

住宅の温熱環境と睡眠

関西大学 都築 和代

1. はじめに

温熱環境に関する研究とは、温度、湿度、熱放射、風速などの4要素のうち、単一もしくは複数の要素のある空間や環境において計測した研究であり、日本に限らず、海外でも多くの研究が実施され報告されている。測定対象は住宅や施設、学校、オフィスなど多岐に渡っている。温熱環境は空気環境の一部ともいえるが、光環境、音環境などと同様に空間の質をあらわす要素である。我が国では、興行場、百貨店、店舗、事務所、学校等の用に供される建築物は特定建築物と定義し、所有者、占有者等に対して、「建築物環境衛生管理基準」に従って維持管理をすることを義務付ける建築物衛生法が1970年に定められ、一定規模の建物については指針が示されている。建築物環境衛生管理基準¹⁾において温度は18℃～28℃、相対湿度40%～70%、気流0.5 m/s以下、二酸化炭素1,000 ppm以下などと定められ、機械換気設備の管理が推奨されている。教室等の環境はそれに準じて文部科学省により、学校環境衛生基準が定められている。しかし、人の居住環境である住宅、高齢者施設などについては温度等の定めはない。海外では、WHO Housing and health guidelines²⁾が不十分な居住空間（過密）、室内の低温・高温、家庭内での傷害の危険性、障害を持つ人々の住宅へのアクセスに関連する勧告を提供している。特に温度については18℃以上を推奨し、18℃未満では寒冷期の心血管疾患による死亡リスクが高まると言及している。

2050年のカーボンニュートラルの実現に向けて、我が国は一層の省エネを進め、エネルギー消費を削減していくことが産業部門・運輸部門だけでなく、民生部門においても求められる。私たちの生活に身近な問題である暖

冷房エネルギー使用量削減のためには、人がどう機器を使うか、設定温度等の情報が重要となり、また、緊急時の対応を準備しておく必要がある。とはいえ、国内では毎年住宅内で高齢者を中心に1万人以上が入浴に関連してCPA（心臓機能停止）を発生している状況にあり、エネルギー消費を過分に抑制するために、健康を害する例として報告されている³⁾。つまり、人にとって安全で健康な生活を担保しつつ、過大なエネルギー消費を抑制するための省エネな使い方や設備機器についての研究開発が必要となる。

関連して家政学の住生活分野では、人の生活、主として住宅等での温度、湿度の実態と人の感覚や着衣、冷暖房の使い方などが研究対象となってきた^{4)~13)}。住宅、温熱環境と家政学雑誌を検索すると、高齢者が対象になっている場合が多く、それでも報告の数は限られている。また、生活行動、高齢者の住宅温熱環境を調べた一連の研究のうち睡眠時について触れているものはあるが、睡眠そのものへの影響や評価に関する研究は非常に少ない。そこで、本報では、人の健康に関連して住宅で行われる生活行為であり、かつ、住宅内での生活に占める時間割合の長い睡眠を住宅温熱環境との関係で注目した。

2. 高齢者の居住形態による温熱環境の違い

高齢者の居住環境を考える場合、独居か、老夫婦のみか、家族と同居か、あるいは、集合住宅型の高齢者施設というように、昨今ではその形態が多岐に渡っている。昔からある子世帯との同居は生活を助け合うことができ、経済状態にもメリットがあるだろうが、これまでの実態調査を見る限り、それら居住形態が居住環境の質のひとつである温熱環境に及ぼす影響について検討した研究は報告されていない。そこで、農村地域において高齢者単独6世帯および若年者と同居する高齢者5世帯を比較する目的で温熱空気環境の実測調査と高齢者16名について質問紙調査を行った¹⁴⁾。

温熱環境の実測の時間変動の一例を図1に示す。No.2は築100年を越える住宅であり、居間では朝晩の石油ス

Kazuyo TSUZUKI

関西大学環境都市工学部建築学科 教授

〔著者紹介〕1985年奈良女子大学家政学部住居学科卒。1990年奈良女子大学大学院博士課程修了。学術博士。産業技術総合研究所総括研究主幹、豊橋技術科学大学大学院教授を経て、2021年から関西大学。専門分野は建築環境工学、環境人間工学、高齢者の温熱感覚、子どもの体温調節、睡眠環境。1992年日本建築学会奨励賞（論文）、2009年空気調和・衛生工学会論文賞、2020年日本建築学会賞（論文）。

トープによる暖房時の室温は約15℃でこたつを併用していた。日中、離れにある日当たりのよい中年の寝室の室温は17℃まで上昇していたが、高齢者が過ごす居間の室温は約10℃と低く、安全のため暖房せず、こたつで過ごしていた。黒球温度は、室温とほぼ同じか、暖房時にはやや低くなる傾向が認められた。母屋のトイレ、高齢者寝室等では夜間も暖房されておらず、0～7℃の範囲にあった。二酸化炭素濃度は暖房器具使用時の室温上昇に呼応して上昇し4,000 ppmとなり、相対湿度は35%～55%の範囲にあった。各住宅の計測結果を整理し、高齢

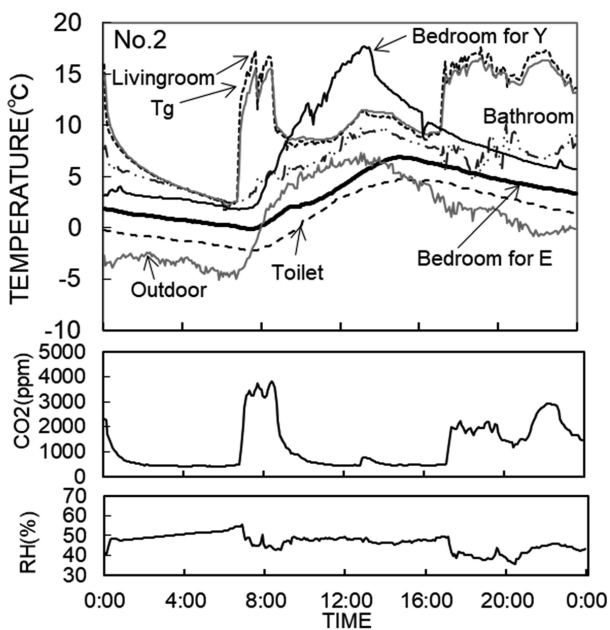


図1 冬期における住宅の気温、相対湿度、二酸化炭素の変化¹⁴⁾

者のみの世帯と若年者との同居高齢者世帯について、団らん時の温熱実態の結果を表1に示す。団らん時の居間の室温0.1 mと0.7 m、グローブ温度などは、若年者と共有している高齢者同居世帯の方が約4℃有意に高くなった。しかも、団らん時の外気温を比較したところ、同居世帯の方が有意に低かった。一方、高齢者の寝室、夜間のトイレ、浴室、脱衣室(廊下)に睡眠時には有意な差は認められなかった。つまり、居住者が高齢者だけの温熱環境よりも若年者家族と同居している高齢者世帯の居間の方が高い室温に維持されていた。

