生活用品の鉛含有量と可給態鉛量

小栗 朋子^{1,2)}, 片岡 修治³⁾, 鈴木 剛¹⁾, 吉永 淳^{4)*}¹⁾国立環境研究所 資源循環・廃棄物研究センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)²⁾国立環境研究所 環境リスク・健康研究センター (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)³⁾北里大学医療衛生学部 (〒228-8555 神奈川県相模原市南区北里1-15-1)⁴⁾東京大学新領域創成科学研究科 (〒277-8563 千葉県柏市柏の葉5-1-5)

*現所属 (問い合わせ先): 東洋大学生命科学部 (〒374-0193 群馬県邑楽郡板倉町泉野1-1-1)

[平成28年8月29日受付, 平成28年12月28日受理]

Content of Total and Bioaccessible Lead in Household Products

Tomoko OGURI^{1,2)}, Shuji KATAOKA³⁾, Go SUZUKI¹⁾ and Jun YOSHINAGA^{4)*}¹⁾Center for Material Cycles and Waste Management, National Institute for Environmental Studies
(16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506)²⁾Center for Health and Environmental Risk Research, National Institute for Environmental Studies
(16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506)³⁾Allied Health Sciences, Kitasato University
(1-15-1 Kitasato, Sagami-hara, Kanagawa 228-8555)⁴⁾Department of Environmental Studies, The University of Tokyo
(5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8563)*Faculty of Life Science, Toyo University
(1-1-1 Izumino, Itakura, Oura, Gunma 374-0193)

[Received August 29, 2016; Accepted December 28, 2016]

Summary

Lead is a neurotoxin and it has a significant adverse effect on the neurobehavioral development of children due to a low-level exposure. In order to see if lead-containing household products are present in the indoor environment in Japan, various products (n=250) were analyzed for total lead concentration with an X-ray fluorescence spectrometry. Lead was detected in 18 of 250 samples at the concentration 0.019 to 14%. It was found that lead was contained in paints and polyvinyl chloride (PVC) covering of the products. Two samples with painted surface had concentrations of lead exceeding 0.06% in the paint, the regulatory limit set by the Japan Paint Manufacturers Association. Eight samples with PVC covering (e.g. extension cord, supply cable) had more lead concentrations than the tolerable maximum concentration value of the RoHS directive in 2006 (0.1%). These products were produced outside Japan, or produced before execution of the RoHS directive. Bioaccessibility of lead in the products was relatively low, ranging from 0.43 to 4.6%. Daily bioaccessible lead intake of a child via the ingestion of fragments of such products was estimated to range from 0.21 to 90 µg/day, and total daily bioaccessible lead intake including contributions from other media (e.g. diet and soil) was estimated to be 4.7 to 94 µg/day. Blood lead concentration of a child, who ingests this amount of bioaccessible lead, was estimated to be 0.75 to 15 µg/dL based on a model formula of the EPA. The result suggested that products with extremely high lead concentration can pose health risk to children via the ingestion of house dust contaminated with fragments of surface covering of such products.

Key words: Household products, Lead, XRF analysis, Paints, PVC

1. はじめに

鉛は従来考えられてきたより低いレベルの曝露（血中濃度として 5 µg/dL あるいはそれ以下）であっても、小児の認知機能の発達

や学習に影響を及ぼすことが指摘されている¹⁾。特に IQ の低下に対しては、いまのところ明確な血中鉛濃度の閾値が見出されておらず²⁾、生活環境中の鉛をできるだけ低減させることが望ましいと考えられるが、わが国の小児の鉛汚染源の詳細は解明に至っていない。

日本における小児の鉛曝露源は、ハウスダストがもっとも主要なものであり^{3,4)}、ハウスダスト中鉛が日本人小児の健康リスク要因として無視できないことが指摘されている^{5,6)}。これは日本の一般家庭のハウスダストが、食物などに比べて高い鉛濃度であること³⁾が原因である。欧米では含鉛塗料を家屋に使用する習慣があったことから、含鉛塗膜が混入したハウスダストが小児の主要な鉛曝露源として懸念されてきたが⁷⁾、生活様式が異なる日本ではハウスダスト中鉛の汚染源は異なる可能性が高い。これまでに掃除機ゴミの蛍光エックス線 (XRF) マッピング分析による予備的調査結果から、高濃度の鉛を含有する塗料や塩化ビニル樹脂 (PVC) と推定される細かい破片が見いだされたことが報告されている⁸⁾。室内で使用する生活用品等の製品に鉛が使用されている場合、それらがハウスダストの鉛汚染源となる可能性は十分考えられる。

