

新築住宅における揮発性有機化合物 (VOCs) の 濃度推移の特性

劉 福 姫, 田 中 辰 明*

(お茶の水女子大学大学院人間文化研究科, * お茶の水女子大学生生活科学部)

原稿受付平成 12 年 12 月 22 日; 原稿受理平成 13 年 7 月 18 日

Characteristics of Transition Concentration of VOCs in Newly Built House

Bookhee Yoo and Tatsuaki TANAKA*

Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8610

** Faculty of Life Science, Ochanomizu University, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8610*

The VOCs sampled in a newly-built house were determined to belong to a certain number of types when their pattern of concentration was studied; VOCs change their concentration pattern over a long period of time. In this paper, we aim to classify VOCs into three pattern groups, on the premise that those VOCs showing similar transition characteristics must belong to the same group. We respectively selected a representative compound for each classified type in order to verify the process of transition statistically with a view to proposing a new method creating a representing index of VOC concentration indoors, which, we believed, would contribute to precise evaluation of the degree of air pollution. As a result, we obtained three types of groups described below:

Type 1: VOC concentration, relatively high at the time of the completion of the house, rapidly decreased its concentration thereafter.

Type 2: VOC concentration, relatively low at the time of the completion of the house, tended to decrease overall although a process of increasing and decreasing had been repeated in the meantime.

Type 3: Some VOCs we measured showed a single peak at a certain time during our measuring period.

Our method was verified to have statistical significance. Ethylbenzene was selected as the compound representing Type 1 and styrene as representing Type 2. Classifying VOCs into different groups and selecting those representing respective groups from the viewpoint of their pattern of concentration transition should be considered a significant method.

(Received December 22, 2000; Accepted in revised form July 18, 2001)

Keywords: volatile organic compounds (VOCs) 揮発性有機化合物, transition concentration 濃度推移, pattern パターン.

1. 緒 論

近年, 住宅の省エネルギー化に伴い室内の高気密・高断熱化された住宅が一般的になってきている。一方, 建材や仕上げ材, 生活用品等の生産技術の進歩により, 在来見られなかった新しいタイプの建材などが, 室内に導入されはじめており, それから発生する揮発性有機化合物が化学物質過敏症などの原因と見られる¹⁾²⁾。

最近, 新築住宅を対象とした研究^{3)~6)}が活発に行われている。しかし, 住宅内の実状を示す基礎データが十分ともいえず, 特に長期間における生活が営まれて

いる住宅でのデータの収集が要求される。日常の生活が行われている室内環境で発生する VOCs は, 室内環境条件の変化によって変動があり, そのデータ分析は多くの研究者を最も悩ませる点である。特に, 長期間の測定, あるいはヒトへの曝露を対象とする研究の場合, 室内でのデータ分布や変動のあり方が分からないとヒトの健康や, 環境の質をどの程度保護しようかが不明瞭になってしまうことになる。VOCs を対象とする多くの研究が最終的にはヒトへの健康に役に立つことを目標としているとすれば, 室内でのその濃度推移

表 1. 実測住宅の建築概要

構造 屋根 外壁	枠組壁工法 3 階建 平形彩色スレート 防火サイディング		
内部仕上	床	壁	天井
玄関	タイル貼	石膏ボード下地 EP 塗	石膏ボード下地 EP 塗
ホール・廊下	オークフローリング	石膏ボード下地 EP 塗	石膏ボード下地 EP 塗
各居室	オークフローリング	石膏ボード下地 EP 塗	石膏ボード下地 EP 塗
厨房	オークフローリング	石膏ボード下地 EP 塗	石膏ボード下地 EP 塗
浴室	ユニットバス		
洗面室	オークフローリング	石膏ボード下地 EP 塗	石膏ボード下地 EP 塗
空調設備 キッチン	ダクト型セントラル換気設備 (冷暖房システム) ドイツ製システムキッチン		

