

床と足裏の接触による冷刺激の継続時間が生理-心理反応の相関に 与える影響について

岡田 直樹¹⁾, 加納 広志¹⁾, 大浦 理沙²⁾, 宮本 征一²⁾

¹⁾パナソニック株式会社 エコソリューションズ社, ²⁾摂南大学

Study on the influence that the cold stimulation from the floor gives in the thermal comfort, the thermal sensation, the skin temperature and the heat flux of the contact region

Naoki OKADA¹⁾, Hiroshi KANO²⁾, Risa OURA²⁾, Seiichi MIYAMOTO²⁾

¹⁾Eco Solutions Company, Panasonic Corporation, ²⁾Setsunan University

Abstract: To understand the physiological psychological reaction when receive the cold stimulus from the floor of the living space, the experiment were conducted in the 3 levels of floor temperature and the 4 levels of wood flooring with different thermal properties. As a result, it was revealed that the correlation between the thermal sensation, thermal comfort and heat flux or skin temperature of the contact region (Sole of foot) changed under the influence of the elapsed time that the cold stimulation was given. At the moment of contact, the correlation of the dynamic thermal sensation of the contact region and the heat flux of the contact region is high. After a period of contact time, the correlation appears high between static thermal sensation of the contact region and the skin temperature of the contact region. Regardless of the time, the correlation was observed in the thermal comfort and the skin temperature of contact region. On the other hand, the correlation was not observed in the thermal sensation and the heat flux, the skin temperature of contact region.

Key words: thermal sensation of the contact region, thermal comfort, heat flux of the contact region, the skin temperature of the contact region, surface temperature of the floor

要旨: 冬期の住宅において、フローリング等の床材から冷刺激を受けて不快を感じることもある。本研究では、床からの冷刺激を床温度3水準(15℃・18℃・20℃)、熱物性の異なる木質床材4水準を条件として、居住空間の床面から受けると考えられる冷刺激を与えたときの生理心理反応を把握する実験を行った。その結果、接触部(足裏)の皮膚温または熱流束と温冷感・温熱的快適感との相関は、冷刺激を受けてからの経過時間によって変化することが明らかとなった。具体的には触れた瞬間の動的接触温冷感(=「ひやっと感」)は接触部の熱流束、暫く時間が経過したときの静的接触温冷感(=「冷たさ感」)は接触部の皮膚温と相関が高く、また温熱的快適感は経過時間によらず接触部の皮膚温度と相関が認められた。一方、全身温冷感や接触部の熱流束・皮膚温とも相関が認められなかった。

キーワード: 接触温冷感、温熱的快適感、接触部熱流束、接触部皮膚温、床表面温度

1. はじめに

冬期の住宅においては、居室を暖房していてもフローリング等の床面が暖まらずに冷刺激を受けて不快に感じることもある。床面は居住者が接触する機会が多いことから温熱快適性向上のためには床面との接触を考慮した快適性の検討が必要と考えられる。また、歩行時などに見られる瞬間的な接触時の温冷感と長時間椅子座位などに見られる床面との長時間接触時の温冷感については、別の考え方が必要と思われる。これらの温冷感に影響を及ぼす床面の物理的要因としては、

床表面温度と床材の熱容量及び熱伝導率に代表される材料特性の2つがあると考えられる。

既往研究では、床暖房または床冷房といった快適性向上を目的とした積極的な床温制御による温冷刺激が人体に与える影響について多くの研究がなされてきたが、一般住宅の居室で生じる不快領域の床表面温度からの冷刺激を対象とした研究はあまり行われていない。

