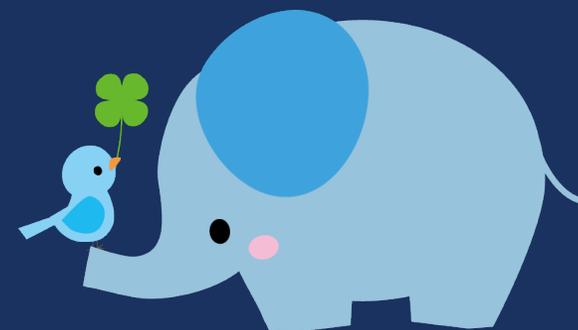


中性子放射化分析・元素分析実験 追加実験プレゼンテーション□

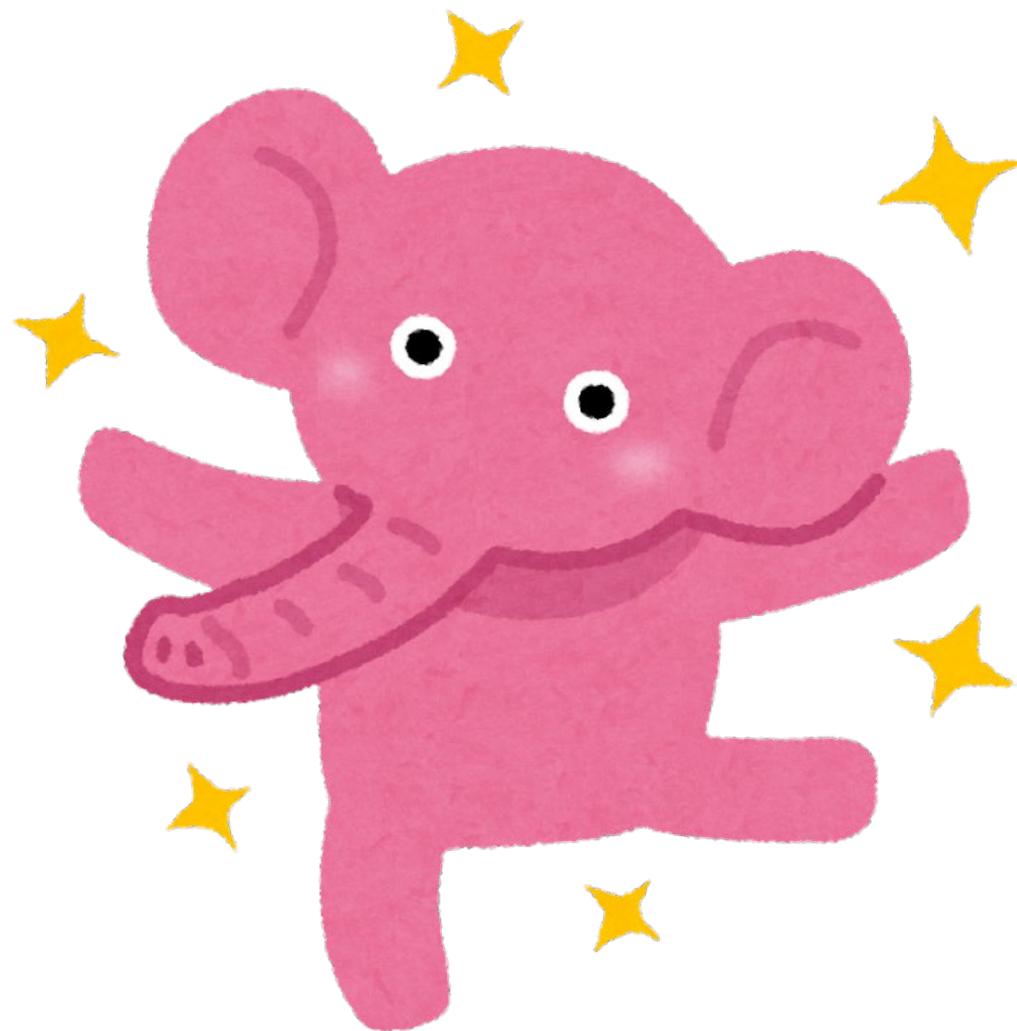
γ 線スペクトルを用いた元素定量分析



チームぞうさん

▪ Outline

- 1) 実験設計
- 2) 実験方法
- 3) 結果・考察
- 4) 結論
- 5) 参考資料



背景

放射能誘導・減衰方程式

$$A(t_1) = \varphi N \sigma [1 - \exp(-\lambda t_1)]$$

$$A(t_2) = A(t_1) \exp(-\lambda t_2)$$

φ : 減速材内の平均中性子束 ($1 \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) ← ここが未知

σ : 実効放射化断面積 (cm^2)

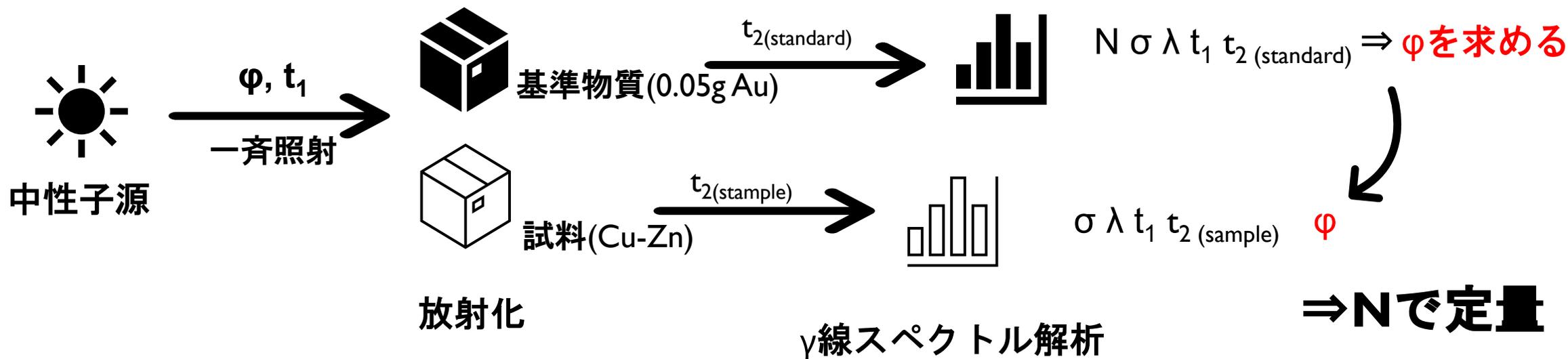
λ : 壊変定数 (s^{-1})

