

住宅における結露・カビの発生要因に関する調査研究

児童のアレルギー性疾患と関連する居住環境要因の改善に向けて

INVESTIGATION ON INDOOR ENVIRONMENTAL FACTORS AFFECTING DAMPNESS IN RESIDENTIAL BUILDING

For improvement of indoor environmental factors related to children's allergic symptoms

吉野 博^{*1}, 北澤 幸絵^{*2}, 長谷川 兼一^{*3}

Hiroshi YOSHINO, Sachie KITAZAWA and Kenichi HASEGAWA

In order to clarify the association between indoor environmental factors and child health problems, epidemiological type surveys for 4th and 5th grade primary school children have been carried out all over Japan. These surveys consist of three Phases including in questionnaire survey and field measurement, and each phase has been proceeded. The 2nd phase is a detailed questionnaire survey to investigate housing characteristics and health problems. From the results of questionnaire survey, it was found that dampness indicator such as condensation and visible mould growth strongly influenced on respiratory symptoms. In this paper, relationship between dampness indicators and indoor environmental factors was analysed statistically for clarifying housing characteristics of damp building affecting children's allergic symptoms. The analysed results are expected to show significant factors which could affect symptoms through the medium of dampness and possible preventions for dampness. Using an unvented heater and a laundry in indoor were defined as the strong factor to dampness indicators due to inadequate ventilation for dehumidification. It is important to keep the ventilation system operating in whole day.

Keywords : Indoor environments, Dampness, Condensation, Visible mould, Questionnaire survey, Statistics analysis
室内環境, ダンプネス, 結露, カビ, アンケート調査, 統計分析

1. はじめに

近年、児童を中心にアレルギー性疾患の有症率が全国的に増加傾向にある。アレルギー性疾患の発症には、遺伝的要因と環境的要因が影響しているが、後者については、特に児童が暮らす住宅の室内環境が主要な原因の一つとして考えられており、国内外で様々な調査研究が進められてきた。室内環境要因の中でも、WHO（世界保健機関）では、室内の高湿度環境（Dampness, 以後ダンプネス）に着目し、健康影響やリスク評価について言及している¹⁾。また、冒頭にダンプネスを定義しており、「カビや水漏れ、カビ臭さ、建物の劣化、微生物汚染など、測定または目視できる過度の湿気を原因とする問題が確認できるような状態」としている。Fisk²⁾らが行ったメタアナリシスによれば、ダンプネスとカビは呼吸器症状や喘息症状を3~5割程度増加させる要因であることを示した。

国内の研究では、岸ら³⁾の国内6地域を対象とした疫学調査では、結露やカビ、水漏れやカビ臭さの発生個数が多いほど、シックハウス症候群の自覚症状との間に有意な関係が得られたことを報告し、東ら⁴⁾は、埼玉県の2,368世帯7,395人を調査し、アレルギー様症状のうち皮膚症状に関わる住環境要因としてカビの発生の影響が強い

ことを示した。しかしながら、疫学的観点から全国的に居住環境と児童の健康状態との関連性を調査した研究は少なく、また、居住環境要因が児童のアレルギーに結びつくまでのメカニズムは複雑であり、実態把握が十分に行われていないのが実情である。

筆者らは、全国の小学校4, 5年生を対象とした疫学的な調査を継続的に実施⁵⁾し、1,846件のアンケート調査の有効回答により、児童のアレルギー性疾患に関わる住宅特性や住まい方等の住環境要因を検討した。その結果、結露やカビ、水シミの発生等と、アレルギー性症状に強い関連性が見られ、ダンプネスに起因する微生物汚染等の問題が健康に影響している可能性を示唆した⁶⁾。

そこで、本報では、ダンプネスと関連深い居住環境要因を把握するために、同アンケート調査の結果を用いて、結露、カビ発生と関連深い住宅・住まい方の要因について分析した。このような居住環境要因を明確にすることは、ダンプネスへの各種対策手法を検討する上で有意義な知見が提示できると考えられる。

2. アンケート調査概要

調査は3つのPhaseから成る。Phase 1⁵⁾にてPhase 2のアンケート

*¹ 東北大学 名誉教授・工博

*² 東北大学大学院工学研究科 博士課程前期

*³ 秋田県立大学システム科学技術学部 教授・博士(工学)

Prof. Emeritus, Tohoku University, Dr. Eng.

Graduate Student, Graduate School of Engineering, Tohoku University

Prof., Akita Prefectural University, Dr. Eng.

に協力可能かを尋ね、承諾が得られた居住者へ2008年2月よりアンケート用紙を送付した。なお、全体の調査デザインは既報⁵⁾を参照されたい。2010年12月までに、計2,884名にアンケートを配布し、1,880名からの回答を得た。このうち、調査同意書への記入がないもの、アンケート項目内の居住環境と健康状態のどちらか一方に回答しているものを除外し、最終的な有効回答は1,846件となる（回収率：64.4%）。

調査項目には、住宅属性、住宅設備、住まい方に関する項目が含まれており、これらと「結露」「カビ」の発生の関連性を分析する。「結露」「カビ」の発生は、居間、子供の寝室（以後、寝室）の二部屋について、壁、床、天井、押入れ、窓・サッシの5箇所に分けて把握した（複数回答可）。

3. 結露とカビの発生に関する単純集計結果

図1に居間における結露とカビの発生割合を示す。結露やカビが壁、床、天井、押入れに発生した住宅を「その他の部位に発生」、窓・サッシのみに発生した住宅を「窓・サッシのみに発生」とし、地域別に集計した。その他の部位及び窓・サッシに発生している住宅は「その他の部位に発生」に含めた。

結露については、「発生しない」の回答割合が北海道でおよそ10%，その他の地域でおよそ20%であることから、多くの住宅でいずれかの部位に結露が生じていることがわかる。発生箇所については、各地域とも「窓・サッシのみに発生」の申告数が圧倒的に多いが、北海道、東北+新潟では、窓・サッシ以外に発生する割合がやや高くなる。

カビについては、全体で4割近い住宅でカビの発生が申告されている。結露よりも全体の発生割合は減少するものの、窓・サッシ以外の部位での発生割合は10%であり、結露の場合とほとんど変わらない。地域別では、北海道でのみ半数以上の住宅がカビの発生を申告

