

## モニタリングポストでの空間放射線スペクトルデータの活用(第 2 報)

Practical Use of Spatial Radiation Spectrum Data Acquired by Monitoring Posts (2<sup>nd</sup> Report)

森 好平 勝間 孝  
Kohei MORI Takashi KATSUMA

## 要 旨

モニタリングポストのスペクトルデータを活用して、前報<sup>1)</sup>では次の 3 点を報告した。①降雨の全  $\beta$  線測定で検出された放射線の原因物質は、Rn の娘核種である Bi-214 と Pb-214 と推定できること。②X 線を使った非破壊検査の影響と降雨による影響を補正でき、それ以外の影響が現れた場合は微小な変化でもとらえることができること。③3MeV 以上の  $\gamma$  線は銀河宇宙線由来と考えられ、太陽活動の研究や、地球上層大気から下層大気への物質移動の研究に利用できること。

当報では、モニタリングポストのスペクトルデータの解析により、次の 3 点について報告する。①さぬき市局モニタリングポストで、通常時に他モニタリングポストより高値である原因は周辺の地質環境であると示唆された。高線量事例の原因は X 線発生装置の影響が推測されたが、原因の特定には至らなかったこと。②観音寺市局モニタリングポストの一時的な異常低値の原因は高電圧回路の不安定だと確認されたこと。③丸亀市局モニタリングポストの昼間微増の原因は機器異常の前兆である可能性が高いこと。

## Abstract

Utilizing the spectrum data of monitoring posts, we published the following three points in our previous report<sup>1)</sup>. ①We were able to determine the causative agent of the radiation detected by all beta ray measurements of rain with Bi-214 and Pb-214, which are daughter nucleus classes of the Rn. ②We were able to correct for the influence of non-destructive inspection using x-rays, the rain, and other influences, to detect even minute changes. ③The knowledge that gamma rays above 3MeV originate in cosmic rays can be utilized in the study of solar activity, or the study of mass transfer from the upper atmosphere to the lower atmosphere.

In this report, we analyzed the spectral data of monitoring posts to make the following three points. ①With regards to the Sanuki City Bureau Monitoring Post, it was suggested that the surrounding geological environment was the result of high values when compared to other monitoring posts in normal conditions. The high dose incident was presumed to be caused by the influence of the X-ray generator, but this could not be identified as the cause for certain. ②It was confirmed that the cause of the temporary abnormally low value of the Kanonji City Bureau Monitoring Post was the instability of the high voltage circuit. ③The slight increase in values during the day at the Marugame City Bureau Monitoring Post is likely to be a sign of equipment abnormality.

キーワード：スペクトル 空間放射線 モニタリングポスト

## I はじめに

環境放射能水準調査の空間放射線量率連続測定のために設置されているモニタリングポスト(以下 MP と略記する)(高松市局: ALOKA 製 MAR-22、さぬき市局・丸亀市局・観音寺市局: 応用光研工業製 FND-303、温度補償型 NaI(Tl)シンチレーション検出器)にはスペクトル(以下 SP と略記する)データを記録する機能が備わっている。

高松市局については機器を更新した 2011 年 11 月よりデータが保存されている。他の 3 局は SP データの収集を行っておらず、MP 測定部に最新の 500 データ(10 分間値、約 3 日半)が残っているので、必要に応じて現地に赴きデータを回収する。

2018 年所報<sup>2)</sup>では、高松市局の SP データを解析して次の 3 点を報告している。

- ① 降雨時の空間放射線は無降雨時に比べ、広い範囲のエネルギー領域において一定割合で増加しており、Rnの娘核種であるPb-214とBi-214が放射する $\gamma$ 線のエネルギー帯において顕著な上昇が見られる。
- ② 早朝の空間放射線では広い範囲のエネルギー領域での上昇は見られず、Rnの娘核種であるPb-214とBi-214が放射する $\gamma$ 線のエネルギー帯において顕著な上昇が見られる。
- ③ 近隣でX線を使った非破壊検査が行われた場合、SPに65keVの明確なピークが出現する。

また、前報<sup>1)</sup>では高松市局のSPデータを解析して次の3点を報告した。

- ① 降雨の全 $\beta$ 線測定で検出された放射線の原因物質は、Rnの娘核種であるBi-214とPb-214と推定できる。
- ② X線を使った非破壊検査の影響と降雨による影響を補正でき、それ以外の影響が現れた場合は微小な変化でもとらえることができる。
- ③ 3MeV以上の $\gamma$ 線は銀河宇宙線由来と考えられ、太陽黒点相対数との関係が太陽活動の研究に、地上で観測されるBe-7量との関係が地球上層大気から下層大気への物質移動の研究に利用できる。

当報では、これらの成果をもとに、高松市局以外の県内3か所のMPのSPデータの解析により、次の3点について報告する。

- ① さぬき市局MPの高線量事例の原因と、通常時の他MPより高値である原因の究明。
- ② 観音寺市局MPの異常低値の原因究明。
- ③ 丸亀市局MPの昼間微増の原因究明。

## II さぬき市局のスペクトルデータ解析

### 1 はじめに

さぬき市局のMPで計測される空間放射線量の値は、設置当初から他の県内3地点より高い値を示していた。そこに、2019年11月26日13:00に空間放射線量100nSv/hを超える高線量を記録したため、急遽、SPデータを取り込み解析することとなった。ここに、高線量事例と、高松市局とのバックグラウンドの違いについて、解析した結果を報告する。

### 2 高線量事例の概要

2019年11月26日

13:00:00 ポスト02(さぬき市MP)高線量0.112 $\mu$ Sv/h  
13:01:29 アラート発令 (10分間値)

15:30頃 SPデータ回収(11月23日04:10~11月26日15:30)周辺に異常がないか確認

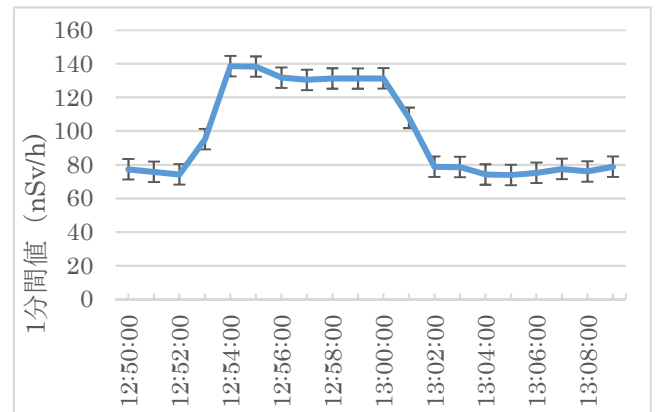


図1 2019年11月26日さぬき市局モニタリングポストの1分間値の変化(表示時刻から1分間の値)

