

# 広域定点における福島第一原子力発電所 事故由来の空間線量率の経時変化

下瀬川正幸<sup>1)</sup>，細田正洋<sup>2)</sup>

1) 群馬県立県民健康科学大学大学院 診療放射線学研究科

2) 弘前大学大学院 保健学研究科

**目的：**2011年3月11日に発生した東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故によって，生活圏に大量の放射性核種が放出された．本研究では数百km規模の広い範囲の空間線量率を同時期に測定し，広域の汚染の分布状況を確認するとともに，原発事故発生後1年間の空間線量率の経時的な変化について分析した．

**方法：**群馬県から青森県に至る高速道路上のサービスエリアとパーキングエリア全40ヶ所に測定点を定め，原発事故発生6ヶ月後及び1年後の空間線量率を測定した．

**結果：**栃木県北部から福島県全域，及び宮城県北部から岩手県南部の汚染地域を確認した．汚染地域の空間線量率は原発事故発生6ヶ月後から1年後までの半年間で20～40%程度減少した．

**結論：**空間線量率の継続的な定点測定は，地域住民の被ばく線量の推定や，本格除染の効果の判定においても重要である．

**キーワード：**福島第一原子力発電所，空間線量率，放射線モニタリング，高速道路

## I. 緒言

2011年3月11日に発生した東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故（以下，原発事故）によって，生活圏に大量の放射性核種が放出された．事故発生から1年が過ぎても住民の健康や生活への不安は払拭できていない．

原発事故発生直後から，各地域における環境の放射線モニタリングは自治体や地域の研究機関等により実施されてきた．また，大規模な広域モニタリングとして，文部科学省による日本全国の航空機モニタリングが実施された<sup>1)</sup>．

空間線量率の測定結果はインターネット等で随時公開されているが，各地域で個別に測定された結果を用いて地域間の空間線量率を単純に比較することは，測定器や測定方法が異なることから注

意を要する．また，同一の測定方法で実施される広域モニタリングは，手間とコスト面から頻繁に実施できるものではなく，広域の空間線量率の経時的な変化を評価することは難しい．

本研究では，群馬県から青森県に至る高速道路上に測定点を定め，原発事故発生6ヶ月後（2011年9月）に，同一の測定器と測定方法により空間線量率を実測し，原発事故に由来する放射性核種による広域の汚染分布状況を評価した．さらに原発事故発生1年後（2012年3月）に同一測定点について再測定を実施し，空間線量率の経時的な変化について分析した．

## II. 方法

### 1. 放射線測定器

空間線量率の測定には，CdTe半導体式サーベ

イメータ(テクノエーピー社製, Mini SPECTRUM METER TA100U)を使用した。測定可能な線量率範囲およびエネルギーレンジは、それぞれ0.01  $\mu\text{Sv/h}$ ~10.0mSv/h および20keV~1.5MeVである。エネルギーレスポンスは $\pm 15\%$ 以内である。2011年8月にメーカーの社内規定に従い校正を実施した。空間線量率に加えてガンマ線波高分布の測定も可能であり、 $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{131}\text{I}$  など11種類の放射性核種について自動同定機能も内蔵している。

## 2. 測定日と測定地点

原発事故発生約6ヵ月後の測定を2011年9月17日~20日、原発事故発生約1年後の測定を2012年3月10日~15日に実施した。

群馬県前橋市から青森県青森市までの、北関東自動車道および東北自動車道上の全てのサービスエリア(以下, SA)とパーキングエリア(以下, PA)の計40ヶ所を測定地点とした。空間線量率は地表面からの高さに依存して変化する。本研究では駐車場舗装表面の高さ1mおよび駐車場周辺における地表面(草地など)での空間線量率を測定した。測定地点の一覧を表1に示す。各測定地点の緯度と経度、および参考までに波志江PA(群馬県)を基点とした高速道路上の距離について示す。なお、福島第一原子力発電所は、北緯37.4215°, 東経141.0325°付近に位置する。

