

(61) 子供を対象にした校庭土壌における Csによる内部被ばく線量の推定

池上 麻衣子^{1*}・米田 稔¹・中山 亜紀¹・松井 康人¹

¹京都大学工学研究科都市環境工学専攻（〒615-8540京都市西京区京都大学桂Cクラスター）

* E-mail: ikegami@risk.env.kyoto-u.ac.jp

福島第一原子力発電所の事故により，広い範囲で放射性物質が放出されており，人の健康や環境に影響を及ぼすことが懸念されている．放射性物質Csは半減期が長く，土壌の表面に強く吸着する性質を持つことから，子供が校庭で遊んだ場合，土壌などに触れて遊ぶことが多く，砂埃が舞うこともあるため放射性物質Csが体内に入る可能性がある．土壌モニタリング結果の最大値を用いて，1日あたりの土壌摂取や土壌吸入による内部被ばく線量（Cs）を求めた結果，0.974 μ Sv（2～6歳児），0.519 μ Sv（7～12歳児）となり，一般公衆の全身に対する線量限度の約35%（2～6歳児），約20%（7～12歳児）となった．

Key Words : children, soil, cesium, radioactive material, internal exposure

1. はじめに

2011年3月に発生した東日本大震災による福島第一原子力発電所の事故により，広い範囲で放射性物質が放出されており，人の健康や環境に影響を及ぼすことが懸念されている．実際に食品や水道水中から暫定規制値や摂取制限に関する指標を超過した放射性物質が検出され，放射性物質の飛散が確認されている¹⁾．また，福島第一原子力発電所から半径20km圏内を「警戒区域」とし，警戒区域の立ち入りの禁止や区域内からの退去が命じられた²⁾．

放射性物質Csは土壌の表面に強く吸着する性質を持ち，Cs-137の半減期は30年と非常に長い³⁾．放射性物質Csについての土壌の基準値は設定されていなかったため，農地ではすでに農水省が土壌中の放射性Cs濃度の上限値を定めており，5000 Bq/kgとしている⁴⁾．この値は，水田土壌から玄米への放射性セシウムの移行の指標を0.1とし，この指標を前提として玄米中の放射性Cs濃度が食品衛生法上の暫定規制値（500 Bq/kg）以下となるように設定されている⁴⁾．しかし，市街地土壌については定められていない．

文科省では，学校等の校庭及び園庭の利用判断における暫定的な目安として，8時間の屋外活動の生活パターンを想定し，空間線量率を3.8 μ Sv/hとしている⁵⁾．この値は，

保育園・幼稚園，小学校では地表から50cm，中学校では1mの高さでの数値であり，校庭や園庭で3.8 μ Sv/hを超える放射線量が測定された場合，校庭や園庭での活動を1日当たり1時間程度にするなど，屋外活動をなるべく制限するように求めている⁵⁾．小中学校や高校，公園などで放射線量の調査が行われており，大気中濃度で3.8 μ Sv/hを超える公園があったことが報告されている⁶⁾．市街地土壌は，直接摂取，大気経由，地下水経由など様々な曝露経路が存在し，特に子供は土壌に直接触れる機会が多いため，手指に付着した放射性物質が体内に入る可能性がある．Csが経口摂取された場合，消化管吸収率は100%であり，ほぼ全身に分布する性質をもつ⁷⁾．暫定目安の3.8 μ Sv/hを超えない場合であっても，その場所で子供が遊んだ場合のリスクを評価する必要がある．

子供は校庭や園庭で土壌などに触れて遊ぶことが多く，また砂埃が舞うこともあるため，土壌中の放射性物質が体内に入る可能性があり，土壌に対しても，基準の設定をする必要がある．そのためには，まず土壌摂取により体内に取り込まれる放射性物質の量を求めることが重要である．

