

## 災害時における避難所の現有備品と「遮冷ユニット」による冬季の就寝環境 被験者実験と放射エクセルギー評価

### Existing Equipment at the Evacuation Centers and Sleeping Environment Utilizing "Cold Shielding Unit" at the Time of Disaster in Winter Subjective Experiments and Evaluation of Radiation Exergy

学生会員 ○堤 晴季 (札幌市立大学) 正会員 斉藤 雅也 (札幌市立大学)  
非会員 櫻井 英文 (札幌市)

Haruki TSUTSUMI\*<sup>1</sup> Masaya SAITO\*<sup>1</sup> Hidefumi SAKURAI\*<sup>2</sup>

\*<sup>1</sup> Sapporo city University \*<sup>2</sup> City of Sapporo

Cold exposure of victims is a serious problem in evacuation centers during winter disasters. The authors thought that this problem could be solved by a "Cold Shielding Unit" created by wrapping an aluminum membrane around the outer surface of the roof and walls of an outdoor tent. Subjects' votes of cognitive temperatures, and the results of MRT show that heat load and thermal discomfort for evacuees can be reduced by "Cold shielding unit". The "Cold shielding unit" could increase the warm radiant exergy and decrease the coldness sensation that the evacuees for evacuation center.

#### 1. 背景

冬季の自然災害発生時の指定緊急避難場所 (以下、避難所) において被災者の健康被害が懸念されている。復興庁の震災関連死に関する検討会によると、東日本大震災時の関連死について、調査対象の市町村から「冷たい床の上に薄い毛布 1 枚を敷く。」「寒いため布団の中に入ることが多かった。体も動かなくなり、食事も水分も取らなくなってきた。」ことが原因であるとの報告<sup>1)</sup>があり、段ボールベッドを使用して、床面から距離を取った就寝環境を確保することで、寒冷曝露による低体温症やエコノミークラス症候群のリスク低減を図ることが求められる。

以上に加えて、避難所の生活空間では、プライバシーやスペースが十分に確保されていないことで、心理的・身体的な負荷がかかり、関連死や健康被害が生じていることも報告されている。これを軽減するには、段ボールベッドや災害用寝袋などの物資 (以下、備蓄物資) のほかに、自治体や自衛隊から供給される間仕切りや避難所用テントなどの物資 (以下、供給物資) を使った対応が想定される。しかし、発災時は備蓄物資の不足や供給物資の輸送路が絶たれることが想定される。

避難所の多くは小・中学校 (体育館) や町内会施設だが、これらの施設には催事時に使う屋外用テントがある。

本研究では、避難所では本来、避難滞在時での利用が想定されていない屋外用テントや椅子などの備品 (以下、現有備品) を活用することを想定して、以上の問題を緩和・解決することを目指すことにした。

#### 2. 目的

本研究の目的は、後述する「遮冷ユニット」が夜間の天井面への放射を低減し、睡眠中の避難者に生じる寒冷感覚を和らげ、熱的な不快感をもたらさない効果があるかを冬季に被験者実測を行なうことで明らかにすることとした。

本研究では、図-1 に示す、屋外用テントの屋根や壁材の外表面をアルミ製膜で覆った「遮冷ユニット」を制作し、体育館の現有備品としてある椅子 (幅 460mm, 奥行, 480mm, 高さ 730mm, 座面高さ 410mm, 脚部: スチール製, 座面: ビニールレザー, 8脚) と段ボール (3枚) によって作成した簡易ベッド (以下、椅子ベッド) と寝袋 (備蓄物資) を組み合わせた空間を提案した。さらに、遮冷ユニットの有無による避難者近傍の熱環境と体感申告による評価実験を行なった。遮冷ユニットに巻き付けたアルミ製膜は、避難者の熱的な負荷を軽減するため、災害時にエマージェンシーシートとして利用される (写真に示される部分の材料費: 19185 円/2023 年 2 月現在)。



図-1 遮冷ユニットの外観

### 3. 研究方法

本研究では、2023年の1月に予備実測、2月に本実測の二段階による調査を行なった。1月の調査は、避難所の一つに指定されているA小学校(札幌市豊平区)の体育館にて、3種類の就寝環境(後述)を想定し、被験者近傍の熱環境実測を行なった。その結果を参考にして2月の本調査では「遮冷ユニット」の形状を決定し、本学芸術の森キャンパスの体育館(札幌市南区)にて「遮冷ユニット」の有無による被験者実験・申告調査を行なった(表-1)。

