

因子分析を用いたドライバーのカーレース中における ストレス推定

友井 大将^{*1}, 温 文^{*1}, 山川 博司^{*1}, 山下 淳^{*1}, 高草木 薫^{*2}, 浅間 一^{*1}

Estimation of Stress During Car Race with Factor Analysis

Daisuke Tomoi^{*1}, Wen Wen^{*1}, Hiroshi Yamakawa^{*1}, Atsushi Yamashita^{*1}, Kaoru Takakusaki^{*2} and Hajime Asama^{*1}

^{*1} Department of Precision Engineering, The University of Tokyo 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8654, Japan

^{*2} The Center for Brain Function and Medical Engineering Asahikawa Medical College 1-1-1 Midorigaoka-Higashi-2jo, Asahikawa, Hokkaido 078-8510, Japan

In the present study, we estimated the stress of a car racer during a race. We used heart rate variability, sweat rate and electromyogram of masseter to analysis. We analyzed the results with the factor analysis, which is a statistical method used to describe variabilities among the observed indexes. As a result, we found that heart rate variability and sweat rate were related to a factor named psychological stress and electromyogram related to another factor named physical stress.

Key Words : Motor racing, Stress, Physical stress, Mental stress, Factor analysis, Electromyogram, Galvanic skin response, Heart rate variability

1. 序 論

ストレス社会といわれる現代社会において、多くの労働者が日常に強いストレスを感じており、厚生労働省の調査によるとその割合は半数以上を占めると言われている⁽¹⁾。職場などにおける長期のストレスの蓄積は、人間関係の悪化、健康への影響、仕事に対するモチベーションの低下や仕事上のミスの増加の可能性も報告されている⁽²⁾。一方、一時的に発生する急性ストレスも存在し、スポーツなど迅速な反応が求められる場合においては、怪我や事故の回避のため、このストレスタイプの分析が重要であると考えられる。運動中に過大なストレスがかかるスポーツは多くあるが、本研究では従来研究の少ないカーレース環境に着目した。

モータースポーツの中でも、迅速な判断と運転能力が必要となるカーレースではレース中、対抗車の接近や激しい速度変化によってレーサーに過剰なストレス負荷がかかることが予想され、少しのミスが命の危険につながることから安全の管理が大変重要となる。また車接近、加減速などストレス負荷のタイミングも外部からみて見極めやすいという理由もありストレス解析には適しているといえる。

レーサーから生理指標を測定し、得られたデータを因子分析を用いて分析することで、レーサーの感じるストレスが生理指標にどのような影響を与えるかを考える。その影響を考察し、測定した生理指標からドライバーがレース中に感じるストレスを推定する。

ストレスは空気中の酸素分圧低下、出血による血圧低下など生体の内部に直接影響を与えるものと、猛獣の姿をみる、銃を突きつけられるなど将来的に内部環境に影響を与えるものに分けられ、それぞれ脳神経系において自律神経系を制御する視床下部に伝わるまでの伝達経路が違うことがわかっている。前者は下位脳幹を通して直接視床下部に伝わり、後者は大脳皮質、大脳辺縁系（特に扁桃体）において処理されその結果を視床下部に送っている。⁽³⁾ 本研究ではこれらをそれぞれ肉体的ストレス、精神的ストレスと呼ぶこととする。

今回、レース中に受ける肉体的ストレスおよび精神的ストレスを推定するための生体指標として咀嚼筋筋電図、発汗量、心拍変動を選んだ。咀嚼筋筋電図を含む表情筋は対象者の情動と対応していることがわかっており⁽⁴⁾、咬筋の活動計測を用いて不快情動を推測できる可能性を含んでいる。発汗には温熱性発汗と精神的発汗があることが知られており、それぞれ体温上昇時、精神的緊張時に発現される。精神的作業負荷を与えた場合の発汗量の変化に関しては小川らをはじめ様々な

^{*1} 東京大学 工学系研究科 精密工学専攻 (〒113-8654 東京都文京区本郷 7-3-1) tomoi@robot.t.u-tokyo.ac.jp

^{*2} 旭川医科大学 医学部 脳機能医工学研究センター (〒078-8510 北海道旭川市緑ヶ丘東 2 条 1-1-1)

