

# 蛍の明滅における引き込み現象が与える リラクゼーション効果の検証

吉田彩乃<sup>†1</sup> 櫻沢繁<sup>†2</sup>

ホタルの発光パターンには 1/f ゆらぎが含まれ、人に安らぎを与えるといわれている。また、各ホタルの明滅発光は、最初はバラバラだがやがて同時明滅発光へと変わっていく。このような引き込み現象にはリラクゼーション効果があると考えられる。そこで本研究では、ホタルのように集団で明滅するシステムを構築した。その各明滅光をフィードバック制御、または、非線形振動子の運動モデルとして一般的な van der pol 方程式で制御し、引き込み現象を再現した。そして、各制御方法におけるリラクゼーション効果を調べた。

## Examining for Relaxation Effect of Entrainment Phenomena in blinks of firefly

AYANO YOSHIDA<sup>†1</sup> SHIGERU SAKURAZAWA<sup>†2</sup>

1/f fluctuation is included in blinking pattern of firefly, and it is said that it makes human relax. Even if the blinking pattern of each firefly was asynchronous, they gradually synchronize. It was thought that the Entrainment Phenomena like blinks of fireflies has relaxation effect for humans. So, in this study, we developed the system which blinks like swarm of firefly. And we controlled each blink by feedback control or van der Pol equation for synchronization of blinks. We examined the relaxation effect of the blinks controlled by feedback control or van der Pol equation.

### 1. はじめに

非線形の自励振動を結合すると「引き込み現象」と呼ばれる同期現象が起こる[1]。これは互いに異なる近い固有の周波数を持つ振動子が、元々持っていた固有周期からずれて安定した周期で同期する現象である。この引き込み現象は自然界でも多く見られ、その例の一つとして、ホタルの同時明滅発光が知られている。東南アジアでは特定の木に数千から数万のホタルが集り、同時明滅発光を繰り返す[2]。別の例として、大勢の拍手のタイミングが次第に同期してくることや、横方向に自由度のある床上に周期の異なるメトロノームを複数置くと、その周期が同期してくる現象などがある。

また、引き込み現象は心拍や呼吸などの不随意運動間にも見られる。母親が乳児を寝かしつけるとき、母親の大きな呼吸間隔に乳児の呼吸間隔が引き込まれる。人は外部から安定したリズムを供給されると、2つのリズムを共存させることができない。そのため、乳児の呼吸間隔はより安定している母親のリズムに引き込まれる。その結果、乳児は落ち着き、眠りにつくと考えられている[3]。また、引き込み現象を利用したバーチャルコミュニケーションシステムの基礎実験では、キャラクタと自分のそれぞれの動作が引き込み現象を起こすときに、よりスムーズなコミュニケーションが行われることが示されている[4]。これらの結果

より、引き込み現象には、リラクゼーション効果があることや他者との関係を築くことに関して重要であると考えられる。

周期的な明滅発光が心拍に与える影響が調べられ、その結果、交感神経系の働きが抑制されることが明らかになった[5]。

以上の結果より、本研究では、非線形の引き込み現象や周期的な明滅発光にはリラクゼーション効果があると考え、その2つを含むホタルの同時明滅発光に着目した。そして、複数のホタルモジュールを用いて、引き込み現象が見られる明滅光と一定周期で発光する明滅光がそれを見ている人へ与えるリラクゼーション効果を調べた。すると、引き込み現象が見られる明滅光の方が、被験者にリラクゼーション効果を与えることが分かった[6]。

しかし、上記の研究では、ホタルの明滅光の同期に van der Pol 方程式のみを用いているため、その効果が同期現象によるものなのか引き込み現象によるものなのかは明らかにされなかった。そこで本研究では、ホタルモジュールの明滅の制御に、van der Pol 方程式とフィードバック制御を用いた。そして、引き込み現象によって同期するホタルシステムと、強制的に同期するホタルシステムが観察者に与えるリラクゼーション効果をそれぞれ調べた。加えて、引き込み現象により同期する場合のホタルモジュールの数を2パターン用意し、明滅の個数が被験者に与える印象への影響を調べた。

