

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

Practical Use of Spatial Radiation Spectrum Data Acquired by Monitoring Post

森 好平 勝間 孝
Kohei MORI Takashi KATSUMA

要 旨

当所に設置されている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り、2011年11月よりデータが保存されている。このデータには重要な情報が多く含まれており、活用すれば多くの研究成果を上げることができる。昨年の所報に掲載した「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」の中で、降雨時と明け方の空間放射線量の増加の原因と、近隣の工場での非破壊検査の影響について報告した。その後の研究で、降雨時と非破壊検査の影響についてさらに詳細なデータが得られた。また、モニタリングポストのスペクトルデータから銀河宇宙線起源の γ 線を分離できる可能性があり、大気降下物中に含まれる Be-7 の結果と合わせることで、上層大気の挙動や他の分野の研究に応用できるデータが得られた。

Abstract

The monitoring post installed at our office has a function to record spectral data, and since November 2011, the data has been stored. This data contains a lot of important information, and if utilized, many research results can be achieved. In the “Analysis of Small Variations in the Air Radiation Dose Rate at the Kagawa Prefectural Research Institute for Environmental Sciences and Public Health” published in last year's bulletin, the causes of the increase in spatial radiation dose during rainfall and at dawn and non-destructive testing at nearby factories. The effect of the test was reported. Subsequent research provided more detailed data on the effects of rainfall and non-destructive testing. In addition, we were able to conduct research on the observation of solar magnetic field fluctuations by separating gamma rays originating from galactic cosmic rays and the fall of Be-7 produced in the upper atmosphere to the lower atmosphere. The specific method and research results are reported.

キーワード： スペクトル 空間放射線 モニタリングポスト 非破壊検査 Rn の娘核種
銀河宇宙線 太陽磁場 太陽黒点相対数

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当所に設置されているモニタリングポスト（ALOK A製MAR-22、温度補償型 NaI(Tl)シンチレーション検出器）にはスペクトルデータを記録する機能が備わっており、機器を更新した2011年11月よりデータが保存されている。（コラム1参照）

前報¹⁾では、スペクトル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 γ 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 γ 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、65keVをピークとした明確なスペクトル分布が出現する。

これらのことを踏まえ、今回はスペクトルデータを解析して次の3点について検討した。

- ① 降雨による全 β 線量増加の原因解明
- ② X線を使った非破壊検査の影響の精査
- ③ 銀河宇宙線由来の γ 線を分離しての解析

コラム1 スペクトルデータの概要

スペクトルデータは1チャンネルが5keVのエネルギー幅で1000チャンネルあり、それぞれのチャンネルの10分間のカウント数が記録されている。1000チャンネルは5MeVに相当するが、5MeV以上のγ線が検出された場合、1000番目のチャンネルに足し合されている。データは、測定日時や測定時間などのヘッダ一部に続き、1~1000チャンネルのカウント数が並び、テキストファイルの形式で記録されている。ファイルは月日時分を表すファイル名がつけられ、1日分144ファイルが年月日を表す名のフォルダーに収められている。ファイルはテキストファイルの形式であるが、拡張子がウィンドウズで特別に定義されているものと同じ「.spc」となっているため、そのままでは開くことができないが、開くプログラムを指定してやることにより、テキストファイルとして読み込むことができる。

厚な試料が採集されていたと思われる。それを降雨から10時間ほどで全β線を測定したため、半減期の短いRnの娘核種が多く試料中に残っていたと考えられる。そのため4日後のGe-γ線検出器での測定、5日後の全β線再測定では検出されなかったのであろう。この考えで矛盾はなく調査目的の人工放射能の関与もないと判断して調査を打ち切ったが、これは推測であり、可能ならば原因物質を突き止めることが望ましいと考えた。降雨時のモニタリングポストの測定値が上がっていたので、スペクトルデータより原因物質が特定できるかと考え解析を試みた。

コラム2 降雨と測定の概要

降雨時間 2018年10月19日 5:00~6:00
 降水量 1.5mm、採水 113mL、供試量 100mL
 採水時刻 10月19日 9:00
 測定時間 15:00~ (試料の測定時間:16:30~17:00)
 試料カウント 855、BGカウント 691
 計数率 55±13cpm/L、降下量 2.3Bq/L、3.5MBq/km²
 Ge-γ線検出器での測定
 10月23日 13:40~(70000秒)
 全β線測定器での再測定 10月24日 10:52~11:22
 再測定結果
 試料カウント 711、バックグラウンド 690
 計数率 7±12cpm/L
 降下量 0.3Bq/L、0.5MBq/km²

II 降雨による全β線量増加の原因説明

1 はじめに

2018年10月19日の降雨の全β線測定において、3σを超えるβ線が測定されたが、ゲルマニウム半導体検出器によるγ線スペクトロメトリー（以下Ge-γ線検出器）にかけたところ、何も検出されなかった。（コラム2参照）その後行ったβ線の再測定ではσ以内に収まっていた。
 1 週間無降雨後の少量の雨で、放射性物質が通常より濃

