

放射性医薬品が原因と考えられる空間放射線量率の上昇事例

富士栄 聡子^a, 小西 浩之^a, 鈴木 俊也^a, 保坂 三継^b

都では都内7か所のモニタリングポストで空間放射線量率（線量率）を常時監視し、ウェブサイトで測定値を公開している。線量率上昇の原因の大半は降雪に伴う通常の変動であるが、稀に極短時間の線量率上昇が認められる。測定結果に対する都民の関心は高く、上昇した線量率を見て福島原発事故との関連性についての問い合わせも寄せられる。今回、ガンマ線スペクトルデータを解析して上昇の原因を明らかにすると共に、その検出件数を集計した。

上昇時のスペクトルは、1) ^{99m}Tcもしくは¹²³I, 2) 消滅放射線, 3) ¹³¹I, 4) ²⁰¹Tl, 5) ⁶⁷Gaの5つパターンに分けられ、これらはいずれもインビボ診断や治療で投与される放射性医薬品、もしくはPET検査で検出される放射線であった。上昇が見られたのは、不特定多数の人々が容易に近づける足立局、小平局及び江戸川局のみであり、発生時間の大半は日中であった。このことから、極短時間の線量率上昇の原因は、放射性医薬品の投与、もしくはPET検査を受けた人がモニタリングポスト近傍を通過したためと考えられる。

2011年12月～2016年7月までに極短時間の線量率上昇は、足立局が11回、小平局が9回、江戸川局が4回であった。核種別では、^{99m}Tcもしくは¹²³Iが13回、消滅放射線が5回であった。核医学検査、検診及び放射性物質による内用療法が普及している現状から、今回検出された3局は、今後もこのような事例が引き続きみられると予想される。

キーワード: モニタリングポスト, 都内, 空間放射線量率, スペクトル分析, 放射性医薬品, 消滅放射線, 陽電子放射断層撮影 (PET)

はじめに

東京都健康安全研究センター（以下当センターと略す）では、都民の健康不安を解消するため、福島第一原子力発電所事故（以下福島原発事故と略す）以降都内7か所に、入射したガンマ線の数をエネルギーごとにカウントできるスペクトル分析機能を備えたモニタリングポスト（以下MPと略す）を設置して、空間放射線量率（以下線量率と略す）を常時監視している。線量率の上昇はしばしば見られるが、ほとんどは降雪に伴う天然放射性核種の降下に起因する自然現象による通常の変動である^{1,2)}。しかしながら稀に、降雪とは関係がない極短時間の一時的な線量率の急上昇が認められる場合がある^{1,2)}。

MPの測定結果は当センターのウェブサイトで毎時、1時間の線量率の平均値、最大値及び最小値として公開されている。極短時間の線量率の上昇では平均値は通常と変わらないものの、突発的な値は最大値として掲載される。このため、この高い値をみて福島原発事故との関連性を心配した都民から問い合わせが寄せられることがあり、それに対応するため線量率上昇の原因を究明する必要がある。

今回、線量率が極短時間上昇した時間帯のガンマ線スペクトルデータを解析して線量率上昇の原因を明らかにすると共に、これまでの上昇事例を原因ごとにパターンわけして、その検出件数を集計したので報告する。

調査方法

1. 調査地点, 調査期間及び機器

1) 調査地点

調査地点は、MPを設置した都内7か所（新宿、江戸川、小平、足立、大田、調布、八王子）であり、それぞれのMPの設置場所、検出器までの高さ及び付近を通過する主な人を表1に示す。

新宿局は入館が管理されている当センター庁舎内にあり、関係者以外は立ち入れない。江戸川局及び足立局は常に開放された公園にあり、時間を問わず不特定多数が出入り

表1. MPによる空間放射線量率の測定局

測定局	設置場所	検出器の高さ	付近を通過する主な人
新宿	新宿区 百人町 (健康安全研究センター屋上)	屋上床面* 1.8 m	施設関係者
江戸川	江戸川区 上篠崎 (都立篠崎公園)	地上1.8 m	不特定多数
小平	小平市 中島町 (都立薬用植物園)	地上1.8 m	不特定多数
足立	足立区 舎人公園 (都立舎人公園)	地上1.0 m	不特定多数
大田	大田区 羽田空港 (羽田空港内)	地上1.0 m	施設関係者
調布	調布市 西町 (調布飛行場)	地上1.0 m	施設関係者
八王子	八王子市 南大沢 (首都大学東京)	地上1.0 m	施設関係者

*: 地上18 mの庁舎屋上, 2013年7月に別棟屋上22 mに移設

^a 東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

きる。小平局は開園時間が設けられた植物園内に設置されており、開園時間中は利用者が自由にMP付近を通過できる。大田局及び調布局は、施設関係者以外は付近をほとんど通過しない空港敷地内にある。八王子局は大学構内で、主として大学関係者がMPの近傍を通過する。

