

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

東京都市大学 学生会員 奥田 知貴

東京都市大学 フェロー 皆川 勝

研究背景

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平成21年から増加傾向にある。このため、交通事故防止策を考えることは今後も重要である。

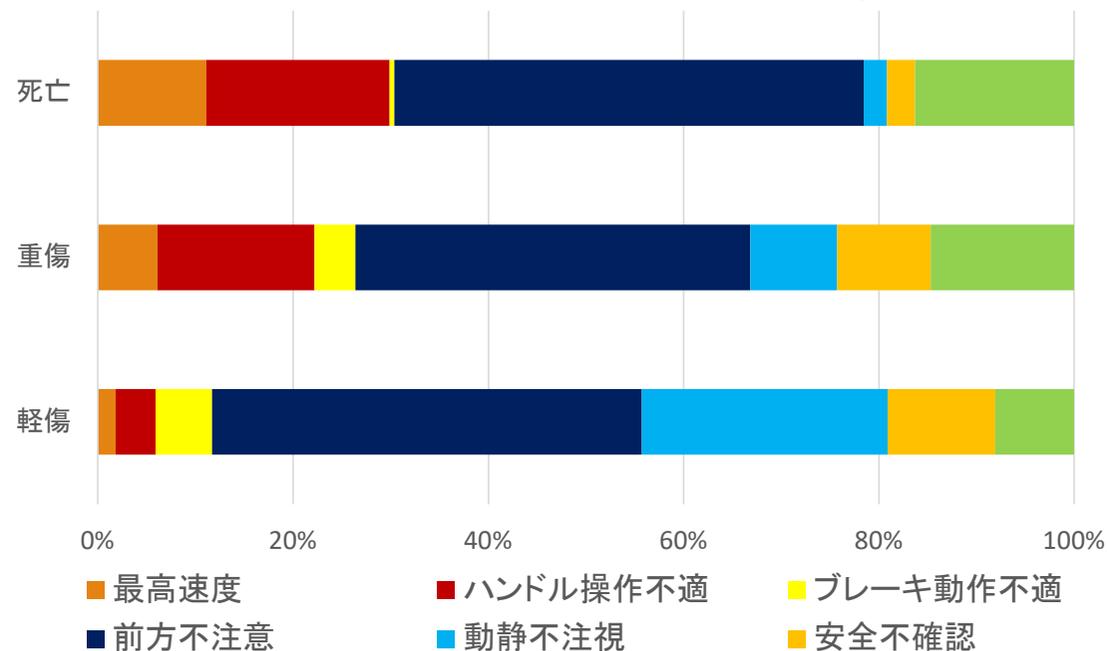


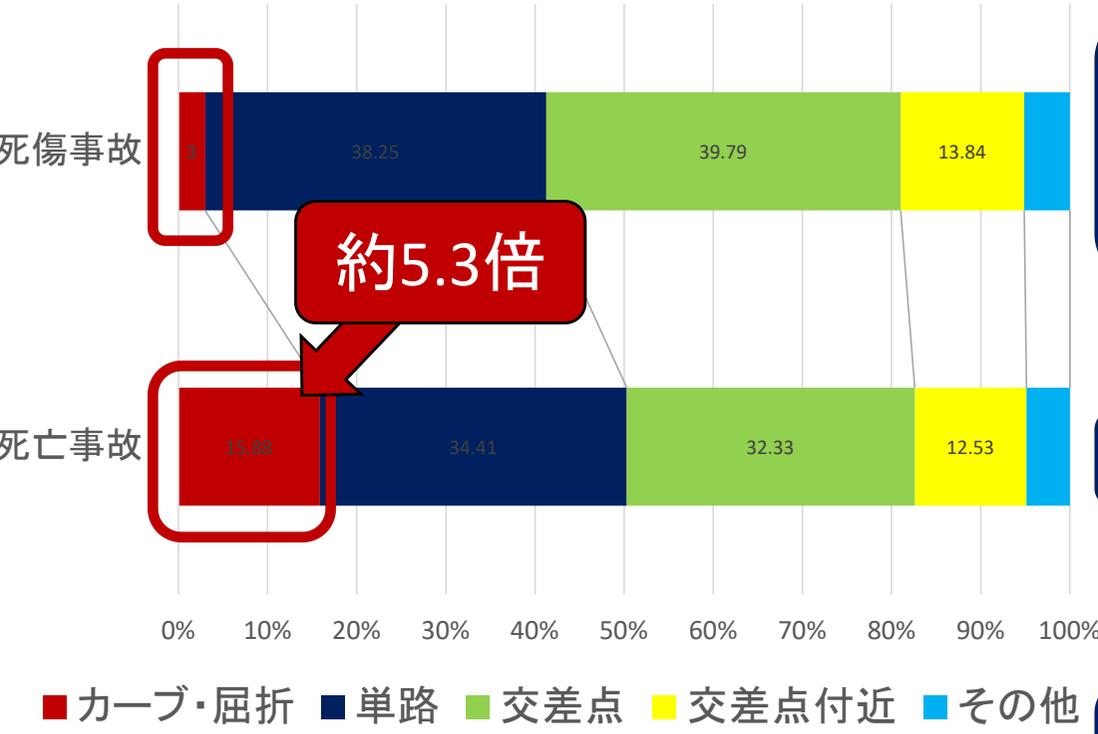
図1 平成25年中の交通事故の発生状況(警察庁調べ)

判断遅れや操作ミスは、大半が単独事故であり
運転者の行動が主な要因となる場合が多い

事故原因の大半を占めるヒューマンエラーは
ドライバーの心理や生理が関係する

道路環境の向上を検討する際、生理指標を
用いた研究が行われているものの数少なく、
生体情報による評価も十分に確立していない

交通工学の分野でも、**カーブ区間の事故率は直線区間と比較して高い**と言われている。



カーブの区間は直線に比べて短く、郊外に多いため、交通量が少なくカーブでの事故は全体の**3.0%**となっている

しかし、死亡事故の構成率が約**16%**と高くなる

カーブでの事故は傷害が重くなりやすいことなど**事故対策の面からカーブでの事故は重要**である。

図2 発生地点別の発生状況構成率(平成25年度)

研究目的

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。

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、個人特性別による違いがどのように生じるか検討

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。

生理指標

生体情報の生理的な変化を測定する際に用いられる方法
心電図,脳波,脈波,唾液,体温,心拍,筋電図,血圧,発汗など

生理指標は,心理事象ごとに見られるので,どのような心理的活動の時に
どんな生理的活動が見られるかを確認することができる.