近年、Energy Poverty (燃料の貧困)はイギリス政府が低所得と家計への高負担に関する用語として使用し、「平均中流家庭よりも多くの燃料費を必要とし、実際にそれだけの燃料費を使うと、貧困ラインを下回る」場合に、燃料の貧困状態にあると定義している¹⁵⁾。燃料の貧困を導く要因としては、住居のエネルギー効率が悪い、燃料費、家庭の収入をあげている。この問題は、燃料費を節約し、寒い住宅で我慢して暮らすことにより、健康を害する懸念があり、それが医療費の増加に結びついている可能性があると考えられる。本調査での高齢者世帯で観察された低温は、いくつかの要因によるものと考えられる。第一にイギリスと同様に経済的な問題として十分な燃料費を支払えないことが考えられ、そのため若年者世帯と同居し居間を共有している高齢者宅の方が暖房時間は長くまたは強く暖房され、室温が高くなったと考えられた。第二に、高齢者では体温調節¹⁶⁾や寒さに対する感覚が若者に比べ劣っており¹⁷⁾、老化により寒さを感じにくくなっていることも低温環境での生活を許容している原因の一つと考えられる。また、両世帯とも既往研究³⁾⁴⁾⁷⁾

表1 高齢者世帯と若年家族との同居高齢者世帯の団らん時における居間の気温、相対湿度、二酸化炭素濃度と外気温の平均値 (SD) の比較¹⁴⁾

	Elderly's houses n = 6	Elderly's houses with young family n = 5
Ta in the living room (H=0.7 m)	9.3 (1.6) °C	13.2 (3.0) °C*
Tg in the living room (H=0.7 m)	9.2 (1.5) °C	12.8 (2.6) °C*
Ta in the living room (H=0.1 m)	8.5 (1.7) °C	12.8 (4.3) °C*
Ta in the living room (H=1.5 m)	10.0 (1.9) °C	12.5 (2.5) °C
RH in the living room (H=0.7 m)	52.5 (5.4) %	47.7 (6.7) °C
CO2 in the living room (H=1.7 m)	947 (765) ppm	1,890 (1,010) ppm
Ta in the toilet	4.7 (1.1) °C	3.8 (2.1) °C
Ta in the bath room	6.5 (1.5) °C	7.0 (2.5) °C
Ta in the dressing room	6.0 (2.0) °C	7.0 (2.6) °C
Ta in the outdoor	2.1 (0.9) °C	0.5 (0.9) °C*

*<0.05

No. 3, 4, 5, 6, 10, 11

No. 1, 2, 7, 8, 9

8)11)と同様に低温になっているのは、住宅のエネルギー効率を上げるための建物の断熱性能が低いため、暖房しても温度が上昇しなかったとも推察される。そのため、暖房ではなく、こたつの使用により手足を温めるなどの局所暖房が室温の低さを補っていたと考えられた。

夜間就寝中の高齢者寝室温度、トイレ室温ならびに外気温を図2に示す。住宅近傍で測定した外気温は-5℃~0℃の範囲にあり、No.6を除くと寝室とトイレの室温は、0℃~5℃の範囲にあった。No.6は数年前に夜間トイレで倒れ救急搬送された経験があったため、トイレに温風暖房機を設置し一晩中暖房しているため10℃に安定していた。一般に加齢とともに就寝中にトイレに行くことやその回数が増えると指摘されている。睡眠中

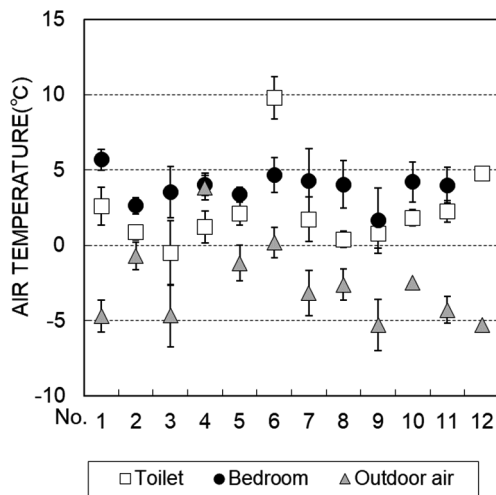


図2 睡眠中の寝室、トイレ、屋外における気温の平均値 (SD)¹⁴⁾

は寝具を使っても、トイレの行き来に非暖房の廊下などの低温環境に晒されているという結果であった。このような低温な寝室で眠ることができるかどうか疑問が残り、睡眠との関係を検討する必要があると考えられた。

3. 四季における高齢者の住宅温熱環境と睡眠

高齢者の睡眠と居住環境の温度・光との関係を調べるために、四季(春(4月~5月)、夏(7月~8月)、秋(10月)、冬(1~2月))に戸建て住宅において活動量計(アクチグラフ)による睡眠の計測等の実態調査を行った。測定項目は寝室やトイレなどの温湿度、被験者周囲の照度、アクチグラフによる睡眠変数であり、また、アンケート調査票により主観的睡眠感、温冷感、快適感について尋ねた。睡眠は利き手と反対側の手首にアクチグラフを装着してもらい、実験終了後Cole-Kripkeによるアルゴリズム¹⁸⁾のソフトウェアを使用し、入眠・起床時刻、睡眠時間等の睡眠変数を算出した。測定対象者は心身ともに健康な63~66歳の男性8名(平均64歳)とし、測定期間中は普段通りの生活活動を心がけてもらい、就寝、起床時刻、就寝状態は通常通りにしてもらった¹⁹⁾。

温熱、光環境の実測結果を表2に、睡眠への影響を図3に示す。就床時刻について四季による差はなかったものの、夏の起床時刻が有意に早くなった。睡眠中の中途覚醒時間は他の季節に比べ夏に30分以上長くなり、結果として、睡眠時間の割合を示す睡眠効率に夏に有意に低くなっていた。夏の睡眠が他の季節に比べて悪化する結果は、先に実施した夏、秋、冬の三季について高齢者19名(平均65.7±3歳、男性6名:64-71歳、女性13名:60-70歳女性)について得た結果²⁰⁾と同様であった。先

表2 四季における睡眠中の温熱・光環境の平均値 (SD) の比較 (Reprinted from Building and Environment, 88, Tsuzuki K., et al., Effects of seasonal illumination and thermal environments on sleep in elderly men, 82-88, Copyright Elsevier (2015)).