図1より、12:54~13:01間は安定した強度の高線量が発生していることが分かり、その前後の1分間にスイッチを入り切りするような急激な上昇・低下があったと推定できる。この間、同じ強度のX線が発生していたとし、12:53と13:01の値を時間で案分すると12:53:40~13:01:30の7分50秒間、高線量が発生していたと推測される。これらのことから、自然現象とは考えにくく人為的な現象だと思われ、X線発生装置の稼働または、放射線源の遮蔽容器を開放しての暴露が可能性として考えられる。

### 3 解析方法

#### (1) 正確なバックグラウンドの取得

回収された500データそれぞれの総カウント数の度数分布を取り、ピーク値の8割以上度数があるカウント数のデータのみを平均してバックグラウンドとする。

#### (2) 高松市局のバックグラウンドとの比較

高松市局のデータ(さぬき市局と別日で無降雨の500データ)も(1)と同じ処理をし、グラフで比較。

#### (3) 付加スペクトルの取得

さぬき市局で高線量が発生した時のスペクトルデータ(10分間値2つのデータ)の平均から、(1)のバックグラウンドデータを差し引き、付加スペクトルとする。

### 4 結果

#### (1) バックグラウンドの比較

さぬき市局のカウント数の度数分布が図2、高松市局のものが図3である。

図2、図3を比較すると、高松市局とさぬき市局ではカウント数が大きく違うことが改めて確認できる。ま

た、分布にも特徴があり、さぬき市局では明け方の空間放射線量の上昇に対応する、ピークより少し多いあたりの分布が見られるが、高松市局ではそれに加えてX線を使った非破壊検査の影響とみられる、ピークより5000カウントほど多いところまでの分布が見られる。

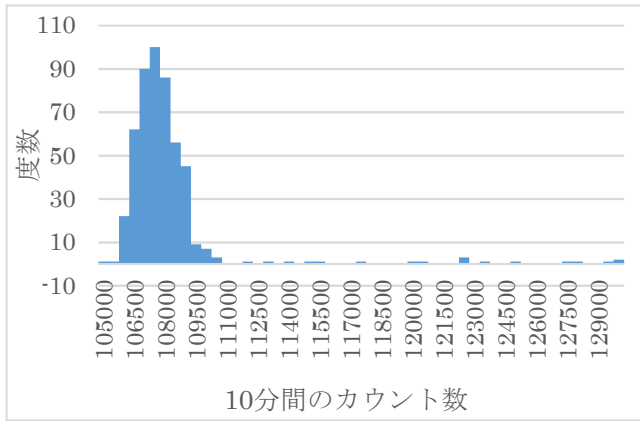


図2 さぬき市局の10分間のカウント数の分布

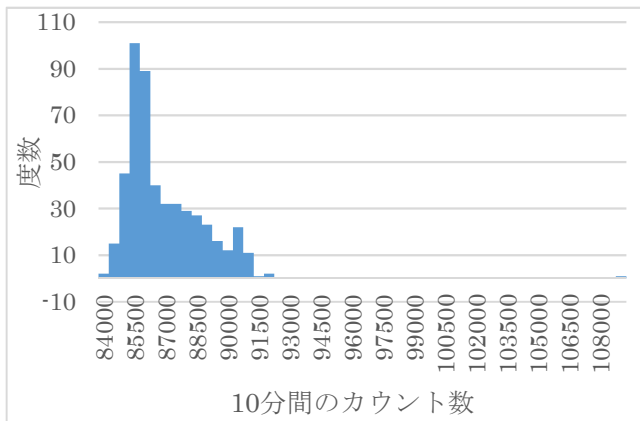


図3 高松市局の10分間のカウント数の分布

図2、図3より、さぬき市局ではカウント数が107,000～108,500の276データ、高松市局ではカウント数が85,500～86,500の190データを平均してバックグラウンドとした。そのスペクトルが図4である。エネルギー分解能が低くて断定することはできないが、ピークのエネルギー値に対応するγ線の放射源と考えられるものを図4の中に表記した。

(2) 高線量の解析

さぬき市局モニタリングポストの12:50～13:00、13:00～13:10のSPデータの各チャンネルのカウント数の平均から、(1)で求めたバックグラウンドのSPデータを差し引いたものを、高線量時の付加スペクトルとした。それを高線量時、バックグラウンドと共に示したのが図5である。

5 考察

(1) バックグラウンド比較

図4で、さぬき市局は高松市局と比較すると、特定のエネルギーが突出しているのではなく、広いエネルギー範囲で一定の割合で高松市局のバックグラウンドを上回っているように見える。さぬき市局での値が高松市局より常に高いのは、特定の放射性物質が多いのではなく、同様の物質がさぬき市局周辺の地中に多く存在する、または、その物質の影響をより受けやすい位置にMPがあるためだと考えられる。さぬき市局は花崗岩由来の砂浜が近くにあり、MP周辺も花崗岩由来の堆積物が広く分布していて花崗岩質の山も近くにある。それに対して、高松市局のMPは、周辺がコンクリートやアスファルトに覆わ

