

パネル挿入式木造軸組構法住宅の温湿度環境

平嶋義彦¹・佐々木隆行²

パネル挿入式木造軸組構法住宅内外の温湿度を約一年間にわたって測定した。測定データの分析から次のことが明らかになった。年変動振幅における室内気温の室外気温に対する比は 0.73, 同じく室内相対湿度の室外相対湿度に対する比は 0.57 で, 室内の振れ幅は小さくなっていた。年間平均気温は室外 17.0°C, 室内 20.8°C で室内が 3.8°C 高かった。年間相対湿度の平均は室外 73.8%, 室内 49.6% で室内が 24.2% 低かった。日較差比の年間平均は気温 0.31, 相対湿度 0.21 で, 室内変動は室外変動に対してそれぞれ約 1/3 あるいは約 1/5 に収まっていた。水蒸気圧は月別平均でみると各月とも室内の方が室外よりも低かった。これは気候図において, 室内のプロットは室外プロットを通る等水蒸気圧線の左に位置していることから明らかであった。一日の変動における室内気温変動の室外に対する遅れ時間は回帰分析から 3.67 時間であることがわかった。さらに, 室内気温の上昇に伴い重量絶対湿度も上昇することあるいは水蒸気圧が増加することなどから, 木材の持つ湿度調節機能の存在が明らかになった。

キーワード: 温湿度環境, 在来軸組構法

1. はじめに

木造住宅や木造建築物の居住性, とくに温湿度環境に關する研究はこれまでいくつか行われてきている。これらの研究によって, 木材のもつ優れた断熱性と吸放湿性が気温や相対湿度の変動を適度に和らげ, 人間にとって快適な環境を建物内部に作り出している, ということが明らかになりつつある(平井・則元 1989; 平嶋 1990; 平嶋・西 2000; 一桝 1936; 木口・今村 1988; 関野 1990; 信田 1988; 祖父江ら 1983; 山田 1987)。しかし, 建物内の温湿度環境は, 外気の温湿度や日射等の自然条件, 気密性, 断熱性, 熱容量といった建物の性質, 建物の設備や使い方, さらに建物の形状や方位など非常に複雑な要因がからみあって作り出されてくるものである。木造住宅の居住性を検討するためには, さらに多くのデータの蓄積が必要であると思われる。

本研究は, スギおよびドイツトウヒを用いて新たに開発した木造軸組構法住宅を対象として, 建物内外の気温および相対湿度をほぼ 1 年間にわたって計測し, そのデータを解析することによってこの構法建物の温湿度環境の特徴を明らかにしようとするものである。

2. 調査建物

調査は 1998 年 8 月に展示用として静岡県浜北市上島

457 に建設した 2 階建て在来軸組構法建物について行った。建物の平面を図-1 に示す。2 階は小屋裏を利用したもので, 傾斜天井をもつ 2 室(北室, 南室)と吹抜からなっている。床面積は 1 階 62.0 m², 2 階 48.0 m², 延 110.0 m² である。1 階の玄関, 居間, 台所は同一空間を共有しているが, 便所, 洗面所, 風呂場は壁および戸により閉鎖されている。1 階部分の軸組は, ドイツトウヒの集成材(フィンランド製)で構成し, 2 階の軸組はスギ集成材(日本製)で構成している。軸組材には深さ 15 mm の溝が彫っており, ここにパネルを挿入して壁を構成する。パネルは 2 種類あり, 1 階では厚さ 30 mm のドイツトウヒ合板(フィンランド製)と厚さ 50 mm の硬質発泡ウレタンを一体化したパネルを, 2 階では厚さ 28 mm のスギ板を幅はぎした板と厚さ 50 mm の硬質発泡ウレタンを一体化したパネルを用いている。建物の外周壁では, この合板およびスギ板は室内側に用い, 屋外側には構造用合板を釘打ちして耐力壁としている。屋根はスギ集成材の母屋の上に, 前述のスギ板を用いたパネルを敷き, この上にスレートを葺いて構成している。屋根勾配は 8 寸である。床は根太を省略し, 大引または床梁の上に直に厚さ 28 mm の米国製針葉樹合板を釘打ちし, その上にフローリング仕上げ材を貼って構成している。棟は南北方向に走り, 西側屋根に明り採り窓を 2 か所設けている。