報告がなされており⁽⁵⁾、いずれも精神的ストレスを受けた場合に発汗量が増すことを示している。心拍数変動は交感神経と副交感神経によって司られており、それぞれが伝えることのできる周波数帯の差からどちらが優位であるかを知ることができる。交感神経が優位である場合、緊張時もしくは酸素が必要とされる激しい運動時であることがわかる。⁽⁶⁾これらの生体指標は精神的ストレスを測ることを目的とする様々な実験に使われており、山越らの実験⁽⁷⁾ではゴーカートにおける精神的ストレスの測定の指標としても用いられた。本研究でも運転時に測定可能かつレースの場面毎の精神的ストレス変化を測定するのにふさわしい指標として筋電、発汗量、心拍変動の3つの生体指標を選んだ。

本研究では上記の計測結果を用いて、統計学的アプローチからストレス負荷時の各生理指標の関係やレース状況との比較を行い、場面に応じたストレス負荷と生理指標との関係を解析する。レース中各生理指標に影響を与えるストレスには肉体的、精神的などのいくつかの種類に分けられると仮定しそれを検証した。

2. 実験内容と分析方法

2.1 使用センサ 今回のレースには S & ME の携帯型計測器 DL-3100 を使用した。サンプリング周波数は 1000Hz、A/D 変換の分解能は 16bit であり、本体に搭載されているメモリに計測データを記録する。筋電図の測定には S & ME の DL-141 を用いた。これは二つの電極がアンプと共に一体になっているアクティブ型の筋電センサである。発汗量の測定には S & ME DL-340 を用いた。センサからの信号はフィルタアンプで増幅され、計測器本体に記録される。心電心拍数の測定には S & ME DL-310 を用いた。センサからの信号はフィルタアンプで増幅され心電信号の R 波が検出され、パルスが出力される。センサを固定するテープは事前に実験室でテストを行った中から大量の汗をかいても剥がれにくく伸縮性のある粘着帯を用いた。生体計測機器本体（データロガー）および同期回路等の周辺機器は、ランニング用ウエストポーチに入れてドライバの腹部に巻きつけて固定した。各センサの貼り付け位置を図 1 に示す。

2.2 実験内容 2013 年 7 月に開催された SuperGT 第 4 戦（スポーツランド SUGO）のフリー走行（28 日）において計測実験を行った。生理指標として咀嚼筋の筋電（EMG）、発汗（皮膚電気抵抗:GSR）、心電（ECC）、心拍数（HR）を計測した。

2.3 因子分析 今回測定した生理指標の、レース中における数値変動を外的ストレスないしはなにが

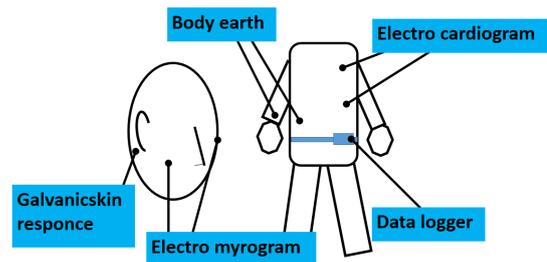


Fig. 1 Sensor mounting point

しかの外的影響によるものとして、各生理指標の相関関係から生理指標に影響を与える因子との関係を考える。

本研究では、計測で得られた生理指標データを、心理学の分野などの分野で多く用いられる多変量解析手法の 1 つである、因子分析を用いて解析を行った。因子分析は観測データが合成量であると仮定し、それを構成する個々の構成要素を得るための方法である。m 個の確率変数の組 $x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_m$ が得られ、各変数の母平均をそれぞれ $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_j, \dots, \mu_m$ と置いたとき、これらの変数を p 個の共通因子 f_1, f_2, \dots, f_p で

$$x - \mu_j = \lambda_{j1}f_1 + \lambda_{j2}f_2 + \dots + \lambda_{jp}f_p + \varepsilon_j \quad (1)$$

