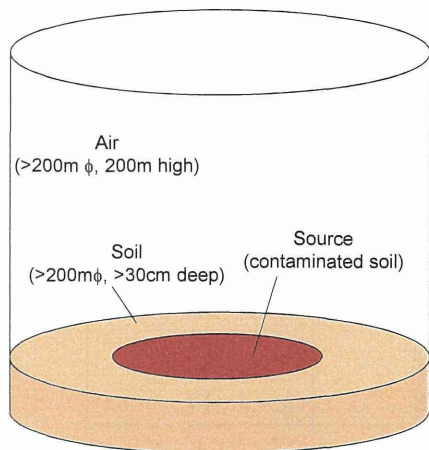


表 9 靴底の土壌付着密度と放射能濃度を仮定したときに予想される表面密度
(下線は 40 Bq/cm² 超え)

作業	作業者	付着密度 (mg/cm ²)	表面密度(Bq/cm ²)	
			500 Bq/g 仮定	100 Bq/g 仮定
除染	1	280	<u>140</u>	28
	2	98	<u>49</u>	10
	3	500	<u>250</u>	<u>50</u>
	4	120	<u>62</u>	12
	5	170	<u>86</u>	17
	6	7	4	1
	7	100	<u>51</u>	10
	8	40	20	4
	9	27	13	3
	10	360	<u>180</u>	36
	11	87	<u>43</u>	9
	12	120	<u>62</u>	12
	13	6	3	1
	14	110	<u>56</u>	11
	15	50	23	5
道路 工事*1	1	11	5	1
	2	9	4	1
	3	18	9	2
	4	5	3	1
	5	8	4	1

*1 帰還困難区域の道路工事現場で大型排水管の片づけ作業に従事(平成 25 年度報告書)。



計算コード：モンテカルロ粒子輸送計算コード
MCNP-4C3

計算体系：直径 200 m 以上×厚さ 30 cm 以上の土
(密度 1.6 g/cm³) 及び高さ 200 m の空気 (密度
1.2 mg/cm³)

線源核種：¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs

検出器：汚染部分の中央，地表から高さ 5 cm と 100
cm に点検出器 (F5 タリー)

換算係数：ICRP Publ. 74 光子フルエンスー周辺線
量当量換算係数 (表 A.21)