換気は計画換気として 24 時間換気システム(熱交換式)を 1 階, 2 階それぞれに 1 台ずつ設置している。このシス

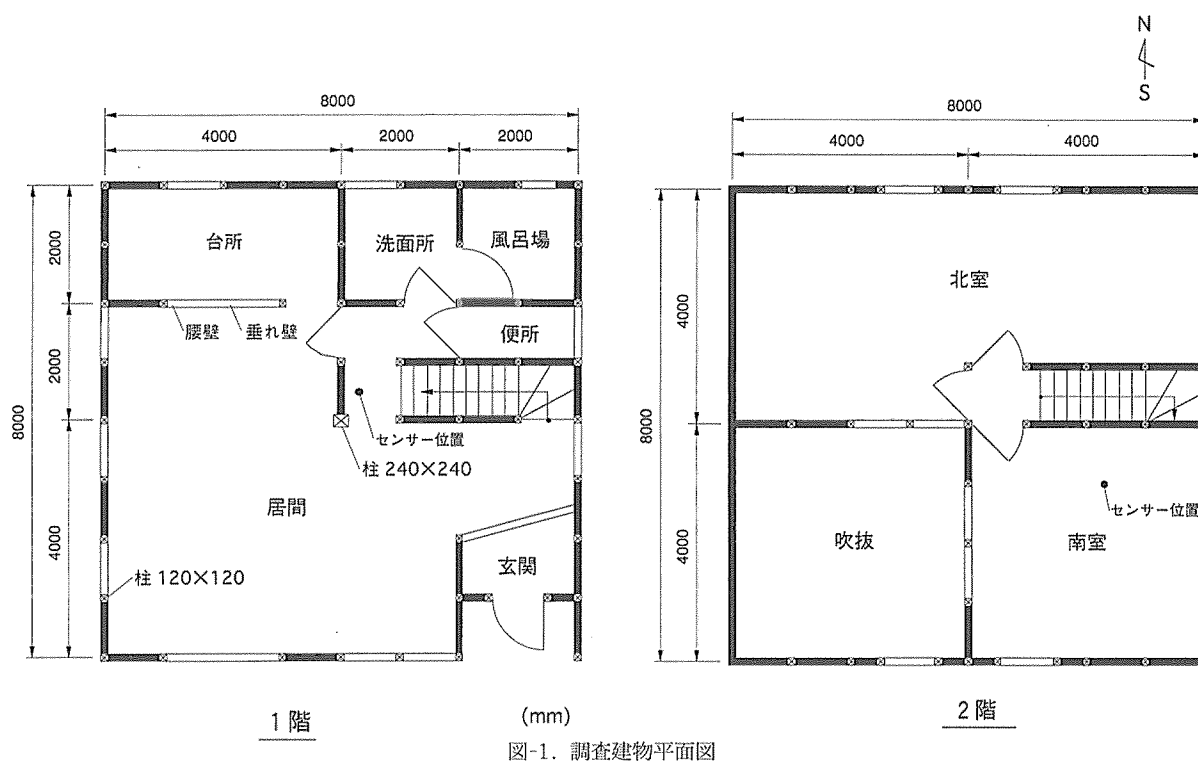
¹名古屋大学大学院生命農学研究科 生物材料工学研究室

¹Laboratory of Bio-material Engineering, Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University, Nagoya 464-8601, Japan

²日東木材産業株式会社

²Nitto Wood Industry Co. Ltd.

(受理: 2000 年 11 月 14 日)



テムはそれぞれ空気の吹出し口2個、吸込み口1個をもち、外周壁に設けたガラリで屋内外の空気を75m³/時間の割合で入替えている。窓は木製サッシとペアガラスで構成している。なお、基礎の断熱も行っている。この建物の仕様は以上のようなものであるが、室内は開口部を除いてほぼすべて木質材料で囲んだ空間となっている。建物は非居住で常時閉鎖した状態にして測定を行ったが、用途が展示用ということもあって、来客時には窓を開けたり、電気式空気温度調節器（以後エアコンという）を運転したりしている。なおこの後でのデータの解析には、このような日のものは除いている。

