

# 運転時の生体脈波を用いたリアプノフ指数 および軌道平行測度による心理的負担の評価

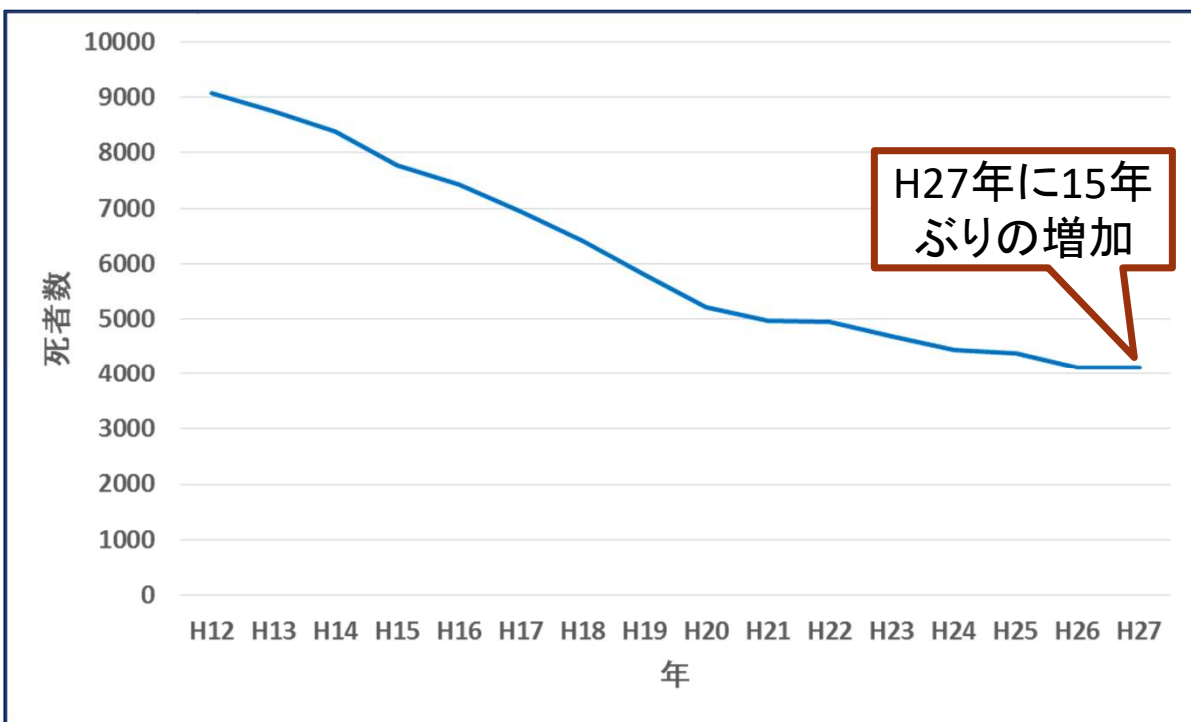
---

計画マネジメント・皆川研究室

1318071 藤原 慎

# 研究背景

近年,交通安全への関心が高まっているため,交通事故は減少傾向にある.



交通事故はヒューマンエラーが大半を占めている

ヒューマンエラーはドライバーの心理や生理が関係している

人体の反応の観察に適している  
**生体脈波**を用いて,ドライバーの心理的負担を評価する

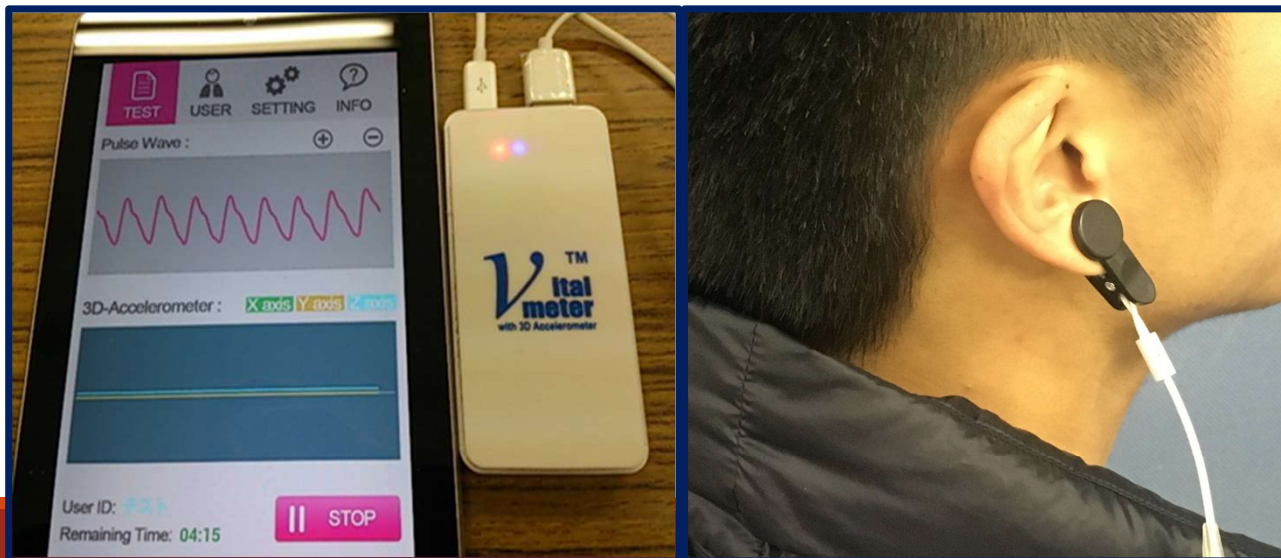
本研究では,ドライバーの心理的負担を評価する方法として,従来から用いられている**リアプノフ指数**に加え,医療分野において実績のある**軌道平行測度**を用いて検討する