被験者の身体の声を知ることができる

本研究では,外部環境による人体の反応を観察するのに適していると言われている
生体脈波を利用してドライバーの負担を評価する

脈波について

- 血液の流入によって生じる容積変化を波形としてとらえたもの.
- 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.
- 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.

脈波測定装置

株式会社TOAS研究所製「Vital meter」

容積脈波は、波形の起伏にとぼしく、**変曲点を評価することが困難**であるといった問題点がある。

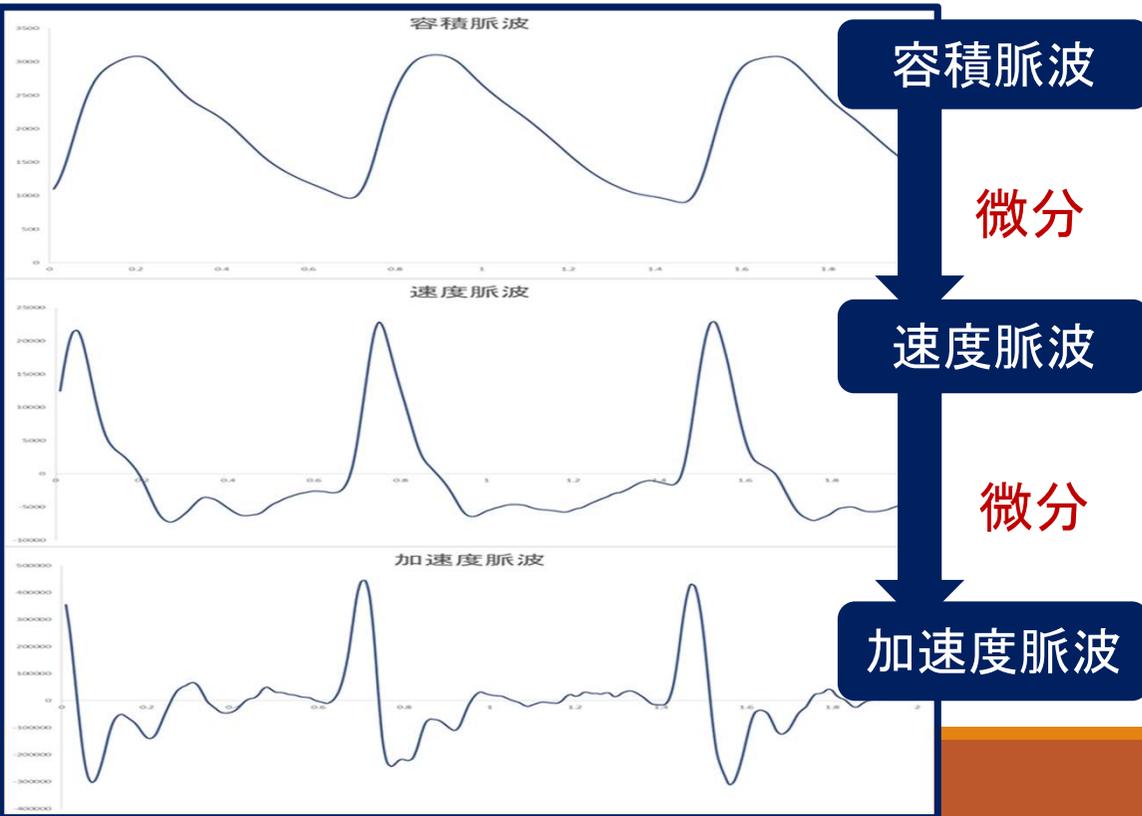
測定が可能

- リアブノブ指数が求められる
- RR間隔, LF/HFなどが算出可



加速度脈波について

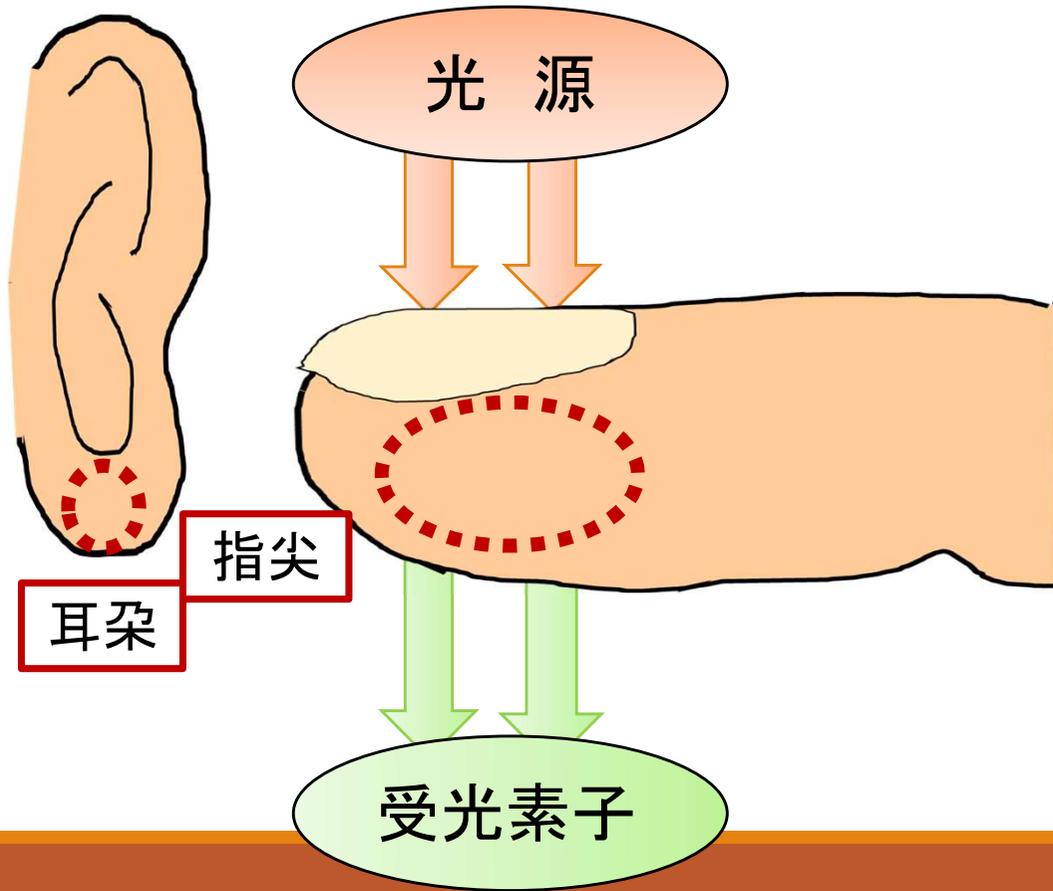
容積脈波は得られたデータをグラフ化しただけでは、不明瞭・不安定で単調な波形であるため、これを二回微分した「**加速度脈波**」を用いて解析する



