

全国の住宅における室内湿度環境に関する分析

ANALYSES OF INDOOR HUMIDITY ENVIRONMENT IN NATIONALLY RESIDENTIAL HOUSES OF JAPAN

張 会波 — * 1 吉野 博 — * 2
村上周三 — * 3 坊垣和明 — * 4
田中俊彦 — * 5 赤林伸一 — * 6
阿部恵子 — * 7

Huibo ZHANG — * 1 Hiroshi YOSHINO — * 2
Shuzo MURAKAMI — * 3 Kazuaki BOGAKI — * 4
Toshihiko TANAKA — * 5 Shin-ichi AKABAYASHI — * 6
Keiko ABE — * 7

キーワード:

住宅, 湿度環境, 高断熱高気密, カビ指数

Keywords:

Residential houses, Humidity environment, Highly insulated and airtightened, Fungal index

Based on the energy consumption database of nationally residential houses in various districts of Japan, indoor humidity environment was analyzed. In winter and summer seasons, the statistical values of temperature, relative humidity, absolute humidity and the absolute humidity difference between indoor and outdoor were calculated for each house. In addition, the relations between these statistical values and the level of thermal insulation or airtightness, as well as the possibility of fungal damage were examined.

1. はじめに

近年、住宅の断熱・気密化が進み、吸放湿性の乏しいビニールクロスのような人工素材の普及と相まって、高湿度もしくは低湿度環境が形成されやすい状況となっている。高湿度環境は、結露やカビ・ダニの発生を促進し、アレルギー疾患や呼吸器系の病気など居住者の健康に悪影響を与え、建物の耐久性の低下やエネルギー消費量の増大を招く要因として指摘されている。一方、冬季の室内湿度が40%RHを下回る過乾燥も居住者への健康被害や建物への被害を引き起こす原因として問題視されている。このような問題の解決のためには、基本的に住宅の室内湿度環境の実態把握が必要不可欠である。

北海道、東北、北陸、関東、近畿、九州（沖縄を含む）の6地域の大都市にある80戸の住宅を対象として、エネルギー消費量と室内温熱環境の調査が2002～2004年に実施¹⁾された。収録されたデータはデータベースとして公開²⁾されている。本稿では、これを用いて、2003年における戸建住宅51戸、集合住宅21戸、合計72戸の居間³⁾のデータを対象に湿度環境に関して分析した。なお、対象住宅の詳細は文献2を参照されたい。

2. 温湿度の測定方法

室内温湿度は温湿度ロガー（HIOKI製・3641、精度：±0.5℃、±5%）を用いて行われている。測定間隔は15分毎（北海道のみは10分毎）であり、分析にはこの値を用いた。

3. 分析結果

3.1 室内相対湿度の年間度数分布

図1に住宅の居間相対湿度の年間度数分布の例を示す。このうち、東北戸建01（東北地方の調査対象の中で戸建住宅9件の内の1件目の住宅を示す）及び北陸戸建06の年間相対湿度は広い範囲にはば一定の頻度で分布している。北陸戸建03においては相対湿度が40～45%と65～70%の二つピークを示しており、夏は湿度が高く、冬は乾燥していることを反映している。北海道集合03及び関東戸建07においては年間の相対湿度は概ね釣鐘型となっているが、ばらつき幅の差が見られた。北海道集合03では年間の相対湿度が50～70%の範囲に収まっている。これは冬季に開放型暖房設備を使用しているために、冬季でも室温と絶対湿度が比較的高く保持され、夏の室内温湿度条件と大きな差はないからである。また、関西戸建04において、年間の相対湿度は60%以上の高湿度域に集中している。これは冬季の室温が低く、ほぼ15℃以下となっており、冬でも湿度が高いためである。

3.2 冬期における居間の温湿度

データが揃っている69戸における冬季（1, 2月）における居間の温度と湿度の統計量（平均、標準偏差、最大、最小値）を図2に示す。住宅は地域毎に相対湿度の平均値が高い順に並べた。

(1) 室内温度

北海道では住戸間のばらつき、並びに住戸の中でのばらつきが小さく、全体の平均は22℃で、6地域の中で最も高かった。それ以外

¹⁾ 東北大学大学院工学研究科 博士後期課程・工修 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉06-06-11-1201)

²⁾ 東北大学大学院工学研究科 教授・工博

³⁾ 御建築研究所 理事長・博士(工学)

⁴⁾ 武蔵工業大学 教授・博士(工学)

⁵⁾ 東京電力(株) 工博

⁶⁾ 新潟大学大学院自然科学研究科 教授・工博

⁷⁾ 環境生物学研究所 所長・農博

¹⁾ Graduate Student, Tohoku Univ., M. Eng.