2006年に施行された欧州連合 (EU) の電気・電子機器への特定有害物質の使用制限 (RoHS 指令)⁹⁾をはじめとする国際的な鉛使用規制の流れの中で、わが国においても製品への鉛使用に関する法規制や自主基準 (1996年日本塗料工業会の自主基準¹⁰⁾、2008年食品衛生法のおもちゃの規格基準¹¹⁾や器具・容器包装の規格基準改正¹²⁾等) が整備され、製品への鉛使用が控えられる傾向にある。しかし規制以前に生産された製品類が現在も室内で使用されている可能性は十分に考えられる。

そこで本研究では、一般家庭の室内で使用する各種生活用品を対象に XRF を用いて鉛含有量を測定し、鉛含有製品の探索を行った。さらに、見いだされた高濃度鉛含有製品の可給態鉛濃度を調査し、健康影響につながる可能性を考察した。可給態とはヒトの消化管の中で溶出しうる分画を表す。したがってヒト健康影響は含有量ではなく、可給態分画濃度に依存すると考えられる。

これまでに玩具^{13,14)}やアクセサリ、文具などの金属製品¹⁵⁻¹⁷⁾、合成樹脂製品¹⁸⁾等を対象として、鉛の溶出試験が行われている。これは国内の鉛規制の整備と規制後も鉛を含有する金属製玩具等が国内で製造・販売された事例^{19,20)}を受けてのことであり、これらの調査で想定されているのは、小児によるそうした製品の誤飲等による、

いわば事故的高レベル曝露である。一方、本研究が想定しているのは、室内で使用する生活用品によるハウスダストの鉛汚染を介した、日常的・慢性的鉛曝露である点で、既往の調査とは視点が異なる。

2. 試料と方法

2014年9月から10月、2015年4月、12月に千葉県、茨城県内の複数の小売店及びオンラインショップで、室内で保管・使用される各種生活用品のうち、使用・保管に伴って細かい破片を生む可能性がある製品250試料を購入した (Table 1)。こうした製品を選んだのは、細かい破片となってハウスダストに混入する可能性が高いからである。生活用品は主に100円均一店で購入した。試料の内訳は、文房具8種類 (78試料)、雑貨16種類 (47試料)、台所用品6種類 (18試料)、室内装備・装飾品5種類 (35試料)、電子・電気製品の電源ケーブル類および電気用品10種類 (44試料)、玩具5種類 (22試料)、かばん類4種類 (6試料) である (Table 1)。クレヨン、粘土、貯金箱など同じ種類の製品であっても試料表面の色が異なるものはそれぞれ別の試料とした。

試料の鉛含有量は、可搬型 XRF (Innov-X 製 delta DP-2000C) を用いて測定した。装置の主な仕様を Table 2 に示す。測定条件は RoHS/WEEE モードとし、測定時間は1箇所につき60秒とした。鉛濃度の異なる5種類のポリ塩化ビニル (PVC) 製精度管理用試料 (住化分析センター製) (46, 97, 290, 550, 1200 µg/g) を各々5回ずつ測定したところ、精度管理用試料の参考値と測定値の間の決定係数 R^2 は、鉛濃度範囲46 ~ 1200 µg/g および97 ~ 1200 µg/g とともに0.9999であった。検量線の直線性の下限を定量下限値と考えて、定量下限は46 µg/g 以下にあるものと推定された。これにより本測定条件による鉛の定量下限濃度を0.005%とした。なお PVC 製精度管理用試料の5回繰り返し測定の際の精度は、相対標準偏差で表すと1.6 ~ 4.2%であった。測定にあたっては、製品の表面部材について測定することとし、1製品につき3箇所の測定の平均値を試料の鉛含有量とした。

Table 1 Sample description

Household products classification	Number of classification	Number of products analyzed
Stationeries		
Crayon (24), Pencil (6), Chalk (4), Colored pencil (12), Eraser (5), Pastel (18), Bookend (7), Magnet (2)	8	78
Sundries		
Dumbbell (3), Pipe chair (3), Sheet (4), Figurine (1), Moneybox (4), Basket made of metal (4), Ashtray made of metal (2), Container made of metal (3), Carriage with caster (1), Hanger (3), Wire hanger (1), Tension pole (5), Pliers (1), Hook (4), S-shaped hook (5), Container made of plastic (3)	16	47
Kitchenware		
Milk loaf (1), Can opener (7), Bottle opener (1), Cover of pot (3), Fork (1), Tablecloth (5)	6	18
Furnishing materials and goods		
Wallpaper (17), Cushioned floor material (6), Carpet (5), Nonslip sheet (4), Mat made of plastic (3)	5	35
Supply cable of electrical and electronic equipment		
Extension cord (5), Supply cable of liquid crystal display (7), Monitoring cable (11), Digital cable (4), AC power cable (1), Supply cable of electrical pot (12), Video cable (1), TV cable (1), HDMI cable (1), Charging cable for smartphone (1)	10	44
Toys		
Bilboquet (1), Wooden toy (5), Clay (9), Small toy car (2), Jumping rope (5)	5	22
Bag and cases		
Coin case (1), Card case (3), Electronic camera case (1), Pouch (1)	4	6
Total	54	250

