

課題研究

身近な物質の放射能測定

石川県立金沢泉丘高等学校

新村美香子, 寺根亜弥, 仲井春日, 森野恵里

First, we made a device called “a scintillation counter” in order to count the number of gamma rays.

In our experiment, we put ten centimeter-thick lead blocks around the counter to shield radiation coming from outside. The scintillation counter also made it possible for us to count the number of gamma rays in commercial fertilizer containing potassium which emitted radiation. Furthermore, we compared amount of radiation in the sand taken from a beach in the Noto peninsula with that contained in mineral and examined the correlation between the two.

1 はじめに

私たちは、日頃「放射線」や「放射能」といった言葉をよく耳にしながらも、いまひとつその意味を理解していない。また、「放射線」というと、即座に人体に悪影響を及ぼすようなものと認識してしまいがちなのも事実だ。しかし、実際には放射線は私たちの身近なところで大きな役割を果たしており、決して疎遠ではなく、私たちの生活に密接に関わっている存在なのである。

昨年度の「コスモサイエンスⅠ」の授業で、金沢大学理学部の中西孝先生や北陸電力科学館の戸田一郎先生の講義の中で放射線の話がうかがったことや、実際に α 線や β 線を霧箱で観察したことも引き金となり、私たちは今回、放射線が身近な環境の中にどれだけ存在しているのか、またその活用方法などを調べることにした。

2 研究内容

- (1) 本校のFuture Laboratoryで製作した「シンチレーションカウンタ」の性能を評価し、放射能の計測システムを組み立てた。
- (2) 放射能の測定により、市販のカリ肥料に含まれるカリウムの含有率を求め、表示値と比較した。
- (3) 色々な海岸の砂に含まれる放射能を測定し、海砂に含まれる有色鉱物の量との相関関係を調べた。

3 放射能測定の方法

(1) 測定の原理

- ① NaI単結晶(シンチレータ)に放射線が入射するとシンチレータが発光する。

- ② 光電管が光を電気信号(電圧パルス信号)に変換する。

- ③ 増幅器が電気信号を増幅し、パルスカウンタへ送る。

- ④ パルスカウンタが電気信号を計数する。このことによって、シンチレータに入射した放射線を計数できる。

※ 放射線には α 線・ β 線・ γ 線などがあるが、シンチレーションカウンタは主にエネルギーの高い γ 線と β 線を検出する。

(2) 測定装置の概要

- ① プローブ(シンチレータ, 光電管)(写真1)

- ・光電管に余分な光を当てないように遮光してある。
- ・NaI単結晶(シンチレータ)は潮解性が強いいため、密封されている。

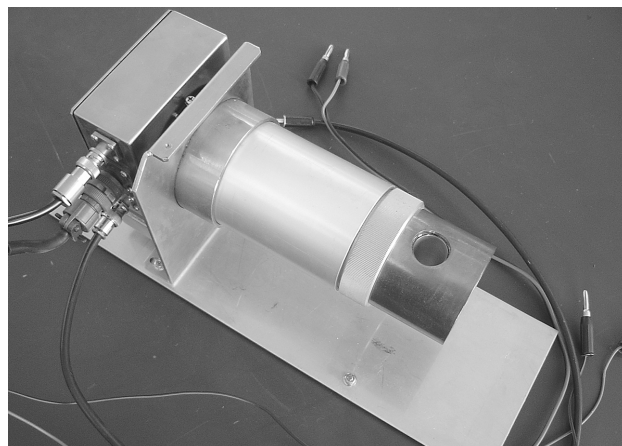


写真1

② 高電圧電源、パルス増幅器、スライダックス (写真2)

- ・スライダックスの交流(0～100 V)を、高電圧電源が直流(0～170 V)に変換する。
- ・光電管が作る電気信号を約1,000倍に増幅し、パルスカウンタへ送る。

③ パルスカウンタ(写真3)

