

レジ袋に含まれる鉛とその物質フローについて

酒井 伸一¹⁾, 浅利 美鈴¹⁾, 佐藤 直己²⁾, 宮島 章³⁾

¹⁾京都大学環境保全センター (〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町)

²⁾環境省 (〒100-8975 東京都千代田区霞が関1-2-2)

³⁾村田機械株式会社 (〒612-8686 京都府京都市伏見区竹田向代町136)

[平成21年3月6日受付, 平成21年7月29日受理]

Lead Contained in Plastic Shopping Bags and its Substance Flow

Shin-ichi SAKAI¹⁾, Misuzu ASARI¹⁾, Naomi SATO²⁾ and Akira MIYAJIMA³⁾

¹⁾Kyoto University Environment Conservation Center
(Yoshida-honmachi, Sakyo, Kyoto, Kyoto 606-8501)

²⁾Ministry of Environment
(1-2-2 Kasumigaseki, Chiyoda, Tokyo 100-8975)

³⁾Murata Machinery, LTD.
(136 Takeda-Mukaishiro, Fushimi, Kyoto, Kyoto 612-8686)

[Received March 6, 2009; Accepted July 29, 2009]

Summary

Lead contained in plastic shopping bags was analyzed by X-ray fluorescent analysis. The detection rate of bags which contained lead over 100 ppm was about 17~18 % of colored bags, 4 % of all bags. Both in 2006 and 2007, average lead concentration was about 310 ppm. Concentration and detection ratio of lead were different according to bags' color. There were some bags whose lead concentrations were over 10,000 ppm.

The amount of lead in plastic bags which had been thrown away as household waste was estimated to be 0.98~1.3 tons/year in Kyoto city, which is equivalent to 84~110 tons/year in all over Japan. Since these bags end up being burned up, it may account for 0.5~2.0 % or more compared to total incinerated lead in Japan. Also because shopping bags are very popular goods in house, it is desired to decrease lead in bags.

Key words: Plastic shopping bag, Lead, X-ray fluorescent analysis, Household waste, Heavy metal

1. はじめに

都市ごみ中の重金属類等の有害物質含有の原因の一つとして、様々な家庭製品の存在がある。有害物質を含む製品のうち、循環・廃棄過程に至る管理システムが試行・構築されている製品はごく一部であり、多くの製品

については、その家庭への流入や家庭における滞留、使用後の排出や排出後の処理に関する実態は未把握であり、それらの過程における製品中の含有物質の挙動についても不明な点が多い。

ごみ焼却灰中の重金属類の含有やその由来についての調査のうち、焼却灰中の鉛に関する報告には、京都市ご

み細組成調査結果をもとにした中村の報告¹⁾や、鉛の用途の大部分を占める鉛蓄電池の影響についての検討²⁾などがある。前者においては、塩化ビニルの安定剤や顔料の使用による鉛の存在、小型蓄電池、色彩具などの少量排出・高濃度含有のものが指摘されている。後者においては、焼却灰中の鉛の2/3程度が鉛蓄電池に由来すると推定している。これらの研究の他に過去には、顔料の一種である黄鉛を使用したレジ袋の影響を調べた研究³⁾も行われている。これによれば、紙類、プラスチック類、厨芥、布類といった、家庭から発生する主なごみ中に含まれる鉛のうち、1/3程度がレジ袋に由来する可能性が示唆されている。このレジ袋については、容器包装リサイクル法（容器包装にかかる分別収集及び再商品化の促進に関する法律）が2006年に改正され、有料化等の削減に向けた具体的な取り組みも始まり、量的削減の観点からもレジ袋に対する社会的関心が高まってきている。また、容器包装リサイクル法の見直しに向けた中央環境審議会の意見具申⁴⁾において、容器包装のマテリアルリサイクルを促進し、回収物の一定以上の品質を確保するための再商品化製品の品質基準（水分、塩分等）の導入が提言されている。しかし、鉛含有などの観点からの改善はなされていない。

一方、EUにおいては家庭系有害廃棄物（HHW）に対する各国の取り組みについて調査を行い、2002年に最終報告⁵⁾をまとめている。この中で、家庭系有害化学物質（HHC: hazardous household chemicals）に焦点を当て、固形廃棄物処理に関して優先的に取り組むべき14化学物質（ヒ素、鉛、カドミウム、六価クロム、銅、ニッケル、水銀、亜鉛、PCB、ベンゼン、テトラクロロエチレン、トリクロロエチレン、シアン化ナトリウム）を取上げている。それに加え、EUでは容器包装物について包装品・包装廃棄物指令⁶⁾により、重金属類（鉛、カドミウム、水銀、六価クロム）の上限値を含有量の合計で100ppmとしている。日本では食品衛生法で、食品容器包装に関して、材質試験で鉛とカドミウムの含有量をそれぞれ100ppm以下、溶出試験で重金属類の溶出量を1ppm以下と定めているが、ここで定められる容器包装とは「食品、添加物を容れ、又は包んでいる物で、食品又は添加物を授受する場合そのまま引き渡すもの」を指し、ここにレジ袋は含まれない。またEUでは容器包装物以外にも、廃電池指令⁷⁾、廃自動車指令⁸⁾、RoHS指令⁹⁾により、製品分類ごとに重金属類の使用に関する法的枠組みが整備されているが、日本では製品への重金属類使用に関する規制はほとんど行われていない。

このような背景のもと、本研究では量的な3Rが進められるレジ袋に対して、質的な面からもアプローチすべきであるという視点から、2006年度と2007年度に京都市から排出されたレジ袋を回収し、これに含まれる鉛を中

心とした重金属類（鉛、カドミウム、水銀、クロム）を蛍光X線分析（以下、XRFと記す）を用いて測定し、その結果をもとにレジ袋の排出に伴う鉛のフローの推定を行った結果を報告する。