²⁾ Prof., Graduate School of Eng., Tohoku Univ., Dr. Eng.

³⁾ Chief Director, Building Research Institute, Dr. Eng.

⁴⁾ Prof., Musashi Institute of Technology, Dr. Eng.

⁵⁾ Tokyo Electric Power Company, Dr. Eng.

⁶⁾ Prof., Division of Science and Technology, Niigata Univ., Dr. Eng.

⁷⁾ Director, Institute of Environmental Biology, Dr. Agr.

の地域では住戸間のばらつき、並びに住戸の中でのばらつきが大きいが、平均気温は南下するに従って低めになり、関西地域では最も低く、16℃であった。

(2) 相対湿度

北海道、東北、北陸地域の4割近くの住宅では平均値が40%未満で乾燥している。一方、関東1戸、関西3戸の平均値は60%を超えている。また、ばらつきについてみると、北海道では住戸の中での変動は比較的小さいのに対して、関西、九州の住戸では大きい。相対湿度が最も低い住宅は東北戸建01であり、31%程度である。これは、冬季2ヶ月の温度は24℃前後と高く保たれているためである。これに対して、関東集合02では室温も高いが、相対湿度も平均値が68%が高めになっている。これは、加湿器や開放型暖房設備を使用しており、水蒸気の発生量が大きいためと考えられる。

(3) 絶対湿度

絶対湿度は概ね4~10g/kg'の範囲に分布している。北海道の住戸では全体的に高く、平均値が7.05g/kg'であるのに対して、関西では低く、平均値が5.96g/kg'であった。また、北海道の住戸の絶対湿度は高いが、温度も高いため相対湿度は全体的に低くなっており、関西の住戸の絶対湿度は低い、温度も低いいため相対湿度が高くなっている。

(4) 室内外絶対湿度の平均値の差

室内外絶対湿度の平均値の差を求める場合、室内絶対湿度については、15分間隔（北海道は10分間隔）で測定した温度と相対湿度から絶対湿度を算出し、これを平均した。一方、外気絶対湿度は、最寄りの気象台観測データ注4)で公開されている月ごとの温湿度を使って求めた。

北海道、東北地域は他の地域より室内外絶対湿度の差が大きい。北海道地域の住戸においては外気より室内の絶対湿度が平均5.1g/kg'ほど高く、東北地域の住戸においては約3.6g/kg'高い。これは後述するように、建物の気密性能が高いためと推察される。また、開放型暖房設備や加湿器を使用している住戸では特に差が大きい場合があり、北海道集合03、北陸集合01、関東集合02が該当する。

