

Damp Building における室内環境と健康に関する研究

主査 長谷川 兼一^{*1}

委員 石川 善美^{*2}, 久慈 るみ子^{*3}

最近、欧米では湿気が原因で健康に被害をもたらす "Damp Building" が注目されている。日本では建物と湿気に関する問題が既に認識されているため、"Damp Building" の潜在性が指摘できる。そこで、湿気に起因する問題点の実態を明らかにするとともに、これらの被害防止の観点から建築的対応策について検討を行った。その結果、"Damp Building" と疑われる住宅では、特に居室内のカビ量がヨーロッパのガイドラインを上回る住宅が多く、居住者の健康被害はカビ・ダニ等のハウスダストとの関連が深いことを指摘することができた。また、居室の換気に対する配慮が十分でない場合に被害が発生していることから、計画換気の重要性を確認した。

キーワード：1)Damp Building, 2)住宅, 3)室内環境, 4)健康, 5)湿度, 6)結露, 7)ダニ, 8)カビ

INDOOR ENVIRONMENT AND OCCUPANTS' HEALTH IN DAMP BUILDING

Ch. Ken-ichi Hasegawa

Mem. Yoshimi Ishikawa and Rumiko Kuji

Recently, in European countries and USA there are several the reports of relationship between dampness in building and health such as asthma and other respiratory symptoms. It has been said that Japan is humid environment and moisture problems has happend in buildigns. The purpose of this study is to clarify the association between indoor environent and occupants' health in damp buildings, and to offer the design strategies of indoor thermal environment and I.A.Q.. The investigation of dwelling indoor environment in Tohoku District revealed that occupants' health has relationship to allergen of mould and mite.

1. はじめに

1.1 研究の目的

建物と湿気に関わる問題は、我が国の気候が高温多湿であると認識されているように古くから指摘されている。最近、建物の壁や床などの躯体内や空気中に含まれる湿気が原因で、ダニ・カビなどの微生物が繁殖し、それがアレルギー(アレルギーの原因物質)として作用し、居住者の健康へ被害をもたらす危険性が国際的に指摘されている。このような建物は、湿気が高い状態(Dampness)が継続することにより生じると考えられることから、"Damp Building" として扱われている。北欧諸国では、"Damp Building" の実態把握と原因解明に向けた研究が積極的に進められているが、高温多湿な気候を持つ日本では、北欧とは異なる "Damp Building" の問題が生じる可能性が高いにも関わらず、未だ認識が薄いのが現状である。"Damp Building" は高湿状態により生じる問題であるが、一方で、断熱気密住宅と低湿度環境との関連も指摘^{*1)}されており、湿度制御の難しさが窺える。

本研究グループは、2002年冬期に東北地方都市部における住宅約 1000 件を対象としたアンケート調査、2003

年冬期には断熱気密住宅約 200 件を対象とした室内空気環境に関する調査を実施した。調査の概要は後述するが、室内空気の乾燥や結露によるカビの発生、室内空気の汚れに対する指摘がなされ、高湿・乾燥状態が原因となる問題が発生している。これら湿度環境や空気環境に起因する問題点は、建物のシェルター性能や設備性能、居住者の住まい方、地域の気候条件等により状況は異なるものと推察されるが、真に良質な居住環境を実現させるためには、より詳細な現場での実測調査を行った上で、建築的な対応の可能性を検討することが必要である。

そこで本研究は、先に実施した東北地方の住宅を対象とした調査の対象住宅のうち、特に室内湿度に関連する問題点が顕著に見られる住宅を抽出し、

- ①室内熱・空気環境に関する詳細な実測調査を通じて、湿気に起因する室内環境や健康への問題点の実態を明らかにする。
- ②室内環境や健康への被害防止の観点から、住まい方の上での対策手法及び吸放湿性の高い内装材の使用などによる建築的対応策について、数値計算によって検討する。

^{*1}秋田県立大学 助教授

^{*2}東北工業大学 教授

^{*3}尚絅女学院大学 助教授

ことにより、寒冷地住宅の室内熱空気環境の設計にフィードバックさせる基礎資料を得ることを目的とする。

1.2 研究の概要

図1-1に本研究のフローを示し、各項目の概要は以下の通りである。

(1) Damp Building に関する報告の文献調査

最近、北欧諸国を中心として"Damp Building"に関する調査研究が進められており、国際学会等で報告されている。各報告での"Damp Building"の定義や健康上の被害状況を整理し、問題の所在を明らかにする。

(2) 住宅の室内熱・空気環境に関する実測調査

本研究グループが2002年と2003年冬期に実施した室内環境調査の対象住宅の中から、特に室内湿度に関連する問題点が指摘される住宅を抽出し、室内熱・空気環境に関する実測調査等を行う。

(3) 室内環境と健康への問題の実態に関する検討

(1),(2)の結果を基に考察を行い、室内環境や健康への問題の実態を明らかにする。また、これらの問題点を防止する観点より、住まい方の上での対策方法の工夫や建築的な対応策について考察を行う。

(4) 湿度起因の被害防止に関する数値計算による検討

多数室熱湿気計算プログラムを用いて、住まい方の設定、吸放湿性能の高い内装材の貼付状況等をパラメータとした数値計算を行い、これらの効果について検討する。

(5) 体系的な設計手法の提案

以上の検討を踏まえて、Damp Buildingにおける被害防止のための設計手法を体系的に整理する。

2. Damp Building に関する文献調査

2.1 国内の研究状況

国内では、"Damp Building"という言葉は殆ど聞かれない。そこで"Damp Building"をここでは「建物の湿害」に関わるものと捉え、「温湿度環境」、「結露」、「カビ・ダニ」に関連した文献を対象とした。

調査対象とした文献は、日本建築学会大会学術講演梗概集、日本建築学会計画系論文集、日本生気象学会誌、日本公衆衛生雑誌(以上、2002年まで)、シンポジウム資料等である。その結果81題の論文を抽出した。これらを調査内容により、①温湿度調査、②結露調査、③カビ・ダニ調査、④健康調査、⑤室内化学物質汚染、⑥文献レビューに分類すると、表2-1のようになる。温湿度調査に関する文献が最も多く、これはカビ・ダニ調査、健康調査と共に温湿度を計測して、その関連性について検討している例が多いためである。しかし、1980年代後半から1990年にかけては、例えば、岩井ら²⁾、澤田³⁾、吉野ら⁴⁾によるRC造集合住宅における温湿度環境と結露被害に関する調査、1990年代からは断熱気密住宅の普及

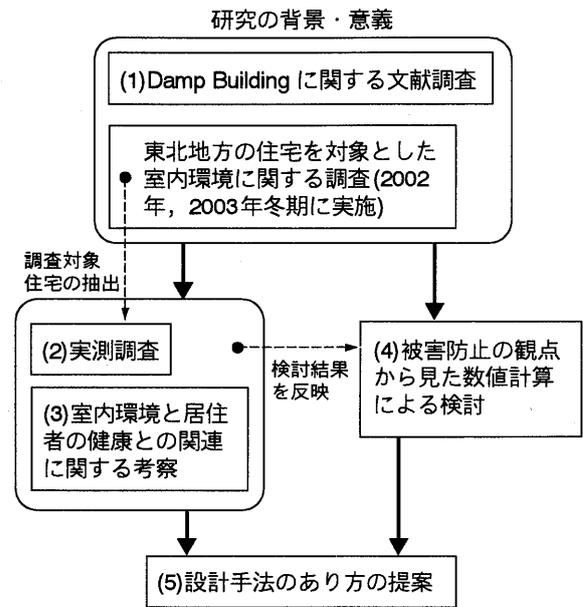


図1-1 本研究のフロー

表2-1 国内文献調査による内容の分類

温湿度調査	結露調査	カビ・ダニ調査	健康調査	室内化学物質汚染	文献レビュー
73	10	22	8	4	2

単位：[題]
※重複カウントしている

に伴い、室内温湿度のほか、福島⁵⁾、岩前⁶⁾らの床下湿度環境など温湿度に主眼をおいた調査も数多く見られ、湿気に起因する建物被害の報告が多い。

カビ・ダニ調査に関しては、建築分野では田中ら⁷⁾、岩田ら⁸⁾、青木ら⁹⁾のダニ数やカビ量の実測調査が、医学・衛生学分野ではアレルギーなどの健康被害に関連した志村ら¹⁰⁾の調査がある。しかしながら、これらの調査の中で、カビ、ダニの生息と室内環境との関連性、アレルギー性疾患と住宅属性や居住歴などとの関連性については指摘されているが、"Damp Building"の原因解明につながる建物-湿気-結露-カビ・ダニ-アレルギー-健康性などの一連の繋がりについて総合的に取り扱った研究例は見られない。また、最近では、断熱気密住宅における居住者の乾燥感¹¹⁾、都市の乾燥化とアトピー性疾患¹²⁾、シックハウスに関連したカビ・ダニ問題¹³⁾など、低湿度や化学汚染物質に関連するとともに、これらが省エネルギーやヒートアイランド現象など社会的な背景から起こった問題であることが特徴である。

