

2024年2月25日

100 Bqの放射性物質は  
1秒間に90～110壊変する

放射線教育フォーラム

吉澤幸夫

第3回勉強会

# 放射性壊変と放射線

原子核は時間と共により安定な原子核に変化する。

この時、余分なエネルギーを放射線として放出する。

# 放射性壊変の単位

1 ベクレル (Bq) は 1 秒間に 1 個の原子核が壊変する速度 (disintegration per second: dps) である。

# 100 Bqの放射性物質は

1 秒間に 90 壊変から 110 壊変する。

1 秒間に 80 壊変や 120 壊変する事もある。

時には 1 秒間に 70 壊変や 130 壊変する事もある。

# 100 Bqの放射性物質は

1 秒間に 90 壊変から 110 壊変する。

1 秒間に 80 壊変や 120 壊変する事もある。

時には 1 秒間に 70 壊変や 130 壊変する事もある。

# 100 Bqの放射性物質は

1 秒間に 90 壊変から 110 壊変する。

1 秒間に 80 壊変や 120 壊変する事もある。

時には 1 秒間に 70 壊変や 130 壊変する。

# 放射性壊変が起こる理由

原子核の状態のゆらぎ

不安定  $\rightleftharpoons$  安定  $\rightleftharpoons$  より安定

# 放射性壊変はランダムに起こる

特定の原子がいつ壊変するかを予測することは不可能で、放射性壊変はランダムに起こる。



# カリウム40の壊変

カリウム40の半減期は 12.48 億年であるが、1 秒後に壊変する原子もあれば、125億年後に壊変する原子もある。

# 壊変定数

かなり大きな数 (N) の同一原子では、全体の壊変速度は単位時間当たりに壊変する確率である壊変定数 ( $\lambda$ ) として表すことができる。

$$\frac{dN}{dT} = -\lambda N$$

かなり大きな数とは京 ( $10^{16}$ ) とか  
垓 ( $10^{20}$ )

# セシウム137の壊変

1 mol のセシウム137は、137 gで  $6.02 \times 10^{23}$  原子が含まれる。137  $\mu\text{g}$ だと、1  $\mu\text{mol}$  で、原子数は  $6.02 \times 10^{17}$  個 (60京)となる。

60京個の Cs-137 の壊変数は  $4.4 \times 10^8$  Bq なので、崩壊定数は

$$\begin{aligned} -\lambda &= \frac{dN}{dT} \times \frac{1}{N} \\ &= \frac{4.4 \times 10^8}{6.0 \times 10^{17}} = 7.3 \times 10^{-10} \end{aligned}$$

