

# 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

計画マネジメント・皆川研究室

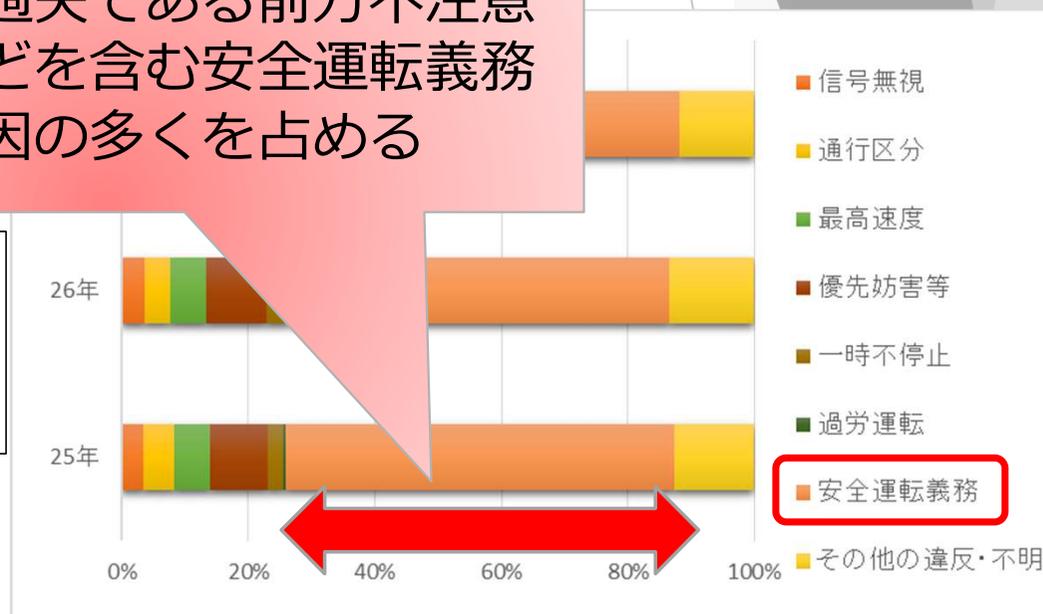
1318019 岡大志

# 研究背景

今日，交通安全に対する関心が高まっているなか  
全体の交通事故件数は減少傾向にある。

ドライバーの過失である前方不注意  
や操作不適などを含む安全運転義務  
違反が事故原因の多くを占める

しかしながら毎年の交通事故による  
死者は4000人を超え，交通事故防止策  
を考えることは今後も重要である。



過去三年間の事故原因（警察庁調べ）

# 研究背景

道路が複雑な線形を描きやすい山間部では大きな事故になりやすい

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いる

道路に施される事故防止策の例  
段差舗装（左） 道路標示（右）



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。

山梨県警による国道412号の注意喚起ポスター  
道の駅や観光案内などに掲示されている



# 研究背景

交通事故の原因の多くを占める安全運転義務違反とは前方不注意や操作不適などの運転者の行動が原因となる

安全運転義務違反をはじめとす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が少なく、生理指標による評価も十分に確立していない

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生理指標である**生体脈波**を利用してドライバーの負担を評価

# 生理指標とは

生理的な変化を測定する事により生体情報を得る方法である

心電図, 脳波, 脈波, 体温, 発汗など

生理指標は心身に降りかかる様々な  
重負で変化が起きる

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

生理指標を調べる事により心身にどのような  
ことが起きているのか調べることができる

生理指標はストレスの測定や病  
気の診断でも用いられる  
シンプルであるが聴診器から得  
られる心音も生理指標である

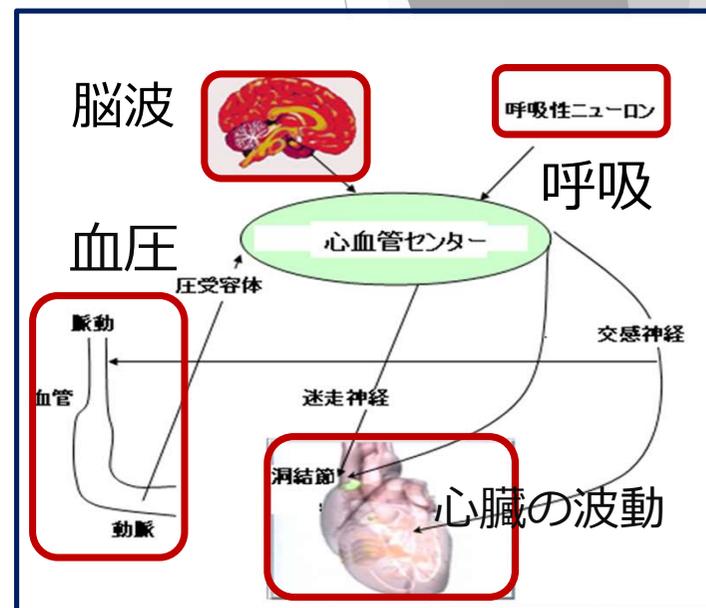
<http://freebies-db.com/free-photo-doctor-bust-shot.html>

# 生体脈波とは

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かけて体の各部位から  
発信される様々な信号から合成される

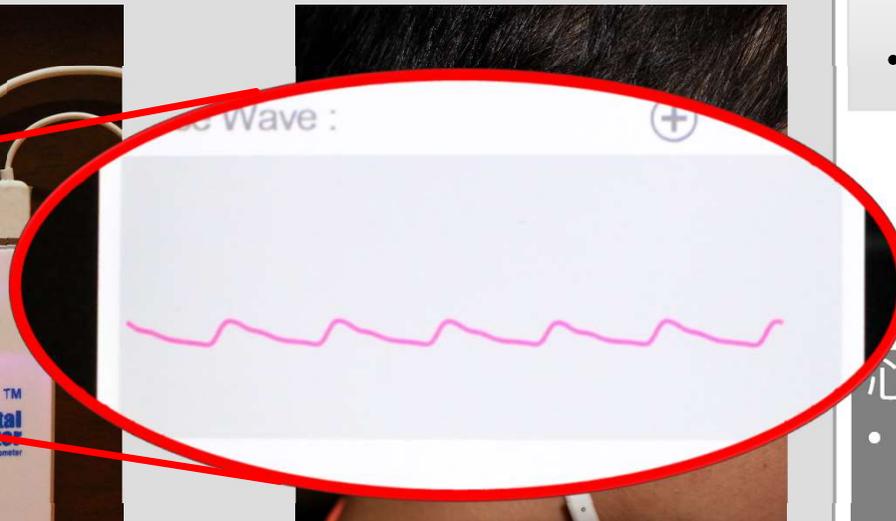
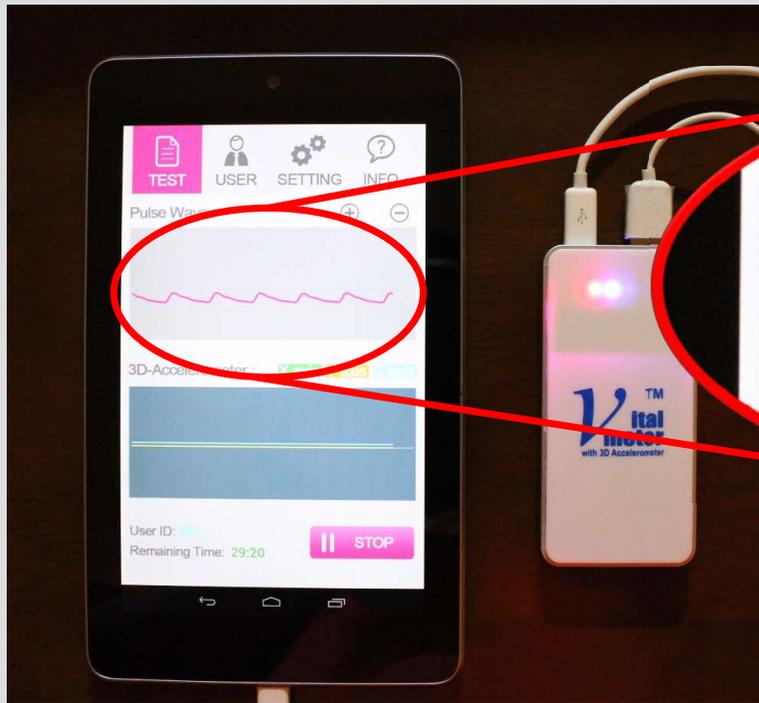
全身をめぐる血液から観測される脈波は、  
脳波や血圧、体温、発汗など様々な  
生理指標の要素を含んだものである



心的状態を総合的に反映した生理指標といえる

# 脈波の測定器について

株式会社TOAS研究所製「Vital meter」を使用



測定された脈波

- 脈波の測定
- リアプノフ指数の算出
- 心拍数の算出

心的負担とは関係が薄いですが...