2.2 海外の研究状況

住宅の湿気問題に関連する文献を1999年から2002年の国際会議のプロシーディングCD-ROM^{14),15),16),17)}より調査した。対象論文は'Damp'や'Moisure', 'Mold'等Damp Buildingに関連するキーワードにより検索し、ヒットした中から論文概要より判断し、主に住宅に関連の深いと思われる文献に絞りこんだ。

上記の条件により論文を抽出した結果、1999年の論文は5題、2000年は8題、2001年は4題、2002年は23題、計40題となった。調査対象地域は北欧とした研究が最も多く13題、次いで米国が9題である。その他、西欧が5題、カナダやシンガポール、台湾、日本、ニュージーランド、ブラジル、南アフリカ、ロシアが1題ずつであった。論文内容に関し、実測調査やアンケート調査による研究が31題、既往研究のレビューが5題、研究プログラムやガイドラインの概説などが4題である。これらの論文は主に室内の湿気の問題(カビ・ダニ・微生物等)と喘息やアレルギーなど症状の関連性の検証や湿気問題の改善手法の検証をしている。

例えば、CG Bornehag, J Sundell¹⁸⁾のレビューでは1998年から2000年の"Dampness"に関連した科学論文104件を調査し、このうち、著者らの判断によりバックグラウンド論文や、情報や結論が示されていない論文、人体への湿気被害や健康影響、又は湿気被害と健康の関係の分析がなされていない論文52件を除外しレビューしている。28件の論文がダンプネスと健康影響について論じている。ダンプネス及び症状の自己申告のデータを示している15件の論文に関し、13件の論文では、ダンプネスと健康影響に正の関係が見られているが、2件の論文では正の関係は見られていない。ダンプネスの自己申告と健康状態の客観的な結果についての論文は6件あり、このうち5件が正の関係を示している。また、ダニ暴露と健康影響についての論文は18件あり、このうち、5件はダニ暴露と症状のデータを報告している。5件の臨床研究は予防による被害の減少を示しているが、症状改善を示したのはこれらのうち1件だけである。16件の研究で、ダニ暴露と医師の診断(過敏症を含む)のデータを示している。ここでは、ダンプビルにおいて原因となる因子としてダニ、微生物、有機化学物質を挙げ、結論として、科学雑誌に掲載されている室内環境ファクターと健康影響の関係に関する論文を多方面にわたってレビューする必要性を述べ、一般市民への啓発がダンプビルを改善し、ダニ暴露を避けるとしている。

3. 住宅の室内環境と健康に関するアンケート調査

3.1 東北地方都市部における住宅を対象とした調査

1)調査概要

筆者らは、温熱環境とそれの形成に寄与する要素としてのシェルター性能、設備、住まい方、エネルギー消費量、居住者特性をまとめて“熱環境から見た冬期の居住性能”と捉え、1982年と1992年の冬期に東北地方都市部を中心とした約1000戸の住宅を対象としてアンケート調査^{19),20)}を行った。さらに、居住性能がどのように推移しているか把握するために、最初の調査から20年後の2002年2月に同様の方法で同じ都市を対象として調

査を実施した。

対象都市は図3-1に示す東北地方12都市と札幌、府中である。調査対象住宅は各都市の小学校の児童の自宅とし、冬期の居住性能が把握できるよう質問項目を設けた。アンケート配布数は970、有効回答数は824である。

2)調査結果

戸建住宅の主な結果を都市別に集計し図3-1に示す。

住宅の床面積は20年間で増加傾向にあり、また、窓構成や隙間風の有無等の回答より断熱気密性能の度合いは高くなっている。

居間の暖房器具について、山形以北では密閉式ストーブの使用が多く、酒田以南では開放式ストーブが多い。20年前では、札幌、青森で半密閉式、その他の都市では北東北であっても開放式が最も多く使用されていた状況から判断すれば、大きな変化といえる。暖房時間は、札幌で終日暖房が50%以上を占めているのを始めとして、北東北の都市で長い。20年前は札幌でさえ終日暖房の割合は低く、暖房時間は確実に増加している。

空気の乾燥について、全体的に各都市とも「やや乾燥している」「ちょうど良い」と回答している住宅が多い。断熱材の使用の割合が比較的高い札幌、青森にて、「非常に乾燥している」と回答する割合が高い傾向がある。空気の乾燥により「皮膚の乾燥」「喉の痛み」を訴えており、割合は少ないが被害状況は深刻な場合が多い。

居間の結露²¹⁾について、全体の55%の住宅で「あり」と答えており、過去2回の調査と大差ない。これは、住宅のシェルター性能が向上しているにも関わらず、開放型石油ストーブが使用されていることが原因の一つと考えられる。札幌では「あり」の住宅が最も少なく約35%、逆に福島で最も多く約80%となっている。結露する部位は、各都市とも窓が大部分を占める。結露対策として「換気と断熱に気を付ける」「除湿器を使用」との回答が多いが、地域的な差は見られない。結露による被害を具体的に記述しているのは全体の30%に及び、特にカビの発生を指摘する住戸が大半を占め、窓枠や押入、タンスの裏での被害を居住者は申告している。

3.2 東北地方における断熱気密住宅を対象とした調査

1)調査概要

断熱気密住宅における室内空気質の実態を明らかにするため、2003年冬期に約200件の住宅に対し、室内空気質測定と併せてアンケート調査を実施した。

測定対象住宅は、住宅研究会などを通じ、工務店約50社に住宅の紹介を依頼した。その結果、198件の住宅の協力を得ることができた。これらに対し、室内空気質用バッジ(ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド用)及びアンケート調査用紙を配布した。調査期間は2003年1月21

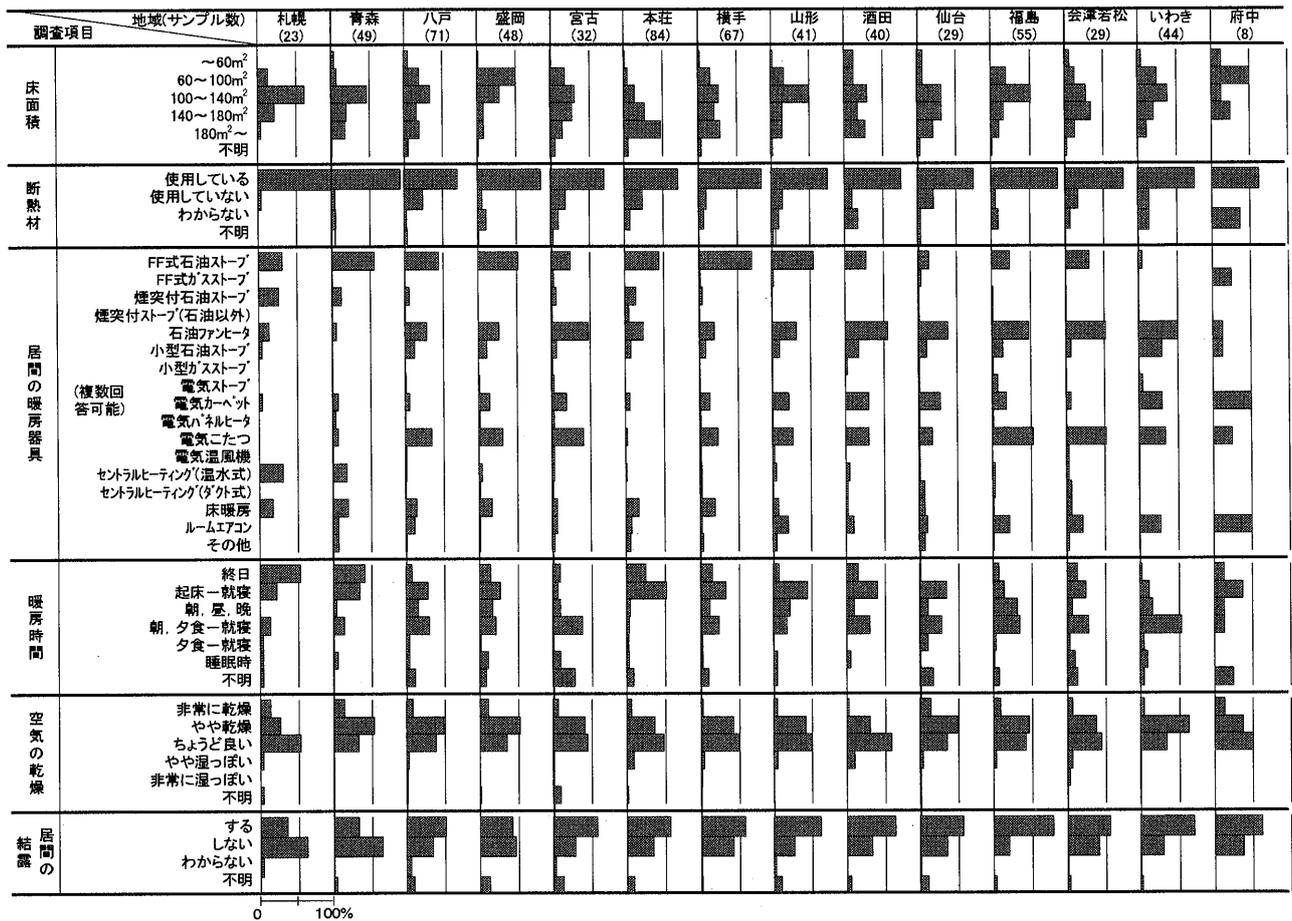


図3-1 アンケート調査結果の度数分布

日～3月8日である。アンケート調査内容は、主に室内空気環境と在室者の健康に関連する項目とし、さらに湿気被害の調査の足掛りとすべく、湿度に関わる問題点についても質問した。