可搬型 XRF による鉛測定の結果、鉛が検出された18試料のうち9試料（ブックエンド、電気ポットの電源ケーブル4種類、延長コード2種類、ダンベル、突っ張り棒）について、模擬胃液中に溶出する可給態鉛濃度を測定した。ブックエンドについては表面の塗装を剥ぎ取り、電源ケーブル類、ダンベルおよび突っ張り棒は、剥

ぎとった PVC 被覆をセラミック製のはさみで細かく刻み、2 mm 以下の画分を分析用試料とした。分析用試料0.5 g に対し20倍量の0.07 mol/L 塩酸を加え、37℃で2時間振とうした²¹⁾。これは胃液の塩酸濃度と体温および胃における平均滞留時間を考慮したものである。抽出液中鉛濃度は ICP 質量分析法 (Agilent 7500ce, アジレント・テクノロジー) で測定を行った。

生活用品からの小児の一日鉛摂取量の推定は、剥離した製品片がハウスダストへの程度混入するか明らかではないため、ハウスダストの成分が100%塗膜や PVC 樹脂片で構成されるというワーストケースを仮定した。小児が一日に摂取するハウスダスト量は一日平均25 mg⁵⁾の値を用い、可給態鉛濃度と掛けあわせることで推定を行った。

3. 結果および考察

3. 1 室内使用製品中鉛含有量

室内使用製品250試料を可搬型 XRF で分析し、鉛濃度が定量下限値以上であった試料を Table 3に示した。定量下限値以上の鉛が検

Table 2 Major specifications of the handheld XRF analyzer used in present study

Excitation source	X-ray tube, 40 kV, 2 filters installed (Cu, Al)
Target	Rh
Detector	Energy-dispersive spectrometer
Resolution	<167eV, FWHM at 5.95keV (Mn K α)
Irradiation area	9 mm I.D.
RoHS/WEEE Mode	
Mode	“Polymer” “Alloy”
Quantification Methods	
“Polymer”	Calibration curve method
“Alloy”	Fundamental Parameter for non-standard analyses
Analysis time/sample	60 s

Table 3 Household products with detectable lead

Sample No.	Products	Surface condition of product	Color of product surface	Country of origin	Year of manufacture	Lead content (%)
1	Bookend	Paint	Yellow	Korea	unknown	14
2	Supply cable of liquid crystal display	PVC covering	Black	unknown	2002	2.0
3	Supply cable of electric pot	PVC covering	Black	Japan	2000	1.6
4	Supply cable of electric pot	PVC covering	Black	Japan	2004	1.6
5	Supply cable of electric pot	PVC covering	Black	China	1998	1.4
6	Supply cable of electric pot	PVC covering	Black	China	2001	1.3
7	Supply cable of electric pot	PVC covering	Black	Japan	2002	0.92
8	Extension cord	PVC covering	White	China	unknown	0.76
9	Extension cord	PVC covering	Black	China	unknown	0.71
10	Supply cable of electric pot	PVC covering	Black	China	2004	0.48
11	Pliers	PVC covering	Red	China	unknown	0.40
12	Card case	PVC covering	Red	China	unknown	0.26
13	Card case	PVC covering	Orange	China	unknown	0.22
14	Card case	PVC covering	Pink	China	unknown	0.15
15	Cover of pot	Paint	Red/White	China	unknown	0.14
16	Dumbbell	PVC covering	Orange	China	unknown	0.13
17	Tension pole	PVC covering	White	Taiwan	unknown	0.13
18	Electronic camera case	PVC	Green	China	unknown	0.019

Table 4 Number of household products with detectable lead content divided by product classification

