

香川県環境保健研究センターでの空間放射線量の微小変動の解析

Analysis of Small Variations in the Air Radiation Dose Rate at the Kagawa Prefectural
Research Institute for Environmental Sciences and Public Health

森 好平 勝間 孝
Kohei Mori Takashi KATSUMA

要 旨

モニタリングポストでの空間放射線量の常時監視において、微小変動の原因を特定しておくことは異常時の測定精度を高めるために重要である。また、観測地点の周辺環境により変動の原因と形態が異なることが知られており、観測地点ごとの微小変動の特徴を把握しておくことが必要である。例えば香川県環境保健研究センターでは、近隣の非破壊検査による影響と降雨による放射線量の増加が以前より知られていた。今回、香川県環境保健研究センターでの1年間の空間放射線量の微小変動の解析を行ったところ、非破壊検査の影響の特徴が詳しくわかり、正確に補正することが可能となった。降雨による放射線量増加については、多くの要因が影響していて、補正できなかった。また、無降雨時の非破壊検査の影響を補正したデータより、放射線量が明け方に高く夕方に低いという現象が見いだせた。さらに、降雨時と明け方の放射線量の増加には、Rnの娘核種が関与していることが明らかになった。

Abstract

Determining the cause behind minor fluctuations in the air radiation dose rate through regular monitoring at monitoring posts is important to increasing accuracy when measuring dose rates during periods of irregularity. In addition, because the cause and type of irregularities differ depending on the environment where monitoring posts are located, it is necessary to understand the characteristics of minor fluctuations at each monitoring post. For example, we at the Kagawa Prefectural Research Institute for Environmental Sciences and Public Health were previously aware of the effects of non-destructive testing and the increase of the radiation dose rate as a result of rainfall. Having performed a year-long analysis of minor fluctuations in air radiation dose levels, we now understand the characteristic effects of non-destructive testing in detail, making it possible to accurately correct for these fluctuations. We were unable to correct for increase in radiation dose levels resulting from rainfall, however, because many other factors contribute to these fluctuations. Also, using data corrected for the effects of no rainfall and of non-destructive testing, we found that radiation dose levels were high at dawn and low in the evening. Furthermore, it has become clear that Rn daughter nuclides are involved the increase in radiation dose levels during periods of rainfall and at dawn.

キーワード：モニタリングポスト 非破壊検査 Rn 娘核種

I はじめに

1 目的

モニタリングポストのデータを確認したところ、平均値の10%程度の微小な変動が比較的頻繁にみられる。健康面など実害は全くない軽微なものであるが、その原因を把握しておくことは重要である。それは、原因を特定しその影響を補正することができれば、さらに精度の高い環境放射能の測定ができるからである。原因把握と精度向上により、公表測定値の説明責任を果たすことがで

きるし、放射線増加事象の早期発見にもつながる。そのために平常時のモニタリングポストの測定値の微小な変化の解析を試みた。

2 基本的な考え方

・放射線は身の回りの物質からも放出されており、地面や山、コンクリートの建物などが放出しているものは、年間を通して統計的ばらつき以上の変化はしないものと考えられる。以後これによる放射線量の値をベース線量という。また、単位時間当たりの量をベース線量

率という。

- ・上記以外の物質、または現象によって放出される放射線は時間変化をする可能性がある。以後これによる放射線量を付加線量という。また、単位時間当たりの量を付加線量率という。
- ・宇宙線由来の γ 線の時間変動はデータがなくわからないが、モニタリングポストの測定値は3MeV以上をカットしているため、この解析では考慮に入れない。
- ・測定線量からベース線量を差し引いた有意な値(ベース線量の統計的ばらつきを上回る値)の付加線量には、原因があるはずである。

II 方法

1 データ

- ・放射線 香川県環境保健研究センター屋上に設置している放射線モニタリングポスト
(ALOKA 製 MODEL MAR-22 NaI(Tl)シンチレーション検出器)
- ・雨量 香川県環境保健研究センター屋上で測定した10分間ごとの雨量
- ・気象要素 高松气象台(高松市伏石町)測定値
- ・データの期間 2017年4月1日0時00分～
2018年3月31日24時00分

2 処理方法

MicrosoftExcel を用いて、上記のデータに補正を加えてグラフ化することにより、傾向を視覚化した。

III 結果

1 ベース線量の解析

(1) 測定精度の概算

測定される放射線の計数率は150/s程度であるので、統計的な誤差を \sqrt{N}/N とすると、10分間値で0.3%、1時間値で0.13%となる。ベース線量は時間変動がなく統計的な変動のみだと仮定すると、1時間値では $0.00007\mu\text{Sv/h}$ 程度と十分な精度があることとなる。

