

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

## 科学研究費助成事業

## 研究成果報告書



平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：13501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12046

研究課題名(和文) 生体信号・指尖脈波を指標とするゆらぎ・リズム・同期現象からの“関わり数理モデル”

研究課題名(英文) Mathematical Model of Relationships Through Fluctuation, Rhythm, and Synchronization Phenomena Using Biological Signal Which is Shown by Finger Plethysmogram

研究代表者

岡林 春雄 (OKABAYASHI, Haruo)

山梨大学・総合研究部・教授

研究者番号：40177069

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000 円

研究成果の概要(和文)：第1研究では、生体信号のリズムとゆらぎが対人恐怖心性といった心理と対応するということが明らかになった。例えば、悔しかった話をしているとき、リズムのゆらぎが高い人ほど、対人恐怖心性尺度得点は低かった。ここで、生体信号のゆらぎは誤差ではなく、その状況に適応して、自らが作り出す応答力だととらえることができる。

第2研究では、会話をしているとき、相互理解できた二者の生体信号は、相互理解まで至らなかった二者の生体信号に比べて交差相関が有意に高く、同期していると考えられたが、さらに、その二者の生体リズムは位相差を基にした正弦関数モデルとして表現されることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)： Human biological signals have a rhythm which shows fluctuations. This study investigates the relationship between fluctuations of biological signals which are shown by a finger plethysmogram in conversation and anthropophobia tendency, and identifies whether the fluctuation could be an index of mental condition. The participants who have a low anthropophobic tendency make conversation flexibly using large fluctuation of biological signal; therefore, fluctuation is not an error but an important drive to make better relationships with others and go towards the development of interaction.

The mutual understanding in conversation is very important for human relations; it is thought to be formed as a result of cooperation between the features of self-organization of the persons cognitively and affectively. It is found that formation of mutual understanding is expressed by the rhythm of a biological signal showing a nonlinear synchronized sine formula in terms of phase difference.

研究分野：認知心理学

キーワード：リズム同期 非線形モデル 指尖脈波 生体信号 ゆらぎ

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 生きているシステムにはリズムがある人間をはじめ、生きているシステムにはリズムがあることが知られている(蔵本, 2005 参照)。さらに、近年の研究では、そのリズムは常に一定ではなく、若干ずつ異なるゆらぎという現象が報告され(雄山, 2012 等)、生きているシステムは、ゆらぎによって外界からの刺激に対してもすぐに応答できるような柔軟性を自ら作り出しているように見える(松本, 1984)と指摘されている。すなわち、リズムには安定性と応答性という一見、相反するような特徴が存在し(郡・森田, 2011)、それによって、適応、発達することができるのではないかと考えられる。

### (2) 人間心理はリズムで表現される

雄山(2012)は、認知症者と一般正常者の指尖脈波のリズムのゆらぎに注目し、リズムのアトラクタから、認知症者のゆらぎは少なく、一般正常者のゆらぎが大きい、ということ報告している。ゆらぎは、リズム形成に大きく影響しており、さらに、近年、身体化(embodiment: Varela, Thompson, & Rosch, 1991)といった考え方が広がってきていることによって、例えば、他者との関わりをもつ際の心理は、身体化されてとらえられるし、生体信号のリズムから考察が可能だと考えられる。

### (3) リズムの同期現象

それぞれの人にはゆらぎをともなったリズムがあるのだが、二者が関わる時、両者のリズムがどうなるかである。Winfree(2001)は、心臓の心筋細胞も各々ばらばらにすると勝手な周期・位相で振動しているのに、いったんまとめ、ある細胞がペースメーカーになると、すべての細胞を同じ周期で引き込めると報告している。そのような研究報告から、それぞれの人間が別々に存在していればばらばらなリズムを示しているであろうが、会話などで相互理解ができれば、両者の生体信号リズムは揃い、同期してくる、すなわち、交差相関が高くなると考えられる。

## 2. 研究の目的

(1) 生体信号のリズムは人間心理を反映しているのか検討する

人間の生体信号はリズムをもっていると考えられるのだが、そのリズムはその人間の心理を反映しているのであろうか。生体信号として指尖脈波を計測し、ゆらぎをともなうリズムがその人の人間関係、とくに、対人恐怖心性という心理とどのように関係しているのかを検討する。