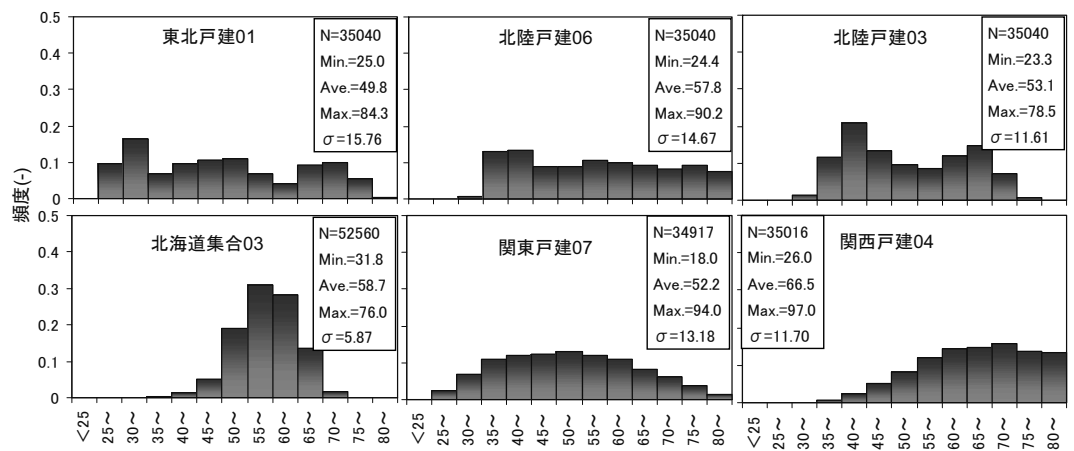


図1 相対湿度の度数分布

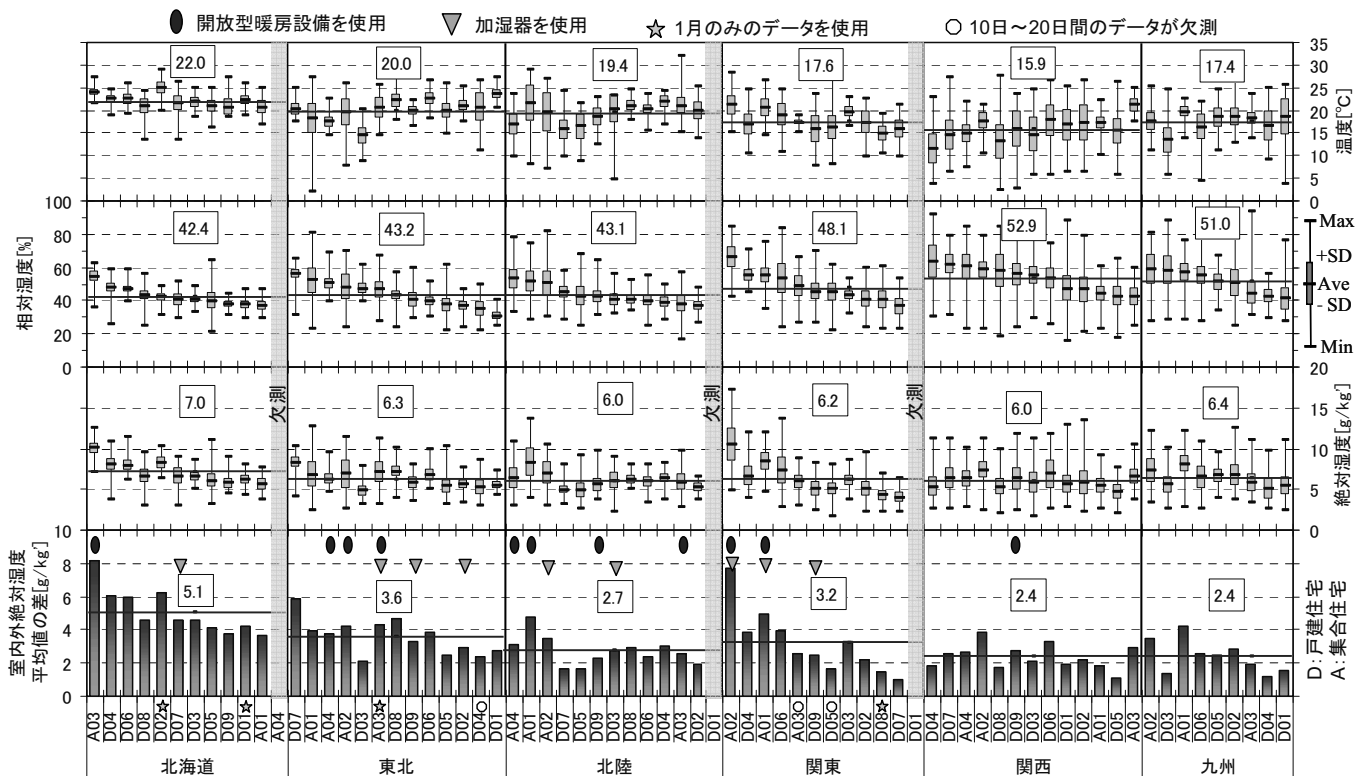


図2 冬季（1, 2月）における各住戸の温湿度の統計量（口の中の値は地域ごとの平均値を示す）

(5) 居間湿度の経時変動

相対湿度が低い住宅（東北戸建 01、関東戸建 07）と高い住宅（関東集合 02、関西戸建 04）をそれぞれ 2 戸選んで、冬季五日間の湿度の経時変化を図 3 に示す。東北戸建 01 では相対湿度がこの期間ほとんど 30%以下であるが、これは、暖房により温度が 24℃程度に高く維持されているためである。関東戸建 07 は暖房の ON、OFF により温度が大きく変化しているために、相対湿度は 30~45%で変化しているが、全体的に絶対湿度が低いために乾燥している。一方、関西戸建 04 では温度が低いこと、関東集合 02 では絶対湿度が高いことが相対湿度の高い理由である。

