パッシブサンプラーを用いた換気量測定法に関する研究

住宅内空気汚染濃度の実態と換気量予測方法について

A STUDY ON VENTILATION MEASUREMENT METHOD
USING PASSIVE SAMPLERSOn indoor air pollution in new houses and the estimation
method of ventilation

石川 寛*, 吉澤 晋**, 松村年郎***, 池田耕一****

*Hiroshi ISHIKAWA, Susumu YOSHIZAWA, Toshiro MATSUMURA
and Koichi IKEDA*

Since the indoor air pollutant concentrations are related to the room ventilation rate, it is very important to secure reliable measurement methods of ventilation rate in the state of actual habitation. This is to report on the results of ventilation measurements in six newly built houses along with the concentration of several pollutants emitted indoors and on a proposition of measurement method of average ventilation rate for a relatively long period using passive samplers. This results show that the difference between the estimated ventilation rates and the measured ones are not yet small and more improvements are necessary.

Keywords : ventilation measurement method, emission rate, passive sampler, indoor air pollution, new house, insecticide

換気量測定法, 発生量, パッシブサンプラー, 室内空気汚染, 新築住宅, 殺虫剤

1. はじめに

現在の室内汚染の問題においては構造体系の多様化や生活レベルの向上と共に, 室内から発生する汚染物質も多種なものになってきており, 人体への被曝量とその希釈に必要な換気量の把握は不可欠なものとなっている。

汚染被曝に関していえば, 以前にはほとんど問題とらなかったような建材, 家具, カーペットなどから発生する化学物質や防虫薬品等の各種汚染物質が換気量の減少などの影響から室内空気中で検出されるようになっており, 社会的な問題として取り上げられているが, それら汚染物質の実態把握は十分ではない。

一般家庭のように, 人が長時間在室する室内環境においては微量な汚染物質であっても長期間の曝露が人体に及ぼす影響が問題となってくるので, 長期間の汚染被曝に関連する希釈特性として換気量の把握の重要性は極めて大である。

しかし換気量の測定には一般にガス濃度計, トレーサ

、風速計, 圧力計等の機器が必要なうえ, 1回の測定にかなりの時間とコスト, 人手が必要となる。

換気量の測定法には大きく分けてJIS A 1406¹⁾に定められる炭酸ガスを用いた濃度減衰法をはじめとした各種トレーサガスを用いるトレーサガス法, 開口部や空調ダクトの断面積と流速から計測する断面積流速法, 人為的に室内外に圧力差を生じさせ圧力差と漏出(入)量の関係を求める気密度測定法の3つがある²⁾が, これらの方法で得られる換気量はいずれも空間のある特定のポイントでの換気量であるか, 短時間で得られる瞬時的な値である場合が多い。

しかし, 長期的被曝を考えるうえでは, 生活様式を含めた多数の要因によって変動する換気量をカバーするような長期間の平均換気量を知ることが必要であり, かつ非専門家の利用できるような簡易性が要求される。

現在, 長期間の平均換気量をパッシブ型で測定する方法としてDietzら³⁾によって開発され, 柳沢ら⁴⁾が実用化を

* 榊森村設計・工修

** 東京理科大学工学部建築学科 教授・工博

*** 国立衛生試験所 環境衛生化学部第1室長
・工博

**** 国立公衆衛生院 建築衛生学部長・工博

P.T.Morimura & Associates, M. Eng.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering Science Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

Chief, Indoor Air Section, Division of Environmental Chemistry, National Institute of Hygienic Sciences, Dr. Eng.

Head, Dept. of Architectural Hygiene Engineering and Housing National Institute of Public Health, Dr. Eng.

進めているPFT法（Perfluorocarbon Tracer）があるが、測定法の簡易さに反して分析が難しく、また室容積の算出が必要があることから一般建物内での実用性には問題を残している。

本研究では一般の住宅において換気回数の測定を行うとともに各種の室内汚染物質の濃度測定を行い、現在の住環境における室内汚染状況の実態を求めるとともに、室内汚染物質の発生量を求めその発生量を基とした簡易型の長期平均の換気量予測方法を提案する。

2. 換気量予測の考え方

今回提案する換気量予測方法は、以下の如くである。

室内において汚染源の一樣拡散定常が仮定出来るとすると室内濃度 C_i は

$$C_i = C_o + \frac{M}{Q} \quad (1)$$

C_i : 室内濃度(mg/m³) M : 室内発生量(mg/m³/h)

C_o : 外気濃度(mg/m³) Q : 換気回数(1/h)

