

大山測定所における積雪深と空間 γ 線線量率との関係について

近藤 博文 兼田 裕次郎 上田 郁夫

Relationship between Depth of Snow and γ -Ray Dose Rate at Ohyama Monitoring Station

Hirofumi KONDOH Yujiro KANEDA Ikuo UEDA

要 旨

降雨及び降雪があった際に、空間 γ 線線量率が一時的に上昇することは良く知られている。降雨または降雪が多量であった場合には、地表面に滞留した水分によって地殻から放出される γ 線を遮蔽することによる線量率の一時的な減少がみられる。また、積雪があった場合には遮蔽の影響が長期にわたる場合もある。京都府北部地域は日本海側に面し冬季にまとまった降雪となる場合があることから、環境放射線監視を行っている大山測定所には積雪深計を設置している。また、大山測定所には、測定の実験を目的として、測定所の屋上に設置した線量率計（線量率計（4 m））に加えて、地表1 mに可搬型モニタリングポスト（線量率計（1 m））を設置し空間 γ 線線量率を測定していることから、これらのデータを解析し、近接地点の異なる高さの空間 γ 線線量率と積雪深の関係について検討した。線量率計（4 m）と線量率計（1 m）の線量率の差は、積雪深が大きくなるほど、大きくなる傾向を示し、融雪により積雪深が小さくなるにつれて線量率の差は小さくなった。また、同じ積雪深の場合、線量率計（4 m）と比較して線量率計（1 m）の測定値が低くなった。これは、高いところに設置した線量率計（4 m）は低いところに設置した線量率計（1 m）に比べて、より広い地表面からの γ 線の影響を受けていることや遮蔽物による影響によるものと考えられた。また、測定結果をもとに大山測定所における地表からの γ 線線量率及び大気中の γ 線線量率を算出したところ、それぞれ14~18 nGy/h、13~17 nGy/hとなった。

キーワード：積雪深、空間 γ 線線量率、遮蔽効果Keywords：Depth of snow, γ -Ray dose rate, Shielding effect

はじめに

降雨及び降雪があった際に、空間 γ 線線量率が一時的に上昇することは良く知られている。これは大気中を浮遊しているラドン子孫核種が雨滴または雪とともに地表面に降下することによって一時的に空間 γ 線線量率が上昇するウオッシュアウトと、降雨または降雪をもたらす雲が生成される段階でラドン及びラドン子孫核種を上昇気流によって取り込まれ、雨滴そのものにラドン子孫核種等が含まれた状態で降下することによって一時的に空間 γ 線線量率が上昇するレインアウトの二つの現象によるものとされ、通常の降雨ではレインアウトが支配的と考えられている¹⁾。

降雨または降雪が多量であった場合には、地表面に滞留した水分によって地殻から放出される γ 線を遮蔽することによる線量率の一時的な減少がみられる。また、積雪があった場合には遮蔽の影響が長期にわたる場合もある。積雪による遮蔽効果については先行事例がある²⁻⁴⁾。しかしながら、計測値の誤差や積雪密度の不均一性、計測場所が理論上のように無限平面でないなど評価が難しい面がある。

京都府北部地域は日本海に面し冬季にまとまった降雪となる場合があることから、環境放射線監視を行っている大山測定所には積雪深計を設置している。また、大山測定所には、測定の実験を目的として、測定所の屋上に設置した線量率

計に加えて、地表1 mに可搬型モニタリングポストを設置し空間 γ 線線量率を測定していることから、これらのデータの解析を行い、近接地点の異なる高さの空間 γ 線線量率と積雪深の関係について検討したので報告する。

材料と方法

1. 測定装置等

大山測定所（舞鶴市大山中田241の3）に設置した以下の装置により測定したデータを用いて検討を行った。空間 γ 線線量率計には地上高さ約3.7 mに設置した屋外固定式3" ϕ \times 3"エネルギー補償型NaI (TI) シンチレーション測定装置（線量率計（4 m））及び地上高さ1 mに設置した可搬型モニタリングポスト2" ϕ \times 2"NaI (TI) シンチレーション測定装置（線量率計（1 m））を用いた。また、電極面短絡電流方式感雨計及びレーザー反射方式積雪深計を用いた。測定期間は2021年12月から2022年3月とした。

2. 1時間値の算出

各測定装置により得られた10分値から1時間値を求めた。空間 γ 線線量率及び積雪深については10分値の算術平均により求めた。感雨の有無は全ての10分値が0の場合を感雨なしとし、それ以外の場合は感雨ありとした。

