The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	ポスター発表［中国Ⅰ］ 脈波におけるカオス解析から判別する精神疾患患者の特徴及び中国における心理問題への応用展開の可能性
Author(s)	胡, 毓瑜; 三好, 恵真子
Citation	OUFCブックレット. 2015, 6, p. 101-114
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/51464
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

脈波におけるカオス解析から判別する精神疾患患者の特徴及び中国における心理問題への応用展開の可能性

三好恵真子*，胡毓瑜**

1．はじめに

心理学は，人の心的過程や行動の予測と制御を目的とする学問であるが，中でも，「生理心理学」は，生体信号に表出される生理的変化から，人の生理・心理状態の推定を行うものである。従来の生理心理学おいて，種々の生体信号（脳波，心電図，心拍間隔，血圧，呼吸，指尖容積脈波など）に関し，様々な手法を用いて解析され，多くの知見が得られてきたが，その大半は，線形理論に基づく解析手法が主流であった。しかしながら，生体信号には非線形的性質が含まれており，これらはカオス（chaos）と呼ばれる非線形的性質により変動することが知られている。

カオスとは，システムの状態遷移規則が決定論的であるにも関わらず，システム自体の非線形性によって確率系と等価な複雑さを生み出す現象のことを指す。また方程式等によって対象の状態を決定論的に記述できるが，その様相は法則性が見いだせず，ランダムネスのような非常に複雑な挙動を表す。しかし，カオス現象は，一見無秩序に見えるものの，実際にその背景に確固たる規則が存在する現象である。言い換えると，次に起こる現象が確率

* 大阪大学・人間科学研究科
** 大阪大学・人間科学研究科 DC

で決まるのではなく, ある一定のルールに従って決定論的に決まるのである。規則に従っているのに対象が無秩序に見えるのは, その対象を構成する要素の一つ一つの動きが単純であっても, 集合体として振る舞うと複雑になるからであり，こうした対象のことを「複雑系」と呼ぶ。人間も複雑系であり，その複雑系から産出される生体信号にカオス情報が存在する可能性が高いと判断された。近年，カオス理論の発展とともに，生体信号におけるカオス情報の存在が明らかになり［Abarbanel et al., 1993］，それらの分析によって，人の生理・心理状態を推定する「カオス解析（chaos analysis）」の有効性が様々な実験により証明されつつある［雄山, 2012］。

そこで，本報告では，指尖容積脈波（以下「脈波」と記述する）から得られるカオスなどの種々の情報を客観的に分析することにより，「人の心の状態を可視化する方法」を確立した研究成果を紹介していく。その特徴として，簡易な方法で測定でき，無襲撃で，経済的であるという利点も兼ね備えている。さらには，得られた実験結果を比較分析することにより，精神疾患病の診断への有効性も導くことができている。他方で，本手法を中国における心理問題への対処法として，応用展開する可能性を模索している。なぜなら，中国の場合，精神衛生に対する知識が不足し，また環境整備が遅れている現状からも，個々で対処できる早期発見と予防のために本技術の導入は，一つの有効な手段となり得ると考えたからである［三好ら, 2015］。

2．中国における心理問題

中国では改革開放以後の急速な発展・社会変化とともに，種々の問題が露呈してきたが，「心理問題」も，その一つである。2013 年の「中国青年報」の報道によれば，中国における精神障害者は 1 億人以上にのぼり，このうち重度な精神病患者は 1600 万人を超え，心臓疾患やがんなどを上回るようになったといわれる。具体的には，うつ病患者は 3000 万人に達し，また 17 歳以下の青年・児童の中で，情緒障害及び行動に障害がある人は 3000 万人に達している。さらには「心理問題」から様々な「社会問題」へと派生してお

り，自殺は無論のこと，暴力事件等の引き金になる可能性も示唆される。北京大学の精神衛生研究所の副所長唐宏宇は，重度精神病患者 1600 万人のうち，10%が暴力行動の危険性があると推察している。

