

平成 27 年度 室内環境学会 調査研究助成 報告書

研究課題名：ハウスダスト中鉛の室内汚染源と健康リスクに関する研究

東京大学 大学院新領域創成科学研究科

環境システム学 吉永 淳

(現所属：東洋大学 生命科学部)

【研究の目的】

鉛による健康障害は、従来考えられていたよりももっとずっと低いレベルであらわれることが近年の疫学調査で明らかとなった（食品安全委員会, 2008）。とくに小児の認知機能の発達は、きわめて低レベル鉛曝露によっても影響を受ける。わが国の小児の鉛曝露レベルは世界的にみても高くはないが、鉛による認知機能への影響には閾値が確認されていないため、曝露レベルは低ければ低いほど望ましいと考えられており、わが国でも 小児の鉛曝露レベルの更なる低減化が求められるようになった。

申請者の既往研究により、小児の鉛曝露源として、ハウスダストの非意図的な経口摂取がもっとも大きな寄与をする可能性が指摘されている（Aung et al., 2004; Takagi et al., 2011）。さらに、ハウスダスト中の鉛は、室外よりも室内におもな汚染源があることが示唆されている（Ishibashi et al. 2009; 峡戸ら, 2009）。したがってハウスダスト中鉛の室内汚染源を特定することは、ハウスダスト中鉛の濃度レベルを低減化し、ひいては鉛による小児の健康リスク低減化対策を講ずるにあたり必須な情報となる。

そこで本研究では、鉛の室内汚染源として生活用品に着目し、鉛含有量のスクリーニングによって、潜在的室内汚染源の探索を行うこととした。一方、汚染物質によるヒト健康影響は、実際にヒトによって吸収される物質によることを念頭に置き、ハウスダストや生活用品中の鉛に占める可給態（bioaccessible）鉛の割合を調査することとした。

【方法】

文房具、玩具、電気製品アクセサリ等、人々が購入して室内で使用するものを、千葉県・茨城県の小売店（いわゆる「100 均」を中心とした）にて 124 品目購入した。内訳を表 1 に示す。それらの鉛含有量は可搬式蛍光エックス線（XRF）装置（ハンドヘルドエレメントアナライザー DELTA）によって測定した。定量には装置内蔵の検量線を使用した。適宜鉛濃度既知量の PVC 標準（住友）を使用して校正を行った。試料の材質等によって、検量線の傾きは少なくとも 7% 程度のずれがありえた。定量下限は

表 1. 鉛を分析した試料

品 目	試料数	品 目	試料数
文具	82	台所用品	6
玩具	8	敷物	4
テーブルタップ・延長コード	4	収納関係	7
アクセサリ・置物類	6	その他	3
小型家具類	4	合計	124

0.005%であった。

可給態鉛の測定試料として、XRFで鉛が検出された試料の他、峽戸ら（2009）が元素含有量を報告した、首都圏及び広島県内で収集したハウスダスト 20 試料を使用した。鉛が検出された生活用品（ブックエンド、ダンベル、延長コード 2 種類）は、鉛が含有されている塗膜や PVC 被覆などを分離後、セラミック鉢を使用して細切し、2 mm のステンレス製ふるいを通したものを試料とした。ハウスダストはそのまま使用した。0.5 g の試料をポリプロピレン性試験管にとり、多摩化学製超高純度塩酸から調製した 0.07 mol/L の塩酸 10 g を加えて 37°C で 2 時間振とうした。遠心後、塩酸層を希釈して ICP 質量分析法 (Agilent 7500ce) により鉛濃度の測定を行った。XRF による鉛含有量定量値あるいは峽戸らにより報告された鉛含有濃度（硝酸／過塩素酸／フッ化水素酸分解）に対し、抽出された鉛量を % 表示し、可給態率として表した。

【結果と考察】

1. 生活製品の鉛含有量

生活用品 124 試料の鉛含有量を XRF によってスクリーニング測定した結果、6 試料から定量下限 (0.005%) を超える鉛が検出された。表 2 に鉛が検出された試料の概要をまとめた。

