

BCGセンサを用いた睡眠解析とストレス評価

(AIプログラム医療機器の開発)

2023年8月

ヘルスセンシング株式会社
東京都八王子市七国六丁目7番13号

心拍計測法分類とBCG信号

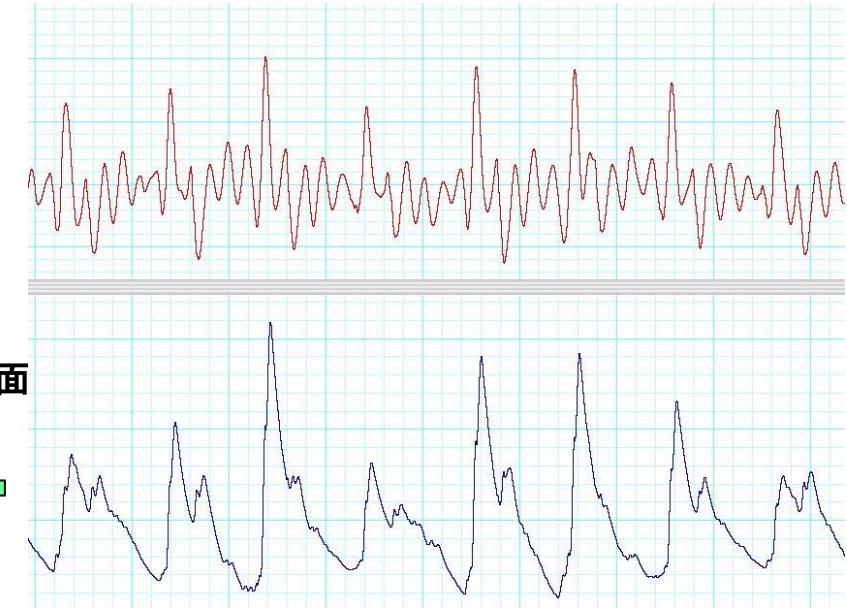
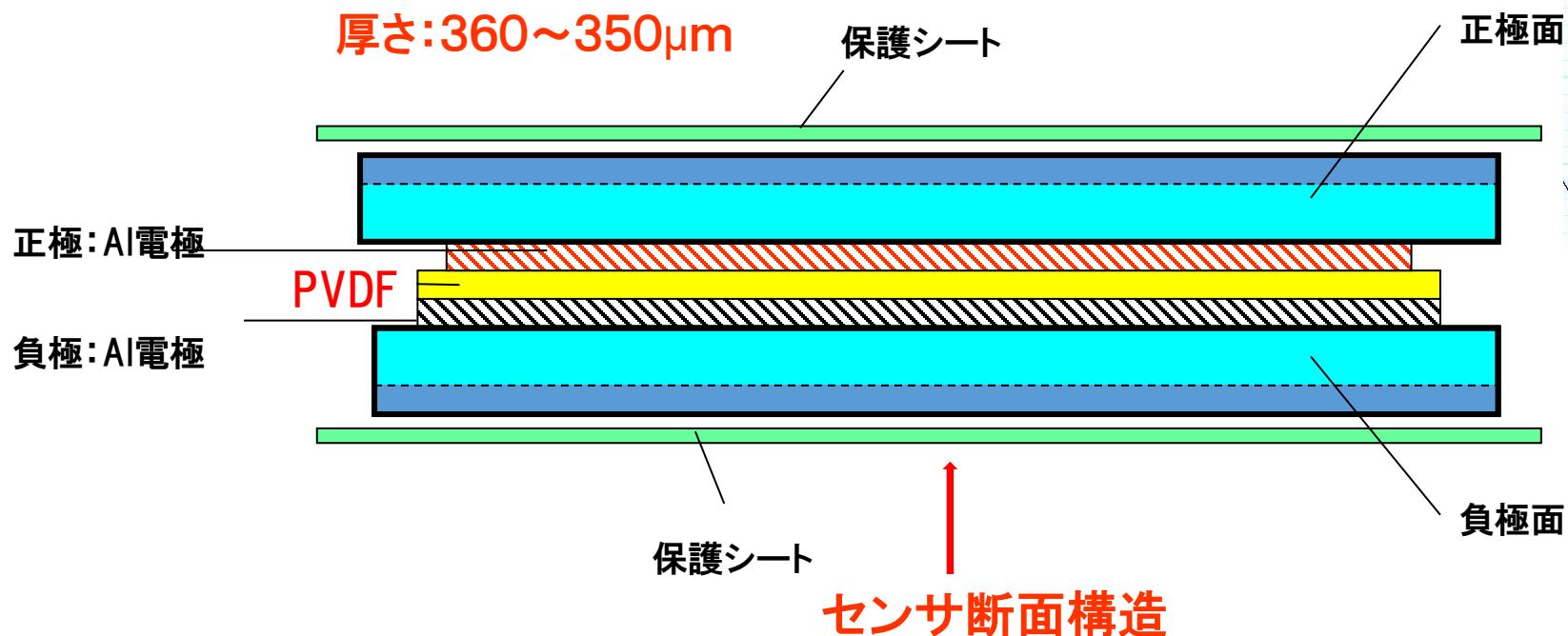
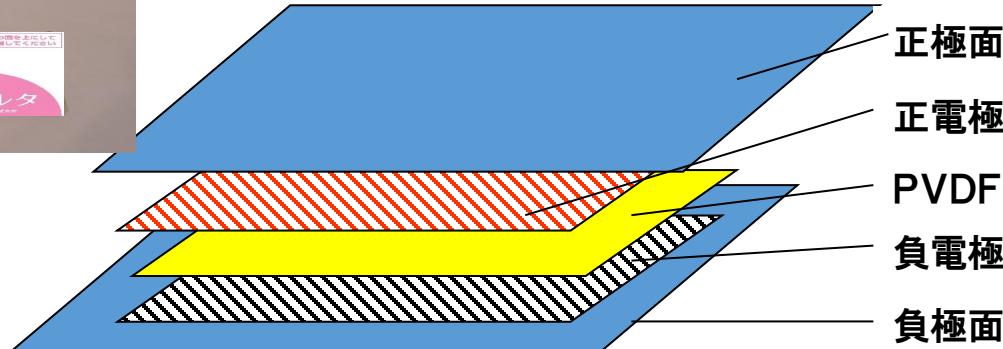
BCG信号はヘルスケア分野、特に高齢者介護のゲームチェンジャーとなる

