ハウスダスト中元素濃度の変動要因

峡戸 孝也¹⁾, 高木 麻衣²⁾, 吉永 淳²⁾,
田中 敦³⁾, 瀬山 春彦³⁾, 柴田 康行³⁾

¹⁾北里大学医療衛生学部 (〒228-8555 神奈川県相模原市北里1-15-1)

²⁾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)

³⁾独立行政法人国立環境研究所 (〒305-8506 茨城県つくば市小野川16-2)

[平成20年9月19日受付, 平成21年1月7日受理]

Factors Related to Elemental Variation in House Dust

Takaya KAIDO¹⁾, Mai TAKAGI²⁾, Jun YOSHINAGA²⁾,
Atsushi TANAKA³⁾, Haruhiko SEYAMA³⁾ and Yasuyuki SHIBATA³⁾

¹⁾Allied Health Sciences, Kitasato University
(1-15-1 Kitasato, Sagamihara, Kanagawa 228-8555)

²⁾Department of Environmental Studies, University of Tokyo
(5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba 277-8563)

³⁾National Institute for Environmental Studies
(16-2 Onogawa, Tsukuba, Ibaraki 305-8506)

[Received September 19, 2008; Accepted January 7, 2009]

Summary

Concentrations of 25 elements (Al, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cs, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Sn, Sr, Ti, U, V, Zn) in house dust samples of households in Tokyo Metropolitan Area and Chugoku district in Japan were measured and the source(s) of their household-to-household variations were analyzed with particular focus on those of Pb variation. Vacuum cleaner dusts were supplied from 2-6 households from each of 8 apartment buildings and one pair of adjacent houses constructed by the same house-maker (total number of samples: 27). House dust samples, prepared by passing the cleaner dust through 250 μm mesh, were acid-digested and element concentrations were determined by ICP emission spectrometry and ICP mass spectrometry. Inter-household variation in elemental concentration, as well as that of elemental ratio to Al calculated to correct for the effect of outdoor soil/dust, was large. Elemental ratio to Al did not differ among the buildings for all of the elements except for Mg, indicating element level in house dust varies more due to "dweller's factor" than to locality and/or materials for the construction of the buildings. The result of correlation analysis indicated paint and general heavy metal pollution involving Cd, Cu, Ni or Zn of unknown source as source of Pb in house dust, which was consistent with the result of the previous study. Additionally, Pb-Sn correlation indicated solder as another source while no candidate source emerged with regard to highly significant Pb-Mo correlation.

Key words: house dust, element, inter-household variation, between-building variation, within-building variation

1. はじめに

ハウスダストがある種の化学物質の曝露源として重要である可能性があることはすでに欧米では認識されている。特に室内の滞在時間が長い、hand-to-mouth 行動などにより非意図的に摂食する可能性が高い等の理由で、ハウスダストは化学物質への感受性が高い乳幼児の曝露媒体として、わが国でも今後ますます注目されるものと考えられる。

これまで欧米でもっとも重点的に調査研究されてきたハウスダスト中の化学成分は鉛(Pb)である。かつてPbを含有するペンキを住居の塗装に使用していたアメリカなどの国では、塗装面の劣化に伴って剥離したペンキ片が室内に直接落下・粉末化したり、住居外壁等から剥離したペンキ片が建物周辺の土壌を汚染し、その土壌が室内に持ち込まれたりする経路によってハウスダストがPbによって汚染され、それが小児のPb曝露源として重要であるという認識¹⁾から、ハウスダスト中Pbの調査研究が充実していた。

わが国では、Pb含有ペンキを家屋の塗装に用いることがなかったことや、土足で室内に入ることがないことから、欧米でのハウスダストの状況とは異なるものと推測されるが、最近の研究によると、わが国のハウスダスト中Pbは地殻存在度に比して10倍程度濃縮していること²⁾、および日本人小児のPb曝露源として大きな寄与をしている可能性³⁾が指摘されている。さらにPb安定同位体比を用いた調査でも、小児の血中Pbの起源としてハウスダストが疑われるケースがあることが報告されている⁴⁾。一方、日本人小児にとってハウスダストがPb以外の有害重金属類の曝露源として大きな寄与を持つかどうかについて、わが国のハウスダストで各種元素濃度の情報が限られている現在では明らかでない。中村らはPb以外にもCu、Cd、Znなどのハウスダスト中濃度は地殻存在度より1桁高いことを報告している⁵⁾。

