

Sleep Network Hub 「ZAKONE」
ZAKONE NIGHT
Vol.21

Sleep Network Hub

ZAKONE NIGHT #21

ZAKONE STUDY

bi-LSTM Deep Learningを用いた睡眠5段階推定技術





Health Sensing Co.,Ltd.

ZAKONE STUDY

bi-LSTM Deep Learningを用いた睡眠5段階推定技術

ヘルスセンシング株式会社

代表取締役 鐘ヶ江 正巳



九州大学を卒業後、日立製作所に入社して20年ほど半導体の研究に携わる。43歳で退職後、1996年にヘルスセンシング株式会社を設立しましたが、しばらくは半導体関連の技術コンサルタントを実施。

その後、2000年に中国でソフトウェア開発やデータ入力の受託をする会社を起ち上げました。一時は従業員が400人くらいになるまで成長しました。しかし、次第に人件費が高騰し始めたので、2013年にM&Aで売却。

同年にヘルスセンシング株式会社を創業して、現在は、これまでの長年の技術力を活かし、横たわるだけで生体情報を取得し睡眠を解析する、無拘束型のシートセンサーとソフトウェアを開発。

どんなサービス？



睡眠測定



ストレス測定



当社IoTクラウドシステムと睡眠解析オンライン(週次・月次)表示

IoTクラウドシステムとサービス(AWS)

データ収集サーバ

時系列データベース

influxdb

Amazon EC2

睡眠状態分析・表示サーバ

データ取得

睡眠解析オンライン(日次)

睡眠解析オンライン(週次・月次)

状態モニタリング

101号室 AAAさん 102号室 BBBさん 103号室 CCCさん 104号室 DDDさん 105号室 EEEさん

心拍数:0 呼吸数:0

心拍数:60 呼吸数:15

心拍数:60 呼吸数:15

心拍数:60 呼吸数:15

心拍数:60 呼吸数:15

リモートデスクトップの画面操作でプログラム実行

睡眠解析オンライン(日次)

睡眠解析オンライン(週次・月次)

PC、スマホ、タブレットで閲覧可能です

2022年

7月22日 7月18日 7月15日 7月11日 7月8日 7月4日 7月1日

時間(分)

指標 値

睡眠時間(h)

WK (%)

REM (%)

N1 (%)

N2 (%)

N3 (%)

呼吸潜れ(m)

呼吸潜れ(m)

CONFID

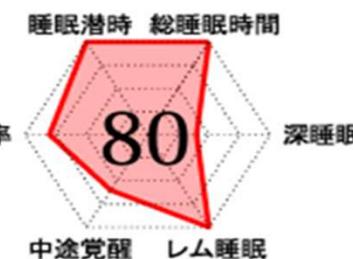
12 | ©2024 Healthsensing Co.,Ltd, All Rights Reserved

睡眠レポート

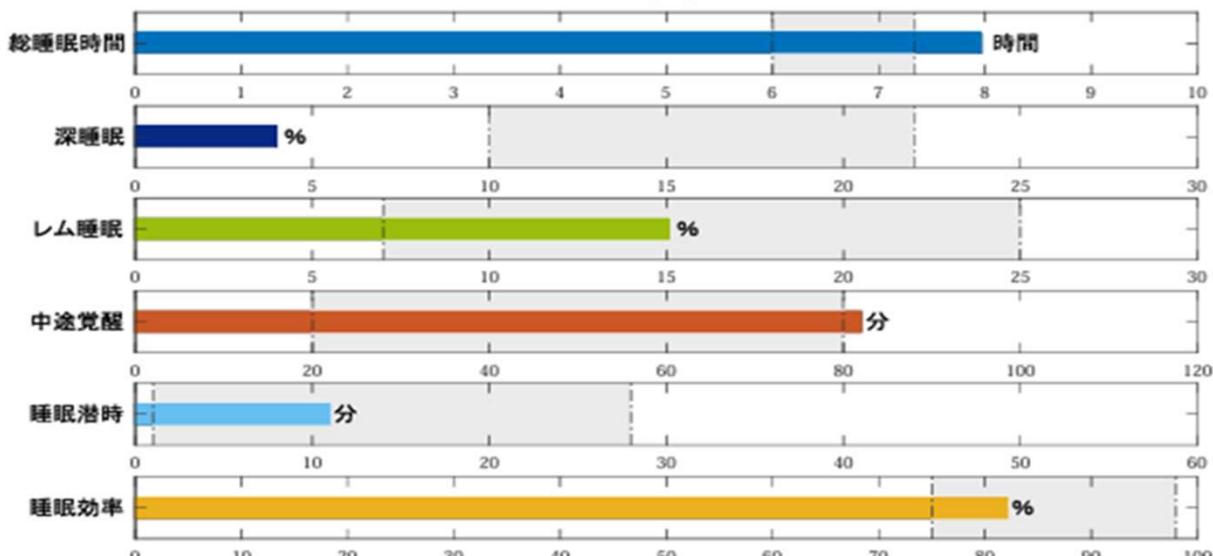
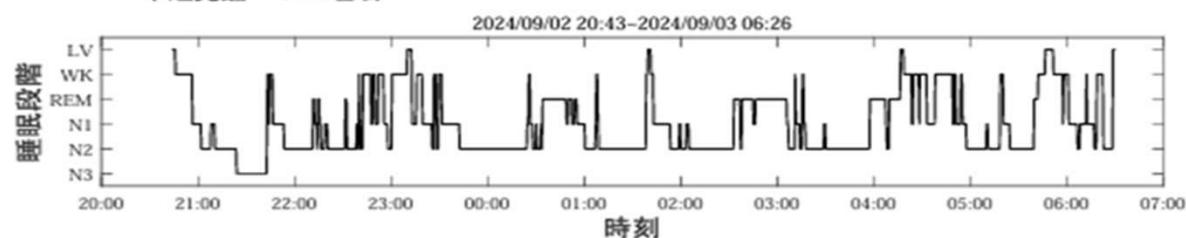
(..\20240908\KSU-0007_2024-09-03.csv)



