

リアルタイムストロンチウム 90 カウンター開発研究  
低バックグラウンドのための試行錯誤・経過報告書

伊藤博士

### 1. はじめに

宇宙線ベトー装置の検出効率を 99.9%以上(50-60 p.e.)にしたにもかかわらず、バックグラウンド頻度が平均 130 cph である件に関して原因を調査した。ただしこの時の測定条件として装置は外箱から取り出し入射窓は仰向けにして粘土(密度 2.7 g/cc)で蓋をしている。2016 年 10 月 13 日に空気中のバックグラウンドを妥協した段階での結論より。

### 2. 窒化実験

バックグラウンドの主な原因は空気中の放射能ではないかと考えた。仮説としてウラン崩壊系列のラドン 222 が空気中に充満しているが、その孫娘核のビスマス 214 が放出する最大 3.27 MeV のベータ線が影響していると考えられた。これを実証するために装置内に窒素ガスを充満させてカウント頻度が下がるか実験する。10 月 26 日、株式会社巴商会から窒素ガスボンベの取り付け工事を依頼し(約 6.5 万円)、装置に穴を開けて(10/31)窒素を片側から流入(5.0 cc/min)して 24 時間連続測定における BG 頻度の変化を見たが(11/9)、変化が見られなかった(11/10)。原因は装置が密閉されていないことが考えられた。

排出口から空気が押し出されていないことから、窒素が流入するも空気と混ざりそのうちの半分ほどが漏れるという構図が考えられる。確認した結果、流入口の近くのネジ穴やアルミのつなぎ目から漏れていた。すなわち、正常に窒化されていないことを示している。そこで、ビニール袋の中に装置を入れ封入し、その中で窒化して検証した(11/10)。誤差の範囲内で変化しなかった。

### 3. 遮蔽実験

そもそも装置を仰向けにしたのが問題ではないのか、粘土が実は空気を取り除いているのではなく遮蔽効果だったのではないかと、幾つか窒化する以前の問題が示唆された(11/11)。装置の試料設置スペース(1)に空気か、粘土(2.7 g/cc)、または窒素を、その試料側の外側(2)に空気か、真鍮(8.45 g/cc)を配置した場合、また装置を仰向け状態(反対)または俯せ状態(正常)にした場合で BG 頻度を検証した (11/12-11/24)。

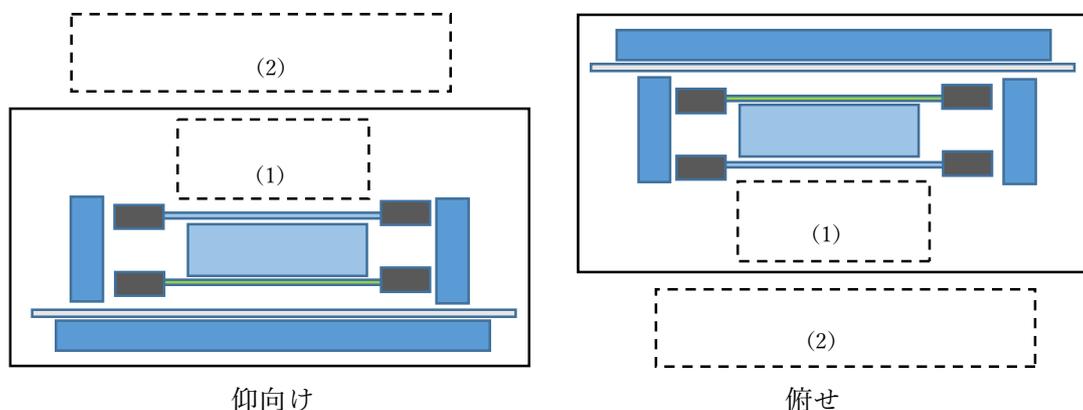


図1に粘土を試料配置スペースに置き、外側に何も設置せず、仰向きにした時の4つの論理演算におけるBG カウント頻度の時間変化を示す。SFT x AC(2) x n(veto)を代表してBGについては評価することにする。70時間誤差の範囲内で変化しないと結論付けられる。装置向き状態と(1)、(2)の場所に置かれている物質の結果を表1に示す。