No	分類	内容	侵襲性	位置付
1	心電図: ECG Electrocardiogram	心電計(心筋の活動電位を皮膚上の電極から測定する)	(有) 胸部または四肢 へ電極貼付	医療標準
2	心音図:PSG Phonocardiogram	心音計(心臓の弁の開閉を音で検出する)	(有) 胸部 マイクロフォン接触	医療標準
3	心弾動図:BCG Ballistocardiogram	シートセンサ(圧脈波に起因する体の振動信号を電圧(圧電センサ)で検知する	(無) 無拘束 (ベッド/椅子)	ヘルスセンシング
4	脈波 Pulse Wave	手首や指先等の動脈血管の容積変化をLED光による反射・吸収特性で検知もしくは圧脈波を圧電センサで検知する。	(有) 動脈拍動を触知できる皮膚上に密着させる	ヘルスケア スマートウォッチ等

BCGセンサシート構造と原信号波形



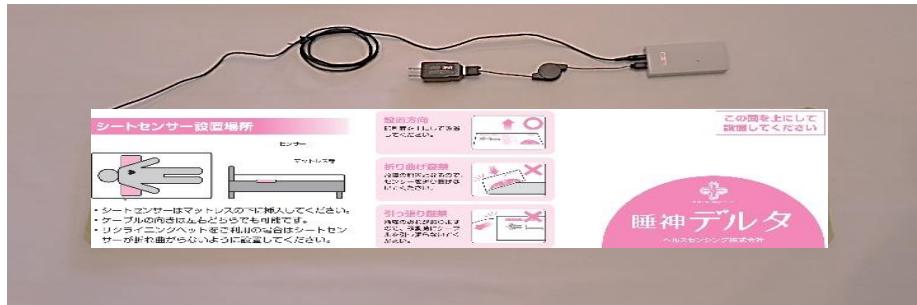
BCGセンサ製品
(W:10cm x L:70cm x T:1mm)



BCG原信号波形

原信号(上) 積分処理(下)

BCGセンサの特長と利用



- ・簡単な設置
できる

↓
ベッド用センサ
(W:10cm x L:70cm x T:1mm)

- ・高感度
センシング

マットレス上or下に挿入

- ・無拘束
(非接触)

椅子用センサ
(100×200×1mm)

- ・使い勝手
が良い

制御BOX(組込型)、
24bADC 高性能CPU



・高感度圧電センサ

PVDFフィルムを用い薄いシート積層膜デバイス

・無拘束(非接触)で測定

ベッドマット、椅子にセンサを敷くだけで、

心臓の動きを振動信号として非接触で検出する

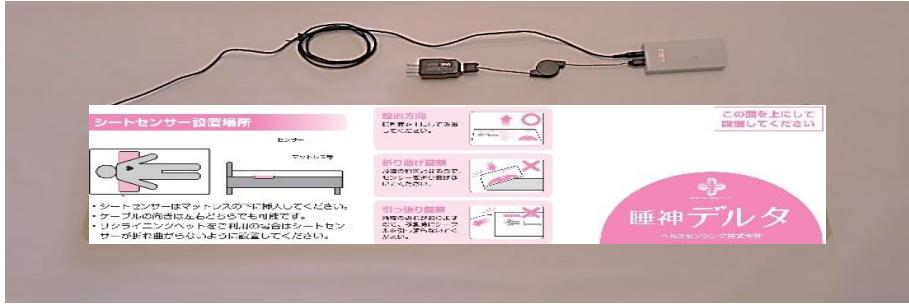
- ・生体信号は主に4種類、BCGから分離抽出

心弾動(BCG:Ballistocardiogram)測定

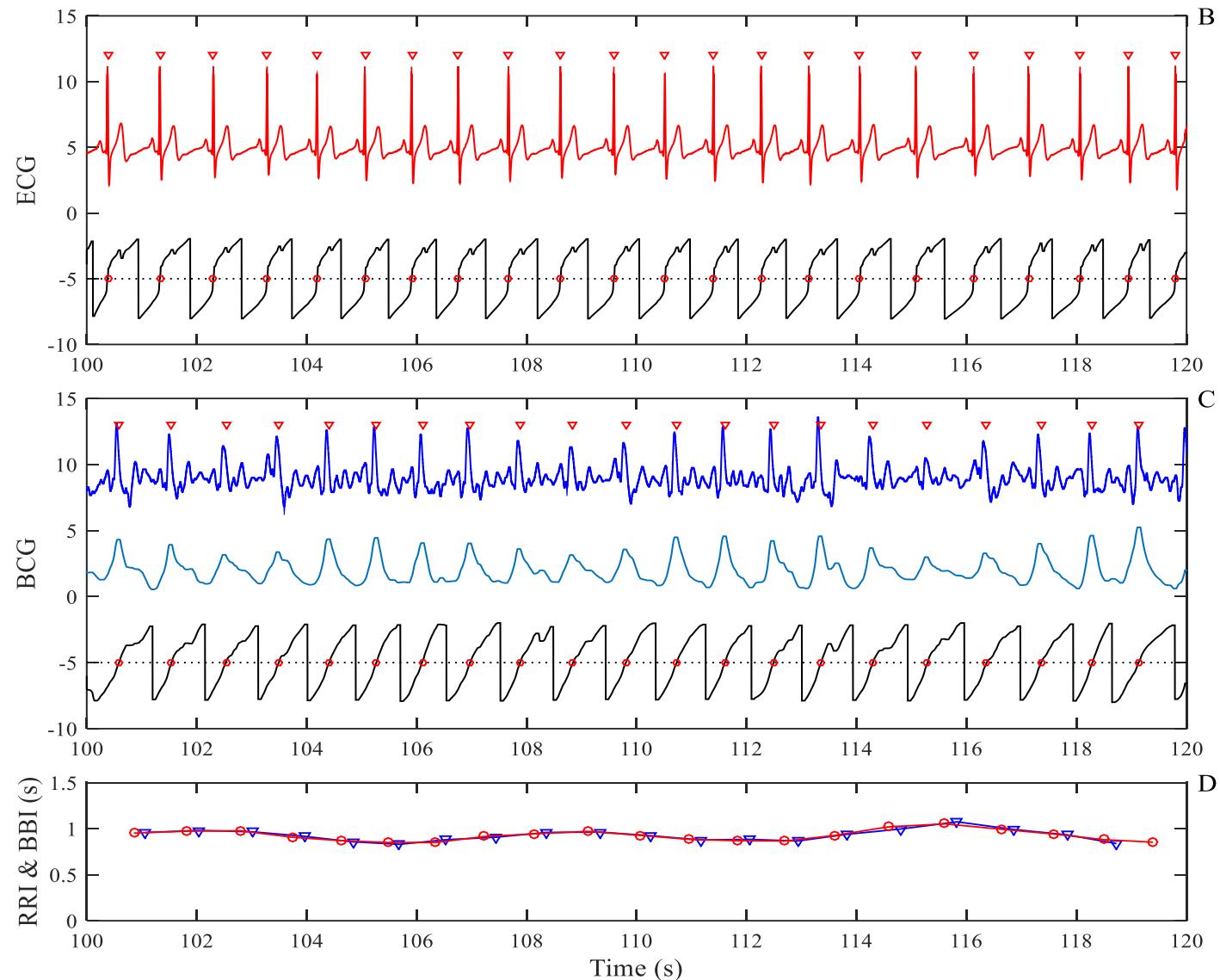
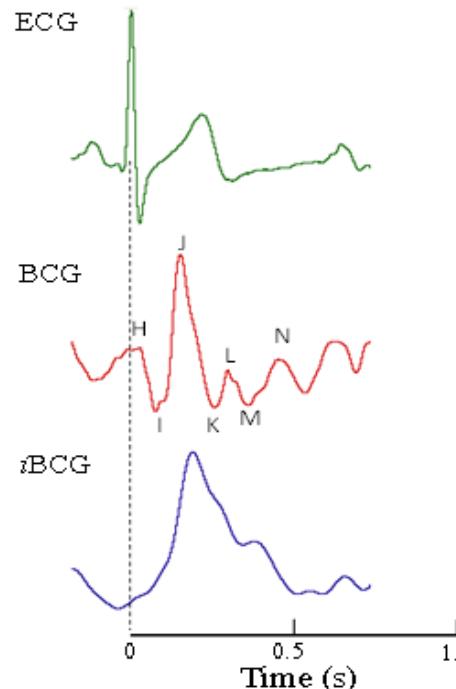
- ・心拍
- ・呼吸
- ・体動
- ・鼾(オプション)
- ・心音(PCG) (オプション)
- ・自律神経活動指標算出
- ・センサデバイスサイズ
 - ・ベッド用センサ(100×700×1mm)
 - ・椅子用センサ (100×200×1mm)

