

感覚刺激に対する自律神経応答の非線形解析

Nonlinear Analysis of Autonomic Nervous Responses to Sensory Stimulation

渡邊 弘毅¹, 木竜 徹²

¹新潟大学 福祉人間工学科, ²新潟大学大学院 自然科学研究科

Hiroki Watanabe¹ and Tohru Kiryu²

¹ Department of Engineering, Niigata University,

² Graduate School of Science and Technology, Niigata University

1. はじめに

高度工学技術が我々の生活に浸透し, より快適に過ごせるようになった一方で, 工学技術を何のためらいもなく使用することによる生体への過剰な影響が懸念されている。

我々の研究室では生体影響の中でも映像酔いに注目し, これまでに生体に負の影響を与えていると考えられる周波数帯を定義した。

本研究では生体機能が持つ決定論的カオス性に注目し, その中で軌道不安定性が外部環境適応能力を反映する指標であるという考えに基づき, 環境適応能力という視点から, 映像による生体影響を定量的に評価した[1].

2. 方法

2.1 カオス解析

カオス解析とは複雑な時系列を決定論的カオスの立場から解析することであり, 従来の線形理論に基づいた周波数解析では見ることが困難であった生体の全体論的特徴を評価することができる。周波数解析では生体信号の瞬間的特徴, すなわち静的情報を評価するに過ぎなかった, しかしカオス時系列解析を解析に取り入れることによって, 生体が持つ動的情報を定量的に評価することができる。

カオス解析の代表的な解析手法として, フラクタル次元解析, リアプノフスペクトラム解析などがあり, 解析対象となる力学系の幾何学的, 力学的特徴を評価するのに用いられる[2].

2.2 軌道平行測度法

本研究では映像視聴時の生体が持つ環境適応能力を調べるための手段として, 血圧脈波が持つ決定論的カオス性に注目し, その中でも外部環境適応能力を反映すると考えられている軌道平行測度法を用いた[3]. 軌道平行測度を求めるには, まず時系列信号からアトラクタを生成し, 信号が持つ情報を埋め込む。軌道平行度 Γ は,

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

で定義され, γ はアトラクタ上での任意接線ベクトル \mathbf{T}_i とその近傍に位置する接線ベクトル \mathbf{T}_j から,

$$\gamma_i = \sum_{j=1}^m \frac{\mathbf{T}_i \cdot \mathbf{T}_j}{|\mathbf{T}_i| \cdot |\mathbf{T}_j|} \quad (2)$$

で定義される。軌道平行測度は軌道が安定 (外部環境適応能力: 低) になると 1 に近づき, 軌道が不安定 (外部環境適応能力: 高) になると 0 に近づく。

3. 実験

3.1 映像実験 1

被験者は健康な成人男性 22 名, 女性 3 名 (平均年齢 21.8 歳 \pm 0.87) の 25 名である。映像は, パラシュートやマウンテンバイクなど 10 種類の動きの激しい一人称視点映像を使用した。映像の視聴時間は 18 分であり, 視聴前後の安静時 (5 分) に生体信号を計測し, 体調に関するアンケート調査を行った。映像視聴中の主観を評価する目的で, 視聴中に何らかの影響を知覚した場合にボタンを押してもらった。

計測した生体信号は心電図・血圧脈波・発汗・呼吸・指尖脈波である。

3.2 映像実験 2

被験者は健康な男子 9 名 (平均年齢 21.8 歳 \pm 0.67) である。映像には自然を背景としたマウンテンバイクの一人称視点映像を使用した。この映像は映像実験 1 において興奮・自己運動感・不快感・めまい・酔いなどの強い生理的反応が顕著に誘発されたものである。マウンテンバイク映像を 5 回連続で投影し, 映像の視聴時間は 10 分である。また, 映像実験 1 と同様に, 視聴前後の安静時 (5 分) に生体信号を計測し, 体調に関するアンケート調査を行った。ま

た, 主観評価ボタンも同様に使用した.

計測した生体信号は心電図・血圧脈波・発汗・呼吸・眼球運動である.

4. 結果

4.1 映像実験 1

映像視聴後のアンケートでは, マウンテンバイク映像が不快と答える被験者が最も多かった (12 人). また, 心電図・血圧脈波・呼吸信号を基に求めた生体影響があると考えられる時刻も同様に最も多い結果となった.

