

(27) 塗装面への幼児の接触行動による 重金属曝露量推定のための調査手法の検討

池上 麻衣子^{1*}・米田 稔¹・森澤 眞輔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

塗料には有害重金属を含むものも多い。塗料がはがれ落ちて、手などに付着すると、その手を子供がなめることによって塗料中重金属が子供の体内に取り込まれる。幼児の塗装面への接触によるリスクを評価するため、まず幼児の行動を観察し、手指を口に持っていく行動を頻繁に行うことが分かった。次に塗装面への接触行動による手指等への重金属移行量を評価するため、拭き取り法を用いることを検討し、拭き取り材や拭き取り回数の影響など、拭き取り法の特性を把握した。最後に本研究で開発した方法を用いて、保育園、公園の遊具を測定した結果、最大 $4 \mu\text{g}/100\text{cm}^2$ のPbが検出された。この値を用いて非常に手指をよく舐める癖のある幼児である場合を仮定すると、接触によって摂取するPb量はTDIの約3.2倍となった。

Key Words : Paint, Young children, Heavy metals, Exposure Analysis, Smear test

1. 序論

今日、様々な所で化学物質が使われている。子供は大人よりも、体重あたりの呼吸量や飲食量が多いことや、子供はものを口に運ぶ行動があることなどから、化学物質が子供へ与える影響は、大人の場合より大きいと言われている¹⁾。鉛などの重金属や様々な有害化学物質は生活環境中の様々なものに使用されていることから、身近な生活環境から乳幼児や子供らへの曝露経路が存在していると考えられる。

東京都は「欧米諸国では子供に着目した化学物質対策が進められてきており、アメリカやEUでは実際に対策が為されているが、わが国では子供のみを対象にした化学物質の曝露調査や対策などは十分ではない」とし、そのため、化学物質の曝露による子供への影響を低減するための独自のガイドライン「化学物質の子どもガイドライン—鉛ガイドライン塗料編—」を作り、子供に対する化学物質曝露の抑制に向け自主的に取り組むべき具体的方策を示している²⁾。

このような子供らへの曝露経路の一つが塗料である。塗料は様々な所で使われており、もっとも身近な化学物質の一つであるが、これら塗料には揮発性有機化合物、有害性重金属が含まれているものもあり、環境への影響

も考えられる。塗料は古くなると、はがれ落ちやすくなり、触ると手に付着する可能性がある。その結果、子供が手をなめることによって塗料中に含まれる重金属などが子供の体内に取り込まれる恐れがある。

本研究では特に重金属類に注目し、幼児の行動様式から、身の回りに存在する塗装面への接触による重金属曝露によるリスクの定量的評価を試み、現在の状況の危険性の有無について明らかにすることを最終目標とする。塗料からの重金属曝露についての研究例としては、Montgomeryら³⁾、Leightonら³⁾などの研究があるが、直接接触による曝露を定量的に評価した論文は見当たらない。このため、本研究では以下のような具体的な研究目的を設定する。

- 1) 幼児の塗装面への接触によるリスクを評価するために必要な一つの情報である幼児の行動を観察し、遊具などの塗装から経口摂取にいたる行動パターンを把握する。
- 2) 幼児の行動から、接触による重金属曝露量を推定する方法を開発し、その標準的な測定条件を決定する。この測定法として、本研究では拭き取り法を検討する。このため、拭き取り法での各種測定条件について検討する。
- 3) 最後に、開発した測定方法を用いて遊具などの塗装面を拭き取り、塗装面から接触により手指などに移行する重金属量についての実態を把握するとともに、塗装面

からの接触によるリスクを評価して、その危険性の大きさについて検討する。

2. 幼児の塗装面への接触行動

(1) 観察内容

幼児の塗装面への接触行動を把握するため、京都市内にあるK保育園に協力していただき、2005年10月31日、11月1、2、4日の4日間幼児の行動を観察し、記録した。

K保育園は、0歳児クラス8人、1歳児クラス17人、2歳児クラス20人、3歳児クラス24人、4歳児クラス24人、5歳児クラス27人の計120人の園児が通っており、特に3、4、5歳児の行動を観察し、屋外では、遊具や砂などを触った後、手をなめる、指をくわえるなどの行動の回数、人数を数えた。また、屋内でいる時も、手をなめるなどの行動を観察した。

観察は1人で行い、時間を計って幼児の行動を観察し、その間に手をなめる、指をくわえるなどの行動の回数、人数を数えた。はっきりとなめていることが認識できた場合を「なめる」とし、指のかなりの部分が完全に口の

中に入った場合を「指をくわえる」とした。手と口とが触れるが、指がほとんど口に入っていない場合や手をなめていることがはっきりと認識できなかった場合は「口を触る」とした。人数を数える時は、同じ幼児が手を2回なめた場合、1人として数えた。また、回数を数える時は、同じ幼児が手を2回なめた場合、2回として数えた。

(2) 観察結果

a) 屋外での様子

幼児が外で遊んでいる時、手をなめる、指をくわえる、遊具を直接なめるなどの行動を行った人数を数えた。表1は、時間を計って、その時間内に、指をくわえる、手をなめる、という行動を行った人数を数えた結果である。表1の単位時間当たり生起確率とは、後述するように一人の子供が単位時間内に手指をなめるなどの行動をとる確率Pであり、微小時間 Δt において、その子供が手指などをなめる行動をとる確率は $P\Delta t$ で表される。以下、表1、表2では、各観測結果に対する、このような頻度を示す。ただし表2の最後の行のデータは手指なめるなどの行動をとった総回数を観測したため、単位時間当たり生起確率は求めている。

表-1 屋外で遊んでいる時の様子

観察時間	観察対象	行動	年齢	人数	単位時間当たり生起確率
15分	1～5歳児 112人	スコップをなめる	1歳	2人	0.30 (hr ⁻¹)
			4歳	1人	
		砂を触った後、指をくわえる	2歳	1人	
			5歳	1人	
25分	1～5歳児 112人	鉄棒で遊んだ後、指をくわえる	4歳	3人	0.55 (hr ⁻¹)
		鉄棒で遊んだ後、指をくわえる、手をなめる	5歳	3人	
		指をくわえる、手をなめる	1歳	4人	
			2歳	9人	
			3歳	1人	
			4歳	4人	
1時間	3～5歳児 75人	指をくわえる、手をなめる	—	18人	0.58 (hr ⁻¹)
		口を触る	—	15人	
15分	5歳児 27人	口を触る	5歳	2人	0.47 (hr ⁻¹)
		スコップをなめる	5歳	1人	
25分	3歳児 24人	指をくわえる、手をなめる	3歳	5人	0.97 (hr ⁻¹)
		口を触る	3歳	3人	
15分	3～5歳児 75人	手をなめる	—	5人	0.83 (hr ⁻¹)
		口を触る	3歳	3人	
			4歳	2人	
			5歳	2人	
		鉄棒を直接なめる	5歳	1人	
		スコップをなめる	3歳	1人	

