



日常生活における自律神経機能の計測と評価に関する研究

駒澤, 真人

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

2016-09-25

(Date of Publication)

2017-09-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第6751号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1006751>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



平成 28 年度 博士論文

日常生活における自律神経機能の計測と評価に関する研究

神戸大学 システム情報学研究科

計算科学専攻

118X704X

駒澤 真人

指導教官 羅 志偉 教授

—目次—

第1章	序論	4
1.1	本研究の背景と目的	5
1.2	自律神経とは	7
1.3	既往の研究	8
1.4	本研究の構成	10
第2章	自律神経測定システムの開発	13
2.1	はじめに	14
2.2	システム開発の概要と測定原理	15
2.3	解析処理	16
2.4	精度考察	23
2.5	システムの各機能の紹介	33
2.6	まとめ	41
第3章	自律神経機能と身体的要因，行動，時間および場所との関係	42
3.1	はじめに	43
3.2	分析方法	44
3.3	自律神経機能と年齢との関係	45
3.4	自律神経機能とBMIとの関係	51
3.5	自律神経機能と行動との関係	55
3.6	自律神経機能と日内変動との関係	61
3.7	自律神経機能と曜日変動との関係	66
3.8	自律神経機能と地域との関係	72
3.9	まとめ	78
第4章	自律神経機能と気象条件との関係	79
4.1	はじめに	80
4.2	分析方法	81
4.3	自律神経機能と気温との関係	82
4.4	自律神経機能と気圧との関係	85
4.5	自律神経機能と降雨量との関係	88
4.6	まとめ	91
第5章	結論および今後の展開	92
	結論	93
	今後の展開	95
	謝辞	96
	謝辞	97
	研究業績	98

発表論文	99
特許	101
参考文献	102
参考文献	103

第1章 序論

1.1 本研究の背景と目的

1.2 自律神経とは

1.3 既往の研究

1.4 本研究の構成

1.1 本研究の背景と目的

日本は超高齢化社会に向けて、日常生活における科学的な健康管理が非常に重要となってきた。その際、家庭や街や職場など異なる生活空間、各種の気象条件、性別、加齢、健康状態等のことを考慮に入れる必要がある。しかし現状では、病院などの非日常的な環境の下、専用の測定機器を使用して自分の健康を管理するのが一般的である。

また、現代はストレス社会と言われて久しいが、過度のストレスを長期間にわたって受け続けると、自律神経系や副腎皮質ホルモンなどの内分泌系にも変調を来すことが明らかになっている[1]。この自律神経系は、緊張・興奮を司る交感神経活動と、リラックスを司る副交感神経活動がバランスよく機能することで身体をコントロールしていると言われていた。そのため、自律神経の状態を日常的に日々把握することは自己管理をする上でも非常に重要であるといえる[2]。そこで本研究では、ストレスに着目し、人々が自主的に自律神経活動を計測する利便性の高い計測技術を確立し、人々が日常生活の中で簡易に自分の健康を管理できるシステムの開発を試みた。

自律神経機能を測定する手法として非侵襲的には、図 1-1 に示すような専用の小型心拍センサ[3]（ユニオンツール株式会社製）や図 1-2 に示すような指尖脈波センサ[4]（WIN フロンティア株式会社製）を使用して RR 間隔（心拍間隔）や脈波波形のピーク間隔から RR 間隔に相当する値を測定し[5]、心拍変動解析より交感神経活動及び副交感神経活動の指標を算出するのが一般的である[6]。これらのシステムは 1 分～5 分間の RR 間隔データから高速フーリエ変換（FFT）[7]などの周波数解析手法を用いて、自律神経指標を算出している。

しかしながら、どの製品も RR 間隔や脈波のピーク間隔を測定するために専用のセンサ及びシステムが必要で非常に高価な為、一般の人が利用するには敷居が高いのが現状である。そのため、今までは病院などの専用の施設でしか自律神経の状態を測定することが出来なかった。そこで本研究では、専用の端末機器を使用せず、一般に市販されているスマートフォンのカメラを用いて、指先に端末のカメラを約 30 秒強という短時間乗せることで、血流の輝度変化から脈波波形のピーク間隔を検出し、心拍変動解析から自律神経の詳細な状態である自律神経のバランス及び自律神経の活動量（トータルパワー）の傾向を、精度良く簡便に測定できるシステムを開発した[8]。

現在、本システムは、Apple Inc. の iPhone アプリ[9]及び、Google Inc. の Android アプリ[10]として、実用的に約 100 万人以上（2016 年 6 月現在）のユーザーにダウンロードされ利用されている[11]。

従来は、専用のセンサや装置を使用して、病院や実験室などで自律神経を測定する方法が主流であったため、研究対象として測定できる被験者は多くて数百人程度が限度であった。また、特定の環境下での測定のため、日常生活における自律神経機能を的確に表しているとは言い難い。

また、公衆衛生の観点から、異なる属性や時空間における人々の健康分布の比較分析をすることが重要といえる。

そこで、本研究では健康に関するビックデータの採取、蓄積と処理の技術を確立し、大量の自律神経のビックデータから日常生活における自律神経機能を評価した。本システムを利用することで、日常生活の中で、いつでも、どこでも、何をした後でも、簡単に自律神経状態の傾向を把握することができ、未だかつてない大量の自律神経のビックデータから、日常生活における自律神経機能を評価することが可能となった。

本研究では、人々が日常成果の中で簡易に自律神経機能を測定できるシステムを開発し、測定された数十万件にも及ぶ大量の自律神経のビックデータに基づき、日常生活における自律神経機能の評価を検討した。

1.2 自律神経とは

自律神経は、構造的、機能的にみて内部環境と外部環境の間を接続する位置にあり、身体の機能を調和させ、ホメオスタシス（心血管・呼吸調節、体温調節、胃腸運動、尿・便の排泄機能、生殖機能、代謝・内分泌機能）を保ち、ストレスに対する適応的反応（「闘争か逃走か」反応）をおこなう。このように、自律神経系は種の生存と増殖を確保するために、不撓不屈ともいえる仕事をしている[12].

1921年にCambridge大学の生理学者であったLangleyは、「自律神経系 Autonomic Nervous System」を出版し、自律神経系を交感神経、副交感神経、腸管神経の3系に分類し、現在の自律神経の概念が確立した[12].

自律神経の交感神経は、副交感神経とともに自律神経系を形成し、分泌腺・血管・内臓などを支配する神経である。精神興奮や運動に際して、唾液を分泌し、血圧・血糖を高め、皮膚・内臓の血管を収縮させて血液を筋肉・脳に集めるなど、おおむね全身の活動力を高める働きをする[12].

一方、副交感神経は脳部および仙骨部から発し、大部分は迷走神経で、伝達物質としてアセチルコリンを分泌する。心臓に対しては抑制、胃腸に対しては促進の作用をする。胆汁分泌の促進、涙や唾液の分泌促進、瞳孔散大などの作用をもつ。これら自律神経機能は、身体的ストレスのみならず心理的ストレスの影響を受ける[12].

アメリカの代表的な疫学研究であるMultiethnic Study of Atherosclerosis (MESA)において、質問紙票で評価されたうつ症状、怒り、不安、社会的支援の得点と副交感神経機能との関係を見た結果、うつ症状との間に有意な負の関連がみられた。したがって、特にうつ気分が続くことが、自律神経機能、特に副交感神経機能を低下する方向に影響すると言われている[13].

1.3 既往の研究

(a) 自律神経の測定手法

自律神経反応の客観的評価法として、唾液などの生体サンプルに含まれる物質により評価する方法が用いられている。唾液からは、内分泌活動の指標となるコルチゾールや、免疫活動の指標となる sIgA、交感神経活動の指標となる α アミラーゼなどの物質が測定可能であり、これらはいずれも急性、慢性のストレス状態を反映する事が知られている[12]。

また、より手軽に測定する手法としては、心拍変動を用いた自律神経測定が挙げられる。自律神経機能を測定する手法として非侵襲的には、図 1-1 に示すような専用の小型心拍センサ[3] (ユニオンツール株式会社製) や図 1-2 に示すような指尖脈波センサ[4] (WIN フロンティア株式会社製) を使用して RR 間隔 (心拍間隔) や脈波波形のピーク間隔から RR 間隔に相当する値を測定し[5]、心拍変動解析より交感神経活動及び副交感神経活動の指標を算出するのが一般的である[6]。これらのシステムは 1 分~5 分間の RR 間隔データから高速フーリエ変換 (FFT) [7]などの周波数解析手法を用いて、自律神経指標を算出している。一般的、生体には心拍の揺らぎがあり、この変動をスペクトル解析すると、一定の周波数のところにピークがみられる。人の場合には、呼吸周期の変動を表す高周波成分 (0.15Hz~0.40Hz : HF) と血圧変動を反映する低周波成分 (0.05Hz~0.15Hz : LF) が現れ、この両者は自律神経活動反映する。HF は副交感神経支配を受けており、LF は交感神経と副交感神経の双方の支配を受けていると言われている[12]。

クロスウェル株式会社製の Relax 名人[14]や、心電計を用いた先行研究[15]では、専用のセンサにより測定された 30 秒間の RR 間隔データから MEMCalc 法[7]を用いて、短時間の計測による心拍変動解析を実現している。しかしながら、どの製品も RR 間隔や脈波のピーク間隔を測定するために専用のセンサ及びシステムを使用し非常に高価な為、一般の人が利用するには敷居が高いのが現状である。

一方、日常生活の中でより手軽に健康状態を把握するためのセンシング技術として、スマートフォンのカメラやデジタルカメラ、パソコンの Web カメラ等を利用して顔の画像や指先の皮膚の色から脈拍を計測する技術[16], [17], [18], [19], [20]が複数例ある。ただし、脈波波形のピークを大まかに検出して脈拍数 (心拍数) や呼吸数を推定するのに留まっており、自律神経解析に必要な脈波波形のピーク間隔を算出するものではない。また、本研究で開発したシステムと類似する製品として、スマートフォンのカメラを利用して、指先の皮膚の色から脈波のピーク間隔のゆらぎを解析してストレス状態を算出するアプリケーションがあるが[21]、ストレス度を独自の指標で 0~100 と簡便に算出しているのみであり、自律神経のバランス及び自律神経の活動量 (トータルパワー) といった[6]、自律神経の詳細な情報を解析するものではない。また、測定時間が

2分以上と長いと日常的に手軽に測ることが難しく、解析アルゴリズムや測定精度に関しても公表はされていない。

(b) 自律神経機能の評価

ここでは、自律神経機能の評価に関する既往の研究について述べる。

先行研究では、専用の加速度脈波センサや小型心拍センサを使用し、加齢になるほど自律神経の活動量であるトータルパワーが低下するといった報告[22]、[23]、[24]や、BMI（肥満度指数）が高いほどトータルパワーが低下するといった報告[25]がある。

しかしながら、どの研究も被験者は多くて数百人程度に留まっている。また、BMIとトータルパワーを検証した先行研究[25]では、更年期障害を患った女性のみを対象としており、本研究のように、一般の被験者を対象に、大量の測定データで分析した例はない。

さらに、日常生活における行動毎、曜日毎及び地域毎での自律神経機能の傾向を分析した報告はほとんどされていない。

一方、気象との関係に関しては、気象の一要素である気温と生体の関連についての研究は比較的多い[26]、[27]が、気圧や降雨量の変動が生体に及ぼす影響に関する研究は少ない。

また、どれも対象の被験者が少なく、数十万件のビックデータを用いて、自律神経機能と気象との関係について調査した論文は今までにないのが現状である。

1.4 本研究の構成

本研究の構成を図 1-3 で示す。第 1 章では、本研究の目的と背景について述べる。第 2 章では、本研究で開発した自律神経測定システムについて述べる。第 3 章では、本システムで測定された大量の測定データに基づき、自律神経機能と身体的要因、行動、時間および場所との関係について検討する。第 4 章では、自律神経機能と気象条件などの外部要因との関係について検討する。第 5 章では、本研究で得られた成果を総括する。



図1-1 小型心拍センサ (WHS-1)



図1-2 指尖脈波センサ (Lifescore Quick)

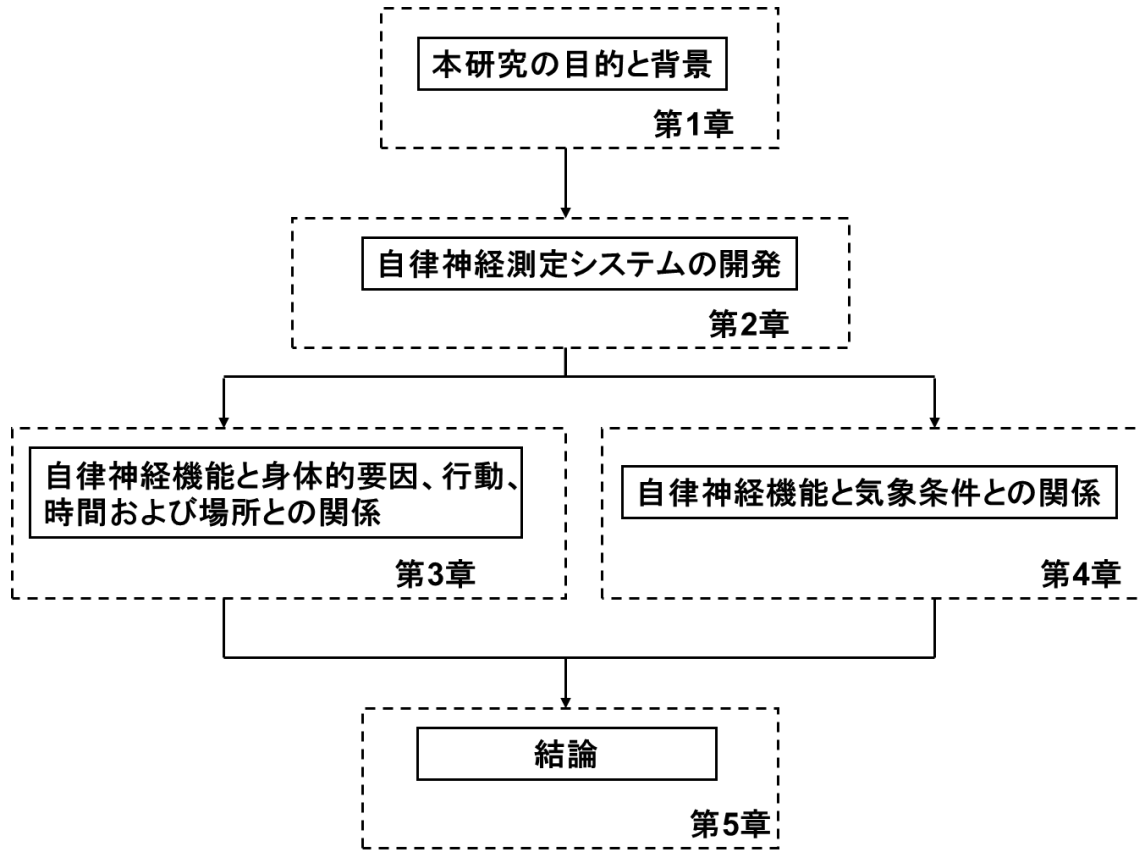


図1-3 本研究の構成

第2章 自律神経測定システムの開発

2.1 はじめに

2.2 システム開発の概要と測定原理

2.3 解析処理

2.4 精度考察

2.5 システムの各機能の紹介

2.6 まとめ

2.1 はじめに

本章では、一般に市販されているスマートフォンのカメラを用いて、指先に端末のカメラを約 30 秒強という短時間当てることで、血流の輝度変化から脈波波形のピーク間隔を検出し、心拍変動解析から自律神経の状態を簡便に測定できるシステムを開発した。次項以降で、システムの詳細及び測定の精度に関して述べる。

2.2 システム開発の概要と測定原理

図 2-1 にシステム開発の概要を示す。本システムは、クライアント端末であるスマートフォンと、解析処理をおこなうサーバから成り立つ、クライアント・サーバシステムである。本システムは Java 及び Objective-C を使用して構築している。

人間は呼吸をする毎に血流に含まれるヘモグロビンの量が増減するため、その影響で指先の皮膚の色が微妙に変化している [19], [29]。そこで、クライアント端末であるスマートフォンを用い、指先にカメラ部分を乗せることで、スマートフォンの照明光が皮膚を含む指尖部に照射されて、組織内で拡散、散乱して、カメラ部分に戻ってきた散乱光の強度（輝度変化）に基づき脈波波形を抽出する。

また、サーバでは、脈波波形からピーク間隔（RR 間隔に相当）を検出して、得られた RR 間隔のゆらぎを周波数解析し、自律神経指標である交感神経・副交感神経活動指標を算出している。最後に、サーバで解析処理された自律神経指標は、クライアント端末のスマートフォンにて可視化している。

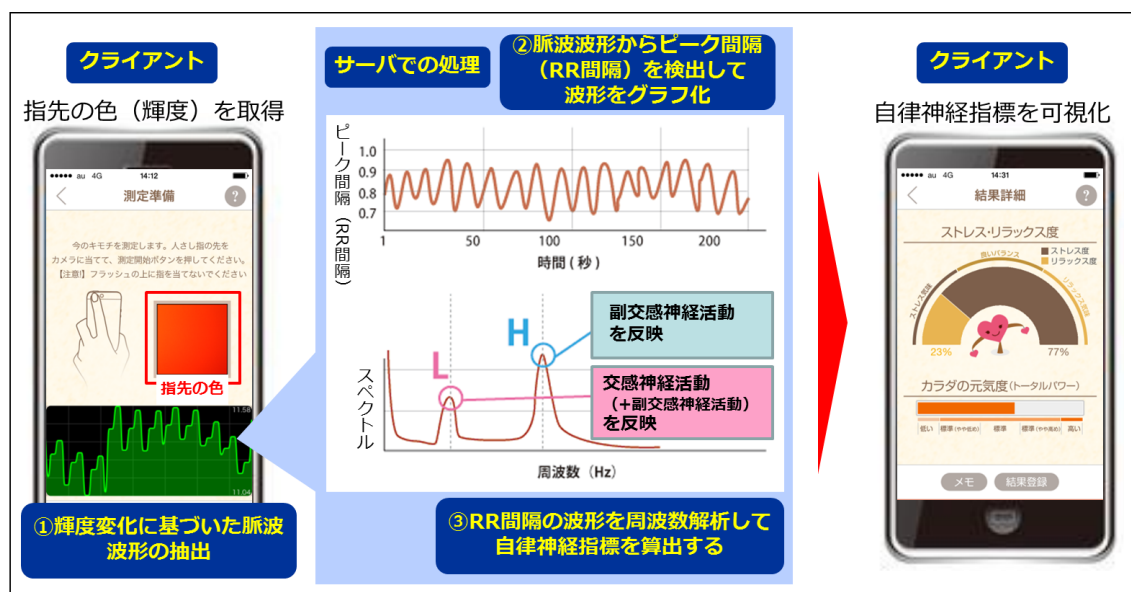


図2-1 システムの概要

2.3 解析処理

本システムの解析処理の流れを以下に示す。本システムの一連の解析アルゴリズムは以下の通りである。

(a) 輝度データの取得アルゴリズム

スマートフォンのカメラに指先を当て、カメラ画像の各ピクセルの RGB 値を取得し、RGB 値から輝度に変換する式1より [30], 各ピクセルの輝度値を取得する (図2-2 参照)。

$$Y(x, y) = 0.299 \times R(x, y) + 0.587 \times G(x, y) + 0.114 \times B(x, y) \dots (\text{式1})$$

ここで、

$R(x, y)$: 横 x 番目, 縦 y 番目の R (赤色成分) の値

$G(x, y)$: 横 x 番目, 縦 y 番目の G (緑色成分) の値

$B(x, y)$: 横 x 番目, 縦 y 番目の B (青色成分) の値

$Y(x, y)$: 横 x 番目, 縦 y 番目の Y (輝度) の値

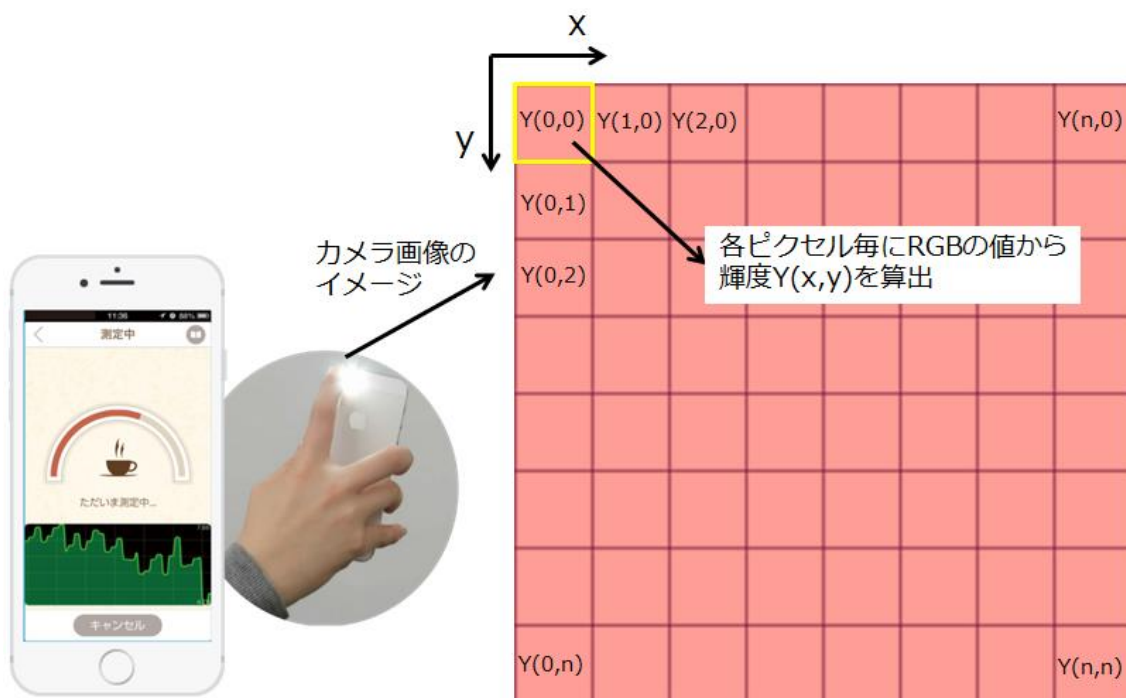


図2-2 輝度データ取得方法

次に、取得された各ピクセルの輝度値 $Y(x, y)$ を全ピクセルで平均化することで、輝度の代表値 Y を算出する (式 2 を参照)。

$$Y = \frac{\sum_{y=0}^n \sum_{x=0}^n Y(x, y)}{x * y} \dots \text{(式 2)}$$

また、最後に式 2 で得られた輝度値 Y を対数変換することで、輝度値のばらつきを抑える処理をおこなっている (式 3)。

$$Y = \ln(Y) \dots \text{(式 3)}$$

ここで、輝度値のサンプリング間隔は、約 0.05 秒で、離散値化の幅 (ビット数) は、8 ビットである。また、輝度データの数値範囲は、0~255 である。外光の影響などがバックグラウンドノイズに相当するため、室内の照明の発光強度を一定にし、また、カメラの全面を指で覆うように乗せてもらい、指がカメラからずれていると、システム上で警告メッセージが表示されるようにしている。このようにすることで、バックグラウンドノイズの影響を最大限に軽減化している。

(b) 輝度データのノイズ除去及びピーク検出アルゴリズム

前項の (a) で取得された輝度値 Y は、高周波成分のノイズの影響が大きい為、波形のデータスムージングで用いられる Savitzky-Golay 法 [31] を適用し、データを平滑化している。Savitzky-Golay 法は、観測値から雑音を除去するために最小 2 乗法を用いて多項式 (2 次または 3 次式) に当てはめて、データを平滑化する手法である。図 2-3 に処理のイメージを表記する。

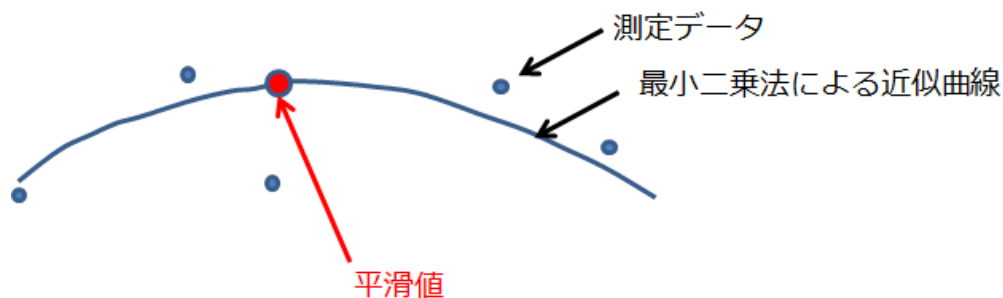


図2-3 Savitzky-Golay 法の処理イメージ

また, Savitzky-Golay 法は一般的に以下の式 1 で表現される[31].

$$Y_j = \sum_{i=-\frac{m-1}{2}}^{\frac{m-1}{2}} C_i y_{j+i}, \quad \frac{m+1}{2} \leq j \leq n - \frac{m-1}{2} \dots \text{(式 1)}$$

ここで,

Y_j : ポイント j でのフィルタされた値

Y_{j+i} はポイント $(j+i)$ でのフィルタされていない値

m : データ数

$\frac{m-1}{2}$: 左右のスムージングされるデータポイント数

C_i : 平滑化重み係数

Savitzky-Golay 法はそれぞれのデータポイントのスムージングされた値を決定するために局所多項式回帰を実行する. この手法は特にピークがほんの数点でサンプルされる場合に使用され, 最大値が二つのピークの間に入り込んでいるような場合でもピークの位置と高さを推定することができる利点がある[31]. 例えば, 5 点のスムージングの場合には式 1 を用いて, 以下のように算出できる.

$$Y_j = \frac{1}{35} (-3y_{j-2} + 12y_{j-1} + 17y_j + 12y_{j+1} - 3y_{j+2}) \dots \text{(式 2)}$$

ここで,

$C_{-2} = -3/35, C_{-1} = 12/35, C_0 = 17/35, C_1 = 12/35, C_2 = -3/35$ となる.

