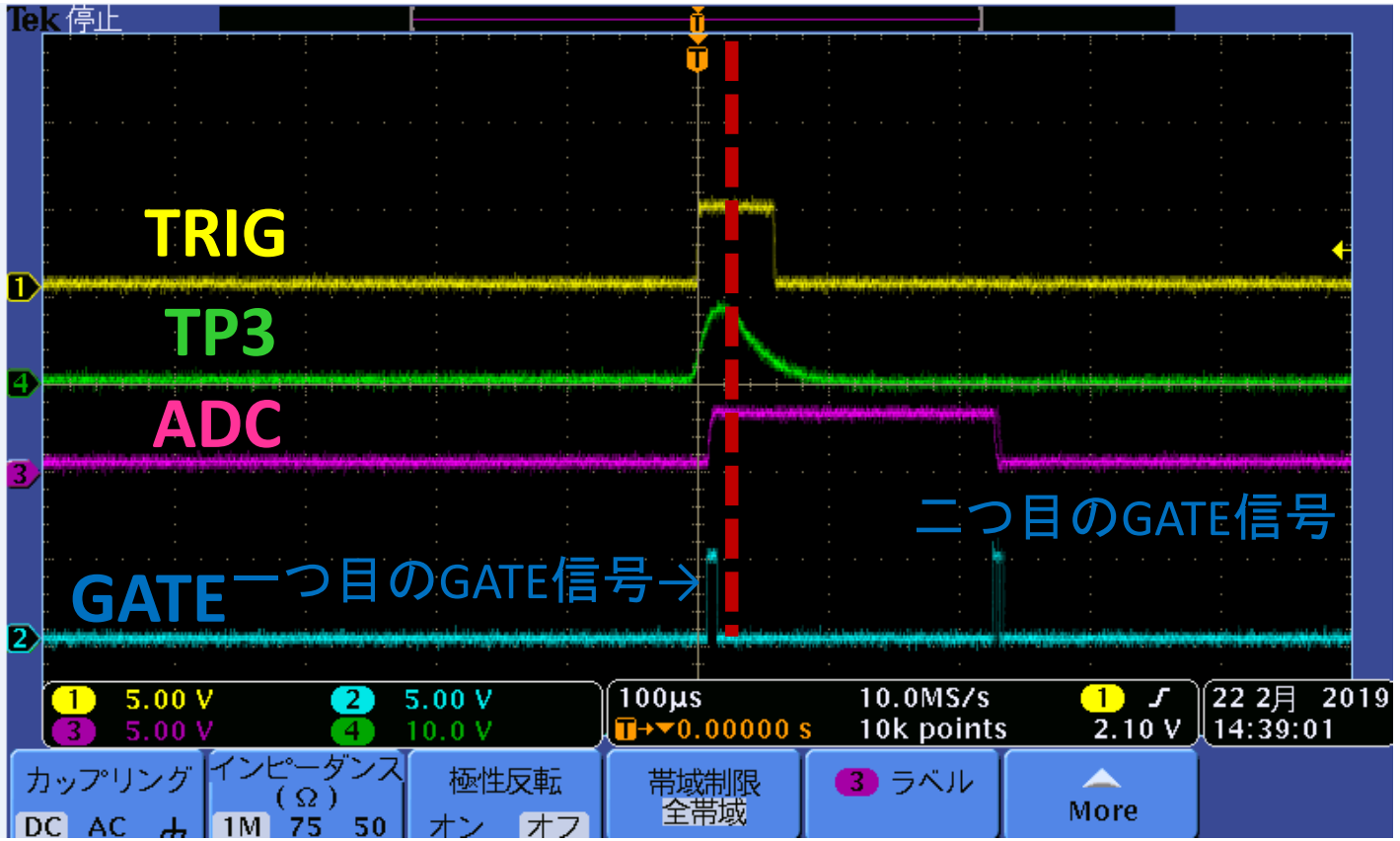

文献値の値

実験の測定結果

0MeVのchを0chとした時のy座標をα崩壊したときのα線の文献値のエネルギー、x座標を実験で求めたchとして0MeV,241Amの点をプロットし、その２点を用いて求めた較正直線を引いた図である。

この較正直線によって、エネルギーとch数の関係を大まかに知ることができる。

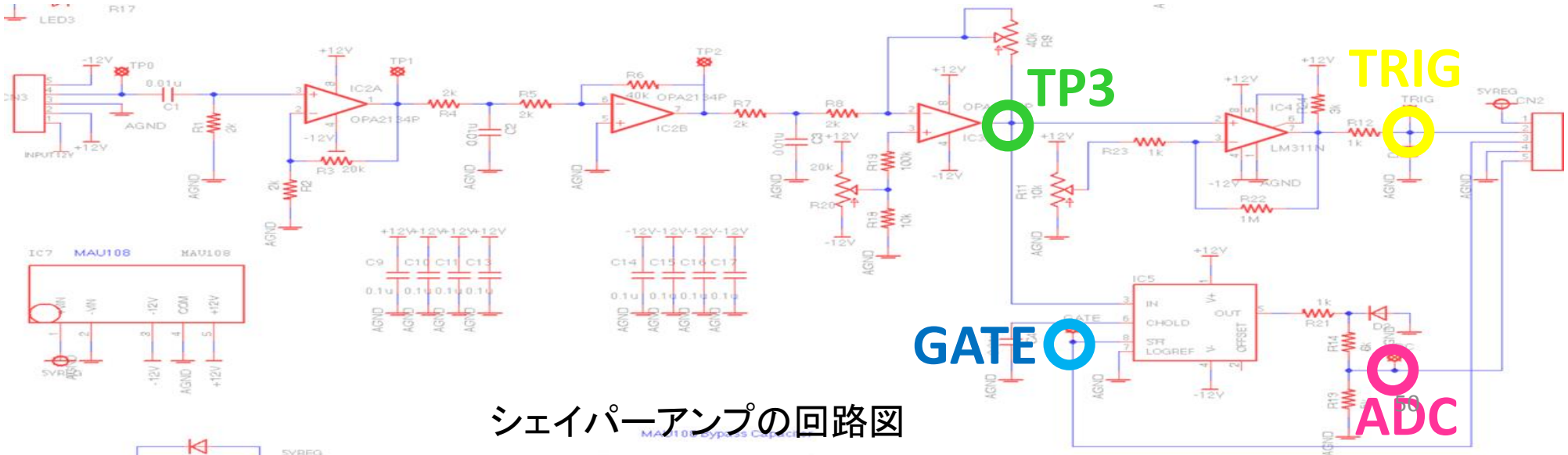
# オシロスコープの波形




ArduinoはTRIG（TRIGGER）信号を受け取るとサンプル＆ホールド回路へGATE信号を送る。
GATE信号を受け取ったサンプル＆ホールド回路は、一つ目のGATE信号の立ち下がりの時のTP3の値を読み込む。
その値を二つ目のGATE信号がくるまで保持している信号がADC信号である。

