

RTSC-A 測定 - 経過報告書

2017年4月8日

研究履歴 - 医学物理学会の発表スライドを作成段階での結果を報告する。RTSC-A を用いて空気中に ^{214}Bi が存在するかの実験を行ってきた。方法は RTSC-A の中を窒化していき、検出カウント数に差異が見られるかの実験だった。しかし、なかなか見えてこないことからセットアップを

論文執筆(日本語版) - A search for the cause of lung cancers in the nature by measuring the radon-daughter in environmental radiation

1. はじめに

非喫煙者の肺癌患者数は空気中のラドン濃度が 100 Bq/m^3 上昇すると 8-13%増加すると報告があり (Choi H, et al., 2014)、ラドンと肺癌リスクに相関関係が確認された。そのためラドン吸入は自然な肺癌発生の有力な候補である。

ラドン吸入による被曝線量は年間平均 1.1 mSv と評価されている。この値は娘核である ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi , そして ^{214}Po の空気中での放射平衡の因子を 0.4 と仮定して評価されており、この因子によって大きく結果が左右される。またこの計算ではラドンを吸入するのであって、ラドン(^{222}Rn)の娘核は吸入していないように記述されている。Bi, Po, Pb はラドンが空気中で漂っていれば、吸入する可能性はあるのにもかかわらず。

これら核種はイオンとして空気中に漂い、埃などに吸着されて地面に落ちるといふ仮説も提唱されている。しかし、埃への吸着率を考慮すると、空気中を漂い続けている核種は存在するはずなので、人間が吸入する可能性を捨てきれない。Bi, Po, Pb の空気中の振る舞いが明確になれば、ラドン吸入による被曝線量を正しく見積もることができ、さらに肺癌が発生するメカニズムを解明する手がかりをつかめるかもしれない。

この研究は環境中の Bi, Po, Pb を測定することで肺癌発生原因解明のための鍵を提供する。

2. 実験手法

2.1. BGO 検出器によるエネルギー spektroskopie

2.1.1. セットアップ

BGO の上部周りをプラスチックで覆って、宇宙線ミュオンを除去し、その周りに鉛と真鍮を覆ってコンクリートからの γ 線を抑制した。

2.1.2. エネルギー校正

2.1.3. エネルギー分解能

詳細は省く。医物では γ 線検出の話は発表しない。詳しくは前の報告書を参照。

2.2. β 線測定

2.2.1. セットアップ

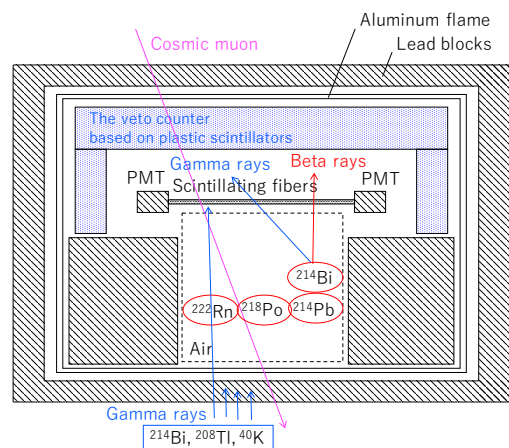
右図に示す。シンチファイバーで作った β 線サーベイメータはプラスチックで上部覆われ、宇宙線ミュオンに対して抑制される。そして、その周りを厚さ 3cm の鉛ブロックで覆われコンクリートからの γ 線を抑制する。

右図は学会に出す前に用意した図で、空間があるが、論文に出すときは空間を消す必要がある。そして、サンプルがそこに封入されている絵に描きなおす必要がある。

2.2.2. 検出効率と絶対感度

^{90}Sr 線源を用いてサーベイメータの検出効率を評価した。その結果 54.4%。これはガンマ線に対しても感度を低くするためにあえて物質量を抑えるのが狙いだ。

また ^{90}Sr の放射能は 23.7 kBq でカウント頻度との関係から絶対感度は $0.25 \text{ Bq}^{-1} \text{ s}^{-1}$ が評価された。