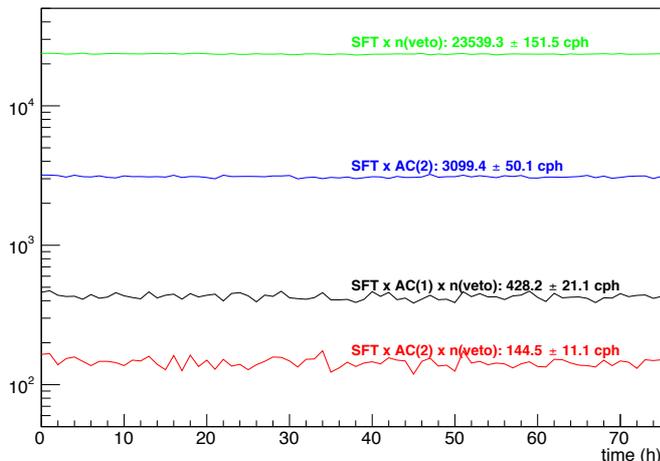


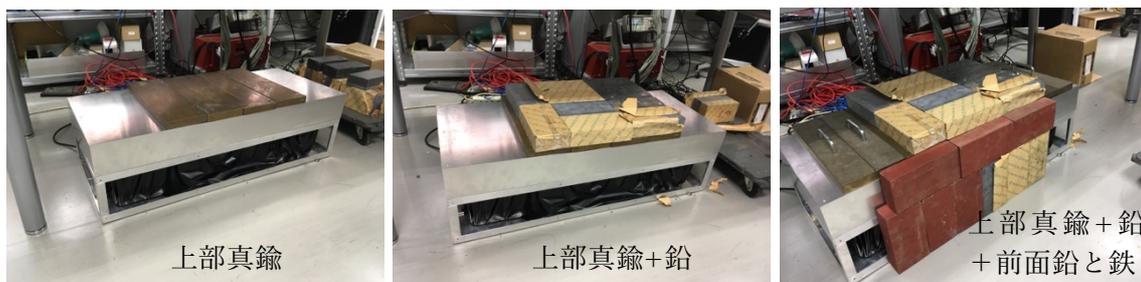
図 1

表 1

日付	試料設置場(1)	外側(2)	装置状態	測定時間 [h]	BG 頻度 [cph]
2016/11/08	粘土 80 mm	真鍮 50 mm	仰向き	29	105.6 ± 9.3
2016/11/12	粘土 80 mm	-----	仰向き	77	144.5 ± 11.1
2016/11/14	-----	-----	仰向き	18	210.0 ± 11.2
2016/11/16	-----	真鍮 50 mm	仰向き	23	124.1 ± 9.2
2016/11/17	密封空気	真鍮 50 mm	仰向き	26	123.4 ± 9.0
2016/11/18	粘土 80 mm	真鍮 25 mm	俯せ	51	128.6 ± 13.1
2016/11/20	粘土 80 mm	真鍮 50 mm	俯せ	19	120.4 ± 10.3
2016/11/21	-----	真鍮 50 mm	俯せ	30	119.1 ± 14.7
2016/11/22	窒素 (空調 OFF)	真鍮 50 mm	俯せ	44	122.8 ± 11.4
2016/11/24	窒素 (空調 ON)	真鍮 50 mm	俯せ	26	123.2 ± 12.9

この結果から仰向きで(1)粘土(2)真鍮の場合で BG が少なかった。(1)による寄与よりも(2)の寄与が大きいということは、外部からの放射線が影響していると考えられる。また俯せにした場合は顕著に変化が見られなかったことから上方向から何か来ていると考えられる。宇宙線ミュオンが真鍮 50 mm で止まるといのは考えにくいし、俯せの場合はそもそも除去できているはず。すなわち、これは空気中からガンマ線が出ていることを裏付けている。そもそも空気中に <sup>214</sup>Bi がいるならば、装置内部よりも外側に多く存在するのは明らかである。

そこで装置の周りを鉛ブロック(密度 11.35g/cc)や鉄(7.86g/cc)で覆い実験した(11/25-12/2)。装置は外箱をつけて正常の向きに上体を起こした。装置壁面に真鍮、鉛を次第に配置した時の BG 頻度を測定した。セットアップを下図に示す。



鉛遮蔽した時の結果を表 2 に示す。机上では下の空気からのガンマ線が気になるため、机下で測定した。さすがに数十 cm のコンクリートをガンマ線はほとんど止まるはずとして考慮している。また試料設置スペースは空洞になっている。

