

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 4 月 13 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26289370

研究課題名(和文) 脳波と脳内血流量の同時計測に基づくエネルギー施策における個人の異質性の解明

研究課題名(英文) Clarification of individual heterogeneity in energy measures based on simultaneous measurements of brain wave and brain blood flow

研究代表者

吉田 好邦 (Yoshida, Yoshikuni)

東京大学・新領域創成科学研究科・教授

研究者番号：30302756

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,100,000円

研究成果の概要(和文)：温熱刺激を与えた際の脳血流中の酸素化ヘモグロビン濃度をNIRS(近赤外分光法)により計測することで、NIRSによる計測結果が温熱感覚を客観的に評価する指標となるかを被験者実験により検討した。各人の手または足への局所温熱刺激を施し、NIRSにより酸素化ヘモグロビン濃度の変化を計測した。また様々な刺激温度において温冷感と快適感の主観値を申告してもらった。その結果、各温度とその基準温度での酸素化ヘモグロビン濃度の差分によって温熱快適性を評価することができ、特に快適感の申告結果とは特に強い相関を持ち、前頭に強い相関をもつ部位が存在することを見出した。

研究成果の概要(英文)：We measured oxy-hemoglobin density in brain blood flow by near-infrared spectroscopy (NIRS) when a subject was stimulated thermally. The purpose is to verify whether the measurement by NIRS can be the objective index of thermal sense. We locally stimulated a hand or a foot of each subject, and measured the change of oxy-hemoglobin density by NIRS. Subjects also answered the subjective score of their thermal sense and comfortable sense at various stimulation temperatures. We found that the difference of oxy-hemoglobin between each stimulation temperature and the reference temperature represents the answers on thermal sense and comfortable sense. Particularly, the answers on comfortable sense have strong correlation with measurements. We also found that the correlation was strong in a part in prefrontal area.

研究分野：環境システム学

キーワード：近赤外分光法 酸素化ヘモグロビン濃度 温冷感 快適感

1. 研究開始当初の背景

家庭のエネルギー消費量のうち、人間の快適性を維持するための空調、給湯、照明の需要は全体の7割を占める。特に人間の温熱快適性の制約を伴う空調エネルギーは単純に省エネルギーを進めればよいものでもない。画一的な空調制御からタスク・アンビエント空調への移行が進み始めているが、個人差の大きい温熱感をより考慮した形での普及が望まれる。また近年普及している断熱性に優れた着衣は、断熱化の対象を建物から人体に移すことで暖房負荷を軽減する省エネルギーの可能性をもっている。これらが示唆することは、個人の温熱感によってカスタマイズした省エネルギーが今後有望なことである。省エネルギー以外でも、熱中症の予防に有効な空調についても、人によっては温熱感覚が乏しいがために熱中症リスクが高くなる場合もあり、健康面でも個人差に配慮した空調が必要である。

従来、人間の温熱感に関する研究は建築学、空調工学の分野で多くの研究の蓄積があり、多くの研究で、さまざまな条件で保たれた環境実験室内において、温熱環境の6要素(温熱環境要素【気温、湿度、放射、風速】と、人の【着衣量と活動量】)に代表される快適性の指標を計測するとともに、温熱快適性について評価(スコア)を申告してもらう形式をとっている。一方で、申告された快適感は主観的な評価が避けられない。このような主観的指標は、個人によって言葉の解釈が異なるために個人間に差が生じる、離散的にしか値が得られない、さらに連続的に測定できない、という欠点を有する。例えば建物の断熱化は、複数の被験者によって温熱感の評価が可能だが、人体表面での断熱は個人の温熱感によって評価しなければならない。また体温や皮膚濡れ面率のような計測値は、快適さや不快さとの関連が示唆されているが、快適感そのものではない。多くの人を対象とする全室空調の場合、多くの人々の主観的快適感の平均値を採用すれば曖昧さや離散値の問題が解消されるが、個人の異質性を考慮した個人空調の場合、主観的快適感での評価では問題が生じる。

2. 研究の目的

本研究では快適性の基準となる新たな客観的な指標として、脳活動の計測を導入する。脳活動の対象は、従来実績のある脳波に加えて、NIRS (Near-Infrared Spectroscopy; 近赤外分光分析法) による脳の血流や酸素化の度合いの計測の両方を行う。脳活動については近年、五感などの感覚・知覚との関係を探る研究がなされているが、温熱快適性と脳活動の関係に関する既往研究は、脳波の計測、NIRS による脳血流・血液量の計測を含めて非常に少ない。NIRS は脳波計よりも高い空間分解能で脳活動を計測でき、特に不快感の計測の感度が高い一方で、ポジティブな快適

感の計測は不得意である。一方、脳波計ではリラックス感のような快適感の計測感度が高い。本研究では、快適感と不快感の両方の計測感度を高めるため、脳波計とNIRSの同時計測で温熱快適感を評価する。本研究では以下の3つの研究を行う。

