

京町家における室内温熱環境の実態と健康リスク

主査 伊庭 千恵美*¹

委員 開原 典子*², 本間 義規*³

京都市では2017年に「京都市京町家の保全及び継承に関する条例」が制定され、保存活用策の提示や改修支援等の取り組みが始まろうとしている。健康や省エネの観点から、町家ならではの断熱改修方法とその効果を示すことは重要であり、本研究はその根拠となる基礎データの構築を目的として、居住者の住まいや健康意識のアンケート調査、住宅内の温湿度環境測定、数値解析による断熱改修の効果検討を行った。現状の環境では夏季の熱中症、冬季の血圧変動やインフルエンザウイルス感染のリスクがあること、断熱改修を行う際は気密化が伴わなければ効果が低いこと、その際、湿害対策として計画換気も同時に考慮する必要があることを明らかにした。

キーワード：1) 京町家, 2) 健康リスク, 3) 熱中症, 4) 血圧変化, 5) 感染症リスク,
6) 断熱・気密改修, 7) 隙間風, 8) 住みごこち

INDOOR THERMAL ENVIRONMENT AND RISK TO RESIDENTS' HEALTH IN TRADITIONAL DWELLINGS "KYO-MACHIYA"

Ch. Chiemi Iba

Mem. Noriko Kaihara, Yoshinori Honma

Aiming to develop the basic data on the effect of thermal insulation retrofit unique to Kyo-machiya, a large-scale questionnaire survey on the residents' health and measurements of thermal environment in some dwellings were conducted. Furthermore, a numerical analysis was also conducted to quantitatively investigate the effect of insulation retrofit.

1. はじめに

京都の伝統的な住居である京町家は、生活の基盤であると同時に文化財としても重要である。近年では宿泊施設や商業施設としてリフォームされる例も多く、京町家の街並みの保全は観光振興にも役立つ重要な要素である。

一方、筆者らがこれまで行ってきた京町家でのヒアリング調査^{文1)}によると、建物の老朽化や間取りの使いにくさ、温熱環境の厳しさなどの理由により、子孫へは承継しにくいという意見が多い。

伝統的な京町家では、季節により住宅内で過ごす場所を変える、建具替えや室内建具の開閉を行うなど、居住者が住まい方を工夫することで厳しい気候にも適応して暮らしてきた。しかしながら、昨今の都市気象の温暖化に伴う室内高温化により、夏季は熱中症のリスクが高まっている。また、元々夏を旨として建てられた京町家では、冬季の寒さが以前から問題視されている。京町家では特に、着衣による対策ができない浴室・脱衣室・トイレが奥庭に面して設けられる場合が多く、居室から移動する際には一度外気に近い環境に曝されることがある。

このような低温環境や室間の温度差は、冬の起床時や入浴時の血圧に由来する健康リスクがあるといえる^{文2)}。しかしながら、町家の温熱環境の実態と、それによる健康への影響について調査された例は少ない^{文3)}。

2009年には市内に約4万7千軒存在した京町家は2016年には約4万軒と減少しており、空き家率は14%以上に上る^{文4)}。京都の景観と生活文化を次代に受け継いでいくため、京都市では2017年に「京都市京町家の保全及び継承に関する条例」^{文4)}が制定され、既存の京町家^{注1)}の維持が困難な場合の保存活用策の提示や改修の支援等の取り組みが始まろうとしている。健康や省エネの観点から断熱改修への意識は高まっているものの、真壁の土壁や隣戸間の狭さなど町家特有の構造から、一般的な改修方法では対応できない。伝統的な京町家を市民共有の資産として残していくためにも、断熱改修に一定の理解が得られるように、町家ならではの改修方法やそれによる健康リスク低減の程度を総合的に居住者に説明していく必要がある。

本研究はその根拠となる基礎データの構築を目的と

*¹ 京都大学大学院工学研究科建築学専攻 助教、博士(工学)、*² 国立保健医療科学院生活環境研究部 主任研究官、博士(工学)、*³ 宮城学院女子大学生生活科学部生活文化デザイン学科 教授、博士(工学)

して、まず居住者の住まいの温熱環境や設備の実態、健康に関する意識の調査、および現状における健康リスクの評価を行った。さらに、典型的な京町家のモデルを用いた数値解析により、健康リスクを低減する断熱改修の効果の検討を試みた。

2. 京町家の健康に関するアンケート

2.1 調査の目的

本調査は、夏を旨として建てられたといわれている伝統的な建物である京町家において、実態と居住者の意識を整理するために行った。

2.2 調査方法

2.2.1 調査項目および調査対象住宅

調査項目は、表 2-1 に示す、回答者の属性、住まいに関する基本情報、冬の住まいに対する状況・意識、夏の住まいに対する状況・意識、住まいと健康について、住みごちについての 6 項目である。調査対象住宅は、平成 29 年 11 月 16 日に制定された「京都市京町家の保全及び継承に関する条例」(京町家条例)の定義に沿った京町家^{注1)}であり、伝統構法による一戸建ての住宅又は長屋で地上 2 階建て以下のものとした。

2.2.2 調査方法および期間

調査にあたっては、上京区と北区を中心として、町家を目視にて判定した上で選定した。その結果、1,300 件の京町家を対象として、2018 年 8 月に、ポスティングにより質問紙調査を実施した。

2.3 結果および考察

2.3.1 調査票の回収状況

全体の配布数は 1,300 票で、有効回答数は 200 票であり、回収率は 15.4%であった。

2.3.2 調査対象住宅の概要

(1) 部屋の構成

回答のあった建物のほとんどは、1 階に、玄関、台所、トイレ、浴室、脱衣室、洗面所を有する部屋構成であり、町家の部屋の配置を保っている。寝室の場所について聞いたところ、多い順に 2 階のみにある 35% (69 件)、1 階と 2 階にある 30% (60 件)、1 階のみにある 29% (58 件)であった。同様に、居間の場所については、多い順に、1 階のみにある 73% (146 件)、1 階と 2 階にある 17% (33 件)、2 階のみにある 5% (10 件)であった。

(2) 設備機器の設置

冷暖房器具等について、前節の部屋に置いてあるもの全てを記載してもらったところ、以下の 1) から 10) の場所別の結果を得た。

表 2-1 調査項目

調査項目	詳細
1 回答者の属性	年代、性別、行政区又は学区
2. 住まいに関する基本情報	部屋の種類及び場所とその場所にある設備器具
3. 冬の住まいに対する状況・意識	寒い場所、入浴時のお湯の温度、入浴時の体調の変化、脱衣時の暖房、隙間風、におい、カビ、野生動物
4. 夏の住まいに対する状況・意識	暑い場所、入浴時のお湯の温度、入浴時の体調御変化、熱中症対策、風通し、におい、カビ、野生動物
5. 住まいと健康について	寒暖による体調の変化、住まいが健康に及ぼす影響、最も長く過ごす部屋(場所)
6. 住みごちについて	気に入っているところ、気に入らないところ、お住まいの満足度、改修に関する要望

1) 玄関

玄関にある暖冷房器具等について、使用ありとの回答は、約 1 割 (17 件)であった。その内訳として、多いのは、電気ストーブと扇風機をセットで置いてある場合と、石油ストーブのみを置いてある場合であった。

2) 台所 (トオリニワを含む)

台所の暖冷房器具等は、多い順に、扇風機、ルームエアコン、石油ストーブ、電気ストーブ、石油ファンヒーターであった。約 3 割 (59 件)が何らかの器具を台所に置いている結果であり、どちらかという、室温上昇に対して使用するものが多い傾向にある。中でも一番多い回答は扇風機で、気流による体感が得られやすいこと、設置場所の融通が利くこと、購入しやすいということ等の理由からと思われる。

3) トイレ

トイレの暖冷房器具等の設置率は 5% (9 件)と低かった。設置している器具は、電気ストーブ (4 件)と扇風機 (4 件)であった。

4) 浴室

浴室の暖冷房器具等の設置率も約 10% (19 件)とあまり高くない。最も多いのは、浴室に設置するタイプの浴室暖房機 (5%, 9 件)であった。それに次いで多いのは、電気ストーブ (2 件)、石油ストーブ (1 件)、オイルヒーター (1 件)、扇風機 (1 件)であった。

5) 脱衣室

脱衣室の暖冷房器具等の設置率は、浴室よりも高く約 20%であった。置いている機器は多い順に、電気ストーブ、扇風機、ルームエアコン、石油ストーブ等であった。脱衣室を温める習慣は、やや低い傾向にあるといえる。

6) 洗面所

洗面所の暖冷房器具等の設置率は、浴室と同程度であった (10%)。置いている機器は多い順に、電気ストーブ、扇風機、ルームエアコン、サーキュレーター等であった。

7) 和室 (2 階も含める)

