

# マット型圧力センサによる

## 睡眠時の生体振動データを用いた睡眠の質の推定

○田島 友祐 (滋賀大学 データサイエンス教育研究センター)

### Estimating sleep quality using vibration data during sleep using a mat-type pressure sensor

\* Y. Tajima (Shiga University of The Center for Data Science Education and Research)

**Abstract**— Currently, it is said that about 20% of the population suffers from sleep disorders (from mild symptoms such as difficulty falling asleep to severe symptoms such as hypersomnia and insomnia). Not only short sleep time but also sleep deterioration of quality is also regarded as a problem. In general, sleep quality is diagnosed by polysomnography overnight from various viewpoints such as sleep stage which is indexes of sleep depth, number of awakenings, and sleep latency. There is a problem that the physical load is heavy because it is essential to measure sleep while wearing a highly restrictive measuring device. Therefore, this study aims at early detection of sleep disorders and sleep management by estimating the quality of sleep more easily than diagnosing by polysomnography by using the biological vibration data during sleep measured from a mat-type pressure sensor.

## 1 はじめに

近年の日本では、約2400万人、つまり5人に1人が何かしらの不眠症や睡眠時無呼吸症候群などのような睡眠障害を抱えているとも言われており、また、うつ病などの精神的疾患の患者数の増加も問題視されている。厚生労働省によって実施された睡眠時間に関する調査<sup>1)</sup>によると、35%の人が6時間から7時間の平均睡眠時間、35%程度の人口が6時間未満の平均睡眠時間とされており、経済協力開発機構(OECD)<sup>2)</sup>が実施する統計調査からも、世界的にみても日本人の睡眠時間は少ないことがわかる。また、年々の調査から睡眠時間は減少傾向にあることも判明している。この主な原因として、文明の進化に人間の生体活動が順応しきれていないことが挙げられる。例えば、通勤時間などにより睡眠に費やす時間自体の減少や、24時間営業形態の運用のための夜勤制度などにより、生活リズムの改変を強要されることがある。これらの原因により、十分な睡眠時間の確保が困難であり、健康を損ねていることは明らかであり、慢性的な睡眠不足や睡眠負債を引き起こすだけでなく、生活習慣病・認知症・うつ病などの疾患を引き起こす原因として問題視されている。また、睡眠は日中活動にも大きく関係する活動であるとされており、学習能力や判断力を低下など、脳機能の低下を生じさせるため、例えば、運送業者などでの交通事故など<sup>3)</sup>、様々なヒューマンエラーが生じやすくなり、大きな経済損失を生じる原因ともされている。

睡眠障害の早期発見、日常的な睡眠の質の低下や睡眠不足の診断のためには、睡眠の専門病院において、睡眠段階という指標を基にした睡眠経過図(ヒプノグラム)と睡眠変数を用いるのが一般的である。これらの診断には、終夜睡眠ポリグラフ検査(PSG検査)により脳波・眼球運動・心電図・筋電図・呼吸曲線・いびき・動脈血酸素飽和度などの睡眠時の生体活動を一晚にわたって計測し、そのデータに対して専門医師により、R&K法<sup>4)</sup>を用いて分析・診断を必要とする。しかし、PSG検査は多数の電極を装着する必要があるため身体的な拘束性が高いだけでなく、多数の機器装着

の必要性から専門病院にて入院する必要があり、通常の生活環境とは大きく異なる環境で睡眠活動する必要があるため、精神的な負荷も高いことが問題として挙げられる。また、検査のための入院や、専門医師が一晚のデータを通して診断する必要があるため、検査費用も高価かつ検査時間も要するため、睡眠障害の早期発見や日常的な睡眠状態の把握には適さない。