3. 温湿度の測定

室内2カ所、建物外（以後室外と称する）*1カ所にセンサーを設置し、1999年3月11日～2000年4月11日の398日間、気温および相対湿度を測定した。室内センサーの位置は図-1に示すところで、1、2階とも床上1.5mとした。室外センサーは、建物の東北隅より2.3m離れたところに立っている電柱に取付け、その位置は地上より1.2mの高さとした。屋外センサーは専用の屋外計測用ケースに納め、さらに直射日光が当たらないように回りを合板で覆った。温度センサーはPt 100 Ω 白金抵抗測温体、湿度センサーは高分子薄膜静電容量タイプのもので一つのプローブに納めてあり（ヴァイサラ株式会社、HMP 35 A）、温湿度変換ユニット（白山工業株式会社、HM 150 V）を介して計測装置（白

山工業株式会社、LS-3000 PtV）に接続した。計測は15分間隔で行い計測装置にデジタルデータとして集積し、一定期間ごとにこれを回収した。

4. 測定結果と検討

4.1 年間変動

これ以後は、1999年3月13日0時から2000年2月28日23時45分までの353日間にわたるデータから、エアコン使用日を除いたものすなわち232日間のデータを扱うこととする。気温の年間変動および月間平均を図-2に示した。なおこの図では、室外については上記期間のすべてのデータを、室内についてはエアコン使用日を除いたデータを使用している。この図から、室内気温は室外気温に比べて振れ幅が小さくなり、月平均値は高くなっていること、また月平均値の高低の傾向は外気温にほぼ等しいことがわかる。エアコン使用日を除いた室外気温の最低値および最高値はそれぞれ-2.1℃、36.6℃で年較差は38.7℃であった。室内気温の最低値は1階6.0℃、2階5.8℃、最高値は1階33.9℃、2階34.4℃、年較差は1階27.9℃、2階28.6℃であった。年較差比（室内気温の年較差/室外気温の年較差）は1階0.72、2階0.74であった。

相対湿度の年間変動および月間平均を図-3に示した。この図から、室内相対湿度は室外相対湿度に比べて振れ幅が非常に小さくなり、月平均値は低くなっていること、また月平均値の高低の傾向は気温の傾向と同じように外気温に