- ・6桁のUPカウンタで、電気信号を計数する。

④ 計測システム全景(写真4)

- ・各モジュールを組み立てて計測をしている様子。

(3) 鉛による遮へい

自然界には、宇宙線をはじめ大地や空気からの放射線など、様々な環境放射線が存在する。放射能の測定にとって、これらB.G.(バックグラウンド)放射線は邪魔になるので、できるだけプローブに入射しないようにする必要がある。そのため、厚さ10cmの鉛ブロックで遮へいした(写真5)。

使用した鉛のブロックは、1個あたり質量が約

12kgあり、これを40個使用した。その結果、B.G.は10,098cpmから222cpmと、約45分の1に低減した。

※ 原子番号が大きい鉛は環境放射線の遮へいに使われる。今回使用した鉛のブロックは金沢大学低レベル放射能実験施設から借用したものである。

(4) プローブへの印加電圧の測定

光電管に過大な負荷をかけず、最も効率よく計数可能な印加電圧を調べることにした。印加電圧を上げながらマントル(^{232}Th を含む)からの放射線の計数値を調べると、図1のようになった。これは、40 V以上の電圧をかけても γ 線の計数に大きな差が出ないこと示唆しており、このことから、スライダックスの交流電圧が40 V、すなわち直流電圧が680 Vであれば、上記の条件が満たされることがわかる。

