

学実習におけるホルムアルデヒド曝露について、保健医療科学、52(1),64~69,2003.

- ④ K. Tanaka, T. Maeda, T. Kobayashi, M. Tanaka, T. Fukushima: A survey of urinary hippuric acid and subjective symptoms among occupational low toluene exposed workers. Fukushima J. of Medical Science, 49(2), 129-139, 2003.

表1 家屋の形態、住まい方、室内環境について

項 目	件 数	%
・住居形態		
一戸建て	428	100.
集合住宅（アパート、マンション）	0	0
・持ち家ですか、借家ですか		
持ち家	427	99.77%
借家	1	0.23%
・構 造		
木造・木質系	349	81.54%
鉄筋コンクリート・鉄骨系・コンクリート系	77	17.99%
その他	2	0.47%
・部屋数		
2部屋以下	3	0.70%
3部屋	11	2.57%
4部屋	59	13.79%
5部屋以上	350	81.78%
無回答	5	1.17%
・住居に住む人の人数		
1～2人	107	25.00%
3人	101	23.60%
4人	119	27.80%
5人	55	12.85%
6人以上	46	10.75%
・何年前に入居されましたか		
～1年以内	68	15.89%
～2年以内	86	20.09%
～3年以内	91	21.26%
～4年以内	66	15.42%
～5年以内	79	18.46%
～6年以内	35	8.18%
～7年以内	1	0.23%
無回答	2	0.47%
・あなたの家は築後何年になりますか		
～1年以内	65	15.19%
～2年以内	85	19.86%
～3年以内	89	20.79%
～4年以内	69	16.12%
～5年以内	79	18.46%
～6年以内	35	8.18%
～7年以内	1	0.23%
無回答	5	1.17%
・入居後リフォームを行いましたか		
.していない	417	97.43%
.している	4	0.93%
無回答	7	1.64%
・「している」と回答された方にお伺いします何年前にリフォームしましたか		
～1年以内	2	50.00%
～2年以内	0	0.00%
～3年以内	1	25.00%
年以降	0	0.00%
無回答	1	25.00%

厚生労働科学研究補助金（がん予防等健康科学総合研究事業）  
 分担研究報告書

・近くに幹線道路（片側2車線以上）あるいはバイパス・高速道路		
面している	16	3.74%
50m以内	35	8.18%
50～100m	46	10.75%
100～300m	134	31.31%
近くにない	188	43.93%
無回答	9	2.10%
・屋内で芳香剤の使用		
使用している	140	32.71%
使用していない	282	65.89%
無回答	6	1.40%
・屋内で防虫剤（衣類防虫剤、ダニシートなど）等の使用		
使用していない	205	47.90%
使用している	223	52.10%
・住まいに結露の発生		
いいえ	209	48.83%
はい	219	51.17%
「はい」と回答された方にお伺いします結露は何処に生じましたか		
窓のみに生じた	200	91.32%
窓と壁の両方に生じた	12	5.48%
その他	6	2.74%
無回答	1	0.46%
・住まいにカビが生じたことはありますか		
いいえ	235	54.91%
はい	193	45.09%
「はい」と回答された方にお伺いしますカビが生えた場所はどこですか		
風呂場のみ	142	73.58%
風呂場以外	16	8.29%
風呂場と風呂場以外の両方	34	17.62%
無回答	1	0.52%
・住まいでカビくさいにおいを感じたことはありますか		
いいえ	393	91.82%
はい	34	7.94%
無回答	1	0.23%
・住まいの風呂場で、ぬれタオルはかわきにくいですか		
いいえ	357	83.41%
はい	70	16.36%
無回答	1	0.23%
・住まいで水漏れ（水道からの水漏れや雨漏り）がありますか		
いいえ	408	95.33%
はい	20	4.67%
・住まいの中でペットを飼っていますか		
いない	319	74.53%
いる	108	25.23%
無回答	1	0.23%
・「いる」と回答された方にお伺いします。飼っている動物		
犬	40	37.04%
猫	32	29.63%
ハムスター、ハツカネズミ	17	15.74%
その他	34	31.48%
・室内の換気に普段、注意していますか		
はい	354	82.71%
いいえ	68	15.89%
無回答	6	1.40%

厚生労働科学研究補助金（がん予防等健康科学総合研究事業）  
 分担研究報告書

・主にどのような室内の換気方法をおこなっていますか		
部屋の窓をよく開けている（天気の良い日は、ほぼ毎日）	195	45.56%
部屋の窓を時々開けている（2、3日に1回程度）	72	16.82%
換気孔・風抜き窓（換気用の小さな窓）を開けている	40	9.35%
換気扇を使用する	108	25.23%
換気はしていない	8	1.87%
無回答	5	1.17%
・強制換気装置（換気扇等）のついている部屋		
全室に換気装置がある	132	30.84%
台所	308	71.96%
洗面所・浴室	292	68.22%
居間・リビング	159	37.15%
客間	61	14.25%
寝室	76	17.76%
食堂・ダイニング	108	25.23%
書斎	19	4.44%
納戸	26	6.07%
子供部屋	43	10.05%
その他	56	13.08%
無回答	2	0.47%
・主に使用している部屋の強制換気装置（換気扇等）の使用状況		
部屋を使用している時は常時使用	171	39.95%
部屋を使用している時は時々使用（部屋にいる時間の半分程度）	82	19.16%
部屋を使用している時はたまに使用（部屋にいる時間の1/4程度）	97	22.66%
ほとんど使用しない	62	14.49%
無回答	16	3.74%
・住まいの壁の中や床下に（健康等を目的として）「炭」の使用		
使っていない	398	92.99%
使っている	27	6.31%
無回答	3	0.70%
・現在部屋の中に「炭」を置いていますか		
置いていない	289	67.52%
置いている	136	31.78%
無回答	3	0.70%
・いつから炭を置いてありますか		
～1年以内	63	46.32%
～2年以内	42	30.88%
～3年以内	18	13.24%
～4年以内	8	5.88%
～5年以内	3	2.21%
～6年以内	1	0.74%
無回答	1	0.74%