しており、また、結露と同様に寒冷な地域ほど「窓・サッシ以外の部位」での発生が多い傾向にある。明確な地域差は見られないが、寒冷な地域の住宅のほうがダンプネスの程度が高いと推察される。

図には示していないが、結露とカビのいずれの発生も申告していない住宅は23.9%であり、多くの住宅で湿気に関わる問題を持っていることが確認された。WHOの報告¹⁾によれば、欧米先進国や日本、中国などの地域での住宅のカビ汚染の割合を10~50%と見積もっている。日本の結果には岸ら⁷⁾の札幌市内の築年数が新しい住宅を対象とした疫学調査の結果が引用されており、結露の発生が41.7%，カビの発生が15.6%とされている。本調査は、全国の築年数に幅がある住宅を対象とした結果であるが、WHOの報告の範囲の上限に近い結果となっている。

また、窓・サッシにカビが発生した住宅のうち、窓・サッシ以外の部位にもカビが発生している住宅は全体の平均で18%であった。この割合は、寒冷な地域ほど高く、北海道では31%，東北+新潟では22%になる。人目につかない部位に発生した結露やカビは、居住者が発生を認識していない可能性も考えられるため、特に寒冷な地域で、窓・サッシにカビが発生している住宅は注意が必要であるといえる。

図2に、窓・サッシ以外の部位での部位別の発生件数を示す。窓・サッシ以外の部位での全体の発生件数を居間と寝室で比較すると、特にカビの発生の場合に差が大きく（居間190件、寝室285件）、寝室のほうがダンプネスな状態に陥りやすいことが窺える。濱田^{8,9)}は、大阪市及びその周辺の一般住宅113世帯を対象に冬期におけるカビ汚染の調査を行い、サッシ窓のカビ発生に関わるリスク要因として、家族数3人以上、寝室、北向きの窓、暖房しない部屋などを挙げていた。寝室は、居間よりも居住者の滞在時間が短い傾向にあり、換気量が不足しやすいことや、日射が差し込みにくい方位に位置している場合が多いことなどの理由からカビが発生しやすい居室

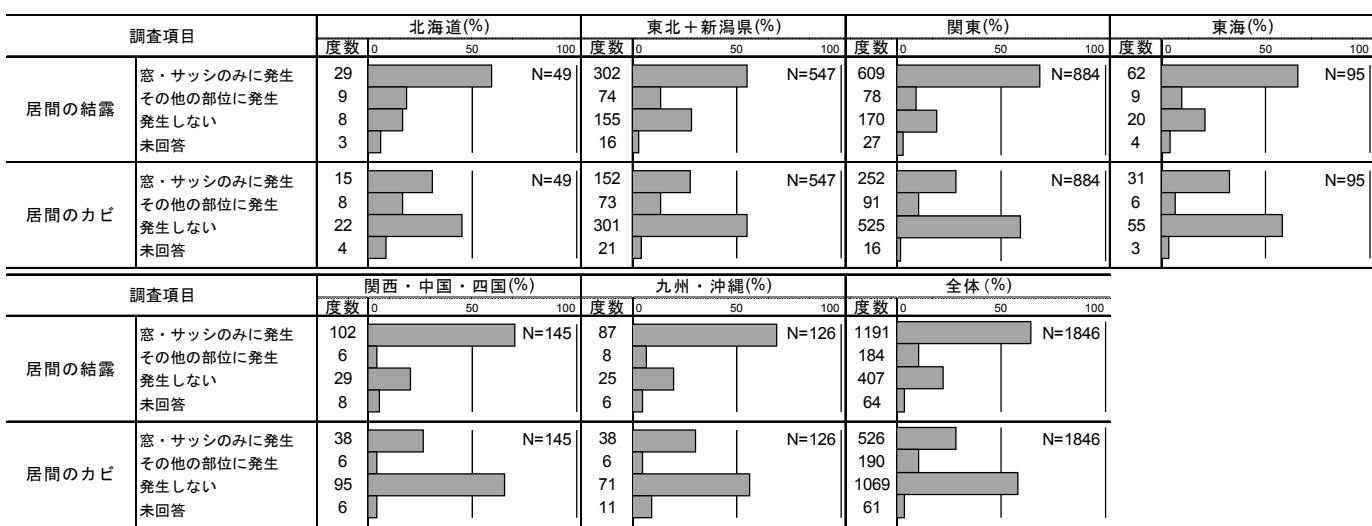


図1 居間の結露、カビの発生割合

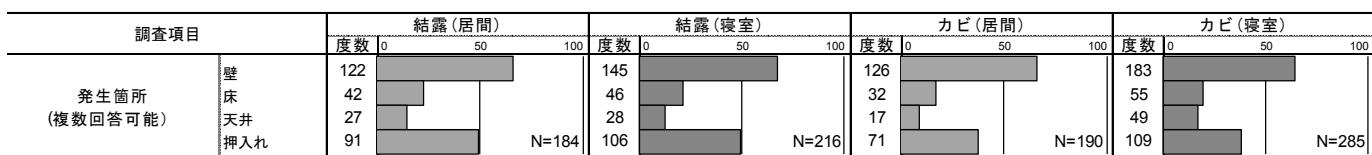


図2 窓・サッシ以外の部位での結露、カビの発生件数

といえる。発生個所については、居間、寝室ともに、同様の分布を示しており、壁、押入れの発生件数が多い。

4. 結露、カビの発生に影響する住環境要因の分析

4.1 分析対象

既報の分析⁶⁾により、ダンプネスの程度が高い「窓・サッシ以外の部位での発生」が症状に特に強く影響を及ぼすことが示された。そこで本報では、「発生あり群」を、①「窓・サッシのみ」に生じていた住宅（図表中、「窓・サッシ」と表記）と、②「窓・サッシ以外の部位」（天井、壁、床、押入れ）に生じていた住宅（図表中「その他」と表記）の2群に分類し、「発生なし群」に対して分析を行った。

4.2 分析方法

分析フローを図3に示す。多変量ロジスティック回帰分析の前段階として、まずStep1として単変量解析を行い、「発生なし群」に対する「発生あり群」の発症リスクであるオッズ比^{注1)}を算出し、アンケート各項目と結露、カビ発生との関連性を個別に把握した。