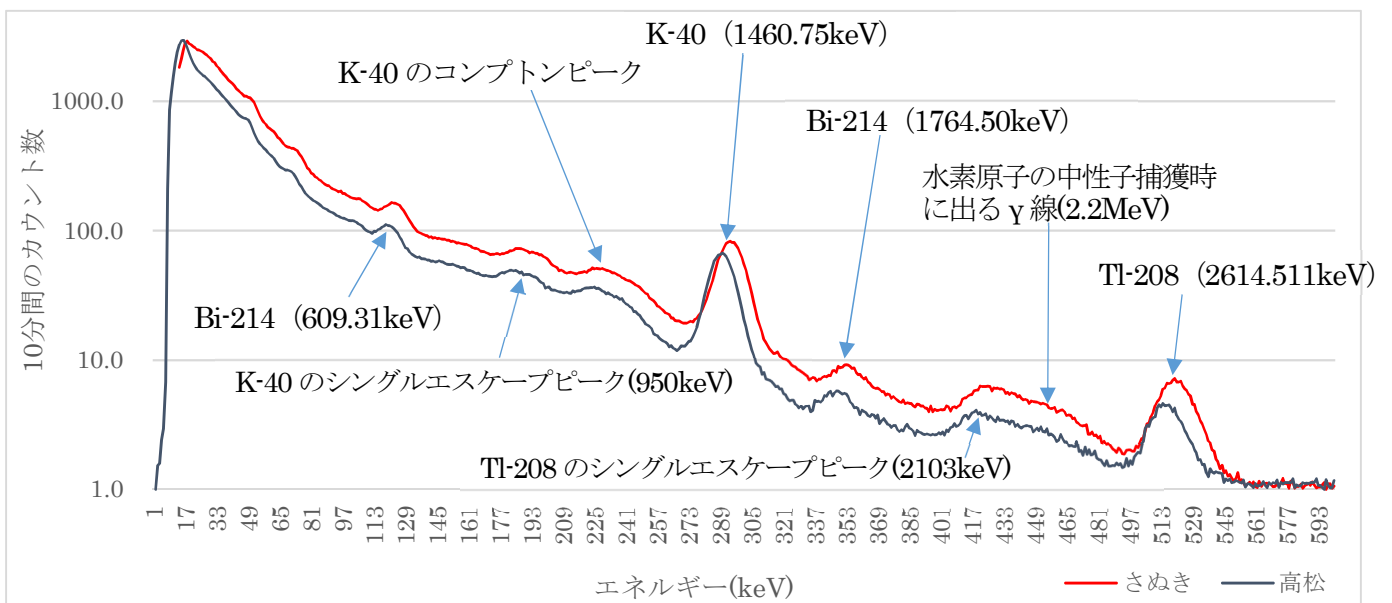


図4 さぬき市局と高松市局のバックグラウンドスペクトルの比較

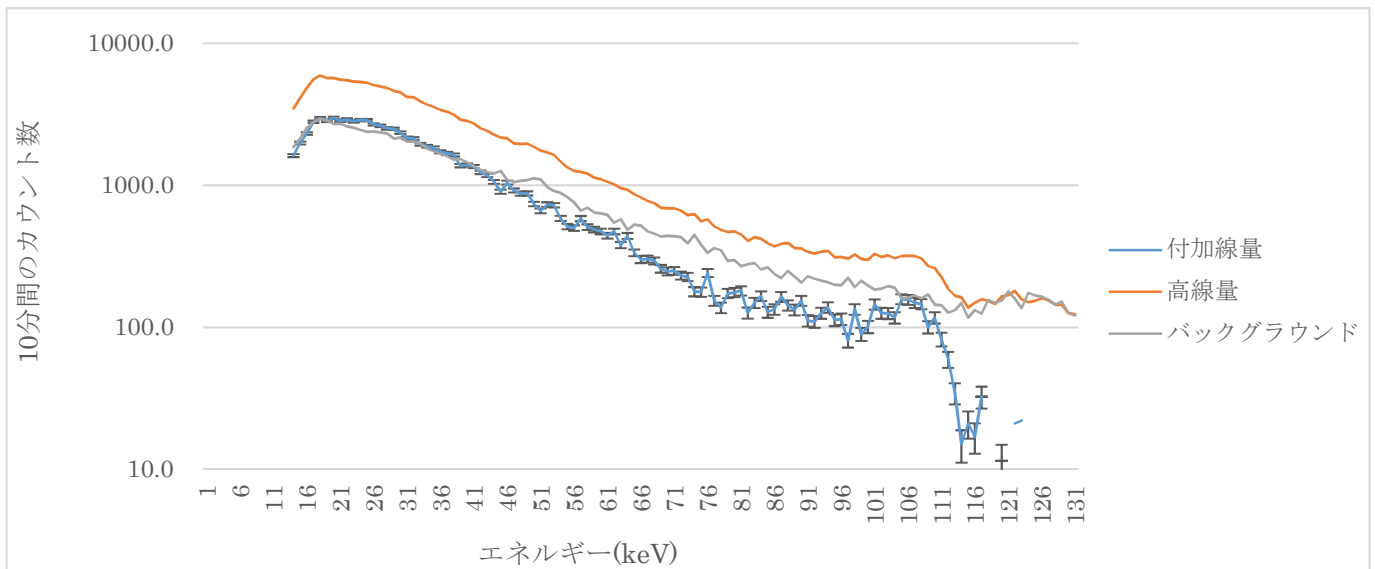


図5 高線量時の付加スペクトル(650keV 以上は付加線量がほとんど無いため割愛)

れた埋立地であり、設置場所も地上から21.8mの高さ(さぬき市局、丸亀市局、観音寺市局は1.0m)である。このような立地の差が反映されていると考えられる。

## (2) 高線量の解析

図5より、70~550keV 付近まで広がる付加SPが発生していたことが分かる。特定の放射性物質の暴露では半値幅の狭いSPとなるため、コラム1に示すような人工放射性核種の暴露もなかったと考えられる。そのため、X線発生装置による制動X線が原因である可能性が高い。

### コラム1 検査や医療で使われる放射性核種

放射線源を使った非破壊検査では、主に Ir-192(317keV)、Co-60(1332keV)、Yb-169(198keV)が $\gamma$ 線放出核種として使われる。放射性医薬品として活用されているものには Ga-67(93.3keV)があるが、この投与者接近時のスペクトルには同時に 185keV、300keVのピークも明確に出ている。<sup>3)</sup> どの場合も十分な感度があるエネルギー帯の $\gamma$ 線を出しており、幅の狭いピークとして観測されるはずである。

図5で詳しくSPを見ると、540keV付近に小さなピークがあり、570keV付近で急激に減少している。これを制動X線のSPとすると、570keVの高電圧をX線発生装置にかけたことになる。その場合、ピークエネルギーはその2/3倍ほど(波長で1.5倍)の380keV付近になる<sup>4)</sup>とのことであるが、そこには特にピークが見当たらない。制動X線の連続SPと同時に発生する特性X線のSPが混じ

り、発生源が少し離れていたり遮蔽物があったりするため、減衰やコンプトン散乱などによるスペクトルの変形により、このような付加線量になったと解釈する。高松市局のMPに現れるX線を使った非破壊検査の影響<sup>1)2)</sup>と比較して、より高電圧を使ったX線発生装置をより離れた場所で使用したのではないかと推測されるが、原因は特定できなかった。

## III 観音寺市局のスペクトルデータ解析

### 1 はじめに

観音寺市局のMPでの空間放射線量値は、降雨による上昇と明け方の逆転層によるわずかな上昇を除き安定していた。ところが、2019年11月中頃より、異常に低い値を示す現象が見られ始めた。当初は測定器の横に車を止めるなどによる遮蔽のためではないかと考えたが、MPを設置している西讃保健事務所に確認したところ、該当する事象はないことが分かった。引き続き測定値の下降原因を調査していたところ、1月23日の定期点検において高電圧回路の異常が認められ基板の交換などの対応がなされた。その際、スペクトルデータ(2020年1月21日1:20~2020年1月23日15:10)を入手し、今後の異常事態に対応するスキルを確立するために、独自にデータ解析を行った。ここに、解析した過程と結果を報告する。

### 2 異常低値の概要

2019年11月1日~2020年1月30日の観音寺市モニタリングポストに記録された1時間値の変化を示したのが図6である。図6において、ほぼ一定の値から大きく上昇しているのが降雨による影響である。11月初旬に見