2) 調査結果

アンケート調査により得られた主な結果を示す。

住居形態は戸建が195件、集合住宅が3件である。工法は木造軸組工法が最も多く123件(62.6%)、次いで木造枠組工法が55件(27.3%)であった。竣工年は1999年以降が190件(96.0%)と大半を占めている。暖房設備は、蓄熱型式房が103件(52.0%)、エアコンが38件(19.2%)、パネルヒーターは32件(16.2%)、FF式暖房機は15件(7.6%)である。

図3-2に換気設備の有無と運転状況を示す。換気設備がある住宅は187件(94.4%)と大半を占めるが、備えていない住宅が若干含まれている。換気設備がある住宅のうち、24時間運転が143件(72.2%)、24時間未満が34件(17.2%)、使用しない住宅が3件(1.5%)であった。

居住者688人に対して、入居後、化学物質が原因と思われる体調の変化があったのは27人(3.9%)、17件(8.6%)の住宅で訴えており、症状のある家族のうち1人についてその症状を記述してもらった。平均年齢は45.5歳であ

り、性別は男性7人、女性9人である。図3-3に主な症状を示す。図を見ると皮膚や目への刺激が多い。医師の診察を受けたのは8人であり、診断結果はアレルギー性鼻炎が3名、花粉症の疑い、乾燥のためのかゆみ、ダニ・カビ・ホコリ・動物アレルギー、高血圧がそれぞれ1名ずつであり、「化学物質が原因」という回答はなかった。

暖房時の室内湿度について、乾燥していると感じている住宅は「非常に」と「やや」乾燥を合わせて155件(78.3%)、丁度良いという住宅は39件(17.0%)であった。また、空気の乾燥に対して問題と感じている住宅は68件(34.3%)、問題と感じていない住宅は114件(57.6%)であった。結露の発生が認められる住宅は42件(21.2%)、カビの発生は19件(9.6%)の住宅で申告した。結露やカビの発生場所は、窓サッシ、窓ガラスが大半である。湿度管理に対しての工夫は、加湿器を使用する住宅が83件(41.9%)、除湿機使用が6件(3.0%)、換気に気をつけるが21件(10.6%)であり、何もしないという住宅が56件(28.3%)であった。

3.3 まとめ

東北地方における住宅の室内環境調査の結果を示した。住宅の居住性能に関する調査では、過去20年間で段階的に住宅の省エネルギー基準が改正されているが、必ずし

も居住性能が向上しているとはいえない。特に、冬期の結露には改善は見られず、カビの発生のような2次的な被害をもたらしている。本調査にて対象とした住宅は限られたものであるが、湿度に関連する問題点は潜在しているものと推察される。また、最近の断熱気密住宅においても湿度に関連する問題や居住者の健康被害が見られることがわかった。

本研究では、これらの調査対象住宅の中から特に湿度に関連する問題点を指摘している住宅を中心に、次の実測調査の協力を依頼した。次章にてその結果を示す。

4. Damp Building を対象とした実測調査

4.1 調査概要

本研究グループが既に実施している住宅調査の中から、特に室内湿度に関連する問題点が指摘される住宅を抽出し、冬期と梅雨期に実測調査を行った。冬期調査は2003年1月～3月、梅雨期調査は2003年7月に実施した。調査項目は、建物のシェルター性能・住宅設備の状況、室内熱・空気環境、居住者の健康状況・建物への被害等である。表4-1に調査概要を示す。

建物のシェルター性能・住宅設備の状況は、住宅の熱・空気環境と関連が深いと考えられる断熱・気密性能と、暖冷房設備、給湯設備、換気設備、調理用設備等について、主に聞き取り調査により把握した。

室内熱環境として、居間、寝室の温度・湿度を小型データロガーにより連続測定を行い、冬期の場合10分間隔で1週間、梅雨期の場合には1分間隔で訪問時の約2時間とした。室内空気環境として、居間のホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、エチルベンゼン、スチレンの各濃度を、パッシブ法により24時間暴露した後回収し、外部機関に分析を依頼した。これら空気質濃度は冬期にのみ実施した。また、ダニ量として糞・死骸由来(Der 1)と虫体由来(Der 2)のアレルゲン量を計測した。測定箇所は、居間、寝室の2箇所とし、掃除機(吸い込み率仕事率200W)にて1m²のゴミを1分間(Der2は30秒間)採取した後、Der 1はアカレックステスト(Warner and Meltz社)を用いて実験室にて分析を行い、Der 2は分析専門家に定量を依頼した。カビ量は、浮遊真菌、付着真菌のコロニー数と真菌の同定を行った。分析は外部機関に依頼した。浮遊真菌について、居間、寝室、浴室、個室、カビ発生箇所付近の5箇所とし、エアサンプラーにより50Lと250Lの空気を吸引し、シャーレの培地(PDA培地)にエアを吹き付けることにより採取した。また、付着真菌は、目視によりカビ発生が認められる箇所にセロテープにて採取した。なお、カビ量測定は梅雨期のみ実施²⁾した。

居住者の健康や建物への被害の状況は聞き取り調査により把握した。

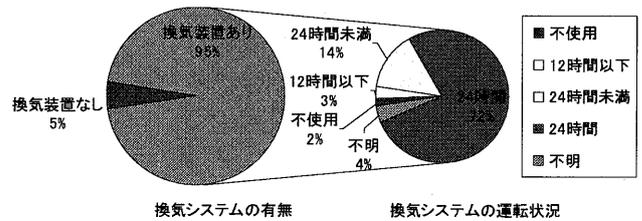


図3-2 居間の24時間換気システムの有無と運転状況

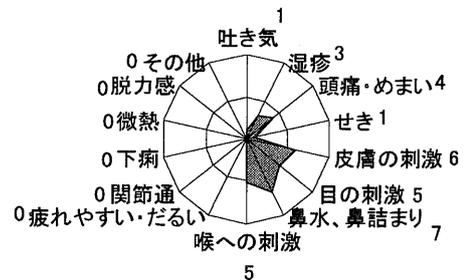


図3-3 入居後の主な症状(単位:件)

表4-1 調査概要

		冬期調査	梅雨期調査
調査期間		2003年1月～3月	2003年7月
建物概要の調査		シェルター性能、暖房設備、換気設備。測定対象室のスケッチ。図面の入手。	
熱空気環境調査	温湿度測定	居間、寝室、外気。10分間隔で1週間	居間、寝室、外気。1分間隔で訪問時
	空気質測定	パッシブ法による(ホルムアルデヒド、トルエン、キシレン、エチルベンゼン、スチレン)	実施せず
	ダニ量	居間、寝室。掃除機にてゴミを採取。後日、Der1とDer2を分析。	
	カビ量	カビセンサー	エアサンプラーにより浮遊真菌をPDA培地に吹き付け、培養後、コロニー数をカウント。付着真菌をセロハンテープにて採取。真菌を同定。
聞き取り調査		家族の健康状況、建物への被害の状況。	

4.2 調査対象住宅の概要

表4-2に調査対象住宅の概要を示す。

調査対象住宅は主に東北地方に建設されている集合・戸建住宅26件である。竣工年が1990年代以降の住宅は程度の差はあるものの、断熱気密化されている。住宅No.7とNo.8は木造在来工法の農村型民家である。なお、No.6は築後20年程度経過しているが、1996年に床の張り替えを行っている。

