

令和 5 年 6 月 22 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K12020

研究課題名（和文）顔面皮膚温度を用いた感動を評価するシステムの研究開発

研究課題名（英文）Research and development of a system for evaluating emotion with facial skin temperature

研究代表者

水野 統太（Mizuno, Tota）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・准教授

研究者番号：00337875

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：顔面皮膚温度を用いた感動を評価するシステムの研究の開発を行ってきた。従来の顔面の熱画像を用いた推定では、交感神経指標である鼻部と、自律神経活動の影響を受けにくい額部の温度差分を取ることによって評価していた。しかし従来手法では、遠赤外カメラが必要であり、手軽さに欠けるとともに、コストが必要になるという問題があった。そこで、実画像から自律神経活動を推定できる方法を検討した。結果として、実画像でも皮下表面の毛細血管を流れる血流量の特徴抽出を可能とする手法を開発した。この手法を用いて、計算問題や読書時の自律神経活動が評価可能か検討した結果、感情が変化したときの血流量変化が見られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年、職場における勤務者の疲労度や集中度を計測し、適切な休息を取り入れて職場の環境向上に努めるなど、人間がより快適な生活を送るために感情推定の必要性が高まっている。疲労度や集中度を計測する上では、これまでに、心拍、脈波、脳波、眼球運動、顔面熱画像といった生体情報を取得して、感情推定を行う手法が各種検討されてきた。しかし、これら生体情報を取得する際に、特殊な装置が必要であることが多いため、評価が可能であってもなかなか普及しない。そこで、我々は、既に普及しているUSBカメラやスマートデバイス等にすでに搭載されているカメラを用いて、感情を推定可能なシステムの構築を行った。

研究成果の概要（英文）：We have been developing research on a system for evaluating emotion using facial skin temperature. Conventional estimation using thermal images of the face is based on the temperature difference between the nasal area, which is a sympathetic index, and the forehead area, which is less affected by autonomic nervous system activity. However, the conventional method requires a far-infrared camera, which is not easy to use and costly. Therefore, we investigated a method to estimate autonomic nerve activity from real images. As a result, we developed a method that enables feature extraction of blood flow through capillaries on the subcutaneous surface even from real images. Using this method, we examined whether it is possible to evaluate autonomic nervous system activity during computational problems and reading, and found that blood flow changes when emotions change.

研究分野：HCI，生体情報工学

キーワード：赤外線サーモグラフィ 実画像 顔面皮膚温度 血流

1. 研究開始当初の背景

本研究は、顔面皮膚温度を用いた感動を評価するシステムの研究開発を目的とする。音楽や本などさまざまなコンテンツに対するヒトの感情の変化パターンを生理情報により評価・推定することにより、“感動させるコンテンツ作成の手掛かり・足掛かりとなる指標作成”や“ユーザが興味を持つと思われるコンテンツを推薦するレコメンドシステム”を目指す。ヒトの自律神経はさまざまな状態や状況により変化するが、鼻部周辺の皮膚温度はこの変化を間接的に評価することができる。これまでメンタルワークロード評価などのストレス研究が多く行われてきたが、感動や興味などのポジティブな状態へ移行させるような効果についての評価は少ない。本研究を突破口に、顔面皮膚温度が脳波や心拍のようにさまざまな場面で使用できる新しい自律神経活動の指標として展開したい。

我々は、自律神経系指標により感性情報を計測し、その情報を本人に適切にフィードバックすることにより自己の状態を自覚させ、健康被害やヒューマンエラーを低減させることを目標として研究してきた。

ヒトの自律神経はさまざまな状態や状況により変化する。脳波、心拍、呼吸、血圧、皮膚温度、発汗などの生体情報はこの自律神経活動をよく反映するため、これらを指標としたさまざまな研究開発が行われている。

先行研究のヒューマンエラーとの関連を評価した多くのメンタルワークロード(MWL:精神的作業による負荷・負担)研究において、作業成績による行動評価、アンケート等による心理評価、および電気生理信号指標等による生理評価が行われてきた。特に生理評価は、客観的・定量的かつ実時間で評価することが可能であり、また無意識下の不随意的な反応も検出できる等の優れた特徴がある。

これに対し、我々は赤外線サーモグラフィにより測定した鼻部皮膚温度を利用し、MWL時の生理心理状態の評価を行ってきた。さまざまな状態や状況により心理状態変化すると、自律神経が働き、毛細血管を収縮・弛緩させ血流量が変化する。皮膚温度は、皮下の毛細血管を流れる血液温度の伝導熱と外気温の拮抗した温度である。

