

# 北海道健康住宅のコホート調査 The Hokkaido Healthy Housing Study ( H3 Study )

研究代表者 柳澤幸雄 教授 東京大学大学院新領域創成科学研究科  
Yukio YANAGISAWA, Professor, Graduate School of Frontier Sciences,  
The University of Tokyo

**アブストラクト:** ここ数年、日本の家屋の性能は大きく改善されてきているが、その反面、室内環境に関する新しい問題、特に化学物質過敏症に関する関心が高まってきている。これより、室内空気汚染と、健康との関係を把握することが急務となっている。室内環境と健康との関連性を議論する場合、何らかの疾病発症以前の室内環境を調べることは不可能であり、因果関係を論じることがきわめて困難な状況にある。従って本研究では、以下に示すような異なる二つの側面から総合的な研究を実施し、それぞれの結果を利用することで、因果関係の立証というよりも、十分に科学的根拠をもった因果関係に関する仮説を提言する。さらには、主として空気環境の面から考えて、健康にとってよりよい家を提案することとする。

**Abstract:** Many studies have been taken place on volatile organic compounds in indoors. However, these studies have been taken place in various types of residences which itself will effect to the concentration of indoor VOCs concentration. The residences measured in this study were built by the same construction method so the difference of VOCs emission from building materials and air tightness of the houses could be neglected and the VOCs concentration could be compared directly without using complicated statistic. Indoor concentration of VOCs including carbonyl compounds for 1 week was measured by passive type samplers and analyzed by SE-GC/MS or HPLC. Moreover and the effect of lifestyle was surveyed by questionnaires. As a result there were correlation between formaldehyde concentration and furniture, p-dichlorobenzene and households, and ventilation by occupants to reduce indoor VOCs concentration in general which means that not just the building itself but also the lifestyle of the occupants effects to indoor VOCs concentration.

## 1. 研究目的

ここ数年、日本の家屋の断熱性と気密性は大きく改善された。しかしその反面、室内環境に関する新しい問題( 建材等による室内空気汚染、結露、等 ) が懸念されるようになってきた現状も無視できない。これまでの室内環境に関する研究のほとんどは断面研究( 竣工時 ) として、そして少数の家屋を対象として行われてきた。そのため、竣工からの室内環境の変化や、種々の家の特徴による室内環境への寄与に関してはよく知られていない。人は長い年月の間、同じ家に住むと考えられる。そのため、多くの家においていわゆる家の性能と汚染物のレベルの変化を調査することは住む人の快適さや健康にとって、さらには換気や家庭内のエネルギー消費に関する面からも重要となるであろう。

これらの点から、室内環境と汚染物レベルの変化を知るために、下記のような家屋を観察単位とするコホートを北海道で設定し、追跡研究( 北海道 House Health Study ) を計画した。本研究を通して、健康やエネルギー消費等にとって「より良い」家を作っていくことに対して何らかの貢献ができることを期待できると考える。

本研究で実施する調査は以下の通りである。いずれも追跡調査として実施する。(1) MCS 患者を対象とした個人曝露量および(2)室内環境測定( 多数の家屋を対象とした室内環境測定と略記 ) に関する関心が高まってきていることから、家の特徴、特に室内空気汚染と、健康との関係を把握するこ

とが急務となっている。

以下に示すような3種のコホート( 家屋 ) を設定し、追跡調査を行う。

第1コホート( 新築家屋コホート ) :

新築家屋( 登録 ) リストあるいはそれに代わるものに基づいて、約 30 世帯の新築家屋を無作為に研究対象家屋として抽出する。約 10 年間にわたり、室内環境の測定を行う。調査時期は毎年夏と冬とし、それぞれ1週間を測定期間とする( できれば新築時、かつ入居前にも測定を実施したい )。調査が進むにつれ、測定間隔をだんだん長くする( 半年から1年ごと、のように )。測定項目は、VOCs、HCHO、フタル酸、リン酸、換気回数、室内温湿度、調査票を用いた家の特徴把握、ダスト中のダニアレルゲン、カビ( あるいは浮遊菌 ) とする。新築時にはプロアドアを用いた換気回数の測定も行う。この一連の測定を行うことによって、汚染レベルの変化、および汚染レベルに対する家の特徴の寄与を知ることが出来ると思える。

第2コホート( 新築家屋コホート ) :