図 1 地表に沈着した放射性セシウムから放出されるγ線による線量当量率の計算のための基本体系

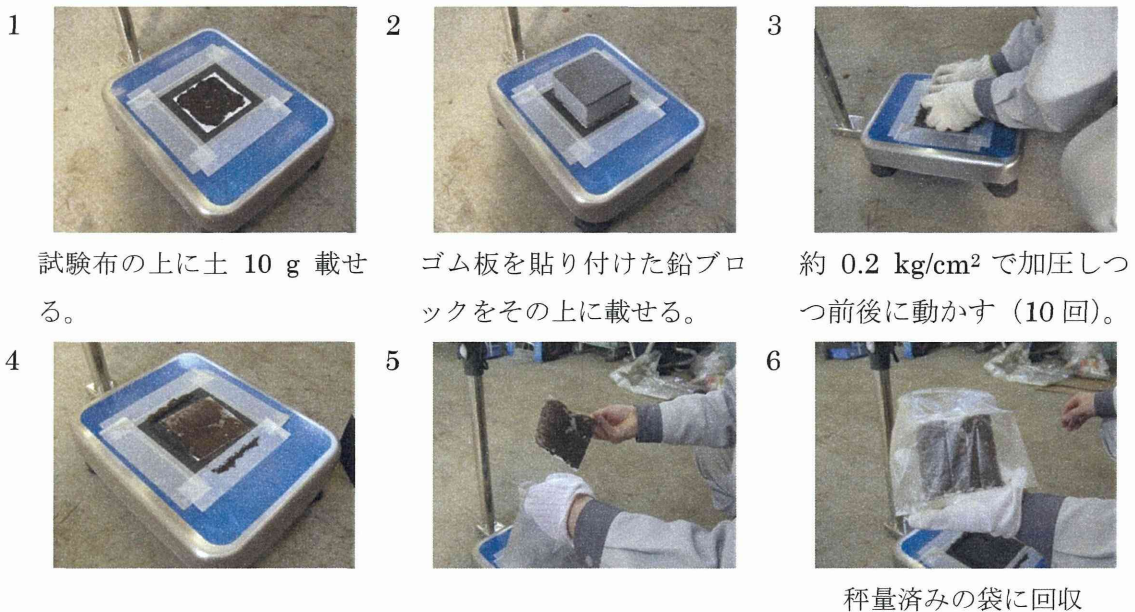


図 2 動的荷重試験の手順



図3 手袋への土壌付着試験の手順

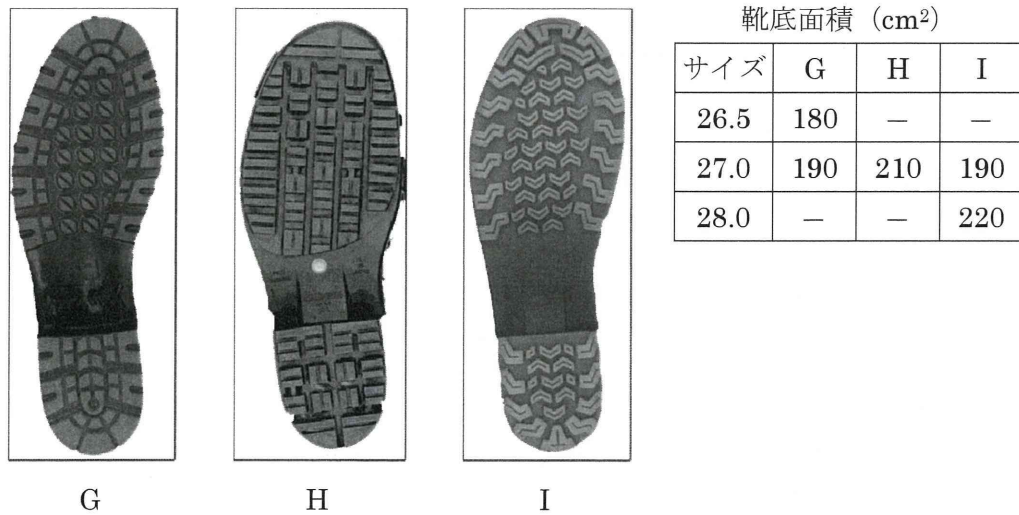


図4 歩行試験で使用した長靴の靴底パターンとその面積



図5 降雨後の畑での歩行試験の様子（左）と靴底への土の付着の程度の一例（右）



図6 歩行試験後の長靴の泥落としの様子

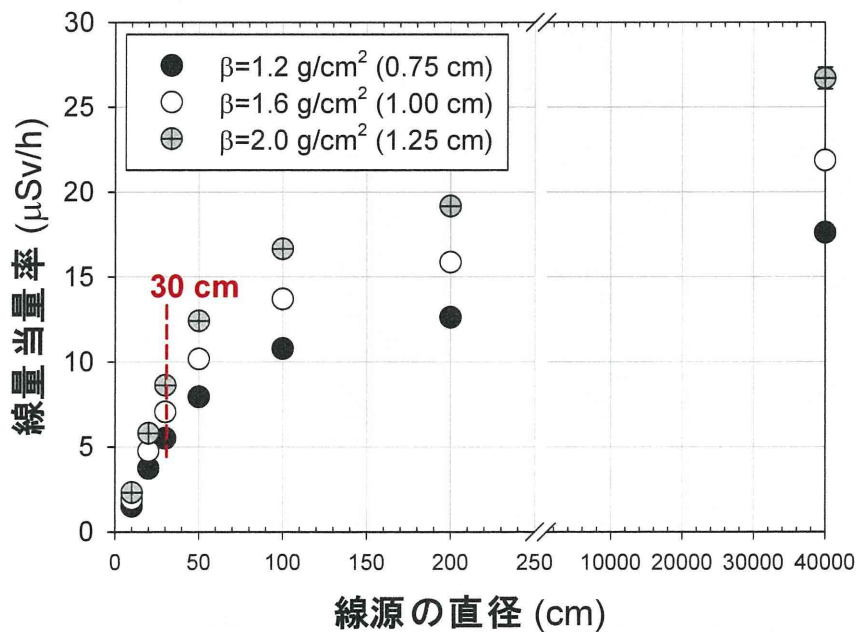


図7 指数関数的な土壌中深さ分布を有する放射性セシウムの円形汚染土壌の中央部、高さ5 cmにおける線量当量率

地表面の放射能濃度は500 Bq/gであり、¹³⁴Csと¹³⁷Csの内訳は平成26年4月の比(0.38)に基づく。緩衝深度(β)は、1.2、1.6、及び2.0 g/cm²とした。