表2 家族の健康状態、現在の症状

項目	件数	%	件数	%	件数	%
目の刺激症状			以前からあった が悪くなった		新築後に生じた	
目がチカチカする、まぶしい、疲れやすい、熱くなる、乾く、涙が出る						
.ない	51	63.8%				
.時々ある(週に1回にみたない)	12	15.0%				
.いつもある(週に1回以上)	6	7.5%	2	2.50%	1	1.25%
目が疲れやすい						
.ない	53	66.3%				
.時々ある(週に1回にみたない)	8	10.0%				
.いつもある(週に1回以上)	9	11.3%	3	3.75%	2	2.50%
視力がおちた						
.ない	55	68.8%				
.時々ある(週に1回にみたない)	6	7.5%				
.いつもある(週に1回以上)	7	8.8%	1	1.25%	2	2.50%
鼻の症状						
鼻がムズムズする、鼻づまり、鼻水						
.ない	23	28.8%				
.時々ある(週に1回にみたない)	24	30.0%				
.いつもある(週に1回以上)	26	32.5%	2	2.50%	2	2.50%
においの症状						
臭いに敏感、臭いの感じかたがかわった						
.ない	61	76.3%				
.時々ある(週に1回にみたない)	3	3.8%				
.いつもある(週に1回以上)	3	3.8%	0	0.00%	1	1.25%
のどの刺激症状						
のどがヒリヒリする、痛い、かゆい、声がかすれる						
.ない	62	77.5%				
.時々ある(週に1回にみたない)	5	6.3%				
.いつもある(週に1回以上)	1	1.3%	0	0.00%	1	1.25%
のどの症状（その他）						
のどがつかえる						
.ない	64	80.0%				
.時々ある(週に1回にみたない)	2	2.5%				

厚生労働科学研究補助金（がん予防等健康科学総合研究事業）  
分担研究報告書

いつもある(週に1回以上)	2	2.5%	0	0.00%	1	1.25%
のどが乾く						
ない	56	70.0%				
時々ある(週に1回にみたない)	9	11.3%				
いつもある(週に1回以上)	1	1.3%	0	0.00%	1	1.25%
胸の症状						
咳込みやすい						
ない	53	66.3%				
時々ある(週に1回にみたない)	14	17.5%				
いつもある(週に1回以上)	1	1.3%	0	0.00%	0	0.00%
ヒューヒュー・ゼーゼーいう						
ない	61	76.3%				
時々ある(週に1回にみたない)	9	11.3%				
いつもある(週に1回以上)	1	1.3%	0	0.00%	0	0.00%
胸の症状(その他)						
タンがからむ						
ない	56	70.0%				
時々ある(週に1回にみたない)	11	13.8%				
いつもある(週に1回以上)	3	3.8%	0	0.00%	2	2.50%
皮膚症状						
顔や手・耳・体の皮膚がかゆい、チクチクする、赤い、はれる、乾く						
ない	29	36.3%				
時々ある(週に1回にみたない)	23	28.8%				
いつもある(週に1回以上)	18	22.5%	1	1.25%	1	1.25%
皮膚症状(その他)						
湿疹がある						
ない	37	46.3%				
時々ある(週に1回にみたない)	14	17.5%				
いつもある(週に1回以上)	19	23.8%	0	0.00%	2	2.50%
精神・神経症状						
頭痛がする、頭が重たい						
ない	54	67.5%				
時々ある(週に1回にみたない)	14	17.5%				
いつもある(週に1回以上)	1	1.3%	0	0.00%	0	0.00%
めまい						
ない	61	76.3%				

厚生労働科学研究補助金（がん予防等健康科学総合研究事業）  
分担研究報告書

時々ある(週に1回にみたない)	7	8.8%				
いつもある(週に1回以上)	0	0.0%	0	0.00%	0	0.00%
疲れやすい						
ない	48	60.0%				
時々ある(週に1回にみたない)	14	17.5%				
いつもある(週に1回以上)	8	10.0%	1	1.25%	1	1.25%
体がだるい						
ない	52	65.0%				
時々ある(週に1回にみたない)	13	16.3%				
いつもある(週に1回以上)	4	5.0%	0	0.00%	0	0.00%
集中力がない						
ない	54	67.5%				
時々ある(週に1回にみたない)	11	13.8%				
いつもある(週に1回以上)	3	3.8%	0	0.00%	0	0.00%
吐き気がする						
ない	66	82.5%				
時々ある(週に1回にみたない)	1	1.3%				
いつもある(週に1回以上)	1	1.3%	0	0.00%	0	0.00%
物忘れがひどい						
ない	51	63.8%				
時々ある(週に1回にみたない)	12	15.0%				
いつもある(週に1回以上)	3	3.8%	2	2.50%	0	0.00%
心理状態						
眠れない、夜中に目がさめ						
ない	52	65.0%				
時々ある(週に1回にみたない)	11	13.8%				
いつもある(週に1回以上)	5	6.3%	1	1.25%	1	1.25%
イライラする						
ない	53	66.3%				
時々ある(週に1回にみたない)	11	13.8%				
いつもある(週に1回以上)	4	5.0%	2	2.50%	0	0.00%
気分が沈んで憂鬱である						
ない	56	70.0%				
時々ある(週に1回にみたない)	9	11.3%				
いつもある(週に1回以上)	3	3.8%	1	1.25%	0	0.00%
何事にもおっくうである						
ない	50	62.5%				

