

〔報 文〕

## 非破壊検査による周辺への線量影響

石川県保健環境センター 環境科学部 小浦 利弘・宮川 茂樹・東海林 寛史  
河野 隆史・中谷 光

### 〔和文要旨〕

本県では平成2年7月から志賀原子力発電所の周辺環境放射線監視を実施しており、空間線量率の測定は、平成28年11月現在、志賀原子力発電所から概ね30kmの圏内に設置した24カ所の環境放射線観測局において、NaIシンチレーション検出器及び電離箱検出器を用いて、1分値による連続監視を実施している。空間線量率の測定では、原子力施設以外の要因による空間線量率の上昇を検出することがあり、全国的に様々な事例が報告されている。

今回、七尾市に設置された大津観測局において、空間線量率の異常な上昇が確認されたことから、空間線量率の変動、スペクトルの解析及び周辺調査を行ったところ、原因は非破壊検査用のX線照射によるものと確認された。また、観測された空間線量率から、管理区域の境界となるX線照射装置から5m位置での照射線量率の推定を行ったところ、最大で320 $\mu$ Gy/hとなった。被ばく線量を評価すると5m位置で17 $\mu$ Sv、直近民家の屋内で3.5 $\mu$ Svとなり、一般公衆の被ばく限度と比較して十分に小さな値であり、人体への影響は無いと評価された。

キーワード：非破壊検査，放射能，X線

### 1 はじめに

本県では、「志賀原子力発電所周辺の安全確保及び環境保全に関する協定書」に基づき、平成2年7月から志賀原子力発電所周辺において、環境放射線監視を実施しており、平成28年11月現在、志賀原子力発電所から概ね30kmの圏内に24カ所の環境放射線観測局を設置し、NaI (TI) シンチレーション検出器及び電離箱検出器を用いて、1分値による連続監視を実施している。

空間線量率の測定では、原子力施設以外の要因による空間線量率の上昇を検出することがあり、全国的に様々な事例が報告されている。具体的な事例として、放射線を用いる検診車による影響<sup>1,2)</sup>、体内投与された医療用放射性物質による影響<sup>1,3)-5)</sup>、非破壊検査による影響<sup>6)</sup>が報告されている。このような事例による影響は短時間で

あり、原因を特定しにくいのが特徴である。

今回、平成28年11月9日に大津観測局（七尾市）において、X線を用いた水道管溶接断面の非破壊検査による空間線量率への影響が確認されたことから、その事象について報告すると共に、当該非破壊検査による人体への影響について評価を行ったので併せて報告する。

### 2 測定方法

環境放射線観測局では、3"φ×3"NaI (TI) シンチレーション検出器（アロカ(株)製）及び14L球形電離箱検出器（アロカ(株)製）を設置し、空間線量率（1分値）並びに空間ガンマ線スペクトル（10分値）を連続測定している。

---

The Influence of the Radiation Emitted from a Non-Destructive Inspection on the Surrounding Environment. by KOURA Toshihiro, MIYAKAWA Shigeki, SHOJI Hirofumi, KAWANO Takafumi, and NAKATANI Mitsuru (Environmental Science Department, Ishikawa Prefectural Institute of Public Health and Environmental Science)

Key words : Non-Destructive Testing, Radiation, X-Ray

### 3 結果

#### 3・1 空間線量率

図 1 に平成 28 年 11 月 9 日前後の空間線量率、通過率及び降水量の変動を示す。ここで通過率は計数から線量に換算するための“DBM 回路”への入力前後の計数率比であり、大津局における通常値は約 11% である。11 月 9 日は降水が無く、空間線量率の上昇が降水による影響で無いことが確認できた。

図 2 に 11 月 9 日の空間線量率が異常上昇した時間帯の空間線量率及び通過率の変動（線量率のカウント/計数率のカウント×100）を拡大して示す。

NaI 検出器では、13:49 から 13:54 にかけて最大 0.331  $\mu\text{Gy/h}$  となる大きな線量上昇があり、その後 13:56、13:58、14:00 及び 14:03～14:04 に、計 4 回の空間線量率の上昇が確認され、その測定結果は 0.045～0.094  $\mu\text{Gy/h}$  であった。また、線量上昇の際には、通過率の急激な低下が確認され、降雨等の自然の要因ではないことが確認された。電離箱検出器では、13:50～14:08 にか

