

生理指標を用いたドライバーのカーブ曲線における心理的負担の計測と安全性の検討

奥田 知貴¹・皆川 勝²

東京都市大学 工学部都市工学科 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1)

E-mail:g118026@tcu.ac.jp

東京都市大学教授 工学部都市工学科 (〒158-8557 東京都世田谷区玉堤1-28-1)

人々の交通事故対策への関心は高まっており、多くの対策が行われている。しかし、生理指標を用いて交通事故対策を検討した研究は少ない。平成25年度は前年度に比べ故の件数は減少傾向にあるものの、高速道路での死亡事故は後を絶たない。事故の大半はドライバーのヒューマンエラーによるものであり、疲労やストレスの負担などによってヒューマンエラーが起りやすい。本研究では高速道路および曲率部の運転時に生じるドライバーの負担を生体脈波を利用して評価していく。その際、道路環境の改善を検討する為に潜在的危険な箇所や道路構造を明確にし、ドライバーの運転時の負担と道路環境の問題との関係を検討する。

Key Words : mental load, stress, pulse wave, traffic accident, tiredness

1. 序論

(1) 社会背景

年々、交通安全への関心が高まり、事故の件数は減少傾向にあるものの、高速道路での死亡事故は後を絶たない。交通事故防止策には、AHSの導入や道路交通法の改正など挙げられ、また、土木工学の視点から考えた際にも、交通施設や道路周辺の景観の整備による前方の視認性の向上が考えられる。しかし、足立ら¹⁾によれば、高速道路内の交通事故対策としての路面標示でさえ、その有効性は明確にされていない。警察庁²⁾による平成25年度の高速道路での交通事故の統計は、前年度に比べ2.0%増の11520件、死者数は0.9%増の227人と共に増加した。さらに、高速道路は自動車専用道路のため、原則として上下線が分離されており、事故率は低いが高速走行のため、わずかな運転ミスが重大な事故につながる事が多い。このため、高速道路での致死率は高速道路における致死率(1.13%)は、高速道路以外も含めた交通事故全体の致死率(0.56%)の2.0倍となっている。また、図-1より発生地点別の発生状況を見ると、カーブでの事故は全体の3.0%となっているが、死亡事故の構成率が約16%と高く、死亡事故率の高さから、カーブでの事故は傷害が重くなりやすく、カーブ区間での交通事故対策は重要である。さらに、交通工学の分野でも、カーブ区間における事故率は直線区間に比較して高いとされており、過去の調査でも明らかになっている。これらの交通事故が発生する主な原因は、判断遅れや操

作ミスといった、ドライバーのヒューマンエラーが関連している。ドライバーのヒューマンエラーによる交通事故の割合は9割以上だと言われていて、実際に自動車を運転する際ドライバーは様々な道路環境によって疲労や緊張、ストレスなどといった負の影響を受ける。このように負の影響が加わり続けることはドライバーへの負担となり、認知や判断、操作といった運転行動に必要な動作や情報の伝達に大きな影響を及ぼしヒューマンエラーが発生しやすい環境になっている。そこで、本研究ではストレスや疲労といった生体情報を測定することが可能な生理指標の一つである容積脈波を二回微分した加速度脈波を用いて、ドライバーの負担の計測、評価する。

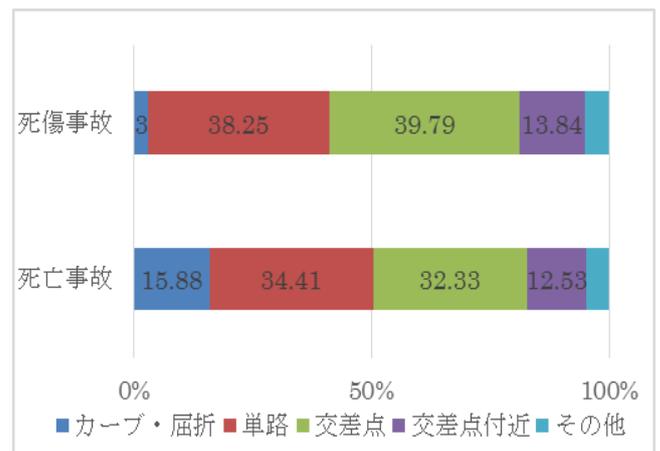


図-1 発生地点別の発生状況構成率

(2) 既往の研究

a) 運転が与える負担を把握するための研究

これまでも人間の内面への影響を生理的指標の生体情報を用いた研究が行われている。主な例として、内田ら³⁾は、高速道路の実走実験から得られたRR 間隔変動に着目した分析を行い、RR 間隔変動指標を用いて各個人において心理的負担量を表現した。また、事故の発生していない地点での潜在的な問題を指摘できる可能性を示した。平田ら⁴⁾は単調な走行条件では、特に単路部区間において意識水準の低下が生じ、意識水準の低下した状態で交通の乱れる地点に進入した場合、適切な回避行動がとれない危険性を示唆している。運転ストレスが血圧を含めた循環動態に及ぼす影響を確かめる実験⁵⁾や緊張度の測定とした心拍変動のパワースペクトル解析の検討⁵⁾なども行われている。岩倉ら⁶⁾はRRI変化率指標により長距離トリップに伴うストレスの蓄積を確認した。また、周波数解析により自律神経の活動を把握し、心拍変動を詳細に分析した。更に、原田ら⁷⁾は、生体脈波のカオス解析によって得られたリアプノフ指数により各イベントや道路ごとの乗り心地評価を検討し道路利用者の生体脈波を評価する方法が、道路の乗り心地を差別化する新たな評価方法として有効であると示した。これらは運転がどの程度の負担を与えているか把握するための研究されている。

