# 生体信号・指尖脈波のリアルタイム解析：
# 若者のストレス対処メカニズム

Stress Coping of Young People: Real Time Analysis of Finger Plethysmogram

岡 林 春 雄
Haruo OKABAYASHI

山梨大学教育学部紀要　第 25 号　2016年度抜刷

# 生体信号・指尖脈波のリアルタイム解析：若者のストレス対処メカニズム

Stress Coping of Young People: Real Time Analysis of Finger Plethysmogram

岡 林 春 雄
Haruo OKABAYASHI

キーワード：ホメオスタシス(homeostasis)，ストレス対処メカニズム(stress coping mechanism)，アトラクタ(attractor)，指尖脈波(finger plethysmogram)

Abstract

The present study shows that young people feel stress in the conversation scene especially. In addition, it is examined how young people sense a stressor (LF/HF ratio) and cope stress using attractor and LLE (largest Lyapunov exponent) of finger plethysmogram. The attractors were divided into three as follows: (1) pinched shape/rhythm, (2) relaxed shape/rhythm, and (3) collapsed shape/rhythm. It is considered that the collapsed attractor of shape/rhythm is characteristic of young people, and the attractor is de-periodic and shows high LLE. According to the viewpoint of diversity, the question of “whether the complex and de-periodic attractor is stable” is filed. It is difficult to analyze the collapsed shape/rhythm attractor from the concept of static homeostasis as negative feedback; therefore, it is necessary for researchers to have the concept of dynamical homeostasis. Moreover, it is suggested that the relationship between their stress coping mechanism at micro-level and their mood state at macro-level is nonlinear because the mood state is self-organized by the stress coping mechanism.

## 1．はじめに

### 1．1　ストレス研究

ストレスという用語は，Selye[1)]によって記述され有名になったが，物理学では，物体に外力が加わると歪み（strain）が生じるのに対して，その外力の作用を受けても平衡を維持するように内部からはたらく力（応力）のことをストレスと呼んでいた[2)3)]。その起源は，Hippokratesの「身体を正常な状態に復帰させようと努める身体内部の闘争」において見られる。そして，Bernard[4)]が「内部環境の恒常性」という概念を提出し，この発想を発展させたのがCannon[5)]のホメオスタシス（homeostasis: 恒常性）であった。さて，Selye[1)]は，電撃，拘束等々の外部刺激をラットに与えても胃潰瘍の発症，胸腺の委縮，副腎の肥大が起こることを見出した。つまり，ストレスには，この刺激に対してはこの反応というように特異的ではなく，非特異的な特徴がある。Selyeは，上記の三大徴候を中心とする生体の全身性の生理的反応を汎適応症候群（general adaptation syndrome: GAS）と呼び，その変化を警告期，抵抗期，疲憊期の三段階に区分するストレス学説を発表した。これら三段階にわたる一連の変化は，ストレッサーに対する生体の防衛反応であり，生理学的には下垂体－副腎皮質系を介する糖質コルチゾールの放出による体液性調節と，交感神経－副腎皮質系を介するカテコールアミンの放出による神経性調節が知られている[6)]。その後，GASの発見から，Selyeのストレス学説とCannonの情動－交感神経システム学説を中心に理論的理解が進められ，多様で複雑な心理生物学的ストレス反応システムが特定されてきた。Lazarus & Folkman[7)]はトランスアクショナルモデル（transactional model）を提唱し，Steptoe[8)]は心理生物学的ストレス反応を通して健康から病気につながる経路をストレス－コーピング病気罹患性モデル

（stress-coping vulnerability model）として提出した。これまでのストレスに関する心理学的モデルは，ストレッサーの認知と対処の選択といった自己（self）に関連した信念や評価の内容を強調しすぎ，情報処理や外界とのダイナミックな相互作用を十分に説明できていないという批判があり[9]，また，抑うつ素因モデル（diathesis stress modelを発展させたもの: Liberman et al.）[10]では，ストレッサーへのゆがんだ認知過程を素因として重視しすぎ，個人的に関連のある情報を能動的に走査，処理することを無視しているといった批判から出てきたのが自己調節実行機能（self-regulatory executive function: SREF）であり，ストレッサーを情報処理の観点からとらえている。

