

不在木造家屋の構造健全性維持のための保守管理に関する調査研究

A Study on Housing Maintenance to Preserve Structural Healthiness in
Unoccupied Wooden Houses

向井洋一¹・藤平眞紀子²・田中瑛子³

Yoichi Mukai, Makiko Fujihira and Eiko Tanaka

¹奈良女子大学准教授 生活環境学部住環境学科 (〒630-8506 奈良市北魚屋西町)
Associate Professor, Nara Women's University, Dept. of Residential Environment and Design

²奈良女子大学講師 生活環境学部住環境学科 (〒630-8506 奈良市北魚屋西町)
Lecturer, Nara Women's University, Dept. of Residential Environment and Design

³奈良女子大学大学院生 人間文化研究科 (〒630-8506 奈良市北魚屋西町)
Graduate Student, Nara Women's University, Graduate School of Humanities and Sciences

Emphasis of this study is put on considering efficient housing maintenance way to preserve structural healthiness in unoccupied wooden houses in long-term durations. Physical monitoring of unoccupied houses is carried out from both view point of evaluation of present structural characteristics in frames strength and anti-seismic efficiencies, and view point of consideration of environmental relations in deterioration to temperature and moisture conditions. In this paper, reports of the field researches in 2008 and 2009 to investigate unoccupied houses (mostly, constructed since 18th to 19th century) in Imai-Cho, Kashihara-City, Nara, Japan are introduced.

Key Words : *traditional wooden house, microtremor measurement, unoccupied house, structural healthiness*

1. はじめに

筆者らは、重要伝統的建造物群保存地区である橿原市今井町をフィールドとして、居住者の常時不在状態が長年にわたる伝統的構法の木造家屋を中心に、微動計測とともに建物内の温湿度計測を進めている¹⁻⁵⁾。既報¹⁻²⁾では、常時微動計測と現地観察調査の結果に基づき、地区内の建物の構造性能の特徴について示した。本報では、今井町の空き家の構造的特徴（微動計測結果と建物の耐震性能、建築年などとの相関）について概述した上で、これらの構造調査を実施した建物のうち、「微動計測結果からは大きな相違が観測されなかったが、補修・改修の有無や外観上の劣化状態の条件に相違がある」不在家屋において、年間を通じた建物内の温湿度環境変動とその特徴について比較調査・検証した内容について速報する。

2. 今井町の木造家屋の現況と不在家屋調査研究の主眼

橿原市今井町は、平成 5 (1993) 年、重要伝統的建造物群保存地区に選定され、建造物に対する修理・修景事業、町並み保全にかかる住環境整備事業が着実に進められてきた。一方で、今井町の保存地区を特徴付ける借家に見られる中二階や長屋建の建造物については、居住者の退去後は長年にわたり空き家として放置され、修理が進まず老朽化が進行しているという問題を抱えている。空き家として、長期間居住のない状態

に存置される木造家屋においては、居住者不在期間中の維持／保守管理の相違により、建物の構造要素についてもその劣化進行の差異に影響を受けると考えられる。そこで、居住者不在の木造家屋について、存置環境・劣化損傷状態・構造性能の調査結果を整理・分析し、空き家の適切な維持管理法を検討していくことが本研究の着眼であり、今後の研究継続の課題である。すなわち、相当期間不在状態に置かれる家屋について、家屋を再び利用する際の修復コストの低減と建物構造、特に軸組・躯体の健全性保持をねらいとし、不在期間中の空き家の維持管理の要件を抽出することを目的としている。本報では、構造調査を実施した建物のうち固有周期・建築年に大きな隔たりのない不在家屋について、補修・改修の有無や劣化損傷状態に相違のある建物を選び出し、①建物の存置状態、ならびに土間付近の主な軸組脚部の木部の湿潤状況について調べ、②建物内の相対湿度を累積頻度の年間を通じた変動状況と比較し、これらの影響要因について考察する。

表1 構造調査家屋の種別分類とその基礎データ

分類	家屋の基礎データ	
戸建持家	調査棟数：6棟 屋根仕様：本瓦葺き 建築面積：95.2～145.5m ² (平均 115.5m ²) 固有周期：(奥行)0.16～0.38 (平均 0.25s) 利用状況：居住1／公開施設4／不在1	劣化状態：なし 総重量：249～457kN (平均 359.3kN) 総床面積：136.0～221.5m ² (平均 160.0m ²) (間口)0.13～0.42 (平均 0.25s)
戸建借家	調査棟数：3棟 屋根仕様：本瓦2／棧瓦1 建築面積：31.2～58.0m ² (平均 46.5m ²) 固有周期：(奥行)0.24～0.30 (平均 0.28s) 利用状況：不在	劣化状態：外観に明らかな劣化 総重量：105～207kN (平均 140.0kN) 総床面積：51.2～93.2m ² (平均 77.7m ²) (間口)0.21～0.36 (平均 0.27s)
長屋借家	調査棟数：6棟 屋根仕様：棧瓦葺き 建築面積：27.5～51.6m ² (平均 39.6m ²) * 固有周期：(奥行)0.19～0.29 (平均 0.24s) 利用状況：不在3／一部不在3	劣化状態：なし1／外観に明らかな劣化5 総重量：79～164kN (平均 139.4kN) * 総床面積：35.0～74.0m ² (平均 58.7m ²) *