SAおよびPAは上り車線と下り車線にあるが、いずれか1ヶ所について測定した。

## 3. 測定方法

### (1) 駐車場舗装表面の高さ1mでの空間線量率

本研究では広範囲に設定した多数の測定地点を移動して測定するため作業効率を重視し、自動車の車内での測定を実施し、車外における値に換算した。

自動車の車内において、地表面からの高さ1m

の位置に放射線測定器を固定した。このときの測定値と、車外で測定した、駐車場舗装表面の高さ1mにおける測定値との関係を図1に示す。車内における測定では車体等による遮へいにより値は低下するが、補正係数として1.19を乗じることによって車外の空間線量率とした。

測定器の時定数を60秒とし、駐車場に停車してから180秒経過後の値を記録した。

### (2) 駐車場周辺における地表面での空間線量率

地表面での空間線量率は、同じSA及びPAであっても測定する地点による差は大きい。参考のために1地点を選択して測定した。

放射線測定器を厚さ0.02mmの市販のポリエチレン製袋に入れ、地表面に直接置いて空間線量率を測定した。測定器を入れた袋は放射性核種によって汚染する可能性があることから1回の測定ごとに廃棄した。

測定場所は、降雨による土砂の流出が少ない平坦地であること、原発事故後に工事等による地面の攪乱がないこと、上部が木に覆われていないことを条件に選定した。

測定器の時定数を60秒とし、測定器を地面に配置してから180秒経過後の値を記録した。

同一地点での再測定を可能にするため、拡大した地図を用意して測定地点を記録した。

## III. 結 果

### 1. 駐車場舗装表面の高さ1mでの空間線量率

原発事故発生6ヵ月後および1年後の、駐車場舗装表面の高さ1mでの空間線量率を図2に示す。横軸のSA・PA番号は、表1に示した番号に対応している。

空間線量率は栃木県北部から福島県全域で高く、宮城県北部から岩手県南部にかけて他の測定地点よりも高かった。この放射性核種による汚染の分布は、文部科学省による航空機モニタリングの結果とよく対応していた<sup>1)</sup>。

表1 測定地点一覧

番号	SA・PA名	緯度, 経度 (degree)	県	波志江PA からの距離 (km)
1	波志江PA	N36.353556, E139.190501	群馬	0.0
2	出流原PA	N36.366589, E139.547524	栃木	35.2
3	都賀西方PA	N36.454194, E139.724625		67.6
4	大谷PA	N36.600223, E139.844263		87.6
5	上河内SA	N36.690601, E139.891920		99.2
6	矢板北PA	N36.822727, E139.909108		115.8
7	黒磯PA	N36.959108, E139.989703		133.7
8	那須高原SA	N37.056787, E140.098729		148.8
9	阿武隈PA	N37.150569, E140.241401		福島
10	鏡石PA	N37.256242, E140.335675	182.2	
11	安積PA	N37.352198, E140.323112	194.3	
12	安達太良SA	N37.516415, E140.379878	214.6	
13	福島松川PA	N37.661554, E140.443350	233.0	
14	吾妻PA	N37.760325, E140.407966	246.0	
15	国見SA	N37.907053, E140.576795	270.2	
16	蔵王PA	N38.069126, E140.660534	宮城	
17	菅生PA	N38.167790, E140.766867		307.9
18	泉PA	N38.324837, E140.853133		330.9
19	鶴巣PA	N38.409978, E140.914797		342.7
20	三本木PA	N38.516189, E140.931201		355.1
21	長者原SA	N38.636877, E140.963098		369.3
22	志波姫PA	N38.747415, E141.047448		385.1
23	金成PA	N38.841738, E141.096543		397.1
24	中尊寺PA	N38.963697, E141.112191	岩手	411.6
25	前沢SA	N39.068005, E141.103249		425.8
26	北上金ヶ崎PA	N39.241652, E141.079988		446.3
27	花巻PA	N39.369333, E141.093003		460.9
28	紫波SA	N39.514214, E141.100996		477.5
29	矢巾PA	N39.619309, E141.130607		489.6
30	滝沢PA	N39.780055, E141.110094		508.4
31	岩手山SA	N39.915546, E141.045688		525.6
32	前森山PA	N39.971167, E141.025625		532.5
33	畑PA	N40.058087, E141.019456		544.9
34	田山PA	N40.137580, E140.960813		561.5
35	湯瀬PA	N40.126514, E140.836954	秋田	573.5
36	花輪SA	N40.186906, E140.802820		582.0
37	小坂PA	N40.345391, E140.731752		602.1
38	阿闍羅PA	N40.507216, E140.618080	青森	624.1
39	津軽SA	N40.565068, E140.580647		634.8
40	高館PA	N40.681842, E140.624506		649.1