# 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。

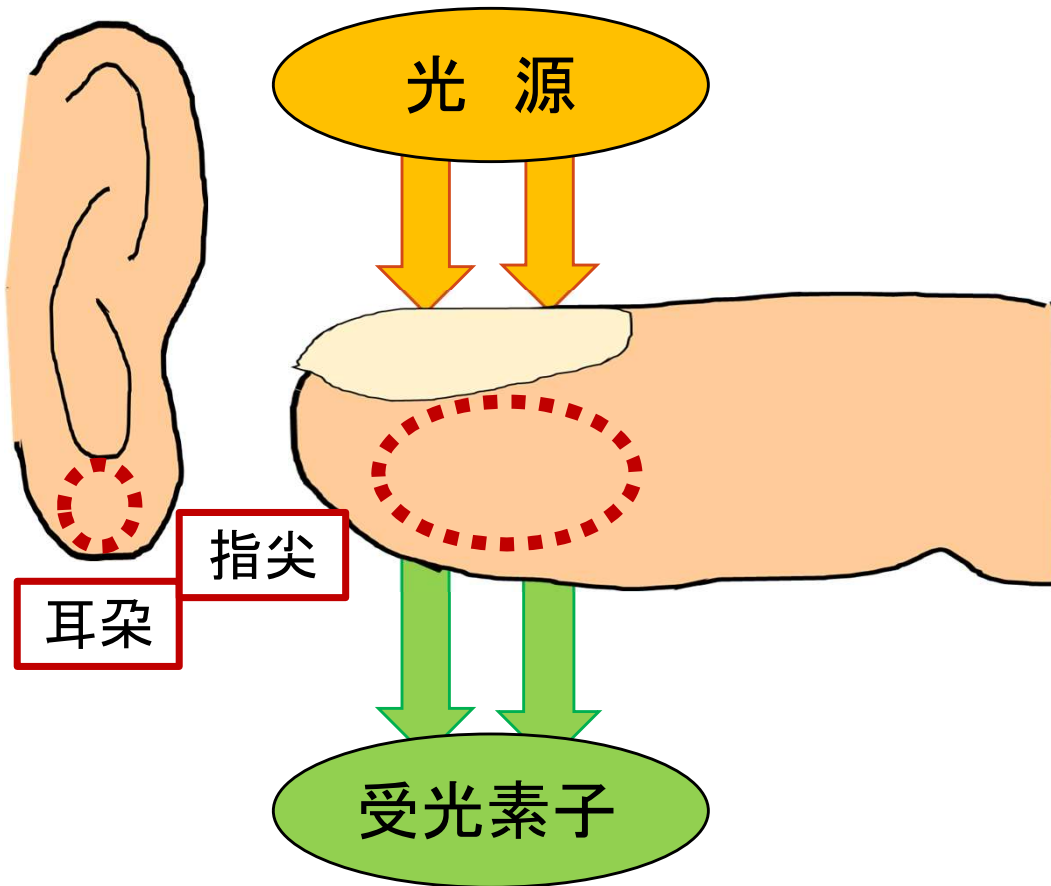
## 脈波測定装置

株式会社TOAS研究所製「Vital meter」



- ・容積脈波 (PPG) の測定が可能
- ・簡易に測定することが可能

# 生体脈波の測定原理



指先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

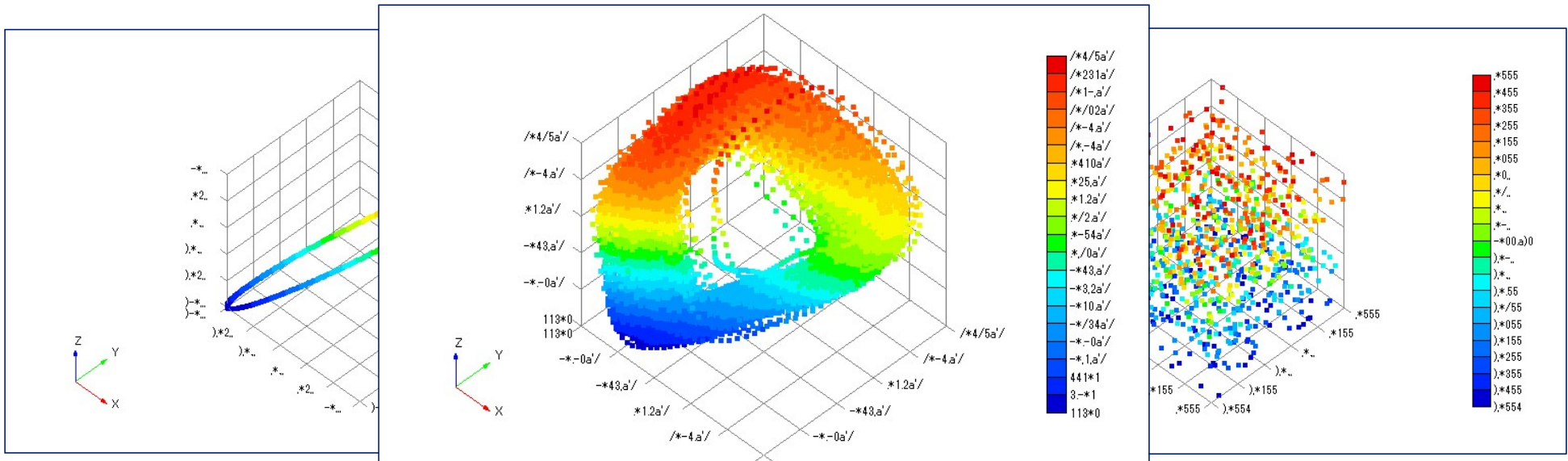
血液の増減で透過光量が変化する。

残光量を電圧値として捉え、数値化する。

# 生体脈波のカオス性

生体脈波はカオスと呼ばれる非線形的性質により変動することが知られている。

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。



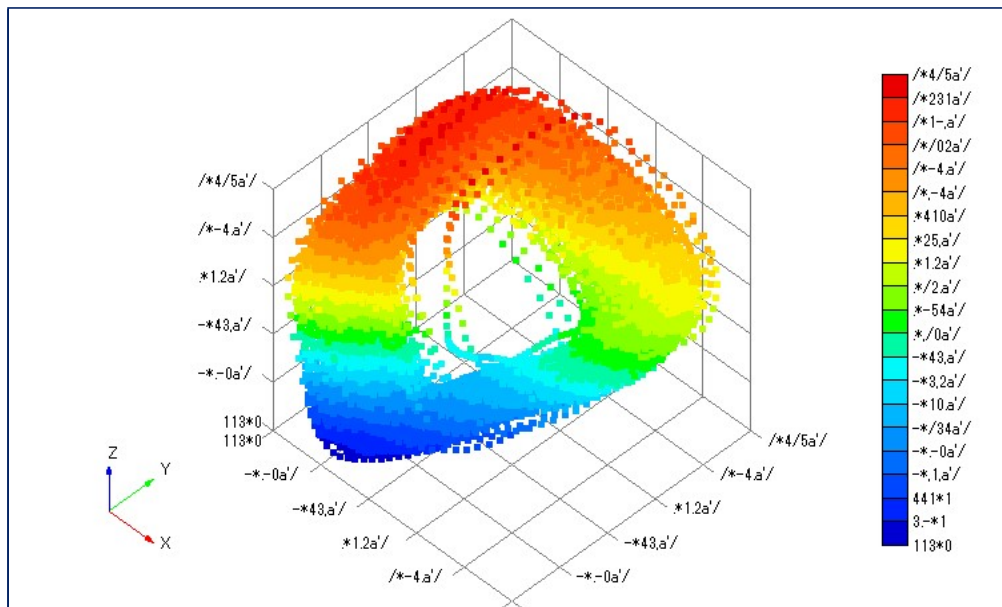
線形的なアトラクタ

生体脈波のアトラクタ

ランダムなアトラクタ

# Takensの埋め込み定理

カオス解析において、1次元の時系列変化をn次元の状態空間に埋め込む方法としてTakensの埋め込み定理を用いる方法がある。



遅れ時間とは、トラクタの軌道を描くための多次元空間に埋め込む場合のパラメータ

時系列データ $x(t)$ として、適当な遅れ時間 $\tau$ ごとのn個の状態変数を取り出す

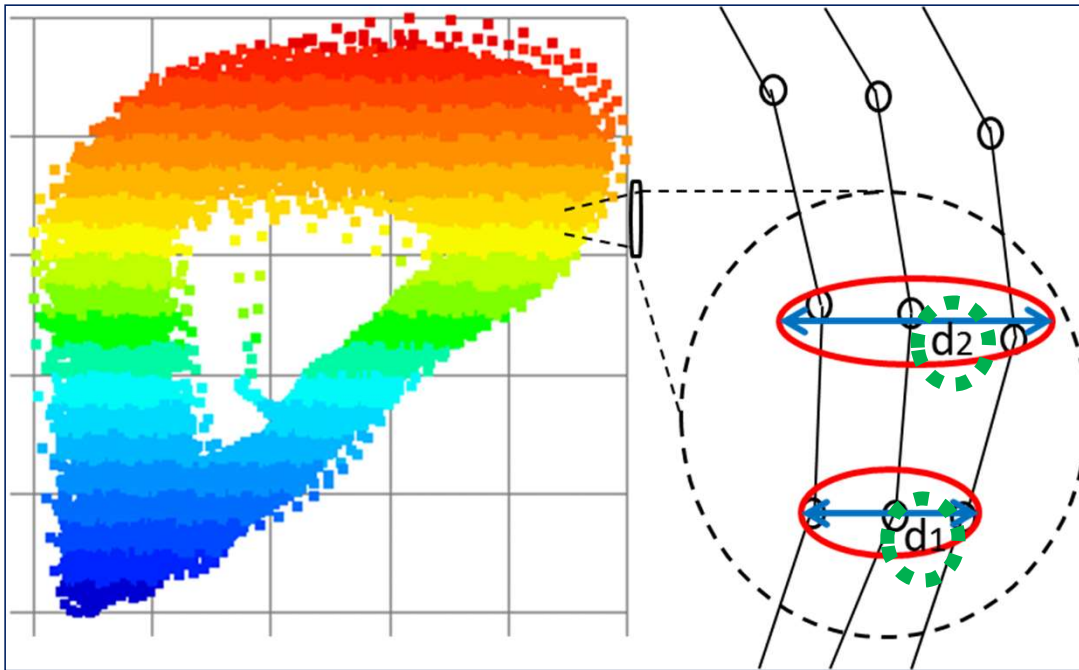
n次元ベクトルの作成

