

---

**総 説**

---

**室内環境汚染による健康リスクと今後の課題**

東 賢 一

近畿大学医学部 環境医学・行動科学教室

**Health risk due to indoor environmental pollution:  
status and future issues**

Kenichi Azuma

Department of Environmental Medicine and Behavioral Science  
Kindai University Faculty of Medicine

---

**要約**

多種多様の製品が居住環境で使用されるに伴い、居住者が室内環境で曝露する化学物質の種類や曝露経路が複雑化している。室内濃度指針値が策定されると他の物質への代替が進み、新たな健康リスク要因となっているとの指摘がある。これまでは単一の物質の単一の曝露経路に着目した健康リスク評価が中心であったが、毒性を発現する標的組織や作用機序が類似した複数の物質による毒性の相加作用や、単一の物質であっても空気、ダスト、飲食物など多経路曝露による総負荷量を把握しなければならない物質が見受けられるなど、居住環境における健康リスク評価ではさらに検討すべき課題がある。居住者がどの経路からどの程度の曝露を受けていて、どの程度で健康障害を生じるかについて、健康リスクの観点からの研究と取り組みがより一層必要である。

---

**《キーワード》** 健康リスク、混合曝露、室内環境汚染、多経路曝露、フタル酸エステル

---

**Abstract**

The types and concentrations of indoor environmental pollutants have not been consistent over time and have changed with alterations in lifestyle and the development of novel products used in indoor environment. Continuous health risk assessment for alternative or novel products is needed. Although health risk assessment focused on single exposure pathway to single pollutants has been conducted, the health risk assessment for the toxicological additive health effects of mixtures or total body load by multiple exposure pathways to pollutants appears essential in order to determine the extent of the

---

受付：平成29年9月22日 採用：平成29年11月13日

別刷請求宛先：東 賢一

近畿大学医学部環境医学・行動科学教室

〒589-8511 大阪狭山市大野東377-2

E-mail : kenazuma@med.kindai.ac.jp

threat to public health posed by indoor environmental pollutants. Further research for these issues is required. (Jpn J Clin Ecol 26 : 82 – 86, 2017)

《Key words》 Combined exposure; health risk; Indoor environmental pollution; Multiple exposure pathway; Phthalates

## はじめに

居住環境中には、合板、接着剤、塗料、断熱材、防水剤、防蟻剤、合成樹脂などの建築材料、洗浄剤、防虫剤、芳香剤などの家庭用品、開放燃焼型暖房器具や調理器具など、多種多様な材料や製品が利用されている。これらの材料や製品によって、居住環境は飛躍的に快適で便利になった。その一方で、これらの材料や製品から室内環境中に排出された化学物質が、シックハウス症候群やアレルギー疾患など、居住者の健康影響に関与することが明らかとなり、厚生労働省が13の化学物質に対して室内濃度指針値を策定するなどの対応を行ってきた。これらの対応には健康リスクという基本的な概念がある。そこで本報では、健康リスクに関する基本的な概念と、室内環境汚染における健康リスクの現状と今後の課題について概説したい。

## 健康リスクについて

「リスク」とは、化学物質、病原性微生物、放射線などの人を取り巻く外的要因へ人が曝露することにより、有害な影響をうける可能性の程度を表している<sup>1)</sup>。健康リスクでは、人の健康に及ぼす影響の程度を扱う。このような有害影響について、人の集団を調査した結果や動物実験の結果などから、どの程度の曝露（空気の吸入、飲食物の経口摂取、皮膚の接触など）をうけると、どのような影響を生じるかに関する量反応評価を行う<sup>1)</sup>。そして、大多数の人々においてどのような健康障害も生じないであろうと判断される曝露濃度を導出し、健康障害を防止するための評価値とする<sup>1),2)</sup>。

人の曝露濃度が評価値を超えるに従って健康リスクが大きくなり、評価値よりも低ければ健康リスクが小さいとみることができる。社会活動や産業活動では、このような評価値をもとに環境基準

値や指針値などの管理目標を設定し、人の健康障害の防止と持続可能な発展の維持を目指すことができる。

## 室内空気汚染物質の健康リスク

著者は、1995年から2005年までに公表された全国規模の室内濃度の実態調査結果をもとに、93の物質に対して健康リスク評価を行った。その結果、室内濃度指針値が策定されているホルムアルデヒドとパラジクロロベンゼン以外の物質では、アクロレイン、テトラクロロエチレン、ベンゼン、ベンゾ(a)ピレンの健康リスクが高いことを報告した<sup>3)</sup>。また、2012年から2014年にかけて実施された全国規模の室内濃度の実態調査をもとに、49の物質に対して健康リスク評価を行った。その結果、アクロレイン、二酸化窒素、ベンゼン、ギ酸、塩化水素の健康リスクが高いことを報告した<sup>4)</sup>。これらの健康リスク評価は、室内環境中に多種類存在する汚染物質に対して、健康リスクが高いと思われる汚染物質をスクリーニングして抽出する目的で実施している。

