

浅地中処分の安全評価手法標準を活用した 福島修復跡地や除去土壌現場保管地における 被ばく線量評価の事例解析紹介 (平成27年度調査検討結果)

福島環境修復有識者検討委員会
福島環境修復有識者検討委員会
福島環境修復有識者検討委員会

主査: 新堀雄一
○幹事: 吉原恒一
委員: 黒澤 満

1. はじめに

2011年3月11日に発生した福島第一発電所の事故で放出された放射性物質によって汚染された福島県を中心とする地域の環境修復状況については、国及び自治体の除染活動に加えて、放射能の減衰効果もあって、事故から5年経過した平成28年3月の時点で、以下に示す空間線量率の推移でもわかるようにかなりの進展をみせており、一時避難していた住民の方々の故郷への帰還が開始されつつある。

福島県主要7方部の空間線量率の事故直後('11.03.15)と平成28年6月末の比較

県北(福島市): $24.2\mu\text{Sv/h} \rightarrow 0.18\mu\text{Sv/h}$, 県中(郡山市): $8.3 \rightarrow 0.10$, 県南(白河市): $7.7 \rightarrow 0.08$,
会津: $2.6\mu\text{Sv/h} \rightarrow 0.06\mu\text{Sv/h}$, 南会津: $1.1 \rightarrow 0.04$, 相双(南相馬市): $5.2 \rightarrow 0.09$, いわき市: $5.1 \rightarrow 0.07$

今後の課題としては、除染活動によって発生した多量の除去土壌等を最終処分するまでの間、安全に保管することであるが、中間貯蔵施設の建設について地権者や周辺住民の理解と協力を得ることが困難な状況になっている。除染現場での一時保管や仮置き場保管は増大する傾向にあり、特に**宅地の裏庭や軒先等の現場保管箇所は、平成27年8月の時点で102,000件**を超えるほどに急増しており、住民からは一日も早く現場保管土壌等の搬出を要望する声が強く出ている。

このような状況への対策としては、今後実施する除染では、**廃棄物の発生量を極力抑制する環境修復技術**(例えば天地返しなど)を採用することに加えて、**修復で発生する除去土壌等の減容化**を推進し、中間貯蔵施設へ搬入する除染廃棄物量の低減化を図ることが肝要であり、その方策の検討においては、**修復現場での安全な保管を継続すること**や被ばく線量評価で問題ないことが確認されたものは**再利用を可能な限り推進すること**を含めることが得策と考えられる。

2. 調査目的と平成27年度の調査検討概要

この調査は、福一発電所の事故により発生した汚染の修復について、国内外の環境汚染修復技術を調査し、それらの技術の福島への適用性、修復後の安全性の確認及び除染廃棄物等の一時保管における安全性の評価方法などを検討し、環境修復を担う国・自治体、及び住民を含む除染実施者に活用していただくことにより早期の環境回復に貢献することを目的とする。

平成27年度は、平成25～26年度に実施した合理的な修復法採用時の修復地や現場保管地における安全評価の事例解析結果を踏まえて、

- 1) 修復現場において地下保管を継続した場合
- 2) 修復で発生した除去土壌等を他場所において防潮堤材等の再利用に供した場合
- 3) 修復現場において農耕を行った場合 ➡ 今回のプレゼンでは割愛

の3つのケースについて、被ばく評価モデル事例を設定し、100年程度までの中長期的な被ばく評価の事例解析を行い、福島の実状に即した安全性の説明などに資するデータを整備する。

また、上記の成果については、HP公開あるいはセミナー等での発表により、環境修復を推進する公的機関、当該修復現場の所在地がある地町村の自治体及び住民、除染作業の実施者等へ提言する。

3. 実施項目

3.1 除去土壌の一時保管状況及び再利用を想定した状況の評価モデルの設定

(1) 一時保管状況の継続を想定した場合

学校などの敷地内除染において、天地返しの採用によって発生した除去土壌を、校庭の地下に一時保管している状況が継続することを想定する。

(2) 再利用を想定した場合

放射性Csが分布した土地を除染し、その除去土壌を防潮堤の中込材として再利用する場合を想定する。

3.2 除去土壌の一時保管状況の継続及び再利用を想定した場合の評価パラメーターの検討

3.3 除去土壌の一時保管状況の継続及び再利用を想定した場合の被ばく線量評価の事例解析結果

(1) 一時保管状況の継続を想定した場合

校庭の地下に一時保管を継続した場合の児童、及び覆土を修復する作業者の低線量被ばく

(2) 再利用を想定した場合

防潮堤の中込材として再利用した場所における周辺の住民の低線量被ばく

4. 評価モデルの設定

4. 1 一時保管状況の継続を想定

学校などの敷地内除染において、天地返しの採用によって発生した除去土壌を、校庭の地下に一時保管している状況が継続することを想定して、以下のケース及び条件により被ばく線量評価の検討を行う。(図1参照)