鼻部は毛細血管の血流量を調節する動静脈吻合血管の影響を受け、自律神経活動の交感神経系の反応を非常によく反映する部位である。また、額部温度は自律神経活動の反応を反映しにくい部位である。そこで、鼻部から額部の平均温度の差を求めることにより周囲の外気温の変化の影響が抑制させ、自律神経活動の反応を捉える手法がとられる。

先行研究において、図1に示すように熱画像から四角で囲った鼻部と額部の領域を抜き出し、それぞれの平均温度を算出し、鼻部額部差分温度を評価値とし、これを用いて、暗算計算課題に対する脳波、心拍、鼻部皮膚温度変動の評価を行った。その結果を図2に示す。

(白：休息3分、灰：タスク6分)。結果から、同じ自律神経系の指標にも拘らず反応特性がそれぞれ異なること、また、鼻部皮膚温度のタスクに対する反応が時系列でよく反映すること、継続的なMWLの場合、時間が長くなるにつれ反応が鈍ってくることなどから、継続的なMWL時の心理状態の推定には鼻部皮膚温度が適切であることを示してきた。更に、暗算計算タスクを用い鼻部以外の部位に温度変化がないか実験したところ、口唇周辺の皮膚温度に上昇がみられ、さらに顔面の平均温度はあまり変化がないことが分かった。これにより、鼻部へ流れるはずであった血液が口唇周辺へ流れた結果、鼻部の温度が低下し口唇周辺の温度が上昇した可能性を指摘した。これを元に顔全体の温度分散値をMWL指標とするアルゴリズムを研究し(図3)、鼻部皮膚温度のみの評価よりも温度分散値の方が高精度で評価できることを示した。さらに、顔面皮

