放射性医薬品等の影響と推定されるモニタリングポスト線量率上昇事例

三関 詞久 ª, 冨士栄 聡子 ª, 小西 浩之 ª, 斎藤 育江 ª, 守安 貴子 b

東京都では、都内7か所にモニタリングポストを設置し、空間放射線量率を常時監視している.線量率が上昇した場合 には、得られたデータを解析し、その原因を究明してきた.これまでには、福島第一原子力発電所事故及び降雨などの影 響による線量率上昇を確認してきたが、今回、胃部集団検診車からのX線及び放射性医薬品被投与患者からの長期γ線 検出事例(2件)を初めて確認した.検診車の事例では、線量率及び計数率が繰り返し上昇し、線量率は最大で56.8 nGy/h に上昇した.また、漏洩X線を調査するため、NaI(TI)シンチレーション式サーベイメータを用いて検診車の周囲を測定 した結果、線量率の上昇が確認された.放射性医薬品由来の長期γ線検出事例では、線量率の経時変化より半減期を算出 した結果、¹²³I及び^{99m}Tcの半減期と近似しており、それぞれの原因となる核種を推定することができた.2011年3月か ら2020年3月までの約9年間で、放射性医薬品からのγ線が原因と推定される線量率の上昇件数は52件であった.

キーワード:モニタリングポスト,空間放射線量率,胃部集団検診,X線,サーベイメータ,半減期,放射性医薬品, ヨウ素 123, テクネチウム 99m

はじめに

東京都では、2011年3月11日に発生した福島第一原子 力発電所事故(以下原発事故と略す)を受け,モニタリン グポスト (Monitoring Post, 以下 MP と略す) を順次設置 し、都内空間放射線量率を監視してきた.事故時には線量 率は一時的に上昇したが,現在ではほぼ事故前の値に戻り つつある.線量率が上昇する要因には、原発事故等の核関 連事象の他に、自然変動や周辺環境の変化、非破壊検査、 X 線検診車及び放射性医薬品(Radiopharmaceutical,以下 RP と略す) などが知られている¹⁾. 当センターにおいて も、これらが原因と推定される MP線量率上昇を度々確認 してきたが、胃部集団検診車からの X線検出事例及び RP 核種からの長期γ線検出事例については、これまで経験が なく、今後の参考として活用するため、今回、詳細な測定 及び核種分析を行ったので報告する.また、2011年3月 から 2020 年 3 月までの 9 年間で, RP が原因と推定される 線量率上昇件数を集計しまとめたので併せて報告する.

調查方法

1. 調査地点

都内7地点(新宿,江戸川,小平,大田,足立,八王子 及び調布)に設置した MPにより計測した空間放射線量率 を対象とした. MPの測定地点を図1に示す.地面から検 出器までの高さは1.0mである(ただし,江戸川局及び小 平局は1.8m).新宿局 MPについては,2013年7月以前 は東京都健康安全研究センター(以下当センターと略す) の旧庁舎屋上(地上からの高さ18m)に位置し,2013年 7月に別棟屋上(地上からの高さ22m)に移設後,2017年 3月以降は当センター敷地内(地上からの高さ0m)に移



図1. 空間放射線量率の測定地点

設した.

2. 機器及び仕様

機器は、富士電機社製のモニタリングポストシステムを 使用し、モニタリングポスト本体、データ転送装置、デー タ集中処理装置及びデータ解析用サーバで構成されてい る.検出部には、直径2インチ×高さ2インチのNaI(TI) シンチレーションカウンタを使用し、検出器に入射した光 子は、50~3000 keV のエネルギー範囲において波高分析 器(マルチチャンネルアナライザ、以下 MCA と略す)に より5keVごとに計数し、スペクトルー線量率変換演算子 法(以下 G(E)関数法と略す)を用いて線量率に換算され る.なお、計数率、線量率及び気象データは1分毎に記録 され、データ集中処理装置を通して常時確認することがで きる.また、このデータを基に線量率の10分値、1時間値 及び1日値が作成され、当センターHPに自動で掲載され る.