本調査の質問項目の住宅属性や住まい方等の居住環境要因がカビ、結露の発生に及ぼす影響を検討するには、交絡因子^{注2)}の影響を取除いた上で解析を行う必要がある。そこで、交絡因子を考慮するためにStep2として多変量解析①を実施する。ここでは、アンケートの項目ごとに、交絡因子と考えられる要因を適宜抽出し^{注3)}、強制投入法にて多変量ロジスティック回帰分析を行い、調整オッズ比^{注1)}（以下、調整OR）および、その有意確率を算出した（表1～5）。

続いてStep3では、Step2にて有意水準をp=0.05とし、居間、寝室における結露やカビ発生のいずれかの現象と有意な関連性（p<0.05）が見られた要因の中から、変数減少法（F値>0.10で除去）により特に関連が強い要因を抽出し、調整ORとその95%信頼区間を算出した（表6）。ただし、有意差が得られていても、居住者の回避行動が反映されたものと判断した項目は除外している。配布地域、記入季節は最低限必要な交絡因子とし、モデルに常に強制投入した。なお、解析にはIBM Japanの統計解析ソフトIBM SPSS Statistics 19を使用した。

4.3 分析結果

4.3.1 住宅属性との関連性

表1、2に住宅属性との関連性についての分析結果を示す。築年数については、「10年以上」の住宅に対しそれよりも新しい住宅では、すべての現象の調整ORが有意に1以下であった。また、築年数が新しくなるほど調整ORが小さく、各現象の発生リスクが小さくなっていく傾向が確認でき、結露やカビの発生と築年数が密接に関連していることが窺える。さらに、居住年数に関しても同様で、児童がその住宅に暮らしている年数が短いほど、調整ORが小さくなる傾向がみられた。

住宅形式では、「戸建住宅」に対して「集合住宅」の発生リスクが有意に1よりも大きく、「窓・サッシ以外」での結露の発生に関する調整ORが非常に大きかった。集合住宅(RC)は戸建て住宅に比べて容積が小さい、気密性能が高いなどの理由から、換気が十分に行われていない場合により空気が滞留しやすくなると考えられる。

延べ床面積に関しては、「200m²以上」の住宅に対する「100m²未満」の住宅の「窓・サッシ以外」に結露（寝室）が生じる調整OR

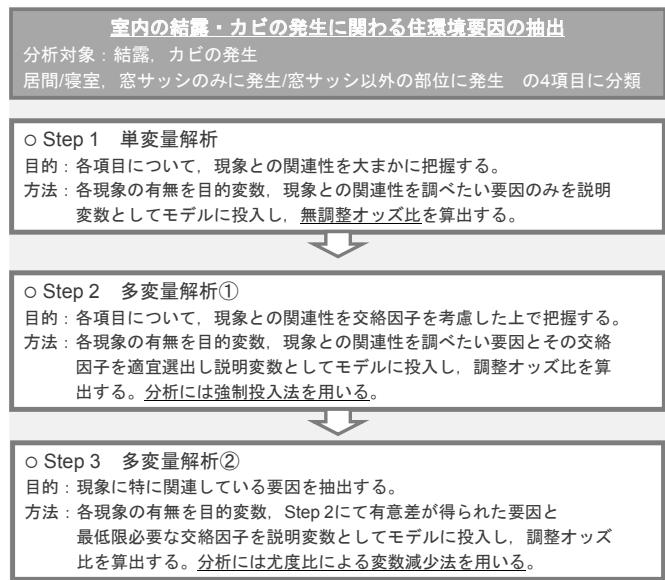


図3 分析フロー

が3.63と有意に1よりも大きい。

居間の窓ガラスについては、「二重サッシ」の住宅に対して「1枚ガラス」の住宅は調整ORが有意に1よりも大きく、断熱性能が低い一枚ガラスの住宅では、結露、カビが発生しやすくなると考えられる。「二重サッシ」と「2枚ガラス」では有意差が得られなかった。

居間では、部屋の広さが窓・サッシ以外の部位における結露やカビの発生と有意に関連しており、部屋が狭くなるほど調整ORが大きくなる傾向がみられる。生活に伴う水蒸気発生量が同程度であるとき、気積が小さい方が高湿度になりやすいことと関係していると考えられる。一方、寝室の広さについては、結露、カビの発生に有意な関連性は見られない。これは、寝室に水蒸気の発生源が少ないためと考えられる。

壁材として「木質系」「塗り壁」の壁材を用いている場合、「ビニールクロス」の住宅に対する居間や寝室の窓・サッシの結露、カビの発生リスクを有意に低減していた。ビニールクロスは空間の調湿にほとんど寄与していないことが示されている¹⁰⁾。よって、「木質系」や「塗り壁」のような仕上げ材料は、相対的に「ビニールクロス」より調湿性を有していると考えられ、室内の高湿度状態の緩和に影響を及ぼしている可能性がある。

一方で、これらの建材は、窓・サッシ以外の部位でのカビの有意な発生リスク増加要因となっている。図2に示した通り、窓・サッシ以外の部位での発生場所は「壁」がもっとも多い。内装仕上げ材として調湿建材を用いた場合、高い含水率状態がカビの繁殖を促すことが懸念されている^{11), 12)}が、木質系、塗り壁などの壁材に調湿性があるとすれば、壁にカビが発生する可能性が高くなると推察される。また、仮に、窓・サッシの結露、カビよりも、窓・サッシ以外の部位のカビの方がダンプネスの程度が重いとみなすと、既報¹³⁾において、木質系、紙、塗り壁はアレルギー性症状の発症リスクであったことと照合する。

床材について、「畳」の使用は居間の窓・サッシにおける結露の発生リスクを有意に減少させている。濱田ら¹⁴⁾は床材別にダスト中真菌濃度を比較し畳が高濃度であったことを報告しており、畳の吸湿

表 1 結露、カビ発生と住宅属性(1)