総合睡眠点数 : 80点
眠解析から得られた
睡眠指標 (総睡眠時
間、深睡眠、レム睡眠、中
途覚醒、睡眠潜時、睡眠効率
する)

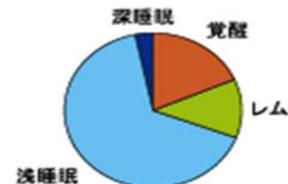


>85: 睡眠は適切です。このままキープしましょう。
70-84: 睡眠は概ね良好です。
<70: 睡眠がうまくとれずバランスを崩しているようです。



総睡眠時間: 入眠から起床までの実際の睡眠時間
レム睡眠: 急速眼球運動が出現する睡眠(REM)
睡眠潜時: 就寝時刻から睡眠開始までの時刻
浅睡眠: ノンレム睡眠3段階の中で浅い睡眠(N1,N2)

深睡眠: ノンレム睡眠3段階の中で一番深い睡眠(N3)
中途覚醒: 入眠から起床までで覚醒状態を示す時間
睡眠効率: 就寝時間に対する睡眠時間の割合
睡眠周期: ノンレム睡眠とレム睡眠の1サイクル時間



大凡の基準範囲

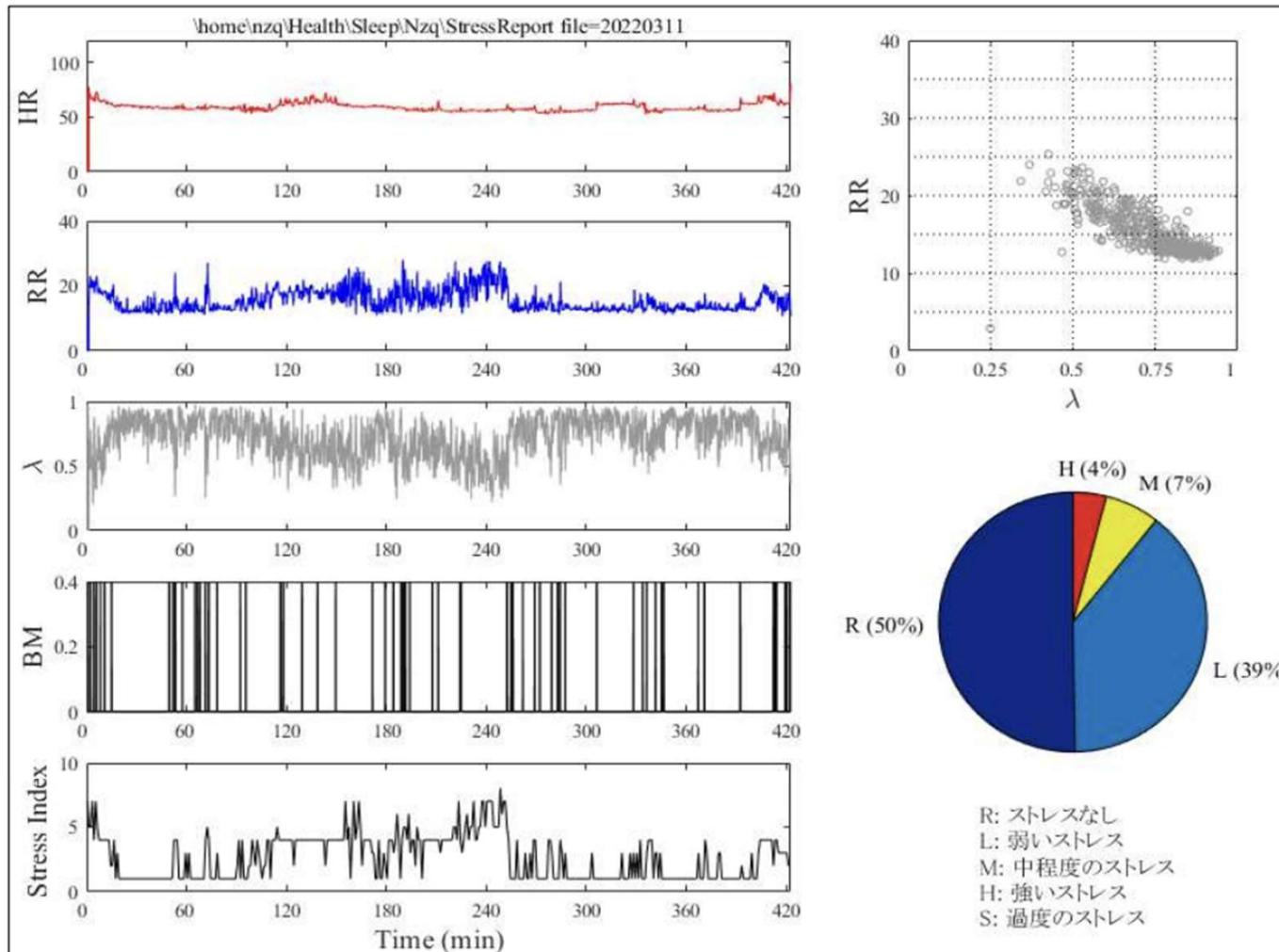
睡眠指標

指標	値
総睡眠時間	7時間58分
深睡眠	4.0% (19分)
浅睡眠	81.0% (387分)
レム睡眠	15.1% (72分)
中途覚醒	82分
睡眠潜時	11分
睡眠効率	82.1%
睡眠周期	86分
離床回数	4回
推定AHI	1.1/時

AHI: 無呼吸/低呼吸指数

左図で、グレーが許容範囲
内の睡眠指標から睡眠状態を
合的に判断してい

ストレスをリアルタイムで連続測定できる。(ストレスレポート)



