放射能測定器 IFKR-ZIP の使い方

【IFKR － ZIP とは、どのような 測定器か】

IFKR-ZIP 測定器は、2013 年頃、つくば市のシンメトリックス社主である野中修二さんが開発製造したもので、福島第一原発の巨大放射能放出事故に対応して、食品の放射能汚染を高い精度で調べるための測定器です。

野中さんは X 線蛍光分析装置の先駆的開発者でしたが、東日本大震災により大きな被害を受け開発を中断せざるをえなくなりました。
その後、東電の放射能汚染を見て、それまで蓄積したガンマ線測定の技術的知見から極めて信頼性の高い放射能測定器を世に送り出すことになりました。

ZIP の特徴は、測定精度が他の NAI シンチレータ測定器がキログラムあたり 20 ベクレル程度に対し、キログラム 1 ベクレル程度と極めて高いこと、それに MCA の精度

が桁違いに高く、ゲルマニウム半導体測定器に使用されている MCA と同等のものであることです。

これにより 24 時間を超える長時間測定でもデータの変形が極めて小さくなっています。最大三日程度の測定時間でも実用上、問題ない数値が出ます。

現在、食品汚染の基準として世界的に支持されているドイツ基準が、子供にキロ 4 ベクレル、大人にキロ 8 ベクレルであり、将来はキロ 1 ベクレルになるであろうと見越して、私たちは、やがてこの精度が必要になると予想しています。

現在の日本政府の食品キロ 100 ベクレル基準などは被曝大量殺人を意図してるのかと思うほど無謀でデタラメな亡国の基準で、国際的にも激しく批判されています。

シンチレーションを原理とする測定器には、特性的な欠点があって、正しく使いこなすには、たくさんの知識と工夫、放射線に対する深い理解が必要です。
この欠点を知らずに測定器を運用しても、得られた結果は信頼性の高いものにはなりません。

しかし究極の精度といわれるゲルマニウム半導体測定器の場合は、安価なものでも 1000 万円に迫る価格と、精度を担保するために 1 トンもの遮蔽重量、定温化と電気抵抗を下げるため液体窒素による極低温、高コストの維持管理が必要になり、軽量でコストのかからないシンチレータと比べて現実的に利用が困難で、使い勝手が悪いというしかありません。

そこで ZIP に限らず、ローコストで手軽に運用できるシンチレータ放射能測定器を正しく扱うための基礎知識、応用知識を体系的に公開する必要を感じて、まとめることにしました。

ZIP の詳しい用法は文末にまとめてあります。

[測定容器の特徴]

ZIP という名前の由来は、測定用サンプルをジップロックのチャック付ビニール袋（サイズ 140 × 100 ミリ）二つに入れて挿入測定することからきています。
測定器上部に二つのビニール袋を入れる穴が開いていて、袋で挟むように真ん中に２インチ平型の CSI 検知体がセットされています。

これを測定容器に採用した事情は、これまでの測定器に使われてきたマリネリ容器に比べて、重い核種による自己遮蔽を減らし、検出部をジップ袋に入れた検体で両側から挟み込むことで、効率的なガンマ線検出が可能になることに加え、ジップ袋による統一的な検体保存が容易であることです。

実はマリネリ容器には大きな欠陥があって、検体の詰め方次第で測定値が数割も変わることがあり、安定した数値になりにくいのです。

これに対してジップビニール袋を二つ使う ZIP では、装着安定性が優れ、詰め方で結果が変わることが少ないのが特徴です。

（長期保存の場合、低密度ビニールは気体透過性があって水蒸気の蒸発が起きるためナイロンコーティングビニール袋に保管する必要があります。https://www.monotaro.com/g/00958503/）

[検体自己吸収の問題]

　すべての放射能測定器に共通する問題ですが、ガンマ線は高密度の検体を通過するうちに遮蔽吸収（自己吸収）されて実際の放射能より少ない測定結果が出てしまいます。

　自己吸収が起きやすくなるのは密度が高い物質や水分の多い検体で、尿の放射能を測定することを前提に自己吸収の少ない形状を考えた結果、マリネリ容器が開発されました。

　これは棒状の検知管を包み込むような円盤形で、最大の厚みが 30 ミリを超えないように設計されています。

この 30 ミリというのが、水の自己吸収による測定値低下を防ぐための最大厚みであると考えられているので、ZIP でも検体を入れたビニール袋が最大厚み 30 ミリを超えないように設計されています。

密度の高い物質を自己吸収なしに測定するのは困難で、重い物質の放射能を測定するためには、発泡スチロールのような軽い物質と攪拌して密度を低下させ、自己吸収を減らすような工夫をするしかありません。

食品も、そのままでは容積が大きすぎる場合、フードプロセッサーを使ってペースト状にしたり、水分の多すぎる検体は水分を蒸発させて濃縮したりする工夫も必要になります。

魚なども皮や内臓に多くの放射能が蓄積されていることがあるので、ペースト化することが平均化した測定に必要です。

水道水を測定する場合は、そのままでは汚染レベルが低すぎて測定値が出てこないので、数百リットルの水をゼオライトなどの吸着剤でセシウムを吸着させてから、吸着剤を測定するという方法で濃縮と同様の効果が得られ、高い濃度での安定した測定が可能になります。
繰り返し循環させることで吸着させますが、完全に吸着したサインは TDS 計で汚染がゼロになる段階とするのが合理的です。

【シンチレータ放射能測定器の特性】

放射能といっても、実はガンマ線だけでなく、ベータ線、アルファ線、中性子線など多種類の放射線を出しているのですが、ZIP 測定器は、そのうちガンマ線（エックス線を含む）の放射能だけを調べることができます。