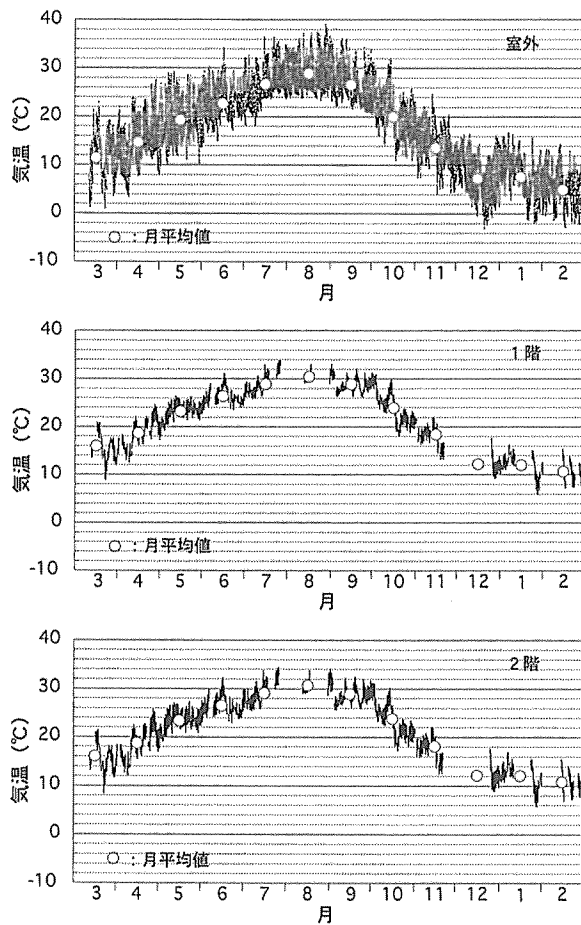


図-2. 気温の年間変動

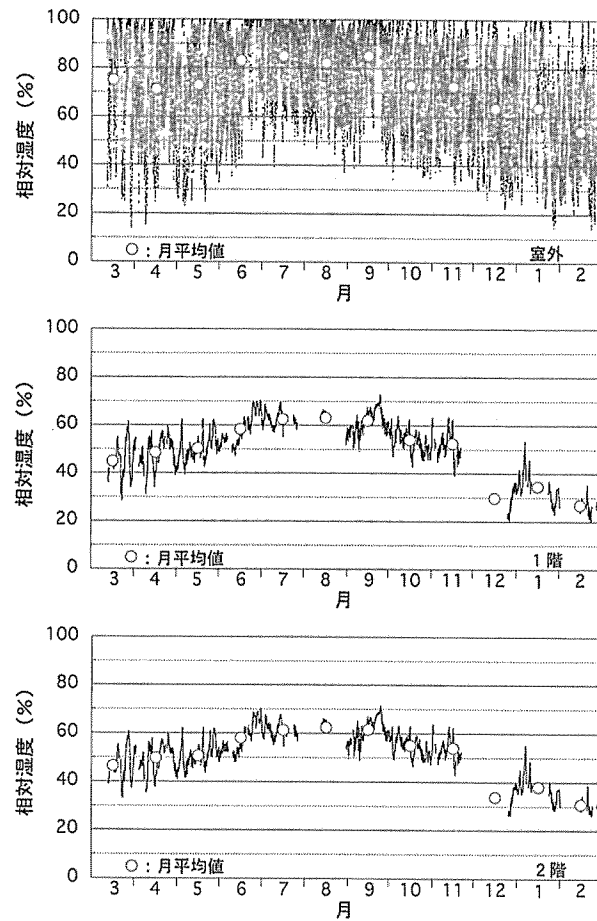


図-3. 相対湿度の年間変動

ほぼ等しいことがわかる。室外の最低値および最高値はそれぞれ 14.0%, 100% で年較差は 86.0% であった。室内の最低値は 1 階 20.3%, 2 階 26.3%, 最高値は 1 階 72.8%, 2 階 71.3% で年較差は 1 階 52.5%, 2 階 45.0% であった。年較差比は 1 階 0.61, 2 階 0.52 であった。

4.2 週間変動

温湿度の一週間の変動の例を図-4 に示した。この図で室内とあるのは 1 階を表し、2 階については 1 階とほぼ同じ値であるので省略した(以下同じ)。温湿度とも室内の振幅が室外に比べて小さくなっていることが読み取れる。気温の変動において、室内気温が上昇する時刻は室外のそれより遅れていることがわかる。この位相のずれについては後ほど検討する。夜明けとともに室外気温は急激に上昇しこれにともなって室外相対湿度は急激に減少している。室内相対湿度も室外湿度の減少にあわせてわずかではあるが減少し、また室外湿度の上昇にあわせて旧に復している。この変化は、換気システムによる外気の室内への取入れが影響しているものと考えられる。