実際のところ，人はストレッサーの認知や対処をそこまで意識的に行っているわけではなく，むしろ，日常生活では自動化した対処を行っていると考えられる。すると，ストレスへの対処は，内省報告からではなく，生体信号からとらえるのが妥当であろう。そして，田宮[11]が心理的ストレス負荷により副交感神経活動が抑制され，交感神経活動が賦活されたと報告しているように，ストレスは副交感神経と交感神経の活動比率からとらえられると考えられ，具体的には交感神経と副交感神経の活性を示すLF成分（Low frequency: 0.04～0.15Hz）と副交感神経の活性を示すHF成分（High frequency: 0.15～0.40Hz）のパワー比　LF/HF でストレスの強さが測定されている[12)-14]。厳密に言えば，このパワー比は生体のストレッサーの感じ方を示しており，そのストレッサーへの生体からの応力がストレスである。

### 1．2　若者のストレスの特徴

「最近いらいらした20代女性は77％」[15]というように統計数理研究所[16]が行った「日本人の国民性調査」では，若者を中心にストレスを募らせている人が増えていることがわかる。最近１カ月間にいらいらしたことが「ある」と答えた人は50％で，この質問を設けた1993年以降，初めて「ない」（49％）を上回った。とくに，上記のように若い女性に多く，30代でも76％，男性の20代では55％，30代では57％であった。突然起こる大災害，いわゆるカタストロフィーや身近な人の死や離別といったライフイベントのような出来事に遭遇するとだれでもストレスをため，不適応状態が起こってくるのだが，若者は，ごく普通の日常の中でストレスを感じているのである。そのような日常の中でのストレスは，デイリーハッスル[17]と呼ばれ，職場での人間関係や家族の問題など日常生活の中で繰り返し起こる些細ないらいらや小さなトラブル等わずらわしい出来事として，誰にでも起こり，短いスパンの問題だととらえられてきた。ところが，近年，「ムカツク」「キレル」といった若者の言葉とともに，日常の出来事，それも日々繰り返される事にストレスを感じ，それにうまく対処できない若者が目立つようになってきているのである。

### 1．3　本研究に向けて

生体のストレッサーの感じ方はLF/HFのパワー比で表現され，そのストレッサーに対する生体内からの応力，つまり対処は生体信号のアトラクタの動きとして位相空間上に表現され，あわせて，生きている人というダイナミカルシステムにおいて接近した生体信号の軌道が離れていく度合いを示すリアプノフ指数（Lyapunov exponent）を指標として表すことができよう。Pikovsky, Rosenblum, & Kurths[18]は，システムにおける生体信号の軌道の収束／発散の性質は，リアプノフ指数で特徴づけられるとして，位相空間において，ある方向に沿った軌道の収束は負のリアプノフ指数に対応し，指数の絶対値は収束率を表わす。同様に，軌道の発散は正の指数で特徴づけられ，中立な方向（発散も収束もしない）は零のリアプノフ指数に対応するとしている。リアプノフ指数の中でも最大リアプノフ指数（Largest Lyapunov exponent: LLEと略す）がゆらぎからのびやかに発散していくシステム特徴を示すと捉えられる。

人は日常的にストレッサーによって攪乱されているが，これにうち勝って健康を維持できるのは，外界のさまざまな変化にかかわらず内部環境を維持するメカニズムを生体がもっているためである[19]。したがって，人はストレッサーに出会い，ストレッサーに対処するという心理生体反応はストレス感覚という意味では，つねにゆらぎを伴っており，さらに新手のストレッサー感知と対処という繰り返

