

千葉県立柏の葉公園内の舗装道路で実施した 高圧洗浄の除染効果の検証

市川 有二郎*、井上 智博、内藤 季和、高橋 良彦
千葉県環境研究センター (〒290-0046 千葉県市原市岩崎西1-8-8)

Evaluation of the Efficacy of Decontamination Method Examined by High-pressure Water Jet Washer at Paved Road in Chiba Prefectural Kashiwa-no-ha Park

Yujiro ICHIKAWA*, Tomohiro INOUE, Suekazu NAITO, Yoshihiko TAKAHASHI
Chiba Prefectural Environmental Research Center (1-8-8 Iwasakinishi, Ichihara, Chiba 290-0046 Japan)

Summary

To decontaminate radioactive materials (especially cesium-134 and 137) derived from Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident has been fulfilled at contaminated regions. This study evaluates the efficacy of decontamination method of high-pressure water jet washer (water pressure of 15 MPa, the rate of water usage was approximately 20 L/m²) that was conducted at paved road in Kashiwa-no-ha Park. The total decontamination area of paved road was 112,996 m². To investigate concentrations of cesium-134 and 137 in deposits (mainly soil and dust) on the paved road, they were collected at 15 sites by scoop and brush tools before the decontamination was performed. The sum of cesium-134 and 137 concentration of deposits in the studied area fluctuates within 8,200 ~ 88,600 Bq/kg, with mean value of 43,600 Bq/kg. A distribution map of 1 cm dose equivalent rate ($\mu\text{Sv/h}$) at the height of 1 m above the paved road surface was observed before and after the decontamination procedure was carried out by portable gamma ray measuring instrument connected to monitoring software "Radiprobe" equipped with GPS unit. By means of decontamination procedure, observation of mean 1 cm dose equivalent rate decreased from 0.17 $\mu\text{Sv/h}$ to 0.13 $\mu\text{Sv/h}$, which translates into the 1 cm dose equivalent reduction rate of 33% (the natural dose rate derived from the ground is subtracted). Also as a part of management, aiming at screening safety, decontamination wastewaters were collected at 8 sites of water gathering basin to quantify the concentration of cesium-134 and 137. The concentration of cesium-134 and 137 were below the concentration limit of public water defined by the government notice (60 Bq/L for cesium-134, 90 Bq/L for cesium-137), which were compared as a reference.

Key Words: Chiba prefecture, Paved road, Decontamination, High-pressure water jet washer,
1 cm dose equivalent reduction rate

1. はじめに

千葉県では、東京電力福島第一原子力発電所事故（以下、原発事故）で放出された放射性物質の影響が県内に及んでいる状況をかんがみ、県民が抱える健康への影響に関する不安を払拭するため「千葉県放射性物質除染実施プラン」¹⁾（以下、県除染プラン）を平成24年4月19日に策定した。県除染プランでは、県が管理する施設等の中で0.23 $\mu\text{Sv/h}$ 以上（大地由来の線量率0.04 $\mu\text{Sv/h}$ を含む）²⁾の1 cm線量当量率（以下、線量率）が計測されたものを除染対象施設と定め、事故由来の放射性物質による年間の追加被ばく線量を1 mSv以下

（0.19 $\mu\text{Sv/h}$ 以下）にすることを対策目標としている。なお、除染作業については学校や公園等の子どもの利用が多い施設を優先的に行った。

柏市北西部に位置する千葉県立柏の葉公園（北緯：35度53分42秒、東経：139度56分28秒）は、敷地面積が約450,000 m²と広大な総合公園であり、千葉県民の憩いの場となっている。しかし当園では、原発事故後に0.23 $\mu\text{Sv/h}$ を超える線量率が測定され、園内の様々な施設で除染作業が実施された。

本調査は、柏の葉公園内の舗装道路において、高圧洗浄による除染前後の線量率等の詳細な測定・解析を実施し除染

*Corresponding author: TEL: 0436-21-6371, FAX: 0436-21-6810, E-mail: y.ichkw17@pref.chiba.lg.jp