本研究では，特に土壌の表面に強く吸着する性質を持つCsに注目し，子供が校庭・園庭などの屋外で過ごした場合の土壌経由による内部被ばく線量を推定し，現在の状況について明らかにすることを目的とする．具体的に

は、以下のような研究目的を設定する。

- 1) 子供が校庭など屋外で過ごした場合、土壌摂食による内部被ばく線量を推定する。
- 2) 子供が走る、風が吹くなどにより校庭で砂埃の巻き上げが考えられ、子供が土壌を吸入する可能性があることから、土壌吸入による内部被ばく線量を推定する。
- 3) 屋外で過ごした場合の土壌経路による内部被ばく線量を求め、自然放射線源による被ばく線量、一般公衆における被ばく線量限度と比較することで、土壌経路による内部被ばくによる影響の大きさを明らかにする。

2. 土壌経路による内部被ばく線量

(1) 土壌摂食による内部被ばく線量

子供は学校や幼稚園・保育園の校庭・園庭で遊ぶことが多く、遊んでいるときに手指に付着した土壌が口に入るなど土壌摂食することがあるため、土壌摂食による内部被ばく線量を推定する。

Csの放射能量は、福島県の学校等で環境放射線ダスト・土壌モニタリングが実施されており、最大で12,994 Bq/kgのCs-134、16,121 Bq/kgのCs-137が検出された（調査日：2011年4月5日）⁸⁾。このCs-134、Cs-137の最大値は同じ測定地点から検出されている。このモニタリング調査は、4月5、6日に福島県内の20の小学校で行われており、平均値は2,529 Bq/kg (Cs-134)、3,025 Bq/kg (Cs-137)であった。2009年以前の過去10年間における土壌中のCs-137は100Bq/kg以下であった⁹⁾ことから、多くのCsが放出されたことがわかる。モニタリング結果の最大値は平均値と比較してかなり大きな値であるが、最大値を用いて求めることで考えうる最大の内部被ばく線量になることから、本研究では、最大値を用いてCsによる土壌摂食の内部被ばく線量を求めることにする。

まず、値の大きかったCs-137による土壌摂食からの内部被ばく線量を求める。

本研究では、子供が校庭・園庭で過ごす時間を、文科省で想定している生活パターンと同様に、1日当たり8時間とする。

土壌摂食による内部被ばく線量 H_1 (μSv) は、以下の式を用いて求めることができる。

$$H_1 = R \times I_1 \times D_1 \quad (1)$$

R: 土壌中の放射能量 (Bq/kg)

I_1 : 校庭など屋外でいた場合の土壌摂食量 (kg/day)

D_1 : 経口摂取による実効線量換算係数 (μSv/Bq)

子供が遊んでいる時に触れる可能性が高い土壌は表層1cm程度であることから、表層1cm程度の土壌が口に入ると考えられる。よって、表層1cmの土壌中の放射能量を求める。

検出されたCsの最大放射能量は、表層5cmの土壌を採取して測定されている¹⁰⁾が、Csは土壌表面に吸着することから、表層1cm程度に検出されたCsが全て存在しているとし、深さに関係なく土壌の比重は等しいと仮定すると、同じ面積での表層5cmの土壌と表層1cmの土壌の質量は5倍の差であることから、表層1cmの土壌中の放射能量は、Cs-137の最大放射能量16,121 Bq/kgを用いて、

$$16,121 \times 5 = 8.06 \times 10^4 \text{ (Bq/kg)}$$

である。

手指に付着している土壌の9割以上が粒径100μm以下である¹¹⁾ことから、屋外で遊んだ後の子供の手指には粒径100μm以下の土壌が付着しており、手指をなめるなどして口に入る土壌も粒径100μm以下であると考えられる。そこで、粒径100μm以下の土壌中の放射能量を求める。

学校などで実施された土壌モニタリングでは、粒径別に土壌中の放射能量は測定されていないが、粒径別の土壌中Cs-137による放射能量は、Liven et. al.¹³⁾、石山¹⁴⁾などにより測定されている。Liven et. al.¹³⁾は、粒径2mm以下

