

冬季災害時における現有備品を活かした「遮冷空間」の提案

—人体エクセルギー評価による実用性の検討—

Proposal for a "Cold Shielded Space" Utilizing Equipment in the Winter Disaster Situation Study of Practicality Based on Human Body Exergy Evaluation

学生会員 ○堤 晴季 (札幌市立大学) 正会員 齊藤 雅也 (札幌市立大学)

会員外 櫻井 英文 (札幌市)

Haruki TSUTSUMI*¹ Masaya SAITO*¹ Hidefumi SAKURAI*²

*¹ Sapporo City University *² City of Sapporo

In the analysis of human body exergy balance in a " cold-shielded space," the thermal exergy generated by metabolism in the human body was 0.7 W/m² larger " without a cold shielded space" than "with a cold shielded space," and the exergy consumption rate also increased by 0.2 to 0.4 W/m². These results indicate that " cold shielded spaces" can reduce the heat load on evacuees in the winter disaster situation.

1. はじめに

近年、東日本大震災・熊本地震をはじめとする大規模な災害が頻発している。2024年1月1日には最大震度7の「令和6年能登半島地震」が発生し、2万人弱の被災者が避難所に殺到した。真冬の発災により避難所にいる被災者の寒冷曝露は健康被害を少なからずもたらし、発災から2~3週間を経て災害関連死も報告されている。また、避難所へ支援物資が円滑に供給されないことにより、被災者への身体的・心理的負荷が徐々に大きくなっているとされている。これは、能登地域に限らず現在の避難計画が不十分であったことの表れと言える。

本研究の目的は、物資の供給に依存した避難所ではなく、施設に元々備わっている備品（以下、現有備品）を活用した避難所が、熱環境を改善できるかを明らかにすることとした。

2. 現状分析と研究方法

札幌市では、避難所等に配備する物資として応急救援備蓄物資を各備蓄倉庫や指定緊急避難場所（基幹）（以下、基幹避難所）に備蓄している。小・中学校を含む基幹避難所1ヶ所に備蓄される段ボールベッドは要配慮者数分の利用を想定した5台のみで、備蓄物資による熱環境の改善は不十分と考えられる。

筆者は、段ボールベッドに対し、体育館に備わる椅子を利用した椅子ベッド（図-1）を考案し、現有備品を利用することで避難所内の熱環境を改善できるかを2021年11月の秋季実験、2022年2月の冬季実験をして検証した。その結果、椅子ベッドと段ボールベッドは作用温度が同等であることを確認した。また、2023年1月には、避難

所に指定されている小学校を対象として簡易ベッド近傍の放射環境を調査した。

以上の実測結果を踏まえ、覆いとして使用した場合には遮熱性・保温性に優れ、安価で確保が容易であり、備蓄にも場所をとらないアルミ膜を小・中学校の備品である屋外用テントの外表面に貼り付け、その内部に椅子ベッドを設置した「遮冷空間(図-2)」を作成した。2023年2月（冬）に遮冷空間の有無による熱環境実測・被験者実験を行ない、それぞれの性能を検証した。



図-1 椅子ベッドの様子



図-2 「遮冷空間」の様子

3. 「椅子ベッド」の熱環境実測・被験者実験

3.1. 概要

「椅子ベッド」に関する熱環境実測では、4 ケースの熱環境（表 1）近傍のグローブ温度や空気温度、風速を計測した。被験者申告はそれぞれ2日間ずつ行ない、秋季実験として11月2日と11月3日、冬季実験として2月9日と2月10日に実験を行なった。全日18:20~19:50(90分間)に2回ずつ、全日とも同じ被験者3人(20代、本学男子学生)で行なった。実験開始から30分おき(計4回)に想像温度(いま、何℃と思うか)¹⁾、身体的負荷(寝ごち)の申告を記録した。

簡易ベッドの熱環境として、現有備品である椅子(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(幅450mm,奥行350mm,高さ275mm)1枚で作成した椅子ベッド囲いなし(図-3左)と段ボール3枚で囲いを追加した「椅子ベッド囲いあり」(図-3中央),段ボールベッド(図-3右)の3種を対象とし,それぞれに寝袋を設置した。初日は「段ボール直敷き」,「椅子ベッド囲いあり・なし」で,二日目は「椅子ベッド囲いあり・なし」と市販の「段ボールベッド」とした。