要因	結露(居間)		結露(寝室)		カビ(居間)		カビ(寝室)	
	窓・サッシ 調整OR	その他 調整OR	窓・サッシ 調整OR	その他 調整OR	窓・サッシ 調整OR	その他 調整OR	窓・サッシ 調整OR	その他 調整OR
築年数	1年未満/10年以上	0.15 ***	—	0.22 ***	0.06 **	0.13 ***	0.11 ***	0.08 ***
	1~3年/10年以上	0.21 ***	0.05 ***	0.31 ***	0.05 ***	0.25 ***	0.10 ***	0.28 ***
	3~5年/10年以上	0.26 ***	0.10 ***	0.33 ***	0.13 ***	0.41 ***	0.08 ***	0.41 ***
	5~10年/10年以上	0.47 ***	0.30 ***	0.63 ***	0.35 ***	0.50 ***	0.46 ***	0.61 ***
居住年数	1年未満/生まれてからずっと	0.28 ***	0.26 **	0.34 **	0.29 **	0.47 **	0.36 *	0.42 **
	1~3年/生まれてからずっと	0.35 ***	0.48 *	0.51 *	0.47 *	0.49 ***	0.45 **	0.49 ***
	3年以上/生まれてからずっと	0.53 ***	0.54 **	0.54 ***	0.53 ***	0.72 **	0.64 **	0.72 **
住宅形式	集合住宅(木造)/戸建住宅	2.94 *	7.20 ***	3.82 *	11.0 ***	2.83 ***	2.54 *	3.26 ***
	集合住宅(RC)/戸建住宅	3.74 ***	6.53 ***	1.49 *	6.77 ***	2.24 ***	2.14 ***	1.80 ***

交絡因子:配布地域、記入季節、周辺地域

有意確率: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, † p<0.1

表 2 結露、カビ発生と住宅属性(2)

要因	結露(居間)		結露(寝室)		カビ(居間)		カビ(寝室)	
	窓・サッシ 調整OR	その他 調整OR	窓・サッシ 調整OR	その他 調整OR	窓・サッシ 調整OR	その他 調整OR	窓・サッシ 調整OR	その他 調整OR
延べ床面積	100m ² 未満/200m ² 以上	1.66 †	1.93	1.68 †	3.63 **	1.54	1.28	1.21
	100~150m ² /200m ² 以上	1.03	0.74	1.05	1.09	1.02	0.73	0.95
	150~200m ² /200m ² 以上	0.90	0.78	0.86	0.89	1.06	0.51 †	0.81
	1枚ガラス/二重サッシ	1.93 ***	2.34 **			1.70 **	1.84 *	
居間の窓ガラス	2枚ガラス/二重サッシ	1.07	0.55 †			1.03	0.93	
	リフォームあり/なし	0.97	1.35	0.94	1.30	0.92	1.06	1.04
	増築あり/なし	1.15	1.43	1.34	2.93 *	1.24	0.75	1.36
改築あり/なし	改築あり/なし	0.73	0.99	0.78	1.34	1.31	0.94	1.28
	水周りの改修あり/なし	0.54 **	0.87	0.83	1.35	1.01	1.66 *	1.10
	壁板・壁紙の張替えあり/なし	0.87	1.10	1.03	1.33	0.88	1.20	1.00
床板の張替えあり/なし	床板の張替えあり/なし	0.79	1.10	1.03	0.93	1.32	1.18	1.12
	置替えあり/なし	0.85	1.35	0.91	1.23	1.18	1.26	1.22
	壁や床のベンキ塗りあり/なし	0.85	1.59	0.70	0.93	1.06	0.83	1.21
換気設備設置あり/なし	換気設備設置あり/なし	0.85	1.31	0.97	1.53	0.83	0.55	1.22
	~4.5畳/8畳~	1.01	4.64 †	0.70	1.64	2.71 †	2.13	0.53 †
	部屋の広さ※1 4.5畳~6畳/8畳~	1.09	3.06 **	1.04	1.34	1.00	3.08 ***	1.08
	6~8畳/8畳~	1.21	1.79 *	1.05	1.43	0.83	1.44 †	1.20
壁材※1	木質系/ビニルクロス	0.56 *	0.86	0.60 †	0.58	0.64	1.98 *	0.54 *
	紙クロス/ビニルクロス	0.87	1.08	0.80	1.01	1.28 †	1.37	1.09
	塗り壁/ビニルクロス	0.54 **	0.57	0.84	1.94 *	0.78	0.74	0.84
	その他/ビニルクロス	0.63	0.81	0.50 *	0.64	0.67	1.50	0.74
床材※1	フローリング+カーペット/フローリング	1.03	1.21	1.25	2.04 *	1.11	1.27	1.02
	カーペット/フローリング	0.89	0.66	1.07	1.54	0.80	0.67	1.04
	畳+カーペット/フローリング	1.46	1.28	0.82	1.54	0.64	1.04	0.99
	畳/フローリング	0.61 *	1.16	0.91	1.33	0.82	1.11	1.09
その他/フローリング	その他/フローリング	1.65 †	1.35	1.04	1.46	0.73	1.24	1.04