表-1 放射性物質Csの経口摂取及び吸入摂取による実効線量の換算係数 (単位: μSv/Bq)

Cs-134		
年齢 (歳)	経口摂取 D_1	吸入摂取 D_2
0～1	2.6×10^{-2}	3.2×10^{-2}
1～2	1.6×10^{-2}	2.6×10^{-2}
2～7	1.3×10^{-2}	1.6×10^{-2}
7～12	1.4×10^{-2}	1.2×10^{-2}
12～17	1.9×10^{-2}	1.1×10^{-2}
17～	1.9×10^{-2}	9.1×10^{-3}

Cs-137		
年齢 (歳)	経口摂取 D_1	吸入摂取 D_2
0～1	2.1×10^{-2}	3.6×10^{-2}
1～2	1.2×10^{-2}	2.9×10^{-2}
2～7	9.6×10^{-3}	1.8×10^{-2}
7～12	1.0×10^{-2}	1.3×10^{-2}
12～17	1.3×10^{-2}	1.1×10^{-2}
17～	1.3×10^{-2}	9.7×10^{-3}

の土壌を2, 2~32, 32~63, 63~125, 125~250, 250~2000 μm の粒径別に放射能量を測定しており、石山¹⁴⁾は粒径2mm以下の土壌を<75, 75~200, 200~500, 500~1000, 1000~2000 μm ごとに放射能量を測定している。Liven et. alの研究で測定されている粒径ごとの放射能量、粒径分布から、125 μm 以下の土壌粒子のCs-137による放射能量の割合を求めると、36.4%であった。また、石山の研究で測定されている30地点で採取された土壌粒子の粒径ごとの放射能量、粒径分布から75 μm 以下の土壌粒子のCs-137による放射能量の割合を求めると、おおよそ30%であった。これらのことから、100 μm 以下の土壌粒子の放射能量は、2mm以下の土壌粒子の放射能量の約30%であると推定できる。

また、米田¹¹⁾は市街地土壌の表層土(深さ0cm, 0~2.5cm, 2.5~5cm)の粒径分布を測定しており、粒径2mm以下の土壌に含まれている100 μm 以下の土壌は多くて10%となっている。よって、粒径100 μm 以下の土壌は採取された土壌の重量比10%であるとする。

今回測定された土壌は粒径2mm以下であるとする、表層1cmの土壌1kgから検出される放射能量は、 8.06×10^4 Bqであり、そのうち粒径100 μm 以下の土壌の放射能量は30%であるから、放射能量は、

$$8.06 \times 10^4 \times 0.3 = 2.42 \times 10^4 \quad (\text{Bq})$$

である。

表層1cmの土壌1kgのうち粒径100 μm 以下の土壌粒子の重量は0.1kgであるから、粒径100 μm 以下の土壌の放射能量は、

$$2.42 \times 10^4 \div 0.1 = 2.42 \times 10^5 \quad (\text{Bq/kg})$$

となる。

土壌汚染対策法では、有害物質について、汚染土壌の直接曝露に係る土壌含有量基準を、人の1日当たりの土壌摂取量を用いて算定しており¹²⁾、この値は、子供(6歳まで)200mg/day、大人100mg/dayと設定されている。本研究では、子供が校庭や園庭などで遊んでいる時に土壌摂取をしていると考え、校庭など屋外でいた場合の土壌摂取量は、2~6歳児200mg/day、7~12歳児100mg/dayとする。

よって、校庭など屋外で過ごした場合の土壌摂取量200mg、100mgから検出される放射能量は、

$$2.42 \times 10^5 \times 200 \times 10^{-6} = 48.4 \quad (\text{Bq/200mg})$$

$$2.42 \times 10^5 \times 100 \times 10^{-6} = 24.2 \quad (\text{Bq/100mg})$$

である。

実効線量換算係数は、ICRPが規定した線量係数で、1Bq当たりの経口摂取、吸入摂取による実効線量を示している。実効線量換算係数は放射性物質それぞれについて経口摂取、吸入摂取した場合に対して年齢区分ごとに定められている¹⁵⁾。年齢区分ごとの実効線量換算係数を表1