とおける。この状態で換気量を測定しながら C_i 、 C_o を測定すれば、その期間における発生量 M が求まる。

ついでこの発生量があまり変化しない期間で平均濃度 $\overline{C_i}$ 、 $\overline{C_o}$ を求めれば、この期間における平均換気量 $\overline{Q}$ が算出できる。

$$\overline{Q} = \frac{M}{(\overline{C_i} - \overline{C_o})} \quad (2)$$

この方法で長期間における平均発生量 $\overline{M}$ を求めれば、発生量 $\overline{M}$ を定数とする未知数 $\overline{C_i}$ 、 $\overline{C_o}$ の、長期間における生活様式を含めた（変動する換気量を長期間の測定で平均化するような）換気量 $\overline{Q}$ の予測式が導き出せることになる。

また、この方法で換気量を予測するにあたり、未知数である $\overline{C_i}$ 、 $\overline{C_o}$ の濃度をパッシブサンプラーで測定すれば

①比較的安価で測定できる

②家庭内で、家人によって取り扱える

③家庭内で使用して騒音をはじめとして、生活の妨げにならない

④あらゆる面で安全である

⑤生活変動が吸収できるだけの長期間の平均値が測定出来ること

といった内容を満たし、さらに多数のポイントでの測定が可能になる。

3. 換気回数と室内汚染物質の測定

前章の予測を行うためには、室内から発生する物質の発生量を知る必要があるが、そのためには、まず換気量の測定を行うと同時に室内中のある物質の濃度測定を行わなければならない。

この章では、パッシブサンプラーを用いたホルムアルデヒド（以下HCHO）、二酸化窒素（以下NO₂）、ラドンの長期間測定をはじめ、パラジクロロベンゼン（以下p-DCB）、有機リン系物質といった測定例の少ない殺虫剤関係の汚染物質の濃度実態の把握を行うとともに各物質の発生量を算出した。

3. 1 測定対象住宅

測定対象とした建物は、表1に示すような都内近郊に建てられた1993年4月の時点で築0～10ヶ月の新築戸建住宅であり、各住宅の構造は木造3軒、RC造1軒、複合構造（RC・S・木造）1軒、ALCプレファブ造1軒となっている。

また換気回数と汚染物質の両測定を行う各住宅の居間では汚染物質の発生量に影響を及ぼすと思われる

①床仕上げ材、壁仕上げ材の種類

②空間的特徴（面積、気積、形状）

③燃焼器具の使用がある台所の位置との関連

の把握を重要視した。それらの事項を表2に示すが、各住宅の仕上げ材をみると6軒の住宅とも床はフローリング仕上げであるがS a 邸はその上にカーペットタイルを敷いている。

壁材においてはビニールクロス張りが主体となっているがB 邸はコンクリート打ち放しの部分が多くを占めており、O 邸においてはシナベニヤとビニールクロスが半々程度の割合で仕上げられている。

空間的にはT 邸、S a 邸、N 邸は比較的単純な（立方型）室内形状であるが、S i 邸、B 邸、O 邸はスキップフロア形式（S i 邸）であったり吹き抜けがあったり（B 邸、O 邸）とやや複雑な形状をしている。

居間と台所との配置は、T 邸だけ別階に配置されているが他の住宅は居間と台所が一体型になっている。

表1 各住宅概要

場所	構造	築月	家族構成 数（在住者）	喫煙 者	延床面 積(m ²)
T 邸 東京 世田谷	複合構造3階建(地下RC造, 1階S造, 2, 3階木造)	10	3人	なし	200
S i 邸 東京 国分寺	木造2階建て(屋階あり)	0	7人 子供5人	なし	99
S a 邸 東京 世田谷	木造2階建て(屋階あり)	3	6人 子供2人	なし	197
N 邸 茨城 取手	ALCプレファブ造2階建て	4	3人 子供1人	なし	140
B 邸 東京 小平	RC造3階建て	0	4人 子供2人	1人	79
O 邸 埼玉 上尾	木造2階建て(屋階あり)	0	4人 子供2人	なし	120

表2 各住宅居間の概要

	面積(m ²)	床仕上げ	内壁仕上げ	備考
T邸	30.78	フローリング	ビニールクロス	全室完全機械空調 台所と居間は別階
S i 邸	19.44	フローリング	ビニールクロス	上下階はスキップフロアで間 仕切りのない連続空間
S a 邸	36.45	カーベック トタイル	ビニールクロス	天井高が高い
N邸	16.20	フローリング	ビニールクロス	台所と一体型であるが各室を 区切る間仕切壁の面積率は大
B邸	23.47	フローリング	コンクリート打ち放し(約5.5m ²)	上層への吹き抜けあり
O邸	36.45	フローリング	ビニールクロスと合板	し字型平面で上層への吹き抜 けあり(約6.5m ²)

3. 2 測定概要

表3に示すように各住宅の居間で汚染物質の発生量を求めるために換気回数の測定と、8種類の室内汚染物質の濃度測定を行った。また、同時に台所、寝室、納戸、外気等での汚染濃度実態の調査も行った。

