

## 福島県国道6号線沿線の環境放射線量率の測定

## Radiation Dose Rate Measurement along Japan National Route 6 of Fukushima Prefecture

橋本 碧

HASHIMOTO Aoi

関西学院千里国際高等部

Senri International School of Kwansai Gakuin

Corresponding Author's e-mail: 201092@soismail.jp

(Received 24 September 2019; Accepted 30 October 2019; Published online 22 November 2019)

## [要約]

2011年3月に福島第一原子力発電所から放出された放射性物質による環境放射線への影響を検討するため、福島県内の国道6号線に沿って環境放射線量率を測定した。道路舗装面上の放射線量率測定は、同発電所事故発生から約4年後の2015年5月4日と更に2年半後の2017年11月5日の2度、同一条件下で同一地点において行なった。測定地点は同発電所付近を含む福島県内の6号線沿線の15箇所を設定し、放射線量率の測定地点依存性と測定間隔2.5年間の放射線量率変化を検討した。また、2017年の測定では、各測定地点周辺の土壌上でも放射線量率測定を行い、舗装上との比較を行なった。2015年と2017年の測定結果を比較すると、全ての地点で2.5年の経過による放射線量率の減少が観測された。帰還困難区域（2015年時点）内での放射線量率の減少量は特に大きかったが、大規模な除染や復興工事が進んだ同区域外周辺の地点の方が減少率としては大きかった。しかし、全測定地点について平均した放射線量率の減少率は、除染や風雨等による放射性物質の移動よりも自然減衰が大きく寄与していた。また、土壌上では舗装道路上に比べて約2.2倍高い放射線量率が観測された。この土壌上での高い放射線量率は、風雨等による放射性物質の低移動性と除染未実施が原因であると考えられる。

[キーワード] 原発事故, 福島県, 空間放射線量率, 放射性同位元素, 除染

Nuclear power plant accident, Fukushima Prefecture, Space radiation dose rate, radioactive isotope, decontamination

## 1. はじめに

原子力発電所では核分裂連鎖反応により放出される膨大なエネルギーを利用して発電が行われる。核分裂による核燃料物質の破片は、強い放射能をもつ放射性物質であり、原子炉の運転中に核燃料内に多量に蓄積される。この放射性物質には半減期の長い放射性同位元素が含まれるので、原子炉が停止した後も、崩壊熱と呼ばれる放射性崩壊によるエネルギーを長期間除熱する必要がある。この冷却機能が完全に失われると、温度上昇による核燃料の溶融や放射性物質の大気への放出が発生する恐れがある。この冷却機能喪失による深刻な事故として、2011年3月11日に発生した東京電力福島第一原子力発電所の炉心溶融が挙げられる。この事故では、東北地方太平洋沖地震による大津波によって炉心冷却機能が全て失われ、炉心の温度が上昇し核燃料の溶融に至った。その後のベント操作等により、3月15日に大量の放射性物質が周辺地域に放出され、比較的少量の放射性物質の放出は4月上旬まで続いた(Chino, et al. 2011)。この放射性物質放出と事故直後の環境への影響については、膨大な数の文献により報告されている。しかしながら、この放出された放射性物質による環境放射線量率への影響を広範囲かつ長期的な観点から測定した例は多くない。社会的関心事となったこのような原子炉事故での被害は憶測で語られがちであるが、周辺環境への影響を定量的に示すことは非常に重要な意義を持つ。な

お、本研究において測定対象とする環境放射線量率は、人体への影響の大きさを表す指標であり、測定地域の室外における地上1mで測定した1時間分の線量に相当する値である。また、環境省が示している基準では、追加被曝は $0.23 \mu\text{Sv/h}$ より小さいことが望ましいとされている(環境省 2011, 2017)。