に示す。吸入摂取による実効線量の換算係数は、呼吸過程に関して、F (Fast), M (Moderate), S (Slow) が与えられており、表1はM (Moderate)の値を示している。本研究では、校庭や園庭などで過ごすことがある子供の内部被ばく線量を求めるため、2~7歳児、7~12歳児の実行線量換算係数を用いる。表1より、2~7歳児の換算係数は 9.6×10^{-3} 、7~12歳児の換算係数は 1.0×10^{-2} である。

以上より、最大で16,121 Bq/kgのCs-137が検出された土壌がある校庭で過ごした場合の土壌摂取による内部被ばく線量は、

$$48.4 \times 9.6 \times 10^{-3} = 0.464 \quad (\mu\text{Sv}) \quad (2\sim6\text{歳児})$$

$$24.2 \times 1.0 \times 10^{-2} = 0.242 \quad (\mu\text{Sv}) \quad (7\sim12\text{歳児})$$

と推定できる。

Cs-137と同様にして、12,994 Bq/kgのCs-134による土壌摂取からの内部被ばく線量を求める。

Cs-137による100 μm 以下の土壌粒子の放射能量は、Liven et. al.¹³⁾、石山¹⁴⁾の研究から、2mm以下の土壌粒子の放射能量の約30%であると推定できたが、Cs-134は測定されていないため、Cs-137と同様に100 μm 以下の土壌粒子の放射能量は2mm以下の土壌粒子の放射能量の約30%であるとする。

粒径100 μm 以下の土壌のCs-134による放射能量は、

$$12,994 \times 5 \times 0.3 \div 0.1 = 1.95 \times 10^5 \quad (\text{Bq/kg})$$

となり、土壌摂取量200mg、100mgから検出される放射能量は、

$$1.95 \times 10^5 \times 200 \times 10^{-6} = 39.0 \quad (\text{Bq/200mg})$$

$$1.95 \times 10^5 \times 100 \times 10^{-6} = 19.5 \quad (\text{Bq/100mg})$$

である。

表1より、2~7歳児の換算係数は 1.3×10^{-2} 、7~12歳児の換算係数は 1.4×10^{-2} であるから、12,994 Bq/kgのCs-134が検出された土壌がある校庭で過ごした場合の土壌摂取による内部被ばく線量は、

$$39.0 \times 1.3 \times 10^{-2} = 0.507 \quad (\mu\text{Sv}) \quad (2\sim6\text{歳児})$$

$$19.5 \times 1.4 \times 10^{-2} = 0.273 \quad (\mu\text{Sv}) \quad (7\sim12\text{歳児})$$

となる。

以上より、Csによる土壌摂取からの内部被ばく線量は、

$$0.464 + 0.507 = 0.971 \quad (\mu\text{Sv}) \quad (2\sim6\text{歳児})$$

$$0.242 + 0.273 = 0.515 \quad (\mu\text{Sv}) \quad (7\sim12\text{歳児})$$

と推定できる。

(2) 土壌吸入による内部被ばく線量

校庭や園庭では、子供が走ったり、風が吹くことで、砂埃が舞うため、子供が校庭や園庭で過ごした場合、土壌を吸入することがある。そのため、吸入による内部被ばく線量の推定を行う。

土壌摂取による内部被ばく線量を求めたのと同様に、ここでも最大の放射能量 (Cs-134: 12,994 Bq/kg, Cs-137:

16,121 Bq/kg) を用いて、土壌吸入による内部被ばく線量を求める。

土壌吸入による内部被ばく線量 H_2 (μSv) は、以下の式を用いて求めることができる。

$$H_2 = R \times I_2 \times D_2 \quad (2)$$

R: 土壌中の放射能 (Bq/kg)

I_2 : 校庭など屋外でいた場合の土壌吸入量 (kg/day)

D_2 : 経口摂取による実効線量換算係数 ($\mu\text{Sv/Bq}$)

子供が遊んでいる時に、舞う可能性が高い砂埃は表層土であり、砂埃は口や鼻から吸入される。吸入された土壌粒子のうち、粒径 $10\mu\text{m}$ 以下は肺で吸収される¹⁶⁾ことから、土壌吸入による内部被ばく線量は粒径 $10\mu\text{m}$ 以下の土壌の放射能を用いて求める。そこで、前節と同様にして粒径 $10\mu\text{m}$ 以下の土壌中の放射能を求める。

Liven et. al.¹³⁾の研究では粒径 $10\mu\text{m}$ 以下という区分で放射能は測定されていないが、粒径 $32\mu\text{m}$ 以下の土壌粒子の放射能が測定されている。よって、ここでは粒径 $10\mu\text{m}$ 以下の土壌粒子の放射能は粒径 $32\mu\text{m}$ 以下の土壌粒子の放射能を用いることにする。Liven et. al.の研究で測定された粒径 $32\mu\text{m}$ 以下の土壌粒子の放射能、粒径分布から、 2mm 以下の土壌粒子のうち、 $32\mu\text{m}$ 以下の土壌粒子のCs-137による放射能の割合を求めると、22.5%であった。ゆえに、粒径 $10\mu\text{m}$ 以下の土壌粒子の放射能は、 2mm 以下の土壌粒子の放射能のおおよそ20%であると推定できる。また、Liven et. al.の測定された粒径 2mm 以下の土壌粒子の粒径分布より $32\mu\text{m}$ 以下の土壌粒子は、 2mm 以下の土壌粒子の1.6%であった。よって、粒径 $32\mu\text{m}$ 以下の土壌は採取された土壌の重量比1.6%である。

表層 1cm の土壌 1kg から検出されるCs-137の放射能は、 8.06×10^4 Bqであり、そのうち粒径 $32\mu\text{m}$ 以下の土壌の放射能は20%であるから、放射能は、

$$8.06 \times 10^4 \times 0.2 = 1.61 \times 10^4 \quad (\text{Bq})$$

である。

表層 1cm の土壌 1kg のうち粒径 $32\mu\text{m}$ 以下の土壌粒子の重量は $1.6 \times 10^{-2}\text{kg}$ であるから、粒径 $32\mu\text{m}$ 以下の土壌のCs-137による放射能は、

$$1.61 \times 10^4 \div (1.6 \times 10^{-2}) = 1.01 \times 10^6 \quad (\text{Bq/kg})$$

となる。

同様に、粒径 $32\mu\text{m}$ 以下の土壌のCs-134における放射能を求める。表層 1cm の土壌 1kg から検出されるCs-134の放射能は、 $12,994 \times 5 = 6.50 \times 10^4$ Bq/kgであるから、粒径 $32\mu\text{m}$ 以下の土壌のCs-134による放射能は、

$$6.50 \times 10^4 \times 0.2 \div (1.6 \times 10^{-2}) = 8.13 \times 10^5 \quad (\text{Bq/kg})$$

