

脈波の「ゆらぎ」を用いた精神健康度自己チェックの可能性 Development of a Self-check System for Mental Health, which uses Nonlinear Chaos Analysis of Pulse Waves

雄山 真弓

Mayumi Oyama-Hlga

関西学院大学 文学部 総合心理科学科, 西宮市上ヶ原 1-1-155

Department of Integrated Psychological Science Kwansai Gakuin University,

1-1-155 Uegahara, Nishinomiya, 662-8501, Japan

あらまし:我々はこれまで指尖脈波の非線形解析を行い、アトラクタの軌道の「揺らぎ」を意味するリアプノフ指数が人間の精神的健康度を調べる方法として有効であることを発表してきた。特に、認知症や鬱病の早期発見、健康な人の精神変化を調べるのに大変有効な方法であることを示してきた。一方、これまでに行われてきた精神健康度の測定方法は、主観的な方法が多く、客観的な方法でも、時間や費用の面から簡単な方法とはいえなかった。多くの利用者が簡単に測定できる機器の開発が必要であり、その可能性について検討している。本報告では、脈波のゆらぎを用いた精神健康度自己チェックの可能性について、これまでの研究を例にあげて解説する。研究の目標は、誰でもどこでも簡単に測定できて、精神健康度がわかりやすく表示されることであるが、人間のもつカオス性から、ただ1回の測定のみで判定することは危険である。従って、複数回の測定による時系列データを用いてリアプノフ指数の変動を表現できるソフトの開発を考えている。揺らぎ値の変動要因を調べることで、自分の状態変化を知ることができれば、精神健康の問題に貢献できると考えている。

Summary:We have been applying nonlinear chaos analysis to fingertip pulse wave data and had reported that the Lyapunov exponent, a measure of “divergence” of the trajectory of the attractor, was a useful index of mental health in humans. We had demonstrated that it was particularly useful for the early detection of dementia and depressive psychosis, and also for monitoring mental changes in healthy persons. Most of the methods used for assessing mental health are subjective. Even among the objective methods are not simple, considering the time and the cost needed. After about one minute of measurement, the Lyapunov exponent is calculated and displayed as a graph on the PC. An advantageous feature of this system is that the measurements can be made very easily in between using the PC for some other work, and the mental health checked with ease. Moreover, as the measured data can be saved according to the time and date, the diurnal changes and changes over longer time periods can be monitored as time series. We ask the subject about his or her physical health and mood at the time of measuring the pulse waves and save the result for reference along with the Lyapunov exponents, as factors causing variation in the divergence. The changes in the Lyapunov exponent are displayed on the PC as constellation graphs, developed by us, to make self-diagnosis and resolution of problems easier.

キーワード: 指尖端脈波, カオス解析, リアプノフ指数, データベース, ゆらぎ

Keywords: fingertip pulse waves, chaos analysis, Lyapunov exponent, database, divergence

1. はじめに

日本では、年間の自殺者が3年連続3万人に達する深刻な問題を抱えている。自殺者の多くは深刻な鬱症状が原因となる場合が多い。また、日本は、世界一の長寿国といわれているが、高齢者人口が増えるとともに、認知症も増加し、社会問題化している。鬱病や認知症は、社会や家族の対応が不可欠であるが、本人の病気に対する自覚がないまま進行する 경우가多く、早期発見、早期治療が必要である。

鬱病や認知症の発見には日常から行動や状態をチェックする必要がある。また、主観的な観察だけでは不十分であり、科学的な方法による客観的なデータをとることが必要である。これまでに行われてきた科学的な方法として、脳波の解析や脳の画像診断など高度な技術や知識を必要とする方法はあるが、それにかかる時間や費用を考えると、簡単な測定方法とはいえない。そこで測定が容易でしかも経済的方法が必要となる。我々はこれまで指尖脈波の非線形解析によるアトラクタの軌道の「揺らぎ」が精神的健康度を調べる方法として有効であることを発表してきた。特に、認知症の発見や鬱病の診断には有効である[1]。2章では指尖脈波の非線形解析による「揺らぎ値」の算出方法を解説する。3章では、指尖脈波を用いる意味と「揺らぎ値」と認知心理との関係を解説し、4章では、これまで行ってきたリアプノフ指数と精神健康度の関係について例を挙げて解説する。5章では将来計画および、精神健康の自己チェックの可能性と問題点について述べる。

