

学校等の校庭・園庭の空間線量低減のための当面の対策に関する検討について

平成23年5月11日

日本原子力研究開発機構

1. 目的

福島県内の校庭・園庭等の一部では、東京電力福島第一原子力発電所の事故により放出された放射性物質が表層土壌に含まれ、空間線量率は減少し続けているものの、現時点では、事故以前よりも高い状態となっている。このような状況に鑑み、児童生徒等への放射能・放射線の影響を出来る限り低減させるために、現時点で直ちに講ずることが可能な対策について実地の調査を踏まえ検討を行った。

放射性物質をもっとも簡便に、また速やかに除去する方法は、表層土を剥離することであるが、剥離した土壌が大量に発生するとともに、別途保管を考えなければならない。一方、表層土に含まれる主たる放射性核種はセシウムであり、これを表層土から選択的に取り出す技術が確立されれば大量の土壌の発生を回避することが可能である。今後の放射性物質の除去の必要性を考えた場合、当面の対策と並行してこのような技術の確立が不可欠である。しかしながら、当面の対策としては、可及的速やかに、かつ簡便に空間線量を低下させるために、剥離をはじめとする、放射性物質を含む土壌を地表から遠ざける方法が現実的である。

その方法としては、剥離した土壌を敷地内に掘削した孔に集中して保管する方法、表層土と放射性物質を含まない下層土を入れ替える方法、及びそれらとの組み合わせとして覆土（客土）が考えられる。

本検討においては、まず校庭・園庭における放射性物質の浸透深さを測定によって調べること及び校庭・園庭の土壌による放射線の遮へい効果について定量的データを得ることを目的として、校庭・園庭で簡易な実地調査を行い、得られた知見に基づいて剥離・保管方法や上下入れ替え法などの有効性・妥当性を検討することとした。

なお、この報告書は、「福島県内の学校の校舎・校庭等の利用判断における暫定的考え方について」（4月19日 文部科学省生涯学習政策局長、初等中等教育局長、科学技術・学術政策局長、スポーツ・青少年局長通知）に沿って、福島県内の避難区域、計画的避難区域及び緊急時避難準備区域と設定されている区域を除く地域の環境にある学校等の校庭・園庭を検討の対象としている。

2. 調査及び調査結果

福島市内にある福島大学附属中学校校庭及び同幼稚園園庭において、本年 5 月 8 日に土壌の放射線の遮へい効果を確認する本調査を実施した。なお、本調査の準備のため、5 月 7 日に線量率分布等を調べることを目的とした予備的調査を実施した。