厚生労働科学研究補助金（がん予防等健康科学総合研究事業）  
分担研究報告書

時々ある(週に1回にみたない)	15	18.8%				
いつもある(週に1回以上)	2	2.5%	0	0.00%	0	0.00%
心理状態						
寂しく泣きたい気持ちになる						
ない	62	77.5%				
時々ある(週に1回にみたない)	6	7.5%				
いつもある(週に1回以上)	0	0.0%	0	0.00%	0	0.00%
よく不安になる						
ない	56	70.0%				
時々ある(週に1回にみたない)	9	11.3%				
いつもある(週に1回以上)	3	3.8%	1	1.25%	1	1.25%
将来に希望が持てない						
ない	60	75.0%				
時々ある(週に1回にみたない)	5	6.3%				
いつもある(週に1回以上)	4	5.0%	0	0.00%	2	2.50%
孤独でさびしい気分になる						
ない	64	80.0%				
時々ある(週に1回にみたない)	3	3.8%				
いつもある(週に1回以上)	2	2.5%	0	0.00%	1	1.25%
筋肉・関節症状						
筋肉や関節がいたい、手足がしびれる、 手足がふるえる、脱力感がある						
ない	58	72.5%				
時々ある(週に1回にみたない)	9	11.3%				
いつもある(週に1回以上)	3	3.8%	1	1.25%	0	0.00%
消化器症状						
吐き気がある、腹痛がある、下痢する、便秘 する、胸やけがする、味がわかりにくい、口 内炎がある						
ない	53	66.3%				
時々ある(週に1回にみたない)	13	16.3%				
いつもある(週に1回以上)	4	5.0%	0	0.00%	0	0.00%
泌尿・生殖器症状						
生理痛、月経過多、陰部がかゆい						
ない	62	77.5%				
時々ある(週に1回にみたない)	5	6.3%				
いつもある(週に1回以上)	0	0.0%	0	0.00%	0	0.00%



厚生労働科学研究補助金（がん予防等健康科学総合研究事業）  
分担研究報告書

自律神経症状					
微熱がある、どうきがする、手足がほてる、 手足が冷える、 汗をかきやすい					
ない	58	72.5%			
時々ある(週に1回にみたない)	8	10.0%			
いつもある(週に1回以上)	3	3.8%	1	1.25%	0 0.00%

表3 症状と環境的要因との関連

	症状あり	症状なし	P 値	OR (95%信頼区間)
芳香剤 使用している	32	108	0.11	1.52 (0.42 - 2.52)
使用していない	46	236		
防虫剤 使用している	39	184	0.54	1.18 (0.73 - 1.92)
使用していない	41	164		
結露 あり	50	169	0.03	0.57 (0.34 - 0.93)
なし	30	179		
カビ あり	45	148	0.03	0.58 (0.35 - 0.94)
なし	35	200		
カビ臭さ あり	11	23	0.04	0.45 (0.21 - 0.96)
なし	69	324		
タオルの乾きにくさ（風呂場） あり	20	50	0.03	0.51 (0.28 - 0.91)
なし	60	297		
水漏れ あり	6	14	0.23	0.52 (0.19 - 1.39)
なし	74	334		
ペット 飼っている	23	85	0.48	0.8 (0.47 - 1.38)
飼っていない	57	262		
室内の換気 注意している	68	286	0.62	1.23 (0.61 - 2.48)

厚生労働科学研究補助金（がん予防等健康科学総合研究事業）  
分担研究報告書

注意していない	11	57		
炭（部屋の中） 置いている	34	102	0.03	1.76 (1.07 - 2.90)
置いていない	46	243		
家のおい 気になる	11	31	0.21	1.64 (0.79 - 3.42)
気にならない	68	314		
家の空気が汚れていると感じるか 感じる	11	20	0.02	2.65 (1.22 - 5.79)
感じない	68	328		
家具のおい 気になる	7	12	0.06	2.68 (1.02 - 7.03)
気にならない	73	335		
喫煙 あり	11	106	0.001	0.34 (0.17 - 0.68)
なし	61	201		
職場で危険物・化学物質の取り扱い ある	14	45	0.28	1.43 (0.74 - 2.77)
ない	62	285		

表4 アレルギー疾患について

項目	件数	%	以前から		新築後に発症	
あなたは、以前に何らかの病気で病院や診療 所に通ったことがありますか。						
アレルギー性鼻炎（花粉症）						
ない	238	55.6%				
以前はあったが今は通っていない	69	16.1%				
現在も治療中	30	7.0%	30	7.01%	0	0.00%
アトピー性皮膚炎						
ない	277	64.7%				
以前はあったが今は通っていない	18	4.2%				
現在も治療中	14	3.3%	13	3.04%	1	0.23%
アレルギー性結膜炎						
ない	275	64.3%				
以前はあったが今は通っていない	26	6.1%				
現在も治療中	3	0.7%	1	0.23%	1	0.23%

厚生労働科学研究補助金（がん予防等健康科学総合研究事業）  
分担研究報告書

気管支喘息						
ない	282	65.9%				
以前はあったが今は通っていない	15	3.5%				
現在も治療中	7	1.6%	5	1.17%	2	0.47%
その他のアレルギー						
ない	281	65.7%				
以前はあったが今は通っていない	11	2.6%				
現在も治療中	8	1.9%	5	1.17%	3	0.70%

表5 男女別の生活習慣

項 目	男性	357人	女性	68人
	件数	%	件数	%
あなたはタバコを吸いますか				
吸わない	206	57.70%	55	80.88%
以前吸っていた	45	12.61%	4	5.88%
吸う	106	29.69%	9	13.24%
「タバコを吸わない」・「以前吸っていた」方に 伺います。				
家の中で同居者がタバコを吸いますか。				
吸わない	156	43.70%	29	42.65%
以前に吸っていた	8	2.24%	2	2.94%
吸う	31	8.68%	17	25.00%
あなたは1週間を平均すると1日のうち何時 間くらい家の中で過ごしていますか				
8時間以下	27	7.56%	6	8.82%
8～12時間	112	31.37%	17	25.00%
12～16時間	128	35.85%	26	38.24%
16～20時間	39	10.92%	11	16.18%
20時間以上	47	13.17%	7	10.29%
睡眠時間は十分と感じますか				
はい	252	70.59%	42	61.76%
いいえ	104	29.13%	25	36.76%
運動（スポーツ）をどのくらいしますか				
ほぼ毎日	30	8.40%	7	10.29%
週2～4回	37	10.36%	7	10.29%
週1回程度	65	18.21%	9	13.24%