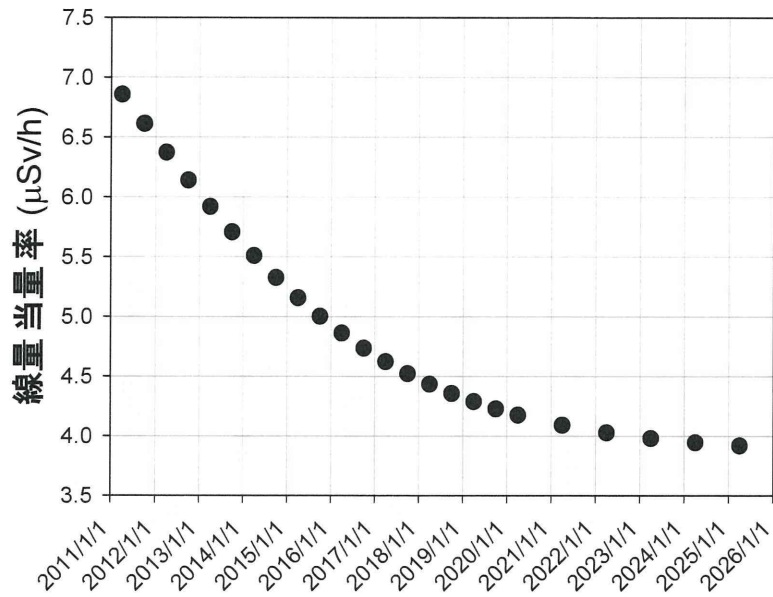


図8 放射性セシウム濃度 500 Bq/g（地表面）を有する直径 30 cm の円形汚染土壌の中央高さ 5 cm における線量当量率の経時変化
 深さ分布は指数関数分布とし、緩衝深度は 1.2 g/cm²（最小の線量当量率を与える）とした。