表2 屋内で過ごしている時の様子

観察時間	観察対象	行動	年齢	人数 回数	単位時間当たり 生起確率
40分	3～5歳児 32人	指をくわえる, 手をなめる	—	6人	0.50 (hr ⁻¹)
		ペンをくわえる	—	2人	
		ぬいぐるみをなめる	—	1人	
25分	3, 4歳児 22人	指をくわえる, 手をなめる	—	5人	0.76 (hr ⁻¹)
		口を触る	—	1人	
15分	5歳児 27人	指をくわえる	5歳	7人	2.92 (hr ⁻¹)
		口を触る	5歳	6人	
		歯を触る	5歳	1人	
20分	3, 4歳児 22人	指をくわえる	—	6人	1.58 (hr ⁻¹)
		口を触る	—	3人	
40分	5歳児 27人	指をくわえる, 手をなめる	5歳	20回	—
		口を触る	5歳	9回	

表1から、指をくわえる、手をなめるという行動は、年齢を問わず行っていることがわかる。

b) 屋内での様子

幼児が屋内で過ごしている時、手をなめるなどの行動を観察した結果は表2である。屋内では、遊んでいた、歌の時間、絵本の読み聞かせ、などがあつた。屋外での様子を観察した結果と同様に、指をくわえる、手をなめるという行動は、年齢を問わず行っていることがわかる。

(3) 検討

2 (2)から、幼児は、手をなめる、指をくわえるなど、手を口を持っていく行動を行っている。接触によって塗装面から幼児の手に重金属が付着した場合、手をなめる、指をくわえるなどの行動によって、その重金属が消化器系へ移行する可能性が考えられる。塗装面から塗料中の重金属のかなりの量が接触により手や指などに移行する場合には、これらは重金属の経口曝露に繋がると推定される。ここで得られた幼児の手指をなめる頻度などから、一人の幼児が時間の間に手指をなめる確率を試算してみる。手指をなめる頻度が個々の幼児で変わらないとして、これを単位時間当たりに手指をなめる確率 P (hr⁻¹)とすると、幼児一人が微小時間 Δt 内に手指を舐めない確率は

$$1 - P \cdot \Delta t \quad (1)$$

よって、幼児一人が t 時間に手指を舐める確率は

$$1 - (1 - P \cdot \Delta t)^{t/\Delta t} \quad (2)$$

で $\Delta t \rightarrow 0$ の極限值をとった値となる。この極限值はよく知られており⁴⁾、

$$1 - e^{-P} \quad (3)$$

となる。このとき観測した幼児 n 人中 m 人が t 時間内に手指をなめる確率 P_{est} は、

$$P_{\text{est}} = n C_m (1 - e^{-P})^m (e^{-P})^{(n-m)} \quad (4)$$

で表される。各観測において、この P_{est} の値を最大にする P の値を P の推定値とすると、この P の値は、 P_{est} を P について微分し、0と置くことで次式のように求まる。

$$P = \ln(n/(n-m))/t \quad (5)$$

表1と表2ではこの P の値を単位時間当たり生起確率として示している。なお、(5)式は

$$P = \ln(1+m/(n-m))/t \quad (6)$$

と書き直すことができるから、 n に比べて m が十分小さい場合、(5)式に示す P の値は $\ln(1+x)$ のテイラー展開から、次式で示す、単位時間当たりに手指をなめた人数の割合で近似できる。

$$P = (m/n)/t \quad (\text{ただし } m \ll n) \quad (7)$$

ここで(3)式より、一人の幼児がある一定時間の間に手指をなめるなどの行動をとる確率を求めてみる。 P の代表的値として、表1と表2で得られた P の10個の値の中央値付近の値として、大ききの順で5番目と6番目の値の平均値0.67 (hr⁻¹)を採用すると、求める確率は1時間では0.49、6時間では0.98となる。よって、幼児が一日遊んでいれば、一度は手指を舐めるといっても過言ではない。このように幼児らの手指に付着した重金属などは、経口摂取に至る可能性が高いと考えられる。

3. 塗装面からの重金属曝露量の推定方法

(1) 拭き取り方法の検討

幼児の行動に近い、標準化可能な塗装面からの重金属量を測定する方法を提案する。本研究ではこの測定法として、接触行動を近似するという観点、および測定の手軽さから、拭き取り法を採用することにした。拭き取り法では、まず塗装面を何らかの拭き取り材で拭き取った後、この拭き取り材に移行した重金属量を何らかの方法

表-3 検出限界量 (単位は拭き取り材試料中 μg)

元素	検出限界量
Cr	1.4×10^{-1}
Mn	2.8×10^{-3}
Co	4.8×10^{-4}
Ni	2.3×10^{-3}
Cd	2.1×10^{-4}
Sn	9.8×10^{-3}
Pb	4.7×10^{-3}

で測定する。以下では、拭き取り法を採用する場合の詳細な測定方法について検討する。

1) まず、塗装面から拭き取り材への重金属の移行量を測定する方法として、土壤汚染対策法での土壤中重金属量の測定方法を参考にして、1N塩酸による抽出方法を採用する。1N塩酸抽出法は、人体へ吸収され得る重金属量を近似的に測定する方法である⁹⁾。

2) 拭き取り法での測定条件の検討項目として、はじめに塗装面を何を用いて拭き取るかについて検討するための実験を行う。塗装面からの重金属移行量の測定に影響が出ないように拭き取る材質そのものに重金属ができるだけ含まれていないものにする。

3) 実際にいくつかの塗装面を拭き取り、最も多く重金属が検出された場所を、以下の拭き取り効率などの実験用塗装面として選択する。

4) 本研究では塗装面を拭き取ったものを塩酸抽出す

る方法を採用するが、その際、振とう時間により抽出される重金属量に変化があるのかを検討し、あれば十分な量の重金属が検出される振とう時間を決定する。

5) 幼児が湿った手、濡れた手で塗装面を触る場合も考えられるので、塗装面を拭き取る際、拭き取り材を濡らした場合と濡らさない場合について、拭き取り材に移行する重金属量に差があるかどうかを確認するための実験を行う。