# 1個でもなく、大きくもない数の 原子の場合

放射性壊変は確率的に起こる。

一定の時間内に放射性壊変が起こる回数の分布はポアソン分布を示す。

# ポアソン分布

ランダムに起こる現象が単位時間当たり平均  $n$  回起こる時、単位時間に  $k$  回起こる確率を表す。

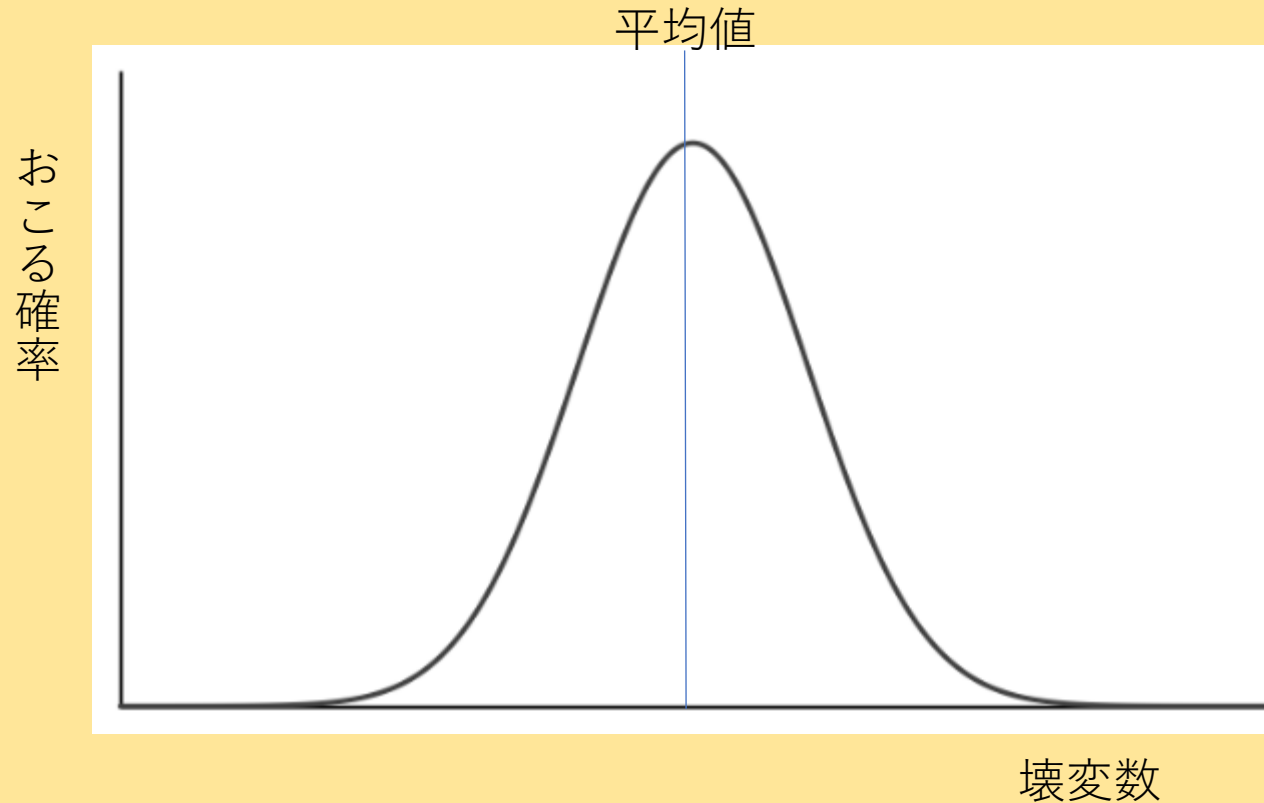
年平均 0.61 人の兵士が馬に蹴られて死ぬ軍隊において何人の兵士が馬に蹴られて死ぬかの確率の分布を求めるために考案された。

