生体情報のカオスの同期について

—呼吸と脈波のカオスの連関—

○瀧川諒子¹・鈴木 平²・石井康智³・雄山真弓^{4,5}

(¹早稲田大学大学院文学研究科・²桜美林大学心理・教育学系・³早稲田大学文学学術院・⁴カオティック研究所・⁵関西学院大学)

キーワード：脈波，呼吸，カオス，同期

A study of chaotic synchronization of biological information

- The relation between LLE of respiration and fingertip pulse waves -

Ryoko TAKIKAWA¹, Taira SUZUKI², Yasutomo ISHII³ and Mayumi OYAMA-HIGA^{4,5}

(¹Graduate School of Letters, Arts and Sciences, Waseda University, ²J.F.Oberlin University, ³Faculty of Letters, Arts and Sciences, Waseda University, ⁴Chaos Technical Research Laboratory, ⁵Kwansei Gakuin University)

Key Words: pulse wave, respiration, Chaos, synchronization

目 的

生体はダイナミックに変動する生体信号を持続的に発信している。複雑な変動は、生命活動の巨視的な変動、心臓と血圧の変動および分子レベル上での微視的な変動を含め、どこにでもある。しかし、その変動は機械的に作成された一定の変動でも、完全に任意の変動でもない。生体の変動はカオス的である (Oyama-Higa et al., 2013)。従来採用されてきた FFT に代表される周波数解析などの線形解析では、信号の中の周波数という一成分に注目し、特定の周波数帯域を持たない信号 (ランダムノイズ様信号) は排除するため、ダイナミックな変動に対する情報を得ることが難しかった。カオス解析はゆらぎ成分として重視されてこなかった研究対象に内在するカオス性を評価し、対象の状態把握を試みるものでもある。この際算出される最大リアプノフ指数 (Largest Lyapunov Exponent : LLE) は心身の免疫力の指標とされ、生体信号の LLE は臨床医学的研究や人間工学的研究において、心身に係る疾患を持った患者の病態把握や、作業者の心身状態の推定に用いられている (e.g. 雄山 (2012), 今西 (2010))。

しかしながら、カオス解析を用いた研究において、生体信号間の関係に係る基礎的な知見がまだ充分でない。そこで、研究 1 では、呼吸と脈波のカオス性の連関を LLE 及びその相互相関関数を用いて検討することを目的とする。研究 2 では、痛み刺激を与えられた際のヒトの呼吸と脈波のカオス性の連関を、LLE 及びその相互相関関数を用いて検討することを目的とする。なお、本研究では、主観的痛みに影響を与える一つの要因である特性不安を、痛みを与えられた際のヒトの LLE に影響を与える心理的要因と仮定する。

研究 1

方 法

日時と場所：2013 年 10 月 1 日から 11 月 20 日、東京都内 A 大学心理学実験室にあるシールドルームにおいて実施した。

実験参加者：STAI-T (肥田野他, 2000) によってスクリーニングされた大学生 41 名 (19.7±1.78 歳、男性 18 名、女性 23 名) であった。うち特性不安高群 (H 群：平均得点+1SD 以上) 23 名 (19.3±1.37 歳、男性 9 名、女性 14 名)、特性不安低群 (L 群：平均得点-1SD 以下) 18 名 (20.2±2.12 歳、男性 9 名、女性 9 名) であった。

材料：痛み刺激として 10℃の冷水 (CP テスト) を用いた。

心理指標：STAI-S (肥田野他, 2000)、POMS 短縮版 (横山, 2005)、ペインスケール (NRS を参考に自作)。

生理指標：指尖脈波の LLE、自律神経バランス (1f/(1f+hf))。

手続き：説明 (3 分) → 安静時間 (3 分) → 呼吸測定開始 → Pre 心理測定 (5 分) → 脈波測定開始 → Pre 安静時間 (3 分) → CP テスト (最大 3 分) → 安静時間 (1 分) → Post 安静時

間 (1 分) → 生体信号測定終了 → Post 心理測定 (5 分) → ディブリーフィング (3 分)

分析方法：呼吸と脈波のローデータと LLE について、相互相関関数を算出した。

結 果

呼吸と脈波の LLE の間には、強い相互相関が見られた (相互相関の最大値の平均= .74±.12)。呼吸と脈波のローデータの間には、弱い相互相関が見られた (相互相関関数の最大値の平均= .21±.07)。

研究 2

方 法

研究 1 から得られた呼吸と脈波の LLE の相互相関関数について、2 群 (H 群・L 群) × 繰り返し 3 水準 (Pre・痛み条件・Post) の分散分析を行った。また、各心理指標について、2 群 (平均+1/2SD 群・平均-1/2SD 群) × 繰り返し 3 水準 (Pre・痛み条件・Post) の分散分析を行った。

結 果

LLE の相互相関関数の最大値について、交互作用は有意傾向を示した ($F(2, 48)=3.11, p<.06$)。単純主効果の検定の結果、痛み条件における相互相関関数は不安の高群の方が 5% 水準で有意に高かった ($F(1, 27)=4.61, p<.05$)。

POMS において、相互相関関数は抑うつの高群の方が 1% 水準で有意に高かった ($F(1, 14)=10.18, p<.01$)

考 察

研究 1 において、呼吸と脈波のローデータの間には弱い相互相関しか見られず、LLE では強い相互相関が見られた。ローデータよりも LLE の同期の方が高かったことから、両者は単純に同期しているのではなく、生体情報のカオス性を介して同期していることが推測される。呼吸と脈波の活動の背後にはまた、自律神経活動があり、これが同期に寄与していることが考えられる。今後は、自律神経活動も含めた三者間の同期現象のさらなる検討が望まれる。

研究 2 において、痛みを与えられた際に、不安の高群では LLE の同期傾向が増加し、低群では減少した。また、抑うつ高群では LLE の同期傾向が高かった。すなわち、不安・抑うつの高群では呼吸と脈波のカオス性の同期が高まったことを意味する。この理由として、不安・抑うつが高いと身体感覚に意識が向く傾向があることが考えられる。これはマクロには、カオス性が低下したことが示唆される。

これまでの先行研究では、さまざまな生体信号のカオスと心身の健康状態に関する報告がなされている。これらの研究と本研究を考え合わせると、生体がカオス性を利用して健康を維持しているだけでなく、生体のカオス性が生理現象間の動的関連性や動的関連性を通しての心身の健康の維持・増進にも関与している可能性が考えられる。