と説明する線形モデルが因子分析である。また、 ε_j は独立因子である。本研究の場合、確率変数は筋電、発汗量、心拍変動をそれぞれ表す EMG, GSR, SDNN/RMSSD となり、それぞれの変化に影響をあたえる共通因子を分析する（図 2）。因子分析の場合、共通因子の数は分析者が変数の数以下で事前に与える。今回の分析では因子数が 1, 2 個の場合に分けて分析し考察する。因子数 3 個の場合は各生理指標値をそのまま示すことになるため省略する。

因子分析によって因子負荷量および因子得点係数と呼ばれるものが得られる。因子負荷量とは (1) 式における $\lambda_{j1}, \lambda_{j2}, \dots, \lambda_{jp}$ にあたり、各因子が各生理指標に与える影響の重みを表す。因子負荷量は正規化されており、 $-1 < \lambda < 1$ の値をとり、1 因子が各生理指標へ与える負荷量の二乗和は 1 となる ($\lambda_{1i}^2 + \lambda_{2i}^2 + \lambda_{3i}^2 = 1 (i=1,2,3)$)。因子負荷量の絶対値が 1 に近いほどその因子が生理指標に与える影響が大きいことを示し、 $\lambda > 0$ の場合は正の相関、 $\lambda < 0$ は負の相関となる。

因子得点係数は各生理データを標準化したものと掛け算し、それを合計することで因子得点が得られる。

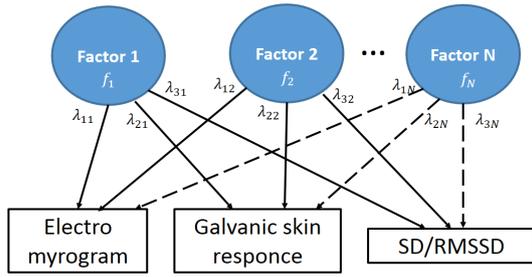


Fig. 2 Factor analysis

因子得点とは生理データパターンによって各因子がどれくらいの重みをもっているかを表したもので、代入する生理データの測定時刻における各因子の重みをすることができる。なお今回、因子分析に統計解析ソフトウェアである IBM SPSS Statistics 22 を用い、因子抽出法には主因子法を選んだ。また、バリマックス法で回転を行っている。

因子分析に用いるデータは、レースの 3 週目から 6 週目のものを用いる。1 週目と 2 週目を除いたのはレーサーへのインタビューの際、2 週目はウォーミングアップの状態にあり、レース時とは異なる身体状態にあるというコメントが得られたからである。

2.4 EMG, GSR, SDNN/RMSSD の計測 本研究に用いる、先行研究において行った筋電図 (EMG)、発汗量 (GSR)、心拍数変動 (SDNN/RMSSD) の計測実験の概要を説明する。

2.4.1 筋電図 (EMG) サンプル点 n における筋電図 (EMG) は整流平滑化した筋電位 $e(n)$ から自乗平均平方根を算出し筋肉の活動を評価する。これまでの研究における筋電の周波数帯域を考慮し、本研究ではフィルターのカットオフ周波数を低域側 20Hz、高域側 400Hz に設定した。人間の嘔みしめは通常 0.1~数秒続けるとされることから、本研究では解析するフレーム長を 100ms、フレームをずらす間隔を 1ms として解析を行った。以下に式を示す。

$$EMG = \sqrt{\frac{1}{N+1} \sum_{i=0}^N e^2 \left(n - \frac{N}{2} + i \right)} \quad (2)$$

$N = 100, \frac{N}{2} \leq n \leq n_{end} - \frac{N}{2}$ n_{end} : 最後のサンプル点

2.4.2 発汗量 (GSR) サンプル点 n における発汗センサで得られた信号 $g(n)$ に 5Hz のローパスフィルタをセンサ用のアンプ部で掛けた後、自乗平均平方根を算出する。解析するフレーム長は 2000ms とし、フレームをずらす間隔を 1ms として解析を行った。以

下に式を示す。

$$GSR = \sqrt{\frac{1}{N+1} \sum_{i=0}^N g^2 \left(n - \frac{N}{2} + i \right)} \quad (3)$$

