

# 顔画像解析による色情報とストレスとの関連性について

渡邊 汐<sup>\*1</sup> 影山 芳之<sup>\*2</sup>

## Relationship between Color Information and Stress by Facial Image Analysis

by

Shiho WATANABE<sup>\*1</sup> and Yoshiyuki KAGEYAMA<sup>\*2</sup>

(Received on Mar. 22, 2017 and accepted on May 11, 2017)

### Abstract

This paper describes a method for evaluating the stress status by detecting changes in facial color. When the capillaries contract under stressful conditions, the facial color is influenced by the changes in the blood flow through the capillaries under the facial skin. Therefore, it is considered that the stress status can be detected by measuring the changes in facial color. In this study, various color scales were applied to detect color changes in the regions of interest in facial images taken by a color camera during the experiment using calculation tasks to apply stress. To clarify the relationship between the changes in facial color and the stress status, electrocardiogram results and blood flow rates were also measured during the experiment. In the experimental results, the green and red components in RGB changed in response to stress. Furthermore, the color difference, which shows the amount of change from the reference color, was obviously changed. During the calculation tasks, it was also observed that the heart rate interval was shortened and the blood flow rate was decreased. From these results, it is clear that the facial color changes due to the change in blood flow under stressful conditions. This study suggests the possibility of detecting stress without making physical contact with the patient.

**Keywords:** Facial color, Blood flow, Heart rate interval, Stress

## 1. はじめに

様々な医療機器が使用されている医療現場では、医療事故を無くすことが重要な課題となっている。この医療事故には、医療従事者が原因となる事故と患者が原因となる事故がある。特に、患者が原因となって引き起こされる事故の中で、重篤となるのが透析治療時の自己抜針である。自己抜針を引き起こす原因の一つとして、“不穏”が挙げられる。近年、不穏を来しやすいとされる認知症や精神疾患を合併した透析患者が増加していることもあり、自己抜針を防止する方法が早急に求められている。

不穏は、蓄積されたストレスが原因で引き起こされるため、患者のストレスを把握することは、不穏による医療事故防止に繋がると考えられる。ストレス状態とは、自律神経系である交感神経の活動が亢進し、副交感神経の活動が低下する状態のことで、心拍数の増加や末梢血管の収縮、視床下部からの内分泌系の反応等の様々な生体反応をもたらすことが知られている。そこで、生体反応を利用したストレス測定が実用化されている。

現在のストレス測定方法として、生理学的指標と自律神経指標を用いるものがある。生理学的指標を用いる方法は、血液や尿、唾液中に含まれるホルモンの評価を行

う。特に唾液を用いる方法は、測定が簡便であるという利点がある。しかし、生理学的指標を用いる手法は、患者への接触や侵襲があり、また連続的なストレスのモニタリングが困難である。一方、自律神経指標を用いる代表的なストレス評価方法として、心電図から心拍変動を解析する手法がある。心拍間隔の揺らぎを調べることにより、自律神経活性の程度からストレス状態を推定することができる。また、心拍変動の周波数解析では、交感神経と副交感神経の活動を分離した解析が可能となっており、時間領域解析はストレスを感じた瞬間の変化について測定することが可能である。しかし、自律神経指標を使った測定も、電極を装着することによる患者への接触があるため、負担を極力与えない非接触による計測方法が求められている。

非接触によるストレス計測の試みとして、本研究では顔面の色の変化に着目した。顔面は、薄い皮膚の下に毛細血管が緻密に存在することから交感神経活性時の末梢血管の収縮による血流量の減少を反映しやすい部位だと考えられる。しかしながら現在、物理的ストレスを与えた際の自律神経活動と顔面の変化についての検討<sup>1,2)</sup>はあるものの、心理的ストレスを与えた際の自律神経活動と顔面の変化についての詳細な検討はまだ少ない。

そこで本研究では、非接触にて顔色の変化を計測するシステムを構築した。次に、心理的負荷を与えた際の顔面の皮膚色の変化を画像から計測し、ストレス評価の指

\*1 工学研究科医用生体工学専攻修士課程

\*2 工学部医用生体工学科教授

標との関連性を調べ、非接触で測定を行った顔面の皮膚色からストレスの検出が可能であるか検討を行ったので報告する。

## 2. 顔面皮膚色計測

### 2.1 顔画像撮影

我々は外光の影響を除くために、頬に固定した小型カラーセンサによる顔面皮膚色計測を行ったが、顔面の毛細血管の血流を阻害する可能性が示された<sup>3)</sup>。そこで本研究では、非接触で顔画像を連続的に撮影・保存するために小型のカラーカメラを使用した。