主な暖房設備として、FF式暖房機、電気蓄熱暖房機が多い。換気設備は設置されている住宅が大半であるが、No.1、No.12、No.25では断熱気密化が図られているにも関わらず換気設備がない。また、換気設備を運転させていない住宅も見られた。

家族の健康や建物への被害等の状況では、アレルギーやアトピーを指摘する住宅が見られる。また、大半の住宅では程度の差があるものの、結露が発生している。さらに、結露が原因と思われるカビの発生を指摘する住宅

表 4-2 調査対象住宅の概要

No.	所在地	工法	竣工年	床面積, m ²	主な暖房設備	換気設備	家族人数	家族の健康, 建物への被害, 結露の状況等	冬期調査	梅雨期調査
1	岩手県盛岡市	木造戸建	1995	134.0	灯油FF暖房機	なし	5	子供がアトピー. 窓に結露. 壁と窓にカビ	○	○
2	岩手県盛岡市	RC集合	2000	90.2	ファンヒーター	3種換気	6	特になし	○	○
3	岩手県盛岡市	木造戸建	1997	125.4	ガスFF暖房機	個別機械換気	4	室内にペット(猫). 窓に結露. 冬場の乾燥.	○	○
4	秋田県横手市	木造戸建	1995		灯油FF暖房機	3種換気	5	天井にカビ発生.	○	○
5	秋田県横手市	木造戸建	1996	198.0	電気蓄熱暖房機	3種換気	6	子供がアレルギー(パッチテストに陽性).	○	○
6	秋田県横手市	木造戸建	1996		ガスFF暖房機	なし	4	子供がアレルギー. 押入床にカビ.	○	○
7	秋田県本荘市	木造戸建	1977	247.5	薪ストーブ	なし	7	台所窓に少し結露する程度.	○	○
8	秋田県本荘市	木造戸建	1953	231.0	薪ストーブ	なし	4	特になし	○	○
9	秋田県本荘市	木造戸建	1980	231.0	灯油FF暖房機	なし	6	ガラスに結露.	○	○
10	宮城県仙台市	木造戸建			電気蓄熱暖房機	3種換気	4	北側居室の窓ガラスに結露.	○	○
11	宮城県仙台市	RC集合			エアコン	3種換気	5	特になし	○	×
12	宮城県仙台市	木造戸建	1994	95.7	ファンヒーター	なし	4	子供がアトピー. 窓に結露.	○	○
13	東京都立川市	RC集合	1995	60.2	ファンヒーター		4		○	×
14	青森県青森市	木造戸建	1999		温水パネルヒーター	3種換気	6	ハウスダストへのアレルギー. 窓の結露.	×	○
15	青森県青森市	木造戸建	1999	145.7	電気蓄熱暖房機	3種換気	5	トイレ窓に結露.	×	○
16	秋田県鹿角市	木造戸建	2000		灯油FF暖房機	なし	10	窓の結露. サッシ周りの木枠にカビ	×	○
17	秋田県若美町	木造戸建	2002	131.7	電気蓄熱暖房機	3種換気	5	特になし	×	○
18	宮城県志田郡	木造戸建	2001	174.7	電気蓄熱暖房機	1種換気	5	妻がアレルギーの持病	×	○
19	宮城県柴田郡	木造戸建	2000	114.4	電気蓄熱暖房機	3種換気	6	子供がアレルギー. 浴槽にカビ.	×	○
20	宮城県加美郡	木造戸建	2002	140.0	電気蓄熱暖房機	1種換気	4	特になし	×	○
21	宮城県仙台市	木造戸建	2002	176.0	電気蓄熱暖房機	3種換気	2	窓に結露.	×	○
22	宮城県仙台市	RC戸建	1997		ファンヒーター	3種換気	5	窓の結露がひどい. 妻が弱いアレルギー.	×	○
23	山形県酒田市	木造戸建	1996	131.7	灯油FF暖房機	3種換気	3	気管支喘息(娘). アレルギー性鼻炎(孫)	×	○
24	山形県酒田市	木造戸建	1999	162.4	電気蓄熱暖房機	3種換気	3	主人がアレルギー性鼻炎.	×	○
25	山形県酒田市	RC戸建	1998	215.3	エアコン	なし	3	窓の結露・カビ. 妻の体調が一時悪化.	×	○
26	福島県福島市	木造戸建	1996	161.6	電気蓄熱暖房機	個別機械換気	5	窓の結露.	×	○

が数件見られる。

冬期調査は住宅 No.1～No.13 の 13 件、梅雨期調査は住宅 No.11 と No.13 を除く 24 件を対象とし、それぞれ実施した。

4.3 調査結果

1) 結露・カビの発生状況

写真 4-1～写真 4-5 はカビの発生が認められた住宅のうち主な状況を示す。カビに発生は、発生部位(木材)の水分が多い場合に繁殖するため、結露等により水滴が付着したり、風呂場のように高湿度状態に曝されている場合に容易に発生する。今回の調査対象住宅においては、いずれも高湿度状態や結露によりカビが発生している。

写真 4-1、写真 4-5 に示す住宅 No.1、No.19 は、室内の湿度が高いことによりカビが発生していると思われる。住宅 No.1 では断熱改修の後、建物の気密性能が高くなったものの換気に対する配慮が十分でなかったことに起因すると推察される。また、写真 4-2 に示す住宅 No.4 では、屋根面の防水処理が不十分であったことが原因で、雨漏りが生じカビの発生につながったと考えられる。住宅 No.6 では、写真 4-3 に示す押入部分にのみカビが発生している。住宅 No.6 は床下にカビが発生したため、床を貼り替えている。このような現象が生じた原因として、床の改修時に使用した材料が元々水分を含んでおり、この上に収納物を長時間載せた状態であったことが考えられる。写真 4-4 の住宅 No.16 は、窓面の結露水によりカビの発生に至っており、同様の状況は住宅 No.1、No.12、No.24 にて認められた。

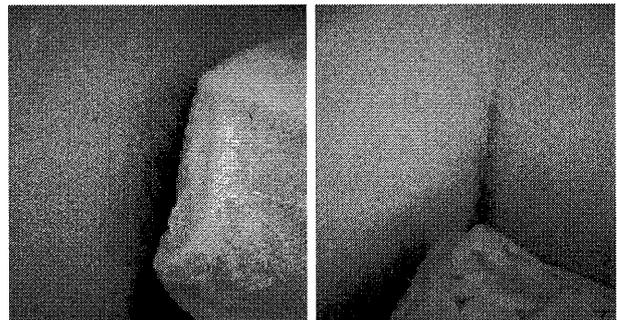


写真 4-1 壁面に発生したカビ(住宅 No.1)



写真 4-2 天井に発生したカビ(住宅 No.4)



写真 4-3 押入床面に発生したカビ(住宅 No.6)

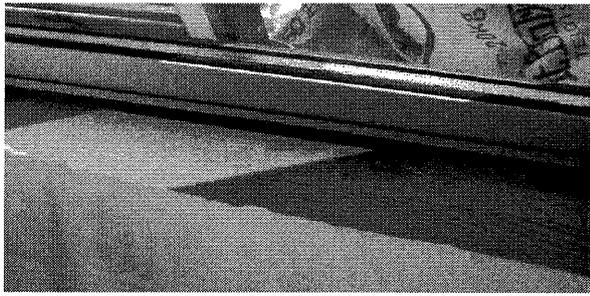


写真 4-4 窓枠に発生したカビ(住宅 No.16)

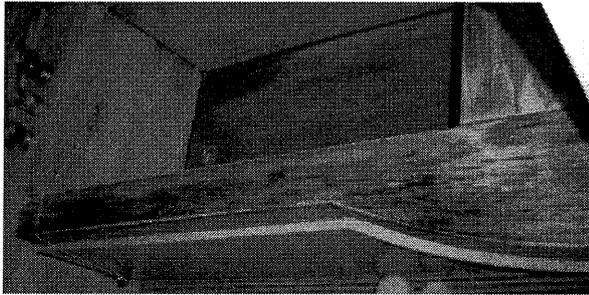


写真 4-5 浴槽に発生したカビ(住宅 No.19)

2) 冬期における調査結果

冬期調査は住宅 No.1～No.13 の 13 件を対象とした。

図 4-1 は、調査期間中の 5 日間の温湿度変動を時刻別に平均し、典型的な一日の変動を示す。温度変動は住宅の断熱レベルや在室状況の違いにより異なっている。住宅 No.5 や No.10 は断熱レベルが高く全館暖房を行っているため、居間温度は安定している。一方、住宅 No.7, No.8, No.9, No.12 は一日の温度変動が大きい。目視によりカビの発生が認められた住宅 No.1, No.4, No.6 に着目すると、No.1 では、居間温度が 20℃前後であるが相対湿度が 60%RH を示しており、日中の相対湿度は最も高い。No.1 は数年前に断熱改修を行ったが換気設備がなく、室内の湿気が適切に排気されていないことが予想される。また、この住宅の暖房設備は床下に設置され床下の暖気を各室に分配するよう計画されているが、床下空間が湿気の発生源である可能性が高い。住宅 No.4 と No.6 の相対湿度は極端に高い訳ではなく、むしろ乾燥気味である。カビの発生は空気中の湿度ではなく、基材中の水分量に影響を受けるため、住宅 No.4 では雨水の侵入、No.6 では改修時に使用した木材の含水率が高かったことや、完成後に水分を十分蒸発できなかったこと等が影響していると推察される。

