生理指標の時系列分析に基づく入浴行動時の快適性評価

郭 鐘声^{*1}, 小竹 元基^{*2}, 鎌田 実^{*3}

Comfort evaluation during bathing based on time-series analysis of physiological indices

Jongseong GWAK^{*1}, Motoki SHINO^{*2} and Minoru KAMATA^{*3}^{*1,*2}Department of Mechanical Engineering, the University of Tokyo
7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan^{*3}Department of Human and Engineered Environmental Studies, the University of Tokyo
5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa-shi, Chiba 277-8563, Japan

Received 9 March 2016

Abstract

In a bathing environment, it is needed to evaluate an emotional effect quantitatively and continuously at stage of the product design for improving stress-relaxation effect. This study aimed to propose an index which can evaluate the comfort quantitatively and continuously on bathing. To search the physiological indices correlated to the comfortable feeling, we measured subjective evaluation of comfortable feeling in one-minute increments, with continuous measurement of physiological parameter before bathing, on bathing, after bathing. We analyzed the relationship between time-series data of the subjective evaluation and the physiological parameter. As a result, we proposed the evaluation index of comfortable feeling by using HF content obtained from spectral analysis of heart rate variability, and confirmed that the evaluation index can evaluate comfortable feeling quantitatively and continuously including the effect of personal preferences related to bathing.

Key words : Thermal comfort, Time-series analysis, Physiological index, Heart rate variation

1. 緒 言

近年、日本はストレス社会といわれ、ストレスの解消や癒しへの要求が高まっている。人が日常生活で行う様々な行為の中で、入浴は体の清潔維持や保温、疲労回復などの生理的效果に加え、ストレス解消や心の癒しなどの感性的効果も求められる行為(東京ガス, 2015)として位置づけされている。その結果、健康的で快適な入浴を支援するための空間や製品、入浴方法に関する関心が高まっている。そのような要求に対し、入浴効果の向上を可能とする空間や製品の設計、または入浴方法を提案するには、入浴空間や製品使用時の連続的な動作における生理的效果と感性的効果を定量的に評価した上で設計方針を決定することが重要となる。

先行研究では、入浴時における温熱環境と人間との熱交換作用に着目し、主に湯温、入浴時間、入浴方法などの要因と、皮膚温、体内温、発汗量、血圧などの人間側の生理指標との関連性を検討し、入浴の生理的效果を定量的に評価している(久保他, 2005)(津本他, 2006)。感性的効果の評価項目の一つとして快適感の評価が多く用いられているが、ユーザの主観評価に依存していることが多い(久保他, 2005)(津本他, 2006)(室, 2001)。また、岩川らは心拍変動指標を用い、浴槽形状による入浴時の快適感を定量的に評価しているが、得られたデータを設定したタスクの前・中・後に区切り、区間ごとに統合された形で分析している(2003)。

このように、従来研究では感性的効果の評価が定性的または離散的に行われており、入浴中の連続的な動作の変化や時間の経過に伴う影響について定量的に評価されていないため、感性的効果を向上するための空間や製品の設計に活用可能な要素を抽出することが困難である。本研究では、入浴時の感性的効果を向上させるための入浴環境設

計を目指し、その設計方針を決める際に必要とされる評価指標として、入浴時の快適感を連続的かつ定量的に評価し得る指標を提案することを目的とする。

2. 入浴行動時における快適性評価の方針

人が入浴を行う際には脱衣、移動、入水などの動作を行い、その際に様々な外的刺激を受けることになる。本研究では、入浴を行う際に人体へ最も影響を与える外的刺激は温熱刺激であると考え、その上で外的刺激に対する生理反応の流れに関する既存研究のモデルに基づき(吉川他, 2006), 図 1 に示すように、今回の入浴シーンにおける生理反応の流れを考え、議論を進める。入浴行動時には、温熱刺激を受ける感覚器官である皮膚と温熱環境との熱交換作用及び体内の循環器系の作用を含む体温調節反応と(図 1 の実線の矢印)、温熱刺激の知覚から認知・記憶・判断の過程を経て、快適、不快などの感情・情動の変化による生理反応(図 1 の点線の矢印)が複合的に生じると考えられる。それらの考えに基づき、その両作用が快適感の変化にどのように影響するのかを明確にするため、体温調節反応を表す生理パラメータと、感情・情動の変化を表す生理パラメータを同時に計測し、各パラメータ間の関連性を検討した上で、快適感との関連性が高い生理指標の抽出を試みる。入浴の前・中・後の連続動作および時間の経過に伴う影響を評価するため、入浴の前・中・後の連続動作において妨害なく計測可能であることと、水回り環境で連続的に計測可能であるという制約条件を考慮した上で計測項目を選定し、それらの情報を計測可能なシステムを構築した上で、生理パラメータの計測を行う。

