

生理指標を用いた山間部の道路における ドライバーの心理的負担の計測および評価

学生氏名 岡 大志¹
指導教員 皆川 勝²

¹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:g1318019@tcu.ac.jp

²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)

今日、交通安全に対する関心が高まっているなか、警察庁や各自治体、都道府県警察が交通事故対策として様々な取り組みを行っている。その結果、全体的な交通事故は減ってきているものの、山間部など道路が複雑な線形を描きやすい箇所においては依然として事故が多い。事故の多くはドライバーのヒューマンエラーによるものであり、またヒューマンエラーとは疲労やストレスの負荷などから起因するものである。脈波により疲労やストレスが測定できることに注目し、本研究では山間部のカーブや起伏での事故が多いことに焦点を当て、山道における走行がドライバーに与える影響を生体脈波を用いて評価していく。その際、道路環境の改善を検討するために潜在的な危険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的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

人類が文明を発達させるうえで不可欠であったもの一つに「交通」が挙げられる。古代からある五街道をはじめ自動車は狭く地形の変化に富んだ日本の道には大変適していた。現在日本における国内輸送における割合が自動車が六割以上を占めていることも我が国の自動車の重要性を裏付けているだろう。一方高度経済成長期を経て自動車がますます国民生活に浸透していくにしたがって深刻化していった問題に交通事故があげられる。警察庁の平成27年度の交通事故発生状況¹⁾の統計によると、平成27年の死者数は4117人、負傷者数は66万人以上おり交通事故の対策はいまだに必須の課題と考えられる。

各地方自治体、都道府県警察が交通事故対策として様々な取り組みを行っている。また自動車メーカーも自動車そのものの事故に対する安全性や、事故を起こさないための走行性能を大きく向上させてきた。前者は道路標示や標識の新設、道路そのものの改善、後者は歩行者用エアバックやクラッシュブルゾーンの確保、自動ブレーキなど運転支援システムが良い例である。道路状況や自動車の性能の向上、年々高まる交通安全

への関心により全体的な交通事故件数は減ってきているものの、部分的に交通事故の発生しやすい場所や時間帯などが存在する。なかでも山間部のカーブの連続区間で発生する事故は依然として多く、大きな事故になりやすい。警察庁や各都道府県警察、自治体などは交通事故防止策として様々な取り組みを行っており、事故多発エリアの最寄り警察署による注意喚起など行われている。

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場合が多い。ヒューマンエラーとはドライバーの

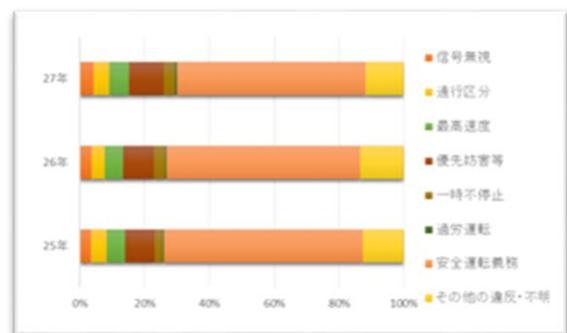


図-1 過去三年間の事故原因

不注意や安全確認の怠り、操作ミスにあたる。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おり、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用いて、ドライバーの負担の計測、評価する。

(2)既往の研究

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²⁾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³⁾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。岩倉ら⁴⁾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⁵⁾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、道路の乗り心地を区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。清水ら⁶⁾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。ここで本研究では、簡易に測定が可能で、自動車の操作に影響を与えない「耳朵容積脈波」を株式会社TOAS研究所製の「Vital meter」(写真-1)を使用した。また電源、測定器の操作手段としてタブレット端末であるASUS、Google製「Nexus7」(写真-1)を用いた。測定された容積脈波からリアプノフ指数を算出し、評価した。

(3)本研究の目的

本研究では、ドライバーの走行時における心理的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



写真-1 生体脈波測定器具
(Nexus7:左 Vital meter : 右)

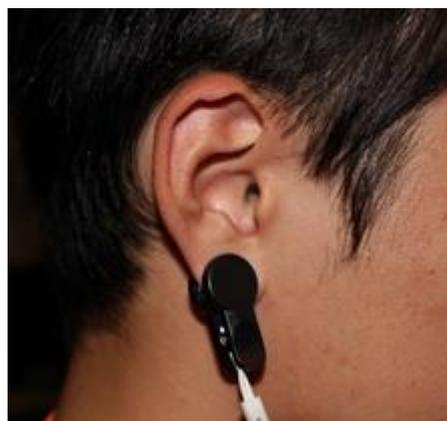


写真-2 Vital meter 装着時

能な生理指標の一つである容積脈波を用いて、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朵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。また安静時の状態も測定し運転そのものが脈波に与える影響を調べる。また運転経験などのアンケートを行いドライバーの特性違いによる道路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. 脈波と脈波から得る生理指標

脈波についての説明やどのように測定するのか、また測定された脈波からどのようにリアプノフ指数と心拍数を出すのか次にまとめる。

(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。

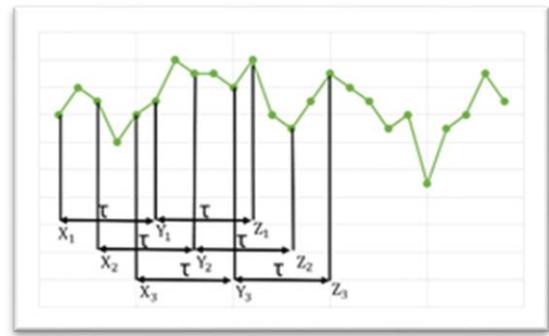


図-3 ターケンスの埋め込みの概念図

(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、A/D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。

また、脈波は光を皮膚に当て測定することからスマートフォンのライトを応用した脈波の簡易測定アプリも登場している。今日において脈波の存在は以前よりも確実に身近になっている。

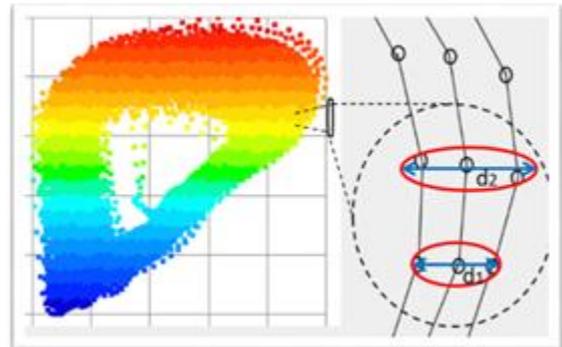


図-4 アトラクタとリアプノフ指数の概念図

(3)カオスとは

カオスとは、システムの状態遷移規則が決定論的であるにも関わらず、システム自体の非線形性によって確率率と等価な複雑さを生み出す現象のことを指し示す。またカオスは、方程式等によって対象の状態を決定論的に記述できるにも関わらず、その様相は法則性が見いだせず、ランダムネスのような非常に複雑な挙動を示す。しかし、近年、カオス理論の発展とともに、生体信号におけるカオス情報の存在が明らかになり、それらを定量化することから、人の生理・心理状態を推定するカオス解析の有効性が様々な実験により証明されている。

(4)takensの埋込み定理

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。

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

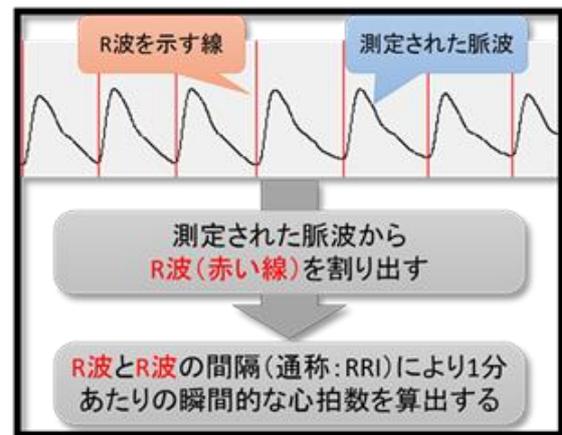


図-5 心拍数の算出方法

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。

(5)リアプノフ指数⁷⁾

測定された脈波を解析する際に点で構成されるアトラクタと呼ばれる幾何学的な構造をなす図形ができる。(図-4)リアプノフ指数とはアトラクタにおいて近接した2点から出発した軌道がどれくらい離れていくかを測りその軌道幅の時間的な変動を数値化したものである。

つまりリアプノフ指数とはアトラクタの複雑さを示しており、脈波から作られるアトラクタは脈波そのものの複雑さを示している。したがってリアプノフ指数が大きい状態とは、アトラクタにゆらぎが生じており、脈波が不安定であると言える。一方リアプノフ指数が小さい状態とは脈波は安定状態にあると言える。