2. 指尖脈波の非線形解析と「揺らぎ」の算出

A. 脈波のカオス解析とアトラクタ軌道のゆらぎ(リアプノフ指数)の算出

揺らぎを測定する方法として、生体情報のネットワークに繋がる指尖脈波を測定する。指尖脈波は、これまでの研究でカオス性を有することが実証されている[4][5]。図1に示すように毛細血管に流れるヘモグロビンの量の変化を赤外線照射によって、測定する。波形は当然心臓の動きと同期しているが、心臓の波とは異なる情報である。指先の毛細血管の収縮によるヘモグロビンの変化は、交感神経や副交感神経などの情報を含む複雑系の時系列データである。長くて3分の測定で3万点以上の時系列のデータを捉え、このデータを埋め

込み次元、遅延時間を設定することによって、非線形の解析法を行う。本研究では埋め込み次元を4次元、遅延時間を50msに設定し、アトラクタを構成する[4][5]。アトラクタの形からも有効な情報が得られるが、本研究では、アトラクタの軌道の揺らぎ値に相当するリアプノフ指数を計算する。



図1 毛細血管に赤外線照射による脈波の測定 (Frequency 200Hz, Resolution 12bits)

測定には、室温、測定場所、測定条件などに特別な配慮を必要としないこと、測定時間も短いことなど、被験者に負担をかけない方法である。脈波の測定からリアプノフ指数の算出にいたる流れ図を図2に示す。

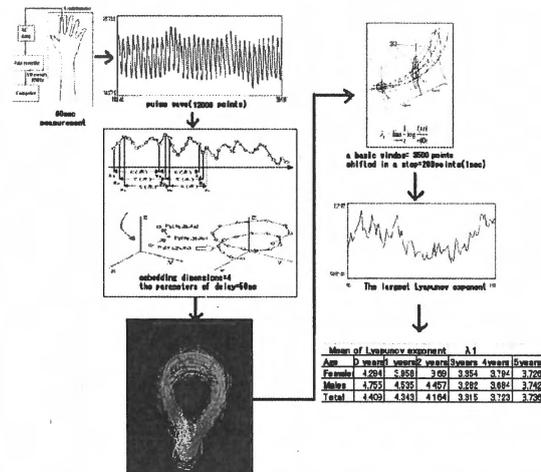


図2 脈波の測定からリアプノフ指数算出の流れ

次に、カオス性をもつ波の特徴の1つである軌道不安定性の評価指標であるリアプノフ指数について説明する。

たとえば、図3に示すように、3次元のカオス力学系に初期値として半径 ϵ の微小球(超球)を与えたとすると、最初は球であったものが1回写像されることによって、 e_1 方向には引き延ばされ、 e_3 方向には押し潰される結果、楕円体となる。このときの e_1 、 e_2 、 e_3 方向に対する単位時間当たりの拡大率の対数を λ_1 、 λ_2 、 λ_3 とすると、この λ_1 、 λ_2 、 λ_3 をリアプノフ指数といい、これらの組をリアプノフスペクトルという。本研究では、計算繰り返し回数だけ、この超球をとる操作を繰り返し、それらの総和をとり、平均することによりリアプノフスペクトル

ルを算出する。また、脈波の最適な次元として4次元に設定している。したがって、リアプノフスペクトルは、 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 、 λ_4 となりその中で最大のリアプノフ指数 λ_1 を計算に用いる。

[6]

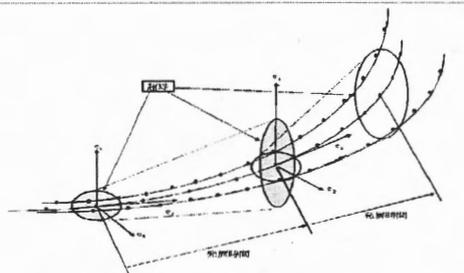


図3. リアプノフ指数の計算方法

指尖脈波の測定で得られた時系列データ $x(i)$, with $i=1, \dots, N$, を遅延時間 τ をもちいて(1)式に示す変換を行う。

$$\mathbf{X}(i) = (x(i), \dots, x(i - (d-1)\tau)) = \{x_k(i)\} \quad (1)$$

ここで、 $x_k(i) = x(i - (k-1)\tau)$, $k=1, \dots, d$.