事故当時小学3年生の著者は、福島第一原子力発電所から遙か遠くに位置する兵庫県尼崎市の自宅周辺で、事故直後から数ヶ月間にわたり放射線量率を毎日測定し続けた。しかし、その測定値に事故の影響は全く観測されなかった。一方、同発電所が位置する福島県内での放射線量率は尼崎市に比べ非常に高いことが予想され、同じ方法で測定し分析や比較をしようと考えた。ところが、事故直後は福島県太平洋沿岸地区に入ることが許されなかったため、諦めざるを得なかった。国道6号線の再開後、ようやく事故から4年後の2015年5月に、福島県内の国道6号線に沿って環境放射線量率の測定を行なった。更に2.5年後の2017年11月にも同じ地点で測定を再度行なった。本論文では、これら環境放射線量率の測定地点依存性と2.5年経過による変化等の検討結果を報告する。

## 2. 測定方法

環境放射線量率測定は2015年5月4日と2017年11月5日の2度行ない、いずれの測定も同一の15箇所の地点で行なっ

た。2015年には国道路肩の舗装（コンクリート又はアスファルト）上でのみ線量率を測定した。一方、2017年の再測定時には路肩に加えて周辺の土壌上での線量率も測定し、舗装上

表1 測定地点地理情報。地点の記号は図1に示した場所を示し、距離は福島第一原発からの距離を示す。

地点	地理情報	距離(km)
A	道の駅「四ツ倉」駐車場	32
B	道の駅「檜葉」	19
C	JR「竜田駅」	16
D	6号線福島第二発電所近くのチェーン装着場	12
E	JR「富岡駅」跡	9.8
F	富岡役場近く「かっぱ寿司夜の森店」	8.4
G	6号線富岡町、大熊町境界付近(出光GS跡)	5.8
H	国道6号線と県道251号線との交差点近くの大熊町内「小入野」/ENEOS・幸楽反対車線側付近	3.7
I	大熊町東大和久 JR 大野駅付近6号線(モニタリングポスト近く)	3.5
J	大熊町(福島第一原子力発電所入口看板近く)	2.1
K	双葉町高万迫	2.7
L	双葉町長塚寺内迫「JRふたば農機サービスセンター」前	4.3
M	浪江町高瀬桜木(JAふたば高瀬SS)	7.4
N	道の駅「南相馬」駐車場	24
O	飯館村石ボロ坂トンネル出口付近	36

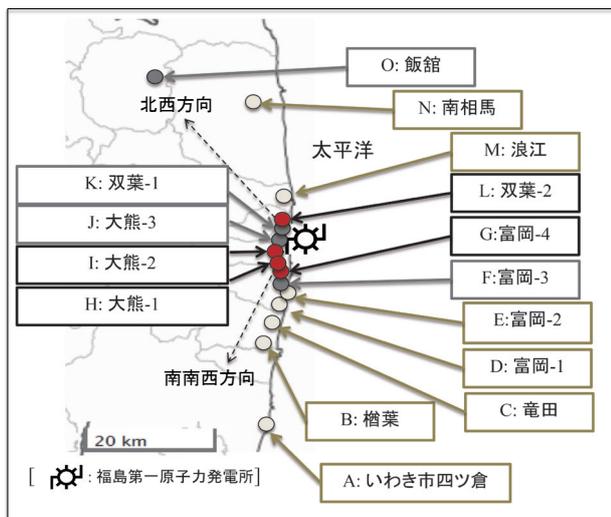


図1 測定地点地図。2015年5月測定での線量率が3μSv/h以上の地点を●、3μSv/h未満1μSv/h以上の地点を●、1μSv/h未満の地点を○で表した。

と土壌上での違いについても検討した。

環境放射線量率の測定には、手持式の環境放射線用高感度CsI(Tl)シンチレーションサーベイメータ（ALOKA, PDR101）を使用した。このサーベイメータを道路舗装面又は土壌面から高さ約1mの位置で10秒毎に2015年の観測では3回、2017年には5回計測を行い、記録した。図1に15箇所（A～O）の測定地点を地図上に○で示した。表1には測定地点別の地理情報と福島第一原子力発電所からの直線距離を示した。この測定地点の大半（H～L）は、2015年時点では帰還困難・居住制限・避難指示区域内に含まれ、道路上での測定は短時間に制限された。