しかしながら，中国では，心理問題に対する社会の認知度は低く，医療体制の不備もあげられ，環境整備は急務とされる［海部, 2014］。さらに中国では，自殺や殺人等の事件が，個人の心理の側面から考察されることは少なく，自殺の場合は，例えば大学生ならば，高等教育産業化(1)や教育行政化，また試験重視の教育制度に目が向けられる場合がほとんどである。つまり，個々人の心理状態よりも社会的制度の方がはるかに重要な案件であると考えられているのである。現状では中国の制度問題は深刻なため，それが重視されるのは当然であるが，人々の問題が，制度の課題の裏に完全に隠蔽されてしまっている現状は明らかに問題であると指摘したい。

このような状況を生み出した根源的な原因は，二つあると考えられる。一つは, 中国における心理学の発達が複雑な経緯により遅れをとってきたことである。科学的心理学が誕生したのは, 中国が西洋と接してからであり, 1920 年頃に，西洋の教育システムの導入に伴って，発達しつつあったが，1949 年に中華人民共和国が成立して以来，心理学は，立ち入りを許されない紫禁城と呼ぶべき分野になってしまった［荊, 1989］。特に，心理学における最大の混乱は，1966 年から 76 年の間に生じた文化大革命の時期であり，このとき心理学は，ブルジョワのエセ科学のレッテルを貼られていた。心理学が，近代化に貢献しうる科学領域であると認められたのは, 文化大革命が終わってからのことであり，それでも，外国の心理学の諸学派を中国に紹介するにとどまっていた。したがって，中国では心理学の蓄積・実践面でも人材育成の面でも，十分な環境にはなかった。かたや開放政策の結果，西洋の進んだ科学技術や経営法が学ばれてきたが, 同時に好ましくない社会への影響が出てくることも不可避であったと予測がつくものの, 基礎研究の遅れも足かせとなり，実践での対応には大きな溝ができてしまったと考えられる。

二つ目は，上述の学問的変遷の背景も受けて，中国国内での精神衛生に関する知識が不足していることから，精神疾患に対する国民の認知率，精神疾

患患者の識別率，要治療者の受診率はかなり低く，精神疾患患者に対する正しい理解・同情が欠如することにもつながる。2013 年 5 月に「精神衛生法」がようやく施行されたばかりの中国では，全国で登録されている精神科の医師は 2 万人弱で，国民 10 万人あたり 1.46 人と非常に少ない（さらに西洋学的な治療ができる精神科医師は，2000 人程度といわれる）［海部, 2014］。よって，必然的に精神疾患医療サービスも著しく不足している現状にある。

以上述べてきたように，中国における心理に関わる複雑な社会問題，並びに精神衛生環境を巡る様々な問題点に鑑み，個々で対応できる早期発見と予防のために，脈波測定技術の導入は，有効な手段となり得ると考えられる。他方で，中国での実践的展開を目論むために，脈波に着目することに対するもう一つの重要な理由も見逃せない。すなわち，中医学には，望診，聞診，問診，切診という診察方法が存在し，そのうち切診には脈診と按診ある。ここでの脈診は，主に手首の橈骨動脈（寸口部）を按圧して病状を知る方法であるため，中医の医者は，脈波によって，患者の生理状態を判断している歴史を約三千年持つ経緯からも，中国社会での汎用の可能性は高いと想定されるのである。

3．脈波の測定方法とカオス解析

うつ病の早期発見には，日常の行動や状態をモニタリングする必要がある。よって本研究では，脈波を非線形解析することにより，カオスゆらぎを計算し，また同時に心拍から自律神経バランスを計算して，疾病の早期発見を可能にする簡易な方法を見出した。ここではその原理について，詳しく説明してゆく。

1）脈波の原理と測定方法

本研究で取り上げる脈波とは，「指先の毛細血管を流れるヘモグロビンの増減」である［Sumida et al., 2000］。心臓からの血流と同期であることから，指尖脈波の測定部位が指先となり，これは，複雑な脳波測定と比較すると，

極めて簡便であると言える。さらに脈波は，血圧や心臓の波動，呼吸など複数の各部位から発信される様々な信号の合成であり（図１），身体のみならず心的状態を鋭敏に反映する生体信号であることも明らかになってきた。

