

各種居住空間における湿度の変化*1

牧 福美*2, 青木 務*3

Changes of Indoor Humidity in Various Living Spaces*1

Fukumi MAKI*2 and Tsutomu AOKI*3

The changes in temperature and humidity in various living spaces were observed for about one year. As the windows and doors in any living spaces were mostly closed from 9:00 p.m. to 6:00 a.m., nighttime changes were small compared with those in the daytime, so that the humidity conditions caused by the interior wall materials could be easily determined. Thus, we went on to compare and examine the changes in temperature and humidity in various living spaces.

Result shows that in rooms in log and wooden-houses, the average nighttime humidity was 55-70% throughout the year and was comfortable for the inhabitants. On the other hand, in some of the reinforced-concrete-building rooms, the average humidity varied from 38%-78%, a considerable change. And it was also made clear that, when the inhabitants were in, the rooms were kept comfortable with 57%-72% humidity, for some air-conditioners were used and so on.

Keywords: log house, wooden house, reinforced concrete building, various living spaces, indoor nighttime humidity.

約一年間、種々の居住空間における温度と湿度の変化を観測した。いずれの居住空間でも、夜の9時から朝の6時までの夜間は、窓やドアの開閉が少なくほぼ密閉状態となるため、温湿度変化は昼間のそれと比べて小さく、内装材料などの調湿効果が明確に把握できた。そこで、夜間データを基に各種居住空間の湿度と温度の変化を比較検討した。その結果、一年中を通じて、ログハウスや木造住宅では、夜間の平均湿度は55~70%と快適な状況にあった。一方、RC造の一部の居室では、38~78%と大きく変化した。ただ、居住者がいる場合には、空調設備などを使用するためか、57~72%と快適環境に調整されていることも明確となった。

1. 緒 言

近年、化石資源の大量使用に伴う地球温暖化防止対策の一環として、住宅の居住環境を快適に保ちながら、さらに省エネルギーを目指した高气密・高断熱化住宅が脚光を浴びている。しかし、これらの居

住空間では高い気密性を有するため、従来の木造住宅には見られなかった極端な湿度変動が生じ、その結果、高湿度状態でのカビ、ダニによる喘息などのアレルギー疾患、過度の湿度低下でのインフルエンザや呼吸器疾患の発生が増加して大きな社会問題となっている¹⁻³⁾。こうした住宅の極端な湿度変動を緩和させるためには、住宅の開口部を開放して計画的換気を行うことはもちろん、住宅の壁面には、湿度調節機能に優れた木材などを多量に内装して、居住空間における極端な湿度変動を緩和させることが望ましい⁴⁾。

筆者らは、以前、内装材料と住宅内湿度調節の関係を明らかにする目的で、珪酸カルシウム板、インシュレーションボード、合板、メラミン化粧合板、

*1 Recieved November 29, 2004, accepted August 12, 2005.

本報告は、第54回日本木材学会(2004年8月、札幌)において発表した。

*2 神戸大学大学院総合人間科学研究科 Graduate School of Cultural Studies and Human Science, Kobe University, Kobe 657-8501

*3 神戸大学発達科学部 Faculty of Human Development, Kobe University, Kobe 657-8501

ロックウール、ビニルタイルなどの材料で内装した小型住宅における一日の温湿度変化を観察し、住宅内の温度と絶対湿度の対数の関係が近似的に直線で示されたので、その勾配を用いて、内装材料の違いによる室内湿度調節機能を量的に比較した。その結果、木材を内装した住宅は、密閉・無換気の場合、春・秋期の晴天日などの比較的気候が温暖な場合には、吸湿性に劣るメラミン化粧やビニルシートなどを内装した住宅と比べて室内湿度調節機能に優れていることを明らかにした。また、木材内装住宅において、自然換気や強制換気を行った場合、人間が一定のスケジュールで生活した場合でも、ある程度の調湿効果が認められた⁵⁻⁶⁾。大釜らは、前述の勾配を指標に用いて、調湿性能を異にする複数の材料で内装された室空間の調湿効果の予測を行い、密閉および換気が行われている空間に内装されたそれぞれの材料の調湿効果は、それらの材料を木材相当量に換算して予測できることを示した⁷⁾。また、師岡らも、前述の勾配を指標に用いて、大規模木造研究棟の温熱および湿気環境を鉄骨造建物と比較して、大型木造研究棟では調湿性能が劣る材料で内装された場合でも、その建物の構造に由来する調湿作用の存在を示した⁸⁾。