また, 式 1 を簡易に適用するための Savitzky-Golay 法の係数表が用意されており, Savitzky-Golay 法で使用する各係数は, 論文[31]の値を用いて解析をしている.

本研究でのスムージングされるデータポイント数であるウィンドウ幅 ($m-1$) は, 想定される RR 間隔の範囲が 0 秒~2 秒として, その範囲内でウィンドウ幅を 0.01 秒ずつ変化させ, 次に述べるピーク検出をして得られた RR 間隔の標準偏差 (式 3) が最も小さくなるようなウィンドウ幅を設定している. また次数は 3 次としている.

$$V = \frac{(RR_1 - RR_m)^2 + (RR_2 - RR_m)^2 + (RR_3 - RR_m)^2 + \dots + (RR_T - RR_m)^2}{T}$$

$$\sigma = \sqrt{V} \dots \text{(式 3)}$$

ここで,

RR_t : t 番目の RR 間隔の値

RR_m : RR 間隔の平均値

T: RR 間隔の個数

V: RR 間隔の分散

σ : RR 間隔の標準偏差

上述の Savitzky-Golay 法で平滑化された Y_j をプロットした輝度波形を $f(t)$ とし, 1 階微分値が 0 であり 2 階微分値が負となる地点をピークと推定して, RR 間隔 (RR_t) を取得している (図 2-4).

$$f'(t) = 0 \dots \text{(式 4)}$$

$$f''(t) \leq 0 \dots \text{(式 5)}$$

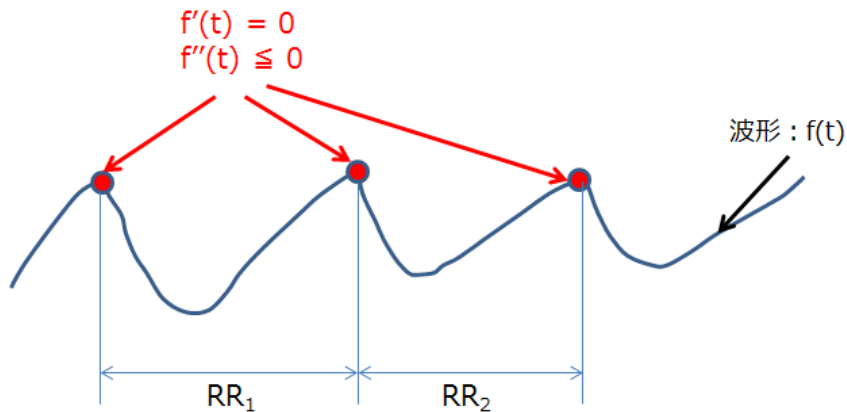


図2-4 ピーク検出アルゴリズムの処理イメージ

(c) RR 間隔の異常値除去アルゴリズム

前項の (b) で取得された RR 間隔には異常値が含まれている可能性があるため, 以下の異常値除去アルゴリズムにより, RR 間隔の異常値を取り除いている。

【STEP1】

式 1 の条件を満たす心拍数 HR の X 拍分の移動平均で $meanHR(X)$ を算出する。

$$|HR(n) - HR(n-1)| \leq Y \dots \text{(式 1)}$$

ここで,

HR(n) : n 番目の心拍数

meanHR (X) : 心拍数 HR の X 拍分の移動平均値

【STEP2】

$$| \text{meanHR} (X) - \text{HR}(n) | \geq Z \cdots (\text{式 2})$$

式 2 の条件の範囲を超える心拍数 (対応する RR 間隔) をエラー値として除去する.
本研究では, $X = 8$, $Y = 15$, $Z = 30$ として計算している.

上記のパラメータは, 著者らの既往の研究で使用している値に則っている [23], [24], [32]. また, 異常値と判定された場合, 異常値の除外区間を詰めて計算している. 本システムでは, 実測のうち RR 間隔の欠損値が 20%未満の測定データを分析に使用している.

(d) RR 間隔のノイズ除去アルゴリズム

前項の (c) で得られた RR 間隔に対して, 高周波成分のノイズを除去するために, 移動平均法による平滑化処理を施す (式 1). RR 間隔波形は不等間隔の離散値データである為, 等間隔で 0.01 秒毎にリサンプリングしている. 移動平均の個数は, RR 間隔波形の標準偏差 (式 2) が最小になるような移動平均の個数 n を設定している.

$$RR_t = \frac{RR_t + RR_{t-1} + \cdots + RR_{t-n}}{n} \cdots (\text{式 1})$$

ここで,

RR_t : t 番目の RR 間隔の値

n : 直近 n 個のデータ数

$$V = \frac{(RR_1 - RR_m)^2 + (RR_2 - RR_m)^2 + (RR_3 - RR_m)^2 + \cdots + (RR_T - RR_m)^2}{T}$$

$$\sigma = \sqrt{V} \cdots (\text{式 2})$$

ここで,

RR_t : t 番目の RR 間隔の値

RR_m : RR 間隔の平均値

T : RR 間隔の個数

V : RR 間隔の分散

σ : RR 間隔の標準偏差

(e) 自律神経算出アルゴリズム

前項の(d)で得られた RR 間隔波形に対して自律神経指標を算出している。自律神経指標の算出手法は、国際標準手法である論文[6]の手順に則った。以下に算出方法の詳細を示す。心拍波形の RR 間隔（心拍間隔）は、毎拍、微妙にズレており、これは自律神経活動による「ゆらぎ」のためである。「ゆらぎ」が大きいほど副交感神経機能が優位でリラックスしている状態を示す。図 2-5 のように、毎拍毎に RR 間隔を測定する。

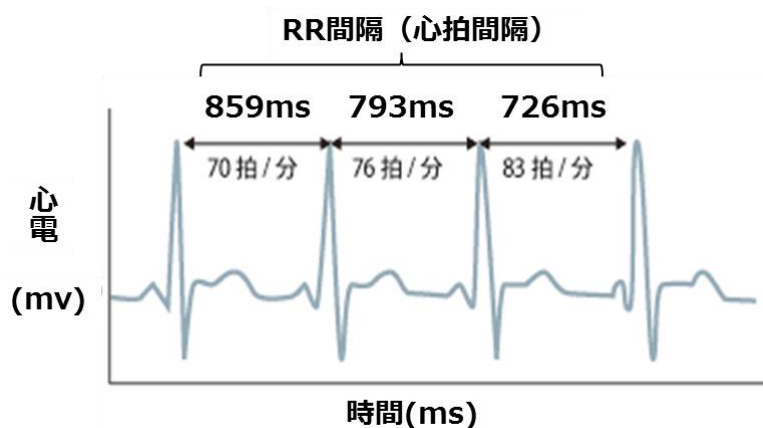


図2-5 RR 間隔の測定

次に、図 2-6 に示すように、横軸に時間、縦軸に RR 間隔をプロットして RR 間隔波形を生成する。図 2-6 の RR 間隔波形の振幅の大きさが自律神経活動のパワーと比例し、RR 間隔波形がどのような周波数帯の波で構成されているかを、次の周波数解析手法で分離させることで、交感神経及び副交感神経機能の状態を把握することが可能となる。

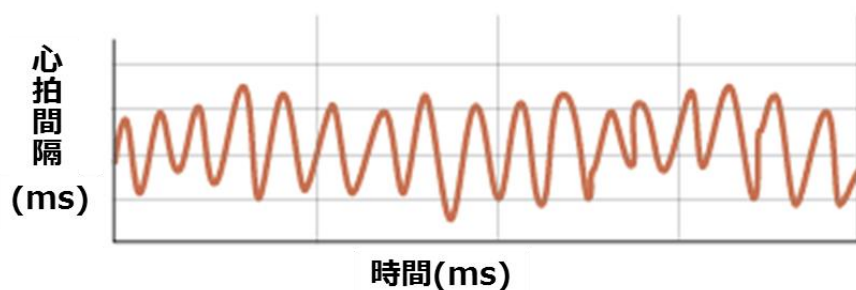


図2-6 RR 間隔波形の生成

最後に、図 2-7 に示すように高速フーリエ変換 (FFT) や MEM 法などの周波数解析手法を用い[7], RR 間隔波形のスペクトル密度関数を生成する. 横軸は周波数 (Hz), 縦軸はスペクトル密度 (ms^2) となる. 本研究で用いた周波数解析手法とその精度に関しては次節で述べる.

一般的, 生体には心拍の揺らぎがあり, この変動をスペクトル解析すると, 一定の周波数のところにピークがみられる. 人の場合には, 呼吸周期の変動を表す高周波成分 ($0.15\text{Hz} \sim 0.40\text{Hz}$: HF [ms^2]) と血圧変動を反映する低周波成分 ($0.05\text{Hz} \sim 0.15\text{Hz}$: LF [ms^2]) が現れ, この両者は自律神経活動反映する. HF は副交感神経支配を受けており, LF は交感神経と副交感神経の双方の支配を受けていると言われている. LF と HF の和は自律神経のトータルパワー (TP [ms^2]) と呼ばれ, 自律神経機能の活動量を示していると言われている[6]. この指標は疲労と相関があると言われており, 値が小さいほど疲労が溜まっていることを示す[28]. また LF/HF は自律神経のバランスと呼ばれ, 交感神経機能をより純粋に反映されていると言われている. つまり, 値が大きいほど交感神経機能が亢進しており, 緊張, 興奮やストレス状態であることを示す[6].

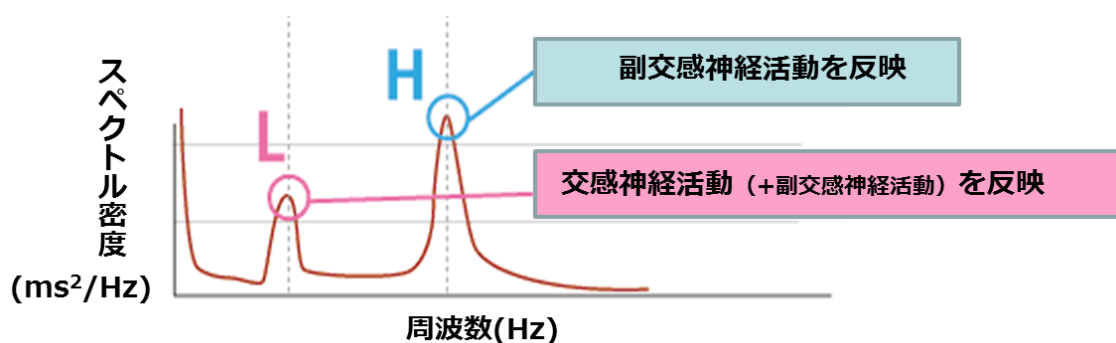


図2-7 RR 間隔波形のスペクトル密度関数の生成

2.4 精度考察

(a) RR 間隔波形の精度

スマートフォンのカメラを用いて測定した RR 間隔波形の精度を検証するため、専用の指尖脈波センサ（WIN フロンティア株式会社製）を使用したシステム[4]と同時測定をおこない、精度比較を実施した。

使用したセンサは、医療機器用のパルスオキシメータを PC 機器に接続できるように改良した指尖脈波センサ[4]である。（販売名：Lifescore Quick プローブ，型式：LQ-11，総販売元：WIN フロンティア株式会社）

本センサは、東京大学医学部附属病院のホルター心電計との精度比較をしており、遜色のない精度を実現しているものである。被験者は、21 歳～60 歳の男女 5 名に 5 回ずつ、室内の照明光の強度が一定の元、安静に座った状態で片方の手の人差し指には専用の指尖脈波センサを装着し、もう片方の手の人差し指にスマートフォンのカメラを、加重をかけずに乗せるようにし、同時測定をおこなった。

使用したスマートフォンの機種は、800 万画素以上のカメラを保持した、iPhone（iPhone5, 6）[33]及び Android 端末（Xperia[34], Galaxy[35], AQUOS[36]）である。

また、照明光は、スマートフォン端末のフラッシュ（LED 照明）であり、発光強度は 30 - 60 lm，発光スペクトル（波長）は 470nm と 575nm にピークがある。図 2-8 にスマートフォンのカメラを使用して測定した、前述のノイズフィルタリングを施していないときの RR 間隔波形の測定サンプルを示す。

また、図 2-9 に、同時に測定した指尖脈波センサを使用して測定した RR 間隔波形の測定サンプルを示す。このように、フィルタリング処理を施していない場合は、スマートフォンのカメラで測定した波形でノイズの影響が大きく、高周波成分が大きく含まれている傾向がみられる。

図 2-10 には、前項で述べたノイズフィルタリング処理を施した波形の測定サンプルを示しており、高周波数のノイズが除去され、指尖脈波センサで測定した波形の形状と傾向が近くなることが分かる。

図 2-11 には、スマートフォンのカメラの RR 間隔波形と指尖脈波センサで測定された RR 間隔波形の相関図を示している（測定サンプル例）。

その結果、スマートフォンのカメラの RR 間隔と専用の指尖脈波センサの RR 間隔の絶対値の差は平均で 0.05 秒未満に収まっており、相関係数は 0.91 であった。また、有意差検定を実施したところ有意な正の相関 ($p < 0.05$) が認められた（サンプルデータ数：54）。

上記の結果は、その他全ての被験者に関しても同様な傾向がみられた。

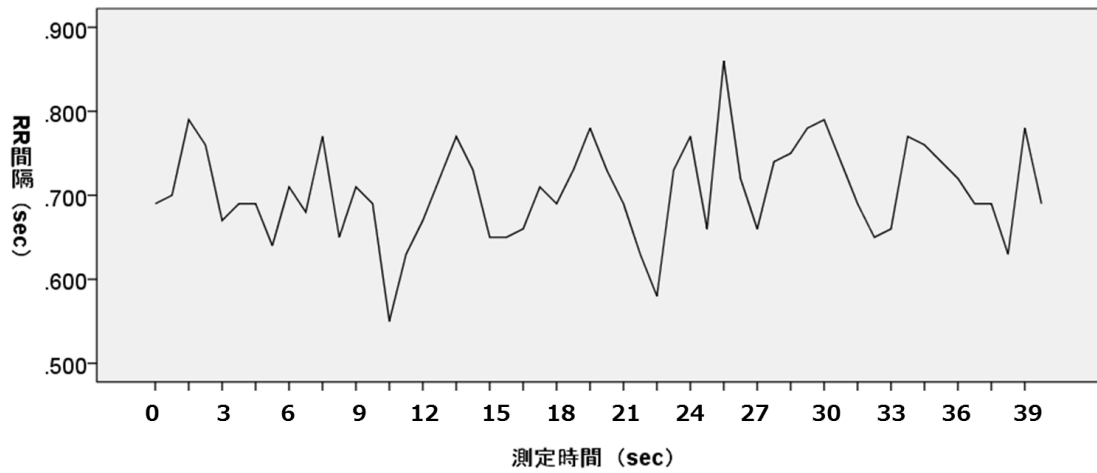


図2-8 スマートフォンのカメラで測定した RR 間隔波形 (フィルタリング処理前)

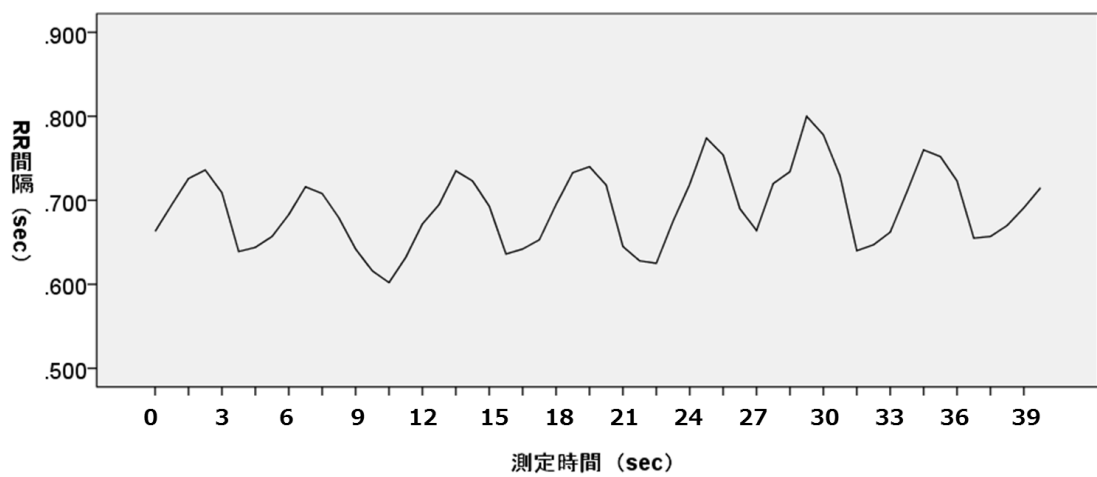


図2-9 指尖脈波センサで測定した RR 間隔波形

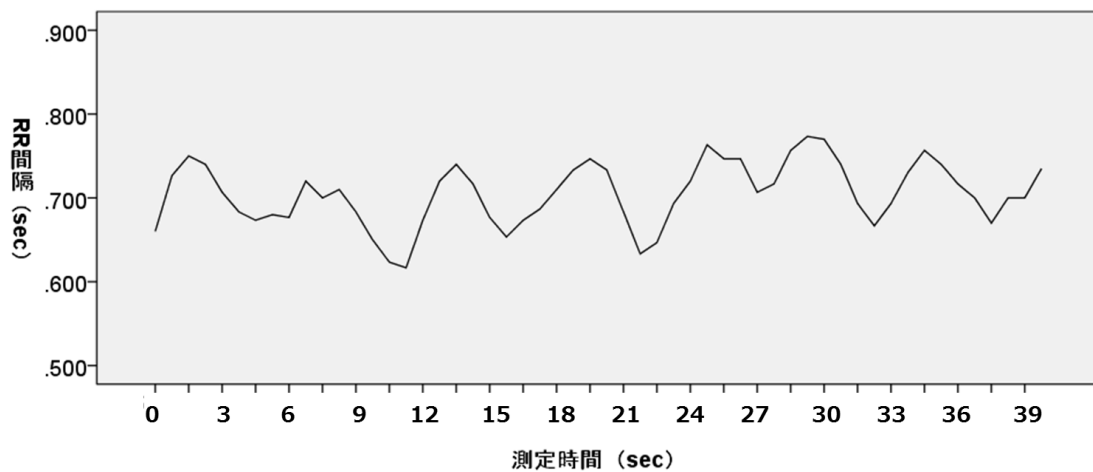


図2-10 スマートフォンのカメラで測定した RR 間隔波形（フィルタリング処理後）

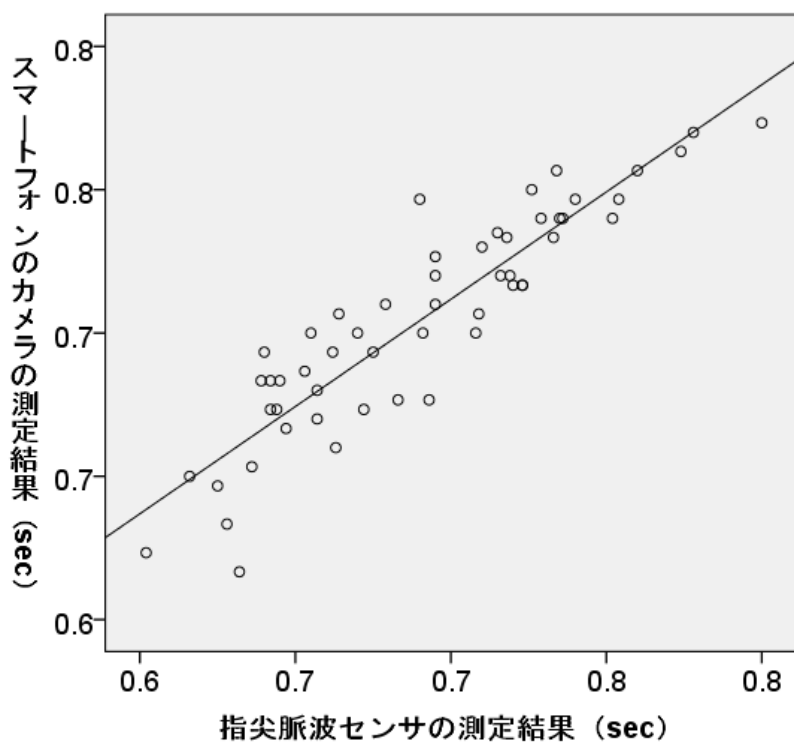


図2-11 スマートフォンのカメラと指先脈波センサでの RR 間隔波形の比較（相関図）

(b) 周波数解析手法と精度

自律神経指標は RR 間隔波形を周波数解析し、得られたパワースペクトルの 0.04Hz ~0.15Hz の低周波数成分(LF)の面積値を交感神経指標, 0.15Hz~0.4Hz の高周波成分(HF)の面積値を副交感神経指標として定義して算出する[6]. 周波数解析手法は, 主に2つの手法が存在する.

- FFT (高速フーリエ変換)
- MEM (最大エントロピー法)

FFT は, 波形を正弦波の組み合わせとして仮定し, 時系列データに窓関数を適用することで, 有限長のデータを無限長に拡張して計算をおこなう手法である. データが短いと, スペクトルが悪化して精度が落ちる欠点があるが, 計算処理は高速な利点がある[7].

一方 MEM は, 波形を自己回帰モデルとして仮定するため, 時系列データに窓関数の処理が不必要で, 元のデータをそのまま使える. また, 計算にやや時間はかかるが, 短いデータ長からでも精度の高いスペクトルを算出することができる利点がある[7].

本研究では, 両手法での測定時間と精度を検証し, 最も短い時間で精度良く算出できる手法を選択した (次節参照).