3.3 夏季における居間の湿度

72 戸の夏季（7、8 月）における居間の温度と湿度の統計量（平均、標準偏差、最大、最小値）を図 4 に示す。

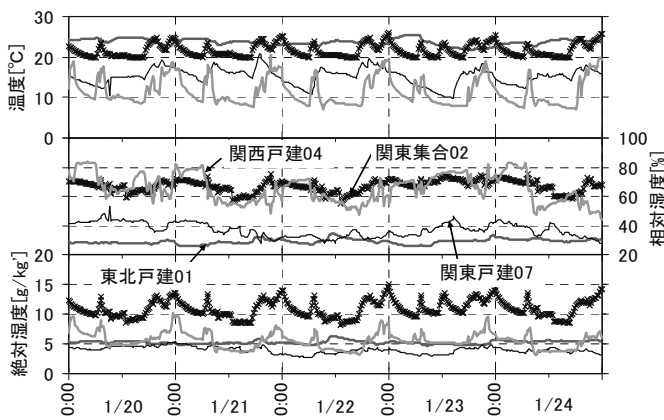


図 3 冬季五日間湿度の経時変化

(1) 室内温度

北海道、東北の住戸では室温が 25℃程度であるのに対して、関東、関西、九州では 27~28℃と全体的に高く、平均 30℃を超えた住宅が 2 戸見られた。

(2) 相対湿度

北海道の住戸の平均値は 60%前後であるのに対して、他の地域の平均値は 65~68%であり、70%を超えた住戸は約 1/4 を占める。このうち、北陸戸建 06 では最も高く、平均 78%であった。相対湿度が最も低い住宅は関西戸建 02 であり、夏季 2 ヶ月の平均値は 50%である。この住宅では冷房が頻繁に使用されており、室内絶対湿度は外気絶対湿度より 2.7g/kg'ほど低いからである。