厚生労働科学研究補助金（がん予防等健康科学総合研究事業）  
分担研究報告書

月1回程度	26	7.28%	3	4.41%
ほとんどしていない	198	55.46%	41	60.29%
お酒をどのくらい飲みますか				
ほぼ毎日飲む	125	35.01%	8	11.76%
週3～5回	38	10.64%	7	10.29%
週1～2回	38	10.64%	11	16.18%
月1～2回	37	10.36%	6	8.82%
年1～10回	10	2.80%	7	10.29%
ほとんど飲まない	107	29.97%	29	42.65%
会社などでの労働時間(主婦は家事労働・ 学生は勉学とする)は平均どの位ですか？				
7時間以下	71	19.89%	21	30.88%
8時間	90	25.21%	18	26.47%
9時間	57	15.97%	8	11.76%
10時間	63	17.65%	16	23.53%
11時間以上	52	14.57%	2	2.94%
ストレスは多いですか				
少ないと思う	69	19.33%	12	17.65%
普通と思う	188	52.66%	29	42.65%
多いと思う	99	27.73%	27	39.71%
業務上で危険物や化学物質を取り扱うこと がありますか				
ない	287	80.39%	58	85.29%
ある	52	14.57%	7	10.29%
業務(学校)で粉じんさらされることはあ りますか				
ない	308	86.27%	62	91.18%
ある	24	6.72%	2	2.94%

## 日本とスウェーデンにおける住環境中空気汚染物質濃度の比較に関する研究

分担研究者 柴田英治 愛知医科大学医学部衛生学講座

### 研究要旨

日本の名古屋市内の住宅 37 戸とスウェーデンのウプサラ市内の住宅 27 戸を対象として、屋内外のホルムアルデヒド、二酸化窒素、塩素系揮発性有機化合物の各濃度を同一方法で調査した。ホルムアルデヒド、二酸化窒素、塩素系揮発性有機化合物の屋内外濃度は、四塩化炭素の屋外濃度以外は、いずれも名古屋がウプサラより有意に高かった ( $p < 0.01$ )。名古屋でのホルムアルデヒド濃度と二酸化窒素濃度は、鉄筋コンクリート造の住宅が木造住宅よりも、築後 10 年未満の住宅は築後 10 年以上の住宅よりも有意に高かった ( $p < 0.01$ )。開放型暖房器具を使用していた住宅の二酸化窒素濃度は、非開放型暖房器具を使用していた住宅より有意に高かった ( $p < 0.05$ )。さらに *p*-ジクロロベンゼンを含有する衣類防虫剤を使用していた住宅での *p*-ジクロロベンゼン屋内濃度は、そうでない住宅より有意に高かった ( $p < 0.01$ )。今回調査した物質の屋内外での汚染レベルは、名古屋とウプサラの間で顕著な違いがあった。名古屋での屋内発生源としては、揮発性有機化合物を発散する建材や内装材、開放型暖房器具の使用、*p*-ジクロロベンゼンを含む衣類防虫剤が考えられた。

### A. 研究目的

シックビル症候群の発生はビルでの室内空気質不良によって起因しており、住宅でも、シックビル症候群に関係する可能性がある要因が多数存在していることが報告されている (Engvall et al., 2001; Norbäck and Edling, 1991)。同時に多数の室内空気汚染物質がシックビル症候群を含む建物関連疾患に関係する可能性があることも報告されている (Craighead, 1995)。揮発性有機化合物とシックビル症候群の関連は、オフィスや学校などでのフィールド調査や曝露実験で明らかにされている (Norbäck et al., 1990a, 1990b; Brinke et al., 1998; Hodgson, 1992; Kamijima et al., 2002)。喘息とアレルギーの発生率が国によって異なることが、国際的な調査で明らかにされており、揮発性有機化合物濃度の違いがその原因のひとつとして考えられている (Janson et al., 2001; ISAAC steering committee, 1998)。気候や文化、社会経済要因、大気汚染の状況は国によって異なるので、揮発性有機化合物の曝露実態の国際的な調査が必要である。

屋内の揮発性有機化合物濃度は、屋外濃度より高いことが一般的である (Wallace, 1987; Hartwell et al., 1992; Otson et al., 1994; Matsumura, 1996)。しかし、著者らの知る限り、同一測定方法で多国間で調査比較した研究は、二酸化窒素以外ではほとんど見当たらなかった (Levy et al., 1998)。測定方法の違いは結果に影響を及ぼすので、同一方法で調査することが室内空気汚染実態の国際的な比較を行なうためには必要である。

今回、我々は、日本とスウェーデンの住宅内での主な揮発性有機化合物と二酸化窒素による汚染実態を明らかにするために、それらの空气中濃度を同一測定方法で調査した。この報告では、ホルムアルデヒドならびに二酸化窒素、クロロホルム、1,1,1-トリクロロエタン、四塩化炭素、トリクロロエチレン、テトラクロロエレン、*p*-ジクロロベンゼンの塩素系揮発性有機化合物を対象とした。クロロホルム、トリクロロエチレン、テトラクロロエレン、*p*-ジクロロベンゼンは、日本産業衛生学会では発がん物質第 2 群 B（証拠が比較的十分

ではないが、人間に対しておそらく発がん性があると考えられる物質）に分類されている。ホルムアルデヒドは、低濃度でも呼吸器に対して粘膜刺激性を有する反応性に富む揮発性物質で、人間に対しておそらく発がん性があると考えられているだけでなく、シックビル症候群に関係しているとされている。二酸化窒素は、車の排気ガスや屋内での燃焼器具を主な発生源とする普遍的な汚染物質で、呼吸器疾患の原因のひとつと考えられている。

## B. 研究方法

### 1. 調査期間および場所

調査時期は、名古屋では1998年の2月、ウプサラでは1998年の2月から5月であった。調査場所は、日本の名古屋とスウェーデンのウプサラである。名古屋は、日本で4番目の大都市で、その人口は約218万人である。名古屋は、四季のある温帯に位置しており、調査した2月の月間平均気温（湿度）は4.3℃（64%）であった。ウプサラは、人口約16万人のスウェーデン第4位の都市である。この都市は寒帯に位置しており、調査時期の平均気温（湿度）は、2月が0.4℃（83%）、3月が1.3℃（74%）、4月が3.8℃（71%）、5月が9.8℃（64%）であった。調査住宅数は、名古屋では37戸、ウプサラでは27戸であった。