以上の結果から、今後のシンチレーションカウンタを用いる実験の場合には、この電圧で測定を行うこととした。

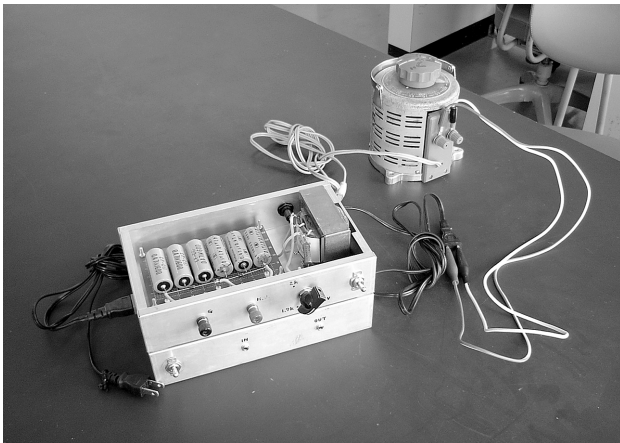


写真2

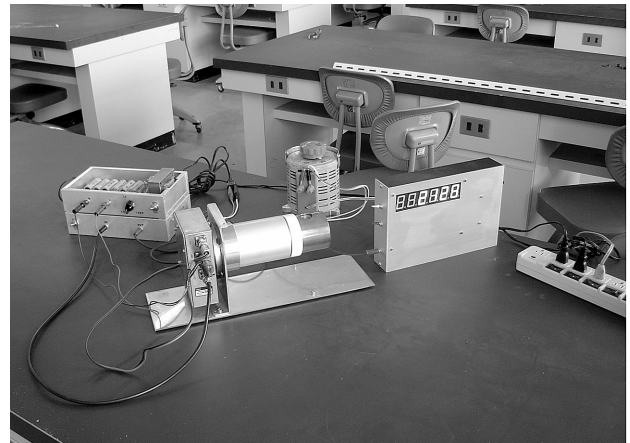


写真4

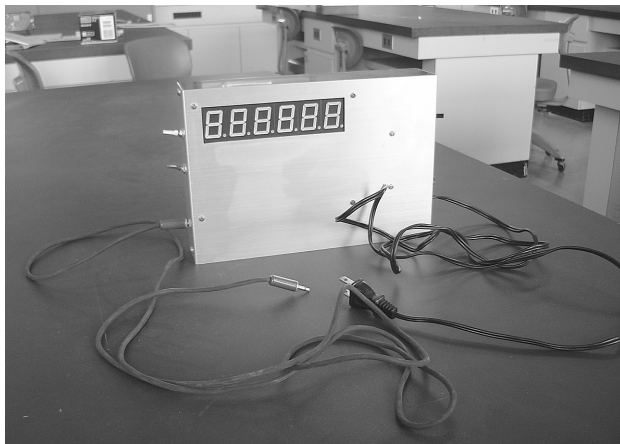


写真3

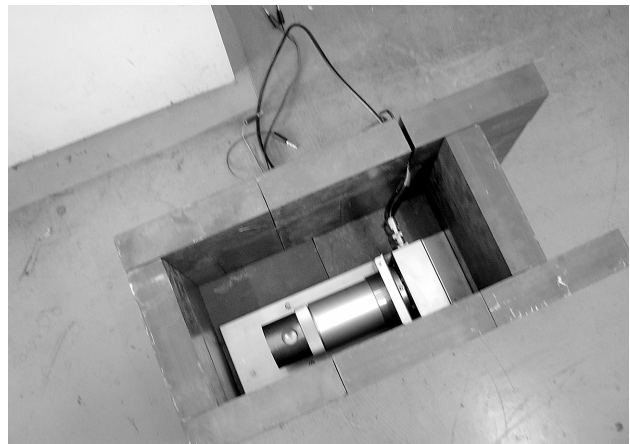


写真5

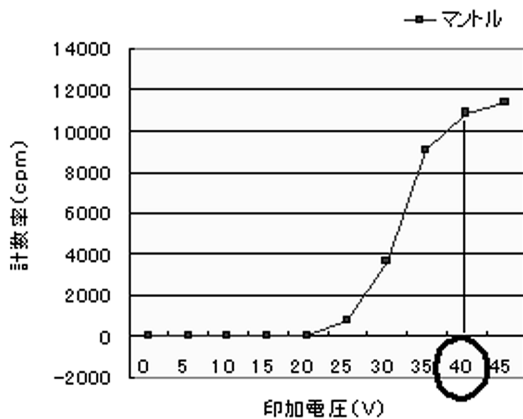


図1 プローブの電圧特性

4 身近な物質の放射能測定

(1) サンプルの加工

試料は可能な限り粉末に近い状態にした後、プラスチック容器に封入した。

(2) 放射線の測定値

放射能は、各種試料の計数値から B.G. の値を差し引いて見積もる(表1)。

KCl ではカリウム中の ^{40}K が出す γ 線を検出している。この試料の放射能は、他の試料の放射能を評価する上での基準にすることができる。

一方、カリ肥料中には水溶性の硫酸カリウムが混入されている。この試料の放射能は、主に肥料中のカリウムに由来すると思われる、このことを利用するとカリ肥料中のカリウム量を放射能の測定によって求めることができる。

その他にもいくつかの海砂について計数したが、その結果は次の項目及び海砂の項目で述べることにする。

5 放射能によるカリ肥料の物質質量測定

KCl 標準試料とカリ肥料の放射能測定をして、次の手順でカリ肥料の物質質量測定を行った。

(1) 同位体の存在比

自然界にカリウムの同位体は3種類あり、 ^{40}K のみ放射性同位体である。その存在比は、 ^{39}K (93.08 %), ^{40}K (0.0119 %), ^{41}K (6.91 %) である。

表1 単位質量あたりの放射能

	質量 (g)	放射能 (cpm)
KCl 標準試料 (薬品)	517	961
カリ肥料 (粉末処理)	513	194

(2) 原子核崩壊の種類

① β^- 崩壊

^{40}K のうち、89 % は β^- 崩壊をして、中性子が陽子と電子に変化する。その際、陽子が1個増えるので ^{40}Ca が生じ、原子核からは β 線 (電子) が放射される。

② 電子捕獲 (EC)

残りの 11 % は原子核が軌道電子を捕獲して、陽子と電子から中性子が生じる。その際、原子核は陽子を1つ失って ^{39}Ar が生じ、このとき強力な電磁波である γ 線が発生する。