しかし、これらの温度・湿度曲線の勾配は、人間が日常的に居住している空間、高温多湿の梅雨期や夏期、および寒冷乾燥の冬期など気候的に悪条件の下では、室内の平均湿度や温度日格差に大きく依存し、勾配が小さいことが、一概に湿度調節の能力に優れているとは言えないことも分かった⁹⁻¹⁰⁾。そこで、前述の勾配を指標にして、実際の居住空間の湿度変動を適当な範囲に抑えるための湿度設計を行うためには、さらに詳細な検討を要すると考えられる。

本研究では、前述の温度・湿度曲線の勾配を指標とする評価の適用範囲を広げるための基礎データを得ることを目的として、在来木造、ログハウス、および鉄筋コンクリート造の部屋、個人住宅の部屋・公共施設の職場など、種々の形式の居住空間における温度と湿度の変化を一年間にわたって観測した。そこで、それらの居住空間における湿度環境について報告する。

2. 実験方法

本実験に用いた供試住宅は以下のようである。

①ログハウス 1：兵庫県播磨磨に設置された Fig. 1 に示すモデルハウス。北欧のフィンランド仕様の耐寒構造であるため、床・壁・天井は無垢の丸太材がむき出しになっている。なお、モデ



Fig. 1. Log house No. 1 used for the experiments.

ルハウスであるため、日常生活は行われていない。温湿度計は 1 階居間の床上約 1 m のテール中央部に設置した。測定期間は 2003 年 7 月 7 日～2004 年 9 月 9 日である。

- ②ログハウス 2：大阪府枚方市にある個人住宅。ログハウス 1 と同様、床・壁・天井は無垢の丸太材で内装されている。居住者は夫婦、幼稚園児および小学生 2 人の 5 人で、温湿度計は 1 階居間の床上約 1 m の棚に設置した。測定期間は 2004 年 4 月 20 日～2005 年 4 月 27 日である。
- ③木造：京都市左京区にある在来工法の木造 2 階建住宅。温湿度を測定した 6 畳の居室は、畳敷で、壁は土壁、天井は木材で内装された典型的な和風住宅であるため、壁面からの吸放湿は期待できる。普段、居住者はいないため日常生活が営まれていないが、週に 1 回ほど居住者が寝泊りをする。温湿度計は床上約 1 m の所に設置した。測定期間は 2003 年 6 月 29 日～2004 年 7 月 31 日である。
- ④RC 造 1：神戸市中央区にある鉄筋コンクリート造の公務員宿舎。温湿度を観測した 6 畳の居室は、畳敷ではあるが、天井はコンクリートで、壁の木材単板は塗装されているため、壁面からの吸放湿はあまり期待できない。居住者は 1 名で、日常生活が営まれており、暑いときには窓を開けたり、冷房したりする。温湿度計は、床上約 1 m の棚の上に設置した。測定期間は 2003 年 6 月 17 日～2004 年 7 月 18 日である。
- ⑤RC 造 2：大阪市淀川区にある鉄筋コンクリート造 2 階建の大規模商業施設の地下 1 階にあり、ほぼ年間を通して中央冷暖房方式の空調システムにより、全館が快適な温湿度範囲にコントロールされている。9 時～17 時の営業時間中には、個別の冷暖房方式も併用されている。室

Table 1. Outlines of the various living spaces used for the experiment.