2. 研究手法

2. 1 サンプルング方法

京都市では毎年、一地区50～100世帯から回収した家庭ごみ袋100～150袋を展開し、約300項目の細組成に分類し、厨芥類、プラスチック類等といった物理組成とごみとなる由来としての製品組成を調査している^{1,10)}。また、筆者らが所属する環境保全センターと京都市は2006年12月～2007年1月にプラスチック製容器包装の分別回収実験を行った。2006年度の調査ではこの回収実験で集められたレジ袋を、2007年度の調査では細組成調査で回収されたものを分析の対象とした。

2. 2 分析方法について

レジ袋の分析にはエネルギー分散型分光法のXRF分析装置として、Innov-X System社製α6500を用いた。欧州において電子・電気機器に含まれる重金属類の使用を制限しているRoHS指令では、スクリーニング分析としてXRFを用い、鉛の精密分析には誘導結合プラズマ発光分光分析（以下、ICP-AESと記す）等を用いるが、本研究では鉛が検出されたレジ袋の一部に対してICP-AESによりクロスチェックを行い、妥当性を確認した上でXRFの結果を採用している。

分析では、回収したレジ袋のうち汚れのないものを四重に重ねて測定し、測定時間は一回につき約60秒間とした。XRFでプラスチック中の重金属類を分析する場合、数mmの厚みが必要となる¹⁰⁾が、レジ袋は平均0.018mm¹¹⁾のポリエチレンフィルム二枚を重ねた構造である（レジ袋によっては四枚重なる部位もある）ことから、四つ折りにすることで1～3mm程度の厚みを確保した。なお通常、エネルギー分散型のXRF分析における鉛等の重金属類の検出下限は数ppmから数十ppm^{12,13)}であるが、本調査ではサンプルが家庭のごみから回収したものであり多少汚れがあることや、ホットプレス等の前処理を行っていないことを考慮して、確実に100ppm以上で検出されたものを「含有」として扱うこととした。このため、100ppm未満のレジ袋について平均濃度を過少評価する原因となっている可能性や、1章で述べたEUの基準が重金属類（鉛、カドミウム、水銀、六価クロム）の合計で100ppmとしていることから、100ppm未満のレジ袋を「非含有」とすることについては問題があると考えられる。しかし、前述した分析上の理由やカドミウム及び水銀の検出は確認されなかったこと、蛍光X

線分析だけでは六価クロムの定量評価ができないことを考慮し、本研究においては100ppm以上の鉛を含有しているもののみを「含有」と扱うこととした。

レジ袋は下地部分と店名や文字を記したプリント部分に分けられるが、下地部分を分析する際にはプリント部分が重ならない部分を照射し、プリント部分の分析はプリント部分のみを重ねるようにした。しかし、プリント部分は面積が小さい場合、適切にX線を照射することが難しい上に、下地部分にインク等を上乘せする形でプリントされているために分析結果は下地部分の成分の影響を大きく受けると考えられる。実際、後述するように、プリント部分の分析結果はICP-AESによるクロスチェックとの差が大きく、正確に定量することは簡単でないと判断し、レジ袋に伴う鉛の量を推定する際には下地部分の結果のみを用いた。

レジ袋に含まれる鉛は着色の際に用いられる鉛系顔料が由来であると考えられ、筆者らの行った予備調査においても、これまでに白色や無色透明のレジ袋から鉛が検出された例がないことを考慮して、白色・無色透明のレジ袋を除いた色付きのものを分析の対象とした。

2.3 回収・分析枚数

2006年度は二つの異なる調査から合計1,557枚のレジ袋を回収し、そのうち179枚を分析に供した。回収枚数に対し、分析枚数が少ないが、これは1,557枚のうち1,216枚が分析の対象外とした白色か無色透明であったことと、色付きの袋341枚のうち原則として同じ種類(店舗)の袋は1枚ずつ分析したためである。なお、プラスチック製容器包装の分別実験では家庭内に保管されていた大量のレジ袋を排出した家庭も見られ、レジ袋の種類には偏りが見られた。

2007年度に京都市の家庭ごみ細組成調査の際に回収されたレジ袋は2,902枚で、うち白色か無色透明の袋は2,154枚、色付きの袋は748枚であった。前年の調査で同じ種類の袋でも鉛が検出される場合とされない場合があったことから、色付の袋のうち汚れのために分析に適さないと考えられた袋以外は全て分析することとし、565枚の袋を分析した。

2.4 一年間に排出されるレジ袋に伴う鉛量の推定方法

分析結果をもとに、レジ袋に含まれる平均鉛濃度(C_{pb})を算出し、これに一年間に排出されるレジ袋の重量(E_{total})を乗じることによって、京都市内で一年間に排出されるレジ袋に伴う鉛の量(W_{pb})を推定した。推定式は次の通りである。

$$W_{pb}(kg/年) = C_{pb}(g/t) \times E_{total}(t/年) \times 10^{-3} \quad (1)$$

ここで、2006年度と2007年度ではサンプル回収方法に

違いがあるため、異なる平均濃度の算出方法を用いた。以下では C_{pb} および E_{total} の算出方法について述べる。

・平均鉛濃度(C_{pb})の算出方法

2006年度調査では、レジ袋を回収する際にプラスチック分別実験という形式をとったために、家庭内に保管してあったレジ袋を大量廃棄する家庭があり、回収されたレジ袋の色や種類に偏りが見られた。そのため、レジ袋を色別に分類し、色ごとの平均鉛濃度を求めたうえで、京都市内の複数地域で用いられているレジ袋の色の割合を調べ、これに乗じることによって平均鉛濃度を算出した。つまり、下地の色ごとに白または無色透明、茶、緑、黄、青、赤、橙、その他の8種類に分類した。その他という分類には、それ以外の色、または複数の色が用いられており上記項目に該当しないものが含まれる。

色ごとの平均鉛濃度を求めるために、レジ袋の種類(店舗)ごとに分析結果を平均してそのレジ袋の平均濃度を求め、同色の他のレジ袋と回収枚数に応じて重み付けを行った(Fig. 1)。また、京都市内の複数地域で排出されているレジ袋の色の割合を求めるために、鉛を分析したレジ袋を回収した地区とは別の地区からレジ袋を930枚回収し、これを加えた計2,487枚のレジ袋から色の割合を推定し、この割合と平均濃度を乗じることによってレジ袋1枚あたりの平均鉛濃度を求めた。なお、白・無色透明の袋は鉛を含まない(0 ppm)と仮定した。

