

新築・改築小学校における室内空気汚染と 児童の健康影響実態調査

ユラ アキコ イ キ マサユキ シミズ タダヒコ
由良 晶子* 伊木 雅之* 清水 忠彦^{2*}

目的 新築または改築された小学校において、室内空気汚染化学物質の濃度測定と工事前後の児童の自覚症状調査を行い、学校教室内の空気汚染の実態とその健康影響を明らかにし、対策の立案に資する。

方法 大阪府内4小学校の2001年夏期に新築された特別教室（コンピュータ教室等、普通教室以外の教室）と改築された普通教室において、増改築工事直後、1か月後、3か月後、10か月後、22か月後に、ホルムアルデヒドおよび揮発性有機化合物（VOC）3物質（トルエン、キシレン、エチルベンゼン）の室内空気中濃度を吸引法と拡散法とで測定した。また、改築された普通教室を使用していた児童に対し、改築前と改築後の教室を使用してから約1か月経過した時点とに、シックハウス症候群様の自覚症状のアンケート調査を行った。

結果 新築されたコンピュータ教室では、ホルムアルデヒドが工事直後よりもコンピュータや備品が搬入された1か月後の方に高く検出された。また、新築から10か月後と22か月後の夏期にも指針値を超えるホルムアルデヒドが検出された。改築された普通教室では、ホルムアルデヒドは未改築教室と同レベルであったが、VOC類は工事直後に高く検出され、トルエンは指針値を超えた教室が多かった。鉄筋コンクリート造り4階建て校舎では1・2階より3・4階の方が、3階建て校舎では2階より3階の教室の方が、室内空気汚染が高い傾向にあった。改築された普通教室の児童の自覚症状調査では、改築前に比べ改築後にシックハウス様症状の有訴率が高まる傾向がみられた。しかし、症状を一つ以上訴えた有症者の実数はほとんど変化しておらず、有症者一人当たりの症状数が高学年男子では有意に増加していた。

結論 新築または改築された小学校において、一部の教室で室内濃度指針値を超える化学物質が検出された。工事後一定期間の開放換気や、コンピュータ教室など使用頻度の少ない特別教室の積極的な換気対策等が必要と考えられた。

Key words : 室内空気汚染, ホルムアルデヒド, 揮発性有機化合物 (VOC), シックハウス症候群, 児童, 小学校

1 緒 言

地球環境問題から省エネルギーが要請され、建築物においては高气密化・高断熱化が追求されて、換気量が減少した。それと期を同じくして、建材や家具、生活用品等に化学物質が多用されるようになり、それによる室内空気汚染が原因の

「シックハウス症候群」¹⁾といわれる健康問題が発生した。わが国では、1990年代後半から社会問題化し、政府関係各省庁および住宅産業関連業界等が官民あげてこの問題に取り組み、住宅に関しては順次対策が講じられてきた²⁾。ところが、学校の建築環境については、対応が見過ごされていた。

著者らはかねてより大阪府教育委員会ならびに大阪府医師会と共同で、大阪府全公立小学校児童の健康調査を継続実施し、子どもの健康状態の推移を監視してきた。その中で、1997年に実施した「大阪府こどもの健康調査」の結果から、1年以内に転宅をした児童はそうでないものに比べアト

* 近畿大学医学部公衆衛生学教室

^{2*} 近畿大学

連絡先：〒589-8511 大阪府大阪狭山市大野東377-2

近畿大学医学部公衆衛生学教室 由良晶子

ピー性皮膚炎の発症率が高まることをみいだし³⁾、こどものシックハウス問題に注目した。こどもは昼間の多くの時間を学校で過ごすことから、学校においても校舎の新築や改築後には化学物質による室内空気汚染が発生して、児童にシックハウス症候群のような健康影響が生ずることが懸念された。そこで、2001年度に新築や改築工事が行われた小学校において、室内空気汚染物質濃度の測定と工事前後の児童の自覚症状調査を行い、学校環境における教室内空気汚染と児童への健康影響の実態を明らかにするとともに、対策の立案に資することとした。

II 対象と方法

1. 調査対象校

既設の小学校では、老朽化した校舎の改築やコンピュータ教室等の増築が順次行われており、それらの工事は長期休暇中に実施されることが多い。夏休み中に工事が行われた場合、工事直後の9月は気温が高いため、室内空気汚染が発生しやすいと考えられる。また、それによる児童の健康影響を調べるために、工事の前後に同一集団の児童の健康調査を行うことができる。そこで、2001年の夏休み期間中に増改築工事が行われる小学校での調査を計画した。調査対象校を選定するため、2001年度初めに大阪府内44市町村の教育委員会に対し、2001年度以降の小学校の増改築工事予定を問い合わせた。42の市町村教育委員会(95%)から回答を得、そのうち小学校の増改築を予定している市町村が23(55%)であった。予定されている工事のうち、2001年8月～9月に工事が完了し、本調査目的に合致するところは大阪市と和泉市の各2校となり、この4校を調査対象校に選定した。両市教育委員会ならびに対象各校に調査への協力を依頼し、承諾を得た。

大阪市A校の工事内容は、コンピュータ教室、放課後活動教室、会議室など、普通教室以外の特別教室から成る鉄筋コンクリート造り4階建て棟の増築で、工事完了引き渡しは2001年8月31日であった。同じくB校では、A校と同じ3室に音楽室と図書室を加えた4階建て棟の増築で、引き渡しが9月17日であった。コンピュータ教室の床はカーペット敷き、壁は壁紙と一部スチール製で、備品はコンピュータ用の合成樹脂製机と椅子、