効果の検証を行った。今後、除染作業が予定されているその他の除染対象施設において効率的な除染作業推進のための情報・資料として本調査結果が活かされることを期待する。

2. 調査方法

(1) 調査区域と調査時期

柏の葉公園内の歩道や駐車場の舗装道路 112,996 m² が除染対象とされた。舗装道路の主な形態は、Fig.1 に示したアスファルト舗装、インターロッキングである。柏の葉公園が設立された昭和 60 年以降、舗装道路の大規模な修繕は行われていない（部分修復のみ）。除染前調査は、平成 25 年 1 月 10 日（第 1 回目）、1 月 15 日（第 2 回目）、1 月 21 日（第 3 回目）、1 月 29 日（第 4 回目）に実施した。また、高圧洗浄による除染効果を検証するための除染後調査を平成 25 年 4 月 5 日（第 5 回目）、6 月 10 日（第 6 回目）に実施した。

(2) 線量率分布マップの作成

園内舗装道路の線量率の面的な分布を把握するために、5 秒間隔で線量率の瞬時値を測定する可搬型モニタリングポスト（MGP Instruments, HDS-101）を Fig. 2 のように地上から 1 m の高さで自転車に固定し園内の舗装道路を隈無く走行サーベイした。ただし、平成 25 年 1 月 15 日の第 2 回目調査時に

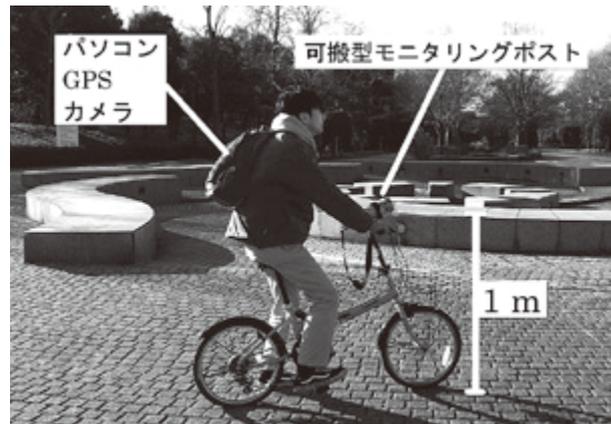


Fig.2 可搬型モニタリングポストによる走行サーベイ

おいては、降雪後であり園内の自転車での走行が困難であったことから、高さ 1 m に可搬型モニタリングポストを固定して徒歩で走行サーベイを行った。

可搬型モニタリングポストは、(独)放射線医学総合研究所が開発した放射線モニタリングシステム「ラジプローブ」³⁾により、GPS ユニット、動画撮影用カメラとのデータ通信が実現する。パソコン画面上に走行サーベイした線量率の測定結果と位置情報を合わせて記録し、線量率分布マップを作成した。ラジプローブは、(独)日本原子力研究開発機構が文部科学省から委託を受けて、福島県や近隣都県で実施した放射性物質の第二次分布状況等調査内の走行サーベイで使用された実績がある⁴⁾。

なお、走行サーベイ開始前に可搬型モニタリングポストは、校正済みのエネルギー補償型 NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータ（日立アロカメディカル株式会社 TCS-172B）と園内で並行測定を 5 回繰り返した。それぞれ測定器で得られた測定値の相加平均値に差異が無いことを確認した。

(3) 舗装道路の路面上堆積物の採取と調製

園内の路面上の堆積物中放射能濃度の分布状況を把握するために、高圧洗浄による除染作業が開始される前に Fig. 3 の□地点で採取した。堆積物は小型スコップや刷毛を用いて掻き集め、ジップ式ポリ袋に封入し研究室に持ち帰った。前処理は、105℃で 24 時間乾燥させて乾燥重量を量った後、乳棒で細かく砕き、ステンレス製の 2 mm 目のふるいを通過させて得たものを分析試料とした。

(4) 高圧洗浄の除染手法

高圧洗浄による除染作業は平成 25 年 1 月下旬から 3 月下旬まで実施された。Fig. 4 に示したように園内の舗装道路は高圧水（圧力は 15 MPa 程度、水量は 20 L/m² 程度）で洗浄し、必要に応じてブラシによる拭き取りも実施した。洗浄効果を得るために、被洗浄物に噴射口を近づけた（20 cm 程度）。