# 放射性壊変は正規分布に近似できる

観察時間が半減期に比べて十分に短いとき、

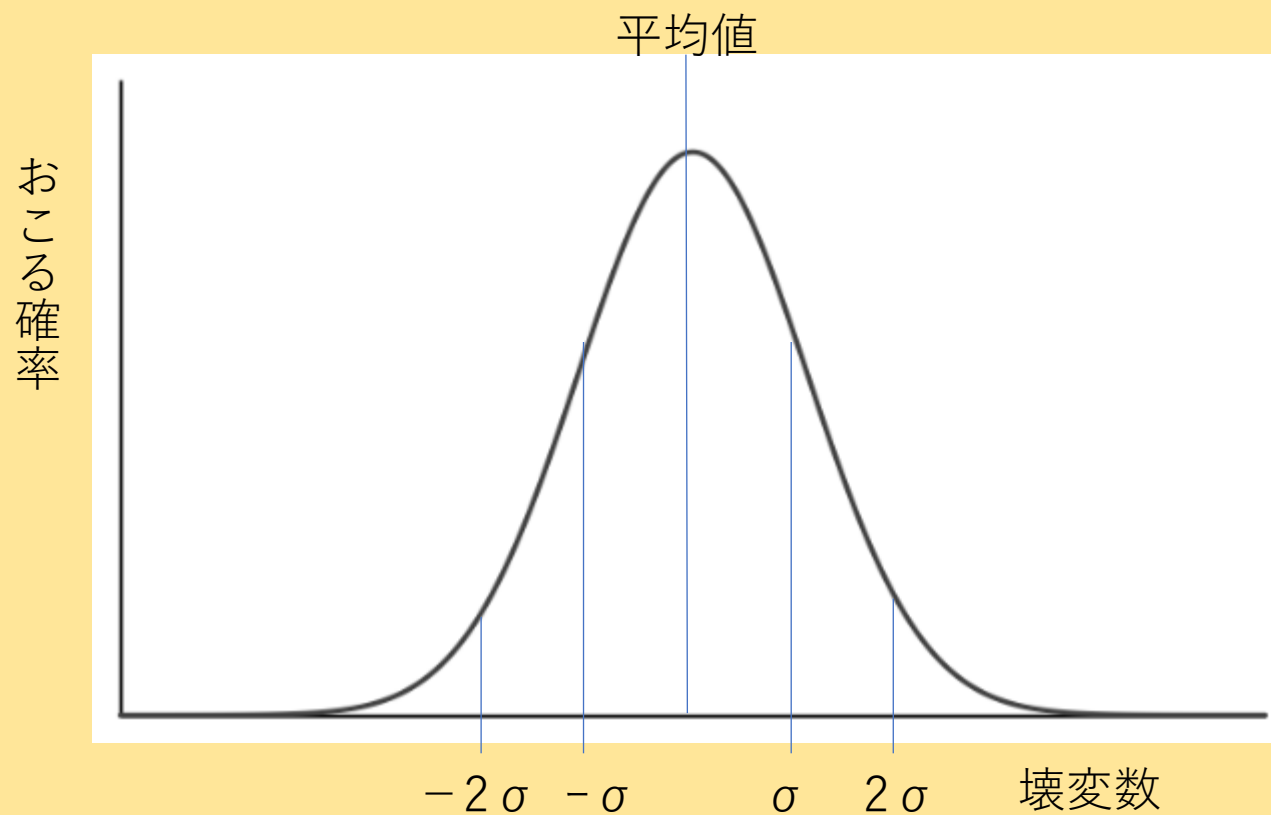
放射性壊変のポアソン分布は正規分布に近似できる。

# 正規分布 (normal distribution)



平均値を中心に左右対称である  
平均値と最頻値が一致する  
平均値から離れるほど確率は小さくなる

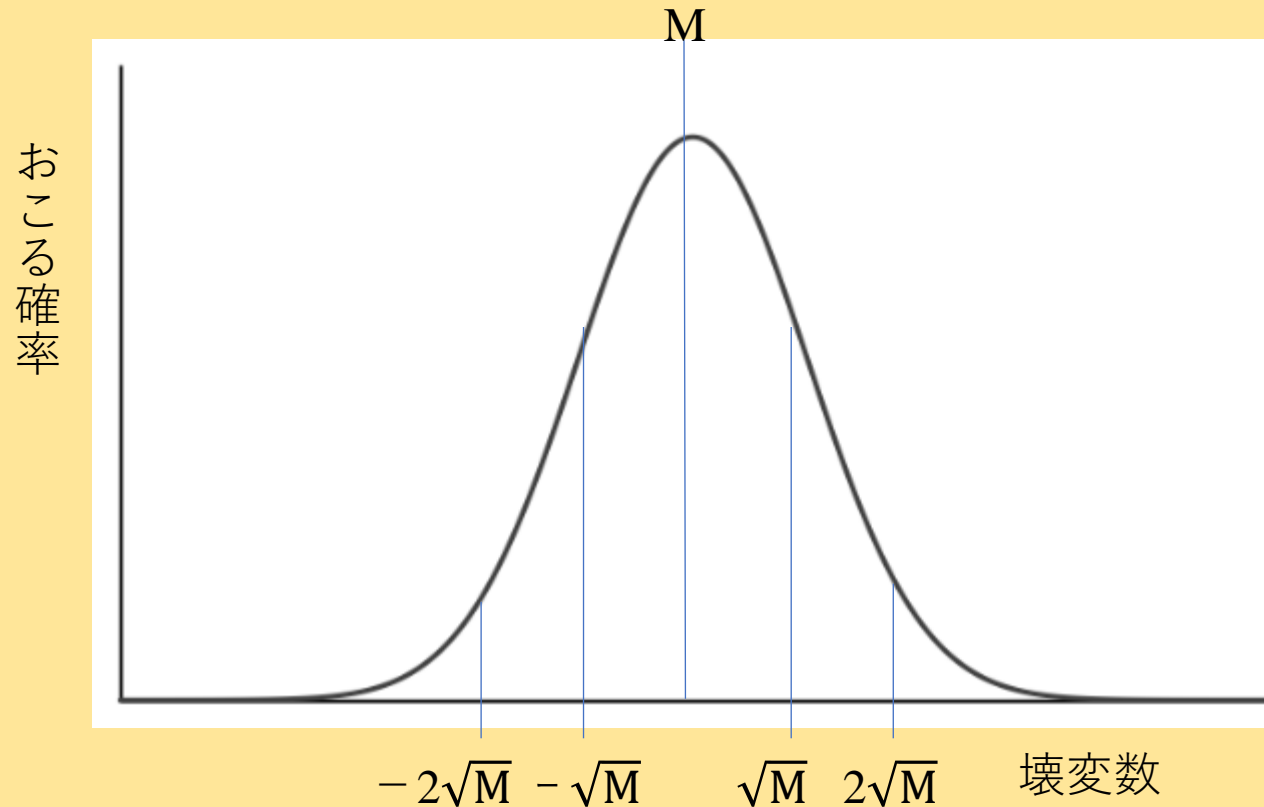
# 平均値 (M) と標準偏差 ( $\sigma$ )



