

里山における古民家の夏季温熱環境評価

1250017 伊東 駿
指導教員 佐藤 理人温熱環境 温冷感 床暖房
快適性 実測調査 古民家

1. 研究背景と目的

現在急激な少子高齢化に伴う人口減少、都市部への人口集中などの様々な社会的要因が重なり合うことで空き家が増加している。他方で省エネ基準の強化により、新築住宅では高断熱・高气密化が促進されており、既存住宅においても断熱・気密性能の向上を図るための断熱改修が実施される事例もみられる。しかしながら、断熱改修は改修費用の負担や技術的な困難さも伴うことから、実施可能な事例が限定される場合もある。特に築 50 年以上となる古民家等の伝統的な造りの住宅においては、このような問題に直面する事例も多い。そのため、断熱改修以外の手法でも省エネで快適な温熱環境を形成できる空調システムがあれば、多様な既存住宅で導入することが可能となり、空き家減少にも寄与できると考えられる。

これまでも伝統的な古民家の温熱環境に関する研究は多くあり、浦野ら¹⁾は九州北部の伝統的民家の夏季温熱環境調査を行い、土間は日中、他の居室に比べ空気温度が 1~3℃、グローブ温度が 2~4℃程低く、土間面からの効果と冷輻射効果が認められることや、小屋裏換気口と床下開口部の組合せによって、垂直方向の換気経路が形成され、熱気の流出とともに床下冷気の流入が促進されることを報告している。しかしながらこれらの研究は、伝統民家にみられるパッシブシステムの中から現代住宅へ適応しうる手法を探るもので、新たな空調システムを見出すものではない。そこで本研究は、里山にある古民家を対象に夏季温熱環境の実態を明らかにすることを目的とし、最終的には開放的な住まいにおいてもより省エネで快適に過ごすことが可能な新たな空調システムを提案することを目標とする。

2. 建物概要

本研究で対象とする古民家の外観を写真 1 に、建物及び実測概要を表 1 に示す。対象古民家は、高知県香美市内に立地しており、1906 年に建設された建物で、2018 年に一部改修されている²⁾。改修後は大学における学生のフィールドワークの拠点として利用されている。古民家の延床面積は約 75m²であり、改修にあたっては床下組の腐食や損傷した柱、足固めを取り替え、元の場所に据え付けた。その後、大工工事を行い、床、壁、屋根の修復を行った。

3. 実測概要

夏季における温熱環境の実態調査は、2024 年 7 月 18 日~7 月 23 日に実施した。調査の測定項目及び測定機器を表 2 に示す。測定場所は改修を行った母屋の居間にあたる休憩スペースを対象とし、測定機器は床上 0.6m を基本として設置した。対象室の実測点及び平面図を図 1 に、実測点及び断面図を図 2 に示す。室中央と縁側を中心に、空気温度、壁床天井の表面温度、グローブ温度、風速、相対湿度を 10 秒間隔で測定した。



写真 1 古民家の外観

表 1 建物及び実測概要³⁾

所在地	高知県香美市土佐山田町佐岡中後入
竣工年	1906 年 (改修年 2018 年)
構造・階数	在来軸組工法・平屋
延床面積	約 75m ²
部位仕様	開口部：和障子+木製引き戸 外壁：土塗り壁+断熱材 (ロックウール 55mm) 床：合板 (12mm) +フローリング 屋根：いぶし瓦+野地板
測定期間	2024/7/18~2024/7/23

表 2 測定項目及び測定機器

測定項目		測定機器
流入	空気温度	Temperature/RH Smart Sensor S-THC-M00x Solar Radiation Shield RS3-B
	相対湿度	Temperature/RH Smart Sensor S-THC-M00x
流出	風向・風速	Wind Direction Smart Sensor S-WDA-M003 Wind Speed Smart Sensor S-WSB-M003
古民家内	空気温度 表面温度	T 熱電対 Φ0.3mm
	相対湿度	高分子式湿度センサー,CHS-UGS TDK
	グローブ温度	T 熱電対 Φ0.3mm (グローブ球 Φ150mm)
	風速	熱線式風速計,DT-8880,エムケサイエンティフィック