$N = 2000, \frac{N}{2} \leq n \leq n_{end} - \frac{N}{2}$ n_{end} : 最後のサンプル点

2.4.3 心拍数変動 (SDNN/RMSSD) 心電信号には 0.16~500Hz のバンドパスフィルタがアンプ部で掛けられる。心拍の変動状態により自律神経系の活動状態を知ることができる。本研究では自律神経の活動状態の解析法として、短時間領域の分析に多く用いられる SDNN (解析区間内における心拍間隔の標準偏差) および RMSSD (隣接心拍間隔の差の自乗平均平方根) を用いた。SDNN は交感神経および副交感神経の両方を含む自律神経系全体の活動状態を表す指標であり、RMSSD は副交感神経系の活動状態を表す指標であるため、それらの比である SDNN/RMSSD を用いることで交感神経系の活動状態を表すことができる。一般的にストレスを受けると交感神経が活発になるため SDNN/RMSSD の値が上昇するところではストレスを受けていると推定することができる。サンプル点 n における心拍間隔を $I(n)$ 、解析区間における心拍間隔の平均値を \bar{I} とすると解析区間における SDNN、RMSSD の値は以下の式で求めることができる。

$$SDNN(n) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (I(n-N+i) - \bar{I})^2} \quad (4)$$

$$RMSSD(n) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=2}^N (I(n-N+i) - I(n-N+i-1))^2} \quad (5)$$

$N = 20, 20 \leq n \leq n_{end}$ n_{end} : 最後のサンプル点

3. 結果および考察

以下の表 1 から表 2 に分析の結果得た各因子数における因子負荷量、表 3 から表 4 に各因子数における因子得点係数を示す。

3.1 因子数 1 個の場合 因子数 1 個の場合の分析結果を考察する。表 3 の因子得点係数を基に因子数が 1 個の際の因子得点を求める式を式 (6) に示す。なお、 S_{11} を因子 1 の因子得点、 x_1, x_2, x_3 をそれぞれ筋電 (EMG)、発汗量 (GSR)、心拍 (SDNN/RMSSD) の指標を標準化したものとする。

$$S_{11} = -0.061x_1 + 0.455x_2 + 0.119x_3 \quad (6)$$

因子得点とは各サンプルにおいて共通因子がそれぞれの程度の大きさをもつかを表したもので、この場合は各時刻における因子 1 の大きさを示している。過

Table 1 Factor loading (1 Common factor)

Physiological index	Factor1
Electro myrogram	-0.008
Galvanic skin response	0.467
SDNN/RMSSD	0.153
Major factor method	

Table 2 Factor loading (2 Common factor)

Physiological index	Factor1	Factor2
Electro myrogram	0.006	0.268
Galvanic skin response	0.287	-0.184
SDNN/RMSSD	0.307	0.066
Major factor method		

Table 3 Factor scoring coefficient (1 Common factor)

Physiological index	Factor1
Electro myrogram	-0.061
Galvanic skin response	0.455
SDNN/RMSSD	0.119

Table 4 Factor scoring coefficient (2 Common factor)

Physiological index	Factor1	Factor2
Electro myrogram	0.013	0.259
Galvanic skin response	0.266	-0.177
SDNN/RMSSD	0.286	0.075

去の同じレースデータを用いた研究⁽⁸⁾では導いたストレス式と、ビデオ映像から状況に応じて5段階に分けたストレスレベルとの比較を行っている。同様の5段階に分けられたストレスレベルと、今回算出した因子得点とを場面毎に比較する。今回算出した式(6)についてレース中取る最大値を5、最小値を1となるように線形変換したものが式(7)である。

$$S'_{11} = -0.005x_1 + 0.394x_2 + 0.102x_3 + 1.832 \quad (7)$$

レース中の状況、予想ストレスレベル、式(7)から導いたストレス推定値を表5に示す。これからシーンにおける予想ストレスレベルとストレス推定値の間に誤差はあるものの、大小関係に間違いが少ないことが確認できた。また、予想ストレスレベルと式(7)から導いた相関係数は0.66であった。一般的に相関係数は0.4以上を示すとき相関があるとされている。このことから因子1個の場合の因子得点はストレスとある程度の相関があるといえる。

