

放射線科学

化学肥料で作った教育用放射線源 (自然放射能線源)

河野 孝央

放射線教育の一環として、放射線の測定実習を考えると、まず必要になるのは放射線源であり、しばしば機器校正用の密封線源が利用されます。しかしながら放射線源ですので、数量的には法の規制対象外であっても、中学生や、高校生、一般の人たちに対して使用することは、なんとなく躊躇されるのではないのでしょうか。そのため本研究では、誰もが、どこでも、気楽に使用でき、たとえ壊しても、なくしても、法的問題の発生しない放射線源の開発に取り組みました。その結果たどり着いたのが、自然の放射性同位元素を含む化学肥料や乾燥昆布などで作る、放射線源です。自然に存在する放射性同位元素を利用していますので自然放射能線源と呼びます。本稿では、化学肥料で製作した自然放射能線源と、その線源を利用した放射線教育の実践例を紹介したいと思います。

○化学肥料

化学肥料の主成分は、植物の三大栄養素である窒素、リン、カリウムといえます。線源の材料になりますのは、カリウムを含む化学肥料です。天然のカリウムには放射性同位元素であるカリウム 40 が含まれていますので、放射線源の材料に適していると考えたわけです。化学肥料は、人工的に成分を配合して作られます。そのため種類が多く、カリウムの含有量も商品によって異なります。最近調べた範囲では、カリウムの含有量は、0~50%に広がっていました。主成分以外にも、いろいろな成分が入っていて、商品によっては、たとえば強力な匂いを発し、使用に耐えません。従って必ずしもすべての化学肥料が教育用線源の材料として適しているとは限りません。そこで市販のいろいろな化学肥料を調べ、結局、硫酸カリ肥料を用いて線源を製作することにしました。使用した硫酸カリ肥料のカリウム含有量は、パッケージのラベル表示で 50%となっており、調べた商品の中で最大でした。念のため元素分析を行いました。結果は 52.3%です。ラベル表示の値を保証する分析結果だと思えます。

○カリウムの中のカリウム 40

天然のカリウムには、カリウム 39、カリウム 40、カリウム 41 の 3 種の同位元素が存在します。放射線を発するのはカリウム 40 です。カリウム 40 は 89%

の割合で β 壊変を起こして最大エネルギー1.31 MeVの β 線を放出します。また11%のEC壊変で1.46 MeVの γ 線を放出します。半減期は12.8億年です。人の寿命と比較するならば、カリウム40の放射能は減衰しないと考えるても良いと言えます。カリウムは人体にも含まれており、60kgの男性で計算しますと120gになります。これはカリウム40の放射能で3600Bq程度に相当します。カリウム40の存在比が0.0117%であることから計算しますと、硫酸カリ肥料に含まれるカリウム40の放射能は約15Bq/gになります。この濃度は法令におけるカリウム40の下限濃度(100Bq/g)の1/6以下です。また下限数量は100万Bqですから、1kgの硫酸カリ肥料で線源を作ったとしても、1/60以下です。法令では、数量と濃度の両方が規定数量を超える場合に放射性同位元素として規制の対象になりますが、数10g以下の硫酸カリ肥料で製作した線源は、数量と濃度の両方とも規定される数量以下ですので、こういった観点からも、法の規制を気にせず使用できるといえます。

○線源製作

線源製作にあたり硫酸カリ肥料を、近くのホームセンターで購入しました。その後、乳鉢で粉末状に磨りつぶし、20gを取り出して内径35mmの円筒形型枠にいれ、圧縮装置にセットして、ハンド油圧ポンプで約160kNの圧力をかけますと、図1に示すようなディスク状の線源が出来ます。ディスクの外形は、型枠の内径35mmと同じになりますが、高さは材料の量に依存して変わります。図の線源は20g