表 4-3 に室内空気質の測定結果を示す。ホルムアルデヒドに関して、厚生省のガイドライン値(0.08ppm)を越える住宅はなかったが、住宅 No.1 や No.4 の値は比較的高い。住宅 No.1 は断熱改修を行ったが換気設備がなく、No.4 は常時換気を行っているが設定風量が少ない可能性がある。No.5 のスチレン濃度は、厚生省のガイドライン値(0.05ppm)の 2 倍を示している。発生源の一つとして大量に保管されている発泡スチロールの容器が考えられ、

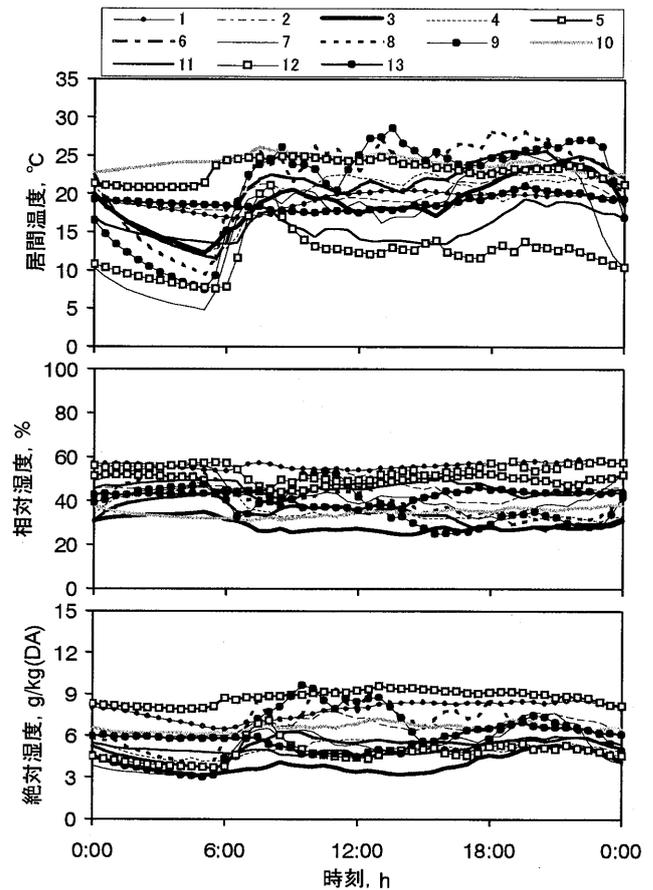


図 4-1 冬期における居間温湿度の時刻別変動

表 4-3 室内空気質の測定結果

住宅 No.	ホルムアルデヒド	トルエン	キシレン	エチルベンゼン	スチレン
1	0.05	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
2	0.03	N.D.	0.02	N.D.	N.D.
3	0.04	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
4	0.02	N.D.	0.01	N.D.	0.1
5	0.08	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
6	0.02	N.D.	0.01	N.D.	0.02
7	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
8	0.03	N.D.	0.04	0.01	N.D.
9	0.01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
10	0.04	N.D.	N.D.	N.D.	0.03
11	0.01	次測			
12	0.02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
13	0.04	0.01	N.D.	N.D.	N.D.

単位: ppm

さらに第 3 種換気が設置されているが居住者は使用していないことが濃度が高い原因と考えられる。

図 4-2 にダニ個体数(Der 2)の測定結果を示す。住宅 No.3, No.6 のダニ個体数は多い。これらの住宅ではペット(猫)を飼っており、その影響が強いと考える。住宅 No.6 では子供がアレルギーとの申告がなされている。次に、図 4-3 は Der 1(糞・死骸由来)と Der 2 との関係を示す。両者は関連が深いと考え、住宅 No.3 や No.6 の寝室のダニ量は Der 1 と Der 2 とも値が高くなっている。

3) 梅雨期における調査結果

調査は住宅 No.11 と No.13 を除く 24 件を対象とした。

図 4-4 に調査訪問中の温湿度の平均値を示す。調査時

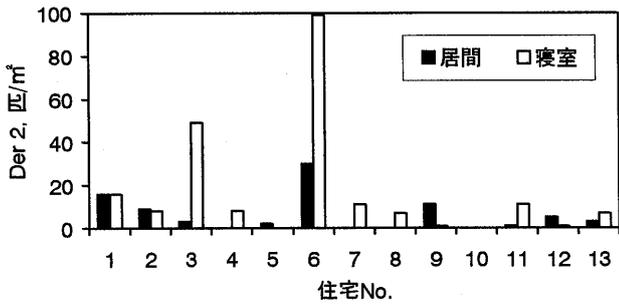


図 4-2 冬期における各住宅のダニ個体数(Der 2)の測定結果

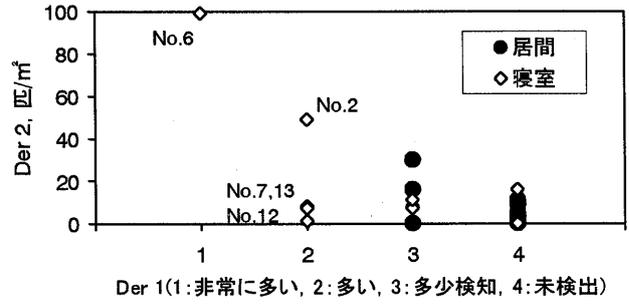


図 4-3 Der 1 と Der 2 の関係

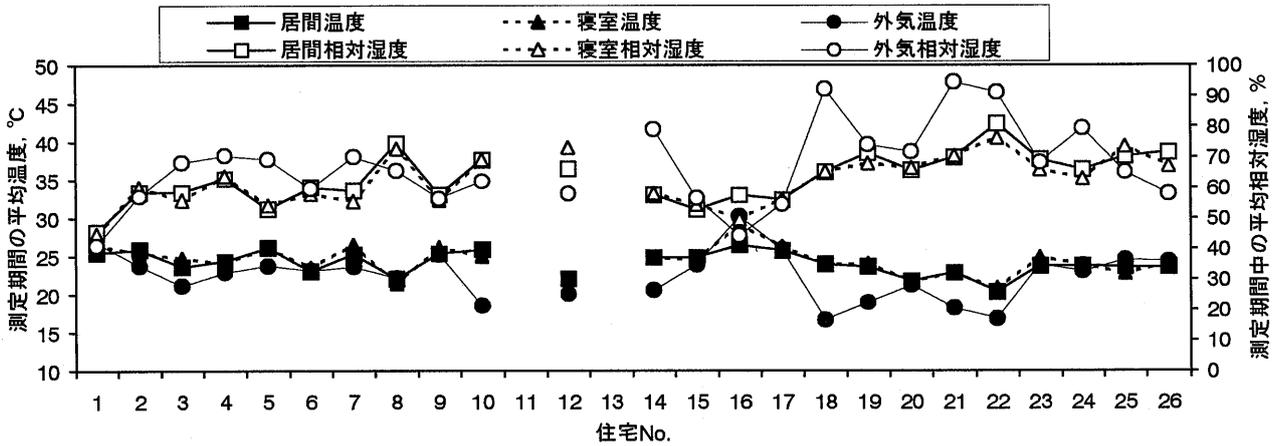


図 4-4 梅雨期における各住宅の温湿度状況

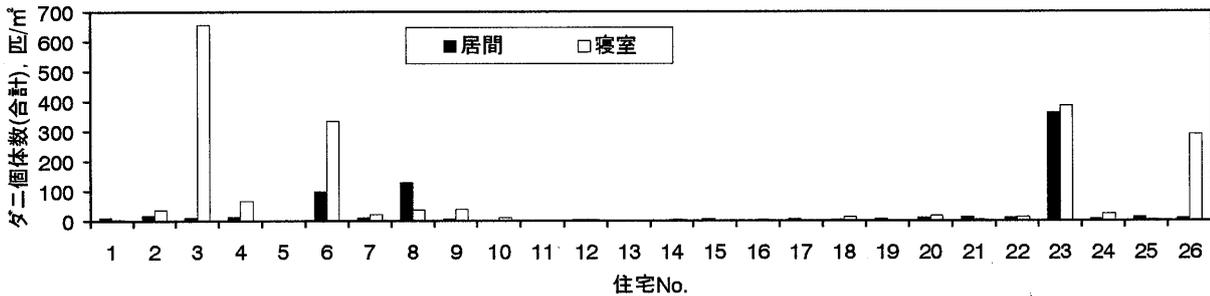


図 4-5 梅雨期における各住宅のダニ個体数(Der 2)の測定結果

の天候や時間帯により室内温湿度にはばらつきが見られるが、相対湿度は全体的に冬期調査の時よりも高く、60～70%RH前後を示している。

図 4-5 にダニ個体数(Der 2)の測定結果を示す。冬期の調査結果と比較すると、個体数が多い住宅の値は非常に多いことが分かる。ダニ個体数には季節変化があり、梅雨時期は環境的に繁殖する条件が整っているといえる。住宅 No.3, No.6 の個体数は冬期調査と同様に多いが、住宅 No.3 の個体数は約 12 倍と非常に多い。その他に、住宅 No.4, No.8, No.23, No.26 の個体数は多く、No.4, No.8 は冬期調査よりも増えている。なお、住宅 No.23 は掃除には掃除機を使用せず、No.26 は測定前に長期不在であり掃除をしていなかったことを確認している。

