

改訂 9 月 10 日版

数値への変換・・・ユーザーマニュアル vol2 ver0.9 (線種の識別と線量当量への変換への道)

© Y.Utsunomia

はじめに

ガイガーカウンターで計測したカウントを線量当量 (毎時マイクロシーベルト [μ Sv/h]) に換算したいというリクエストは多い。しかし、ユーザーマニュアルの前半で触れているように、それは容易ではなく、以下に示す問題を把握の上、変換する必要がある。

ガイガーミュラー管は放射線一般を検出できるが、放射線には α 線、 β 線、 γ 線などがある (これ以外に中性子線、宇宙から飛来する原子核の破片・・・宇宙線が有名) 。

SBM-20 の場合、 β 線と γ 線に感度がある。ガイガーミュラー管の感受性そのものは管の容積で、検出線種は管の材質で決まるが、SBM-20 の場合は、管が薄いステンレス材でできているため、 α 線は通過せずそのために β 線と γ 線に感度がある。ガイガーミュラー管の検出率は、一般的に γ 線について規定されていて、 β 線については規定がある場合と無い場合がある。

線量当量は生体への吸収率を規定しているので、本来は線種ごとに測定し合算するが、ガイガーミュラー管を用いた線量計では、一般的には γ 線についてのみ測定し、線量当量として換算することになっている。その理由は、 β 線は皮膚に照射した場合、浸透深度はせいぜい 10mm 程度で被ばくの影響が少ないとされる点、ガイガーミュラー管は一般的に γ 線感度の規定しかないことなどである (ガイガーカウンターでは外部被ばくを前提として規定されている) 。

もちろん我々が知りたいのは γ 線や β 線からの放射エネルギーだけではなく、そこに「それを放射している物質」があるかどうか、という点なので、 γ 線 + β 線の両方 (つまり SBM-20 の検出そのもの) を利用しているが、報道などでおなじみの線量当量 (マイクロシーベルト) に変換するには、 γ 線についてのみ測定しなければ、いささか不正確 (かなり多め・・・ガイガー管が同じでも、セットの構造により異なる) に検出される。

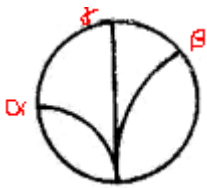
しかし、外部被ばくについてのみ検出したい場合は γ 線について線量当量換算すればよいが、真の問題は生活環境の中にある有害線源の有無 (呼吸や食事により、徐々に体に取り込まれ、内部被ばくする・・・) なので、通常は β 線も含め、「カウント数」について測定や記録を行うことを推奨します。 (この場合はカウント数からシーベルトへの換算はできません)

1. 線種による性質の違い

β 線と γ 線の違いは、線の本質が β 線は電子（または陽電子）、 γ 線は光子（電磁波）であるため、物体の透過率が異なる。またフレミングの左手の法則により、 β 線は磁界中では進路が大きく湾曲するが、電磁波である γ 線は湾曲しない。

α 線は+に帯電しているので β 線とは逆方向に大きく曲がる。中性子線は電氣的に中性であるため直進する。これら4つの線種に比べ、取り上げられることが少ないが、太陽や宇宙のかなたからも、宇宙線が大量に降り注いでいる。

*ガイガーミューラー管で計測した自然放射の（BG）のかなりの部分は、宇宙線が占めている。したがって、これと鉱物や原子炉由来物質を測ることは、本来は意味が違っている。自然放射能と呼んではいるが、 α 、 β 、 γ のどれにも属さない物（荷電粒子一般）に感度を有するセンサーが、ガイガーミューラー管である。



参考：SBM-20 のボディに刻印されている製造元のロゴがあるが、このロゴ、下に線源が在り、左に大きく湾曲しているカーブが α 線を、直進しているのが γ 線を、右に湾曲しているのが β 線（電子）を表している。

