

健康促進に向けたサーカディアンリズムに着目した睡眠とストレスの分析

Analysis of the Relationship between Sleep Quality and Stress with a focus on Circadian Rhythm for Well-being

高野 諒^{*1}
Ryo Takano

長谷川 智^{*1}
Satoshi Hasegawa

梅内 祐太^{*1}
Yuta Umenai

辰巳 嵩豊^{*1}
Takato Tatsumi

高玉 圭樹^{*1}
Keiki Takadama

志 牟田 亨^{*2}
Toru Shimuta

家 邊 徹^{*2}
Toru Yabe

松本 英雄^{*2}
Hideo Matsumoto

^{*1} 電気通信大学
The University of Electro-Communications

^{*2} 村田製作所
Murata Manufacturing Company, Ltd.

The purpose of this study is to find novel knowledge to clarify the relationship between the sleep quality and the degree of the mental stress. For this purpose, we focus on not only these two indices (the quality of sleep and the degree of the mental stress), but also the human circadian rhythm as the new index for analysis. Through three types of data measured during the night-time sleep and during the day, we tried to inspect the usefulness of the human circadian rhythm for the index of the analysis. In this paper, data of these three indices were measured by the single subject experiment of about two weeks and analyzed comprehensively. In the analysis, we categorize good / middle / bad for each index every few days, and investigating the relationship between the three indices by summarizing the transition of the categories of the three indices. As a result, by comparing three types of data of ten-odd days in parallel, we obtained the following findings: (1) These three indices have been moving with a similar trend in units of days; (2) those trends coincide details from the simple diary written by the subject. As a result, by comparing three types of data of ten-odd days in parallel, these data were related to each other.

1. はじめに

睡眠の主な機能が身体的な疲労の回復であることは非常によく知られているが、睡眠には身体的疲労の回復と同様に精神的なストレスから回復させる効果も有している[Grant 2010]. このため、質の良い睡眠を日常的に維持することは、肉体的な健康のみならず精神的な健康を維持するためにも非常に重要な要素である。しかし、高いストレスを抱えていると質の良い睡眠を得られにくくなり睡眠の効能が阻害されるなど、睡眠とストレスの関係は複雑で未だ十分に明らかになっていない[Grant 2010]. このため、睡眠とストレスの関係を理解し質の良い睡眠を維持するための方策を獲得することは、身体的・精神的に良好な状態を保つための重要な課題の一つと言える。このためには、睡眠の質とストレスの度合い 2 種類のデータを必要とする。特に、睡眠の質を測定したデータとして眠りの深さを離散値で表現した睡眠段階が用いられる。この睡眠段階の判定のために、Rechtschaffen & Kales の判定法(以下、R&K 法)が国際基準法として使用されているが、R&K 法は被験者へ拘束性の高い測定機器(脳波計・筋電計)の装着が必須であるため、被験者への負担が大きく長期間の測定は困難である。この問題を解決するためにマットレスセンサーを用いた無拘束型の睡眠段階推定法がある[渡邊 2001, 渡邊 2002, Harada 2016]. これらの手法はマットレスの下に敷いた偏平なエアマットレスセンサーにより被験者の生体データを計測し、その結果から睡眠段階を推定する。この手法により被験者への負担を最低限に留めて長期間の睡眠段階の測定が可能となり、ストレスの測定と合わせて長期間にわたる睡眠の質とストレスの度合い 2 種類のデータを獲得することが容易となる。