表 2 鉛が検出された (>0.005%) 試料の概要

試料名	試料の概要	鉛濃度 (%)	生産国
ダンベル	オレンジ色 PVC で鋼を被覆したダンベル。	0.13	中国
ブックエンド	全面黄色に塗装。	14.1	韓国
鍋蓋	赤と白の水玉模様の塗装。	0.13	中国
延長コード	白色の PVC 被覆。	0.76	中国
延長コード	黒色の PVC 被覆。	0.69	中国
コーナータップ	黒色の ABS 樹脂製。	0.019	中国

いずれも国外で生産され輸入されたもので、製品表面は塗装されているか PVC 等の樹脂で被覆されているものであった。すべての製品で、鉛は製品表面の塗膜あるいは被覆している PVC に含まれていることを、塗膜や PVC をはがして再測定した結果から確認した。なお表 2 に示した結果は、製品表面を測定したものであり、塗膜や PVC 被覆が薄い場合には入射 X 線が塗膜や被覆を透過して、さらに深部のシグナルを拾っている可能性がある。深部に鉛が含まれない場合には、塗膜あるいは被覆自体の実際の濃度よりも低めになっている可能性があることに注意が必要である。

塗料には鉛を含有するものがあることは古くから知られている。わが国では塗料工業会が 1996 年より塗料の無鉛化をすすめており、塗料の鉛含量についての自主規制値 0.06% を設定している。したがってこれを超える塗料が現在販売・使用されることはないが、こうした規制が及ばない海外で生産された製品については、14% もの高濃度鉛を含有するものが国内に輸入されていることがわかる。一方、かつて PVC には安定剤として鉛化合物が使用されていた。しかし最近ではこれも無鉛化が進んでおり、とくに RoHS 指令により 2006 年より電化製品等の無鉛化が大きく進んだ。これは延長コードや電源コードなど

へも波及しているものと考えられるが、やはり一部の国では依然として PVC に鉛化合物が添加されているものがあるようである。

以上のように、国内で広く安価に販売されていて、一般家庭で使用されるような生活用品の中には高濃度の鉛を含むものがあることが明らかになった。特に塗装、PVC 被覆など、製品表面をおおう部分に鉛が含まれているために、製品の劣化に伴って表面が剥がれ落ち、ハウスダストに交じりこむようなシナリオも想定できる。高木（2011）は一般家庭から採取したハウスダストの XRF マッピングにより、鉛を高濃度に含有する PVC 片や塗料片の存在を見出している。本結果はこれと整合している。

2. 鉛含有製品の可給態鉛

表 2 に示した鉛検出サンプルのうち、ダンベル、ブックエンド、延長コード 2 種の計 4 試料について、製品表面から塗料や PVC 被覆をはがして再度 XRF で含有量を測定した上で細切し、0.07 mol/L 塩酸を用いて振とう抽出した結果を表 3 に示す。

表 3. 鉛含有量の高い製品の可給態鉛濃度および可給態率

	鉛検出部位	鉛含有量* (%)	可給態鉛濃度 mg/kg	可給態率 (%)
ダンベル	PVC 被覆	0.14	32	2.2
ブックエンド	塗膜	54	3.6 x 10 ³	0.67
延長コード白	PVC 被覆	0.76	63	0.83
延長コード黒	PVC 被覆	0.74	57	0.76

