

表5:住宅の特徴

		症例(n=55)		対照(n=73)		p-value
		N	(%)	N	(%)	
住宅の種類	戸建	25	(45.5)	43	(58.9)	0.154 a)
	集合住宅	30	(54.5)	30	(41.1)	
住宅の構造	木造	26	(47.3)	43	(58.9)	0.258 b)
	鉄筋・鉄骨コンクリート	29	(52.7)	29	(39.7)	
保有者	持ち家	36	(65.5)	61	(83.6)	0.022 a)
	借家	19	(34.5)	12	(16.4)	
築年	中央値(範囲)	14(1-43)		8(0-45)		0.002 b)
入居後年	中央値(範囲)	6(1-25)		5.5(1-23)		0.415 b)
改築	あり	12	(21.8)	18	(24.7)	0.834 a)
	なし	42	(76.4)	55	(75.3)	
居住者数[合計]	平均±SD	3.93±0.9		4.08±0.8		0.310 c)
部屋数	平均±SD	4.51±1.4		4.82±1.0		0.169 c)
密度(部屋数/居住者数)	平均±SD	0.94±0.3		0.88±0.3		0.316 c)
芳香剤を使用	はい	23	(41.8)	31	(42.5)	1.000 a)
	いいえ	32	(58.2)	42	(57.5)	
防虫剤を使用	はい	25	(45.5)	24	(32.9)	0.198 a)
	いいえ	30	(54.5)	49	(67.1)	
結露発生がある	はい	45	(81.8)	47	(64.4)	a)
	いいえ	10	(18.2)	26	(35.6)	
カビ臭がある	はい	13	(23.6)	6	(8.2)	0.023 a)
	いいえ	42	(76.4)	67	(91.8)	
カビ発生あり	はい	46	(83.6)	52	(71.2)	0.140 a)
	いいえ	9	(16.4)	21	(28.8)	
浴室が湿気ている	はい	16	(29.1)	16	(21.9)	0.412 a)
	いいえ	39	(70.9)	57	(78.1)	
水漏れがある	はい	19	(34.5)	9	(12.3)	0.004 a)
	いいえ	36	(65.5)	64	(87.7)	
Dampness Index		2.53±1.2		1.78±1.2		0.001 c)
毛・羽のあるペットを飼っている	はい	12	(21.8)	20	(27.4)	0.529 a)
	いいえ	43	(78.2)	53	(72.6)	
喫煙者あり	はい	18	(32.7)	15	(20.5)	0.153 a)
	いいえ	37	(67.3)	58	(79.5)	
居間システム	使用	24	(43.6)	48	(65.8)	0.019 a)
	使用しない・ない	31	(56.4)	35	(47.9)	
カーペット	敷き詰め	5	(9.1)	6	(8.2)	0.955 b)
	一部	34	(61.8)	47	(64.4)	
	なし	16	(29.1)	20	(27.4)	
掃除頻度(週)	中央値(範囲)	4(0.6-7.0)		3.5(1-7)		0.342 b)
窓開け頻度(週)	中央値(範囲)	5(0-18)		5(0-10)		0.501 b)
窓開け時間	5分以内	12	(21.8)	15	(20.5)	0.474 b)
	30分以内	27	(49.1)	26	(35.6)	
	1時間以内	5	(9.1)	11	(15.1)	
	1時間以上	11	(20)	19	(26)	
世帯収入	300万未満	6	(10.9)	0	(0)	0.013 b)
	300-499万	8	(14.5)	17	(23.3)	
	500-799万	17	(30.9)	33	(45.2)	
	800万以上	13	(23.6)	15	(20.5)	

a) χ^2 検定

b) Mann-Whitney検定

c) 対応のないt検定

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
分担研究報告書

表6：SHS有訴と温湿度との関連

n=128

	症例(n=55)						対象(n=72)						p-value
	n	min	25%	50%	75%	max	n	min	25%	50%	75%	max	
温度	55	16.5	19.6	20.6	22.5	25.2	73	15.3	20.1	21.5	22.65	24.5	0.249
湿度	55	31.7	50.7	55.5	60.6	80.2	73	37.1	46.0	54.0	61.2	75.7	0.193

Mann-Whitney

表7：SHS有訴と室内環境測定項目との関連

	指針値超軒数 (症例/対照)	症例(n=55)					対照(n=73)					p-value
		min	25%	50%	75%	max	min	25%	50%	75%	max	
化学物質(μg/m ³)												
Formaldehyde	0	8.5	17.46	29.48	43.08	71.73	8.2	21.4	26.37	40.75	80.69	0.996
Acetaldehyde	12(6/6)	<LOD	13.12	21.5	30.42	106.4	5.9	14.61	23.14	32.75	114.96	0.543
Acetone	—	<LOD	10.18	14.49	22.06	452.08	6.73	12.2	17.37	25.56	374.07	0.067
Methylethylketone	—	<LOD	1.09	1.71	2.83	1801.4	<LOD	0.69	1.38	2.68	22.84	0.273
Ethylacetate	—	<LOD	1.16	3.9	8.59	1779.1	<LOD	0.71	2.63	6.34	439	0.093
n-Hexane	—	<LOD	0.83	1.15	2.04	21.5	<LOD	0.67	0.95	1.95	16.11	0.18
Chloroform	—	<LOD	0.55	2.17	2.75	4.84	<LOD	<LOD	0.9	2.36	4.78	0.04
1,2-Dichloroethane	—	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	2.35	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	5.11	0.824
2,4-Dimethylpentane	—	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	1.47	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.89	0.748
1,1,1-Trichloroethane	—	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	2.73	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	2.05	0.728
1-Butanol	—	<LOD	<LOD	1.54	5.28	26.59	<LOD	<LOD	0.92	2.7	26.96	0.21
Benzene	—	0.74	1.3	1.97	5.39	21.39	<LOD	1.27	3.09	4.26	18.4	0.565
Carbon Tetrachloride	—	<LOD	<LOD	<LOD	0.54	0.73	<LOD	<LOD	<LOD	0.54	0.65	0.354
2,2,4-Trimethylpentane	—	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	2.02	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	2.07	0.744
n-Heptane	—	<LOD	<LOD	<LOD	1.16	14.25	<LOD	<LOD	<LOD	0.62	121.09	0.915
Methylisobutylketone	—	<LOD	<LOD	<LOD	0.61	5.68	<LOD	<LOD	<LOD	0.58	5.23	0.858
Toluene	0	1.22	4.6	8.34	17.37	69.73	1.47	4.94	7.85	17.08	207.45	0.559
Chlorodibromomethane	—	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	1.25	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.93	0.505
Butylacetate	—	<LOD	1.29	1.87	3.32	57.95	<LOD	1.11	2.01	3.59	57.25	0.885
n-Octane	—	<LOD	1.17	2.81	7.54	62.44	<LOD	<LOD	1.11	3.09	14.84	0.005
Tetrachloroethylene	—	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	18.95	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	17.87	0.552
Ethyl Benzene	0	0.7	1.69	3.14	6.19	54.64	0.67	1.82	3.41	5.75	981.89	0.956
Styrene	0	<LOD	<LOD	<LOD	0.66	6.09	<LOD	<LOD	<LOD	0.64	3.47	0.734
Total Xylene	0	<LOD	3.27	8.14	18.8	200.44	<LOD	3.22	7.09	14.64	479.31	0.431
n-Nonane	—	<LOD	1.95	6.09	19.04	266.13	<LOD	0.71	2.39	7.09	37.29	0.001
α-Pinene	—	<LOD	0.87	1.36	7.29	179.24	<LOD	1.11	2.65	9.85	440.91	0.1
n-Decane	—	<LOD	5.97	10.27	26.06	356.58	<LOD	<LOD	6.77	11.97	125.03	0.008
p-Dichlorobenzene	4 (4/0)	<LOD	<LOD	<LOD	4.51	1541.2	<LOD	<LOD	0.61	4.16	126.49	0.965
Trimethylbenzene	—	1	3.12	8.13	23.33	296.62	<LOD	3.09	7.41	13.79	95.33	0.416
Limonene	—	<LOD	7.22	12.51	25.53	476.35	1.06	5.58	10.47	25.78	244.99	0.564
Nonanal	—	<LOD	0.95	1.58	2.57	26.84	<LOD	0.75	1.32	1.93	5.4	0.115
n-Undecane	—	<LOD	3.65	8.38	37.84	430.12	<LOD	2.35	4.66	11.05	103.16	0.013
Decanal	—	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	7.77	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	2.19	0.011
n-Dodecane	—	<LOD	0.95	2.59	5.8	71.15	<LOD	<LOD	1.64	2.88	15.95	0.008
n-Tridecane	—	<LOD	0.53	1.43	2.55	151.52	<LOD	<LOD	1.12	2.47	19.14	0.254
TVOC	19(13/6)	34.29	89.65	146.19	373.66	4161.7	20.2	75.59	124.81	214.81	1758	0.06
2-Methylfuran	—	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	2.71	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	2.07	0.156
3-Methylfuran	—	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.51	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.59	0.849
2-Pentanol	—	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	3.44	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	3.24	0.692
3-Methyl-1-butanol	—	<LOD	<LOD	<LOD	1.15	19.03	<LOD	<LOD	<LOD	1.25	17.74	0.668
2-Methyl-1-butanol	—	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	4.05	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	4.26	0.602
Dimethyl Disulfide	—	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.58	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.74	0.467
1-Pentanol	—	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	2.37	<LOD	<LOD	<LOD	0.64	10.5	0.28
2-Hexanone	—	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.7	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.75	0.095
2-Heptanone	—	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	1.96	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	1.53	0.631
1-Octen-3-ol	—	<LOD	<LOD	<LOD	1.15	16	<LOD	<LOD	<LOD	0.71	4.48	0.029
3-Octanone	—	<LOD	<LOD	0.66	2.79	58.31	<LOD	<LOD	<LOD	1.05	29.62	0.032
3-Octanol	—	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	3.13	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	0.77	0.417
2-Pentylfuran	—	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	1.84	<LOD	<LOD	<LOD	<LOD	2.53	0.641
2-Ethyl-1-hexanol	—	<LOD	1.32	1.83	3.11	43.6	<LOD	1.23	1.73	2.85	7.17	0.339
ダニアレルゲン量(μg/g fine dust)												
Derf1	—	<LOD	0.21	0.63	3.51	19.77	<LOD	0.3	1.01	1.78	34.21	0.86
Derp1	—	<LOD	<LOD	<LOD	0.52	22.96	<LOD	<LOD	<LOD	0.39	17.15	0.712
Der1	—	<LOD	0.38	1.80	4.92	23.01	<LOD	0.73	1.61	3.81	34.26	0.944
Endotoxin (EU/g dust)	—	714	1958	3407	4869	13048	608	2491	3696	7128	34949	0.133
β-glucan (ng/g dust)	—	28	183	337	488	1618	47	238	328	578	1517	0.325