t_1 : 照射時間

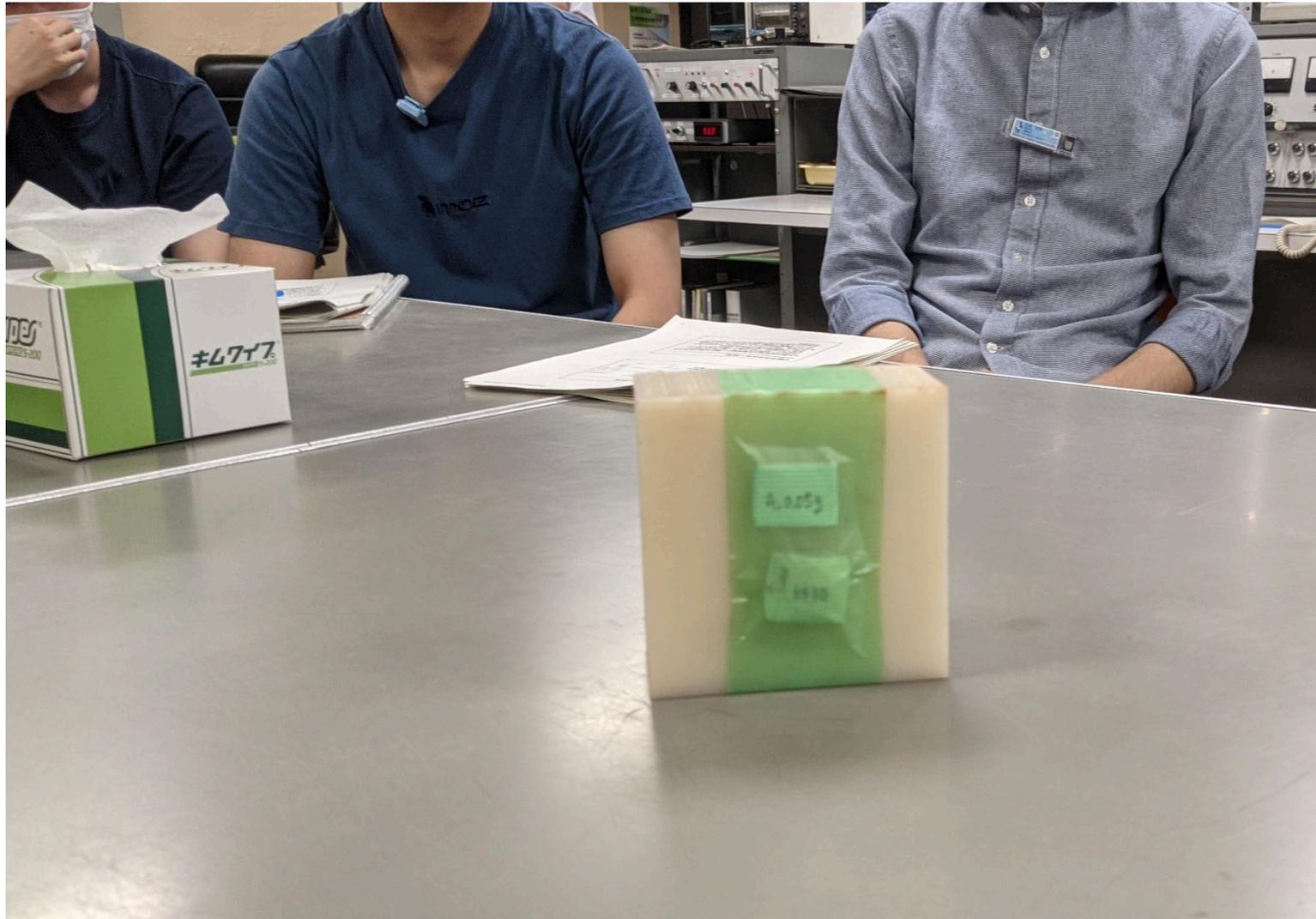
t_2 : 放置時間

N : 核の数 ← ここも求めたい

実験設計



ビームを照射した試料



未知試料と基準物質(0.05g Au)を
同じポリエチレン塊に固定し、
900s (t_1) 照射する

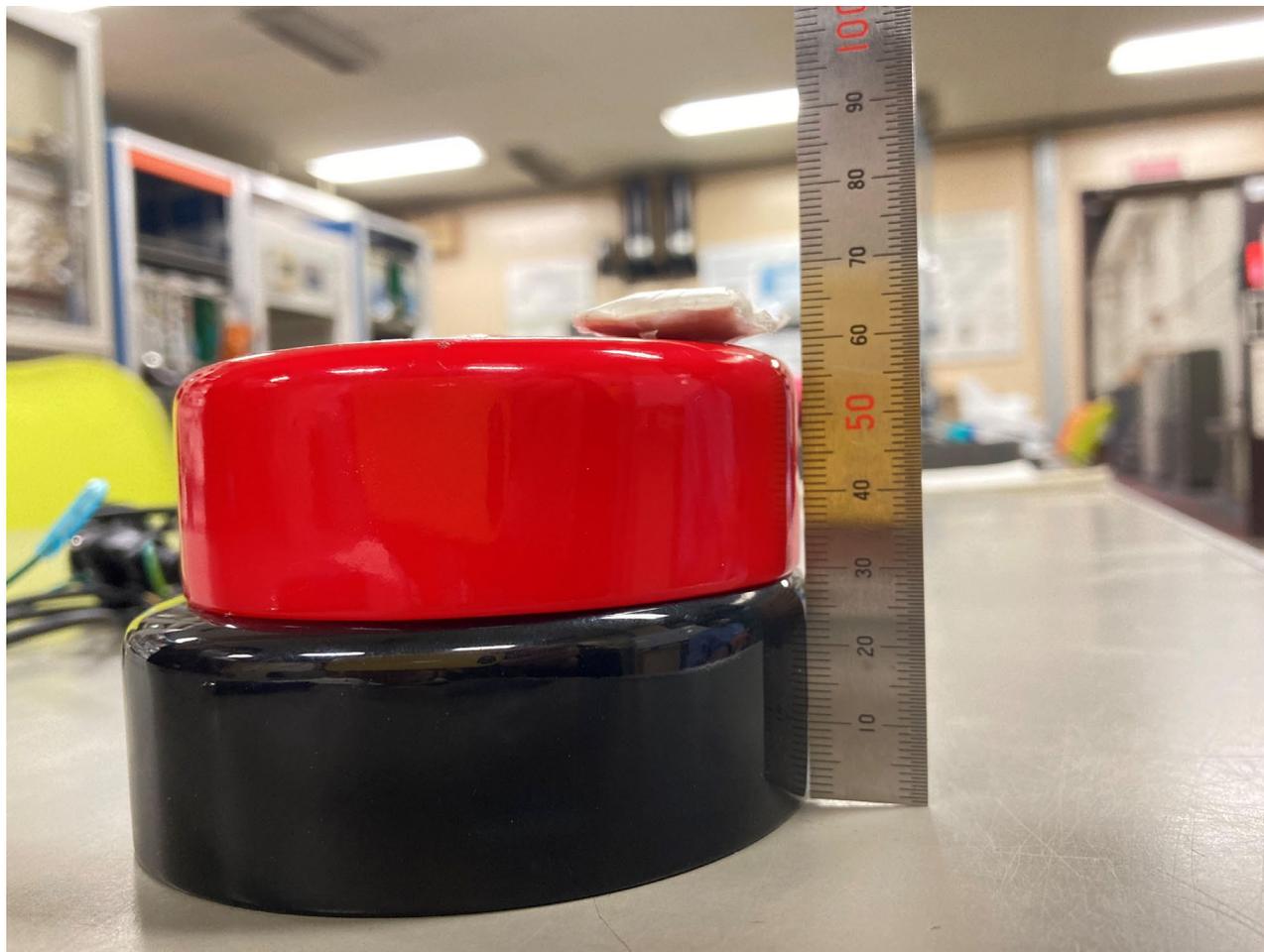