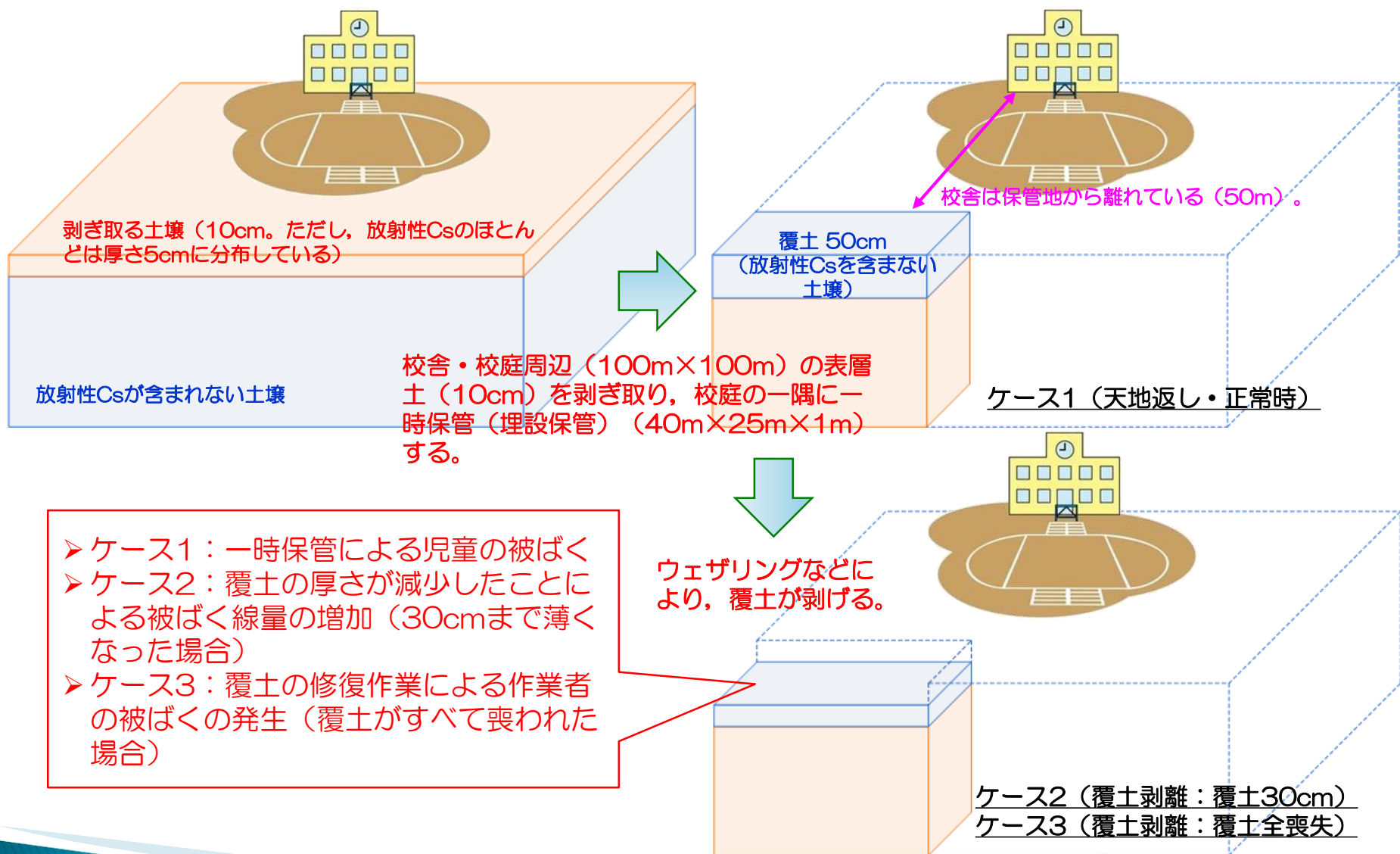
【評価ケース】

- ケース1: 一時保管状況が継続する場合における児童の被ばく
- ケース2: 覆土がウェザリング等により薄くなった場合の児童の被ばく
- ケース3: 覆土が失われた場合の児童及び土壌修復作業を行う作業者の被ばく

【評価条件】

- 天地返しの規模: 100m×100m×厚10cm(うち、放射性Cs含有土壌100m×100m×厚5cm)を40m×25m×厚1mの規模で、覆土50cmを設けて埋設保管する。(H26と同じ)
- 児童の被ばく時間: 通学日数を200日/年, 1日当たり校舎内にいる時間を6時間/日(遮へい係数0.4), 屋外にいる時間を4時間/日(遮へい係数1)と想定する。
- ケース2では、覆土厚さが30cmとなった場合を想定する。
- ケース3では、保守的に全覆土喪失(遮水シート等の遮へいを考慮しない)を想定する。
- 評価期間は5～100年とする。

図1 [一時保管状況] 学校の校庭における一時保管を継続した場合の児童の低線量被ばく評価モデルの事例



4. 評価モデルの設定

4.2 除去土壌の再利用を想定した状況

放射性Csが分布した土地を除染し、その除去土壌を防潮堤の中込材として再利用する状況を想定し、以下の被ばく線量評価の検討を行う。
(図2参照)

【評価ケース】

- ケース1: 防潮堤の覆土が適切な厚さを維持している状態(通常時)における、近隣居住者の外部被ばく
- ケース2: 防潮堤の住居側のすべての覆土が失われた状態(事故時)における、近隣居住者の外部被ばく

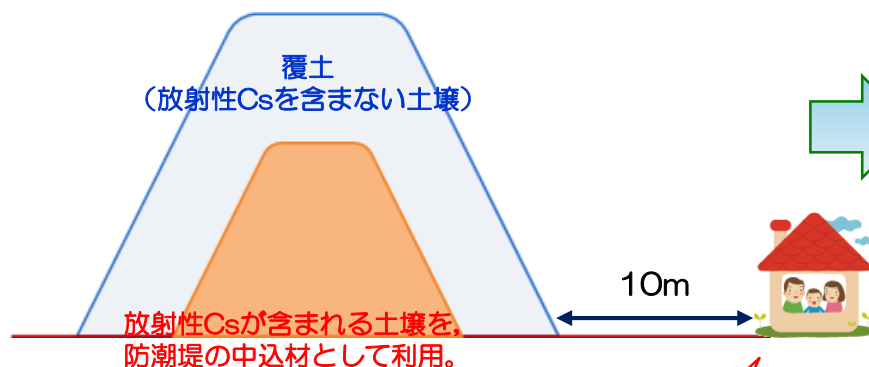
【評価条件】

- ・ 防潮堤の規模: 十分な大きさを持つ防潮堤と想定し、延長100m, 高さ5mを想定する。
- ・ 居住する一般公衆の被ばく時間: 毎日防潮堤の近傍で生活すると想定し、屋外に8時間(遮へい係数1), 屋内に16時間(遮へい係数0.4)と想定する。
- ・ 防潮堤から居住地までの距離は10mとする。
- ・ 外部被ばく線量換算係数の設定においては、中込材の形状は直方体と見立てる。

