

## 避難所模擬環境が睡眠時の人体に及ぼす影響

The effect of thermal environment on sleep and thermoregulation with insufficient bedding  
assuming an emergency evacuation

関西大学 環境都市工学部 建築学科

Department Architecture, Faculty of Environmental & Urban Engineering, Kansai University

都築和代

TSUZUKI Kazuyo

キーワード：thermal environment (温熱環境), sleep (睡眠), thermoregulation (体温調節),  
bedding (寝具), emergency evacuation (緊急避難)

### 1. はじめに

近年、東日本大震災や熊本震災など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、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る。しかし、それらの施設は居住用ではないため、誰もが安心して暮らせる生活環境が提供されるとは限らず、避難者の健康を損なう可能性もあると考えられる。

避難所環境について実態を偶発的に調べることができた研究<sup>1)</sup>がある。それは調査研究期間中に東日本大震災を被災した高齢者のデータであり、貴重なデータであると考えられる。一方、一旦避難所が開設されると、その実態を調べることは容易ではない。その理由は、避難所が開設されるということは緊急事態を意味し、研究が入り込む余地は無いからである。しかし、避難行為が落ち着いた頃に問題点把握のための調査<sup>2)</sup>が実施されたり、模擬的な環境をつくり実態等が調べられている研究<sup>3)</sup>は散見される。それは、近年、大規模災害が頻発し、避難所を開設することは不可避であり、人々にとって身近な問題になってきているためであり、自治体等でも準備が必須となっている現状があると考えられる。

これまで住宅の温熱環境調査等の結果から、冬季に高齢者を含む多くの人々が暖房を入れず寝具を多用して低温環境で眠っていること<sup>4) 5)</sup>を明らかにする一方、低温環境において十分な断熱性の寝具を使って青年を被験者として睡眠実験<sup>6) 7)</sup>を実施してきた。その結果、体温<sup>6)</sup>や心拍変動<sup>7)</sup>には低温の影響が認められるものの、睡眠効率や睡眠深度へは明確な悪影響が認められないことを報告してきた。温度や湿度など温熱環境が睡眠へ影響を及ぼすことは知られており、高温高湿な環境では、寝具を使い裸体から着衣量が増えることによって、睡眠へ悪影響を及ぼすことを示してきた<sup>8)</sup>。よって、低温でも不十分な断熱性の寝具しか使用できない場合は、体温や睡眠深度へ悪影響が及ぶであろうと推察される。そこで、筆者らは冬季に大学体育館に模擬避難所環境を設営し、備蓄されている災害救助用毛布と一般の寝具を使用して青年を被験者として睡眠実験を実施した<sup>9) 10)</sup>。本論文では、筆者らの冬季の避難所模擬環境における睡眠と自宅での日常的な睡眠と体温調節を比較し報告する。また、それに先立ち、避難所や避難所模擬環境での実験等で睡眠に関する研究が既にいくつか実施されていることから、それらを文献調査してまとめ、現状把握とする。

### 2. 避難所・避難所模擬環境における温熱環境と睡眠についての文献研究

避難所での実態調査や避難所模擬環境での実験、ならびに、人工気候室において実施され査読済みの論文を表1にまとめた。対象は、睡眠という人の行動について測定、もしくは、睡眠時の生理反応の測定や主観申告などのデータが同時に取得されている論文を対象とし、環境のみやアンケートなどの項目で睡眠についての評価が実施されていないものは除外した。被災下での睡眠を扱った Mizuno ら<sup>1)</sup>の測定結果は余震のせいもあるかと考えられるが、睡眠効率は50~100%と前夜から平均値で約20%低下していた。そのため、翌日の日中には昼寝・仮眠も多く認められた。よって、昼寝や仮眠についても対象とした。

表1 避難所・避難所模擬環境における睡眠への影響に関する研究

文献番号	著者名	研究の種類	場所	目的	時期	参加者と性別	気温(°C)	相対湿度(%)	寝衣	寝具	入眠時	睡眠効率	生理測定	主観申告
1	Koh Mizuno, et al. (2014)	現場実測	自宅		2011/3/9~10	高齢(73歳)男性3人, 女性5人	12°C				10分	92%(82-100)	-	
			体育館	避難		2011/3/11~12		8°C				30分	75%(50-100)	-
11	Koh Mizuno et al. (2016)	現場実測(宿泊学習)	体育館	親と子の比較	7月土曜午後~日曜午前	8-9歳男子6人, 女子9人, 41歳男性5名, 女性2名	22.8°C	65-75%		ポリウレタンマットレス, 寝袋		キャンプで子どものみが就寝時刻が遅れ, 横臥時間, 睡眠時間が短い	-	騒音レベルの変化によって覚醒割合が増加, 床の固さが気になったのは成人
12	Kazuo Okamoto-Mizuno, et al. (2016)	屋寝実験	人工気候室	寝袋の下に段ボールを引いた場合と木の床のみを屋寝で比較	12月~2月	男性14名	15°C	60%	1.4clo(防寒ズボン, パンツ, 長袖ハイネットTシャツ, スウェット, フリース, 靴下)	寝袋	睡眠段階の潜時に差無し	83%と80%で睡眠効率に差は無いが, 段ボールを敷いた方が覚醒回数が有意に少なく, 睡眠段階	段ボールを敷いた方が背中皮膚温が有意に高い	段ボールを敷いた方が暖かい側で快適側
13	水野一枝ほか5名 (2017)	屋寝実験	人工気候室	木の床と段ボールベッドを屋寝で比較	12月~2月	男性12名	15°C	60%	1.95clo(長袖Tシャツ, トレーナー, 防寒ズボン, パンツ, 靴下, 長袖フリース, ダウンジャケット)	段ボールベッド, または, 1.8mm集材材に敷毛布1枚, 掛毛布1枚	睡眠段階の潜時に差無し	睡眠段階の出現時間に差無し	段ボールベッドの方が暖かい側, 快適側で柔らかい側	段ボールベッドの方が暖かい側, 快適側で柔らかい側
14	Kazuo Okamoto-Mizuno, et al. (2018)	現場実測(宿泊学習)	体育館	体育館と自宅の比較	7月土曜午後~日曜午前	10歳男子10人, 女子10人	24.7~26.9°C	68-73%	衣服重量体育館: 271g/m <sup>2</sup> , 自宅: 274~325g/m <sup>2</sup>	体育館: ポリウレタンマットレス, 寝袋, 自宅: 敷2.3枚, 掛1.2枚	体育館: 197分, 自宅: 5分	キャンプ: 45%, 自宅: 89%	-	騒音レベルの変化によって覚醒割合が増加, 床の固さが気になったのは成人
9 & 10	望月要佑ほか3名 (2017) 鍋島佑基ほか4名 (2018)	現場実測	体育館	布団と毛布を夜間睡眠で比較	1月~2月	男性12名	5°C	53%	0.76clo(パーカー, トレパン, スウェット上下, シャツ, パンツ, 靴下2枚)	3.1clo(敷布団1枚, 掛布団1枚), 1.3clo(敷毛布1枚, 掛毛布3枚)	差無し(毛布18分, 布団16分)	差無し(毛布86%, 布団91%)	皮膚温, 直腸温は毛布で有意に低下。1晩目の比較では毛布が有意に睡眠効率は低下	睡眠前よりも起床後の方が寒く深い, 特に手足が顕著に寒い・不快側。毛布で疲労感が増加, 睡眠感悪化
15	堀英祐ほか2名 (2021)	現場実験	地下街	夏, 秋, 冬を比較	8/21~23 11/12~14 1/27~29	男性4人 男性7人 男性5人	28.7°C 17.1°C 14-15°C	65% 73.80% 30-40%	クールビズ スーツ上下 スーツ上下, コート	段ボール 段ボール, 防炎用アルミシート	夏, 秋, 冬の順に長い	冬は夏・秋に比べて覚醒時間が長い	心拍R-R測定からの自律神経活動量(CCVTP)は差無し	-
16	西村一樹ほか3名 (2021)	実験	実験室	段ボールベッドとフィットネスマットレス	11月~12月	男性16名 (21歳)	24-21°C	23%	-	フィットネスマットレス, 段ボールベッドの上に敷布団, 掛布団	フィットネスマットよりも段ボールベッドの方が中途覚醒回数が有意に減少	有意差無し, 1分以上の覚醒頻度がフィットネスマットの方が有意に多い	手指R-R測定からの自律神経活動量(CCVTP)は, 有意差無し	フィットネスマットよりも段ボールベッドの方が主観的熟睡感が高い

