

健康増進に向けた住宅環境整備のための研究

一般家庭における短期/長期堆積ダストを活用した子どものハウスダスト中

リン系難燃剤・可塑剤の一日摂取量

研究分担者	池田 敦子	北海道大学 大学院保健科学研究院	教授
研究分担者	金 勲	国立保健医療科学院 生活環境研究部	上席主任研究官
研究協力者	アイツバマイゆふ	北海道大学 環境健康科学研究教育センター	
	岸 玲子	北海道大学 環境健康科学研究教育センター	特別しょうへい教授
	戸次 加奈江	国立保健医療科学院 生活環境研究部	主任研究官
	稲葉 洋平	国立保健医療科学院 生活環境研究部	上席主任研究官

研究要旨

背景：リン酸トリエステル類は難燃性可塑剤として、火災や燃焼予防のために建材や家具、カーテンやじゅうたん、壁紙などの内装材、電化製品を含む様々な製品に添加されるほか、床のワックスや光沢剤に用いられる。沸点が 240-260℃～380-400℃の準揮発性有機化合物（Semi-Volatile Organic Compounds: SVOC）であり、製品とは化学的には結合していないため、製品から徐々に染み出し、ハウスダストホコリに吸着することで室内に存在する。過去に、分担研究者らはリン系難燃剤とアレルギー症状との関連を報告した。本研究では掃除機で収集したダスト中濃度と、部屋に堆積したダスト中濃度から、子どもの一日摂取量を計算し、アレルギーとの関連を明らかにすることを目的とした。

方法：出生コーホート「環境と子どもの健康に関する北海道研究」に参加する7歳児に自宅の環境訪問調査への協力を依頼し、91軒の兄弟姉妹及び双子を含む96人の協力を得た。小学校入学時検診時の身長と体重に加えて、喘息・アレルギーに関する情報をISAAC調査票から定義した。ダストサンプルは、居間および子どもの寝室の「床ダスト」と「棚ダスト」に加えて、居間に6か月間設置した「堆積ダスト」の3種類を収集した。リン酸トリエステル類14化合物の各ダスト中濃度を、LC-MSMSを用いて国立保健医療科学院で分析した。それぞれのダスト中濃度から、一日摂取量（Daily Intake（DI））を計算した。多変量解析では、「喘鳴、鼻結膜炎、湿疹のいずれか一つでもあり」を従属変数、「性」「世帯収入」「両親いずれかの喫煙あり（Environmental Tobacco Smoke）」、および「両親いずれかのアレルギー（喘息、鼻炎、アトピー性皮膚炎）既往あり」を説明変数として算出した傾向スコアを用いて調整した。

結果：全員7歳で、身長と体重は平均±標準偏差がそれぞれ119.3±5.44 cm、22.78±2.73 kgだった。喘鳴、鼻結膜炎および湿疹の有病はそれぞれ26人（27.1%）、15人（15.6%）、23人（24.0%）だった。一日摂取量の中央値が最も高いのは床ダスト中TBOEPの0.3（μg/kg/day）で、最も高い床ダストTDCIPPの最大値は2.91（μg/kg/day）、床ダストTBOEPの最大値は1.36（μg/kg/day）だった。しかし、RfDを上回るDIを示した児はいなかった。多変量解析で調整後、長期堆積ダスト中のTCsPが喘鳴のリスクを上げ（自然対数2.7倍にDIが増加した時のOdds Ratio (OR)(95%Confidence

Interval (CI)は 3.56 (1.11-11.41)、棚ダスト中の TNBP の OR (95%CI)は 2.45 (1.26-4.79)、棚ダスト中の TBOEP は 1.90 (1.01, 3.54)、長期堆積ダスト中の TCsP は 5.34 (1.38-20.72)と統計学的に有意だった。

考察：本研究の限界は、横断研究であり因果関係を示すことはできない。一方、床ダスト、棚ダストおよび堆積ダストから個別に一日摂取量を推計しており、実際にはそれらをまとめて摂取しているため、リスクを過小評価している可能性がある。有意差が認められた化合物は TBOEP、TNBP および TCsP と一貫しており、TBOEP は先行研究でもアレルギーとの関連が認められたことから、今後も調査研究を継続する必要があるといえる。