一方、2007年度の調査では、2006年度に比べより多くの袋を回収・分析を行ったため、袋の色に応じた補正は行わずに、種類ごとの平均濃度にその袋の回収枚数(N_i)をかけたものを足し合わせ、それを全回収枚数(N_{total})で除することでレジ袋全体の平均鉛濃度を求めた。すなわち以下の式による。

$$C_{pb} = \frac{\sum_i (C_{ipb} \times N_i)}{N_{total}} \quad (2)$$

・レジ袋の年間排出量(E_{total})の推定方法

レジ袋の年間排出量は京都市の家庭ごみ細組成調査で

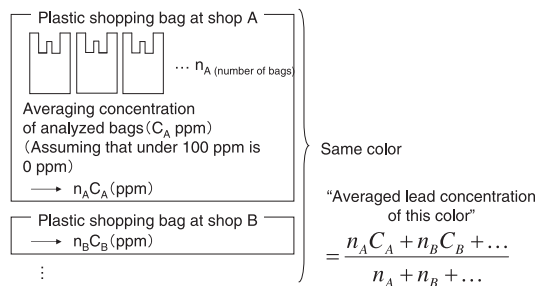


Fig. 1 The process to calculate the averaged lead concentration of bags with same color

報告されている、家庭ごみ中のレジ袋の排出原単位 (t/t) に京都市で一年間に処理されている家庭ごみ量を乗じることで推定した。さらに京都市と全国の人口比から全国での年間排出量も推定した。また併せて、全国で使用されているレジ袋の枚数を推定するため、2008年2月にインターネットを通じたアンケート調査を行った。家庭ごみ処理の有料化実施の有無やプラスチック製容器包装の分別の有無によって対象自治体を選定し、10代以上の男女を対象に、性別、年代が均等になるように回答を回収した。2月26日から2月28日の間に計8,004人に依頼し、2,500人から回答を得た。自治体、年齢ごとの回収数を Table 1 に示す。このアンケートにおいて「最近1週間の買い物状況を振り返って、レジ袋を1週間に何枚くらいもらいましたか。」という質問を「食品・日用品スーパー」、「百貨店・デパート」、「コンビニ」、「本屋」、「その他の店」という分類ごとに選択式(0枚/1枚/2枚/3枚/4枚/5枚/6枚/7枚/8枚/9枚/10枚/11~15枚/16枚以上)で回答してもらい、これを基にレジ袋の取得枚数を推定した。この時11~15枚は13枚、16枚以上は16枚として計算した。

3. 結果および考察

3. 1 廃棄物として排出されるレジ袋

2006年度において採取した廃棄レジ袋2,487枚の色を分類した結果を Table 2 に示す。全体の約25%が着色袋で、その3分の1が茶、緑、黄、青、赤、オレンジ色の順であった。2006年度の調査ではこの色別構成比に各色の平均鉛濃度を乗じることで全体の平均鉛濃度を算出した。

インターネットを通じたアンケート調査で一週間に受け取るレジ袋の枚数を調査した結果を Table 3 に示す。京都市ではレジ袋排出枚数の原単位は5.15枚/(人・週)と、対象都市の中で最も少なかった。京都市と北九州市

はごみ処理の有料化を導入しており、これが他都市よりもレジ袋の取得原単位が少なかった要因と考えられ、興味深い結果が得られた。これに京都市人口を乗じたいえで年間枚数に変換するとおよそ3億9,600万枚/年と推定された。また、対象6都市を平均した全国のレジ袋排出原単位は6.11枚/(人・週)であり、これは年間でおおよそ405億枚のレジ袋に相当する。ただし、対象自治体が人口の多い都市部であることや、インターネットを通じたアンケート調査であることから、ある程度都市型の生活を営む人が回答対象となっていると考えられ、全国の排出傾向を示していない可能性がある。

次に、Table 4 に京都市家庭ごみ細組成調査から推定した、京都市内のレジ袋の年間排出量 (E_{total}) を示す。京都市では2006年度と2007年度でそれぞれ4,230トン/年、3,170トン/年が家庭ごみとして排出されていることが分かる。2007年度で大きく量が減少しているが、この間京都市ではプラスチック製容器包装の分別回収の全市導入(2007年10月から)や市内一部店舗におけるレジ袋有料化の実施(2006年10月から順次)があり、家庭ごみとして排出される量が減少したとと使用量そのものが減少したことが要因として考えられる。ただし、2007年度については、プラスチック製容器包装として分別排出された量を加味しておらず、京都市で消費されるレジ袋全てを反映していないことに留意が必要である。このほか、舟木は2006年に全国で使用されているレジ袋の枚数を推定しており、国民一人一年間で約350枚、日本全体で年間約444億枚としている¹⁰⁾。以上を考慮したうえで、(1)式の計算には Table 4 に示す重量を用いた。

1994年に中村が京都市で日常的に排出されるごみの鉛濃度を測定した研究がある¹¹⁾。この報告では、レジ袋(文中では「手下げブラ袋」)を白色、黄色、その他の3種類に分類し、その鉛濃度を測定している。日常的に排出されるごみ全体に占める重量比が家庭ごみ細組成調査¹²⁾から記されている。これらの数値をもとにレジ袋1

Table 1 Target district and number of collected responses by age bracket

	Separating plastic packaging	Charge for garbage collection [※]	10~20's		30's		40's		50's		Over 60's		Total
			Number of response	%	Number of response	%	Number of response	%	Number of response	%	Number of response	%	
Chiba	×	△	83	16.3	83	16.7	83	16.7	83	16.7	83	16.7	415
Yokohama	×	×	88	17.3	83	16.7	83	16.7	83	16.7	83	16.7	420
Kawasaki	×	○	83	16.3	83	16.7	83	16.7	83	16.7	83	16.7	415
Kyoto	○	×	83	16.3	83	16.7	83	16.7	83	16.7	83	16.7	415
Fukuoka	○	○	88	17.3	83	16.7	83	16.7	83	16.7	83	16.7	420
Kitakyushu	○	○	83	16.3	83	16.7	83	16.7	83	16.7	83	16.7	415
Total	-	-	508	100	498	100	498	100	498	100	498	100	2,500