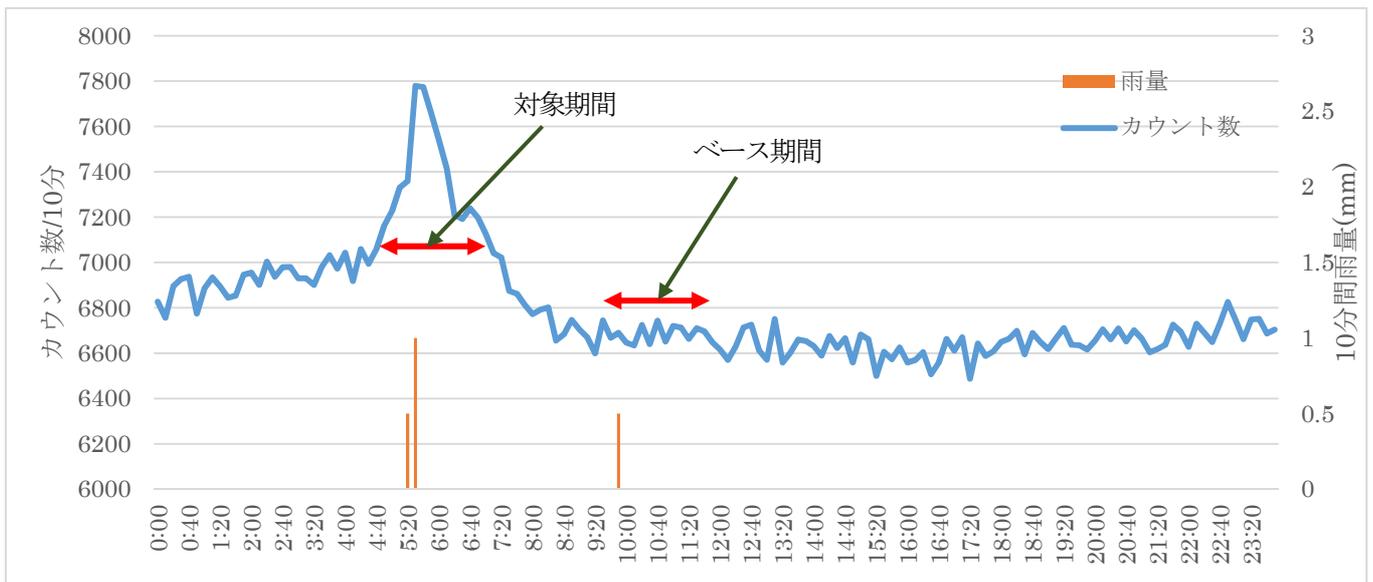


図1 2018年10月19日のカウント数と雨量の変化

2 方法

モニタリングポストの10月19日の γ 線カウント数の変化のグラフを作成する。降雨の影響により γ 線が増加している対象期間と、何の影響も受けていない γ 線カウント数が低く安定しているベース期間を選定する。その期間のスペクトルデータを集計し、対象期間、ベース期間、その差のスペクトルグラフを作成する。そのグラフより、増加の原因物質を推定する。

3 結果

図1に10分間の γ 線カウント数の変化と雨量のグラフを示す。図1より降雨前の γ 線最高値7059カウント(4:20)以上の4:40~7:00(15データ)を対象期間とし、カウント数が下降した後の比較的安定している9:30~11:50(15データ)をベース期間とした。

対象期間とベース期間について、エネルギーチャンネルごとのカウント数の合計からスペクトルを作成したものと、その差のスペクトルを図2に示した。

図2より、対象期間スペクトルとベース期間スペクトルがほとんど一致している部分と少し差がある部分とが見られ、その差のスペクトルは、降雨時に何らかの原因により付加されたもの、すなわち、付加線量スペクトルとして表示している。付加線量にピークがあるかどうかの判定は目視による。

K-40の1460.75keVピークとK-40のシングルエスケープの949.75keVピークのように、ベース期間と対象期間のスペクトルが一致して変動しているものは、付加された

ものではなく普段から環境中にある放射性物質に起因するものである。降雨により付加されたピークを判定していくと、図2のようにPb-214とBi-214に関連したピークばかりとなる。

5 考察

結果より、2018年10月19日の降雨の全 β 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。

全 β 線放射能測定調査の目的は「核種分析などの精密な測定を行うかどうかの判断のための材料の提供」²⁾であり、その後の核種分析はI-131、Cs-134、Cs-137などの人工核種の検出である。全 β 線放射能測定とその後に行う γ 線分析機による核種分析は、試料の前処理が必要で手間と時間がかかるが、モニタリングポストはリアルタイムで計測結果が見られるため、従来の降雨の測定方法をモニタリングポストのスペクトルデータに置き換えることが可能かどうか検討してみた。

モニタリングポストのスペクトルデータの弱点はエネルギー分解能が低いことであり、隣接してピークがある場合どちらの核種か判定できない。(コラム3参照)また、半値幅が広く検出されることで、定量分析も難しくなると思われる。グラフを目視で判定することで存在は確認できても正規の方法で定量値を計算すると検出限界以下という結果しか出ないと思われる。よって、精密測定の代替にはできないであろう。

雨水の全 β 線放射能測定の代替ができないか検討した。

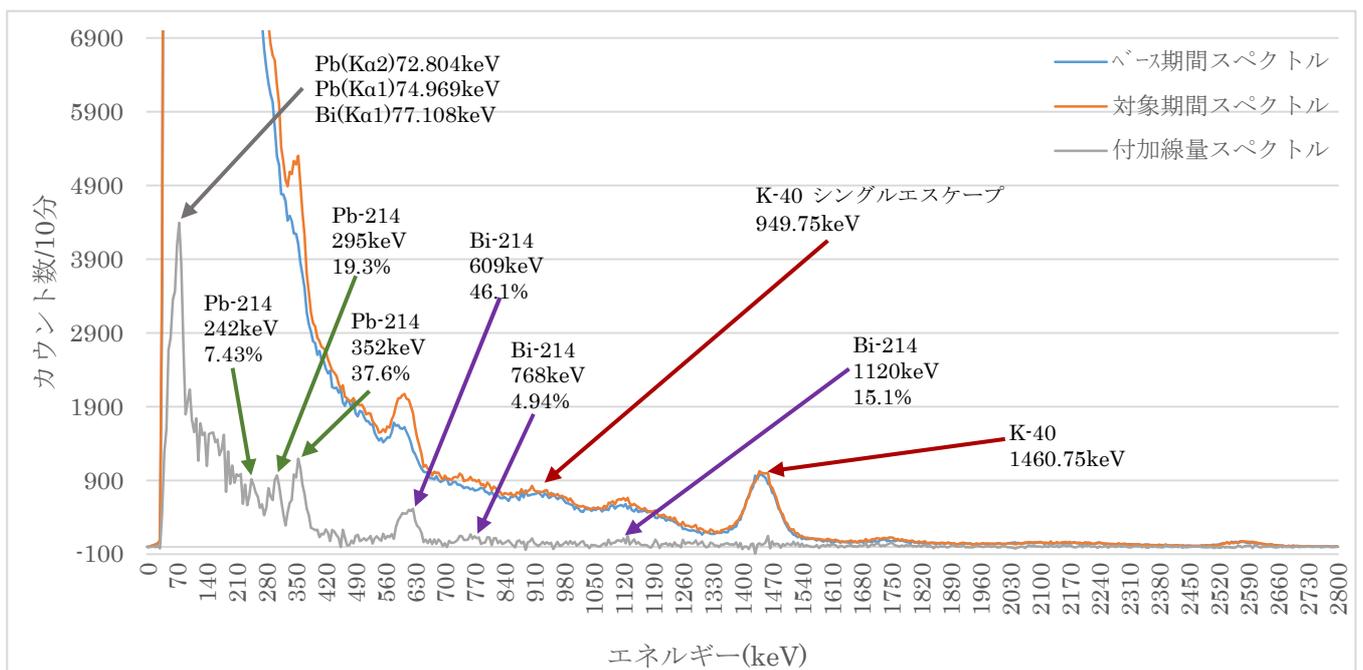


図2 2018年10月19日の空間放射線のスペクトル(核種下の数字はその核種が出す γ 線のエネルギーと放射割合)

