

2023 年度博士論文（要約）

指尖脈波のゆらぎの応用可能性に関する研究
— 生体情報からみる心身の健康 —

指導 鈴木 平 教授

国際学術研究科

国際学術専攻

国際学術研究学位プログラム

221K1001

柴山笑凜

目次

第 I 部 研究背景と目的	
第 1 章 生体信号のゆらぎと心身の健康.....	1
第 1 節 ゆらぎと健康.....	1
第 2 節 生体信号のゆらぎの解析と心身の健康.....	2
第 3 節 日本の心身の健康問題.....	7
第 4 節 心身の健康を反映する客観的指標.....	9
第 2 章 本論文の目的と構成.....	12
第 1 節 背景まとめと本論文の目的.....	12
第 2 節 本論文の構成.....	14
第 II 部 日常生活場面における指尖脈波のゆらぎ解析の応用可能性	
第 3 章 研究 1：数か月間における指尖脈波のゆらぎの変動.....	16
第 1 節 研究目的.....	16
第 2 節 方法.....	17
第 3 節 結果.....	19
第 4 節 考察.....	21
第 4 章 研究 2：個人的人格特性や体調が数か月間の指尖脈波のゆらぎの変動に与える影 響.....	23
第 1 節 研究目的.....	23
第 2 節 方法.....	24
第 3 節 結果.....	28
第 4 節 考察.....	35
第 III 部 医療場面における指尖脈波のゆらぎ解析の応用可能性	
第 5 章 研究 3：精神疾患患者における加速度脈波のカオスアトラクタの特徴について	37
第 1 節 研究目的.....	37
第 2 節 方法.....	40
第 3 節 結果.....	42
第 4 節 考察.....	45

第6章 研究4: 精神疾患患者における加速度脈波のカオスアトラクタの特徴について — —印象評定による間主観的評価—	47
第1節 研究目的	47
第2節 方法	48
第3節 結果	61
第4節 考察	66
第IV部 介入・介護場面における指尖脈波のゆらぎ解析の応用可能性	
第7章 研究5: 指尖脈波のゆらぎ解析を用いた回想法的介入についての研究	68
第1節 研究目的	68
第2節 方法	70
第3節 結果	72
第4節 考察	82
第8章 研究6: 過去回想による指尖脈波のゆらぎの変化 —想起内容による回想法の効 果の検討—	85
第1節 研究目的	85
第2節 方法	86
第3節 結果	89
第4節 考察	101
第V部 総合考察	
第9章 本論文の総合考察	105
第1節 本研究のまとめと考察	105
第2節 心身の健康の客観的指標としての指尖脈波のカオス解析	112
第3節 本研究の限界と今後の展望	113
第10章 本論文の総括	114
引用文献	115
資料	120
謝辞	133

第 I 部 研究背景と目的

第 1 章 生体信号のゆらぎと心身の健康

我々の周りには“ゆらぎ (Fluctuation)”という状態にあるものが多く存在し、ヒトの脳波・心電図・脈波などの生体信号も、ゆらぎを持つとされている。ヒトの心拍や脈拍などは、健常な人が安静に過ごしていたとしても、全く同じ機械的で安定したリズムで動いているというわけではない。むしろ、健常者よりも病的な状態やその傾向にある方が、これらの変動が少ないということも明らかになっており、人間が健康な状態を保つには、静的な安定性よりも動的な“ゆらぎ”が関連しているということが示唆されてきている (Tsuda, Tahara & Iwanaga, 1992; Oyama-Higa, Miao, & Mizuno-Matsumoto, 2006)。生体信号に内在するゆらぎを定量化する手法に、非線形の時系列解析であるカオス解析が用いられる。生体信号をカオス解析することによって算出されるカオスアトラクタや LLE は、心身の健康と深く関連する客観的指標であることが明らかになっている (雄山, 2012)。

現代の日本では、自殺者の多さの原因であるうつ状態や、超高齢社会における認知症患者の増加などに対し、医療・福祉面からも対策していくことが急務であり、これらの疾患の早期発見が重要視されている。しかしこれらは本人の自覚が無いまま進行する可能性があり、科学的手法による客観的データの測定が必要である。しかし、従来おこなわれてきた脳波や画像診断などは時間や費用などのコストが高く、負担も大きい。そこで、心身の健康と関連性がある生体信号のゆらぎの解析、その生体信号の中でも指尖脈波に注目した。