原理としては、ガンマ線・エックス線がシンチレータ素子に当たったとき、光電効果による励起、発光現象が起き、それを受光装置で捉えて電気信号に変換し、マルチチャンネルアナライザ（MCA）＝多重波高分析機という電子回路で累積表示するものです。

このときシンチレータの素子の種類によって、アルファ・ベータ線や中性子線を測定可能な装置もありますが、NAI　や CSI シンチレータではガンマ線エックス線以外の放射線を捉えることはできません。

またエネルギーが低く、ピークの小さなガンマ線を弁別することも困難なので、ガンマ線エネルギーの非常に大きなセシウム X やコバルト 60、カリウム 40、ビスマス

214、タリウム 208、ヨウ素 131 などが測定の適応になります。

ZIP の場合、回路上の測定チャンネル数は 1024Ch で、通常のシンチレータ測定器が 256 ～ 512Ch であるのに比べて密度が２～４倍に設計されています。
測定最小単位は２ KeV で 100 ～ 2046K までを測定します。

おおむね 100KeV　以下のガンマ線や設定チャンネル上限である 2046Ch ＝ KeV を超える高いエネルギーを表示させることができません。
Tl208=2615KeV　　Na24=2754KeV　は大切な指標エネルギーですが表示できません。ただし、4000Ch 測定用に改造すれば可能です。

このスペクトル画像では 1023Ch になっていますが、これは MCA の実際の測定チャンネル数で、測定幅は二倍の 2047Ch で運用しています。
100KeV 以下のエネルギーは表示できないので実質、1900KeV 幅の測定となります。

[スペクトル分析]

ZIP では、セシウム 137・134 とカリウム 40 だけは自動計測プログラムが含まれていて、ベクレル値が表示されますが、他の核種では、自分でスペクトルピークの値を割り出して核種を発見する必要があります。
このとき標準サンプルがあれば相対的な大きさを把握できますが、正確なベクレル値を割り出すのは困難です。

ピークの突出があれば、すべて核種というわけでなく、ガンマ線ピークの場合は、中心値から両側に、確率上の揺らぎとして、釣り鐘型のガウス分布を描く性質があり、これを確認できれば核種ピークであると認識することができます。

逆に、ガウス分布（正規分布）が明確に現れるまで、核種ピークであるとの確定ができません。
ノイズなど他の要因で疑似ピークが生成されることも珍しくないのですが、この場合は正規分布にはなりません。誤認しないため必ずスペクトル形状を参照しながら、本当に核種ピークなのか確認する作業が必要です。
間違えやすいのはコンプトンエッジや外部電磁波ノイズによる疑似ピークです。

ZIP の場合は、長時間（5 ～ 8 万秒程度の）BG データを作成しておき、これから測定データを差し引いて残ったガンマ線データだけをスペクトルにし、セシウムや K40 のガウス分布の面積を測定して、ベクレル値を検出しています。

スペクトルにセシウム以外と思われるピークが出たときは、公開されているガンマ線帰属表
http://cdcreation.grupo.jp/media/4832859.pdf

から核種を推定しますが、このとき 十分なキャリブレーションを行って正しいエネルギーレベルを表示させるようにしておく必要があります。
核種のデータ集であるアイソトープ手帳（アイソトープ協会発行）も必ず備えてください。

この二つの参考情報がないと検出は不可能に近いのです。

この作業では、実際には存在しないゴーストピークなどの基礎知識が必要になり、近傍に別核種による妨害がないか十分に注意する必要があります。

帰属表の見方としては、得られたピーク値と帰属表を参照し、近い欄にある KEY 欄の星付核種を探します。星のないものが該当することは、ほとんどありません。
系列崩壊の場合は、強いガンマ線が出ていても半減期が短い娘核種であることが多いことを前提に調べます。

例えばビスマス 214=609K のピークが出た場合、半減期 20 分で、すぐに消えてしまうはずの Bi214 が長時間出ているとき、このように考えます。

ラドン 222 は希ガス気体で空中を漂ったり、水中に溶け込んだりしますが、ほとんどガンマ線を出しません。

しかし半減期 27 分、20 分程度しかない娘核の鉛 214・ビスマス 214 が強いガンマ線を出して長時間、明確なピークを造っていることは、そこに親核種である半減期 3.8 日のラドン 222 があって娘核を生み続けているのです。

またトリウムの多い土地ではトリウム 232 の崩壊によりラジウム 228 が絶えず生成されていて、これ自体は放射能が少ないのですが娘核のラドン 220 の崩壊によるアクチニウム 228 やタリウム 228 が強烈なガンマ線を出しています。
非常に強いガンマ線なので、食品セシウム測定などにも影響があります。（Tl208=583 K が cs134=605K のピークに重なってベクレル値が嵩上げされることがある）

この場合は 911K や 969K、511K、583K に強いピークが生成されます。また 338K ピークが 365K のヨウ素 131 と誤認されることもあります。

これらのピークは半減期が 6 時間と短いアクチニウム 208 から出ていても、親核のラジウム 228 の半減期が 5．75 年（ラドン 220 の半減期は 1 分）と長いため非常な長期間にわたってガンマ線を放出し続けます。

４０年ほど前、トリウム系列の Ra228 が非破壊検査（ガンマ線透過試験）に用いられたこともありますが気体である Rn220（トロン）を生成するため常置場所を汚染する可能性があり、現在は使われなくなりました。

また、北朝鮮の核実験から出てきたセシウムピークを発見したり、隠された核施設放射能放出事故、フクイチ再臨界、地震前兆としてのベリリウム７やラドン 222（塊変核種のビスマス 214 が出る）の検出など、なかなか興味深い現象に出くわすことあり、スペクトル分析の醍醐味を味わうことができます。