表8：小学生児童の1日の行動に伴う化学物質曝露濃度

	n	LOQ	min	25%	50%	75%	max	検出率(%)
Formaldehyde	64	8.3	<LOQ	14.8	21.7	30.7	73.2	93.8
Acetaldehyde	64	7.6	<LOQ	<LOQ	10.6	16.2	98.6	68.8
Acetone	64	8.8	<LOQ	16.5	20.9	31.3	147.3	98.4
Methylethylketone	65	34.7	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	69.8	3.1
1-Butanol	65	51.8	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.0
Benzene	65	5.9	<LOQ	9.5	10.1	11.0	31.4	92.3
Toluene	65	6.9	<LOQ	18.0	21.5	34.0	328.0	98.5
Ethyl Benzene	65	6.9	<LOQ	<LOQ	<LOQ	7.7	101.8	30.8
(p/m)-Xylene	65	6.9	<LOQ	<LOQ	7.9	10.7	52.9	61.5
Styrene	65	105.2	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.0
o-Xylene	65	6.9	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	14.5	9.2
a-Pinene	65	8.4	<LOQ	<LOQ	<LOQ	14.2	106.2	36.9
p-DCB	65	6.9	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	607.4	16.9
2-Ethyl-1-hexanol	65	21.0	<LOQ	<LOQ	31.1	43.5	63.5	58.5
Limonene	65	10.4	<LOQ	13.9	23.0	39.6	136.3	87.7

小学生のシックハウス症候群有訴と自宅の床ダスト中有機リン酸トリエステル類濃度

研究代表者 岸 玲子 北海道大学環境健康科学研究教育センター 特任教授

研究分担者 吉岡 英治 北海道大学大学院医学研究科予防医学講座公衆衛生学分野 助教

研究要旨

有機リン酸トリエステルとは天井や壁紙の難燃剤として広く用いられる化合物である。ダスト中の濃度測定をした研究はわずかで、また居住者の健康との関連を見た研究は2報しかない。本研究は有機リン酸トリエステル類濃度とSHS罹患のハイリスクグループである小児の有訴との関連を明らかにする事を目的とする。ベースライン調査のデータに基づき80名の症例対照を選択したが、2回の質問紙調査で症状の消失や新規発生が見られたので化学物質の曝露と症状の関連をより正確に検討するため、室内環境調査を行った時点の症状の有無によって症例と対照を改めて設定した。39名にSHSの有訴があり、性、学年をマッチングさせた対照群を設定した。床ダストは居間で採取し、GC/MSにて11化合物濃度を分析した。同時に質問紙調査を行った。症例群は有意にアレルギーが多かった。また、有意に築年数が古く、湿度環境が悪かった。TBEPは測定した中で最も高い濃度、検出率を示し、症例群で56.01 $\mu\text{g/g dust}$ (89.7%)、対照群で59.70 $\mu\text{g/g dust}$ (87.2%)となった。濃度差に有意差は認められなかった。しかし、欧米よりTBEPの濃度が高かったので有機リン酸トリエステル類に関する今後の調査継続が求められる。

研究協力者

齋藤 育江 東京都健康安全研究センター
竹田 智哉 北海道大学大学院医学研究科
荒木 敦子 北海道大学大学院医学研究科
アイトマイゆふ 北海道大学大学院医学研究科
早川 敦司 北海道大学大学院医学研究科
金澤 文子 北海道大学大学院医学研究科
湯浅 資之 北海道大学大学院医学研究科
工藤 恵子 北海道大学大学院医学研究科

本報告は北海道公衆衛生学雑誌に投稿中の論文である。

A. 研究目的

有機リン酸トリエステル類とは図1のようにリンの周りにエステルが3つ結合した物質を指す。この物質は難燃剤や可塑剤だけではなく塗料などにも使用されており、2009年には日本国内で約35,000 tが生産された[1]。そのうち代表的な化合物であるTCPは国内生産量が2003年に約22,000 tであった[2]。その毒性として有機リン系農薬と同様のコリンエステラーゼ阻害による神経毒性[3, 4]、遅発性の神経毒性[5, 6]を示す動物実験による結果が報告されている。有機リン酸トリエステル類は難燃性可塑剤として家電やパーソナルコンピュータ、壁紙などの内装材として多用

されるため[7, 8]、沸点が190°C~400°Cと低揮発性であって室内環境中の汚染が懸念される[9]。しかし、その健康への影響についての研究は、世界的に見ても少ない。一般家屋の室内環境測定からは、室内空气中濃度がドイツではTCEPが10 ng/m^3 [10]、スウェーデンではTCEPが4 ng/m^3 、TBPが20 ng/m^3 と報告されている[11]。さらにハウスダスト中濃度はアメリカではTDCPPが1.88 $\mu\text{g/g dust}$ 、TPhPが7.4 $\mu\text{g/g dust}$ [12]、ドイツではTCEPが0.60 $\mu\text{g/g dust}$ 、TCIPPが0.60 $\mu\text{g/g dust}$ [10]、スウェーデンではTCEPが7.6 $\mu\text{g/g dust}$ 、TBEPが8.5 $\mu\text{g/g dust}$ と報告されている[13]。日本では、一般家屋の室内空气中濃度はTCEPが15.5 ng/m^3 、TBPが27.1 ng/m^3 、ダスト中濃度は床のTCEPが7.5 $\mu\text{g/g dust}$ 、TBPが1.4 $\mu\text{g/g dust}$ 、棚上のTCEPが9.8 $\mu\text{g/g dust}$ 、TBPが1.1 $\mu\text{g/g dust}$ [14]と報告されている。室内環境中の濃度と健康影響との関連について言及している論文は2報であった。1報はアメリカの報告で、TDCPPと血中の遊離 T_4 の間に負の関連、プロラクチン濃度とは正の関連を示し、TPhPと精子濃度の間に負の関連を示した[12]。もう一方は日本の報告で、TBP濃度がシックハウス症候群(SHS)粘膜刺激症状のリスクとなる一方、TBEP濃度は

負の関連が示されている[14]。

1980年代にオフィスビルの中で働く労働者の間に見られるシックビルディング症候群(SBS)と呼ばれる非特異的な症状が欧米で大きな問題となった[15-20]。SBSの症状は粘膜刺激症状、頭痛、倦怠感などが特定のビルで生じ、そのビルを離れると症状が改善、消失するものである。日本では1990年代から、ビルより新築や改築された住宅においてSBS様症状を訴える者が増加してきたことから、住居住宅がその症状の原因であると捉えられ、シックハウス症候群(SHS)と呼ばれている[21-23]。日本ではマスコミ等の影響もあってSBSよりもSHSが注目されたことからSHSに関する調査研究が行われてきた[24-28]。著者らも2003年から一般戸建て住宅を対象として全国6地域で疫学研究を継続して実施してきた[14, 29-34]。その結果、SHSの要因が建材由来の化学物質のみならず[29, 30]、湿度環境の悪化[30, 31]やダニアレルゲンや真菌類の増加[32, 33]、微生物由来のVOC(MVOC)[34]などがSHS有訴のリスクファクターとなることを明らかにしてきた。また、SHS有訴は大人よりも児童が多く、児童がハイリスクグループであるといえる[14, 34]。また、住宅の築軒数の経過によって室内環境中におけるアルデヒド類、VOC類といった化合物は減少傾向を示すが、SHS症状の有訴そのものはなくならなかったことから[29]、SHSの要因としては建材由来の化学物質のみならず湿度環境の悪化やそれに伴う生物学的な要因が考えられ、これは北欧の結果とも一致している[20, 35-38]。有機リン酸トリエステル類については、著者らは、2008年に札幌市の築3-8年の戸建て住宅41軒を対象に、室内空気中およびダスト中のリン酸トリエステル類濃度を測定した[14]。この結果、室内空気中濃度はTCEPが 15.5 ng/m^3 、TBPが 27.1 ng/m^3 、床ダスト中の濃度はTCEPが $7.5 \mu\text{g/g dust}$ 、TBPが $1.4 \mu\text{g/g dust}$ と報告している。この研究では室内床ダスト中のTBP濃度の高値がシックハウス症候群(SHS)の有訴者が住む住宅で高いことから、居住者の粘膜刺激症状のリス