である。

子供が校庭・園庭で8時間過ごした場合の土壌吸入量を求める。ICRPでは、吸入による年齢別ごとに呼吸率が定められており、Light Exerciseの区分で5歳児 (2~7歳児) は $0.57\text{m}^3/\text{h}$ 、10歳児 (7~12歳児) は $1.12\text{m}^3/\text{h}$ となっている¹⁷⁾。8時間当たりの呼吸量は、

$$0.57 \times 8 = 4.56 \quad \text{m}^3 \quad (2\sim 7\text{歳児})$$

$$1.12 \times 8 = 8.96 \quad \text{m}^3 \quad (7\sim 12\text{歳児})$$

である。

空気中の粒径 $10\mu\text{m}$ 以下の土壌粒子の年間平均濃度は、 $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ である¹⁶⁾から、土壌吸入量は、

$$20 \times 4.56 = 91.2 \quad \mu\text{g} \quad (2\sim 7\text{歳児})$$

$$20 \times 8.96 = 179.2 \quad \mu\text{g} \quad (7\sim 12\text{歳児})$$

となる。

粒径 $10\mu\text{m}$ 以下の土壌中のCs-137による放射能は粒径 $32\mu\text{m}$ 以下の値を用いて、 1.01×10^6 Bq/kgであるから、校庭など屋外で8時間過ごした場合の土壌吸入量から検出されるCs-137による放射能は、

$$1.01 \times 10^6 \times 91.2 \times 10^{-9} = 9.21 \times 10^{-2} \quad (\text{Bq}) \quad (2\sim 7\text{歳児})$$

$$1.01 \times 10^6 \times 179.2 \times 10^{-9} = 1.81 \times 10^{-1} \quad (\text{Bq}) \quad (7\sim 12\text{歳児})$$

となり、吸入摂取による実効線量係数 (Cs-137) は、表1より2~7歳児の換算係数は 1.8×10^{-2} 、7~12歳児の換算係数は 1.3×10^{-2} であるから、校庭で過ごした場合のCs-137の土壌吸入による内部被ばく線量は、

$$9.21 \times 10^{-2} \times 1.8 \times 10^{-2} = 1.66 \times 10^{-3} \quad (\mu\text{Sv}) \quad (2\sim 7\text{歳児})$$

$$1.81 \times 10^{-1} \times 1.3 \times 10^{-2} = 2.35 \times 10^{-3} \quad (\mu\text{Sv}) \quad (7\sim 12\text{歳児})$$

と求められる。

Cs-137と同様に、校庭など屋外で8時間過ごした場合の土壌吸入量から検出されるCs-134による放射能は、

$$8.13 \times 10^5 \times 91.2 \times 10^{-9} = 7.41 \times 10^{-2} \quad (\text{Bq}) \quad (2\sim 7\text{歳児})$$

$$8.13 \times 10^5 \times 179.2 \times 10^{-9} = 1.46 \times 10^{-1} \quad (\text{Bq}) \quad (7\sim 12\text{歳児})$$

となる。吸入摂取による実効線量係数 (Cs-134) は、表1より2~7歳児の換算係数は 1.6×10^{-2} 、7~12歳児の換算係数は 1.2×10^{-2} であるから、校庭で過ごした場合の土壌吸入による内部被ばく線量は、

$$7.41 \times 10^{-2} \times 1.6 \times 10^{-2} = 1.19 \times 10^{-3} \quad (\mu\text{Sv}) \quad (2\sim 7\text{歳児})$$

$$1.46 \times 10^{-1} \times 1.2 \times 10^{-2} = 1.75 \times 10^{-3} \quad (\mu\text{Sv}) \quad (7\sim 12\text{歳児})$$

と求められる。

以上より、Csによる土壌吸入からの内部被ばく線量は、

$$1.66 \times 10^{-3} + 1.19 \times 10^{-3} = 2.85 \times 10^{-3} \text{ (}\mu\text{Sv)} \\ (2\sim 7\text{歳児)} \\ 2.35 \times 10^{-3} + 1.75 \times 10^{-3} = 4.10 \times 10^{-3} \text{ (}\mu\text{Sv)} \\ (7\sim 12\text{歳児)}$$