住宅に関する情報は、居住者による自己記入式質問票と面談で得た。住宅の種類は、木造住宅と非木造住宅（鉄筋コンクリート造、鉄骨造、石造）に分類した。床の材質は、木、畳、その他（塩化ビニル、リノリウム）の3群に分類した。暖房器具は、密閉型暖房器具と開放型暖房器具に分類した。密閉型暖房器具とは、燃焼ガスを生じないもの（電気ストーブや温水暖房など）や燃焼ガスを直接屋外に排気する種類のものである。開放型暖房器具は、燃焼ガスを屋内に排出する種類のもので、非換気型の石油ストーブやガスストーブである。

### 2. サンプルング方法

ホルムアルデヒドと二酸化窒素は、トリエタノールアミンを含浸させたシリカゲルを充填した拡散型サンプラー（ホルムアルデヒド・二酸化窒素用パッシブガスチューブ、柴田科学）で捕集した。塩素系揮発性有機化合物は、活性炭を充填した拡散型サンプラー（有機溶媒用パッシブガスチューブ、柴田科学）で捕集した。サンプルング時間は原則として24時間で、在室時間が最も長いと考えられた寝室で行った。スウェーデンではたいてい寝室と居間は別室であったが、日本では寝室と居間が共用である場合が大部分であった。屋内のサンプルングは、部屋の中央部で床上1.2~1.5mの高さで行った。屋外のサンプルングは、各住宅で、屋内からの排気の影響を受けない場所であつた地上1.2~1.5mの高さで行った。

### 3. 分析方法

スウェーデンで使用されたサンプラーは日本に直ちに空輸された。ホルムアルデヒドと二酸化窒素は蒸留水で抽出した後、吸光光度法（4-アミノ-3-ヒドラジノ-5-メルカプト-1,2,4-トリアゾール法ならびにスルファニルアミド法）で分析した。塩素系揮発性有機化合物は、トルエンで抽出した後、電子捕獲型検出器（ECD）付きガスクロマトグラフ（GC-7A、島津製作所）で分析した。ガスクロマトグラフ分析条件は以下のとおりである。  
*p*-ジクロロベンゼン カラム：10%PEG20M（長さ3.1m×内径3.2mm）、カラム温度：180℃、注入部温度：200℃、検出部温度：220℃、キャリアーガス：高純度窒素ガス、40ml/分  
他の塩素系揮発性有機化合物 カラム：20% Silicone DC550（長さ3.1m×内径3.2mm）、カラム温度：70℃、注入部温度：180℃、検出部温度：220℃キャリアーガス：高純度窒素ガス、40ml/分

分析は日本の同一研究者が全て行った。

### 4. 統計学的方法

ホルムアルデヒド、二酸化窒素および塩素系揮

発性有機化合物の各濃度は、いずれも対数正規分布型に近かったので、平均値は幾何平均値で算出した。幾何平均値を算出する時、検出限界値未満値は検出限界値の2分の1として取り扱った。調査場所別、住宅の環境要因別の平均値の差の検定は、Wilcoxon 順位和検定法で行った。

## 5. 分析方法の信頼性

表1に検出限界値、再現性試験およびサンプラーの保存性試験の結果を示した。検出限界値はサンプリング時間を24時間として算出した。再現性試験は、サンプラー5個を屋内空气中に24時間放置した後、上記の方法で分析した。ホルムアルデヒド、二酸化窒素および塩素系揮発性有機化合物の変動係数は3.6%（二酸化窒素）から8.4%（クロロホルム）であった。保存性試験は、サンプラー10個を屋内空气中に24時間放置した後、半数のサンプラーはサンプリング終了直後に分析した。残りのサンプラー5個は、4℃で14日間保存した後、分析した。サンプリング直後の測定値に対する14日後の測定値の比は、0.94（クロロホルム）から1.10（トリクロロエチレン）の範囲であった。

## C. 研究結果

### 1. 住居の属性

表2は、名古屋とウブサラでの調査住宅の属性を示したものである。両都市ともに戸建住宅が過半数を占めており、両都市とも59%が木造住宅であった。平均築後年数は、名古屋では29.3年、ウブサラでは36.7年であった。築後年数10年未満の住宅が名古屋では10戸あったが、ウブサラでは全て10年以上であった。

調査した部屋の平均床面積は、名古屋では14.6m<sup>2</sup>、ウブサラでは11.2m<sup>2</sup>であった。床の材質は、名古屋では畳、ウブサラでは塩ビボードあるいはリノリウムが最も多かった。ホルムアルデヒドを含む接着剤を使用した合板製家具は、名古屋では76%の住宅で使用されていたが、ウブサラでは皆無であった。測定期間における調査室内での喫煙

は、名古屋では41%の住宅であったが、ウブサラでは皆無であった。

名古屋では37戸中11戸は密閉型暖房器具（エアコンディショナーや電気ストーブ）を、残り26戸は開放型暖房器具を使用していた。セントラルヒーティングを使用していた住宅はなかった。一方、ウブサラでは調査住宅全部で地域暖房システムによる温水を利用したセントラルヒーティングを使用していた。

*p*-ジクロロベンゼンを含む衣類防虫剤は、名古屋では43%の住宅で使用していたが、ウブサラでは皆無であった。

### 2. 空気中濃度

表3は、名古屋とウブサラでのホルムアルデヒド、二酸化窒素および塩素系揮発性有機化合物の空気中濃度をまとめたものである。屋内空气中濃度の幾何平均値は、調査物質8物質全部で名古屋がウブサラより有意に高かった（ $p < 0.01$ ）。ホルムアルデヒドならびに二酸化窒素の最高値は、名古屋ではそれぞれ73μg/m<sup>3</sup>と369μg/m<sup>3</sup>であったのに対して、ウブサラでは19μg/m<sup>3</sup>と11μg/m<sup>3</sup>であった。さらに、ホルムアルデヒド、二酸化窒素ならびに四塩化炭素以外の塩素系揮発性有機化合物の屋外濃度の幾何平均値は、名古屋がウブサラより有意に高かった（ $p < 0.01$ ）。名古屋では、調査物質全部で屋内濃度が屋外濃度より有意に高かった（ $p < 0.01$ ）。ウブサラでは、ホルムアルデヒド、1,1,1-トリクロロエタン、テトラクロロエチレンならびに*p*-ジクロロベンゼンの屋内濃度の幾何平均値が、屋外濃度より有意に高かった（ $p < 0.01$ 、テトラクロロエチレン： $p < 0.05$ ）。塩素系以外の揮発性有機化合物は、活性炭を充填した拡散型サンプラー（ORSA 5、Dräger）を使用してサンプリングして、スウェーデンでガスクロマトグラフ質量分析計で分析した。この結果は、別の機会に報告する予定である。