* 長屋は、建物（棟）ごとに住戸（軒）数で除した住戸あたりの数値を示す。

3. 構造調査

(1) 調査対象家屋

2008年～2009年にかけて、今井町における木造家屋の構造調査と微動計測を15棟について実施し、建物規模や構法、固有周期、上部構造評点などの基礎データを収集した。本調査では、同地区内の伝統的建造物の建物規模・使用形態により、「戸建持家」、「戸建借家」、「長屋借家」の3つの種別に分類した。それらの種別ごとの家屋の概要を表1に示す。建物の固有周期は常時微動計測結果により推定した。全調査建物について、微動振幅レベルでの固有周期の平均値は、奥行方向で0.31秒、間口方向で0.26秒であり、調査対象の建物間では、固有周期の相違は比較的小さいことが確認されている。

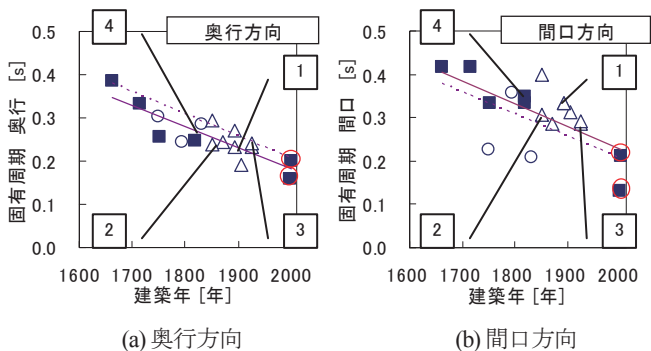
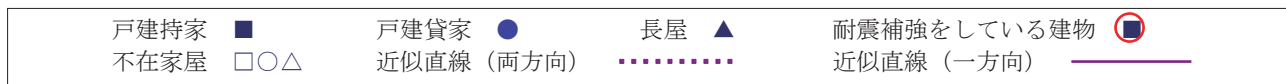


図1 建築年と固有周期との関係

[相関係数：r=-0.662/rd=-0.854/rw=-0.629]

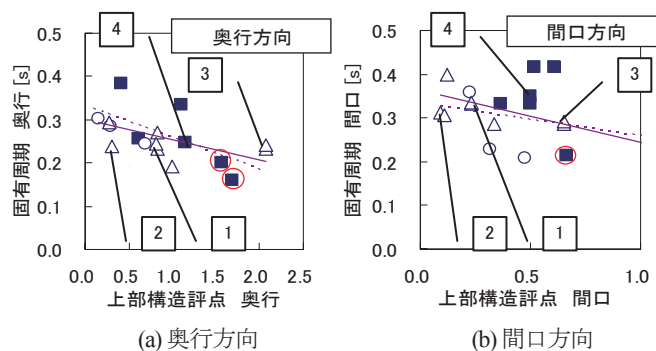


図2 上部構造評点と固有周期との関係

[相関係数：r=-0.579/rd=-0.528/rw=-0.566]



(a) 建物①：5軒長屋



(b) 建物②：5軒長屋



(c) 建物③：3軒長屋

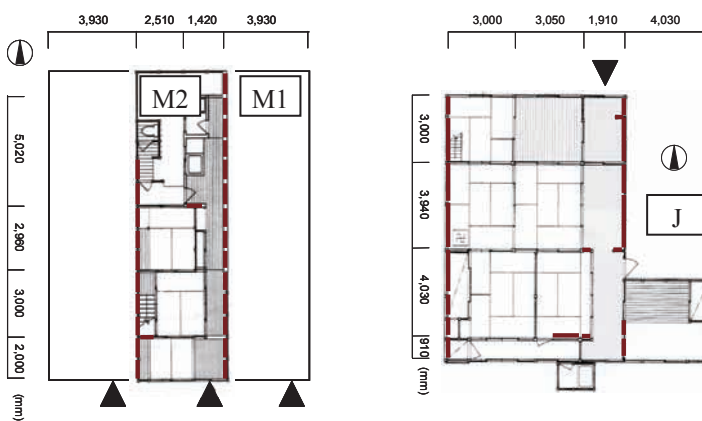


(b) 建物④：戸建持家

図3 温湿度測定実施家屋の状況 (外観写真)

