

原著

タブレット端末を用いた連続空間線量率測定 — 福島第一原発からの距離と空間線量率との相関性の検討 —

仲地 真穂¹⁾・日浦 諒大²⁾・新井 正一³⁾

- 1) 独立行政法人 国立病院機構 災害医療センター 中央放射線部
- 2) 国立研究開発法人 国立成育医療研究センター 放射線診療部 放射線診断科
- 3) 純真学園大学 保健医療学部 放射線技術科学科

Continuous Space Dose Rate Measurement using Tablet Terminal — Examination of the Correlation between Distance from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant and Air Dose Rate —

Maho NAKACHI¹⁾, Ryouta HIURA²⁾, Shoichi ARAI³⁾

- 1) Department of Radiological Technology, National Hospital Organization Disaster Medical Center
- 2) Department of Radiological Technology, National Center for Child Health and Development
- 3) Department of Radiological Science, Faculty of Health Sciences, Junshin Gakuen University

要旨：平成23年3月に発生した東日本大震災と、それに伴う福島第一原発事故により7年半以上経過した現在でも多くの人々が避難生活を送っている。この原発事故では、大量の放射性物質が放出され、特にセシウム-137の放出量は 3.5×10^{16} Bqと推定されている。ここで、避難指示解除準備区域・居住制限区域ならびに帰還困難区域の国道6号線を車で往復走行し、その車内から10秒ごとに空間線量率の測定を行った。測定データを元に、福島第一原発から各測定地点までの距離を算出し、空間線量率と原発からの距離についての相関性について検討を行った。この検討より、往復路ともに福島第一原発に最も近い距離の地点よりも、原発から西の方向約3kmの地点の空間線量率が最も高い地点という結果となった。これは、原発からの距離条件だけで線量の高低が決定されるだけでなく、原発から漏洩した放射性物質を含んだ放射性プルーム（雲）が風向や風速、降雨・降雪などさまざまな気象条件が関係し、最終的には放射性物質が地表面にフォールアウトした状況によって、影響されているものと考えられる。

キーワード：東日本大震災、福島第一原発事故、放射性物質、空間線量率、Global Positioning System

Abstract：Even now, more than seven and a half years have passed since the Great East Japan Earthquake that occurred in March 2011 and the accompanying Fukushima Daiichi nuclear accident many people are still evacuating. In this nuclear accident, a large amount of radioactive substance is released, and the release amount of cesium - 137 is estimated to be 3.5×10^{16} Bq, in particular. Here, the automobile traveled back and forth with the national highway No. 6 in the evacuation direction cancellation preparation area, the living restriction area, and the return difficult area, and the air dose rate was measured from the interior of the vehicle every ten seconds. Based on the measurement data, the distance from the Fukushima Daiichi nuclear plant to each measurement point was calculated, and the correlation between the air dose rate and the distance from the nuclear power plant was studied. From this study, both round trips resulted in the point with the highest air dose rate at the point about 3 km in the west from the nuclear plant, than the point closest to the Fukushima Daiichi nuclear plant. This is because the radioactivity plume (cloud) containing the radioactive substance leaked from the nuclear power plant is not only determined by the distance condition only from the nuclear plant but the dose level is related to various weather conditions such as wind direction, wind speed, rain and snowfall. It is also thought that it depends largely on the amount of radioactive material falling out to the ground surface.

Keyword：East Japan great earthquake, Fukushima Daiichi nuclear accident, radioactive substance, air dose rate, Global Positioning System

1. 研究目的

福島第一原発事故が発生して8年以上が経過した現在でも、帰還困難区域では市町村が発行する通行証が無いと立入りが認められていない（一部道路を除く）¹⁾。福島第一原発事故で放出された放射性物質は、空中を飛散したのち地表に降り注いだ。この放射性物質は、主にセシウム-137（半減期:30.1年）であり²⁻³⁾ 半減期が長いことから、空間線量の低下や避難指示の解除までには時間を要している。本検討では、空間線量率と風向に相関性があるのかを検討し、被災地の復興と放射性物質による汚染の解決に役立つことを目的としている⁴⁾。

2. 研究方法

2・1 走行サーベイ

平成29年8月に避難指示解除準備区域・居住制限区域ならびに帰還困難区域の国道6号線を自動車で行き、その車内において、環境放射線モニタ（堀場製作所 Radi PA-1100）にて空間線量率の測定および Android™ タブレット端末（HUAWEI d-02H）を Bluetooth® 接続させ、Global Positioning System（以下、GPS と略す）データを