2) 調査期間

調査期間は、原発事故以前から設置されている新宿については2011年4月1日から、他の測定局はMPを設置した時期により異なり、江戸川及び小平は2011年12月1日以降、足立、大田、調布及び八王子は2012年6月1日以降、全ての測定局で2016年7月31日までとした。

3) 機器

(1) 機器仕様 MPは全て富士電機社製で、機種は新宿局はTB24469、江戸川局及び小平局はTA3A6018、大田局、足立局、調布局及び八王子局はTA4C3395であり、いずれも検出器にφ2インチ×2インチの円筒型ヨウ化ナトリウムタリウム (NaI(Tl)) シンチレーターを用いている。入射したガンマ線は、MCA (Multi Channel Analyzer) を用いて5 keV~3,000 keVの範囲をエネルギー分解能5 keVで分別して計数し、そのうち50 keV以上の分別した計数値をDWM (Digital Weighting Method) 方式によるスペクトル線量変換演算子法 (以下G(E)関数法と略す) により、線量率 (Gy/h) に換算している³⁾。エネルギー分解能は、662 keVのセシウム137 (以下¹³⁷Csと略す) のフォトピークに対して10%以下となるよう調整してある。

なお全ての測定局は、付属装置として感雨雪計 (小笠原計器製作所製 NS-100) を装備している。

(2) 保存データ 計測したデータは、①1分ごとの線量率、計数率及び感雨雪の有無 (以下1分値と略す)、②5 keV~3,000 keVの範囲を5 keVごとに分別、積算した10分間の計数値のスペクトルデータとして保存され、データはテレメータシステムによりサーバーへ転送される。

サーバーは①の1分値をもとに、1時間及び1日ごとの線量率、計数率の最大値、最小値及び平均値を算出して保存する。

2. 調査内容

1) 線量率上昇時のスペクトル解析

(1) 解析対象 解析対象は、1時間の線量率の最大値 (以下最大値と略す) が直前の最大値と比較して、降雨があり15 nGy/h以上高い場合、もしくは降雨がなく10 nGy/h以上高い場合とし、そのうち1分~3分間の極短時間の線量率急上昇が認められた場合にスペクトルデータを解析した。ただし、X線非破壊検査が原因と考えられる50 keV以下のピークについては解析の対象外とした。

(2) 解析方法 解析にあたっては、計数値のスペクトルデータをG(E)関数法により線量率に換算したエネルギーごとのスペクトル分布 (以下スペクトルと略す) を用い、線量率上昇時と上昇前のスペクトルのピーク形状を比較検討のうえ、上昇時のスペクトルをパターン分けして、上昇

の原因と考えられる核種を推定した。また、低エネルギー領域は計数効率が高く、線量率より計数値そのもののほうがピーク形状を確認しやすいため、必要に応じて計数値のスペクトルデータも用いて核種の推定を行った。なお、核種の推定に際しては、エネルギー分解能が662 keVの¹³⁷Csに対して10%以下であるため、数十 keVのずれが生じうることを考慮した。

2) 線量率上昇の原因の考察

スペクトル解析の結果に加え、線量率が上昇したMPの周辺の状況、発生日時の調査を行い、線量率上昇の原因を考察した。

3) 検出回数集計

2011年4月から2016年7月までの約5年間に、極短時間に線量率が上昇した事例について、測定局及び原因ごとに検出回数を集計した。なお、1つの測定局で1日のうちに同じ原因で上昇が認められた場合は、1回としてカウントした。

結果及び考察

1. 線量率上昇時のスペクトル解析

スペクトルを解析した結果、明確な変化を捉えられたスペクトル形状は以下の5つのパターンに分けられた。

1) テクネチウム99m (以下^{99m}Tcと略す) またはヨウ素123 (以下¹²³Iと略す) と推定される150 keV付近の単一ピーク

単一ピークが150 keV付近に認められた線量率上昇の代表例として、2015年8月17日の足立局での線量率が上昇した時間帯の1分値の推移及びスペクトルを図1に示す。

1分値の線量率は、上昇前の約40 nGy/hに対して3分間だけ上昇し、最大値は約60 nGy/h高い102 nGy/hであった。計数率は最大で1,300 counts/sで、上昇前に比べて約1,200 counts/s高かった。

スペクトルでは150 keV付近に特徴的な単一ピークが、それより低いエネルギー領域にコンプトン散乱と思われる上昇が見られた。150 keV程度のみガンマ線を放出する放射性核種としては、放射性医薬品として用いられる