### 3. 避難所模擬環境における睡眠実験

#### 3.1 方法

##### (1) 実験条件と手順

就寝環境は、避難時を想定して学内災害救助倉庫に備蓄されている 2m×2m×1mの段ボール製パーティションと災害救助用毛布4枚(敷1枚、掛3枚)を使用して就寝する毛布条件(以下、毛布と記す)と、普通の一組の布団(敷布団1枚、掛布団1枚)を使用して就寝する布団条件(同様に、以下、布団と記す)の計2条件を設定した。また、布団条件では段ボール製パーティションは使用せず、災害用寝具

(毛布条件)での睡眠と通常寝具(布団条件)での睡眠の比較を行った。図1に実験環境の平面図、パーティション、ならびに、使用した毛布の就寝環境と布団の就寝環境の実験風景を示す。実験を行った武道場は北面、東面が全面、南面の一部が外気と接している構造となっている。窓については、北面、東面の上部と下部に小窓が設けられており、南面の一部に引き戸が設けられている。

使用した寝具の諸元とサーマルマネキンによる断熱性の測定結果を表2に示す。clo値については、各条件で使用する寝具をすべて(毛布:敷1枚、掛3枚、布団:敷1枚、掛1枚)使用した際のclo値となっている。被験者の服装は、上半身はインナーシャツ、トレーナー、パーカーを着用し、下半身は下着、スウェットパンツ、ジャージに統一し、サーマルマネキンによる測定の結果、熱抵抗値は0.76 cloであった。



図1 実験環境の配置図、パーティション、毛布条件、布団条件

表2 寝具の条件

	毛布条件		布団条件	
	掛け	敷き	掛け	敷き
	毛布3枚	段ボール+毛布1枚	掛け布団1枚	敷き布団1枚
材料	ポリエステル 100%		ポリエステル 100%	
重量(kg)	1.4		2.1	2.7
熱伝導率(W/m <sup>2</sup> ·K)	0.033	0.096	0.052	0.041
熱抵抗値(m <sup>2</sup> ·K/W)	0.327	0.121	0.690	1.313
Clo値(clo)	1.3		3.1	

## (2) 測定方法

環境側測定項目の詳細を表3に、生理測定項目の詳細を表4に示す。温熱環境の測定項目については、外気の温湿度、各就寝環境の頭部付近と足元付近の温湿度、寝床内気候を30秒間隔で測定した。足元付近の温湿度測定の結果は、頭部付近の温湿度とほとんど差がなかったため、本稿では頭部付近の温湿度を室内温熱環境として扱う。就寝中の音環境の測定は、被験者の近傍で騒音計を用いて10秒間隔で測定した。生理測定項目については、皮膚温7点(前額、胸部、上腕、大腿、下腿、足甲、背中)、直腸温、心拍、活動量の測定を行った。皮膚温については皮膚温センサーを各部位にサージカルテープを用いて貼付し、直腸温については直腸温センサーに使い捨てのゴムカバーで被覆し、その上にワセリンを塗布して、約10cm肛門から直腸に挿入し留め置いた。皮膚温はHardy&DuBoisの7点法の変法を使用し、平均皮膚温Tskを算出した。2種類の寝具によって形成される睡眠環境の影響を比較するために、寝床内気候は、掛布団や毛布の内側の腰部分で測定を行った。

活動量はアクチグラフ<sup>5), 注1)</sup>によって測定を行い、Coleらのアルゴリズム<sup>17)</sup>による解析ソフトAW2を使用し、睡眠効率(Sleep Efficiency Index, SEI)、中途覚醒回数(Wakefulness(N))、中途覚醒時間(Wakefulness(min))、入眠潜時(Sleep Onset Latency, SOL)、睡眠時間(Sleep time)などの睡眠変数の算出を行った。睡眠効率は、以下の式(1)によって算出を行う。

$$\text{睡眠効率(\%)} = \frac{\text{睡眠時間}}{(\text{睡眠時間} + \text{中途覚醒時間})} \times 100 \quad (1)$$