交絡因子:配布地域、記入季節、周辺地域、築年数、住宅形式

※1 居間と寝室それぞれのデータをモデルに投入

有意確率: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, † p<0.1

表 3 結露、カビ発生と住宅設備

要因	結露(居間)		結露(寝室)		カビ(居間)		カビ(寝室)	
	窓・サッシ 調整OR	その他 調整OR	窓・サッシ 調整OR	その他 調整OR	窓・サッシ 調整OR	その他 調整OR	窓・サッシ 調整OR	その他 調整OR
開放型暖房機※1 あり/なし	開放型暖房機あり/なし	2.21 ***	3.31 ***	2.35 ***	3.53 ***	1.48 ***	1.81 ***	1.33 †
	終日運転/暖房しない	0.25	0.07 *	0.18 ***	—	0.28 †	0.15 **	0.20 ***
	間欠運転/暖房しない	0.80	0.21	1.12	1.77 *	0.49	0.18 ***	1.01
	就寝時運転/暖房しない	2.23	0.85	1.07	1.25	0.75	0.09 †	1.16
居間の開放型暖房機器+運転状況	開放型+終日/非開放型+間欠	1.73	3.47 †	—	—	1.74	3.33 **	—
	開放型+就寝時/非開放型+間欠	—	—	—	—	—	—	—
	開放型+間欠/非開放型+間欠	1.95 ***	2.81 ***	—	—	1.41 **	1.82 **	—
	非開放型+終日/非開放型+間欠	0.30 ***	0.21 **	—	—	0.49 *	0.86	—
寝室の開放型暖房機器+運転状況	非開放型+就寝時/非開放型+間欠	—	—	—	—	1.99	5.54 †	—
	開放型+終日/暖房しない	—	—	—	—	—	—	—
	開放型+就寝時/暖房しない	—	—	1.28	3.07 †	—	—	1.04
	開放型+間欠/暖房しない	—	—	2.14 ***	4.12 **	—	—	3.06 *
冷房ルームエアコン※1 あり/なし	非開放型+終日/暖房しない	—	—	0.18 ***	—	—	—	—
	非開放型+間欠/暖房しない	—	—	0.92	1.29	—	—	1.21
	非開放型+就寝時/暖房しない	—	—	1.04	0.73	—	—	0.82
	非開放型+就寝時/暖房なし	0.65 **	0.65 †	1.07	1.18	0.84	1.06	1.14
換気設備の運転	換気設備+常時運転/設備無し	0.32 ***	0.25 ***	0.29 ***	0.22 ***	0.28 ***	0.63	0.50 ***
	換気設備+間欠運転/設備無し	1.10	1.54	0.88	1.34	0.83	0.98	0.95
	換気設備+停止/設備無し	1.30	0.87	1.31	1.46	0.75	0.54	0.89

交絡因子:配布地域、記入季節、周辺地域、築年数、住宅形式、居間の窓ガラス※2、部屋の広さ※1、壁材※1

※1 居間と寝室それぞれのデータをモデルに投入

※2 結露(居間)とカビ(居間)の分析時ののみ投入

有意確率: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, † p<0.1

表4 結露、カビ発生と住まい方(1)

要因	結露(居間)		結露(寝室)		カビ(居間)		カビ(寝室)		
	窓・サッシ 調整OR	その他 調整OR	窓・サッシ 調整OR	その他 調整OR	窓・サッシ 調整OR	その他 調整OR	窓・サッシ 調整OR	その他 調整OR	
湿度環境に計 ^{※1}	加湿器 ^{※1} あり/なし	1.20	1.01	1.23	1.05	0.95	0.82	0.88	0.87
	除湿機 ^{※1} あり/なし	1.33	2.44 **	1.32	3.82 ***	0.76	1.91 **	1.11	3.29 ***
	水槽 ^{※1} あり/なし	1.21	1.09	1.33	1.25	0.78	1.00	1.43	0.45
	観葉植物 ^{※1} あり/なし	1.27	1.08	0.68	0.55	1.00	0.77	1.78 *	0.48
	洗濯物 ^{※1} あり/なし	2.24 ***	3.82 ***	1.35	1.46	1.39 **	2.10 ***	1.13	1.05
	水槽・観葉植 物・洗濯物の合 計 ^{※1} 1つ/なし	1.22	1.96 *	1.05	1.02	1.49 **	2.39 ***	1.07	0.84
	物・洗濯物の合 計 ^{※1} 2つ/なし	1.80 **	2.82 **	1.75	1.57	1.56 *	1.82 *	3.68 **	0.98
	全部/なし	7.86 ***	7.96 ***	—	—	0.61	1.38	—	—
	水槽のみ/発生しない	0.70	0.86	0.66	—	0.98	1.08	0.58	—
	観葉植物のみ/発生しない	0.97	0.90	0.56 †	0.37	1.25	1.38	1.27	0.31 †
関わる住まい方	水槽・観葉植 物・洗濯物の組 み合わせ ^{※1} 水槽+観葉植物/発生しない	1.68 *	3.25 ***	1.32	1.45	1.79 ***	3.36 *	1.05	1.04
	水槽+観葉植物/発生しない	0.99	1.27	—	—	1.53	2.19 †	8.91 †	5.49
	水槽+洗濯物/発生しない	2.35 †	3.84 *	1.55	—	1.39	2.85 *	1.33	—
	観葉植物+洗濯物/発生しない	2.38 ***	3.84 ***	1.19	0.87	1.64 *	1.48	4.01 *	0.50
	全部/発生しない	8.07 ***	8.27 **	—	—	0.62	1.40	—	—
加湿器の種類	気化式/加熱式	0.87	1.66	1.42	0.62	1.12	1.36	0.98	0.61
	超音波式/加熱式	0.28 *	0.28	1.39	1.01	0.67	1.44	1.58	0.57
	その他・不明/加熱式	0.86	1.86	1.05	1.49	1.42	0.21	0.96	2.27

交絡因子:配布地域、記入季節、周辺地域、築年数、住宅形式、居間の窓ガラス^{※2}、部屋の広さ^{※1}、壁材^{※1}、床材^{※1}、暖房運転状況^{※1}、換気設備^{※1}
※1 居間と寝室それぞれのデータをモデルに投入 ※2 結露(居間)とカビ(居間)の分析時のみ投入
有意確率: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, † p<0.1

性の影響が示唆され興味深い。一方、寝室では「畳」の使用が窓・サッシ以外の部位のカビの発生と有意に関連しているが、本論文の範囲では因果関係を明確にするには至っていない。

4.3.2 住宅設備との関連性

表3に住宅設備との関連性についての分析結果を示す。アンケートで把握した暖房機器の種類のうち、「石油ファンヒーター（煙突なし）」および「小型石油ストーブ」を開放型暖房機器と定義した。暖房機器に関して、開放型暖房機器の使用は、発生部位に関係なく、結露やカビの発生リスクを有意に増加させていた。一方で、非開放型暖房機器の使用はこれらの発生リスクを抑える要因として有意であり、暖房機器の種類による関連性がみられた。また、終日暖房では結露やカビの発生を低減させている。

冷房用エアコンの設置が居間の結露の発生を有意に低減している。アメリカ北東部の750件の住宅を対象とした調査¹⁵⁾では、エアコン未設置はダニアレルゲン濃度の増加要因として指摘している。エアコンの除湿効果が結露やダニなどのダンプネスを有効に緩和している可能性が示唆される。