b) 脈波のカオス性の把握、カオス解析に関する研究

清水ら⁸⁾はテストコースにおける異なる速度の走行実験および高速道路の実験の結果、最大リアプノフ指数はドライバーのメンタル負担状態の有効な指標であること示した。馬場ら⁹⁾はサロゲート法を用いて加速度脈波のカオス性を検証し、軌道平行測度法を用いて加速度脈波の解析を行った。これらは、脈波のカオス性の把握やカオス解析を用いた脈波の評価手法の研究である。ここで本研究では、簡易に測定が可能で、運転に影響を与えない「耳朶容積脈波」を株式会社TOAS研究所製の「Vital meter」(写真1)を用いて測定した。測定された容積脈波から加速度脈波を算出し、軌道平行測度法により評価した。



写真-1 生体脈波測定器具 (Vital meter)

(3) 本研究の目的

本研究では、ドライバーのカーブ走行時における負担の評価及び、交通環境による負担の評価を行うために、ストレスや疲労といった生体情報を測定することが可能な生理指標の一つである容積脈波を二回微分した加速度脈波を用いて、ドライバーの負担の計測、評価する。本実験では、実走行のため、簡易に測定が可能で測定器具装着時による影響が少ない耳朶容積脈波を株式会社 TOAS 研究所製の「Vital meter」を用いて測定した。被験者に対象のコースを実走行し、運転中の脈波データを分析する。その後、被験者に OD 式安全テストを実施し、ドライバーの個人特性別による違いがどのように生じるか検討し、その上で、カーブ走行時と直線区間での比較や走行時の構造特性別による負担の度合いや発生要因を分析し、運転者の生理状態へどのような影響を与えるか検討するのを目的とする。

2. 脈波

(1) 脈波について。

脈波とは、身体組織のある部分への血液の流入によって生じる容積変化を体表面から波形としてとらえたものを示し、血管運動反応をとらえる。脈波は中枢から末梢にいたる血行動態に関して多くの情報を含んでいる。末梢血管の運動を測定することによって、間接的に心電図 R-R 間隔と同様の意味を持つ情報が得られるとされている。測定された脈波からは、心拍数を数えるのみならず、波形を微分することや周波数解析をすることで多くの生体情報を得られると考えられている。容積脈波は、末梢血液循環状態を反映する検査の一つとしてばかりでなく、自律神経機能検査の一つとしても用いられてきた。しかし、容積脈波は、基線の不安定や波形の変曲点の起伏が乏しく、波高も低く、解析が問題視される。そこで、近年、佐野ら¹⁰⁾は、従来の容積脈波を時定数 0.01 秒で二回微分した加速度脈波(図-2)に変換し、容積脈波で問題視されてきた基線の安定と同時に波形の変曲点を強調し、血液循環動態の良否を判断することができることを明らかにした。

(2) 脈波の測定原理

脈波の測定は、指先や耳朶に近赤外光を皮膚表面から照射し、受光素子で透過光または反射光を検出する。透過光または反射光が測定部位に流れている血流量によって変化することを利用し、血流量の変化を電気信号に変換する。計測箇所は指先や耳朶がよく選ばれる。つまり、血流量の変化を電圧値として捉え、AD変換回路によって電圧値を数値化してExcelに表示する。脈波のサンプリング周期は0.01秒で横軸が時間、縦軸に血流量の変化を電圧として捉えた値で表現されている。