を捉えることは重要となる。そこで、室内での VOCs の濃度推移の特性を明確にする必要性が生じる。

一方、住宅を対象とした大部分の実測研究には室内空気の汚染濃度の指針値として総揮発性有機化合物 (Total Volatile Organic Compounds : 以下 TVOC) あるいは世界保健機関 (World Health Organization : 以下 WHO) の分類基準による化学構造式を基とした分類による族ごと (例えば、芳香族炭化水素類、ハロカーボン類等) の総濃度値が一般に用いられている。しかし、室内で確認されている VOCs は極めて多種類に及んでおり、このような総濃度値による濃度推移と異なる傾向を示す個別 VOCs は多数存在する。従って TVOC または類ごとの総濃度値の濃度推移に従って各 VOCs の濃度推移を同様に扱うことは適切ではないと考えられる。そこで、本研究は新たな対案の基礎研究として、13 の対象 VOCs を WHO の基準により分類し、その総濃度値とその類別に属する個別 VOCs との濃度推移の類似性を把握することにする。

以上より、本研究は 1) 新築住宅における長期間の実測による各個別 VOCs の濃度推移の特性を把握し、2) 族ごとによる類型別の総濃度値と各 VOCs との濃度推移の類似性を検討することを目的とする。

2. 住宅測定および分析概要

(1) 測定対象住宅の概要

対象住宅は東京都にある枠組壁工法 3 階建ての新築住宅で、屋根は平形彩色スレート、外壁は防火サイディングで構成されている。

測定は 2 階の居間で行い、居間の表面積は 42.59

m²、容積は 18.64 m³である。また、床はオークフローリングにカーペット (ウレタンチップ下地) が敷かれており、壁や天井は強化石膏ボードにドライウォール仕上げがなされている。

対象住宅は熱交換器を用いた 24 時間計画換気システムで、夏季は 26℃、50% RH、冬季には 22℃、40% RH に保たれている。換気は通常は 0.5 回/h (約 200 m³/h) 程度となっているが、4 月から 5 月にかけて (測定 5 カ月目から 6 カ月目) システムが止められ、窓開放による自然換気が行われた。実測住宅の建築概要を表 1 に表す。

測定は竣工直後の平成 8 年 11 月から平成 9 年 7 月までの 8 回 (7 回目は欠落) の測定を行った。通常の生活状態における曝露を把握するため、実際に生活が行われている状況で測定を行った。

(2) VOCs の測定および分析方法

VOCs は、米国環境保護庁 (Environmental Protection Agency : 以下 EPA) が有害大気汚染物質の測定法として提供しているキャニスターを用いる方法 (TO-14) でサンプリングを行い、ガスクロマトグラフ/質量分析計 (以下 GC-MS) によって分析を行った。サンプリングは 6 L のキャニスター (SilicoCan : Restek 社製) を用いて採取した。サンプリングした室内空気試料は濃縮・試料導入装置 (Entech 7000) に接続し、GC-MS (HP 6890 ガスクロマトグラフや HP 5972 MSD) のスキャンモードで分析した。表 2 には GC-MS の分析条件を表す。

各成分の定量には市販スタンダードガス (TO-1, 4 対応スタンダードガス 39 成分 100 ppb) を 5 ppb に

新築住宅における揮発性有機化合物 (VOCs) の濃度推移の特性

表 2. GC-MS の分析条件

Entech 7000	ガラスビーズトラップ (モジュール 1)	-150℃ (trap) 20℃ (desorb)
濃縮装置	Tenax トラップ (モジュール 2)	-10℃ (trap) 180℃ (desorb)
	クライオフォーカス (モジュール 3)	-160℃ (trap) 100℃ (injection)
	HP 6890 ガスクロマト グラフ	カラム キャリアーガス 温度条件 圧力条件
		HP-1 (50 m×0.32 mm×1.05 μm) ヘリウム 35℃ (5分保持)→160℃ (5℃/分で昇温; 1分保持)→ 210℃ (15℃/分で昇温; 3分保持) 15 psi (0.3分)・5 psi/分・8 psi (at 35℃)
HP 5972 MSD	測定モード 測定質量範囲 スキャン速度 Solvent Delay	SCAN 34~280 a.m.u. 1.7 cycle/s 10分