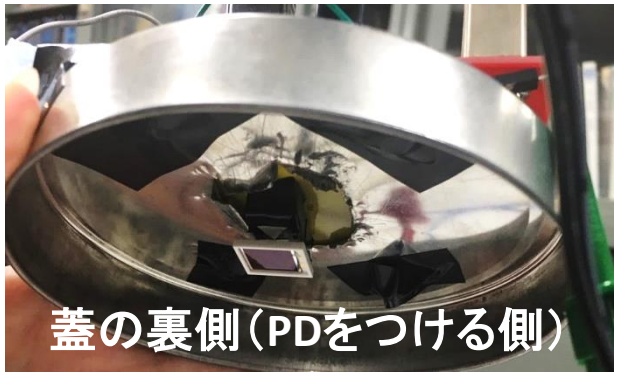
一つ目のGATE信号の幅を変えることによって読み込む値を変えることができる。

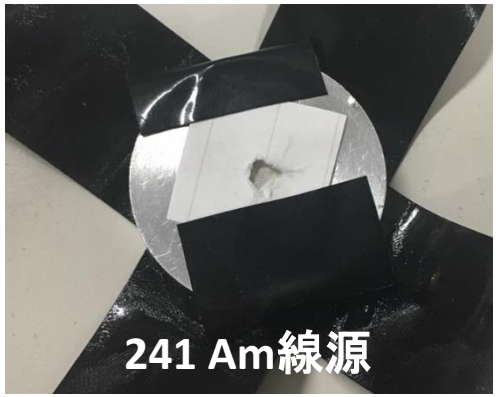
↑オシロスコープの写真




シェイパーアンプの回路図

# Am線源の測定

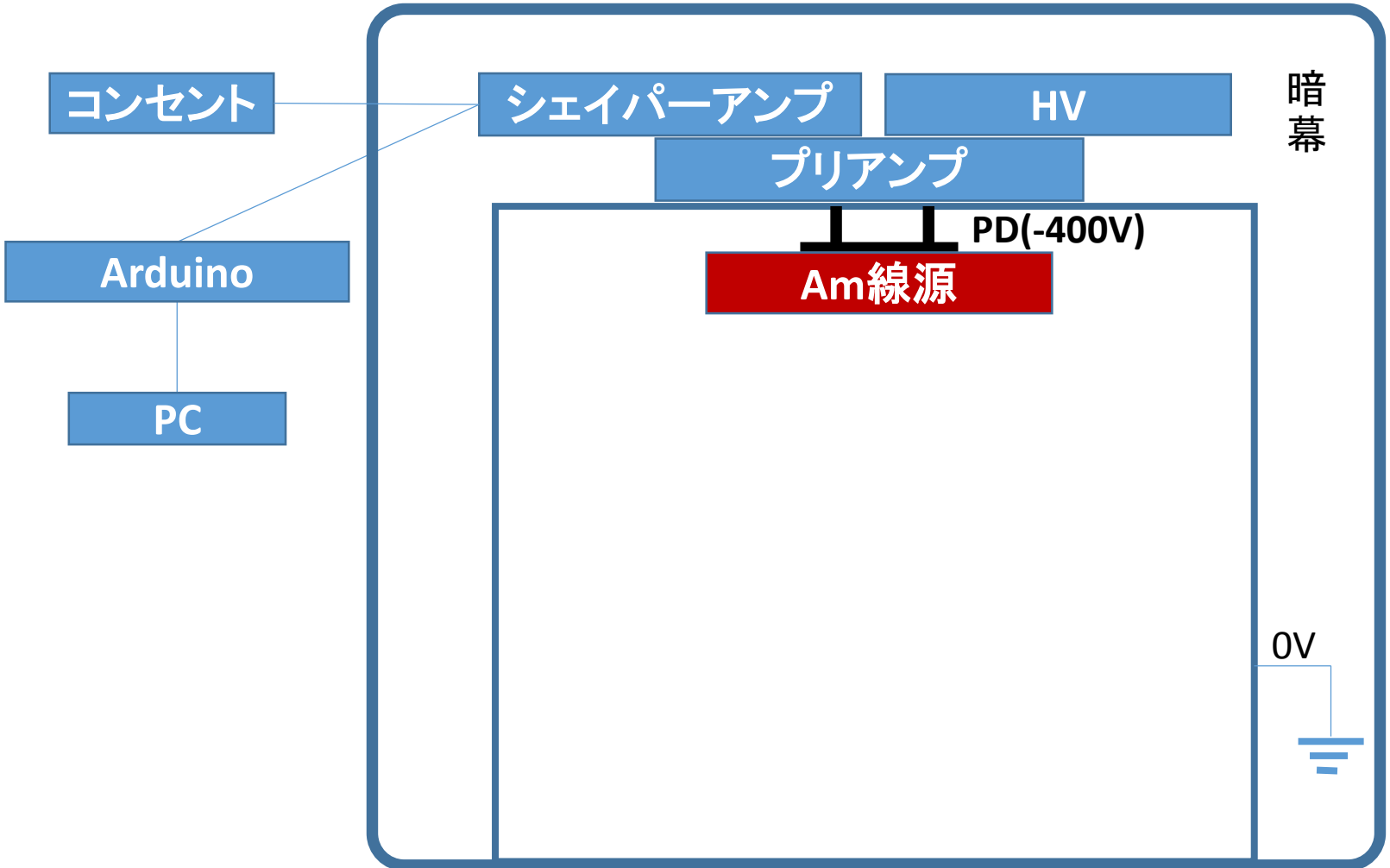


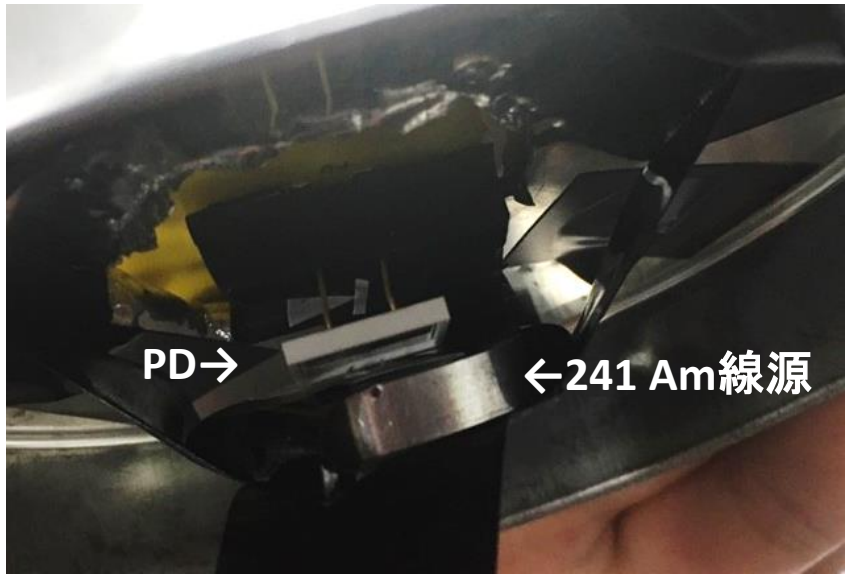





chとエネルギーの関係を調べるために、

線源を用いて0点時と線源のピーク時のchを測定した。
今回使用した241Am線源のα線のエネルギーは5.4MeVである。

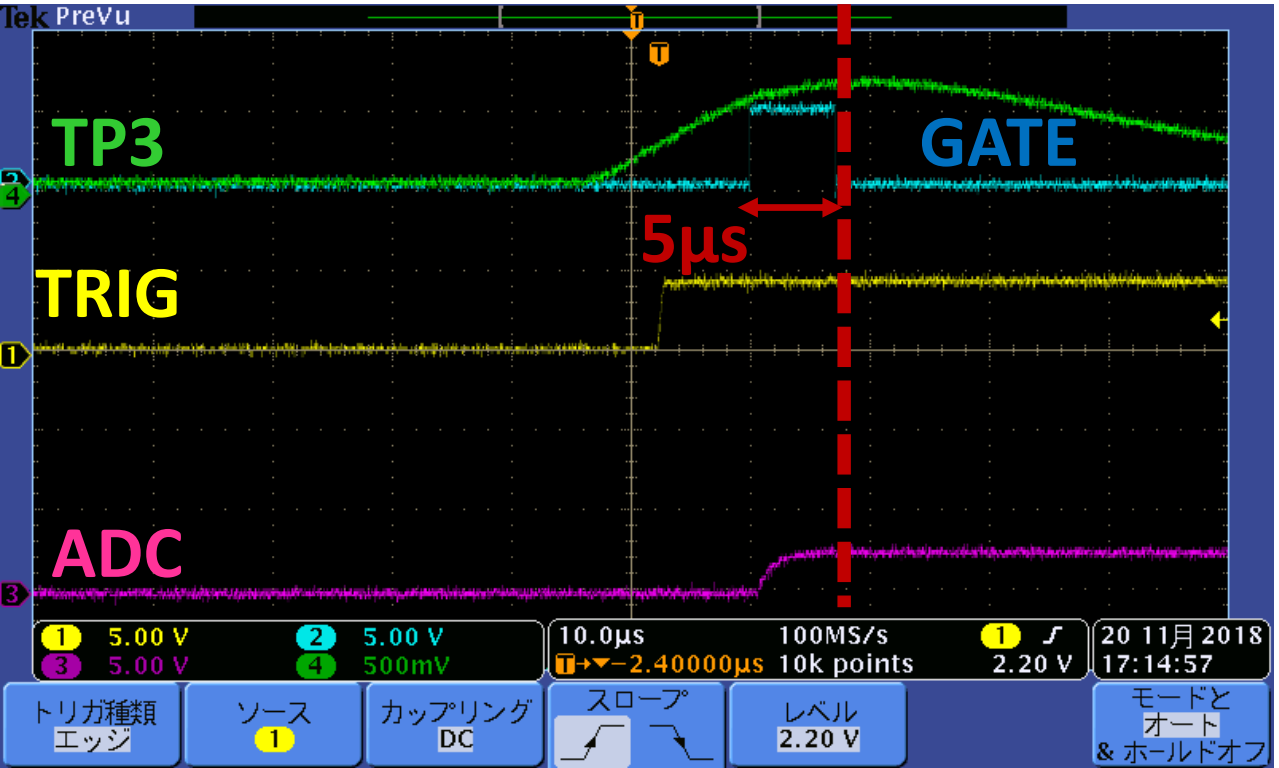


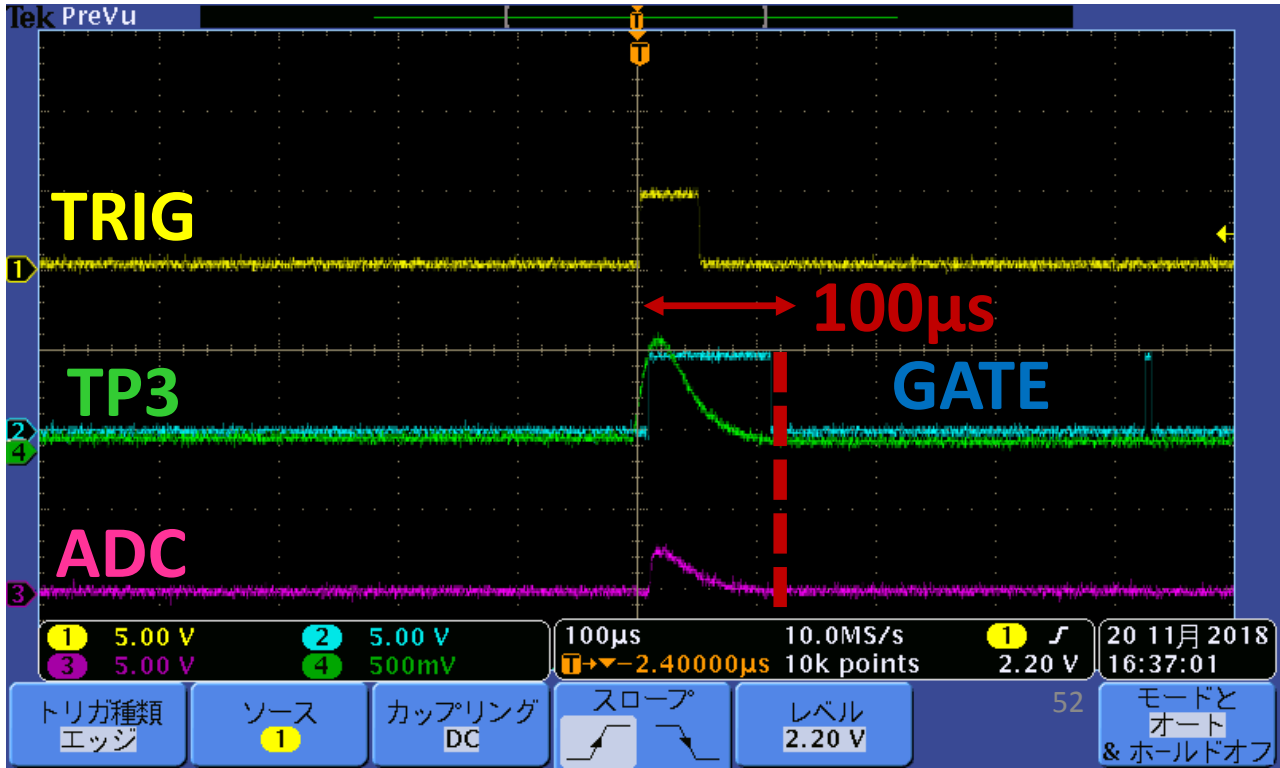
# Am線源測定時の
# オシロスコープの波形

ラドン検出器では一つ目のGATE信号の立ち下がり時に波形整形された後の信号（TP3）の値を読み込んでいる。
よって、
一つ目のGATE幅を5 μs に設定すると、TP3のピーク時の値を読み込み、
一つ目のGATE幅を100 μs に設定すると、0点時の値を読み込むことができる。
Am線源を測定しているので、左ではAmのα線のエネルギーを測定しており、
右では0MeVの時のADCの値を測定している。

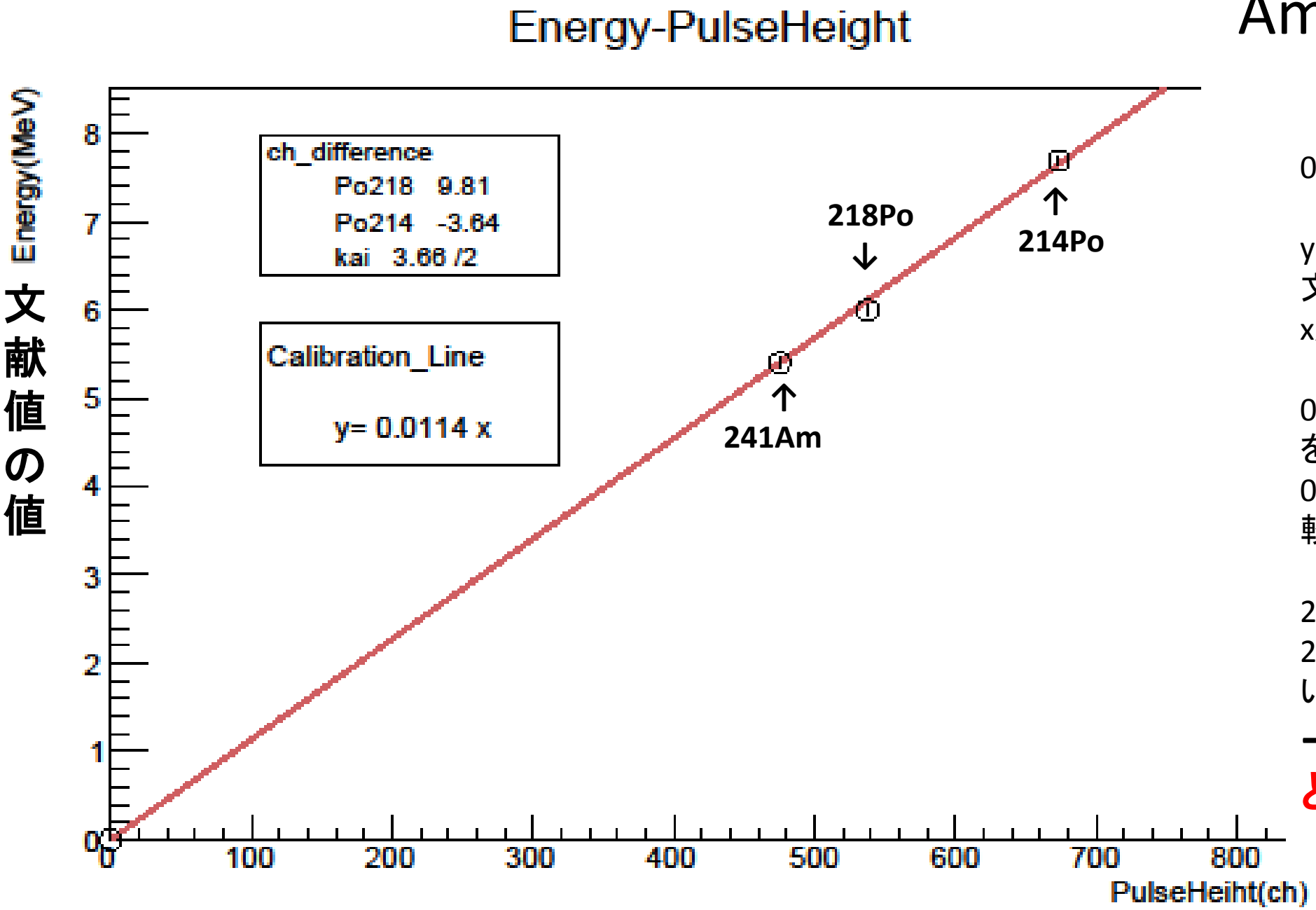
一つ目のGATE幅　5μs




一つ目のGATE幅　100μs



# Am較正直線との比較




文献値の値

実験の測定結果

0MeVのchを0chとした時の、

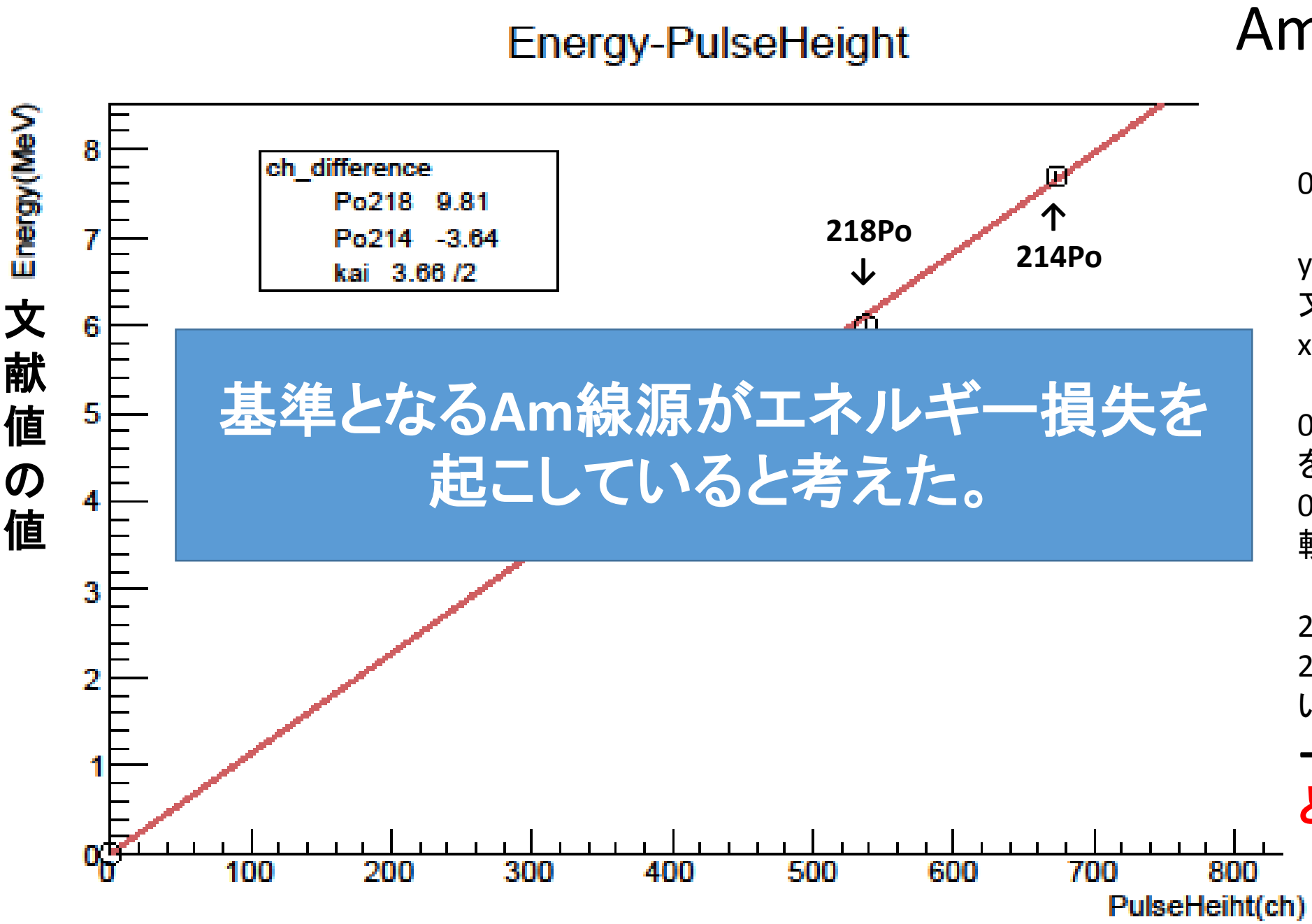
y座標をα崩壊したときのα線の文献値のエネルギー、
x座標を実験で求めたchとして