と推定できる。

(3) まとめ

土壌経由の内部被ばく線量は、土壌摂食、土壌吸入の内部被ばく線量の和である。1日8時間校庭などの屋外で過ごした場合の土壌摂食、土壌吸入による内部被ばく線量を求めた結果、土壌摂食の方が土壌吸入よりも大きな値となり、土壌経由の内部被ばく線量は、土壌摂食が大きく寄与することがわかった。よって、1日あたりの土壌経由の内部被ばく線量は、0.974 μ Sv (2～6歳児)、0.519 μ Sv (7～12歳児) と推定できた。

3. 自然放射線源による被ばく線量、一般公衆における線量限度との比較

(1) 自然放射線源による被ばく線量との比較

1日屋外で過ごした場合のCsによる土壌経由の内部被ばく線量は0.974 μ Sv/day (2～6歳児)、0.519 μ Sv/day (7～12歳児) と推定できた。Csによる土壌経由の内部被ばくの影響の大きさがどの程度であるかを自然放射線源による内部被ばく線量と比較する。

表2に自然放射線源による被ばく線量¹⁸⁾を示す。自然放射線源による内部被ばく線量は、410 + 400 = 810 (μ Sv/year) であるから、1日あたりの自然放射線源による内部被ばく線量は2.21 μ Sv/dayとなる。2～6歳児が1日屋外で過ごした場合のCsによる土壌経由の内部被ばく線量は自然放射線源の約45%、7～12歳児では自然放射線源の約25%であることがわかった。

表-2 自然放射線源による被ばく線量 (単位: μ Sv/year)

外部被ばく	
線源	被ばく線量
自然 γ 線	380
宇宙線	290

内部被ばく	
線源	被ばく線量
自然核種	410
ラドン及び娘核種	400

(2) 一般公衆における線量限度との比較

ICRPは、一般公衆における線量限度を定めており、全身に対して1mSv/yearとしている。この値は、外部被ばくと内部被ばくの合計であり、自然放射線による被ばくと医療行為による被ばくは含まれていない¹⁹⁾。この線量限度を1日あたりに換算すると、2.74 μ Sv/dayとなる。1日屋外で過ごした場合のCsによる土壌経由の内部被ばく線量は0.974 μ Sv/day (2～6歳児)、0.519 μ Sv/day (7～12歳児) であるから、線量限度の約35% (2～6歳児)、約20% (7～12歳児) を占めることがわかった。

(3) まとめ

今回の内部被ばく線量の推定には、校庭土壤中Csによる放射能量の最大検出量を用いたため、推定されうる最大の内部被ばく線量であると考えられる。Csによる土壌経由の内部被ばく線量は、一般公衆における線量限度の約35% (2～6歳児)、約20% (7～12歳児) であった。

Cs-134、Cs-137の半減期は長く、地表面近くに分布することから、今後さらなる調査、対策が必要である。

4. 結論

本研究では、子供が校庭・園庭などの屋外で過ごした場合、土壤中の放射性物質が体内に入る可能性があることから、土壌の表面に強く吸着する性質を持つCsに注目し、子供が校庭・園庭などの屋外で過ごした場合の土壌経由による内部被ばく線量を推定した。その結果、以下のような結論が得られた。

1) 子供が屋外で遊んでいるときに土壌粒子が口に入る可能性があるため、学校等で実施された環境放射線ダスト・土壌モニタリング結果から最大Cs検出量を用いて土壌摂食による内部被ばく線量を求めた結果、1日あたりのCsによる土壌摂食からの内部被ばく線量は、0.971 μ Sv (2～7歳児)、0.515 μ Sv (7～12歳児) となった。

2) 校庭や園庭では、子供が走ったり、風が吹くことで、砂埃が舞い、土壌粒子を吸入することがあるため、土壌吸入による内部被ばく線量を推定した結果、2.85 $\times 10^{-3}$ μ Sv (2～7歳児)、4.10 $\times 10^{-3}$ μ Sv (7～12歳児) となった。