表3 測定概要

	HCHO	NO ₂	ラドン	p-DCB	クロルピリホス	クロルピリホスメチル	ダイアジノン	スミチオン	換気回数
T邸	○	○	○	○	○	○	○	○	○
S i 邸	○	○	○	○	○	○	○	○	○
S a 邸	○	○	-	-	○	○	○	○	○
N邸	○	○	-	-	-	-	-	-	○
B邸	○	○	-	-	-	-	-	-	○
O邸	○	○	-	-	-	-	-	-	○

○は測定を行ったもの

測定対象物質は

- ・長期間の測定としてHCHOとNO₂の同時測定
- ・長期間の測定としてラドンの測定
- ・短期間の測定としてp-DCBの測定
- ・短期間の測定として有機リン系の4物質の測定
(クロルピリホス、クロルピリホスメチル、ダイアジノン、スミチオン)

である。

3. 3 測定・分析方法

まず、HCHOとNO₂の同時測定は6軒の住宅でパッシブサンプラーを用い、1993年4月から7月の間、各住宅居間と外気にて1週間ごとのサンプリングを13週間連続で測定した。

T邸とS i 邸に限ってはその後、10、11、12、1月の1週間に同様の方法にて測定を続けた。

さらに、パッシブサンプラーの簡易性を利用して台所2週間、寝室で4週間の連続測定を各住宅で行った。

サンプリング方法は長さ70mm、φ10mmほどのパッシブサンプラー(SIBATA、パッシブガスチューブ)を各測定ヶ所の床から1.5m前後の場所に放置することで、1週間における平均濃度をサンプリングした。

サンプリング方法が極めて簡易であることからパッシブサンプラーの設置、交換は各住宅の家人によって行い、

サンプリングの終了したサンプラーは密封シートに入れ、研究室に郵送していただくようにした。

送られてきたサンプラーはHCHOはAHMT法、NO₂はナフチルエチレンジアミン法にて吸光度を求め(SHIMADZU,UV160-A)、濃度算出した。

ラドンの測定はCNフィルムを用いたカップ型のパッシブサンプラーを用い、T邸とS i 邸で1993年10月から翌年1月までの3ヶ月間、居間と外気にて測定を行った。

サンプリングは3ヶ月間パッシブサンプラーを放置し、その期間の平均濃度を求めた。分析は日本空調サービスに依頼した。

パラジクロロベンゼン(p-DCB)の測定は松村ら⁵⁾が報告したTenax GCを充填したパッシブサンプラーを用い、T邸とS i 邸で1993年6月に1日間(24時間)のサンプリングを行い、試料採取後、GC-ECDにて測定した。

有機リン系の4物質はT邸、S i 邸、S a 邸で1993年6月と11月(S a 邸は12月に1回)の2回、1~3日間のサンプリングを行った。測定はサンプリング吸引器を用い、セップパックC₁₈カートリッジに空気中の有機リン系化合物を採取した後、n-ヘキサンで被検成分を抽出する。抽出液にN₂を吹き付け濃縮した後、再びn-ヘキサンで溶出後、溶出液をGC-FPDに導入し求めた。

換気回数測定は各居間にて窓を閉じた状態でSF₆ガスを噴射し、5分ほどよく拡散させた後エアバックにて10~15分おき計2時間分空気を採取し、GC-ECD(SHIMADZU,GC-8AIE)で濃度分析し、その減衰率から換気回数を算出した。各測定項目概要を表4、5に示す。

表4 測定方法

	測定法	測定期間
HCHO NO ₂	パッシブサンプラーを用い 吸光度法により濃度算出 ・HCHO: AHMT法 ・NO ₂ : ナフチルエチレンジアミン法	居間と外気: 1993年4~7月の13週間 台所: 1993年5~7月の期間の2週間 寝室: 1993年5~7月の期間の4週間
		(サンプリングは1週間単位)
ラドン	パッシブサンプラーを用い フィルムに感光されるα線の量で計測。	居間と外気: 1993年10月~ 翌年1月の3ヶ月
p-DCB	パッシブサンプラーを用い GC-ECDにより濃度算出	居間と納戸: 1993年6月の間の24時間 (S i 邸は納戸の代りに押入れて測定)
クロルピリホス クロルピリホスメチル ダイアジノン スミチオン	アクティブサンプラーを用いGC-FPDにて濃度算出	居間: 1993年6月と11月に1~3日間 (T 邸と S i 邸) 居間: 1993年12月 (S a 邸)
換気回数	窓を閉じた状態でSF ₆ ガスをトレーサとした濃度減衰法による	居間: 1993年5~6月の期間に約2時間

表5 換気回数測定日時

	測定日	時間
T邸	1993. 6. 16	9:51~11:51
S i 邸	1993. 6. 23	9:35~11:35
S a 邸	1993. 5. 28	9:30~11:30
N邸	1993. 6. 22	15:05~17:05
B邸	1993. 6. 19	9:05~11:05
O邸	1993. 6. 26	9:35~11:35