(2) 測定された線量率ごとの度数

測定された放射線量率の分布が図1である。

ベース線量率の統計的な誤差は非常に小さいので、この分布はほとんど付加線量率によるものと思われる。寒冷地では雪や地面の凍結によるベース線量率の遮蔽効果が考えられるが、香川県ではその影響はない。よってピーク値である $0.052\mu\text{Sv/h}$ より大きい値の時は何らかの原因による付加線量があるものと考えられる。

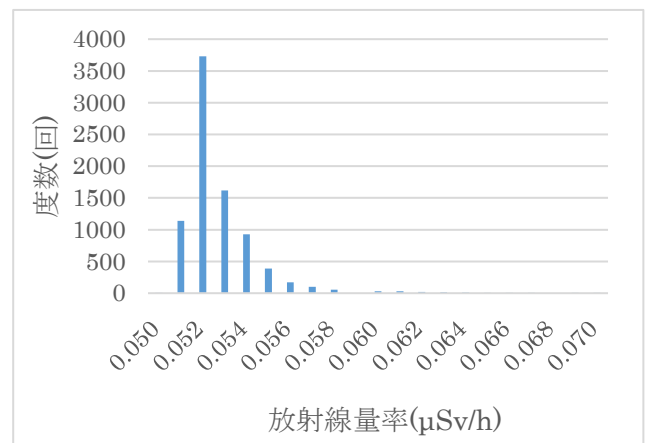


図1 放射線量率ごとの年間度数

2 近隣の工場などの影響

(1) 工場などの影響の特徴

非常に高感度であるモニタリングポストは、以前から近隣の工場の非破壊検査を検出することがあることが知られている。その場合、測定値に次のような特徴があることが考えられる。

- ・スイッチを入り切りするような一時的変化
- ・他の地域で変動が見られずその場所だけの变化
- ・ほとんどの場合が工場の作業時間であること

(2) データの抽出

10分間ごとの放射線量のデータより、2(1)で示した条件にあてはまるものを検索した。その際、変化量を $0.003\mu\text{Sv/h}$ 以上とした。この数値は、明らかに「一時的変化」といえるものを選び出すためにとりあえず設定した値である。10分ごとのデータを比較し、 0.003 以上の増加と 0.003 以上の減少がセットになっているデータを拾い出し、他の地域でその変動がないことや作業時間として不合理がないかなどを目視で確認しながら抽出した。

(3) 抽出データの時間分布

1年間の抽出データを現れた時間ごとにカウントしたのが図2である。この分布は一般的な工場の作業時間と極めてよく一致する。

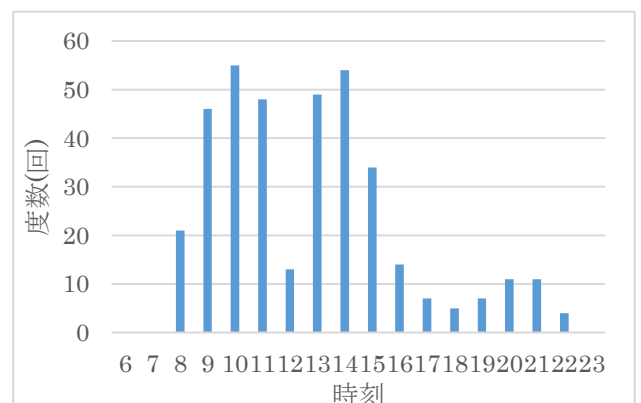


図2 非破壊検査が疑われる抽出データの出現時間分布

(4) エネルギースペクトル

モニタリングポストにはスペクトルデータを記録する機能がある。5keVの幅のチャンネルが1000chあり、そのエネルギー帯の放射線を計数している。非破壊検査の影響が明白な日のスペクトルデータから、その日の最低値のスペクトルデータを差し引き、非破壊検査のスペクトルを示した結果が図3である。