2.2.3. サンプルの状態

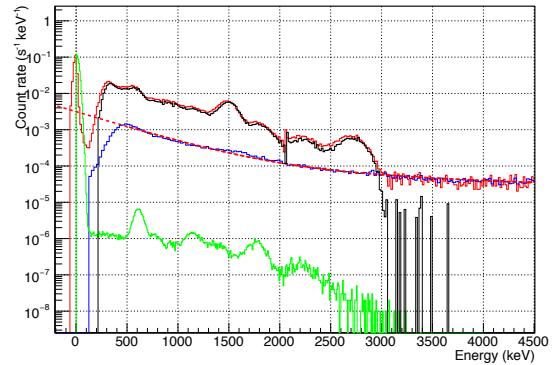
サンプルは面積 300x100cm²のポリエチレン、アルミホイル、塩化ビニル(黒シート)、紙を使用した。埃の体積量が同じになるように無風状態の室内に同じ 24 時間放置した後に表面検査を実施した。

3. 結果

3.1. ガンマ線スペクトロスコピー

右図に結果を示す。赤線が室内で行った実験データ、青線が屋上での実験データ、緑は ²¹⁴Bi が空気中 1Bq/m³ の濃度で存在していた時のエネルギー流量の MC 計算結果だ。3 MeV 以上の屋内と屋上で一致している流量は宇宙線ガンマ線シャワーを示し、報告されている論文に一致する。この流量を関数でフィットした結果が赤破線である。

この結果から宇宙線シャワーを差し引いたものが黒線で、この面積を積分した結果が BGO に天井から飛来するガンマ線の流量を示す。したがって、室内からは Tl, Bi, K からのガンマ線が低く見積もっても 2.7 s⁻¹ の頻度で、宇宙線シャワーは約 2.0 s⁻¹ の頻度でそれぞれ飛来することがわかった。



3.2. サンプル表面汚染測定

サンプルを入れてからサーベイメータのカウント頻度を監視した。ポリエチレン試料における結果を右図に示す。丸点がデータで、赤線がフィット線を示す。フィット関数は

$$f(x) = c_1 \exp\left(-\frac{x}{\tau_1}\right) + b + c_2 \exp\left(-\frac{x}{\tau_2}\right)$$

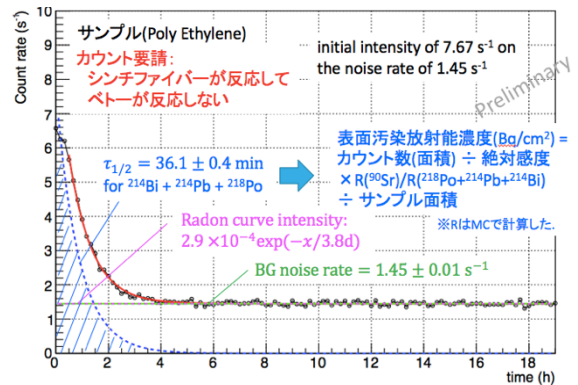
ここで τ_2 は 38 日で固定している。一つ目の項は最初の減衰曲線、二つ目はバックグラウンドの定常項、三つ目はラドン崩壊曲線で時定数を固定して強度に自由度をもたせた。

青線は一つ目の項の曲線のみを示す。時定数は 0.87 ± 0.01 時間(36.1 ± 0.4 分)である。これは ²¹⁴Bi と ²¹⁴Pb の β 線を観測しているが、²¹⁸Po が ²¹⁴Pb を生成、²¹⁴Pb が ²¹⁴Bi を生成することから核種の寿命が長く見える効果で説明ができる。サンプルの表面汚染濃度 A は以下で与えられる。

$$A = \left\{ \int c_1 \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) dt \right\} \frac{1}{\varepsilon_{\text{eff}}(\text{Sr})} \frac{R(\text{Sr})}{R(\text{Po} + \text{Pb} + \text{Bi})} \frac{1}{S}$$