<sup>†1</sup> 公立はこだて未来大学システム情報科学研究科  
Graduate School of Systems Information Science, Future University Hakodate

<sup>†2</sup> 公立はこだて未来大学システム情報科学部  
Department of System Information Science, Future University Hakodate

## 2. 方法

本研究で使用したホタルシステムと実験方法は以下の通りである。Processing を用いて、PC 画面に 2 個または 15 個のホタルの明滅光を再現した円を写した(図 1)。そしてその明滅光の同期を以下の 2 つの方法で制御した。どちらの明滅光も約 30 秒で同相同期に至るよう制御された。

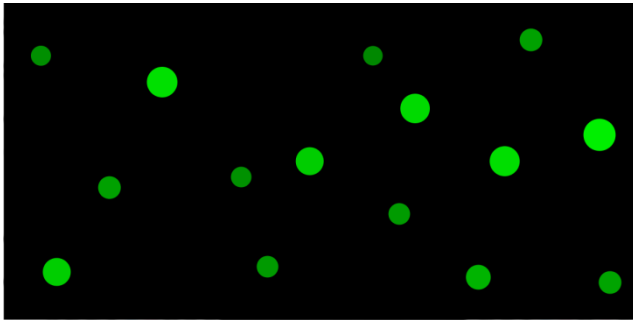


図 1 PC 画面上に写した明滅光のイメージ  
 Figure 1 Image of blink of this study.

### 2.1 提案方法

#### 引き込み現象による明滅光の同期

本研究では、モジュールの明滅間の相互引き込み現象のために相互引き込みを扱う非線形振動子として最も一般できである、van der Pol 方程式を用いた。そして複数の振動子を結合させた。またそれぞれの結合強度は、その他の明滅光との距離に応じて決められた。そのため、各明滅光はそれぞれ近い明滅光の周期に強く影響を受けた。

#### フィードバック制御による明滅光の同期

フィードバック制御では、各明滅光は全ての明滅光の明るさの平均値になるように一定の値ずつ修正するよう制御した。

### 2.2 実験方法

本研究で行った試行を表 1 に示した。また実験環境の概略図を図 2 に示した。試行は”明滅光が 2 つ、van der Pol 方程式による同相同期”，”明滅光 15 個、van der Pol 方程式による同相同期”，”明滅光 15 個、フィードバック制御による同相同期”の 3 つであった。また、被験者は、心身ともに健康な男女 13 名とした。実験は周囲が暗い環境で行い、被験者には楽な姿勢で PC の画面を見てもらうよう指示した。

各試行は 1 分間ずつ行われた。試行が終了するごとに SD 法に基づいて作成したアンケートに回答してもらった。そして、その回答に対し因子分析を行い、各試行の因子得点を求めた。また、明滅光をみているときの生理状態をしらべるために、試行 2 と試行 3 のときのみ、被験者の心拍を計測した。そして、計測結果をもちいて前半 30 秒と後半

30 秒間それぞれの LF/HF を求めた。

表 1 試行の一覧  
 Table 1 catalog of trials.

	同期方法	明滅光の個数	同期状態
試行 1	van der Pol 方程式	2	同相同期
試行 2	van der Pol 方程式	15	同相同期
試行 3	フィードバック制御	15	同相同期

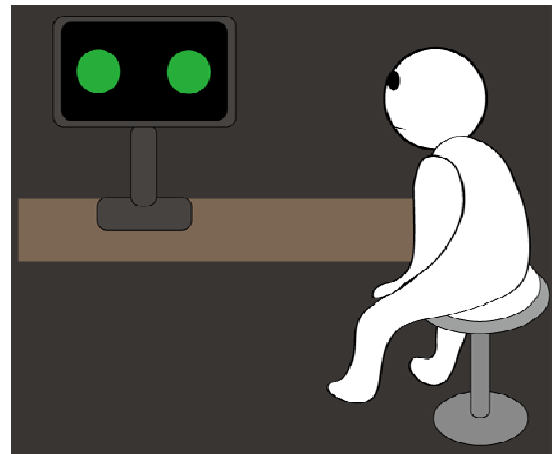


図 2 実験環境の概略図  
 Figure 2 Image of experimental environment.