6) 拭き取り回数の影響について検討するための実験を行う。塗装面からの重金属移行量は、拭き取りを繰り返すことによって、変化する場合が考えられる。このことを確認するため、同じ塗装面を5回拭き取った時の各回での重金属移行量、同じ塗装面を1回拭き取った後きれいに拭き、さらに2回拭き取った時の各回での重金属移行量の違いについて調べる。

また、拭き取り法による塗料からの重金属曝露量推定における、塗装面に付着したほり中での重金属の影響を調べるため、塗料が塗られていない面で拭き取り法によって重金属が検出されるかどうか、塗装面との比較も行う。

拭き取り実験においては、一度拭き取った所は拭き取らないように気をつけた。また、拭き取る力は、約5kgとした。これは体重10kgの幼児が例えば鉄棒にぶら下がった時に、一つの手のひらにかかる力というように考えることができることから、妥当な値として採用した。

(2) 定量方法

測定元素は、数カ所の塗装面を対象とした事前の拭き取り実験により検出された、Cr, Mn, Co, Ni, Cd, Sn, Pbの7元素である。

抽出方法として、拭き取り材、あるいは塗装面を拭き

表-4 各拭き取り材に含まれ得る重金属量 (単位は μg /枚)

	Cr	Mn	Co	Ni	Cd	Sn	Pb
ろ紙(数字あり)	—	0.03	—	—	—	—	0.070
ろ紙(数字なし)	—	0.02	—	—	—	—	0.005
キムワイプ	—	1.64	0.0030	0.07	0.0003	—	0.022
ティッシュ	—	0.96	0.0019	0.13	0.0007	0.023	0.037

表-5 いくつかの塗装面での重金属抽出量 (単位はろ紙1枚当たりの抽出量 μg)

	Cr	Mn	Co	Ni	Cd	Sn	Pb
研究室のドア	—	—	0.002	0.019	—	—	0.12
研究室のドアの横の壁	—	0.007	—	0.003	0.0054	—	0.01
階段の手すり	—	0.135	0.014	0.038	0.0011	0.0098	1.12
玄関のドア	—	0.011	0.003	0.013	0.0004	—	0.16

取ったものを容積30mlのPP製容器に入れ、これにIN塩酸15mlを加えて25℃、200回/分で振とうする。振とう終了後、抽出液を0.45μmアセテートフィルターでろ過し、ろ液を試料液とする。試料液に内標準物質としてIn（インジウム）を100ppbとなるように加え、ICP-MSで内標準法により測定する。

検出限界値は、拭き取り材の抽出操作によるバックグラウンドの標準偏差の3倍とした。各元素の検出限界を表3に示す。

(3) 結果と考察

a) 拭き取り材

拭き取り材としては均質な材質の手に入れやすさを考慮して、RIの汚染検査に用いるスミヤろ紙（スミヤ採集濾紙、製造元アイソトープ設備研究所）、キムワイブ（キムワイブ ワイパーS-200、製造元クレシア）、ティッシュ（スコッティ、製造元クレシア）の3素材を検討した。スミヤろ紙は、表面に数字が書かれているろ紙と数字が書かれていないろ紙があるため、両方のろ紙を測定した。塩酸抽出法で2時間抽出を行った時の拭き取り材のバックグラウンド濃度の測定結果を表4に示す。表中で「—」は検出されていない、あるいは検出限界以下である。

下である。

表4よりキムワイブ、ティッシュにはろ紙より多くMnが含まれていた。数字が書かれているろ紙と数字が書かれていないろ紙ではPbの量が異なることから、数字が書かれているろ紙のインクにはPbが含まれていることがわかる。

表4に示す結果より、本研究で用いる拭き取り材としては、最も重金属が含まれていない数字の書かれていないスミヤろ紙を使用することにした。

b) 拭き取る場所

以下の実験での標準的な拭き取り面として、どの場所の塗装面を拭き取るか実験を行った。京都大学工学部5号館の、ある研究室のドア、同研究室のドアの横の壁、同校舎内の階段の手すり、同校舎の玄関のドアの4カ所の塗装面で拭き取りによる重金属移行量の最も多い場所を決定した。4カ所とも100cm²拭き取った。拭き取った時の気温は、約14.5℃であった。