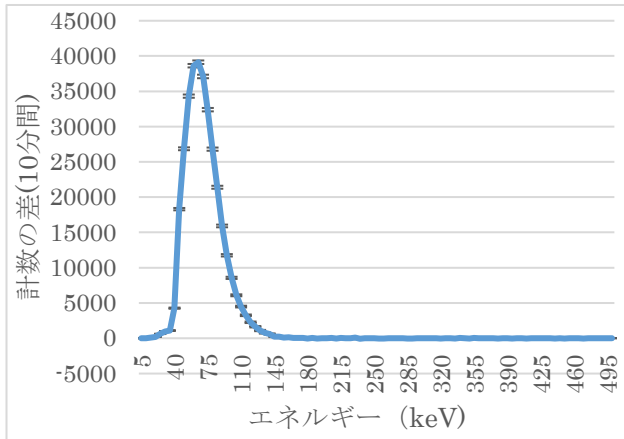


図3 非破壊検査のX線スペクトル

図3より65keVをピークとした明瞭なスペクトル分布があることがわかる。

3 降雨による影響

(1) 降雨と放射線量

大気中に拡散している放射性物質が、降雨により地上付近に落ちてきて地上での空間放射線量が増加することが、いろいろな文献で紹介されている。当センターのモニタリングポストのデータと降雨のデータを並べてみるとこの関連は明らかに存在する。それで、1時間雨量が0.5mm以上の時の放射線量率を拾い出し、同じ雨量ごとに平均値をとったのが図4である。

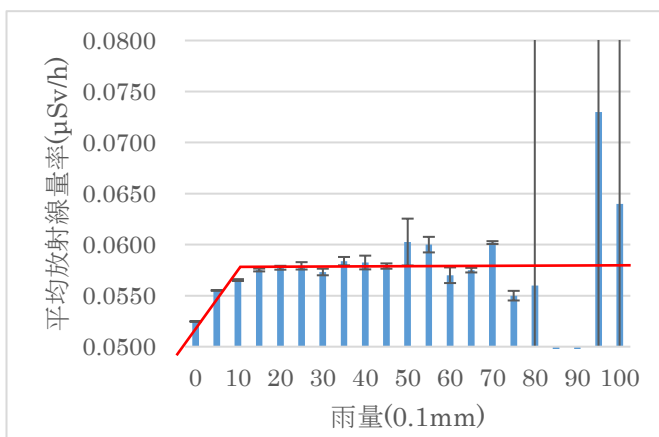


図4 雨量ごとの平均放射線量率

図4より、1時間雨量が1.5mmまでは雨量と付加線量

率は比例し、それ以上雨量が多くなっても一定になる関係が見えてくる。しかし、雨ごとのばらつきは大きく、雨量による正確な補正値を設定することはできない。一雨ごとの総雨量とその間の総付加線量の関係を見た図5でも同じ傾向はあるが、緑の線で示すようにかなりの幅があり、赤丸のように大きく外れているものもある。そのため正確な補正値を設定できない。

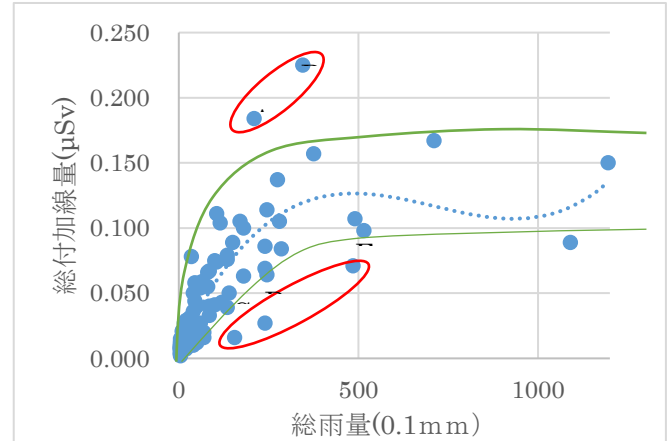
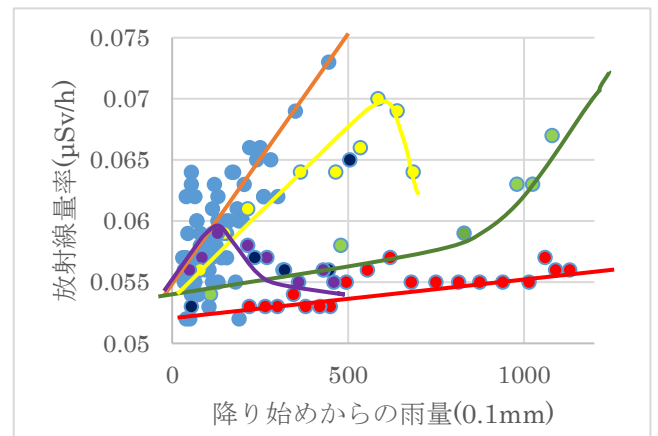


