

論文

福島第一原発事故による中通り地区市街地における 放射性汚染状況の調査

芳原新也¹、稲垣昌代¹、山西弘城¹、若林源一郎¹、杉山亘¹、伊藤哲夫¹

Survey of Radioactive Contamination in Urban districts of Naka-Dori Area due to Fukushima-Daiichi Nuclear Plant Accident

Sin-ya Hohara¹, Masayo Inagaki¹, Hirokuni Yamanishi¹, Genichiro Wakabayashi¹,
Wataru Sugiyama¹, Tetsuo Itoh¹

Residual heat removal system of Fukushima Daiichi Nuclear Plant was down at 11th March 2011, because of the Tohoku Region Pacific Coast Earthquake and the Tsunami come after the earthquake. The system down causes the meltdowns in Reactor1, Reactor2 and Reactor3. As a result, a large amount of radioactive materials were released to general environment, and dose rates of Tohoku & Kanto area increased with the fallout of the radioactive materials. Kinki University Atomic Energy Research Institute has researched time series variations of dose rate distribution and contamination level in urban districts of Tohoku Naka-Dori Area from the middle of April 2011. Results of the researches and the analyses are described in this paper.

Keywords: Fukushima Daiichi, contamination level. Urban district, Dose rate, pave condition, time series variation, Energy Spectrum

1 近畿大学原子力研究所 Atomic Energy Research Institute, Kinki University

1. 背景

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震とそれに引き続いて発生した津波により、東京電力が所有する福島第一原子力発電所（以下、福島第一）は外部電源喪失の状態に陥った。この時、福島第一の予備電源が動作せず1号機から3号機でメルトダウンが発生し、大量の放射性物質が一般環境中に放出されるに至った。

放出された放射性物質は放射性プルームとして環境中を移動し、雪や雨などにより東北・関東地方の広い地域に降下・定着し、各地の空間線量率を上昇させた。3月12日以降の福島県内における空間線量率の変化⁽¹⁾を図1に示す。

上記の事象に対して状況を把握するため、近畿大学原子力研究所（以下、近大原研）は、2011年4月中旬から2012年2月現在まで東北中通り地区における放射性汚染に関する調査を継続して行っている。本論文では、2011年4月中旬から2012年2月までの調査と解析の結果を示す。

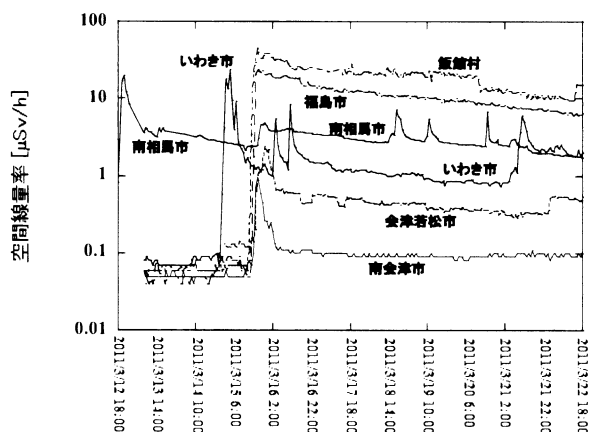


図1：福島県内各地における空間線量率の変化

2. 東北中通り地区の調査概要

東北中通り地区における放射性汚染の調査では、空間線量率の分布測定と表層土中の放射性同位元素濃度の測定⁽²⁾の2測定を行っている。

空間線量率の分布測定では、当所で2008年に開発した可搬型GPS機能搭載環境放射線測定システム⁽²⁾（以下、GPS連動サーベイシステム）を用い

て測定を行っている。可搬型GPS機能搭載環境放射線測定システムでGPS情報とリンクして記録された放射線量率は、Google Mapを用いたGIS（Geographic Information System）により表示・解析を行っている。

表層土中の放射性同位元素濃度の測定では、現場で採取した表層土サンプルを近大原研が所有する高純度Ge検出器で測定、ORTEC EG&Gの核種ライブラリを用いて核種分析を行っている。

空間線量率の分布測定及び表層土の採取は、福島県福島市荒川運動公園近辺（北緯37.745° 東経140.461° 付近）、福島県郡山市麓山公園近辺（北緯37.395° 東経140.375° 付近）、栃木県那須塩原市黒磯公園近辺（北緯36.976° 東経140.053° 付近）の3箇所において行っている。空間線量率の分布測定と表層土採取を行った年月日の一覧を表1に示す。