(c) 測定時間と精度

一般的に, 自律神経解析では5分間程度の安静時の RR 間隔データを用いて算出するのが, 安定した結果を得るために推奨されている[6]. しかしながら, 5分間もの長い間安静に測定するのは非常に大変であり, 日常的に簡便に自分の自律神経状態を把握する目的では, 測定時間は短い方が利便性は高い.

そこで, 本提案に必要な測定時間の検討をおこなった. 同時測定実験では, 21歳~60歳の男女5名に5回ずつ, 室内の照明光の強度が一定の元, 安静に座った状態で片方の手の人差し指には専用の指尖脈波センサを装着して FFT5分間の解析処理をおこなう, もう片方の手の人差し指では, MEM30秒間の解析処理をおこなった.

また, 本研究での MEM 法の次数の設定には赤池の FPE (Final Prediction Error) に基づいた[37].

表 2-1 に, ①FFT5分間と MEM1分間, ②FFT5分間と MEM45秒間, ③FFT5分間と MEM30秒間での LF 成分, HF 成分の解析結果の相関係数を示す. また, ③FFT5分間と MEM30秒間の結果の LF 成分及び HF 成分の相関図を図 2-12, 図 2-13 に示す.

その結果, MEM を用いると FFT5分間の結果と比較して, 30秒程度まで測定時間を短

縮しても相関係数が高い値で維持する傾向がみられた。また、有意差検定を実施したところ①～③のすべてのケースにおいて、有意な正の相関 ($p < 0.05$) が認められた。

自律神経解析では、RR 間隔波形を周波数解析し、得られたパワースペクトルの 0.04Hz～0.15Hz の低周波数成分 (LF) の面積値を交感神経指標、0.15Hz～0.4Hz の高周波成分 (HF) の面積値を副交感神経指標として算出する [6]。

そのため、低周波成分の 0.04Hz の周波数帯を検出するには、最低でも 25 秒以上の測定時間が必要であるため、バッファを考慮すると 30 秒程度が妥当な最短測定時間であると考えられる。

図 2-14 に、FFT5 分間と MEM30 秒間での RR 間隔波形を周波数解析したスペクトルのサンプルを示しているが、低周波数成分でも概ね傾向が一致しており、30 秒程度の短時間測定が可能であると考えられる。

表2-1 FFT と MEM の解析結果

No.	比較内容	LF成分	HF成分
①	FFT5分間とMEM1分間	0.9870	0.9882
②	FFT5分間とMEM45秒間	0.9639	0.9019
③	FFT5分間とMEM30秒間	0.9573	0.8722

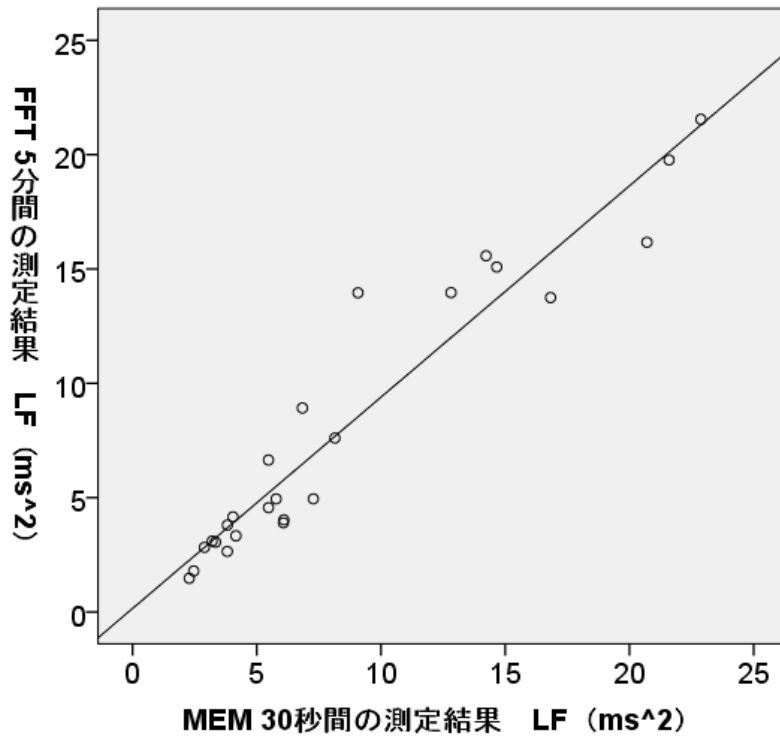


図2-12 FFT5分とMEM30秒でのLFの比較（相関図）

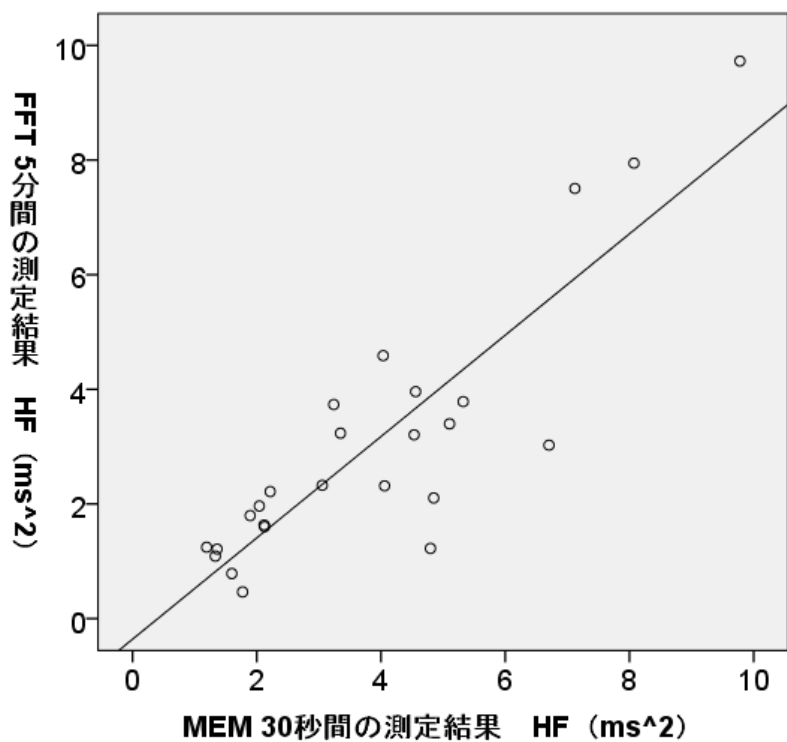


図2-13 FFT5分とMEM30秒でのHFの比較（相関図）

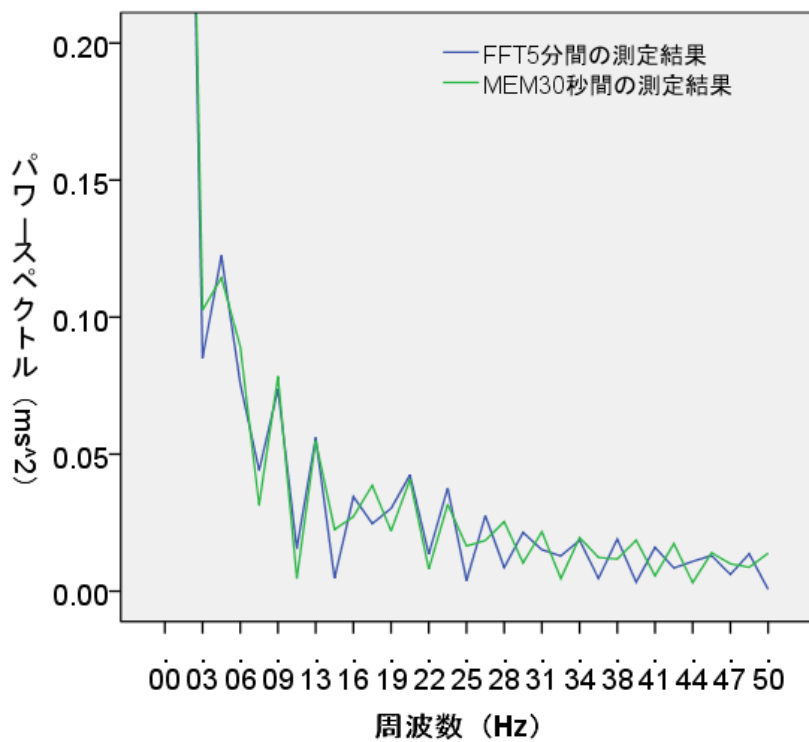


図2-14 FFT5分とMEM30秒でのスペクトルの比較

(d) 解析値の精度

最後に、本研究で開発したスマートフォンのカメラを用いた心拍変動解析システムの精度を検証するため、専用の指尖脈波センサ（WIN フロンティア株式会社製）を使用したシステム[4]と同時測定をおこない、精度比較を実施した。

使用したセンサは、医療機器用のパルスオキシメータを PC 機器に接続できるように改良した指尖脈波センサ[4]である（販売名：Lifescore Quick プローブ、型式：LQ-11、総販売元：WIN フロンティア株式会社）。

指尖脈波センサ及びスマホカメラでの測定時間は 38 秒とし（周波数解析手法に MEM を使用）、21 歳～60 歳の男女 11 名の被験者を対象に、のべ 261 データを測定した。被験者は室内の照明光の強度が一定の元、安静に座った状態で、片方の手の人差し指には専用の指尖脈波センサを装着し、もう片方の手の人差し指にスマートフォンのカメラを、加重をかけずに乗せるようにし、同時測定をおこなった。

指尖脈波センサとスマートフォンカメラで同時測定を実施したときの、自律神経バランス（交感神経と副交感神経の割合）の相関図を図 2-15 に示す。相関係数は 0.8 であり、有意差検定を実施したところ有意な正の相関 ($p < 0.05$) が認められた。

また、交感神経と副交感神経の総和である自律神経の活動量の相関図を図 2-16 に示す。相関係数は 0.89 であり、有意差検定を実施したところ有意な正の相関 ($p < 0.05$) が認められた。

最後に、心拍数の相関図を図 2-17 に示す。相関係数は 0.99 であり、有意差検定を実施したところ有意な正の相関 ($p < 0.05$) が認められた。

本システムで測定された自律神経データに基づく加齢や BMI（肥満度指数）との関係や、自律神経の日内変動は、専用のセンサを用いて実験された先行研究との結果と同様な傾向を示していることが明らかになり[38]、[39]、本研究の目的である、日常的に自分の自律神経状態の傾向を簡便に把握する上では、遜色のない精度であると考えられる。

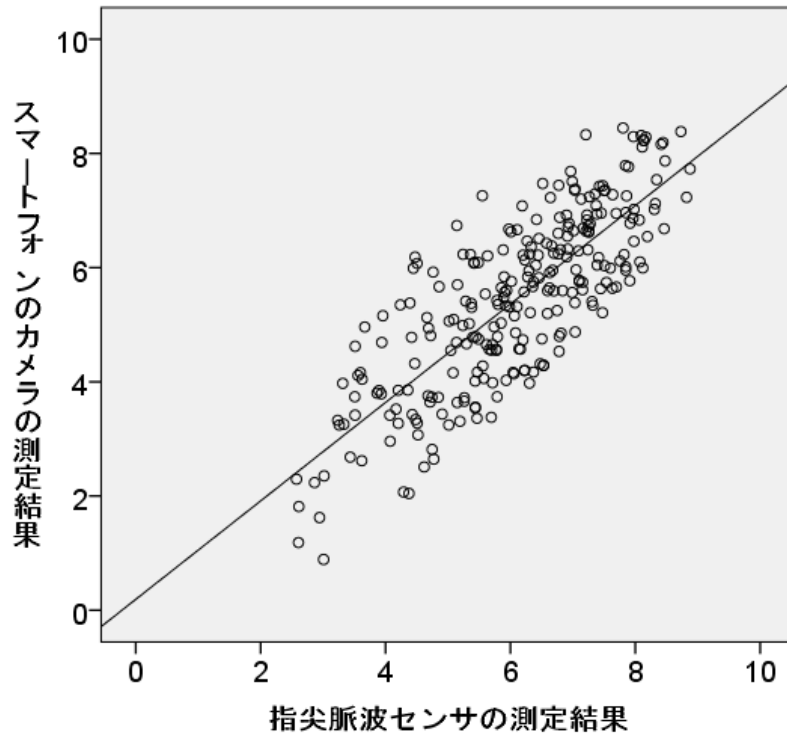


図2-15 自律神経バランスの相関図

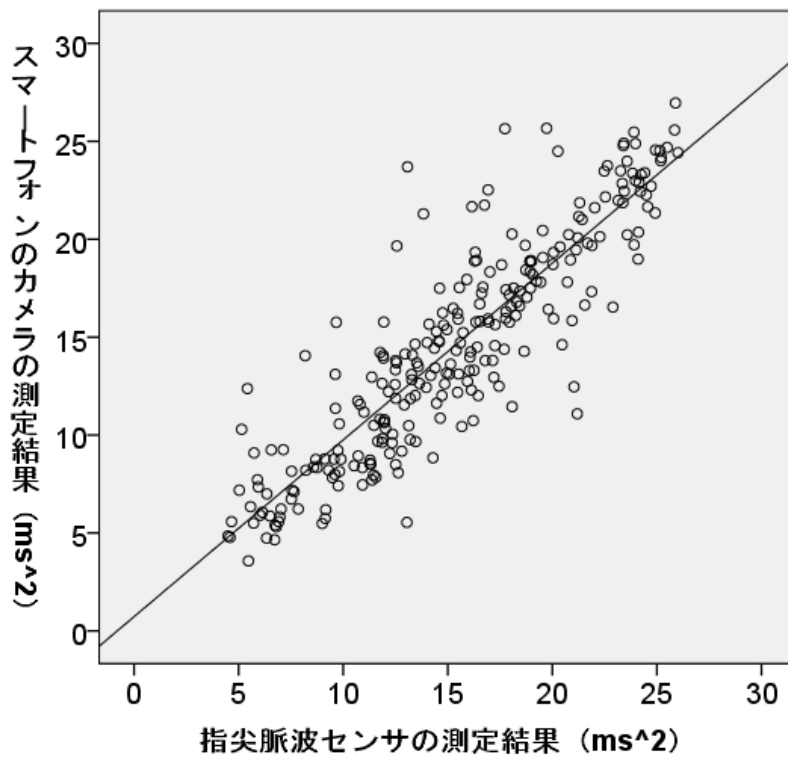


図2-16 自律神経の活動量（トータルパワー）の相関図

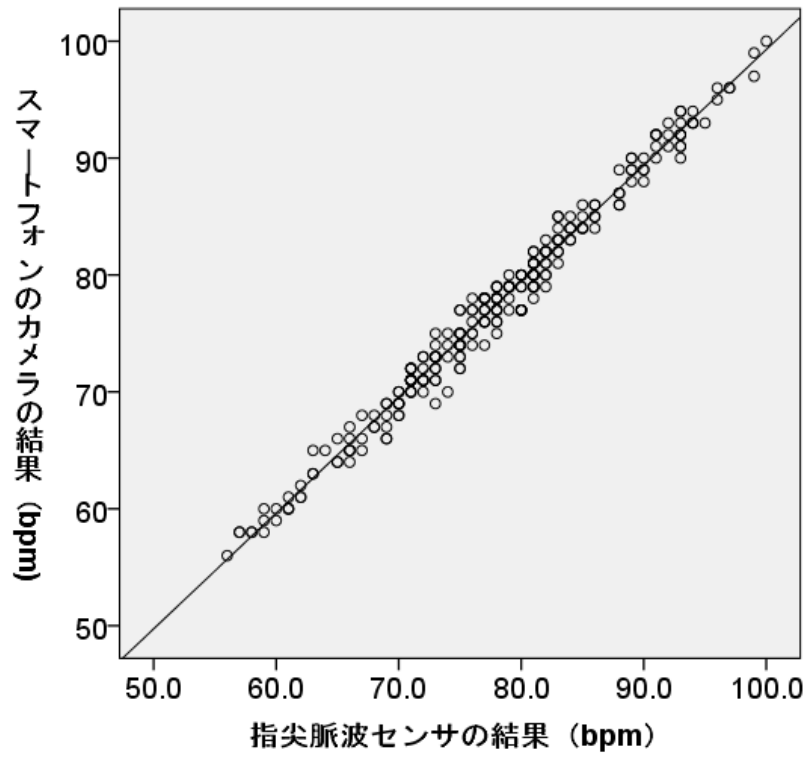


図2-17 心拍数の相関図

2.5 システムの各機能の紹介

本項では、開発した自律神経測定システムの各機能の紹介をする。本システムは、Apple Inc. の iPhone アプリ [9] 及び、Google Inc. の Android アプリ [10] として、実用的に約 100 万人以上（2016 年 6 月現在）のユーザーにダウンロードされ、日々利用されている [11]。

(a) キモチをはかる

➤ キモチの測定

システムのトップ画面から「キモチをはかる」ボタンをクリックすると、直前の行動を選択する画面に遷移する。ここでは 8 種類の行動（仕事、家事、移動、食事・飲み会、余暇、運動、睡眠、その他）の中から 1 つを選択してもらう。

次に、指先をカメラのレンズに約 30 秒強当てて、皮膚の色の変化から心拍のゆらぎ（心拍間隔）を測定する（図 2-18 を参照）。



図2-18 キモチの測定

➤ 測定結果

指先の皮膚の色変化から測定された心拍間隔を心拍変動解析し、自律神経の状態を可視化している。図 2-19 の測定結果では、自律神経の状態から 8 タイプのキモチ（ストレス・リラックスの傾向、お疲れ具合）をルーレットで分かりやすく表示している。

本 8 タイプは、二次元気分尺度（Two Dimensional Mood Scale：TDMS）[40]をベースに選別した。この尺度は、エネルギー覚醒と緊張覚醒という 2 つの因子を定義し、皮膚電気伝導度や心拍数といった生理指標と対比可能な評価方法が提案された。この理論に基づき、活気があり気分が乗っている状態（高覚醒・快気分）、緊張しいらいらした状態（高覚醒・不快気分）、リラックスしのんびりとした状態（低覚醒・快気分）、だるく退屈または気が重い状態（低覚醒・不快気分）の 4 つの状態を二次元に展開し、気分の状態をマッピングしている（図 2-20 を参照）。

本システムでは、TDMS をベースに以下の 8 タイプのキモチを定義した。



図2-19 測定結果

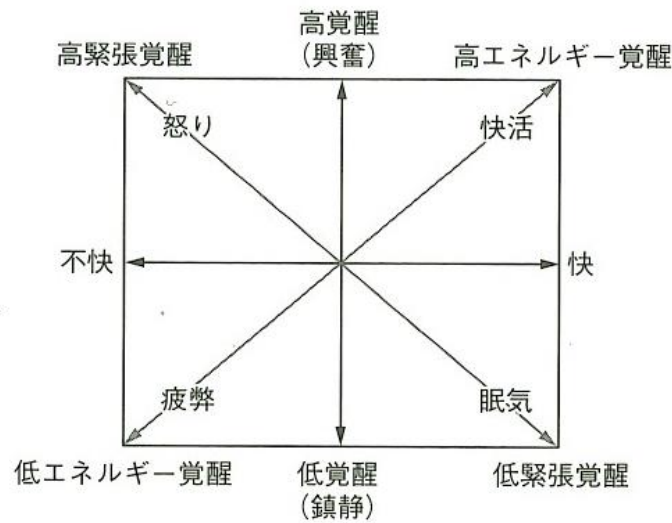


図2-20 二次元気分尺度における気分状態のマッピング

【8 タイプのキモチ】

- ① **ストレス**・・・LF/HF の値が高い状態.
- ② **ややストレス**・・・LF/HF の値がやや高い状態.
- ③ **理想**・・・LF/HF の値がバランスの良い状態.
- ④ **やや理想**・・・LF/HF の値がバランスのやや良い状態.
- ⑤ **のんびり**・・・LF/HF の値が低い状態.
- ⑥ **ややのんびり**・・・LF/HF の値がやや低い状態.
- ⑦ **ぐったり**・・・トータルパワー (LF+HF) が低い状態.
- ⑧ **ややぐったり**・・・トータルパワーがやや低い状態.

8 タイプのキモチの閾値の算出方法は、先行研究で筆者らが専用の心拍センサで測定した、大量の日本人の 24 時間の自律神経データに基づき [23], [24], [32], 自律神経バランス (LF/HF) の分布を作り、その標準偏差以内であれば「理想」、標準偏差以上に副交感神経が優位であれば「リラックス」、交感神経優位であれば「ストレス」と定義している (図 2-21 を参照)。また、同様にトータルパワーについても分布を作り、その標準偏差以内であれば「年齢相応 (標準)」, それを超えたら「年齢の割に高い」、それを下回る場合は「年齢の割に低い」と定義している (図 2-22 を参照)。

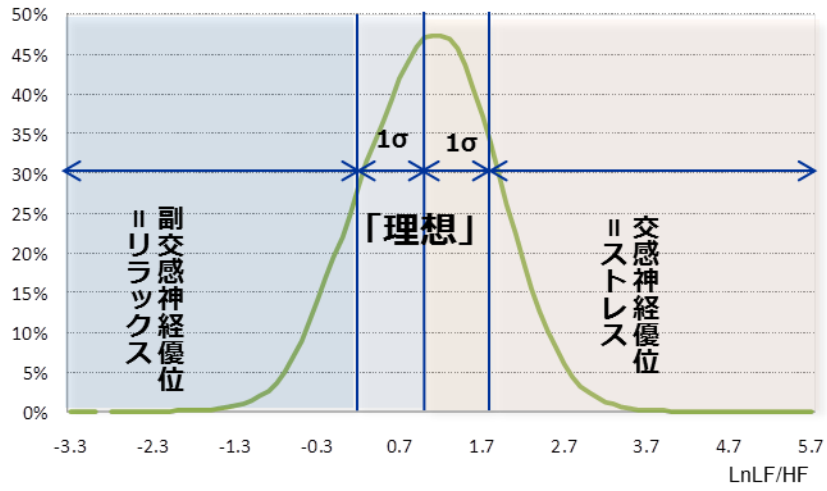


図2-21 自律神経のバランスの分布

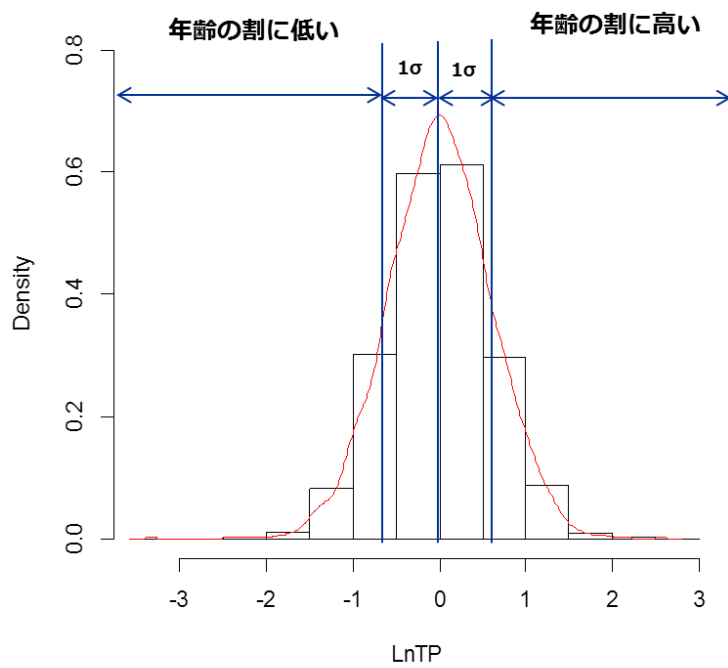


図2-22 トータルパワーの分布

➤ 詳細結果

ここでは、自律神経指標の詳細結果を示している。「ストレス・リラックス度」は、LF と HF の割合 (LF/(LF+HF)) を示し、「カラダの元気度 (トータルパワー)」は、LF と HF の和を図 2-22 のトータルパワーの分布に照らし合わせ、年齢を加味した数値を表示している (図 2-23 を参照)。

