

原著論文

輝度変化による視覚刺激が腹部への被服圧に伴う生理反応に与える影響

上前 真弓*, 上前 知洋**, 上條 正義*

* 信州大学, ** 長野県

Influence of Visual Stimuli with Brightness Changes on Physiological Response under Clothing Pressure to Abdomen

Mayumi UEMAE*, Tomohiro UEMAE** and Masayoshi KAMIJO*

* Shinshu University, 3-15-1 Tokida, Ueda-shi, Nagano 386-8567, Japan

** Nagano Prefectural Office, 692-2 Habashita Minaminagano, Nagano City, Nagano 380-8570, Japan

Abstract : We investigated the influence on the physiological response of clothing pressure from a fastened waist belt under several luminance conditions. Brain activity and autonomic nerve activity were evaluated by electroencephalogram and electrocardiogram measurements. From the results, in the case of high luminance, the brain wave has a tendency to shift to fast wave activity, and the autonomic nerve activity response to stimuli of pressure sensation was striking. When the luminance was lowered at the same time that the clothing pressure was applied, the pressure sensation had a greater influence than the visual sensation on the physiological response. When the luminance was heightened, the visual sensation had greater influence than the pressure sensation. From the viewpoint of homeostasis, when evaluating stress using autonomic nerve activity, we should not make the judgment that increases in parasympathetic nerve activity are relaxed conditions, but should consider stress as changes from the normal conditions.

Keywords : Clothing pressure, Physiological response, Multisensory integration

1. はじめに

私たちは日常において、視覚、触覚、聴覚など複数の感覚から入った情報を脳で統合処理しながら生活している。この多感覚統合について、これまで様々な研究が報告されている [1-3]。例えば、[ga] を発音する唇の動きを見ながら [ba] の発音を同期させると [da] と発音しているように聞こえるという McGurk 効果 [4] もその一つであり、情報を統合させることで単一感覚とは異なる新しい知覚が発生するとされている。被服の着心地は、圧力特性 (被服圧)、温熱特性 (衣服内気候)、接触特性 (肌触り) において、被服から人体に提示される様々な刺激を、多様な感覚器官によって受容し、その情報が脳で統合されることによって発現する知覚である。しかしながら、これまで被服の着心地評価分野において、多感覚統合に関連した研究報告はほとんどない。

筆者らは、ウエストベルトによる腹部圧迫を評価する際、閉眼状態と開眼状態では被服圧に対する生理反応が異なることを明らかにした [5]。つまり、圧覚に視覚刺激を加えた際には、圧覚単一の刺激を加えた場合とは異なる生理反応となる結果が得られた。本研究では、この結果を踏まえて、多感覚統合の観点から着心地を評価するために、被服圧による圧覚刺激と各種提示条件による視覚刺激を組み合わせ提示した場合の生理反応を計測する実験を行った。この実験は、着心地評価において単一感覚による評価と、日常生活と同様

の多感覚統合による評価を行った場合の違いに関する基礎調査であり、多感覚統合を見据えた今後の着心地評価における実験環境設定への知見を得ることを目的としている。本稿で述べる内容は、視覚刺激の提示方法が異なる二つの実験 (実験 I と II) から構成されている。実験 I では、昼夜のように視覚刺激の強弱は生理反応に対して大きな影響を与えることが推測できることから、ある明るさに順応している被服者に対してウエストベルトによる圧覚刺激を提示した際の生理反応の違いを調査した。実験 II では、ウエストベルトによる圧覚刺激と輝度変化による視覚刺激の二重の刺激が提示されたことによって生理反応に相乗的な影響を与えることが推測できるため、被服圧に対する生理反応 [圧覚]、輝度変化に対する生理反応 [視覚]、被服圧と輝度の両方の変化に対する生理反応 [圧覚+視覚] という3パターンに分けて、単一感覚と複合感覚におけるそれぞれの生理反応の違いを調査した。

筆者らはこれまでに、身体に圧迫負荷を与えた場合、副交感神経活動の亢進は、リラックス状態であるという判断ではなく、身体的負荷に対する反応であること、自律神経活動割合を用いたストレス評価では、恒常性維持機能を考慮して定常時からの変動をストレスと捉えるべきということを提示している [5]。本稿においても、先の実験とは異なる条件のもとで同様の反応がみられるかを検証した。

なお、本研究は信州大学ヒトを対象とした研究に関する倫理委員会に承認された上で実施された。

2. 実験方法

実験条件は、ウエストベルトによる圧覚刺激と、輝度変化による視覚刺激の組み合わせから表1に示すように全7条件にまとめられる。実験Ⅰは3条件、実験Ⅱは5条件から成る。それぞれの実験条件の内容を図1に示す。