(2) 会話中の二者の相互理解は、どのような“関わり数理モデル”によって表現されるのか検討する

対人関係として、会話をしている二者に相互理解が起こるという心理は重要である。お互いに理解していますという心理は、会話の内容が通じあうという認知的な側面とお互いに相手のことを受け入れていますよという感情的・情緒的な側面があってこそ起こってくるものと考えられる(Baron-Cohen, 1994; 武川, 2002; Perrett & Emery, 1994 等)が、そうなったとき、二者の生体信号はどのようになっているのであろうか。相互理解ができていない二者の生体信号と比較しながら解析し、相互理解に向けての関わり数式モデルを構築したい。

## 3. 研究の方法

(1) 参加者：第1の研究目的に対する実験を研究1とするが、研究1に参加してくれたのは32人(女性21人; 男性11人)の大学生と大学院生であった。また、第2の目的に対する実験を研究2とするが、研究2に参加してくれたのは40人(女性27人; 男性13人)の大学生と大学院生であった。

### (2) 手続き

参加者にはランダムに2人1組になってもらった。それぞれの組には、4つの会話場面が設定された(楽しかった話をする/聞く、悔しかった話をする/聞く)。研究1ではそれぞれ3分間、研究2ではそれぞれ4分間、同時に生体信号・指尖脈波を測定し、研究2では、あわせて、お互いの視線の動きを計測した。なお、会話場面の比較対象として、ひとりで安静にしている時の指尖脈波を計測した。

上記の会話実験が終わってから、各参加者には内省報告を求めるとともに、日頃の対人関係をどのようにとらえているのかを記述してもらい、研究1では心理テスト(対人恐怖心性尺度)に応えてもらった。

### (3) 計測機器

Lyspect 3.6 (Chaos Technology Research Laboratory: 200Hz)を生体信号としての指尖脈波を測定する際に使用した。時間にとまって変化する心理を解析するために、オリジナル脈波にTakens(1981)処理をかけ、位相空間にアトラクタを描けるようにした。なお、Lyspect 3.6を使い、交感神経、副交感神経といった自律神経系の動きを記録した。

研究2においては、視線の動き、とくに会話中、二者はどこを注視しているのか、どのくらいお互いの目を見ているのかを計測するためTalk Eye Lite (Takei Instrument Company: 30Hz)を用いた。

## 4. 研究成果

### (1) 研究1の成果

人間の心的活動は、一人での時よりも会話場面において活発であり、悔しい話をして

人恐怖心性傾向が低いということが明らかになった。

会話場面において、心拍、自律神経バランス、ならびにゆらぎを示す最大 Lyapunov 指数 (Lyapunov, 1992) に関しては、二者の交差相関は非常に高かった。すなわち、会話という、情報をやり取りする場面において、人間は生理心理的に相手からの情報をやり取りする態勢をとっているのだと考えられる。つまり、進化心理学的観点から言えば、弱い哺乳類であった人間は力を合わせなければ生きていくことができないので他者と情報交換をする必要があった。言いかえれば、生理心理レベルでは、情報をやり取りするために話を通じるようにする特徴をもっていると言うことができよう。ところが、生理心理レベルでは話を通じる傾向、リズム用語で言いかえれば、二者のリズムが同期する傾向があるのに対して、生体信号全体としての交差相関は高くなかった。たしかに、心拍、自律神経バランス、最大 Lyapunov 指数は、人間が生きていく上での基本的な生理心理レベルの特徴であるのに対して、生体信号全体の特徴は、生理心理に加えて、経験などによって学習し、獲得したその人の対人関係についての考え方・思考方法をも反映しているのであろう。生まれてこの方、人間関係・対人関係という関わりの経験によって、スキーマ (schema) と呼ばれるその人独特の思考方法、とくに、人との関わりについての非合理的信念 (Ellis, 1962) などにより人間関係を警戒し、避ける傾向を身に付けた結果だと考えられよう。