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

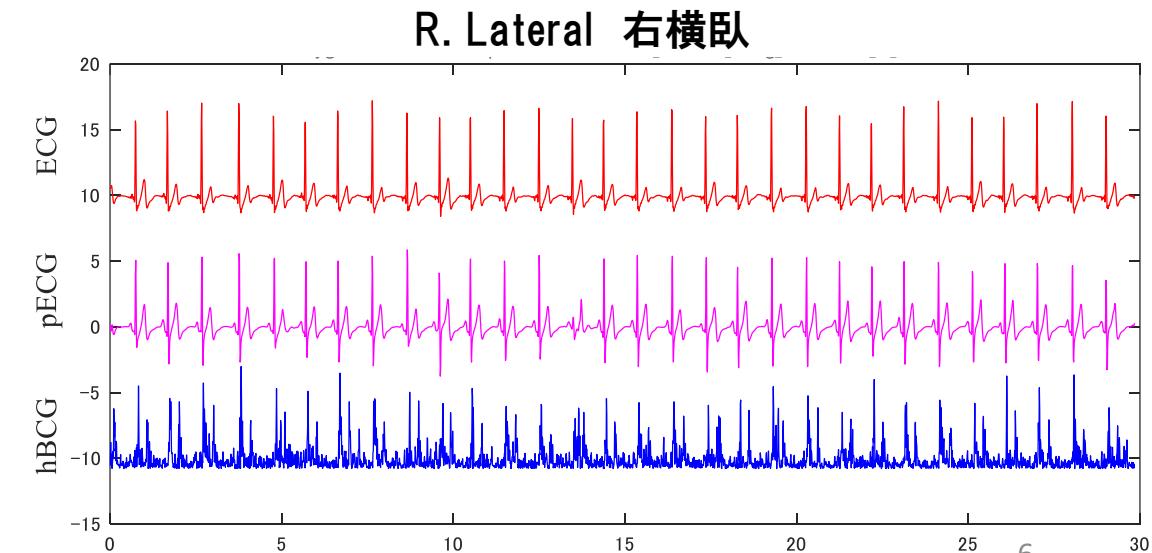
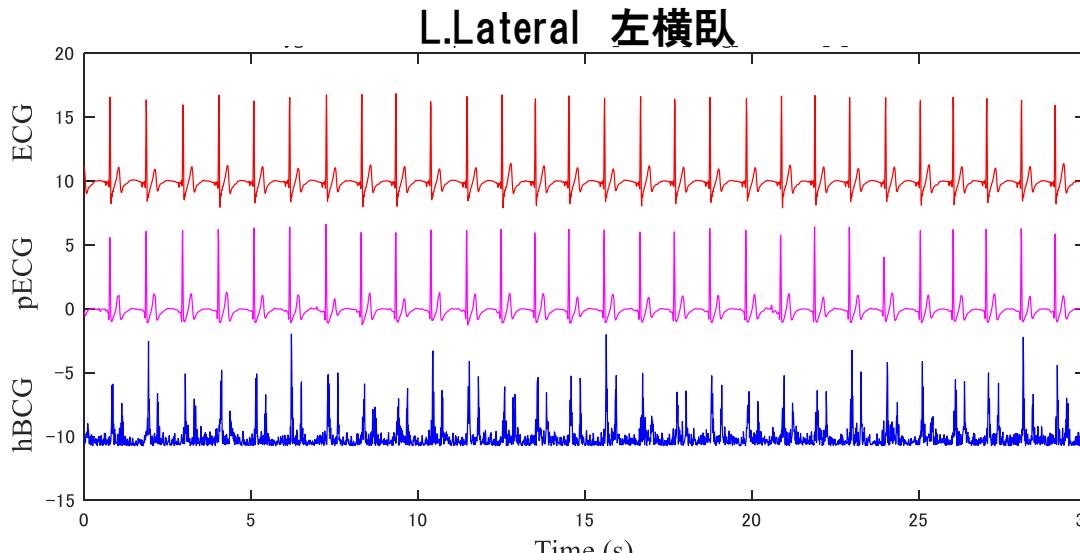
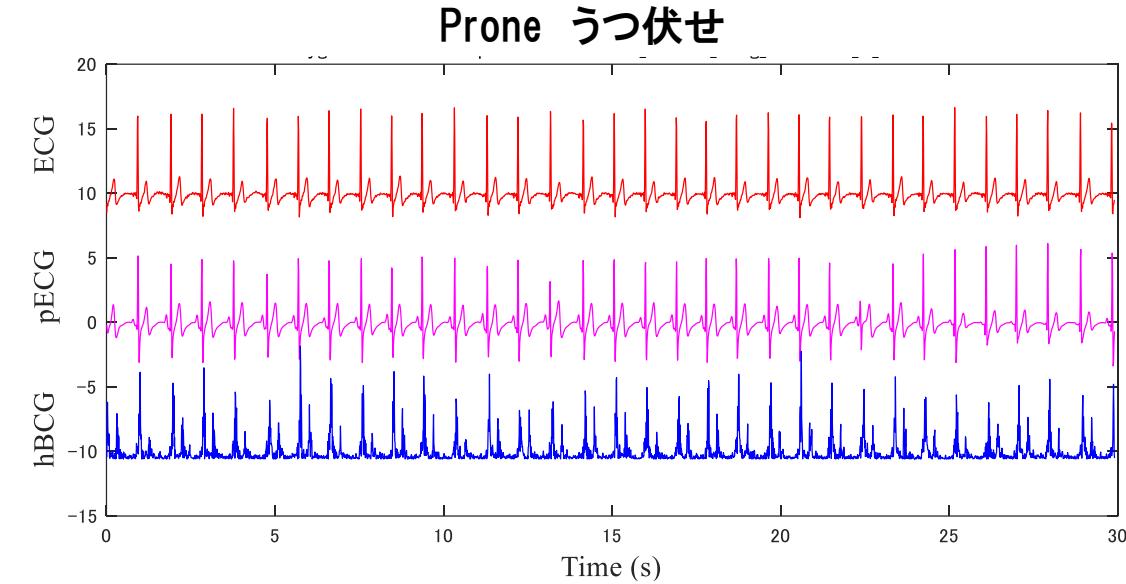
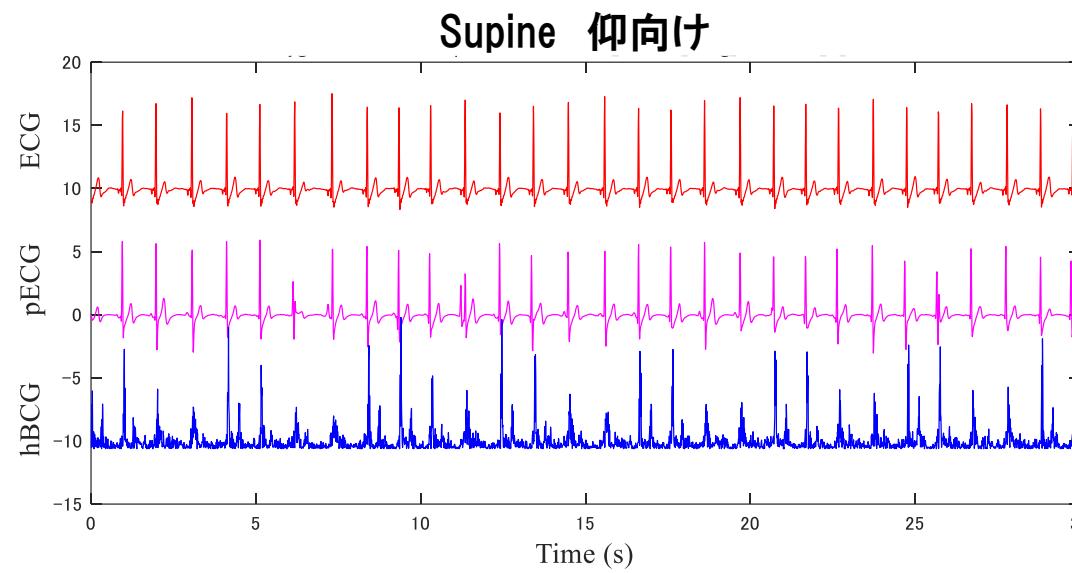


当社のBCGセンサ



機械学習を用いた新たな信号処理技術(BCG→ECG変換)

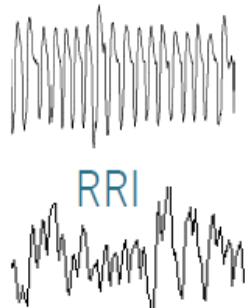
ECG信号(橙色)を教師データとして、BCG原信号(青色)を深層学習による回帰学習を行うと、BCG信号がECG信号様(桃色)に変換される。