下のスペクトルは、2016 年 9 月 3 日の北朝鮮ブンゲリにおける核実験（10 キロトン）の放射能を捉えたものと思われます。
キャリブレーション不良で 20K のズレが出てしまっているが、新鮮な核分裂でセシウム三兄弟の特徴をもったピークが見えています。
中津川市家屋内に置いた IFKR-254　環境放射能測定装置（リニア表示））
まだ暑い時期だったので外気の通気を良くしていた。

【温度ドリフトについて】

ZIP の場合、シンチレータ検出素子は、それまで一般的だった NAI ＝ヨウ化ナトリウム結晶ではなく、CSI ＝ヨウ化セシウム結晶を使っています。

この特徴は、NAI の温度特性が著しく、低温下では過大な測定になったり、毎日の温度変化による変動が不安定であったりすることに対し、CSI は温度ドリフトが小さく抑えられていることです。

おおむね CSI の温度ドリフトは NAI の 3 割以下になります。

この温度ドリフトは測定結果に大きな影響を及ぼすため、NAI シンチレータの致命的欠陥といってもよいと思います。

ゲルマニウム半導体測定器でも同じようなドリフト現象が起きるだけでなく、常温では電気抵抗が大きくなりすぎて信号を捉えられなくなるため、液体窒素による極低温での導電性確保、測定管理が不可欠になっています。

ZIP では、ゲルマニウム半導体測定器のような液体窒素管理を用い、常温でも温度ドリフトや電気抵抗は小さく、段違いの扱いやすさです。

ZIP でも、零度以下の低温ではドリフトが起こりやすくなり、運用温度は 5 度～ 30 度程度での温度管理が必要になります。
冬季マイナスになるような気温環境では、恒温装置に入れておかないと、しょっちゅうキャリブレーションとゲイン調整が必要になってしまいます。

下の写真は手作りの恒温装置で、ベニヤ板と発泡スチロールで制作し、熱源としては電気毛布発熱体を使用し、育雛用サーモスタットで制御しています。厳冬のマイナス 10 度でも 5 度以上に保温することができます。

また CSI の欠点としては、大線量、キロ数万ベクレルのレベルでは数え落としが起きるとの報告がありますが、まだ定量的な特性のデータが得られていません。
どの程度、測定値が下がるかは、きちんと確認されていません。

【シンチレータの精度】

シンチレータ測定器をゲルマニウム半導体測定器と比較した場合、著しい特徴は、分解能が劣ることです。
これは CSI 測定器といえども他の NAI 測定器と変わらず、おおむね５～７％になっています。
これに対しゲルマニウム半導体の分解能は 0.3%程度と数十倍の開きがあります。

これが何を意味するかというと、スペクトルグラフのなかで核種のピーク幅がシンチレータの場合、広く、数十 KeV におよび、核種を確定する上でピークの近い核種が重なり合って混同しやすく、見誤ることが多くなります。
逆に、ゲルマニウム半導体ではピーク幅（エネルギー半値幅）が狭く、他核種に惑わされず容易に核種を特定できるということになります。

具体的には、シンチの場合、ピークの近い Cs137=662K　Cs134=605K/796K Bi214=609K I131=365K PB214=352K などを見誤ることが多くなります。
ヨウ素 131 をシンチレータ測定器で検出した場合、ウラン系列 Rn222 → Pb214　と取り違えているケースが非常に多いので注意が必要です。

とりわけ降雨に含まれる Rn222 → Bi214=609K は Cs134=605K にコンプトン散乱と正

規分布の揺らぎによってまともに干渉するので、正しいベクレル値を出すのが困難になり、雨天での測定を避ける必要が出てきます。

このときは注意して観察すれば Pb214=352K ピークもわずかに生成されているので干渉を確認できます。
降雨や地震前兆によってラドン濃度が高まり Bi214=609KeV が大きく出現しているときは、I131=365K や Cs134 は測定困難であると覚えてください。

コンプトン散乱もゴーストピークもピーク干渉も、ゲルマニウム半導体測定器でも同じように起きているのですが、シンチレータ検出器よりも数十分の１以下の幅なので、シンチレータ測定器ほど大きな問題にはなりません。

【ゴーストピークの基礎知識】

測定データを得ても、それをそのまま信用してはいけません。
シンチレータ測定器には、たくさんの欠点があると最初に書きました。

測定データからプログラムによってセシウム X と K40 のベクレル値が自動算出されていますが、これも、そのまま信用できないのです。
スペクトルに明確な正規分布のピークが見えていれば、比較的信用できますが、ピークが不明瞭な場合は、誤検出を疑うべきです。

理由は第一にコンプトン散乱であり、第二にゴーストピークの存在です。

[コンプトン散乱と補正]

強いガンマ線ピークが生成されると、必ず左側（エネルギーの低い向きに）コンプトン散乱という、なだらかな曲線を描くデータができて、よりエネルギーの小さな核種の測定値を嵩上げしてしまいます。

土壌や野菜豆類などを測定すると K40 の立派な正規分布ピークが生成されることが多いのですが、そのピークから左側に向かって、なだらかな下り坂データが生成されるのです。
K40 ピークは 1461K に生成されますが、1243K 付近にもピークに似た崖を造り、これがコンプトンエッジと呼ばれています。
このコンプトンエッジもピークと誤認しやすい要素です。
Cs137 のピークの場合はピーク(光電ピーク）が 662K に生成され、エッジは 479K 付近にできます。
詳しいメカニズムは、ネット上にたくさん解説があるので参照してください。

http://blog.livedoor.jp/nijhousi/archives/52036009.html

下の画像は塩化カリを測定した K40 キャリブレーション画像ですが、1461KeV をピークとして左肩に伸びるコンプトン散乱とコンプトンエッジがよく見えています。