図2 [再利用を想定した状況]除去土壌を防潮堤の中込材に再利用した場合の周辺住民の低線量被ばく評価の事例

通常時

＝覆土が適切な厚さを維持している状況

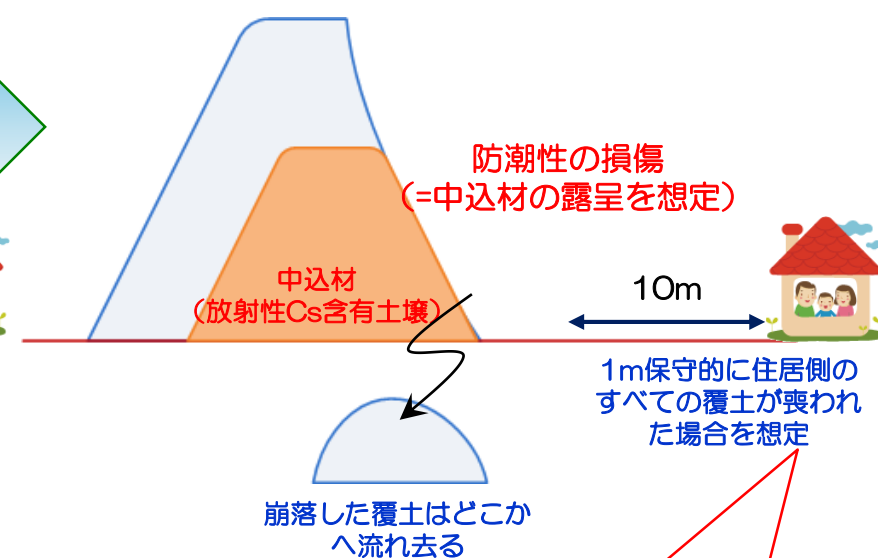


ケース1（防潮堤利用・通常時）

- ケース1：防潮堤が健全（覆土が保たれている）である場合の近隣居住者の外部被ばく

事故時

＝覆土が崩落し、流れ去る状況



ケース2（防潮堤損傷：事故時）

- ケース2：防潮堤が損傷（覆土が喪失）した場合の近隣居住者の外部被ばく（保守的に住居側の覆土がすべて喪われ、中込材が露呈することを想定）

5. 評価モデルの各事例における評価条件・評価パラメータ

5.1 一時保管状況の継続を想定

(1) 一時保管状況継続における評価条件・評価のポイント

評価ケース		概要	評価のポイント
【前提条件】 - 学校などの敷地内除染において、天地返しを採用によって発生した除去土壌を一時保管する。 - 放射性Csが地表の浅い部分に分布していることを考慮し、除去対象土壌は100m×100m×5cmとする。ただし、施工上の問題から、表土剥ぎは100m×100m×10cmの規模で行うものと想定する。 - 除去土壌は、事故直後において空間線量率2.5μSv/hrであったと想定する。 - 一時保管は、校庭の一隅で行う。一時保管のための埋設規模は40m×25m×1mであり、50cmの覆土を設ける。 - 除去土壌はベントナイトシートなどの遮水性のシートで覆われているものと想定する。 - 被ばく線量評価の対象は児童を想定する。児童の活動パターンとして、通学日数を年間200日とし、1日当たりの屋内活動時間を6時間、屋外活動時間を4時間と想定する。			
1	一時保管ケース	前提条件に則った、 <u>学校に通う児童</u> の被ばく。	✓ 前提条件に従う。 ✓ 児童の外部被ばくを評価する。
2	覆土削剥ケース	ウェザリング等により、覆土が削れるなどして薄くなった場合の、 <u>学校に通う児童</u> の被ばく。	✓ 覆土の厚さが30cmまで薄くなったと想定する。 ✓ 児童の外部被ばく線量を評価する。
3	覆土喪失ケース	ウェザリングや間違った掘り返しなどにより、覆土が喪われた場合の、 <u>学校に通う児童及び修復作業に従事する作業者の被ばく</u> 。	✓ 保守的に、すべての覆土が喪失したと想定する。（遮水シートによる遮へいは考慮しない） ✓ 修復に係る時間は1ヶ月程度と想定する。 ✓ 修復中は児童が近寄らないような配慮がなされると考えられるが、評価ではその影響については考慮しない。 ✓ 作業者については粉じん吸入による内部被ばく線量、及び外部被ばく線量を評価する。

5. 評価モデルの各事例における評価条件・評価パラメータ

5.1 一時保管状況の継続を想定(続き)

(2) 一時保管状況の継続におけるパラメータの設定

パラメータ	設定値	備考
除去土壌の放射性Csの濃度	23,200 Bq/kg	事故後の空間線量率が $2.5 \mu\text{Sv/hr}$ であった土地のCs濃度は、JNESの関係式を用いると23,204Bq/kgとなる。
放射性Csの分布範囲	100 m×100 m×0.05 mの直方体	放射性Csは、地表の5cmに分布すると想定する。また、除染する学校の敷地範囲を100m×100mと想定する。
剥ぎ取る土壌の範囲	100 m×100 m×0.1 mの直方体	施工所の技術的問題などから、地表は剥ぎ取りの際に10cmの厚さで剥ぎ取られるものと想定する。
埋設土の保管規模	40 m×25 m×1 mの直方体	剥ぎ取った地表土壌は、校庭の一隅にまとめて埋設保管されるものと想定する。
埋設保管の覆土の厚さ	(ケース1) 0.5 m (ケース2) 0.3 m (ケース3) 0 m	埋設保管には、50cmの覆土が設けられるものと想定する。
埋設保管場所から校舎までの距離	50 m	埋設保管は、校舎から50m離れた場所で行われるものと想定する。
除去土壌・埋設土・覆土の密度	1,500 kg/m ³	農地～宅地のかさ密度1.3～1.6g/cm ³ より、ある程度の締固めがあるものと想定して、1.5g/cm ³ と設定する。
埋設土からの放射性Csの流出	なし	埋設土は遮水シートに覆われていることから、浸透水による放射性核種の流出はないものと想定する。

5. 評価モデルの各事例における評価条件・評価パラメータ

5.1 一時保管状況の継続を想定

(3) 一時保管状況の継続におけるパラメータの設定（続き）

パラメータ	設定値	備考
児童の年間被ばく時間	1,280 hr/yr	児童の学校での活動時間を以下のとおり想定する。 ✓ 1年間の通学日数：200日/年 ✓ 1日の校舎内での活動時間：6時間/日 ✓ 1日の校舎外（校庭）での活動時間：4時間/日 ✓ 校舎内における遮へい係数：0.4 ✓ 校舎外（校庭）における遮へい係数：1 ⇒ $200[\text{日/年}] \times (6[\text{時間/日}] \times 0.4[-] + 4[\text{時間/日}] \times 1[-]) = 1,280[\text{時間/年}]$
校舎内での被ばく位置	7.5 m (校舎の3Fの床の高さを標高7 mと想定)	実在の校舎の例や、建築基準等を参考に、3Fの床高さを7mと想定する。（教室内の天井高さは2.1m以上とされている。北海道の小学校の例では、1F床～3F床の高さの差が6.8～8.2m。）
修復する作業者の被ばく時間	240 hr	覆土を修復する作業者の活動時間を以下のとおり想定する。 ✓ 修復日数：30日（1ヶ月） ✓ 1日の作業時間：8時間/日 ✓ 作業時の遮へい係数：1
修復作業時の空気中ダスト濃度 (修復作業者)	5E-4 g/m ³	NUREG/CR-3585に示されたOPEN DUMP時及びIAEA-TECDOC-401に示された埋設処分場での埋め立て作業時における空気中ダスト濃度を採用する。なお、この濃度は、都市域の大気エアロゾル相当で、また空気浄化が必要となり始める粒子状物質濃度相当である。

5. 評価モデルの各事例における評価条件・評価パラメータ

5.1 一時保管状況の継続を想定

(4) 一時保管状況（その1）におけるパラメータの設定（続き）

パラメータ	設定値	備考
修復作業時の空气中ダスト濃度 （児童）	6E-6 g/m ³	IAEA-TECDOC-401で提案されている値を採用する。なお、この濃度は、自然大気相当の粒子状物質濃度相当である。
呼吸量（修復作業者）	1.2 m ³ /hr	IAEA-TECDOC-401において提案されている1E4～1E-3g/m ³ の中央値を設定する。
呼吸量（児童）	0.96 m ³ /hr	ICRP Pbul.23で示されている標準人の1日の呼吸量の数値2.3E+4 L/dayを基に設定する。この値は放射性廃棄物処分の安全性能評価においては、居住者（成人）の値として設定されている。同評価では、子どもの呼吸量も設定されているが、その値は1～2歳の値として設定されていることから、ここでは成人の値を踏襲する。
微粒子への放射性Csの濃縮係数 （吸入摂取）	4	IAEA Safety Reports Series No.44に示された吸入可能な粒子の濃縮係数を設定する。