- 交感神経などの活動  
なども測定できる

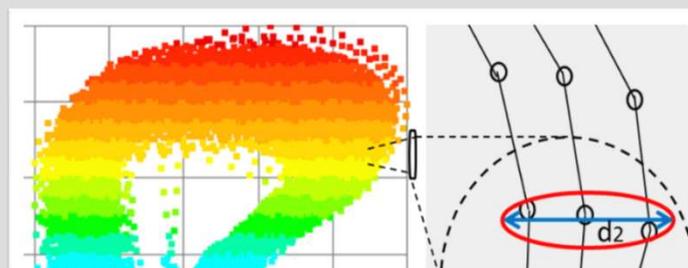
本研究では脈波からリアプノフ指数と心拍数を算出

# 各生理指標について

## リアプノフ指数

脈波の波形から得られるアトラクタと呼ばれる幾何学

脈波の波形から得られるアトラクタ (左)



ストレスや緊張によりリアプノフ指数は高くなる

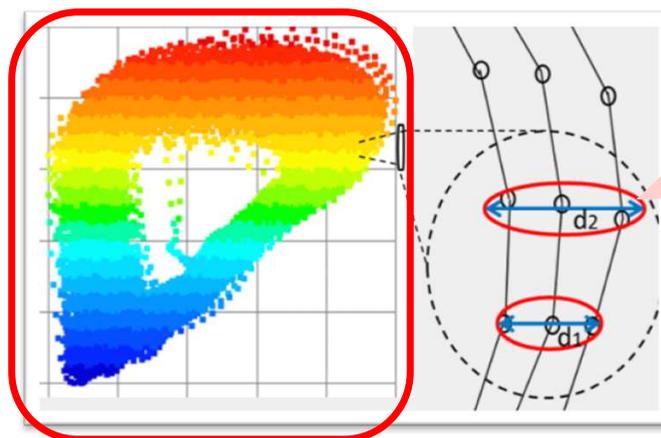
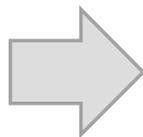
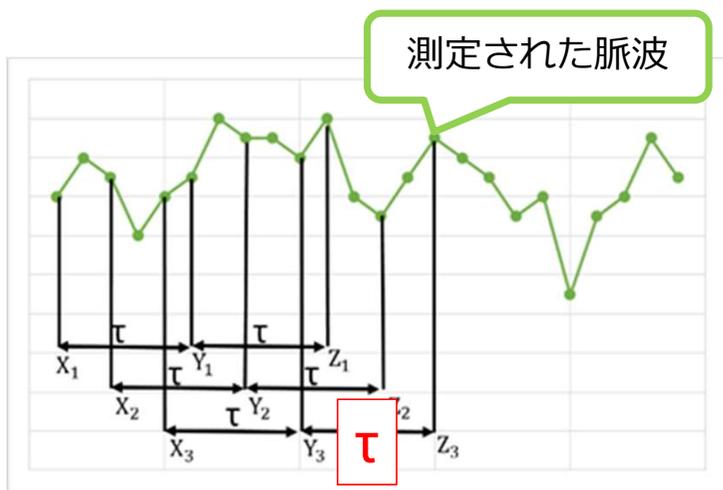
アトラクタは複雑になり  
リアプノフ指数は高くなる

道の距離を示している  
この距離がリアプノフ指数であり、大きければ脈波の乱れがあると言える

# もっとリアプノフ指数

測定された脈波からリアプノフ指数を出す方法

リアプノフ指数はアトラクタの複雑さを表す指標。  
つまり測定した脈波よりアトラクタを構成する必要がある。



リアプノフ指数は軌道と軌道との距離を示す

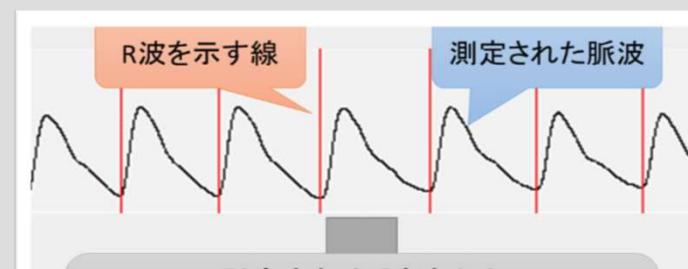
時間遅れ値を用いて、一定の遅れ毎の差分による時間の遅れ値による座標変換を用いる手法によりアトラクタを構成する。

# 各生理指標について

## 心拍数

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示す

## Vital meterの心拍数の測定原理



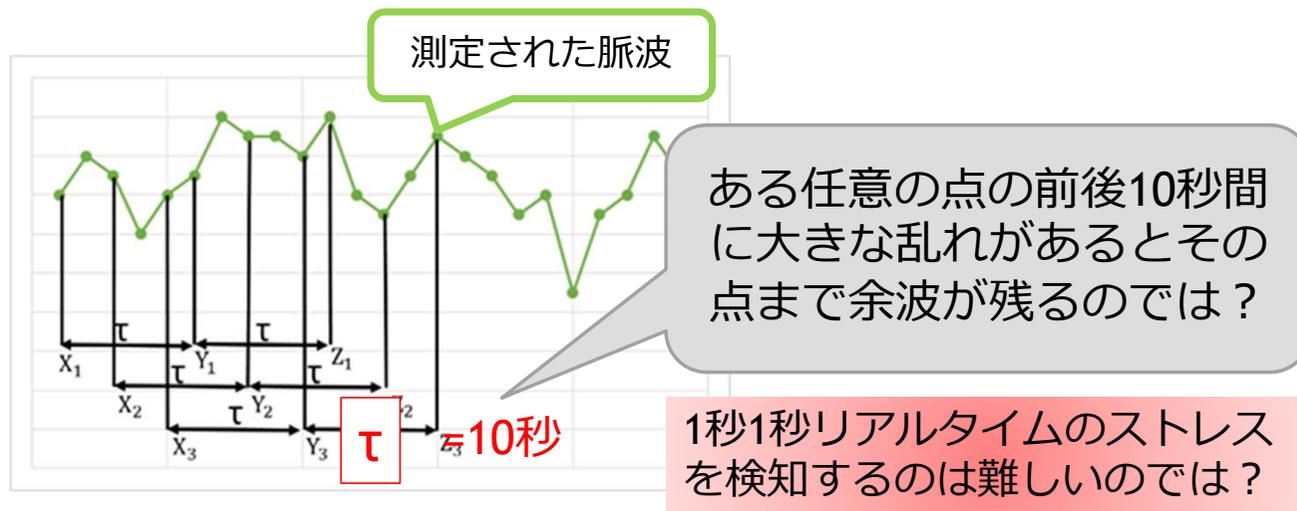
緊張の高まりや運動により心拍数は高くなる

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

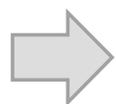
専用の機械で測定できるほか体一つでも簡単に測定できるため、スポーツ選手のトレーニングや日常のストレスの測定まで様々なところで応用されている

# リアプノフ指数と心拍数の違いについて

リアプノフ指数は道路の走り心地評価において一定の成果を上げている



リアプノフ指数は前後10秒のスライド計算により算出されている。



ある程度の長さの遅れ値を設定することでノイズを軽減する効果がある

## 心拍数

R波が検出されるタイミングで次々と値として測定できる

一般道のように次々とイベントが発生する場合は有利か？

# 実験条件

本研究では20歳台前半の大学生を対象とした  
実験以外の脈波への影響をできる限り排除するために以下の条件を設定した

- ・ 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
- ・ 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