図5 一雨ごとの総雨量とその間の総付加線量

雨が降り始めてからの放射線量率の変化を見るために、横軸に降り始めからの積算雨量、縦軸に放射線量率を取り散布グラフにしたのが図6である。ただし、積算雨量が3.0mm以下は除外した。



黄色：8/7 8:00~16:00 台風5号の雨
 緑色：9/17 16:00~21:00 台風18号の雨
 赤色：10/22 4:00~22:00 台風21号の雨
 紫色：10/29 6:00~14:00 台風22号の雨

図6 積算雨量と放射線量率の関係

その結果、一般的にはオレンジの線のように積算雨量の増加とともに放射線量率が増加している。ところが、台風の場合、台風ごとに違った変化が見られた。また、降雨時間と放射線量率のピークの時刻との間にも一定の

関係を見出すことができなかった。さらに、台風や前線などの気圧配置の異なる放射線量率の変化についても比較検討したが、明確な規則性を見出すことはできなかった。

(2) エネルギースペクトル

a 解析方法

降雨の影響と思われる放射線量の増加で 2017 年度中最大のは 9 月 12 日 7:00 の $0.073 \mu\text{Sv/h}$ である。この日の雨が降り始まる前の 3:00 には $0.052 \mu\text{Sv/h}$ であったので、スペクトルを比較することで原因となっている放射性物質が特定できる可能性がある。

b 解析結果と考察

9 月 12 日 7:00 の値を最高値、3:00 の値を最低値、それに、チャンネルごとの 10 分間の計数の差をグラフにしたのが図 7 である。これより、最高値の時と最低値の時ではスペクトル分布には顕著な差は見られず、同じ形で全領域にわたり同じ割合でカウント数が増えているような印象を受ける。これは、降雨ではいろいろな種類の放射性物質が少量ずつ雨とともに降下してくるため、5keV のチャンネル幅では連続したスペクトルになってしまうためであろう。それでも、365keV、615keV 付近にわずかな盛り上がりがあるようにも見えるので、そのピークに着目して解析する。

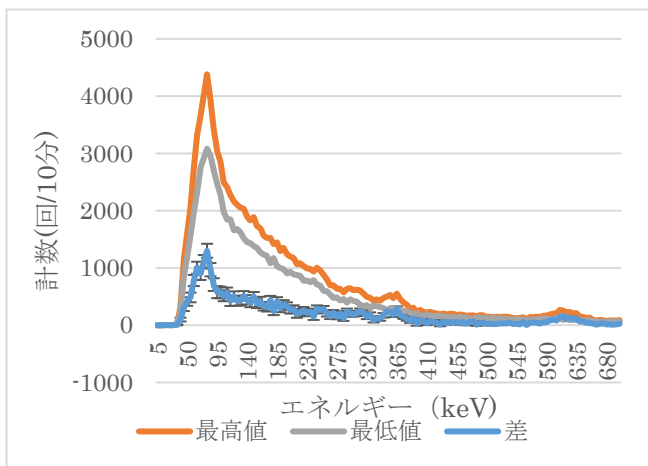


図 7 降雨前後のエネルギースペクトル

(3) ベース線量の補正と考察

降雨による特定のエネルギー領域での付加線量増加を明確にするため、降雨によりベース線量が一定の割合で増加しているとし補正を試みた。降雨時の総計数は降雨前の総計数のおよそ 1.35 倍になっている。降雨前のチャンネルごとの計数にこれをかけて降雨時の計数から引い

たものが図 8 である。

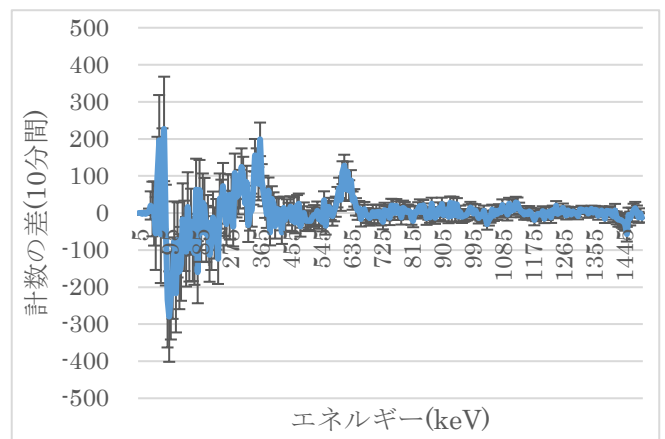


図 8 降雨時の付加線量のスペクトル

(4) エネルギー値の補正

2018 年 2 月 8~9 日にかけてモニタリングポストの定期検査が行われ、Cs-137 による検出感度のチェックが行われた。その時のスペクトルデータ(図 9、10)を使ってスペクトルのエネルギー値補正を試みた。

