

## 東京都新宿区における49×49レスポンスマトリックス法による空間線量率の推移

富士栄 聡子<sup>a</sup>, 三関 詞久<sup>b</sup>, 木下 輝昭<sup>a</sup>, 猪又 明子<sup>c</sup>

東京都健康安全研究センターに設置したモニタリングポストにより測定した2007年1月1日から2023年12月31日までの空間線量率を、49×49のレスポンスマトリックス法を用いて解析した。人工線量率は、福島第一原子力発電所事故以前は0 nGy/hであったが、事故後約90 nGy/hまで上昇し、その後徐々に減少した。2017年3月の地上への更新・移設に伴い、人工線量率は低下して0 nGy/hになった。これは外構整備に伴い周辺の土壌を入れ替えたことで、事故由来の放射性セシウムがほぼ検出されなくなったためと推察される。環境γ線量率は、今後も地上移設後のレベルが継続すると考えられる。2011年3月12日から5月15日におけるエネルギー帯ごとの核種を推定し、線量率強度の時間的推移を考察した。降水がない3月15日から16日は、プルームの通過による一過性の線量率上昇が4回あり、1回目と2回目はヨウ素132の寄与が最も高く、3回目と4回目は大半がキセノン133であり、1回目及び2回目とは異なる組成のプルームであったことが示唆された。3月21日から23日は降水によって放射性物質が湿性沈着したため、線量率が高い状態が継続した後徐々に減衰していった。テルル132は3月中、ヨウ素131は4月中旬過ぎに消失し、以降はセシウム134及びセシウム137が残存した。

**キーワード：**モニタリングポスト, 空間線量率, 波高分布, レスポンスマトリックス法, 福島第一原子力発電所事故, 放射性プルーム, ウラン系列, トリウム系列, カリウム40, ヨウ素131, ヨウ素132, キセノン133, セシウム134, セシウム137

### はじめに

東京都では東京都健康安全研究センター（以下当センターと略す）にモニタリングポスト（以下MPと略す）を設置し（以下新宿局と略す）、空間線量率を常時監視している。

ヨウ化ナトリウムタリウム（以下NaI(Tl)と略す）シンチレーション式のMPでは、γ線の入射に伴ってシンチレータで発生した励起光が光電子増倍管で光電子に変換、増幅され、光の強さに比例したパルスが出力される。得られるのはエネルギーごとの波高分布（以下パルス波高分布と略す）であるため、これを線量率に換算する必要がある。

スペクトル線量換算演算子（以下G(E)と略す）関数法は、パルス波高分布（スペクトル）に直接、荷重係数であるG(E)関数を乗じて線量率へ換算する方法であり、複雑なスペクトル解析を行わずに簡易に線量率を算出できるといった利点があるため、広く用いられている。都内7か所のMPでも、この方式で線量率を測定し、毎時ホームページに公開している<sup>2,3)</sup>。しかしながら、パルス波高分布は全エネルギー吸収のほか、さまざま相互作用や統計的変動などのゆらぎを含んだ結果であり、入射γ線のエネルギースペクトルとは異なる。このため、入射γ線のエネルギースペクトルが不明なG(E)関数法では合計線量率でしか線量評価が行えず、線量率が上昇した際、個々の放射性核種を考慮した寄与の評価ができない。

パルス波高分布を解析し、入射γ線のエネルギースペクトルを求める方法としては、ピールオフ法とレスポンスマトリックス法（以下RM法と略す）の2種類の解析法がある<sup>4,5)</sup>。RM法は、応答行列（レスポンスマトリックス）を用いて、パルス波高分布を入射したエネルギースペクトルに変換した後、線量率に換算する方法であり、エネルギー情報を持ったまま線量率の情報を得ることができる。49×49の応答行列を用いるRM法は<sup>6)</sup>、入射エネルギーを49と細かなエネルギー帯に分けることで、天然成分の線量率の算出、人工成分の線量率の推定及び線量率上昇時における人工放射性核種の寄与を明らかにすることができる。

そこで、49×49のRM法を用いて2007年1月1日から2023年12月31日までの新宿局における空間線量率を解析し、長期的な線量率の推移とその原因、2011年3月12日の福島第一原子力発電所事故（以下事故と略す）後の人工放射性核種の消長を明らかにしたので報告する。

### 調査方法

#### 1. 調査状況

##### 1) 調査地点及び調査期間

調査地点は当センター敷地内で、設置状況を表1に、その写真を図1に示す。

(a)の3号館屋上は周辺に遮蔽物がなく、広く周囲を見渡せる場所である。(b)の別館屋上は周辺に構造物が多く比

<sup>a</sup> 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

<sup>b</sup> 東京都健康安全研究センター微生物部食品微生物研究科

<sup>c</sup> 東京都健康安全研究センター薬事環境科学部

表1. モニタリングポスト設置状況

設置日	設置経緯	設置場所	床面の高さ	検出器の高さ
(a) 2006年12月21日	設置	3号館屋上	地上約18 m	1.8 m
(b) 2013年7月24日	移設	別館屋上	地上約22 m	1.8 m
(c) 2017年3月14日	更新・移設	地上	地面	1.0 m

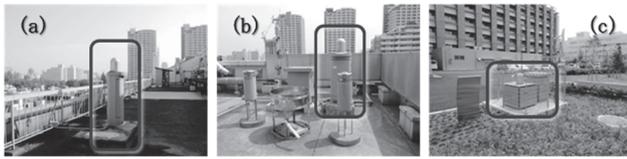


図1. モニタリングポスト設置状況

較的狭い場所で、側に2 m近い高さのパネルが2面張られている。(c)の地上は周辺が開けた場所である。

## 2) 調査期間

調査期間は、2007年1月1日から2023年12月31日までとした。

## 2. 測定装置及び解析方法

### 1) 測定装置

MPは富士電気株式会社製で、型番は2007年1月1日から2017年3月13日まではTB24469、2017年3月14日以降はTKB0791であり、検出器はいずれもφ2インチ×2インチの円筒型NaI(Tl)シンチレーションカウンタである。パルス信号は多重波高分析器 (Multi Channel Analyzer) により5 keV~3,000 keVの範囲でエネルギー分解能5 keV、600チャンネルに分別、積算され、10分間ごとにパルス波高分布データがサーバーに保存される。