脈波の測定システムは，脈波を読み取る赤外線センサーが付いたサック状のカフ（測定装置）とパソコン，また解析ソフトから構成されている（図２）。赤外線センサー付カフを指先に装着し，指先の毛細血管を流れるヘモグロビンの増減をとらえ，この値がデジタル変換されてコンピュータに蓄積される。コンピュータ内には解析用の専用ソフトが入っており，上述の手順により，プログラムを作って，指尖脈波をデジタルデータとして保存し，非線形分析をすることができる。専用ソフトセンサーは，指の尖端のほか，耳たぶ，足先などでも測定が可能である。しかし心臓からの血流と同期が必要であることから，左手の指先の感度が高く，測定には適している。

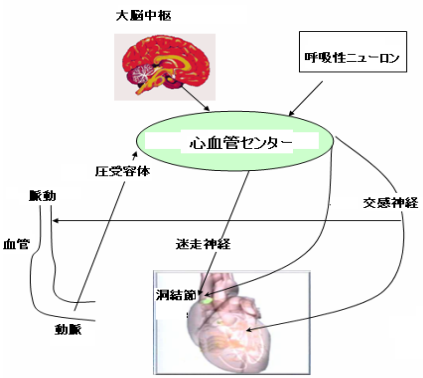

図１　脈波に存在する様々な情報

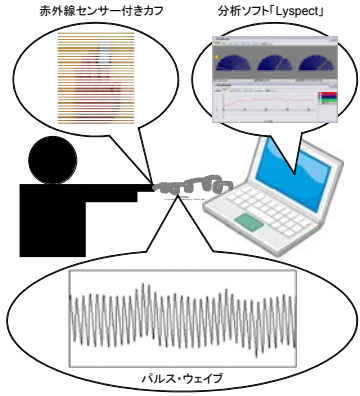

図２　脈波測定システム

指先にカフを取り付けてソフトウェアのスタートボタンを押すと，リアルタイムで毛細血管を流れるヘモグロビンの増減が波形としてパソコンのモニターに表示される。こうした脈波から得られる心的状態を示す情報は，概して①交感神経と副交感神経より算出される自律神経バランス（ANB），並びにカオス解析による②アトラクターと③最大リアプノフ指数である。一般

的には，測定を 3 分間行い，終了したら，測定したヘモグロビンの増減からアトラクターを作成する。上述したように時系列の波形からアトラクターを描くには，ターケンス埋め込み法を利用する。実際に，採取する位置は 50 ミリ秒ずらした 4 点とし，4 次元空間にアトラクターを描く。さらにリアプノフ指数，交感神経と副交感神経の値，血管年齢など様々な指標の値は，自動的に計算される。このような測定システムと利用すると，人の心理状態が客観的に分析でき，また，心理における問題が発生した際，脈波により発見できる可能性が示唆される。

２）自律神経バランス（ANB）

脈波からは，まず直接的に心拍の情報を得ることができる。これをスペクトル分析という特殊な方法で解析することにより，交感神経（計算式で LF と表記する）と副交感神経（計算式で HF と表記する）の活動を読み取ることができる。交感神経は心身の活動が高まっているときに活発に働き，副交感神経は疲労した心身を回復させるときに活発に働く。また両者の情報を用いることで，自律神経バランス（計算式で ANB を表示する）を算出できる。これは交感神経と副交感神経のどちらが優位なのかを示す指標である。

自律神経バランスは次のように定義される。

$$\mathrm{ANB} = 10 \times \frac{LF}{HF+LF} \qquad (1)$$

ANB が 5 より大きい時, 交感神経が優位であり, 反対に 5 より小さい時, 副交感神経が優位である。

３）カオス現象とアトラクター，最大リアプノフ指数

脈波から埋め込み法によって，アトラクターを描くことができる。指先に流れるヘモグロビンの増減を時系列の波形で見ると, そこに規則を見出すのは困難であるものの, アトラクターに変換すると一定のパターンが存在している。アトラクターには，概して 4 つの種類があり，我々が注目するのは,