3.2 因子数2個の場合 因子負荷量を示した表2から、因子1に関連性が高いのは発汗量および心拍、因子2に関連性が高いものは筋電であることがわかる。つまり発汗量および心拍は同じ因子から影響を受ける割合が高く、筋電は別の因子から影響を受ける割合が高いということである。ここで各因子の因子得点を求

Table 5 Estimated stress value using equation and estimated stress level by video

Sample	Estimated stress value by calculation	Situation checked by video	Estimated stress level by video
1	2.19	Passed by other car	3
2	3.26	Chase other car (Close to)	4
3	3.40	Passing is tried	5
4	4.52	Passing is tried	5
5	3.59	Passed by other car	3
6	3.14	Chase other car (Close to other car)	4
7	3.92	Deceleration (Close to other car)	4
8	2.63	Deceleration (Close to other car)	4
9	3.05	Passing is tried	5
10	1.72	Straight (High speed)	2
11	3.77	Deceleration(Not Close to other car)	3
12	2.53	Deceleration(Close to other car)	4
13	2.28	Accelerate at corner	2
14	2.03	Straight(High speed)	1
15	2.57	Deceleration(Not close to other car)	3
16	2.20	Deceleration (Close to other car)	4
17	2.01	Accelerate at corner	2
18	2.53	Deceleration (Not close to other car)	3
19	2.06	Straight (High Speed)	1
20	3.56	Deceleration (Not close to other car)	4
21	2.40	Deceleration (Close to other car)	4
22	2.29	Accelerate at corner	2
23	2.52	Accelerate at corner	2
24	2.43	Deceleration (Close to other car)	4
25	3.48	Deceleration (Close to other car)	4
26	2.81	Deceleration (Close to other car)	4
27	2.38	Chase other car (Close to)	4
28	1.46	Go into pit road	1

める。因子得点とは各サンプルにおいて共通因子がそれぞれの程度の大きさをもつかを表したもので、この場合は各時刻における因子1および因子2の大きさを示している。因子得点は因子得点係数と標準化した各生理指標の積をとり、その合計で表されるため、 S_1 、 S_2 を因子1の因子得点、因子2の因子得点、 x_1 、 x_2 、 x_3 をそれぞれEMG、GSR、SDNN/RMSSDを標準化した値とすると各因子の因子得点は式(8)(9)で表すことができる。

$$S_{21} = 0.013x_1 + 0.266x_2 + 0.286x_3 \quad (8)$$

$$S_{22} = 0.259x_1 - 0.177x_2 + 0.075x_3 \quad (9)$$

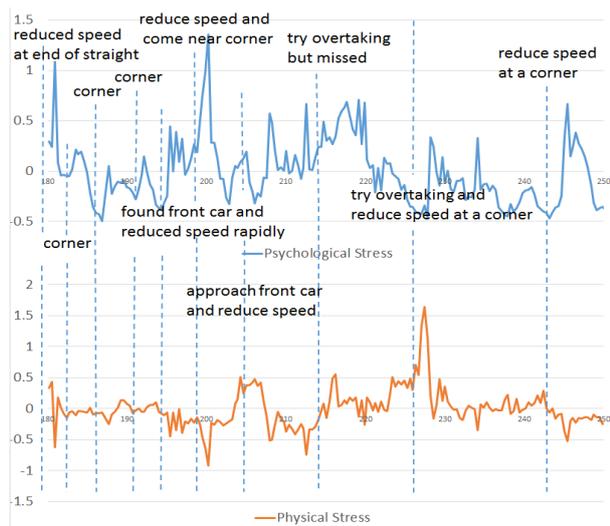


Fig. 3 Factor score(Common factor:2)

ここで、図3に5週目のデータにおける因子得点を示す。

図3には因子1の因子得点を青色、因子2の因子得点をオレンジ色で示している。また、各時刻におけるレース中の状況をレースの走行ビデオを見て判断し図中に示した。これによると長いストレートでの加速時、コーナー前の減速時などスピードが変化する場面では因子2の値が増加し、対抗車を追い抜くまたは追い抜かされる場合などは因子1が増加していることがうかがえる。