5. 評価モデルの各事例における評価条件・評価パラメータ

5.1 一時保管状況の継続を想定

(5) 一時保管状況（その1）におけるパラメータの設定（続き）

パラメータ		設定値	備考
外部被ばく線量 換算係数	校庭の児童 (覆土50cm)	Cs-134 : 2.3E-12 (Sv/hr)/(Bq/kg) Cs-137 : 4.3E-13 (Sv/hr)/(Bq/kg)	QAD-CGGP2Rを用いて算出。校舎外の児童または修復作業員については保管場所の中心直上の地表から50cmまたは1mの高さ、校舎内の児童については校舎の設定に従った位置での値を算出する。
	校舎内の児童 (覆土50cm)	Cs-134 : 2.1E-25 (Sv/hr)/(Bq/kg) Cs-137 : 3.5E-29 (Sv/hr)/(Bq/kg)	
	校庭の児童 (覆土30cm)	Cs-134 : 1.8E-11 (Sv/hr)/(Bq/kg) Cs-137 : 4.4E-12 (Sv/hr)/(Bq/kg)	
	校舎内の児童 (覆土30cm)	Cs-134 : 5.8E-21 (Sv/hr)/(Bq/kg) Cs-137 : 4.0E-23 (Sv/hr)/(Bq/kg)	
	修復作業員	Cs-134 : 4.2E-10 (Sv/hr)/(Bq/kg) Cs-137 : 1.3E-10 (Sv/hr)/(Bq/kg)	
	校庭の児童 (覆土0cm)	Cs-134 : 5.6E-10 (Sv/hr)/(Bq/kg) Cs-137 : 1.8E-10 (Sv/hr)/(Bq/kg)	
	校舎内の児童 (覆土0cm)	Cs-134 : 1.8E-12 (Sv/hr)/(Bq/kg) Cs-137 : 5.8E-13 (Sv/hr)/(Bq/kg)	
吸入による 内部被ばく線量 換算係数	児童	Cs-134 : 7.3E-9 Sv/Bq Cs-137 : 5.4E-9 Sv/Bq	ICRP Publ.72を参照する。値は放射性廃棄物処分の安全性能評価における居住時（成人）の値と同じである。同評価では、子どもの値も設定されているが、その値は1～2歳の値として設定されていることから、ここでは成人の値を踏襲する。
	修復作業員	Cs-134 : 9.6E-9 Sv/Bq Cs-137 : 6.7E-9 Sv/Bq	ICRP Publ.68を参照する。値は放射性廃棄物処分の安全性能評価における作業員の値と同じである。

5. 評価モデルの各事例における評価条件・評価パラメータ

5.2 除去土壌の再利用を想定した場合

(1) 再利用を想定した場合における評価条件・評価のポイント

評価ケース		概要	評価のポイント
【前提条件】 - 放射性Csを含む土壌を、防潮堤の中込材として再利用することを想定する。 - 再利用する土壌は、事故直後において空間線量率$2.5 \mu\text{Sv/hr}$であった土地の土壌と想定する。 - 防潮堤は延長100m、高さ5mを想定し（外部被ばく線量の評価においては十分に大きな規模）、表面は1mの覆土（Csを含まない）で覆われると想定する。 - 被ばく線量評価の対象は、防潮堤の近傍に居住する一般公衆（居住者）を想定する。居住者の1日のうちの活動時間を、屋外で8時間、屋内で14時間と想定する（1日中防潮堤の近傍に居ると想定）。 - 防潮堤から居住地までの距離は10mと仮定する。			
1	通常時ケース	前提条件に則った、 <u>防潮堤の近傍に居住する人</u> の被ばく。	✓ 前提条件に従う。 ✓ 居住者の外部被ばく線量を評価する。
2	事故時ケース	何らかの理由（自然災害、経年劣化など）により、覆土が削れるなどして中込材が露呈した場合の、 <u>防潮堤の近傍に居住する人</u> の被ばく。	✓ 保守的に、すべての覆土が喪失したと想定する。 ✓ 居住者の粉じん吸入による内部被ばく線量、及び外部被ばく線量を評価する。

5. 評価モデルの各事例における評価条件・評価パラメータ

5.3 除去土壌の再利用を想定した場合

(2) 再利用を想定した場合におけるパラメータの設定

パラメータ	設定値	備考
除去土壌の放射性Csの濃度	23,200 Bq/kg	事故後の空間線量率が $2.5 \mu\text{Sv/hr}$ であった土地のCs濃度は、JNESの関係式を用いると23,204Bq/kgとなる。
放射性Csの分布範囲	100 m×10 m×5 mの直方体	放射性Csは、防潮堤の中込材として使用されることを想定する。中込材は防潮堤と同じ直立型または傾斜堤の形状となると考えられるが、ここでは直方体と仮定する。規模は、十分な大きさを持っているものとして延長100m、奥行（幅）10m、高さ5mと仮定する。
覆土の厚さ	（通常時ケース）1 m （事故時ケース）0 m	通常では1mの覆土があると想定する。事故時にはこの覆土がすべてなくなると想定する。
防潮堤から居住地までの距離	10 m	居住地は防潮堤から10m離れていると想定する。
除去土壌・埋設土・覆土の密度	1,500 kg/m ³	ある程度の締固めがあるものと想定して、1.5g/cm ³ と設定する。
埋設土からの放射性Csの流出	なし	保守的に、降雨浸透水等による放射性核種の流出はないものと想定する。