表5に主観的申告を受けた項目と時機を示す。被験者は、睡眠前と起床時に温冷感、快適感、疲労感について申告した。睡眠感はOSA睡眠調査票MA版<sup>18)</sup>を用いて調査した。OSAの得点は母集団の標準化得点の平均を50点とZ値化している。

表3 環境の測定項目

測定項目	測定点	測定機器	精度	測定間隔
温度(°C)	室内空気	頭部付近	T型熱電対, おんどとり TR-74	±0.5°C
	グローブ	頭部付近		
	寝床内	掛布団内部の腰部		
	外気	武道場南側		
	床面	各寝床腰部		
				30秒
相対湿度(%)	室内空気	頭部付近	おんどとり TR-74i	±5%
	寝床内	掛布団内部の腰部		
	外気	武道場南側屋外		

表4 生理測定項目

測定項目	測定点	測定機器	精度	測定間隔
皮膚温度	7点	サーミスタ温度計	0.1°C	30秒
直腸温	直腸内部10cm程度	サーミスタ温度計		
睡眠変数	非利き腕	アクチグラフ	-	
心拍	胸部3点	アクティブトレーサー	0.001秒	1kHz

表5 主観申告項目

主観申告項目	測定方法	測定間隔
温冷感	9段階評価	睡眠前後
快適感	7段階評価	
疲労感	4段階評価	
自覚症状	自覚症しらべ(産業疲労研究会)	
自覚的睡眠	OSA睡眠調査票MA版(日本睡眠改善協議会)	起床時

実験夜に被験者は22:30に武道場に集合し、各種センサーを装着し、その後、23:45まで各就寝環境にて安静をとった。23:45よりアンケートを記入し、24:00に消灯し、翌朝7:00までの計7時間の睡眠をとった。実験前の行動は、日中は普段通りに授業やサークル活動、アルバイト等を許可し、入浴、食事については被験者の自由とした。その際、睡眠に障害をきたすため、実験夜の飲酒は禁止とした。また、消灯後の活動については、スマートフォンや携帯等の電子機器の使用の一切を禁止し、被験者間の会話等も禁止した。被験者は1人当たり布団と毛布の2条件をそれぞれ1回ずつ参加する。測定は1晩につき4人(毛布:2人、布団:2人)同時に行い、計6日(延24人)行った。実験データに偏りがないよう、第一夜目を毛布から6人、布団から6人と統制した。

2種類の寝具によって形成される睡眠環境の影響を比較するために、t検定を用いて睡眠変数等の平均値に差があるかどうかを統計的に評価した。二元配置分散分析(2-ANOVA(条件×時間))によって睡眠変数や皮膚温、直腸温、心拍数および寝床内気候を評価した。主観申告については寝具2条件と就寝前・起床後の2条件として、二元配置の分散分析を用いた。p<0.05の場合に有意差が有るとして、本文や図中に記載した。

### 3.2 結果と考察

#### (1) 屋内外の温湿度および寝床内気候

実験を行った6日間の夜0時から翌7時までの頭部付近および外気温の平均値の時間変動を図2に示す。実験を行った6日間の天候については全日晴れであった。就寝開始時の室内平均気温は約5.9℃、明け方は約3.6℃と2℃程度低下しているが、室内湿度は53%前後で安定している。岡本らによる冬季体育館内の温熱環境調査<sup>19)</sup>では、夜間の外気温が0℃付近で安定している場合、体育館内温度は明け方で6℃以下となることが報告されているため、特別な断熱措置が施されていない冬期体育館内は非常に寒冷な温熱環境になることが確認できた。また、布団と毛布でそれぞれ就寝時の頭部付近の気温の変動は、約0.1℃とほぼ差を認めない。このことから段ボール製パーティションによる就寝環境の熱的な改善はほとんどないと考えられ、毛布と布団の両条件において、ほぼ同一睡眠温熱環境であったことが確認できた。寝床内気候の温度と相対湿度の平均値の時間変動を図3に示す。毛布と布団の平均寝床内気候の時間変動を比較すると、消灯後、布団では寝床内温度が3:00付近まで上昇しているのに対し、毛布では1:30頃からほぼ一定で推移しており、相対的に毛布の方が低温となっていることが確認できる。平均寝床内温度は毛布が22.2 (SD ±1.7) °C、布団が23.8 (SD ±1.7) °Cとなり、毛布が1.6℃低い温度になることが確認できた。平均寝床内湿度についても、毛布が33.8 (SD ±2.8) %、布団が37.7 (SD ±2.0) %となり、毛布の方が低い結果となった。これらの結果は表2に示すように、両寝具の断熱性能が異なり、毛布の方がc10値が低いため、寝床内気候も毛布の方が低い値となったと考えられる。Tsuzukiら<sup>6)</sup>では、同一の寝具を使用して3℃、10℃および17℃の環境下での就寝時、寝床内温度はほぼ同一の温度で変動を示していた。本研究との違いは、Tsuzukiらの寝具c10値が高かったためと考えられるが、本研究では使用する寝具により形成される寝床内気候が大きく異なった。以上のc10値および寝床内気候の結果から、本研究で用いた毛布は布団よりも、周囲環境からの断熱特性および寝床内の保温性能が劣っていたことが確認できる。