ところで、ハウスダスト中のPb濃度にはサンプリングした世帯間で大きなばらつきがある。Ishibashiらは、日本各地の41世帯から採取したハウスダスト(粒径<250 μ m)のPb濃度は12.9~466mg/kgの範囲であり、変動係数が106%であることを報告している(算術平均94.5mg/kg、標準偏差100mg/kg)⁶⁾。このような大きな世帯間変動が何に由来するのか、ハウスダストの研究がほとんどなされていないわが国では、現在のところ明らかでない。Ishibashiらはさらに、日本各地の世帯からサンプリングしたハウスダスト中Pb濃度と、その世帯の近隣土壌および窓枠(室外側)にたまったダストのPb濃度との関連を調べ、これら室外試料との間に正の相関があることを見いだした⁶⁾。この結果は、ハウスダストのPb濃度には室外から入り込む土壌やダストの影響もあるこ

とを示すものではあるが、見出された相関は弱いので、他にももっと大きな変動要因があるものと考えられる。

本研究では、ハウスダスト中のPb濃度に見られる大きい世帯間変動の要因を絞り込むためのアプローチとして、同じ集合住宅建物の異なる部屋(世帯)からサンプリングしたハウスダストのPb分析を行い、それらの濃度の世帯間変動に占める建物内変動と建物間変動の相対的な大きさについて検討した。建物間変動の方が大きい場合には、建物のある地域や建物そのもの(建材等)に由来する変動の方が大きいことを示し、建物内変動の方が大きい場合には、居住者の持ち込んだもの(家具、雑貨等)やライフスタイルの方が変動に大きな寄与を示すものと考えた。また、ハウスダスト中Pbの起源推定の一方法として、他元素との関連を調べるにあわせ、ハウスダスト中他元素(24元素)の濃度レベル、世帯間変動、変動要因についても、Pb同様に検討した。

2. 試料と方法

ハウスダスト試料

本研究で分析対象としたハウスダスト試料は首都圏および中国地方の合計27世帯に依頼して収集した。この二地域内の4箇所の集合住宅の同じ棟から2世帯ずつ、1箇所から3世帯、2箇所から4世帯ずつ、1箇所から6世帯(異なる3棟から2世帯ずつサンプリングしたが、同じ敷地内に隣接する間取り・内装などほぼ同一の3棟なので1箇所とした)の計25世帯、さらに同じハウスメーカーによって同時期に建築された隣接する戸建て販売住宅2世帯の計27世帯である。対象とした建物は築8~39年であり、すべて住宅地域にあった。鉛汚染源となるような施設などの存在は確認されていない。なお世帯構成は一人暮らしから家族4人まで含まれる。それらの家庭に予め調査の目的、方法などを説明した上で掃除機に蓄積したごみの提供および生活に関する質問票への回答に関して承諾を得た。2007年8月31日に各家庭で通常使用している掃除機のフィルターの交換(紙パック方式)、集塵箱の排出(サイクロン式)を行ってもらい、9月1日から30日までに蓄積した掃除機ごみを東京大学に送付してもらった。

送付された掃除機ごみは、全量を2mmおよび250 μ mの開き目のステンレス製ふるいを通して3粒径に分画した。これまでのわれわれの調査方式⁷⁾と同様に250 μ mのふるいを通過した粉状のダスト(繊維状物質除外)を小児の手に付着しやすいハウスダストとして本研究の分析対象とした。なお、対象とした27世帯で1ヶ月間に蓄積したごみ全体の重さは0.6~68g(中央値28g)、うち250 μ mのふるいを通過したのは0.3~37g(7.8g)、そのうち繊維状物質の塊状の埃や頭髮をピンセットを用いて

除外した、本研究で「ハウスダスト」と呼ぶ画分は0.2～34g (6.6g) であった。

ハウスダスト試料はよく混合した後、一部 (100～300mg) を110℃、2時間加熱した後の重量減少分を水分含量とした。残りの一部を元素分析に用いた。水分含量は6.1±1.3% (2.9～8.7%) であった。