$M \pm \sigma$ の範囲に68%のデータが含まれる  
 $M \pm 2\sigma$ の範囲に95%のデータが含まれる  
 $M \pm 3\sigma$ の範囲に99.7%のデータが含まれる

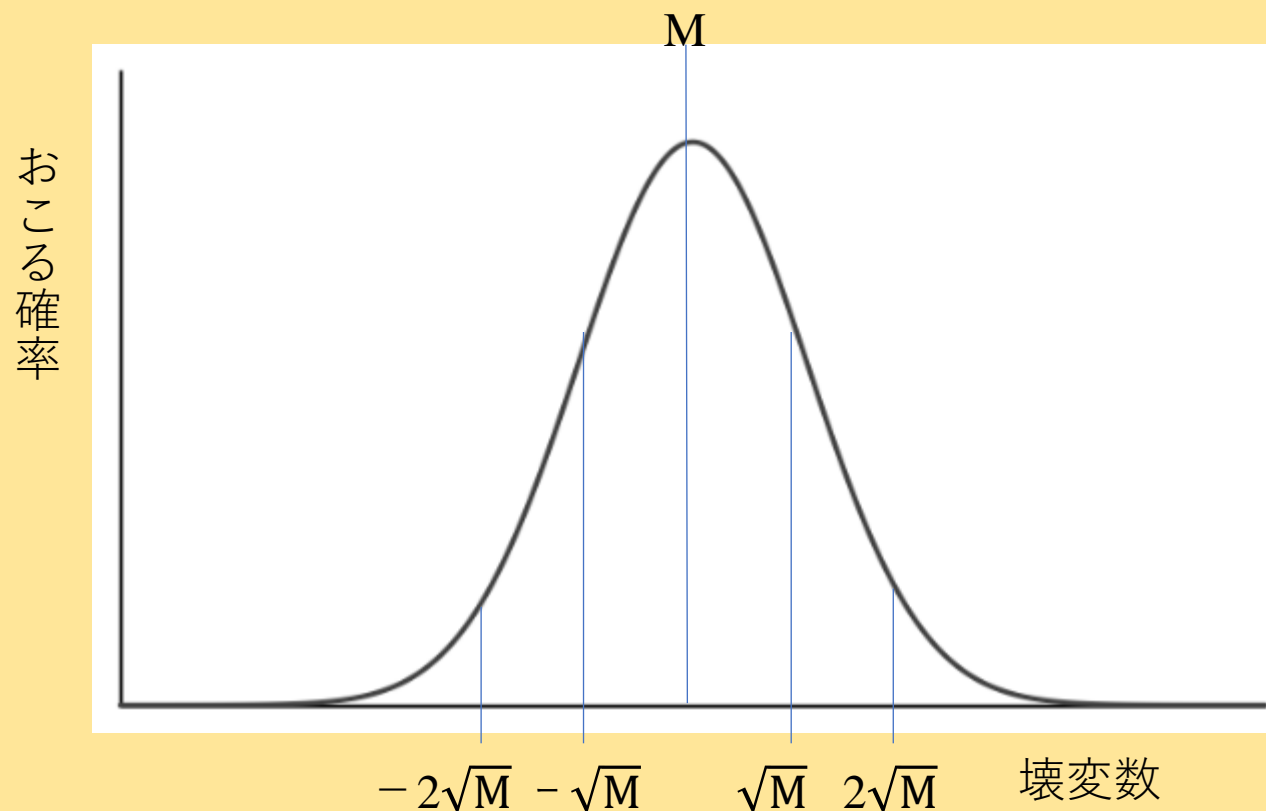


# 標準偏差 ( $\sigma$ ) は平均値 ( $M$ )の平方根



放射性壊変の標準偏差 $\sigma$ は  
