

ソーラーカードライバーの体調管理技術確立にむけて (心電データ解析から得られる自律神経活動状態の新規な表現手法の応用)

Towards establishing health management techniques for solar car drivers

前田郷司*

1. はじめに

競技用ソーラーカーは、車両本体に搭載された太陽電池から得られるエネルギーで駆動される一種の電気自動車であり、エネルギー効率を最大限に引き上げるために車体重量をギリギリまで絞った設計がなされている。そのため一般的な自動車に比較すると非常に華奢な車体である。そのうえで、競技距離は数千 km、競技時間も数日に及ぶため、省エネルギー性能と同時に耐久性を競うレースでもある。

ソーラーカー競技は直鎖日光の下で行われ、その間、ドライバーは空気抵抗を低減させるための密閉型風防（キャノピーと呼ばれる）で蓋をされた狭い空間に押し込められている。車内温度は 40℃ を軽く超え、ドライバーはそのような過酷な状態でドライビングをしなければならない。ゆえにソーラーカー競技はドライバーの耐久レース的な側面を持つことになり、ドライバーの体調監視は競技上の重要な要素である。

後述するように、長距離バスの事故を契機として注目されるようになったが、特に職業ドライバーの体調管理については以前から様々な研究が行われていた。本稿では、まず、ドライバーの体調管理に関する技術開発の動向をレビューし、次に、ドライバーの体調管理への応用が期待できる筆者の研究内容「ウェアラブルデバイスによる自律神経活動の監視技術」について紹介し、将来の展望について述べる。

2. ドライバー体調管理技術に関する研究

2.1 発端と社会的影響

2012 年 4 月 29 日に関越自動車道にて高速バスが防音壁に衝突し、乗客 7 名が死亡、多くの乗員乗客が重軽傷を負う事故が生じた。事故の直接的な原因はドライバーの居眠り運転と結論付けられている

が、その背景にあった長距離バスツアーの値引き競争や長距離ドライバーの過酷な勤務環境が社会的に問題視された。その結果、高速バスの運行に係る法制度が大きく改正され、^{1) 2)} 大型車への自動ブレーキ装着義務化に向けての開発が加速され、^{3) 4)} 高速道路の防音壁とガードレールとの不連続箇所の段差解消など、道路側での対応も進められることとなった。⁵⁾

そして、この事故をきっかけに、ドライバーの体調把握技術のうち、特に眠気検知技術に注目した研究開発が俄かに注目されるようになった。ドライバーの体調を計測するための手法としては運転操作などの行動計測、目の動きに着目した視覚系指標、筋・骨格系指標、脳波などの中枢系指標、心拍計測を中心とした自律神経系指標などが検討されてきている。⁶⁾ 研究された時期を追って以下に代表的な例を示す。

2.2 ドライバーの体調計測手法

2.2.1 運転操作による検知

運転操作に着目した行動計測については、かなり早くから研究が行われている。日産自動車の世古らは、低覚醒度状態では特有のハンドル操作パターンが現れることを見出している。^{7) 8)} この研究では、第三者による顔表情の観察、まばたき、脳波などについてもデータ収集され、覚醒度の判定に用いられている。1982～1983 年にかけての先駆的な内容であり、ハンスソルストラップ氏のソーラーカーによる豪州大陸横断と同時期であることを考えると感慨深い。トヨタ自動車においても、操舵機能低下を評価して、長時間運転によるドライバーの疲労を把握する研究が行われている。⁹⁾

* 東京大学大学院情報理工学系 特任研究員
TEAM SUNLAKE 代表

2.2.2 視覚系指標による検知

生理計測の内、視覚系指標に着目した研究は1990年代に入ってからになる。1996年、豊田中央研究所の杉山らは、赤外線カメラでドライバーの瞬きを観察し、瞬きの閉眼時間から意識低下を推定する方式を開発した。¹⁰⁾ 同じ年、東京職業能力開発短期大学の藤森らは、眼球運動を角膜反射法により観察する手法を用いた研究を行った。¹¹⁾

やや下って2003年、中央大学の恩塚らは、ゴーグルに取付けたCCDカメラにより捉えたドライバーの眼球の動きを画像処理で把握し運転時の疲労評価を行うことを試みた。¹²⁾ ウェアラブル装置を用いた初期の例と云える。センサーの大見は、さらに踏み込んで、瞬きに加えて、顔表情を画像処理することで、眠気検知の精度を改善した。¹³⁾

2.2.3 筋・骨格系指標による検知

生理計測における筋・骨格系指標は主にはモーションキャプチャ技術の応用になる。2008年には広島国際大学の石原らにより、自動車に複数のカメラを取り付け、運転者の姿勢モデル化し、運転者の筋負荷を導く例が報告されている。¹⁴⁾ 日本大学生産工学部の渡辺らにより、モーションキャプチャを用いて運転中のドライバーの疲労を定量化しようとする研究例が報告されている。¹⁵⁾

2.2.4 中枢系指標による検知

中枢的指標である脳波については、最初に紹介した日産自動車の研究例でも用いられており、同じ研究者による特許も出願されているが、当時は直接的な判定基準とはなっていない。¹⁶⁾

脳波は、生体電位の中でも微弱な部類であり、生体に直接装着する装置、すなわちウェアラブル装置が必要になる。パナソニックの寺田らは、2011年に、脳波に現れる眼球停留関連電位を用いて視対象に対する注意量の変動から注意散漫状態を推定する手法を開発した。¹⁷⁾ 2020年以後になると小型のウェアラブル脳波測定装置が市販されるようになり、いくつかのスタートアップ企業により脳波によりドライバーの体調をモニターする技術の実証研究が行われている。¹⁸⁾