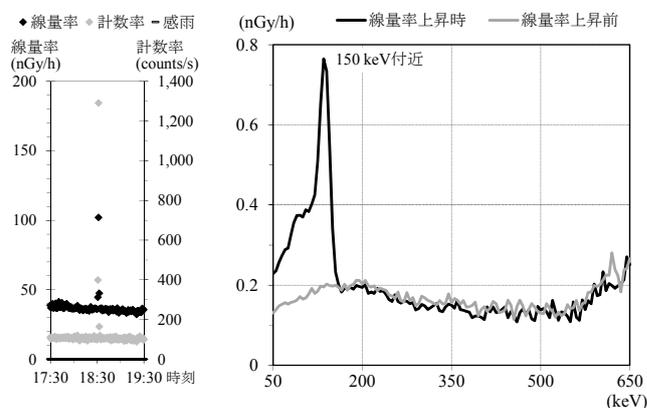


図1. 線量率上昇時の1分値の推移及びガンマ線スペクトル (2015年8月17日 足立局)

^{99m}Tc 141 keV (放出比 89%, 半減期 6時間) 及び ^{123}I 159 keV (放出比83%, 半減期 13時間), その他にセリウム141 (以下 ^{141}Ce と略す) 145 keV (放出比48%, 半減期33日) が挙げられる. ただし ^{141}Ce は, 安定核種のセリウム140が核分裂の際できる中性子を捕獲して生成される放射化生成物であるため, 数分間の線量率上昇の原因とは考えられない. 一方, ^{99m}Tc 及び ^{123}I はインビボ診断用放射性医薬品として, 核医学検査及び診断に広く利用されている⁴⁾.

このため, 150 keV付近のピークは, ^{99m}Tc もしくは ^{123}I のガンマ線エネルギーであると推定される.

2) 消滅放射線と推定される510 keV付近の単一ピーク

単一ピークが510 keV付近に認められた線量率上昇の代表例として, 2014年6月17日の小平局での線量率が上昇した時間帯の1分値の推移及びスペクトルを図2に示す.

1分値の線量率は, 上昇前の約35 nGy/hに対して3分間だけ上昇し, 最大値は約125 nGy/h高い161 nGy/hであった. 計数率は, 上昇前に比べて最大で約550 counts/s高い675 counts/sであった.

スペクトルでは510 keV付近に明確なピークが, それより低いエネルギー領域にコンプトン散乱による上昇が認められた. 主要なピークが510 keV付近にある放射性核種はいくつか存在するが, いずれも核分裂生成物であり, 数分間の線量率上昇の原因としては考えにくい. そのほか510 keV程度のガンマ線エネルギーを放出するものとしては, 陽電子が電子と電子対生成して消滅するとき放出される511 keVの消滅放射線が挙げられる.

陽電子放射断層撮影 (Positron Emission Tomography. 以下PETと略す) では, 半減期110分のフッ素18 (以下 ^{18}F と略す) など β^+ 崩壊により陽電子を放出する放射性核種で標識したブドウ糖等を患者に投与して, 陽電子が消滅する際の消滅放射線を体外から測定することによって標識化合物の代謝を調べる. PET検査は診断や検診に利用されている⁴⁾. このため, 510 keV付近のピークは β^+ 崩壊核種から放出された消滅放射線であると推定される.

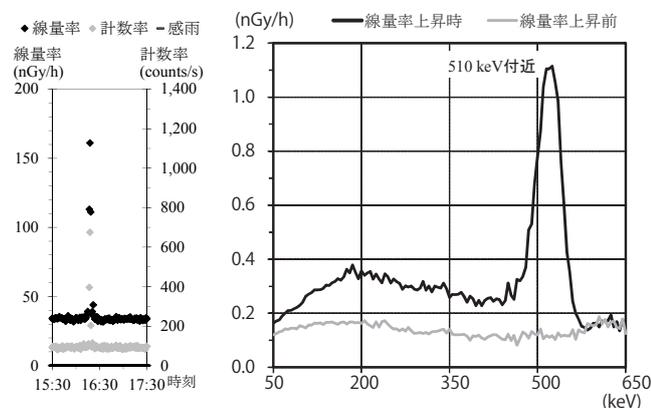


図2. 線量率上昇時の1分値の推移及びガンマ線スペクトル (2014年6月17日 小平局)

3) ヨウ素131 (以下 ^{131}I と略す) と推定される370 keV付近の単一ピーク

単一ピークが370 keV付近に認められた線量率上昇の代表例として, 2015年2月14日の足立局での線量率が上昇した時間帯の1分値の推移及びスペクトルを図3に示す.

1分値は, 上昇前に約40 nGy/hであった線量率が1分間だけ186 nGy/hに上がり, 約145 nGy/h上昇した. 計数率は上昇前と比べて約500 counts/s高い616 counts/sであった.