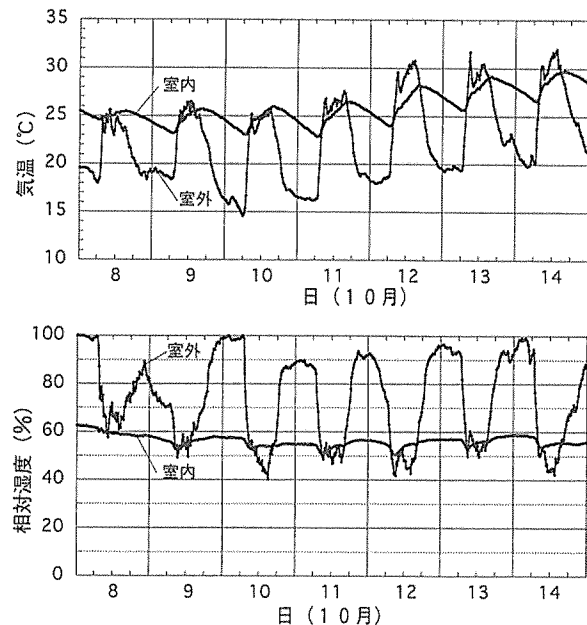


図-4. 気温および相対湿度の週間変動

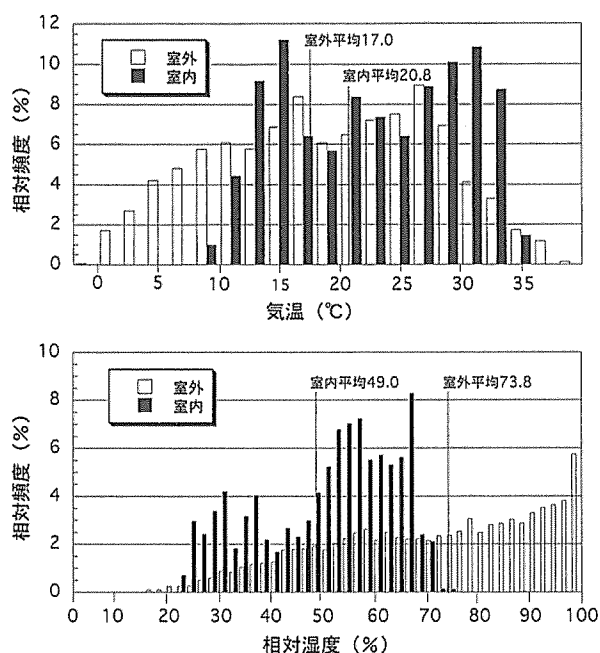


図-5. 気温および相対湿度の年間頻度分布

4.3 頻度分布

計測したデータの頻度分布を図-5に示した。室外気温の年間平均は17.0°C(変動係数以下CVと記す, 0.42), 室内1階の平均は20.8°C(CV 0.28), 室内2階は平均, CVとも1階と同じであった。室内は室外より3.8°C高かった。室外相対湿度の平均は73.8%(CV 0.28), 室内1階の平均は49.0%(CV 0.21), 2階の平均は50.2%(CV 0.18)であった。1階は室外より24.8%, 2階は23.6%低い値であった。変動係数でバラツキの大きさを比べてみると, 室外気温の変動係数0.42は室内気温の0.28へと大きく減少し, 室内気温の変動の減少を示している。一方, 相対湿度においては室内は室外に比べて気温ほどの減少はなく小幅にとどまっている。なおここで用いた各測定値の平均は, エアコン使用日を除いたもので各月ごとに測定日数にウェートを付けて30日分に換算したデータを求め, これを使って年間平均として算出したものである。

4.4 気候図

温湿度の月別平均をプロットした気候図を図-6に示した。室内(1階)の気候図は室外の図の左上に位置し, 気温の上昇と相対湿度の低下を表している。とくに相対湿度の大幅な低下が特徴的である。いずれの月においても室内の点は室外に比べて等水蒸気圧線の左下にあることがわかる。このことは, 室内は室外より水蒸気圧が低いことを示している。なお水蒸気圧はKosikの式(斎藤1978)を用いて計算した。

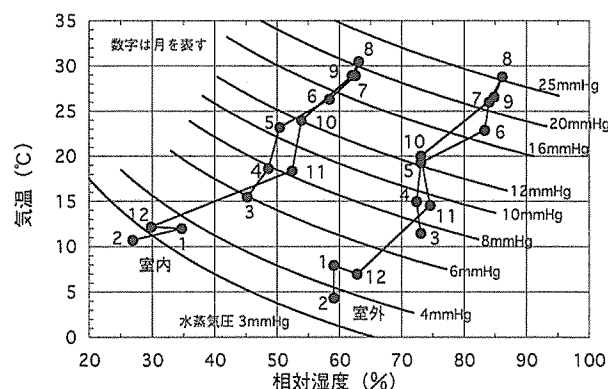


図-6. 室外および室内の気候図

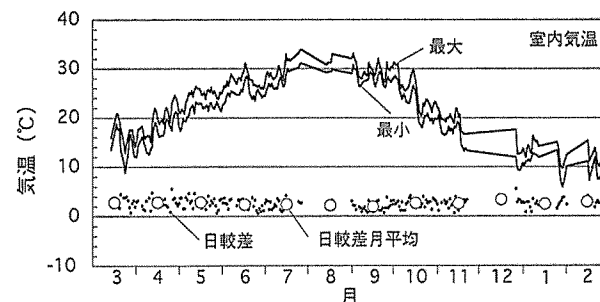
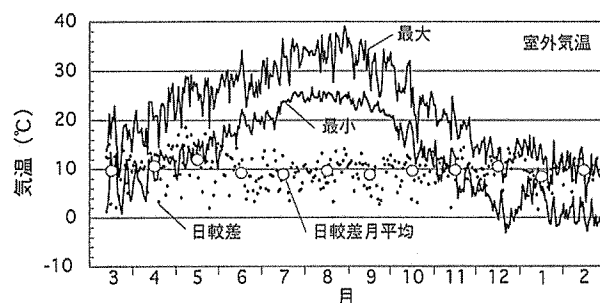


