

青葉山における空間線量率の地形地質的特徴との関係

Relationship between Air Dose Rates and Topographical and Geological Features at Aobayama Campus

横塚廉太郎^{1,2}, 中軍はるな^{1,3}, 加藤未亜^{1,4}, 佐藤美咲^{1,2}, 金田雅司⁵
YOKOTUKA Rentaro, CHUGUN Haruna, KATO Mia, SATO Misaki, KANETA Masashi

東北大学「科学者の卵養成講座」¹

秋田県立秋田高等学校², 福島県立磐城高等学校³, 浦和明の星女子高等学校⁴, 東北大学大学院理学研究科⁵

EGGS, Tohoku University¹ Akita Senior High School² Iwaki Senior High School³ Urawa Akenohoshi Girls Senior High School⁴

Graduate School of Science, Tohoku University⁵

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

(Received: 11 July 2023; Accepted: 21 August 2023; Released: 20 November 2023)

[要約]

本研究では東北大学青葉山キャンパスの複数箇所での空間線量率を測定した。ここ数年の空間線量率の変化は観測地点付近の放射性物質が移動する場合が主となると考えられる。空間線量率として計測されるのはγ線であるが、天然の放射性物質以外に存在するものとして¹³⁷Csが考えられる。セシウムが土壌に吸着する性質を考慮し、地形・地質的特徴ごとに地点を分類してその空間線量率の経年変化を比較した。その結果地形的特徴、つまり標高差は空間線量率には大きく影響しないが、地質が土の場合空間線量率の経年変化が少ないことが示された。さらに観測地点付近に花崗岩等の岩石がある場合地形・地質的特徴によらず空間線量率が高くなることが分かった。さらに2016年度は空間線量率の差がほかの年よりも大きくなっていることも判明した。このように今回の研究を通じて東日本大震災から12年が経過した被災地の放射線量の現状を再確認できた。そして青葉山キャンパスを詳細に調べた本研究の結果は、放射線に対する知識を深める一助になると考えられる。

[キーワード] 放射線, 空間線量率, 地質, 地形

Radiation, Air Dose Rate, Geology, Terrain

1. はじめに

東日本大震災発生から12年が経過したが、福島第一原子力発電所の事故の影響で放射線についての関心は未だ高い。自治体等は震災直後から、原発事故のイメージ回復のため、放射線量を定期的に測定し続けたり [1]、食品に含まれる放射性物質量が基準値を満たしているかどうか検査したりしている [2]。しかし放射線に関する理解が十分とは言えない。

そこで私たちは宮城県仙台市の東北大学青葉山キャンパスにおいて、複数地点の空間線量率を測定することで、現状を理解することを第一の目的とした。従来の地域ごとの放射線測定で観測地点が少ない場合、私たちの生活圏の特徴を把握しきれていなかったと考えられる。そこで青葉山の複数箇所での局所的な空間線量率を測定することでより放射線について身近に感じられると考えた。

また空間線量率の変化は主に、観測地点に外から放射性物質が新たに持ち込まれた場合と、観測地点付近の放射性物質が移動した場合の二通りが考えられる。前者については、例えば福島第一原子力発電所の事故やチェルノブイリ原発事故、そして大気中核実験など

によって大気に拡散した放射性物質が地上に降りてきた場合がある。しかし、前者についての事象は近年起きていない。

一方、後者については青葉山のような身近な地点ではあまり報告されていない。科学者の卵養成講座では、過去二度青葉山での空間線量率の測定を行っており [3,4]、測定地点と数値の記録があることから、後者に着目し比較を行うことにした。

福島第一原発事故で拡散された放射性物質で空間線量率に影響を与えるものは¹³⁷Csと¹³²Teであることが、参考文献 [5] で報告されている。そのうち半減期が長い¹³⁷Csに着目すると、土壌に吸着されると大部分が固定態に変化し、ほとんど動かなくなることが参考文献 [6] より報告されている。

そのため局所的な空間線量率の増減は、セシウムが固定された土壌等の動きやすさ、つまり観測地点の地形、地質的特徴に関係すると予想できる。したがって移動した放射線物質の量の増減を調べるため青葉山の地形、地質的特徴に注目して空間線量率の変化を調べることを第二の目的とした。

2. 測定と分析方法

環境放射線測定器は γ 線を計測する。放射線が測定器を通過すると電気シグナル(パルス電流)を発生し、そのシグナルの単位時間あたりの個数を線量率とデジタル値の換算表を利用し空間線量率に変換する。今回は、HORIBA Radi PA-1100を使用した。この測定器は、過去 60 秒間のサンプリングによる値を 10 秒毎に表示する。測定器の外観を図 1 に示す。



