

## 環境放射線調査における結核検診車の影響

中 俣 宏二郎      上 原 満      稲 本 信 隆

### 要 旨

川内原子力発電所周辺環境放射線調査において、空間放射線監視測定局に隣接駐車した結核検診車の影響を受け、空気吸収線量率の一時的上昇が認められた。電離箱の検出した空気吸収線量率は過去の自然変動の最高値と概ね同じ程度であり、線量寄与は問題となるレベルではなかった。シンチレーション検出器による空間 $\gamma$ 線スペクトルでは約 600keV を最大エネルギーとする連続スペクトルが計測され、X線照射による試験の結果、X線のパイルアップ現象であることを確認した。

キーワード：環境放射線調査、結核検診、X線、人工放射線、パイルアップ

### 1 はじめに

原子力施設周辺地域における環境放射線調査、とりわけ空間放射線量の連続測定では、原子力施設以外の要因による影響が検知されることがあり、全国的にもそのような事例が報告されている。具体例としては、体内投与した被検者の検査用 $R I^{11-9}$ 、集団検診車のX線 $^{4-7}$ 、非破壊検査などの密封線源 $^{4,5}$ といった人工放射線の影響である。このような事例では、空気吸収線量率（以下、「線量率」という。）の一時的な上昇が顕著に出現するもの、一過性であり、原因を特定しにくいのが特徴である。

筆者らは、今回、空間放射線監視測定局において結核検診車の影響を検知し、空間 $\gamma$ 線スペクトルなどのデータを得たので、その結果を報告する。

### 2 調査方法

#### 2.1 調査場所

モニタリングポスト港局（川内市港町6199）

#### 2.2 測定機器

NaI (Tl)シンチレーション検出器（3インチ円柱形）

：三菱電機㈱製 MAENGXB

球形加圧電離箱（A1製、Arガス14L、6気圧）

：三菱電機㈱製 MAENGXA

波高分析器：セイコー・イージーアンドジー㈱製 7700

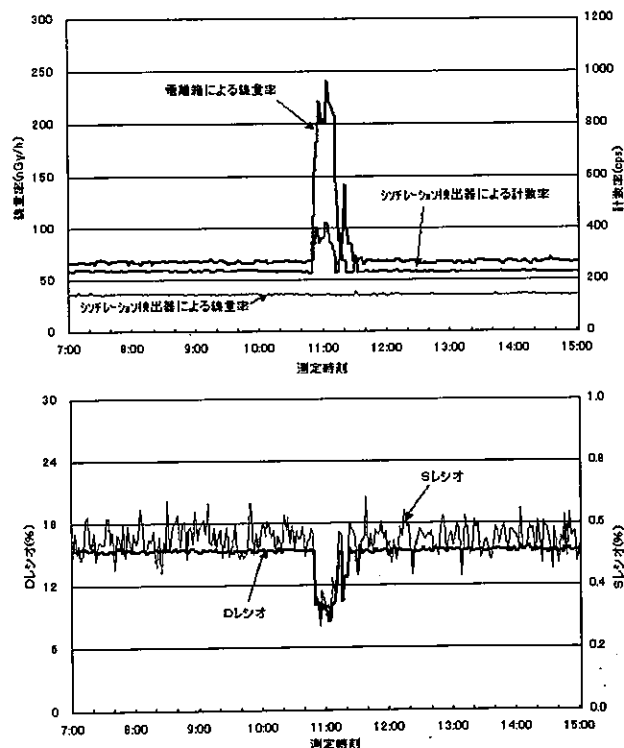


図1 線量率等の経時変化(港局, 2002年11月6日)

### 3 調査結果及び考察

#### 3.1 線量率等の異常変動状況

2002年11月6日の港局における線量率、計数率、Dレシオ及びSレシオ $^{10}$ の経時変化を図1に示す。データはテレメータシステムで収集した2分値を示している。電離

箱の線量率が、午前10時52分から突然上昇をはじめ、4分後には200nGy/hを超過し、14分間、同レベルで推移した。その後、一時的な減少と増加がみられたが、11時28分には通常レベルに回復した。この間の最高値は2分値で242nGy/h(11時4分)であった。一方、併設したシンチレーション検出器では線量率の変動は認められなかったが、計数率において電離箱の線量率と同様な動きがみられた。Dレシオ及びSレシオは線量上昇時刻と一致して通常の6割程度に低下しており、自然界の入射平均エネルギーより低いエネルギーのγ線が入射したことを示した。