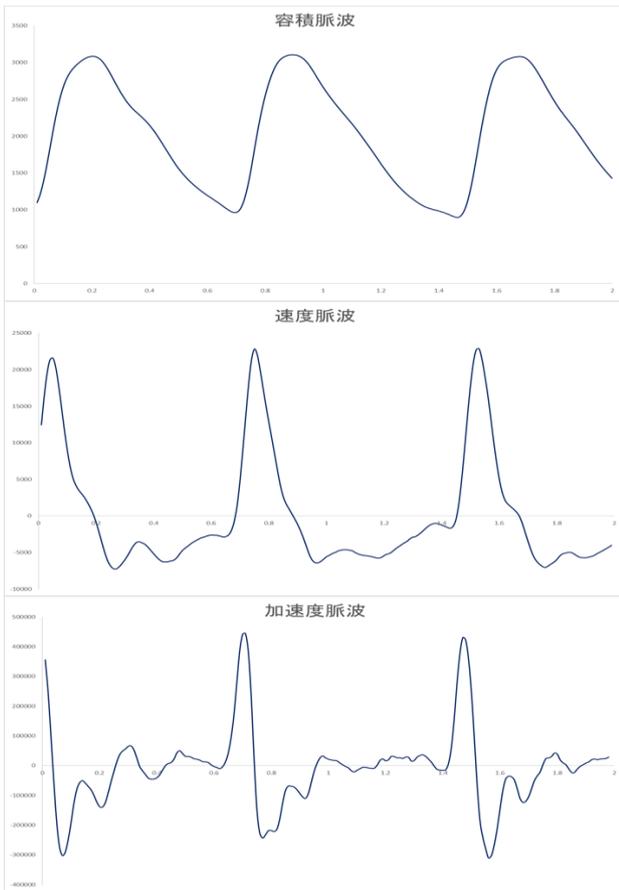


図-2 加速度脈波 波形図

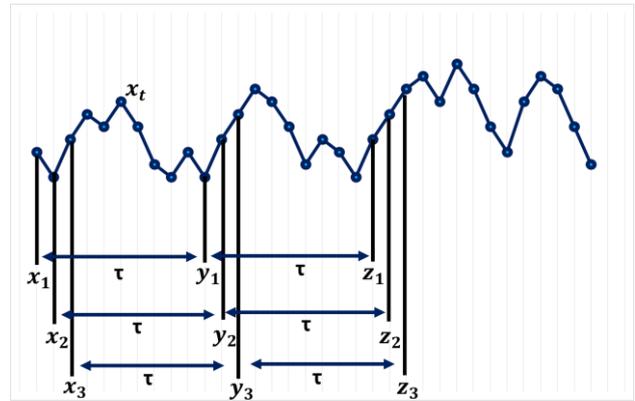


図-3 3次元における takens の埋め込み定理の概念図

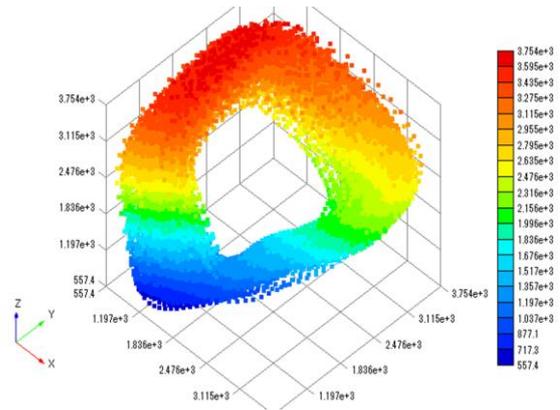


図-4 3次元の脈波アトラクタ図

3. カオス理論について

(1) 脈波のカオス性について

脈波の波形はカオス性を有することから一般的にカオス解析が用いられる。カオスとは非常に複雑な不規則かつ不安定な振る舞いをしているにもかかわらず、決定論的な法則から成り立っているものである。カオス解析では、Takens の埋め込み定理より時系列信号を時間遅れ座標系に生成し、アトラクタを構成する。カオス解析とは複雑な時系列を決定論的カオスの立場から解析することである。従来の線形理論に基づいた周波数解析では見ることが困難であった生体の全体論的特徴を時系列信号の不規則さを生み出す原因を排除することなく評価することができる。カオス時系列解析の目的は、対象となる時系列データからカオスの特徴の解析を行い、システムに内在する決定論的な特徴を解明することにある。そのため、周波数解析では生体信号の瞬間的特徴、静的情報を評価するに過ぎなかったが、カオス時系列解析を解析に取り入れることによって、生体を持つ動的情報を定量的に評価することができる。カオス解析の代表的な解析手法として、フラクタル次元解析、リアプノフスペクトル解析などがあり、対象の力学的特徴を評価するのに用いられる。本研究では、藤本らが提案した軌道平行測度法を用いて

Takens の埋め込み定理によって構成されたアトラクタの軌道の単位接ベクトルを導出して、近接する軌道の単位接ベクトルとの平行度を求める。この手法の特徴は、再構成した空間からある程度任意に埋込ベクトルをサンプリングし、それぞれの埋込ベクトルを基準とした局所空間における軌道のばらつきを統計的手法に基づいて指標とするものである。軌道のばらつきは、軌道における単位接ベクトルを求めるため時系列の観測周期に平行度があまり左右されない。適当な近傍数とサンプル数を設定するだけである。以下に具体的手法を示す。

(2) 埋込み定理

遅れ値を用いて、一定の時間遅れ毎の差分による時間の遅れ値(以下を遅れ値とする)による座標変換を用いる手法である。遅れ値とはアトラクタの軌道を描ために多次元状態空間に埋め込むときのパラメータである。ある時系列データを $x(t)$ とする。この時系列データを用いてベクトルをつくる。ベクトルを作る式は以下に示す。

$$(x(t), x(t-\tau), \dots, x(t-(n-1)\tau))$$

ここでの式では、 τ が遅れ値で n が次元数、 t が時間になる。このベクトルを n 次元状態空間に順次プロットしていくと軌道が描かれる。図3は3次元状態空間にアトラクタを再構成する場合に対する埋め込みの例である。