5. 評価モデルの各事例における評価条件・評価パラメータ

5.3 除去土壌の再利用を想定した場合

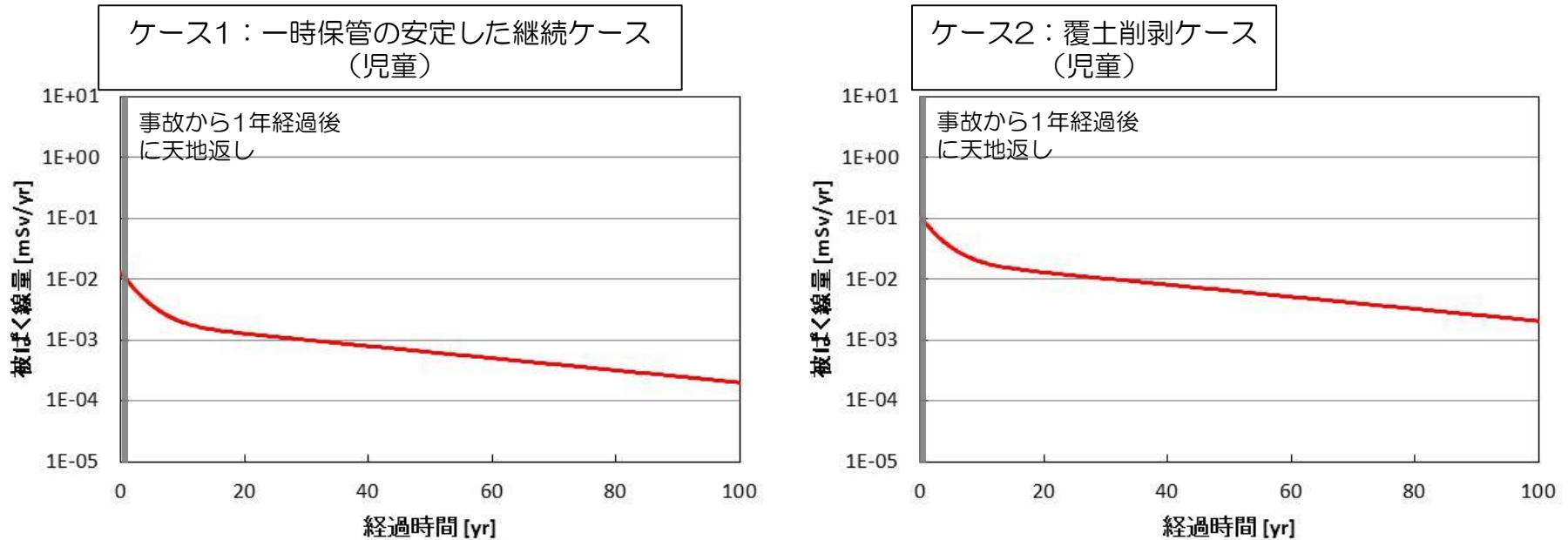
(3) 再利用を想定した場合におけるパラメータの設定（続き）

パラメータ		設定値	備考
居住者の年間居住時間		8,760 hr/yr	保守的に、1年間絶えず防潮堤のそばで居住していると想定する。
居住時の遮へい係数		0.2	IAEA-TECDOC-401から、居住時間の20%を戸外で過ごすと仮定する。
居住時の空气中ダスト濃度		6E-6 g/m ³	IAEA-TECDOC-401で提案されている値を採用する。
居住時の呼吸率（成人）		0.96 m ³ /hr	ICRP Publ.23で示されている標準人の1日の呼吸量の数値2.3E+4 L/dayを基に設定する。
居住時の呼吸率（子ども）		0.22 m ³ /hr	IAEA Safety Reports Series No.44に示されている1～2歳の居住者の呼吸率を参考に設定する。
吸入による内部被ばく線量換算係数（成人）		Cs-134 : 6.6E-9 Sv/Bq Cs-137 : 4.6E-9 Sv/Bq	ICRP Publ.72を参照する。値は放射性廃棄物処分の安全性能評価における成人の値と同じである。
吸入による内部被ばく線量換算係数（子ども）		Cs-134 : 7.3E-9 Sv/Bq Cs-137 : 5.4E-9 Sv/Bq	ICRP Publ.72を参照する。値は放射性廃棄物処分の安全性能評価における子どもの値と同じである。
外部被ばく線量換算係数	通常時	Cs-134 : 5.1E-15 (Sv/hr)/(Bq/kg) Cs-137 : 4.6E-16 (Sv/hr)/(Bq/kg)	QAD-CGGP2Rを用いて算出。防潮堤から水平方向に10m離れた位置において、地表から1mの高さでの値を算出する。子どもの被ばく線量の評価においては、この値の1.3倍とした。
	事故時	Cs-134 : 5.7E-11 (Sv/hr)/(Bq/kg) Cs-137 : 1.8E-11 (Sv/hr)/(Bq/kg)	

6. 低線量被ばく線量評価の事例解析結果

6.1 一時保管状況の継続を想定した場合

【一時保管状況の継続：一時保管の安定した継続のケース 及び 覆土が削剥するケース】



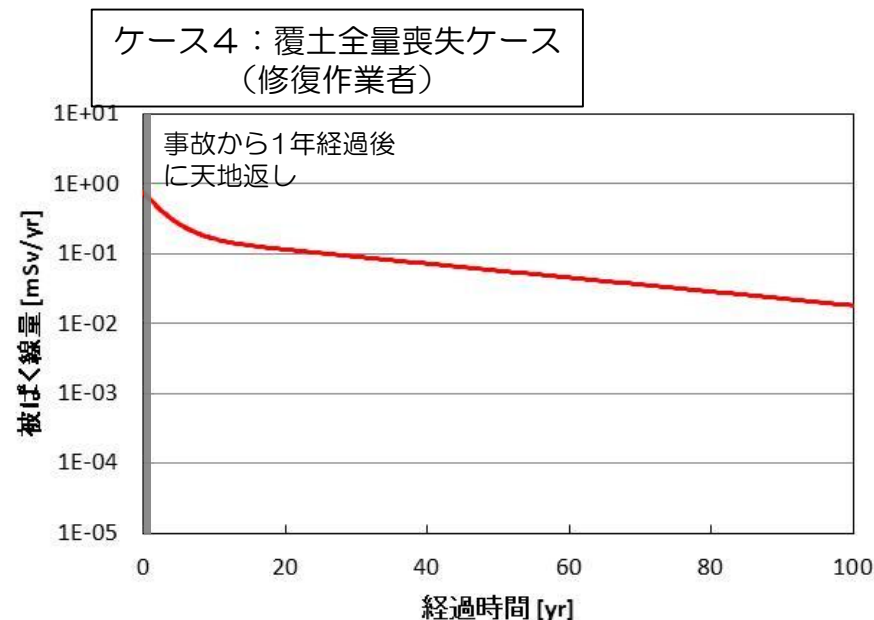
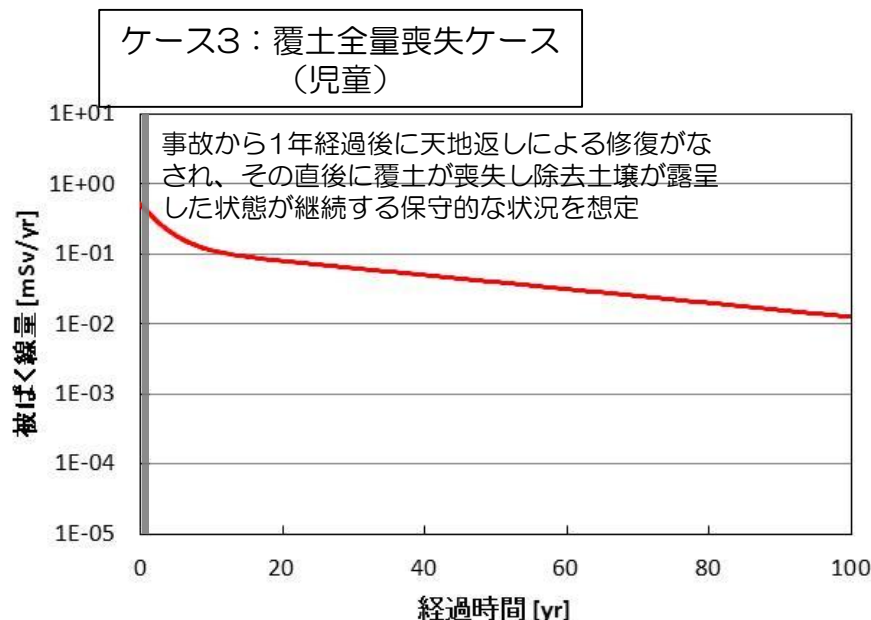
	ある時間経過した時点での被ばく線量 [mSv/yr]					
	1年	5年	10年	30年	50年	100年
ケース1	9.6E-3	3.8E-3	2.0E-3	1.0E-3	6.3E-4	2.0E-4
ケース2	8.0E-2	3.8E-3	1.9E-2	1.0E-2	6.5E-3	2.1E-3