図9 除染作業現場の様子



図10 最大放射能が観測された長靴への土の付着の様子（農地での除染作業に使用された）

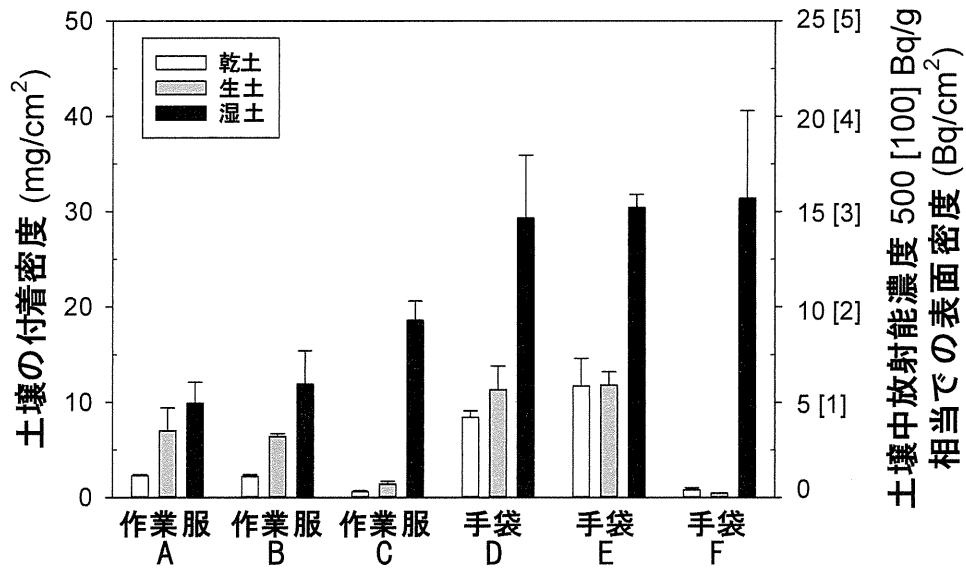


図 11 作業服及び手袋の土壌付着密度

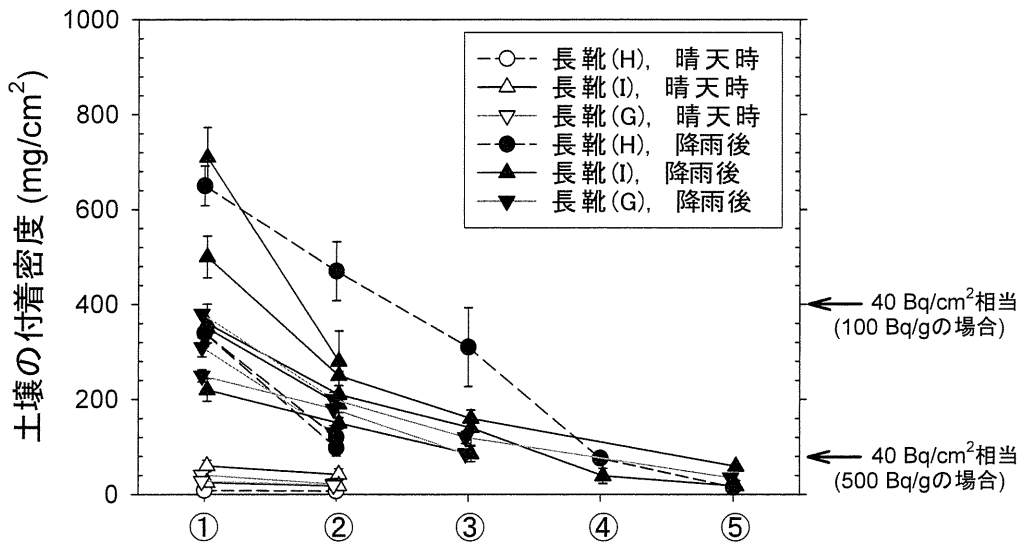


図 12 長靴の土壌付着密度（場所：運動場及び公園，歩数：500～5000 歩）

①は、歩行試験直後、②～⑤は、靴底の土を落とす動作を実施した後を表す。それぞれの動作の詳細は本文を参照すること。なお、②は、常識的な衛生習慣に基づいて靴の土汚れを落とした場合に相当するものである。

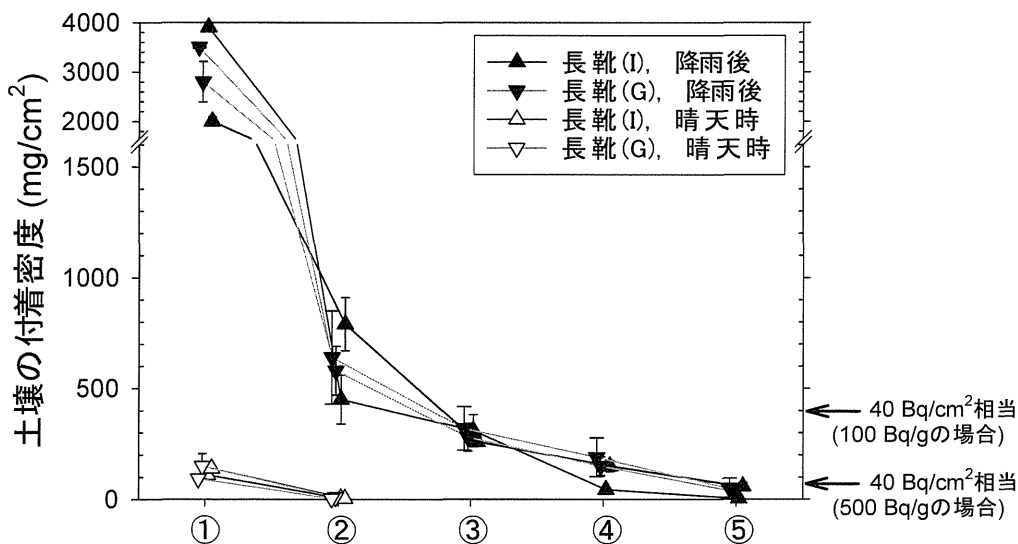
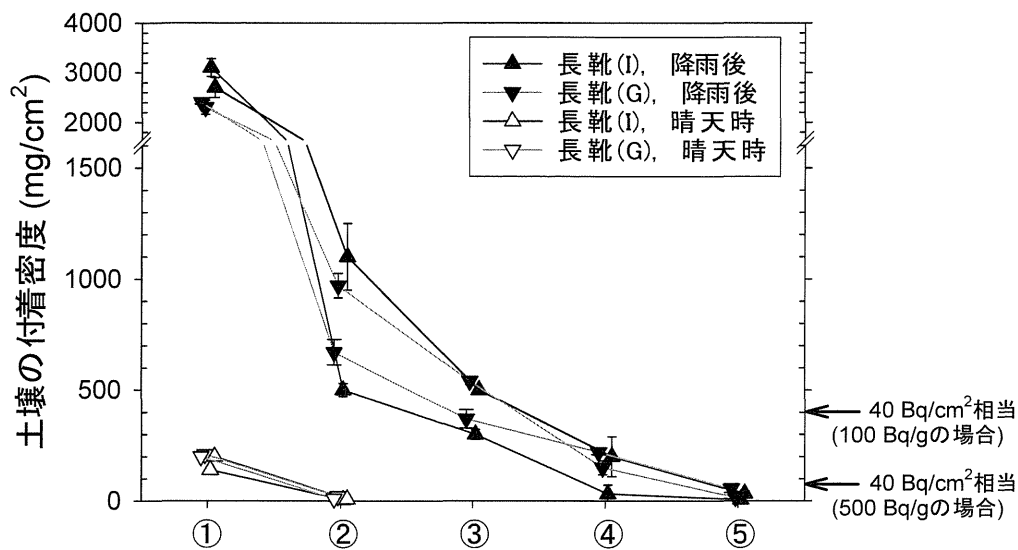