コラム3 モニタリングポストのスペクトルデータのエネルギー分解能と重要な近接エネルギー

2018年10月19日の測定において、K-40のピークで半値幅が17チャンネル(85keV)である。また、監視対象となる人工核種と主要な自然核種で放射する γ 線のエネルギーの近いものとしては、Cs-134の604.66keVとBi-214の609.312keV、I-131の364.48keVとPb-214の352keVなどがある。

具体的操作として、降雨時のモニタリングポストによる空間放射線量が基準値より高くなった場合、スペクトルデータを確認し、人工放射能が疑われる場合のみ、貯めておいた雨水を適切な方法で加熱濃縮しGe- γ 線検出器にかけるという方法を想定している。この方法をとることによって、迅速性が向上し作業時間を少なくできる。

目的とする人工核種はRnの娘核種に比べ半減期が長く(崩壊率が低く)、降雨時には雨とともに流れ去ってしまうため、全 β 線測定で 3σ を超える程度の放射線量をモニタリングポストのスペクトルデータで検出できるかどうかは定かでない。雨水中にどのくらいの人工放射性物質が含まれていればモニタリングポストのスペクトルデータがどのように変化するか、データが無く今後得られる可能性もほとんどないため、研究を進めることができず、現状では全 β 線放射能測定の代替は困難である。

Ⅲ X線を使った非破壊検査の影響の精査

1 はじめに

近隣の工場でのX線を使った非破壊検査の影響はモニタリングポストのスペクトルデータで判断できることを前報¹⁾で示した。しかし、これは2017年度中で最も高い空間放射線量が測定された時のデータを使ったものであり、空間放射線量の微増を非破壊検査の影響と特定できるか確認できていない。また、降雨による空間放射線量の増加と非破壊検査が重なった場合、それぞれの影響を分離し補正できるかも未解明である。そのため、今回は2018年12月から2019年2月のデータの中から、非破壊検査のX線の影響がある可能性のあるものを拾い出し、スペクトルデータを比較することにより、日常の監視業務の中でのスペクトルデータの活用について検討した。

2 方法

モニタリングポストの1分間データを1日毎にグラフ化する。空間放射線量が短時間での上昇・下降を繰り返

して、非破壊検査のX線や降雨による影響が出ている可能性のある時刻を拾い出す。その時刻のスペクトルデータと同じ日の非破壊検査や降雨の影響がない時刻のスペクトルデータをグラフ化して比較する。

3 結果

(1) 典型的なX線を使った非破壊検査の影響

2019年1月28日の空間放射線量の1分間データを示したのが図3である。

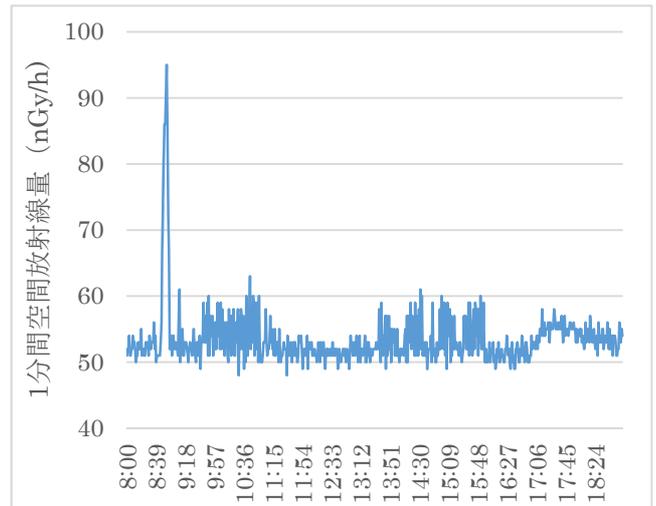


図3 2019年1月28日 空間放射線量(1分間値)の変化

8:47~8:57頃にこの日最大のピークが見られる。それに続き9:45~11:30、昼をはさんで13:40~15:50に櫛の歯状の細かなピークが連続しているのが、非破壊検査の作業によるX線の影響と考えている。17:00頃からなだらかな上昇が見られるが、この日、17:00~18:00の間に0.5mmの降雨があり、その影響だと思われる。このように1分間値のグラフでは、短い時間で変化しているのが非破壊検査の影響であると推測できる。

図3において特徴的な時間帯のスペクトルグラフが図4~図5である。

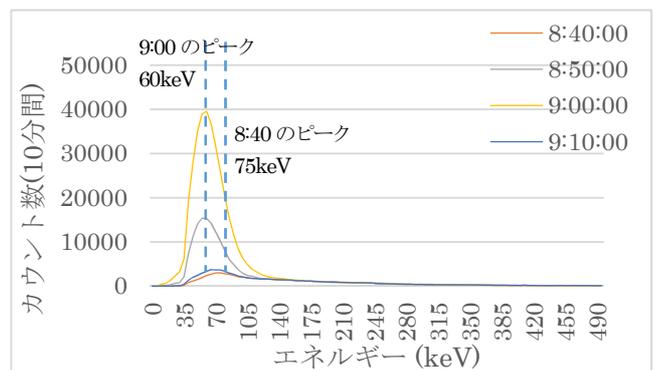


図4 最大ピークとその前後のスペクトル

図4の8:40(8:30~8:40の積算値)のスペクトルは、図3よりX線装置の電源が入れられる前のバックグラウンドと考えられ、この時のエネルギーピークは75keVである。図3より8:47~8:57にこの日最初のX線放射があるが、他と違い10分間連続しているため、ウォームアップのような操作が行われていると思われる。8:50(8:40~8:50の積算値)は最大ピークの前半3分間、9:00(8:50~9:00の積算値)は最大ピークの後半7分間のスペクトルである。この時のスペクトルのピークは60keVであり、バックグラウンドのピーク75keVとは明らかに違っている。100keV以下での急激なカウント数の増加と、スペクトルのピークのエネルギー値低下により、X線による非破壊検査の影響と判断できる。

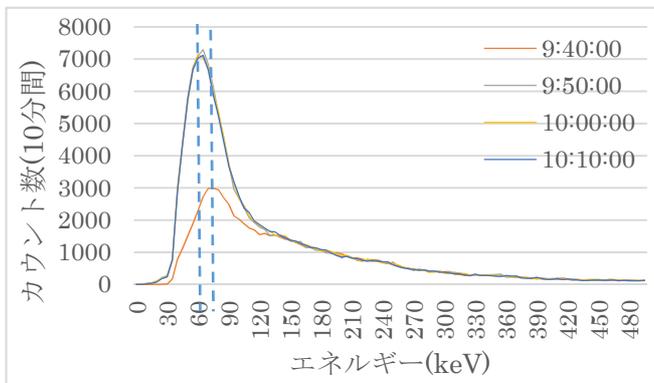


図5 櫛の歯状のピークが連続している際のスペクトル

図3の9:45~11:30に、櫛の歯状の細かなピークが見られる時間帯のスペクトルが図5である。この時間帯の直前の9:40分のスペクトルと一緒に示している。

この時間帯も、カウント数は少ないものの、図4と同様な形のスペクトルを示していることから、同じ非破壊検査の影響と考えている。9:40のエネルギーピークが75keV付近でカウント数が3000程度なのでバックグラウンド、9:50、10:00、10:10ではピークのエネルギー値が下がり、カウント数が大きく増加しているため非破壊検査を行っているときのスペクトルと判定できる。