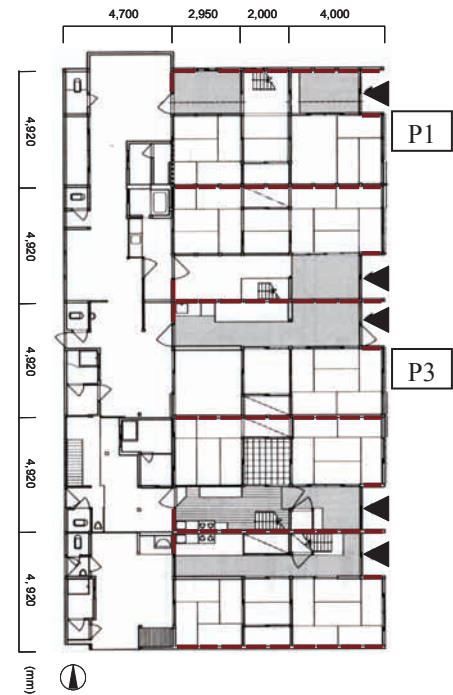


(a) 建物①：5軒長屋



(c) 建物③：3軒長屋

(d) 建物④：戸建持家



(b) 建物②：5軒長屋

図4 温湿度測定実施家屋の平面図 (1階)

図1(a)・(b)に建物の建築年と固有周期との関係を奥行・間口方向についてそれぞれ示す(r 、 r_d 、 r_w はそれぞれ、両方向、奥行方向、間口方向における縦横軸データの相関係数を表す)。本地区の建物については、建築年と建物の固有周期との間で比較的高い相関が高いことが特徴である。図2(a)・(b)に建物の上部構造評点と固有周期との関係を奥行・間口方向についてそれぞれ示す(上部構造評点は、日本建築防災協会「木造住宅

の耐震診断と補強方法（改訂版）」の一般診断法による）。上部構造評点と建物の固有周期との間にもやや相関が見られるが、種別ごとに見るとばらつきは大きいことがわかる。

本報では、これらの構造調査対象家屋 15 棟のうち、経年での温湿度データの収集が完了している不在状態の 4 棟について、建物の劣化の状態、建物の放置の状況、建物の土間付近の主な軸組脚部の木部の表面含水率と湿潤状況について整理した。内訳は、長屋借家 3 棟（各 2 住戸ずつ：端部と中部）、戸建持家 1 棟である。調査家屋については、以下のような違いがある。

- ・建物①（住戸番号 D5：端部／D3：中部）：5 軒長屋、建物の補修はほとんどなされていない。
- ・建物②（住戸番号 P1：端部／P3：中部）：5 軒長屋、建物の一部補修と、内装の改修がある。
- ・建物③（住戸番号 M1：端部／M2：中部）：3 軒長屋、建物に大規模な改築・改修がなされている。
- ・建物④（住戸番号 J）：戸建持家、建物の一部に補修がある。

図 3 にこれらの建物の外観写真を示す。図 4 にこれらの建物の 1 階平面図を示す（図中に住戸番号を示す）。表 2 に、各棟の状況について示す。なお、表 2 中には各住戸の土間近傍の軸組の含水率をあわせて示す（但し、樹種等現場で判別できないものもあり、計測時に機械の補正などは行っていないので、計測値には樹種の相違に依存する数%程度の誤差が見込まれる）。計測時期は、いずれも 11 月～12 月の調査時である。建物①-端部（D5）と建物②（P1・P3）では、土台周辺の一部の木部の湿潤状態が非常に高く、住居管理上不良な状態にある。なお、建物③-中部（M2）では、計測時には、建物①、②ほど土台周辺の木部の湿潤状態は高くはなかったが、土間部の水はけ状態はよくなく、常時密閉状態にあるので、高湿時には湿潤の可能性はある。なお、人の出入りのある、建物①-中部（D3）と建物④（J）では、含水率の高い箇所もあるが、木部表面の湿潤状態は見られなかった。