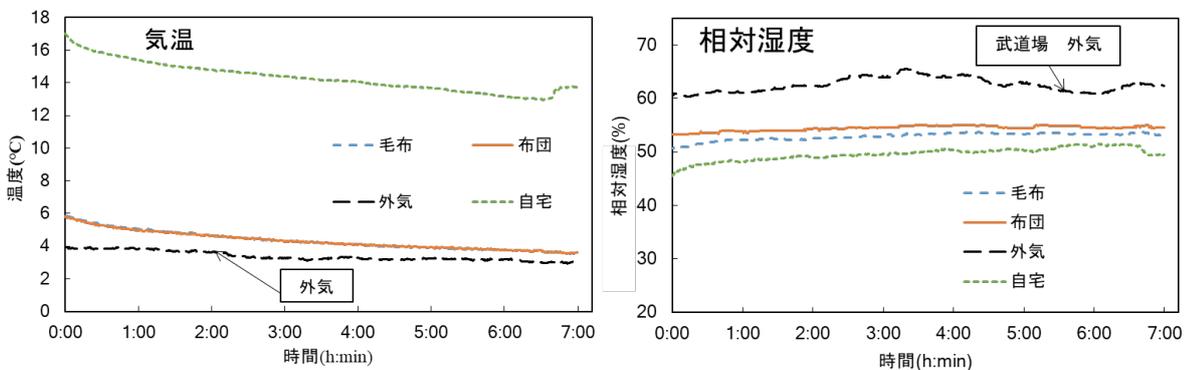


図2 外気温と周囲気温、湿度

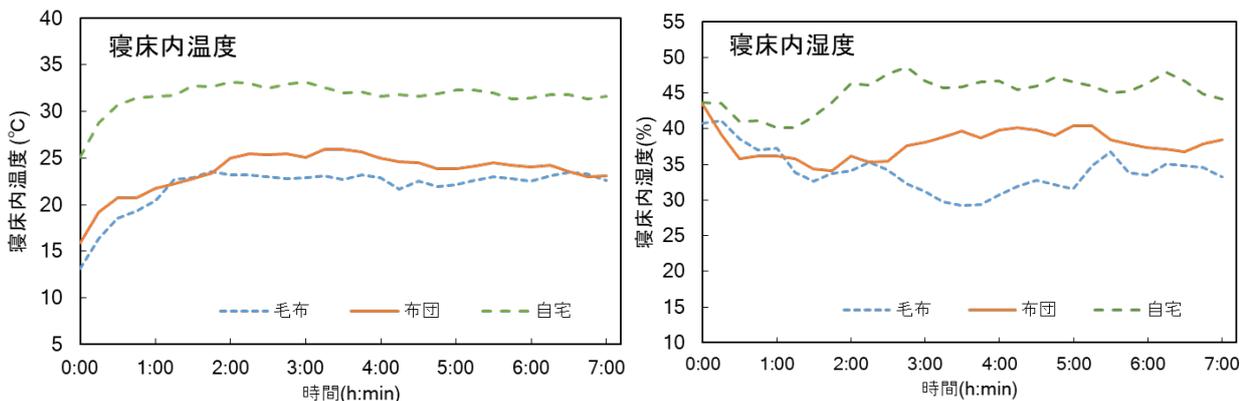


図3 寝床内温度・湿度

## (2) 皮膚温および直腸温

毛布と布団の両条件における前額皮膚温、足背皮膚温、平均皮膚温、直腸温を15分間隔で平均した時間変動の結果を図4に示す。前額については、両条件とも消灯後に一時的に上昇するが、その後、約29℃前後で翌7:00まで比較的安定した温度であった。足背については、両条件間に大きな差が見られ、毛布で翌7:00まで低下し続けていた。一方、布団については、約28℃程度で安定している。平均皮膚温は、消灯後、徐々に上昇し、1:00頃から毛布では約32℃、布団が約33℃で安定、その後、徐々に低下している。また、全時間帯で布団が毛布より高くなる結果となり、2つの条件間に有意水準5%の有意差が確認された。先に述べた寝床内気候の結果をみても、両条件間に1.6℃の差があることや、clo値に大きな差があるため、毛布では低温な寝床内気候しか形成できず、平均皮膚温は有意に低下したと考えられる。また、森ら<sup>20)</sup>の研究において、足背や手背皮膚温の変動が著しく、足背に至っては起床まで低下し続けることも報告されており、就寝前において末梢部皮膚温が著しく低い場合、入眠潜時が長くなるなどの報告がなされている<sup>21)</sup>。今回、睡眠中の末梢部皮膚温低下が著しいことから、今後主観申告との関係等について検討していきたい。