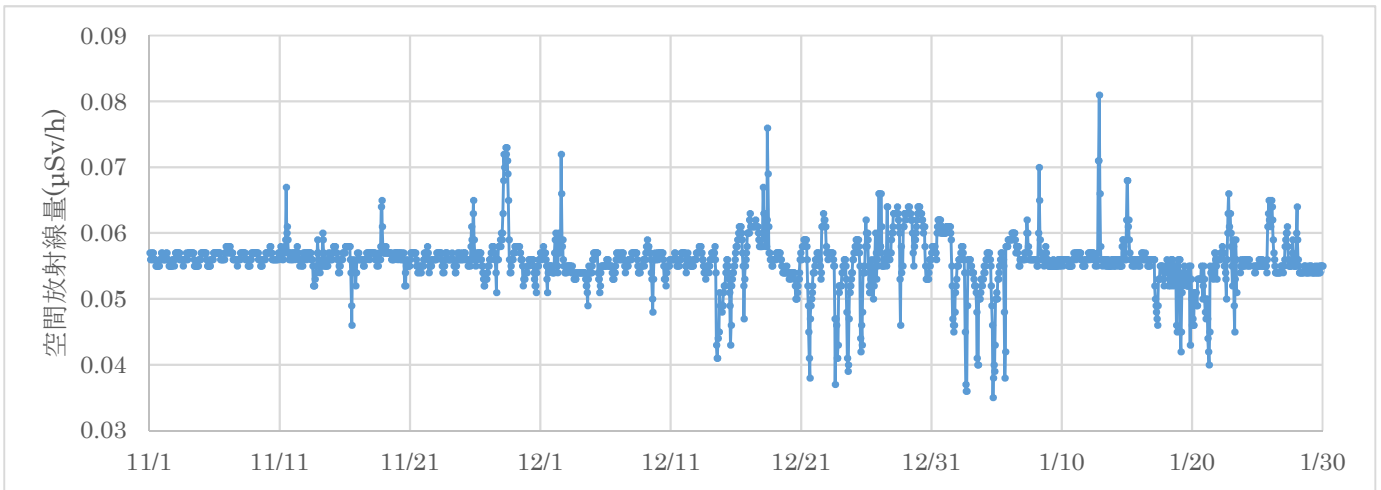


図6 観音寺市モニタリングポストでの空間放射線量の変化

られるような細かな波が、明け方の逆転層による影響である。そして11月13日以降にみられる下向きの突起が今回問題になった異常低値である。12月中頃から頻度と強度が増加しており、1月6日～1月17日に安定している期間があるが、その後また現象が現れ、1月23日の定期点検後に安定したことが分かる。

### 3 解析方法

#### (1) バックグラウンドの抽出

回収された500データそれぞれの総カウント数の度数分布を取り、ピーク値の8割以上度数があるカウント数のSPデータのみを平均してバックグラウンドとする。

#### (2) 異常期間のデータ抽出

SPデータがある期間で10分間のカウント数と空間放射線量(10分間値)を比較し、異常低値と考えられる期間を抽出する。

#### (3) バックグラウンドと異常期間のスペクトルの比較

(1)で抽出したバックグラウンドと(2)で抽出した異常期間のSPを比較する。

### 4 結果

#### (1) バックグラウンドの抽出

回収したSPデータの10分間ごとの全エネルギー帯(65～3000keV)のカウント数を合計したものの度数分布が図7である。図7より、10分間の総カウント数が79500～80000の度数が78であり、他はその8割を下回っているため、この78個のSPデータを平均してバックグラウンドとした。

#### (2) 異常期間のデータ抽出

図8は、SPデータがある期間の、総カウント数と空間放射線量の変化である。1月21日7:40までは空間放射線量と総カウント数が一致して異常な低下を見せている。

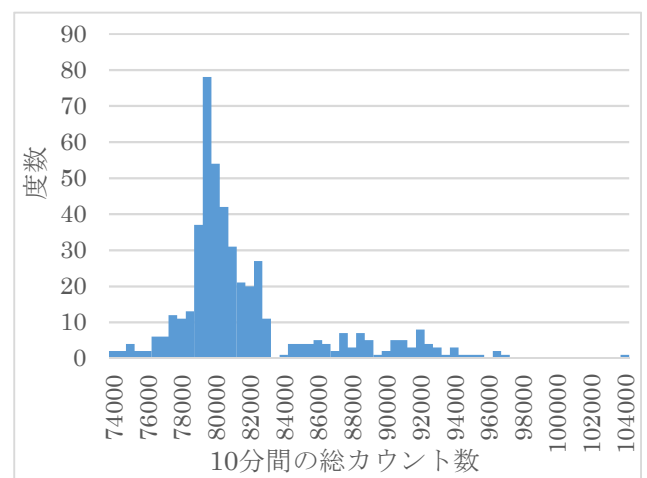


図7 10分間の総カウント数の度数分布

1月22日から23日にかけては雨の影響が加わっているが、空間放射線量と総カウント数では同期して変動しているものの、総カウント数より空間放射線量の方が降雨による上昇が少ない。これは、異常が発生していて、降雨由来の $\gamma$ 線のエネルギーを少なく計測していると理解できる。それで、空間放射線量と総カウント数が同期して大きく変動している1月21日1:20～7:40、空間放射線量のグラフが総カウント数のグラフより下へ離れている1月22日14:10～1月23日9:30の2つの期間を異常期間として抽出する。