大澤、林ら^{15), 16)}は、「壁・床表面カビ数」と「床表面ダニ数」に関する184件の有効データを分析し、換気システムの未設置をカビ、ダニ数を増加させる要因として示唆している。換気設備を「常時運転」している場合、「設備無し」に対して大半の現象において調整ORが有意に1よりも小さかった。間欠運転では有意な関連性が見られないことから、結露やカビを回避する上で換気設備は常時運転を行うことが望ましいといえる。

4.3.3 住まい方との関連性

表4、5に住まい方との関連性についての分析結果を示す。「除湿機」の使用がある住宅は、各部屋の窓・サッシ以外の部位において結露やカビの発生を訴えており、ダンプネスの程度がより深刻であることがわかる。「除湿機」自体がダンプネスの発生要因とはなりえないことを考慮すると、居住者が高湿度状態を回避しようと積極的に除湿機を使用していることが結果に反映されたといえる。

「洗濯物」は、居間において顕著に、結露やカビの発生リスクと

なっている。洗濯物の部屋干しを行う住宅では、不在時に窓を閉め切った状態である可能性が高い。常時換気を行ったとしても、洗濯物からの湿気の発生量に対して換気量が不足していると推察される。この場合の除湿対策としては、除湿器が効果的であると考えられるが、部屋干しを行っている住宅で、除湿器を使用していたのは15%に留まった。人体への影響を考えると、カビの発生は未然に防ぐことが重要であり、洗濯物を部屋干しする際には、除湿器を積極的に使用することが望ましい。

「水槽」「観葉植物」は単体では有意な差は得られにくいが、「洗濯物」がある部屋に置かれた場合の調整ORは、居間の結露について、「洗濯物」単独よりも、著しく大きくなつた。このことから、「水槽」「観葉植物」もまた結露、カビに関わる湿気の発生を促進する要因といえる。

掃除の頻度について、「ほうき等で掃除」をしている住宅では寝室の「窓・サッシのみ」の結露発生に対して、調整ORが有意に1よりも大きかつた。ペットや寝具といった住まい方と、結露やカビの発生については関連性が見られなかった。

5. 結露、カビの発生に影響する住環境要因の比較

表6に居間の結露、カビ発生にかかる住環境要因を同時に組み込んだStep3の多変量解析の結果を示す。

「築年数」、「開放型暖房機器の間欠運転」、「洗濯物」が居間のすべての現象において有意な要因であった。有意差が得られた項目について調整ORを比較すると、窓・サッシ以外の部位における結露、カビの発生については「築年数」が、窓・サッシにおける結露については「壁材」が、窓・サッシにおけるカビに対しては「住宅形式」や「換気設備の運転」の調整ORの値が大きく、これらの要因が結露、カビに大きく影響している。カビの発生に関しては築年数の経過に伴う部材の劣化による影響も考えられる⁸⁾。大澤、林ら^{16, 17)}の調査では、築年数や居住年数が長くなるほどカビ・ダニによる微生物汚染が多く見られることが報告されており、本研究でも目視できるカビの発生について同様の傾向が得られたといえる。

表 5 結露、カビ発生と住まい方(2)

要因	結露(居間)		結露(寝室)		カビ(居間)		カビ(寝室)	
	窓・サッシ 調整OR	その他 調整OR	窓・サッシ 調整OR	その他 調整OR	窓・サッシ 調整OR	その他 調整OR	窓・サッシ 調整OR	その他 調整OR
住まい方	室内での飼育あり/なし	1.18	0.95	0.93	0.85	0.78 †	0.77	0.96 0.88
	猫あり/なし	1.14	1.40	1.26	0.98	1.18	0.80	1.06 1.28
	小鳥あり/なし	—	—	2.00	3.12	1.05	0.77	1.51 0.73
	犬あり/なし	1.01	0.71	0.79	0.50	0.71	0.55	0.84 1.00
	掃除の頻度毎日/1週間に1回	1.15	1.60	1.26	1.58	1.05	1.30	1.13 0.87
	(掃除機)2,3日おきに1回/1週間に1回	0.83	1.16	1.14	1.77 †	1.13	1.19	1.13 0.73
	ほうき等で掃除/1週間に1回	1.47	0.43	4.01 **	4.30 †	1.50	1.08	1.85 † 1.20
	タンスの中の除湿剤あり/なし	1.20	1.77 *	1.01	1.45 †	1.14	1.36 †	0.99 1.42 *
	タンスの中の防虫剤あり/なし	0.99	0.71	0.83	0.76	1.09	1.31	0.93 0.87
	寝具敷布団/ベッド	1.11	0.99	1.19	1.50 †	1.22	1.42 †	1.17 1.15

交絡因子:配布地域、記入季節、周辺地域、築年数、住宅形式、居間の窓ガラス^{※2}、部屋の広さ^{※1}、壁材^{※3}、床材^{※3}、暖房運転状況^{※4}、換気設備、除湿機^{※1}、洗濯物^{※1}