# 実験条件

本研究では20歳台前半の大学生を対象とした。

- ・ 前日アルコールの摂取を控える

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

- ・ 睡眠時間を6時間以上取る

睡眠不足による運転は、睡魔によって安全な走行の妨げになるためである

- ・ 車内の温度は適温を保つ

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が不快に感じない25℃前後に設定した

- ・ ピアス等の貴金属はあらかじめ外す

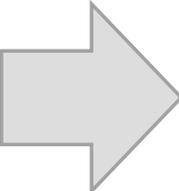
測定器は正確な測定の為にセンサー部分が直接皮膚に接するようにしなければならない

# 予備実験の実施

目的：Vital meterを用いる実験のリハーサル  
サンプルデータの作成と生理指標の有用性の確認

実験条件・実験方法：本実験と同じ

調査地点：神奈川県道64号線のサンクス津久井宮ヶ瀬店～清川村道の駅の約11kmの区間

- 
- 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



# 予備実験の結果

走行時と安静時の比較，段差舗装と連続カーブについて  
両生理指標をまとめた。

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

両生理指標ともに走行時が高い  
走行時の緊張を反映しており有  
用性が確認できる

## 予備実験の結果②

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

どちらの被験者もリアプノフ指数は段差舗装で高くなり連続カーブで低くなった  
また心拍数の場合は段差舗装で低くなり連続カーブで高くなった



## この区間で起きる事故の特徴

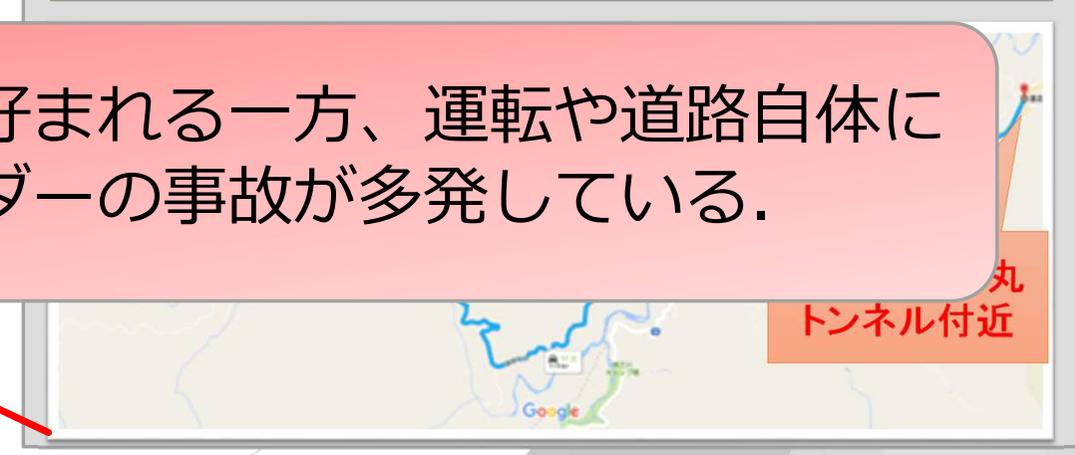
- 100%県外ナンバー（昨年）か県外在住者（今年）による事故
- 半数が単独事故
- 週末に多い