圧覚刺激として設定した被服圧(Press:以降Pとする)は、日常生活における被服圧を想定し、幅4cmの非伸縮性のウエストベルトを用いて腹部を圧迫した。圧迫の負荷を被験者ごとに均一とするため、被験者の胴囲に対してベルト長を10%短くした。

視覚刺激として、以下に示す輝度の異なる三つの環境(低輝度、中輝度、高輝度)を設定した。①低輝度環境(Low luminance:以降Lとする)は、実験室内の照明を最も暗く調光し、被験者の1m前方に設置されたつや消しの黒紙を固視している状態とした。被験者の視線位置の輝度は0.2cd/m²であった。②中輝度環境(Middle luminance:以降Mとする)は、実験室内の照明を最も明るく調光し、実験室内の白色壁面を固視している状態とした。被験者の視線位置の輝度は122.2cd/m²であった。③高輝度環境(High luminance:以降Hとする)は、実験室内の照明を最も明るく調光し、被験者の1m前方に設置された白紙を固視している状態とした。なお、このとき白紙にメタルハライドファイバー照明装置(LS-M160住田光学ガラス社製)にて二分岐ライドガイドを用いて照射させた。被験者の視線位置の輝度は382.0cd/m²であった。

図1の条件1~3は、実験Ⅰの設定を示す。安静・刺激・再安静の各プロセスにおいて輝度が一定の環境下で実施した。図1の条件2, 4~7は、実験Ⅱの設定を示す。実験Ⅱでは、単一感覚への刺激に対する生理反応と、複数の感覚への刺激に対する生理反応を比較するために、輝度を経時的に変化させて視覚刺激を提示した場合の生理反応への影響を調査すること、さらに被服圧による圧覚刺激を同時に提示した場合の生理反応への影響を調査する。視覚刺激が中程度の

M(輝度:122.2cd/m²)から低程度のL(輝度:0.2cd/m²)に変化させた場合(条件4 M→L→M)と中程度のMから高程度のH(輝度:382.0cd/m²)に変化させた場合(条件5 M→H→M)の視覚刺激の変化に伴う生理反応への影響を調査する。さらに、視覚刺激と圧覚刺激を同時に提示させた場合(条件2 M→M+P→M)(条件6 M→L+P→M)(条件7 M→H+P→M)における生理反応の違いについて比較する。