この問題を解決するために、睡眠段階の診断の簡易化が求められている。脳波計よりも簡易的に計測できる機器を用いた推定として、アクチグラフを用いた覚醒状態の推定、ウェアラブルセンサを用いた脈波計測から自律神経系のバランスを計測した睡眠段階の推定<sup>5)</sup>、マイクロフォン・マイクロ波・赤外線センサを計測した睡眠段階の推定<sup>6)</sup>、心電図を用いた診断<sup>7)</sup>やマットセンサを用いた推定<sup>8)</sup><sup>9)</sup>が存在する。これらの推定法の共通点として心臓の動きに着目している。心臓の動きは神経活動系との関係が強いとされており、また、心拍の中周波成分に該当する周波数成分は眠りの深さの推移との関係性が高いとも言われているためである。しかし、アクチグラフ、ウェアラブルセンサや心電図は、PSG検査よりも拘束性は高くないが、完全無拘束のセンサではない。完全無拘束のセンサとしては、マイクロフォン、マイクロ波赤外線センサや圧力センサなどが挙げられる。マイクロフォンでは呼吸音から浅い睡眠と深い睡眠を分類し、マイクロ波では心臓の振動データから自律神経系のバランスを導出し、睡眠段階4段階の推定可能性を示唆し、赤外線センサでは頭の動きから覚醒を推定し、圧力センサを用いた診断では心拍の中周波成分の推移と眠りの深さの推移に相関性があることを基に6段階の睡眠段階を推定している。しかし、無拘束のセンサを用いた睡眠段階推定では、拘束型よりも細かな段階数の睡眠段階推定が困難であり、推定精度も高くなく、また、睡眠障害の早期発見・日常的な睡眠の質の低下や睡眠不足の診断まで踏み込んだ推定までされていないのが現状である。

本研究では、患者に対して拘束性を与えない完全無拘束型の生体センサの中から圧力センサに着目し、そこから取得される生体振動データを用いて専門病院の

診断にて用いられる睡眠経過図と睡眠変数のうち睡眠潜時に関係する入眠を推定する。これは、睡眠経過図の推定手法は数多く提案されているが、多くの研究において入眠から起床までを予めトリミングすることが多く、入眠の推定に着目しているものは少ないためである。提案手法の有効性を検証するために、睡眠障害を持たない健康な被験者に対し実験を実施する。被験者に対して睡眠時の生体データを計測するために圧力センサを敷いたベッドで睡眠をとってもらうと同時に、脳波計・筋電図・眼球運動も計測する。これは、推定した睡眠経過図と睡眠変数の評価のために PSG 検査を診断するためであり、PSG 検査との比較から提案法の有効性を検証する。