けて最大 0.502  $\mu\text{Gy/h}$  となる空間線量率の上昇が確認された。最大の線量を示したのは、NaI 検出器が 13:53、電離箱検出器が 13:54 であり、電離箱検出器の反応が若干遅れる結果となったほか、電離箱検出器のトレンドは 1 つの山となっており、時間分解能が低かった。

#### 3・2 現地の状況

今回観測された事象の起きた時刻前後の WEB カメラ画像を確認したところ、人が接近するなどの事象は認められなかったことから、空間線量率の上昇が確認された約 30 分後に観測局付近に勤務する職員による現地調査を行った。その結果、X 線を用いた水道管溶接断面の非破壊検査が行われたことが判明した。当該非破壊検査が行われた場所と観測局の位置関係を図 3 に示す。

非破壊検査が行われた場所は観測局から 82m と大きく離れており、建物等による遮蔽の影響を大きく受ける X 線が観測局まで到達するか疑問となる点もあったが、聴き取り調査により、「200kV-3mA の X 線照射装置のウォーミングアップを横向きで行い、その後、水道管の溶接面の非破壊検査を 4 回（6 秒照射/回）実施した。」

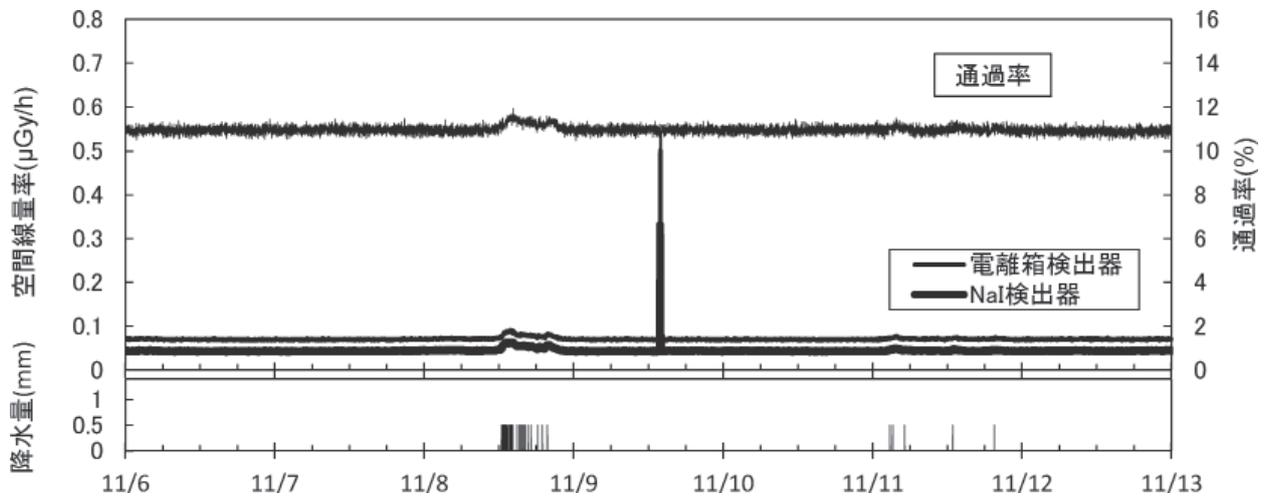


図 1：空間線量率、通過率及び降水量の変動

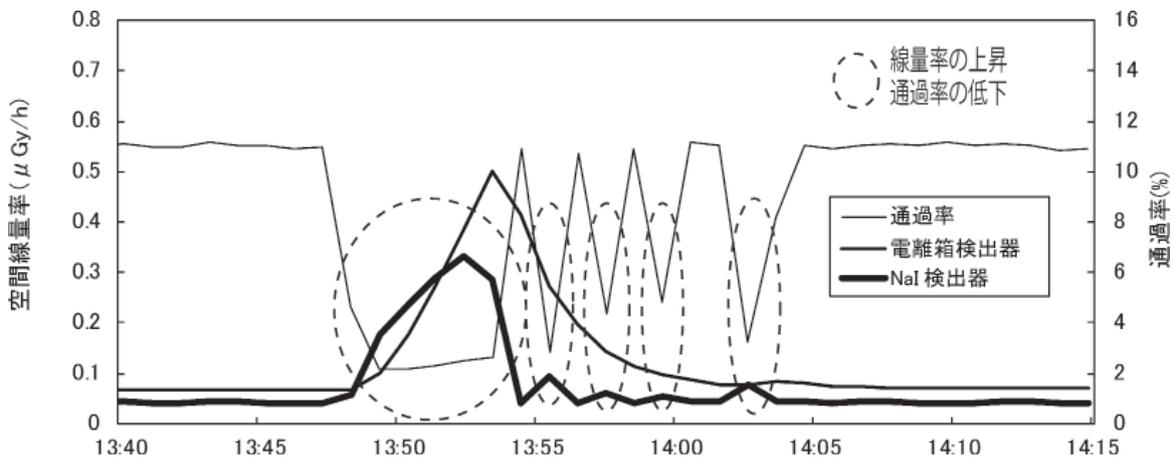


図 2：空間線量率及び通過率の変動

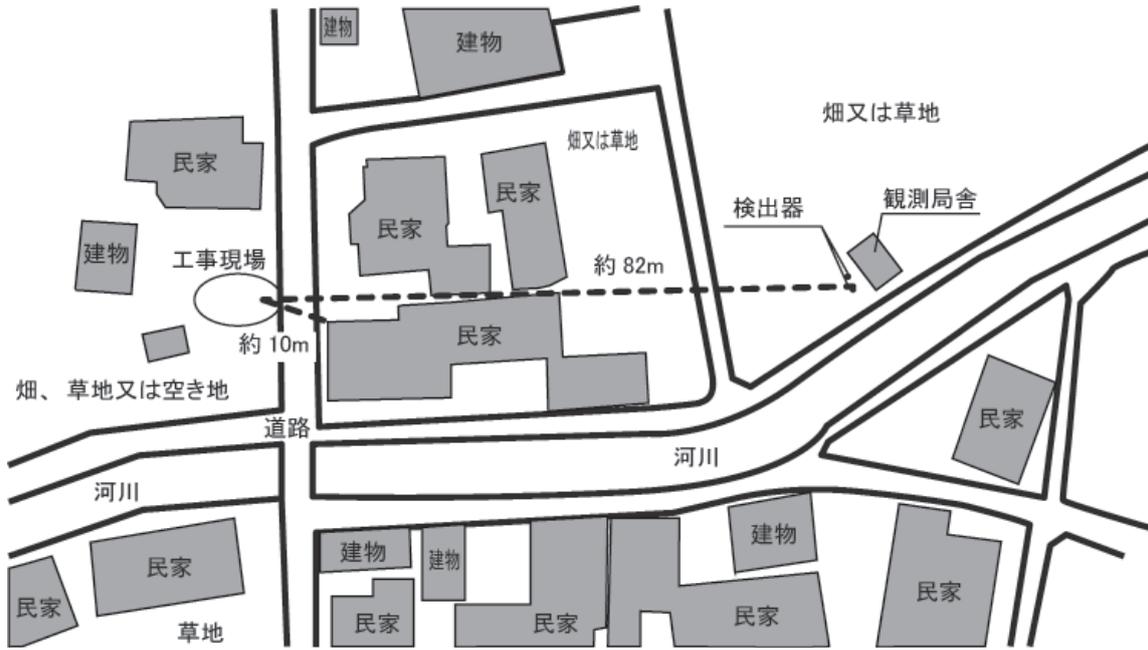


図3：周辺の概略図

との情報と、図2に示す空間線量率の変動状況が一致したことから、当該非破壊検査が原因となって空間線量率が上昇したと推定した。

### 3・3 NaIスペクトル

図4にNaI検出器の10分値スペクトルの推移を示す。13:50～14:00にかけて低エネルギー側での大幅なカウントの上昇が見られた後、平常値に戻っていく状況が確認された。また、人工放射性核種によるピークは確認されなかった。