表 2

日付	遮蔽状況	測定時間 [h]	BG 頻度 [cph]	
			宇宙線除去	除去なし
2016/11/28	-----	23	155.2±11.3	2454.5±55.3
2016/11/29	上部真鍮 25 mm	19	123.7±8.9	2395.2±57.5
2016/11/30	上部真鍮 25 mm + 上部鉛 50 mm	25	101.3±9.0	2237.2±45.2
2016/11/31	上部真鍮 25 mm + 上部鉛 50 mm + 前面鉛 50 mm と鉄 50 mm	25	91±8.5	2261.1±65.2

この結果から空気中からの外部放射能が主なバックグラウンドであることが証明され、VETO 装置を使用していることから荷電粒子ではなくガンマ線が 2 本以上同時にファイバーにヒットしていると考えられる。 $^{214}\text{Bi}$  が出すガンマ線のエネルギーは 0.61 (46%), 1.76 (15.4%), 1.12 (15.1%), 1.24 (5.8%), 2.20 MeV (5.1%) と多岐にわたる。2 MeV のガンマ線の全減衰係数は  $0.4536 \text{ cm}^2/\text{g}$ 、厚さ 5 cm 鉛を透過できるガンマ線の強度比は  $7.45 \times 10^{-2}$  である。つまり 92.5% のガンマ線が鉛で止まる計算だ。

また宇宙線除去 VETO を作用した場合としない場合を比較すると遮蔽前後の BG 頻度抑制割合が宇宙線除去した場合  $(155.2-91)/155.2=41\%$  に対して除去なしの場合  $(2454.5-2261.1)/2454.5=7.8\%$  と計算された。これは鉛遮蔽によって宇宙線は若干抑制されたが 7.8% ほどでメインではない。したがって、宇宙線除去の結果では明らかに 41% も抑制した線種は宇宙線ではないことを証明した。

上部を鉛で覆ったことで 155 cph から 101 cph まで BG 抑制でき、前面を覆うとさらに 10 cph 抑制された。全部覆った場合、残りのバックグラウンド頻度は試料設置スペースの空気中の放射能だけになるはず。それこそ、 $^{214}\text{Bi}$  からのベータ線を検出することができる。

#### 4. 今後の研究計画と課題

バックグラウンドの主が空気中のガンマ線で外部からの放射能であるとわかった。装置の検出限界を改善(減らす)するためには、装置の周りを鉛で遮蔽することが一番効果的であると考えられる。しかし、鉛は素材として高価で装置の周りを覆うだけで数十万円の費用がかかると推定される。

遮蔽材を買うのではなく、放射線施設もしくは素核実験施設に鉛ブロックがあれば、そこに持って行き、借りて実験できないか交渉することが現実的だろう。放医研、東北大学 ELPH、KEK、J-PARC が考えられた。12/4 に大阪大学清水俊助教授と相談したところ J-PARC E36 実験で使用した鉛シンチレータサンドウィッチカロリメータを使用したらどうかと助言をもらった。

外部ガンマ線で他にコンクリート内の K40 が存在することが報告されている。これは装置の下に鉛を置くかどうかで決着すると考えられる。

## 5. まとめ

バックグラウンドの主な原因は装置外部の空気中のガンマ線であることがわかった。解決策の一つは装置の周りに鉛遮蔽を敷き詰めることだ。ストロンチウム 90 カウンターの性能はバックグラウンドに依存しているので、RTSC-A ver.1 の装置性能が最終決着し、装置開発が完了されると考えられる。

## 6. 予備実験

予備実験として装置各検出部分の遮蔽ありとなしでの BG 頻度を測定し比較した。この予備実験では鉛遮蔽によって抑制された線種がガンマ線で宇宙線ミューオンではないことを証明したかった。

表 3

検出器	上部真鍮 25 mm + 上部鉛 50 mm + 前面鉛 50 mm と鉄 50 mm	遮蔽なし
SFT	$9.0 \pm 3.1$ cps	$11.5 \pm 3.5$ cps
VETO	$11282 \pm 169.7$ cps	$11689.8 \pm 182.7$ cps
AC(1)	$2142.4 \pm 55.0$ cps	$2153.7 \pm 55.3$ cps
AC(2)	$4.5 \pm 2.2$	$5.8 \pm 2.5$ cps