図 1. 環境放射線測定器 (HORIBA Radi PA-1100)

2-1 測定値の揺らぎ

放射線と物質との反応は確率事象であるため、統計的揺らぎを生じる。さらに、校正された測定器でも、経年変化の個体差によって線量率の値に微少な差が生まれることも分かっている。そこで二台の測定器で一定時間空間線量率を観測し、測定器の個体差と時間的揺らぎの度合いを調べた。

使用した放射線源は、塩化カリウムを含む「やさしお」、炭酸カリウムの二種類である。天然のカリウムには、0.0117%の ^{40}K が含まれていることが知られており、カリウムを含む物質を天然の放射線源として用いた。また、カリウムは放射線教育に適した教材であると、参考文献[9]で紹介されている。

放射性物質を測定器近くに設置し、二つの測定器を置いた場所での空間線量率の違いによる影響が少ない状態での測定を行った。

2-2 空間線量率の測定方法と記録の仕方

2022 年 12 月 25 日に東北大学青葉山キャンパス内において、環境放射線測定器を用いて空間線量率を測定した。測定地点は、2016 年度、2018 年度の科学者の卵養成講座発展コースで空間線量率を測定した時と同じ地点を選んだ。

測定する際は地面から約 1m のところで、10 秒毎の空間線量率を 10 回計測した。同地点を年度ごと、また同年度で地点ごとに比較するために、各地点での記録から、空間線量率の平均値と標準偏差を計算した。そして標準偏差を誤差として採用している。

また本研究では地形・地質的特徴に着目していることもあり、注目した要素ごとの空間線量率の数値の分布だけでなく、Google Maps を利用してより視覚的に空間線量率の分布を把握できるよ

うにした。地点ごとに空間線量率の平均値、標準偏差、地質を Google Maps 上に記入した [7]。この時、空間線量率が 0.050 $\mu\text{Sv/h}$ 未満と 0.050 $\mu\text{Sv/h}$ 以上の地点を明確にするために色分けして記録した。境目とした、0.050 $\mu\text{Sv/h}$ は、仙台市における典型的な空間線量率である。さらに Google Maps 上のマーカーの形も地質ごとに変えた (図 2)。

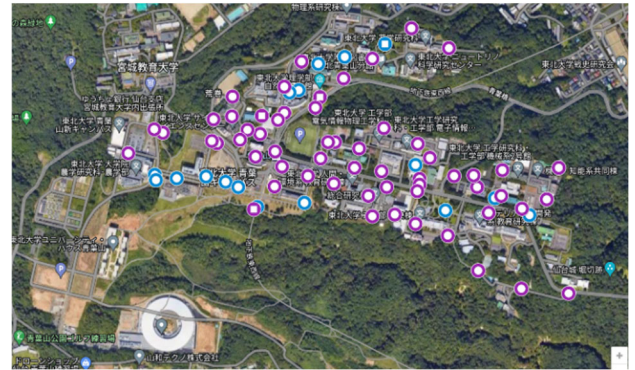


図 2. Google Maps の航空写真と測定地点

紫〇: 空間線量率 $< 0.05 [\mu\text{Sv/h}]$, 水色〇: 空間線量率 $\ge 0.05 [\mu\text{Sv/h}]$

2-2-1 分析 1

地形的特徴について調べるため、国土地理院が Web 上に公開している地理院地図を用いて地点ごとの標高差を調査した。地図で等高線を確認し、隣接する二つの標高帯の中から付近の地点よりも標高が高い地点を基準として、その地点から周囲 150m 以内にある地点を Google Maps に記録した。そして比較した地点が同じものは Google Maps 上で囲んでまとめ、1つのエリアとした (図 3)。隣接する標高帯の高いほうに含まれる地点と、低いほうに含まれる地点で空間線量率を比較した。正確に調査するためデータ量の観点から 15 か所あるうち 5 地点以上あるまとまりについて空間線量率を比較した。エリア番号については Google Maps のポイント番号の順に従う。また MAP 内の地点番号は「空間線量率 $\ge 0.05 [\mu\text{Sv/h}]$ 」と「空間線量率 $< 0.05 [\mu\text{Sv/h}]$ 」という二つのレイヤ内でそれぞれ振られた番号を使用する。

^{137}Cs が土壤中に吸着されるとほとんど移動しないことから、土壌が雨や雪によって流されやすい斜面や凹地といった地形的特徴の違いに着目し、その空間線量率の増減を調べた。