ベクトルをn次元状態空間にプロットすることにより、軌道が描ける

アトラクタからリアプノフ指数と軌道平行測度を算出することが可能

# リアプノフ指数

近接した2点から出発した二つの軌道がどのくらい離れていくかを測る尺度である。



埋め込み定理からアトラクタを描く

アトラクタ軌道上のある点に着目し、近傍点を探す

$$\lambda = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{1}{n} \log \frac{d2}{d1}$$

( $\lambda$ :リアプノフ指数,  $n$ :時間)  
上記の式に代入して求める

リアプノフ指数が大きい・・・外界の変化に対して脈波が**変化している**

→心理的負担が**大きい**

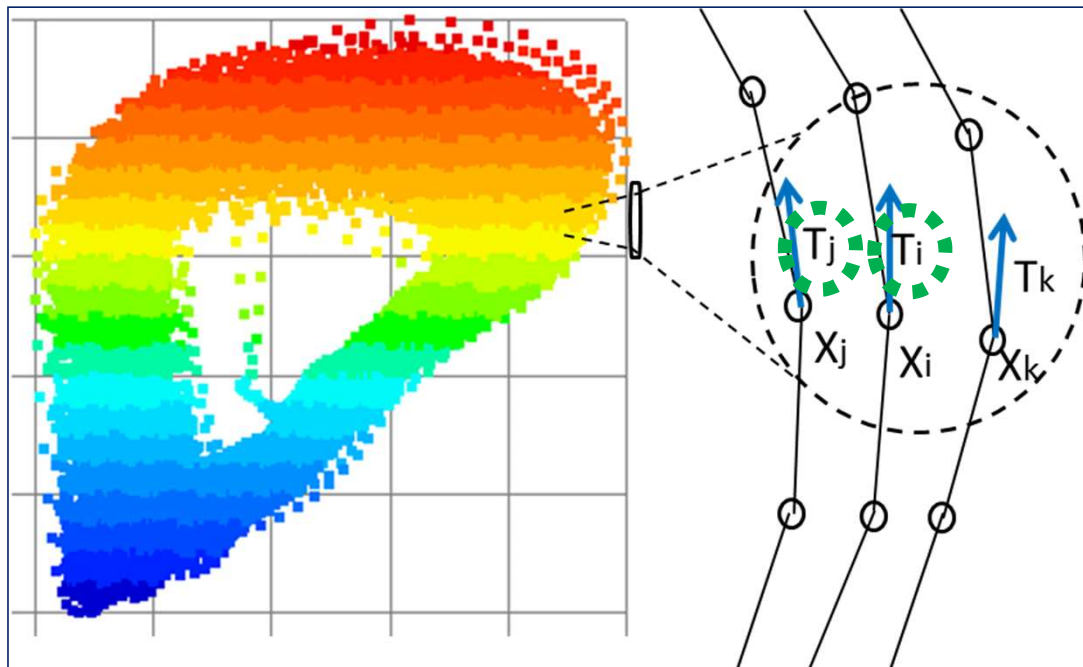
リアプノフ指数が小さい・・・外界の変化に対して脈波が**変化していない**

→心理的負担が**小さい**



# 軌道平行測度

時系列の決定論的性質と確率過程論的性質を近接する軌道から評価することが可能.



埋め込み定理からアトラクタを描く

アトラクタの軌道から単位軌道ベクトル( $T_i$ )を求める

隣接するベクトル( $T_j$ )と単位軌道ベクトルから平行度を算出

軌道平行測度が大きい・・・外界の変化に対して脈波が変化している

→心理的負担が大きい

軌道平行測度が小さい・・・外界の変化に対して脈波が変化していない

→心理的負担が小さい



# 調査対象地点の選定



# 実験条件

---

本研究では, 21~22歳の大学生6名を対象とした.