和室の暖冷房器具等の設置率は、45%であった。多い順に、ルームエアコン、扇風機、電気こたつ、石油ファンヒーター、ホットカーペット、電気ストーブ、石油ストーブ等であった。

8) 寝室（2階も含める）

寝室の暖冷房器具等の設置率は和室よりも高い約55%であり、多い順に、ルームエアコン、扇風機、電気ストーブ、石油ファンヒーター、電気こたつ等であった。

9) 居間

居間の暖冷房器具等の設置率は、和室及び寝室よりも高い約60%であった。多い順に、ルームエアコン、扇風機、電気こたつ、ホットカーペット、石油ストーブ、石油ファンヒーター等であった。複数台置きも多くみられるものの、使用していない機器である可能性があるといえる。

10) 廊下

廊下の暖冷房器具等の設置率は殆どみられない（1%（2件））。

このように、場所別に冷暖房器具等の設置率を整理したところ、廊下や脱衣室・浴室において、冬季にその空間を温める習慣、夏季にその空間で涼む習慣は、あまり多くない。脱衣室・浴室に居室から至る経路の健康リスクは少なくないといえる。

2.3.3 健康面に関する居住者の意識

(1) 冬季の住まいの状況と居住者の意識

1) 住まいの状況

図2-1に住まいの中で寒い場所（複数回答あり）についての結果を示す。多い順に、トイレ14%（28件）、浴室12%（23件）、脱衣室12%（23件）、台所10%（20件）、玄関10%（19件）、洗面所9%（18件）、居間7%（14件）、和室6%（12件）、廊下5%（10件）、寝室4%（8件）、階段2%（4件）、物置1%（2件）、押入れ0%（0件）

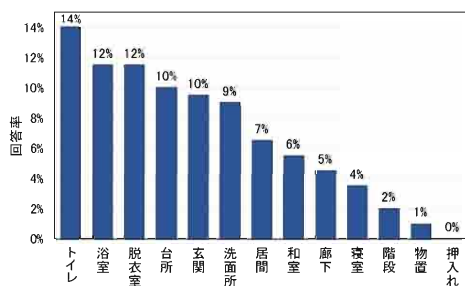


図2-1 住まいの中で寒い場所（複数回答あり、N=200）

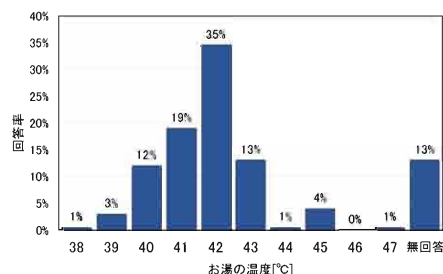


図2-2 入浴時のお湯の温度（冬季、N=200）

ており、水回りが多いことがわかる。

2) 入浴時の浴槽の温度と体調の変化

図2-2に冬季の入浴時のお湯の温度についての結果を示す。最も多いのは42℃であった（35%、69件）。湯温は41℃以下^{※5）}が良いともいわれており、42℃は注意が必要であると思われる。入浴時の体調の変化について、3%（6件）があると回答している。どんな状況であるかを自由に記載してもらったところ、浴槽から立ち上がった時に立ちくらみがする等の記述がみられた。入浴時間や既往歴については調査していないものの、血圧由来のものであると考えられる。今後も、健康リスクの観点からの、詳細な入浴時のエビデンス構築が不可欠である。

3) 入浴時の脱衣空間の暖め

入浴時の脱衣空間の暖めについて、42%（84件）から暖めているという回答を得ているものの、具体的な場所についての回答は多い順に脱衣室22%（44件）、居間7%（13件）等となった。脱衣空間から浴室までの経路は確認できていない。

4) 隙間風

隙間風により不快であると38%（75件）が回答している。場所の回答では、多い順に、居間11%（22件）、和室5%（9件）、台所5%（9件）、玄関5%（9件）等であり、一定時間過ごす空間が多い傾向にある。

5) 臭い・カビ

嫌な臭いについて、あるとの回答が7%（13件）となった。数は多くないものの、台所2%（3件）、トイレ1%（1件）、浴室1%（1件）、洗面所1%（1件）と、水回りでの回答となった。

カビの発生について、あるとの回答が15%（30件）となった。多い順に、浴室11%（22件）、洗面所2%（3件）、居間1%（2件）、トイレ1%（1件）、台所1%（1件）等となった。

(2) 夏季の住まいの状況と居住者の意識

1) 住まいの状況

図2-3に住まいの中で暑い場所（複数回答あり）についての結果を示す。多い順に、寝室、和室、居間、台所等となっており、一定時間を過ごすような空間が多い傾向にある。

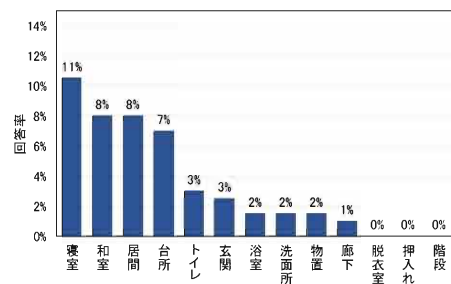


図2-3 住まいの中で暑い場所（複数回答あり、N=200）

2) 入浴時の浴槽の温度と体調の変化

図 2-4 に夏季の入浴時のお湯の温度についての結果を示す。最も多いのは 40℃であり (32%, 63 件), 冬季に比べて 2℃低くなっている。入浴時の体調の変化について, 1% (2 件) があると回答している。その内 1 件は, 夏季にのみ回答しており, めまいがするとの記述がある。原因はわからないものの, 夏季特有の入浴事故の原因について, 詳細な調査が必要である。

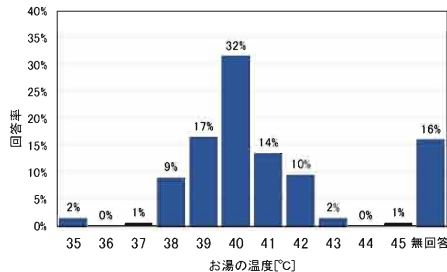


図 2-4 入浴時のお湯の温度 (夏季, N=200)

3) 熱中症対策

夏季の熱中症対策について, 74% (147 件) が行っているとの回答を得た。その内容を自由に記述してもらったところ, 水分をとる, エアコンを使用する等の記述が多くみうけられた。

4) 臭い・カビ

嫌な臭いについて, あるとの回答が 15% (29 件) となり, 冬季の結果を上回った。具体的な場所については, 台所 7% (13 件), トイレ 1% (2 件), 浴室 1% (2 件), 洗面所 1% (1 件) 等と, 冬季と同様に, 水回りとなった。

カビの発生について, あるとの回答が 25% (50 件) となった。多い順に, 浴室 20% (39 件), 洗面所 1% (2 件), 居間 1% (2 件), 台所 1% (1 件) 等となり, 冬季よりも回答が増える傾向であった。

このように, 冬季と夏季を通じて, 入浴, 臭い, カビ等についての健康に関する設問の回答結果から, 実際の住まいの状況について, 居住者の多くは, 不満を持っていないことや, 問題とっていないことが示された。しかしながら, 寒さや暑さを感じていること, 隙間風を感じていること等の結果から, 居住者の意識と住まいの状況には, 乖離があるといえる。居住者は, 伝統的な京町家に住むことに生活上の問題を抱えつつも, 伝統的な京町家に住むということと, 暑さ寒さ等を我慢することとのトレードオフの関係を容認する傾向にあるといえる。

2.3.4 住まいの改修に関する要望

(1) 住みごこち

図 2-5 に住みごこちについての結果を示す。住まいの中で「気に入っているところがある」との回答が, 全体

の半数をやや超えている (53%, 107 件)。また, その内容を自由に記載してもらったところ, 風通しが良い, 庭がある等の夏季に関することと景色に関する内容が多くみられた。一方で, 「気に入らないところがある」との回答は, 35% (70 件) であった。その内容の自由記載には, 冬に寒い, 夏に暑い, 日当たりが良くない, トイレが遠い等の温熱性能に関する内容が多くみられた。中には, 寒いことと気に入らないところは意味が異なるという記述もみられ, 京町家に住むことの付加価値が温熱性能以外にあることを示している。

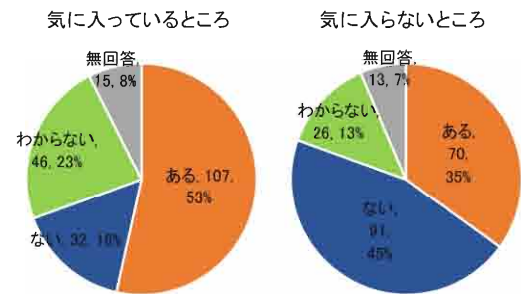


図 2-5 住みごこち (N=200)