（VNIITFA 社、Saransk RU のカタログをみると現在も製造されているらしい）

2. 線種による物質の透過性の違い

○ γ 線

同じ γ 線であっても出所（ γ 線を発した物質）により強弱はあるが、多くの金属の薄板は貫通し、強い γ 線では鉛を数 cm 貫通する。肉体も貫通するが、骨は肉に比べるとやや貫通しにくい。

X線と γ 線は出所が異なるだけで、放射線としては同じものである。医療の検査で使用される放射はX線と呼ばれるが、肉と骨で透過性が異なるため、透視撮影ができるのである。参考までに、X線はX線管という2極（制御極を持つもの）の真空管を用い、ヒーター（カソード）から発した熱電子をターゲット（アノード）に、高電圧で加速しぶつける。発生するX線はターゲットの材料（金属）固有の強度（エネルギー）が生まれ、加速電圧には依存しない。

一般的に密度の低いアルミニウムなどからは弱いX線（軟線）が、高密度・高質量の鉛やイリジウムなどからは強く透過力のあるX線（硬線）が発生する。

同じように放射性物質の場合も、それを発する物質固有のエネルギーの γ 線が発生する。ガイガー管では容易ではないが、このエネルギー量を見て、それを発した物質を同定することができる。

水中では散乱するため、やはり弱くなるが、肉体と大差ない。進行を妨げるものがない場合、数百 m 到達すると言われる。

○ β 粒子線

β 線は電子なので、そもそもまっすぐには飛ばず、原子炉燃料棒のような強い線源であっても、3m 程度しか到達しない。環境汚染レベルではせいぜい数十 cm で検出ができなくなる。透過性は鉄系金属 1.5mm、アルミニウム 3mm 程度を透過できない。肉体では火傷を負うほどの強い β 線でも 1cm 以下の透過性しか無い。

このような性質があるので、 β 線測定は物質の表面汚染測定とも呼ばれ、測定対象に十分に近づかなければ検出できない。

**このことから、空間線量（地上高 1m のような）を測定する場合、 β 線ブロッカーの有無は測定値に影響をあまり及ぼさないはず。もし β ブロッカー有無で空間線量の測定値が大幅に異なる場合、チリとして β 線源が舞っていたり測定者の服や体が汚染されている可能性があります。

○ α 粒子線

α 線はヘリウム原子核で、まっすぐには飛ばず、紙 1 枚でほとんど遮ることができる。肉体での透過性は、0.1mm 未満。空間での飛距離は、せいぜい数 cm。

(この極めて微小な空間で電離エネルギーを消費するので、内部被ばくでは極めて大きな被害が、限定した範囲に起こる。 γ 線は肉体を難なく通過するが、通過するということはエネルギーを消費しないということなので、肉体に与える影響も少ない。この違いは DNA の壊れっぷりにも反映され、一概には断定できないが γ 線では鋭利にスッパリ、 α 線や β 線ではぐちゃぐちゃにシャッフルされていることが多いようだ。当然、修復酵素による修復も、成功率は γ 線切断によるものよりもはるかに低い・・・とはいうものの、程度問題ではある。

しかし根本的には、これらを同列で論じることが無意味なのかもしれない)

○中性子線

中性子線には高速の線と低速の線があり、透過力は非常に高く、鉛数 cm 程度では止めることができない。肉体はほとんど全通過する。飛距離は障害や吸収が無ければほとんど無制限。電氣的に中性であるため、特別なガイガー管でなければ検出できない。

宇宙線は中性子線に順ずる。自然放射線とも言われる、バックグラウンド (BG) はガイガーカウンターでは比較的多く、シンチレーションでは少なくなるが、その理由のひとつは、ガイガー管では宇宙線や荷電粒子によく反応する反面、シンチレーションでは γ 線にしか反応しないものが多いためである。公的機関で測定された数値の BG が低い理由のひとつだ。ガイガーカウンターでの BG は、全国平均でおよそ $0.15 \mu \text{ Sv/h}$ 程度、シンチレーションカウンターでは $0.05 \mu \text{ Sv/h}$ のような値になる。