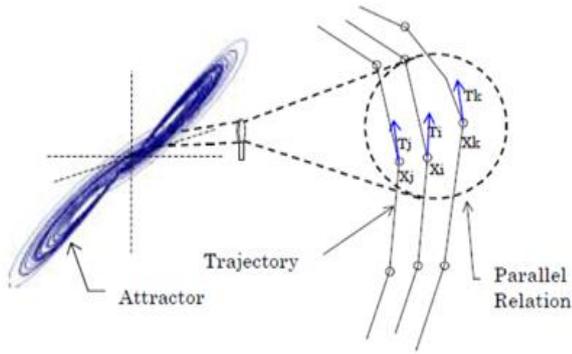


図-5 軌道平行測度法概念図

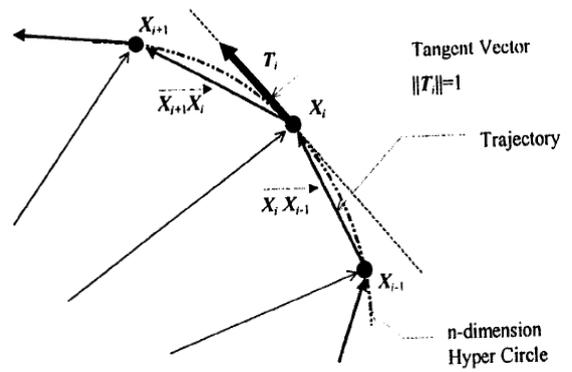


図-6 単位接ベクトル

(3)軌道平行測度法9)

多次元状態空間に再構成された時系列は、それが決定論的カオスであれば、軌道は安定した構造を持つアトラクタに閉じこめられる。多次元状態空間に埋め込まれた時系列の任意のデータベクトルと、その近傍空間内でのデータベクトルの軌道に対する正接単位ベクトルの方向は、理想的な決定論に基づく時系列であればほぼ同一方向であるが、確率過程系の場合ではランダムとなる。この性質を利用して決定論に基づく時系列と、確率過程に基づく時系列の分離・識別を把握するための測度が軌道平行測度法(TPM:Trajectory Parallel Measure)である。評価値として算出する軌道平行測度は、0から1の値である。0に近いほど近傍空間のベクトルが統計的に同じ方向にあるということになり、決定論的な位相構造であると言える。逆に、結果が0.5に近いほど近傍空間の軌道ベクトルが各々直交でありその位相構造は確率過程的であると考えられる。

(4)軌道平均測度導出

再構成した軌道から埋込ベクトル $X_i=(x(t), x(t-\tau), \dots, x(t-(n-1)\tau))$ を選び、そしてユークリッド距離において埋込みベクトルに近い m 個の近傍ベクトル X_j を選択する。次に埋込みベクトル X_i と近傍ベクトル X_j の軌道に対するそれぞれの単位接ベクトル T_i と T_j を導出する。単位接ベクトル T_i の導出は選択した点 X_i とその前後の点の3点を通る超円を想定し近似的に導出する。同様に、 T_j を求める。

Step 1. X_i と X_{i-1} における法線ベクトル K_i , X_i と X_{i+1} における法線ベクトル K_{i+1} を求める。

Step 2. K_i と K_{i+1} との交点 C_i を求める

Step 3. X_i と C_i との相関ベクトル L_i を求める

Step 4. 相関ベクトル L_i に直交する単位接ベクトル T_i を求める

$$||T_i|| = ||T_j|| = 1$$

こうして求められた単位接ベクトル T_i を基準としたときに、近傍ベクトルの単位接ベクトル等の方向のばらつきを式 (1) により求める。

$$\gamma_i = \frac{1}{4m} \sum_j^m ||T_i - T_j||^2 \dots (1)$$

γ_i : 局所空間における平行度

m : 近傍ベクトル数

T_i : 抽出したデータベクトル X_i の単位接ベクトル

T_j : 近傍ベクトル X_j の単位接ベクトル

この処理をアトラクタ全体からランダムに k 個サンプリングした局所空間について行う。次にそのアトラクタ全体の軌道の平行度の平均を式 (2) により求める。近接ベクトルが全く平行であれば軌道平行度は0 (決定論的法則), 直行すれば0.5 (確率論的法則) となる。これまでの検討による健常的な加速度脈波平行度値 (平均値) は中間値である0.09~ 0.14 の範囲に入る10)。例えば、これより高値であれば血流にランダム性が加わったことを意味し、循環不全や動脈硬化などが疑われる。また、低値をとれば交感神経緊張状態などで脈波が単純化していることを示す。

$$\Gamma = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k |\gamma_i| \dots (2)$$

Γ =軌道平行度

K =サンプル数



図-7 首都高速4号新宿線上路（永福～外苑）



写真-2 Vital meter装着時



図-8 車載映像

4. 実験の概要

(1) 調査地点

本研究では、道路線形等の交通環境とドライバーの行動の関係を明確にするために、道路間環境が比較的単純化されている高速道路を対象とする。その中で、平成25年度事故件数1位の首都高速道路とし、以前から事故が多

かった参宮橋付近のカーブを含む首都高速新宿4号線上路(永福～外苑)(図-7)約7kmを調査対象とする。また、天候による路面状況の変化が測定結果に大きく影響すると考えられるため、今回は全ての実験を晴天時に行った。この路線は、前半比較的長い直線(図8)が続き、後半は新宿付近のカーブや参宮橋付近のカーブといった事故率の高い曲線部を含んだコースである。