指尖脈波は中枢神経系や自律神経系の情報など様々な情報が含まれる、心理生理学的意味を有することに加え、測定時には指先にカフをはめるといった手軽さや、短い測定時間から、非侵襲的で心身への負担が少ない客観的指標として用いることが可能である。指尖脈波もゆらぎを有する時系列データであり、指尖脈波のゆらぎの解析からの病態の把握などの可能性が示唆されている (Tsuda et al., 1992)。

第 2 章 本論文の目的と構成

以上のことから、指尖脈波のゆらぎを解析することによって算出される LLE やカオスアトラクタから心身の健康を把握するという、客観的指標としての応用可能性が推察される。しかし、現時点において、心身の健康と生体信号のゆらぎを結び付けた研究が十分であるとは言えず、そのため一般的な活用は未だ行われていない。このことから本論文では、指尖脈波のゆらぎ解析の応用可能性を検討するために、指尖脈波のゆらぎと心身の健康の関

連性，指尖脈波のゆらぎを解析することにより何が言えるのか，その可能性と限界を検討する，基礎的な研究を行うことを目的とした。

本論文の流れとして，第Ⅱ部では日常生活場面での活用を想定して，指尖脈波のゆらぎ，特に LLE の数か月間の変動について研究を行う。第Ⅲ部では精神疾患の診断などの医療場面における，指尖脈波のゆらぎの解析の有効性について検討を行う。さらに第Ⅳ部において，日常生活場面のみならず，介入・介護場面においても指尖脈波のゆらぎの解析が活用可能かどうかを検討する。

第Ⅱ部 日常生活場面における指尖脈波のゆらぎ解析の応用可能性

第3章 研究1:数か月間における指尖脈波のゆらぎの変動

指尖脈波のゆらぎに対しカオス解析を用いることによって算出される値は，心身の健康と関連があり，なおかつ簡便で非侵襲的な測定が可能であることから，日常的な心身の健康度の把握の客観的指標として応用可能であることが推察される。しかし，これまでは心身の健康状態による変化や刺激を与えた前後の比較について述べているものが多いため，数か月間のゆらぎの変動について検討した。

その結果，ゆらぎを数量的に表現する LLE は，一定の類似の環境条件下であれば，数か月の間においても個人内での変動は大きくはないことが示唆された。加えて，何らかの刺激を与えた場合は，指尖脈波の LLE に反映され，変動もある程度大きくなることも示唆された。

この結果から，日常的に LLE を測定することにより，個人の LLE の平均やその幅を導き出し，いつもより高い，または低い値が連続して算出された場合や，LLE が高い，または低い状態が続く場合には，自覚していない心身のストレスや，病への気づきへつながるということが推察される。

第4章 研究2:個人の人格特性や体調が数か月間の指尖脈波のゆらぎの変動に与える影響

研究1では指尖脈波の LLE の変動にのみ注目していたため，研究2においては，個人の特性的な性格や疾患などに加え，毎週の指尖脈波の測定と共に気分状態や体調などを記録し，その関連を検討した。しかし，実験協力者の少なさ，また実験時の欠席回数の多さから，本研究のみで関連性を決定づけることは不可能であった。しかし，自由記述欄において，“頭が働かない”“頭がぼーっとする”と記述された日は，他の人比べて指尖脈波のゆ

らぎが低く、頭がすっきりしているという時には指尖脈波のゆらぎが高かったことなどから、心身の健康が指尖脈波のゆらぎに反映されるという可能性について、先行研究などを支持する結果であったと考えられる。加えて、個人による指尖脈波の適切なゆらぎの差があることが示唆されており、指尖脈波のゆらぎから心身の健康を把握するという視点から考えれば、長期的な測定、解析が重要であるということが示唆された。