コンピュータ機器であった。放課後活動教室の床は合板パネルの上に畳が敷かれ、壁は塗装ボードと一部壁紙、備品はスチール製棚と合板製机(中古品)であった。音楽室の床はカーペット敷きで一部はフローリング、壁は壁紙貼り、備品は木製戸棚とピアノ、音響機器であった。図書室の床は合板パネル上の半分カーペット敷き、壁は壁紙、備品は木製書架と図書、木製机とパイプ椅子であった。天井はいずれも石膏ボードであった。(注:放課後活動教室とは、大阪市立小学校で実施されている学童保育事業で使用される教室である。平日の授業終了後から午後6時までと、土曜日や長期休業日の午前9時から午後6時まで、指導員が付いて希望する児童が遊びやスポーツ、学習活動などを行う。)

和泉市の2校の工事内容は、鉄筋コンクリート造り3階建て校舎内の一部の普通教室の壁・床・天井等内装の全面改築であった。C校では1年生と3年生の合計3教室、D校では5年生と6年生の合計6教室が改築され、工事期間はいずれも2001年7月23日から8月31日までの夏休み中であった。改築教室の床は天然木材のフローリングで、壁は天然木材の腰板と壁紙および黒板、天井は石膏ボードであった。備品はカラー塗装された合板製の棚と掃除道具入れ、児童の学習机と椅子(以前から使用のもの)であった。

2. 室内空気汚染化学物質の測定方法

本調査では、特別教室2か所と普通教室1か所で授業が行われていないときに吸引方式による測定を行い、同時に対象校の増改築された全教室において、通常の授業が行われている状態で、授業の妨げにならず簡便な拡散方式による測定を行った。

1) 吸引方式による測定

大阪市A校のコンピュータ教室とB校の放課後活動教室、和泉市C校の普通教室(1年生使用)において、増改築工事直後、1か月後、3か月後、10か月後、22か月後に、ホルムアルデヒドと揮発性有機化合物(VOC: volatile organic compounds)3物質(トルエン、キシレン、エチルベンゼン)を、厚生労働省が示す室内空气中化学物質濃度測定の標準的方法⁴⁾に準じて測定した。すなわち、特別教室では原則として5時間以上密閉後、普通教室では授業終了後1時間以上密閉した後に、教室のほぼ中央(高さ1.2m)で空気を30分間採集

した。ホルムアルデヒドは、ジニトロフェニルヒドラジン・カートリッジ（SUPELCO社製 LpDNPH S10L）に捕集し（1 L/分で吸引）、アセトニトリルで抽出、高速液体クロマトグラフで分析、VOCは固相吸着（SUPELCO社製 PEJ2 TUBE, 50 ml/分）、加熱脱着・ガスクロマトグラフ質量分析法により分析した。試料採取と分析は、大阪市立環境科学研究所に委託した。

2. 拡散方式による測定

大阪市A校の増築されたコンピュータ教室、放課後活動教室および会議室、同じくB校のコンピュータ教室、放課後活動教室、音楽室、図書室および会議室、和泉市C校の改築された普通教室3クラスおよび対照として未改築の1クラス、同じくD校の改築6クラスおよび未改築の1クラスにおいて、増改築工事直後、1か月後、3か月後、10か月後、22か月後に、拡散方式による測定を行った。パッシブサンプラー（米国アドバンステケミカルセンサー社製）のホルムアルデヒド用とVOC（トルエン、キシレン、エチルベンゼン、スチレン）用の2個を、通常の授業が行われている状態で、各教室の適当な場所（なるべく教室中央、高さ0.7~1 m）に置き、24時間後に専用の袋に密封して回収、指定分析機関（株式会社環境技術センター内ベターリビング分室）で分析した。サンプラーのメーカー公表精度は、24時間測定で95%信頼区間の誤差範囲が10%未満であった。

改築教室の対照とした未改築教室は、C校では改築教室の隣、D校ではもう一つの未改築教室を間に挟んで横に並んだ位置にあった。しかし学校では普段、各教室の校庭側の窓と廊下側の窓、および廊下の窓を開放して換気しており、空気は教室を横断する方向に流れて、改築教室の空気が未改築教室に影響する可能性は低いと考えられた。

3) 吸引方式と拡散方式の測定値の比較

拡散方式による測定は、昼間は平常どおり窓や戸を開閉し、放課後から翌朝までは閉めきった状態を含む24時間の平均値であり、一定時間閉めきった状況下での吸引方式による測定値ならびに室内濃度指針値とは、測定条件が異なるので、本来比較することはできない。しかし文部科学省の「学校環境衛生の基準」⁹⁾において、「採取時間は、吸引方式では30分間で2回以上、拡散方式では8時間以上とする。」とされており、吸引方式と拡

散方式のいずれの方法で行ってもよいように受け取られる。そしてその判定基準として、採取方法の区別なく各物質毎に一つの基準値が定められていることから、あえて両法の測定結果を比較してみた。

3. 児童の自覚症状調査

和泉市2校の改築クラスの全児童に対し、改築前と改築後の教室を使用してから約1か月経過した時点とに、シックハウス症候群様の自覚症状のアンケート調査を行った。調査は、改築前が2001年7月16日~19日、改築1か月後は同年9月25日~28日に実施した。調査方法は、担任教諭から無記名の調査票（付表）を児童に配布し、保護者に記入してもらってくるように指示して、期間内に回収した。調査票の自覚症状に関する各質問項目に○印のあった者の、回答者総数に対する割合をその症状の有訴率とした。ただし、「この1年間に転宅をした」の項目に○印のあった転宅該当者は、自宅環境の影響の可能性があるので、これを除外して集計した。改築前後の有訴率を比較し、 χ^2 検定を行った。大阪市の2校については、各特別教室の使用頻度が少なく、またクラスによって使用頻度が異なるため、児童の自覚症状調査は行わなかった。