室内の上下温度分布を測定するため、室中央の床裏表面温度、床表面温度、床上+0.1m、+0.6m、+1.1m、+1.6m、+2.5m、+3.5m 高さにおける空気温度、及び天井表面温度、屋根表面温度を測定した。室中央と縁側の床上+0.6m 高さにおける温湿度の測定は、感応部への放射の影響を除去するため強制通風（風速 3 m/s 以上）させた二重円筒（アルミテープ巻付）の塩ビパイプ内に T 熱電対を挿入した状態で行った。また古民家屋外の 2 地点で流入・流出気象である気温、相対湿度、風向、風速を測定した。実測期間中は、7 時から 17 時の南西側の引き戸、西側玄関の引き戸、北側の小窓を全開状態にし、その他の時間帯は全閉状態とした。また 7 月 20 日及び 21 日に関しては、終日全閉状態の測定を行った。

4. 実測結果

4.1 外気象データ測定結果

6 日間の外気象条件は図 3 に示すとおりである。7 月 18 日～7 月 21 日は、午後から曇天となる時間帯があったが、7 月 22 日及び 23 日は終日快晴であった。そのため本研究では主に 7 月 22 日の測定結果について解析を行った。また当日は、最高気温が 33.7℃、最低気温が 24.2℃の真夏日であった。また最高相対湿度は 96.4%、最低相対湿度は 66.7%、最高絶対湿度は 24.0g/kg' で、最低絶対湿度は 18.4g/kg' が観測された。

4.2 空気温度及び相対湿度測定結果

室中央・縁側における空気温度・相対湿度の日変動を図 4 に示す。室中央における最高気温が 31.3℃、最低気温が 25.4℃であったのに対して、縁側における最高気温は 31.8℃、最低気温は 25.4℃となった。早朝、夕方から夜間における空気温度は、縁側が室中央より低温となった。日中に関しては、室中央と縁側でほとんど違いは見られなかったが、わずかに室中央のほうが低温となった。また室中央における最高相対湿度が 83.2%、最低相対湿度が 66.2%であったのに対して、縁側における最高相対湿度は 85.0%、最低相対湿度は 65.6%となった。早朝において縁側の相対湿度は、室中央に比べてやや高湿度となった。また日中に関しては、室中央・縁側の相対湿度ともに 65~70%程度の値となった。

