

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 15 日現在

機関番号：34416

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560036

研究課題名(和文)空間の「快活性」を評価するための生理指標の同定と人の状態に適応させた空間の開発

研究課題名(英文)Identification for physiological indices evaluating "vitality" in space and development for the space adapting to human vital status

研究代表者

小谷 賢太郎 (Kotani, Kentaro)

関西大学・システム理工学部・教授

研究者番号：80288795

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、安らぎ・癒し(副交感神経系)と快活性・活力(交感神経系)の両軸方向への自由な変化を住まい手自身によりコントロールできる空間が設計できないかという視点に立脚し、生体計測によって得られた空間特性と生理変動データを用いて、空間の諸特性に対し生理指標がどれだけ変動するのかを実験的に導き出し、実際のモデルハウススペースで実証的に人にとっての空間の印象を変化させるものであった。本研究の成果として、光環境実験室の中に照度の統制を可能とする環境を構築し、ローレンツプロットと周波数解析データを計測し評価することができた。これらの結果から新しい指標の評価方法について検討を加え、提案することができた。

研究成果の概要(英文)：This study aimed at controlling a living space with variety applying comfortability driven by parasympathetic nervous system and vitality driven by sympathetic nervous system.

The study was started by constructing a real living-space based experimental facility with an ability to change the size of room size for giving different feeling to the participants. The next step was measuring biological indices in autonomic nervous system during two stages (relaxing and vital stages) using a real living-space based experimental facility. The outcome of this study was to show new evaluation approach for the status of human vitality using indices for autonomic nervous system. Especially Lorentz-plots and frequency analysis with regard to heart-rate variability were compared in the experiment and its availability was advocated.

研究分野：生体情報工学

キーワード：自律神経活動 快適性評価 空間設計 心拍変動性

1. 研究開始当初の背景

これまで住環境の設計には住まい手が安らげる空間を求めることが一般的であった。そのため安らぎや癒しといったテーマをキーワードに空間が設計され、提供されてきた。このような快適性を求めた空間の設計は、人の自律神経系の視点から見ると、一方向、すなわち副交感神経優位を目指した空間を作り出すことに特化して推進されてきたといえる。しかしながら人は安らぎを求めるだけでなく、時に応じて活力や「やる気」交感神経系優位の状態を求めることが必要であり、それを人が住む空間が支援することができないだろうか、つまり、本研究の着想点は安らぎ・癒し(副交感神経系)と快活性・活力(交感神経系)の両軸方向への自由な変化を住まい手自身によりコントロールできる空間が設計できないかという視点に立脚している。例えば前日に設定しておけば平日の朝目覚めてから家を出るまでの時間に今日も頑張ろうという活力を生み出したり、休日の朝ならのんびり安らげる状態でいられる、といったように、その空間の特性から自律神経系に働きかけ、活力や癒しを与えることのできる空間の構築を目指してはどうかということになった。研究開始当初はこれまで、空間の特性を用いて積極的な快適性を得ようとする試みとして、Pleasantness と呼ばれる不快を解消する状態、あるいは楽しさをもたらす環境の役割について報告された例はあるが、生理変動を用いてこれらの役割を評価しようとした例は存在しなかった。また、環境と作業の生産性とリンクさせて検討する報告は見られているものの、その際の人の作業のとらえ方、すなわち達成感や満足感を行動指標(回頭量や視線移動量、身体活動量など)で評価しようとしており、生体変化により評価しようとしている例は存在しなかった。

2. 研究の目的

本研究は(1)空間の諸特性に対し生理指標がどれだけ変動するのかを実験的に整理し、(2)これらの生理指標変動特性をもとに、随時生体信号をリアルタイムに解析しながら空間特性を変化させることで生体の自律神経系を調節し、活力や癒しを与えるシステムを開発し、(3)実際のモデルハウススペースで光環境に合わせて気流や窓の見えなどを変化させてさらに効果的に自律神経系に働きかけることで、活力や癒しを醸造する空間を作り出そうとするものであった。本研究によって達成される空間は住環境のみならず商業施設など人が活動する空間全般に対し、開放感、爽快感、昂揚感、充実感など心理要因として主観的に評価されてきた感覚に対し、生理変動という裏付けを与えると同時に、実際に空間特性を応用して人の感覚に変化を与えられることを実証するという試みとなる。