これは、K40 の多い土壌や野菜類を測定するとき、正しい測定値を妨害する最大の因子となっていて、K40 がキロ 50 ベクレルを超えるようなサンプルでは、検出されたセシウム X の測定データを嵩上げしてしまうことが多いので、よほど神経質な対策が必要になります。

とりわけ K40 がキロ 300 ベクレルもある豆類や昆布、椎茸、土壌などでは必ず面倒な補正が必要になります。

補正の方法は、検体の放射能を差し引きして抽出するための BG プログラムに、同等の K40 をあらかじめ加えて作った補正用 BG を用意しておき、それを使って測定データから差し引きして結果を出します。

K40 はグラム単位＝塩化カリだと、おおむねグラム 30 ベクレル程度で、これを ZIP 袋に入れて高分子ポリマーと水を加え、測定穴に挿入しやすいゲル状にして K40 補正用検体とします。

たくさんの種類の塩化カリサンプルを用意しておき、必要に応じたグラム数の補正

用サンプルを測定して BG とします。ZIP の場合は５～８万秒程度の BG を作成するので、結構時間のかかる面倒な作業となります。
　測定に先立って、予想される K40 値を含んだ BG データを、たくさん作っておくことも普通です。
　（K40 補正用検体は普通、塩化カリを溶かして固定できる素材である高分子ポリマーを利用しますが、寒天やゼリーで溶かしても構わない）

　BG の K40 値は検体の K40 値よりも 30 ベクレル前後少ない値にするのが理想です。
　理由は、ZIP の場合、産総研の提供する玄米を標準放射能として使っていて、この値が 30 ベクレル程度だからです。

　これで、検体に対する K40 コンプトン散乱の影響が排除されますが、厳密なものではありません。

　土壌の場合は、K40 だけでなくウラン系列やトリウム系列の自然放射能が含まれている場合が多く、BG を採取するにあたって、カリウムを使うのではなく、サンプルを採取する場所を 30 センチほど掘り下げて同じ土壌を BG として採取するのが望ましいと思います。

　セシウム汚染は深さ 20 センチ程度で止まるので、30 センチ以上掘れば無汚染の比較土壌が出てくるという理屈です。
　ただしセシウム値が数十ベクレル以上あれば、自然放射能の影響は微々たるものです。

[サムピーク＝足し算ピーク]

　シンチレータ結晶体に、2 本のガンマ線が同時に進入すると、両方のエネルギーを足し算したピークが記録されることがあります。
　これがゴーストピークの代表で、実体のないピークを作ることで障害になるサムピークの正体です。

　セシウムは 605K・662K・796K のガンマ線を出すのですが、605+662=1267 605+796=1401k　662+796=1458K（K40=1461K に重なる） などのサムピークがスペクトルに現れることがあります。

　またコバルト 60 を示す 1173K が出たとき、実はセシウム 137 ＝ 662K に、たくさんのガンマ線が集中する 551K が加わったゴーストピークであるケースが少なくありません。
　もう一つのコバルト 60 ガンマ線 1332K もセシウム 134=796K プラス 551K に近い数

値なのでコバルト 60 は,セシウムが大量に存在するときサムピークによるゴーストが出やすい核種なのです。
（551K でサムピークに関与するのはトリウム系列のタリウム 208 です、トリウムの多い場所で測定するとセシウムがコバルト 60 に化ける可能性が少なくないのです)

分解能の低い測定器の場合、他核種のピークに紛れ込み、ゴーストによる誤検出や過剰検出を招くことがあるので疑う必要があります。

[電子対生成]

電子対生成とは 1020K 以上のエネルギーを持ったガンマ線が原子核の近くを通ると 511K の陰陽電子の対生成を起こしてガンマ線が消えてしまう確率があることをいいます。

ここでも 511K が出てきましたが、このエネルギーはガンマ線スペクトルの特異点であると思ってください。おそらく宇宙生成に関係したエネルギーなのでしょう。

逆に、511K の陰陽電子がぶつかると電子対消滅で 1020K のガンマ線を生成します。
K40、コバルト 60 やタリウム 208 などの強いガンマ線で起きやすく、511K と 1020K 付近のピークは対生成の影響を考える必要があります。

[後方散乱　制動 X 線]

強いベータ線の出るサンプルでは、ベータ線が鉛遮蔽に当たって特性 X 線（制動 X 線）としてピークを作ることがあります。
また、サンプルから出たガンマ線が検出結晶以外の方向に出て、鉛遮蔽で散乱されて波長を変えることがあります。
ただし、これらの確率が測定を邪魔することは少ないので、特に大きな注意を払う必要はありません。

セシウム 137 の特性 X 線は 32KeV 付近に現れますが、シンチレータベクレル計でゴーストとして記録される領域外になっています。

【遮蔽】

シンチレータ放射能測定器の遮蔽は、おおむね 30 ～ 50 ミリ程度の厚みのある測定器用鉛が使われていますが、残念ながら、この厚みでは遮蔽が不十分で外部放射線による数ベクレル単位の誤差が出る可能性があります。

実用上、問題のない厚みは鉛 100 ミリ程度で、ゲルマニウム半導体測定器の大半が

100 ミリ遮蔽になっていますが、この場合は重量が 1 トンに達するものが普通です。
　これに対し、シンチレータ測定器では機動性を重視して重さを 100K 以下に抑えているものが多く、やむをえず遮蔽を薄くすることで妥協しているのです。

　ZIP の遮蔽は 40 ミリで総重量が 50Kg 程度、4 分割で軽量、移動性に優れています。
　測定も実用上は十分ですが、1 ベクレル精度を安定して確保しようと思えば、あと 10 ミリほどの鉛遮蔽が必要になり、ユーザーの多くが外付け鉛板で追加遮蔽しています。