表 3. 対象 VOCs の物理的特性

Target components	MW (g/mol)	Boiling point (℃)	Vapor pressure* (mmHg)
Benzene (A1)	78.11	80.1	75.0 (20℃)
Toluene (A2)	92.14	110.6	22.0 (20℃)
Ethylbenzene (A3)	106.17	136.2	9.53 (25℃)
<i>m, p</i> -Xylene (A4)	106.17	138.8-139.1	6.72 (21℃)
<i>o</i> -Xylene (A5)	106.17	144.4	(mixed xylene)
1,2,4-Trimethylbenzene (A6)	120.19	170.0	2.03 (25℃)
Styrene (A7)	104.15	145.1	5.0 (20℃)
Tetrachloroethylene (H1)	165.83	121.0	18.47 (25℃)
1,4-Dichlorobenzene (H2)	147.00	174.0	1.76 (25℃)
Chloroform(H3)	119.38	61.2	159.0 (20℃)
Trichloroethylene (H4)	131.39	86.7	60.0 (20℃)
1,1,1-Trichloroethane (H5)	133.4	74.1	100.0 (20℃)
Carbon tetrachloride (H6)	153.82	76.7	91.3 (20℃)

*U.S. EPA の OAQPS (Office of Air Quality Planning & Standards) の Website に2000年3月、公表されたデータである。

希釈したものをを用いて定量を行った。これはまた
[$\mu\text{g}/\text{m}^3 = \text{ppb} \times (\text{molecular weight of compound}) /$
(24.45)] を用いて気中濃度に換算した。分析対象の
VOCs の物理特性を表3に示す。

3. 各 VOCs の濃度推移の特性

本節では各 VOCs の濃度推移の特性を把握し、また、
これらを4節で行う類型化に用いることとする。本調
査住宅で検出された各 VOCs の濃度推移は次のよう

ある。

- (1) トルエン、1,2,4-トリメチルベンゼン、エチル
ベンゼン、*m, p*-キシレン、*o*-キシレンの濃度
推移の特性

トルエンの場合、1回目の測定である竣工直後*1で
は $425.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ と相対的に高濃度を示したが1カ月後
(測定2回目)には、 $125.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ まで低下し、減少

*1 竣工直後は各図で「0」月として表示する。

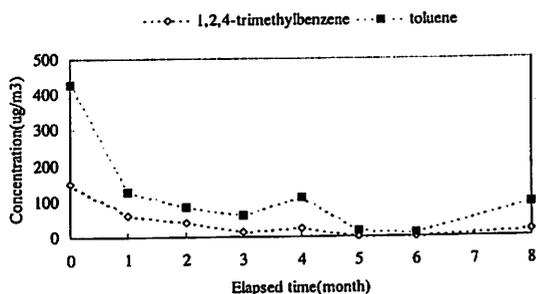


図1. 1,2,4-トリメチルベンゼン, トルエン濃度の経時変化

率70.6%^{*2}と急激な減少が認められた(図1)。また、3カ月後には58.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となり、減少率86.4%を示し、その後、竣工4カ月後に若干上昇し、5~6カ月後に減少が見られた。1,2,4-トリメチルベンゼンの場合は、トルエンと同様の傾向を示し、竣工直後は149.63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であったが1カ月後には60.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、3カ月後には14.07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となり、各々59.6%、90.6%の減少率を示した。