(2) 付加量が小さい例

2019年1月22日の空間放射線量の1分間データを示したのが図6である。

X線を使った非破壊検査は、検査の対象物や検査内容、実施場所、照射方向などにより、当所のモニタリングポストに対する影響が大きく変わると考えられる。1月22日は10分間値で最大でも54nGy/hであり、小雨が降ったり明け方わずかに増加したりするのと同程度の付加線

量である。しかし、図7の1分間データでみると朝1番のピーク(8:47、64nGy/h)があり、小さいながらも櫛の歯状の細かなピークの連続らしきものが見られる。そのため、X線を使った非破壊検査の影響の可能性があると考え、スペクトル解析を行った。

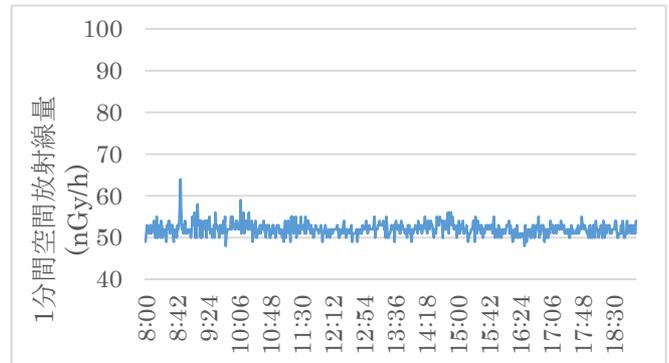


図6 2019年1月22日空間放射線量(1分間値)の変化

図6において特徴的な時間帯のスペクトルグラフを図7~図8に示す。

図7の8:30、8:40、9:00のスペクトルはほぼ一致しており、ピークのエネルギー値やカウント数からバックグラウンドと思われる。8:50はピークのエネルギー値が下がりカウント数が大きく増加している。図4に比べ時間が短くカウント数も低い、図4の時と同様にX線を放射していると考えられる。

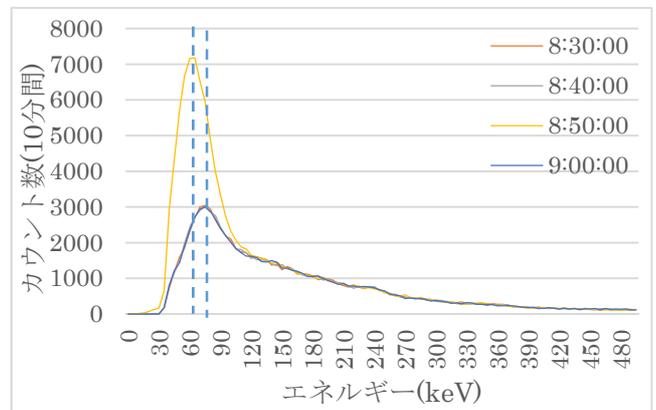


図7 最大ピークとその前後のスペクトル

図8において11:10は6:00と重なっており、バックグラウンドと判断できる。11:30、11:40はピークのエネルギー値が下がりカウント数が増えているため非破壊検査のためのX線が放射されたと判断できる。この間、10分間の空間線量率では53nGy/hまでしか増加しておらず、10分ごとの変動幅も1nGy/hずつのなだらかな変化に留まっている。従来なら誤差の範囲内の変動との認識であるが、スペクトルを見ることでX線を使った非破壊検査の影響と判断することができた。

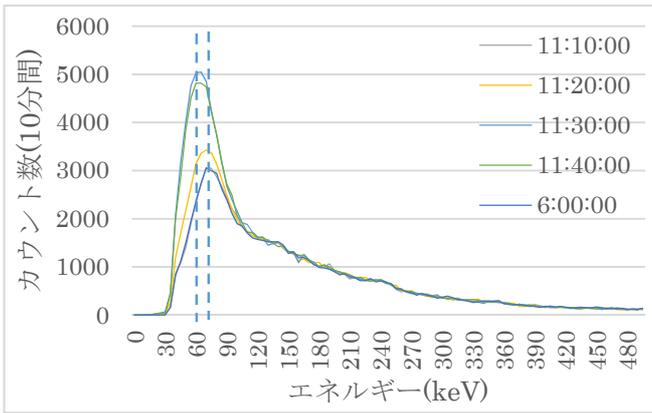


図8 櫛の歯状のピークが連続している際のスペクトル (6:00 は比較のためのバックグラウンド)

(3) X線を使った非破壊検査と降雨が重なった例

2019年1月31日の空間放射線量の1分間データを示したのが図9、10分間データと雨量を示したのが図10である。

図9、図10から、X線を使った非破壊検査の特徴である急激な上昇降下が8:40と13:50、14:10に見られる。それに続く時間帯にも図9では櫛の歯状の変動があるためX線の放射があったことがうかがえる。また、12:00以降になだらかな上昇が見られるが、図10より雨量の変化とよく対応しており降雨による空間放射線量の増加と見

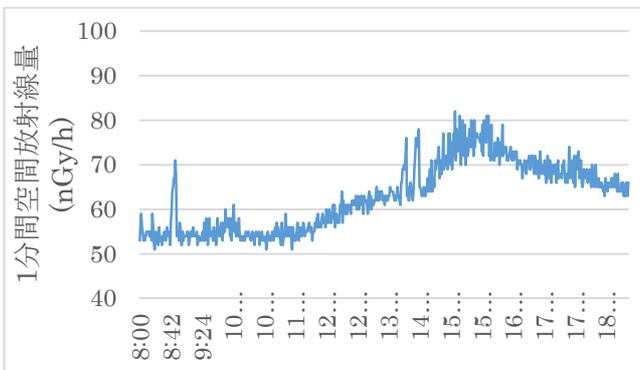


図9 2019年1月31日空間放射線量(1分間値)の変化

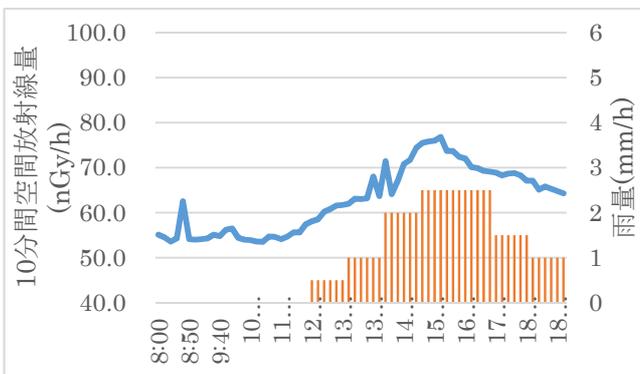


図10 2019年1月31日の空間放射線量(10分間値)と雨量の変化

られる。そのため、13:50 から夕方にかけて雨による増加とX線を使った非破壊検査による増加が重複している期間があるものと思われる。そこで、特徴的な時間帯でスペクトルを比較し、降雨による放射線量の増加と非破壊検査のX線を区分できるか試みる。