各エリアの標高は表 1 に示す。

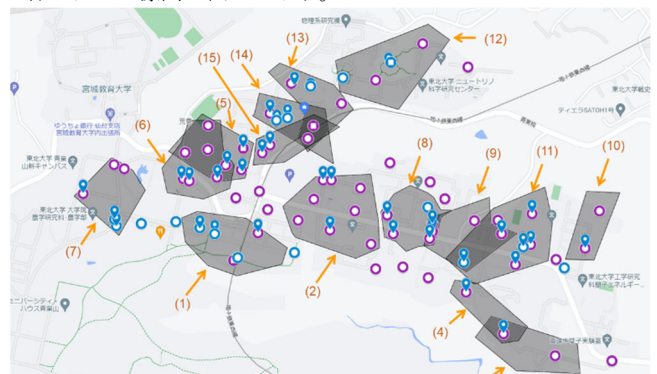


図 3. 標高別に分けたエリアの位置関係
エリア番号を矢印で示した

表1 各エリアの標高 [m]

エリア番号	標高が高い方の高度	標高が低い方の高度
1	150~160	145~150
2	160~165	155~160
3	135~140	130~135
4	145~150	135~140
5	150~155	155~160
6	150~155	155~160
7	155~160	160~165
8	145~150	150~155
9	140~145	145~150
10	145~150	150~155
11	140~145	145~150
12	155~160	150~155
13	145~150	150~155
14	150~155	145~150
15	160~165	150~155

2-2-2 分析2

さらに地質的特徴の違いによる空間線量率の変化を調べた。まず、セシウムが粘土質に固定されやすいことと ¹³⁷Cs は土壌に吸着すると簡単には離れないことが参考文献 [9] と参考文献[6] で報告されている。そのため ¹³⁷Cs を含んだ土壌がその場から運ばれやすいかどうかで分類した。つまり水が地下にしみて吸着しやすい場所（土やタイル）、または水が地下にしみていかず吸着しない場所（アスファルト）に分け、空間線量率を比較した。

また、参考文献 [9] では特定の岩石が放射線量に大きな影響があることが報告されている。そのため石碑などが近くにある場合石の成分によっては空間線量率に大きな影響を与えかねないので分けて分類した。

そして年較差について調査するため、2016年度と2018年度のデータ、2016年度と2022年度、2018年度と2022年度について、地点ごとの空間線量率のうち、より最近のデータを縦軸に古いデータを横軸にして散布図を作成した。さらに見やすくするため、上記の組み合わせの比を縦軸に、2016年度のデータを横軸にとった散布図も作成した。2016年度のデータを基準とすることで、時間が経つにつれて空間線量率がどのように変化するかを確認した。

またこのとき使用した地点番号はMAP上の「グラフ用」というレイヤ内の番号である。

3. 結果と考察

3-1 空間線量率の揺らぎについて

以下の図4から図6は、同じ線源に対して同距離に置いた二つの測定器による空間線量率比較を示す。なにも置かない場合（図4）、放射性物質 ⁴⁰K を含む KCl を主成分とする「やさしお」を置いた場合（図5）、同様に ⁴⁰K を含む KCO₃ を置いた場合（図6）の測定結果を示している、