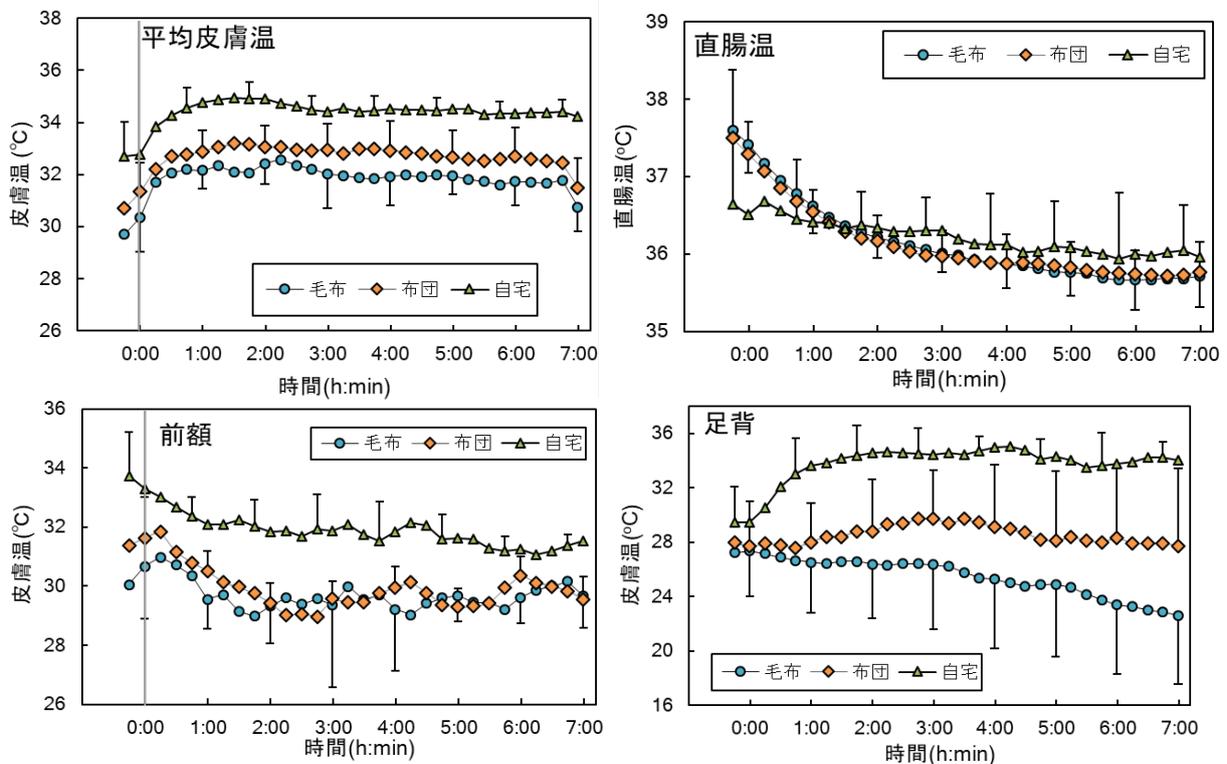


図4 直腸温、平均皮膚温と各部位皮膚温

寝床内気候とは人体からの放熱が寝具によって遮られて作られた寝具と人体との間のすき間の温湿度等を指す。寝床内気候に両条件間で有意な差はないが、わずかに布団の方が寝床内温度は高く、また、今回は測定できなかったが、人体と寝具との密着性には違いがあると考えられる。寝具と人体との密着性が低いために、寝床内空間が形成され、そのために人体からの放熱が拡散し、寝床内温度が低下することによって、いっそう末梢部皮膚温が低下した可能性があるかと推察される。これらのことから、寝具の断熱性能だけでなく、寝具の柔軟性・密着性など寝具と身体との適合度などについて検討が必要であろう。

直腸温については、両条件の時間変動にほぼ差はなく、消灯から起床にかけて2℃程度の温度低下が確認でき、明け方で35.7℃前後まで低下している。今回の直腸温の低下は、低体温症のひとつの目安である35℃付近まで低下しているため、布団のような通常寝具であっても、冬季避難所内での就寝環境の工夫および改善が必要であると考えられる。また、布団を使用する際に首以下の部分を布団により覆うこと

が一般的である。唯一環境に直接暴露されている部位である頭部が周囲の低温環境に暴露されていることから直接経皮冷却され、また、呼吸時の給気を通じて気道が冷却されることが、体内温である直腸温の低下に関係していると Tsuzuki<sup>7)</sup>では示唆している。本研究では、それぞれの実験日に各条件2名ずつがほぼ同一の温熱環境下で睡眠実験を行ったため、各被験者で頭部冷却における体内温への影響がほぼ同じであったと考えられる。よって、前額皮膚温と体内温である直腸温の変動については、使用する寝具の差ではなく、就寝する温熱環境に依存している可能性が示唆された。

森ら<sup>20)</sup>の結果では、室温4℃程度の環境下での睡眠中、平均皮膚温が30℃から32℃程度で推移していることを示しており、本研究の平均皮膚温の結果は妥当性があると考えられる。しかし、既報では寝具等についての詳細な情報については言及されていないため、本研究においての結果は、寝具および温熱環境の影響を踏まえた今後の避難所運営および低温環境下での就寝に対する具体的な指標となりうると考えられる。しかし、各部位皮膚温や直腸温については有意な差を確認することが出来なかった。以上の結果から、今回使用した毛布のような寝具の断熱性能が低く、低温な寝床内気候を形成する寝具を使用し、低温環境下で就寝することは、末梢部皮膚温を低下させ、平均皮膚温度を有意に低下させる傾向が確認された。今後の冬季の避難所等における寝具の必要要件を示すことができたと考えられる。

### (3) 睡眠変数への影響

布団と毛布の両条件における睡眠変数の結果を表6に示す。睡眠効率は毛布で約86%、布団で約91%となり、毛布の方が睡眠効率は低くなったが、統計的に有意な差は認められなかった。また、中途覚醒回数や中途覚醒時間などでは毛布の方が高い値となったため、毛布を使った睡眠変数は布団使用時よりも劣っていたと推察される。しかし、各睡眠変数の分散が大きいため、布団使用時と毛布使用時との間に有意な差は確認できなかった。Tsuzukiら<sup>6)</sup>の結果は、室温3℃程度の低温環境下の睡眠でも、睡眠効率が約94%と比較的高い睡眠効率が維持できていた。これは寝具の断熱性能が高く、比較的快適な寝床内気候が形成されていたため、低温環境下でも高い睡眠効率を維持できたと考えられ、本研究のように低温環境下で毛布のような寝具の断熱性能が低く、低温な寝床内気候を形成する寝具を使用した場合に、睡眠を悪化させる可能性が示唆された。また、自宅での睡眠時に室温は14℃程度と暖房されており、そのうえ寝具も多様されていたため睡眠効率は98%となった。急に低温環境で寝具不足での睡眠となり、被験者個人の普段の睡眠習慣や不慣れた環境への適応能力の違いが大きく関わってきているのではないかと推察される。

次に、緊急避難時を想定し、最も影響を受けやすいと考えられる第一夜目の結果について布団と毛布についての比較を表7に示す。毛布の方が、睡眠効率、睡眠時間において有意水準5%で有意に低くなり、中途覚醒時間は有意に増加した。また、入眠潜時を除く全ての睡眠変数において有意水準10%で毛布の方が悪い結果となり、布団のほうが良好な睡眠が取れている結果となった。Mizuno<sup>1)</sup>では、東日本大震災発生時、睡眠時間などが震災前夜と比較し、有意に悪化したという結果が報告されている。この場合は災害による心的ストレスの影響が考えられるが、それらが除かれている本研究のような場合においても、また、睡眠に障害のない健康な青年男子であったとしても、緊急避難時に使用される寝具を使用しての低温環境下での就寝は、睡眠が悪化する可能性があることが明らかになった。

表6 睡眠変数

	毛布 (n=11)	布団 (n=12)	自宅 (n=12)
睡眠効率 (%)	86.4 ± 10.1	91.2 ± 6.9	98.3 ± 2.5
中途覚醒回数(N)	20.3 ± 9.6	15.1 ± 7.9	9.4 ± 4.9
中途覚醒時間(min)	69.9 ± 39.4	50.0 ± 32.7	20.6 ± 18.4
入眠潜時 (min)	18.0 ± 20.1	16.0 ± 10.1	13.4 ± 17.0
睡眠時間(min)	348.4 ± 40.4	368.3 ± 32.4	400.8 ± 19.1