「カオス・アトラクター」であり，以下に詳しく説明してゆく。

カオス解析方法にはいくつか存在するものの，その代表的な手法が，アトラクターを描く方法なのである。アトラクターは，ある力学系がそこに向かって時間発展をする集合のことであり，その力学系においてアトラクターに十分近い点から運動するとき，そのアトラクターに十分近いままであり続ける。カオスな力学系に対してアトラクターを描写することは，現在においてもカオス理論における一つの重要な研究課題である。 アトラクターに含まれる軌道は，そのアトラクターの内部にとどまり続けること以外に制限はなく，周期的であったり，カオス的であったりする。

また，脈波の場合，記録したデータは 1 変数の時系列である。1 次元の時系列変化をｄ 次元の状態空間に埋め込む方法をターケンス埋め込み法と呼ばれる。この方法によってシステムのアトラクターが 1 つのデータから再現でき，視覚的に表示されることになる［Oyama & Miao, 2006］。 観測された一次元の時系列データを x(i),(ｉ =1,2,…,ｎ)とする。このデータを用いて，d 次元空間の中に軌跡を描くには，適当な時間遅れをとり，ベクトル

$$X(i) = [x(i), x(i+r), \ldots, x(i+(d-1)r)] \qquad (2)$$

の軌跡を作ればよい。このベクトル X(i)を，座標軸 x(i),x(i+r),x(i+2r),…,x(i+(d-1)r）に順次プロットしていくと(i=1,2,…,n) ，軌道（カオス・アトラクター）が得られる。

ここでは計算過程は省略するが，結果は d=4，r=0.05s である。また，アトラクターの形状をみることにより，脈波の中にカオス情報が存在することが実証されている。

以上の手順を経ても，アトラクターの構造はまだ不足しており，分析の際，さらに重要な情報を得るために，最大リアプノフ指数（The largest lyapunov exponent ,LLE）の計算が必要になる。リアプノフ指数とは，近接した 2 点から出発した二つの軌道が，どのくらい離れていくかを測る尺度である。この軌道幅の時間的な変動を数値にしたものがリアプノフ指数であり，その最大値を最大リアプノフ指数と呼ぶ［Sano & Sawada., 1985］。

最大リアプノフ指数は次のように定義される。

$$\mathrm{LLE} = \lim_{\varepsilon \to 0} \lim_{n \to \infty} \frac{1}{t} \log \frac{|\delta X_\epsilon(t)|}{|\epsilon|} \qquad (3)$$

$$\delta X_\epsilon(t) = X(t) - X_\epsilon(t) \qquad (4)$$

$$\epsilon = \mathrm{X}(0) - X_\epsilon(0) \qquad (5)$$

ここで，最大リアプノフ指数が大きいほど，アトラクターの変動幅は大きくなる。つまりゆらぎの幅が大きいと言える。逆に最大リアプノフ指数が小さいほどアトラクターの変動幅は小さくなり，ゆらぎの幅も小さいと考えられる。この最大リアプノフ指数から，活動的な心理状態か，あるいは頑なな心理状態かという「心の状態」を読み取ることができるのである。つまり，リアプノフ指数が大きい状態は，肯定的に捉えると，行動的で積極的な状態であり，反対に否定的に捉えると不安定で心許ない状態である。一方リアプノフ指数が小さい状態とは，変化を好まない頑なな状態で，外部適応が困難な状態ともいえる。

4. 脈波の情報から判別する精神疾患患者の特徴

1）被験者の属性

本研究では，2009 年 8 月から 9 月に，専門のカウンセラーおよび精神科医の支援を受けて，精神疾患患者の脈波を測定し，全部で 195 回行った。患者の病名は，大うつ病性障害，適応障害，社会恐怖，摂食障害，心的外傷性ストレス，広場恐怖，強迫性障害，気分変調性障害，全般性不安障害，分裂病質障害，燃え尽き症候群，アスペルガー症候群など，様々である。また患者と比較するために関西学院大学に所属する健康な学生 113 名(男性 42 名，女性 71 名）を対象に同じく脈波を測定した［Hu et al., 2011］。