座標の再構成をただしく行うため、遅延時間 τ と埋め込み次元 d が必要である。[4] 本研究では、パラメータ $\tau=50$ 、埋め込み次元 $d=4$ をもちいている[5][6]。

(2) に最大リアプノフ指数 λ_1 を求める式を示す。

$X(t)$ を空間次元における初期軌道上の $X(0)$ からの変化による値と考える、

$$\lambda_1 = \lim_{t \rightarrow \infty} \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \frac{1}{t} \ln \frac{|\delta \mathbf{X}_\varepsilon(t)|}{|\varepsilon|} \quad (2)$$

ここで、

$$\begin{aligned} \delta \mathbf{X}_\varepsilon(t) &= \mathbf{X}(t) - \mathbf{X}_\varepsilon(t) \\ \varepsilon &= \mathbf{X}(0) - \mathbf{X}_\varepsilon(0) \end{aligned}$$

$\varepsilon = \mathbf{X}(0) - \mathbf{X}_\varepsilon(0)$ は、初期ベクトルである。佐野、澤田のアルゴリズムを使って λ_1 を求める[6]。 λ_1 は、4次元空間における軌道の揺らぎを意味する。

最大リアプノフ指数 λ_1 の算出方法は、脈波データの最初の8000点を1Windowとして、リアプノフ指数 λ_1 を計算する。次に200点スライドして、次の8000点を1Windowとして、リアプノフ指数を算出し、脈波データが無くなるまで繰り返す。3分の測定で36000点のデータが得られるので、 $(36000-8000)/200 \approx 140$ で140点の時系列のリアプノフ指数を求めることができる。

また、1分の測定では、 $(12000-8000)/200=20$ の時系列のリアプノフ指数が得られる。また超球のサイズは0.08で行う。求めたリアプノフ指数の変動は、4次元アトラクタの軌道の変動を表す。

リアプノフ指数はアトラクタ軌道の揺らぎであり、心理指標と関係する重要な値である[2][3]。

3. ゆらぎ値と認知心理の関係

A. 指尖脈波を用いる意味

生体システムは、カオス性をもって変動する複雑系であると考えられている。カオスは非常に複雑で不規則かつ不安定にふるまっているかのようにみえるが、決定論的法則によって変化している系である。人間が発信している生体情報は、バイタルサインといわれ、体温、血圧、脈拍などさまざまなものがある。生体信号である指尖脈波は、カオス性をもつ時系列のデータである。また、指尖脈波は、心臓の波と異なり、神経系の情報など様々な情報を含んでいる。

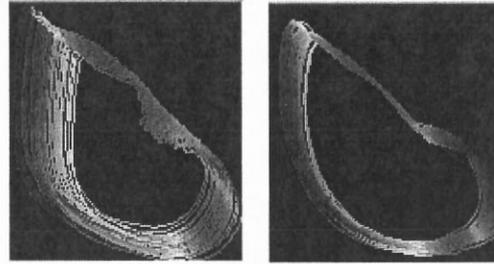
一方、心の健康度をはかる指標として、心理学においては、いくつかの方法が提案されてきた。これらの方法は総じて、主観的なものであり、客観性のある方法ではないという問題があった。比較的簡単な心理検査による方法としては、設問形式が多く用いられてきた。また、測定時点の状態を客観的に測定できる方法として、脳波の測定・分析を行う方法があるが、測定方法は、簡単ではなく解析についても心の詳細な変化を解析するまでに至っていないのが現状である。その他の生体情報の測定については、心拍、脈波などを用いた分析も一部では試みられてきたが、生体情報のカオス性を考慮した分析は行われてこなかった。

カオスの性質として、アトラクタの表示やアトラクタの軌道の「揺らぎ」を表すリアプノフ指数がある。本研究は、これまで、人間の心理的变化の尺度として数値的な評価がされてこなかった、リアプノフ指数に着目し、高齢者の認知症や、ADL 指標からみたコミュニケーションの能力の関係、作業時におけるエラー率との関係、雇用者の日内変動と蓄積的疲労インデックスの項目との関係、0歳児から5歳児の時系列的揺らぎ変動、親の子供に対する愛着の影響などの研究をおこなってきた[10]。その結果、人間が精神的に健康な状態で生活するには、環