図2は、エチルベンゼン、*m,p*-キシレン、*o*-キシレンの濃度推移のグラフである。これらは測定初期にトルエンとは異なる減少傾向を示し、トルエンが竣工直後から1カ月の間で急激な減少を示したのに対してこれらは竣工直後から3カ月間をかけて徐々に低下した。エチルベンゼンの場合、竣工直後は179.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であった濃度値が1カ月後には149.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となり、約17.0%の減少率を、さらに3カ月後には46.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ となり減少率74.3%を示した。*m,p*-キシレンの場合、竣工直後には272.36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ であったのが竣工1カ月後には236.72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、3カ月後には61.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ まで減少し、各々13.1%、77.4%の減少率を示した。また、*o*-キシレンでは、竣工1カ月後に150.48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ とピークを迎え、以後減少し、3カ月後には25.08 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ にまで減衰、83.4%の減少率を示した。この後、竣工4カ月後に若干の上昇を、竣工5~6カ月後には減少を示した。

以上から、本対象住宅で検出されたトルエン、1,2,4-トリメチルベンゼン、エチルベンゼン、*m,p*-キシレン、*o*-キシレンの濃度は竣工直後、相対的に高

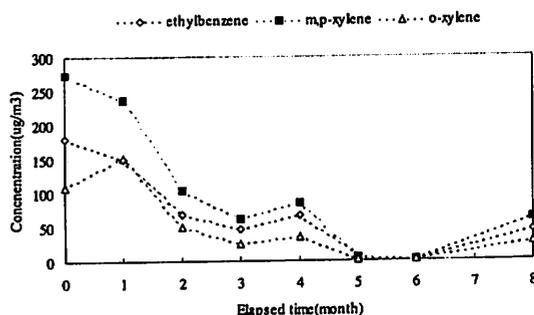


図2. エチルベンゼン, *m,p*-キシレン, *o*-キシレン濃度の経時変化

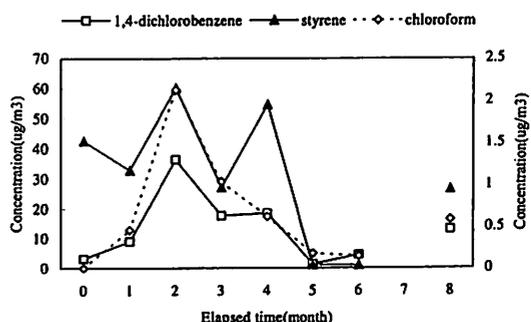


図3. 1,4-ジクロロベンゼン, スチレン, クロロホルム濃度の経時変化

濃度を示すが、以降急激な減少を示し、竣工3カ月後には最も少ないものでも74%以上の減少率を示す特性が明らかになった。大部分の新築住宅の実測研究で高濃度の検出が報告されているトルエン、キシレンは有機溶剤を利用した接着剤や塗料の溶剤成分として建材に利用される。また、1,2,4-トリメチルベンゼンは塗料の溶剤、エチルベンゼンはスチレンの中間原料、有機合成、溶剤、希釈剤、防腐剤などの建材用途がある。即ち、これらは大部分建材からの発生が推察され、竣工直後その発生量がピークを示すものと考えられる。これらの竣工4カ月後に示した若干の濃度増加は居住開始による家具、生活消耗品などの使用によるものと推察される。

(2) 1,4-ジクロロベンゼン, スチレン, クロロホルム, ベンゼン, 1,1,1-トリクロロエタンの濃度推移の特性

図3で示されている1,4-ジクロロベンゼン, スチレン, クロロホルムは時間経過とともに、濃度の増加・減少を繰り返す濃度推移の特徴が見られたが、これらはすべて竣工2カ月後で最も高い濃度を示し、以降の

*2 本研究では減少率 = $1 - (\text{各月の測定値} / \text{最高値}) \times 100$ とし、トルエン, エチルベンゼンの最高値は竣工直後の測定値となるが、*o*-キシレンの場合、竣工1カ月後の測定値である。