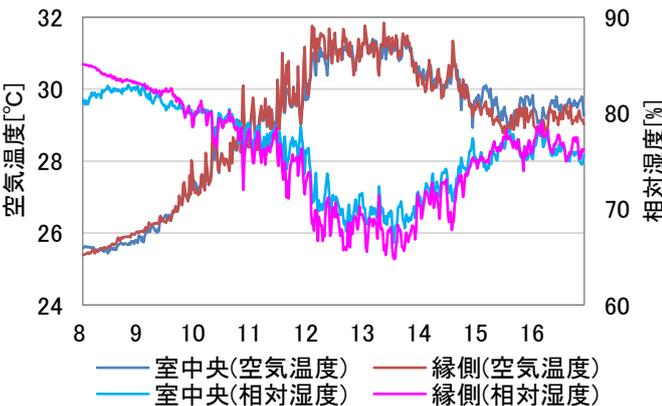


図 4 室中央・縁側における空気温度・相対湿度の日変動



図 1 対象室平面図及び実測点

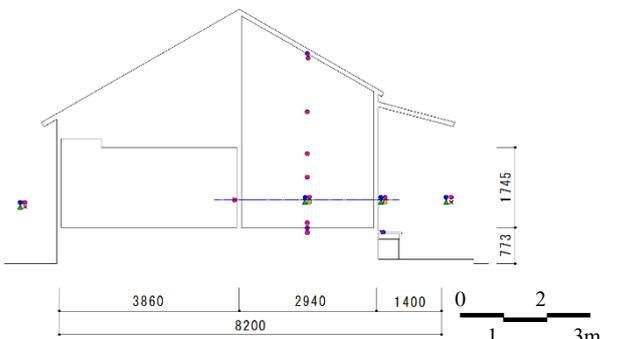


図 2 対象室断面図及び実測点

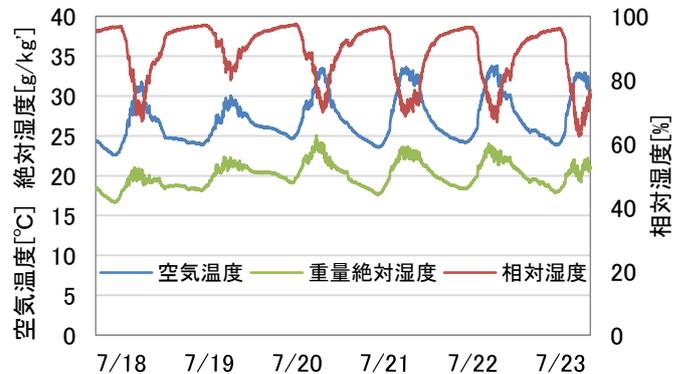


図 3 外気象データ

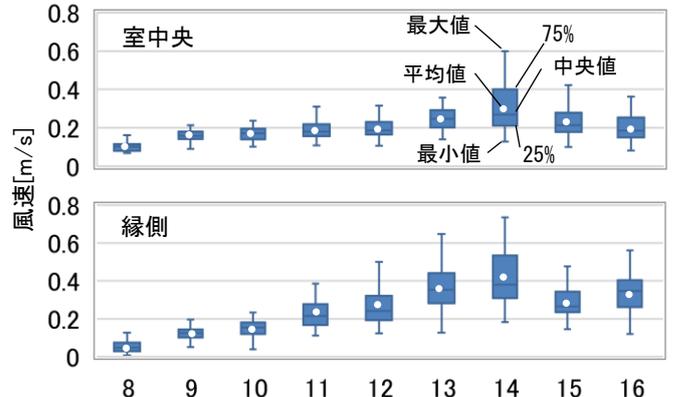


図 5 室中央・縁側における風速の日変動

4.3 室中央及び縁側における居住域風速測定結果

室中央・縁側における風速の日変動を図5に示す。窓開放の時間帯において、室中央では午前中に0.1~0.2m/sの風速が観測され、午後は0.2~0.3m/s程度の風速が観測された。一方、縁側の風速は室中央より強い傾向がみられ、午後からは風速0.3~0.4m/s程度の風速が観測された。また0.5m/s以上の風が観測された時間帯もあり、一定程度の気流感が期待できると考えられる。

4.4 平均放射温度 (MRT) 測定結果

室中央・縁側におけるMRTの日変動を図6に示す。早朝は、室中央・縁側ともに26℃程度で違いは見られなかった。その後、日中にかけては日射の影響により、室中央より縁側のMRTのほうが2~3℃程度大きい値となった。

4.5 上下温度分布測定結果

室中央における上下温度分布を図7に、床と天井の上下温度差の日変動を図8に示す。なお、6時から21時までを3時間間隔の測定結果を示している。6時、9時においては、上下温度差は比較的小さく、1~4℃程度となった。12時、15時においては、床表面温度が28℃程度に対して、天井表面温度が43℃程度になっており、上下の温度差は最大となった。その後、上下温度差は緩やかになり、21時には4℃程度になった。

12時における古民家縁側方向から撮影した放射温度分布を図9に示す。外気温は29℃程度だったが、天井表面温度は約40℃、屋根表面温度は60℃を超える値となった。一方、床下の温度は26℃程度と外気温と比べて2~3℃低い傾向がみられた。