※1 居間と寝室それぞれのデータをモデルに投入 ※2 結露(居間)とカビ(居間)の分析時のみ投入

有意確率: *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, † p<0.1

表 6 居間の結露、カビ発生に関わる要因間の比較

要因 (対照/基準)	結露(居間)						カビ(居間)					
	窓・サッシ 調整OR	95%信頼区間 下限	95%信頼区間 上限	その他調 整OR	95%信頼区間 下限	95%信頼区間 上限	窓・サッシ 調整OR	95%信頼区間 下限	95%信頼区間 上限	その他調 整OR	95%信頼区間 下限	95%信頼区間 上限
築年数	1年未満/10年以上	0.37 *	0.16 0.89	—	—	—	0.26 *	0.07 0.91	0.17 † 0.02 1.30	—	—	—
	1~3年/10年以上	0.43 **	0.24 0.76	0.08 **	0.02 0.38	—	0.42 **	0.22 0.80	0.15 ** 0.04 0.63	—	—	—
	3~5年/10年以上	0.56 *	0.34 0.91	0.07 ***	0.02 0.32	—	0.67 †	0.42 1.09	0.11 *** 0.03 0.36	—	—	—
	5~10年/10年以上	0.83	0.58 1.19	0.57 †	0.30 1.06	—	0.56 ***	0.42 0.75	0.60 * 0.39 0.93	—	—	—
住宅形式	集合住宅(木造)/戸建住宅	2.37 †	0.84 6.67	1.50	0.32 7.10	—	3.50 ***	1.73 7.09	—	—	—	—
	集合住宅(RC)/戸建住宅	2.38 ***	1.58 3.57	3.82 ***	1.87 7.83	—	1.70 ***	1.29 2.24	—	—	—	—
居間の窓ガラス	1枚ガラス/二重サッシ	2.35 ***	1.51 3.64	1.86 †	0.88 3.94	—	—	—	—	—	—	—
	2枚ガラス/二重サッシ	1.29	0.84 1.97	0.52	0.22 1.18	—	—	—	—	—	—	—
住宅属性	~4.5畳/8畳~	—	—	6.48	0.23 184	—	4.12 *	1.16 14.7	2.27 0.31 16.4	—	—	—
	4.5畳~6畳/8畳~	—	—	2.89 †	0.99 8.4	—	0.99	0.59 1.66	3.01 *** 1.64 5.54	—	—	—
	6~8畳/8畳~	—	—	2.09 *	1.07 4.08	—	0.79	0.57 1.10	1.32 0.84 2.09	—	—	—
	木質系/ビニールクロス	0.35 ***	0.19 0.65	0.46	0.16 1.31	—	0.58 †	0.32 1.06	1.33 0.66 2.68	—	—	—
壁材	紙クロス/ビニールクロス	0.75 †	0.55 1.03	0.97	0.54 1.77	—	1.26 †	0.96 1.64	1.45 † 0.96 2.19	—	—	—
	塗り壁/ビニールクロス	0.49 **	0.29 0.83	0.23 ***	0.09 0.56	—	0.79	0.51 1.23	0.52 † 0.26 1.06	—	—	—
	その他/ビニールクロス	0.62	0.33 1.16	0.77	0.23 2.62	—	0.78	0.43 1.43	1.69 0.81 3.52	—	—	—
	フローリング+カーペット/フローリング	0.66	0.31 1.39	—	—	—	—	—	—	—	—	—
床材	カーペット/フローリング	0.91	0.65 1.28	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	畳+カーペット/フローリング	1.24	0.43 3.58	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	畳/フローリング	0.50 **	0.30 0.84	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	その他/フローリング	1.62	0.89 2.96	—	—	—	—	—	—	—	—	—
暖房	開放型+終日/非開放型+間欠	1.88	0.57 6.23	2.42	0.41 14.5	—	1.95	0.74 5.12	3.49 * 1.09 11.1	—	—	—
	開放型+就寝時/非開放型+間欠	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	開放型+間欠/非開放型+間欠	1.97 ***	1.45 2.68	2.67 ***	1.52 4.70	—	1.33 *	1.03 1.72	2.02 *** 1.37 2.97	—	—	—
	非開放型+終日/非開放型+間欠	0.45 ***	0.28 0.73	0.42	0.14 1.27	—	0.71	0.41 1.24	0.92 0.44 1.90	—	—	—
換気	換気設備+常時運転/設備無し	0.40 ***	0.27 0.59	—	—	—	3.64	0.41 32.6	2.83 0.18 44.1	—	—	—
	換気設備+間欠運転/設備無し	1.08	0.73 1.60	—	—	—	0.80	0.57 1.12	—	—	—	—
	換気設備+停止/設備無し	1.25	0.72 2.14	—	—	—	0.76	0.48 1.20	—	—	—	—
	洗濯物あり/なし	2.08 ***	1.55 2.79	3.73 ***	2.18 6.39	—	1.40 **	1.09 1.79	2.13 *** 1.47 3.09	—	—	—

○交絡因子：配布地域、記入季節 ○他の項目：尤度比による変数減少法 (F=0.10) 有意確率： *** p<0.001, ** p<0.01, * p<0.05, † p<0.1

窓・サッシ以外の部位の結露に対して、「洗濯物」の調整 OR は 4.81 (p<0.001) と大きく、住宅形式や、部屋の広さよりも強い影響力を持っているため、洗濯物を部屋干しする際には除湿が重要であるといえる。

住宅形式に関しては、「戸建住宅」に対する「集合住宅」の調整 OR が大きい。「部屋の広さ」に関わらず、集合住宅はダンプレスな状態に陥りやすいことが示唆される。

換気設備を常時運転している場合、窓・サッシにおける結露やカビの発生の調整 OR はそれぞれ 0.40 (p<0.001), 0.32 (p<0.001) であり、特に関連強い要因として抽出された。Step2 の多変量解析 (表 3) では、窓・サッシ以外の部位における結露やカビの発生に対しても有意であったが、ここでは特に関連の強い要因としては抽出されなかった。

壁材については、「ビニールクロス」と比較して「木質系」の調整 OR が 0.35 (p<0.001) となり、住宅形式や窓ガラスの構成と同等

の影響力を持つことが示された。Step2 の多変量解析 (表 2) では、調湿性能を有すると考えられる建材へのカビの発生が示唆されたが、この Step3 の分析では、居間においてその傾向は現れていない。ただし寝室では、図には示していないが、依然として「塗り壁」が、その他の部位でのカビの発生を助長する要因として抽出されている。

床材は、窓・サッシの結露に対してのみ抽出され、「畳」にのみ有意差が得られたが、調整 OR は 0.5 (p<0.01) とほかの要因と比較して影響力は大きくない。床材は、壁材と比較して、住宅のダンプレスとの関連性が弱いことが窺える。

6. まとめ

本報では、アンケート調査 (Phase 2) をもとに、結露やカビの発生の有無を目的変数、居住環境要因を説明変数としたロジスティック回帰分析を実施し、以下の知見を得た。