### 2) 解析方法

解析には、ミリオンテクノロジーズ・キャンベラ社製DoseCenterを用いた。パルス波高分布は、1,461 keVのカリウム40、2,614 keVのタリウム208を用い、低エネルギー付近として81 keVのキセノン133 (以下<sup>133</sup>Xeと略す)、365 keVのヨウ素131 (以下<sup>131</sup>Iと略す)、又は0チャンネル = -17 keVとしたエネルギーとチャンネルの関係式を用いてエネルギー校正した<sup>4)</sup>。

RM法は、湊による49×49の応答行列を用いた<sup>6)</sup>。なお49×49の応答行列は本来、セシウム134 (以下<sup>134</sup>Csと略す)、セシウム137 (以下<sup>137</sup>Csと略す) 以外の人工放射性物質が存在しない場合に用いるべきであるが<sup>6)</sup>、事故直後の状況をいくらかでも把握するため、<sup>134</sup>Cs、<sup>137</sup>Cs以外の人工放射性物質が検出されている2011年3月から4月までについても49×49の応答行列を用いて解析した。

解析は、RM法で求めた49のエネルギー帯 (以下BINと略す) ごとの線量率、全てのBINの線量率を合計した空間線量率 (以下環境γ線量率と略す)、天然3成分であるウラン系列の線量率 (以下U系列と略す)、トリウム系列の線量率 (以下Th系列と略す)、カリウム40の線量率

(以下<sup>40</sup>Kと略す) 及びそれら天然3成分の合計線量率 (以下天然線量率と略す) を用いて行った。環境γ線量率は、天然線量率と人工放射性物質由来の線量率 (以下人工線量率と略す) の合計であるため、環境γ線量率から天然線量率を引いたものを人工線量率とした。人工線量率は、事故で飛来した人工放射性物質由来の線量率である。降水時に天然線量率が環境γ線量率を上回ることがあるのは、応答関数は降水がない時に元で作成されているのに対し、降水時は雨雪等により跳ね返る散乱光が増えることで直接散乱光の比が変わり、天然線量率が過大評価になるためである。

なお、G(E)法で算出した空間線量率とRM法から求めた環境γ線量率は、算出方法が異なるため同一の値にはならず、値に多少の差が生じる。

## 調査内容

### 1. 環境γ線量率、天然線量率及び人工線量率の推移

2007年1月1日から2023年12月31日まで、各線量率を調査した。降水に伴う短時間の線量率上昇の影響をできるだけ抑えて長期的な推移を明らかにするために、10分間のパルス波高分布を1日分加算した1日値をRM法で解析し、環境γ線量率、天然3成分の各線量率、天然線量率及び人工線量率の推移とその変動原因を検討した。

空間線量率の単位は1時間あたりに換算したnGy/hであるため、1日値分ではあるがnGy/dayではなく24で割ったnGy/hで算出した。

### 2. 事故後のエネルギー帯ごとの線量率の推移

事故後の2011年3月12日から5月15日までの10分間のパルス波高分布をRM法で解析した。BINごとの線量率強度をグラデーションで表現したトレンドグラフ (以下カラーマップと略す) から、BINに該当する放射性核種を推定し、線量率強度の時間的推移を考察した。

空間線量率の単位はnGy/hであるため、10分間ごとの解析結果であるがnGy/10分ではなく、その状態が60分続いたとして6を掛けたnGy/hで算出した。

## 結果及び考察

### 1. 環境γ線量率、天然線量率及び人工線量率の推移

新宿局で測定した2007年から2023年までの1日ごとの環境γ線量率、天然線量率及び人工線量率を図2の上段に示す。下段は2011年3月13日から4月24日までをフルスケールで拡大した図である。降水がないときの、天然線量率に占める天然3成分の各割合及び環境γ線量率の推移を図3に示す。

線量率は、事故後、別館屋上への移設時 (以下移設と略す)、地上への更新・移設時 (以下地上と略す) に大きな変動がみられたため、1)事故前から事故直後、2)事故後から移設前、3)移設後から地上前、及び4)地上後に区切って、線量率の推移を検討した。

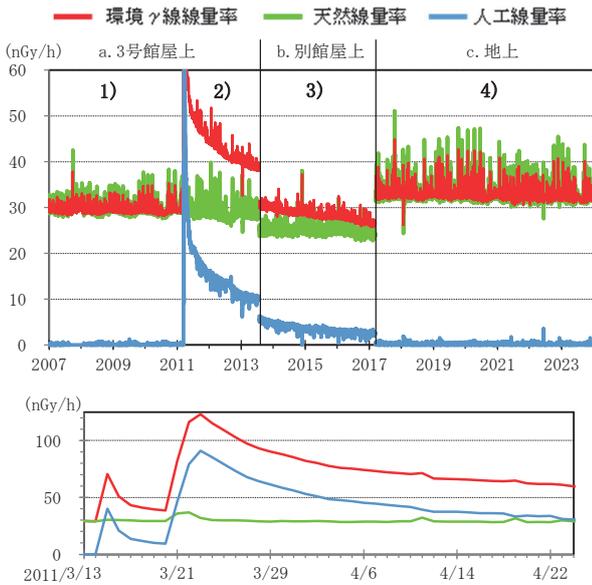


図2. 新宿局における環境γ線線量率、天然線量率及び人工線量率の1日値の推移（2007年～2023年）

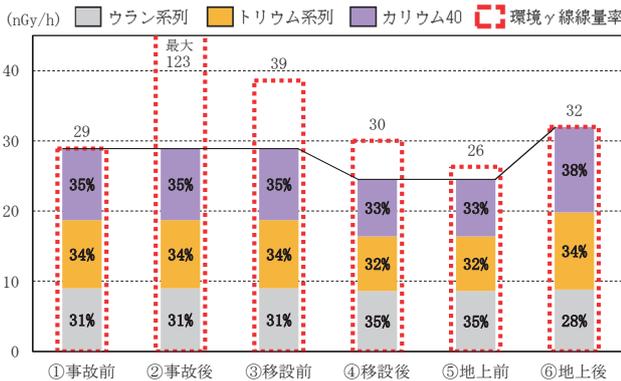


図3. 天然3成分の線量率及び環境γ線線量率の推移

**1) 事故前から事故直後（2007年1月1日～2011年3月14日）**

環境γ線線量率と天然線量率は一致し、人工線量率は0 nGy/hであった（図2上段1）。降水がないときの天然線量率は約30 nGy/hで、これが事故前の新宿局における環境γ線線量率であり、新宿局では3月14日まで事故による影響がなかった。天然線量率に占める各成分の割合は、U系列は31%、Th系列は34%、<sup>40</sup>Kは35%であり、おおむね1/3ずつの割合であった（図3①）。