Fig.1 Process of physiological response

3. 入浴行動時における快適性評価実験

入浴行動時における快適感と関連性が高い生理指標を抽出するため、入浴を行う人の快適感に変化が現れるように温熱刺激の程度及び持続時間が異なる幾つかの条件を設定し、入浴実験を行う。実験参加者に設定した環境下で入浴を行わせ、その際の生理指標を計測すると共に、快適感の主観評価を周期的に行わせる。計測した生理指標と快適感の主観評価値の結果を時系列で分析し、その関連性を検討する。

3・1 計測項目の選定

外部環境との熱交換作用および体温調節反応の結果を反映する生理パラメータとして、体内温と皮膚温が挙げられる(岩崎他, 2000)。体内温は体内部の恒常性維持機能によりほぼ一定に保たれているが、外的・内的因子により多少変動する指標であり、皮膚温度は環境の温熱的要素の変化の影響と、血流の分布により左右される指標として捉えられる。本研究では、入浴行動時のお湯及び浴室環境の温熱刺激が皮膚に与える影響と体内部の温度調節反応を捉え、快適感との関連性を検討するため、体内温と皮膚温の計測を行う。

外部から受けた刺激を知覚した際に個人の属性・経験などが影響し、認知、記憶、判断の過程を経て感情・情動が変化し、生理反応を起こす。その感情・情動の変化を反映する生理パラメータとして、中枢神経系の活動を表す脳波(石橋, 土井, 2008)(大森他, 2002)、末梢神経系の一部である自律神経系の活動を表す心拍変動(下野他, 1998)(山田, 三宅, 2007)、内分泌系の作用による種々のホルモン反応(Yamaguchi et al., 2006 ; 山口, 2007)などが挙げられる。本研究では、浴槽に出入りする動作において連続的に計測、水回り環境での計測という制約条件を考慮し、取

り上げた生理指標の中で、防水対策が可能で浴槽に出入りする動作を妨害しないような無線通信センサーで連続計測可能な心拍を計測する。

快適感の主観評価は、実験参加者に入浴前・中・後の連続的な行動の中で、ISO10551 に準じた快適感の尺度(1995)を提示し、1 分周期でその際に感じる快適感の程度について答えさせる。その主観評価値の結果と生理指標から得られたパラメータとの関連性を検討し、快適感を定量的に表す指標の抽出を試みる。

3・2 計測方法

3.1 節で選定した生理指標の計測を行うため、浴槽に出入りする一連の動作への負担を少なくすることと、防水性を持ち、入浴前・中・後の過程において連続的に計測可能な装置が必要である。計測項目と計測方法を以下に示す。

- ・体内温：無線の赤外線センサー(テクノサイエンス社製、DBTL-2)を用い、図 2 に示すように、センサーを耳に装着し、外耳温を計測した。

- ・皮膚温：平均皮膚温を算出する際に用いられる Hardy-Dubois の 7 点法(1938)(額、胸部、前腕、手、大腿部、下腿部、足の 7 ヶ所を計測)に基づき、皮膚温の計測部位を選定し、その中で半身浴を行う際にお湯に浸かる部位は除き、露出している部位のみ計測することにした。測定部位は額、胸部、前腕とし、末梢皮膚温として手指先温度を計測した。計測装置はロガー付きセンサー(テクノサイエンス社製、TSDL-HT3)を用い、図 2 に示すように各部位に防水性のあるトレーシングテープでセンサーの先端部位を皮膚に装着し、計測を行った。

- ・心拍反応：無線で計測が可能で、遠隔モニターリングができる心電計測装置(日本光電社製、WEB-7000)を用い、心電図の計測を行った。浴槽に出入りする動作によって発生するノイズを少なくするため、図 2 に示すように、胸骨誘導法で心電計測用ピッカーを装着し、装着部位に防水性のトレーシングテープ貼って計測を行った。

- ・快適感の主観評価：ISO10551 に準じた尺度(1995)を用い、表 1 に示すように、快適感の程度を-3(非常に不快)から 3(非常に快適)の間の数字で評価させた。脱衣室と浴室内には実験参加者の正面側にその尺度を書いたパネルを置き、評価を行う際は 1 分ごとに音声で知らせ、その時に感じる快適感の程度を数字で発話してもらい、浴室内に設置したボイスレコーダで録音した。