Product classification	Number of products analyzed (A)	Number of products with detectable lead content (B)	Products with detectable lead content	B/A (%)
Stationeries	78	1	Bookend (1)	1
Sundries	47	3	Pliers (1), Dumbbell (1), Tension pole (1)	6
Kitchenware	18	1	Cover of pot (1)	6
Furnishing materials and goods	35	0	-	0
Supply cable of electrical and electronic equipments	44	9	Supply cable of liquid crystal display (1), Supply cable of electric pot (6), Extension cord (2)	20
Toys	22	0	-	0
Bag and cases	6	4	Card case (3), Electronic camera case (1)	67
Total	250	18	18	7

出されたのは18試料であり、その濃度は0.019～14%であった。また鉛が検出された製品の、製品分類ごとの分布を Table 4に示した。PVC 製バッグや電源コード・延長コードなどで鉛の検出率が高く、内装材や建材からの検出はゼロであった。ただし本研究用の製品購入はランダムなサンプリングとは言えないため、この結果が一般的なものであるとは言えないことに注意が必要である。

鉛が検出された試料のうち、試料表面の塗膜および PVC 被覆と母材のどちらに鉛が含まれているのか判別が困難な 4 試料（ブックエンド、鍋蓋、ダンベル、延長ケーブル 1 種）については、塗膜および PVC 被覆を剥離した上で、塗膜および PVC 被覆と母材のそれぞれについて可搬型 XRF で鉛測定を行った。その結果、4 試料とも母材部分ではなく、試料表面の塗膜および PVC 被覆から鉛が検出された（Table 5）。試料表面が塗膜の 2 試料はともに日本塗料工業会が自主基準として設定している0.06%²²⁾を超過しており、試料表面が PVC 被覆の電源ケーブル類や延長コード 9 試料は、すべて EU の RoHS 指令の鉛規制濃度0.1%⁹⁾を超過していた（Table 3）。

古くから鉛は、塗料の原料である着色顔料（黄鉛、鉛白、鉛丹）や防さび顔料（鉛酸カルシウム、塩基性クロム酸鉛）²³⁾の他、PVC 安定剤、鉛ガラス、はんだ等として生活用品に幅広く利用されてきた。鹿庭ら²⁴⁾は1980年に一般家庭のトイレやキッチン、ベッドルーム等から塗膜29点を採取し、鉛濃度を測定したところ0.0008～0.641%であったことを報告している。これによりわが国でも、過

去においては一般家庭の室内で、鉛を含む塗料が使用されていたことがわかる。しかし、1996年に日本塗料工業会が、小児や妊婦が直接触れる可能性がある場合や飲料・食品に接する用途には含鉛塗料を使用しないことを定め、リン酸系やモリブデン系塗料へ代替を進めた。その結果、2015年時点でこの用途の含鉛塗料使用はないとしている²⁵⁾。本研究において塗膜中に鉛が検出された 2 試料（ブックエンド、鍋ぶた）は輸入品であり、国内の塗料に関する自主基準の対象外であったと考えられる。

また PVC には安定剤として鉛化合物が使用されてきた。三塩基性硫酸鉛は熱安定性・電気絶縁性が高いためパイプや電線被覆材用として、二塩基性亜リン酸鉛は耐候性に優れるため、窓枠等に使用された²⁶⁾。鉛系安定剤についても1990年代以降、人が常時触れる可能性がある製品への使用について代替が進み、2006年 EU の RoHS 指令施行により電子・電気製品の電源ケーブル類ではカルシウム／亜鉛系安定剤に移行したとされる²⁷⁾。よって現在、国内で製造・販売されている、室内で使用することを目的とした製品に含鉛塗料や含鉛 PVC が使用されることは、製造過程での異物混入や汚染以外には、ほぼないと考えられる。

本研究で測定対象とした電子・電気機器の電源ケーブルや延長コード等の電気用品44試料のうち鉛が検出されたのは 9 試料と高頻度であった（Table 4）。このうち RoHS 指令対象外の延長ケーブル 2 試料を除く電子・電気機器の電源ケーブル類 7 試料はすべて2004年以前に製造されたものであり、2005年以降に製造された35試料は定量下限値以下であった。これは2006年の RoHS 指令施行を契機に、欧州に限らず日本国内で販売・流通する製品であっても、電子・電気製品に使用する PVC 安定剤は鉛系から非鉛系へ移行していたことを示した結果であるといえる。

これらの結果から、鉛に関する法規制が行われる以前に製造された製品や、日本国内の鉛規制が適用されない国で生産された製品で、塗料や PVC が使用されているもののなかに、鉛含有製品が存在することを示唆した結果となった。

