



| | |
|--------------|---|
| Title | 福島県浜通り地域における空間線量の精密な測定 |
| Author(s) | |
| Citation | 令和6（2024）年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書. 2025 |
| Version Type | VoR |
| URL | https://hdl.handle.net/11094/101288 |
| rights | |
| Note | |

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

令和6年度大阪大学未来基金「学部学生による自主研究奨励事業」研究成果報告書

| | | | | | | | | | |
|---------------------|--|----------|---------------------|----|----|--|--|--|--|
| ふりがな 氏名 | いしかわ さわ 石川 爽 | 学部 学科 | 工学部 応用理工学科 | 学年 | 3年 | | | | |
| ふりがな 共同 研究者氏名 | みむら ゆづは 三村 柚葉 | 学部 学科 | 工学部 環境エネルギー 科 | 学年 | 2年 | | | | |
| | かわむら ゆうや 河村 侑哉 | | 基礎工学部 システム科学科 | | 3年 | | | | |
| アドバイザー教員 氏名 | 住濱 水季 | 所属 | 核物理研究センター | | | | | | |
| 研究課題名 | 福島県浜通り地域における空間線量の精密な測定 | | | | | | | | |
| 研究成果の概要 | 研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。(先行する研究を引用する場合は、「阪大生のためのアカデミックライティング入門」に従い、盗作剽窃にならないように引用部分を明示し文末に参考文献リストをつけること。) | | | | | | | | |

1. 研究に至った経緯・目的

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震、津波に伴って起こった福島第一原子力発電所事故により、広域に放射性物質が放出・拡散された。現在、除染が進み福島第一原子力発電所がある浜通り地域でも避難指示が解除されつつある一方で、未だ帰還困難区域となっている場所も多い。

我々は基盤教養科目[総合]福島での環境放射線実習、アドバンストセミナー福島県飯舘村環境放射線実習内の福島県浜通り地区環境放射線研修に一昨年、昨年に参加した。この研修のプログラムの一つとして福島県飯舘村・大熊町・双葉町で、地上から5cm, 1m地点で空間線量率の測定を行った。その際の測定データより、5cm地点の空間線量率の方が高い場所と1m地点の空間線量率の方が高い場所が存在することが分かった。

そこで我々はそれらの原因はその地点の土壌が未除染、既除染であること、その地点周辺の地形ではないかと考え、どのようなときに地上から5cmもしくは1m地点の空間線量率が高くなるのかを知ることを目的として、調査することにした。また福島県浜通り地区環境放射線研修での測定では測定方法が統一されておらず、その時の測定値のばらつきは測定方法の差によるものという可能性があったため、方法を統一し、多くの精密な測定データを得ることも目的とした。

2.事前シミュレーション

現地での測定を行う前に、放射性物質が地中に一様に分布し、地面は水平に一様に広がっていることを前提として、空間線量率のシミュレーションを行った^[1]。その結果、未除染、既除染に関わらず常に地上から5cm地点の方が1m地点よりも空間線量率は高くなること、未除染区間に囲まれた既除染区間の空間線量率では5cm地点と1m地点の値の差は小さくなるが、1m地点の空間線量率が5cm地点の空間線量率を超えることはないことがわかった。

このシミュレーション結果は実際の福島県浜通り地区環境放射線研修における測定結果と異なり、その原因は放射性物質が地中に一様に分布し、地面は水平に一様に広がっているという前提が実際の大熊町の状況と異なること、測定点付近の環境・地形が空間線量に影響を及ぼしていることだと考えられる。これらの原因を確かめるため、現地での測定を行った。

3.測定方法

ポケットサーベイメータ(HORIBA 社製 Radi¹¹)というヨウ化セシウムのシンチレーション式の γ 線検出器を用いて、 γ 線の空間線量率の測定を行った。いずれの測定においても一つの測定点につき地上から5cm, 1m地点の2回測定した。地上から5cm, 1m地点は測定点ごとの高さのばらつきをなくすために台と高さを固定した三脚に検出器を乗せて測定を行った(図1)。



図1:高さを固定した測定の様子

測定は福島県双葉郡大熊町下野上北向の帰還困難区域内で行った。原発事故以前は田んぼや民家であり、現在除染作業が進められている地区で、未除染、既除染の土壤が両方存在する。全体的に南北にかけて斜面となっており、北側は山である。