結果及び考察

1. 測定期間の概況

高浜発電所及び大飯発電所環境影響監視結果(令和3年度)(<https://www.pref.kyoto.jp/shingikai/kankyoka-04/documents/3nenpo.pdf>)によると、測定期間である2021年12月から2022年3月の期間の空間γ線線量率の月間平均値は30~32 nGy/h、月間最大値は59~78 nGy/h、月間最小値は22~27 nGy/hでそれぞれ推移した。なお、2021年4月から2022年3月の期間の最大値は121 nGy/h(2021年11月)、平均値は32 nGy/h、最小値は22 nGy/h(2022年2月)となっていた。

藤波ら⁵⁾は、日本の気候区分ごとの空間線量率の年間最大値の月別出現頻度を比較し、日本海側の冬季において最大線量率の出現頻度で、2月が11月から1月に比べて少ないことを示し、その要因について厳冬期である2月は根雪によって地表からの放射線が遮蔽され、空間線量率のレベルが低下しているため、降雪雨による上昇分が一部相殺され、最大線量率に到達できないことが影響している可能性を指摘しており、今回の測定期間も同様の傾向を示しているものと考えられた。

2. 測定装置による差異について

図1に線量率計(1m)と線量率計(4m)との測定値(1時間値)の関係を示す。いずれもNaI(Tl)シンチレーション測定装置であることから高い相関性がみられ、両者による測定値の差異は小さいものと考えられた。しかしながら、線量率計(1m)の測定値は線量率計(4m)の測定値と比較すると低くなるが多かった。これは、線量率計(1m)を測定所の建屋の近くに設置したことにより、建屋により地表からのγ線が遮蔽されたことが大きな要因と考えられた。また、線量率計(1m)は、温度制御機能を有していない可搬型モニタリングポストであることや設置高さの違いにより地表からのγ線の影響の受け方に違いが生じたことも要因と

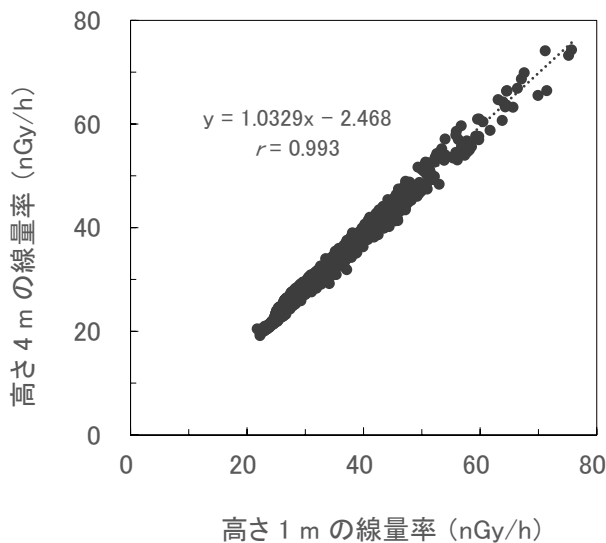


図1. 高さ1mに設置した線量率計と高さ4mに設置した線量率計の同時測定時の1時間値の関係

考えられた。

3. 2021年12月の積雪イベントについて

京都府の気象(令和3年12月)(https://www.jma-net.go.jp/kyoto/2_data/publications/doc_kishou/kyoto-kisho-202112.pdf)によると、12月の後半は、冬型の気圧配置の影響で山地を中心に曇りや雪または雨の日が多く、26日から27日にかけて、上空に強い寒気が流れ込み冬型の気圧配置が強まった影響で、舞鶴では降雪の深さの日合計と月最深積雪が、いずれも統計開始以来12月としての第1位を更新した。

図2に2021年12月の空間γ線線量率と積雪の経時変化を示す。上旬は、降雨のない場合、空間γ線線量率は概ね30 nGy/h程度で推移し、降雨の影響を受けた場合は、急激な空間γ線線量率の上昇がみられた。12月17日の夜半から翌日にかけて積雪があり、一時的に80 nGy/h程度まで空間γ線線量率が上昇した。また、12月25日から降雪があり12月27日にかけて60 cm程度のまとまった積雪となった。この間、空間γ線線量率は、はじめ上昇したのち、徐々に減少し20 nGy/h程度まで減少した。また、融雪により積雪深が小さくなるにつれて徐々に空間γ線線量率が増加した。