**2) 事故後から移設前（2011年3月15日～2013年7月23日）**

事故後、環境γ線線量率と人工線量率は急上昇したが（図2上段1）2）の境界線）、天然線量率及び天然3成分の各線量率は周辺の状況が変わらないため、事故後も約30 nGy/hで、天然3成分の割合も変化していなかった（図3②）。3月21日から22日は降水に伴い天然線量率が約40 nGy/hと若干上昇している（図2下段）。環境γ線線量率は3月15日に約70 nGy/hまで上昇した後、20日には一旦約40 nGy/hまで減少した。降水があった21日に再度上昇し、

最大約120 nGy/hに達した後、なだらかに低下し、4月24日には約60 nGy/hになった。

この環境γ線線量率の変動は、人工線量率の増減に起因している。事故前に0 nGy/hであった人工線量率は、3月15日に約40 nGy/hと一過性に上昇し、3月20日に約10 nGy/hと、人工放射性物質がわずかに降下し乾性沈着したことが示唆された。その後人工線量率は21日に大きく上昇し、最大約90 nGy/hに達した後漸減し、4月24日には約30 nGy/hになった。これは、放射性物質が3月21日から22日の雨に付着して地表に落ち湿性沈着し、その後も残存した放射性物質から人工放射線の放出が続いたためと推察される。なお、2011年3月12日から5月15日については、より詳細に解析した結果を、2. 事故後のエネルギー帯ごとの線量率の推移において後述する。

2011年4月24日以降の環境γ線線量率及び人工線量率は、2011年6月末に50及び21 nGy/h、2012年6月末に41及び14 nGy/h、移設前の2013年7月に39及び10 nGy/hと減衰していった（図2上段2）。MPの近辺で採取した2011年3月の月間降下物からは、半減期約2年の<sup>134</sup>Csと半減期約30年の<sup>137</sup>Csがほぼ同濃度検出されている<sup>7)</sup>。人工線量率は、2011年6月末の21 nGy/hから2013年7月の10 nGy/hへと、約2年でおおむね半減している。半減期約30年の<sup>137</sup>Csも低下しているため、減衰が物理的半減期のみ起因するならば、半減するまでの期間はこれより長くなるはずである。このことから、物理的半減期による減衰に加え、風雨などの自然要因による減衰（以下ウェザリング効果と略す）の影響が大きいことがうかがえる。

**3) 移設後から地上前（2013年7月24日～2017年3月13日）**

移設により周辺の環境が変化するため、環境γ線線量率、天然線量率及び人工線量率が低下した（図2上段2）3）の境界線）。移設直後に環境γ線線量率が下がったのは、天然線量率と人工線量率の双方が低下したためである。ただし、天然3成分それぞれの割合はほぼ変わらずおおむね1/3程度であった（図3③④）。人工線量率の減少については、敷地内での移設のため、MP近辺に降下した人工放射性物質の量はさほど変化していないと思われる。減少の理由は、図1の設置状況に示すとおり、移設後は周囲に遮蔽物が多く、周辺からの線量率が低下したためと推測される。

移設後の環境γ線線量率と人工線量率の減衰量は次第に緩やかになり、地上へ移設する直前の2017年3月の人工線量率は約2 nGy/hであった（図2上段3）。これは、半減期約2年の<sup>134</sup>Csが次第に消失し、半減期約30年の<sup>137</sup>Csが大半を占めるようになってきたためであると考えられる。

**4) 地上後（2017年3月14日～2023年12月31日）**

地上へ更新・移設したことで、環境γ線線量率及び天然線量率は上昇し、人工線量率が低下して0 nGy/hになった（図2上段3）4）の境界線）。人工線量率が0 nGy/hであるにも関わらず環境γ線線量率が上昇したのは、人工線量率の減少以上に天然線量率が増加したためである。人工線量率が0 nGy/hになった原因は、外溝整備に伴い周辺の土壌を