「ケース1：一時保管の安定した継続のケース」では、保管土壌は覆土で覆われており、被ばく線量は最大で、 $9.6 \times 10^{-3} \text{ mSv/yr}$ である。「ケース2：覆土削剥ケース」では、覆土が薄くなることで覆土の遮へい効果が低減し、被ばく線量は $8.0 \times 10^{-2} \text{ mSv/yr}$ に上昇する。

6. 低線量被ばく線量評価の事例解析結果

6.1 一時保管状況の継続を想定した場合(続き)

【一時保管状況の継続を想定した場合：異常豪雨等により覆土全量喪失のケース】



	ある時間が経過した時点で覆土が喪失した場合の被ばく線量 [mSv/yr]					
	1年	5年	10年	30年	50年	100年
ケース3 (児童)	4.0E-1	1.8E-1	1.1E-1	6.3E-2	4.0E-2	1.3E-2
ケース3 (修復作業者)	5.9E-1	2.7E-1	1.6E-1	9.1E-2	5.7E-2	1.8E-2

どちらのケースも、早い時間で保管土壌が露呈する場合には、被ばく線量は大きくなる。ただし、評価上「保管土壌は、修復工事の実施期間中の全ての時間(30日)で露呈している」と想定している。これを考慮すれば、被ばく線量はずっと低くなる。たとえば修復工事の最初の10日間で覆土30cmを確保できるならば、10日間は露呈していたと仮定しても、被ばく線量は約1/3まで低下する。また、天地返しから1年間で覆土が喪失されて保管土壌の露呈に至ることは考えにくく、また、そのような事態が起これば児童については立ち入りの制限がなされると考えられる。

6. 低線量被ばく線量評価の事例解析結果

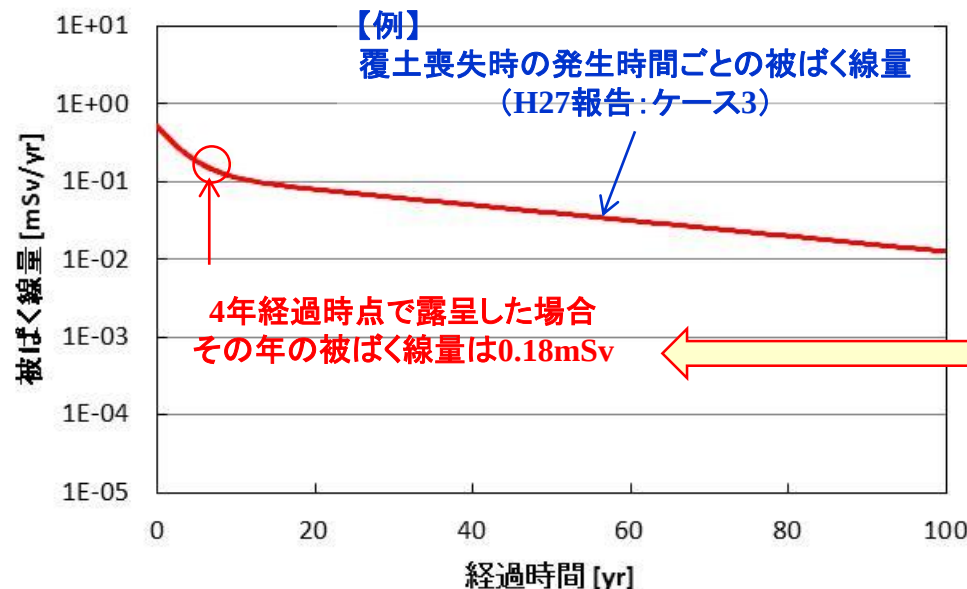
(「6. 1 一時保管状況(その1)」における被ばく線量の考え方)

『一時保管状況(その1):学校の校庭における一時保管』

の覆土喪失ケースにおける被ばく線量の考え方について

『一時保管状況その1:学校の校庭における一時保管』における被ばく線量の曲線には、以下の意味が含まれている。

- ✓ ある時点(経過年数)で覆土の喪失により埋設土が露呈し、その直後1ヶ月程度(30日)で修復された場合に、児童が受ける被ばく線量である。
- ✓ 被ばく線量の単位は[mSv/yr]であるが、この[yr]には「覆土の修復に30日を要する埋設土の露呈が、1回だけ発生した1年」という意味が含まれる。

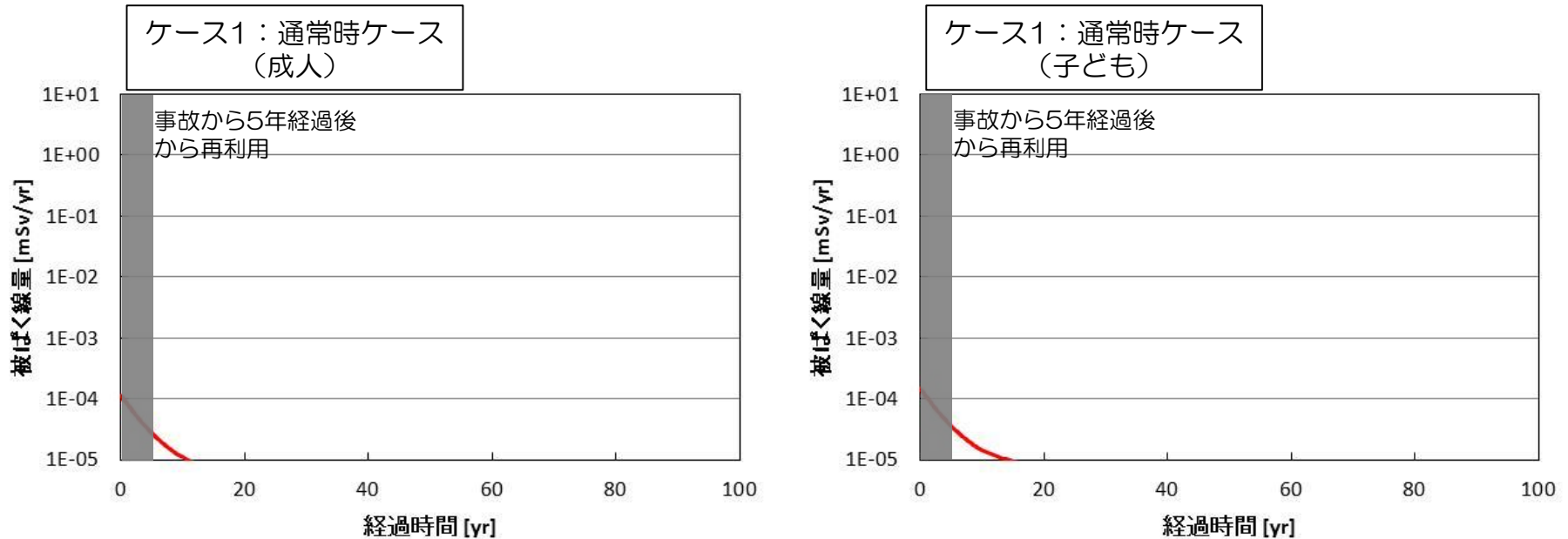


たとえば一時保管開始から4年後に埋設土が露呈したならば、この露呈による児童の受けるその年の被ばく線量は0.18mSvである(ただし、露呈はこの1年間では1回だけ)。