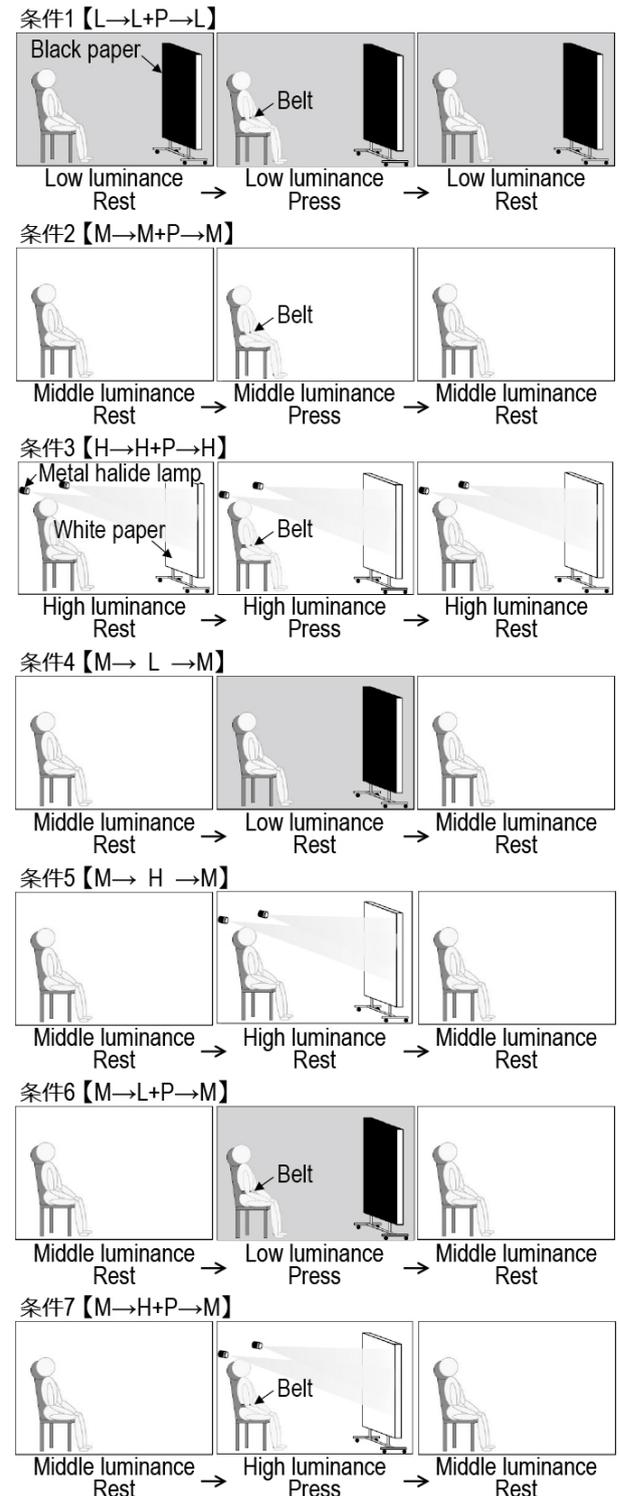


表1 実験条件の比較内容

条件	実験Ⅰ: ○		
	実験Ⅱ: ●		
	被服圧に対する反応	輝度変化に対する反応	被服圧と輝度変化に対する反応
1 [L → L+P → L]	○		
2 [M → M+P → M]	○●		
3 [H → H+P → H]	○		
4 [M → L → M]		●	
5 [M → H → M]		●	
6 [M → L+P → M]			●
7 [M → H+P → M]			●

実験Ⅰ: 輝度による視覚刺激の違いが被服圧に伴う生理反応へ与える影響
 実験Ⅱ: 被服圧による圧覚刺激の変化、輝度による視覚刺激の変化、およびその両方の変化が生理反応へ与える影響

図1 実験条件

輝度変化による視覚刺激が腹部への被服圧に伴う生理反応に与える影響

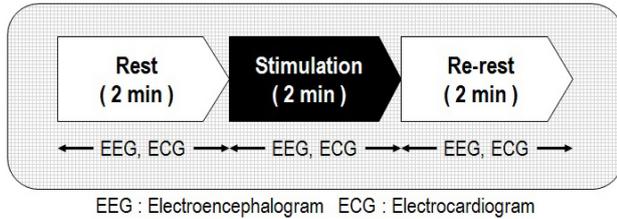


図2 実験プロトコル

実験は、図2に示すように安静2分間、刺激2分間、再安静2分間の計6分間を1セットとして行った。これを被験者ごとに7条件実施した。順序効果を相殺するため、実験条件の順番は被験者ごとランダムに提示し、条件間の休憩は5分間とした。

測定項目は心電図、脳波とし、被験者は健康な成人6名(男性4名[年齢22.0±0.0歳、胴囲76.4±12.3cm、BMI21.6±4.6]、女性2名[年齢21.0±0.0歳、胴囲77.8±1.8cm、BMI23.0±2.8])であった。被験者には実験開始2時間前から飲食喫煙を禁じた。被験者は基本着衣を下着・Tシャツ・ハーフパンツとした。実験室の温湿度条件は、基本着衣状態で快適と感じる25℃、60%R.H.とした。被験者は姿勢を保持するためにリクライニングシートに着座し、電極貼付後15分間の安静時間を取り、脳波波形および心拍数の安定を確認した後測定を開始した。

脳波は、国際標準10-20電極配置法によるC₃、C₄、P₃、P₄の4箇所電極を貼付し、耳朶をアースとした単極導出法を採用した。心電図は四肢誘導によって導出された。脳波、心電図ともにサンプリング周波数は200Hzとし、測定の制御およびデータの取り込みはノート型コンピュータを用い、データ採取ツールAcqknowledge (BIOPAC SYSTEMS社製)で行った。

脳波解析は、得られたデータからトレンドの除去を行い、ノイズの混入などを考慮し測定開始直後と終了直前の各12秒間のデータを除いた後、FFTを行うことによりパワースペクトルを求めた。パワースペクトルは8秒間を1単位とした脳波に対してハミング関数でFFTを行い、得られたパワースペクトルを加算平均した。加算平均の回数は12回とした。 θ 波(4≤f<8Hz)、 α 波(8≤f<13Hz)、 β 波(13≤f<30Hz)を算出した。脳波は個人差が大きく被験者間で計測値をそのまま比較することは難しいため、 θ 、 α 、 β 帯域に占める各波の割合を求めることで次のように規格化した。

$$\theta_1 = \theta / (\theta + \alpha + \beta)$$

$$\alpha_1 = \alpha / (\theta + \alpha + \beta)$$

$$\beta_1 = \beta / (\theta + \alpha + \beta)$$

心電図は、得られたデータに対しトレンドの除去を行い、5~40Hzのバンドパスフィルタをかけた。ノイズの混入などを考慮し測定開始直後と終了直前の各5秒間のデータを除いた後、R波のピーク検出を行い、R-R間隔を求めた。そのR-R間隔の時系列変化に対してFFTを行い、パワースペク

