

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 1 日現在

機関番号：24506

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560723

研究課題名(和文) 障害者の主体的行動の促進と介助者の見守りを支援する建築環境システムの開発

研究課題名(英文) Development of the architectural environmental care support system to promote positive living activities of a disabled person and to assist monitoring by caregivers

研究代表者

土川 忠浩 (TSUCHIKAWA, Tadahiro)

兵庫県立大学・環境人間学部・教授

研究者番号：50180005

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)： 体温調節機能が低下している障害者(脊損・頸損者等)にとって、屋外の温熱環境は高体温や低体温の危険性があり、外出等を抑制する傾向にある。体温予測が可能となればこのようリスクが低減し、主体的な行動の促進が期待できる。

本研究では、脊損・頸損者の体温調節シミュレーションモデルを構築し、体温予測・提示装置の試作、およびモデルによる予測と実験値との比較検討を行った。また、体温予測や防暑・防寒対処の個人差等を表現する温熱環境プロフィールの概念を提案した。

研究成果の概要(英文)： The person with spinal cord injury (SCI) at risk of hyperthermia or hypothermia tends to refrain from going out. By the prediction system of the body temperature, such risk can be reduced.

In this study, a prototype computer application was developed to predict the body and skin temperatures by the thermoregulation simulation model of SCI. And the concept of thermal environmental profile for the disabled and the environmental weak person was proposed.

研究分野： 建築環境学

キーワード： 温熱環境
デザイン 脊髄損傷者 体温調節 人体熱モデル シミュレーション バリアフリー ユニバーサルデザイン

1. 研究開始当初の背景

本研究は、障害者（主に脊髄・頸髄損傷者等）・高齢者・乳幼児のような、体温調節機能の欠如、低下、未発達な、温熱環境に配慮が必要な人々に対する福祉住環境の評価・設計方法の確立に関する研究である。

特に体温調節が困難となっている脊髄損傷者（以後、脊損者）・頸髄損傷者（以後、頸損者）等にとっては、体温調節に対する不安が外出などの主体的な意欲や行動を抑制してしまう傾向にあることが明らかになっている。さらに震災以後の節電による温熱環境維持の厳しさは、このようないわゆる温熱環境弱者や介助者（家族、ヘルパー等）に追い打ちをかけることになり、外出先などでの体温調節の不安により気軽に外出もできなくなり、自立のための主体的行動を阻害する懸念も生じる。

都市・建築において、このような体温調節が困難な人々に対する温熱環境の設計・評価方法を確立することは、「温熱環境バリアフリー」の実現につながるものと考えられる。さらに、このような人々の安全・健康・快適な環境を創造することのみならず、社会的活動や自立の促進にもつながり、結果として誰にとっても質の高い都市・建築空間の実現（ユニバーサルデザイン）に向かうものと考えられる。

2. 研究の目的

研究代表者らによるこれまでの一連の研究において、障害者（頸損・脊損者）自らが体温等の身体状況を的確に把握しその安定に努めるとともに、自立生活を目標とする主体的行動促進に結びつけられるようになること、また、介助者は対象者（頸損・脊損者）のリアルタイムの身体状況の把握とその対象者の障害の度合い等に即したアドバイスを受け、安全で実効的な見守り・介助支援ができることが求められていることを明らかにした。

本研究では、脊損・頸損者の様々な生活場面での体温等の生理的情報と身体負荷のリアルタイムな把握、主体的行動に伴う生理的状况（主として体温）の予測と適切な制御、および介助者に対する対象者（障害者）の個人的プロフィールに基づく介助支援方法の提示機能等を有する建築環境-介助支援の連携システム構築の基礎的検討を行うことを目的とする。

具体的に次の項目を行った。

- (1) 温熱環境プロフィール構築の検討
- (2) 深部温モニタリングのための基礎実験
- (3) 体温調節数値モデルによる体温予測・提示システムの開発

なお、本研究を含めた研究の全体構想を図1に示す。将来的な構想として、温熱環境に配慮を必要とする当事者（障害者、高齢者、乳幼児等）に対して、人体の体温調節の数値モデルを構築し、建築・都市空間での温熱環

境での体温予測を行って、熱中症や低体温の未然防止を働きかけるようなシステム構築を目指している。

このシステムの特徴は、人体-福祉機器-都市・建築空間連携することに加えて、当事者のみならず介助者・保護者にも当事者の情報を伝えて、当事者に対する適切な支援を促すようにすることである。