境や社会への外部適応力、心の柔軟性、自発性、協調性などに関係する交感神経の適度な役割と調和が重要であるが、この値が非線形解析で求めた最大リアプノフ指数に関係する値であることがわかってきた。つまり、本研究では、アトラクタの軌道の時系列的な変動を意味する最大リアプノフ指数を『揺らぎ』と定義している。この値が連続して低い状態、つまり、揺らぎがない状態が長く続く場合は、日常では外部に対する適応力の低下となり精神的な健康状態は保てない。反対に、連続して高い状態が連続して起こる場合は、極度の緊張状態や、ストレスの連続となり、精神的な健康状態は、保てない。人間は、常に揺らぎを持った状態が健康的な状態といえる。人間らしい生き方として喜怒哀楽があるが、これこそ揺らぎの変化を起こす原因ともなっていると思われる。

人間が健康を保つためには肉体的免疫力が重要であるといわれている。免疫力の低下はさまざまな、病気を引き起こすといわれているため、我々は、肉体的免疫力の低下を抑えるために食べ物に気をつけたり、休養したり、薬を飲んだり、体力を鍛えたりして抵抗力をつけて防衛を行なっている。しかし、精神的な強さ、例えば、コミュニケーションを積極的にできるか、与えられた仕事を行う意欲があるか、外部の劇的な変化に耐えられる精神的強さがあるか等、人間が生きていくためには、非常に重要なものであるが、これを精神的免疫力とすると、これを科学的に調べる方法はこれまでになかった。私達は、指尖脈波を非線形の解析法で解析し、様々な心理指標との関係を調べた。その結果、カオス解析で求めたアトラクタの『揺らぎ』に相当する最大リアプノフ指数の値が、精神的免疫力と密接に関係することがわかった。また、この値は、自律神経における交感神経の動きと密接に関係があることもわかってきた。人間が精神的に健康な状態とは、『揺らぎ』を持って外部の変化に柔軟に対応できる能力を意味する。これは、肉体的免疫力に対する、精神的柔軟さ、つまり精神的免疫力と考えられる。精神的免疫力とは、生活の中で絶えず直面する外部環境の変化に対する適応力、コミュニケーション能力、自己発信能力、適度な心の柔軟性などを意味する。人間は外界のあらゆる変化や接触、攻撃を上手にかわし、あるときは取り組み、対応し、自己表現をしながら生命を維持している。これがまさに精神的免疫力であり、日常生活の中で常に変化が起こっている。精

神的免疫力の状態変化である『揺らぎ』は、とても大事な指標であると同時に、人間のさまざまな状態に変化する。例えば、『揺らぎ』がない状態が連続して続く場合は、正常な状態とはいえない。図4に精神的に健康な人と、鬱病の患者のアトラクタを示す。鬱病の患者のアトラクタの揺らぎが非常に少ないことがわかる。また、図5は認知症の患者のアトラクタである。いずれも老人のデータであるが、認知症が進むほど揺らぎが小さくなっていることがわかる。



健康者のアトラクタ、鬱病患者のアトラクタ

図4 健康者と鬱病患者のアトラクタ(30秒間の測定)

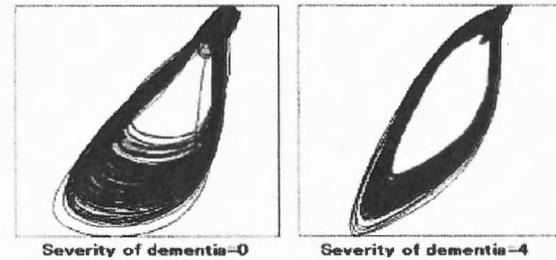


図5 老人データ 認知症=0 認知症=4

また、日常生活においても、過度の緊張やストレスなどの状況では、揺らぎが高く連続した値を示す。精神的に健康な人は、過度の緊張が続いた場合は自然にリラックスすることを行う。つまり、これは、揺らぎを自然な状態に戻す行為である。一方、鬱状態や加齢に伴う認知症状などでは、揺らぎが連続して低い状態を示す。これは、自分から揺らぎを自然な状態に戻せないことを意味すると同時に、外部適応力の低下を意味する。したがって揺らぎ値は常に変化するもので揺らぎをもっている状態が正常な状態といえる。