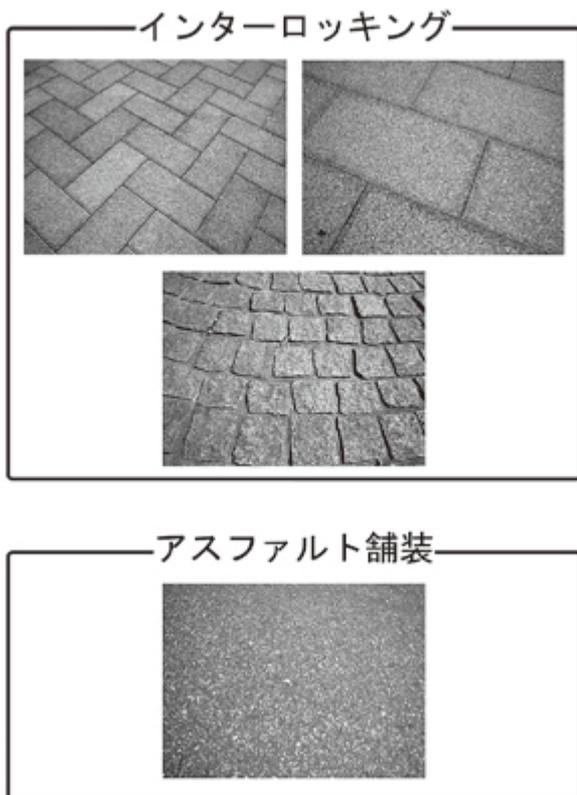


Fig.1 千葉県立柏の葉公園内の主な舗装道路の形態

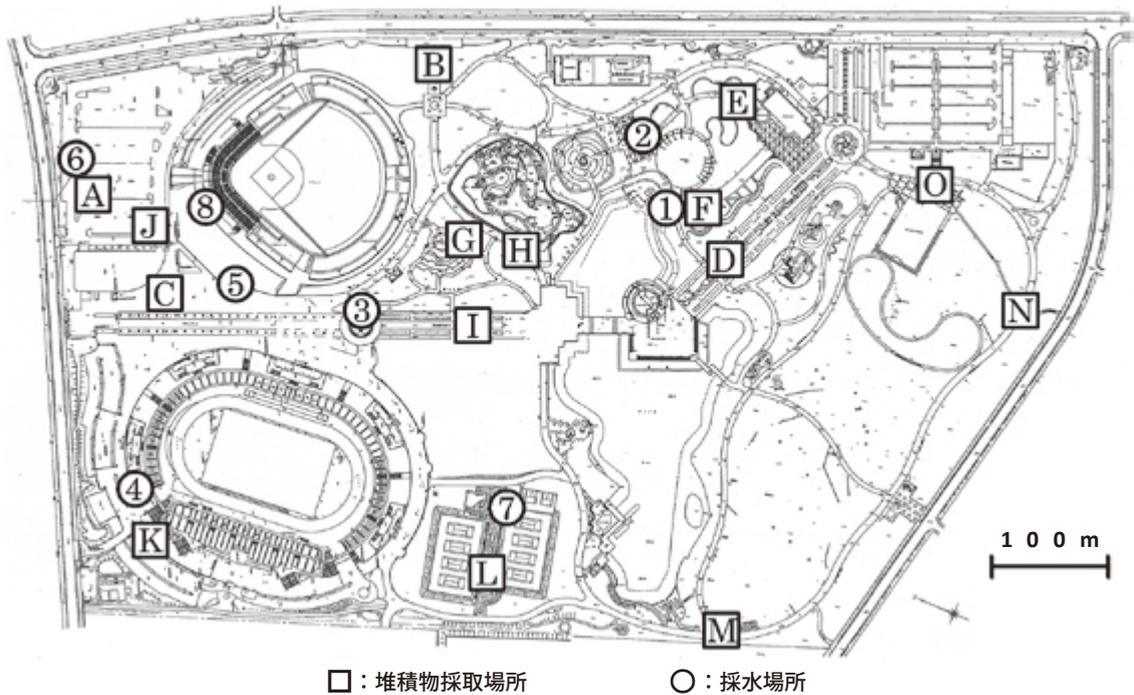


Fig.3 堆積物採取場所と高圧洗浄によって発生する排水の採水場所



Fig.4 高圧洗浄による舗装道路の除染作業

作業中は、洗浄水の飛散・流出防止策として、周縁部から内側、水勾配の上流から下流に向かって行い、建物等が隣接している場合は、2次汚染を防ぐために周囲をブルーシート等で養生した。

(5) 高圧洗浄水の採水と調製

高圧洗浄によって発生した水量は合計で2,259,920 L(設計値)であった。作業工区毎(計8工区)で発生した洗浄水は、各工区に設置されている集水枡に一時的にたまり、自然沈降によって洗浄水中の土砂等の堆積物と上澄み液(排水)は分離される。その後、排水は園内に設置された調整池へと流出する構造となっている。

各工区の高圧洗浄完了後、集水枡中で洗浄水中の堆積物と上澄み液が分離されたら(高圧洗浄開始1、2日後)、集水枡にたまった排水の表面水をバケツまたはひしゃくで汲み上げ、

ポリエチレン製の5 L 容器に移した。採水後は、放射性物質の容器壁面への吸着を避けるために、50% 硝酸を10 mL 入れた。採水場所は、Fig. 3 に示した○地点の8か所で行った。研究室に持ち帰った排水は2Lマリネリ容器に移し分析試料とした。

(6) ゲルマニウム半導体検出器の測定条件

試料の分析はゲルマニウム半導体検出器(キャンベラ社製GC2520、分解能:放射性核種 ^{60}Co のピークエネルギー1,332 keVに対する半値幅は1.75 keV、相対効率:32.9%)で行い、ガンマ線スペクトロメトリによりガンマ線放出核種濃度を定量した。各試料の採水日時に減衰補正し、また自己吸収補正及びサムピーク補正も行った。