平常状態のスペクトルと考えられる13:40のスペクトル、空間線量率で最大値を示した14:00のスペクトル及びその差分を図5に示す。両スペクトルの差分は、40keV付近で最大となる18万カウントとなり、高エネルギー側に行くに従って、その差は小さくなっていき、スペクトルの重なりから判断できる明確な差があるのは、340keV程度までであった。X線照射装置の出力から、X線の影響は200keVまでと考えられたが、パイルアップにより、照射したX線よりも高エネルギー側でカウン

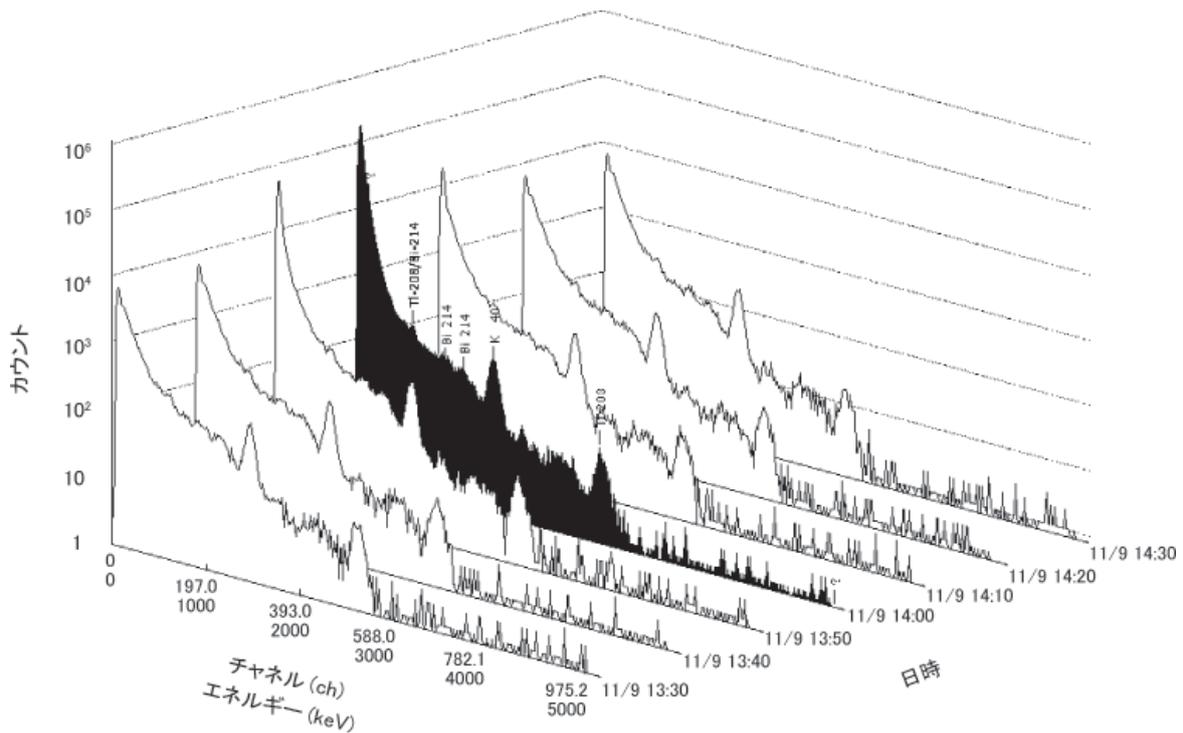


図4：スペクトルの推移

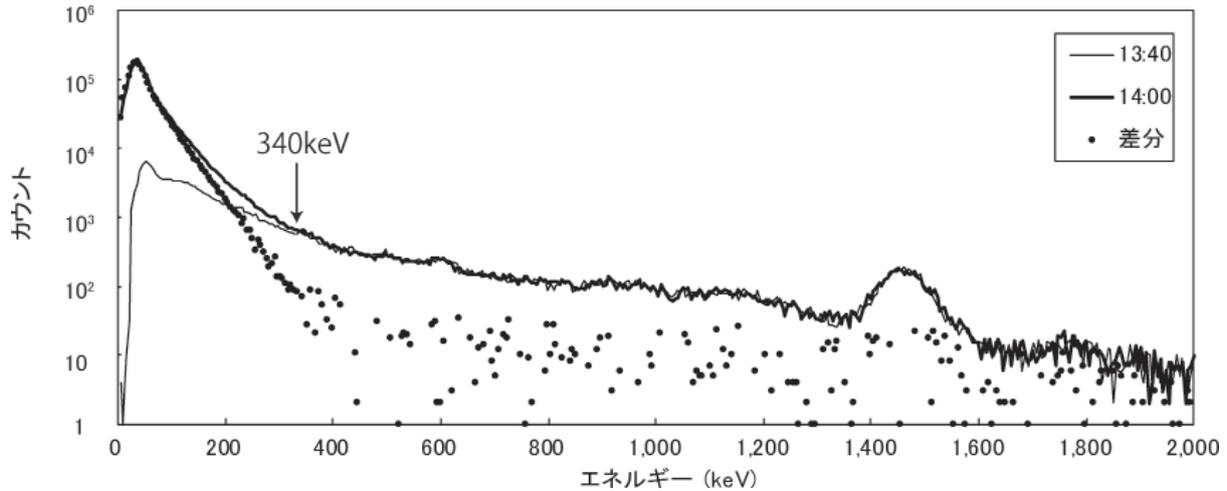


図 5：スペクトルの差分

トが上昇するとの報告<sup>1)</sup>があることから、同様の現象であると考えられた。よって、これらの結果から、平成 28 年 11 月 9 日に発生した大津局での空間線量率の異常な上昇は、X 線を用いた水道管溶接断面の非破壊検査による影響と判断した。

#### 4 考 察

##### 4・1 照射線量率の推定

X 線照射装置に係る規則（電離放射線障害防止規則）で定められた管理区域が 5m であり、5m 位置まで人が近づく可能性があることから、5m 位置での照射線量率について推定した。

推定には次の式を用いた。

(1) 距離減衰

$$I_R = I_r \times r^2 \div R^2$$

$I_R$ ：距離 R の位置での線量率

$I_r$ ：距離 r の位置での線量率

(2) 遮蔽による減衰

$$I = I_0 B e^{-\mu x}$$

$$\mu = \eta \rho$$