※○: Implemented, △: The trash bag is specified, but its price does not include charge for garbage collection, ×: Not implemented
(As of February 2008)

枚あたりの平均鉛濃度を計算すると、約20.8ppmとなった。これは3. 3で推定した結果の310ppmより一桁小さく、仮に前述した寄与の最も高かった袋を除いても数倍の差がある。この原因として、本研究においては10,000ppmを超える濃度で鉛を含有するサンプルを数点確認したが、このような高濃度で鉛を含有するサンプルがレジ袋全体の平均鉛濃度を増加させていると考えられる。例えば、500枚中に10,000ppmのものが1枚含まれると、それだけで、全体の平均濃度は20ppm増加する。サンプル数が少ない場合、高濃度のサンプルを含んでいない可能性があり、中村の報告から求めた推定値はレジ袋による鉛量を過小評価している可能性がある。一方で、1990年代は国内生産中心で、その時期には鉛を使用しない顔料がすでに使用されていたこと、今回の2000年代になってアジア域に生産拠点が拡大する中で鉛含有の管理が十分になされていなかったとする見方も考えられる。

Table 2 The color ratio of plastic bags in Kyoto city (2006)

Color of bags	Number	Ratio of color
White or clear and colorless	1,897	76.3%
Brown	214	8.6%
Green	147	5.9%
Yellow	60	2.4%
Blue	44	1.8%
Red	34	1.4%
Orange	24	1.0%
Other	67	2.7%
Total	2,487	100%

3. 2 鉛分析に関するクロスチェックおよび鉛以外の重金属類の分析結果

レジ袋の鉛濃度に関する考察では、XRFの分析結果を用いたが、一部サンプルでは下地と印字等のプリント部分に関して硫酸酸化法による前処理のあと、ICP-AESで鉛とクロム濃度のクロスチェックを行った (Fig. 2)。なお、カドミウムと水銀に関してもそれぞれ誘導プラズマ質量分析法 (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer: ICP-MS)、加熱気化-金アマルガム-原子吸光法 (Atomic Absorption Spectrometry: AAS) を用いた精密分析を行ったが、これらに関してはXRFの結果と同様、検出されなかった。

Fig. 2 から分かるようにレジ袋の下地に含まれる鉛の分析結果は二つの手法で概ね等しい結果が得られた。しかし、プリント部分中の鉛の分析結果は二つの分析手法で結果に大きな違いが見られた。プリント部分の結果に関しては、X線がプリント部分を透過し、下地の組成を含めた濃度になっていることから、XRF分析値が過小評価になったものと考えられる。このため定量評価をすることは難しいが、Fig. 2 よりプリント部分についても鉛を含有するものがあることが分かる。鉛が検出されたプリント部分の色が黄色や緑色であったことから、下地と同様に顔料によって鉛が含有されることが示唆された。次に、レジ袋に鉛が含まれる原因として黄鉛が使われていることを確認するために、縦軸にクロム、横軸に鉛の濃度をとったグラフを Fig. 3 に示した。

図から、鉛とクロムの濃度の間には強い相関関係があることがわかる。二つの元素の間の相関係数は、XRFに

Table 3 Unit consumption of plastic shopping bags based on web questionnaire survey, sheets/(capita·week)

	Number of valid response	Supermarket	Department store	Convenience store	Bookstore	Other	Total
Chiba	382	3.14	0.35	1.77	0.34	0.81	6.40
Yokohama	385	3.03	0.60	1.81	0.35	0.84	6.64
Kawasaki	368	3.04	0.43	1.84	0.41	0.88	6.59
Kyoto	376	2.13	0.55	1.40	0.38	0.68	5.15
Fukuoka	375	2.93	0.38	1.61	0.39	0.80	6.11
Kitakyushu	368	3.05	0.31	1.42	0.27	0.74	5.79
(averaged value)	2254	2.89	0.44	1.64	0.36	0.79	6.11

Unit consumption, sheets/(capita·week)

Table 4 Weight and number of plastic shopping bags in Kyoto city by waste composition analysis¹⁴⁻¹⁶⁾

Year	Category	a	b	c	d=a*c/1000	e=b*c
		Basic unit of weight (kg/t) ^{14,15)}	Basic unit of number (sheets/t) ^{14,15)}	Collected MSW (t/year) ¹⁶⁾	Weight(E _{total}) (t/year)	Number (sheets/year)
2006	Plastic bags in municipal solid waste	16.1	1,582	262,660	4,230	415*10 ⁶
2007	Plastic bags in municipal solid waste	13.7	1,347	231,200	3,170	311*10 ⁶

Note: "Collected MSW" in 2006 is actual achievement, but in 2007 is planned value.

おける結果では0.990, ICP-AESにおける結果では0.996であった。このことから、レジ袋にクロム酸鉛を主成分とする黄鉛が用いられていることが示唆された。

3. 3 レジ袋の鉛分析結果

Table 5, 6 にそれぞれ2006, 2007年度の調査における分析結果の一覧を示す。

表に示したとおり、2006年度には27種類、2007年度には33種類のレジ袋から100ppmを超える鉛が検出された。回収した色付きのレジ袋の全種類数は各年度、154種類、

196種類であったことから、色付きのレジ袋を使用している店舗のおよそ17～18%は鉛を含んだものを使用していると推定された。分析の対象外とした白色・無色透明のレジ袋の種類数は把握していないが、枚数ベースでこれらが74～76%を占めていることを考慮すると、レジ袋総枚数のうち約4%が鉛を100ppm以上含有していたと推定される。