自律神経活動と呼
吸データとからり
アルタイムでスト
レスインデックス
を計算している。

シートセンサから
ストレスを連続測定

睡眠表現UI(生成AI応用)

52. 194. 247. 21

現在開発中

Sleep Sensor for Behavioral Transformation

KANEAGE Log-out Config CSVDownload Guide

やや緊張感のある1日ですね。気を付けていってらっしゃいませ。本日就寝目標は23:48です。

会話ログ
2023/10/31 起床時
Q: 修正しました
A: 忙しさ③, 緊張感⑤
Q: 承知しました
A: 予定修正
A: ④, まあまあかな。
Q: おはようございます。睡眠を5段階で評価してください。

2023/10/30 就寝時
Q: お休みなさい。良い夢を。

本日の予定について
忙しさ: ③
緊張感: ⑤
修正
読み上げ開始
キャラ変更

睡眠スコア 2024年7月28日

総睡眠時間: 416分
N3睡眠: 10.1%
REM睡眠: 11%
中途覚醒: 72分
睡眠効率: 82.6%
睡眠潜時: 14分
睡眠周期: 57分
起床回数: 1回
推定AHI: 9.5

90 😊

睡眠スコア 2024年7月29日

総睡眠時間: 404分
N3睡眠: 1.6%
REM睡眠: 6.8%
中途覚醒: 78分
睡眠効率: 82.1%
睡眠潜時: 8.5分
睡眠周期: 38分
起床回数: 1回
推定AHI: 8.7

78 😊

最適睡眠時間
8h00m

就床 21:26
起床 05:51

AI睡眠評価

この睡眠データを解析すると、総睡眠時間は416分であり、約7時間の睡眠が確保されていますが、いくつかの改善点があります。N3睡眠(深い睡眠)は10.1%とやや少なめで、理想的には15-20%程度が望ましいです。深い睡眠は身体の回復に重要であり、運動やリラックスする環境作りが改善に役立ちます。REM睡眠は11.0%で、これもや…

続きを読む

アドバイス

詳細

月間スコア 2024年7月

各日睡眠スコア (例: 92, 90, 86, 86, 92, 92, 76, 88, 84, 86, 86, 82, 56, 66, 78, 92, 60, 68, 82, 86, 70, 90, 78, 74)

最適睡眠タイプ
4h55m

睡眠負債
0min

本日就寝目標
23:00



©2024 Healthsensing Co.,Ltd, All Rights Reserved

開発中で
成AIと医療
統合した眠
を双向性
でUI実装

睡眠測定技術とは？

bi-LSTM Deep Learningを用いた睡眠 5段階推定技術



25の特許取得・Natureにも掲載

代表的論文(ネイチャー/Scientific Reports)

■ Nature Published: 18 October 2023
scientific reports

OPEN Deep learning-based sleep stage classification with cardiorespiratory and body movement activities in individuals with suspected sleep disorders

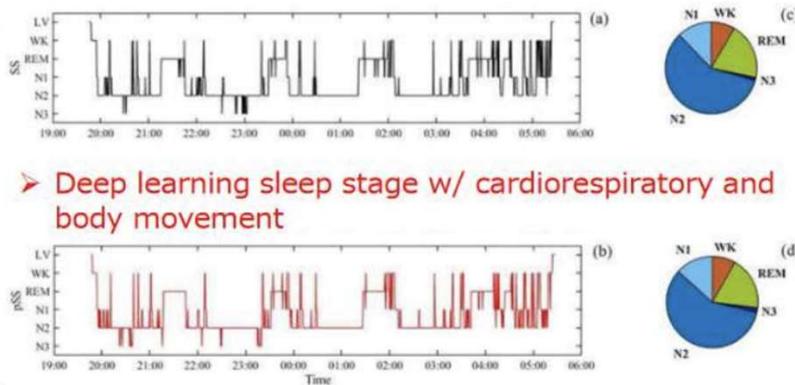
Seiichi Morokuma^{1,2}, Toshinari Hayashi¹, Masatomo Kanegae³, Yoshihiko Mizukami³, Shingo Asano³, Ichiro Kimura³, Yuji Tateizumi³, Hitoshi Ueno¹, Subaru Ikeda¹ & Kyuichi Niizeki⁴

Deep learning methods have gained significant attention in sleep science. This study aimed to assess the performance of a deep learning-based sleep stage classification model constructed using fewer physiological parameters derived from cardiorespiratory and body movement data. Overnight polysomnography (PSG) data from 123 participants (age: 19–82 years) with suspected sleep disorders were analyzed. Multivariate time series data, including heart rate, respiratory rate, cardiorespiratory coupling, and body movement frequency, were input into a bidirectional long short-term memory (biLSTM) network model to train and predict five-class sleep stages. The trained model's performance was evaluated using balanced accuracy, Cohen's κ coefficient, and F1 scores on an epoch-per-epoch basis and compared with the ground truth using the leave-one-out cross-validation scheme. The model achieved an accuracy of 71.2 ± 5.8%, Cohen's κ of 0.425 ± 0.115, and an F1 score of 0.650 ± 0.083 across all sleep stages, and all metrics were negatively correlated with the apnea–hypopnea index, as well as age, but positively correlated with sleep efficiency. Moreover, the model performance varied for each sleep stage, with the highest F1 score observed for N2 and the lowest for N3. Regression and Bland–Altman analyses between sleep parameters of interest derived from deep learning and PSG showed substantial correlations ($r = 0.33$ – 0.60) with low bias. The findings demonstrate the efficacy of the biLSTM deep learning model in accurately classifying sleep stages and in estimating sleep parameters for sleep structure analysis using a reduced set of physiological parameters. The current model without using EEG information may expand the application of unobtrusive in-home monitoring to clinically assess the prevalence of sleep disorders outside of a sleep laboratory.

