

顔面鼻部温度を用いたドライバの緊張状態推定手法に関する研究

日大生産工(院) 上野 由歌 日大生産工 栗谷川 幸代
日大生産工 景山 一郎

1. 序論

近年、ABSやACCといったドライバサポートシステムが多く開発されている。これらのサポートシステムはドライバの平均的な特性（危険感、快適性）を基に設計が行われており、その有効性は認められているが、一方でお節介等の違和感を感じるとの意見もある。そこで、平均的な特性ではなく個々のドライバの特性を計測し、ドライバサポートシステムに生かすことができればこの問題の解決につながると考える。ドライバの状態推定に関する検討は、心拍、呼吸、脳波などの生体反応解析を用いて、精神的な負担評価が一般的に行われてきた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。しかしながら、これらの計測を行うためには、被験者へセンサを装着する必要がある。被験者に対して常に負担を与える可能性がある。一方、顔面の皮膚温度は被験者の状態を非接触で計測できるため、計測による負担は他の生体反応の測定に比べはるかに軽減される。従来顔面温度に関する研究として、感情の違いによる顔面温度の変化⁽⁴⁾、単調作業としてのトラック作業による顔面温度の変化⁽⁵⁾などの報告があり、その有効性が示唆されている。そこで、本研究では、この顔面温度を用いたドライバの状態推定について検討を行った。

2. シミュレータ走行による精神的負担の評価

自動車運転時に起きる精神的負担、特に緊張状態による顔面温度の変化を、精神負担の要因を限定することができる、ドライビングシミュレータを用いて検討した。

2.1 実験概要

ドライビングシミュレータを用いて、高速道路を走行中、突然前車が停車し、追突してしまうという精神的負担を与える実験を行った。実験に用いたドライビングシミュレータは電動6軸動揺装置、ステアリング反力装置を有した模擬運転席などからなるキャビン、模擬視界発生装置、音響装置、演算処理装置、シミュレーションプログラムおよび模擬視界データベースなどからなり、高速道路上を動揺感覚および音響効果を有する状況でリアルな運転走行を実現する装置である。

実験シナリオは、大きな精神的負担を被験者に与え、大きな温度変化を得るために、被験者が予想していない状況を作った。まず始めに、図1に示す様に、

スタートの自動車の配置から、前車を追従し、A車とB車の間に入れる状況になったら左へ車線変更してその間に入る。その後C車が前に出たら右側に車線変更を行う。C車が更に前に出たら左へ車線変更を行う、という走行を練習走行として数回繰り返した。次に実験としての、その走行を1回行い、その次の走行ではスタートした後、A車とB車の間に入ろうと左車線を意識し始める頃、前車Cを突然停車させるという実験を行った。被験者は20歳代前半の男性2名で行った。運転歴は4～5年である。計測項目はドライビングシミュレータから得られる車両状態量、顔面温度、心拍、呼吸である。精神的負担を加えた後、顔面温度、心拍、呼吸が安静状態に戻る様子を検討するために通常の車線変更の走行、前車を停車させ衝突してしまう走行、共に走行終了時に停車した後、5分間の安静状態での計測を行った。室内の温度は約22.0であった。（実験は2月に行ったため、被験者の服装は冬季の室内で適している服装であり、約22.0の室内温度では適温と感じていた。）

2.2 解析結果

変化の大きく現れた被験者Aの結果を示す。図2に走行前の安静、図3に衝突を起こした走行での鼻部と額部の相対温度を示す。顔面温度は周囲の温度の変化に伴って顔面全体で変化し、精神的負担を感じた場合には鼻部の温度だけ変化するとされている。そこで精神的負担の影響が現れない額部と精神的負担の影響が現れる鼻部の相対温度を用いることによって周囲の温度変化の影響を補正している例があり⁽⁶⁾、本研究でもこれを用いる。図4に図3の相対温度にローパスフィルタをかけたもの、図5に図3の相対温度にハイパスフィルタをかけたもの