図 13 長靴の土壌付着密度（場所：畑，歩数：上 5000 歩，下 500 歩）

①は、歩行試験直後、②～⑤は、靴底の土を落とす動作を実施した後を表す。それぞれの動作の詳細は本文を参照すること。なお、②は、常識的な衛生習慣に基づいて靴の土汚れを落とした場合に相当するものである。

(空白のページ)

II. 分担研究報告

厚生労働科学研究費補助金（労働安全衛生総合研究事業）
分担研究報告書

線量当量率と土壌中放射能濃度の関係に関する研究

研究分担者 齋藤 公明（日本原子力研究開発機構）

研究要旨

本研究は、福島第一原子力発電所事故によって環境中に放出された放射性物質の除染等作業において、作業現場の線量当量率（ここで「線量当量」は「周辺線量当量」を表す）や土壌中放射能濃度といった情報から労働者の身体汚染の程度を推定する方法の開発に反映するため、線量当量率と土壌中放射能濃度の関係の基礎となる情報を得ることを目的とする。

平成25年6～12月に日本原子力研究開発機構が関係機関との協力のもと福島県内で実施した放射線モニタリング結果のうち、線量当量率と放射性セシウムの沈着密度の関係を整理した。その結果、地上1mで観測された自然放射線による寄与を含む線量当量率1μSv/hは、¹³⁴Csと¹³⁷Csの合計で34.2～38.0 Bq/cm²に相当した。この沈着密度は、別に評価された緩衝深度を用いて、表層の放射能濃度14.5～16.6 Bq/gに換算される。ただし、この線量当量率と放射能濃度の関係は、広範囲にわたって汚染された場所での観測に基づくものなので、生活環境の中の汚染区域（特に住民等が行う除染等作業において対象となるような場所）の全てには適用できない。局所的に汚染された箇所については、その箇所をモデル化した計算シミュレーション等によって線量当量率と放射能濃度の関係を別途求めることが望ましい。

研究協力者

三上 智（日本原子力研究開発機構
福島環境安全センター）

ことを目的とする。

背景

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震と津波により、東京電力（株）福島第一原子力発電所の事故が発生し、その結果、損壊した原子炉から環境中へ大量の放射性物質が放出された。この不測の事態に際し、独立行政法人日本原子力研究開発機構では、関係機関と協力しつつ、放射性物質による汚染状況を把握すべく様々な活動を展開してきた。中でも、文部科学省

A. 研究目的

本研究は、福島第一原子力発電所事故によって環境中に放出された放射性物質の除染等作業において、作業現場の放射線レベル（線量当量率や土壌中放射能濃度）から労働者の身体汚染の程度を推定する方法の開発に反映するため、線量当量率と土壌中放射能濃度の関係の基礎となる情報を得る

からの委託を受けて実施した環境放射線モニタリングの結果は、「東京電力（株）福島第一原子力発電所に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立」事業報告書[1-4]として既に公開されている。これらの調査は、放射性物質の土壌沈着と線量当量率の広域にわたる詳細な測定結果に基づく分布マップ及び自然環境中における放射性物質の分布状況の変化モデルの作成を意図したものであるが、ここでは、直近の観測結果をもとに、線量当量率と放射性セシウムの沈着密度（さらにそれを単位質量あたりに換算した放射能濃度）の関係に着目する。