なお、福島原発事故由来の放射性物質として ^{131}I 等の半減期が短い核種については、現在では検出下限以下に減衰していることを考慮して、本調査における検討対象核種は放射性セシウムのうち ^{134}Cs (定量ピーク:605 keV)及び ^{137}Cs (662 keV)とした。

3. 調査結果

(1) 除染前調査

a) 線量率分布マップの作成結果

第1～4回目の線量率分布マップをそれぞれFig. 5(a～d)に示した。第1回目に測定された線量率の範囲(平均)は、0.08～0.30 $\mu\text{Sv/h}$ (0.17 $\mu\text{Sv/h}$)、第2回目では0.07～0.24 $\mu\text{Sv/h}$ (0.14 $\mu\text{Sv/h}$)、第3回目では0.10～0.31 $\mu\text{Sv/h}$ (0.17 $\mu\text{Sv/h}$)、第4回目では0.10～0.31 $\mu\text{Sv/h}$ (0.17 $\mu\text{Sv/h}$)であり、マップ上で走行サーベイした箇所の線量率の分布状況が



凡 例

可搬型モニタリングポストによる
地表面から1mの高さで計測された線量率 ($\mu\text{Sv/h}$) の範囲

■	< 0.1	■	< 0.2 - 0.3
■	< 0.1 - 0.2	■	< 0.3 - 0.4

Fig.5 千葉県立柏の葉公園における舗装道路上の線量率分布マップ
 【除染前】(a); 2013年1月10日、(b); 2013年1月15日、
 (c); 2013年1月21日、(d); 2013年1月29日
 【除染後】(e); 2013年4月5日、(f); 2013年6月10日