元素分析

ハウスダスト試料は既報と同様、約100mg をテフロンピーカーにとり、ホットプレート上で硝酸 (電子工学会用、関東化学)・過塩素酸 (有害金属測定用、関東化学)・フッ化水素酸 (AA-100, 多摩化学) による分解²⁵⁾を行った。過塩素酸の白煙を出しながらほぼ乾固した残渣を0.3mol/l 硝酸 (超高純度、関東化学) で50g に希釈して分解液とし、0.45μm の酢酸セルロース製フィルター (ミニザルト, ザルトリウス) でろ過後、ICP 発光分析法 (ICAP-750, 日本ジャレルアッシュ) でAl, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, P, S, Sr, Ti, V, Zn 濃度を、分解液をさらに50倍希釈してICP 質量分析法 (7500ce, アジレントテクノロジー) でCd (測定質量数111), Co (59), Cs (133), Mo (95), Pb (208), Sb (121および123), Sn (118および120), U (238) の濃度を定量した。ハウスダストの元素濃度はすべて水分含量を補正し、乾燥重量あたりで求めた。

以上のハウスダスト試料の分析は、すべてのサンプルについて二重測定を行った。二つの定量値の差を、定量値の平均値で除した値の中央値は、測定対象としたほとんどすべての元素について20%未満であった。例外はCu (中央値25%), Ni (32%) であった。このレベルの不均一性が粒径250μm以下のハウスダスト試料にはある

ことを念頭に置きながらも、二重測定結果の平均値をもってその世帯のハウスダスト中元素濃度として解析に使用した。

また、米国National Institute of Standard and Technology (NIST) が頒布するハウスダスト認証標準物質 (SRM 2583 Indoor Dust) を試料と同様に分解、測定し、測定の精度管理を行った。ただし本研究で測定した元素のうち、認証値はCr, Cd, Pbにのみ与えられており、それぞれ80±20, 7.3±3.7, 85.9±7.2mg/kg に対し、本研究で得られた定量値は62.3±5.2, 7.33±0.44, 88.6±3.5mg/kg (すべてn = 8) と、平均値は認証値の不確かさの幅の中に入った。Cr はやや低めの定量値が得られたが、これはこのCRMには酸に不溶なクロマイトなどのCrが含まれるためかもしれない。

統計解析

ハウスダスト中元素濃度は二重測定の差によらず平均をとり、各世帯のハウスダストの元素濃度とした。土壌などの混入による濃度変動があることを勘案し、ハウスダスト中元素濃度はAl濃度との比をとったうえで、建物 (棟) 内変動と建物間変動の大きさをKruskal-Wallis検定によって比較した。各種記述統計、分散分析、相関分析はSPSS統計パッケージ (ver 12.0 J) を使用して行った。

3. 結果と考察

3.1 ハウスダスト中の元素濃度

Table 1 に測定した25元素の算術平均濃度及び中央値を一覧した。ほとんどすべての元素で世帯間のばらつ

Table 1 Element concentrations in house dust samples (n=27)#

	Al	Ba	Ca	Cd*	Co*	Cr	Cs*	Cu	Fe
Unit	%	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%
Median	1.81	208	2.56	1.20	5.29	61.0	0.828	267	1.03
Mean	1.97	323	2.80	1.36	6.11	75.5	1.12	616	1.25
SD	0.91	477	1.49	0.75	2.79	42.5	0.84	1452	0.63
Min-Max	0.706-3.89	77.8-2571	0.938-7.92	0.17-3.07	2.79-12.1	26.3-203	0.403-3.75	69.8-7715	0.536-3.69
	K	Mg	Mn	Mo*	Na	Ni	P	Pb*	S
Unit	%	%	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%
Median	0.832	0.421	261	2.26	0.905	57.3	868	55.3	0.486
Mean	0.939	0.469	290	5.06	0.913	67.1	994	120	0.512
SD	0.385	0.245	129	14.8	0.250	30.4	570	269	0.155
Min-Max	0.444-2.17	0.170-1.05	116-617	0.793-78.7	0.368-1.37	32.0-175	337-2840	18.0-1428	0.269-0.800
	Sb*	Sn*	Sr	Ti	U*	V	Zn		
Unit	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg		
Median	8.12	19.6	72.3	0.149	0.422	27.6	717		
Mean	9.75	28.7	75.4	0.158	0.668	34.5	1168		
SD	4.85	25.1	33.3	0.039	0.453	20.6	1357		
Min-Max	1.93-22.7	8.09-114	27.2-170	0.099-0.283	0.215-1.53	9.20-79.4	235-5923		