準備したPbの遮蔽体



バックグラウンドの影響を下げる為に、鉛のシェルターを構築

測定方法

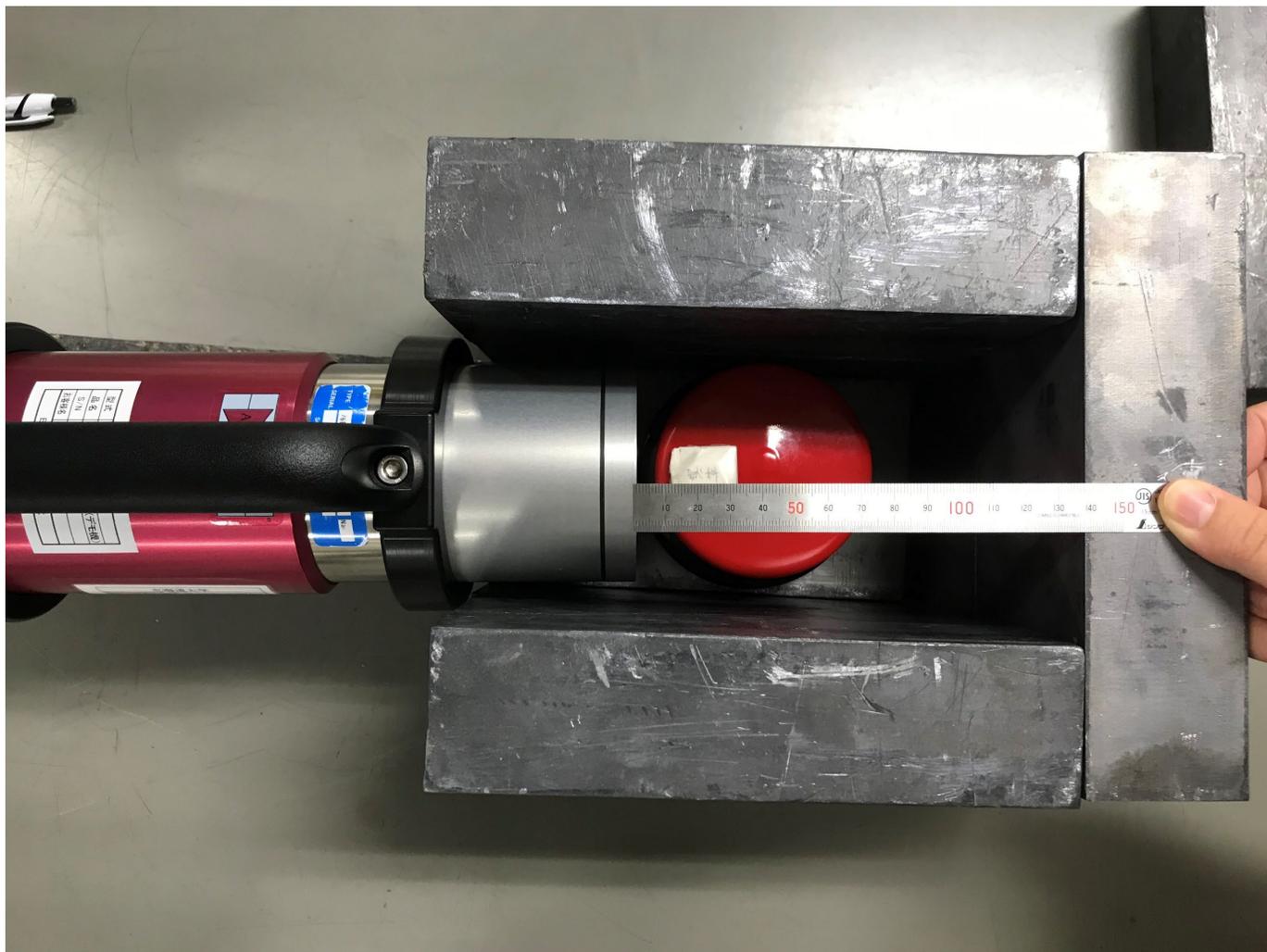
シンチレーターのキャップを活用し出来上がった台



γ 線は軽元素に対して高い透過力をもつため計測には影響しないと予想できる。

高さもぴったり!!!