宇宙線と中性子線の違いは、帯電の有無で、しばしばガイガー管はノイズが多く感度が低いと言われることがあるが、反応する対象線種が違うのだから、当然の話である。宇宙線は少々厚さの鉛では止まらないものが多い。

人類は宇宙に旅立てる日がくるのだろうか。

ガイガーカウンターで、CPM をシーベルトに換算するには、その規定により β 線を遮断し、 γ 線のみを計測する必要があるが、それには放射線種の透過率の違いや、進路の湾曲を利用して β 線を管に届かなくすればよいわけで、一例として旧ソビエト製の DP-5V の写真を示す。

< DP-5V 本体 >



DP-5V は軍用のガイガーカウンターで、1992 年ころまで生産されていたよう

だが、プローブ部分に基本的な技術が集約されている (ちなみにワークショップで使用している SBM-20 は 1992 年製造)。

この装置では透過率の違いにより β 線を遮断する機構が付いており、この機構はシャッターメカニズムで自由に開閉できる。

< DP open mode >



プローブ本体は鉄製の管材からの削り出しで、有効厚みで 1.8mm あり、十分にβ線を遮断することができる。シャッターは回転式になっていて、全開でβ線+γ線、シャッター閉じでγ線のみ、その隣にキャリブレーションモードが付いている。

< DP gammer mode >



シャッター材質は 18-8 ステンレス鋼製で、厚さ 1.5mm。シャッターの一部にキャリブレーション(自己校正)用のβ線源が埋め込んであり、いつでもこれを参照できるようになっている。シャッターを回転させるだけで、ガイガーミューラー管は全くこの線源を察知できなくなるので、この厚さで十分な遮蔽効果があることが確認できる。