第Ⅲ部 医療場面における指尖脈波のゆらぎ解析の応用可能性

第5章 研究3:精神疾患患者における加速度脈波のカオスアトラクタの特徴について

雄山（2012）は、うつ病などの精神疾患患者、および認知症患者は、健常者に比べてゆらぎが少なく、そのためアトラクタのダイナミカルな構造が縮小され、LLE も低い状態にあると述べている。しかし、心身の健康とカオスアトラクタの研究はわずかであり、なおかつ指尖脈波のローデータを対象としていた。そのため、指尖脈波のローデータを二次微分することによって算出でき、疾患の評価にも用いられてきた加速度脈波も対象にカオスアトラクタを算出し、その形状に精神疾患患者と健常者の間で形状に違いがあるかどうかを検討した。その結果、指尖脈波の加速度脈波のカオスアトラクタにおいて、精神疾患患者のカオスアトラクタは全体的に丸みを帯びており、外周が膨らんでいるような形状であるのに対し、健常者のアトラクタは外周が真っすぐ、もしくはへこみが見られ、全体的に三角形に近い形状であることが明らかになった。

このことから、客観的指標による精神疾患の有無に関する診断の補助、および精神疾患の早期発見など、医療場面や日常場面における心身の健康状態の推定に、カオスアトラクタを用いることが可能であると考えられる。

第6章 研究4:精神疾患患者における加速度脈波のカオスアトラクタの特徴について—印象評定による間主観的評価—

研究3において、精神疾患患者と健常者では、指尖脈波のカオス解析によって算出される、加速度脈波のカオスアトラクタの形状が異なることが明らかになり、医療場面や日常場面における心身の健康状態の推定に、カオスアトラクタを用いることが可能であると考えられた。本研究では指尖脈波の加速度脈波のカオスアトラクタに対し、この研究に関わっていない者を対象に、“全体が丸い”“三角に近い”“直線的である”などの形状に関する項目、加えて“(背景に比べて)小さい—(背景に比べて)大きい”などの大きさに関

する項目について、精神疾患の有無を伏せながら評定をしてもらうという、間主観的な研究を行った。

その結果、カオスアトラクタの形状からは 100%の確率で精神疾患の有無の判別が可能であり、そして大きさからも非常に高い確率で可能であるということが明らかになった。

以上の結果から、精神疾患患者と健常者の指尖脈波の加速度脈波のカオスアトラクタの形状および大きさには明確な違いがあり、医療現場などにおける精神疾患の診断の補助などに用いるという活用が可能であると考えられる。

第IV部 介入・介護場面における指尖脈波のゆらぎ解析の応用可能性

第7章 研究5: 指尖脈波のゆらぎ解析を用いた回想法的介入についての研究

指尖脈波のカオス解析が心理療法などの効果の客観的指標として活用可能かどうか、現代日本で問題となっている認知症に対し用いられる回想法による介入を行い、指尖脈波のゆらぎや心理状態を測定し、その関連性を検討した。

その結果、自伝的記憶想起時のみ心理状態が改善し、同時に LLE の平均値が有意に高くなっていった。認知症の程度が深刻になるほど、LLE が低下するという報告がある。本実験で得られた自伝的記憶を想起することによる LLE の上昇は、認知機能などにポジティブな影響を与えたと推察できる。

本研究で用いた指尖脈波の測定は、器具の手軽さや短い測定時間などから、非侵襲的で心身に負担をかけることが少ない。そのため、幅広い人を対象として測定することも可能である。このことから、認知症患者など、言語でのコミュニケーションが困難な人を対象としても、指尖脈波のゆらぎから、介入の効果を示すことができると考えられる。

第8章 研究6: 過去回想による指尖脈波のゆらぎの変化——想起内容による回想法の効果の検討——

認知症の改善などに用いられる回想法の効果に関し、客観的な生理心理学的指標を用いた実証的な研究は未だ少ないとされている。そのため、本研究では心理指標とともに指尖脈波のカオス解析によって回想法の効果を検討することを目的とした。回想法は過去の思い出を語り、共有することにより、認知症の予防・悪化防止の効果が期待される心理療法である。本研究では“過去を回想し、語る”ことの効果に注目し、過去の回想を伴わない会話との比較を試みた。加えて、研究5から想起する内容やその内容に付随する情動によ