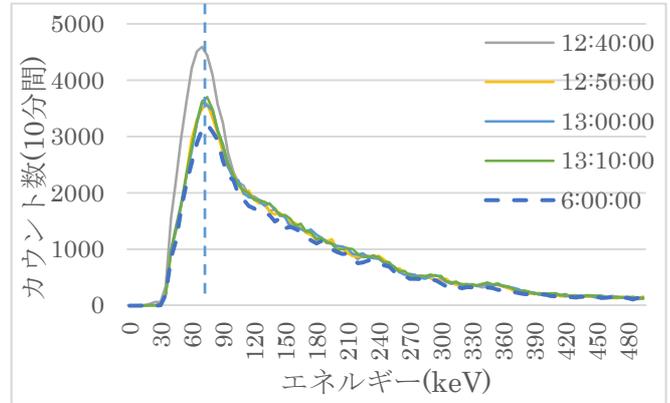


図11 降雨のみの影響と思われる時間帯のスペクトル (6:00 は比較のためのバックグラウンド。12:40についてはピークのカウン트가大きいことと、ピークのエネルギー値が6:00より小さくなっていることから、非破壊検査のためのX線放射があったことが考えられる。)

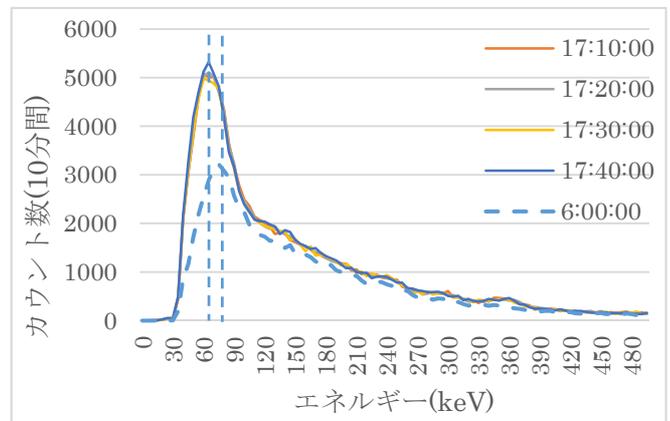


図12 降雨と非破壊検査の影響が重なっていると思われる時間帯のスペクトル (6:00 は比較のためのバックグラウンド)

図11に雨量のみの影響と思われる時間帯のスペクトル、図12に降雨と非破壊検査の影響が重なったと思われる時間帯のスペクトルを示す。

図11では、スペクトルのピークがバックグラウンドの6:00と同じ75keV付近にあり、広いエネルギー領域においてカウント数が増える降雨時の特徴のみを備えている。図12では広いエネルギー領域においてはカウント数が増える降雨の特徴と、ピークのカウント数が大きくなり

ピークのエネルギー値がバックグラウンドより小さくなる、X線による非破壊検査の特徴が重なっている。

4 考察

(1) 空間放射線量増加原因の特定

モニタリングポストが近隣でのX線を用いた非破壊検査の影響を受ける場合や、降雨により空間放射線量が増加した場合のスペクトルの特徴から、その両者の影響を分離することが可能であった。また、10分間の空間放射線量の変化では誤差の範囲内としか認識できないような微小な変化でも、1分値の細かい変化とスペクトルのピークのずれから、X線を用いた非破壊検査の影響を推定できた。今回の解析では10分間値が53nGy/h(バックグラウンドより5%程度の増加)でもその原因がX線を使った非破壊検査であると特定できた。これはモニタリングポストの測定精度の向上に大きく寄与すると考える。

(2) 原因の判明している空間放射線量増加分の補正

降雨による放射線量の増加と非破壊検査に使われるX線のスペクトルが収集できたので、その影響を差し引く補正をすることにより、微小な他の影響が見えてくる可能性がある。

降雨による空間放射線カウント数の増加は、広い範囲のエネルギー値について均一であると仮定して、2019年1月31日の12:50、13:00、13:10のスペクトルの総カウント数を平均し、バックグラウンドとして使用した6:00の総カウント数になるよう、すべてのチャンネルに同じ割合で補正したスペクトルのグラフが図13である。

この図では16:00のグラフとほぼ一致し、広い範囲で均一に増加しているという仮定が妥当であったことが分かる。

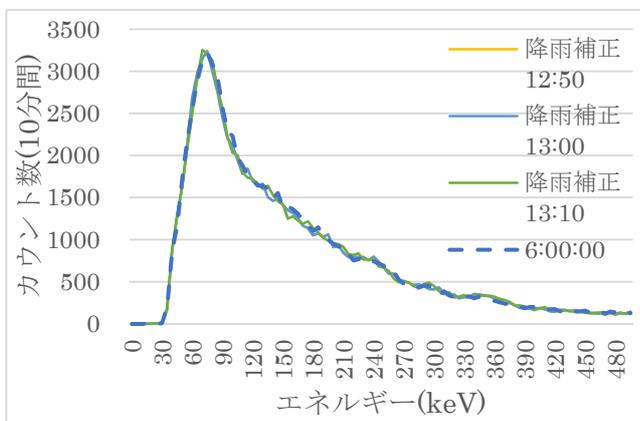


図13 降雨の影響を補正したスペクトル
(6:00は比較のためのバックグラウンド)

X線を用いた非破壊検査の補正については、次の2点を仮定して行う。

- ①常時同じ機器を使用していて同じパターンのX線スペクトルが現れるものとする。
- ②チャンネルごとのカウント数のX線による増加の割合は、X線の強度が変化しても変わらないものとする。具体的には次のように補正する。
- ③X線を用いた非破壊検査の影響を受けた典型的なスペクトルをX線の標準スペクトルとする。(2017年5月30日20:30のデータを使用)
- ④非破壊検査に使用されるX線のほぼ全域である15~150keVについてバックグラウンドの差を積算する。
- ⑤補正しようとしているスペクトルではその差が標準スペクトルの何%かを計算する。
- ⑥チャンネルごとに、標準スペクトルのバックグラウンドとの差にこの割合をかけて、補正しようとしているカウント数から引き算する。