(2) 実験条件

本研究では、大学生22歳～23歳の8名を対象とした。同世代を対象とすることで、年齢によって生じる脈波のばらつきを小さくするためである。今回の近傍ベクトル数は3、埋込み次元を3、遅れ時間を10、アンプリング数を3とした。以下に実験における条件を示す。さらに、実験後に株式会社電脳自己診断OD式安全テストを実施した。このテストでは30の質問から6つのパターンに分類することができる。

- 車線変更を行わない
- 前日の睡眠時間は6時間以上
- 前日飲酒をしていない
- ピアスやネックレスとの貴金属は外す
- 車内温度の調整

これらの理由として、車線変更を行うにあたってドライバーはより多くの道路環境情報を得る必要があるため、必要以上の負担がかかると考えられる。また、睡眠不足による運転は、睡魔によって安全走行の妨げになると同時に、脈波に影響が出てしまうため前日6時間以上の睡眠をとる。人によってはお酒の大量摂取により翌日までアルコールが残る人がいるため前日飲酒をしていない。さらに、写真-3に示すように脈波測定器は耳に装着するため測定時にセンサー部分が直接皮膚に接するようにピアスやその他貴金属を外し、髪を挟まないようにする。実験時間を設定した理由として、日によって違いはあるものの、平日では7時から11時、17時から18時は比較的に交通量が多いためである。車内温度の調整の選定理由として、過度な寒さや暑さはストレスを受ける外的要因の一つと考えられるため一般的に不快に感じないと言われている、温度25～27℃に設定した。

(3) コースの特徴

実験は首都高速4号新宿線の永福～外苑の約8.3kmとする。このコースの特徴として交通量は少なく図-8のように前半は長い直線が続き、周りに高いマンションや、ビルが立ち並んでいる。また、左側は基本的に防音壁が連続しており、直線部での解放感はあまりないと言える。後半は図-9,10,11,12のような急なカーブが多いため、様々な交通安全対策施設が設置されている。以下にカーブ1,2,3,4の特徴を示す。

表-1 各カーブの特徴

| | 曲線方向 | 半径(m) | 曲線先の視認性 | カーブ情報の獲得 | 特徴 |
|------|------|-------|---------|-----------------------------|-----------------------|
| カーブ1 | 右 | 85 | 普通 | 注意喚起カラー舗装,カーブ警戒ゼブラ板,大型注意喚起板 | 曲線先が合流となっている |
| カーブ2 | 左 | 88 | 悪い | 注意喚起カラー舗装,カーブ警戒ゼブラ板,大型注意喚起板 | 壁面が高くカーブ先の視認性が悪い |
| カーブ3 | 右 | 157 | 普通 | 注意喚起カラー舗装,カーブ警戒ゼブラ板 | 奥の構造物によってカーブ方向の予測が可能 |
| カーブ4 | 左 | 74 | 悪い | カーブ警戒ゼブラ板 | 奥の木によって次のカーブ方向の予測が可能. |



図-9 カーブ1車載映像



図-11 カーブ3車載映像



図-10 カーブ2車載映像



図-12 カーブ4車載映像

● 写真-4(カーブ1)

半径85mの右カーブになっている。カーブ走行時に右の壁が金網状になっており,低いいため曲線先を確認しやすい。このカーブでは,注意喚起カラー舗装,カーブ警戒ゼブラ板,大型注意喚起板など様々な交通安全対策施設が設置されている。

● 写真-5(カーブ2)

半径88mの緩やかな下り左カーブになっている。左側の防音壁によってカーブ走行時に曲線先の視認が困難になっている。このカーブでも写真-3同様に,様々な交通安全対策施設が設置されている。

● 写真-6(カーブ3)

半径約157mの右カーブになっている。カーブ走行時に右はガードレールで低いので曲線先を確認しやすい。このカーブでは,注意喚起カラー舗装,カーブ警戒ゼブラ板,が設置されている。また,奥パーキングエリア内の建物によって次のカーブ方向が予測しやすい。

● 写真-7(カーブ4)

半径約74mの左カーブになっている。カーブ走行時に左側の防音壁によってカーブ先の視認性が困難である。このカーブでは,カーブ警戒ゼブラ板が設置されている。また,奥の木によって次のカーブ方向が予測しやすい。

表-2 対象コースの軌道平行度

| | コース全体平均 | カーブ1 | カーブ2 | カーブ3 | カーブ4 | 運転頻度 |
|---|---------|-------|-------|-------|-------|--------|
| A | 0.204 | 0.164 | 0.436 | 0.249 | 0.086 | 月1(3年) |
| B | 0.196 | 0.181 | 0.208 | 0.307 | 0.233 | 月1(3年) |
| C | 0.186 | 0.080 | 0.144 | 0.195 | 0.139 | 月1(3年) |
| D | 0.209 | 0.118 | 0.267 | 0.22 | 0.317 | 週2(4年) |
| E | 0.203 | 0.154 | 0.266 | 0.246 | 0.238 | 週1(1年) |
| F | 0.390 | 0.355 | 0.478 | 0.403 | 0.346 | 週1(3年) |
| G | 0.162 | 0.026 | 0.116 | 0.345 | 0.354 | 週1(3年) |
| H | 0.178 | 0.169 | 0.298 | 0.236 | 0.138 | 週1(4年) |