結果を表5に示す。表5よりPb検出量の多さを考慮して、以後の実験では、階段の手すりの塗装面を測定対象とすることに決定した。

c) 振とう時間

ろ紙をIN塩酸抽出する場合の振とう時間について検

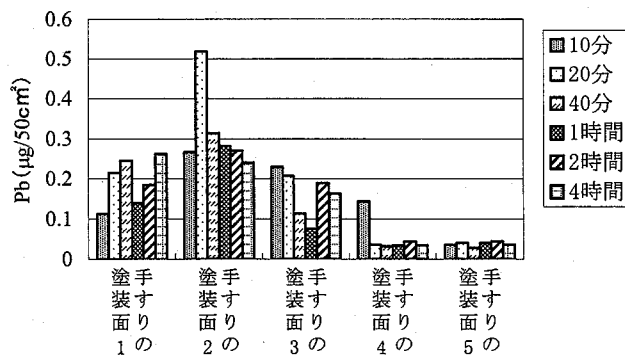


図-1 各振とう時間におけるPbの値

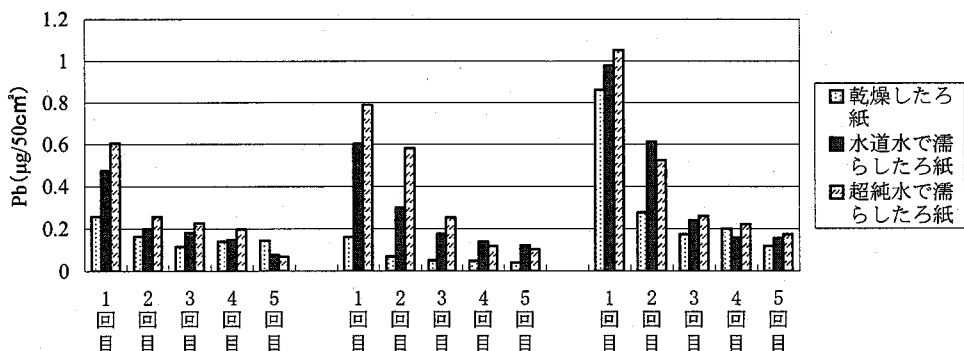


図-2 ろ紙を濡らさない場合と濡らした場合のPbの値

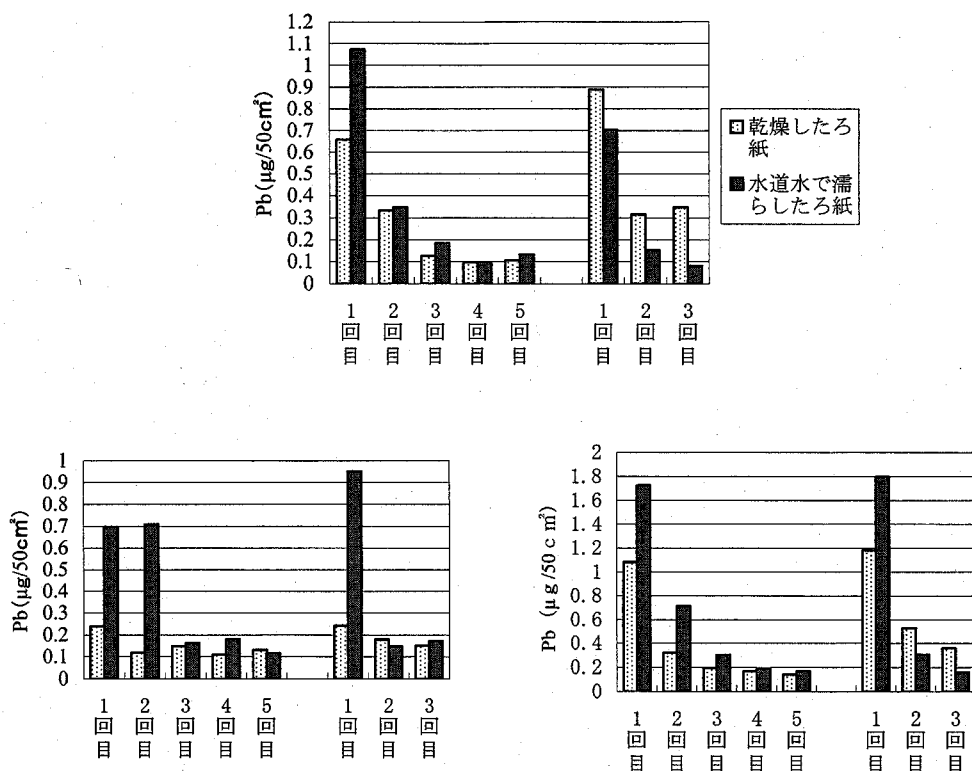


図3 拭き取り回数の違い (Pb)

討した。振とう時間の検討においては、それぞれの場所の測定について近傍から得た複数のサンプルを用い、別系列（ろ紙）サンプルによる検討を行った。

階段の手すりの塗装面 50cm^2 ずつをろ紙で拭き取り、1N塩酸15mlを加えて 25°C で、10分、20分、40分、1時間、2時間、4時間でそれぞれ振とう抽出した。各振とう条件について5カ所ずつ測定を行った。拭き取った時の気温は、約 15°C であった。

Pbの結果は図1のようになった。

Cdは、すべて検出限界に近い値となった。また、Cr、Snは検出されなかった。また、Mn、Co、NiはPbの値と比較して10分の1以下の値となったので、図1を含め以下の項では、Pbの結果のみを示す。

振とう時間の長さによる重金属の検出量のきまった変化は見られなかったことから振とう時間としては10分あるいは20分でも十分と考えられたが、本研究では平成15年環境省告示第19号⁹⁾に従って、振とう時間を2時間とした。

d) 拭き取り材を濡らした場合の効果と拭き取り回数

幼児らの手や指には常に湿り気が存在すると思われる。このため、ろ紙で塗装面を拭き取る場合、乾燥したろ紙よりも、湿り気を持ったろ紙を使用する方が、より現実

を近似した測定法となる可能性がある。ろ紙を濡らさず塗装面を拭き取る場合と、ろ紙を濡らして塗装面を拭き取る場合では、塗装面からろ紙への重金属移行量に違いがあるかどうか実験を行った。乾燥したろ紙、水道水で濡らしたろ紙、超純水（「Milli-Q gradient A10」（MILLIPORE）により製造）で濡らしたろ紙で、塗装面を 50cm^2 ずつ同じ所を5回拭き取った。また3カ所拭き取った。拭き取った時の気温は、約 12°C であった。

図2はPbの結果である。全体的に3カ所ともろ紙を濡らした方が多く検出された。拭き取り回数から見ると、1回目の値が最も大きかった。この理由としては、1回目では塗装面の接触により移行しやすい成分の多くが移行してしまうというメカニズムの他に、1回目は塗装面に付着しているほこりの多くが拭き取られ、このほこりの中にPbなどが多く含まれていたというメカニズムが考えられる。

一般に乾燥したろ紙よりも濡らしたろ紙で拭き取る方が重金属移行量は大きかった。また水道水で濡らした場合よりも超純水で濡らした場合の方が高濃度となる場合が多かった。よって、ろ紙は乾燥している場合よりも濡らした場合の方が、しかも濡らす場合には超純水で濡らす方が塗装面からの重金属移行量が多い。これは超純水

のような純度の高い水の方が重金属を溶出しやすいからではないかと考えられるが、そのメカニズムを明らかにするには、さらに実験が必要である。しかし現実の場合を考えると、超純水のような高純度の水が手などについていることは考えられないことから、拭き取り法としては超純水で濡らす方法は採用しないこととした。また、実際に遊具などの塗装面を拭き取った場合、同じような結果が得られるどうかを確認するため、本研究での拭き取り方法としては、乾燥したスミヤロ紙と水道水で濡らしたスミヤロ紙の両方を使用し、拭き取り操作を行うこととした。

また、遊具などを拭き取る際に、幼児らが同じ場所に何回も触れる場合の重金属移行量を推定するためには、同じ所をろ紙で何回も拭き取った場合に、塗装面からろ紙への重金属移行量にどのような影響が出るかを解析しておく必要がある。同じ所を5回拭き取った場合と1回拭き取った後、水道水できれいに拭き、その後でさらに2回拭き取る場合の塗装面からろ紙への重金属移行量の違いを見るための実験を行った。3カ所について行い、拭