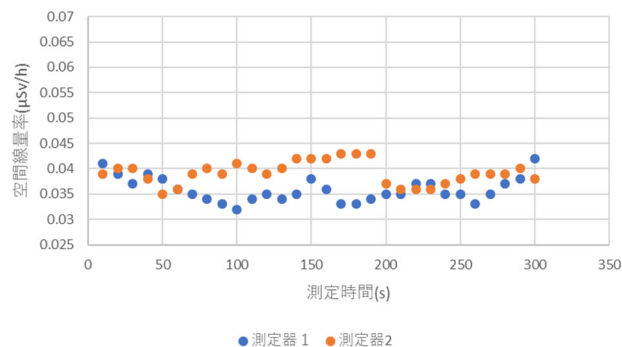


図4 放射線源を置かなかった場合の空間線量

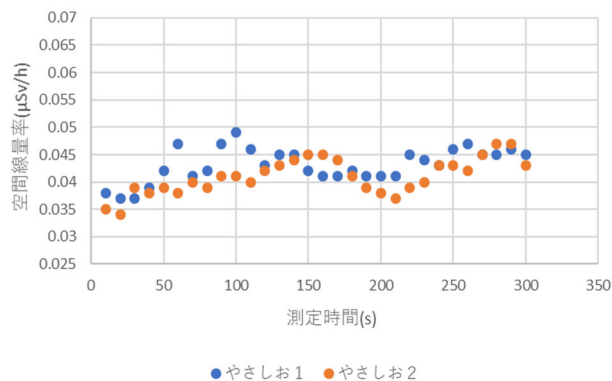


図5 やさしおを置いた場合の空間線量

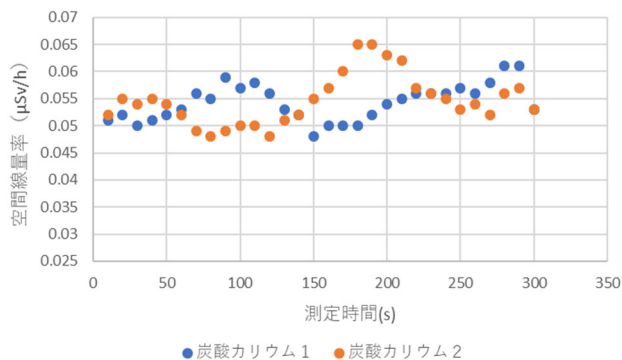


図6 炭酸カリウムを置いた場合の空間線量

三つすべての実験で、異なる環境放射線測定器を用いた結果、その測定値に有意差は見られない場合が多かった。よって、環境放射線測定器の個体差は無視できる範囲内に収まっていると考えられ

る。さらに時間経過によって空間線量率がゆらいでいるため観測時には一定時間観測し続ける必要がある。

3-2 地形的特徴

図3に示したエリアそれぞれにおいて、観測地点の空間線量率の比較を行った。図7から図15の横軸の数値はGoogle Maps(参考文献[8])に載せたマーカーの番号に対応する