新築住宅における揮発性有機化合物（VOCs）の濃度推移の特性

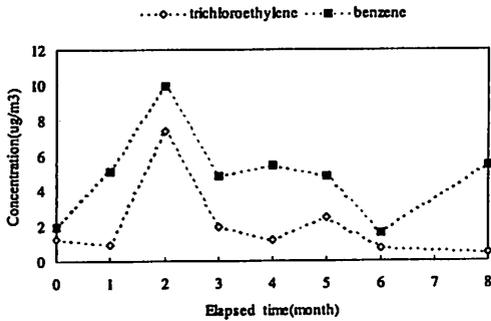


図4. トリクロロエチレン，ベンゼン濃度の経時変化

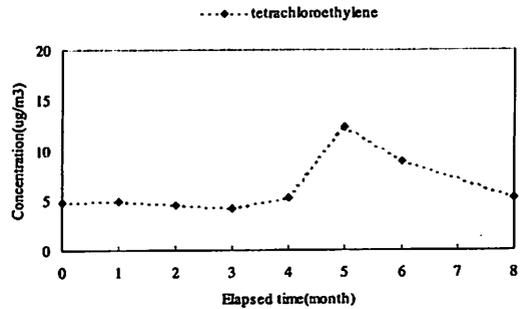


図6. テトラクロロエチレン濃度の経時変化

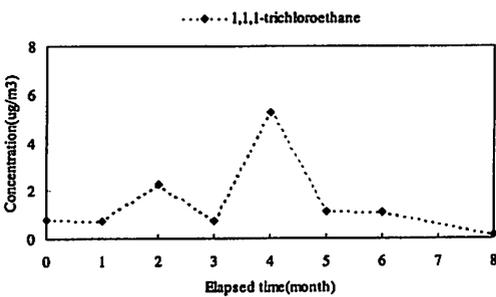


図5. 1,1,1-トリクロロエタン濃度の経時変化

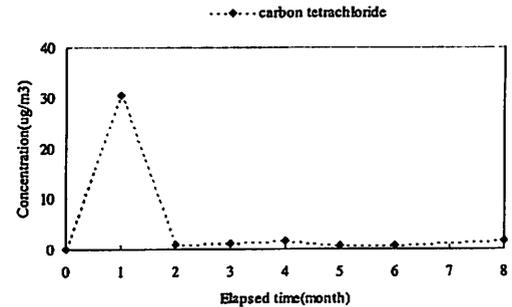


図7. カーボンテトラクロライド濃度の経時変化

ピーク値はこれより低く、全体的には減少傾向にあった。スチレンの場合、竣工2カ月後に $60.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ の最高値を、さらに、竣工4カ月後には $54.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、竣工8カ月後である最後の測定値では $26.63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を示し、全体的には濃度が減少する傾向にあることが分かった。竣工5~6カ月後にはスチレン、クロロホルムとともに急激な濃度の減少を示した。図4と図5に示されているベンゼン、トリクロロエチレンと1,1,1-トリクロロエタンの濃度推移もこれらとほぼ同様の傾向を示した。ところが、1,1,1-トリクロロエタンは以上のVOCsが一つ目のピーク（竣工2カ月後）を示したことに對して、二つ目のピークである竣工4カ月後の測定値が最高値であった。

以上のように、本対象住宅での1,4-ジクロロベンゼン、スチレン、クロロホルム、トリクロロエチレン、ベンゼン、1,1,1-トリクロロエタンの濃度は竣工直後から相対的に低濃度を示し、時間経過とともに増加と減少を繰り返しながらも全体的には減少傾向を示す特徴が見られた。

(3) テトラクロロエチレン，カーボンテトラクロライドの濃度推移の特性

図6、図7に示したテトラクロロエチレンとカーボ

ンテトラクロライドでは、他のVOCsが竣工直後にピーク値あるいはいくつかのピーク値を示したのに対して、これらはある時期に一つのみのピークを示した。テトラクロロエチレンの場合は5カ月後にピーク値が検出され、その後徐々に減少し、8カ月後の測定値ではほぼ測定開始時の値に戻った。カーボンテトラクロライドは竣工1カ月後にピークを示した後、急激に極微量にまで減衰したが以後目立った濃度の増加は見られなかった。一方、スチレンはポリスチレン樹脂、合成ゴム、不飽和ポリエステル樹脂、AS樹脂、合成樹脂塗料の建材用度があり、家庭内の家具、布製品などからの発生が考えられる。また、1,4-ジクロロベンゼンは建材中に含まれることは殆どないが、洋服の防虫剤やトイレの消臭剤などのような原料のひとつとして用いられている。クロロホルムは通常、化学工業において反応溶剤として使用されており生活用品などから発生することはないと考えられるため、水道水中のトリハロメタンが加熱時に反応しクロロホルムを発生するため検出されたと考えられる。