鉛の濃度に関しては、最大で25,000ppmのものが見つかったほか、10,000ppmを超えるレジ袋が両年度合わせて5種類(店舗)見つかった(重複除く)。色付きレジ袋の種類ごとの鉛濃度分布をTable 7に示す。鉛濃度が100ppmを超えた袋の中では1,000ppm以下が56%(2006年度)、45%(2007年度)を占め、1,000ppm以上の濃度は44%(2006年度)、55%(2007年度)であった。

また、Table 5, 6 を色ごとに見ると、平均鉛濃度が異なることが分かる。青色のレジ袋からはほとんど鉛が検出されなかったが、黄、橙色のレジ袋は検出率も高く、濃度も高かった。クロム酸鉛(PbCrO_4)を主成分とする顔料である黄鉛は、プラスチックの着色によく用いられ、成分によって緑(主成分： $\text{PbCrO}_4 \cdot x\text{PbSO}_4$)、黄(主成分： PbCrO_4)、赤(主成分： $\text{PbCrO}_4 \cdot \text{PbO}$)等の色相に使い分けられる¹⁸⁾。これらの色のレジ袋の分析結果と合わせて考えても、レジ袋から鉛が検出された原因は着色に黄鉛が用いられているためと考えられる。なお、2. 4に示した方法により白色・無色透明を含むレジ袋全体の平均鉛濃度を推定した結果、2006, 2007年度ともに約310ppmであった。

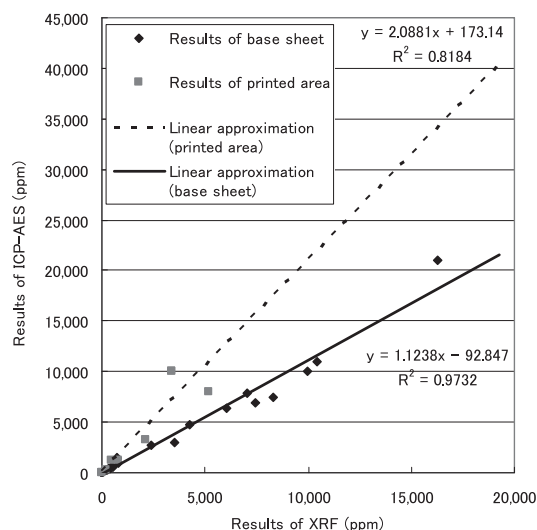


Fig. 2 Correlation between XRF and ICP-AES for lead

3. 4 レジ袋使用に伴う鉛フロー量に関する考察

本研究で推定したレジ袋に伴う鉛の量と統計調査で把

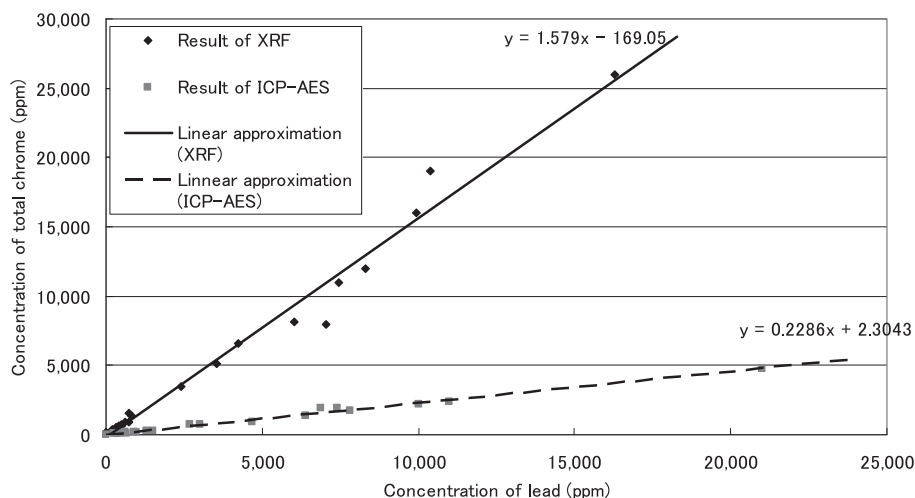


Fig. 3 Comparison between concentration of lead and total chrome

握されている黄鉛の量とを比較した。国内で生産・出荷される黄鉛については経済産業省工業統計²⁰⁾を用い、輸出入に関しては財務省貿易統計²⁰⁾を用いた。貿易統計では黄鉛という項目はなく、「クロム化合物をもととした顔料及び調製品(統計番号:3206.20.000)」を参照した。このため輸出入量には黄鉛以外の化合物を含む可能性がある。また、ここで把握される数値は顔料として流通しているものであり、レジ袋のように最終製品に混入した状態で輸入されたものを含んでいない。両統計中では製品重量が記載されているが、これを鉛量で比較するために、統計上の数値に、黄鉛の主成分、 PbCrO_4 の分子量に占める鉛原子の割合、0.641を乗じ、概算としての鉛量に変換した値をTable 8に示した。表中の数字から、輸出入を考慮すると年間およそ3,000~4,000トン強の鉛が黄鉛として国内で流通していると考えられる。本研究で推定したレジ袋の排出に伴う鉛量は84~110トンであったことから、国内で流通する黄鉛のおよそ2~3%を占

めていると考えられた。

3. 2および3. 3に示した値を用いて、京都市で一年間に家庭ごみとして排出されるレジ袋に伴う鉛の量を推定した(Table 9)。表に示したように、京都市で一年間に家庭ごみに排出されるレジ袋に伴う鉛の量はおよそ980~1,300kgと推定された。また、これを人口比で全国における値に外挿すると、2006年度は約110トン、2007年度は約84トンの鉛がレジ袋とともに家庭ごみとして排出されていると推定された。これらは家庭ごみとして焼却され、自治体における一般廃棄物の焼却処理及び最終処分プロセスに一定の負荷を与えていると考えられる。

このレジ袋に含有される鉛フローの推定については、さまざまな不確定性がある。たとえば、XRF分析における測定部位や汚れによる変動があること、レジ袋には種類ごとの回収枚数に調査によるばらつきがあること、京都市内の結果を全国に拡張して推計していること、インターネットアンケートでの枚数推定が都市部を対象とし

