

モニタリングポストで検知された集団検診時の X 線の特徴

黒崎 裕人・大野 峻史・藤巻 廣司・山崎 興樹

Characterization of X-rays from the mass chest radiography detected at a station for the environmental radiation monitoring

Hirohito Kurosaki, Ono Takashi, Hiroshi Fujimaki and Koki Yamazaki

Keyword : X-ray, Mass chest radiography, Multi-channel analyzer, Environmental radiation monitoring

1 はじめに

新潟県では、東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所(以下「発電所」という。)周辺の環境放射線モニタリングを、営業運転に先立つ昭和 58 年 10 月から継続実施している。この業務は、通常観測される天然由来の放射線の中から、いかに早くごく僅かな人工放射線を検知し、それが発電所の影響によるものか否かを調べるという大切な役割を担っている。一方で、放射線を利用した機器も身の回りで使用されている事から、発電所の影響ではない人工放射線源を検知する場合もある。それでも日頃からこのような検知事例を積み重ねることで、発電所の影響か否かを判断する技術力を向上させることができると考えている。

放射線源の特定には、NaI(Tl)シンチレーション検出器(以下「NaI 検出器」という。)に、マルチチャンネルアナライザ(以下「MCA」という。)機能を付加した機器が有効である。これを用いることで人工放射線源を検知した例として、坂上ら¹⁾は全計数率(以下「SCA2」という。)による X 線発生装置の、著者ら²⁾は指標線量率による水分密度計の事例を報告した。

ここでは、胸部 X 線集団検診(以下「集団検診」という。)時に検知される X 線について、坂上らの報告後に新たに整備した三次元(カウント数、エネルギー及び時刻)表示が可能な MCA や、秒単位で測定値の変動を記録できる電子記録計などの機器を用いて、SCA2 による X 線の検知事例を解析し、その特徴を調べたので報告する。

なお、集団検診時に検知される X 線は、その線量率レベルから、周辺住民へ影響を及ぼすものではないことを付記する。

2 方 法

2.1 柏崎市街局の位置

Fig. 1 に柏崎市街局の位置を示した。柏崎市街局は、発電所から南南西 7.8km の位置にあり、柏崎市の中心部(市役所)に近いモニタリングポストである。同局の敷地は、

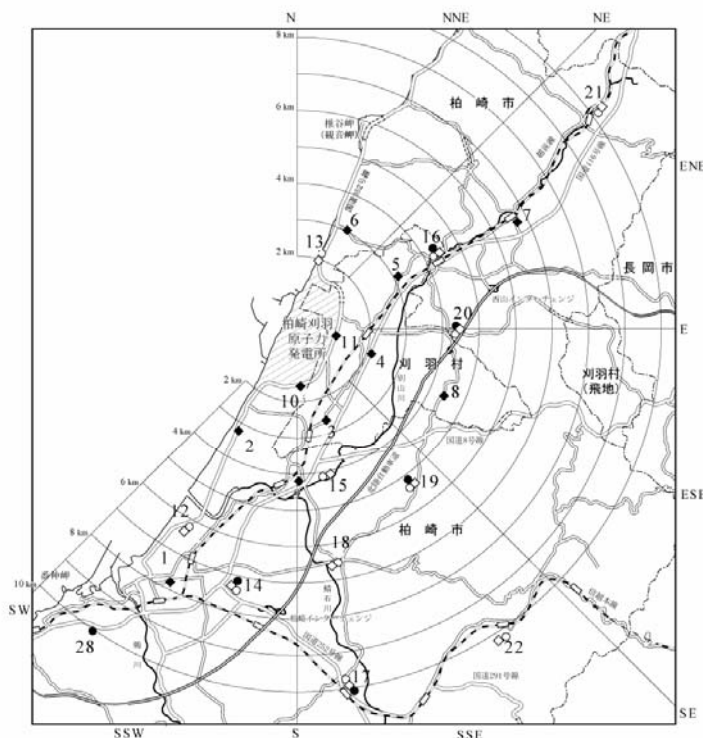


Fig. 1 モニタリングポスト等と柏崎市街局の位置
No. 1: 柏崎市街局, No. 2~11: その他のモニタリングポスト
No. 12~28: モニタリングポイント (積算線量計)