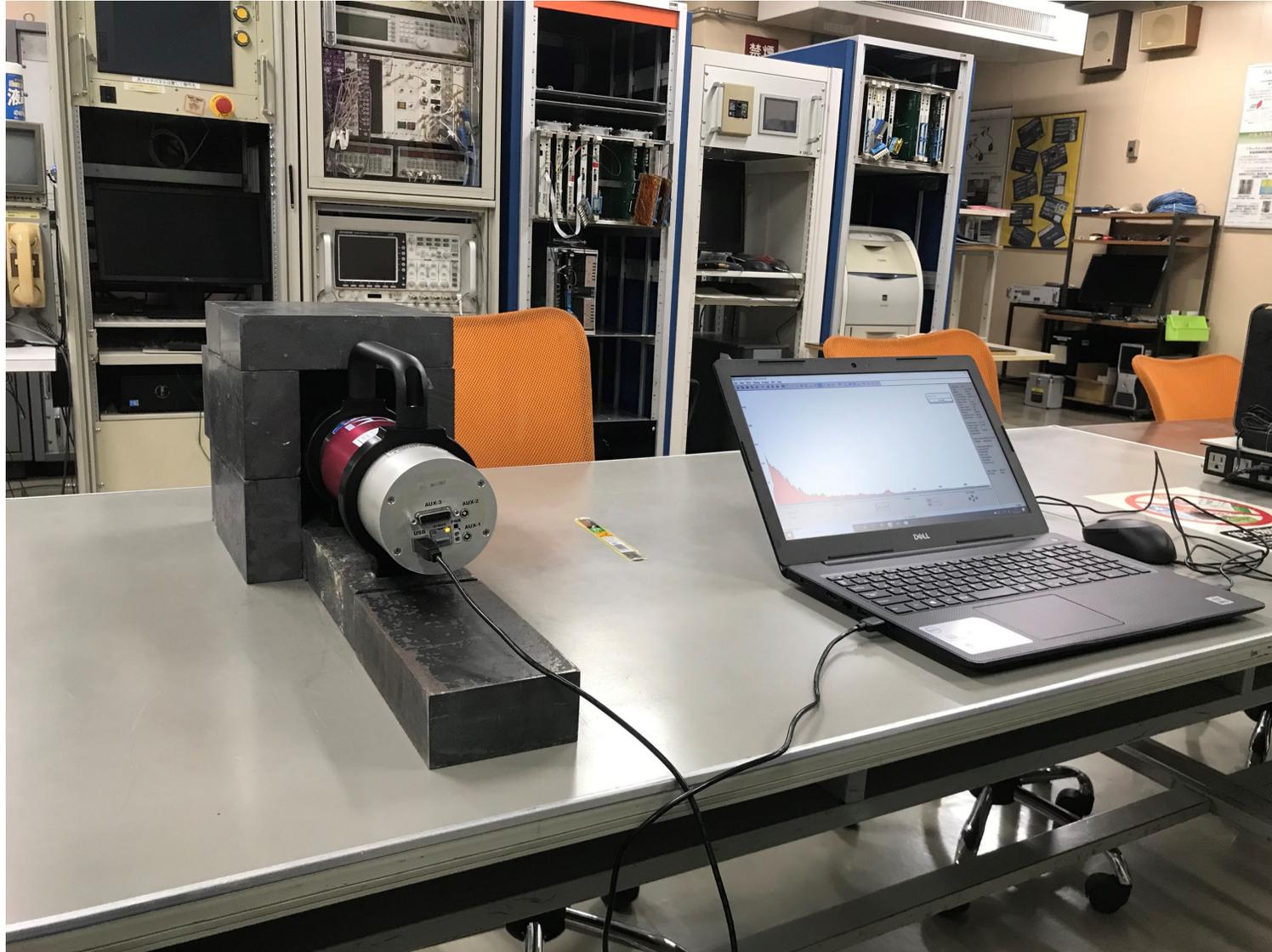
検出面からの試料の距離



測定装置が出来上がった様子



バックグラウンド計測



試料・バックグラウンドを
測定する様子（測定時間1200s）

取得したデータからバックグ
ラウンドの部分を引き、正味の
部分を取り出した

測定対象の放射性同位体の情報

一方、真鍮とは銅と亜鉛の合金なので、それぞれの元素が占める割合を同定するため、我々は銅と亜鉛の天然存在比及び同位体の半減期についても調べた。

安定同位体	天然存在比(%)	放射化同位体 (Z+1)	放射化同位体の半減期	主要 γ 線エネルギー(keV)
^{63}Cu	69.15(15)	^{64}Cu	12.700(2) h	511
^{65}Cu	30.85(15)	^{66}Cu	5.120(14) min	1039
^{64}Zn	48.268(321)	^{65}Zn	243.66(9) d	511
^{66}Zn	27.975(77)	^{67}Zn	STABLE	-
^{67}Zn	4.102(21)	^{68}Zn	STABLE	-
^{68}Zn	19.024(123)	^{69}Zn	56.4(9) min	318
^{70}Zn	0.631(9)	^{71}Zn	2.45(10) min	-
^{197}Au	100.0	^{198}Au	2.69517(21) d	412

T_2 と放射化同位体の半減期の長さを比較

→データに関わる同位体 (^{64}Cu , ^{65}Zn , ^{198}Au) を絞り出した

ビームタイム終了時から測定開始までの経過時間

更に、 ^{65}Zn と ^{64}Cu のピークが重なる可能性もある。その可能性を排除し、より正確な結果を得るために、 ^{64}Cu の半減期（約12 h）にも注目した。その性質を利用し、第一回の測定の17時間後、二回目の測定も行った。

$$t_2 \text{ (standard)} = 172.341 \text{ s} = 47.87 \text{ h}$$

$$t_2 \text{ (sample)I} = 108.411 \text{ s} = 30.11 \text{ h}$$

$$t_2 \text{ (sample)II} = 170.841 \text{ s} = 47.5 \text{ h}$$

最後に、Excelで取得したデータに対し解析を行った。



実験結果の予測

追加実験での改善点：

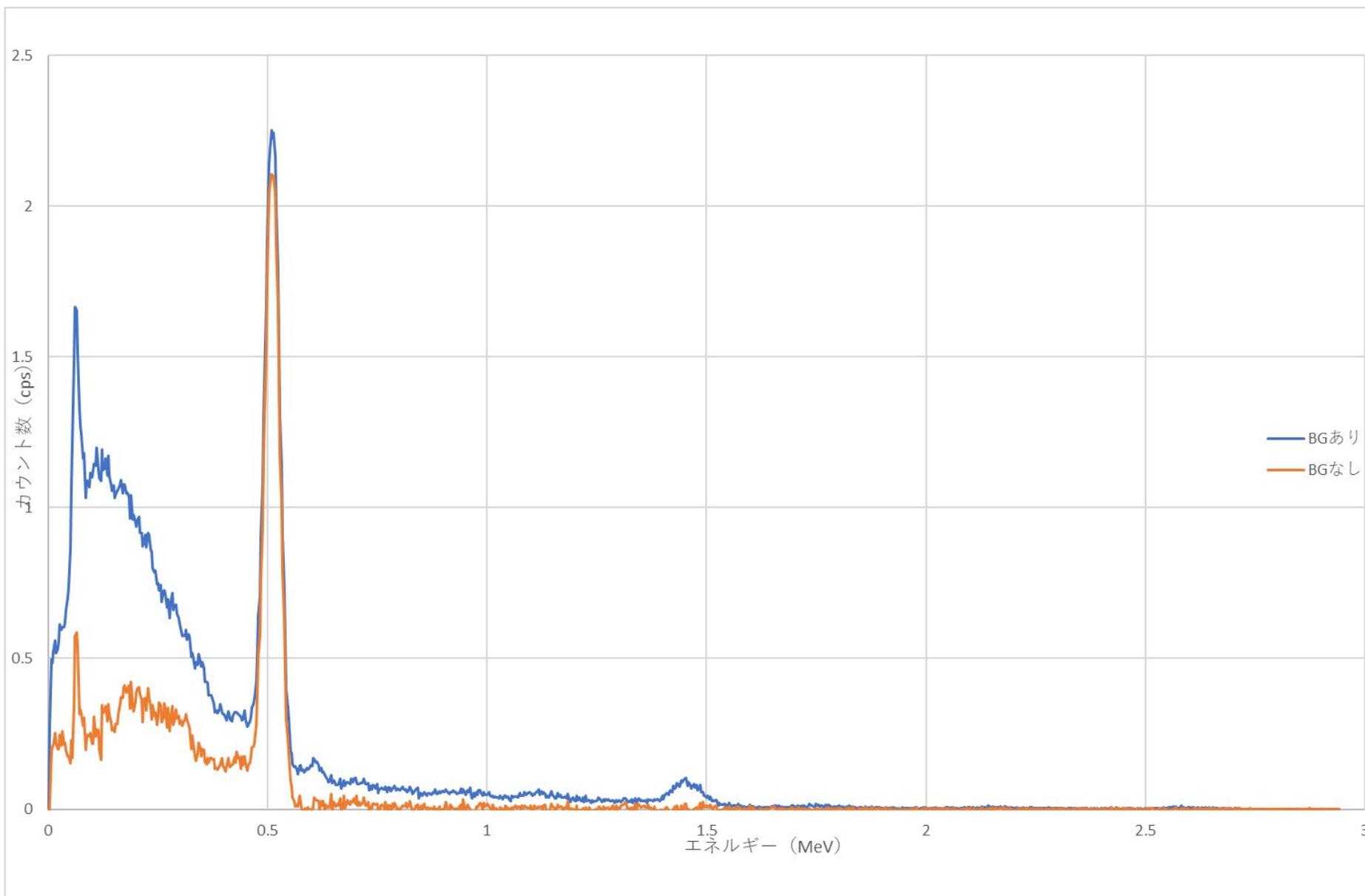
- ・ 試料と計測面の距離を近づけた。
- ・ 計測時間を20分と大幅に増やした。
- ・ 自然放射線によるノイズを防ぐために、Pbで遮蔽を行った。
- ・ 16時間の時間差で2回計測を行った。