6. 低線量被ばく線量評価の事例解析結果

6.2 再利用を想定した場合

【再利用を想定した場合：通常時ケース（覆土健全状態）】



	ある時間経過した時点での被ばく線量 [mSv/yr]				
	5年	10年	30年	50年	100年
ケース1（成人）	2.8E-5	1.1E-5	4.7E-6	3.0E-6	9.4E-7
ケース1（子ども）	3.6E-5	1.4E-5	6.1E-6	3.9E-6	1.2E-6

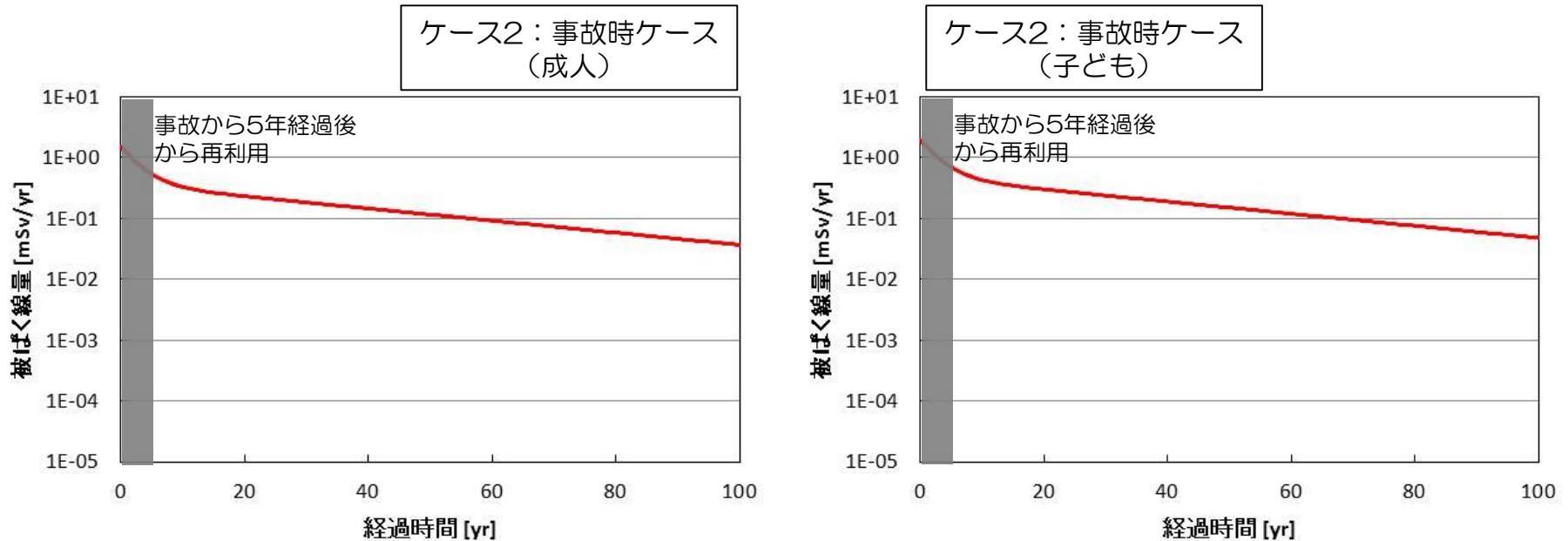
通常時の覆土の厚さが十分である場合には、その遮へい効果によって被ばく線量は低くなる。また、再利用土壌が飛散しないため、内部被ばくが生じない。

被ばく線量は最大で2.8E-5mSv/yr（成人）、3.6E-5mSv/yr（子ども）である。

6. 低線量被ばく線量評価の事例解析結果

6.2 再利用を想定した場合(続き)

【再利用を想定した場合：事故時ケース（覆土喪失状態）】



	ある時間経過した時点での被ばく線量 [mSv/yr]				
	5年	10年	30年	50年	100年
ケース2（成人）	5.4E-1	3.3E-1	1.8E-1	1.2E-1	3.7E-2
ケース2（子ども）	7.1E-1	4.3E-1	2.4E-1	1.5E-1	4.8E-2

事故時の覆土が失われた場合には、遮へいによる線量低減がなくなり、被ばく線量は高くなる。被ばく線量は最大で $5.4\text{E-}1\text{mSv/yr}$ （成人）， $7.1\text{E-}1\text{mSv/yr}$ （子ども）である。

再利用土壌の飛散により内部被ばくが生じるが、住居が防潮堤から十分に離れており空気中の粉塵の濃度が低い（通常の生活空間と同じ）と見込んだ場合には、全体の被ばく線量への寄与は小さい。

被ばく時間、つまり修復に必要な時間を1年（屋外滞在時間としてその2割）と設定しているが、1年に亘って覆土が喪失している状況は考えにくく、被ばく時間はもっと小さいことが考えられ、その場合には被ばく線量は低くなる。

7. まとめ

(1) 学校の校庭における一時保管を継続した場合の児童の被ばく線量評価の事例

福島事故直後の空間線量率が $2.5\mu\text{Sv/h}$ 程度の地域に所在する学校の敷地(汚染土壌の放射性Cs濃度は約 $23,000\text{Bq/kg}$ と算定される)を天地返しにより修復し、表層の汚染土を学校敷地内(運動場)の下部に一時的に地下保管し、その上部をクリーンな土壌(下層にあった非汚染土)で覆土し、空間線量率を低下させた状態で授業を再開し、そのような状況が、数年間あるいはさらに長期間継続されることを想定した場合の児童の被ばく線量評価を実施した結果を以下の示す。

①上部覆土が健全に維持された場合は、児童の追加被ばく線量は以下のように低い値で推移する。

$$\begin{aligned} \text{事故から1年} \sim \text{10年} \sim \text{100年}^* &\Rightarrow 9.6 \times 10^{-3} \text{ mSv/y} \sim \\ &2.0 \times 10^{-3} \text{ mSv/y} \sim 2.0 \times 10^{-4} \text{ mSv/y} \end{aligned}$$