　遮蔽すべき環境放射線は、第一に土壌由来の大地放射線、第二にラドン由来の放射線、第三に宇宙線由来の放射線ですが、事実上、大地放射線がもっとも強い影響を与えるため、原則として底の遮蔽を鉛 50 ミリ以上に強化しておかねばならず、傾斜地では水平に見えている土壌からも放射線が来るので、壁側にも遮蔽の補強が必要になります。

　宇宙線は真上からジャイアントパルスという強力な放射線が来ますが、これは強すぎて完全遮蔽は不可能ですので、上部は鉛 40 ミリもあれば十分でしょう。
　ラドンは雨水に溶け込んで空間を漂っているので、もっとも遮蔽が困難ですが一定していません。直接には Bi214=609K になります。

　【放射能＝ベクレル】

アルファー線、ベータ線、ガンマ線を問わず、アイソトープが一秒あたりに一回崩壊（塊変）し放射線を放出することを 1 ベクレルといいます。

　これが放射能の単位として通用していて、SI 系単位改訂前は 370 億ベクレル＝ 1 キュリーでした。

だから、ベクレルやキュリーという表記だけでは放射能の重さや大きさ、危険度を示す単位にはならないのです。
　あくまでも、毎秒あたり、いくつの塊変が起きるのかという放射能量を示すだけの単位にすぎません。

　同じベクレル数でも、生物にとっての危険度や物理作用は、放射線の種類や内部被曝か外部被曝か、部分的被曝か全身被曝かの作用形態によって極端に違うので、ベクレル＝危険度ではないことに注意する必要があります。

　このため、細胞に与えるダメージを基準にしたシーベルト（線量等量・単位改訂前はレムで表記された）という単位も設定されているのですが、これも実務計算は極めて複雑で分かりにくい、あまり正確でない情報です。

ベクレル（キュリー）は放射能量を示す単位、シーベルトは生体細胞へのダメージを表す単位、そして、もう一つ、グレイ（吸収線量）という単位があり、これが放射線の物理エネルギーの尺度になります。

グレイとは、放射線が当たる物質 1 キログラムあたりに吸収されて熱エネルギーに変わるエネルギー量を示す。
本来はジュール／キログラムと表記されるべきだが、ICRP はグレイという単位を用い、単位改訂前はラド＝１グレイ/100　で表記されました。

１ Kg の物質に１ジュールのエネルギーが吸収される線量を１グレイと呼ぶ。１ジュール＝０．２４カロリー　１気圧で２０度の水、１ｇを０．２４度上昇されるエネルギーに相当します。

ガンマ線の場合、グレイ≒シーベルトで、約７グレイ≒７シーベルトのガンマ線を浴びると、１００％致死量
４グレイ≒４シーベルトで半数致死量になるとされています。
だからガンマ線被曝の致死量は、体温を上げるほどのエネルギーには、ほど遠いことがわかります。
人間の五感には、まったく感じないうちに死んでしまうのです。

放射線関係の単位は、同じものを表すのに、たくさんの表記があって、実に複雑、一般大衆が誤解するような表記が多い。
これは放射線実務を難解なものとして大衆から遠ざけようとする国際原子力産業の意図が働いているのだろうと思われます。

放射線が通過した細胞におけるエネルギーの吸収率（発熱量）や、それによって与えられるダメージを数量化する狙いで設けられた単位であるが、内部被曝のダメージを極端に軽視したい原子力産業の意向を汲んだ ICRP によって、正しい被害評価ができなくなってしまっているのです。

【測定時間】
キロあたり 1 ベクレル程度の測定には、ZIP の場合 10 時間程度必要です。
追加遮蔽と超長時間測定により、キロあたり 0.1 ベクレルの測定に成功している人もいます。遮蔽が厚ければ厚いほど、測定精度が上がります。

ZIP といえども三日以上の測定では MCA の微分非直線性問題からデータ矮小化が起こるので避けた方がよいでしょう。
ZIP の MCA はゲルマニウム半導体測定器に使われているものと同水準です。

数ベクレルもあれば、誰の目にも明瞭なピークが現れるので、はっきりとセシウム

を確定することができます。測定時間も数時間程度ですみます。
100 ベクレルもあれば、10 分も測定すれば十分に信頼度の高い数値が出ます。
この場合の測定時間は、スペクトルに明瞭な正規分布が現れる時間と考えればよいと思います。
シンチレータ測定器のベクレル計算は、この正規分布の面積をベクレル値に対応させているからです。

一般的な NAI シンチでは遮蔽を強化しても、キロ 10 ベクレル程度の精度しか出ない（表示は桁違いに高い精度を示す）のが普通で、MCA の精度も劣るので長時間測定するとデータが矮小化してしまうのです。
NAI シンチ測定器での長時間測定は 5 時間程度が限度で 10 時間以上も測定するとデータクリープを起こすようです。
これが MCA の微分非直線性問題で、この問題の解決のためには、焼き付け LSI 方式でない手作業の基盤配線作業が必要であると MCA 専門家が指摘しています。

なお、福島県の農協が放射能測定器を導入して全袋検査を行っている動画を何度も見ましたが、これはインチキ測定の疑いがあります。
下の動画から米袋の通過時間を見てください。

https://www.youtube.com/watch?v=syADyzSlBFE

ベルトコンベアで測定器を通過する時間が５秒程度しかありません。
もっとも高感度の NAI でも３インチが限度で、それ以上は分解能が大きく下がるので弁別に耐えませんが、３インチ NAI 測定器ならば、キロ 100 ベクレルを確定するのに 30 秒はかかるはずです。それを 5 秒で測定終了するのですから、キロ 300 ベクレルでも検出できるか疑問で、どうりで ND だけが検出され、汚染米が出てこないわけです。