(6)心拍数について

一定の時間内に心臓が血液を送り出すために収縮する拍動する回数を言う、通常は一分当たりの回数で示す。一般的に安静時の成人の心拍数は一分あたり 60～80回で個人差があり、若い人はやや高めで高強度なスポーツをやっている人は低めである。心拍数が一番低いのが起床直後で運動やストレスに増加する。専用の機械で測定できるほか体一つでも簡単に測定できるため、スポーツ選手のトレーニングや日常のストレスの測定まで様々なところで応用されている。本研究では Vital meter を用いて測定される脈波から R 波を割り出し R 波の間隔から瞬間心拍数を出している。

3. 映像による予備実験

(1)実験目的

脈波の有用性を確認すべく予備実験を行った。この実験では被験者に気軽に参加できるように車載カメラで撮影した映像をプロジェクターに映し、それを視聴する方法をとった。動画の視聴時間は約15分、外部の刺激による脈波のばらつきをできる限り小さくするために外の音や光の入りにくい室内で行った。また今回の動画撮影には株式会社エフ・アール・シー社製のFT-DR Megaを使用した。

(2)撮影コースとその特徴

撮影地点は全部で3カ所、昼夜撮影の計6本である。一本当たりの撮影時間は2分ほどである。



写真-3 FT-DR Mega



写真-4 撮影コース (上から 1, 2, 3)

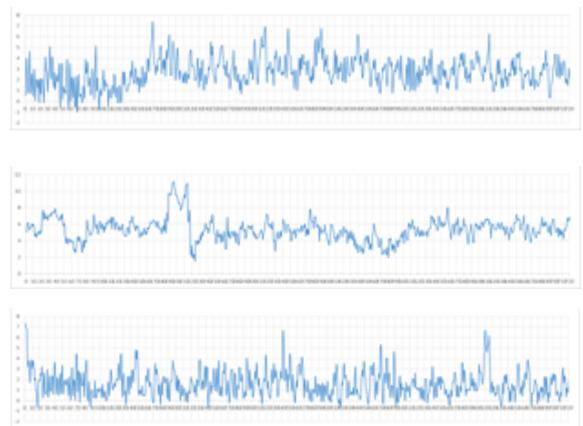


図-5 リアプノフ指数の波形

撮影コース1は山あいにある集落の中である、中央線のないところもありやや狭い。しかしながら大型路線バスも通過するなど圧迫感のある道路となっている。途中、T字路による一時停止はあるが信号はない。

撮影コース2は山間部において多くある連続カーブである。途中、民家等の建造物はない、信号もない。

撮影コース3は2分の間に6個のトンネルを通過する。わずかにカーブが生じているがほぼまっすぐである。途中分岐点、建造物はない、したがって信号もない。



写真-5 196秒付近



写真-6 317秒付近

(3)実験結果と考察

図-5は今回協力してもらった3人の被験者の波形をまとめたものである。横軸は時間で縦軸はリアプノフ指数、グラフは時間の移り変わるごとのリアプノフ指数を示している。このグラフから3人共通で値が高くなっているところを抜き出し検証した。

・コース1の夜間（196秒付近）

集落を抜けた直後となっている。道路照明はなく前照灯の照らす範囲以外は何も見えない。また全体的に上り坂でありロービームの照らせる範囲がかなり狭い。視覚の狭さにより警戒感が高まり値が上昇したと考えられる。人によってはある程度開けたとこにでるまで高い値が続く場合もあった。

・コース2の昼間（317秒付近）

最初の左カーブを曲がった直後の見通しの悪い右急カーブに差し掛かったところである。急カーブによる緊張の高まりによりリアプノフ指数の値が上昇したと思われる。夜間の同地点は反応はさほど強くなく、理由として夜間では前照灯の範囲しか見えないことからスピード感が感じにくく、一方で昼間であると迫りくるガードレールと流れる景色がスリルを増していると考えられる。

・映像から暗転への切り替わり（614秒付近）

コース3の昼が終わり暗転した画面の切り替わりであ

る。画面の切り替わりでリアプノフ指数の値は高くなることが多い、とくに単調な画面が続いているなか突然切り替わったので高くなったと考えられる。

今回の実験で脈波自体の有用性は確認できたが、614秒付近の結果から、動画視聴の場合どうしても場面の切り替わりなど画面の影響が大きく出てしまうことが分かる。

4. 実走行による予備実験

(1)実験目的

映像による実験の利点としては誰でも気軽に実験に参加することができること、したがって被験者の数を確保しやすいことである。先の予備実験により脈波の有用性を確認することができたが、映像の切り替わりでストレスを検知してしまう、というような映像を使用した実験特有の問題が生じてしまうことが分かった。このような問題を排除するには実際に運転し測定する他ない。そこで今回は実走行を行う本実験におけるリハーサルと Vital meter で測定できる一般的な生理指標の一つである心拍数の有用性の有無の確認を目的とした2回目の予備実験を行った。

(2)調査地点

神奈川県道64号線のサックス津久井宮ヶ瀬店～清川村道の駅の約11kmの区間である。選んだ理由としては起伏・カーブ等の運転技術に関わる部分。一時停止、信号等の他車との関わりや危険予測に関わる部分。橋、トンネル等の道路構造に関わる部分など多くの要素を含んだ道であるためである。また交通の流れも良く安定した運転ができることも選んだ理由の一つである。

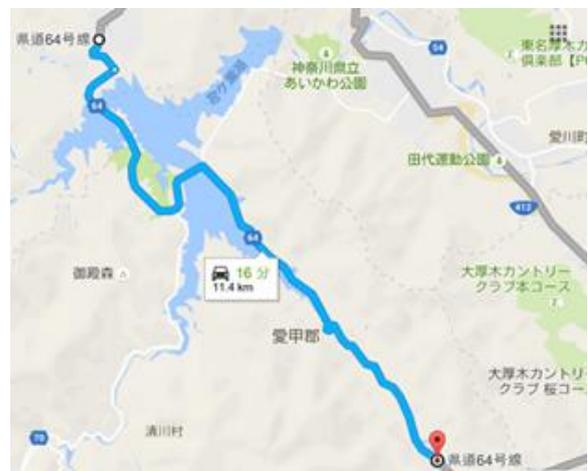


図-6 予備実験の実施コース

(3)実験内容

被験者は2人、よく晴れた日中に測定を行った。また安静時の生理指標を確認するために走行前に3分間、目を瞑ってリラックスしてもらう時間を設けた。やり方は静かな場所（清川村道の駅駐車場）に車を止め車内で被験者の楽な体制で目を瞑ってもらう方法で行った。

表-1 走行時と安静時の比較

被験者A		
	リアプノフ指数	心拍数
走行時平均	4.36	86回/分
安静時平均	1.03	78回/分

被験者B		
	リアプノフ指数	心拍数
走行時平均	3.10	76回/分
安静時平均	0.97	67回/分

表-2 段差舗装と連続カーブまとめ

被験者A			
リアプノフ指数		心拍数	
走行時平均	4.36	走行時平均	86回/分
段差舗装	4.86	段差舗装	80回/分
連続カーブ	3.59	連続カーブ	93回/分

被験者B			
リアプノフ指数		心拍数	
走行時平均	3.10	走行時平均	76回/分
段差舗装	4.80	段差舗装	70回/分
連続カーブ	2.93	連続カーブ	88回/分

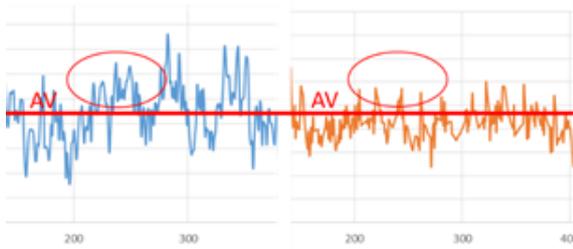


図-8 段差舗装におけるリアプノフ指数（左）と心拍数（右）の波形比較

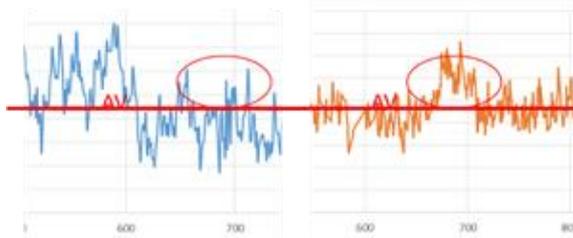


図-9 連続カーブ区間におけるリアプノフ指数（左）と心拍数（右）の波形比較

また走行時の実験は以下の条件で行った。

- ・前日アルコールの摂取を控える。
- ・睡眠時間を6時間以上取ること。
- ・車内の温度は適温を保つ
- ・ピアス等の貴金属はあらかじめ外す

これらの条件を設定する理由として、アルコールの摂取により脈波の影響を避けるとともに酒気帯び運転の状態を回避し交通違反をしないためである。また睡眠不足は安全な運転の妨げとなってしまうことがあるからである。写真-2に示すように、測定器は正確な測定の為にセンサー部分が直接皮膚に接するようにしなければならない。そのためピアス等の貴金属を外し、髪を挟まないようにする。車内の温度適度に保つ理由として過度な寒さや暑さはストレスの原因となるためドライバーが不快に感じない25℃前後に設定した。