クとなる可能性が示唆された一方で、TBEP濃度の高値はむしろリスクを低下させる可能性を示すなど、リン酸トリエステル類濃度と居住者への健康影響については不明な点が多い。また、新築戸建て住宅のみを対象としており、有訴者数の人数が少ないといった課題があった。

本研究は、シックハウス症候群のハイリスクグループである児童の症状有訴と自宅有機リン酸トリエステル類濃度との関連を明らかにすることを目的とする。

B. 研究方法

1. 研究対象者の選定および調査時期

症例対照研究の対象者を抽出するためにベースライン調査を行った。札幌市立小学校35校の学校長に調査協力を依頼し、同意が得られた12校を調査対象校とした。この12校の1年生から6年生全児童6,393人に調査票を配付した。調査時期は平成20年11月から平成21年2月である。調査票は各学校の担任の先生を通じて配布、回収を依頼した。回答数は4,445人(回収率69.5%)であり、そのうち白紙でない回答数は4,408人であった。調査票の「翌年以降の住宅環境調査に協力してもよい」という記載欄に名前と連絡先の記載があった951人の中から症例と対照を抽出した。本研究における症例はSHS自覚症状10項目のうちいずれか1つ以上が「いつも、時々」あり、かつ「その症状は建物に関係している」と回答した者と定義した。

症例の選択基準は以下の4点である。

- 1) 上記の症例の基準に適合する者
- 2) 住宅環境調査時点において小学校を卒業していない者
- 3) 自宅の環境調査に協力してもよいと回答した者
- 4) 性、学年、SHS症状の項目に欠損がない者

児童が2人以上いる場合には無作為に1名を抽出し、対象児は1家族から1名とした。以上の基準によって抽出された190名全てに調査を郵送で依頼したところ、58名から調査

協力が得られた（協力率 31 %）。対照は性、学年±1 年、学校は可能な限りマッチングを行った結果、抽出された対照 252 名に調査協力を郵送で依頼し、そのうち 47 名から訪問調査の協力が得られた（協力率 19 %）。転校した児童 1 名は除外した。対照の抽出はコンピュータ上で乱数を用いて無作為に行った。住宅調査のアポイントが成立した症例と対照各 40 名の合計 80 名に対して平成 21 年 9 月 28 日から 11 月 23 日の間に質問紙調査、室内環境測定を実施した。

2. 調査内容

2-1) 児童の健康、自宅環境に関する質問紙調査

健康に関する質問紙調査は児童およびその家族（但し未就学児を除く）の全員を対象に実施した。調査票は小学生用と中学生以上を対象とした大人用の 2 種類を用意した。小学生用の調査票は保護者が子どもに聞き取りをしながら、もしくは普段の子どもの様子に基づいて判断、記入を依頼した。大人用の調査票は対象者本人による記入を依頼した。シックハウス症候群に関する質問は Andersson[39]によるシックビル質問票 MM080 for school（小学生用）および MM040EA（大人用）の日本語版[40]を用いた。喘息やアレルギーに関する質問は小学生用には ISSAC（International Study of Asthma and Allergies in Childhood）日本語版[41]の調査票から、大人用には ECRHS（European Community Respiratory Health Survey）日本語版[42, 43]調査票から抜粋した。このほかライフスタイルについての質問項目を含めた。自宅環境については自宅の種類、構造、築年数、居住者数、換気状況、芳香剤や防虫剤の使用、湿度環境、ペットの有無、殺虫剤や消毒剤の使用、暖房の使用状況、掃除頻度、床材や壁材についての質問を保護者に対して行った。なお、本論文では対象児の結果のみを含む。

2-2) 室内環境測定

i. 有機リン酸トリエステル類の測定

有機リン酸トリエステル類の測定は斎藤らと Kanazawa らによる報告を用いた[14, 44]。ダスト試料はポリエステル製ダニ検査ゴミ取り用袋「ES」（住化エンビロサイエンス株式会社、兵庫県）を装着した National クリーナー MC-D25C-QA（145W）（パナソニック株式会社、大阪府）で、対象児童の住宅の居間の床、もしくは居間に相当する場所の床全面から集塵した。収集したダストから毛髪や動物の毛、紙屑や着色繊維などの分析の阻害となる夾雑物を取り除き、総重量を測定した。分析を実施した東京都健康安全研究センターにてダストサンプルから 25 mg を分取してアセトン 1 mL を加えて 20 分超音波抽出後、2,500 rpm で 10 分遠心分離を行い、上清をリン酸トリエステル類 11 化合物（リン酸トリメチル(TMP)、リン酸トリエチル(TEP)、リン酸トリプロピル(TPP)、リン酸トリブチル(TBP)、リン酸トリス-2-クロロエチル(TCEP)、リン酸トリス-2-クロロイソプロピル(TCIPP)、リン酸トリス-1,3-ジクロロ-2-プロピル(TDCPP)、リン酸トリスブトキシエチル(TBEP)、リン酸トリフェニル(TPhP)、リン酸トリス-2-エチルヘキシル(TEHP)、リン酸トリクレシル(TCP))を GC/MS (GCMS-QP2010、株式会社島津製作所、京都市)で分析した。分析条件は以下の通り。使用カラム: Ultra-1 25 m×0.2 mm 内径×0.33 μm、カラム温度: 60℃(2 分)-20℃/分-180℃-15℃/分-240℃-20℃/分-300℃(6 分)、キャリアガス: ヘリウム 70 kPa(定圧)、注入口温度: 280℃、注入量: 1 μL(スプリットレス、ページ時間 4 分)、分析温度: 280℃、測定モード: 選択イオンモニタリング(SIM)。なお、ダストはすべてアセトン(残留農薬、PCB 試験用)(和光純薬工業株式会社、大阪府)で 15 分超音波洗浄後に 250℃で 2 時間乾熱滅菌を行った共栓付きガラス遠沈管に入れてフッ素テープで密閉し、冷凍庫で保管・配送した。

ii. その他の環境測定

温度、湿度は TR-72U（株式会社ティアンドデイ、長野県）を用いて 48 時間モニターし、平気温度と湿度を測定した。その他、居間の空気中アルデヒド類 3 化合物、VOC 類 34 化合

物とMVOC類13化合物、床から採取したダストの一部は分割シダニアレルゲン、エンドトキシン、 β グルカンを測定した。但し、以上の測定項目についての結果は別途報告する。

iii. 調査者による室内観察

調査者が訪問住宅のダストを採取した場所の床面積、天井高、床材、壁材、天井材などを観察し記録した。また、居住者にダスト採取場所の最終清掃日等を尋ね記録した。

3. 解析

3-1) 解析に用いた症例の定義

SHS 症状は経年による症状の消失や改善、新規発症が報告されている[32]。そこで、曝露と症状有訴の時期を一致させるため、解析に用いる症例対照の基準は住宅調査時点における質問紙調査に基づいた症状の有無によって再マッチングを行った。

3-2) 環境測定における定量限界(LOQ)の値

有機リン酸トリエステル類 11 物質の LOQ は TMP、TEP、TPP、TBP、TCEP、TCIPP は $0.50 \mu\text{g/g dust}$ 、TDCPP、TPhP、TEHP は $1.00 \mu\text{g/g dust}$ 、TBEP は $1.50 \mu\text{g/g dust}$ 、TCP は $2.00 \mu\text{g/g dust}$ であった。

3-3) 各解析の手法

SHS 症状と個人特徴、住宅環境、有機リン酸トリエステル類濃との関連は、連続値または連続値とみなして解析を行う項目は Wilcoxon 検定、2 値で評価されているものは McNemer 検定を行った。検出率 40 %以上の化合物について、住宅特徴と有機リン酸トリエステル類濃度の関連について Mann-Whitney 検定を行った。全ての統計的解析は $p < 0.05$ にて統計学的な有意差ありとした。統計ソフトは SPSS ver. 16 (SPSS, Chicago, IL, USA) を使用した。

(倫理面への配慮)

本研究は、北海道大学大学院医学研究科・医学部医の倫理委員会において審査、承認を得て実施した。

C. 研究結果

1. 対象者の特徴

1-1) 対象者の基本属性と疾患

症例として抽出した 40 名のうち、平成 21 年の調査においても SHS 有訴ありと回答した方は 25 名で 15 名は症状が消失していた。また、対照として抽出した 40 名のうち平成 21 年の調査時には 14 名に SHS 症状があった。本研究では平成 21 年に SHS 有訴がある症例 39 名について改めて対照を割り付け、最終的に症例対照 39 組を本研究の解析対象とした。