顔写真撮影は、Raspberry Pi 2 MODEL B(Raspberry Pi 財団)のカメラモジュール(Raspberry Pi Camera Rev. 1.3)で行う。カメラモジュールは、最大 2592×1944 画素で、最大フレームレートは 30[fps]となっている。Raspberry Pi 本体にはカメラモジュールの他に、Raspberry Pi の操作を行うための 7 インチ Raspberry Pi 用タッチスクリーン付液晶ディスプレイ(Element14 製)が接続されている。

顔写真は、画像解析時間を短縮するために 500 画素×700 画素のサイズで、10 秒毎に撮影している。測定時に写真の明るさが変化しないよう自動露出補正はオフとし、ホワイトバランスの設定は測定環境である蛍光灯下の撮影に適したモードとしている。ホワイトバランスを蛍光灯モードに設定すると、画像の青みがやや強くなる。なお、カメラの設定・操作は、Python2 系によって自身で作成したプログラムにて Raspberry Pi 上で行なっている。撮影されたデータは RGB 形式で Raspberry Pi 上に保存する。その後、フリーソフトウェアの Samba を用いて Raspberry Pi の OS である Linux 上にファイルサーバの構築を行い、Windows のコンピュータへ写真データを移動する。

### 2.2 顔検出・関心領域の決定

撮影した顔画像の処理は、Intel によって開発された画像処理ライブラリの OpenCV を用いた Python2 系による自作のプログラムにて行っている。

まず、常に一定の領域の解析を行うため、撮影した顔写真について顔認識をし、顔認識領域からさらに色解析をするための関心領域(ROI: Region of Interest)の決定を行っている。顔認識には Haar Cascade 検出器を用いている。この検出器は、Haar-like 特徴量と Cascade 識別器からなる。Haar-like 特徴量は、明暗の差から特徴を捉え、高速な計算を行うことが可能となっている。顔面では、目の領域は鼻や頬の領域よりも暗く、また目の領域は鼻筋よりも暗いという 2 つの特徴を捉える。Haar-like 特徴量を利用し、Cascade 識別器にて画像中で 2 つの特徴が当てはまる部分の検出を行っている。

ただし、検出器はあらかじめ検出したい対象について正解画像(検出対象物が写っている画像)と不正解画像(検出対象物が写っていない画像)を機械学習させる必要がある。Open CV では、既に顔について大量の画像データを学習した検出器が用意されている。そこで本実験では、顔の正面情報について事前に学習された分類器を用

いて顔の検出を行っている。

まず、撮影した顔画像を読み込み、検出器が明暗の差を識別できるように撮影した顔画像のコピーをグレースケール変換する。次に、Haar Cascade 検出器を用いた顔検出を行う。顔検出の情報は、画像上の座標として得られる。得られた座標を用いて、顔を囲むような矩形が元のカラー画像に描画される。この顔認識矩形の大きさはおおよそ 150 画素×150 画素である。この矩形を 8×8 分割し、血流量の変化が皮膚色の変化として現れる頬と額部分にあたる分割した矩形(約 19 画素×19 画素)をそれぞれ ROI とする。実際の顔認識矩形と ROI の例を Fig.1 に示す。

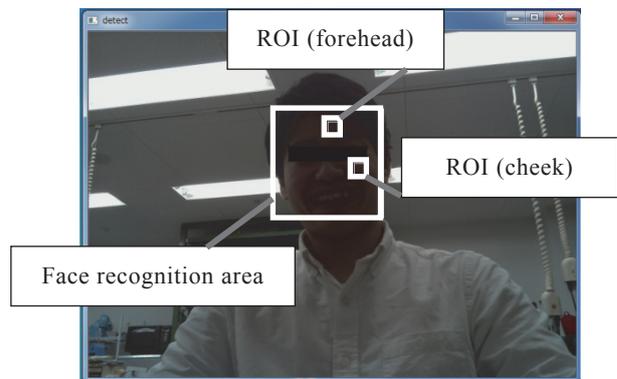


Fig.1 Face recognition area and ROI.

### 2.3 色解析

前項で決定した領域について、HSV と  $L^*a^*b^*$  の 2 つの色空間を用いた解析を行う。HSV 色空間は直感的に分かりやすい色空間であり、色相(H: Hue)、彩度(S: Saturation)、明度(V: Value)の 3 つの量から構成される。色相は、色を決定する要素で  $0 \sim 360^\circ$  の範囲で変化する。彩度は色の鮮やかさを表し、値が大きいほど色鮮やかに、値が小さくなるほど色味が減少する。明度は色の明るさを表し、値が大きいほど明るく、小さいほど暗い色となる。