A. 研究目的

リン酸トリエステル類は難燃性可塑剤、床のワックスや光沢剤に用いられる準揮発性有機化合物 (Semi-Volatile Organic Compounds: SVOC) である。難燃剤は、火災や燃焼を防ぐために、建材や家具、カーテンやじゅうたん、壁紙などの内装材や様々な電化製品に添加される。過去には塩素系難燃剤や臭素系化合物が用いられてきたが、その環境残留性の高さから塩素系・臭素系難燃剤は Stockholm 条約により世界的に規制されている。しかし、日本では 1990 年代には自主的に臭素系からリン系化合物への移行が進んでいる。

リン酸トリエステル類は沸点が 240-260℃～380-400℃の準揮発性有機化合物である。製品とは化学的には結合しておらず、製品から徐々に染み出すが、揮発性が低いため、ガス状での存在に加えてハウスダストに吸着することで室内に存在する。研究分担者らは、過去に戸建て住宅および学童が居住する住宅でハウスダスト中のリン酸トリエステル類を分析し、その濃度は諸外国よりもわが国で高いことを報告した[1, 2]。また、ハウスダスト中のリン酸トリエステル類濃度が高いことが、居住者、特に子どものアレルギー症状のリスクを上げることが報告した[1, 3, 4]。一方、シックハウス症候群との関連は認めなかった[5]。

これまでに、ハウスダストの収集についてはゴールドスタンダードといえる方法は確率されていない。分担研究者らによる過去の研究では、ハウスダストはハンディクリーナーを用いて収集し、

髪の毛、紙類、糸、虫、食べ物屑などの混雑物を除いたのちに分析に用いた。しかし、この方法は綿埃が固まった状態になり、曝露評価に用いるダストをどこから分取するかによって、含有するリン酸トリエステル類の濃度にばらつきが生じる。加えて、居住者が経口曝露あるいは経皮に付着することで体内吸収するのは室内を舞うハウスダストであると考えられ[6]、綿埃のような大きなハウスダストは曝露評価に用いるうえで妥当かといった課題もあった。そこで、150 μ m メッシュの篩を用いて粒子径の小さなハウスダストを均一的に分取する方法を用い、またボックスを室内に設置することで、宙を舞ってから落ちてきたハウスダストを収集した。長期間で堆積したダストを曝露評価に用いて、予備的結果については、リン系難燃剤の分析を行った厚生労働科学研究「半揮発性有機化合物 (SVOC) によるシックハウス症候群への影響評価及び工学的対策の検証に関する研究 (19LA1007)」にて報告した。本報告では、子どものハウスダスト中リン系難燃剤・可塑剤の一日摂取量とアレルギーとの関連について明らかにすることを目的とする。

B. 研究方法

B1. 調査対象者

研究の方法を以下に簡単に記す。本研究は出生コホート「環境と子どもの健康に関する北海道研究 (以下、北海道スタディ)」[7-10]に参加する 7歳児を対象に、札幌市に居住する住宅には訪問調

査への協力依頼を行い、了承が得られた91軒の住宅訪問調査を2012年および2013年の10月から11月に実施した[7]。

B2. データおよびサンプルの収集

健康に関する調査票の記入を保護者に依頼した。小学校入学時検診時の身長と体重、喘息・アレルギーに関するISAAC (International Study of Asthma and Allergies in Childhood) [11]日本語版[12]調査票を用いた。アレルギーはISAAC調査票の回答から、「あなたのお子様は最近12ヶ月間に、胸がゼーゼー、またはヒューヒューといったことがありますか？」に「ある」と回答した時に「喘鳴あり」、「最近12ヶ月間にあなたのお子様はカゼやインフルエンザにかかっていないときに、くしゃみ、鼻水、鼻づまりで困ったことはありますか？」かつ「最近12ヶ月間にこれらの鼻症状に伴って眼がかゆくなったり、涙がとまらなくなったりしたことがありますか？」にいずれも「ある」と回答した場合に「鼻結膜炎あり」、「あなたのお子様は今までに、6ヶ月間で出たりひっこんだりするかゆみを伴った湿疹で困ったことがありましたか？」かつ「あなたのお子様は最近12ヶ月のあいだに、そのようなかゆみを伴う湿疹は出たことがありますか？」かつ「それらのかゆみを伴った湿疹は下記のような箇所に起こったことがありますか？」肘の屈曲面、膝の裏側、足首の前面、臀部の下面、首や耳や目のまわりなど」のいずれも「ある」と回答した場合を「湿疹あり」と定義した。