対象者は症例、対照共に男児が 23 名、女児が 16 名であった。学年は 2~6 年生で偏りはなかった。症例群が最も多く訴えたのは鼻水・鼻づまり・鼻がムズムズするといった鼻症状で、30 名(77%)が症状を訴えた。その他有訴の多い症状は眼がかゆい・あつい・ちくちくするといった眼症状、咳嗽、顔面が乾燥する・赤くなる、頭皮や耳がかさつく・かゆい、手が乾燥する・かゆい・赤くなるといった皮膚症状であった。また、症例群では 1 年以内に症状があり、かつ医師の診断による気管支喘息、鼻炎、アトピー性皮膚炎が対照群に比べて有意に多かった。気管支喘息、鼻炎、アトピー性皮膚炎の有病率は症例群でそれぞれ 30.8%、41.0%、38.5%、対照群で 7.7%、12.8%、10.3%であった。

1-2) ライフスタイルと対象者の SHS 有訴との関連

ライフスタイルと対象者の SHS 有訴との関連を表 1 に示す。これらの項目のうち起床時刻が症例群と対照群で有意な差が認められ、対照群は症例群に比べて早起きであった。その他のライフスタイルと SHS 有訴の間に有意な関連は認められなかった。

2. 住宅の特徴と SHS 症状の有訴との関連

住宅の特徴と SHS 症状の有訴との関連を表 2 に示す。症例群と対照群で有意な差が生じたものは築年、居住者数、結露の発生、ダンブネスインデックス(DI)、パネルヒーターの

有無であった。なお、ダンプネスインデックスとは結露の有無、カビ発生の有無、かび臭の有無、浴室でタオルが乾燥しにくい、水漏れの有無の5項目に関して「はい」とした数を加算して数値化した5点満点の指標である[45]。築年は対照群の中央値8年に比べて症例群の中央値12年と有意に古い結果が示された。また、症例群は対照群に比べて有意に一家族の人数が少ないという結果が示された。湿度環境の項目については症例群において結露の発生が有意に多い、ダンプネスインデックスが有意に高値であった。暖房器具は対照群の住宅でパネルヒーターを有意に多く利用していた。なお、入居後年数、部屋数、芳香剤の使用、防虫剤の使用、ペットの飼育、世帯収入では症例群と対照群に有意な差はなかった。

3. ダスト中有機リン酸トリエステル類濃度とSHS症状の有訴との関連

ダスト中有機リン酸トリエステル類濃度とSHS症状の有訴との関連を表3に示す。有機リン酸トリエステル類11化合物のうちTBEPは検出率が症例、対照の住宅でそれぞれ89.7%、87.2%だったが、それ以外の化合物は症例対照の住宅とも全て50%以下であった。また、TMP、TEPは全ての家屋で定量下限値未満だった。本研究では11化合物全てSHS症状の有訴との関連はなかった。なお、湿度は症例群において有意に高い値を示した。

4. 対象住宅の特徴と有機リン酸トリエステル類濃度との関連

対象住宅の特徴と有機リン酸トリエステル類濃度との関連を表4に示す。本研究は症例対照研究であるが、本解析は有機リン酸トリエステル類の発生源を明らかにする目的で、調査を実施した80軒のデータを用いた。TCEPは築11年以上の住宅で有意に高値である一方、TBEPは築10年以下の住宅で有意に高値であった。居間の換気装置を使用していない・あるいは居間に換気装置がない住宅で有意にTCEPの濃度が高く、暖房にパネルヒータ

ーを用いている住宅で有意にTBEPの濃度が高かった。また床材がフローリングの住宅で有意にTBEPの濃度が高かった。その他の住宅の特徴と化学物質には有意な関連が示されなかった。

D. 考察

1. 症例と対照について

SHS症状は経年で症状有訴に変化が起ることが報告されている[32]。本研究でも平成20年度に行ったベースライン調査と平成21年に行った質問紙調査でも症状の消失や新規発生が見られた。そこで、化学物質の曝露と症状の関連をより正確に検討するため、室内環境調査を行った時点の症状の有無によって症例と対照を改めて設定した。従って、症状の誤分類はないといえる。

2. 個人属性、ライフスタイルとSHS症状との関連について

症例群において、気管支喘息、鼻炎、アトピー性皮膚炎といったアレルギー症状の有訴が多く見られた。この点は過去の報告[20, 46]と一致した結果が得られたことから、児童においてもアレルギー症状があることが、SHS症状のリスクとなるといえる。その他のライフスタイルに関しては対照群と症例群の起床時間について有意差が得られた。しかし、起床時間は25%値で症例群が10分早いのみで、中央値と75%値には差が無いことから、その差はわずかであると考えられる。その他の項目では差は生じなかったことから、児童はSHS症状の有無によらず同様の生活を送っていると考えられる。但し、サンプルサイズが小さく有意差が生じなかった可能性は考えられる。

3. 住宅の特徴とSHS症状との関連について

これまでは新築もしくは改築による高濃度の揮発性有機化合物の曝露によってSHS症状が誘発されると考えられてきた[47]。しかし、本研究から症例群において築年数が有意に古いという結果が得られた。従って、新築や改

築時に用いられる建材由来の化学物質曝露以外にも SHS 症状を引き起こす要因が考えられる。本研究結果では、症例群で結露の発生が有意に多く、ダンプネスインデックスが有意に高値を示すことから、SHS の要因として湿度環境の悪化が考えられる。この結果は過去の研究や海外での報告と一致しており [30, 31, 38, 48]、児童の SHS 予防として、自宅の湿度環境への対策が重要であるといえる。

4. ダスト中有機リン酸トリエステル濃度との関連について

本研究では居間の化学物質濃度を調査した。これは児童が日中の多くの時間を居間で過ごし、他の家族とも共有できることから、居間の測定をもってその家の化学物質曝露の指標とした [49]。Kanazawa らの結果では床ダスト中 TBP 濃度の高値が SHS 症状のリスクを上昇させ、TBEP 濃度の高値が SHS 症状のリスクを低下させた [14]、しかし、この研究では新築戸建てのみを対象とし、有訴者数の人数が少ないといった課題があった。本研究では SHS のハイリスクグループである児童を対象に、室内の有機リン酸トリエステル類濃度と SHS 有訴との関連について検討した。また、本研究では小学校に通う児童にアプローチをして対象としたため、対象の住む自宅には戸建て住宅のみならずアパートやマンションといった集合住宅が含まれており、築年も 0 年から 45 年と様々である。本研究結果では有機リン酸トリエステル類 11 化合物はいずれも症例群と対照群の間で有意な濃度差は示されなかった。差が得られなかった理由として、本研究では有機リン酸トリエステル類の検出率、濃度がともに Kanazawa らの報告 [14] よりも低いことに加え、サンプルサイズが小さいことが考えられる。一方、統計学的有意差は得られなかったものの、TCIPP のように症例群の自宅で濃度が高い傾向が示された物質もあり、今後も引き続き児童の SHS 有訴と有機リン酸トリエステル類濃度との関連について検討していく必要はあると考える。また、海外と化合物の濃度を比較すると、TBEP 濃度はス

ウェーデンの $8.5 \mu\text{g/g}$ と比較して本研究の中央値は症例、対照それぞれ $56.01 \mu\text{g/g dust}$ 、 $59.70 \mu\text{g/g dust}$ と 6~7 倍高く、過去の日本の報告でも $1,570 \mu\text{g/g dust}$ ときわめて高い [14]。従って、今後も日本での汚染状況、健康影響についてさらなる調査が求められる。

5. 住宅の特徴と有機リン酸トリエステル類濃度との関連について

築年数と有機リン酸トリエステル類濃度には関連が見られた。TBEP は新しい住宅で有意に高値であった。TBEP の主な用途としてフローリングのワックスがあり [50]、一般的に新築時にはフローリングの床にワックスを塗ると考えられる。本研究結果でも、床材がフローリングの家で TBEP が有意に高値を示した。なお、暖房機器としてパネルヒーターがある家で TBEP が有意に高値を示しが、パネルヒーターが設置されている家は新しい家や戸建て住宅が多く、築 10 年以下の住宅で TBEP 濃度が高い結果と交絡をしている可能性が考えられる。居間に換気装置が無い、あるいは不使用する住宅で TCEP が有意に高値を示した。従って、高揮発性物質に限らず有機リン酸トリエステル類濃度のような低揮発性物質の濃度を低下させるためにも換気を励行する事が良いと考えられる。

6. 本研究の強みと限界

本研究は SHS のハイリスクグループである児童を対象としていることが本研究の強みと考えられる。また、質問紙調査に加えて室内の有機リン酸トリエステル類濃度を測定した点も本研究の強みと考えられる。有機リン酸トリエステル類濃度と SHS 症状の有訴との関連をみた研究はほとんどなく新規性を有する。

一方、本研究は症例と対照が各 39 名と少なく十分な検出力ではない。この点については、引き続き平成 22 年度も調査を行っていることから、サンプルサイズの拡充によって新たな知見が得られる可能性がある。本研究では有機リン酸トリエステル類濃度をダスト中の

みを測定し、空気中を測定していない。
Kanazawaらは空気中のTBEP濃度とSHS症状の有訴との関連を報告しており[14]、曝露評価として不十分な点があるかもしれない。また、本研究は札幌市のみで行っている。北海道などの寒い地方の住宅は本州と比較して気密性が高く[51]化学物質濃度が高く出る可能性が考えられるため一般化に至らない可能性がある。しかし、札幌市の公立児童を対象としていることから、多くの児童は公立小学校に在籍しているため一般的な住環境を反映しているといえるだろう。