4. リアプノフ指数と精神健康度の関係について

結果の表示は、被験者の変化や、情動変化を見やすくするために、筆者が開発した星座グラフ等を用いて表示する。

A. 老人の脈波のカオス解析による認知度とコミュニケーションスキルの分析

被験者: 滋賀県の老人ホーム 3 箇所 で 179 人のデータ(男: 40 名, 女: 139 名)を測定した。

測定年月日: 2003 年 8 月~11 月

測定方法: 指尖脈波を 3 分間を 3 回の測定を行った。室温 25℃ でリラックスした状態で測定、脈波の測定前に、最大血圧、最小血圧、脈拍、体温を測定した。

指標: 医者によって判定された認知症の度合いを示す 5 段階のデータ

ケヤマネージャにより作成された 7 項目からなる ADL(3 段階評価)のデータを手し全てを用いて脈波から算出された最大リアプノフ指数との関係を調べた。

結果: 最大リアプノフ指数と認知症、および ADL 中のコミュニケーションスキルに間で有意な関係が見られた。

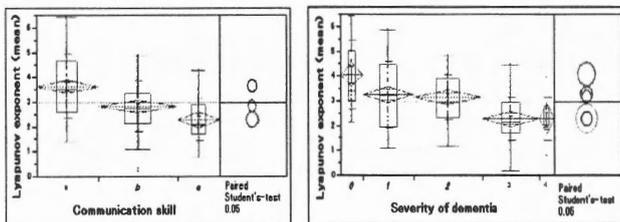


図6. リアプノフ指数(縦軸)とコミュニケーションスキル(3段階 a, b, c)と認知度(0~4)の関係 (横軸)

図7 図8 は、星座グラフを用いて表示を行ったもので、星座グラフ上で右方向は、リアプノフ指数が小で、左方向は、リアプノフ指数が大であることを示す。データ数が多いため各ランク(認知症0~4、コミュニケーションスキルa~c)のデータの各中央値の周りの5件を選択して表示した。

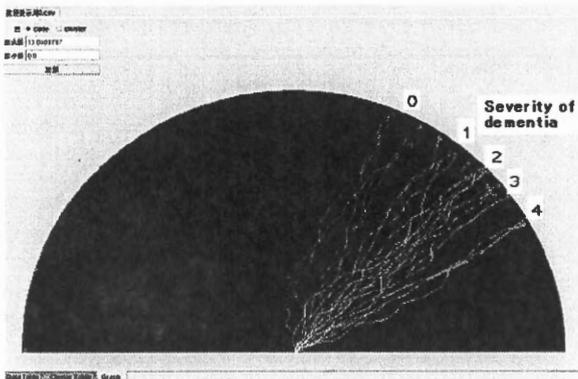


図7 認知症とリアプノフ指数の関係

1本の線分が1被験者を示す。

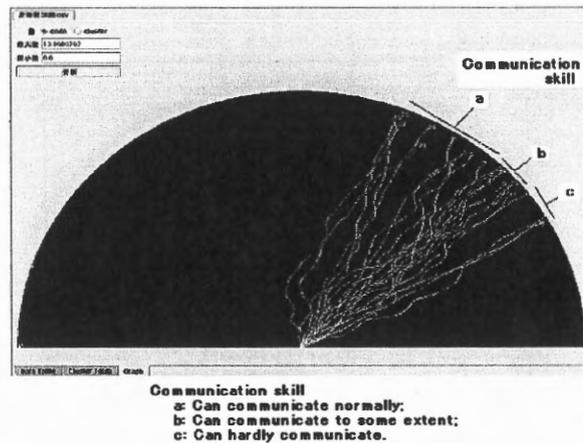


図8 コミュニケーションスキル(a,b,c)とリアプノフ指数の関係

B. 子供の脈波のカオス解析と母親の愛着の関係

被験者: 大阪と姫路の保育所、0 歳児から 5 歳児まで 242 人

表1. 年齢と人数の関係

	Males	Females	Total
0-year-old	2	5	7
1-year-old	13	10	23
2-year-old	19	13	32
3-year-old	27	27	54
4-year-old	44	25	69
5-year-old	34	23	57
Total	139	103	242

測定年月日: 2004 年1月~2005 年 3 月

測定方法: 指尖脈波を1分間を2回の測定を行った。

室温 25℃ でリラックスした状態で測定した。0 歳児から 5 歳児で 3 歳児が他の年齢より低い値を示していた。検定を行った結果確率 0.05% で有意な関係がみられた。さらに母親の子供に対する愛着について調べるために、母親に質問紙(指標: The Maternal Attachment Inventory MAI (Muller, 1994:) を配布し、記入してもらった。集計結果から、母親の子供に対する愛着が高い群と普通または低い群の 2 つのグループに分けて、リアプノフ指数との関係を調べた。分散分析を行った結果 0.05% の確率で有意な関係が得られた。図10にその関係を