新潟県柏崎地域振興局健康福祉部(柏崎保健所)の一角にあり、その駐車場では、毎年、検診車による地元住民のための集団検診が行われている。駐車場の位置から、検診車と NaI 検出器は 20m 前後の距離がある。

2.2 測定機器

NaI 検出器は、アロカ(株)製(2 インチ×2 インチ NaI(Tl)シンチレーション検出器 ADP-122UK1. エネルギー補償式、温度補償式、検出器加温装置(35°C一定)付き、地上高さ 1.5m)。計数率及び線量率は、2 分値、10 分値及び 1 時間値として算出した。

電離箱検出器は、アロカ(株)製(140 , 4 気圧球形アルゴン加圧型電離箱検出器 RIC-328, 検出器加温装置(35°C一定)付き、地上高さ 1.5m)を使用した。

MCA は、アロカ(株)製(エネルギー範囲 50keV~5,000keV, チャンネル数 1,000ch)を用いた。線量率換算は、G(E)関数荷重演算方式(デジタル)で行った。

スペクトル解析には、キャンベラジャパン(株)製スペクトルエクスプローラ Ver1.30 を用いた。

SCA2 は、全チャンネルの計数率の総和を算出して求めた。

人工放射線寄与分の線量率を表す指標線量率は、既報³⁾の手法により、線量率の実測値から天然成分の線量率を差し引いて求めた。

電子記録計は、横河電機(株)製 DX230 を使用した。通常は 20 秒値(最大値と最小値)を記録するが、イベント事象時には、5 分前に遡って 1 秒値(最大値と最小値)を継続して、計 4 回分を自動記録できる。

3 結果と考察

3.1 SCA2 による放射線の検知

当センターでは、日常的に NaI 検出器、電離箱検出器、指標線量率及び SCA2 などの 10 分値をモニターしており、それらの変動の状況を見ながら、放射線の放出状況に異常がないかを監視している。

Fig.2 に、平成 21 年 9 月 11 日の柏崎市街局における空間放射線量率等の経時変化を示した。NaI 検出器や電離箱検出器の値には、特段の変化は見られないが、SCA2 の値は、13:30 から 15:30 にかけて増加していることが認められた。また、指標線量率も NaI 検出器の値と同様に顕著な増加が見られなかった事から、SCA2 を増加させた放射線は、線量率の増加には、ほとんど寄与しない低エネルギー成分の放射線と推測された。

また、他のモニタリングポストにおいては、SCA2 の特段の変動が認められない事から、柏崎市街局の近傍のみで発生した事象であると推測された。

3.2 MCA によるスペクトル解析

ここで検知された放射線の発生源を推定するため、MCA を用いたスペクトル解析を行った。

Fig.3 に柏崎市街局で検知された X 線～ガンマ線スペクトルを、三次元(カウント数、エネルギー及び時刻)で示した。SCA2 が最大となった 13:40 には、64keV にピークを