$L^*a^*b^*$  色空間は人間の視覚に近似している均等色空間として知られており、色の差を表す時に用いられる。 $L^*$ 成分は、HSV 色空間中の V 成分と同様に明度を表す。 $a^*$ 成分  $b^*$ 成分は、色相と彩度からなる色知覚の属性を表し、 $a^*$ 成分は緑から赤へ、 $b^*$ 成分は青から黄へ連続的に変化する。HSV 色空間と  $L^*a^*b^*$  色空間の値は、RGB 値から変換式を利用することにより求めることができる<sup>4)</sup>。

$L^*a^*b^*$  色空間では、色の知覚的な相異を定量的に表す色差を求めることができる<sup>5)</sup>。色差  $\Delta E_{ab}^*$  は、2 つの色 ( $L_1^*, a_1^*, b_1^*$ ) と ( $L_2^*, a_2^*, b_2^*$ ) 間において以下の式より求めることができる。

$$\Delta E_{ab}^* = \{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2\} \quad (1)$$

ただし、

$$\Delta L^* = L_1^* - L_2^* \quad (2)$$

$$\Delta a^* = a_1^* - a_2^* \quad (3)$$

$$\Delta b^* = b_1^* - b_2^* \quad (4)$$

である。

色解析の流れは、先ず RGB 形式の顔画像を Open CV を用いてそれぞれの色空間の形式に変換し、値を求める。色空間での各値の一般的な出力範囲は、H が  $0 \leq H \leq 360$ 、S が  $0 \leq S \leq 1$ 、V が  $0 \leq V \leq 1$ 、L\*が  $0 \leq L^* \leq 100$ 、a\*が  $-127 \leq a^* \leq 127$ 、b\*が  $-127 \leq b^* \leq 127$  となっている。しかしながら Open CV では、各値が 8bit で表現される (H のみ  $0 \leq H \leq 180$  とする) ために、(5) ~ (10) 式の計算処理を行い一般的な値の範囲に収める必要がある。

$$H: H \times 2 \quad (5)$$

$$S: S/255 \quad (6)$$

$$V: V/255 \quad (7)$$

$$L^*: L^*/255 \times 100 \quad (8)$$

$$a^*: a^* - 128 \quad (9)$$

$$b^*: b^* - 128 \quad (10)$$

領域内の全ピクセルについて各々の値を求め、上記の計算処理を行なった後、各領域についての平均値を色成分毎に算出する。

### 3. ストレス評価指標

#### 3.1 心電図計測

心電図計測には、ワイヤレスで生体信号の計測が可能なプラットフォームである BITalino(PLUX wireless biosignals S.A.)を用いる。BITalino は、繰り返し充電可能なリチウムバッテリー(3.7[V])を取り付けた基盤に生体信号センサを接続することで心電図をはじめとした表面筋電図、皮膚電位、加速度等の様々な生体情報の計測が可能となっている。

心電図測定開始の際に、被験者の胸部中央 3 点に電極を装着し、BITalino 用のフリーソフトウェア OpenSignals (revolution) 上でサンプリング周波数を 100[Hz]に設定する。次に、OpenSignals (revolution) 上で計測開始の操作を行い、測定を開始する。計測した値は 10bit で AD 変換され、BITalino から Bluetooth による通信でコンピュータへ送信される。受信された心電図データは、OpenSignals (revolution) にてテキスト形式で保存される。

その後、自作のプログラムにて読み込んだテキストデータから QRS 波ピークの検出を行い、R-R 間隔(RRI: R-R interval)を求めている。最後に、求めた R-R 間隔について時間領域指標であるポアンカレプロットによる解析を行う。

#### 3.2 心電図解析

ポアンカレプロットは、自律神経の解析や睡眠状態の解析などに応用されており、二次元直交グラフ上に心拍周期の揺らぎを幾何学的に表現する手法である<sup>6)</sup>。隣り合った 2 つの R-R 間隔の関係について、 $n$  番目の R-R 間隔 ( $RRI_{(n)}$ ) を横軸に、 $n+1$  番目の R-R 間隔 ( $RRI_{(n+1)}$ ) を縦軸にプロットしていくことを繰り返す方法となっ

ている。実際のポアンカレプロットを Fig.2 に示す。

ポアンカレプロット評価の一つに、プロットが散布している面積を使用する方法がある。プロットが密集し、面積が狭いほど交感神経が優位であることを示している。面積の求め方は、プロットされた全ての点を  $y = x$  軸上と  $y = -x$  軸上に投影する。その後、 $y = x$  軸における原点からの距離の平均と標準偏差  $\sigma_x$  を、 $y = -x$  軸における原点からの距離の平均と標準偏差  $\sigma_{-x}$  を求める。ポアンカレプロットの分布を長軸が  $\sigma_x$ 、短軸が  $\sigma_{-x}$  の楕円として以下の式より面積を求めることができる<sup>7)</sup>。面積を  $S$  とすると、