0MeV,241Am,218Po,214Poの点をプロットし、
0MeVと241Amを用いて求めた較正直線を引いた図である。

218Poは直線よりも右に、
214Poは直線よりも左にずれている。

**→218Poと214Poで直線との関係が違う???**

# Am較正直線との比較




実験の測定結果

0MeVのchを0chとした時の、

y座標をα崩壊したときのα線の文献値のエネルギー、
x座標を実験で求めたchとして

0MeV,241Am,218Po,214Poの点をプロットし、
0MeVと241Amを用いて求めた較正直線を引いた図である。

218Poは直線よりも右に、
214Poは直線よりも左にずれている。

**→218Poと214Poで直線との関係が違う???**

# Am線源のエネルギー損失

今回の実験では241Am密封線源を用いた。
放射線及び放射能測定器の校正目的で使用される密封線源の窓には厚さ1～2μmの金、もしくはパラジウム、もしくは金パラジウム合金が使用される。

ベーテブロッホの式

$$-\frac{dE}{dx} = 4\pi N_a r_e^2 m_e c^2 \rho \frac{Z}{A}\frac{z^2}{\beta^2}\left[\ln\left(\frac{2m_e\gamma^2 v^2 W_{max}}{I^2}\right) - 2\beta^2\right][\mathrm{MeV/cm}]$$

より、α線がAuを通過したときに単位長さ当たりで失うエネルギーは　8638.02[MeV/cm]

**この部分に密封線源の窓として薄い膜が貼られている。**

↑使用した241Am線源

よって、密封線源の窓が厚さ1μmの時

$$8638.02\left[\frac{MeV}{cm}\right] \times 1 \times 10^{-4}[cm] = 0.0863802[MeV]$$

のエネルギー損失を起こしている。

今回使用したAm線源が何で密封されているのか確認できなかったが、校正目的で使用される密封線源と同程度のエネルギー損失を起こしていると仮定し、Amのα線のエネルギーを5.3MeVとして較正直線を引いた。

# Am線源のエネルギー損失（おまけ）

ベーテブロッホの式

$$-\frac{dE}{dx} = 4\pi N_a r_e^2 m_e c^2 \rho \frac{Z}{A}\frac{z^2}{\beta^2}\left[\ln\left(\frac{2m_e\gamma^2 v^2 W_{max}}{I^2}\right) - 2\beta^2\right] \text{[MeV/cm]}$$

$$4\pi N_a r_e^2 m_e c^2 = 0.3070 \text{ [MeV}cm^2/\text{g]}$$

$$W_{max} \sim 2m_e c^2 \eta^2 \ \ (\eta = \beta\gamma)$$

$$\frac{I}{Z} = 9.76 + 58.8Z^{-1.19} \ [eV] \ \ (Z \geq 13)$$

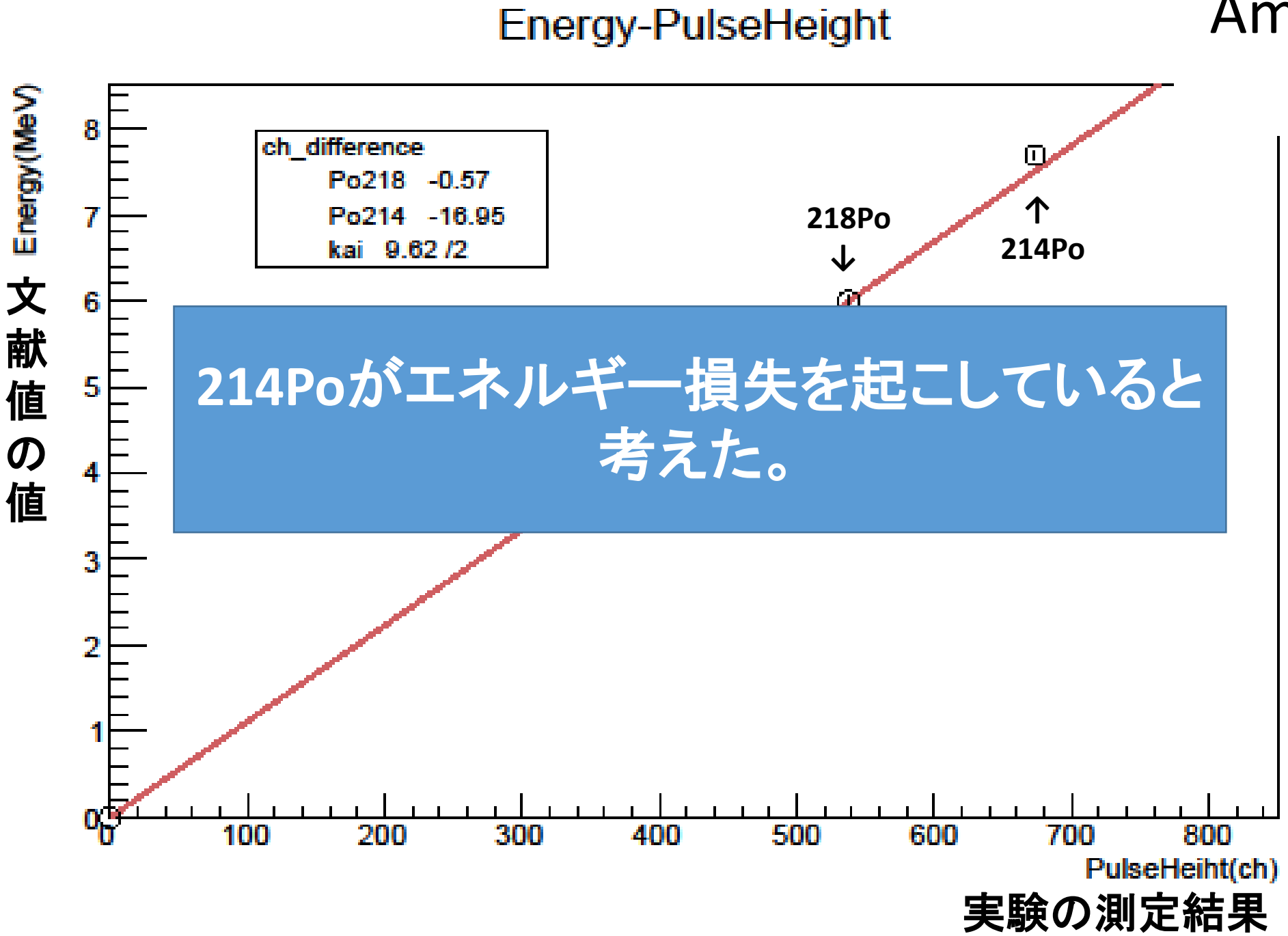
Auの場合、 $\rho = 19.32 \ [g/cm^3]$ , $Z = 79$ , $A = 196.97$

A線の速度は核種にもよるが、$v = (1.5\sim2.0) \times 10^7 \ [m/s]$

zはα線の電荷、βはv/c、γは$1/\sqrt{1-\beta^2}$

より計算すると、α線がAuを通過したときに単位長さ当たりで失うエネルギーは　8638.02[MeV/cm]

# Am較正直線との比較




文献値の値

実験の測定結果

0MeVのchを0chとした時の、

y座標をα崩壊したときのα線の文献値のエネルギー、
x座標を実験で求めたchとして

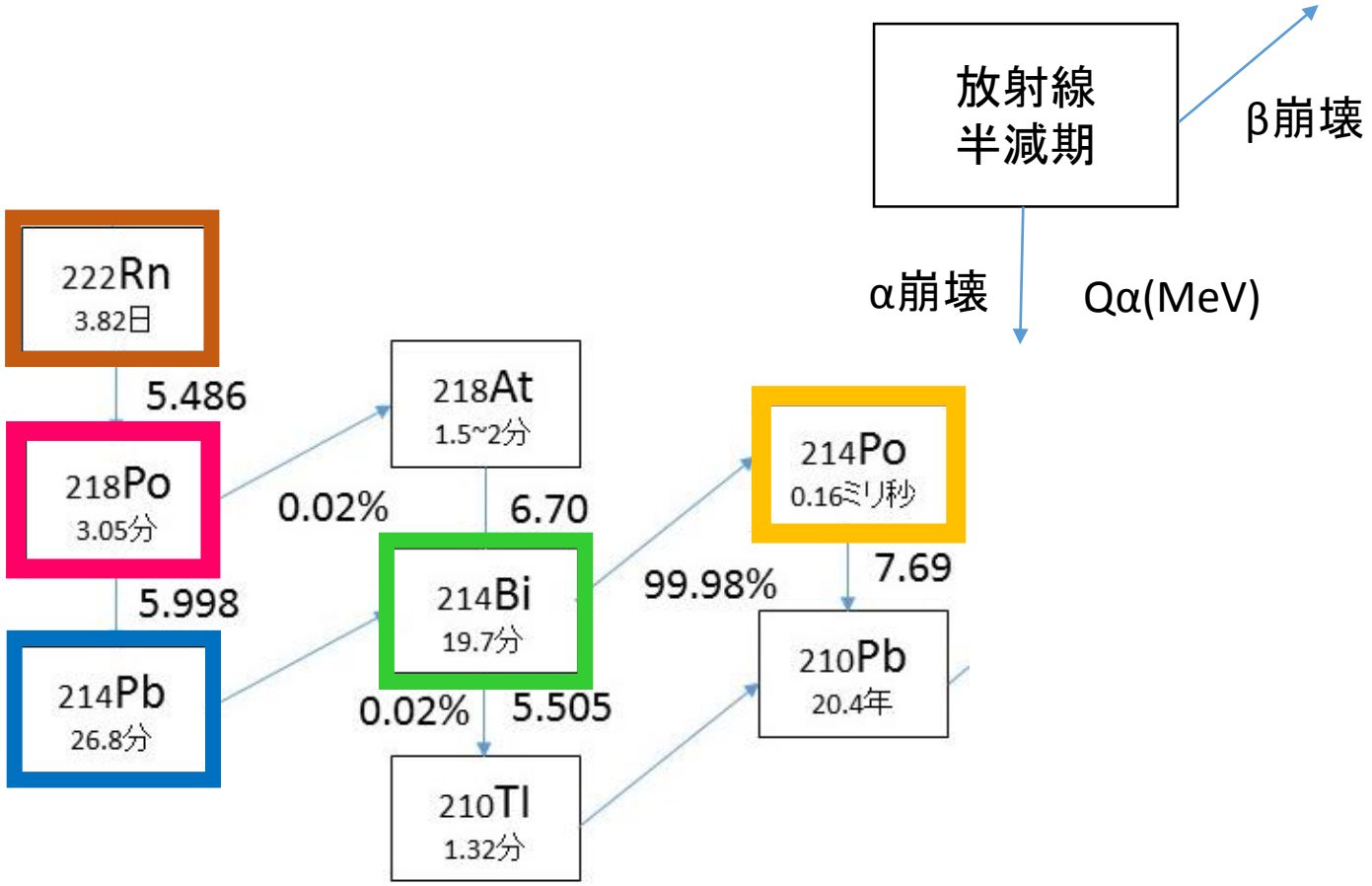
0MeV,241Am,218Po,214Poの点をプロットし、
0MeVと241Amを用いて求めた較正直線を引いた図である。