- 車京都健康安全研究センター 薬事環境科学部 環境衛生研究科 169-0073 東京都新宿区百人町 3-24-1
- ^b 東京都健康安全研究センター 薬事環境科学部

3. 解析方法

線量率が前1時間値に対して,10nGy/h以上上昇した場 合(降雨の場合は15nGy/h)には,1分毎の線量率,計数 率及び降雨データを用いて経時変化のグラフを作成し,詳 細な上昇時間を確認した.さらに,10分毎に作成される MCA データを用いて,入射した光子エネルギー毎の線量 率グラフを作成し,上昇が見られたエネルギー分布より原 因核種を推定した.

結果及び考察

1. 胃部集団検診車による線量率上昇事例

1) MP 線量率の変化

2017年7月3日に新宿局 MP において、線量率及び計 数率が繰り返し上昇する事例が発生した(図2).1分毎の 値を確認したところ,線量率は AM9:22 に最大で 56.8 nGy/h に上昇し、計数率は AM9:20 に最大で 155 s⁻¹ に上昇 した. 上昇した時間の入射光子のエネルギー毎の線量率を 確認したところ、50 keV 付近を最大とする線量率上昇が 確認された(図3).また,空間線量管理プログラム(ミリ オンテクノロジーズ・キャンベラ社製)を用いて,エネル ギースペクトルを確認したところ, 上昇が確認されたすべ ての時間帯で50keV付近のカウント値が上昇していた(図 4). 同時間帯に胃部集団検診車が MP の近くに駐車してお り、X線を使用した消化器検診が行われていたことから、 検診車からの漏洩 X 線による上昇事例と推定した. 胃部 X線造影検査では、胸部 X線間接撮影とは異なり、X線 を長時間照射する. 今回, 検診車から MP までの直線距離 は、約34mであった.当日の線量率の平均値38.1nGy/h と最大値 56.8 nGy/h との差分 18.7 nGy/h が X 線照射によ る上昇値と仮定すると、検診車からの距離が0mの位置で は約 0.02 mGy/h の線量率で X 線を照射していたと推定で きる.しかし,鉛の遮蔽壁や空気中での減衰分を考慮する と、実際はより高い線量率で照射していたと推察された.



図 2.7 月 3 日 7:00 から同日 15:00 までの新宿局 MP の 1 分毎の線量率,計数率及び感雨の経時変化



図 3. 入射光子のエネルギー毎の線量率 (上昇前は7月3日8:40, 上昇時は同日9:40)



図 4.7月3日7:00から同日13:00までの 入射光子のエネルギースペクトルの経時変化

2) サーベイメータを用いた線量率測定

漏洩 X 線を調査する目的で、検診車からの距離 0 m, 1 m, 2mの位置における線量率を測定した.測定器はエネ ルギー補償型 NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータ (日立アロカメディカル社製) TCS-166 を用いた. 地面か らの高さは1m,単位は µGy/h,時定数は30秒とした.測 定結果を図5に示す.バックグラウンド値(以下 BG 値と 略す)は 0.05 µGv/h であった. 検診車からの距離 0 m で は、最大で 0.08 µGv/h まで上昇した. また、平均値は 0.07 μGy/h であった.検診車からの距離1mでは、線量率の最 大値は 0.07 µGy/h, 平均値は 0.06 µGy/h であった. 検診車 からの距離 2 m では、線量率は最大で 0.06 µGy/h と僅か な上昇であり、平均値は 0.05 μGy/h と BG 値と同程度であ った.X線検診車の側面は,鉛等の遮蔽壁で覆われており, X線の漏洩は比較的少ないと言われている²⁾. 今回の線量 率上昇は,車体重量の関係から遮蔽が難しい検診車の上面 から漏洩した X線が MP に入射したためと推察された^{3,4)}.



図 5. サーベイメータによる線量率測定

2. 線量率上昇が長時間継続した事例

1)¹²³I由来のγ線による上昇事例(2018年4月3日)

2018 年 4 月 3 日 14 時から新宿局 MP において,1分毎 の計数率が断続的に上昇した(図 6). 光子のエネルギー毎 の線量率では,上昇前と比較して155 keV 付近が僅かに上 昇した(図 7).4月 3 日 14:20 から4月4日11:10 までの 50~175 keV の線量率合計値から,上昇前の4月3日14:00 の同合計値を減算し,グラフを作成した(図 8).指数関数 による近似曲線を作成後,半減期を算出した結果,13.48 時 間と推定された.¹²³Iの半減期13.22 時間と近似したため, ¹²³I 由来のγ線による上昇事例と推定した.

