

三朝の温泉水を用いた ^{212}Pb と ^{214}Pb の半減期の測定

The measurement of the half-life of ^{212}Pb and ^{214}Pb in hot spring water of Misasa

公立鳥取環境大環境 ○足利 裕人

Tottori Univ.of Env. St.

Hiroto Ashikaga

E-mail: ashikaga@kankyo-u.ac.jp

放射線源として比較的安易に入手ができる温泉水を使用し、中等学校の原子分野での半減期や崩壊系列を学ぶ教材開発を行った。三朝温泉は ^{222}Rn を多く含むラドン温泉として有名であるが、ウラン鉱にはトリウムが含まれることが多く、 ^{220}Rn (トロン)を含む源泉も多く存在する。これらの同位体の性質の違いを考慮して、それぞれの娘核種である ^{214}Pb 、 ^{212}Pb の半減期を測定した。

1 半減期の計算方法

図1はトロンを多く含有する大橋旅館岩窟の湯を試料とする γ 線スペクトルである。 ^{212}Pb 、 ^{214}Pb は崩壊曲線に従って減衰するため、一定時間 t_0 ごとのピーク面積の減衰する割合 b から半減期 T を次式で計算することができる。

$$T = t_0 \frac{\log 2}{\log b}$$

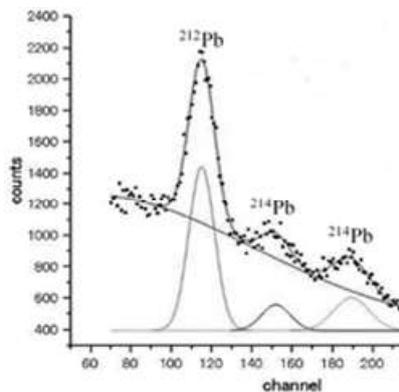


図1 温泉水の γ 線スペクトル (^{212}Pb のピークは ^{214}Pb も含む)

0.352 MeV の ^{214}Pb のピーク面積の 1/5 を減じた値で半減期を計算し、 13.2 ± 0.63 時間となった。文献値 10.64 時間との誤差は約 24 %である。

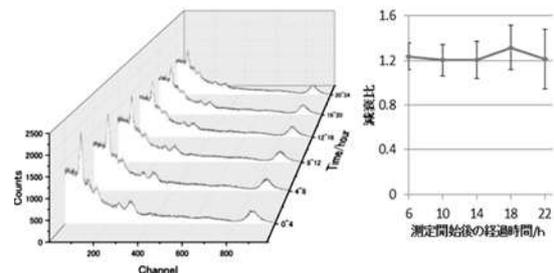


図2 γ 線スペクトルの時間減衰と減衰比 b

一方 ^{214}Pb は 3 本のピークの面積の和で半減期を求め、 29.9 ± 3.5 分を得た。文献値は 26.4 分である⁽³⁾。この半減期は、中等学校の授業時間内での測定に有効である。

2 ^{212}Pb 、 ^{214}Pb の γ 線測定

トロンは半減期が 55.6 秒と短く、湧き出した直後に崩壊し、即座に浴室の岩石等に沈積する。本研究では、放射性を持たない吸着物質としてバークライトを選び、温泉水を通した。吸着したトロンは 10 分後には約 1/1000 に減少するが、ラドンの半減期は 3.8 日のため、多くは気体のまま吸着されている。これを電子レンジで加熱し、吸着したラドンとトロンを気相中に飛ばし、トロンの娘核種 ^{212}Pb を多く含む試料を得た。一方、ラドンは薬師の湯を洗浄瓶にとり、激しく 50 回振って気相中に追い出し、活性炭に吸着させた。これを放射平衡になる 2 時間後に電子レンジで加熱し、 ^{214}Pb と ^{214}Bi を多く含む試料を得た⁽¹⁾⁽²⁾。これらの試料を 3 インチ NaI(Tl)シンチレーションカウンタを用い、 ^{214}Pb は 10 分間、 ^{212}Pb は 4 時間の計測を連続して数回繰り返した。