このようなシステム構築が可能となれば、当事者が介助者・保護者ととも外出等のバリアが低減し、よりその主体的行動を促すものと期待できると考えられる。

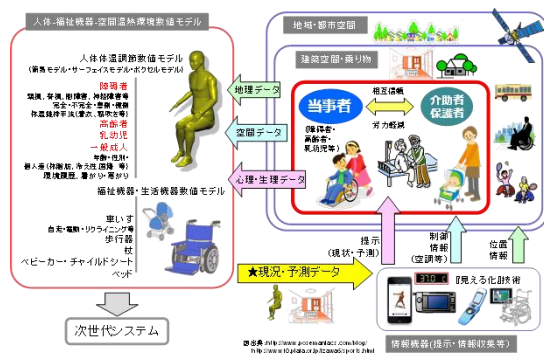


図1 全体構想

3. 研究の方法

(1) 温熱環境プロフィールの構築の検討

体温調節が困難となっている脊髄・頸損者にとって、体温を維持することは切実な問題である。これは健常者の想像を遥かに超えるものである。脊損・頸損者は受傷してから、手探り状態で何年もかけて自分なりの体温調節および体調管理の方法を会得する。ヒアリングでは『体調管理のためには何だってする』といった言葉も聞かれる。このように彼らにとって体温調節はいつも手探り状態である。体温調節に対する漠然とした不安は、彼らの主体的な意欲や行動を少なからず抑制してしまうことにつながっている。

ヒアリング調査によると、頸損者は、受傷箇所（障害の程度）のみならず、様々な要因の影響によって、体温調節の特徴が異なる。したがって、その対処も人によって全く異なる場合もある。そして、独自の対処方法を長い経験の中で培っている。これは、彼らが常に自身の体調と対話しており、その経験の一つの智恵として体得していることであり、一般的な成人健常者に対する体温調節やその対処の考え方と異なる特徴的なことと考えられる。ヒアリング調査を元に、「温熱環境プロフィール」の要点について検討する。

(2) 深部温モニタリングのための基礎実験

本研究で提案する体温予測・提示システムで重要となるのは、深部温の変動である。健常者の場合は、深部温は体温調節機能によって極端な温熱環境や身体状況でない限りほぼ一定温度として扱っている。一方、頸損者

や重度の脊損者は、体温調節機能の欠如・低下により、深部温が環境の影響を受け、温熱環境によっては高体温・低体温の危険性が生じる。このシステムを実用化のためには、かれら当事者にとって計測の負担が少ない状態で、なおかつ連続的に深部体温モニタリングできることが望ましい。

本研究では、非定常条件下での深部温と相関の高い皮膚部位皮膚温（以後、深部温推定部位と称する）の検討を目的として、人工気候室におけるステップ温度変動実験、ならびに頸損者の外出時における体温等の変動測定を行った。ここではステップ変動実験結果について示す。

深部温推定部位として、車いす乗車状態で比較的安定して測定できると考えられる手（前腕）、足（下腿）、車いす座面および背面接触部の皮膚温を対象とした。

実験は人工気候室にて頸損者 1 名（男性、C5 完全）、健常者 1 名（男子学生）を対象に行った。人工気候室は相対湿度 50%、気流速度 0.1m/s 以下で一定とし、気温を 25℃から 2℃ずつ 2 段階下げる条件（25℃→ 23℃→ 21℃、以後、「下降条件」と称する）と、同じく 25℃から 2℃ずつ上昇させる条件（25℃→ 27℃→ 29℃、以後、「上昇条件」と称する）とした。初期温度 25℃は頸損者被験者の経験上、身体に最も負担の少ない気温である。それぞれ室温を 30 分間に暴露することとし、各環境条件につき 90 分間測定した。

深部温により近い温度測定場所として耳内温を無線式サーミスタ温度計（分解能 1/100℃）で測定した。また 15 分毎に婦人体温計で舌下温の測定を行った。

深部温推定部位としての前腕と下腿前には断熱材として厚手のスポーツ用リストバンド（ナイロン、ポリウレタン製）を温度センサの上に巻き、皮膚と断熱材との間の温度とする。なお、実験中は頸損者は自身常用の自走式車いすに、健常者も市販の自走式車いすに乗車し、静止・安静状態とした。

実験に際しては、事前に学部の研究倫理委員会の承認を得た。

（3）体温調節数値モデルによる体温予測・提示システムの開発

体温調節数値モデルとは、体内及び体表面における熱発生や熱交換、体温調節制御を数式によりモデル化したものである。計算により、体温等の生理反応の分布や変動を求めることが可能である。健常者に対するこのような数値モデルは先行研究により複数提案されており、提案者により各部位の形状、部位分割数、部位内の層分割の仕方は様々である。