Observed building	Location	Construction	Room floor and Direction	Volume	Interior Wall Materials and Spaces						Air-conditioning and Heating Equipment
					Floor		Wall		Ceiling		
Log house No. 1	Harima-cho. Hyogo	Wooden two-storied house	First Floor, Northwest	32.4 m ²	Wood	13.1 m ³	Wood	35.8 m ²	Wood	13.1 m ²	Air-conditioner, Oil stove
Log house No. 2	Hirakata-shi. Osaka	Wooden two-storied house	First Floor, South	19.8 m ²	Wood	7.8 m ³	Wood	28.4 m ²	Wood	7.8 m ²	Air-conditioner, Oil stove
Wooden house No. 1	Ukyo-ku. Kyoto	Wooden two-storied house	Second Floor, North	21.5 m ²	Tatami	9.8 m ³	Soil Wall	27.6 m ²	Wood	9.8 m ²	Air-conditioner, Oil stove
Reinforced concrete building No. 1	Cyuou-ku. Kobe	Reinforced concrete building (10F)	Sixth Floor, South	22.3 m ²	Tatami	9.7 m ³	Painting Wood	28.6 m ²	Concrete	9.7 m ²	Air-conditioner, Oil stove
Reinforced concrete building No. 2	Yodogawa-ku. Osaka	Reinforced concrete building (2F)	First Basement, North	104.8 m ²	Plastic tile	41.9 m ³	Plaster	64.8 m ²	Gypsum board	41.9 m ²	Central heating and cooling system
Reinforced concrete building No. 3	Nada-ku. Kobe	Reinforced concrete building (5F)	First Floor, Northwest	57.5 m ²	Plastic tile	24.5 m ³	Concrete	46.5 m ²	Gypsum board	24.5 m ²	Air-conditioner, Oil stove

内では数名の職員が働いており、温湿度計は、床上約1mの台の上に設置した。測定期間は2003年6月1日～2004年10月5日である。

⑥RC造3：神戸市灘区の神戸大学発達科学部の研究室で、鉄筋コンクリート造5階建の1階北側に位置する。夏期や冬期には冷房や暖房が午前8時頃から午後6時頃まで行われるが、部屋の性格上、不特定多数の人間が不規則に出入りする。温湿度計は床上約1mの台に設置した。測定期間は2003年7月1日～2004年7月1日である。

Table 1に、各供試住宅の躯体構造、測定対象室の階層と方角、気積、床、壁および天井の内装材料名、内装材料別面積、冷暖房機器の種類をそれぞれ示す。これらの空間の温湿度測定には日置電気株式会社製の温湿度ロガー3641（測定範囲：-20.0～70.0℃，0.0～100.0%，精度：±0.5℃，±5%）または、T&D社製のおんどとりTR-72S型（測定範囲：-10.0～60.0℃，10～95%，精度：±0.3℃，±5%）を用いた。両機種ともコンピュータ制御でき、1時間おきに記録できるように設定した。

3. 結果と考察

Fig. 2に、一例として、2004年2月5～6日に観測した各種居住空間の温度、湿度の経時変化を示す。図中、○はログハウス1、◇は木造、□はRC造1、△はRC造2、▲はRC造3の結果である。木造1の不在日では、温度は4.6～11.8℃、湿度は51.1～59.2%、また、居住者のいないログハウス1（2004年2月5日）においても、温度は3.3～5.5℃、湿度は50.7～56.4%となり、室内の湿度は概ね健康にとって快