図 4-6 にカビ量の測定結果を示す。併せてヨーロッパの室内空気質委員会にて提案されているガイドラインを示す。全体的にカビ量は多く、ガイドラインを越える居室を含む住宅が大半である。今回採用した測定法による

と、カビ量は一般的に 200CFU/m³ 前後であるといわれており、それと比較すれば調査対象住宅のカビ量は多い。調査時期に居室においてカビの発生が認められた住宅は No.4, No.6, No.12, No.16, No.25 であり、住宅 No.25 を除いてガイドライン値を上回っている。なお、住宅 No.24 のカビ量は非常に多いが、目視によってはカビ発生を確認できなかった。

4.4 考察

今回調査対象とした住宅のうち、家族の健康に何らかの問題があると指摘した住宅は、表 4-2 に示した通り 11 件である。測定結果と比較することにより、両者の関連について考察を行う。

住宅 No.1 は断熱改修を行った住宅であるが、換気に対する配慮が十分でない。梅雨期のカビ量(図 4-6)は居室②(主寝室)が多くなっている。居住者によると冬期に結露がひどく、カビ発生も多いとのことであるため、むし

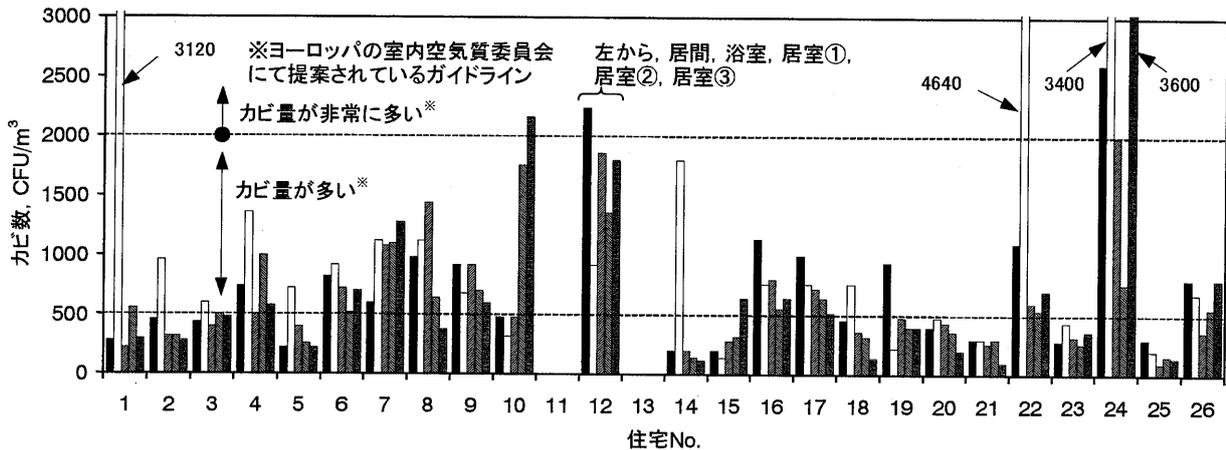


図4-6 梅雨期におけるカビ量の測定結果

る冬期のカビ量が梅雨期よりも多いと予想される。ダニ量は多くないため、カビが居住者の健康へ影響を及ぼしていると推察される。また、住宅No.12のカビ量(図4-6)は各室とも多く、居住者の健康はカビ量との関連が強いと思われる。住宅No.22とNo.25はRC造戸建住宅であるが、いずれも入居直後の梅雨時期に床面にカビが生えたと申告している。No.25では窓面の結露により内装材にカビが認められた。No.22では、妻がアレルギー体質とのことであり、カビ量が多い。No.25においても、入居直後の妻の体調が悪くなったとのことであり、やはりカビが健康に悪い影響を及ぼしているといえる。

住宅No.5, No.14, No.18, No.24では計画的な換気がなされている。住宅No.24を除いては、測定結果に顕著な値は示されていないが、カビ量は少ないとはいえない。住宅No.24のカビ量(図4-6)は非常に多いが、カビの発生を黙視にて確認できず、発生場所は不明である。

住宅No.6, No.23ではダニ量が多い(図4-5)。また、No.6はカビ量も多くなっている(図4-6)。住宅No.6では、子供のアレルギーが申告されているが、専門医によるパッチテストでは茅草に反応するとのことであった。しかし、ダニ量、カビ量の結果は高く、これらのハウスダストの影響も無視できないと思われる。住宅No.23では、家族3人が何らかのアレルギー症状を訴えている。居住者は掃除機に違和感を感じ、使用を控えているとのことであるが、室内の塵の排除は十分ではない可能性が高い。また、カビ量も少ないとはいえず(図4-6)、ハウスダストの影響は無視できない。

住宅No.19はシックハウス対策がなされた住宅であり、他の機関にて室内化学物質調査等が実施されている住宅である。しかし、子供2人のアトピー性皮膚炎は快方には向かっていないようである。今回の調査では、カビ量が多いことが指摘でき、ハウスダストの影響が疑われる(図4-6)。

調査対象住宅は、全体的にカビ量が多く、特に換気に対する配慮が十分でない場合に何らかの問題が生じる傾

向にある。建物の換気を適切に確保するの重要性は以前よりいわれているが、本調査により改めて確認される。また、結露に至らなくとも壁面での高湿度状態が継続することはカビの繁殖を促すことにつながるため、吸放湿性の高い内装材の使用も有効と考えられる。次章では、これらの効果を数値計算により検証する。

5. 湿度起因の被害防止に関する数値計算による検討

5.1 プログラムの概要

計算には多数室熱・湿気計算プログラムBSim2000を用いる。BSim2000は、デンマーク建築研究所で開発された建物の室内環境、エネルギー消費量、日射遮蔽性能、屋光環境を解析するソフトウェアであるが²¹⁾、C. Rodeらによる建材内の湿気移動理論を基に建物内の湿度環境の解析も可能なように拡張されている^{22), 23)}。

本計算における建物モデルは、いくつかの独立した室に加え、外気または仮想室から構成される多数室モデルとして認識される。水分収支は、各室で独立した式が成立し、外気導入や隣室との換気による湿気移動、周壁からの吸放湿、各室での水分発生により表現される。湿気移動は、壁体を構成する各建材をいくつかの層に分割した質点に分けられ、分割層間において水蒸気圧を湿気駆動のポテンシャルとする水分移動モデルにより計算される。なお、本計算モデルでは、湿気の状態を予測するためには、熱の状態が既知である必要があるため、各時間ステップにおいて、湿度計算の前に建材の各分割層における温度条件や室温が予め計算される。

5.2 計算条件

1) 計算対象

計算対象は、図5-1に示す日本建築学会の標準住宅モデルである²⁴⁾。延床面積126m²、容積297m³の小屋裏を含めて11部屋から構成される戸建住宅である。なお、トイレ、洗面所、浴室はまとめて一室とする。壁体構成等は、標準住宅モデルのものを採用したが、各材料の熱・