(2) 住まいの満足度

図 2-6 に住まいの満足度についての結果を示す。図に示すように, 冬の場合も夏の場合も, 結果はほとんど同じである。個々の回答別にみても, 夏・冬の評価について, 同じである回答は 84% (168 件) にものぼる。

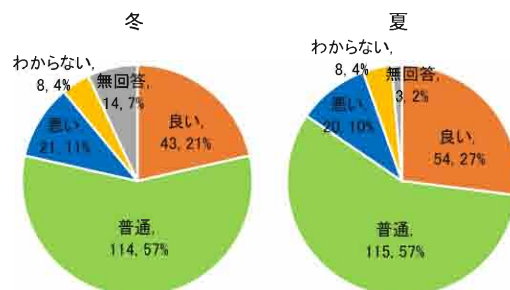


図 2-6 住まいの満足度 (N=200)

このように, 前節の住みごこちで, 暑さや寒さに不満があることが示された一方で, 満足度という観点からの問いには, 良いと普通を合わせると概ね 8 割となることが示された。

(3) 改修に関する要望

温熱性能に関する設問を中心 (浴室の改修, 浴槽の交換, 洗面脱衣室の改修, トイレの改修, 台所の改修, 窓の改修, 玄関又は勝手口ドアの取り換え, 給湯器の取り換え, 暖冷房機器の取り換え, 照明の取り換え, 屋根の葺き替え, 外壁の張替え, 断熱改修, 耐震改修, 床暖房の設置) に, 住まいの改修の要望 (複数回答あり) は,

多い順に、浴室改修 30% (60 件)、耐震改修 28% (56 件)、台所改修 27% (54 件)、浴槽交換 22% (44 件)、洗面脱衣室改修 22% (44 件)、トイレ改修 22% (44 件) 等であった (図 2-7)。

このように、浴室改修と台所改修の要望が高く、温熱環境に関して、改善の要望は一定以上あるといえる。一方で、耐震改修への要望も高いことがうかがえる。健康リスク低減の観点から、温熱環境に着目した情報の整備は不可欠であるものの、今後は、居住者に対して、コストとともに構造も含めた住宅環境性能に関するエビデンスを、要望に応じて示していく必要もあるであろう。

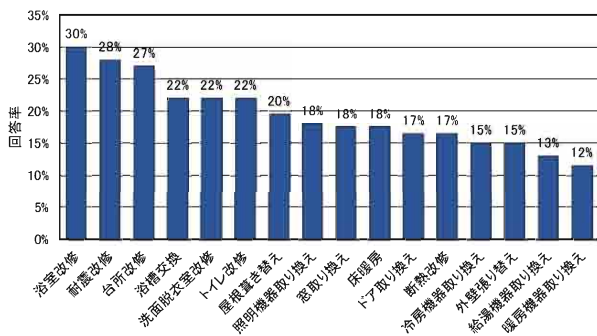


図 2-7 住まいの改修に関する要望 (複数回答あり, N=200)

3. 京町家 4 軒における温熱環境の実態調査

3.1 調査の目的

一般的な京町家の温熱環境を把握するため、断熱改修レベルの異なる 4 軒の京町家を対象に、冬季と夏季において住宅内の温湿度を測定した。

冬季は、着衣によって寒さに対応できないため人体の健康への影響が大きいと考えられる脱衣室に着目して測定を行った。京町家の脱衣室や浴室、トイレは奥庭に面した場所に設けられることが多く、外廊下に接している場合や、居室から脱衣室に至る経路で一度外に出るなどの間取りになっていることが多い。住み継いでいる中で、廊下に引き戸を設けたり浴室ユニットの交換だけを行ったりする場合もあり、浴室まわりの環境は様々であると考えられる。

夏季は、1 階と 2 階の温度差に着目して測定を行った。京町家の屋根・天井は一般に断熱がされておらず、夏季の 2 階の高温化が顕著であり、室内においても熱中症の

表 3-1 調査対象住宅の概要

	A邸	B邸	C邸	D邸
用途	専用住宅	職住併用	専用住宅	職住併用
建築時期	大正時代以前	江戸時代後期 (2000年大規模改修)	大正時代	1995年建替
断熱改修	なし	2015年天井および 屋根の一部	なし	なし
脱衣室・浴室	あり	あり	なし	脱衣室なし 浴室あり
居住者数	3	2	1	1(1)
居住者	90代夫婦 50代男性	60代夫婦	70代女性	70代女性 (日中は40代 男性が作業)

リスクが高いと考えたためである。

3.2 調査対象住宅と調査項目

調査対象は、京都市上京区西陣地区に位置する 4 軒の京町家である。各住宅の概要と居住者の属性を表 3-1 に示す。

A 邸, C 邸はこれまで断熱改修が行われていないが, B 邸は 2000 年に耐震・バリアフリーを主目的とした改修が行われており, 2015 年には 2 階の天井・屋根の一部に断熱材が付加されている。D 邸は 1995 年に建て替えられ, 外観も格子窓や軒庇などのいわゆる京町家の要素^{注 1)}は見られない。A 邸, C 邸は住居専用, C 邸は 2 階を事務所として使用しており, D 邸は 1 階の一角に作業場を持つ職住併用住宅である。A, B 邸は脱衣室・浴室共に設置されており, D 邸は浴室はあるが脱衣室がなく, 廊下を脱衣場としている。C 邸は浴室がなく, 居住者は毎日のようにフィットネスクラブに通い入浴を済ませている。

各住宅における測定箇所は、居間（日中の滞在時間の長い部屋）、寝室、脱衣場（浴室のない C 邸はトイレ）を基本とした。職住併用住宅の B 邸, D 邸は仕事場の、息子と同居している A 邸ではその居間である 2 階室をさらに測定箇所として加えた。測定期間は冬季が 2018 年 2 月 1 日～15 日、夏季が 2018 年 7 月 31 日～8 月 20 日である。温湿度の測定間隔は 5 分とした。

また、冷暖房設備の設置状況と冬季・夏季の使用状況に住宅概要、冷暖房設備と使用方法(頻度, 設定温度等)、給湯設備、健康状態、入浴・睡眠の状況、住宅の住みごころ、居住継続の希望、自宅の改修履歴と要望についてもヒアリングを行った。

3.3 冬季の測定結果と住まい方のヒアリング結果

図 3-1 に、冬季の測定期間中外気温が最も低温となった 2 月 6 日～9 日の各住宅内の温度を、図 3-2 には同期間の各住宅内の相対湿度を示す。

特に断熱改修を行っていない A 邸と C 邸では室温が 15℃を下回っていた。健康リスクを考慮した室温の推奨値として、イングランドの基準 (Cold Weather Plan for England)^{文 6)}があり居間の推奨室温は 21℃、寝室は 18℃とされているが、D 邸の居間以外はその基準を大きく下回っていた。A 邸では居間でこたつを使用し, C 邸では冬季は 2 階の方が暖かいため主に 2 階で生活をしていった。D 邸は浴室・脱衣場とトイレにそれぞれ電気ストーブを使用し, さらに室内はエアコンと灯油ストーブで暖房を行っていた。B 邸は 1 階のエアコンで 2 階の仕事場 2 室の暖房も兼ねており, 室温は 15℃程度であったが居住者は満足していた。

A, B, C 邸では脱衣室やトイレの室温がかなり低くなっており, 脱衣時のヒートショックが懸念される。特に

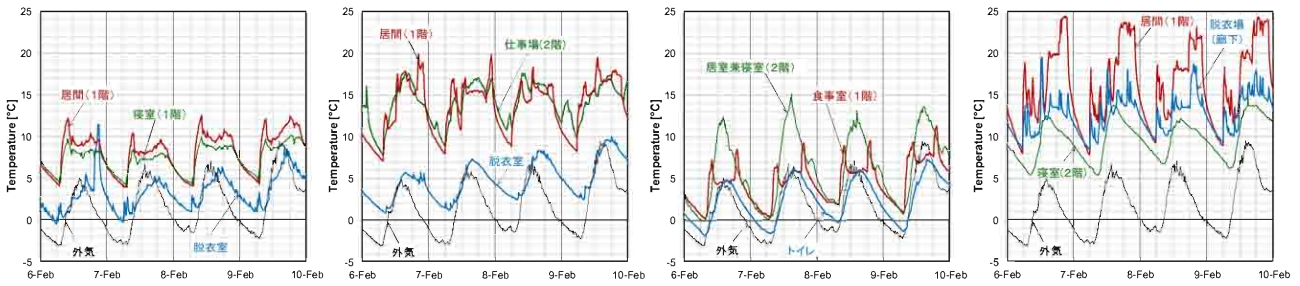


図 3-1 各住宅の居間・寝室・仕事場の温度(2/6~2/9) (左から A 邸・B 邸・C 邸・D 邸)