■ The sensor structure, biological signal analysis method, AI analysis method, etc. are protected by our patents

- Patented: JP=21, US=3, CN=1
- Now applying: 24

➤ PSG (Polysomnography measurement results)



➤ Deep learning sleep stage w/ cardiorespiratory and body movement

睡眠計測とは・・・

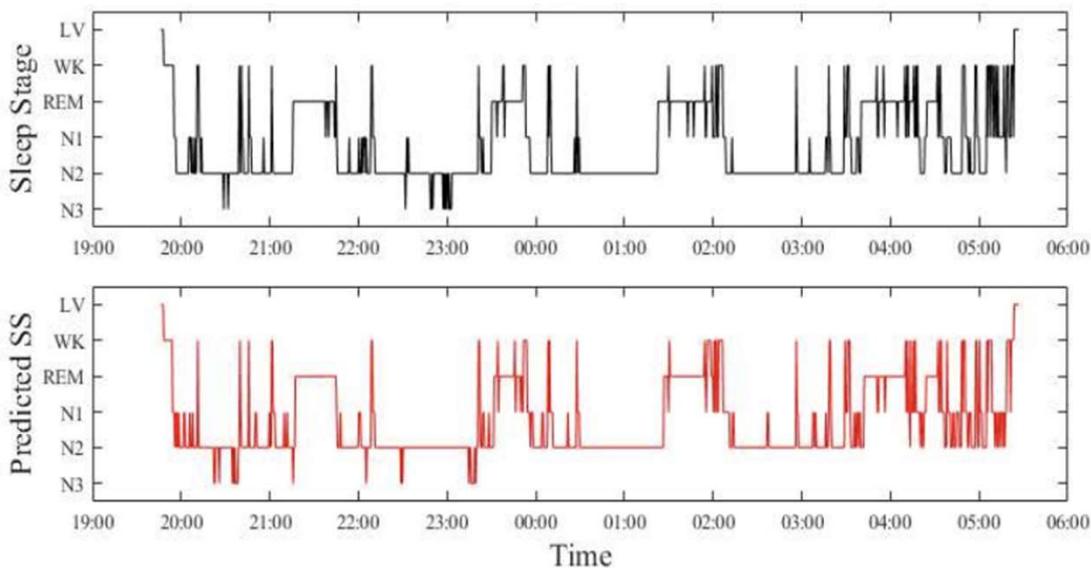
医療：PSG検査が世界標準

最近は、この簡易版が普及しつつある。睡眠計測には
脳波計測（80%）、心拍計測（20%）が用いられる。

用途	手法	分類	特徴
医療	PSG検査 (ポロソムノグラフィ)	脳波解析を中心 心電、眼電、筋電等を利用	医学的に世界標準で医師が利用。一晩、入院検査して、脳波、心電図、眼電図、筋電図、SpO2、呼吸、音声等複数のセンサを解析して睡眠を解析
脳波簡易検査	脳波系簡易検査	脳波解析	電極を頭部に数ヶ所貼り付けて、睡眠中の脳波を計測する。
ヘルスケア	スマートウォッチ	心臓系	脈波と加速度センサを用いた生体情報から睡眠判定を行う。手首の橈骨動脈から脈波を測定。現在、世界的に簡易測定として普及しつつある。
ヘルスケア	非接触で、心拍を計測する	心臓系	非接触で、心臓の動きを振動波として測定。信号解析により心拍・呼吸・体動・自律神経活動を分離抽出し、機械学習を用いて睡眠解析を行う。

Evaluation of sleep stage classification performance

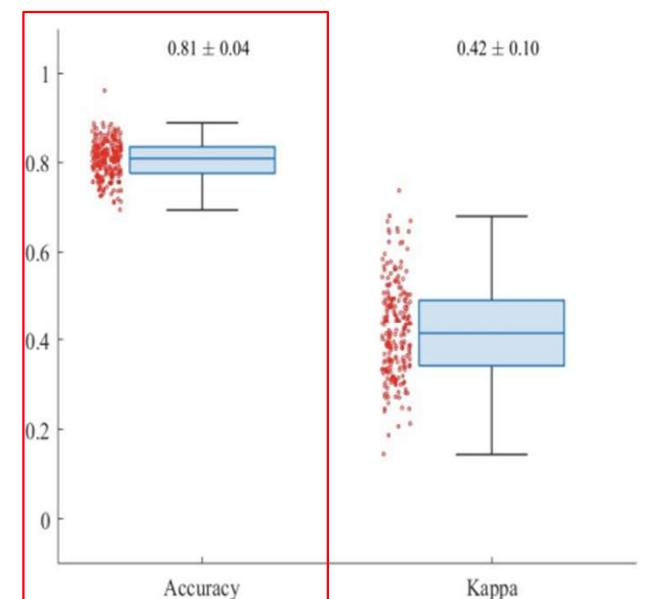
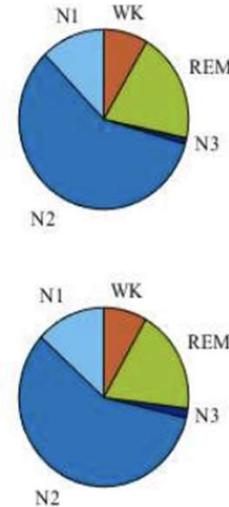
best performance case



	N3	18	1	1		
	N2	13	598	38	18	
	N1	60	70	8	16	
Predicted	REM		13	196	8	
	WK	2	20	8	66	
		N3	N2	N1	REM	WK
True						

State	Recall	Precision
Wake	0.673	0.688
REM	0.848	0.903
N1	0.493	0.455
N2	0.882	0.886
N3	0.000	0.000