3. 2 可給態鉛の測定

XRF による鉛測定の結果、鉛が検出された18試料のうち、9 試料（ブックエンド、電気ポットの電源ケーブル 4 種類、延長コード 2 種類、ダンベル、突っ張り棒）について、模擬胃液で抽出される可給態鉛濃度を測定した。Table 6に、測定した 9 試料の鉛含有量、

Table 5 Lead content (%) in household products by each component

Sample No.	Products name	Component	Color	Lead content (%)
1	Bookend	Paint	Yellow	2.8
		Base material*	Silver	0.13
11	Pliers	PVC covering	Red	0.39
		Base material*	Silver	ND**
15	Cover of pot	Base material+Paint#	White/Red	0.19
		Base material*	Silver	0.010
16	Dumbbell	PVC covering	Orange	0.11
		Base material*	Silver	ND**

*Made of metallic material

#Not possible to distinguish base and paint completely

**Not detectable (<0.005%)

Table 6 Lead content (%) and bioaccessible lead concentration (μg/g) and estimated daily bioaccessible lead intake of a child via the ingestion of fragments of such products (μg/day)

Sample No.	Products name	Condition of product surface	Lead content (%)	Bioaccessible lead concentration (μg/g)	Bioaccessibility (%)	Daily bioaccessible lead intake* (μg/day)
1	Bookend	Paint	49	3600	0.74	90
3	Supply cable of electric pot	PVC covering	1.6	71	0.43	1.8
4	Supply cable of electric pot	PVC covering	1.6	130	0.81	3.3
7	Supply cable of electric pot	PVC covering	0.92	210	2.3	5.3
8	Extension cord	PVC covering	0.76	63	0.83	1.6
9	Extension cord	PVC covering	0.74	57	0.77	1.4
10	Supply cable of electric pot	PVC covering	0.48	220	4.6	5.5
16	Dumbbell	PVC covering	0.14	32	2.3	0.80
17	Tension pole	PVC covering	0.13	8.3	0.66	0.21

*Daily bioaccessible lead intake of a child via the ingestion of fragments of such product (μg/day) = House dust ingestion rate 25 (mg/day) × (Lead content (%) / 100) × (Bioaccessibility (%) / 100) × 1000 (μg/mg)

可給態鉛濃度、可給態率を示す。鉛含有量に対して可給態画分が占める割合 (bioaccessibility) は0.43～4.6%であり、製品中鉛のヒト消化管での溶出率は低いことが示唆された。河村ら¹³⁾は東京都内で購入した玩具および文房具 (n = 55) について、酸分解後鉛含有量分析を行ったところ、測定値は<1.5～1300 mg/kgで、鉛は9試料で検出された (1.5～1300 mg/kg)。この9試料について試料の25倍量の0.07 mol/L 塩酸により抽出後、静置浸出するISO法²⁸⁾を用いて分析を行ったところ、可給態鉛濃度は<1.3～5.2 mg/kgであった。またGuneyとZagury²⁹⁾は、北米のマーケットで購入した玩具および安価なアクセサリ (n = 24) を試料の50倍量の0.07 mol/L 塩酸により抽出後、静置浸出するEN71-3法³⁰⁾による分析をしたところ、可給態鉛濃度は<0.87～502 mg/kgであった。河村ら¹³⁾およびGuneyとZagury²⁹⁾の可給態鉛濃度および製品中鉛含有量の測定値を用いて可給態率を算出すると、それぞれ0～2.4%、0～0.12%であった。どちらの報告も可給態鉛の抽出条件が本研究と異なるために直接比較することはできないが、可給態率が低い点で本研究の結果と一致する。

3. 3 生活用品による一日鉛摂取量推定と血中鉛濃度

高濃度の鉛を含む生活用品から剥離した塗膜やPVC片がハウスダストに混入し、これを経口摂取した場合の健康リスクを見積もるにあたり以下のような問題がある。

2010年のFAO/WHO合同食品添加物専門家会議 (JECFA) 第73回会合で、従来の鉛の暫定耐容週間摂取量 (PTWI) (25 µg/kg 体重/週) では小児の健康影響が無視できず、適切ではないとして撤回されて以降³¹⁾、国際的に認められている鉛の耐容摂取量は存在しない。そのため現状では、耐容摂取量と比べる方法でのリスクの定量的な見積もりは行うことができない。

そこで本研究では、1986年のUS-EPAで用いられた乳児の血中鉛濃度と鉛摂取量に関するモデル式 [血中鉛濃度 (µg/dL) = 0.16 × 鉛摂取量 (µg/日)]³²⁾を用い、本研究で対象とした生活用品からの鉛摂取が、小児の健康に影響を及ぼしうるか否かについて、スクリーニングともいふべき推計を行った。