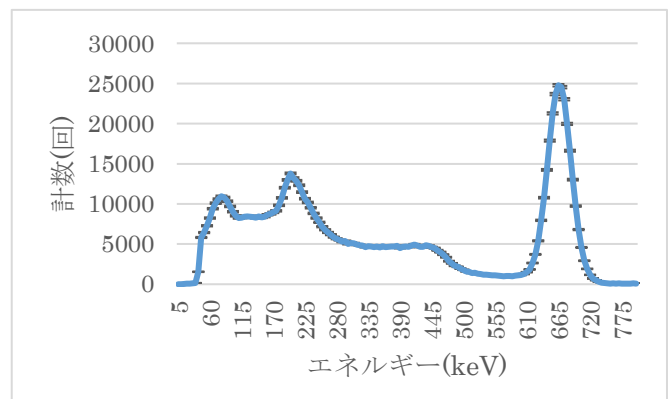


図 9 Cs-137 による検査時のスペクトル 1

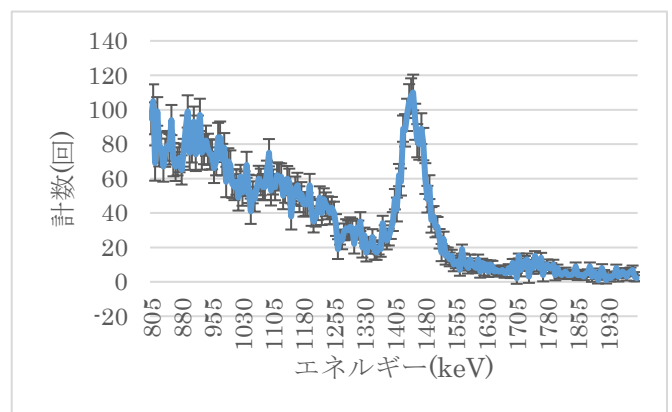


図 10 Cs-137 による検査時のスペクトル 2

図9の最もはっきりしたピークがCs-137からの661.64keVの γ 線であり、ピークのチャンネル660~665keVと一致する。しかし、図10にはCsの1/200ほどであるが、K-40からの1460.76keVの γ 線に対応するものと考えられる明確なピークが1445keV付近にあり、チャンネルのずれが認められる。それで、Cs-137ピークがある660~665keVチャンネルを661.64keV、K-40ピークのある1440~1445keVチャンネルを1460.76keVとして、全チャンネルの中心エネルギーを補正した。そうすると図10でピークのある360~365keVのチャンネルの中心値は354.3keV、610~615keVのチャンネルの中心値は610.4keVとなる。Rnの娘核種であるPb-214からの γ 線は351.99keV、Bi-214からの γ 線は609.31keVであり、それぞれのチャンネル幅(5keV)内に収まった。これにより、降雨で増加した2つのピークは、Pb-214とBi-214と同定できる。

(5) 降雨による影響のまとめ

以上のことをまとめると、次のようなことが言える。

- a 降雨により、放射線量率は増加する。
- b 雨が上がっても、雨が降り続いても、増加した放射線量率は低下するが、その変化の仕方には明確な規則性が見つけ出せない。
- c 1時間雨量や積算雨量、降り始めからの時間など雨に関するデータと、放射線量率の増加量やピークになる時間、平常値になるまでの時間、積算の放射線量の増加量など、放射線に関するデータの間、明確な規則性を見出すことができない。
- d 気圧配置の違いによる雨の降り方の違いと放射線量率の間、明確な規則性を見出すことができない。
- e 降雨時の放射線の増加はRnの娘核種であるPb-214とBi-214が主な原因である。
- f 広いエネルギー領域において一定割合で計数が上昇している原因は特定できないが、大気中にはRnの娘核種以外にも多様な放射性物質が微量ながら存在しており、降雨によりそれらが地上付近に集まってくるため、それぞれのピークは検出できないものの全体として放射線量を増やしていると考えられる。