4.6 新標準有効温度 (SET*) 算出結果

室中央・縁側におけるSET*の日変動を図10に示す。測定した時間帯のうちSET*が最も低い値となったのは8時であったが、室中央・縁側ともにSET*の快適域^{註)}を超える値となっていた。その後、12時までは室中央、縁側ともにSET*が上昇傾向となったが、縁側のほうが1℃程度高い値となった。これは日射の影響により、縁側のMRTが高くなったためである。また12時以降では縁側のSET*が室中央を下回る値となった。これは縁側の風速が高くなったことが寄与していた。

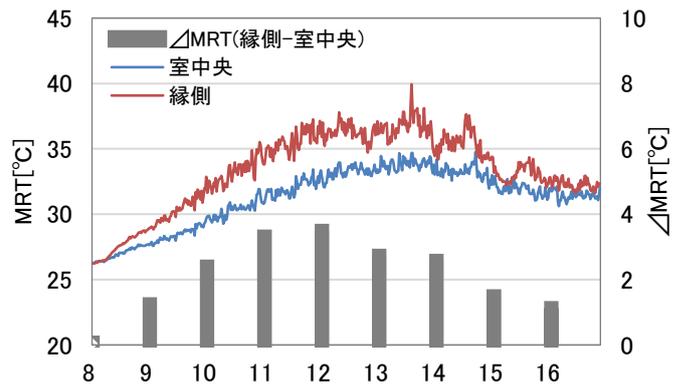


図6 室中央・縁側におけるMRTの日変動

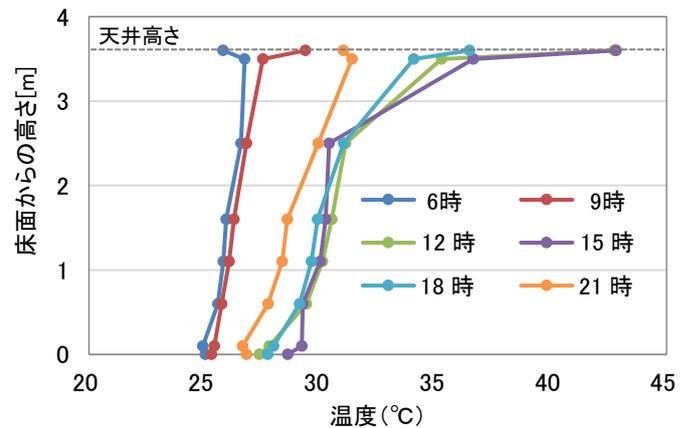


図7 室中央における上下温度分布

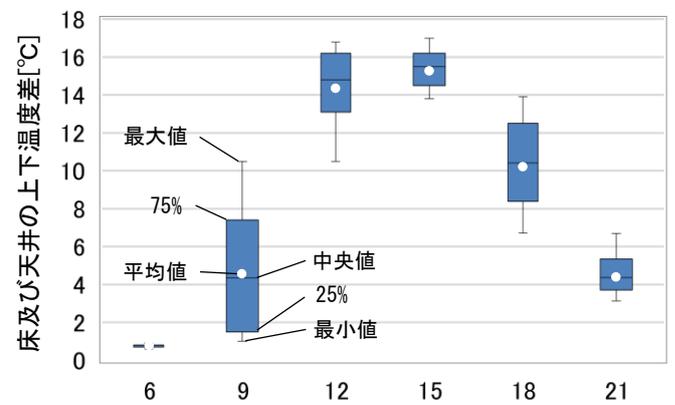
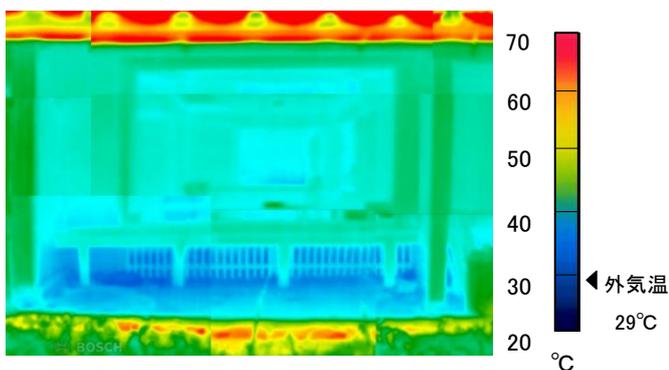