Season	Spring	Summer	Autumn	Winter
Outdoor ta during sleeping period (°C)**	18 (1.8) bcd	24.9 (1.0) acd	12.4 (3.6) abd	0.4 (1.1) abc
Bedroom ta during sleeping period (°C)**	22.5 (1.4) bcd	27.8 (1.0) acd	18.4 (1.8) abd	10.3 (2.6) abc
Bedroom rh during sleeping period (%)	64.8 (7.5)	72.6 (7.4)	69.8 (6.7)	59.4 (5.9)
Toilet ta during sleeping period (°C)**	21.4 (1.4) bcd	27.5 (1.0) acd	16.9 (3.1) abd	7.3 (2.4) abc
Cumulated illuminance (Lx h)*	989 (589) bcd	546 (307) a	371 (379) a	278 (162) a
Lighting during daytime (lx)*	124.8 (114.2) bcd	41.2 (23.3) a	41.1 (63.9) a	28 (22.7) a
Lighting during sleeping period (lx)	1 (1.8)	1.5 (2.8)	1.4 (2.7)	2.1 (3.8)
Lighting during 30-min before morning awake (lx)	2.8 (5) bd	20.2 (49.5) a	4.6 (8.3)	1.6 (3.6) a

Values are average (SD)

a Differs from Spring, P<0.05

b Differs from Summer, P<0.05

c Differs from Autumn, P<0.05

d Differs from Winter, P<0.05

行研究の結果は、秋冬に比べ、夏に寝室の温度・湿度が高く、寝具の枚数は少なかったが、高齢者の前額の皮膚温が高く保たれ、さらに寝床内湿度が高かったことが影響し、中途覚醒が増え、睡眠効率が秋冬に比べ10%低下したと説明していた。

睡眠・覚醒を制御する環境要因としては、光が体内時計をリセットし、かつ、メラトニンなど睡眠に関係するホルモンの合成に関与することが知られている。日中にしっかり光を浴びることにより、ホルモンの合成が進み、夜間は光を浴びないことにより、ホルモン分泌を阻害しないことが肝要である。本結果からは、温度・湿度が夏

に有意に高い結果を示したが、日中の照度に関しては春に最も高く、他の季節との間に有意な差を認めなかった。夜間については、季節間に有意な差を認めなかった。また、起床時刻の30分前からの照度は、夏に最も高くなった。相関分析の結果（表3）は、日中の光環境と睡眠との相関関係は認められず、睡眠中の温度、湿度、照度が高くなるほど中途覚醒時間は増え、睡眠時間が短くなり、睡眠効率が低下していた。また、覚醒前の照度が高くなるほど睡眠効率は低下していた。日の出時刻が早くなり、高温・高湿な環境は夏期の特徴であり、エアコン冷房や遮光カーテンの使用により寝室環境の改善が推奨される。

公立の高齢者施設で自立して生活している高齢者16名（平均79.5±6歳、男性8名：70-86歳、女性8名：72-86歳）を対象に温度湿度の実測と活動量計を用いて睡眠についての実態調査を実施した²¹⁾。睡眠環境の温度湿度は季節により異なったが、性別による差は認められなかった。先行研究とは異なり、全体としては睡眠時間や睡眠効率が季節による有意な差を認めなかったが、図4に示すように女性に比べ男性の方が有意に睡眠時間は短く、睡眠効率は低い結果となり、また、先行研究と同様に男性では季節差を認め、夏に中途覚醒時間が増え、睡眠効率等が低下していた。夏と冬の室内温湿度と外気温湿度の変化を図5に示す。夏は28℃、冬は25℃と日中は適温にコントロールされていたが、夏の夜間の温度上昇が顕著であった。その理由としては、この公立高齢者施設は、夜間の管理者不在時には空調機が停止されていた。その

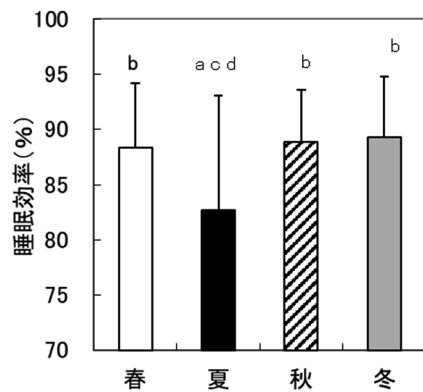


図3 四季における睡眠効率の平均値 (SD) の比較¹⁹⁾ (Revised from Building and Environment, 88, Tsuzuki K., et al., Effects of seasonal illumination and thermal environments on sleep in elderly men, 82-88, Copyright Elsevier (2015)).

表3 睡眠変数と光・温熱環境要素との相関関係 (Reprinted from Building and Environment, 88, Tsuzuki K., et al., Effects of seasonal illumination and thermal environments on sleep in elderly men, 82-88, Copyright Elsevier (2015)).