本研究では睡眠の質とストレスの大きさの 2 種類のデータの他に、睡眠に関係する要因としてサーカディアンリズムに焦点を当てる。サーカディアンリズムは、概日リズムとも呼ばれ約 24 時間周期で変動する生理現象であり、人間の「朝に起床し、夜に就寝する」という生理的なリズムを形成している。例えば、海外旅行における時差ぼけとは、このサーカディアンリズムと渡航先の時間帯のズレにより発生することが言われている。このように、サーカディアンリズムは、睡眠の質を決定する重要な要因であることが知られている[Robert 2007]. また、サーカディアンリズムは睡眠だけでなく、起床後の日中の活動についても影響する。本論文では、睡眠とストレスの関係性を分析する新しい視点として、このサーカディアンリズムに焦点を当て、サーカディアンリズムと睡眠の質、ストレスの大きさの三点を包括的に分析することにより、睡眠とストレスの関係に関して新たな知見を獲得することを試みる。これは、睡眠段階とストレスの度合いの 2 種類のデータの測定時間帯のズレを解決するためである。睡眠段階は基本的に夜中にしか測定されず、一方ストレスについては日中にしか測定することができない。このようにこれら 2 種類のデータが常に全く異なる時間帯でそれぞれ測定されていることが、これらの関係性を十分に明らかにできない一因であると考えられる。そこで、一日の生理的なリズムであるサーカディアンリズムに注目することで、「夜間に測定された睡眠段階」と「日中に測定されたストレスの大きさ」という測定時間帯の異なる 2 つのデータを結びつけることができる。以上のように、本論文は、夜中に測定された睡眠の質、日中に測定されたストレスの大きさ、昼夜を通じたサーカディアンリズムを測定し、それら 3 種類のデータ間の関係を明らかにすることを目指す。本研究の最終的な目的は、これらの測定値から被験者の身体的・精神的な健康状態を日常的に把握し、これらの被験者の健康状態を良好な状態を保つための方策を提示する Well-being Computing システムを構築す

連絡先: 高野 諒, 電気通信大学, takano@cas.lab.uec.ac.jp

ることである。本論文は、このようなシステムを構築するために、その基礎となる3種類のデータ間の関係の解明を試みる。

2. 分析方法

本章では、睡眠段階、ストレスの大きさ、サーカディアンリズムという3種類のデータについて説明する。睡眠段階は夜中に測定され、ストレスの大きさは日中に測定され、サーカディアンリズムについては日中に測定した基礎体温から日夜を通して推定される。また、これらの3種類のデータを用いた包括的な解析の方法についても本章で説明する。包括的な分析方法とは、これらの3種類のデータをそれぞれ2~3日単位の毎日の体調変化の傾向として捉え、それらの傾向の変化から3種類のデータの相互関係を明らかにする。

2.1 データの詳細

まず、解析に用いた3種類のデータの詳細をそれぞれ説明する。この3種類のデータは、睡眠の質、ストレスの大きさ、サーカディアンリズムのパターンの明瞭さを測定する指標である。

● 推定睡眠段階

本論文では、睡眠の質の指標として、原田らによる睡眠段階をリアルタイムに推定する方法(Real-time Sleep Stage Estimation: RSSE)を用いる[Harada 2016]。睡眠段階は、睡眠の深さを意味する離散値によって表される。この睡眠段階は、エアマットレスバイオセンサから得られた生体データの特徴に基づいて推定されるため、人体に脳波計などのデバイスを接続することなく算出することが可能なため、被験者への大きな影響を与えずに睡眠段階を推定することができる。睡眠段階は、以下の6つのタイプに分類される:(1)Wake: 覚醒状態; (2) Rem: 浅い眠りであり、一般的にはこのとき夢を見る; (3~6)NonRem1-4: 深い眠り(眠りの深さはNonRem1が浅くNonRem4が最も深い)。本研究では、睡眠の質の指標として、Wake, Rem, NonRem1の6段階の合計時間の割合を採用した。比率が小さいほど、深い睡眠が長く維持され、睡眠の質が良好であることが示される。

● ストレス指標

ストレスの大きさを示す指標として、LF/HFを用いる。LF/HFは、交感神経(LF)と副交感神経(HF)とのバランスを示す指標であり、値が高いほどストレスが高くなることを示す。図1は、例として数時間ごとに測定したLF/HFの2日間の推移を示す。一般的にLF/HFの値が2より小さい場合、ストレスは小さく、2以上の場合には、ストレスが高いことを示す。