スペクトルでは370 keV付近にピークが, それより低いエネルギー領域にコンプトン散乱と考えられる上昇が認められた. 主要ピークが370 keV付近であり, その他のエネルギーの放出比が極めて低い放射性核種は, ^{131}I 365 keV (放出比 82%, 半減期 8日) のみである. ^{131}I は主に甲状腺疾患の放射線治療に用いられる^{4,5)}. このため, 370 keV付近のピークは, ^{131}I から放出されたガンマ線であると推定される.

4) タリウム201 (以下 ^{201}Tl と略す) と推定される60 keV付近の最大ピークと160 keV付近の第2ピーク

60 keV付近の最大ピークに加えて160 keV付近にもピークが見られた線量率上昇の代表例として, 2014年5月16日の小平局での線量率が上昇した時間帯の1分値の推移及びスペクトルを図4に示す.

1分値では, 線量率が上昇前の約35 nGy/hに対して15時47分の1分間だけ64.9 nGy/hとなり, 約30 nGy/h上昇した. 計数率は上昇前に比べて約900 counts/s高い1,010 counts/sであった. また16時23分から24分にも上昇が認められ, 最大値は線量率が54.8 nGy/h, 計数率が361 counts/sであった. 線量率に比べ計数率の増加量が多いため, 検出効率の高い低エネルギー側の上昇が考えられた.

スペクトルでは1回目と2回目ともに60 keV付近に最大ピークが, 160 keV付近に最大ピークの約1/5の高さの第2ピーク認められた. また, 第2ピークより低いエネルギー領域にコンプトン散乱と考えられる上昇がみられた. 主要ピークが60 keV付近, 第2ピークが160 keVに該当する放

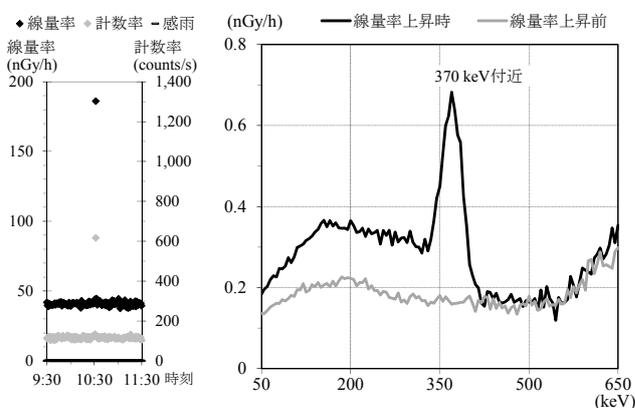


図3. 線量率上昇時の1分値の推移及びガンマ線スペクトル (2015年2月14日 足立局)

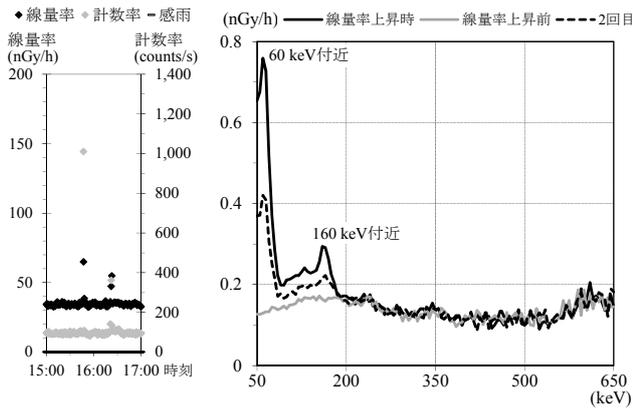


図4. 線量率上昇時の1分値の推移及び
ガンマ線スペクトル (2014年5月16日 小平局)

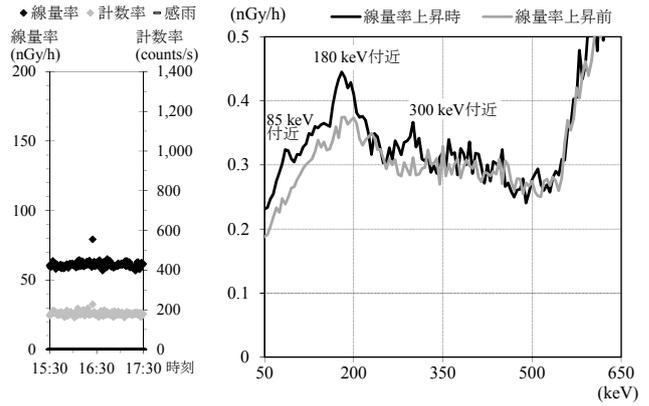


図5. 線量率上昇時の1分値の推移及び
ガンマ線スペクトル (2015年2月22日 江戸川局)