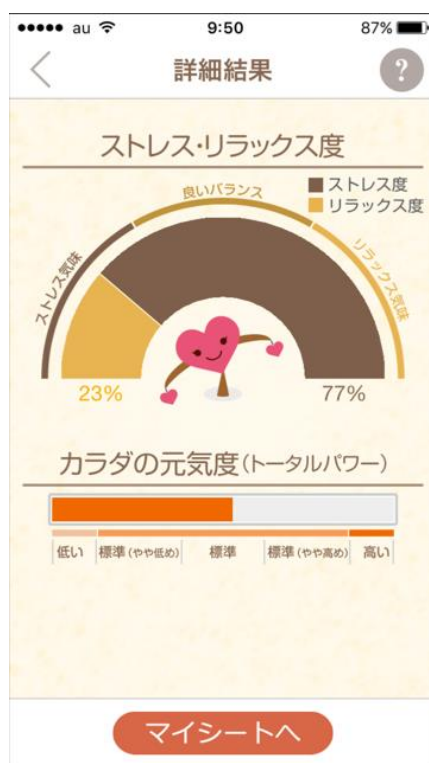


図2-23 詳細結果

➤ マイシート

測定結果に応じて、利用者に様々なリラクゼーションコンテンツを提供している（図2-24を参照）。現在（2016年6月時点）は、以下のようなコンテンツを Recommend している。今後、コンテンツを拡張していく予定である。

- キモチに合ったアドバイス
- キモチに合った音楽
- キモチに合った電子書籍
- キモチに合った癒しサロン等のクーポン



図2-24 マイシート

(b) カフェノート

カフェノートではカレンダーの履歴から、1週間ごと、ひと月ごと及び曜日ごとの傾向が一目で把握できる。また、毎日測定した結果の詳細も一覽で確認することができ、メモで記録を残すこともできる（図2-25を参照）。

その為、例えば自分は水曜日が「ぐったり」で疲労気味で、月曜日はストレスが高いなどの曜日傾向を把握することができ、日々の健康管理に役立ててもらえることができる。



図2-25 カフェノート

(c) カフェスペース

カフェスペースでは、家族や友達など親しい方を登録すると、「カフェスペース」でキモチをシェアすることができる。例えば、ストレスやぐったりしている方に、励ましのメッセージを送り合ったり、癒しの音楽を Recommend することができる（図 2-26 を参照）。

このように自分のキモチをシェアし相互に励ましあうことで、ストレス軽減につながるのではないかと考えている。



図2-26 カフェスペース

2.6 まとめ

本研究では、一般に市販されているスマートフォンを用い、指先に端末のカメラを約30秒強という短時間当てることで、血流の輝度変化から脈波波形のピーク間隔を検出して心拍変動解析を実施し、自律神経の傾向を日常的に簡便に測定できるシステムを開発した。ノイズを除去する独自のフィルタリング手法を適用することで解析精度が向上し、専用の指尖脈波センサを用いたシステムと比較したところ、自律神経指標に関しては約8割の相関があることが示せた。

また、本システムは現在100万人以上（2016年6月）の方にダウンロードされ、日々の健康管理のチェックツールとして実用的に利用されている。

第3章 自律神経機能と身体的要因，行動，時間および場所 との関係

3.1 はじめに

3.2 分析方法

3.3 自律神経機能と年齢との関係

3.4 自律神経機能とBMI との関係

3.5 自律神経機能と行動との関係

3.6 自律神経機能と日内変動との関係

3.7 自律神経機能と曜日変動との関係

3.8 自律神経機能と地域との関係

3.9 まとめ

3.1 はじめに

第2章では、一般に市販されているスマートフォンのカメラを用いて、指先に端末のカメラを約30秒強という短時間乗せることで、血流の輝度変化から脈波波形のピーク間隔を検出し、心拍変動解析から自律神経の状態を簡便に測定できるシステムを開発した。

本章では、スマートフォンのカメラを用いた自律神経測定システムを用いて、数十万件にも及ぶ大量の自律神経データに基づき、日常生活における自律神経機能と身体的要因、行動、時間及び場所との関係について、以下の項目に関して検討した。

- 自律神経機能と年齢との関係
- 自律神経機能とBMIとの関係
- 自律神経機能と行動との関係
- 自律神経機能と日内変動との関係
- 自律神経機能と曜日変動との関係
- 自律神経機能と地域との関係

3.2 分析方法

本研究では、スマートフォンのカメラを用いた心拍変動解析システム[8]を利用した。当システムでは、スマートフォンのカメラ部分に指先を当て、皮膚の輝度を連続的に取得することで、輝度の変化から脈波波形を推定し、その脈波波形から検出されたピーク間隔（RR 間隔に相当）のゆらぎを周波数解析し、自律神経指標を算出している。

また、周波数解析手法は論文[6]の手順に則り、0.04Hz～0.15Hz を低周波数成分(LF)、0.15Hz～0.4Hz を高周波成分(HF)として算出している。

LF/HF の値は交感神経機能の指標として用いられ、緊張、興奮、ストレスを表す指標として用いられている[6]。

また、LF と HF の総和はトータルパワー（TP）と呼ばれ、自律神経の活動量を表す指標とされている[6]。このトータルパワーは疲労と相関しているといわれ、値が小さいほど疲労が蓄積されている状態を示すとされている[28]。

本論文では、2015年4月～2015年9月の間で測定された27,307名（男性：6,394名、女性：20,913）による自律神経データに基づき分析をおこなった。また、実測のうちRR間隔の欠損値が20%未満の測定データを分析に使用している。測定データの利用に関しては、WINフロンティア株式会社の倫理規定に基づき測定者の同意を得ている。表3-1に、測定者の年代と性別を示す。

本研究の統計処理は、IBM SPSS Statics Version22 を使用した。また、検定の有意水準は5%とした。

表3-1 測定者の年代と性別

年代	男性	女性	合計
10代	1,058	9,448	10,506
20代	1,433	7,621	9,054
30代	1,342	1,856	3,198
40代	1,406	1,404	2,810
50代	884	528	1,412
60代以上	271	56	327
合計	6,394	20,913	27,307

3.3 自律神経機能と年齢との関係

本項では、日常生活における自律神経機能と年齢との関係を検証した。従来の研究では、専用の加速度脈波センサや小型心拍センサを使用し、加齢になるほど自律神経の活動量であるトータルパワーが低下するといった報告[22], [23], [24]はあるが、どれも被験者は多くて数百人規模で、数十万件にも及ぶ大量のデータに基づき自律神経機能と年齢との関係を分析した研究はないのが現状である。

(a) トータルパワーと年齢との関係

本項では、自律神経機能と年齢との関係を調査した。本分析で用いた測定データの内容を表 3-2 に示す。

表3-2 年齢、性別毎の測定データ数

年代	男性	女性	合計
10代	3,977	33,047	37,024
20代	5,795	30,449	36,244
30代	9,379	11,759	21,138
40代	9,459	12,194	21,653
50代	7,671	4,717	12,388
60代以上	1,749	452	2,201
合計	38,030	92,618	130,648

自律神経の活動指標であるトータルパワーを対数化すると、正規性が高まると言われているため[22]、各測定データのトータルパワーを対数変換 (LnTP) し、年齢との間で回帰分析をおこなった。図 3-1 にトータルパワーと年齢との散布図を示す。回帰分析をおこなった結果、トータルパワーと年齢との間に有意な負の相関 ($p < 0.01$) が認められた。

次に、10代から60代以上の6グループに分類し、グループ間の差を調べるために、Games-Howellの手法により多重比較をおこなった。その結果を図 3-2 及び表 3-3 に示す。

その結果、グループの年代が上昇するに伴い、トータルパワーが有意に低下していた。この傾向は、男女別でみても同様な傾向がみられた。

先行研究[22], [23], [24]では, 年齢が上がるほどトータルパワーが下がる傾向がみられており, 本研究でも同様な傾向が確認できた. このように, 加齢になるほど自律神経の活動量機能が低下することを示唆する結果となった.

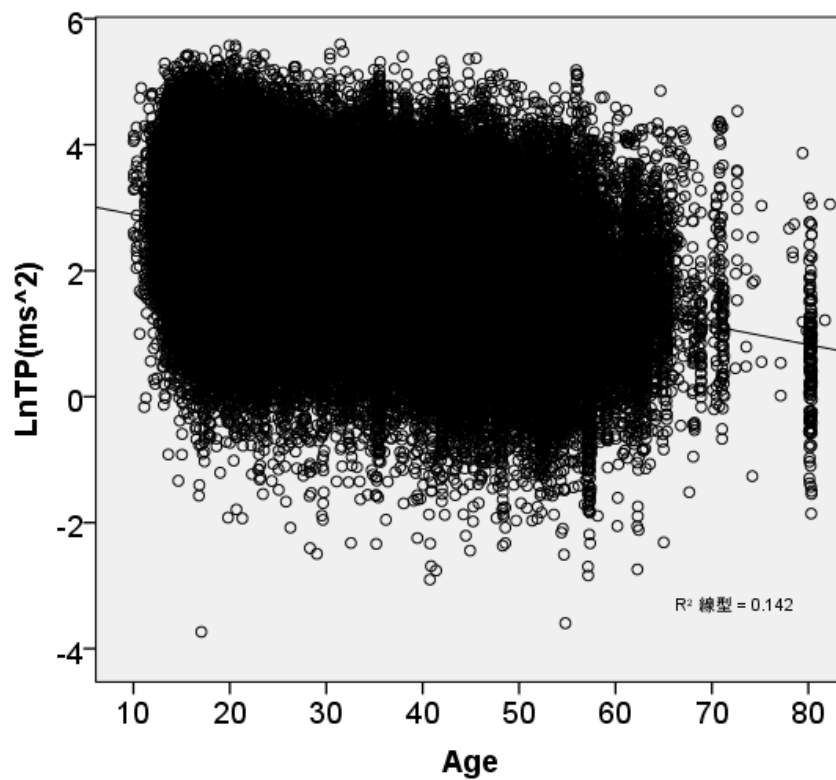


図3-1 LnTP と年齢との散布図

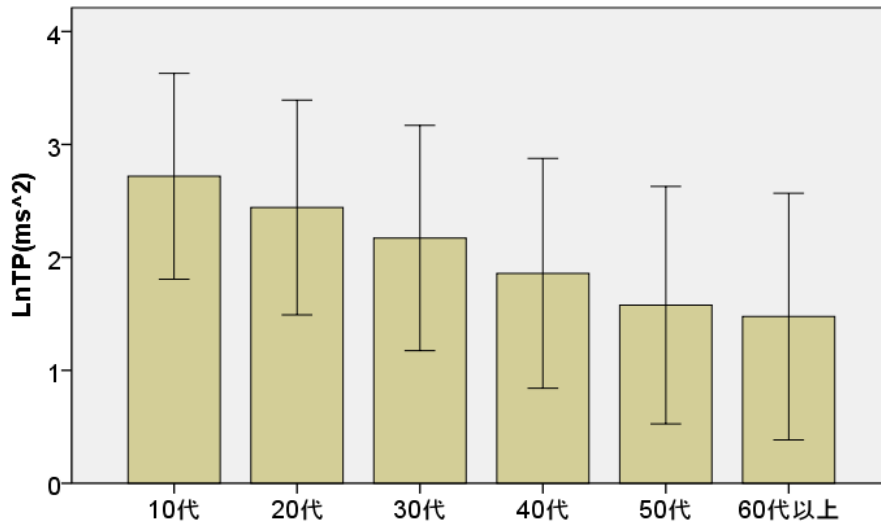


図3-2 LnTP と年代との関係

表3-3 多重比較の結果 (LnTP と年代)

多重比較

従属変数: LnTP

Games-Howell(A)

(I) NN	(J) NN	平均差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
					下限	上限
10代	20代	.2768 [*]	.0069	.000	.257	.296
	30代	.5466 [*]	.0083	.000	.523	.570
	40代	.8594 [*]	.0084	.000	.835	.883
	50代	1.1407 [*]	.0106	.000	1.111	1.171
	60代以上	1.2418 [*]	.0238	.000	1.174	1.310
20代	10代	-.2768 [*]	.0069	.000	-.296	-.257
	30代	.2698 [*]	.0085	.000	.246	.294
	40代	.5826 [*]	.0085	.000	.558	.607
	50代	.8639 [*]	.0107	.000	.833	.894
	60代以上	.9650 [*]	.0238	.000	.897	1.033
30代	10代	-.5466 [*]	.0083	.000	-.570	-.523
	20代	-.2698 [*]	.0085	.000	-.294	-.246
	40代	.3127 [*]	.0097	.000	.285	.340
	50代	.5940 [*]	.0117	.000	.561	.627
	60代以上	.6952 [*]	.0243	.000	.626	.764
40代	10代	-.8594 [*]	.0084	.000	-.883	-.835
	20代	-.5826 [*]	.0085	.000	-.607	-.558
	30代	-.3127 [*]	.0097	.000	-.340	-.285
	50代	.2813 [*]	.0117	.000	.248	.315
	60代以上	.3825 [*]	.0243	.000	.313	.452
50代	10代	-1.1407 [*]	.0106	.000	-1.171	-1.111
	20代	-.8639 [*]	.0107	.000	-.894	-.833
	30代	-.5940 [*]	.0117	.000	-.627	-.561
	40代	-.2813 [*]	.0117	.000	-.315	-.248
	60代以上	.1012 [*]	.0251	.001	.030	.173
60代以上	10代	-1.2418 [*]	.0238	.000	-1.310	-1.174
	20代	-.9650 [*]	.0238	.000	-1.033	-.897
	30代	-.6952 [*]	.0243	.000	-.764	-.626
	40代	-.3825 [*]	.0243	.000	-.452	-.313
	50代	-.1012 [*]	.0251	.001	-.173	-.030

*. 平均の差は 0.05 水準で有意です。

(b) LF/HF と年齢との関係

交感神経機能の指標である LF/HF を対数化すると、正規性が高まると言われているため[22]，各測定データの LF/HF を対数変換 (LnLF/HF) し，Games-Howell の手法により多重比較をおこなった。

その結果を図 3-3 及び表 3-4 に示す。その結果，30 代から 50 代にかけて交感神経機能が有意に高い傾向がみられた。先行研究で Zhang らは，LF/HF と加齢について調査をしており，その結果では 50 代をピークとした逆 U 字パターンを示している[41]が，本研究の結果も同様な逆 U 字パターンの傾向がみられた。男女別でみると，男性は 40 代，女性は 50 代で LF/HF の値がピークとなる傾向がみられた。

30 代から 50 代で交感神経機能が上昇するという原因については様々な要因があると思われるが，生理的な加齢変化のみならず，環境的な要因が大きく関与している可能性があると考えられる。

20 代までの若年層よりも，30 代から 50 代は結婚や出産，仕事などで社会的な責任が増し，環境の変化が大きい時期である。このような環境的な影響が自律神経機能に影響を与えている可能性も考えられる。

一方，60 代以上で交感神経機能が抑制されているのは，多くの方が仕事の定年を迎え，仕事上のストレス等が減少し，心のゆとりが保てる世代であることが起因している可能性も考えられる。

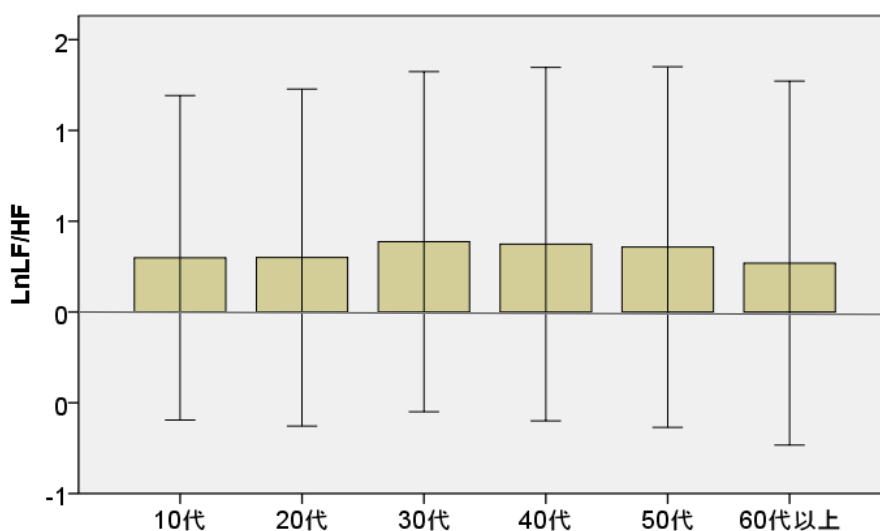


図3-3 LnLF/HF と年代との関係

表3-4 多重比較の結果 (LnLF/HF と年代)

多重比較

従属変数: LnLF.HF

Games-Howell(A)

(I) NN	(J) NN	平均差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
					下限	上限
10代	20代	-.0014	.0067	1.000	-.021	.018
	30代	-.0889 [*]	.0079	.000	-.112	-.066
	40代	-.0751 [*]	.0081	.000	-.098	-.052
	50代	-.0591 [*]	.0101	.000	-.088	-.030
	60代以上	.0293	.0219	.762	-.033	.092
20代	10代	.0014	.0067	1.000	-.018	.021
	30代	-.0876 [*]	.0081	.000	-.111	-.065
	40代	-.0738 [*]	.0082	.000	-.097	-.050
	50代	-.0577 [*]	.0102	.000	-.087	-.029
	60代以上	.0307	.0219	.727	-.032	.093
30代	10代	.0889 [*]	.0079	.000	.066	.112
	20代	.0876 [*]	.0081	.000	.065	.111
	40代	.0138	.0092	.668	-.013	.040
	50代	.0298	.0110	.073	-.002	.061
	60代以上	.1183 [*]	.0223	.000	.055	.182
40代	10代	.0751 [*]	.0081	.000	.052	.098
	20代	.0738 [*]	.0082	.000	.050	.097
	30代	-.0138	.0092	.668	-.040	.013
	50代	.0160	.0111	.701	-.016	.048
	60代以上	.1045 [*]	.0224	.000	.041	.168
50代	10代	.0591 [*]	.0101	.000	.030	.088
	20代	.0577 [*]	.0102	.000	.029	.087
	30代	-.0298	.0110	.073	-.061	.002
	40代	-.0160	.0111	.701	-.048	.016
	60代以上	.0884 [*]	.0232	.002	.022	.154
60代以上	10代	-.0293	.0219	.762	-.092	.033
	20代	-.0307	.0219	.727	-.093	.032
	30代	-.1183 [*]	.0223	.000	-.182	-.055
	40代	-.1045 [*]	.0224	.000	-.168	-.041
	50代	-.0884 [*]	.0232	.002	-.154	-.022

*. 平均の差は 0.05 水準で有意です。

3.4 自律神経機能と BMI との関係

本項では、日常生活における自律神経機能と BMI との関係を検証した。従来の研究では、大量のデータに基づき自律神経機能と BMI との関係を分析した報告はほとんどされていない。

(a) トータルパワーと BMI との関係

本項では、トータルパワーと BMI との関係を調査した。BMI とは身長²に対する体重の比で、人の肥満度を表す体格指数である。また、BMI から論文[42]の基準に則り、肥満度を算出している。BMI と肥満度との関係を表 3-5 に示す。

本分析で用いた測定者の肥満度及び、測定データの内容を表 3-6、表 3-7 に示す。次に、BMI から算出した肥満度を低体重から肥満(2度以上)の4グループに分類し、グループ間の差を調べるために、各測定データの TP を対数変換 (LnTP) し、Games-Howell の手法により多重比較をおこなった。その結果を図 3-4 及び表 3-8 に示す。その結果、BMI が上昇するに伴い、トータルパワーが有意に低下する傾向がみられた。この傾向は、男女別にみても同様な傾向がみられた。(ただし、女性のみ低体重と標準との間に有意差はなし。)

BMI とトータルパワーを検証した先行研究[25]では、更年期障害を患った女性のみを対象として、BMI が高いほどトータルパワーが下がる傾向がみられているが、本研究では一般の被験者でも同様な傾向が確認できた。このように、肥満の人ほど自律神経の活動量機能が低下することを示唆する結果となった。

表3-5 BMI と肥満度との関係

BMI	肥満度
18.5未満	低体重
18.5～25未満	標準
25～30未満	肥満 (1度)
30～35未満	肥満 (2度)
35～40未満	肥満 (3度)
40以上	肥満 (4度)

表3-6 測定者の肥満度

肥満度	男性	女性	合計
低体重	407	3,073	3,480
標準	4,662	16,249	20,911
肥満(1度)	1,049	1,232	2,281
肥満(2度以上)	276	359	635
合計	6,394	20,913	27,307

表3-7 肥満度別の測定データ数

肥満度	男性	女性	合計
低体重	1,741	13,010	14,751
標準	29,687	71,984	101,671
肥満(1度)	5,468	5,803	11,271
肥満(2度以上)	1,134	1,821	2,955
合計	38,030	92,618	130,648

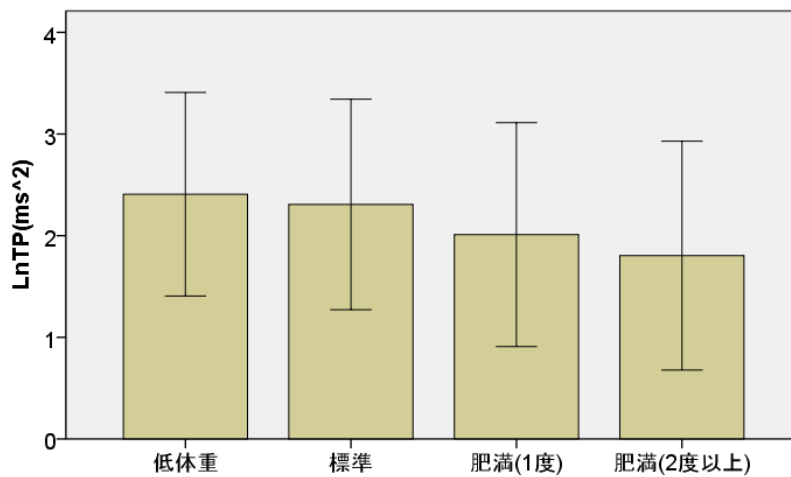


図3-4 LnTP と肥満度との関係

表3-8 多重比較の結果 (LnTP と肥満度)

多重比較

従属変数: LnTP

Games-Howell(A)

(I) HN	(J) HN	平均差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
					下限	上限
低体重	標準	.1010 [*]	.0089	.000	.078	.124
	肥満(1度)	.3977 [*]	.0133	.000	.364	.432
	肥満(2度以上)	.6039 [*]	.0223	.000	.547	.661
標準	低体重	-.1010 [*]	.0089	.000	-.124	-.078
	肥満(1度)	.2967 [*]	.0109	.000	.269	.325
	肥満(2度以上)	.5029 [*]	.0210	.000	.449	.557
肥満(1度)	低体重	-.3977 [*]	.0133	.000	-.432	-.364
	標準	-.2967 [*]	.0109	.000	-.325	-.269
	肥満(2度以上)	.2063 [*]	.0232	.000	.147	.266
肥満(2度以上)	低体重	-.6039 [*]	.0223	.000	-.661	-.547
	標準	-.5029 [*]	.0210	.000	-.557	-.449
	肥満(1度)	-.2063 [*]	.0232	.000	-.266	-.147

*. 平均の差は 0.05 水準で有意です。

(b) LF/HF と BMI との関係

本項では、交感神経機能の指標である LF/HF と BMI との関係を調査した。各測定データの LF/HF を対数変換 (LnLF/HF) し、Games-Howell の手法により多重比較をおこなった。その結果を図 3-5 及び表 3-9 に示す。その結果、低体重に比べて、肥満 (1 度)、肥満 (2 度以上) で、交感神経機能が有意に上昇する傾向がみられた。この傾向は、男女別でも同様な傾向がみられた。交感神経が活性化すると血圧が上昇し、肥満の人では交感神経が活性化しやすい傾向があるといわれており [43]、本研究でも同様な傾向があることを示唆する結果となった。

