

経時的差分体表面温度を用いた新規運転ストレス評価法に関する研究

Feasibility Study on Driver's Stress Detection from Differential Skin Temperature Measurement

1081031



研究代表者	金沢大学大学院 自然科学研究科 特任准教授	山 越 健 弘
共同研究者	金沢大学 理工研究域機械工学系 教 授	山 越 憲 一

〔研究の目的〕

交通事故防止に対する技術は、すでに多くの試み、そしてその実用化も進められているが、単調な運転中における“運転ストレス”、特にその反映である“運転者の生体情報”に着目したヒューマン・マシン・インターフェースとしての安全対策はかなり立ち後れており、具体的な前例は国内外を通してほとんどない。その理由としては、運転中に（生理状態を如実に反映する）生体情報を取得するという難しさにある。従来からは脳波を用いた指標^[1]が利用されていたが、その装着の煩わしさや体動アーチファクトがしばしば問題となり、運転中の計測には不向きであった。また、眠気検知の指標であれば、心電図を利用したもの^[2]、瞬きを利用したもの^[3]などがあるが、運転最中の生体計測という技術的難題も多く実用化には至っていない。そこで、本研究では生体情報の中では遙かに計測しやすい体表面温度情報（皮膚表面温度；以後、皮膚温と呼ぶ）に着目し、従来になく新たな運転中ストレス評価法としての方法論を提案、そしてその妥当性を検証し、将来的には適切なストレス緩和システムに組み込むことも視野に入れながら実用化に結びつけることを目的とする。

〔研究の内容、成果〕

本研究では、運転シミュレーターを用いた単調運転ストレス負荷実験を行い、各種循環器系の生体情報を説明変数として本研究で提案するストレス評価法の有用性の基礎的検討を行った。また、皮膚温は環境外乱の影響を受けやすい生体情報であることから、実車実験を通して提案評価法の妥当性を基礎検証した。

1. 運転ストレス評価法の提案

人間がストレスを感じると自律神経を介し、内分泌系・免疫系・心臓血管系などに影響を与える。研究代表者らが着目している皮膚温情報も「交感神経の亢進→末梢血管の収縮→末梢部血流量減少→末梢部皮膚温低下」というストレスに対する生体反応の一つであり、ストレス評価に末梢部皮膚温を用いる研究はしばしば見られる^[4,5]。皮膚温の決定因子は約80%が皮膚下血流量に依存すると言われている^[6]が、その他の外的因子による温度変化も無視できない。ここで挙げた外的因子というのは人体2要素（着衣量・代謝量）と環境4要素（気温・湿度・風速・放射温度）である。

本研究がターゲットとしている自動車運転中という状況で皮膚温を用いたストレス評価を行う場合、先に述べた外的因子をキャンセルする

ことが極めて重要となる。ただし、運転中に着衣量・代謝量の人体要素が大きく変わるとは考えにくいので、環境要素をキャンセルしてストレス評価を行う手法をとる。ここでは、末梢交感神経活動の影響（ストレスによる血管収縮）が大きい細動脈、および動静脈吻合血管（AVA 血管）の豊富な部位を“末梢部”，それ以外の部位を“体幹部”と呼ぶことにする。以下に本ストレス評価の理論的な方法を示す。

まず、体幹部においては、安静時の皮膚温（ $T_{st-rest}$ ）と環境外乱による皮膚温変化分（ ΔT_{st-d} ）により定常時の皮膚温（ T_{st} ）が決定される。

$$T_{st} = T_{st-rest} \pm \Delta T_{st-d} \quad (1)$$

末梢部においては、安静時の皮膚温（ $T_{sp-rest}$ ）と環境外乱による皮膚温変化分（ ΔT_{sp-d} ）に加えてストレス由来の血管収縮・拡張による温度変化分（ $\Delta T_{sp-stress}$ ）が発生すると考えられる。

$$T_{sp} = T_{sp-rest} \pm \Delta T_{sp-d} \pm \Delta T_{sp-stress} \quad (2)$$

ここで、外乱による皮膚温変化分がほぼ等しくなる末梢部と体幹部（ $\Delta T_{sp-d} \doteq \Delta T_{st-d}$ ）が存在すると仮定すれば、その差分値はほぼストレスのみに依存したものになると考えられる。

$$T_{st} - T_{sp} = \pm \Delta T_{sp-stress} + \alpha(\text{const.}) \quad (3)$$

ただし、 α ：安静時の2部位間の温度差 [°C]
本研究では、末梢部位として鼻、体幹部とし

て $\Delta T_{sp-d} \doteq \Delta T_{st-d}$ の条件を満たすと期待できる頬、額、顎、顔面下半分の4ヶ所に着目して実験および解析を行った。

