

不快感およびストレス評価における生体情報の適用可能性に関する基礎的検討

茨城大学工学部 正会員 原田隆郎

茨城大学工学部 フェロー 横山功一

茨城大学工学部 正会員 沼尾達弥

1. はじめに

現在、医療や福祉工学の分野で利用されている脈波や心電図などの生体情報は、外部環境の急激な変化による人体の反応を観察するのに最適であることから、その適用範囲が様々な分野に広がっている^{1),2)}。一方、人間は騒音や振動、不適切な温熱環境や光環境などによって不快感やストレスを受ける。例えば、騒音・振動に関するものとして、路面の不陸に伴う乗り心地の悪さや歩道橋横断時の不快な揺れ、低周波振動による住居内での頭痛、耳鳴り、睡眠障害などがある。また、住居室内の温度や湿度、照明などの温熱環境や光環境の僅かな違いによって、学習効率や生産性などが低下する事例も示されている。このような様々な外的要因によって人間が受ける不快感やストレスなどを、生体情報によって直接的に評価することで、騒音や振動が及ぼす影響、温熱・光環境などに対する適応策などが、よりユーザサイドの情報を踏まえた形で評価できると考えられる。そこで本研究では、騒音、振動、温熱環境など様々な外的要因によって人間が受ける不快感やストレスなどを評価するツールとしての生体情報の有効性を確認することを最終目的とし、本稿ではその第一段階として、人間が感じる温冷感の指標である予測平均温冷感申告（PMV：Predicted Mean Vote）と生体情報（脈波および心電図）の関連性を検討した。

2. 生体情報とその特徴量の抽出方法

生体脈波は、生体組織へ近赤外領域の光を照射した時の反射あるいは透過光を検出し、ヘモグロビンの近赤外光の吸光度を利用して血液の脈動を電氣的に測定したものである（図-1）。この波形はカオス性を有することから、その特徴量の抽出方法として一般的にカオス解析が用いられる。カオス解析では、まずターケンスの埋め込み定理を用いて生体脈波の時系列波形を3次元の時間遅れ座標に変換してアトラクタを構成する。脈波が不安定な時ほどアトラクタの軌道は複雑に乱れ、このアトラクタの軌道の複雑さを表す指標がリアプノフ指数となる。このリアプノフ指数によって不快感や疲労感を評価でき¹⁾、一般に、不快を感じている時には脈波が不安定となり、この時のリアプノフ指数は安定時に比べて大きな値を示す。

一方、心電図は心臓内に電気刺激が伝わることによって左右の心室や心房が次々と興奮していく際の電氣的活動を体外から測定したものである。心電図波形は図-2に示すようにP、Q、R、S、Tの細かな波の合成により形成されており、これらの中のR波の間隔（R-R間隔）の変化から、緊張や不安といった交感神経活動と対応する心的事象の動きを捉えることができる²⁾。つまり、R-R間隔はストレスと相関があり、ストレス状態においてR-R間隔は短くなり、リラックス状態ではR-R間隔は長くなる。

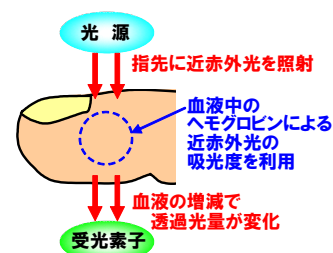


図-1 生体脈波測定原理

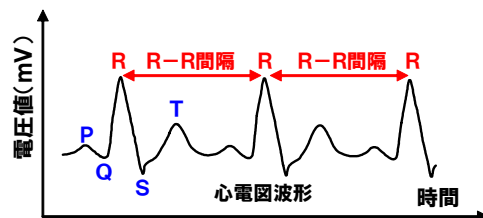


図-2 心電図とR-R間隔

3. 室内環境を評価するための指標（予測平均温冷感申告：PMV）

本研究では、人間が不快感やストレスなどを受ける外的要因の一つとして、人間が感じる温冷感の指標である予測平均温冷感申告（Predicted Mean Vote：以下PMVとする）を取りあげ、生体情報との関連性を検討した。PMVは温熱感覚に影響する室温、相対湿度、平均輻射温度、平均風速の4つの物理的要素と、在室者の着衣量と作業量の2つの人間側の要素の全6要素から算出される。PMVでは0を熱的中立として、-2（寒い）、-1（やや寒い）、+1（やや暑い）、+2（暑い）の5段階の評価尺度で人間の熱的快適感が表現される。なお、ISOではPMVが±0.5以内となるような温熱環境を快適域として推奨している。

キーワード：生体脈波、心電図、リアプノフ指数、R-R間隔、予測平均温冷感申告

連絡先：〒316-8511 日立市中成沢町4-12-1 TEL：0294-38-5172 FAX：0294-38-5268

4. 室内環境の変化に伴う生体情報の特性の把握

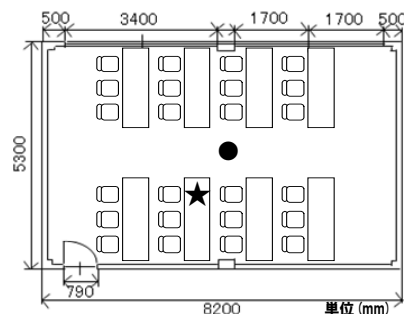
本研究では、様々な外的要因の一つとして、人間が感じる温冷感の指標である予測平均温冷感申告 (PMV) と生体情報の関係を実験的に検討した。また、人間の活動に伴う生体情報の変化についても把握した。