### 3. 結果と考察

図2の(a)と(b)は、2015年5月と2017年11月に道路舗装面上で測定した地点別環境放射線量率  $^{2015}R_{blacktop}$  と  $^{2017}R_{blacktop}$  の結果をそれぞれ示したものである。

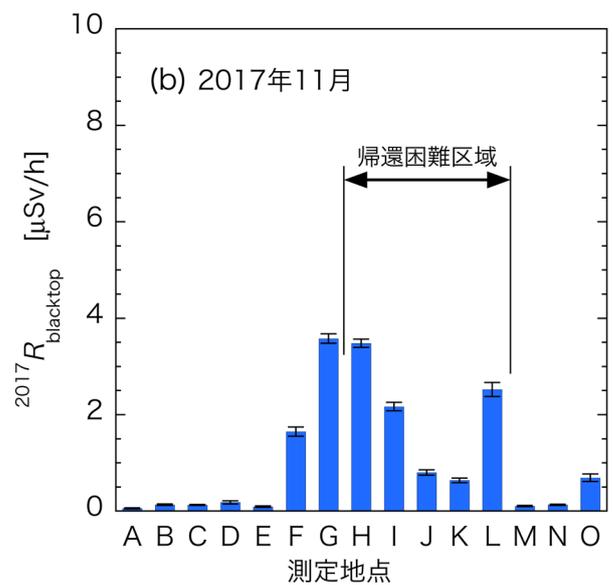
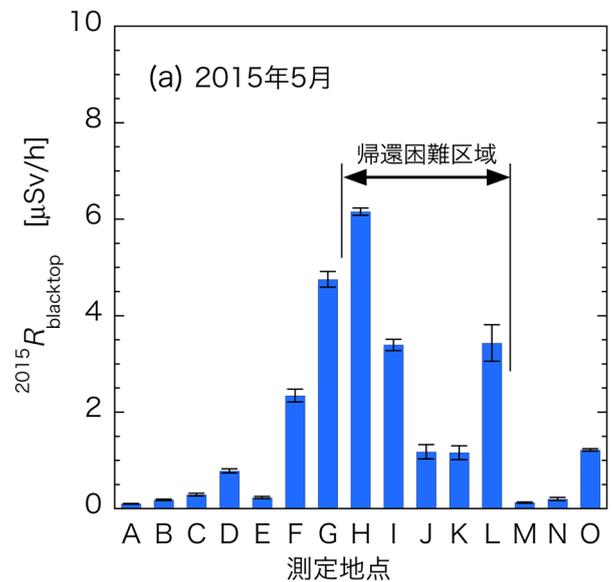


図2 道路舗装面上で測定した地点別環境放射線量率。(a)は2015年5月、(b)は2017年11月の測定である。棒グラフは測定値を示し、端についている誤差棒は標準偏差を示す。また、数値は表2にまとめた。

福島第一原子力発電所の南南西方向に位置するG, H, I地点や、北西方向のL, O地点での線量率は周辺に比べて高い。一方、最も発電所に近いJ, K地点では低い値となっている。福島第一原子力発電所1号機のベント直後の2011年3月12日10時半頃、上空では南南西方向に風が吹いており(北本2011, 東京電力2011a, 2011b)、この風によって南南西方向に位置する地点に放射性物質が飛来したものと考えられる。また、気象庁データ(気象庁2011)によると、再放出時の2011年3月15日17時から24時頃まで、上空では北西方向の風向きであった。この風により北西方向の地点まで運ばれてきた放射性物質が雨粒に付着、地上まで降下し線量率上昇をもたらしたと推測される。福島第一原子力発電所から遠く離れた測定地点Oの飯館村でもスポット的に高い線量率が観測されたのは、この風向きと同時刻に降った降水量7.0mmの降雨が原因と考えられる。

また、図2の(a)と(b)を比較すると、2017年11月の線量率は2015年5月に比べて全ての地点で減少が見られる。帰還困難区域(2015年時点)内の観測点H-Lでの放射線量率の減少量は特に大きく、最大で2.7μSv/h(地点H)の減少が観察される。