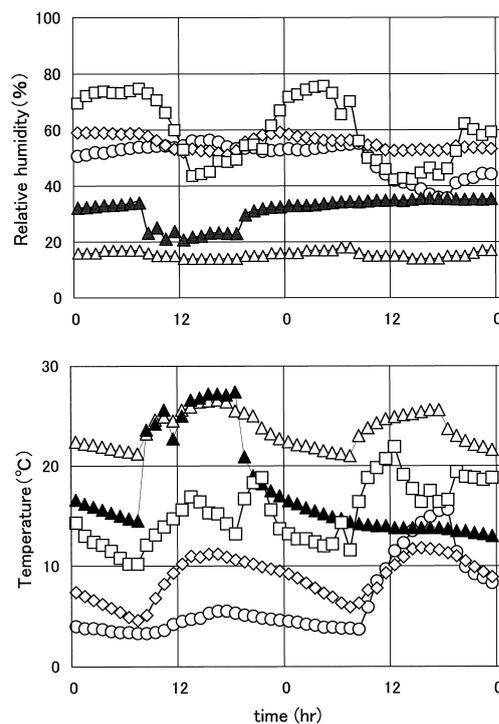


Fig. 2. Change of humidity and temperature with time in various living spaces. (5-6 Feb. 2004)
 (○: Log house No. 1, ◇: Wooden house, □: Reinforced concrete building No.1, △: Reinforced concrete building No. 2, ▲: Reinforced concrete building No. 3)

適と言われる範囲にある。しかし、ログハウス1（2004年2月6日）では午前9時から午後6時まで暖房が行われたため、温度は3.7～15.6℃となり、湿

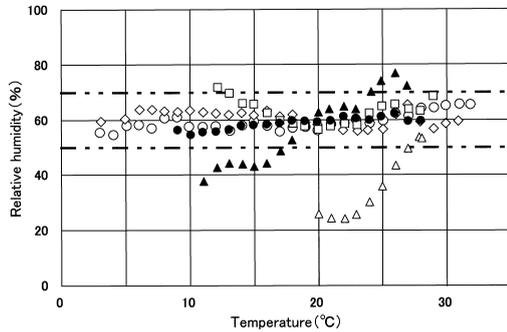


Fig. 3. Relationship between humidity and temperature in various living spaces in the nighttime.

(○: Log house No. 1, ◇: Wooden house, □: Reinforced concrete building No. 1, △: Reinforced concrete building No. 2, ▲: Reinforced concrete building No. 3, two-point dashed line: the relative humidity range - 50~70%)

度は35.7~55.2%の範囲で大きく変動する。一方、日常生活が行われているRC造1の居室では、昼間は、ドアなどの開口部の開閉、局所暖房などの影響により、温度は10~22℃と高いが、湿度は43~76%と大きく変動する。また、昼間は不特定多数の人間が入り出し、局所暖房が行われるRC造3の居室では、温度は13~27℃とさらに大きく変動し、湿度は21~36%と低い。昼間の営業時間には中央方式による暖房が行われるRC造2では、温度は21~27℃と高く安定しているが、湿度は14~18%と極めて低い。

ただし、そのいずれの居住空間でも、夜の21時から明け方の6時までの夜間には、窓やドアの開閉は少なく、ほぼ密閉状態となり、暖房機の使用も少ないため、温湿度変化は昼間と比べて小さかった。そこで、本実験では21~6時を夜間と定義して、1年間にわたる各種居住空間の夜間データを、1℃毎の温度グループに分け、それぞれのグループの平均湿度と温度の関係を求めた。結果をFig. 3に示す。図中、○はログハウス1、●はログハウス2、◇は木造、□はRC造1、△はRC造2、▲はRC造3、二点鎖線は快適湿度範囲の50~70%をそれぞれ示す。

居住者がいないログハウス1では、夜間の温度は0.3~32.8℃、平均湿度は54.7~65.7%であった。また、居住者が日常生活を行っているログハウス2では、夜間の温度は7.9~33.1℃、平均湿度は54.8~62.4%であった。このように、居住者の在・不在に関わりなく、ログハウスにおいては平均湿度が概ね55~66%と、安定した湿度環境である。木造居室の夜間における温度は3~31℃、平均湿度は55~66%であった。