表-3 コース全体の平行度を1にした場合の各カーブの平行度の比較

| | コース全体平均 | カーブ1 | カーブ2 | カーブ3 | カーブ4 | 運転頻度 |
|---|---------|-------|-------|-------|-------|--------|
| A | 1 | 0.804 | 2.137 | 1.221 | 0.422 | 月1(3年) |
| B | 1 | 0.923 | 1.061 | 1.566 | 1.189 | 月1(3年) |
| C | 1 | 0.430 | 0.774 | 1.048 | 0.747 | 月1(3年) |
| D | 1 | 0.565 | 1.278 | 1.053 | 1.517 | 週2(4年) |
| E | 1 | 0.759 | 1.310 | 1.212 | 1.172 | 週1(1年) |
| F | 1 | 0.910 | 1.226 | 1.033 | 0.887 | 週1(3年) |
| G | 1 | 0.160 | 0.716 | 2.130 | 2.185 | 週1(3年) |
| H | 1 | 0.949 | 1.674 | 1.326 | 0.775 | 週1(4年) |

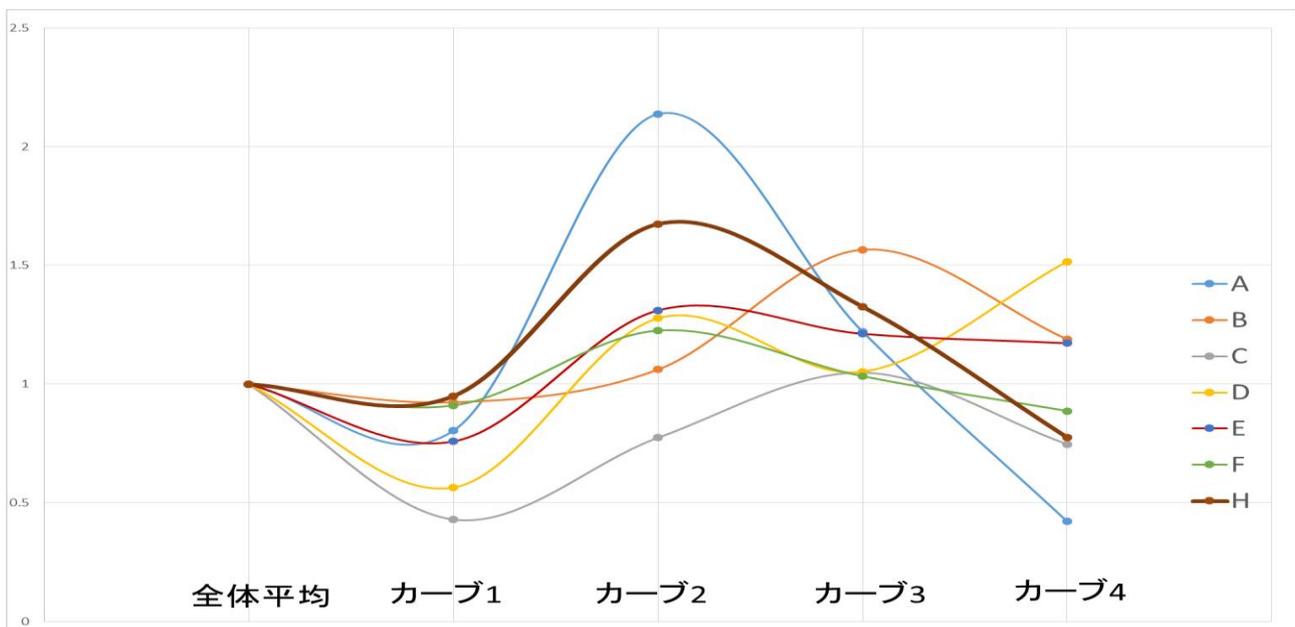


図-13 被験者ごとの各カーブの比較

5. 実験結果

(1) 対象コース全体とカーブとの比較

対象コースの走行試験によって得られた8名のコース全体の軌道平行度の平均および、各カーブ区間の軌道平行度の平均の結果を表-3に示す。また、対象コース全体の平均を1とした場合の各カーブの比較を表-4に示す。表-3、表-4より個人差はあるものの、全ての被験者がカーブ3での軌道平行度が増加していることが読み取れる。カーブ3は、奥のパーキングエリア内の建物やマンションやビルなどからカーブの方向を予測することが可能だが、カ

ーブ1,2のようにカーブ進入前までのカーブを知らせる情報が少ない。さらに、カーブ2の直後に来るためドライバーに余裕が持ていたため高い傾向を示すと考えられる。また、被験者の多くがカーブ2での軌道平行度が増加傾向にあると読み取れる。カーブ2は、半径が88mと小さく、左カーブのため左車線を走行していると、カーブ先の見通しが悪く、前方の状況を把握できない時間が長く続くことがドライバーへの負担となり、軌道平行度が大きくなったと考えられる。このことから、カーブ2, 3のようにカーブ先の見渡せない道路構造や道路安全施設対策設置の有

