

土壌に含まれる放射性物質とその同定 Radioactive Materials in Soil and the Identification

加藤 優喜^{1,2}, 後藤 優月^{1,3}, 松永 理那^{1,4}

KATO Yuki, GOTO Yuzuki, MATSUNAGA Rina

東北大学 探求型「科学者の卵養成講座」¹, 青森県立青森東高等学校², 山形県立米沢興譲館高等学校³,
横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校⁴

EGGS, Tohoku University¹, Aomori Higashi Senior High School², Yonezawa Kojokan Senior High School³,
Yokohama Science Frontier Senior High School⁴

Corresponding Author's e-mail: kaneta@tohoku.ac.jp

(Received: 31 May 2022; Accepted: 22 November 2022; Released: 10 March 2023)

[要約]

身近な生活に関わったり、ニュースや新聞などで目にしたりすることの多い放射線であるが、私たちが放射線と正しく向き合っていくには放射線に対するリテラシーの向上が不可欠である。私たちは、身の回りの土壌にどんな放射性物質が含まれているのか疑問に感じた。そこで、ゲルマニウム半導体検出器を用いた横浜市・南陽市・青森市の土壌に含まれる放射性物質の同定と、それぞれの採取地での空間線量率の測定を行い、身近な環境の調査を行うことを目的とした。それらの測定結果から、南陽市の土壌からは他の2地点と比較して²¹²Pbなどの天然放射性元素や¹³⁷Csの出すγ線が多く確認され、空間線量率も他と比較して高かった。以上の結果より、空間線量率だけでは分からない、放射性同位元素の同定により、線量率への寄与が大きい元素が明らかになった。本研究を通じて、メンバーの放射線や身近な放射性物質についての理解が深まり、実生活で放射線に関する事柄に触れた時に、科学的な視点から考えようとする意識が高まったと考える。

[キーワード] 放射線, γ線, 放射性同位体, ゲルマニウム検出器, 空間線量率

Radiation, Gamma Rays, Radioisotope, Germanium Detector, Air Dose Rate

1. はじめに

放射線は、医療や工業などのさまざまな分野で利用されており、私たちにとって身近な存在である。しかし、福島第一原子力発電所事故や世界中で行われてきた核実験などによって放射線に漠然としたマイナスイメージを抱いている人も多いのではないだろうか。そのため、放射線の性質を学び、放射線に関する正しいリテラシーを身につけることが必要であると考えた。そこで、私たちの身の回りの土壌にどんな放射性物質が含まれているのか、またそれは土壌付近の空間線量率とどんな関係があるのか調査することを目的とした。

2. 実験方法

実験1では、株式会社ORTECのゲルマニウム半導体検出器を用いた。ゲルマニウム半導体検出器は、他のγ線測定器と比較して分解能が高く、放射性同位体の同定が行いやすいという特徴を持つ。測定中は、液体窒素で冷却し、鉛で測定範囲外からのγ線を遮蔽した。また、土壌サンプルの採取地での空間線量率を計測し、両者の比較を行った。

実験2では、岩崎通信機株式会社の放射線量モニター SV-2000 (図1) を使用した。1分間の放射線の平均計数率に基づく値を10秒毎に更新するものである。その他詳細は参考文献[1]を参照。



図1 空間線量率の測定に用いた放射線量モニター
(IWATSUのウェブページより)。

2. 1. 実験1

試料の土は、著者3名の居住地近くで採取した。それら、3地点(神奈川県横浜市鶴見区・山形県南陽市二色根・青森県青森市八重田)の土壌に含まれる放射性物質の同定は、以下の順で行なった。

1. それぞれの地点で採取した土から発せられるガンマ線エネルギーをゲルマニウム半導体検出器で測定する。検出器の出力シグナルの波高は、検出器内でγ線が反応して落としたエネルギーに比例する。波高記録装置(Multi-Channel Analyzer: MCA)で、波高をデジタル値として記録し、エネルギーに対する単位時間あたりの

頻度分布をヒストグラムとして作成する。

- エネルギーの波形について、 γ 線の全エネルギーが検出器で観測された場合には鋭いピークが立つ。しかし、コンプトン散乱と呼ばれる現象が起きると γ 線の全エネルギーが観測されず、広がった分布となる。鋭いピークを目視で確認し、それに対応する核種を調べた。同定の際に使用したサイトは参考文献 [2, 3] を参照。また、エネルギー較正には ^{137}Cs (密封線源)、 ^{60}Co (密封線源)、 ^{40}K (やさしお※¹) を用いた。
- ゲルマニウム検出器は鉛ブロックで囲み、環境放射線の影響を下げる工夫がされている。しかし、鉛ブロックで囲まれた内側の環境放射線の影響が残っている。そのため、土を入れていない容器だけの測定も行った。土が入った容器の測定によるヒストグラムから空の容器の測定によるヒストグラムの差をとることで、土からの γ 線によるエネルギー分布を得る。