3. 研究の方法

本研究は生体計測を専門とする研究代表者のほかに建築光環境工学と人機機械系の制御工学の研究者が参加することで、空間特性を変化させて人の自律神経系に働きかけることにより、人に快活性や安らぎを与えるシステム構築を目指す。研究を3つのフェーズに分け、平成26年度に第1のフェーズとして空間系変化による生体への影響を計測し、生理変動の範囲を明確にする。平成27年度以降は第2のフェーズとして生体情報フィードバックによる環境制御プロトタイプを実験室内に構築することを目指し、主として光環境特性の変化を与えることで自律神経系の変化を促す。第3のフェーズとして、実際のモデルハウスを利用して天井高、気流変化を含めた変動条件により、実際の人の活性化度を評価する。

4. 研究成果

(1) 休憩時の室内空間の照度と広さがストレスに与える影響

近年、オフィスワーカーの知的創造業務が多くなったことから、知的生産性向上のためにリフレッシュが重要となってきている。リフレッシュを辞書で調べると「元気を回復させること」と出てくるが、このままでは曖昧なため、大山の定義している「作業再開を目的とし、心身状態を変える段階を含む休憩モデル」とする。また、この定義における心身状態を変える段階とは、

室内環境が休憩者に働きかけ、
休憩者は適度なリラックス状態になり、
気分転換しやすくなり、
解決を導くヒントに気付き、
思考作業を再開する、

という5段階である。先行研究からリフレッシュの場としてトイレが多く選択されているが、照度や部屋の大きさなど、トイレのような室内環境がリフレッシュに関係しているのか、それとも、トイレ滞在時間やトイレと作業場の往復移動などの室内環境以外の要素がリフレッシュに関係しているのか不明である。先行研究からリフレッシュには適度なリラックス状態が必要なことや、リラックスにはストレスが関係していることがわかっているため、ストレスと関係する室内環境要因である照度、部屋の大きさの2条件がリフレッシュとどのように関係しているのか実験を通して確認した。図1に構築した実験環境を、図2に休憩室(小)として使用した部屋の暗条件での様子、図3に休憩室(大)として使用した部屋の明条件での様子を一例として示している。

以上より、休憩室の照度を1530lxもしくは75lx、部屋の大きさは、大きい部屋を3.0m×2.7m、小さい部屋を2.1m×0.9m、作業室と廊下の照度は、それぞれ2820lx、2400lxとして、被験者に休憩前後に玄関マットのデザ

インを行ってもらい、その間の心電図とリフレッシュ量を測定した。心電図はMemCalcを用いてLF/HFと%HFを算出した。LF/HF、%HFはそれぞれ交感神経、副交感神経の活性指標として用いられるものである。また、それぞれ、ストレス指標、リラックス指標として用いることができる。LF/HF、%HFともに、休憩による影響を確認するために、休憩前後の作業の差分をとって比較している。