< DP cal mode >



一般的にはアルミニウム 3mm 厚の材料で、ガイガーミューラー管を囲えばβ線を遮蔽できる。

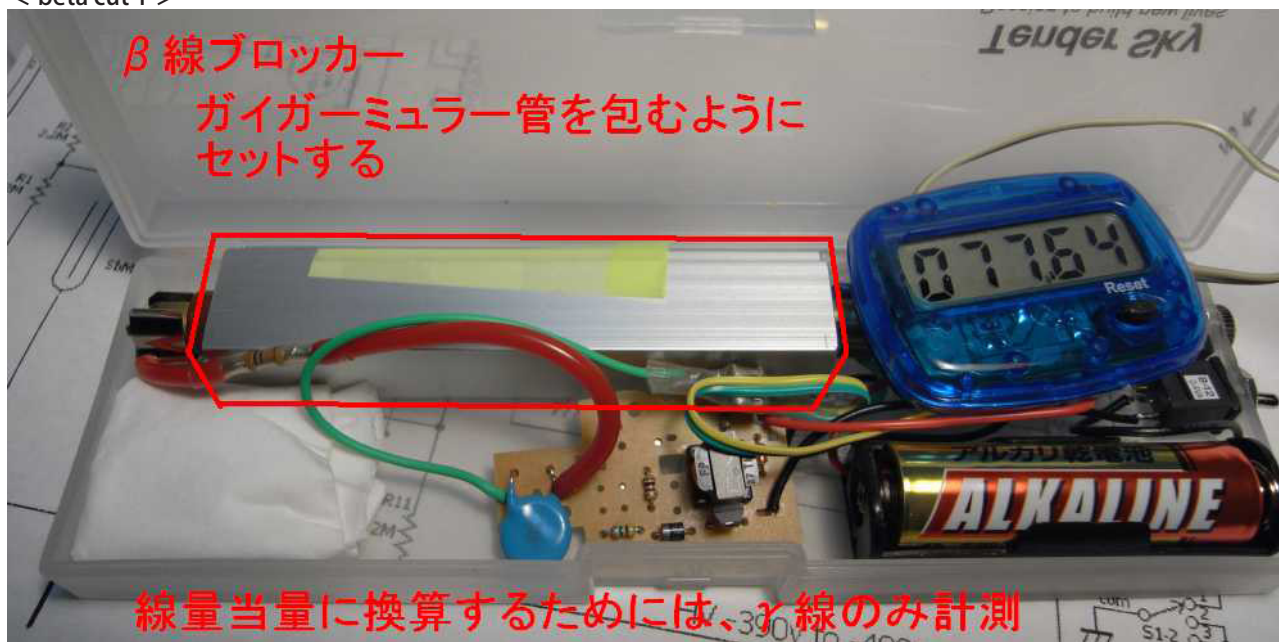
< DP window >



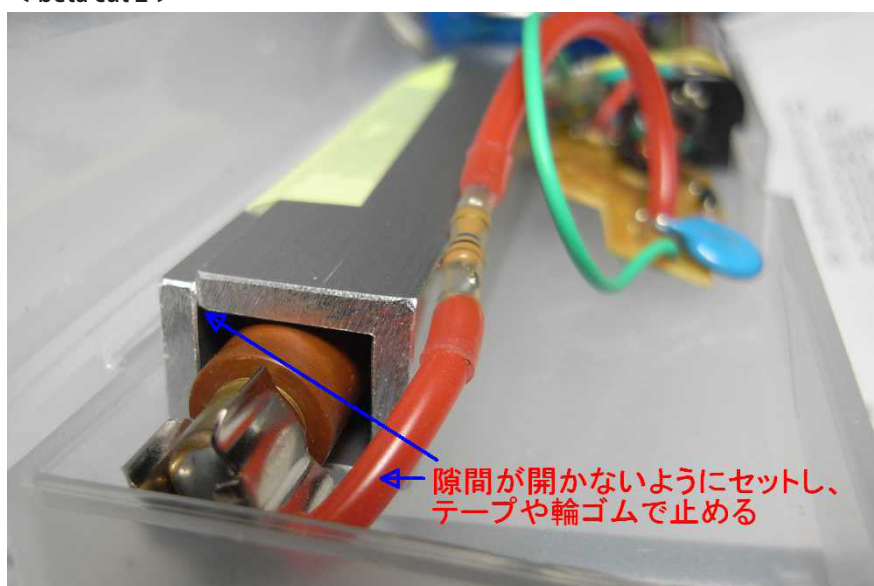
(ワークショップでは使用者の化学的安全性を考慮し、アルミニウムを採用しました)

ワークショップで製作するセットでも、同様の機構を用意してある。

< beta cut 1 >



< beta cut 2 >



このセットではアルミニウム合金
サッシ材 3mm 厚のアングルを 2
枚用いて、ガイガーミュラー管の
みを β 線遮蔽している。

< beta cut 3 >



管の両端部分が露出しているが、
両端部分からは分厚いガラス絶縁
層が管内にあるため、ここからの
 β 線浸入は少ない。

しかし、ブロッカーの摺り合わ
せ部分に隙間があると、漏れが多
くなるので、弾力性のある粘着テ
ープや輪ゴムなどで止めます。

＊ブロッカーを装着する場合、できるだけカソード側（右）に寄せて装着する。ブロッカーがアノードに接触したり一定以上接近すると、放射線の検知ができません。

＊ブロッカーを装着するときにガイガーミューラー管の「触れてはいけない場所」に触れないように注意。もし触れてしまって、計数率変化が心配な場合は、アルコールと清浄布で拭き清める。

＊ブロッカーをセットするとカウンターの収まりが悪くなりますが、ご容赦下さい。

＊ブロッカーをセットすると「感度」が悪くなったように感じるかもしれませんが、ブロッカーをセットしてもγ線に対する計数率は悪化しません。β線に対する計数が無くなっただけです。