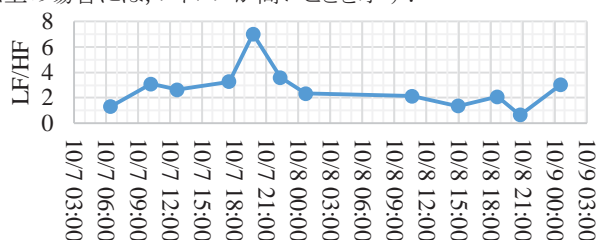


図1. 2日間のLF/HFの推移

● サーカディアンリズム

サーカディアンリズムのパターンの明瞭さを示す指標として、2日間の基礎体温の標準偏差を用いる。基礎体温はサーカディアンリズムに従って上下に変化することが知られている。これに基づいて、測定期間中の基礎体温の標準偏差を観察することにより、サーカディアンリズムが明確なパターンを有するかどうかを識別する。サーカディアンリズムの明確なパターンを有していることは、良好な睡眠および2日間の良好な活動に関連する指標となる。本指標の具体的な例を3つのグラフ(a)~(c)か

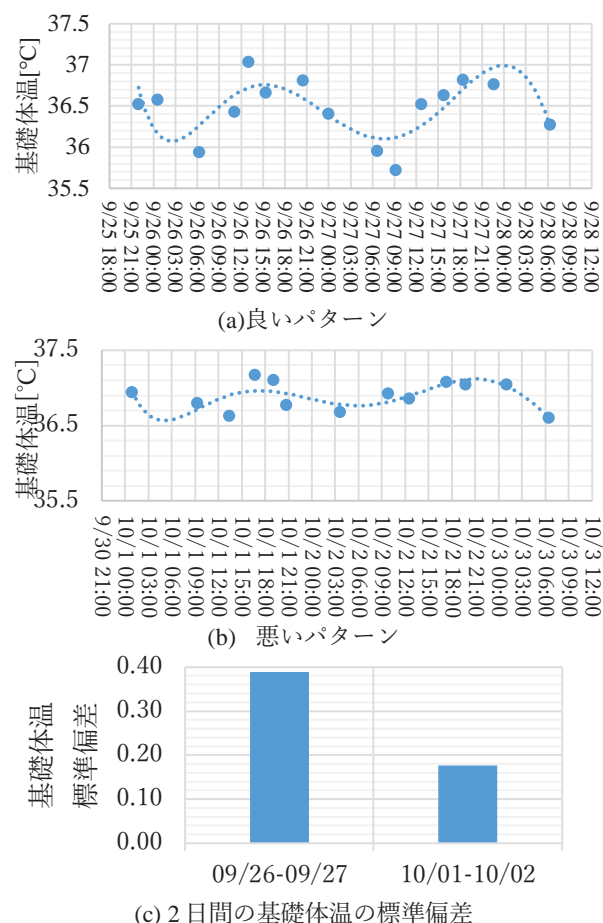


図2. 基礎体温によるサーカディアンリズムの推定

らなる図2に示す。図2(a-b)では点で表した2日間の実際の基礎体温と破線で表した6次多項式近似にて基礎体温から得られるサーカディアンリズムを示す。これらのグラフにおいて、破線は、2日間のサーカディアンリズムのパターンとして表現することができる。図3(a)は、ダッシュラインの2つのセット「深夜の谷」と「午後のピーク」の高さの差が大きく、パターンがはっきりと見えるため、サーカディアンリズムの良好なパターンである。一方、図3(b)は、「谷と峰」の高さの差が小さいため、模様ははっきりと見え、そのパターンは悪い。これらのグラフから判断されたパターンの良否を数値データのみで評価するために、基礎体温の標準偏差を算出する。図3(c)から、図3(a)および(b)の基礎体温の標準偏差が示されている。図3(c)から分かるように、標準偏差は9/26~9/27図3(a)の良好なパターンは、図3(b)の不良パターンを示す10/1 - 10/2の数値よりも高い数値を示している。このようにして、基礎体温の標準偏差の大きさに基づいてサーカディアンリズムの質を判別することができる。

3. 包括的分析

この分析は、約2週間の睡眠段階、LF/HF、基礎体温の標準偏差の3種類のデータから、睡眠の質とストレスとの因果関係を明らかにすることを目的とする。本章では、これら3種類のデータを使用した包括的な分析について説明する。このためには、推定睡眠段階のデータとして夜間の浅い睡眠の割合を準備する。他の2種類のデータについては、2日ごとの平均および標準偏差を数時間ごとに測定された値で計算する。このように2日間の測定値を用いるのは、2日間の睡眠中のデータの前後の数値を観察するためである。