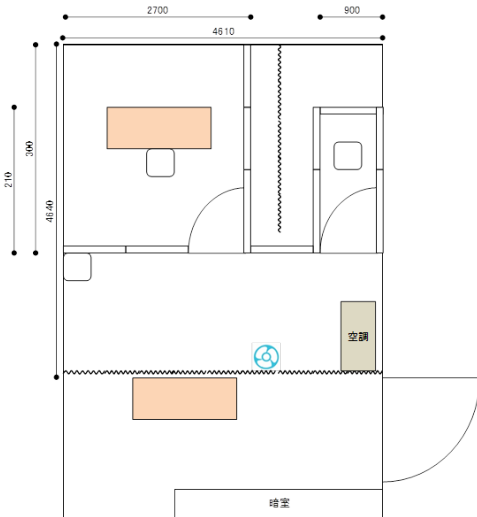


図1 構築した実験環境。右上部に休憩室(小)、左上部に休憩室(大)を配置し、両条件環境下での実験計測を行った。



図2 休憩室(小)暗条件



図3 休憩室(大)明条件

実験の結果、リフレッシュ量は全被験者において、明るい部屋よりも暗い部屋で休憩した方がリフレッシュできたということがわかった(図4参照)。また、大きい部屋よりも小さい部屋で休憩した方がリフレッシュできたということもわかった。LF/HFは、明るい部屋よりも暗い部屋で休憩した方が低くなることがわかり、大きい部屋よりも小さい部屋で休憩した方が低くなることがわかった。%HFは、明るい部屋よりも暗い部屋で休憩した方が高くなることがわかり、大きい部屋よりも小さい部屋で休憩した方が高くなることがわかった。(図5、図6参照)これらのことから、リフレッシュできる環境とは、明るい部屋よりも暗い部屋、大きい部屋よりも小さい部屋であることがわかる上に、リフレッシュができる環境では、ストレスが低くなり、リラックスできる傾向があるといえる。以上より、リフレッシュにはストレスが低くなりリラックスすることが必要であり、リフレッシュには暗い部屋、小さい部屋の方が適した環境であると結論付けた。

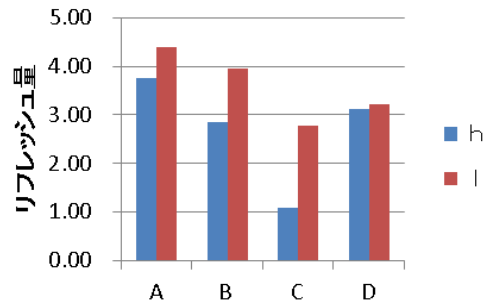


図4 照度別のリフレッシュ量 (h: 高照度条件, l: 低照度条件)

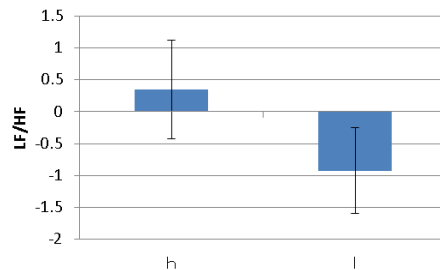


図5 照度別のLF/HF (h: 高照度条件, l: 低照度条件)

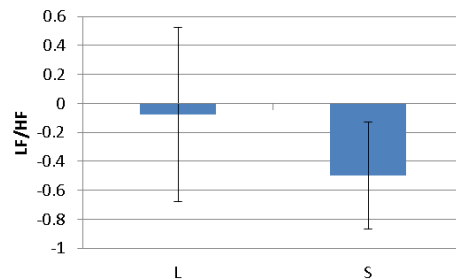


図6 部屋サイズ別のLF/HF (L: 休憩室(大)条件, S: 休憩室(小)条件)

(2) 心電図のローレンツプロット解析における呼吸の影響

現代社会において、人々は多くのストレスを受けながら生活している。ストレスは、神経精神疾患以外にも生活習慣病など原因のひとつとして考えられており、過度のストレスが長期間にわたって継続すると、自律神経系や副腎皮質ホルモンなどの内分泌系にも変動を来すと言われている。このような背景から、ストレスをチェックし定量的に評価する必要性が高まっている。そのような中、呼吸法によるリラックス反応の評価や自動車運転時のストレスの測定など、ストレス量、リラックス、リフレッシュなどの観点から様々な研究が多くなされている。自律神経系の活動を測定するものでは心電図から読み取った RRI (RR interval: RR 間隔) の周波数解析を用いた評価が主流とされている。

心電図の周波数解析を用いた研究が盛んに行われる一方で、信頼性に疑問を投げかける指摘があり、RSA (Respiratory Sinus Arrhythmia) は副交感神経興奮とは直接関係のない呼吸の速さと深さに影響される等の報告もある。また実験中に呼吸統制を行っても呼吸の乱れが生じ、さらに呼吸統制自体が強い作業負荷となってしまうことから、呼吸統制を行っても呼吸の影響を除去しきれないと報告する論文も存在する。

これに対してローレンツプロット解析は実験中に呼吸を統制する必要が無く自律神経活動の評価が可能であるといわれて、呼吸の統制ができない実験などの心電図の解析に使用されている。ローレンツプロットは横軸を n 番目の心電図 RR 間隔、縦軸を $n+1$ 番目の心電図 RR 間隔としてグラフ上にプロットしたもので、心電図の RRI のプロットは楕円形の分布を示し、この楕円形の分布から交感神経活動の指標である CSI (Cardiac Sympathetic Index)、副交感神経活動の指標である CVI (Cardiac Vagal Index) をそれぞれ算出する。ローレンツプロット解析では呼吸の影響を受けないことの他に周波数解析に比べて簡易な演算処理で自律神経を評価することが可能であること、交感神経と副交感神経の活動を個別で評価することで、ストレス度合いの変化、リラックス度合いの変化を定量的に評価できるなどといった優位性が示されている。