### 4. 結果と考察

#### 4.1. 事前調査(各就寝環境の検証)

図-2は、体育館と、想定した3種類の「①寝袋+毛布」・「②段ボールベッド+寝袋+毛布」・「③アウトドア用簡易ベッド(以下、コット)+寝袋+毛布」の就寝環境におけるグローブ温度である。3つのグローブ温度には有意な差はない。備蓄物資である段ボールベッドを利用して床面からの距離を離すだけでなく、間仕切りや避難所用テント(供給物資)のような、天井や壁面への熱放射を抑える設えが必要であると予想された。

#### 4.2. 本調査(遮冷ユニットによる就寝環境の検証)

##### (1) 物理データの解析

本調査では、被験者はマスクを着用して着衣量を1.0cloに統一している(図-3左)。各計測機器の箇所は図-3右に示している通りであり、空気温度、グローブ温度を10分間隔、微風速を1秒間隔で計測した。外気温は体育館に隣接しているエントランス付近にて計測している。実験開始2日前の2月14日から暖房を停止し、実際の避難所環境を想定して実験を行なった。

筆者らが実施した2021年の実験結果<sup>2)</sup>では段ボールベッドと椅子ベッドの就寝環境において作用温度や想像温度<sup>3)</sup>に顕著な差はなかった。本調査では双方のベッドを同性能と想定し、簡易ベッドの上には通常の寝袋と比べて中綿を増量している「札幌式高規格寝袋」を設置した。

図-4は、各就寝環境の被験者頭部付近で撮影した魚眼写真(等距離射影)である。形態係数の算出には、SPCONVプログラム<sup>4)</sup>を利用した。

図-5には体育館内外と被験者4名近傍の平均空気温度を示している。2月15日の実験時間中(19~21時)の外気温は-6.5℃に対して、2月16日は-2℃で4.5℃ほど二日目の方が高かった。

図-6と7は、各実験時間中の体育館内と就寝環境近傍での空気温度とグローブ温度、MRTである。伊澤らによると冬に熱的な快が高まる室内環境条件として「MRT>室温」であることが示されている<sup>5)</sup>。図-6の遮冷ユニット無では、体育館内のMRTに対して被験者近傍のMRTがやや低い。図-7の遮冷ユニット有では体育館内のMRTより

0.5~1℃高く遮冷効果が表れていると考えられる。

図-8と9は、遮冷ユニット内外の天井面・壁面の写真と熱画像による表面温度分布である。体育館天井面の表面温度(6.3℃)に対して遮冷ユニット天井面の表面温度(7.6℃)は1.3℃高い。さらに、壁面の表面温度(6.5℃)に対して遮冷ユニット壁面の表面温度(7.5℃)は1.0℃高い。これは図-5のMRTと概ね同じで、遮冷ユニットの屋根面が体育館天井面・壁面との放射の影響を幾分か抑えていることを示している。

表-1 調査概要

事前調査 (各就寝環境の放射による負荷の検証)	
調査期間	2023年1月16日 9時~16時
調査場所	札幌市豊平区 A小学校 屋内運動場
調査対象	市職員(男性)3名、本学男子学生3名、女子学生1名
調査方法	就寝体験をする調査対象者近傍での、計測機器による就寝環境ごとの物理データ(グローブ温度、空気温度)の計測
本調査 (遮冷ユニットによる就寝環境の検証)	
調査期間	2023年2月15日 19時~21時 遮冷ユニット有での就寝体験と申告調査 2023年2月16日 19時~21時 遮冷ユニット無での就寝体験と申告調査
調査場所	札幌市立大学 芸術の森キャンパス 体育館
調査対象	本学男子学生4名
調査方法	段ボールベッド+寝袋+毛布の就寝環境と、遮冷ユニット+椅子ベッド+寝袋+毛布の就寝環境を用いた比較調査。1月調査同様、物理データを収集し、調査対象者には双方の就寝環境について、19時、20時、21時の3回申告していただいた。