会話場面において、人は相手の話を聞くと同時に相手の目の動きや態度などを見て、話の内容の意味をとらえ反応を出すと考えられてきた。すなわち、聴覚システムならびに視覚システムなどをフルに使いながら会話を行うのであるが、聴覚・運動システム、視覚・運動システムのフィードバック遅延はそれぞれ 150 ミリ秒 (沢田・箕, 2001), 100 から 300 ミリ秒 (沢田・石田, 2005) だと報告されている。そのような従来の研究に対して、本研究で生体信号の交差相関の最大値をとらえたラグ (時間差) は、それよりも小さいケースが多かった。沢田ら (2005) も、感覚運動制御システムには何らかの予測機構が存在すると述べているが、会話の場合、話の流れがあり、ひとつひとつの言葉に反応するのではなく、キーワードをもとに自分の思考の中で解釈し、判断し、会話というやりとりをしているのだと本研究のデータからとらえられる。したがって、その解釈、判断の際にそれぞれの人のスキーマが入り込む余地があり、フィードバックだけではなく、フィードフォワードな思考を行っているものと考えられる。

## (2) 研究2の成果

相互理解には、会話の内容・ポイントをお

互いが分かって話しているという認知的側面と「あなたの言っていることを聞いていますよ」「あなたの言っていることに興味をもっています」という気持ちを示す情緒的・感情的側面があるので、その2つの面から参加者たちの会話を分析する。

### 会話の内容分析

会話の内容から、「(話のポイントを) 確認段階の会話」「(ポイントを) 共有した会話」「(ポイントを) 共有できなかった会話」に分けた。「確認段階の会話」とは、話を受けた人が質問をしながら何が話のポイントなのか確認をしている段階の会話である。「共有した会話」とは、お互いが話のポイントをつかみ、それぞれが自分の意見を述べ、それについて論じている段階の会話である。「共有できなかった会話」とは、話のポイントがわからず、話が合わなかった会話である。

会話の内容分析に対応する指尖脈波のオリジナル波 (Figure 1) とアトラクタ (Figure 2) を示す。会話中の、時間の流れにともなう、二者の指尖脈波で表わされた生体信号の動きが示されているのだが、Figure 1 は参加者 A と B の楽しい話の会話場面であり、A (緑で示した振幅の小さい波) が話をし、それに対して B (青で示した振幅の大きい波) が口をはさむといった状況が見て取れる。B より A のふり幅が小さくなっている。さらに、参加者 A と B, C と D, E と F の会話中の指尖脈波のアトラクタの振舞い (右列) を一人でいるときのアトラクタの振舞い (左列) と比較しながら示したのが Figure 2 である。「会話のポイントが共有できなかった」A と B の会話中のアトラクタの形状はまったく異なり、とくに A のアトラクタはつぶれた形状になっている。「確認段階」の会話をしていた C と D の会話中のアトラクタはだんだん似てきているように思われる。E と F の会話中のアトラクタは徐々に似てきているが、とくに E のアトラクタはつぶれており、緊張が強くなっていることが見受けられる。