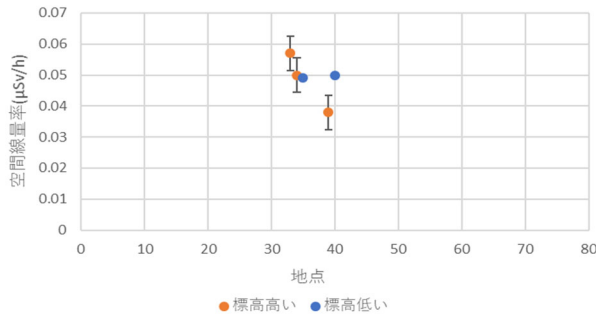


図7 エリア1における観測地点の空間線量率の比較

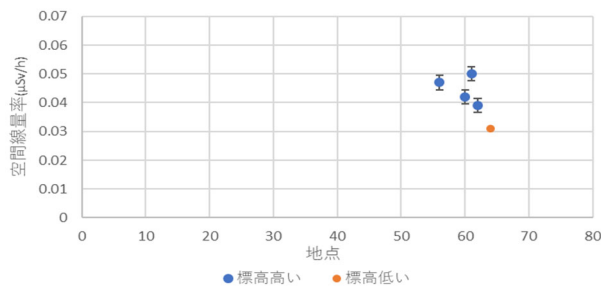


図8 エリア2における観測地点の空間線量率の比較

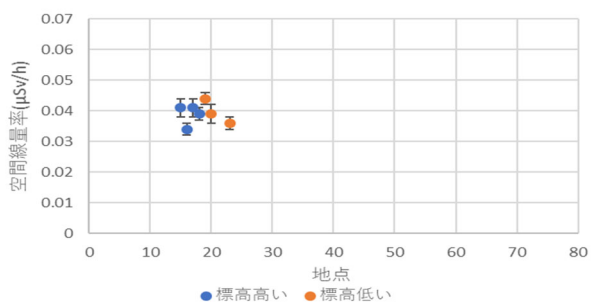


図9 エリア5における観測地点の空間線量率の比較

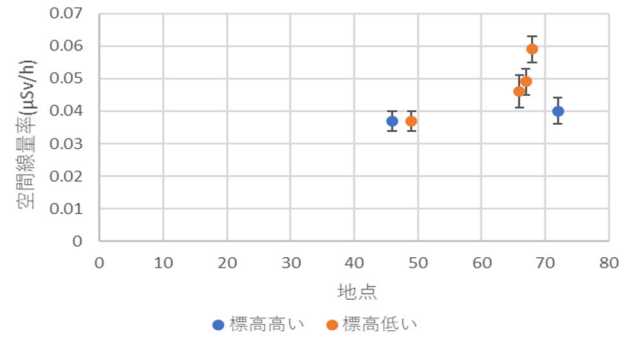


図10 エリア6における観測地点の空間線量率の比較

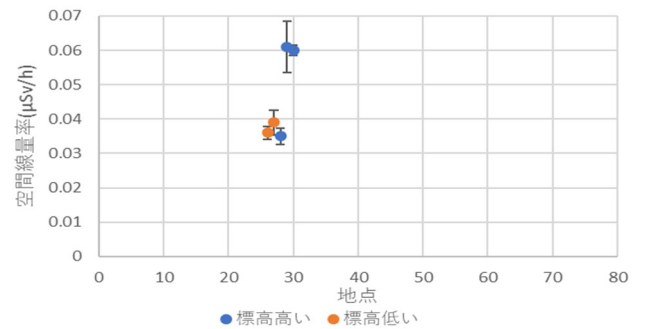


図11 エリア7における観測地点の空間線量率の比較

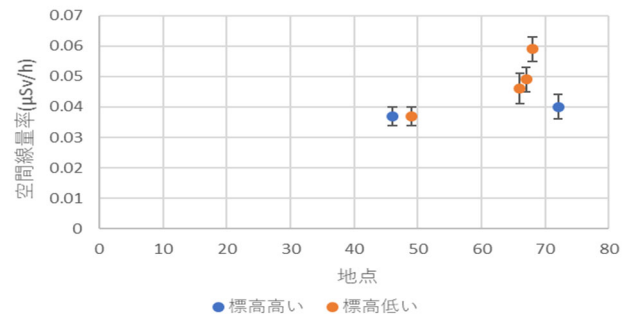


図12 エリア8における観測地点の空間線量率の比較

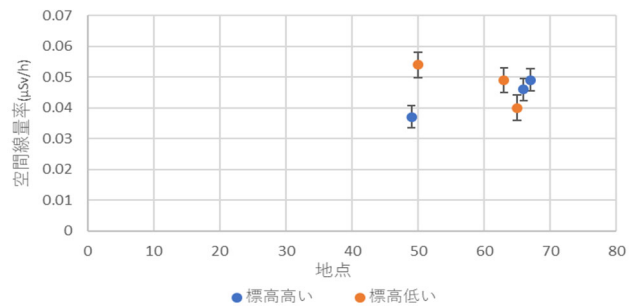


図13 エリア9における観測地点の空間線量率の比較

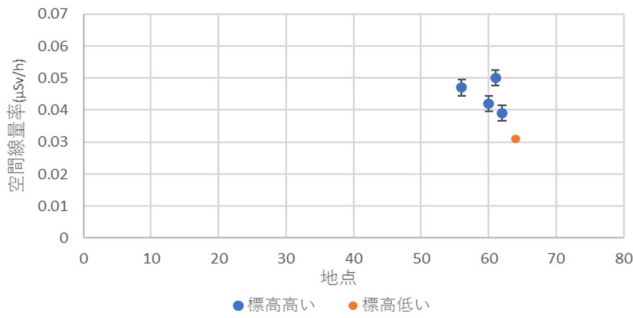


図 14 エリア 11 における観測地点の空間線量率の比較

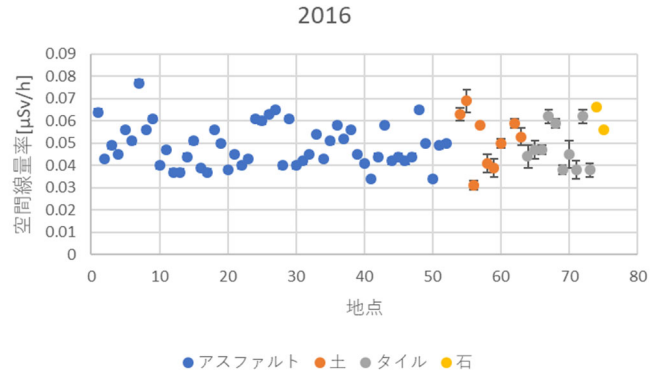


図 16 2016 年における地質ごとに分類した各地点の空間線量率

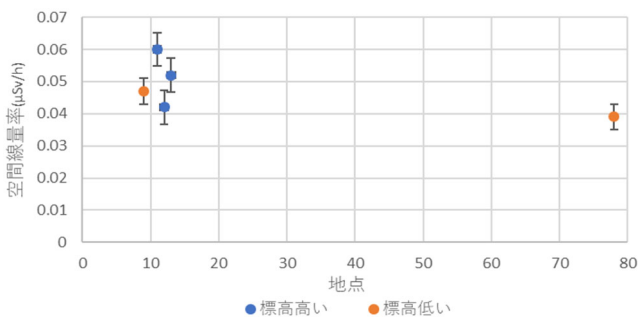


図 15 エリア 14 における観測地点の空間線量率の比較

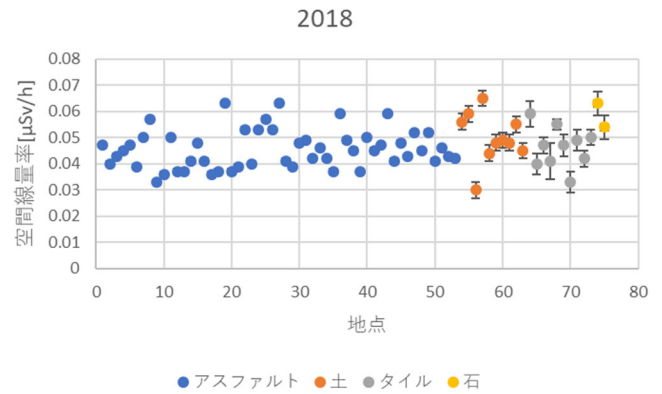


図 17 2018 年における地質ごとに分類した各地点の空間線量率

結果として、15 か所のうち調査した 9 つのエリアのほとんどで標高の違いによる空間線量率の有意差は見られなかった。標高が高いところより低いところの方の空間線量率が高いまたはその逆のように明らかなものはなかった。

その原因としては、地形に標高差があるにしても細かすぎることが考えられる。空間線量率は主に γ 線を測定しており、 γ 線は数十 m ほど飛行するため空間線量率は周囲数十 m 圏内にある放射性物質の量の総和になると考えられる。そのため、地形的特徴は空間線量率の値に大きく影響することはないといえる。