表-4 OD式安全テストによる評価値

| | 情緒不安定性 | 衝迫性・暴発性 | 自己中心性 | 神経質・過敏性 | 虚飾性 | 不安全態度 |
|---|--------|---------|-------|---------|-----|-------|
| A | 5 | 2 | 1 | 3 | 4 | 0 |
| B | 2 | 4 | 0 | 5 | 4 | 3 |
| C | 5 | 1 | 1 | 5 | 3 | 2 |
| D | 3 | 2 | 4 | 1 | 4 | 1 |
| E | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| F | 2 | 2 | 1 | 2 | 3 | 0 |
| G | 2 | 2 | 3 | 5 | 3 | 1 |
| H | 5 | 5 | 3 | 2 | 4 | 0 |

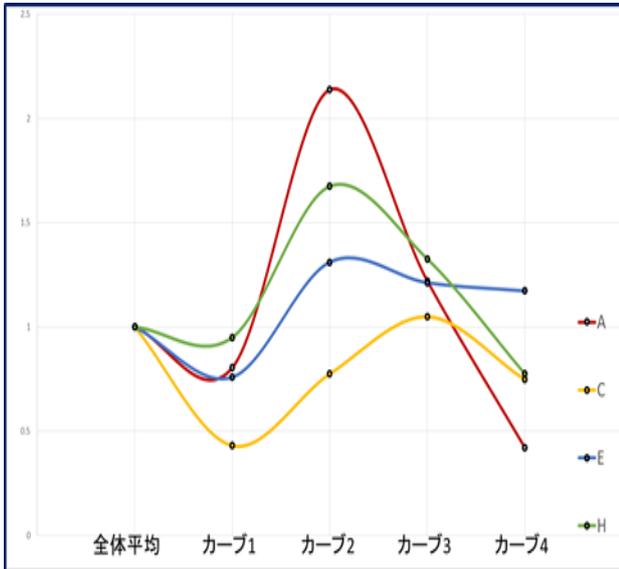


図-14 情緒不安定性有り被験者の各カーブ比較

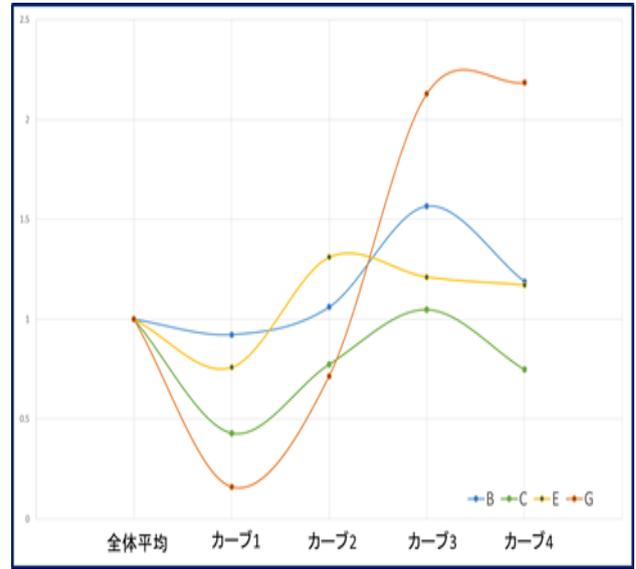


図-15 神経質・過敏性有り被験者の各カーブ比較

無は、ドライバーへの負荷に影響を与えることが考えられる。反対にカーブ1は被験者全員の軌道平行度がコース全体の平均より小さな値を示している。カーブ1の半径は85mと小さいが、曲線先の視認性の良さや、様々な交通安全対策施設によるカーブの情報提供が早い段階でドライバーに送られるため、負担なく走行できていると考えられる。さらに、カーブ4では、軌道平行度が大きく増加する被験者と、小さく変化する被験者が得られた。カーブ4の構造は比較的にカーブ2に似ているが、通過時間が約5秒~6秒と短い。この結果から、実走行のため、道路環境による変化や個人差はあるものの、カーブ2、カーブ3のように道路構造や施設の設置の有無、走行時間などがドライバー負担に影響を与えたと考えることができる。

(2) 特性別対象コース全体とカーブとの比較

実験後に行ったOD式安全テストによって得られた結果を表-4に示し、被験者を特性別に分類を行う。今回のOD式テストでは、6つの項目の中にある5つの質問の内、4つ以上当てはまる場合をその特性を持っていると考え、被験者が4名以上いることを条件とした。当てはまる被験者が4人いた情緒不安定性と神経質・過敏性による各カーブの変化を図-14、図-15に示す。

a) 情緒不安定群

情緒不安定性のもつ被験者はA,C,E,Hである。図14より情緒不安定性をもつ被験者は、被験者Cを除きカーブ2での軌道平行度の値が他のカーブに比べ高くなりやすい傾向にある。また、被験者AとHでは、傾きに大きな差がある。情緒不安定性有りの被験者がカーブ2での軌道平行度がより高くなる理由として、見通しが悪く、前方の状況を把握できない時間が長く続くことがドライバーへの不安を煽るため、情緒不安定性の無い被験者に比べ軌道平行度が比較的に高い値を示すと考えられる。

b) 神経質・過敏性群

神経質・過敏性を持つ被験者はB,C,E,Gである。表-3、図-15より神経質・過敏性持ちの被験者はカーブ3での軌道平行度が神経質・過敏性の無い被験者に比べ高い値を示す。また、表-3より被験者Cを除く3人の被験者の軌道平行度がカーブ4で高い値を示している。神経質・過敏性有りの被験者がカーブ3で高くなる理由として、カーブ3がカーブ2の直後に来るため周囲の環境の変化に敏感なドライバーは余裕が持たず、高い傾向を示すと考えられる。また、同様に、カーブ3の直後に来るカーブ4で軌道平行度が高い値を示す傾向にあるのも、同様のことが言えると考えられる。