- ・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等の金属類は外す
- ・車内温度の調整

# 実験結果

## リアプノフ指数

	合流	ジョイント	車間距離	並走	JCT	カーブ
被験者A	1.01	1.13	1.42	0.66	0.96	1.15
被験者B	1.05	1.10	1.40	0.69	1.23	0.95
被験者C	1.04	1.17	1.14	0.98	1.31	0.99
被験者D	1.14	1.18	1.25	0.94	0.83	0.95
被験者E	1.09	1.11	1.24	0.66	0.96	1.00
被験者F	1.01	1.12	1.09	0.99	0.63	1.11

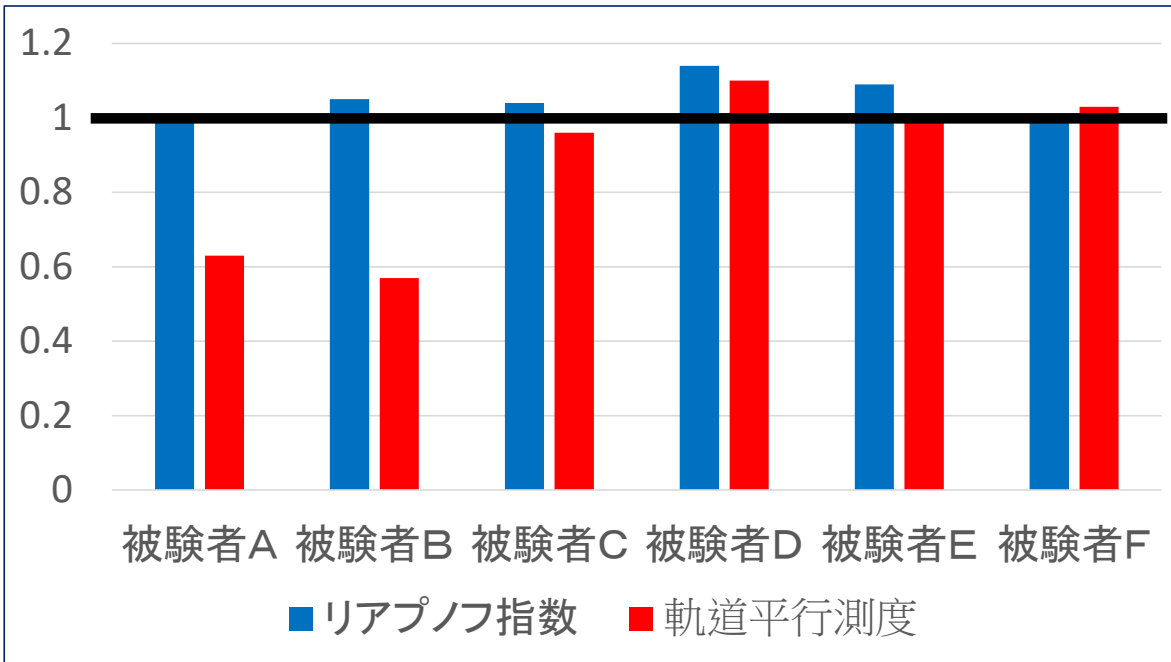
## 軌道平行測度

	合流	ジョイント	車間距離	並走	JCT	カーブ
被験者A	0.63	0.73	0.95	1.15	0.95	1.01
被験者B	0.57	0.60	0.66	1.93	0.84	0.97
被験者C	0.96	1.09	0.89	1.02	2.48	1.07
被験者D	1.10	1.21	1.05	1.12	1.14	1.17
被験者E	0.99	1.06	0.93	1.04	0.68	1.01
被験者F	1.03	1.07	1.08	1.27	1.01	1.00