放射性核種としては、 ^{201}Tl (半減期 73時間) が挙げられる。 ^{201}Tl は167 keV (放出比 10%) の他、同時に特性X線として $\text{Hg-K}\alpha_1$ 70 keV (放出比 74%) 及び $\text{Hg-K}\beta_1$ 81 keV (放出比 20%) を放出する。検出効率が一定であると仮定すると、170 keV付近と70 keV~80 keV付近の放出比はおおむね1:5であり、最大ピークと第2ピークの比率とよく一致する。 ^{201}Tl はインビボ診断用放射性医薬品として、心筋シンチグラフィによる心臓疾患の診断や腫瘍シンチグラフィに用いられる⁴⁾。このため、線量率上昇の原因核種は、 ^{201}Tl であると推定される。

5) ガリウム67 (以下 ^{67}Ga と略す) と推定される180 keV付近の最大ピークほか3つのピーク

180 keV付近の最大ピークに加えて、300 keV付近に第2ピーク及び85 keV付近に第3ピークが認められた線量率上昇の代表例として、2015年2月22日の江戸川局での線量率が上昇した時間帯の1分値の推移及びスペクトルを図5に示す。

1分値では、線量率が上昇前の約60 nGy/hから1分間だけ79.1 nGy/hになり、約20 nGy/h上昇した。計数率は上昇前と比べてほとんど変わらなかった。

スペクトルでは、180 keV付近に明らかなピークが、それよりやや小さいピークが300 keV付近に認められた。また85 keV付近にもピークらしきものが見られるが不明瞭である。低エネルギー領域である85 keV付近のピークをより明確にするために、スペクトルデータを計数値で表したものを図6に示す。

線量率上昇時は上昇前より、低エネルギー側の85 keV付近の計数値が180 keV付近に比べて明らかに上昇している。

85 keV, 180 keV及び300 keV付近のガンマ線エネルギーを放出する核種としては、 ^{67}Ga (半減期 3日) が挙げられる。 ^{67}Ga の主なガンマ線エネルギーとその放出比は、93 keV - 39%, 185 keV - 21%, 300 keV - 17%である。計数率のスペクトルにおいても、放出の割合が多いエネルギーほど、上昇時と上昇前のカウント差が増えている。

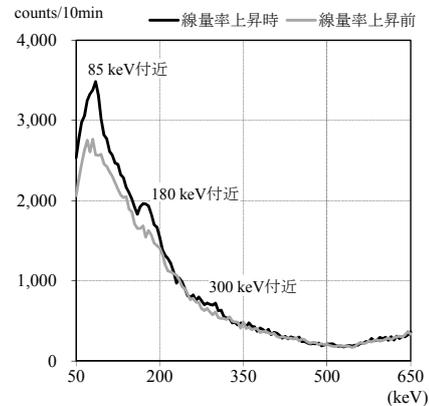


図6. 線量率上昇時の計数率のガンマ線スペクトル
(2015年2月22日 江戸川局)

^{67}Ga はインビボ診断用放射性医薬品として、悪性腫瘍や炎症性病変の診断のためのシンチグラフィに用いられる⁴⁾。このため、線量率上昇の原因核種は、 ^{67}Ga であると推定される。

2. 線量率上昇の原因の考察

7局の測定局のうち、極短時間の線量上昇が認められたのは、江戸川、小平及び足立の3局のみで、他の4局では上昇は見られなかった。上昇が認められた3局は全て、表1に示すとおり不特定多数の人々が入り出ることができる公園等にMPを設置している。3局の設置状況を図7に示す。

いずれの局も歩道や散策路がMPに隣接しており、MPに不特定多数の人々が容易に近づけるといった共通点がある。

小平局は、開園日及び開園時間が設けられた薬用植物園にあり、極短時間の線量率上昇は全て、開園時間中に発生していた。

足立局及び江戸川局において線量率が上昇した時刻は、大半が午前の遅い時間から夕方であった。ただし、足立局では、午前2時~6時に検出されたことが2回あった。

今回線量率上昇の原因と推定された核種はいずれも体内



図7. モニタリングポストの設置状況 (左:江戸川局, 中:足立局, 右:小平局)

に投与されるインビゴ診断用もしくは治療用放射線医薬品として用いられること⁴⁾, 上昇がみられた局にはMPに不特定多数の人々が容易に近づけるという共通点があること, また発生時間の大半は人々が屋外で活動する昼間であることから, 極短時間の線量率上昇の原因は, 放射性医薬品の投与, もしくはPET検査を受けた人がMP近傍を通過したためと推測される。

環境中の線量率監視において, 測定値の変動原因として放射性医薬品被投与患者の影響があることは原子力防災指針にも記載されており, 原子力発電所立地県では被投与者がモニタリングステーション近傍を通過したことによる一時的な線量率上昇が報告されている⁶⁻⁸⁾。