また、1月23日10:10に総カウント数が極端に増えている。(空間放射線量は欠測中) これは、点検作業に伴い校正用の線源の暴露があったためである。

#### (3) バックグラウンドと異常期間のスペクトルの比較

上記2つの期間のSPとバックグラウンドSPを示したものが図9である。図9より、2つの異常期間のSPはバックグラウンドより大きくずれていることが分かる。1月



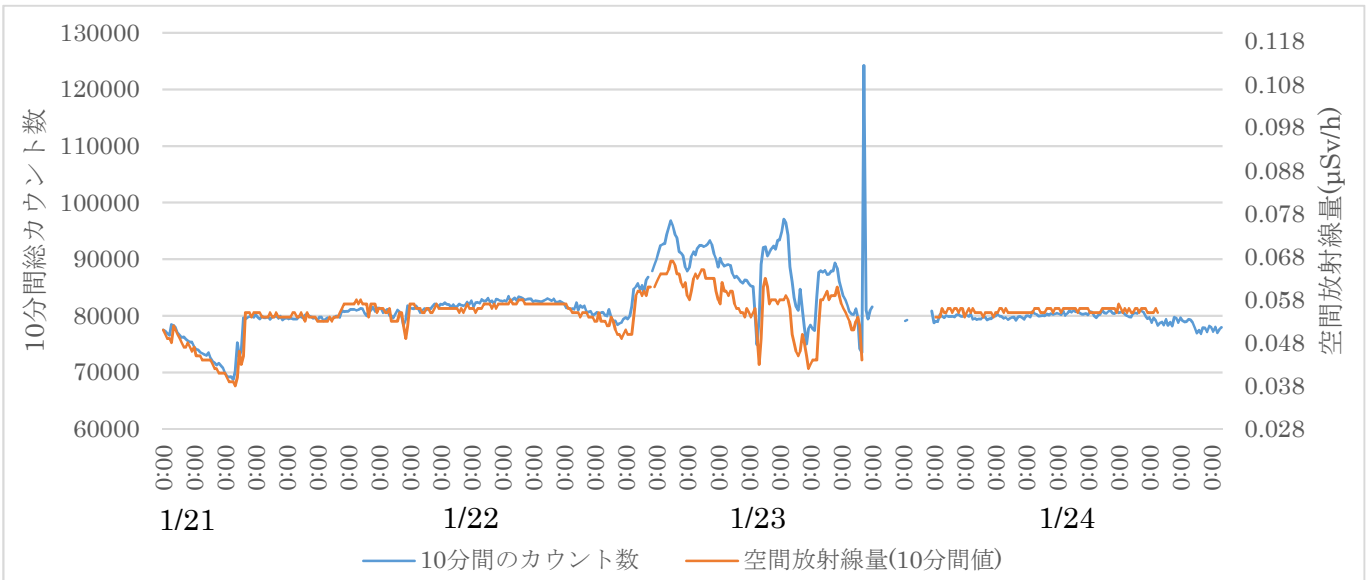


図8 総カウント数と空間放射線量の変化(2つの縦軸は平常値と最低値に近い値になるよう調整)

21日のSPはK-40やTl-208のピークが低エネルギー側に大きくずれている。1月22日～23日のSPは、ピークのエネルギー値はほぼ同じであるが、カウント数が少なく、ピークの低エネルギー側に大きく広がったエネルギー分布になっている。

5 考察

以上のことから空間放射線量に異常低値が出た原因は、γ線量の減少ではなくγ線のエネルギーを検出器が低く測定したためと考えられる。当該のMPでは65keV以下のチャンネルはカウント数を0としてSPデータを保存しているので、エネルギーを低く測定するとそれより少しエネルギーが高いγ線がカウントされなくなる。このこ

とから、空間放射線量ばかりでなく、10分間のカウント数も減少したことが説明できる。

また、図10は定期点検時に検査用線源Cs-137暴露のスペクトルである。図10において、本来661.638keVであるべきCs-137のγ線のピークが560～570keVへ、1460.75keVであるべきK-40が1230～1250keVへとおよそ85%に減少している。異常時にγ線のエネルギーを低く測定していたことは、このことでも確認された。