2.2.5 自律系指標による検知

やや遡って、2004年、パイオニアの柳原らは、ステアリングに装着した心拍センサを用い、心拍揺らぎの高周波成分(HF; 副交感神経活動指標)と、自己申告された眠気との相関を検討し、眠気検知の可能性について報告している。¹⁹⁾ 富士通の中野らは2008年に、被験者に装着したディスプレイ電極を用

いた第二誘導法による心拍データ、耳たぶ式の光電型脈波センサから得られた脈拍データから心拍変動解析し、顔画像および眠気についての自己申告結果を用いて運転状態推定を行った。心拍変動データとしては、HF成分を興奮度の逆数的な指標と捉え、加えてHF成分のピーク周波数を覚醒度として二次元マッピングし、覚醒度、興奮度ともに低くなる場合に眠気が生じていると評価している。この検討により顔面表情による眠気評価結果がほぼ一致することが報告されている。²⁰⁾ 中野らは、この研究をさらに発展させ、2015年には心拍センサを用いた大型トラック運転中の覚醒度評価を、東名高速道路と新東名高速道路を実車走行させることにより行っている。²¹⁾

3. ウェアラブルデバイスを利用したパーソナル運転状況モニター

3.1 パーソナル運転状況モニター

これまでに紹介してきたシステムは、自動車メーカー側の視点で行われてきたものが多く、必然的に車載を前提とした研究となっている。自家用車の様に、常に運転者が限定される場合には学習機能などにより精度の高い検知を期待できるであろう。

一方でドライバー側の視点に立てば、時と場合により複数の車両を運転し分けるケースもあり、安全運転のための見守りシステムはドライバー本人に付属するような形にしておくことが望ましい。この点でウェアラブル装置によるパーソナルな運転状況モニターが注目される。

3.2 衣服型ウェアラブル心電計測デバイス

衣服型の心電測定用ウェアラブルデバイスの最初の商品化は、2007年、米国のTextronics社によるものであった。²²⁾ 日本国内では2014年のCEATECで発表されたNTTと東レによる「hitoe」が最初のケースである。²³⁾ NTTと東レは、この発表に先立ち、米国のカーレーシングチームChip Ganassi RacingのドライバーTony Kanaan氏協力のもと、2015年6月から8月に行われた米国インディカー・シリーズにおいて、走行時のドライバーの生体情報を取得する実証実験を行い、高速走行中のレーシングカーにおける心電波形(ECG)や心拍、胸部の筋電(EMG)などの生体情報を取得できることを実証した。衣服型ウェアラブルデバイスがモータースポーツで活用された最初の例と言える。²⁴⁾

東洋紡とユニオンツールは、2011年から心拍周期のパターン解析からドライバーの眠気を検知する

アルゴリズム開発を行っており、2015年にはユニオンツール名義にて「安全運行補助ツール 眠気通知器 DSD」の販売を開始、さらに2017年には衣服型のウェアラブルデバイスと組み合わせた製品販売を開始している。²⁵⁾

4. 自律神経活動指標によるドライバーの心身状態モニター

以下は、筆者が東洋紡株式会社のコーポレート研究所に所属していた際の研究であり、心拍変動解析による自律神経活動指標を独自の手法で図示することにより、被験者の心身状態をモニターできる可能性を示したものである。前述の眠気検知アルゴリズムの研究とは直接的な関係はない。筆者提案の手法によれば医学分野の専門知識を持たない一般人でも、自律神経活動から被験者のメンタルおよび肉体的な状況にある程度読み取ることが可能となる。なお、既に公開されている情報に基づいて引用の形になることを御承知いただきたい。

4.1 自律神経活動指標の導出

心拍変動から自律神経活動を導く手法は1980年代から知られている。RRI（心拍ピークの間隔）の時系列データをFFT（高速フーリエ変換）を用いて周波数軸のパワースペクトル密度に変換し、パワースペクトルを高周波数成分（HF）と低周波数成分（LF）に分離し、（LF/HF）がSNI：交感神経の活動指数、（HF）がPNI：副交感神経の活動指数となる。^{26) 27)} このうち HFに着目した手法については自律神経系指標による検知の項で紹介した。本手法では両方の活動指数を扱うところが異なっている。なお、今日の計算機能力によればFFTは容易であり、ほぼリアルタイムで計算が可能である。

4.2 心拍情報の取得手段

自動車への搭載を考えた場合には、ステアリングホイールに電極を取り付ける手法の他、シートに仕込んだ圧力センサで、臀部にて脈拍を測定する手段などが提案されているが、振動の激しい運転中の車内で安定的にデータを取得するのは難しいと思われる（市販車に搭載された例を筆者は把握していない）。しかし、衣服型ウェアラブルデバイスであれば高精度の心拍信号を容易に得ることができる。心拍信号は、リストバンド機器などで取得される脈拍信号に比較し、明確な拍動ピークを有するため心拍変動解析を行う上で大きなアドバンテージを有している。

図1に、アスリート用に作製された衣服型ウェア

ラブルデバイスの例を示す。いずれもアンダーバスト部の内側に柔軟素材による心電測定用電極と配線が形成されており、コネクタとして使われているスナップファスナーを介して脱着可能な心電測定計（兼トランスミッター）と接続されている。²⁸⁾