本研究では、恒温恒湿室の床面に熱物性の異なる木質床材4種を敷き、通常の住宅で生じると考えられる床温度3水準を設定し、椅子座位における足裏からの

冷刺激による接触部の生理反応（皮膚温及び熱流束）と温冷感・快適感との関係が接触時間によってどのように変わるのかを検討した。

2. 方法

2.1 実験環境

図1に示す前室と恒温恒湿室（ESPEC:TBR-3HAOPX 3.0m×2.1m×2.0m）内で被験者実験を行った。恒温恒湿室の壁面はカーテンで蔽い、壁温≒室温となるようにした。床面は、温度制御可能な冷水が循環するパネルを敷設した上に、木質床材（12mm厚）を敷いた。被験者の足が接触する部分には、木質床材の上に実験条件に合わせて熱物性の異なる4種類の床材（330mm×910mm）を敷いた。恒温恒湿室内の室温・湿度とグローブ温度は通風型白金熱抵抗体乾湿計とグローブ温度計をFL600mmに設置して、床・天井・カーテンの表面温度及びFL100mm・600mm・1100mmの室温を0.2mmT型熱電対を用いて10秒間隔で測定した。周囲気流速度は0.15m/秒以下であることを確認した。

被験者には、温度・熱流束センサー（江藤電気:S11A）をHardy-Duboisの7点に加えて、床との接触部である足裏にサージカルテープを用いて貼り付けた。足裏の貼り付け箇所については、本研究の前年度に実施した研究の知見より安定したデータが得られる踵部1箇所とした。足裏の皮膚温と熱流束は1秒間隔、それ以外の部位は10秒間隔で計測した。なお、本実験は2014年1月～3月にかけて実施した。

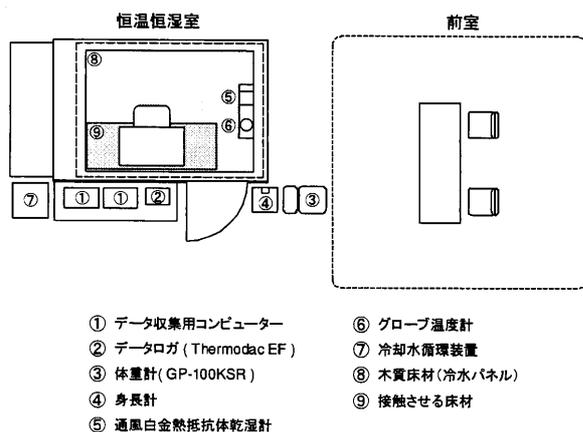


図1 前室と恒温恒湿室

2.2 被験者実験の実験条件

恒温恒湿室の室温は冬期の居室暖房を想定して室温23℃、湿度40%となるように制御した。

被験者に接触させる床材は、熱容量や熱伝導率などの熱物性が異なる無垢材や複層フローリング材の4種を用いた。

通常の戸建住宅で生じるとされる床面温度として被験者が接触する木質床材の表面温度を15℃・18℃・20℃の3条件とした。木質床材の上面と下面に貼り付けた温度・熱流束センサーより、木質床材の内の熱流束はほぼ定常状態であることを確認した。

同一被験者において、床材4種で床温度3条件の計12回の実験を行った。表1に、実験に用いた男女4名の被験者特性を示す。

表1 被験者の身体特性

	性別	身長 cm	体重 kg	BMI kg/m ²	年齢	出身地
M01	男	174.0	75.2	24.8	48	福岡県
F01	女	156.2	49.9	20.5	20	大阪府
F02	女	149.5	42.0	18.8	20	大阪府
F03	女	158.5	52.4	20.9	20	大阪府

2.3 被験者実験の実験手順

前室（室温21℃～22℃）にて、被験者には同一の実験着（スウェット上下、下着、靴下：0.75clo）を着用させ、足裏に温度・熱流束センサーを貼りつけて、20分程度休息させた。過度な下肢の冷えが無い状態を確認した後に、スリッパと木質床材に交互に接触させて、足裏の温度変化に伴う温冷感の変化を体感させた。

恒温恒湿室に入室させて、人体各部位に温度・熱流束センサーを取り付けた。その後、恒温恒湿室に設置した椅子に、足を床に接触させない状態で座らせた。その後、曝露開始の合図で足裏を床に12分間接触させた。なお、曝露開始と同時に冷水の循環を停止して床温は成り行きとした。