2. 2. 実験 2

実験 1 と同じ 3 地点 (神奈川県横浜市鶴見区・山形県南陽市二色根・青森県青森市八重田) の線量率 [$\mu\text{Sv/h}$] を 500 秒間計測した。

3. 結果

ここでは、三つの試料の土から得られたゲルマニウム検出器による測定結果と、土の採取地での空間線量率について示す。

3. 1. 実験 1

同定した核種と対応する γ 線のエネルギーは、下記記の通りである。

- ^{40}K (1460.8 keV)
- ^{137}Cs (661.7 keV)
- ^{208}Tl (510, 583, 2614 keV)
- ^{214}Bi (609, 1765 keV)
- ^{212}Bi (727 keV)
- ^{212}Pb (238 keV)
- ^{228}Ac (583, 794, 911, 964/968, 1588 keV)
- $^{234\text{m}}\text{Pa}$ (1765 keV)

各計測地点の結果を図 2-4 に示す。

環境放射線による影響を除いたグラフ (図 2-4 の、下側の図) を見ると、地域によって天然の放射性同位元素の含有量が異なることが分かる。 ^{40}K は、青森市、南陽市の順に含有量が少なくなっており、横浜市の試料ではほぼ見えない。その他のウラン系列、トリウム系列と呼ばれる、アクチノイドの元素から鉛に至る崩壊過程で生じる元素 (Pa, Ac, Tl, Bi, Pb 等) は、南陽市、青森市、横浜市、の順で含有量が少なくなっている。

人工の放射性同位体である ^{137}Cs は、全ての採取地で観測されているが、その含有量は、南陽市、横浜市、青森市の順に少なくなっている。なお、放射性セシウムは福島第一原発事故による拡散以外にも過去の大気中核実験での世界中に拡散し地上に降下していることに留意が必要である。

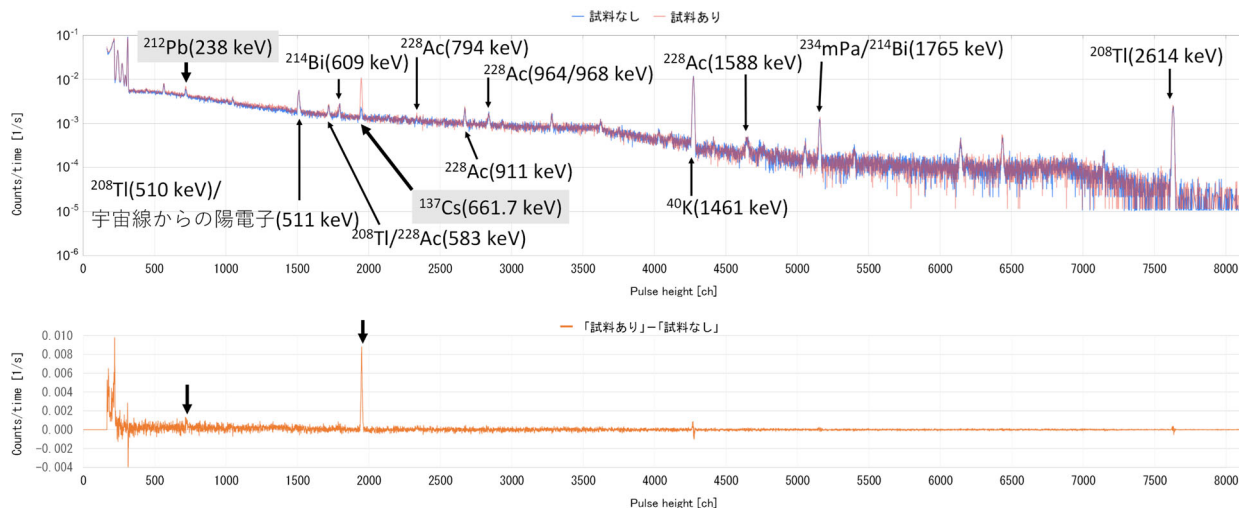


図 2 ゲルマニウム検出器による土壌からの γ 線測定の結果。試料は横浜で採取した土である。横軸はゲルマニウム検出器で測定した γ 線のエネルギーに対応するデジタル値、縦軸は単位時間あたりのカウント数である。上の図には、容器に試料がある場合とない場合の図を重ねて表示した。縦軸は対数表示である。下の図は、試料ありの測定から試料なしの測定を引いたもので、土からの γ 線のみを測定したものに对应する。縦軸は線型である。下の図で、プラス側に山ができたあとマイナス側に山ができて、 ^{40}K 、 ^{208}Tl の部分は、容器のなかに試料あり、なしの測定をしている前後で同じエネルギーに対する検出器の波高が少し変化してしまったこと (横軸がずれたこと) によるものと考えられる。