SA：サービスエリア, PA：パーキングエリア

N：北緯, E：東経

福島県内で実測された空間線量率の最大値は、原発事故発生6ヶ月後が $0.60\mu\text{Sv/h}$ 、原発事故発生1年後が $0.40\mu\text{Sv/h}$ であった。原発事故発生前の東北自動車道に沿った地域の空間線量率（バックグラウンド）を一律に $0.04\mu\text{Sv/h}$ と仮定し<sup>2)</sup>、空

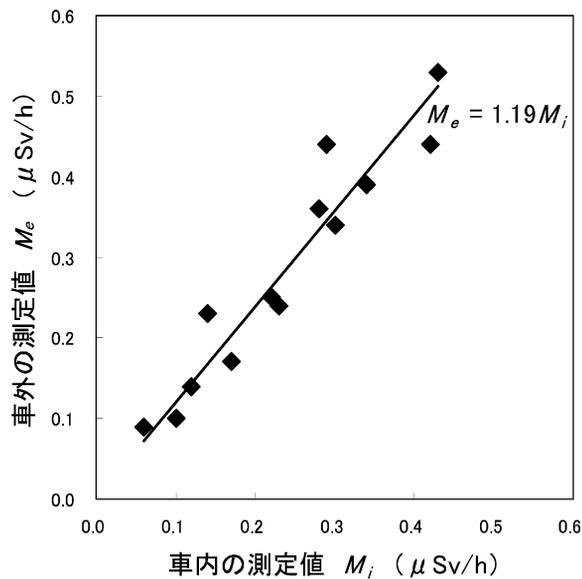


図1 自動車の車内における測定値と車外における測定値との関係  
地表面からの高さ1mにおける空間線量率。

間線量率の経時的な減少率を求めると、福島県内における空間線量率の最大値は、原発事故発生6ヶ月後からの半年間で約40%減少した。

宮城県北部から岩手県南部における空間線量率の最大値は、原発事故発生6ヶ月後が $0.19\mu\text{Sv/h}$ 、原発事故発生1年後が $0.16\mu\text{Sv/h}$ である。空間線量率の最大値はこの半年間で約20%減少した。

## 2. 駐車場周辺における地表面での空間線量率

原発事故発生6ヶ月後および1年後の、駐車場周辺の地表面での空間線量率を図3に示す。

SA・PA番号16については条件を満たす測定場所がみつからなかったため測定しなかった。

原発事故発生6ヶ月後の測定において最も高かった測定地点はSA・PA番号11の芝生上であり、その値は $1.74\mu\text{Sv/h}$ であった。原発事故発生1年後には $1.24\mu\text{Sv/h}$ となり、空間線量率はこの半年間で約30%減少した。しかし、SA・PA番号13の土が露出した測定地点では、原発事故発生6ヶ月後では $0.67\mu\text{Sv/h}$ であったが、原発事故発