それぞれ10秒ごとに取得した。環境放射線モニタの表示法は過去60秒の測定データを平均して10秒ごとに表示している。それらのシステムを図1に示す。



図1. 環境放射線モニタ（堀場製作所 Radi PA-1100）と Android™ タブレット端末（HUAWEI d-02H）

車速は、概ね150m ごとに測定を行った。環境放射線モニタは、往路を車内ドアの高さで、復路を車内窓ガラスの高さで固定し、測定を行った。測定ポイントは、福島第一原発から近い、大熊町と双葉町の2町内76地点での測定データについて検討を行った⁵⁻⁶⁾。測定地点については図2に示す。

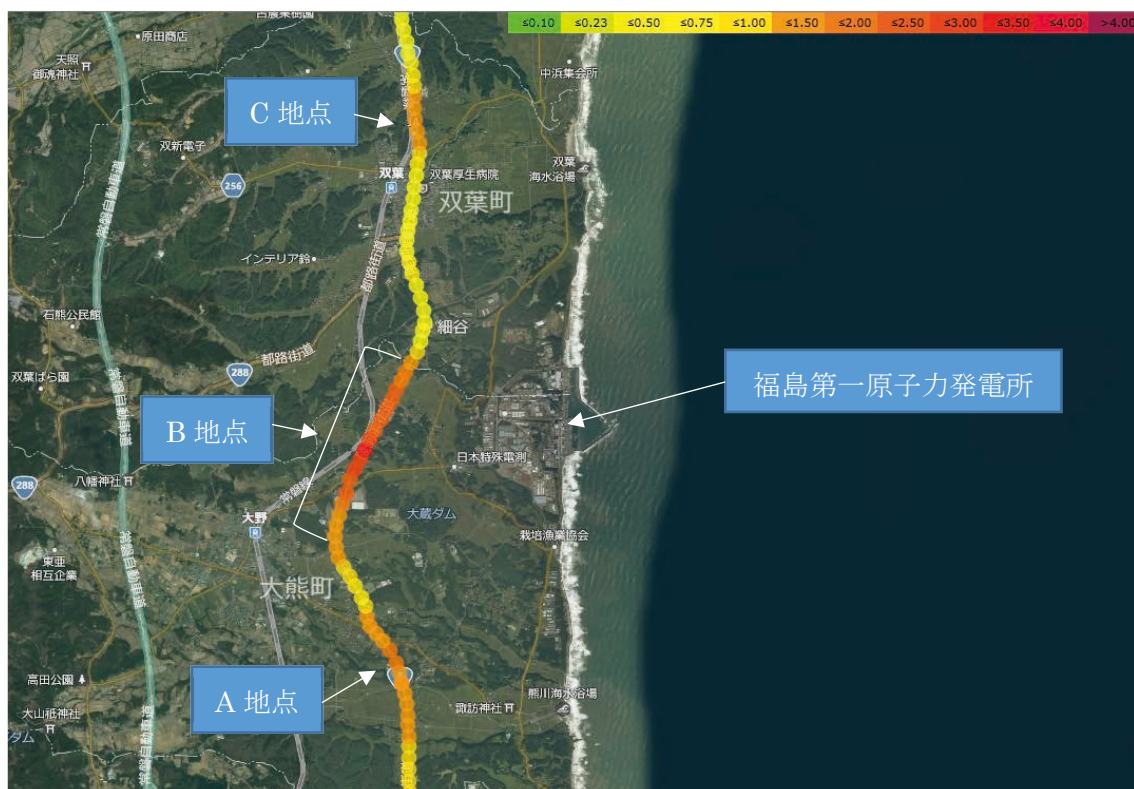


図2. 空間線量率及び GPS データ測定地点

2・2 測定データの分析

測定した空間線量率と GPS データを、堀場製作所の PA-1100測定データマッピング機能 (<http://www.horiba.com/jp/process-environmental/products-jp/environmental-radiation-monitor/map/>) と Internet Explorer[®] とを使用して地図上に表示させた。その後、Google マップ (<https://www.google.co.jp/maps>) で各測定地点と福島第一原発との直線距離を測定した。得られたデータより、空間線量率と原発からの距離との相関性について検討を行った。加えて、気象庁が提供している浪江観測所の

