

福島県における土壤中の放射性セシウムの挙動

Migration of Radioactive Cesium in Soil Monitored in Fukushima

○塩沢 昌、深澤健太郎、吉田修一郎、西田和弘

Sho Shiozawa Kentaro Fukazawa, Shuichiro Yoshida, Kazuhiro Nishida

セシウム (Cs) は陽イオンとして土粒子や有機物に固定されるとともに、2:1 型層状ケイ酸塩結晶の風化エッジに特異的に強く固定されるため、土壤中で非常に移動しにくい溶質である。現場土壤中の放射性 Cs 濃度分布は、通常、深度別にサンプリングした土壤試料の線量を測定して得られるが、サンプリングによる線量測定ではバラツキが大きく、わずかな放射性 Cs の移動量を求めることは困難である。そこで、NaI シンチレーションサーベイメータを用いて、現場の土壤中で非破壊で放射性 Cs の平均移動量をモニタリングする方法を新たに開発し、原発事故以降の福島県の現場土壤中の放射性セシウムの移動の実態を明らかにした。

測定システムと測定方法

γ 線検出器として NaI シンチレーションサーベイメータ (H.P.I 社 5000 型;プローブ径 30 mm) を用いた。そのままでは、あらゆる方向から入射する γ 線をカウントするので、水平方向からの γ 線のみをカウントするよう、シンチレーション管の側面のみスリット状の窓を設けた鉛のコリメータを作成し装着した (Fig.1)。現場土壤中にオーガーホールを作って、内径 84 mm、外径 91mm のコーン状の底付き塩ビ管を打ち込み、管内にコリメータ装着プローブを入れて、深さごとに線量を測定する。コリメータの窓は深さ 20 mm で、幅は可変に作成してテストの結果、8 mm を選択した。検出時間は線量に応じて 20~50 秒とした。鉛遮蔽は、窓以外のあらゆる経路で 2 cm 以上の鉛を通過するが、この程度の厚さの鉛遮蔽では不十分で、窓以外からの「漏れ」がある。そこで「漏れ」を補正して感度を上げるために、窓を鉛で塞いだ状態 (close) での測定も行い、窓を開けた (open) 測定から close の線量を差し引いて、窓からの入射線量とした (Fig.2)。測定地は Table.3 に示した福島県内の 3カ所である。

測定線量分布と Cs の平均移動量の算出

Fig.3 に示すように、土壤サンプリングで得られる線量分布は地表の 0-5cm の層に Cs が集中しているが、それに比べて現場プローブ測定の線量分布は大きく拡散している。これは、コリメータ窓に斜めから入射する γ 線を十分に防いでいないとともに、放射性 Cs 線源から直進入射する γ 線のみならず土中で散乱して入射する γ 線もシンチレーションプローブがカウントしてしまうためであり、現場プローブ測定で正しい放

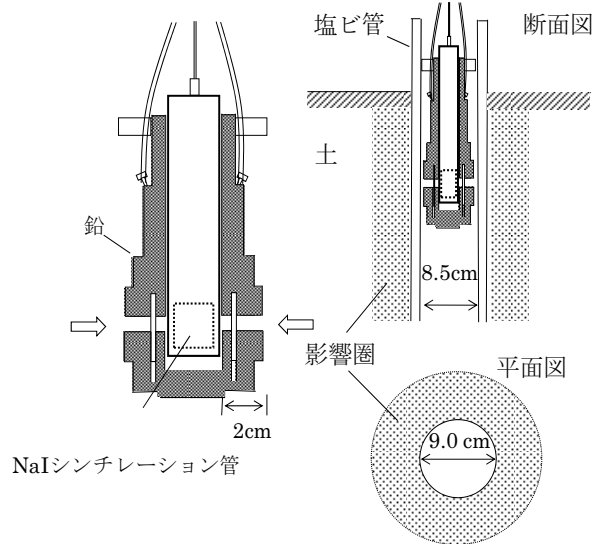


Fig.1 土中 γ 線量鉛直分布の現場測定システム
Gamma-ray dose profiles in soil.

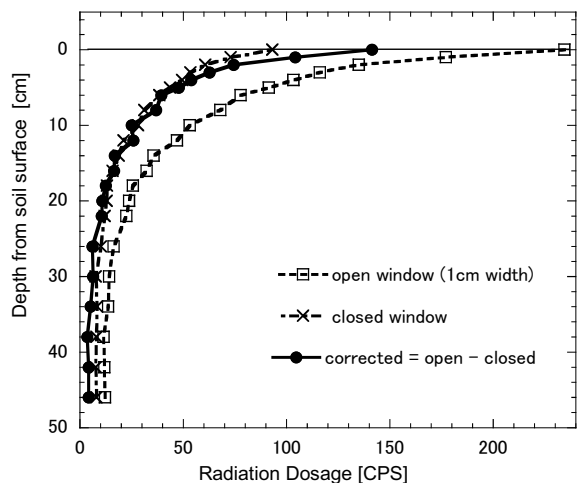


Fig.2 土中放射線量測定分布のコリメータ設定による比較
Comparison of radioactive dose profiles measured in soil by a scintillation probe with different collimations.