心電測定計としては、ユニオンツール社製の心拍センサ「myBeat」WHS-1を用い、さらにユニオンツール社製のソフトウェア：RRIアナライザ（ver 1.14）を用いて、得られたRRIデータから、HF、LFを算出した。FFTは、1分毎または10秒毎に、過去3分間を時間窓として行った。特に断りのない限り、プロット間隔は1分間である。心拍センサWHS-1には温度計と3軸加速度計が内蔵されており、それらから得られた衣服内温度および3軸をベクトル和した加速度データも参考とした。

4.3 自律神経活動指数の測定例

自律神経は、昼間はSNI：交感神経活動が優位になり、夜間や就寝時にはPNI：副交感神経活動が優位になる24時間周期のリズムを有していると云われている。しかし、ウェアラブルデバイスにより、生活の場や、作業中、あるいはスポーツ中など実際の活動の場での観察できるようになると、自律神経活動は、短時間で複雑な動きをしていることが見えてくる。

図2は、ある被験者の、ある一日の内14:30～23:30の心拍数と自律神経の交感神経活動指数（LF/HF）、副交感神経活動指数（HF）の時間推移である。LFとHFを求めるためのFFTの時間窓を過去3分間とし、1分毎に算出した値をプロットしている。^{29) 39)}

被験者は、この日、社内で行われた発表会で、初めて幹部社員の前でプレゼンテーションを行っている。図2中の細い破線Bエリアは発表会場に入り着席して待機している期間、実線矩形で囲まれたP



図1 アスリート用の衣服型ウェアラブルデバイス

エリアは、前に出て約 20 分間のプレゼンテーションを行っている期間、太い破線の A エリアはプレゼンテーションが終わり席に戻って発表会の終了を待っている期間である。P エリアにおいては心拍数が 150 近くに達している。発表会終了後は 18 時ころに退社し、自転車で自宅に戻っている（18：30 前後）。自宅では大役を終えてグッタリしている（心拍数が下がり、副交感神経活動が活発化している）様子が見て取れる。全体として、交感神経活動指数と副交感神経活動指数が相反して動いている様子を大まかには見ることができるが、いずれも、かなり小刻みで複雑な動きをしている。

4.4 自律神経活動の直交座標系による表現

図 2 と同じデータを用いて、横軸に交感神経活動指数を、縦軸に副交感神経活動指数の常用対数をプロットした結果を図 3 に示す。左上の領域が、交感神経が沈静化しており副交感神経が活発化している領域、すなわちリラックスしている領域となり、逆に右下が交感神経が活性化して活発に活動している領域となる。交感神経と副交感神経が、単純に相反する関係であれば、グラフのプロットは左上と右下を 24 時間周期で往復するだけであるが、実際にはこのように広がりを持ち、かつ、小刻みに変化していることが見て取れる。

図 3 中の▲プロットを結んだ線が図 2 の B に、■プロットを結んだ線が P に、◆プロットを結んだ線が A の各時間帯に対応している。その他の淡い○のプロットは、それ以外の、被験者が発表会場に入る前と会場から出た後の時間帯のプロットである。ここでは、被験者が発表会会場に滞在していたこ