このようにエネルギー値がずれる現象は光電子倍增管の高電圧が不安定な時に見られ、業者による定期点検と修理の報告とも合致する。

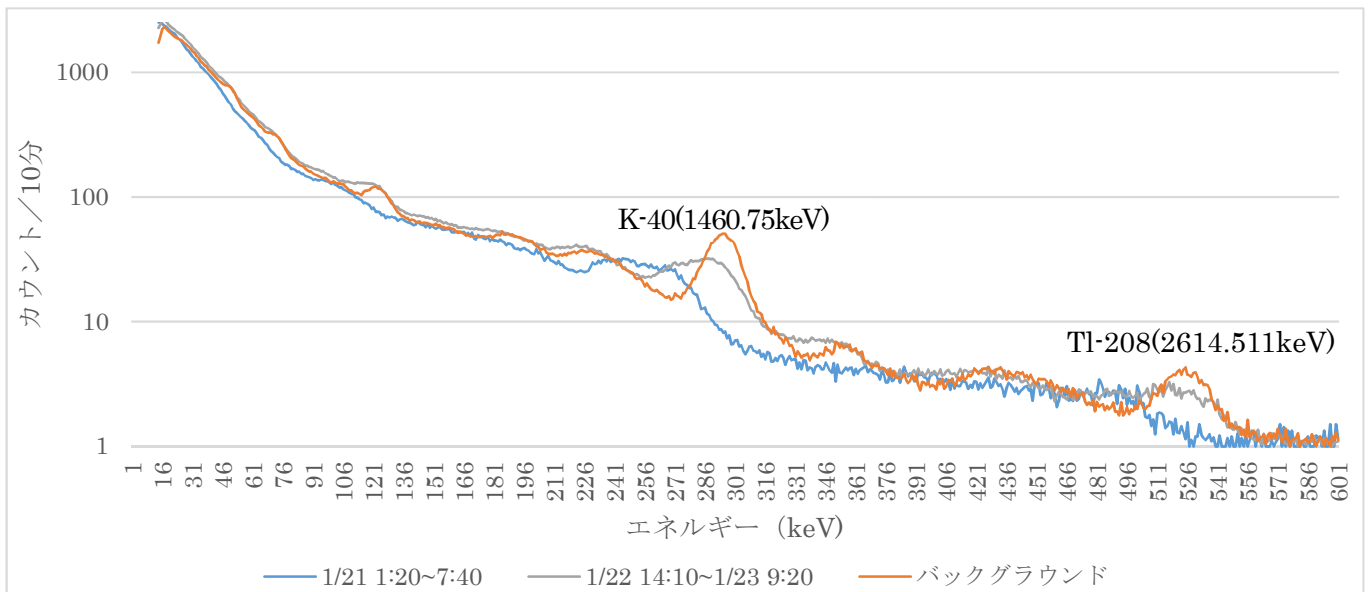


図9 2つの異常期間とバックグラウンドのスペクトル

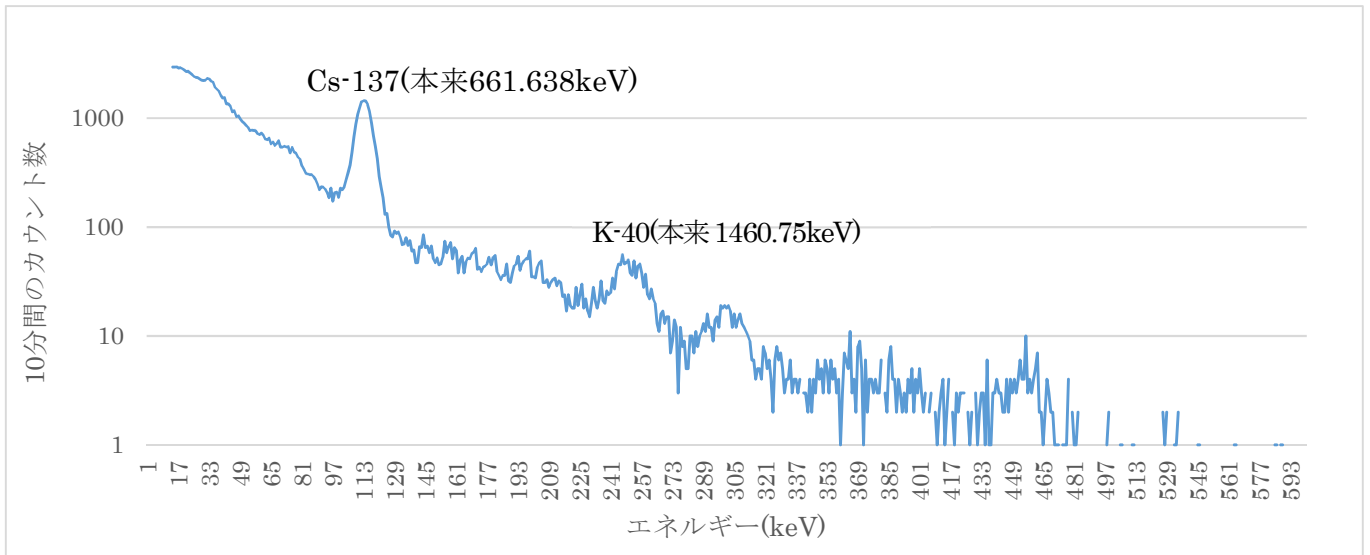


図10 1月23日10:10~10:20にCs-137が暴露したエネルギースペクトル

#### IV 丸亀市局のスペクトルデータ解析

##### 1 はじめに

丸亀市局のモニタリングポストで計測される空間放射線量の値は、降雨による上昇を除き、安定した数値を示している。ただし、県内の他の3か所では逆転層によるわずかな上昇が明け方に起こるのに対し、丸亀市局では同じ程度の上昇が昼間起きている。2019年11月7日の例が図11である。

さぬき市局のグラフでは、明け方の放射線量の増加が最も明瞭に見られる。高松市局のグラフ(1m換算値)では、X線を使った非破壊検査の影響が大きくて、日の出後の減少はわかりにくいものの、明け方が夕方から夜半にかけてより高い数値であることは分かる。丸亀市局と観音寺市局ではグラフが交差しており、観音寺市局が明け方高く夕方低くなっているのに対し、丸亀市局は夜間より昼間の方が高くなっているのが分かる。

明け方の空間放射線量増加は、逆転層の形成により地表付近にRnが滞留するためと考えられる。<sup>2)</sup> 丸亀市局

でもこの現象が見られないわけではないが、図11のように昼間の上昇の方が目に付くことが多い。

丸亀市局で昼間に空間放射線量が増加する原因について、次の3点を仮説として挙げる。

- ① 地形や気象現象により別の場所に滞留したRnが時間差をおいて移流してくる。
- ② 近隣(高松市局の場合より離れた距離)でX線を使った非破壊検査が行われている。
- ③ 機器異常の前兆として微小な誤差が出始めている。

特徴的な変化があった11月7日のSPデータは入手できなかったが、取得できたSPデータを解析することで原因に迫ろうとした。ここに解析した過程と結果を報告する。

##### 2 回収したスペクトルデータの概要

回収したのは2019年12月9日2:50~2019年12月12日14:00、2020年1月31日2:50~2020年2月3日14:00に丸亀市局のMPに記録されたデータである。この期間の10分間の総カウント数と10分値の空間放射線量の変化

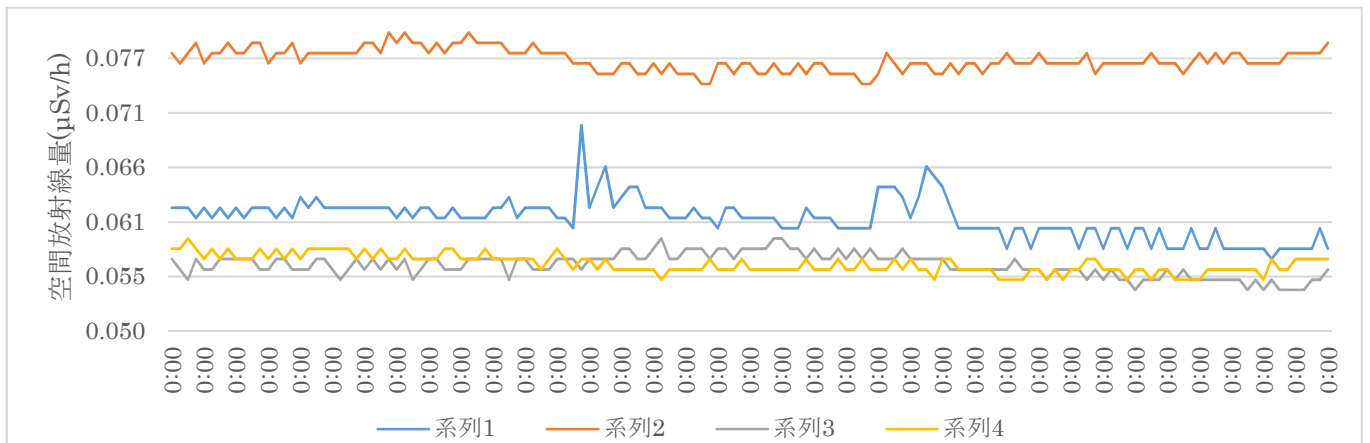


図11 2019年11月7日の県内4か所のモニタリングポストによる空間放射線量の変化(10分間値)

を示したのが図12、図13である。なお、目盛は空間放射線量と総カウント数の線がほぼ重なるように調整した。

図12、図13とも総カウント数と空間放射線量は同期して変動している。図12では連続して夜間低く昼間が高い傾向が見られるが、真夜中ごろ最低値を示し、早朝にかけて上昇した後、8時過ぎてからもう一段上昇しているようにも見える。図13では昼間のわずかな上昇は1月31日と2月3日に見られる。

### 3 解析と結果

#### (1) 総カウント数の度数分布

回収したSPデータの10分間ごとの全エネルギー帯(65~3000keV)のカウント数を合計した度数分布が図14である。図14より、2つの期間で総カウント数の分布が違って、赤棒のピーク付近に青棒の小ピークが、青棒のピーク付近に赤棒の小ピークがあることから次のよう解釈できる。

「丸亀市の測定点では、2つの相があり、12月では総カウント数の低い方の相が、1月~2月では総カウント数の高いほうの相が優位であった。」

2つの相の候補として、雨が降っている時といない時、X線を使った非破壊検査をしている時としていない時、

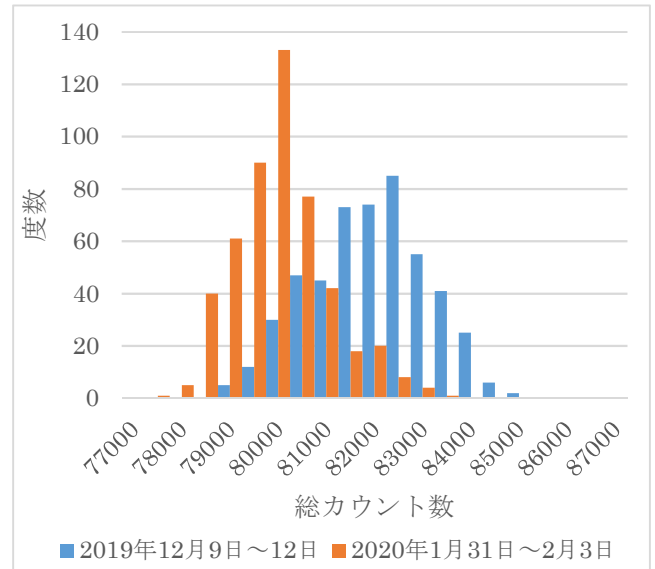


図14 10分間の総カウント数の度数分布

などが想定される。しかし、どちらの期間も雨は降っていないし、非破壊検査だとすると1月~2月の期間では1日16時間も検査を行っていたことになる。(ピークの度数が80程度で小ピークの度数が40程度のため)また、風向や気温などは連続的な変化になるため2相の原因とは考えにくい。