E. 結論

本研究では札幌市公立小学校に通う児童を対象として、自宅の室内ダスト中有機リン酸トリエステル類11化合物の濃度を測定した。有機リン酸トリエステル類濃度SHS有訴との関連は得られなかったが、TBEPなど海外と比較して室内濃度が高い化合物があることから、有機リン酸トリエステル類に着目した研究を継続する必要性は高いと考える。

F. 研究発表

1. 論文発表
2. 学会発表

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

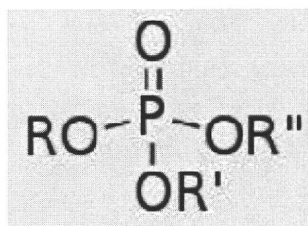
引用文献

- [1] 経済産業省経済産業政策局統計調査部. 平成21年-2009-化学工業統計年報. 財団法人経済産業調査会, 東京, 2010; 116.
- [2] 環境省環境保健部環境リスク評価室. 化学物質の環境リスク評価 第4巻 環境省環境保健部環境リスク評価室, 東京, 2005; 68-1.
- [3] Sprague GL, Sandvik LL, Brookins - Hendricks MJ, et al. Neurotoxicity of two organophosphorus ester flame retardants in hens. J Toxicol Environ Health 1981; 8(3): 507-518.
- [4] Carrington CD, Lapadula DM, Othman M, et al. Assessment of the delayed neurotoxicity of tributyl phosphate, tributoxyethyl phosphate, and dibutylphenyl phosphate. Toxicol Ind Health 1990; 6(3-4): 415-423.
- [5] Varghese RG, Bursian SJ, Tobias C, et al. Organophosphorus-induced delayed neurotoxicity - a comparative-study of the effects of tri-ortho-tolyl phosphate and triphenyl phosphate on the central-nervous-system of the Japanese-quail. Neurotoxicology 1995; 16(1): 45-54.
- [6] Weiner ML and Jortner BS. Organophosphate-induced delayed neurotoxicity of triarylphosphates. Neurotoxicology 1999; 20(4): 653-673.
- [7] 斎藤育江, 大貫文, 瀬戸博, 他. 空気中フタル酸エステル類及び有機リン酸エステル類の分析法. 東京衛研年報 2001; 52: 201-207.
- [8] 斎藤育江, 大貫文, 上原眞一, 他. 家庭電化製品・OA機器から発生するフタル酸エステル類及びリン酸エステル類, 東京衛研年報 2004; 55: 247-252.
- [9] 斎藤育江, 大貫文, 瀬戸博. 有機リン酸トリエステル類の室内及び外気濃度測定. エアロゾル研究 2001; 16(3): 209-216.
- [10] Ingerowski G, Friedle A, and Thumulla J. Chlorinated ethyl and isopropyl phosphoric acid triesters in the indoor environment - an inter-laboratory exposure study. Indoor Air 2001; 11(3): 145-149.

- [11] Staaf T and Ostman C. Organophosphate triesters in indoor environments. *J Environ Monit* 2005; 7(9): 883-887.
- [12] Meeker JD and Stapleton HM. House dust concentrations of organophosphate flame retardants in relation to hormone levels and semen quality parameters. *Environ Health Perspect* 2010; 118(3): 318-323.
- [13] Bergh C, Torgrip R, Emenius G, et al. Organophosphate and phthalate esters in air and settled dust - a multi-location indoor study. *Indoor Air* 2011; 21(1): 67-76.
- [14] Kanazawa A, Saito I, Araki A, et al. Association between indoor exposure to semi-volatile organic compounds and building-related symptoms among the occupants of residential dwellings. *Indoor Air* 2010; 20(1): 72-84.
- [15] Redlich CA, Sparer J, and Cullen MR. Sick-building syndrome. *Lancet* 1997; 349(9057): 1013-1016.
- [16] Finnegan MJ, Pickering CA, and Burge PS. The sick building syndrome: Prevalence studies. *Br Med J (Clin Res Ed)* 1984; 289(6458): 1573-1575.
- [17] Burge S, Hedge A, Wilson S, et al. Sick building syndrome: A study of 4373 office workers. *Ann Occup Hyg* 1987; 31(4A): 493-504.
- [18] Lyles WB, Greve KW, Bauer RM, et al. Sick building syndrome. *South Med J* 1991; 84(1): 65-71, 76.
- [19] Mendell MJ and Smith AH. Consistent pattern of elevated symptoms in air-conditioned office buildings: A reanalysis of epidemiologic studies. *Am J Public Health* 1990; 80(10): 1193-1199.
- [20] Bjornsson E, Janson C, Norbäck D, et al. Symptoms related to the sick building syndrome in a general population sample: Associations with atopy, bronchial hyper-responsiveness and anxiety. *Int J Tuberc Lung Dis* 1998; 2(12): 1023-1028.
- [21] 関明彦, 瀧川智子, 吉良尚平, 他. シックハウス症候群に係わる医学的知見の整理. *日衛誌* 2007; 62(4): 939-948.
- [22] 西條泰明, 岸玲子, 佐田文宏, 他. シックハウス症候群の症状と関連する要因 北海道の一般住宅を対象にした実態調査. *日公衛誌* 2002; 49(11): 1169-1183.
- [23] 鳥居新平. シックハウス症候群. *アレルギー科* 2000; 9(2): 192-196.
- [24] 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. *臨環境医* 2002; 11(2): 77-87.
- [25] 円藤陽子, 池田浩己, 笹川征雄, 他. シックハウス症候群が疑われる患者の住宅環境および臨床的調査. *臨環境医* 2001; 10(1): 3-10.
- [26] 吉野博, 吉田真理子, 角田和彦, 他. シックハウスにおける室内空気質と居住者の症状に関する長期追跡調査. *臨環境医* 2007; 16(1): 38-50.
- [27] 城川美佳, 岸玲子, 長谷川友紀. 東京都特別区におけるシックハウス症候群の有病率-電話調査による推計. *民族衛生* 2007; 73(3): 99-111.
- [28] 城川美佳, 岸玲子, 長谷川友紀. シックハウス症候群の有病率の推計, 電話調査による東京都特別区の 2002 年と 2004 年の経年差. *厚生の指標* 2007; 54(13): 36-43.
- [29] Takigawa T, Wang B-L, Saijo Y, et al. Relationship between indoor chemical concentrations and subjective symptoms associated with sick building syndrome in newly built houses in Japan. *Int Arch Occup Environ Health* 2010; 83(2): 225-235.

- [30] Takeda M, Saijo Y, Yuasa M, et al. Relationship between sick building syndrome and indoor environmental factors in newly built Japanese dwellings. *Int Arch Occup Environ Health* 2009; 82(5): 583-593.
- [31] Kishi R, Saijo Y, Kanazawa A, et al. Regional differences in residential environments and the association of dwellings and residential factors with the sick house syndrome: A nationwide cross-sectional questionnaire study in Japan. *Indoor Air* 2009; 19(3): 243-254.
- [32] Takigawa T, Wang BL, Sakano N, et al. A longitudinal study of environmental risk factors for subjective symptoms associated with sick building syndrome in new dwellings. *Sci Total Environ* 2009; 407(19): 5223-5228.
- [33] Saijo Y, Kanazawa A, Araki A, et al. Relationships between mite allergen levels, mold concentrations, and sick building syndrome symptoms in newly built dwellings in Japan. *Indoor Air*. in press
- [34] Araki A, Kawai T, Eitaki Y, et al. Relationship between selected indoor volatile organic compounds, so-called microbial voc, and the prevalence of mucous membrane symptoms in single family homes. *Sci Total Environ* 2010; 408(10): 2208-2215.
- [35] Engvall K, Norrby C, and Norbäck D. Sick building syndrome in relation to building dampness in multi-family residential buildings in Stockholm. *Int Arch Occup Environ Health* 2001; 74(4): 270-278.
- [36] Norbäck D, Wieslander G, Nordstrom K, et al. Asthma symptoms in relation to measured building dampness in upper concrete floor construction, and 2-ethyl-1-hexanol in indoor air. *Int J Tuberc Lung Dis* 2000; 4(11): 1016-1025.
- [37] Norbäck D. An update on sick building syndrome. *Curr Opin Allergy Clin Immunol* 2009; 9(1): 55-59.
- [38] Bornehag CG, Blomquist G, Gyntelberg F, et al. Dampness in buildings and health - nordic interdisciplinary review of the scientific evidence on associations between exposure to "Dampness" In buildings and health effects (norddamp). *Indoor Air* 2001; 11(2): 72-86.
- [39] Andersson K. Epidemiological approach to indoor air problems. *Indoor Air* 1998; 8(suppl 4): 32-39.
- [40] Mizoue T, Reijula K, and Andersson K. Environmental tobacco smoke exposure and overtime work as risk factors for sick building syndrome in Japan. *Am J Epidemiol* 2001; 154(9): 803-808.
- [41] 西間三馨, 小田嶋博. 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. *日小児アレルギー会誌* 2002; 16(3): 207-220.
- [42] 清水薫子, 今野哲, 清水健一, 他. 北海道上士幌町における成人喘息, アレルギー性鼻炎有病率-特に喫煙及び肥満との関連について-. *アレルギー* 2008; 57(7): 835-842.
- [43] 渡辺淳子, 谷口正実, 高橋清, 他. 成人喘息-European community respiratory health survey 調査用紙日本語版の作成と検証. *アレルギー* 2006; 55(11): 1421-1428.
- [44] 斎藤育江, 金澤文子, 荒木敦子, 他. 住宅室内ハウスダスト中の可塑剤, 難燃剤濃度. *室内環境学会 2009 年度総会・研究発表会要旨集* 2009; 218-219.