$$S = \sigma_x \times \sigma_{-x} \times \pi \quad (11)$$

となる。またプロットの花面積の他に、R-R 間隔の短縮によって生じるプロットの左下方向移動も交感神経が優位であることを示す。

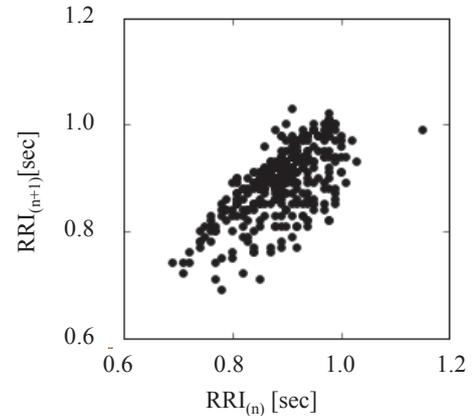


Fig.2 Poincare plot.

#### 3.3 血流量

血流量は、レーザドプラ血流計 (Vasa medics INC. BPM403A USA) を用いて測定を行なっている。血流計の液晶画面に表示された数値を 10 秒毎に実験者 1 名が記録する。測定部位には、動きが少なく、口頭で解答した際にも影響を受けにくいと考えられる耳朶を用いている。なお、レーザドプラ血流計から得られる値は相対値であるため、グラフ化する際には 0~5 分間の安静時の血流量を基準とした変化率として表す。

### 4. 実験方法

#### 4.1 心理的負荷実験

平均年齢 21.3 歳の健康な男性被験者 6 名を対象とした。ブラインドを下ろし、日光の影響を受けないようにした室内の蛍光灯下で実験を行なった。実験室内の温度は、25[°C]前後であった。なお、実験室内には被験者の他に 2 名の実験者がいる状態であった。

被験者には実験開始前に、東海大学「人を対象とする研究」に関する倫理委員会の指示に従い、研究参加への説明を文章並びに口頭にて行った後に同意書への署名を

得た。また、顔や体は実験中になるべく動かさないよう被験者に口頭で指示をした。被験者に心電図を測定するためのディスプレイ電極(日本光電)を胸部中央3点に、血流計プローブをサージカルテープにて左の耳朶に装着し、Fig.3のようにモニタ正面からおおよそ60[cm]の位置に着座させた。モニタは17インチで、モニタの背面に設置したノートパソコンに接続し、ノートパソコン上の画面を映すようセットした。また、ノートパソコンの操作のために実験者1名が机を挟み被験者の正面に、血流量の値の記録を行うための実験者1名が被験者から見て左斜め前方に着座している状態であった。

顔面皮膚色測定は、心理的負荷課題開始前(安静状態)5分間、心理的負荷課題10分間、心理的負荷課題終了後(安静状態)5分間として合計20分間行なった。この時、顔写真撮影用カメラはモニタと同じく被験者正面からおおよそ60[cm]の位置に設置し、カメラの角度は顔認識が可能となるように調整を行なった。

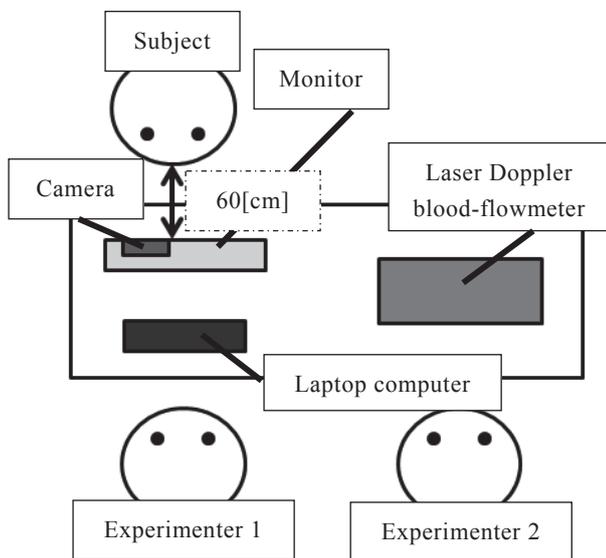


Fig.3 Experimental layout.