3-3 地質的特徴

実験 2-2 で示した基準で Map 上の地点を分類し、その空間線量率を地点と地質ごとに並べた。また同様のデータが 2016 年度、2018 年度にもとられているので同じ形式のグラフを作成し、分布の傾向を見た。

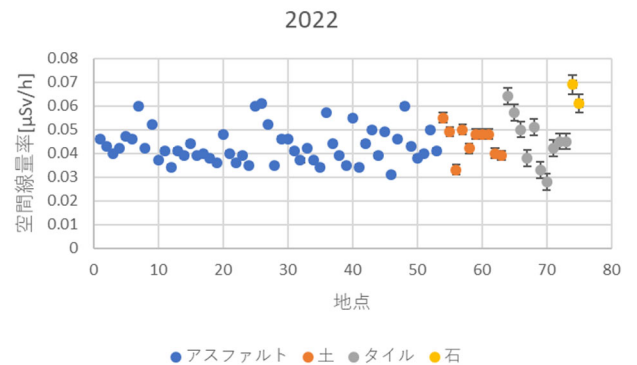


図 18 2022 年における地質ごとに分類した各地点の空間線量率

三回の計測で共通して見られた特徴は主に四つある。

一つ目は石碑などの石が近い地点では空間線量率がほかの地点に比べて高くなっていることである。石に分類した 2 地点は K、U、Th などの含有量がほかの岩石に比べて多い花崗岩と推測される。そのため天然の岩石から放出される γ 線により、空間線量率が高くなっている。このように花崗岩などの岩石が近くにあると地質によらず、空間線量率は高くなるのが分かった。

二つ目は土の地点のうち三年間通じてアスファルトなどに比べて空間線量率が高い場所が複数存在することである。それらの地点では数値が高く出たことから、空間線量率に関与する主な物質の一

つである ^{137}Cs の土壌吸着作用による影響が及ぼされていることが示唆される。しかし地点によっては低い値が出ているものもあった。これは土の成分によって吸着作用が変化することによる可能性が考えられる。

三つ目はアスファルトの空間線量率が散らばって分布していることである。アスファルトの空間線量率はどの年でもおおむね $0.03\sim 0.06\ \mu\text{Sv/h}$ の間に散らばっている。このことから予想と異なり、 ^{137}Cs が雨風で簡単に移動することは空間線量率の変化にそれほど影響していないと考えられる。

四つ目はタイルで空間線量率が低い場合があることである。予想と異なったことについて、当初タイル同士の隙間から下の土壌に ^{137}Cs が移動し固定されると考えていたが、タイルは設置する際モルタルを敷いているため ^{137}Cs が土壌にしみこんでいかないことが分かった。そのため地質的にはアスファルトなどと同様の分類にするのが適切と考えられる。

また地形的特徴の考察でも述べたように、空間線量率は周囲数十 m 圏内にある放射性物質の量の総和になるので周辺の地質によっても影響されている可能性が考えられる。そのため地質を調べる際は周辺の地質も同様の地点を選択して解析していく必要がある。