VII 考察

1 非破壊検査の影響の補正方法

10分間ごとのデータを目視で確認し、 $0.003\mu\text{Sv/h}$ 以上の幅で、一時的増加と減少を伴うものを見つけ出す。

その時刻の県内他の3か所のデータに目立った変化がないことを確認する。このようにして工場などの影響と判断できたものについて、増加量を時間ごとに合計し6で割った値をその1時間の放射線量率から差し引いた。

2 降雨の影響を受けたデータの削除方法

1時間ごとの降水量と放射線量率のデータを目視でチェックし、降水量が記録されている時間と、その前後で放射線量率が増加していると認められるデータをカットした。降雨前のデータをカットしたのは、雨量計の最小値である0.5mm以下の小雨が放射線量率に影響することがあるためであり、降雨後のデータをカットしたのは、降雨により増加した地上付近の放射性物質が、雨が上がった後もしばらく残留するためである。

3 補正データを使った時刻による放射線量率の変化

1年間のデータを時刻ごとに平均したのが図11である。

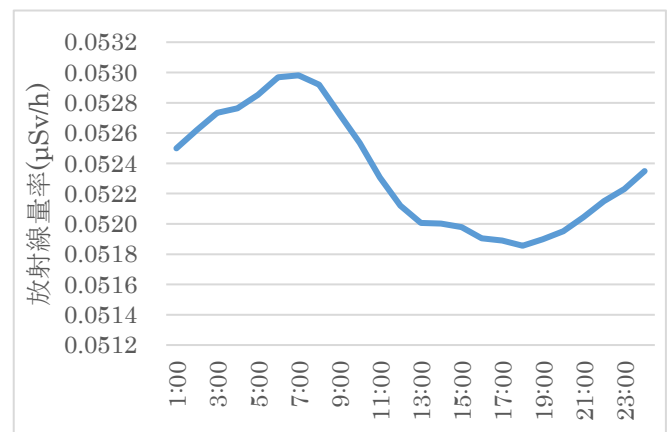


図11 放射線量率の時間変化

このグラフには、夕方(日没頃)から放射線量が徐々に増加し、明け方(日の出頃)ピークを迎えた後、急激に低下し午後も緩やかに低下していることが、明瞭に示されている。変動幅は $0.0012\mu\text{Sv/h}$ (平常値の1/40)ほどの非常に微小なものであるが、補正により他の影響がうまく補正できたことと、1年間の平均値のため、非常に滑らかな信頼感のあるグラフとなっている。降雨時を除いた320個ほどの平均値であるため、誤差の範囲は、IV1での $0.00007\mu\text{Sv/h}$ に $1/\sqrt{320}$ をかけた 0.000004 程度になる。そのためこのグラフにはエラーバーは表示できない。

4 季節による放射線量率の変化

図11を、月ごとに表したのが図12である。明け方が

高くて夕方が低いという傾向はどの月も変わらないが、月により(季節により)変化の仕方は違っている。夕方の最低値の月による変動は小さいが明け方の最高値は、月によりかなり大きな違いが出ている。また、月ごとの平均放射線量率は図13のような変化となった。