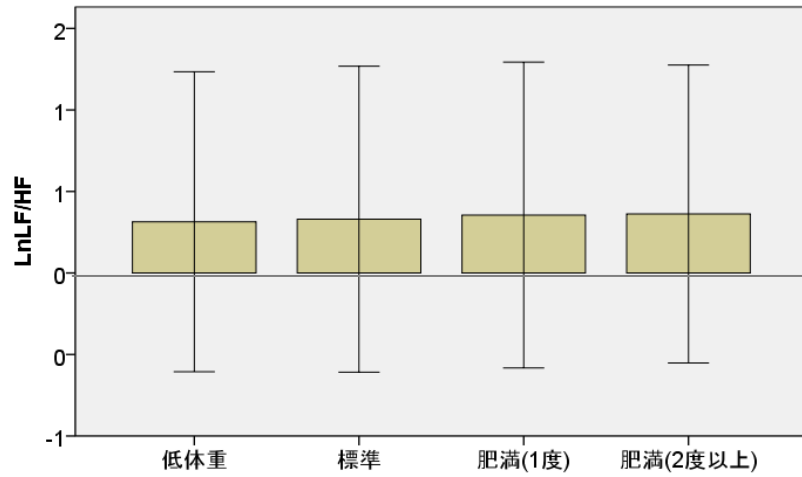


図3-5 LnLF/HF と肥満度との関係

表3-9 多重比較の結果 (LnLF/HF と肥満度)

多重比較

従属変数: LnLF.HF

Games-Howell(A)

(I) HN	(J) HN	平均差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
					下限	上限
低体重	標準	-.0160	.0081	.202	-.037	.005
	肥満(1度)	-.0414*	.0116	.002	-.071	-.011
	肥満(2度以上)	-.0479*	.0184	.046	-.095	-.001
標準	低体重	.0160	.0081	.202	-.005	.037
	肥満(1度)	-.0254*	.0093	.032	-.049	-.001
	肥満(2度以上)	-.0319	.0171	.240	-.076	.012
肥満(1度)	低体重	.0414*	.0116	.002	.011	.071
	標準	.0254*	.0093	.032	.001	.049
	肥満(2度以上)	-.0065	.0190	.986	-.055	.042
肥満(2度以上)	低体重	.0479*	.0184	.046	.001	.095
	標準	.0319	.0171	.240	-.012	.076
	肥満(1度)	.0065	.0190	.986	-.042	.055

*. 平均の差は 0.05 水準で有意です。

3.5 自律神経機能と行動との関係

本項では、日常生活における自律神経機能と行動との関係を検証した。従来の研究では、大量のデータに基づき日常生活における自律神経機能と行動との関係を分析した報告はほとんどされていない。

(a) トータルパワーと行動との関係

本項では、トータルパワーと行動との関係を調査した。本分析で用いた測定データの内容を表 3-10 に示す。自律神経の活動指標であるトータルパワーを対数化すると、正規性が高まると言われているため[22]、各測定データのトータルパワーを対数変換(LnTP)し、行動を8グループに分類し、グループ間の差を調べるために、Games-Howellの手法により多重比較をおこなった。その結果を図 3-6 及び表 3-11 に示す。その結果、起床後、余暇時でトータルパワーが有意に高い傾向がみられた。この傾向は、男女別でも同様な傾向がみられた。

先行研究では、自律神経機能の日内変動により、起床前や起床後で自律神経の活動量が高まる傾向がみられており[44]、本研究での傾向と一致している。また、余暇時はトータルパワーが高まる傾向がみられ、余暇が自律神経の活動機能を高めるのに効果的であることを示唆する結果となった。一方、家事ではトータルパワーが低い傾向がみられた。

表3-10 行動毎の測定データ数

行動	男性	女性	合計
仕事	5,356	13,043	18,399
家事	1,371	3,338	4,709
運動	837	2,039	2,876
移動	2,641	6,431	9,072
食事・飲み会	5,034	12,260	17,294
余暇	12,661	30,834	43,495
睡眠	4,587	11,171	15,759
その他	5,544	13,501	19,045
合計	38,030	92,618	130,648

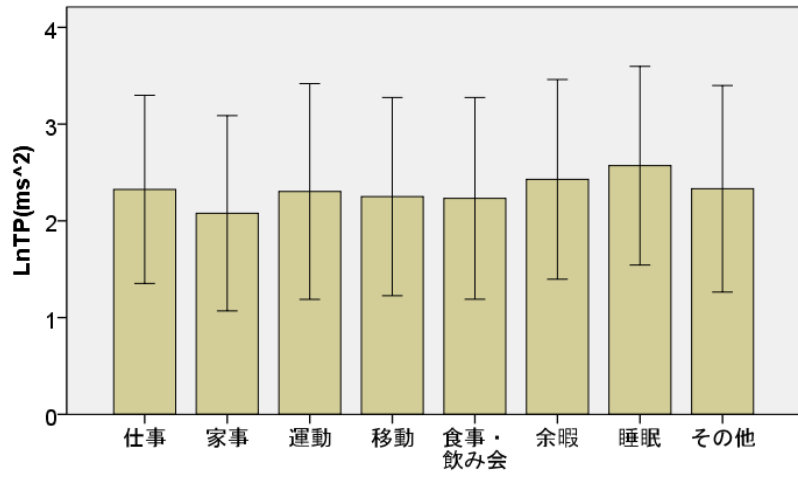


図3-6 LnTP と行動との関係

表3-11 多重比較の結果 (LnTP と行動)

多重比較

従属変数: LnTP
Games-Howell(A)

(I) AcN	(J) AcN	平均差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
					下限	上限
仕事	家事	.2470*	.0223	.000	.179	.315
	運動	.0218	.0301	.996	-.069	.113
	移動	.0747*	.0177	.001	.021	.128
	食事・飲み会	.0928*	.0146	.000	.049	.137
	余暇	-.1038*	.0119	.000	-.140	-.068
	睡眠	-.2452*	.0149	.000	-.290	-.200
	その他	-.0062	.0144	1.000	-.050	.037
家事	仕事	-.2470*	.0223	.000	-.315	-.179
	運動	-.2252*	.0348	.000	-.331	-.120
	移動	-.1723*	.0249	.000	-.248	-.097
	食事・飲み会	-.1542*	.0228	.000	-.223	-.085
	余暇	-.3507*	.0212	.000	-.415	-.286
	睡眠	-.4922*	.0230	.000	-.562	-.422
	その他	-.2532*	.0227	.000	-.322	-.184
運動	仕事	-.0218	.0301	.996	-.113	.069
	家事	.2252*	.0348	.000	.120	.331
	移動	.0529	.0320	.717	-.044	.150
	食事・飲み会	.0711	.0304	.274	-.021	.163
	余暇	-.1255*	.0292	.000	-.214	-.037
	睡眠	-.2669*	.0305	.000	-.360	-.174
	その他	-.0279	.0303	.984	-.120	.064
移動	仕事	-.0747*	.0177	.001	-.128	-.021
	家事	.1723*	.0249	.000	.097	.248
	運動	-.0529	.0320	.717	-.150	.044
	食事・飲み会	.0181	.0182	.975	-.037	.073
	余暇	-.1784*	.0162	.000	-.227	-.129
	睡眠	-.3199*	.0185	.000	-.376	-.264
	その他	-.0809*	.0181	.000	-.136	-.026
食事・飲み会	仕事	-.0928*	.0146	.000	-.137	-.049
	家事	.1542*	.0228	.000	.085	.223
	運動	-.0711	.0304	.274	-.163	.021
	移動	-.0181	.0182	.975	-.073	.037
	余暇	-.1966*	.0128	.000	-.235	-.158
	睡眠	-.3380*	.0156	.000	-.385	-.291
	その他	-.0990*	.0151	.000	-.145	-.053
余暇	仕事	.1038*	.0119	.000	.068	.140
	家事	.3507*	.0212	.000	.286	.415
	運動	.1255*	.0292	.000	.037	.214
	移動	.1784*	.0162	.000	.129	.227
	食事・飲み会	.1966*	.0128	.000	.158	.235
	睡眠	-.1414*	.0131	.000	-.181	-.102
	その他	.0976*	.0125	.000	.060	.136
睡眠	仕事	.2452*	.0149	.000	.200	.290
	家事	.4922*	.0230	.000	.422	.562
	運動	.2669*	.0305	.000	.174	.360
	移動	.3199*	.0185	.000	.264	.376
	食事・飲み会	.3380*	.0156	.000	.291	.385
	余暇	.1414*	.0131	.000	.102	.181
	その他	.2390*	.0154	.000	.192	.286
その他	仕事	.0062	.0144	1.000	-.037	.050
	家事	.2532*	.0227	.000	.184	.322
	運動	.0279	.0303	.984	-.064	.120
	移動	.0809*	.0181	.000	.026	.136
	食事・飲み会	.0990*	.0151	.000	.053	.145
	余暇	-.0976*	.0125	.000	-.136	-.060
	睡眠	-.2390*	.0154	.000	-.286	-.192

*. 平均の差は 0.05 水準で有意です。

(b) LF/HF と行動との関係

本項では、交感神経機能の指標である LF/HF と行動との関係を調査した。交感神経機能の指標である LF/HF を対数化すると、正規性が高まると言われているため[22]、各測定データの LF/HF を対数変換 (LnLF/HF) し、Games-Howell の手法により多重比較をおこなった。その結果を図 3-7 及び表 3-12 に示す。

その結果、起床後、仕事時で交感神経機能が有意に上昇する傾向がみられた。また、余暇時は交感神経機能が抑制される傾向がみられた。これらの傾向は、男女別でも同様な傾向がみられた。

先行研究では、起床前や起床後で交感神経機能が高くなる傾向がみられており[44]、本研究での傾向と一致している。

また、余暇時では交感神経機能が抑制されており、リラックスしている傾向がみられた。

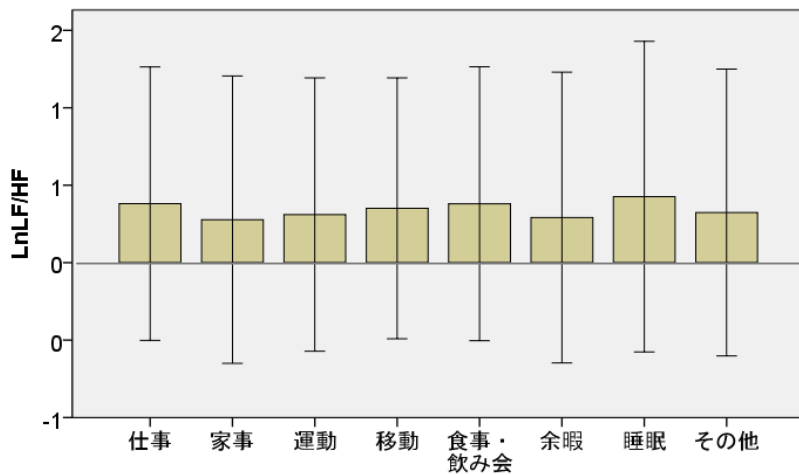


図3-7 LnLF/HF と行動との関係

表3-12 多重比較の結果 (LnLF/HF と行動)

多重比較

従属変数: LnLF.HF

Games-Howell(A)

(I) AcN	(J) AcN	平均差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
					下限	上限
仕事	家事	.1036*	.0205	.000	.041	.166
	運動	.0704	.0242	.071	-.003	.144
	移動	.0301	.0150	.479	-.015	.076
	食事・飲み会	.0007	.0128	1.000	-.038	.039
	余暇	.0895*	.0108	.000	.057	.122
	睡眠	-.0457*	.0141	.026	-.088	-.003
	その他	.0574*	.0128	.000	.019	.096
家事	仕事	-.1036*	.0205	.000	-.166	-.041
	運動	-.0332	.0291	.948	-.121	.055
	移動	-.0735*	.0221	.020	-.140	-.007
	食事・飲み会	-.1029*	.0206	.000	-.165	-.040
	余暇	-.0141	.0195	.996	-.073	.045
	睡眠	-.1493*	.0215	.000	-.214	-.084
	その他	-.0462	.0206	.328	-.109	.016
運動	仕事	-.0704	.0242	.071	-.144	.003
	家事	.0332	.0291	.948	-.055	.121
	移動	-.0404	.0255	.762	-.118	.037
	食事・飲み会	-.0697	.0243	.080	-.143	.004
	余暇	.0191	.0233	.992	-.052	.090
	睡眠	-.1161*	.0250	.000	-.192	-.040
	その他	-.0130	.0243	.999	-.087	.061
移動	仕事	-.0301	.0150	.479	-.076	.015
	家事	.0735*	.0221	.020	.007	.140
	運動	.0404	.0255	.762	-.037	.118
	食事・飲み会	-.0293	.0152	.528	-.075	.017
	余暇	.0594*	.0136	.000	.018	.101
	睡眠	-.0757*	.0163	.000	-.125	-.026
	その他	.0273	.0152	.619	-.019	.073
食事・飲み会	仕事	-.0007	.0128	1.000	-.039	.038
	家事	.1029*	.0206	.000	.040	.165
	運動	.0697	.0243	.080	-.004	.143
	移動	.0293	.0152	.528	-.017	.075
	余暇	.0887*	.0111	.000	.055	.122
	睡眠	-.0464*	.0143	.025	-.090	-.003
	その他	.0567*	.0130	.000	.017	.096
余暇	仕事	-.0895*	.0108	.000	-.122	-.057
	家事	.0141	.0195	.996	-.045	.073
	運動	-.0191	.0233	.992	-.090	.052
	移動	-.0594*	.0136	.000	-.101	-.018
	食事・飲み会	-.0887*	.0111	.000	-.122	-.055
	睡眠	-.1351*	.0125	.000	-.173	-.097
	その他	-.0321	.0110	.071	-.066	.001
睡眠	仕事	.0457*	.0141	.026	.003	.088
	家事	.1493*	.0215	.000	.084	.214
	運動	.1161*	.0250	.000	.040	.192
	移動	.0757*	.0163	.000	.026	.125
	食事・飲み会	.0464*	.0143	.025	.003	.090
	余暇	.1351*	.0125	.000	.097	.173
	その他	.1031*	.0143	.000	.060	.146
その他	仕事	-.0574*	.0128	.000	-.096	-.019
	家事	.0462	.0206	.328	-.016	.109
	運動	.0130	.0243	.999	-.061	.087
	移動	-.0273	.0152	.619	-.073	.019
	食事・飲み会	-.0567*	.0130	.000	-.096	-.017
	余暇	.0321	.0110	.071	-.001	.066
	睡眠	-.1031*	.0143	.000	-.146	-.060

*. 平均の差は 0.05 水準で有意です。

(a), (b)より, 余暇時は交感神経機能が抑制され, かつ, トータルパワーが高く自律神経機能の状態が良い傾向であることが判明した. 余暇を適度にとることは, 社会生活をする上で重要であると言われているが, 本研究の大量データによって, 統計的にもその有用性を示唆することが出来たのは価値あることである.

また, 仕事時は交感神経機能が高く緊張状態である傾向がみられる為, 企業側も社員のケア等を考慮する等, 健全な企業活動を推進する上での参考データになるのではないかと考えられる.

また, 家事は交感神経機能が抑制されているが, トータルパワーが低い傾向であった. 本結果より, 家事は仕事と比べて緊張状態であるわけではないが, 身体的には疲労が伴う行動であることが大量のデータから統計的に明らかになった.

その為, 社会的にも家事の大変さをより認識すると共に, 主婦(主夫)の地位向上を目指す一助となる, 参考データとなるのではないかと考えられる.

3.6 自律神経機能と日内変動との関係

本項では、日常生活における自律神経機能と日内変動との関係を検証した。従来の研究では、大量のデータに基づき日常生活における自律神経機能の日内変動を分析した報告はほとんどされていない。

(a) トータルパワーと日内変動との関係

本項では、自律神経機能と日内変動との関係を調査した。ここでは、1日を3時間毎に8区間に区切り分析をおこなった。本分析で用いた測定データの内容を表3-13に示す。

表3-13 時間帯毎の測定データ数

時間帯	男性	女性	合計
0時～3時	3,428	10,617	14,045
3時～6時	1,295	2,949	4,244
6時～9時	4,716	8,653	13,369
9時～12時	4,267	9,323	13,590
12時～15時	5,064	10,516	15,580
15時～18時	4,862	10,776	15,638
18時～21時	6,195	16,617	22,812
21時～24時	8,203	23,167	31,370
合計	38,030	92,618	130,648

自律神経の活動指標であるトータルパワーを対数化すると、正規性が高まると言われているため[22]、各測定データのトータルパワーを対数変換(LnTP)した。

次に、3時間毎に8グループに分類し、グループ間の差を調べるために、Games-Howellの手法により多重比較をおこなった。

その結果を図3-8及び表3-14に示す。その結果、早朝の3時～6時で、トータルパワーが有意に上昇する傾向がみられた。これらの傾向は、男女別でも同様な傾向がみられた。先行研究では、自律神経機能の日内変動により、明け方の起床前や起床後で自律神経のトータルパワーが高まる傾向がみられており[44]、本研究での結果と一致する傾向がみられた。

また、副腎疲労と相関があるといわれる唾液コルチゾールは、早朝に最高値となり、夜間に最低値となる日内変動を示すといわれているが[45]、疲労と相関しているといわ

れる自律神経のトータルパワー[28]の日内変動と、概ね一致する傾向がみられた。

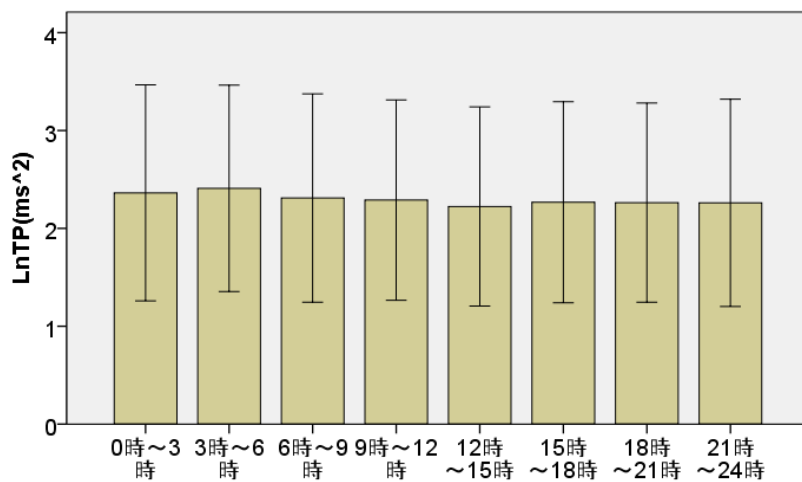


図3-8 LnTP と時間帯との関係

表3-14 多重比較の結果 (LnTP と時間帯)

多重比較

従属変数: LnTP
Games-Howell(A)

(I) JN	(J) JN	平均差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
					下限	上限
0時～3時	3時～6時	-.0456	.0187	.222	-.102	.011
	6時～9時	.0527 [*]	.0131	.001	.013	.092
	9時～12時	.0735 [*]	.0128	.000	.035	.112
	12時～15時	.1392 [*]	.0124	.000	.102	.177
	15時～18時	.0957 [*]	.0124	.000	.058	.133
	18時～21時	.1001 [*]	.0115	.000	.065	.135
	21時～24時	.1019 [*]	.0111	.000	.068	.135
3時～6時	0時～3時	.0456	.0187	.222	-.011	.102
	6時～9時	.0983 [*]	.0186	.000	.042	.155
	9時～12時	.1191 [*]	.0184	.000	.063	.175
	12時～15時	.1848 [*]	.0181	.000	.130	.240
	15時～18時	.1412 [*]	.0182	.000	.086	.196
	18時～21時	.1457 [*]	.0175	.000	.093	.199
	21時～24時	.1475 [*]	.0173	.000	.095	.200
6時～9時	0時～3時	-.0527 [*]	.0131	.001	-.092	-.013
	3時～6時	-.0983 [*]	.0186	.000	-.155	-.042
	9時～12時	.0208	.0127	.727	-.018	.059
	12時～15時	.0865 [*]	.0123	.000	.049	.124
	15時～18時	.0430 [*]	.0123	.012	.006	.080
	18時～21時	.0474 [*]	.0114	.001	.013	.082
	21時～24時	.0492 [*]	.0110	.000	.016	.083
9時～12時	0時～3時	-.0735 [*]	.0128	.000	-.112	-.035
	3時～6時	-.1191 [*]	.0184	.000	-.175	-.063
	6時～9時	-.0208	.0127	.727	-.059	.018
	12時～15時	.0657 [*]	.0120	.000	.029	.102
	15時～18時	.0221	.0120	.593	-.014	.059
	18時～21時	.0266	.0111	.240	-.007	.060
	21時～24時	.0284	.0106	.131	-.004	.061
12時～15時	0時～3時	-.1392 [*]	.0124	.000	-.177	-.102
	3時～6時	-.1848 [*]	.0181	.000	-.240	-.130
	6時～9時	-.0865 [*]	.0123	.000	-.124	-.049
	9時～12時	-.0657 [*]	.0120	.000	-.102	-.029
	15時～18時	-.0435 [*]	.0116	.004	-.079	-.008
	18時～21時	-.0391 [*]	.0106	.005	-.071	-.007
	21時～24時	-.0373 [*]	.0101	.006	-.068	-.007
15時～18時	0時～3時	-.0957 [*]	.0124	.000	-.133	-.058
	3時～6時	-.1412 [*]	.0182	.000	-.196	-.086
	6時～9時	-.0430 [*]	.0123	.012	-.080	-.006
	9時～12時	-.0221	.0120	.593	-.059	.014
	12時～15時	.0435 [*]	.0116	.004	.008	.079
	18時～21時	.0045	.0106	1.000	-.028	.037
	21時～24時	.0063	.0102	.999	-.025	.037
18時～21時	0時～3時	-.1001 [*]	.0115	.000	-.135	-.065
	3時～6時	-.1457 [*]	.0175	.000	-.199	-.093
	6時～9時	-.0474 [*]	.0114	.001	-.082	-.013
	9時～12時	-.0266	.0111	.240	-.060	.007
	12時～15時	.0391 [*]	.0106	.005	.007	.071
	15時～18時	-.0045	.0106	1.000	-.037	.028
	21時～24時	.0018	.0090	1.000	-.026	.029
21時～24時	0時～3時	-.1019 [*]	.0111	.000	-.135	-.068
	3時～6時	-.1475 [*]	.0173	.000	-.200	-.095
	6時～9時	-.0492 [*]	.0110	.000	-.083	-.016
	9時～12時	-.0284	.0106	.131	-.061	.004
	12時～15時	.0373 [*]	.0101	.006	.007	.068
	15時～18時	-.0063	.0102	.999	-.037	.025
	18時～21時	-.0018	.0090	1.000	-.029	.026

*. 平均の差は 0.05 水準で有意です。

(b) LF/HF と日内変動との関係

交感神経機能の指標である LF/HF を対数化すると、正規性が高まると言われているため[22]，各測定データの LF/HF を対数変換 (LnLF/HF) し，Games-Howell の手法により多重比較をおこなった．その結果を図 3-9 及び表 3-15 に示す．

その結果，早朝は交感神経機能が有意に上昇する傾向がみられ，夜になるほど交感神経機能が抑制される傾向がみられた．これらの傾向は，男女別でも同様な傾向がみられた．

先行研究では，自律神経機能の日内変動により，朝から昼間にかけては交感神経機能が高くなり，逆に夜にかけて感神経機能が抑制される傾向がみられており[44]，本研究での結果と一致する傾向がみられた．