I：物質を通過した後の線量率

$I_0$ ：物質に入射する前の線量率

$\mu$ ：物質の線減衰係数

x：物質の厚さ

B：ビルドアップ係数 ( $\mu x \leq 1$  のときは  $B = 1$  ,

$$\mu x > 1$$
 のときは  $B = \mu x$ )

$\eta$ ：全減衰係数

$\rho$ ：密度

なお、図 3 に示すとおり、工事現場と観測局との間には、建物の隙間があり、建物による遮蔽を受けることなく観測局に到達したと考えられることから、空気以外での遮蔽については考慮しなかった。

非破壊検査の影響を受けていない、13:00～13:29 及

び 14:20～14:59 の空間線量率の平均値 (NaI 検出器：0.0424  $\mu$ Gy/h, 電離箱検出器：0.06934  $\mu$ Gy/h) を大津局におけるバックグラウンド値とし、非破壊検査による空間線量率の上昇分を表 1 のとおり算出した。NaI 検出器での最大上昇幅はウォーミングアップ時の 0.2889  $\mu$ Gy/h, 電離箱検出器では 0.4323  $\mu$ Gy/h となった。

溶接面への照射時における空間線量率の瞬間的な上昇幅について、NaI 検出器での測定結果を用いて、照射時間が 6 秒であることを考慮して算出すると、4 回の照射のうち、1 回目が 0.516  $\mu$ Gy/h, 2 回目が 0.171  $\mu$ Gy/h, 3 回目が 0.123  $\mu$ Gy/h, 4 回目が 0.366  $\mu$ Gy/h となった。値が変動しているのは、様々な角度から溶接面に対する非破壊検査を行ったためと考えられた。