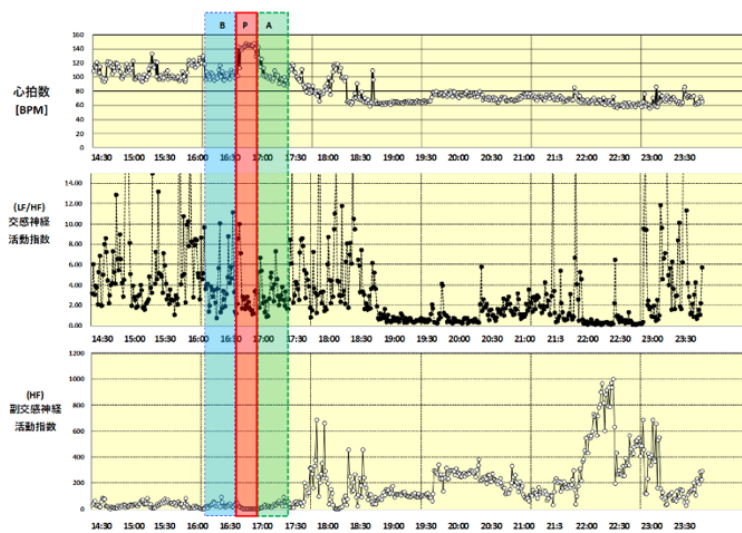


図 2 短時間（1分）間隔で求めた心拍数と自律神経活動指数の時間推移の例

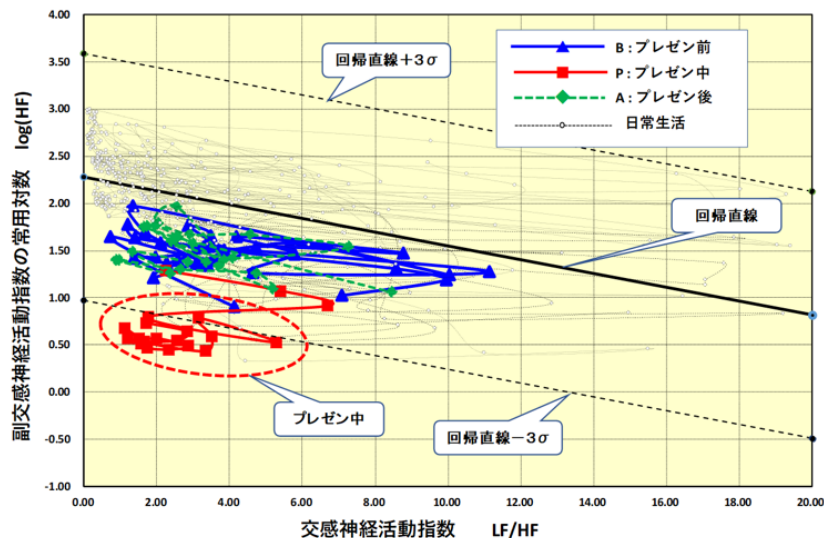


図 3 自律神経活動指数の直交座標表示

の期間を「特別な時間帯」と扱い、その他の期間を被験者の「日常活動」と捉えることにする。まず「日常活動」のプロットについて回帰直線を求め、次いで各プロットの回帰直線からの距離の標準偏差 σ を求め、図3中の右下がりの太い直線が回帰直線、上下にある右下がりの破線が $\pm 3\sigma$ のラインである。つまり、この右下がりの破線で囲まれた平行四辺形の区間が、被験者の「日常」の99.7%信頼区間であると考えられる。

改めて被験者の「日常活動」と「特別な時間帯」とを見比べてみると、特別な時間帯の内、特にプレゼン中においては、「日常活動」の99.7%信頼区間の外に連続してプロットされていることが解る。すなわち、この期間の自律神経活動は、明らかに「日常」とは異なる状態にあった、ということを知ることができる。心拍数がちょっとした運動を行っているのと同レベルの150BPMに達していることから、相当にドキドキしていたことは確かであるが、それだけでなく、図5のプロットからは交感神経、副交感神経双方の活動が委縮して、日常の状態からは逸脱していることが読み取れる。緊張しすぎて、あがってしまっている(Nervous)状態であると考えられる。

このように、自律神経活動指数を直交座標表示することで、時系列表示ではわかりにくい心理的な要素を読み取ることができる。

4.5 直交座標表示を用いた実測例

以下にいくつかの実測例により、生理的あるいは精神的な状態がどのように表現されるかを例示する。なお、実測例の多くは、現レーシングチーム「Team M」の監督兼ドライバー(2025～AIWIN代表)であり、ソーラーカードライバーとして数々の輝かしい成績をおさめられている三浦愛選手(大阪産業大学OG)の協力により得られたものである。

4.5.1 日常活動、ラボでの特定課題

図4は、三浦愛選手の日常活動、ラボでの特定課題、さらに実際のF3レース時に得られた心電データから算出した自律神経活動指数の直交座標表示である。加えて、心拍数と身体に加わった加速度[G](xyz3方向のベクトル和)の時間経過を下に示している。

図4中の右下がりの直線は日常活動時の自律神経活動の回帰直線であり、上下の破線はそれぞれ回帰直線 $\pm 3\sigma$ である。なお自宅で過ごしている時間帯のデータを日常活動としている。

S: 仰臥安静(10分間)、C: 単純計算問題(10分間)は実験室内で取得されたデータであり、いずれも図中左上のリラックス領域にプロットされている。特にデータは示していないが、睡眠中も左上の領域にプロットされることが解っており、眠気を感じる場面では活動域が左上に動くことが示唆される。

ルームランナーで10分間全力疾走の間(R: 全

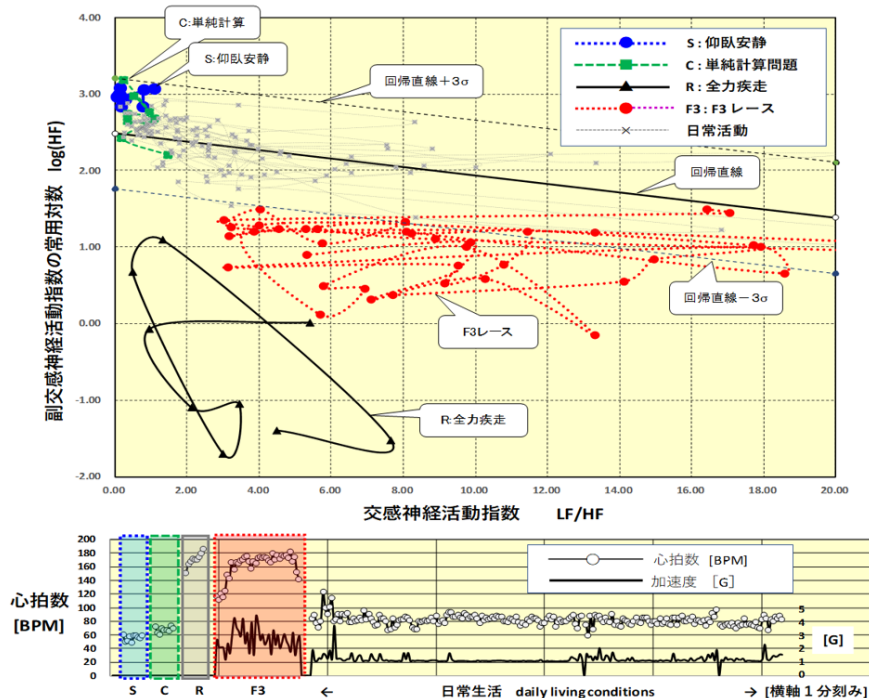


図4 実測例 三浦愛選手, 日常活動, ラボ, F3 レース

力疾走)は、当人が「気持ちが悪くなり倒れそうになった」というレベルまで運動負荷をかけた状態であり、心拍数は180前後まで上昇している。この時の自律神経活動は明らかに日常活動領域から大きく外れた左下の領域にプロットされている。交感神経と副交感神経の両方の活動が低下していることが示唆され、いわゆる自律神経失調状態に陥っていたものと推察できる。