しかし、ローレンツプロットによる解析は周波数解析と比較すると頻繁には使用されていない。Google Scholar にて「心電図 自律神経 周波数解析」というキーワードで 1990 年から 2015 年に発行された論文を検索すると 3270 件の検索結果が表示されるのに対して、同年度条件で検索しても「心電図 自律神経 ローレンツプロット」というキーワードで 43 件、「心電図 自律神経 Lorenz plot」というキーワードで 75 件の検索結果しか表示されない。

また、ローレンツプロットで心電図を解析し

ている文献を Google Scholar で心電図、ローレンツプロット、CSI、CVI をキーワードに 1990 ~ 2015 年に発行されたものを対象として 100 件調べ、その中でも自律神経系を評価しているものの数を年代ごとにまとめ表にしたものを図 7 に示す。

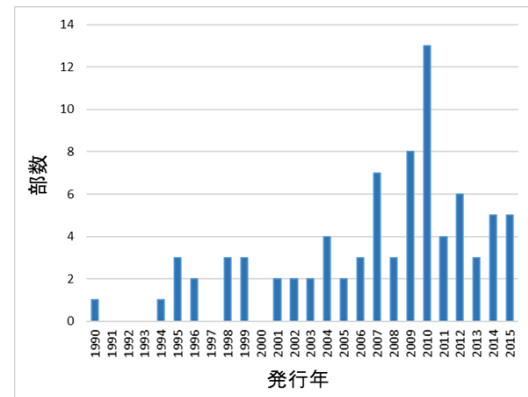


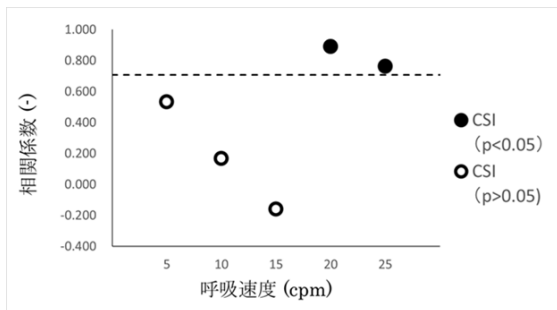
図 7 ローレンツプロット解析により自律神経について分析しようとしている論文の年ごとの推移

以上の調査より、ローレンツプロット解析においては、実際にどの程度呼吸成分の影響が除去できるのかや、どの程度の速度の呼吸まで影響を受けないかなど、詳細な研究知見がほとんど見られなかった。特に人間工学領域で生体計測をする場合、実際にどの程度ローレンツプロットが有効な指標となるか具体的に周波数解析と比較している資料はほとんど見られない。

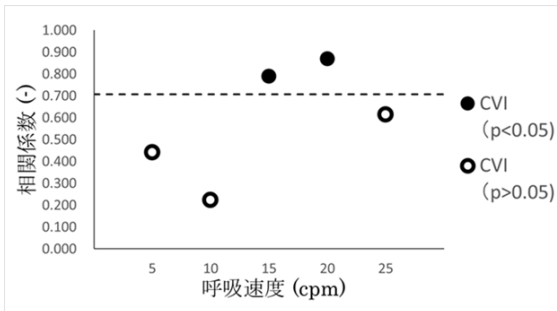
そこで我々は、被験者の呼吸成分の含まれる心電図を測定しローレンツプロット解析と、被験者の呼吸の影響を受ける周波数解析の解析結果を比較することで、ローレンツプロット解析の被験者の呼吸を受けないという優位性についての資料を提供する目的で実験を行った。

実験の目的として、呼吸速度の異なる 5 種類の呼吸統制中の心電図を測定し解析を行い、ローレンツプロット解析と、被験者の呼吸の影響を受ける周波数解析、呼吸統制中に取ったアンケートそれぞれの自律神経系の指標を比較することで、ローレンツプロット解析は被験者の呼吸を受けないことを確認することとした。また、ローレンツプロット解析は被験者の呼吸の影響を受けないということが確認できた場合、どの程度の呼吸速度において影響を受けないのかを評価することを目的とした。