以下、具体的な測定方法を順に示す。

3.1 元田んぼ1区画の一辺スキャン

周囲が未除染である既除染の土地の一区画の一辺に等間隔に東から西へ取り(図2矢印部分)、空間線量率を測定した。既除染区間の空間線量率は全て一定となるように除染が行われているのか、未除染区間からの影響を受けるのか、調べることを目的とした。

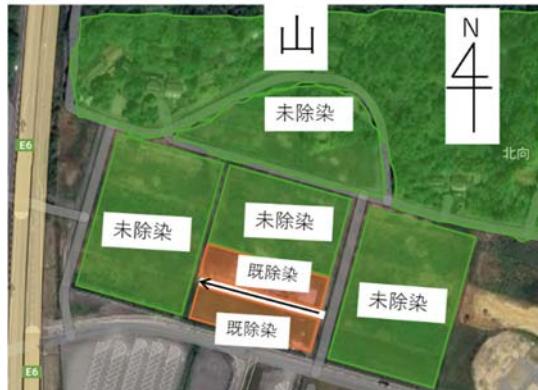


図2:元田んぼ既除染区間の測定点

¹¹ Horiba, Ltd.社製 環境放射線モニタ PA-1000 Radi

CsI(Tl)シンチレーター式 相対指示誤差 $\pm 10\%$ 以内 エネルギー範囲:150 keV~1250 keV

3.2 鉛を用いた遮蔽の方向による遮蔽率の違い

測定点における空間線量率にどの方向から飛んでくる γ 線が影響を与えているのかを調べるため、同じ検出器を2台横に並べ、一方の検出器のみ一方向を鉛(厚さ17mm)で遮蔽し、遮蔽なしの測定値と遮蔽ありの測定値を比較した。2台の検出器は動かさず、鉛の遮蔽位置のみを変え(図3,4)遮蔽位置5か所で行う。残りの1方向は検出器の側面からヨウ化セシウムの結晶までに距離があり、鉛の遮蔽が効果的でないと考えたため行わないことにする。鉛は検出器側面よりも小さいためいづれの遮蔽方向においても、ヨウ化セシウムの結晶が含まれている部分のみを覆う。

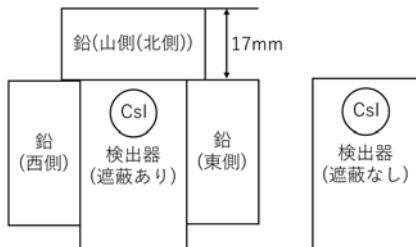


図3: 検出器と鉛の位置関係(平面図)

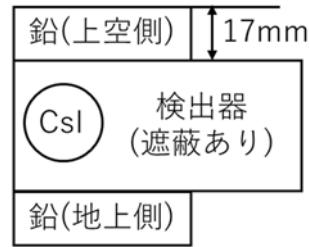


図4: 検出器と鉛の位置関係(側面図)

以上のように既除染区間、未除染区間、既除染区間と未除染区間の間のアスファルト上の3か所(図5)で測定を行う。



図5: 鉛による遮蔽時の測定点

3.3 田んぼの畦道の斜面

元々田んぼだった区間では田んぼ部分が水平で畦道が斜面となっており、斜面付近の(1)~(5)の5点(図6)を測定する。

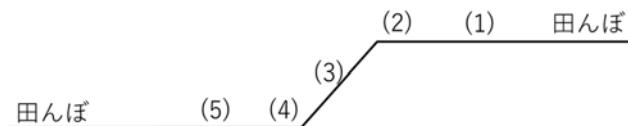


図6: 田んぼの畦道の測定点

既除染区間の畦道の斜面のうち北側、南側がありそれぞれ2か所ずつで測定を行い、それらを北側斜面w,x、南側斜面y,zとする。(図7赤丸部分、矢印の方向に(1)~(5))



図 7:元田んぼの畦道の測定点

4.結果と考察

4.1 未除染、既除染における空間線量率の違い

図 8 に各測定点の地上から 5 cm, 1 m 地点の空間線量率をまとめて示す。青色菱形が既除染区間での測定データ、橙色三角が未除染区間での測定データ、緑色破線は 5 cm, 1 m 地点の空間線量率が一致したときを示す。