まず、生活用品から剥離した塗膜やPVC片がハウスダストの100%を占め、小児は平均一日25 mg³³⁾のハウスダストを非意図的に摂取すると仮定し、本研究で得られた可給態鉛濃度を乗じると、ハウスダスト (すなわち生活用品) からの小児の推定可給態鉛一日摂取量は、0.21 µg/日から90 µg/日と見積もられた (Table 6)。次に、ハウスダスト以外からの鉛摂取量を食物から4.8 µg/日、土壌から4.6 µg/日³⁾とし、それに可給態率をそれぞれ52%、43%³⁾と仮定すると、ハウスダスト以外からの可給態鉛一日摂取量は4.5 µg/日と見積もれる。これにハウスダスト (生活用品) からの可給態鉛一日摂取量を加えると、総可給態鉛一日摂取量は4.7 µg/日から94 µg/日と推定された。さらにEPAのモデル式³²⁾を用いて、総可給態鉛一日摂取量を血中鉛濃度に換算すると、血中鉛濃度では0.75 µg/dLから15 µg/dLになると推定された。なお上記のEPAのモデル式では、缶入り人工栄養ミルクを与えた乳児の血中鉛濃度を対照群と比較することで求めた変換係数を使用している³²⁾。人工栄養ミルクという、液体状食物中鉛濃度に基づき算出した鉛摂取量は、可給態鉛摂取量と同等であると仮定して、本研究でも同じ係数 (0.16) を用いた。

推定可給態鉛一日摂取量が最も高かったブックエンド (90 µg/日) (Table 6) からの寄与がある場合を除くと、本研究で見積もられた小児の血中鉛濃度 (0.75～0.88 µg/dL) は、日本人小児352名の血中鉛濃度の幾何平均値1.07 µg/dL (幾何標準偏差1.51)³³⁾と同程度であり、2012年の食品安全委員会が設定された小児に対して有害な影響を及ぼさない血中鉛濃度4 µg/dL以下¹⁾を下回った。ブックエ

ンドの場合を除くと、ハウスダストの成分がすべて塗膜やPVC片で構成されているといった極端なワーストケースの仮定を前提とした推定であっても、小児の血中鉛濃度を引き上げるまでには至らず、こうした生活用品から剥離した製品片は小児の健康リスクを増大させるものではないことが明らかとなった。

一方で、最も高濃度の鉛を有していたブックエンドの塗膜片がハウスダストの成分の100%を占めるという極端な仮定のもとで見積もると、総可給態鉛一日摂取量は94 µg/日であり、このようなハウスダストを毎日摂取している小児の血中鉛濃度は15 µg/dLに相当するものと推計された。この値は食品安全委員会の耐容血中鉛濃度4 µg/dLの約4倍である。本研究で見出されたブックエンドのような、高濃度鉛を含有する生活用品が室内に持ち込まれて使用された場合、生活環境によっては、小児の健康リスク源となりうるということが示唆された。ただし、現時点では、こうした鉛を含む生活用品の使用・保管に伴う劣化・剥離の程度とハウスダストへの移行率等のパラメーターが明らかではないために、蓋然性の高い曝露シナリオを想定することは難しく、定量的な鉛摂取量の見積もりは困難である。

以上のことから、一般家庭の室内に持ち込まれる可能性がある各種生活用品のうち、製品表面が塗膜で覆われた製品およびPVC被覆の製品の中に、鉛を高濃度で有する製品が存在することが確認された。こうした特徴を持つ生活用品を室内で使用する場合には、小児が誤飲しやすい大きさの生活用品 (玩具、アクセサリ)^{17, 19, 20)}以外に、製品表面の劣化・剥離とハウスダストへの混入にも注意が必要があることが、本研究で新たに明らかとなった。今後、より広範な製品の鉛含有量スクリーニングを行うことを通じて、健康リスク源となりうる生活用品の室内持ち込みを防ぎ、あるいはそうした製品の販売が規制されることが望ましいと考えられる。

4. まとめ

一般家庭の室内に持ち込まれる可能性がある各種生活用品を対象にXRFを用いて鉛含有量を測定し、鉛含有製品の探索を行った結果、鉛含有製品の存在を確認した。鉛は製品の塗膜やPVC被覆部分に含まれているため、こうした製品の表面劣化の結果剥離した小片によって、ハウスダストが鉛汚染される可能性がある。こうした剥離片中鉛の可給態率は低いものであり、多くの場合健康リスク源とはならないと推定された。しかし鉛含有量がきわめて高い剥離片が混入したハウスダストの場合、その非意図的摂取が小児の健康リスク源となりうるということが示唆された。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、国立環境研究所 梶原夏子氏、松神秀徳氏、宇智田奈津代氏、高田恭子氏にご協力をいただきました。心より感謝いたします。本研究の一部はLIXIL住生活財団調査研究助成 (15-07) 及び平成27年度室内環境学会調査研究助成により行った。