図-7. 日最大値・最小値および日較差の変動(気温)

4.5 日較差

室内外気温の一日のうちでの最大値と最小値およびその差(日較差)の一年間分を図-7に示した。室外気温の日較差は, 1.7°C~18.6°Cの範囲にあり, 平均9.8°C(CV 0.31)であった。日較差の月別平均を同図にみると, 5月に最大の12.0°C, 1月に最小の8.5°Cで年間の日較差の幅はこの範囲内に収まっていた。1階気温の日較差は, 0.6°C~5.6°Cの範囲にあり, 平均2.6°C(CV 0.37)で, いずれの値も室外気温に比べて大幅に減少している。2階気温の日較差は, 0.6°C~6.7°Cの範囲にあり, 平均3.3°C(CV 0.34)で, 1階よりごくわずかに大きくなっている。平均値で比べると, 1階および2階気温の日較差は室外気温のそれぞれ0.27および0.34へと減少したことになる。室内気温の日較差は, 夏にやや小さい値を示す傾向にあった。

室内外の湿度日較差の一年間分を図-8に示した。室外湿

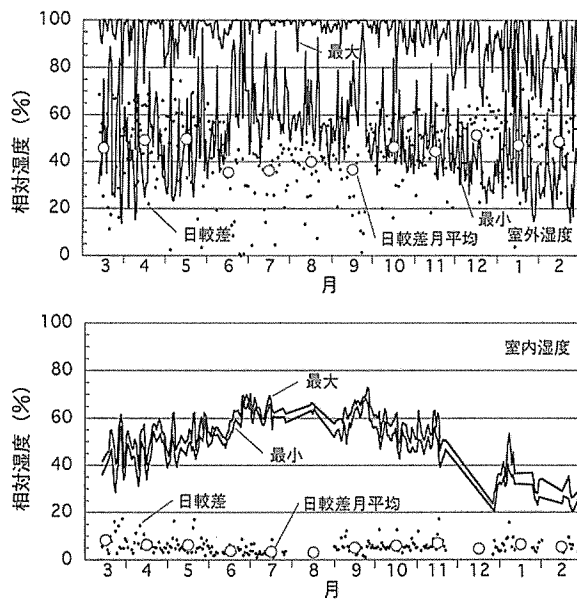


図-8. 日最大値・最小値および日較差の変動（相対湿度）

度の日較差は、0%～81.4%の範囲にあり、平均44.2% (CV 0.34) であった。日較差の月別平均を同図にみると、夏から秋、冬、春へと徐々に増大していく傾向を示している。1階湿度の日較差は、1.2%～17.4%の範囲にあり、平均5.7% (CV 0.53) で、範囲、平均値とも室外に比べて大幅に減少している。2階湿度の日較差は、0.7%～16.3%の範囲にあり、平均5.1% (CV 0.59) であった。室内湿度の振れは、室外の振れに対して1階で0.13、2階で0.12へと大幅に減少している。室内湿度の日較差の季節変動は、室外と同じ傾向であった。

4.6 日較差比

日較差比を、室内日較差を室外日較差で除したものと定義する。日較差比の年間平均は、1階気温で0.27 (CV 0.49)、2階気温で0.34 (CV 0.42) であった。すなわち室内気温の変動は室外の約1/3に減少していることを示している。

湿度では、日較差比の年間平均は1、2階とも0.21 (CV 1階4.0、2階4.2)で、室内変動は室外の約1/5に減少していた。

4.7 室内変動の時間遅れ

前述したように、一日のうちでも、室内気温は室外気温の変動に対して、ある時間遅れてその変動に追従している。この位相のずれを求める方法はいくつかあるが、ここでは次のような方法（祖父江ら1983）によった。すなわち、一日の室外気温データと、データの一つずつずらせた室内気温データを対応させ回帰分析し、得られた決定係数のうちで最大のところをその日の遅れ時間とするものである。こ