2. 1 校庭・園庭の空間線量率

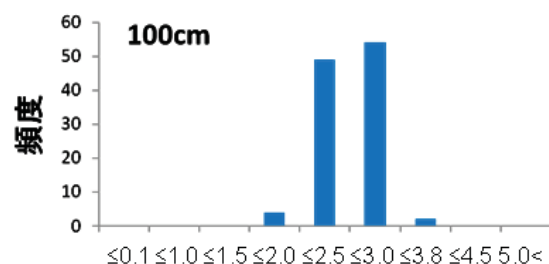
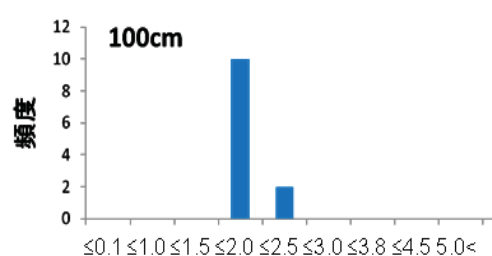
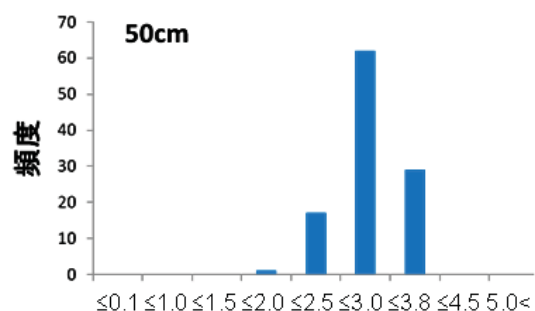
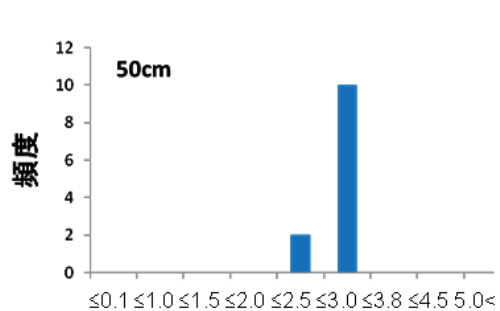
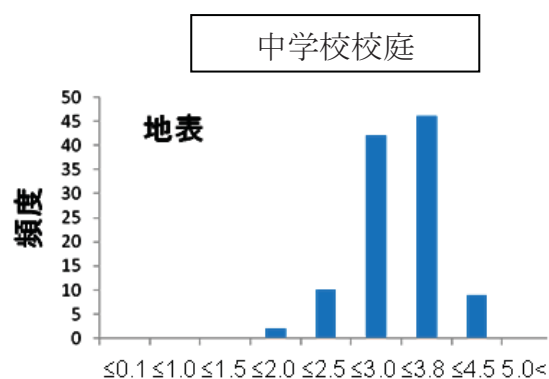
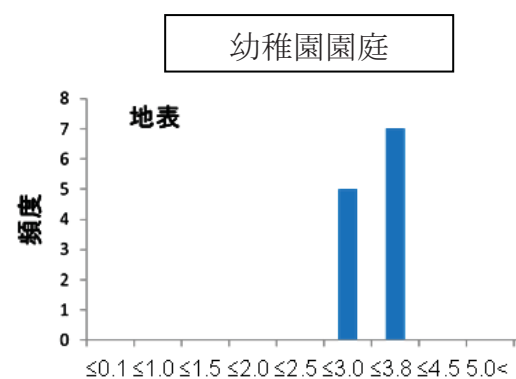
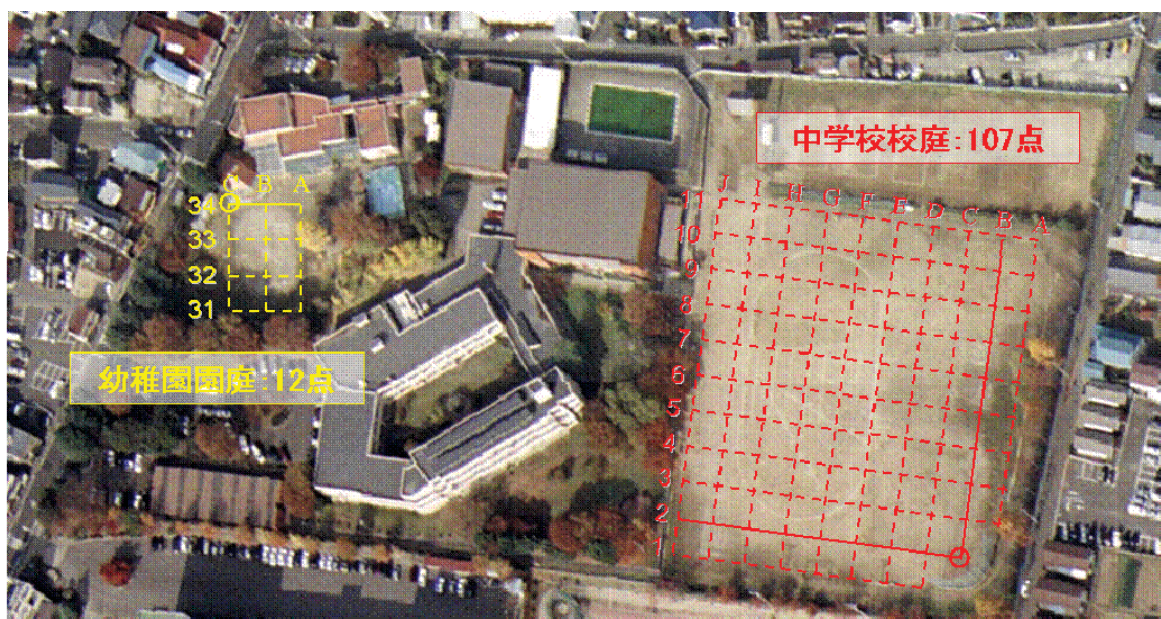
まず、中学校校庭並びに同幼稚園園庭及び砂場における空間線量率を測定した。この測定は、以降に行う放射線の線量率の土壌内深度分布及び土壌の遮へい効果を調べる調査箇所の代表性を確認するために行うものである。校庭及び園庭を 10m 間隔のメッシュに区切り、メッシュの交点において、地表面、地表から 50cm の高さ及び地表から 1m の高さにおける空間線量率を NaI シンチレーションカウンタを用いて測定した。