風向データを使用し、空間線量率と風向との関係についても検討を行った。風向データについては、既にこの時期は放射性物質が地表面に沈着・固定され、風向きによって放射性物質の移動がないということを考慮し、事故発生から同年6月末までの22半旬（1半旬は5日）の期間とした。

3. 研究結果

空間線量率と距離の関係は、以下のグラフ（図3および図4）に示す。

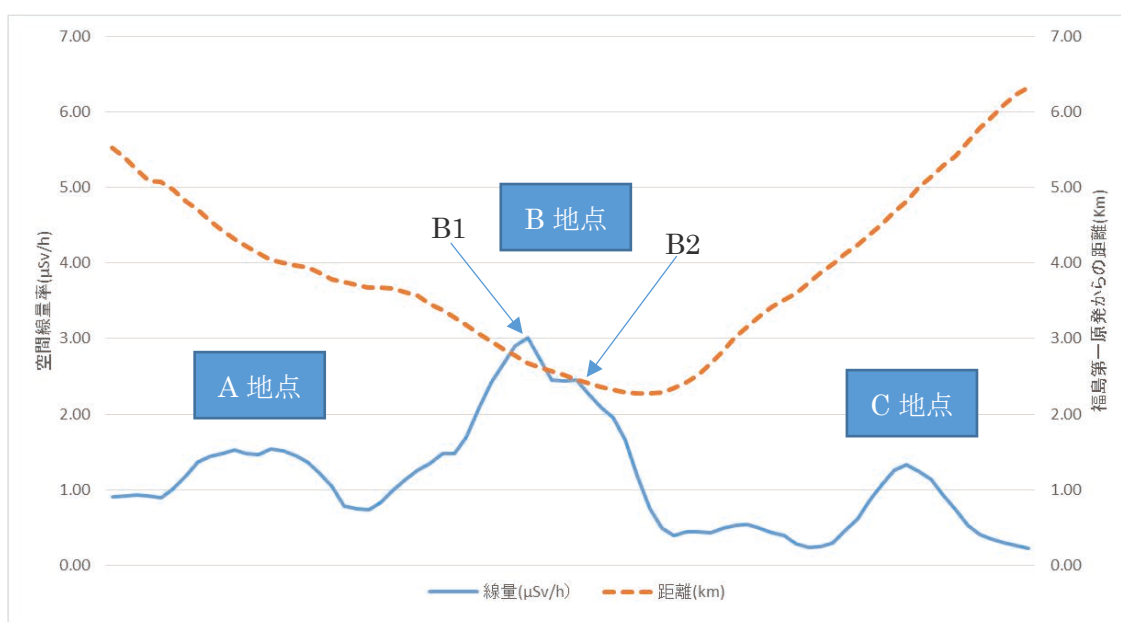


図3. 【往路】 原発からの距離と空間線量率の関係（車内ドアの高さにて測定）

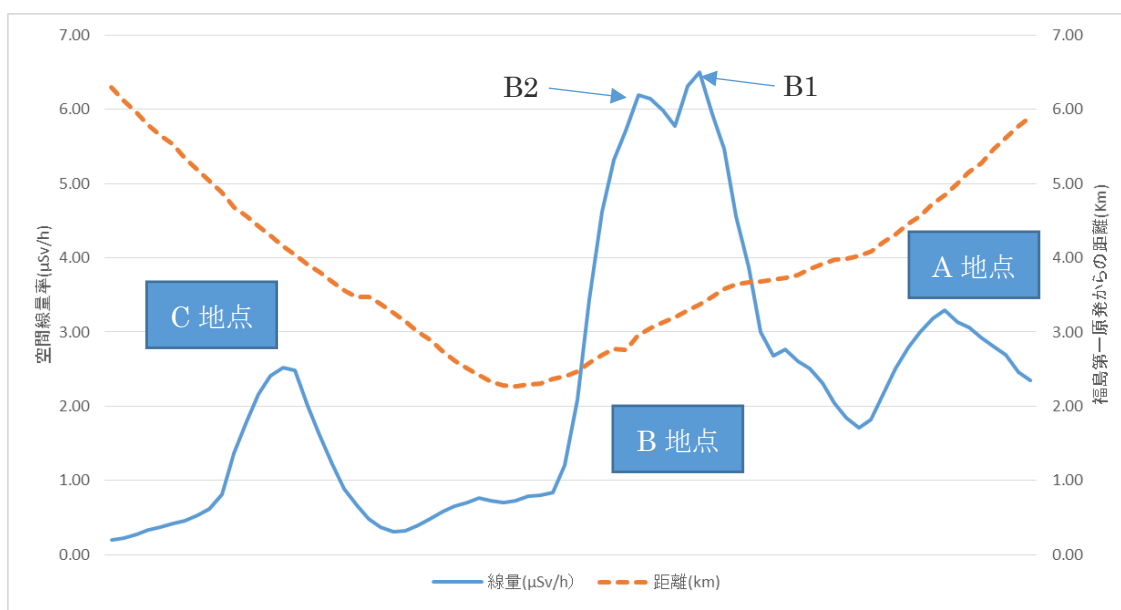


図4. 【復路】 原発からの距離と空間線量率の関係（車内ガラス窓の高さにて測定）

今回の計測は、往路については車内ドア横、復路については車内ガラス横で行ったため、特に往路の車内外では測定値の差が生じているため、係数を求めて差を無くした。この係数は、広野町及び富岡町の計5地点で、停車車内ドア横と車外の高さ約1mの地点での値を用いて算出した⁷⁻⁸⁾。結果、車内での測定値は車外での測定値に比べて空間線量率は54.4%に減少していることが分かった⁹⁾。(図5)

図5の係数を用いて、往路車内の空間線量率を補正すると上の図6となる。図4と図6より、往路（車内ドア横にて測定後、補正）の最大値は5.09 $\mu\text{Sv/h}$ 、平均値は2.26 $\mu\text{Sv/h}$ となり、復路（車内窓横にて測定後、補正）の最大値は6.50 $\mu\text{Sv/h}$ 、平均値2.24 $\mu\text{Sv/h}$ となり、復路の最大値のほうが高い値を示した。