カビは十分な栄養分や酸素がある場合、気温20~28℃、相対湿度75%以上の条件で発育するが¹¹⁾、居住者のいるログハウス2においても、室内の湿度75%以上になる割合は全測定データの0.4%と極めて少なく、木質系住宅の優れた調湿効果が再認された。

一方、夜間に居住者がいるRC造1の居室では、年間を通して温度は12~29℃、平均湿度は57~72%であった。壁面からの吸放湿はあまり期待できないと考えたRC造1の居室でも、人間が在室して快適な環境に保つために、室内の湿度変動は少ないことが分かった。しかし、冬期には、暖房時の蒸気発生、外気温低下および暖房停止後の室温低下などに伴って、居室の平均湿度は66%から72%に上昇し、窓ガラスの表面にはしばしば結露が発生した。夏期には、窓の開放による水蒸気の流出入、除湿冷房停止後の室内湿度の上昇、および居住者の発汗などによって、温度が25℃から29℃に上昇すると、平均湿度も65%から69%に増加した。春期および秋期では、気候が比較的温暖であるため、平均温度が17~23℃、平均湿度は58%~60%とほぼ一定となる。

RC造2では、冬期や夏期における居室の温湿度は中央空調方式の冷暖房によりコントロールされているため、年間を通しての夜間の温度は19.3~29.3℃、平均湿度は24.2~59.6%であった。夏期(6月~8月)の午前9時~午後5時の業務時間では、中央冷房方式による除湿効果によって、温度が23.1~29.3℃、平均湿度は47.4~51.6%となるが、午後5時以降の冷房停止後には室温が上昇するため、夜間の温度は25.4~29.8℃、平均湿度は53.4~57.7%と昼間と比べて大きくなる。また、冬期(12月~2月)には、中央暖房方式によって夜間の温度は19.3~26.9℃と高いが、この地域特有の乾燥した外気の影響を受けるため、絶対湿度は9.2~18.9 g/m³となり、平均湿度は23.9~27.4%と極めて低くなる。従って、RC造2における平均温度と平均湿度の関係は、夜間に居住者がいるRC造1とは異なり、温度に対して右上がりの直線関係が得られる。なお、冬期の湿度環境について、複数の従業員から聞き取り調査をした結果、「喉が渴くので水分補給が欠かせない」「空気が乾いて肌がばさつき化粧の乗りが悪いようだ」「風邪を予防するためにうがいが必要」と、まさに湿度が低いことを実感できるような回答が得られた。

RC造3においても、年間を通して外気の温湿度変動の影響を強く受け、さらに、夏期や冬期の局所冷暖房の効果によって、温度は11.1~32.1℃、平均湿度は37.8~76.9%となる。夏期では、局所冷房に

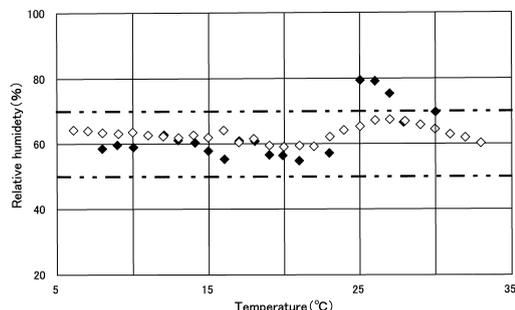


Fig. 4. Relationship between humidity and temperature in the wooden house in the nighttime.