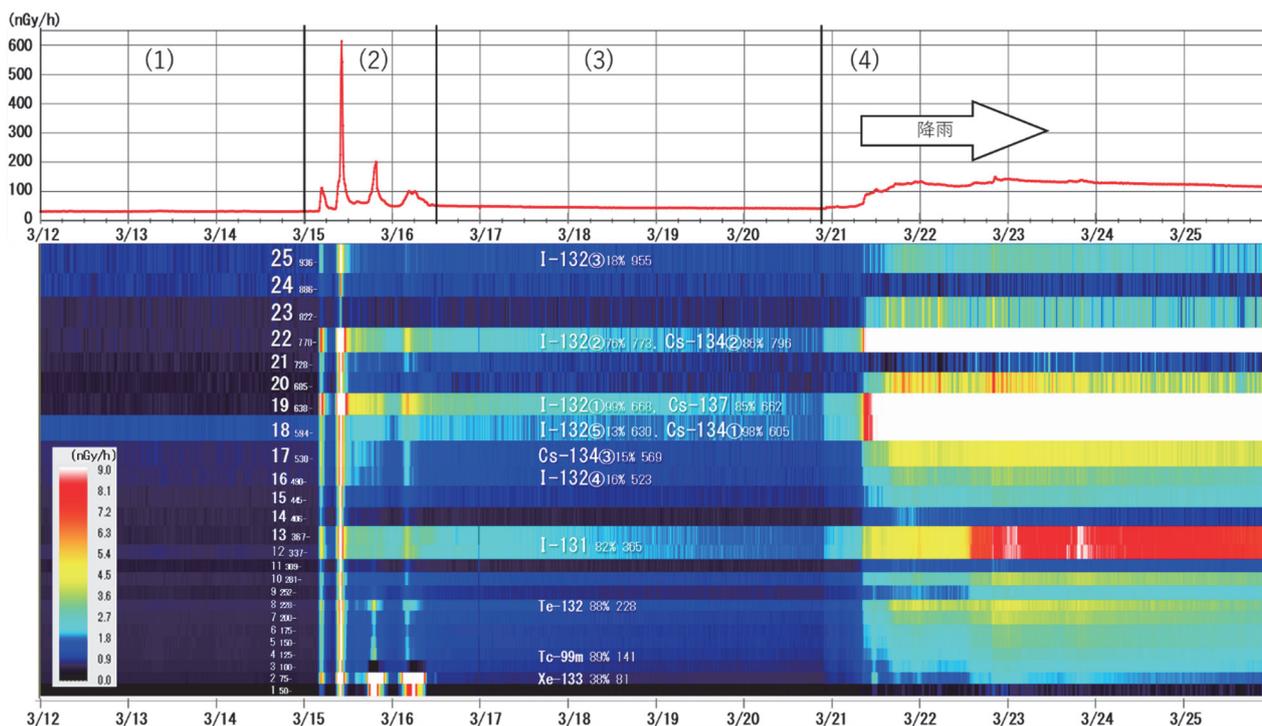


図4. 2011年3月12日～3月25日の線量率とエネルギー帯ごとの線量率の10分値の推移（新宿局）

入れ換え、コンクリートの舗装も敷き直したため、事故由来の放射性セシウムがMP近辺からほぼ検出されなくなったためと推察される。

地上後の天然線量率は、天然3成分のうちU系列はほぼ変わらず、Th系列及び $^{40}\text{K}$ が上昇した（図3⑤⑥）。環境 $\gamma$ 線線量率、天然線量率及び人工線量率はその後2023年12月末まで大きな変動はなく（図2上段4）、今後も同様な線量率で推移すると考えられる。

## 2. 事故後のエネルギー帯ごとの線量率の推移

### 1) 事故後の状況1（2011年3月12日～25日）

新宿局で測定した2011年3月12日から3月25日までの、10分間ごとの環境 $\gamma$ 線線量率（以下線量率と略す）を図4の上段に、BINごとのカラーマップを下段に示す。10分間の測定値であるが、時刻は10分間の測定開始時刻で表記する。カラーマップの横軸は測定日時、縦軸は49のBINのうち、変化が認められた低エネルギー側のBIN1からBIN25までの線量率強度をグラデーションで表示する。また、それぞれのBINにおいて推定された人工放射性核種とその放出比及びそのエネルギーを記載し、放出比10%以上のエネルギーを複数放出する核種は、放出比順に①～⑤と記している。

事故後の状況を、(1)事故があった3月12日0時から線量率上昇前の15日0時まで、(2)最初に線量率が上昇した15日0時から16日12時まで、その後(3)線量率がおおむね事故前のレベルまで戻った16日12時から20日21時まで、(4)事故後初めて降水があった3月20日21時から3月26日0時までに区切って、グラデーション表記したBINごとの線量率から、

人工放射性核種の推移を検討した。

#### (1) 3月12日0時から15日0時まで

3月12日に福島第一原子力発電所（以下原発）1号機ではベントが行われ、原発敷地内では14時30分に約1 mSv/hが観測された。その後も敷地内では線量率上昇が何度か認められた<sup>8)</sup>。大気中に放出された放射性物質は風下に移動しながら、水平・垂直方向に拡散した。12日午後から13日朝にかけて、南からの風により宮城県沿岸部では放射性物質が乾性沈着した<sup>9)</sup>。13日から14日までは主に東の海方向に拡散した<sup>9)</sup>。新宿局は14日まで原発からの風下に当たらなかったため、図4の(1)に示すとおり、線量率は約30 nGy/hと通常の範囲で推移していた。

#### (2) 3月15日0時から16日12時まで

3月15日0時から16日12時までの線量率の推移を図5の上段に、BINごとの線量率の推移を中段及び下段にカラーマップで示す。中段と下段の図は、カラーマップの最大線量率のスケールが異なっており、中段は高線量率までグラデーションで示せるよう最大を100 nGy/h、下段は低線量率がグラデーションで明確になるよう最大を15 nGy/hとし、それ以上の線量率は白色で表している。

この期間は降水がなく、事故由来の放射性物質を含むブルームの通過により、一過性の線量率上昇が4回あった。この上昇に合わせて、① 15日0時～8時、② 15日8時～13時、③ 15日13時～16日0時、④ 16日0時～16日12時の4つの期間に区切って検討した。