III 結 果

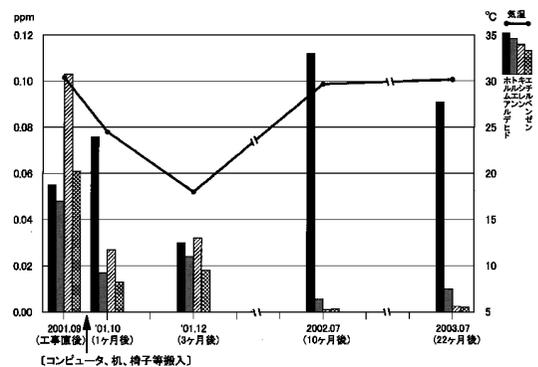
1. 教室内空気汚染化学物質濃度

1) 吸引方式による測定結果

(1) コンピュータ教室

図1は、大阪市A校の新築されたコンピュータ教室における空気汚染物質濃度と測定時室温の推移

図1 A校新築コンピュータ教室の室内空気汚染物質濃度と室温の推移



付表

こどもの健康についての調査票

____年 組 (性別 男・女)

最近 (この1か月くらいで)、次のようなことがあれば、その番号に○をつけてください。

(あてはまることがなくても、学年、組、性別を記入して提出してください。)

1. 目が痛いことがよくある。
2. なみだが出ることがよくある。
3. のどが痛いことがよくある。
4. せきがよくでる。
5. かぜをひいていないときでも ぜいぜい ひゅうひゅう ということがよくある。
6. かぜをひいていないときでも くしゃみのあとに 水ばなが出たり 鼻づまりがよくおこる。
7. 頭が痛いことがよくある。
8. おなかが痛くなるものがよくある。
9. からだがだるい (疲れる しんどい) とよくいう。
10. めまいがすることがよくある。
11. 吐き気がすることがよくある。
12. 以前からアトピー性皮膚炎があるが、最近症状が悪くなった。
13. アトピー性皮膚炎はなかったが、最近 じんましんや湿疹が出るようになった。
14. この1年間に 転宅をした。

推移である。厚生労働省の室内濃度指針値⁴⁾は、ホルムアルデヒドが0.08 ppm, トルエン0.07 ppm, キシレン0.20 ppm, エチルベンゼン0.88 ppmである。工事直後の9月初旬, ホルムアルデヒドは0.055 ppm, トルエンは0.048 ppm, キシレン0.103 ppm, エチルベンゼン0.061 ppmで、いずれも室内濃度指針値以下であった。これらの揮発性物質は、温度が高いほど建材などからの放散量が増加し、温度が低いと低下する⁶⁾。ところが1か月後の10月初旬, 気温が約6°C低下したにもかかわらず、ホルムアルデヒドが0.076 ppmと工事直後よりも高くなり、指針値と同レベルとなった。工事直後、室内にはまだ何も置かれていな

かったが、1か月後にはコンピュータ、机、椅子等の備品が搬入されていた。3か月後の12月初旬には気温の低下とともにホルムアルデヒド濃度も0.030 ppmに低下したが、10か月後の翌年7月には再び上昇して0.112 ppmとなり、指針値を上回った。さらに22か月後の7月にも0.091 ppmで、指針値を超えていた。VOC類は1か月後にはかなり低下し、10か月後以降はごく微量であった。

(2) 放課後活動教室

図2は、大阪市B校の新築された放課後活動教室の測定結果を同様に示したものである。この学校では、工事完了引き渡しは9月半ばであったため、工事直後から3か月後までの測定日がA

校および後述のC・D校より20日ほど遅れ、この3回の測定時の気温が他の3校よりそれぞれ2.5~5.7℃低く、いずれの物質濃度も工事直後から0.030 ppm以下の低値であった。ホルムアルデヒドは、気温が上昇した翌年7月にはやはり工事直後よりも高くなったが、指針値の2分の1のレベルで、その翌年にはさらに低下していた。VOC類は、3か月後以降は微量になっていた。

(3) 普通教室

図3は、和泉市C校の普通教室の測定結果である。工事直後、ホルムアルデヒドが0.064 ppm、トルエンが0.059 ppmで指針値に近いレベルであったが、1か月後、3か月後には順次低下した。翌年7月にホルムアルデヒドが10月および12月時よりは上昇したが、工事直後よりは減少し、指針値の2分の1程度であった。しかし、さらに1年経過後も夏期には前年と同レベルのホルムアルデヒドが検出された。一方キシレンが、低値ながら気温と無関係に3か月後まで一定レベルであったが、10か月後にはトルエン、エチルベンゼンとともにほとんど検出されなくなった。

ムアルデヒドが検出された。一方キシレンが、低値ながら気温と無関係に3か月後まで一定レベルであったが、10か月後にはトルエン、エチルベンゼンとともにほとんど検出されなくなった。

2) 拡散方式による測定結果

(1) 特別教室

表1は、A校とB校の新築棟各部屋の拡散方式によるホルムアルデヒドの測定結果である。ホルムアルデヒドは、工事直後どの部屋も室内濃度指針値以下の値であったが、A校4階のコンピュータ教室が0.05 ppmで最も高く、B校でも4階の音楽室が0.04 ppmで最も高かった。またA校コンピュータ教室では、吸引方式の測定結果と同様、気温が低下した1か月後にも濃度が低下しなかった。3か月後の12月にはどの部屋も十分に低下したが、10か月後の7月にはA校の放課後活動教室とB校の音楽室、図書室、会議室で0.06