き取った面積はそれぞれ50cm²である。拭き取った時の気温は、約6℃であった。

Pbの結果は図3のようになった。

3カ所とも5回拭き取った時の3～5回目の値はあまり変わらず、きれいに拭いた後の2、3回目も値はあまり変わらなかった。

このことから同じ所を5回拭き取った場合の3～5回目と1回拭き取った後、水道水できれいに拭き、その後でさらに2回拭き取る場合の2、3回目の塗装面からろ紙への重金属移行量の違いは、あまりみられない。よって、幼児らが同じ場所に何回も触れる場合の重金属移行量を推定するため同じ所をろ紙で何回も拭き取る場合には、3～5回、あるいは1回拭き取った後、水道水できれいに拭き、その後でさらに2回拭き取るなどの操作をすれば良いと考えられる。

e) ほこりなどの影響

塗料が塗られていない窓を拭き取り、拭き取り法によって重金属が検出されるかどうか実験した。京都大学構内の屋内の窓3カ所、屋外の窓3カ所を100cm²ずつを1回

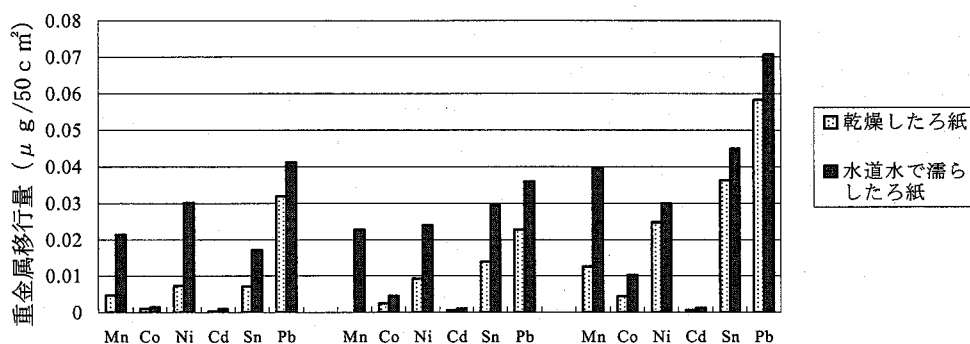


図4 屋内の窓を1回目に拭き取った時の重金属移行量

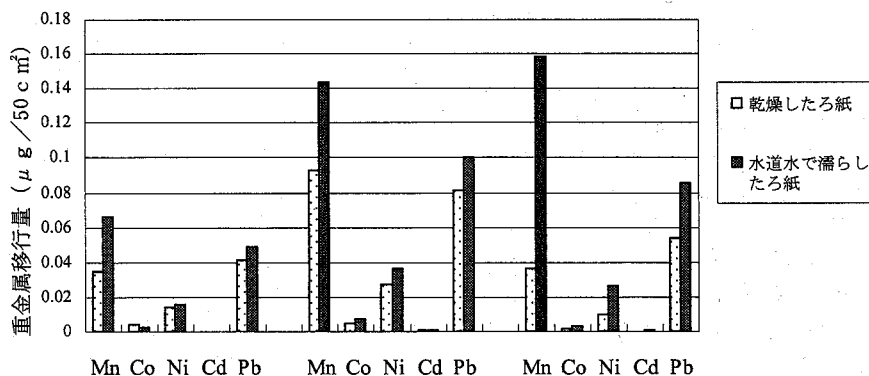


図5 屋外の窓を1回目に拭き取った時の重金属移行量

目に拭き取った後、水道水できれいに拭き、さらに2回拭き取った。屋内の窓を拭き取った時の気温は、約6℃であった。また、屋外の窓を拭き取った時の気温は、約3℃であった。

ここではろ紙は、スミヤろ紙（スミヤー法濾紙、製造元Toyo Roshi Kaisha Ltd）を使用した。このろ紙もスミヤろ紙（スミヤ採集濾紙、製造元アイソトープ設備研究所）と同様、重金属はほとんど含まれていなかった。

結果は、屋内、屋外とも1回目に拭き取ったろ紙には重金属が移行していたが、2、3回目に拭き取ったろ紙からは、重金属は検出されなかった。

図4は、屋内の窓を1回目に拭き取ったものである。単位を $\mu\text{g}/50\text{cm}^2$ に換算して表している。3カ所とも重金属が含まれていた。また、水道水で濡らしたろ紙の方が、重金属が多く検出された。

図5は、屋外の窓を1回目に拭き取ったものである。単位を $\mu\text{g}/50\text{cm}^2$ に換算して表している。

Mn、Pbが多く検出された。多くの重金属が水道水で濡らしたろ紙の方が、多く検出された。

屋内と屋外で比べると、Mn、Pbは屋外の方が多く検出された。

これらのことから、1回目は窓に付着しているほこりの多くが拭き取られ、このほこりの中にPbなどが多く含まれていたというメカニズムが考えられる。よって、塗装面を拭き取って検出される重金属は、実はこれらのほこりに由来している可能性も考えられる。

しかし、屋内の窓のほこり中の重金属量と階段の手すりを1回目に拭き取った時の重金属量を比較すると、階段の手すりを1回目に拭き取った時の重金属量は屋内の窓のほこり中の重金属量の、最小でも約10倍あり、値が大きい。また、塗装面からPbなどが検出される場合には、同じ所を4回、5回と拭き取っても、やはりPbなどが検出され続ける。よって、ほこり中の重金属の影響も無視できないが、本研究の方法で多くの重金属が検出された場合には、塗料からろ紙に移行した重金属の影響が大きいと考えられる。

f) まとめ

塗装面から手や指などへの接触による重金属移行量を測定する方法は、以下の方法に決定した。表面に数字が書かれていないスミヤろ紙を用い、約5kgの力で塗装面を拭き取り、乾燥したろ紙と水道水で濡らしたろ紙の両方を用いて拭き取る。また、同じ所に複数回接触する場合の影響を解析するためには、同じところをろ紙で3～5回拭き取る、あるいは1回拭き取った後、水道水できれいに拭き、その後さらに2回拭き取るなどの操作を行う。

表-6 保育園で拭き取った遊具

	面積 (cm^2)	塗料 の色	塗装の状態
すべり台の手すり(階段)	100	青	はがれている
すべり台の手すり(すべるところ)	400	青	はがれている
うんてい	100	赤	はがれていない
うんてい	100	黄	はがれていない
ジャングルジム	100	黄	少しはがれている
鉄棒の支え	100	赤	はがれていない

4. 調査例

(1) 調査内容

第3章で決定した測定法を用いて、保育園、公園の遊具を拭き取り、測定した。

(2) 結果と考察

a) 保育園

12月20日、K保育園に協力をいただき、遊具を拭き取った。拭き取った時の気温は約6.0℃であった。拭き取った遊具、遊具を拭き取った面積、遊具の塗料の色、塗装の状態は、表6に示す。