平均値の平方根  $\sqrt{M}$

# 放射性壊変の平均値と標準偏差



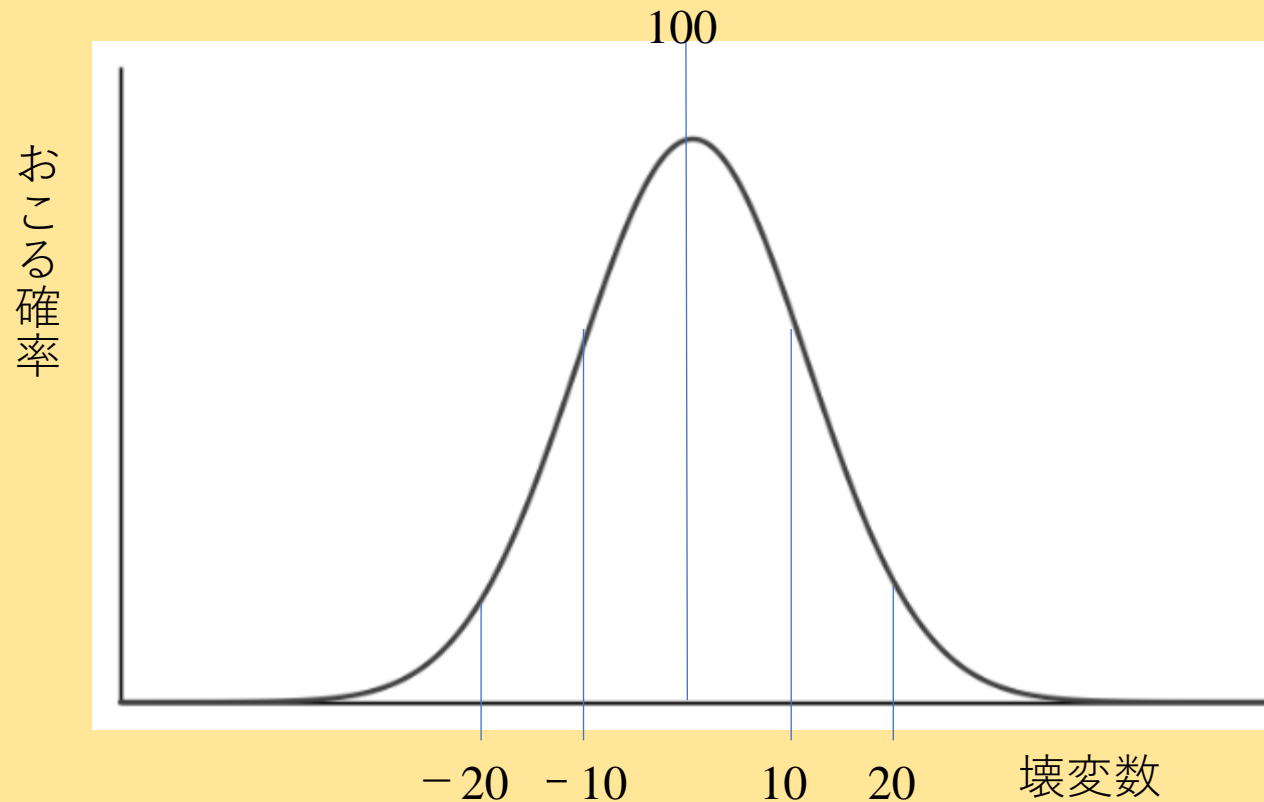
- $M \pm \sqrt{M}$ の範囲に68%のデータが含まれる
- $M \pm 2\sqrt{M}$ の範囲に95%のデータが含まれる
- $M \pm 3\sqrt{M}$ の範囲に99.7%のデータが含まれる