(◇: Empty, ◆: Occupied, two-point dashed line: the relative humidity range - 50~70%)

よる効果によって、夜間の温度が22.9~25.9℃、平均湿度は63.2~76.9%となるが、冬期には、局所暖房の効果によって夜間の温度は12.1~20.9℃と比較的高く、絶対湿度は3.6~9.9 g/m³となるため、平均湿度は40.6~46.2%と比較的低くなる。従って、RC造3の年間の平均温度と平均湿度の間にはほぼ正の勾配を持つ直線関係が得られる。従って、例えば室温が20℃から25℃に上昇した場合、この居室の平均湿度は76%に上昇することが予測される。これは、アレルギー疾患の原因となる優先ダニ種であるヤケヒョウヒダニが最も生育しやすい温湿度条件とされている25℃、73~76%の範囲¹²⁾とほぼ一致する。また、冬期の湿度はしばしば40%以下となることが予想され、低湿度が原因のインフルエンザ感染など健康面での悪影響が懸念される。

Fig. 4に、木造居室に夜間在室した場合と不在の場合の室温と平均湿度の関係を示す。図中、◇は不在日、◆は在室日、二点鎖線は湿度50~70%の範囲をそれぞれ示す。不在日の平均湿度は59.1~67.4%となり、吸放湿性に富む木材、畳などで内装されている木造居室の優れた調湿効果が認められる。一方、在室日の平均湿度は54.9~79.5%となり、不在日の場合と比べて湿度変動は若干大きい。そこで、夜間の湿度が70%以上になる割合を調べると、不在時は全測定データの21%であるのに対して、在室時には35%と大きくなる。これは、居住者が在室した場合には、発汗や不感蒸泄などによって湿度は高くなることを意味している。

Fig. 5は、RC造3で昼間に居住者が在室したかどうかや夜間の温湿度に影響を及ぼすのかを検討した図である。図中、□は昼間在室、■は昼間不在、二点鎖線は湿度50~70%の範囲をそれぞれ示す。昼間

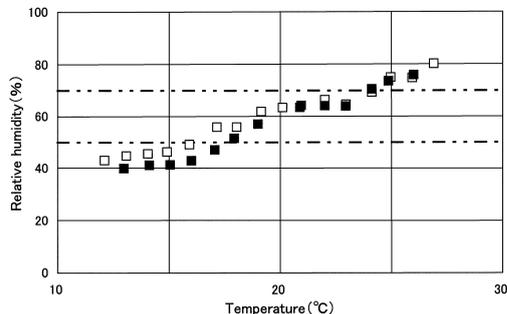


Fig. 5. Relationship between humidity and temperature in Reinforced concrete building No. 3 in the nighttime.

(□: Empty in the daytime, ■: Occupied in the daytime, two-point dashed line: the relative humidity range - 50~70%)

に人が居ない研究室では、壁面からの吸放湿が期待できないため、温度と平均湿度の間にはほぼ正の勾配を持つ直線関係が認められる。一方、昼間に人が居る研究室の夜間の温度と平均湿度の関係は、昼間人が居ない場合と同様の直線関係が成り立つが、温度20℃以下で明確な差が認められる。例えば、研究室の夜間の平均湿度が43%になる温度と絶対湿度を求めると、人が昼間に居ない研究室では12℃、4.5 g/m³、人が居る場合には16℃、5.8 g/m³となる。これらの結果から、RC造の研究室では、壁面からの吸放湿が期待できないため、昼間に人が居る効果が夜間は無人の研究室の温度と平均湿度に及ぼす影響が明確に理解できる。

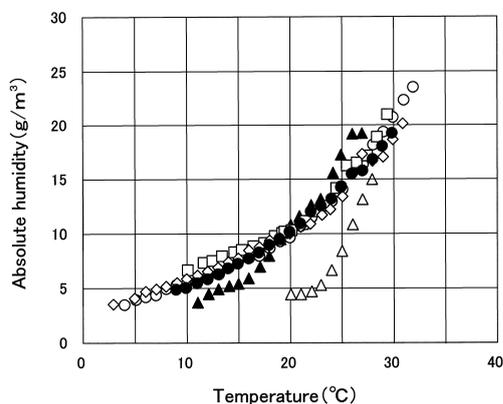


Fig. 6. Relationship between absolute humidity and temperature in various living spaces in the nighttime.