各観測地点での舗装道路路上の環境放射線量率の2015年~2017年の2.5年間における減少率を図3に示す。各地点の放射線量率の2.5年間での減少率は平均すると42%である。富岡町内の観測点C~Eにおける減少率が大きくなっており、最大の減少率はD地点で約77%となっている。富岡町内では、この2.5年の間に大規模な除染や復興工事が進められたことが放射線量率の大幅な減少の原因と考える。

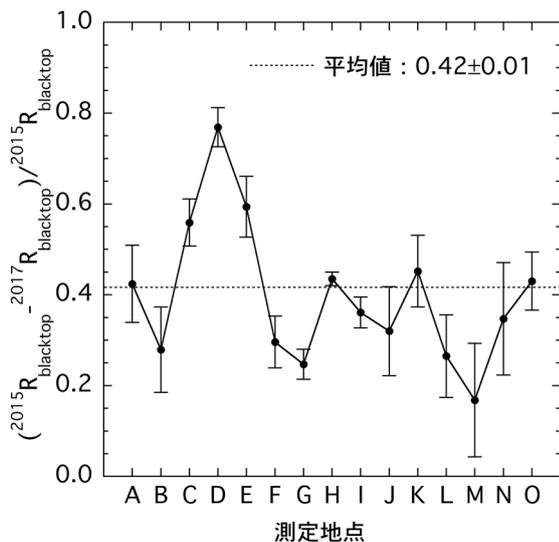


図3 舗装道路路上の環境放射線量率の2.5年間における減少率

図4に2011年3月11日以降の放射性セシウムの自然減衰による放射線量率の減衰曲線の計算結果を示した。この計算には、田崎のモデル(田崎2011)を使用した。このモデルに基づくと、放射線量率の自然減衰率は次式により表すことができる。

$$\frac{R(t)}{R(0)} = \frac{2.7}{3.7} \times 2^{-\frac{t}{2.1 \text{年}}} + \frac{1}{3.7} \times 2^{-\frac{t}{30.2 \text{年}}} \quad (1)$$

ただし、 $R(0)$ は事故直後の放射線量率、 $R(t)$ は事故からの $t$ 年経過時の放射線量率である。このモデルでは、セシウム $^{134}\text{Cs}$ とセシウム $^{137}\text{Cs}$ の主要な放射性同位元素のみを考慮し、事故直後に放出された $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ の放射能強度は土壌・海水調査(河田, 山田2012)より等しいと仮定している。また、放射線の強さ(吸収線量率)は、崩壊で出てくる光子の平均エネルギーに比例すると考えてよく、 $^{134}\text{Cs}$ と $^{137}\text{Cs}$ が同じベクレル量あった場合には放射線量率に対する寄与は、2.7:1程度となるとしている。

図4の計算結果から、本研究の2度の測定の間隔である2.5年間の自然減衰率は約27%となる。測定結果の減少率は平均42%となっているので、この減少率42%の内約27%が自然減衰による寄与であると考えられる。このことから、放射線量率の減少は、風雨等による放射性物質の移動や除染活動よりも自然減衰の寄与が大きいと考えることができる。ただし、以上の考察は2回の測定結果から導いたものであり、より精度の高い評価を行うためには定期的な定点測定を継続的に実施する必要がある。また、図4から、2017年の時点で既に、半減期2.1年の $^{134}\text{Cs}$ は半減期30.2年の $^{137}\text{Cs}$ に比べて自然減衰により僅かな量となっているため、今後の自然減衰による放射線量率の減少率は次第に小さくなっていくことが予想される。