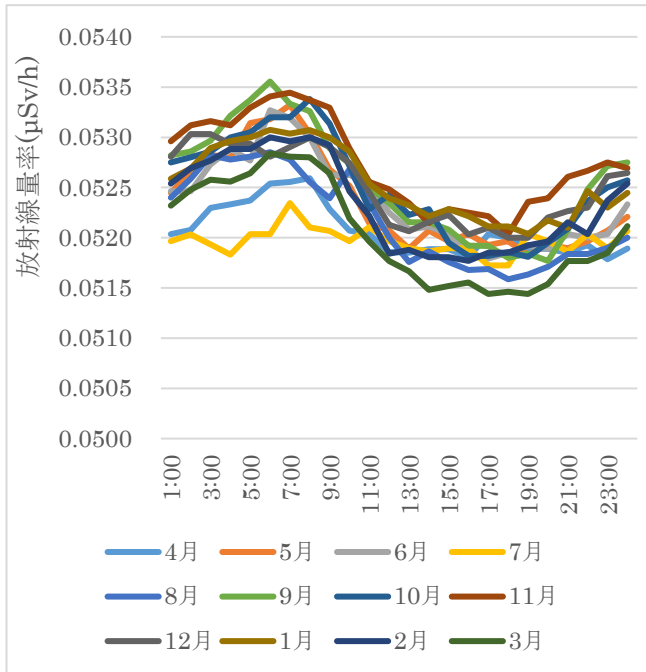


図12 月別の放射線量率の時間変化

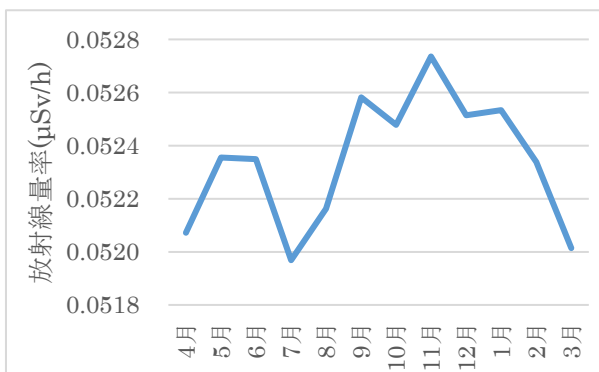


図13 平均放射線量率の月変化

5月、6月を除いて、おおむね春から夏に低くて秋から冬に高い傾向がみられるが、平常値の1.5%程度の変動であり、明確なものではない。

5 季節による変動と気象データとの相関

放射線量率の月ごとの最大値、最小値、その差、月平均について、各種の気象データとの相関を調べることで、季節による変化の原因がつかめると考え、高松気象台のデータとの相関係数を計算したのが表1である。

表1 放射線量率と気象要素との相関計数

気象要素	MAX	MIN	差	月平均
気圧 (hPa)	0.33	0.38	0.38	0.45
合計降水量(mm)	-0.41	-0.42	-0.42	-0.03
平均気温(°C)	-0.29	-0.39	-0.43	-0.35
日最高気温(°C)	-0.31	-0.42	-0.46	-0.39
日最低気温(°C)	-0.27	-0.37	-0.42	-0.32
月最高気温(°C)	-0.39	-0.46	-0.48	-0.42
月最低気温(°C)	-0.23	-0.37	-0.43	-0.34
平均湿度(%)	-0.07	-0.22	-0.28	0.05
最低湿度(%)	0.17	0.07	-0.03	0.15
平均風速(m/s)	0.06	0.16	0.15	-0.07
最大風速(m/s)	-0.31	-0.33	-0.38	-0.08
日照時間 (h)	-0.44	-0.49	-0.46	-0.67
全天日射量 (MJ/m ²)	-0.47	-0.52	-0.46	-0.69
平均雲量	0.11	0.03	0.08	0.09
日気温格差(°C)	-0.31	-0.29	-0.24	-0.49
月気温格差(°C)	-0.33	-0.12	-0.03	-0.11

この表1より、相関関係が顕著なのは赤い網掛けをした2か所である。月別の平均放射線量率と日照時間や全天日射量との間に強い負の相関がみられる。

6 放射線量率の時間変化の考察

以上の結果をうまく説明できるモデルとして、地表付近の大気の安定・不安定が関与していることが考えられる。

「日が沈み地温が低下し始めると大気が安定してくる。そうすると、一定量出てきているものが地表付近にとどまり、総量が増え続ける。日が昇り地温が上昇すると、地上付近の大気の安定が崩れ上昇気流も発生する。そうすると、地表付近の留まっていたものが拡散していく。」

図11はこのプロセスを表現しているように見える。

表1で月平均の放射線量率と日照時間や全天日射量に負の相関があることも次のように説明できる。

「日射により地表付近の大気が強く温められると日没後も大気が安定せず拡散が続き明け方の放射線量率が高くなり、月平均の放射線量率が小さくなる。」

このように考えると、図12で7月のグラフの変化が小さいことも説明できる。

7 エネルギースペクトル

(1) 解析方法

降雨の影響がない時の1時間ごとの平均放射線量率で日格差が最も大きいのは9月であるが、その中でも9月10日は、4:00と6:00の値が $0.056\mu\text{Sv/h}$ 、16:00~22:00の値が $0.052\mu\text{Sv/h}$ で、明け方上昇の傾向をよく示している。しかし、放射線量率の差が小さく、精度が低いと考へ、同じ月内で同じ傾向を持つ8日間(9月1日、9月5日、9月7日、9月10日、9月11日、9月24日、9月25日、9月26日)のデータも利用した。それぞれの日で6:00と18:00のスペクトルデータの差を取り、8日間平均した。