(1) 省エネルギーと温熱快適性を両立する対策の評価

全室空調または個人の異質性に配慮した個人空調に被験者を暴露させる実験をおこない、脳活動の計測値から、個人属性ごとにエネルギー消費量と温熱快適性の関係を定量化する。

(2) 熱中症対策のための温熱感計測

屋内外の温熱環境にさまざまな年代の被験者を滞在させ、脳活動の連続計測によって、個人属性ごとの温熱感を把握するとともに、熱中症リスクが高い、温熱感が欠如した属性を突き止める。

(3) 意識・脳活動・温熱快適性の相関分析

「意識」については、アンケート調査によって、主観的時間選好・環境配慮意識・性格心理の観点から個人を分類し、快適性、脳活動、意識の3者の関係を個人単位で評価する。

3. 研究の方法

脳血流における酸素化ヘモグロビン濃度の計測による温熱・快適感の定量化の方法について述べる。本研究で行う実験では、温冷刺激を被験者に与えた際の脳活動を近赤外分光分析法 (Near-infrared spectroscopy、NIRS) を用いて計測する。実験は2016年11月29日~12月12日の2週間で行った。被験者は20代男子学生のみを対象とし、東京大学柏キャンパス環境棟内に設置した環境実験室において行った。本実験では、脳機能計測装置として、株式会社島津製作所のLABNIRSを用いた。

また温冷刺激装置として、株式会社ビックスの冷却ユニットおよびペルチェ温度コントローラー (VPE-35) を使用した。温度の設定範囲は-30~+110、温度設定分解能は0.1となっている。本実験では、被験者に左手で冷却ユニットの表面のアルミプレートに触れてもらい、この装置を2つ使い、一方は皮膚温に近い33に設定し、もう一方は手動で温度を操作し、温度差を設け、被験者に左手を移動してもらう形式で温度刺激を与えた。

実験デザインは、基準温度(33)に触れているときをレスト期間と考え、タスク(冷刺激:13、23、温刺激:40、45)の前に必ずレスト期間をはさむようにした。33 -40 -33 -45 -33 -23 -33 -13 -33 のパターンを第1セット、33 -23 -33 -40 -33 -13 -33 -45 -33 のパターンを第2セットと呼ぶこととする。第1セットと第2セットの間には数分間の安静期間を設けた。

主観的な温冷感・快適感との相関を調べるた

めに、脳活動計測にあわせて、温冷感と快適感についての主観的申告を尋ねた。申告には Visual Analogue Scale を利用した。中心点を中立状態とした用紙に、被験者は自身の感覚を線を記入することで申告をする。中立点からの距離を計測することで、温冷感・快適感を連続値として評価できる。記入の際に計測値に与える影響をできるだけなくすために、被験者には記入するとき以外なるべく動かないようにしてもらい、記入を終えた用紙はこちらで取り除き次の用紙を設置した。

計測を開始する前に、被験者に左手で冷却ユニットのアルミプレートの部分に触れてもらい、温冷感及び快適感の申告を行うために右手で筆記用具を持ってもらい、温熱刺激以外の影響がないようにできるだけ姿勢を変えないようにするよう説明をした。

測定開始から 30 秒後、1 分 30 秒後、2 分 30 秒後、3 分 30 秒後、4 分 30 秒後、5 分 30 秒後、6 分 30 秒後、7 分 30 秒後に「申告お願いします。」と口頭で被験者に伝え、その時の温冷感及び快適感の申告をおこなってもらった後に、左手で触れるユニットを移動してもらった。左手の左側のユニットは常に 33 設定し、右側のユニットの温度を手動で変更した(第1セットは 40 -45 -23 -13、第2セットは 23 -40 -13 -45)。

NIRS の計測値は Oxy-Hb 濃度変化であるので、測定開始時からの相対値であり、被験者間やチャンネル間の比較を直接行うことは適切ではない。そこで、直接比較が可能になるように、皮膚血流除去を行ったデータに対して、標準化、ならびに線形成分除去を行った。

4. 研究成果

研究期間の最終年度の成果について述べる。実験は 20 代男子学生 9 名に対して先述のプロトコルで 8 分間 2 セットの実験を計 21 回実施した。ほぼすべての被験者が、温刺激に関しては 40 をやや快適と感じ、45 を不快に感じていた。冷刺激に関しては不快に感じ、冷たいほどより不快に感じていた。第 1 セットと第 2 セットを比較すると、温刺激と冷刺激を交互に与えた第 2 セットの方が変動が大きい結果となった。