＊ブロッカーをセットした状態で、減塩塩を用いたテストは難しいです。減塩塩に含まれる放射線源はカリウム 40 で、その放射線の大部分はβ線で、γ線はわずか（約 10%）だからです。逆にブロッカーのβ線ブロック率を調べるには好都合（それにはややパワー不足ですが）です。これで検出される線量はカリウムのγ線分です。

このワークショップの目的は、放射線に対する理解と検知の習得ですが、線量当量（ $\mu\text{Sv} \cdot \text{マイクロシーベルト}$ ）を得ることはあくまで付帯する機能です。また、線量当量はβ線遮蔽しても正確には計測できておらず、改善するには線源の核種判定が必要で、それにより補正值が変化するのですが、線源が何であるかガイガー管では知ることができません。比例計数管モードという使い方があり、このモードを利用するとある程度の線源エネルギーの測定が可能。これにより核種の推定も行えます。SBM-20 ではそのモードが利用できますが、本ワークショップの趣旨から外れるため（オーバーオール計数率は低下するため）扱いません。

線量当量は臓器によっても係数が異なり、例えば細胞分裂の予定が少ない脳細胞では低く、未来の全てを担う生殖細胞では高く換算する。ところが、線量当量の概念では、内部被爆について、その対象となる臓器全体が漫然と被爆した状態で換算されるが（ICRP1990 年勧告・・・まるで外部被爆のように）、実際の内部被爆は臓器の中に線源が点在しているわけで、とくにα線、β線核種では臓器の一部分がピンポイントで強く被爆し続けるので、現実とそぐわないと個人的には考えています。

また、放射線による障害は、肉体に限らず半導体電子回路でも起こります。化学毒性については LD50（半数致死量）という概念があるが、放射線はその存在自体が稀現象であり、このような概念を適用できないことは、半導体電子回路でも知られていることである。

このような観点から CPM から線量当量への変換は、当ワークショップでは積極的に奨励しないものといたします。やむをえない事情（シンチレーションや他の形式の線量計との比較など）以外では換算したくありません。どうしても、という場合、実機の換算値として $100\text{CPM} = 1 \mu\text{Sv/h}$ とします。繰り返しになりますが、SBM-20 の換算値としては $150.51\text{cpm} = 1 \mu\text{Sv/h}$ （コバルト 60）がありますが、種々の事情と測定精度を加味し、この数値を標準とします。

本機の性能は線量当量を求めることではなく、放射する「何か」の位置や分布、おおよその強度を把握することを目標に企画しています。また使用者自身が動作の確認やメンテナンスができて、気軽に利用できることが重要なのであって、線量測定のアソリティーを育成することではありません。危険なものから身を守り、信頼できる日常を取り戻すためのツールなのです。

もし高線量の場所を見つけたなら、そこから先は専門の機関に任せるか、より学習と理解と測定装置への投資を進め、臨む必要があります。

3. 放射線の性質（その2）

放射線は一つ二つ、というように数えられる性質があるのだが、それだけでは「量」を測ることはできない。一定時間内の個数を数えればよさそうなものなのだが、放射線は非常に気まぐれで、不定期にしかやってこない。

このような現象は、一般に「ポアソン過程」と呼ばれる確率統計論的な不確かさをまとったものなのだが、ここではその詳細は解説しない。感覚的にとらえてみよう。

放射線の量をガイガーカウンターなどの線量計で計測することを、他の身近な現象で例えたい。

放射線の一粒子は、雨粒のそれに例えられる。天空から降り注ぐ雨粒の気まぐれさを、思い浮かべていただきたい。

雨粒は気まぐれなので、雨量を測るには、一定の大きさの間口を持った容器に一定の時間溜めて、その容積を量る。間口と容器の断面積が同じなら、溜めた水の深さで表す（降水量 XXmm のように）。