さらに、トリクロロエチレンは化学工業製品の合成原料、溶剤、洗浄剤等、広範な用途に使用されており、とくに油分や樹脂製品のよごれを落とすためドライク

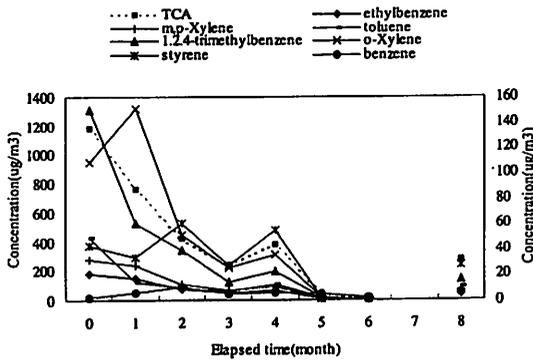


図8. 芳香族炭化水素類の各 VOCs 濃度の経時変化

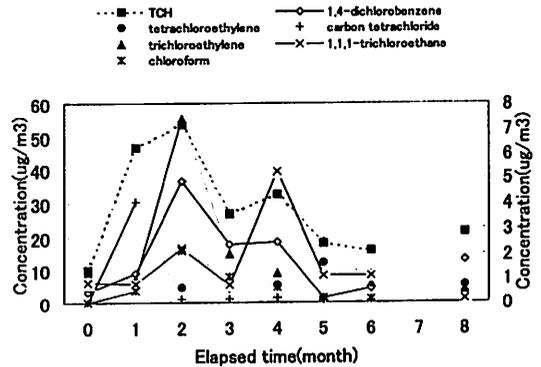


図9. ハロカーボン類の各 VOCs 濃度の経時変化

リーニング等でも使用されていることから主に日常生活をする過程で発生するものと推察される。ベンゼンは最も広く利用されている化学工業製品のついでであり、建材や壁装材料の関連では接着剤の原料ともなる。以上から、本測定住宅で検出されたスチレン、1,4-ジクロロベンゼン、クロロホルム、トリクロロエチレン、ベンゼンのような VOCs は住宅内でのその発生源を特定することは出来ないが、主に清浄剤、防虫剤、消臭剤、水道水、ドライクリーニングといった日常家庭生活に始まる以前の測定（竣工3ヶ月まで）でも検出されることから、建材、家具、冷暖房および換気システムの運転や電気設備（電線）、あるいは外気から導入などの発生源も十分考えられる。

4. 化学構造式分類（族ごと）による各 VOCs の濃度推移特性

多くの研究では、多数ある VOCs の分類に化学構造式に基づく WHO（世界保健機関）の分類基準を採用している。WHO による VOCs の分類はアルカン類、芳香族炭化水素類、テルパン類、ハロカーボン類、エステル類（ホルムアルデヒドを除く）、その他と分類され、その類別に属する各 VOCs の総濃度値が汚染濃度の目標値として利用されている。

ところが、本研究では個々の VOCs に対する濃度推移が焦点となっており、このように分類した場合、各類型別の VOCs の和をとった総濃度指標とその各 VOCs との間、または同類の各 VOCs 間に、その濃度推移の類似性が認められるかどうかという疑問が残る。