3・3 実験概要

入浴時における温熱刺激の程度及び持続時間の違いが快適感に与える影響とその際に現れる生理反応との関連性を評価するため、既存研究を参考に(大中他, 2007), 38°C と 42°C 湯温, 10 分と 20 分の入浴時間を設定し, 1 人当たり合計 4 条件の実験を行った。その実験条件を表 2 に示す。今回の実験は東京大学倫理委員会の承認を受けており、実験場所は室内温度と湯温が制御可能な模擬脱衣室及び模擬浴室であり (TOTO 株式会社, UD 研究所)、実験参加者は成人男性 4 名(23.3±0.9 歳, 身長 174.3±5.4cm, 体重 60.8±4.0 kg)を用い、実験前に研究目的、実験内容、得られたデータの利用法を説明し、同意を得た上で実験を行った。また、実験開始時における実験参加者の状態を可能な限り合わせるため、前日の睡眠時間、食事、前日の運動時間を統制するように指示した。実験時には、実験参加者には水着を着衣させ、実験中に行う動作は浴槽に出入りする動作と体を拭く動作のみと制限し、それ以外の姿勢はすべて座位と指示した。入浴方法は、水深 30cm の半身浴と設定し、水に浸かっていない身体各部位に計測装置を装着できるようにした。実験参加者には脱衣室に入り、水着に着替えてもらい、座位安静状態で計測装置を装着した。10 分間安静状態を維持してから浴室に移動し、浴槽に浸かるように指示した。入浴が始まった時から、生理計測と伴に快適感の主観評価を 1 分ごとに行った。設定した入浴時間経過後、浴槽から出て体を拭き、また脱衣室で 10 分間安静するようにして生理計測と主観評価を続けた。その入浴実験の手順を図 3 に、入浴前と入浴中の実験の様子を図 4 に示す。

3・4 解析方法

温熱環境条件における各パラメータの変化傾向を把握するため、生理指標の計測から得られたパラメータと快適感の主観評価値の結果を時系列で表し、その関連性を検討する。快適感の主観評価値と同間隔でデータを並べて比較するため、計測した他のパラメータも 1 分間隔の区間で区切り、その区間における代表値を求める必要があると考えた。

外耳温と皮膚温各部位のデータは 1 分間隔で平均を算出し、時系列に表して解析を行った。また、自律神経系の活動を反映する指標を抽出するため、心電図から R-R 間隔の時系列データを算出し、1 分間隔で区切って周波数解

析を行い、1分間隔における周波数成分のパワーを求めた。具体的には、低周波数成分(0.04~0.15Hz)のパワースペクトルの積分値を LF(Low Frequency)値とし、高周波数成分(0.15~0.45Hz)のパワースペクトルの積分値を HF(High Frequency)値として求め、LF/HF 値を交感神経活動の指標として、全周波数成分に対する HF 含有率を副交感神経活動の指標として用いた(堀, 2008)。解析ツールは周波数解析プログラム(BIMUTAS2, キッセイコムテック社製)を使い、周波数解析の方法は短時間の時系列データを高分解能で分析可能であることから(日野, 1977)、最大エントロピー法(MEM 法)を用いた。

Table 1 Scale of comfort

Value	Meaning
3	Very comfortable
2	Comfortable
1	Slightly comfortable
0	Neutral
-1	Slightly Uncomfortable
-2	Uncomfortable
-3	Very Uncomfortable

Table 2 Experimental condition

Condition	Water temperature	Bathing time	Depth of water	Temperature of dress room	Temperature of bathroom
Exp.1	38°C	10 min	30cm	26±1°C	27±1°C
Exp.2	38°C	20 min			
Exp.3	42°C	10 min			
Exp.4	42°C	20 min

Fig.2 Equipped states of the measuring devices and measurement system

Fig.3 Process of experiment

Scene of dress room

Scene of bathroom

Fig.4 Scene of experiment

3・5 結果及び考察

3・5・1 体温調節反応を表す生理指標と快適感の主観評価値との関連性

入浴前・中・後における皮膚温と外耳温の時系列及び快適感の主観評価の結果の一例として、湯温が 42°C の条件における実験参加者 A,B の結果を図 5 に示す。図 5(a), 5(b)に示す皮膚温の変化をみると、前腕部、胸部、額部の温度の変化量は実験参加者間で差がみられるが、入浴開始から上昇して入浴後に低下する傾向は同じであることが

わかる。また、図 5(c), 5(d)に示す外耳温は、入浴が始まってから 5~6 分が経過するまでには低下し、それから上昇する傾向がみられ、入浴後にもすぐに低下するのではなく、2~3 分ほど上昇してから低下する傾向がみられた。このような一過性変化は、末梢血管の収縮により外層部にある血液が核心部に還流されるために現れる逆説的上昇(逆説的下降の場合はその逆)と言われる現象として体温調節系の動きを反映する結果であると考えられる。このような皮膚温及び外耳温の変化傾向に対し、快適感の主観評価値は、図 5(e)に示すように、実験参加者 A の場合には入浴に入った 10 分の時から徐々に快適感が上昇し、7 分後にピークを表してから徐々に快適感が低下していることがわかる。実験参加者 B においては、図 5(f)で示すように、入浴を始めて 2 分が経過する時まで「-2: 不快」と評価し、その後、「2: 快適」に評価値が推移し、時間の経過に伴い、不快の方向に変化する傾向がみられた。入浴後の快適感の評価では、実験参加者 A は浴槽から出て不快から快適まで徐々に評価が上がったが、実験参加者 B は浴槽から出てすぐに「3: 非常に快適」であると評価した。つまり、体内温、額部、胸部、前腕部位の皮膚温に関しては、同様の温熱刺激を与えた際に、各部位の温度変化が実験参加者の間で同様な傾向を示しているが、快適感の主観評価値は実験参加者間で逆の傾向を示す場面が現れた。この結果を 2 章の図 1 に示した生理反応の流れに基づいて考察すると、入浴中に感じる快適感と同様な温熱刺激を受ける場合でも、中枢神経系の認知・記憶・判断の過程の中で、個人差が生じたと推察できる。このような個人差により、体温調節作用を反映する指標である皮膚温、体内温のみでは、入浴中の快適感を評価することが困難である。