< rain0 >

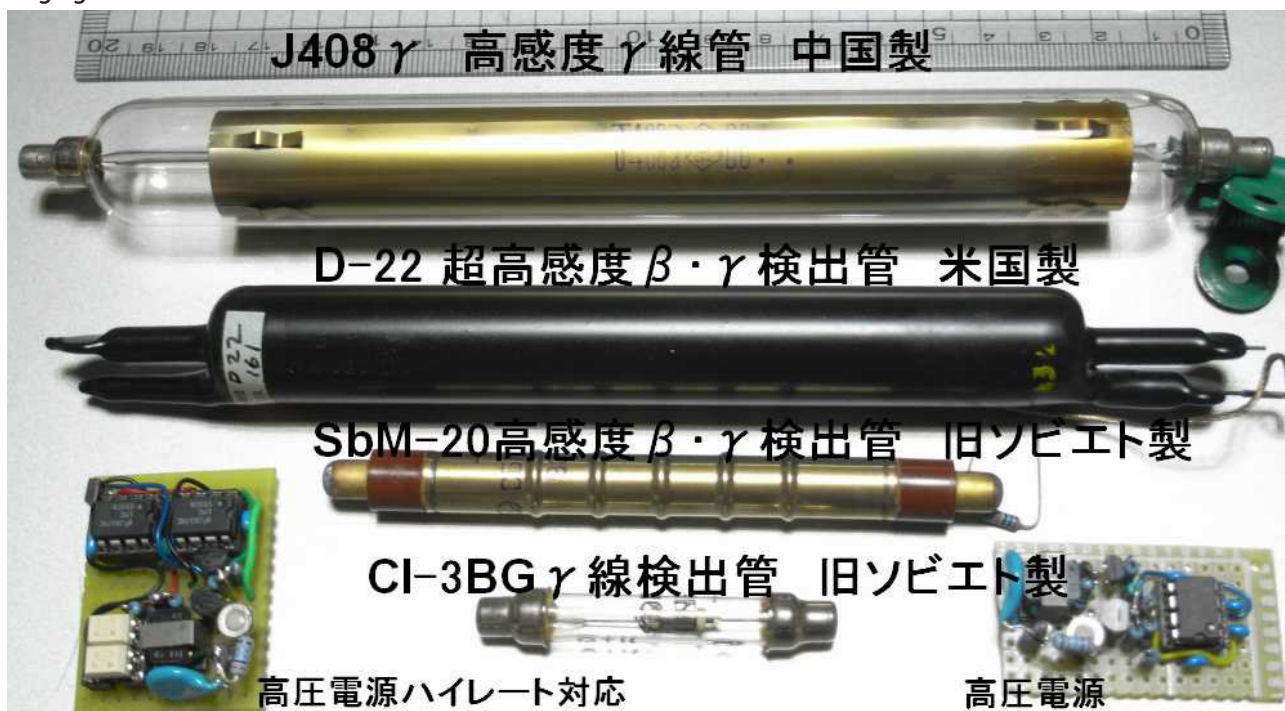


4. ガイガー管は間口だ！

これをガイガーカウンターに当てはめてみると、ガイガーカウンターの心臓部はその検出器であるガイガーミュラー管なのだが、これは雨の例で言えば「間口」に相当する。その下の容器ではない。