漁協による魚検査でも隣県の千葉や茨城、宮城では汚染魚がたくさんでるのに本家の福島県だけは ND しか出てきません。
あれはアリバイ証明のためだけに使われているエセ測定の疑いがあると言わねばなりません。この問題は、もっと多方面から糾弾されなければなりません。

【IFKR-ZIP でのベクレル値、測定方法】

[最初にキャリブレーション]

まずは測定前にキャリブレーションを行って正しいゲインが確保されていることが前提になります。

キャリブレーションには塩化カリか炭酸カリ粉末を 300 g ほど検体として 1000 秒以上測定し、ゲイン調整ネジによって 1460K ピークに赤ラインを合わせ、キャリブレーションコマンドを押します。

気温が 5 度以上に一定しているときは、ほとんどキャリブレーションの必要はありませんが、0 度以下になったときなどはゲイン調整とキャリブレーションが必要になります。寒くないときでも一週間に一度はキャリブレーションをしましょう。

[検体の入れ方]

ZIP の標準仕様は、玄米 320g を測定基準にしています。

したがって、他の種類の検体でも 320 g 前後の量を基本とします。

十分なサンプル量が得られず、検体の重さが 320g と異なるときは、得られたベクレル値を重さに比例させて補正すればよいのです。

測定値 Bq × 320g ÷検体重さ g =　 Bq/Kg

検体が十分な量、得られない場合でも、長時間測定を行うことで比較的精度の高い値を求めることができるのも ZIPMCA の特徴です。

また二つの穴に均等に入れず、アンバランスであっても、片側だけに入れても問題になるようなデータ変形は起きません。検体量が少ない場合は片側だけに入れても大丈夫です。

ただし、測定穴の中では、なるべく均質で片寄りのない状態が望ましい。

カルシウムより重いサンプルは発泡スチロール粒子のような軽い充填剤と混ぜて均質化すれば測定穴いっぱいに片寄りなく充填することができます。

重いサンプルだけで測定穴の底に大半が沈んだ状態で測定すると自己吸収で正しい放射能値が得られなくなる可能性があります。

可能なら密度を薄くした方が自己吸収の少ない値が得られます。

検体 320g（任意）を二つに分けて、140 × 100 の ZIP 袋（チャック付ビニール袋）にそれぞれ入れて、なるべく二つある測定穴がいっぱいになるようにセットします。

偏った入れ方だと正しい値が出にくくなります。

[測定に必要な機器]

測定に必要な機器は、MCA から出てきたデータを記録するパソコンです。ときに数千時間も連続通電したままにするので、可能なら電力消費の少ないものが良好で、CPU は ATOM 以上なら OK です。2005 年以降の古い中古品でも XP 以上なら十分に機能します。

データ採取だけなら、多機能の CORE-X よりも ATOM のような省電力パソコンが有利になります。

ソフトはシンメトリックス社の提供する ZIPPRO または MCACSI-V1.3 を使います。

http://www.ipic.co.jp/ifkrinfo.html

これは winndowsXP ～ 10 まで利用可能ですが FTDI という USB ドライバが必要になります

http://www.ipic.co.jp/win7ftdiusb.html

この測定用ソフトを立ち上げ[OpenMCA] →セットアップで 2047Ch を選び、[Stop]. [Clere]. [Start]で初期化されて測定が開始されます

[測定に必要な時間]

どんなシンチレータ測定器でも推奨される測定時間は、求める放射能のピークが正規分布になる時間です。
ZIP では、セシウムの場合、１ベクレルだと 10 時間、10 ベクレルだと３時間、100 ベクレルなら 10 分、1000 ベクレルなら 3 分というのが大雑把な正規分布の成立時間になります。
普通は精度を高くするため、正規分布が現れてから、さらに二倍以上の測定時間を取ります。

1000 ベクレルの検体を 20 時間測定しても、ベクレル値に大きな差は出ませんが、わずかにデータが矮小化する傾向があります。

これが NAI 測定器だと、MCA の構造的問題から矮小化が大きくなり、正しい値から遠ざかります。NAI の場合は 5 時間程度が測定時間の目安になるでしょう。

長時間測定でも精密なベクレル値が表示されますが、5 時間以上ではデータの矮小化が起きるため、NAI の検出精度は文科省の指針ではキログラムあたり 20 ベクレル程度とされています。

ZIP の CSI 測定器では、MCA が高性能なのでキログラムあたり 1 ベクレルの確定精度がありますが、ただし、キロ数万ベクレルという大線量では CSI に数え落としが起きるという報告もあります。

NAI 測定器では、相当厳密な温度管理（恒温）を行わないと、温度ドリフトの影響でデータが変形することがあります。
CSI でも NAI の 3 割程度のドリフトが起きるので、特に低温環境では測定器全体を恒温装置に入れて測定することが推奨されます。

なお、NAI 測定器のなかには極端なドリフトを起こす機種があって、ほとんど購入価値のない測定器もありますので、十分に情報を取得する必要があります。
外国製の NAI 測定器はドイツ製であっても控えた方がよいと思われます。

[得られたデータ、ベクレル値とスペクトル]

測定が終了して、シンメトリックス社の測定ソフトに表示されているデータ＝スペクトルグラフは最初に[SaveSpec]コマンドで任意の場所に保存しておきます。

BG ファイルを選定し、次に[ReadSpec]で先ほどのデータを入れ、[BqCaric]を押せば、測定データから BG データを差し引いた測定スペクトルが表示され、同時にセシウム X と K40 のベクレル値も表示されます。

BG は晴天の日に採取した５～８万秒程度の無汚染データを使います。雨天にどうしても測定したければ、似たような雨天のとき採取した同等の Bi214 の含まれた BG データを使います。