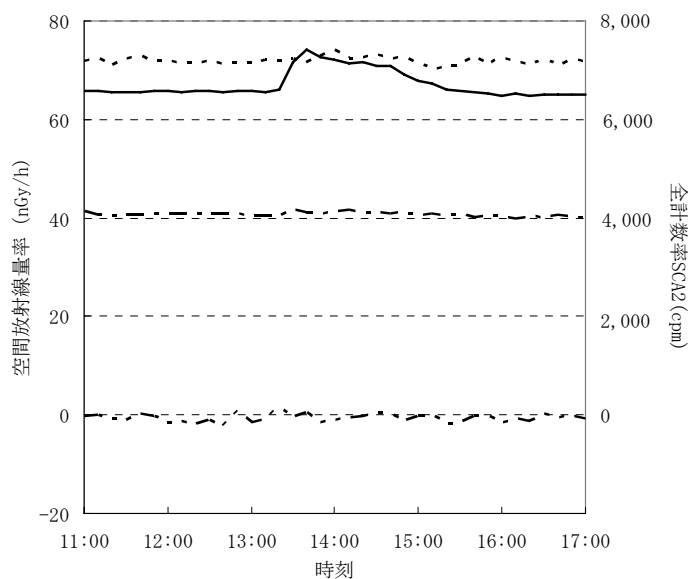


Fig.2 柏崎市街局における空間放射線量率(10分値)等の経時変化(平成21年9月11日)

--- NaI検出器 (nGy/h) — 全計数率SCA2 (cpm)
 電離箱検出器 (nGy/h) - · - · 指標線量率 (nGy/h)

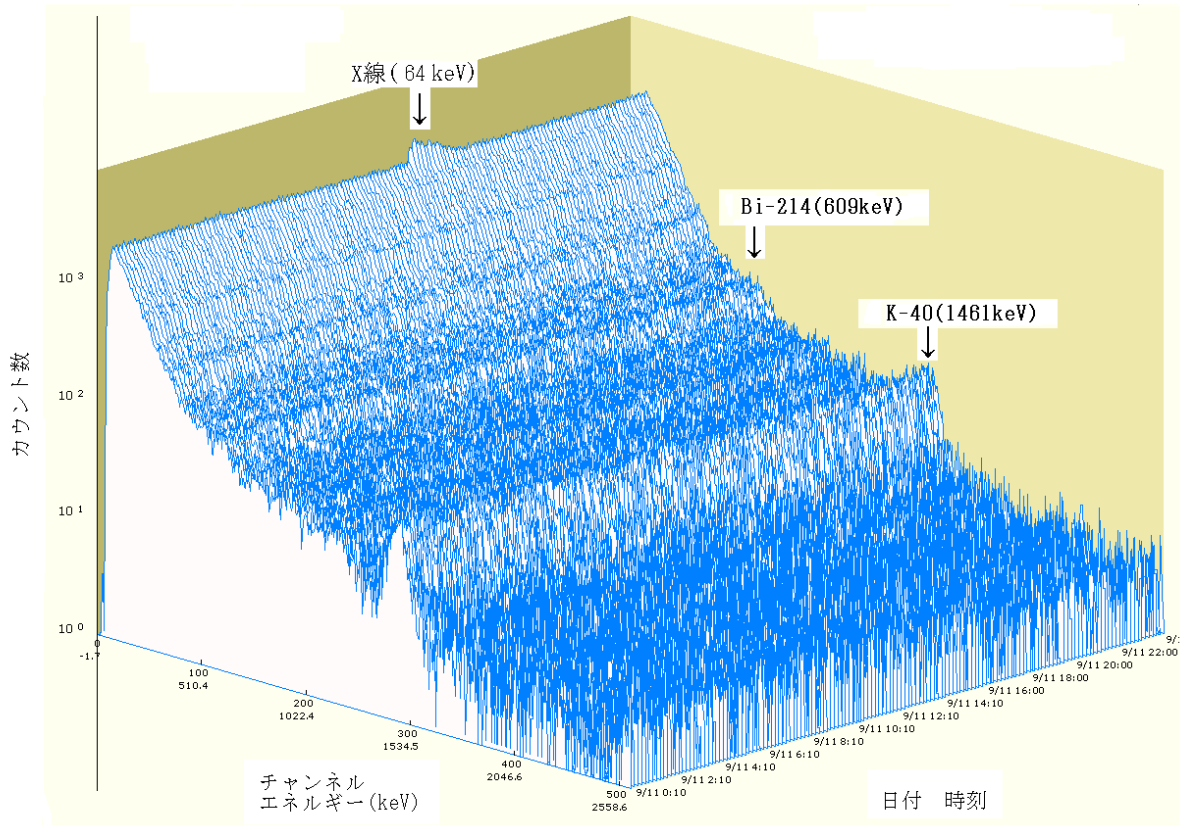


Fig. 3 柏崎市街局で検知されたX線～ガンマ線スペクトルの経時変化 (平成21年9月11日)