218Poはほとんど直線上であるが、214Poは直線よりも左にずれた。

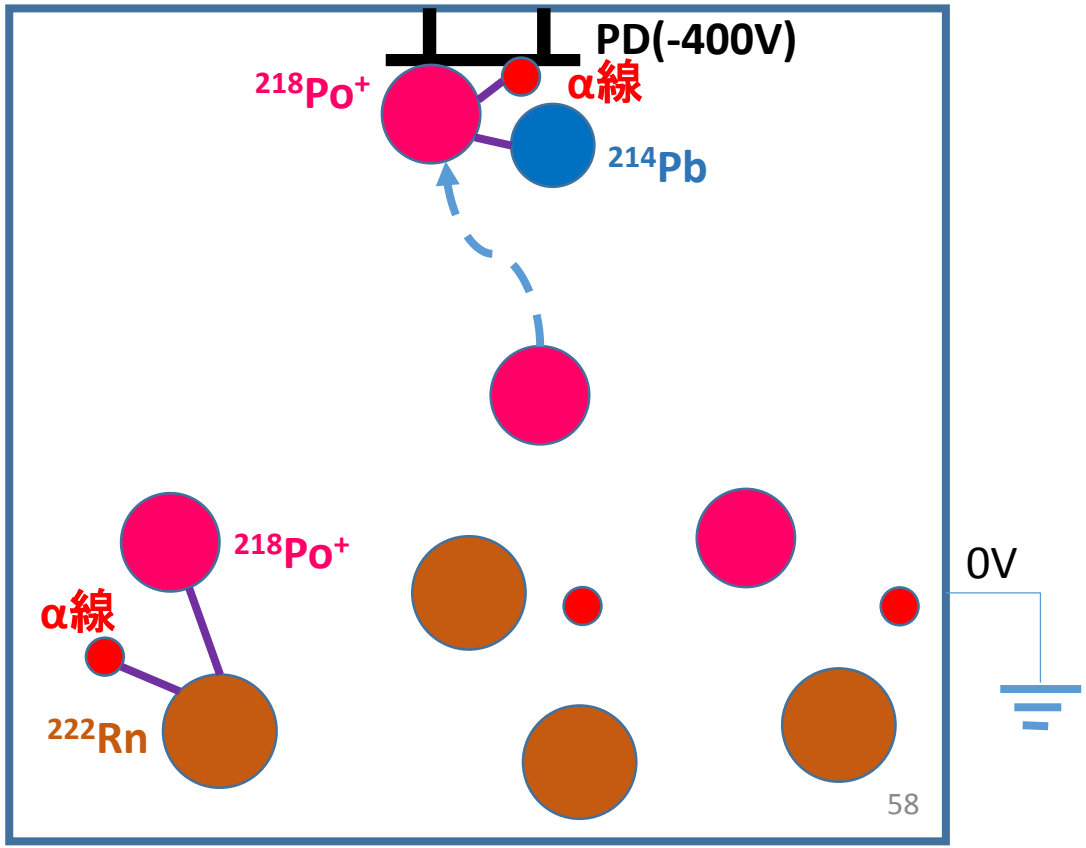
**→214Poのみ測定結果のchが文献値の値よりも低い???**

# 214Poのエネルギー損失

今回の実験では静電捕集法によってPD表面にPoを吸着させることでPoがα崩壊したときのα線のエネルギーを測定しているが、

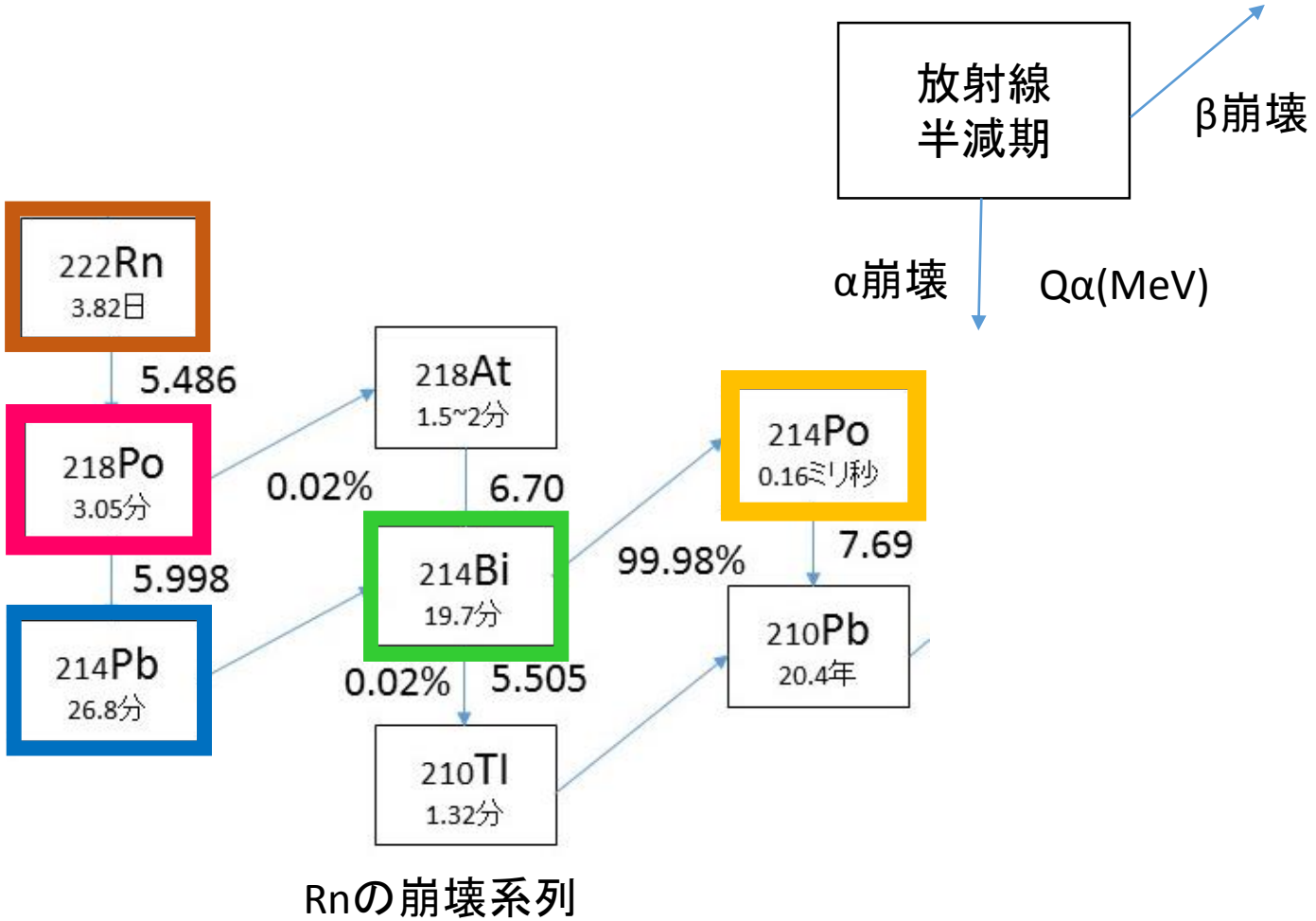



Rnの崩壊系列

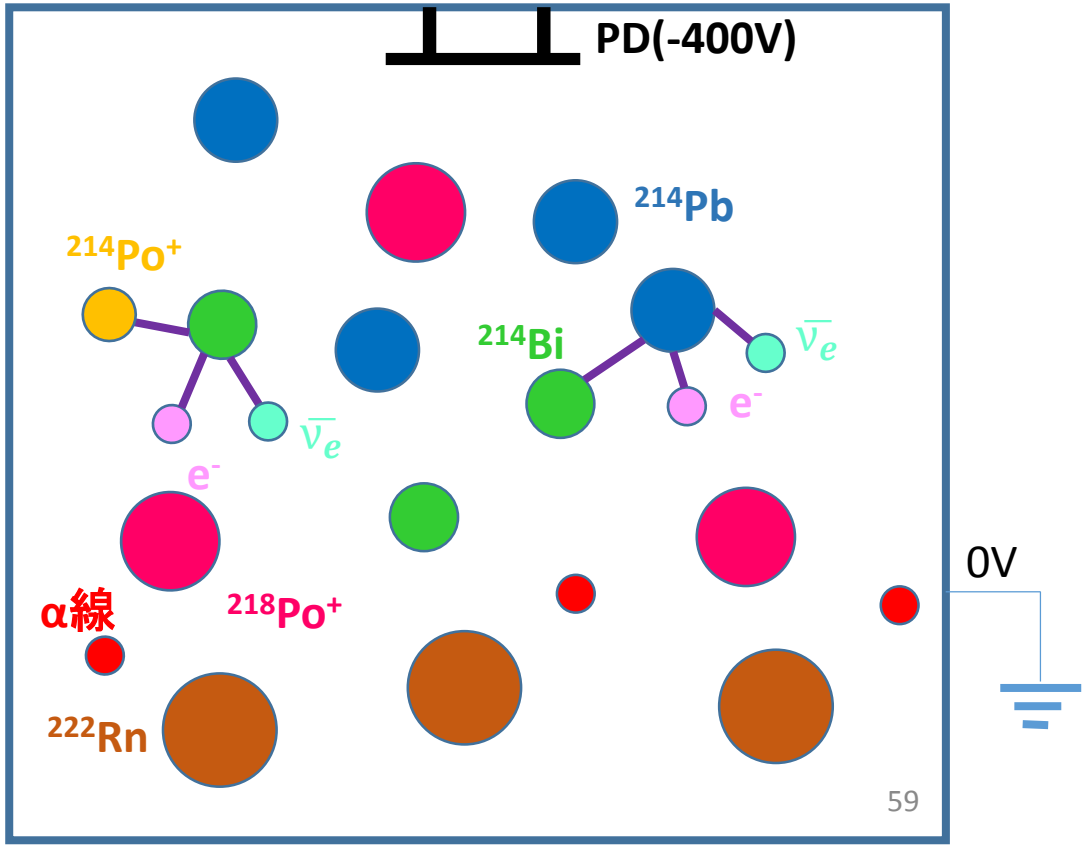


# 214Poのエネルギー損失

今回の実験では静電捕集法によってPD表面にPoを吸着させることでPoがα崩壊したときのα線のエネルギーを測定しているが、
静電捕集法でPD表面に吸着していた218Poが崩壊し、214Pb,214Biに崩壊しているときにPDへの吸着がはがれ、

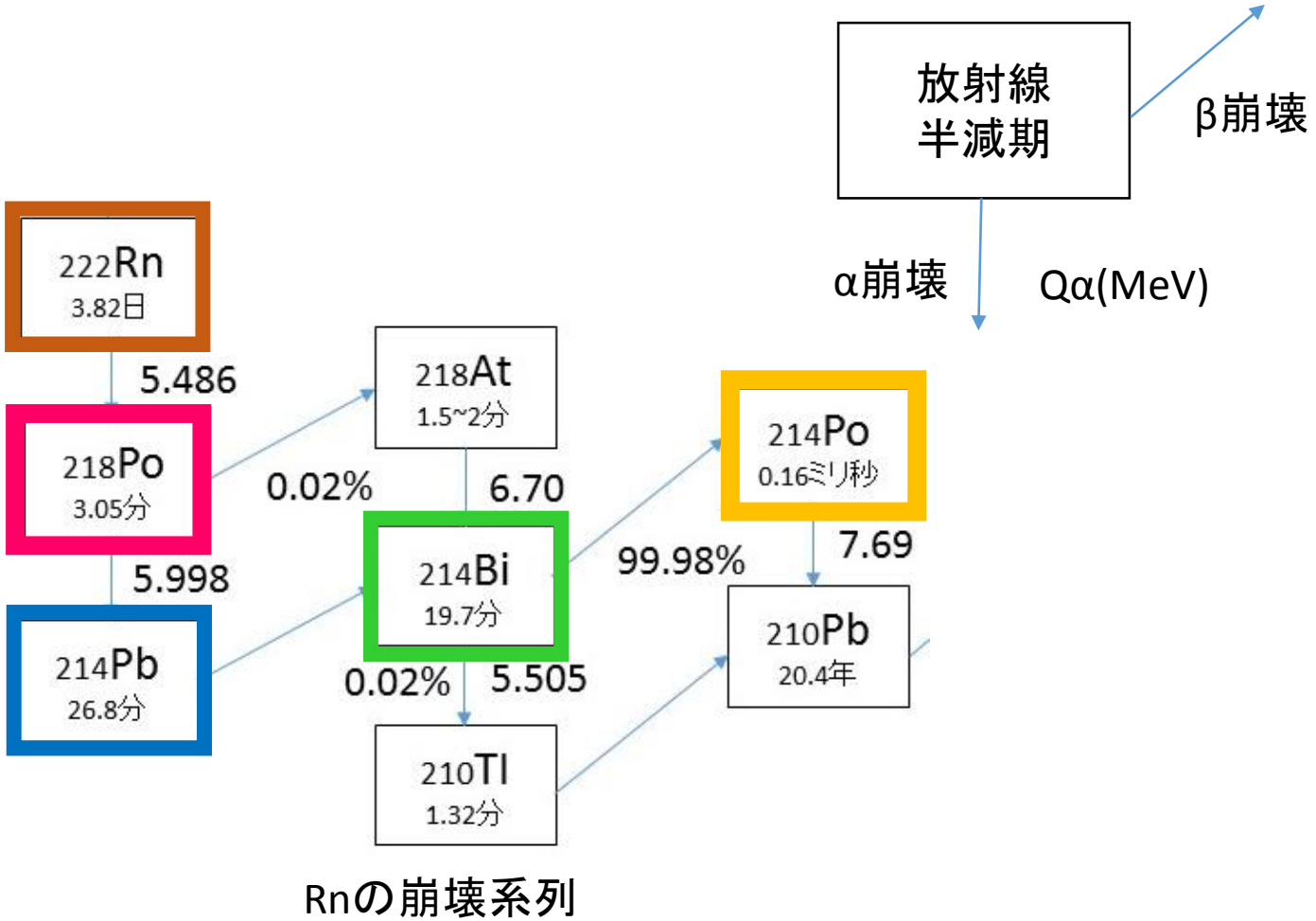



Rnの崩壊系列

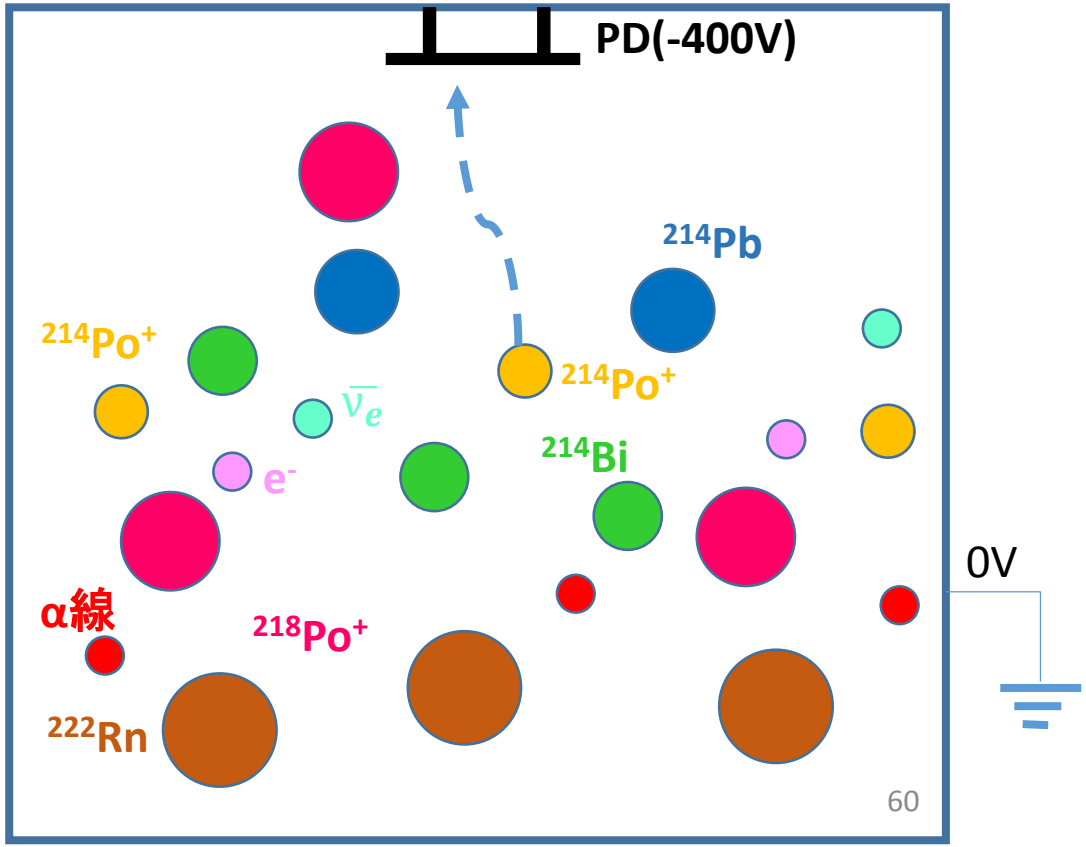


# 214Poのエネルギー損失

今回の実験では静電捕集法によってPD表面にPoを吸着させることでPoがα崩壊したときのα線のエネルギーを測定しているが、
静電捕集法でPD表面に吸着していた218Poが崩壊し、214Pb,214Biに崩壊しているときにPDへの吸着がはがれ、214Poに崩壊してまたPD表面に引き付けられるが、