これらから、因子1は対抗車に近づく際の緊張からくる精神的ストレス、因子2は加速度の増加によってもたらされる肉体的ストレスを表していると考えられる。精神的ストレスと肉体的ストレスが生理指標に影響を与えることは過去の研究⁽⁹⁾藤原 2005においても示されている。よって、ドライバーがレース中に感じるストレスは因子分析によって、各時刻における因子得点を得ることによって推定でき、発汗量および心拍の関連性が高い因子が精神ストレス、筋電と関連性が高い因子が肉体的ストレスであると考えられる。

3.2.1 筋電 前節の考察で筋電は加速度の増加によってもたらせる肉体的ストレスと関係が深く、対抗車接近時の緊張からくる精神的ストレスとは関連性が小さいことがわかった。筋電については菅原⁽⁴⁾の研究より情動と筋電の関係について表6のような結果が示されている。今回の実験において測定したのは咬筋であり、表の中で対応する情動は「怒り」のみで「恐怖」「嫌悪」「悲しみ」などの不快情動とは対応していない。これらのことから、今回の実験においてドライバーは対抗車接近時に精神的ストレスは受けていても、「怒り」の情動ではなく「恐怖」「嫌悪」などの他の不

Table 6 Relation between affect and mimetic muscles

mimetic muscles	corresponded affect
Frontalis muscle	amazement,terror
Corrugator muscle	amazement,anger,dislike,terror,sadness
Orbicularis oculi muscle	happiness
Zygomatic muscle	happiness
Orbicularis oris muscle	happiness,amazement,dislike,terror
masseter	anger

Table 7 Thermal sweating and psychological sweating

	Thermal sweating	Psychological sweating
Expression site	Body surface except hand and sole of the foot	hand,sole of the foot
Sweat rate	much	small
Sweating motivation	on warm, on strenuous	on mental strain

快情動であったと推測できる。

また、カーブ時、加速時などの肉体的ストレス負荷時には強いGに耐えるため、レーサーは力んでいると考えられる。上野らが示すように咬筋と体中の筋活動量とは優位な正の相関がみられることがわかっている。⁽¹¹⁾つまり、強い噛みしめにより強い力を出すことができるということであり、意識的にせよ無意識的にせよ、ドライバーに力み時に歯を食いしばるという習慣ができあがっていると考えられる。

3.2.2 心拍数変動 前節の考察で心拍数変動は精神的ストレスと関係が深く、肉体的ストレスと関係が小さいことがわかった。今回の実験において用いた指標SDNN/RMSSD比は副交感神経に比べて交感神経が優位であるほど高い値を示す。交感神経は酸素消費の激しい運動時や緊張時に活発になり、副交感神経はリラックス時に活発になることが知られている。⁽¹²⁾今回の実験でドライバーは酸素消費の激しい運動は行っておらず、そのため緊張時の影響が強くと推測される。

3.2.3 発汗量 考察より、発汗量は精神的ストレスと関係が深く、肉体的ストレスと関係が小さいことがわかった。発汗は温熱性発汗と精神性発汗とに分かれている。温熱性発汗と精神性発汗の違いを表7に示す。今回の実験において発汗量の測定箇所は首筋であった。首筋は温熱性発汗の発現部位であるため、精神的ストレスよりも運動や気温に左右されるはずであり実験結果と矛盾しているように思える。しかしながら、図4に示すように温熱性発汗と精神性発汗の間には互いに相関があるという研究結果もある⁽⁵⁾。このことから、レース中の体温変化による温熱性発汗量変化