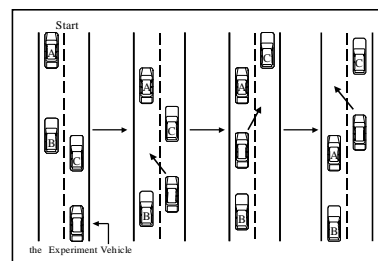


Fig.1 the Experimental Course

図6にその走行における瞬時心拍を示す。また、グラフ中の1本目の線が衝突、2本目の線が停車して安静を開始したことを表している。図3のグラフには温度変化の速いものと遅いものが存在する傾向が見られる。これらは徐々に加わる緊張感と、瞬間的に加わる緊張感であると考えられる。これらの2つの傾向を分離するために、0.05Hzでローパスフィルタ(図4)とハイパスフィルタ(図5)をかけた。ローパスフィルタをかけたグラフでは、相対温度は走行を始めることにより徐々に下降しており、安静状態に入った後しばらくしてから最小値に達し、もとに戻っている。このグラフには走行開始と共に徐々に感じる緊張感、衝突後の安静時に緊張感が収まり始める様子(最小値からの上昇開始)、安静状態をしばらく続け、落ち着くことによる緊張の収束する様子が表れている。ハイパスフィルタをかけたグラフでは、衝突をしたところで変化が急に大きくなっており、緊張が大きかったことがわかる。図6の瞬時心拍においても衝突直後に大きな値を示しており、緊張が大きかったことがわかる。精神的な負担の指標として多く用いられ、信頼性の高い瞬時心拍と顔面温度変化が一致することからも衝突直後の緊張状態が顔面温度変化で表せることが示された。これより、顔面温度変化は大きな緊張が加わった場合瞬時心拍と同程度の速さで変化をするといえる。また、被験者Bにおいても、同様の結果が得られた。この結果から、顔面温度指標を用いた実車でのドライバの状態の推定の可能性が示された。

3. ノイズの検討

顔面温度は比較的速い変化をすることが前章の結果から得られたが、センサによるノイズはどの程度あるのか検討を行った。

3.1 実験概要

センサによるノイズの確認する実験を行った。大きさ約205 × 150mmのボール紙の箱の表面を光沢のない黒い布で覆い、シールドルームで温度約25℃、湿度約60%に設定し箱の表面の温度の計測を行った。表面を黒い布で覆うことによって放射率を人間の皮膚に近い0.98とした。カメラと箱の距離は約0.8mとした。計測は30Hzで行った。

3.2 解析結果

箱のほぼ中央部において温度の解析を行った。解析をした範囲は一辺が約28.3mm、14.2mm、7.1mmの三種類の正方形とし、それらの平均値をその範囲の温度とした。結果を図7に示す。シールドルームで温度を一定にしているためこれらは一定の温度と考えられるが、一辺の長さが3種類のどの大きさにおいても温度は0.070℃の範囲に入っており、センサによるノイズは最小分解能である、30Hzの場合0.016℃、15Hzの場合0.08℃の中に入っている事が確認できた。

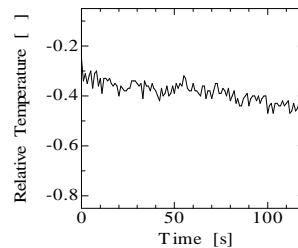


Fig.2 Relative Temperature at the Rest

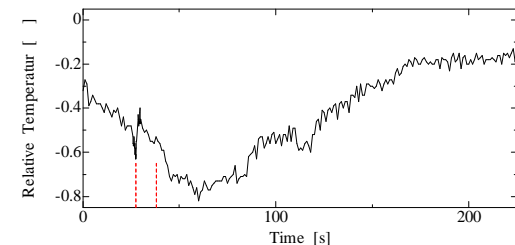


Fig.3 Relative Temperature

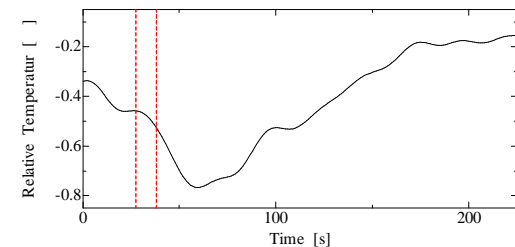


Fig.4 Relative Temperature (Low Path Filter)