それぞれの遊具について、同じ塗装面を5回ずつ拭き取った。

測定した結果、すべての遊具についてCr、Sn、Cdは、検出限界以下、あるいは検出されなかった。また、Pbが最も多く検出された。従来より、小学校などの遊具の塗料から成分中に多くのPbが検出された例が報告されており⁷⁾、今回の拭き取り法による結果でも同じ傾向を示している。

図6はPbの結果で、図の左側は1回目に拭き取った値であり、右側は3回目に拭き取った値である。

すべり台の階段の手すりからは多くのPbが検出された。塗装の状態から見ると、塗装がはがれている方がPbの量が多く、塗料の色から見ると、ここではすべり台の階段の青色の塗料から最も多くPbが検出されたが、うんていの黄色や鉄棒の赤色の塗料からも検出されており、Pbは様々な色の塗料に含まれていることがわかる。なお、同じうんていで比較すると、赤色より黄色の塗料の方がや

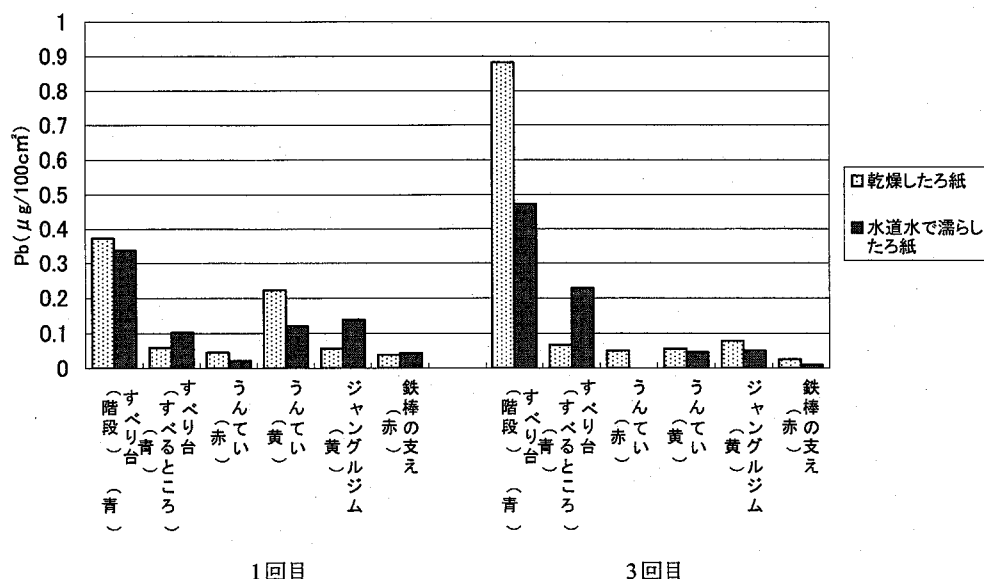


図-6 保育園の遊具を拭き取った時のPbの値

や多く検出された。

今回の調査では、すべり台の階段など、ろ紙を乾燥させた場合の方が多くPbが検出された場合もあり、3(3)d)での結果と異なった。これは塗装面の状態などによって、必ずしもろ紙を濡らして拭き取った方が、ろ紙への重金属移行量が多いとは限らないことを意味している。拭き取り回数についても3(3)e)での結果と異なり、すべり台の階段やすべり部分の手すりでは、1回目より3回目の方が、検出されたPbの量が多くなっている。これらの結果は拭き取った塗装面の状態が、はがれかけている状態などに関係していると思われる、このような場合は、拭き取り回数を増やすと、かえってのはがれた塗料の微粉末がろ紙に移行しやすくなり、Pbが高濃度で検出されるという結果になったのではないかと考えられる。いずれにせよ、フィールドの塗装面からの重金属移行量をスミヤ法で推定する場合は、拭き取り材の状態や拭き取り回数の違いによる重金属抽出量の違いに関して、注意が必要で

ある。

b) 公園

公園は、2カ所でそれぞれ遊具を拭き取り、測定した。それぞれ公園①、公園②とする。

公園①は、奈良県五條市にある公園で、設置年数は2、3年になる。公園②は、和歌山県橋本市にある公園で、近くの住民によると、設置年数は約12、3年になる。

公園①は、1月3日に遊具を拭き取り、拭き取った時の気温は約5.5℃であった。公園②は、1月4日に遊具を拭き取り、拭き取った時の気温は、約3.0℃であった。

遊具についてそれぞれ5回ずつ拭き取った。公園①の拭き取った遊具、拭き取った遊具の塗料の色と塗装の状態は表7である。遊具は、1回拭き取った後、水道水できれいに拭き、さらに2回拭き取った。Cr, Sn, Cd, Niは検出限界以下、あるいはほとんど検出されなかった。

図7の左側は公園①の遊具を1回目に拭き取ったPbの結果である。

表-7 公園①の拭き取った遊具

	面積 (cm ²)	塗料 の色	塗装の状態
すべり台の手すり (階段)	100	白	はがれていない
すべり台の手すり (すべるところ)	100	青	はがれている
ブランコの支え	100	黄	少しはがれている

表-8 公園②の拭き取った遊具

	面積 (cm ²)	塗料の 色	塗装の状態
うんてい	100	白	はがれている
つり輪	100	緑	はがれている
乗り物の取っ手	100	黄	少しはがれている
円形のジャングルジム	100	赤と青	はがれている