3. 4 測定結果と考察

各種汚染物質濃度、換気回数の測定結果を表6に示すが、ここでの値は隣室との空気交換による濃度変化はないものとしている。また、居間のHCHO、p-DCB、有機リン系物質の汚染物質発生量を算出した(式1より)。結果を表7に示すが、外気濃度は室内濃度に比べて極めて少ないことが予想できるので外気濃度 C_0 を0と仮定して得られた値である。ただしHCHOについては本測定の結果、外気濃度が室内濃度の10分の1程度存在していることから外気濃度 C_0 を差し引いた発生量も求めた。

表6 各住宅室内外の汚染物質測定結果(平均値)

	T邸	S i 邸	S a 邸	N邸	B邸	O邸	平均	標準偏差
HCHO(居間)(ppb)13W*1	26.7	36.4	17.1	20.1	28.6	23.4	25.4	6.8
HCHO(外気)(ppb)13W	1.9	2.5	2.2	1.6	1.8	2.8	2.1	0.5
HCHO(台所)(ppb)2W	13.7	16.7	12.5	15.2	29.6	10.8	16.4	6.8
HCHO(寝室)(ppb)4W	22.3	24.4	13.2	26.2	30.1	13.8	21.7	6.8
NO ₂ (居間)(ppb)13W	11.3	26.7	21.2	20.3	12.6	17.2	18.2	5.8
NO ₂ (外気)(ppb)13W	32.7	19.3	31.8	16.1	21.6	21.8	23.9	6.8
NO ₂ (台所)(ppb)2W	33.0	20.0	23.6	18.3	13.2	23.3	21.9	6.6
NO ₂ (寝室)(ppb)4W	19.4	18.3	17.6	13.1	5.6	17.9	15.3	5.2
ホルム(居間)(Bq/m ³)	×	×	—	—	—	—	×	×
ホルム(外気)(Bq/m ³)	×	×	—	—	—	—	×	×
p-DCB(居間)(ppb)24 h *2	157	0	—	—	—	—	157	—
p-DCB(納戸)(ppb)24 h	235	0	—	—	—	—	235	—
クロル [*] リス(1回目)	108	0	0	—	—	—	—	—
(ng/m ³) (2回目)	64	0	—	—	—	—	—	—
(平均値)	(86)	(0.0)	(0.0)	—	—	—	86	—
クロル [*] リスメチル(1回目)	0	0	0	—	—	—	—	—
(ng/m ³) (2回目)	4.4	0	—	—	—	—	—	—
(平均値)	(2.2)	(0.0)	(0.0)	—	—	—	2.2	—
ダイキソ [*] ソ(1回目)	45	21	1380	—	—	—	—	—
(ng/m ³) (2回目)	79	240	—	—	—	—	—	—
(平均値)	(62)	(131)	(1380)	—	—	—	524	742
ミチオン(1回目)	0	1.6	0	—	—	—	—	—
(ng/m ³) (2回目)	0	0	—	—	—	—	—	—
(平均値)	(0.0)	(0.8)	(0.0)	—	—	—	0.8	—
換気回数(居間)(1/h)	0.13	0.39	0.95	0.53	0.78	0.52	0.55	0.29

*1: Wは週間平均値 *2: hは時間平均値

注: —は未測定, ×は信頼できる測定結果が得られなかった。

表7 居間における汚染物質発生量

	T邸	S i 邸	S a 邸	N邸	B邸	O邸	平均	標準偏差
HCHO (μg/m ³ /h)13W*1 (室内発生量のみ)	4.3	17.4	20.0	13.1	27.4	14.9	16.2	7.7
HCHO (μg/m ³ /h)13W (外気濃度の影響含)	4.0	16.2	17.4	12.0	25.7	13.2	14.8	7.1
p-DCB(μg/m ³ /h)24 h *2	0.12	0.00	—	—	—	—	0.12	—
クロル [*] リス(ng/m ³ /h) (平均値)	10.8	0.0	0.0	—	—	—	10.8	—
クロル [*] リスメチル(ng/m ³ /h) (平均値)	0.3	0.0	0.0	—	—	—	0.3	—
ダイキソ [*] ソ(ng/m ³ /h) (平均値)	7.8	51	1305	—	—	—	455	737
ミチオン(ng/m ³ /h) (平均値)	0.0	0.3	0.0	—	—	—	0.3	—

*1: Wは週間平均値 *2: hは時間平均値

HCHOの単位はppb×分子量/24.45=ppb×30.03/24.45 [μg/m³]で換算⁶⁾

3. 4. 1 HCHOの結果考察(表6, 7, 8 図1, 2)