*鉛検出部位のみをはがして XRF 測定行ったもの。

可給態率は 0.7~2%と、それほど高いものではなかった。

下記にも示すように、今回分析した一般家庭のハウスダスト中可給態鉛濃度は 35±17 mg/kg が平均および標準偏差値であり、表 3 の 4 製品のうちブックエンドを除く 3 製品の可給態鉛濃度 (32-63 mg/kg) は、ほぼハウスダストのそれと同じレベルである。さらに一般的にみると、わが国の一般家庭 100 軒のハウスダストの鉛含有量は中央値 49 mg/kg、最小-最大は 11.9 - 3730 mg/kg と報告されている (Yoshinaga et al., 2014) ので、ハウスダストの可給態率をおよそ 60%とすると、ハウスダストの可給態鉛含有量は、中央値が約 30 mg/kg、幅は 7-2200 mg/kg と粗く見積もれる。表 3 に示した製品の可給態鉛濃度はすべてこの範囲に入る。したがって、仮にこれらの製品から塗膜や PVC 破片の剥落があったとしても、可給態鉛濃度から見る限り、それらの破片は一般のハウスダストと大きく異なるリスクをはらむものではないといえることができる。

3. わが国の一般家庭のハウスダストの可給態鉛

表 4 に 20 軒の一般家庭から採取したハウスダスト (掃除機ゴミを 250 μm のふるいを通したもの) の鉛濃度、可給態鉛濃度、可給態率を示した。平均可給態率は 61.7%であった。この値は Aung et al (2004) が首都圏の一般家庭から収集したハウスダストの可給態率の平均値 57% (範囲: 44-67%) と近かった。彼らは食物の可給態率を 52% (43-62%) と報告しており、ハウスダスト中鉛の可給態率は食物のそれとほぼ同等であることがわかる。このように、塗膜や PVC に比較すると、ハウスダスト中鉛の可給態率は

ずっと高いので、もっと可給態の鉛を多く含む何かが主な汚染源であると考えられる。

表 4. 20 軒の一般家庭から収集したハウスダスト中の可給態鉛濃度

	Total Pb concentration (mg/kg)	Bioaccessible Pb concentration (mg/kg)	bioaccessibility (%)
11	125.2	75.4	60.2
12	168.8	43.4	25.7
21	51.8	28.0	53.9
22	55.3	34.2	61.9
31	46.7	35.3	75.6
41	71.2	43.9	61.6
42	81.9	49.0	59.8
43	72.4	55.2	76.4
44	77.1	64.5	83.7
51	59.4	36.6	61.6
52	34.2	17.1	49.8
61	72.1	32.3	44.7
71	49.0	25.2	51.5
72	34.1	17.8	52.3
73	44.8	26.3	58.8
74	18.0	18.6	103.3
81	24.4	13.6	55.6
82	26.4	17.0	64.3
92	77.4	46.1	59.5
93	29.6	21.8	73.7
Mean	61.0	35.1	61.7
SD	36.0	17.0	15.9

4. 生活用品中鉛による健康リスクの推計

本調査で見いだされたような高濃度の鉛を含有する生活用品から剥落する塗膜やPVC片がハウスダストに混じりこみ、それを経口摂取することの健康リスクを見積もることとする。ただし、FAO/WHO 合同食品添加物専門家会議 (JECFA) が 2010 年に従来の鉛暫定耐容週間摂取量 (PTWI) (25 $\mu\text{g}/\text{kg bw}/\text{week}$) を取り下げて以降、国際的に認められている鉛の耐容摂取量は存在しないので、定量的な健康リスク見積もりは不可能である。ここでは、日本人小児の血中鉛濃度の代表値が十分低い (約 1 $\mu\text{g}/\text{dL}$, Yoshinaga et al., 2012) という現状を鑑み、現状の日本人鉛摂取量であれば大きな健康リスクは存在しないであろうという仮定を置き、塗膜片やPVC片からの鉛摂取量を評価することとした。