図 5(a), 5(b)に示す実験参加者の間の手先温度の変化をみると、実験参加者 A の手先温は、入浴に入ってから徐々に上昇していることに比べ、実験参加者 B の手先温は入浴に入った時の 10 分から 11 分の間、手先温が下がってから上昇する現象がみられ、図 5(f)の 10 分から 12 分までの区間で実験参加者 B が「-2: 不快, -1: やや不快」と評価したタイミングと一致している。この現象は既存研究から知られているように(Yamakoshi et al., 2010), 強い温熱刺激がストレスとして作用し、体温調節機能の乱れ、末端部位である手先の皮膚温が低下するというストレス反応によるものであると推察できる。このような手先温の一過性な低下は入浴時の温熱刺激を不快と感じた際における快適感の評価指標として活用できることが考えられるが、この現象は実験参加者が湯船に出入りすることにより、急に温熱刺激を受けた時のみ現れ、図 5(e)の 28 分の時から被験者が不快であると評価した際にはその傾向が現れなかった。この結果から、手先部の皮膚温は入浴中、連続的に温熱刺激を受ける際に、情動の変化の影響より、外部環境との熱交換作用および体温調節反応の影響の方を強く反映すると推察できる。そのため、時間の経過に伴い徐々に温熱刺激を受ける場面では、快適感を評価する指標として適切ではないと考えられる。

3・5・2 自律神経系の活動を表す生理指標と快適感の主観評価値との関連性

自律神経系の活動を表す指標として用いた心拍変動パラメータと快適感の主観評価値との関連性を検討するため、心電計測データから心臓交感神経系の指標として LF/HF、心臓副交感神経系の指標として HF 含有率を 1 分ごとに算出した。その結果の一例として、湯温 42°C の条件における実験参加者 C の LF/HF, HF 含有率の時系列及び快適感の主観評価値の時系列をそれぞれ図 6 に示す。

実験参加者 C の快適感の主観評価値は、図 6(e) と図 6(f)に示すように、入浴開始時(10 分)のところから快適側に変化し、実験開始から 8 分が経過した所(18 分)で不快となるパターンが現れ、入浴後にまた快適側に変化する傾向が両条件ともにみられた。入浴開始から 10 分が経過するまでは、両条件とも同じ経過であるにも関わらず、「1: やや快適」と「3: とても快適」の差が現れたのは、今回の実験における実験開始時の実験参加者の状態の相違によるものと推察される。主観評価の絶対値の再現性は弱いですが、快適と不快に関する時系列変化の傾向は類似性を持っており、その時系列変化に注目し、快適感の主観評価値と生理指標との関連性について議論を進める。

交感神経系の活動を表す指標として用いた LF/HF 値は、図 6(a)に示すように、入浴前の 10 分間の区間より、入浴中の 10 分間の区間でその値が低く、その際における主観評価値の上昇と逆傾向がみられた。同様に、湯温 42°C、入浴時間 20 分の条件の結果である図 6(b)でも入浴前半(10~ 20 分区間)に比べ、入浴後半(20~30 分区間)の LF/HF 値が高く、図 6(f)に示す快適感の主観評価値と逆傾向がみられた。しかし、LF/HF 値は入浴前の安静状態である図 6(a)の 0~10 分に現れるように、他の区間に比べ大きな変動がみられたこと、図 6(b), 図 6(f)の 10 分のところでみられるように、快適感の主観評価値は 1 (やや快適)を示すところで LF/HF 値が急に上昇することや、図 6(b), 図 6(f)の 25~30 分のところでみられるように、快適感の主観評価値は快適の方向へ徐々に変化する場合で、LF/HF 値が急に上昇してから下降することなど、快適感の主観評価値との関連性がみられない場面があった。