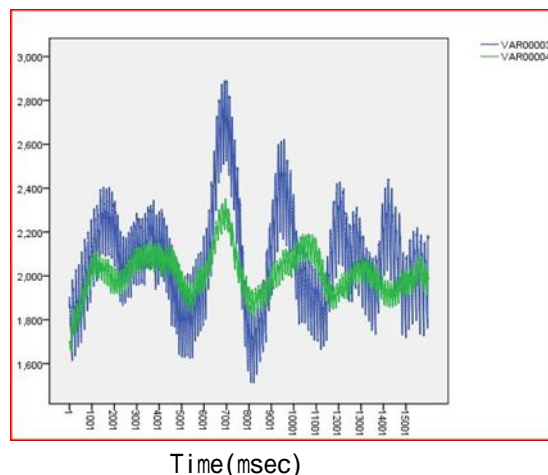


Figure 1 Finger plethysmogram of participants A and B

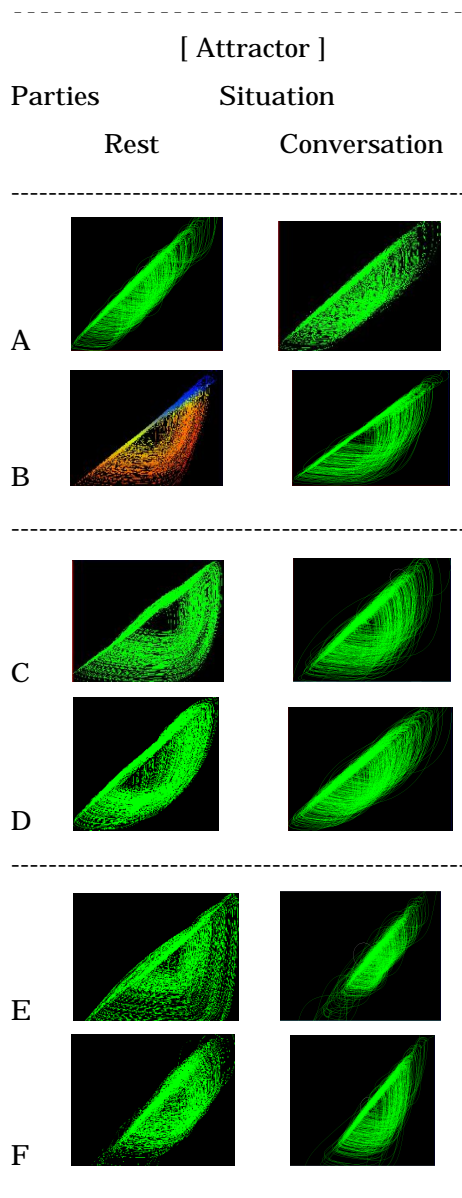


Figure 2 Attractors of parties at rest (left) and in conversation

#### 会話中の視線分析 相互注視

他者を理解するにあたっての視線の動きの重要性については従来から指摘されており (Perrett & Emery, 1994; 武川, 2002), 相互注視が感情・情意的な側面を示しているものと考えられている。会話場面におけるそれぞれの参加者の目の動きを計測し, 「1000ms に X 軸, Y 軸ともに 5 度動かない視線を注視」とし, 両目の範囲で注視した視線を相手の目を注視したとして処理した (Figure 3 参照)。さらに, 相互注視は, 会話をしている二者が同時に注視したものとした。

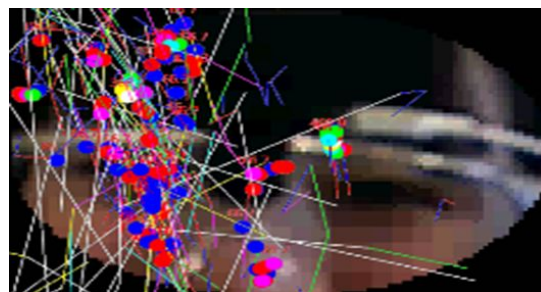


Figure 3 Trace of the partner's gaze

会話中に相手の目を見ている (注視している) 時間は少なく (会話場面 1 の平均注視時間 4903ms; 会話場面 2 の平均注視時間 2603ms; 会話場面 3 の平均注視時間 5916ms; 会話場面 4 の平均注視時間 1000ms), したがって, お互いの視線が合い, 相互注視が 2000ms 以上の間, 起こっているのは, 場面 1 で 5 組 10 人 (0ms から 2000ms 未満は 10 組 20 人) 場面 2 では 4 組 8 人 (0ms から 2000ms 未満は 12 組 24 人), 場面 3 では 8 組 16 人 (0ms から 2000ms 未満は 10 組 20 人), 場面 4 では 9 組 18 人 (0ms から 2000ms 未満は 8 組 16 人) であった。

#### 会話内容分析と相互注視から

会話内容がお互いに共有できている人たちの生体信号の交差相関は最も高く, 話が共有できていなかった人たちの交差相関は, どの会話場面においても最も低かった。会話場面 1 と 4 において, 話が合わなかった人たちに相互注視はあまり起こらなかったが, 話の内容確認をしている段階の人たちには, 相互注視が多く起こっていた (会話場面 1:  $F(2, 37)=3.90$ ,  $p<0.05$ ; 会話場面 4:  $F(2, 37)=3.94$ ,  $p<0.05$ )。