(4)実験結果と心拍数

表-1の平均したリアプノフ指数の結果より、走行時は安静時に比べ大きい値を示した。この結果より走行時には一定の負担があることがわかる。また今回はVital meterで測定できる心拍数に注目する目的もある。心拍数も過去に内田²⁾らや平田³⁾らにより自動車走行時のストレスの測定に用いられていることから心拍数を新たな生理指標として注目し表にまとめた。



写真-7 段差舗装



写真-8 連続カーブと車間の接近

(6)考察

表-1より心拍数も安静時のほうが低くなっており、リラックスしていることを確認できる。走行時も高く、走行時の緊張感の高まりを反映しており信頼性の高い指標と言える。

リアプノフ指数と心拍数、それぞれ大きな値を示している箇所を調べることによりそれぞれの指標の変化にも特徴がみられた。道路脇の作業箇所や道路の段差舗装などもある程度の長さの時間刺激を受ける場所はリアプノフ指数の反応が強く出る。また車の加速やカーブ、車間の接近、動物の飛び出しなど比較的急な出来事には心拍数が大きく反応することがわかった。

今回の実験で実走行におけるリアプノフ指数の反応の特徴と、心拍数がストレスの測定に有効である可能性が出てきた。しかしながら今回の実験の被験者は2人であり不確実性の要素が多い。生理指標に関してあくまでも今回の被験者には言える特徴であり他の人にも共通する特徴とは限らない。

5. 実験の実施

(1)実験目的

当初の目的である山間部の道路における心理的負担の測定および評価を行う。また先の予備実験の結果の課題であるリアプノフ指数と心拍数、二つの生理指標が他の人でも同様の特徴を得られるかの検証も行う。

(2)調査地点

本研究は山間部の道路の特徴である起伏、多数の単体のカーブまたは連続カーブが多く存在する道路を対象とする。道路線形や標識等の道路付帯施設、交通環境等とのドライバーのストレスの関係を明確にするために普段の車の通りが比較的少なく、一時停止や信号機が存在せず停車する必要のない区間を対象にした。これら条件のなかで、普段から事故が多発し最寄りの警察署が積極的に注意喚起を行っている国道413号線を対象としその中でも特に事故が多発している「道志道」の区間、山梨県道志村の道志村二里塚ポケットパーク～神奈川県相模原市の平丸トンネルの区間にて実験を行う。

(3)国道413号線とは

東京・神奈川から富士五湖や富士山にアクセスする一般道の一つ。起点は富士吉田市、終点は相模原市である。

道路の通称としては「津久井街道」または山中湖沿いでは「マリモ通り」他にも津久井湖の青山交差点か



写真-9 国道413号の風景



図-10 大月警察署によるポスター(平成28年版)

ら山中湖までの道は「道志みち」など多くの名を持つ道である。南関東から富士山方面に抜ける際には東名高速道路をしのぐ最速ルートなため休日には行楽に向かう自動車やツーリスト、サイクリストで賑わう。

山間部の道路によるカーブや起伏による走りがいが好まれる一方、運転に不慣れたドライバーやライダーの事故が多発している。また山梨県警大月警察署による平成27年と平成28年上半期の事故の特徴を以下にまとめた

- ・75%が重傷事故
- ・半数が単独事故
- ・運転者の100%が県外在住、100%県外ナンバー
- ・週末に事故が多い
- ・20代と60代以上に事故が多い

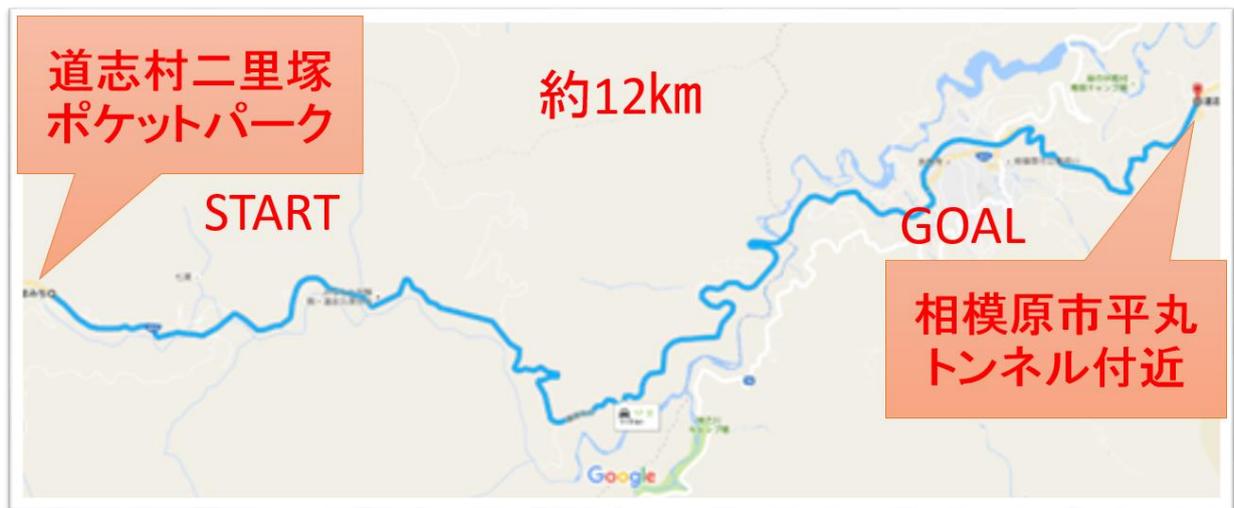


図-11 実験の実施コース

道に慣れていない県外ドライバーと運転に慣れていない若い人，運動に衰えが出てくる初老のドライバーが週末に事故を起こす。老若男女何かしらの弱点を抱えた，いわゆるサンデードライバーによる事故が多い。また単独事故が多いことから，道に対する運転者の技量不足が原因と考えられる。重傷事故が多いことも道志道の過酷さがうかがえる，大きな事故に至らなかった事故は，警察が認知していない可能性もあり実際には多いこともあり得る。

(3)実験条件

今回は20歳前後の8名を対象とした。同世代を対象とすることによって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。

以下に実験におけるその他の条件をまとめる。

- ・ 前日アルコールの摂取を控える。
- ・ 睡眠時間を6時間以上取ること。
- ・ 車内の温度は適温を保つ
- ・ ピアス等の貴金属はあらかじめ外す

また走行による脈波の測定以外には以下のようなことを行った。

- ・ 運転頻度を確認する
- ・ 試験区間の走行経験の有無を確認する
- ・ 安静時の脈波を約2分間測定する

これらの条件を設定する理由として，アルコールの

摂取により脈波の影響を避けるとともに酒気帯び運転の状態を回避し交通違反をしないためである。また睡眠不足は安全な運転の妨げとなってしまうことがあるからである。写真-2に示すように，測定器は正確な測定の為にセンサー部分が直接皮膚に接するようにしなければならない。そのためピアス等の貴金属を外し，髪を挟まないようにする。車内の温度適度に保つ理由として過度な寒さや暑さはストレスの原因となるためドライバーが不快に感じない25℃前後に設定した。また運転の慣れや道路に対する慣れによりストレスの状態が変化すると可能性があるため簡単なアンケートに答えてもらった。

(4)実験結果のまとめ方

本研究ではストレスが発生し各地点の値の差を分かりやすく得られると思われる，「カーブ区間」，リアプノフ指数の値が高くとれるとされる「段差舗装の区間」，対向車と接近する，幅員が狭くなるなどを「イベント」として注目しそれぞれのイベントにおける平均リアプノフ指数と平均心拍数を出した。またそれらのイベントは「連続単体」「左右」「勾配」「段差舗装」「幅員」など特徴を持っているため，各イベントを特徴ごとに分類分けしそれぞれの平均値を被験者ごとにまとめたものが表-3である。また単体カーブと連続カーブの区別に関しては，カーブとカーブの間隔が狭すぎて動画や地図上では区別しにくい区間を「連続カーブ」としている。連続カーブと単体カーブが集まるエリアを「連続カーブエリア」としている

次に特徴ごとのイベントの内訳である () に属するイベントを表記。



図-12 イベントの位置



写真-10 実験の様子

- 単体カーブ (3.4.5.7.14.15.16.19.20.21.23)
- 連続カーブ (1.2.6.8.9.10.11.12.13.17.18.22.24.26)
- 右カーブ (3.5.7.9.17.20.23)
- 左カーブ (2.4.10.12.14.15.16.19.21)
- 下り基調のイベント (1.2. 12.14.16.19.20.22)
- 上り基調のイベント (3.5.7.9.10.17.21.23.24)
- 段差舗装 (7.12.14.16)
- 幅員狭し (24.25.26)