図2 B校新築放課後活動教室の室内空気汚染物質濃度と室温の推移

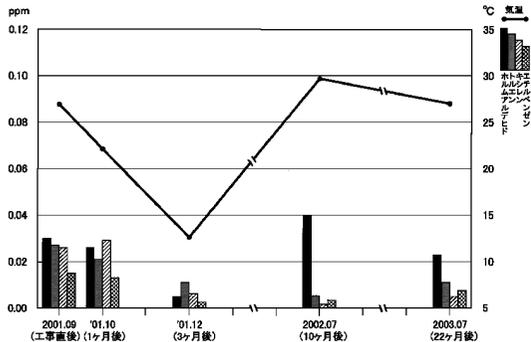


図3 C校改築普通教室の室内空気汚染物質濃度と室温の推移

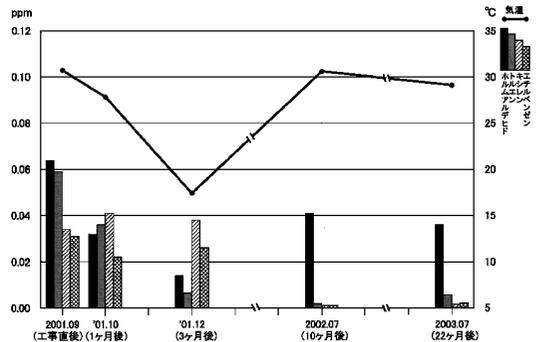


表1 特別教室のホルムアルデヒド濃度 (拡散方式: 24時間平均値)

(単位: ppm)

			工事直後 2001/9	1か月後 2001/10	3か月後 2001/12	10か月後 2002/7	22か月後 2003/7
A校	コンピュータ教室	4階	0.05	0.05	0.02	0.04	0.07
	会議室	3階	0.03	0.03	0.01	0.04	0.06
	放課後活動教室	1階	0.03	0.02	0.01	0.06	0.03
B校	音楽室	4階	0.04	<0.01	0.01	0.06	0.07
	図書室	3階	0.03	0.03	0.01	0.08	0.06
	会議室	2階	0.03	0.02	0.01	0.06	0.03
	コンピュータ教室	2階	0.03	0.01	0.01	0.04	0.03
	放課後活動教室	1階	0.01	<0.01	<0.01	0.02	0.02

(備考: 室内濃度指針値0.08 ppm)

～0.08 ppm に上昇した。22か月後の7月にも A 校のコンピュータ教室と会議室および B 校の音楽室、図書室で0.06～0.07 ppm であった。

VOC 類は、トルエンが B 校の放課後活動教室で工事直後に0.05 ppm、図書室で1か月後に0.04 ppm であった他は、いずれも0.03 ppm 以下であった。キシレンとエチルベンゼンは工事直後に0.01～0.03 ppm であったが、1か月後以降はほとんど0.01 ppm 未満となった。

(2) 普通教室

表2は、C校とD校の改築された普通教室および対照としての未改築教室の拡散方式による測

定結果である。いずれも鉄筋コンクリート造り3階建て校舎で、C校では未改築教室と改築2教室が2階、改築の1教室が3階であった。D校でも未改築教室と改築2教室が2階、改築4教室が3階であった。ホルムアルデヒドは、C校では工事直後から22か月後まで、未改築教室と全く同レベルの低い値であった。D校でも、2階の2教室は未改築教室と同レベルであった。3階の4教室は工事直後と1か月後に未改築教室よりわずかに(0.01 ppm) 高い傾向であったが、3か月後以降は同レベルとなり、翌年の夏期にも上昇はみられなかった。

表2 普通教室の室内空気汚染物質濃度(拡散方式:24時間平均値)

(単位: ppm)

		室数	工事直後 2001/9	1か月後 2001/10	3か月後 2001/12	10か月後 2002/7	22か月後 2003/7	室内濃度 指針値	
C校	ホルムアルデヒド	改築教室 3階	1	0.02	0.01	0.01	0.02	(0.08)	
		改築教室 2階	2	0.03	0.02	<0.01	0.03		
		未改築教室 2階	1	0.03	0.02	0.01	0.03		
	トルエン	改築教室 3階	1	0.07	0.01	<0.01	<0.01	0.01	(0.07)
		改築教室 2階	2	0.08	<0.01	<0.01	<0.01	0.02	
		未改築教室 2階	1	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
	キシレン	改築教室 3階	1	0.06	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	(0.20)
		改築教室 2階	2	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
		未改築教室 2階	1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
	エチルベンゼン	改築教室 3階	1	0.06	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	(0.88)
		改築教室 2階	2	0.03	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
		未改築教室 2階	1	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
D校	ホルムアルデヒド	改築教室 3階	4	0.04	0.02	0.01	0.02	0.02	(0.08)
		改築教室 2階	2	0.03	0.01	<0.01	0.03	0.02	
		未改築教室 2階	1	0.03	0.01	0.01	0.03	0.03	
	トルエン	改築教室 3階	4	0.22	0.03	<0.01	0.02	0.02	(0.07)
		改築教室 2階	2	0.13	0.03	<0.01	<0.01	0.02	
		未改築教室 2階	1	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	
	キシレン	改築教室 3階	4	0.17	0.02	<0.01	0.03	<0.01	(0.20)
		改築教室 2階	2	0.09	0.01	<0.01	0.01	0.01	
		未改築教室 2階	1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
	エチルベンゼン	改築教室 3階	4	0.21	0.03	<0.01	0.03	0.02	(0.88)
		改築教室 2階	2	0.11	0.02	<0.01	0.01	0.04	
		未改築教室 2階	1	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	