#### 生体信号リズムを基にした会話における相互理解を示す数理モデル作成

これまでの考察を総合して, 会話における相互理解を生体信号リズムから示す数理モデルを検討したい。蔵本 (2007, 2014) や Winfree (2001) の研究によって, 生きているシステムはサイン・カーブ (正弦波) で表現されることが指摘されている。そこで, 本研究での指尖脈波で示された生体信号リズムがサイン・カーブにフィットするのか, Origin 6.1 (OriginLab Cooperation) を使って確認したところ, 2 ケースを除いて, 他のすべての生体信号リズムはサイン・フィットした。

話の内容がしっかり共有でき, なおかつ, 相互注視が見られ, したがって, 交差相関も高い ( $r=0.33$ ,  $p<0.01$ ) 二者の生体信号リズム式はそれぞれ

$$f(x) = -0.04 + 121.18 \sin(\pi(x - 9.92)/9.20)$$

$$f(x) = -0.04 + 180.96 \sin(\pi(x + 133.88)/14.96)$$

であった。これらの式は, Kuramoto (1984) が指摘した, 位相差からリズムの引き込み同期を示す蔵本モデルとなんら矛盾しない。定数



(-0.04)がほとんど同じで(小数点第3位が異なる), 係数(121.18と180.96)が比較的近い数値となっている。

他の多くのケースでは, 生体信号リズムの交差相関は低く, 相互理解ができているとは考えにくいのだが, 会話場面1(楽しい話)で交差相関がほとんどなし( $r=-0.006$ ,  $p>0.05$ )といったケースのサイン・フィット式は

$$f(x)=-0.36+98.96\sin(\pi(x-0.17)/6.04)$$

$$f(x)=8.734+60.40\sin(\pi(x+48.571)/72.65)$$

であり, 話のやりとりはあるのだが, 相互注視はまったく起きず, 二者の間で言葉は表面的なところで上滑りしていたのではなからうか。

結語

人間心理の動きは生体信号のリズムから

$$f(x) = y_0 + A \sin\left(\pi \frac{x - x_c}{w}\right) \quad (\text{式 1})$$

で表わされ, 会話において相互理解が起こるとき, 二者のサイン式の定数項  $y_0$  ならびに, 係数項  $A$  が近似してくることが明らかになった。

この式が非線形であることから分かるように, 人間心理のように生きているシステムは非線形の世界の観点からとらえる必要がある。かつてはNicolis and Prigogine(1977)が散逸構造と呼び, 近年は, より洗練された形で非線形非平衡系と呼んでいる(松本, 1984; 山口, 1984 参照)特徴をもち, 固定されたものではなく, ダイナミカルに変化するものとして人間心理をとらえる必要があるし, 対人関係における相互理解の心理は, 二者の相互作用から競合, 協同する中で, 非線形の特徴である自己組織化(self-organization: Lewis & Granic, 2000; Nicolis, et al., 1977; 都甲・江崎・林, 1999 参照)が起こってくるものと考えられよう。

今後, 二者の相互理解, 意思の疎通を確認するのに生体信号のリズムの数理モデルから知ることができるであろう。そして, これまで可視化できなかった相互理解の心理が「見える化」できるということは重要であり, カウンセリング場面などにおいても役立つことになる。

付記

本研究は山梨大学大学院総合研究部教育人間科学域研究倫理委員会の審査で承認を受け, 行われたものである。

<引用文献>

Baron-Cohen, S. (1994). How to build a baby that reads minds: Cognitive

mechanisms in mindreading, *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 13, 513-552.

Ellis, A. (1962). *Reason and emotion in psychotherapy*, New York: Stuart.

郡宏・森田善久 (2011) 生物リズムと力学系 共立出版.

Kuramoto, Y. (1984). *Chemical oscillations, waves, and turbulence*. Mineola, New York: Dover Publications.

蔵本由紀(編)(2005)リズム現象の世界 東京大学出版会.

蔵本由紀(2007)非線形科学 集英社.

蔵本由紀(2014)非線形科学: 同期する世界 集英社.