(○: Log house No. 1, ●: Log house No. 2, ◇: Wooden house, □: Reinforced concrete building No. 1, △: Reinforced concrete building No. 2, ▲: Reinforced concrete building No. 3)

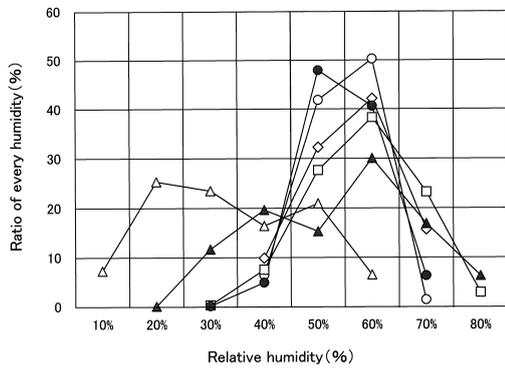


Fig. 7. Plot of the Humidity in various living spaces in the nighttime at each relative humidity.

(○ : Log house No. 1, ● : Log house No. 2, ◇ : Wooden house, □ : Reinforced concrete building No. 1, △ : Reinforced concrete building No. 2, ▲ : Reinforced concrete building No. 3)

Note: Ratio means percentage of every relative humidity 10%~80%.

Fig. 6 に、各種居住空間の夜間における絶対湿度と温度の関係を示す。図中、○はログハウス 1、●はログハウス 2、◇は木造、□は RC 造 1、△は RC 造 2、▲は RC 造 3 の結果である。いずれの居住空間においても温度と絶対湿度の間に曲線関係が認められる。ログハウス 1 と RC 造 3 の絶対湿度は、温度が 20℃ では 9.7 g/m³, 10.8 g/m³, 25℃ では 14.1 g/m³, 17.3 g/m³ と RC 造 3 の方が、11℃ では 5.7 g/m³, 3.7 g/m³ とログハウス 1 の方がそれぞれ大きい。これらの結果からも、ログハウスでは、冬期の低温乾燥時や梅雨期や夏期の高湿多湿時における木材壁面からの吸放湿作用による調湿効果が認められる。また、各居住空間の 20℃ における絶対湿度を比較すると、RC 造 2 では 4.5 g/m³ となり、他の居住空間の場合と比べて極端に低い。これは冬期に行われた中央方式の暖房によって室温が大幅に上昇したからである。因みに、1 月の平均の絶対湿度を調べると、外気が 5.1 g/m³ に対して、RC 造 2 では 4.4 g/m³, ログハウス 1 で 4.8 g/m³, RC 造 3 では 5.2 g/m³ となり、これらの居住空間では、昼間の暖房の有無、内装材料や構造の差異に関係なく、外気の影響を強く受けることが理解できる。一方、夜間に在室者がいる RC 造 1 では、外気温の低下による室内湿度の上昇、在室者の発汗や不感蒸泄によって、室温 10℃ の絶対湿度は 6.7 g/m³ となり、人間が不在の RC 造 3 の 3.7 g/m³ と比べて高い。従って、RC 造 1 の居室では、室内の湿度が 80% 以上となり窓ガラスの表面にたびたび結露が生じたことがこれからも理解できる。

以上の 1 年間にわたる居住空間で観測した夜間データを、10% 毎の湿度グループに分け、それぞれのグループが全データに占める割合を示したのが Fig. 7 である。図中、○はログハウス 1、●はログハウス 2、◇は木造、□は RC 造 1、△は RC 造 2、▲は RC 造 3 の結果である。一年間を通じて、夜間の湿度範囲が快適範囲とされる 50~60% の割合は、ログハウス 1 が 92%、ログハウス 2 が 89%、木造は 74%、RC 造 1 が 66%、RC 造 3 が 45%、RC 造 2 が 28% となる。一方、乾燥しすぎと感じられる 40% 以下の割合は、ログハウス 1 と 2 が 6%、木造は 10%、居住者が居る RC 造 1 が 8% に対して、RC 造 3 が 31%、夏期および冬期に中央方式による冷暖房が行われている RC 造 2 に至っては 73% となり極端な湿度環境が認められる。これらの結果からも、木質系居室の調湿効果は RC 造のそれらと比べて優れていることが証明された。