要 約

室内で使用される各種生活用品を対象に、蛍光X線分析による鉛含有製品の探索を行った。対象とした250試料のうち、18試料で鉛が検出された。表面が塗装された製品やPVC被覆された製品の中に、鉛含有製品が存在することが確認された。またこれらは日本国内の規制の及ばない国外生産品か、RoHS指令施行以前の生産品であった。鉛が検出された9試料の可給態率は0.43～4.6%と低かつ

た。製品からの可給態鉛一日摂取量は0.21～90 µg/日と推定された。食物と土壌からの鉛摂取量と可給態率を考慮した上で、EPAのモデル式により血中濃度に換算すると、0.75～15 µg/dLと見積もられた。ほとんどの製品で小児に対して有害影響を及ぼさない血中鉛濃度（4 µg/dL）以下に相当したが、鉛濃度が14%ときわめて高い製品の場合のみ、影響を及ぼしうる血中濃度になると推定された。こうした生活用品は、使用・保管している生活環境のもとで、低い可給態率を考慮したとしても、小児にとって無視しえない鉛曝露源となりうることを示唆された。

文 献

- 1) 食品安全委員会化学物質・汚染物質専門調査会 鉛ワーキンググループ (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/fscis/attachedFile/download?retrieveId=kai20120322ka1&fileId=520> (accessed 22 August 2016) (2012)
- 2) Lanphear, B.P., Hornung, R., Khoury, J., Yolton, K., Baghurst, P., Bellinger, D.C., Canfield, R.L., Dietrich, K.N., Bornschein, R., Greene, T., Rothenberg, S.J., Needleman, H.L., Schnaas, L., Wasserman, G., Graziano, J. and Roberts, R.: Low-level environmental lead exposure and children's intellectual function: an international pooled analysis. *Environ. Health Perspect.*, **113**, 894-899 (2005)
- 3) Aung, N.N., Yoshinaga, J. and Takahashi, J.: Exposure assessment of lead among Japanese children. *Environ. Health Prev. Med.*, **9**, 257-261 (2004)
- 4) Takagi, M., Yoshinaga, J., Tanaka, A. and Seyama, H.: Isotope ratio analysis of lead in blood and environmental samples by multi-collector inductively coupled plasma mass spectrometry. *Anal. Sci.*, **27**, 29-35 (2011)
- 5) 高木麻衣, 吉永 淳: 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 (2009)
- 6) Yoshinaga, J., Yamasaki, K., Yonemura, A., Ishibashi, Y., Kaido, T., Mizuno, K., Takagi, M. and Tanaka, A.: 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 (2014)
- 7) Su, M., Barrueto Jr, F. and Hoffman, R.S.: Childhood lead poisoning from paint chips: a continuing problem. *J. Urban Health*, **79**, 491-501 (2002)
- 8) 高木麻衣: 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. 東京大学大学院新領域創成科学研究科博士論文, <http://gazo.dl.itc.u-tokyo.ac.jp/gakui/data/h22/127253/127253a.pdf> (accessed 22 August 2016) (2011)
- 9) The European Parliament and of the Council: Directive 2002/95/EC of the European Parliament and of the council of 27 January 2003 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment. http://www3.moew.government.bg/files/file/Chemicals/Zakonodatelstvo/Zakonodatelstvo_English/Directive_2002_95_EN.pdf (accessed 22 August 2016) (2003)
- 10) 日本塗料工業会: 塗料の鉛リスクリダクションに関して. <http://www.toryo.or.jp/jp/anzen/news/files/lead-rr-2015-05.pdf> (accessed 5 May 2016) (1996)
- 11) 厚生労働省: 食品衛生法施行規則及び食品, 添加物等の規格基準の一部改正について. <http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/iyaku/kigu/dl/070331-1.pdf> (accessed 22 August 2016) (2008a)
- 12) 厚生労働省: 食品, 添加物等の規格基準の一部改正について. http://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-11130500-Shokuhinanzendu/080731-1_1.pdf (accessed 22 August 2016) (2008b)