4.5.2 F3 レース

図4中のF3レースは、実際の鈴鹿サーキットで行われたFormura 3レース中に取得されたデータである(2018年4月22日全日本F3選手権第一戦)。レース中、最高速度は250km/hrを超え、身体には4Gを超える加速度が加わる苛酷な環境であり心拍数も180前後に達している。すなわち、心拍数で見ると、先の全力疾走時と同レベルの身体負荷が加わっていると考えられる。が、自律神経の活動領域は明らかに異なっている。日常活動領域からは下側に外れてはいるが、中央から右側に分布が伸びており、交感神経が活発化していることがわかる。図5に三浦愛選手が乗車したFormula 3車両の写真を示す。



図5 Formula 3 Racing Car

4.5.3 一般道路, 高速道路

図6は、三浦愛選手による一般道路, 高速道路, サーキットでの自動車運転中のデータである。高速道路運転中も、一般道路運転中も、概ね日常活動と同じ領域に入っている。高速道路の方が一般道より副交感神経が低位であるが、交感神経の活動もやや低めで、まとまったエリアにプロットされている。運転に集中している状態と考えることができる。一方、一般道では、副交感神経が高めでリラックス側ではあるのだが、交感神経活動は、高速道路運転時よりも大きく動いており全体に散漫な様子である。速度は速いながらも単調で運転行為に集中できる高速道路と、低速ながら信号機, 歩行者, 対向車両など、高速道路には無い要素の影響で、常に状況が変化し、逐一状況変化への対応が求められる一般道との差が見て取れる。

ここに例示したサーキット(富士スピードウェイ)でのデータは、レース競技ではなく、試走時のものではあるが、競技用サーキットを、ライバルである他の競技者と混走している状況であり、走行環境、速度共に競技時と同等である。プロットされたエリアは鈴鹿サーキットにおけるF3レースとほぼ同じ

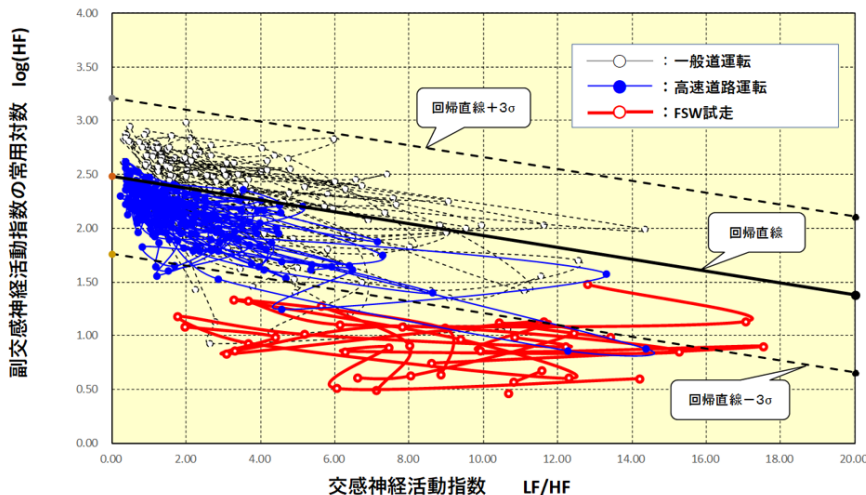


図6 実測例 三浦愛選手 一般道, 高速道路, 富士スピードウェイ

エリアとなっており、運転に集中しつつも、大きく変化している周囲の状況に対する判断を常に求められている状態に相当すると考えられる。

4.5.4 VITA 車両によるレース

三浦愛選手による最近の自動車レースで取得した特徴的なデータを数例紹介させていただく。2022年秋に、富士スピードウェイで行われたスプリント競技である。使用される車両はいずれも市販車用の1500ccのエンジンを搭載したオープンスタイルのレース専用車両「VITA」⁸⁾で、全参加者が同じ仕様の車両を使う。図7に三浦愛選手が乗車したVITA 車両の写真を示す。

図8は2022年10月23日に行われたKYOJO CUP 第二戦の決勝における三浦選手のデータである。10秒おきに過去3分間のデータから算出した

自律神経活動指数がプロットされている。横軸が、これまでの例の3倍に拡大されている点に留意いただきたい。下のグラフは回帰直線からのy軸距離と、加速度、心拍数の時間推移をプロットした図である。

三浦愛選手は、当日の午前に行われる予選（タイムレース）にて2位、決勝での順位は6位であった。決勝では予選順位に従ってコースに並び、スタート前に順番を維持したままコースを一周するFL (Formation Lap)が行われ、全車両がスタートグリッドに着いた後に秒読みが行われてスタートとなる。本レースでは結果的には優勝したドライバーが抜けて独走状態となり、三浦愛選手を含む第二集団において毎周順位が入れ替わるほどに激しく2位争いをする展開となった。



図7 レーシングカー「VITA」(富士スピードウェイにて)