(注:複数改築教室の測定値は平均値)

一方、トルエン、キシレンおよびエチルベンゼンは、工事直後に未改築教室より高濃度に検出された。トルエンは、両校ともにほとんどの改築教室で指針値を上回った。またD校では、3階の改築教室のトルエン、キシレンおよびエチルベンゼン濃度が2階の教室の2倍であった。しかし、1か月後にはいずれも急速に低下して3か月後にはほとんど検出されなくなり、10か月後および22か月後の夏期にも十分低い値であった。

(3) 吸引方式と拡散方式の測定値の比較

吸引方式の測定を行った3教室での、両法によるホルムアルデヒドの測定値(各5回、延べ15回)の相関を調べた。拡散方式の測定値がサンプラーの検出限界の0.01 ppm未満のときを仮に0.01 ppmとすると、ピアソンの相関係数は0.802 ($P < 0.001$)であった。吸引方式をy、拡散方式をxとした回帰式は、 $y = 1.338x + 0.007$ で、拡散方式の方が低い値を示す傾向にあった。トルエン以下のVOC類は、今回の測定ではサンプラーの検出限界未満の低値が多く、吸引方式との関連は検討できなかった。

2. 児童の自覚症状調査

改築された普通教室を使用していたのは、C校では1年生2クラスと3年生1クラスの合計110人、D校では5年生2クラスと6年生4クラスの合計203人であった。これらの児童に対して改築の前後に自覚症状調査を実施し、C校では改築前に104人(94.5%)、改築後には105人(95.5%)、D校で改築前168人(82.4%)、改築後172人(84.7%)から回答を得た。回答者のうち「この1年間に転宅をした」に該当する者を除外し、C校では改築前後ともに92人、D校では改築前159人、改築後163人について、各症状の有訴率を改築前後で比較した。このような症状の訴えは高学年ほど多くなるものが多いが、両校とも学年毎では児童数が少なくなるので、2学年をまとめて集計した。図4にC校1・3年生の有訴率を示した。「のどが痛いことがよくある」、「せきがよくでる」、「頭が痛いことがよくある(頭痛)」、「じんましんや湿疹が出るようになった(湿疹)」の有訴率が、教室の改築前に比べ改築後にやや高くなったが、いずれも統計学的に有意な差ではなかった。図5はD校5・6年生の有訴率である。対象者が低学年のC校に比べ高学年のD校では、

教室改築前から有訴率が全体が高かったが、改築後に有訴率がさらに高まる傾向がみられた。「なみだ」の訴えが7人(4.4%)から18人(11.0%)に、「めまい」が6人(3.8%)から18人(11.0%)に、教室改築後に有意に増加した($P < 0.05$)。「目が痛い」、「のどが痛い」、「せき」、「ぜいぜいひゅうひゅうということがよくある(喘鳴)」、「くしゃみ、水ばな、鼻づまり(鼻炎症状)」、「頭痛」、「だるい」の訴えも改築前より多くなったが、これらは有意な差ではなかった。

しかし、一つでも症状を訴えたものを有症者とする、表3に示すように有症者の割合は、1・3年生で34.8%から32.6%、5・6年生で57.9%から59.5%と、改築前後でほとんど変化しておらず、有症者一人当たりの症状数が1・3年生で0.1件、5・6年生で0.7件増えていた。性別にみると、低学年では男子が、高学年では女子の方が有症者が多いが、どの群も有症者割合は改築前からほとんど変化していなかった。有症者一人当たりの症状数は、5・6年男子では0.8件の有意($P < 0.05$)な増加であった。図6に訴えた症状数別の有症者数を示した。改築前に比べ改築後には、症状の一つ

図4 教室改築前後の自覚症状有訴率：C校1・3年生

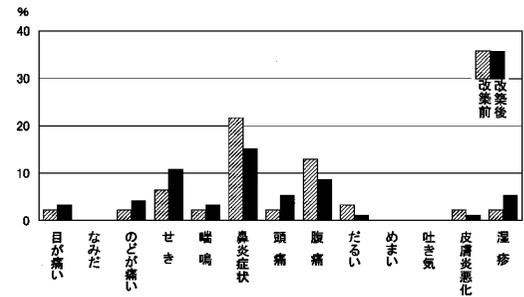
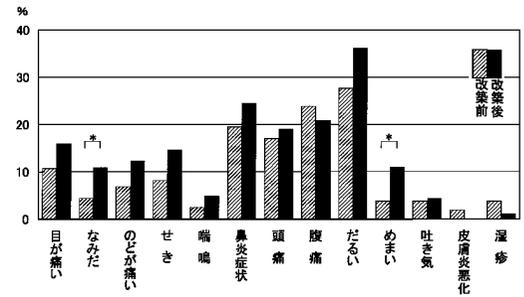


図5 教室改築前後の自覚症状有訴率：D校5・6年生



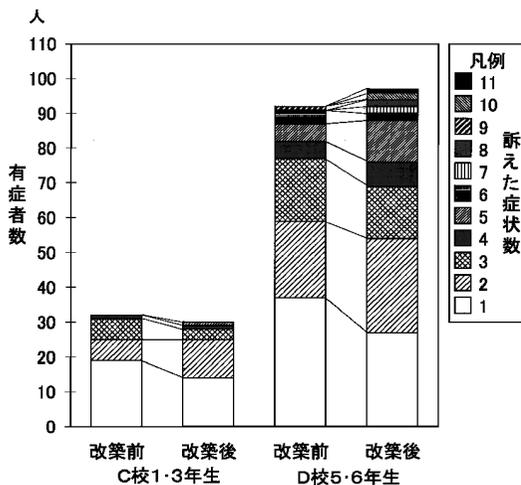
(*: $p < 0.05$)