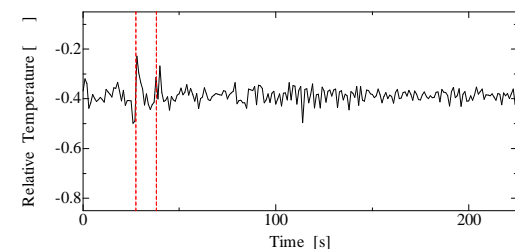


Fig.5 Relative Temperature (High Path Filter)

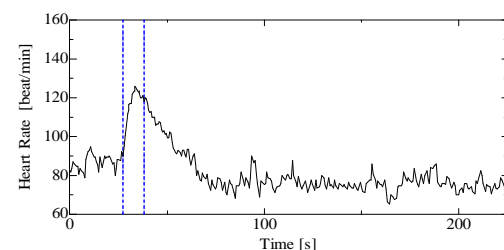


Fig. 6 Heart Rate

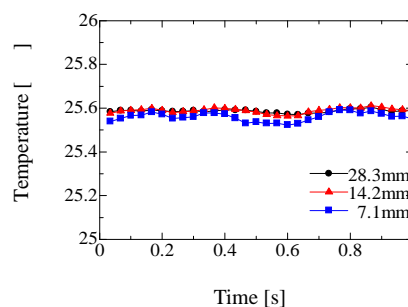


Fig.7 Temperature (Box)

4. 温度変化の速度

2章で緊張状態における顔面温度の変化の結果が得られたが、その反応に速い変化が見られた。顔面温度の速い反応とはどの程度の速さであるか検討を行った。

4.1 実験概要

ドライバが緊張状態になる原因を認知した瞬間を計測するのが難しいため、実際の運転中に応答速度を求めるのは困難である。そこで安静状態の被験者に急に大きな音を聞かせ、驚かせることによって顔面温度が速く変化する応答速度の検討を行った。被験者にドライビングシミュレーターに座ってもらい、安静にしてくださいと伝え、安静を開始して約2分後に衝突音を聞かせた。音は最大約90.2dBで鉄道のガード下で電車が通音を聞くのと同程度である。被験者は20歳代の男性2名である。室温は約24～26である。(5月に実験を行い、被験者は適温と感じていた。)

4.2 実験結果

温度変化の大きかった被験者Cの鼻部の温度変化、温度変化率、瞬時心拍を図8、図9、図10に示す。図中の0.102sに衝突音が音が鳴り初めてから温度変化が大きくなるまでは約0.503秒であった。変化率でみると変化が大きくなっていることがよく示されている。もう一方の被験者Dは約0.806秒であった。図10の瞬時心拍をみると音が鳴った約0sの後に0sより前の安静時と比べてあまり変化していない。このことから被験者Cの瞬時心拍には、音に驚いた事による変化は顕著には現れていないと言える。温度変化において以前の結果では、緊張したときに鼻部など末梢部において、送られる血流量が減少するため温度が低下し、その後反動で元に戻るか、元の値よりも上昇してから元に戻る場合もあるというのが今までに得られた結論であり、この被験者はそれとは異なるがこの実験では明らかにこのように変化しており、この変化は驚いた事による変化だと考えられる。被験者Dでは以前の結果と同様に温度が低下し、元に戻るという結果が得られた。この実験の結果から温度変化の応答は1秒程度で起こると考えられる。