一方、副交感神経系の活動を表す指標として用いた HF 含有率は図 6(c)と図 6(d)に示すように、入浴前の 10 分間より、入浴を始めてから 10 分間(10~20 分間)で、入浴前に比べ高い値を示している。これは快適感の主観評価が入浴中に高く評価されている区間と類似している。入浴後の 5 分間の区間でも(図 6(c)の 20~25 分の区間と図 6(d)の 30~35 分の区間)HF 含有率が高い値を示しており、同様の区間で快適の主観評価値も高くなっていることがわかる。また、湯温 42°C、10 分及び 20 分入浴の両条件とも、18 分のところから快適感の主観評価値が「不快」の方に低下しており、その際に HF 含有率も入浴中の序盤に比べ、低下していることがわかる。このように HF 含有率と快適感の主観評価値の間に類似した変化傾向がみられ、この事例では HF 含有率と快適感の主観評価値の時間的変化の間に関連性があると考えられる。

Fig.5 Variation of comfort sensation and body temperature (Subject A, B)

(a) Variation in LF/HF

(Water temperature 42°C, bathing for 10 minutes)

(b) Variation in LF/HF

(Water temperature 42°C, bathing for 20 minutes)

(c) Variation in HF content

(Water temperature 42°C, bathing for 10 minutes)

(d) Variation in HF content

(Water temperature 42°C, bathing for 20 minutes)

(e) Variation of comfort sensation vote

(Water temperature 42°C, bathing for 10 minutes)

(f) Variation of comfort sensation vote

(Water temperature 42°C, bathing for 20 minutes)

Fig.6 Variation of comfort sensation and heart rate variation (Subject C)

3・5・3 各パラメータ間の相関

前章で時系列分析を行った各パラメータ間の関連性について統計的に分析を行うため、相関分析を行った。実験参加者4人の4条件における入浴中の快適感の主観評価値と、外耳温、胸部温、額温、前腕温、手先温、LF/HF、HF含有率との間で行った相関分析の結果を表3に示す。相関分析を行った結果、今回の実験で計測した生理指標の中では、HF含有率($R=0.369$, $p<0.01$)、胸部温($R=-0.285$, $p<0.01$)、LF/HF($R=-0.263$, $p<0.01$)、前腕温($R=-0.238$, $p<0.01$)の順で快適感の主観評価値との間に有意な相関がえられた。その他、外耳温、手先温、額温は快適感の主観評価値との間に有意な相関はえられなかった。HF含有率と快適感の主観評価との間に最も強い相関が認められたことは、入浴行動時における副交感神経系の活動の変化は温熱刺激による体温調節反応が現れる場合でも感情・情動に含まれる快適感の変化の影響の方を強く反映すると推察できる。

Table 3 Result of correlation analysis between comfort sensation and physiological indices

Contents	Outer ear temperature	Forearm temperature	Chest temperature	Fingertip temperature	Forehead temperature	LF	HF	LF/HF	HF content
R	0.050	-0.238***	-0.285***	-0.009	-0.090	-0.003	0.136*	-0.263***	0.369***
t-Stat	0.790	3.906	4.747	0.139	1.433	0.049	2.181	4.348	6.319
p-value	0.430	1.20E-04	3.45E-06	0.889	0.153	0.961	0.030	1.99E-05	1.17E-09

***p<0.001, *p<0.05

3・5・4 分析結果のまとめ

入浴中における快適感の主観評価値と生理指標との関連性を分析した結果、以下のことがわかった。

- ・入浴中に感じる快適感は、認知・記憶・判断の過程の相違によって個人差が生じる可能性がある。
- ・入浴中に感じる快適感は、副交感神経の活動を表す HF 含有率との相関が高い。

そこで、次章では本結果を用い、入浴中の快適感の変化を評価可能な指標の算出を試みる。その評価指標に基づき、認知・記憶・判断の過程の相違によって生じる快適感の個人差の評価について検討を行う。

4. 快適感評価指数の算出

4・1 算出方法

今回の実験で得られたデータの中で、快適感の主観評価と最も強い相関がみられた HF 含有率を用い、入浴中の快適感の変化を評価可能な指標の算出を試みる。指標の要件として、HF 含有率の絶対値の個人差に依らず、入浴による快適感の変化を捉えることが必要であると考えられる。その要件を満たす指標を算出するため、入浴前の 10 分間の安静状態における HF 含有率の平均を、実験参加者の初期値として考え、入浴中における評価指標は HF 含有率と初期値との差分を用いる。また、1 分ごとに表した HF 含有率の細かい変動は除去し、時系列の推移により、その変化を捉えやすくするため、 t 分における値とその前後の $t-1$, $t+1$ 分における値を用い、3 点移動平均値を求める。この二つの過程を合わせた算出式は以下の式(1)になる。ここで H_t は t 分における HF 含有率を、 E_t は t 分における評価指数の値を示す。

$$E_t = \frac{1}{3}(H_{t-1} + H_t + H_{t+1}) - \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} H_i \quad (1)$$