「単体カーブ」はエリア外の単体カーブとエリアファーストコーナーを含む。「連続カーブ」はエリアファーストコーナー以外のエリア内のイベントを含む。

またグラフで表記する際には絶対値のスケールの異なる被験者を比較するために測定された値に走行時全体の平均値を割り、1が平均となるようにしている。



写真-11 段差舗装の一例

表-3 イベントの特徴ごとの平均値を被験者別にまとめた表

被験者	被験者A		被験者B		被験者C	
	リアブノフ指数	心拍数	リアブノフ指数	心拍数	リアブノフ指数	心拍数
走行時平均	2.01	97	4.30	88	3.75	71
安静時平均	0.94	78	1.32	74	0.95	60
単体カーブ	2.25	94	4.70	88	3.86	69
連続カーブ群	2.49	98	4.56	90	3.91	71
右カーブ	2.86	94	4.29	89	4.28	70
左カーブ	2.02	94	4.61	87	3.74	70
上り勾配	2.66	95	4.73	89	4.31	70
下り勾配	2.22	96	3.70	88	3.59	73
段差舗装	2.95	94	4.50	90	4.00	72
幅員狭し	1.12	97	4.94	92	3.71	74

被験者	被験者D		被験者E		被験者F	
	リアブノフ指数	心拍数	リアブノフ指数	心拍数	リアブノフ指数	心拍数
走行時平均	1.99	85	5.10	82	6.92	79
安静時平均	1.35	70	3.92	79	4.94	72
単体カーブ	0.94	85	5.39	79	8.28	72
連続カーブ群	1.56	87	4.69	85	6.95	87
右カーブ	0.83	84	6.28	81	6.93	74
左カーブ	1.98	87	4.90	83	6.93	83
上り勾配	0.77	83	5.80	83	6.73	73
下り勾配	2.36	89	4.88	79	6.34	92
段差舗装	3.24	87	6.85	86	7.59	83
幅員狭し	1.09	82	3.76	80	6.09	70

被験者	被験者G		被験者H	
	リアブノフ指数	心拍数	リアブノフ指数	心拍数
走行時平均	3.20	85	5.10	75
安静時平均	0.97	67	3.19	68
単体カーブ	3.50	80	5.93	77
連続カーブ群	3.58	90	5.67	76
右カーブ	3.39	82	5.24	74
左カーブ	3.55	84	6.28	77
上り勾配	3.59	84	5.49	74
下り勾配	3.45	88	5.77	80
段差舗装	3.11	79	6.38	81
幅員狭し	3.14	92	5.10	76

・表の説明
 赤字：
 走行時平均より高い
 赤網：
 対のイベントの高い方
 *「段差舗装」と「幅員狭し」は比較対象がないので
 赤網による表記無し

6. 実験結果と考察

(1) グラフからわかるイベントごとに両生理指標比較

A) 単体カーブ

リアプノフ指数は被験者Dを除き全員高くなっている。一方で心拍数の場合被験者Dを除き全員低い結果となっている。単体カーブの場合は両生理指標ともに「リアプノフ指数は高い」「心拍数は低い」のような特徴がみられたと言える。

B) 連続カーブ

リアプノフ指数は8人中6人と概ね高い反応を示し、心拍数に関しては単体カーブと正反対の反応である全員平均より高い値を示した。連続カーブの場合は両生理指標ともに高い値を示す特徴がみられたと言える。

C) 右カーブ

リアプノフ指数は特に特徴は見られず、心拍数は1人を除き低い値を示した。

D) 左カーブ

両生理指標ともに特徴は見られなかった。

E) 上り勾配

リアプノフ指数は概ね高い値を示し、心拍数は1人を除き低い値を示した。上り勾配の場合は単体カーブと似ている特徴である「リアプノフ指数は高い」「心拍数は低い」のような特徴がみられたと言える。

F) 下り勾配

リアプノフ指数には特徴は見られなかったが、心拍数は概ね高い値を示した。心拍数は上りが低かったことから心拍数に関しては勾配により変化があると考えられる。

G) 段差舗装

リアプノフ指数は1人を除き高い値を示した。加えて心拍数も概ね高い値を示した。リアプノフ指数に関しては予備実験と同じ結果であり段差舗装はリアプノフ指数を上昇させる要因であることが言える。しかしながら今回は予備実験と反対の心拍数が高い結果となった。

H) 幅員狭し

リアプノフ指数は1人を除き低い値を示した。心拍数には特徴は見られなかった。

(2)次に対となっているイベントの生理指標ごとの比較 (単体連続, 左右, 上りと下り)

A) リアプノフ指数

単体と連続カーブ、左右カーブを比較した場合特に特徴は見られなかった、しかしながら図-14から上り下りで比較した場合上りのときに高い値を示す傾向がある。

B) 心拍数

図-13で示す通り単体と連続の場合は1人を除き全員連続の方が高い値を示す。左右カーブはリアプノフ指数と同様に特徴は見られなかった。また勾配の場合は図-15から分かるようにリアプノフ指数と異なり下りのときに高い値を示す傾向にある。

(2) 考察と結論

今回測定されたリアプノフ指数の特徴を以下にまとめる

- ・単体か連続かによる違いはなくカーブ全般に対して平均値より高い値が出る傾向にある
- ・カーブの左右によって変化はないが勾配で比較した場合上り勾配が高い値が出る傾向にある
- ・段差舗装は高く、幅員狭しは低い

カーブ全般に対して値が高くなったのは過去に事故があった場所やストレスの発生する可能性がある箇所をイベントと指定していることにあると考えられる。段差舗装に関しては予備実験や既往の研究でも示されている。幅員狭しを構成するイベントは実験後半に集中している。走行の実験全体を通して後半は両生理指標ともに落ち着く傾向がある。この原因には運転に慣れてきたためであると考えられるがこのことが実験後半に集中する幅員狭しに特徴がみられなかった原因であると考えられる。

今回測定された心拍数の特徴を以下にまとめる

- ・単体カーブではほぼ低く、連続カーブでは全員高い
- ・左右を比べどちらが高いというような特徴はなかったが右カーブで低い値を示した
- ・上り勾配で低く、下りで高い
- ・段差舗装は概ね高く、幅員狭しでは特徴は得られず

連続カーブや下りで高いのはハンドル操作やブレーキ操作などにより通常よりも動きが多くなることに起因している可能性がある。一方、動きが比較的少なく済む単体と上りは低い。段差舗装のイベントは下りのイベントと被る(3/4)ため段差舗装により高いのか下りにより高いのかは不明。右カーブの低い値の原因に関しては右カーブに所属する全てのイベントが単独か上りもしくは単独で上りのイベントだったので低くなったと考えられる。