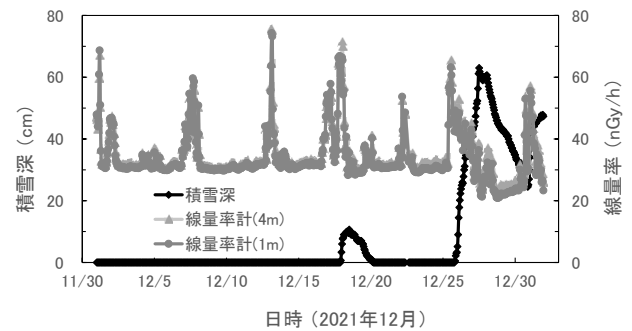


図2. 2021年12月の積雪深と空間γ線線量率(1時間値)の経時変化

4. 2022年2月の積雪イベントについて

京都府の気象(令和4年2月)(https://www.data.jma.go.jp/kyoto/2_data/publications/doc_kishou/kyoto-kisho-202202.pdf)によると、2022年の2月5日から6日にかけて強い冬型の気圧配置の影響で京都府北部では大雪となったところがあり、大山測定所付近も大雪となった。

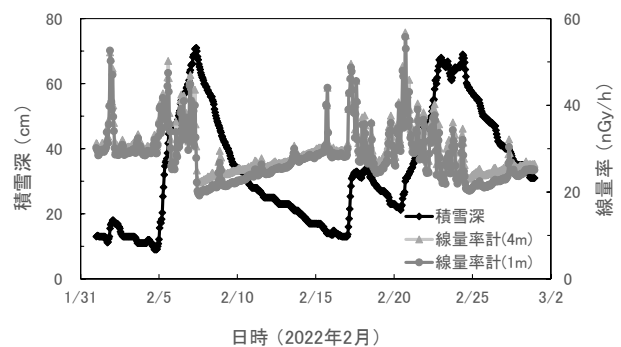


図3. 2022年2月の積雪深と空間γ線線量率(1時間値)の経時変化

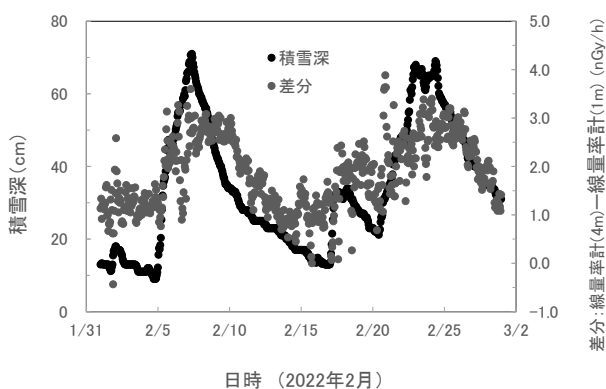


図4. 2022年2月の積雪深と線量率計(1m)と線量率計(4m)の測定値(1時間値)の差分の経時変化

図3に2022年2月の空間γ線線量率と積雪の経時変化を示す。2月5日から7日にかけて、先の降雪が10 cm程度の根雪として残った上に降雪があり、2月7日には71 cmの積雪となった。この間、空間γ線線量率は2月7日に急激に低下し、線量率計(1m)では20 nGy/hを下回る程度まで低下した。

2月20日から再び降雪により積雪量が増加し2月24日には69 cmとなった。この間、空間γ線線量率は増減を繰り返しながら徐々に減少を続け、線量率計(4m)と線量率計(1m)の線量率の差は、積雪深が大きくなるほど、大きくなる傾向を示し、融雪により積雪深が小さくなるにつれて差は小さくなった。

図4に2月における積雪深と線量率計(1m)と線量率計(4m)の測定値の差分の経時変化を示す。線量率計(4m)と線量率計(1m)の線量率の差は、積雪深が大きくなるほど、大きくなる傾向を示し、融雪により積雪深が小さくなるにつれて線量率の差は小さくなり、両者の差分は積雪深の増減に伴い増減する傾向がみられた。