3 ^{212}Pb 、 ^{214}Pb の半減期の測定値

図 2 は ^{212}Pb を多く含む試料の、4 時間毎の γ 線スペクトルの減衰の様子である。各スペクトル中の 0.239 MeV の ^{212}Pb のピークの面積から

4 浴室内のラドンとトロンの濃度測定

ラドンとトロンの空気中の濃度検出器である RADUET(弘前大学・放医研開発)を、水面からの高さを変えて巖窟の湯に 3 ヶ月間設置した。ラドン濃度の平均は、 $427 \pm 24 \text{ Bq/m}^3$ になり、トロン濃度の平均は、 $104 \pm 68 \text{ Bq/m}^3$ となった。

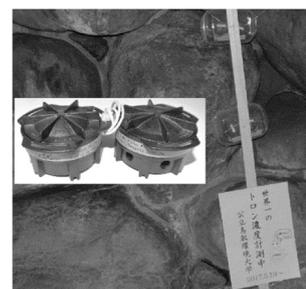


図3 トロン濃度の測定

5 参考文献

参考文献

- [1]鎌田正裕,中村麻利子,江坂亨男,化学と教育,日本化学会,1994
- [2]足利裕人,放射線と産業,No.126.pp.20-24,2010
- [3]足利裕人“三朝の温泉水を用いた ^{214}Pb の半減期の教材化”,第 33 回物理教育研究大会予稿集,pp61-62, 2016

参考

半減期を T とし、

表 1 高さによる濃度測定例

高さ /cm	ラドン Bq/m ³	トロン Bq/m ³
25	469 ± 23	216 ± 88
45	483 ± 30	80 ± 77
69	471 ± 37	311 ± 99
99	581 ± 34	21 ± 90
133	519 ± 35	136 ± 86

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{\int_0^{t_0} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} dt}{\int_{t_0}^{2t_0} \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}} dt} = \left(\frac{1}{2}\right)^{-\left(\frac{t_0}{T}\right)}$$

これを減衰比 b とおくと、

$$\left(\frac{1}{2}\right)^{-\left(\frac{t_0}{T}\right)} = b \quad \left(\frac{t_0}{T}\right) \log 2 = \log b$$

$$\therefore T = t_0 \frac{\log 2}{\log b}$$

旅館大橋の「巖窟の湯」のトロン濃度について

は、近年は詳しく調査がされていなかった。そのため、本研究ではラドンとトロンの空気中の濃度検出器である RADUET(弘前大学・放医研開発)を、水面からの高さを変えて約 3 ヶ月間設置した。ラドン濃度の平均は、 427 ± 24 Bq/m³ になり、トロン濃度の平均は、 104 ± 68 Bq/m³ となった。

ラドンの半減期 (3.8 days) はトロン(55.6 s)の 5942 倍長く、気体のため、浴室内に長時間存在していると考えられる。今回測定したラドンの濃度の結果は、ラジウム泉である「中の湯」及び「下の湯」の影響もある程度考えられる。

また、浴室は窓を喚起目的で定期的に開放するため、長期間の平均ではトロンやラドンは室内にほぼ一様に分布すると思われ、高さによる濃度の顕著な変化は見られなかった。

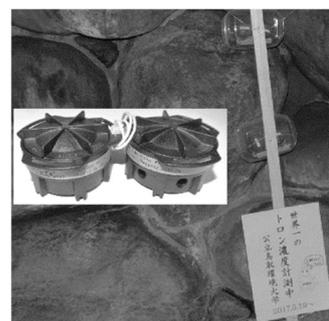


図 8-3 RADUET の設

8-4 方法

湧き出し口から出る温泉水を柄杓で汲み、約 500 g のバーミキュライトに 24.5 L 程度流し、トロンとラドンを吸着させた。バーミキュライトを耐熱皿に移し、電子レンジで 30 分間加熱して、吸着されたラドンやトロンを気相中に追い出した。