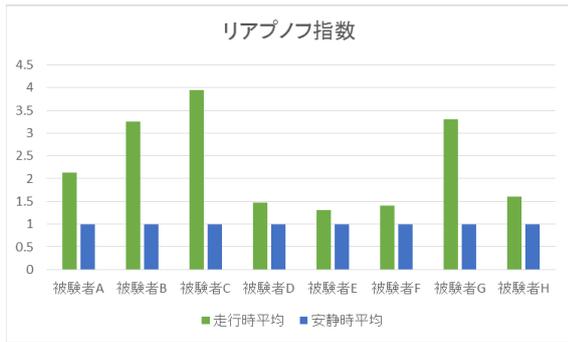


図-13 安静時・走行時比較

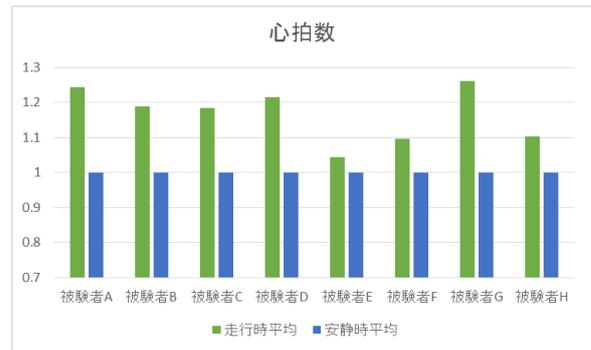


図-14 安静時・走行時比較

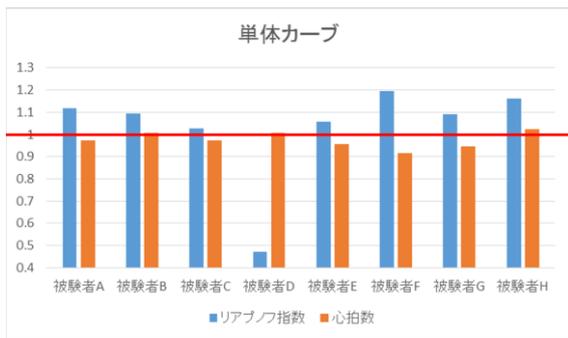


図-15 単体カーブ生理指標比較

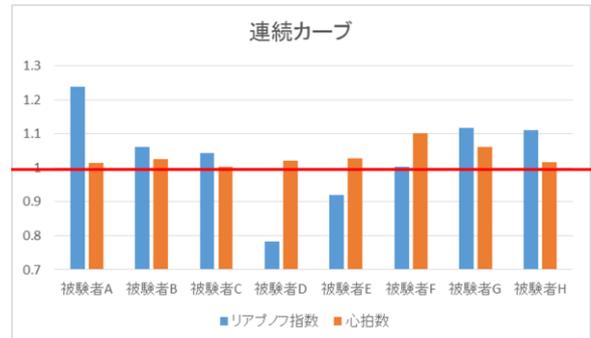


図-16 連続カーブ生理指標比較

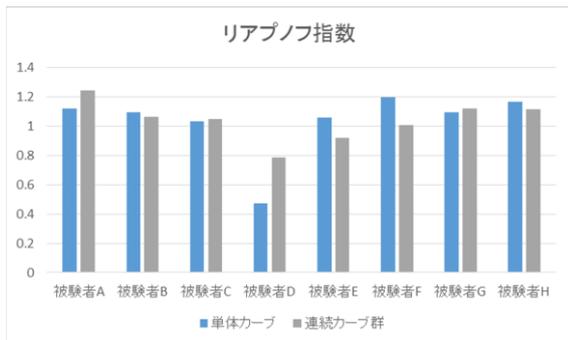


図-17 リアプノフ指数単体連続比較

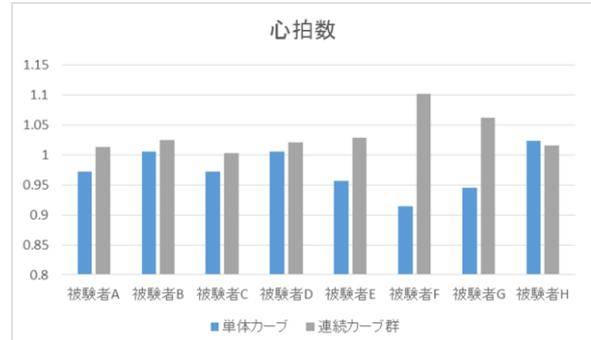


図-18 心拍数単体連続比較

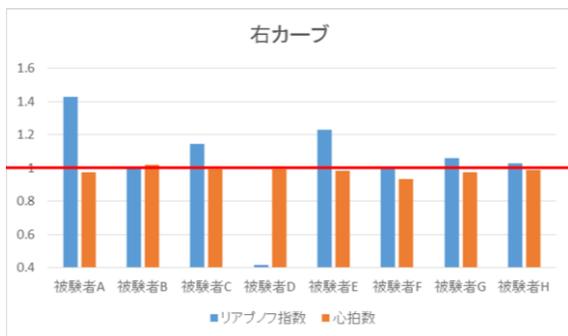


図-19 右カーブ生理指標比較

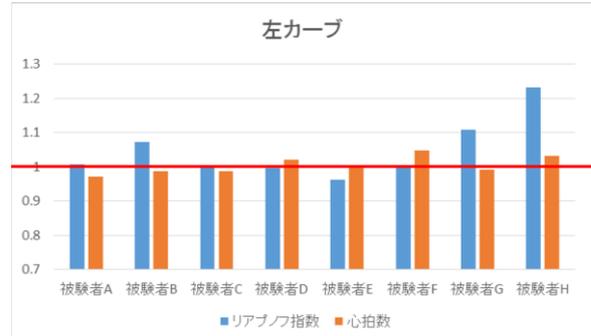


図-20 左カーブ生理指標比較

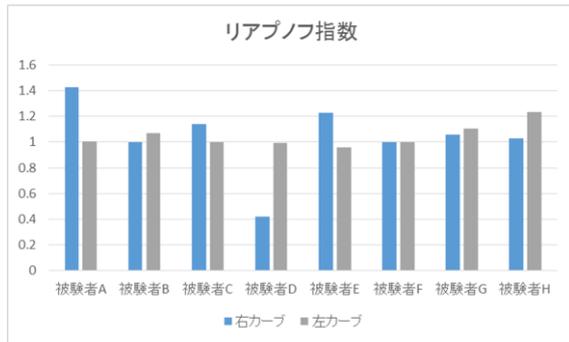


図-21 リアプノフ指数左右比較

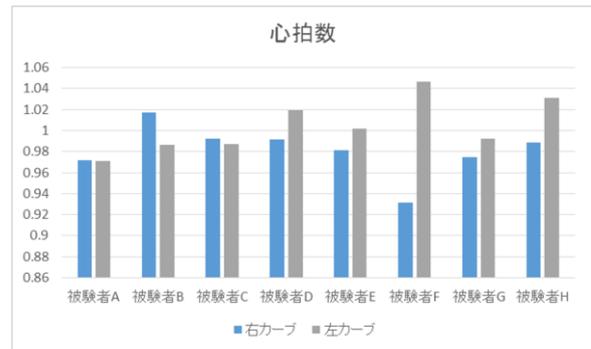


図-22 心拍数左右比較

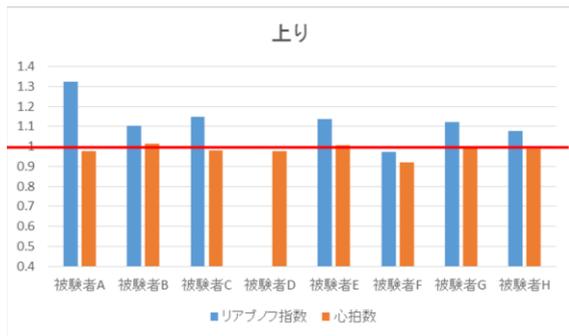


図-23 上り勾配生理指標比較

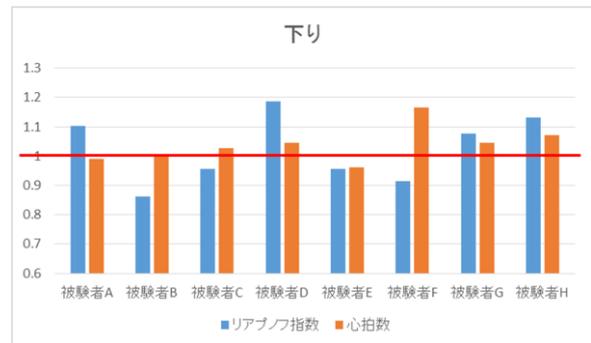


図-24 下り勾配生理指標比較

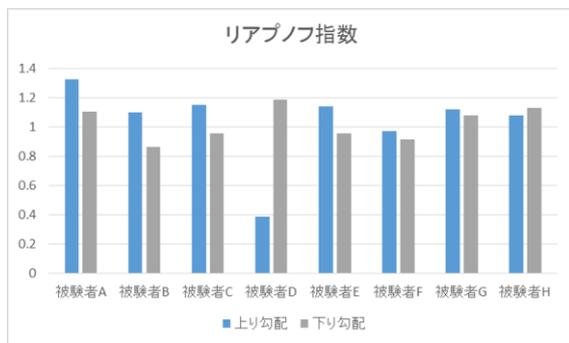


図-25 リアプノフ指数勾配比較

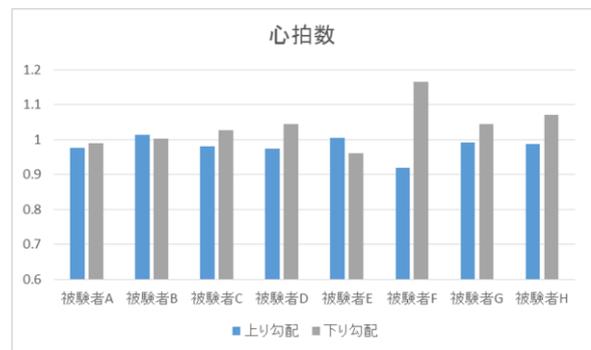


図-26 心拍数勾配比較

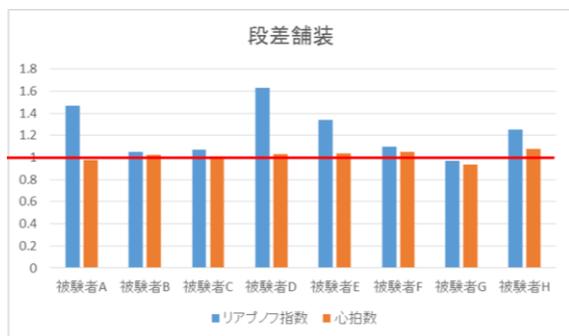


図-27 段差舗装生理指標比較

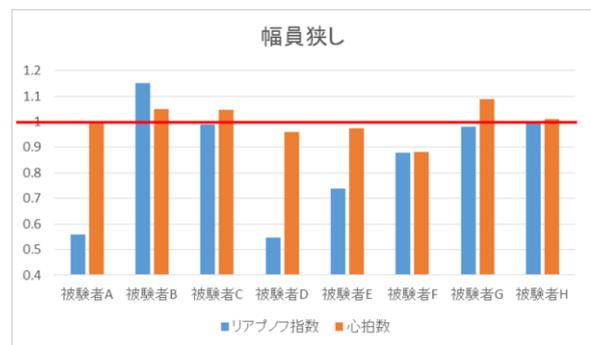


図-28 幅員狭し生理指標比較

イベント	イベント1	イベント2	イベント3	イベント4	イベント5
道路標示	下り急カーブ速度注意 減速路面標示	減速路面標示	急カーブ	減速路面標示	減速路面標示
種別	連続カーブ	単体カーブ	単体カーブ	単体カーブ	単体カーブ
エリア	エリア1	エリア1			エリア2
方向	左右	左	右	左	右
勾配	下り	下り	上り		上り
特筆事項					
リアプノフ指数	5	5	7	2	4
心拍数	6	6	1	2	4

図-29 イベントの特徴と結果

(4) イベントの紹介と解説

・イベント1

比較的平坦な直線の先に突如現れる、急な下り坂の連続カーブ、カーブ手前に「下り連続カーブ速度注意」の道路標示とさらにカーブ区間は破線型とマーク型の複合型の減速マークがある。しかしながら左の斜面には衝突痕がところどころあり事故も多いようである。ここはリアプノフ指数心拍数ともに多くの人が高くなっており突然現れるカーブと下りが合わさることによる、「驚き」と「予想外のカーブのキツさ」を反映していると思われる。一つ目のカーブの途中でブレーキ痕が多くあることからそのカーブが思ったよりもきついと判断するドライバーが多いこともうかがえる。

・イベント2

イベント1が終わって10秒くらいにある単独カーブ、事故多しの注意の看板や減速路面標示がある。減速路面標示はこちらもイベント1同様に複合型である。イベント1による大幅な減速で進入速度は遅めであるがやや下り基調であるためブレーキ操作は不可欠であり90度大きく方向転換するのも心的負担が多くかかり両生理指標を大きく上げた原因と考えられる。またイベント1の余波が残っていることも考えられる。

・イベント3

集落区間をすぎ道志川にかかる橋を抜けてすぐにある急カーブ。カーブ手前には「右急カーブ」の道路標示がある。手前の橋のおかげで視界はかなり開けており良好である。また橋の手前が下り坂になっているためカーブに対する進入速度は速めであるがカーブ自体は急な上りのため一気に減速する。このカーブの特徴はリアプノフ指数が高い人が多く心拍数はかなり落ち

着いていることである。「上り」のカーブはリアプノフ指数が高くなり心拍数が低くなることが多い、このカーブはその特徴をはっきりと捉えた場所である。

・イベント4

比較的直線が長く続く中、ときどきある緩い屈折の最後にある一番キツイポイントである。カーブ手前には左カーブの矢印による標識があり、道路に施されている減速路面標示は破線型を主とした一部複合型である。このイベントはリアプノフ指数も心拍数も反応が薄い。進入速度は手前にある屈折でスピードは抑え気味で、さらに手前にある注意の標識により安全に曲がれたものと考えられる。カーブの中に起伏などそれほどないことからアクセルやブレーキ等の特別な動作が必要のないことも数値を下げた原因と考えられる。