波形にふくまれている血液循環の情報を読みとることは困難であるといった問題点がある。

容積脈波を時間定数0.01で2回微分した**加速度脈波**を用いる

脈波の測定原理について



指尖や耳朶などヘモグロビンの多い部位に近赤外光を照らす

ヘモグロビンの近赤外光の吸光度を利用

血液の増減で透過光量が変わる. 残光量を電圧値として捉え, 数値化する.

加速度脈波の分析,評価手法

本研究では,刻一刻と変化する外部環境の評価が必要である.

生体脈波が持つ決定論的カオス性に注目し,軌道不安定性が外部適応能力を反映する指標であるという考えより,外部環境適応能力という視点から評価を行った.

藤本らが提案した軌道平行測度法を用いて評価を行った.

埋込み定理について

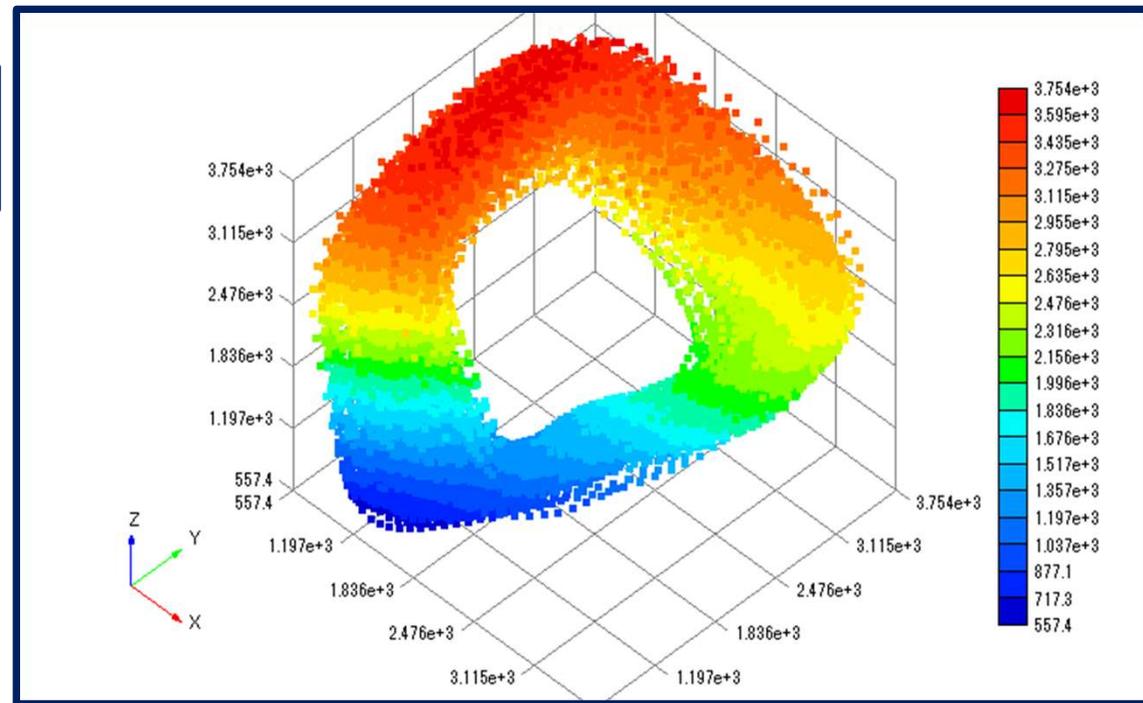
時間遅れ値を用いて、一定の遅れ毎の差分による時間の遅れ値による座標変換を用いる手法。