Lewis, M.D. & Granic, I. (2000). A new approach to the study of emotional development. In M.D. Lewis & I. Granic (Eds.), *Emotion, development, and self-organization* (pp.1-12). Cambridge, UK: Cambridge University Press.

Lyapunov, A. M. (1992). *The general problem of the stability of motion* (A. T. Fuller, Trans.). London: Taylor & Francis. Reviewed in detail by M. C. Smith (1995) *Automatica*, 3, 353-356.

松本元 (1984) 生体とゆらぎ 石井威望・小林登・清水博・村上陽一郎(編) 生命現象のダイナミズム (pp.87-113) 中山書店.

武川直樹 (2002) コミュニケーションにおける視線の役割: 視線が伝える意図・気持ち 目と目で心を伝えよう 電子情報通信学会誌, 85 (10), 756-760.

Nicolis, G. & Prigogine, I. (1977). *Self-organization in nonequilibrium systems*. New York: Wiley.

小島陽之助・相沢洋二(訳)(1980) 散逸構造: 自己秩序形成の物理学的基礎 岩波書店.

雄山真弓 (2012) 心の免疫力を高める「ゆらぎ」の心理学 祥伝社.

Perrett, D. & Emery, N.J. (1994). Understanding the intentions of others from visual signals: Neuropsychological evidence, *Cahiers de Psychologie Cognitive*, 13, 683-694.

沢田晴彦・箕一彦 (2001) 遅延聴覚フィードバックにおける発話潜時への影響 第4回認知神経心理学研究会(8月10-11日)発表要録集, 26 - 27 .

沢田康次・石田文彦 (2005) リズムと感覚運動制御 蔵本由紀(編)リズム現象の世界 (97-135). 東京大学出版会 .

Takens, F. (1981). *Detecting strange attractors in turbulence. Lecture Notes in Mathematics*, 898. Berlin: Springer-Verlag.

都甲潔・江崎秀・林健司 (1999) 自己組織化とは何か：生物の形やリズムが生まれる原理を探る 講談社 .

Varela, F.J., Thompson, E.T., & Rosch, E. (1991). *The embodied mind: Cognitive science and human experience*. Cambridge, MA: The MIT Press. 田中靖夫(訳)(2001) 身体化された心：仏教思想からのエナクティブ・アプローチ 工作舎.

Winfrey, A.T. (2001). *The geometry of biological time*. 2nd ed. New York: Springer-Verlag.

山口陽子 (1984) 生物リズムと引き込み 石井威望・小林登・清水博・村上陽一郎(編) 生命現象のダイナミズム (pp.1-33) 中山書店.

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 2 件)

Okabayashi, H. (2017) The formation of mutual understanding in

conversation: An embodied approach. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 11, 476-482.

査読有、

<http://waset.org/publications/10006543/the-formation-of-mutual-understanding-in-conversation-an-embodied-approach>

Okabayashi, H. (2016) The relationship between fluctuation of biological signal: Finger plethysmogram in conversation and anthropophobic tendency. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 10, 3012-3016.

査読有、

<http://waset.org/publications/10005707/the-relationship-between-fluctuation-of-biological-signal-finger-plethysmogram-in-conversation-and-anthropophobic-tendency>

〔学会発表〕(計 4 件)

Okabayashi, H. (2017) The formation of mutual understanding in conversation: An embodied approach. ICPR(国際学会)2017 3月11日 Dubai, UAE.

岡林春雄 (2016) 若者のストレス感知と生体内対処反応：精神的健康に向けて 日本教育心理学会第58回総会、2016年10月8日、サンポート高松(香川県・高松市)

Okabayashi, H. (2016) The relationship between fluctuation of biological signal: Finger plethysmogram in conversation and anthropophobic tendency. ICPS(国際学会)2016 9月21日 Dubai, UAE.

Okabayashi, H. (2016) Changes in the relationship between two parties through conversation based on finger plethysmogram as an index. International Congress of Psychology (国際学会)2016 7月29日 Pacifico, Yokohama (神奈川県・横浜市)

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ccn.yamanashi.ac.jp/~oka/research>

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

岡林 春雄 (OKABAYASHI, Haruo)

山梨大学・総合研究部・教授

研究者番号：40177069