被験者:若年者18名 × 4体位 [仰臥位、背臥位、側臥位(右、左)]=72計測データ検証法:Leave-one-out法(検証例を除いた71例で学習)



自律神経活動指標 λ (心拍と呼吸の位相コヒーレンス) / 新関理論

心拍・呼吸より独自の自律神経活動指標 “ λ (ラムダ)”を抽出

Respiration



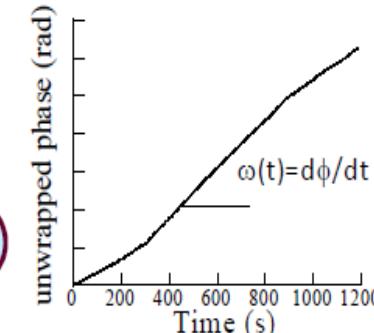
band-pass FIR
(0.15-0.75)

Hilbert
transform

Analytical signal

$$s(t) + is_H(t) = v(t)e^{i\phi(t)}$$

$$\phi(t) = \tan^{-1}(s_H(t)/s(t))$$

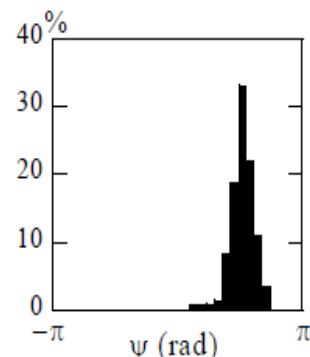


Phase
difference



Digitizing
(1kHz)