時間遅れ値とは、アトラクタの軌道を描くために
多次元状態空間に埋め込むときのパラメータ

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

$(x(t), x(t - \tau), \dots, x(t - (n - 1)\tau))$
 τ =時間遅れ値, n =次元数, t =時間になる

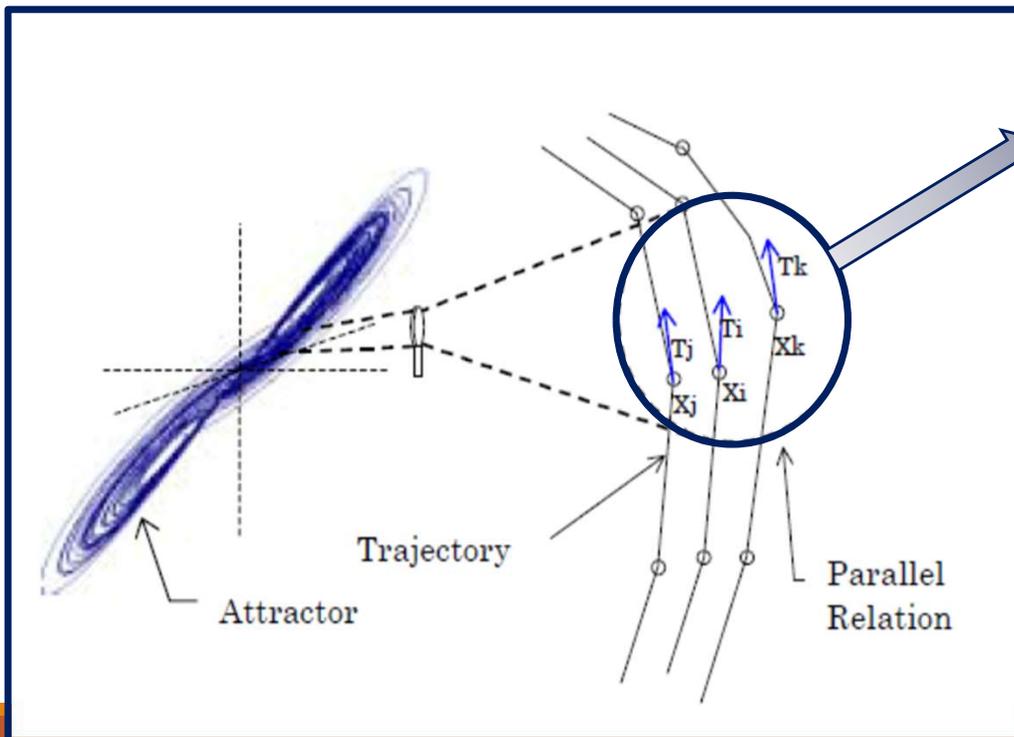
ベクトルを n 次元状態空間に
順次プロットしていくと軌道が描かれる



3次元における4次元への埋込み定理の概念図

軌道平行測度

時系列データの高次元空間への埋込みで構築されたアトラクタが
決定論的な規則を持つのか、確率論的な性質を持つのか評価する。



評価には、アトラクタの軌道の接線ベクトルの
ばらつき具合を使う

軌道が安定(外部環境適応能力:低)は1に近づき,
不安定(外部環境適応能力:高)は0に近づく

感覚刺激に対する自律神経応答の非線形解析
(感性学会,完成計測評価部会資料)新潟大学

軌道平行度の概念図(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)

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.

- **車線変更を行わない**

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

- **前日の睡眠時間は6時間以上**

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

- **前日飲酒をしていない**

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

- **ピアスやネックレスとの貴金属は外す**

脈波測定器は耳に装着するため測定時にセンサー一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す

- **車内温度の調整**

過度な寒さや暑さはストレスを受ける外的要因の一つであると考えられるため

調査対象地点の選定

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に単純化されている高速道路を対象とする。

順位	地点名	路線名	総事故件数(件/年)
1	参宮橋カーブ	4号新宿線(上り)	181
2	北の丸TN	都心環状線(内回り)	122
3	内苑第一カーブ	4号新宿線(下り)	99
4	神田橋JCT	都心環状線(内回り)	97
5	新宿カーブ	4号新宿線(上り)	96
6	用賀本線料金所	3号渋谷線(上り)	95
7	汐留Sカーブ	都心環状線(内回り)	92
8	長福本線料金所	4号新宿線(上り)	91
9	大井本線料金所	湾岸線	90
10	箱崎橋カーブ	6号向島線(下り)	83

平成15年度首都高速交通事故データ(首都公団調べ)

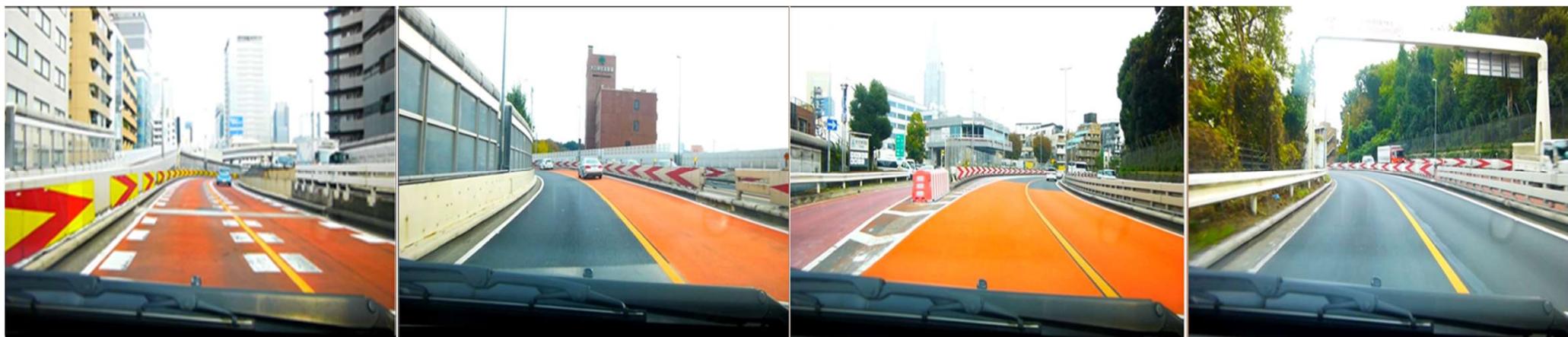


図-3 首都高速4号新宿線上りルート(永福～外苑)

参宮橋カーブ

- 半径88mの急カーブ
- 一日約4.7万台の交通量
- 2003年度には181件の事故が発生(事故率と併せて首都高速内ワースト1)

首都高4号新宿線を調査対象地点とする



地点	カーブ1	カーブ2	カーブ3	カーブ4
走行時間	12秒～13秒	12秒～13秒	15秒～17秒	5秒
曲線方向	右	左	右	左
半径	85m	88m	157m	74m
視認性	普通	悪い	良好	悪い
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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 壁面が高い	<ul style="list-style-type: none"> 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	<ul style="list-style-type: none"> 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.