・イベント5

少し下った先にあるほぼ180度方向転換する強烈なコーナー。側面には進行方向を示す矢印の反射材と破線型の減速路面標示が施されている。しかしカーブ自体は大きく上っているため序盤の進入速度ははやけどもカーブ区間は大きく減速するためそれほど恐怖感は抱きにくい。人により感じ方に差がありそうである。生理指標の反応は過半数まではいかないもののある程度ストレスに感じている者もいる。今回実験で行った順路の逆方向（神奈川→山梨）の場合は180度ターンと猛烈な下り坂となるので危険度は増す。

イベント	イベント6	イベント7	イベント8	イベント9	イベント10
道路標示	減速路面標示		急カーブ・減速路面標示		
種別	連続カーブ	単体カーブ	連続カーブ	単体カーブ	単体カーブ
エリア	エリア2	エリア3	エリア3	エリア3	エリア3
方向	左右	右	左右	右	左
勾配		上り		上り	上り
特筆事項		段差舗装			
リアプノフ指数	5	6	3	3	5
心拍数	5	4	6	5	1

図-30 イベントの特徴と結果

・イベント6

イベント5を通過した直後から始まる連続カーブ。カーブというよりは絶え間なく緩い屈折が続くイメージに近い。区間全体に破線型の減速路面標示がある。イベント5の強烈な上りの影響で進入速度は遅めであり、またカーブ区間もほぼ平坦であり速度は出ない。しかしリアプノフ指数も心拍数も反応数は5人ずつと過半数の反応はでている、また反応のでていない人のうち3人は両生理指標とも高くなっているのに特徴がある。連続カーブ区間は予備実験のでも示せたように心拍数が高くなりやすい、またイベント1同様な特徴をもつイベント6はリアプノフ指数も高くなったと思われる。

・イベント7

序盤にわずかに左に屈折したのちに大きく右に曲がるコーナー。序盤に注意を促す標識等はないがカーブ手前より段差舗装が施されている。こちらも両生理指標ともに過半数を超えておりとくにリアプノフ指数は1人を除き高い。段差舗装は予備実験の段階でもリアプノフ指数が高くなることが確認されている。また左屈折の地点で上り起伏の角度が変わっており屈折の後に続く右カーブが直前まで確認できないため、突然カーブが現れる。このことにより上りでは落ち着きやすい心拍数の値もあげた原因と考えられる。

・イベント8

イベント7を過ぎやや下ったところから始まる連続カーブ。区間手前には急カーブ注意の標識と途中まで破線型の減速路面標示が施されている、途中にも注意を促す標識がところどころある。進入速度はやや早めであるが途中から上りになり速度は緩まる、しかしながら細かなカーブが連続することにより注意力が高まり両生理指標ともに安定した高い値が出たと考えられる。連続カーブにて心拍数が高まることは予備実験を含め多くあったがリアプノフ指数も高い人はいるのは前

のイベントであるイベント7の段差舗装の影響があるとも考えられる。

イベント9

イベント8に続けてある180度方向転換する右コーナー。カーブ手前、イベント8の最後には矢印がぐるりとなった標識がある、しかし区間には減速路面標示もされていない。イベント8の後半から引き続き上り基調であり、イベント3やイベント5に近い形状のカーブである、イベント5同様、逆方向から進む場合下りをあわせてきついカーブになる。このため対向車線は段差舗装が施されている。上り基調に加え前方車両との車間も接近しやすいこともあり、かなりスピードが遅くなる傾向にある。このことから他の連続カーブエリアのイベントに比べ生理指標は落ち着く傾向にあると考えられる。しかしながら連続カーブエリアの中盤にあたり心拍数の値は過半数を超えている。

イベント10

イベント9のカーブを登り切り数秒後に到達する単独カーブ。道としては平坦であるが登りからの平坦は加速しやすく進入速度はやや速めである。カーブ手前には注意を促す標識と道路には破線型の減速路面標示がある。またこのカーブは実験区間で唯一、道路中央に導入帯による路面標示もあり、ゆとりあるコーナリングができる。そのため比較的生理指標は落ち着いており、連続カーブエリア最終カーブであるイベント10は実験時も例外なくゆとりあるコーナリングができたと考えられる、しかしリアプノフ指数は過半数を超えている4人のうち3人はイベント9から高くなっているためイベント9の余波が残っていると考えられる。また心拍数は上りによる落ち着きも反映している。

イベント	イベント11	イベント12	イベント13	イベント14	イベント15
道路標示		減速路面標示	減速路面標示		
種別	連続カーブ	単体カーブ	連続カーブ	単体カーブ	単体カーブ
エリア	エリア4	エリア4	エリア4		
方向	左右	左	左右	左	左
勾配		下り		下り	
特筆事項		段差舗装		段差舗装	
リアプノフ指数	4	3	3	6	3
心拍数	4	6	5	5	1