Resampling
(10Hz)



$$\psi(t) = \frac{1}{2\pi} \{ [\phi_{RRI}(t) - \phi_{resp}(t)] \bmod 2\pi \}$$

Synchronization
index

(phase coherence)

$$\lambda = \left| \frac{1}{N} \sum_{j=k-N}^k e^{i\Psi_j} \right|^2$$

Respiratory
frequency

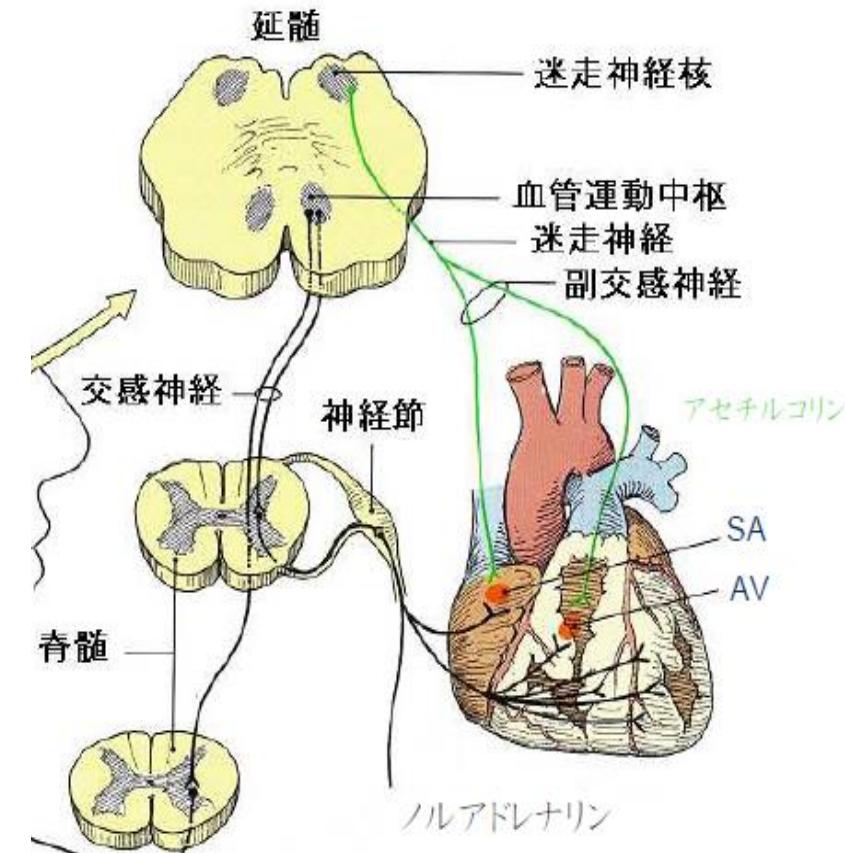
$$f_R = d\phi/dt$$

Amplitude of RSA

$$v(t)$$

(新関久一教授(山形大)による)

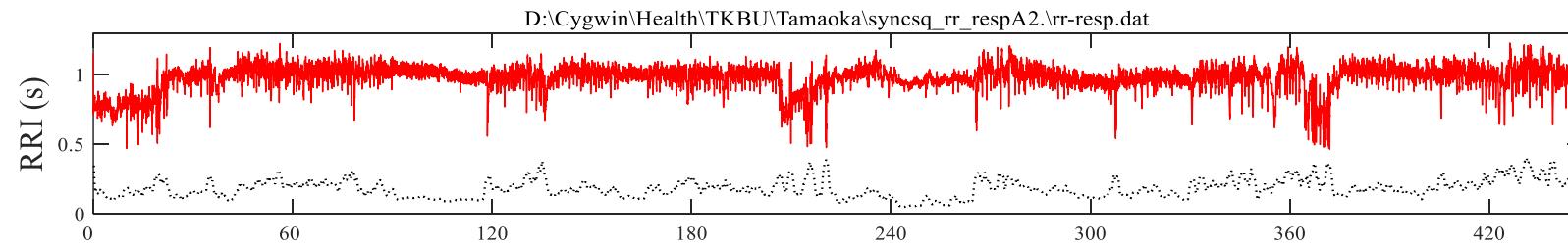
Health Sensing Co.



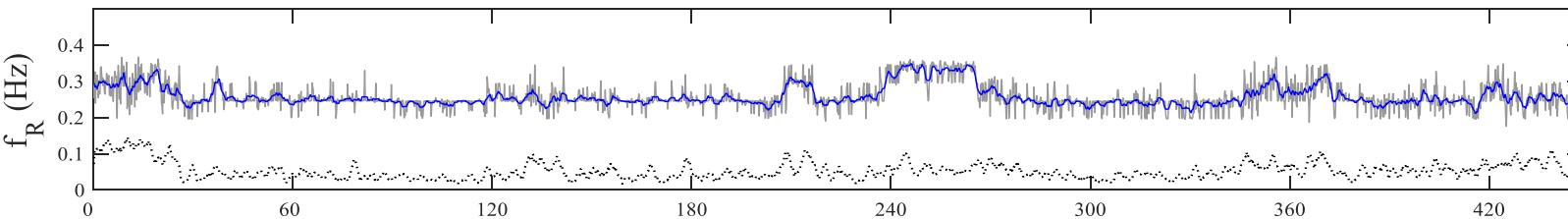
BCGセンサから得られる生体情報

取得信号: 上から①RRI相当BBI ② 呼吸数(f_R) ③RSA(Respiratory Sinus Arrhythmia) ④ λ (自律神経活動指標)