### 3.2 原因の推定

測定局に設置したモニタカメラの蓄積画像を解析した結果、10時46分から11時32分まで測定局に検診車が隣接して駐車されていたことが確認された。線量率指示値が最高となった11時4分のカメラ画像を図2に、また、測定局と検診車の位置関係を図3に示す。測定局は地区集会所の一面にあり、検診車はその前の歩道の電離箱に近い位置にあり、そこで検診が実施されていた。画像には車両後部に並ぶ人の姿も写っていた。このことから、線量率の上昇の原因は、検診車からのX線の影響と推定した。

なお、漏洩X線のシンチレーション検出器による測定結果は釧持らにより報告<sup>9)</sup>されているが、本報と同様、計数率の瞬間的な大きな変動に対し線量率の変動は認められていない。

### 3.3 X線のエネルギー

測定局ではシンチレーション検出器で得られるエネルギー情報を10分毎にテレメータシステムで収集している。11月6日の空間γ線の波高分布を図4に示す。10時50分から11時30分にかけて低エネルギー側の計数値上昇が認められた。

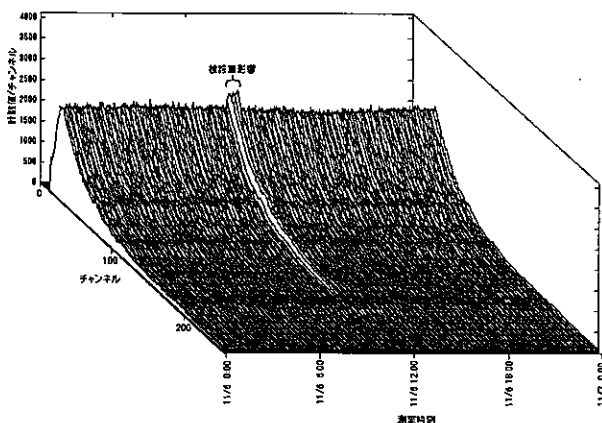


図4 空間γ線の波高分布(港局, 2002年11月6日)

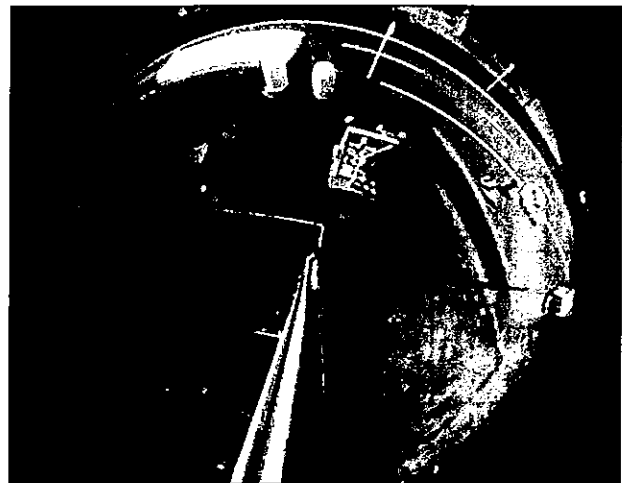


図2 港局のカメラ画像(2002年11月6日11時4分)

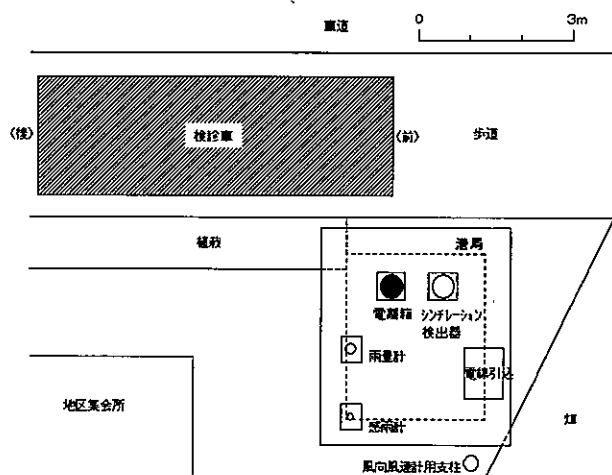


図3 港局と検診車の位置関係

そこで、計数値の上昇時と上昇前後のエネルギー分布を比較するため、計数値上昇の時間帯を含む1時間と、その前後30分計1時間の2つの波高分布をエネルギー校正し、図5に示す。違いを明確にするための両分布の差分は、約600keVを最大エネルギーとする連続スペクトルであり、検診車から入射した制動X線をとらえたものと考えられる。