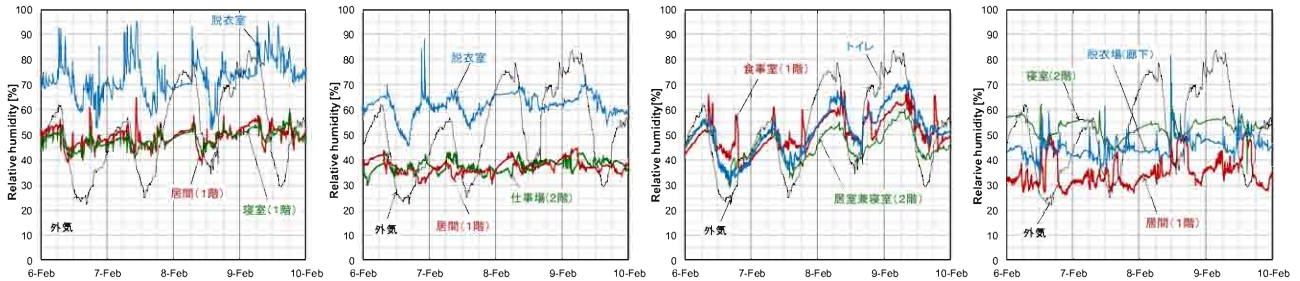


図 3-2 各住宅の居間・寝室・仕事場の相対湿度(2/6~2/9) (左から A 邸・B 邸・C 邸・D 邸)

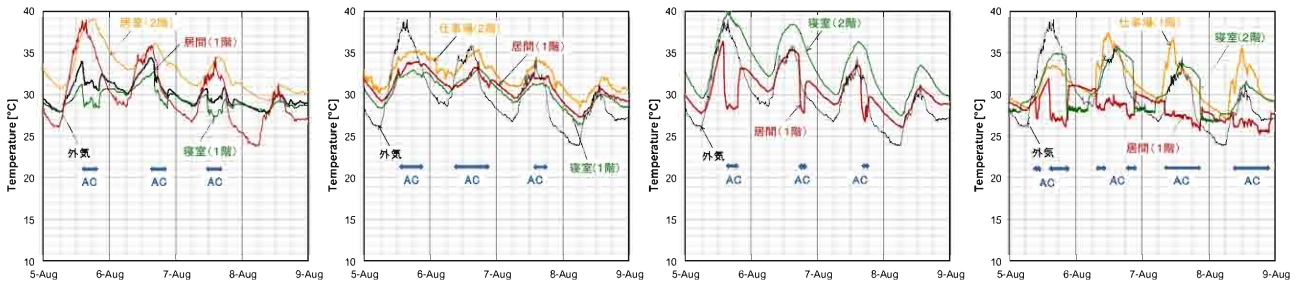


図 3-3 各住宅の居間・寝室・仕事場の温度(8/5~8/8) (左から A 邸・B 邸・C 邸・D 邸)

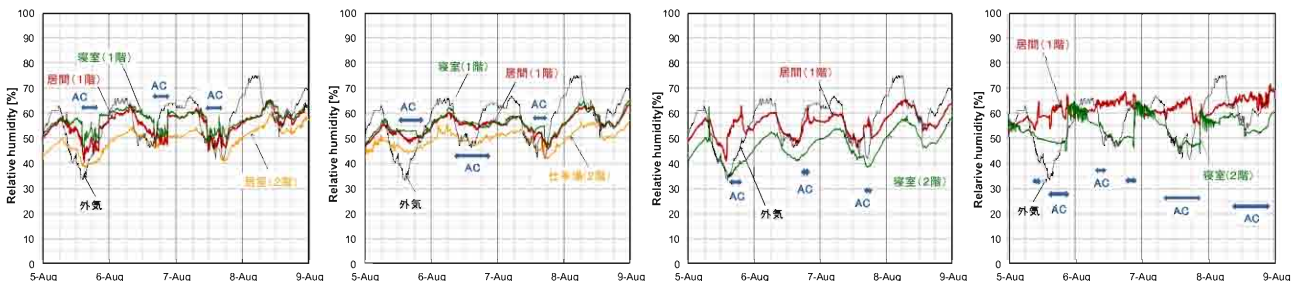


図 3-4 各住宅の居間・寝室・仕事場の相対湿度(8/5~8/8) (左から A 邸・B 邸・C 邸・D 邸)

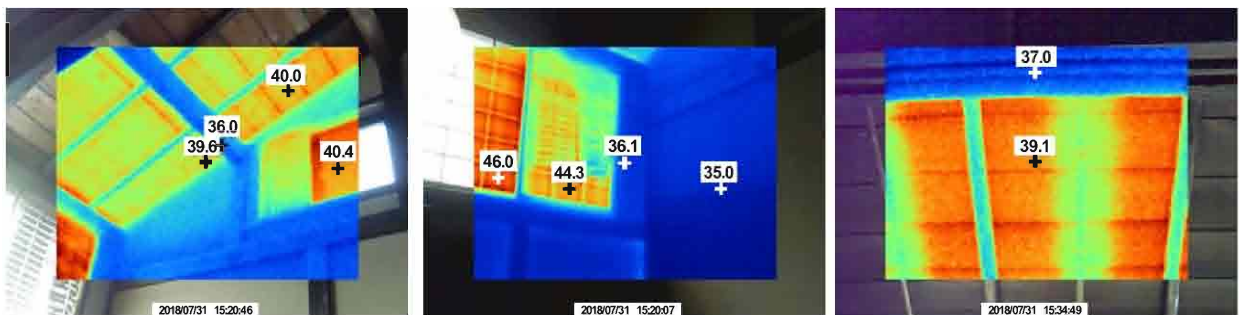


図 3-5 B 邸の夏季の天井・壁表面温度(2018 年 7 月 31 日 15 時 20~35 分頃撮影; 撮影時室温 32~34°C)

床には断熱がされていないため、床の表面温度が低くなり血圧の上昇を引き起こす可能性があるといえる。

相対湿度に関しては、温度変化の影響を受け A・C・D 邸では 1 日の中でも大きく変化しているが、室内に土壁と木材を現している B 邸居間・仕事場では相対湿度が 30~40%程度で安定していた。各住宅とも室温が低いため、

相対湿度の面から過乾燥の傾向は見られなかった。

暖房設備については、B, C, D 邸で開放型暖房器具(石油ファンヒーター)も使用されており、今後改修により気密化が進んだ場合の空気質が懸念された。一方、現段階では断熱性、気密性はともに低く、冬季は隙間風や上下温度差が大きいことによる不快感が問題となっていた。

3.4 夏季の測定結果と住まい方のヒアリング結果

図 3-3 に、夏季の外気温が最も高温となった 8 月 5 日から 8 日までの 4 日間の各住宅内の温度を示す。

断熱改修を行っていない A 邸や C 邸の 2 階では外気温以上に室温が上昇しているが、両住宅とも日中 1 階のみに居住者が滞在しているため、居住者への影響はないといえる。A 邸では午後の最も暑くなる時間帯のみ居間に隣接した寝室のエアコンを用い、居間では扇風機を活用していた。C 邸は 1 階居間に滞在中に居間のエアコンを用いることで、滞在時の室温が過度に上昇することを抑制している。B 邸は居間で日中エアコンを使用しているものの、吹き抜けの居間の空間容積が大きく、かつ居間部分は無断熱であるため負荷が大きくなり、室温が顕著には低下していない。仕事場は天井断熱改修が行われた 2 階であり、A 邸や C 邸の 2 階室に比べ室温が上昇しにくくなっているが、35℃程度になることもある。A・B・C 邸では夜間通風が積極的に利用されているため、夜間の室温変動は外気の変動に近づいている。一方、D 邸では日中は居間で、夜間は寝室でエアコンを連続して使用しており、滞在時の室温は 27～29℃の範囲に保たれていた。

図 3-4 には同期間の各住宅内の相対湿度を示す。冬季と同様、B 邸の相対湿度変動が 50%付近で最も安定していた。いずれに住宅においても、夏季に室内が湿っているという状況は聞かれなかった。

図 3-5 は、B 邸の室内各所の屋根・天井表面の熱画像を撮影したものである。日射が当たる面の室内側表面温度は室温よりも 5℃以上高温となっている箇所があり、室滞在時の不快感や健康面への影響が懸念される。

4. 入浴時の血圧変化に関する調査

4.1 調査概要

浴室や脱衣室が居室と離れた場所にあり、居室から移動する際、縁側や外部を通ることもある京町家特有の入浴経路に関して、温度差による身体への影響が懸念されるため、経路上の各空間温度と入浴行動時の居住者の血圧変化の関係を調査した。