4・2 快適感の主観評価値との関連性

式(1)から算出した値を快適感評価指数 E と定義する。要するに評価指数 E は入浴前の安静時に比べ、入浴を行うことで HF 含有率がどのように変化したのかを表す指標である。この評価指数と快適感の主観評価値との関連性を検討するため、今回行った湯温と入浴時間を変数とした 4 つの条件における評価指数 E と快適感の主観評価値の結果の推移を同グラフ内に示した。その一例を図 7 に示す。特に図 7(c), (d) の 10~20 分と入浴後の主観評価値と評価指数 E の変化に注目すると、両指標の間に類似した変化傾向がみられる。ここで全データを用い、両指標の間で相関分析を行った結果、評価指数 E と快適感の主観評価値との間の相関係数は 0.403 ($p<0.001$)であり、HF 含有率をそのまま用いた時より高い相関係数が得られた。以上のことから、評価指数 E は、入浴時における快適感の主観評価値と相関が認められ、入浴中に連続的に計測可能である心拍データから算出することが可能であるため、入浴中の快適感を連続的かつ定量的に評価できる。

5. 入浴に関する嗜好特性と快適性評価指数の関連性の検討

外部刺激に対する認知・記憶・判断の過程の違いは個性や過去の経験に影響されると言われ(浅輪他, 2008)、入浴行動では個人が持っている入浴に関する嗜好特性が認知・記憶・判断の過程に影響すると考えた。本章では第 4 章で算出した評価指標を用い、認知・記憶・判断の過程の相違によって生じる快適感の個人差が評価可能であるのかについて検討を行う。入浴に関する嗜好特性により入浴中に感じる快適感の個人差が生じるという仮定の

下, 今回求めた評価指数 E が入浴に関する嗜好特性による影響を反映することを確認するため, 成人男性 8 人 (24.9 ± 3.9 歳, 身長 172.0 ± 5.3 cm, 体重 67.3 ± 9.9 kg) に対し, 入浴に関するアンケート調査と入浴実験を行った. 解析の方針として, アンケートで入浴に関する嗜好について調査し, その結果に基づき, グループを分ける. その後, 入浴実験で計測したデータから評価指数 E を算出し, グループ間の特徴を整理する.

5・1 入浴に関する嗜好特性の調査

実験参加者を対象に予め入浴に関するアンケート調査を行い, 入浴に関する嗜好特性により, ユーザ分類を行う. 特に本研究の実験で用いた入浴方法である半身浴に対する好み度を表 4 に示すように, 2 (とても好き) から -2 (嫌い) まで 5 段階の尺度で評価してもらった. その結果, 表 5 に示すように, 今回の実験参加者の中で 4 人が半身浴を好んでおり (1 以上), 1 人がどちらでもない, 3 人があまり好きではないと入浴に関する嗜好に違いがあった.

Fig.7 Variation in subjective evaluation of comfortable feeling and the evaluation index (Subject C)

5・2 入浴実験の概要

既存の文献を参考にし(大中他, 2007), 普遍的であると考えられる入浴条件の範囲内である湯温 40°C , 入浴時間 15 分間と実験条件を定め, 8 人に対し 1 人 1 回ずつ入浴実験を行った. 実験の手順は 3 章の入浴実験と同様であり, 生理指標の計測に関しては, 評価指数 E を算出するため, 入浴前・中・後における心拍を計測した. 個々の実験参加者には実験目的, 実験内容, 得られたデータの利用法を説明し, 同意を得た上で実験を行った.

5・3 入浴に関する嗜好特性と快適性評価指数の関連性

入浴実験で計測した心拍データから, 式(1)を用い, 15 分間の入浴中における評価指数 E を算出した. 実験参加者 8 人の入浴中の評価指数 E を時系列で表した結果を図 8 に示す. 半身浴に関する好み度の結果に基づき, 実験参加者を分けて評価指数 E の値を比較してみると, 半身浴を好むグループの方が半身浴を好まないグループのより高いことがわかる. また, 入浴中の評価指数の平均値を算出した結果, 図 9 に示すように, 半身浴を好むグループは 0 より高く, 半身浴を好まないグループは 0 より低いことがわかる. これらの結果は, 入浴を行うこと

により、半身浴を好むグループは快適感が上昇し、半身浴を好まないグループは快適感が低下したことが反映されたと考えられ、今回の実験に参加した実験参加者の入浴に関する嗜好特性は心拍データから算出した評価指数 E と関連性があることが示された。

Table 4 Evaluation scale of bathing

Value	Meaning
2	Very favorite
1	Favorite
0	Neutral
-1	Undisposed
-2	Very undisposed

Table 5 Participants information and result of evaluation

Participant	Age [year]	Height [cm]	Weight [kg]	Body Mass Index[kg/m ²]	Value of evaluation
A	23	166	59	21.4	-1
B	25	171	67	22.9	0
C	25	174	65	21.5	2
D	22	167	64	22.9	-1
E	23	182	59	17.8	2
F	24	170	63	21.8	-1
G	35	168	92	32.6	1
H	22	178	70	22.1	1

■ : Groups that like bathing (evaluation value with 1 or more)