## 2 睡眠経過図・睡眠変数

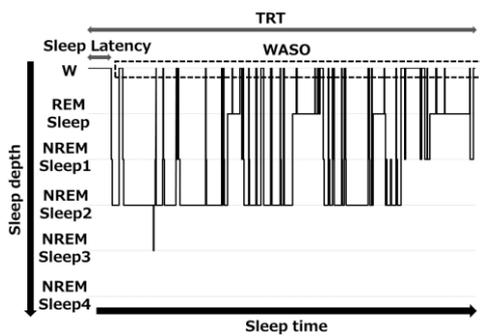


Fig. 1: Sleep progress chart

本研究で推定する睡眠経過図を Fig. 1 に示す。睡眠経過図は、消灯時間から起床時間までの睡眠期間を時系列的に睡眠段階で診断した図を言い、睡眠段階は指定の区域（1 エポック 30 秒として診断することが多い）の睡眠を眠りの深さの観点により最大 6 段階に分類したものであり、眠りが最も浅いものから、覚醒（W）・レム睡眠（REM 睡眠）・ノンレム睡眠 1～4（NREM 睡眠 1～4）である。そのため、睡眠経過図から睡眠活動を視覚的に表現することが出来、客観的な眠りの評価が可能になる。睡眠変数の主な項目は、TRT (total recording time), SL (sleep latency), WASO (wake after sleep onset), TST (total sleep time), SE (sleep efficiency), 各睡眠段階出現率である。TRT は消灯時間から点灯時間までの全記録時間分 (分), SL は消灯時間から入眠までの時間を示す睡眠潜時 (分) であり、この時間が長いと寝つきが悪いことを意味し睡眠障害が存在する傾向にあると診断される。入眠の判断は、消灯状態からいずれかの睡眠 (REM 睡眠・NREM 睡眠 1～4) が出現した最初のエポックの開始時であり、ここで示しているエポックは 1 エポック 30 秒としている。WASO は入眠後の中途覚醒時間を合計した中途覚醒時間 (分) であり、これが長すぎる場合、睡眠の分断や睡眠時間が短くなることで疲れがとれない可能性を示している。TST は総睡眠時間 (分) であり、次式のどちらかで導出される。

$$TST = TRT - (SL + WASO) \quad (1)$$

$$TST = \text{Stage NREM1} + \text{Stage NREM2} + \text{Stage NREM3} + \text{Stage NREM4} + \text{Stage REM} \quad (2)$$

※ Stage NREM1～4, Stage REM は各睡眠段階の出現

時間を合計した時間 (分)

SE は睡眠効率 (%) であり、TRT に対する TST の割合で導出する、各睡眠段階の総和時間の TST に対する割合を各睡眠段階出現率 (%) として導出する。これらの他に中途覚醒回数や睡眠・覚醒サイクルによる生体リズムの評価などにより睡眠の質を評価する。

## 3 提案手法

本研究では睡眠障害の早期発見・日常的な睡眠の質を目指し、睡眠変数のうち入眠を推定する。一般的に、心拍は覚醒状態では高く、深い眠りであるノンレム睡眠 4 に推移するほど低くなる傾向にあり、覚醒やレム睡眠状態では不安定になるとされている。体動は覚醒やレム睡眠状態では、寝返りや四肢運動などにより短時間に多発しやすい傾向にあり、深い眠りではこれらがみられないとされている。本研究では、これらの知見を基に推定する。

本研究で用いるデータは圧力センサから計測される生体振動データであり、2 章で説明した入眠の定義である消灯時間を判断することは出来ない。そのため、消灯と同時にベッドに横になる、つまり生体振動データが計測され始めた時間を消灯時間とする。Fig. 2 は消灯時間から 1 時間分の睡眠時に計測された心拍・体動 (生体振動データから周波数解析により抽出: 本研究で用いるマットセンサである Emfit はセンサ上で解析をし、心拍・体動の値を出力する) を示す。

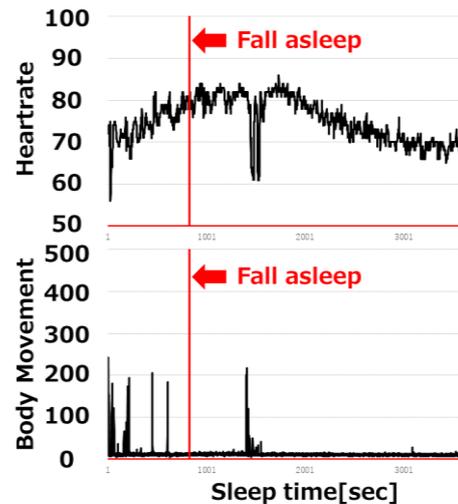


Fig. 2: Biological vibration data for 1 hour from the turn-off time

図中、上には消灯時間から 1 時間分の睡眠時に計測された心拍を、下には体動を示している。縦軸はそれぞれの計測された生体振動データの数値であり、横軸は 1 時間分の睡眠時間 (秒) を示している。図よりわかる通り、本研究で用いるマットセンサは生体振動データから 1 秒毎の数値を出力する。また、図中の赤い線は PSG 検査によって診断された入眠時間を示している。消灯時間から入眠までの期間において、心拍は上昇傾向であり、興奮状態になっていることが推測され、体動は短時間で大きな動きを多くしており、寝やすい睡眠姿勢の確保や寝返りなどを行っていることが推測される。