予想される実験結果：

①試料と計測面を近づけた。計測時間を20分とした。2回計測を行った。
→ノイズの少ない、**より正確な γ 線スペクトル**を得ることができる。

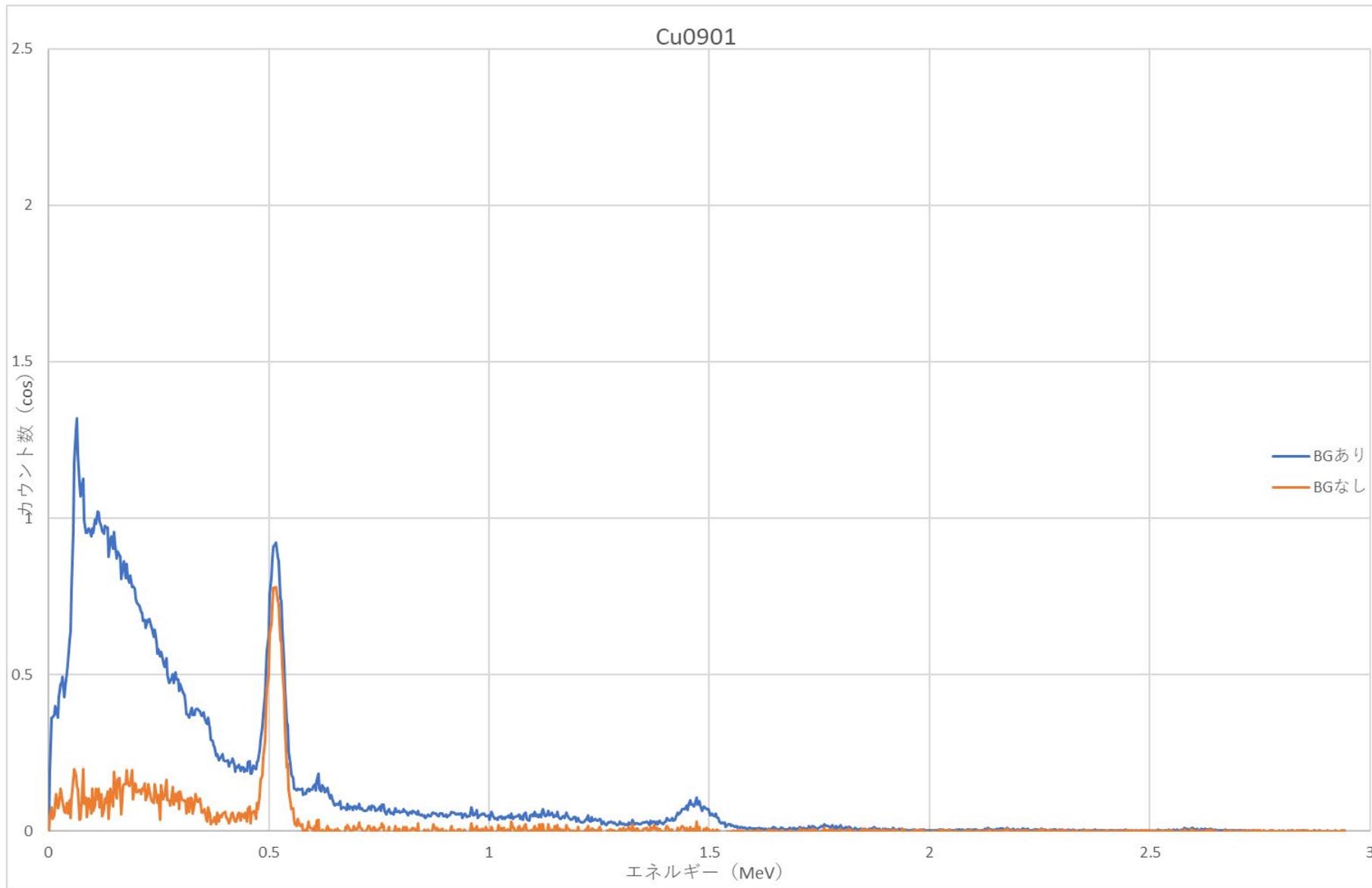
②Cu64のピークである511keV周辺のカウントは、半減期12時間であることから著しく減っているはず。
→前日の測定時間から16時間ほど経過しているため、**おおよそ1/2程度のカウント**になる想定。