	Bedtime	Wake-up time	SOL	SPT	WASO	SEI
Maximum lighting during daytime	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Cumulative lighting during daytime	NS	NS	NS	NS	NS	NS
Minutes of lighting above 1000lux	NS	NS	NS	0.231*	NS	NS
Average lighting during daytime	NS	NS	NS	0.267*	NS	NS
Average lighting during 4-h before sleep	0.198*	-0.294*	NS	0.188*	0.22**	NS
Average lighting during sleep	NS	NS	NS	-0.31**	0.187*	-0.292**
Lighting during 30-min before morning awake	NS	NS	NS	NS	NS	-0.337**
Bedroom ta during sleep	NS	-0.517**	NS	-0.351**	0.266*	-0.383**
Bedroom humidity during sleep	NS	-0.468**	NS	-0.361**	0.226*	-0.336**
Activity accounts durin daytime	NS	-0.231*	NS	NS	0.213*	NS

**<0.01, *<0.05

SOL: Sleep onset latency

SPT: Sleeping time

WASO: Wake time after sleep onset

SEI: Sleep Efficiency Index

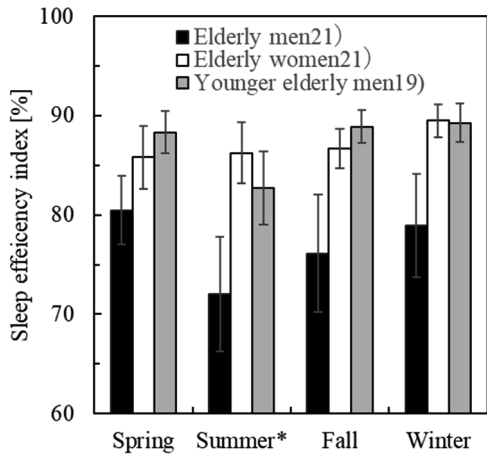


図4 四季についての睡眠効率の比較 (文献21) を改変)

ため、夜間、夏季の屋外温度は25℃程度に低下しているが、室温は29℃以上になっていたことなどを合わせると、コンクリート造であるため、日中の日射熱が蓄熱されて高温になり、空調機の稼働時は問題ないが、夜間管理人不在時の空調停止により高温になっていたと推察され、管理体制について問題があったと考えられる。21時に管理者が不在になり冷房停止する前の18時～21時の間に過剰に冷房されている状態（プレクーリング）が実測から明らかになった。つまり、管理者不在による冷房停止の問題は顕在化していたための対策と推察された。

4. 断熱改修による住宅温熱環境と高齢者の睡眠

冬期に東北地方において8軒の在来木造住宅の窓断熱改修の前と後、更に1年後で温熱環境測定とともに、8名の高齢居住者（67歳～92歳、平均82歳、要介護、要支援1）の睡眠や健康への影響を調べた²²⁾。その結果、窓断熱改修前よりも、加齢にも関わらず、窓断熱改修後、さらに改修1年後の方が中途覚醒時間は短くなり、睡眠効率が改善していた。このことは窓断熱改修により居住環境の改善が睡眠や日中の生活活動へ影響を与え、健康になった可能性を示唆しており、今後さらに長期にわたっての調査を進める必要があることが示唆された。

5. マレーシアにおける住宅温熱環境と睡眠

マレーシア国クアラルンプール近郊の住宅22軒とその居住者を対象として、寝室温熱環境の実態と居住者の睡眠調査を実施した。住宅の形態は、マレーシアの都市部では一般的なテラスハウス、戸建住宅および集合住宅の3種類で、いずれもレンガやコンクリートが用いられていた。調査対象は20歳代後半から50歳代の日系企業の従業員またはその配偶者であり、平均年齢は41歳で、調査協力者30人について睡眠測定を実施した。実測項目は、寝室の温度、湿度、風速、黒球温度を計測するとともに、着衣や寝具をチェックし、断熱性を推定して、SET*を計算した。また、活動量計（アクチグラフ）を使用し、睡眠中の活動量から、睡眠変数を算出し、睡眠の前後には