* 評価の都合上、100年経過時のひばく線量を示しているが、学校敷地内保管が100年継続されるということではない。

6. 低線量被ばく線量評価の事例解析結果

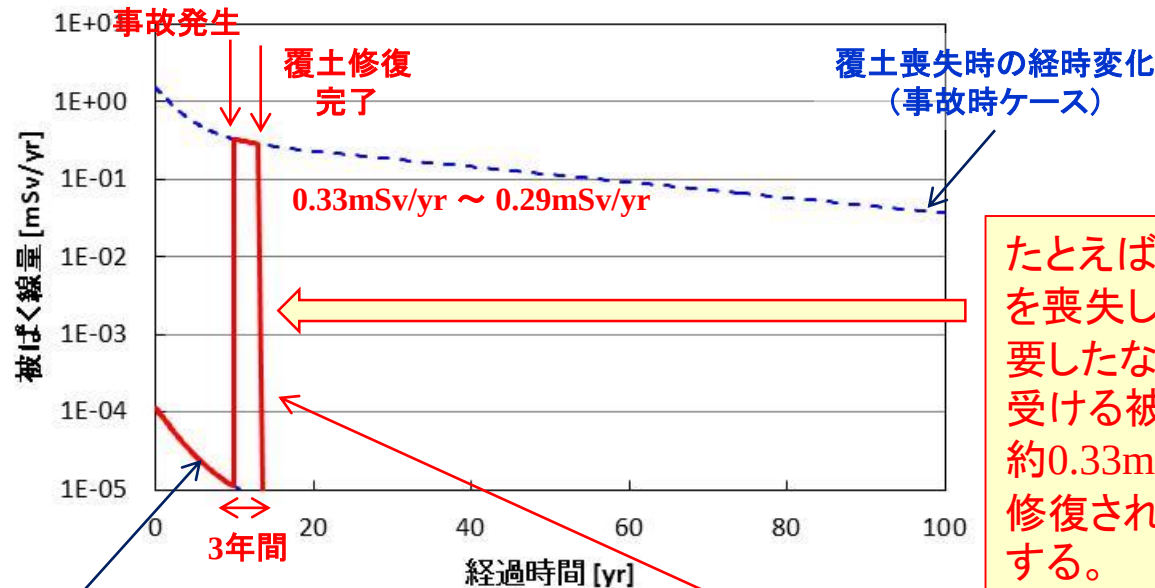
(「6. 3 再利用を想定した状況」における被ばく線量の考え方)

『再利用を想定した状況:事故時ケース(覆土喪失状態)』

における被ばく線量の考え方について

『再利用を想定した状況:事故時ケース(覆土喪失状態)』における被ばく線量は、次の条件においては、図のように考えることができる。

- ✓ 再利用から5年後(事故からは10年経過後)に、事故により覆土が喪われる。
- ✓ その後3年かけて覆土が修復される場合に、近傍居住者(成人)が受ける被ばく線量。



たとえば再利用から5年後に覆土を喪失し、その修復作業に3年を要したならば、この間に居住者が受ける被ばく線量は1年間あたり約0.33mSvである。また、覆土が修復されれば、被ばく線量は低下する。

覆土健全時の経時変化
(通常時ケース)

再利用開始から5年後に事故が発生して覆土が喪われ、
その修復に3年を要した場合の被ばく線量の経時変化。

7. まとめ(続き)

- ②修復直後(1年)で覆土が20cm剥離し、その状態が継続する場合は、遮蔽機能が若干低下するため

以下に示すように児童の追加被ばく線量は①に比して、**約10倍上昇**する。

事故から1年～10年～100年 $\Rightarrow 8.0 \times 10^{-2} \text{ mSv/y} \sim 1.9 \times 10^{-2} \text{ mSv/y} \sim 2.1 \times 10^{-3} \text{ mSv/y}$

- ③修復直後(1年)で覆土が全量喪失した場合の児童の追加被ばく線量は、以下に示すように①に比して、**100倍程度高めに推移するが、この評価条件限りにおいては、1mSv/yを上回ることはないという結果**になった。

事故から1年～10年～100年 $\Rightarrow 4.0 \times 10^{-1} \text{ mSv/y} \sim 1.1 \times 10^{-1} \text{ mSv/y} \sim 1.3 \times 10^{-2} \text{ mSv/y}$

ただし、上記③は、かなり保守的な評価であり、万一覆土が喪失されれば、学校は一時休校などの措置がとられるはずで、露出した除去土壤に起因する児童の被ばくが何年も続くとは考えられない。

7. まとめ(続き)

(2) 除去土壌を防潮堤の中込材として再利用した場合の周辺住民などの被ばく線量評価の事例

福島事故直後の空間線量率が $2.5\mu\text{Sv/h}$ の地域の土壌を掘削除去により修復し、発生した除去土壌(汚染土壌の放射性Cs濃度は、約 $23,000\text{Bq/kg}$ と算定される)を、福島事故から5年経過後に防潮堤の中込材として再利用し、その場所から10mの近接地域に住民が居住している状況が、5年～100年継続されることを想定した場合における住民の被ばく線量評価を実施した結果を以下に示す。

- ① 除去土壌の中込材を1mの厚さで被覆している表層の覆土が健全に維持された場合は、周辺住民(成人と子供)の追加被ばく線量は以下のように低い値で推移する。

成人: 5年～10年～30年～100年 $\Rightarrow 2.8 \times 10^{-5} \text{ mSv/y} \sim$

$1.2 \times 10^{-5} \text{ mSv/y} \sim 4.7 \times 10^{-6} \text{ mSv/y} \sim 9.4 \times 10^{-7} \text{ mSv/y}$

子供: 5年～10年～30年～100年 $\Rightarrow 3.6 \times 10^{-5} \text{ mSv/y} \sim$

$1.4 \times 10^{-5} \text{ mSv/y} \sim 6.1 \times 10^{-6} \text{ mSv/y} \sim 1.2 \times 10^{-6} \text{ mSv/y}$

7. まとめ(続き)

(2) 除去土壌を防潮堤の中込材として再利用した場合の周辺住民などの被ばく線量評価の事例

②防潮堤の工事完了直後に津波や豪雨などにより覆土が全量喪失した場合の周辺住民の追加被ばく線量は、①に比して、10000倍程度高めに推移するが、この評価条件限りにおいては、1mSv/yを上回ることは ないという結果となった。

成人: 5年～10年～ 30年～100年⇒ $5.4 \times 10^{-1} \text{ mSv/y} \sim 3.3 \times 10^{-1} \text{ mSv/y} \sim 1.8 \times 10^{-1} \text{ mSv/y} \sim 3.7 \times 10^{-2} \text{ mSv/y}$

子供: 5年～10年～30年～100年⇒ $7.1 \times 10^{-1} \text{ mSv/y} \sim 4.3 \times 10^{-1} \text{ mSv/y} \sim 2.4 \times 10^{-1} \text{ mSv/y} \sim 4.8 \times 10^{-2} \text{ mSv/y}$

ただし、上記②は、かなり保守的な評価であり、万一想定外の津波や豪雨などにより覆土が全量喪失するような事故が起こった場合には、ただちに防潮堤の復旧工事が行われるはずであり、その際には、残存している除去土壌を再被覆する覆土が施工されるので、上記のような住民の被ばくが、何年も何十年も継続することは現実的にはありえないと思われる。