表 2 温湿度測定実施家屋の状況一覧

測定家屋	種別	入口方位 (間口方角)	状態・放置状況など 木部の湿潤状態
①-端 (D5)	5 軒 長屋	北向き (東西)	1 階に荷物を多く放置。小屋部分の損傷が激しく、内部が吹きさらし状態。 含水率:14~29% (脚部) 17~20% (高さ 120 cm) 土台周辺の一部で 45%程度。(表面湿潤で計測不可の箇所あり)
①-中 (D3)			建具作業所として頻繁に使用されている。(人の出入りあり) 2 階には物置として多くの荷物がある。 含水率:20~25% (脚部) 15~20% (高さ 120 cm)
②-端 (P1)	5 軒 長屋	東向き (南北)	常時、閉めきり。北端家屋で、建物側端(北側)に水路あり。 含水率:15~30% (脚部) 12~20% (高さ 120 cm) 土台周辺の一部東などで 100%超える。(一部計測不可)
②-中 (P3)			常時、閉めきり。2階なし。 含水率:20~45% (脚部) 15~20% (高さ 120 cm) 土台周辺の一部で 60%程度。
③-端 (M1)	3 軒 長屋	南向き (東西)	日常的に少し窓を開けている。週一回程度人の出入り有り。1、2 階とも物置として常時荷物が置かれている。 含水率:計測していない。
③-中 (M2)			常時、閉めきり。季節に一回程度荷物の出し入れあり。2 階はほとんど荷物なし。 含水率:12~21% (脚部) 12~15% (高さ 120 cm) 土台周辺の一部で 45%程度。
④ (J)	戸建 持家	北向き (東西)	時々所有者の出入りあり。屋内は手入れされている。1 階土間上の吹き抜けからつし 2 階は連続空間。2 階部にはほとんど荷物はない。 含水率:22~34% (脚部) 15~22% (高さ 120 cm)

表 3 温湿度調査家屋の構造調査結果のまとめ

建物	①	②	③	④
固有周期(奥行)	0.23s	0.24s	0.24s	0.25s
固有周期(間口)	0.33s	0.31s	0.29s	0.35s
評点(1階・奥行)	0.83	0.31	2.07	1.15
評点(1階・間口)	0.23	0.11	0.65	0.50

また、表 3 に示すように、これらの 4 棟の固有周期はほぼ同程度である。戸建持家は、長屋各住戸の倍程度の規模であるが、この種別では地区内の平均的家屋である。上部構造評点については、家屋によりばらつきがある。大規模な改修を行っている建物③以外の家屋では劣化低減係数(0.7)が考慮される。図 1 およ

び図 2 の建築年ないし上部構造評点と固有周期との相関図中に、これら 4 棟のプロットを明示する。これらの建物の建築年は近接しているため、建築年-固有周期関係のグラフでは、4 棟の相違は奥行・間口方向とも少ない。一方、上部構造評点-固有周期関係のグラフでは、4 棟の固有周期に大きな隔たりがないのに、上部構造評点が各家屋で大きく異なるため、これら 4 棟について、上部構造評点と固有周期との相関は奥行・間口方向ともほとんどないものと考えられる。

(2) 考察

今井町において今回構造調査を行った家屋について、戸建・持家（6 棟）／戸建・借家（3 棟）／長屋・借家（6 棟）という 3 つの建物分類で調査結果を検証したが、微動計測による建物の固有周期に関しては、奥行、間口とも、これらの建物間での大きな相違は見られなかった。また、当該地区においては、建築年と固有周期との間に相関係数 0.6~0.8 程度の強い相関が見られた。このことから、年代別の建物規模、構造形式の変遷などについても今後厳密に調査していくことが、適切な耐震性評価と、建物の改修時の耐震性能確保のための構造計画上の重要な手がかりとなるものと考えられる。