放射性医薬品を投与された患者の退出基準算定に関する資料では, 一般的な投与量と患者から1 mの距離における初期線量率及び積算ガンマ線量はそれぞれ, ^{99m}Tc が740 MBq, 16 $\mu\text{Sv/h}$, 0.14 mSv, ^{123}I が222 MBq, 6 $\mu\text{Sv/h}$, 0.12 mSv, ^{201}Tl が74 MBq, 1.3 $\mu\text{Sv/h}$, 0.14 mSv, ^{67}Ga が93 MBq, 2.5 $\mu\text{Sv/h}$, 0.28 mSv であり, いずれも積算線量が一般公衆の年間線量限度 (1 mSv) の1/5以下であるため, 投与後の患者を直ちに帰宅させることが可能となっている⁹⁾。また, ^{131}I を投与された患者の退出基準は, 投与量または体内残留放射線量が500 MBqを超えない, もしくは患者の体表面から1 mの点における線量等量率が30 $\mu\text{Sv/h}$ を超えないこととなっており, これらの数値以下の場合, 患者は医療機関からの退出, 帰宅が認められている¹⁰⁾。

上昇事例では, 線量率は最大で約200 nGy/h, 1 mGy = 1 mSvとすると約0.2 $\mu\text{Sv/h}$ 上昇した。投与患者から1 mの距離における初期線量率 ($\mu\text{Sv/h}$) を用いて算出すると, 各放射性核種における線量率が0.2 $\mu\text{Sv/h}$ となる距離はそれぞれ, ^{99m}Tc 8.9 m, ^{123}I 5.6 m, ^{131}I 12.2 m, ^{201}Tl 2.5 m及び ^{67}Ga 3.7 mであり, 上昇が認められた測定局は全てこの距離内に歩道もしくは散策路がある。このことから, これら放射性医薬品被投与者がMP近傍を通過した場合, 線量率が短時間上がる可能性が十分あると考えられる。

3. 検出回数の集計

新宿局は2011年4月1日から, 江戸川局及び小平局は

2012年12月1日から, その他の4局は2012年6月1日から2016年7月31日までの調査期間中に, X線非破壊検査を除く極短時間の線量率上昇は, 足立局, 小平局及び江戸川局のみで合計31回観測された。そのうちスペクトルで明確な変化を捉えた事例の調査結果を表2に示す。

調査期間中に放射性医薬品もしくは消滅放射線と推定されるスペクトルの上昇は25回あり, 足立局が11回で最も検出回数が多く, 次に小平局, 江戸川局の順であった。

足立の都立舎人公園では, 早朝2時台に2回, ^{99m}Tc もしくは ^{123}I と考えられる核種による線量率の急上昇が検出された。またこれらの事例ではその後, 4時台及び5時台にも同じ核種に起因する上昇が認められている。もちろん, このような早朝に立て続けに放射性医薬品被投与者がMP近傍通過した可能性も否定できない。ただ, 足立局は図7に示すとおり, MPの前の歩道に沿って片側3車線の車道が通っており, 40 mほど先には信号機がある。放射性医薬品を搭載した車が通り過ぎただけでは線量率が上昇するとは考えにくい, 信号待ちにより短時間MP付近に停車した場合, 線量率が一過性に上昇する可能性はあるかもしれない。

時間とともに効力が半減する放射性医薬品は, 指定の時間までに, 製薬会社から医療機関へ輸送される。放射性医薬品は, 収納する放射性物質の量から運搬においてA型輸送物として扱われ, 車両表面から1 mのところでは100 $\mu\text{Sv/h}$ を超えないことと法令で定められている¹¹⁾。足立局では, 早朝2時~5時台に線量率が極短時間最大で約30 nGy/h上昇した。1 mGy = 1 mSvとすると, 車両表面から

表2. 測定局別推定核種の検出回数の内訳

推定核種	測定局及び設置場所				合計
	足立局	小平局	江戸川局	合計	
	都立舎人公園	都立薬用植物園	都立篠崎公園		
^{99m}Tc もしくは ^{123}I	6	4	3	13	
消滅放射線	3	2	0	5	
^{131}I	2	0	1	3	
^{201}Tl	0	3	0	3	
^{67}Ga	0	0	1	1	
合計	11	9	5	25	

1 mのところでは100 $\mu\text{Sv/h}$ の車が計算上約60 m離れていることに相当し、これはMPから信号までの距離よりも短い。足立局については今後、同様な早朝の上昇事例がないか、解析対象の条件を見直してスペクトル解析を行う予定である。

小平の都立薬用植物園では9回、放射性医薬品被投与者のMP近傍通過によると考えられる線量率上昇があった。MPは入口付近に設置してあることから、入園時と退園時と思われる一定の時間間隔で同じパターンのスペクトルが2度検出されることが5回あった。検出された何回かにおいて施設の関係者に当日の人の出入りの状況を問い合わせたところ、当該時刻頃に高齢者の団体がMPの前を通り過ぎた、もしくは車椅子の団体が付近を通過したとの情報を得た。ただし、放射性医薬品の服用については確証はなく、確実な原因究明までには至らなかった。