カーブや起伏による走りがいが好まれる一方、運転や道路自体に不慣れなドライバーやライダーの事故が多発している。



- 一時停止や信号機が仔任せで停車する必要がない



# 実験の様子と内容

- 走行時の脈波の測定
- 安静時の脈波の測定
- 日常の運転頻度や道路の利用頻度のアンケート



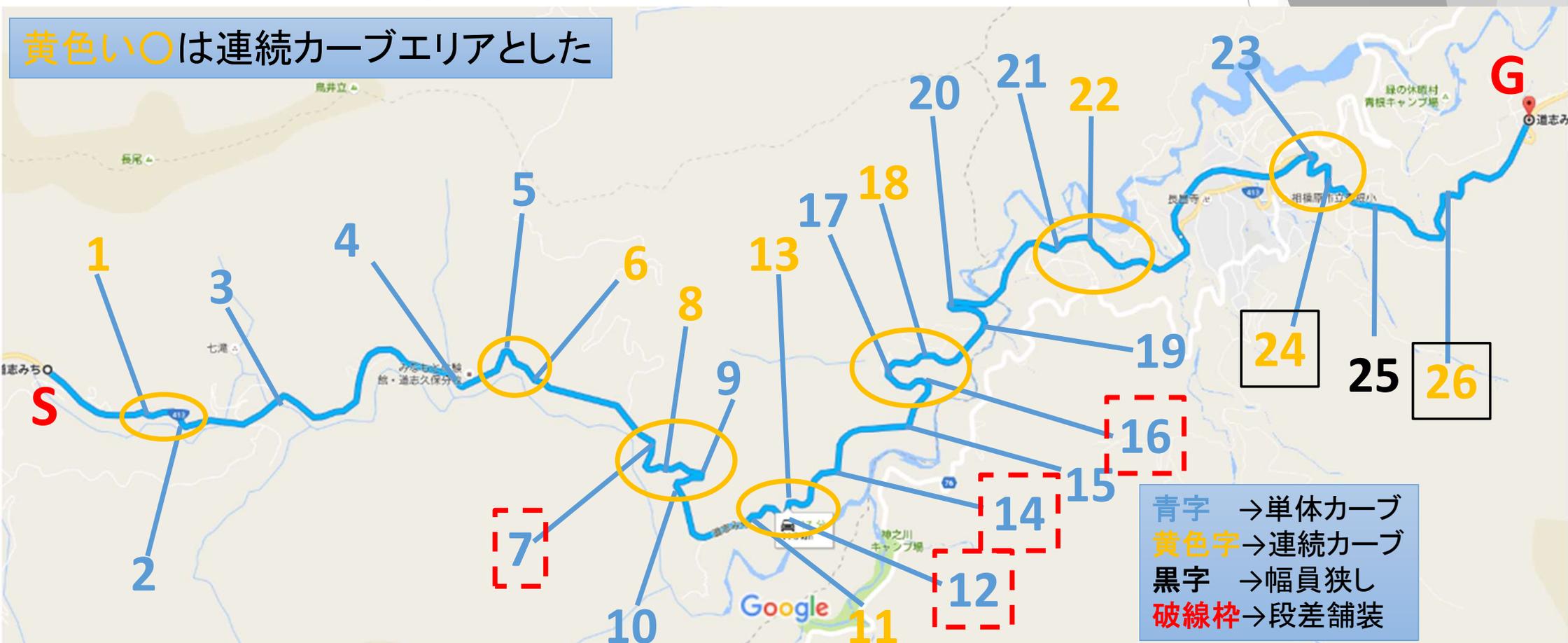
車載カメラの様子



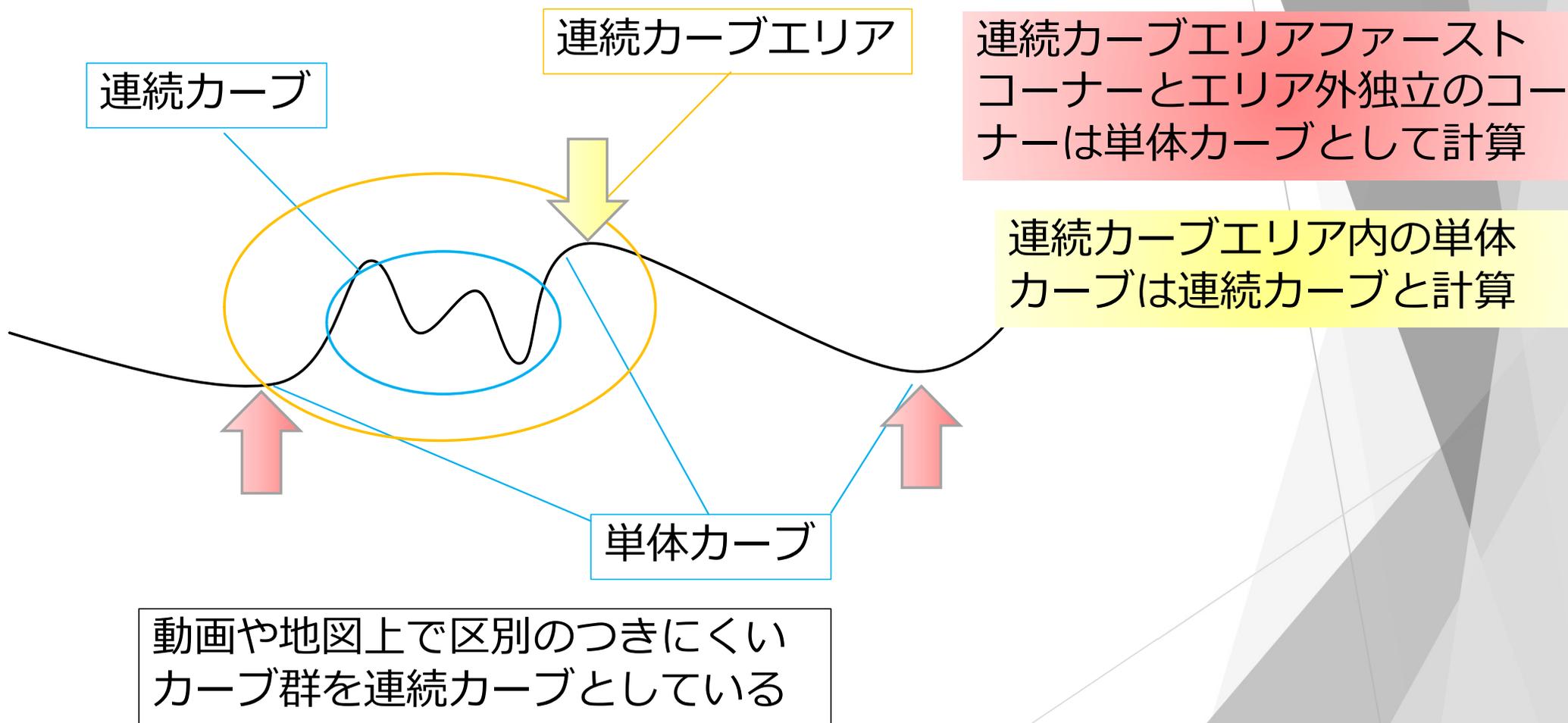
# 実験のまとめ方

実験区間にてカーブや起伏、幅員狭しなどストレスの感じる可能性のあるところ  
(以下**イベント**と呼称) をナンバリングし被験者ごとのリアプノフ指数と心拍数を調べる

黄色い○は連続カーブエリアとした



# イベントの決め方



# 測定結果のまとめ方

イベントを特性分け（以下8項目）したうえで、特性ごとの両生理指標の平均値を出した

## 特徴8項目

- 単体カーブ
- 連続するカーブ群
- 右カーブ
- 左カーブ
- 下りのイベント
- 上りのイベント
- 段差舗装
- 幅員狭し

## グラフ化に際して...

測定された値の絶対値は  
被験者ごとに大きく異なる

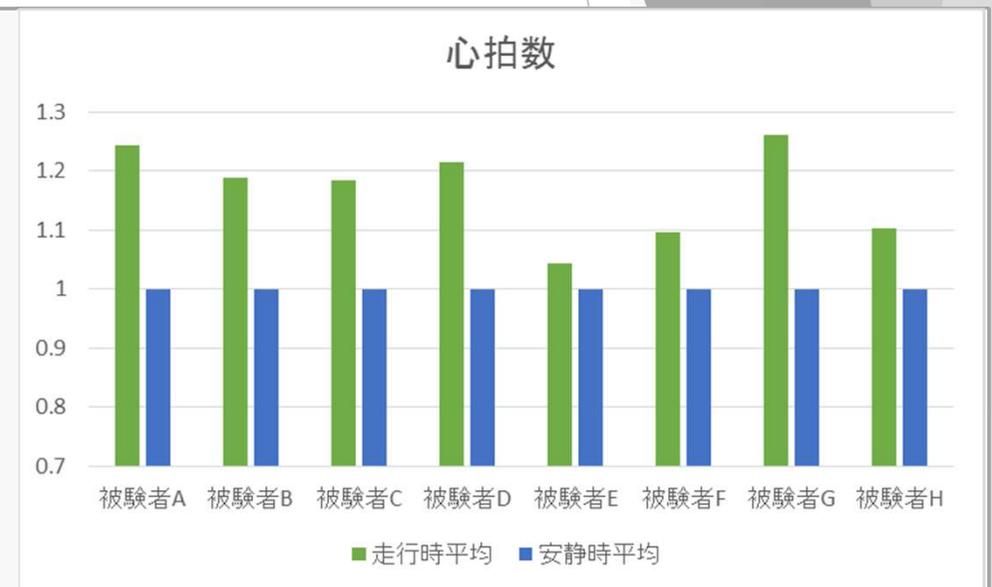
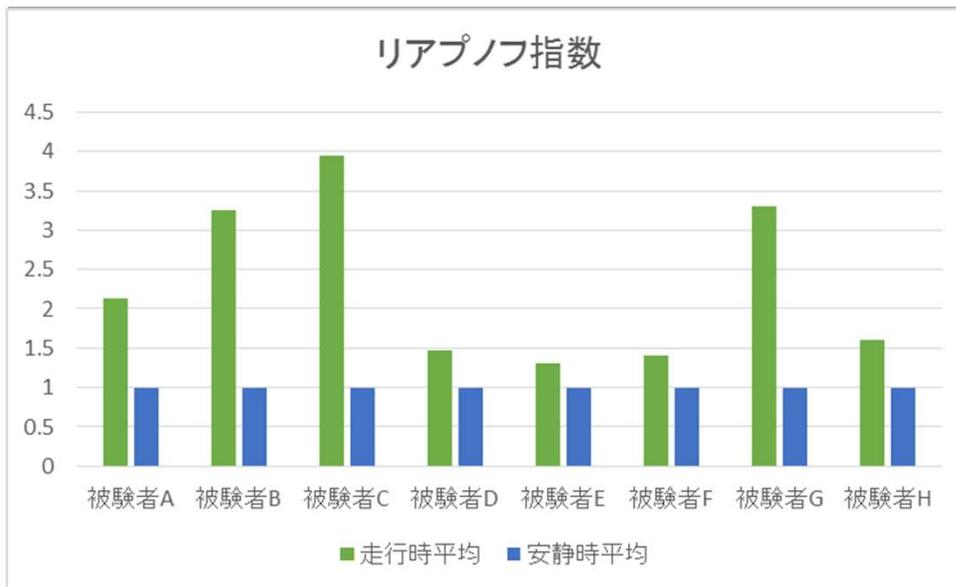