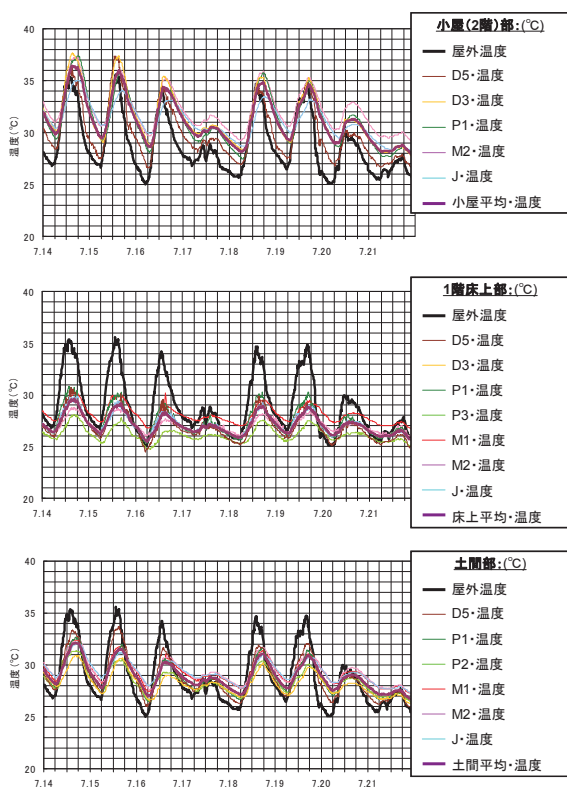


図 5 梅雨期の温度変化（上から小屋、床上、土間）

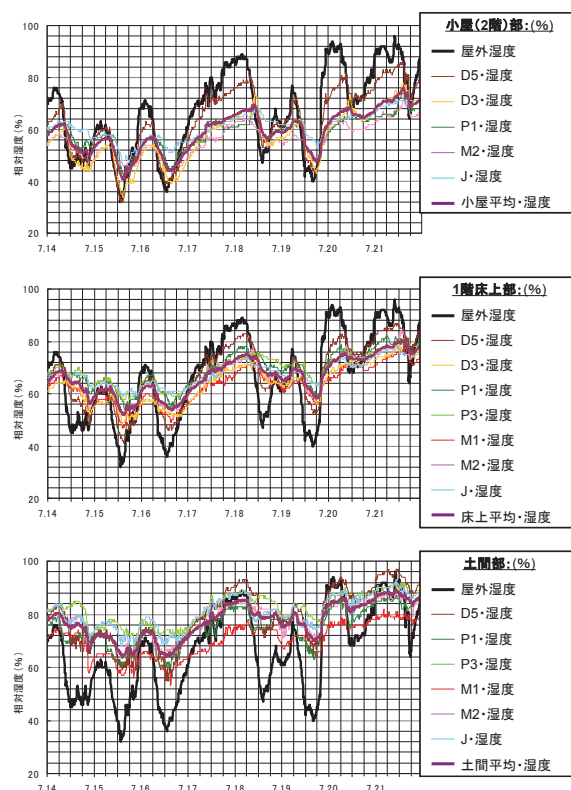


図 6 梅雨期の相対湿度変化（上から小屋、床上、土間）

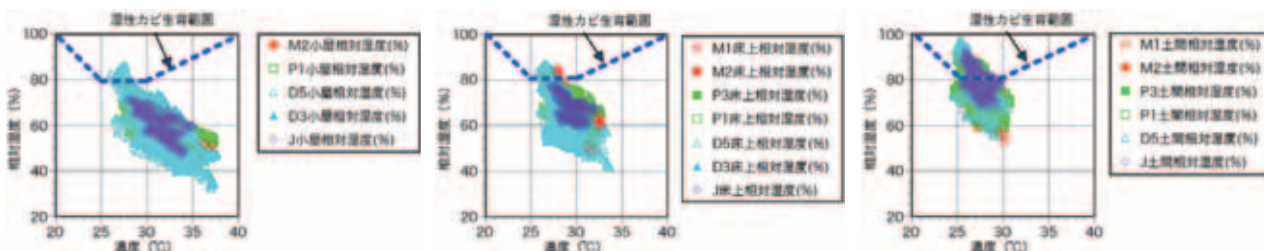


図 7 梅雨期の温度と相対湿度（左から小屋、床上、土間）

4. 温湿度環境調査

構造調査結果により、調査を行った長屋建家屋では、外観の損傷具合に顕著な相違が見られるとともに、耐力評価（上部構造評点）にも大きな隔たりがあるが、固有周期には大きな相違を生じていない。このこと

は、耐力壁などの劣化や損傷は比較的短いスパンで生じると考えられるため放置建物の内部環境や保守管理の違いの影響が現れやすいと考えられる一方で、外観に現れる劣化度の程度よりも、骨組自体の劣化に進行する時間的なスパンが長いことが推定される。一般に木材の劣化は周囲の湿度環境に依存することが多く、換気や除湿などにより高湿度状態が継続しないようにしていくことが必要である。空き家では多くの場合密閉状態で放置されることが多く、土間などから湿気が流入すると、換気されにくくカビの生育や腐朽につながる可能性が考えられる。そこで、前章で建物の使用状態と土間付近木部の湿潤状態の状況を示した4棟の不在木造家屋における構造材の劣化について、建物の状況と周囲の温湿度環境の変動から検討する。

(1) 測定方法

微動計測を行った不在家屋のうち、前章で状況を示した不在家屋4棟7住戸について温湿度測定を行った（長屋借家3棟・6住戸、戸建持家1棟・1住戸）。温湿度の測定箇所は各住戸の土間から20cm、床上120cm、2階（小屋裏）で計測可能な場合は2階床上120cmの3箇所とした。また比較対象として、屋外で直射日光を避けた地上140cmにおいても測定を行った。測定は2008年9月より実施しており、本報告では冬期、梅雨期、夏期の3期間において、晴天日、雨天日を含む8日間に着目して考察する。具体的な時期は、以下のとおりである。