Concentrations are expressed on dry weight basis

* Determined by ICPMS, others were by ICPAES

きが大きく、平均値が中央値を上回っていた。飛び離れた少数の大きな値がある、対数正規分布型の分布であることを示している。濃度レベルについては、元素によって%オーダーから1 mg/kg以下のものまで多様であった。測定した中ではCaが最高値で、Al、Feまでが%オーダー以上であった。Fig. 1に中村らが報告した、首都圏10軒の家庭から採取した掃除機ごみの19元素の測定結果²⁾と比較した。中村らの結果は2 mm以下の粒径を6粒径分画に分けて測定した値すべて(6粒径×10軒=60)の中央値であり、本研究とは異なる粒径のダストを含んだ値なので厳密には比較できないが、元素濃度は非常に類似していた。Pb濃度については、本研究と同様に250 μ m以下の分画を測定したIshibashiらの結果(中央値54.1mg/kg, 平均 $\pm$ SD=94.5 $\pm$ 100mg/kg, n=41)⁵⁾とよく一致していた。Aungらの報告した首都圏の家庭のハウスダスト(<150 μ m分画)中鉛濃度の算術平均値117mg/kg (n=21)³⁾とも一致した。しかし、本研究では最大で1,428mg/kgというきわめて大きな値が見出されている。Cdも同様にIshibashiらの中央値0.932mg/kg⁵⁾とよく一致した。以上のように、Table 1に示した元素濃度は、世帯毎のばらつきは大きいものの、代表値としては、これまで報告されているわが国のハウスダスト中濃度とよく一致したものである。

中村らと同様に、ハウスダスト中元素濃度をサンプル毎にAl濃度で規格化したうえで地殻存在度と比較²⁾したEnrichment Factor (EF, 下式)の中央値を示したのが

Fig. 2である。

$$EF_e = \frac{[Me/Al]_{\text{indoor dust}}}{[Me/Al]_{\text{crustal}}}$$

なおこの式で EF_e はある元素 e のEF、 Me はハウスダスト中のその元素の濃度あるいは地殻存在度⁶⁾、 Al はハウスダスト中Al濃度あるいは地殻Al濃度である。EFが10付近を超える元素P、S、Cu、Zn、Cd、Pbは中村らの報告したものと同様であった。本研究で新たに測定対象とした元素のうち、Mo、Sn、SbのEFが10以上で、特にSbおよびSnのEFが高かった(それぞれ239、55)。わが国の大気粉塵中SbのEFが大きいことはすでに報告されており⁷⁾、Sbの環境中レベルは人為汚染の影響を大きく受けていることは明らかである。ハウスダスト中のEFも大きいということは、室外環境由来の汚染が室内に入り込んでいるという可能性がまず考えられる。一方Sbはプラスチックの難燃処理に多用されている他、Snはハンダとしての使用がよく知られているが、各種プラスチックやハンダを多用した電子部品が室内環境には多く存在することを考慮すると、SbやSnの発生源が室内に存在する可能性も十分ある。

3. 2 ハウスダスト中元素濃度の世帯間変動

27世帯の元素濃度のばらつきを、算術平均値で標準偏差を除いた変動係数(Coefficient of variation, CV:単位は%)で表すと、元素によって25%から292%まで大き

Fig. 1 Comparison of element concentrations in house dust obtained in this study and those reported in the previous study (Nakamura et al., 2008)

な変動幅をもつ。CVとハウスダスト中元素濃度の中央値との関連を示したものがFig. 3である。CVが100%以下の元素に限ってみると、中央値が大きくなるにつれて緩やかにCVが低下し、その相関係数は有意であった($r = -0.569$, $p < 0.01$)。主成分をなす元素ほど世帯間のばらつきが小さいということである。一方、CVが

100%を越える元素にはZn, Ba, Pb, Cu, Moがあり、ZnからMoの順に大きなCV値となった。これら5元素は、ハウスダスト中の濃度レベルから推定されるよりも大きいばらつきをもつ、ということである。このうちZn以外は大きく離れた値を示した世帯は1軒のみであり(Znは3軒)、それぞれの外れ値を除外するとCVは47~

Fig. 2 Enrichment factor (EF) of the elements in house dust analyzed in this study. For the definition of EF, see text