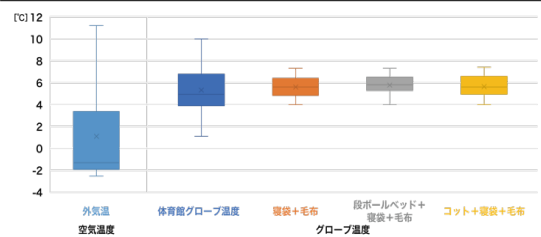


図-2 外気温と就寝環境ごとのグローブ温度分布

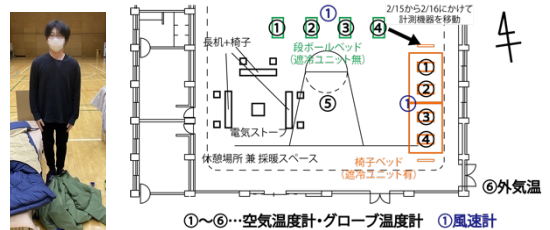


図-3 被験者の着衣の状態(左)と本調査時の計測箇所(右)

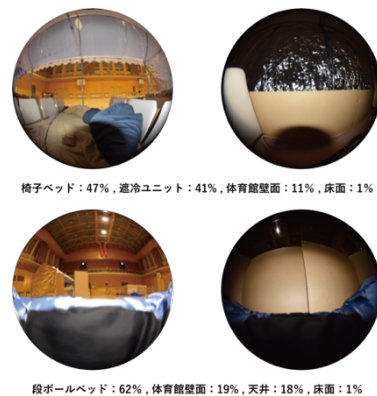


図-4 就寝環境の魚眼写真

(上: 遮冷ユニット無, 下: 遮冷ユニット有)

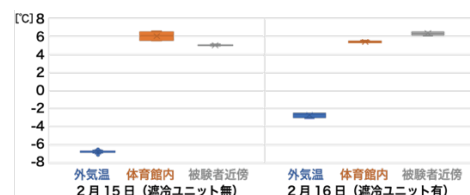


図-5 外気温と体育館内、被験者近傍の空気温度

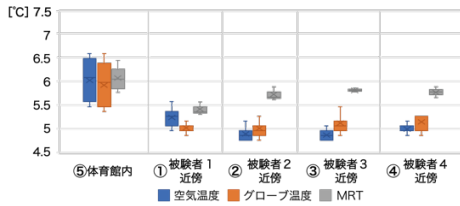


図-6 遮冷ユニット無（2月15日19～21時）の体育館内と被験者近傍の空気温度,グローブ温度,MRT

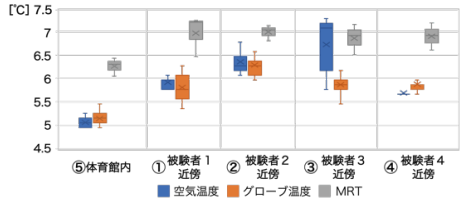


図-7 遮冷ユニット有（2月16日19～21時）の体育館内と被験者近傍の空気温度,グローブ温度,MRT

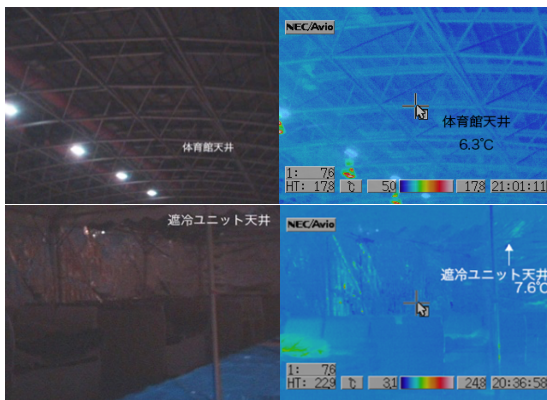


図-8 天井の表面温度（上：体育館，下：遮冷ユニット）



図-9 遮冷ユニット内外の表面温度差

### (2)申告調査の解析

被験者実験は両日も夜間（19～21時）に行ない、2月15日は「遮冷ユニット無」で被験者4名には60分間隔で計3回体感を申告してもらった。2月16日は同じ時間帯に遮冷ユニット有の就寝環境で行なった。質問項目は、想像温度（今、何℃と思うか）<sup>3)</sup>や熱的な快・不快感、寒暑感、冷たさを感じる箇所、寝心地の差である。

図-10と11は、遮冷ユニットの無・有実験における被験者の想像温度の推移をそれぞれ示したものである。想像温度の平均値では顕著な差が見られなかったが、被験者1・2・3の想像温度は開始時から終了時にかけて、遮冷ユニット無の場合、3～4℃低下しているのに対して、遮冷ユニット有では、1～2℃の低下に抑えられている。