5. 積雪深と空間γ線線量率の関係

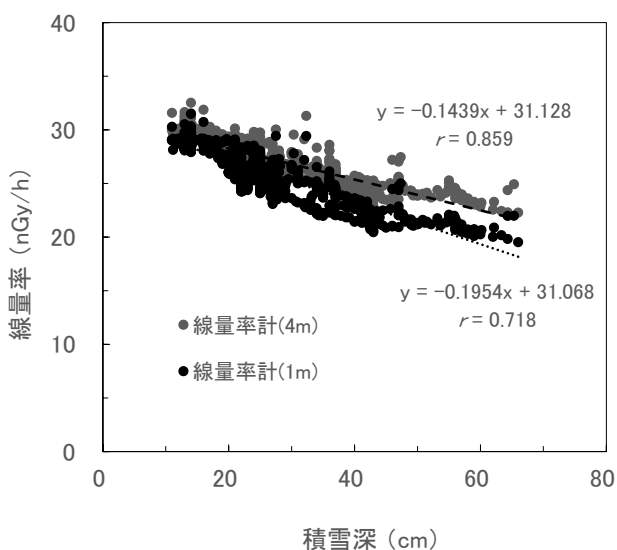


図5. 感雨なし、積雪深10 cm以上の場合の積雪深と線量率計(1m)と線量率計(4m)の測定値(1時間値)の関係

図5に感雨なし、積雪深10 cm以上の場合の積雪深と空間γ線線量率との関係を示す。いずれの高さにおいても積雪深と空間γ線線量率の間には負の相関関係がみられ、同じ積雪深の場合、線量率計(4m)と比較して線量率計(1m)の測定値が低くなった。また、近似式を求めると線量率計(4m)と比較して線量率計(1m)の傾きが大きくなったことから線量率計(1m)のほうが積雪の影響を受けやすいものと考えられた。これは、高いところに設置した線量率計(4m)は低いところに設置した線量率計(1m)に比べて、より広い範囲の地表面からγ線の影響を受けていることや遮蔽物による影響によるものと考えられた。また、いずれの近似式も切片の値が31程度となり、積雪深が0 cmの場合、空間線量率は31 nGy/h程度になるものと考えられ、図2に示した実測の結果とも一致する。

今回の測定において、線量率計(1m)において積雪深が60 cmを超過すると減少傾向が鈍化しており、そのときの空間γ線線量率は20 nGy/h程度となった。小川ら⁶⁾は、高さ4 mの空間γ線線量率と積雪深の関係調べ、負の相関性がみられること、積雪深が約1.5 m以上になると空間γ線線量率は15~20 nGy/hとなり減少はほとんどみられなくなると報告しており、高さ1 mにおいては積雪深60 cm程度で同様の傾向がみられたものと考えられる。

6. 地表からのγ線線量率と大気中のγ線線量率の算出

空間γ線が地表からのγ線と大気中のγ線のみであると仮定すると、積雪時において、地表からのγ線が積雪通過後に示す線量率の割合(通過率)と空間γ線線量率との間には $\gamma_1 = \text{通過率} \times a + \beta$ (γ_1 : 積雪時の空間γ線線量率、 a : 地表からのγ線線量率、 β : 大気中のγ線線量率)の関係式が得られる。また、積雪深0 cmの場合の空間γ線線量率を図5の近似式から31.1 nGy/hと仮定すると、 a と β には $a + \beta = 31.1$ の関係が成り立ち、 β は31.1から a を差し引いた値となる。

藤元²⁾は、測定高さ1 mにおける通過率を計算により求めている。例えば、積雪深60 cmの場合には、積雪密度(g/cm^3)が0.25及び0.4のときの通過率(%)はそれぞれ33及び19となり、積雪深70 cmの場合には、積雪密度(g/cm^3)が0.25及び0.4のときの通過率(%)はそれぞれ28及び15と求めている。

今回の測定期間において、線量率計(1m)の空間γ線線量率の最小値は19.2 nGy/hであり、そのときの積雪深は65.2 cmであった。積雪の密度は測定していないことから、積雪深を60又は70 cm、積雪密度を0.25又は0.4 g/cm^3 と仮定し、上述の式の γ_1 に19.2を、 β に31.1- a を、透過率に0.15又は0.33をそれぞれ代入し、 a を求めると14.0又は17.8となり、そのときの β は17.1又は13.3となる。

以上のことから、大山測定所における高さ1 mの空間γ線線量率は31 nGy/h程度であり、そのうち、地表からのγ線線量率は14~18 nGy/h、大気中のγ線線量率は13~17 nGy/hと考えられた。

引用文献

- 1) Naoto Fujinami. 2009. Study of Radon Progeny Distribution and Radiation Dose Rate in the Atmosphere. *Jpn. J. Health Phys.*, 44, 89-94.
- 2) 藤元憲三. 1986. 大地からの γ 線に対する雪の遮蔽効果. *保健物理*, 21, 3-8.
- 3) 長岡鋭, 坂本隆一, 斎藤公明, 堤正博, 森内茂. 1988. 積雪による地殻 γ 線線量率の減衰. *保健物理*, 23, 309-315.
- 4) 長岡鋭, 坂本隆一, 堤正博, 斎藤公明, 森内茂. 1992. 積雪による地殻 γ 線線量率の減衰(II). *保健物理*, 27, 113-121.
- 5) 藤波直人, 渡辺哲也, 前田高志, 荒木智徳, 山川和彦. 2005. 日本の気候区別空間線量率の年間最大値の月別出現頻度. *RADIOISOTOPES*, 54, 569-573.
- 6) 小川登, 片岡敏夫, 森上嘉亮, 畑陽介, 清水光郎. 2014. 赤和瀬観測局の降雪量等の経年変化及び積雪深と空間 γ 線線量率の関係について. *岡山県環境保健センター年報*, 38, 35-38.