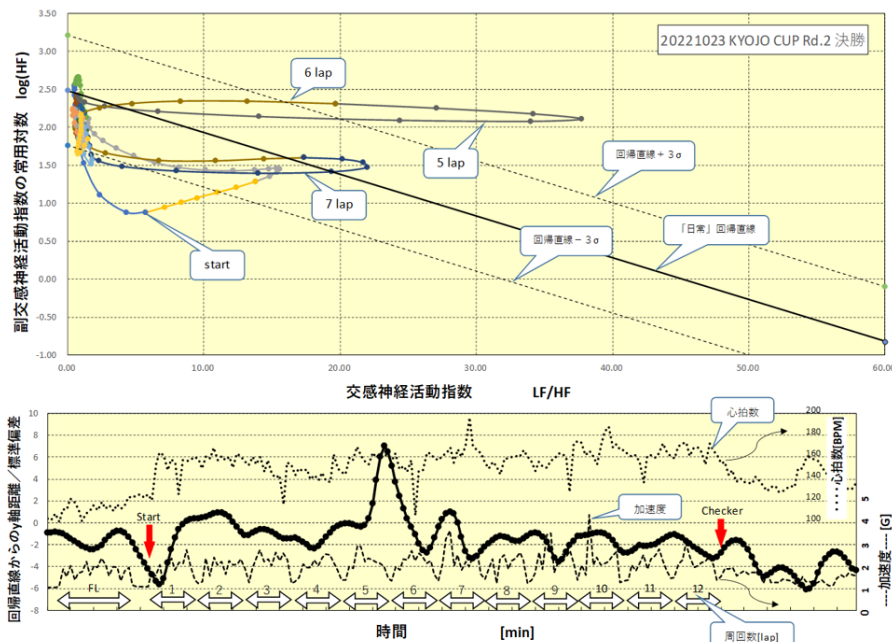


図8 実測例 VITA 車両によるレース 2022 KYOJO CUP Rd.2

5周目から6周目に欠けて、交感神経活動が突出して、回帰直線+3σラインより上にプロットされる領域が生じているが、この間にはコーナーにおいて、三浦愛選手が乗車していた車両と他車両との接触により、FRP製のボディカウルに大きな亀裂が生じる程の激しい競り合いが行われていた。今日までに筆者が行った試験において、回帰直線+3σラインより上の領域にデータがプロットされたのは、この一例しかない。極めてAggressiveな心理状態を反映しているものと推察される。一方、心拍数には特段の変化はみられない。

図9は、2022年11月13日に行われたKYOJO CUP 第三戦の決勝における三浦愛選手のデータである。三浦愛選手は19台中の予選2位、決勝では1周目の最初のコーナーで3番グリッドの選手に抜かれ、3位に順位を落としたが、3周目で抜き返し2位に順位を戻した。その後、1-2位と2位-3位以下間の車両間隔が開いてしまい、最後まで順位は変わらずにゴールとなった。3周目の交感神経活動の動きは、極めてAggressiveな心理状態を反映したものと推察される。なおこの例でも心拍数には顕著な変化はみられていない。

5. まとめと将来展望

以上、まずドライバーの眠気検知技術を中心とした近年のドライバー運転状況モニター技術について

概観した。心拍変動解析を用いた自律神経活動に着目した研究例では副交感神経活動に着目した研究が行われてきたことを紹介した。

一方、パーソナルなドライバー見守りににおいてはウェアラブル装置を用いることが適しており、特に自律神経活動指標の交感神経活動と副交感神経活動の両方を使って二次元的に観察することで、心拍数の変化だけからは読み取れない、心理的、生理的な状態を表現できる可能性を示した。紙面の関係で全ての実験結果を示すことはできないが、これまで様々な場面で取得してきたデータをまとめると、おおよそ図10のようになる。

本手法で用いているのは心電データのみである。無線通信機能を有するウェアラブル心電計を用いれば、ほぼリアルタイム（FFTに要する時間窓分だけ遅れる）に近い状態で、被験者の身体的、精神的な状態を把握することが原理的には可能である。現在、本手法は陸上自衛隊における暑熱環境下での訓練時の隊員の熱中症予兆把握技術への適用が期待されており、³¹⁾リアルタイム操作できるシステムの開発が進められている。

本手法は、医療分野では既知の手法である心拍変動の解析手法をそのまま使い、単に表示方法を工夫しただけである。しかし、それだけの工夫で、難解な医学用語を用いることなく、一般の人々にも直観的に理解しやすい形で、生理的・心理的な状態を表