しから，マクロレベルでは比較的長い時間継続する気分（mood）状態を作り出しているのではなかろうか。気分とは，ある期間持続するものであり，ストレスを感じる等の感情とは区別される[20]。つまり，人はリアルタイムで，ストレッサーを感じ（LF/HFが指標となる），そして，対処する（LLEが指標となる）というリズムをうまく作っていくことができれば気分レベルで精神的健康状態を作り上げることができるであろうが，ストレッサーへの対処リズムをうまく作りあげることができなければ精神的健康状態には至らないであろう。

### 1．4　本研究の目的

（1）若者は，どのような場面でストレッサーを感じているのかを生体信号から明らかにする。

（2）ストレッサーを感知し，それにどのように対処しているのか，そのメカニズムを生体信号・指尖脈波のアトラクタ，ならびにLLEから明らかにする。

（3）ストレッサーとストレス対処というミクロタイムでの心理生体的反応とマクロタイムでの気分状態（精神的健康につながる）との関係を明らかにする。

## 2．方法

### 2．1　対象者

大学生・大学院生42人（女性32人，男性10人）に対象者として協力をお願いした。なお，対象者には実験前に実験の趣旨を説明し，山梨大学大学院研究倫理内規に基づき研究を実施した。

### 2．2　生体信号・指尖脈波測定機器

Lyspect 3.5（カオテック）を用いて、利き手と反対の手の薬指から生体信号･指尖脈波を測定した（心臓と同じ高さにセット）。Lyspect3.5のサンプリングは0.005秒に1ドットの精度である（200Hz）。

### 2．3　手続き

若者の日頃の生活で遭遇すると考えられる、「安静場面（コントロール場面として）」、「繰り返し作業場面（加算作業を繰り返す）」、「問題を解く場面（難解な数学の問題を解く）」、「会話場面（友だちと楽しかったことや悔しかったことを話す）」といった4場面において3分間、指尖脈波を測定した。

### 2．4　気分状態測定

対象者の気分状態をPOMS[21) 22)]を用いて測定した。

## 3．結果と考察

### 3．1　若者は，どのような場面でストレスを感じているか

若者の各場面におけるストレッサー感知指標である指尖脈波のLF/HFパワー比をTable 1 に示す。なお，LF/(LF+HF) もストレッサー感知指標とされることがあるのでTable 1に併記しておくが，LF/HF と LF/(LF+HF) はどの場面においても相関が非常に高い（安静場面：r=.876, p<.001; 繰り返し作業場面:$r$=.865, $p$<.001; 問題を解く場面:$r$=.902, $p$<.001; 会話場面:$r$=.913, $p$<.001）。

Table 1　各場面におけるストレッサー感知指標の平均

| | 安静 | 繰り返し作業 | 問題を解く | 会話 |
|---|---|---|---|---|
| LF/HF | 1.659 | 2.248 | 2.069 | 4.123 |
| | (1.339) | (1.691) | (1.135) | (1.976) |
| LF/(LF+HF) | 5.431 | 6.134 | 6.228 | 7.630 |
| | (1.576) | (1.531) | (1.121) | (.857) |

N=42,（ ）は標準偏差

LF/HF パワー比から，若者は場面によって感じ方が違い（$F$(3, 123)=25.443, $p$<.001），会話場面でストレッサー感知はもっとも高く，安静場面でもっともストレッサー感知が少ないことがわかった。繰り返し作業場面と問題を解く場面では有意な差は見出されなかった。

### 3．2　ストレッサーへの対処

それらのストレッサーに対して，生体はリアルタイムで対処にかかる。それが生体信号・指尖脈波のLLEとして表現される。会話場面でストレッサーを強く感じた者の1人である対象者Aのリアルタイ

ムにおけるストレス感知と対処の動きをFigure 1に示した。なお，横軸は時間の流れであり，縦軸はそれぞれの指標の強度である。対象者は，ストレッサーを感知すると，そのストレッサーに対処するように反応しようとしている（Figure1, 2）ということがわかる。問題は，ストレッサーに対して十分な