前節で求めた 5 秒間の酸素化ヘモグロビン濃度値の平均値について、40、45、23、13 の申告直前平均値とそのそれぞれの直前の 33 の申告直前平均値との差分と、温冷感及び快適感の申告値との相関性を調べた。第 1 セットと第 2 セットに共通して有意な相関となったチャンネルとして、ch2、4、6、7、9 があげられる。ch2、6、7 は額の中心に近い左側のチャンネルで、ch4、9 は前頭の一番右側のチャンネルである。NIRS のチャンネルの配置を図 1 に示すとともに、これらのチャンネルについて、第 1 セットと第 2 セットをあわせてプロットしたグラフを図 2 に示す。縦軸は 40、45、23、13 の申告直前平均値とそのそれぞれの直前の 33 の申告直

前平均値との差分、横軸は温冷感、快適感の申告値を表しており、散布図の相関関係を線形近似で求めている。

5 秒間の酸素化ヘモグロビン濃度の平均値について、40、45、23、13 の申告直前平均値とそのそれぞれの直前の 33 の申告直前平均値との差分は温冷感よりも快適感との相関が高いことがわかった。共通して賦活している ch2 は冷感の賦活する部位として指摘できる。冷感是不快感とほぼ一致していたので、今回の研究で、快適感を指標として酸素化ヘモグロビン濃度の平均値の差分と高い相関が得られ、温熱感覚を快適感という指標を用いて説明できることを意味しているといえる。さらに興味深いことは、快適感の増加に対して酸素化ヘモグロビン濃度は増加し、不快感の増加に対して減少するという傾向が得られたことである。既往の研究における視覚や嗅覚における快適感と不快感に対する酸素化ヘモグロビン濃度変化は、快適感に対して減少し、不快感に対して増加することが知られており、温冷感覚における快適感が、視覚や嗅覚などの他の知覚とは異なるメカニズムをもつ可能性が示唆される。

なお、NIRS の計測結果は当初想定していたよりもノイズが大きく、全身の温熱感の刺激については適切な評価に至っていない。また脳波の計測は簡易な計測装置が安価に入手できる現況ではあるが、医学系の専門家へのヒアリングを通して、高い水準の研究に用いるには脳波に関する専門的知見が必要であることが判明したため、取り扱いを留保した。それでも、脳血流中の酸素化ヘモグロビン濃度の計測を通して、温熱感覚を快適・不快感の観点から捉えることを見出したことは今後の研究に繋がる重要な成果といえる。

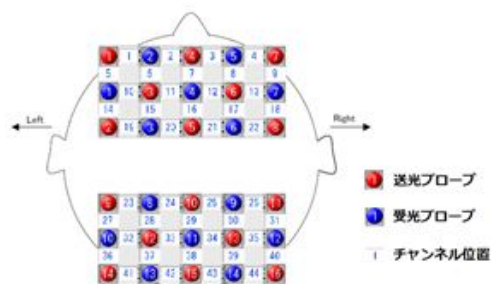


図 1 チャンネル配置図

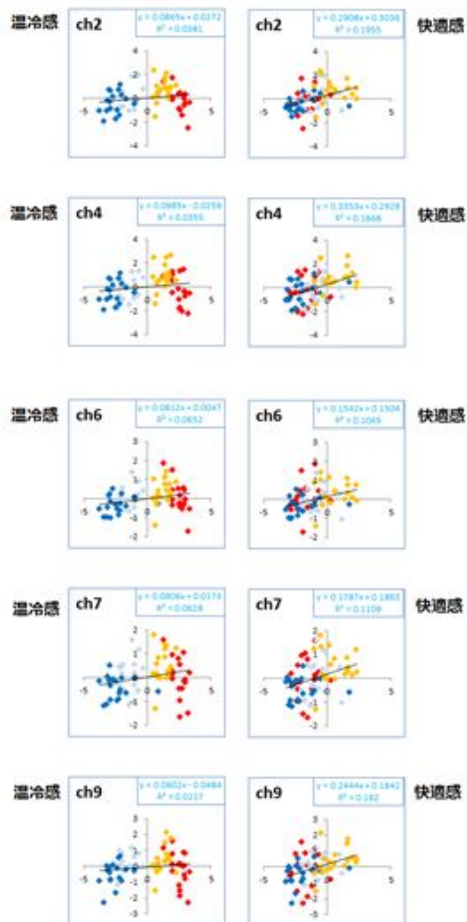


図2 第1セットと第2セットに共通して有意な相関がみられたチャンネル

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計 2 件)

畑智也,高橋智哉,吉田好邦,井原智彦,
温冷刺激時の脳活動計測による温冷感の客観的評価,日本ヒートアイランド学会第10回全国大会,2015年8月28日,日本興業大学(埼玉県南埼玉郡)

畑智也,高橋智哉,吉田好邦,井原智彦,
脳活動計測に基づく温冷感の客観的評価の試み,バイオクリマ研究会,2015年3月14日,GEカレッジホール(東京都世田谷区)

6. 研究組織

(1)研究代表者

吉田 好邦 (YOSHIDA, Yoshikuni)
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・教授
研究者番号: 30302756

(2)研究分担者

井原 智彦 (IHARA, Tomohiko)
東京大学・大学院新領域創成科学研究科・准教授
研究者番号: 30392591