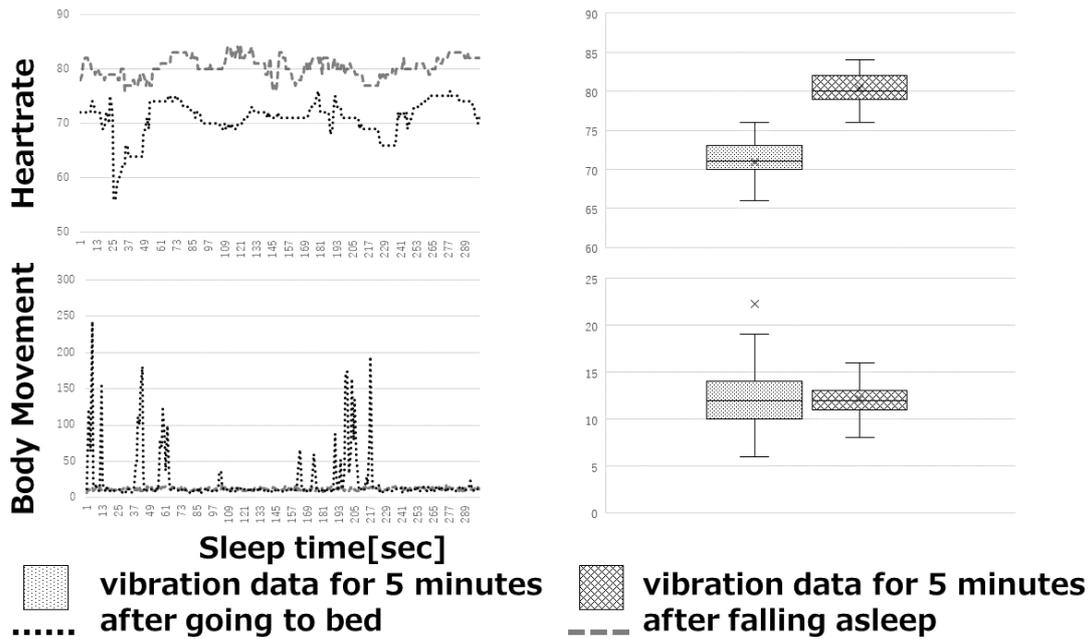


Fig. 3: Comparison of biological vibration data for 5 minutes after going to bed and falling asleep

Fig. 3 は消灯と入眠から5分間の心拍・体動データの比較を示している。左側には横軸に睡眠時間(秒)をとり、上に心拍、下に体動の時間推移を示す。右側にはそれぞれのデータの箱ひげ図ならびに平均値を示しており、図中の×印が平均値である。濃い点線ならびに点のパターンが消灯から5分間のデータであり、薄い点線ならびに斜めの格子パターンが入眠から5分間のデータである。

心拍をみると、消灯後のデータの方が心拍の乱れは少ないが数値としては高くなっており、最大値ならびに最小値の幅に大きな差はない。体動をみると、心拍と同様に消灯後のデータの方が大きな乱れが生じており、中央値と平均値に大きな差が存在する。そこで、次の3つの観点で入眠を推定する。

#### (1) 5分間の体動の分散が100を下回る

これは入眠後には、寝返りや四肢運動がまったく生じなくなると想定した推定法である。分散値の100はセンサに依存する値であるが、本研究で用いたセンサでは平常時には約10の値を、軽い体動であれば約200の値を、大きい体動であれば約1000の値をとることから5分間のデータ、つまり600データ内に軽い体動や大きな体動が存在しないことを判定するために設定した。

#### (2) 5分間の体動の平均値と中央値の差が5以下

これは入眠後には、寝返りなどのような大きい体動、もしくは小さい体動が生じることが頻繁でなくなると想定した推定法である。この差として設けた値もセンサに依存する値であるが、fig. 3の中央値と分散値の関係から設定した。