色別で表示されている。

b) 堆積物中放射能濃度の測定結果

路面上で採取した堆積物中放射能濃度の測定結果は Table 1 に示した。路面上の堆積物は、雨水等によって周辺環境から流れ出された放射性物質が土砂とともに堆積していることから、放射能濃度がある程度は高くなることが予想され ^{134}Cs と ^{137}Cs を合計した放射能濃度の範囲 (平均) は 8,200 ~ 88,600 Bq/kg (43,600 Bq/kg) であった。二瓶ら⁵⁾ は 2012 年 4 月から 8 月の間で、千葉県柏市内と流山市内の計 16 地点における路面上の堆積物中放射能濃度を調べており、平均しておよそ 42,000 Bq/kg であったと報告しており、当調査結果とほぼ近似した値であった。

(2) 除染後調査

a) 線量率分布マップの作成結果

平成 25 年 4 月 5 日 (第 5 回目)、6 月 10 日 (第 6 回目) の線量率分布マップをそれぞれ Fig. 5(e) と (f) に示した。第 5 回目に測定された線量率の範囲 (平均) は、0.06 ~ 0.20 $\mu\text{Sv/h}$ (0.13 $\mu\text{Sv/h}$)、第 6 回目では 0.06 ~ 0.19 $\mu\text{Sv/h}$ (0.12 $\mu\text{Sv/h}$) であった。

b) 排水中放射能濃度の測定結果

計 8 工区の集水桝で採水した排水中放射能濃度測定結果は Table 2 の通りである。すべての作業工区で得た排水中の放射能濃度は、環境省の放射能濃度等測定法ガイドライン (平成 23 年 12 月第 1 版)⁶⁾ 中に定められている公共の水域の濃度限度 (^{134}Cs : 60 Bq/L、 ^{137}Cs : 90 Bq/L) と比べて低い値であった。

また、集水桝に蓄積された堆積物については、スコップ等を用いて人力により除去、清掃した。除去した堆積物は土の

Table 1 柏の葉公園の路面上における堆積物中放射能濃度

調査地点	堆積物中放射能濃度 (Bq/kg-乾燥重量)		
	^{134}Cs	^{137}Cs	Total ^{**}
A	27000	49400	76400
B	32000	56600	88600
C	25500	46400	71900
D	17800	31700	49500
E	23700	42500	66200
F	15000	26500	41500
G	3700	6700	10400
H	16600	28900	45500
I	2900	5300	8200
J	11200	19300	30500
K	29400	52500	81900
L	4200	7600	11800
M	8900	15800	24700
N	5000	8700	13700
O	12000	21300	33300
範囲	2900 ~ 32000	5300 ~ 56600	8200 ~ 88600
平均	15700	27900	43600

※ $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$

Table 2 高圧洗浄に伴い発生した排水中放射能濃度

採水場所	採水日	排水中放射能濃度 (Bq/L)		
		^{134}Cs	^{137}Cs	Total ^{**}
1	2013/2/7	0.7	1.5	2.2
2	2013/2/12	1.0	1.5	2.5
3	2013/2/9	3.8	6.9	10.7
4	2013/2/13	3.2	5.9	9.1
5	2013/2/15	7.0	12.5	19.5
6	2013/2/25	5.4	9.6	15.0
7	2013/3/1	6.5	12.5	19.0
8	2013/3/11	1.5	3.1	4.6

※ $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$

う袋に袋詰めにし、同園内の一区画を 100 cm ~ 150 cm の深さで掘削した穴の中に全体を遮水シートで覆い埋設した。使用した遮水シートは厚さ 1.5 mm 以上の合成樹脂系シートであり、日本遮水工協会の認定品である。埋設作業後は、転圧機 (地表面に力を加え締め固める建設機械) により十分に締め固め、放射性物質に汚染されていない土砂 (掘削時に発生した放射能濃度の低い土壌) により 30 cm 以上の覆土を行った。覆土による遮へい効果については、30 cm 厚さで線量率を 40 分の 1 程度まで遮へいできると報告されている⁷⁾。

4. 考察

(1) 積雪による線量率の遮へい効果について

第 1 回目と第 2 回目間の平成 25 年 1 月 14 日に千葉県内では 8 cm の積雪深さを記録した⁸⁾。第 1 回目と第 2 回目調査時の平均線量率を比較すると、0.03 $\mu\text{Sv/h}$ 低くなっており、積雪による遮へいによって約 18 % の低減率を示した。