また、原発からの距離と空間線量率とにはある程度の相関は見られたが、原発との最短距離の場

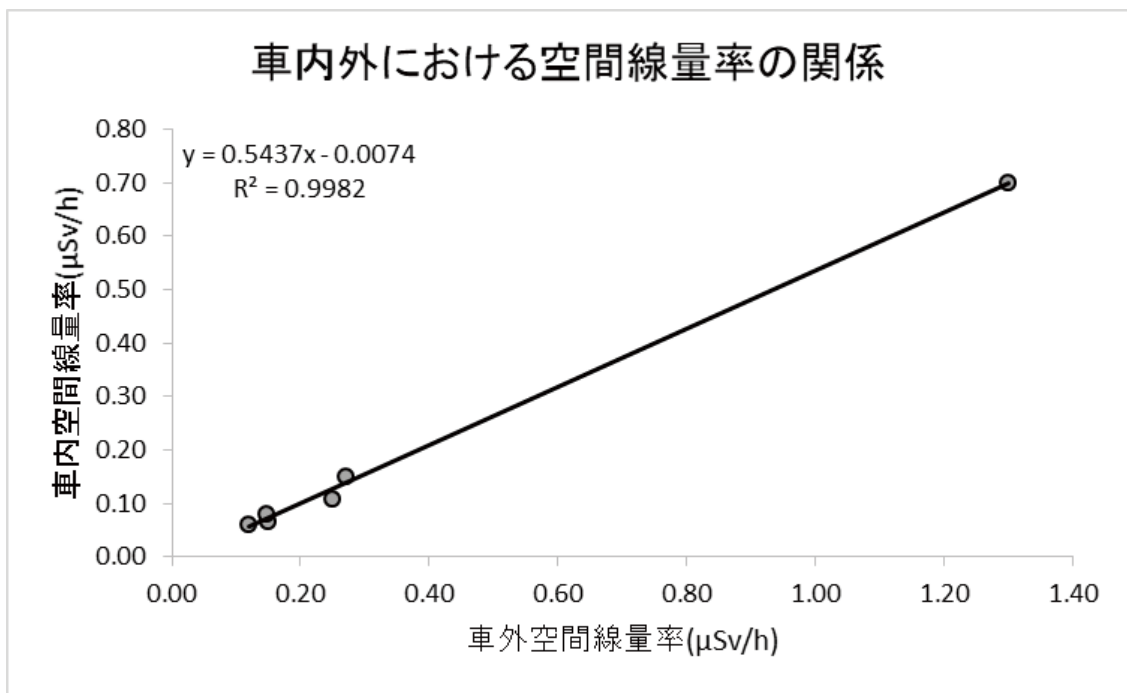


図5. 車内外における空間線量率の関係（車内ドアの高さにて測定）

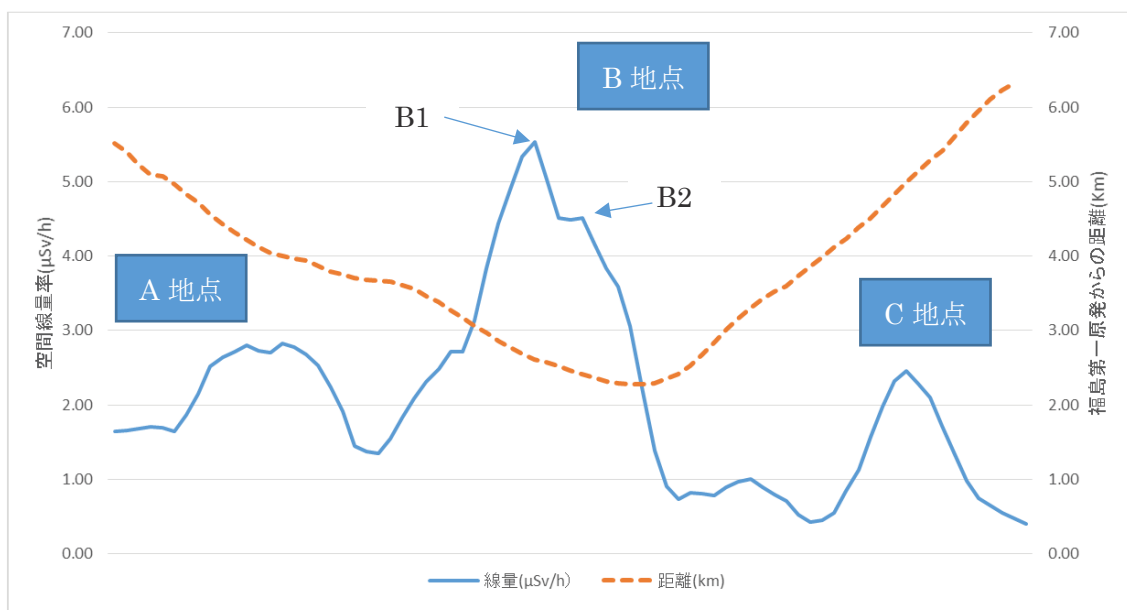


図6. 【往路】原発からの距離と空間線量率の関係（補正後）



図7. 空間線量率最高地点

所が最大の空間線量率とはならなかった。往復路で空間線量率が最も高かった地点は、往路 $5.54 \mu\text{Sv/h}$ で、復路、 $6.50 \mu\text{Sv/h}$ 以下の図7に示す。往路は原発から見て西の方向に約2.68kmの地点で、復路は原発から見て西南西の方向に約3.37kmの地点で最も高い空間線量率となった。

次に気象庁の風向データについて、半旬ごとの風向の回数は表1に示す。

図5,6ならびに表1より原発からの距離と空間線量率にはある程度の相関は見られたが、原発との最短距離が最大の空間線量率とはならなかった。最も多かった風向は西の方向であり、空間線量率が最も高かった方向とほぼ一致している。

表1. 風向の回数

16方位	回数
北	1
北北東	1
北東	0
東北東	0
東	0
東南東	0
南東	3
南南東	3