持つ X 線による上昇が認められた。この X 線の経時変化の形状も、Fig.2 の SCA2 の形状とほぼ同じ事から、この X 線により SCA2 が上昇したものと考えられた。

この X 線自体のスペクトル成分を調べるため、SCA2 が最大値となった 13:40 のスペクトル値から、その 1 時間前(12:40)のスペクトル値をバックグラウンド値として差し引いた差分スペクトルを Fig.4 に示した。

Fig.3 で確認したように 64keV にピークが認められたが、Bi-214 や K-40 といった天然放射線のピークは消えて、他に顕著なピークは認められなかった。これは坂上¹⁾が報告した X 線の 60～70keV のエネルギー範囲にあり、集団検診の際に検知されるものと推定された。

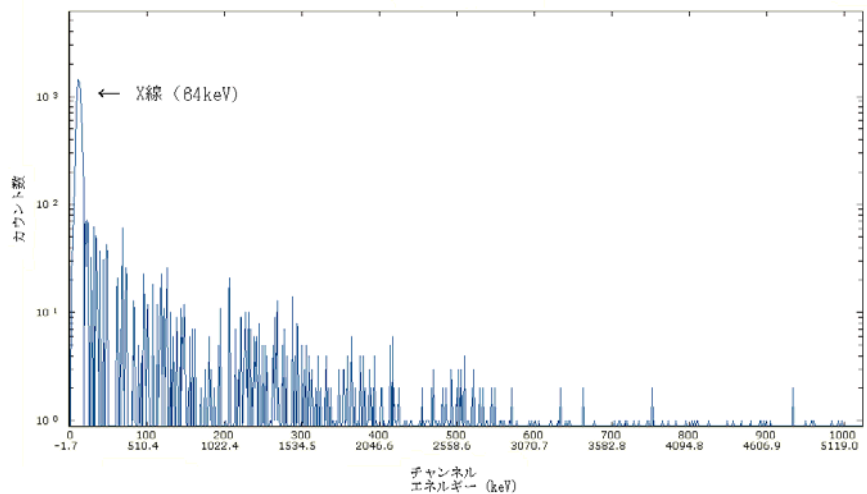


Fig. 4 差分スペクトルから得られた柏崎市街局で検出されたX線スペクトル (平成21年9月11日13:40値からBG(12:40)値を差し引いたスペクトル)

3.3 X 線発生事象の解明

当センターでは、3.1 で述べたとおり Fig.2 に示した項目を常時監視しており、

これらが急に上昇した場合には、Fig.3 や Fig.4 のスペクトル解析を行って、降雨の影響か人工放射線源によるものかを判断している。9月11日の事例は、直ちに柏崎地域振興局

健康福祉部に集団検診の実施の有無を照会したところ、検診車による集団検診が、同部駐車場において実施されたことが確認できた。よって、柏崎市街局で検知した X 線は、集団検診によるものと断定できた。

3.4 電子記録計による秒単位での SCA2 の経時変化の測定

集団検診では、Fig.2 や Fig.3 で見られるように、2 時間にわたり連続して X 線が照射されている訳ではない。松浦⁴⁾らは、医療機関で行われている成人の胸部 X 線検診の照射時間は、1 回当たり ms 単位の時間であり、10ms 以下が約半数であったと報告した。また照射の間隔については、高橋⁵⁾らが検診車による集団検診の実態を調査したところ、間接撮影の最高乗車人数は 150 名/h であり、その際に撮影にかかる時間は 1 人平均 24s であった。これらのことから、10 分値による測定では、Fig.2 や Fig.3 のように、複数人分の X 線照射を分離できずに、連続したピークとなったものと容易に推測された。坂上¹⁾も当時、可搬型ゲルマニウム半導体検出器を持ち込み、集団検診の測定を試みたが、10 分間隔での測定であったため、個々の X 線照射の状況までは捕らえられなかった。

