

放射能・放射線を調べよう

1. はじめに

私たちの身の回りにはいろいろなものがあります。そのいろいろなものを作っているのは数えきれないほどの分子で、その数は年々増えているといっても過言ではありません。そうした何千、何万という分子も、その素材となるのは元素で、その数は周期表を思い浮かべればわかるとおり、高々100前後です。その100前後の元素の中でも、原子番号82の鉛(Pb)より重い元素は放射性元素と呼ばれています。このような放射性元素は時々刻々壊れて(放射壊変といいます)、放射線を出しながら壊れない元素(安定元素といいます)に変化します。ウラン(U)やトリウム(Th)は代表的な放射性元素で、身の回りにごくありふれて存在しますが、実は安定元素の中にもごく一部ですが放射線を出す成分(正式には放射性同位体と呼んでいます)を含むものが少なからず存在します。大きさに言えば、私たちはこのような放射性を出す元素に取り囲まれて生きているわけです。このような放射性元素も元素の仲間ですので、元素やその集合体を調べる化学にとっては大事な相手です。

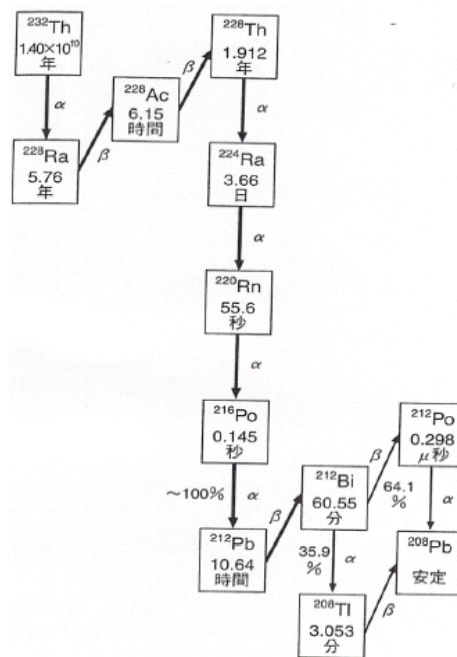
この実験では、身の回りにある放射性元素に目を向け、そこから出てくる放射線の種類やその量(放射線の強さ)を調べてみましょう。放射線とか放射能という言葉にただ漠然と恐怖心のみをもつのではなく、その実体を自然現象としてとらえる機会になればと思います。

2. 放射線を見てみよう -霧箱-

放射線を直接目で見ることができませんが、電荷を帯びている粒子(荷電粒子)である α 線と β 線の飛跡ならば、気体中の霧の生成によって観察することができます。この観察装置を霧箱と呼びます。エチルアルコールの過飽和状態の中を荷電粒子が通過すると、その通過経路で生成した正、負イオンを核として霧滴が生成されます。したがって、粒子経路に沿って霧滴の列ができ、飛跡として観測することができます。これは、飛行機雲ができる原理と同じです。

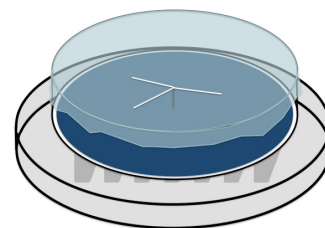
そこで、霧箱を作って放射線が飛んでいる様子を観察しましょう。この実験では、トリウム (Th) を含むガスランタン用マントルを用いて実験を行います。

トリウム (Th) は天然放射性元素の一つで、右図のように放射壊変によって多くの放射性核種が生じ、最後には鉛 (Pb) になって安定になります。質量数はすべて 4 の倍数になっています。壊変によって生じる α 線と β 線を霧箱で観察し、放射線の性質を調べてみましょう。



実験操作

1. ガラス容器の横に黒色のサテンの布を引く。
2. 2~3 ml のエチルアルコールを布に均等にかける。
3. ガスランタン用マントル (線源) をガラス容器の中央に置き、サランラップでふたをする。
4. 発砲スチロールの受け皿に冷却フィンを置き、液体窒素を注ぐ。液量はフィンが 3 分の 1 ほどつかる程度でよい。
5. 冷却フィンの上にガラス容器を置き、容器を冷やす。