次に、X 線の距離による減衰を考慮して X 線照射装置から 5m 位置でのウォーミングアップ時の照射線量率を

表 1：空間線量率の変動及び線量率の上昇

時刻	実測値		線量率の上昇分		
	NaI 検出器 ( $\mu$ Gy/h)	電離箱検出器 ( $\mu$ Gy/h)	NaI 検出器 ( $\mu$ Gy/h)	電離箱検出器 ( $\mu$ Gy/h)	
13:49	0.0561	0.0692	0.0137	-	
13:50	0.1783	0.1015	0.1359	0.0322	
ウォーミング アップ	13:51	0.2372	0.1781	0.1948	0.1088
	13:52	0.2887	0.2737	0.2463	0.2044
	13:53	0.3313	0.3864	0.2889	0.3171
	13:54	0.2854	0.5016	0.2430	0.4323
3:55	0.0416	0.4151	-	0.3458	
照射 1 回目	3:56	0.0940	0.2720	0.0516	0.2027
	13:57	0.0416	0.1958	-	0.1265
照射 2 回目	13:58	0.0595	0.1425	0.0171	0.0732
	13:59	0.0418	0.1142	-	0.0449
照射 3 回目	14:00	0.0547	0.0958	0.0123	0.0265
	14:01	0.0428	0.0864	-	0.0171
照射 4 回目	14:02	0.0429	0.0780	-	0.0087
	14:03	0.0764	0.0769	0.0340	0.0076
照射 4 回目	14:04	0.0450	0.0852	0.0026	0.0159
	14:05	0.0110	0.0800	-	0.0107
	14:06	0.0109	0.0754	-	0.0061
	14:07	0.0110	0.0733	-	0.0040
	14:08	0.0111	0.0716	-	0.0023

算出すると、NaI検出器の測定結果から77.7 $\mu$ Gy/h、電離箱検出器の測定結果から116 $\mu$ Gy/hとなった。

さらに、X線照射装置の出力から、照射されるX線のエネルギーは200keVとなることから、200keVのガンマ線の空気による線減衰係数 ( $1.476 \times 10^{-4} \text{cm}^{-1}$ )<sup>7)</sup>を用いて、空気による遮蔽及び距離減衰についてビルドアップ係数を1.14 ( $1.476 \times 10^{-4} \text{cm}^{-1} \times 7,700 \text{cm}$ )として考慮し、X線照射装置から5m位置でのウォーミングアップ時の照射線量率を算出すると、NaI検出器による測定結果では最大210 $\mu$ Gy/h、電離箱検出器では最大320 $\mu$ Gy/hとなった。この値を1 $\mu$ Gy = 0.8 $\mu$ Svとして被ばく線量に換算すると、NaI検出器では170 $\mu$ Sv/h、電離箱検出器では260 $\mu$ Sv/hとなり、指針<sup>8)</sup>に定められた「住民等を数時間内に避難や屋内退避等させるための基準」である500 $\mu$ Sv/hは下回っているものの、「住民等を1週間程度内に一時移転させるための基準」である20 $\mu$ Sv/hをごく短時間超過していた。

#### 4・2 被ばく線量の評価

空間線量率のバックグラウンド値からの上昇分を用いてX線照射装置から5m位置での被ばく線量を評価した。

空間線量率のバックグラウンド値からの上昇分を用いて大津局での非破壊検査による積算線量を算出すると、NaI検出器では0.0207 $\mu$ Gy、電離箱検出器では0.0331 $\mu$ Gyであった。

空間線量測定のための基準となる検出器は電離箱検出器であることから、被ばく線量の評価は、電離箱検出器の測定結果を使用して行った。

非破壊検査時の電離箱検出器の積算線量を用いて、距離減衰及び空気による遮蔽を考慮し、X線照射装置から5m位置での積算線量を算出すると、24 $\mu$ Gyとなった。1 $\mu$ Gy = 0.8 $\mu$ Svとして被ばく線量を評価すると19 $\mu$ Svとなり、一般公衆の被ばく限度である1000 $\mu$ Sv/年を大きく下回っており、人体への影響は無いと評価された。