測定結果

被験者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

	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)

- 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2走行時の軌道平行度が最も高い被験者が複数人いる。
- すべての被験者がカーブ3の走行時、軌道平行度がコース全体の平均より増加傾向にある。
- カーブ4における軌道平行度は、増加した被験者と減少した被験者の割合が等しい。

測定結果(OD式安全テスト)

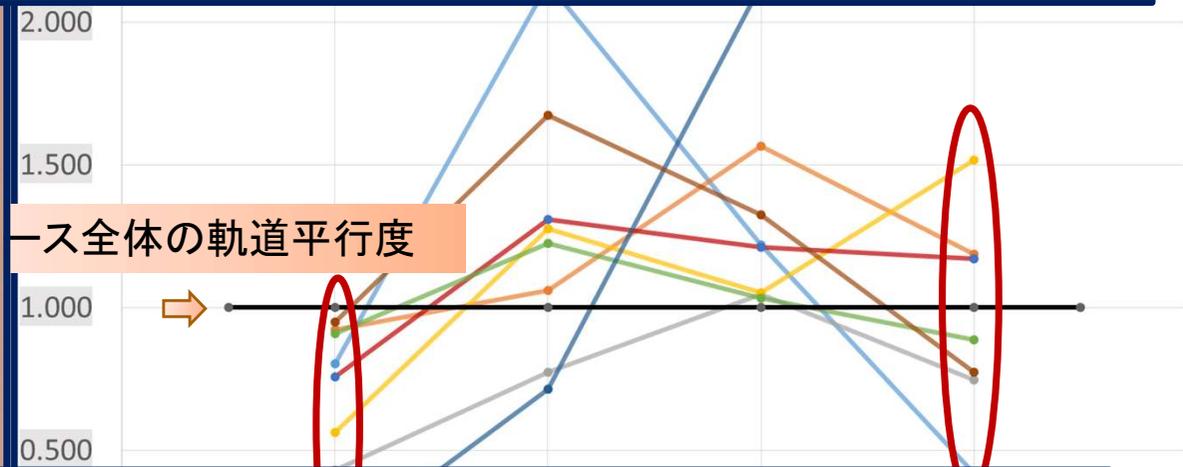
	情緒不安定性	衝迫性・暴発性	自己中心性	神経質・過敏性	虚飾性	不安全態度
A	5	2	1	3	4	0
B	2	4	0	5	4	3
C	5	1	1	5	3	2
D	3	2	4	1	4	1
E	5	4	4	4	4	4
F	2	2	1	2	3	0
G	2	2	3	5	3	1
H	5	5	3	2	4	0

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名以上いる項目を検討対象とした

すべての被験者における測定結果

カーブ4における軌道平行度は、増加した被験者と減少した被験者の割合が等しい。 た。

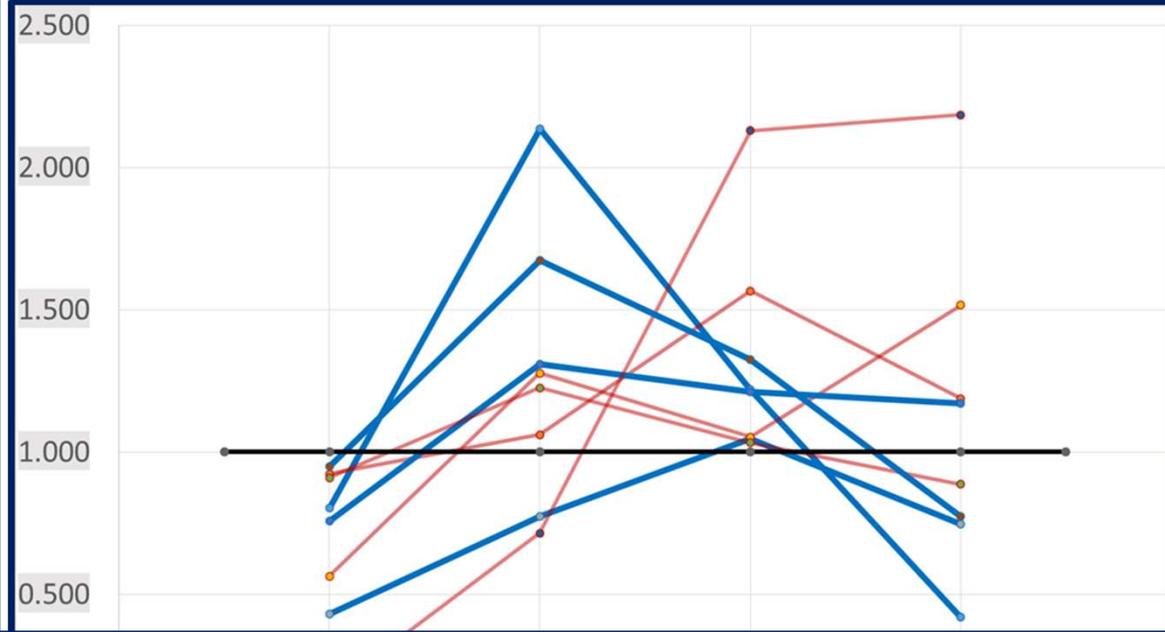
半径は85mと小さいが、曲線先の視認性の良さや、様々な安全対策施設によるカーブの情報提供が早い段階でドライバーに送られるため、負担なく走行できていると考えられる。



軌道平行度が増加した被験者の4名の内、3名が神経質・過敏性の特性を持っていた。走行時間が約5秒と非常に短いため、周囲の環境変化に敏感な特性を持つ被験者に軌道平行度の増加傾向が現れたと考えられる