推定核種別では、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ もしくは ^{123}I が最も多く検出されており、全検出件数の約半分にあたる13回であった。これらの核種は核医学検査に広く用いられているため、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ の投与を受けた患者が環境放射線モニタリングステーション近傍に居住していたため線量率が上昇したという検出例や、歩行サーベイによる線量率測定において $^{99\text{m}}\text{Tc}$ を医療投与された人が測定器に近づいた影響と考えられる事例が報告されている^{7,8)}。

次に多かったのは、消滅放射線と考えられる事例であり、5回あった。消滅放射線を測定するPET検査は検査や診断の他、がんの早期発見に役立つため、近年では検診にも用いられつつある⁴⁾。

^{131}I は足立局及び江戸川局で合計3回検出された。 ^{131}I は放射性ヨウ素内用療法として甲状腺疾患の治療に用いられている。患者自身が携帯する情報カードの患者へ向けての欄には、空港や国境などで使用されている放射線検出器が鋭敏でごく微量の放射性物質を検出できるため、体内の放射性物質がほとんどなくなるまで、係官に呼び止められる可能性があることが記載されており、今回の事例と同様に測定値に影響を及ぼすことがうかがいとれる⁵⁾。

^{201}Tl の事例は3回で全て小平局であった。 ^{67}Ga は江戸川局の1回のみであった。

日本アイソトープ協会医学・薬学会全国核医学診療実態調査委員会が2012年6月に行った放射線医薬品の使用に関する調査結果では、東京都内でのPET検査を除くインビボ推定検査件数は全国の約10%を占める年間166,996件であり、不特定多数が容易に近づけるMP付近をこれら被投与者が通過する可能性は十分考えられる。また、全国のPET検査を除く核種別推定検査件数は年間でそれぞれ、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 723,571, ^{123}I 183,991, ^{201}Tl 178,982, ^{67}Ga 47,381, ^{131}I 7,769, クリプトン $^{81\text{m}}\text{Kr}$ (以下 $^{81\text{m}}\text{Kr}$ と略す) 4,421, インジウム111 (以下 ^{111}In と略す) 2,159, キセノン133 (以下 ^{133}Xe と略す) 1,546及びガンマ線を放出する核種を用いた治療件数は ^{131}I 8,567であった⁴⁾。さらに、PET検査のうち ^{18}F を含む製剤を用いた年間検査件数は

507,175であった⁴⁾。これらを単純に核種ごとに集計して求めた比は、それぞれ $^{99\text{m}}\text{Tc}$ と ^{123}I は合計で56%, ^{18}F 31%, ^{201}Tl 11%, ^{131}I 1%, ^{67}Ga 0.5%, $^{81\text{m}}\text{Kr}$ 0.3%, ^{111}In 及び ^{133}Xe は0.1%である。今回の調査結果と比較すると $^{99\text{m}}\text{Tc}$ と ^{123}I は全体の約半分とよく一致する。それに対して調査における ^{18}F の検出割合は低めであった。これは ^{18}F の半減期が約2時間と他の検出された核種に比べて短いため減衰が早く、環境モニタリングでは検出されにくいのかかもしれない。なお、今回検出されなかった $^{81\text{m}}\text{Kr}$, ^{133}Xe 及び ^{111}In は検査件数が極めて低く、かつ $^{81\text{m}}\text{Kr}$, ^{133}Xe はガス状物質のため、環境モニタリングで今後新たに検出される可能性は低いと思われる。

放射性物質被投与者の退出基準は法令で定められており、MPで検出されても公衆が受けるトータル線量としては問題になるようなレベルではない^{9,10)}。しかしながら、核医学検査、検診及び放射性物質による内用療法が普及している現状から、今回検出された3局は、今後もこのような事例が引き続きみられると予想される。このため、引き続き監視を続け、極短時間の線量率上昇が認められた際は今回の5つのスペクトルパターンを参考に核種の推定を行い、都民からの問い合わせに対応する。

ま と め

都内7か所のMPにおいて、新宿局は2011年4月から、江戸川局及び小平局は2012年12月から、他の3局は2012年6月から、全ての局において2016年7月31日までに、極短時間の線量率の上昇が認められた時間帯のスペクトルを解析した。

線量率上昇時のスペクトルを解析した結果、スペクトルは1) $^{99\text{m}}\text{Tc}$ もしくは ^{123}I , 2) 消滅放射線, 3) ^{131}I , 4) ^{201}Tl , 5) ^{67}Ga のいずれかに相当するエネルギー付近にピークが見られる5つパターンに分けられ、これらはいずれも、インビボ診断や治療で投与される放射性医薬品、もしくはPET検査で検出する放射線であった。