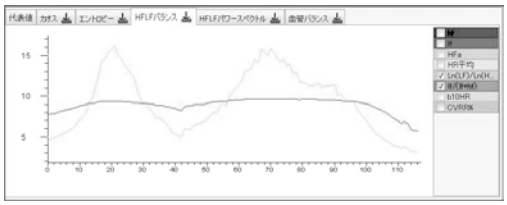

Figure 1　対象者 A　のリアルタイムでのストレッサー感知の動き（会話場面）
（山・谷が明らかな線が LF/HF の動きを示し、なだらかな線が LF/(LF+HF)の動きを示す）

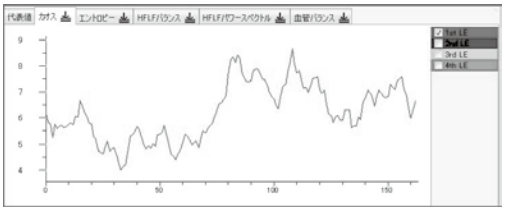

Figure 2　対象者 A のリアルタイムでのストレス対処（LLE）の動き(会話場面)

対処がなされているかどうかである。LF/HFパワー比にLLEがどのように対応しているのかを確認するため，LF/HF と LLE の交差相関を確認する。LF/HFの動きとLLEの動きは，若干のラグが生じる可能性があるので, -7 から +7（-0.035秒から+0,035秒）までのラグの間で最も絶対値の高い係数を指標とする。Table 2より，ストレッサーに遭遇した際，そのストレッサーに逐次的に対処するように振る舞うことは少ないことがわかる。ある程度たまると反応するが，それまでは反応しないという閾値の問題が関わってくるので，必ずしも逐次的には振る舞わないのが生体信号であるが，安静場面におけるHFとLLEとの間には$r$= .321 ($p$<.038)，LFとLLEの間には$r$=.364 ($p$<.018)の相関があるものの，LF/HFとLLEとの間には$r$=.001 ($p$<.994)というように相関が見出されなかった。つまり，LF，HF，LLEは拮抗的に作用しているものの，LF/HFとLLEの関わりには及んでいない。LF/HFとLLEの関係については，安静場面においてさえも，40%ほどしか対処する方向に動いてはいない。繰り返し作業場面においては，ストレッサーに向かわない生体反応をする対象者が多く（61.9%），問題を解く場面では，解けないという感覚からか，問題を解こうとするよりは，考えることから逃げ，とりあえず目の前の緊張場面から解放されたいという対象者が多い（42.9%）ことがわかる。会話場面で対象者は，相手のことも考えなければならないし，自分が伝えることも考えないといけないというストレス状態の中，それなりの対処は無意識のうちに行っているように思われる。相手の話に共感し，自分もそういうことがあった，と話すうちにストレス対処はできるのだが(33.3% )，話がずれたりするとさらに対処ができなくなるという場合もある（21.4%）。

### 3．3　リアルタイムでのアトラクタの動き

ストレッサーの感知とそれへの対処は，リアルタイムで連続して起こっている。山口[23]は，そのような継時的に起こっている流れを示すためにはリズムから考えることが必要だと論じている。たしかに，LF/HFパワー比もLLEも刻々と変化しており，生体の中でどのような動きがあるのか見えにくい。そこで，生体信号・指尖脈波からターケンスの埋め込み定理[24]を使い，アトラクタの動きを追ってみた（例. Figure 3)。ここから，対象者の生体信号はどの場面においてもリズムを刻