このように補正したのが図14である。

図14は、ピーク付近にわずかなずれが見られるが、バックグラウンドとした6:00のデータとよく一致しており、この補正で良いことが分かる。

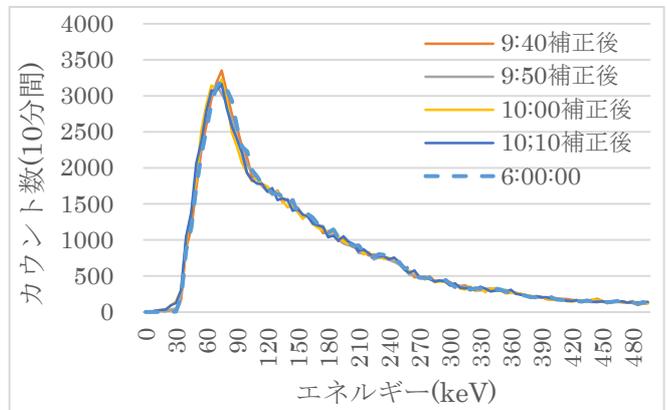


図14 X線による非破壊検査を補正したスペクトル

降雨時にX線による非破壊検査が行われている場合は、両方の補正を行う必要がある。しかし、降雨の影響を補正するとき、X線も含まれた全カウント数を使うと過剰な補正がかかってしまうため、非破壊検査のX線の影響がある150keV以下のカウント数は除外する。また、将来I-131(364keV)、Cs-134(605keV)、Cs-137(662keV)のピークが現れた場合にも対応できるように、350keVより大きいカウントも除外し、150~350keVのカウント数を使って補正を行う。

このようにして、図12のグラフに降雨による影響とX

線による影響を補正したのが図15である。

ピーク前後に少しずれはあるが、120keV以上のエネルギー帯においてはバックグラウンドとほぼ一致しており、両方の影響を補正できていると考えられる。

また、他のグラフではわかりにくかった360keV付近のふくらみが明確に見えるようになった。これはRnの娘核種Pb-214に対応しているものと思われ、補正により特定の核種のスペクトルは明確になることも確認できた。これらの方法により、降雨等の影響を補正することで、それ以外の変化の検出が可能となる可能性がある。

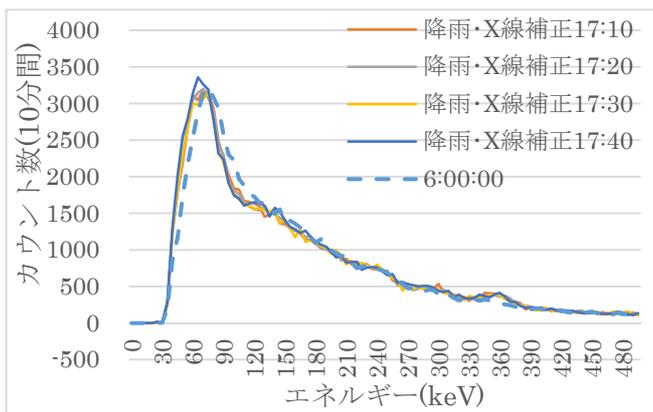


図15 図12に降雨と非破壊検査の補正を施したグラフ
(6:00はバックグラウンド)

5 今後の課題

X線を使った非破壊検査の影響、降雨による影響を補正できるようになり、それ以外の影響が現れた場合、微小な変化でもとらえることができるようになった。しかし、技術的に確立できていても現状では手間がかかるため、日常の監視業務の中での運用は難しい。

ALOKA製の環境放射線モニタMAR-22は、RS-232Cデータ出力機能があり、現在のデータ収集システムの拡張によりリアルタイムにスペクトルデータを表示できる。このようなシステム拡張により、効率的な常時監視が行えるようになることが望まれる。

IV 銀河宇宙線由来の γ 線を分離しての解析

1 はじめに

これまでに、大气降水物中に含まれるBe-7の長期変動を解析した報告^{3) 4)}により、太陽黒点相対数とBe-7測定量との間の関係を明らかにした。この両者の関係には様々な要因が係わっているが、銀河宇宙線量の測定により、Be-7変動の原因を太陽活動など地球外の要因と、気象現象などの地球大気内の要因に切り分けて解析することができる。(コラム4参照)

2 方法

(1) 銀河宇宙線由来 γ 線の判断

モニタリングポストのスペクトルデータには、放射性同位元素が出さない3MeV以上の γ 線カウント数も記録されている。それを合計したものを銀河宇宙線由来の γ 線であるとみなした。

(2) データの抽出

モニタリングポストのスペクトルデータは、10分間の各チャンネルのカウント数が1ファイルとして保存され、2011年10月26日から2019年3月31日までおよそ394000ファイルからデータを抽出しなければならず、そのためマクロを作成して抽出した。

また、データについては、欠測や文字化けなどの異常を確認した。

(3) データ補正

① 測定回数補正

欠測や文字化けなどのデータ異常があるため、毎月の測定回数を4320回(30日×144回)として合計カウント数補正した時の時間変化を図16に示す。

コラム4 Be-7と太陽黒点相対数、モニタリングポスト測定データとの関係

Be-7は上層大気中で酸素原子や窒素原子から高エネルギー銀河宇宙線により生成される。銀河宇宙線はほとんどが陽子であり電荷をもっているため太陽磁場の影響を受ける。太陽磁場は太陽活動により発生し、その指標として太陽黒点相対数が使われている。そのため、Be-7の生成量は太陽黒点相対数と関係がある。また、生成されたBe-7が大気降水物中に観測されるまでには、上層大気から地表付近まで移送される間の気象現象などの影響を受ける。

一方、銀河宇宙線が地球上層大気の原子核と衝突して原子核反応を起こす時、大量の2次、3次粒子を生み出し、 μ 中間子などの素粒子と γ 線を大量に地上に降らせる。また、モニタリングポストは放射性物質からの γ 線だけでなく、宇宙線由来の γ 線もカウントするため、後者を分離すればBe-7の生成量と関係がある。よって、銀河宇宙線由来の γ 線の測定によりBe-7変動の原因を、地球外と地球大気内に切り分けられる。