表3 教室改築前後の有症者の割合と1人当たり症状数

		有症者の割合 (%)		有症者1人当たり症状数	
		改築前	改築後	改築前	改築後
C校 1・3年生	総数	34.8	32.6	1.7	1.8
	男子	38.3	38.0	1.6	1.7
	女子	29.5	26.2	1.8	1.9
D校 5・6年生	総数	57.9	59.5	2.3	3.0*
	男子	47.9	50.7	1.5	2.3*
	女子	66.3	66.7	2.8	3.4

(*: $P < 0.05$, Mann-Whitney U 検定)

図6 訴えた症状数別の累積有症者数



だけ訴えていたものが減少し、複数の症状を訴えるものが増加していた。

なお、両校ともこれらの症状で保健室を訪れた児童はいなかった。

IV 考 察

2000年6月、厚生労働省はシックハウス症候群に関して、その原因物質であるホルムアルデヒド等の室内濃度指針値を示した⁴⁾。この指針値は、住宅のみならず全ての室内空間を対象とし、学校への適用も考慮することが望まれるとされた。これを受けて文部科学省は、急遽全国の小中学校50校で室内空気中化学物質の実態調査⁷⁾を実施し、2002年2月「学校環境衛生の基準」⁵⁾の定期検査

項目にホルムアルデヒド、トルエンおよびキシレン、パラジクロロベンゼンを追加した。判定基準は厚生労働省の指針値と同値とされた。また、新築・改築・改修時には濃度が基準値以下であることを確認させた上で引き渡しを受けることとされた。

本調査は、この新基準が発表・適用される前年(2001年)に新築・改築された小学校を対象として実施した。ホルムアルデヒドについては、すでに日本工業規格(JIS)および日本農林規格(JAS)で合板等の建材について放散量の規格が定められており、学校の新・改築には最も放散量の少ない等級のものが使用されていた。C校の普通教室では工事直後、閉めきり状態での吸引法で0.064 ppmと指針値(0.08 ppm)に近いホルムアルデヒドが検出されたが、授業時間帯には窓を大きく開放していた24時間の拡散法測定では、未改築教室とほぼ等しい低濃度であった。普通教室では換気が十分であれば、ホルムアルデヒドについては問題がないようであった。

しかし、A校のコンピュータ教室では閉めきり状態での吸引法で、新築から10か月後と22か月後の夏期に指針値を超えるホルムアルデヒドが検出された。ここでは、工事直後よりも気温が低下した1か月後の方が高濃度となり、この間に教室に搬入されたコンピュータや机・椅子等からの放散があったと考えられた。文部科学省の調査⁷⁾でも、ホルムアルデヒド濃度が指針値を超えていたのはコンピュータ教室が最も多く、他には音楽室と図工室であった。これらの特別教室は、授業で使用するとき以外は閉めきられているため、ホルムアルデヒドの消失が遅いと考えられた。住宅の調査でも、築後5年以上経過しても高濃度のホルムアルデヒドが検出されるケースがある⁸⁾。ホルムアルデヒドは合板等の表層から放散した後も、接着剤が加水分解して生成されてくるといわれ⁹⁾、換気が少ない状況では消失が遅い。今回の冬期測定時は、気温が低かったためホルムアルデヒド濃度も低かったが、授業中は暖房されるため冬期もホルムアルデヒドは高くなる¹⁰⁾。また、コンピュータは稼働すると発熱し、それを冷却するためのファンが回るため、内部からのホルムアルデヒドやVOCの放散が使用しない時よりも増えるとの実験結果がある¹¹⁾。多くのコンピュータが同時に使用される小学校のコンピュータ教室で

は、授業中には今回の測定値以上の汚染が生じている可能性もある。A校では授業中はエアコンと換気扇が稼働されるが、コンピュータ画面への光反射を防ぐため窓やドアに遮光性のカーテンが引かれ、換気量は普通教室に比べ少ないと思われる。このような特別教室では、もっと積極的な換気対策が必要と考えられた。

一方、B校のコンピュータ教室はA校のコンピュータ教室と建材や備品の仕様がほぼ等しいのに、拡散法の測定値が低かった。A校のコンピュータ教室が4階建て棟の4階にあるのに対しB校では2階であった。他方、B校では4階の音楽室と3階の図書室で工事翌年と翌々年の夏にホルムアルデヒド濃度が上昇した。また、C、D校の普通教室でも3階建て棟の3階教室は2階よりVOC濃度が高かった。これらのことから、屋上に近い上層階ほど室温などによる影響を受けやすいのではないかと推測される。上層階教室への配慮も今後の検討が必要と考えられた。

VOC類は、工事直後のみではあるが、ホルムアルデヒドとは逆に特別教室よりも普通教室の方に高く検出され、トルエンは指針値を超えていた。これは教室内の建材や調度品、備品等の違いによると考えられた。C、D校の普通教室の工事仕様は同様で、側壁とドアには天然木材が使用されていたが、教室後部の児童用のオープン棚と掃除道具入れおよび教室前方の教諭用の棚が、カラー塗装された合板製であった。工事直後の教室に入室した際には塗料の匂いがしており、VOCの発生源としてはこの合板の塗料が最も疑われた。他の新築された学校の調査¹²⁾では、普通教室のトルエンの主要発生源として床や壁に塗布されたクリアラッカーが指摘されており、本調査教室でも壁やドアの天然木材に塗布されたラッカーから発生した可能性も考えられる。しかし、いずれにせよVOC類は約1か月で急速に減少しており、工事直後に一定期間開放換気するのがVOC類の低減対策になると考えられた。なお工事直後のD校のVOC濃度がC校より高かったが、D校の測定日の天候が晴れ、C校の時は雨で、測定日の気温がD校の方が約3°C高かった。気温など気象条件が影響した可能性がある。