2) ^{99m}Tc 由来の γ線による上昇事例(2018年5月7日)

2018 年 5 月 7 日 12 時から新宿局 MP において,1 分毎 の線量率及び計数率が断続的に上昇した(図 9). 光子のエ ネルギー毎の線量率では,上昇前と比較して 140 keV 付近 が大幅に上昇した(図 10).5月7日 12:20 から5月8日 6:20 までの 50~150 keV の線量率合計値から,上昇前の5 月7日 11:50 の同合計値を減算し,グラフを作成した(図 11).指数関数による近似曲線を作成後,半減期を算出し た結果,5.33 時間と推定された.^{99m}Tc の半減期 6.02 時間 と近似したため,^{99m}Tc 由来のγ線による上昇事例と推定 した.

¹²³I及び ^{99m}Tc は核医学診断に汎用される RP であるが, γ 線の最大放出比のエネルギーが接近しているため, MP 測定データでは正確に分離することが困難である.本事例 のように線量率の上昇が長時間続く場合には,光子エネル ギー毎の線量率分布の解析に加えて,減衰曲線による半減 期の推定を行うことで,詳細に RP の種類を推定できるこ とが判明した.また,日中は線量率が激しく変動していた が,夜中は変動が緩やかになっていたことから, RP 被投 与患者が MP 近隣で生活していたことが示唆された.



図 6.4 月 3 日 12:00 から翌日 0:00 までの新宿局 MP の 1 分毎の線量率,計数率及び感雨の経時変化



(上昇前は4月3日14:00, 上昇時は同日14:20)



図 8.50~175 keV の線量率合計値の経時変化



図 9.5 月 7 日 10:00 から翌日 0:00 までの新宿局 MP の 1 分毎の線量率,計数率及び感雨の経時変化



図 10. 入射光子のエネルギー毎の線量率 (上昇前は5月7日11:50, 上昇時は同日12:30)





3. RP による短時間の線量率上昇事例のまとめ

当センターで確認された RP の種類を表 1 に示す 5-7). 2011 年 3 月から 2020 年 3 月までの期間で, RP からの y 線が原因と推定された MP 線量率の短時間上昇件数は,局 別に新宿局が 3 件, 江戸川局が 10 件, 小平局が 18 件及び 足立局が 21 件であった.また,検出された RP の種類の 内訳は、^{99m}Tc 若しくは¹²³I が 28 件, 消滅放射線が 15 件, ¹³¹I が 4 件, ²⁰¹Tl が 3 件及び ⁶⁷Ga が 2 件であった. 検出さ れた局は、いずれも MP が公園等の施設通路脇に設置され ており、RP 被投与患者が MP に接近したことが原因と推 定された.

表 1. 当センターで確認された RP の種類

核種	半減期	壊変 形式	主な光子 エネルギー (keV)	主な医薬品名
^{99m} Tc	6.01 時間	IT	141	Na ^{99m} TcO ₄
^{123}I	13.2 時間	EC	159	Na ¹²³ I
131 I	8.03 日	β-	365	Na ¹³¹ I
²⁰¹ Tl	3.04 日	EC	70, 81, 167	²⁰¹ TlCl
⁶⁷ Ga	3.26 日	EC	93, 185, 300	C ₆ H ₈ O ₇ - ⁶⁷ Ga
¹¹ C	20.4 分	β^+	511*	¹¹ C-Methionine
^{13}N	9.97 分			¹³ N-Ammonia
¹⁵ O	122 秒			¹⁵ O-Gas
¹⁸ F	110分			¹⁸ F-FDG

※陽電子消滅放射線のエネルギー

まとめ

東京都では都内7カ所にMPを設置し,空間放射線量率 を常時監視している.今回,胃部集団検診車からのX線 検出事例及びRP被投与患者からの長期γ線検出事例を確 認し,詳細な測定及び核種分析を行った.

2017 年 7 月 3 日の胃部集団検診車の事例では,50 keV 付近の線量率が日中に繰り返し上昇した.検診車周囲のサ ーベイメータを用いた測定では,線量率は最大で 0.03 µGv/h 上昇した.本事例は,胃部集団検診車からの漏洩 X 線が原因と推定された.