図-31 イベントの特徴と結果

・イベント11

緩やかなカーブが連続する区間。途中注意を促す標識や道路標示は一切ない。区間全体平坦でありスピード域は普通である。しかしながら1人を除き、多くの人がいずれかの指標で高くなっていることからなんらかの心的負担が持続的にかかっていると考えられる。原因としては東京方面に近づき対向車線の交通量が増えることにより圧迫感が増す機会が増えるほか、右カーブ全体的に見通しがわるいことや注意を促す標識や道路標示が全くないことも考えられる。

・イベント12

イベント11の連続カーブの最後、終了直後にある急な左カーブ。カーブとしてはやや下っている。安全対策としてはカーブの手前より段差舗装が施されており、またカーブミラーも設置されている。後半には破線型の減速路面標示と段差舗装を複合させた珍しい組み合わせを見ることもできる。実験区間に段差舗装が施されているイベントだがリアプノフ指数が過半数を超えていないイベントである。しかし心拍数が顕著にでていくことに関してはイベント11の直後であり連続カーブエリアの中盤で、加えて下り基調であることから説明することができる。

・イベント13

イベント12を抜けた直後にある、逆S字カーブである。イベント12を抜けたわずかな直線区間に断続的な段差舗装と破線型の減速路面標示があるだけで区間全体に道路標示はない、しかしカーブ手前にはS字の矢印と途中には進行方向を示す矢印による標識がある。道路自体は平坦であり、スピード域も安定している。しかしながら連続カーブエリアの真っ只中にあるイベントのため安定的な心拍数の高さがある。リアプノフ指数も過半数までとはいわないものの反応もでておりある程度の心的負担があると考えられる。

・イベント14

ほぼ真っ直ぐの区間が続く先にある単独の急な左カーブ。手前は直線の区間のため遠くからカーブの存在は確認することができる。カーブ手前から段差舗装が施されておりカーブの途中には進行方向を示す矢印の標識がある。手前の直線区間はほぼ平坦であるが、カーブ区間に入った途端下りになる、またカーブの途中から角度がきつくなるため少しでもスピードを出しすぎていると対向車線にはみ出す恐れがある。被験者全員いずれかの生理指標で反応しており、またリアプノフ指数は1人を除いた全員が平均より高くなっている。リアプノフ指数は段差舗装により高くなったと考えられる。また直線から現れる下り基調のイベントとしては心拍数リアプノフ指数ともに反応の出たイベント1と似ており、スピードの大きさが心拍数をも過半数の高さを得られた原因と考えられる。

・イベント15

イベント14を過ぎ再び直線区間が続く中現れる左急カーブ。イベント14とカーブに至る状況は非常に似ているが、安全対策としては進行方向を示す矢印の標識が一本立っているだけであり一見貧弱である。しかしイベント14と異なり下りではなく平坦で、カーブの角度は徐々に緩くなっている。このことから従来から比較的危険な場所ではないため段差舗装や減速路面標示など積極的な安全対策が行われていないと考えられる。生理指標からもストレスを感じているひと少なめであり安全に曲がれた人が多かったようである。

イベント	イベント16	イベント17	イベント18	イベント19	イベント20
道路標示		減速路面標示		減速路面標示	超急カーブ・減速路面標示
種別	単体カーブ	単体カーブ	連続カーブ	単体カーブ	単体カーブ
エリア	エリア5	エリア5	エリア5		
方向	左	右	左右	左	右
勾配	下り	上り		下り	下り
特筆事項	段差舗装				
リアプノフ指数	2	5	5	1	1
心拍数	2	2	3	3	3

図-32 イベントの特徴と結果

・イベント16

イベント15を過ぎ再び直線区間が続く中現れる左のやや長めのカーブ。イベントに至る状況としてはイベント14, 15同様に非常に似ている, 加え段差舗装や下り, 左カーブという点に関してはイベント14と完全に一致しており非常に似ている結果が得られると思われたが真っ向に拮抗する結果となった。また下り段差舗装の観点から全体の結果と比べても正反対の結果となっている。しかしよく観察すると段差舗装はカーブのかなり手前で始まっておりカーブが本格的に差し掛かる地点でなくなっている, その先の安全対策は進行方向を示す矢印の標識のみが担っている。両生理指標ともに極めて低い反応となったのは手前にある段差舗装によりきついカーブがくることが予想できたことに加え, 三連続同じようなカーブで被験者自身が慣れてしまった可能性がある。またカーブ自体の角度もイベント14や15に比べ緩いことも反応が出なかった原因として考えられる。

・イベント17

先ほどまでの下り多しの左カーブと異なり, 一転, 正反対の上り基調の右カーブである。カーブ手前の平坦区間から見通しの悪い屈折があるため進入速度は遅めであり, またイベント自体も上りのためカーブでも速度は抑え気味である。安全対策としては区間全体に破線型の減速路面標示があり序盤はマークも合わせた複合型である。やはり全体的な速度が遅めであることから安全にカーブ曲がれた被験者が多かったと考えられる。しかしながらリアプノフ指数は過半数を超えている。似たような状況にある上り基調はリアプノフ指数の反応が出やすいことを示している。

・イベント18

イベント17を抜けた直後から始まる連続カーブ。緩やかで長いカーブやちょっとした屈折などバラエティ

に富んだイベントである。安全対策としては減速路面標示や段差舗装などの目立った対策はされておらず途中の見通しの悪い屈折でカーブミラーが二か所あるだけである。イベント17の上りにより進入速度は遅めであり途中もスピードも出しにくい。生理指標もおおむねイベント17の反応と同様であり, 過半数を超えているリアプノフ指数の4人のうち3人はイベント17の段階から高くなっている人たちである。

・イベント19

直線区間の先にある下り基調の左カーブ。カーブ手前は舗装が綺麗になっており大変走りやすい。安全対策としてはカーブ直前に複合型の減速路面標示が一瞬あるだけでカーブ区間自体には1か所カーブミラーがあるだけである。直線からの下りのため進入速度はかなり速めになるだろうが実験区間も後半になり前方の車に追いつき始めておりそれほどスピードが出た被験者はいない。両生理指標ともに落ち着いているのは車間の詰まりによるスピード域の低下が原因と考えられる。車載カメラから振り返っても安全に曲がれた被験者がほとんどでありそのことが生理指標にも反映されていると考えられる。

・イベント20

イベント19を抜けた直後にある下り基調の右カーブ。俗に言うヘアピンカーブであり過去には事故が多発していたようである。安全対策としては全国で数ヶ所しかない法定外道路標示の「超急カーブ」をはじめ複合型減速路面標示, 矢印による標識, 側面には進行方向を示す反射材, また道路中央にはドリフト対策の支柱も立ち, 途中カーブミラーも設置してあり安全対策のオールスターキャストである。イベント19からの車間の詰まりにより安全に曲がれた被験者がほとんどでありそれが生理指標にも反映されたと考えられる。

イベント	イベント21	イベント22	イベント23	イベント24	イベント25
道路標示			右急カーブ注意		速度落とせ
種別	単体カーブ	連続カーブ	単体カーブ	連続カーブ	
エリア	エリア6	エリア6	エリア7	エリア7	
方向	左	左右	右	左右	
勾配	上り	下り	上り	上り	
特筆事項				幅員狭し	幅員狭し
リアプノフ指数	1	5	3	3	4
心拍数	1	4	3	4	4

図-33 イベントの特徴と結果

イベント	イベント26
道路標示	
種別	連続カーブ
エリア	エリア8
方向	左右
勾配	
特筆事項	幅員狭し
リアプノフ指数	1
心拍数	4

図-34 イベントの特徴と結果

・イベント21

県境にある道志溪谷を抜け、いよいよ神奈川の最初のイベントである。イベント19, 20で車間が接近した被験者には手前の県境付近の直線区間で大きく距離をとってもらった。イベント21自体はかなりきつめの上り勾配の先にある左カーブである。安全対策としては何も施されておらず今も昔も安全な場所と思われる非常に地味なイベントである。上りの頂上付近にあたりかなりスピード域は遅い。このことから安全に曲がれた被験者が多くイベントに見合った非常に地味な結果となっている。

・イベント22

イベント21を通過し上り坂の頂上を過ぎて一気に下り始める先にある連続カーブ区間。そこそこきついカーブにも関わらず特別な道路標示はされておらず、カーブミラーと矢印による標識が一部カーブにあるだけ

である。リアプノフ指数が過半数を超えている程度で特別反応が強いわけではないが心拍数の反応の強い3人はリアプノフ指数でも反応がでており人により感じ方に差がでるイベントだと考えられる。

・イベント23

長い上り坂の直線区間の先にある右急カーブ。カーブ手前には「右急カーブ注意」とあり左側面崖側は工事用の安全柵になっている、安全柵には進行方向を示す矢印の反射材が付いている、途中にはカーブミラーも設置してある。直線区間の先にあるためかなり遠くの時点でカーブの存在に気付くことに加え上り坂の途中であるため進入速度は非常に遅い、そのためか安全に曲がれた被験者がほとんどであり生理指標の結果も落ち着いていると考えられる。このカーブの場合は実験順路の逆方向の場合見通しの全く効かない下り基調の急なカーブとなっているため逆方向場合は危険度が増す。