B. 研究方法

平成 25 年度に実施された調査結果[4]をもとに、線量当量率と放射性セシウムの沈着密度の関係を整理する。本調査は、平成 25 年 6～7 月と同年 10～12 月の二回に分けて行われた。線量当量率と沈着密度の測定条件をそれぞれ以下に記す。

(1) 線量当量率の測定

校正済みの線量当量率サーベイメータを使用して地上 1 m 高さの線量当量率を測定する。線量当量率が 30 $\mu\text{Sv/h}$ 以下の地域では NaI(Tl)シンチレーション式サーベイメータが、30 $\mu\text{Sv/h}$ 以上の地域では電離箱式サーベイメータが使用される。なお、分布状況調査では、測定に周辺線量当量率で出力されるサーベイメータを使用した。そのため、本報告書では周辺線量当量を略して線量当量と呼ぶことにする。

測定は、福島第一原子力発電所から 80 km 圏内を 1 km \times 1 km に分割した区画のうち、可住区域で、かつ広く平坦で土壌の攪拌等があまり起こらない場所を各区画に

つき一箇所選定して行う。測定点数は約 6,600 である。

(2) 沈着密度の測定

可搬型ゲルマニウム半導体検出器を地上 1 m の高さに設置して、観測されたガンマ線パルス波高スペクトルの分析から放射性セシウム (^{134}Cs 及び ^{137}Cs) の土壌への沈着密度（土壌単位面積あたりの核種毎の放射能、単位は Bq/m^2 ）を評価する。測定手順は、文部科学省のマニュアル[5]に基づく。このとき、別に実施した土壌深度分布調査の結果[4]をもとに、緩衝深度（土壌表層の放射性セシウムの放射能濃度が $1/e$ になる深さ）を 2.06 g/cm^2 （平成 25 年 7 月）、2.62 g/cm^2 （同年 12 月）として全データの解析を行う。ここで、 e は自然対数の底として用いられる数学定数（値は約 2.72）である。

測定は、福島第一原子力発電所から 80 km 圏内を 5 km \times 5 km に分割した区画のうち、測定に適した場所を各区画につき一箇所選定して行う。測定点数は約 380 である。

（倫理面への配慮）

本研究は、特定個人を対象とするものではないので人権擁護上の配慮等を特に必要としない。

C. 研究結果

線量当量率と放射性セシウムの沈着密度の両方が同一箇所で測定された地点（約 370 箇所）について、両者の関係を調べた結果、

平成 25 年 6～7 月：

$$^{134}\text{Cs} \text{ 沈着密度}(\text{Bq/m}^2) = 1.14 \times 10^5 \\ \times \text{線量当量率}(\mu\text{Sv/h})$$

$$^{137}\text{Cs} \text{ 沈着密度}(\text{Bq/m}^2) = 2.28 \times 10^5$$

×線量当量率($\mu\text{Sv/h}$)

平成 25 年 10～12 月 :

$$^{134}\text{Cs 沈着密度}(\text{Bq/m}^2) = 1.16 \times 10^5$$

×線量当量率($\mu\text{Sv/h}$)

$$^{137}\text{Cs 沈着密度}(\text{Bq/m}^2) = 2.64 \times 10^5$$

×線量当量率($\mu\text{Sv/h}$)

であった[4]。したがって、地表 1 m で観測された自然放射線による寄与を含む線量当量率 $1 \mu\text{Sv/h}$ は、平成 25 年 6～7 月で ^{134}Cs と ^{137}Cs の放射能の合計で 34.2 Bq/cm^2 (内訳は ^{134}Cs : 11.4 Bq/cm^2 , ^{137}Cs : 22.8 Bq/cm^2)、平成 25 年 10～12 月で合計 38.0 Bq/cm^2 (^{134}Cs : 11.6 Bq/cm^2 , ^{137}Cs : 26.4 Bq/cm^2) の沈着密度に相当する。今回の調査の約 1 年前 (平成 24 年 9 月) の時点で、線量当量率 $1 \mu\text{Sv/h}$ に相当する沈着密度は 28.2 Bq/cm^2 であったので、時間の経過につれて、同じ線量当量率を与えるのに必要な沈着密度が次第に大きな数値になることが分かる。これは、同じ沈着密度であれば線量当量率が次第に減少してきたことを意味し、その主たる要因は、線量当量率への寄与の大きい ^{134}Cs (半減期が短い) の減衰と放射性セシウムの地中深くへの移行による。