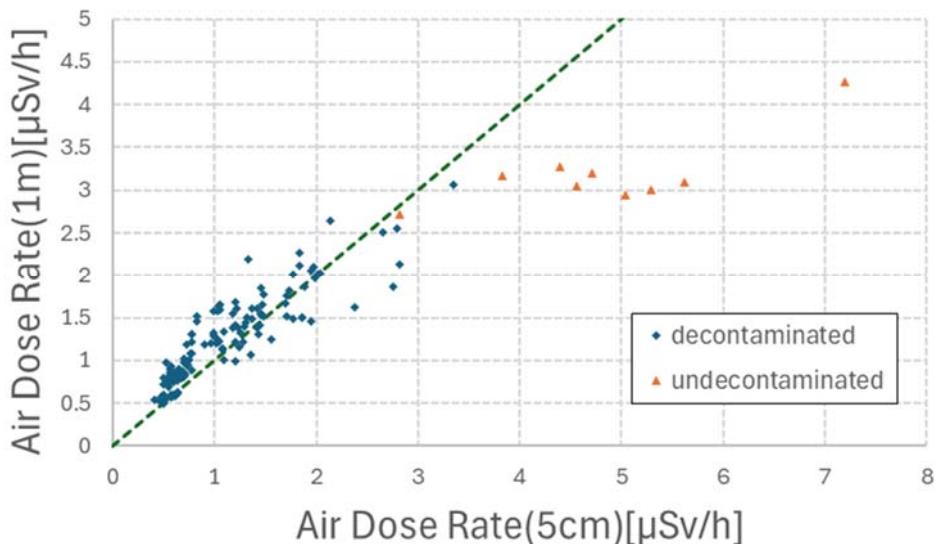


図 8:各測定点における地上から 5 cm, 1 m 地点の空間線量率

図 8 より既除染区間のデータは緑色破線の上側に多く、未除染区間のデータはすべて緑色破線の下にある。よって同じ測定点の 5cm, 1m 地点の空間線量率を比較すると既除染区間では 1 m 地点、未除染区間では 5 cm 地点が高い傾向があることが分かった。

本研究の実測値とシミュレーション結果が異なる理由としてシミュレーションにおいて地面は水平に一様に広がっていることを前提としていたが、本研究の測定点では既除染の区画を未除染の区画

が囲むように位置していること、全体的に南から北にかけて標高が上がっており、既除染区間の上部に未除染区間があることのように、2節でも記述した地形の関連性が考えられる。既除染区間の空間線量率は真下の地中に放射性物質が少ないため地上側からよりも上部の未除染区間由来の山、上空側からの γ 線の影響を強く受けたと考えることができる。一方で、未除染区間の空間線量率は真下の地中の放射性物質が多いため地上側からの γ 線の影響を強く受けたと考えることができる。

4.2 元田んぼ1区画の一辺スキャン

11月1日、11月6日に各々1回、既除染区間の一辺を東から西へ等間隔に測定した結果を図9に示す。11月1日の地上から5cm地点の空間線量率を青色曲線、1m地点の空間線量率を橙色曲線、11月6日の地上から5cm地点の空間線量率を緑色破線、1m地点の空間線量率を水色破線で示す。

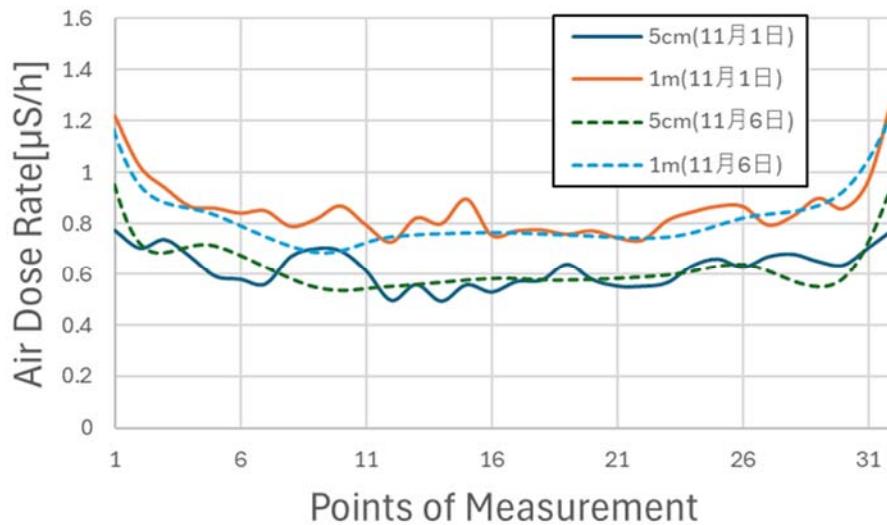


図9: 元田んぼ既除染区画の一辺スキャン

既除染区間の両端の空間線量率が高いことは測定した既除染の区画の東側、西側が共に未除染区間であることが原因であると考えられる。

また11月1日測定と11月6日測定で測定点の個数が異なるため多少のばらつきは見られるものの、似た傾向を示している。測定前は11月1日は測定地付近で除染作業が行われていたため、土埃が舞っていてそれに伴い土壤に含まれる放射性物質も空気中に多く存在しているのではないか、11月1日から11月6日の間に何度か雨が降ったため、空気中に舞っていた放射性物質を含む土埃が雨とともに全て地上に落ちたのではないか、と考えていた。しかし11月1,6日の測定結果が一致したことから、測定点が同じであれば日時・天候に依らず同様の空間線量率を測定することができる事が分かった。