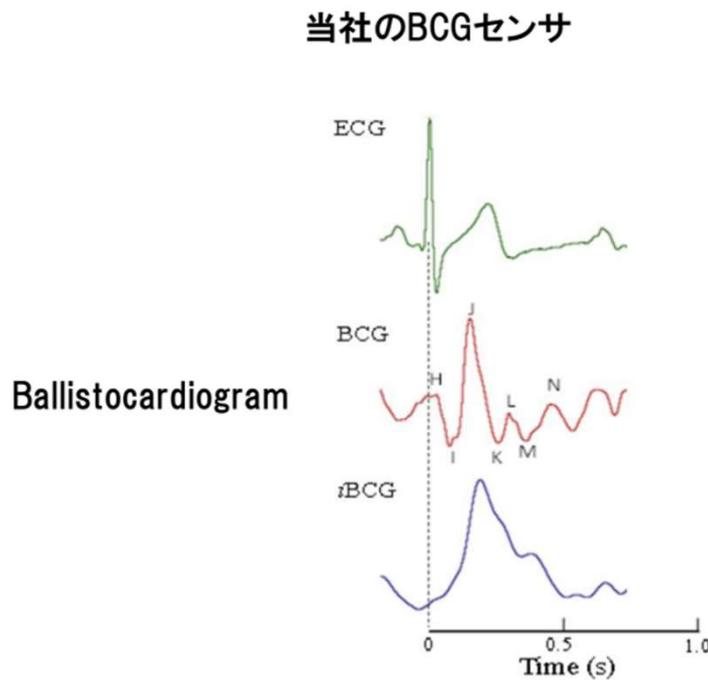
Accuracy = 0.934
Kappa = 0.750



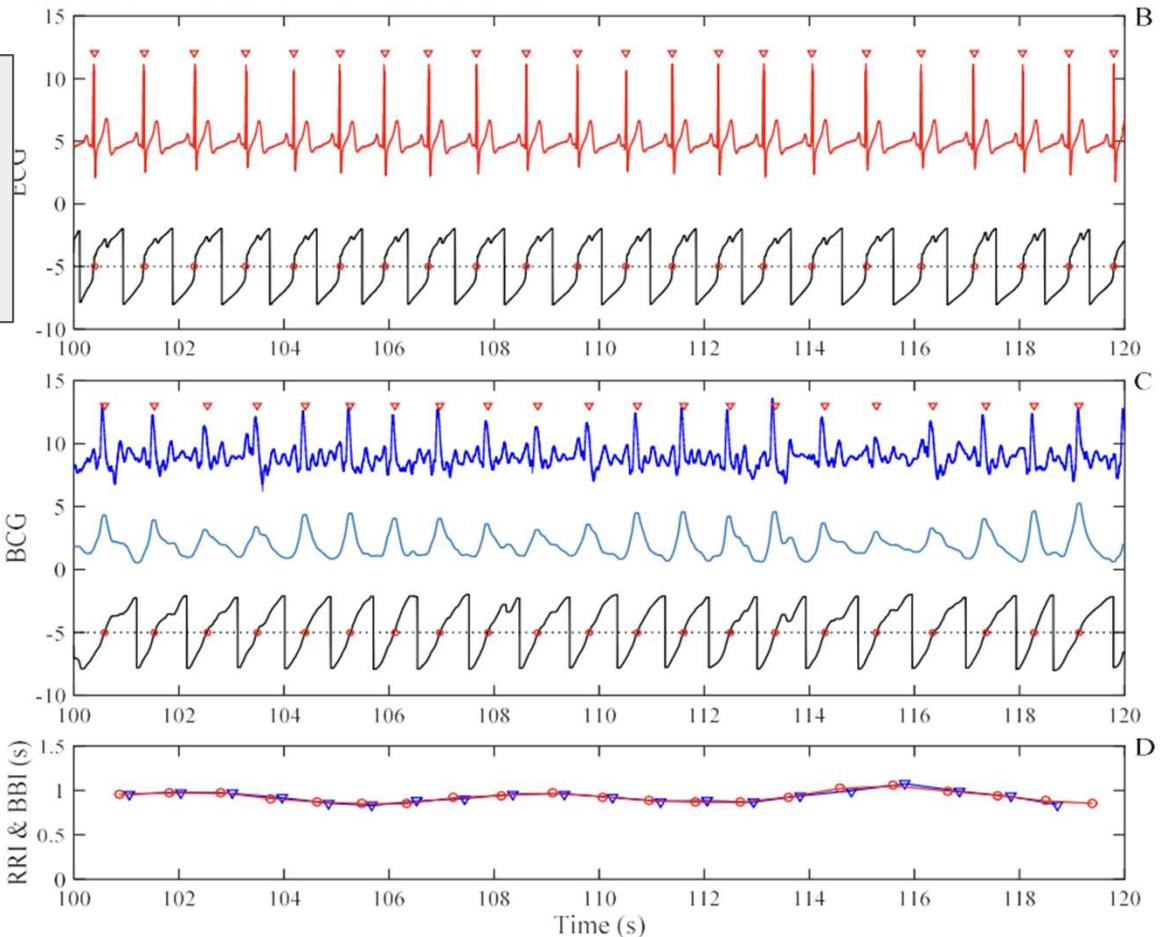
非接触センサから取得した生
体情報と機械学習（深層学
習）により、非接触なのに実
測値に近い高精度睡眠解析を
実現した

ECGとBCG信号の比較

ECG信号(赤色) BCG原信号(青色;中間図)のピーク検出を行い、RRI及びBallistic Beat Interval(BBI)を算出した。
RRI(赤色)とBBI(青色)が一致していることがわかる