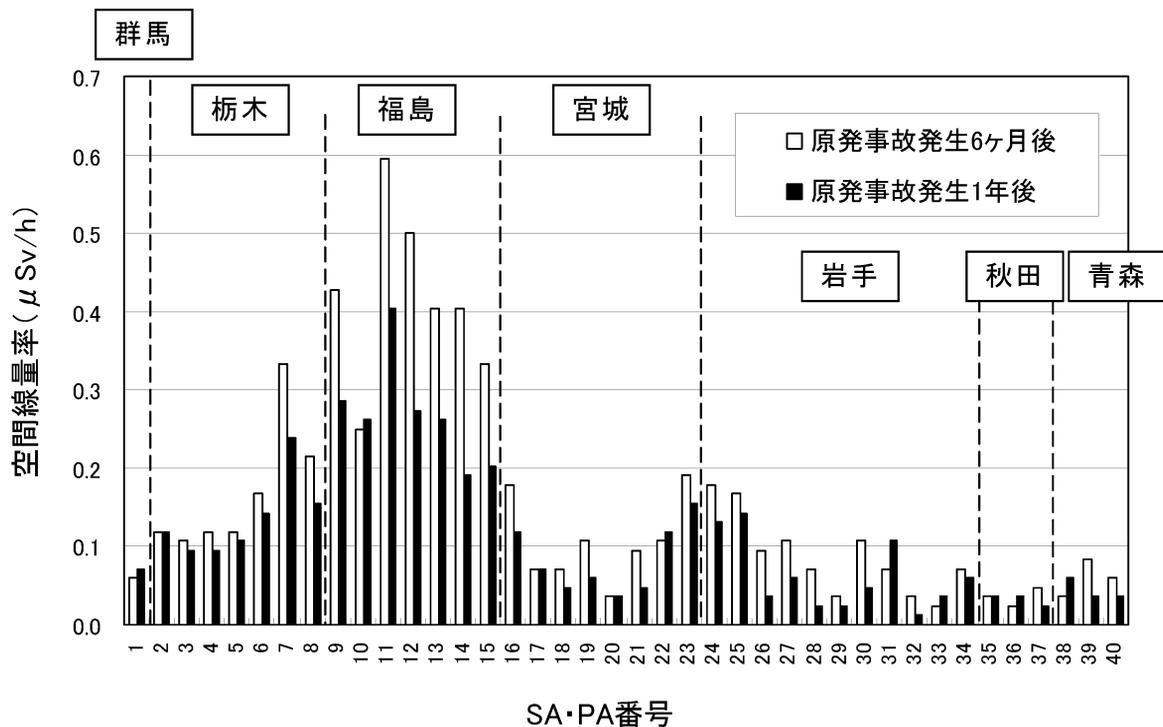


図2 駐車場舗装表面の高さ1mでの空間線量率

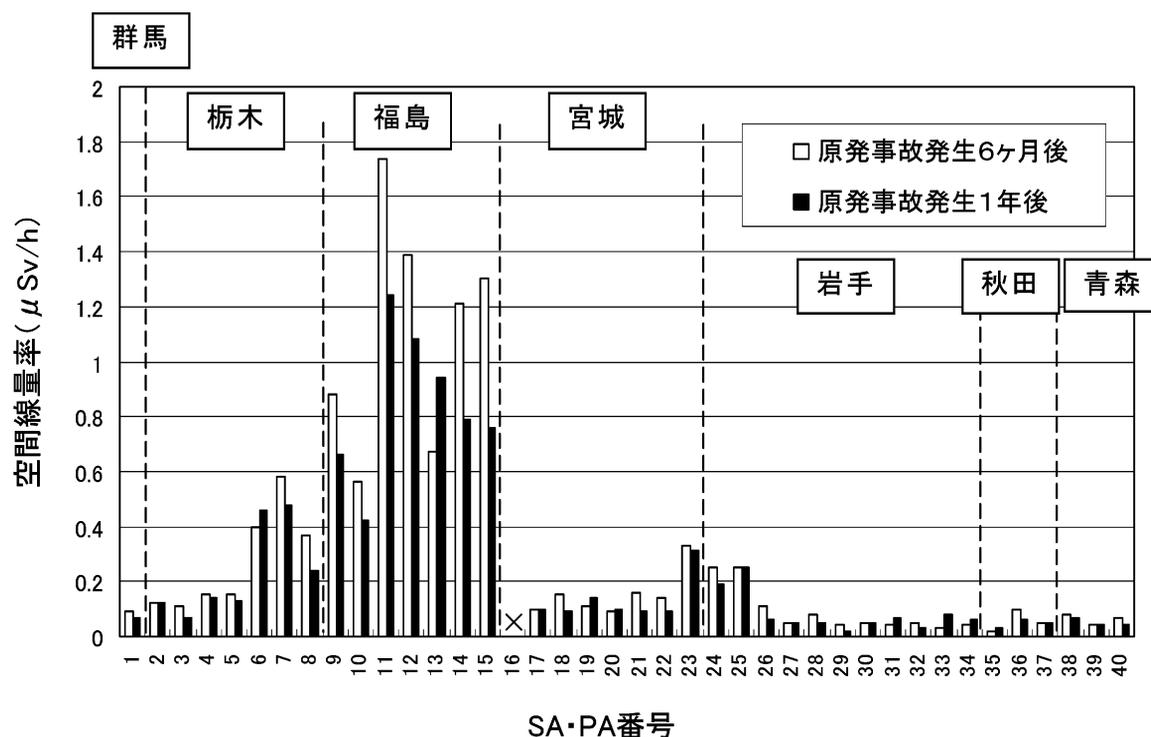


図3 駐車場周辺における地表面での空間線量率  
SA・PA番号16については測定値なし。

生1年後には $0.94\mu\text{Sv/h}$ に増加した。また、宮城県北部から岩手県南部において、最も高かった測定地点はSA・PA番号23の草地で、原発事故発生6ヶ月後が $0.33\mu\text{Sv/h}$ 、原発事故発生1年後が $0.31\mu\text{Sv/h}$ であり、空間線量率の変化は認められなかった。

駐車場周辺における地表面での空間線量率は、多くの測定地点で減少傾向にあったが、変化がみられなかったり、逆に増加したりする地点もあった。測定地点が完全には一致しないことによる誤差の他、放射性核種が風雨等により移動してきた可能性も否定できない。

#### IV. 考 察

##### 1. 原発事故発生6ヵ月後から半年間の空間線量率の低減

原発事故発生直後における高速道路上の空間線量率の測定は、松村らが栃木県から福島県について、細田らが福島県から青森県についてそれぞれ