2）最大リアプノフ指数と自律神経バランスとの関係性による判別

測定した各被験者のデータの中から，縦軸に最大リアプノフ指数，横軸に自律神経バランスをとって 2 次元空間上にプロットしてみると（図３），患

者と健常者の傾向を把握することが可能になる。楕円は精神疾患患者と健常者のそれぞれのグループが 95%収容されるように描くことができ，精神疾患患者が最大リアプノフ指数は低く，かつ自律神経バランスは高い傾向を示すことがわかる。

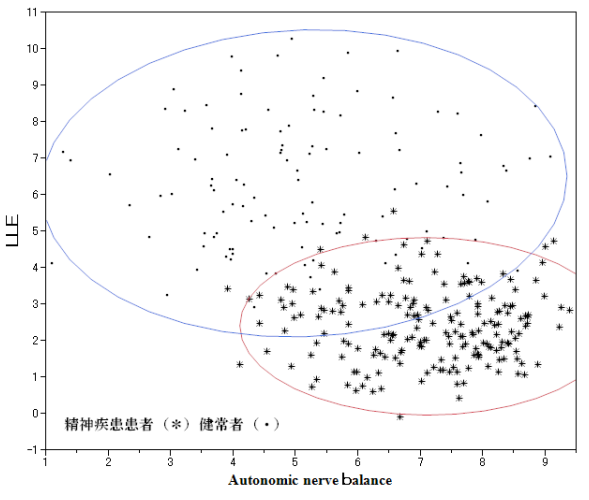

図３　精神疾患患者と健常者の分布

さらに分散分析を行った結果，最大リアプノフ指数と自律神経バランスは，いずれも精神疾患患者と健常者の間には有意な差（$p<0.0005$）があることが明らかとなった。他方，判別分析を利用すると，対象者が精神疾患患者かそうでないかが判断できる。つまり測定された脈波から得た最大リアプノフ指数と自律神経バランスは，判別関数に代入すると，計算した関数値が臨界分割点と比し関数値のほうが大きい場合は健常者であると判断でき，逆の場合は精神疾患患者であると判断できる。この判別分析の正確率を，１つとって置き法で検証した結果，健常者の正確率は 97.4%であり，精神疾患患者の正確率は 91.2%であることが示された。

３）アトラクターの形状，最大リアプノフ指数，自律神経バランスの結果

脈波のアトラクター，最大リアプノフ指数，自律神経バランスについて，比較検討した。健常者の場合，精神疾患患者と比較して，アトラクターの変動の幅が広く（図４），最大リアプノフ指数が相対的に高い位置でゆらいでいた。また自律神経バランスも左右に偏ることなく，ゆらいでおり，特に時系列グラフでは，交感神経と副交感神経が交互に高くなったり低くなったりしているのが確認でき，自律神経バランスは，ほぼ５近辺であった。

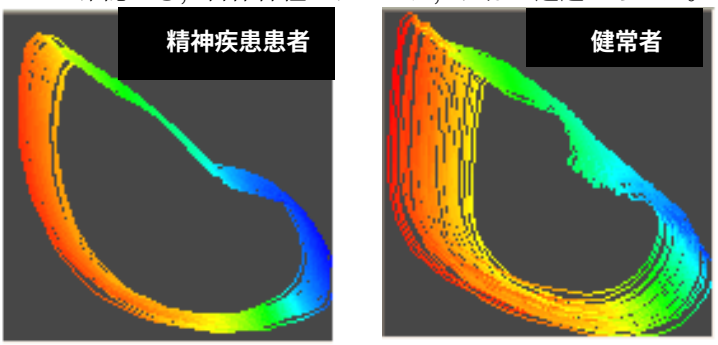

図４　精神疾患者と健常者の脈波のアトラクターの比較

一方，精神疾患患者の場合は，いずれの患者も最大リアプノフ指数が継続して左に傾いており，最大リアプノフ指数の低い状態が長時間続いているということを意味している。こうした状態が長期に続くことは，人とのコミュニケーションを避け，内に閉じこもりやすい状態にあると推察される。しかし，自律神経バランスについては，時系列でみると交感神経が常に優位であり，自律神経バランスは，５よりも高いと考えられる。精神疾患患者の最大リアプノフ指数が低いという結果は，予測される通りであるものの，交感神経が継続して優位であるという傾向は，一般的な認識と異なり，やる気がない，消極な心理状態ではなく，逆に緊張していたりストレスを感じていたり，あるいはイライラしたりしている状態であると考えられる。つまり精神疾患患者は，内に閉じこもりながらも，内面では非常に緊張している状態にあることが推察される。