3.2. 作用温度による比較

図-4に示す冬季実験時の各ケースの作用温度は,実測値に基づく体感温度である。平均値を比較すると「段ボール直敷き」は「椅子ベッド囲いあり・なし」よりも作用温度が最大で0.6℃低い,収容者に温かさを感じさせるほどの差異は生じていない。また,「段ボールベッド」も「椅子ベッド囲いあり・なし」とほとんど差が見られず簡易ベッドを設けることによる寒さの緩和は確認できなかった。これは,計測機器を頭部付近に配置したことで寝袋内の環境を計測できておらず,一部実際の避難所環境と異なる可能性がある。同様の調査を行なう場合には,寝袋内の計測を含めた調査を行なう必要がある。

3.3. 被験者申告(想像温度)による比較

図-5は冬季実験時の想像温度の分布を示す。想像温度は被験者が体感する温度の申告であるため,寝袋内の環境も含めた分析が可能である。

「段ボール直敷き」と「椅子ベッド囲いあり」では,平均して10℃以上の差異が生じている。さらに,「椅子ベッド囲いなし」と「段ボールベッド」を含めても「段ボール直敷き」とは平均して6℃の差が生じている。これは,床面からの距離が400mm程度離れていることや,囲いが冷気の流入を妨いだ効果であると考えられる。また,「段ボールベッド」と「椅子ベッド囲いあり・なし」の想像温度には有意差が見られない。椅子ベッドを活用することで夜間に生じる寒さを緩和できることが示唆された。

3.4. 簡易ベッドの放射環境に関する調査

本調査では,簡易ベッド近傍の放射環境について把握するため,図-6に示す通り,「寝袋+毛布」・「段ボールベッド+寝袋+毛布」・「アウトドア用簡易ベッド(以下,コット)+寝袋+毛布」という3種の簡易ベッド近傍のグローブ温度を計測し,比較を行なった。3種のグローブ温度には差が無く,放射環境は同等であることが示唆された。備蓄物資である段ボールベッドや供給物資のコット,現有備品で作成した椅子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。

表-1 避難所の熱環境(4ケース)

	備品の使用	囲いの有無	寝袋
ケース1: 段ボール直敷き	×	×	○
ケース2: 椅子ベッド囲いなし	○	×	○
ケース3: 椅子ベッド囲いあり	○	○	○
ケース4: 段ボールベッド	×	○	○



図-3 実験時の簡易ベッドの様子(左:椅子ベッド囲いなし,中央:椅子ベッド囲いあり,右:段ボールベッド)

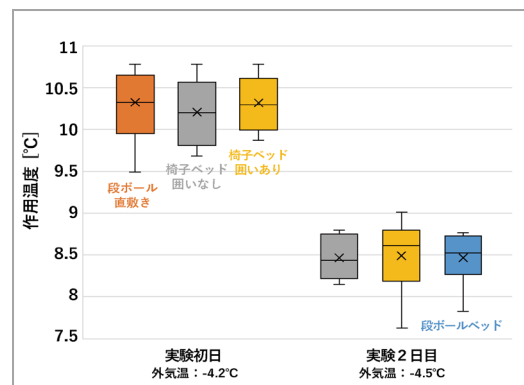


図-4 熱環境ケースごとの作用温度(冬季実験)

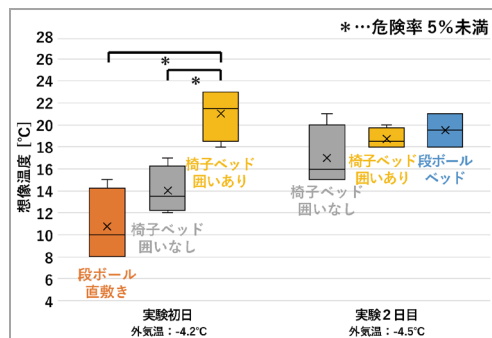


図-5 熱環境ケースごとの想像温度(冬季実験)

4. 「遮冷空間」の熱環境実測・被験者実験

4.1. 概要

「椅子ベッド」に関する熱環境実測・被験者実験の結果を参考にして、2023年2月の「遮冷空間」に関する調査では「遮冷空間」の形状を決定し、本学芸術の森キャンパスの体育館にて「遮冷空間」の有無による被験者実験・申告調査を行なった。

4.2. 熱環境実測と被験者申告

本調査では、被験者はマスクを着用して着衣量を1.5cloに統一している。実測では、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。実験開始前日の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。「椅子ベッド」に関する熱環境実測と被験者実験では「段ボールベッド」と「椅子ベッド」の熱環境において作用温度や想像温度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て、「遮冷空間」内には現有備品を活用した「椅子ベッド」を設置している。

図-7と8は、各実験時間中の体育館内と熱環境近傍での作用温度である。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²⁾。作用温度はMRTを元にして算出されることから「作用温度>室温」も同様に熱的な快が高まると言える。