図-3 に示す学習室内で、健康な男性 3 名 (22~23 歳) の脈波と心電図を測定した。別実験により把握した 3 名の被験者の生体情報の日内特性を踏まえて、測定は各日とも 14 時頃とした。被験者は椅座位姿勢で安静状態 10 分間の脈波と心電図を測定した後、同じ条件で再び 10 分間の測定を行った。後半 10 分間の計測では、人間の活動に伴う生体情報の変化を把握するため簡易な加算テストを実施した。そして、測定された生体情報から最大リアプノフ指数と R-R 間隔の平均値を求めた。ただし、測定開始時と終了時はノイズが発生しやすいため、測定時間 10 分間のうち測定開始後 2~8 分までの 6 分間のデータを用いた。室内環境指標である PMV は①快適域内、②快適域外 (暑)、③快適域外 (寒) の 3 パターンに調整した。

表-1 に室温や相対湿度などの実測値と PMV を示す。

まず、安静状態 10 分間における PMV の違いによる生体情報

の変化について、図-4 に最大リアプノフ指数、図-5 に R-R 間隔の結果を示す。被験者 A と B の結果を見ると、最大リアプノフ指数は①快適域内では②および③の快適域外のどちらよりも小さく、快適に感じている。また、R-R 間隔についても①快適域内では②および③の快適域外のどちらよりも値が大きく、落ち着いている。一方、被験者 C は異なった傾向を示しており、被験者による温熱感覚に違いがあることがわかる。次に、①快適域内と③快適域外 (寒) の場合の加算テストの有無による R-R 間隔の違い (変化量) を図-6 に示す。縦軸の変化量は加算テストによってストレスが増加した量を表しているが、①快適域内よりも③快適域外 (寒) の方が R-R 間隔の変化量が小さく、同じ加算テストを実施した場合でもストレスをそれほど感じていない。以上より、PMV のような温熱環境を快適域に設定した方が被験者の生体情報は比較的安定するが、テストのようなストレスを感じる場合は、快適域外 (寒) のように温熱環境を制御することも必要であることが分かる。



●: 室温測定位置 (床から 1m の高さ)
★: 生体情報測定位置 (被験者)

図-3 居室レイアウトと測定位置

表-1 室温、相対湿度等の実測値と PMV

快適推奨域	①快適域内	②快適域外 (暑)	③快適域外 (寒)
室温 (°C)	24.0	27.2	17.8
相対湿度 (%RH)	38.6	37.6	41.3
平均輻射温度 (°C)	20.7	23.9	18.8
着衣量 (clo)	1.0		
代謝量 (met)	1.0		
PMV	+0.1	+0.9	-0.9

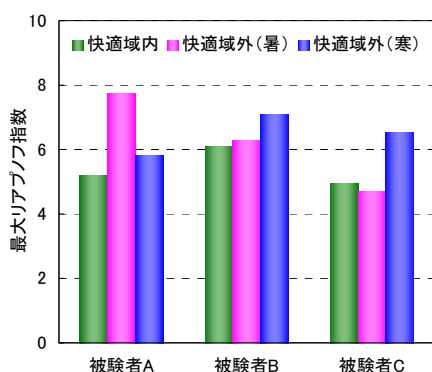


図-4 各室内環境下での最大リアプノフ指数

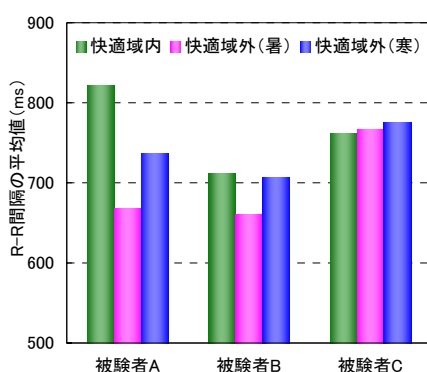


図-5 各室内環境下での R-R 間隔

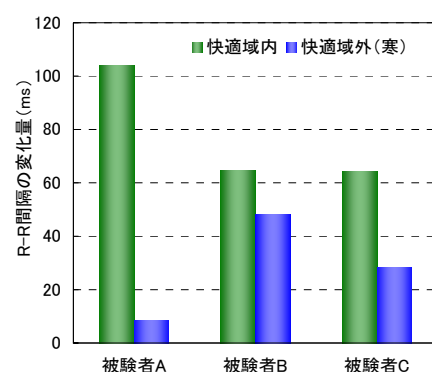


図-6 テストによる R-R 間隔の変化量

5. おわりに

本研究では、様々な外的要因によって人間が受ける不快感やストレスなどを評価するツールとしての生体情報の有効性を確認するため、その第一段階として温冷感指標の一つである PMV と生体情報の関連性について実験的に検討した。今後は、外的要因として振動や騒音が加わった場合の検討を行い、人間が受ける不快感やストレスなどを評価するツールとしての有用性を確認する予定である。

【参考文献】

- 清水俊行, 苗 鉄軍, 下山 修: 指尖脈波のカオス分析を用いたドライバの心身状態の定量化, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.6, No.1, pp.97-99, 2004.
- 藤原義久, 源野広和, 河田 宏: 心電図の R-R 間隔のカオス解析, 電子情報通信学会研究報告概集, pp.47-52, 1993.