間口の大きさは、大きいほど一定時間に多くの雨粒を捕らえるが、ガイガーカウンターでもガイガー管が大きいほど、高い頻度で放射線を捕らえることができる。

< geiger tubes >

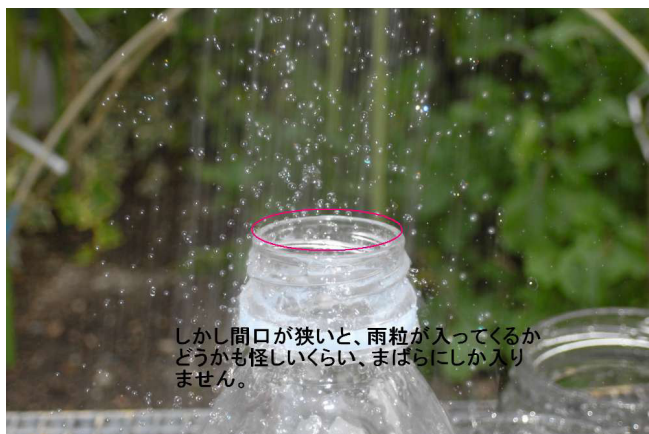


< rain2 >



逆に間口が小さく、雨も降り始めなら、雨粒はまったく間口に命中しないかもしれない。しかし確率論的には、間口が小さくても、長い時間測り続ければ、面積の大小は関係なく、降水量を知ることができる、はずだ。

< rain3 >



この「雨の降り始め」のまばらな状態が、一般的な生活環境（ $0.15 \mu\text{Sv/h}$ 程度）の放射線量で、ワークショップで採用しているガイガー管 SBM-20 では毎分 15 発程度になる。

< rain4A >



しかし雨粒のことなので、あるときの 1 分では 10 発、またあるときには 20 発以上になったりもする。このようなランダムな自然現象に対して、一定の法則や思考の秩序を与えようとする代数的試みが、シミオン・ドニ・ポアソンやヨハン・カール・フリードリヒ・ガウスによってなされたのは、200 年も前の話だ。それぞれポアソン、ガウスとして多くの数学式を残し、自然科学としての物理学はその上に構築されている。

ポアソンによれば、確率論的「確度」（確かさ・正確さ）はこの場合、測定時間ではなく、雨粒や放射線の個数（あえて個数と言う）に依存する・・・つまり、その得るための時間から割り出した個数の密度が、十分に多ければそれは確かで、個数が少ないなら不確かであるという。数式で表すと

個数（カウント） $\wedge -1/2$ ・・・個数のマイナス $1/2$ 乗・・・といってもなじみのない方には理解を拒絶されるだろう。具体的には、

カウント数	確度エラー（ 1σ ）
10	31.62%
100	10.0%
1000	3.16%
10000	1.0%

のようになり、およその数を覚えておけばよいだろう。

雨量の話に戻そう。

雨量の測定なら、間口で数えたりせず、間口の下の受けに溜まった水の量（深さ）を測ればよい。この雨水受けは、ガイガーカウンターの「カウンター」に相当するのではないのか・・・否！

雨粒には春雨や霧のような細かい粒もあれば、ゲリラ豪雨のようなもはや粒とは言い難い大きさのものまである。雨量は粒ではなく受けに溜まった水で測るので降水量を正確に測定できるが、ガイガーカウンターでは小さな粒（弱いエネルギーの放射線）も大きな粒（強いエネルギーの線）もどちらも「一粒」として検出している。そのため総カウントを見ても、放射線の総エネルギーにはならないのである。小粒ばかりで得た 100 カウントと大粒ばかりで得た 100 カウントは大きな違いがある。（SBM-20 ではツリウム 170 の 0.084MeV から、コバルト 60 の 1.25MeV なのでおよそ 14.8 倍もの違いになる）