本研究では、拡張が比較的容易である Stolwijk のモデルを基に、部位分割数を増やすことで部位差をより考慮できるようにしたモデルを用いることとした。なお、拡張 Stolwijk モデルは人体を左右 13 の部位（頭部、頸部、胸部、背部、腹部、腰部、臀部、上腕

部、前腕部、手部、大腿部、下腿部、足部）に分割し、それぞれの部位が 4 層（深部層、筋肉層、脂肪層、皮膚層）から成るモデルとした。皮膚層は脊損・頸損者の体温に影響を与えていると考えられる皮膚分節（デルマトーム）に従って区分している。

また、これまでの実験・実測から得られた車いす乗車状態での熱的係数値を用いて、体温調節モデルに、対流・放射熱伝達率の変更および日射受熱量の項を加えて、モデルの拡張を行っている。

そして、体温調節モデル計算値と被験者実験（頸損者の屋外外出における体温変動測定）の実測値との比較を行うことで、モデルの有効性について検討を行った。

4. 研究成果

（1）温熱環境プロフィール構築の検討

先述のように脊損者・頸損者の体温調節維持の対処方法等は多様である。したがって、体温維持予測には当事者の個人的な体質・経験等の情報が必要であり、かつ重要となる。本研究ではこれを「温熱環境プロフィール」と称することとする。

脊髄・頸髄者の温熱環境プロフィール構築は、一般の人々に対するこれらのような提案よりも、より具体性が高いと考えられる。その理由は、彼らが日常生活において、“常に身体と対話している”ことにある。受傷後の日常生活において、身体の変化、体調管理について常に試行錯誤、様々な工夫することで、独自の生活スタイルを築き上げている。これらの知識や経験は、ひとつのナレッジとして捉えることができ、その具体化は温熱環境プロフィールにとって、重要な意味を持つものと考えられる。

ここで重要となるのは、当事者の体温の現状と予測とその対処方法等を即時的に提示することであるが、それと同等に介助者（あるいは保護者）との関係を含めていることである。当事者の体温状況を本人のみならず介助者（保護者）が知ることで、当事者に対してそのときの状況に適した対応がとれることができ、それが相互の信頼につながるものと考えられる。また、その当事者独自の体温調節手法のアドバイス機能を有していれば、準備や対処などの労力軽減や、お互いの安心感につながるものと考えられ、外出時等において非常に有効になるものと考えられる。

これらにシステムの活用範囲については、例えば図 2 に示すように考えられる。図で横軸は空間軸、縦軸は当事者の活動状況を示しており、当事者の日常生活範囲における様々な温熱環境を示している（ただし、浴室のような特殊空間は別途考えるものとする）。

この図において、屋外で一時的に安静状態を得ることができるような空間を提案する。本研究ではこれを仮に「温熱リカバリー空間」と称することとする。都市に、疲労回復や体温を平常に戻すような空間を設けることで、

頸損者のような体温調節に配慮が必要な人々が一時的に待避・休憩できるような場所とすることができる。

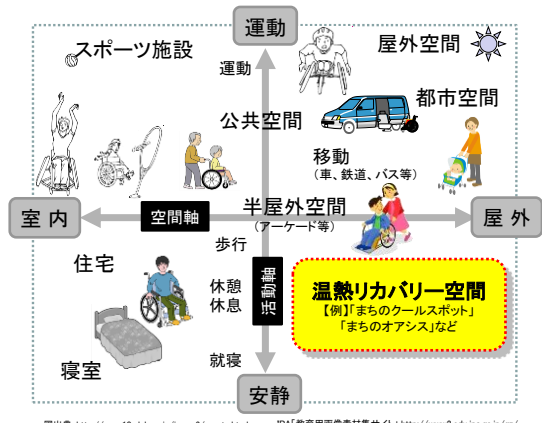


図2 温熱リカバリー空間の提案とその位置づけ

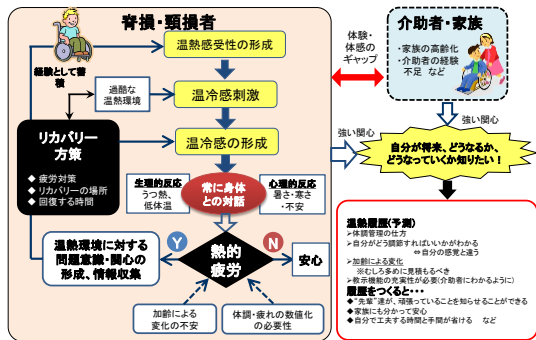


図3 頸損者・脊損者の温熱環境との連関 (部分)