## 3. 結果

### 3.1 因子得点

試行 1 (van der Pol 方程式, 明滅光 2 個) における各形容詞の因子得点を図 3 に示した。“くつろいだ”, “居心地の良い” に対する因子得点はそれぞれ -1.09 と 0.07 であった。“せっかちな”, “鋭い” に対する因子得点はそれぞれ 1.83 と 1.27 であった。“生きている”, “温かい” に対する得点はそれぞれ -1.93 , -1.26 であった。

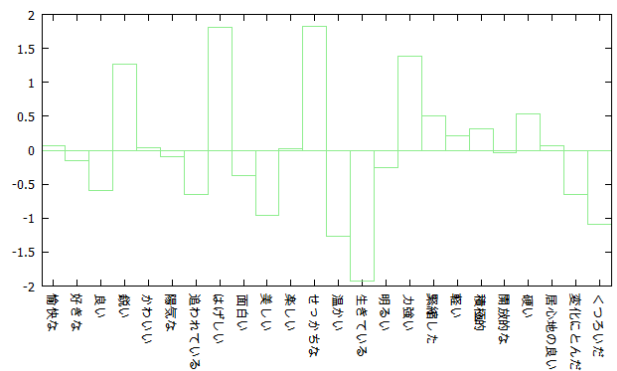


図 3 因子得点 (van der Pol 方程式, 明滅光 2 個)  
 Figure 3 Factor score (van der Pol equation, number of blink was 2).

図4に試行2(van der Pol方程式, 明滅光15個)における各形容詞の因子得点を示した。“くつろいだ”, “居心地の良い”に対する得点はそれぞれ -0.15, -0.56であった。“せっかちな”, “鋭い”に対する因子得点はそれぞれ -0.82 と 0.61であった。“生きている”, “温かい”に対する得点はそれぞれ 1.08, 0.81であった。

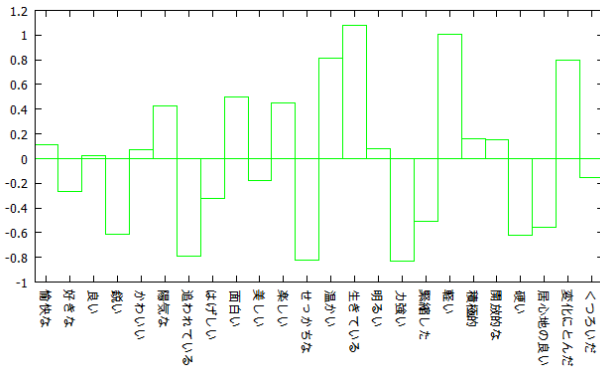


図4 因子得点 (van der Pol 方程式, 明滅光 15 個)  
 Figure 4 Factor score (van der Pol equation, number of blink was 15).

図5に試行3(フィードバック制御, 明滅光15個)での各形容詞の因子得点を示す。“くつろいだ”, “居心地の良い”に対する因子得点はそれぞれ -1.45, -0.73であった。また, “せっかちな”, “鋭い”に対する因子得点はそれぞれ 1.81 と 1.01であった。“生きている”, “温かい”に対する得点はそれぞれ -0.73, -0.81であった。