まず、推定睡眠段階データ以外の2つのデータについて、視覚的解析の容易性を向上させるために数値標準化を行う。数値の標準化は、各数値をそれ自身の平均で減算し、それ自身の標準偏差で割った値として計算される。その結果、データセットの平均値と標準偏差はそれぞれ0と1になる。また、データの値が0に近いほど平均値に近い値をとる。図3(a)は、約2週間の標準化前の LF / HF の平均年齢値を示し、図3(b)は、LF / HF の標準化された平均値を示す。図3(a)と図3(b)を比較すると、そのストレスの大きさを区別することが可能である。

次に、3種類のデータを分析する方法について説明する。それぞれの因果関係を理解するために、3種類のデータを同じ時間軸上で数日単位の良否に応じて分類する。これにより、被験者による睡眠の質、ストレスの大きさ、サーカディアンリズムと被験者による日誌との関係を考察する。

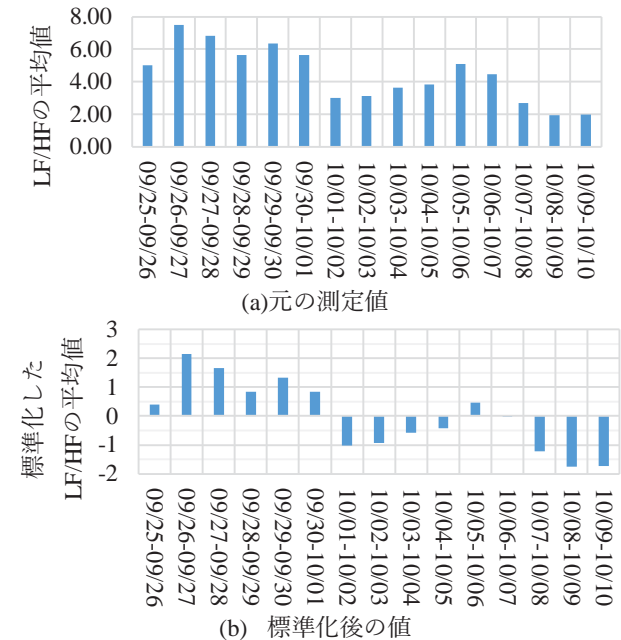


図3. LF/HF の2週間の推移と数値変換

4. 被験者実験

本章では、サーカディアンリズムに焦点を当てて、睡眠の質とストレスの程度との関係に関する新しい知識を得ることができるかどうかの第一歩として、被験者実験により得られた実際の測定データを用いて、前章にて説明した分析方法を実施する。

4.1 利用データの詳細

使用データは、2016年9月25日から2016年10月10日までの15日間に測定された成人女性の3種類の測定値である。推定睡眠段階は、1泊分のデータによって計算される。睡眠段階推定のための測定機器として、EMFIT社のマットセンサーを、LF / HF を測定するために疲労科学研究所のストレス測定センサー (VM 302) を、基礎体温については一般的に入手可能な基礎体温計を使用した。また、LF / HF と基礎体温の測定は1日に数時間ごとに測定された。測定終了後、LF / HF の平均値および基礎体温の標準偏差を2日ごとに計算した。さらに、これらの LF / HF 値および基礎体温は、平均が0、標準偏差が1になるように標準化された値で表される。さらに、被験者に簡単な日記を記録するように依頼した。その日誌の内容の要約を表1に示す。

4.2 計測結果

実験で得られた測定結果を以下に示す。推定睡眠段階を図4に示す。また、LF / HF の標準化した数値は図3(b)に示している。基本体温の標準偏差を図5に示す。ここで図4の推定睡眠段階の割合のグラフについては、次の分析のために、25パーセンタイル未満および75パーセンタイルより上の値は色それぞれ青と赤に色分けする。

表1. 被験者による日誌の要約

9/25	記述無し
9/26	会議に参加 ジムでのエクササイズ
9/27	昼食を食べず
9/28	定時退社
9/29	セミナーに参加 飲み会
9/30	出張 重要なプレゼンテーション
10/1	[休日] 出張先の町を散策
10/2	[休日] 友人とおしゃべり
10/3	終日デスクワーク
10/4	長い会議 ジムでのエクササイズ
10/5	早めに帰宅
10/6	ジムでのエクササイズ
10/7	忙しい一日
10/8	[休日] 家でリラックス
10/9	[休日] 買い物