4.3 鉛を用いた遮蔽の方向による遮蔽率の違い

鉛を用いて1方向を遮蔽した測定データと遮蔽を行っていない測定データにおいて以下の式(1),(2)を用いて遮蔽率(A),(B)を算出した。

$$\text{遮蔽率(A)} = 1 - \frac{\text{遮蔽ありの空間線量率}}{\text{遮蔽なしの空間線量率}} \quad (1)$$

$$\text{遮蔽率(B)} = 1.25 \times \text{遮蔽率(A)} \quad (2)$$

600 keV の γ 線に対する鉛の全質量減衰係数は $1.2480 \times 10^{-1} \text{cm}^3/g^{[2]}$ であり、鉛の密度が $1.135 \times 10^1 \text{g/cm}^2$ であることを用いて、

$$\frac{1}{1.2480 \times 10^{-1} \times 1.135 \times 10^1} \approx 7.060 \times 10^{-1} [\text{cm}] \quad (3)$$

よって厚さ 7.060 mm の鉛の板で遮蔽することで検出される γ 線の量は $\frac{1}{e} \approx 36.79\%$ まで減少することがわかる。つまり遮蔽率は 63.21% である。本研究において用いた鉛は 17mm であるため、上記の遮蔽率よりも少し高い 80%と仮定して、検出される γ 線の量は 20%まで減少する。つまり遮蔽率 B は全方向からの γ 線の量を 1としたときの、遮蔽方向から飛んでくる γ 線の量の割合を示している。

既除染区間の 5 cm, 1 m 地点における遮蔽率を表 1,2、未除染区間の 5 cm, 1 m 地点における遮蔽率を表 3,4、アスファルトの 5 cm, 1 m 地点における遮蔽率を表 5,6 にまとめて示す。

表 1:既除染区間の 5 cm 地点における遮蔽率

| 遮蔽位置 | 遮蔽あり [$\mu \text{Sv}/\text{h}$] | 遮蔽なし [$\mu \text{Sv}/\text{h}$] | 遮蔽率(A) | 遮蔽率(B) |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|
| 遮蔽無し | 1.081 | 1.078 | | |
| 山側(北側) | 0.888 | 1.080 | 17.8% | 22.2% |
| 地上側 | 0.744 | 1.080 | 31.1% | 38.9% |
| 上空側 | 0.878 | 1.076 | 18.4% | 23.0% |
| 西側 | 0.969 | 1.048 | 7.5% | 9.4% |
| 東側 | 0.968 | 1.069 | 9.4% | 11.8% |

表 2:既除染区間の 1 m 地点における遮蔽率

| 遮蔽位置 | 遮蔽あり [$\mu \text{Sv}/\text{h}$] | 遮蔽なし [$\mu \text{Sv}/\text{h}$] | 遮蔽率(A) | 遮蔽率(B) |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|
| 遮蔽無し | 1.232 | 1.245 | | |
| 山側(北側) | 1.076 | 1.222 | 11.9% | 14.9% |
| 地上側 | 1.029 | 1.198 | 14.1% | 17.6% |
| 上空側 | 1.090 | 1.250 | 12.8% | 16.0% |
| 西側 | 1.251 | 1.242 | -0.7% | -0.9% |
| 東側 | 1.167 | 1.267 | 7.9% | 9.9% |

表 3:未除染区間の 5 cm 地点における遮蔽率

| 遮蔽位置 | 遮蔽あり [$\mu \text{Sv}/\text{h}$] | 遮蔽なし [$\mu \text{Sv}/\text{h}$] | 遮蔽率(A) | 遮蔽率(B) |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|
| 遮蔽無し | 2.419 | 2.414 | | |
| 山側(北側) | 2.000 | 2.461 | 18.7% | 23.4% |
| 地上側 | 2.053 | 2.443 | 16.0% | 20.0% |
| 上空側 | 1.994 | 2.457 | 18.8% | 23.6% |
| 西側 | 2.235 | 2.383 | 6.2% | 7.8% |
| 東側 | 2.170 | 2.415 | 10.1% | 12.7% |