ダストサンプルは、床ダスト (居間および子どもの寝室の床全面および床面からの高さ約35cm以内)、棚ダスト (居間および子どもの寝室の床から高さ約35cm以上)、および堆積ダスト (A4サイズの箱にアルミホイルをかぶせて居間に6か月間設置)の3種類を収集した。床ダストと棚ダストは、ポリエステル製フィルター (住化エンビロサイエンス社) を装着したNationalクリーナーMC-D25C-WA (145W 松下電器産業社製) で吸引・集塵し、150

μmの篩を用いてファインダストをふるい分け、共栓付ガラス管に入れて-20°Cで保存した。

B3. ダスト中リン酸トリエステル類の分析

ダスト中のリン酸トリエステル類分析は、LC-MSMSを用いて国立保健医療科学院で実施した。分析対象化合物は、trimethyl phosphate (TMP)、triethyl phosphate (TEP)、tripropyl phosphate (TPP)、tris (2-chloroethyl) phosphate (TCEP)、tris (2-chloro-isopropyl) phosphate (TCIPP)、tris (1, 3-dichloro-2-propyl) phosphate (TDCIPP)、triphenyl phosphate (TPHP)、tri-(i-butyl) phosphate (TiBP)、tri-(n-butyl) phosphate (TNBP)、cresyl diphenyl phosphate (CsDPPH)、tris (2-butoxyethyl) phosphate (TBOEP)、tricresyl phosphate (TCsP)、2-ethylhexyl diphenyl phosphate (EHDPP)、tris (2-ethylhexyl) phosphate (TEHP)の14化合物である。

B4. ダストからの曝露摂取量の計算

先行研究を参考に、ダスト中濃度から Daily Intake(DI)を推定した。経口1) および経皮2) のDIを計算した。

$$DI_{\text{ingest dust}} (\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}) = (C_{\text{dust}} \times M_{\text{ingest dust}}) / W \quad \dots \dots \dots 1)$$

$$DI_{\text{dermal dust}} (\mu\text{g}/\text{kg}/\text{day}) = (C_{\text{dust}} \times A/3 \times M_s \times f \times 0.15 \times t/24) / W \quad \dots \dots \dots 2)$$

1. $C_{\text{dust}} (\mu\text{g}/\text{g dust})$: ダスト中のリン酸トリエステル濃度
2. $M_{\text{ingest dust}} (\text{mg}/\text{day})$: 一日当たりのダスト摂取量はUS EPAによる子どもの摂取量 60 mg/day
3. $W (\text{kg})$: それぞれの子どもの体重
4. $A/3 (\text{m}^2/\text{day})$: ダストと接する表皮面積を手、脚、腕としたときの身体全体の面積の3

分の1

5. Ms (mg/cm²) : 皮膚から吸収するダスト量で、US EPAによる0.96 g/m²
6. fは皮膚からのリン酸トリエステル類の吸収割合。リン酸トリエステル類のうちTCEP、TCIPP、TDCIPPがそれぞれ28%、25%、13%と報告されており、他の化合物についてはこれらの平均値である22%とした。
7. ダストマトリックス : 皮膚吸収を約15%に減少させる報告による係数から0.15とした。
8. t/24 (day) : 子どもが一日のうち家で過ごす時間で、札幌市の小学生の調査結果から15.14時間
9. 皮膚表面面積 (A) : 子どもの身長と体重をもとに以下の計算式3) を用いて求めた。

$$A=(W0.51456 \times H0.42246 \times 0.0235) \dots 3)$$

10. W (kg)とH (cm) : それぞれの子どもの身長と体重

最後に、リン酸トリエステル類の合計摂取量を計算式4) により求めた。

$$DI_{\text{total dust}}=DI_{\text{ingest dust}} + DI_{\text{dermal dust}} \dots 4)$$

B5. 統計解析

リン酸トリエステル類へのダストからの曝露量とアレルギーとの関連は、まず単変量解析として、Mann-Whitney U検定で求めた。曝露量は、検出率 (>LOD) が50%以上の化合物のみとした。次いで、単変量解析機でP<0.1の項目について、多変量解析を行った。多変量解析は性、世帯収入、両親いずれかの喫煙、両親のアレルギー既往による傾向スコアを用いたロジスティック回帰分析を行った (Mann-Whitney U検定でp<0.1のみ)。傾向スコアは、「喘息、鼻結膜炎、湿疹のいずれか一つもあり」を従属変数、「性」「世帯収入」「両親い