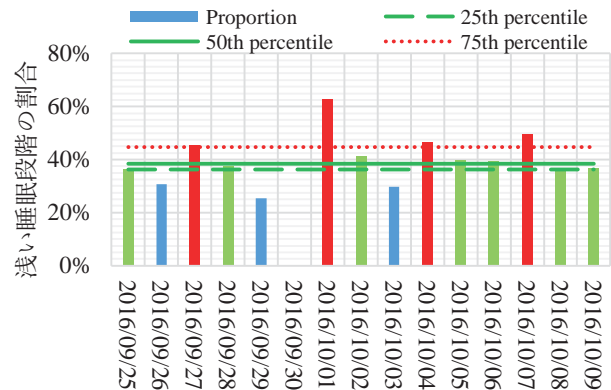


図4. 睡眠段階の推定結果



図5. 基礎体温の標準偏差の2週間の推移

4.3 分析

本節では、前章で説明したように、各データを良し悪しにより分類し、その結果の関係性を分析する。図7に計算された各指

標の数値と、その良さに応じて着色されたグラフを示す。図 7 は 3 つの棒グラフで構成され、第 1 列は睡眠段階を、第 2 列は LF / HF を、第 3 列は基礎体温の標準偏差を示す。第 1 列のグラフの各日のバーの色は、青、緑、赤の 3 種類の睡眠段階の良し悪し(良, 中, 悪)でそれぞれの睡眠を分類する。図 7 の各段の背景色は、数日間のスパンで見た各指標の良し悪しを示している。次に、上段の睡眠段階と下段の基礎体温の標準偏差を比較すると、背景の色調の遷移は 1 日のずれと一致する。次に、中段の LF / HF と下段の基礎体温の標準偏差とを比較すると、赤と青の背景色が逆転する。これらの結果は、図 6 に示す 3 つに分類した結果と一致する。グラフの上段の睡眠段階および下段の基礎体温の標準偏差によれば、緑色の背景はお互いにほとんど同じである。さらに、これらの分析結果と表 1 に示した被験者の日誌との比較から、9/30 の重要なプレゼンテーションのために測定開始から数日のうちはストレスを感じたが、交渉後にストレスが軽減されたことが見て取れる。さらに、この数日間のストレスから回復するためには、サーカディアンリズムのパターンも明確となり、深い眠りを促したと考えられる。

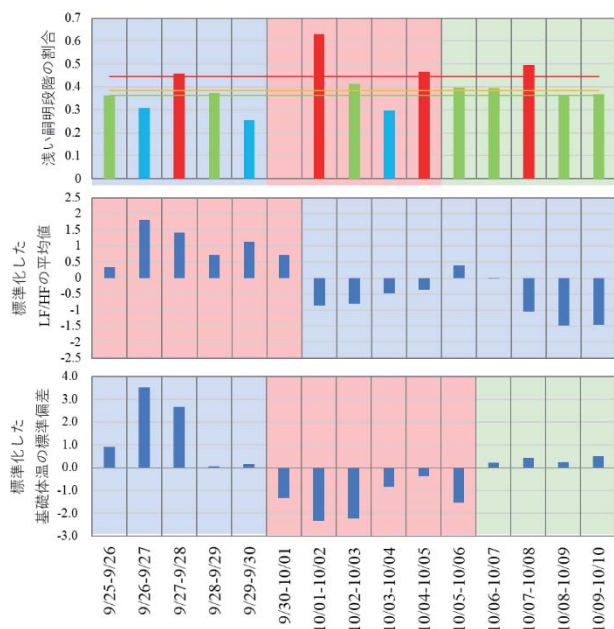


図 7. 包括的分析の結果

4.4 Well-being Computing システムを構築に向けて

本研究の最終的な目標は、睡眠やストレスについてのデータを被験者に負担をかけずに自動的に測定・分析することにより被験者の身体的・精神的な健康を促進するための方策として日中の行動(散歩, 体操等)や睡眠時間などを提案する Well-being Computing システムの構築である。この目的のためにはこれらのデータ間の関係性や実際の被験者の行動とデータとの関係性を網羅的に把握することが必要不可欠である。この目的のための分析として、前節の結果から 3 種類のデータ(睡眠段階・ストレスの大きさ・サーカディアンリズム)の間に正負のそれぞれの相関関係が有しており、それらは被験者による日誌から得られる情報と非常に密接な関係にあることが明らかになった。これは目的のシステムを構築する上で非常に有用な知見であり、これらの知見を更に蓄積することで、身体的・精神的な健康を促進するための方策を獲得するためのメカニズムを構築することが期待できる。