南	0
南南西	0
南西	1
西南西	1
西	7
西北西	0
北西	0
北北西	2
(不明)	(3)
合計	22

4. 考察

4.1 往路、復路における空間線量率の違いについて

結果で示したように、往路と復路で空間線量率、平均線量率がそれぞれ、往路（車内ドア横にて測定後、補正）の最大値 $5.09 \mu\text{Sv/h}$ 、平均値 $2.26 \mu\text{Sv/h}$ 、復路（車内窓横にて測定後、補正）の最大値 $6.50 \mu\text{Sv/h}$ 、平均値 $2.24 \mu\text{Sv/h}$ であった。平均値はほぼ同程度の値となっているが、最大値は復路のほうが大きな値となっていた。

この原因としては、今回使用した環境放射線モニタ（Radi PA-1100）は、方法でも示したように、表示する直前60秒間の測定データを平均して10秒ごとに表示しているため、実測から表示までに測定タイミング等の時差による誤差が含まれると考えられる。これを解消する方法としては、車を低速走行することによって、ある程度は解消できることも考えられるが、この測定場所は帰還困難区域に指定されており、不用意に低速走行させて測定を行ったり、車外に出て測定したりすることは困難な場所でもある。今回、本研究では往復合計2回の簡易的な測定を実施しているが、測定回数