(3) KCl 標準試料中のカリウム量

実験に用いた KCl 標準試料は 517 g であった。また、KCl の分子量は 74.55 なので、その物質質量は $517 \div 74.55 = 6.93 \text{ mol}$ となり、試料の中には KCl 及び K が 6.93 mol 存在することになる。

(4) カリ肥料中のカリウムの物質質量

カリ肥料 (544.59 g) の計数値は 194 cpm である。KCl 標準試料 (6.93 mol) の計数値が 856 cpm であるから、(3) と簡単な比例計算より、カリ肥料 (544.59 g) 中の K の物質質量は、 $6.93 \times 194 / 856 = 1.57 \text{ mol}$ となる。

(5) カリ肥料中のカリウムの「質量%濃度」

カリウムの原子量が 39.1 なので、カリ肥料 (544.59 g) 中のカリウムの質量は、 $6.93 \times 194 / 856 \times 39.1 \div 61.4 \text{ g}$ となる。よって、カリ肥料 (544.59 g) 中のカリウムの質量%濃度は、 $61.4 / 544.59 \times 100 \div 11.3$ となり、約 11 % であることがわかる。

カリ肥料の品質表示によれば、水溶性カリウムの質量%濃度が 13 % であることから、誤差も考えれば概ね妥当な値であるといえるだろう。

6 海砂の放射能

高松、千里浜、増穂が浦、琴ヶ浜、曾々木、渋谷の6か所(図2)の海砂を採集し、それぞれ放射能を測定した結果を表2に示す。

また、双眼実体顕微鏡を使い、海砂それぞれの鉱物の含有率を測定した。ただし、含有率は粒の数の比率で表した(写真6)(表3)。

昨年の理数地学の授業で、有色鉱物にはカリウムを多く含むものがあること学んでいたもので、海砂の有色鉱物の含有率と放射能の関係を調べてみると、表4、図3のようになった。

曾々木、渋谷の海砂を除いた4つでは、比例関係らしきものが見られるが、曾々木、渋谷のデータは、直線から大きく外れている。

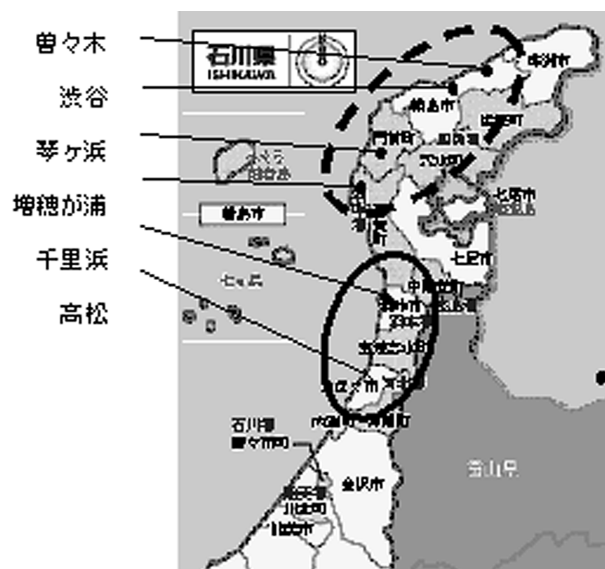


図2 海砂の採集場所

表2 海砂の単位質量あたりの放射能

	質量 (g)	放射能 (cpm)	放射能 (cpm/kg)
高 松	716	150	209
千 里 浜	704	152	216
増穂が浦	692	99	143
琴ヶ浜	744	88	118
曾々木	719	103	143
渋谷	1,137	129	113