図-12は、被験者の「不快でない」申告時の遮冷ユニット無・有の就寝環境での寒暑感である。「不快でない」

申告は双方とも9件（12件中）得られたが、遮冷ユニット有の就寝環境の方がより「やや寒い」の申告が多く（遮冷ユニット無：n=2，遮冷ユニット有：n=5），外気温と遮冷ユニット内との空気温度差が小さいことで、寝袋内の暖かさを感じにくく、周囲の寒さを感じている結果であると考えられる。しかし、遮冷ユニット内では「やや寒い」と感じやすい環境であっても、遮冷効果によって不快でない就寝環境となっている可能性がある。

図-13は、被験者の熱的な快・不快感の申告と、想像温度の関係を示したものである。ただし、被験者4の想像温度では、1件（4℃）を除き10℃以上であり、快・不快感との関係が確認できない恐れがあったので除外した。被験者1・2・3からは、「快適」か「不快でない」申告のみ得られた。被験者4を含めても、「不快」とした申告は1件のみであり、概ね熱的な不快感の少ない環境であることが示唆されている。遮冷ユニット無と有では「不快でない」申告時の想像温度は平均で1℃の差があり、想像温度が低く、寒さを感じている場合でも快適性が高いことを示している。図-12に示す結果と同様に、被験者が軽微な寒さを感じても遮冷ユニットによって周囲面からの冷たさ感は緩和できていることで、不快感の少ない環境となっている可能性がある。

図-14は、被験者周囲面からの冷たさ感の有無と、それが得られるときの冷源の方向である。遮冷ユニット無の就寝環境では全回答（n=12）のうち8件が「冷たさを感じない」であったが、「天井からの冷たさを感じる」の申告がある。一方、遮冷ユニット有では「冷たさを感じない」としたのは4件のみで、壁面と首元の冷たさ感の申告が半数を占め、「壁面からの冷たさを感じる」とした申告のうち1件は、同時に「不快」であるとしている。また、「天井から冷たさを感じる」とした回答はなく、遮冷ユニット内では、屋外テントの屋根面を使って天井面からの放射を抑えていたが、図-1に示した通り、壁面と床面が無防備であったことで壁面や首元の冷たさを感じさせた可能性がある。

遮冷ユニット有の実験時には、寝心地の申告からも遮冷ユニットの壁面と床面について「ユニット内部は空気の対流によって寒さを感じる」「首元が暖かくなれば寝心地は良くなる」との申告があったため、ユニットの四方をアルミ製膜によって覆う必要があることが示唆された。

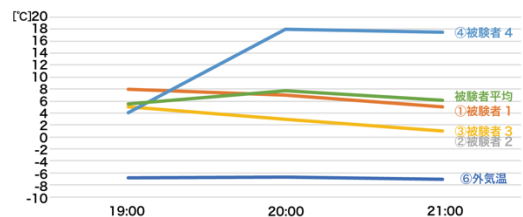


図-10 遮冷ユニット無の就寝環境での想像温度の推移（2月15日19～21時）

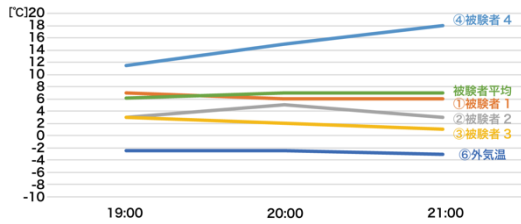


図-11 遮冷ユニット有の就寝環境での想像温度の推移 (2月16日19~21時)

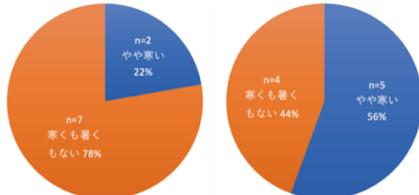


図-12 「不快でない」申告時の寒暑感

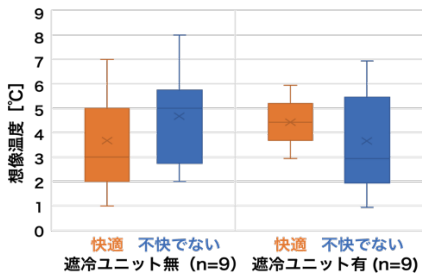


図-13 「快適」・「不快でない」時の想像温度

Q.床面や壁面,天井から冷たさを感じますか?(n=24)