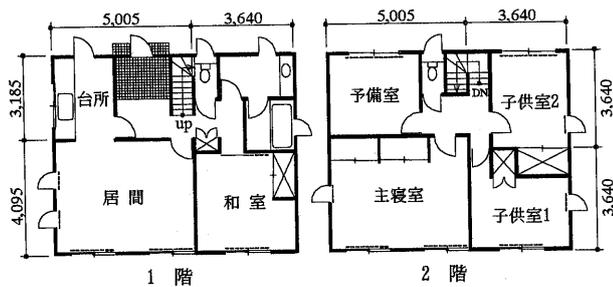


図5-1 計算対象住宅モデルの平面図

湿気物性値については、数値計算プログラムに含まれるデータベースの値を用いる。

居住者の生活パターンは、家族構成を夫婦と子供2人を想定し、標準的な一日の生活スケジュールを図5-2のように設定する。換気については、自然換気量の計算は考慮しないが、換気回数0.5回/hで常時、機械換気されているものとする。また、台所換気扇(送風能力400m³/h)と浴室換気扇(送風能力60m³/h)の運転を考慮し、台所換気扇については朝・昼・晩の調理時間に、浴室換気扇については入浴時間帯のみ使用されるものとする。なお、ファンからの発熱は、機器発熱量に含めず無視する。

2) 計算ケース

表5-1に計算ケースを示す。①断熱性能²⁵⁾、②換気回数、③内装仕上げ材の3つをパラメーターとし、Case 1を比較基準とする4条件について計算する。断熱性能については、標準より性能の高い次世代基準の場合、換気回数については必要換気量とされている0.5回/hより小さい0.3回/hの場合、内装仕上げ材については吸放湿性の高いゼオライト系調湿建材を使用した場合について検討する。なお、計算期間は1年間とし、気象データは仙台の標準気象データを用いる。

5.3 計算結果と考察

1) 相対湿度の頻度分布

図5-3に南側の居室としてLD、図5-4に北側の居室として子供室2における相対湿度の頻度分布を示す。LDでは、各ケースとも30~90%RHの範囲に分布しており、40%RH付近と50~60%RH付近に2つのピークを持つ。断熱性能を次世代基準相当としたCase 2では、標準のCase 1と比べて分布の様子に大きな差は見られないが、全体的に低湿度側への頻度が2~3%程度高くなっている。換気回数を0.3回/hとしたCase 3では、55%RH付近に最も大きなピークを持ち、また、30~50%RHの範囲では、他ケースと比べて分布が高湿度側へシフトしている。吸放湿材を貼付したCase 4では、高湿度側の頻度は小さく、40%RH付近で最も大きなピークを持つ。このことから、換気量の不足は高湿度な環境をつくる原因となり、吸放湿材の貼付は、それを防止する効果を期待

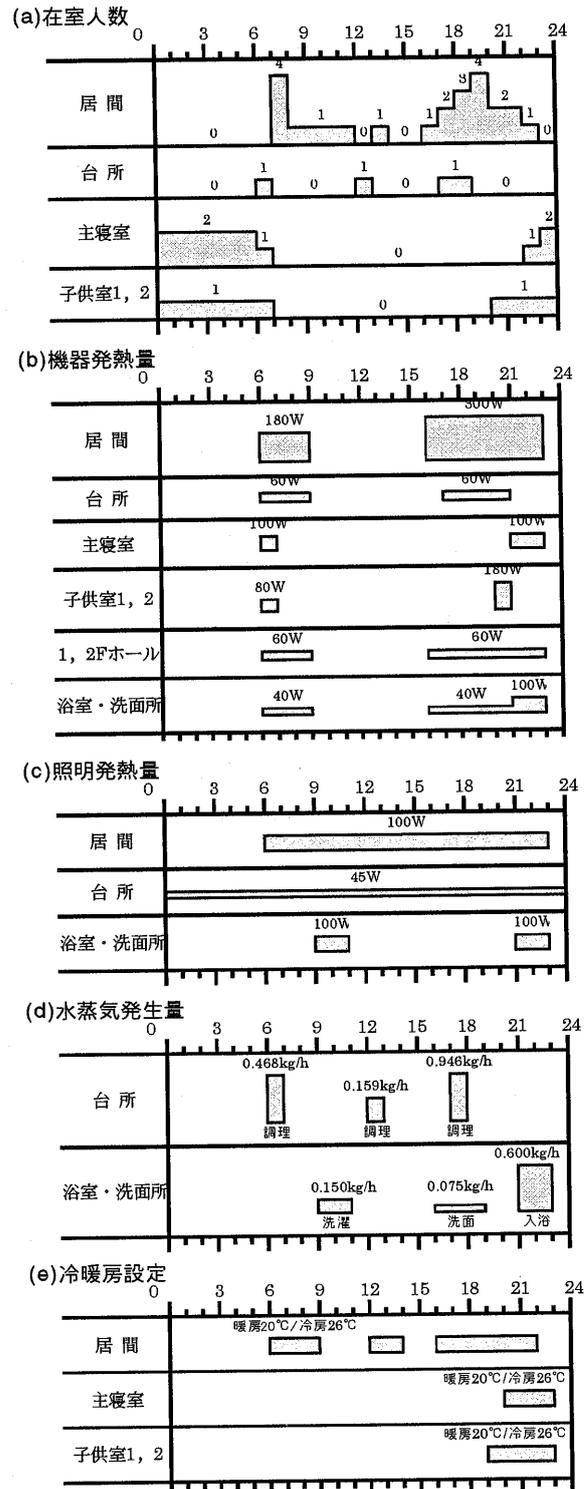


図5-2 計算に用いた生活スケジュール

できると考えられる。また、子供室2については、Case 4では40%RHと60%RH付近に2つのピークを持つが、他のケースでは50%RH付近にだけピークを持つ分布となる。これは、ここでは示さないが、時刻別のデータから考察すると相対湿度の日変動が小さくなること、高湿度の出現が少なくなることが原因と考えられ、北側居室の環境改善に大きな影響を及ぼしていることがわかる。

表 5-1 計算ケース

	断熱性能	換気回数 (1/h)	内装仕上げ材
Case 1	標準※1	0.5	標準※2
Case 2	次世代基準	0.5	標準
Case 3	標準	0.3	標準
Case 4	標準	0.5	吸放湿材

※1断熱性能の標準は、新省エネ基準相当
 ※2内装仕上げ材の標準は、石膏ボード仕上げ

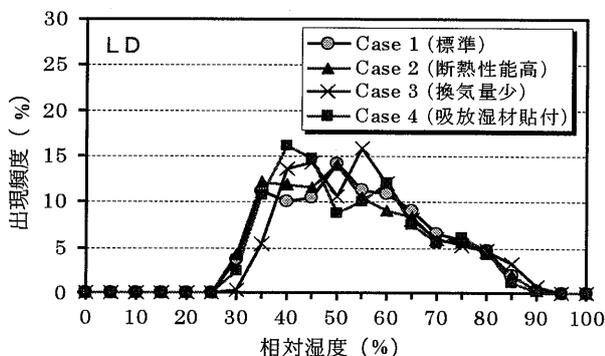


図 5-3 LD における相対湿度の頻度分布

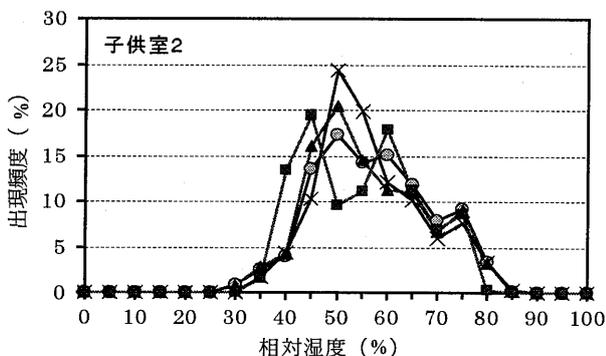


図 5-4 子供室 2 における相対湿度の頻度分布

2) 冬季および夏季の相対湿度変動

図 5-5 に LD における厳寒日を含む冬季 3 日間の相対湿度変動を示す。就寝中の夜間に標準の Case 1 および断熱性能の高い Case 2 では 45%RH となるが、換気量の少ない Case 3 では 55%RH 付近まで上昇するのにに対し、吸放湿材貼付の Case 4 では 40%RH で抑制されている。また、各ケースとも午前 6 時から急激に湿度が低下するのは、暖房による温度上昇の影響と考えられる。冬季においては空気の乾燥が問題となるが、日中の Case 1 と Case 4 の湿度を比較すると、Case 4 は相対湿度で約 2~3%RH 高くなるが、乾燥防止の改善には至っていないことがわかる。

図 5-6 に LD における盛夏日を含む夏季 3 日間の相対湿度変動を示す。換気量の少ない Case 3、標準の Case 1、断熱性能の高い Case 2、吸放湿材貼付の Case 4 の順に湿度は低くなり、特に吸放湿材を貼付した Case 4 での高湿度の抑制効果が大きいことがわかる。