リストに基づき、無作為に約 10 ~ 20 世帯の新築家屋を、第2コホートメンバーとして選択する。若干の家屋は、第1および第2コホートの両方に含まれる可能性がある。第1コホートと同様の内容でかつ同時期( 同じスケジュールで ) に測定を実施する。

第3コホート( Historical Cohort ) :

リストに基づき、新築家屋（第2コホート対象家屋で代用することも可とする）、5年前に建てられた家屋、10年前に建てられた家屋の3群を設定し、各群約10世帯ずつ第3コホートメンバーとして無作為に抽出する。第1、第2コホートと同じ測定項目について断面的に調べる。この測定は、築年数が異なる家屋の室内環境と家の健康を比較することを可能にすると考えられる。室内環境、エネルギー消費、その他を築年数の異なる3群間で比較する。さらに、可能であれば第3コホートを対象とした追跡調査を行う。過去に揮発性有機化合物、フタル酸エステル、有機リン、ダニ、カビなどに関する実験、実測、疫学調査などを行っているが、その中で建物と健康影響との明確な関連が不明確であるということに至った。

これを解決するために、室内汚染物質の測定法を確立しそれにより室内由来の曝露評価をするとともに、建築物の構造、工法、使用部材による汚染質との関連について検討する。また、アンケートにより居住者由来の汚染とその影響を把握する。以上をコホート調査により室内環境の経年変化と健康影響を統計的に解析にすることにより、室内汚染による健康影響を総合的に評価するものである。

本研究は10年間の追跡調査の3年間分に位置するものである。この3年間では継続して行っている研究と並行して、ガイドラインの制定や建築基準法の改正によって、建材からの化学物質の放散は改善されつつあるが、ホルムアルデヒド濃度は築年数が経過しても依然として高濃度であるという報告もあることに着目した。その原因の1つとして居住者の住まい方であると考えられる。

そこで、本研究では同一工法住宅及び同一材料で建てられた住宅の間では建材からの放散が同量であると仮定し、家具の持ち込み、生活用品の使用・生活行為、換気といった住まい方が室内濃度に与える影響について調査する事を目的とした。

## 2. 研究経過

近年問題になっている化学物質過敏症（MCS）は、室内等に存在する化学物質が原因であると考えられている。それでは、実際にMCS患者はどの程度の量の化学物質を毎日曝露され、主たる発生源と考えられている室内の化学物質濃度はどの程度であるか、また室内の化学物質濃度と患者の症状にはどのような関係があるのかという点に関しては、ほとんどデータがないのが現状であると言える。本研究では、これらについてのデータ、さらには長期的なデータを得ることを目的としていることが特徴的である。MCS患者を対象として、新患時より個人曝露量および患者の家庭内における汚染物質濃度測定を継続的に行い、調査票などを用いた身体状況の変化に関する検討も行うことで、発症直後の曝露レベルを把握するとともに、MCSの病状の変化や濃度との関連性に関するデータを得ることができると考える。一方、MCSとは別に、これまでの室内環境に関する研究

Table 1 調査対象住宅竣工・入居時期

グループ	ID	竣工時期	入居時期
A	001-005	2000年12月-2001年1月竣工	竣工直後
B	006-010	2001年5月-2001年6月竣工	竣工直後

Table 2 調査対象住宅概要

工法	木造プレハブ工法	
内装材	壁	布クロス 自然糊
	床	本絨毯 低放散フローリング
気密度	2001年	3.97cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
	2003年	4.04cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>

Table 3 測定及び分析方法

	サンプラー	方法	分析方法
温湿度		HOBO (15分間隔)	
アルデヒド類濃度	活性炭チューブ	パッシブ法 (1週間)	HPLC *
VOCs濃度	DNPHカートリッジ	パッシブ法 (1週間)	SE/GC/MS *
生活記録		自記式アンケート	

Table 4 HPLC の分析条件

Column	ZORBAX Eclipse XDB-C18(5 $\mu$ m)4.6mm*250mm
Fluent	CH <sub>3</sub> CN:H <sub>2</sub> O=65:35
Flow rate	1.0mL/min
Injection volume	20 $\mu$ L
Column temp.	40t
Detector	Diode Array Detector (DAD)365nm

Table 5 GC/MS の分析条件

Column	HP5 30m*0.25mm*0.25 $\mu$ m
Column temp.	40t (4min.) 10 t /min. 280 t
Solvent delay	1.2min.
Injector temp.	250
Iniection	Pulse split
Interface temp.	220
Carrier	He
Ion souce temp.	230