各室で行われた2～13週間にわたるHCHO濃度分析の結果、濃度は居間25.4ppb(13週間平均)、外気2.1ppb(13週間平均)、台所16.4ppb(2週間平均)、寝室21.7ppb(4週間平均)となった。

13週間の居間の濃度は10.9ppbから44.3ppbの範囲であ

り、変動係数は11から37%であった。

HCHOの濃度測定例は数多く報告されているが、菅原ら^{7), 8)}の報告では新築直後のマンション洋室で3.18ppm(換気回数0.5回/h)、築6ヶ月未入居のマンション洋室で22～75ppb、松村ら⁹⁾の報告では築1年6ヶ月経った入居済マンションの居間で16～23ppbとなっている。

外気に対する室内の濃度比率は表6の平均値で比べると居間と12.1、台所と7.8、寝室と10.3倍と10分の1前後であった。台所の濃度が他の室内よりも低い傾向があるが、理由として換気扇の使用により換気量が多いことや他の居室とは壁仕上げ材が異なること等が考えられる。

13週間における居間の濃度変動をみるとB邸、S a 邸、O邸の濃度は減少傾向を示した。特に内装仕上げ材がコンクリート打ち放し主体であるB邸では減少傾向が大きかった。一般に接着剤を用いるビニールクロスや合板等の内装仕上げ材からのHCHO発生量が多いとされるが、本結果からは仕上げ材がコンクリートの打ち放し住宅でも平均以上(6軒の平均濃度)のHCHOが観察できた。

N邸、S i 邸の2軒は各週ごとの濃度差変動は大きいものの全体的には顕著な増減傾向は見られなかった。

T邸は濃度上昇傾向で、各週ごとの変動が小さく特徴的な変動性を示した。理由として、気密住宅で、通年強制機械換気を行っているため、他の住宅に比べ換気量が一定化されており、気温と発生量との相関の高いHCHOが夏場の気温上昇とともに多く発生したと考えられる。

また、13週間の測定以後続けられたT邸とS i 邸の冬季測定の結果、4月から7月の期間では顕著な減衰傾向が見られなかった両住宅であるが、10月以降の濃度結果では少しづつではあるが減衰傾向が見られた。

最後に各居間の発生量は4.1～19.9μg/m³/hの範囲で平均値は16.2μg/m³/hであった。また、外気の濃度を差し引いた発生量は14.8μg/m³/hであった。

表8 居間のHCHO濃度(13週間, 13サンプル)

	T邸	S i 邸	S a 邸	N邸	B邸	O邸
最高値(ppb)	33.8	42.9	27.0	32.0	44.3	34.9
最低値(ppb)	18.3	27.8	10.9	13.4	19.9	11.0
平均値(ppb)	26.7	36.4	17.1	20.1	28.6	23.4
標準偏差	6.5	4.0	5.5	4.9	8.7	8.7
変動係数(%)	24	11	32	24	30	37

図1 居間のHCHO濃度変動

ここで、同時期にサンプリングされた居間、台所、寝室の2週間の平均濃度を比較してみると、図2のように居間21.3ppb、寝室19.4ppb、台所16.4ppbの順に濃度は高い傾向がみられ、特に台所の濃度がB邸を除き低い値で住宅別のばらつきが小さかった。B邸は唯一RC造であり、内装仕上げが他の住宅と大きく異なることから台所の濃度性状が異なったものと考えられる。

図2 HCHOの居間・台所・寝室の濃度差(2週間平均)

3. 4. 2 NO₂の結果考察(表6, 9 図3, 4)

各室で行われた2週間から13週間にわたるNO₂濃度分析の結果、濃度は居間18.2ppb(13週間平均)、外気23.9ppb(13週間平均)、台所21.9ppb(2週間平均)、寝室15.3ppb(4週間平均)となった。

13週間における居間の濃度は7.3ppbから52.8ppbの範囲であり、変動係数は14から53%であった。

柳沢ら¹⁰⁾が開発したフィルターバッジを用いたNO₂の測定例として、小峯¹¹⁾らは夏季で居間で10ppb程度、冬季の開放型燃焼器具の使用時で120~130ppbに達したとあり、野崎ら¹²⁾によると2月の日平均濃度では居間14.1から97.4ppb、外気10.6から40.1程度となっている。

外気に対する室内の濃度比率は表6の平均値で比較すると居間は0.76、台所は0.92、寝室は0.64倍と、外気濃度は室内濃度より高くなった。これは外気のNO₂濃度が高く、室内の壁や床にNO₂が吸着するためと考えられる。しかし、燃焼器具の使用がある台所では、Sa邸、B邸以外台所濃度の方が高い値を示した。

13週間における居間の濃度変動をみると大半が10~20ppbの範囲内で変動しており、各週ごとの濃度差もあまり大きくない。4月時にSi邸の濃度がおよそ40~50ppbと高い値を示しているが、この原因はガスファンヒーターを使用していたために生じたものである。