放射性 Cs 線源の深度分布を得ることはできない。しかし、線量分布が実際より拡散して測定されても、2 時点の線量分布の差がわずかである限りにおいて、2 時点の測定線量分布の重心位置の差は、実際の重心位置の差すなわち放射性 Cs の平均移動距離を表すと考えてよい。ここで、線量分布の重心 $\langle x \rangle$ は次式で算出される。

$$\langle x \rangle = \frac{\sum_i x_i (c_i - c_0) \Delta x_i}{\sum_i (c_i - c_0) \Delta x_i} \quad [1]$$

ここに、 c_i 、 x_i 、 Δx_i はそれぞれ、 i 層の測定線量、深さ、および層の厚さであり、 c_0 は今回の原発事故の放射性 Cs の影響のない深部の測定線量である。[1]式による重心位置の 2 時点差を求める方法は、2 時点間の放射性 Cs の存在量に比例する減衰および検出器感度の違いの影響を受けない利点がある。

放射性 Cs の挙動 (結果)

Table 1 に土壤サンプリングおよび現場測定による放射性 Cs の移動距離と期間内の降水量を示した。原発事故による放射性 Cs 降下から 2-3 ヶ月は、放射性 Cs の移動速度は水分子の移流速度 (「降水量-蒸発散量」/ θ 、 θ : 体積含水率) の 1/10 ~ 1/30 程度で予想外に速かったが、その後、移流速度は一桁低下して水分子の 1/100 ~ 1/300 程度になっている。現場における Cs の土壤への強い固定は、数ヶ月またはそれ以上の時間を要するプロセスであり、今後も進行して移動速度は低下すると予想される。

Table 1. 土中の放射線量鉛直分布の重心から求めた放射性セシウムの平均移動距離と降水量
Average distance of radioactive Cs movement in soil obtained from centroids of measured dose profiles .

	農業総合センター花 木園裸地(郡山市)	東北農研センター畑 地(福島市)	大森城山公園 (福島市)
期間1 2011年3月11日~ 重心移動距離 (土壌サンプリングによる) 期間降水量	~2011年6月14日 21.6 mm 189 mm	~2011年7月19日 19 mm 301 mm	~2011年7月19日 13 mm 301 mm
期間2 重心移動距離 期間降水量	~2011年9月29日 9.7 mm 616 mm	~2011年10月21日 2.3 mm 630 mm	~2011年10月21日 4.9 mm 630 mm
期間3 重心移動距離 期間降水量	~2012年3月28日 5.4 mm 340 mm	~2012年3月27日 2.0 mm 315 mm	

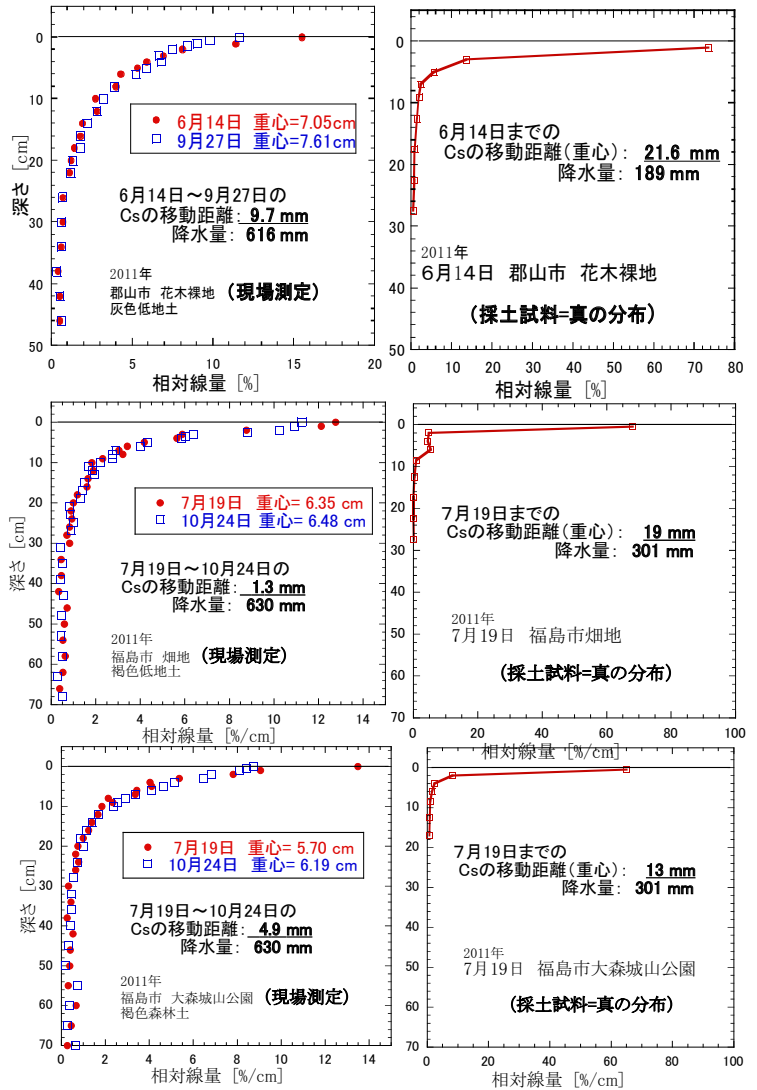


Fig.3 土壌中の放射線量分布の比較
Comparisons of measured radioactive dose profiles in soil.