表 4:未除染区間の 1 m 地点における遮蔽率

| 遮蔽位置 | 遮蔽あり [$\mu \text{Sv}/\text{h}$] | 遮蔽なし [$\mu \text{Sv}/\text{h}$] | 遮蔽率(A) | 遮蔽率(B) |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|
| 遮蔽無し | 3.020 | 2.909 | | |
| 山側(北側) | 2.631 | 2.873 | 8.4% | 10.5% |
| 地上側 | 2.724 | 2.928 | 7.0% | 8.7% |
| 上空側 | 2.266 | 2.911 | 22.2% | 27.7% |
| 西側 | 2.816 | 2.892 | 2.6% | 3.3% |
| 東側 | 2.699 | 2.841 | 5.0% | 6.2% |

表 5:アスファルト 5 cm 地点における遮蔽率

| 遮蔽位置 | 遮蔽あり [$\mu \text{Sv}/\text{h}$] | 遮蔽なし [$\mu \text{Sv}/\text{h}$] | 遮蔽率(A) | 遮蔽率(B) |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|
| 遮蔽無し | 1.092 | 1.01 | | |
| 山側(北側) | 0.947 | 0.989 | 4.2% | 5.3% |
| 地上側 | 0.818 | 0.984 | 16.9% | 21.1% |
| 上空側 | 0.976 | 0.97 | -0.6% | -0.8% |
| 西側 | 0.944 | 0.987 | 4.4% | 5.4% |
| 東側 | 0.937 | 0.968 | 3.2% | 4.0% |

表 6:アスファルト 1 m 地点における遮蔽率

| 遮蔽位置 | 遮蔽あり [$\mu \text{Sv}/\text{h}$] | 遮蔽なし [$\mu \text{Sv}/\text{h}$] | 遮蔽率(A) | 遮蔽率(B) |
|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|--------|--------|
| 遮蔽無し | 1.739 | 1.699 | | |
| 山側(北側) | 1.341 | 1.663 | 19.4% | 24.2% |
| 地上側 | 1.496 | 1.616 | 7.4% | 9.3% |
| 上空側 | 1.443 | 1.69 | 14.6% | 18.3% |
| 西側 | 1.625 | 1.675 | 3.0% | 3.7% |
| 東側 | 1.579 | 1.623 | 2.7% | 3.4% |

検出器自体の誤差が $\pm 10\%$ であることを考慮した上で、既除染区間では地上から 5 cm 地点で地上側からの γ 線が多く、1 m 地点では地上側はもちろん、山側、上空側からの γ 線も多かった。未除染区間では地上から 5 cm 地点では地上、山、上空側からの、1 m 地点では上空側からの γ 線が多かった。

未・既除染区間の間の土地では 5 cm 地点で地上側からの、1 m 地点では山側、上空側からの γ 線が多かった。西、東側からの γ 線は全ての測定点において少なかった。

5 方向の遮蔽率②の合計と本研究で測定しなかった南側からの γ 線を考慮すると、100 %となるはずだと考えたが、未・既除染区間の 5 cm 地点を除いたすべての測定点でそうならなかった。その原因として、鉛を設置するときに台の上ではかなり不安定であったため、位置によっては十分に遮蔽ができていなかったことが考えられる。