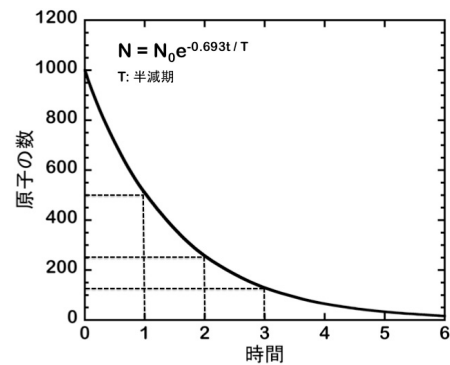
この状態で、1~2 分ぐらいすると飛跡が見えるようになります。

- a. 飛跡の様子をスケッチしてみましょう。
- b. 線源の周りに遮蔽筒を置いてみましょう。筒は、紙とラップでできています。
- c. 線源を注射器に入れ、約 10 分後、注射器内の空気を霧箱内に注入してみましょう。注入するまで、針をゴム栓からぬかないこと。

3. 自然になくなる放射線 –半減期を測る–

放射性元素はある一定の時間間隔でその原子数が半分ずつ自発的に減ってい

きます。この時間を半減期といい、数 μ 秒という非常に短いものや、逆に 45 億年という非常に長いものもあります。ここでは、霧箱の実験で用いたマントルに含まれている ^{212}Bi という放射性元素を化学的に分離し、放射能が減っていく様子を観察しましょう。



β 線は GM (ガイガー・ミュラー) 計数管を用いた測定器で測定します。 β 線が気体を電離する作用を利用した測定器で、電離作用で生成したイオン (一次イオン) に高電圧をかけ、雪崩的にイオン数を増幅して電気信号として β 線を計数します。

実験操作 (自然計数の測定)

1-1. 測定時間を 10 分に設定して、棚板のみ試料箱に置き測定を開始する。

(^{212}Bi の化学分離と測定)

2-1. 活性炭粉末約 2 g をマントル 6 枚と共に容器に密封し、放置する。

2-2. 1:4 HNO_3 50ml に $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 100mg と $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 100mg を溶解し、加熱する。

2-3. 2-2 の硝酸溶液に 2-1 の活性炭粉末を加え、10 分間攪拌する。

2-4. 濾過して、活性炭を取り除く。

2-5. ろ液に Tl^+ 担体溶液を約 1 ml 加える。

2-6. NaOH 12g を少しずつ加える。白色沈殿が生じるが再び溶解し、最後に黄色沈殿が残る。このときの時刻を記録すること。(溶解後、沈殿が生じなかった場合は、 $\text{Bi}(\text{NO}_3)_3$ をさらに 100 mg 加え、よく攪拌する。黄色沈殿が生成したらそのときの時刻を記録すること。)

2-7. 沈殿を吸引濾過する。沈殿を少量の 1 mol/l NaOH 溶液で洗浄する。

2-8. 十分に水分を吸引した後、ろ紙を試料皿に糊ではる。

2-9. 測定器で放射線を 5 分間測定する。1 時間ほどこの測定を繰り返し続ける。各測定開始時刻を記録すること。

- a. 試料の正味計数率を沈殿生成後の経過時間に対して片対数グラフにプロットしてみましょう.
- b. グラフから半減期を求めましょう.

4. 終わりに

この実験では放射線のエネルギーを調べませんでした. が, 半減期とエネルギーの2つの情報がわかると放射線を出している元素を割り出すことができますのでとても重要な情報です. いま元素記号の決まっている元素は114個あります. そのうち, 34個が放射性元素です. 新しい元素が作られるごとに, この数はどんどん増えていきます(現在, 原子番号118の元素まで作られています). 実は, 宇宙のどこかで星が死ぬときに, もっともっと多くの元素が作られている可能性があります. 放射性元素というのは宇宙全体で考えれば, ごく当たり前の元素なのだということができます.