■ : Groups that undisposed to take a bath (evaluation value with -1 or less)

Fig.8 Time series of E value on bathing Fig.9 Mean of E value on bathing

6. 結 言

本研究では、入浴における感性的効果の向上を可能とする温熱空間設計を目指し、入浴時の快適感を連続的かつ定量的に評価可能な指標を抽出するため、入浴実験を行い、入浴時における生理指標と快適感との関連性を検討した結果、以下に示す知見がえられた。

- ・ HF 含有率の時系列分析を行い、入浴時の快適感を評価する指標を提案した。
- ・ 提案した評価指標を用い、個人が持つ入浴に関する嗜好の影響を含め、入浴時における快適感を定量的かつ連続的に評価できる可能性を示した。

今後、今回算出した評価指数の妥当性の検証と、入浴空間の環境要素との関連性を検討するため、実験参加者数を増やし、多様な入浴条件におけるユーザ属性ごとの評価を行い、実際に入浴中の快適感を向上できる入浴環境設計に展開する予定である。

謝 辞

本研究は東京大学デザインイノベーション社会連携講座の研究活動の一環として行われたものであり、大阪ガス(株)と TOTO(株)の関係各位には多大なる協力をいただきました。心よりお礼申し上げます。

文 献

- 浅輪武生, 後藤直子, 金澤洋之, 製品設計における感性品質の管理, 富士通, Vol.59, No.6 (2008), pp.624-629.
- Hardy, J. D. and Dubois E. F., The technic of measuring radiation and convection, Nutrition, Vol.15, No.5 (1938), pp.461-475.
- 日野幹雄, スペクトル解析 (1977), p.83, 朝倉書店.
- 堀忠雄, 生理心理学-人間の行動を生理指標で測る (2008), pp.183-184, 培風館.
- 石橋基範, 土井俊一, 向性と精神的負荷が精神疲労に及ぼす影響, 人間工学会論文集, Vol.45, No.1 (2008), pp.19-28.
- ISO10551 First edition 1995-05-15, Ergonomics of the thermal environment –Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales (1995).
- 岩川幹生, 寺野真明, 富田和志, 入浴時の快適性・リラックス性に対する浴槽形状の影響, 松下電工技報, Vol.82, No.11 (2003), pp.64-69.
- 岩崎房子, 斜木祐里, 小柴朋子, 田村照子, 22~34℃ 環境下における足部の温熱生理特性, 日本家政学会誌, Vol.51, No.7 (2000), pp.587-593.
- 久保博子, 津本美和, 磯田憲生, 石黒晃子, 入浴行動と入浴時の温熱環境の実測調査第 3 報 - 青年女子の入浴実態と生理的影響 -, 建築学会梗概集 (2005), pp.505-506.
- 室恵子, 心理評価の抽出方法に関する一考察 - 温熱環境評価を事例として -, 日本生理人類学会誌, Vol.6, No.3 (2001), pp.105-112.
- 大中忠勝, 高崎裕治, 栃原裕, 永井由美子, 伊藤宏充, 吉竹史郎, 冬期における浴室温熱環境の全国調査, 人間と生活環境, Vol.14, No.1 (2007), pp.11-16.
- 大森正子, 橋本令子, 加藤雪枝, 色彩刺激に対する心理評価と生理反応評価, 日本色彩学会誌, Vol.26, No.2 (2002), pp.50-63.
- 下野太海, 大須賀美恵子, 寺下裕美, 心拍・呼吸・血圧を用いた緊張・単調作業ストレスの評価手法の検討, 人間工学会論文集, Vol.34, No.3 (1998), pp.107-115.
- 東京ガス, 現代人の入浴事情 2015, 都市生活レポート(2015), pp.5-6,
available from <<http://www.toshiken.com/report/hot34.html>>, (参照日 2016 年 2 月 1 日).
- 津本美和, 久保博子, 磯田憲生, 八木廉子, 入浴行動と入浴時の温熱環境の実測調査第 5 報 - 夏期と冬期における通常入浴時の温熱環境と生理・心理反応について -, 建築学会研究報告集 (2006), pp.269-272.
- 山田晋平, 三宅晋司, 長時間暗算の生理指標, 主観指標, 作業成績におよぼす影響, 産業医科大学雑誌, Vol.29, No.1 (2007), pp.27-38.
- Yamaguchi, M., Deguchi, M., Wakasugi, J., Ono, S., Takai, N., Higashi, T. and Mizuno, Y., Hand-held monitor of sympathetic nervous system using salivary amylase activity and its validation by driver fatigue assessment, Biosensors & Bioelectronics, Vol.21, No.7 (2006), pp.1007-1014.
- 山口昌樹, 唾液マーカーでストレスを測る, 日本薬理学雑誌, Vol.129, No.2 (2007), pp.66-70.
- Yamakoshi, T., Matsumura, K., Kobayashi, H., Gotoh, Y. and Hajime, H., Feasibility study on assessment of driver's stress

from differential skin temperature measurement under simulated monotonous driving, Transactions of Japanese Society for Medical and Biological Engineering, Vol.48, No.2 (2010), pp.163-174.