対象イベント  
における値を  
被験者の平均  
値で割る

値が1より大きい  
場合はストレスを  
感じているとする

# 考察(合流地点)



ストレスを感じる

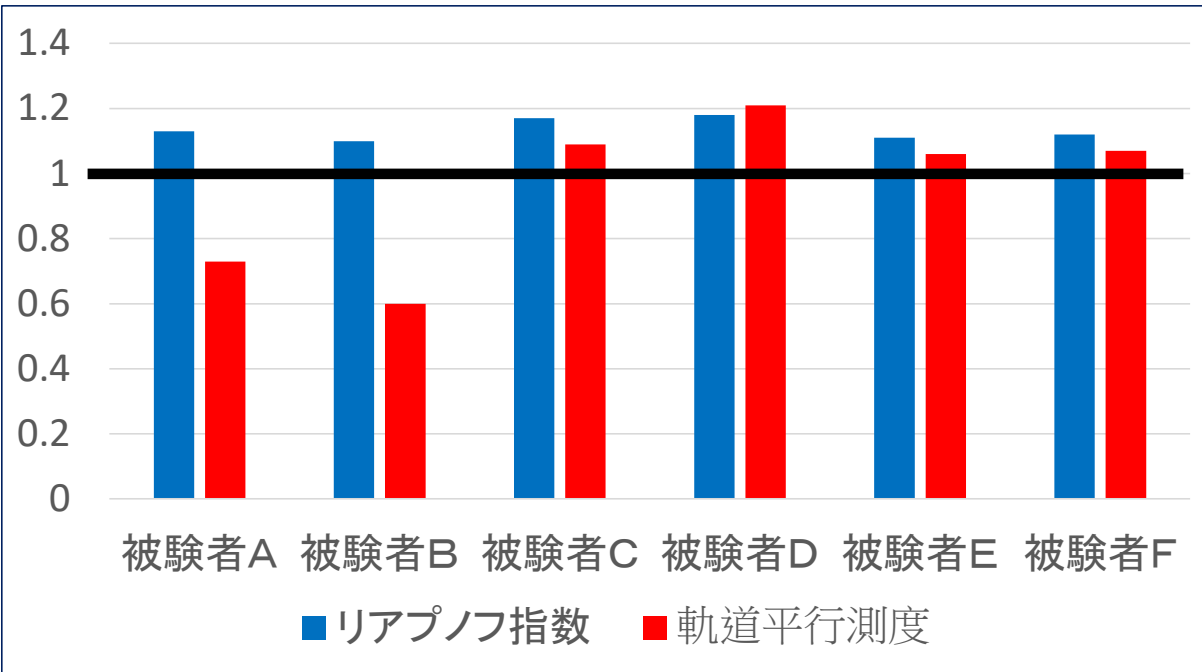
リアプノフ指数6人

軌道平行測度2人



リアプノフ指数による評価が適している

# 考察(ジョイント走行時)



ストレスを感じる

リアプノフ指数6人

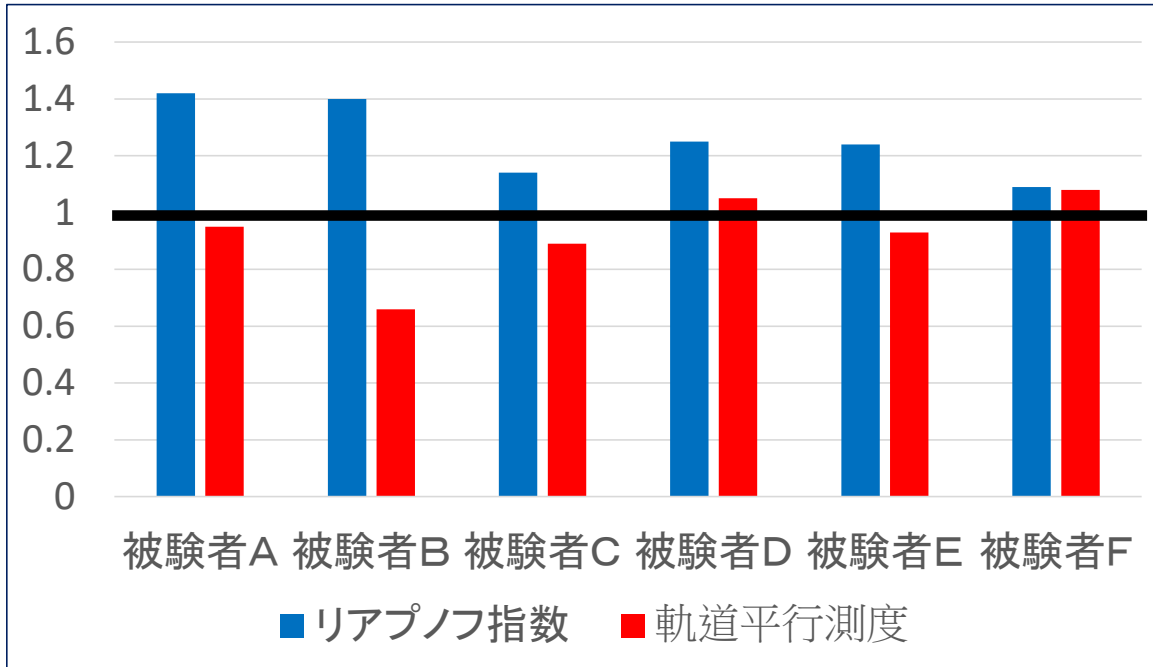
軌道平行測度4人



リアプノフ指数による評価が適している



# 考察(車間距離短い)



ストレスを感じる

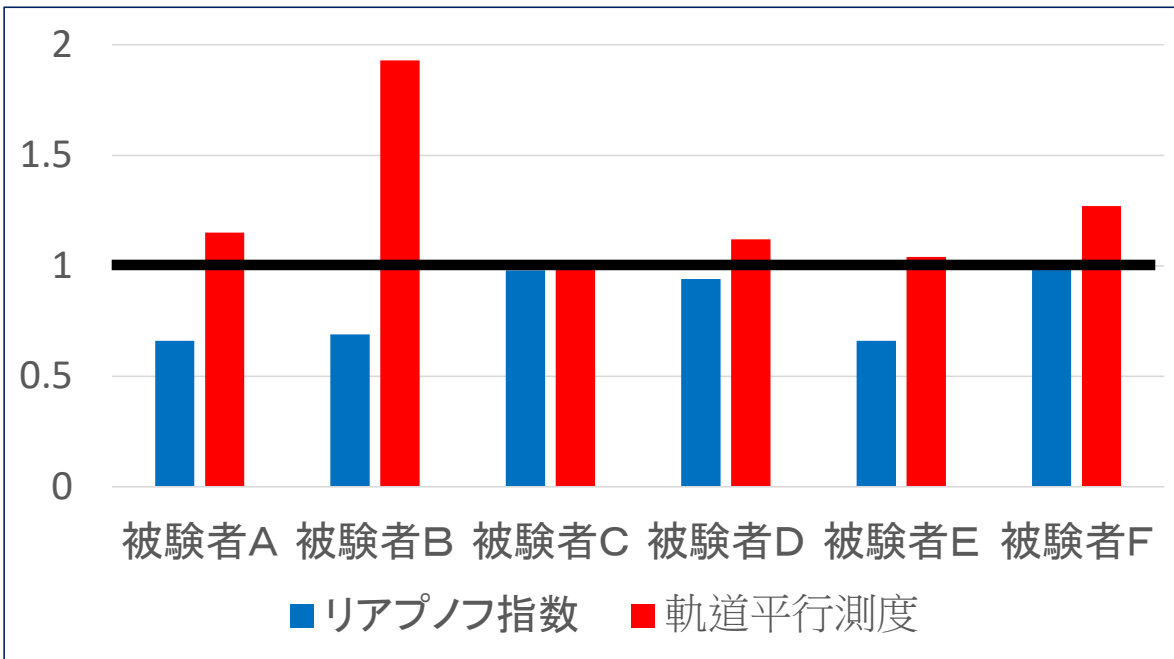
リアプノフ指数6人

軌道平行測度2人



リアプノフ指数による評価が適している

# 考察(並走時)



ストレスを感じる

リアプノフ指数0人

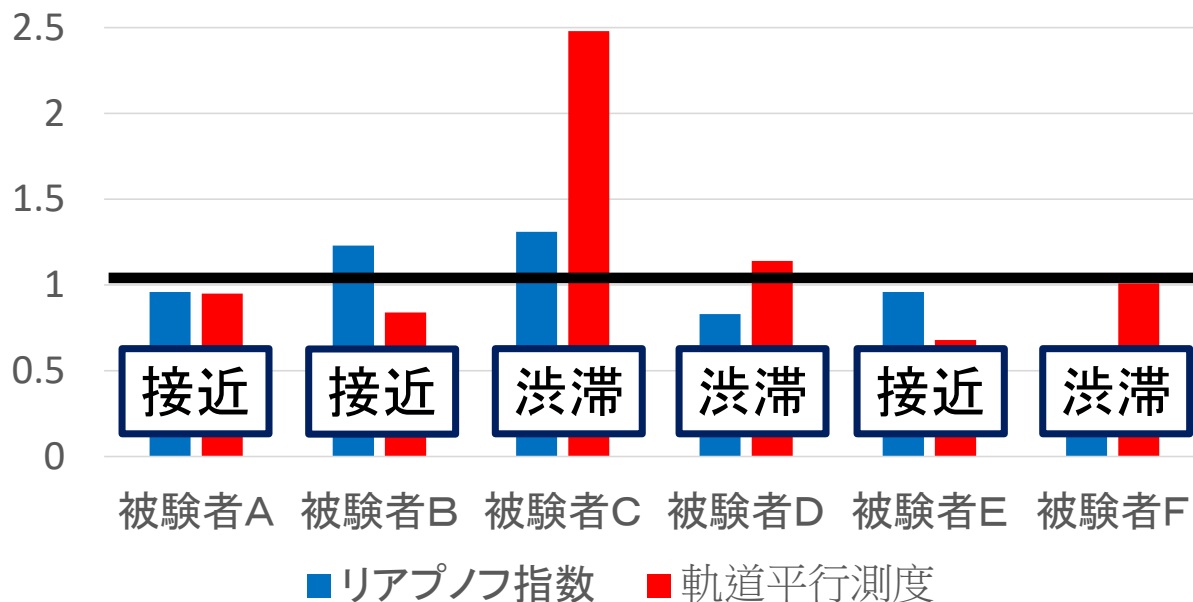
軌道平行測度6人



軌道平行測度による評価が適している



# 考察(JCT)



ストレスを感じる

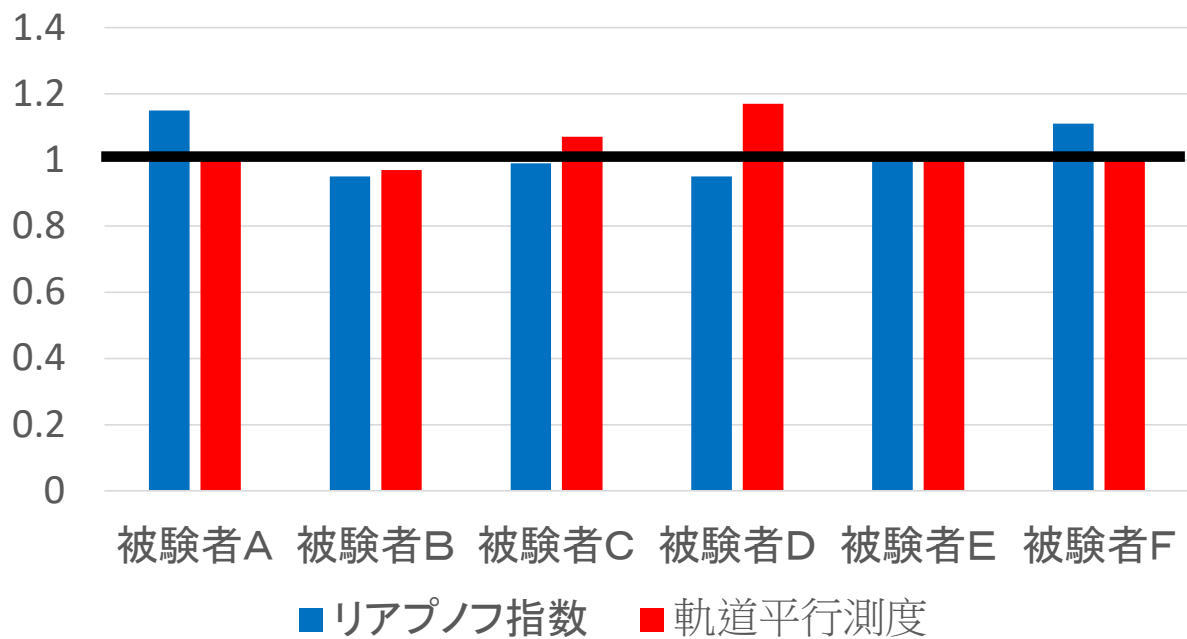
リアプノフ指数2人

軌道平行測度3人



渋滞時は軌道平行測度, 接近時にはリアプノフ指数による評価が適している

# 考察(カーブ)



ストレスを感じる

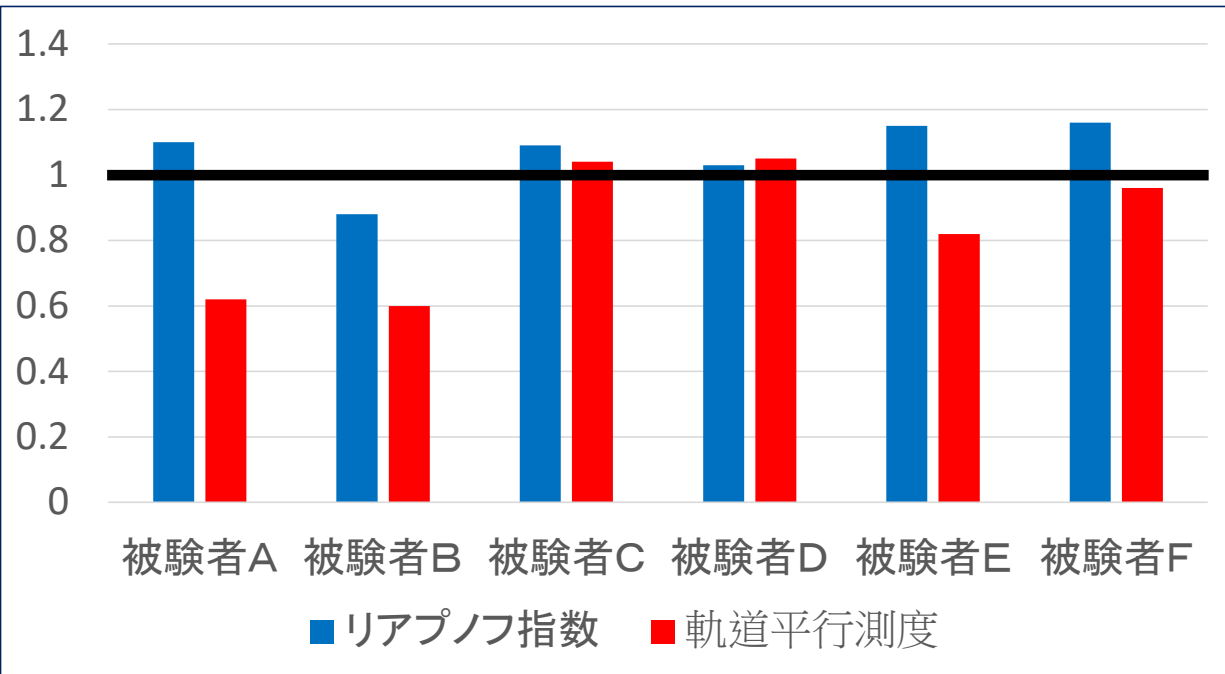