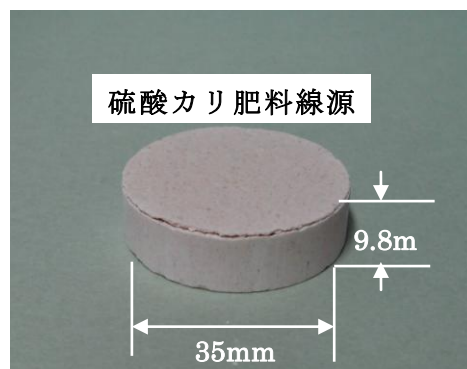


図1 硫酸カリウムで製作した
自然放射能線源

の硫酸カリ肥料を用いた場合ですが、高さは9.8mmです。この製作法を圧縮成形法と呼ぶことにしました。圧縮成形法によりでき上がったディスク状の固体は、もとの材料にくらべて体積は減少していますが、含有放射能と重量はもとのままです。従ってもとの材料が法の規制を受けなければ、圧縮成形法で製作したディスク状線源も法の規制を受けず、中学校や高等学校の教室に限らず、公民館や児童館などにおいてさえも、法を気にせず、気楽に、使用することができます。

○教育の実践

製作した肥料線源は、小学校や中学校、高等学校の教室はもちろん、公民館や児童館においてさえも、気楽に取り扱うことができるといいましたが、いき

なり小学校や中学校で放射線測定実習を実施しても、うまく行くとは限りませんので、とりあえず手軽なところで、自宅での放射線教育を考えました。参加者は、娘夫婦等ですが、いずれもこれまで放射線や放射能を取扱った経験はありません。放射線教育を受けたこともありません。

実際に我が家で行った測定実習の様子を図2に示します。場所は自宅の和室で、2つのテーブルそれぞれに娘夫婦、奥の出窓では、家内が測定を行っています。この測定は、放射線防護



図2 自宅で実施した放射線測定実習

の3原則の一つである距離と放射線強度（線量率）の関係を実際の測定にもとづいて理解するために実施しました。検出器

としてGMサーベイメータ（アロカ社TGS146）を用いました。線源と検出器の間の距離0～30cmの間で、8点のそれぞれの位置において1分間の積分計測を行いました。結果を図3に示します。測定で得られた計測値からバックグラウンド計数を

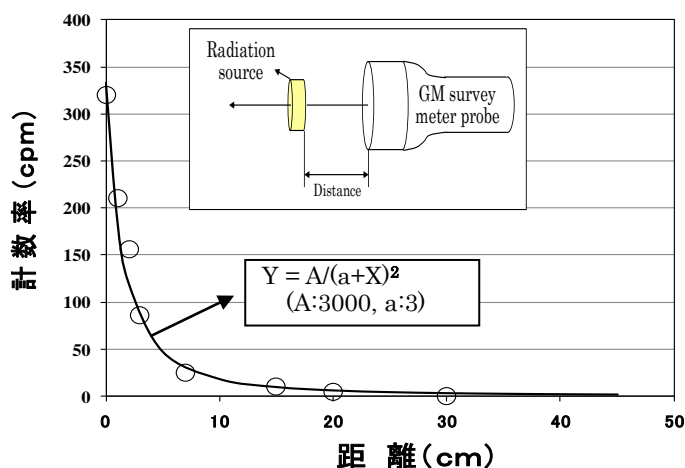


図3 測定実習の結果（逆二乗の法則）

差し引いて求めた計数率を、距離の関数としてプロットしたものです。縦軸は計数率、横軸は距離です。このグラフで距離ゼロは、線源を検出器表面に密着した状態を意味します。距離が増加するにしたがって、5 cm程度のところまで計数率は急速に減少しますが、その後は減少の程度が緩やかになります。グラフに示した曲線は、逆二乗関数： $Y = A/(a+X)^2$ の式において、 $A = 3000$ ($\text{cpm} \cdot \text{cm}^2$)、 $a = 3$ cm、 X を距離、 Y を計数率として求めた計算値ですが、測定値と良く一致しています。なお定数 a は、検出器入射表面から計った検出部の実効的な感度中心の深さに相当します。この結果から、距離と放射線強度の間に成り立つ「逆二乗の法則」を理解することが出来ます。以上の結果により、硫酸カリ肥料を用いて圧縮成型法で製作した「硫酸カリ肥料線源」は、放射線強度の距離依存性を理解するための放射線教育用教材として有用であることが分かりました。