(3) 消灯直後の5分間の心拍の分散よりも5小さくなる。心拍の大きさは個人差や体調に依存して変化しやすいため、中央値や平均値との比較ではなく、入眠後には心拍の乱れは小さくなると想定した推定法である。

(2)同様、閾値の値はfig. 3の中央値と分散値の関係から設定した。

## 4 実験

実験の比較内容を記載する

### (1) 実験設定

被験者実験では、PSG検査により、睡眠時の脳波、眼球電図やオトガイ筋の筋電図を、圧力センサからは生体振動データを測定した。測定する際、脳波電極の配置は国際脳波学会の標準法である10/20法に従った。脳波・眼球電図・オトガイ筋の筋電図は専門医師による診断により正しい睡眠段階を取得するために使用しており、生体振動データは従来法や提案法を用いて睡眠段階を推定するために使用した。脳波・眼球電図・オトガイ筋の筋電図の測定装置として、脳波計であるAlicePDxを用い、生体振動データの測定装置として、圧力センサであるEmfitを用いた。実際の実験では、ベッドの下にEmfitを敷き、複数の電極の装着した状態で睡眠をとってもらうことで、睡眠時のデータを同時に測定し、それぞれ睡眠段階を導出し比較した。睡眠時のPSG検査によるデータ計測の際に同時に測定されることがある、下肢筋電図、心電図、呼吸曲線、睡眠状態の観察、いびき音、食道内圧、深部体温、血圧、自律神経活動、経皮的炭酸ガス及び呼気炭酸ガスなどは被験者に対する負荷を減らすため計測しなかった。

### (2) 睡眠データ

本実験では20代男性の被験者1名に1日分の睡眠実験をしてもらった。本来、検査が初めてであると、睡眠環境の変化や不慣れな計測機器の装着で、寝つきが悪化、中途覚醒回数の増加、REM睡眠や徐波睡眠の減少など、通常の睡眠状態とは異なることがあるため、複数日の計測の後、正式版の計測をすることで影響を取り除くのが一般的であるが、今回の実験では事前に

被験者に対して睡眠環境を写真や動画などで熟知してもらい、検査内容・検査所要時間・検査の意図を説明することで不明点を無くし不安要素を取り除くことで対応した。

### (3) 評価指標

PSG 検査によって計測されたデータを専門医師によって R&K 法を用いて診断された正しい入眠時間との比較を評価として用いる。今回診断された正しい睡眠段階は1 エポック 30 sec としているため、入眠時間もこのエポックを基に診断されているが、本提案手法により取得される生体振動データは1 sec で1 データであるため1 sec の粒度で入眠を推定した。

### (4) 結果

Table. 1: Result of falling sleep estimation

Correct sleep time by PSG	23:18:40
Proposed method (1)	23:19:59
Proposed method (2)	23:13:13
Proposed method (3)	23:14:54

Table. 1 に推定結果を示す。一番上は PSG 検査で計測したデータを基に専門医師が診断した入眠時間であり、(1) 5分間の体動の分散が100を下回った際に入眠とする推定法、(2) 5分間の体動の平均値と中央値の差が5以下の際に入眠とする推定法、(3) 消灯直後の5分間の心拍の分散よりも5小さくなる際に入眠とする推定法の結果である。結果から(1) の体動の分散を用いた入眠推定が最も PSG 検査によって診断された入眠時間とズレが少なかった。

## 5 考察

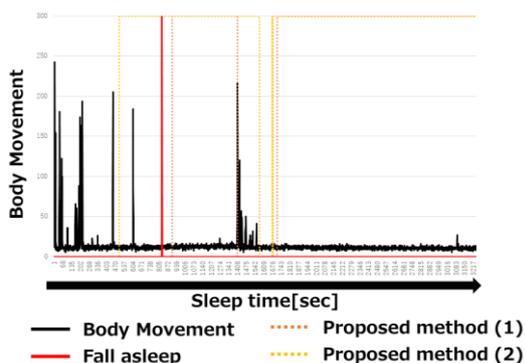


Fig. 4: Results of sleep onset estimation of the Proposed method (1), (2)