スケールの異なる被験者を比較するために  
走行時全体の平均値を1とした時の値を特徴  
ごとに出している

計算方法：（測定値） / （走行時平均）

# 安静時と走行時比較

安静時の値を1とした場合

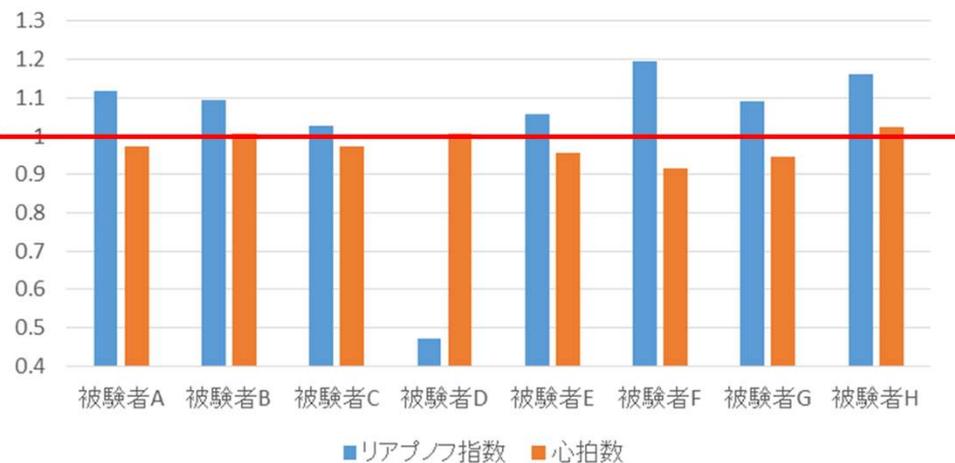


両生理指標ともに走行時が高い，運転の際の緊張感を反映している

# 単体のカーブと連続カーブ

リアプノフ指数 7/8  
心拍数 1/8

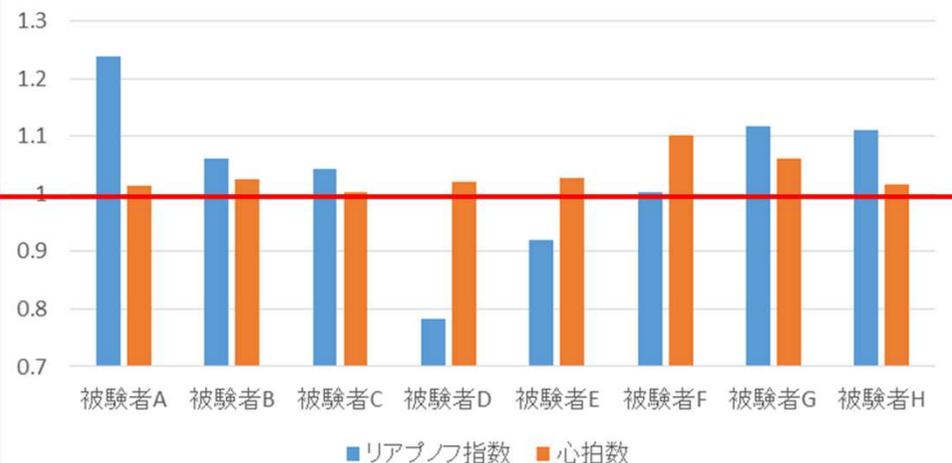
単体カーブ



リアプノフ指数は高い値を示した  
一方心拍数は低い値を示した

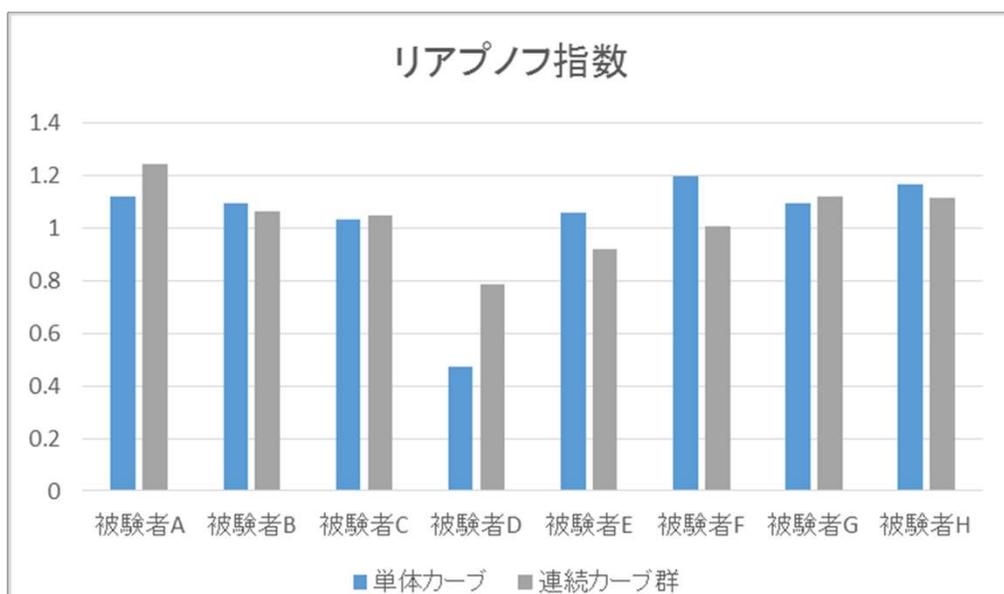
リアプノフ指数 6/8  
心拍数 8/8

連続カーブ

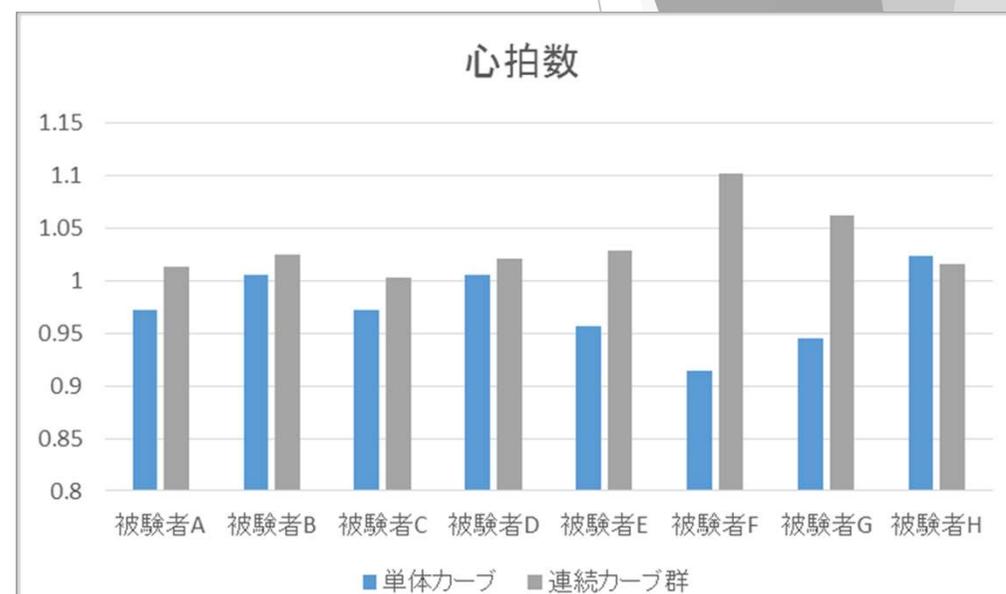


リアプノフ指数は高い値を示した  
心拍数も全員高い値になった

# 生理指標ごとに 単体と連続カーブを比較した場合



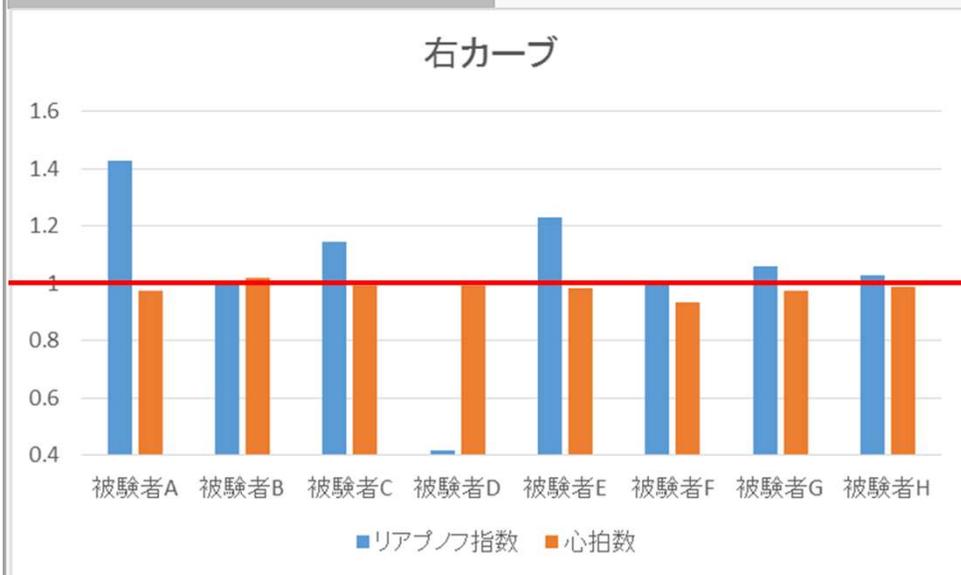
一方が高くなるといった特徴は見られなかった



1人を除き連続カーブのほうが高い

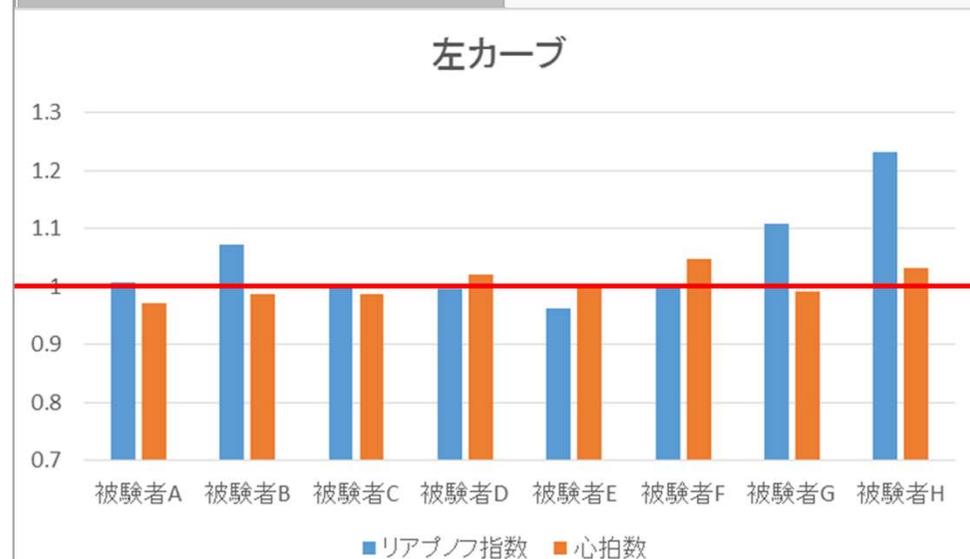
# 右カーブと左カーブ

リアプノフ指数 5/8  
心拍数 1/8



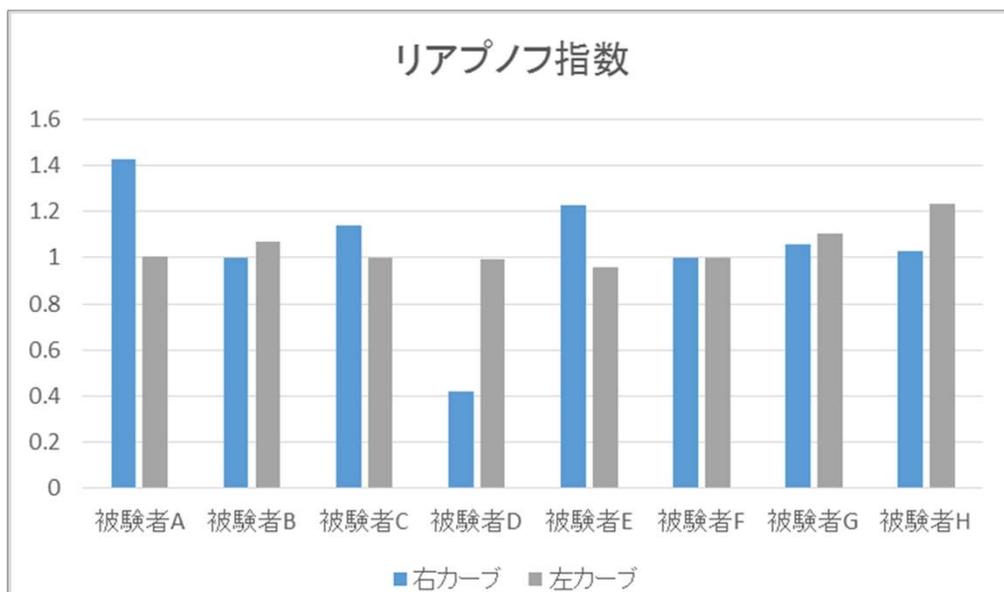
リアプノフ指数は特徴はなし  
一方心拍数は低い値を示した

リアプノフ指数 5/8  
心拍数 3/8

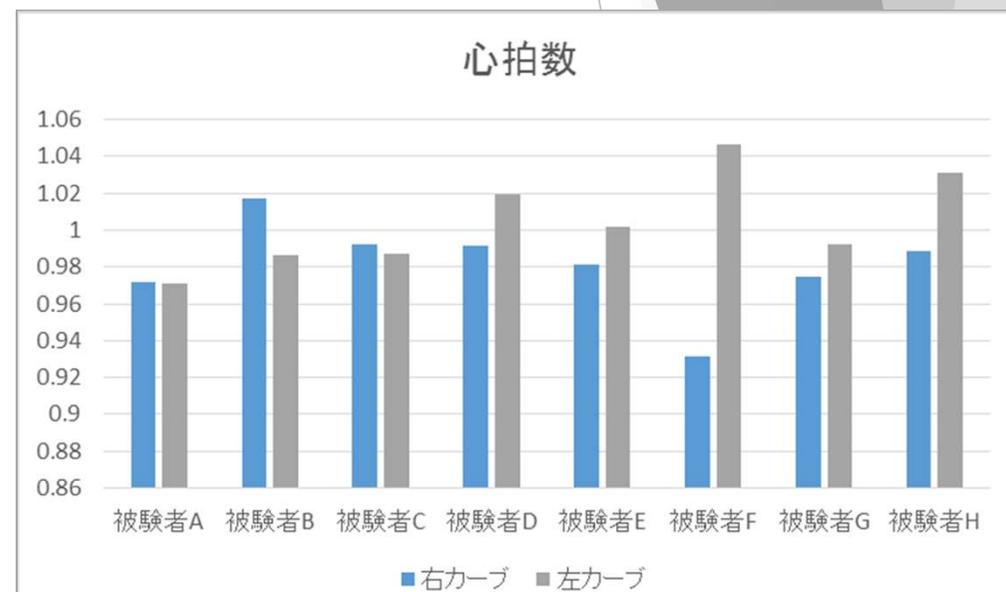


両生理指標ともに特に特徴は見られなかった

# 生理指標ごとに 右カーブと左カーブを比較した場合



一方が高くなるといった特徴は見られなかった