#### ① 1回目の上昇時前後（15日0時～8時）

14日夜間から15日朝にかけて北東の風向きになった<sup>10)</sup>。

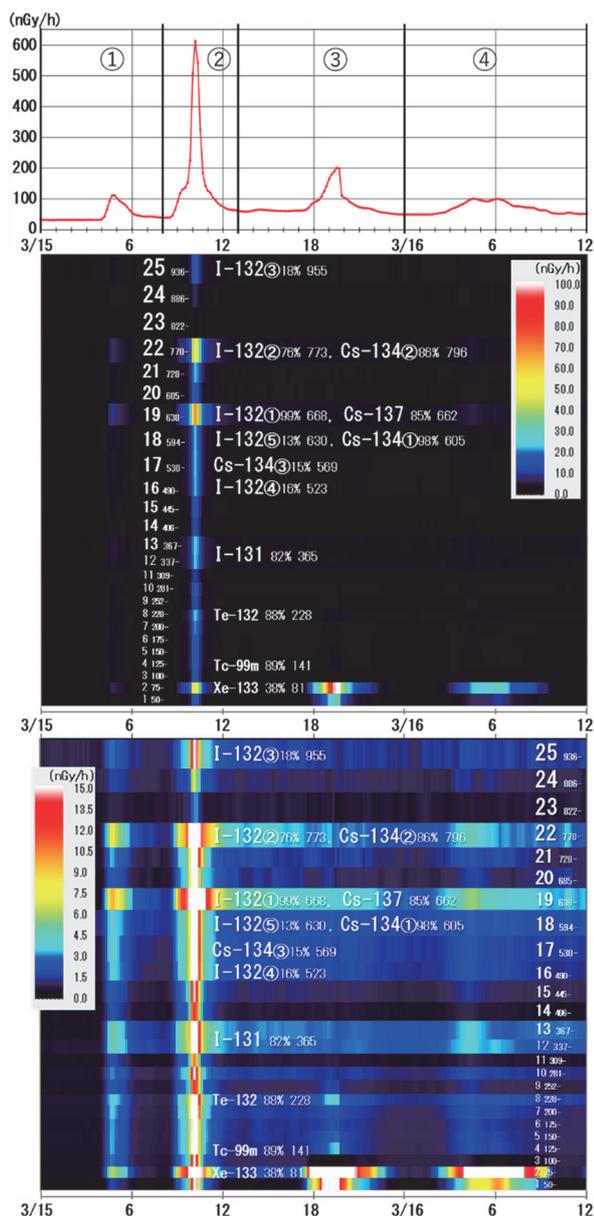


図5. 2011年3月15日0時～3月16日12時までの線量率とエネルギー帯ごとの線量率の10分値の推移 (新宿局)

15日4時前まで約30 nGy/hと通常の範囲で推移していた線量率は、4時から上昇し始め、4時40分から50分にかけて最大約110 nGy/hになった後、6時過ぎに約50 nGy/hまで下がりおおむね収束した。2回目上昇前の8時過ぎは約40 nGy/hであった。新宿区に先駆けて茨城県水戸市でも線量率の上昇が認められており<sup>11)</sup>、北東の風に乗って運ばれた放射性物質を含むプルームが通過していったと思われる。

線量率上昇に伴い推定された核種はカラーマップから(図5下段)、ウランの核分裂生成物であるヨウ素132(以下 $^{132}\text{I}$ と略す)、 $^{131}\text{I}$ 、テルル132(以下 $^{132}\text{Te}$ と略す)、 $^{133}\text{Xe}$ であった。 $^{131}\text{I}$ のエネルギーはBIN12とBIN13の境目付近のため、両BINに同程度ずつまたがっていると考えられる。 $^{137}\text{Cs}$ のBIN19は $^{132}\text{I}$ ①、 $^{134}\text{Cs}$ ①②のBIN18及び

BIN22は $^{132}\text{I}$ ⑤②と重なっており、 $^{132}\text{I}$ が検出されているためこれらの存在の判別は困難であった。その他にも上昇が認められるBINが存在するが、これは線量率が大きく上昇したBINより下のBINでは散乱線により正の誤差が生じてしまうためである。ピーク時における放射性核種ごとのBINの線量率は、 $^{132}\text{I}$ ①～⑤が含まれるBIN19、BIN22、BIN25、BIN16及びBIN18の合計が約30 nGy/h、BIN12とBIN13を合算した $^{131}\text{I}$ が約10 nGy/h、 $^{133}\text{Xe}$ が約6 nGy/h、 $^{132}\text{Te}$ が約4 nGy/hであり、 $^{132}\text{I}$ の寄与が最も大きかった。

### ② 2回目の上昇時前後 (15日8時～13時)

線量率上昇時の気象状況は1回目と同様で、北東の風が吹いていた<sup>10)</sup>。2回目の上昇は15日8時40分から始まり、約40 nGy/hであった線量率が9時過ぎに約100 nGy/hを超えた後、9時50分から急上昇し、10時10分に事故後の最大値である614 nGy/hを記録した。線量率はその後急下降し、10時40分には200 nGy/hを下回り、次第に低下し、12時頃までにおおむね収束した。他の3回の上昇が100～200 nGy/hであったのに対し、この2回目の線量率上昇は特に大きく、高濃度の放射性物質を含むプルームが通過したと推測される。原発では3月15日朝、2号機の格納容器の圧力が低下しており、格納容器が破損し、放射性物質が大気中に大量に放出されたと推測されている<sup>12,13)</sup>。茨城県水戸市では8時から9時の線量率が約1,500 nGy/hと急上昇しており<sup>11)</sup>、北東の風によって運ばれた放射性物質を含むプルームが到達したと考えられる。

図5中段のカラーマップから、検出されているのは1回目と同じく $^{132}\text{I}$ 、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{132}\text{Te}$ 及び $^{133}\text{Xe}$ であり、 $^{132}\text{I}$ の寄与が最も大きかった。 $^{134}\text{Cs}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ は、 $^{132}\text{I}$ のBINと重なっており存在の判別は困難であった。ピーク時における放射性核種ごとのBINの線量率は、 $^{132}\text{I}$ を含むBINが約180 nGy/h、 $^{131}\text{I}$ が約50 nGy/h、 $^{133}\text{Xe}$ が約60 nGy/h、 $^{132}\text{Te}$ が約20 nGy/hであった。ピーク収束後も $^{132}\text{I}$ 及び $^{131}\text{I}$ がわずかに検出されているが(図5下段)、降水がなかったため沈着はさほど起こらず、プルームの一過性の通過であったと推察される。

### ③ 3回目の上昇時前後 (15日13時～16日0時)

風向きは次第に南東に変わっていった<sup>10)</sup>。13時から17時20分まで約60 nGy/hであった線量率は、17時30分から上昇し始め、19時30分に約200 nGy/hを達した後、20時30分頃には100 nGy/hを下回り、ゆるやかに減少していった。

上昇時に検出されたのは $^{133}\text{Xe}$ が大半であった(図5下段)。 $^{132}\text{I}$ 及び $^{131}\text{I}$ のBINの線量率は一貫して徐々に減少しているため、3回目のプルームにはこれらの核種が含まれていなかったと推測される。また $^{132}\text{I}$ の増加が認められない状況で、 $^{132}\text{I}$ と重なるBINの $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ の増加もなかったことから、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ も含まれていなかったと考えられる。さらに、1回目、2回目では検出されていないテクネチウム99m(以下 $^{99m}\text{Tc}$ と略す)がわずかに検出されている。このように、3回目のプルームは、1回目、2回目と異なる組成のプルームであったことがうかがえる。線量

率が最も高かった19時30分における $^{133}\text{Xe}$ のBINの線量率は約110 nGy/hであり、2回目の上昇時より高かった(図5中段)。 $^{132}\text{Te}$ 及び $^{99\text{m}}\text{Tc}$ のBINの線量率は、それぞれ約3 nGy/hであった(図5下段)。