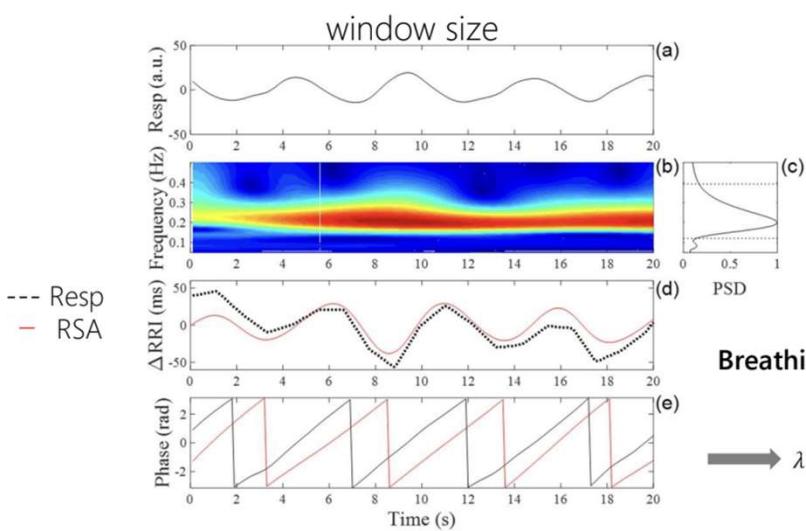
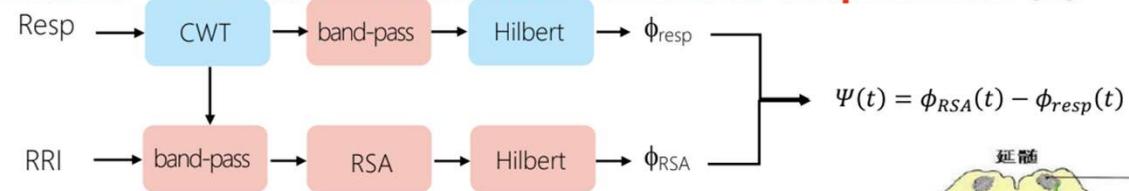
心電図



ストレスの測定方式

自律神経活動指標

Phase coherence between RSA and respiration (λ)



©2024 Healthsensing Co.,Ltd, All Rights Reserved

Niizeki K and Saitoh T. Am. J. Physiol. 2013.



Breathing always precedes heartbeat!

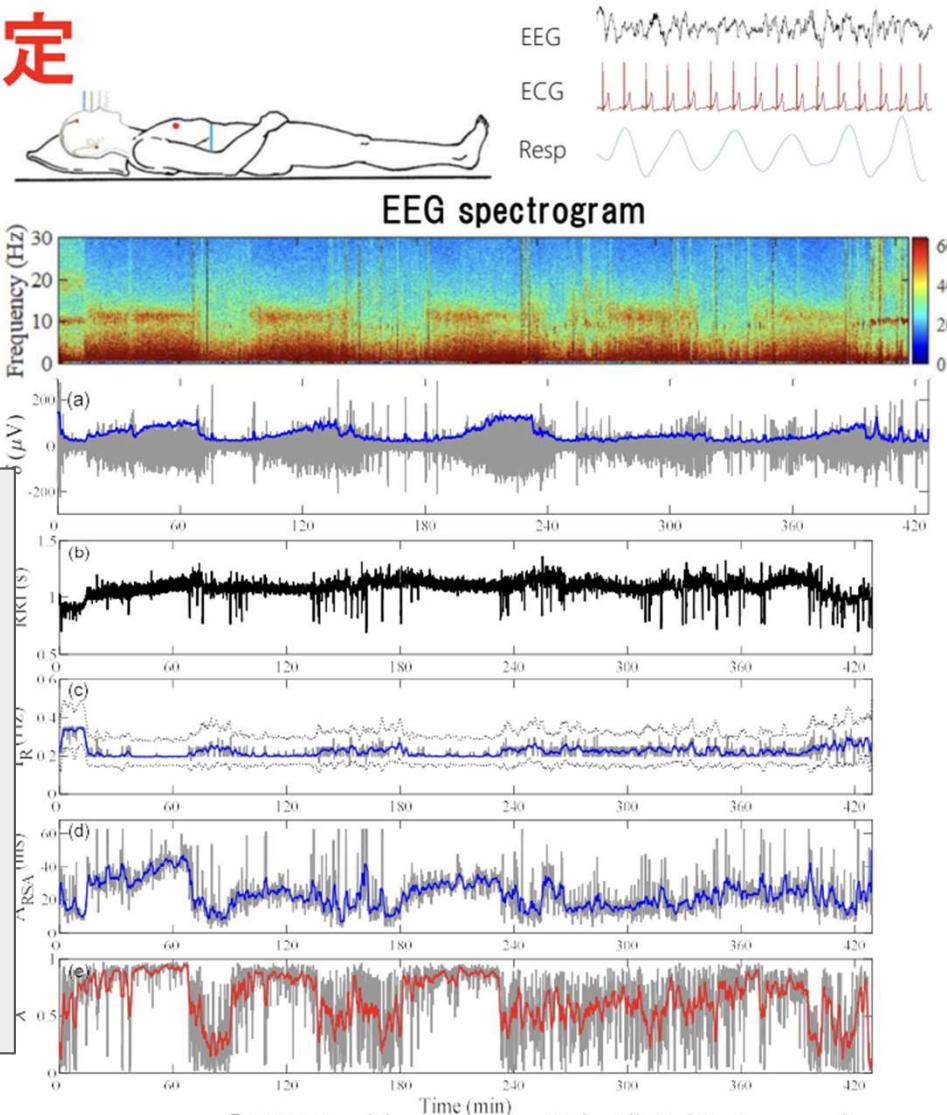
$$\lambda(t_k) = \frac{1}{N} \sum_{j=k-N/2}^{k+N/2} |e^{i\psi(j)}|^2$$

5

リラックスとは…
人間が自律神経活動が整っている状態
心拍と呼吸のカップリング現象が生じ
逆に合わないと興奮・緊張状態（交感）
これら自律神経活動（交感神経・副交感神経）
で求める計算式を考案して