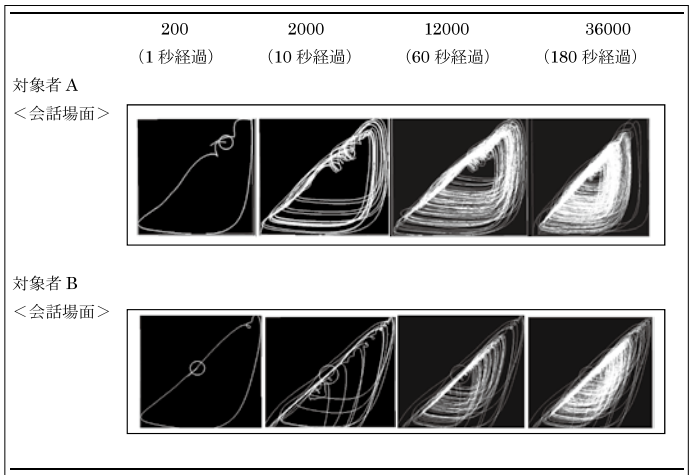


Figure 3　対象者 A と対象者 B の会話場面でのアトラクタの動きの比較

んでいることがわかる。200ドット（1秒経過）段階で，それぞれのアトラクタはリミットサイクルを描いている。リミットサイクルは，生きているシステムに特有のもので，線形の世界では出現しない，非線形の特徴を示すものである[19]。リアルタイムでの時間の経過とともに，各対象者のアトラクタはリズムの刻み方が違い，それぞれ異なった形状を示している。このリズムの違い，形状の違いが，ストレス対処の違い，すなわちストレッサーにどのように向き合い，どのように対処するか，生体内部環境の対処の仕方を示しているものと考えられる。

Figure 3においては、会話場面において，会話を強いストレッサーだと感知した1人である対象者A（LF/HF 8.974, HR: Heart Rate 85.16）のアトラクタは，1秒経過（200ドット）段階で，ゆらぎをともないながら，また，こぶを作りながらリミットサイクルを成している。10秒経過（2000ドット）段階では，こぶが渦巻状になり，大きくなっている。そして，60秒（12000ドット）から180秒（36000）にかけては，局所的な渦巻きを覆い隠すように，全体のサイクルリズムが繰り返されるようになっている。それに対して，会話を強いストレッサーだと感知していない1人である対象者B（LF/HF 1.661，HR 64.95）のアトラクタは，1秒経過段階でゆらぎをともないながらリミットサイクルをなし，10秒経過以降，サイクルの位置，中心が若干ずれながら，小ぢんまりとまとまっている。

全対象者のそれぞれの場面におけるアトラクタの振舞いから「伸びやかな形状・リズム」「縮こまっている形状・リズム」「形状・リズムの崩れ（脱周期）」の３つ型が見出されたので，その3群のLF/HF，LLE，交差相関を比べてみた（Table 3）。Table 3 から明らかなように，若者の多くは安静場面では伸びやかなアトラクタの形状・リズムを刻んでいるが，繰り返し作業をする場面や問題を解く場面，会話場面では縮こまり，また，崩れてくることがわかる。LF/HFが小さすぎても大きすぎてもLLEが小になり，LF/HFが適度だとLLEが大になり，うまく対処できるようになるという可能性が考えられる。

Table 3　各場面におけるアトラクタの動きと LF/HF、LLE、交差相関

| アトラクタ | N | LF/HF | LLE | 交差相関 |
|---|---|---|---|---|
| ＜安静場面＞ | | | | |
| 伸びやか | 29 | 1.478（.977） | 5.037（1.013） | .084 |
| 縮こまり | 10 | 2.238（2.171） | 5.832（1.421） | .203 |
| 崩れ | 3 | 1.478（.053） | 6.290（1.534） | .366 |
| | 42 | 1.659（1.339） | 5.316（1.203） | .132 |
| ＜繰り返し作業場面＞ | | | | |
| 伸びやか | 10 | 2.064（1.087） | 3.877（1.119） | −.176 |
| 縮こまり | 15 | 2.628（2.262） | 4.794（.965） | −.034 |
| 崩れ | 17 | 2.021（1.405） | 4.972（1.162） | .029 |
| | 42 | 2.248（1.691） | 4.648（1.119） | −.042 |
| ＜問題と解く場面＞ | | | | |
| 伸びやか | 12 | 1.796（1.086） | 5.142（.047） | −.002 |
| 縮こまり | 18 | 2.343（1.390） | 5.081（1.464） | −.233 |
| 崩れ | 12 | 1.932（.645） | 5.950（1.362） | −.145 |
| | 42 | 2.069（1.135） | 5.347（1.315） | −.142 |
| ＜会話場面＞ | | | | |
| 伸びやか | 11 | 4.382（1.873） | 5.497（.715） | .151 |
| 縮こまり | 9 | 4.693（2.034） | 6.157（.900） | −.039 |
| 崩れ | 22 | 3.760（2.017） | 6.536（1.288） | .053 |
| | 42 | 4.123（1.977） | 6.182（1.151） | .059 |