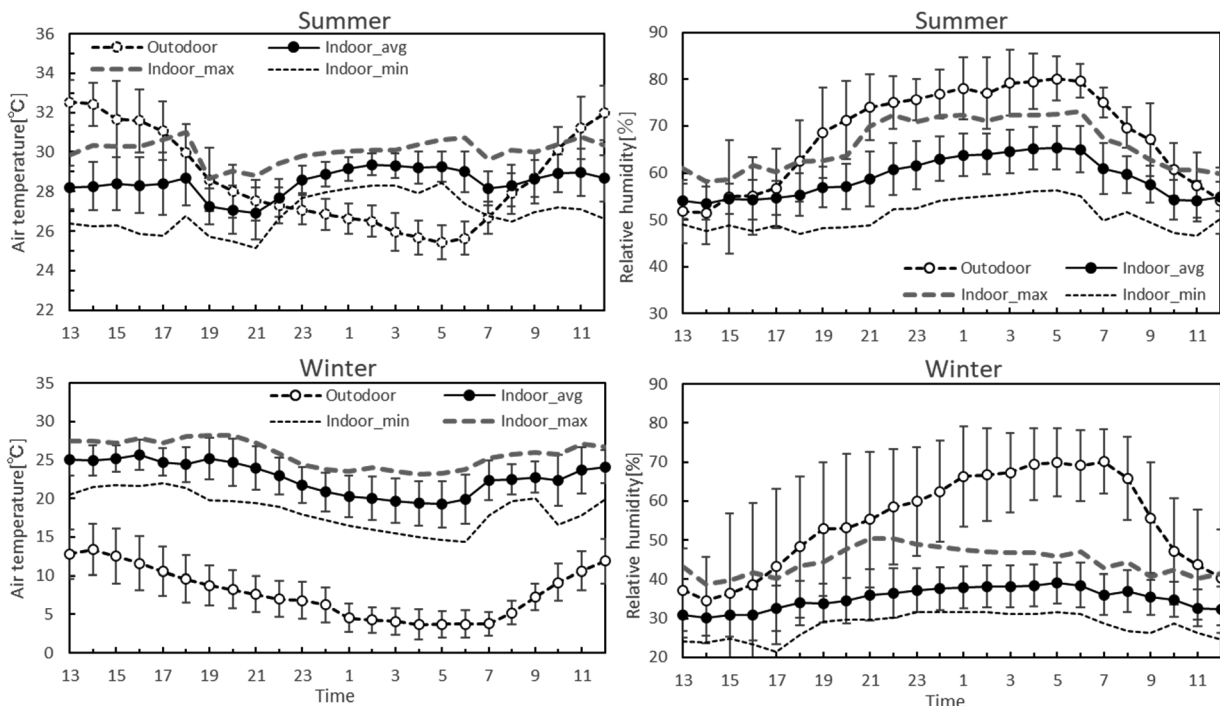


図5 24時間の室内の気温と相対湿度、屋外の気温と相対湿度の変動²¹⁾

温冷感、快適感、睡眠感などについてのアンケート調査を実施した²³⁾。

多くの住宅で天井扇が使われており、睡眠時の室温と風速との関係を図6に示す。温度が上昇するとともに風速は上昇しており、有意な相関関係が認められた。また、エアコン使用時においても、天井扇の使用が疑われるほどに風速が速くなっていた。風速が速くなることは、対流放熱を促進するため、高温環境における気流の利用は人体への熱負荷を低減することを可能とし、省エネを進めるためには有効な対策である。図7に寝室のSET*と居住者の睡眠効率を示す。SET*が高くなるにつれて睡眠効率が低下する傾向が見られる。SET*32-34℃の3人のうち2人は睡眠効率が97%と高く、1人は50%と低いことから、個人差が大きいといえる。先の研究で、暑熱環境において等温風は皮膚温や直腸温の低下を促進し、また、中途覚醒や発汗量を減らしていた²⁴⁾。一方、エアコン冷房からの気流は睡眠深度には影響を与えなかったが、寝返りの回数を増やし、冷風が当たる度に小刻みな皮膚温の低下を示した²⁵⁾。今後さらに、温度と風が睡眠に及ぼす影響については研究が必要である。

6. 冬期の模擬避難所環境と自宅での睡眠の比較

近年、多くの大規模災害が発生し、避難所での生活に注目が集まっている。避難所は近隣地域の体育館や公民館など公共施設が開放され、一時的な避難に加え、仮設住宅などへ入居するまでの仮住まいとして利用されているが、避難中は電気・燃料が乏しいなか、また、寝具等の備蓄が不十分な中での生活では健康な成人であっても健康に不具合が生じる可能性がある。そこで冬期に避難所指定されている大学体育館に模擬環境を設営し、備蓄されている災害救助用毛布類と一般的な寝具として1組の布団を持ち込み、大学生男子12名に睡眠実験を実施し²⁶⁾²⁷⁾、さらに自宅での日常的な睡眠実態と比較した。冬期の屋外温度は約3℃で体育館内の気温は4℃であったが、自宅の気温は10℃～20℃の範囲に分布して暖房の影響が認められた。活動量計で測定した睡眠変数は図8に示す通り、体育館で毛布と布団を使用し就寝した場合は、自宅での睡眠よりも入眠時間に差は認められなかったが、中途覚醒時間は長くなり、睡眠効率は低下した。体育館での寝具の違いは、図9に示すように足皮膚温に顕著に表れ、睡眠中に布団使用の場合、足皮膚温はほぼ28℃を保っていたが、毛布使用の場合は午前3時以降に顕著な低下を示しており、寝具の重要性が示唆された。実験室での青年を対象とした睡眠実験では、3℃、10℃、17℃で十分な断熱性の寝具で就寝した際には睡眠効率には差がないことを示していた²⁸⁾。避難時のように十分な断熱性の寝具が使用できないときは、青年であっても睡

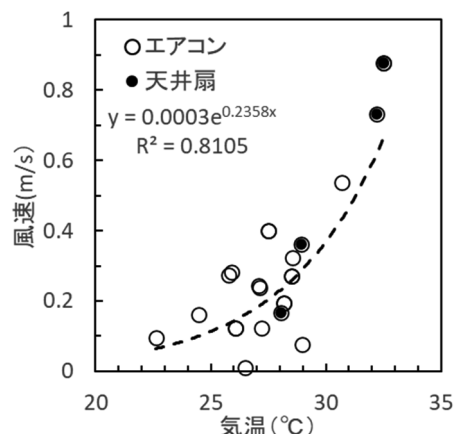


図6 睡眠中の寝室における気温と風速の関係²³⁾

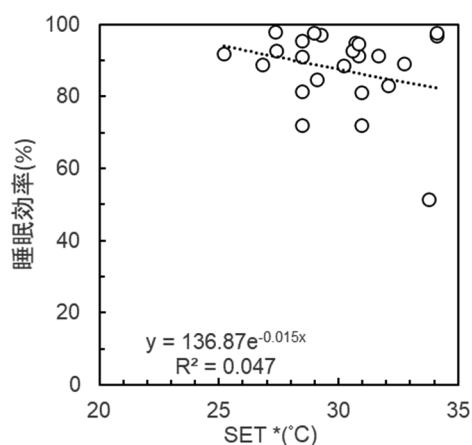


図7 寝室気温と睡眠効率との関係²³⁾

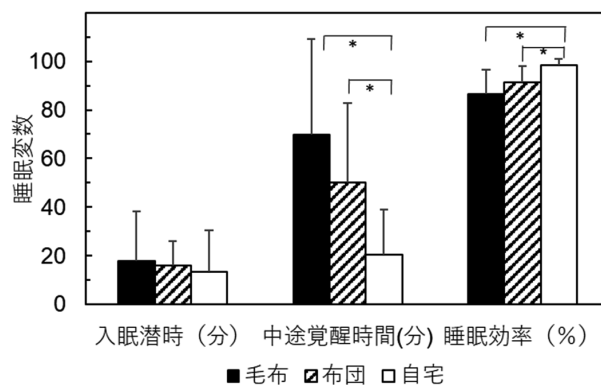


図8 体育館での毛布・布団条件と自宅における睡眠変数(著者作成)

眠は悪化するため²⁶⁾²⁷⁾、加齢により体温調節等は低下し、睡眠が変化している高齢者の場合はさらなる注意や配慮が必要である。

7. 高気密高断熱住宅における換気の影響

2003年に建築基準法が改正され、高気密高断熱住宅には機械換気が義務付けられた。また、近年、住宅の室内環境を改善するものとして、デシカント換気が導入され

つつある。住宅用のデシカント換気は建築基準法で求められる24時間換気（0.5回/h）に調湿作用を付加したもので、換気の出入口にある吸着熱交換器で空気中の湿気を吸着、放出して、設定湿度に制御する。夏期は除湿を、冬期は加湿をして、体感温度の改善を計る。夏期の就寝環境では、長時間の冷房による起床時の冷えや倦怠感などの体調不良を嫌い、一晩中エアコンを使用するよりも、入眠時のみにエアコンを使用し、タイマー設定により途中でエアコンを停止させる場合が散見される。本研究で