また、13週間の測定以後続けられたT邸とSi邸の冬季測定の結果、室内居間ではガスファンヒーターを使用しているSi邸で、12月、1月に70ppbをこえる濃度が検出された。各月のガスファンヒーターの使用頻度は聞き込み調査により、1日5時間程度であることから、暖房使用時のNO₂濃度はWHO推奨値である1日平均値80ppbを越

えることが推測できる。

燃焼型の暖房器具を使用していないT邸では、季節による濃度変化はほとんど見られなかった。

外気の濃度は冬季においてT邸、Si邸ともに、11月をピークに高くなっている。(T邸: 60.5ppb, Si邸: 34.2ppb)

ここで、同時期にサンプリングされた居間、台所、寝室の2週間の平均濃度を比較してみると、居間(16.9ppb)、台所(21.9ppb)、寝室(16.8ppb)と台所濃度が高く、居間と寝室が同じ程度になるが、実際には図4に示すとおりT邸を除けば居間と台所の濃度が同じ程度で寝室の濃度が若干低いという傾向が見られる。

T邸以外は台所と居間とが一体型になっているので台所の燃焼器具等から発生するNO₂が隣接する居間に影響しやすいが、寝室のように台所と離れている部屋ではNO₂発生量が少ないので、濃度が低い傾向をしめす。T邸は台所と居間が別階にあるため居間濃度が台所濃度に比べ低くなっている。

表9 居間のNO₂濃度(13週間, 13サンプル)

	T邸	Si邸	Sa邸	N邸	B邸	O邸
最高値(ppb)	20.3	52.8	26.8	36.1	18.4	23.3
最低値(ppb)	7.3	14.0	15.3	12.1	7.8	11.1
平均値(ppb)	11.3	26.7	21.2	20.3	12.6	17.2
標準偏差σ	3.5	14.2	3.10	7.0	2.8	3.9
変動係数(%)	31	53	14	35	23	23

図3 居間のNO₂変動

図4 NO₂の居間・台所・寝室の濃度差(2週間平均)

3. 4. 3 ラドンの結果考察

ラドンの分析の結果T邸、Si邸ともに信頼性の高い値が得られなかった。測定の際に、同測定ヶ所に2個ず

つのパッシブサンプラーを用いサンプリングを行ったが、フィルムに感光される α 線の計数値がそれぞれかけ離れた値になるなど問題が多かった。原因は未だ判っていない。

3. 4. 4 p-DCBの結果考察(表6.7)

T邸とS i邸で対象的な分析結果となった。衣服防虫剤を使用しているT邸では居間157ppb、衣服防虫剤の使用箇所でもある納戸においては235ppbと高い値を示したが衣服防虫剤を全く使用していないS i邸はp-DCBは全く検出されなかった。

このことから、p-DCB濃度の大小は衣服防虫剤の使用量に左右されると思われる。

過去、室内での濃度実態調査はいくつか報告されており、鈴木ら¹³⁾によると室内0.04~2.0ppm、洋服タンス内で0.2~88ppm、都市大気で0.16~0.95ppbの範囲、川田ら¹⁴⁾の報告では室内13~162ppbとなっている。我が国における室内濃度基準は設けられていないが労働環境基準勧告値では8時間平均で50ppmとなっている。

なお、p-DCBの室内居間の発生量は $0.12 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ であった。

3. 4. 5 有機リン系物質の結果考察(表6.7)

3軒の住宅で行われた測定の結果ダイアジノン、クロルピリホス、クロルピリホスメチル、スミチオンといった4種類の有機リン系殺虫剤4種類が検出された。

クロルピリホスはT邸のみで検出された。1回目 $108\text{ng}/\text{m}^3$ 、2回 $64\text{ng}/\text{m}^3$ 、平均 $86\text{ng}/\text{m}^3$ であり、発生量は $10.8\text{ng}/\text{m}^3/\text{h}$ であった。

クロルピリホスメチルもT邸のみで検出された。1回目の測定では濃度は検出されなかったが、2回目の測定では $4.4\text{ng}/\text{m}^3$ の濃度が検出された。2回の平均値から得られる平均発生量は $0.3\text{ng}/\text{m}^3/\text{h}$ であった。

ダイアジノンは3軒の住宅共に濃度が検出された。T邸では1回目 $45\text{ng}/\text{m}^3$ 、2回目 $79\text{ng}/\text{m}^3$ 、平均 $62\text{ng}/\text{m}^3$ であった。S i邸では1回目 $21\text{ng}/\text{m}^3$ 、2回目 $240\text{ng}/\text{m}^3$ 、平均 $131\text{ng}/\text{m}^3$ と1回目と2回目に10倍以上の濃度差が生じた。S a邸では1回の測定のみだが $1380\text{ng}/\text{m}^3$ と高濃度が検出された。3軒の平均濃度は $524\text{ng}/\text{m}^3$ であったが各濃度差のばらつきが大きかった。また平均濃度から得られる平均発生量は $455\text{ng}/\text{m}^3/\text{h}$ であった。