2. 模擬運転実験

図1に実験システムの概要を示す。運転シミュレーターを用い、金沢大学医学部倫理委員会の承認を得た後、実験の同意を得た健康成人男女25名（ 26.8 ± 8.0 SD 歳）に対して、単調なテストコースを走行するタスクを午前9時より最長120分間（指定走行レーンを逸脱した場合は実験終了）してもらい、このときの各種生体情報を計測した。実験前10分間（Baseline Period）と実験後5分間（End Period）は被験者に安静にしてもらい、走行中（Simulated Driving Period）は実際の車を運転しているつもりで可能な限り眠気を我慢しながら安全運転してもらった。なお、本実験の主たる目的は運転ストレスと提案ストレス評価手法との相関関係を確認することにあるので、実験室の環境条件は一定とした。計測項目は、容積補償法を用いた一心拍毎の最高、平均、最低（SBP, MBP, DBP）血圧（自作）、心拍間隔時間RR（WEB-5000, 日本光電(株), 東京）、心拍出量CO（自作）、 α アドレナリン作動性の局所的な末梢交感神経の働きを示す基準化脈波容積NPV（MPN 1001, メディセンス(株), 東京）、全身の末梢循環抵抗（ $TPR = MBP/CO$ ）、サーモグラフィー（TH 9100-MLN, NEC 三栄(株),

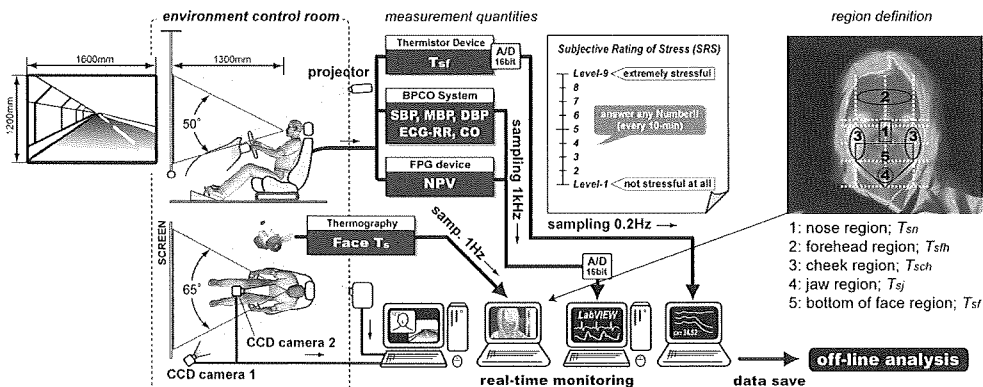


図1 実験システムと顔面皮膚温計測領域

東京)を用いて計測した鼻 (T_{sn}), 頬 (T_{sch}), 額 (T_{sfh}), 顎 (T_{sj}), 顔面下半分 (T_{sf}) の温度 (解析領域は図1を参照), 参考としてサーミスタ温度計 (DS 100, テクノセブン(株), 横浜) を用いた末梢部である指尖皮膚温 (T_f), さらに運転中のストレス度として, 10 分間隔で 9 段階の主観ストレス評定値 (Subjective Rating of Stress; SRS) も測定した。また, 実験で得られた一心拍毎の SBP と RR の時系列データに対しては最大エントロピー法により時間周波数解析も行い, 自律神経活動 (交感-迷走) の推定も試みた。