Fig. 4 に、提案手法(1)と(2)の入眠推定結果を示す。図の横軸は睡眠時間であり、縦軸は体動の値を示す。黒の実線は体動の値、赤い実線は PSG 検査によって診断された入眠時間、オレンジ色の点線は提案手法(1)、黄色の点線は提案手法(2)の入眠推定時間を示す。図の結果より、提案手法(1)では軽い体動や大きな体動が存在しない状況まで入眠を判定せず、提案手法(2)では体動が生じることが頻繁でなくなる状況まで入眠を判定していない

ことがわかる。今回の被験者の入眠に至るまでの体動として、活発な体動から体動の頻度が下がり、体動が生じない状況になり入眠に至っていることがわかる。そのため、提案手法(1)の方がズレが小さい結果となった。しかし、これには個人差が存在することが考慮されるため、異なる被験者の睡眠データにおいても同様の推定実験をすることが求められる。また、提案手法(3)に関しては、心拍の分散は入眠前後で大きくなく、入眠の判定が安定はしなかった。そのため、心拍の値も個人により大きく異なるため、睡眠データが蓄積し、詳細な閾値決定が可能であれば効果的であることが見込まれるが、睡眠データが少ない場合は推定精度が悪化することが考えられる。

## 6 おわりに

本研究では、推定者に身体的ストレスがなく簡易的に日常の睡眠を管理することを目標に、マット型の圧力センサを用いて睡眠の質の推定を目指した。具体的には、睡眠の質に関係する睡眠変数のうち入眠ならびに入眠潜時の推定に着目し、圧力センサより計測される生体振動データから体動と心拍の変動から推定を試みた。被験者実験により、5分間の体動の分散値を用いることで入眠時の生体的な特徴である体動の頻度が低下することを判定し、1分程度のズレで入眠を推定することが出来た。今後の課題としては、被験者数を増加させ、有効性の検証をするとともに、他の睡眠変数の値を推定し、睡眠の質の評価法を確立することである。

## 参考文献

- 1) "GENDER EQUALITY". Gender Data Portal 2019. <https://www.oecd.org/gender/data/>
- 2) "健康づくりのための睡眠指針 2014". 厚生労働省. <https://www.mhlw.go.jp/file/06-Seisakujouhou-10900000-Kenkoukyoku/0000047221.pdf>
- 3) "自動車運送事業用自動車事故統計年報". 国土交通省自動車局. <https://www.mlit.go.jp/jidosha/anken/subcontents/data/statistics56.pdf>
- 4) Rechtschaffen, Allan.: "A manual of standardized terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects", Brain information service, 1968.
- 5) 三輪洋靖, 笹原信一郎.: "ウェアラブル計測による健康者とうつ病患者の睡眠の比較". バイオメカニズム学会誌, Vol.35, No.1, pp.21-27, 2011.
- 6) 荒木光仁, 善甫啓一, 水谷孝一, 若槻尚斗.: "呼吸音モニタリングによる睡眠状態推定", 2016.
- 7) 亀山研一, 鈴木琢治, 行谷まち子.: "快眠のための睡眠判定と睡眠モニタシステム". 東芝レビュー, Vol.61, No.10, pp.41-44, 2006.
- 8) 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, Vol.38, No.7, pp.581-589, 2002.
- 9) 渡辺嘉二郎, 真鍋宗広, 吉川崇.: "脈波と体動による睡眠指標の定義と睡眠段階の推定". 計測自動制御学会論文集, Vol.42, No.4, pp.404-410, 2006.