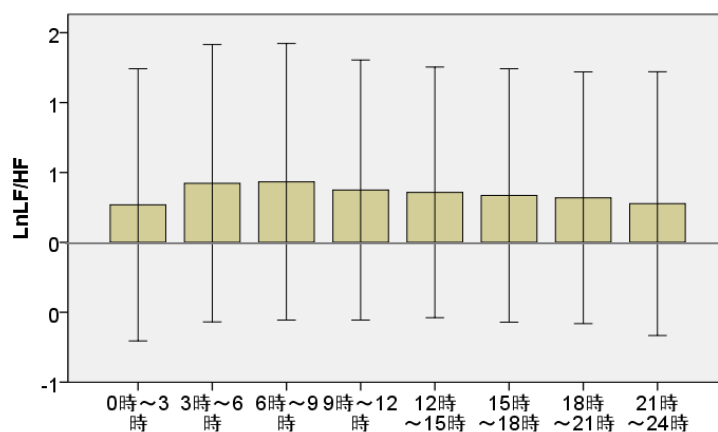


図3-9 LnLF/HF と時間帯との関係

表3-15 多重比較の結果 (LnLF/HF と時間帯)

多重比較

従属変数: LnLF.HF

Games-Howell(A)

(I) JN	(J) JN	平均差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
					下限	上限
0時～3時	3時～6時	-.1546 ^a	.0173	.000	-.207	-.102
	6時～9時	-.1649 ^a	.0119	.000	-.201	-.129
	9時～12時	-.1064 ^a	.0115	.000	-.141	-.072
	12時～15時	-.0893 ^a	.0109	.000	-.122	-.056
	15時～18時	-.0673 ^a	.0110	.000	-.101	-.034
	18時～21時	-.0506 ^a	.0102	.000	-.081	-.020
	21時～24時	-.0088	.0098	.987	-.038	.021
3時～6時	0時～3時	.1546 ^a	.0173	.000	.102	.207
	6時～9時	-.0104	.0175	.999	-.063	.043
	9時～12時	.0482	.0172	.094	-.004	.100
	12時～15時	.0653 ^a	.0168	.003	.014	.116
	15時～18時	.0873 ^a	.0169	.000	.036	.138
	18時～21時	.1040 ^a	.0164	.000	.054	.154
	21時～24時	.1458 ^a	.0161	.000	.097	.195
6時～9時	0時～3時	.1649 ^a	.0119	.000	.129	.201
	3時～6時	.0104	.0175	.999	-.043	.063
	9時～12時	.0586 ^a	.0117	.000	.023	.094
	12時～15時	.0757 ^a	.0112	.000	.042	.110
	15時～18時	.0976 ^a	.0112	.000	.064	.132
	18時～21時	.1144 ^a	.0104	.000	.083	.146
	21時～24時	.1562 ^a	.0101	.000	.126	.187
9時～12時	0時～3時	.1064 ^a	.0115	.000	.072	.141
	3時～6時	-.0482	.0172	.094	-.100	.004
	6時～9時	-.0586 ^a	.0117	.000	-.094	-.023
	12時～15時	.0171	.0107	.754	-.015	.050
	15時～18時	.0391 ^a	.0108	.007	.006	.072
	18時～21時	.0558 ^a	.0100	.000	.026	.086
	21時～24時	.0976 ^a	.0096	.000	.069	.127
12時～15時	0時～3時	.0893 ^a	.0109	.000	.056	.122
	3時～6時	-.0653 ^a	.0168	.003	-.116	-.014
	6時～9時	-.0757 ^a	.0112	.000	-.110	-.042
	9時～12時	-.0171	.0107	.754	-.050	.015
	15時～18時	.0220	.0102	.382	-.009	.053
	18時～21時	.0387 ^a	.0093	.001	.010	.067
	21時～24時	.0805 ^a	.0089	.000	.053	.108
15時～18時	0時～3時	.0673 ^a	.0110	.000	.034	.101
	3時～6時	-.0873 ^a	.0169	.000	-.138	-.036
	6時～9時	-.0976 ^a	.0112	.000	-.132	-.064
	9時～12時	-.0391 ^a	.0108	.007	-.072	-.006
	12時～15時	-.0220	.0102	.382	-.053	.009
	18時～21時	.0167	.0094	.632	-.012	.045
	21時～24時	.0585 ^a	.0090	.000	.031	.086
18時～21時	0時～3時	.0506 ^a	.0102	.000	.020	.081
	3時～6時	-.1040 ^a	.0164	.000	-.154	-.054
	6時～9時	-.1144 ^a	.0104	.000	-.146	-.083
	9時～12時	-.0558 ^a	.0100	.000	-.086	-.026
	12時～15時	-.0387 ^a	.0093	.001	-.067	-.010
	15時～18時	-.0167	.0094	.632	-.045	.012
	21時～24時	.0418 ^a	.0080	.000	.018	.066
21時～24時	0時～3時	.0088	.0098	.987	-.021	.038
	3時～6時	-.1458 ^a	.0161	.000	-.195	-.097
	6時～9時	-.1562 ^a	.0101	.000	-.187	-.126
	9時～12時	-.0976 ^a	.0096	.000	-.127	-.069
	12時～15時	-.0805 ^a	.0089	.000	-.108	-.053
	15時～18時	-.0585 ^a	.0090	.000	-.086	-.031
	18時～21時	-.0418 ^a	.0080	.000	-.066	-.018

*. 平均の差は 0.05 水準で有意です。

3.7 自律神経機能と曜日変動との関係

本項では、日常生活における自律神経機能と曜日との関係を検証した。従来の研究では、大量のデータに基づき日常生活における曜日毎での自律神経機能の傾向を分析した報告はほとんどされていない。

(a) トータルパワーと曜日変動との関係

本項では、トータルパワーと曜日との関係を調査した。本分析で用いた測定データの内容を表 3-16 に示す。

次に、曜日を 7 グループに分類し、グループ間の差を調べるために、各測定データの TP を対数変換 (LnTP) し、Games-Howell の手法により多重比較をおこなった。その結果を図 3-10 及び表 3-17 に示す。

その結果、週の半ばから後半の水曜日、木曜日、金曜日でトータルパワーが有意に低下する傾向がみられた。また、土曜日はトータルパワーが有意に上昇する傾向がみられた。これらの傾向は、男女別でも同様な傾向がみられた。

地域や事業所により若干のバラツキはあるかと思われるが、厚労省が発表している労働災害の曜日別発生状況によると[46]、月曜日から仕事が始まり、週末に向かう木曜日あたりに疲れがたまり、注意力の低下などが影響して労働災害が多い結果が報告されている。

また、多くの方は、週の半ばから後半にかけて疲労が蓄積される経験があるかと思われるが、本研究のトータルパワーが週の半ばから後半にかけて低下する結果と傾向が一致している。

表3-16 曜日毎の測定データ数

曜日	男性	女性	合計
月曜日	5,787	14,093	19,880
火曜日	5,340	13,006	18,346
水曜日	4,696	11,436	16,132
木曜日	4,812	11,719	16,531
金曜日	4,859	11,834	16,693
土曜日	6,570	16,000	22,569
日曜日	5,966	14,530	20,497
合計	38,030	92,618	130,648

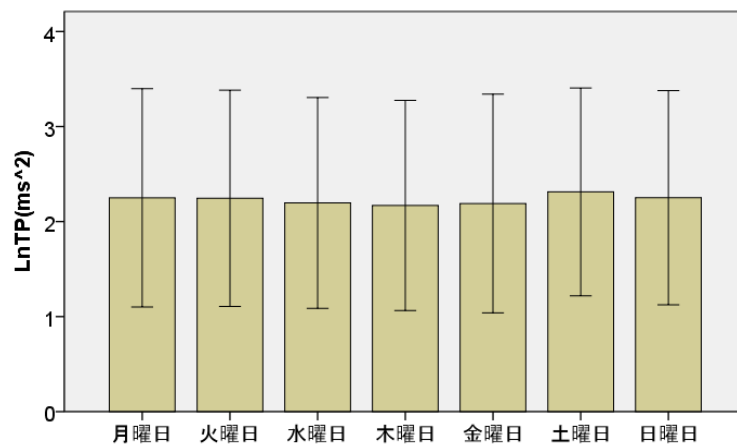


図3-10 LnTP と曜日との関係

表3-17 多重比較の結果 (LnTP と曜日)

多重比較

従属変数: LnTP

Games-Howell(A)

(I) WDN	(J) WDN	平均差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
					下限	上限
月曜日	火曜日	.0052	.0137	1.000	-.035	.046
	水曜日	.0539*	.0140	.002	.013	.095
	木曜日	.0804*	.0139	.000	.039	.121
	金曜日	.0600*	.0141	.000	.018	.102
	土曜日	-.0624*	.0128	.000	-.100	-.025
	日曜日	-.0014	.0133	1.000	-.040	.038
	火曜日	月曜日	-.0052	.0137	1.000	-.046
水曜日		.0487*	.0142	.011	.007	.091
木曜日		.0752*	.0141	.000	.034	.117
金曜日		.0548*	.0143	.003	.013	.097
土曜日		-.0676*	.0130	.000	-.106	-.029
日曜日		-.0066	.0135	.999	-.046	.033
水曜日		月曜日	-.0539*	.0140	.002	-.095
	火曜日	-.0487*	.0142	.011	-.091	-.007
	木曜日	.0265	.0143	.517	-.016	.069
	金曜日	.0061	.0146	1.000	-.037	.049
	土曜日	-.1163*	.0133	.000	-.156	-.077
	日曜日	-.0553*	.0138	.001	-.096	-.015
	木曜日	月曜日	-.0804*	.0139	.000	-.121
火曜日		-.0752*	.0141	.000	-.117	-.034
水曜日		-.0265	.0143	.517	-.069	.016
金曜日		-.0204	.0145	.799	-.063	.022
土曜日		-.1428*	.0132	.000	-.182	-.104
日曜日		-.0818*	.0136	.000	-.122	-.042
金曜日		月曜日	-.0600*	.0141	.000	-.102
	火曜日	-.0548*	.0143	.003	-.097	-.013
	水曜日	-.0061	.0146	1.000	-.049	.037
	木曜日	.0204	.0145	.799	-.022	.063
	土曜日	-.1224*	.0135	.000	-.162	-.083
	日曜日	-.0614*	.0139	.000	-.102	-.020
	土曜日	月曜日	.0624*	.0128	.000	.025
火曜日		.0676*	.0130	.000	.029	.106
水曜日		.1163*	.0133	.000	.077	.156
木曜日		.1428*	.0132	.000	.104	.182
金曜日		.1224*	.0135	.000	.083	.162
日曜日		.0610*	.0125	.000	.024	.098
日曜日		月曜日	.0014	.0133	1.000	-.038
	火曜日	.0066	.0135	.999	-.033	.046
	水曜日	.0553*	.0138	.001	.015	.096
	木曜日	.0818*	.0136	.000	.042	.122
	金曜日	.0614*	.0139	.000	.020	.102
	土曜日	-.0610*	.0125	.000	-.098	-.024

*. 平均の差は 0.05 水準で有意です。

(b) LF/HF と曜日変動との関係

本項では、交感神経機能の指標である LF/HF と曜日との関係を調査した。各測定データの LF/HF を対数変換 (LnLF/HF) し、Games-Howell の手法により多重比較をおこなった。その結果を図 3-11 及び表 3-18 に示す。その結果、土曜日に交感神経機能が有意に低下する傾向がみられた。これらの傾向は、男女別でも同様な傾向がみられた。前述では、土曜日にトータルパワーが高い傾向がみられ、土曜日は他の曜日に比べて、自律神経機能が非常に良い状態であるといえる。

これは、平日は多くの方が仕事や家事などで忙しいため、交感神経機能が上昇し、日曜日にも次の 1 週間に備え気持ちが緊張、高揚するため交感神経機能が高まるといった、1 週間の曜日サイクルが影響しているのかも知れないと考えられる。

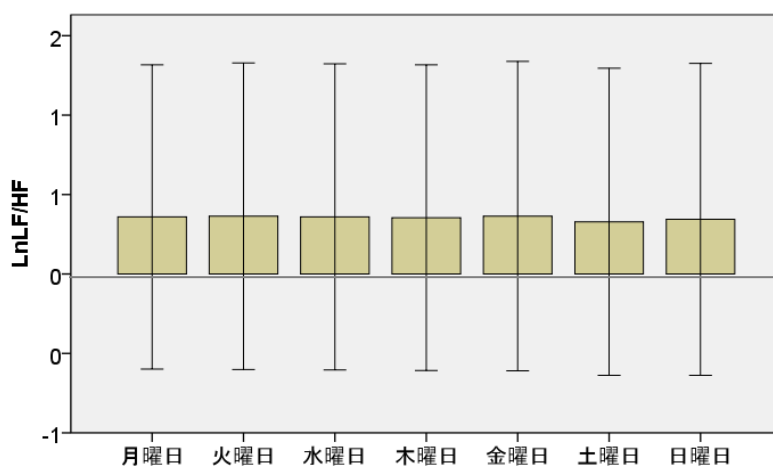


図3-11 LnLF/HF と曜日との関係

表3-18 多重比較の結果 (LnLF/HF と曜日)

多重比較

従属変数: LnLF.HF

Games-Howell(A)

(I) WDN	(J) WDN	平均差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
					下限	上限
月曜日	火曜日	-.0045	.0119	1.000	-.040	.031
	水曜日	-.0005	.0123	1.000	-.037	.036
	木曜日	.0047	.0122	1.000	-.031	.041
	金曜日	-.0052	.0122	1.000	-.041	.031
	土曜日	.0307	.0113	.094	-.003	.064
	日曜日	.0152	.0117	.852	-.019	.050
火曜日	月曜日	.0045	.0119	1.000	-.031	.040
	水曜日	.0040	.0125	1.000	-.033	.041
	木曜日	.0091	.0125	.991	-.028	.046
	金曜日	-.0007	.0125	1.000	-.038	.036
	土曜日	.0352*	.0116	.039	.001	.069
	日曜日	.0196	.0119	.653	-.016	.055
水曜日	月曜日	.0005	.0123	1.000	-.036	.037
	火曜日	-.0040	.0125	1.000	-.041	.033
	木曜日	.0051	.0129	1.000	-.033	.043
	金曜日	-.0048	.0129	1.000	-.043	.033
	土曜日	.0311	.0120	.126	-.004	.066
	日曜日	.0156	.0123	.867	-.021	.052
木曜日	月曜日	-.0047	.0122	1.000	-.041	.031
	火曜日	-.0091	.0125	.991	-.046	.028
	水曜日	-.0051	.0129	1.000	-.043	.033
	金曜日	-.0099	.0128	.988	-.048	.028
	土曜日	.0260	.0119	.304	-.009	.061
	日曜日	.0105	.0123	.979	-.026	.047
金曜日	月曜日	.0052	.0122	1.000	-.031	.041
	火曜日	.0007	.0125	1.000	-.036	.038
	水曜日	.0048	.0129	1.000	-.033	.043
	木曜日	.0099	.0128	.988	-.028	.048
	土曜日	.0359*	.0120	.043	.001	.071
	日曜日	.0204	.0123	.645	-.016	.057
土曜日	月曜日	-.0307	.0113	.094	-.064	.003
	火曜日	-.0352*	.0116	.039	-.069	-.001
	水曜日	-.0311	.0120	.126	-.066	.004
	木曜日	-.0260	.0119	.304	-.061	.009
	金曜日	-.0359*	.0120	.043	-.071	-.001
	日曜日	-.0155	.0114	.820	-.049	.018
日曜日	月曜日	-.0152	.0117	.852	-.050	.019
	火曜日	-.0196	.0119	.653	-.055	.016
	水曜日	-.0156	.0123	.867	-.052	.021
	木曜日	-.0105	.0123	.979	-.047	.026
	金曜日	-.0204	.0123	.645	-.057	.016
	土曜日	.0155	.0114	.820	-.018	.049

*. 平均の差は 0.05 水準で有意です。

(a), (b)より, 週の後半からトータルパワーが低くなり疲労気味な傾向がみられた. これは, 企業側にとっては, 非常に有益なデータであると考えられる. 例えばノー残業デーを, 一般的な水曜日ではなく木曜日に変更することで, 企業活動の生産性が上がる可能性があるかもしれない.

また日曜日は, 明日からの会社や学校のことを思うと, なんとも憂うつな気分になってしまう現象, 日本では通称「サザエさん症候群」というものがあるが, その現象が大量の測定データから統計的にも明らかになったのは非常に価値があると考えられる.

このように, 1週間の自律神経機能のサイクルを認識することで, 曜日によって仕事や家事の負荷を調整する等, 本研究結果は, 健康管理に役立つ参考データであると言える.

3.8 自律神経機能と地域との関係

本項では、日常生活における自律神経機能と地域性との関係を検証した。従来の研究では、大量のデータに基づき日常生活における地域毎での自律神経機能の傾向を分析した報告はほとんどされていない。

(a) トータルパワーと地域との関係

本項では、トータルパワーと地域性との関係を調査した。本分析で用いた測定者及び、測定データの内容を表 3-19、表 3-20 に示す。次に、都道府県を 8 グループに分類し、グループ間の差を調べるために、各測定データの TP を対数変換(LnTP)し、Games-Howell の手法により多重比較をおこなった。その結果を図 3-12 及び表 3-21 に示す。その結果、関東地域においてトータルパワー有意に低い傾向がみられた。これらの傾向は、男女別でみても同様な傾向がみられた。

一般的に、自律神経機能障害は地方に比べると、ストレスが多い都会に発病頻度が高い傾向があるといわれているが、本研究での結果と相関があるのかも知れないと考えられる。

表3-19 測定者の住んでいる地域

地域	男性	女性	合計
北海道・東北	459	1,833	2,292
関東	3,276	7,396	10,672
甲信越	272	1,040	1,312
中部	600	2,345	2,945
近畿	983	4,066	5,049
中国	213	1,128	1,341
四国	101	580	681
九州・沖縄	490	2,525	3,015
合計	6,394	20,913	27,307

表3-20 地域毎の測定データ数

地域	男性	女性	合計
北海道・東北	2,942	7,983	10,925
関東	20,738	35,881	56,619
甲信越	1,789	4,563	6,352
中部	3,462	10,778	14,240
近畿	5,058	15,955	21,013
中国	1,276	4,797	6,073
四国	525	2,341	2,866
九州・沖縄	2,240	10,320	12,560
合計	38,030	92,618	130,648

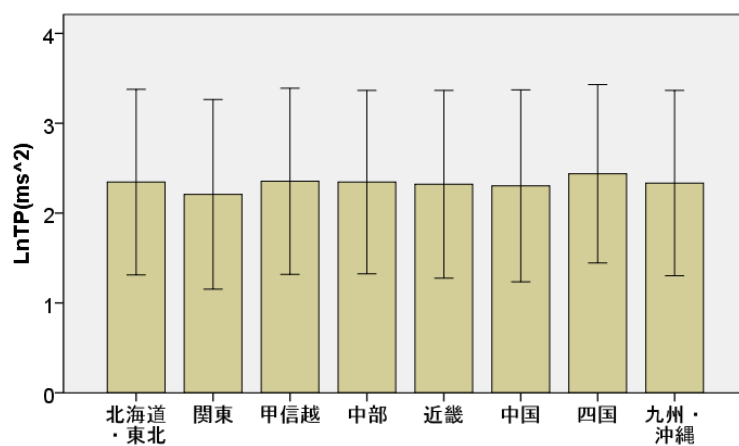


図3-12 LnTP と地域との関係

表3-21 多重比較の結果 (LnTP と地域)

多重比較

従属変数: LnTP
Games-Howell(A)

(I) AN	(J) AN	平均差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
					下限	上限
北海道・東北	関東	.1369*	.0108	.000	.104	.170
	甲信越	-.0092	.0163	.999	-.059	.040
	中部	.0003	.0131	1.000	-.039	.040
	近畿	.0242	.0122	.494	-.013	.061
	中国	.0420	.0169	.203	-.009	.093
	四国	-.0922*	.0210	.000	-.156	-.028
	九州・沖縄	.0114	.0135	.991	-.030	.052
関東	北海道・東北	-.1369*	.0108	.000	-.170	-.104
	甲信越	-.1461*	.0137	.000	-.188	-.104
	中部	-.1366*	.0096	.000	-.166	-.107
	近畿	-.1127*	.0085	.000	-.138	-.087
	中国	-.0949*	.0144	.000	-.139	-.051
	四国	-.2291*	.0191	.000	-.287	-.171
	九州・沖縄	-.1255*	.0102	.000	-.156	-.095
甲信越	北海道・東北	.0092	.0163	.999	-.040	.059
	関東	.1461*	.0137	.000	.104	.188
	中部	.0094	.0156	.999	-.038	.057
	近畿	.0334	.0149	.323	-.012	.078
	中国	.0511	.0189	.121	-.006	.108
	四国	-.0831*	.0226	.006	-.152	-.014
	九州・沖縄	.0206	.0159	.902	-.028	.069
中部	北海道・東北	-.0003	.0131	1.000	-.040	.039
	関東	.1366*	.0096	.000	.107	.166
	甲信越	-.0094	.0156	.999	-.057	.038
	近畿	.0240	.0112	.388	-.010	.058
	中国	.0417	.0162	.163	-.007	.091
	四国	-.0925*	.0204	.000	-.154	-.031
	九州・沖縄	.0111	.0126	.987	-.027	.049
近畿	北海道・東北	-.0242	.0122	.494	-.061	.013
	関東	.1127*	.0085	.000	.087	.138
	甲信越	-.0334	.0149	.323	-.078	.012
	中部	-.0240	.0112	.388	-.058	.010
	中国	.0177	.0155	.947	-.029	.065
	四国	-.1164*	.0199	.000	-.177	-.056
	九州・沖縄	-.0128	.0117	.958	-.048	.023
中国	北海道・東北	-.0420	.0169	.203	-.093	.009
	関東	.0949*	.0144	.000	.051	.139
	甲信越	-.0511	.0189	.121	-.108	.006
	中部	-.0417	.0162	.163	-.091	.007
	近畿	-.0177	.0155	.947	-.065	.029
	四国	-.1342*	.0231	.000	-.204	-.064
	九州・沖縄	-.0306	.0165	.585	-.081	.020
四国	北海道・東北	.0922*	.0210	.000	.028	.156
	関東	.2291*	.0191	.000	.171	.287
	甲信越	.0831*	.0226	.006	.014	.152
	中部	.0925*	.0204	.000	.031	.154
	近畿	.1164*	.0199	.000	.056	.177
	中国	.1342*	.0231	.000	.064	.204
	九州・沖縄	.1036*	.0207	.000	.041	.166
九州・沖縄	北海道・東北	-.0114	.0135	.991	-.052	.030
	関東	.1255*	.0102	.000	.095	.156
	甲信越	-.0206	.0159	.902	-.069	.028
	中部	-.0111	.0126	.987	-.049	.027
	近畿	.0128	.0117	.958	-.023	.048
	中国	.0306	.0165	.585	-.020	.081
	四国	-.1036*	.0207	.000	-.166	-.041

*. 平均の差は 0.05 水準で有意です。

(b) LF/HF と地域との関係

本項では、LF/HF と地域性との関係を調査した。各測定データの LF/HF を対数変換 (LnLF/HF) し、Games-Howell の手法により多重比較をおこなった。その結果を図 3-13 及び表 3-22 に示す。その結果、LF/HF と地域との間には、特に有意な差はみられなかった。

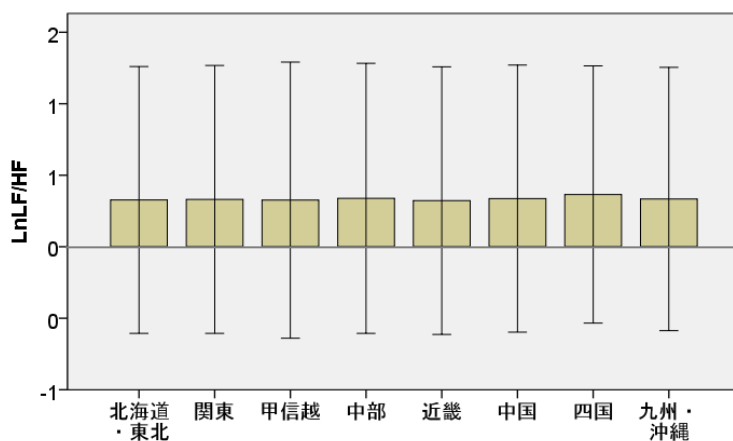


図3-13 LnLF/HF と地域との関係

表3-22 多重比較の結果 (LnLF/HF と地域)