図2に全被験者の各種循環器系情報とサーモグラフィーの解析より得られた顔面の温度情報を整理した結果を示す。横軸の時間軸は正規化を施してあり, 実験期間中 10% ごとの各測定項目の素値を時系列的に表している。同図の各プロットは平均値 (ISEM) を示している。また, ベースラインを基準とする Dunnett 検定を施した結果も示されている。循環器系情報からは, 心拍出量 (CO) および心拍間隔時間 (RR) はほぼ一定で推移していることが判る。また全身の末梢抵抗 (TPR) が増加, 基準化脈容積 (NPV) 低下より末梢血管の収縮, それを反映して末梢部である指尖の温度 (T_f) が低下している様子が判る。また血圧 (BP) と RR の時間周波数解析の結果より交感神経系が有意に亢進していたことが確認された。そのような生体反応を反映して最終的に BP が上昇していることが判る。この単調運転中の生理反応は, 従来からの知見^[7]と一致する。つまり, 交感神経の亢進→末梢血管の収縮→末梢部血流量減少といった機序で末梢部皮膚温が低下したことが確認された。同図の顔面温度情報からは, 実験後半になるにつれて徐々に末梢部である鼻の温度 (T_{sn}) が低下している。しかしながら体幹部である頬 (T_{sch}), 額 (T_{sfh}), 顎 (T_{sj}), そして顔面下半分 (T_{sf}) の温度はほぼ一定, 或いはわずかな上昇を示した。それらの各温度差分値は次第に上昇しており,

SRS およびストレスの生理学的指標とされる BP の上昇に良好な追従を示していることが確認された。

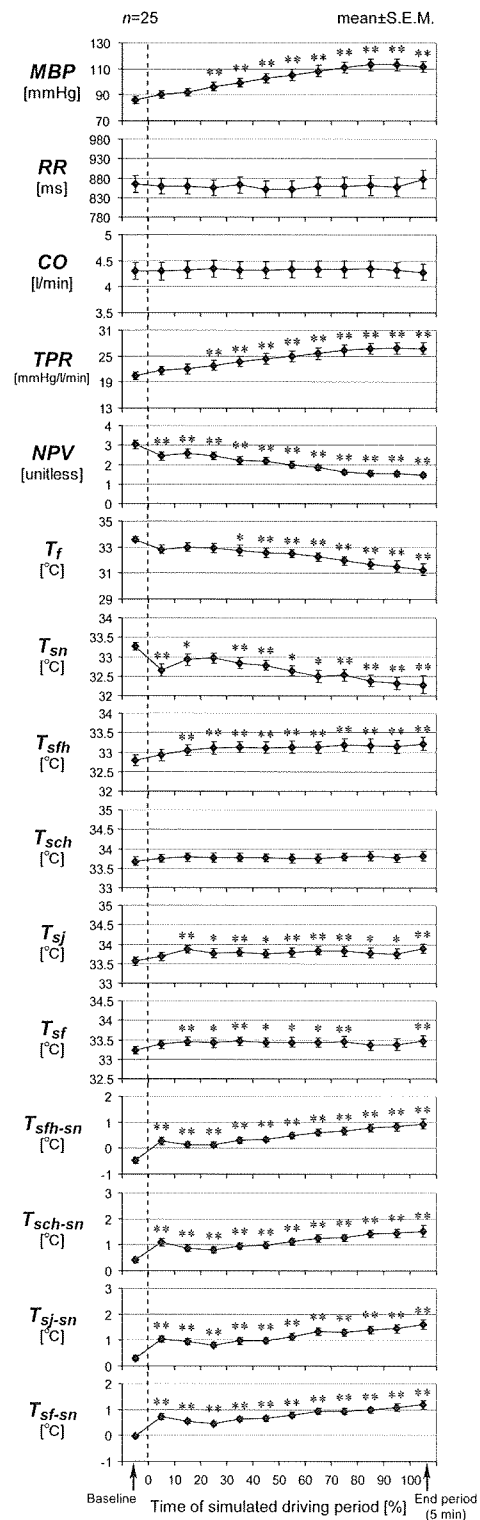


図2 計測対象と各皮膚温差分値の時系列変化

3. 実車運転実験

以上は、環境外乱変化を与えないシミュレーター環境でのストレス評価試験であった。提案するストレス評価法は環境外乱を含む状況下でも適応できると考えられるため、環境外乱が複合的に変化する実車環境においても予備実験を行った。実車を利用するという実験の安全性を考慮し、被験者には運転させず助手席にて座位安静休息、すなわち、ストレスフリーな条件とした。つまり実車実験では運転ストレス負荷を与えておらず、様々な環境外乱のみが複合的に変化しているので、皮膚温差分値は一定で推移することが期待値となる。計測項目は気温・湿度（おんどとり TR-72 U, (株)ティアンドデイ, 長野), 放射温度（PGT-02, (株)プリード, 東京), 風速（Kestrel 4000, (株)ミストラル, 宮城), 顔面熱画像（同上）, 9段階の主観ストレス評価値, 間欠血圧（ABPM TM-2431, (株)