ずれかの喫煙あり (Environmental Tobacco Smoke)」、および「両親いずれかのアレルギー (喘息、鼻炎、アトピー性皮膚炎) 既往あり」を説明変数として作成した。DIは正規分布していないため、自然対数変換した。最終のロジスティック回帰分析は、「喘息」「鼻結膜炎」「湿疹」を従属変数、「自然対数変換したDI」「傾向スコア」を説明変数とした。統計解析はIBM SPSS Statistics27Jを用いた。

B6. 倫理面の配慮

調査は、北海道大学医学部医の倫理委員会の承認を得て実施した。本研究対象者は未成年であるため、保護者による調査票への回答をもって同意とみなした。

C. 結果

表1に対象者の特徴とアレルギー症状の優勝割合を示す。対象者は全員が7歳で、身長と体重は平均±標準偏差はそれぞれ119.3±5.44 cm、22.78±2.73 kg。有病割合はそれぞれ喘息26人(27.1%)、鼻結膜炎15人(15.6%)、湿疹23人(24.0%)であった。

表2には、収集したダストそれぞれの濃度分布を示す。分析に用いたサンプル数は床ダスト89軒、棚ダスト77軒、堆積ダスト54軒だった。床ダストから最も高濃度検出されたのはTBOEP(中央値46.916 μg/g dust)、次いでTCIPP(1.959 g/g dust)、TCsP(1.283 μg/g dust)だった。TDCIPP(1162.454 μg/g dust)は最大濃度が最も高かった。棚ダストは最も濃度が高かったのはTBOEP(6.564 μg/g dust)、次いでTCIPP(1.980 μg/g dust)、TPHP(1.656 μg/g dust)だった。最大濃度が最も高かったのはTDCIPP(268.599 μg/g dust)だった。堆積ダストも最も濃度が高かったのはTBOEP(7.087 μg/g dust)、次いでTPHP(0.965 μg/g dust)、TCIPP(0.715 μg/g dust)だった。最大濃度が最も高かったのはTCEP

(123.403 $\mu\text{g/g dust}$)だった。TMP、TEP、TPP、TIBP、EHDPP の検出率は 10%以下で、摂取量推定からは除外した。TNBP は棚ダストからのみ 100%検出されたが、床ダストおよび堆積ダスト中からの検出はそれぞれ 42.7%、18.5%と低く、同じく摂取量推定からは除外した。

図 1 に一日推定摂取量を示す。曝露が最も高いのは床ダスト中 TBOEP が 0.3 ($\mu\text{g/kg/day}$)だった。一日摂取量が多かったのは床ダスト TDCIPP の最大値 2.91 ($\mu\text{g/kg/day}$)、床ダスト TBOEP の最大値が 1.36 ($\mu\text{g/kg/day}$)だった。経皮曝露は中央値では 10^{-5} から 10^{-7} 乗のオーダーだった。したがって、経口曝露と経皮曝露の和 ($DI_{\text{total dust}}$) はほぼ経口曝露を反映させる濃度となっている。

図 2 にアレルギー症状の有無と一日摂取量との関連で $p < 0.1$ の項目を示す。単変量解析では、喘鳴がある子どもでは堆積ダスト中の TCsP、鼻結膜炎がある子どもでは棚ダスト中の TNBP と TBOEP、堆積ダスト中の TCsP の DI が症状のない子どもの DI よりも有意に高かった。湿疹との関連は退席ダスト中の TDCIPP が症状のある子どもで高い傾向が認められた。

次いで、単変量解析 $P < 0.1$ の関連について、多変量解析を行った結果を表 3 に示す。多変量解析においても、長期堆積ダスト中の TCsP が喘鳴のリスクを上げ(自然対数 2.7 倍に DI が増加した時の Odds Ratio (OR)(95%Confidence Interval (CI) は 3.56 (1.11-11.41)、棚ダスト中の TNBP の OR (95%CI)は 2.45 (1.26-4.79)、棚ダスト中の TBOEP は 1.90 (1.01, 3.54)、長期堆積ダスト中の TCsP は 5.34 (1.38-20.72)だった。

D. 考察

本研究のリン酸トリエステル濃度は、過去に札幌市の小学生を対象とした調査[2]と比較すると若干高め(TBOEP が 46.9 $\mu\text{g/g}$ と 30.88 $\mu\text{g/g}$ 、TPHP が 0.910 $\mu\text{g/g}$ と 0.97 $\mu\text{g/g}$)、棚ダストについては本研究の方が低かった (TBOEP が 6.56