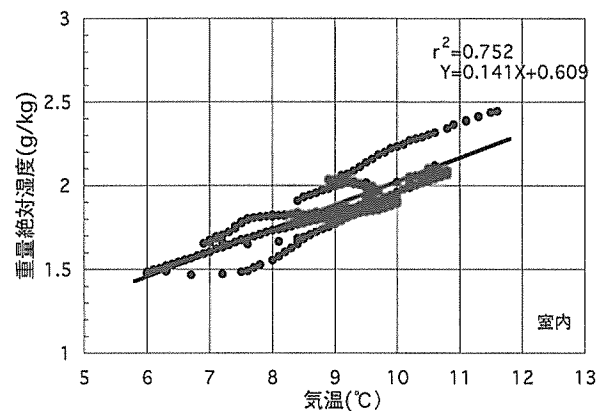


図-9. 気温と重量絶対湿度の関係

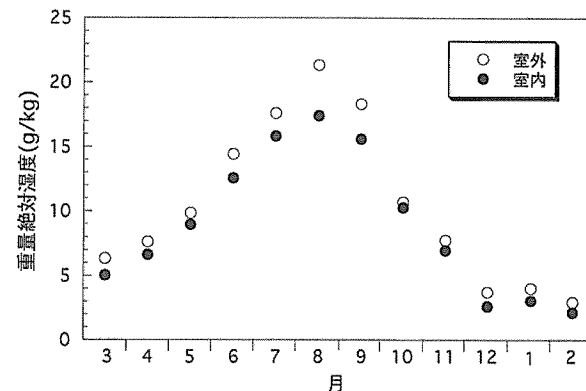


図-10. 重量絶対湿度の月間平均

の方法で一日内の時間遅れの値を求めた結果、その年間をととしての平均値は1階で3.71時間（3時間43分、CV 0.44）、2階で3.62時間（3時間37分、CV 0.37）であった。

直線回帰で得た決定係数の平均値は、1階で0.71 (CV 0.19)、2階で0.76 (CV 0.18) と高い値であった。室内湿度と室外湿度に対しても同じ方法を適用したが、遅れ時間は幅広く散らばり、傾向を捉えることはできなかった。

4.8 重量絶対湿度

冬の晴天続きの3日間（1月26～28日）における1階気温と重量絶対湿度の関係を図-9に示した。この図は気温の上昇に伴って重量絶対湿度も上昇していることを示している。このことは、気温が上昇または下降すると空気中の水蒸気量が増加または減少することを意味し、木材の持つ湿度調節機能が働いていることを示しているといえる。重量絶対湿度の月別平均を図-10に示した。春から夏にかけて上昇し、以後冬に向かって減少していくのがわかる。また室内は室外よりいずれの月も低い値を示していることが読み取れる。

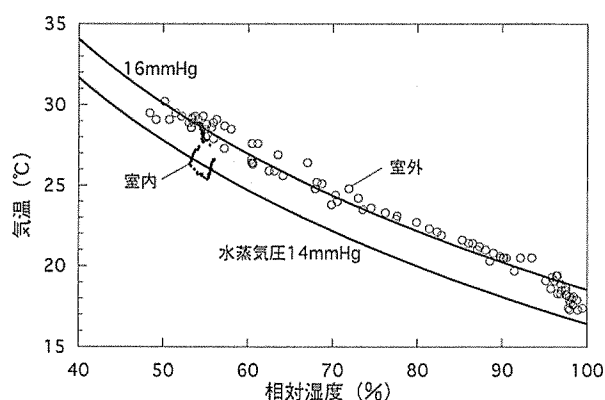


図-11. 気温と相対湿度の関係

4.9 一日の温湿度変化

図-11 に、曇天日の一日(6月6日)の温湿度変化を等水蒸気圧線とともに示した。気温 28°C あたりで室内外の相対湿度は一致している。しかし、それ以外のところでは室内相対湿度は室外より等水蒸気圧線を基準にすると左側、すなわち相対湿度が低い方に位置している。室内相対湿度は温度上昇に伴って等水蒸気圧線に沿わずにこれを横切って立ち上がっている。このことは、温度上昇によって相対湿度が低下すべきところを水蒸気が供給されて水蒸気圧が上昇し、相対湿度を一定に保とうとしていると解釈できる。