#### 4.2 心理的負荷課題について

心理的負荷課題には計算課題を用いた。計算課題は、精神的ストレス課題としてよく用いられており、計算課題を行うことで生じるストレスによって血管の収縮や心拍間隔の変動など交感神経亢進時の反応が現れることが明らかになっている<sup>8)</sup>。

3000から連続的に13を減算させる計算課題(3000-13, 2987-13, 2974-13...)を被験者へ指示し、1問7秒以内に口頭にて解答させた。減算させる数字は、被験者正面に設置したディスプレイ上にFig.4に示すように提示した。正誤の判定と判定結果の入力については、実験者がノートパソコンのキーによる操作で行った。判定結果が入力されると、次の問題へと進む。その他に、ディスプレイ上には1問ごとの解答残り時間、解答数、正解数、○×の正誤判定を提示した。不正解の場合には1000[Hz], 100[ms]のアラームを2回連続で鳴らし、再び3000からの減算を行わせた。時間切れは不正解と同じ扱いとした。

計算課題提示ソフトは Visual C#を用いて作成した。

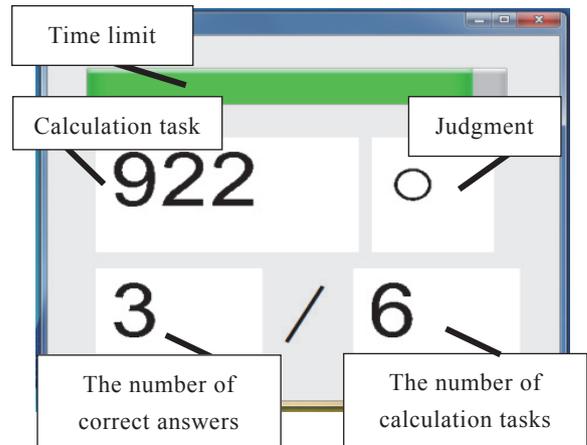


Fig.4 Computer display of calculation task.

## 5. 結果および考察

### 5.1 顔面皮膚色解析結果

実験結果の代表例として同一被験者の頬におけるHSV色空間の解析結果をFig.5に、L\*a\*b\*色空間の解析結果をFig.6に、色差の結果をFig.7に示す。Fig.5(a)の色相は、心理的負荷課題を開始した5分付近からわずかに上昇していく傾向となり、心理的負荷課題終了後には値が減少し、心理的負荷課題開始前の値に近づくような変化が0~60[°]の範囲で見られた。0~60[°]の範囲は、赤(0[°])に緑が混色されて黄(60[°])へ変化する範囲となっている。よって、値の増加は緑成分の増加を表しており、色中の赤成分の割合は減少していると考えられる。Fig.5(b)の彩度は、心理的負荷課題中はわずかに値が低下している傾向であったが、Fig.5(c)の明度は心理的負荷課題開始からわずかに上昇する傾向が見られた。これは彩度が低下することにより、肌の色味が白に近づいたため、明度としては高くなったのではないかと考えられる。

Fig.6(a)のL\*成分の変化は、HSV色空間におけるV成分(明度)と同様の変化の傾向であった。Fig.6(b)のa\*成分は、心理的負荷課題開始から値が緩やかに減少していき、10分付近から上昇していく傾向がみられた。a\*成分の値は正の範囲で変化していることから、値の減少は赤成分の減少を示している。Fig.6(c)のb\*成分は、心理的負荷課題中において明確な変化が見られなかったものの、心理的負荷終了後にわずかに値が減少していく変化が見られた。b\*成分の値は正範囲で変化しており、値の減少は黄成分の減少を示している。Fig.7の色差では、心理的負荷課題中には色差が増加し、負荷終了後安静時には色差が減少するという傾向が見られた。

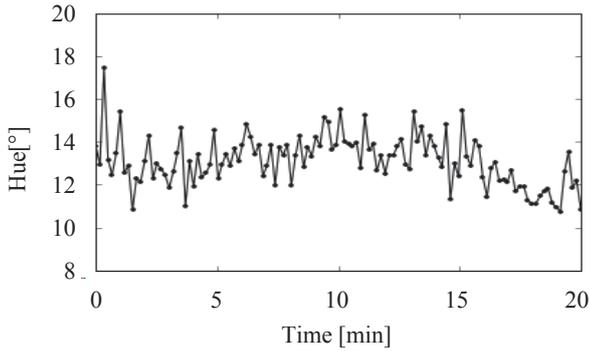
### 5.2 ストレス評価指標結果

前項と同一被験者における血流量の時間変化をFig.8に、ポアンカレプロットによる解析結果をFig.9に、ポアンカレプロットの面積比をFig.10に示す。Fig.8の血流量の結果では、心理的負荷課題直前から血流量が減少

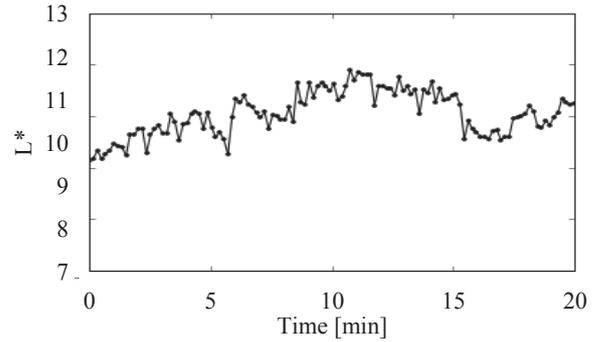
し、心理的負荷課題中にはほぼ一定の値を保っていた。また、心理的負荷終了の時刻付近からは血流量が上昇し、心理的負荷課題前の安静時の値に近づく変化が見られた。ストレス時には交感神経優位の状態となり、毛細血管の収縮が生じる。よって、心理的負荷課題時における血流量の減少は、ストレスによるものであると考えられる。