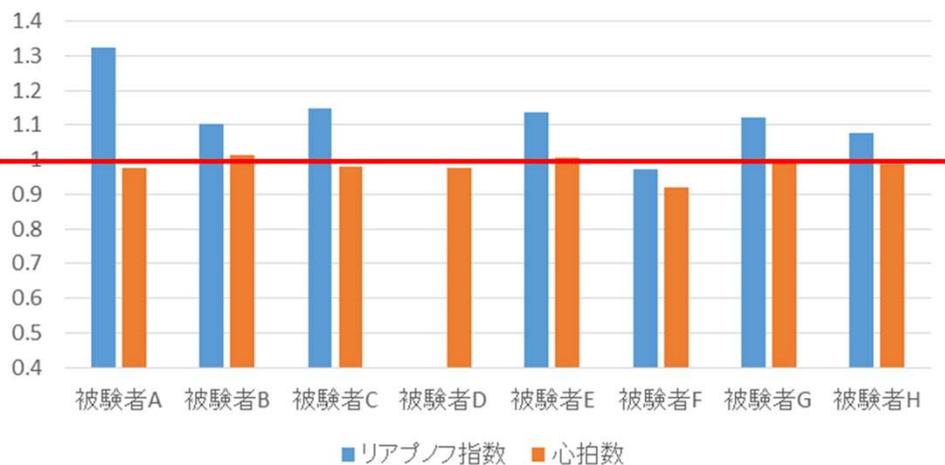


一方が高くなるといった特徴は見られなかった

# 上り勾配と下り勾配

リアプノフ指数 6/8  
心拍数 1/8

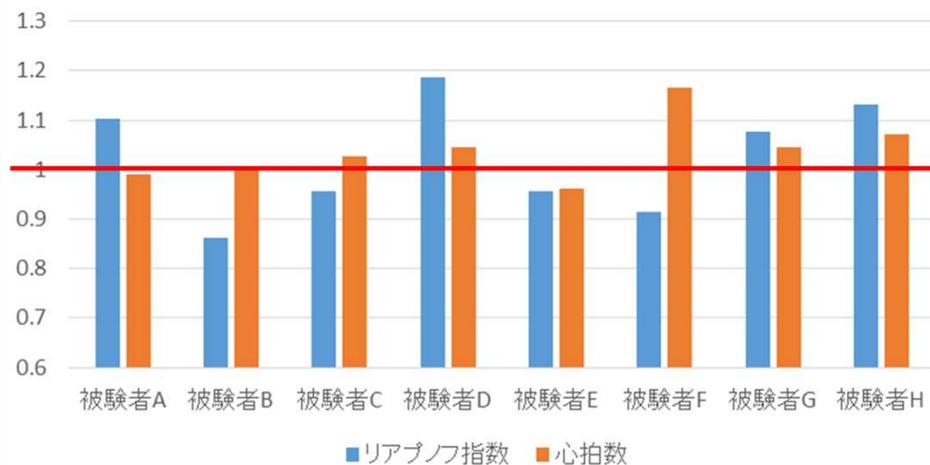
上り



リアプノフ指数は高い値を示した  
一方心拍数は低い値を示した

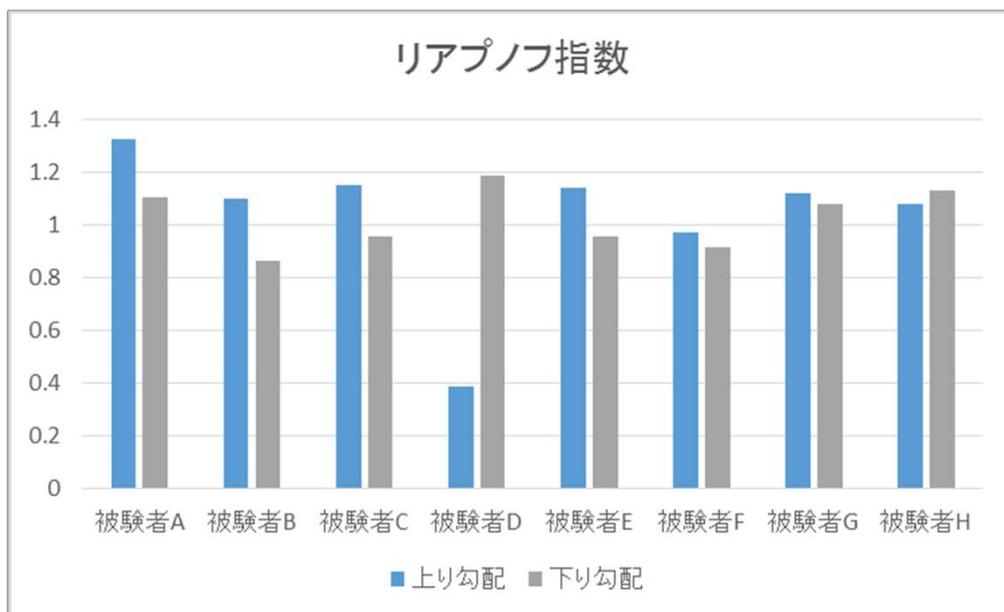
リアプノフ指数 4/8  
心拍数 6/8

下り

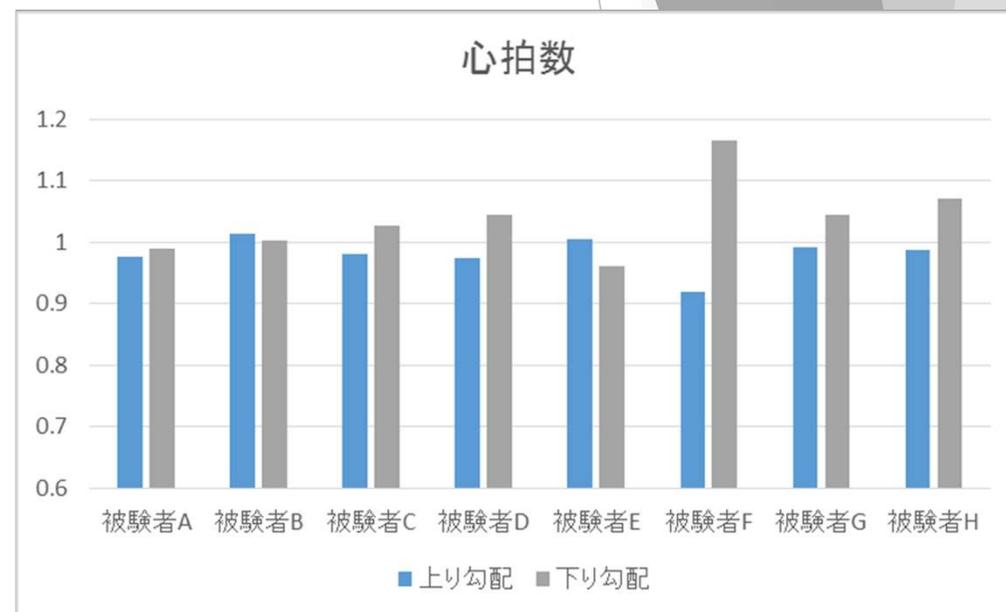


リアプノフ指数は特徴はなし  
一方心拍数は高い値を示した

# 生理指標ごとに 上りと下りの勾配を比較した場合



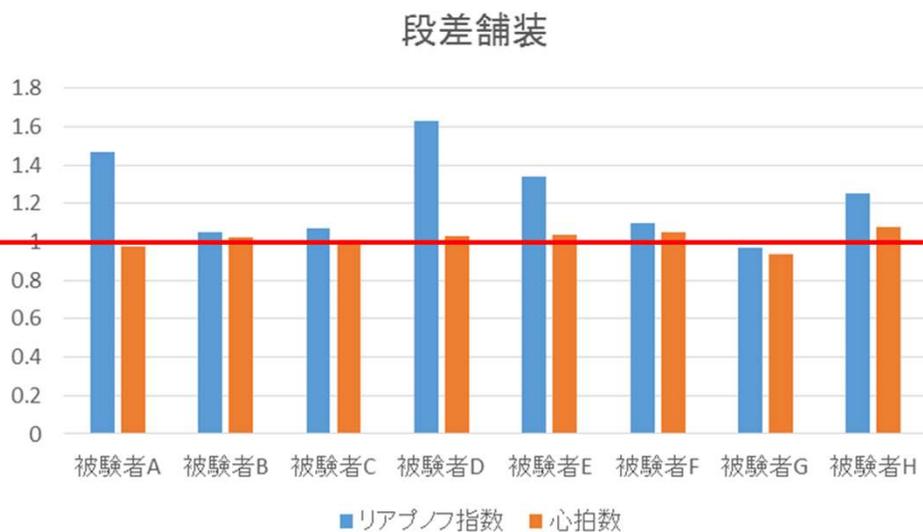
勾配比較では上りで高い値を示した



勾配比較では下りで高い値を示した

# 段差舗装

リアプノフ指数 7/8  
心拍数 6/8



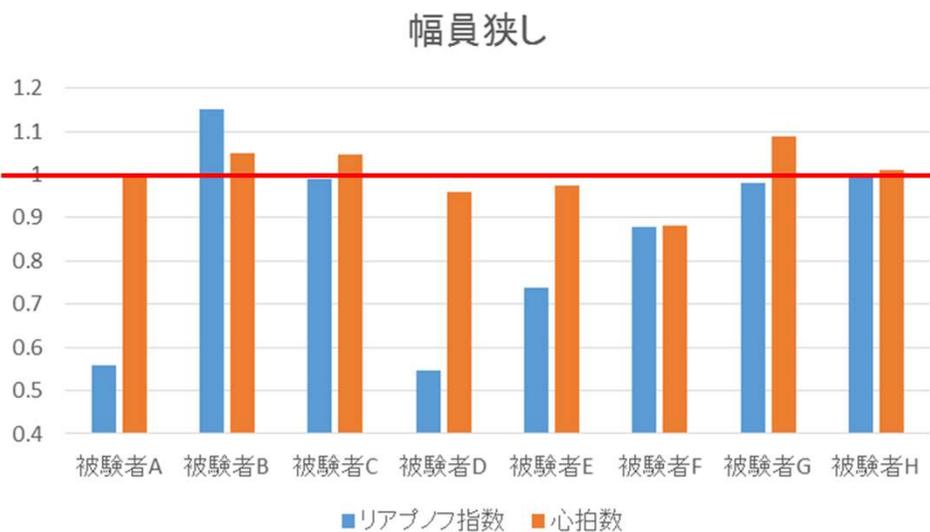
両生理指標ともに高い値を示す



段差舗装一例  
イベント12付近減速路面標示併用型

# 幅員狭し

リアプノフ指数 1/8  
心拍数 5/8



リアプノフ指数は低い値を示した  
心拍数は特徴はなし



幅員狭しの例（上からイベント25, 26）  
中央線のない1.5車線区間を幅員狭しとしている

# まとめと考察

## 今回測定されたリアプノフ指数の特徴

単体連続カーブ

どちらも平均値よりは高い

左右カーブ

特徴は見られなかった

上下勾配

比較した場合、上りが高い

段差舗装

平均値より高い

幅員狭し

平均値より低い