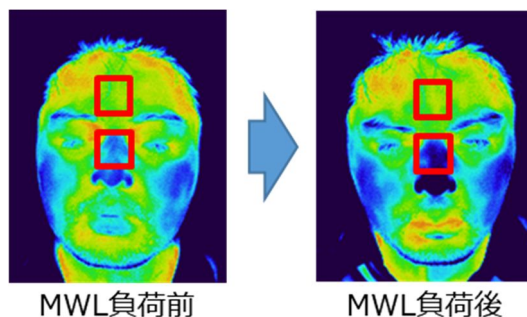


Fig.1 暗算計算問題課題
による負荷前後の顔面熱画像

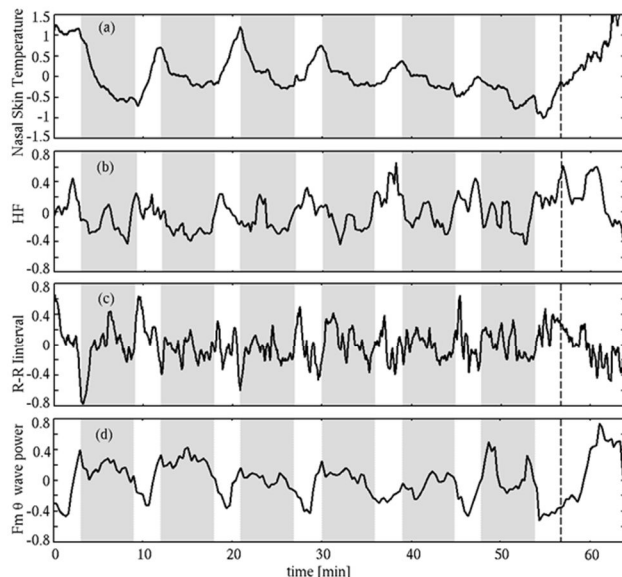


Fig2. 計算問題課題に対する
鼻部皮膚温度、脳波、心拍変動

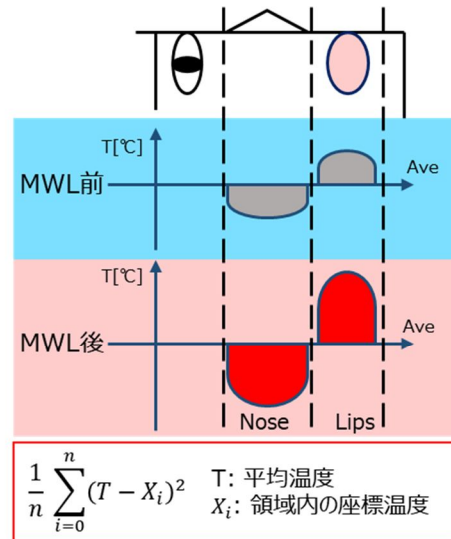


Fig3. 顔全体の分散

膚温度のヒストグラムを用いたアルゴリズムを作成し絶対評価ができる可能性を得ている。先にも述べたが、鼻部皮膚温度は交感神経系の指標と言われている。しかし生理学的には、通常、ひとつの臓器を交感神経と副交感神経の両方が支配し、この両方が拮抗的に働くことで生理的状态を一定に保とうとする恒常性(ホメオスタシス)を維持する。このことから鼻部皮膚温度が交感神経系だけの指標とは考えにくい。

交感神経系は血管を収縮させ副交感神経系は血管を弛緩させる効果を持つことから、鼻部皮膚温度もその両方が働いているいるが、ストレスのかかかっていない状態では、血管は弛緩状態であるため、ネガティブな効果を与えるタスクによく反応する交感神経系の働きの割合が高い指標に見えると考えられる。現在、解析範囲を顔全体に広げると血流の移動を含めた指標になっているため、交感神経系だけではなく副交感神経系も含めた自律神経活動指標である可能性がある。今後、顔面熱画像の温度変化の機序および交感神経と副交感神経の働きの指標としての割合などを研究する必要がある。

2. 研究の目的

研究開始当初は、顔面皮膚温度を用いた感動を評価するシステムの研究開発を目的としていた。鼻部皮膚温度が MWL 時の心理状態の推定には適切であることは先にも述べた。しかし、実用化の面を鑑みると状況が異なる。これまで脳波や心拍などの生体信号情報を採取する際は電極等を装着する必要があり、実際の労働現場における適用には困難さを伴っていたが、最近の IC 技術の進歩に伴い、これらはウェアラブル化され、さまざまな場面で実用化されつつある。しかし、MWL などの心理状態の推定に適切であると考えられる鼻部皮膚温度においては応用が遅れており、まだまだ実験室レベルの指標である。鼻部皮膚温度を用いた自律神経活動を推定する技術の実用化が遅れている理由として、赤外線サーモグラフィ装置が必要である点大きい。赤外線サーモグラフィは特殊な装置であるため、別途購入の必要性やコスト面の影響で実用化が進んでいない。

ここで、鼻部皮膚温度が自律神経活動とともに変化するメカニズムについて述べる。ヒトは緊張すると筋肉や血管が収縮し、リラックスすると弛緩する。血流量は、血管が収縮すると少なくなり、弛緩すると多くなる。皮膚温度は、皮下を流れる血液の温度の伝導温度と環境温度の拮抗温度である。環境温度が変わらない環境であれば、皮膚温度は血流量の変化により変化する。鼻や指先などの部位は、老若男女、肥満の程度とは関係なく皮下に脂肪が少ない部位であるため、血管内の血流量の変化により温度が変化しやすい部位である。

このメカニズムを考えると、皮膚温度ではなくとも血流量の変化を計測できれば、自律神経活動の推定が可能となるはずである。そこで我々は、赤外線サーモグラフィではなく実画像カメラで鼻部皮下の血流量の変化が捉えられないか検討した。

3. 研究の方法

物体に入射した光は、物体の表面で吸収・散乱される。ヒトは、その反射光を物体の色彩として識別する。皮膚の場合、入射光は皮膚表面だけでなく、その波長により皮膚の内部にある程度透過したのち吸収・散乱される光も存在する。この皮膚内部に透過した光は、皮膚内部の毛細血管や皮下組織などで一部の光が吸収・散乱され、反射光として皮膚表面に現れる。このことから、皮膚内部に透過した光の反射光のみを実画像で捉えることができれば、直接的な自律神経活動の評価が可能であると考えられる。