情緒不安定性の有無に関する測定結果の比較

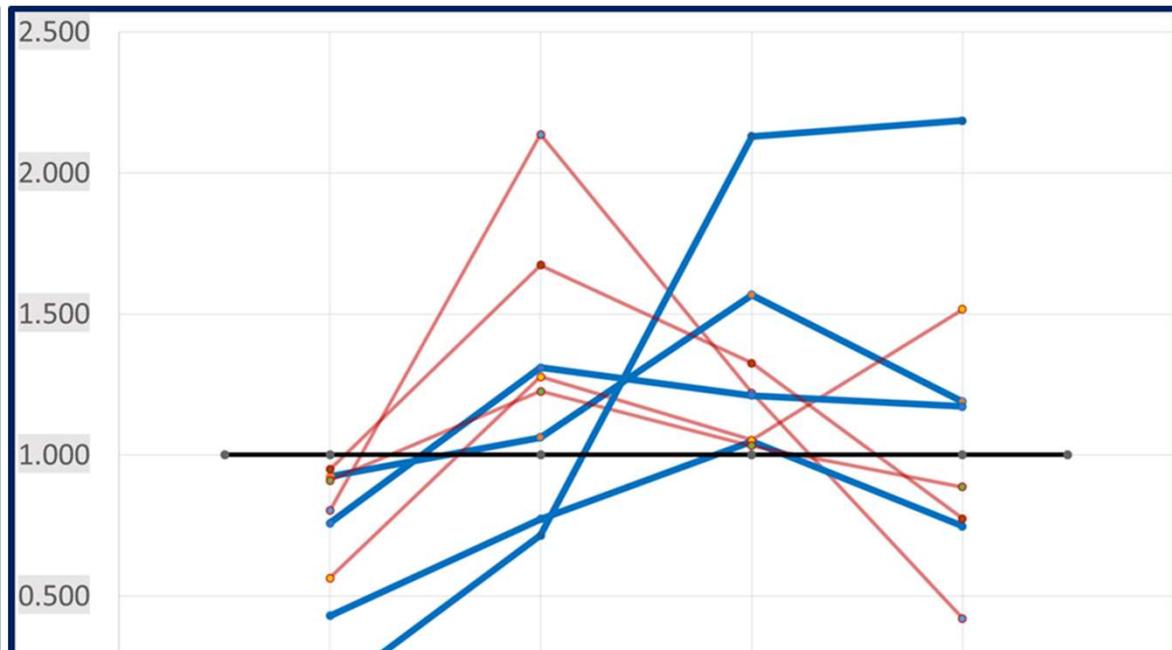
情緒不安定性のある被験者4名の内3名がカーブ2における軌道平行測度が最も高い値を示した



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続くことでドライバーへの不安を煽り、軌道平行度が高い値を示したと考えられる。

神経質・過敏性の有無に関する測定結果の比較

神経質・過敏性のある被験者4名の内3名がカーブ3における軌道平行測度が高い値を示した



周囲の変化に敏感なドライバーは、カーブ2の直後に来るカーブ3に対する、認知、判断、操作といった一連の運転行動に余裕が持てず、軌道平行度がより高い傾向を示すと考えられる。

まとめ

軌道平行度が高くなった地点は、**カーブ先の見通しが悪い地点**であったり、**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**で確認された。

カーブ直後に続くカーブなどは、**ドライバーの運転行動に余裕が持てないため高い傾向を示す**と考えられる。

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**周囲の環境**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。

ご清聴ありがとうございました

参考文献

1. 足立幸郎,藤井康男,山田幸一郎,中村裕樹:シーケ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. 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
5. 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
6. 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.
7. 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
8. 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
9. 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
10. 馬庭芳朗,天田実志ほか:新しい医療情報と健康の概念-複雑系生体情報解析の提唱- 先端地域医学,Vol.1,pp.6-15,2003
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

軌道並行測度法の算出方法

アトラクタを構成する軌道上の任意ベクトル x_i を選び、ユークリッド距離において x_i に近い m 個の近傍ベクトル x_j を選択し、データベクトル x_i と近傍ベクトル x_j の軌道に対する単位接ベクトル T_i, T_j を導出する。
 単位接ベクトル T_i, T_j の導出は、選択した点 x_i とその前後の3点を通る超円を想定し近似的に導出。

Step1: 任意のベクトル 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。

Step2: k_i と k_{i+1} との交点 C_i を求める。

Step3: x_i と C_i との相関ベクトル L_i を求める。

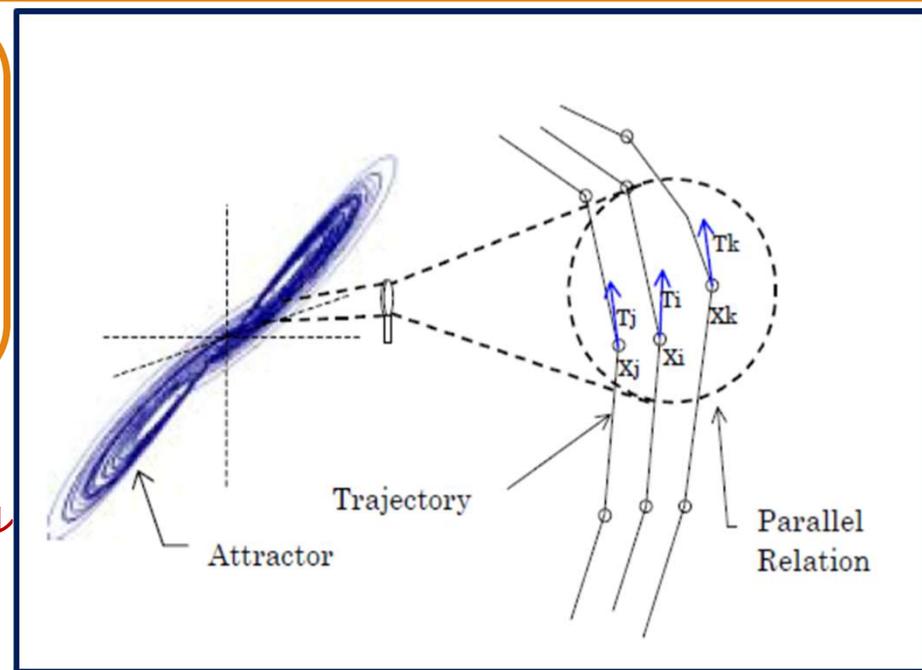
Step4: 相関ベクトル L_i に直行する単位接ベクトル T_i を求める。

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

γ_i : 局所空間における平行度
 m : 近傍ベクトル数
 T_i : 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
 Γ : 平行度
 K : サンプル数

$$\Gamma = \frac{1}{K} \sum_{i=1}^k |\gamma_i|$$

$\|T_i\|, \|T_j\| = 1$



(参照,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)

Step.1

Step1:任意のベクトル 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.