さらに年較差を調べるため、図 19 から図 21 を作成した。

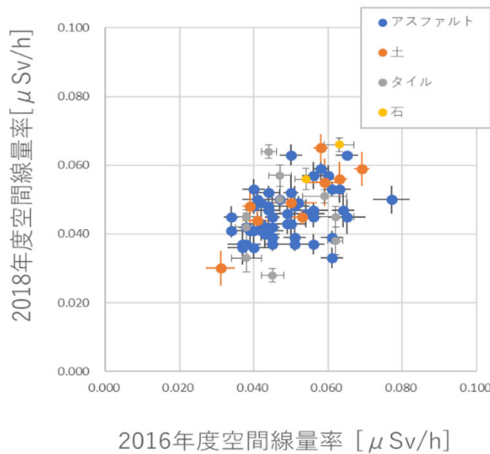


図 19 2016 年度と 2018 年度の地質分類した地点での空間線量率比較

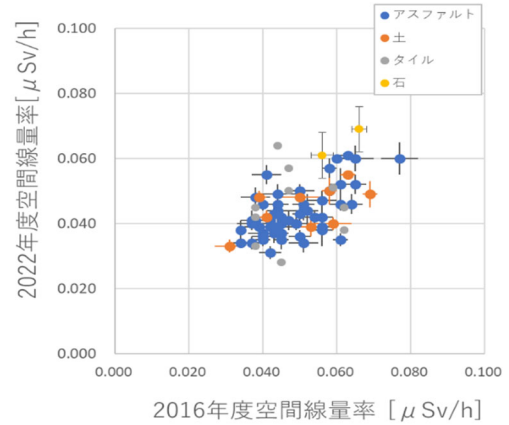


図 20 2016 年度と 2022 年度の地質分類した地点での空間線量率比較

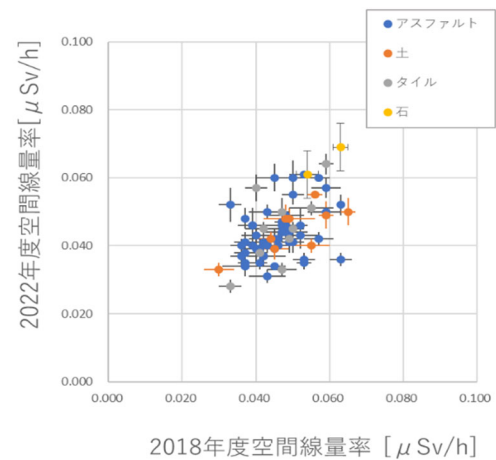


図 21 2018 年度と 2022 年度の地質分類した地点での空間線量率比較

石の地点に着目すると、図 19 から図 21 のすべての場合で大きな変化なく空間線量率が大きな値を保っている。このことから岩石の放出する放射線は地質的特徴によらず空間線量率に大きな影響力を持つことがさらに確認できた。

そして土の地点にも着目すると、すべての場合でアスファルトやタイルの場合に比べて年較差が小さいことが読み取れる。図 16~18 の考察では空間線量率の値が小さく、 ^{137}Cs の吸着作用の影響が小さいとした地点があった。しかし図 19~21 からそのような地点も含めて吸着作用の影響で、地質以外の外的要因の空間線量率への影響が抑えられていることが示唆される。