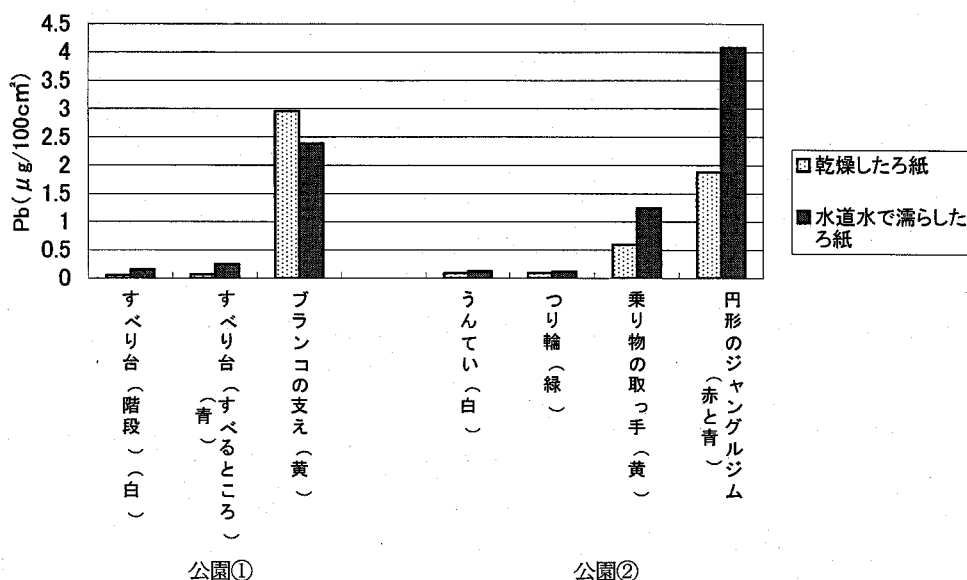


図-7 公園の遊具を1回目に拭き取った時のPbの値

塗料の色から見ると、ブランコの支えに用いられていた黄色の塗料で最も多く検出されている。またその検出量はすべり台から検出された量より、一桁大きい値であった。

公園②の拭き取った遊具、拭き取った面積、遊具の塗料の色と塗装の状態は、表8に示す。

特に円形のジャングルジムの塗装がはがれていた。

遊具は、1回拭き取った後、水道水できれいに拭き、さらに2回拭き取った。

拭き取り、測定した結果、Cr, Sn, Cd, Niは検出限界以下、あるいはほとんど検出されなかった。図7の右側はPbの結果で、公園②を1回目に拭き取ったものである。塗装の状態から見ると、今回の測定結果からは塗装がはがれている方がPbは多く検出される傾向が見られたが、サンプル数が少ないので一般的結論を導くには不十分である。また、塗料の色から見ると、ここでは赤と青の塗料で最も多く検出された。なお、ここで円形のジャングルジムから検出された $4\mu\text{g}/100\text{cm}^2$ という値は、今回のフィールド調査での最大値であった。

公園①は公園②に比べ、設置年数が少ないが、その公園の遊具から大きな値が得られたことから、比較的最近設置された遊具であるからといって、塗料中重金属含有量が少ないというわけではないことがわかる。また、図7で赤と青の塗料（公園②の円形のジャングルジム）が最も多く検出されたが、公園①にあるすべり台の青の塗料は $0.5\mu\text{g}/100\text{cm}^2$ 以下である。また図6から保育園の遊具の赤の塗料はすべて $0.1\mu\text{g}/100\text{cm}^2$ 以下である。2番目に多く検出されたのは図7から黄色の塗料（公園①のブ

ランコの支え）であるが、図6から保育園の遊具の黄色の塗料はすべて $0.3\mu\text{g}/100\text{cm}^2$ 以下である。よって、Pbなどの移行量が高濃度となる色としては、特に決まった色があるわけではないことが推察された。

(3) スクリーニングとしてのリスク評価の試み

今回の調査結果を元に、幼児の遊具などへの接触による重金属曝露量を推定してみる。調査結果より、Pbのみしか検出されない場合が多かったので、Pbが最も曝露の可能性が大きい重金属だと考えて、ここではPbに関してのみ推定を行うことにする。

曝露量評価を行う上では、安全側の数値を採用するものとする。よって、塗装面から幼児の手や指などへの移行量の推定値としては、今回の拭き取り調査での最大値を採用することとする。今回の調査結果で最大の検出量は、公園②の円形のジャングルジムであり、その値は濡らしたろ紙で約 $4.0\mu\text{g}/100\text{cm}^2$ であった。ジャングルジムは直接手で握って遊ぶ遊具であり、この遊具で遊ぶ幼児はかなりの面積に接触するものと考えられる。ここではおおよその値として、幼児がつかむジャングルジムの棒の面積を 45cm^2 、このジャングルジムで1日当たり10分間、遊ぶと仮定して、6秒毎に新たな場所を握るものとする。すると、この幼児が接触する面積は $45 \times 10 \times (60/6) = 4500\text{cm}^2$ となる。接触した面積から手や指に移行したPbが全て手や指に付着しているわけではないと考えられるが、ここでは安全側に考えて、接触した面積から移行するPbは、全て手や指に付着すると考える。すると、1日当たり、この幼児の手や指にジャングルジムから移行す

るPb量は

$$4\mu\text{g}/100\text{cm}^2 \times 4500\text{cm}^2 = 180\mu\text{g}$$

これら全てが経口摂取へと移行するわけではないが、ここでも安全側を考え（例えば非常に手や指をよく舐める癖のある幼児である場合などを仮定）、手や指についたPbの全てが経口摂取へ移行すると考える。本研究のPb濃度測定法である1N塩酸抽出法は、消化器系に入った場合に溶出吸収されるPb量を近似して測定していると考えられるため、これら全量が幼児の体内に吸収されることが妥当である。この幼児の体重を16kgとすると、この幼児のPb摂取量は

$$180 \div 16 = 11\mu\text{g}/\text{kg}$$

となる。

この幼児がほぼ毎日、このジャングルジムで遊ぶと考え、このPb摂取量とTDIを比較することで、リスクの大きさを評価できる。Pbは人体への蓄積性があることから、消化管からの吸収率が高く、最も感受性が高い乳児の代謝研究に基づき、耐容一日摂取量（TDI）を体重1kg 当たり $3.5\mu\text{g}$ と算出している⁹⁾。この幼児がジャングルジムへの接触によって摂取するPb量はTDIの約3.2倍となる。今回のリスク評価で用いた仮定は、リスクを過大評価していると考えられ、TDIの約3.2倍となったPb摂取量は推定される最大のリスクに近いとみなすことができ、実際のリスクについてはさらなる調査が必要である。

ここで行った接触によるリスク評価法は、リスクを過大に評価する可能性が高いと考えられるが、サンプリング自体は誰でも可能であるという測定法の簡便さから、より詳細なリスク評価が必要かどうかを判断するための第1段階でのスクリーニング手法として考えると、きわめて有効な方法ではないかと考えられる。

5. 結論

本研究では幼児らの塗装面への接触に起因する、重金属の直接曝露に注目し、このような曝露に関係する幼児らの行動を観測するとともに、曝露量を推定するための測定法の開発と、実フィールドでの実態調査を行い、塗装面への接触による重金属曝露のリスク評価を試みた。その結果、以下のような知見・結論が得られた。