(3) 絶対湿度

室内の絶対湿度は 10~16g/kg'であり、北海道の住戸では全体的に

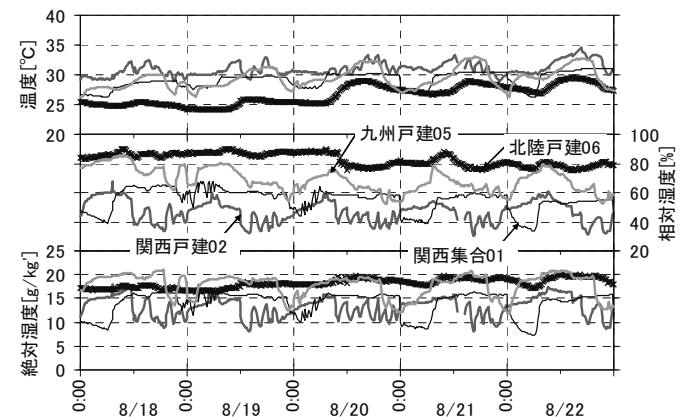


図 5 夏季五日間湿度の経時変化

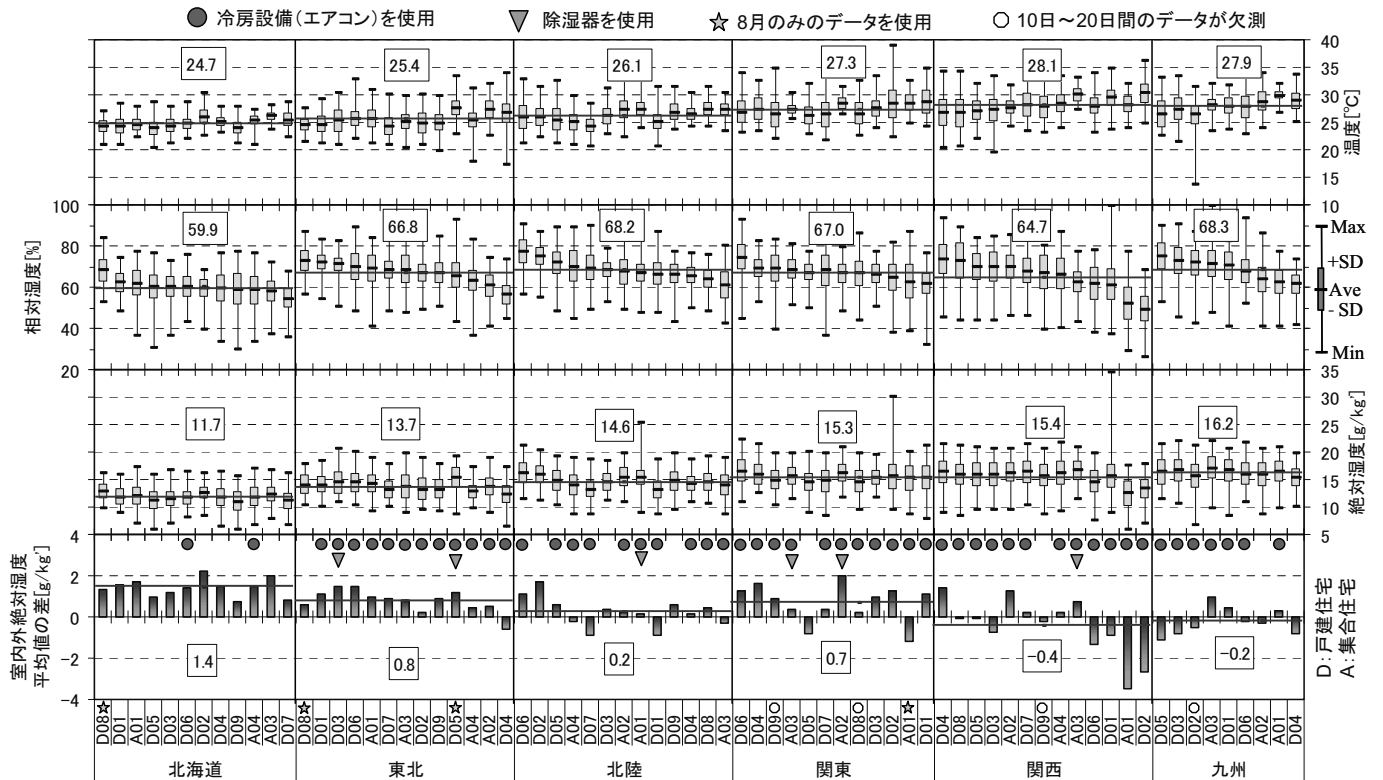


図 4 夏季（7、8 月）における各住戸の湿度の統計量（口の中の値は地域ごとの平均値を示す）

低く、九州では比較的に高い。

(4) 室内外絶対湿度の平均値の差

北海道、東北、関東地域の住戸においては外気より室内の絶対湿度が最大で 2.2g/kg と高い。一方、関西、九州地域の住戸では全体的に外気より室内の絶対湿度が低い。これは冷房使用によると考えられる。測定した 72 戸のうち除湿器を使用している住宅は 6 戸見られたが、使用時間は不明であり、他の住宅より絶対湿度が特に低くなる傾向は見られなかった。

(5) 居間温湿度の経時変動

相対湿度が低い住宅（関西戸建 02、関西集合 01）と高い住宅（北陸戸建 06、九州戸建 05）をそれぞれ 2 戸選んで、夏季五日間の温湿度の経時変化を図 5 に示す。各住宅とも日中は温度が上昇し、30℃ を超えた場合も見られた。相対湿度が低い関西戸建 02 と関西集合 01 では夜の団欒時に絶対湿度が急激に下がっているが、これは冷房の使用が多いためと推測される。また、相対湿度が高い北陸戸建 06 と九州戸建 05 では絶対湿度が高く温度が低いため、相対湿度が非常に高くなり、80% を超えるときも見られた。