2018 年 4 月 3 日の事例では,155 keV 付近の線量率が断続的に上昇した.50~175 keV の線量率合計値の経時変化より,半減期は13.48 時間と推定されたため,¹²³I 由来の γ線による上昇と推定された.

2018 年 5 月 7 日の事例では,140 keV 付近の線量率が断続的に上昇した.50~150 keV の線量率合計値の経時変化より半減期は 5.33 時間と推定されたため,^{99m}Tc 由来の γ線による上昇と推定された.

線量率の上昇が長時間続く事例では、半減期の推定により詳細に RP の種類を推定できることが判明した.また, RP 被投与患者が MP 近隣で生活していたことが示唆された.

2011 年 3 月から 2020 年 3 月までの期間で, RP からの γ 線が原因と推定された MP 線量率の短時間上昇件数は, 局 別に新宿局が 3 件, 江戸川局が 10 件, 小平局が 18 件及び 足立局が 21 件であった.いずれも公園等の施設通路脇に MP が設置されており, RP 被投与患者が MP に接近した ことが原因と推定された.

- 原子力規制庁監視情報課:放射能測定法シリーズ No.17 連続モニタによる環境γ線測定法 平成 29 年 12 月改訂,96-100,2017.
- (一社)日本画像医療システム工業会:(一社)日本画像医療システム工業会規格 JESRA TR-0038*A⁻²⁰²⁰ 2020 年 3 月 18 日改訂,X線診療室防護のQ&A,9,2020.
- 国立保健医療科学院 生活環境研究部:医療放射線の安 全管理の考え方を解説するサイトです、 https://ndrecovery.niph.go.jp/trustrad/qa/?p=1548 (2020 年 8 月 13 日現在、なお本 URL は変更または抹消の可能性が ある)
- 4) 中俣宏二郎, 上原満, 稲本信隆: 鹿児島県環境保健セン
 ター所報 第4号, 45-49, 2003.
- 5) 公益社団法人 日本アイソトープ協会:アイソトープ手 帳 12版, 186-187, 2020.
- 6) 公益社団法人 日本アイソトープ協会:第8回全国核医 学診療実態調査報告書 RADIOISOTOPES, 67, 339–387, 2018.
- 7) 公益社団法人 日本アイソトープ協会: PET 検査件数に 関するアンケート調査報告 第 17 報 ISOTOPES NEWS No.767, 40-45, 2020.

A Case Study of Rising Radiation Dose Rates Caused by Medical X-ray and Radiopharmaceuticals

Norihisa MISEKI^a, Satoko FUJIE^a, Hiroyuki KONISHI^a, Ikue SAITO^a and Takako MORIYASU^a

In Tokyo, monitoring posts have been installed at seven locations—Shinjuku, Edogawa, Kodaira, Ota, Adachi, Hachiouji, and Tyoufu—to continually monitor the space radiation dose rate. When a rise in dose rate is detected, its cause is investigated by analyzing the data from the monitoring posts. The increase in dose rate caused by the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident or weather effects have been observed. At this time, we observed an effect of the X-ray from group examination vehicles for stomach radiography and the prolonged emission of gamma-ray from patients administered with radiopharmaceuticals. In the case of the X-ray examination vehicles, both dose rate and counting rate rose several times during daytime to 56.8 nGy/h and 155 s⁻¹, respectively. The value of 50 keV radiation ray rose in gamma spectrometry. X-ray leakage was observed when a NaI(Tl) scintillation survey meter was used to measure the dose rate around the examination vehicle. In the case of gamma-rays from radiopharmaceuticals, the half-lives were calculated from the temporal changes of the dose rate in two cases to be approximately 13.48 h and 5.33 h, respectively. As a result, we estimated these isotopes to be ¹²³I and ^{99m}Tc. It was likely that the patients lived near the monitoring post because dose rate fluctuation were different between daytime and nighttime. From March 2011 to March 2020, gamma-ray emission from radiopharmaceuticals was observed 52 times.

Keywords: Monitoring post, Dose rate, X-ray, Stomach radiography, Radiopharmaceutical, NaI(Tl) scintillation survey meter, Half-life, Iodine 123, Technetium 99m