校庭・園庭における測定位置（メッシュ）と測定結果を図－1に示す。図に示されたように、各高さにおける空間線量率の値にいくらかの差異はあるものの、極端に大きな値を示す箇所はない。すなわち線量率は概ね一様に分布しており、以降の実地調査における条件及び得られる結果は本校庭・園庭に対して一般的に適用できること、また対策を講じる場合において、一律に同様の対策を講じることが可能であることを示している。

2. 2 土壌中の線量率の深度分布

校庭・園庭の表層土中における放射性物質の浸透程度を把握するために、中学校校庭並びに幼稚園園庭及び砂場の各 1 ヶ所において、最大約 50cm 深さまでの正方形の孔を掘り、深度による線量率の変化を調べた。

通例、放射性物質の土壌中の深さ分布は、土壌カラムを採取し、深度ごとに放射性物質の濃度を測定する。しかしながら、今回の調査では、放射性物質の浸透状況に関するデータを次の土壌遮へい効果の調査に用いる必要があることから、時間を要する放射性物質の濃度測定を避け、NaI シンチレーションカウンタによる線量率の変化から浸透程度を把握することとした。ただし、この場合の測定では、土壌表面からの線量率を限定的に測定する必要があることから、プローブ（検出部）の側面に鉛薄板を巻くことによって側面から入射するガンマ線を低減させ、端面を測定対象（土壌表面）に垂直に向けて土壌表面からのガンマ線を主に計測するよう指向性を高めた。



空間線量率(μSv/h)

空間線量率(μSv/h)

図ー1 福島大学附属中学校校庭及び幼稚園園庭の空間線量率の測定結果
(バックグラウンド未補正)

また、測定に当たっては、掘った孔に放射性物質を含んだ周辺の表層土粒子が入り込んで正しい測定値が得られなくなることを防ぐために、孔の周囲をビニールシートで養生する、養生シート内への出入りの際は鞋底を濡れたウエスで拭き取る、風による土粒子の侵入を避けるため衝立を置く、掘削に用いたスコップは使用の都度表面を濡れたウエスで拭き取るなど、掘削孔外部の土壌粒子の混入防止には特段に注意をした。測定結果を表－２に示す。

表－２ 土壌中深度方向における線量率の変化
(単位：深度 cm、線量率 毎時マイクロ Sv)

幼稚園園庭		中学校校庭		幼稚園砂場	
深度	線量率	深度	線量率	深度	線量率
0 (地表)	2.3	0 (地表)	2.0	0 (地表)	1.7
-5	0.3	-3	0.8	-5	0.6
-10	0.22	-5	0.4	-10	0.3
-30	0.15	-10	0.3	-16	0.3
-50	0.10	-21	0.1	-20	0.2
				-25	0.2

(地中天然放射性物質によるバックグラウンドを未補正)

この結果から分かるように、校庭・園庭の稠密な土壌（ローム層）のみならず、密度が低く、深くまで放射性物質が浸透している可能性のあった砂においても、放射性物質が表層 5cm 程度に留まっていることを示している。すなわち、対策を検討すべき放射性物質を含む土壌は表層 5cm 程度までと考えてよい。

2. 3 校庭・園庭の土壌・砂による放射線遮へい効果

上記の深度分布で分かるように、原子力発電所の事故に起因する放射性物質は表層 5cm 程度に留まっており、それ以深の下層土には事故に起因する放射性物質はほとんど含まれていないと考えられる。この表層土からの放射線に対し、本校庭・園庭の下層土がどの程度の遮へい能力を有するかを調べるために、以下のように実地調査を行った。

(1) 幼稚園園庭

幼稚園園庭の 1 個所において、約 80cm 四方の区画を区切り、深さ 50cm 程度の孔をふたつ（A 孔、B 孔とする）掘削した。A 孔は上記 2. 2 の調査において掘削した

ものである。A 孔、B 孔とも掘削時の掘削孔外部からの土壌粒子の混入防止には特段に注意をした。

放射性物質を含む B 孔の表層土の厚み 10 cm 分の土壌を、A 孔の深さ 50cm の孔の底部に置き、地表面に達するまでの 40cm を B 孔の掘削土(下層土)で埋め戻していった。適当な深さにおいて、表面における線量率を測定した。結果を表―3 に示す。

地表面線量率 (B 孔) が毎時 2.1 マイクロ Sv であった土壌を A 孔の底に入れ、B 孔掘削土で覆土することによって遮へいしていったところ、地表面線量率は毎時 0.20 マイクロ Sv まで下がり、90%程度の線量率低減効果があったと言える。