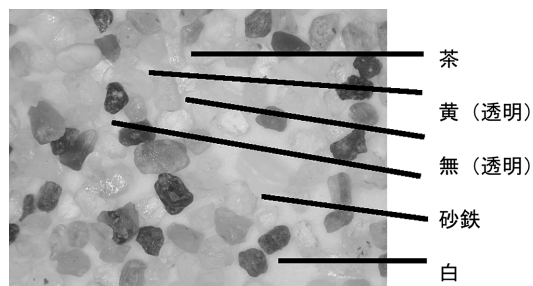


写真6 琴ヶ浜の海砂

そこで、曾々木、渋谷の海砂が他の4つに比べて非常に黒いことに着目し、直線からのずれは海砂に含まれる砂鉄の影響ではないかと考えた。

そのため、すべての海砂から磁石で砂鉄を除き、海砂内の砂鉄の重量%を調べ、砂鉄による放射能成分をデータから削除した(表5)。

渋谷の海砂は、波による自然選鉱により100%の砂鉄からできており、この放射能値から削除部分を見積もることができる。

有色鉱物の含有率からも砂鉄部分を差し引いてあらためて調べると、表6、図4のように比例関係が確認できるようになった。

しかし、鉱物の粒の大きさや種類の違いによる密度の違いを考慮せず、粒の数で含有率を表しているため、少なからずあいまいさが生じている。

だが、そのことを除けば、海砂には少なくとも「有色鉱物」と「砂鉄」の2つの放射能を出す成分が存在することがわかる。

また、比例関係が完全でないことは、「有色鉱物」と一括した鉱物や、ここから除外した白色・無色

表3 海砂の鉱物含有率

	高 松	千 里 浜	増穂が浦	琴ヶ浜	曾々木	渋谷
白	14.0	10.8	13.9	18.0	9.9	0.0
黄(透)	18.9	19.8	15.0	13.5	11.4	0.0
無(透)	32.7	35.3	41.8	47.6	22.8	0.0
黒	8.6	8.0	9.7	4.3	10.3	0.0
茶	14.2	15.1	11.7	12.1	16.7	0.0
砂鉄	11.5	11.0	8.0	4.5	28.9	100.0
有色鉱物	41.7	42.9	36.4	29.9	38.4	0.0

※ 有色鉱物＝黄(透)＋黒＋茶

表4 有色鉱物含有率と放射能

	有色鉱物含有率 (%)	放射能 (cpm/kg)
高 松	53.2	209
千 里 浜	53.9	216
増穂が浦	44.4	143
琴ヶ浜	34.4	118
曾々木	67.3	143
渋 谷	100.0	113

表6 有色鉱物含有率と放射能(砂鉄を除く)

	有色鉱物含有率 (%)	放射能 (cpm/kg)
高 松	41.7	188
千 里 浜	42.9	212
増穂が浦	36.4	129
琴ヶ浜	29.9	117
曾々木	38.4	115
渋 谷	0.0	113