測定法に関して、吸引方式と拡散方式のホルムアルデヒドの測定値を比較したところ、今回用い

たパッシブサンプラーおよび今回の測定条件下（授業中は窓を開放）では、延べ15回測定の間関係数が0.802で、吸引法より低値になる傾向があった。もし、拡散方式だけで測定していた場合には、A校コンピュータ教室の吸引方式で指針値を超えるホルムアルデヒドを検出した10か月後と22か月後の状況を、問題なしと判定することになる。文部科学省の調査⁷⁾で用いられたサンプラーでは相関が良かったとあるが、実験室での同時測定と比較で測定値に差があったとの報告¹³⁾もある。拡散方式による測定値は、サンプラーのタイプと採取時間や窓の開閉等の測定条件により結果が大きく異なるので、注意が必要である。

2002年2月に改訂された「学校環境衛生の基準」^{5,14)}の本文には、「採取は、当該教室で授業が行われている場合は通常の授業時と同様の状態で、当該教室に児童生徒がいない場合は窓等を閉めた状態で行う」とされている。「通常の授業時と同様の状態」とすると、一般に普通教室では夏期には窓を大きく開けているので「窓等を閉めた状態」に比べ汚染濃度はかなり低くなると推定される。測定結果に影響する窓の開閉についての指定が曖昧で、不適切な記述と思われる。2003年7月の通知¹⁵⁾により、「今後、採取の際の換気条件については、窓等を閉めた状態で行うこと（その場合、児童生徒は在室させないこととする）」との留意事項が追加されたが、上記「学校環境衛生の基準」の本文は改訂されていないので注意が必要である。また、定期検査の実施時期は夏期が望ましいとされているが、「コンピュータ等新たな備品を搬入したときに臨時検査を行うこと」、「新築・改築・改修時には濃度が基準値以下であることを確認させた上で引渡を受けること」とされており、これらが夏期以外の時期であった場合、そのときの測定値が基準値以下でも夏期に上昇する可能性がある。また検査を実施する日時についても、「授業を行う時間帯に行い」とされているが、雨天の日や午前中など気温の低いときに実施すると、汚染濃度を過少評価するおそれがある。この温度の影響を補正する計算式¹⁶⁾があり、気温が高い時の濃度をある程度予測することができる。その補正值が高い場合には、気温の高いときに再検査が必要であろう。

改築された普通教室の児童の自覚症状調査で

は、改築前に比べ改築後にシックハウス様症状の有訴率が高まる傾向がみられた。しかし、有症者の実数は改築前後でほとんど変化しておらず、有症者一人当たりの症状数が増加していた。調査は無記名で行ったので、有症者がどの程度一致していたかを確認できないが、ほとんどの有症者が一致していたとすれば、このような低濃度汚染の影響は、普段から愁訴を訴えている比較的弱者や過敏な者に出るという可能性が考えられる。しかし自覚症状調査を実施するにあたり、保護者への依頼状に「教室を改築したため」と説明せざるを得ず、一部のマスコミでシックスクール問題がクローズアップされていた時期でもあり、保護者の関心が高まったかもしれない。小学校の環境汚染問題が公表された後に、症状の訴えが多くなったとの報告¹⁷⁾もあり、そのような心理的影響が含まれた可能性もあろう。また、改築前調査は7月中旬、改築後は9月下旬であったので、気候や児童の心理的要因の変化、その他本研究で検討していない要因の影響については推定できず、本研究の限界とされる。汚染物質に関しても、代表的な4物質しか測定していないが、それ以外の物質の影響を否定するものではない。

今回の調査校では、改築後に保健室を訪れた児童はなく、症状は軽微なようであった。改築後の9月は窓が大きく開けられており、教室での児童の曝露濃度は測定値よりも低かったと推測された。しかし、オーストリアの合板壁の小学校で、わが国の室内濃度指針値以下のホルムアルデヒド濃度(0.043~0.075 ppm)でも62人中29人の児童が頭痛を訴え、煉瓦壁の教室(0.023~0.029 ppm)に移動して3か月後にはそれが10人に減少したとの報告¹⁸⁾もある。またホルムアルデヒドはアトピー素因のあるものにはIgE感作を起し、アレルギー疾患のリスクを高めるともいわれている^{18~20)}。さらに、自宅環境等によりすでに化学物質過敏症を発症している者では、ごく低濃度の汚染でも症状が発現する²¹⁾。そのような症例はまだ少ないが増加しつつあるといわれ²²⁾、今後より一層の室内空気汚染低減化対策、すなわち新改築工事後一定期間の開放換気や使用頻度の少ない特別教室の積極的換気等が必要であろう。

本調査は、平成13年度日本学術振興会科学研究費助

成金(基盤研究(C)(2)課題番号:13670397)により実施した。

本調査にご協力頂いた大阪府内各市町村教育委員会、大阪市立東小路小学校ならびに加美北小学校、和泉市立緑ヶ丘小学校ならびに鶴山台北小学校の先生方に、また大阪市立環境科学研究所の宮崎竹二氏、古市裕子氏に深謝いたします。

(受付 2004. 9.15)
(採用 2005. 6.28)