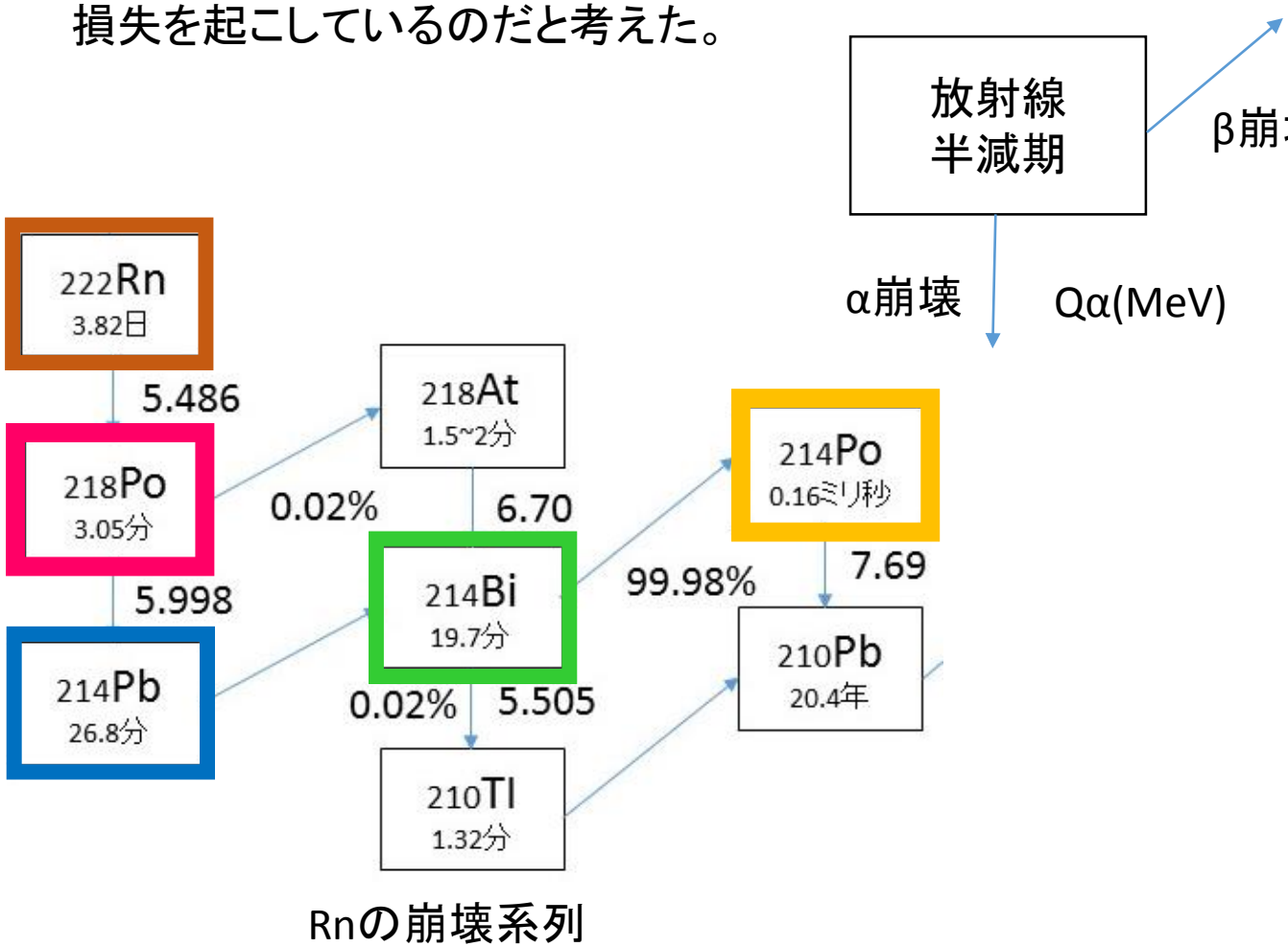



Rnの崩壊系列

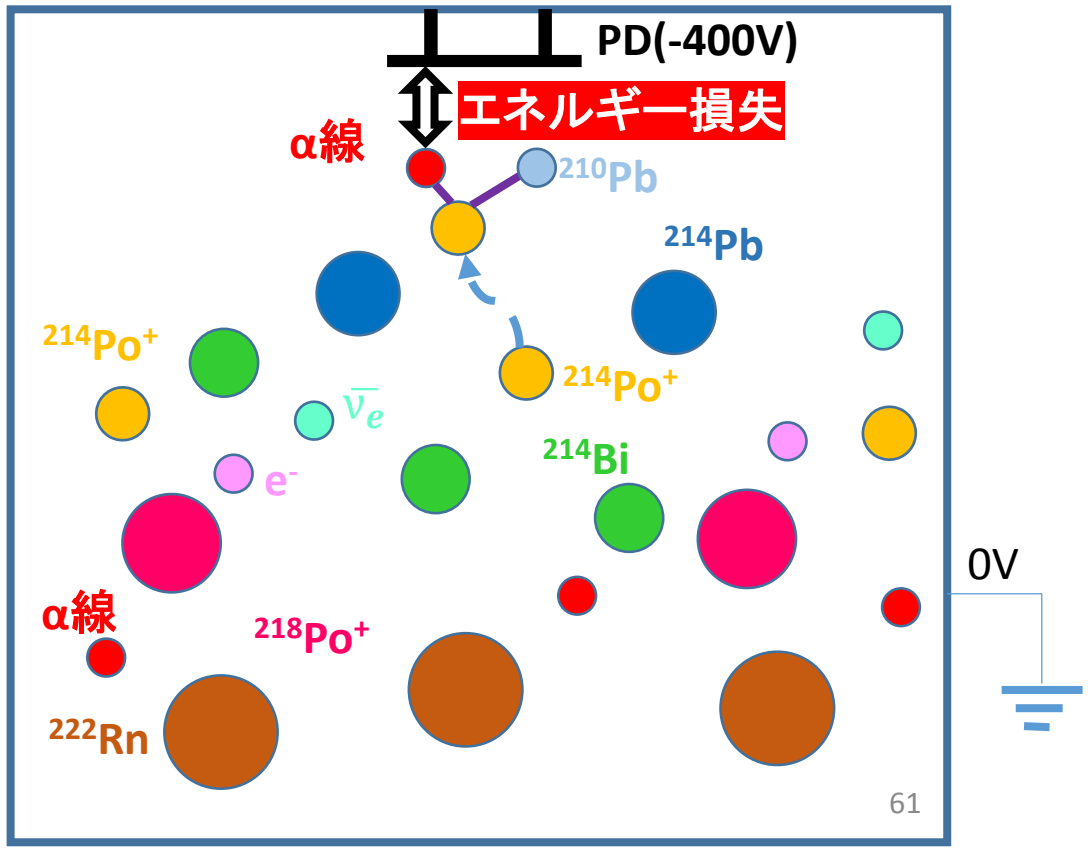


# 214Poのエネルギー損失

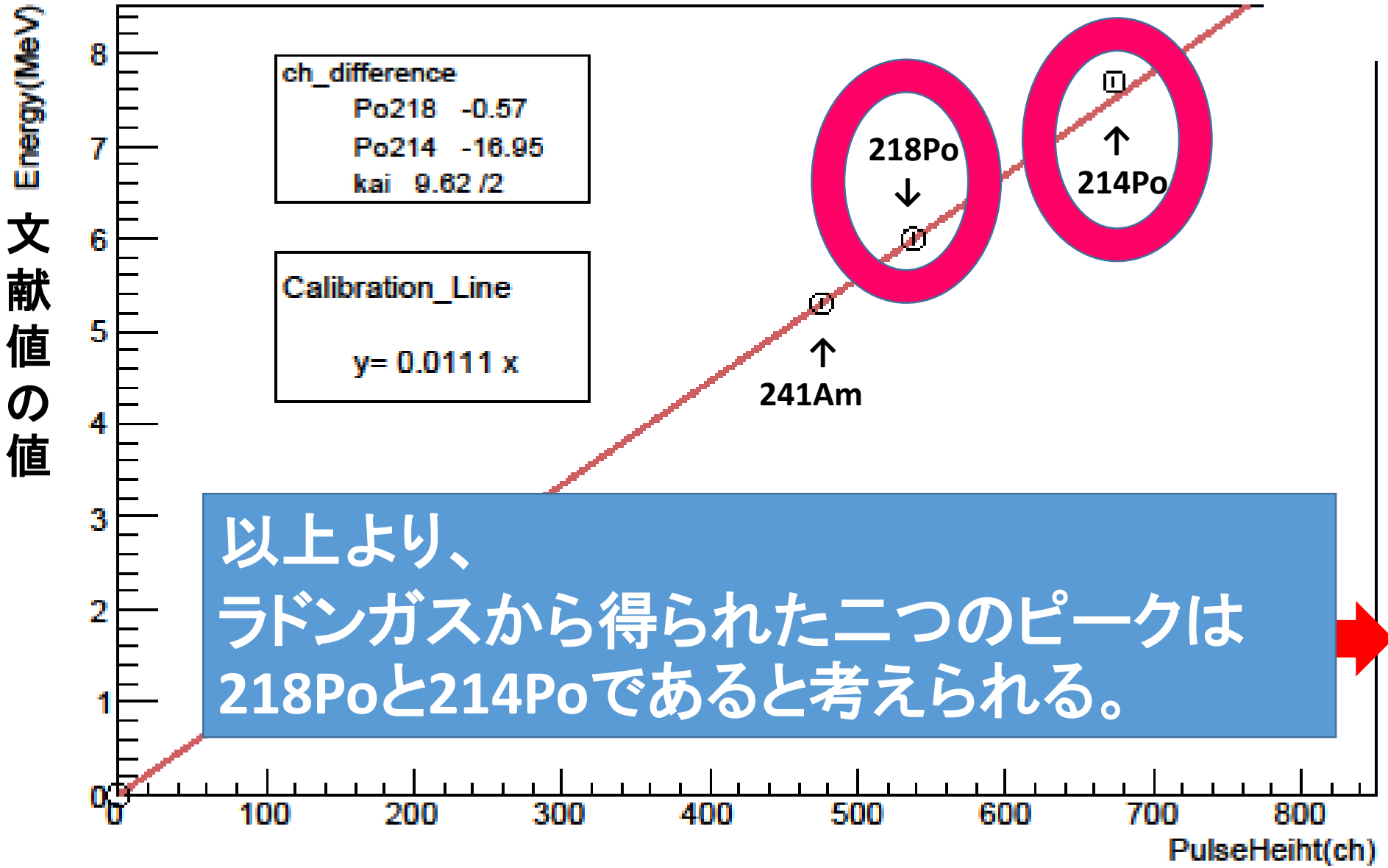
今回の実験では静電捕集法によってPD表面にPoを吸着させることでPoがα崩壊したときのα線のエネルギーを測定しているが、
静電捕集法でPD表面に吸着していた218Poが崩壊し、214Pb,214Biに崩壊しているときにPDへの吸着がはがれ214Poに崩壊してまたPD表面に引き付けられるが、
214Poの半減期はとても短いため、PD表面に向かっている段階でα崩壊し、PD表面との間の空気によってエネルギー損失を起こしているのだと考えた。