D. 考察

作業服や靴底の放射性表面汚染との関係を考える場合、放射性セシウムの土壌沈着の程度は、沈着密度よりも作業服等が接する地表面での放射能濃度で表現することが適切である。

沈着密度 A_a は、

$$A_a = \beta \times A_0$$

A_a : 沈着密度(Bq/cm^2)

A_0 : 地表面における放射能濃度(Bq/g)

β : 緩衝深度(g/cm^2)

と表される。前述した緩衝深度を用いると、観測された線量当量率 $1 \mu\text{Sv/h}$ は、平成 25 年 6～7 月で ^{134}Cs と ^{137}Cs の放射能の合計で 16.6 Bq/g (内訳は ^{134}Cs : 5.5 Bq/g , ^{137}Cs : 11.1 Bq/g)、平成 25 年 10～12 月で合計 14.5 Bq/g (^{134}Cs : 4.4 Bq/g , ^{137}Cs : 10.1 Bq/g) の放射能濃度となる。高濃度汚染土壌に相当する 500 Bq/g (50 万 Bq/kg) を仮定すると、 $30\sim 35 \mu\text{Sv/h}$ の線量当量率が期待される。

ただし、この線量当量率と放射能濃度の関係は、広い範囲にわたって汚染された場所での観測に基づくので、異なる汚染の広がりに対して適用する場合は、補正が必要である。文科省マニュアル[5]の解説 D には、周辺地形の広がり (半径) の関数として観測値の相対変化が与えられているが、最も狭い条件で半径 1 m であり、生活環境の中で局所的に汚染が見つかる可能性が高い場所、例えば堅樋や側溝等はカバーされない。したがって、このような特定の局所的汚染については、計算シミュレーション等によって線量当量率と放射能濃度の関係を別途評価することが望ましい。本報告書で提示する観測値は、そうした計算シミュレーションの検証に活用できるであろう。

E. 結論

平成 25 年 6 月から 12 月にかけて福島県内で実施されたモニタリング結果のうち、線量当量率と地表の放射性セシウムの放射能濃度の関係の評価した。その結果、地上 1 m で観測された自然放射線による寄与を含む線量当量率 $1 \mu\text{Sv/h}$ は、 ^{134}Cs と ^{137}Cs の合計で $14.5\sim 16.6 \text{ Bq/g}$ の地表面の放射能濃度に相当した。ただし、この関係は、

広範囲にわたって汚染された場所での観測に基づいたものなので、生活環境の中で局所的に汚染された箇所（例えば堅樋や側溝等）には適用できない。局所的に汚染された箇所については、その汚染箇所をモデル化した計算シミュレーション等によって線量当量率と放射能濃度の関係を別途評価することが望ましい。

文献

- [1] 文部科学省；東京電力株式会社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，放射線量等分布マップの作成等に関する報告書(第1編)，平成24年3月，入手先
http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/contents/6000/5235/24/5253_20120615_1_rev20130701.pdf
- [2] 日本原子力研究科発機機構；平成23年度放射能測定委託事業「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関する調査研究」成果報告書，平成25年3月，入手先
<http://fukushima.jaea.go.jp/initiatives/c-at03/entry02.html>
- [3] 日本原子力研究科発機機構；平成24年度放射能測定委託事業「福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立」成果報告書，入手先
<http://fukushima.jaea.go.jp/initiatives/c-at03/entry05.html>
- [4] 日本原子力研究科発機機構；「平成25年度東京電力（株）福島第一原子力発電所事故に伴う放射性物質の長期的影響把握手法の確立事業」成果報告書，平成26年

3月，入手先

<http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/504/list-1.html>

- [5] 文部科学省；放射能測定法シリーズ33，ゲルマニウム半導体検出器を用いたin-situ測定法，（2008）。

F. 健康危険情報

該当無し

G. 研究発表

なし

H. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

なし

Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧表

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文 タイトル 名	書籍全体 の編集者 名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
なし							

雑誌

発表者氏名	論文 タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
なし					

IV. 研究成果の刊行物・別刷

なし