実施している<sup>3,4)</sup>。この測定は車載の測定器を用いて走行移動しながら高速道路上の測定を実施したものであり、本研究とは測定方法や測定地点は異なる。参考のために、原発事故発生から約1ヵ月後(2011年4月8日(松村らによる福島県内の最大値)、2011年4月11日(細田らによる宮城県北部から岩手県南部での最大値))の測定結果と本研究で実測した原発事故発生6ヶ月後の測定結果とを比較すると、この期間に空間線量率は50~60%程度減少したと見積られる。2011年4月初旬には $^{131}\text{I}$ (半減期:8.02日)等の短半減期核種がまだ含まれていたこと、2011年7月中旬に東北地方を襲った大雨等によるウェザリング効果(風雨などの自然要因による減衰)によって地表面に付着していたセシウムなどが洗い流されたことなどが空間線量率の大幅な低減の理由と考えられる。

本研究で実測した、原発事故発生6ヶ月後と1年後の駐車場舗装表面の高さ1mでの空間線量率を比較すると、福島県内の最大値で約40%、宮

城県北部から岩手県南部での最大値で約20%の空間線量率の低減が確認された。

また、空間線量率が高い栃木県北部から福島県全域の9測定地点(SA・PA番号7~16)の空間線量率の減少率は-6~59%(平均36%)、宮城県北部から岩手県南部の3測定地点(SA・PA番号23~25)における空間線量率の減少率は19~34%(平均26%)である。場所によって異なるが、空間線量率はこの半年間で概ね20~40%程度減少したと考えられる。

