

# 指尖脈波のカオス分析を用いたドライバの心身状態の定量化

清水 俊行<sup>\*1</sup> 苗 鉄軍<sup>\*1</sup> 下山 修<sup>\*2</sup>

## Evaluations of Driver's status by Chaotic analysis of finger photoplethysmography

Toshiyuki Shimizu<sup>\*1</sup>, Tiejun Miao<sup>\*1</sup> and Osamu Shimoyama<sup>\*2</sup>

**Abstract** - The development of a variety of IT/ITS in-vehicle information systems has enhanced mobility and convenience, while they may also distract drivers and introduce a significant workload. This paper studied a method used to assess driver status and mental workload. Human finger photoplethysmograms (PGT) recordings were made in the experiments in both automobile test course and real driving road environments. It showed that complexity analysis based on chaotic dynamics of the photoplethysmograms could characterize the changes in the driver mental workload.

**Keywords:** Human Engineering, Mental Workload, Photoplethysmogram, Chaotic Dynamics

### 1. はじめに

自動車と交通環境の複雑化は、運転支援システムと IT システムの整備が進むに伴い、ドライバは簡単にワークロードの限界を超え、運転のパフォーマンスを著しく低下させている<sup>[1][5]</sup>。運転中のワークロード管理は、運転支援システム設計にとっては重要な問題の 1 つである。

走行中ドライバに与える精神負荷状態をリアルタイムに観測し評価することは安全・快適に対して重要な課題と考えられる。脳波 (EEG) あるいは fMRI スキャンに基づくメンタルワークロードの評価は、多く研究されているが、実車応用にはまだ遠い。実用的なモニタリング方法はいろいろなタスク条件の下でロバスト性を持ち簡単に測定可能で、かつ敏感で連続的にメンタルワークロードの監視ができる必要性及び要求がある。生理測定としての指尖脈波を使用することは、その要求を満足させる方法の一つである。更に、指尖脈波のカオス分析が研究され、それを利用した心身状態の評価が有効であることがわかってきた<sup>[2-3]</sup>。

本研究では指尖脈波のカオス動力学に基づいて、ドライバのワークロードを観測し、評価方法を確立することを目的とした。自動車テストコース上での実験と高速道路で実験を行い、この方法の実用性の検証を行った。

### 2. 実験とデータ処理方法

被験者 (ドライバ) は 3 人 (S1-S3) の健康な男性で、日産自動車追浜ブルーピングランド高速周回路において実験を行った。本テストコースは、2 つの直線部分とバンク部から構成されている。

高速道の実験では、前述の被験者とは別の健康な男性を被験者とし、九州自動車道で行った。これらの実験中、連続的に脈波を記録し、そのカオス指標の算出を行った。

指尖脈波の測定器は赤外線発光ダイオードとフォトトランジスタで構成されている。末端の血液容積変化はセンサーを指に取り付けて測定した。図 1 は、実験に使用したセンサーと指に装着した時のものである。

測定したデータは A/D 変換を行い PC に取り込む。サンプリング周波数は 200Hz で分解能は 12-bit である。データの前処理 (de-noise) は、フィルターとしてウェーブレット変換技術を使用した。つまり、体動などアーティファクト信号を検出して対応するウェーブレット係数をゼロに設定して信号の再構成 (逆ウェーブレット変換) を行った。

測定データは、時間遅れ法によって状態空間の再構成を行なった。この状態空間において動力的な不変量として、カオス解析から最大リアプノフ指数の計算を行なった。これは状態空間内におけるアトラクタの軌道不安定性 (発散性) を現し、カオス性を示す指標である。指尖脈波のカオス解析をする時の時間遅れは 50ms で、埋め込み次元は 4 とした。最大リアプノフ指数  $\lambda_1$  の時間的変化を推定するために、連続的なデータに対して 18sec のスライディングウィンドウを用いて、ステップ 1sec によるスライディング的なデータ分割と計算を行なった。

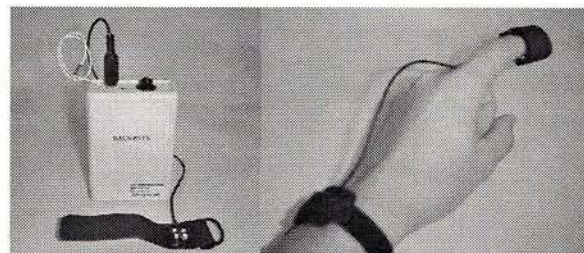


図 1 指尖脈波収集装置  
Fig.1 Recording finger photoplethysmogram

\*1: 株式会社コンピュータコンビニエンス  
\*2: 日産自動車株式会社  
\*1: Computer Convenience Inc.  
\*2: Nissan Motors Co., Ltd.

### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 テストコース走行実験

自動車テストコースにおける実験結果をまとめる。テストコースは、2つの直線部分 (A, B) とバンク部 (C) から構成された周回コースである。(図 2) 走行速度 50、80、120 km/h でドライバ 3 人 (S1, S2, S3) の指尖脈波の測定を行なった。

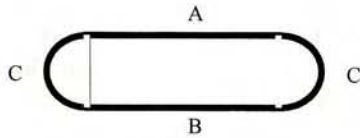


図 2 テストコース  
Fig.2 Test course

測定した脈波波形とコースごとのアトラクタを次に示す。

(図 3) 波形からでは、コースごとの違いは明確にならないが、再構成されたアトラクタは、直線部よりもバンク C でゆらぐ様相の変化が観察できた。

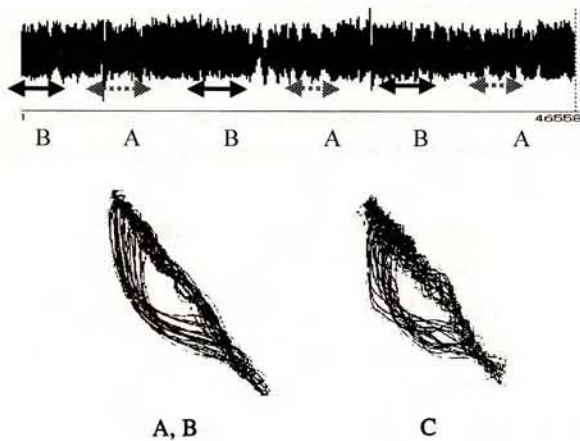


図 3 波形とアトラクタ  
Fig.3 Wave form and attractor

アトラクタの動力的な不変量を定量化するため最大リアプノフ指数  $\lambda_1$  の時系列変化を算出した。

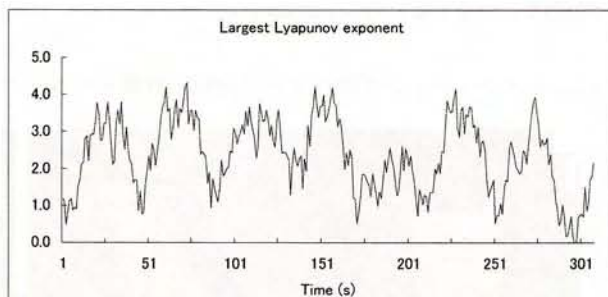


図 4 テストコース走行中のリアプノフ指数の時系列変化  
Fig.4 Temporal changes in the largest Lyapunov exponent during a cyclic test course driving

循環的な走行に応じ、その時間的な典型変化の様子を図 4 に示す。 $\lambda_1$  は、コースの直線、バンク(カーブ)の構造に対応して、ほぼ周期的に変動していることが分かる。

次にそれぞれの部分(直線、バンク)について、走行速度と  $\lambda_1$  の平均値の関係を図 5 に示す。直線部(A, B)と比べると、バンク部(C)ではリアプノフ指数が大きくなっている。 $\lambda_1$  は状態空間の軌道発散性と情報の生成率を定量化し、生体システムのカオス性を表すため、バンク C