計測結果その1 : 8月31日のナット



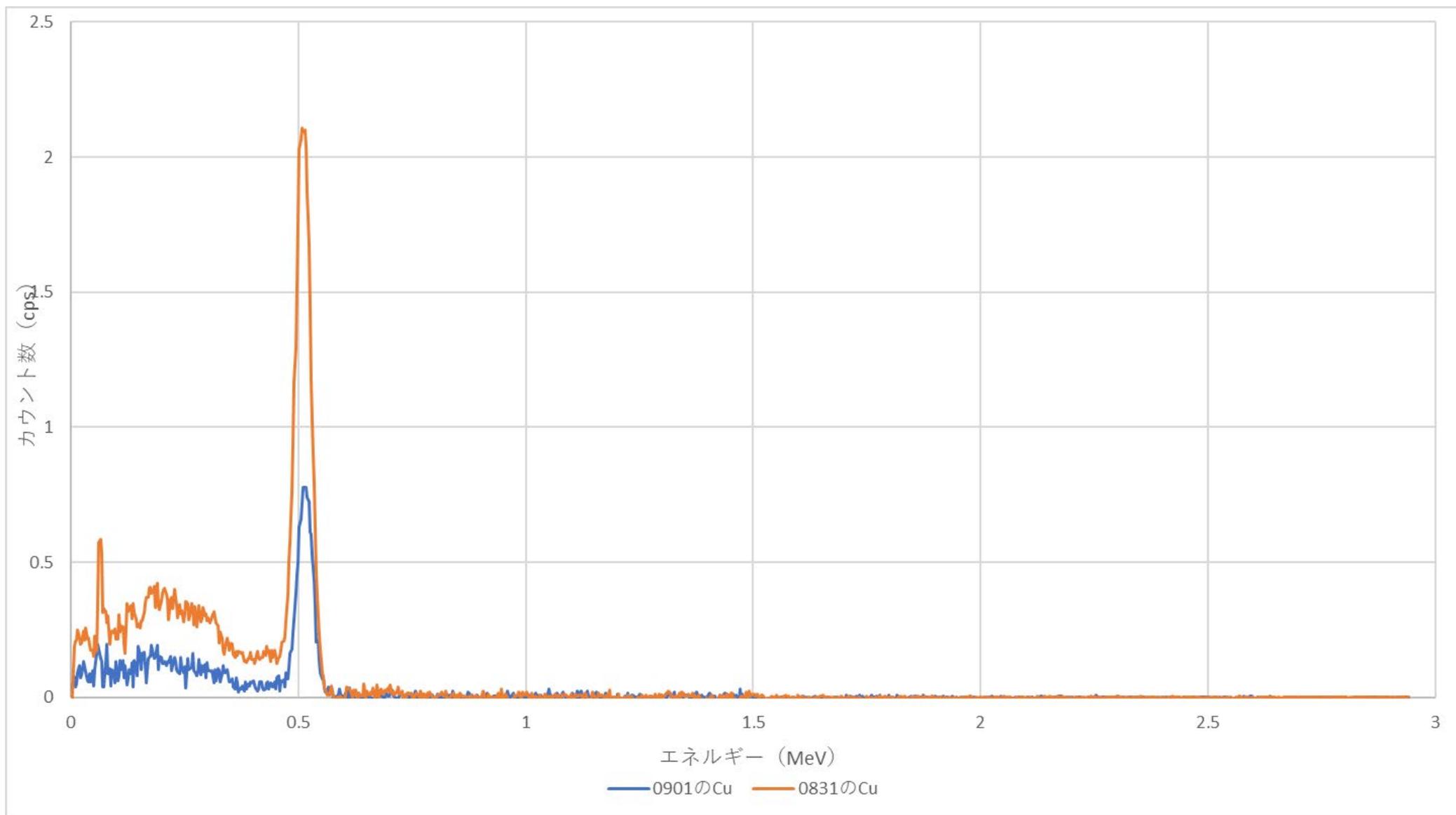
t_2 (sample) = 10841 s

計測結果その2：9月1日のナット



t_2 (sample) = 170 841 s

計測結果の比較：



結果から分かること

- 0.511 MeVでのピークが鮮明に表れた。
- 以前の γ 線スペクトルより、ノイズが少なくなった。
- 低エネルギー領域ではいくらかカウントされた。
- 高エネルギー領域でのカウントはほとんどなかった。
- 0.0645 MeV周辺に謎のピークが表れた。
→BGを差し引いても消えなかった。
- 0.511 MeV周辺のカウント数は、明らかに半分以上に減少した。



考察

- ・ Pbによる遮蔽
→ より正確な実験結果を得るために有効。
遮蔽効果は非常に高い。
- ・ 低エネルギー領域のノイズ
→ いくつかの原因が想定される。

①鉛によって散乱した γ 線が跳ね返って検出器に入射した。
(高エネルギーの γ 線がカウントされていない。)

②0.645 MeV周辺のピークの原因となっている放射性同位体の存在。
Cu63かCu65が候補に挙げられた。
が、後の計測でも同じようなピークが表れた。

ナットのスペクトルの減衰のより詳細な考察

Cu64が減少していく様子を表したい。
→中性子束を求める必要がある。

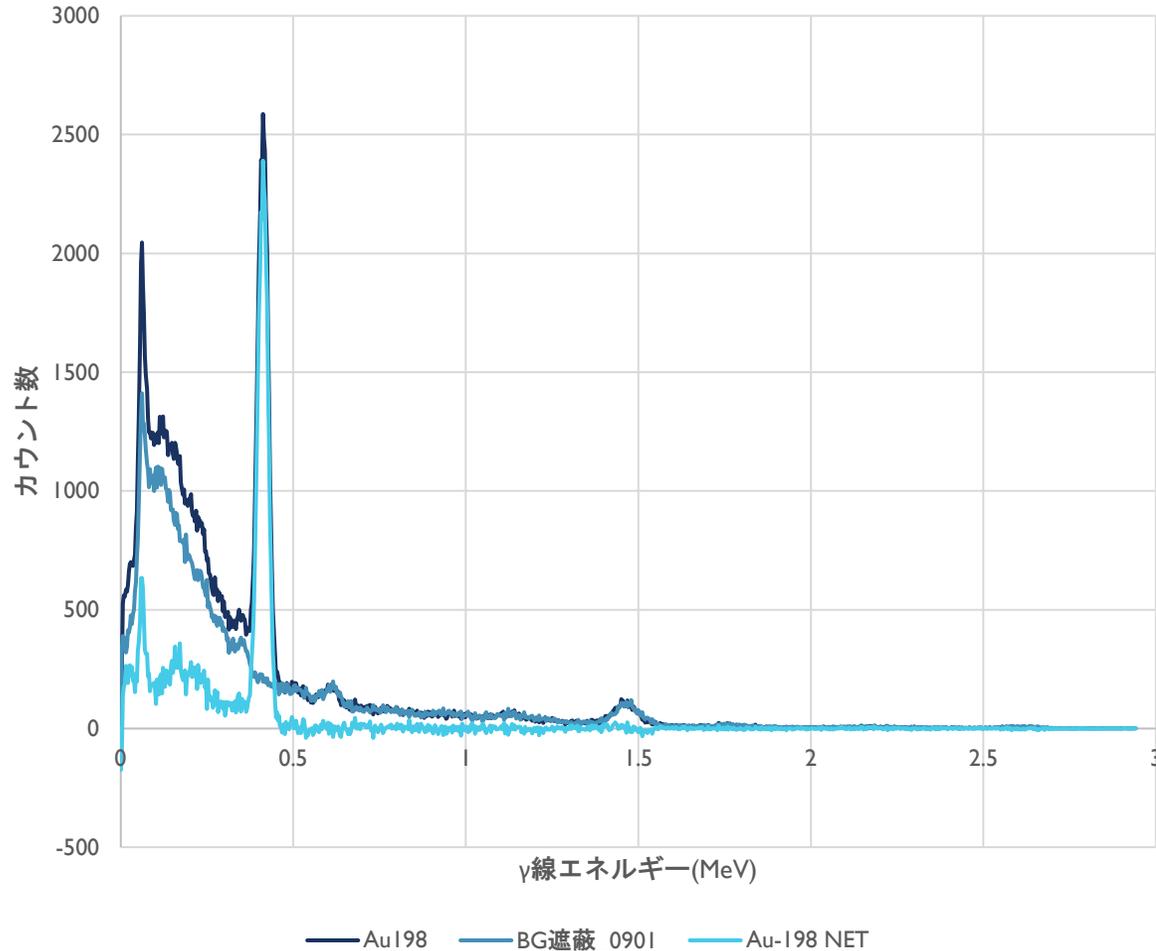
中性子束を求めるためには？
→実験で重さが判明している金箔を用いて測定を行う。

減衰曲線により、
スペクトルの減衰が何に由来しているか考察する。



・ 中性子束の推定

Au-198の γ 線スペクトル



$\text{cps}(A(t_1)) : 25.1$ (cpsは26カウント分取った。)