(独) 日本原子力研究開発機構は除染作業終了後の福島県浪江町対馬地区で積雪深さと線量率の低減率との関係性について調査を行い、5 ~ 10 cm の積雪深さで約 16 % の低減率を示したと報告⁹⁾ しており、本調査結果とほぼ同程度の評価であった。

(2) 除染効果について

高圧洗浄実施前後の第 4 回目と第 5 回目の走行サーベいの平均線量率から、高圧洗浄面全体における低減率を算出したところ 33% であった。高圧洗浄前後で平均線量率は 0.04 $\mu\text{Sv/h}$ 低減していた。除染前後の線量率測定結果の平均値の差を用いた t 検定 (危険率 ϕ : 0.01) を行った結果、統計学的にも有意差が認められ除染の効果が確認された。また、アスファルト舗装とインターロッキングの形態別での低減率はそれぞれ 36%、33% でありアスファルト舗装の方がやや高い低減率を示した。この 3% の違いは、インターロッキング表面の凹凸の荒さや溝によって、アスファルト舗装よりも放射性物質の洗い流しがされにくく、若干残留したと考えられる。なお、低減率算出の際は、大地由来の線量率 0.04 $\mu\text{Sv/h}$ (バックグラウンド値) は測定値から差し引いた。

第3回、第4回目調査時に、アスファルト舗装された箇所
で0.30 $\mu\text{Sv/h}$ を超過する線量率が測定された。この場所は、
窪地であり、降雨後は水溜りが生じるため雨水とともに洗い流
された放射性物質が集まりやすく局所的に高い線量率を示し
たと考えられる。高圧洗浄によって当箇所の線量率は0.1 $\mu\text{Sv/h}$
未満まで低減した。

同園内のその他の施設では除染前に0.23 $\mu\text{Sv/h}$ を超過する
場所^{10)~12)}が見受けられた一方で、舗装道路では多くの箇所で
除染作業の実施前に0.23 $\mu\text{Sv/h}$ を下回っていたことから、
園内のその他の施設と比較して線量率の低減が早かったと考
えられた。福島県内でのモニタリング結果から、道路上の放
射性セシウムはウェザリング効果(風雨等の自然要因による放
射性物質の洗い流し)や車などの走行による影響で除去され易
く、線量率の低減も放射性セシウムの物理的半減期以上の減
衰率を示していることが知られており⁴⁾、本調査結果におい
ても同様な原因で舗装道路の線量率の減衰が早かったと考え
られる。

除染後に周囲の放射性物質の雨などによる流れ込み等から
線量率の上昇が起り、再度除染を実施したという事例が新聞
などで報道¹³⁾されたことがある。そのため、除染が完了したと
しても、定期的なモニタリング調査は重要である。当該調査区
域では、除染直後の第5回目調査とその約2か月後の第6回
目調査にモニタリングを実施したが、平均線量率に有意な差
はなく、線量率の上昇は確認されなかった。

5. まとめ

- ・ 千葉県立柏の葉公園内の舗装道路(歩道や駐車場)におい
て、高圧洗浄前後の空間線量率等の詳細な測定・解析を
実施し、汚染実態の把握に併せて高圧洗浄の効果検証を
行った。
- ・ 園内路面上の堆積物における¹³⁴Csと¹³⁷Csを合計した放
射能濃度の範囲(平均)は8,200~88,600 Bq/kg(43,600
Bq/kg)であり、これまで柏市や流山市での報告値と近似し
ていた。
- ・ 高圧洗浄で発生した排水は、環境省の放射能濃度等測定
法ガイドライン(平成23年12月第1版)中に定められてい
る公共の水域の濃度限度(¹³⁴Cs: 60 Bq/L、¹³⁷Cs: 90 Bq/L)
と比べて低い値であった。
- ・ 高圧洗浄による舗装道路上の線量率の低減率は33%で
あった。
- ・ 舗装道路では、線量率の減衰が園内のその他の調査地点と
比較して早く、ウェザリング効果や車などの走行による影響
で放射性物質が除去され易いと考えられた。