線量率の上昇が見られたのは、足立局、小平局及び江戸川局のみであり、これらの局はMPに不特定多数の人々が容易に近づけるといふ共通点があった。また、発生時間帯の大半は人々が屋外で活動する昼間であったことから、極短時間の線量率上昇の原因は、放射性医薬品の投与、もしくはPET検査を受けた人がMP近傍を通過したことによると考えられる。

調査期間中に放射性医薬品もしくは消滅放射線と推定されるスペクトルの上昇は25回あり、足立局が11回で最も検出回数が多く、次に小平局、江戸川局の順であった。

核種別では、 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ もしくは ^{123}I が約半数の13回と最も多く、次いで消滅放射線が5回、 ^{131}I が3回、 ^{201}Tl と ^{67}Ga は各1回であった。

核医学検査、検診及び放射性物質による内用療法が普及している現状から、今回検出された3局は、今後もこのような事例が引き続きみられると予想される。

文 献

- 1) 小西浩之, 富士栄聡子, 生嶋清美, 他: 東京健安研セ年報, **64**, 173-122, 2013.
- 2) 小西浩之, 富士栄聡子, 生嶋清美, 他: 東京健安研セ年報, **66**, 279-287, 2015.
- 3) 森内茂: スペクトルー線量変換演算子による線量評価法とその演算子の決定, JAERI 1209, 1971.
- 4) 日本アイソトープ協会医学・薬学会全国核医学診療実態調査委員会: 第7回全国核医学診療実態調査報告書, Radioisotopes, **62**(8), 1-54, 2013.
- 5) 日本核医学学会分科会腫瘍・免疫核医学研究会 甲状腺RI治療委員会: 放射性ヨウ素内用療法に関するガイドライン, 2014.
- 6) 原子力安全委員会: 22安委決第26号, 「原子力施設等の防災対策について」の一部改訂について, 平成22年8月23日.
- 7) 藤波直人, 渡辺哲也, 荒木智徳, 他: 保健物理, **38**, 248-253, 2003.
- 8) 長岡和則, 佐藤昭二, 山中武, 他: 保健物理, **44**, 66-71, 2009.
- 9) 厚生省医薬品安全局安全対策課: 放射性医薬品を投与された患者の退出について(事務連絡), 平成10年6月30日.
- 10) 厚生労働省医政局指導課長: 医政指発第1108第2号, 放射性医薬品を投与された患者の退出について, 平成22年11月8日.
- 11) 放射性物質等の運搬に関する基準, 平成17年11月24日, 厚生労働省告示第491号.

The Momentary Rise in Radiation Doses in the Air Caused by Radiopharmaceuticals

Satoko FUJIE^a, Hiroyuki KONISHI^a, Toshinari SUZUKI^a, and Mitsugu HOSAKA^a

The Tokyo Metropolitan Institute of Public Health has been monitoring the air dose rate in Tokyo using monitoring posts at seven different locations (Shinjuku, Edogawa, Kodaira, Adachi, Ota, Chofu, and Hachioji), the results of which are released on its website. Almost all of the detected increases are caused by rain or snow, but there are occasional rises in the momentary dose rate. The citizens of Tokyo Metropolitan have expressed a deep interest in the measurement results of radiation doses, with many opinions and questions being received from them about the possible relationship between any increase in radiation dose rates and the nuclear power plant accident. Therefore, to clarify the cause of these increases, we analyzed the gamma-spectrum and totaled the number of detections of a momentary rise in radiation doses.

Five patterns were detected in the spectrum at the times when the dose rates increased: 1) ^{99m}Tc or ^{123}I ; 2) annihilation radiation; 3) ^{131}I ; 4) ^{201}Tl ; and 5) ^{67}Ga . Each of these was caused by a radiopharmaceutical being prescribed to a patient for an in-vivo diagnosis or medical treatment. The momentary rises in radiation doses were mostly observed during the daytime at the posts in Kodaira, Edogawa, and Adachi, likely due to a person who underwent medication with a radiopharmaceutical coming close to these monitoring posts.

A total of 25 momentary rises in dose rate occurred December 2011 and July 2016, including 11 at Adachi, 9 at Kodaira, and 5 at Edogawa. Thirteen of these rises were caused by ^{99m}Tc or ^{123}I , while five were related to annihilation radiation.

Since nuclear medicine therapy and medical examination by radioactive substances have now come into wide use, it is considered that further momentary dose rate elevations will occur at these three sites in the future.

Keywords: monitoring post, Tokyo metropolitan area, air dose rate, gamma-spectrum, radiopharmaceuticals, annihilation radiation, Positron Emission Tomography (PET)

^a Tokyo Metropolitan Institute of Public Health,
3-24-1, Hyakunin-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 169-0073, Japan