示す。

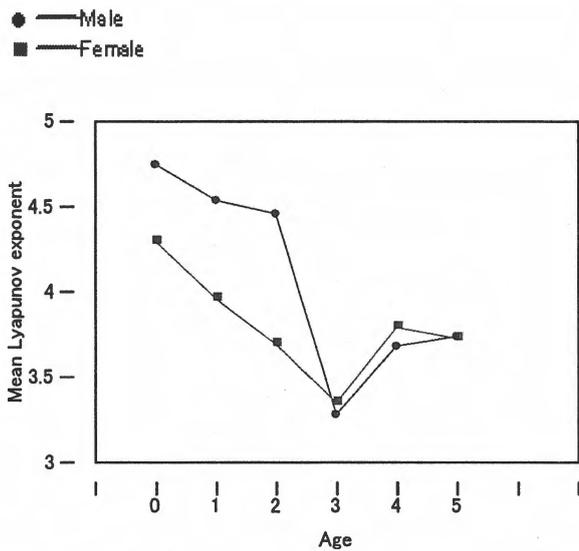


図9. 子供の年齢別リアプノフ指数の変化(242名)

図9にグラフで示す。0歳児が最も高く、1歳児、2歳児に続き3歳児が最も揺らぎが低い値になった。3歳児は、これまで、3歳児神話として世界的に問題になっているテーマであり、脈波のアトラクタ軌道の揺らぎ値で、科学的に傾向が見られたことは意義が深い。さらに母親の愛着の問題も子供の揺らぎに関する結果が得られたことは、子育てにおける、母親への参考になると考えている。

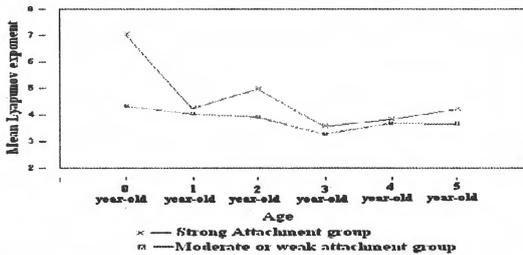


図10. 母親の子供に対する愛着とリアプノフ指数の関係

C. 某会社の被雇用者の脈波と疲労度インデックスの関係

被雇用者12人について朝・昼・夜のリアプノフ指数を測定した。全員に対して疲労度インデックスも同時に質問し、その結果とリアプノフ指数の関係を調べた。被雇用者の朝昼晩の変化はそれぞれで異なるが、図11にいくつかの例を示す。朝は出社直後、昼は食後1時間以上経過後、晩は退社前に測定している。企業における精神管理は、鬱病の多発などで社会でも大きな問題になっているが、リアプノフ指数は被雇用者の自己管

理のみでなく雇用側でも役立つ指標である。

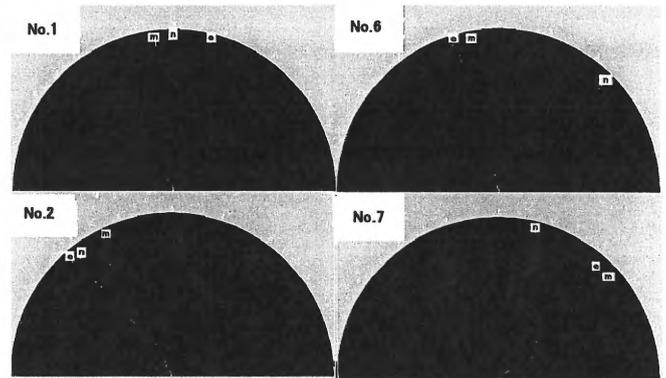


図11 某会社の被雇用者の朝・昼・夜のリアプノフ指数変化

疲労度インデックスの関係は昼間のリアプノフ指数が低い人は、鬱傾向や不安が高いことが分った。表2に示す。不安、と鬱傾向がリアプノフ指数(昼間)と-0.7以上の逆相関が見られたことは、リアプノフ指数が低いと鬱傾向や、不安度が高い傾向を示していることを意味する。