Rnの崩壊系列



# Am較正直線との比較



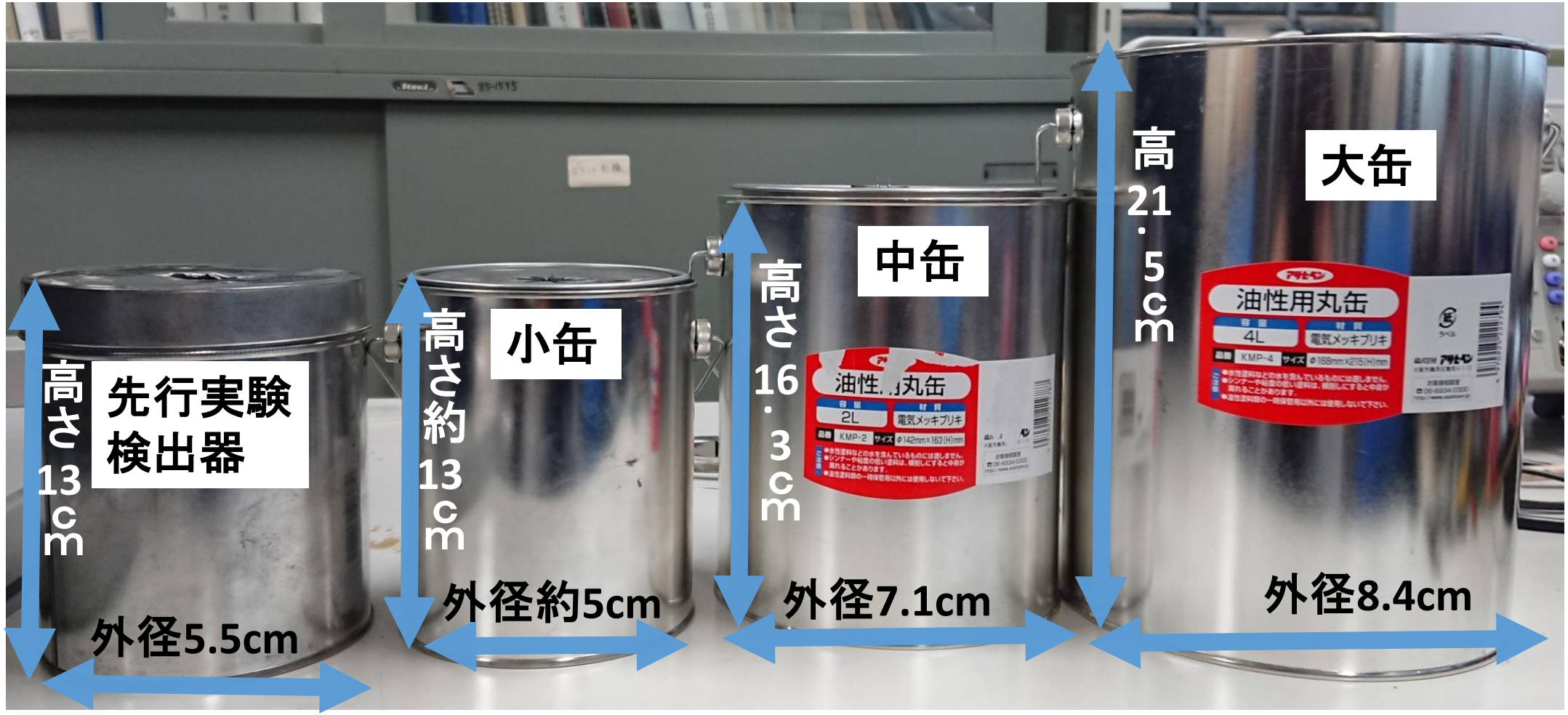

文献値の値

実験の測定結果

以上より、
ラドンガスから得られた二つのピークは
218Poと214Poであると考えられる。

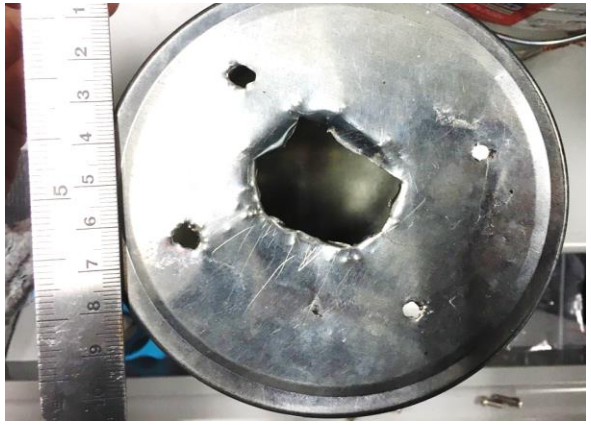
次はそれらの半減期を求める。

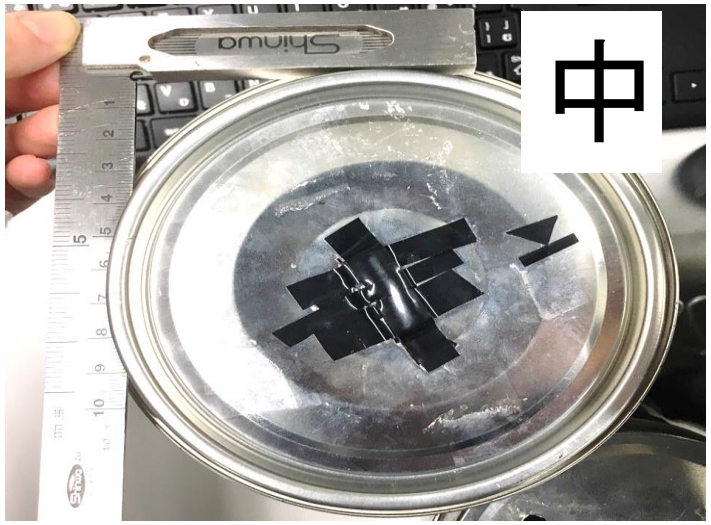
# 缶のサイズ

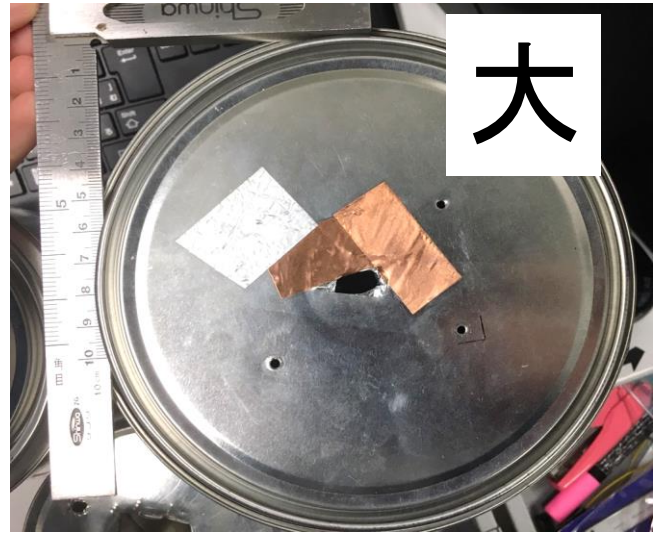

先行実験
検出器
高さ13cm
外径5.5cm
小缶
高さ約13cm
外径約5cm
中缶
高さ16.3cm
外径7.1cm
大缶
高21.5cm
外径8.4cm
油性用丸缶
4L
電気メッキブリキ
KMP-4

先行実験検出器

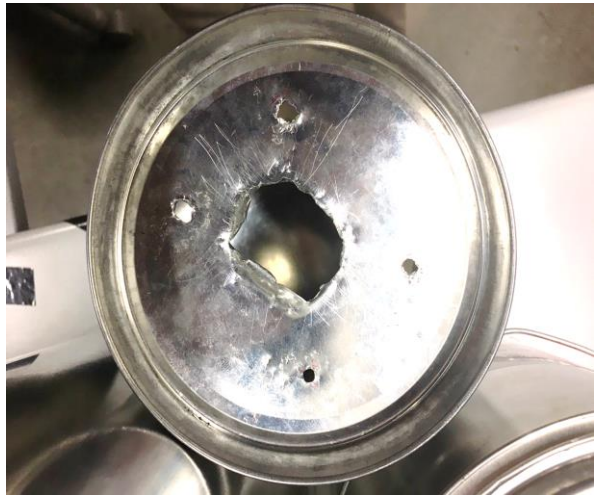
蓋の表





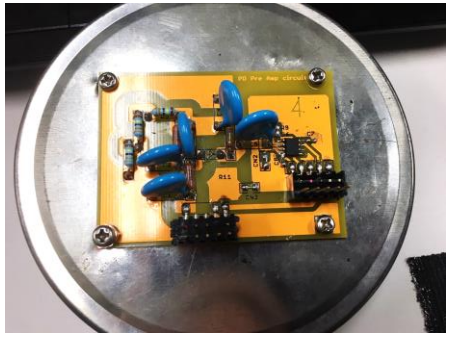

蓋の裏

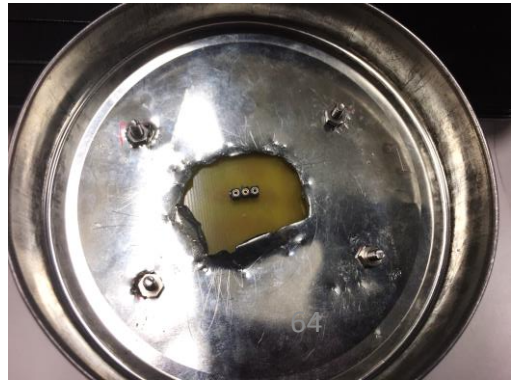


小缶が一番穴が開いている

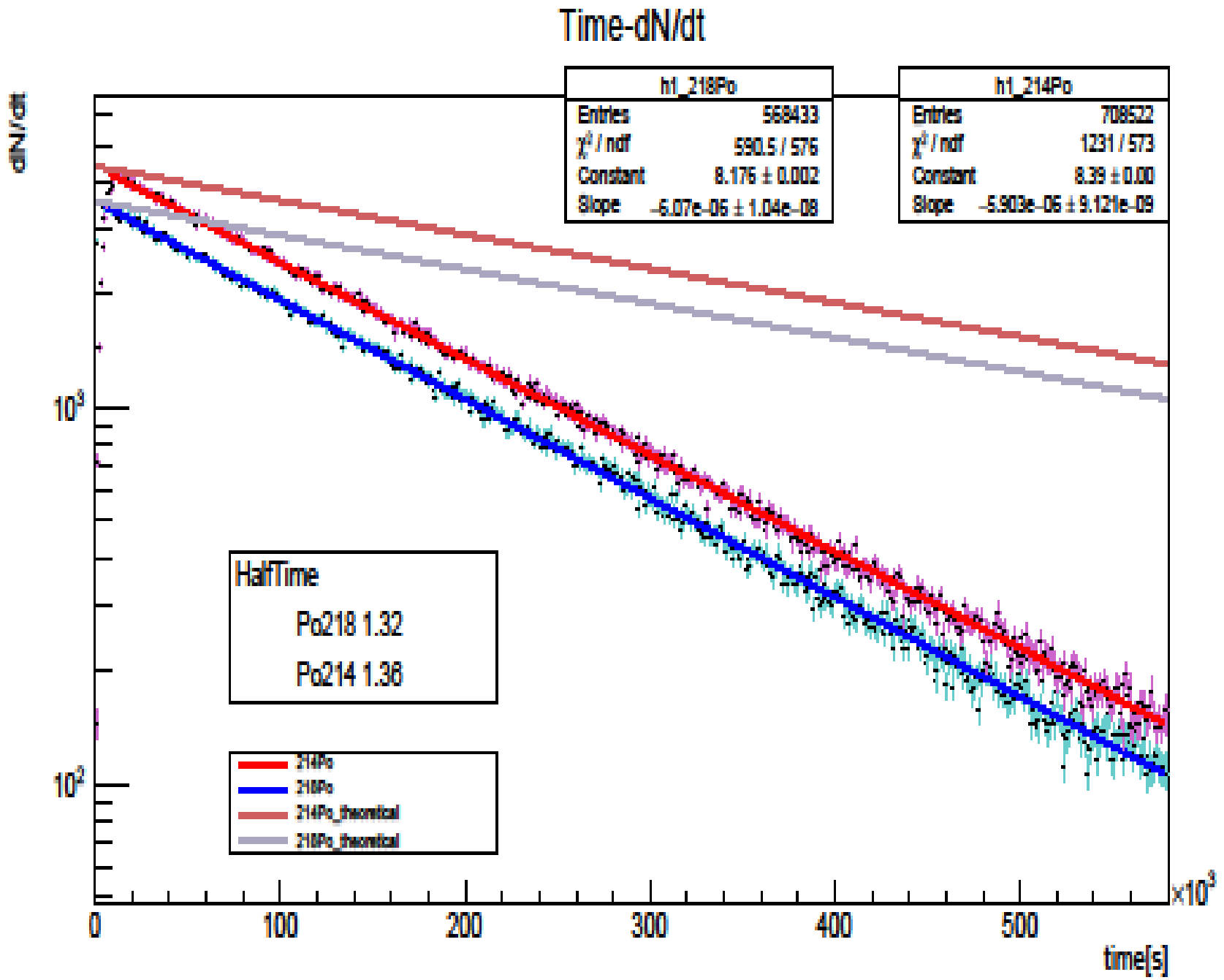
密封度が高い順に並べると
中缶＞大缶＞小缶

プリアンプ
装着時→





# 長時間測定データを用いた考察




大缶にDOLL STONEを約72h入れての測定。

※測定一日目にシェイパーアンプが外れていたため、ラドン石を抜いて二日目からの測定である。

1binあたり1000sである。

# 測定時間による比較

長時間測定データを用いた考察

大缶でのラドンガス測定データを用いての考察。
上はfitする時間を表しており、横はbin数を表している。
Fitする時間を長くすればするほど求められる半減期が短くなっている…?
→測定初めのデータを含めているので最初の方はちゃんとfitができていないと考えた。
24時間から測定時間を延ばしてもあまり大きな変化は見られないので
測定時間は24時間が妥当だと考えた。

| Bin数 | 時間 | 3時間 10800(s) | 4時間 14400(s) | 5時間 18000(s) | 10時間 36000(s) | 24時間 86400(s) | 48時間 172800(s) | 72時間 259200(s) | 161時間 579600(s) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 400 | 半減期T T[day] | エラー | 5.63日 | 3.89日 | 1.59日 | 1.36日 | 1.34日 | 1.34日 | 1.32日 |
| | 崩壊定数 λ[×$10^{-6}$] | +6.272 | -1.425 | -2.062 | -5.034 | -5.88 | -5.983 | -5.98 | -6.054 |
| 80 | 半減期T T[day] | エラー | 2.23日 | 2.23日 | 1.51日 | 1.36日 | 1.34日 | 1.34日 | 1.33日 |
| | 崩壊定数 λ[×$10^{-6}$] | | -3.59 | -3.59 | -5.3 | -5.92 | -5.992 | -5.989 | -6.05 |
| 40 | 半減期T T[day] | エラー | エラー | エラー | 1.91日 | 1.35日 | 1.34日 | 1.34日 | 1.33日 |
| | 崩壊定数 λ[×$10^{-6}$] | | | | -4.192 | -5.936 | -5.997 | -5.99 | -6.05 |

# fitの場所による比較

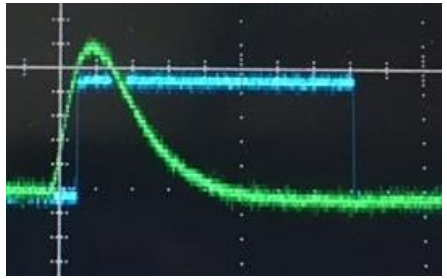
下の表は20時間ごとにfitした時の半減期結果を表したものである。
時間が経過するにつれて半減期が短くなるわけではないことが分かった。