次に，上述の被験者の中から，うつ病患者 23 名，健常者 20 名をランダム抽出し，脈波を二回微分して，加速度のデータを算出した（図５）。

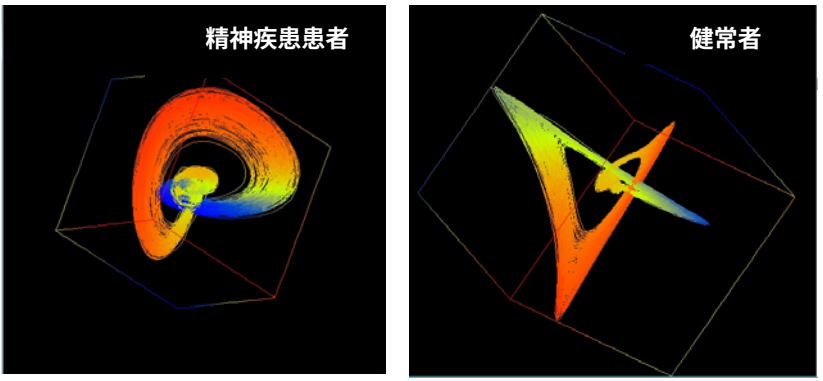

図５　精神疾患者と健常者の加速度波のアトラクターの比較

これら加速度のデータからアトラクターを描き出すと，脈波のアトラクターの比較よりも差異が明確に示された。すなわち，脈波のアトラクターの場合（図４），健常者のアトラクターの変動の幅の方が広いものの，両者を同時に比較しなければ，その差が明確にならないが，加速度のアトラクターの場合は（図５），形状が全く異なっており，健常者の方は，三角形のような形になり，精神疾患患者の方は，丸みを帯びた形を示していた。したがって，加速度のアトラクターを描き出すだけで，精神疾患を患っているか否かを判別できる可能性が示唆された。

５．おわりに

本研究では，生理心理学において，従来から主流とされてきた線形解析とは別に，生体信号に潜在している非線形的性質であるカオスを定量化することにより，人の生理・心理状態を推定するカオス解析に着目し，脈波から得られる本実験一連の研究成果を元に，その有効性を確認してきた。そして主として脈波のカオス解析により確立された「人の精神状態を可視化する方法」

をうつ病等の精神疾患の判断に応用することを検討している。本研究における脈波とカオス解析の応用は，音楽を聴く際の嗜好性，仕事とストレスの関係性［Imanishi & Oyama, 1989, 2006］など，様々な実験を行っており，その有効性を実証してきた。しかしながら，現在でも，解析上の課題や生体信号におけるカオスと生理学的意味づけができない等, 複数の課題が残されている。今後，諸科学の連携および実践的研究の蓄積が求められるであろう。

本研究では，さらに精神疾患の「病気の種類」の分別の手がかり等の可能性も検討している渦中にある。当面，本技術の応用は，主として早期発見と予防に主眼を置いて検討を進めているが, さらに前進させて治療と連動させた仕組みを構築することも，重要な検討事項である。

他方で，中国における心理に関わる複雑な社会問題，並びに精神衛生環境を巡る様々な問題点に鑑み, 個々で対応できる早期発見と予防のための脈波測定技術の導入は，有効な手段となり得ることを述べてきた。しかし，当然ながら乗り越えなければならない課題が数多く存在している。上述のように, 中国における心理学の基礎研究の遅れにより, 脈波に関する研究の実績は大学・研究所すべてに渡って皆無に等しい。さらに，中国では，これまで述べてきたような実験的・生理的方法やそれに関連する先端技術の導入はスムースであったとしても, 中国の固有性が抱える問題により, よりソフトな部分, すなわち社会に関する部分に関しては，海外研究の単なる模倣では，常に困難が伴うことは必然である。よって，中国独自の条件から発生する要求に応えられるように, 文化に根ざした中国の心理学を作り上げてゆく必要があると考えられる。さらに，国際的な学術交流の進展，並びに海外で専門性を研鑽した中国人研究者の母国での活躍や今後の人材育成への貢献が期待される。