Fig. 3 Relationship between the median concentration in house dust and coefficient of variation (CV) of the concentration of the elements analyzed in this study

93%と、他の元素とはほぼ同じ程度まで下がった。なお、他の世帯と大きく異なる Mo、Pb 濃度を示した世帯は同一であったが、Ba、Cu が外れ値を示した世帯はどちらもこの Mo/Pb が外れた世帯とは異なる世帯であった。このように Ba、Cu は各元素単独に高濃度に含有する何か、Mo と Pb は両元素を高濃度に含有する何か、がそれぞれハウスダストに混入していた。

中村らはハウスダスト中元素濃度の変動のもっとも大きな要因として土壌等の混入があることを因子分析の結果から推定した²⁾。その結果に基づき、本研究で求めた元素濃度と土壌の主要元素である Al との比をとって世帯間変動を計算すると、Fe や Mn などの CV は濃度より Al 比の方が小さくなったが、他のほとんどの元素は必ずしも Al 比の方が小さい CV とはならず、ほとんど濃度の CV とかわらないもの (Cd、Cu、Ni、P など)、むしろ Al 比の方が大きくなるもの (Ba、S、Sb など) があつた。Pb 濃度の CV (224%) は Al 比をとると 151% に、やや低下した。ハウスダストへの土壌等の混入率の変動がハウスダスト中元素濃度の変動の大きな要因である元素は Fe や Mn などに限られ、Pb などは中程度の大きさの要因であるが、他の元素は土壌混入以外の寄与が大きいことを示唆する結果である。しかしながら以下の統計解析では、土壌などの混入による変動の影響を取り除くために、元素濃度と Al 濃度の比を用いることとした。

3.3 ハウスダスト中 Pb 濃度レベルと他元素濃度レベルとの関連

ハウスダストに含まれる各種元素・Al 比同士の相関関係をスピアマンの順位相関分析によって調べた結果、きわめて多くの元素間に統計的に有意な正の相関関係が見いだされた。中村らも同様にハウスダスト中の多数の元素濃度間に有意な相関を見だし、それらの関連を整理するために因子分析を行った²⁾。今回のデータは試料数

が少ない ($n = 27$) ので、因子分析には適さないと判断し、ハウスダスト中の起源の解明がもっとも必要と考えられる Pb を中心として他元素との関連を整理した。

Pb 濃度と有意な相関を示したのは、Mo ($r = 0.814$, $p < 0.001$), Cd ($r = 0.649$, $p < 0.001$), Sn ($r = 0.601$, $p < 0.01$), Cu ($r = 0.578$, $p < 0.01$), S ($r = 0.567$, $p < 0.01$), Sb ($r = 0.564$, $p < 0.01$), Cr ($r = 0.519$, $p < 0.01$) であり、これ以外にも Ni、P、Ti、Zn が $r = 0.4$ 以上の有意な相関係数 ($p < 0.05$) を示した。これらの相関関係はすべて正の相関であり、相関のあるペア同士の元素は起源が類似している可能性を示すものと考えられる。中村ら²⁾が指摘したように Cr、S、Ti は塗料に特徴的な元素群であり、今回のデータで Pb/Al と正の相関を持つということはハウスダスト中 Pb の一部は塗料に由来する、という彼らの考察と合致する。また中村らは、ハウスダスト中 Pb は Cd、Ni、Cu、Zn など、EF の大きい人為汚染重金属類ともある程度挙動が一致することを報告しているが、今回の結果もこれと矛盾しない。すなわち本研究結果は、中村らの結果とともに、ハウスダスト中の Pb の起源として塗料および「その他の人為重金属汚染」(詳細は不明であるが) を示唆している。

本研究で初めて測定された Mo や Sn と Pb とのやや強い正の相関関係 (Fig. 4) が何を表すのか現時点では不明である。前述したように Mo と Pb の両元素を非常に高い濃度で含有するハウスダストのデータが含まれることは事実であるが、ここで用いている解析手法は順位相関であるから外れ値の影響は受けにくいはずで、実際にこの世帯のデータを除外しても $r = 0.792$ と相関の強さはほとんど変わらない。Mo-Pb の関連は今回対象とした世帯全体に普遍的に見られるもののようであるが、何に由来しているのかは不明である。一方 Sn-Pb の相関は、電子機器類等に使用されているハンダに由来する室内汚染を示しているのかもしれない。Pb/Al と Sb/Al との正の相