3 inch シンチレーションカウンターを用いて、4 時間ごとに 4 時間分の測定を行った。²¹²Pb の 0.239 MeV のピークだけの面積 (²¹⁴Pb の 0.352 MeV のピーク面積の 1/5 を、²¹⁴Pb の重なりによるバックグラウンド⁽³⁾として引いている)を求めた。

8-5 結果

温泉水の採取から3時間8分後に測定を開始し、24時間かけて6回測定した。各ピークの減衰の様子を図8-4に、減衰比の時間経過を図8-5に示す。

^{212}Pb のガンマ線スペクトルのピーク面積の減衰比より、半減期は 13.2 ± 0.63 時間となった。文献値 $^{210.64}$ 時間との誤差は約24%であった。

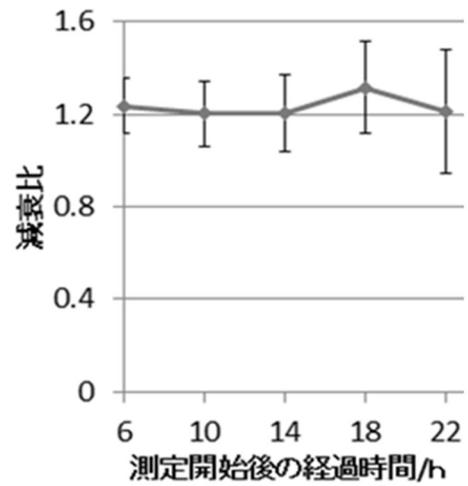
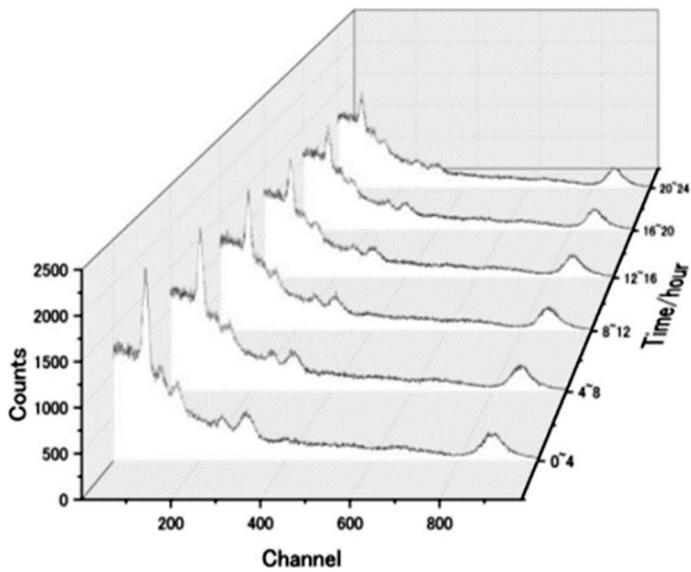


図8-5 減衰比の時間推移

図8-4 γ 線スペクトルの時間減衰

8-6 考察

崩壊開始直後よりすぐ測定するのが、ガンマ線の強度も強く望まれる。電子レンジによる熱処理からの時間がより多く経過すれば、 ^{212}Pb の崩壊が進み、その絶対量が小さくなって統計誤差が大きくなる。しかし、三朝町からサンプルを本学に持ち帰り、測定を開始するのに移動時間を必要とする。そのため、吸着後素早く測定を開始する工夫が必要である。

また、吸着しているトロンの娘核種が多ければ、ガンマ線のカウント数が増加し、統計誤差が小さくなると考えられる。しかし、吸着しているトロン濃度を高くするためには、より多くの温泉水をバーミキュライトに流し、より多くの温泉水を吸着させるのに時間をかける必要がある。

8-7 発展「三朝の温泉水を用いた ^{214}Pb の半減期の教材化」

立川唯 足利裕人

三朝温泉の多くの源泉は ^{222}Rn をの ^{214}Pb と ^{214}Bi を生じる。これり、中等学校の授業時間内で測つ。

ここでは三朝温泉「薬師の湯」を6分目とり（図 8-5），約 50 回 ^{222}Rn を追い出し，シリカゲルた活性炭に吸着させた⁽¹⁾⁽²⁾。ガイを観察しながら，一定値に落ち間程度放置し，十秒加熱して，だけを残し，そ 3 inch の NaI ウンターで 10 分定した。各元素のピデータ分析ソフに求め，時間ご求めた。3 本の