Table 5 Characteristics and lead concentration of plastic bags in 2006

Color	Kind of shop	Number of Collected/ Measured/ Over 100ppm	Concentration (ppm)				Average concentration of each color-based category	Ratio of color-based category	Average concentration of total (ppm)
			Average	Median	Min	Max			
White or clear and colorless		1216/0/0	—	—	—	—	—	76.3%	310
Brown	Supermarket	29/5/5	6,460	6,400	5,900	7,300	2,600	8.6%	
	Unknown	6/1/1	590	590	590	590			
	Food shop	1/1/1	1,300	1,300	1,300	1,300			
	Food shop	1/1/1	1,700	1,700	1,700	1,700			
	※Other	37/20/0	<100	<100	<100	<100			
Green	Department store	32/9/2	413	<100	<100	3,500	360	5.9%	
	Department store	14/2/1	410	410	<100	820			
	Food shop	1/1/1	260	260	260	260			
	Food shop	1/1/1	7,000	7,000	7,000	7,000			
	Book store	1/1/1	4,300	4,300	4,300	4,300			
	Grocery store	1/1/1	500	500	500	500			
	Department store	1/1/1	9,900	9,900	9,900	9,900			
	Unknown	4/1/1	400	400	400	400			
	Unknown	2/1/1	500	500	500	500			
	Unknown	1/1/1	390	390	390	390			
	Unknown	1/1/1	300	300	300	300			
	※Other	65/26/0	<100	<100	<100	<100			
Yellow	Liquor shop	2/1/1	16,000	16,000	16,000	16,000	1,100	2.4%	
	Unknown	1/1/1	720	720	720	720			
	Grocery store	1/1/1	2,400	2,400	2,400	2,400			
	Grocery store	1/1/1	620	620	620	620			
	※Other	28/22/0	<100	<100	<100	<100			
Blue	※Other	32/23/0	<100	<100	<100	<100	0	1.8%	
Red	Unknown	1/1/1	410	410	410	410	43	1.4%	
	Unknown	1/1/1	220	220	220	220			
	Unknown	1/1/1	310	310	310	310			
	※Other	19/16/0	<100	<100	<100	<100			
Orange	Book store	2/1/1	10,000	10,000	10,000	10,000	4,000	1.0%	
	Grocery store	1/1/1	7,400	7,400	7,400	7,400			
	Food shop	1/1/1	8,300	8,300	8,300	8,300			
	※Other	5/2/0	<100	<100	<100	<100			
Other	Clothing store	6/3/3	367	360	130	610	72	2.7%	
	Unknown	1/1/1	1,200	1,200	1,200	1,200			
	※Other	40/28/0	<100	<100	<100	<100			

Note: "※Other means other shops which use bags without lead (<100ppm).

Lead concentration less than 100 ppm is assumed to be 0 ppm here.

ていることなどの多くの不確定要因がある。これらの不確定性に関する定量的評価は今後の課題であるが、一部の袋が10,000ppm オーダーの鉛を含有すること、レジ袋に鉛が年間10～100トンオーダーで使用されていることが明らかになった。

次に、家庭ごみとして排出されるレジ袋に含まれる鉛が、焼却される都市ごみに含まれる鉛全体のどれだけかを占めるのかを考察した。焼却される都市ごみに含まれる

鉛の量については、中西ら²⁰⁾が統計データなどをもとにマテリアルフロー解析の手法を用いて推定している。解析の中では製品を7つのカテゴリーに分類し、それぞれが焼却される割合を設定することで焼却量を推定しており、2003年度における一般廃棄物中の鉛の焼却量を17,000トンと推定している。一方、渡辺ら²¹⁾は1995～1996年に焼却施設から発生する焼却灰や排水中の鉛濃度と発生量をもとに、都市ごみ中の鉛濃度を約300ppmと

Table 6 Characteristics and lead concentration of plastic bags in 2007

Color	Kind of shop	Number of Collected/ Measured/ Over 100ppm	Concentration (ppm)				Average concentration of each color- based category (ppm)	Average concentration of total (ppm)
			Averag	Median	Min	Max		
White or clear and colorless		2,154/0/0	<100	<100	<100	<100	—	310
Brown	Supermarket	158/128/88	4,100	5,300	<100	9,200	2,300	
	Supermarket	38/25/1	290	<100	<100	7,300		
	※Other	90/50/0	<100	<100	<100	<100		
Green	Book store	7/7/3	1,900	<100	<100	5,200	200	
	Food shop	5/5/1	520	<100	<100	2,600		
	Grocery store	2/2/1	340	340	<100	690		
	Electronics retail stores	1/1/1	160	160	160	160		
	Hotel	1/1/1	8,600	8,600	8,600	8,600		
	※Other	110/83/0	<100	<100	<100	<100		
Yellow	Book store	12/9/6	4,600	6,600	<100	8,400	1,900	
	Grocery store	3/3/2	770	1,000	<100	1,300		
	Liquor shop	2/2/2	24,000	24,000	23,000	25,000		
	Book store	1/1/1	10,000	10,000	10,000	10,000		
	Book store	1/1/1	560	560	560	560		
	Music store	1/1/1	7,300	7,300	7,300	7,300		
	Outlet store	1/1/1	3,300	3,300	3,300	3,300		
	Shoe shop	1/1/1	5,600	5,600	5,600	5,600		
	Shoe shop	1/1/1	2,200	2,200	2,200	2,200		
	Unknown	1/1/1	1,200	1,200	1,200	1,200		
※Other	47/24/0	<100	<100	<100	<100			
Blue	Unknown	1/1/1	490	490	490	490	5.2	
	※Other	93/78/0	<100	<100	<100	<100		
Red	Drugstore	1/1/1	2,400	2,400	2,400	2,400	93	
	Food shop	1/1/1	1,000	1,000	1,000	1,000		
	Music store	1/1/1	620	620	620	620		
	※Other	40/28/0	<100	<100	<100	<100		
Orange	Grocery store	4/3/1	2,800	<100	<100	8,400	3,200	
	Book store	3/3/3	8,000	8,400	7,000	8,700		
	Rental shop	3/3/3	12,000	11,000	11,000	14,000		
	Food shop	1/1/1	10,000	10,000	10,000	10,000		
	Music store	1/1/1	4,000	4,000	4,000	4,000		
	※Other	15/12/0	<100	<100	<100	<100		
Beige	Tax-free shop	1/1/1	180	180	180	180	5.3	
	※Other	33/21/0	<100	<100	<100	<100		
Black	Drugstore	2/2/1	290	290	<100	570	60	
	Grocery store	1/1/1	240	240	240	240		
	Unknown	1/1/1	200	200	200	200		
	※Other	16/16/0	<100	<100	<100	<100		
Gray	Supermarket	2/2/1	110	110	<100	220	8.5	
	※Other	24/20/0	<100	<100	<100	<100		
Purple	Food shop	2/2/1	400	400	<100	790	100	
	※Other	6/6/0	<100	<100	<100	<100		
Silver	※Other	14/14/0	<100	<100	<100	<100	0	
Other	Amusement park	1/1/1	2,700	2,700	2,700	2,700	1,400	
	※Other	1/1/0	<100	<100	<100	<100		