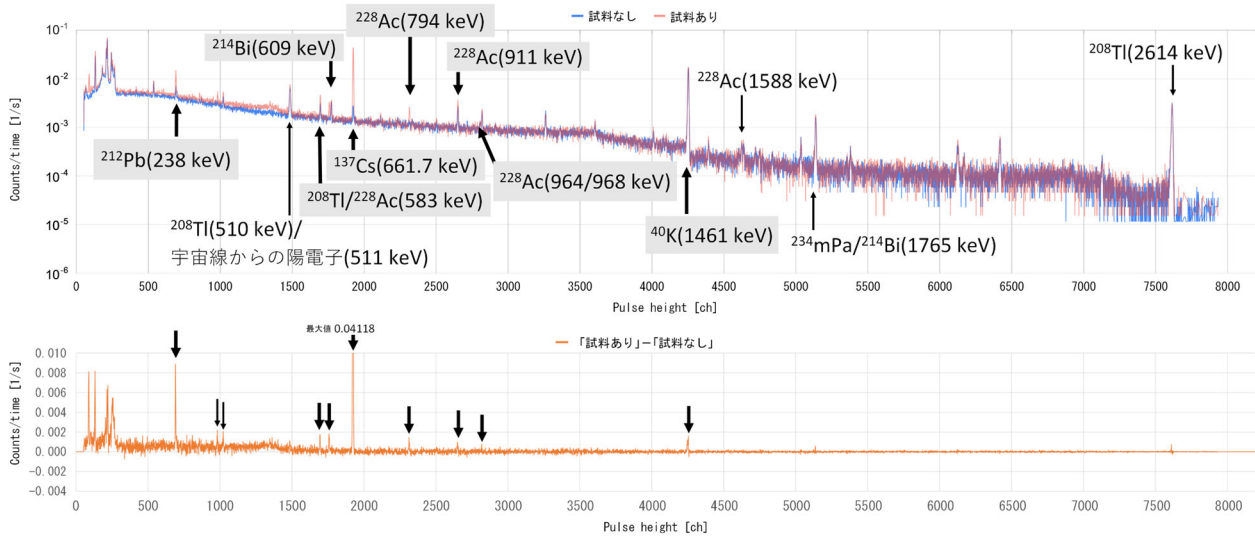


図3 ゲルマニウム検出器による土壌からの γ 線測定の結果。試料は南陽市で採取した土である。図の縦軸・横軸や種類は図2と同様。1000ch 付近の2つのピークについては、核種の同定ができなかった。