Fig.9 のポアンカレプロットによる解析結果からは、心理的負荷課題時においてプロットの密集している部分が左下へ移動する傾向が見られた。このことから、心理的

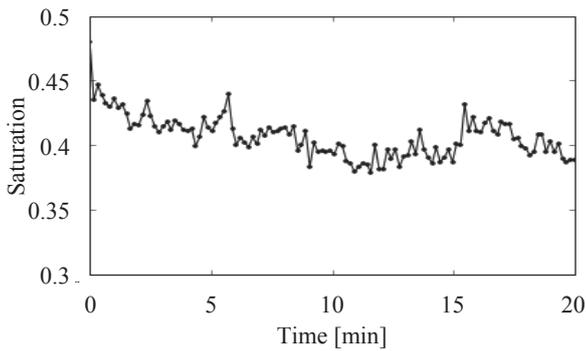
負荷課題時において心拍間隔の短縮が生じていたと考えられる。しかし、Fig.10 の面積比では心理的負荷課題中の面積が小さくなるような変化は見られなかった。その理由の一つとして、心理的負荷課題を与えてから心拍間隔が短縮する反応に至るまでの時間差が考えられる。また、心理的負荷課題後半では、“慣れ”によるストレス強度の低下が心拍間隔の回復に繋がったと考えられる。その結果、心理的負荷課題中にプロットのバラつきが生じたのではないかとと思われる。



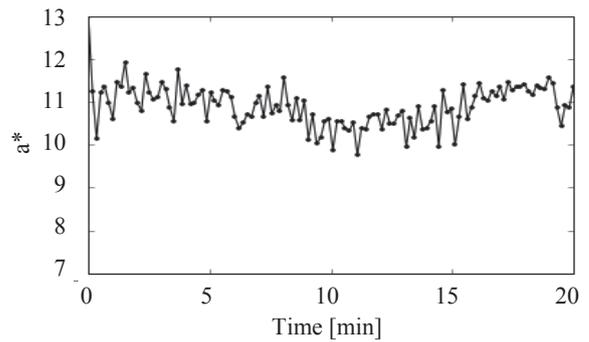
(a) Hue



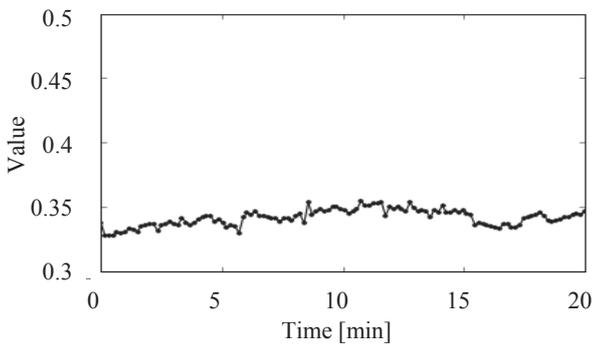
(a) L\*



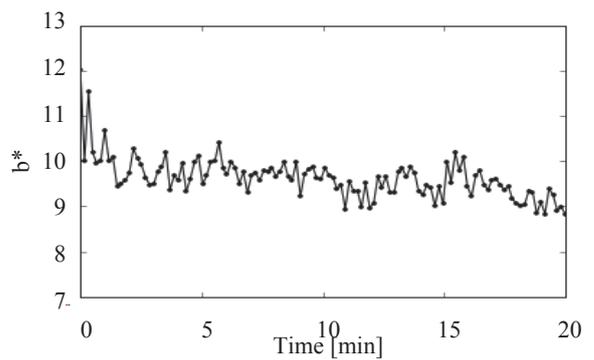
(b) Saturation



(b) a\*



(c) Value



(c) b\*

Fig.5 Results of HSV color space.

Fig.6 Results of L\*a\*b\* color space.

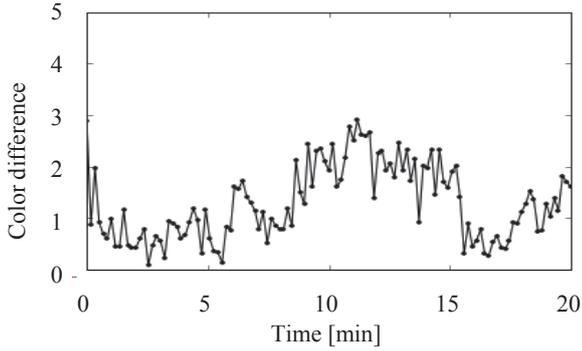


Fig.7 Color difference.