って、LLEの変動に影響を与えることが推察されたことから、本研究では楽しい思い出と、そうでない思い出を想起させ、回想内容に付随する情動がどの程度指尖脈波のLLEに影響するかを検討した。

本研究では回想内容による効果の差を検討することを目的としていたが、ネガティブな回想時において、“過去では悲しかったけれど今は笑い話”という内容を語る実験協力者の多さ、ならびに統制実験の内容があまりふさわしくなかったということもあり、単純に比較することはできない。しかし傾向として、幼少期の楽しい思い出を想起した時は他の実験内容よりも指尖脈波のゆらぎが実験前から実験後にかけて増加する傾向にあることに加え、幼少期の悲しい思い出を想起した時には指尖脈波が一時的に多く増加するものの、その後また多く減少する傾向にあることが明らかになった。加えて、幼少期の嫌な思い出の思い出しやすさと指尖脈波のゆらぎの関連から、幼少期の嫌な思い出が過去回想の効果に影響を及ぼしているということが推察された。

第V部 総合考察

第9章 本論文の総合考察・第10章 本論文の総括

先行研究により、指尖脈波に内在するカオス的なゆらぎを解析することによって算出されるLLEやカオスアトラクタから心身の健康を把握するという、客観的指標としての応用可能性が推察された。加えて本論文で行った基礎的な研究により、様々な場面における指尖脈波のゆらぎの応用可能性が高まり、さらなる活用イメージが示されたと考える。例えば、疾患の早期発見のために日常的に行うことは負担が大きい検査や通院などを、指尖脈波のカオス解析という手法を用いることで、スマートフォンなどで心身の健康を従来よりも簡便な方法で把握し、自身が気が付かないかもしれない不健康状態に気が付くという、一次予防、二次予防やセルフケアに用いることが考えられる。そして、不調が続くようなら医療機関において、測定されたデータを補助的に用いて疾患の診断を行ったり、加えて介護や介入場面では、心理療法などの効果を示す指標として用いたりすることで、より正確な診断と本人・周囲の負担の軽減につながるということが考えられる。

今後も、指尖脈波のゆらぎと心身の健康の関連性に関し、実際の活用に向け、引き続き基礎的な研究を重ねていく必要があると考えている。

主な引用文献

- 合原 一幸 (1997) .カオスの数理と技術 ——カオス, そしてフラクタル, 複数形への序章
—— 放送大学教育振興会
- Bertalanffy, L. (1972). The History and Status of General Systems Theory. *The Academy of Management Journal*, 15, 407-426.
- Brown, C.C. (1967). The techniques of plethysmography. In C.C. Brown (Ed.), *Methods in psychophysiology*, 54-74. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Butler, R. N. (1963). The life review: An interpretation of reminiscence in the aged. *Psychiatry*, 26, 65-75.
- 池口 徹・山田 泰司・小室 元政 (2000). カオス時系列解析の基礎と応用 産業図書
- Oyama-Higa, M., Miao, T., & Mizuno-Matsumoto, Y. (2006). Analysis of dementia in aged subjects through chaos analysis of fingertip pulse waves. *Proceedings of 2006 IEEE International Conference of Systems, Man, and Cybernetics*, 321-326.
- Oyama-Higa, M., Miao, T., Tanaka, K., & Cheng, H. (2007). Development of a Self-Check System for Mental Health using a Pulse Wave Mouse. *Proceedings of the Second International Conference on Software and Data Technologies*, 239-248.
- 雄山 真弓 (2012). 心の免疫力を高める「ゆらぎ」の心理学 祥伝社
- Tsuda, I. , Tahara, T. , & Iwanaga, H. (1992). Chaotic pulsation in human capillary vessels and its dependence on mental and physical conditions. *Journal of bifurcation and chaos*, 2, 313-324.
- Yaregani, V. K. , Rao, R. , Tancer. M. , Uhde, T. , (2004). Paroxetine decreases respiratory irregularity of linear and nonlinear measures of respiration in patients with panic disorder. *neuropsychology* 49, 5-57.