5. ま と め

パネル挿入式木造軸組構法住宅内外の約一年間にわたる非居住状態での温湿度観測データは次のようにまとめられる。

- 1) 年間変動における室内気温の振幅は 27.9°C (28.6°C, 以下括弧内は 2 階を表す), 室外気温のそれは 38.7°C で, その比は 0.72 (0.74) であった。
- 2) 同じく相対湿度では, 室内の振幅 52.5% (45.0%), 室外 86.0% で, その比は 0.61 (0.52) であった。
- 3) 気温の年間平均は, 室外 17.0°C, 室内 20.8°C (20.8°C) で, 室内が 3.8°C 高かった。相対湿度の年間平均は, 室外 73.8%, 室内 49.0% (50.2%) で, 室内が 24.8% (23.6%) 低かった。
- 4) 室内気候図は室外の左上に位置し, また室内の月別平均の点は室外に比べて等水蒸気圧線図の左下にあり, 室内は室外より水蒸気圧が低い状態にあった。
- 5) 日較差の年間平均は, 室外気温 9.8°C, 室内気温 2.6°C (3.3°C), 室外相対湿度 44.2%, 室内相対湿度 5.7% (5.1%) であった。
- 6) 日較差比の年間平均は気温 0.27 (0.34), 相対湿度 0.21 (0.21) で, 室内変動は室外の約 1/3 (気温) または約 1/5 (相対湿度) に収まっていた。
- 7) 一日の変動における室内気温の室外気温に対する遅れ

時間の年間平均は 3.71 時間 (3.62 時間) であった。

- 8) 室内の重量絶対湿度および水蒸気圧の変化から, 木材が相対湿度を一定に保とうとする働きが読み取れた。

謝 辞

データ計測に際し多くの助力をいただいた西 貴之氏(愛知県庁, 当時名古屋大学大学院生)に感謝いたします。

引用文献

- 平井信之・則元 京(1989) 木材の科学と利用技術 3. 居住性. pp.231-251. 日本木材学会研究分科会報告書. 東京.
- 平嶋義彦(1990) ログハウスの温湿度環境測定と断熱性に関する研究. ログハウス 13: 4-12.
- 平嶋義彦・西 貴之(2000) 高床式校倉建物の温湿度環境. 木材学会誌 46: 252-257.
- 一柳悦三郎(1936) 奈良に於ける校倉建築内の温湿度. 建築雑誌 10: 1075-1080.
- 木口 実・今村浩人(1988) 各種木造住宅の温湿度環境. 木材工業 43: 117-122.
- 斎藤平蔵(1978) 建築気候. 270pp. 共立出版, 東京.
- 関野 登(1990) 寒冷地における木造住宅の床および床下空間の温湿度特性. 岩手大学演習林報告 21: 85-112.
- 信田 聡(1988) 実大木質壁体の熱的性質(第1報) 冬季室内暖房時の木質壁体の温度特性. 木材学会誌 34: 388-394.
- 祖父江信夫・加藤幸一・都築一雄・竹村富男(1983) 屋内外湿度の回帰分析による木造住宅の屋内気候の検討. 材料 32: 23-27.
- 山田 正(1987) 木質環境の科学. pp.255-340. 海青社, 滋賀.

Indoor climate of a panel inserted post-and-beam construction

Yoshihiko HIRASHIMA and Takayuki SASAKI

The indoor climate of a timber house was investigated by measuring indoor and outdoor air temperature and relative humidity over a period of one year. The house is a recently built two-storied building in Hamakita City, Shizuoka Prefecture. This style of building is characterized by being constructed of newly developed panels inserted in frames of Japanese conventional post-and-beam construction system. The indoor climate had reduced amplitudes of temperature and relative humidity change as compared to the outdoor climate, indicating moderate and steady climatic conditions. The indoor to outdoor ratio of maximum amplitude of diurnal variations was 0.31 for temperature and 0.21 for relative humidity, *i.e.*, the indoor climate changed only one third or one fifth as much as the outdoor climate in a given day for temperature and for relative humidity, respec-

tively. The climograph shows that the indoor climate has slightly higher temperature and lower relative humidity with a tendency toward lower vapor pressure than the outdoor climate. Linear regression analysis showed that the time lag, *i.e.*, the delay of indoor to outdoor temperature change, was 3.67 hours. The con-

trol function of timber over relative humidity was found from the tendency that the humidity ratio or the vapor pressure increases as the temperature increases.

Keywords: indoor climate, post-and-beam construction