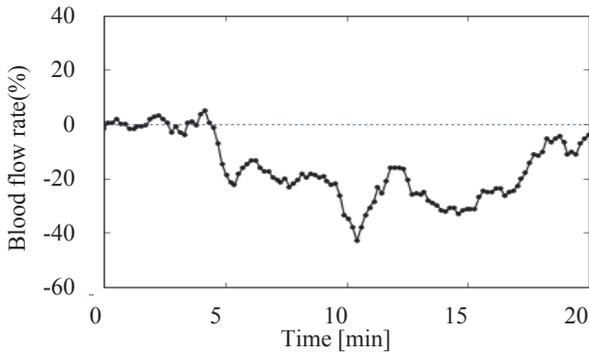
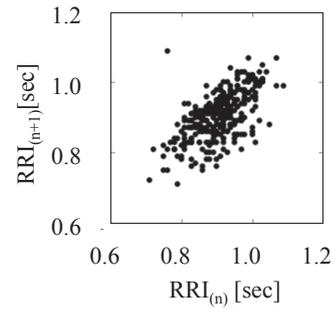
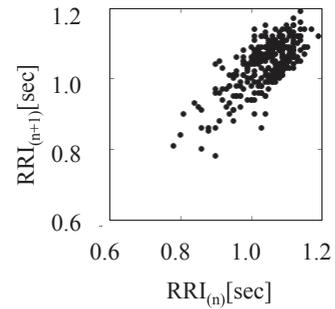


Fig.8 Result of blood flow.

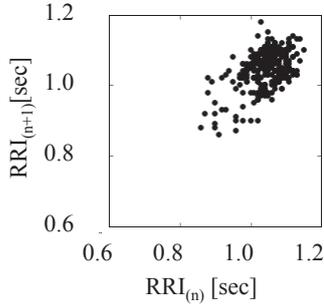


(c) 10~15[min]

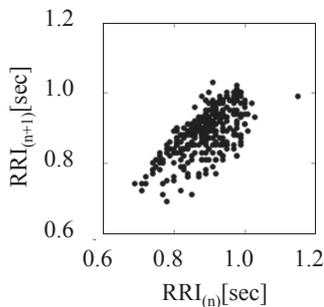


(d) 15~20[min]

Fig.9 Analysis result of Poincare plot.



(a) 0~5[min]



(b) 5~10[min]

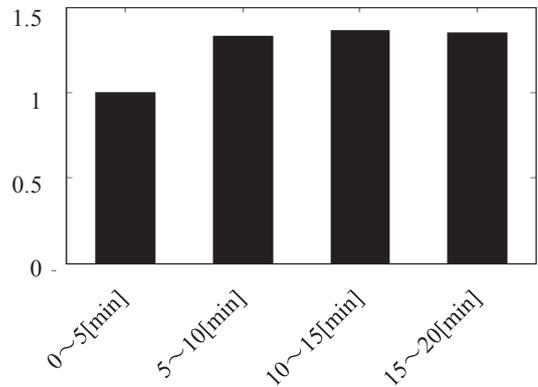


Fig.10 Area ratio of Poincare plot.

### 5.3 関係性の検討

心理的負荷課題中において、ストレスが原因と考えられる血流量の減少が見られた。この時、酸素化ヘモグロビンの吸光特性より、赤成分の光の反射と緑成分の光の吸収が弱まると考えられる。心理的負荷課題中、色相では緑成分の増加が見られ、 $a^*$ 成分では赤成分の減少が見られた。よって、色相と $a^*$ 成分の値は酸素化ヘモグロビンの吸光特性に応じて変化していると考えられ、血流量の変化を反映した色の変化であると推測される。しかし、被験者によっては、血流量が変動していても色相や $a^*$ 成分の時系列データから変化を捉えることが困難な場合もあった。原因として、血流量の変動がわずかであることや、皮膚中における光の減衰等が考えられる。彩度に関しては、赤みの減少により顔面皮膚色の彩度は低下することが考えられる。しかし、血流量が減少していても、

彩度の減少が見られない被験者もいた。この理由として、体動の影響を受けやすい明度の値が彩度に反映されてしまったのではないかと考えられる。

それに対して、基準の色からの変化量を表す色差では、心理的負荷課題時において血流量の減少を反映していると思われる明確な変化が見られた。6名の被験者の色差の傾向を Fig.11 に示す。Fig.11 は、各被験者について5分間毎の色差の平均を求めてプロットした図である。心理的負荷課題中に血流量の減少が見られなかった2名を除いた4名で、個人差はあるが心理的負荷課題中には色差が増加し、負荷終了後安静時には色差が減少するという同様の傾向が見られた。よって、色相、明度、彩度の3項目を総合した評価の方がストレス時の変動を捉えやすい可能性が示唆された。しかしながら、本研究で提案するストレス計測技術を実用化するためには、ストレス状態と色相、明度、彩度の変化の関連性を定量的に評価する必要があり、そのためには、より多くの被験者に対して被験者の感情状態も評価した実験を行い、データを統計的に解析する必要があると思われる。