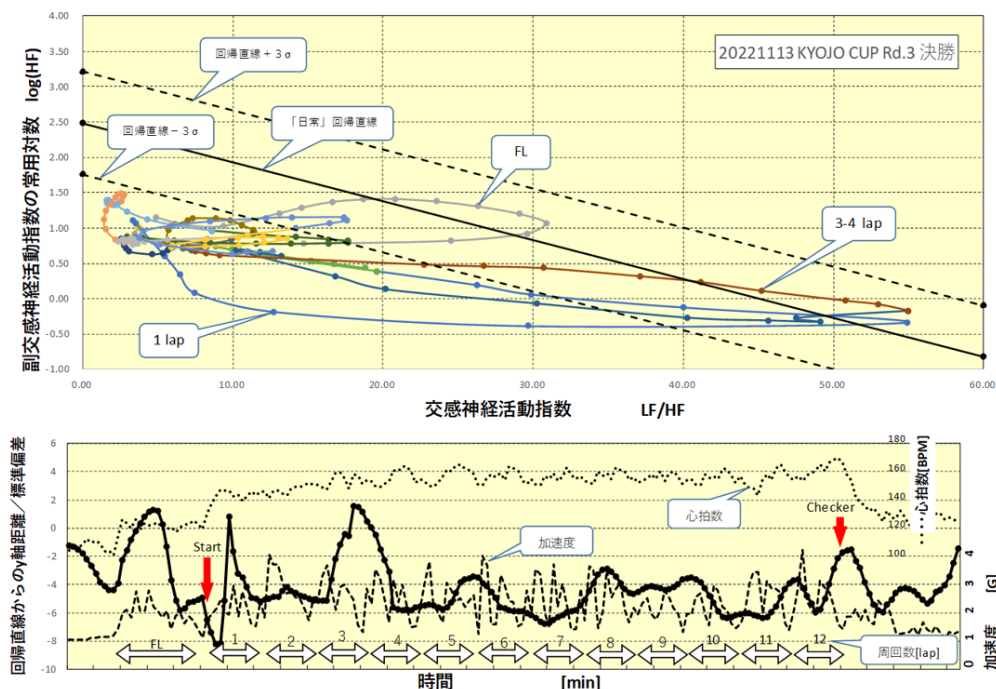


図9 実測例 VITA 車両によるレース 2022 KYOJO CUP Rd.3

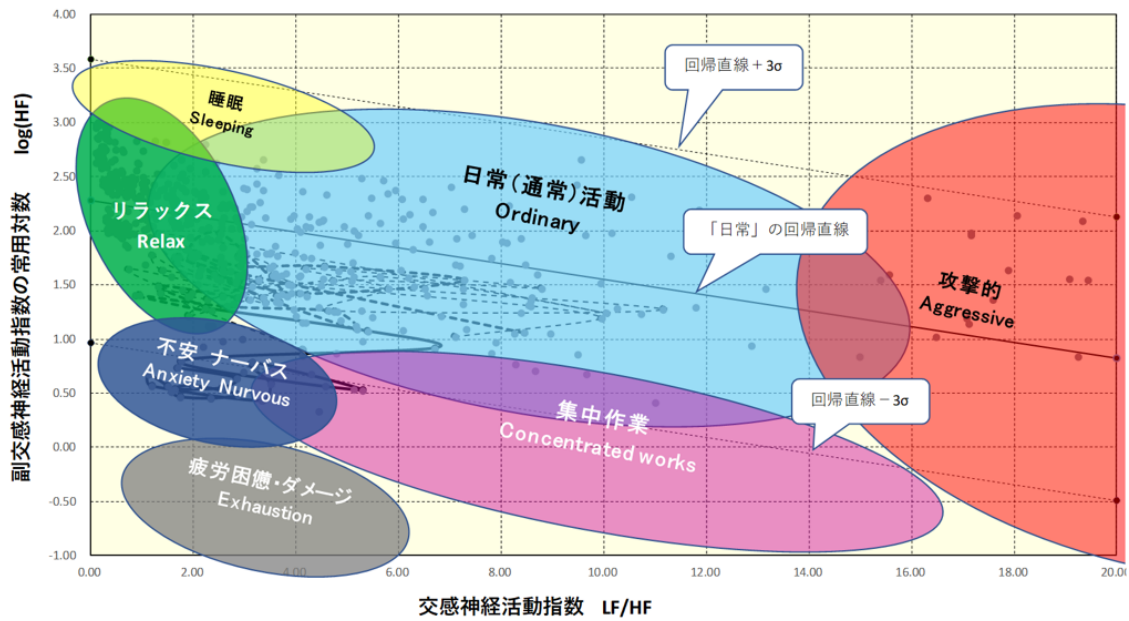


図 10 自律神経活動の二次元表示における、各領域が示す生理的・心理的な状態

示できるようになる。ウェアラブルデバイスの発達により、今後さらに多種多様なバイタルデータが収集できるようになってくるであろうが、ウェアラブルデバイスを（メディカル分野向けでは無く）、コンシューマー市場向けの製品として育てていくためには、このような工夫の積み重ねが必須であると思われる。もちろんドライバーの体調管理への応用は有力な用途となる。

2017年、豪州開催のWorld Solar Challengeにおいて、同じ道具立てにてソーラーカードライバーの心電計測実験を計画したが、心拍センサからのデータ通信に既存インフラを使っているためWi-Fi環境の無い豪州大陸中央部では実現困難と判断し断念した経緯がある。最近ではWi-Fi環境が改善されてきているので、是非実現させたいと考えている。ご興味のある方はぜひ筆者にお声がけを頂きたい。

最後に、本手法の開発に協力いただいたレーシングドライバー三浦愛選手、ならびに多くの被験者の皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) <https://ja.wikipedia.org/wiki/関越自動車道高速バス居眠り運転事故>
- 2) 国土交通省自動車局「新高速乗り合いバス」について、(2012.07)
- 3) 「商用車各社、自動ブレーキなど安全技術披露モーターショー」、日本経済新聞 (2013.11.21)