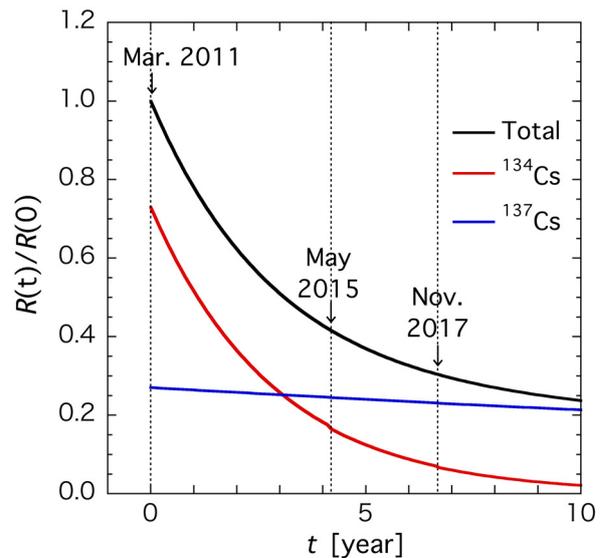


図4 放射性セシウムの自然減衰曲線。式(1)による計算結果を、 $^{134}\text{Cs}$ 、 $^{137}\text{Cs}$ 、合計の三つに分けて描画している。また、事故当時を横軸の0に取っている。

表 2 に本研究の測定結果を数値として示す。2017 年の測定では、全測定地点において、土壌上での放射線量率  $^{2017}R_{soil}$  が舗装道路上の  $^{2017}R_{blacktop}$  よりも平均約 2.2 倍高い。2017 年 11 月に測定した各地点の土壌上の放射線量率  $^{2017}R_{soil}$  から舗装道路上での放射線量率  $^{2017}R_{blacktop}$  を引いた値を図 5 に示す。この図から、帰還困難区域 (2015 年 3 月時点) では  $^{2017}R_{blacktop}$  に比べて  $^{2017}R_{soil}$  が顕著に高い事が分かる。この土壌上での高い線量率は、国道 6 号線再開に備えて、人や車の往来が多い路肩周辺を優先して除染したことが主な原因であると考えられる。また、雨や雪などで地上に落ちたセシウムはアスファルト上等の路肩では風雨によって多くが流れていくが、土壌上では風雨などで流されにくいことも高い線量率の原因となる。

表 2 2015 年, 2017 年測定値一覧。表中の数値は測定値の平均値、カッコ内は標準偏差を表す。

地点	環境放射線量率 ( $\mu\text{Sv/h}$ )		
	2015 年	2017 年	
	舗装道路 $^{2015}R_{blacktop}$	舗装道路 $^{2017}R_{blacktop}$	土壌 $^{2017}R_{soil}$
A	0.099 (0.008)	0.057 (0.007)	0.103 (0.009)
B	0.183 (0.014)	0.132 (0.014)	0.328 (0.014)
C	0.288 (0.027)	0.127 (0.009)	0.151 (0.023)
D	0.782 (0.041)	0.181 (0.032)	0.346 (0.019)
E	0.229 (0.020)	0.093 (0.013)	0.267 (0.049)
F	2.343 (0.133)	1.650 (0.096)	2.978 (0.082)
G	4.753 (0.162)	3.578 (0.097)	3.960 (0.094)
H	6.156 (0.076)	3.478 (0.085)	4.358 (0.077)
I	3.393 (0.117)	2.168 (0.088)	8.214 (0.235)
J	1.177 (0.149)	0.800 (0.054)	1.124 (0.108)
K	1.158 (0.142)	0.635 (0.048)	1.448 (0.107)
L	3.433 (0.379)	2.524 (0.145)	5.874 (0.403)
M	0.125 (0.012)	0.104 (0.012)	0.131 (0.015)
N	0.199 (0.033)	0.130 (0.012)	0.191 (0.018)
O	1.214 (0.024)	0.692 (0.077)	0.857 (0.034)