3.4 住宅の断熱・気密性能と湿度の関係

図 6、図 7 に冬季と夏季における相対湿度の平均値と熱損失係数、相対湿度の平均値と隙間相当面積の関係をそれぞれ示す。高断熱・高気密住宅では冬季において乾燥しすぎという問題点が居住者からしばしば指摘されるが、確かに熱損失係数が 2W/m²K 以下、隙間相当面積が約 1cm²/m² 以下の住戸において相対湿度が 40% を下回る住戸が見られる。これは室内温度が高いことが大きな要因である。

図 8、図 9 に冬季と夏季において室内外絶対湿度の差と熱損失係数、室内外絶対湿度の差と隙間相当面積の関係をそれぞれ示す。冬

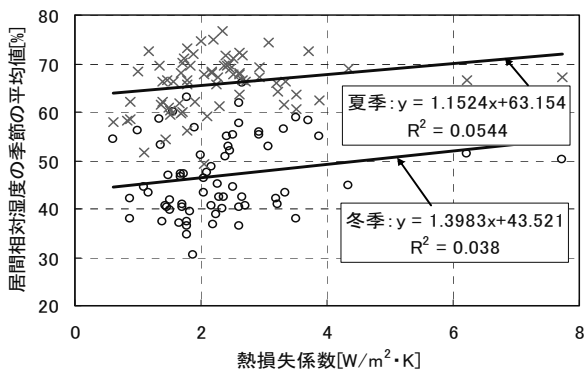


図 6 熱損失係数と居間相対湿度の関係

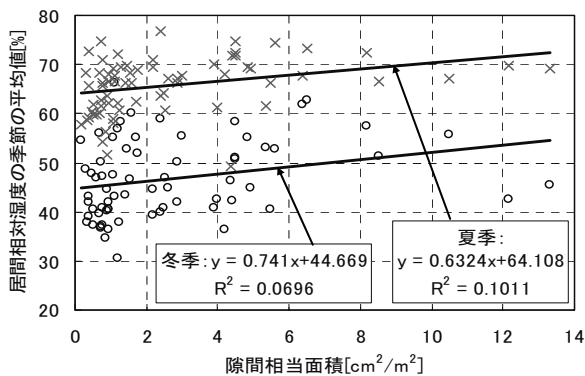


図 7 隙間相当面積と居間相対湿度の関係

季の場合には熱損失係数が小さいと絶対湿度の差が大きくなる傾向が見られる。また、隙間相当面積が小さい住宅では、絶対湿度の差が大きい住戸が増加する。これは、換気量が小さくなるためである。

3.5 室内カビ汚染の予測

カビ指数^{注5)}を用いて、カビ汚染の可能性を評価⁵⁾する。72 戸の住宅の居間温湿度データから 1 時間毎の瞬時記録値を抽出し、カビ指数を算出した。

図 10 にカビ指数が大きい住戸（関西戸建 04）の年間変化を例として示す。図から、カビ指数が大きい時期は主に 6 月～9 月に集中していることが分かる。図 11 にカビ指数が 3.0 ru/week 以上^{注6)}になった累積時間を 72 戸について示す。住宅は地域毎に夏季の相対湿度平均値が高い順に並べた。一部の住宅において 6 月～9 月の間に温湿度の欠測が多いことから、カビ指数の値が高くなる時期に欠測の多い住戸については実際より小さ目の値になっていることに注意する必要がある。北海道の住戸においては累積時間が 0 又は最大 328h であるのに対して、関西、九州では過半数の住戸において累積時間が 1000h 以上と長くなっている。