文 献

- 1) 石川 哲, 宮田幹夫. シックハウス症候群とは何か?. (社)日本建築学会. シックハウス事典. 東京: 技報堂出版, 2001; 2-4.
- 2) 田辺新一. 室内化学汚染—シックハウスの常識と対策—. 講談社現代新書1412. 東京: 講談社, 1998.
- 3) 由良晶子, 清水忠彦. 児童のアレルギー症状に対する生活環境変化(転宅)の影響. 日本公衆衛生雑誌 1998; 45: Suppl. 742.
- 4) 厚生省. 室内空气中化学物質の室内濃度指針値及び標準的測定方法について. 2002; 生衛発第1093号.
- 5) 文部科学省. 学校環境衛生の基準の一部改訂について(通知). 2002; 13文科第411号.
- 6) 宮崎竹二. ホルムアルデヒド汚染とシックハウス症候群. 生活衛生 2001; 45: 323-336.
- 7) 文部科学省. 学校における室内空气中化学物質に関する実態調査(概要). 2001.
- 8) 飯田 望, 吉野 博, 天野健太郎, 他. シックハウスにおける居住環境の実態と健康に関する調査研究. 臨床環境医学 2002; 11: 77-87.
- 9) 井上明生. 合板から放散するホルムアルデヒドの経時変化. 木材工業 1986; 41: 73-76.
- 10) 浅野陽子, 上澤行成, 北角 彰. 学校教室におけるホルムアルデヒド濃度の実態について. 生活と環境 2002; 47: 42-45.
- 11) 舟木理香, 中川貴文, 田中 博, 他. 小型チャンバーADPACを用いたアルデヒド類, VOC 放散量の測定に関する研究(その7 電化製品・生活用品の測定). 日本建築学会大会学術講演梗概集 2002; 863-864.
- 12) 瀧澤のりえ, 吉野 博, 高田美紀, 他. 学校における室内環境と児童生徒の健康に関する調査研究(その3 新築校舎の各教室等における化学物質濃度と使用材料との関係). 日本建築学会大会学術講演梗概集 2003; 911-912.
- 13) 北見秀明, 渡辺哲男, 北原滝男, 他. 実地試験による室内空气中のホルムアルデヒドの測定におけるパッシブサンプラーとアクティブサンプラーとの比較. 分析化学 2003; 52: 945-949.
- 14) 文部科学省. 学校環境衛生管理マニュアル—「学校環境衛生の基準」の理論と実践. 2004.

- 15) 文部科学省. 学校における室内空気汚染対策について (通知). 2003; 15ス学健第11号.
 - 16) 井上明生. ホルムアルデヒド気中濃度のガイドライン対策. 木材工業 1997; 52: 9-14.
 - 17) Handal G, Leiner MA, Cabrera M, et al. Children symptoms before and after knowing about an indoor fungal contamination. *Indoor Air* 2004; 14: 87-91.
 - 18) Wantke F, Demmer CM, Tappler P, et al. Exposure to gaseous formaldehyde induces IgE-mediated sensitization to formaldehyde in school-children. *Clinical and Experimental Allergy* 1996; 26: 276-280.
 - 19) Garrett MH, Hooper MA, Hooper BM, et al. Increased risk of allergy in children due to formaldehyde exposure in homes. *Allergy* 1999; 54: 330-337.
 - 20) Krzyzanowski M, Quackenboss JJ, Lebowitz MD. Chronic respiratory effects of indoor formaldehyde exposure. *Environmental Research* 1990; 52: 117-125.
 - 21) 古市裕子, 宮崎竹二, 神浦俊一, 他. 化学物質過敏症が疑われる患者と室内空気汚染の関係について. 大阪市立環境科学研究所報告 2003; 65: 85-87.
 - 22) 鈴木直仁. シックハウス症候群・化学物質過敏症: 総論. *アレルギー・免疫* 2003; 10: 1551-1556.
-

INDOOR AIR POLLUTION IN NEWLY BUILT OR RENOVATED ELEMENTARY SCHOOLS AND ITS EFFECTS ON HEALTH IN CHILDREN

Akiko YURA*, Masayuki IKI*, and Tadahiko SHIMIZU^{2*}

Key words : indoor air pollution, formaldehyde, volatile organic compounds (VOC), sick building syndrome, children, elementary school

Purpose To elucidate the actual status of indoor air pollution at newly built or renovated elementary schools, and to evaluate its effects on health symptoms in the affected children.

Methods In the classrooms of four newly built or renovated elementary schools in Osaka Prefecture, indoor air levels of formaldehyde and volatile organic compounds (VOC) were measured immediately, 1 month, 3 months, 10 months and 22 months after the completion of the construction work. Also, questionnaire surveys regarding subjective symptoms of sick building syndrome were conducted before and after the renovation on the children who attended classes in the renovated rooms.

Results In the newly built computer classroom, more formaldehyde was detected one month after the completion of the construction work, when computers and furniture were carried in, than immediately after the completion of the work. Then, during the summer season, even 10 months and 22 months after completion of the new building, formaldehyde above the guideline values was detected. In the renovated common classrooms, the formaldehyde level was the same as that in the classrooms which did not undergo renovation, but VOC levels were higher immediately after the completion of the construction work, and the toluene level was above the guideline value. In 4-story reinforced concrete school buildings, indoor air pollution tended to be higher on the third and the fourth floors than on the first and the second floors. In 3-story school buildings, indoor air pollution tended to be higher on the third floor than on the second floor. The survey of subjective symptoms of the children revealed a tendency toward an increase in the prevalence of sick building syndrome after a renovation. However, the actual number of the children complaining of the symptoms hardly changed. Instead, the number of symptoms for each subject increased, and this increase was significant in 5th and 6th grade boys.

Conclusion In the some classrooms of newly built or renovated elementary schools, chemical substances above the guideline values may be detected. In such classrooms, more ventilation is required.

* Department of Public Health, Kinki University School of Medicine

^{2*} Kinki University