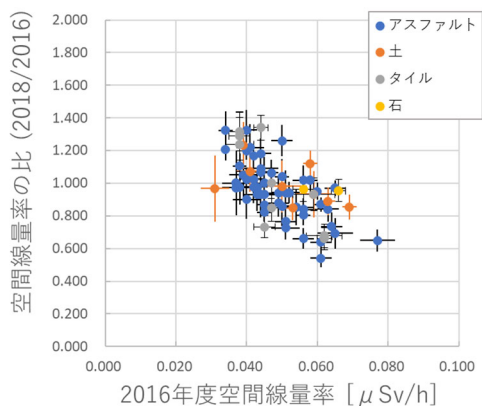


図 22 2016 年度空間線量率と 2018・2016 年度の比の分布

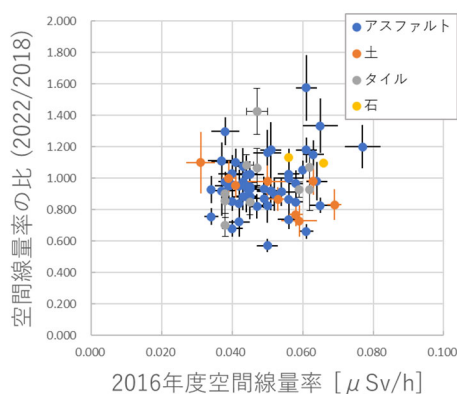


図 23 2016 年度空間線量率と 2022・2018 年度の比の分布

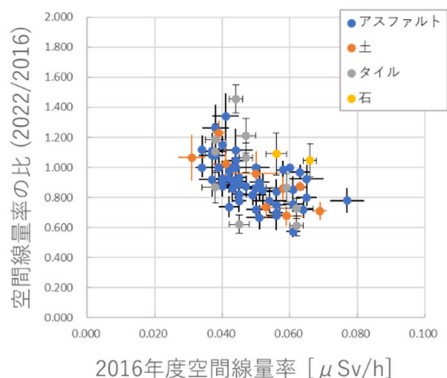


図 24 2016 年度空間線量率と 2022・2016 年度の比の分布

図 22 を見ると、2016 年度の時点で空間線量率が低かった場所は、比が 1 の回りにバラついている。一方、2016 年の時点で空間線量率が高かった場所は、2018・2016 年度空間線量率の比は小さい。つまり、2018 年度の空間線量率の値は 2016 年度に比べて下がっていることが分かる。

図 23 から、2022・2018 年度の空間線量率の比では、全体的に比が 1 の回りに散らばっているように見える。

また図 24 より、2022・2016 年度の空間線量率の比では、2016 年度の時点で空間線量率が低かった場所は、2022・2016 年度の空間線量率の比は大きく、一方で、2016 年度の時点で空間線量率が高かった場所は、2022・2016 年度の空間線量率の比は小さくなっているように見える。

2016、2018、2022 年度の三つの比較から考えると、全体として、2016 年度から 2018 年度に空間線量率が減った場所が多く、2018 年度から 2022 年度には空間線量率の変化は緩やかだったと考えられる。つまり 2016 年度では空間線量率の差が大きかったことが分かった。

4. 結論

本研究ではこれまで明らかになっていた¹³⁷Cs の性質を踏まえて青葉山の空間線量率を地形・地質の観点から調査できた。

標高の変化では、 γ 線の飛距離が長いことから空間線量率は周囲数十 m の放射線物質の影響が総合されて決まるため大きな変化は見られなかった。

また地質の特徴として、アスファルトでは¹³⁷Csを含む土壌による影響は小さく空間線量率は不安定であることが分かった。さらに花崗岩と推定される岩石の近くでは空間線量率が地質によらず高くなり、その影響は今回考慮した要素の中では最も大きいことが分かった。そして土の場合は空間線量率がほかの材料に比べて高く、年較差が小さかった。そのため¹³⁷Csの吸着作用によって空間線量率が大きな影響を受けていることが分かった。

さらに年較差を調べたところ 2016 年度ではほかの年に比べて空間線量率の高い地点と低い地点の差が大きくなっていることが分かった。

そして本研究によって青葉山キャンパスにおける放射線量の現状を確認することができた。さらに複数地点で地形・地質の特徴との関係を調べたので、本研究を放射線についてより身近な観点からの調査にすることができ、放射線に関する理解をより一層深められた。

謝辞

本研究をするにあたって東北大学大学院理学研究科物理学専攻の大学院生のメンターの方々にも大変熱心にご協力していただきました。この場を借りて感謝申し上げます。

本研究は東北大学「科学者の卵養成講座」の支援のもとで実施されました。

参考文献

- [1]復興庁 HP <https://fukushima-updates.reconstruction.go.jp/>
- [2]福島県ウェブページ、過去の放射線モニタリング結果 <https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/16025d/kako-monitoring.html>
- [3]相原竜, 沖野峻也, 川崎三葉. (2017/3/11)「放射線測定の基礎と測定結果の可視化について」 飛翔型科学者の卵養成講座発表会

[4] 秋澤彩乃, 阿部莉子, 金澤青空. (2019/3/9) 「放射線測定の基礎と測定結果の可視化について」探求型科学者の卵養成講座発表会

[5] 日本分析センター. 環境放射線データベース

<https://www.kankyo-hoshano.go.jp/data/database/>

[6] 環境省、環境回復検討会 (第15回), (2015)

<https://www.env.go.jp/jishin/rmp/conf/15.html> 資料2-2 「土壤中の放射性セシウムの挙動に関するレビュー」, pp. 4-5

[7] 環境省. 土壤中の放射性セシウムの分布の状況

<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/h28kisoshiryo/h28kiso-04-04-02.htm>

[8] 測定結果を Google maps のマイマップにまとめた。

2022 年度空間線量率マップ

https://www.google.com/maps/d/u/0/edit?mid=1t4H4xhofAdRyd9LBP4XR8_wQvTF9eM&ll=38.25619291038278%2C140.8368259187984&z=18



[9] 今井登, 岡井貴司 (2014) 自然放射線図「日本の地球化学図」補遺, 産業技術総合研究所地質調査総合センター

[10] 藤野秀樹. (2014) 塩化カリウムを用いた密度測定及び放射線教育への利用について、Isotope News 2014年6月号、日本アイソトープ協会