また、東北地域でカビ指数は 3.0 ru/week 以上になった累積時間が比較的に長い住宅 6 戸、即ち、戸建 01、戸建 03、戸建 06、戸建 08、

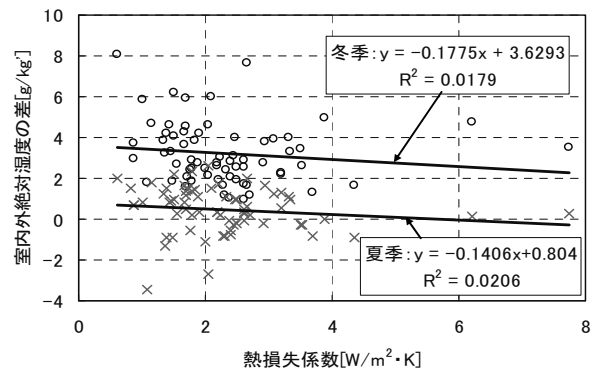


図 8 熱損失係数と室内外絶対湿度の差の関係

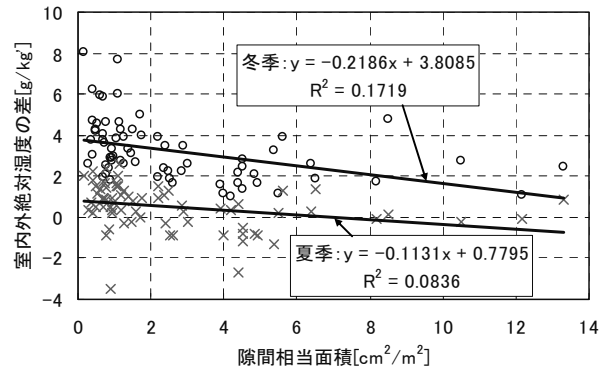


図 9 隙間相当面積と室内外絶対湿度の差の関係

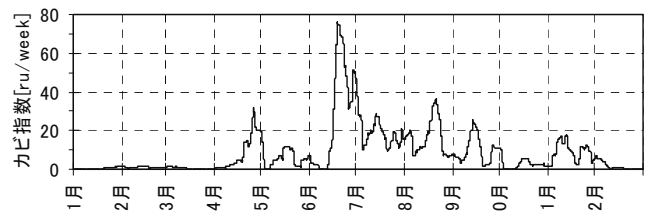


図 10 関西戸建 04 のカビ指数年間変化

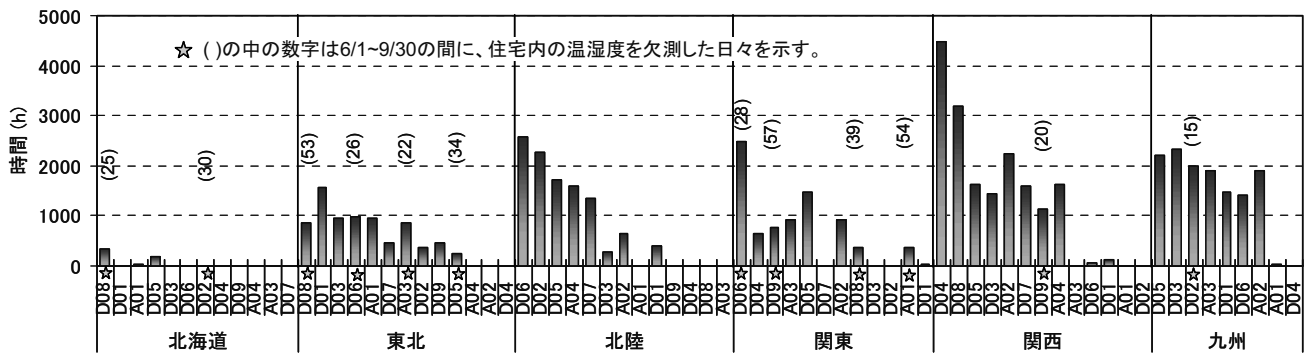


図 11 各カビ指数が 3.0ru/week 以上になった累積時間

集合 01、集合 03 を対象とし、カビについてのアンケート調査を行ったが、戸建 06、集合 01、集合 03 の居間においてはカビが目視できたこと、戸建 08 の居間では多数の観葉植物を育てているがカビは目視できないこと、戸建 01、戸建 03 においては居間以外の部屋でカビが生えていたことが確認された。