1. 容積脈波から加速度脈波を求める.
2. 加速度脈波を時間遅れ座標による相空間とアトラクタの再構成の原理より座標を求める
3. 座標からベクトル成分を求める.

$$A = (x_1, y_1, z_1) \quad B = (x_2, y_2, z_2) \quad C = (x_3, y_3, z_3) \quad D = (x_4, y_4, z_4)$$

$$AB(x_{i-1}) = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1) \quad BC(x_i) = (x_3 - x_2, y_3 - y_2, z_3 - z_2) \quad CD(x_{i+1}) = (x_4 - x_3, y_4 - y_3, z_4 - z_3)$$

4. ベクトル成分から法線ベクトルを求める.

$$AB = (X_a, Y_a, Z_a) \quad BC = (X_b, Y_b, Z_b) \text{と仮定すると}$$

$$AB \times BC = K_i = ((Y_a \times Z_b) - (Z_a \times Y_b), (Z_a \times X_b) - (X_a \times Z_b), (X_a \times Y_b) - (Y_a \times X_b))$$

Step.2

Step2:法線ベクトル k_i と k_{i+1} と k_{i+2} との交点 C_i を求める.

1. Step1.4で求めた法線ベクトルから,平面の方程式を求め,3次の連立方程式から交点 C_i を求める

$$AB \times bC = k_i = ((Ya \times Zb) - (Za \times Yb), (Za \times Xb) - (Xa \times Zb), (Xa \times Yb) - (Ya \times Xb))$$

$A = (x_1, y_1, z_1)$ を通り,法線ベクトル k_i の平面方程式は

$k_i = (a, b, c)$ と仮定すると

$$a(x - x_1) + b(y - y_1) + c(z - z_1) = 0 \text{ と求められる.}$$

同様に,法線ベクトル k_{i+1} と k_{i+2} での平面方程式を求め,3次の連立方程式を解き交点 C_i を求める

Step.3,4

Step3: x_i と C_i との相関ベクトル L_i を求める.

1. x_i と C_i の相関係数を求める

$$\cos\theta = \frac{x_i \times k_i}{|x_i| |C_i|} \quad \cos\theta = \text{相関係数}$$

$$L_i = C_i \times \text{相関係数}$$

Step4:相関ベクトル L_i に直行する単位接ベクトル T_i を求める.

1. 相関ベクトルの L_i, L_{i+1} 外積を求め,正規化を行い直行する単位接ベクトル T_i を求める.

近傍ベクトルの単位接ベクトル(T_j)導出方法

アトラクタを構成する軌道上の任意ベクトル x_i を選び,ユークリッド距離において x_i に近い m 個の近傍ベクトル $x_j(j=1,2,3\cdots m)$ を選択

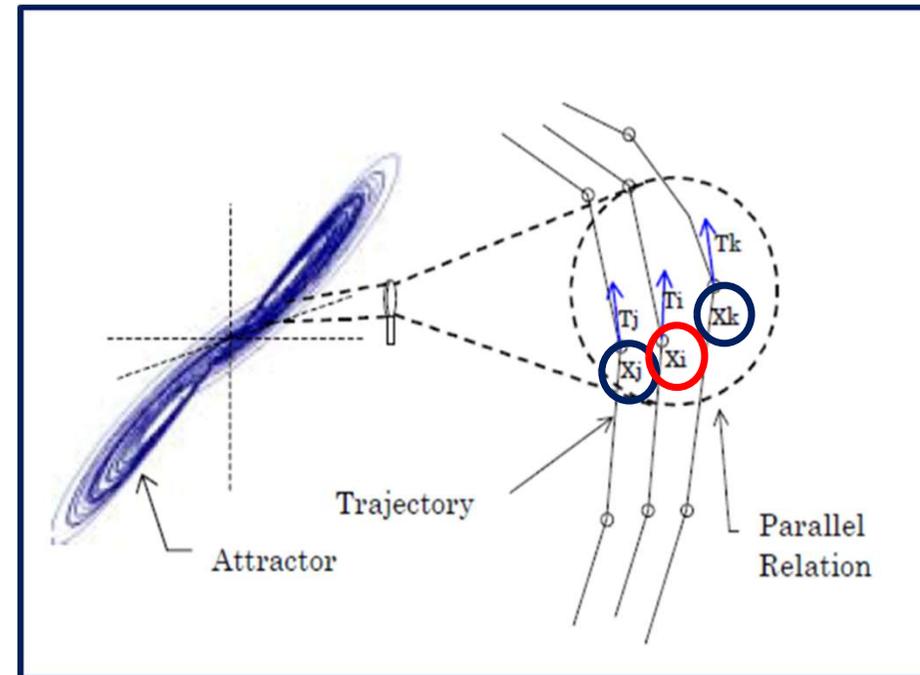


近傍ベクトル($x_{j1}x_{j2}x_{j3}\cdots x_{jm}$)における単位接ベクトルを求める

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

$$\Gamma = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k |\gamma_i|$$

- γ_i : 局所空間における平行度
- m : 近傍ベクトル数
- T_i : 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
- Γ : 平行度
- K : サンプル数



(参照,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)

軌道平行測度法を用いた実例

感覚刺激に対する自律神経応答の非線形解析
(感性学会,完成計測評価部会資料) 新潟大学

視聴時間18分の動きの激しい映像(パラシュートやマウンテンバイクなど10種類)の一人称視点映像を使用し,映像視聴中の主観を評価



- マウンテンバイクが不快と答える被験者が最も多く(1: を基に求めた生体影響があると考えられる時刻も最も)
- また,軌道平行度はマウンテンバイクの映像が不快と答えた人に上昇や高値を示した.



参照・渡邊弘毅ら:感覚刺激に対する自律神経応答の非線形解析
(感性学会,完成計測評価部会資料) 新潟大学

脈波のカオス性及び決定論について

指尖容積脈波は、心拍出にともなう血液の容積変動を指尖で記録したものであり、**入力と出力との間に比例関係の成り立たない非線形システム**に基づくものと考えられている。

脈波をみると、**同じような波形が連続するが、その挙動は単純ではなく、カオス的**であることが指摘されている。

カオスとは、**一見複雑ではあるが、その挙動は初期状態によって決定されており決定論的非線形システムに基づく現象**であるとされている

(参照・清水健一郎: サロゲートデータ法を用いた指尖容積脈波の非線形解析, 脈管学43(1), 15-19, 2003-01-25)