同様に、時間と放射線量（計数）、遮蔽と放射線強度の関係も、こうした測定実習にもとづいて、理解することができます。一連の測定実習を終えた後、感想やコメントをレポートの形で出してもらいました。そのいくつかを表1に示します。全体として好意的な反応であると思います。

表1 測定実習終了後の感想およびコメント

1. 話で聞くよりも、実験を通して数値を測定することにより、放射線をより身近に感じられた。
2. 放射線の測定値が時間、距離で変動するのが分かった。肥料を使った実験は楽しめた。
3. 今回の実験を通じて様々な放射能のことが分かりました。いろいろな製品に放射能があることもびっくりしました。

○放射線教育の可能性

化学肥料や乾燥昆布などのような自然放射能含有物質は、これまでもいろいろな放射線教育や放射線関連のイベントで使用され、一般の人々に分かりやすい教育材料として貢献してきました。しかしながら多くは、体験学習的な観点から放射線や放射能の存在を定性的に説明するための使用であったと思います。本稿で紹介しました自然放射能線源を用いるならば、これまでの定性的な体験学習から、一歩進んで、定量的な放射線教育（放射線防護の3原則：遮蔽、距離、時間など）を実施することが可能になります。

○さいごに

自然放射能線源は、法的規制を受けない身の回りにある物質を単純に圧縮して製作したものです。従って、自然放射能線源も、法の規制を受けません。そのため誰にでも、どこでも、気楽に、放射線の測定実習に使用することができます。自然放射能線源は、線源とは言っても、化学肥料や乾燥昆布がもとの材料ですから、肥料の匂いはしますし、昆布の匂いもします。そのため、線源の素性が分かっており、気楽に取り扱えて、親しみやすい放射線測定実習が出来るというわけです。実習が終わった後は、持ち帰ることも出来ます。化学肥料で作った線源ならば、もともとプランターや家庭菜園で使用するために販売されていたものが材料ですから、自宅に持って帰って、化学肥料として畑に蒔いても構いません。

自然放射能線源は、取扱いにおいて放射線関連法令の規制を受けません。そ

表2 自然放射能線源を利用した放射線教育

1. 小学校、中学・高等学校・一般を対象にした放射線体験学習
2. 中学・高等学校における放射線測定実習
3. 消防署や警察署の出動職員の放射線測定訓練
4. 放射性同位元素の使用許可や届出放射線施設を持たない放射線施設における放射線業務従事者の教育訓練（小型加速器施設、装備機器施設、認証機器施設）

のため使用場所が制限されません。従って自然放射能線源を用いることにより、小学校や中学校、高等学校の教室はもちろん、公民館や児童館においてさえも、気楽に、体験学習や放射線測定実習を行うことが出来ます。表2に、自然放射能線源の使用を前提に考えられる放射線教育のいくつかをまとめてみました。今後いろいろな自然放射能線源を製作して行くとともに、自然放射能線源を利用した放射線教育の普及に努めたいと考えています。

なお、本研究は科研費（22500834）の助成を受けていることを記します。

参考文献

- 1) 河野孝央：化学肥料を材料に製作した教育用ディスク状線源, RADIOISOTOPES, 57, 703-708 (2008).
- 2) 河野孝央：カリウム含有化学肥料で製作した自然放射能線源と放射線教育への応用, 日本放射線安全管理学会誌, 9(2), pp. 126-132 (2010) .

(核融合科学研究所 准教授)