雄山[25]は，うつ病患者のアトラクタは健常者のアトラクタより変動幅が小さく，また，認知症の老人のアトラクタも健常者のアトラクタに比べてゆらぎが小さいと報告している。これは，精神的に健康でない人のアトラクタは健康な人のアトラクタに比べて縮こまっているということを示しており，また，鈴木・岡田[26]は，健常者に心的負荷がかかるとLLEが高くなることを報告している。これまでのケースレポートでは，安静場面での病者のアトラクタを健常者のアトラクタと比較しているので，そこに出てくるアトラクタは，小ぢんまりと収縮していっているアトラクタとそれとは対照的に伸びやかなアトラクタである。それらとは違う，形・リズムの崩れたアトラクタをどのようにとらえ

るかである。ここでホメオスタシスのとらえ方が問題となる。もとに戻ろうとしているのか，そこから，さらに新しい形・リズムを作ろうとしているのか。伸びやかな形状・リズムを作れず，かといって縮こまるでもなく，迷走している有り様ととらえるべきかである。Table 3 では，崩れたアトラクタを示す対象者たちのLLEは他のアトラクタを示す対象者たちのLLEより高くなっている。

### 3．4　ストレス対処メカニズムと気分状態の関係

ストレス対処はリアルタイムでの生体信号の動きである。そのストレス対処がうまくいった／いかなかった，を生体が感じるということを積み重ねながら，出来上がってくる（自己組織化と呼ばれる現象）[27] のが気分である。したがって，ストレス対処をミクロタイムでの出来事と呼ぶならば，気分はマクロタイムでの出来事である。ストレス対処の際のLLEとPOMSにおけるT-A（緊張－不安）という気分状態が正の相関を示している。すなわち，ストレス対処に向かう生体信号は緊張―不安という気分状態と関連があることを示している。また，C（思考力低下）も同様である。

HFは副交感神経の活性を示すので，副交感神経が活性化することでリラックスした状態になるものの，それが行き過ぎ，V（活気）がない状態になっているものと思われる。これが，安静場面と連動して出てきているのは納得できる。繰り返し作業場面，問題を解く場面，会話場面では，具体的に目の前にストレッサーがあり，それに対処しないといけない状況にある。それに対して，安静場面では，目の前に差し迫ったストレッサーがあるわけでもないので，気分状態といういわば，マクロタイムという上位レベルの影響をトップダウンで受けたのかもしれない。リアルタイムでのストレス対処という感情が上位レベルの気分を作り上げる方向だけでなく，逆方向の影響も考えられる。

さらに，ストレッサーのとらえ方（LF/HF の大小）とストレス処理の仕方（LLE）の交差相関（正相関，逆相関，ほとんど相関なし）とPOMS 2段階（精神的健康かどうかにつながる）との関連について検討したところ，安静場面で，POMS(V)に関して有意差が見出され（$F(2, 39)=7.078$, $p< .002$），逆相関群（平均55.30, 標準偏差13.655）が正相関群（平均39.06, 標準偏差9.782）よりV（活気）が高く（Tukey HSD），また，逆相関群のVが相関なし群のV（平均41.53，標準偏差11.019）より有意に高かった（Tukey HSD）。繰り返し作業場面では，POMS(C)に関して有意差が見出され（$F(2, 39)=3.982$, $p< .05$），正相関群のC（平均61.20，標準偏差17.669）は相関なし群のC（平均48.04，標準偏差7.405）より有意に高かった（Tukey HSD）。