表2. 雇用者の昼間のリアプノフ指数と疲労度インデックスの関係

	Willpower Decrement	Anxiety	State of Depression	Tiredness Accumulation	Lyapunov exponent Midday
Willpower Decrement	1	0.7235	0.7539	0.7496	-0.6385
Anxiety	0.7235	1	0.8455	0.9358	-0.7279
State of Depression	0.7539	0.8455	1	0.8420	-0.7014
Tiredness Accumulation	0.7496	0.9358	0.8420	1	-0.6305
Lyapunov exponent Midday	-0.6385	-0.7279	-0.7014	-0.6305	1

D. 計算作業におけるリアプノフ指数の変化

20代と40代の被験者にクレペリントテストを15分2回行い、テストを行う前と後で、リアプノフ指数に変化が見られるかを調べた。クレペリントテストを行った後は、両被験者ともにリアプノフ指数の増加が見られた。被験者の感想ではクレペリントテストの後のほうが前よりも頭がすっきりしたという感想を得ている。

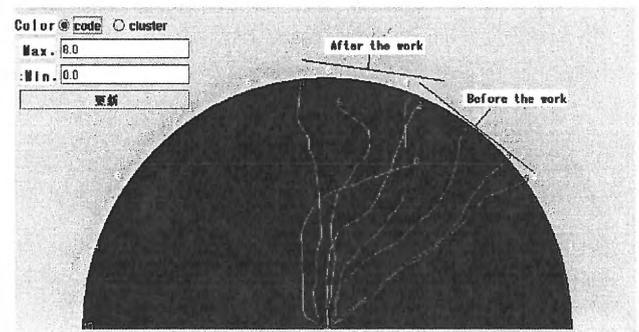


図12. クレペリンテスト作業の前後のリアプノフ指数の変化

E. モニタ監視作業における判断・操作ミスとリアプノフ指数の関係

ヒューマンエラーの実験のために模擬的な監視作業を PC 上で行わせる装置を開発し、リアプノフ指数とエラー率の関係を調べた。モニタ画面をいろいろ変化させ実験を行ったが、全てにおいてリアプノフ指数が低い場合はエラー率が高いことがわかった。図13に結果を示す。

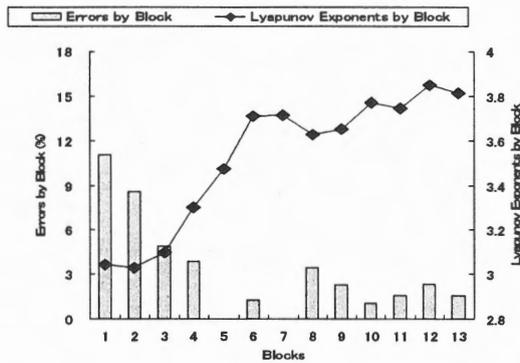


図13. モニタ作業におけるリアプノフ指数とエラー率の関係

F. 絵画作業による情動変化

図14は某画家が何もしていない状態のリアプノフ指数(オレンジ色)と3分後に絵を描き始めたときのリアプノフ指数(水色)を示す。絵を各作業でリアプノフ指数が上昇したことを示す。

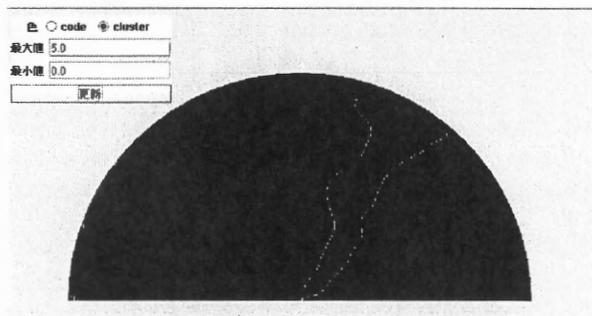


図14. 絵画作業によるリアプノフ指数の変化

G. 出産時のリアプノフ指数の変化

図15は、7人の妊婦の出産前のリアプノフ指数と出産後のリアプノフ指数の変化を調べた(奈良市の産婦人科)。出産前1時間半以内の値と、出産後1時間半以内の値を比較している。