EX)マラソンランナー走れる理由：心拍が速い
胎児と母親の心拍がカップリング
：心拍どうしがカップリング

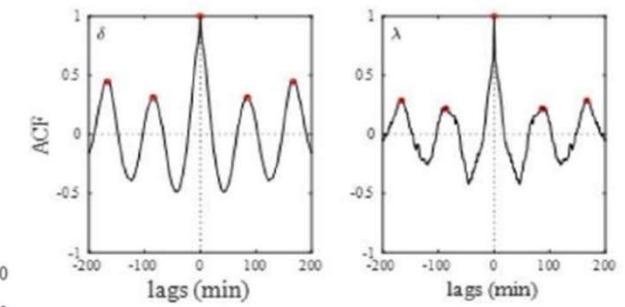
睡眠測定



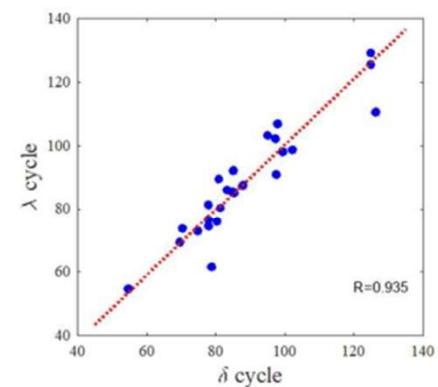
脳波 δ 波

深睡眠中の脳波
デルタ波と
自律神経活動の周期が
一致している。
これが脳と心臓を繋ぐ
重要なパラメータ：こ
の結果

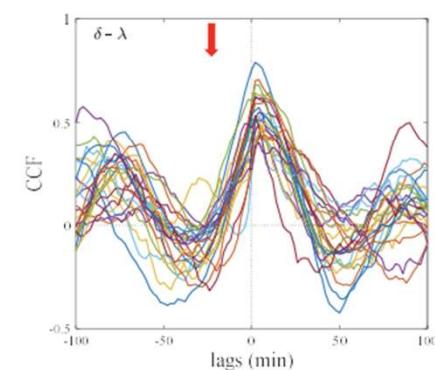
心臓から自律神経活動
を測ることにより脳波
を推定できる



脳波 δ 波自己相関 λ 波自己相関



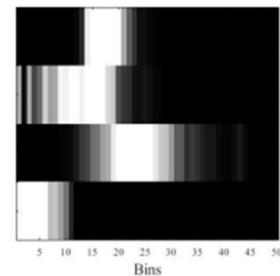
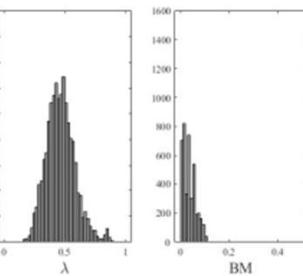
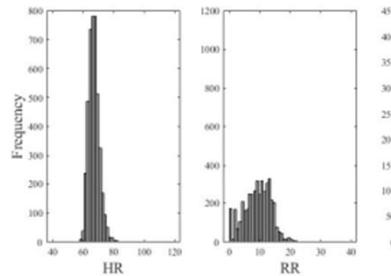
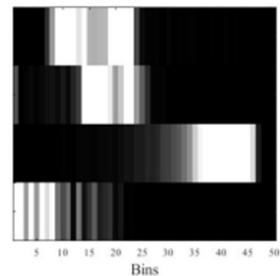
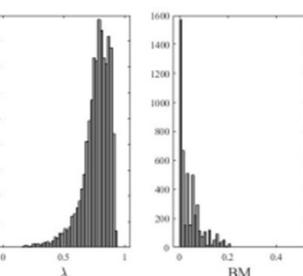
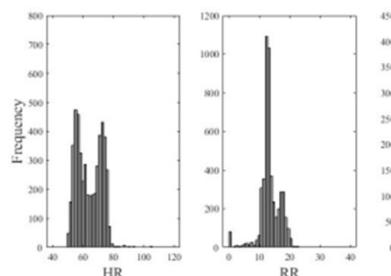
脳波 δ 波と
の周期一致



脳波 δ 波
の相互相

無呼吸症候群(SAS)の早期発見支援

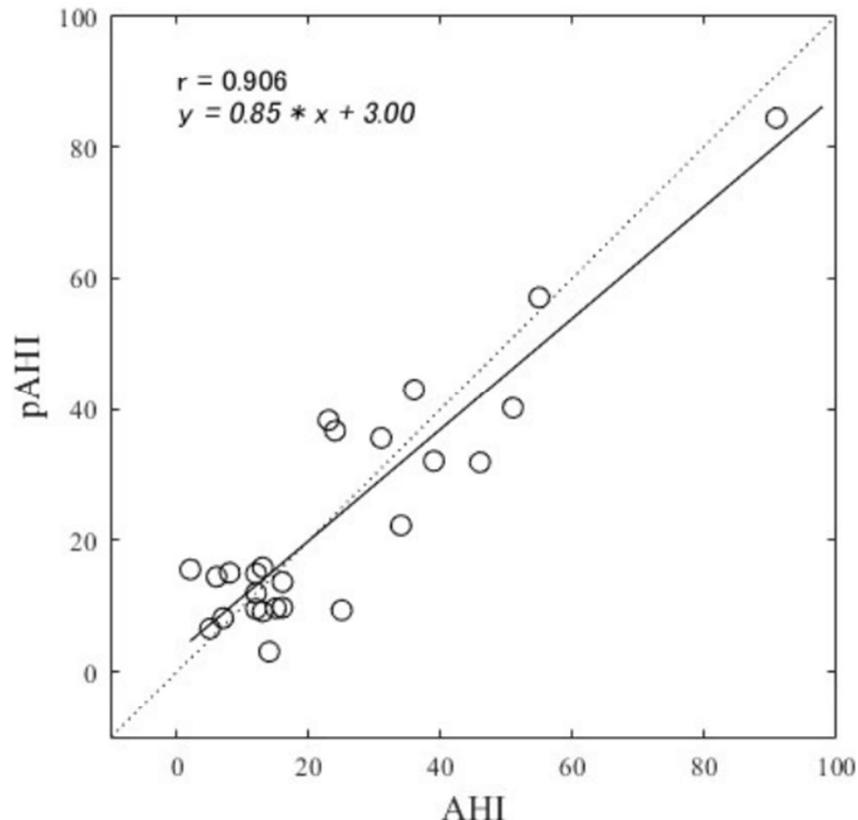
シートセンサ1台だけで(Sp02、気流計を使わずに)AI(深層学習)完全無拘束でSASを検出