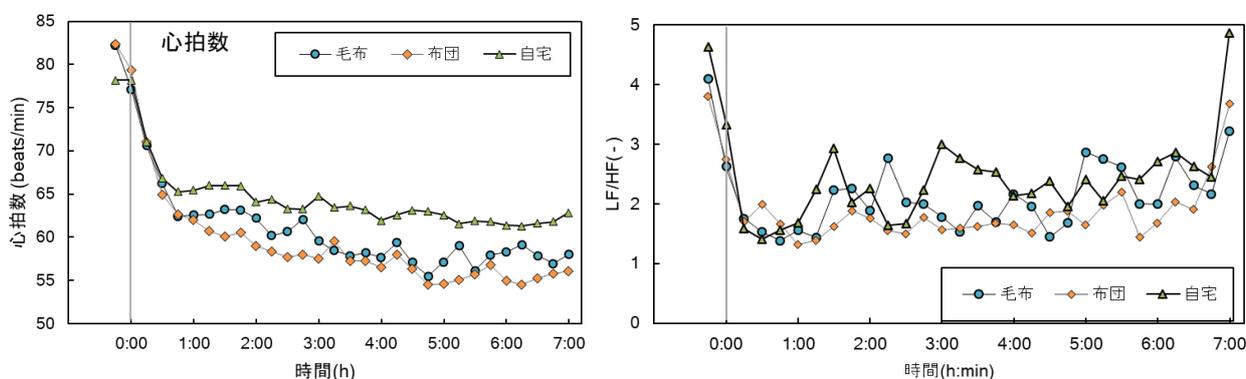
表7 体育館での第一夜

	毛布 (n=6)	布団 (n=6)
睡眠効率 (%)	84.6 ± 8.0	93.9 ± 4.1
中途覚醒回数(N)	22.1 ± 9.4	12.3 ± 6.3
中途覚醒時間(min)	75.8 ± 34.7	36.0 ± 18.4
入眠潜時 (min)	18.7 ± 19.6	14.5 ± 13.7
睡眠時間(min)	342.5 ± 38.3	382.3 ± 18.5

(4) 心拍数および LF/HF

毛布と布団の両条件の心拍数と LF/HF を 15 分間隔で平均した時間変動を図 5 に示す。心拍数は消灯前に比べ、消灯後は 0 : 45 まで著しく低下し、その後は起床前まで徐々に低下している。両条件の心拍数はほぼ同じ変動を示し、平均値に有意な差は認められなかったことから、寝具を使った低温環境下での睡眠による心拍数への影響は小さいものと考えられる。LF/HF の時間変動は、消灯後、一時的に低下するが、時間経過につれ徐々に上昇する傾向が確認できた。入眠時の LF/HF が高い理由は、被験者がセンサーの装着のために直前まで活動していたことが原因と考えられる。その後、翌朝 7 : 00 まで両条件ともに徐々に上昇しているのが確認できる。また、毛布に関しては、LF/HF の変動が比較的大きいため、よりストレスを感じていると考えられる。さらに、一晩の LF/HF の平均値は毛布が 2.0 (SD±0.6)、布団が 1.8 (SD±0.6) と毛布の方が高くなっていった。有意差はなかったものの、毛布使用時の低温環境下での就寝は布団使用時に比べ、より心臓自律神経活動において交感神経の活性が増し、ストレス状態にあったと考えられる。Okamoto-Mizuno<sup>7)</sup>では、就寝する温熱環境と、睡眠段階によって LF/HF の特徴が異なることが示唆されている。しかし、それは室温が高くなるほど LF/HF も高くなるという結果であり、本稿の研究結果とは相対するものとなった。この不一致の結果については、測定方法や比較方法の違いなど今後さらに詳細に検討する必要がある。本研究では、同一の低温環境下での就寝時の比較を行っているため、冬季の寒冷的な環境では、より寝具を充実させ、十分な寝床内気候および寝具の断熱性能を確保することが自律神経活動への悪影響を少なくできると考察できる。また、今回、寝具と人体との密着性や接触感、さわり心地のような触覚に関わる自律神経活動を分離して測定することができなかった。今後は、それらについての測定法も検討し、避難所での寝具に関わる要件について考慮して解明を続ける必要があると考えられる。

図5 心拍数と LF/HF への影響



(5) 主観申告への影響

睡眠前と起床後の温冷感と快適感の結果を図 6 に示す。睡眠前の快適感・温冷感は布団と毛布の両条件間で有意差は無く、全体的に寒い・不快側の申告であった。その中でも手と足は他の部位に比べより寒く感じており、身体の末梢部が低温の影響を受けやすいことが示された。起床後については、両条件ともに睡眠前より寒さ・不快感が増加した申告が多かった。手や足よりも上半身や下半身で、また、布団よりも

毛布条件で寒い側の申告の増加が大きかったが、布団条件では頭、手においては寒い側の申告の改善が認められた。気温 3℃～17℃の寒冷環境で実施された研究<sup>6)</sup>では起床後は睡眠前よりも中立側に申告は変化し、全身、頭部、足部ともに寒さが緩和されていた。本結果は室内温度が 5℃程度と大差無いにも関わらず、起床後に寒さや不快感が増したのは、寝具の断熱性が低かったためと推察される。