対象住宅・居住者は、3 章の B 邸の居住者である 60 代男性 1 名と、京都市伏見地区にある明治 20 年に建設された無断熱の京町家 (E 邸とする) の居住者である 20 代男性 1 名である。各住宅の 1 階平面上の入浴経路をそれぞれ図 4-1、図 4-2 に示す。各住宅において、居間、縁側、脱衣室、浴室、浴槽 (湯) の温度を 1 分間隔で測定した。また、居間滞在時、縁側移動時、脱衣室入室時 (着衣)、脱衣後、浴室入室時、浴槽入浴直後、出浴直前、浴室退室直前、脱衣室入室時、着衣後、縁側移動時、居間滞在時のタイミングで、居住者に手首式血圧計 (オムロン HEM-6310F) で血圧を測定するよう依頼した。

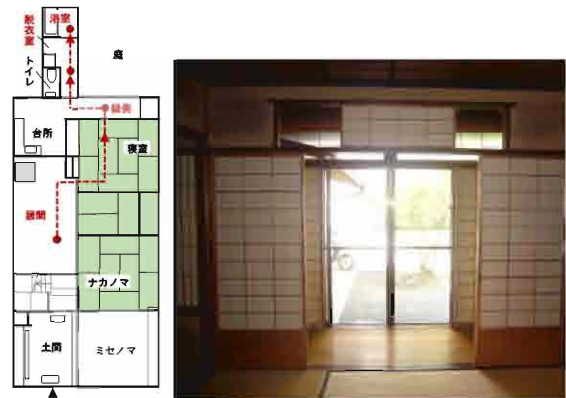


図 4-1 B 邸 1 階における入浴経路と縁側の様子

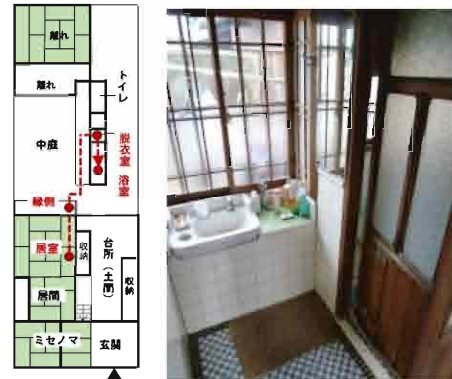


図 4-2 E 邸 1 階における入浴経路と脱衣室の様子

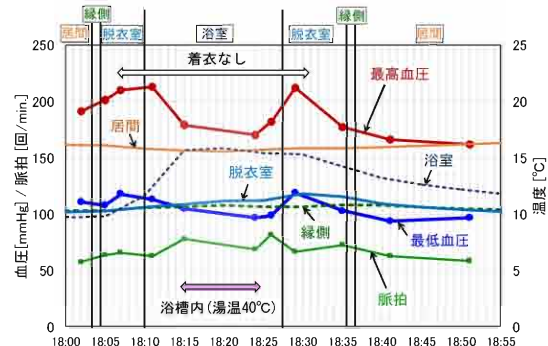


図 4-3 B 邸居住者の入浴行動時の血圧変動と滞在場所の温度

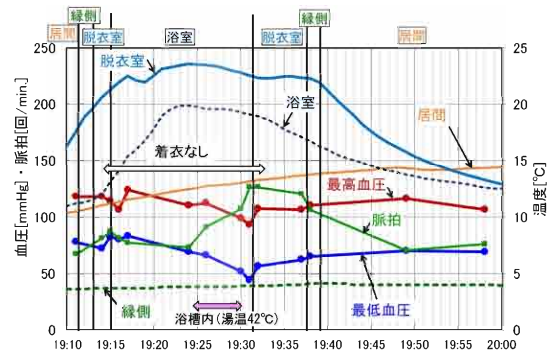


図 4-4 E 邸居住者の入浴行動時の血圧変動と滞在場所の温度

4.2 温度・血圧測定結果

図 4-3 に B 邸の、図 4-4 に E 邸の測定結果をそれぞれ示す。B 邸では、暖房している居間から約 5℃低い縁側を通り、暖房していない脱衣室・浴室へ至る経路および脱衣室での脱衣により血圧が上昇し、40℃の浴槽入浴で

血圧が低下、さらに約 15℃の浴室を経て約 10℃の脱衣室に戻ることで血圧が再び上昇することがわかった。この時の最高血圧の変化幅は最大 30mmHg にも達した。

E 邸は居間の温度が元々低い（約 10℃）こと、脱衣室を暖房していることから、外気に開放された縁側を通過して脱衣室に至る過程での血圧変動は小さい。しかし脱衣室から浴室への移動に伴い約 15mmHg の血圧上昇が見られた。B 邸の 60 代男性と比較し血圧値そのものも低く、変動幅も小さい結果となったが、浴槽入浴後から脱衣室に戻るまで脈拍の高い状態が続いた。

血圧変動には個人差が大きく、今回の測定結果は一例ではあるものの、京町家に特有の入浴経路の大きな温度差と、それに伴い大きな血圧変動が生じる可能性があることが確認できた。年齢による生理反応の違いについては今後詳しく検討を行いたい。

5. 数値解析による京町家の健康リスク低減方策の検討

5.1 解析概要

5.1.1 解析モデル

京町家の温熱環境および微生物汚染・ウイルスの生存時間等に影響する湿度環境を把握し、健康リスク低減に向けた検討を行うことを目的に、京町家を対象とした多数室熱湿気性状解析を行う。解析方法は、外皮および間仕切壁等の吸放湿に関しハイグロスコピック領域の 1 次元熱水分同時移動モデルを適用する。各室の熱水分収支式および風量収支式を立て、それらを連立して解く多数室問題として扱う。隣室・外気を含む移流（風量収支式）は換気回路網として扱い、1 タイムステップずらすかたちで熱水分収支式と連成させることにより計算資源を節約する方法を採用している。

5.1.2 解析対象のモデル化および解析条件

解析モデルを図 5-1 に示す。坪庭・裏庭を有する建築面積 109.3m²、延べ面積 218.6m²の住宅を対象とする。室数は、①床下、②玄関（エントランス）、③トオリニワ、④ミセ、⑤中の間、⑥座敷（1階）、⑦階段室、⑧2階座敷、⑨2階ミセ上部、⑩小屋裏の 10 室モデルとする。空気移動に関しては各部隙間および開口をモデル化し、全 66 開口のモデルとした。

壁装については、①基礎板壁（構造用合板 10mm）、②土壌（土壌 8765mm）、③板張床間仕切壁（構造用合板 18mm）、④畳床（構造用合板 12mm＋軟質繊維板 55mm）、⑤外壁（構造用合板 10mm＋土壁 60mm）、⑥天井（構造用合板 16mm）、⑦屋根（いぶし瓦 16mm＋野地板 12mm）、⑧土壁間仕切（土壁 60mm）の 8 種類とした（簡易化するため、野地板や木外装材は構造用合板を共通して用いている）。断熱化は、XPS3b を付加するモデルとしている（基礎板壁については 50mm、外壁については 30mm）。その他、材

料物性値の詳細を表 5-1 に示す。なお、表中の λ は熱伝導率、 λ_x は絶対湿度勾配の湿気伝導率、 ϕ は空隙率、A, B, C, D, E は平衡含水率曲線（式 1）の係数である。

$$\Psi = A \cdot H \cdot e^{-B \cdot H} + C \cdot H + D \cdot (e^{E \cdot H} - 1) / \rho \quad \dots (1)$$

ここで、 Ψ : 含水率 (kg/kg)、 H : 相対湿度 (-)、 ρ : 密度 (kg/m³)

地盤については簡易的に 1 次元の熱湿気移動として扱うことにした。トオリニワの土間も同様に仮定する。不易層温度を京都の年平均外気温 15.3℃ 一定 (G.L.-8.765m) とした。また土壌の初期絶対湿度を 3.0g/kg (DA) とし、断湿条件とした。

生活に伴う熱湿気発生は、9.65kWh/day, 6.523kg/day の 2 水準とした。また、暖房条件については、10/1~4/30 の間で外気温が 15℃以下となるときに一定発熱（各室 1000W）で与えている（今回は熱レスポンスを見るため、室温一定の負荷解析ではなく一定発熱で解析した。従って、状況によっては発熱量の過不足が生じる）。通風条件は 7/1~9/30 で平均室温が 28℃を超えるときに窓開けをするように設定している。なお、解析には EA 拡張アメダス気象データ・京都（標準年）を用いて 3 年間の計算を行い、3 年目の結果で考察する。