図8 室中央における上下温度差の日変動



撮影位置は図1中に記載

図9 放射温度分布(12時)

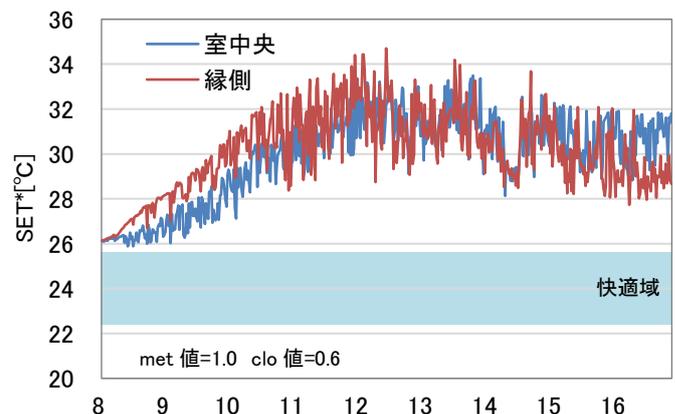
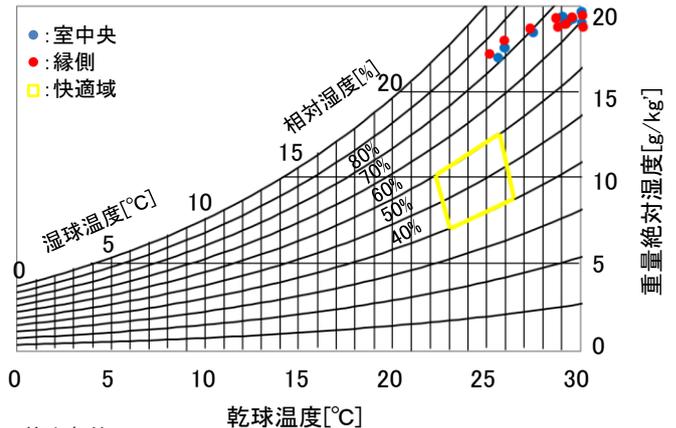


図10 室中央・縁側におけるSET*の日変動

4.7 空気線図における温湿度と快適域の比較結果

室中央・縁側における1時間ごとの空気温度と相対湿度の測定結果をプロットした空気線図を図11に示す。早朝においては、空気温度が26℃程度で快適な空気温度に近い値となったが、相対湿度が80%を超える値で快適な相対湿度よりかなり大きい値となった。また日中は、空気温度が約30℃で相対湿度が70~80%となり、快適域から大きく外れていた。この結果から、快適域内の温湿度とするためには、絶対湿度については約8g/kg'低下させる必要があり、空気温度については約3℃低下させる必要がある。仮に送風量を15m³/minとして式(1)(2)より顕熱負荷及び潜熱負荷を算出すると、顕熱負荷は約878W、潜熱負荷は約5945Wとなる。したがって、今後はこれらの要件を極力満たす新たな空調設備の提案を実施していきたい。



算出条件
 SET* 22.2℃~25.6℃ 気流 0.1m/s~0.15m/s
 相対湿度 40%~60% 平均放射温度(MRT)=乾球温度
 着衣量 0.6clo 代謝量 1.0~1.2met

図11 空気線図における現状の温湿度と快適域

顕熱負荷 $Q_H = 1005\rho V\Delta t$ (1)
 潜熱負荷 $Q_L = (2501.1 + 1.846t_{out})\Delta x\rho V$ (2)

Q_H : 顕熱負荷(W) ρ : 空気密度(kg/m³) V : 風量(m³/s) Δt : 目標温度差(K)
 Q_L : 潜熱負荷(W) t_{out} : 目標出口温度(℃) Δx : 目標絶対湿度差(g/kg')