$\mu\text{g/g}$ と 26.33 $\mu\text{g/g}$)。Ali らによって示されている Reference dose (RfD)、TNBP 24 $\mu\text{g/kg/day}$ 、TCIPP 80 $\mu\text{g/kg/day}$ 、TCEP 22 $\mu\text{g/kg/day}$ 、TBOEP 15 $\mu\text{g/kg/day}$ 、TPHP 70 $\mu\text{g/kg/day}$ 、TDCIPP 15 $\mu\text{g/kg/day}$ と比較すると[13, 14]、本研究の一日摂取量でこれら RfD を超えた値はなかった。一日摂取量の最大値は床ダストの TDCIPP が 2.90 $\mu\text{g/kg/day}$ と RfD の約 40 分の 1 と 1 オーダーは低く、早急に問題となる曝露レベルとはいえないであろう。一方、Mizouchi らによると、TBOEP は自宅環境と比較して小学校の方が濃度が 1 オーダー高い[15]。従って、学校における曝露も考慮した場合には実際の一日摂取量はより多い可能性がある。また、RfD は過去の毒性学研究に基づいて定められた値である。新たな毒性学の知見が得られた場合は、RfD の値そのものも見直しも必要になるため、今後の動向を注視する必要がある。

我々の過去の研究では、全国の戸建て住宅の TNBP 濃度が高いと喘息および鼻結膜炎のリスクを上げ、また TCIPP と TDCIPP 濃度が高いとアトピー性皮膚炎のリスクを上げることを報告した[1]。また、札幌市の小学生を対象とした調査では、TDCIPP 濃度が検出された家で、検出下限値未満の家よりも湿疹のリスクが高いことを報告した[3, 4]。加えて、子どもの尿中のリン酸トリエステル類代謝物濃度を分析し、TCIP および TBOEP 代謝物濃度が高いと、鼻結膜炎および湿疹のリスクを上げることを報告した[3, 4]。本研究では、TnBP と TBOEP が微結膜炎のリスクを上げる結果と認めており、これらの結果は、全く異なる集団でもあるにもかかわらず、本研究結果との一貫性が認められた点で、無視できない結果であるといえる。また、TCsP についても喘息および微結膜炎との一貫した関連が認められた。TCsP は過去にアレルギーとの関連を報告した研究はなく、本研究で初めて喘息・アレルギーとの関連を解析したため、今後も注意深く検する必要があると考えられた。

本研究の限界としては、横断研究であることから、因果関係を示すことはできない。また、サンプルサイズが小さく、傾向スコアとして考慮した変数以外のアレルギーに関連する要因で調整していない点がある。また、床ダスト、棚ダストおよび堆積ダストから個別に一日摂取量を推計しており、実際にはそれらをまとめて摂取しているため、リスクを過小評価している可能性がある。1日摂取量計算が妥当か、新たな曝露モデルを構築する必要があると考える。今後も調査研究を継続する必要があるといえる

E. 結論

リン系難燃剤のうち、TNBP、TBOEP、TCsPの一日摂取量は、子どもの喘鳴および鼻結膜炎のリスクを上げる関連が認められた。結果は過去の研究とも一貫しており、引き続きリン系難燃剤曝露による子どものアレルギーとの関連を検討する必要がある。

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

- 1) Atsuko Ikeda-Araki, Kanae Bekki, Yu Ait Bamai, Yohei Inaba, Hoon Kim, Reiko Kishi. Intake of phosphate flame retardants from short and long-term accumulated house dust and asthma and allergies among children: Hokkaido Study. 33rd Annual Conference of the International Society for Environmental Epidemiology / ISEE 2021, New York (online), (2021.8.23-26)
- 2) 戸次加奈江、池田敦子、アイツバマイゆふ、稲葉洋平、東賢一、金勲、岸玲子：一般家庭における短期/長期堆積ダストを活用した SVOC の曝露評価研究 1 リン系難燃剤・可塑剤の室

内濃度分布と汚染要因の解析. 2021年室内環境学会学術大会、京都リサーチパーク、京都、2021.12.

- 3) 池田敦子、戸次加奈江、アイツバマイゆふ、稲葉洋平、金勲、岸玲子：一般家庭における短期/長期堆積ダストを活用した SVOC の曝露評価研究 2. 子どものハウスダスト中リン系難燃剤・可塑剤の一日摂取量. 2021年室内環境学会学術大会、京都リサーチパーク、京都、2021.12.