Fig. 4 Correlation of elemental ratio to Al in house dust. Left, Mo/Al vs Pb/Al. Right, Sn/Al vs Pb/Al. Both of the Spearman rank correlation coefficients ($r = 0.814$ and 0.601 , respectively) are significant at $p = 0.001$

関も相関係数がおおきかった。SbはPb以外ともCu, Cd, Mo, Na, Ni, S, Ti, Znなどの多様な元素と0.6～0.7の強い正の相関を示しており、ハウスダスト中のSbの起源は多様なものであると推定できる。したがってSb-Pbの相関からPbの起源について特定することは困難であるが、プラスチックが一つの候補であると考えられる。

3. 4 ハウスダスト中元素濃度レベルの建物内変動と建物間変動

8棟の集合住宅及び隣り合った戸建て住宅の計9建物間の元素・Al濃度比をKruskal-Wallis検定すると、建物間に有意な差が見られたのはMg ($\chi^2=17.68$, $p<0.05$)のみであり、その他はPbを含め、すべて建物間の差は有意ではなかった。Fig. 5にMgとPbの例を示した。Mg以外で建物間の差が有意でなかったのは、Pbに典型的に見られるように、建物内での元素・Al濃度比のばらつきが大きいために、建物間の差が統計的に有意にならなかったものである。建物間の変動要因を分類すると、建物のある地域に由来する要因と建物の建材の違いなどの要因が考えられる。ここで地域的要因とは、室外から混入する土壌・ダスト類の含有する元素・Al濃度比の地域的なばらつきがハウスダストに反映するという「室外要因」である。これに対し、同じ集合住宅の建物内ばらつきは地域要因や建材などが同一の条件でのばらつきであるので、居住者のもちこみ家具類や居住の仕方（ライフスタイル）による。いわば「居住者要因」と言い換えることができる。Mg以外の23元素の対Al濃度比の建物間

差が有意にならなかった、という今回の統計解析結果は、ハウスダスト中のほとんどの元素について、「室外要因」「建材要因」よりも「居住者要因」のほうが強い変動要因であることを意味する。

どのような居住者要因によってハウスダスト中の鉛や他の元素濃度レベルが変動するか、本研究からは明らかではないが、欧米で行われた既往の研究では、暖房器具・調理器具のエネルギー源（石油か電気か）、絨毯の使用の有無などによってハウスダスト中の重金属類濃度が変動するとの報告がある^{8~10}。また、これらの報告では、居住者要因ではないものの、築年数が古い住居のハウスダスト中鉛濃度が高い、という結果が共通して得られているが、これは1950～60年代のPb含有塗料の規制前に建てられた住居には塗料由来のPbが混入するから、という欧米特有の状況が背景にある。なお本研究の場合、建物の築年数とPb等元素濃度の間には関連は見られなかった。このように、現在のところわが国とは習慣等が異なる欧米での知見しかないので、今後はわが国のハウスダスト中元素濃度の変動に寄与する居住者要因の特定を行う必要がある。

4. 結言

ハウスダスト中元素濃度は世帯毎に大きなばらつきを示す。変動要因をなるべく制御するために、同じ集合住宅の異なる世帯（あるいは隣接する同じ建て売り戸建て住宅）からハウスダストを採取する、土壌等からの影響を最小限に抑えるためにハウスダスト中元素濃度をAl

Fig. 5 Elemental ratio to Al in the house dust samples collected from 2-6 households from each of 9 buildings. Left, Mg/Al. Right, Pb/Al. Mg/Al had significant variation according to the buildings (Kruskal-Wallis test, $p<0.05$) but Pb/Al did not

濃度との比をとって表す、などの工夫をしても、Pbをはじめとする本研究で測定対象としたすべての元素で世帯毎の変動は大きかった。また、ハウスダスト中元素濃度レベルには建物間差がみられなかった、という解析結果を併せて考えても、住居の地理的要因や建材等に由来する要因（建物間要因）よりも、持ち込まれる家具類やライフスタイルなど、居住者に由来する要因（建物内要因）のほうがより重要な変動要因であると考えられた。どのような居住者要因がハウスダスト中のどのような元素の存在量に影響を及ぼすのかについて、より詳細な検討が必要であると考えられる。