実験の結果として、被験者ごとに正規化したそれぞれの指標の値をもとに、交感神経の指標である LF/HF、CSI と副交感神経の指標である %HF、CVI の間の相関を呼吸周波数ごとに調べ、図 8 に示す。これらの図から、LF/HF、CSI と %HF、CVI どちらの間でも呼吸速度が速い方がそれぞれの間にも正の相関が見られやすい傾向がみられた。



(a) LF/HF と CSI との間の相関係数の呼吸ごとの推移



(b) (c) %HF と CVI との間の相関係数の呼吸ごとの推移

図 8 周波数解析とローレンツプロット解析の指標間の相関

以上の結果から、安静座位の状態での 5cpm ~ 25cpm という速度の呼吸をしている状態で、周波数解析においては先行研究 (12) に示されているように、解析結果が呼吸の影響を受けるのに対し、十市らの指摘 (7) 通り呼吸の影響を殆ど受けずに副交感神経の指標である Sleepness と交感神経の指標である Discomfort を評価できたと考えられる。周波数解析とローレンツプロット解析の結果を比較することで、これまで具体的な検討が行われていなかった、呼吸の影響を受けないというローレンツプロット解析の優位性を 5cpm ~ 25cpm の間の呼吸速度という条件下で示すことができた。被験者が 20cpm, 25cpm の呼吸をしている状態では周波数解析結果にもアンケート結果との間に正の相関がみられたため、正しく自律神経系の評価ができると考えられるが、5cpm ~ 15cpm の呼吸が含まれる場合の実験では周波数解析よりもローレンツプロット解析の方が優位に自律神経系を評価することができると考える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 9 件)

原 直也、人間・環境系の動的相互作用モデルに基づく環境制御 光視環境における取り組み、第 21 回関西大学先端科学技

術シンポジウム、2017 年 1 月 19 日、関西大学 (大阪)

KOTANI, Kentaro、Empirical Study of Physiological Characteristics Accompanied by Tactile Thermal Perception、HCI International 2016、2016 年 7 月 21 日、トロント (カナダ)

小谷 賢太郎、温冷感提示時の生理的特性および情動への影響、日本人間工学会第 57 回大会、2016 年 6 月 25 日、三重県立看護大学 (三重)

小谷 賢太郎、休憩時の室内空間の照度と広さがストレスに与える影響、第 20 回関西大学先端科学技術シンポジウム、2016 年 1 月 21 日、関西大学 (大阪)

KOTANI, Kentaro、Changes in heart rate variability by using tactile thermal interface device、HCI International 2015、2015 年 8 月 5 日、ロスアンジェルス (アメリカ)

小谷 賢太郎、照度変化による自律神経系への影響評価のための指尖容積脈波の有効性の検討、第 59 回システム制御情報学会研究発表講演会、2015 年 5 月 20 日、中央電気倶楽部 (大阪)

小谷 賢太郎、照度による自律神経への影響を評価するための指尖容積脈波の有効性の検討、第 19 回関西大学先端科学技術シンポジウム、2015 年 2 月 22 日、関西大学 (大阪)

小谷 賢太郎、作業中における触覚による温冷感提示の情動反応への影響、HCG シンポジウム 2014、2014 年 11 月 17 日、海峽メッセ下関 (山口)

KOTANI, Kentaro、Evaluation of spatial distribution of tactile sensitivity on the palm for developing tactile interface、The 1st Asian Conference on Ergonomics and Design、2014 年 5 月 21 日、済州島 (韓国)

[図書] (計 1 件)

小谷 賢太郎 他、丸善出版、人間科学の百科事典「10. ヒトを測る」(編著)、2015、517-596.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小谷 賢太郎 (KOTANI, Kentaro)
 関西大学・システム理工学部・教授
 研究者番号：80288795

(2)研究分担者

原 直也 (HARA, Naoya)

関西大学・環境都市工学部・教授

研究者番号：00330176

朝尾 隆文 (ASAO, Takafumi)

関西大学・システム理工学部・助教

研究者番号：10454597