## 長時間測定データを用いた考察

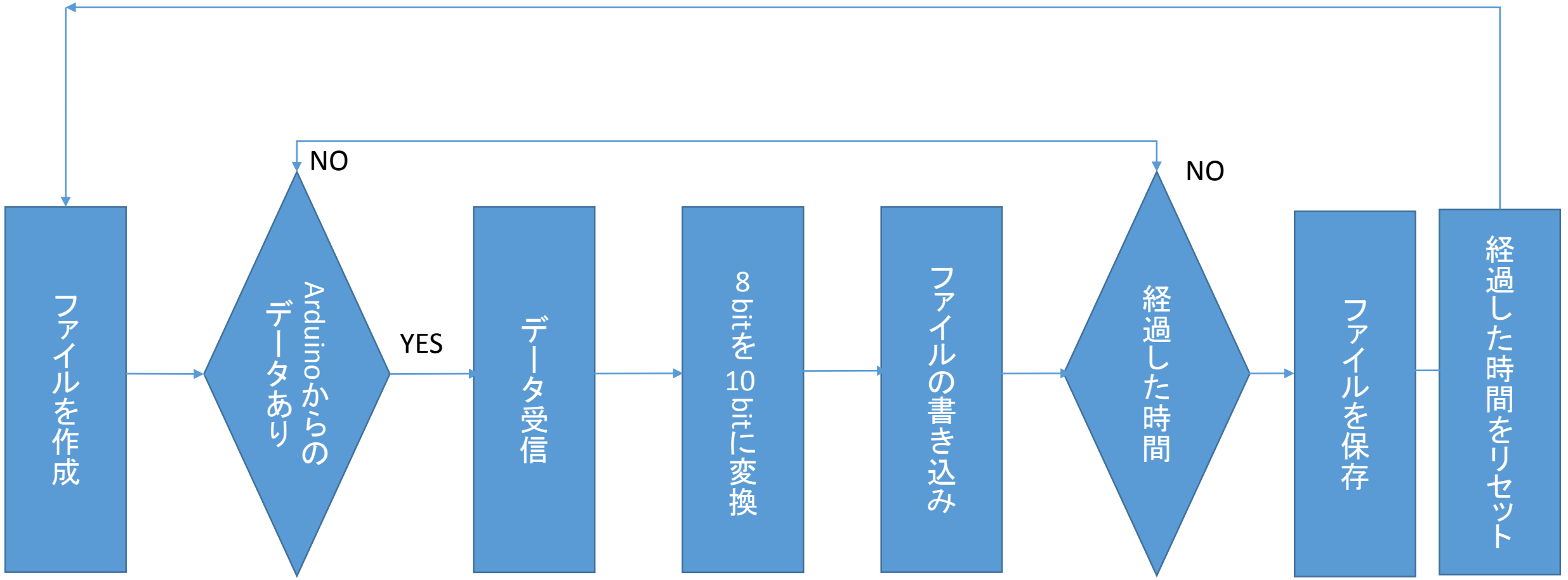
| Bin数 | 時間 | 0~20時間 | 20~40時間 | 40~60時間 | 60~80時間 | 80~100時間 | 100~120時間 | 120~140時間 | 140~160時間 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 580 1binあたり 1000[s] | 半減期T T[day] | 1.39 | 1.34 | 1.33 | 1.39 | 1.21 | 1.28 | 1.38 | 1.85 |
| | 崩壊定数 λ[×$10^{-6}$] | 5.779 | 6.004 | 6.01 | 5.767 | 6.621 | 6.261 | 5.825 | 4.334 |
| 290 1binあたり 2000[s] | 半減期T T[day] | 1.38 | 1.34 | 1.34 | 1.39 | 1.21 | 1.28 | 1.38 | 1.85 |
| | 崩壊定数 λ[×$10^{-6}$] | 5.833 | 6.005 | 6 | 5.757 | 6.644 | 6.27 | 5.816 | 4.341 |
| 145 1binあたり 4000[s] | 半減期T T[day] | 1.37 | 1.34 | 1.34 | 1.39 | 1.20 | 1.28 | 1.38 | 1.83 |
| | 崩壊定数 λ[×$10^{-6}$] | 5.867 | 6.002 | 5.992 | 5.759 | 6.685 | 6.244 | 5.809 | 4.396 |
| 58 1binあたり 10000[s] | 半減期T T[day] | 1.37 | 1.34 | 1.34 | 1.4 | 1.22 | 1.32 | 1.35 | 1.61 |
| | 崩壊定数 λ[×$10^{-6}$] | 5.849 | 5.975 | 5.997 | 5.713 | 6.577 | 6.082 | 5.926 | 4.975 |

# Arduinoのプログラム

```
const byte ADC_PIN = 0;
const byte TRG = 0; // 0: pin-2  1: pin-3
const byte bitmask = B00011111;

volatile int num;//データを入れる箱をつくる
int nloop = 100;

void setup(){

  pinMode(7,OUTPUT);//GATEピン
  digitalWrite(7,LOW);//最初ゼロの値を与える
  attachInterrupt(TRG,GATE,RISING);
//TRGがRisingしたらGATE関数を実行
  Serial.begin(9600);

  //speed test
  int time = millis();
  for( int i=0; i<nloop; i++ ){
    GATE();
  }
  Serial.println("// Speed Test //");
  Serial.print("loop of ");
  Serial.println(nloop);
  time = millis() - time;
  Serial.print("Time: ");
  Serial.print(time);
  Serial.println(" ms");
}

void GATE(){

  detachInterrupt(TRG);
//not to interruput during this function

  //Gate信号
  digitalWrite(7,HIGH); //7をON
  delayMicroseconds(8);//単位はusec
  digitalWrite(7,LOW);   //7をOFF

  num = analogRead(ADC_PIN);
//アナログピンの値を読み込む

  delayMicroseconds(200);//時間をおく
```



```
 //リセット用のGate信号
  digitalWrite(7,HIGH);
  delayMicroseconds(3);
  digitalWrite(7,LOW);

  senddata( num );
  attachInterrupt(TRG,GATE,RISING);
}
byte getParity( byte val ){

  byte x;
  x = val >> 4;
  val = val^x;
  x = val >> 2;
  val = val^x;
  x = val >> 1;
  val = val^x;

  return ( val & 1 );
}

void senddata( int val ){

  //convert data
  byte lowVal = ( val & bitmask );
  byte higVal = ( ( val >> 5 ) & bitmask );

  //horizontal parity check
  byte lowParity = getParity( lowVal );
  byte higParity = getParity( higVal );

  //vertical parity check
  byte andParity = getParity( higVal &
lowVal );
  byte  orParity = getParity( higVal |
lowVal );

  //make packet
  byte higBit = B10000000;
  byte lowBit = B00000000;
  higBit += ( higVal << 2 );
  lowBit += ( lowVal << 2 );
  higBit += ( andParity << 1 );
  lowBit += (  orParity << 1 );
  higBit += higParity;
  lowBit += lowParity;

  Serial.write( higBit );
  Serial.write( lowBit );

  //byte tmp[2];
  //tmp[0] = higBit;
  //tmp[1] = lowBit;
  //Serial.write( tmp, 2 );
}

void loop(){
  //delay(3000);
  //senddata( 750 );
}
```




# Processingのフローチャート

```
#include<fstream>
using namespace std;//fstream使うときのおまじない
void hist_mean_hakoari(){
//ヒストグラムの作成TH1F * h1 = new TH1F("name","title",bin数, 下限,上限);
TH1F * h1 = new TH1F("h1",  "h1", 1024,0,1023);
//ファイルの読み込み
ifstream ifs("20181111_19h_radonishinasi.dat");
double x;
while (ifs >> x ) {
h1->Fill(x);
}
ifs.close();
//bin数をn個で1個に換算 Rebin(n):bin数1/n
h1->Rebin(4);
//ヒストグラムを描く
h1->Draw();
//関数の定義  TF1* f1 = new TF1("name", "式");
TF1* f1 = new TF1("gaus", "gaus(0)");
TF1* f2 = new TF1("gaus", "gaus(0)");
TF1* f3 = new TF1("gaus", "gaus(0)");
//凡例の表示  TLegend * tg = new TLegend(x1,y1,x2,y2,"title");
TLegend * tg1 = new TLegend(0.2,0.7,0.4,0.85,"peak1");
TLegend * tg2 = new TLegend(0.2, 0.5, 0.4, 0.65, "peak2");
TLegend * tg3 = new TLegend(0.2, 0.15, 0.4, 0.25, "");
TLegend * tg4 = new TLegend(0.2, 0.3, 0.4, 0.45, "peak3");
//ピークの線の色指定
f1->SetLineColor(9);
f2->SetLineColor(8);
f3->SetLineColor(6);
h1->Fit(f1, "+", "", 605, 630); //Fitting
h1->Fit(f2, "+", "", 665, 685);
h1->Fit(f3, "+", "", 755, 785);
//GetParameter(); 0:ピークのy,1:ピークのx,2:sigma
Double_t p0 = f1->GetParameter(1);
Double_t p1 = f2->GetParameter(1);
Double_t p2 = f1->GetParameter(2);
Double_t p3 = f2->GetParameter(2);
Double_t p6 = f3->GetParameter(1);
Double_t p7 = f3->GetParameter(2);
//GerParError(n);n番目のパラメータのエラー
Double_t p4 = f1->GetParError(1);
Double_t p5 = f2->GetParError(1);
Double_t p8 = f3->GetParError(1);
//凡例の定義（どこに何を表示するか）
tg1->AddEntry((TObject*)0, Form("Mean %.2lf", p0),"");
tg1->AddEntry((TObject*)0, Form("Sigma %.2lf", p2),"");
tg1->AddEntry((TObject*)0, Form("MeanError %.2lf", p4),"");
tg2->AddEntry((TObject*)0, Form("Mean %.2lf", p1),"");
tg2->AddEntry((TObject*)0, Form("Sigma %.2lf", p3),"");
tg2->AddEntry((TObject*)0, Form("MeanError %.2lf", p5),"");
tg4->AddEntry((TObject*)0, Form("Mean %.2lf", p6), "");
tg4->AddEntry((TObject*)0, Form("Sigma %.2lf", p7), "");
tg4->AddEntry((TObject*)0, Form("MeanError %.2lf", p8), "");
//tg->AddEntry(fit関数, "name", "l");  "l"はLineのl
tg3->AddEntry(f1, "peak1", "l");
tg3->AddEntry(f2, "peak2", "l");
tg3->AddEntry(f3, "peak3", "l");
//凡例の表示
tg1->Draw();
tg2->Draw();
tg3->Draw();
tg4->Draw();
return;
}
```

# ヒストグラムのプログラム

# time-dN/dtのプログラム

```
#include<fstream>
using namespace std;//fstream使うときのおまじない
void time_dNdt(){
//canvasの作成 TCanvas * c1 = new TCanvas("name", "title", 横の長さ, 縦の長さ);
TCanvas * c1 = new TCanvas("c1", "20181111_19h_radonishinasi", 600, 400);
//ヒストグラムの作成TH1F * h1 = new TH1F("name","title",bin数, 下限,上限);
TH1F * h1 = new TH1F("218Po", "Time - dN / dt; time[s]; dN / dt", 500, 0, 70000);
TH1F * h2 = new TH1F("214Po", "20181111_19h_radonishinasi", 500, 0, 70000);
//配列の定義
int time,ch;
double p1mean, p2mean, p1sigma, p2sigma,p1min,p1max,p2min,p2max;
//peakの情報入力
p1mean = 617.28;
p2mean = 770.72;
p1sigma = 6.31;
p2sigma = 5.89;
p1min = p1mean - p1sigma * 2.0;
p1max = p1mean + p1sigma * 2.0;
p2min = p2mean - p2sigma * 2.0;
p2max = p2mean + p2sigma * 2.0;
//ファイルの読み込み
ifstream ifs("20181111_19h_radonishinasi_time_ch.dat");
while (ifs >> time >> ch) {
if (ch >= p1min && ch <= p1max) { //peak1の範囲のchであれば
h1->Fill(time);//timeの箱で取ったカウント数のデータをヒストグラムに入れる
}
if (ch >= p2min && ch <= p2max) {//peak2の範囲のchであれば
      h2->Fill(time);//timeの箱で取ったカウント数のデータをヒストグラムに入れる
}
}
ifs.close();
//統計ボックスの表示/非表示
h1->SetStats(1);//表示
//ヒストグラムの線の色指定
h1->SetLineColor(9);
h2->SetLineColor(6);
//bin数をn個で1個に換算 Rebin(n):bin数1/n
h1->Rebin(4);
h2->Rebin(4);
//ヒストグラムを描く
h1->Draw();
h2->Draw("sames");
//統計Boxの位置を変える 場所はDraw()の後
c1->Update();//paintする
TPaveStats *st1 = (TPaveStats*)h1->FindObject("stats");
st1->SetTextColor(9);
TPaveStats *st2 = (TPaveStats*)h2->FindObject("stats");
st2->SetTextColor(6);
return;
}
```

# time-dN/dt fitのプログラム

```
#include<fstream>
using namespace std;//fstream使うときのおまじない
void time_dNdt_fit(){
//canvasの作成 TCanvas * c1 = new TCanvas("name", "title", 横の長さ, 縦の長さ);
TCanvas * c1 = new TCanvas("c1", "20181111_19h_radonishinasi", 600, 400);
//ヒストグラムの作成TH1F * h1 = new TH1F("name","title;Xtitle;Ytitle",bin数, 下限,上限);
TH1F * h1 = new TH1F("218Po", "Time-dN/dt;time[s];dN/dt", 400, 0, 70000);
TH1F * h2 = new TH1F("214Po", "h2;time[s];dN/dt", 400, 0, 70000);
//配列の定義
int time,ch;
double p1mean, p2mean, p1sigma, p2sigma,p1min,p1max,p2min,p2max;
//peakの情報入力
p1mean = 617.28;
p2mean = 770.72;
p1sigma = 6.31;
p2sigma = 5.89;
p1min = p1mean - p1sigma * 2;
p1max = p1mean + p1sigma * 2;
p2min = p2mean - p2sigma * 2;
p2max = p2mean + p2sigma * 2;
//ファイルの読み込み
ifstream ifs("20181111_19h_radonishinasi_time_ch.dat");
while (ifs >> time >> ch) {
if (ch >= p1min && ch <= p1max) { //peak1の範囲のchであれば
h1->Fill(time);                  //timeの箱で取ったカウント数のデータをヒストグラムに入れる
}
if (ch >= p2min && ch <= p2max) {//peak2の範囲のchであれば
       h2->Fill(time);                  //timeの箱で取ったカウント数のデータをヒストグラムに入れる
}
}

ifs.close();
```