Note: “※Other” means other shops which use bags without lead (<100ppm).
Lead concentration less than 100 ppm is assumed to be 0 ppm here.

推定した。また、同様の手法で中村ら²⁰⁾は約120ppmと推定している。これに2003～2006年度の国内の一般廃棄物の年間焼却処理量である3,800～4,000トンに乗じると、それぞれ11,000～12,000トン、4,600～4,800トンの鉛が都市ごみとして焼却されていると推定される。Table10にこれらの数値とレジ袋の寄与を比較したものを示す。なお、これらの推定が行われた時点では都市ごみにブラウン管が混入しており、その寄与が三分の一程度と示唆されている²⁰⁾。このため現在ではレジ袋の寄与は表中の数値よりも大きいと考えられる。

2006年度と2007年度、いずれの調査においてもレジ袋1枚あたりの平均鉛濃度は310ppmと、EUにおける容器

包装中の重金属類の合計含有量の基準を超過していた。この主要因は、色付きのレジ袋の中で最も多く回収された、茶色のスーパーのレジ袋の平均鉛濃度が2006年度及び2007年度でそれぞれ6,460ppm、4,100ppmと高濃度に鉛を含有していたことにある (Table 5, 6)。鉛の平均濃度 (310ppm) におけるこのレジ袋の寄与率は70% (2006年度) および68% (2007年度) と非常に大きかった。このように市内でよく利用される店舗が高濃度の鉛を含有していたことを考慮すれば、全国換算した84～110t/year という数値は過大評価している可能性もある。

なお、2006年度と2007年度の調査の間には、2006年度調査で鉛が100ppm以上検出されたレジ袋を使用していた企業の一部に対して、京都市や当研究室が鉛使用の自粛を呼びかけている²⁰⁾。黄鉛は用途に応じた代替品がすでにあり、レジ袋においても鉛系顔料を必ずしも使用しなくてもよいわけではなく、ビスマスバナジウム系顔料やモノ (ジス) アゾ系顔料などへの代替が考えられる^{25,26)}。実際に2007年度の調査の際には前年度に検出された袋から検出されなくなった例も見られた。一方、2007年度調査において平均鉛濃度の減少傾向が見られなかった原因としては、前述した、寄与が最も大きかった茶色のスーパーのレジ袋の枚数が前年よりもかなり多かったことが挙げられ (Table 5, 6)、今後も動向を検証する必要があると考えられる。

Table 7 Distribution of average lead concentration of plastic shopping bags

Average lead concentration (ppm)	2006	2007
～100	127	163
101～1,000	15	15
1,001～2,000	3	2
2,001～3,000	1	4
3,001～4,000	0	2
4,001～5,000	1	2
5,001～6,000	0	1
6,001～7,000	2	0
7,001～8,000	1	2
8,001～9,000	1	1
9,001～10,000	2	2
10,001～	1	2
Total	154	196

Table 8 Estimation of lead in chrome yellow with statistical surveys^{19,20)}

Year	2003	2004	2005	2006	2007
Domestic Shipment (Pb-t) (Except for import)	2,947	2,584	2,404	X	X
Import (Pb-t)	1,844	2,156	2,287	2,472	2,271
Export (Pb-t)	1,263	1,119	775	634	933

4. 結論

本研究においてはXRFにより、レジ袋に含まれる鉛

Table 9 Estimation of lead weight (W_{Pb}) in plastic shopping bags in Kyoto city

	a	b	c=a*b/1000
Year	Weight (t/year)	Concentration of lead (g/t)	W_{Pb} (kg-Pb/year)
2006	4,230	310	1,300
2007	3,170	310	980

Table 10 Contribution of lead in plastic shopping bags to total Municipal Solid Waste²¹⁻²³⁾

Literature-based		Total lead amount in MSW (t/year)	Total lead amount in plastic shopping bags (t/year)	Contribution of plastic shopping bags (%)
Concentration of lead in MSW (g/t)	Author			
—	Nakanishi <i>et al.</i> ²¹⁾	17,000	84-110	0.49-0.64
300	Watanabe <i>et al.</i> ²²⁾	11,000-12,000		0.76-0.92
120	Nakamura <i>et al.</i> ²³⁾	4,600-4,800		1.8-2.3

※MSW means Municipal Solid Waste.