図 8-5 薬師の湯で試料採取

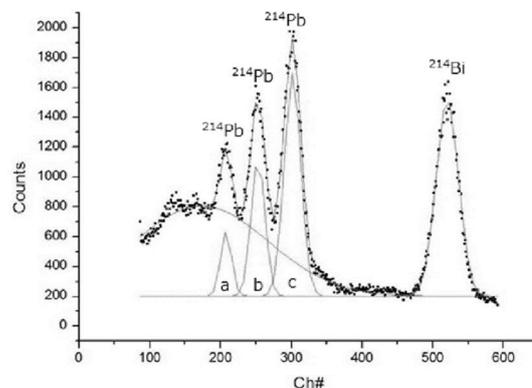


図 8-6 ^{214}Pb の γ 線スペクトル

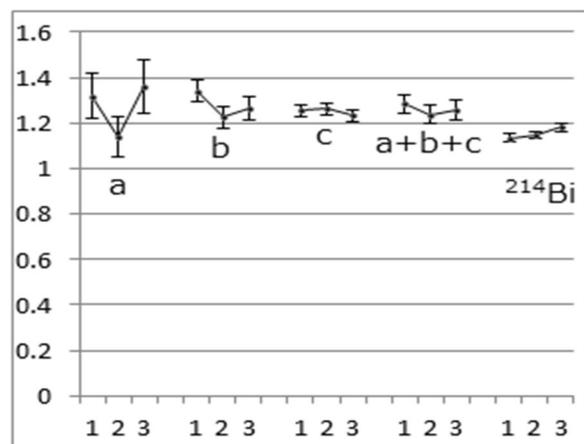
a, b, c とし，a, b, c, a+b+c, ^{214}Bi の各ピークの面積の減衰比の時間変化を図 8-7 に示した。減衰比は，グラフの縦軸の値に見られるように，それぞれ 1.28, 1.32, 1.18 であった。

^{214}Pb の 3 本のピークの面積の和で求めた減衰比（図 8-7 の a+b+c のもの）は 1.26 ± 0.04 であり，この値で半減期を求めると， $T = 29.9 \pm 3.5$ 分の値を得る。文献値では 26.4 分であり，誤差の範囲内に収まっている。

多く含み，崩壊して娘核種らは半減期が約 20 分である定できるという利点を持つ

泉源の試料とし，洗浄瓶に激しく振って気相中に管を通して，ポリ袋に入れガーカウンタで線量の変化着く放射平衡まで 2 時その後電子レンジで数活性炭中に ^{214}Pb と ^{214}Bi れらが崩壊時に出す γ 線を（TI）シンチレーションカ間ごとに測

ークの面積（強度）は，ト ORIGIN を用いて精密との値から強度の減衰比を ^{214}Pb のピークを左から



参考文献

[1] 鎌田正裕，中村麻利子，江坂享男，化学と教育，社団法人日本化学会，1994

[2] 足利裕人，放 図 8-7 ^{214}Pb の減衰比の時間変化

射線と産業，No.126, pp.20-

- ①原稿は、A4 版 1 枚にカメラレディ(そのまま印刷できる原稿)の状態で作成して下さい。
- ②上下左右のマージンは各 25mm です。
- ③ページのはじめから、日本語の題目、所属、著者名及び、英語の題目、所属、著者名を記して下さい。
- ④作成された原稿は、PDF 形式に変換して投稿して下さい。

本文は 1 段組、あるいは 2 段組で作成して下さい。

予稿集はモノクロ印刷です。カラーの図表がある場合は、グレースケールの PDF 形式に変換して投稿して下さい。(カラーの PDF の場合、意図しない色で印刷される場合があります)

明朝体と Times Roman を本文のフォントとして使用することを推奨します。