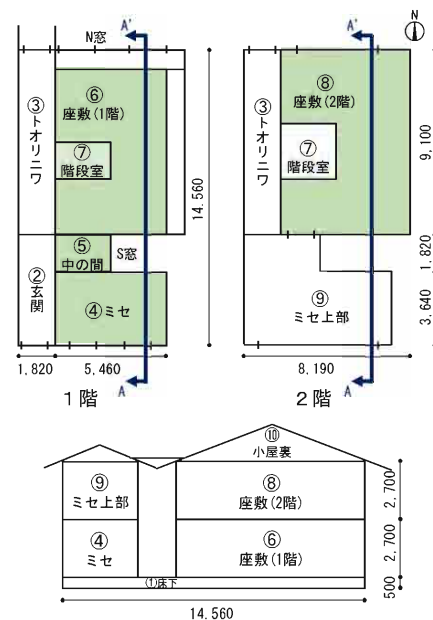


図 5-1 解析モデル平面図・A-A' 断面図

表 5-1 使用建材の熱湿気物性値

	密度(kg/m ³)	比熱(J/kgK)	λ (W/mK)	λ_x (kg/ms(kg/kgDA))	q (m ³ /m ³)
構造用合板	500	1880	0.113	3.07E-07	0.22
土壌	1900	1400	1	2.86E-06	0.44475
軟質繊維板	310	1032	0.046	4.61E-06	0.773
土壁	1300	880	0.69	2.86E-06	0.44475
いぶし瓦	2000	760	0.96	5.90E-07	0.22
XPS	30	1470	0.028	2.08E-07	0.003
	A	B	C	D	E
構造用合板	10.1261	0.219716	-12.796	3.74115	0.843734
土壌	1.270147	0.00930523	-1.248809	4.29531E-05	5.749554
軟質繊維板	1.78834	0.0037257	-1.59648	2.27E-12	25.5388
土壁	1.270147	0.00930523	-1.248809	4.29531E-05	5.749554
いぶし瓦	0.162406	1.45676	-0.274638	0.198902	0.885294
XPS	0.00704836	2.35909	-0.136375	2.16767	0.061667

5.2 検討条件

解析は現状モデル(無断熱・非気密)をベースとして、1)各部断熱化、2)気密化、3)暖房発熱の3つのパラメータで6ケースの解析を行った(表5-2)。各部断熱化については、基礎板壁を断熱化するケース(+XPS3b50mm)、外壁土壁を断熱化するケース(+XPS3b30mm)を考える。気密化については、非気密仕様(C=26.2cm²/m²)、気密仕様(C=4.76cm²/m²)の2種類を設定した。気密仕様は非気密仕様に対して各部隙間を×0.1倍にしているが、気密化に伴い基礎断熱化するため、1階床面については気密・非気密仕様で変化はない。暖房発熱については、前述するロジックで④ミセ、⑤中の間、⑥座敷の3室に各々1000Wずつ割り振った。

5.3 解析結果

5.3.1 温湿度解析結果

Case2の冬季室温結果を図5-2に、Case4の冬季室温結果を図5-3に示す(②玄関、⑦階段室、⑩小屋裏は省略)。気密化をせずに断熱化をすることで温度環境改善がみられる。暖房室平均温度が高くなることで非暖房室の室温上昇に寄与しており、居室の最低温度が5℃以下にはならない。しかしながら1階座敷の室温は平均8.3℃から平均11.3℃の改善にとどまり、暖房熱量として不足している。Case2の場合、南側に位置する2階ミセの温度は平均で4.2℃の上昇がみられるのに対し、北側に位置する2階座敷は断熱後も平均8.1℃である。基礎壁のみ断熱するCase3は非気密仕様であるためCase2と殆ど変わらず、改善効果は見られなかった。

相対湿度についてはCase2の結果を図5-4に、Case4の結果を図5-5に示す。暖房に伴う室温上昇で暖房室相対湿度は他室より低下しており、特に断熱改修を行った場合、図5-1に示す④ミセ、⑤中の間では20~30%RH台の室内湿度になることがわかった。

5.3.2 気密化の効果

次に気密化の効果についてみる。気密化していないCase1(現状)と気密化しているCase5を比較することにより、気密化が与える湿度環境への影響を考察する。室温に関してはCase1が外気に対して平均+1.16℃(図省略)、Case5が平均+1.34℃で殆ど改善していない(図5-6)。相対湿度に関しては気密化することにより居室平均で5%RH程度上昇し、特に③トオリニワについては平均77.8%RHから平均89.7%RHに上昇する。隙間換気量が大きく減少した(表5-3、表5-4)ことにより高湿化し、湿害リスクを高めることがわかる(Case1相対湿度:図5-7、Case5相対湿度:図5-8に示す)。断熱化して連続暖房することにより(Case6、図5-9)、暖房室の相対湿度は大きく低下する。各室とも温度環境は改善し、連続

表5-2 シミュレーションケースの説明

	断熱化	気密化	暖房
Case1	×	×	×
Case2	×	×	○
Case3	基礎断熱のみ	×	○
Case4	外皮全体	×	○
Case5	×	○	×
Case6	外皮全体	○	○

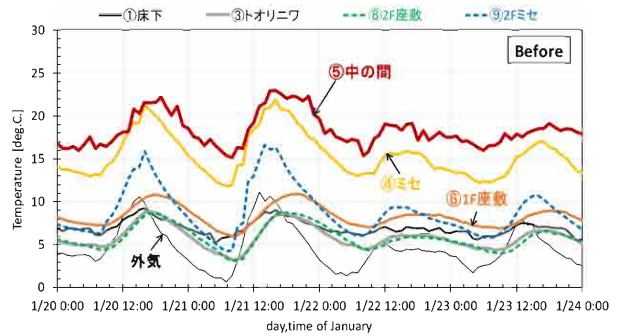


図5-2 Case2の冬季室温変動(1/20-1/23)

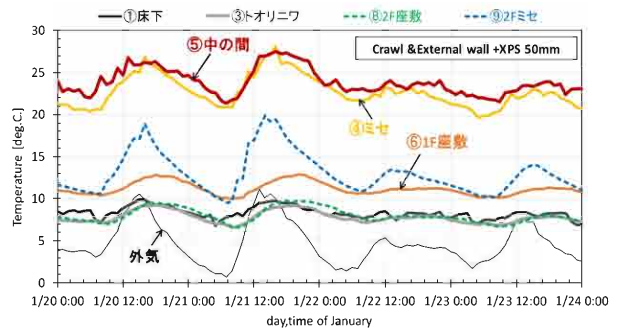


図5-3 Case4の冬季室温変動(1/20-1/23)

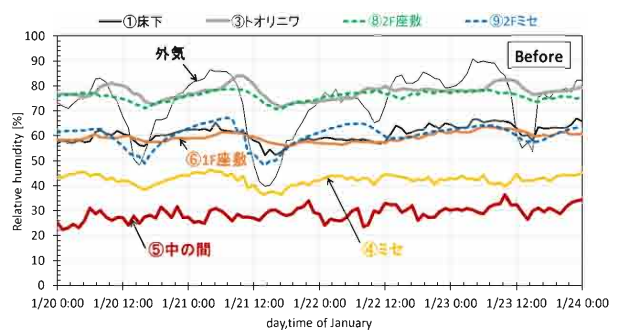


図5-4 Case2の冬季室内相対湿度変動(1/20-1/23)

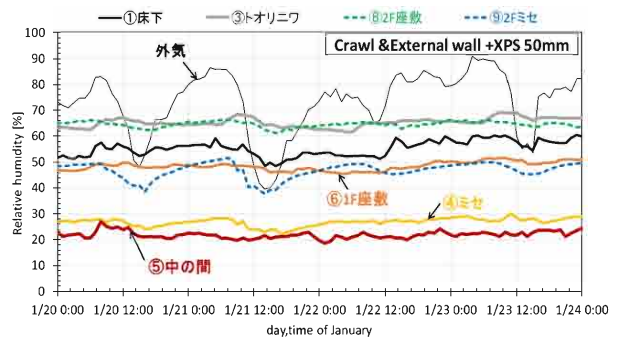


図5-5 Case4の冬季室内相対湿度変動(1/20-1/23)

表 5-3 気密化していない Case1~4 の⑥座敷の空気流れ (kg/h)