原発事故発生6ヶ月後においては短半減期核種の影響は無視でき、空間線量率に寄与する放射性核種は主に $^{134}\text{Cs}$ (半減期:2.1年)および $^{137}\text{Cs}$ (半減期:30.07年)である。このことは空間線量率が最も高かった測定地点であるSA・PA番号11の芝生上において、ガンマ線波高分布を追加測定した結果からも確認できた。 $^{134}\text{Cs}$ および $^{137}\text{Cs}$ は原発事故によってほぼ同量が環境に放出された<sup>5,6)</sup>。放射性セシウムの物理的半減期から計算される空間線量率の減少は、原発事故発生6ヶ月後を基準とすると、原発事故発生1年後までの半年間で約8%と見積もられる。したがって残りの減少分である10~30%がウェザリング効果によるものと考えられる。

## 2. 福島県環境放射線モニタリング・メッシュ調査結果との比較

福島県では、文部科学省原子力災害現地対策本部(放射線班)及び福島県災害対策本部(原子力班)が、「福島県環境放射線モニタリング・メッシュ調査」を実施している<sup>7-9)</sup>。これまで第1回調査(2011年4月12日~16日,29日)、第2回調査(2011年8月17日~9月7日)、そして第3回調査(2012年2月21日~3月9日)が実施されている。調査地点数は福島県全域の2,000地点以上であり、同一地点での経時的な測定結果も多数得られている。測定は主に舗装面で実施され、地表面からの高さ1mの空間線量率が得られている。本研究における測定地点であるSAおよびPAでの値は含まれていないが、SAおよびPAから半径5km以内に存在する調査地点を抽出して比較した。第1回調査を原発事故発生1ヵ月後、第2回調査を原発事故発生5ヵ月後、第3回調査を原発事故発生11ヵ月後として空間線量率の経時変化をまとめた(表2)。

短半減期核種の影響は無視できる原発事故発生5ヵ月後を基準にすると、原発事故発生11ヶ月後までの半年間での空間線量率の減少率は20~40%であり、本研究で実測した原発事故発生6ヵ月後

表2 福島県環境放射線モニタリング・メッシュ調査から抽出した調査地点の空間線量率

番号*1	SA・PA名	調査地点数*2	空間線量率の平均値 ( $\mu\text{Sv/h}$ )			原発事故発生5ヵ月後から11ヵ月後までの減少率*3 (%)
			原発事故発生1ヵ月後(第1回調査)	原発事故発生5ヵ月後(第2回調査)	原発事故発生11ヵ月後(第3回調査)	
9	阿武隈PA	37	(0.773)	0.492	0.328	36.3
10	鏡石PA	31	(0.735)	0.422	0.319	27.0
11	安積PA	31	(1.266)	0.717	0.537	26.6
12	安達太良SA	32	(1.383)	0.759	0.589	23.6
13	福島松川PA	32	(1.168)	0.688	0.524	25.3
14	吾妻PA	24	(1.327)	0.710	0.603	16.0
15	国見SA	19	(1.051)	0.473	0.355	27.3
全体の平均			(1.100)	0.609	0.465	25.3

\*1) 表1の番号に対応。

\*2) SA・PAから半径5km以内の調査地点。

\*3) バックグラウンド( $0.04\mu\text{Sv/h}$ )を考慮して計算。

からの半年間の減少率と概ね一致している。

## V. 結 語

群馬県から青森県に至る高速道路上のSAおよびPAにおける原発事故発生約6ヶ月後と約1年後の空間線量率の測定により、栃木県北部から福島県全域、宮城県北部から岩手県南部の汚染地域を確認した。汚染地域の空間線量率は、原発事故発生6ヶ月後からの半年間で、概ね20～40%減少していた。調査期間の放射性セシウムの物理的半減期による減衰は8%程度と評価され、残りはウェザリング効果によるものであると示唆された。