そこで、ここでは13の対象 VOCs を WHO の分類基準に基づき、芳香族炭化水素類やハロカーボン類とに分けて、各類別（族ごと）に属する個別 VOCs に対

しその濃度推移の類似性を検討する。さらに各類別の総濃度指標をもとめ、個別 VOCs との濃度推移の類似性を検討する。

(1) 芳香族炭化水素類の各 VOCs の濃度推移

図8の第1軸には本研究における芳香族炭化水素の総濃度指標である TCA (Total Concentration of Aromatics Hydrocarbon Compounds)、エチルベンゼン、*m,p*-キシレン、トルエンの、第2軸には1,2,4-トリメチルベンゼン、*o*-キシレン、スチレン、ベンゼンの濃度推移が示されている。これによると、1,2,4-トリメチルベンゼン、トルエン、エチルベンゼン、*m,p*-キシレン、*o*-キシレンの各々の濃度推移は同様であり、これらは TCA の濃度推移とよい類似性を示している。しかし、スチレン、ベンゼンの場合は相対的に低濃度で、他の物質とはかなり異なる推移を示しており、さらに、トルエンなどに比べて低濃度であるため、総濃度 (TCA) 曲線形態への影響力は非常に少ないことが分かる。つまり、TCA の濃度曲線は高濃度で検出される VOCs の曲線形態の影響を強く受けることが明らかであるので、これらの濃度推移の解析を TCA 濃度推移と同様に扱うことは適切ではないことが分かる。

(2) ハロカーボン類の各 VOCs の濃度推移

図9の第1軸は本研究におけるハロカーボンの総濃度指標である TCH (Total Concentration of Halocarbon Compounds)、1,4-ジクロロベンゼン、テトラクロロエチレン、カーボンテトラクロライドの、第2軸にはトリクロロエチレン、1,1,1-トリクロロエタン、クロロホルムの濃度推移が示されている。

ハロカーボン類の場合、芳香族炭化水素類より、個々の VOCs の濃度推移は多様なものであり、推移の一般的な傾向を見出すことは難しい。

さらに、TCH の濃度推移はハロカーボン類のうち、全測定期間で相対的に高濃度であった 1,4-ジクロロベンゼンとある時期に高濃度を示したテトラクロロエチレンおよびカーボンテトラクロライドの濃度推移の曲線形態を合わせた形となっていることが分かる。つまり、TCH の濃度曲線は高濃度で検出される VOCs の曲線形態の影響を強く受けることが明らかであるので、これらの濃度推移の解析を TCH 濃度推移と同様に扱うことは適切ではないことが分かる。

5. まとめ

新築住宅における長期間の VOCs 濃度推移の特性に関する考察を行った結果、以下のような知見を得た。

(1) VOCs の実測結果によると、

1) トルエン、1,2,4-トリメチルベンゼン、エチルベンゼン、*m,p*-キシレン、*o*-キシレンは竣工直後から高濃度を示し、3 カ月後に掛けて急激な減少を示した。

2) 1,4-ジクロロベンゼン、スチレン、クロロホルム、トリクロロエチレン、ベンゼン、1,1,1-トリクロロエタンは竣工直後から相対的には低濃度を示し、増減を繰り返しながらも全体的には減少傾向を示した。

3) テトラクロロエチレンとカーボンテトラクロライドはある時間に一つのみのピークを示し、以後は目立った濃度変化を示さなかった。

従って、本研究では室内での VOCs はほぼ三つの濃度推移のパターンを示した。ところが、各 VOCs の濃度推移の特性は本対象住宅の場合に限っての結果であり、住宅の物理的特性および生活状況の違いによって、その濃度推移は変わっていくものと理解するべきである。

(2) 化学構造式に基づく類ごとの総濃度指標と各類別に属する個別 VOCs との濃度推移の類似性を検討した結果、同じ類別に属する個別 VOCs の間には異なる推移を示すものが多数存在し、また、各類別総濃度の推移は高濃度を示した個別 VOCs の影響を強く受けることが明らかであった。以上より、各々の総濃度の濃度推移に従って各 VOCs の濃度推移を同様に扱うことは適切ではないことが明らかであった。従って、室内での濃度推移の観点から考えると化学構造式による分類よりは各 VOCs の濃度推移の類似性に基づく新たな分類方法が要求された。