トルを求めた。さらに、交感神経と副交感神経の両方の活動が反映される0.04~0.15Hzの低周波成分(LF)と、副交感神経の活動が反映される0.15~0.4Hzの高周波成分(HF)から算出される交感神経活動割合(LF/HF)と副交感神経活動割合(HF/(LF+HF))を求めた。

3. 結果および考察

3.1 【実験I：輝度による視覚刺激の違いが被服圧に伴う生理反応へ与える影響】

3種類の輝度環境(L, M, H)において被服圧による圧覚刺激を提示した際の生理反応を計測し、その違いを比較した結果を以下に示す。図3にLF/HF、HF/(LF+HF)の変化を示す。なお、以降本稿で示すグラフ中のエラーバーは標準偏差を表す。LF/HF、HF/(LF+HF)ともに、輝度環境がLよりもM、Hの方がウエストベルトによる圧覚刺激に対する反応が大きくあらわれた。Bonferroni法による多重比較の結果から、MおよびHの環境ではLF/HFは腹部圧迫時に有意に減少し、再安静時に有意に増加した。HF/(LF+HF)は圧迫時に有意に増加し、再安静時に有意に減少した。刺激に対してHF/(LF+HF)が亢進したこの結果は、定常時からの自律神経活動の変動をストレスと捉える恒常性維持機能に基

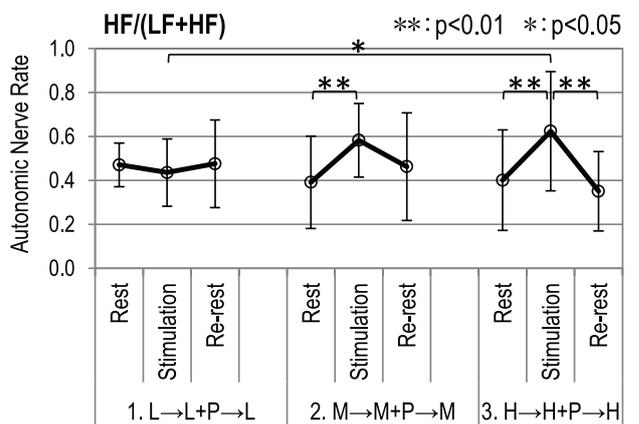
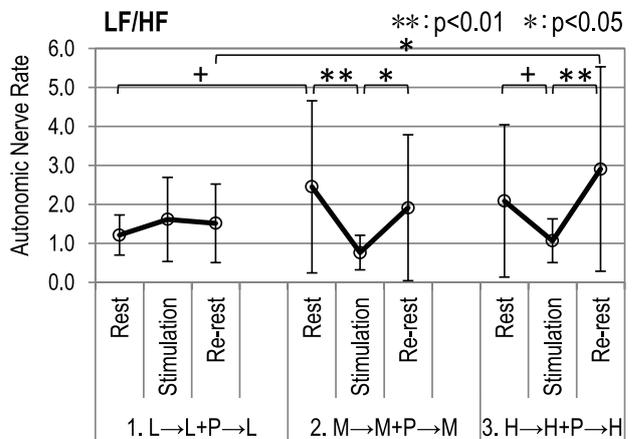


図3 自律神経活動の変化(実験I：条件1, 2, 3)

づく反応と考えられる [5]. Lでは, LF/HF, HF/(LF+HF)ともに圧迫に対する反応に有意差は見られなかった, これらのことから実験環境において低輝度の視覚刺激よりも高輝度の視覚刺激の方が, 安静から刺激, 刺激から再安静への刺激変化時において腹部圧迫に対する反応をより亢進させることが示された. 従って, 明るさに関する視覚刺激の程度により, 圧覚刺激に対する反応が異なる可能性が示された.

図4に脳波の解析結果を示す. 輝度環境がLでは, 時間の経過とともに θ 波の増加が認められた. Hでは, 時間経過に伴う θ 波の減少, β 波の増加が認められた. このことから, 輝度環境の違いによって脳活動は異なり, 低輝度環境Lでは徐波が誘導される傾向にあり, 高輝度環境Hでは速波が誘導される傾向になることがわかった.

以上の結果から, 被服圧を評価する際の実験環境として, 低輝度の視覚刺激と高輝度の視覚刺激では生理反応が異なることが示された. よって, 着衣快適性評価の実験環境設定を考える際, 明るさに関する視覚刺激が異なると生理反応が異なることを考慮し, 評価するアイテムの実際の着用シーンに近い明るさ設定が望ましいことがわかった. また, 暗い低輝度の視覚刺激よりも明るい高輝度の視覚刺激の方が, 圧覚刺激に対する自律神経活動の変化が大きくなったことから, 被服圧に対する顕著な生理反応を見るためには, 暗い低輝度の視覚刺激よりも明るい高輝度の視覚刺激の方が調査しやすいことが示された.