4. まとめ

住宅エネルギー調査のデータベースを用いて、72 戸の住宅を対象として室内温湿度環境について分析し、以下の結果を得た。

- 1) 冬季においては、北海道、東北、北陸地域 4 割近くの住宅の相対湿度平均値は 40%を下回り、乾燥している実態が明らかとなった。住戸内の温湿度の変動については、北海道の住戸は最も小さく、関西、九州では大きいことが分かった。湿度の経時変動から、相対湿度が低くなる原因は温度が高く維持されていること、或いは絶対湿度が低いためである。また、間欠暖房による相対湿度は急激に変化する傾向が見られた。
- 2) 夏季においては、北海道を除き、1/4 の住戸において相対湿度の平均値は 70%を超えていた。湿度の経時変動から冷房の使用による湿度は急激に下がることが分かった。
- 3) 年間相対湿度の分布を見ると、一部の住宅において、冬季の相対湿度が低く、夏季では高く、室内相対湿度の変動は季節により明らかに異なり、年間相対湿度は広い範囲にほぼ平均分布している。これに対して、室内の相対湿度は季節による変動が見られなかった住宅において、年間の相対湿度の標準偏差は比較的小さく、相対湿度の分布は概ね釣鐘型となっている。
- 4) 高断熱・高气密住宅の方が冬季に絶対湿度は高いが、室温も高いため、相対湿度は低い傾向が明らかとなった。
- 5) 関西、九州において半数以上の住宅、東北、北陸、関東において一部の住宅ではカビ指数に関する累積時間が長くカビによる被害が懸念された。

謝辞

本報告のもとになった調査研究は、(社)日本建築学会特別調査委員会「住宅内のエネルギー消費に関する調査研究委員会(委員長:村上周三慶應義塾大学教授), 2001~2003 年度」並びに「住宅用エネルギー消費と温暖化対策

検討委員会(委員長:村上周三慶應義塾大学教授), 2004~2005 年度」にて実施されたものである。分析に当たっては、羽山広文(北海道大学助教授)、井上隆(東京理科大学教授)、飯尾昭彦(日本女子大学教授)、銚井修一(京都大学教授)、尾崎明仁(京都府立大学教授)の各位に多大なる協力を得た。ここに感謝の意を表します。

注

- 注 1) 実施された詳細調査の研究成果としては文献 1、文献 2、文献 3 などがある。
- 注 2) <http://tkkankyo.eng.niigata-u.ac.jp/HP/HP/database/index.htm>
- 注 3) 九州の一部住宅の測定箇所は空調室である。
- 注 4) 気象庁電子閲覧室: <http://www.jma.go.jp/jma/menu/report.html>
- 注 5) カビ指数は、ある温度・相対湿度におけるカビ菌糸の 1 週間あたりの応答 (ru/week, ru: response unit、菌糸の長さを基に測定した発育程度) を定量的に表す指標である⁴⁾。
- 注 6) カビ指数が 3.0ru/week 以上の累積時間が長くなるほど、カビ汚染の危険性が高い⁶⁾。

参考文献

- 1) 村上周三, 赤林伸一, 絵内正道, 吉野博, 飯尾昭彦, 坊垣和明, 銚井修一, 渡辺俊行, 坂口淳: 住宅を対象としたエネルギー消費量の測定システムの開発研究, 日本建築学会技術報告集 第 22 号, 355-358, 2005 年 12 月.
- 2) 村上周三, 坊垣和明, 田中俊彦, 羽山広文, 吉野博, 赤林伸一, 井上隆, 飯尾昭彦, 銚井修一, 尾崎明仁, 石山洋平: 全国の住宅 80 戸を対象としたエネルギー消費量の長期詳細調査 対象住宅の属性と用途別エネルギー消費量, 日本建築学会環境系論文集 第 603 号, pp.93-100, 2006.5.
- 3) 村上周三, 坊垣和明, 羽山広文, 吉野博, 赤林伸一, 井上隆, 飯尾昭彦, 三浦尚志, 尾崎明仁, 小林直樹: 全国の住宅内温度分布に関する調査 その 1, その 2, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 383-390, 2006 年 9 月.
- 4) 阿部恵子: カビ発育から測定する実測カビ指数と温湿度から計算する予測カビ指数の比較, 室内環境学会誌, 9, 17-24, 2006.
- 5) 阿部恵子: 好乾性カビをバイオセンサーとする室内環境評価法, 防菌防黴, 21, 557-565, (1993).
- 6) 阿部恵子: カビ指数による室内環境評価, 防菌防黴, 29, 557-566 (2001)

[2008 年 10 月 20 日原稿受理 2008 年 12 月 25 日採用決定]