◇高松 ▲千里浜 □増穂が浦 ○琴ヶ浜 ◆曾々木 ◆渋谷

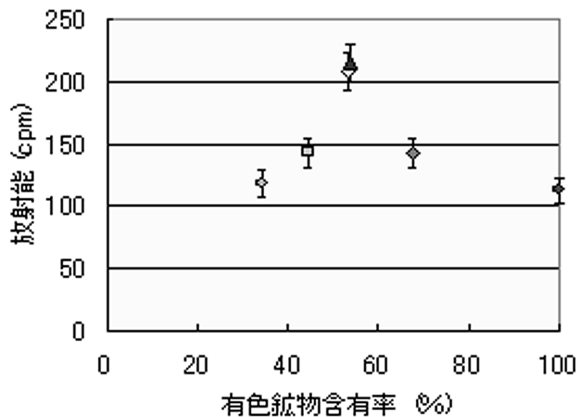


図3 有色鉱物含有率と放射能

◇高松 ▲千里浜 □増穂が浦 ○琴ヶ浜 ◆曾々木 ◆渋谷

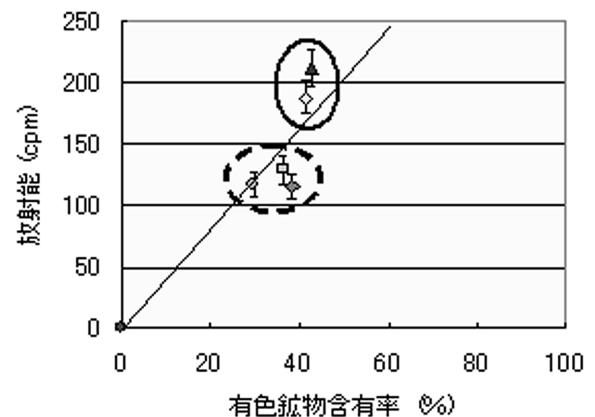


図4 有色鉱物含有率と放射能(砂鉄を除く)

表5 砂鉄の重量%

	高 松	千 里 浜	増穂が浦	琴ヶ浜	曾々木	渋 谷
砂鉄重量 (%)	2.6	5.1	8.0	1.1	33.9	100

(透明) 鉱物に、複数の放射能成分が含まれることを示しているのかもしれない。

なお、能登半島の高砂は、放射能の比較により、実線で囲んだものと点線で囲んだものの2つのグループに分類されるようである。

このことから、中能登と奥能登の高砂は別の種類の母岩から形成されたことが推定される。

実線のグループは中能登地区からとれたもので、粒が細かい。また、点線のグループは奥能登地区からとれたもので粒が粗く、見た目も大きく違う。

能登半島の高砂について調べた新保氏による粒の大小に注目した地学調査によれば、能登半島周辺の沿岸流は、加賀地区から羽咋地区へ渡るものと、富来地区からはじまり半島を外浦から内浦へ回り込む沿岸流の2つに分類される。

おそらくこのことが、2つのグループの母岩の違いに影響を及ぼしているものと考えられる。

ここで興味深いことは、曾々木と琴ヶ浜の高砂は、見た目に大きな差があるにもかかわらず、砂鉄成分を除いた残りの砂の特性が、ほぼ一致することである。

る。何らかの原因で砂鉄の含有量が違っていても、同一地区の海砂は同じ母岩からできているのかもしれない。

7 まとめ

最後に、今回の研究によってわかったことをまとめる。

(1) 放射能によるカリウムの物質質量測定

Kを多く含み、放射能成分がK由来であるとき、放射能の測定によりKの物質質量を推定することができる。

(2) 放射能による海砂の分類

- ① 海砂の放射能と有色鉱物含有率から「砂鉄」成分を取り除くと、有色鉱物含有量と放射能には比例関係が現れる。
- ② 海砂の放射能には、少なくとも「有色鉱物」「砂鉄」由来の2成分が存在する。
- ③ 海砂の放射能を測定することによって、海砂の産出地域を推定することができる。

8 おわりに

この研究を始めるにあたり、私たちは、放射線とは一体何であるのかという実に初歩的なところからスタートした。

放射線検出器であるシンチレーションカウンタを組み立て、この検出器を使って研究を行った。これらの研究から、放射線はただ単に「危険」な存在ではなく、使い方によっては科学の発展に寄与するものであることがわかり、私たち自身、改めて放射線の科学研究への有効性を実感することができた。

ただ、やはり半年という短い研究期間であったために、海砂に研究対象が偏ってしまったことが残念である。今後、機会があれば、もっと多くの物質へのアプローチを試みたいと思う。

謝辞

おわりに、研究を先導してくださった竹中功先生をはじめ、英語担当の鈴木達也先生、実習助手の桑名恭子先生、また装置の組み立てをはじめ、色々な場面で多くアドバイスしてくださった金沢大学の小村和久教授にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) ラジオアイソトープ講義と実習(改訂3版), 日本アイソトープ協会編
- 2) 新保修: 石川の自然 第20集, 地学編(9), 平成8年3月