そこで、より短時間での観測が可能となる電子記録計を用いて、秒単位での SCA2 の経時変化を調べた。

Fig.5 に SCA2(20 秒間の最大値)の経時変化を示した。Fig.2 と比較して、SCA2 の変動が短時間で繰り返されている事は確認できたが、完全に間隔のあるピークとして分離できない状況も見られた。電子記録計には 1 秒単位で 4 回分の事象を記録できる自動のイベント機能を有しているが、当日は、既に 4 回分の事象を記録していたため、13:30 以降に新たに 1 秒値の記録をすることはできなかった。

そこで、過去に行われた集団検診の際に、自動イベント機能で検知された SCA2 の 1 秒値の変化について調べ、受検者ごとの X 線照射の分離を試みた。

Fig.6 には、前年の平成 20 年 9 月 11 日に同じ柏崎地域振興局健康福祉部の

駐車場において、検診車により実施された集団検診時に確認された SCA2(1 秒間の最大値)の経時変化を示した。Fig.2 や Fig.5 に比べても、さらに個々の照射ピークが良く分離され、受検者ごとに検知される SCA2 レベルが異なるなどの特徴が見られた。これは、受検者ごとに体形が異なるため、体に当たった後の散乱 X 線⁶⁾の状況や、フォトタイマー設定による X 線の照射時間が異なることによるものと考えられた。また、最初のピーク(13:26)から数えて計 24 回のピーク(13:41)が検知され、平均すると 39s/回、時間当たりの受検者数に換算すると 92 名/h であった。以上のように SCA2 の 1 秒値を測定することで、集団検診による個々の X 線照射の状況を完全に分離できることがわかった。

3.5 検知システムの時定数の測定

前述のとおり X 線の照射時間は 1 回当たり ms 単位の時間であるから、本来、1 秒値では 1 点ピークでしか観測されない。しかし、Fig.6 では各ピークの減衰に数秒間要していることから、この減衰時間は、NaI 検出器-MCA-電子記録計の信号システム全体に係る時定数と考えられた。そこで、この検知システムの時定数を求めることとした。

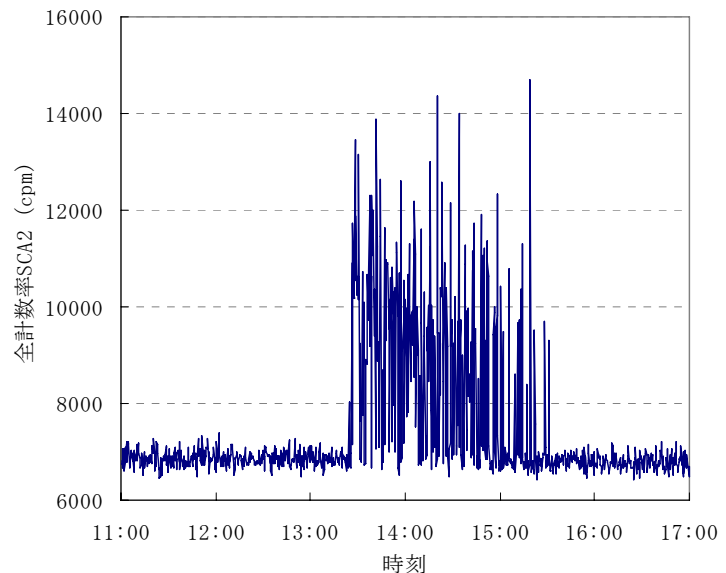


Fig.5 柏崎市街局における全計数率SCA2 (20秒間の最大値)の経時変化 (平成21年9月11日)