(2) 解析結果と考察

最も顕著な9月10日6:00の値を最高値、18:00の値を最低値、それに、チャンネルごとの10分間の計数の差をグラフにしたのが図14である。

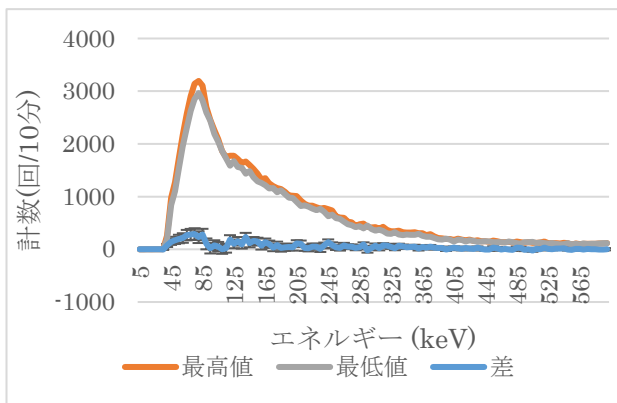


図14 朝増加のエネルギースペクトル

降雨の影響によるエネルギースペクトルのように、広いエネルギー範囲で一律に増加している傾向は見られない。同じ傾向を持つ8日分のデータを平均して解析したのが図15である。

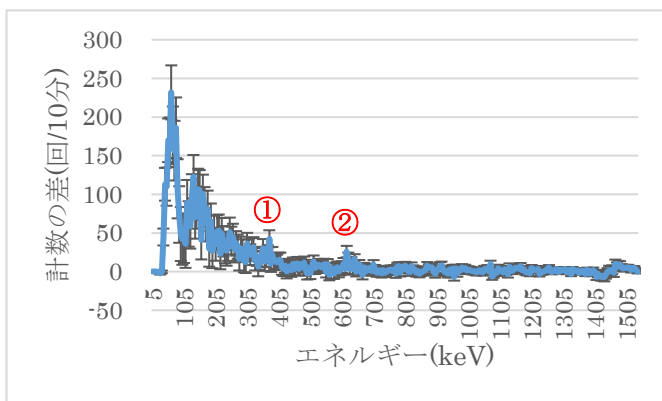


図15 8日分を平均した朝増加のエネルギースペクトル(6:00と18:00の差)

図15にはいくつかのピークがあるように見えるが、注目したいのは①、②のピークである。それぞれのピークにIV4の補正を適用すると、チャンネルの中心エネルギーは①364.5keV、②615.5keVとなる。これは少し誤差があるもののPb-214からの γ 線351.99keV、Bi-214からの γ 線609.31keVと対応すると考えられる。

朝方の放射線量の増加は、降雨時と違って広範囲のエネルギースペクトルが一定量増加するという傾向は見られず、Rnの娘核種のみが関与していると考えられる。そのことから、この核種は他の微量の放射性物質とともに上空から降下してきたものではなく、地面から出てきたRnそのものに由来する娘核種である可能性が高い。このことは「6放射線量の時間変化の考察」とも整合性がある。

V まとめ

1 補正したデータ分析のまとめ

以上のことをまとめると、次のようなことが言える。

- (1) 放射線量は夕方(日没頃)から徐々に増加し、明け方(日の出頃)ピークを迎えた後、急激に低下し午後も緩やかに低下する傾向にある。
- (2) (1)の変化は、日没後に大気が安定し一定量出てきているものが地表付近にとどまり、総量が増え続ける。日が昇り地温が上昇すると、地上付近の大気の安定が崩れて、地表付近の留まっていたものが拡散していくことにより起こる。
- (3) (2)で一定量出てきている放射性物質はRnであり、その娘核種であるPb-214とBi-214からの γ 線をモニタリングポストで観測している。

2 今後の課題

一連の解析作業の結果、香川県環境保健研究センターのモニタリングポストの微小変動の特徴が把握でき、その原因について一部のデータだけからはあるが特定できた。それを基にデータの補正ができ、今後別の要因による微小変動が疑われる場合も高い精度で観測できる可能性がある。

しかし、降雨による影響は正確な補正値を出すことができず、その間のデータを削除して解析していたため降雨時の他の微小変動はつかめない。

香川県内には他に3か所モニタリングポストが設置されているので、他のポストについても同様に解析して、その場所の微小変動の特徴を把握することも考えられる。

文献

- 1) 檜崎 幸範：連続モニタによる空間放射線量率の測定と解析, 保健物理, 35(2), 187～192(2000)
- 2) 福田 一義：モニタリングポストによる空間線量率の変動要因について, 551. 510. 7
- 3) 藤波 直人, 江坂 忍：舞鶴市における大気中のラドン娘核種濃度の季節変動, 保健物理, 26, 127～128(1991)
- 4) 福井県原子力環境監視センターホームページ：空間放射線量率の変動