量の実態把握を試み、袋の色ごとに鉛の濃度や検出率に差が見られることや、10,000ppmを超える高濃度の鉛を含むものが存在することが明らかになった。色付きのレジ袋総数のおよそ17~18%, 白色・無色透明を含めたレジ袋総数のおよそ4%ほどから100ppmを超える鉛が検出され、レジ袋1枚あたりの平均鉛濃度は2006年度、2007年度とも約310ppmであると推定された。

これらのレジ袋が家庭ごみとして排出されることにより、京都市内では一年間におよそ0.98~1.3トンの鉛がごみとして排出されると推定された。これを全国に換算するとおよそ84~110トンの鉛がレジ袋とともに家庭ごみとして排出されていることになる。そしてこれらの多くが焼却処理される。焼却飛灰中の重金属類処理のために、自治体等が薬剤処理等に相当の財政負担を行っていることを考えると、レジ袋中の鉛の負荷を下げる意義は大きい。また、本論文では幼児が鉛を含有するレジ袋を直接舐めたり飲み込むことや、レジ袋に入れた食物を摂取すること及び焼却や埋立て等による健康影響や環境に与えるリスクについては評価を行っていない。しかし仮に直ちに健康被害等を生じるものではないにしても、家庭内において誰もが接する身近なものであることから、今後、自治体や事業者、消費者等が情報交換を図りながら削減していくことが望ましいと考えられた。

要 約

蛍光X線分析を用いてレジ袋に含まれる鉛量の実態把握を試みた。100ppmを超える鉛の検出率は色付きのレジ袋総数に対して約17~18%, レジ袋総数で約4%であり、1枚あたりの平均鉛濃度は2006年度、2007年度とも約310ppmと推定された。色ごとに鉛の濃度や検出率に差が見られ、最高で10,000ppmを超える袋もあった。

家庭ごみとして排出されるレジ袋に伴う、京都市内での一年間の鉛量は0.98~1.3トンであると推定された。全国で使用されるレジ袋は、約400億枚(2007年)と推定され、この量をベースにした家庭ごみ中レジ袋の鉛量はおよそ84~110トンであった。これらはほとんどが焼却処理されることから、一般廃棄物の焼却処理において一定の負荷があると考えられる。

文 献

- 1) 中村一夫：製品のライフサイクルからみた飛灰の性状—清掃工場における鉛、カドミウムの由来と挙動—, 廃棄物学会誌, Vol.5, No.1, pp.60-68 (1994)
- 2) 鈴木靖文, 高月 紘, 酒井伸一：焼却灰の鉛濃度分布を用いた鉛の由来の推定, 第5回廃棄物学会研究発表会講演論文集, pp.525-527 (1994)
- 3) 佐藤茂夫, 市川哲也：ごみ焼却灰中の鉛量に及ぼす黄鉛含有レジ袋の影響, 第6回廃棄物学会研究発表会講演論文集, Vol.6 pp88-90 (1995)
- 4) 環境省中央環境審議会：今後の容器包装リサイクルの在り方について(意見具申), (2006)
<http://www.env.go.jp/council/toshin/t02-h1804/mat01.pdf>
2007年7月23日確認
- 5) European Commission -Directorate- General Environment: Study on Hazardous Household Waste (HHW) with a Main Emphasis on Hazardous Household Chemicals (HHC) — Final Report, WRc: CO5089-2 (2002)
- 6) European Parliament and Council Directive 94/62/EC of 20 December 1994 on packaging and packaging waste
- 7) Directive 2006/66/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on batteries and accumulators and waste batteries and accumulators and repealing Directive 91/157/EEC)
- 8) Directive 2000/53/EC of the European Parliament and of the Council of 18 September 2000 on end-of life vehicles
- 9) 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
- 10) 本間 寿：試料調整法, pp66, 「蛍光X線分析の実際」, 中井泉編集, 朝倉書店, 東京 (2005)
- 11) 舟木賢徳：レジ袋とは何か? レジ袋は何が問題か?, pp14-15, 「「レジ袋」の環境経済政策ヨーロッパや韓国, 日本のレジ袋削減の試み」, 舟木賢徳, リサイクル文化社, 東京 (2006)
- 12) 永井宏樹：蛍光X線分析の実際応用事例集, pp172-173, 「蛍光X線分析の実際」, 中井泉編集, 朝倉書店, 東京 (2005)
- 13) 水平 学：蛍光X線分析の実際応用事例集, pp174-177, 「蛍光X線分析の実際」, 中井泉編集, 朝倉書店, 東京 (2005)
- 14) 京都市環境局：家庭ごみ細組成実態, pp6, 「平成18年度家庭ごみ細組成調査報告書」(2007)
- 15) 京都市環境局：家庭ごみ細組成実態, pp6, 「平成19年度家庭ごみ細組成調査報告書」(2008)
- 16) 京都市環境局：ごみ処理事業, pp47-54, 「平成19年度環境局事業概要」(2008)
- 17) 高月 紘：容器・包装材と家庭ごみに関する研究, 環境技術, Vol.12, No.7, pp.425-432 (1984)
- 18) 化学工業日報社：顔料(無機), pp1359-1360, 「14906の化学商品」, 東京 (2006)
- 19) 経済産業省工業統計

- <http://www.meti.go.jp/statistics/tyo/kougyo/index.html>
- 20) 財務省貿易統計
<http://www.customs.go.jp/toukei/info/index.htm>
- 21) 小林憲弘：発生源の特定と環境排出量の推定, pp.56-77, 「詳細リスク評価書シリーズ9 鉛」, 中西準子, 小林憲弘, 内藤 航, 丸善, 東京 (2006)
- 22) 渡辺信久, 井上三郎, 福永 勲：都市ごみ焼却処理場での鉛のマスバランス, 生活衛生, Vol.44, No.4, pp.171-174 (2000)
- 23) Nakamura K, Kinoshita S, Takatsuki H : The Origin and Behavior of Lead, Cadmium and Antimony in MSW Incinerator, Waste Management, Vol.16, No.5/6, pp.509-517 (1996)
- 24) YOMIURI ONLINE:
<http://atashi.com/webarchives/2007/05/26/18/08/11/www.yomiuri.co.jp/national/news/20070526i306.htm>
 (2007)
- 25) 岩本正和：「顔料における環境対応」「塗料における黄鉛顔料の代替に適した顔料」, 色材協会関東支部講演会, Vol.2003 Page.9-15 (2003)
- 26) Ciba Specialty Chemicals Inc：汎用・一般工業用塗料における鉛代替 (2000)
http://www.ganryo.com/ganryo/jyouhou/csc_Pb_free/csc_Pb_free.pdf (2008.12.18確認)