Case	S窓	N窓	東隙間下	東隙間上	1:床下
Case1					
流出	-3.8	-7.4	-46.5	-88.5	-7.5
流入	6.6	17.2	55.7	27.1	26.3
Case2	S窓	N窓	東隙間下	東隙間上	1:床下
流出	-3.4	-6.8	-20.3	-184.4	-3.5
流入	7.2	18.3	128.1	6.8	44.2
Case3	S窓	N窓	東隙間下	東隙間上	1:床下
流出	-3.4	-6.6	-19.6	-187.4	-3.1
流入	7.2	18.3	129.3	5.7	45.5
Case4	S窓	N窓	東隙間下	東隙間上	1:床下
流出	-3.2	-5.6	-8.1	-261.9	-0.6
流入	7.4	19.6	194.2	0.1	59.6
Case1	3:ドア手前	3:ドア奥	5:中の間	7:階段室	8:2F座敷
流出	-2.6	-2.6	-3.3	-36.1	-4.4
流入	7.8	7.8	13.9	32.1	9.1
Case2	3:ドア手前	3:ドア奥	5:中の間	7:階段室	8:2F座敷
流出	-2.1	-2.1	-1.8	-42	-11.2
流入	9.2	9.2	19.7	34	5.1
Case3	3:ドア手前	3:ドア奥	5:中の間	7:階段室	8:2F座敷
流出	-2	-2	-1.7	-43.7	-11
流入	9.3	9.3	19.7	34	5.6
Case4	3:ドア手前	3:ドア奥	5:中の間	7:階段室	8:2F座敷
流出	-1.5	-1.5	-0.2	-54.5	-11.7
流入	11.5	11.5	26.1	22.1	1.4

表 5-4 気密前後 Case5, 6 の⑥座敷の空気流れ (kg/h)

Case	S窓	N窓	東隙間下	東隙間上	1:床下
Case5					
流出	-3.4	-6.6	-19.6	-187.4	-3.1
流入	7.2	18.3	129.3	5.7	45.5
Case6	S窓	N窓	東隙間下	東隙間上	1:床下
流出	-3.2	-5.6	-8.1	-261.9	-0.6
流入	7.4	19.6	194.2	0.1	59.6
Case5	3:ドア手前	3:ドア奥	5:中の間	7:階段室	8:2F座敷
流出	-2	-2	-1.7	-43.7	-11
流入	9.3	9.3	19.7	34	5.6
Case6	3:ドア手前	3:ドア奥	5:中の間	7:階段室	8:2F座敷
流出	-1.5	-1.5	-0.2	-54.5	-11.7
流入	11.5	11.5	26.1	22.1	1.4

暖房であるため外界の影響を受けにくくなり、温度変動も緩慢になることが各室とも確認された(図省略)。具体的に、最も低温化する③トオリニワや⑧2階座敷は10℃前後を推移することが確認できた。今回の検討では、主要居室の暖房を想定しているが、部分暖房の場合、放熱位置と放熱量には工夫が必要である。湿度環境については、③トオリニワと⑧2階座敷が80%RH台を推移し、高めである。湿害リスクを防止するには温度環境を改善することが求められる。

5.3.3 床下空間および座敷まわりの風量

床下空間まわりの空気流れは、外部から流入(大部分はS, N, E方位外部空間で流入が生じているが、概ね流入)し、各居室へ流出する。トオリニワへは流入する。暖房によりトオリニワへの流入量は1.5倍程度上昇するが、躯体全体断熱で、無断熱非暖房時に比べ2.5倍程度増加する。トオリニワ自体が吹き抜けになっているため煙突効果を受けやすく、約60~70%程度は床下から流れ込む。また、面積の大きな座敷に約25~30%流入している。

座敷については、断熱化と暖房により床下からの風量および躯体隙間経由の風量が増加する傾向にある。特に、表5-3の東隙間上は、暖房なしの状況よりも約2倍から

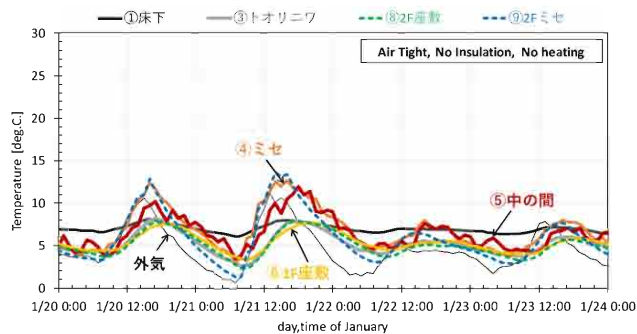


図 5-6 Case5 の冬季室温変動 (1/20-1/23)

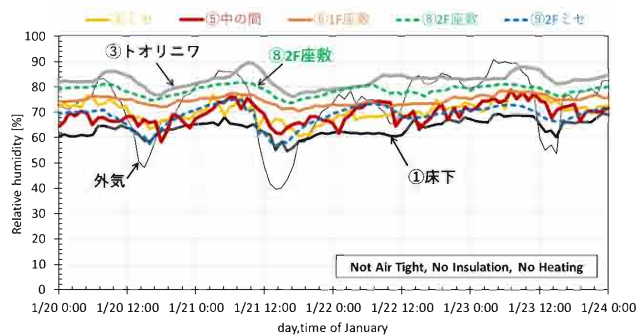


図 5-7 Case1 の冬季室内相対湿度変動 (1/20-1/23)

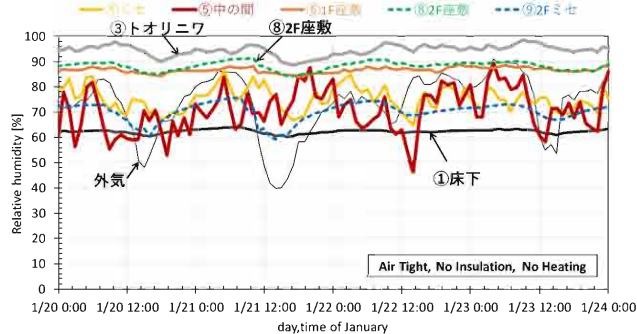


図 5-8 Case5 の冬季室内相対湿度変動 (1/20-1/23)

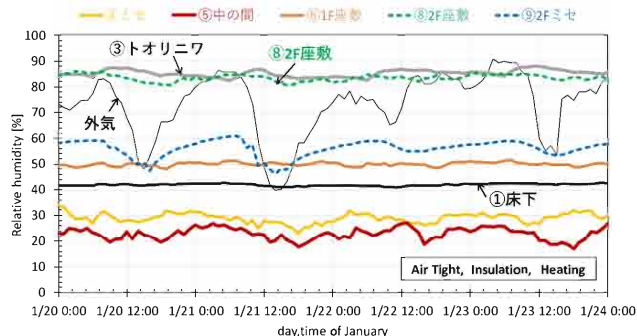


図 5-9 Case6 の冬季室内相対湿度変動 (1/20-1/23)

4倍もの風量の違いが生じることから、温度差換気の影響と考えられる。一方、階段室を経由する上昇流は相対的に少ない(流出量の5~10%)。座敷への流入空気は、無暖房の場合、流入全体の約40%程度を占めるが、暖房することにより25%前後に減少する(流量自体は増加するが、それ以上に躯体隙間や隣室からの空気流入が増加している)。

5.4 まとめ

京町家の断熱・気密改修に伴う冬季の温湿度環境の変化の把握を目的として温湿度性状解析を実施した。その結果、気密化しない基礎断熱改修は温度改善効果がみられないことがわかった。一方、断熱化による温湿度改善効果は認められるが、熱源配置に工夫が必要であることなどがわかった。また、換気計画の無い気密化は熱源がない場合には、湿害リスクを高める危険性を把握できた。外観意匠保全の関係上、気密改修も一律にマニュアル化することは難しく、その気密性の改善効果についても一般論を述べにくい。今回の解析手法を援用しながら気密改修、断熱・暖房改修の実施と評価を行うことにより、事例を蓄積していくことが必要であろう。

6. 健康リスクの評価

6.1 既往の研究

本節では、健康リスクの評価として、インフルエンザウイルスによる感染症に着目する。既往の研究において、温湿度とインフルエンザの気中生存率に関する実験や、室内空間での挙動や気中濃度の予測が試みられている⁷⁾。G. J. Harper らは気中ウイルスの生存率の変化を測定し、温湿度の影響を報告している⁸⁾。その後、この結果について、Jeffrey Sharman らは絶対湿度による再分析を行い⁹⁾、倉渕らは絶対湿度と生存率の関係について整理を行い大略的に絶対湿度の倍増で生存率が 1/10 になることを示している¹⁰⁾。また、庄司らは、「日本では、亜熱帯の沖縄県を除き、インフルエンザは絶対湿度 11g 以下で流行が始まり、17g 以上で流行が終わっている」^{注2)}、^{文11)}と述べている。

6.2 インフルエンザウイルスの感染症のリスク

既往の研究より、庄司らの報告^{文11)}の値を用いて、冬季と夏季の京町家の実測結果について、インフルエンザウイルスの感染症リスクに関する評価を行う。

図 6-1 に、3 章で示した冬季の実測調査結果 (A 邸居間及び寝室、D 邸居間及び寝室) から 3 日間 (5 分間隔で測定) を抜き出して再掲する。庄司ら^{文11)}の 11g/m³ (≒ 9 g/kg (DA)) 以下で流行が始まるという評価基準を用いると、3 日間のうちすべての時間で、居間及び寝室ともに、インフルエンザウイルスの感染症リスクにさらされている。図には一部の結果のみを示しているものの、2 週間の測定期間を通じて、A 邸、B 邸、C 邸、D 邸の各測定場所の絶対湿度は、庄司らのインフルエンザの流行が始まるとされる評価基準を上回らなかった。すなわち、これら 4 邸の結果は、常に、インフルエンザウイルスの感染症リスクにさらされている可能性があることを示している。