3. 空間線量率分布の測定

空間線量率分布の測定ではGPS連動サーベイシステム⁽²⁾を用いた。放射線検出器にはAloka社製のNaI(Tl)サーベイメータTCS-171を用い、データ収集用PCには富士通株式会社製のFMV-BIBLO LOOX U/C30（WindowsXP）を用いてシステムを構築した。NaI(Tl)サーベイメータの有感部が地上50～60[cm]位置になるようにGPS連動サーベイシステム一式を携帯鞆内に収納し、システムを収納した鞆を携帯した調査員が100[m/min]程度の速度で徒歩移動しながら空間線量率分布の測定を行った。

荒川運動公園付近で、2011年4月17日に測定された結果を図2に、2011年7月17日に測定された結果を図3に、2011年10月8日に測定された結果を図4に示す。なお、荒川運動公園では、2011年9月20日から22日にかけての平成23年台風第15号による降雨が原因の増水により、公園全体の水没が発生した。

表1：空間線量率分布測定日および表層土採取日一覧

	福島県福島市 荒川運動公園		福島県郡山市 麓山公園		栃木県那須塩原市 黒磯公園	
	空間線量率 分布測定日	土壌試料 採取日 (測定日)	空間線量率 分布測定日	土壌試料 採取日 (測定日)	空間線量率 分布測定日	土壌試料 採取日 (測定日)
1回目	2011/4/17	2011/4/17 (2011/4/18)	2011/4/17	2011/4/17 (2011/4/18)	2011/4/16	2011/4/16 (2011/4/18)
2回目	2011/4/24	2011/4/24 (2011/4/27)	2011/4/24	2011/4/24 (2011/4/25)	2011/4/23	2011/4/23 (2011/4/27)
3回目	2011/4/29	2011/4/29 (2011/5/2)	2011/4/29	2011/4/29 (2011/5/2)	2011/4/28	2011/4/28 (2011/5/2)
4回目	2011/5/7	2011/5/7 (2011/5/9)	2011/5/7	2011/5/7 (2011/5/9)	2011/5/8	2011/5/8 (2011/5/9)
5回目	2011/5/14	2011/5/14 (2011/5/16)	2011/5/14	2011/5/14 (2011/5/16)	2011/5/15	2011/5/15 (2011/5/16)
6回目	2011/5/21	2011/5/21 (2011/5/23)	2011/5/21	2011/5/21 (2011/5/23)	2011/5/21	2011/5/21 (2011/5/23)
7回目	2011/5/29	2011/5/29 (2011/5/30)	2011/5/29	2011/5/29 (2011/5/30)	2011/5/28	2011/5/28 (2011/5/30)
8回目	2011/6/4	2011/6/4 (2011/6/6)	2011/6/4	2011/6/4 (2011/6/6)	2011/6/4	2011/6/4 (2011/6/6)
9回目	2011/6/18	2011/6/18 (2011/6/20)	2011/6/18	2011/6/18 (2011/6/20)	2011/6/19	2011/6/19 (2011/6/20)
10回目	2011/7/17	2011/7/17 (2011/7/19)	2011/7/17	2011/7/17 (2011/7/19)	2011/7/18	2011/7/18 (2011/7/19)
11回目	2011/8/17	2011/8/17 (2011/8/23)	2011/8/17	2011/8/17 (2011/8/23)	2011/8/17	2011/8/17 (2011/8/23)
12回目	2011/8/27	2011/8/27 (2011/8/30)	2011/8/27	2011/8/27 (2011/8/30)	2011/8/27	2011/8/27 (2011/8/30)
13回目	2011/9/11	2011/9/11 (2011/9/13)	2011/9/12	2011/9/12 (2011/9/13)	2011/9/12	2011/9/12 (2011/9/13)
14回目	2011/10/8	2011/10/8 (2011/10/11)	2011/10/8	2011/10/8 (2011/10/11)	2011/10/8	2011/10/8 (2011/10/11)
15回目	2011/11/12	2011/11/12 (2011/11/14)	2011/11/12	2011/11/12 (2011/11/14)	2011/11/12	2011/11/12 (2011/11/14)
16回目	2011/12/10	2011/12/10 (2011/12/12)	2011/12/10	2011/12/10 (2011/12/12)	2011/12/10	2011/12/10 (2011/12/12)
17回目	2012/1/14	2012/1/14 (2012/1/16)	2012/1/14	2012/1/14 (2012/1/16)	2012/1/14	2012/1/14 (2012/1/16)
18回目	2012/2/17	2012/2/17 (2012/2/20)	2012/2/18	2012/2/18 (2012/2/20)	2012/2/18	2012/2/18 (2012/2/20)