6. 考察

今回の実験で、軌道平行度が高くなった地点は、カーブ2のようにカーブ先の見通しが悪い地点であったり、カーブ3のように注意喚起カラー舗装、カーブ警戒ゼブラ板、大型注意喚起板などの交通安全対策施設が設置の少なく、事前のカーブへの情報が少なくなるような箇所では軌道平行度の増加が確認された。さらに、カーブ3のようにカーブ直後に続くカーブなどは、ドライバーの余裕が持てないため高い傾向を示すと考えられる。そのため、ドライバーの視点から前方の状況を視認しやすい道路構造や目視できる周囲の景観がドライバーの生理状態、心理状態に大きく影響していると考えられる。また、情緒不安定性を持つ被験者の多くがカーブ2での軌道平行度が最大なる理由としてカーブ先の見通しが悪く、前方の状況を把握できない時間が長く続くことがドライバーへの不安を煽るため、負担が大きくなることと考えられる。また、神経質・過敏性を持つ被験者がカーブ3での軌道平行度が最大なる理由として、周囲の変化に敏感なドライバーは、神経質・過敏性を持たない被験者に比べ余裕が持てない道路環境は負担が多くかかると考えられる。そのため、カーブ3の直後に来るカーブ4の軌道平行度が高くなる被験者には神経質・過敏性持ちの被験者が多いと考えられる。以上のことから、OD式安全テストによる被験者の特性別分類を行い、各カーブ区間における特性別の軌道平行度変化の違いを比較することで、特性別によって負担が増加しやすい環境を把握できると考えられる。

7. 今後の課題

今回の実験では、各被験者の走行時の交通環境について考慮していないため、今後調べる必要がある。また、現在、被験者が8名と少ないため、実験の精度が荒く、OD式安全テストによる特性別の分類も困難な状況であるため被験者を増やす。さらに、本研究で用いた、軌道平行測度法とは、近傍ベクトルの近傍数やサンプリング個数、埋め込み定理の時間遅れ値の設定を変化することで値が変わるので検討していく。

8. 参考文献

- 1) 足立幸郎,藤井康男,山田幸一朗,中村裕樹:シークエンスデザインを用いた速度抑制対策とその実験的検証,土木学会論文集,D.Vol.66,No.1,27-39,2010.1.
- 2) 平成25年中の交通事故の発生状況:警察庁
- 3) 屋井鉄雄 内田智也 大橋正樹: . 高速道路走行における心理的負担の計測と安全性評価に関する研究,平成12年度都市計画論文集,pp541-546
- 4) 平田輝満,飯島雄一,屋井鉄雄:都市内地下道路における運転者の意識水準低下に関する分析,土木計画学研究論文集, Vol.21,No.4, 2004.9.
- 5) 川村光生:運転中の血圧モニタリング,医学と工学からみた交通安全対策, pp53-58, 1995日本交通医学工学研究会
- 6) 西脇正倫・岩倉成志・安藤章:長距離トリップに伴う運転ストレスの測定,土木計画学研究・論文

集,No.18,No.3,pp.439-444,2001年9月

- 7) 原田隆郎,横山功一:生体脈波を用いた道路の乗り心地評価に関する基礎的研究,土木学会論文集, Vol.68,No.1,pp.40-51,2012.
- 8) 清水俊行・苗鉄軍・下山修:指先脈波のカオス分析用いたドライバーの心身状態の定量化,ヒューマンインターフェース学会研究報告集,Vol.6,No.1,pp.97-99,2004
- 9) 馬庭芳朗:複雑系科学のカオスと可視化のSOMを用いた新しい健康評価法に関する研究
- 10) 佐野裕司, 片岡幸雄, 小山内博ほか:加速度脈波による血液循環の評価とその応用. 労働科学61 : 129-143, 1985
- 11) 藤本泰成,五百旗頭正,谷村隆義:観測された時系列データの決定論的性質を測る軌道平行測度法 日本ファジィ学会誌9(4), 580-588, 1997-08-15

The curve curve driver with physiological indices
Study of measurement and safety of the psychological burden that can be placed

Okuda Tomoki -Minagawa Masaru

Interest in people traffic accidents is increasing, many countermeasures have been made. However, studies have examined traffic accidents using a physiological index is small. Although the 2013 fiscal year the number of late compared to the previous year on a declining trend, fatal accidents on highways unending. The majority of accidents are due to human error of the driver, human error is likely to occur, such as by load of fatigue and stress. In this study, will load the driver occurring during operation of the highway and the curvature portion is evaluated by using a biological pulse wave. At that time, to clarify the potential hazardous areas and road structures in order to consider the improvement of the road environment, consider the relationship between the driver of a burden and the road environment