Table 6 アンケート内容

基本事項	家族構成
	住宅の状況 (築年数・居住年数・面積)
濃度に影響する要因	床材、3ヶ月以内のワックス塗布の有無
	家具 (数、材質、表面積)
	ドライクリーニングした衣類の有無
	衣類用防虫剤、除湿剤使用の有無
	ベンジン・シンナー・塗料・マニキュア等の使用の有無
	殺虫剤・消臭・芳香剤等の使用の有無
	調理器具の使用時間
	喫煙時間
換気時間 空気清浄機の使用時間	

Table 6 2003 年夏 室内濃度結果 (n = 10) (単位:  $\mu$ g/m<sup>3</sup>)

	Mean	Median	Minimum	Maximum	I/O
formaldehyde	29.5	30.0	15.4	45.8	7.44
acetaldehyde	19.2	19.5	12.6	25.2	5.18
2,4-dimethylpentane	8.52	2.70	2.70	57.0	4.80
benzene	1.65	1.65	1.65	1.65	1.00
butanol	2.65	2.65	2.65	2.65	1.00
toluene	19.3	14.1	6.0	50.3	3.26
tetra-chloroethylene	2.25	2.25	2.25	2.25	1.00
butylacetate	3.70	2.55	2.55	8.47	1.45
ethylbenzene	5.29	5.53	2.30	10.8	2.01
m,p-xylene	12.4	10.3	6.31	24.8	3.53
styrene	4.69	2.75	2.75	10.4	1.71
o-xylene	3.90	2.45	2.45	9.11	1.59
nonane	10.8	9.92	2.75	18.9	3.93
alpha-pinene	7.56	7.80	2.65	13.8	2.85
1,3,5-trimethylbenzene	2.70	2.70	2.70	2.70	1.00
1,2,4-trimethylbenzene	5.16	5.73	2.55	9.31	2.02
p-dichlorobenzene	87.2	2.25	2.25	789	38.8
1,2,3-trimethylbenzene	2.30	2.30	2.30	2.30	1.00
limonene	10.6	5.72	2.30	46.9	4.60
undecane	3.05	3.05	3.05	3.05	1.00
nonanal	12.3	8.19	2.70	41.7	1.95

のほとんどは断面研究として、そして少数の家屋を対象として行われてきた。そのため、室内環境の変化や、種々の家の特徴による室内環境への寄与に関してもよくわかっていない。人は長い年月の間、同じ家に住むと考えられる。そのため、多くの家においていわゆる家の性能と汚染物のレベルの変化を調査することは住む人の快適さや健康にとって、さらには換気や家庭内のエネルギー消費に関する面からも重要となるであろう。これらの点から、これまで行われたことのなかった、家屋を観察単位とするコホートの研究を計画している。

### 3.調査概要

本調査は北海道札幌市内の各住宅において2002年冬期、2003年冬期・夏期、2004年冬期のそれぞれ1週間行った。測定アルデヒド類（ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド）はDNPHカートリッジで、VOCsは活性炭充填サンプラーでサンプリングを行った。その後、アルデヒド類はHPLCにて、VOCsはGC/MSにて定性・定量を行った。その他、測定期間中の生活行動を把握するため、換気頻度、溶剤等の使用等について自記式調査表への記入を依頼した。あわせて、気密性の測定を差圧式気密性測定器で、温湿度は小型温湿度データロガーにて測定も行った。サンプリング場所は、室内2ヶ所および屋外1ヶ所。室内は居間および寝室の1室で、サンプラーは、部屋の中央付近で少なくとも壁から1m以上離し、床面より高さ1.2~1.5mの位置に設置した。屋外は外壁および空調吸排気口から2~5m離れた場所で、室内測定と同じ高さの位置に設置した。室内のサンプリング場所を2箇所にするのはデュープリケイトのためである。詳細についてはTables 1~5に示す。

### 4.研究成果

室内化学物質の濃度を Table 5 に示す。

#### 4-1 I/O 値

室内濃度 (I) を室外濃度 (O) で除した I/O 値がホルムアルデヒド、アセトアルデヒド、2,4-ジメチルベンゼン、m,p-キシレン、スチレン、ノナン、ピネン、p-ジクロロベンゼン、リモネン、ノナールで1より大きくなった (Table 5)。これらの化学物質の発生源は主に室内にあると考えられる。