# 1 回の観察で平均値を得る

t 時間における観測値をNとすると、壊変数の平均値 (M) と標準偏差 ( $\sigma$ ) は

$$M \pm \sigma = N / t \pm \sqrt{N} / t$$

# 100 Bqの放射性物質の壊変数



100 Bqの放射性物質を1秒間観察すると  
壊変数と標準偏差は

$$100 \pm \sqrt{100}$$

90壊変～110壊変に68%のデータが含まれる  
80壊変～120壊変に95%のデータが含まれる

# 放射線の計数値から壊変数を求める

測定器で得られた計数値をn (cpm)、計数効率をEとすると壊変数 N (dps) は

$$N = \frac{n}{60 \times E}$$

## ここまでのまとめ

放射性壊変は原子核の状態のゆらぎにより起こる。

壊変数は放射線を計数することで計算できる。

放射線の計数値は正規分布を示す。

# トリチウムを測定する

水試料に過マンガン酸カリウムを加えて、蒸留する。

蒸留試料 50 mL にシンチレーションカクテル 50 mL を加えて、24 時間放置する。

液体シンチレーションカウンタで測定する。

# 液体シンチレーションカウンタ

放射線のエネルギーを吸収すると原子が励起されて、光（シンチレーション）が生じて、元の状態に戻る。特に光を生じやすい物質を蛍光体という。

蛍光体をキシレンなどの有機溶媒に溶かした物を用いて放射線を計数する機器を液体シンチレーションカウンタという。



# 100 Bq / Lのトリチウムを1分間測定する

試料は 50 mL、計数効率 は 33% とする。

$$100 \text{ Bq} / 1000 \text{ mL} \times 50 \text{ mL} \times 60 \text{ 秒} \times 0.33 = 100 \text{ cpm}$$

$$100 \pm \sqrt{100} \text{ cpm} / 50 \text{ mL}$$

↓

$$100 \pm 10 \text{ Bq} / \text{L}$$

# 10 Bq / Lのトリチウムを1分間測定する

試料は 50 mL、計数効率 は 33% とする。

$$10 \text{ Bq} / 1000 \text{ mL} \times 50 \text{ mL} \times 60 \text{ 秒} \times 0.33 = 10 \text{ cpm}$$

$$10 \pm \sqrt{10} \text{ cpm} / 50 \text{ mL}$$

↓

$$10 \pm 3 \text{ Bq} / \text{L}$$

# 10 Bq / Lのトリチウムを10分間測定する

試料は 50 mL、計数効率 は 33% とする。

$$10 \text{ Bq} / 1000 \text{ mL} \times 50 \text{ mL} \times 600 \text{ 秒} \times 0.33 = 100 \text{ counts}$$

$$100 / 10 \pm \sqrt{100} / 10 \text{ cpm} / 50 \text{ mL}$$

↓

$$10 \pm 1 \text{ Bq} / \text{L}$$

# まとめ

原子核のゆらぎにより放射性壊変はランダムに起こる。

壊変数は、放出された放射線を計数して計算できる。

放射性壊変の壊変数や計数率には標準偏差を付ける。

$$N / t \pm \sqrt{N} / t$$