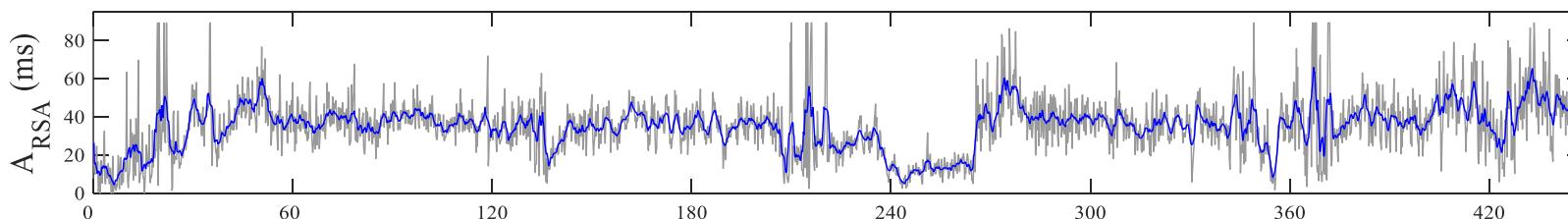
点線はBBI(RRI相当)
の標準偏差



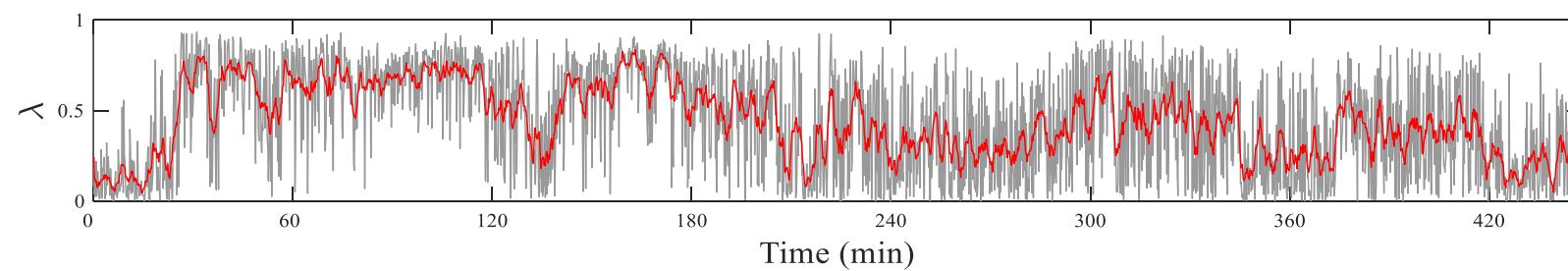
点線は f_R の標準偏差



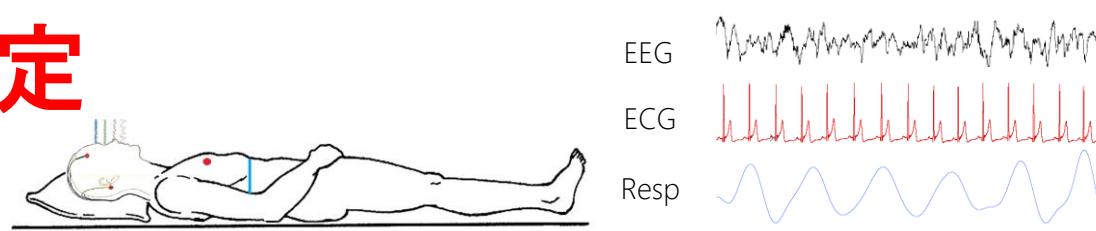
RSAの振幅



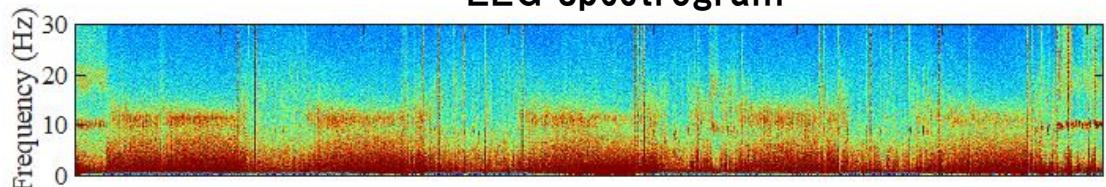
自律神経活動指標 λ



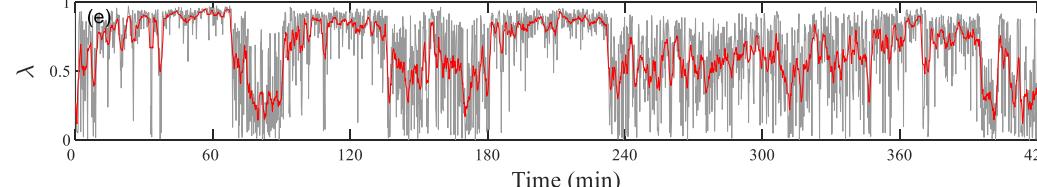
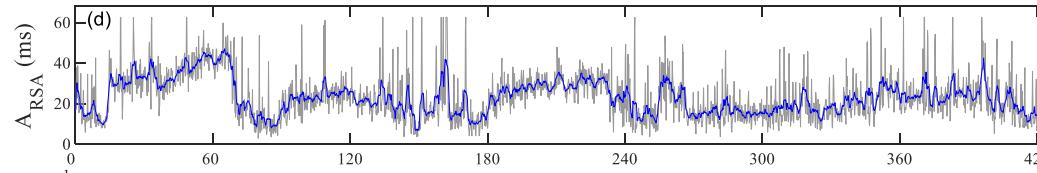
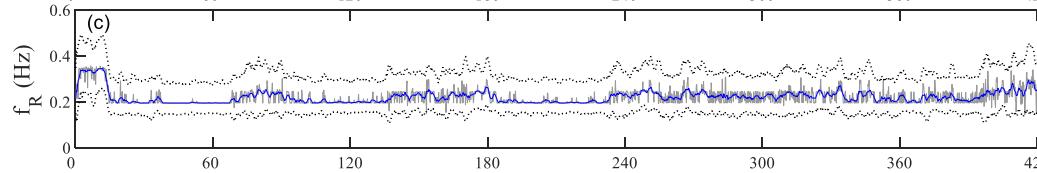
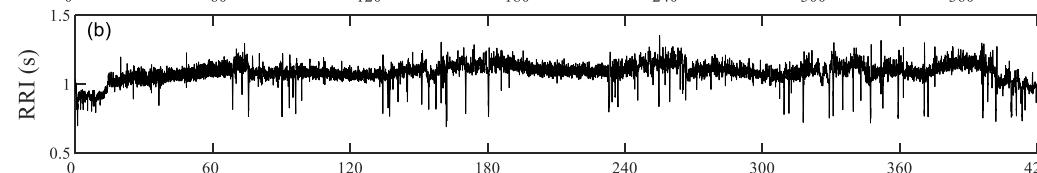
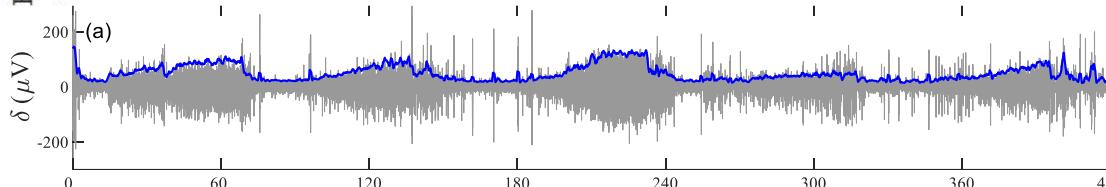
睡眠測定