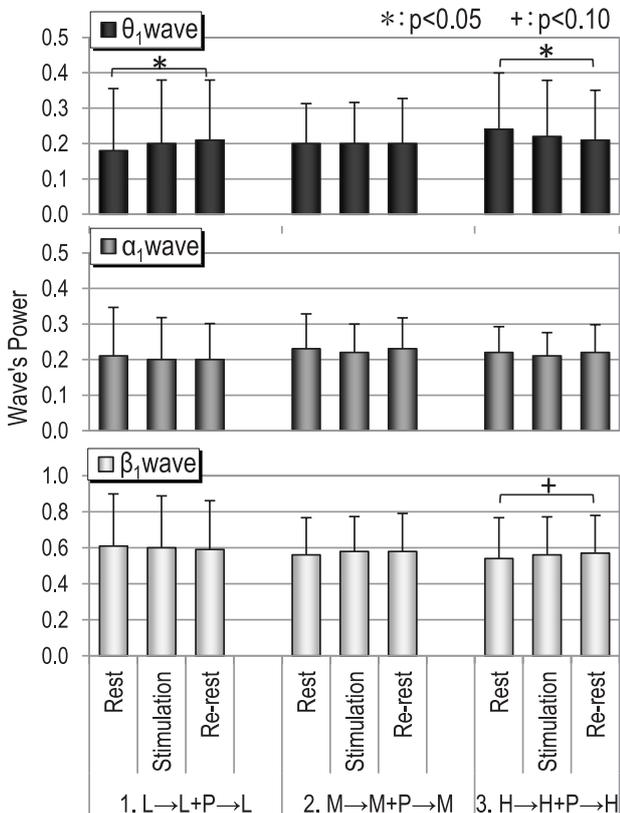


図4 脳活動の変化 (実験 I : 条件 1, 2, 3)

3.2 【実験 II : 被服圧による圧覚刺激の変化, 輝度による視覚刺激の変化, およびその両方の変化が生理反応へ与える影響】

単一感覚への刺激に対する生理反応と, 複数の感覚への刺激に対する生理反応を比較した結果を以下に示す. まず, 視覚刺激が中輝度から低輝度に変化した場合について結果を示す. 被服圧による圧覚刺激が提示される実験条件 (2 M→M+P→M) と輝度が暗く変化する場合の実験条件 (4 M→L→M) と圧覚刺激とともに輝度が暗く変化する場合の実験条件 (6 M→L+P→M) の比較について, 図5にLF/HF, HF/(LF+HF) の変化を示す. (2 M→M+P→M) では圧覚刺激が加わることでLF/HFが減少し, HF/(LF+HF)が増加したことから, 圧覚刺激が副交感神経活動の亢進に影響したと考えられる. (4 M→L→M) では被験者の視覚に入る輝度が下がることによる自律神経活動への影響に有意な変化は認められなかった. (6 M→L+P→M) では圧迫と輝度低下という二つの刺激が同時に入力されたことによって, LF/HFが減少し, HF/(LF+HF)が増加した. これは圧覚刺激だけが入った (2 M→M+P→M) と同様の变化傾向であった.

図6に脳波の解析結果を示す. (2 M→M+P→M) および (6 M→L+P→M) では脳活動に有意な変化は認められなかった. (4 M→L→M) では, 輝度が低下することによって θ 波が増加し, β 波が減少する徐波化が認められた. 圧迫