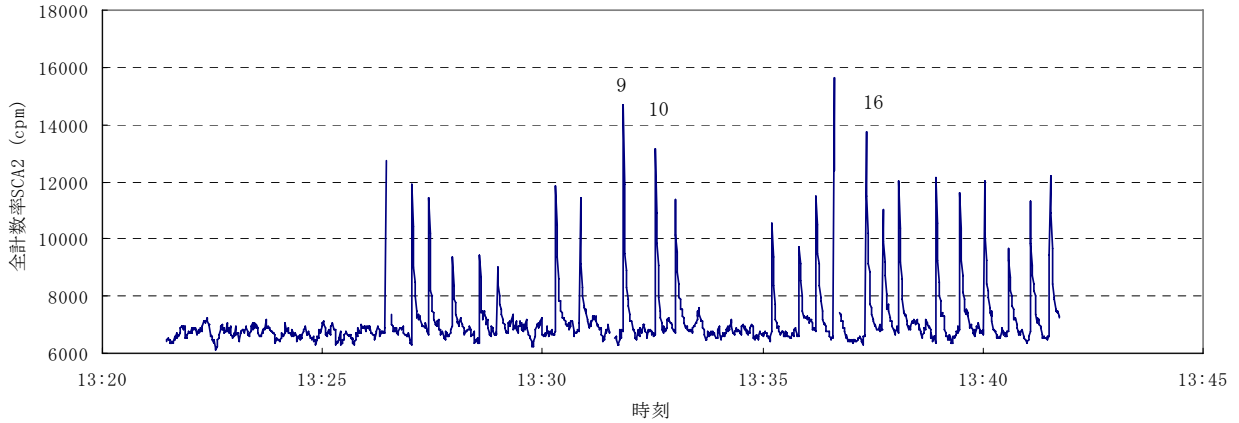


Fig.6 柏崎市街局で検知された胸部X線集団検診時の全計数率（1秒間の最大値）の経時変化（平成20年9月11日13時21分27秒～13時41分44秒）

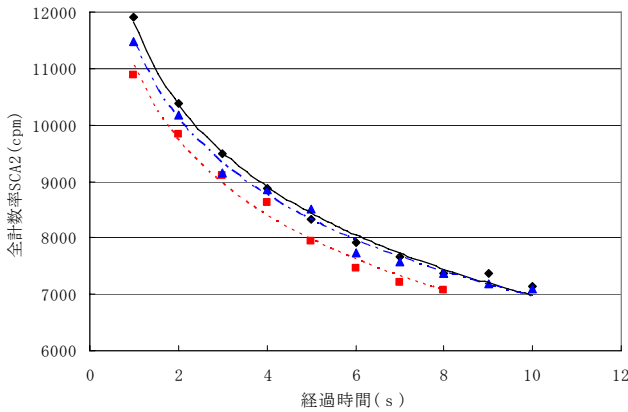


Fig.7 検知されたX線の減衰曲線

◆ No. 9ピーク ■ No. 10ピーク ▲ No. 16ピーク

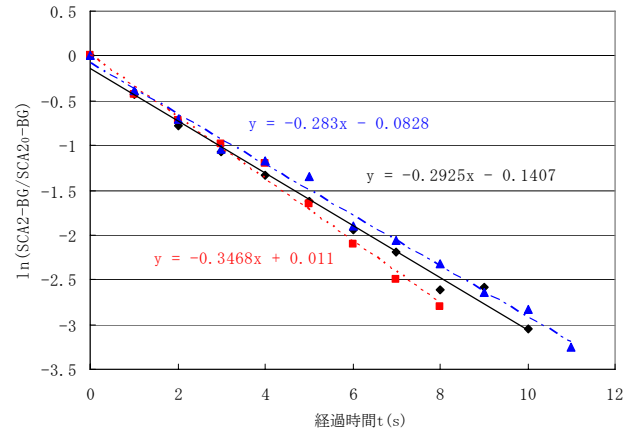


Fig.8 検知されたX線の減衰

◆ No. 9ピーク ■ No. 10ピーク ▲ No. 16ピーク

Fig.7には、Fig.6で記録された24回のピークのうち、1秒値が複数回検知されたNo.9、No.10及びNo.16の上位3つのピークの減衰曲線を示した。これが指数関数的に減少することから、

$$SCA2 - BG = (SCA2_0 - BG) \times \exp(-t/\tau) \dots \dots \dots \text{①}$$

ここで、BG（バックグラウンド）：各ピーク直前のSCA2値、SCA2₀：各ピーク頂点のSCA2値、t：各ピーク頂点からの経過時間(s)、τ：検知システムの時定数(s)

①式から

$$\ln\{(SCA2 - BG)/(SCA2_0 - BG)\} = (-1/\tau) \times t \dots \dots \dots \text{②}$$

が得られる。これをFig.8にプロットした。

Fig.8から、直線の傾き $-1/\tau$ は $-0.28 \sim -0.35$ であった。これらを平均して時定数τを算出し、

$$\tau = 3.3(s) \dots \dots \dots \text{③}$$

が得られた。

一般的に、時定数τの3倍程度の間隔があれば次の測定に影響しない⁷⁾ことから、この検知システムでは、10秒程度の間隔があれば複数ピークの分離が可能であり、Fig.6で示したようにX線照射が

平均 39 秒間隔であったことから、十分に分離が可能であったことが確認できた。

4 ま と め