4. 結論

本研究では福島県浜通りの環境放射線量率の測定を行い、その結果を考察した。2017 年 11 月の線量率は 2015 年 5 月に比べて全ての地点で減少が見られた。各地点の放射線量率の 2.5 年間での減少率は平均すると 42%であった。この 42%の減少率に対する自然減衰の寄与は大きく、約 27%を占めている。しかし、今後の放射線量率減少に対する自然減衰の寄与は次第に僅かになっていくことが予想される。これは、半減期 2.1 年の  $^{134}\text{Cs}$  が自然減衰により僅かな量になり、そのほとんどが半減期 30 年の  $^{137}\text{Cs}$  になるためである。また、2017 年の観測では、舗装道路上に比べ土壌上では平均で約 2.2 倍高い放射

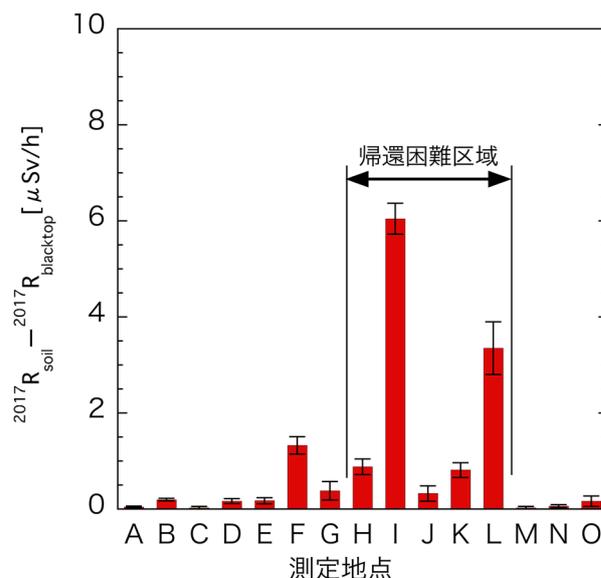


図 5 土壌に残された放射性物質による放射線量率

線量率が観測された。この土壌上での高い放射線量率は、風雨等による放射性物質の低移動性と除染未実施が原因であると考えられる。舗装道路上のみならず周辺の土壌上の環境放射線量率を更に減少させるためには、今後は自然減衰の効果は期待できず、土壌の除去を含む除染活動の実施が必要と考えられる。

5. 謝辞

本研究は関西学院千里国際高等部理科教員河野光彦先生の指導のもとで実施しました。ここに記し、感謝の意を表します。

6. 引用及び参考文献

M. Chino, H. Nakayama, H. Nagai, H. Terada, G. Katata and H. Yamazawa, " Preliminary Estimation of Release Amounts of  $^{131}\text{I}$  and  $^{137}\text{Cs}$  Accidentally Discharged from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant into the Atmosphere," J. Nucl. Sci. Technol., vol. 48, pp. 1129-1134, 2011.

河田燕, 山田崇裕 (2012) 原子力事故により放出された放射性セシウムの  $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$  放射能比について. Isotope News, 697, pp. 16-20.

環境省 (2011) 追加被ばく線量年間 1 ミリシーベルトの考え方. <https://www.env.go.jp/press/files/jp/18437.pdf>.

環境省 (2017) 放射線による健康影響等に関する統一的な基礎資料. 第 2 章:放射線による被ばく, <https://www.env.go.jp/chemi/rhm/h30kisoshiryo.html>.

気象庁 (2011) 過去の気象データ (福島県飯館村 3 月 15 日). <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>.

北本朝展 (2011) 福島周辺気象データアーカイブ. <http://agora.ex.nii.ac.jp/earthquake/201103-east-japan/weather/data/wind-20110311/surf/>.

田崎清明(2011) セシウム 137 とセシウム 134. <https://www.gakushuin.ac.jp/~881791/housha/details/Cs137vs134.html>.  
東京電力 (2011a) 福島第一原子力発電所の経過と教訓. 2 章, <http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/outline/>.  
東京電力 (2011b) 福島第一原子力発電所敷地境界でのモニタリングポスト計測状況. <http://www.tepco.co.jp/decommission/data/monitoring/dustmonitor/index-j.html>  
文部科学省 (2011) 中学生徒用放射線副読本. [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shuppan/sonota/attach/1314159.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shuppan/sonota/attach/1314159.htm).