6. Damp Building に対処した設計手法に関する考察

今回、調査対象とした住宅では全体的にカビ量が多い

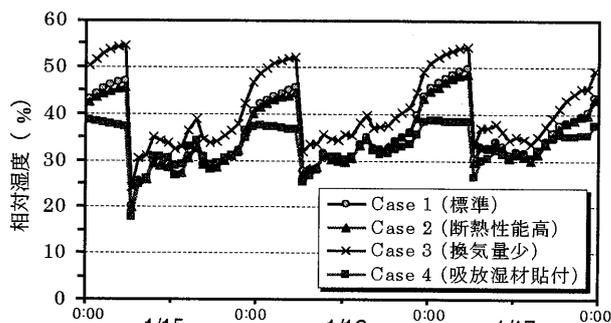


図 5-5 LD における冬季の相対湿度変動

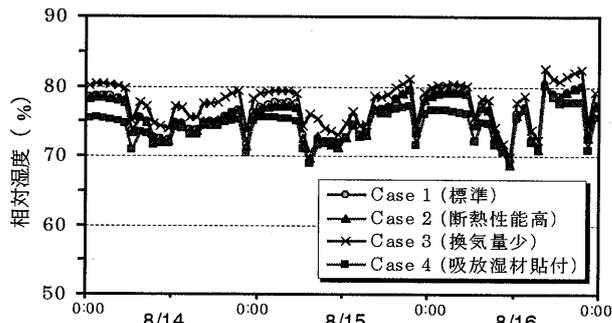


図 5-6 LD における夏季の相対湿度変動

傾向が見られた。また、居住者の健康被害はカビやダニ等のハウスダストが何らかの影響を与えていると考えられる。従って、カビ発生やダニの繁殖を防ぐ建築的な対応について考察を行うことは意義深い。ただし、ダニの繁殖については、掃除の程度や床材の選定など住まい方による場合が多いため、ここでカビ発生の防止について考察する。

カビ生育の必要条件は、温度、相対湿度、酵素、栄養素の 4 条件といわれている。よって、防カビにおいてはこれらの条件がカビにとって好都合とならないよう制御することが基本的な考え方となる。しかし、温度は人間の快適条件と同一の場合が多いため、カビ生育の制御の条件とすることは困難であり、酵素についても同様である。ただし、壁体(開口部を含む)での結露を防止する観点から、適切な断熱施工により壁体表面温度を保つことは重要である。また、栄養素の制御に対して建築的な対策を施すことは難しい。これは、カビの栄養源となる建材の使用を避けるためには、木質材料、植物繊維材料など使用頻度の高い材料を選択しないこととなるためである。また、防カビ剤の使用が逆に化学物質の放散に繋がりがり、シックハウス問題を引き起こす可能性も指摘される。よって、湿度制御が建築的な対応において重要になると考えられる。

湿度制御では、水蒸気発生の抑制、水蒸気の排出が基本となる。水蒸気発生は、調理や入浴、開放型暖房器の使用等の住まい方に起因する場合が多いため、過度な発生に至らないよう居住者への啓発が一層重要となる。水

蒸気の排出では、通風・換気による場合と吸放湿性の高い内装材の使用による場合が考えられる。今回、調査対象とした住宅では、換気に対する配慮が十分でない場合に、カビ量が多い傾向が見られたため、計画換気の必要性が改めて確認できる。

7. おわりに

主に東北地方の住宅における室内環境調査を通じて、欧米で着目されている Damp Building の潜在性を指摘した。特に、居室内のカビ量はヨーロッパのガイドラインを上回る住宅が多く、居住者の健康被害はカビ・ダニ等のハウスダストとの関連が深いことを指摘することができた。今後、日本においてもカビ量のガイドライン策定が必要と考えられるが、住まい方の影響や測定方法の確立など検討すべき課題は多い。しかし、Damp Building の事例は決して少なくないと考えられるため、継続して実態を把握するとともに、室内環境と健康被害との因果関係を明らかにすることが重要といえる。

<注>

- 1) 壁、床、天井、押入、ガラス、サッシなど、それぞれの部位における結露の有無についての質問を集計した結果。
- 2) 冬期測定においてカビ指数センサーを用いたが、判定結果はカビ発生の可能性が認められなかった。

<参考文献>

- 1) 長谷川兼一, 吉野 博: 高断熱高気密住宅における居住者の乾燥感に関する冬期調査, 日本建築学会計画系論文集第 509 号, pp.91~96, 1998.7
- 2) 岩井一博, 有我真二, 浅野良晴, 松井昌幸: 寒冷地における RC 造住宅の結露に関する研究 その 1 被害状況調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1987.10
- 3) 澤田紘次: 中層集合住宅の結露に関する調査研究—八戸市におけるアンケート調査—, 1987.10
- 4) 吉野 博, 長友宗重, 石川善美: 東北地方のコンクリート造集合住宅における冬季の温湿度に関する実態調査, 日本建築学会計画系論文集 No.407, 1990.1
- 5) 福島明, 入江雄司: 寒冷地における基礎断熱した床下空間の温湿度環境特性, 日本建築学会計画系論文集 No.478, 1995.12
- 6) 岩前篤, 松本衛, 松下敬之, 畑中稔臣, 松村収: 戸建住宅の床下温湿度性状に関する研究 (その 1) —全国実態調査による性状把握—, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 1998.9
- 7) 田中辰明, 庄司麻子: 集合住宅におけるカビの動態調査研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 1997.9
- 8) 塚原弘泰, 岩田利枝, 篠原史彦: 住宅におけるカビ・ダニに関する調査研究 (その 1) 現状の把握, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 2001.9
- 9) 青木哲, 水谷章夫, 須藤千春: 高層集合住宅における階層の室内塵性ダニ類の分布に及ぼす影響, 日本生気象学会誌 35(4), 1998
- 10) 志村正子, 渡辺裕晃: 幼児のアレルギー疾患に関するフィールド調査, 日本生気象学会誌 28(3), 1991

- 11) 長谷川兼一, 吉野博, 山下恭弘, 庄司研: 東北地方における断熱気密住宅の熱空気環境と居住者の湿度感に関する冬期調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 1998.9
- 12) 青木哲, 水谷章夫, 大澤徹夫, 藤井理史: 名古屋における都市気候の変化および都市化と乾燥化との関連, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 2000.9
- 13) 塩津弥佳, 池田耕一, 吉澤晋: ホルムアルデヒド対策を行った単身者用マンションにおけるカビ発生の実態について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 2002.8
- 14) Indoor Air 1999, Edinburgh, Scotland, 1999.8
- 15) Healty Buildings 2000, Helsinki, Finland, 2000.8
- 16) Conference Proceedings IAQ 2001, Moisture, Microbes, and Health Effects: Indoor Air Quality and Moisture in Buildings, 2001
- 17) Indoor Air 2002, Monterey, USA, 2002.7
- 18) DAMPNES IN BUILDINGES AS A RISK FACTOR FOR HEALTH EFFECTS. EUROPEAN MULTIDISCIPLINARY REVIEW OF THE ENTIRE LITERATURE (EUROEPO), 2000.5
- 19) 吉野 博, 長谷川房雄, 澤田紘次, 石川善美, 赤林伸一, 菊田道宣: 熱環境から見た冬期の居住性能に関する地域特性の分析—東北地方都市部を対象として—, 日本建築学会計画系論文報告集 第 345 号, pp.92~pp.103, 1984.11
- 20) 吉野 博, 長谷川兼一: 熱環境から見た冬期の居住性能に関する地域特性の変化—東北地方都市部を対象とした 10 年前の調査との比較—, 日本建築学会計画系論文集 第 499 号, pp.1~pp.7, 1997.9
- 21) Grau, K. and Wittchen, K. B: Building Design System and CAD Integration, In proceedings of IBPSA Building Simulation '99, 1999.9
- 22) Rode, C. and K. Grau: Synchronous Calculation of Transient Hygrothermal Conditions of Indoor Spaces and Building Envelopes, IBPSA Conference Building Simulation 2001, 2001
- 23) Mitamura, T., Rode, C. and Schultz, J: Full Scale Testing of Indoor Humidity and Moisture Buffering in Building Materials, ASHRAE IAQ Conference 2001, 2001.11
- 24) 宇田川光弘: 標準問題の提案 住宅用標準問題, 熱分科会第 15 回熱シンポジウム「伝熱解析の現状と課題」, 日本建築学会環境工学委員会, 1985.9
- 25) 長谷川兼一, 吉野 博: 東北地方を中心とした高断熱高気密住宅の暖房負荷に関する数値計算, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2, 1997.9

<研究協力者>

- 平成 14 年度
三田村輝章 横浜国立大学 講師
久光 達也 東北工業大学大学院博士前期課程
- 平成 15 年度
三田村輝章 横浜国立大学 講師
久光 達也 東北工業大学大学院博士前期課程
足立 真弓 東北大学大学院博士前期課程
竹内 仁哉 秋田県立大学シス 妬