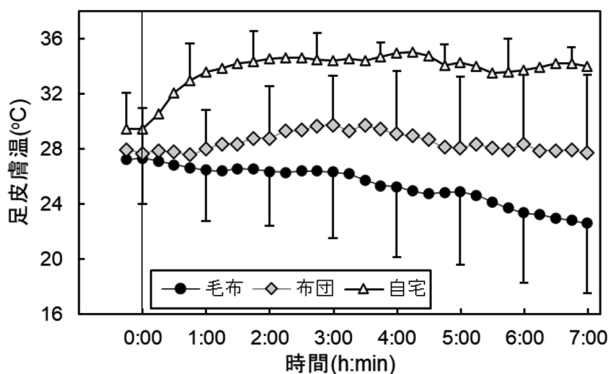


図9 体育館での毛布・布団条件と自宅における睡眠中の足皮膚温（著者作成）

は、デシカント換気が夏期の就寝環境、生理反応及び睡眠効率に与える影響を明らかにすることを目的とし、デシカント換気の設置住宅で被験者実験を行った²⁹⁾。被験者としては、健康な青年男子を対象として皮膚温や発汗量、活動量による睡眠変数などを測定した。

住宅周囲の屋外気温と相対湿度の変動とともに、室内の気温（上図）と相対湿度（下図）をデシカント換気有とデシカント換気無で図10に示す。外気温は日没後に低下したが0時で26℃とわずかながら低下しており、最低は日の出前の午前5時頃に25℃であった。

エアコン冷房はタイマー設定で使用し、睡眠開始後1時間半で冷房停止になるようにした。エアコン稼働時の室温は25℃で安定しているが、エアコンタイマーが切れると気温は両条件ともに上昇し始め、約1時間でデシカント換気では27℃まで、デシカント換気無では28℃まで上昇した。この気温上昇は換気による外気導入の影響も考えられるが、住宅の躯体に蓄熱された熱がそれまで冷やされていた室内側に放出されている可能性が考えられた。躯体からの放熱の影響は冷房停止1時間以降も朝まで続き、7時には0.5℃～1℃の上昇がみられ、デシカント換気有が27.7℃、デシカント換気無は29.1℃であった。

室内の相対湿度は、冷房中、デシカント換気有が約

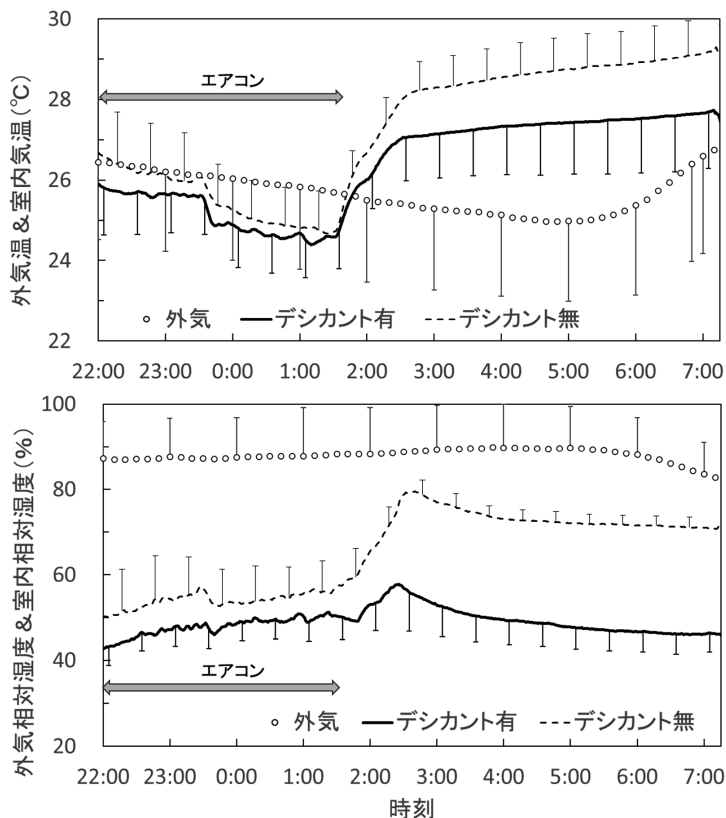


図10 寝室の気温と外気温（上図）と寝室の相対湿度と外気相対湿度（下図）の平均値（SD）の変動 デシカント換気の有無の比較（文献29）より著者作成）

45%, デシカント換気無が約50%であったが, エアコンのタイマーが切れると約1時間で, デシカント換気有は約10%上昇し, デシカント換気無は急上昇し80%まで到達した. 両条件ともその後やや低下して安定し, 7時にはデシカント有が45%, デシカント無が70%であった. この相対湿度の上昇は, 換気により室内に導入された外気の湿度が高湿だったためと考えられた. 外気温が低下していても室内気温は上昇していたことから建物躯体からの放熱が考えられたが, 相対湿度に関してはデシカント換気の場合は1時間以降にはやや低下し安定しており, 除湿された影響が室内の相対湿度に如実に表れて, 室内は50%程度と中湿に保たれていた. 一方, デシカント換気無の場合は, 1時間以降にわずかに低下するものの, 依然として70%以上と高いレベルで安定していた.

睡眠の前後に体重計測した値から算出した発汗量を図11に示す. デシカント換気有に比べデシカント換気無の方が有意に発汗量は多くなった ($P<0.05$). 冷房中にはデシカント換気の有無により気温と相対湿度に明確な差は認められなかったが, 冷房停止後の気温と相対湿度はデシカント換気無の場合に有意に高くなっていたため, このことが発汗量を増やしていたと考えられた. デシカント換気の有無による睡眠効率を図12に示す. 睡眠効率の平均値はデシカント換気有が94%, デシカント換気無が89%となり, デシカント換気無の方が有意に低い睡眠効率を示した ($P<0.05$). これは, 起きているときに比べて睡眠中は自律性体温調節機能が低下しており, 冷房停止後のデシカント換気無での高温高湿環境が発汗を増やすために中途覚醒を増やしたと考えられ³⁰⁾, その結果として睡眠効率の低下を示したと推察される.