ティアンドデイ, 東京) であった。実験車両はオートエアコンを有するミニバン（StepWGN DBA-RG 1, (株)本田, 東京）とし、車内に生体計測実験環境を構築した。実験体制は、助手席に被験者, 運転歴 10 年以上の運転手, そして後部座席に測定者 2 名であった。実験時間は 35 分間とし, 山道, 市街地, トンネルなど環境が変化するように様々な場所を走行した。実験結果の一例を図 3 に示す。薄いシャドーの部分では車窓を開けて強制的に風負荷を行った。温度差分値の結果から判るように, 顔下半分と鼻との温度差分値は最も変動が少なく安定していたことが確認された。以上より, 今後更に被験者数を増やして検証する必要があるが, 提案するストレス評価法は環境外乱が複合的に変化する実車環境でも十分に環境外乱の影響を除去できることが示唆された。また, リファレンスとする皮膚温は顔下半分が有用であるという知見も

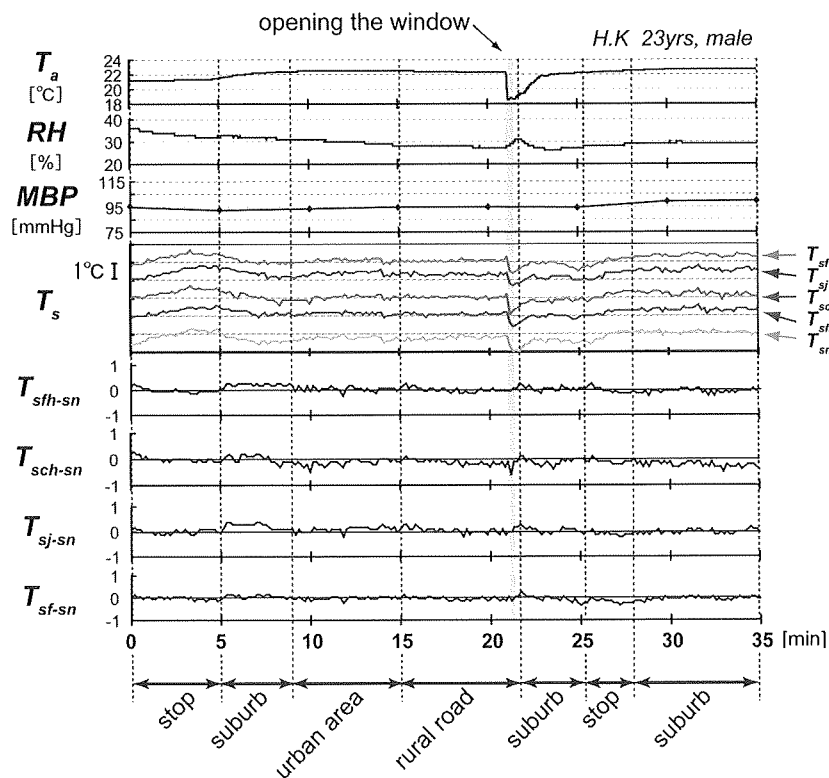


図3 実車実験の結果例

得られた。

[今後の研究の方向, 課題]

本研究より, 周囲環境変化一定の下では, 体幹部と末梢部との温度差分値がドライバーの運転ストレスを反映する有用な情報であることが確認された。また, 環境外乱が複合的に変化する実車環境でも十分に環境外乱の影響を除去できるストレス評価法であることが予備実験を通して確認された。今後は最適リファレンス部位の明確化, 外乱と運転ストレスを同時に負荷した条件での提案ストレス評価法の妥当性を検証していく予定である。ただし, ストレス検知だけでは交通事故の本質的な解決にならない。今後は本法でストレスを検知した場合にドライバーに対してどのようなフィードバック対処(ストレス緩和)をすべきかを探究していくことも重要な課題である。

[成果の発表, 論文等]