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

左右によるストレス差は少ないか、計測できなかったか

アクセル操作が影響か

悪路で高くなることは既往の研究でも示されている、段差舗装の与える振動が影響していると考えられる

実験後半の運転者自身の慣れが反映されたか

# まとめと考察

## 今回測定された心拍数の特徴

単体連続カーブ

平均値より単体は低く連続は高い

左右カーブ

右カーブは平均値より低い

上下勾配

比較した場合、上りが低く下りが高い

段差舗装

平均値より高い

幅員狭し

特徴は見られなかった

ハンドル操作やブレーキ操作などの動作の多さが比例している

右カーブのイベントは「単体」か「上り」か「単体で上り」で占めるため、左右による影響は考えにくい

スピード域やブレーキ操作が影響か

4箇所のうち3箇所が下り、段差舗装によるものかは不明

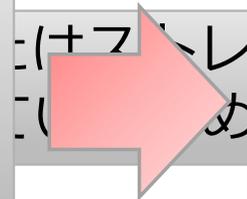
実験後半の運転者自身の慣れが反映されたか

# まとめ

## 今回測定されたリアプノフ指数の特徴

- 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、幅員狭し低い

- 既往の研究により段差舗装で反応が出ることは示されている
- 段差舗装は下りのイベントと被ることが多い (3/4)



一方、上り勾配と段差舗装が被る所は1か所しかない (1/9) ため段差舗装の影響ではなく上り勾配により値が高くなっている可能性が高い

# まとめ

## 今回測定された心拍数の特徴

- 単独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は平均より低い値を示した
- 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