### 3. ホルムアルデヒドの屋内濃度と屋内環境要因の関連

表4は、屋内環境要因とホルムアルデヒド濃度の間の関連をまとめたものである。名古屋では、非木造住宅の屋内濃度の幾何平均値は木造住宅より有意に高く ( $p < 0.01$ )、築後10年未満の住宅の屋内濃度の幾何平均値は10年以上の住宅より有意に高かった ( $p < 0.01$ )。一方、ウブサラでは、戸建住宅の屋内濃度の幾何平均値は集合住宅より有意に高かった ( $p < 0.05$ )。名古屋でのホルムアルデヒド濃度の最高値は  $73 \mu\text{g}/\text{m}^3$  で、開放型の石油ストーブを使用していた築後2年の鉄筋コンクリート造の戸建住宅でみられた。ウブサラでの最高値は  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  で、築後24年の木造の戸建住宅でみられた。

図2は、名古屋におけるホルムアルデヒド屋内濃度（対数変換値）と築後年数の関係を示したもので、両者の間には有意な負の相関関係があった ( $r = -0.44$ ,  $p < 0.01$ )。ウブサラでは、ホルムアルデヒド屋内濃度（対数変換値）と築後年数の間には有意な相関関係はなかった ( $r = 0.19$ )。

#### 4. 二酸化窒素の屋内濃度と屋内環境要因の関連

表5は、屋内環境要因と二酸化窒素濃度の間の関連をまとめたものである。開放型暖房器具を使用していた住宅での二酸化窒素濃度の幾何平均値は、密閉型暖房器具を使用していた住宅より有意に高かった ( $p < 0.05$ )。さらに、非木造住宅の二酸化窒素濃度は木造住宅より有意に高く ( $p < 0.01$ )、築後10年未満の新しい住宅は築後11年以上の古い住宅より有意に高かった ( $p < 0.01$ )。名古屋での二酸化窒素濃度の最高値は  $369 \mu\text{g}/\text{m}^3$  で、開放型の石油ストーブを使用していた築後8年の鉄筋コンクリート造の戸建住宅でみられた。ウブサラでの最高値は  $11.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  で、幹線道路近くの築後75年の石造の戸建住宅でみられた。両都市で密閉型暖房器具を使用していた住宅の間で二酸化窒素濃度を比較すると、名古屋はウブサラより有意に高濃度であった ( $70.5$  vs.  $6.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ( $p < 0.01$ )。ウブサラでは二酸化窒素濃度と他の屋内環境要因の間に有意な関係はなかった。

#### 5. *p*-ジクロロベンゼンの屋内濃度と屋内環境要因の関連

表6は、屋内環境要因と*p*-ジクロロベンゼン濃度の間の関連をまとめたものである。名古屋では、*p*-ジクロロベンゼンを含む衣類防虫剤を使用していた住宅の屋内濃度の幾何平均値はそうでない住宅より有意に高かった ( $p < 0.01$ )。*p*-ジクロロベンゼンを含む衣類防虫剤を使用していた住宅での屋内濃度の幾何平均値は  $85.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であり、その範囲は  $9.9 \sim 3460 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であった。一方、名古屋で、*p*-ジクロロベンゼンを含む衣類防虫剤を使用していなかった住宅での屋内濃度の幾何平均値は  $5.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であり、その範囲は  $3.9 \sim 7.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であった。ウブサラでは、*p*-ジクロロベンゼンを含む衣類防虫剤を使用していた住宅は皆無で、その屋内濃度 ( $0.4 \sim 3.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) は屋外濃度 ( $0.4 \sim 2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) と同程度で、名古屋より非常に低濃度であった。

名古屋およびウブサラともに、*p*-ジクロロベンゼン以外の塩素系揮発性有機化合物の各濃度と屋内環境要因の間には有意な関係はなかった。

## D. 考 察

### 1. 空気中ホルムアルデヒド濃度

ホルムアルデヒドを含む建材や家具がホルムアルデヒドの主な屋内発生源であることはよく知られている(Pickreil et al., 1983; Matthews et al., 1986)。日本全国の住宅322戸を対象としたホルムアルデヒドの屋内および屋外濃度の中央値は、それぞれ  $52.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  と  $7.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であったと報告されている(National Institute of Health Sciences of Japan, 1998)。今回、名古屋での屋内濃度の幾何平均値は  $17.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  で、全国調査と比較すると低濃度であったが、屋外濃度は  $5.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  で同程度であった。また、ホルムアルデヒドの屋内濃度は築後年数に比例して減少することが知られているが、今回の調査での同様な結果が示された。また、ホルムアルデヒドの屋内濃度は、気温と湿度の影響を受けており、夏に高く、冬に低くなるという季節的な変動があるとされている



(Saito et al., 1999)。築後半年未満の住宅の調査住宅に占める割合は、前述の全国調査では67%であったが、今回の調査では3%にすぎなかった。また、前述の全国調査は年間を通して行われていたが、今回は主に冬季に限られていた。今回の調査結果と前述の全国調査結果との違いは、新築住宅の割合と調査時期の違いが関係している可能性が考えられる。

ウプサラの屋内および屋外濃度は、いずれも名古屋より有意に低かった。今回の共同研究者である Norbäck (1995a) は、別の調査でのウプサラの住宅内のホルムアルデヒド濃度の平均値は  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であったと報告しており、今回の結果より多少高濃度であった。屋内濃度と屋外濃度の差は、名古屋では  $9.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であったのに対して、ウプサラでは  $4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であった。これは、住宅の築後年数や発生源の違い、換気率の違いに起因していると考えられた。