リアプノフ指数4人

軌道平行測度4人



カーブ走行時の環境を考慮に入れて検討

# 考察(短いカーブ)



ストレスを感じる

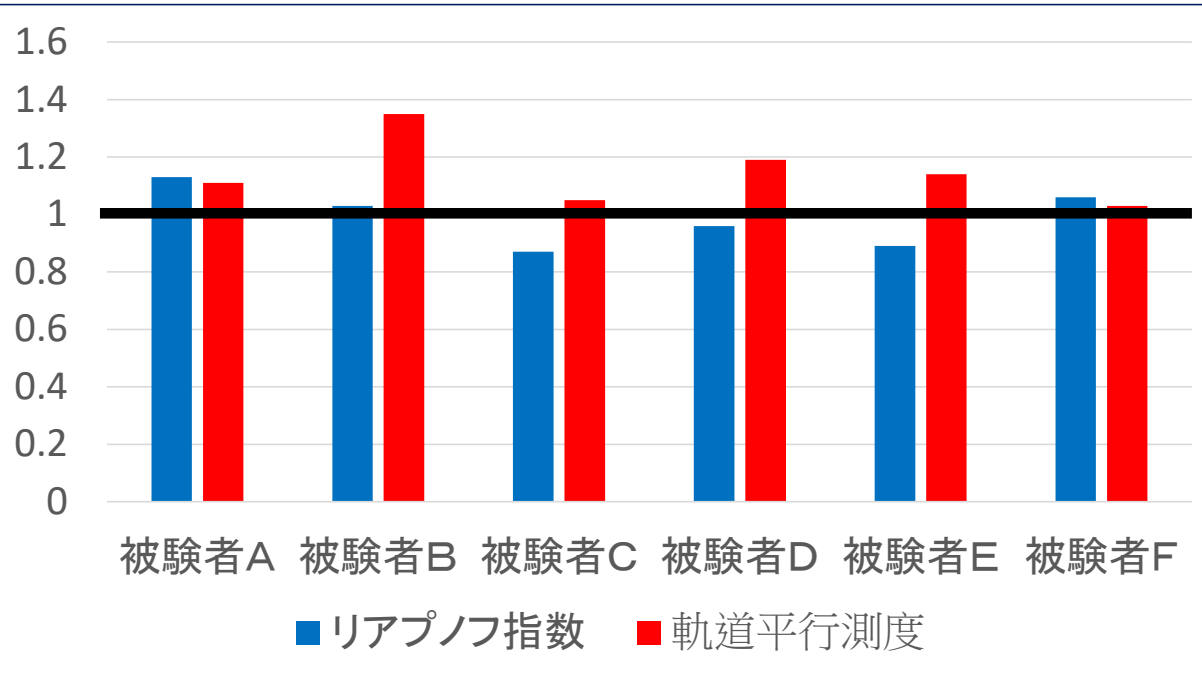
リアプノフ指数5人

軌道平行測度2人



リアプノフ指数による評価が適している

# 考察(長いカーブ)



ストレスを感じる

リアプノフ指数3人

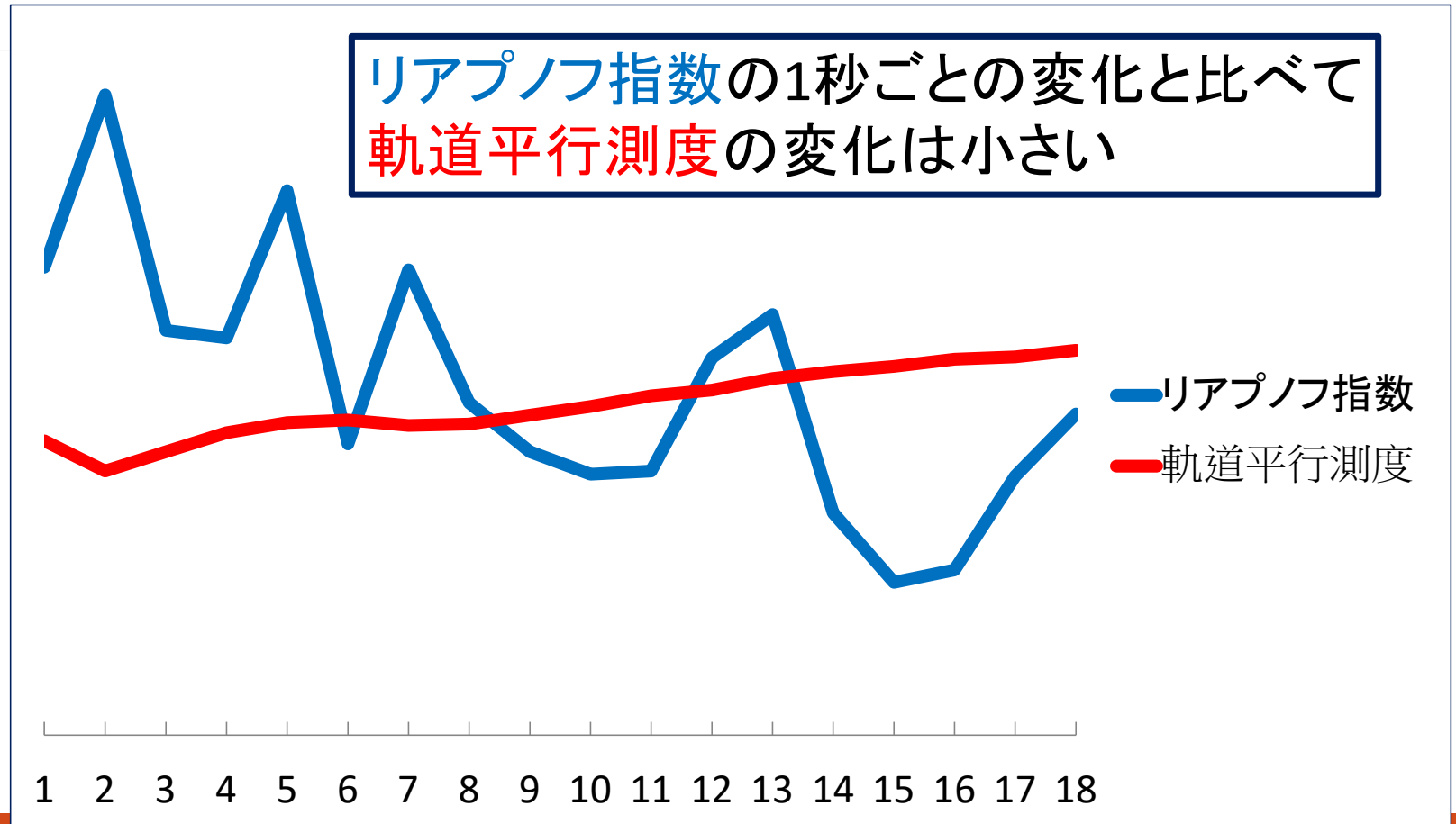
軌道平行測度6人



軌道平行測度による評価が適している

# リアプノフ指数および軌道平行測度の違い

1.192023	0.75007
1.630071	0.67271
1.031119	0.721882
1.011877	0.77059
1.387142	0.796105
0.742117	0.802717
1.18542	0.788399
0.846849	0.79234
0.722087	0.815303
0.664692	0.837294
0.672881	0.864105
0.961103	0.879083
1.070987	0.908133
0.56609	0.926141
0.389365	0.939211
0.420829	0.957501
0.659375	0.963479
0.818058	0.980057



# 結論

## リアプノフ指数

合流地点や車間距離が短くなる時, ジョイント走行時など**急な反応**(**短時間の反応**)を評価することに優れている。

	合流	ジョイント	車間距離	JCT接近時	短いカーブ
リアプノフ指数	1.06	1.14	1.26	1.05	1.07
軌道平行測度	0.88	0.96	0.93	0.82	0.85

## 軌道平行測度

並走や渋滞など**継続的な反応**(**長時間の反応**)を評価することに優れている。

	並走	JCT渋滞時	長いカーブ
リアプノフ指数	0.82	0.92	0.99
軌道平行測度	1.26	1.54	1.15

# 今後の展望

---

- ・実験結果の信頼性を高めるため、被験者数を増やす。
- ・リアプノフ指数および軌道平行測度において、なぜこのような結果の違いが出たのかを検討する。



# 参考文献

---

- ・平成27年中の交通事故の発生状況:警察庁
- ・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.
- ・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
- ・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
- ・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Vol.9,No.4,pp580-588, 1997.8
- ・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