ミニ用語解説

放射壊変: 原子核が放射線を放出して, 別の種類やエネルギー状態の異なる原子核にかわる現象.

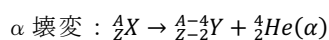
放射能: 放射性の核種が壊変して放射線を放出する能力. 単位時間あたりに壊変する原子核の数で表す.

SI単位系での単位はベクレルで, 1ベクレル (Bq) は, 原子核が1秒間に1個壊変する量.

核種: 原子核は要旨と中性子からできているが, 一組の陽子数と中性子数で決まる原子種.

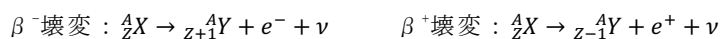
半減期: 放射壊変する核種の寿命を表す方法で, 壊変する核種の個数が1/2に減少するまでの時間. それぞれの核種は固有の半減期を持っている.

α 線: 放射線の一種で, ${}^4\text{He}$ の原子核である. α 線を放出する放射壊変を α 壊変という.



β 線: 放射線の一種で, 電子(β^-)または陽電子(β^+)である. β 線を放出する放射性壊変を β 壊変という.

このとき, 同時に中性微子(ニュートリノ, ν)の放出も伴う.



γ 線: 励起状態にある原子核がより低いエネルギー状態へ遷移するときに放出する電磁波. 可視光に比べて, 波長が非常に短い. β 壊変や α 壊変と同時に放出されることが多い.

テキスト作成にあたり, 以下の論文を参考にさせていただきました.

森雄兒, 物理教育 43, 269-272 (1995). 鎌田正裕他, 化学と教育 45, 33-36 (1997). 海老原充, 現代放射化学 (2005).

付 録

天然放射能（天然に存在する放射性核種）

(1) 一次放射性核種

太陽系が作られた約 45 億年前から存在し、寿命が長いために放射性壊変によって消失せずに現在まで生き残っている核種。

[例]	^{238}U	半減期	4.468×10^9 年	同位体存在度	99.27%
	^{235}U	半減期	7.038×10^8 年	同位体存在度	0.720%
	^{232}Th	半減期	1.405×10^{10} 年	同位体存在度	100%
	^{40}K	半減期	1.28×10^9 年	同位体存在度	0.0117%
	^{115}In	半減期	4.4×10^{14} 年	同位体存在度	95.7%
	^{209}Bi	半減期	1.9×10^{19} 年	同位体存在度	100%

(2) 二次放射性核種

一次放射性核種である ^{238}U , ^{235}U , ^{232}Th の娘核種。壊変系列を形成する。

(3) 誘導放射性核種

主として宇宙線との核反応により生成する核種。現在も、大気中で生成され続けている。

[例]	^3H	半減期	12.33 年
	^7Be	半減期	53.3 日
	^{14}C	半減期	5.73×10^3 年

放射性壊変

放射性壊変は原子核が自然に粒子や電磁波を放出して、別の原子核にかわる統計的な現象です。放射性壊変する原子核の数 N は、時間 t とともに以下の式に従って減少していきます。 N_0 は $t=0$ のときの原子核の数です。

$$N = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 (1/2)^{t/T_{1/2}}$$

壊変定数 λ ： 単位時間あたりに壊変する原子核の数はその時存在する原子核の総数 N に比例する。このときの比例定数。つまり、1 個の原子核が単位時間内に放射性壊変する確率。