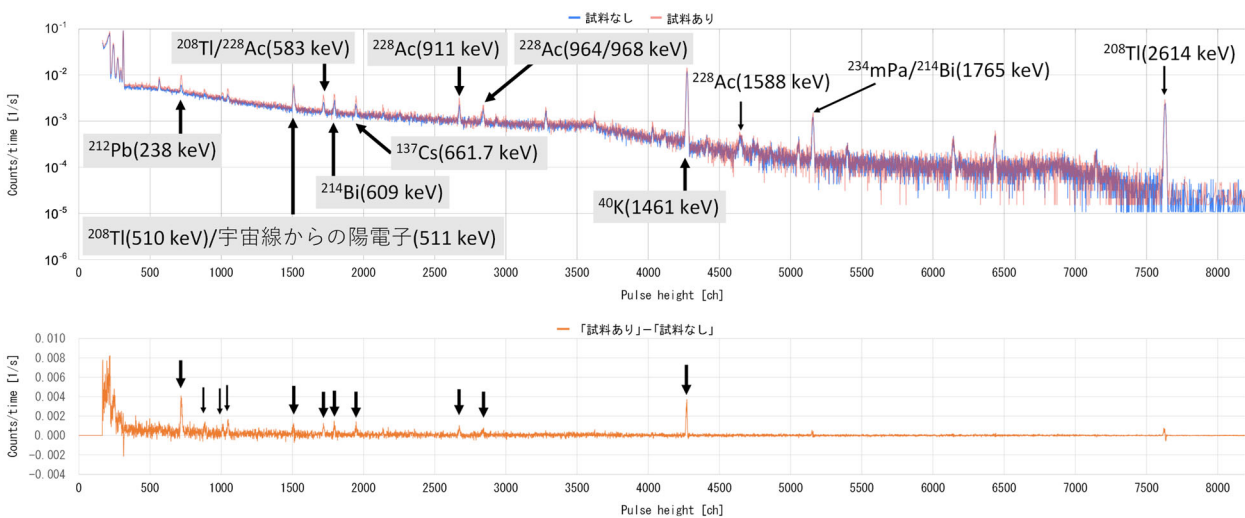


図4 ゲルマニウム検出器による土壌からの γ 線測定の結果。試料は青森市で採取した土である。図の縦軸・横軸や種類は図2と同様。1000ch 付近の3つのピークについては、核種の同定ができなかった。

3. 2. 実験2

各計測地点での空間線量率を表1に示す。図5は表1を分布図にまとめたものである。

表1 3地点によける10秒ごとの空間線量率。それぞれの地点における平均値と標準偏差は、横浜市： 0.035 ± 0.004 [$\mu\text{Sv/h}$]、南陽市： 0.075 ± 0.009 [$\mu\text{Sv/h}$]、青森市： 0.031 ± 0.005 [$\mu\text{Sv/h}$]である。

計測番号	計測時間 [s]	線量 [$\mu\text{Sv/h}$]		
		Yokohama	Nanyou	Aomori
1	0-59	0.038	0.065	0.023
2	10-69	0.035	0.072	0.024
3	20-79	0.031	0.073	0.027
4	30-89	0.033	0.072	0.026
5	40-99	0.034	0.072	0.028
6	50-109	0.038	0.074	0.029
7	60-119	0.036	0.077	0.031
8	70-129	0.040	0.070	0.033
9	80-139	0.041	0.069	0.031
10	90-149	0.042	0.063	0.035
11	100-159	0.036	0.062	0.032
12	110-169	0.034	0.054	0.030
13	120-179	0.036	0.054	0.031
14	130-189	0.034	0.059	0.035
15	140-199	0.031	0.057	0.037
16	150-209	0.027	0.064	0.034
17	160-219	0.028	0.066	0.033
18	170-229	0.027	0.070	0.036
19	180-239	0.029	0.067	0.038
20	190-249	0.026	0.071	0.035
21	200-259	0.031	0.072	0.037
22	210-269	0.035	0.074	0.037
23	220-279	0.034	0.076	0.038

計測番号	計測時間 [s]	線量 [$\mu\text{Sv/h}$]		
		Yokohama	Nanyou	Aomori
24	230-289	0.042	0.080	0.037
25	240-299	0.040	0.081	0.033
26	250-309	0.044	0.080	0.035
27	260-319	0.042	0.081	0.034
28	270-329	0.039	0.081	0.034
29	280-339	0.041	0.081	0.032
30	290-349	0.036	0.078	0.034
31	300-359	0.036	0.082	0.032
32	310-369	0.033	0.083	0.036
33	320-379	0.034	0.084	0.031
34	330-389	0.041	0.088	0.028
35	340-399	0.039	0.093	0.031
36	350-409	0.038	0.088	0.028
37	360-419	0.035	0.089	0.029
38	370-429	0.031	0.086	0.024
39	380-439	0.035	0.084	0.023
40	390-449	0.033	0.082	0.023
41	400-459	0.033	0.076	0.024
42	410-469	0.032	0.080	0.026
43	420-479	0.036	0.080	0.022
44	430-489	0.039	0.075	0.024
45	440-499	0.041	0.074	0.023