しかし、診断用X線の最大エネルギーは高くても約150keVであり、佐藤らは検診車のX線エネルギーの計測影

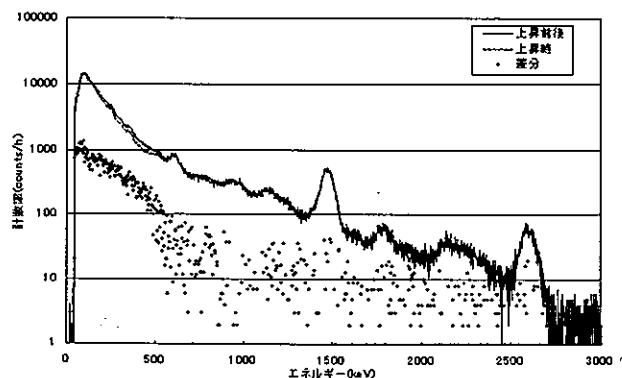


図5 入射γ線のエネルギー分布

響を約85keVと報告<sup>7)</sup>している。観測したエネルギー分布はこれらとは全く異なるため、X線の計測パルスが重なりパルス波高の指示が不正確になるパイルアップの現象が推定された。このエネルギー分布の検討のため、財団法人日本分析センターの協力によりX線照射試験を行った。再現試験は同一機種を使用する必要があるが、ここでは現象の確認に主眼を置き、機器及び条件を図6のとおりとした。その結果、図7に示すようにX線の照射実効エネルギー80keVとして、線量率強度を約10 $\mu$ Gy/hに相当するX線を照射した時に、今回と同様、最大エネルギーを600keVとする連続スペクトルが得られた。これにより入射X線がパイルアップして計測される現象が確認され、港局で観測されたエネルギー分布はパイルアップの現象を計測したものと判断した。また、この試験では高線量率になるほど高エネルギー領域までパイルアップがみられた。

3. 4 検出器間の線量率指示の違い

電離箱の線量率上昇が顕著な時間帯について、シンチレーション検出器の空間 $\gamma$ 線スペクトルから計算した線量率上昇分を、電離箱データとともに表1に示す。シンチレーション検出器の線量率上昇は電離箱の4%程度であり、その指示値に差が生じている。

検診車はその後の聞き取りにより結核検診用であることがわかり、さらに所有機関の協力により得られた車両内部の構造や機器仕様の情報も含めて、検出器間の線量

表1 電離箱の線量率上昇と空間 $\gamma$ 線スペクトルから計算した線量率上昇の比較

測定時刻	電離箱(IC) (nGy/h)	シンチレーション検出器(NaI) (nGy/h)	NaI/IC
10:50~11:00	125	5.2	0.04
11:00~11:10	150	5.6	0.04

(注)上昇分は上昇前後の時刻(10:20~10:50, 11:50~12:20)の線量率平均値からの差分とした。

表2 電離箱とシンチレーション検出器の線量率指示値の違いの要因

項目	電離箱(IC)	シンチレーション検出器(NaI)	NaI/IC	
X線放出地点-検出器の位置	距離(cm) 430	510		
検出器特性	空気層での減衰率	0.93	0.92	
	線束の減少率	0.055	0.038	
検出器特性	測定エネルギー	範囲なし	50keV~3MeV	
	エネルギー-特性	120keV 0.91 <sup>*1</sup>	1.06 <sup>*2</sup>	1.2
		60keV 1.11 <sup>*1</sup>	0.98 <sup>*2</sup>	0.9
	入射角度(°)	101	98	
	方向特性 <sup>*3</sup>	90° 1.04	1.07	$\approx 1$
	105° 1.03	1.05	$\approx 1$	