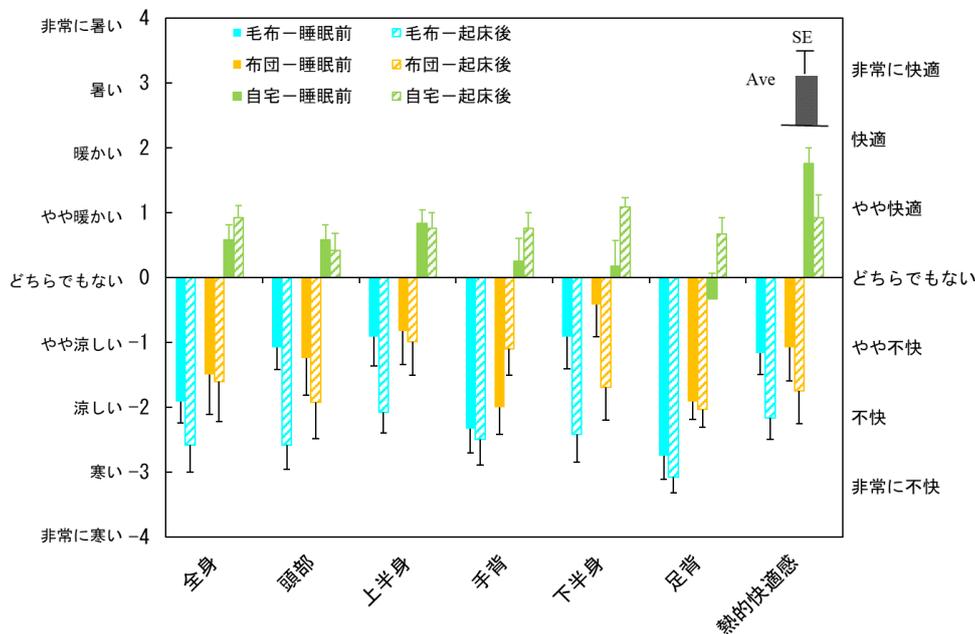


図6 睡眠前、起床後の温冷感と快適感

OSA 睡眠調査票 MA 版の因子別得点を図 7 に示す。Ⅲ因子（夢み）を除いて、Ⅰ因子（起床時の眠気）、Ⅱ因子（入眠と睡眠維持）、Ⅳ因子（疲労回復）、Ⅴ因子（睡眠時間）の 4 因子全てにおいて 50 未満であることから自覚的な睡眠の質が低いことがわかる。布団と毛布の比較では、布団に比べて毛布の方が因子Ⅱ（入眠と睡眠維持）・因子Ⅴ（睡眠時間）において有意に低くなり、因子Ⅲ（夢み）において有意に高くなった。また、自宅での睡眠結果と比較すると、因子Ⅲ（夢み）のみが同等、むしろ、中途覚醒が増え睡眠効率が低下していた毛布が最も高くなった。他のⅠ因子（起床時の眠気）、Ⅱ因子（入眠と睡眠維持）、Ⅳ因子（疲労回復）、Ⅴ因子（睡眠時間）の 4 因子については自宅での評価がもっとも高くなり、物理的測定と主観申告が一致していた。

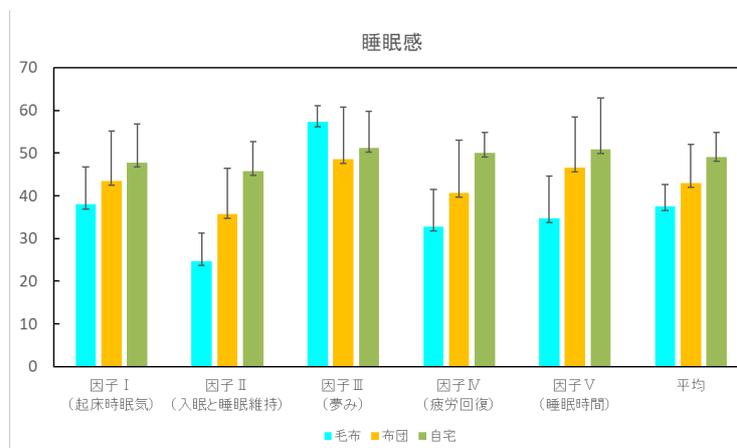


図7 OSA 調査票による睡眠感への影響

### 3.4 まとめ

冬季に大学体育館内武道場にて避難所を想定し、災害救助用毛布 4 枚と段ボール製パーティションによ

って就寝する睡眠環境と通常の布団 1 組によって就寝する睡眠環境の 2 条件を設定し、寒冷環境下の避難所で人が睡眠した際の影響を被験者実験によって明らかにすることを目的として研究を行った。

1) 各睡眠変数を災害救助用毛布と通常布団を使用した場合と比較したところ、有意な違いを確認できなかった。しかし、普段通りの睡眠をとった自宅での睡眠に比べると、中途覚醒時間は毛布で 3.5 倍、布団で 1.5 倍程度に増加し、結果として睡眠効率については 7~12%低下していた。さらに、緊急避難時を想定して、1 夜目の結果だけで比較したところ、災害救助用毛布の方が中途覚醒時間は増加し、睡眠時間が減少して、結果として睡眠効率が低下し、通常布団で就寝した場合の睡眠に比べ、有意水準 5%で有意に睡眠が悪化していた。このことから、緊急避難時に断熱性能が低い寝具を使って低温環境下で就寝することは、睡眠を悪化させることが明らかになった。

2) 皮膚温および直腸温は、災害救助用毛布を使用した睡眠時に末梢部皮膚温が睡眠中に大きく低下する傾向が確認され、平均皮膚温が有意に低くなった。これは、寝具と人体との間に形成される寝床内気候が低温であった影響と推察される。また、直腸温の低下については 2 条件間で差が認められず、就寝中低下し続けたため、使用する寝具の差ではなく、就寝する温熱環境に依存している可能性を示唆していた。

3) 時間変動における心拍数および LF/HF に有意な差は確認できなかった。しかし、災害救助用毛布での睡眠は、通常布団よりも LF/HF の変動が比較的大きく、LF/HF の平均値は災害救助用毛布を用いた睡眠において高かったことが確認された。したがって、有意差はなかったものの、災害救助用毛布のような不十分な寝具を用いて、低温環境下で就寝することは、心臓自律神経活動に影響を及ぼし、LF/HF の値が高いためストレス状態にあったと推察された。このことは末梢部皮膚温や平均皮膚温の有意な低下からも推察される。

4) 温冷感上半身・下半身は睡眠前よりも起床後の方が寒い申告となり、布団よりも毛布条件の方がより寒い側申告であった。手足は睡眠前後で変わらず寒いと申告されており、末梢部は低温の影響を受けやすいことが確認された。快適感は睡眠前よりも起床後の方がより不快側申告になった。

5) OSA 得点は因子Ⅲ(夢み)を除くと布団・毛布条件ともに 50 未満となった。自宅、布団、毛布の順に OSA 得点は低くなったことから、生理測定である睡眠効率と同様の結果となり、睡眠の生理測定と主観測定が一致傾向となった。