おわりに

本論文は、睡眠とストレスについてのデータから被験者の身体的・精神的な健康状態を日常的に把握し、これらの被験者の健康状態を良好な状態を保つための方策を提示するシステムを構築するために、その基礎となる睡眠とストレスの関係性を明らかにすることを目的としている。この目的のために、被験者のサーカディアンリズムを「夜中に測定された睡眠段階」と「日中に測定されたストレスの大きさ」という測定時間帯の異なる 2 つのデータを結びつけるための新たな指標として焦点を当て、これら 3 種類のデータ(睡眠段階・ストレスの大きさ・サーカディアンリズム)の間の関係を明らかにするための分析方法を提案した。この観点からの分析方法の有効性を確認するため、15 日間の被験者実験を行った。この実験では、被験者の睡眠段階、基礎体温、HF / LF をそれぞれ測定した。これらから、睡眠段階、ストレス度、サーカディアンリズムパターンの良し悪しについての指標を算出した。更に、これら 3 つの指標を包括的に分析することにより、以下のような知見が得られた。(1)これらの 3 つの指標は、同様の傾向、もしくは真逆の傾向で推移しており互いに影響を及ぼしていること。(2)それらの傾向は、被験者によって書かれた日誌の内容と一致していること。これらの結果から、2 週間ほどの比較的長い期間の 3 種類のデータを並行して比較することにより、これらのデータの相互関係をある程度理解することが可能であることが明らかになった。今後の課題として、より多くの被験者実験により、この分析方法の様々な被験者に対する適用性を検証するとともに、3 種類のデータ(睡眠段階・ストレスの大きさ・サーカディアンリズム)間と被験者の行動についての関係に対する更なる知見の獲得を目指す。

参考文献

- [Grant 2010] Grant, B., 2010. Sleep: an important factor in stress-health models. *Stress and Health*. Volume 26, Issue 3: 204–214
- [Robert 2007] Robert, L. S.; Dennis, A.; R. Robert, A.; Mary, A. C.; Kenneth, P. W., Jr; Michael V. V. and Irina V., Z. 2007. Circadian Rhythm Sleep Disorders: Part I, Basic Principles, Shift Work and Jet Lag Disorders. *Sleep*, Volume 30, Issue 11: 1460-1483
- [Robert 2007] Robert, L. S.; Dennis, A.; R. Robert, A.; Mary, A. C.; Kenneth, P. W., Jr; Michael V. V. and Irina V., Z. 2007. Circadian Rhythm Sleep Disorders: Part II, Advanced Sleep Phase Disorder, Delayed Sleep Phase Disorder, Free-Running Disorder, and Irregular Sleep-Wake Rhythm. *Sleep*, Volume 30, Issue 11: 1484-1501
- [渡邊 2001] 渡邊崇士, 渡辺嘉二郎. 無拘束エアマットレス型生体センサによる睡眠段階の推定. 計測自動制御学会論文集, 2001, 37.9: 821-828.
- [渡邊 2002] 渡邊崇士, 渡辺嘉二郎. 就寝時無拘束計測生体データによる睡眠段階の推定. 計測自動制御学会論文集, 2002, 38.7: 581-589.
- [Harada 2016] Harada, T.; Uwano, F.; Komine, T.; Tajima, Y.; Kawashima, T; Morishima, M.; and Takadama, K, 2016. Real-time Sleep Stage Estimation from Biological Data with Trigonometric Function Re-gression Model. In the AAAI 2016 Spring Symposia, Well-Being Computing: AI Meets Health and Happiness Science, AAAI The Association for the Advancement of Artificial Intelligence), pp. 348-353.