1) 幼児の塗装面への接触によるリスクを評価するために必要な一つの情報である幼児の行動を観察した結果、幼児は、手をなめる、指をくわえるなど、手を口に持っていく行動を頻繁に行っていた。観測データを元に、幼児一人が遊んでいる間に自らの手や指などを舐める確率を求めてみると、数時間では1に近い値が得られた。こ

のことから、塗装面などから幼児の手に付着した重金属は、舐めるなどの行動によって、経口曝露へと移行していく可能性が高いと考えられる。

2) 塗装面から拭き取り材への重金属の移行量を測定する方法として、土壤汚染対策法での土壤中重金属量の測定方法を参考にして、1N塩酸による抽出方法を採用した。拭き取り法での測定条件の検討項目として、はじめに塗装面を何を用いて拭き取るかについて検討し、拭き取り材としては、塗装面からの重金属移行量の測定に影響が出ないように、拭き取る材質そのもののバックグラウンド重金属濃度が最小であった、表面に数字の書かれていないスミヤロ紙に決定した。

3) 本研究では塗装面を拭き取ったものを塩酸抽出する方法を採用したが、その際、振とう時間により抽出される重金属量に変化があるのかを実験により検討した。その結果、振とう時間の長さによる重金属の検出量のきまった変化は見られなかったことから、本研究では環境省告示第19号に従って、振とう時間を2時間とした。

4) 塗装面を拭き取る際、拭き取り材を濡らした場合と濡らさない場合について、拭き取り材に移行する重金属量に差があるかどうかを確認するための実験を行った結果、京都大学5号館の階段の手すりについては、乾燥したろ紙よりも濡らしたろ紙で拭き取る方が重金属移行量は大きかった。

5) 同じ塗装面を5回拭き取った場合の3～5回目と、1回拭き取った後、水道水できれいに拭き、その後でさらに2回拭き取った場合の2、3回目の塗装面からろ紙への重金属移行量の違いはあまりみられなかった。よって、幼児らが同じ場所に何回も触れる場合の重金属移行量を推定するため同じ所をろ紙で何回も拭き取る場合には、3～5回、あるいは1回拭き取った後、水道水できれいに拭き、その後でさらに2回拭き取るなどの操作をすれば良いと考えられる。

6) 対照実験として、塗料が塗られていない窓を拭き取り、重金属が検出されるかどうか実験を行った。その結果、屋内の窓のほこりを1回目に拭き取った時の重金属量に比べ、階段の手すりを1回目に拭き取った時の重金属量が最小でも10倍と大きかった。ほこり中の重金属の影響も無視できないが、本研究の方法で多くの重金属が検出された場合には、塗料からろ紙に移行した重金属の影響が大きいと考えられる。

7) 本研究で開発した測定法を用いて、保育園、公園の遊具を拭き取り、測定した結果、塗装がはがれている方がPbは多く検出される傾向が見られたがサンプル数が少ないため、一般的な結論を導くには不十分であると考えられた。また塗料の色についても必ずしも決まった色からの検出量が多いわけではないと推察された。なお、今

回の調査での最大値は、公園のジャングルジムで $4\mu\text{g}/100\text{cm}^2$ であった。

8) 今回の調査結果を元に、この幼児の手指にジャングルジムから移行する1日当たりのPb量を試算すると、 $180\mu\text{g}$ となった。非常に手や指をよく舐める癖のある幼児である場合などを仮定し、手や指についたPbの全てが経口摂取へ移行すると考えると、この幼児がジャングルジムへの接触によって摂取するPb量はTDIの約3.2倍となる。ここで用いた仮定はリスクを過大評価している可能性が高いが、この幼児がほぼ毎日、このジャングルジムで遊ぶと考えると、塗装面に由来するPb摂取のリスクは憂慮すべきレベルとなる可能性があり、より詳細な調査が必要であると考えられる。

このように本研究の方法によって、幼児の塗装面への接触行動による重金属曝露量の大まかな推定を行うことにより、塗装面からの接触曝露によるリスクのスクリーニングが可能である。また、実際の公園の遊具などに含まれているPb量などは憂慮すべきレベルのものが存在することが明らかとなった。

参考文献

- 1) 東京都環境局：化学物質の子どもガイドライン—鉛ガイドライン（塗料編）—
- 2) M. Montgomery, A. Mathee : A preliminary study of residential paint lead concentrations in Johannesburg (Environmental Research 98 (2005) 279-283)
- 3) Jessica Leighton, Susan Klitzman, Slavenka Sedlar, Thomas Matte, and Neal L. Cohen : The effect of lead-based paint hazard remediation on blood lead levels of lead poisoned children in New York City (Environmental Research 92 (2003) 182-190)
- 4) 森口、宇田川、一松：数学公式1, p.44, 岩波書店, 1956
- 5) 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, 第42巻, pp.29-38, 2005.12）
- 6) 環境省：平成15年環境省告示第19号
<http://www.env.go.jp/water/dojo/law/kokuji/04.pdf>
- 7) 入江和夫, 前田典子, 吉田啓子, 鹿庭正昭：学校、公園遊具から収集した塗膜中の鉛分析（日本家政学会誌, Vol 48, No.12 1103~1109, 1997）
- 8) 環境省：化学物質ファクトシート 2004年度版
<http://www.env.go.jp/chemi/communication/factsheet.html>

(2006.5.26 受付)

Study of Investigation Technique for Estimation of Heavy Metal Exposure of Young Children by Contact Behavior to Painted Surface

Maiko Ikegami¹, Minoru Yoneda¹ and Shinsuke Morisawa¹

¹Dept. of Urban and Environmental Engineering, Kyoto University

Since paint is being used in various places, it may contain some hazardous heavy metals. If paint becomes old, pieces of paint may peel off easily from the surface of its paintwork. Hence it can be attached onto our hands directly. There is a risk that heavy metals from the paint may enter into the children's body if children lick their hands. First, actions of young children were observed to estimate the exposure of heavy metals by contacting the paint surface. It was observed that young children licked their hands and put their fingers into their mouth frequently. Next, smear test was conducted and the effects of the materials as well as the frequency of wiping off the paint were studied to evaluate the quantity of heavy metals attached onto the children's hands or fingers by contacting the paint surface. With the measurement method developed in this study, play sets from a nursery school and playgrounds were examined. The present study indicated that a large amount of Pb was detected, with its maximum value, $4\mu\text{g}/100\text{cm}^2$. Assuming that young children have a habit of licking their hands or fingers, the quantity of Pb taken was about 3.2 times higher than TDI.