多重比較

従属変数: LnLF.HF
Games-Howell(A)

(I) AN	(J) AN	平均差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間	
					下限	上限
北海道・東北	関東	-.0034	.0098	1.000	-.033	.026
	甲信越	.0014	.0150	1.000	-.044	.047
	中部	-.0108	.0119	.986	-.047	.025
	近畿	.0050	.0110	1.000	-.028	.038
	中国	-.0096	.0149	.998	-.055	.036
	四国	-.0377	.0190	.493	-.095	.020
	九州・沖縄	-.0063	.0121	1.000	-.043	.030
関東	北海道・東北	.0034	.0098	1.000	-.026	.033
	甲信越	.0048	.0127	1.000	-.034	.043
	中部	-.0074	.0088	.991	-.034	.019
	近畿	.0084	.0076	.955	-.015	.031
	中国	-.0062	.0126	1.000	-.044	.032
	四国	-.0344	.0173	.488	-.087	.018
	九州・沖縄	-.0029	.0091	1.000	-.031	.025
甲信越	北海道・東北	-.0014	.0150	1.000	-.047	.044
	関東	-.0048	.0127	1.000	-.043	.034
	中部	-.0122	.0145	.991	-.056	.032
	近畿	.0036	.0137	1.000	-.038	.045
	中国	-.0111	.0170	.998	-.063	.041
	四国	-.0392	.0207	.557	-.102	.024
	九州・沖縄	-.0077	.0146	1.000	-.052	.037
中部	北海道・東北	.0108	.0119	.986	-.025	.047
	関東	.0074	.0088	.991	-.019	.034
	甲信越	.0122	.0145	.991	-.032	.056
	近畿	.0158	.0102	.782	-.015	.047
	中国	.0011	.0144	1.000	-.042	.045
	四国	-.0270	.0186	.833	-.083	.029
	九州・沖縄	.0045	.0114	1.000	-.030	.039
近畿	北海道・東北	-.0050	.0110	1.000	-.038	.028
	関東	-.0084	.0076	.955	-.031	.015
	甲信越	-.0036	.0137	1.000	-.045	.038
	中部	-.0158	.0102	.782	-.047	.015
	中国	-.0146	.0136	.962	-.056	.027
	四国	-.0428	.0180	.254	-.097	.012
	九州・沖縄	-.0113	.0104	.960	-.043	.020
中国	北海道・東北	.0096	.0149	.998	-.036	.055
	関東	.0062	.0126	1.000	-.032	.044
	甲信越	.0111	.0170	.998	-.041	.063
	中部	-.0011	.0144	1.000	-.045	.042
	近畿	.0146	.0136	.962	-.027	.056
	四国	-.0281	.0206	.874	-.091	.034
	九州・沖縄	.0033	.0145	1.000	-.041	.047
四国	北海道・東北	.0377	.0190	.493	-.020	.095
	関東	.0344	.0173	.488	-.018	.087
	甲信越	.0392	.0207	.557	-.024	.102
	中部	.0270	.0186	.833	-.029	.083
	近畿	.0428	.0180	.254	-.012	.097
	中国	.0281	.0206	.874	-.034	.091
	九州・沖縄	.0314	.0187	.700	-.025	.088
九州・沖縄	北海道・東北	.0063	.0121	1.000	-.030	.043
	関東	.0029	.0091	1.000	-.025	.031
	甲信越	.0077	.0146	1.000	-.037	.052
	中部	-.0045	.0114	1.000	-.039	.030
	近畿	.0113	.0104	.960	-.020	.043
	中国	-.0033	.0145	1.000	-.047	.041
	四国	-.0314	.0187	.700	-.088	.025

(a), (b)より, 都会では地方に比べてトータルパワーが低く疲労気味の人が多い傾向がみられた.

現在は東京一極集中の状態が続いているが, 本研究結果のように, 地方に住むとトータルパワーが高く, 元気に過ごせる事をアピールすることで, 地方活性につながるのではないかと考えられる.

3.9 まとめ

本章では、著者らが先行研究で開発した、スマートフォンのカメラを用いた心拍変動解析システムを利用して[8]、約10万件の大量の自律神経データから自律神経機能と外部要因及び時空間との関係を調査した。

自律神経機能と年齢との関係では、加齢になるほどトータルパワーが下がり、30代～50代かけて交感神経機能が上昇する傾向がみられた。

自律神経機能とBMIとの関係では、BMIが高くなるほど、トータルパワーが下がり、また交感神経機能が上昇する傾向がみられた。

自律神経機能と行動との関係では、起床後にトータルパワー及び交感神経機能が高くなる傾向がみられ、余暇時には、トータルパワーが高く、交感神経機能が抑制される傾向がみられた。

自律神経機能と日内変動との関係では、明け方にトータルパワー及び、交感神経機能が上昇する傾向がみられた。また、夜にかけて、交感神経機能が抑制される傾向がみられた。これは、自律神経機能の日内変動と一致する傾向であった。

また、自律神経機能と曜日変動との関係では、週の半ばから後半の水曜日、木曜日、金曜日でトータルパワーが下がる傾向がみられ、土曜日にトータルパワーが上昇する傾向がみられた。また、交感神経機能は土曜日に抑制される傾向がみられた。

自律神経機能と地域性との関係では、関東地域がその他の地域より、トータルパワーが低下している傾向がみられた。

本研究結果より、今まで暗黙的に言われていたことが大量の測定データから統計的に判明することが出来たため、本データは社会的に意義のあるデータであると考えられる。また、本データがワークライフバランスの向上の一助になれば幸いである。

第4章 自律神経機能と気象条件との関係

4.1 はじめに

4.2 分析方法

4.3 自律神経機能と気温との関係

4.4 自律神経機能と気圧との関係

4.5 自律神経機能と降雨量との関係

4.6 まとめ

4.1 はじめに

第3章では、本研究で開発した自律神経測定システムを用いて、数十万件にも及ぶ大量の自律神経データに基づき、日常生活における自律神経機能と身体的要因、行動、時間および場所との関係について検討した。

本章では、自律神経機能と気象条件などの外部要因との関係について検討する。気象との関係に関しては、気象の一要素である気温と生体の関連についての研究は比較的多い[26]，[27]が、気圧や降雨量の変動が生体に及ぼす影響に関する研究は少ない。

また、どれも対象の被験者が少なく、数十万件のビッグデータを用いて、自律神経機能と気象との関係について調査した論文は今までにないのが現状である。

本章では、日常生活における自律神経機能と気象条件などの外部要因に関して、以下の項目に関して検討する。

- 自律神経機能と気温との関係
- 自律神経機能と気圧との関係
- 自律神経機能と降雨量との関係

4.2 分析方法

本研究では、スマートフォンのカメラを用いた心拍変動解析システム[8]を利用した。当システムでは、スマートフォンのカメラ部分に指先を当て、皮膚の輝度を連続的に取得することで、輝度の変化から脈波波形を推定し、その脈波波形から検出されたピーク間隔（RR 間隔に相当）のゆらぎを周波数解析し、自律神経指標を算出している。

また、周波数解析手法は論文[6]の手順に則り、0.04Hz～0.15Hz を低周波数成分(LF)、0.15Hz～0.4Hz を高周波成分(HF)として算出している。LF/HF の値は交感神経機能の指標として用いられ、緊張、興奮、ストレスを表す指標として用いられている[6]。

本論文では、2015年4月～2015年11月の間で測定された53,800名（男性：17,474名、女性：36,326）による自律神経データに基づき分析をおこなった。また、実測のうちRR間隔の欠損値が20%未満の測定データを分析に使用している。測定データの利用に関しては、WINフロンティア株式会社の倫理規定に基づき測定者の同意を得ている。

表4-1に、測定者の年代と性別を示す。本研究の統計処理は、IBM SPSS Statics Version22を使用した。また、検定の有意水準は5%とした。

表4-1 測定者の年代と性別

年代	男性	女性	合計
10代	1,890	6,333	8,223
20代	2,530	8,746	11,276
30代	2,326	4,862	7,188
40代	4,584	8,723	13,307
50代	4,633	6,524	11,157
60代以上	1,511	1,138	2,649
合計	17,474	36,326	53,800

4.3 自律神経機能と気温との関係

本項では、自律神経機能と気温との関係を調査した。平均気温データは気象庁の HP よりダウンロード[47]し、測定日及び都道府県情報をキーに気象情報の測定値（政令指定都市）の情報と付きあわせている。ここでは、夏日[48]と呼ばれる 25 度を境に、25 度未満と 25 度以上で測定データを分離した。気温毎の測定データ数を表 4-2 に示す。

表4-2 気温毎の測定データ数

温度	男性	女性	合計
25度未満	74,100	150,767	224,867
25度以上	3,818	12,500	16,318
合計	77,918	163,267	241,185

交感神経機能の指標である LF/HF を対数化すると、正規性が高まると言われているため[22]、各測定データの LF/HF を対数変換（LnLF/HF）し、2 つの母平均の差の検定をおこなった。男性の結果を表 4-3、図 4-1、女性の結果を表 4-4、図 4-2 に示す。

表4-3 LnLF/HF と気温との T 検定結果（男性）

グループ統計量				
temperature_flag	度数	平均値	標準偏差	平均値の標準誤差
LnLF/HF 25度未満	74100	.5041853460	.9161316994	.0033654939
25度以上	3818	.4466678728	.8858146424	.0143358977

		等分散性のための Levene の検定	
		F	有意確率
LnLF/HF	等分散が仮定されている 等分散が仮定されていない	7.660	.006

独立サンプルの検定						
2 つの母平均の差の検定						
t	df	有意確率 (両側)	平均値の差	差の標準誤差	差の 95% 信頼区間	
					下限	上限
3.789	77916	.000	.0575174732	.0151794567	.0277658320	.0872691143
3.906	4248.655	.000	.0575174732	.0147256413	.0286475221	.0863874242

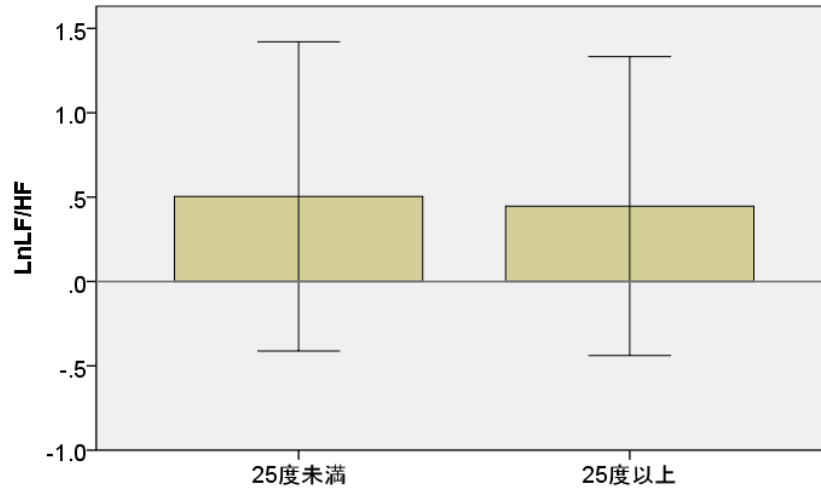


図4-1 LnLF/HF と気温との関係（男性）

表4-4 LnLF/HF と気温との T 検定結果（女性）

グループ統計量				
temperature_flag	度数	平均値	標準偏差	平均値の標準誤差
LnLF/HF 25度未満	150767	.3745794716	.9287018287	.0023917906
25度以上	12500	.3520963961	.8932121169	.0079891320

等分散性のための Levene の検定		
	F	有意確率
LnLF/HF 等分散が仮定されている 等分散が仮定されていない	25.065	.000

独立サンプルの検定

2つの母平均の差の検定						
t	df	有意確率(両側)	平均値の差	差の標準誤差	差の95%信頼区間	
					下限	上限
2.608	163265	.009	.0224830755	.0086192105	.0055896134	.0393765376
2.696	14830.070	.007	.0224830755	.0083394780	.0061366649	.0388294861

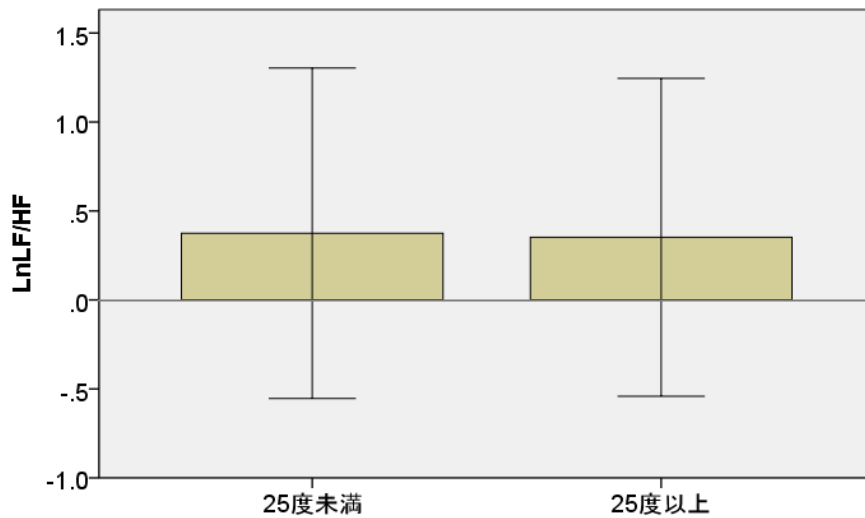


図4-2 LnLF/HF と気温との関係（女性）

その結果, 男女ともに気温が高いほど交感神経機能が有意に低下する傾向がみられた (有意確率 < 有意水準 0. 05).

一般的に, 寒いときは交感神経の作用によって, 血管が収縮し, 体温の放散を防ぎ, 暑いときは副交感神経の作用によって血管が拡張し, 発汗を促して体温を下げる働きをされると言われている[49]. その為, 本研究結果は人間の生理現象である自律神経の対寒, 対暑反応と同様な傾向がみられ, 約 20 万件にも及ぶ自律神経の測定データから統計的に裏付けることができた.

本研究結果より, 気温の高さによって日々の生活を調整するなど, 健康管理をする上でも非常に有用な参考データとなるのではないかと考えられる.

4.4 自律神経機能と気圧との関係

本項では、自律神経機能と気圧との関係を調査した。平均気圧データは気象庁の HP よりダウンロード[47]し、測定日及び都道府県情報をキーに気象情報の測定値（政令指定都市）の情報と付きあわせている。ここでは、1 気圧は 1013hPa を境に、1013Hpa 未満と 1013Hpa 以上で測定データを分離した。気圧毎の測定データ数を表 4-5 に示す。

表4-5 気圧毎の測定データ数

気圧	男性	女性	合計
1013Hpa未満	40,984	87,558	128,542
1013Hpa以上	36,934	75,709	112,643
合計	77,918	163,267	241,185

各測定データの LF/HF を対数変換（LnLF/HF）し、2 つの母平均の差の検定をおこなった。男性の結果を表 4-6 及び図 4-3、女性の結果を表 4-7 及び図 4-4 に示す。

表4-6 LnLF/HF と気圧との T 検定結果（男性）

グループ統計量						
HPA_flag	度数	平均値	標準偏差	平均値の標準誤差		
LnLF/HF 1013Hpa未満	40984	.4836457632	.9072410738	.0044814188		
1013Hpa以上	36934	.5210314105	.9226212556	.0048007632		
				等分散性のための Levene の検定		
				F	有意確率	
LnLF/HF	等分散が仮定されている	8.402		.004		
	等分散が仮定されていない					
独立サンプルの検定						
2 つの母平均の差の検定						
t	df	有意確率 (両側)	平均値の差	差の標準誤差	差の 95% 信頼区間	
					下限	上限
-5.698	77916	.000	-.037385647	.0065616416	-.050246424	-.024524870
-5.693	76794.088	.000	-.037385647	.0065673771	-.050257669	-.024513626

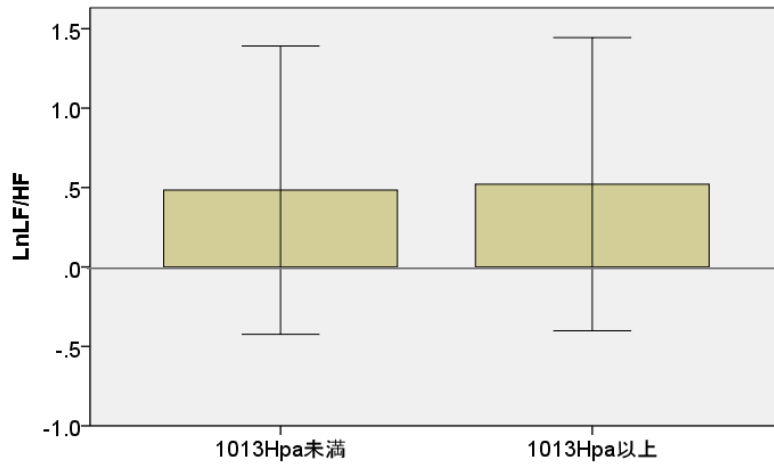


図4-3 LnLF/HF と気圧との関係（男性）

表4-7 LnLF/HF と気圧との T 検定結果（女性）

グループ統計量

	HPA_flag	度数	平均値	標準偏差	平均値の標準誤差
LnLF/HF	1013Hpa未満	87558	.3620645440	.9178840732	.0031019866
	1013Hpa以上	75709	.3853409873	.9352545246	.0033990383

		等分散性のための Levene の検定	
		F	有意確率
LnLF/HF	等分散が仮定されている 等分散が仮定されていない	22.594	.000

独立サンプルの検定

2つの母平均の差の検定						
t	df	有意確率 (両側)	平均値の差	差の標準誤差	差の 95% 信頼区間	
					下限	上限
-5.065	163265	.000	-.023276443	.0045954590	-.032283441	-.014269445
-5.058	158978.471	.000	-.023276443	.0046017152	-.032295705	-.014257181

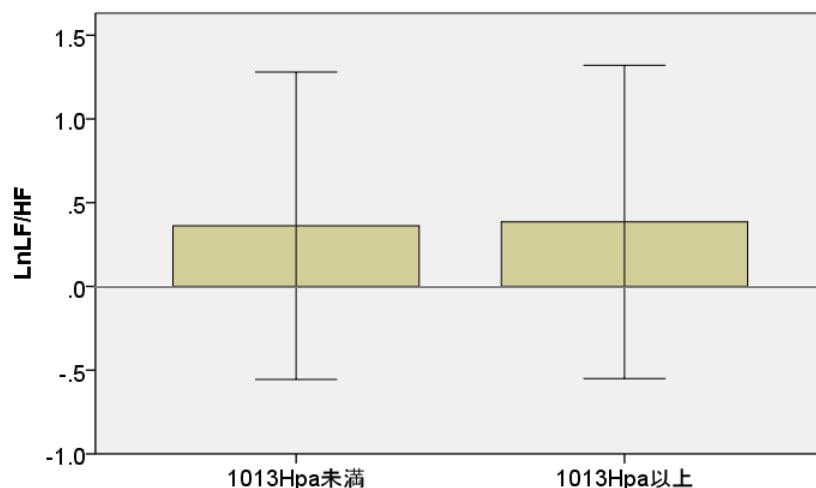


図4-4 LnLF/HF と気圧との関係（女性）

その結果、男女ともに気圧が高いほど交感神経機能が有意に上昇する傾向がみられた（有意確率 < 有意水準 0.05）。

先行研究によると、天候不順に関連した低気圧下では、徐脈、顆粒球減少、リンパ球増多、尿中アドレナリン減少、など、副交感神経活動が高まり、体がだるく、滅入った気分になり[50]、[51]、良好な天気に関連した高気圧は、線条体のドパミン放出亢進、末梢カテコールアミン分泌亢進、顆粒球増多、など、交感神経活動が高まり、心地よい気分になるという報告がある[50]、[52]。このように、本研究結果は先行研究の結果と同様な傾向を示すことができ、約 20 万件にも及ぶ自律神経の測定データから統計的に裏付けることができた。

本研究結果より、気圧の変化によって日々の生活を調整するなど、健康管理をする上でも非常に有用な参考データとなるのではないかと考えられる。

4.5 自律神経機能と降雨量との関係

本項では、自律神経機能と降雨量との関係を調査した。降雨量データは気象庁の HP よりダウンロード[47]し、測定日及び都道府県情報をキーに気象情報の測定値（政令指定都市）の情報と付きあわせている。

ここでは 24 時間降雨量が 10mm を境に、10mm 未満と 10mm 以上で測定データを分離した。降雨量毎の測定データ数を表 4-8 に示す。

表4-8 降雨量毎の測定データ数

気圧	男性	女性	合計
10mm未満	74,536	153,634	228,170
10mm以上	3,382	9,633	13,015
合計	77,918	163,267	241,185

各測定データの LF/HF を対数変換 (\ln LF/HF) し、2 つの母平均の差の検定をおこなった。男性の結果を表 4-9 及び図 4-5、女性の結果を表 4-10 及び図 4-6 に示す。

その結果、男女ともに雨の日ほど、交感神経機能が有意に低下する傾向がみられた（有意確率 < 有意水準 0.05）。

一般的に、天気が良い状態では大気中に酸素量が多くなり、血液中の酸素分圧が高くなって、交感神経が優位の傾向になり、また逆に、曇りがちで天気が悪い状態では、酸素が少なくなり、血液中の酸素分圧が低くなって、副交感神経が優位になると言われている [50], [51], [52]。

このように、本研究結果は先行研究の結果と同様な傾向を示すことができ、約 20 万件にも及ぶ自律神経の測定データから統計的に裏付けることができた。本研究結果より、降雨量によって日々の生活を調整するなど、健康管理をする上でも非常に有用な参考データとなるのではないかと考えられる。

表4-9 LnLF/HF と降雨量との T 検定結果（男性）

グループ統計量

precipitation_Flag	度数	平均値	標準偏差	平均値の標準誤差
LnLF/HF 10mm未満	74536	.5034736882	.9158507122	.0033546070
10mm以上	3382	.4549370943	.8889709991	.0152862441

		等分散性のための Levene の検定	
		F	有意確率
LnLF/HF	等分散が仮定されている 等分散が仮定されていない	2.923	.087

独立サンプルの検定

2つの母平均の差の検定						
t	df	有意確率(両側)	平均値の差	差の標準誤差	差の95%信頼区間	
					下限	上限
3.018	77916	.003	.0485365939	.0160815563	.0170168431	.0800563447
3.101	3714.105	.002	.0485365939	.0156500047	.0178531491	.0792200387

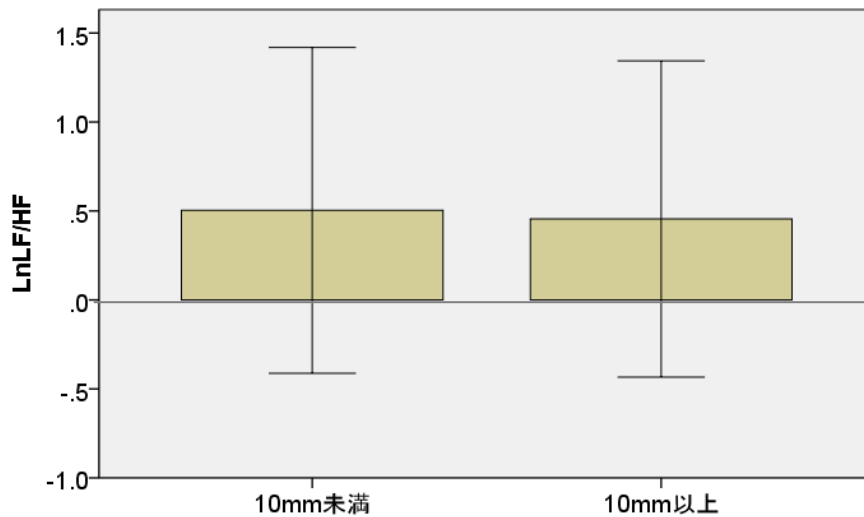


図4-5 LnLF/HF と降雨量との関係（男性）

表4-10 LnLF/HF と降雨量との T 検定結果（女性）

グループ統計量

precipitation_Flag	度数	平均値	標準偏差	平均値の標準誤差
LnLF/HF 10mm未満	153634	.3762990589	.9268479336	.0023646388
10mm以上	9633	.3179797096	.9115128369	.0092871404