3. 招待講演

- 1) Atsuko IKEDA-Araki, Yu Ait Bamai, Reiko Kishi. Exposure to phthalate esters and phosphate flame retardants: concentrations in house dust, urinary metabolite, and their association with allergies. The 5th International Symposium for Persistent, Bio-accumulating and Toxic Substances (5th PBTS), Beijing, China (hybrid with online) (July 26-28, 2021)
- 2) 荒木敦子：北海道大学大学院保健科学研究院公開講座 ようこそ！ヘルスサイエンスの世界へ「自宅の生活環境を見直そう」（北海道大学大学院保健科学研究院、札幌市 2022.11.3）
- 3) 池田敦子：北海道大学公開講座 環境×健康×SDGs「室内環境から見るSDGs」（オンライン、2022.11.9）

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

<引用文献>

- 1) Araki, A., et al., Phosphorus flame retardants in indoor dust and their relation to asthma and allergies of inhabitants. *Indoor Air*, 2014. 24(1): p. 3-15.
- 2) Tajima, S., et al., Detection and intake assessment of organophosphate flame retardants in house dust in Japanese dwellings. *Science of The Total Environment*, 2014. 478(0): p. 190-199.
- 3) Araki, A., et al., Combined exposure to phthalate esters and phosphate flame retardants and plasticizers and their associations with wheeze and allergy symptoms among school children. *Environmental Research*, 2020. 183: p. 109212.
- 4) Araki, A., et al., Associations between allergic symptoms and phosphate flame retardants in dust and their urinary metabolites among school children. *Environment International*, 2018. 119: p. 438-446.
- 5) Kishi, R., et al., Indoor environmental pollutants and their association with sick house syndrome among adults and children in elementary school. *Building and Environment*, 2018. 136: p. 293-301.
- 6) Cao, Z.-G., et al., Particle size: A missing factor in risk assessment of human exposure to toxic chemicals in settled indoor dust. *Environment International*, 2012. 49(0): p. 24-30.
- 7) Kishi, R., et al., Hokkaido birth cohort study on environment and children's health: cohort profile 2021. *Environ Health Prev Med*, 2021. 26(1): p. 59.
- 8) Kishi, R., et al., Ten years of progress in the Hokkaido birth cohort study on environment and children's health: cohort profile—updated 2013. *Environmental Health and Preventive Medicine*, 2013. 18(6): p. 429-450.
- 9) Kishi, R., et al., Cohort Profile: The Hokkaido Study on Environment and Children's Health in Japan. *Int J Epidemiol*, 2011. 40(3): p. 611-618.
- 10) Kishi, R., et al., Birth Cohort Consortium of Asia (BiCCA) - Current and Future Perspectives. *Epidemiology*, 2017. 28(1): p. S19-S34.
- 11) Asher, M., et al., International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC): rationale and methods. *European Respiratory Journal*, 1995. 8(3): p. 483-491.
- 12) 西間, 三. and 博. 小田嶋, ISAAC (International Study of Asthma and Allergies in Childhood) 第I相試験における小児アレルギー疾患の有症率. *日本小児アレルギー学会誌*, 2002. 16(3): p. 207-220.
- 13) Ali, N., et al., Occurrence of alternative flame retardants in indoor dust from New Zealand: Indoor sources and human exposure assessment. *Chemosphere*, 2012. 88(11): p. 1276-1282.
- 14) Ali, N., et al., Assessment of human exposure to indoor organic contaminants via dust ingestion in Pakistan. *Indoor Air*, 2012. 22(3): p. 200-211.
- 15) Mizouchi, S., et al., Exposure assessment of organophosphorus and organobromine flame retardants via indoor dust from elementary schools and domestic houses.

表1 対象者の特徴とアレルギー有訴

		n(%) または 平均値±標準偏差
性別	男児	56 (56%)
身長	cm	119.3±13.3
体重	kg	22.8 ± 3.7
世帯収入(年)	<300 万円	14 (14%)
	300~499 万円	34 (34%)
	500~799 万円	33 (33%)
	800 万円≤	14 (15%)
母喫煙	あり	5 (5%)
父喫煙	あり	13 (13%)
ペット	あり	22 (22%)
結露	あり	66 (66%)
カビ	あり	54 (54%)
水漏れ	あり	11 (11%)
喘鳴	あり	26 (26%)
鼻結膜炎	あり	15 (15%)
湿疹	あり	23 (23%)