- [45] Saijo Y, Nakagi Y, Ito T, et al. Relation of dampness to sick building syndrome in Japanese public apartment houses. *Environ Health Prevent Med* 2009; 14(1): 26-35.
- [46] Bakke JV, Wieslander G, Norbäck D, et al. Atopy, symptoms and indoor environmental perceptions, tear film stability, nasal patency and lavage biomarkers in university staff. *Int Arch Occup Environ Health* 2008; 81(7): 861-872.
- [47] 富川盛光, 勝沼俊雄, 柴田淳, 他. 学童期におけるシックハウス症候群実態解明の試み. *日小児会誌* 2005; 109(5): 638-643.
- [48] Bornehag CG, Sundell J, and Sigsgaard T. Dampness in buildings and health (dbh): Report from an ongoing epidemiological investigation on the association between indoor environmental factors and health effects among children in Sweden. *Indoor Air* 2004; 14 Suppl 7: 59-66.
- [49] 中山邦夫, 森本兼囊. シックハウス症候群の疫学調査による症状と家庭室内環境・住まい方・ライフスタイルの関連性. シックハウス症状と家庭室内環境・住まい方・ライフスタイルの関連性. *日職業・環境アレルギー会誌* 2007; 14(2): 34-45.
- [50] Fries E and Puttmann W. Occurrence of organophosphate esters in surface water and ground water in Germany. *J Environ Monit* 2001; 3(6): 621-626.
- [51] 金澤文子, 西條泰明, 田中正敏, 他. シックハウス症候群についての全国規模の疫学調査研究 —寒冷地札幌市と本州・九州の戸建住宅における環境要因の比較—. *日衛誌* 2010; 65(3): 447-458.



	R,R',R''の式
TMP	-CH ₃
TEP	-CH ₂ CH ₃
TPP	-(CH ₂) ₂ CH ₃
TBP	-(CH ₂) ₃ CH ₃
TCEP	-CH ₂ CH ₂ Cl
TCIPP	-CH(CH ₃)CH ₂ Cl
TDCPP	-CH(CH ₂ Cl) ₂
TBEP	-(CH ₂) ₂ O(CH ₂) ₃ CH ₃
TPhP	-C ₆ H ₅
TEHP	-CH ₂ C(CH ₂ CH ₃)(CH ₂) ₃ CH ₃
TCP	-C ₆ H ₄ CH ₃

図1: 有機リン酸トリエステル類の構造

表1: ライフスタイルと SHS 症状の有訴との関連

		SHS		n=39pair	
		あり	なし	p-value	
在宅時間	中央値(25%値-75%値)	15.0(14.0-16.5)	15.0(15.0-16.0)	0.676 ^{a)}	
就寝時刻	中央値(25%値-75%値)	21:30(20:00-22:00)	21:30(20:00-22:00)	0.070 ^{a)}	
起床時刻	中央値(25%値-75%値)	7:00(6:40-7:00)	7:00(6:30-7:00)	0.016 ^{a)}	
睡眠時間	中央値(25%値-75%値)	9.3(9.0-9.5)	9.5(9.0-9.5)	0.965 ^{a)}	
好き嫌い	たくさん	N(%)	5(12.8)	3(7.7)	0.687 ^{b)}
	少し、ほとんどない	N(%)	34(87.2)	36(92.3)	
TV	~2時間くらい	N(%)	26(66.7)	33(84.6)	0.143 ^{b)}
	3時間以上	N(%)	13(33.3)	6(15.4)	
排便	2日に1回以上	N(%)	36(92.3)	34(87.2)	0.727 ^{b)}
	3日~1週間に1回	N(%)	3(7.7)	5(12.8)	
睡眠十分	いいえ、時に	N(%)	14(35.9)	10(25.6)	0.481 ^{b)}
	たいていいつも	N(%)	25(64.1)	29(74.4)	
目覚め	いいえ、時に	N(%)	15(38.5)	13(33.3)	0.824 ^{b)}
	たいていいつも	N(%)	24(61.5)	26(66.7)	
睡眠深さ	いいえ、時に	N(%)	3(7.7)	7(17.9)	0.344 ^{b)}
	たいていいつも	N(%)	36(92.3)	32(82.1)	

^{a)}Wilcoxonの符号付き順位和検定

^{b)}McNemar検定

表 2: 住宅の特徴と SHS 症状の有訴との関連

		SHS		n=39pair
		あり	なし	p-value
住宅の種類	戸建(%)	14(35.9)	22(56.4)	0.096 ^{a)}
	集合住宅(%)	25(64.1)	17(43.6)	
住宅の構造	木造(%)	17(43.6)	20(51.3)	0.607 ^{a)}
	コンクリート(%)	21(53.8)	18(46.2)	
築年 改築	中央値(範囲)	12(2-40)	8(0-45)	0.020 ^{b)}
	あり(%)	6(15.4)	10(25.6)	0.424 ^{a)}
	なし(%)	33(84.6)	29(74.4)	
居住者数	平均±SD	3.9±0.8	4.2±0.8	0.042 ^{b)}
部屋数	平均±SD	4.6±1.5	4.9±1.1	0.310 ^{b)}
喫煙者	いる(%)	12(30.8)	8(20.5)	0.424 ^{a)}
	いない(%)	27(69.2)	31(79.5)	
結露発生がある	はい(%)	33(84.6)	24(61.5)	0.035 ^{a)}
	いいえ(%)	6(15.4)	15(38.5)	
Dampness Index	平均±SD	2.59±1.12	1.72±1.17	0.002 ^{b)}
換気状況				
居間換気装置	あり(%)	24(61.5)	31(79.5)	0.118 ^{a)}
	なし(%)	15(38.5)	8(20.5)	
居間換気使用	使用(%)	18(46.2)	27(69.2)	0.093 ^{a)}
	使用なし(%)	21(53.8)	12(30.8)	
暖房状況				
排気ありストーブ	あり(%)	23(59.0)	14(35.9)	0.078 ^{a)}
	なし(%)	16(41.0)	25(64.1)	
床暖房	あり(%)	10(25.6)	6(15.4)	0.388 ^{a)}
	なし(%)	29(74.4)	33(84.6)	
パネルヒーター	あり(%)	10(25.6)	22(56.4)	0.004 ^{a)}
	なし(%)	29(74.4)	17(43.6)	
床材	フローリング(%)	29(74.4)	34(87.2)	0.180 ^{a)}
	その他(%)	10(25.6)	5(12.8)	
カーペット	あり(%)	29(74.4)	26(66.7)	0.629 ^{a)}
	なし(%)	10(25.6)	13(33.3)	
壁材	PVC(%)	35(89.7)	33(84.6)	0.754 ^{a)}
	その他(%)	4(10.3)	6(15.4)	
掃除頻度(週)	中央値(範囲)	4.1(0.6-7.0)	3.0(1.0-7.0)	0.086 ^{b)}
窓開け頻度(週)	中央値(範囲)	5.2(0.0-18)	6.0(0.0-7.0)	0.450 ^{b)}
窓開け時間	30分以内(%)	27(69.2)	22(56.4)	0.302 ^{a)}
	30分以上(%)	11(28.2)	16(41.0)	

^{a)}McNemar検定

^{b)}Wilcoxon検定

厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
分担研究報告書

表3: ダスト中リン酸トリエステル類、温度、湿度とSHS症状の有訴との関連

	SHSあり				SHSなし				p-value
	Med.	75%	Max	検出率	Med.	75%	Max	検出率	
TMP	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.0	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.0	-
TEP	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.0	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.0	-
TPP	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.0	<LOQ	<LOQ	1.15	5.1	0.180
TBP	<LOQ	<LOQ	7.98	5.1	<LOQ	<LOQ	12.86	7.7	0.686
TCEP	<LOQ	2.17	41.00	41.0	<LOQ	1.41	48.93	41.0	0.236
TCIPP	<LOQ	1.12	59.71	28.2	<LOQ	<LOQ	32.85	23.1	0.777
TDCPP	<LOQ	<LOQ	276.44	12.8	<LOQ	<LOQ	9.36	10.3	0.327
TBEP	56.01	161.34	657.54	89.7	59.70	207.13	1600.77	87.2	0.286
TPhP	<LOQ	<LOQ	6.16	23.1	<LOQ	<LOQ	6.67	15.4	0.754
TEHP	<LOQ	2.94	14.87	41.0	<LOQ	2.41	7.00	30.8	0.116
TCP	<LOQ	<LOQ	<LOQ	0.0	<LOQ	<LOQ	4.94	2.6	0.317
温度(°C)	20.8	22.4	24.6	-	21.6	22.6	24.5	-	0.126
湿度(%)	55.3	60.7	71.0	-	50.9	60.0	69.3	-	0.023