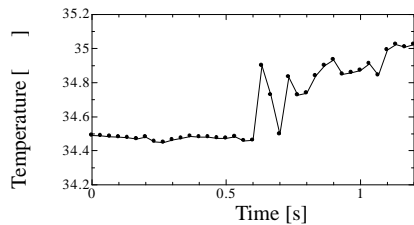


Fig.8 Temperature

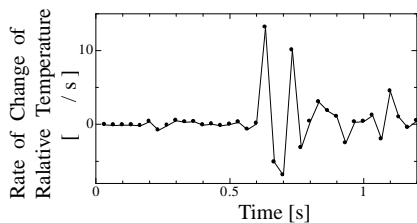


Fig.9 the Rate of Change

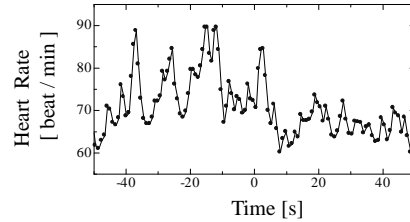


Fig. 10 Heart Rate

5. 実車走行実験

ドライビングシミュレーターでの実験でドライバの状態推定の可能性が示されたので、実車での走行実験を行った。通常の運転時には様々な危険になりうる状況や危険な状況に遭遇する。事前に予測される危険になりうる状況ではドライバは徐々に緊張感を感じ、思いがけず起きた危険な状況ではドライバは急に高い緊張感を感じている。そのような緊張感を感じる危険な状況が起こった場合にサポートを行うために、これらの緊張状態の推定の検討を行う。

5.1 実際の交通の中での走行実験

一般道市街地での走行実験の検討を行った。その中で、被験者が「急がなきゃと思い、ちょっとどきどきした。」と言った、交差点を右折するときの緊張状態の推定を行った。交差点の交通状況は、信号のある交差点で右折をしたいときに、対向直進車が多いため信号が黄色になっても右折できず交差点内で待っており、赤になってやっと対向直進車が来なくなり右折できた、というものであった。23歳男性、運転歴5年の被験者Eで実験を行った。

5.2 解析結果

図11に右折時の交差点で信号が赤になった瞬間の状況を示す。2章のドライビングシミュレーターでの実験結果より、徐々に変化する緊張、この場合事前に予測される危険になりうる状況が近づき、緊張が徐々に大きくなるときは、相対温度にローパスフィルタをかけたもので評価でき、大きな緊張を感じたとき、つまり思いがけず危険な状況が起こったときには、相対温度にハイパスフィルタをかけたもの、あるいはそれを微分したものにその様子が顕著に表れるという結果が得られた。図12に相対温度にローパスフィルタをかけたものを示す。グラフは右折開始前の約25秒間の直線走行から終了後の約45秒間の直線走行を示す。グラフ内の1本目の線は停止線を越え交差点に入るところを、2本目の線は信号が赤になった瞬間、3本目の線は右折がほぼ完了したときを表している。図12から、徐々に緊張を感じているこの指標では右折時より少し後に最小値を示していることがわかる。ローパスフィルタをかけたグラフでの最小値は、これまでの実験において精神的負担のピーク値よりも少し遅れてでる傾向がある。これは大きな緊張を感じた後に速い変化だけでなく遅い変化にもその影響が現れるためだと考える。よって、図12から右折時の緊張が、大きくなったことが推測される。もし、同じような走行状況(右折など)で何度もこのような結果が現れ、その値が他と比べて異常に大きい場

合、ドライバはその状況が苦手であり、サポートが必要だと考えられる。ここで、交差点の部分だけの解析を行う。図13に交差点走行中における(鼻部温度 - 額部温度)を微分したものを示す。短い区間の解析であるのでハイパスフィルタはかけずに相対温度を微分した。交差点の信号が赤になった直後に大きな値を示している。これは信号が赤になることによって、被験者のアンケートにあった「急がなきゃと思い、ちょっとどきどきした。」という緊張感を表せたといえる。図14に瞬時心拍を示す。瞬時心拍においても信号が赤になった直後に最大値を示している。このことから、この場面では緊張していたことが瞬時心拍からも推定できる。これらのことより、一般道市街地の交差点においても緊張状態の推定を行うことができ、顔面温度は緊張状態推定の指標として有効であることが示された。

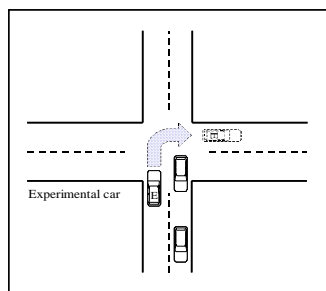


Fig.11 the crossing when signal was changed to red

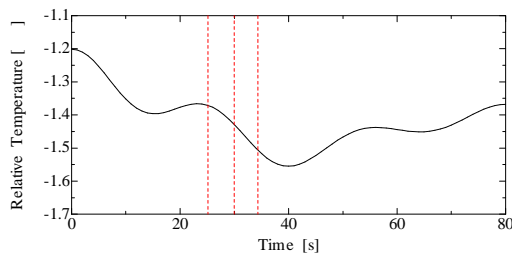


Fig.12 Relative Temperature (Low Path Filter)