軌道平行測度 Γ はマウンテンバイク映像が不快と答えた被験者のうち, 9 人に対して上昇または高値が確認された. また, マウンテンバイク映像以外の映像を不快と答えた被験者 (17 人) のうち 10 人に対して上昇または高値が確認された.

4.2 映像実験 2

映像視聴後のアンケートを参考に酔った群と酔わなかった群の 2 群に分類した. この両群に対して映像視聴前の安静時と視聴時における軌道平行測度 Γ を求め, 各群の平均値 (表 1) を比較した結果, 群間において安静時と視聴時における軌道平行度に有意な差が生じた ($p > 0.5 : t\text{-test}$).

表 1 軌道平行測度 Γ の平均値と分散

酔いの有無	安静時	映像視聴時
有	0.73 (0.0017)	0.79 (0.0034)
無	0.72 (0.0017)	0.73 (0.0014)

また, 不快感を感じ, 300sec 付近から酔いを知覚した被験者の軌道平行測度を示したのが図 1 である.

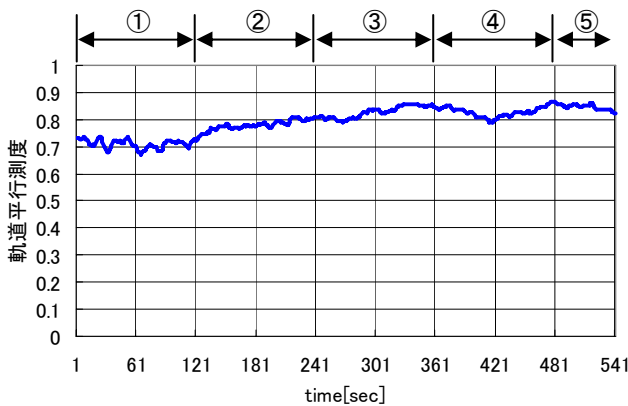


図 1 酔った群の被験者の映像視聴中における軌道平行測度

5. 考察

5.1 映像実験 1

映像実験 1 において主観評価と客観的指標から生体影響が強いと考えられる映像をマウンテンバイクであると仮定した. また, 不快と感じた時刻で軌道平行測度の値が高かったことから被験者は特定の映像によって環境適応能力が低下されていることが推測される. この仮定を拡張すると, 映像酔いを生じる原因は特定映像 (映像情報) によって環境適応能力が低下され, ある閾値を下回ると酔いを知覚するという仮定を立てることができる.

5.2 映像実験 2

映像実験 1 の結果から立てた仮説を立証するために生体影響が強いと考えられるマウンテンバイク映像を繰り返し視聴させ, 酔いを誘発させた. その結果, 酔いを知覚した被験者の軌道平行測度の変動パターンを分類したものが図 2 である.

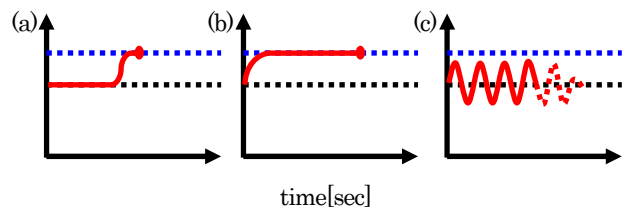


図 2 軌道平行測度の変動パターン

パターン (a) は軌道平行度の急峻な変動の後に酔いが知覚された被験者群であり, パターン (b) は持続的な高値が見られた後に酔いが知覚された被験者群である. その一方で, パターン (c) のように激しい変動の後に酔いを生じる被験者も確認された. 今後の課題として, 環境適応能力という考えをさらに拡張して生体が受ける影響強度を定量的に定義するために他の生理指標との比較が必要となる.

参考文献

[1] 馬庭芳郎, 天田実志, 五百旗頭正, 太田祥一, 得高平蔵, “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.
 [2] 合原一幸 編, “カオス時系列解析の基礎と応用”, 産業図書, 東京(2000).
 [3] T. Ikibe, ” Industrial Application of Chaos Engineering”, Springer-Verlag London Limited, pp.141-150 (1997).