西暦 / 月 / 日

福島第一原発事故による中通り地区市街地における放射性汚染状況の調査



図 2：2011 年 4 月 17 日の荒川運動公園付近の空間線量率分布
赤色は空間線量率が高く、水色は空間線量率が低い



図 3：2011 年 7 月 17 日の荒川運動公園付近の空間線量率分布
赤色は空間線量率が高く、水色は空間線量率が低い



図 4：2011 年 10 月 8 日の荒川運動公園付近の空間線量率分布
赤色は空間線量率が高く、水色は空間線量率が低い

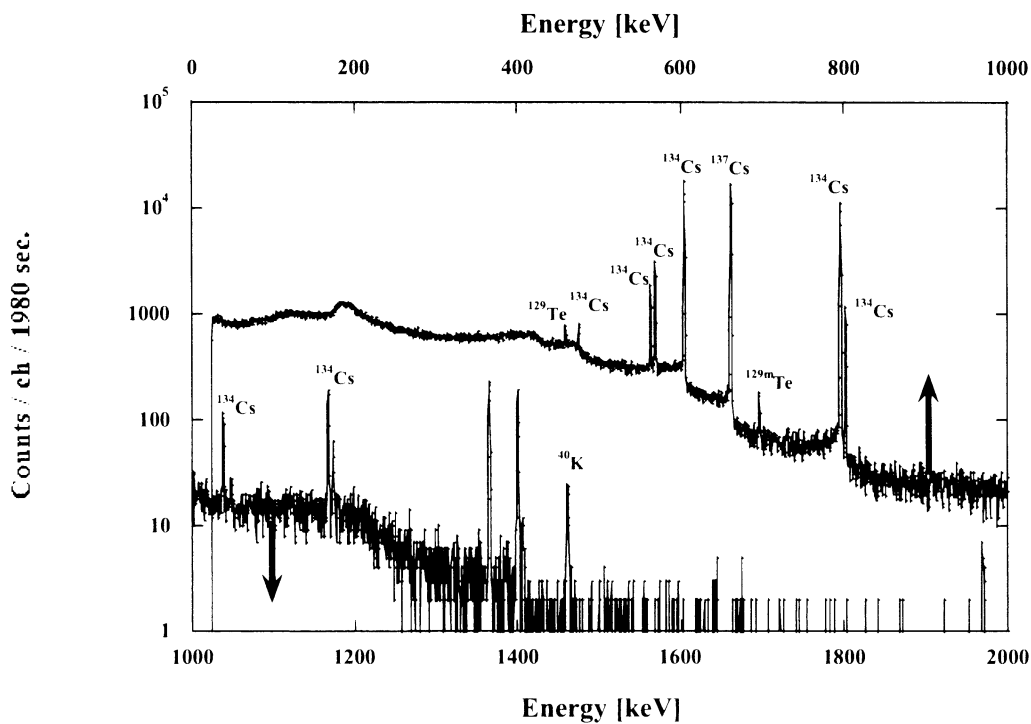


図6：2011年6月18日採取の荒川運動公園表層土壌サンプルのγ線エネルギースペクトル
測定日は2011年6月20日

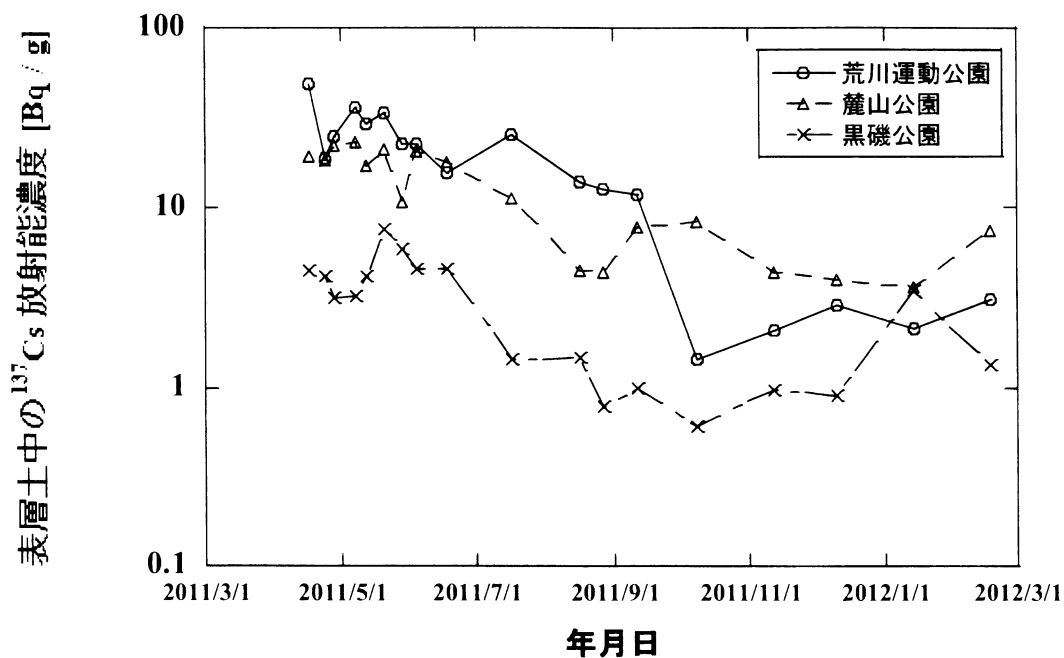


図7：表層土中における¹³⁷Csの放射能濃度の時系列変化

表2：2011年4月17日採取の表層土壌サンプルの¹³⁷Cs放射能濃度に対する核種比

核種	半減期 [日]	荒川運動公園	麓山公園	黒磯公園
⁹⁵ Nb	3.497E+01	2.294E-03	3.751E-03	6.427E-03
		± 0.520E-03	± 0.808E-03	± 1.804E-03
^{129m} Te	3.352E+01	6.676E-01	4.742E-01	5.992E-01
		± 0.208E-01	± 0.293E-01	± 0.630E-01
¹³² Te	3.258E+00	4.691E-03	4.498E-03	5.457E-03
		± 0.586E-03	± 0.800E-03	± 1.676E-03
¹³¹ I	8.040E+00	3.895E-01	1.826E-01	1.227E-01
		± 0.020E-01	± 0.020E-01	± 0.037E-01
¹³⁴ Cs	7.531E+02	8.860E-01	8.876E-01	8.909E-01
		± 0.035E-01	± 0.052E-01	± 0.113E-01
¹³⁶ Cs	1.300E+01	3.293E-02	3.159E-02	3.443E-02
		± 0.072E-02	± 0.100E-02	± 0.222E-02
¹³⁷ Cs	1.102E+04	1	1	1