- 13) 河村葉子, 川崎智子, 峰 幸加, 六鹿元雄, 棚元憲一: 乳幼児用玩具中の有害8元素およびその溶出試験, 食衛誌, **47**, 51-57 (2006)
- 14) 河村葉子, 六鹿元雄, 山内朋子, 植田新二, 棚元憲一, 玩具塗膜からのカドミウムおよび鉛の溶出試験, 食衛誌, **50**, 93-96 (2009)
- 15) 伊佐間和郎, 河上強志, 土屋利江: キャピラリー電気泳動法による家庭用品塗膜の鉛溶出量調査, 生活衛生, **54**, 27-32 (2010)
- 16) 伊佐間和郎, 河上強志, 土屋利江, 松岡厚子: 鉛含有金属製品の酸溶出試験法の比較, YAKUGAKU ZASSHI, **130**, 763-768 (2010)
- 17) 伊佐間和郎, 河上強志, 西村哲治: 乳幼児が誤飲する可能性のある金属製アクセサリからの有害8元素の溶出, YAKUGAKU ZASSHI, **132**, 959-968 (2012)
- 18) 伊佐間和郎, 河上強志, 西村哲治: 小児が誤飲する可能性のある合成樹脂製家庭用品からの有害8元素の溶出, YAKUGAKU ZASSHI, **131**, 1135-1140 (2011)
- 19) 厚生労働省: 鉛含有金属製アクセサリ類等の安全対策に関する検討会報告書 <http://www.mhlw.go.jp/shingi/2007/02/dl/s0216-5.pdf> (accessed 22 August 2016) (2007)
- 20) 国民生活センター: 金魚の飾りセットに鉛のおもり! —鉛中毒の危険性, 小児科医からの警告—, http://www.kokusen.go.jp/pdf/n-20091007_2.pdf (accessed 22 August 2016) (2009)
- 21) Nakamura, Y., Narukawa, T. and Yoshinaga, J.: Cancer risk to Japanese pollution from the consumption of inorganic arsenic in cooked hijiki. *J. Agric. Food Chem.*, **56**, 2536-2540 (2008)
- 22) 日本塗料工業会 製品安全委員会: 環境配慮塗料の種類と内容, 2009. <http://toryo.or.jp/jp/anzen/news/files/kankyo-bunrui2.pdf> (accessed 22 August 2016) (2009)
- 23) 長谷川謙: 「早わかり塗料と塗装技術 (新版)」, p 40, 日本理工出版会, 東京 (2007)
- 24) 鹿庭正昭, 小嶋茂雄, 中村晃忠: 塗料, 建物から収集した塗膜, および数種の子供用文具類中の鉛の分析. 衛生化学, **27**, 391-398 (1981)
- 25) 日本塗料工業会: 塗料中鉛廃絶に関する日塗工宣言の改定について, <http://www.toryo.or.jp/jp/anzen/news/files/lead-rr-2015-12.pdf> (accessed 22 August 2016) (2015)
- 26) 皆川源信: 「プラスチック添加剤活用ノート」, 工業調査会, 東京, p 38 (1996)
- 27) 塩ビ工業・環境協会 / 塩化ビニル環境対策協議会: 塩ビと建設材料. <http://www.vec.gr.jp/lib/pdf/enbikensetsu.pdf> (accessed 22 August 2016) (2007)
- 28) ISO, International Standard 8124-3: Safety of toys Part 3: Migration of certain elements, International Organization for Standardization (1997)
- 29) Guney, M. and Zagury, G.J.: Bioaccessibility of As, Cd, Cu, Ni, Pb, and Sb in toys and low-cost jewelry. *Environ. Sci. Technol.*, **48**, 1238-1246 (2014)
- 30) British Standards. EN 71-3 Safety of toys — Part 3: Migration of certain elements. European Committee of Standardization: Brussels, Belgium (2006)

- 31) JECFA, Evaluation of certain food additives and contaminants: Seventy-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, World Health Organization technical report series 960, Geneva, 176–177, http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44515/1/WHO_TRS_960_eng.pdf (accessed 22 August 2016) (2011)
- 32) US EPA, Air Quality Criteria for Lead. U.S. Environmental Protection, Agency, Research Triangle Park, NC; Report EPA-600/8-83/028dF, <http://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/20009DMZ.PDF?Dockey=20009DMZ.PDF> (accessed 22 August 2016) (1986)
- 33) Yoshinaga, J., Takagi, M., Yamasaki, K., Tamiya, S., Watanabe, C. and Kaji, M.: Blood lead levels of contemporary Japanese children. *Environ. Health Prev. Med.*, **17**, 27–33 (2012)