心理申告は、図2に示す実験手順で100mmの直線尺度を用いて申告させた。なお、本報では接触部の皮膚温・熱流束、及び温熱的快適感・接触温冷感・全身温冷感の申告を用いて相関分析を行った結果を示す。分析にあたっては各曝露条件での各被験者の接触部熱流束、接触部皮膚温及び心理申告値を平均化せずそのまま用いることとし、実験前の足裏温度が安定しなかった3条件のデータを除外した。

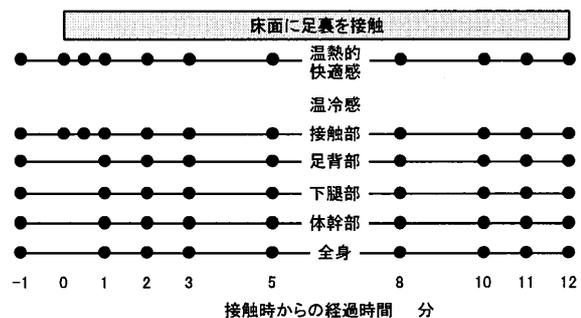


図2 実験手順

3. 結果と考察

3.1 皮膚温・熱流束の経時変動

図3に、床に足裏を接触する直前における床接触部(踵)の熱流束と皮膚温からの変化量の例を示す。熱流束は接触直後に足裏から床への急激な熱流束が生じ、時間経過と共に接触前の状態に近づいた。一方、接触部の皮膚温は接触直後から緩やかに低下し約10分ではほぼ一定値に近づいた。床材の物性値の違いによる変化量の大小はあるものの、経時変化のパターンは類似していた。

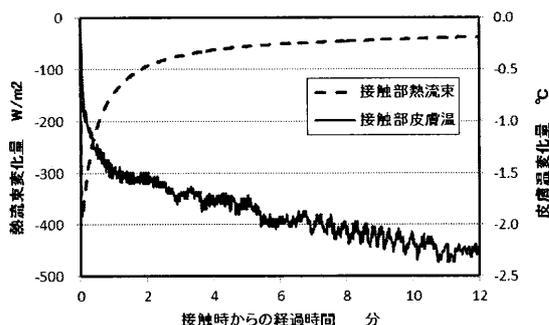


図3 熱流束・皮膚温経時変化の例

3.2 相関係数の分析

3.2.1 接触部温冷感

図4に接触部温冷感と接触部熱流束の関係を、図5に接触部温冷感と接触部皮膚温の関係を、接触後30秒後と12分後について示す。図6に接触部温冷感と接触部熱流束または接触部皮膚温の相関係数の経時変化を示す。接触部温冷感は接触直後から3分間は接触部熱流束と相関が認められたが5分以降は相関がほとんど見られなかった($r < 0.4$)。一方、接触部皮膚温は接触部熱流束とは異なる相関関係を示した。具体的には接触直後から3分間はほとんど相関が見られず($r < 0.4$)、5分後以降に相関が認められた($r > 0.4$ $p < 0.01$)。これらのことから、触れた直後の動的接触温冷感(=「ひやっと感」)は接触部熱流束、5分以上時間が経過したときの静的接触温冷感(=「冷たさ感」)は接触部の皮膚温の影響が大きいと推察される。

図7に床温別の相関係数の経時変化を示す。接触部熱流束・皮膚温ともに、床表面温度が20°C・18°Cに比べて15°Cのほうが相関は低いことがわかる。これは冷たさの感じ方に個人差が大きいことに起因していると思われる。

3.2.2 温熱的快適感

図8に温熱的快適感と接触部熱流束または接触部皮膚温の相関係数の経時変化を示す。接触部熱流束との相関は全ての申告時間において相関が見られず、接触部皮膚温との相関は多くの申告時間において相関が見