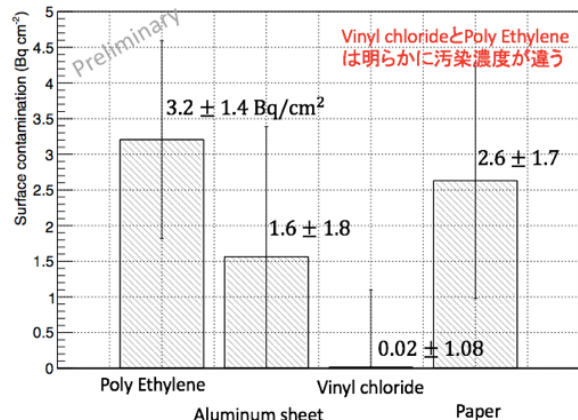
ここで $\varepsilon_{\text{eff}}(\text{Sr})$ は ⁹⁰Sr 絶対感度、 $R(\text{Sr})$ は MC で計算された ⁹⁰Sr 絶対感度、 $R(\text{Po} + \text{Pb} + \text{Bi})$ はで計算された (²¹⁸Po + ²¹⁴Pb + ²¹⁴Bi) 絶対感度、S はサンプル面積(cm²)を示す。ここで MC 計算の結果をプロットしたいが、この仕事は小林に任せているのでこの報告書では示せない。

その結果を右図に示す。ポリエチレンは 3.2 ± 1.4 Bq/cm²、アルミは 3.2 ± 1.4 Bq/cm²、塩化ビニルは 0.02 ± 1.08 Bq/cm²、そして紙は 2.6 ± 1.7 Bq/cm² が得られた。これらの誤差は再現性の不一致差が支配的で、ラドン濃度の時間変化や雑音の時間変動に依存していると考えられる。ポリエチレンと塩化ビニルに明らかな Bi, Po, Pb の吸着率に差が見られた。論文にはこれらは図ではなく、表で載せる予定だ。



4. 考察

サンプルの材質によって Bi, Po, Pb の吸着率に差があることはこれら核種が空気中を飛び回っていることを間接的に示唆する。何故なら、埃に吸着して地面に落ちるのならば、材質に依らずサンプルの表



面では同量の汚染濃度が観測されるはずである。Bi, Po, Pb が直接サンプルに衝突して吸着されるということは、すなわち空気中を漂っていることを暗に示しているのだ。これは我々がラドン娘核を吸入している可能性を同時に生じさせる。したがって、知られているラドン吸入による被曝線量は低く見積もられていたことになる。

5. まとめ

空気中のラドン娘核の観測において、環境中にはコンクリート、宇宙線由来の雑音が多く存在していることがわかった。鉛ブロックでコンクリートを覆い、サーベイメータも物質量を減らし宇宙線シャワーに対しても感度を極力減らした実験でサンプルの材質による差異が見られた。この結果から空気中でラドン娘核が漂っている可能性を指摘した。これはラドンだけでなくラドン娘核も吸入していることを暗示し、被曝線量評価の改善を要求する。なぜラドンを吸入すると肺癌発生が起りやすいのか、我々は直接空気中のラドン娘核を観測することで原因を探索する。

あとがき – 論文ではこのように執筆しようと思う。自分で定めた提出期限は4月31日。提出するジャーナルは Nuclear Medicine and Biology に出す。さらに言うと、サンプルの汚染濃度の結果はまだ1回しか観測してなくて、再現性が取れていないのが現状だ。もう3回くらいループさせて測定しないといけないだろう。

医物の発表時の質問を想定して Logical Strategy を練った

[1] 埃に吸着した Bi, Po, Pb を測定するのに、なぜ時間がかかる方法を使用したのか？吸引機を使って埃を集めて（集塵して）測定しなかった理由は？

埃に付着した Bi, Po, Pb を測定すれば存在は観測できるでしょう。しかし、それだけで、空気中に漂っているかまでは考察できない。やはり間接的にでも考察するには表面に堆積した埃を観測するのがベターであると考えました。

[2] ラドン吸入による被曝はどのように評価されているのですか？

[3] ラドン娘核による吸入が本当ならばどのくらい被曝線量は変わるのですか？