出産前のリアプノフ指数の値がStudent検定 $p < 0.05$ で有意に高いことがわかる。出産時に妊婦が交感神経を上げて出産に臨んでいることがわかる。

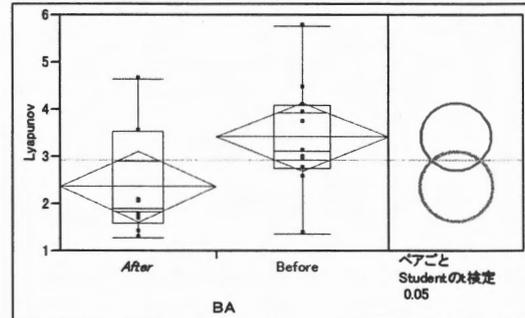


図15. 妊婦の出産前のリアプノフ指数と出産後のリアプノフ指数の比較 (いずれも1時間半以内)

5. 自己チェックシステムの可能性と問題点

これまでの研究からリアプノフ指数を新しい心理指標として使える可能性があることがわかった。今後は、簡単に自分の精神的健康状態を調べられるシステムを考えていく予定である。その方法として、システムをPC上で全て行う、PC完結型と、インターネットを利用してサーバー上にデータベースを構築し、より多くの利用者に使ってもらう方式を考えている。また、脈波測定のセンサーを携帯電話に組み込むことによって、結果の表示をケータイの画面上で見ることが出来る方式も考えている。ケータイを利用する場合は脈波の表示などのソフトをI-modeでダウンロードして計算を行い、結果をインターネット経由でデータベースに蓄積し、検索できるようにシステムを構築する。インターネットを利用する方法はデータが膨大になることが予想されるが、データの有効利用とデータの機密保持には充分注意する必要がある。

このシステムの利用によって、精神的健康度の自己管理や病気の早期発見と治療を行うことができれば、多くの人を最悪の事態から救うことができると確信している。また、人間の精神的指標にかかわるデータを、ネットワークを利用して送ることは、これまでにない通信のイノベーションとなると思われる。しかし、近年の個人情報保護の問題もありデータの管理には十分注

意を払う必要がある。研究面からの有効性を考えると、膨大な情報の蓄積は、今後のさまざまな研究に役立つことを確信している。

参考文献

- [1] Oyama-Higa,M., Miao T., Mizuno-Matsumoto,Y.,(2006) Analysis of dementia in aged subjects through chaos analysis of fingertip pulse waves, *2006 IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2006, Taipei, Taiwan, 2863-2867*
- [2] Oyama-Higa M. and Miao T., "Representation of a physio-psychological index through constellation graphs," ICNC'05-FSKD'05.,
http://dx.doi.org/10.1007/11539087_109.
- [3] Oyama-Higa,M., Miao T., (2006) Discovery and Application of New Index for Cognitive Psychology *2006 IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2006, Taipei, Taiwan, 2040-2044*
- [4]. Tsuda I, Tahara T, Iwanaga I (1992) Chaotic pulsation in capillary vessels and its dependence on mental and physical conditions. *Int J Bifurcation and Chaos* 2: 313-324.
- [5]. Sumida T, Arimitu Y, Tahara T, Iwanaga H (2000) Mental conditions reflected by the chaos of pulsation in capillary vessels. *Int J Bifurcation and Chaos* 10: 2245-2255.
- [6]. Sano M and Sawada Y (1985) Measurement of the Lyapunov spectrum from a chaotic time series. *Phys. Rev. Lett.* 55: 1082.
- [7] Miao, T., Shimoyama,O., and Oyama-Higa,M.,(2006) Modelling Plethysmogram Dynamics based on Baroreflex under Higher Cerebral Influences, children-*2006 IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2006, Taipei, Taiwan, 2868-2873*
- [8] Imanishi, A., Oyama-Higa,M.,(2006) The Relation between Observers' Psychophysiological Conditions and Human Errors during Monitoring Task, *2006 IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2006, Taipei, Taiwan, 2035-2039*
- [9] 今西明・雄山真弓 (2005). モニタ監視作業における判

断・操作ミス の測定および監視者の生体情報計測. 日本心理学会第69回大会発表論文集, 446.

- [10] Oyama-Higa,M., Tsujino,J.,Tanabiki, M., (2006) Does a Mother's Attachment to Her Child Affect Biological Information provided by the Child? -Chaos analysis of fingertip pulse waves of children-*2006 IEEE Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2006, Taipei, Taiwan, 2030-2034*