一方，実践面において，日本においては，一般でも脈波測定装置や分析ソフトが手軽に手に入れられ，心理状態が自らチェックできる環境にあるが, 中国では一般に流通するまでには，それ相応の時間を要するであろう。現時点での可能性としては，脈波の装置とソフトの自国生産を目指すこと，あるいは，研究機関，病院等の組織での利用が現実的であると考えられる。しか

し，個人情報の保護や知的所有権の問題，海賊版の予防と対策など複数の課題が連動してくることはいうまでもない。

以上のように，脈波測定技術を，中国のより多様な場面において，応用展開を目指すことは有効であると考えられるものの，現地での実験測定データの集積とその分析・検討が求められることは必須である。よって本研究では，中国の社会的条件を考慮した包括的な研究にも着手しており，今後さらなる研究成果の蓄積と現状改善への展望に貢献できることを期待してゆきたい。

注

(1) 1992 年 6 月 16 日中国共産党中央・国務院の「第三次産業を急 速に発展させることに関する決定」の中で，中国政府は明確に教育を「第三次産業」と決めつけ，ほかの第三次産業と同様に「産業化を方向とし，活力あふれる自活体制を築かなければならない」，また「価値規律に従い，価格体制を改革し…料金の国家統制を開放し，状況に応じて自由に料金を定め，合理的な料金体制を築く必要がある」と通達した。

参考文献

Abarbanel, H.D.I., Brown, R., Sidorowich, J.J., Tsimring, L.S. (1993) The Analysis of Observed Chaotic Data in Physical Systems. *Rev. Mod. Phys.*, 65, 1331-1992.

Imanishi, A. and Oyama-Higa, M. (1989) Measuring Judgment and Operation Errors and Biological Information during Task Performance-Verification by chaos analysis of fingertip volume pulse waves-. *The Second World Congress on Lateral Computing*, Bangalore, India, 117.

Imanishi, A. and Oyama-Higa, M. (2006) The Relation Between Observers' Psychophysiological Conditions and Human Errors During Monitoring Task. *2006 IEEE Conference on Systems*, Man, and Cybernetics, 2035–2039.

Oyama-Higa, M. and Miao, T. (2006) Discovery and Application of New Index for Cognitive Psychology. *2006 IEEE Conference on Systems*, Man, and Cybernetics, 2040–2044.

雄山真弓（2012）『心の免疫力を高める「ゆらぎ」の心理学』祥伝社.

海部隆太郎「うつ病が増大する中国の現状 自殺者数 35 万人で政府も対策強化に乗り出す上海馨励健康信息咨洵有言公司 CEO 張正波氏に聞く」WEDGE Infinity, 2014 年 2 月 12 日.

Sano, M. and Sawada, Y., (1985) Measurement of the Lyapunov Spectrum From a Chaotic Time Series. *Phys. Rev. Lett.*, 55, 1082-1085.

Sumida, T., Arimitu, Y., Tahara, T. and Iwanaga, H. (2000) Mental Conditions Reflected by the Chaos of Pulsation in Capillary Vessels. *Int. J. Bifurcation and Chaos*, 10, 2245–2255.

荊其誠（1989）「中国における心理学の最近の発展」『心理学研究』Vol.60, 117-121.

Hu, Y., Wang, W., Suzuki, T., Oyama-Higa, M. (2011) Characteristic Extraction of Mental Disease Patients by Nonlinear Analysis of Plethysmograms, *2011CMLS*, 92–101.

三好恵真子，胡毓瑜，林娟，雄山真弓 (2015)「人の心理状態を可視化する試みー脈波におけるカオス解析から判別する精神疾患患者の特徴と実践における新たな展望ー」New Food Industry，Vol.57, in press.