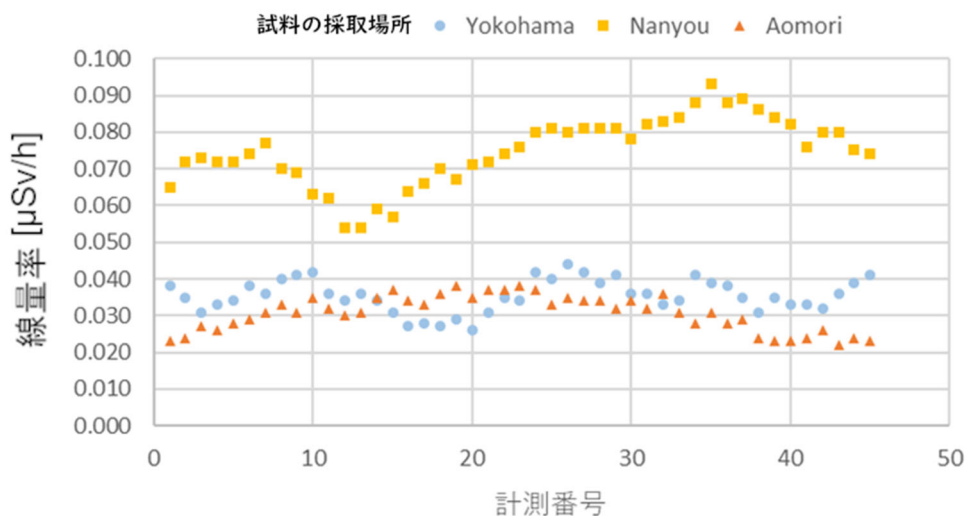


図5 3地点における10秒毎の空間線量率。横軸は計測番号であり、この図は線量率の時間変化を示す。

4. 考察

実験2の結果から3地点の空間線量率を比較して、南陽市の空間線量率が他の地点と比べて大きくなっているのが分かる。これは実験1の結果で南陽市の土壌サンプルは他の土壌サンプルよりも多くの天然の放射性物質と人工の放射性物質を含有していることが分かったため、それらが南陽市の空間線量率を大きくしていると考えられる。

空間線量率は、図5に示した様に時間変動が生じる。平均値と標準偏差を見てみると、横浜市での測定が 0.035 ± 0.004 [$\mu\text{Sv/h}$]、青森市での測定が 0.031 ± 0.005 [$\mu\text{Sv/h}$]であり、この二地点は1標準偏差内で一致している。一方、南陽市で測定した空間線量率は 0.075 ± 0.009 [$\mu\text{Sv/h}$]であり、一標準偏差以上平均値が離れており、有意に他の2地点よりも高いことがわかる。しかし、世界および日本の主要都市の空間線量率はおよそ0.02から0.15 [$\mu\text{Sv/h}$]であり[4]、南陽市が特異的に高いわけではない。

5. 結論

本研究では横浜市、南陽市、青森市の3地点で採取した土壌からそれぞれゲルマニウム半導体検出器を用いて γ 線分布を作成し、ピークに対応する核種の同定を行った。さらに、backgroundと比較し、土壌に含まれる放射性元素を特定した。また、それぞれの採取地点の空間線量率を測定し、その結果を考察した。放射性元素は横浜市では ^{212}Pb 、 ^{137}Cs 、南陽市では ^{212}Pb 、 ^{208}Tl 、 ^{137}Cs 、 ^{228}Ac 、 ^{40}K 、青森市では ^{212}Pb 、 ^{208}Tl 、 ^{212}Bi 、 ^{137}Cs 、 ^{228}Ac 、 ^{40}K が土壌中に含まれていた。また、天然放射性元素や ^{212}Pb の γ 線量を比較すると、南陽市の土壌は他の2つの土壌よりもそれらの γ 線量が多く、それらが多く含まれていた。採取地点の空間線量率は横浜市が 0.035 ± 0.004 [$\mu\text{Sv/h}$]、南陽市が 0.075 ± 0.009 [$\mu\text{Sv/h}$]、青森市が 0.031 ± 0.005 [$\mu\text{Sv/h}$]であり、南陽市の空間線量率は他の地点より大きくなっていた。これは天然の放射性物質と人工の放射性物質の含有量の違いから、それらの含有量が多くなったことで空間線量率が大きくなったと考えられる。

謝辞

本研究にあたって、東北大学大学院理学研究科物理学専攻の金田雅司先生に指導、助言いただきましたことを感謝いたします。

本研究は東北大学 探求型「科学者の卵養成講座」(JST グローバルサイエンスキャンパス)の支援のもとで実施されました。

引用及び参考文献

[1] 岩崎通信機株式会社 (掲載年不明). 放射線モニター SV-2000.
https://www.iti.iwatsu.co.jp/ja/products/sv/sv1000_2000_spec_price.html. 2022年4月1日.

[2] Radiochemistry Society (2003). GAMMA-RAY SPECTRUM CATALOG OF ISOTOPES.

http://www.radiochemistry.org/periodictable/gamma_spectra/. 2021年12月29日.

[3] S.Y.F. Chu, L.P. Ekström, R.B. Firestone (1999). The Lund/LBNL Nuclear Data Search Version 2.0, February 1999.

<http://nucleardata.nuclear.lu.se/toi/>. 2021年12月29日.

[4] 環境省、主要都市の空間線量率の測定結果 (2018).
<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/h30kisoshiryo/h30kiso-02-05-07.html>. 2022年4月24日.

注

※¹ やさしお: 味の素株式会社から販売されている食塩の半分を塩化カリウムに置き換えた調味料。