原子核の数(N) : 1.52×10^{20}

実効放射化断面積 : $1.67 \times 10^{-21} (\text{cm}^2)$

壊変定数 : $2.97 \times 10^{-6} (1/\text{s})$

照射時間 : 900 s

照射終了後の経過時間 : 172,341 s

$A(t_2) : 41.88 \text{ Bq}$

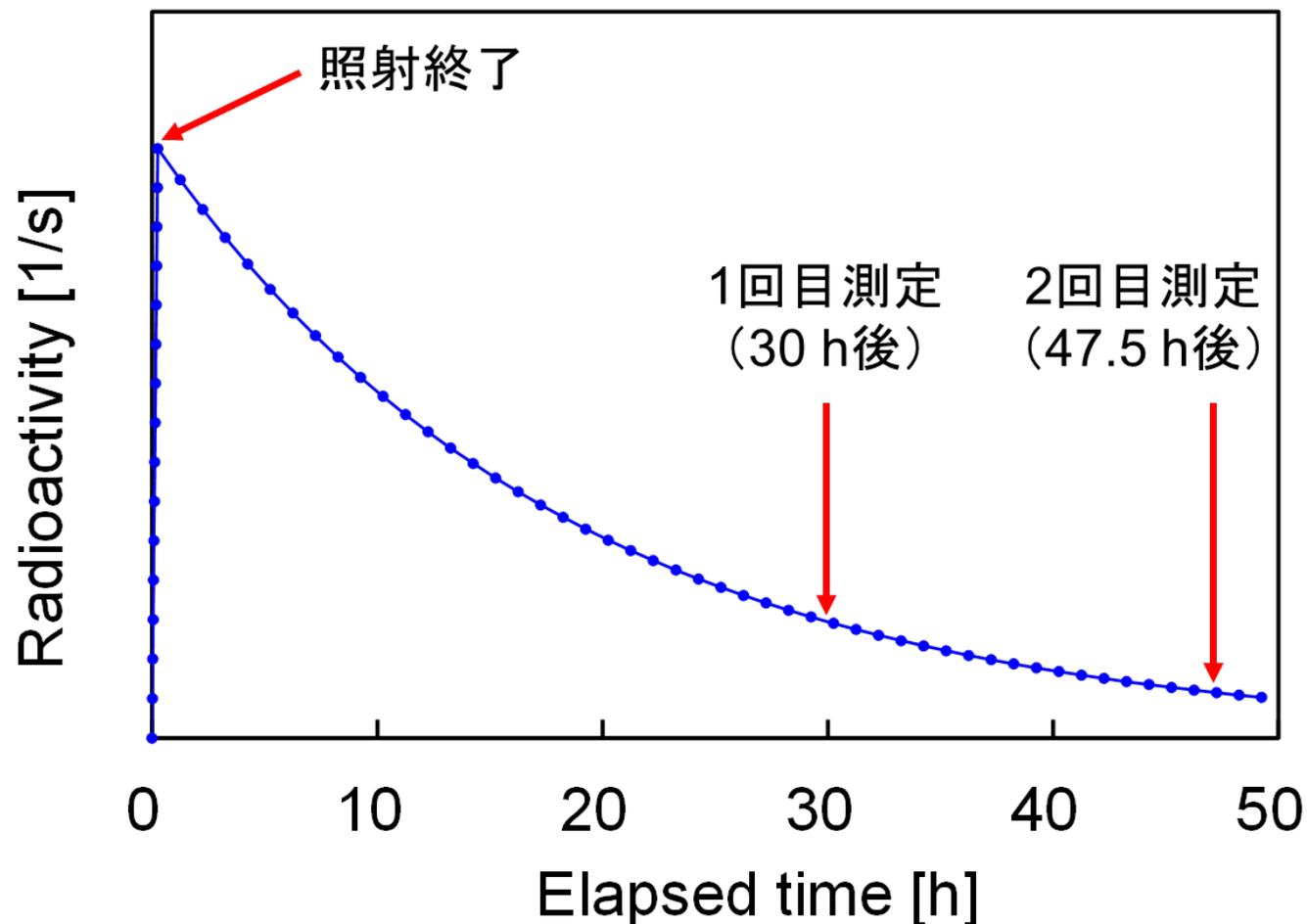
よって中性子束は
 $6.15 \times 10^4 (1/\text{cm}^2\text{s})$ と推定できる。

中性子束を利用して作成したナットに含まれるCuの減衰曲線

- Cu-64の半減期: 12.7 h
- Cu-64の壊変定数 λ : 1.52×10^{-5} [1/s]
- Cu-64の実効放射化断面積 $\sigma_{thermal} = 4.510 \times 10^{-24}$ [cm²]
 $\sigma_{resonance} = 5.009 \times 10^{-24}$ [cm²]
- Cuの質量: 1 [g] (仮定)
- 求めた中性子束 φ : 6.15×10^4 [n/cm²/s]