室内濃度指針値の策定などの対応が行われると、指針値が策定されている化学物質の代替物質として新たな化学物質が使用されるとの指摘がある<sup>5)</sup>。代替物質による健康影響を防止するには、継続的な室内濃度の実態調査と健康リスク評価が必要である。

## 室内環境における多経路曝露による健康リスク

人に対する化学物質の曝露経路には、空気を介したガス状物質や粒子状物質の吸入、飲食物の経口摂取、皮膚の接触などがある。塗料や接着剤の有機溶剤に使用される揮発性の高い化学物質では、その多くが室内空気中に揮発し、居住者は呼

表1 日本における DBP の推計摂取量の参考値 (文献<sup>9)</sup> をもとに作成)

	神野らの報告値			製品評価技術基盤機構の報告値		
	媒体中濃度	経路別摂取量	総摂取量	媒体中濃度	経路別摂取量	総摂取量
食品	0.029µg/g	4.0µg/kg/day	4.6µg/kg/day	0.029µg/g	4.0µg/kg/day	5.0µg/kg/day
飲料水	70µg/L			70µg/L		
室内空気	1.4µg/m <sup>3</sup>	0.48µg/kg/day		2.4µg/m <sup>3</sup>	0.96µg/kg/day	
ハウスダスト (経口)	0.1µg/mg	0.1µg/kg/day		-	-	-

表2 日本における DEHP の推計摂取量の参考値 (文献<sup>10)</sup> をもとに作成)

	神野らの報告値	高木らの報告値	
	成人 (95パーセンタイル値)	小児 (50パーセンタイル値)	小児 (95パーセンタイル値)
ハウスダスト (経口)	5.3	2.5	8.7
室内空気	0.24	<u>0.6</u>	<u>1.3</u>
飲食物	6.9	<u>8.8</u>	<u>7.9</u>
合計	12	<u>11.8</u>	<u>17.9</u>

※下線は文献からの推定値、単位:µg/kg/day

吸器を通じて吸入する。しかしながら、揮発性が低い化学物質では、室内環境で複数に分散して存在し、居住者が複数の経路から曝露する場合がある。フタル酸エステル類がその代表的な物質である。

フタル酸エステル類は、プラスチックを柔らかくする材料として、主に塩化ビニル樹脂に幅広く使用されてきた。室内では、壁紙、床材、テーブルクロス、電線被覆材、子供用玩具などにフタル酸エステル類を使用した製品がある。主なフタル酸エステル類としては、フタル酸ジ-2エチルヘキシル (di-2-ethylhexyl phthalate: DEHP)、フタル酸ジ-n-ブチル (di-n-butyl phthalate: DBP)、フタル酸ジエチル (di-ethyl phthalate: DEP)、フタル酸ベンジルブチル (butyl benzyl phthalate: BBP)、フタル酸ジ<sup>o</sup>-イソノニル (di-isononyl phthalate: DINP)、フタル酸ジ<sup>i</sup>-イソデシル (di-isodecyl phthalate: DIDP) がある。フタル酸エステル類は揮発性が低いため、室内空气中に放散されるだけでなく、室内ダストにも液滴として付着または浸透して分布している<sup>6)</sup>。その中でも特に揮発性が低い DEHP と BBP は、呼吸器を通じて吸入する割合よりも、室内ダストを経口摂取する割合の方が多いと報告されている<sup>7)</sup>。

室内ダストの経口摂取経路としては、乳幼児が手や物を口に入れる行動 (マウシング) や床の上を這うことなどで、手に付着したダストを経口摂取する経路がある。また、食品や食器などに付着したダストを経口摂取する経路がある。一方、フタル酸エステル類は、皮膚への浸透性が高いことから、フタル酸エステル類の中でも揮発性が高い DEP と DBP では、ガス状物質の経皮曝露の割合が多いと報告されている<sup>7)</sup>。さらに、飲食物を介した曝露経路の割合も多く<sup>8)</sup>、フタル酸エステル類の曝露経路は多経路となっている。従って、室内空気のみならず、総合的な体内負荷量を把握し、健康リスクを評価する必要がある。この場合は一般的に、有害性に関する量反応関係から、大多数の人々においてどのような健康障害も生じないであろうと判断される曝露量として、耐容一日摂取量 (tolerable daily intake: TDI) を用いる。