ハウスダスト中のPbの起源について、本研究では既報と同様、土壌粒子など室外からの混入、塗料や一般重金属汚染との関連が示唆されたほか、新たにハンダやプラスチックの関与を示唆する元素間関連が見いだされた。

今後、わが国の一般公衆、特に小児の重金属等曝露評価にあたり、Pbのように、ハウスダストからの寄与が無視できない重金属は何であるかが調査され、その次のステップとして、過剰曝露による健康リスクを低減化するためのハウスダストへの対策が必要となる場面が生ずるものと予想される。そのために、ハウスダスト中各種元素濃度レベルに関する記述的データの蓄積と濃度レベルの変動要因の解明がますます重要になるものと考えられる。

謝 辞

掃除機ごみサンプルを提供くださった27世帯の方々に深謝します。本研究の一部は平成19年度トステム建材産業振興財団からの助成金で行われた。

要 約

わが国の一般家庭のハウスダスト中Pb等元素濃度の変動要因を探ることを目的として、ハウスダストサンプルの分析を行った。同じ集合住宅の複数（2～6）世帯、あるいは同じハウスメーカーによる隣接した2軒の戸建て建て売り住宅、合計27世帯に依頼して、2007年9月の1ヶ月間に蓄積した掃除機ごみを入手した。250 μ mのふるいを通してハウスダスト試料とし、混酸分解した後、ICP発光分析法、ICP質量分析法で25元素の定量を行った。すべての元素について、世帯毎のハウスダスト中濃度は大きなばらつきを持っていた。土壌等室外要因による変動を最小とするために、ハウスダスト中元素濃度をAl濃度で除して、Al比として統計解析を行った。建物間（n = 9）の

元素濃度レベルの差は、建物内（n = 2～6）のばらつきに比較して小さくなく、ハウスダスト中Pb等元素濃度レベルは、建物の存在する地域や建材などよりも、居住者要因によって主に変動すると考えられた。他元素との相関分析結果から、ハウスダスト中Pbの起源として、既報と同様に塗料、原因の明確でない一般的な重金属汚染が見出された。さらに、ハウスダスト中のPb-Snの正の相関から、ハンダに由来する室内起因の汚染の可能性が考えられたが、もっとも強い相関を示したPb-Moの関係が何に起因するのか不明であった。

文 献

- 1) IPCS: Environmental Health Criteria 3 Lead. WHO, Geneva (1977)
- 2) 中村有希, 高木麻衣, 吉永 淳, 田中 敦, 瀬山春彦, 柴田康行: 日本の室内塵の元素組成と鉛の起源, 室内環境, 11, 11-20 (2008)
- 3) Aung, N.N., Yoshinaga, J. and Takahashi, J.: Exposure assessment of lead among Japanese children. *Environ. Health Prevent. Med.* 9, 257-261 (2004)
- 4) 高木麻衣, 田宮さやか, 吉永 淳, 田中 敦, 瀬山春彦, 柴田康行, 上松あゆ美, 加治正行: 同位体分析に基づく日本人小児の鉛曝露源解析, 環境化学, 18, 521-531 (2008)
- 5) Ishibashi, Y., Yoshinaga, J., Tanaka, A., Seyama, H. and Shibata, Y.: Lead and cadmium in indoor dust in Japanese houses --- Relationship with outdoor sources. 室内環境, 11, 93-101 (2008)
- 6) 松久幸敬, 赤木 右: 「地球科学概説」, 培風館, p75 東京 (2005)
- 7) Furuta, N., Iijima, A., Kambe, A., Sakai, K. and Sato, K.: Concentrations, enrichment and predominant sources of Sb and other trace elements in size classified airborne particulate matter collected in Tokyo from 1995 to 2004. *J. Environ. Monitor.* 7, 1151-1161 (2005)
- 8) Fergusson, J.E. and Kim, N.D.: Trace elements in street and house dust: sources and speciation. *Sci. Total Environ.* 100, 125-150 (1991)
- 9) Tong, S.T.Y.: Indoor and outdoor household dust contamination in Cincinnati, Ohio, USA. *Environ. Geochem. Health* 20, 123-133 (1998)
- 10) Rasmussen, P.E., Subramanian, K.S. and Jessiman, B.J.: A multi-element profile of housedust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada. *Sci. Total Environ.* 267, 125-140 (2001)