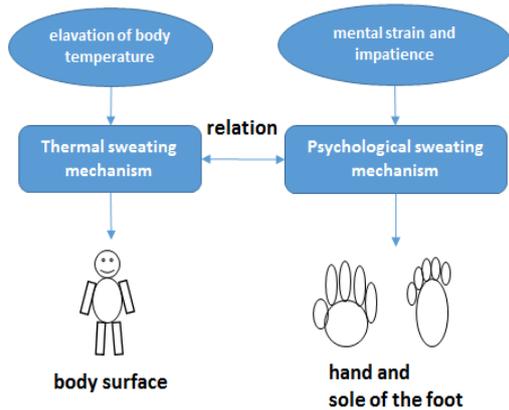


Fig. 4 The relation between thermal sweating and psychological sweating

よりも精神的ストレスによる温熱性発汗への影響が優位であったのではないかと推測できる。

4. 結 論

レース中にレーサーが感じるストレスには複数種類があり、それぞれ各生理指標に与える影響に違いがあるという仮定のもと、レース中に測定した生理指標を因子分析という手法を用いて解析した。その結果、生理指標の変動に影響を与える2種類の因子を抽出することができ、レース中の環境との比較することでそれらの因子は精神的ストレス、肉体的ストレスといった異なった種類の外的影響であることがわかった。

2つの因子には発汗量および心拍変動に主に影響するものと、筋電に主に影響するものがあり、前者は加速時、カーブ時に、後者は対抗車接近時に因子得点が高くなったことからそれぞれ肉体的ストレス、精神的ストレスに対応すると推測される。

この方法でストレスを推定する場合、レース中の生理的指標データを通して分析する必要があるため、レースの最中にリアルタイムでストレスを推定するようなシステムを作成する場合は、別の方法を考えるべきであろう。その際には今回の因子分析で判明した心拍および発汗量が精神的ストレスと関連性が高く、筋電は肉体的ストレスと関連性が高いことを利用すれば、それぞれの生理指標を各ストレスの成分として考えることで求めることができると思われる。

また、今回因子分析に用いたデータはEMG、GSR、SDNN/RMSSDの各指標において時間軸方向の補正を行わなかった。ストレスを感じてから各生理指標に影響がでるまでにはそれぞれ時間差があると思われるため、今後は時間軸方向の補正を生物学的知見に基づい

て行うことでより精度の高い結果が得られる可能性がある。

謝辞

本研究の一部はJSPS科研費新学術領域研究「脳内身体表現の変容機構の理解と制御」(課題番号26120005)の助成を受けたものである。

参 考 文 献

- (1) 厚生労働省 大臣官房統計情報部 賃金福祉統計課, (2008), “メンタルヘルスクエアや喫煙対策に取り組んでいる事業所が増加-平成19年労働者健康状況調査結果の概況”.
- (2) 荒記俊一, “職場ストレスの健康管理: 総説”, 産業医学, Vol.35, (1993), pp.88-97.
- (3) 西条 寿夫, “ストレス反応の身体表出における大脳辺縁系-視床下部の役割”, 日本薬理学雑誌, Vol.126, (2005), pp.184-188.
- (4) 菅原 徹, “顔面筋の筋電図による情動の計測”, 電子情報通信学会技術報告, Vol.102, No.341(2002), pp.41-44.
- (5) 小川徳雄, “Thermal Influence on Palmar Sweating and Mental Influence on Generalized Sweating in Man”, The Japanese Journal of Physiology, Vol.25, (1975), pp.525-536.
- (6) 小原 繁, “静的運動時の心拍変動からみた交感神経緊張度と筋電図との関係”, 電子情報通信学技術研究報告, Vol.46, (2001), pp.85-90.
- (7) 山越 健弘, “モータースポーツ時の生体情報反応: レーシングカート走行による基礎的検討”, 生体医工学, Vol.47, (2009), pp.154-165.
- (8) 山川 博司, “生理計測に基づくカーレーサーのストレス推定”, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会2014講演論文集, (2014), pp.853-858.
- (9) J.J.Gross, “Hiding Feelings: The Acute Effects of Inhibiting Negative and Positive Emotion” Journal of Abnormal Psychology, Vol.106, No.1 (1997), pp.95-103.
- (10) 藤原奈央, “直線加速度負荷時の生体情報解析”, 電子情報通信学技術研究報告, (1999).
- (11) 上野俊明, “噛みしめと上肢等尺性運動の関連性に関する研究”, 口腔病学会雑誌, Vol.62, (1995), pp.212-253.
- (12) 山口 勝機, “心拍変動による精神負荷ストレスの分析”, 志学館大学人間関係学部研究紀要, Vol.31, (2010), pp.1-10.