- ・冬期： 2009年1月27日から2月3日
- ・梅雨期： 2009年7月14日から7月21日
- ・夏期： 2009年9月6日から9月13日

測定にはサーモレコーダーRS-12N (espec) を使用して、10分おきに計測してデータを収録した。各期間の収録データ数は1152である。

(2) 温湿度測定結果

a) 梅雨期

図5に、梅雨期における温度変動を示す。図6に、梅雨期における相対湿度変動を示す。これらの図は上より、小屋、床上、土間となる。極太線の屋外気温変動に対し、小屋での日中変動は比較的大きいが、床上・土間では小さい。室内各部の平均気温は、小屋で外気の上限程度、土間で外気の下限程度に沿う変動となる。一方湿度については、計測箇所ごとの変動性状の差異は小さいが、土間において高湿の状態となりやすい。図7には、梅雨期における温度と相対湿度を分布の形で示した。小屋、床上、土間ともに温度が高くなると相対湿度は低下しているが、湿性カビの発育範囲に着目すると、土間は他の測定箇所比べて、範囲内での分布がやや顕著となる。特に建物②-中部（P3）、建物①-端部（D5）、建物④（J）の土間は温度、相対湿度とも高い状態が続きやすいとの結果が得られている。土間からの湿気の流入、あるいは基本的に閉め切りの状態が続いていることが影響していると考えられる。

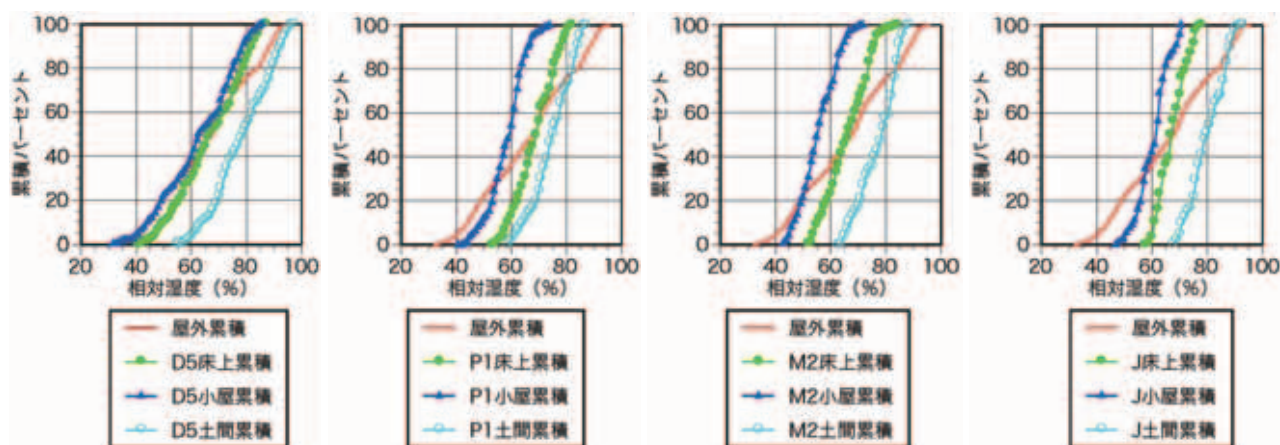


図8 梅雨期の相対湿度累積頻度（左から建物①-端部：D5、建物②-端部：P1、建物③-中部：M2、建物④：J）

梅雨期の高湿状態の継続具合が構造材の劣化に大きく影響すると予想されることから、相対湿度の頻度を低湿側から累積した図を測定住戸ごとに図8に示す。建物①-端部（D5）は開口部の傷みが激しく、ガラス

等の破損により外気が流入しやすくなっているため、小屋、床上は外気の影響を大きく受けている。土間でも外気の影響を受けつつ、相対湿度は高めとなる。建物②-端部 (P1) では累積の様子が少し急になっており、小屋は西日の影響も受け、相対湿度は若干低めである。建物③-中部 (M2) では、床上、小屋、土間ともに累積の様子は似ているものの、小屋の相対湿度は、床上や土間に比べても低めである。また各測定箇所とも他の空家に比べて相対湿度が同程度かやや低めである。なお、建物は補修が行われており構造材や外装等に外観上の傷みおよび建具類の破損はほとんど見られてない。建物④ (J) では建物②-端部 (P1) よりも累積の様子が急であり、特に土間において高湿な状態が続いていることがわかる。