ご清聴ありがとうございました

## リアプノフ指数および軌道平行測度の活用事例

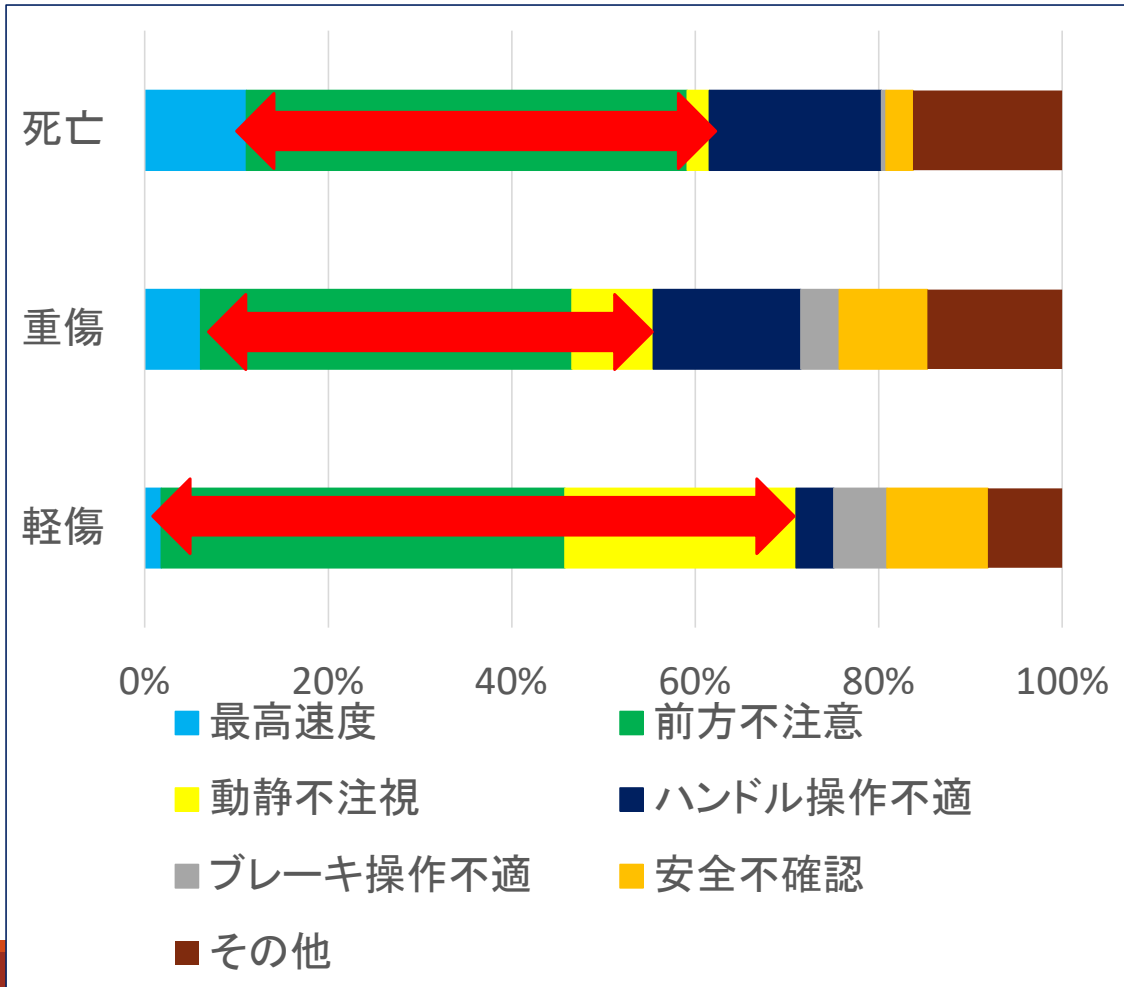
原田隆郎,横山功一:生体脈波を用いた道路の乗り心地評価に関する基礎的研究

- リアプノフ指数を活用し, 様々な道路(有料道路や一般国道など)を評価
- 乗り心地が悪いと感じる箇所では, リアプノフ指数の値が大きくなる

馬庭芳郎,徳高平蔵,藤村喜久郎,大北正昭:加速度脈波のカオスとSOMから解明するメタボリックシンドローム

- 軌道平行測度を活用し, メタボリックシンドロームの特徴を考察
- 健常値より高値の場合は血流にランダム性が加わり, 循環不全や動脈硬化が疑われる

# 平成27年の事故発生状況



前方不注意や動静不注視などの  
ヒューマンエラーによる事故が多い

ヒューマンエラーとは、判断遅れや  
操作ミスなどのこと

# 測定方法の比較

---

測定方法	特徴
→ 脈波	手や耳で測定可能
呼吸	機械で上半身の動きが制限
→ 血圧	機械は小さい
筋肉緊張	手足の動きが制限される
消化器官	測定が困難
発汗作用	時間的変化を捉えにくい
→ 脳波	機械は小さい
唾液,尿,血液	時間的変化を捉えられない

# 脈波の有用性

---

脈波：測定時は心拍と血圧の要素を含む。脈は常に変化するため、時間的変化やストレスの緩急を評価可能。

脳波：ストレスの緩急はわかりにくいですが、リラックス状態か緊張状態かを明確に判断できる。

血圧：ストレスによる高血圧(仮面性高血圧)のみ判断できる。



本研究では、運転時の心理的負担を評価するため、ストレスや時間的変化を評価することに適している**脈波**を用いる。

# 算出方法

時間	リアプノフ指数	軌道平行測度		リアプ平均	平行度平均		割る	割る
10	2.663606896	0.065125173		4.041490523	0.06456618		0.659065481	1.008657678
11	1.773773193	0.06137459		4.041490523	0.06456618		0.438890846	0.950568702
12	2.633972126	0.050006285		4.041490523	0.06456618		0.651732847	0.774496572
13	3.190728996	0.038878529		4.041490523	0.06456618		0.789493128	0.602150055
14	3.316169364	0.033969334		4.041490523	0.06456618		0.820531273	0.526116518
15	2.131160233	0.036556235		4.041490523	0.06456618		0.527320359	0.566182407
16	2.285870707	0.038688373		4.041490523	0.06456618		0.565600907	0.599204929
17	2.145650482	0.038511291		4.041490523	0.06456618		0.530905731	0.596462284
18	2.28637018	0.041046762		4.041490523	0.06456618		0.565724494	0.635731619
19	3.035292785	0.046078575		4.041490523	0.06456618		0.751033008	0.713664262
20	2.657181238	0.055977094		4.041490523	0.06456618		0.657475558	0.866972375
21	2.654515829	0.066832439		4.041490523	0.06456618		0.656816047	1.035099785
22	2.582672559	0.074998382		4.041490523	0.06456618		0.639039618	1.161573791
23	4.209692061	0.078730024		4.041490523	0.06456618		1.041618689	1.219369401
24	5.527799071	0.078959668		4.041490523	0.06456618		1.367762473	1.222926119
25	5.0395952	0.081411802		4.041490523	0.06456618		1.246964498	1.260904741
26	4.609696796	0.08575285		4.041490523	0.06456618		1.140593246	1.328138818