4. 結 言

種々の形式の居住空間における温度と湿度の変化を、一年間にわたって観測した。そのいずれの居住空間でも、夜の 21 時から朝の 6 時までの夜間は、窓やドアの開閉が少なくほぼ密閉状態となるため、温湿度変化は昼間のそれと比べて小さかった。そこで、21~6 時を夜間と定義して、1 年間にわたる各居住空間の夜間データの平均湿度と温度の関係を求めた。得られた結果は以下の通りである。

(1) ログハウス 1 では、居住者がいない場合、1 年間の夜間の温度は 3~32℃ に対して、平均湿度は 55~66% であった。また、木造でも、温度が 3.1~31℃、平均湿度が 56~66% となり、湿度範囲が快適範囲に調節されていた。

(2) 木造では、人が居る場合、1 年間の夜間の温度は 6~32℃ に対して、平均湿度は 55~80% に、また、日常生活が行われているログハウス 2 では、4 月からの約半年間の夜間の温度は 16~33℃、平均湿度は 56~63% となり、居住時の木質系住宅でも優れた調湿効果が再認された。

(3) RC 造に人が居住した場合、壁面からの調湿効果が期待できないにもかかわらず、年間の温度は 12~29℃ に対して、夜間の平均湿度は 57~72% となり、極端な湿度変動は見られなかった。しかし、冬期には、夜間の外気温度低下による室内湿度の上昇、および在室者の発汗や不感蒸泄などによって湿度が 80% 以上に上昇するため、しばしば居室の窓ガラスの表面に結露が生じた。

(4) RC 造 2 の公共施設では、夏期は中央方式で冷

房されているため、居室の夜間の平均温度は25.5℃、平均湿度は49.0%、不快指数は75以下となり概ね快適範囲にあった。しかし、冬期には、中央暖房方式によって、室内の温度はほぼ20℃にコントロールされているため、夜間の湿度はほとんど30%以下に低下した。

(5) 各居住空間において、一年間にわたる夜間の平均湿度が50～60%になった割合は、ログハウス1が92%、ログハウス2が89%、木造は74%となるのに対して、RC造1では66%、RC造2が28%、RC3が45%となり、この結果からも、RC造の居室と比べて、木質系居室の優れた調湿効果が明確に理解できる。

参考文献

- 1) 宮崎良文, 谷田貝光克: 木材工業 45(2), 53-57 (1990).
- 2) 宮崎良文, 谷田貝光克: 木材工業 45(3), 14-19 (1990).
- 3) Yamamoto, N., Miyazaki, Y., Sakuda, K.: *J. Wood Sci* 44(2), 90-97 (1998).
- 4) 宮野秋彦, 吉原俊雄, 宮野則彦: 日本建築学会中国支部研究報告集第19巻, 301-304 (1995).
- 5) 牧 福美, 則元 京, 山田 正: 木材学会誌 24(11), 797-801 (1978).
- 6) 牧 福美, 則元 京, 山田 正: 木材学会誌 27(12), 828-832 (1981).
- 7) 大釜敏正: 平成10年度～平成11年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2))研究成果報告書, 46-60 (2000).
- 8) 師岡淳郎, 則元 京, 磯田憲生: 木材学会誌 46(5), 421-430 (2000).
- 9) 青木 務: 神戸大学教育学部研究集録73集, 193-202 (1984).
- 10) 牧 福美, 青木 務: 神戸大学発達科学部研究紀要第11巻第2号, 83-90 (2004).
- 11) 齊藤平蔵: “建築気候”, 共立出版, 東京, 1975, pp. 174-187.
- 12) 宮崎良文: *Health Science* 7(3), 120-126 (1991).