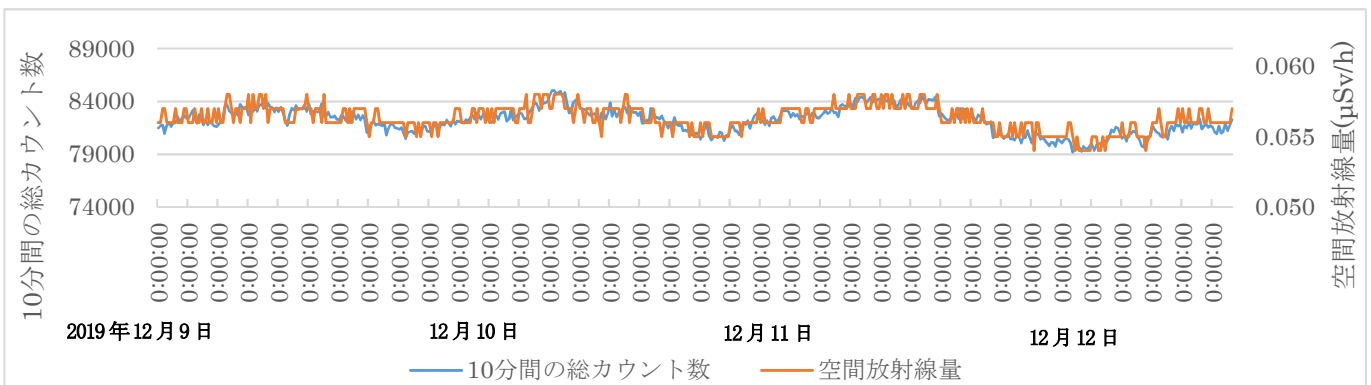


図12 丸亀市モニタリングポストでの空間放射線量と10分間の総カウント数の変化(1)

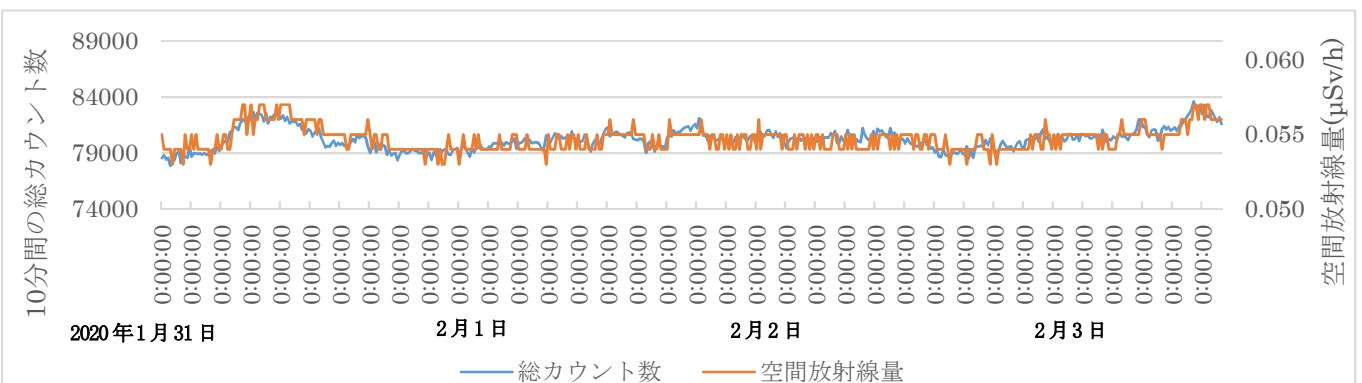


図13 丸亀市モニタリングポストでの空間放射線量と10分間の総カウント数の変化(2)



(2) 2相を抽出しての解析

① バックグラウンドデータの抽出

図14より、度数が低い時の相をバックグラウンドと考え、十分な度数があるので、総カウント数が80000~80500の163データをバックグラウンドとする。

② 高カウント数データの抽出

図14より、総カウント数81500~83000がカウント数の高い相と考えられるが、ピークが低く、バックグラウンドの相のすそ野が重なっているため、82000~83000の187データ(バックグラウンドは163データ)を高カウント数の相とした。このSPとバックグラウンドのSP、その差分を図15に示す。

図15より、高カウント数を抽出したデータがバックグラウンドよりわずかに高エネルギー側へずれていることが分かる。そのためバックグラウンドとの差のグラフで

は、バックグラウンドのグラフのピークやショルダーの高エネルギー側にピークが現れている。(図15中の大文字アルファベットと小文字アルファベットの対応) K-40ピークの半値幅をもとにずれを計算するとわずか1チャンネル(5keV)のずれであった。高カウント数のSPのエネルギーを1チャンネル低い方にずらしたのが図16である。図16では、高カウント数とバックグラウンドのSPがきれいに一致しており、バックグラウンドとの差のグラフでもピークに対応した山が目立たなくなっている。