しかし、得られた結果を、そのまま受け取ることはできません。

コンプトン散乱やゴーストなどの影響で、誤った値が出ていないか十分に検証する必要があるからです。

チェックは
① 正しい正規分布のスペクトルができているか？

もし正規分布からは遠い変形したピークなら、正しい分布が成立するまで測定を延長するか、または放射能以外のノイズなどの要因を考えます。1 ベクレルより少ない場合は、ピークを視認するのは困難なので ND とすることになります。
遮蔽を強化すれば 1 ベクレル以下でも視認できるようになり、この場合は信用できます。

② K40 の値が 50 ベクレルを超えていないか？

もし超えていたらコンプトン散乱の影響でセシウムのデータが嵩上げされて実際よりも大きくなっている可能性があり、得られた K40 の値から 30 ベクレルを引いた K40 サンプルを使って BG を作り直す必要があります。

大豆や納豆の場合、顕著で、ときにセシウム値が数十ベクレルも嵩上げされてしまっていることがあります。
この場合は、近い K40 ベクレル値（検体より 30 ベクレルくらい低いのが望ましい）の補正用カリウム検体を使って BG を取り直す必要があります。

北海道産大豆を普通に測定した場合、K40=219Bq/250g → 280Bq/1000g

6.5Bq/250g → 8.3Bq/1000g　の Cs.All が出ているが、実際にセシウムがあるわけでなくコンプトン散乱によって誤検出している疑いがあるので、BG で相殺することにします。

K40=約 210B の BG を採取、表示された K40 値と同等ベクレルのカリウムを検体にして補正用 BG としますが、この場合、重量は無関係です。

下の補正用 BG データは、望ましい K40 値が 190Bq なのに 240Bq と 50Bq も多いのですが、少し多い程度なら結果に大きな問題は出ないようです。

しかし、K40 が多いと逆に相殺分が多くなりすぎるのでセシウム値がわずかにマイナスにってしまいます。

厳密に測定するつもりなら K40=190Bq にして BG を 7 万秒くらい採取してください。

この BG データで測定データを差し引きすると、最初に見えていたセシウム X は消えてしまいましたので、コンプトン散乱の影響だったと分かります。

実際の測定では、検体データと BG データの測定時間は同じか、BG の方を長くして使います。普通には BG が 5 ～ 7 万秒くらいのものを使います。

セシウムが 1 ベクレル以下の場合は 10 ～ 20 時間の測定が必要になりますが、このように顕著な 662KeV ピークが見られない場合はセシウム ND と判定します。

③　もしも測定中に降雨があったなら、ラドン 222 の影響で Bi214 のピークができていないか確かめる。

明瞭な 609K ピークが成立しているときは近い波高の核種に影響を与えデータを嵩上げすることがありますので、原則、雨天には測定しない。どうしても測定するときは、同じような降雨時の BG データで相殺するようにします。

④　トリウムの多い土壌での上で測定する場合は、タリウム 208 ＝ 583K のピークができて Bi214 と同じように干渉していないか確認する。

⑤　BG データと測定データの整合性が確保されているか？

降雪時の BG データと無雪時の測定データは、雪による遮蔽効果で整合性が失われて、まともな差し引きデータになりません。遮蔽の厚みが変化したときも整合性が失われ使えません。こんなときは厚い緑色の帯が見えています。

測定は晴天時に行い、BG も晴天時の BG を使う必要があります。

積雪期は、無雪時の BG を使うことはできません。毎日 BG を採取しなければなりません。

⑤　コマンドを間違えて押すとデータが壊れる。そのままでは回復利用不能だが、測定データは CSV 形式なので、EXCEL など表集計データで利用し、グラフ化することで救済できる。

④　セシウムの測定だけなら、あまり関係がないが、他核種の異常ピークが出ている

ときは、ガンマ線帰属表を参照して、星印のついた核種から該当核種を探す。
　アイソトープ手帳も必需品なので必ず購入しておいてください。この手帳とガンマ線帰属表を見ながらでないと核種は探せません。

　ほとんどの場合、ウラン系列・トリウム系列の自然放射線だが、ときどき異様な見慣れぬピークが検出されることがある。

　例えばベリリウム７＝ 478K　これは巨大地震の前に出てくる不思議な宇宙線由来の核種です。また外国で核実験があったり、原発事故が起きていたりするとテルル 129 ＝ 460K の小さなピークが出るときもあり、新鮮な巨大核分裂が起きたときは、セシウム 3 兄弟が鮮明に現れ、フクイチ由来のセシウムとは、まったく違った形状のピークが出ます。
　このときはヨウ素 131 ＝ 365K も明瞭に出てくるはずです。

　Bi214=609K のピークは Cs134=605K に非常に近いので、核事故直後で Cs134 が強いときは強い干渉を起こします。
　Bi214 のコンプトン散乱や揺らぎが Cs134 ピークに影響を与えるため、厳密な測定が求められる場合は、ラドンが出ているときは避けた方が良いでしょう。

　なお、ラドン 222 は雨天だけでなく、大きな地震が近づいてくると晴天でも大きなピークを造るので、いつでも監視が必要な核種です。
　普通、Bi214=609K のピークは、降雨が終わり晴天になると消えてしまいます。雨水に溶け込んだラドン 222 が消えるから半減期 20 分、娘核のビスマス 214 も消えてゆくわけです。

[セシウム検出と間違いやすいビスマス 214 のピーク]

2018 年 3 月 3 日、中津川市蛭川の井戸水を測定していたら 13000 秒でビスマス 214 の大きなピークが出現しました。
　スペクトルを見るとセシウムの付近に大きなピークが立って 37.5 ベクレルものセシウム 137 が検出されています。

　しかし、フクイチ由来のセシウムなら Cs137 が事故時の 85 %、Cs134 が 10 %の比率で存在するはずで、わずかながら Cs137=796K　605K ピークが見えるはずなのにありません。ピークの最高点も 610K 付近にあるように見え、それなら Bi214=609K ピークと判断できそうです。