図-7の「遮冷空間無」では、体育館内の作用温度に対して被験者近傍の作用温度がやや低い。図-8の「遮冷空間有」では体育館内の作用温度より0.5~1℃高く遮冷効果が表れていると考えられる。ただし、2月15日の実験時間中(19~21時)の外気温は-7℃に対して、2月16日は-3.5℃で3.5℃ほど二日目の方が高く、その影響も表れていると推察される。

図-9は、「遮冷空間」の有無による想像温度の分布と熱的な快・不快感である。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「遮冷空間無」の場合、想像温度の最低値から最高値の間に3~4℃の差があるのに対し、「遮冷空間有」では、1~2℃の差に抑えられている。寝袋内の温かさが時間経過によってさほど低下せず、収容者への負荷を緩和できる可能性がある。また、「不快」申告は1件のみで、概ね熱的な不快のない環境であることが示唆される。

実験前の予想では、アルミ膜による遮冷効果によって、「遮冷空間有」の方が熱的な快適性が高いと考えていたが、実際には「遮冷空間」の有無では快適性に差が無いことが示された。これは、アルミ膜や床面を養生する目的で設置していたブルーシートによって、被験者が実験前や実験中に遮冷空間を覗いた際に、「視覚的な寒さ」のある空間として認識した可能性がある。

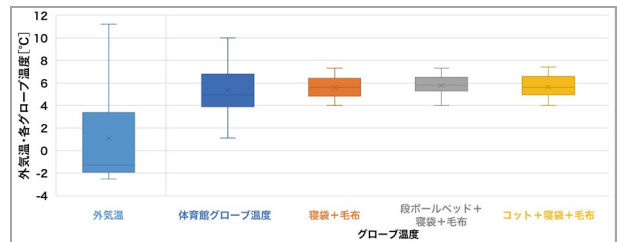


図-6 外気温と簡易ベッド近傍のグローブ温度分布

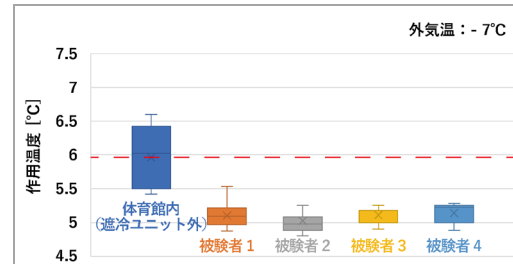


図-7 「遮冷空間無」(2月15日19~21時)の体育館内と被験者近傍の作用温度

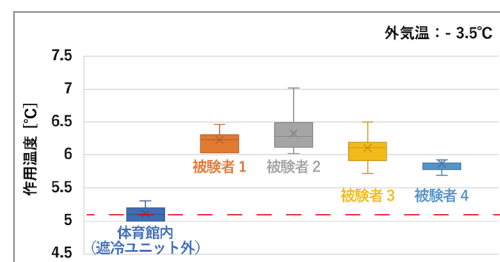


図-8 「遮冷空間有」(2月16日19~21時)の体育館内と被験者近傍の作用温度

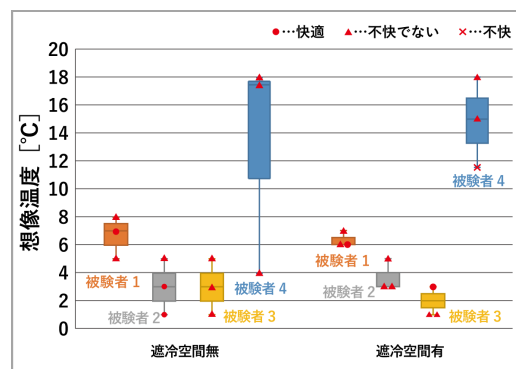


図-9 「遮冷空間」の有無による想像温度の分布と熱的な快・不快感

5. 人体エクセルギー収支による「遮冷空間」の評価

本章では、人体エクセルギー収支の構成項目のうち、人体から湧き出す温エクセルギーである「代謝で発生する温エクセルギー」と避難所内周囲面から生じる温かさを示す「着衣が吸収する温放射エクセルギー」、想像温度との相関が確認されている「エクセルギー消費」の分析による評価について示す。

図-10 は被災者が自宅等の「快適な空間」から避難所へ移動した場合を想定した場合の入力エクセルギーとエクセルギー消費の推移を示している。15時～17時の数値と17時以降の数値の大きな差異として、「着衣が吸収する温放射エクセルギー」の減少と、「エクセルギー消費」の増加が見られる。これは快適な空間から避難所へ移動することで、周囲面から生じる温放射が減少し、人体のエクセルギー消費が大きくなることを示している。

「代謝で発生する温エクセルギー」の値は、快適な空間に比べて避難所の方が最大で1W/m²高い。「代謝で発生する温エクセルギー」は室内の熱環境や外気温に対して身体から湧き出すエクセルギーであるため、避難所においてはこの値が低いほど、収容者に生じる熱的な負荷が小さいことが示唆される。