今回の調査で、ホルムアルデヒドの屋外濃度も、名古屋がウプサラより有意に高いことが示された。これは、両都市での大気汚染の違いを反映していると考えられた。名古屋は日本でも有数の大都市であるので、ホルムアルデヒドによる大気汚染の程度もウプサラより名古屋が著しいことが考えられる。屋外での高濃度のホルムアルデヒド濃度は、ホルムアルデヒドを含む建材の使用に加えて、屋内濃度に影響を及ぼしている可能性がある。

## 2. 空気中二酸化窒素濃度

Levy ら (1998) は、13ヶ国 17都市の住宅における二酸化窒素の屋内濃度を調査した結果、屋内濃度の平均値は都市によって大きく異なっており、最小値はフィンランドの Kuopio の  $10.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、最大値は韓国のソウルの  $80.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であった。今回の調査で、屋内濃度の幾何平均値は、名古屋 ( $98.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) とウプサラ ( $6.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) の間で大きな違いがあった。この結果は、国によって二酸化窒素の屋内濃度が大きく異なっていたとする前述の報告と一致していた。

屋内の二酸化窒素は、屋外の発生源（自動車の

排気ガスや工場からの排煙）と屋内の発生源（各種の燃焼ガス）に由来している。名古屋の屋外濃度は、ウプサラのそれと比較して8倍高濃度であったことは、名古屋での二酸化窒素による大気汚染はウプサラより著しいことを示唆している。このことは、名古屋がウプサラよりも規模が大きいため自動車排気ガスなどによる屋外での二酸化窒素発生量が多いことで説明できる。日本での燃焼型暖房器具は二酸化窒素を発生することが報告されている (Yamanaka et al., 1979)。名古屋における開放型暖房器具の使用が、二酸化窒素の屋内濃度の著しい増加に関係していることを示された。ガスオーブンは二酸化窒素の主要な屋内発生源のひとつである。スウェーデンでは調理には電気オーブンが使用されるのに対して、日本ではガスオーブンが主な調理器具である。名古屋で密閉型暖房器具を使用していた住宅での屋内濃度と屋外濃度の差は  $13.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  であったのに対して、ウプサラでは屋内濃度と屋外濃度の間にはほとんど違いがなかった。このことは、ウプサラの住宅では屋内に二酸化窒素の大きな発生源がないことを示しており、今回調査したウプサラの住宅ではガス調理器具や開放型暖房器具が使用されておらず、屋内での喫煙もないことと一致していた。名古屋で二酸化窒素濃度が高かったことは、開放型暖房器具やガス調理器具の使用、著しい大気汚染によって説明できる。

## 3. 空気中塩素系揮発性有機化合物濃度

表7は、塩素系揮発性有機化合物の空気中濃度の報告をまとめたものである。屋内ならびに屋外濃度は国や地域によって著しい違いがみられた。名古屋は高濃度グループに属していたのに対して、ウプサラは低濃度グループに属していた。両都市ともに塩素系揮発性有機化合物の屋内濃度は屋外濃度を上回っており、屋内に塩素系揮発性有機化合物の発生源があることを示した報告 (Pellizzari et al., 1986; Wallace, 1987; Harwell et al., 1992; Tamakawa et al., 1993; Olansandan et al., 1998; Ministry of Health and Welfare, 1999) と

一致していた。

日本では、1992年に染料や農薬、消臭剤などとして27,630トンの

p

-ジクロロベンゼンが生産された（Kagaku-Kogyo-Nippo, 1994）。神奈川県下の住宅内での

p

-ジクロロベンゼン濃度は、264から12,000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ で、

p

-ジクロロベンゼン濃度が他の塩素系クロルベンゼンより高濃度であった。その原因として、

p

-ジクロロベンゼンを含む衣類防虫剤を推定していた（Suzuki et al., 1986）。今回、名古屋で

p

-ジクロロベンゼンを含む衣類防虫剤を使用していた住宅の屋内濃度の幾何平均値はそうでない住宅の約17倍であったのに対して、

p

-ジクロロベンゼンを含む衣類防虫剤を使用していなかったウブサラでの屋内濃度の幾何平均値は非常に低く、屋外濃度と同程度であった。今回の結果は、

p

-ジクロロベンゼンを含む衣類防虫剤が名古屋での住宅の主要な発生源であることを明らかにした。

四塩化炭素以外の塩素系揮発性有機化合物の屋内濃度ならびに屋外濃度は、いずれも名古屋とウブサラの間で有意な濃度の違いがみられたが、両都市ともに内部発生源を見出すことはできなかった。名古屋のような人口が多くかつ高度に工業化した都市では、工場や住宅から大量の塩素系揮発性有機化合物が放散されていることが予想される。今回の結果は、塩素系揮発性有機化合物の屋外濃度が室内空気質に影響を与える可能性があることを示している。

#### 4. 今回の研究の限界

今回、住宅の室内空気汚染の特徴が名古屋とウブサラの間で顕著な違いがあることを示したが、結果の解釈には制約がある。この調査では住宅は無作為に選択されていないことや調査住宅数が少ないことから、今回の結果を両都市での住宅全体の平均的な汚染状況とすることはできない。また、調査した住宅は、化学物質による健康影響が疑われたり、室内空気汚染の状況に基づいて選択されていないだけでなく、ホルムアルデヒドや二酸化窒素、塩素系揮発性有機化合物の屋内外での発

生源は、国や地域、社会経済条件によって異なっていることが考えられる。このような制約にもかかわらず、合板製家具や開放型暖房器具、

p

-ジクロロベンゼンを含む衣類防虫剤が屋内空気汚染に影響を及ぼしていたことのように、この研究で得られた知見は他の多くの報告と一致している。同時に日本とスウェーデンの間では、都市部の住宅でのホルムアルデヒドや二酸化窒素、塩素系揮発性有機化合物の屋内および屋外濃度に著しい違いがあることを明らかにした。

## E. 結 論

本研究は従来報告されてきた、合板からのホルムアルデヒドの発生、非清浄型暖房の使用にともなう二酸化窒素の発生、パラジクロロベンゼン含有防虫剤使用による室内パラジクロロベンゼン濃度の上昇など日本の住宅の室内空気の特徴をあらためて明らかにするとともに、日本、スウェーデン両国の都市部の室内外のホルムアルデヒド、二酸化窒素、塩素系揮発性化学物質濃度の違いを明らかにした。

## 文 献

Brinke, J. T., Selvin, S., Hodgson, A. T., Fick, W. J., Mendell, M. J., Koshland, C. P., and Daisey, J. M. (1998). Development of new volatile organic compound (VOC) exposure metrics and their relationship to "sick building syndrome" symptoms. *Indoor Air* 8, 140-152.