測定日は2011年4月18日

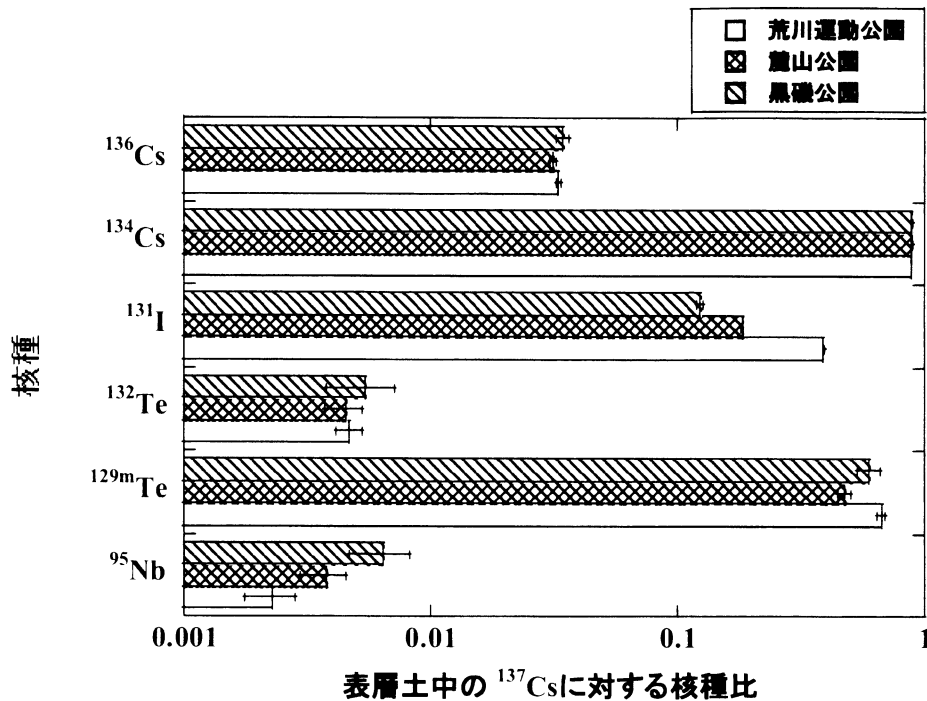


図8：2011年4月17日採取の表層土壌サンプルの¹³⁷Cs放射能濃度に対する核種比

測定日は2011年4月18日

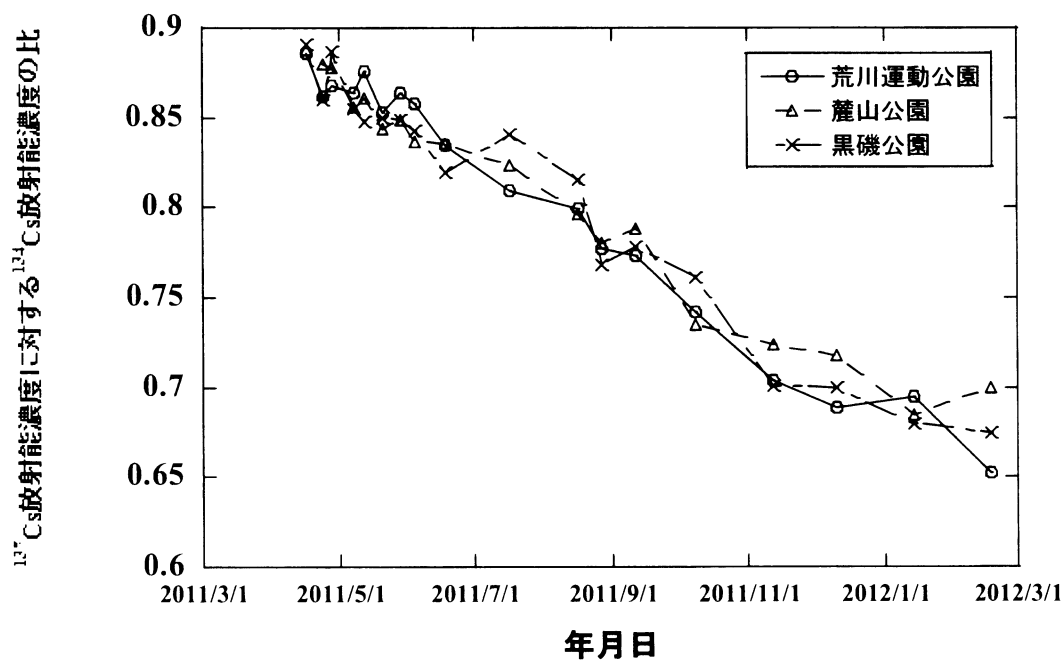


図9：表層土中における ^{137}Cs 放射能濃度に対する ^{134}Cs 放射能濃度の比

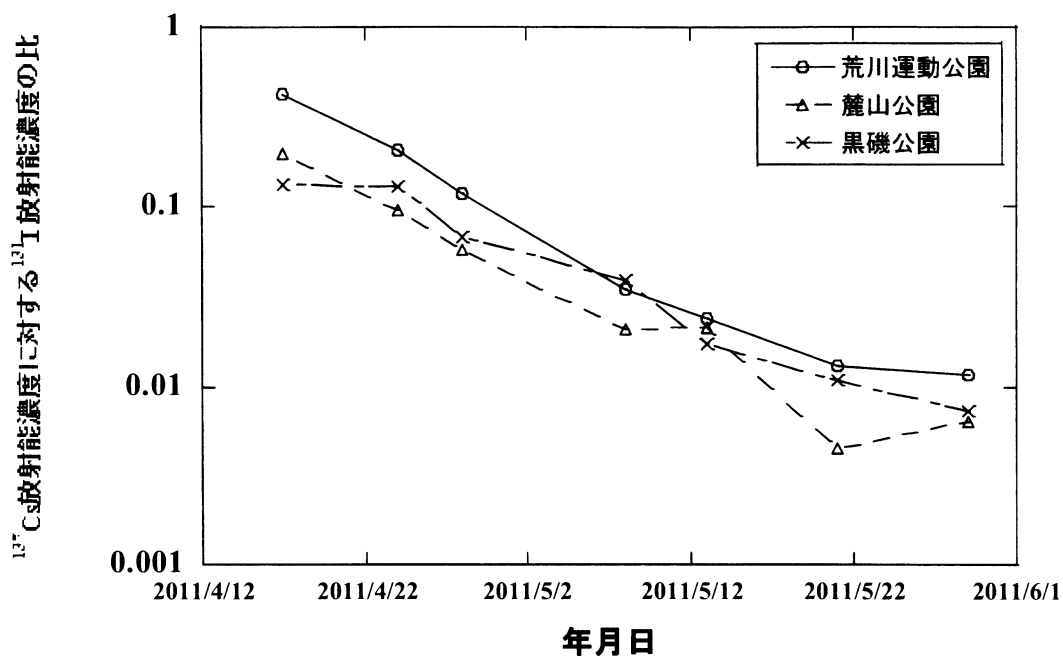


図10：表層土中における ^{137}Cs 放射能濃度に対する ^{131}I 放射能濃度の比