$^{133}\text{Xe}$ の上昇から、希ガスである $^{133}\text{Xe}$ のプルーム通過であったため、乾性沈着はなく、通過後は線量率が上昇前に戻った。希ガス以外の核種は、大気浮遊じんや、降下物で沈着状況がある程度推定可能であるが、痕跡を残さない希ガスのプルームの飛来は、放射性希ガスの採取を目的とした空気捕集以外では、MP等での継続した測定でしか観測できず、MPによる測定は非常に重要であるといえる。

当センターに先駆けて、千葉市の日本分析センターでは、16時頃に線量率が最大約700 nGy/hと一過性的上昇があり、大半が $^{133}\text{Xe}$ からの線量率であった<sup>14)</sup>。3回目の上昇に関係するプルームは南東の風によって通過したと思われる。線量率は16日始めには約50 nGy/hまで低下した。

#### ④ 4回目の上昇時前後(16日0時~12時)

4回目の線量率上昇は16日2時頃から緩やかに始まり、4時30分頃と6時頃の約100 nGy/hの2つのなだらかピークを経てからゆっくりと低下し、12時頃には上昇前のレベルである約50 nGy/hに戻った。

3回目の上昇と同様に、最も線量率が高いBINは $^{133}\text{Xe}$ であった(図5下段)。それに加えて、前半のピークでは $^{132}\text{I}$ 及び $^{131}\text{I}$ の上昇が認められている。後半のピークの上昇要因は $^{133}\text{Xe}$ である。 $^{132}\text{I}$ が検出されているため、 $^{134}\text{Cs}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ の存在の判別は困難であった。前半と後半のピークにおけるBINごとの線量率は、 $^{133}\text{Xe}$ が約25 nGy/h前後、 $^{131}\text{I}$ が約7 nGy/h前後であった。

#### (3) 3月16日12時~20日21時までの状況

この期間も引き続き降水がなく、原発からの放射性物質は主に海上に拡散したと考えられる<sup>9,12)</sup>、東京へのプルームの通過もなかった。線量率の推移とカラーマップを図4の(3)に示す。線量率は約50 nGy/hから約40 nGy/hへと少しずつ低下していった。

カラーマップでは、 $^{132}\text{I}$ ②⑤を含むBIN22、BIN19及びBIN18と、 $^{131}\text{I}$ (半減期約8日)のBINにおいて線量率の減衰が同程度に認められる。 $^{132}\text{I}$ の半減期は約2時間であること、 $^{132}\text{I}$ の親核種である $^{132}\text{Te}$ (半減期約3日)は残存していないことから、BIN22、BIN19及びBIN18は $^{132}\text{I}$ ではなく、BINが被って検出が不明であった $^{134}\text{Cs}$ (半減期約2年)、 $^{137}\text{Cs}$ (半減期約30年)であると推定できる。したがって、プルームには $^{134}\text{Cs}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ も含まれており、通過時にこれらの放射性物質もわずかに降下し乾性沈着したことが示唆される。乾性沈着した核種はウェザリング効果により、物理的半減期より早い速度で減衰していると考えられる。

#### (4) 3月20日21時~26日0時までの状況

3月20日の夜に、北東からの風向きになった<sup>10)</sup>。

線量率の推移とカラーマップを図4の(4)に示す。また、

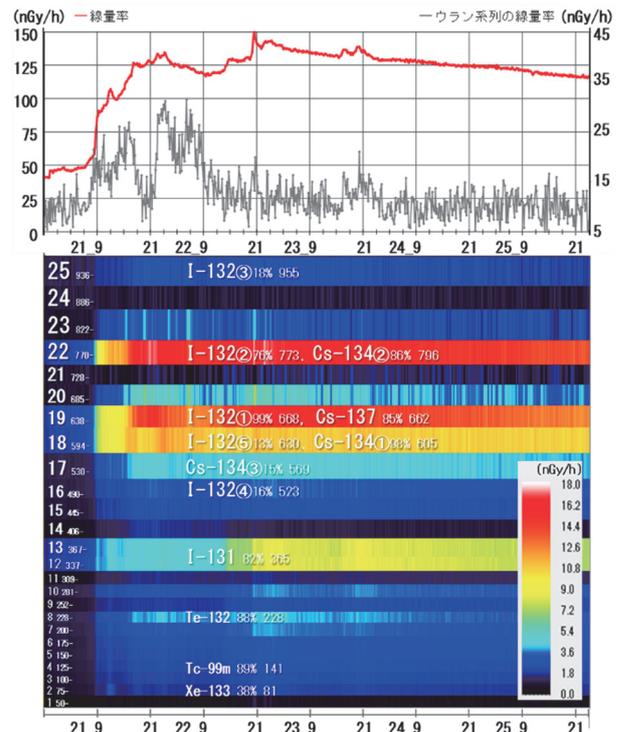


図6. 2011年3月21日21時~3月26日0時までの線量率とエネルギー帯ごとの線量率の10分値の推移(新宿局)

3月20日21時から3月26日0時までの線量率及びウラン系列の線量率推移を図6の上段に、カラーマップを下段に示す。ウラン系列は降水時に必ずしも上昇が認められるとは限らないが、3月20日から26日におけるウラン系列の増減は、新宿近郊の練馬観測所の降水データと、おおむね一致しているため<sup>15)</sup>、新宿局における降水状況を比較的良好に反映していると考えられる。

20日22時頃に約40 nGy/hであった線量率は、22時20分からわずかに上昇し45 nGy/hを上回るようになった(図4(4))。この時刻から、BIN22、BIN19、BIN18及び $^{131}\text{I}$ のBINが同程度上昇している。BIN25及びBIN16の $^{132}\text{I}$ ③④は上昇していないにもかかわらず、より放出比の低いBIN18の $^{132}\text{I}$ ⑤が上昇していることから、BIN18における寄与は $^{132}\text{I}$ ⑤より $^{134}\text{Cs}$ ①が大きいと推測される。またBIN22とBIN19における $^{132}\text{I}$ の放出比はそれぞれ76%と99%といくらか近く、 $^{132}\text{I}$ の寄与が低かったことから、BIN19では $^{137}\text{Cs}$ の検出が示唆される。ウラン系列の上昇は認められず、降水はなく、沈着はほとんど生じていないと考えられる。