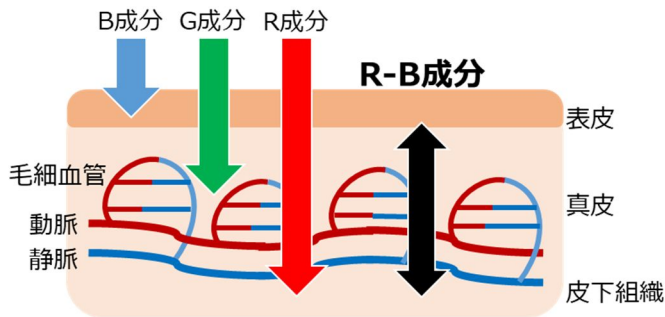


Fig4. RGBの波長透過深度

Webカメラ等の可視光カメラによる画像は、RGBの3つの色成分から構成されており、それぞれの成分を0-255の値で表している。光はその色成分によって透過深度が異なることが明らかとなっている[2]。図4に示すように、R成分が最も深い透過深度を持ち、次いでG成分、B成分の順にその透過深度は浅くなっていく[2]。これらのことから、皮下への透過深度が最も深いR成分と、最も浅いB成分の差分であるR-B成分値を用いることで、皮下を流れる末梢の血流量の変化を捉えることができると考えられる。また、このR-B成分値は、同じ位置の皮膚の反射光であるR成分とB成分から差分を取るため、顔の凹凸が原因で生じる光の影響や大きな体動の影響など、アーチファクトの影響が低減された指標になると考えられる。

4. 研究成果

20代の被験者2名に10分間の暗算計算課題を課した際の動画を取得した。取得した動画から、タスクスタート時、5分経過時、10分経過時、タスク終了後3分経過時(実験終了)の鼻部の画像を抽出し、R-B成分値の平均をとった結果を表1に示す。画像を見ると特に変化しているようには見えないが、R-B成分値の平均を見ると変化していることが分かる。被験者1は実験すること自体に緊張しており、実験が進むにつれ緊張が緩和されたという主観評価が得られている。R-B成分値の平均値を見ると上昇していることが分かる。被験者2は、暗算計算課題が進むにつれ疲労したという主観評価であった。R-B成分値の平均値を見ると、低下していた。これらのこと

Table1. 暗算計算課題時のR-B成分値の平均値

Time	暗算タスク スタート	暗算タスク 5分経過	暗算タスク 10分経過 (=終了)	実験終了
Sub1				
R-B成分値	59.04	59.44	60.02	60.75
Sub2				
R-B成分値	62.37	60.36	60.47	57.70

から、R-B成分値の平均値は自律神経活動指標となる可能性がある。

次に20代の被験者6名に6作品の漫画を閲覧してもらい、漫画の興味度とR-B成分値を比較した。図5に鼻部R-B成分値のグラフの結果の例を示す。鼻部R-B成分値は、上昇傾向、下降傾向、上昇下降混在の3パターンに分けられた。鼻部R-B成分値が上昇すると血流量が増えるので、興奮など気分が向上し、下降すると血流が減るので、ストレスがかかっている状況と考えられる。これを踏まえると、漫画の閲覧で血流が変化していることが分かる。

次に、この鼻部R-B成分値と興味度を比較した結果を表2に示す。

表1を見ると、下降傾向では興味度が推定できないが、上昇傾向に置いては興味度が高い傾向にあることが示唆された。漫画などのコンテンツにはストーリーがあるため、閲覧中に様々な感情が変化する。そのため、血流も上昇したり下降したりと変化することが考えられる。感動などを評価する場合、これらのパターンも関係するため、今後は、感動するための

時系列での傾向や変化量などの詳細な分析が必要である。



Fig5. 鼻部R-B成分値の例

Table2. 傾向毎の興味度の割合

興味度	高	中	低
上昇	45.5%	54.5%	0.0%
混合	58.8%	23.5%	17.7%
下降	28.5%	43.0%	28.5%

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 清水美玖, 板倉直明, 水野統太
2. 発表標題 顔面実画像を用いた自律神経活動の推定の検討
3. 学会等名 電気学会 計測/知覚情報合同研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Miku Shimizu, Yu Matsumoto, Naoaki Itakura, Kazuyuki Mito, Tota Mizuno
2. 発表標題 Evaluation of Methods for Estimating Autonomic Nervous Activity Using a Web Camera
3. 学会等名 International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Miku Shimizu, Yu Matsumoto, Kouhei Okura, Naoaki Itakura, Kazuyuki Mito, and Tota Mizuno
2. 発表標題 A Method to Remove the Effect of Light on the Evaluation of Autonomic Nervous Activity Using Real Face Images
3. 学会等名 International Symposium on Artificial Life and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 清水美玖, 松本悠佑, 板倉直明, 水戸和幸, 水野統太
2. 発表標題 顔面実画像を用いた光や影の影響を受けない自律神経活動評価の手法についての検討
3. 学会等名 電気学会計測知覚情報合同研究会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 熱画像に代替する実画像を用いた、ストレス状態を推定する技術	発明者 清水 美玖，水野 統太，板倉 直明	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-188255	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------