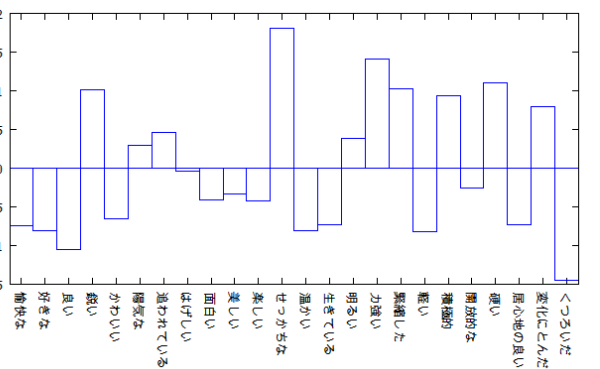


図5 因子得点 (フィードバック制御, 明滅光 15 個)  
 Figure 5 Factor score (feedback control, number of blink was 15).

3.2 LF/HF

特徴的な被験者の実験開始から 0-30 秒のときと 31-60 秒のときの心拍の周波数スペクトラムの値を図6から図9に示した。図6と図7は試行2におけるスペクトラムであり, 図8と図9は試行3におけるスペクトラムである。試行2

(van der Pol 方程式)におけるこの被験者の LF/HF は 0-30 秒のとき約 1.587334147 であり, 30-60 秒のとき約 0.64610299であった。また, 試行3(フィードバック制御)における LF/HF は, 0-30 秒のとき約 0.406508127, 30-60 秒のとき約 0.937256125であった。

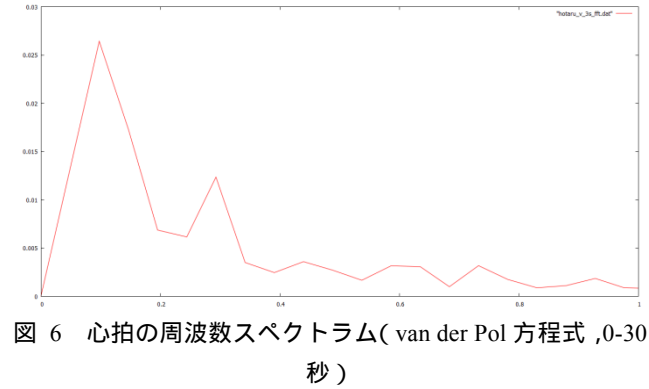


Figure 6 Frequency spectrum of heartbeat (van der Pol equation, 0-30 second).

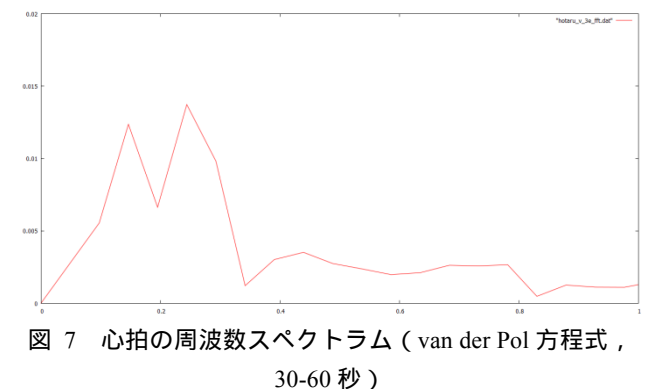


Figure 7 Frequency spectrum of heartbeat (van der Pol equation, 30-60 second).

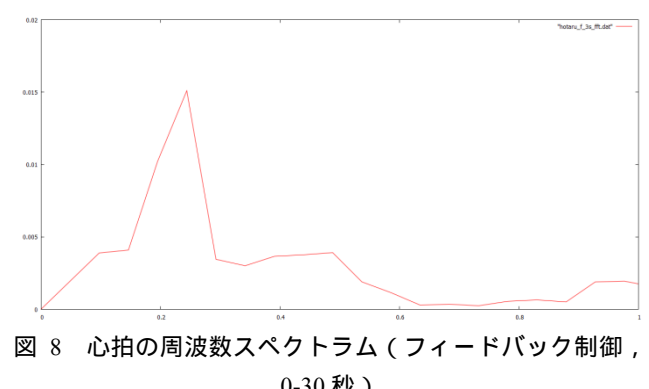


Figure 8 Frequency spectrum of heartbeat (feedback control, 0-30 second).