これらのことは, 温暖化が進む夏期の屋外環境や昨今の住宅構造・設備では, エアコン停止による冷房時間の短縮は, 寝冷え防止につながるわけではないことを示唆している. 断熱材等から構成される建物の躯体は日中太陽熱に晒されて蓄熱すること, 外気温が夜間を含め最低温度が25℃以下に低下しないこと, また, 機械換気が

入っている場合には, 強制的に外気が室内に流入することから, 本研究のように冷房停止後に建物への蓄熱が室内側に放熱され, 換気として流入してくる新鮮空気が高湿の場合もあり, 冷え過ぎとは逆に, 高温高湿が睡眠中の人の発汗量を増やし, そのために睡眠中に中途覚醒時間を増やしていた, つまり, 睡眠中の人体へ悪影響を及ぼしたことを示していた. エアコンの継続的な使用やおやすみモードなどの冷え過ぎを予防するシステムの検討が必要であると考えられる.

8. まとめ

住宅中で行う生活行為・行動のうち占める時間が長い睡眠に注目し, 住宅温熱環境と睡眠の測定ならびにその関係についての研究を著者らは実施してきた³⁰⁾. なかでも, 高齢者やマレーシア居住の労働者, 青年についての睡眠や皮膚温などの測定を実施し, 住居のみならず, 避難所環境である体育館でも実験を行い, 実生活場面との比較を報告した. その結果は, 高齢者に関しては冬期の寝室の低温は, その後の睡眠実態の計測結果からは, 睡眠への悪影響を観察することができず, むしろ, 夏期に中途覚醒が増え, 睡眠効率が低下する結果を示した. また, これらの実態調査研究は生活の1週間ほどを切り取って計測したものであるため, 短期的な影響ではなく, 長期間や年単位での影響などを評価する必要があることも示された. また, 避難時のような緊急時には暖房使用が期待できないだけでなく, 寝具の数や断熱性も不十分な可能性があり, 睡眠が阻害されることが明らかになった.

エアコンに代わるものとして, 電力消費の観点からは扇風機等の利用が考えられ, マレーシアでの実態調査の結果からも高温環境における風による対流放熱の増加は睡眠を補助していることが明らかになったが, 個人差があることも示された. 都市の温暖化や地球温暖化の影響は夏期に顕著であり, 日中の太陽熱が建物に蓄熱されること, 夜間に外気の温度低下が少なく高湿に保たれる

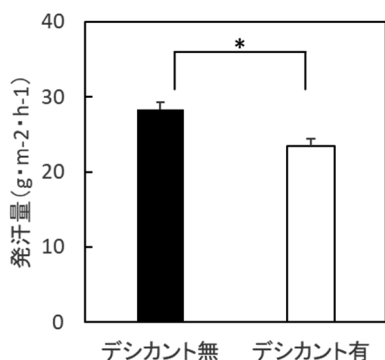


図11 発汗量の平均値 (SD) の比較 (文献29) より著者作成

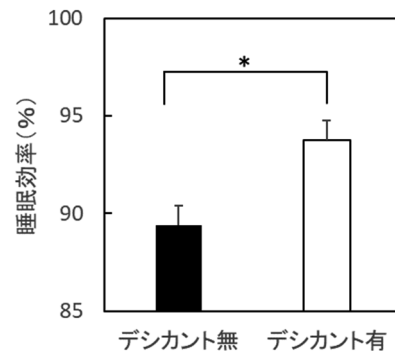


図12 睡眠効率の平均値 (SD) の比較 (文献29) より著者作成

ために、冷房停止後において換気として室内に入ってきた高湿な新鮮空気が睡眠時の人体へ悪影響を及ぼすことが示唆され、湿気の除去が有効であることを示した。

温熱環境は人の周囲どこにでもある環境要素であり、暖房や冷房などでエネルギーを使用し、空調制御すれば、快適な環境を作り出すことができる。また、いつでもどこでも眠れる若い頃に比べると、加齢とともに睡眠は変化し、体温調節能力も衰えてくる。健康な体をつくり、生活を営み、就労するための基になる大事な睡眠であっても、無尽蔵にエネルギーを使用し、睡眠環境を整えることに疑義はあるが、我慢するにも限界がある。快適な睡眠環境の構築を考えつつ、省エネルギーとの両立を目指す技術開発とともに、居住者への注意喚起などが必要である。