Craighead, J. E. (1995). Indoor air quality and pollution. In "Pathology of Environmental and Occupational Disease" pp. 29-39 Mosby-Year Book, St. Louis.

Engvall, K., Norrby, C., and Norbäck, D. (2001). Sick building syndrome in the relation to building dampness in multi-family residential buildings in Stockholm. *Arch. Occup. Environ. Health* 74, 270-278.

Hartwell, T. D., Perritt, R. L., Pellizzari, E. D., and Michael, L. C. (1992). Results from the 1987 total exposure assessment methodology (team) study in Southern California. *Atmos. Environ.* 26A, 1519-1527.

Hodgson, M. (1992). Field studies on the sick building syndrome. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 641, 21-36.

The International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC) Steering Committee (1998). Worldwide variation on prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinoconjunctivitis, and atopic eczema: ISAAC. *Lancet* 351, 1225-1232.

Janson, C., Anto, J., Burney, P., Chinn, S., de Marco, R., Heinrich, J., Jarvis, D., Kuenzli, N., Leynaert, B., Luczynska, C., Neukirch, F., Svanes, C., Sunyer, J., and Wjst, M. (2001). The European community respiratory health survey: what are the main results so far? *Eur. Respir. J.* 18, 598-611.

The Japan Society for Occupational Health (2002). Recommendation of occupational exposure limits (2002-2003). *J. Occup. Health* 44, 267-282.

Kagaku-Kogyou-Nippo (The Chemical Daily Co.). (1994). Handbook on 12394 chemical products. pp. 747-748. Kagaku-Kogyou-Nippo. Tokyo. (in Japanese)

Kamijima, M., Sakai, K., Shibata, E., Yamada, T., Itohara, S., Ohno, H., Hayakawa, R., Sugiura, M., Yamaki, K., and Takeuchi, Y. (2002). 2-Ethyl-1-hexanol in indoor air as possible cause of sick building symptoms. *J.*

*Occup. Health* 44, 186-191.

Levy, J. I., Lee, K., Spengler, J. D., and Yanagisawa, Y. (1998). Impact of residential nitrogen dioxide exposure on personal exposure: An international study. *J. Air & Waste Manage. Assoc.* 48, 553-560.

Matsumura, T. (1996). Indoor air pollution by chemical substances: VOC and formaldehyde. *Journal of Japan Society for Atmospheric Environment* 31, A154-A164. (in Japanese)

Matthews, T. G., Tromberg, B. J., and Ear, H. (1986). Surface emission monitoring of pressed-wood products containing urea-formaldehyde resins. *Environ. Int.* 12, 301-309.

The Ministry of Health and Welfare of Japan. (1999). Report of indoor air pollution by volatile organic compounds in dwellings in Japan. (in Japanese)

The National Institute of Health Sciences of Japan. (1998). Estimation of formaldehyde exposure in dwellings in Japan. (in Japanese)

Norbäck, D., Michel, I., and Widström, J. (1990a). Indoor air quality and personal factors related to the sick building syndrome. *Scand. J. Work Environ. Health* 16, 121-128.

Norbäck, D., Torgen, M., and Edling, C. (1990b). Volatile organic compounds, respirable dust, and personal factors related to prevalence and incidence of sick building syndrome in primary schools. *Br. J. Ind. Med.* 47, 733-741.

Norbäck, D., and Edling, C. (1991).

Environmental, occupational, and personal factors related to the prevalence of sick building syndrome in the general population. *Br. J. Ind. Med.* 48, 451-462.

Olansandan, Amagai, T., and Matsushita, H. (1998). Exposure assessment study for volatile organohalogen compounds: Personal exposures, indoor and outdoor air concentrations in Shizuoka, Japan. *Journal of Environmental Chemistry* 8, 47-62. (in Japanese)

Otson, R., Fellin, P., and Tran, Q. (1994). VOCs in representative Canadian residences. *Atmos. Environ.* 28, 3563-3569.

Pellizzari, E. D., Hartwell, T. D., Perritt, R. L., Sparacino, C. M., Sheldon, L. S., Zelon, H. S., and Whitmore, R. W. (1986). Comparison of indoor and outdoor residential levels of volatile organic chemicals in five U.S. geographical areas. *Environ. Int.* 12, 619-623.

Pickreil, J. A., Mokier, B. V., and Griffis, L. C. (1983). Formaldehyde release rate coefficients from selected consumer products. *Environ. Sci. Technol.* 17, 753-757.

Saito, I., Seto, H., Tada, T., Nagashima, C., Takeuchi, M., and Tsuchiya, Y. (1999). The relationship between concentration of indoor air chemicals and the age of homes. *Annual Report of Tokyo Metropolitan Research Laboratory of Public Health* 50, 235-239. (in Japanese)

Suzuki, S., Nagano, S., and Satoh, S. (1986). Measurement of chlorobenzenes concentration

in outdoor and indoor air at Kanagawa prefecture. *Journal of Japan Society for Atmospheric Environment* 21, 419-427. (in Japanese)

Tamakawa, K., Kuchida, K., Tohkai, K., Chiba, M., Katoh, T., and Seki, T. (1993). Estimation of respiratory personal exposure of volatile halogenated compounds by passive gas tube method. *Journal of Environmental Chemistry* 3, 709-716. (in Japanese)

Wallace, L. A. (1987). The TEAM study: Personal exposures to toxic substances in air, drinking water, and breath of 400 residents of New jersey, North Carolina, and North Dakota. *Environ. Res.* 43, 290-307.

Yamanaka, S., Hirose, H., and Takada, S. (1979). Nitrogen oxides emissions from domestic kerosene-fired and gas-fired appliances. *Atmos. Environ.* 13, 407-412