4.4 田んぼの畦道の斜面

南側斜面 w,x の測定結果を図 10,11 に北側斜面 y,z の測定結果を図 12,13 に示す。

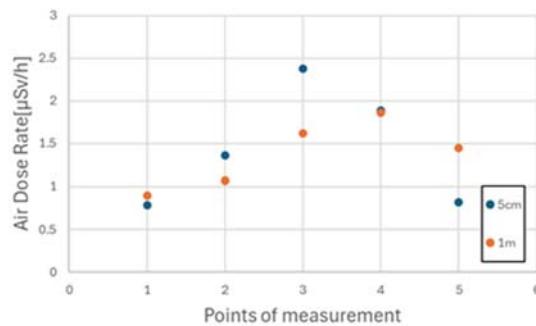


図 10:南側斜面 w の空間線量率

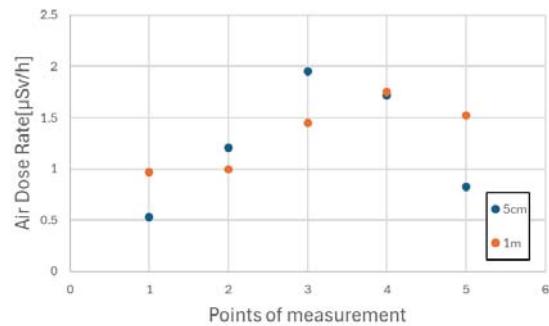


図 11:南側斜面 x の空間線量率

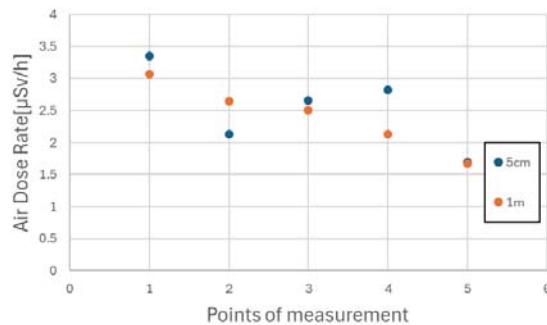


図 12:北側斜面 y の空間線量率

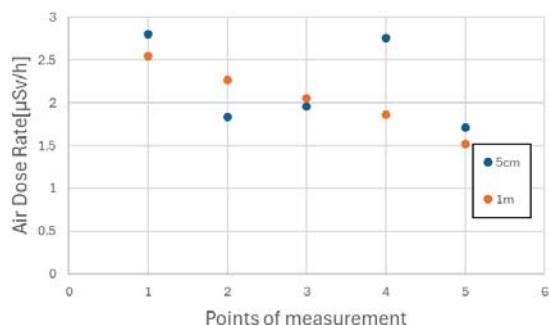


図 13:北側斜面 z の空間線量率

南側、北側の 2 か所の測定結果はほぼ同様の結果となったことから、一区画の斜面一体が同様の状態であることがわかる。

南側は(3)のみが 5 cm 地点の方が高く、それ以外の測定点では 1 m 地点の方が高い。これは測定点(1)~(5)全て除染済みであるものの、斜面部分は表層をはぎ取った後新たに土をかぶせていないため、地中の放射性物質が空間線量率に強く影響を与えていたと考えられる。北側は(1),(2)が未除染、(3)~(5)が既除染であったため、(1)~(5)にかけて空間線量率が減少していくことが 1 m 地点では確認できた。5 cm 地点において単調に減少していない原因として、除染後の地中の放射性物質がまだらであったのではないかと考えられる。

5. 結論

本研究において大熊町の帰還困難区域で既、未除染区間で地上から 5 cm, 1 m 地点の空間線量率をそれぞれ測定し、既除染区間では 1 m 地点、未除染区間では 5 cm 地点の方が高い傾向があることが分かった。検出器で測定される γ 線は地上から飛んでくるものが多いが、地上から 1 m 地点では上空側や山側(北側)からのものも多いことが分かった。また既除染区間でも畦道、その周辺は空間線量率が高く、既除染区間の中でも空間線量率にばらつきがあった。

6. 今後の展望

鉛で一方向を遮蔽しての測定を、検出器ごと方向を変えることで今回測定しなかった南側も測定できるようにし、6 方向から飛んでくる γ 線の量について解析を行い、本研究より正確に山、上空側から飛んでくる γ 線の量と地上側から飛んでくる γ 線の量について比較を行いたい。

既除染区間のうち 5 cm 地点において空間線量率が高かった測定点の真下の土壤の放射能濃度を調べて、1 m 地点において空間線量率が高かった測定点と比較したい。

7. 謝辞

本研究を進めるにあたり、調査場所を提供していただきました大熊町には心よりお礼申し上げます。また大熊町役場の東裕行様には町民の方との調整をしていただき誠に感謝しております。さらにアドバイザー教員を引き受けてくださった核物理研究センターの住濱水季特任准教授、測定解析についてご指導いただいた核物理研究センターの青井考教授、大熊町で事前準備、測定にご協力いただいた大阪大学福島拠点の谷川弘晃様・谷川美紀様、研究計画や測定にご協力いただいた工学部4年北川有さん、その他にも福島県浜通り地区環境放射線研修に関わっていらっしゃる先生方など非常に多くの方にご協力いただき、本当にありがとうございました。

8. 参考文献

[1]藤原隆夫, 空間線量率の計算

https://fujiwaratko.sakura.ne.jp/nuclear/air_dose.html (2024/12/13)

[2]公益社団法人日本アイソトープ協会, アイソトープ手帳, 12 版 2 刷 (2022)²