- ・ 除染作業後に舗装道路で実施したモニタリング結果では、
線量率が0.23 $\mu\text{Sv/h}$ 未満であった。
- ・ 除染作業3か月後においても、舗装道路の線量率の上昇は
確認されなかった。

参 考 文 献

- 1) 千葉県災害復旧・復興本部: 千葉県放射性物質除染実
施プラン、平成24年4月19日(2012)
- 2) 環境省: 追加被ばく線量年間1ミリシーベルトの考え方、
平成23年10月10日災害廃棄物安全評価検討会・環
境回復検討会 第1回合同検討会資料(2011)
- 3) 四野宮貴幸、宮後法博、高島良生: 放射線モニタリング
システム「ラジプローブ」、月刊資源環境対策、48(1)、58-
61(2012)
- 4) 独立行政法人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放射性物質の第二次分布状況等に關
する調査研究」報告書(2013)
- 5) 二瓶泰雄、大内田嵩亨、笹川一麿、橋田創、武川一樹:
都市流域-河川-湖沼における放射性セシウム134、137
の動態~手賀沼流域を例に~、土木学会論文集B1(水工
学)、69(4)、I_1693-I_1698(2013)
- 6) 環境省: 放射能濃度等測定法ガイドライン、平成23年
12月第1版(2011)
- 7) 環境省: 福島県内の災害廃棄物の処理における一時保管、
平成23年7月28日(2011)
- 8) 気象庁: <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>
- 9) 独立行政法人日本原子力研究開発機構: 福島第一原子力
発電所事故に係る避難区域等における除染実証業務報
告書(2013)
- 10) 市川有二郎、井上智博、石井栄勇、内藤季和、高橋良彦、
矢沢裕: 千葉県立柏の葉公園内のアスレチックスペ
ース「冒険のトリデ」における除染効果の検証、
RADIOISOTOPES(受理済)
- 11) 市川有二郎、井上智博、内藤季和、高橋良彦: 千葉県
立柏の葉公園内の「日本庭園」における除染効果の検証、
RADIOISOTOPES(受理済)
- 12) 市川有二郎、井上智博、内藤季和、高橋良彦: 千葉県
立柏の葉公園内の庭球場における除染効果の検証、環
境放射能除染学会誌、1(2)、129-137(2013)
- 13) 産経新聞(千葉版): 松戸の公園28か所で除染後再び
基準越え、平成25年1月17日、朝刊、23面(2013)

2013年7月8日受付

2013年10月3日受理

和 文 要 約

福島第一原子力発電所事故によって放出された放射性物質(特に ^{134}Cs と ^{137}Cs)によって汚染地域では除染作業が行われている。本調査は、千葉県立柏の葉公園内の舗装道路(歩道や駐車場)において、高圧洗浄前後の線量率等の詳細な測定・解析を実施し、汚染実態の把握に併せて高圧洗浄の効果検証を行った。高圧洗浄の圧力は15 MPa程度、水量は20 L/m²程度であり、除染対象面積は112,996 m²であった。除染作業前に園内路面上の堆積物から計測された放射能濃度の範囲(平均)は8,200 ~ 88,600 Bq/kg (43,600 Bq/kg)であり、これまで報告されている柏市や流山市での調査結果に近似した値であった。地上から1 mの高さに固定した可搬型モニタリングポストによって舗装道路を走行サーベイした測定結果と放射線モニタリングシステム「ラジプローブ」から線量率分布マップを作成した。除染作業後に舗装道路で実施したモニタリング結果では、線量率は0.23 $\mu\text{Sv/h}$ 未満であることが確認され、高圧洗浄による線量率の低減率は33%であった。高圧洗浄によって発生した排水中放射能濃度は、環境省の放射能濃度等測定法ガイドライン(平成23年12月第1版)中に定められている公共の水域の濃度限度(^{134}Cs : 60 Bq/L、 ^{137}Cs : 90 Bq/L)と比べて低い値であった。舗装道路では、線量率の減衰が園内のその他の調査地点と比較して早かったことから、ウェザリング効果や車などの走行による影響で放射性物質が除去され易いと考えられた。