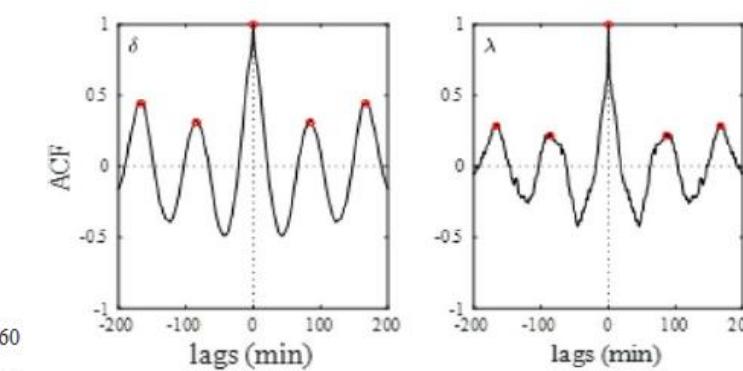
EEG spectrogram



脳波 δ 波

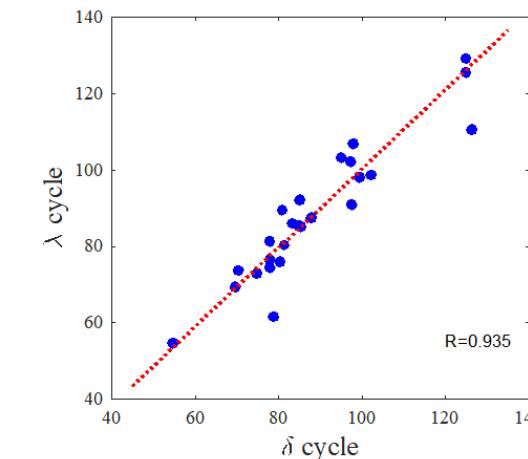


λ

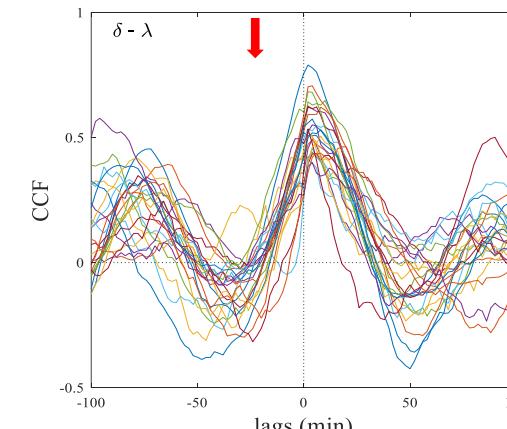


脳波 δ 波自己相関

λ 自己相関

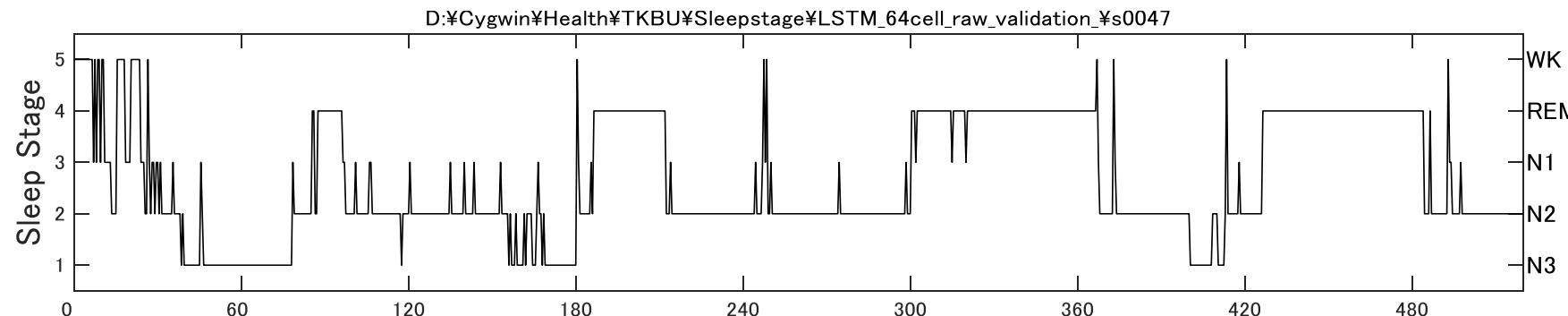


脳波 δ 波と λ の周期一致度

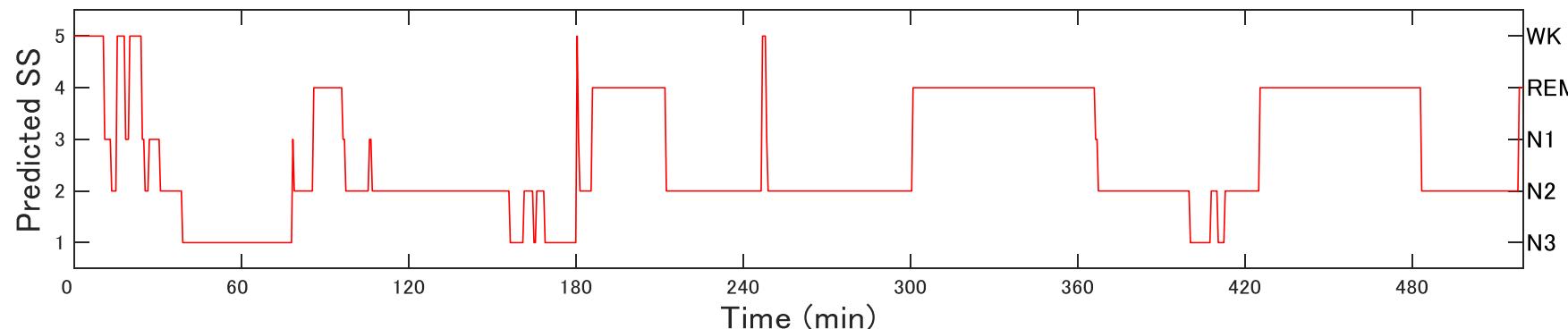


脳波 δ 波と λ の相互相関

LSTM深層学習を用いた睡眠5段階判定(PSG推定)