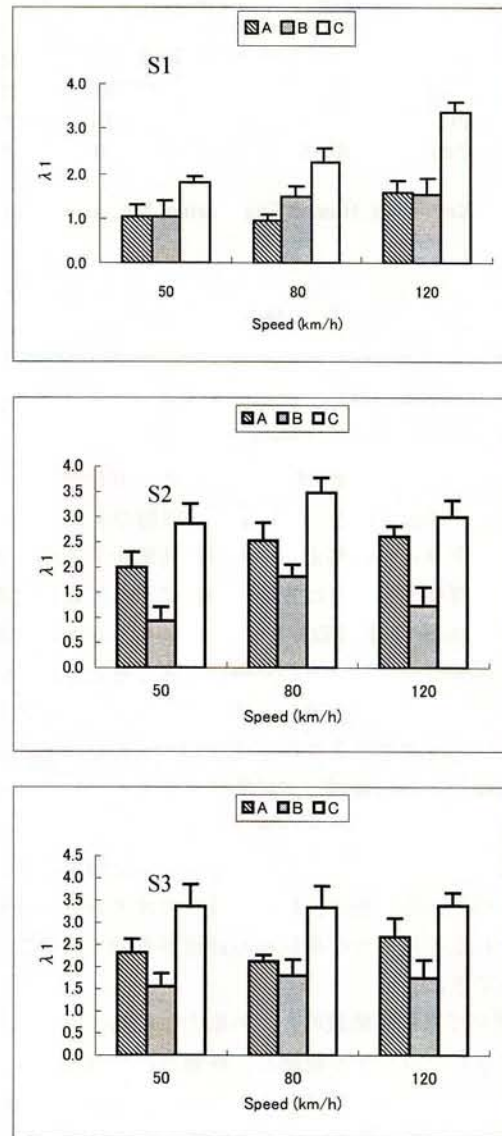


図 5 被験者 S1-S3 の速度 (50,80,120km/h) とコース (A,B,C) ごとの  $\lambda_1$  の平均値  
Fig.5 Averaged values of  $\lambda_1$  in portions of A, B and C for driving speeds of 50, 80, and 120km/h. Subjects 1-3 corresponding from top to bottom graphs

において活発な情報処理が行われ、大きいメンタルワークロードまたは精神負荷状態を生じていることが分かる。また、被験者間の比較を見ると、被験者 S1 はコースの走行速度が大きければ大きいほど  $\lambda_1$  が大きくなるのに対

して、被験者 S2 と S3 は明確に変化していない。これらの原因について、考えられる可能性としては、人間は、走行速度の変化による精神負荷状態の調整は、行い易いが、カーブなどの道路状況に対して生じたメンタルワークロードの調整は、難しいと言えるかも知れない。

### 3.2 高速道路走行実験

次に実際に高速道路上で同様の走行実験を行い、提案した方法の検証を行った。九州自動車道（山川 PA～基山 PA）を走行して指尖脈波を測定し、最大リアプノフ指数  $\lambda_1$  の連続変化を図 6 にプロットした。

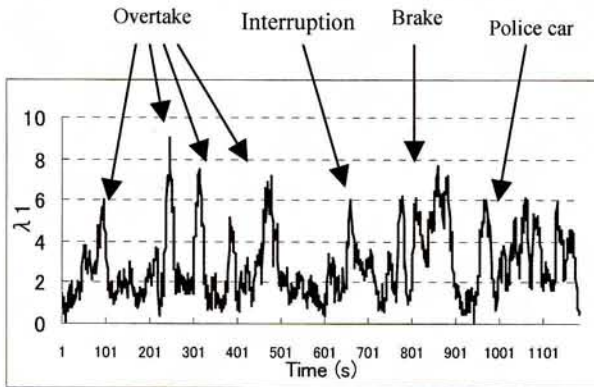


図 6 高速道路走行中のリアプノフ指数の変化  
Fig.6 Changes in  $\lambda_1$  during a high way driving

ここに見られる通り、様々な走行環境と  $\lambda_1$  のよい一致性が観測できた。このことは、実際の高速道路走行でもドライバの精神負荷状態とメンタルワークロードを有効に記述することが可能であることを示している。

### 4. まとめ

様々な状況において自動車を運転しているときに、ドライバの心身負荷状態、いわゆるメンタルワークロードを評価する方法として、指尖脈波のカオス動力学の有用性を検討した。

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のメンタル負担状態の有効な指標であることが分かった。今後、さまざまなワークロードについて、タスク条件を設けて実験を重ねると同時に、詳細な  $\lambda_1$  の時間変化機構のフラクタル構造的な追及したい。

また、ECG、RR 間隔、呼吸などの生理指標を比較し、本方法の有用性と車載実用性についてさらに検討する予定である。

### 5. 参考文献

- [1] Green, P.: International Incidents, *ITS World*, Jan./Feb. (2001).
- [2] Tsuda I., Tahara T., Iwanaga I.: Chaotic pulsation in capillary vessels and its dependence on mental and physical conditions, *Int J Bifurcation and Chaos*, Vol.2, pp.313-324 (1992).
- [3] Peng, C.K., Havlin, S., Stanley, H.E., Goldberger, A.L.: Quantification of Scaling Exponents and Crossover Phenomena in Non-stationary Heartbeat Time Series; *Chaos*, Vol.5, pp.82-87 (1995).
- [4] Wierwille, W.: Avisual and manual demands of in-car controls and displays. In: B. Peacock & W. Karwowski (Eds.), *Automotive Ergonomics*, Washington DC, Taylor & Francis, pp.299-320 (1993).
- [5] 合原, 池口, 山田, 小室: カオス時系列解析の基礎と応用; 産業図書株式会社, (2000).