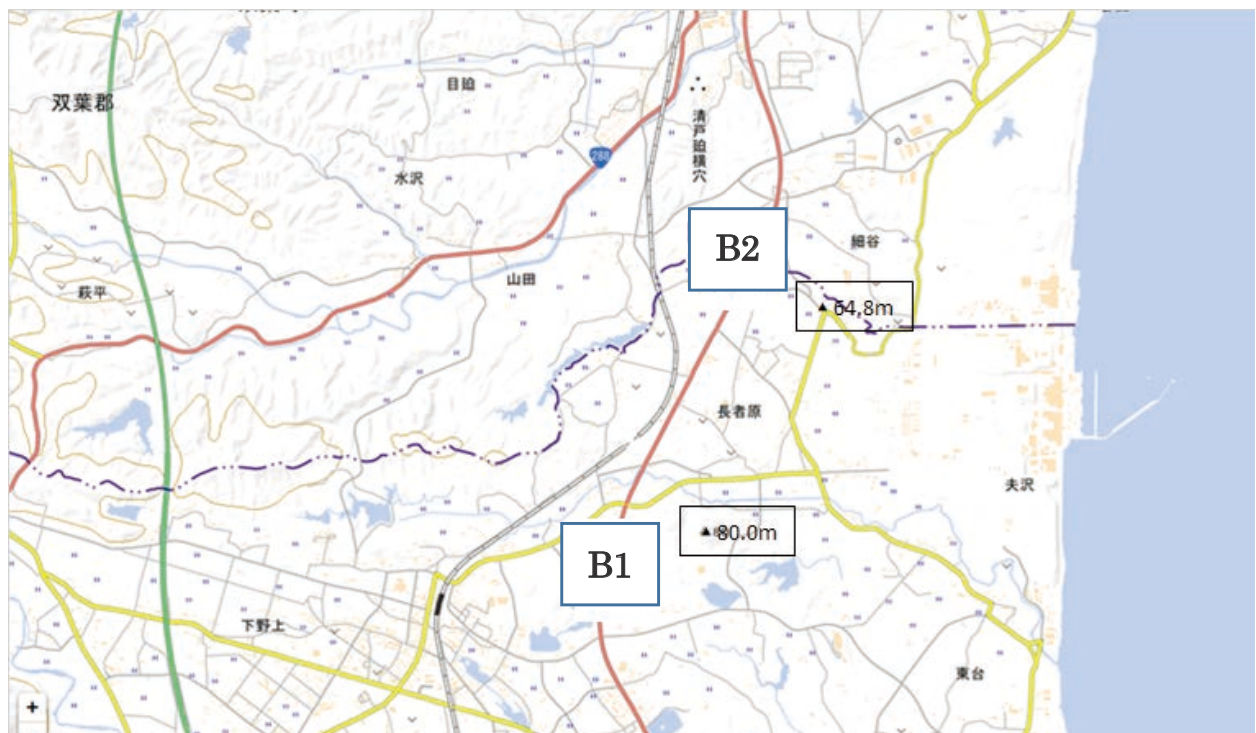


図8. 福島第一原発から国道6号線付近の標高

を増やしたりすることで、これらの精度はある程度は補償できうるものと考ええる。

また車の走行が左側通行の為、復路の方が数分であるが、原発の近くを走行する点も復路の最大値が大きな値を示す一因となったのではないかと考えた。

4.2 原発からの距離と空間線量率との関係について

結果にも示したとおり、原発からの距離と空間線量率にはある程度の相関は見られたが、原発との最短距離が最大の空間線量率とはならなかった。

表1に示すように、風向で最も多かったのが西→東に吹く風であり、原発から太平洋へ吹く西の風と西南西の風を含む西向きの風が全体の半数を占めていた。これらの風によって放射性物質の多くは太平洋に降り注いだことが考えられる。次に多いのが、南東の風と南南東の風、東南東の風で、海から陸上へ吹く風である。おそらくこの風に乗って放射性物質を含んだプルーム（雲）が陸上に向かって流れてきて、雨や雪とともに地上に落ちて、土壌等に沈着、今現在の空間線量率となっていると考えられる。