　Bi214 には 609K 以外に 1120K　　1764K にも小さなピークが立つはずなので見ると、それらしいピークができています。だからセシウムは誤検出で、ほぼビスマス 214 と判定できそうです。

これまで何度も検査した井戸水ですが、こんなピークは初めてで、これは半減期 20 分の Bi214 の親核種であるラドン 222 が井戸水に大量に溶け込んだことを意味します。
となると地殻変動でしょうか？

[測定結果]

測定結果は、パソコンから PRTSC（プリントスクリーン、ほとんどの場合最上列のキーに表記されている）を押してから、Irfanview などの画像ソフトに移して必要な部分だけを切り取ってスペクトルグラフ画像として保管しておきます。

320g で設定してある ZIP の場合、320 g を検体重量で割ってから表示ベクレルを掛けて、正しいキログラムあたり重量に変換してから報告します。

【シンメトリックス社測定用ソフトの応用的扱い方】

検体測定データから予め取得しておいた BG データを差し引くと、付加された放射能が見えます

具体的な操作方法は[BG File]をクリックして BG を選択し、[ReadSpec]をクリックして該当の検体を読み込み[Bq.Calic]をクリックして表示させたものが下記のスペクトルです。

[ログ表示]　通常の測定、ソフトの標準画面

[リニア表示]　見やすくするための変形

[Auto]をクリックし、左隣の上下矢印で見やすい高さ調整をします。

セシウムピークが小さくて分かりにくいときに、分かりやすく拡大したように見えるようにする。

[データスムース]

ピークをわかりやすくする為に画面上、欄外の[Calic]から[Datesmooth]を選び 1 度データスムースをかけた状態。
＊データスムースは基本的にかけても 1 回にしています。
かけすぎると重要なピークも消えてしまいますので注意が必要です。

[ログ比較表示]

[Print]を一度クリックして表示を変え[Mem2]を選択し[SnapShot]を押すと画面上のログ表示の BG が茶色になります。

次に[Mem1]を選択し同じく[SnapShot]を押すと検体が赤で表示されます。
そして更に[Mem3]を選択すると緑色のスペクトルが下に表示されます。
すべて標準のログ表示です。

[リニア比較表示]

　上の画像をすべて強調であるリニア表示にしたものです。それぞれ Auto 上下の矢印で見やすい高さに調整します。
上記のログ表示よりピークが見やすくなりました。

[リニア比較表示 2]

画面茶色が BG で赤が検体、いずれもリニア表示です。
そして[BG　File]から BG を読み込み、[ReadSpec]で正味の検体を緑色で表したものもリニア表示です。

[リニア表示、ロイの修正]

上の画像で茶色の BG と赤の検体、緑のスペクトルを見るとロイが選ばれてない部分の修正を行ったのが下記の画像です。

具体的な操作方法は右上の[ROI]をクリック、[ROI ＃ 1]で Cs-137　662Kev 近辺の緑色に選択されいる部分の L_Ch と H_Ch の調整を行い、次に[ROI ＃ 2]で Cs-134 796Kev 近辺を同じように L_Ch と H_Ch の調整を行い ON ボタンにチェックを入れます。

2 つのロイ設定が終わったら[Re Calic]ボタンを押します。

基本操作説明

Cs-All 0.9Bq/kg ＋－ 0.1Bq/kg Cs-134 0.2Bq/kg ＋－ 0.1Bq/kg Cs-137 0.7Bq/kg ＋－ 0.1Bq/kg

3Bq/kg 程度なら 4 時間程度、1Bq/kg でも 10 時間程度で十分だと思います。
（放射能測定検査の C 検査は念の為 16 時間行っています。）

下記が 2016 年 7 月時点で Cs-All(Cs-134 ＋ Cs-137）1Bq/kg の試料の 16 時間のスペクトルです。

下記が 2016 年 7 月時点で Cs-All(Cs-134 ＋ Cs-137）3Bq/kg の試料の 4 時間のスペクトルです。

[BG 適用の注意]

BG は測定データから差し引いて、環境に元々ある BG 放射能の影響を排除し、測定対象の放射能だけを鮮明に浮き上がらせてベクレル値を計算するために必要です。

BG データは、毎日わずかですが異なり、降雨、降雪の影響をまともに受けてしまい、結果を左右します。
　検体測定と BG は､同じ放射線環境である必要があります｡もし降雨時に作成した BG で晴天時の検体を処理したりすれば、環境放射能の整合性がないため、ZIP の場合は太い緑色の帯が出たりして、まともな結果が表示されません。

　晴天時の検体データは晴天採取の BG で、雨天時の検体データは雨天採取の BG で処理する必要がありますが、雨天時に影響を与えるラドンが不安定であるため、なるべく雨天時での測定や BG 採取は避ける必要があります。

　通常、経験的に、BG は 5 ～ 10 万秒程度の晴天時の空荷測定データを数本用意して、必要に応じて利用します。BG は季節によっても異なるので毎週取り直します。
　降雪時のデータは遮蔽が大きく異なるため使用することはできません。

【IFKR － ZIP 新型機のお知らせ】

　（株）シンメトリックス社＝（SMTX 社）が iFKR-ZIP-A を更に進化させた改良バージョン iFKR-ZIP2 の販売を開始
現行価格より 10%OFF
iFKR-ZIP-A との具体的な変更点はノイズ低減の為に現在付いている MCA の液晶画像を廃止し、性能がアップした MCA を採用します。遮蔽体と検出器も基本操作も同じです。

遮蔽体、検出器は同じで MCA のみ（株）ラボラトリ・イクップメント・コーポレーション社製　MCA2200 になります