空間線量率の継続的な定点測定は、地域住民の被ばく線量の推定や、今後、本格的に実施される除染の効果の判定においても重要である。

## 引用文献

- 1) 文部科学省ホームページ (2012)：放射線モニタリング結果, <http://radioactivity.mext.go.jp/ja/list/191/list-1.html> (2012年7月27日アクセス)
- 2) 湊 進 (2006)：日本における地表 $\gamma$ 線の線量率分布. 地学雑誌 115：87-95
- 3) 松村 宏, 斎藤 究, 石岡 純ほか (2011)：高速道路上のガンマ線測定により得られた福島第一原子力発電所から飛散した放射性物質の拡散状況. 日本原子力学会和文論文誌 10：152-162
- 4) Hosoda M, Tokonami S, Sorimachi A, *et al.* (2011)：The time variation of dose rate artificially increased by the Fukushima nuclear crisis. Scientific Reports 1：87, DOI：10. 1038/srep00087.
- 5) 文部科学省原子力災害対策支援本部(2012)：東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴い放出された放射性物質の分布状況等に関する調査研究結果について, p.3-24, [http://radioactivity.mext.go.jp/ja/contents/6000/5233/24/5600\\_201203131000\\_press.pdf](http://radioactivity.mext.go.jp/ja/contents/6000/5233/24/5600_201203131000_press.pdf) (2012年7月27日アクセス)
- 6) 文部科学省原子力災害対策支援本部(2012)：放射線量等分布マップの作成等に関する報告書 (第1編), p.53-64, [http://radioactivity.mext.go.jp/ja/contents/6000/5235/25/5600\\_201203131000\\_report1-1.pdf](http://radioactivity.mext.go.jp/ja/contents/6000/5235/25/5600_201203131000_report1-1.pdf) (2012年7月27日アクセス)
- 7) 原子力災害現地対策本部(放射線班), 福島県災害対策本部(原子力班) (2011)：福島県環境放射線モニタリング・メッシュ調査結果について, <http://www.pref.fukushima.jp/j/monitoring.mesy0502.pdf> (2011年5月2日アクセス)
- 8) 原子力災害現地対策本部(放射線班), 福島県災害対策本部(原子力班) (2011)：福島県環境放射線モニタリング・メッシュ調査(第2回)結果について(確定値), <http://www.pref.fukushima.jp/j/monitoring.mesy1129sashikae2.pdf> (2011年11月29日アクセス)
- 9) 原子力災害現地対策本部(放射線班), 福島県災害対策本部(原子力班) (2012)：福島県環境放射線モニタリング・メッシュ調査(第3回)結果について(確定値), <http://www.pref.fukushima.jp/j/monitoring.mesy20120521.pdf> (2012年5月21日アクセス)

## **Time Variation of the Ambient Dose Rate in a Wide Area After the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident**

Masayuki Shimosegawa<sup>1)</sup> and Masahiro Hosoda<sup>2)</sup>

1) Graduate School of Radiological Technology, Gunma Prefectural College of Health Sciences

2) Graduate School of Health Sciences, Hirosaki University

**Objectives :** After the Great East Japan Earthquake on March 11, 2011, the accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant caused the release of radioactive materials into the environment. Simultaneous measurement of the ambient dose rate over a broad area confirmed widespread distribution of radioactive contamination. In this study, the variation in the ambient dose rate for 1 year after the accident was analyzed.

**Methods :** Forty rest areas along expressways from Gunma Prefecture to Aomori Prefecture were chosen as measurement points for ambient dose rates at both 6 months and 1 year after the accident.

**Results :** Radioactive contamination was confirmed to have spread south of the Fukushima area to Tochigi Prefecture, and north to both Miyagi and Iwate Prefectures. The ambient dose rate decreased between 20 and 40% during the 6-month study period.

**Conclusions :** Continuous observation of the ambient dose rate at fixed points is important for evaluating both the radiation exposure dose and the effectiveness of decontamination efforts.

**Key words :** Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant; ambient dose rate;  
radiation monitoring; expressway