5. 古民家周辺の斜面による日影の影響

古民家周辺の周辺地物の影響として、里山斜面による日影の影響を把握するため、3D LiDARを使用したDSMの取得をドローン撮影により行った。使用した3D LiDARの諸元を表3に示す。そして得られたデータをもとにBIMソフト(Rhinoceros8+Ladybug)を利用して古民家周辺の地形をモデル化した。そして7月21日の古民家の日影状況を再現したものを図12に、拡大したものを図13に示す。対象地域の日の出時刻が5時10分、日の入り時刻が19時15分であるのに対して、古民家は周辺斜面の影響で7時40分頃に日が当たり始め、17時20分頃に日影内となっていた。特に断熱性が低い古民家にとっては有利側であり、今後はこれらの影響についても考慮していく。

表3 使用した3D LiDAR 諸元

機種名	ZenmuseL1(DJI)
走査角度(deg)	70.4
レンジ精度(mm)	300(100m以下)
測定精度(mm)	±100.0(50m以下)
データ点数(分解能)	最大240000ポイント/秒

6. まとめ

里山にある古民家を対象に夏季における室内温熱環境の実態を明らかにすることを目的とし、2024年7月に温熱環境評価を行った。

その結果、縁側では日中から夕方にかけて室中央よりも高い通風効果が見込まれ、SET*は最大約3℃低い値となった。また天井表面温度は、床表面温度より最大17℃程度高くなったが、床下温度は外気温より2~3℃低い値となっていた。今後は、本評価結果を参考に周辺斜面の影響等も考慮しながら、開放的な住まいでもより快適に過ごすための空調システムの提案を行っていく。

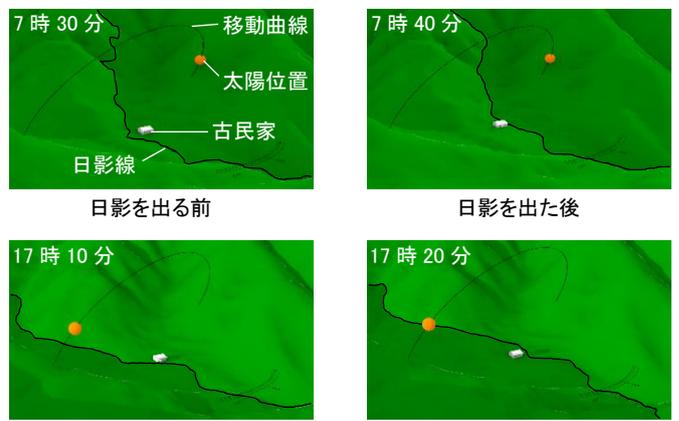


図12 古民家に対する日影形成状況(縮小図)

注) SET*の快適域は ASHRAE (アメリカ暖房冷凍空調学会) が定めているものを参考にし、22.2~25.6℃とした。

謝辞) 3D LiDARによる測定は、高知工科大学村井亮助教にご協力いただいた。ここに記し感謝の意を表す。

参考文献)

- 1) 浦野良美他：九州北部に残る伝統民家の熱環境に関する調査研究, 日本建築学会計画系論文報告集,vo371,p27-p37,1987. 1
- 2) 上田悠貴他：地域交流を目指した古民家の改修,高知工科大学総合研究所紀要,vol14,p103-p110,2017.8.31
- 3) 鎌倉秀樹他：古民家の省エネルギー改修に関する事例調査その1,日本建築学会四国支部研究報告集,vol17,p37-p38,2017.5.13

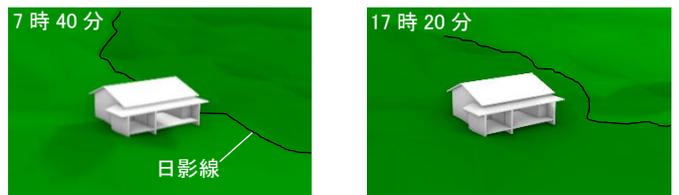


図13 古民家に対する日影形成状況(拡大図)