参考文献

- 1) Sterling, E. *et al.*: New Health Hazards in Sealed Buildings, *AIA Journal*, April (1983)
- 2) 池田耕一:『室内空気汚染の原因と対策』, 日刊工業新聞社, 東京 (1998)
- 3) 木村 洋:新築及び既築集合住宅の室内空気質測定一(その3) VOC 測定結果一, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 755-756 (1997)
- 4) 武廣絵野他:新築集合住宅における空気質—HCHO, VOC の実態調査一, 第 16 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, 169-172 (1998)
- 5) 守屋好文他:新築戸建住宅における揮発性有機化合物の実測調査, 第 3 報, (経年に伴う VOC 及び有機リン系化合物の変化), 空気調和・衛生工学会学術講演会論文集, 545-548 (1998)
- 6) 宮崎誠也, 岩下 剛, 志波 徹, 高間三郎:住宅における VOCs 濃度の低減を考慮した空気環境計画に関する研究その 1, リフォーム前の住戸及び新築住戸における VOCs 濃度測定, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 759-760 (1997)
- 7) 浅井靖史, 田辺新一, 萩谷宏三:実大モデルルームを用いた室内汚染化学物質放散量の実測, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 747-748 (2000)
- 8) 後藤 滋, 稲橋秀仁:木造住宅の揮発性有機化合物汚染に関する実態調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 749-750 (1997)
- 9) 坂元真樹, 岩下 剛, 木村建一:居住状態の戸建て住宅における VOCs, ホルムアルデヒド濃度調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 739-740 (1997)
- 10) 熊谷一清, 池田耕一, 堀 雅弘, 松村年郎, 野崎淳夫, 木村 洋, 飯倉一雄, 吉澤 晋:居住状態における住宅室内の揮発性有機化合物に関する実態調査, 日本建築学会計画系論文集, 522 号, 45-52 (1999)
- 11) 湯浅和博, 藤井修二, 鍵 直樹, 佃 憲哉:住宅におけるガス状・粒子状物質の測定, 日本建築学会計画系論文集, 533 号, 23-27 (2000)
- 12) 木村 洋他:材料試験チャンバーを用いた建材からのホルムアルデヒド・VOC 発生量測定, 第 16 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, 137-140 (1998)
- 13) Haghghi, F. *et al.*: Literature Review, and the Impact of Indoor Air Temperature and Relative Humidity, *Building and Environment*, **33**, 261-277 (1998)
- 14) Wolkoff, F.: Characterization of Emission from Building Products: Long-Term Chemical Evaluation. The Impact of Air Velocity, Temperature, Humidity, Oxygen, and Batch/Repeatability in the FLEC, *Proceeding of the 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Indoor Air, Vol. 1*, 579-584 (1993)
- 15) Andersen, T. E.: Air Pollutant Concentration Effects on VOC Emission Rates of Building and Furnishing Materials, *Proceeding of the 6th International Conference on Indoor air Quality and Climate, Indoor Air*,

- Vol. 1, 559-563 (1993)
- 16) Zhang, J. S. *et al.*: *Steady of Air Velocity and Turbulence Effects on Organic Compound Emission from Building Materials/Furnishing Using a New Small Test Chamber*, ASTM STP 1287, 184-189 (1996)
 - 17) Colombo, A. *et al.*: *Small Chamber Test and Head-space Analysis of Volatile Organic Compounds Emitted from household Products*, *Indoor Air*, Vol. 1, 13-21 (1991)
 - 18) Chang, J. C. S. *et al.*: *Characterization of Organic Emission from a Wood Finishing Product—Wood Stain*, *Indoor Air*, Vol. 2, 146-153 (1992)
 - 19) 岩下 剛: ポリウレタン床仕上材から放たれた揮発性有機化学物の時系列発生量のモデル化に関する試験研究, 日本建築学会計画系論文集, 522号, 61-66 (1999)
 - 20) Yu, C. *et al.*: *A Review of the Emission of VOCs from Polymeric Materials Used in Buildings*, *Building and Environment*, 6, 357-374 (1998)