壊変率 A ： 単位時間あたりに放射性壊変する原子核の数。単位はベクレル (Bq) で、1 Bq は 1 秒間に 1 個の原子核が壊変することを示す。放射能の強度は通常、壊変率で示す。

$$A = \lambda N$$

半減期 $T_{1/2}$ ： 放射能が半分になるまでの時間。壊変率とのあいだに以下の関係がなりたつ。

$$\lambda \times T_{1/2} = \ln 2 \doteq 0.69315$$

平均寿命 τ ： λ の逆数。放射能の強さが $1/e$ ($\doteq 0.3679$) になるまでの時間に相当する。

放射平衡

放射性核種 A (親核種) が壊変して放射性核種 B (娘核種) になるときの、B の数 (N_2) の時間変化は以下ようになります。

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_{1,0} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) + N_{2,0} e^{-\lambda_2 t}$$

A の壊変定数 λ_1 が B の壊変定数 λ_2 より小さいとき (つまり、A の半減期が B の半減期より長いとき) は、次のように取り扱うことができます。

(1) 過渡平衡 $\lambda_1 < \lambda_2$

時間が十分に経過すると $e^{-\lambda_2 t}$ が無視できるので、次式がなりたつ。

$$N_2 = \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} N_1$$

どの時間でも N_2/N_1 比が一定となり、A と B の放射能はともに親核種 A の

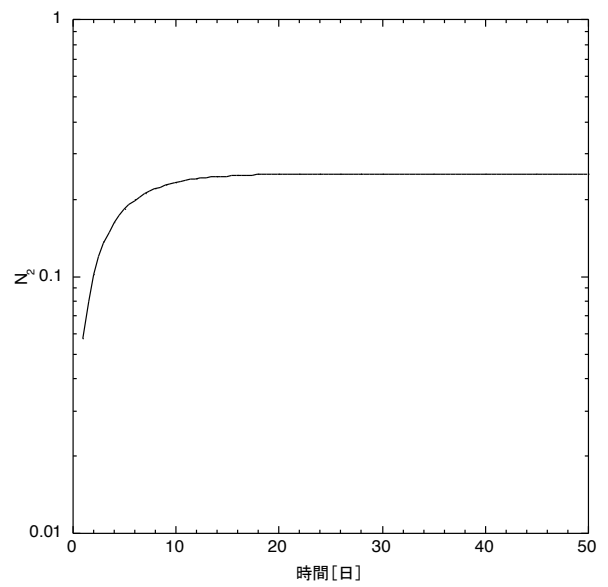
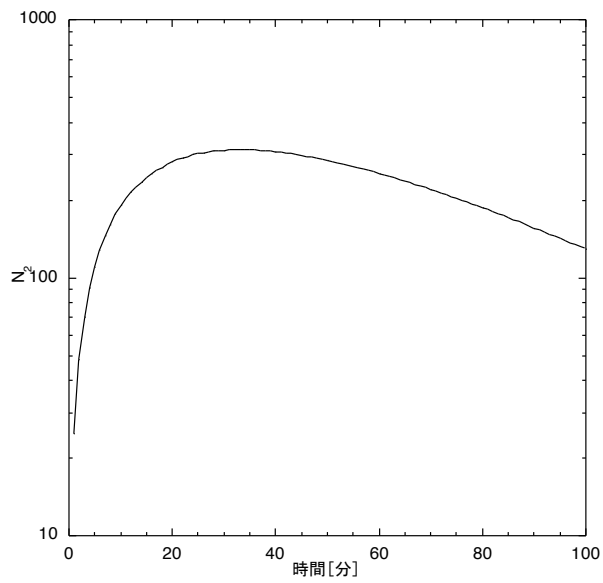
半減期で減衰する。

(2) 永続平衡 $\lambda_1 \ll \lambda_2$

分母の λ_1 を無視できるので，次式がなりたつ。

$$\lambda_1 N_1 = \lambda_2 N_2$$

親核種と娘核種の壊変率が等しくなる。



(i) A: ^{214}Pb (27分) B: ^{214}Bi (20分) (ii) A: ^{90}Sr (29年) B: ^{90}Y (2.7日)

ここで(i)(ii)ともに $N_{1,0} = 1000$, $N_{2,0} = 0$ とした