濃度は $\mu\text{g/g dust}$
Wilcoxon検定

表4: 対象住宅の特徴と有機リン酸トリエステル類濃度との関連

	Med.	75%	Max	Med.	75%	Max	p-value
	戸建(n=38)			集合住宅(n=42)			
TCEP	<LOQ	2.01	48.93	<LOQ	1.71	10.41	0.318
TBEP	59.64	202.61	776.45	52.41	165.03	1600.77	0.410
TEHP	<LOQ	2.46	7.00	<LOQ	2.65	14.87	0.330
		木造(n=39)			鉄筋コンクリート(n=40)		
TCEP	<LOQ	1.96	48.93	<LOQ	1.71	12.89	0.311
TBEP	59.57	201.10	776.45	42.36	172.40	1600.77	0.237
TEHP	<LOQ	2.54	9.54	<LOQ	2.53	14.87	0.914
		建築10年以下(n=42)			建築11年以上(n=38)		
TCEP	<LOQ	1.17	10.87	1.07	2.96	48.93	0.020
TBEP	149.33	222.03	1600.77	15.50	69.78	776.45	0.000
TEHP	<LOQ	2.55	7.00	<LOQ	2.48	14.87	0.911
		改築あり(n=17)			改築無し(n=63)		
TCEP	1.12	2.59	12.89	<LOQ	1.70	48.93	0.144
TBEP	13.96	133.18	776.45	59.57	186.75	1600.77	0.144
TEHP	<LOQ	2.71	3.08	<LOQ	2.47	14.87	0.552
		DIが2以下(n=47)			DIが3以上(n=33)		
TCEP	<LOQ	1.41	41.00	<LOQ	2.44	48.93	0.618
TBEP	48.81	186.75	1600.77	58.08	156.44	558.86	0.632
TEHP	<LOQ	2.54	7.00	<LOQ	2.36	14.87	0.437
		換気装置使用(n=46)			換気装置不使用(n=34)		
TCEP	<LOQ	1.31	10.87	1.07	2.96	48.93	0.032
TBEP	41.21	187.37	1600.77	59.64	158.28	776.45	0.719
TEHP	<LOQ	2.52	7.00	<LOQ	2.54	14.87	0.676
		暖房パネルヒーターあり(n=34)			暖房パネルヒーター以外(n=46)		
TCEP	<LOQ	1.28	10.87	<LOQ	2.31	48.93	0.077
TBEP	136.15	208.72	776.45	29.75	130.50	1600.77	0.016
TEHP	<LOQ	2.43	7.00	<LOQ	2.58	14.87	0.171
		床材フローリング(n=68)			床材フローリング以外(n=12)		
TCEP	<LOQ	1.41	48.93	1.69	2.96	8.77	0.147
TBEP	73.76	186.83	1600.77	4.36	13.55	32.66	0.000
TEHP	<LOQ	2.56	14.87	<LOQ	2.20	5.49	0.584
		壁紙PVC(n=70)			壁紙PVC以外(n=10)		
TCEP	<LOQ	1.99	48.93	<LOQ	0.63	12.89	0.152
TBEP	57.05	178.13	1600.77	75.78	222.03	582.69	0.743
TEHP	<LOQ	2.58	14.87	<LOQ	2.46	2.54	0.447
		掃除週3回以下(n=40)			掃除週3回超(n=40)		
TCEP	<LOQ	1.87	48.93	<LOQ	1.90	41.00	0.511
TBEP	59.64	177.12	1600.77	52.41	186.28	657.54	0.832
TEHP	<LOQ	2.04	14.87	<LOQ	2.77	9.54	0.103

Mann-whitney検定

小学校の環境衛生調査及び室内空気質等の測定についてのまとめ

研究協力者 田中正敏 福島県立医科大学 名誉教授

研究要旨

学童等の健康状態等に密接に関連する学校の環境衛生、室内空気質などを把握する目的で、札幌地域、旭川地域、福島地域、北九州地域内の小学校において校舎の建築、設備などについてアンケートにより調査し、そして旭川地域、福島地域、北九州地域内の小学校においては教室内の空気質（アルデヒド類 14 物質と揮発性有機化合物（VOC）41 物質）等を測定し検討した。対象小学校の建物は昭和年代の竣工が多かった。札幌地域、旭川地域では第 1 種換気方式、第 3 種換気方式、換気孔等もみられ、二重窓が多くを占めていた。福島地域、北九州地域での普通教室の換気はいずれも自然換気で、窓は一重窓で、窓ガラスは一重ガラス、窓の開閉方式は手動による開閉であった。空気質、アルデヒド類および VOC 類において多くの物質の濃度は低かった。旭川地域でアルデヒド類が他の地域に比し高めであり、VOC 類では物質により地域で差がみられた。指針値の示されているホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、トルエン、p-ジクロロベンゼン、エチルベンゼン、キシレン等はいずれも指針値を下回り低値を示した。週末に測定をおこなったが、温熱環境、二酸化炭素や一酸化炭素など空気清浄度とともに週日での測定、そして低温・低湿環境になりやすい冬季には湿度管理への配慮が必要と考える。

研究協力者

田中かづ子 福島県立医科大学衛生学講座
福島哲仁 福島県立医科大学衛生学講座

A. 研究目的

研究班ではシックハウス症候群の実態と原因究明を目的に、全国規模で同一方法による疫学調査を実施している。今回は各地域での小学校の校舎についてのアンケート調査と教室内の空気質（アルデヒド類 14 物質と揮発性有機化合物（VOC）41 物質）等の測定についてのまとめをおこなった。

学校保健法の環境衛生に関して「学校においては、換気、採光、照明及び保温を適切に行ない、清潔を保つ等環境衛生の維持に努め、必要に応じてその改善を図らねばならない」とされている。この法令に基づき、「学校環境衛生の基準」が設けられ、学校での定期または臨時の環境衛生検査、事後措置、日常の環境衛生（日常点検）が実施され、学童の健康維持増進に留意されている。

B. 方法

札幌地域、旭川地域、福島地域、北九州地域内の小学校において校舎、教室の概要を校舎の建築・設備に関し、アンケート調査用紙

による調査をおこなった。

表 1 に校舎の建築に関する質問表を示した。調査をおこなった小学校は、札幌地域が 12 校、旭川地域は 3 校、福島地域は 3 校、北九州地域は 7 校であった。

教室内の空気質等の測定に関しては、旭川地域、福島地域、北九州地域内の小学校においておこない、教室内の空気質（アルデヒド類 14 物質と揮発性有機化合物（VOC）41 物質）、温度・湿度を測定した。教室内環境測定は、旭川地域で 3 校、9 教室（各校 3 教室）について 2009 年 2 月に、そして福島地域では 3 校、12 教室（各校 4 教室）、北九州地域では 3 校、9 教室（各校 3 教室）について 2008 年 11 月に測定をおこなった。福島地域では各校で理科室またはコンピュータ室での測定、北九州地域では 1 特別教室での測定をおこなった。

今回のサンプル採取は対象教室の中央、約 1.5m の高さにアルデヒド類用と揮発性有機化合物（VOC）測定用のパッシブサンプラーを設置し、48 時間以上捕集をおこなった。測定日、時刻は土、日曜日、または金曜日の夕刻から月曜日の早朝までとし、授業等に支障のない時間帯におこった。

分析は全国同一の専門分析機関により実施された。アルデヒド類は高速液体クロマトグ

ラフ-UV 検出器(HPLC-UV)で、VOCはクロマトグラフ・質量分析計(GC・MS)を用いて分析した。

温湿度については空気質の測定と並行して、温湿度センサーTR-3100によりおこない、15分ごとにデータを記録した。センサーは約1mの台の上に設置した。

（倫理面への配慮）

研究班では調査・研究対象地域で学校、教育委員会等において調査・研究に協力、同意の得られた学校で調査・研究を実施した。

本研究により得られた情報については、漏洩がないよう保管し、秘密保持に努めた。なお今回の室内環境測定結果、空気中化学物質濃度等については、研究班作成の「シックハウス症候群に関する相談と対策マニュアル」とともに各学校、および教育委員会に報告した。

C. 結果

1. 対象学校の構造など

表2、図1,2に地域別の学校の構造・設備等について示した。建物構造は札幌の1校(プレハブ造り・k校)を除いて各地域とも鉄筋コンクリートであった。竣工の年は札幌地域では12校のうち3校が平成年に竣工され他は昭和年であった。旭川地域では昭和年は1校で2校は平成年であった。福島地域と北九州地域では全て昭和年の竣工であった。

床下構造については旭川地域、北九州地域では全て直貼床であり、多くは直貼床であった。床材質に関しては、札幌地域ではpタイルが多く、北九州地域では全て合板木材であった。

換気方式については、札幌地域では12校のうち第1種換気(機械給気+機械排気)が1校、第3種換気(自然給気+機械排気)が1校であり、他は自然換気であった。旭川地域では3校のうち第1種換気が1校、第3種換気が1校、換気孔が1校であり、各校で換気方式は異なっていた。福島地域の普通教室は自然換気で、特殊教室の理科室とコンピュータ室は第3種換気であった。北九州地域は

いずれの教室も自然換気であった(図1)。

窓の開閉については、旭川地域での1校が開閉不可であり、他は各地域とも全て手動開閉可であった。窓構造、窓ガラスについては、福島地域と北九州地域では全て一重窓で一重ガラスであった。旭川地域では各校とも二重窓であり、窓ガラスは一重ガラスやペアガラスであった。札幌地域では二校が一重窓でペアガラスであり、他は二重窓で一重ガラスであった(図2)。