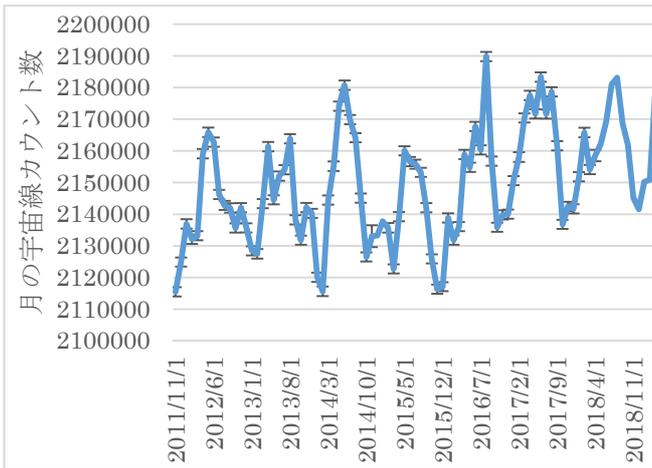


図16 30日に換算した月ごとの宇宙線量

② 月補正

図16には1年周期の変動が見られ、それを確認するため同じ月の平均値を取ってグラフにしたのが図17である。

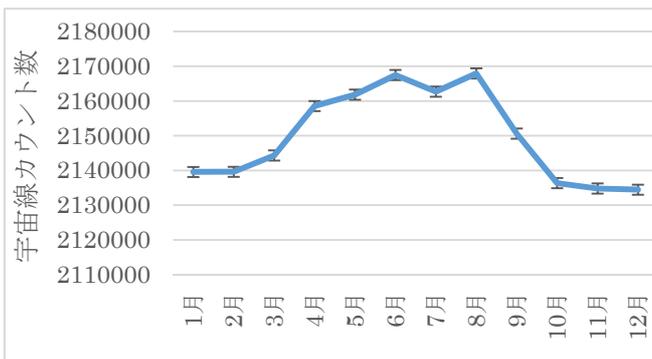


図17 月ごとの平均宇宙線カウント数

図17より、2%程度ではあるが、夏高く冬低い明確な傾向が見て取れる。様々な原因が考えられるが、今回の研究では究明はせずに現象を補正することにした。そのため、年間を通じての平均値である2147544にそろえるよう月ごとに補正計数を算出して計算した、宇宙線量の変化を図18に示す。

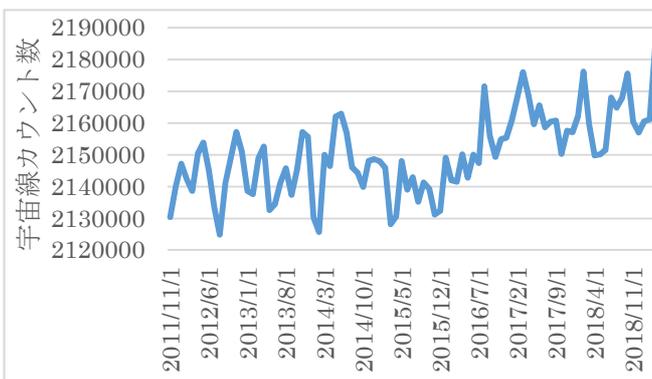


図18 月補正をした宇宙線量

③ 13か月移動平均

測定回数補正、月補正を施してもまだ細かな変動が見られるので、13か月移動平均を適用し、周期1年以下の変動を補正した。その結果を図19に示す。

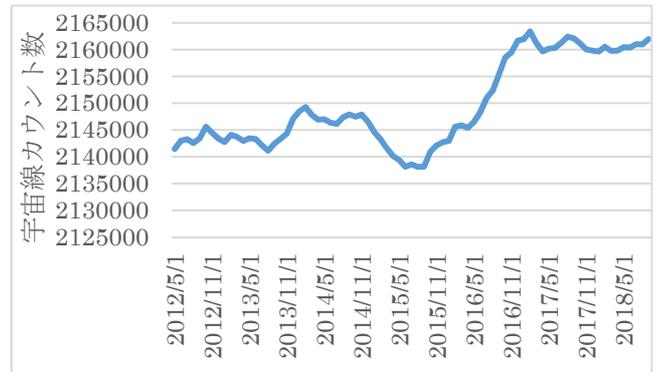


図19 13か月移動平均を行った宇宙線量の変化

(4) 太陽黒点相対数データの取得

国立天文台での観測データ。「国立天文台太陽観測科学プロジェクト 三鷹太陽地上観測 (<https://solarwww.mtk.nao.ac.jp/jp/solarobs.html>)」に公開されているものを使用する。

3 結果

(1) 太陽黒点相対数との関係

補正した宇宙線量と太陽黒点相対数(13か月移動平均)の相関関係を示し、時系列順に線をつないだグラフを図20である。

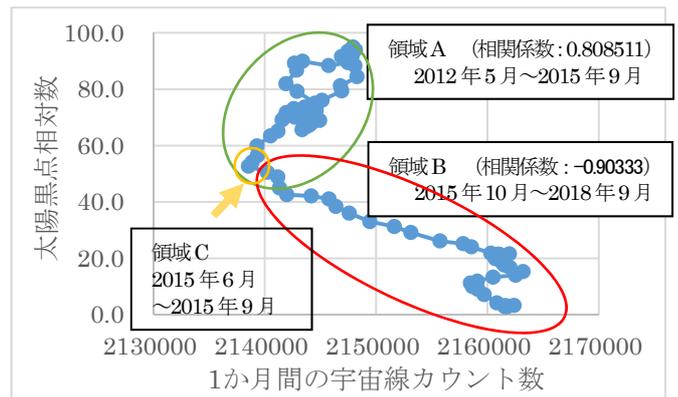


図20 補正後の宇宙線量と太陽黒点相対数の相関

図20では、分布が明確に2つの領域に分けられる。領域Aは正の相関、領域Bは負の相関になっており、それぞれの領域に入る期間も明確に分割できる。また、領域Cは領域Aに含めたほうが、それぞれの領域の相関係数の絶対値が大きくなるので、領域Aに含めたが、この4か月が2つの領域の転換期に見える。

(2) Be-7 量との関係

宇宙線のカウント数と地上で観測された Be-7 の相関関係を示し、時系列順に線をつないだのが図 21 である。

図 23 を見ると、Be-7 量が大きく変化している 2 つの期間の間に、宇宙線量が変化しても Be-7 量があまり変化しない時期が見られる。それぞれの期間とその間の相関係数と近似曲線の傾きを示したのが表 1 である。