吉川榮和, 仲谷善雄, 下田宏, 丹羽雄二, ヒューマンインタフェースの心理と生理 (2006), p.115, コロナ社.

References

- Asawa, T., Goto, N. and Kanazawa, H., Kansei quality control in product development process, Fujitsu, Vol.59, No.6 (2008), pp.624-629.
- Hardy, J. D. and Dubois E. F., The technic of measuring radiation and convection, Nutrition, Vol.15, No.5 (1938), pp.461-475.
- Hino, M., Spectrum analysis (1977), p.83, Asakurasyouten (in Japanese).
- Hori, T., Physiological psychology –to measure behavior of human from physiological index (2008), pp.183-184, Baihukan (in Japanese).
- Ishibashi, M. and Doi, S., Effect of introversion-extraversion and mental task load on mental fatigue, Journal of the Japan Ergonomics Society, Vol.45, No.1 (2008), pp.19-28 (in Japanese).
- ISO10551 First edition 1995-05-15, Ergonomics of the thermal environment –Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales (1995).
- Iwakawa, M., Terano, M. and Fukud, K., Influence of bathtub shape on comfort and relaxation during bathing, Matsushita Electric Works Technical Report, Vol.82, No.11 (2003), pp.64-69 (in Japanese).
- Iwasaki, F., Nanameki, Y., Koshihara, T. and Tamura, T., Thermo-physiological responses of the foot under 22-34°C thermal conditions, Journal of The Japan Society of Home Economics, Vol.51, No.7 (2000), pp.587-593 (in Japanese).
- Kubo, H., Tsumoto, M., Isoda, N., Ishiguro, A., Survey of bathing behavior and bathroom thermal environment on the daily life of young female, Part3, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan (2005), pp.505-506 (in Japanese).
- Muro, K., Proposition of a method for grasping psychological evaluation –Examples of applying the method to subjective evaluation on thermal environments, Journal of the Japan Society of physiological Anthropology, Vol.6, No.3 (2001), pp.105-112 (in Japanese).
- Ohnaka, T., Takasaki, Y., Tochihara, Y., Nagai, Y., Ito, H. and Yoshitake, S., A survey on thermal conditions of bathrooms during winter in Japan, Journal of Human and Living Environment, Vol.14, No.1 (2007), pp.11-16 (in Japanese).
- Omori, M., Hashimoto, R. and Kato, Y., Relation between psychological and physiological responses on color stimulus, Journal of the Color Science Association of Japan, Vol.26, No.2 (2002), pp.50-63 (in Japanese).
- Shimono, F., Ohsuga, M. and Terashita, H., Method for assessment of mental stress during high-tension and monotonous tasks using heart rate, respiration and blood pressure, Journal of the Japan Ergonomics Society, Vol.34, No.3 (1998), pp.107-115 (in Japanese).
- Tokyo Gas Co., Ltd., Urban life research center, Bathing circumstance of modern people 2015, Urban Life Report (2015), pp.5-6, available from <<http://www.toshiken.com/report/hot34.html>>, (accessed on 1 February, 2016) (in Japanese).
- Tsumoto, M., Kubo, H., Isoda, N. and Yagi, Y., Survey of bathing behavior and bathroom thermal environment on the daily life of young female part 5 : Thermal condition, and psychological and physiological responses during daily bathing in winter and summer, Summaries of Technical Papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan (2006), pp.269-272 (in Japanese).
- Yamada, S. and Miyake, S., Effects of long term mental arithmetic on physiological parameters, subjective indices and task performances, Journal of University of Occupational and Environmental Health, Japan, Vol.29, No.1 (2007), pp.27-38 (in Japanese).
- Yamaguchi, M., Deguchi, M., Wakasugi, J., Ono, S., Takai, N., Higashi, T. and Mizuno, Y., Hand-held monitor of sympathetic nervous system using salivary amylase activity and its validation by driver fatigue assessment, Biosensors & Bioelectronics, Vol.21, No.7 (2006), pp.1007-1014.
- Yamaguchi, M., To measure the stress by saliva marker, Vol.129, No.2 (2007), pp.66-70 (in Japanese).
- Yamakoshi, T., Matsumura, K., Kobayashi, H., Gotoh, Y. and Hajime, H., Feasibility study on assessment of driver's stress from differential skin temperature measurement under simulated monotonous driving, Transactions of Japanese Society for Medical and Biological Engineering, Vol.48, No.2 (2010), pp.163-174.
- Yoshikawa, H., Nakatani, Y., Shimoda, H. and Niwa, Y., Psychology and physiology of human interface (2006), p.115, Coronasha (in Japanese).