本研究は睡眠に問題のない健康な青年男性を被験者として採用し、日頃から使い慣れている武道場において睡眠実験を行った。しかし、第一夜目は中途覚醒時間が増加し、睡眠時間が短くなり、睡眠効率が低下した。このことは、突然災害から避難し、不安を抱えながら見知らぬ人々と一緒に就寝する災害時を完全に反映しているとは言えないが、場所と寝具が異なり、寝具の断熱性が不十分な場合には、寒冷環境は睡眠に影響を与えていると考えられる。さらに高齢者などの環境からの影響を受けやすい人を対象とした研究が必要であると考えられる。また、避難所での睡眠に関わる寝具等の要件についても、健康を維持するという観点で検討し研究を進めていく必要がある。

#### 4. おわりに

避難所・避難所模擬環境における睡眠に関しての研究は数も限られており、今後さらに寝具との関係についてなど研究を進めて行く必要があると考えられる。

#### 謝辞

本研究を遂行するにあたり、協力を頂いた研究室の皆様、被験者として参加して頂いた豊橋技術科学大学学生・院生の皆様に、深甚なる謝意を記します。

注) 本稿は既発表論文(参考文献 9) 10)) をもとに、加筆・修正を行い、再構成したものである。

#### 参考文献

1) Ko Mizuno, Kazue Okamoto-Mizuno, Actigraphically evaluated sleep on the days surrounding

the Great East Japan Earthquake, Natural hazards DOI 10.1007/s11069-014-1048-0 2014.1

- 2) 飯野由香里, 倉淵隆, 小笠原岳, 湯浅梢: オフサイト避難所における生活 境の実態, 日本建築学会技術報告集, 第18巻, 第40号, pp1009-1012, 2012.10
- 3) 浜田祐章, 森太郎, 南真一 他6名: 厳冬期における避難所の温熱環境調査, 日本建築学会北海道支部研究報告集, No.87, pp.235-238, 2014.6
- 4) 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, 38(1), 23-32, 2001年
- 5) Okamoto-Mizuno K, Tsuzuki K., Effects of season on sleep and skin temperature in the elderly., Int J Biometeorol. 2010 Jul;54(4):401-9.
- 6) Tsuzuki Kazuyo, Kazue Okamoto-Mizuno, Koh Mizuno, The effects of low air temperatures on thermoregulation and sleep of young men while sleeping using bedding, Buildings, 2018, 8(6), 76, 2019年 DOI: 10.3390/buildings8060076
- 7) Okamoto-Mizuno K, Tsuzuki K, Mizuno K, Ohshiro Y. Effects of low ambient temperature on heart rate variability during sleep in humans. Eur J Appl Physiol. 2009 Jan;105(2):191-7.
- 8) Tsuzuki K., Kazue Okamoto-Mizuno, Koh Mizuno, Effects of humid heat exposure on human sleep stage, melatonin secretion and thermoregulation during nocturnal sleep, Journal of Thermal Biology 29, 31-36, 2004
- 9) 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 共著 2018年5月 日本建築学会環境系論文集 747:465 - 472
- 10) 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 共著 2019年2月 日本建築学会環境系論文集 756:143-150
- 11) Koh Mizuno, Kazue Okamoto-Mizuno, Motoko Tanabe, Katsuko Niwano, Sleep in a gymnasium: A study to examine the psychophysiological and environmental conditions in shelter-analogue settings, International Journal of Environmental Research and Public Health 13(12) 2016.12
- 12) Kazue Okamoto-Mizuno, Koh Mizuno, Motoko Tanabe, Katsuko Niwano, Effect of cardboard under a sleeping bag on sleep stages during daytime nap, APPLIED ERGONOMICS 54 27-32 2016年5月
- 13) 水野 一枝, 水野 康, 西山 加奈, 田邊 素子, 水谷 嘉浩, 小林 大介, 段ボールベッドが低温環境での入眠過程に及ぼす影響, 日本生気象学会雑誌, 54(2) 65-73, Sep, 2017
- 14) Kazue Okamoto-Mizuno & Koh Mizuno & Motoko Tanabe & Katsuko Niwano, Effects of the environment of a simulated shelter in a gymnasium on sleep in children, Int J Biometeorol. 2018 Nov;62(11):2015-2023. doi: 10.1007/s00484-018-1608-1. Epub 2018 Sep 4
- 15) 堀英祐, 原英嗣, 村上公哉, 帰宅困難者一時滞在を想定した地下街空間の温熱環境の把握と睡眠環境下における身体的影響に関する研究, 日本建築学会環境系論文集 86(779) 69-77 2021年1月
- 16) 西村 一樹, 玉里 祐太郎, 小野寺 昇, 長崎 浩爾, 夜間睡眠中のダンボールベッドとフィットネスマットの使用が生理的および心理的指標に及ぼす影響, 日本生気象学会雑誌 58(1), 17-23, 2021
- 17) Roger J, Cole. Daniel F, Kripke. et al.: Automatic Sleep/Wake Identification From Wrist Activity, American Sleep Disorders Association and Sleep Research Society, Sleep, Vol.15, No.5, pp.461-469, 1992
- 18) 山本由華吏, 田中秀樹, 高瀬美紀, 山崎勝男, 阿住一雄, 白川修一郎: 中高年・高齢者を対象としたOSA睡眠感調査票(MA版)の開発と標準化. 脳と精神の医学 10: 401-409, 1999
- 19) 岡本卓也, 水谷国男, 鹿内勇太, 角田正,: 寒冷・暑熱室内環境下における人体生理反応と熱ストレスに関する研究 (その1) 避難時を想定した冬季の体育館内の温熱環境と人体生理反応に関する実測, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 草津, pp.1983-1986, 2008.8
- 20) 森太郎, 定池祐季, 桑原浩平, 他3名: 寒冷地における厳冬季被災時の住宅と避難所の温熱環境, 日本建築学会技術報告集, 第22巻, 第52号, pp.1021-1026, 2016.10

21) Pache, M. Kräuchi, K. Cajochen, C. Wirz-Justice, A. Dubler, B. Flammer, J. and Kaiser, HJ. : Cold feet and prolonged sleep-onset latency in vasospastic syndrome, Lancet, Vol. 358, No. 9276, pp. 125-6, 2001. 7