## 4．討論

本研究から，若者はとくに会話場面でストレッサーを感知しており，そのストレス対処は，交感神経と副交感神経がダイナミカルに拮抗して働くことによって，指尖脈波のアトラクタの形状・リズムによって示されたが，若者のアトラクタは安静場面と比較して，ストレッサーが目の前に存在する繰り返し作業場面，問題を解く場面，会話場面では，脱周期の形状・リズム崩れ型が多いことがわかった。この脱周期の崩れ型アトラクタが最近の若者の特徴なのではなかろうか。脱周期になりリズムが崩れ，複雑な様相になっている。ここで，「複雑さは安定か？」[28]という多様性（diversity）の命題が関わってくる。アトラクタが示している複雑で多様な振舞いによって，いろいろなストレッサーに対処することができる一方，そのゆらぎはアンバランス感も生み出す。若者の「いらいら感」はここに由来すると考えられる。

そのようなストレッサーに対するストレス対処が生体として繰り返されながら，気分が作られていき，また，その気分によってストレス対処が影響を受けるという，いわばボトムアップとトップダウンの相互作用が考えられ，ストレス対処と気分状態は非線形の関係にあるのではないかと考えられる。ストレス対処によって作り出されてくる気分状態というのは，精神的に健康でない状態として神経症やうつの問題，すなわち適応障害が考えられ，Schatzberg[29]は，適応障害の治療の最終的な目標は患者

のストレス対処機構を高め，適応障害が他のより慢性的な病態に発展することを防止することだとしており，松尾[30]は，適応障害の治療の本質は，その個人が有するストレッサーに対する自然抵抗力を高め，より自然に，より早期にそのストレス状況を正常レベルにまで緩和させることであるとしている。ストレッサーを消すことが若者の「いらいら感」をなくすことではなく，日頃からいろいろなストレッサーが対処できるものだと感知できるような状態にしておき（ストレッサーが適度のものと認知できるよう），ストレス対処によって，次の適応へと導かれることを真の目標としなければならないであろう。われわれ研究者にしても，静的なホメオスタシスのとらえ方ではなく，ダイナミカルなホメオスタシスのとらえ方が必要であろう。

## 文　献


1）Selye, H., Syndrome produced by diverse nocuous agents. Nature 138, 32, 1936.

2）Illingworth, V., The penguin dictionary of physics 4th revised edition. London: Penguin Books, 2009.（清水忠雄・清水文子監訳, ペンギン　物理学事典(p.41). 朝倉書店，2012.）

3）小出昭一郎, 物理学(三訂版). 裳華房, 1997.

4）Bernard C., Introduction *à l'étude de la médecine expérimentale*. Paris: Flammarion, 1865.（三浦岱栄訳, 実験医学序説. 岩波書店，1938, 改訳1970.）

5）Cannon, W.B., Organization for physiological homeostasis. *Physiological Review* 9, 399-431, 1929.

6）Tsuda, A., & Tanaka, M., Neurochemical characteristics of rats exposed to activity stress. *Neurobiology of stress ulcers* **597**, 146-158, 1999.

7）Lazarus, R.S., & Folkman, S., *Stress, appraisal, and coping*. New York: Springer, 1984.

8）Steptoe, A., The links between stress and illness. *Journal of Psychosomatic Research* 35, 633-644, 1991.

9）岡林春雄, ストレスと適応.　小野寺孝義・磯崎三喜年・小川俊樹編, 心理学概論　(97-108). ナカニシヤ出版, 2011.