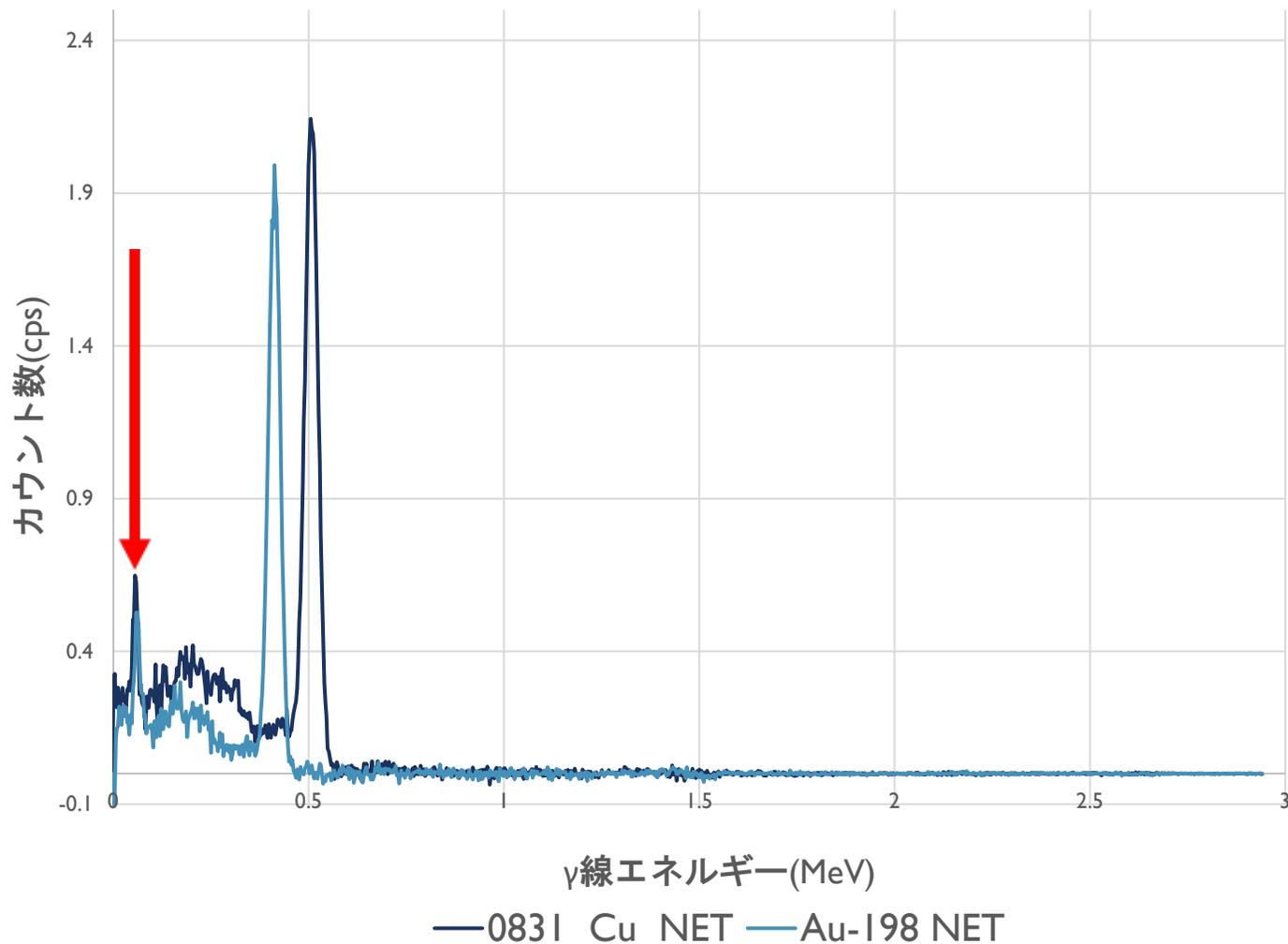
$$A(t_1) = \varphi N \sigma (1 - \exp(-\lambda t_1))$$
$$A(t_2) = A(t_1) \exp(-\lambda t_2)$$

スペクトルの減衰はCu-64の半減期による影響が大きいことを確かめられた

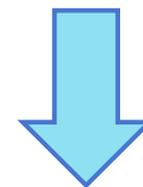


▪ Cu-64とAu-198に見られた低領域のピーク

Cu-64とAu-198の γ 線スペクトル



Cu-64とAu-198の両方に見られる



試料の固定に使われている
固定剤の放射化が影響するのでは？

or

たまたまCu-64とAu-198のほとんど
同じ位置に別のピークがあった。

- ・ 中性子束を使ってCu-63の原子核の数Nを求めてみよう。

先ほど求めた中性子束： $6.15 \times 10^4(\text{cm}^2)$ を用いると、

$$N = \frac{A(t_1)}{\varphi\sigma(1 - \exp(-\lambda t_1))}$$

で求められる。

○必要な定数

実効放射化断面積： $9.51 \times 10^{-24}(\text{cm}^2)$

Cu-64の壊変定数： $1.52 \times 10^{-5}(\text{1/s})$

照射時間：900 s

中性子束： $6.15 \times 10^4(\text{1/cm}^2/\text{s})$

➡ 8/31と9/1の試料で求めてみた



▪ 8/31に測定したCu-64を用いた場合

▪ 必要な変数

cps : 30.3

照射終了後の経過時間 : 108,411 s

$A(t_1)$: 156.84 Bq



代入

$$N = 3.32 \times 10^{20} \text{ 個}$$

$$n = 5.51 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$$m = 0.035 \text{ g}$$

▪ 9/2に測定したCu-64を用いた場合

▪ 必要な変数

cps : 11.6

照射終了後の経過時間 : 170,841 s

$A(t_1)$: 153.88 Bq

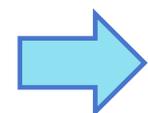


代入

$$N = 2.84 \times 10^{20} \text{ 個}$$

$$n = 4.72 \times 10^{-4} \text{ mol}$$

$$m = 0.030 \text{ g}$$



真鍮ナットの重さに比べてCuの質量が小さすぎる！！

- ・原因の考察とより精度をよくするために

○中性子束：中性子束の値が大きくなると、質量は小さくなる
→CPSも同時に上がる必要がある。

➡ CPSの計測条件の改善・補正(数え落とし、幾何学的)
中性子束の正確な推定

○実効放射化断面積：中性子エネルギーによらず、平均の値を用いた
→放射化断面積のより正確な値

結論

- 測定時間の延長と遮蔽の有無が推定結果に対し、かなり大きな影響を持っている。**遮蔽**によって**系統誤差**が下げられ、更に比較的弱いピークも鮮明に見えるようになり、**測定時間の延長**により**偶然誤差**も小さくなることが分かった。
- 基準物質について、同じ元素の純度の高いサンプルを使った「□□□」もあるが、**化学・物理的性質の安定な元素**を使っても安定な結果を取得できる。
- 今回の実験で使われたAuは、天然存在比が単純であり、放射化された核種も効率よく単一なピークを貢献した。
- **半減期が比較的短い核種**の定量同定では、時間を第四の次元にし、**減衰曲線**をうまく使えば、より精度の高い結果を取得できる。

参考資料

1. Isotopic compositions and standard atomic masses from Atomic weights of the elements. Review 2000 (IUPAC Technical Report). *Pure Appl. Chem.* Vol. 75, No. 6, pp. 683-800, (2003) and Atomic Weights Revised (2005)
2. K. Shibata, O. Iwamoto, T. Nakagawa, N. Iwamoto, A. Ichihara, S. Kunieda, S. Chiba, K. Furutaka, N. Otuka, T. Ohsawa, T. Murata, H. Matsunobu, A. Zukeran, S. Kamada, and J. Katakura: "JENDL-4.0: A New Library for Nuclear Science and Engineering," *J. Nucl. Sci. Technol.* **48**(1), 1-30 (2011).