- 4) 「自動ブレーキ、トラック・バスに 歩行者保護へ義務付け」、日本経済新聞 (2022.11.26)
- 5) NEXCO3社、関越自動車道の高速ツアーバス事故を踏まえた安全対策を実施 (2012.05.23) <https://response.jp/article/2012/05/23/174883.html>
- 6) 大須賀美恵子、「ドライバモニタリング - ドライバ状態に応じた支援をめざして -」、交通安全環境研究所フォーラム 2013 招待講演資料、(2013.12.05)
- 7) 世古恭俊他、「覚醒度低下時の運転操作解析」、自動車技術会学術講演会予稿集 (春)、No 841 p 69、(1984.01.13)
- 8) 特公昭 62-34213、「居眠り運転警報装置」、(1983.02.18 出願)
- 9) 福井勝彦、「連続運転時における操舵機能低下の評価法」、豊田中央研究所 R&D レビュー Vol. 30 No. 3 (1995.09)
- 10) 杉山和彦他、「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 Vol. 31 No. 2 (1996.06)
- 11) 藤森充 他、「高速道路における自動車運転時の眼球運動」、第 37 回計測自動制御学会論文集、Vol.32, No.12, 1573/1580 (1996)
- 12) 恩塚誠 他、「画像処理を用いた自動車運転時の疲労評価」、精密工学会学術講演会講演論文集、(2003.03.26)
- 13) 大見拓寛、「画像センサによる眠気状態推定と

- ドライバーステータスマニターの開発」, DENSO TECHNICAL REVIEW, Vol.21 (2016)
- 14) 石原茂和 他, 「乗用車運転姿勢のモーションキャプチャーと筋骨格モデルによる身体負荷推定」, The Japanese journal of ergonomics, vol 44 (2008)
- 15) 渡辺他, 「自動車走行時における運転姿勢の筋骨格数理モデル作成に関する研究」, 日本大学生産工学部第 50 回学術講演会講演概要 (2017-12-2)
- 16) 特開昭 54-94789 車両用警告装置 (1978.01.12 出願)
- 17) 寺田佳久 他, 「脳波によるドライバー注意散漫状態推定技術の開発」, Panasonic Technical journal, Vol.57.No.3. (2011.10)
- 18) 例えば <https://www.kenpalinc.com/drivescore/>, <https://jp.ubergizmo.com/2019/08/28/11036/> など
- 19) 柳原雅俊 他, 「運転状態推定技術の開発 - 心拍解析による眠気状態の検出 -」, PIONEER R&D Vol.14 No.3 (2004)
- 20) 中野泰彦 他, 「ドライバの覚醒度検知技術」, FUJITSU.59.4,p416-420 (2008.07)
- 21) 中野泰彦 他, 「心拍センサーを用いた大型トラック運転中の覚醒度評価」, 自動車技術, Vol.46. No.3, (2015.05)
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jsaeronbun/46/3/46_20154422/_pdf/-char/ja
- 22) 前田郷司, “ウェアラブル・E-スマートテキスタイル (WEST) の年代記”, 繊維学会誌 2023 年 vol.79 No.2, (2023)
- 23) 大下淳一, 「[CEATEC 2014] 着るだけで心電を測れる「hitoe」をドコモが事業化」, 日経クロステック, (2014.10.08)
<https://xtech.nikkei.com/it/atcl/news/14/100801281/>
- 24) NTT データニュースリリース, 「インディカーレースでドライバーの生体情報を取得する実証実験を実施」(2016.01.28) <https://group.ntt.jp/magazine/blog/indycar/>
- 25) 東洋紡株式会社プレス発表資料 「東洋紡とユニオンツール, 居眠り運転検知システムを共同開発, フィルム状導電素材「COCOMI®」を使用」, (2017.01.11)
- 26) Solange Akselrod, et al, “Power spectrum analysis of heart rate fluctuation : a quantitative probe of beat-to-beat cardiovascular control”, Science, New Series, vol.213, No.4504 (1981.07.10)
- 27) 林博史編, 「心拍変動の臨床応用」, 医学書院, (1999.01.15)
- 28) 前田郷司, 「衣服型ウェアラブルデバイスによるバイタルデータ計測とその応用」, 5G 時代のデジタルヘルスとその事業化, 技術情報協会 (2022.09.30)
- 29) Satoshi Maeda, “Autonomic Nerve Activity Index Representation Method based on Heartbeat Information obtained from Wearable Devices”, PROCEEDINGS OF TBIS (2023.08.22)
- 30) 前田郷司, 「ウェアラブルデバイスでメンタルはどこまで読みとれるか?」, 月刊バイオインダストリー (CMC 出版), Vol.40 No.9, (2023.09.12)
- 31) 大江京子, 「熱中症発祥ゼロをめざした暑熱環境下における r 訓練時の安全管理に関わる研究～ウェアラブルセンシングデバイスを用いた体調モニタリングシステムの構築～」, 第 70 回防衛衛生学会抄録集, 防衛衛生 vol.72 別冊, (2025.02.07)

著者略歴



前田 郷司 (マエダ サトシ)

国立鈴鹿工業高等専門学校電気工学科から東京農工大学工学部電気工学科に編入学, 1983 年修士課程修了。同年, 東洋紡績株式会社 (現: 東洋紡) に入社し総合研究所に配属, 以来, 高分子材料のエレクトロニクス分野への応用開発に従事。2017 年から IEC/TC124 (wearable) 国内委員会幹事長, 同 WG2 (E-textiles) 国際主査。2023 年秋正規雇用終了後も引き続き東洋紡株式会社, および東洋紡エムシー株式会社に契約社員として勤務。2024 年 4 月から東京大学大学院情報理工学系研究科特任研究員, 2025 年 4 月から広島市立大学大学院情報科学研究科研究員を兼務。

ソーラーカー活動への参加は 2001 年 WSCC Malaysia から。以来, 国内外のソーラーカーイベントに参加。2015 年, 2017 年には中東開催の Unites Solar Challenge の審判員を務めた。Team Sunaleke 代表, 太陽能車考古学研究所主席学芸員