ただこの際、原発から近い距離でも空間線量率

の低い地点が存在している。これについては、原発から国道6号線までの標高について、国土地理院の「電子国土 web」(<http://maps.gsi.go.jp/>)を用いて調べた結果、原発建屋の高さがおよそ50mで、図8に示す地点 B1および B2付近と原発との間にはそれよりも標高の高い場所があり、放射性物質の飛散が遮られたため空間線量率が低かったのではないかと考えた。ただ、これについては放射性プルームの流れた標高（高さ）が重要で、著者らが持ち合わせているデータだけでは残念ながら考察しきれない。

このように原発からの距離条件だけで線量の高低が決定されているだけでなく、原発から漏洩した放射性物質を含んだプルーム（雲）に吹いた風の向きや風速、降雨・降雪状況など、さまざまな気象条件等が複雑に関係し、最終的には地表面にフォールアウトした放射性物質質量によって、現地での空間線量率の差が生じているのではないかと考えた。

これら空間線量率のばらつきについて原因の精度を上げるには、当時の降雨状況やその前後の風の状況、また放射性プルームの浮遊している高度やその風の状況などをさらに詳しく解析する必要があるであろう。

5. 結論

原発からの距離と空間線量率にはある程度の相関は見られたが、原発との最短距離の場所が最大の空間線量率とはならなかった。放射性物質の飛散過程において、原発から漏洩した放射性物質を含んだ放射性プルーム（雲）が風向や風速、降雨・降雪など、さまざまな気象条件も関係することが予想でき、これら複雑な条件により、地表面にフォールアウトした放射性物質質量によって、現地地点での空間線量率の差が生じていると考えられる。

謝辞

本研究実施にあたり、福島県内の調査の際、いつもご協力をいただいている原子力規制庁放射線規制部門 土居 亮介 専門官ならびに、本調査研究に同行・協力をいただいた本学放射線技術科学科4期生 藤野 隆 君、松尾 尚汰 君、吉田 翔 君、中村 美姫 さんに、この場をお借りして感謝申し上げます。

【文献】

- 1) 福島県, 避難指示区域の状況, [<http://www.pref.fukushima.lg.jp/site/portal/list271-840.html>], (最終閲覧日: 2017年12月01日)
- 2) Geoff Brumfiel (三枝小夜子 訳), 放射性物質はどのくらい放出された?, Nature 478, 2011, p.435-436 [<http://www.natureasia.com/ja-jp/nature/specials/contents/earthquake/id/nature-news-102711>], (最終閲覧日: 2017年12月01日)
- 3) 首相官邸・原子力災害対策本部, 原子力安全に関する IAEA 閣僚会議に対する日本国政府の報告書－東京電力福島原子力発電所の事故について－, 2011 [http://www.kantei.go.jp/jp/topics/2011/iaea_houkokusho.html] (最終閲覧日: 2017年12月01日)
- 4) 佐藤理・杉山直紀・高木俊治・義澤宣明・河合潤・鈴木浩・松本昌昭・鬼頭孝通・柳川玄永・北田貴義, 福島第一原子力発電所事故からの回復を目指して～福島復興トータルプランに関する提言～, 三菱総合研究所所報 (55) p.69～94, 2012
- 5) 佐藤努, 福島第一原発事故による放射能汚染の背景と課題, 粘土科学 第50巻 第2号 p.26～32, 2011
- 6) 原子力規制委員会, 文部科学省及び米国エネルギー省航空機による航空機モニタリングの測定結果について, 2011 [<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/4000/3710/24/130>

5820_20110506.pdf] (最終閲覧日: 2017年12月1日)

- 7) 金野俊太郎・大河内博・勝見尚也・緒方裕子・片岡淳・岸本彩・岩本康弘・反町篤行・床次眞司, 福島県の里山における植物, 土壌, 底砂中放射性セシウムの長期変動, BUNSEKI KAGAKU Vol.66, No.9 pp.163～174, 2017
- 8) 安藤真樹・松田規宏・齋藤公明, KURAMA-II を用いた走行サーベイ測定による東日本での天然放射性核種の空間線量率評価, 日本原子力学会和文論文誌 Vol.18 No.2 p.63～80, 2017
- 9) 築城幹典・日野澤義子・畑中亮・菅野峻太・前田武己, 簡易線量計を用いた岩手県の空間線量率分布の推定, システム農学 (J.JASS), 29 (2): 67～73, 2013