① 「築年数」は新しい住宅ほど結露やカビの発生割合が低減され、

- 住宅性能の影響の大きさが窺えた。「住宅形式」では戸建住宅よりも RC 集合住宅で結露、カビが発生しやすい傾向が見られ、集合住宅がより気密性が高いことが原因のひとつと考えられる。
- ② 「木質系」や「塗り壁」といった調湿性能を有すると考えられる壁材が、窓・サッシ部における結露の発生を有意に抑えている。しかしながら、このような壁材自体にカビが発生している可能性も同時に示唆された。
- ③ 「窓ガラスの構成」「開放型暖房機器」「洗濯物」「観葉植物」が、結露、カビ発生に関わる要因として抽出された。特に「開放型暖房機器」と「洗濯物」の室内干しの影響は大きく、発生部位に関係なく結露やカビと関連しており、これらはダンプネスを介してアレルギー性症状に影響している可能性がある。
- ④ 「換気設備の常時運転」は、結露やカビの発生を抑える要因として有意であった。特に、窓・サッシにおける結露やカビの発生とは関連が強く、間欠運転では有意な関連性がみられないことから常時運転の重要性が示された。

謝辞

本研究は、国土交通省に設置された「健康維持増進住宅研究委員会(委員長：村上周三(独)建築研究所理事長(当時))」ならびに民間企業等により構成される「健康維持増進住宅研究コンソーシアム(会長：村上周三)」に設置された健康影響低減部会(部会長：吉野博)の中の室内空気質・湿気問題検討 WG(主査：吉野博、幹事：長谷川兼一、委員：阿部恵子、池田耕一、加藤則子、三田村輝章、柳 宇、榎本淳史、栗原潤一)の活動(平成 19~24 年度)の一環として実施したものである。

本調査を進めるにあたっては、平成 20~23 年度科研費(課題番号 20246092、研究代表者 吉野博)、(財)鹿島学術振興財団、(財)住宅総合研究財団、(財)トステム建材産業振興財団からの助成をうけた。各教育委員会ならびに小学校の関係各位、保護者の皆様には多大なる協力をいたしました。また、東北大学大学院・大学院生(当時)であった安藤直也氏、浜田健佑氏には調査の実施ならびにデータ分析に際して貢献をいたしている。ここに記して、深甚なる謝意を表する次第です。

注

- 注1) オッズ比とは、ある事象の起こる確率と起こらない確率の比をいう。多変量ロジスティック回帰分析で得られたオッズ比を、交絡因子を考慮して得られた調整されたオッズ比として「調整オッズ比」と呼ぶ。
- 注2) 交絡因子は、目的変数と説明変数の両方に相関するような因子(変数)。
- 注3) Step 2 では、アンケートで把握したすべての居住環境の要因について、結露やカビとの関連性をより詳細に検討した。配布地域と記入季節を基本的な交絡因子とし、「周辺環境」→「住宅属性」→「住宅設備」→「住まい方」と結露やカビの発生に対して影響が大きいと考えられ要因から順に分析し、関連性が示唆された要因を逐一、次の要因の分析時に交絡因子として加えた。

参考文献

- World Health Organization: WHO GUIDELINES FOR INDOOR AIR QUALITY, DAMPNESS AND MOULD, 2009.
- Fisk, W.J., Lei-Gomez, Q and Mendell, M.J.: Meta-analyses of the associations of respiratory health effects with dampness and mold in homes, Indoor Air, 17(4), pp284-296, 2007.
- 西條泰明、吉田貴彦、岸玲子：シックハウス症候群への湿度環境・生物学的汚染の影響、日本衛生学雑誌, 64(3), pp.665-671, 2009 年.
- 東賢一、塩津弥佳、池田耕一：埼玉県における居住環境とアレルギー性疾患の関連性に関する調査研究、日本建築学会環境系論文集, 584 号, pp.83-90, 2004.10.
- 中村安季、吉野博他：居住環境と児童の健康障害との関連性に関する調査研究(I) 調査デザインと実施状況、日本建築学会大会学術講演梗概集, D-2, pp.831-832, 2008.
- 吉野博他：居住環境における健康維持増進に関する研究 その 37 居住環境と児童の健康障害との関連性に関する調査研究(II) アレルギー性疾患患者と居住環境との関連性についてのアンケート調査(Phase2)によるダンプネスと健康影響の分析、日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp.1167-1168, 2011.
- Y. Saijo, R. Kishi et al.: Symptoms in relation to chemicals and dampness in newly built dwellings, International Archives of Occupational and Environmental Health, 77, pp.461-470, 2004.
- 濱田信夫: サッシ窓の結露とカビ汚染の現状、生活衛生, 50(2), pp.69-75, 2006.
- 濱田信夫: サッシ窓のカビ汚染の原因と対策、生活衛生, 50(3), pp.130-135, 2006.
- 斎藤正文、宿谷昌則、向野元昭、伊与田温：材料の吸放湿特性を利用した室内湿度調整法に関する実験、日本建築学会大会学術講演梗概集, D, pp.919-920, 1987.
- 弘瀬将光、村上周三、加藤信介、大岡龍三、徐長厚：建材における真菌起源揮発性有機化合物(MVOC)の放散量の測定、日本建築学会大会学術講演梗概集, D2, pp.895-896, 2006.
- 工藤裕太、柳宇ほか：地中熱利用ピットにおける調湿材での微生物汚染の実態調査、日本建築学会大会学術講演梗概集, D2, pp.665-666, 2011.
- 浜田健佑、吉野博他：居住環境と健康障害との関連性に関する調査研究 その 6 アレルギー性疾患と居住環境との関連性についてのアンケート調査(Phase2)のロジスティック回帰分析結果、日本建築学会東北支部研究報告集, 第 73 号, 計画系, pp.95-98, 2010.
- 濱田信夫：室内塵中のカビ汚染の現状、生活衛生, 51(5), pp.295-303, 2007.
- R.T. van Strien, U. Gehring, et al.: The influence of air conditioning, humidity, temperature and other household characteristic on mite allergen concentrations in the northeastern United States, Allergy, 59(6), pp.645-652, 2004.6.
- 日下彩、大澤元毅、林基哉：カビ・ダニの実態と建築的要因に関する調査研究(その 2)調査対象住宅の属性、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp.899-900, 2007.
- 林基哉、大澤元毅、日下彩：カビ・ダニの実態と建築的要因に関する調査研究(その 3)住まい方とカビ・ダニ数、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, pp.901-902, 2007.

(2013年 7月 9日原稿受理、2013年12月18日採用決定)