(注)\*1 (財)日本分析センター放射能分析確認調査データから抜粋

\*2 三菱電機機軸技術資料

\*3 アロカ機軸技術資料の図から読取

但し、電離箱はステンレス製加圧型電離箱のデータを掲載

試験機器	
X線発生装置	: エクスロン・インターナショナル製 MCN165型
NaI(Tl)シンチレーション検出器(3インチ球形)	: 応用光研工業製
波高分析器	: セイコー・イージーアンドジー製 DART
〔これらの装置は、日本分析センターが放射能分析確認調査(文部科学省からの受託)で使用している装置である。〕	
X線照射条件	
管電圧	: 88.8kV, 99.8kV
管電流	: 0.31mA~11.45mA
X線実効エネルギー	: 80keV(Q10.9~0.8)
照射線量率	: 約1~約60 $\mu$ Gy/h
照射時間	: 1秒

図6 X線照射試験の概要

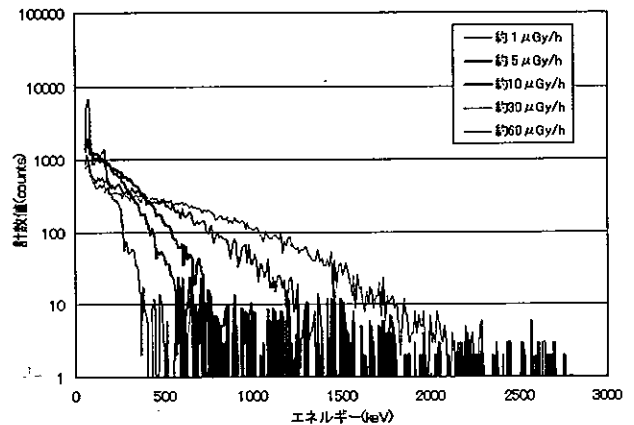


図7 X線照射時のエネルギー分布

率指示値の違いについて要因を検討した。検診車の撮影室側壁は鉛2mm、鋼板0.8mm、天井は鋼板1.8mm、床は耐水合板10mmの構造で放射線防護されていた。X線の最大エネルギーを使用管電圧から130keVとして遮蔽計算すると壁面通過のX線は0.2%程度であるのに対し、天井通過のX線は約7割に相当すると計算された。結核検診用X線は被検者胸部に指向性を持たせて照射されるため、検知されたX線は検出器との位置関係から天井から放出した散乱線と考えられる。しかし、その散乱経路まで特定できないため、X線管球と撮影板の中間の天井位置をX線放出地点と仮定し、その放出地点と検出器の位置関係を計算した。結果を検出器特性とともに表2に示す。

検出器による線量率の違いの要因として、X線放出地点-検出器までの距離の違いによる線束の減少が考えられるが、その差はシンチレーション検出器が電離箱より3割程度少ない。また、検出器特性では測定エネルギーにおいて電離箱が制約を受けないのに対し、シンチレーション検出器は50keV以下をカットしており、低エネルギーのX線影響が排除されている。照射方向による線束分布の違いも想定されるが、これらが複合して表2の差の要因となったと考えられる。

なお、テレメータデータでシンチレーション検出器の線量率に変動していないこと(図1参照)については、

テレメータシステムで収集される2分値が測定時間2分間の平均線量率ではなく、データ収集時刻周辺の平均線量率としているためと考えられる。

### 3.5 線量寄与の評価

シンチレーション検出器は測定エネルギーとしてX線影響を全て捉えていないこと及び高線束密度下におけるパイルアップにより実際より高い入射エネルギーを計測していることから、線量評価に使用するのには適当でないと判断し、検診車影響の線量評価には、電離箱の線量率上昇時と上昇前後の1時間のデータを用いて計算した。結果は表3のとおりであり、線量率は過去の自然変動の最高値(121nGy/h)と概ね同じレベルであり、線量寄与は55nGyと問題のないレベルと評価された。