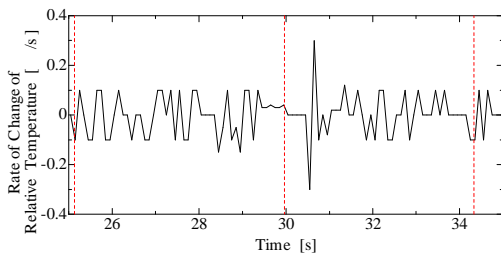


Fig.13 the Rate of Change

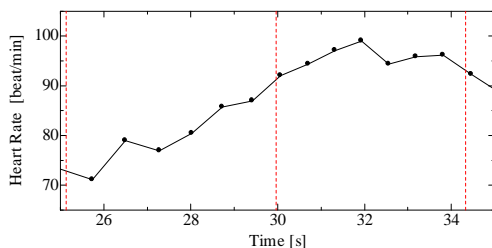


Fig. 14 Heart Rate

6. 結論

本研究では、顔面温度を用いたドライバの緊張状態推定について検討を行った。精神的負担の要因を限定できるシミュレータを使って、顔面温度のドライバの状態評価指標としての有効性を確認するため、実験を行った。その結果、鼻部と額部との温度差を用いることによってドライバの状態推定を行う可能性が確認できた。温度差に0.05Hzでローパスフィルタをかけることにより徐々に変化する緊張を表せ、ハイパスフィルタをかけ微分することにより、瞬時に変化する緊張を表せ、2種類の緊張の変化する様子を表すことが出来た。

温度変化速度が比較的速い値で示されたため、センサによるノイズはどの程度現れるのか検討を行った。ノイズは最小分解能の中に入っていることが確認できた。

次に温度変化の速度について検討を行った。大きな音を聞き、驚いてから鼻部の温度が変化するまでに1秒以内で温度変化が起こった。驚いた事と緊張した事は同じではないが、緊張したことによる温度変化の速度の目安として用いることができると考える。

最後に、実車走行実験を行い、これによりドライバの緊張状態推定について検討を行った。一般道の市街地において被験者が「危険になりそうでどきどきした」と言った右折の場面での緊張状態の推定ができた。特にハイパスフィルタをかけ、微分することによりトリガを検出できる可能性が示された。

また緊張状態の推定において、瞬時心拍とのある程度の一致を示し、顔面温度変化はドライバの緊張状態推定を行うのに有効な指標であることが示唆できたものと考えられる。ドライバサポートシステムの適用を考慮したこの指標の利用の可能性としては、高まる緊張に対しての許容範囲の値を検討しその範囲を超えた場合にサポートを行う、同じような状況で何度も緊張するような個々のドライバの苦手な場面を抽出しその場面でのサポートを事前に行う、などが考えられる。しかし、今後は被験者数を増加し、評価手法の確認を行う必要がある。

参考文献

- (1)茂吉雅典, 横山清子, 吉岡貴芳, 渡辺與作, 高田和之, 高速道路の長時間運転における心電図R-R間隔時系列の経時変化, 自動車技術会論文集, Vol.27, No.3, (1996), pp.107-112
- (2)心拍・呼吸・血圧を用いた緊張・単調作業ストレスの評価手法の検討, 人間工学, Vol.34, No.3, (1998), pp.107-115
- (3)石橋基範, 吉田倫幸: 覚醒低下に伴う反応時間と脳波の変動, 人間工学, Vol.36, No.5, (2000), pp.229-237
- (4)田中 久弥, 出井 英人, 長島 祐二: 鼻部温度と覚醒水準による感情推定の試み, ヒューマンインターフェイスシンポジウム, (1999), pp.589 - 592
- (5)石川恵子, 源野広和, 大須賀恵美子, 栗原武克, 西尾恭幸, 鈴木まや: 顔面皮膚温を用いた単調作業ストレスの評価, ヒューマンインターフェイスシンポジウム, (1996), pp.349-352
- (6)中馬一郎, 大原孝吉ら全26名, 中山昭夫編, 温熱生理学, 理工学社 (1987)