温熱環境プロフィールの概念には、生活全般のみならず、将来に対する身体的変化のことも期待され、日常生活において、体温調節に深く関わる温熱環境に対するニーズが広範囲であり、また強いものであることが明らかとなった。なかでも「疲労」に対する意識は高く、特にアパート等で社会的支援を受けながら、職業を持つなどして自立生活している脊損・頸損者にとっては、「疲労」は自己の体調管理の重要な要素であり、それに暑さ・寒さなどの体温調節が深く関わっていることが明らかとなった。

したがって、温熱環境プロフィールにおいても、いわゆる「熱的疲労」を重要な観点として、より具体的にその表現・活用法を検討する必要があるものと考えられる。図3に「熱的疲労」を含めた脊損者・頸損者の体温調節の考え方を示す。

これらの成果は、いわゆる温熱環境弱者の主体的活動を支援するための概念整理で有り、さらにその要点を示すものとして、今後の建築・都市空間における温熱環境バリアフリーならびにユニバーサルデザイン構築に有用であると考えられる。

(2) 深部温モニタリングのための基礎実験

① 耳内温・舌下温の変動

図4に舌下温と耳内温との関係を示す。頸損者、健常者ともに舌下温と耳内温の相関性は認められるが、頸損者の方が、相関性が高い傾向がある。特に低温域(下降条件)での耳内温変動は健常者とは顕著に異なり、低温域でのモニタリングの必要性・有用性が示唆させる。

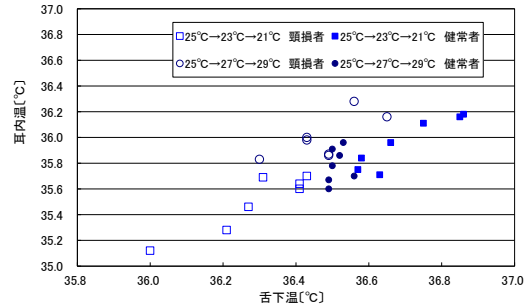


図4 舌下温と耳内温との関係

② 断熱皮膚温の変動

頸損者・健常者の下腿前断熱皮膚温および非断熱皮膚温変動量の経時変化を図5および図6に示す。下降条件(図5)では、頸損者も健常者も低下傾向が見られたが、頸損者の断熱皮膚温は健常者と比較して、下降が小さかった。頸損者は血管収縮機能が低下しているために、健常者と比較して断熱皮膚温の下降が小さかったと考えられる。

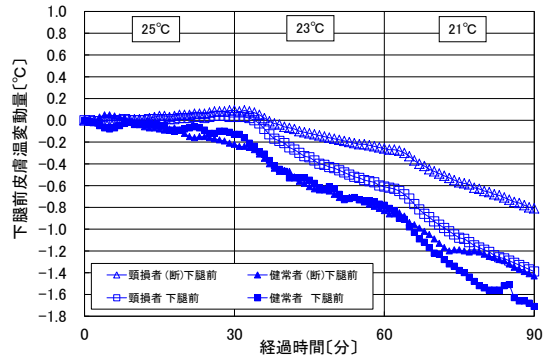


図5 下降条件における下腿皮膚温の変動

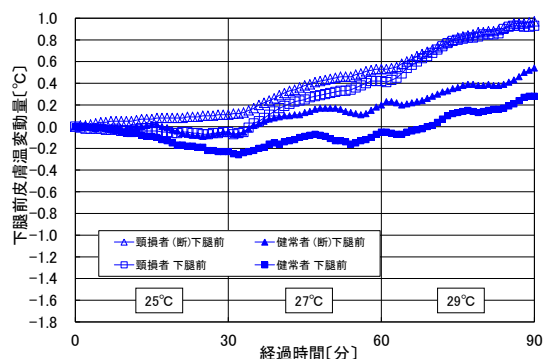


図6 上昇条件における下腿皮膚温の変動

試作の体温予測・提示システム(図10)は、計算部と表示部から成り、脊損・頸損者体温調節モデルの計算により予測された体温調節生理反応を提示するシステムである。任意の温熱環境での人体の体温を予測し、提示パネルに予測結果を提示する。

予測結果は、人体の深部層、筋肉層、脂肪層及び皮膚層毎に提示され、パネル上のタブで各層を選択して確認することができる。また、それぞれの層に対して部位毎の温度(頭部、頸部、胸部、背部、腹部、腰部、臀部、上腕部、前腕部、手部、大腿部、下腿部及び足部)、標準新有効温度(SET*)、ふるえ産熱量及び発汗量を提示するようにしている。