7時過ぎから、線量率は明らかに増加し始めた(図6)。同時にウラン系列の線量率も上がり始めたため、この頃から降水が始まったと考えられる。線量率は8時30分から急速に上昇した後、増減はあるものの3月22日20時頃まで125 nGy/h前後の線量率が継続し、その後は漸減傾向を示した。最大値は22日20時30分の150 nGy/hであった。22日21時前と23日15時から21時頃に線量率が若干上昇してい

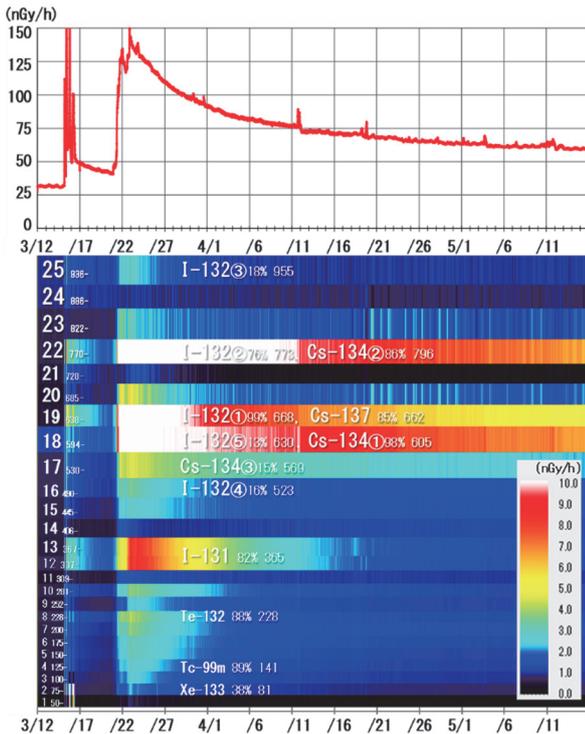


図7. 2011年3月12日～5月15日までの線量率とエネルギー帯ごとの線量率の10分値の推移 (新宿局)

る時間帯ではウラン系列もやや上昇しており、降水があったと推測される。

カラーマップでは、線量率の上昇に伴い、 $^{132}\text{I}$ 、 $^{131}\text{I}$ 及び $^{132}\text{Te}$ の増加が認められる。BIN22、BIN19及びBIN18は、 $^{132}\text{I}$ ②①⑤と $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ が被っているが、 $^{132}\text{I}$ ④③のみのBIN25及びBIN16に比べて、これらのBINの線量率は明らかに高く、 $^{134}\text{Cs}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ に由来する線量率上昇も含まれていると推察される。一方、これまでの上昇とは異なり希ガスの $^{133}\text{Xe}$ は検出されていない。このことから、3月21日からの上昇は、ガス成分より粒子状物質を含むブルームであったと考えられる。線量率が最大であった時刻の各BINの線量率は、 $^{132}\text{I}$ ②と $^{134}\text{Cs}$ ②のBIN22が18 nGy/h、 $^{132}\text{I}$ ①と $^{137}\text{Cs}$ のBIN19が17 nGy/h、 $^{132}\text{I}$ ⑤と $^{134}\text{Cs}$ ①のBIN18が11 nGy/h、 $^{131}\text{I}$ のBIN12とBIN13の合計が約17 nGy/hであった。

放射性物質は大気中を輸送される過程で、乾性沈着、湿性沈着によって大気中から除去されるが、粒子状物質は一般的に乾性沈着しにくく湿性沈着しやすい<sup>16)</sup>。このため降水がない場合は、放射性物質の濃度が高いブルームが通過しても通り過ぎのみで沈着は少ないが、通過中に降水があった場合、ブルーム中の放射性物質が水滴に付着して降下するため沈着量が多くなる。3月21日からの線量率上昇は、ブルーム通過による線量増加分に加え、降水によって地表面に降下し湿性沈着した放射性物質からの線量増加分が加算されたものである。このため、それ以前の上昇時には線量率が速やかに減少したのとは異

なり、降水後も線量率が高い状態が継続した。

## 2) 事故後の状況2 (2011年3月12日～5月15日)

3月12日から5月15日までの線量率の推移とカラーマップを図7に示す。3月12日から25日の状況は、1) 事故後の状況1 (2011年3月12日～25日) のとおりであるが、3月23日以降線量率はゆるやかに低下していった。ところどころの線量率上昇は、降水に伴うウラン系列の増加に起因するものである。減衰傾向は次第に弱まっていることから、半減期が短い核種が消失していく一方、長い核種からの放射線が残存していることがうかがえる。カラーマップより $^{132}\text{Te}$  (半減期約3日) は3月中に、 $^{131}\text{I}$  (半減期約8日) は4月中旬過ぎに消失し、以降は $^{134}\text{Cs}$  (半減期約2年) 及び $^{137}\text{Cs}$  (半減期約30年) のみとなった。

## ま と め

2007年1月1日から2023年12月31日までの新宿局における空間線量率を、 $49 \times 49$ のレスポンスマトリックス法を用いて解析した。

事故前は環境 $\gamma$ 線線量率が天然線量率と一致し約30 nGy/hであり、人工線量率は0 nGy/hであった。事故後、天然線量率は変化しなかったものの、人工線量率は上昇し約90 nGy/hと最大に達した後徐々に低下した。2013年7月の敷地内移設により周辺の環境が変化したことで、天然線量率及び人工線量率が減少した。2017年3月の地上への更新・移設後、天然線量率は上昇したが、人工線量率は低下し0 nGy/hになった。これは外構整備に伴い周辺の土壌を入れ替えたことで、事故由来の放射性セシウムがほぼ検出されなくなったためと推察される。環境 $\gamma$ 線線量率は今後も地上移設後のレベルで推移すると考えられる。