集団検診時にモニタリングポスト(柏崎市街局)で検知された X 線について、MCA や秒単位で記録できる電子記録計を用いて、その特性を調べた。その結果、

- (1) 検知された放射線は 64keV をピークとする X 線であった。
- (2) 検知された X 線は、線量率にほとんど寄与しないため、線量率の上昇は見られなかった。
なお、集団検診時に検知される X 線は、その線量率レベルから、周辺住民へ影響を及ぼすものではない。
- (3) これらの X 線は、SCA2 をモニターすることで検知できた。また、用いた検知システムは時定数 τ が 3.3 秒であったことから、10 秒間隔の X 線照射を分離することができ、実際に平均 39 秒間隔で行われた X 線照射の状況を確認できた。
- (4) 日常の監視において、モニタリングポストで空間放射線量率の上昇が顕著に見られずに、SCA2 の秒単位での短時間変動を検知した場合は、集団検診による可能性も考えられる。

冒頭でも述べたが、このような人工放射線源を検知できる機会は頻繁にあるものではない。少ない機会を捕らえ、MCA を使って発生源を特定する作業は、発電所からの放射性物質の放出事案に備えて、常に心がけていかなければならないと考えている。

文 献

- 1) 坂上央存, 丸田文之, 藤巻廣司, 殿内重政: 新潟県放射線監視センター年報, 3, 49-55 (2005).
- 2) 黒崎裕人, 霜鳥達雄, 藤巻廣司, 山崎興樹: 新潟県放射線監視センター年報, 7, 19-22 (2009).
- 3) 新潟県放射線監視センター: 新潟県放射線監視センター年報, 7, 14-15 (2009).
- 4) 松浦孝俊, 他: 日本放射線技術学会雑誌, 65(3), 323-331 (2009).
- 5) 高橋康幸, 他: 日本放射線技術学会雑誌, 61(6), 847-851 (2005).
- 6) 寺部充昭: 日本放射線技術学会雑誌, 66(4), 379-384 (2010).
- 7) 日本規格協会編: JIS ハンドブック 39 放射能(JIS Z4325-2008 環境 γ 線連続モニタ附属書 A 解説), p.1087(2008).