予測された部位毎の皮膚温度はグラフ、数値及び3D人体形状モデルで提示される。3D形状モデルは移動、回転及び拡大・縮小が可能であり、部位毎の温度を色付けしてマッピングしているため、暑熱環境及び寒冷環境における影響が視覚的確認可能である。

実用化については、深部温等の実測値との検証や、機能面、使い方などをさらに検討する必要がある。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 22 件)

- ① 土川忠浩、日常生活における頸髄損傷者の体温変動と予測に関する研究、日本生気象学会雑誌、査読無、Vol. 51、No. 3、2014、S51
- ② 田村康子、土川忠浩、大和義昭、松原斎樹、堀越哲美、ステップ温度変動下における頸髄損傷者の深部温指標としての断熱部熱流量の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)、査読無、環境工学 I、2014、pp. 111-112
- ③ 土川忠浩、田村康子、障害者・環境弱者のための温熱環境プロフィールに関する研究 その2 温熱環境プロフィールの課題、日本建築学会近畿支部研究報告集(環境系)、査読無、No. 54、2014、pp. 205-208
- ④ 田村康子、土川忠浩、大和義昭、松原斎樹、堀越哲美、ステップ温度変動における頸髄損傷者の深部温代替部位の検討、日本建築学会近畿支部研究報告集(環境系)、査読無、第54号 pp. 185-188、2014。
- ⑤ 田村康子、土川忠浩、大和義昭、松原斎樹、堀越哲美、屋外環境における頸髄損傷者の深部体温予測に関する研究、第37回人間-生活環境系シンポジウム報告集、人間-生活環境系学会、査読無、No. 37、2013、pp. 69-70
- ⑥ 田村康子、土川忠浩、服部託夢、大和義昭、松原斎樹、堀越哲美、冬季屋外時における頸髄損傷者の体温モニタ部位の検討、日本生気象学会雑誌、査読無、Vol. 50、no. 3、2013、S73
- ⑦ 土川忠浩、田村康子、障害者・環境弱者のための温熱環境プロフィールに関する研究 その1 その必要性と方向性、日本建

築学会大会学術講演梗概集(北海道)、査読無、環境工学 I、2013、pp. 109-110

- ⑧ 田村康子、土川忠浩、藏澄美仁、大和義昭、松原斎樹、堀越哲美、夏季屋外外出時における頸髄損傷者の深部温予測に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道)、査読無、環境工学 I、2013、pp. 107-108
- ⑨ 土川忠浩、田村康子、脊髄損傷者の主体的行動を促進・支援する温熱環境のあり方に関する研究、日本福祉のまちづくり学会第16回全国大会、査読無、2013、2GII-1
- ⑩ 堀慎輔、土川忠浩、田村康子、藏澄美仁、大和義昭、松原斎樹、堀越哲美、都市・建築空間における車いす使用者の主体的行動支援のための体温予測に関する研究、第35回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集、査読無、No. 35、2012、pp. 283-286
- ⑪ 堀慎輔、土川忠浩、田村康子、服部託夢、藏澄美仁、大和義昭、松原斎樹、堀越哲美、車いす使用者の主体的行動を支援する体温予測提示システムの開発に関する研究、日本生気象学会雑誌、査読無、49(3)、2012、S47

[学会発表] (計 22 件)

- ① 土川忠浩、日常生活における頸髄損傷者の体温変動と予測に関する研究、日本生気象学会大会、2014年11月24日~25日、桐蔭横浜大学(神奈川県・横浜市)
- ② 田村康子、土川忠浩、大和義昭、松原斎樹、堀越哲美、ステップ温度変動下における頸髄損傷者の深部温指標としての断熱部熱流量の検討、日本建築学会大会、2014年9月14日、神戸大学(兵庫県・神戸市)
- ③ 土川忠浩、田村康子、障害者・環境弱者のための温熱環境プロフィールに関する研究 その2 温熱環境プロフィールの課題、日本建築学会近畿支部研究発表会、2014年6月22日、大阪工業技術専門学校(大阪府・大阪市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土川 忠浩 (TSUCHIKAWA, Tadahiro)
兵庫県立大学・環境人間学部・教授
研究者番号：5018005

(2) 研究分担者

服部 託夢 (HATTORI, Takumu)
奈良先端科学技術大学院大学・情報科学研究科・助教
研究者番号：80549220
(平成25年度より研究協力者)