### フタル酸エステル類の摂取量と健康リスク

表1、表2、表3にそれぞれ DBP、DEHP、DINP について、食品安全委員会がまとめた日本における各フタル酸エステル類の推計摂取量の参考値を示す<sup>9)-11)</sup>。DBP では、総摂取量が約 5 µg/

表3 日本における DINP の推計最大摂取量の参考値 (文献<sup>11)</sup> をもとに作成)

	媒体中濃度	経路別摂取量	総摂取量 (最大推算値)
空気	0.192 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3.84 $\mu\text{g}/\text{人}/\text{day}$	15 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$
飲料水	5 $\mu\text{g}/\text{L}$	10 $\mu\text{g}/\text{人}/\text{day}$	
食品	0.024 $\mu\text{g}/\text{g}$	48 $\mu\text{g}/\text{人}/\text{day}$	
ハウスダスト (経口)	15,500,000 $\mu\text{g}/\text{kg}$	775 $\mu\text{g}/\text{人}/\text{day}$	

kg/day となっており、食品安全委員会が導出した 5  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$  の TDI<sup>9)</sup> に対する曝露余裕度 (margin of exposure: MOE) はかなり小さく、TDI を超えている集団が多く割合で存在する可能性がある。また、前述のように、DBP ではガス状物質の経皮曝露による摂取比率が無視できないレベルにあることから、これらの摂取量を加えるとさらに総摂取量は増大すると考えられる。従って、DBP の健康リスクはハイレベルにある可能性があることから、今後の詳細な各経路別摂取量を調査する必要がある。

DEHP では、総摂取量が成人の95パーセントイルで約12 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$ 、小児の95パーセントイルで約18 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$  となっており、食品安全委員会が導出した30  $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$  の TDI<sup>10)</sup> に対する MOE は小さい。DEHP についても、今後の詳細な経路別摂取量を調査する必要がある。

DINP では、総摂取量の最大推算値が15 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$  となっており、食品安全委員会が導出した150 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$  の TDI<sup>11)</sup> に対する MOE は十分大きくないこと (MOE 約10) から、今後の詳細な経路別摂取量を調査する必要がある。

詳細は省略するが、食品安全委員会の評価によると、BBP では、総摂取量の最大推算値が3.25 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$  となっており、200 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$  の TDI に対する MOE は大きかった (MOE 約62)<sup>12)</sup>。DNOP では、総摂取量の最大推算値が約0.05 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$  となっており、370 $\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}$  の TDI に対する MOE は十分に大きかった (MOE 約7400)<sup>13)</sup>。DIDP では、摂取量に関する情報がみあたらないが、DIDP の国内生産量・輸入量は DEHP より少ないことから、DIDP の摂取量は、DEHP の摂取量を上回るとは考えにくいとされている<sup>14)</sup>。

但し、これらの推計摂取量は、複数の異なる文

献値をもとに合算したものであり、同じ集団で各経路別摂取量を調査したものではない。今後は、これらの調査及び評価結果をもとに、同じ集団単位で各経路別摂取量を調査する必要がある。特に、DBP、DEHP、DINP については、詳細な各経路別摂取量を調査する必要があると考えられる。

### 混合曝露による健康リスク

居住環境では、化学構造が異なる多種類の化学物質に混合曝露している。従来は、主として個々の化学物質に対して健康リスク評価を行ってきた。しかしながら、毒性を発現する標的組織や作用機序が同じであれば、化学構造が異なっている化学物質に混合曝露した場合、それぞれの化学物質の有害作用が相加される可能性がある<sup>15),16)</sup>。前述のフタル酸エステル類においても、DBP、DEHP、BBP では、類似した発生毒性が報告されており、室内で混合曝露していることから、それぞれの有害性は相加される可能性が懸念される。

化学物質の混合曝露に関するリスク評価については、米国環境保護庁が1986年にガイドラインを公表し、個々の化学物質のリスク (評価値に対する曝露量の比率) を総和した有害性指数という相加モデルを公表している<sup>17)</sup>。有害性指数が1以下なら許容できるリスクであるとし、1以上であれば、どれほど1を越えているか、あるいは許容可能なレベルを算出する際の不確実係数の大きさに応じてリスクの許容度が判断される。但し、このように総和されたリスクに関する妥当性や信頼性については、まだ十分な検証がなされておらず、一部の組み合わせでは妥当性に関する検証がなされたとしても、多数の物質が存在する中で、現実には実際の環境に適用するのは困難であろうとの