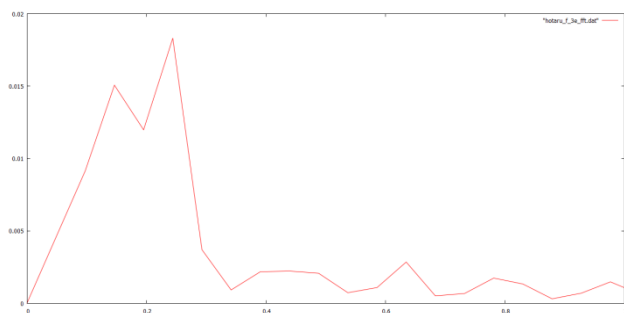


図 9 心拍の周波数スペクトラム (フィードバック制御, 30-60 秒)

Figure 9 Frequency spectrum of heartbeat (feedback control, 30-60 second).

また、試行 2 (van der Pol 方程式)における被験者の LF/HF の平均値は 0-30 秒のとき、約 1.067294 であり 30-60 秒のとき約 0.801456 であった。試行 3 (フィードバック制御)における被験者の LF/HF の平均値は 0-30 秒のとき約 0.853548 であり、30-60 秒のとき 0.893231 であった。

#### 4. 考察

各試行の因子得点の結果より、van der Pol 方程式を用いた引き込み現象による同期の方がフィードバック制御を用いた強制的な同期よりも“くつろいだ”、“居心地の良い”印象が強いことが分かった。また、明滅光の個数が多い引き込み現象において、“生きている”や“温かい”の得点が他の条件に比べ高かった。このことから、van der Pol 方程式による複数回の同期は生物らしさを感じさせるのに重要だと考えられる。しかし、“居心地が良い”、“くつろいだ”に対する得点は明滅光が 2 個のときの方が高かった。このことより、被験者がリラックスを感じるには引き込みを起こす対象の個数が重要になると考えられる。また、明滅光が 2 つのときの方が、“居心地が良い”及び“くつろいだ”に対する得点が高かった理由として、引き込み現象を起こす対象が多すぎると、同期していても各明滅に少しずつずれが生じてしまうため、同期を感じにくいと考えられる。

van der Pol 方程式を用いた引き込み現象による同期の方が、LF/HF が小さくなった。そのため、引き込み現象の方が副交感神経を活発にすると考えられる。

以上の結果より、van der Pol 方程式を用いた引き込み現象による同期の方が、フィードバック制御を用いた強制的な同期よりも、リラックス効果が期待できると考えられる。

今後の課題として、明滅光の個数や明滅周期を変え、よりリラックス効果が現れる条件を探る必要がある。

#### 参考文献

- 1) 蔵本: リズム現象の世界; 東京, 東京大学出版, 2005
- 2) Steven, S.: SYNC: The Emerging Science of Spontaneous Order, Hyperion Books (2003)

3) 渡辺, 大久保: コミュニケーションにおける引き込み現象の生理的側面からの分析評価, 情報処理学会論文誌「次世代ヒューマンインタフェース・インタラクション」特集号, vol.39, No.5, pp.1225-1231, (1998)

4) 渡辺: 高度メディア社会における身体的コミュニケーション技術, 電子情報通信学会技術研究報告(特別講演), Vol.102, No.595, pp.49-54, (2003)

5) Aoki, T: Influence of Periodically Flashing Light Stimulation on Heartbeat Fluctuation and Ryodoraku Electrodermal Activity; Life Information Science, Vol 26, No1, (2008)

6) 西, 櫻沢, 美馬, 山本: 引き込み現象を用いたリラクゼーションシステムの開発, ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集(CD-ROM), pp. ROMBUNNO.3221 (2010).