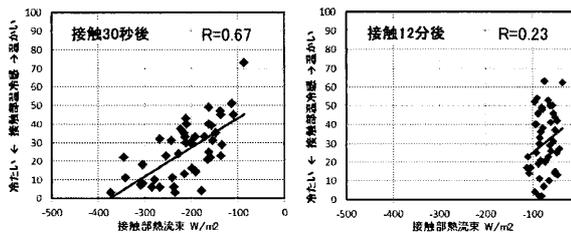


図4 接触部熱流束と接触部温冷感の相関の例

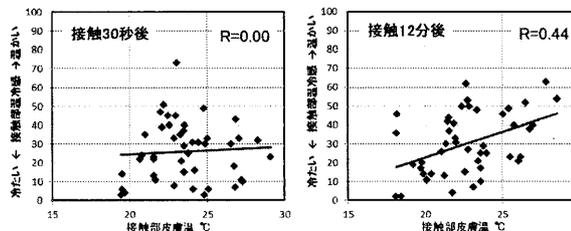


図5 接触部皮膚温と接触部温冷感の相関の例

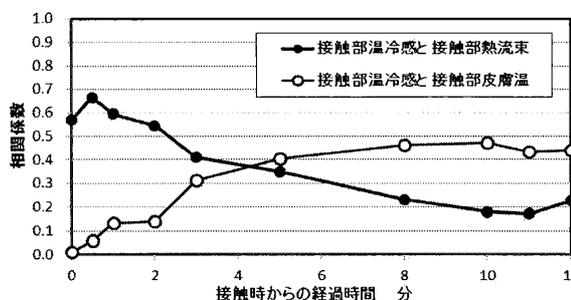


図6 接触部温冷感と生理量の相関経時変化

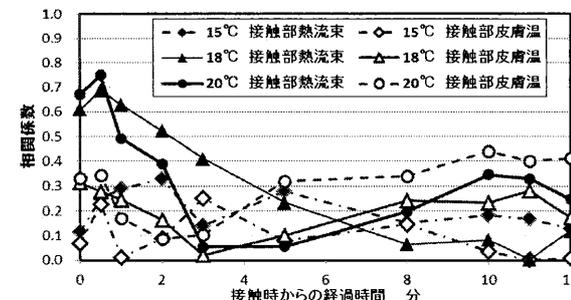


図7 接触部温冷感と生理量の相関経時変化(床温別)

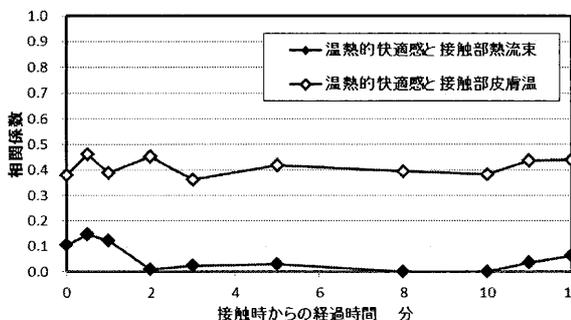


図8 温熱的快適感と生理量の相関経時変化

られた ($r > 0.4$ $p < 0.01$)。温熱的快適感には接触部皮膚温と関係があると推察される。接触部温冷感は、接触直後は人体の状態よりも環境の変化を知覚するため熱流束との相関が高く、定常時には人体の状態を知覚しているので皮膚温との相関が高くなるが、温熱的快適感、接触直後においても、人体の状態を知覚することとなるため、皮膚温との相関が高くなると考えられる。

図6と図8から接触直後から3分後までは接触部熱流束が接触部温冷感に与える影響が大きい(相関が高い)が、温熱的快適感との相関は見られない。図9に接触直後から3分後までの接触部温冷感と温熱的快適感との関係を示す。被験者によって、動的な接触部温冷感(足裏への冷刺激)に対して温熱的快適感(不快感)申告に与える影響が小さい群と、大きい群が混在しているために、相関が見られなくなったと考えられる。つまり、温熱的快適感には主に接触部の皮膚温の影響が大きい、接触直後については更に熱流束の影響を受けることが示唆された。この点については、被験者数を増やす等により更なる検討が必要と思われる。