スミチオンはS i邸のみで検出され、1回目は $1.6\text{ng}/\text{m}^3$ であったが、2回目は検出されなかった。2回の平均濃度から得られる平均発生量は $0.3\text{ng}/\text{m}^3/\text{h}$ であった。

有機リン物質は防虫効果に優れることから我が国では1950年代から農薬として使用されてきているが、最近では建築構造材の白蟻駆除剤等として、木質建材などに注入、含浸、塗布されている。有機リン系殺虫剤には各種様々なものが存在するが、それらが室内空气中にどれくらい含まれるかといった報告はほとんどないのが現状で

ある。我が国の労働環境基準の勧告値では8時間平均でダイアジノンの $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ があり、アメリカではダイアジノン $0.1\text{mg}/\text{m}^3$ 、クロルピリホス $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ の基準値が勧告されている。本測定ではクロルピリホスメチルやスミチオンといった物質も検出されたが、この2つの物質の基準値は設けられていない。

3. 4. 6 換気回数の結果および発生量算出の考察

SF_6 ガス濃度減衰法により算出された各住宅の換気回数は表6のように、 $0.13\sim0.95$ (1/h)となった。この値は室内の気流分布の違いや、生活様式による換気回数の時間的変動の影響が含まれていない短期的な換気回数であるため、長期的な平均濃度との組み合わせによる居間の発生量算出(表7)には若干問題があると思われるが、一様拡散の仮定のもと長期間による換気量の変化はほとんどないと見なしている。

4. 換気回数予測結果

前章で求められた室内の各種汚染物質平均発生量 $\bar{M}$ を基に式2より予測式を立てるわけであるが、今回は、長期的にかつ連続的に濃度変動を測定したHCHOの平均発生量を予測式の定数値とした。

予測結果を式3に示す。この式は、6軒の新築住宅の居間におけるHCHO濃度を対照とした換気回数予測式である。

$$Q = 0.0148 / (C_i - C_o) \quad (3)$$

4. 1 考察

予測式(3)により各住宅の13週間実測平均濃度 C_i 、 C_o から予測換気回数を算出し、図5のような相関図を示した。結果として実測換気回数値と予測換気回数値の相関式 $y = 0.32x + 0.38$ 、相関係数 $R = 0.58$ という値が得られたが実測値と予測値とのばらつきが大きく、一般実用性を持った値には至らなかった。

図5 13週間の平均発生量による予測結果

さらに、この予測式に各住宅の1週間平均濃度 C_i 、 C_o ごとの予測換気回数を全13週間分計算してみると、図6のようにばらつきはさらに大きくなることが判る。

図6 1週間の平均発生量による予測結果

このことから、HCHOの13週間の平均値から求めた予測式に対し1週間程度の平均値では各週の変動性の影響が出るため、よい結果が得られないことが分かった。

今後はさらに多数のサンプリングを行うとともに、ラドンのような長期的に発生量の安定した室内汚染物質（親核種の ^{226}Ra の半減期 1.6×10^3 年）などでも同様に長期発生量を求めればさらに精度の高い予測式を導き出せると考えられる。

5. まとめ

5. 1 室内汚染物質の測定

本研究において、6軒の新築戸建住宅内で換気量の測定を行うとともに、パッシブサンプラーを用いた長期間のHCHOとNO₂の濃度測定した他、測定例の少ないp-DCBや有機リン系物質といった殺虫剤関係の室内汚染濃度を測定し、その実態を明らかにした。

また、HCHO、p-DCB、有機リン系物質については濃度と換気量結果から平均発生量を求めた。各々の汚染物質結果と換気量結果をまとめると

- 1) HCHO、NO₂は13週間の測定により4月から7月（一部翌年1月まで）の期間の長期的な濃度変動性を考察した他、パッシブサンプラーの簡易性を利用して同時期に居間、台所、寝室の測定を行い、部屋別の濃度の違いを考察できた。
- 2) p-DCBは衣服防虫剤を使用する住宅と使用しない住宅で顕著な濃度差が見られた。衣服防虫剤を使用する住宅においては、居間、納戸で濃度が検出され、特に納戸で多く検出された。
- 3) 有機リン系物質の測定ではクロルピリホス、クロルピリホスメチル、ダイヤジノン、スミチオンといった物質が検出された。特にダイヤジノンは測定住宅中3軒とも濃度が検出され、濃度差が大きかった。
- 4) SF₆ガスをトレーサとした換気量測定では、0.13から0.95(1/h)の範囲で結果が得られた（窓閉状態）。
- 5) 各住宅居間にて汚染源が一様拡散定常の仮定のもと汚染物質の発生量の算出を行った。汚染物質濃度は24時