10）Liberman, R.P., Jacobs, H., Boone, S., et al., 精神分裂病患者のための技能訓練.　精神医学 30(2), 229-239, 1988.

11）田宮菜奈子(代表), 福祉・介護サービスの質向上のためのアウトカム評価拠点: 実態評価から改善へのPDCAサイクルの実現.　厚生労働科学研究費補助金(政策科学総合研究事業(政策科学推進研究事業))平成21年度総括・分担研究報告書, 平成22年度総括・分担研究報告書, 2010, 2011.

12）清澤旬・四方裕夫, 指尖血流脈波のゆらぎ解析による交感神経活動の評価とその応用　金医大誌 **31**，194-201, 2006.

13）内村麻里奈・江口由記・川嵜美波他，LH/HFを用いた時空間ストレス指標の提案.　情報処理学会研究報告 **Vol.2012-MPS-91**,No.2, 1-6, 2012.

14）Kim, D., Koo, H., Lee, W., et al., Application and limitation of frequency domain, LF/HF component in heart rate variability as an acute stress index. *Proceedings of the International Conference on Biomedical Engineering and Systems,* Prague, Czech Republic, August 14-15, Paper No. 128(1-4), 2014.

15）日本経済新聞,「最近いらいらした」20代女性77％：2013年国民性調査. 2014/10/31, 2:33. http://www.nikkei.com/article/DGXLO79118210R31C14AOCR8000/

16）統計数理研究所,日本人の国民性調査. 統計数理研究所，2013.　http://wwww.ism.ac.jp/kokuminsei/page2/index.h

17）佐瀬竜一・児玉健司・佐々木雄二, 大学生のデイリーハッスルとタイプＡ行動パターンおよびアレキシサ

イミアの関連.　駒澤大学心理学論集 7，43-50, 2005.

18）Pikovsky, A., Rosenblum, M., & Kurths, J., *Synchronization: A universal concept in nonlinear sciences.* New York: Cambridge University Press, 2001.（徳田功訳, 同期理論の基礎と応用：数理科学, 化学, 生命科学から工学まで.　丸善株式会社, 2009.）

19）渡辺照男, 病理学.　NOUVELLE HIROKAWA, 2011.

20）投石保広, 気分(mood).　中島義明・安藤清志・子安増生他編, 心理学辞典（168）.　有斐閣, 1999.

21）McNair, D.M., Loor, M., & Droppleman, L.F., *Profile of mood states.* San Diego: Educational and Industrial Testing Service, 1992.

22）横山和仁, POMS 短縮版　手引きと事例解説.　金子書房, 2005.

23）山口陽子, 生物リズムと引き込み.　石井威望・小林登・清水博他編, 生命現象のダイナミズム (1-33). 中山書店, 1984.

24）Takens, F., Detecting strange attractors in turbulence. In D. A. Rand & L.-S. Young (Eds) *Dynamical Systems and Turbulence, Lecture Notes in Mathematics,* vol. 898, 366-381. Springer-Verlag, 1981.

25）雄山真弓，指尖脈波のもつ健康情報サービス. 板生清監修, クラウド時代のヘルスケアモニタリングシステム構築と応用（252-263）. シーエムシー出版, 2012.

26）鈴木桂輔・岡田雄太, 指尖脈波のゆらぎ解析におけるドライバの心理状態の推定. 日本機械学会論文集（C編）74（743）, 85-94, 2008.

27）都甲潔・江崎秀・林健司, 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，1999.

28）Gaston, K.J. & Spicer, J.I., *Biodiversity: An introduction,* 2nd ed. Blackwell Publishing, 2004.

29）Schatzberg, A.F., Anxiety and adjustment disorder: A treatment approach. *Journal of Clinical Psychiatry* **51**, 20-24, 1990.

30) 松尾正, 適応障害.　松下正明編, 神経症性障害・ストレス関連障害　臨床精神医学講座　第5巻　(405-429). 中山書店, 2001.