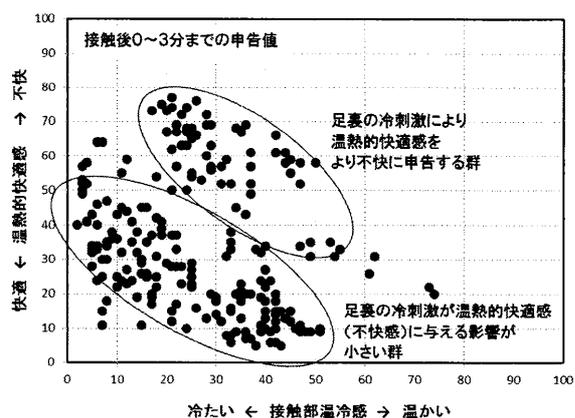


図9 接触部温冷感と温熱的快適感の関係

3.2.3 全身温冷感

図10に全身温冷感と接触部熱流束、皮膚温の相関係数の経時変化を示す。

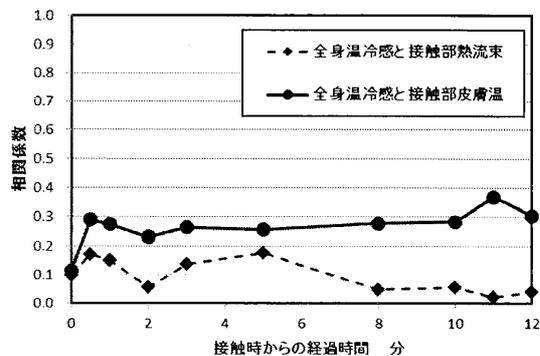


図10 相関係数の経時変化(全身温冷感)

全身温冷感には接触部皮膚温、接触部の熱流束との相関は全ての申告時間において認められなかった。全身温冷感については、接触部以外の皮膚温や熱流束が影響を及ぼしていると考えられる。

4. まとめ

通常の冬期の住宅を想定し、居住空間の床面から受けると考えられる冷刺激を与えたときの生理心理反応を把握する実験を行った結果、接触部(足裏)の皮膚温または熱流束と温冷感・温熱的快適感との相関は、冷刺激を受けてからの経過時間によって変化することが明らかとなった。具体的には触れた瞬間の動的接触温冷感(=「ひやっと感」)は接触部の熱流束、暫く時間が経過したときの静的接触温冷感(=「冷たさ感」)は接触部の皮膚温と相関が高い。温熱的快適感を経過時間によらず接触部皮膚温と相関が認められ、接触部熱流束と関係のある動的接触温冷感(=「ひやっと感」)は温熱的快適感に及ぼす影響が大きい群と小さい群があることが示唆された。一方、全身温冷感には接触部の熱流束・皮膚温ともに相関が認められなかった。

5. 文献

- 岡田直樹ら 2013: 床からの冷刺激が接触部の皮膚温・熱流束及び温熱的快適性に与える影響について、第37回人間一生活環境報告集、pp65-68
- 室恵子ら 2014: 脚部気温および床面温が体感に及ぼす影響 その1 被験者実験の概要と安定時における温冷感、日本建築学会学術講演梗概集 pp.367-368
- 松本真依ら 2001: 床冷房時の気温及び床温が人体の生理・心理反応に及ぼす影響、日本建築学会学術講演梗概集 pp.405-406
- 永田まゆみら 2005: 冷却試料接触時の生理・心理反応の関係、日本建築学会学術講演梗概集 pp.485-486
- 廣瀬文郁ら 2013: 接触面の非定常熱刺激が人体の熱的快適性に与える影響、日本建築学会学術講演梗概集 pp.373-378
- 崔英植ら 1996: 床暖房時の気温と床温が胡座人体に及ぼす影響に関する研究、日本建築学会計画系論文集 第480号、pp.7-14

<連絡先>

連絡先氏名: 岡田 直樹
 住所: 大阪府門真市大字門真 1048
 所属: パナソニック株式会社 エコソリューションズ社
 E-mail アドレス: okada.naok@jp.panasonic.com