間から3ヶ月の期間で得られた生活様式を含めた平均値であるのに比べ、換気回数の実測結果は2時間程度の減衰率で求められた値であるから、長期的の変動性については考慮されていない。今回求めた発生量は換気回数が一定と仮定した時の値であるが、今後はできるだけ多くの期間で多数の換気回数測定を行ない、平均値を求める必要がある。

また、居間と隣室との空気交換による濃度変化は無いものとしている。

5. 2 換気量予測

6軒の新築戸建住宅でのHCHO平均濃度(13週間)と換気回数の結果から発生量を求め、その値を定数とした簡易型の換気量予測式を導き出した。

しかし予測換気回数値と実測換気回数値との相関にはらつきが大きく、信頼性の面で今後の課題を残す形となった。

今後の課題として、

- 1) 統計処理できるような多数の建物で同時サンプリングを行い一般性を増す。
 - 2) 発生量の算出の際に換気量測定が必要となるが、生活様式によって変動する換気量の変化を平均化させるためにも数多くの換気量測定をする。
 - 3) さらに精度を向上させるために、安定した発生量を有するラドンによる長期間平均換気量の予測を行う。
- などが挙げられる。

また、発生量の算出においては換気量の推定が大きく影響することからPFT法^{3) 4)}などを用いた換気量測定が検討課題として考えられる。

しかし、今回の研究においては、入手方法と分析方法にやや難がある現状から、その建築内部での換気量検討問題の手法としては採用しなかった。

謝辞

本研究を行うにあたり長期間の測定にもかかわらず快く協力して下さった6軒の住宅の御家族の方々に多大なる感謝の意を表するとともに新築住宅探しに協力して頂いた溝淵一真氏（オデッセイ・オブ・イスカ）と当時東京理科大学卒業研究生で共に測定分析を行った稲吉 実（竹中工務店）・広瀬和章（積水ハウス）両氏に感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本規格協会編：JIS A1406-1974 屋内換気量測定法(炭酸ガス法)
- 2) 池田耕一：換気量の測定，空気清浄，第24号，第2号，pp12-21，1986. 10

- 3) Russell N. Diedz and Edger A. Cote : Air infiltration measurments in a home using a convenient perfluorocarbon tracer technique, Environment International, 8, pp419-433, 1982
- 4) J. D. Spengler, Y. Yanagisawa and P. B. Ryan : Manual for Infiltration Measuremnet Using Perfluorocarbon Tracer Gas and Passive Collectors , Harvard School of Public Health, 1985
- 5) 松村年郎ほか5名 : 揮発性有機化合物のパッシブサンプラーの開発と個人曝露量測定への適用-パラジクロロベンゼン-, 空気清浄, 第30巻, 第6号, pp. 482-489, 1993. 3
- 6) 吉野 博 : ASHREA規格62-1989 “室内空気質を正しく維持するための換気に関する規格” (その2), 空気調和・衛生工学, 第67巻, 第5号, pp343-351, 1993. 5
- 7) 菅原文子, 吉澤 晋 : 住居内におけるホルムアルデヒド濃度の空中濃度, 日本建築学会学術講演梗概集, pp659-660, 1992. 8
- 8) 菅原文子 : 室内のホルムアルデヒド濃度と換気量, 日本建築学会学術講演梗概集, pp703-704, 1993. 9
- 9) 松村年郎ほか5名 : 室内空気汚染に関する研究(第4報)-ホルムアルデヒドの個人曝露濃度について-, 日本公衆衛生学会誌, 第32巻, 6号, pp287-294, 1985. 6
- 10) 柳沢幸雄, 西村 肇 : 生活環境中濃度測定用NO₂パーソナルサンプラー, 大気汚染学会誌, 第15巻, 第8号, pp. 316-323, 1980. 8
- 11) 小峯裕己 : 集合住宅における二酸化窒素による室内空気汚染の実態調査-暖房器具, 喫煙などと汚染レベルの関連について-, 日本建築学会計画系論文報告集, 第423号, pp33-39, 1991. 5
- 12) 野崎淳夫, 吉澤 晋, 小峯裕己 : パッシブ法によるNO₂濃度とその構成要因について-燃焼器具による室内空気の汚染と防止に関する研究(第1報), 日本建築学会計画系論文報告集, 第416号, 1990. 10
- 13) 川田 浩, 松村年郎ほか2名 : 拡散型サンプラーを用いた室内空気中のパラジクロロベンゼンの個人モニタリング法, 第11回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会, pp107-108, 1992. 4
- 14) 鈴木 茂, 永野 敏, 佐藤静雄 : 神奈川県下における屋内空気中の塩素化ベンゼン類の測定, 大気汚染学会誌, 第21巻, 第5号, pp419-427, 1986

(1994年 5月20日原稿受理, 1994年11月 7日採用決定)