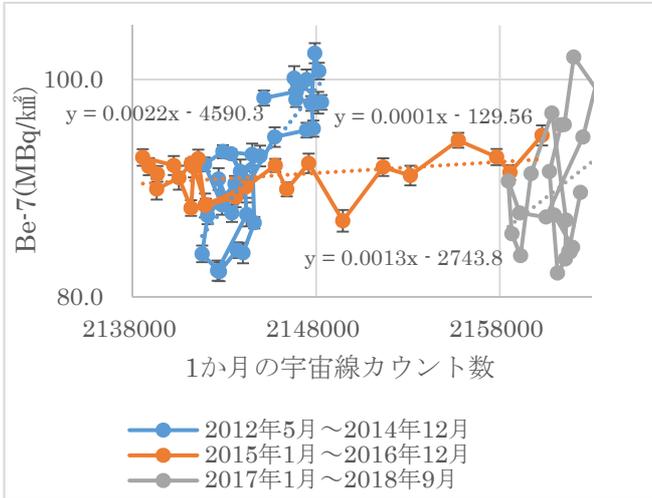


図 21 宇宙線量と地上で観測された Be-7 量の相関

表 1 宇宙線量と Be-7 量の関係における相関係数と近似直線の傾き

期 間	相関係数	近似直線の傾き
① 2012/ 5～ 2014/12	0.811099	0.002183
② 2015/ 1～ 2016/12	0.361437	0.000103
③ 2017/ 1～ 2018/ 9	0.300883	0.001311

4 考察

(1) 太陽黒点相対数との関係

図 20 の領域 A の期間は「Be-7 の長期変動の解析」³⁾で指摘した「異常 H」に分類される期間 (2013 年 4 月～2015 年 5 月) を含む期間となっている。つまり、太陽磁場の双極構造が乱れた時期に、太陽黒点相対数に相当するだけの宇宙線遮蔽効果が発揮されないことが、このデータでも示唆された。さらに、その期間は太陽黒点相対数と宇宙線量が正の相関を示している。このことは、図 19 に太陽黒点相対数の変化を重ねた図 22 にも表れている。

図 22 において、緑の線の左側の領域 A では宇宙線量と黒点相対数が同期して変動(正の相関)しているが、緑の線の右側の領域 B では逆向きの変動(負の相関)をしている。

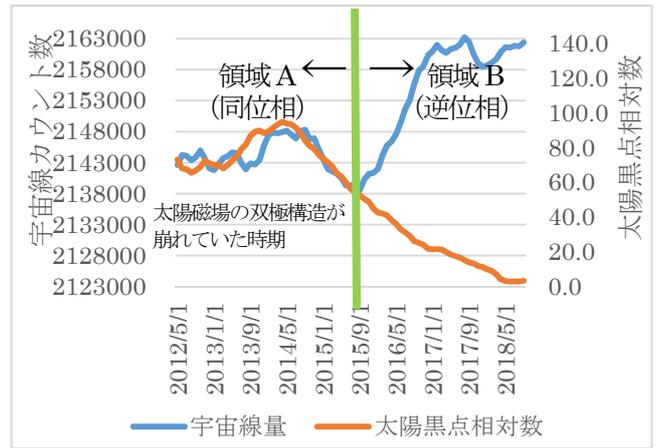


図 22 宇宙線量と太陽黒点相対数の時間変化

(2) Be-7 量との関係

表 1 の①期間 (2012 年 5 月～2014 年 12 月) ははっきりと正の相関を示すが、②、③の期間は比較的弱い正の相関を示している。②の期間の傾きは他の 2 つの期間の 1/10 以下であり、明らかに異なっている。また、宇宙線量とそれにより生成される Be-7 量が比例しているとする、近似直線の傾きは 1/24000 (0.000042) 程度となると考えられ、②の期間が比較的近い値となっている。①と③の期間においては、②の近似直線の上下にほぼ均等に分布しており、平均した Be-7 量は②の期間と同等とも見える。

上層大気で生成される Be-7 は宇宙線量に比例すると考えられるが上層大気から下層大気へ移動するのに必要な時間は一定でないため、このような現象が現れているとも考えられ、上層大気の挙動の研究に応用できるかもしれない。

6 今後の課題

宇宙線量と太陽黒点相対数の解析では、明確な関係が見いだせてとても興味深い。銀河宇宙線量の観測が太陽活動の研究においてとても重要な手段になりうる可能性があると考えられるので、今後は太陽研究の専門家による解析を期待する。

今回は、高松市でのモニタリングポストのスペクトルデータで解析したが、他の地点でも同様の傾向があるか検証の必要がある。

宇宙線量と地上で観測される Be-7 量の関係は、上層大気からの物質移送を反映している可能性がある。これらを解析することで、大気汚染物質の移動やオゾン層のオゾン降下、下層大気の凝結核増加による雲量の増加などのメカニズム解明につながると考えられ、今後も研究を深めていきたい。

文献

- 1) 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)
- 2) 原子力規制庁監視情報課放射線環境対策室 : 平成 31 年環境放射能水準調査委託実施計画書, 6(2019)
- 3) 森 好平, 勝間 孝 : 大気降下物中に含まれる Be-7 の長期変動の解析, 香川県環境保健研究センター所報, 17, 51-56(2018)
- 4) 森 好平, 勝間 孝 : 大気降下物中に含まれる Be-7 の長期変動の解析(第 2 報), 香川県環境保健研究センター所報, 18, 45-53(2019)
- 5) 藤波 直人, 渡辺 哲也, 前田 高志, 荒木 智徳, 筒井 剛毅 : 環境放射線モニタに認められた太陽フレアの影響, 平成 16 年度放射能分析確認調査技術検討会資料, 185-189(2005)
- 6) 檜崎 幸範, 藤高 和信 : 宇宙線生成核種 Be-7: 大気中濃度と日本への降下量, 平成 21 年度放射能分析確認調査技術検討会資料, 117-132(2009)
- 7) 磯村 公郎, 平木 隆年, 池澤 正 : Be-7 を用いた都市部の光化学オキシダントに占める成層圏 O₃ の寄与の評価, 平成 19 年度放射能分析確認調査技術検討会資料, 187-193(2008)
- 8) 石川 陽一, 檜崎幸範, 鈴木 利孝 : 降下物の放射能測定における大陸起源エアロゾルの影響, 平成 17 年度放射能分析確認調査技術検討会資料, 163-166(2006)
- 9) 檜崎 幸範, 藤高 和信, 五十嵐 修一, 石川 陽一, 藤波 直人 : 日本における Be-7 降下量の地域別季節変動, 平成 9 年度放射能分析確認調査技術検討会資料, 1-12(1998)
- 10) World Data Center for Cosmic Ray ホームページ
- 11) 塩田 大幸 : 太陽周期活動と太陽極域磁場, 天文月報, 109, 705-710 (2016 年 10 月)
- 12) 国立天文台研究成果 : 太陽と惑星間空間の活動の関係(2012 年 9 月 19 日)
- 13) 冠野 禎男, 西原 幸一 : 地表大気中の Be-7 濃度の変動について, 香川県環境研究センター所報, 17, 73-77(1992)