表 2 ダスト中濃度分布(μg/g dust)

	n	>LOD (%)	min	25%	50%	75%	max
床ダスト							
TMP	89	0.0	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
TEP	89	0.0	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
TPP	89	0.0	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
TCEP	89	100.0	0.411	0.411	0.888	2.083	123.961
TCIPP	89	100.0	1.192	1.192	1.959	4.729	136.999
TDCIPP	89	100.0	0.416	0.416	0.756	3.493	1162.454
TPHP	89	100.0	0.605	0.605	0.910	1.272	35.466
TIBP	89	4.5	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.241
TNBP	89	42.7	<LOD	<LOD	<LOD	0.209	3.113
CsDPPH	89	100.0	0.143	0.143	0.299	0.484	4.923
TBOEP	89	100.0	14.918	14.918	46.916	108.696	453.862
TCsP	89	100.0	0.748	0.748	1.283	1.989	11.417
EHDPP	89	4.5	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	4.005
TEHP	89	100.0	0.058	0.058	0.145	0.297	7.092
棚ダスト							
TMP	77	0.0	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
TEP	77	1.3	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	3.013
TPP	77	0.0	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
TCEP	77	100.0	0.543	0.543	0.923	1.941	176.310
TCIPP	77	100.0	1.055	1.055	1.980	3.950	155.652
TDCIPP	77	100.0	0.310	0.310	0.518	1.661	268.599
TPHP	77	100.0	0.951	0.951	1.656	2.356	8.967
TIBP	77	0.0	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
TNBP	77	100.0	0.050	0.050	0.096	0.182	2.154
CsDPPH	77	100.0	0.124	0.124	0.323	0.818	5.905
TBOEP	77	100.0	2.587	2.587	6.564	10.918	55.076
TCsP	77	100.0	0.300	0.300	0.461	0.730	15.742
EHDPP	77	5.2	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	6.467
TEHP	77	100.0	0.033	0.033	0.033	0.248	6.461
堆積ダスト							
TMP	54	0.0	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
TEP	54	0.0	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
TPP	54	0.0	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
TCEP	54	100.0	0.318	0.318	0.512	0.902	123.403
TCIPP	54	100.0	0.456	0.456	0.715	1.581	9.558
TDCIPP	54	100.0	0.342	0.342	0.581	1.557	74.325
TPHP	54	100.0	0.584	0.584	0.965	1.507	5.029
TIBP	54	0.0	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD
TNBP	54	18.5	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.321
CsDPPH	54	100.0	0.088	0.088	0.201	0.369	2.697
TBOEP	54	100.0	3.229	3.229	7.087	19.070	55.068
TCsP	54	100.0	0.408	0.408	0.525	0.734	2.983
EHDPP	54	5.6	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	5.563
TEHP	54	100.0	0.135	0.135	0.294	0.522	1.784

表 3 一日摂取量とアレルギー症状との関連

Exposure	crude model				adjusted model				
	OR	95%CI		p-value	OR	95%CI		p-value	
喘鳴	床 TBOEP	1.46	0.99	2.17	0.059	1.48	0.99	2.21	0.057
	長期堆積 TPHP	2.05	0.79	5.33	0.142	2.05	0.79	5.33	0.142
	長期堆積 TCsP	3.56	1.119	11.42	0.033	3.56	1.11	11.41	0.033
鼻結膜炎	床 TBOEP	1.52	0.94	2.47	0.090	1.54	0.94	2.52	0.088
	棚 TNBP	2.42	1.25	4.70	0.009	2.45	1.26	4.79	0.009
	棚 TBOEP	1.93	1.04	3.62	0.041	1.90	1.01	3.54	0.047
	長期堆積 TCsP	5.22	1.34	20.31	0.017	5.34	1.38	20.72	0.015
湿疹	長期堆積 TDCIPP	1.30	0.86A	1.97	0.218	1.37	0.89	2.13	0.155