さらに、①小児は平均として一日 25 mg のハウスダストを非意図的に摂取すること (高木・吉永, 2009)、②生活用品から剥落する塗膜や PVC 片がハウスダストの 100%を占めること、③可給態鉛がリスク源になること、の3つの前提を置くと、ハウスダスト (=剥落塗膜・PVC) からの可給態鉛一日摂取量は、0.8~90 µg/day と見積もれる。一方、日本人小児の総鉛推定一日摂取量は 21.5 µg/day (Aung et al., 2004)、それに可給態率を考慮すると (食物とハウスダストはともに 60%と仮定)、可給態鉛一日摂取量は約 13 µg/day と見積もれる。ブックエンドの場合を除くと、製品からの剥落 PVC がハウスダストの 100%を占める、というありえない極端な仮定を置いて、たかだか現状の可給態鉛一日摂取量の 1/10 程度の摂取量にしかならず、こうした製品からの剥落 PVC は小児の健康リスクを増大させるものでないことがわかる。一方、ブックエンドの塗膜がハウスダストの 100%を占めるという仮定の下では、現状の摂取量の約 7 倍の摂取量となる。100%が塗膜という前提はあり得ないものの、どの程度の混入がありうるかは、製品の用途、塗装表面の状態や使用方法などにより幅が大きいと考えられ、合理性のある仮定を置くことは困難である。したがって、本調査で見出したブックエンドのような製品については、定量性を持った見積もりはできないものの、ハウスダストを介した非意図的摂取により、健康リスクを増大させる潜在力があると考えておくことが安全と考えられる。

5. まとめ

国外で生産され、わが国で広く販売されている文具・玩具・電化製品付属品等の生活用品の中に鉛含有濃度が高い (~14%) 製品があることを確認した。鉛は主に塗膜や PVC 被覆など製品表面に局在しており、それらの製品の表面が劣化・剥離することで、ハウスダストに混入し、ハウスダストの鉛含有量を押し上げる汚染源となる可能性が懸念された。一方、そうした塗膜・PVC 中の鉛の可給態率は 0.7~2%と低くとどまるため、含有量が高いわりには健康リスク源としては深刻ではなかった。しかし鉛含有量がきわめて高い製品では健康リスク増大に寄与する潜在的な室内鉛汚染源となる可能性は排除できなかった。

なお今回の結果はあくまでもこうした製品の表面が劣化・剥落し、ハウスダストに混入するという経路での摂取量評価であり、こうした製品への直接接触等による摂取量までを見積もったものではないことを注記する。

6. 謝辞

本研究遂行にあたり、XRF 測定では国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター 梶原夏子氏、鈴木剛氏、高田恭子氏、宇智田奈津代氏、小栗朋子氏のお世話になりました。深謝します。

7. 文献

食品安全委員会 (2012) 鉛に関する食品健康影響について, 一次報告.
<http://www.fsc.go.jp/fsciis/attachedFile/download?retrievalId=kai20120322ka1&fileId=520>

峽戸孝也, 高木麻衣, 吉永淳, 田中敦, 瀬山春彦, 柴田康行 (2009) ハウスダスト中元素濃度の変動要因. 環境化学, **19**, 87-94.

高木麻衣, 吉永淳 (2009) 日本人小児のハウスダストを介した化学物質曝露のリスク評価. 室内環境, **12**, 103-114.

高木麻衣 (2011) ハウスダストを介した小児の化学物質曝露に関する研究. 東京大学博士論文.

Aung NN, Yoshinaga J, Takahashi J (2004) Exposure assessment of lead among Japanese children. *Environ. Health Prev. Med.*, **9**, 257-261.

Ishibashi Y, Yoshinaga J, Tanaka A (2008) Lead and cadmium in indoor dust in Japanese houses: relationship with outdoor sources. 室内環境, **11**, 93-101.

Takagi M, Yoshinaga J, Tanaka A, Seyama H (2011) Isotope ratio analysis of lead in blood and environmental samples by multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry. *Anal. Sci.*, **27**, 29-35.

Yoshinaga J, Takagi M, Yamasaki K, Tamiya S, Watanabe C, Kaji M (2012) Blood lead levels of contemporary Japanese children. *Environ. Health Prev. Med.*, **17**, 27-33.

Yoshinaga J, Yamasaki K, Yonemura A, Ishibashi Y, Kaido T, Mizuno K, Takagi M, Tanaka A (2014) Lead and other elements in house dust of Japanese residences--source of lead and health risks due to metal exposure. *Environ Pollut.*, **189**, 223-228.