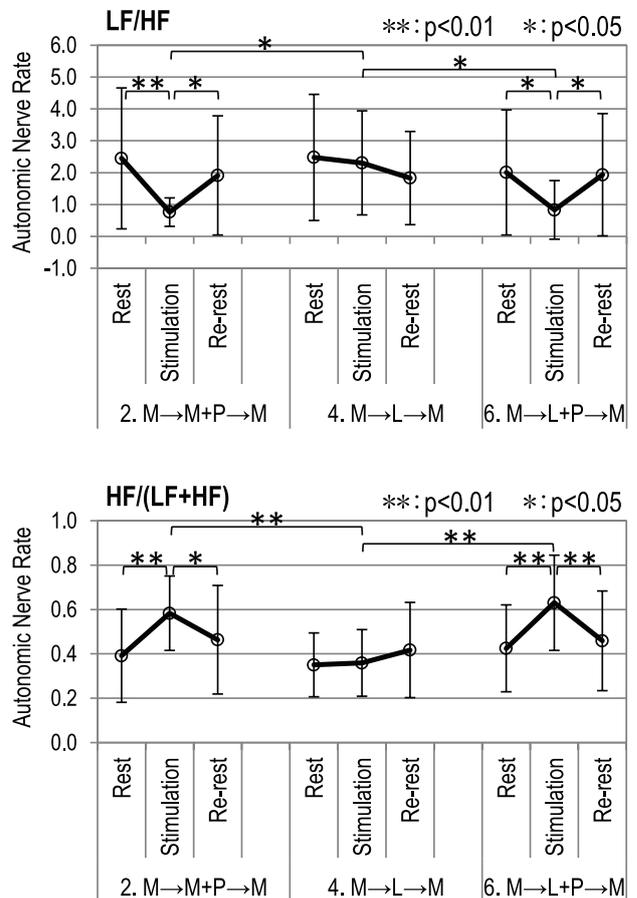


図5 自律神経活動の変化 (実験 II : 条件 2, 4, 6)

輝度変化による視覚刺激が腹部への被服圧に伴う生理反応に与える影響

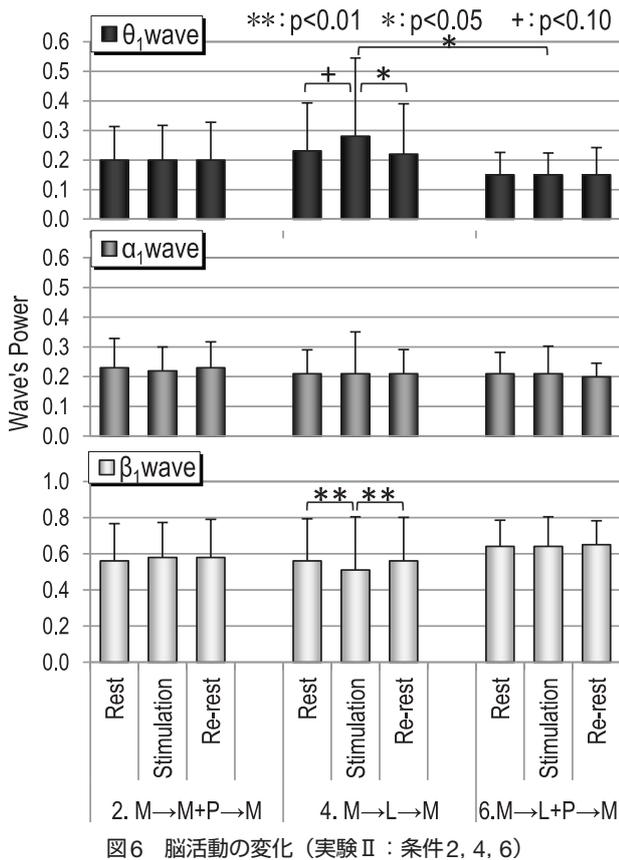


図6 脳活動の変化 (実験Ⅱ：条件2, 4, 6)

と輝度低下の刺激が同時に入力された (6 M→L+P→M) では輝度の変化条件は (4 M→L→M) と同じだが、圧覚刺激が加わることで脳活動の徐波化が見られなかった。

次に、視覚刺激がMからHに変化した場合についての結果を示す。被服圧による圧覚刺激が提示される実験条件 (2 M→M+P→M) と輝度が明るく変化する実験条件 (5 M→H→M) と圧覚刺激とともに輝度が明るく変化する実験条件 (7 M→H+P→M) の比較について、図7にLF/HF, HF/(LF+HF) の変化を示す。(2 M→M+P→M) では圧覚刺激が入ることでLF/HFが減少し、HF/(LF+HF)が増加し、副交感神経活動が亢進した。(5 M→H→M) では被験者の視野に入る輝度が上がることによる自律神経活動の有意な変化は認められなかった。(7 M→H+P→M) では圧迫と輝度の上昇という二つの刺激が同時に入力されたことによる有意な変化は認められなかった。圧覚刺激だけが入力された場合には副交感神経活動の亢進が認められたが、そこに輝度の上昇という視覚からの刺激が加わることで自律神経活動への影響が抑制された可能性が示唆された。

図8に脳波の解析結果を示す。(5 M→H→M) および (7 M→H+P→M) では輝度が上がることによって θ 波の減少、 β 波の増加が認められた。これらのことから、圧覚刺激の有無によらず、輝度の増加は脳活動の速波化に影響を及ぼすことがわかった。

以上の結果から、被服圧の変化と輝度の変化が一緒に起きた場合の生理反応は、被服圧による圧覚刺激に対する反応と、輝度の変化による視覚刺激に対する反応の「平均」あるいは