AHI検出の基本パラメータ

波形分布画像から特殊なアルゴリズムでSASを発見

90%のAHI検出率が可能



具体的なユースケースは？



東京都の事業に「睡神デルタ」が採用

- 東京都の「認知症高齢者東京アプローチ社会実装事業」に採択されるなど、自治体と連携もされています。

鐘ヶ江:連携しているのは認知症患者のBPSD(※2)発症をAIで予測し、介護の現場に役立てるという事業です。BPSDとは認知症患者に見られる行動や心理的な変化です。不安になったり、大声を出したり、ワーッと暴れてしまったりと、患者の日常生活のケアを提供する家族や介護者にとって大きな負担となります。こうした認知症患者の生体情報を取得・解析するために、弊社の「睡神デルタ」が使われています。スマートウォッチも使われていますが、接触タイプでは患者が体につけるのを嫌がるので外してしまうんですね。体への接触がない、非接触タイプのほうがデータを取りやすいんです。この事業は東京都が主催となり、順天堂大学と電気通信大学を中心に、コニカミノルタ株式会社、TOPPAN株式会社といった大企業にも協力していただいています。

※2. 国際老年精神医学会は「認知症患者にしばしば生じる、知覚認識または思考内容または気分または行動の障害による症状」と定義している。

今後の展望は？



発達障害を

今後、力を入れて

鐘ヶ江:基礎技術はだ
ールドに注力したい。

睡眠計測計を普及させたい

①センサーとデータ解析（睡眠他）一式で供給する方法

導入したい企業：ホテル・病院・介護事業者・在宅個人

②センサーはあるが、ソフトウェアのエンジンが欲しい。信号処理・AI睡眠
解析ソフト等。顧客の事業にエンジニアリングを用いて協力できる。
心電図、脈波、血圧等ウェアラブル技術にも習熟している。

③製品に関して睡眠や自律神経の影響を検証をしたい企業
(before & after)

向けのフィ
と、ちょつ

とした音や光で目が覚めたりして睡眠障害を患うことが多いんです。一般的に発達障害は3歳くらいにならないと分からないのですが、3歳を過ぎると改善しにくくなってしまう。そこで、眠りをチェックして発達障害を早期に発見できるような商品を開発できれば、社会の役に立つことができます。

NEWS

ZAKONE SNSへのフォローをお願いします

イベント情報・記事発信・メンバー間の情報交換が可能です！
是非ご参加ください！

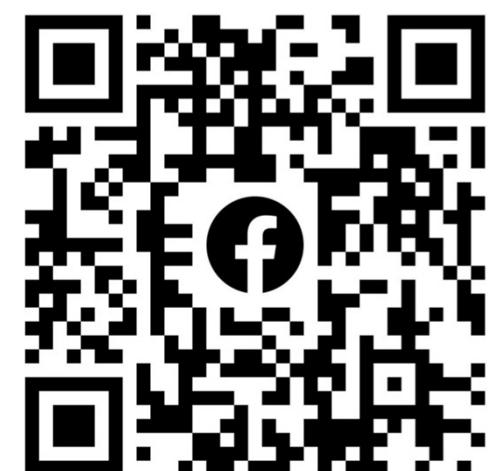
<Instagram>



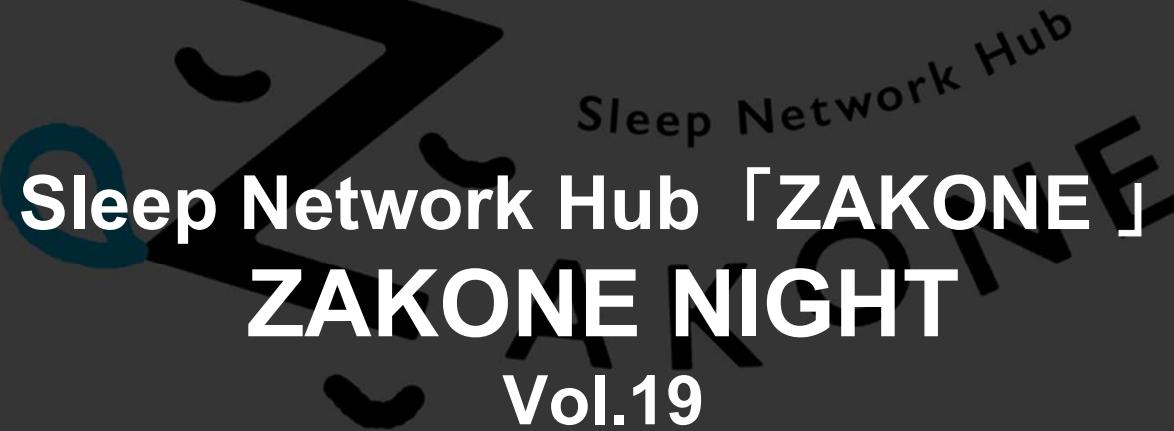
<Twitter>



<Facebook>



#ZAKONE で盛り上げよう



Sleep Network Hub

Sleep Network Hub 「ZAKONE」

ZAKONE NIGHT

Vol.19