6.3 熱中症に関するリスク

暑さ指数 (WBGT) を以下の簡易式で求め、熱中症のリスクについて、評価を行う。

$$WBGT = 0.7 \times Tw + 0.2 \times Tg + 0.1 \times Ta \quad \dots (2)$$

ここで、Tg：黒球温度

Ta：気温

Tw：湿球温度

3 章で示した下記の実測調査結果のうち、15 時時点の測定値を抜き出し、WBGT を算出したところ、A 邸リビングの場合 29°C、B 邸リビングの場合 27°C、D 邸リビングの場合 26°C であった。これらの値は、日本生気象学会「日

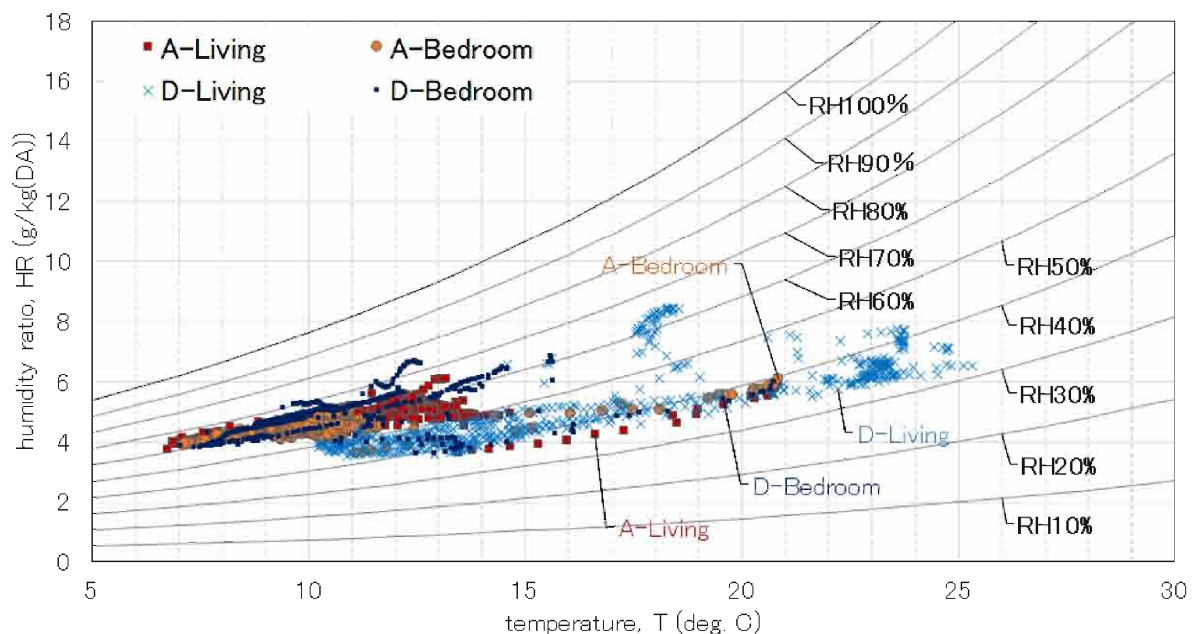


図 6-1 住まいの温湿度 (測定値, A 邸, D 邸, 2018 年 2 月 1 日~2 月 3 日)

常生活における熱中症予防指針 Ver. 3」(2013)によると、A 邸リビングの場合厳重警戒、B 邸リビング及びD 邸リビングの場合警戒であった。

このように、中等度以上の生活活動で、熱中症がおこる可能性があり、注意が必要な室内環境にあるといえる。

7. まとめと今後の課題

本研究では、京町家の保全と継承、さらには今後の発展を見据えて適切な断熱改修を提案するための基礎データ構築を目的とし、現状の温熱環境測定と居住者の住まい方や健康に関する意識調査を行った。

現状、夏季は滞在時に適切に冷房を使用している様子うかがえるものの住宅内で熱中症が発生するリスクはあること、冬季は特に脱衣室・浴室と入浴経路の温度が低いために大きな血圧変動が生じうること、室内の絶対湿度が低いためにインフルエンザウイルスの感染症リスクがあることが明らかとなった。室内の絶対湿度の低さは気密性に乏しく外気の影響を受けやすいことも一因と考えられる。

さらに、典型的な京町家のモデルを用いた数値解析により断熱・気密改修効果の検討を行った。断熱化には一定の効果が見られるものの、気密化を伴わなければ効果が薄いこと、気密化を行う際は計画換気を合わせて行わなければ結露等による湿害リスクが高まることが確認できた。

今後は、今回得られたアンケートや測定結果についてさらに詳細に分析を行うとともに、様々な断熱・気密改修条件での効果検証を行い、京町家の生活文化と折り合う、断熱・気密改修を推進する動機付けとしていきたい。

<注>

注1)京都市京町家の保全及び継承に関する条例 第2条(1)において、京町家とは「建築基準法の施行の際現に存し、又はその際に現に建築、修繕若しくは模様替えの工事中であった木造の建築物であって、伝統的な構造及び都市生活の中から生み出された形態又は意匠(平入りの屋根その他の形態又は意匠で別に定めるものをいう。)を有するものをいう。」と定義されている。形態又は意匠で別に定めるものとは、条例施行規則により (1)平入りの屋根、(2)3以下の階数、(3)一戸建て又は長屋建て、(4)次のいずれかに該当する形態又は意匠(ア 隣地に接する外壁又は高塀、イ 通り庭(道に面した出入口から続く細長い形状の土間をいう。)、ウ 火袋(細長い形状の吹き抜け部分をいう。)、エ 坪庭又は奥庭、オ 通り庇、ひさし(道に沿って設けられた軒をいう。)、カ 格子(伝統的な様式のものに限る。))とされている。

注2)絶対湿度について、引用内でのgは、 g/m^3 を示している。

<参考文献>

- 1) 伊庭千恵美, 康陽介, 銚井修一: 京町家における居住者の好みと熱的快適性の評価及び環境調整行動に関する研究 その1 環境測定とヒアリング調査の概要, 日本建築学会学術講演梗概集 環境工学II, pp. 201-202, 2016
- 2) Kiyoko Kanda et al: Effects of the Thermal Conditions of the Dressing room and Bathroom on Psysiological Responses during Bathing, Applied human science - Journal of physiological anthropology, Vol. 15, No. 1, pp. 19-24, 1996
- 3) 土井脩史, 李明香: 京町家における居住文化に対応した断熱改修手法に関する研究, 未来の京都創造研究事業研究報告書, 2016 (アクセス日: 2018年10月24日)
<http://www.consortium.or.jp/wp-content/uploads/free01.pdf>
- 4) 京都市情報館: 京都市京町家の保全及び継承に関する条例について, 2018 (アクセス日: 2018年10月24日)
<http://www.city.kyoto.lg.jp/tokei/page/0000228362.html>
- 5) 入浴事故を防ぐための5カ条 「お湯の温度は41度以下、時間は10分まで」, (アクセス日: 2018年10月27日)
<http://www.seikatsusyukanbyo.com/calendar/2016/009026.php>
- 6) The Cold Weather Plan for England Protecting health and reducing harm from cold weather, Public Health England, 2018 (アクセス日: 2018年10月24日)
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/748492/the_cold_weather_plan_for_england_2018.pdf
- 7) Thomas P. Weber, Nikolaos I. Stilianakis: Inactivation of influenza A viruses in the environment and modes of transmission: A critical review, Journal of infection 57. 261-373, 2008
- 8) G. J. Harper, Airborne micro-organism: Survival tests with four virus J. Hyg; 479-486, 1961
- 9) Jeffrey Sharman, Melvin Kohn: Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality PNAS vol. 106 no9; 3243-3248, March 3 2009
- 10) 倉渕隆, 小笠原岳, 熊谷一清, 浅利雄太郎: インフルエンザの感染に影響するインフルエンザウイルス生存率と絶対湿度の関係について, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 1339-1343, 2009. 9
- 11) 庄司真, 片山弘毅: 季節性インフルエンザの流行と絶対湿度, 臨床と研究, 86巻, 11号, 2009. 11

<研究協力者>

康陽介 2017年度 京都大学大学院工学研究科修士課程
高野駿 2017-18年度 京都大学大学院工学研究科修士課程
中澤結 2018年度 京都大学大学院工学研究科修士課程