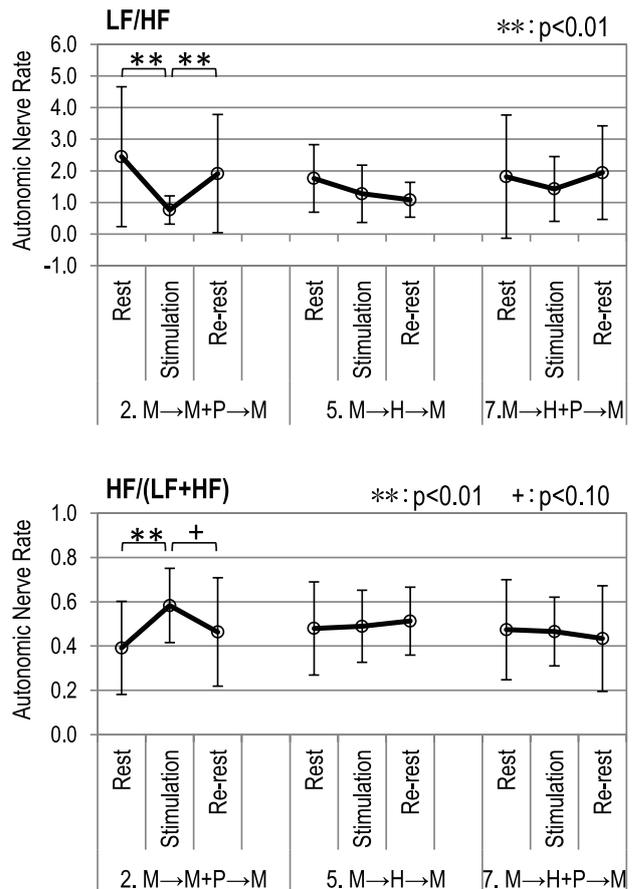


図7 自律神経活動の変化 (実験Ⅱ：条件2, 5, 7)

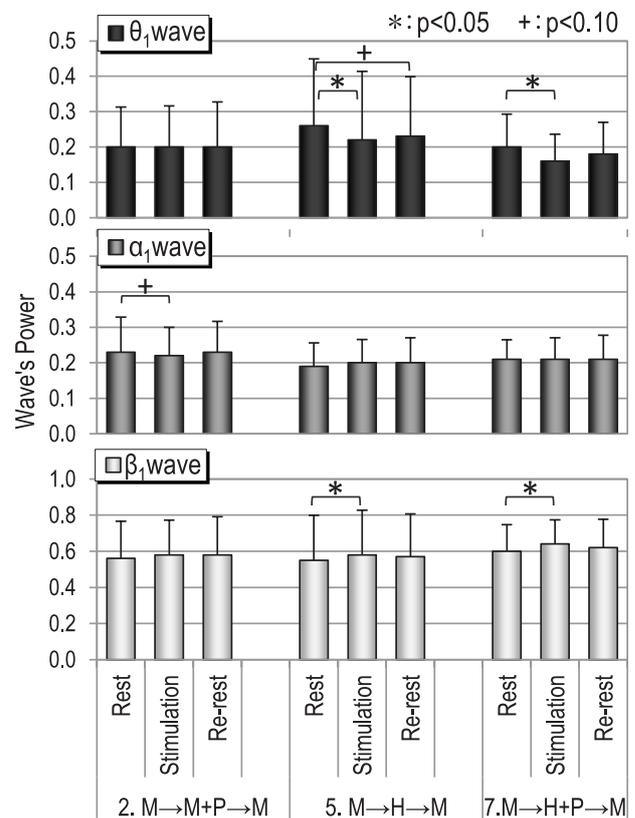


図8 脳活動の変化 (実験Ⅱ：条件2, 5, 7)

「総和」といった単純な反応ではないことがわかった。また、輝度変化において明暗の方向性によっても生理反応が異なった。輝度が低くなる変化では、圧覚刺激と視覚刺激が一緒に起きた場合、圧覚刺激だけが起きた場合と類似の反応がみられた。一方、輝度が高くなる変化では、視覚刺激だけが起きた場合と類似の反応がみられた。このことから、常に視覚は圧覚よりも優位に影響しているわけではないことがわかった。

4. おわりに

本研究では、実験Ⅰ：被験者の視野の明るさの違いが、被服圧に対する生理反応へ与える影響と、実験Ⅱ：被服圧による圧覚刺激と輝度変化による視覚刺激を組み合わせたことで、それぞれ単一の刺激に対する生理反応と2種類の刺激が一緒に与えられた場合の生理反応の違いを調査した。