#### 4-2 経年変化

ホルムアルデヒドの濃度は、温湿度の高い夏期の方が濃度が冬期に比べて高くなる傾向がある (Fig.1)。既往の調査では、ホルムアルデヒド濃度は経年変化に伴い減衰していた。また、ホルムアルデヒドは建材や家具など固定物から発生し、既往の研究にもあるように[5]経年に伴って減少すると考えられたがその傾向はなかった。アセトアルデヒド、トルエン、エチルベンゼン、m,p-キシレン、スチレン、p-ジクロロベンゼン、-ピネンなどの物質の濃度も経年に伴った傾向はなく、年によってばらつきがあった。このように時

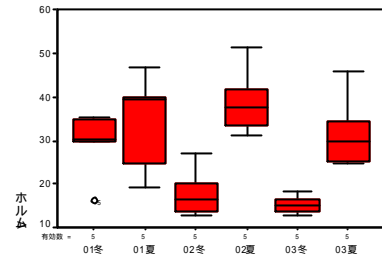


Fig.1 Formaldehyde の季節変化及び経年変化 (グループA)

[最大・最小 平均・±25%]

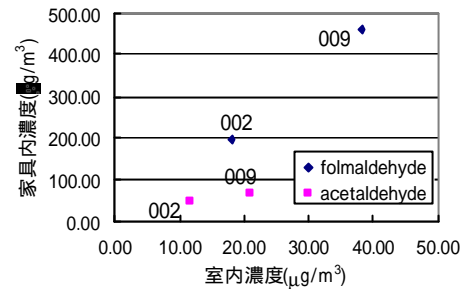


Fig.2 室内濃度と家具内濃度の関係

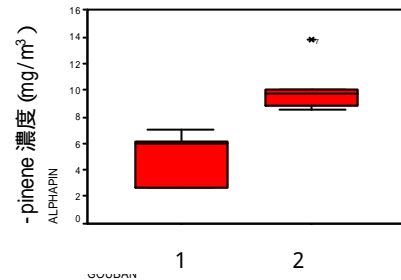


Fig.3 合板表面積と室内 -pinene 濃度の関係 (1: 5m²以下、2: 5m²以上)

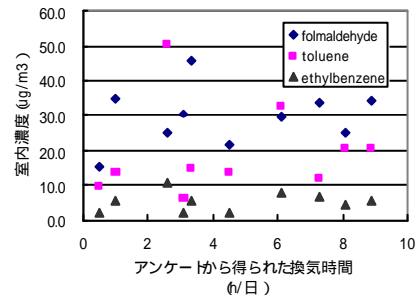


Fig.4 アンケートによる換気時間と室内化学物質濃度の関係

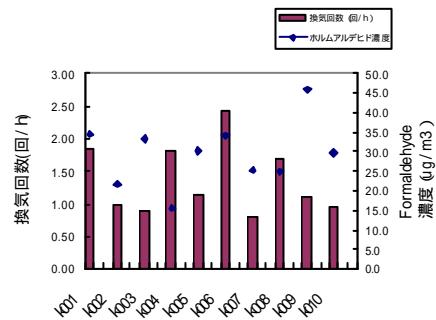


Fig.5 推定換気量 (回数) と Formaldehyde 濃度

期によって濃度がばらついたのは生活行為などの影響を受けたためではないかと考えられる。

#### 4-3 室内濃度と住み方

##### 家具

今回測定した住宅のうち、009 の住宅はホルムアルデヒド濃度が最大の 45.8ug/m<sup>3</sup> となった。この住宅の家具内の同時期のホルムアルデヒド濃度をパッシブサンプラーを家具内に設置して測定したところ、553ug/m<sup>3</sup> と非常に高い値であることがわかった (Fig.2)。空気の入れ替わりの少ない家具内は濃度減衰が小さく高濃度であり居室に影響を及ぼすと考えられており[6]、この家具が室内ホルムアルデヒド等の濃度を上昇させている大きな要因の一つであることが示唆される。

ホルムアルデヒド・アセトアルデヒド及び VOCs 濃度と家具に関連する項目 (新しい家具の有無・家具の使用年数・家具の総材料表面積・家具の天然木表面積・家具の合板表面積) を統計解析した。統計解析には SPSS for Win. Ver. 9.2 を使用し、Mann-Whitney の U 検定を行った。その結果、家具に使用されている合板の表面積の多い住宅 (5m<sup>2</sup> 以上) で ピネンの濃度が高くなることが分かった (Fig.3)。