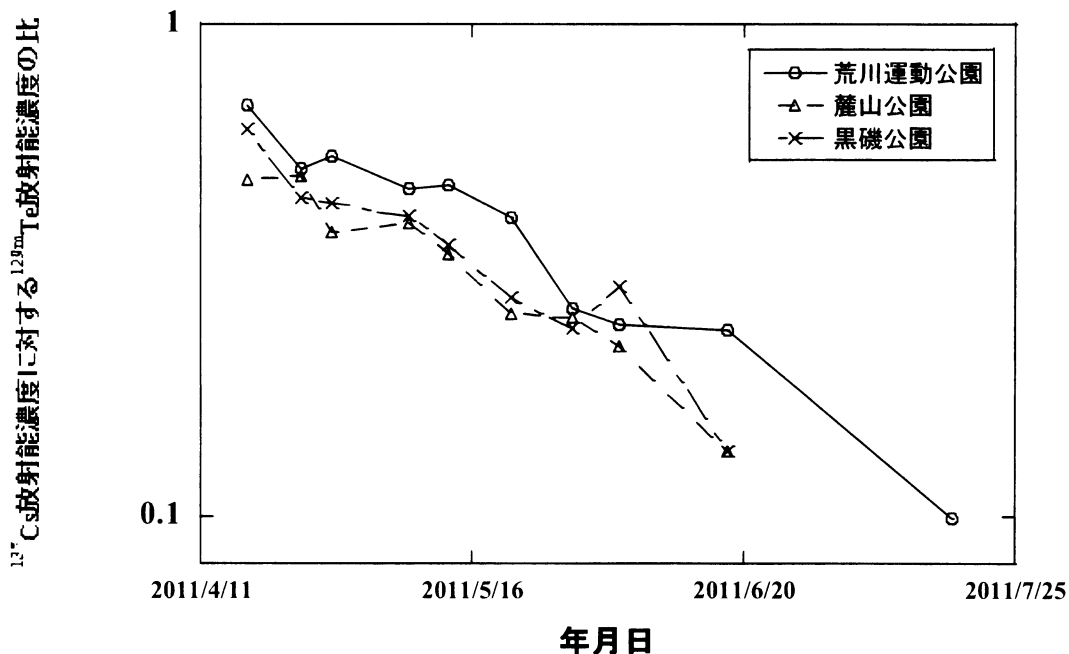


図 11：表層土中における ^{137}Cs 放射能濃度に対する ^{129m}Te 放射能濃度の比

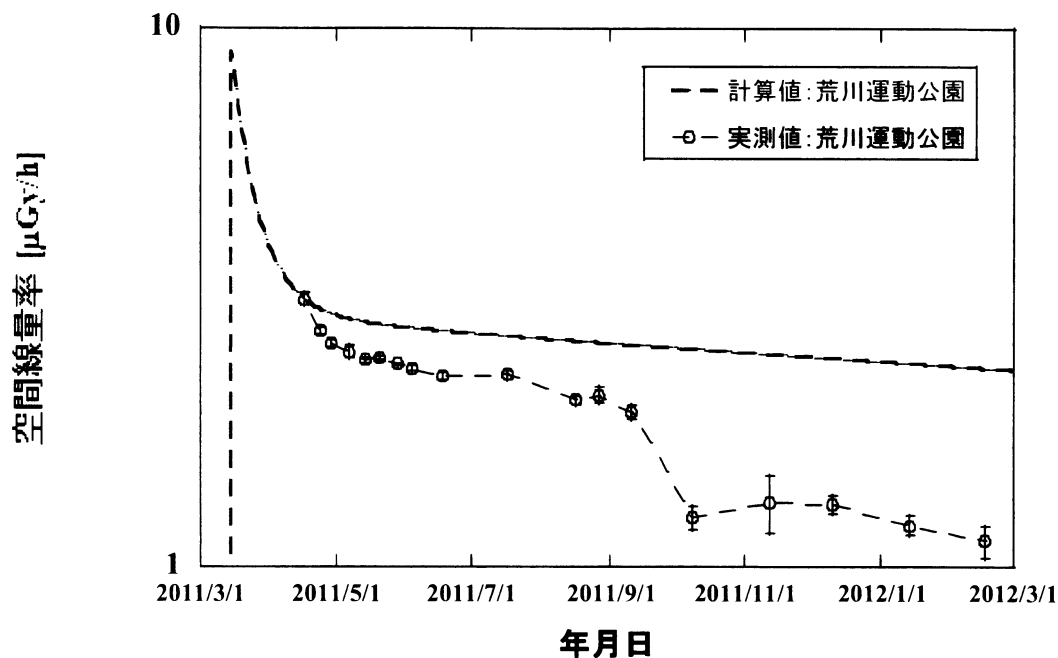


図 12：荒川運動公園における空間線量率の計算値と実測値との比較
 点は測定値の平均、エラーバーは測定値の最大値と最小値を示す

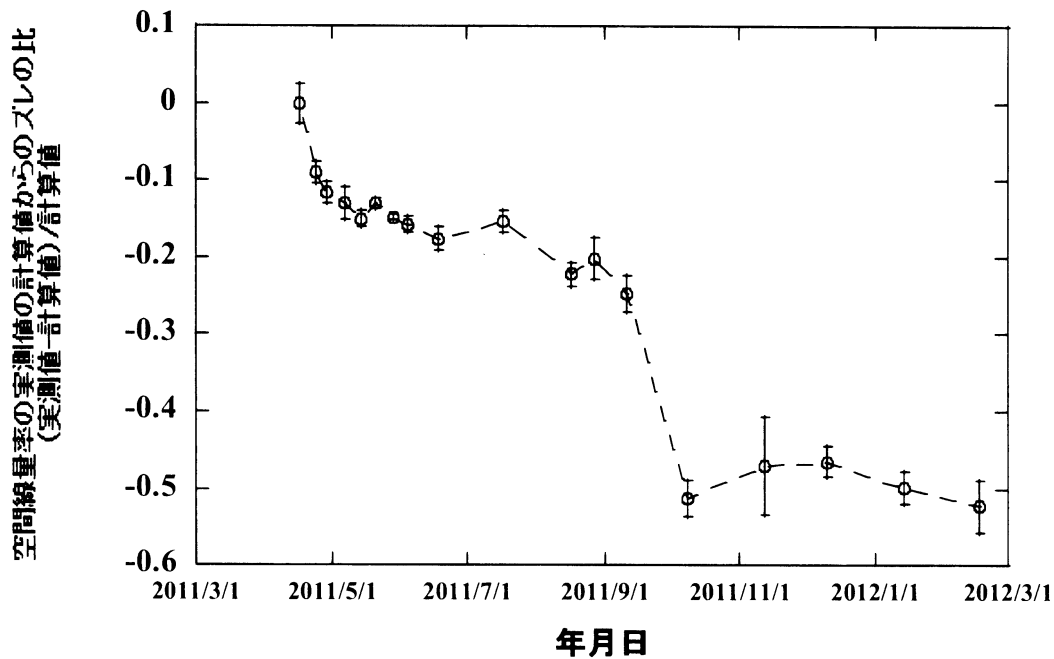


図 13：荒川運動公園における計算値に対する実測値—計算値差分の比率
 点は平均、エラーバーは最大値と最小値を示す

うち、 ^{137}Cs の放射能濃度の変化を図 7 に示す。また 2011 年 4 月 17 日に採取、2011 年 4 月 18 日に測定された核種の放射性濃度⁽⁴⁾の ^{137}Cs 放射能濃度に対する比率を表 2 および図 8 に、比較的半減期の長い ^{134}Cs 、 ^{131}I 、 $^{129\text{m}}\text{Te}$ の放射能濃度の ^{137}Cs 放射能濃度に対する核種比率の時系列変化を図 9、図 10、図 11 に示す。