・イベント24

イベント23の通過直後に始まる連続カーブ区間。ところどころ1.5車線の幅員が狭くなっているところがある。反対車線は下りとなるため注意を促すためのカーラーリング舗装などがされているがこちら側車線はカーブごとにミラーが設置してあるだけである。イベント23による大幅な減速と、この区間も引き続き上り坂であるためスピードはほぼ出ない。このためかリアプノフ指数心拍数ともに過半数は超えていなく落ち着いている傾向にある。それぞれの生理指標に反応のでている3人のうち2人は両生理指標ともに反応が強く出ている、この二人の共通点は幅員狭しのところで対向車とのすれ違いがありこれが原因となったと考えられる。

・イベント25

イベント24の終了直後からイベント26に至るまでにあるイベント。全26あるイベントの中で唯一の幅員狭

しのみで構成されるイベントである。起伏はほとんどなく平坦な直線であるが、途中わずかに曲がっており見通しの悪いところがある。イベント24の終わりに幅員狭しの標識がある。この区間は1人を除きいずれかの生理指標にて高い反応が出ていることが特徴である

・イベント26

イベント25の幅員狭しから引き続き1.5車線の道が続くイベント。イベント25との違いは幅員狭しと連続カーブにて構成されることである。狭い道でありカーブもあるためスピード域はかなり遅めであるが、途中いくつかの道路標示や標識、カーブミラー等の安全設備がある。また国道413号は運送屋の裏道として使われることも多いためこの区間での大型車両の通行量が多い、またこれらとのすれ違いは一定の配慮が必要になり特にカーブでのすれ違いはギリギリになることが多く時折譲る必要もある。それゆえ、被験者全員、実験の最後のほうは落ち着いてくる傾向にあるがイベント26からゴールまでは人により緊張感が高まりやすく連続カーブから心拍数に反応が出ている人が少なからずいる。

7. 実験結果参考

・表の説明
赤網：走行時平均より高い

表-4 イベントごとの平均値を被験者別にまとめた表

被験者	A		B		C	
運転頻度	多い(週6)		少ない(月2)		多い(週5)	
道路の利用頻度	多い(週2)		初		無	
走行時平均	2.01	97	4.30	88	3.75	71
安静時平均	0.94	78	1.32	74	0.95	60
	リアプノフ指数	心拍数	リアプノフ指数	心拍数	リアプノフ指数	心拍数
イベント1	2.65	113	4.81	91	2.94	71
イベント2	3.52	111	5.9	80	3.16	77
イベント3	4.2	92	4.89	90	4.02	68
イベント4	0.49	97	3.95	87	3.75	68
イベント5	2.89	102	6.38	97	3.54	63
イベント6	5.23	105	6.03	105	2.63	69
イベント7	5.81	101	5.3	89	4.73	78
イベント8	2.68	102	4.98	92	4.20	74
イベント9	2.67	92	5.51	94	5.07	66
イベント10	4.28	93	7.12	88	5.71	68
イベント11	2.15	98	4.46	84	4.02	69
イベント12	3.21	94	4.60	89	3.47	72
イベント13	1.11	97	1.64	85	3.07	73
イベント14	2.33	95	4.75	92	4.47	66
イベント15	1.68	89	6.80	84	3.93	66
イベント16	0.45	88	3.35	90	3.34	70
イベント17	1.19	92	2.58	87	4.68	67
イベント18	1.31	90	4.41	90	3.84	74
イベント19	1.20	88	1.52	86	2.62	74
イベント20	1.96	90	1.95	87	4.25	79
イベント21	1.04	93	3.47	85	3.23	70
イベント22	2.41	89	2.73	88	4.46	74
イベント23	1.33	91	3.41	82	3.70	72
イベント24	0.56	97	3.93	90	4.09	75
イベント25	1.31	95	7.54	95	3.21	72
イベント26	1.49	99	3.36	92	3.84	76

表-5 イベントごとの平均値を被験者別にまとめた表

被験者	D		E		F	
	少ない(月1)		普通(週1)		普通(週2)	
運転頻度						
道路の利用頻度	多い(週1)		無		無	
走行時平均	1.99	85	5.10	83	6.92	79
安静時平均	1.35	70	3.92	79	4.94	72
	リアプノフ指数	心拍数	リアプノフ指数	心拍数	リアプノフ指数	心拍数
イベント1	2.26	103	4.8	78	6.92	119
イベント2	2.27	92	3.4	75	4.83	131
イベント3	0.43	82	5.79	76	12.39	63
イベント4	0.04	89	4.47	86	7.71	68
イベント5	1.02	90	3.07	81	6.60	70
イベント6	0.22	89	3.92	80	7.37	71
イベント7	0.85	89	6.16	73	7.67	75
イベント8	1.28	92	2.41	85	6.90	77
イベント9	0.68	82	2.24	85	3.81	85
イベント10	0.26	82	4.8	89	6.86	73
イベント11	1.75	82	2.79	86	7.21	106
イベント12	7.94	85	3.92	86	5.51	99
イベント13	0.85	87	5.7	83	16.73	95
イベント14	2.76	90	3.88	113	12.62	85
イベント15	1.41	90	3.5	74	11.99	75
イベント16	1.40	85	13.42	70	4.54	72
イベント17	2.29	88	18.05	125	5.98	75
イベント18	0.42	82	6.01	94	7.59	77
イベント19	1.34	88	4.05	75	5.22	76
イベント20	0.43	84	3.09	66	4.13	70
イベント21	0.41	79	2.69	76	3.05	65
イベント22	0.47	84	2.44	71	6.93	85
イベント23	0.13	75	5.55	61	7.91	77
イベント24	0.87	79	3.88	80	6.27	70
イベント25	1.63	82	4.48	86	7.27	67
イベント26	0.77	84	2.91	75	4.74	72

・表の説明

赤網：走行時平均より高い

表-6 イベントごとの平均値を被験者別にまとめた表

被験者	G		H	
運転頻度	多い(週4)		普通(週2)	
道路の利用頻度	多い(週2)		無	
走行時平均	3.20	85	5.10	75
安静時平均	0.97	67	3.19	68
	リアブノフ指数	心拍数	リアブノフ指数	心拍数
イベント1	3.70	97	5.68	78
イベント2	5.39	102	6.51	78
イベント3	3.62	68	6.85	68
イベント4	3.01	83	9.16	72
イベント5	3.99	82	6.71	78
イベント6	4.61	93	7.77	81
イベント7	2.83	74	6.65	75
イベント8	2.46	95	4.64	74
イベント9	2.75	92	4.27	76
イベント10	3.91	82	7.34	71
イベント11	2.88	90	4.51	75
イベント12	3.17	86	7.53	77
イベント13	4.76	86	4.34	86
イベント14	4.09	76	4.88	83
イベント15	2.97	78	4.67	69
イベント16	2.33	80	6.45	88
イベント17	3.28	80	5.64	65
イベント18	3.49	83	5.80	71
イベント19	2.86	85	5.30	78
イベント20	2.80	86	3.26	79
イベント21	4.18	83	4.71	80
イベント22	3.23	94	6.57	81
イベント23	4.44	95	3.30	78
イベント24	3.30	99	3.93	76
イベント25	3.37	92	7.58	75
イベント26	2.75	85	3.79	76

・表の説明

赤網：走行時平均より高い

8. 参考文献

- 1) 平成 26 年中の交通事故の発生状況：警察庁
- 2) 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
- 3) 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.
- 4) 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
- 5) 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.
- 6) 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

7) 胡, 毓瑜; 三好 恵真子：脈波におけるカオス解析の技術開発と展望,中国における心理問題への対処法としての応用展開の可能性,大阪大学大学院人間科学研究科紀要, pp31-33、2014.2

Measurement and evaluation of driver's psychological burden on mountain road using physiological index

Taishi OKA and Masaru MINAGAWA

Today, with the growing interest in traffic safety, the National Police Agency, local governments, and prefectural police are making various efforts as measures to prevent traffic accidents. However, accidents still remain in places where roads such as mountainous areas are liable to draw complicated linear shapes. Many accidents are caused by human error of the driver, and human error is caused by load of fatigue and stress. In this study, focusing on the fact that fatigue and stress can be measured by pulse waves, focusing on the fact that there are many accidents in the mountains and curves and undulations, the influence of running on the mountain road on the driver is evaluated using. In doing so, in order to consider improvement of road environment, clarify potential hazardous places and road structure, and examine the relationship between driver's driving burden and road environmental problems.