##### 生活用品 生活行為

001 の住宅においては、p-ジクロロベンゼンの濃度が指針値 240 $\mu$ g/m<sup>3</sup> を大幅に超えて 789ug/m<sup>3</sup> であった。P-ジクロロベンゼンの主な発生源は防虫剤であるがアンケートによると、この住宅では測定期間中に防虫剤は使用されていない。また、この住宅ではこの期間に芳香剤の使用が確認されており、トイレの芳香剤のなかには p-ジクロロベンゼンを含んだ物もあることから、p-ジクロロベンゼンの濃度が高いのは芳香剤の影響であると考えられる。

ホルムアルデヒド・アセトアルデヒド及び VOCs 濃度と生活用品・生活行為に関係する項目を Mann-Whitney の U 検定で統計解析した。ドライクリーニングした衣類の有無、衣料用除湿剤、ベンジン・シンナー・塗料・マニキュア等の使用の有無、消臭剤の使用の有無、調理器具の使用時間、喫煙時間と室内化学物質濃度の間には関係はみられなかった。

##### 換気

アンケートによる換気時間と室内濃度と相関は見られなかった (Fig.4)。これは、室内濃度は実験室での実験とは異なり、実際に居住者の生活する住宅では様々な要因が重なりあった結果の室内濃度であるため、換気の影響だけで濃度を説明することができなかったと考えられる。季節の違いによる換気量の違いについて見てみた。換気時間の短くなる冬期に竣工するグループ A と換気時間の長くなる夏期に竣工するグループ B の竣工直後の TVOC 濃度を比較したところ、換気時間の少ないグループ A はほとんどの住宅で濃度が高くなった。この結果から、竣工直後に居住者が意識をして換気を行うことが重要になると考えられる。また、水蒸気の移動から換気量の推定を行った (Fig.5)。しかし、アンケートで得られた

換気時間との相関はなかった。アンケートだけでは正確な換気量がわからないことや、水蒸気をトレーサーとするのには限界があるためだと考えられる。まとめ

以上をまとめると本研究では、以下の知見を得た。

- ・ 家具が室内ホルムアルデヒド濃度を上昇させる要因の一つになっている。
- ・ 生活用品が発生源である p-ジクロロベンゼンの室内濃度が指針値を越える住宅があった。
- ・ 換気は竣工直後の住宅では有効な濃度低減対策となる。

#### 5.今後の課題と発展

本研究を通して、健康やエネルギー消費等にとって「より良い」家を作っていくことに対して貢献ができると、さらには上記の患者追跡調査などを合わせて検討することで、MCS 発症に関わる知見を得ることが期待できる。従来 MCS に関する研究は、患者の症状や検査データに関する検討が主であり、曝露量との関係を調べて議論した研究、すなわち汚染物質レベルとの因果関係を調べた研究は皆無に近いと言っても過言ではないと思われる。本研究は、発症に関する議論を試みるものではないが、治療経過とともに曝露量を調べることで、MCS の自然史に関する不明な部分がある程度は明らかにできると考える。また、MCS も含めて家に関する一般的な議論を行うためには、ある程度の数を満たし、かつ継続調査をしていくことが必要であると考えられる。このように、本研究は従来行われてきていなかった研究デザイン、さらには新しい方法論的な観点からの研究の提案・実施を通して、この研究領域において、新しい研究の方向付けを行うものと位置づけることができると考える。

#### 6. 発表論文リスト

Nakai,S., Yanagisawa,Y., Kawahara,J., Shinohara,N., Kumagai,K., Abe,K., Jin,K., Kobayashi,S., Katsura,E., CS Patient House Study Group, Indoor Environment of the chemical sensitivity (CS) patient house at Asahikawa, Japan, The 9th Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Monterey, U.S.A., 2002; Vol.1: 607-611.

Nakai,S., Takeda,M., Nishiyama,K., Shinohara,N., Kumagai,K., Yanagisawa,Y., H3 Study Group, The Hokkaido Healthy Housing (H3) Study: Study design and baseline findings, The 9th Int. Conf. on Indoor Air Quality and Climate, Monterey, U.S.A., 2002; Vol.4: 444-448.

Kumagai,K., Ni,Y., Yamamoto,N., Jona,M., Yamamoto,M., Nakai,S., Kouzaki,J., Yanagisawa,Y., The Effect of Lifestyle to Indoor VOCs, Proc. the 2004 14 th Ann. Conf. of the Int. Society of Exposure Analysis, Philadelphia, 2004/10