単独カーブの内訳（上り：5，平地：2，下り：4）から勾配はバランスよく

含まれる  
また連続

心拍数は上りが低く、下りが高くなるといえる

高い  
連続

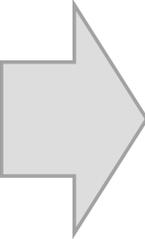
カーブはそれ自体が傾を高くさせる原因の可能性高い

右カーブの場合、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ている

# まとめと考察

## 今回測定されたリアプノフ指数の特徴

- 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

- 
- 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ので高くなった
  - 段差舗装が高くなることは既往の研究でも示されている。
  - 幅員狭しが低くなった原因として、実験後半にイベントが集中するため運転者自身の慣れが反映されたか

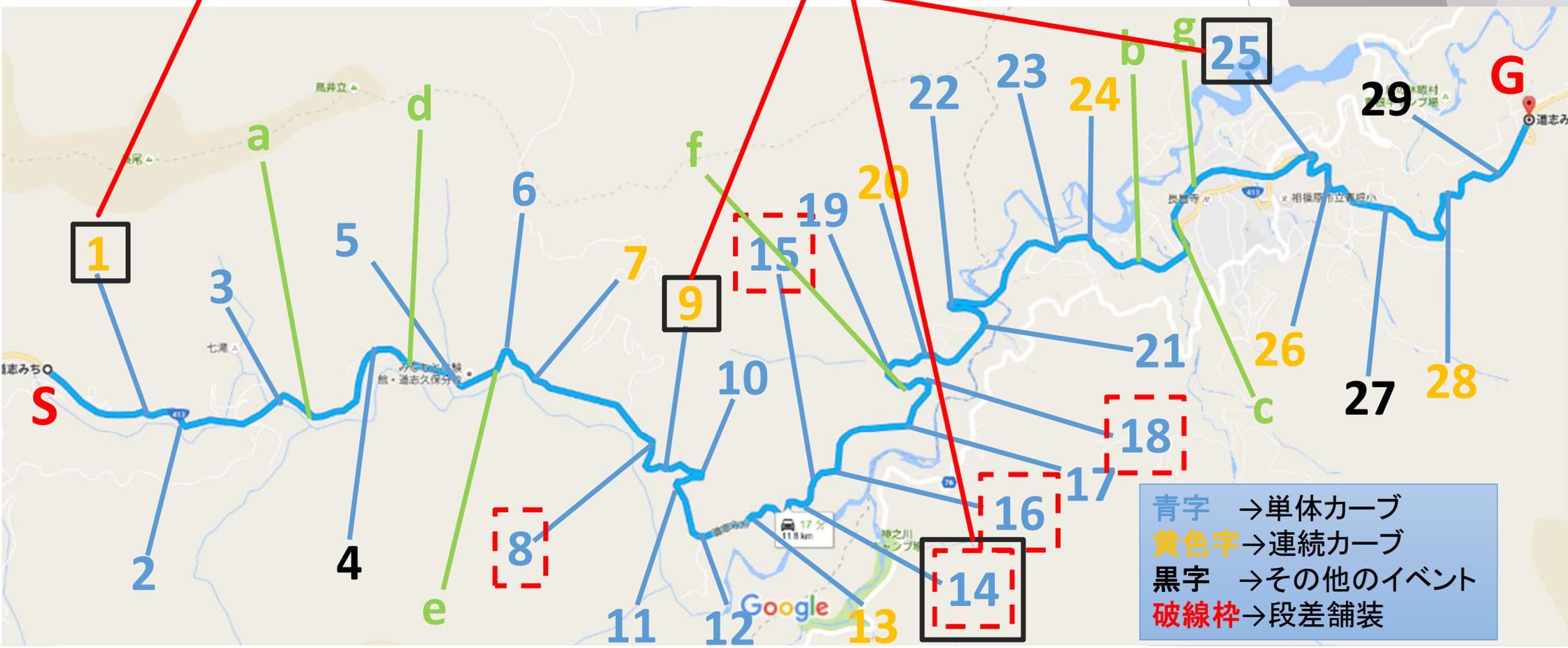
# まとめと考察

## 今回測定された心拍数の特徴

- 単独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独と上りは低い
  - 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
  - 右カーブは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ている

- リアプノフ指数と心拍数ともに反応が強く出ているイベント
- リアプノフ指数の反応が強く出ているイベント
- 心拍数の反応が強く出ているイベント
- リアプノフ指数と心拍数ともに反応が出ていないイベント



青字 → 単体カーブ  
 黄色字 → 連続カーブ  
 黒字 → その他のイベント  
 破線枠 → 段差舗装

# リアプノフ指数と心拍数 ともに反応が強くなるイベント



イベントナンバー1番



種別	連続カーブ
道路標示等	有（下り連続カーブ速度注意）
特徴	左・右・左と続くS字連続カーブ。左斜面側衝突痕多数。カーブ手前ブレーキ痕多数。

	被験者A	被験者B	被験者C
リアプノフ指数	2.65	4.81	2.26
走行時平均	2.01	4.30	1.99
心拍数	113	91	103
走行時平均	98	88	85

実験開始一分ほどで現れる連続カーブ。手前は直線でスピードがでること加えカーブ自体も下りのため、かなり危険なポイント。ブレーキ痕多数。実験開始最初のカーブなのも影響か？

## イベントナンバー9番

# リアプノフ指数と心拍数 ともに反応が強く出ているイベント



	被験者A	被験者B	被験者C
リアプノフ指数	2.68	4.98	1.28
走行時平均	2.01	4.30	1.99
心拍数	102	92	92
走行時平均	98	88	85

種別	連続カーブ
道路標示等	有 (急カーブ・急カーブ注意)
特徴	SS字連続カーブ。至る所に注意を促す標識がある。全体的に上り坂のため速度はでない。

通過時間が25～30秒の長めのイベント。  
イベントを前半後半で分ける場合前半  
が高い、後半は上り坂になるため速度  
が緩まるからか？  
ひとつ前のイベントが段差舗装の影響  
か、リアプノフ指数も比較的高い。

# リアプノフ指数の 反応が強く出ているイベント

イベントナンバー14番



	被験者A	被験者B	被験者C
リアプノフ指数	3.21	4.64	7.94
走行時平均	2.01	4.30	1.99
心拍数	94	89	85
走行時平均	98	88	85

種別	単体カーブ
道路標示等	有 (段差舗装)
特徴	急な左カーブ. 斜面が見通しを悪くし対向車 がいる場合かなりの圧迫感.

安全策として段差舗装が施されている.  
路面状態の悪さはリアプノフ指数の高  
くなることが多い.  
この場所の場合は段差舗装によりリア  
プノフ指数が上がったか?

# リアプノフ指数と心拍数 ともに反応が出ていないイベント



イベントナンバー25番



種別	単体カーブ
道路標示等	有 (右急カーブ注意)
特徴	ガードレールが工事用の柵。手前は二車線だが曲がってすぐ1.5車線になる。

	被験者A	被験者B	被験者C
リアプノフ指数	1.33	3.41	0.13
走行時平均	2.01	4.3	1.99
心拍数	91	82	75
走行時平均	98	88	85

しばらく続く直線の先にあるカーブ。  
上り坂のため速度域が遅いのが影響か？  
また曲がってすぐにある幅員狭しも含めた連続カーブであるイベント26は全員心拍数が上昇する。

# 結論

## リアプノフ指数

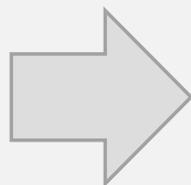
全てのイベントに対して高い値を示す



道路全体を通して、何らかの心的負担のかかる箇所を探し当ててすることに優れている

## 心拍数

動作が多くなるイベントに対して高い値を示す



ドライバーの運転技能に関わる箇所を探し当ててすることに優れている

# 反省点

- ▶ 要素が被らない単純なイベントで多くが構成されるコースにすれば分かりやすかった
- ▶ 区間を短くして往復すればまとめやすかった

# 参考文献

- ▶ 警察庁平成27年度交通事故統計
- ▶ 大月警察署からのお知らせ（事故状況）
- ▶ 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
- ▶ 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, 大阪大学大学院人間科学研究科紀要, 40 P.27-P.46
- ▶ 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.
- ▶ 岩倉成志, 西脇正倫, 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.
- ▶ 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
- ▶ 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.

ご清聴ありがとうございました。