4 考察

3つの仮説を挙げて検証を試み、次のような結論を得た。

①の「Rnの時間差をおいて移流」については、Rnの娘核種であるPb-214やBi-214からのγ線の増加が観測されていないので可能性が低い。

②の「X線を使った非破壊検査」は、特定のエネルギー

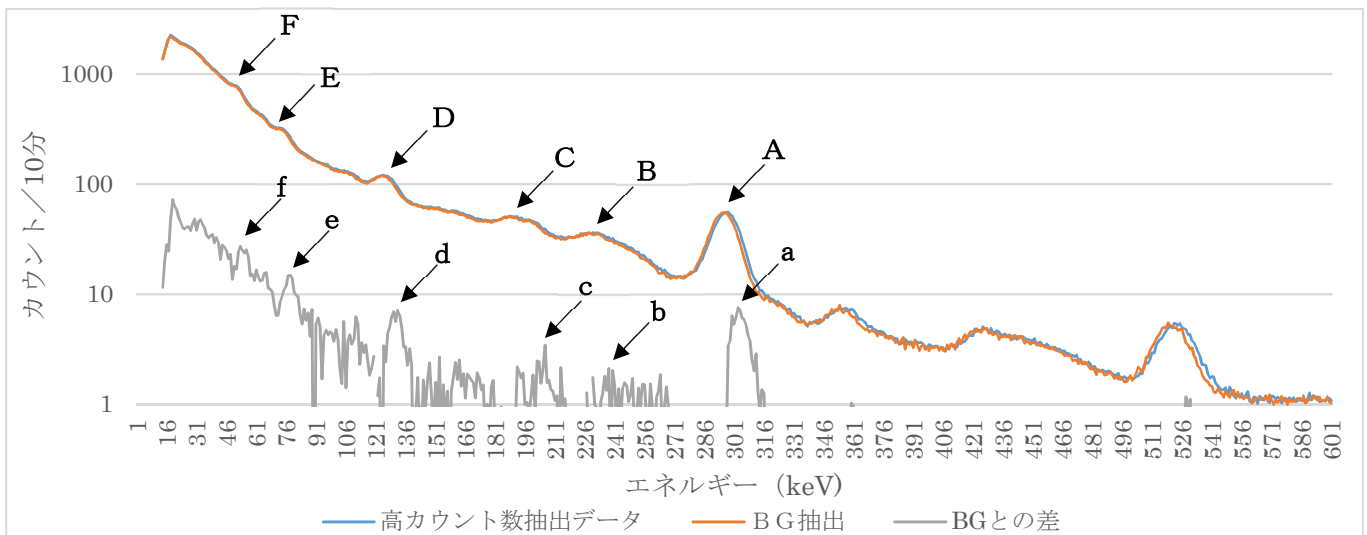


図15 高カウント数とバックグラウンド、その差(付加量)のスペクトル

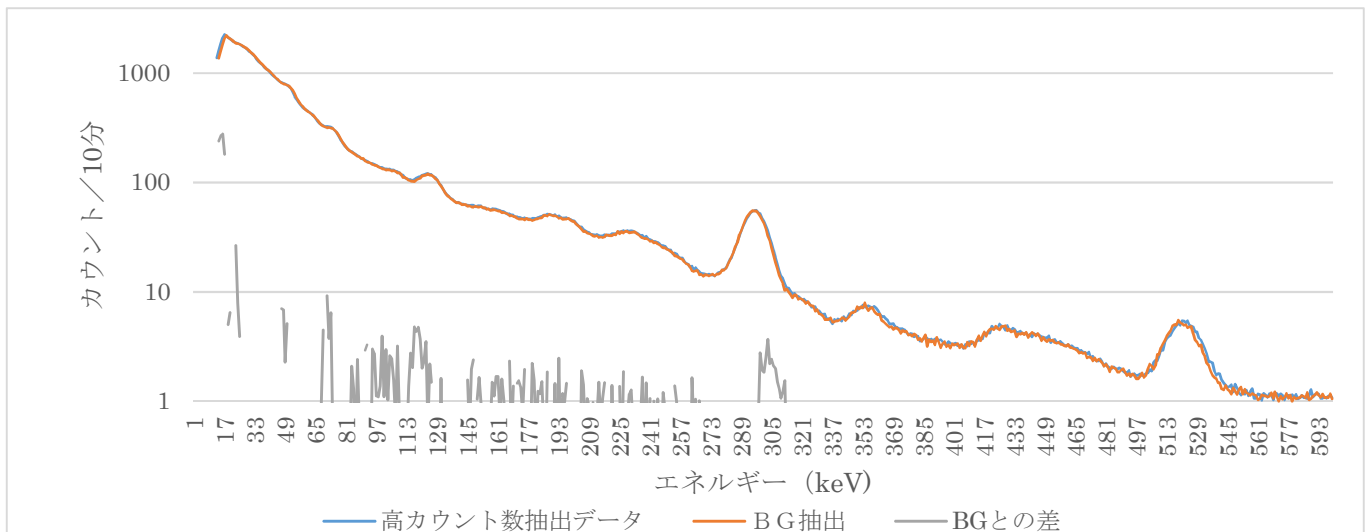


図16 5keV低いエネルギーにずらした高カウント数とバックグラウンド、その差(付加量)のスペクトル

領域(X線発生装置の高電圧の値などにより違ってくる)での上昇が観測されていないので、可能性が低い。

③の「機器異常の前兆」は、わずか1チャンネル(5keV)ではあるが、エネルギーを高く測定していると考えられるので、可能性が高い。

今は微小な誤差であり、環境放射能の測定に支障はないが、機器異常の兆候が見え始めていると考え、今後の変化を注視していく必要がある。

## V まとめ

これまでの解析作業により次の点が明らかになった。

- ① さぬき市局のMPの通常の測定値が、県内他の3か所のMPより常に高い原因は、特定の放射性物質が多いのではなく、周辺の地質環境が、他の地域より測定器により大きな影響を与えているためであること。
- ② さぬき市局のMPで高線量が検出された原因は、近隣でX線発生装置が作動したためと推測されるが、原因の特定には至らなかったこと。
- ③ 観音寺市局のMPで異常低値の原因が、機器異常であると検証されたこと。
- ④ 丸亀市局のMPの測定値が昼間微増する原因は、機器異常の前兆である可能性があること。

## VI 今後の課題

MPのSPデータを解析することにより、県内3か所で生じた異常値の原因を究明することができた。しかし、いくつか課題が残された。

さぬき市局での高線量事例については、X線発生装置によるものと推測したが、現場を特定することはできなかった。今後の同様事例への対応のため、SPの形状から発生源までの距離やその間の遮蔽物質の種類と量を推測できないか検討してみたい。

観音寺市局の異常低値のスペクトルの特徴を明確に示すことができ、機器異常の検出スキルを確立できた。今後は、このスキルを日常の監視業務に活用していきたい。

丸亀市局での微小変動の原因を、3つの仮説を挙げて究明を試み、解析結果より1つの可能性が高いことを報告できた。これにより、測定値の変動理由の究明スキルを高めることができた。しかし、今回は典型的とは言えない限られた量のデータしか回収することができなかったが、今後異常が出た場合は速やかにSPデータを回収し、迅速かつ高精度のデータ解析を行いたい。また、丸亀市

局の測定器は今後変動幅が大きくなる恐れがあるので、継続して監視していきたい。

## 文献

- 1) 森 好平, 勝間 孝: モニタリングポストでの空間放射線スペクトルデータの活用, 香川県環境保健研究センター所報, 18, 54-64(2019)
- 2) 森 好平, 勝間 孝: 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, 香川県環境保健研究センター所報, 17, 57-64(2018)
- 3) 原子力規制庁監視情報課: 連続モニターによる環境γ線測定法, 放射能測定法シリーズ No. 17, 99-102(2017)
- 4) 飯田博美編: 放射線概論, 通商産業研究社, 30-32(2005)