付 記

本論文に記載した調査・実験等の研究を実施するにあたり協力いただいた参加者、共著者に深謝します。

文 献

- 1) 厚生労働省. 建築物環境衛生管理基準について. <https://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/seikatsueisei10/index.html> (閲覧 2023.6.15).
- 2) World Health Organization. WHO Housing and health guidelines. <https://www.who.int/publications/item/9789241550376> (閲覧 2023.6.15).
- 3) 高橋龍太郎, 坂本雄三, 都築和代, 浅川康吉. “わが国における入浴中心肺停止状態 (CPA) 発生の実態—47都道府県の救急搬送事例9360件の分析—”. https://www.tmghig.jp/research/release/cms_upload/press_20140326_2.pdf (閲覧 2023.6.15).
- 4) 井関恵子, 磯田憲生, 梁瀬度子, 花岡利昌. 住宅温熱環境の実態調査 (第1報) 住宅室温の経時変動と平均室温について. 家政誌. 1988, Vol. 39, 871-878.
- 5) 井関恵子, 磯田憲生, 梁瀬度子, 花岡利昌. 住宅温熱環境の実態調査 (第2報) 住宅温熱環境の居住者への影響について. 家政誌. 1988, Vol. 39, 879-884.
- 6) 梁瀬度子, 磯田憲生, 五十嵐由利子, 岩重博文, 菊沢康子, 榊原典子, 徳田哲男, 長沢由喜子, 水野由美, 宮沢モリエ, 久保博子. 高齢者の居住環境と温熱適応能力に関する研究 (第1報) 日常生活行動にみられる特徴. 家政誌. 1992, Vol. 43, No. 8, 781-790.
- 7) 長沢由喜子, 梁瀬度子, 磯田憲生, 五十嵐由利子, 岩重博文, 菊沢康子, 榊原典子, 徳田哲男, 水野由美, 宮沢モリエ, 久保博子. 高齢者の居住環境と温熱適応能力に関する研究 (第2報) 着衣対応にみられる特徴. 家政誌. 1992, Vol. 43, No. 8, 791-800.
- 8) 菊沢康子, 梁瀬度子, 磯田憲生, 五十嵐由利子, 岩重博文, 榊原典子, 徳田哲男, 長沢由喜子, 水野由美, 宮沢モリエ, 久保博子. 高齢者の居住環境と温熱適応能力に関する研究 (第3報) 住み方対応にみられる特徴. 家政誌. 1993, Vol. 44, No. 1, 55-63.
- 9) 徳田哲男, 梁瀬度子, 磯田憲生, 五十嵐由利子, 菊沢康子, 岩重博文, 榊原典子, 長沢由喜子, 水野由美, 宮沢モリエ, 久保博子. 高齢者の居住環境と温熱適応能力に関する研究 (第4報) 指標間対応にみられる特徴. 家政誌. 1993, Vol. 44, No. 1, 65-72.
- 10) 宮沢モリエ, 五十嵐由利子, 岩重博文, 榊原典子, 水野由美, 久保博子, 磯田憲生, 梁瀬度子. 高齢者の温熱環境に関する実態調査 (第1報) 高齢者の居住環境と冷暖房に関する特徴. 家政誌. 1995, Vol. 46, No. 5, 447-454.
- 11) 岩重博文, 五十嵐由利子, 宮沢モリエ, 榊原典子, 水野由美, 久保博子, 磯田憲生, 梁瀬度子. 高齢者の温熱環境に関する実態調査 (第2報) 高齢者の人体周囲温の特性. 家政誌. 1995, Vol. 46, No. 5, 455-464.
- 12) 五十嵐由利子, 岩重博文, 宮沢モリエ, 榊原典子, 水野由美, 久保博子, 磯田憲生, 梁瀬度子. 高齢者の温熱環境に関する実態調査 (第3報) 高齢者の皮膚温の特性. 家政誌. 1995, Vol. 46, No. 6, 587-596.
- 13) 榎本ヒカル, 久保博子, 磯田憲生, 梁瀬度子. 高齢者の居住温熱環境の特徴 関西地区における夏期および冬期の住まい方に関する調査研究. 家政誌. 1995, Vol. 46, No. 11, 1091-1100.
- 14) 都築和代, 横山一也, 横井孝志, 小木元, 多屋秀人, 吉岡松太郎, 中村和男. 農村地域における高齢者住宅の温熱と空気環境の実態. 日本生気象学会雑誌. 2001, Vol. 38, No. 1, 23-32.
- 15) Government Digital Service UK. “Fuel poverty statistics”. <https://www.gov.uk/government/collections/fuel-poverty-statistics> (閲覧 2023.6.15).
- 16) Inoue, Y.; Nakao, M.; Araki, T.; Ueda, H. Thermoregulatory responses of young and older men to cold exposure. *Eur. J. Appl. Physiol.* 1992, Vol. 65, 492-498.
- 17) Tsuzuki, K.; Ohfuku, T. Thermal sensation and thermoregulation in elderly compared to young people in Japanese winter season. *Proceedings of Indoor Air 2002.* 2002, 659-664.
- 18) Cole, R.; Kripke, D.; Gruen, W.; Mullaney, D.; Gillin, J. Automatic sleep/wake identification from wrist activity. *Sleep.* 1992, Vol. 15, 461-469.
- 19) Tsuzuki, K.; Mori, I.; Sakoi, T.; Kurokawa, Y. Effects of seasonal illumination and thermal environments on sleep in elderly men. *Building and Environment.* 2015, Vol. 88, 82-88.
- 20) Okamoto-Mizuno, K.; Tsuzuki, K. Effects of season on sleep and skin temperature in the elderly. *Int. J. Biometeorol.* 2010, Vol. 54, No. 4, 401-409.

- 21) Tsuzuki, K.; Sakoi, T.; Sakata, Y. Effect of seasonal ambient temperature on sleep and thermal comfort in older people living in public elderly facilities. *Buildings*. 2021, Vol. 11, 574. <https://doi.org/10.3390/buildings1112057>
- 22) 森郁恵, 都築和代, 安岡絢子, 坂本雄三, 高橋龍太郎. 窓の断熱改修が住宅の温熱環境と高齢者の生活および健康に及ぼす影響に関する研究. *建学論*. 2014, Vol. 79, No. 706, 1061-1069.
- 23) Tsuzuki, K.; Mori, I. Sleep quality and Thermal environment in Bedrooms in Malaysia. *Proceedings of Indoor Air 2018*. 2018, 522-523.
- 24) Tsuzuki, K.; Okamoto-Mizuno, K.; Mizuno, K.; Iwaki, T. Effects of airflow on body temperatures and sleep stages in a warm humid climate. *Int. J. Biometeor.* 2007, Vol. 52, No. 4, 261-270.
- 25) Morito, N.; Tsuzuki, K.; Mori, I.; Nishimiya, H. Effects of two kinds of air conditioner airflow on human sleep and thermoregulation. *Energy and Buildings*. 2017, Vol. 138, 490-498.
- 26) 望月要佑, 前田和毅, 都築和代, 鍋島佑基. 冬季の避難所を想定した睡眠環境が人の生理反応に及ぼす影響に関する研究. *建学論*. 2018, Vol. 747, 465-472.
- 27) 鍋島佑基, 大畑瑛悠, 都築和代, 前田和毅, 望月要佑. 冬季の避難所を模擬した睡眠環境における人の主観申告に関する研究. *建学論*. 2019, Vol. 756, 143-150.
- 28) Tsuzuki, K.; Okamoto-Mizuno, K.; Mizuno, K. The effects of low air temperatures on thermoregulation and sleep of young men while sleeping using bedding. *Buildings*. 2018, Vol. 8, 76. DOI:10.3390/buildings8060076
- 29) 柴山依子, 加来純子, 都築和代, 米満友祐, 尼子智久, 伊藤亜衣, 山下裕也. 夏期のデシカント換気が生理反応及び睡眠効率に与える影響. *空気調和・衛生工学中部支部学術研究発表会論文集*. 2020, Vol. 21, 29-32.
- 30) 都築和代. “睡眠と体温調節に基づく室内温熱環境の評価に関する研究”. 2020. https://www.aij.or.jp/images/prize/2020/pdf/2_laward_003.pdf (閲覧 2023.6.15).