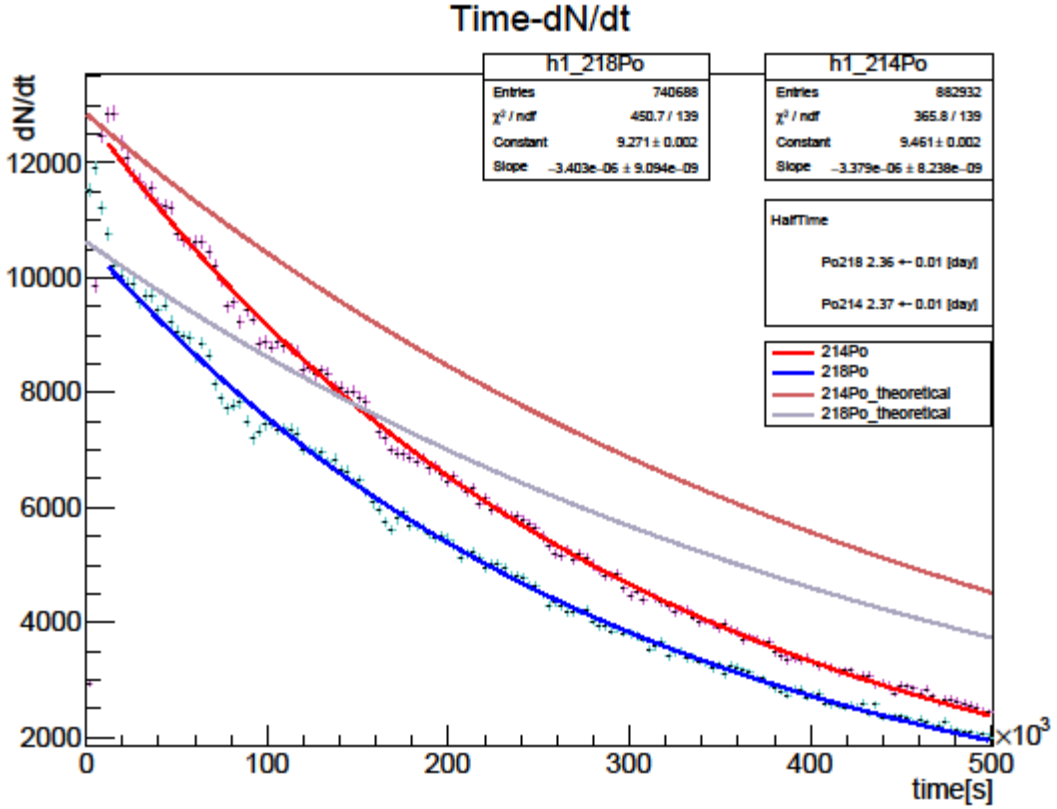
```
//ヒストグラムの線の色指定
h1->SetLineColor(9);
h2->SetLineColor(6);
//bin数をn個で1個に換算 Rebin(n):bin数1/n
h1->Rebin(10);
h2->Rebin(10);
//軸の対数表示
c1->SetLogy();
//c1->SetLogy(false);//元に戻す
//統計ボックスの表示/非表示
h1->SetStats(1);//表示
//ヒストグラムを描く
//"e"はエラーバーの表示、"same"は重ね書き、"sames"で統計ボックスも
重ね書き
h1->Draw("e");
h2->Draw("sames e");
//統計Boxの位置を変える
c1->Update();//paintする
TPaveStats *st1 = (TPaveStats*)h1->FindObject("stats");
TPaveStats *st2 = (TPaveStats*)h2->FindObject("stats");
st1->SetX1NDC(0.2);//x座標の始点
st1->SetX2NDC(0.4);//x座標の終点
st1->SetY1NDC(0.3);//y座標の始点
st1->SetY2NDC(0.5);//y座標の終点
st2->SetX1NDC(0.6);//x座標の始点
st2->SetX2NDC(0.8);//x座標の終点
st2->SetY1NDC(0.55);//y座標の始点
st2->SetY2NDC(0.75);//y座標の終点
c1->Modified();//オブジェクトの設定変更を伝える
//統計Boxの設定 Fit情報の表示
gStyle->SetOptFit();
//統計Boxの設定 各統計情報の表示/非表示
gStyle->SetOptStat(1000000011);
//関数の定義  TF1* f1 = new TF1("name", "式");
TF1* f1 = new TF1("expo", "expo");//exp(p0+p1*x)
TF1* f2 = new TF1("expo", "expo");//exp(p0+p1*x)
//凡例の表示  TLegend * tg = new TLegend(x1,y1,x2,y2,"title");
TLegend * tg3 = new TLegend(0.2, 0.15, 0.4, 0.25, "");
//Fit線の色指定
f1->SetLineColor(4);
f2->SetLineColor(2);
//Fitting
h1->Fit(f1, "+", "", 0, 70000);
h2->Fit(f2, "+", "", 6000, 70000);
//y切片の値を214PoのFitに合わせた時の文献値直線
TF1 * f3 = new TF1("f3", "exp(7.004-2.09e-6*x)", 0, 70000);
f3->SetNpx(500);
f3->SetLineColor(46);
f3->Draw("same");
//y切片の値を218PoのFitに合わせた時の文献値直線
TF1 * f4 = new TF1("f4", "exp(6.594-2.09e-6*x)", 0, 70000);
f4->SetNpx(500);
f4->SetLineColor(40);
f4->Draw("same");
//tg->AddEntry(fit関数, "name", "l");  "l"はLineの l
tg3->AddEntry(f2, "214Po", "l");
tg3->AddEntry(f1, "218Po", "l");
tg3->AddEntry(f3, "214Po_theoretical", "l");
tg3->AddEntry(f4, "218Po_theoretical", "l");
//凡例の表示
tg3->Draw();
return;
}
```

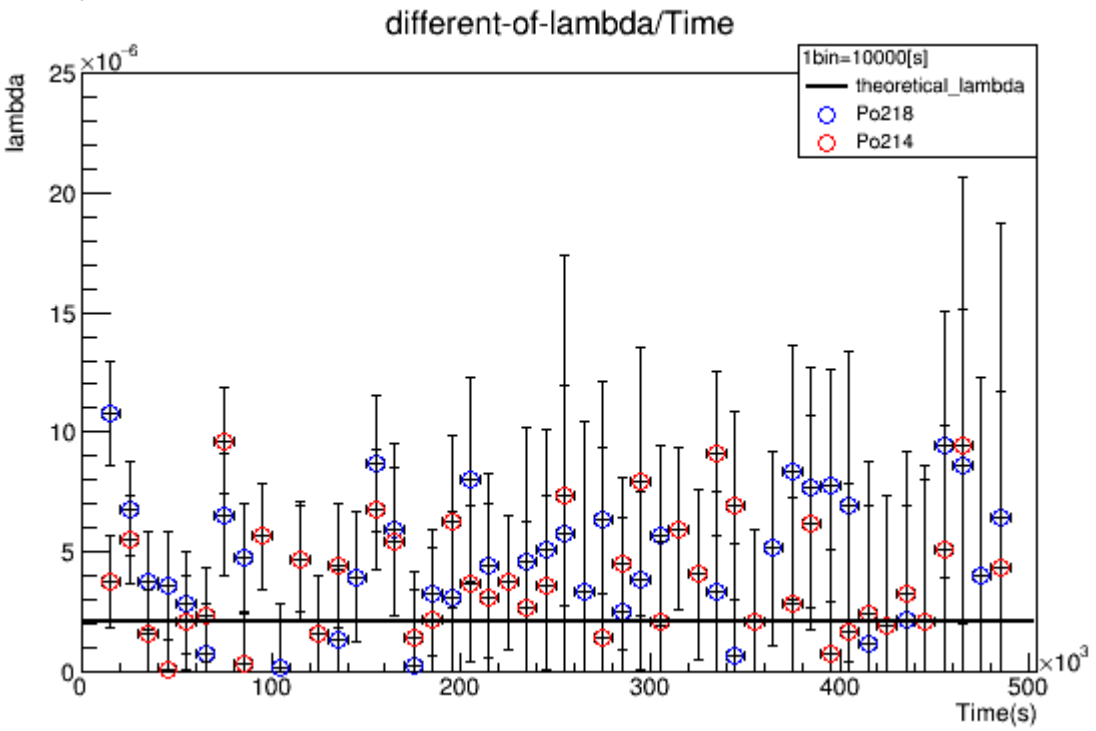
# 較正直線のプログラム

```
#include<fstream>
using namespace std;//fstream使うときのおまじない
void MeV_ch(){
//canvasの作成 TCanvas * c1 = new TCanvas("name", "title", 横の長さ, 縦の長さ);
TCanvas * c1 = new TCanvas("c1", "Am_ch-counts", 600, 400);
//ヒストグラムの作成TH1F * h1 = new TH1F("name","title",bin数, 下限,上限);
TH1F * h1 = new TH1F("Am", "0MeV_Am", 1024, 0, 1023);
TH1F * h2 = new TH1F("0MeV", "0MeV_Am; PulseHeight[ch]; counts", 1024, 0, 1023);
TH1F * h3 = new TH1F("Po", "0MeV_Am; PulseHeight[ch]; counts", 1024, 0, 1023);
//ファイルの読み込み
ifstream ifs("20181120_5m_Am_16_time_ch.dat");
double x1, y1;
while (ifs >> x1 >> y1) {
h1->Fill(y1);
}
ifs.close();
ifstream ifs2("20181120_5m_Am_0ch_12_time_ch.dat");
double x2, y2;
while (ifs2 >> x2 >> y2) {
h2->Fill(y2);
}
ifs2.close();
ifstream ifs3("20181111_19h_radonishinasi_time_ch.dat");
double x3, y3;
while (ifs3 >> x3 >> y3) {
h3->Fill(y3);
}
ifs3.close();
//関数の定義  TF1* f1 = new TF1("name", "式");
TF1* f1 = new TF1("gaus", "gaus(0)");
TF1* f2 = new TF1("gaus", "gaus(0)");
TF1* f4 = new TF1("gaus", "gaus(0)");
TF1* f5 = new TF1("gaus", "gaus(0)");
//ピークの線の色指定
f1->SetLineColor(9);
f2->SetLineColor(6);
//Fitting
h3->Fit(f4, "+", "", 605, 625);
h3->Fit(f5, "+", "", 755, 785);
h1->Fit(f1, "+", "", 540, 565);
h2->Fit(f2, "+", "", 20, 50);
//ヒストグラムを描く
h2->Draw("");
h1->Draw("sames");
//統計Boxの位置を変える 場所はDraw()の後
c1->Update();//paintする
TPaveStats *st1 = (TPaveStats*)h1->FindObject("stats");
st1->SetTextColor(9);
TPaveStats *st2 = (TPaveStats*)h2->FindObject("stats");
st2->SetTextColor(6);
st2->SetY1NDC(0.575);//y座標の始点
st2->SetY2NDC(0.735);//y座標の終点
c1->Modified();//オブジェクトの設定変更を伝える
```

```
//凡例の表示  TLegend * tg = new TLegend(x1,y1,x2,y2,"title");
TLegend * tg1 = new TLegend(0.78, 0.375, 0.98, 0.535, "");
//FitParameterの取得
//GetParameter(); 0:ピークのy,1:ピークのx,2:sigma
Double_t p0 = f1->GetParameter(1);
Double_t p1 = f2->GetParameter(1);
Double_t p2 = f4->GetParameter(1);
Double_t p3 = f5->GetParameter(1);
Double_t p4 = f1->GetParError(1);
Double_t p5 = f2->GetParError(1);
Double_t p6 = f4->GetParError(1);
Double_t p7 = f5->GetParError(1);
//凡例の定義
tg1->AddEntry(f1, "Am", "l");
tg1->AddEntry(f2, "0MeV", "l");
//凡例の表示
tg1->Draw();
//canvasの作成 TCanvas * c1 = new TCanvas("name", "title", 横の長さ, 縦の長さ);
TCanvas * c2 = new TCanvas("c2", "Energy_PulseHeight", 600, 400);
//配列の定義
double Am_x, zero_x, Am_y, zero_y, dx,
dy,dx1,dy1,Po218_y,Po214_y,dx2,dy2;
double Po214_x, Po218_x;
Am_x = 5.4;
zero_x = 0.0;
Am_y = p0;
zero_y = p1;
dx = Am_x - zero_x;
dy = Am_y - zero_y;
Po218_x = 5.998;
Po214_x = 7.69;
dx1 = Po218_x - zero_x;
dy1 = p2 - p1;
dx2 = Po214_x - zero_x;
dy2 = p3 - p1;
//配列の定義
Double_t x[4] = { 0.0,5.4 ,Po218_x,Po214_x};
Double_t y[4] = { p1,p0,p2,p3};
Double_t xe[4] = { 0.0,0.0,0.0,0.0 };
Double_t ye[4] = { p5,p4,p6,p7 };
//各点にプロット
TGraphErrors * tgr1 = new TGraphErrors(4,x,y,xe,ye);
tgr1->SetTitle("Energy-PulseHeight;Energy(MeV);PulseHeiht(ch)");
tgr1->SetMarkerStyle(1);
tgr1->SetMarkerColor(1);
tgr1->SetMarkerSize(1);
tgr1->Draw("AP");
//較正直線
TF1 * f3 = new TF1("f3", "[0]/[1]*x+[2]", 0, 8.5);
f3->SetParameters(dy, dx, zero_y);
f3->SetNpx(500);//500個の点でプロット
f3->SetLineColor(46);
f3->Draw("same");

return;
}
```

# 長時間測定データの解析結果




１月８日のラドン石を8日入れて140時間測定したときの時の測定結果である。
左は縦軸を対数表示にしていない時の測定結果で、右は時間ごとにfitした時の崩壊定数の大きさをプロットしたものである。
左の測定結果を見ると文献値の減り方よりも早く減っていることが分かり、時間がたつにつれて文献値の減り方とfitした結果の差があまり増えなくなるので割合的に減っていくと考えました。
減る理由としてはラドンガスの段階で缶から逃げているためだと考えました。
右の測定結果をより測定時間によって求められる半減期はあまり変わらないと考えました。