3) 1日屋外で過ごした場合、Csの土壌経由の内部被ばくによる影響の大きさを明らかにするため、自然放射線源による被ばく線量や一般公衆における線量限度との比較を行った結果、自然放射線源の約45% (2～6歳児)、約25% (7～12歳児) となり、一般公衆の全身に対する線量限度の線量限度の約35% (2～6歳児)、約20% (7～12歳児) を占めた。

また、内部被ばく線量の算定でSr-90も重要な核種であることから、今後さらなる調査が必要である。

参考文献

- 1) 農林水産省：食料・農業・農村政策審議会企画部会（第28回）資料1 東日本大震災関連資料，2011.
- 2) 経済産業省：警戒区域の設定について，原子力災害対策本部，2011.
- 3) 財団法人 高度情報化学技術研究機構：河川環境中における放射性核種の移行挙動（06-03-05-01），ATOMICA
<http://www.rist.or.jp/atomica/data/dat_detail.php?Title_Key=06-03-05-01>
(accessed Apr. 2011)
- 4) 農林水産省：稲の作付に関する考え方，原子力災害対策本部，2011.
- 5) 文部科学省：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，平成23年4月19日付23文科第134号，2011.
- 6) 福島県：福島県環境放射線モニタリング小・中学校等実施結果（全調査まとめ）について
<<http://www.pref.fukushima.jp/j/schoolmonitamatome.pdf>>
(accessed Apr. 2011)
- 7) 渡利一夫，稲葉次郎：放射能と人体，研成社，pp.60, 1999.
- 8) 福島県：福島県環境放射線モニタリング小・中学校等実施結果（土壌・ダスト）について
<<http://www.pref.fukushima.jp/j/schoolairsoil.pdf>>
(accessed Apr. 2011)
- 9) 文部科学省：“環境放射線データベース”
<<http://search.kankyo-hoshano.go.jp/servlet/search.top>>
(accessed Aug. 2011)
- 10) 文部科学省：学校等におけるダストサンプリング及び土壌調査の結果及び今後の追加調査の実施要領，2011.
- 11) 米田稔，辻貴史，坂内修，森澤真輔：子供を対象にした公園土壌直接摂取のリスク評価における粒径の影響，環境工学研究論文集，Vol. 42, pp.29-38, 2005.
- 12) 環境省：土壌汚染対策法に係る技術的事項についての考え方の取りまとめ案
- 13) Livens F.R. and Baxter M.S. : Particle size and radionuclide levels in some west Cumbrian soils, *The Science of the Total Environment*, 70, pp.1-17, 1988.
- 14) 石山央存：土壌中の放射性核種分布調査，新潟県放射線監視センター年報，第6巻，pp.32-44, 2008.
- 15) ICRP Publication 72: Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients, 1996.
- 16) 環境省：土壌中のダイオキシン類に関する検討会 第一次報告，土壌中のダイオキシン類に関する検討会，1999.
- 17) ICRP Publication 71: Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides - Part4 Inhalation Dose Coefficients, 1995.
- 18) 原子力安全研究協会（編）：生活環境放射線，pp.143, 1992.
- 19) ICRP Publication 60: Recommendation of International Commission on Radiological Protection, 1990.

(2011.5.30受付)

Estimation of Children's Internal Exposure to Cesium in Playground Soil

Maiko IKEGAMI¹, Minoru YONEDA¹, Aki NAKAYAMA¹ and Yasuto MATSUI¹

¹Department of Environmental Engineering, Kyoto University

Fukushima Daiichi nuclear power plant accident released radioactive materials extensively, and there is concern that these materials may have adverse effects on human health and environment. Radioactive cesium strongly adsorbed onto surface soil particles, and therefore, may enter into children's body through soil ingestion and inhalation while children playing in schoolyard. Children's internal exposure doses of cesium via soil were estimated to 0.974 μ Sv/day (2-6 years old) and 0.519 μ Sv/day (7-12 years old), and these values were about 35% (2-6 years old) and 20% (7-12 years old) of dose limit for general public exposure.