学術論文

- 1) T. Yamakoshi, S. B. Park, W. C. Jang, K. Kim, Y. Yamakoshi, H. Hirose: Relationship between Salivary Chromogranin-A and Stress Induced by Simulated Monotonous Driving, *Journal of Medical & Biological Engineering & Computing*, 47 (4), 449-456 (2009)
- 2) 山越健弘, 松村健太, 小林寛幸, 後藤雄二郎, 廣瀬元: 差分顔面皮膚放射温度を用いた運転ストレス評価の試み—単調運転ストレス負荷による基礎的検討—, *生体医工学*, 48 (2), 163-174 (2010)
- 3) 山越健弘, 後藤雄二郎, 小林寛幸, 廣瀬元: 顔面皮膚温に着目した運転ストレス評価法—環境外乱影響除去の検討—, *生体医工学* (投稿予定)

国際会議

- 1) T. Yamakoshi, K. Yamakoshi, S. Tanaka, M. Nogawa, S. B. Park, M. Shibata, Y. Sawada, P. Rolfe, Y. Hirose: Feasibility Study on Driver's Stress Detection from Differential Skin Temperature Measurement, *Proceeding of the 30th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology*, 1076-1079

(2008)

- 2) T. Yamakoshi, S. B. Park, W. C. Jang, K. Kim, Y. Yamakoshi and H. Hirose: Levels of Salivary Chromogranin-A Secreted During Simulated Monotonous Driving Stress, *Proceeding of World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering*, 25, 275-278 (2009)

国内会議

- 1) S. B. Park, T. Yamakoshi, K. Yamakoshi, H. Kobayashi, Y. Hirose, W. C. Jang, K. Kim, Y. Yamakoshi, Y. Sawada, Change of Salivary Chromogranin-A Following a Stressful Situation Induced by Simulated Monotonous Driving, *Japanese Society for Medical & Biological Engineering*, 46 (1), 360-361 (2008)
- 2) 山越健弘: 単調運転時の循環動態反応, *第23回生体・生理工学シンポジウム論文集*, 217-220 (2008)
- 3) 山越健弘, 小林寛幸, 後藤雄二郎, 山越憲一, 田中志信, 野川雅道, 広瀬幸雄, 山越康弘, 澤田幸展: 差分体表面温度法を用いた単調運転ストレス評価—環境外乱影響除去の検討—, *第48回日本生体医工学会大会生体医工学論文集*, 47 (1), 200 (2009)

解説・資料

- 1) 山越健弘, 野川雅道, 山越憲一: ストレスの物理的評価, *BIO INDUSTRY*, 25 (6), 東京: シーエムシー出版, 7-17 (2008)

書籍

- 1) 山越健弘: 第6章生理量の物理計測 第2編 ヒューマンセンシング, ヒューマンインタフェースのための計測と制御, 東京, シーエムシー出版, 1-14 (2009)

受賞

- 1) 平成20年 日本生体医工学会 神戸新聞賞・研究奨励賞・坂本研究刊行助成賞・阿部賞受賞
- 2) 平成20年 IEEE EMBS Japan Young Investigators Competition for EMBS 2008 受賞
- 3) 平成20年 計測自動制御学会 生体・生理工学シンポジウム研究奨励賞受賞

[参考文献]

- [1] T. Åkerstedt *et al.*: Subjective and Objective Sleepiness in the Active Individual, *International Journal of Neuroscience*, 52, 29-37 (1990)

- [2] 柳平ら：ドライバー状態検出装置の開発, *バイオニア技報*, 11 (1), 67-72 (2001)
- [3] 杉山ら：画像方式を用いたまばたき計測による意識低下検知, *豊田中央研究所 R&D レビュー*, 3 (2), 51-60 (1996)
- [4] H. Genno and K. Ishikawa: Using Facial Skin Temperature to Objectively Evaluate Sensations, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 19, 161-171 (1997)
- [5] K. Nakayama *et al.*: Decrease in Nasal Temperature of Rhesus Monkeys (*Macaca mulatta*) in Negative Emotional State, *Physiology & Behavior*, 84, 783-790 (2005)
- [6] 中山昭雄：温熱生理学, (株)理工学社, 東京 (1981)
- [7] T. Yamakoshi *et al.*: A Novel Physiological Index for Driver's Activation State Derived from Simulated Monotonous Driving Studies, *Transportation Research Part C*, 17 (1), 69-80 (2009)

【謝 辞】

本研究を遂行するにあたり、財団法人立石科学技術振興財団の研究援助を賜りましたことをここに記して深謝致します。