まず実験Ⅰについて、実験環境の輝度が高い場合には、脳波が速波化し、圧覚刺激を入力した場合の反応が顕著に見られた。一方、輝度が低く視覚刺激が弱い場合には、脳波が徐波化し、圧覚刺激を入力した際の反応が顕著に見られなかった。このことから実験環境の明るさが被服圧に対する生理反応へ影響を与えていることがわかった。よって、着衣快適性評価における実験環境設定は、評価する被服の実際の着用シーンを考慮した環境下で評価することが望ましいことが示唆された。また、特定の輝度環境だけで着用する被服でなければ、暗く視覚刺激が弱い環境よりも、明るく視覚刺激が強い環境の方が被服圧に対する生理反応が顕著に見られることも示された。

次に実験Ⅱについて、被服圧による圧覚刺激と輝度変化による視覚刺激が一緒に与えられた場合の生理反応では、それぞれ単一の刺激が与えられた場合に現れる生理反応の総和や平均といった単純な反応ではないことがわかった。輝度が低く弱い視覚刺激下では、輝度の変化（視覚）よりも被服圧の変化（圧覚）に対する生理反応が優位であり、輝度が高く強い視覚刺激下では、被服圧の変化（圧覚）よりも輝度の変化（視覚）に対する生理反応が優位に見られた。これは、圧覚と視覚という複数の感覚情報が統合されると、感覚及び反応の処理機構にとって、より大きな刺激に対する生理反応が優位に出現したためと考えられる。よって、被服の着心地評価において、感覚の種類に絶対的な優劣があるわけではなく、多感覚情報が統合された際にそれぞれの感覚情報が与える影響の程度によって出現する生理反応が異なる可能性を得た。このことは、圧迫刺激に対する生理反応を、視覚刺激を用いることで表出させない効果があるとも言え、その効果を積極的に活用すると、輝度変化が激しい場合には、圧迫によるストレスを無自覚化することができることを示唆している。その一方で圧迫刺激に対する注意喚起をすべき状況もあると想定される。これらのことから、着衣快適性評価手法の将来の展望を考えると、被服圧、温熱感、肌触り、見た目、衣擦れの音、香りなどの多感覚を統合させた時の評価を推進する必要性があると考えられる。

また、身体に圧迫負荷を与えた場合、副交感神経活動の亢進がみられ、恒常性維持機能を考慮して定常時からの変動をストレスと捉えるべきということを示した筆者らの先行研究[5]と同様の結果が本稿においても再確認された。

今回の実験では、視覚情報として意味を持たない光刺激を提示したが、今後、鏡を見るなどの着衣に関する意味を持つ視覚刺激に対する感覚統合についても検討したい。

参考文献

- [1] 熊崎晶規, 寺田和憲, 伊藤昭: 触運動による長さ知覚における視覚の役割, 電子情報通信学会技術研究報告, 106(328), pp.1-6, 2006.
- [2] 上田祥行, 齋木潤: 触覚刺激が視覚知覚に与える影響, 電子情報通信学会技術研究報告, 107(332), pp.33-37, 2007.
- [3] 岡村友俊: 感覚統合における視・聴・触覚の重要度, 日本感性工学会論文誌, 11(3), pp.503-507, 2012.
- [4] Harry McGurk, John MacDonald: Hearing lips and seeing voices, Nature, 264, pp.746-748, 1976.
- [5] 上前真弓, 上前知洋, 上條正義: 腹部への被服圧が心身に与える影響とその閉眼・開眼における比較, 日本感性工学会論文誌, 13(2), pp.403-409, 2014.



上前 真弓 (学生会員)

信州大学大学院工学系研究科修士。一般財団法人日本繊維製品品質技術センターに勤務し、繊維製品、生活用品の品質試験業務に従事。現在、信州大学大学院総合工学系研究科に所属し、着心地評価に関する研究を行っている。

繊維学会会員。



上前 知洋 (非会員)

2006年 信州大学大学院工学系研究科修士。2010年 信州大学大学院総合工学系研究科博士課程単位取得退学。同年、長野県庁に入庁し、健康福祉部健康長寿課で健康福祉行政に従事。現在は地域政策課に属し、地域振興行政に従事。研究分野は感性計測による着心地評価及び共創活動による感性価値創造について。



上條 正義 (正会員)

1987年 信州大学繊維学部繊維工学科卒業。1989年 信州大学大学院繊維学研究科修士課程修士。1990年 東京理科大学諏訪短期大学生産管理工学科助手。1996年 信州大学繊維学部感性工学科助手。2001年 同大, 助教授。

2005年 信州大学大学院総合工学系研究科助教授。2009年 同大, 教授。現在に至る。博士(工学)。感性工学における計測評価の研究に従事。IEEE, 繊維学会, 自動車技術会, 照明学会, 電子情報通信学会, 計測自動制御学会, 人間工学会 各学会員。