表3 検診車影響による線量寄与の推定

	積算線量(nGy)
上昇前後	68
上昇時	123
線量寄与	55

## 4 まとめ

2002年11月6日、県の空間放射線監視測定局において、結核検診車の影響により線量率の一時的上昇が認められた。線量率の指示は、テレメータシステムの2分収集間隔で電離箱が最大242nGy/h(上昇前後の線量率:68nGy/h)を示したのに対し、併設したシンチレーション検出器の線量率は殆ど変動しなかった。データ解析の結果、以下のことが判明した。

- 1) 空間γ線の波高分布の解析結果、最大エネルギー約600keVとする連続スペクトルが計測され、これはシンチレーション検出器に同時に入射したX線がパイルアップして計測されたものと推定された。
- 2) X線発生装置による試験の結果、X線の照射エネルギー80keV、線量率強度が約10μGy/hに相当するX線を照射した時に、最大エネルギーを600keVとする連続スペクトルが得られ、X線のパイルアップの現象を確認した。
- 3) X線は検出器との位置関係から、遮蔽の薄い車両撮影室の天井部から放出された散乱線と考えられた。
- 4) 検出器間の線量率指示の違いは、検出器までの照射距離の違いによる線束の減少、シンチレーション検出器の測定エネルギーが50keV以下の低エネルギーのX線影響を排除していること、照射方向による線束分布の違いなどが複合したものと考えられた。
- 5) 線量評価として線量率の1時間値は、過去の自然変

動の最高値(121nGy/h)と概ね同じレベルであった。また、結核検診車の線量寄与は55nGyと問題のないレベルであった。

## 5 おわりに

一過性の線量率変動に対する要因解析は再現性がなければその特定が難しい。今回、モニタカメラの蓄積画像を活用し線量率上昇の原因の確定を行い、これを基に空間γ線の波高分布を解析してX線のパイルアップ現象を確認した。結核検診車の影響については、全国的に多くの検出例があるにもかかわらず、その報告事例は数少ない。環境放射線監視における共有の情報として、本報事例を参考にいただければ幸いである。

最後に、X線発生装置を用いて照射試験等の御協力をいただいた、財団法人日本分析センターの長岡和則氏と佐藤昭二氏に感謝します。

なお、財団法人日本分析センターのデータについては、文部科学省の委託事業の成果である。

## 参考文献

- 1) 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)
- 2) 広田修二, 平井保夫; 空間線量率常時監視監視局における線量率の上昇要因, 茨城県公害技術センター研究報告, 9, 41~45 (1999)
- 3) 藤波直人, 渡辺哲也, 他; 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)
- 4) 辻本 忠; 環境放射線の変動パターンについて, 放射線化学, 37, 130~133 (1994)
- 5) 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)
- 6) 釘持 裕, 早野まるみ, 宮野敬治; 環境放射能水準調査における空間放射線量率測定, 日本分析センター広報, 32, 74~79 (1998)
- 7) 佐藤健一, 加茂泰彦, 加賀谷秀樹; 環境放射線監視システムによる人工放射線の検出例, 宮城県原子力センター年報, 9, 67~68 (1990)
- 8) 中俣宏二郎, 野田俊一, 他; 空気吸収線量率と計数率を用いた施設影響判定法に関する考察, 鹿児島県環境センター所報, 10, 79~86 (1994)

## Effect of X-rays from the Tuberculosis Medical Examination Car in the Environmental Radiation Monitoring

Kojiro NAKAMATA, Mitsuru UEHARA, Nobutaka INAMOTO

[ Kagoshima Prefectural Sendai Institute of Environmental Science, 1, Wakamatsu-cho, ]  
Sendai-shi, 895-0054, JAPAN

### Abstract

The air absorbed dose rate was up for a moment by the effect of X-rays from the tuberculosis medical examination car which was parked by the side of an environmental radiation monitoring post in the areas surrounding the Sendai nuclear power station. The air absorbed dose rate measured by ionization chamber was about the same level with the highest value that had been observed in the natural variation, and the dose contribution was at the negligible level. In the spectrum of environmental  $\gamma$ -ray measured by scintillation detector, the continuous spectra showed approximately 600keV as the maximum energy. The phenomenon called pile-up was confirmed by the experiments of X-ray irradiation.

key words : environmental radiation monitoring, tuberculosis medical examination, X-ray, pile-up,  
artificial radiation