2011年3月12日から5月15日におけるエネルギー帯ごとの核種を推定し、線量率強度の時間的推移を考察した。降水がない3月15日から16日は、ブルームの通過による一過性の線量率上昇が4回あり、1回目と2回目は $^{132}\text{I}$ の寄与が最も高く、 $^{131}\text{I}$ 、 $^{133}\text{Xe}$ 及び $^{132}\text{Te}$ も検出された。3回目と4回目は大半が $^{133}\text{Xe}$ であり、1回目及び2回目とは異なる組成のブルームであったと推察された。3月21日から23日は降水によって放射性物質が湿性沈着したため、線量率が高い状態を継続した後徐々に減衰していった。 $^{132}\text{Te}$ は3月中、 $^{131}\text{I}$ は4月中旬過ぎに消失し、以降は $^{134}\text{Cs}$ 及び $^{137}\text{Cs}$ が残存した。

## 文 献

- 1) 森内 茂：スペクトル荷重関数方式による環境 $\gamma$ 線線量測定器に関する研究, JAERI-M 7066, 1977.
- 2) 東京都健康安全研究センター：環境放射線測定結果。  
<https://monitoring.tmph.metro.tokyo.lg.jp/> (2024年8月9日現在。なお本URLは変更または抹消の可能性がある)
- 3) 小西浩之, 富士栄聡子, 生嶋清美, 他：東京健安研七 年報, 66, 279-287, 2015.
- 4) 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 $\gamma$ 線測定法.

- <https://www.kankyo-hoshano.go.jp/wp-content/uploads/2020/12/No17.pdf> (2024年8月9日現在. なお本URLは変更または抹消の可能性がある)
- 5) 湊 進：名古屋工業技術試験所報告, **27**, 384-397, 1978.
- 6) 湊 進：放射線地学研究所特別寄稿シリーズ, SCS-0108, 1-27, 2015.
- 7) 東京都健康安全研究センター：環境放射線測定結果, 1か月分の降下物中の放射性物質検査結果.  
[https://monitoring.tmiph.metro.tokyo.lg.jp/mon\\_fallout\\_1month\\_data.html](https://monitoring.tmiph.metro.tokyo.lg.jp/mon_fallout_1month_data.html) (2024年8月9日現在. なお本URLは変更または抹消の可能性がある)
- 8) 環境省：「放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料 令和5年度版」.  
<https://www.env.go.jp/chemi/rhm/current-kisoshiryo.html> (2024年8月9日現在. なお本URLは変更または抹消の可能性がある)
- 9) 日本原子力研究開発機構：福島第一原子力発電所事故に伴うCs137の大気降下状況の試算－世界版 SPEEDI (WSPEEDI)を用いたシミュレーション－.  
<https://www.aec.go.jp/jicst/NC/iinkai/teirei/siry02011/siry034/siry02.pdf> (2024年8月9日現在. なお本URLは変更または抹消の可能性がある)
- 10) 国立情報学研究所：福島第一原発周辺気象データアーカイブ2011年3月11日～25日 / 風向・風速 (毎時大気解析) / 1000hPa (100m) / 詳細.  
<http://agora.ex.nii.ac.jp/earthquake/201103-eastjapan/weather/data/wind-anl-20110311/1000/> (2024年8月9日現在. なお本URLは変更または抹消の可能性がある)
- 11) 原子力規制庁：空間線量率 (環境放射能水準調査) (2011年03月).  
<https://radioactivity.nra.go.jp/ja/results/air-dose-level-survey/2011-03> (2024年8月9日現在. なお本URLは変更または抹消の可能性がある)
- 12) 東京電力株式会社：福島第一原子力発電所事故における放射性物質の大気中への放出量の推定について.  
<https://www2.nra.go.jp/data/000293283.pdf> (2024年8月9日現在. なお本URLは変更または抹消の可能性がある)
- 13) 日本学術会議公開シンポジウム：2号機から最も多くの放射性物質が放出された理由.  
<https://www.scj.go.jp/ja/event/pdf2/140917b.pdf> (2024年8月9日現在. なお本URLは変更または抹消の可能性がある)
- 14) 日本分析センター：事故直後の希ガス濃度等の調査結果.  
<https://www.jcac.or.jp/uploaded/attachment/175.pdf> (2024年8月9日現在. なお本URLは変更または抹消の可能性がある)
- 15) 気象庁：過去の気象データ検索.  
<https://www.data.jma.go.jp/stats/etnr/index.php> (2024年8月9日現在. なお本URLは変更または抹消の可能性がある)
- 16) 大原利眞, 森野 悠, 田中 敦：保健医療科学, **60**, 292-299, 2011.

## Trend in Ambient Radiation Dose Rate in Shinjuku, Tokyo, Using the 49×49 Response Matrix Method

Satoko FUJIE<sup>a</sup>, Norihisa MISEKI<sup>a</sup>, Teruaki KINOSHITA<sup>a</sup>, and Akiko INOMATA<sup>a</sup>

At the Tokyo Metropolitan Institute of Public Health, monitoring posts have been installed to measure ambient radiation levels. The ambient radiation dose rate was analyzed using the 49×49 response matrix method from January 1, 2007, to December 31, 2023, in Shinjuku, Tokyo. The artificial dose rate of 0 nGy/h before the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident increased to 90 nGy/h after the accident before it gradually decreased. Due to ground relocation in March 2017, the artificial dose rate decreased to 0 nGy/h because the radioactive cesium from the accident was almost undetectable by replacing the surrounding soil as a result of external maintenance. Ambient radiation dose rates will continue at levels observed post-relocation.

Nuclides were estimated based on energy range, and temporal changes in the dose rate intensity from March 12 to May 15, 2011, were examined. On March 15 and 16, when no precipitation was observed, four transient dose-rate surges were detected due to the passage of the plume. The contributions of iodine-132 were highest during the first and second increases, whereas the third and fourth increases were mostly due to xenon-133, indicating that the plume composition differed from the first and second increases. The dose rate remained persistently high in March 21–23 due to the wet deposition of radioactive materials by precipitation, and then gradually decayed. Tellurium-132 and iodine-131 disappeared in March and mid-April, respectively, whereas cesium-134 and cesium-137 were still present.

**Keywords:** monitoring post, ambient radiation dose rate, plus height distribution, response matrix method, Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, radioactive plume, uranium series, thorium series, potassium 40, iodine 131, iodine 132, xenon 133, cesium 134, cesium 137

---

<sup>a</sup> Tokyo Metropolitan Institute of Public Health,  
3-24-1, Hyakunin-cho, Shinjuku-ku, Tokyo 169-0073, Japan