図-11は「遮冷空間無」の、図-12は「遮冷空間有」の入力エクセルギーとエクセルギー消費の推移を示している。「遮冷空間」の有無による差異として「着衣が吸収する温放射エクセルギー」の値は、「遮冷空間有」の方が0.2～0.4W/m²ほど大きく、周囲面からの温かさを感じやすいと考えられる。また、「代謝で発生する温エクセルギー」、「エクセルギー消費」の数値は「遮冷空間有」の方が小さい。なお、「エクセルギー消費」では、0.2～0.4W/m²の差異であるのに対し、「代謝で発生する温エクセルギー」では、最大で0.7W/m²の差異が生じている。

「エクセルギー消費」がほぼ同等であり、「代謝で発生する温エクセルギー」の差が大きい状態は、人体から湧き出す温エクセルギーを増やしている結果、生じた差異だと考えられる。「遮冷空間」を設けることで収容者の身体に生じる熱的な負荷を緩和できると考えられる。

6. まとめ

本研究では、現有備品を活用した冬季避難所における熱環境実測と申告調査に基づき、作用温度・想像温度による分析、人体エクセルギー評価を行なった。以下に得られた結果を示す。

- 「椅子ベッド」は作用温度や想像温度の比較では、「段ボールベッド」と同等の熱性能を有していることが示された。このことから、「椅子ベッド」は床面から生じる冷たさを緩和できると考えられる。
- 「遮冷空間有」では「代謝で発生する温エクセルギー」の値が「遮冷空間無」よりも0.7W/m²程度小さい。したがって、避難所に現有備品を活用した「遮冷空間」を設けることで熱環境が改善され、収容者に生じる熱的な負荷が小さくなることが示唆された。

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た。ここに記して謝意を表す。

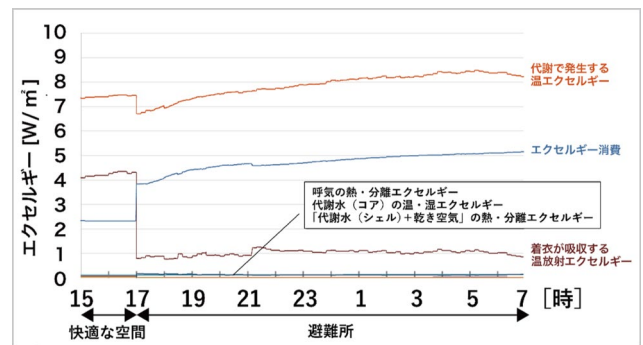


図-10 快適な空間から避難所へ移動した場合の人体の入力エクセルギーとエクセルギー消費の変化

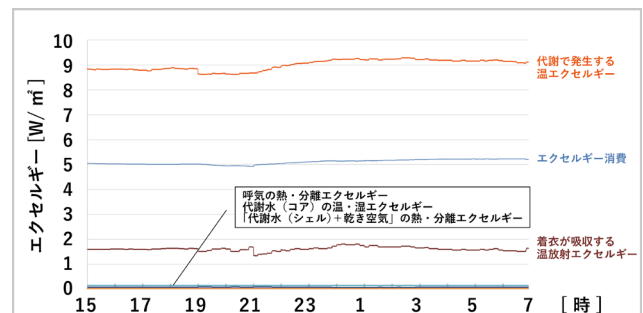


図-11 「遮冷空間無」における人体の入力エクセルギーとエクセルギー消費の変化

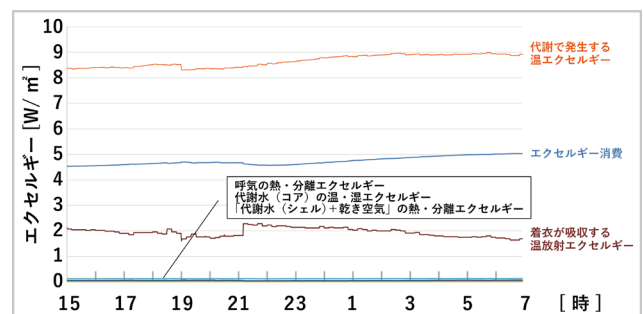


図-12 「遮冷空間有」における人体の入力エクセルギーとエクセルギー消費の変化

参考文献

- 齊藤雅也：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.
- 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.
- 堤晴季, 廣林大河, 櫻井英文, 齊藤雅也：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, 第2022号, pp. 1155-1158, 2022. 7.
- 堤晴季, 櫻井英文, 齊藤雅也：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、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第6巻, pp. 213-216, 2023. 9.