図 7 より、表層土中の ^{137}Cs は時間の経過に伴い減少傾向にあり、この減少率は物理半減期よりも早い事がわかる。なお、荒川運動公園サンプルにおける 2011 年 9 月・10 月間の急激な減少は、平成 23 年台風第 15 号が原因の水没による表層土剥離の結果であると考えられる。また、麓山公園においては市による表層土除去が 2011 年 10 月 9 日に行われ、その後の測定で表層土中の ^{137}Cs 濃度の減少が観測されたが、その減少率はさほど大きくなかった。

図 8 より、2011 年 4 月 17 日当時において地域による核種比の差が比較的小さい事がわかる。また図 9-11 より、 ^{131}I 、 $^{129\text{m}}\text{Te}$ の ^{137}Cs に対する核種比率の減少が、物理半減期の減少に非常に近いことから、

2011 年 4 月中旬時点で市街地に存在していた放射性ヨウ素、放射性テルルが放射性セシウムと近い環境動態を持つ可能性があることがわかった。

5. 解析

自然現象や社会活動等による放射性同位元素の流出の有無を確認する為、核種比と半減期計算から推測される空間線量率と実測で得られた空間線量率との比較を行った。

計算には 2011 年 4 月 17 日採取の土壌試料より得られた核種比を用いる。核種比と空気衝突カーマ率係数の積算値の和により空間線量率の相対的な時間変化を求め、基準日における実測空間線量率により規格化することで自然現象等による変動の無い時の空間線量率の推定値を求める。荒川運動公園のグラウンド中央を比較地点として、規格化基準日は 2011 年 4 月 17 日とした。自然環境中からのバックグラウンド線量率は阿部らの調査結果⁽⁵⁾を用いる。空間線量率の計算方法を次式に示す。

$$D = BG + A \cdot \sum_i K_i \cdot R_i \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T_i}}$$

ここで、D は任意の年月日における空間線量率、BG は自然環境中からのバックグラウンド線量率、A は基準日における規格化定数、 k_i は核種毎の空気衝突カーマ率定数、 R_i は核種毎の放射能濃度比率、 T_i は核種毎の半減期、t は基準日からの経過日数で i は観測された福島第一原発由来と推測される放射性同位元素である。

空間線量率の実測値は、空間線量率分布測定で得られた値を用いる。計算により得られた空間線量率と実測値との比較を図 12 に、計算値に対する実測値—計算値間の差分の比率を図 13 に示す。

図 12 より、空間線量率の実測値が計算値を下回っていることが確認出来る。

図 13 より、5 月下旬までにかけて空間線量率が急激に減少しており、その後は計算値に対して 2 割程度の減少で安定していることがわかる。2011 年 9 月と 2011 年 10 月の測定間で急激な空間線量率の減少が確認できるが、これは平成 23 年台風第 15 号の水没による表層土剥離が原因であると考えられる。また、その後は目立った空間線量率減少は確認されず、計算値の 5 割程度の空間線量率が継続して観測されている。

空間線量率の実測値と計算値を比較した結果、実測値の方が小さく、自然現象等による放射性同位元素の流出が原因であると推測される空間線量率の低減が確認された。

6. まとめ

近大原研は、2011 年 4 月中旬から 2012 年 2 月現在まで東北中通り地区における放射性汚染に関する調査を継続して行っている。この調査で、福島第一原発由来であると推測される放射性物質の同定・定量と、それらの放射性物質の環境中への定着傾向の把握が出来た。

また測定結果の解析により、自然現象等による放

射性同位元素の流出現象および空間線量率の低減を確認することも出来た。

参考文献

- (1) 福島県ホームページ <http://www.cms.pref.fukushima.jp/>
- (2) 芳原新也、伊藤眞、“可搬型 GPS 機能搭載環境放射線測定システムの構築とその応用”、近畿大学原子力研究所年報 vol.45、pp1-10 (2008)
- (3) 森嶋彌重、古賀妙子、久永小枝美、丹羽健夫、河合廣、伊藤哲夫、三木良太、近藤宗平、明神正和、畝中和人、“ソ連チェルノブイリ原子力発電所事故に伴う放射性降下物の観測 (I)”、近畿大学原子力研究所年報 vol.23、pp7-19(1986)
- (4) 芳原新也、稲垣昌代、小島清、山西弘城、若林源一郎、杉山亘、伊藤哲夫、“福島第一原発事故に起因する放射性物質による生活環境における土壌汚染に関する調査”、日本原子力学会和文論文誌、vol.10、No.3、pp145-148(2011)
- (5) S.Abe, K. Fujitaka, M. Abe and K. Fujimoto, J.Nucl. Sci. Tech., 18[1], pp21-45 (1981)