		等分散性のための Levene の検定	
		F	有意確率
LnLF/HF	等分散が仮定されている 等分散が仮定されていない	3.302	.069

独立サンプルの検定

2つの母平均の差の検定						
t	df	有意確率(両側)	平均値の差	差の標準誤差	差の 95% 信頼区間	
					下限	上限
5.997	163265	.000	.0583193492	.0097255108	.0392575630	.0773811354
6.085	10918.459	.000	.0583193492	.0095834489	.0395340521	.0771046464

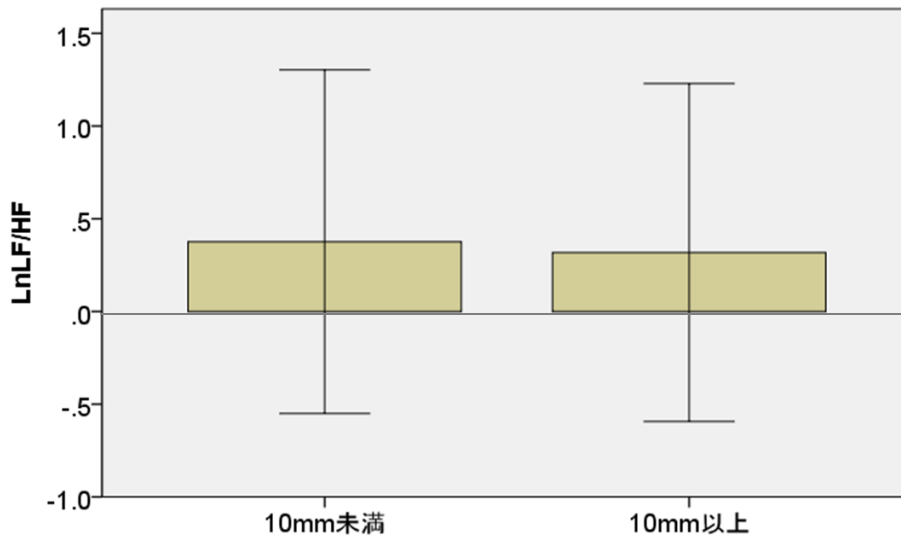


図4-6 LnLF/HF と降雨量との関係（女性）

4.6 まとめ

本章では、著者らが先行研究で開発した、スマートフォンのカメラを用いた心拍変動解析システムを利用して[8]、約 20 万件の大量の心拍変動データから自律神経機能と気象との関係を調査した。

自律神経機能と気温との関係では、男女とも気温が高いほど自律神経の交感神経機能が有意に低下する傾向がみられた。

また、自律神経機能と気圧との関係では、男女とも気圧が高いほど、自律神経の交感神経機能が有意に上昇する傾向がみられた。最後に、自律神経機能と降雨量との関係では、男女とも雨が降っている日ほど、自律神経の交感神経機能が有意に低下する傾向がみられた。

これらの結果は、先行研究及び人間の生理現象とも一致する傾向がみられ、約 20 万件にも及ぶ自律神経の測定データから統計的に裏付けることができた。本知見は、健康管理をする上での参考データとして非常に有用なデータであると考えられる。

第5章 結論および今後の展開

結論

日本は超高齢化社会に向けて、日常生活における科学的な健康管理が非常に重要となってきた。その際、家庭や街や職場など異なる生活空間、各種の気象条件、性別、加齢、健康状態等のことを考慮に入れる必要がある。しかし現状では、病院などの非日常的な環境の下、専用の測定機器を使用して自分の健康を管理するのが一般的である。

そこで本研究では、一般に市販されているスマートフォンを用い、指先に端末のカメラを約 30 秒強という短時間当てることで、血流の輝度変化から脈波波形のピーク間隔を検出して、心拍変動解析より自律神経の傾向を日常的に簡便に測定できるシステムを開発した。ノイズを除去する独自のフィルタリング手法を適用することで解析精度が向上し、専用の指尖脈波センサを用いたシステムと比較したところ、自律神経指標に関しては、約 8 割の相関があることが示せた。現在、本システムは、Apple Inc. の iPhone アプリ及び、Google Inc. の Android アプリとして、実用的に約 100 万人以上（2016 年 6 月現在）のユーザーにダウンロードされ、日々利用されている。

次に、本研究で開発した自律神経測定システムを用いて、測定された大量の自律神経データに基づき、日常生活における自律神経機能と身体的要因、行動、時間および場所との関係について検証したところ、以下のような傾向が確認できた。

- 自律神経機能と年齢との関係では、加齢になるほどトータルパワーが下がり、30 代～50 代かけて交感神経機能が上昇する傾向がみられた。
- 自律神経機能と BMI との関係では、BMI が高くなるほど、トータルパワーが下がり、また交感神経機能が上昇する傾向がみられた。
- 自律神経機能と行動との関係では、起床後にトータルパワー及び交感神経機能が高くなる傾向がみられ、余暇時には、トータルパワーが高く、交感神経機能が抑制される傾向がみられた。
- 自律神経機能と日内変動との関係では、明け方にトータルパワー及び、交感神経機能が上昇する傾向がみられた。また、夜にかけて、交感神経機能が抑制される傾向がみられた。これは、自律神経機能の日内変動と一致する傾向であった。
- 自律神経機能と曜日変動との関係では、週の半ばから後半の水曜日、木曜日、金曜日でトータルパワーが下がる傾向がみられ、土曜日にトータルパワーが上昇する傾向がみられた。また、交感神経機能は土曜日に抑制される傾向がみられた。

- 自律神経機能と地域性との関係では、関東地域がその他の地域より、トータルパワーが低下している傾向がみられた。

また、自律神経機能と気象条件などの外部要因との関係を検証したところ、以下のよう傾向が確認できた。

- 自律神経機能と気温との関係では、男女とも気温が高いほど自律神経の交感神経機能が有意に低下する傾向がみられた。
- 自律神経機能と気圧との関係では、男女とも気圧が高いほど、自律神経の交感神経機能が有意に上昇する傾向がみられた。
- 自律神経機能と降雨量との関係では、男女とも雨が降っている日ほど、自律神経の交感神経機能が有意に低下する傾向がみられた。

以上より、本研究結果は専用のセンサを用いた先行研究及び人間の生理現象とも一致する傾向がみられ、数十万件にも及ぶ自律神経の測定データから、日本人の日常生活における自律神経機能を統計的に裏付けることができた。

本システムで得られる大量の自律神経のビックデータは日々刻々と蓄積されており、本データは日本人の健康管理の一助となる参考値として、社会的に意義のあるデータとなるのではないかと考えられる。

最後に公衆衛生の観点から、異なる属性や時空間における人々の健康分布の比較分析をすることは非常に重要といえる。そのため、本システムで得られた日常生活における健康に関するビックデータを社会全体として活用し、日本人の健康管理に役立ててもらいたいと考えている。

今後の展開

本研究では、ストレスに着目し、人々が自主的に自律神経活動を計測する利便性の高い計測技術を確立し、人々が日常生活の中で簡易に自分の健康を管理できるシステムを開発した。また、健康に関するビックデータの採取、蓄積と処理の技術を確立し、大量の自律神経のビックデータから日常生活における自律神経機能を評価した。

今後の展望としては、以下の項目を検討している。①に関しては、医療情報システムの標準規格である HL7(Health Level Seven) との連携等を今後検討していきたいと考えている。また②として、世の中に出ている様々な医療情報システムと連携することで、より利用者に役立つ情報の提供や、有意義な健康サービスの提供が可能になると考えている。

また、③に関しては、現在のデータ統計から、人工知能やパターン認識、機械学習などのより高度な手法を用いることで、健康に関するビックデータの利用価値を高めていきたいと考えている。最後に④に関しては、今後は利用者のロコミなどの主観データ等も加味して、よりエビデンスを強化した健康サービスの確立と普及を進めていきたいと考えている。

- ① 健康情報システムの標準化対応
- ② 医療情報システムとの連携
- ③ データ統計からデータマイニングへ
- ④ エビデンスベースの健康サービスの確立と普及

謝辭

謝辞

本論文は、筆者が神戸大学大学院システム情報学研究科羅研究室に在籍中の3年間に渡る研究成果をまとめたものである。この間に、多くの方々より暖かいご丁寧なご指導とご支援を頂きました。

本研究を進めるにあたり、神戸大学大学院システム情報学研究科教授 羅志偉先生には、3年間に渡り大変お世話になりました。研究者として私の未熟な点や至らなさを、時には厳しくご指摘して頂き、大変勉強になりました。研究に真摯に取り組み、堅実に研究成果を積み上げていく姿勢をこの3年間で学ぶことができ、研究者として本当に多くの事を学ばせて頂きました。厚く御礼申し上げます。また今後とも、変わらぬご指導・鞭撻のほどよろしくお願いいたします。

順天堂大学医学部教授 小林弘幸先生には、本論文に関して医学的な観点からアドバイスをして頂きました。深く感謝申し上げます。

私が在籍している、WIN フロンティア株式会社代表取締役社長兼 CEO 板生研一氏には、社会人ドクターとして私を大学院に行かせて頂き、心より感謝申し上げます。また、本研究を進めるにあたり、日々、物事をロジカルに考える訓練をして頂き、深く御礼申し上げます。

東京大学名誉教授 板生清先生には、社会人ドクターとして私を大学院に行かせて頂き、心より御礼申し上げます。私が大学院に入りたての頃、研究で挫折しそうな時に暖かくご相談に乗っていただき、また叱咤激励をして頂きました。他にも社会人・研究者として、社会常識や礼儀などを、時には厳しくご指導・ご指摘をして頂き、深く感謝申し上げます。

最後に、今日に至るまで、私を暖かく見守り、支えてくれた両親、妻の香織、娘の里奈に深く感謝いたします。家族の支えがあったからこそ乗り切ることができました。有難うございました。

2016年7月

駒澤 真人

研究業績

発表論文

【査読付き論文】

1. Kenichi Itao, Makoto Komazawa, Yosuke Katada, Kiyoshi Itao, Hiroyuki Kobayashi, Zhi Wei Luo: Age-related Change of the Activity of Autonomic Nervous System Measured by Wearable Heart Rate Sensor for Long Period of Time : Pervasive Computing Paradigms for Mental Health, Volume 100 of the series Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering pp 33-38, September 2014.
2. Makoto KOMAZAWA, Kenichi ITAO, Hiroyuki KOBAYASHI, Zhiwei LUO: On Human Autonomic Nervous Activity Related to Behavior, Daily and Regional Changes Based on Big Data Measurement Via SmartPhone. Health, Vol. 8 No. 9, Jun 2016.
3. Makoto KOMAZAWA, Kenichi ITAO, Hiroyuki KOBAYASHI, Zhiwei LUO: On Human Autonomic Nervous Activity Related to Weather Conditions Based on Big Data Measurement Via SmartPhone. Health, Vol. 8 No. 9, Jun 2016.
4. Makoto KOMAZAWA, Kenichi ITAO, Hiroyuki KOBAYASHI, Zhiwei LUO: Analysis of Human Autonomic Nervous Activity Based on Big Data Measurement Via SmartPhone. Proceedings of the 2nd IEEE International Conference on Big Data Intelligence and Computing, Aug 2016.
5. Makoto KOMAZAWA, Kenichi ITAO, Hiroyuki KOBAYASHI, Zhiwei LUO: Measurement and Evaluation of the Autonomic Nervous Function in Daily Life. Health, Vol. 8 No. 10, Jul 2016.

【国内学会発表】

1. 板生研一, 駒澤真人, 堅田洋資, 小林弘幸, 羅志偉: “長時間計測による自律神経機能の加齢変化,” 第 17 回人間情報学会ポスター発表集, pp. 3, 2014 年
2. 板生研一, 駒澤真人, 小林弘幸, 羅志偉: “24 時間の心拍変動データ解析による日本人の自律神経機能と年齢の関係,” 第 19 回人間情報学会ポスター発表集, pp. 15, 2014 年
3. 駒澤真人, 板生研一, 羅志偉: “スマートフォンのカメラを用いた心拍変動解析システムの開発,” 第 20 回人間情報学会ポスター発表集, pp. 19 - 20, 2015 年.
4. 駒澤真人, 板生研一, 羅志偉: “約 10 万件の大量の心拍変動データに基づく自律神経機能と年齢, BMI との関係” 第 21 回人間情報学会ポスター発表集, pp. 24-25, 2015 年
5. 板生清, 駒澤真人: ウェアラブルデバイスの応用と近未来の展開, エレクトロニクス実装学会誌, 特集論文 Vol. 18 (2015) No. 6 p. 384-389.
6. 駒澤真人, 板生研一, 羅志偉: “約 10 万件の大量の心拍変動データに基づく自律神経機能の日内変動について,” 第 22 回人間情報学会ポスター発表集, pp. 14-15, 2015 年.
7. 駒澤真人, 板生研一, 羅志偉: “大量の心拍変動データに基づく自律神経機能と気象との関係,” 第 23 回人間情報学会ポスター発表集, pp. 12-14, 2016 年.

特許

1. 特願 2011-221310 : 「自律神経活動指標算出方法, 自律神経活動指標算出装置とそれを用いたココロとカラダのバランスの視覚的表示システム」, 発明者: 板生清, 板生研一, 梅田智広, 板野梢, 地村未知弘, 駒澤真人, 福島秀樹. 【特許成立】
2. 特願 2013-012308 : 「自律神経機能評価装置, 自律神経機能評価システム, 自律神経機能評価サーバー, 自律神経機能評価端末装置, 自律神経機能評価装置プログラム, 自律神経機能評価サーバープログラム, および, 自律神経機能評価端末プログラム」, 発明者: 板生清, 板生研一, 堅田洋資, 駒澤真人. 【特許申請中】

参考文献

参考文献

- [1] Onaka, T., Stress and Its Neural Mechanisms. *Journal of Pharmacological Sciences*, 126, pp.170-173, 2005.
- [2] 板生清, 駒澤真人:ウェアラブルデバイスの応用と近未来の展開, *エレクトロニクス実装学会誌*, 特集論文 Vol. 18 No. 6, 2015.
- [3] ユニオンツール株式会社, “ウェアラブル心拍センサ WHS-1”, http://uniontool.co.jp/product/sensor/index_02.html
- [4] WIN フロンティア株式会社, “Lifescore Quick”, <http://www.winfrontier.com/lifescorequick.html>
- [5] 水谷文夫 他, スポーツ選手の心理的ストレス反応を指尖脈波によって評価するための基礎的検討, *日本大学歯学部研究紀要*, 29, 87/102, 2001.
- [6] Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology, Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use. *Circulation*, 93, 1043-1065, 1996.
- [7] 日野幹雄:スペクトル解析(朝倉書店)新装版, 2010.
- [8] 駒澤真人, 板生研一, 羅志偉:“スマートフォンのカメラを用いた心拍変動解析システムの開発,” 第20回人間情報学会ポスター発表集, pp. 19 - 20, 2015 .
- [9] WIN フロンティア株式会社,
“COCOLOLO-心拍のゆらぎで8タイプのキモチをチェック-“, <https://itunes.apple.com/jp/app/cocololo-cafe-kimochishea/id973325431?mt=8&ign-mpt=uo%3D4>
- [10] WIN フロンティア株式会社,
“COCOLOLO♥ココロ炉-心拍のゆらぎでストレスチェック-“, <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.winfrontier.COCOLOLO&hl=ja>
- [11] 小林弘幸監修, COCOLOLO 著:30秒でココロのストレスチェックができ自律神経が整う本, ゴマブックス株式会社, 2016.
- [12] David Robertson 原著, 高橋昭・間野忠明監訳『ロバートソン自律神経学』エルゼビア・ジャパン株式会社, 2007.
- [13] Ohira T, Diez Roux AV, Prineas RJ, et al: Associations of psychosocial factors with heart rate and its short-term variability: the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis. *Psychosom Med*70, pp.141-146, 2008.
- [14] Relax 名人 クロスウェル, <http://www.crosswell.jp/products/relaxmeijin/>
- [15] 杉浦 広隆, “不整脈発症に関連する自律神経の活動性の評価:MemCalc法を用いた短時間心拍変動解析,” *新潟医学会雑誌*, Vol. 119, No. 10, pp. 600-610, 2005.

- [16] 阪田雅人ほか: :顔画像による非接触脈拍数連続計測. 2013年電子情報通信学会総合大会講演論文集, D-7-12, 2013.
- [17] C. Takano, and Y. Ohta, "Heart rate measurement based on a time-lapse image," *Med. Eng. Phys.* 29(8), pp.853-857, 2007.
- [18] M. Poh et al. : Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation. *Optics Express*. 18(10):10762010774, 2010.
- [19] 烏谷あゆ 他, "測定状態通知機能をともなう携帯カメラによる高信頼脈拍検出方式," *情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム*, Vol. 2, No. 1, pp.38-47, 2012.
- [20] W. Verkrusse et al. "Remote plethysmographic imaging using ambient light," *Opt. Express*, Vol. 16, No. 26, pp.21434-21445, 2008.
- [21] 株式会社DUMSCO, "ストレススキャン", <http://stress-scan.com/>, 閲覧2015. 7. 1
- [22] Yukishita T, Lee K, Kim S, Yumoto Y, Kobayashi A, Shirasawa T, Kobayashi H: Age and sex-dependent alterations in heart rate variability: profiling the characteristics of men and women in their 30s. *Anti-Aging Medicine* 7, pp.94-100, 2010.
- [23] Kenichi Itao, Makoto Komazawa, Yosuke Katada, Kiyoshi Itao, Hiroyuki Kobayashi, Zhi Wei Luo: Age-related Change of the Activity of Autonomic Nervous System Measured by Wearable Heart Rate Sensor for Long Period of Time : *Pervasive Computing Paradigms for Mental Health*, Volume 100 of the series *Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, pp.33-38, 2013.
- [24] 板生研一, 駒澤真人, 小林弘幸, 羅志偉: "24時間の心拍変動データ解析による日本人の自律神経機能と年齢の関係," 第19回人間情報学会ポスター発表集, 2014.
- [25] 森谷敏夫: 更年期女性における運動と栄養の役割. *更年期と加齢のヘルスケア* 8(1), pp.12-20, 2009.
- [26] Masahiro Okada, Masayuki Kakehashi, Effects of outdoor temperature on changes in physiological variables before and after lunch in healthy women *Int J Biometeorol* Mar 6, 10.1007/s00484-014-0800-1, 2014.
- [27] Cizao Ren*, Marie S. O'Neill, Sung Kyun Park, David Sparrow, Pantel Vokonas, and Joel Schwartz, "Ambient Temperature, Air Pollution, and Heart Rate Variability in an Aging Population," *Am. J. Epidemiol.* 173 (9), pp.1013-1021, 2011.

- [28] 倉恒弘彦. 自律神経異常を伴い慢性的な疲労を訴える患者に対する客観的な疲労診断法の確立と慢性疲労診断指針の作成 厚生労働科学研究障害者対策総合研究事業（精神の障害/神経・筋疾患分野）平成 21-23 年度総合研究報告書, 2011.
- [29] 鵜川貞二:パルスオキシメータ. 日本循環器学会専門医誌. 11(1), pp. 163-169, 2003.
- [30] 小高 知宏, “C 言語ではじめる医用情報処理 - 生体情報計測と医用電子工学,” オーム社 , 2008.
- [31] A. Savitzky, M. J. E. Golay “Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures,” *Analytical Chemistry*, vol. 36, no. 8, pp. 1627-1639, 1964.
- [32] 板生研一, 駒澤真人, 堅田洋資, 小林弘幸, 羅志偉: “長時間計測による自律神経機能の加齢変化,” 第 17 回人間情報学会ポスター発表集, 2014 .
- [33] iPhone, <http://www.apple.com/jp/iphone/>
- [34] Xperia, <http://www.sonymobile.co.jp/xperia/>
- [35] Galaxy, <http://www.samsung.com/jp/home/>
- [36] AQUOS, <http://www.sharp.co.jp/k-tai/>
- [37] Akaike, H., “Information theory and an extension of the maximum likelihood principle”, *Proceedings of the 2nd International Symposium on Information Theory*, Petrov, B. N., and Caski, F. (eds.), Akadimiai Kiado, Budapest, pp.267-281 , 1973.
- [38] 駒澤真人, 板生研一, 羅志偉: “約 10 万件の大量の心拍変動データに基づく自律神経機能と年齢, BMI との関係” 第 21 回人間情報学会ポスター発表集, 2015 .
- [39] 駒澤真人, 板生研一, 羅志偉: “約 10 万件の大量の心拍変動データに基づく自律神経機能の日内変動について,” 第 22 回人間情報学会ポスター発表集, 2015 .
- [40] 坂入 洋右・徳田 英次・川原 正人, 心理的覚醒度・快適度を測定する二次元気分尺度の開発 筑波大学体育科学系紀要 26, pp. 27-36, 2003.
- [41] Zhang J: Effect of age and sex on heart rate variability in healthy subjects. *J Manipulative Physiol Therapy* 30(5), pp. 374-379, 2007.
- [42] 肥満の判定と肥満症の診断基準（日本肥満学会）, 1999.
- [43] 「肥満になると血圧が上がる」メカニズムを解明 ～メタボリックシンドロームの発症機序明らかに～（東北大学）, 2011.
- [44] 清水徹男, 24 時間の自律神経活動リズム, . *生体医工学* 46(2), pp. 154-159, Japanese Society for Medical and Biological Engineering, 2008.
- [45] 石田直理雄, 本間研一編集: 時間生物学. 東京. 朝倉書店, 2008.
- [46] 厚生労働省, 安全衛生統計資料, 平成 22 年度 全国安全週間スローガン, 『みんなが進めようリスクアセスメント めざそう職場の安全・安心』,

http://ibaraki-roudoukyoku.jsite.mhlw.go.jp/library/ibaraki-roudoukyoku/corner_kantoku/kantoku12_02.pdf

- [47] 気象庁, <http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/>
- [48] http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/kion.html
- [49] 小林弘幸著：なぜ、「これ」は健康にいいのか？ サンマーク出版，2011.
- [50] Fukuda M., Moroda T., Toyabe S., Iiai T., Kawachi Y., Takahashi H., Iwanaga T., Okada M., Abo T. Granulocytosis induced by increasing sympathetic nerve activity contributes to the incidence of acute appendicitis. *Biomedical Res*, pp. 171-181, 1996.
- [51] 行岡正雄, 七川歆次, 行岡千佳子他. 気圧の変動が関節リウマチの自律神経に及ぼす影響. *臨床リウマチ*, 2010.
- [52] Fechtali T, Abraini JH, Kriem B, Rostain JC. Pressure increases de novo synthesized striatal dopamine release in free-moving rats. *Neuroreport*, 5, pp. 725-728, 1994.

神戸大学博士論文「日常生活における自律神経機能の計測と評価に関する研究」全 106 頁
提出日 2016 年 7 月 4 日

本博士論文が神戸大学機関リポジトリ **Kernel** にて掲載される場合、掲載登録日（公開日）
はリポジトリの該当ページ上に掲載されます。

© 駒澤真人

本論文の内容の一部あるいは全部を無断で複製・転載・翻訳することを禁じます。