空調タイプについては、札幌地域、旭川地域、福島地域では暖房のみで冷房設備はなかった。北九州地域では1特別教室が個別冷暖房による空調設備であり、その他の教室では冷暖房装置はなかった。また北九州地域の7校のうち3校で補助暖房として石油開放型ストーブであった。福島地域での空調タイプは各教室ともストーブによる暖房のみであり、熱源は石油で、各教室での個別に煙突ダクトによる排気であった。

旭川地域の3校のうち2校の熱源はガスで、ガスダクト排気であり、空調方式は個別と各階ユニットであり、一校は個別方式の重油によるパネルヒータであった。札幌地域の12校のうち熱源については電気が2校、石油が3校、ガスが7校であり、石油はダクトによる排気、ガスはガスダクト排気であった。中央管理と個別方式は半々であった。

湿度管理については、札幌地域と北九州地域で空調設備を備えた教室においては管理がおこなわれていた。福島地域では冬季には加湿器や水の入ったバケツを置くなどして加湿に配慮している場合もみられた。

2. 室内空気中の化学物質

表3にアルデヒド類およびVOC類の濃度を各地域別に示した。多くの物質の濃度は低く定量下限未満の場合もみられた。物質が全て定量下限未満の場合には、その物質を除き表示した。

アルデヒド類で検出されたのはホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトンなどで

あった。指針値はホルムアルデヒド $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、アセトアルデヒド $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であるが、実測した濃度はホルムアルデヒドが旭川地域では $5 \sim 35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、福島地域では $7 \sim 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、北九州地域では最高濃度で $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。アセトアルデヒドについては旭川地域、福島地域で最高濃度が $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、北九州地域では $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。いずれの測定値も指針値を下回っていた。アセトンについては旭川地域では最高濃度 $118 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、福島地域では $6 \sim 18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、北九州地域では $8 \sim 21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

VOC 類で検出されたのはトルエン、p-ジクロロベンゼン、エチルベンゼン、キシレン、ベンゼンなどの検出率が高かった。指針値はトルエン $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、p-ジクロロベンゼン $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、エチルベンゼン $3800 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、キシレン $870 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、スチレン $220 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であるが、実測した濃度はトルエンについては旭川地域では $2.4 \sim 18.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、福島地域では $4.7 \sim 76.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、北九州地域では $3.6 \sim 6.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。p-ジクロロベンゼンについては旭川地域では $0.5 \sim 1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、福島地域では $0.7 \sim 1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、北九州地域では $0.5 \sim 21.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。エチルベンゼンについては旭川地域では $0.6 \sim 8.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、福島地域では $1.5 \sim 3.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、北九州地域では $0.9 \sim 1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。キシレンについては旭川地域では $1.1 \sim 21.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、福島地域では $3.0 \sim 10.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、北九州地域では $0.9 \sim 2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。いずれも指針値を下回っており、スチレンについてはいずれも濃度が低く定量下限未満であった。

3) 教室の室温、湿度

空気質の測定と同時に測定した温度・湿度の平均値を表 4 に示した。福島、北九州地域では 11 月の測定であり暖房については原則的には各教室で使用されておらず、殆んど暖房なしの状態であった。旭川地域では 2 月の測定で普段は暖房の使用がなされている。

福島地域では 11 月中旬の測定の A 校では

普通教室の平均気温が $16 \sim 18^\circ\text{C}$ 、平均湿度が $49 \sim 54\%$ であり、別棟の理科室ではやや低温、低湿であった。B 校では平均気温が $15 \sim 17^\circ\text{C}$ 、平均湿度が $50 \sim 58\%$ であり、11 月下旬の測定の C 校では平均気温が 14°C 台、平均湿度が約 45% であった。

北九州地域では 11 月上旬に実施した A 校、B 校の平均気温は $18, 19^\circ\text{C}$ 台、平均湿度 $65 \sim 68\%$ であり、11 月中旬に実施した C 校では温度、湿度とも他の 2 校に比しやや低い値を示した。

旭川地域ではいずれも 2 月上旬の測定であり 3 校ともに窓構造は二重窓で、A 校では平均気温が $12 \sim 13^\circ\text{C}$ 、平均湿度が $18 \sim 37\%$ 、B 校では平均気温が $20 \sim 22^\circ\text{C}$ 、平均湿度が $8, 10\%$ 台であり、C 校では平均気温が $13 \sim 15^\circ\text{C}$ 、平均湿度が $27 \sim 38\%$ であった。B 校では室温が他校に比し高く、同測定期間の最低温度でも $17 \sim 21^\circ\text{C}$ と高かった。一方、湿度は最高値でも $13, 14\%$ であり、最低湿度は $6, 7\%$ と著しく低値を示した。

D. 考察

シックビル、シックハウス様の症状は、学校でも生じており、シックスクール症候群とも呼ばれる。本態としてはいずれもシックビルディング症候群と考えられる。これらの原因の一つには、省エネルギーを目的として建築物の気密化や外気取り入れの抑制が行われ、換気量が不足したことに伴う室内の空気質の悪化が関係しているものと考えられる。

児童のアレルギー疾患の増加など児童への健康影響がみられ、一つには学童が多く時間を過ごす学校環境も重要と考えられている。児童、生徒の健康保持増進を目的に学校保健活動がおこなわれる。学校保健法に基づいての学校環境衛生基準での環境衛生に関する検査項目として、毎学年 2 回の照度の測定、騒音の測定、教室等の温熱及び空気清浄の測定、そして毎学年 1 回測定にホルムアルデヒド及び揮発性有機化合物・ダニ又はダニアレルゲン、飲料水の検査などがある。

しかし自治体によっては公立学校などにおいて、こうした環境測定が必ずしも充分にはおこなわれておらず、児童の健康保持、環境衛生に反映されていない場合もみられる。

今回は寒冷地の札幌地域、旭川地域、東北地方の福島地域、そして南の北九州地域内の小学校において校舎の建築に関する調査、及び教室の空気質等の測定結果をまとめ検討した。

南北に連なる日本列島では各地域の気候風土は多様、多彩であり、建築面での温熱環境区分からは全国を気候特性により北海道をⅠ地域、東北地方などをⅡとⅢ地域とし、関東、関西などの多くの地域をⅣ地域、そして九州地方などの一部をⅤ地域、沖縄県をⅥ地域として全国を6つの地域に区分し地域特性を示している。

寒冷地の北海道の建物は、一般的に高断熱・高気密の構造であり、寒さに対して有効・効果的であり、国では以前より省エネルギーの面からも奨励している。これに対し東北地方の建物は、一般的に本州にみられる住宅の場合と同様の構造の住宅が多く、建物の質的な面での断熱性や気密性などに関する評価は低い傾向がみられる。暖房期には屋外への熱損失が大きく、室内温度は低く、外気温に影響されやすい状態になりやすい。

今回調査の学校の竣工年は札幌地域、旭川地域では平成年代の竣工もみられたが、福島地域と北九州地域では全て昭和年代の竣工であった。

換気方式については、札幌地域、旭川地域では第1種換気方式、第3種換気方式、換気孔等もみられたが、福島地域、北九州地域での普通教室はいずれも自然換気であった。

窓構造、窓ガラスについては、福島地域と北九州地域では全て一重窓で一重ガラスであり、札幌地域、旭川地域では二重窓が多くを占めていた。

冷暖房については札幌地域、旭川地域、福島地域では暖房のみであった。北九州地域では特別教室で電気による空調設備での個別冷

暖房であり、その他の教室では冷暖房装置はなく、補助暖房として石油開放型ストーブの使用がみられた。学校建築・設備においても地域差がみられた。

省エネルギーの面からも寒冷地では、二重窓など断熱・気密建築構造、暖房設備などが必須と考えられる。シックビル、シックハウス、あるいはシックスクールに関し、換気方式とともに室内の空気質が問題となる。自然換気の場合に窓などの開口部の気密性がサッシなどにより高いと、石油開放型ストーブなどを使用する際に、空気質の悪化、空気汚染が生じやすいことから、換気に十分に配慮する必要がある。また児童が多く集まり長時間にわたる場合、教室での授業などの場合にも空気質に配慮し、普段の環境測定が必須と考える。

今回測定した空気質、ホルムアルデヒド及び揮発性有機化合物において多くの物質の濃度は低かった。

アルデヒド類で検出されたのはホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、アセトンなどであり、最高濃度からはホルムアルデヒド、アセトンについては旭川地域が各々 $35\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $118\mu\text{g}/\text{m}^3$ と高かったが、いずれの測定値も指針値をはるかに下回っていた。

VOC類で検出率の高かったのはトルエン、p-ジクロロベンゼン、エチルベンゼン、キシレンなどであった。実測した最高濃度からはトルエンについては福島地域で $76.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ と高く、p-ジクロロベンゼンについては北九州地域で $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以上と高く、旭川地域ではエチルベンゼン、キシレンが各々 $8.8\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、 $21.9\mu\text{g}/\text{m}^3$ と高かったが、いずれも指針値をはるかに下回っていた。

旭川地域でアルデヒド類が他の地域に比し高めであり、VOC類では物質により地域で差がみられた。これには各地域で測定時期が異なり、学校の竣工年代や暖房状態、換気方式なども異なっていることも影響するものと思われる。また学校の授業・行事などの関係から学童の居ない週末に測定をおこなったが、