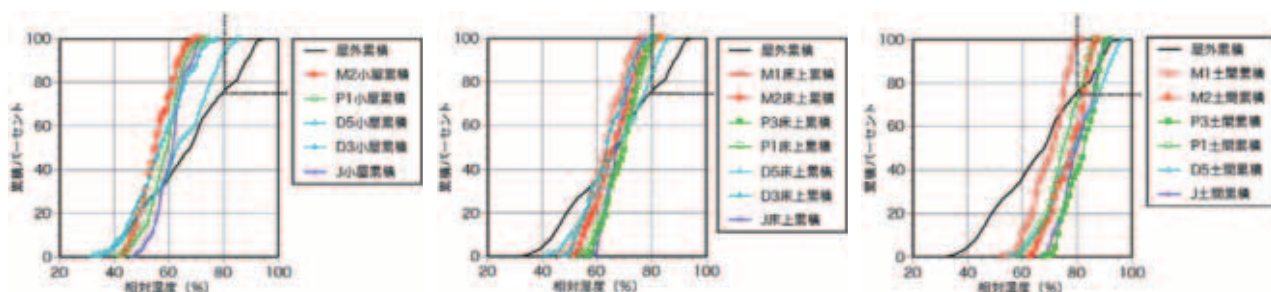


図9 梅雨期の相対湿度累積頻度 (左から小屋、床上、土間)

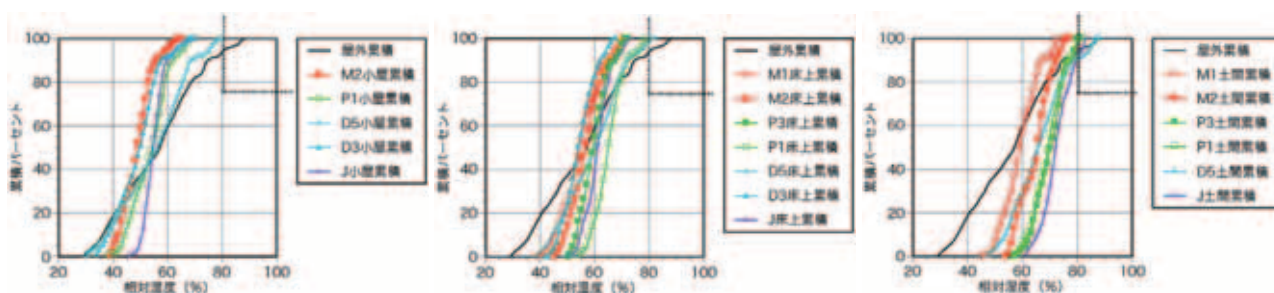


図10 夏期の相対湿度累積頻度 (左から小屋、床上、土間)

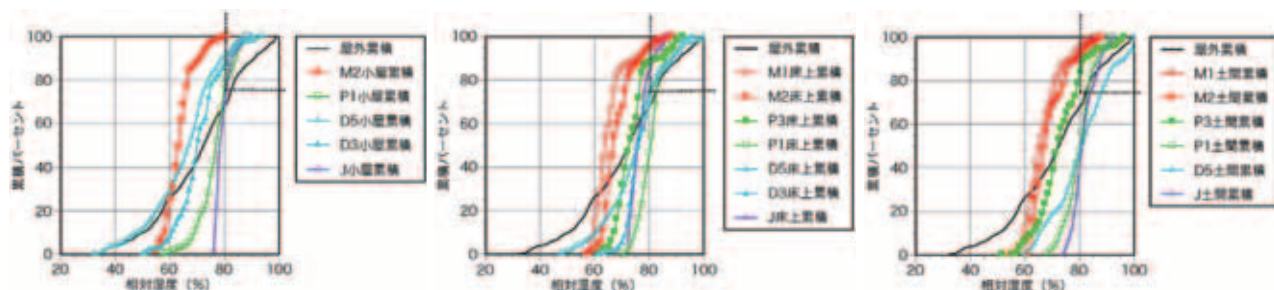


図11 冬期の相対湿度累積頻度 (左から小屋、床上、土間)

図 9 に同様の累積頻度図を小屋、床上、土間ごとに示す。カビや腐朽の生育の目安となる相対湿度 80% 以上、時間累積率 75%以上⁶⁾に着目すると、土間では多くの家屋がその範囲に入り、湿気の除去が重要であることがわかる。なお、建物③-端部 (M1) がその範囲に入っていない。建物③では構造材や外装等には外観上の傷みおよび建具類の破損もほとんどみられなかったが、常時閉鎖状態の建物③-中部 (M2) と異なり、建物③-端部 (M1) では、所有者が定期的に開口部を開けていることから、湿気の流入が少なく、かつ適当な換気がなされていると考えられる。

b) 夏期

図 10 に夏期における相対湿度の累積頻度図を小屋、床上、土間ごとに示す。夏期は梅雨期ほど相対湿度が高くなく、カビや腐朽の生育の目安となる条件に達する箇所はわずかである。

c) 冬期

図 11 に冬期における相対湿度の累積頻度図を小屋、床上、土間ごとに示す。冬期は温度が低いので相対湿度が高めになり、カビや腐朽の生育の目安となる条件に達する箇所は多い。なかでも建物②-端部 (P1)、建物①-端部 (D5)、建物④ (J) の土間で高湿な状態が続きやすいことがわかる。