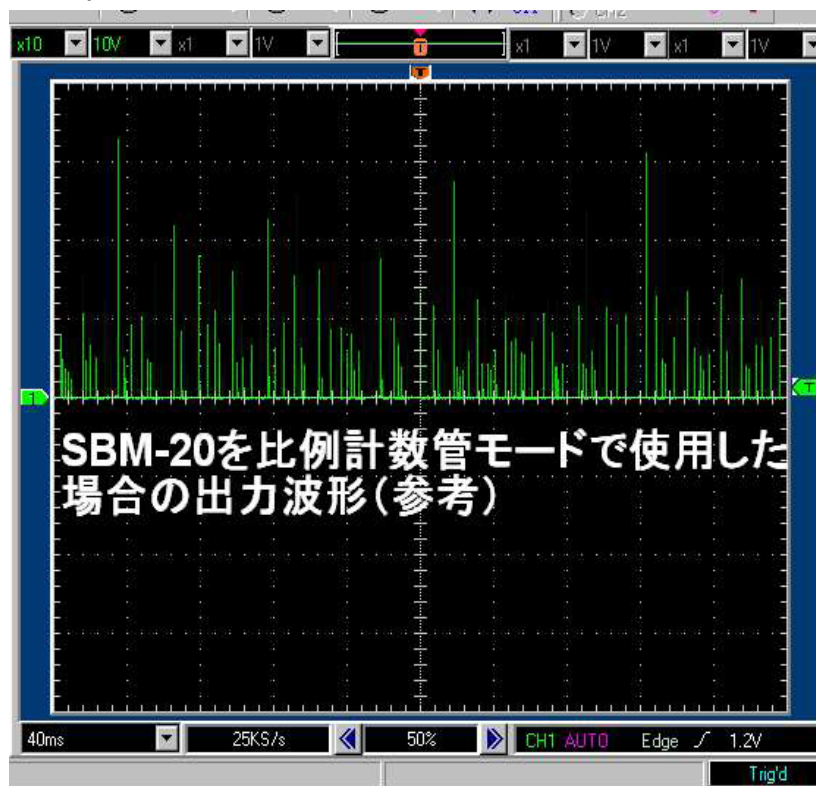
このエネルギーの違いを考慮できるのは、比例計数管モードで使用したガイガー管（エネルギー補正つきのように表示）か、エネルギー補正したシンチレーションカウンターである。

ここまで解説すると、ガイガーカウンターはまるでダメに見えるが・・・

本来ガイガー管の中で、放射線（荷電粒子）が通過したときに起こる放電は非常に微弱なもので、その放電の強さは通常のガイガー管で得られる出力の数百分の一から数千分の一程度で、実際に比例計数管モードでガイガー管を使用した場合、数百倍以上の増幅をしなければ、出力を取り出すことはできない。

もしガイガー管の出力がその程度であったなら、出力を直接イヤホンで聴くこともカウンターで数えることもできないし、ワークショップで作れるようなシンプルな回路にはならない。

< sample Sr-Th >



一定のシールドと安定した電源、高度な組み立て技術が必要となる。ガイガーミューラー管はシンチレーター（ヨウ化ナトリウム+タリウム）などの大きな結晶と光電子増倍管をセットにしたようなものが、たったあれだけの小さな管で実現できているのである。

ガイガー管はそれだけで「検出」と「増幅」をシンプルに安定に行える、なかなか高度なデバイスなのである。多少の大雑把さには目を瞑ろうではないか。

5. 定確度計測の補足

夏のワークショップまでは、時間が許すならカウント数は多ければ多いほど確度が向上するので・・・のように講演していたが、実際に多くのデータを眺めてみると、一概にカウント数が多ければよいとは言えない事象が見つかった。多くのカウント数を得るには、非常に長い測定時間を必要とするが、放射線の量も時々刻々と変化するために、あまりに長時間では時間解像度が悪化し、何を見ているのかわからないという現象が見られた。

具体的には高カウント数のガイガー管並列処理のセットで得られた短時間の 10000 カウントと、ガイガー管 1 本で 10000 カウントしたものの間に無視できないほどの差が見つかったからである。このことを留意すると、積算ではない線量測定には 100 カウントまたは 1000（あるいはその間の）程度が実用的と考えている。

*ワークショップで製作するガイガーカウンターでも、ガイガー管を単純に 2 本並列に接続すると、計数率はおおよそ 2 倍（正確には 2 倍－7%）に上昇し、測定時間もおおよそ半分に短縮されます。（2 本以上の単純並列接続はガイガー管の寿命を短縮するのでおやめ下さい！）