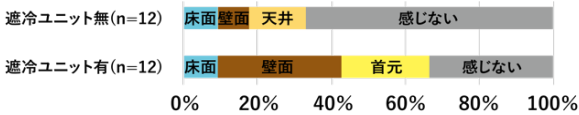


図-14 各就寝環境近傍の「冷たさ」感

### (3)温放射による冷たさ感の低減

図-15は遮冷ユニットの有・無の就寝環境での周囲面からの温放射エクセルギー<sup>9)</sup>を示す。遮冷ユニット無では1.3W/m<sup>2</sup>で、有では0.89W/m<sup>2</sup>である。遮冷ユニット有(2月16日)は外気温が4℃ほど低かったため、温放射エクセルギーが低い。特に椅子ベッドからの温放射エクセルギーが段ボールベッドからの温放射エクセルギーの半分程度である影響が大きい。

遮冷ユニット無・有で壁面からの温放射エクセルギーにはほとんど差が見られない(遮冷ユニット無:0.26W/m<sup>2</sup>,有:0.22W/m<sup>2</sup>)が、天井面からの温放射エクセルギーは差がある(遮冷ユニット無:0.22W/m<sup>2</sup>,遮冷ユニット有:0.16W/m<sup>2</sup>)。さらに、遮冷ユニット有の就寝環境では体育館壁面からの温放射エクセルギーが0.08w/m<sup>2</sup>と小さいことで避難者は壁面からの冷たさを感じると考えられる。図-1に示した通り、本調査では遮冷ユニットの一面を開放した状態で実験をしたため、この壁面を被覆することによって温放射エクセルギーを増加させることはできると考えられる。また、被覆により遮冷ユニット内への冷気

の流入を防ぐことで、図-14で示した壁面と首元からの冷たさ感についても緩和できる可能性がある。

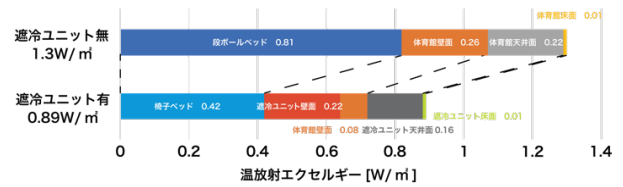


図-15 遮冷ユニットの有無による温放射エクセルギー

## 5. まとめ

本研究では、冬季避難所における就寝環境について被験者実験(熱環境実測と申告調査)に基づき、放射エクセルギー評価を行なった。以下に今回の調査で得られた結果を示す。

- 1) 遮冷ユニット有の就寝環境のMRTは、体育館内(遮冷ユニット外)よりも0.5~1℃高かった。
- 2) 遮冷ユニット有では、外気温が遮冷ユニット無の実験時と比べて、4℃高い状況下であっても、壁面と天井面から生じる温放射エクセルギーはほとんど差が生まれず、遮冷ユニットの全面をアルミ製膜で被覆することで避難者の冷たさ感を軽減できると推定される。

## 謝辞

調査の実施にあたっては札幌市危機管理局からの協力を受け、段ボールベッドや「札幌式高規格寝袋」を提供いただいた。形態係数の算出に使用したSPCONVプログラムは、開発者の永田明寛教授(東京都立大学)から提供いただいた。ここに記して謝意を表する。

なお、本研究は、2023年1月23日に行われた、札幌市立大学大学院デザイン研究科の研究倫理審査会の審査・承認を受けて実施した。

## 参考文献

- 1) 復興庁:東日本大震災における震災関連死に関する検討会,<http://www.reconstruction.go.jp/topics/001188.html>,2012.8.
- 2) 堤晴季・廣林大河・櫻井英文・斉藤雅也: 現有備品を活用した寒冷地避難所のデザイン提案 秋・冬季夜間の就寝環境での被験者実験,日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1155-1158, 2022.9.
- 3) 斉藤雅也: ヒトの想像温度と環境調整行動に関する研究 夏季の札幌における大学研究室を事例として,日本建築学会環境論文集 第74巻 第646号, pp.1299-1306, 2009.12.
- 4) 永田明寛: SPCONV ver.0.6, 日本建築学会熱環境シミュレーション小委員会, <http://news-sv.ajj.or.jp/kankyo/s12/Resource/ap/SPCONV/SPCONV.htm>,2005.1.
- 5) 伊澤康一・小溝隆裕・宿谷昌則: 室内空気温・周壁平均温の組合せと人体エクセルギー消費の関係, 日本建築学会環境系論文集 第68巻 第570号, pp.29-35, 2003.8.
- 6) 高橋達: 長波長放射-エクセルギーの移動量 (3) (エクセルギーと環境の理論[改訂版] 宿谷昌則編 所収), pp.210-216,井上書院, 2010.9.