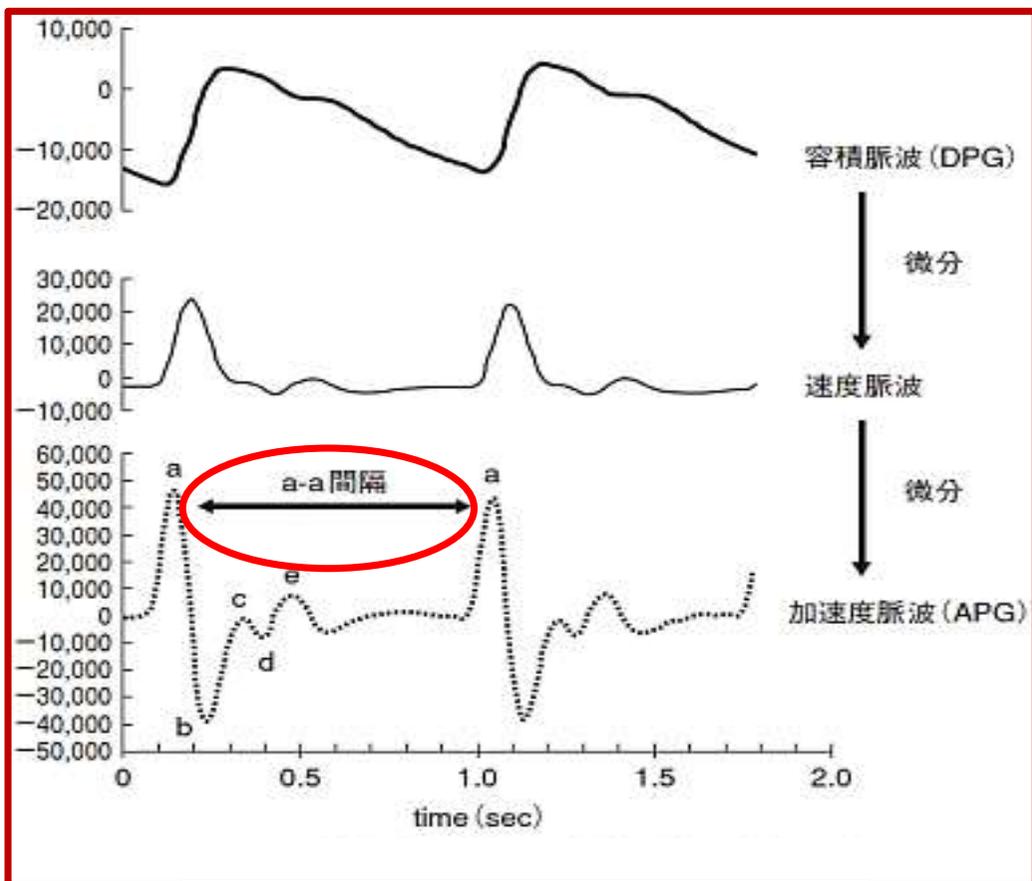
加速度脈波について

1977年より指尖容積脈波を末梢循環の評価の指標としての検討に着手した。

1979頃までは従来の指尖容積脈波を指標として検討を行ってきたが、従来の指尖容積脈波のままでは基線の動揺が大きく、また波形の起伏がはっきりしないため循環動態の個人差を明確に捉えることが困難であると判断した。

基線の安定と波形の起伏をはっきりさせるために指尖容積脈波を1回微分(速度脈波)および2回微分(加速度脈波)した波形で検討することを試みたところ、加速度脈波の方が従来の指尖容積脈波や速度脈波より循環動態の個人差をより明確に捉える良い指標となり得ることを確信した。

(参照・佐野裕司ら：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(3),129-143,1991)



脈波を二回微分した加速度脈波を解析すると
A,b,c,d,e波の成分からなる

著者らは基線からa点の高さを一定にしてb,c,d,eの
それぞれの高さを相対値で表す方法を提案した。い
わゆる、 b/a 、 c/a 、 d/a および e/a である。これらの方法を
用いることで加速度脈波の波形を定量化して扱うこ
とができるようになった。

(参照・佐野裕司ら：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(3),129-143,1985)

a-a間隔が一定間隔とは限らないため、
一定時間における評価が困難と考えた。

	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)

	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)

被験者毎のコース全体の軌道平行測度を1とする。

被験者ごとに、コース全体の軌道平行測度から各カーブの軌道平行測度の値を除した

- (1) 少しでも不安なことがあると落ち着かないほうだ。
- (2) ちょっとしたことでもイライラしたり、カッとなったりするほうだ。
- (3) 何でも自分の思い通りにならないと気がすまないほうだ。
- (4) 細かいことにこだわりすぎてしまうほうだ。
- (5) 人前ではつい見栄を張ってしまうほうだ。
- (6) 社会のルールや規則を軽視しやすいほうだ。
- (7) 些細なことで落ち込んだりすることが多い。
- (8) 他人からイヤなことをされるとやり返してしまいがちだ。
- (9) 他人から指図を受けることが嫌なほうだ。
- (10) ちょっとしたことにも過剰に反応してしまうことが多い。
- (11) 見た目や格好よさにこだわるほうだ。
- (12) 作業を行う際は、安全より効率を重視するほうだ。
- (13) 気分の浮き沈みが激しいほうだ。
- (14) カッとなると自分を見失いやすい。
- (15) 自分の意見が通らないと納得できないほうだ。
- (16) 他人が見ていると気が散って仕事や作業がはかどらないほうだ。
- (17) グループの中で注目の的になりたい
- (18) 安全の確認さえできていれば、交通ルールを守らなくてもよいと思うほうだ。
- (19) ちょっとしたことではしゃいでしまうほうだ
- (20) 相手が話し終わる前に話し出すクセがある。
- (21) 自己主張することが多いほうだ。
- (22) 気になることがあると、眠れないことが多い。
- (23) 他人に褒められたり、尊敬されたりすることをしてみたい。
- (24) おもしろ半分で、つい無茶なことをしてしまうほうだ。
- (25) 気が散って考えがまとまらないことが多い。
- (26) 気に入らないことがあると、冷静でいられなくなるほうだ。
- (27) 他人の話を聴かないほうだ。
- (28) 心配事があると、物事に集中できないことが多い。
- (29) 自分が成し遂げたことを他人に認めてもらいたい。
- (30) 相手に配慮するなどの社会的なマナーに関心がないほうだ。