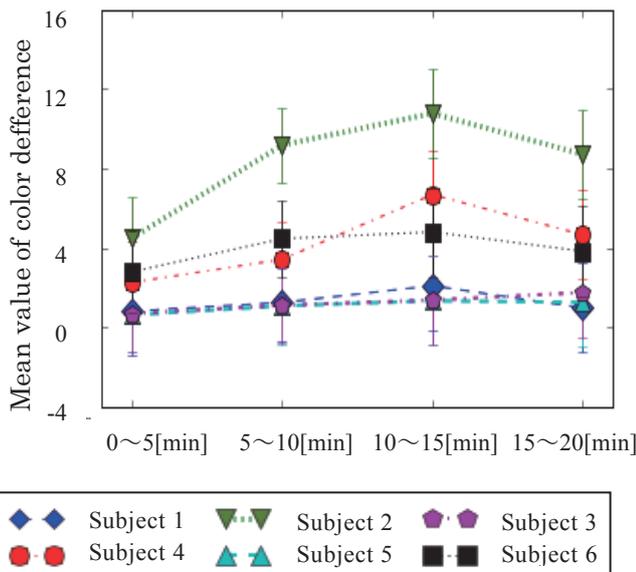


Fig.11 Trend of color difference.

## 6. まとめ

本研究では、非接触で測定を行った顔面の皮膚の色情報からストレスの評価が可能であるか検討を行った。その結果、ヘモグロビンの吸光特性から考えられる緑成分や赤成分の変化を色相と a\*成分の変化から確認することができた。また、基準の色からの変化量を表す色差を用いることで、血流量の変化をより明確に表すことがで

きる可能性が示唆された。顔画像から取得した色の変化から血流量の変化を捉えることができたことで、簡易的な非接触ストレス検出システムの構築に役立つと思われる。しかしながら、本研究では使用した計測機器とコンピュータの画像処理能力の関係から、10秒毎の解析を行うのが限界であり、瞬間的に発生するストレスに対応できていない可能性があると思われる。また、臨床現場で患者にカメラを意識させないために、小型のカラーカメラを使用した。そのため、顔認識矩形が撮影された画像の約6%、解析したROIの大きさは0.2%程度となってしまった。本研究では色解析を行うにあたり領域内で平均化を行っており、同じ領域でも画素数が増えるほどノイズ等の影響が少なくなると考えられる。そこで今後、より実用的なストレス検出システムにするために、カメラにズーム機能を加え、ROIの大きさを100画素×100画素程度に拡大する必要があると思われる。加えて、ストレスによって引き起こされる短時間の生体反応を捉えるために、より短い間隔の測定について検討が必要と思われる。また、体動と思われるノイズが色成分に混入していたため、全ての色成分に共通して混入している周波数の除去や、明度からの体動の補正等についても検討が必要であると考えられる。

## 参考文献

- 1) 清水潤: 血流量および発汗調節に関する自律神経機能の顔面と四肢の差異について, 東北歯誌, 26, T59-T72(2007).
- 2) 今井順一, 福本誠, 金子正秀, 長嶋知正: 顔面の肌色解析による交感神経活性度の非侵襲的評価, 電子情報通信学会論文誌, Vol.89-D, No.8, pp.1869-1876(2006).
- 3) 渡邊 汐, 影山芳之: カラーセンサを用いた透析時不穏状態の検出に関する基礎的検討, 日本福祉工学会第19回学術講演会講演論文集, p71-72(2015).
- 4) 張小忙 著, 谷口慶治 編著: デジタル色彩工学, 共立出版, p143-144(2012).
- 5) 大田登: 色彩工学, 東京電機大学出版局, p131-132(2014).
- 6) 松本佳昭, 森信彰, 三田尻涼, 江鐘偉: 心拍揺らぎによる精神的ストレス評価方法に関する研究, ライフサポート, Vol.22, No3, pp.105-111(2010).
- 7) 石田眞二, 武田超, 白川龍生, 鹿島茂: 鉄道サービスにおけるストレス軽減効果の検証, 運輸政策研究, Vol.15, No.2, pp10-19(2012).
- 8) 曾我知絵, 三宅晋司, 和田親宗: 計算課題遂行時における自律神経指標の変化, 人間工学, Vol.45, No.5, pp.294-302(2009).