(3) 考察

構造調査を行った不在家屋において、固有周期や建築年に大きな差がなく、補修・改修の有無の相違、外観上の劣化状態の相違がある家屋を対象として、構造材の劣化に影響を与える周囲環境の温湿度測定を行った。相対湿度の累積頻度は梅雨期、特に土間付近で高くなり、高温な状態が続きやすいことが明らかとなった。さらに、冬期においても土間からの湿気流入により高温な状態になりやすい家屋があることがわかった。一方、建物④（J）のように、相対湿度の累積頻度の条件が良好でない結果であったが、土間部の軸組木部の湿潤状態の発生を引き起こしていないケースもあり、住戸ごとの気密性、あるいは人の出入りなどによる換気性などの条件の影響も考えられる。今後、居住者のいる家屋での計測結果などとの比較も行いながら、空き家の維持管理条件を検討し、特に軸組の性能に大きな影響を与える土間付近木部の状態を整える手法についても検討を進めていく予定である。

5. まとめ

本論では、橿原市今井町において実施した空き家を含む伝統構法の木造家屋の構造調査に基づき、保有耐力、振動特性の評価を行い、これらの関連性について概述した。今回調査を行った範囲の家屋での微動計測結果によれば、当該地区においては、建築年と固有周期との間に強い相関が見られた。一方、建築年の近い建物においても、補修の有無などの状態の相違により、上部構造評点には隔たりがあり、このような意味においては、建物の保有耐力と固有周期との間の相関関係から外れるケースは多く見られた。そこで、構造調査を行った家屋について、固有周期や建築年には大きな差がない一方、補修・改修の有無の相違、外観上の劣化状態の相違がある建物を選び、温湿度環境変動調査の結果を考察した。

相対湿度の累積頻度は、夏期（梅雨期）に特に土間部で高くなる。冬期はやや低目となるが、依然高温の家屋もあった。このような相対湿度の変動に対して、土間付近軸組木部の湿潤状態に連動／非連動のケースがいずれも見られたことより、家屋ごとの気密性ないし人の出入りや小窓の開放などの換気の程度が影響していることが予測された。今後、住戸の気密性や換気性の影響を考慮した調査を進めながら、建物土間付近木部の湿潤状態発生メカニズムについてもさらに検討を進めたい。

謝辞：本調査研究の実施にあたり、奈良女子大学生生活環境学部住環境学科の増井正哉教授、ならびに増井研究室の学生の皆様から情報提供、調査協力を得ました。また、橿原市教育委員会、今井町町並み保存整備事務所の皆様には現地での調査にあたって、ご意見・ご協力をいただきました。ここに記して御礼申し上げます。なお、調査対象家屋での実測やヒアリングの実施においては、家主の方のご理解が不可避であり、調査への暖かいご協力を賜りました。心よりお礼申し上げます。また本論をまとめるにあたり、本年大学院修了の小川恵里奈さん（株）ノーリツ）には修士研究の取組みとして、データ整理などについて協力を得ました。ここに記して謝意を申し上げます。

参考文献

- 1) 小川恵里奈・赤嶺園恵・向井洋一：微動計測に基づく不在家屋の構造実況調査に関する研究，日本建築学会近畿支部研究報告集・第49号・構造系，pp.305-308，2009.
- 2) 向井洋一・小川恵里奈・赤嶺園恵：不在家屋を含む伝統構法木造建築物の微動計測による構造調査研究，構造工学論文集，Vol.56B，pp.351-358，2010.
- 3) 橿原市教育委員会：今井町伝統的建造物群保存対策見直し調査報告書，2010.
- 4) 米澤美貴・向井洋一・藤平眞紀子・小川恵里奈：不在木造家屋の構造要素劣化と維持管理に関する研究，日本建築学会近畿支部研究報告集・第50号・構造系，2010.
- 5) 向井洋一・藤平眞紀子：長期不在木造家屋の構造要素保全のための維持管理に関する研究（その1・その2），日本建築学会大会学術講演梗概集・C-1・構造Ⅲ，2010.
- 6) 井上博之・松藤泰典・渡辺俊行・尾崎明仁・澤邊公秀・上菌洋之・藤原浩二・玉利俊哉：住み家と空き家の温湿度比較，日本建築学会九州支部研究報告集・第41号，pp.149-152，2002.