#### 4・3 屋内での被ばく線量の評価

直近民家の屋内 (X線照射装置から10m位置と仮定)での被ばく線量を、管理区域境界 (照射装置から5m位置)でのX線照射線量を用いて評価した。

距離による減衰及び空気による遮蔽に加えて、建物による遮蔽を考慮し、線量を算出した。建物による遮蔽は民家が木造建築であることから、木による遮蔽が主であると考え、木の減衰係数は、木の比重を0.4g/cm<sup>3</sup>、主成分を水と仮定し、水の全減衰係数 ( $0.1362 \text{cm}^2/\text{g}$ )<sup>7)</sup>に木の比重を乗じて算出した。壁厚5cmとしてX線照射装置から10mの位置にある直近民家の屋内での照射線量率をビルドアップ係数は1として算出した。

その結果、56 $\mu$ Gy/hとなり、1 $\mu$ Gy = 0.8 $\mu$ Svとして評価すると45 $\mu$ Sv/hとなり、ごく短時間ではあるが、指

針<sup>7)</sup>に定められた「住民等を1週間程度内に一時移転させるための基準」である20 $\mu$ Sv/hを超過していた。

被ばく線量について積算線量を用いて同様に算出すると、3.5 $\mu$ Svとなり、一般公衆の被ばく限度と比較して十分に小さな値であり、人体への影響は無いと評価された。

## 5 まとめ

空間線量率の変動、スペクトルの解析及び周辺調査の結果から、平成28年11月9日に大津観測局で検出された空間線量率の異常上昇の原因は非破壊検査用のX線照射装置によるものと判断した。このことは、非破壊検査による影響が観測局から数百m離れた場所で行われても空間線量率に影響を与える可能性を示しており、今後の原子力発電所周辺の環境放射線監視にあたり、留意すべき事項であると確認された。

また、観測された空間線量率から、管理区域の境界となるX線照射装置から5m位置での照射線量率の推定を行ったところ、最大で320 $\mu$ Gy/hとなった。被ばく線量を評価すると5m位置で19 $\mu$ Sv、直近民家の屋内で3.5 $\mu$ Svとなり、一般公衆の被ばく限度と比較して十分に小さな値であり、人体への影響は無いと評価された。

## 文 献

- 1) 中俣宏二郎, 上原満, 稲本信隆: 環境放射線調査における結核検診車の影響, 鹿児島県環境保健センター所報, 4, 45-49 (2003)
- 2) 江原孝, 半田信吾: モニタリングステーションにおける空間線量率の異常上昇例, 茨城県公害技術センター研究報告, 8, 33-41 (1997)
- 3) 吉本高志, 中谷光, 小森正樹: RI投与者の環境放射線観測局接近に伴う空間放射線への影響, 石川県保健環境センター所報, 43, 38-42 (2006)
- 4) 大西勝基, 長嶋純一, 島田秀志: 連続測定における特異的なガンマ線スペクトル測定結果, 福井県原子力環境監視センター所報, 3, 36-38 (1998)
- 5) 藤波直人, 渡辺哲也, 荒木智徳, 水本美佳, 筒井剛毅: 環境放射線モニタによる放射性医薬品<sup>99m</sup>Tc被投与患者からのガンマ線の検出例, 保健物理, 38, 248-253 (2003)
- 6) 中俣慶彦, 今村和彦, 尾辻裕一, 須納瀬正, 白坂邦三郎: NaI (Tl) シンチレーション検出器におけるコンクリート構造物の非破壊検査による影響, 鹿児島県環境放射線監視センター所報, 9, 48-51 (2017)
- 7) 公益社団法人日本アイソトープ協会: アイソトープ手帳第11版, 153 (2011)
- 8) 原子力規制委員会: 「原子力災害対策指針」, 平成24年10月31日