この調査において、埋め戻しに用いた下層土は掘り起こされる前の圧密された状態に比べ、明らかに嵩が増え密度が低い。実際の工事において重機による圧密が行われれば、土壌の密度が高まり、より高い遮へい効果が見込まれる。

また、上述のように、最終的な厚さ 40cm 分の埋め戻し土 (地表レベル) の表面で毎時 0.20 マイクロ Sv であったが、表―3 に示されているように、埋め戻し土の厚みが 20cm 程度 (地表から -20cm レベル) の段階ですでに同程度の線量率 (毎時 0.20 マイクロ Sv) にまで低下していた。すなわちこの土壌は 20cm 程度の厚みで 90%程度の遮へい効果を有する。

表―3 校庭、園庭における土壌の遮へい効果

(単位：深度 cm、線量率：毎時マイクロ Sv)

	中学校校庭		幼稚園園庭		
			A 孔		B 孔
深度	(参考) 掘下げ時 ※表―2 から 再掲	下から 覆土時	(参考) 掘下げ時 ※表―2 から再掲	下から覆土時 (B 孔の掘削土で 覆土)	掘下げ時
0 (地表)	2.0	0.8	2.3	0.20	2.10
-3	0.8				
-5	0.4		0.3		0.28
-10	0.3	1.1	0.22		0.20
-20	0.1			0.20	0.17
-25				0.21	
-30			0.15	0.36	
-40				0.69	
-50			0.10		

(2) 中学校校庭

中学校校庭では、表層土の厚さが 20cm 程度であり、その下には水はけのために礫が敷かれてある。この深さ（21cm）までの間を使って校庭土壌の遮へい効果を調べた。表－2に示したように、放射性物質を含む表層土は5cm程度と思われるので、この土壌を深さ 21cm の孔の底に敷き、その上部に地表面に達するまで下層土を埋め戻した。表－3に示すように、埋め戻す前の地表面線量率は毎時 2.0 マイクロ Sv であり、埋め戻し後は 0.8 マイクロ Sv であったため、地表面で 60%程度の遮へい効果があると言える。ただしこの場合も、上記の幼稚園園庭と同じく、一度掘り起こして埋め戻しに使った下層土は明らかに元の状態より密度が低く、遮へい効果が減じられているため、実際の施工においてはより高い遮へい効果を期待できる。

以上の調査は、校庭・園庭内の限られた場所で実施されたが、2. 1において述べたように、校庭・園庭とも空間線量率の分布に大きな差異は観察されていないことから、得られたデータは本学校庭・園庭における代表値と考えられる。

一方、上記で得られた値は地表面の線量率であり、その低減は空間線量率（たとえば 50cm 及び 1m の高さにおける線量率）の低減をもたらすが、空間線量率は、周囲の線源の寄与を併せた値であるため、本調査で得られた地表面における線量率低減効果から直接空間線量率を正確に推定することは困難である。このことは特に敷地が狭く周囲に樹木が植えられているためにその影響も考慮することが必要な幼稚園園庭では留意すべき点である。しかしながら、表－1に見られるように、校庭及び園庭の複数の点で測定された空間線量率間に大きな差異が見られないことや、既に定期的に測定されている文部科学省におけるモニタリング結果から、上で考察した地表面の線量率低減効果は、校庭及び園庭において一様に期待でき、このことから、空間線量率も地表面の線量率低減に応じて低減すると考えられる。

3. 校庭・園庭の線量率低減に関する対策案

(1) 表層土の剥離

今回の調査結果に基づけば、最大で 5cm 程度の表層土の剥離を行えば、土壌の表面線量率は大幅に低減することから、まず、対策としては最大 5cm 程度の表層土を剥離することを検討することが考えられる。

(2) 剥離した表層土壌の処理について

①まとめて地下に集中的に置く方法

地中に空洞（トレンチと呼ぶ）を設けてこの中に剥離した土壌を定置するが、この施設に対しては地下水の浸透を考慮することが重要である。このために、トレンチは帯水層より上方に設置し、トレンチの底面及び側面には遮水シートを施して地下水の浸入を防ぐ構造とすることが望ましい。剥離した表層土壌は、例えばフレキシブルコンテナと呼ばれる3層構造の袋に入れることも考えられる。土壌の定置後、トレンチ上部を遮水シートで覆うとともに、さらに覆土をすることが必要である。また、状況に応じて、降雨の排水のために地表に排水溝を設ける。こうした施工を行った上で、モニタリングを継続して行う必要がある。