見方もある。

このような状況ではあるが、ドイツ連邦環境庁は、2016年にトルエンの室内濃度指針値を見直した際に、トルエン、キシレン、エチルベンゼンは、類似の神経毒性を有していることから、これらの3物質の有害性指数が1未満になるように室内濃度を評価するよう求めている<sup>18)</sup>。これは類似した有害性を有する物質の総量を管理するにあたり、重要な評価手法となるが、その適用範囲の拡大を含め、さらなる研究が必要である。

## おわりに

居住環境における室内環境汚染では、個々の物質の室内空気中の濃度が低いにも関わらず、室内で体調不良や健康障害を呈する場合が見受けられている。また、室内空気、室内ダスト、飲食物など、居住環境で多経路から曝露を受けている化学物質の存在も明らかになってきた。これらの問題には、単一の物質の室内空気中の濃度が低くても複数の化学物質の作用が合わさって作用している、曝露経路が多経路であるため実際の総曝露量はさらに多いといったことが関与している可能性が懸念される。いずれにおいても、居住者がどの経路からどの程度の曝露を受けていて、どの程度で健康障害を生じるかについて、健康リスクの観点からの研究と取り組みがより一層必要である。

## 引用文献

- 1) International Programme on Chemical Safety (IPCS). Principles for the Assessment of Risks to Human Health from Exposure to Chemicals. Environmental Health Criteria 210. Geneva: World Health Organization, 1999
- 2) Seifert B. Regulating indoor air. Proceeding of the 5th International Conference Indoor Air Quality and Climate 5: 35–49, 1990
- 3) Azuma K, Uchiyama I, et al. The risk screening for indoor air pollution chemicals in Japan. Risk Anal 27: 1623–1638, 2007
- 4) Azuma K, Uchiyama I, et al. Assessment of inhalation exposure to indoor air pollutants: screening for health risks of multiple pollutants in Japanese dwellings. Environ Res 145: 39–49, 2016
- 5) 厚生労働省. 室内空气中化学物質の指針値の見直しの仕方等について(案). 第17回シックハウス(室内空気汚染)問題に関する検討会配付資料, 平成25年8月1日. <http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/0000014476.html> (2017. 11. 8)
- 6) 東 賢一. ダスト中の汚染物質による公衆衛生上の問題. 空気清浄 52: 164–169, 2014
- 7) Bekö G, Weschler CJ, et al. Children's phthalate intakes and resultant cumulative exposures estimated from urine compared with estimates from dust ingestion, inhalation and dermal absorption in their homes and daycare centers. PLoS ONE 8(4): e62442, 2013. doi: 10.1371/journal.pone.0062442
- 8) Shea KM, et al. Pediatric exposure and potential toxicity of phthalate plasticizers. Pediatrics 111: 1467–1474, 2003
- 9) 食品安全委員会. 器具・容器包装評価書: フタル酸ジブチル (DBP). 食品安全委員会, 東京, 2014
- 10) 食品安全委員会. 器具・容器包装評価書: フタル酸ビス (2-エチルヘキシル) (DEHP). 食品安全委員会, 東京, 2013
- 11) 食品安全委員会. 器具・容器包装評価書: フタル酸ジイソノニル (DINP). 食品安全委員会, 東京, 2015
- 12) 食品安全委員会. 器具・容器包装評価書: フタル酸ベンジルブチル (BBP). 食品安全委員会, 東京, 2015
- 13) 食品安全委員会. 器具・容器包装評価書: フタル酸ジオクチル (DNOP). 食品安全委員会, 東京, 2016
- 14) 食品安全委員会. 器具・容器包装評価書: フタル酸ジイソデシル (DIDP). 食品安全委員会, 東京, 2016
- 15) Kortenkamp et al. State of the art report on mixture toxicity, European Commission, 2009
- 16) European Food Safety Authority. International frameworks dealing with human risk assessment of combined exposure to multiple chemicals. EFSA Journal 11: 3313, 2013. doi: 10.2903/j.efsa.2013.3313
- 17) USEPA. Guidelines for the health risk assessment of chemical mixtures. EPA/630/R-98/002, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C., 1986
- 18) IRK. Richtwerte für Toluol und gesundheitliche Bewertung von C7-C8-Alkylbenzolen in der Innenraumluft. Bundesgesundheitsbl 59: 1522–1539, 2016

利益相反なし