OR (95%CI)はロジスティック回帰分析による

DI を自然対数変換後モデルに投入

性、世帯収入、母および／または父の喫煙、両親のアレルギー既往による傾向スコアで調整

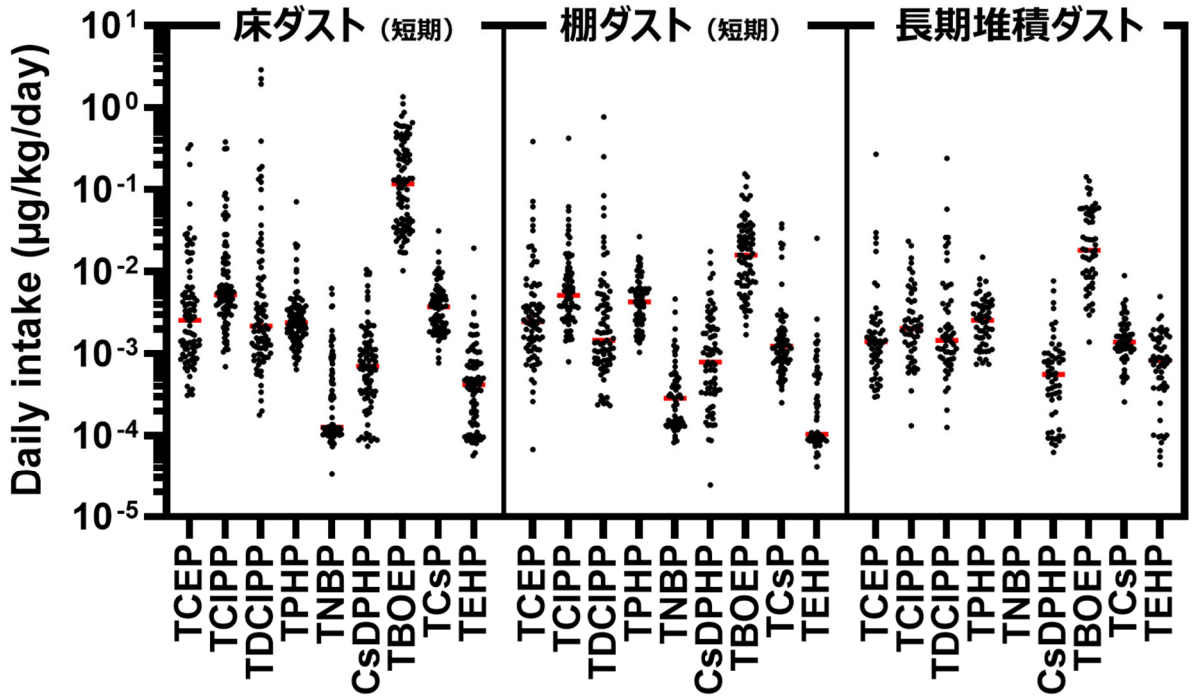
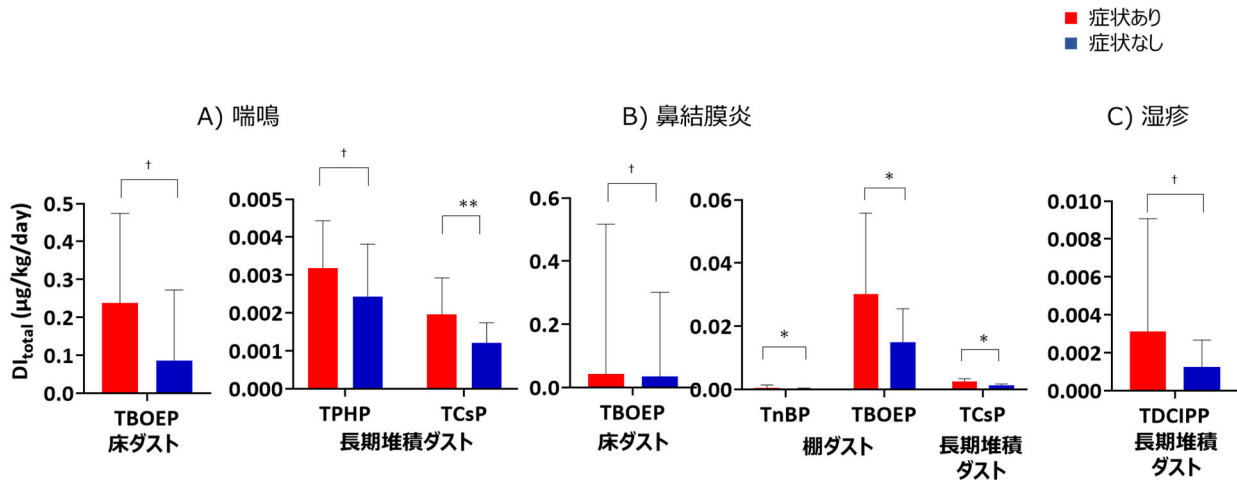


図1 ダスト中濃度から推定した一日摂取量の分布



P 値は Mann-Whitney U 検定
 †P<0.1, *P<0.05, **P<0.01

図2 アレルギー症状の有無と一日摂取量との関連