地下施設であるから覆土により地表面における線量率の低減効果が期待できる。あらかじめトレンチの規模、表層土壌の容積、表層土壌中の放射性物質の濃度、必要な覆土厚み、覆土の密度などのデータとともに、上記の遮へい効果を表すデータを用いることによって、地表面における線量率を評価することが必要である。

ちなみに、本調査では、上述したように、その場で掘り返した土壌に対して遮へい効果を算出したが、工事においては締め固められた土壌が用いられる。締め固められた土の密度を 1.5 g/cm^3 と仮定した解析によれば、40cm 厚さで 99%、60cm 厚さで 99.9%の遮へい効果を有することが期待できる。なお、適用した対策や施行範囲等について、経緯や記録を残すことが重要である。

②上下置換法

剥離した土壌を集中的に置くための場所の確保が困難な場合には、今回の実地調査の結果が示しているように、土壌の上下置換を行うことによっても、地表における線量率の低減は十分可能である。土壌の放射線遮へい効果を考えた場合に、今回の調査結果が示しているように必ずしも 50cm まで掘り込む必要はなく、30cm 程度（例えば 10cm の表層土を底部に置いた場合に、20cm の掘削土（下層土）の埋め戻し）でも放射線遮へいの観点からは十分と思われる。

4. 措置の妥当性について

講じる措置の妥当性については、児童生徒等の受ける放射線量を速やかにできる限り減らしていくことが適切であり、緊急性があることを前提として評価されるべきである。

すなわち、講じた措置によって、その前後で、元々あった放射性物質による影響

がどのように変わるかということによって、その措置の妥当性が判断されるべきであり、措置を講じることによって、相対的に影響が軽減されることが明らかであれば、その措置については妥当であると判断することができると考えられる。表層土壌を剥離して、地下の一部に集中的に置く場合も、覆土の遮へい効果によって、上下置換方式と同様に空間線量率を低減する効果が見込まれる。ただし、表層土壌が1個所に集中するために、上下置換方式に比べ厚い覆土や遮水シート等による地下水への浸入を防ぐ措置が追加されることによって、放射性物質の移動を抑制することは可能である。また、上下置換方式においても、表面線量率が大幅に軽減され、空間線量率も下がり、被ばく量の大幅な低減につながる大きな利点があることは明らかである。さらに、置換方法の工夫（例えば、表面にあった放射性物質を埋め戻す場合に粘土層に挟み込むようにして埋め戻す）によっては、放射性物質の拡散、浸透による影響も、措置を講じる前よりも軽減することが十分可能である。

5. まとめ及び留意点

- (1) 本調査は、福島大学附属中学校・幼稚園という特定の学校の敷地内の、ごく限られた場所で局所的に行ったものであるが、校庭・園庭の全域に亘って空間線量率が一樣であるため放射性物質の分布が一樣であると考えられること、敷地内の限られた場所ではあるものの、同種の土壌に対し複数箇所（校庭・園庭）で実地調査を行ったこと、及び遮へい効果を観察する調査は放射性物質を含む土壌粒子の混入を防ぐために極めて注意深く行われ、そのデータには高い信頼性があると考えられることから、得られたデータは、学校の空間線量率を低減させるための土壌の扱い方に対する重要な知見を提供するものである。
- (2) 学校敷地外へ土壌を持ち出さずに敷地内における空間線量率を低減させる方法としては、表層土を剥離した上で、その土壌をまとめて地下に集中的に置く方法や、下層土と入れ替える（置換する）方法が考えられる。本調査で得られたデータを用いて、これらの方法における遮へい効果や空間線量率を推定することが可能となる。また、覆土の厚さの決定に対しても有効である。
- (3) 加えて、集中方式と覆土との組み合わせ、上下置換法と覆土との組み合わせが考えられるほか、校庭・園庭の一部に上下置換法を適用し、一方で集中方

式も適用するなど、それぞれの学校校庭・園庭の地下構造に合わせて技術的に最適な方法を選択することが可能であり、各学校等の設置者において学校等の実情に応じ適切に判断されることが期待される。

- (4) また、表層土と下層土の種類が異なる場合は、文字どおりの上下置換（天地返し）は必ずしも適切ではない。この場合は、放射性物質を含む表層土を下層に置き、その上部はその土地の利用に適した順序で埋め戻しを行えば良いと考えられる。
- (5) 校庭や園庭の周囲には樹木や草木が植生しており、大きな樹木の根元などには水が集まることにより線量率が高くなる可能性がある。これについては、当該箇所の同定が容易かつ限定的であると考えられることから、局所的な剥離や覆土を行うことなど、それぞれの箇所の特性に応じた対処法を考慮すべきである。