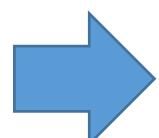


実測PSG、
WK、REM,N1,N2,N3
5段階評価



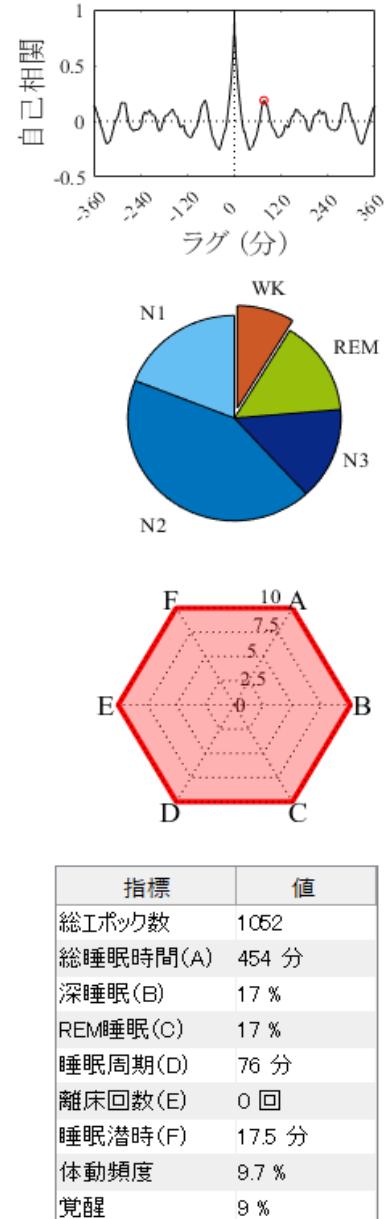
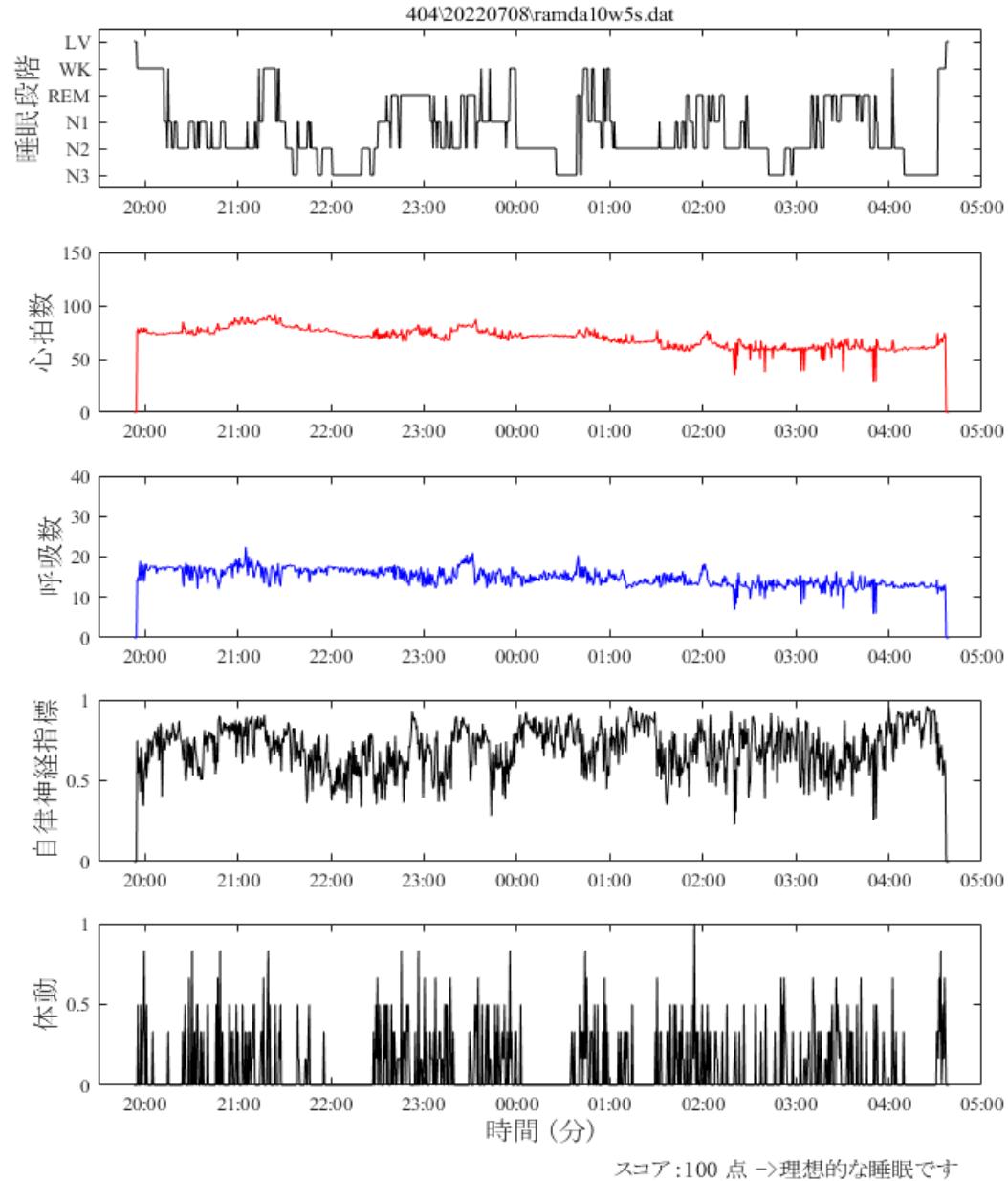
PSG推定
(Deep Learning)
(睡眠5段階推定)

PSG検査は、**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**などの生体活動を、一晩にわたりて測定する検査です。この検査により、睡眠時無呼吸症候群、周期性四肢(しし)運動障害、睡眠時隨伴(ずいはん)症などの睡眠障害の診断が可能となります。また、睡眠の状態(睡眠5段階)も測定できます。



機械学習(Deep Learning)を用いて、PSGを推定した。当社**無拘束の薄膜シート型ピエゾセンサのみ**から取得した生体情報で、PSGを推定し、実測PSGとの一致率**80%以上**を実現できた。
K係数一致度0.5

睡眠状態の可視化を実現【睡眠レポート】



◎左図の説明

1)最上図から

LSTM深層学習を用いたpPSG
睡眠5段階(WK, REM, N1,N2,N3)推定図
(横軸は睡眠時刻)

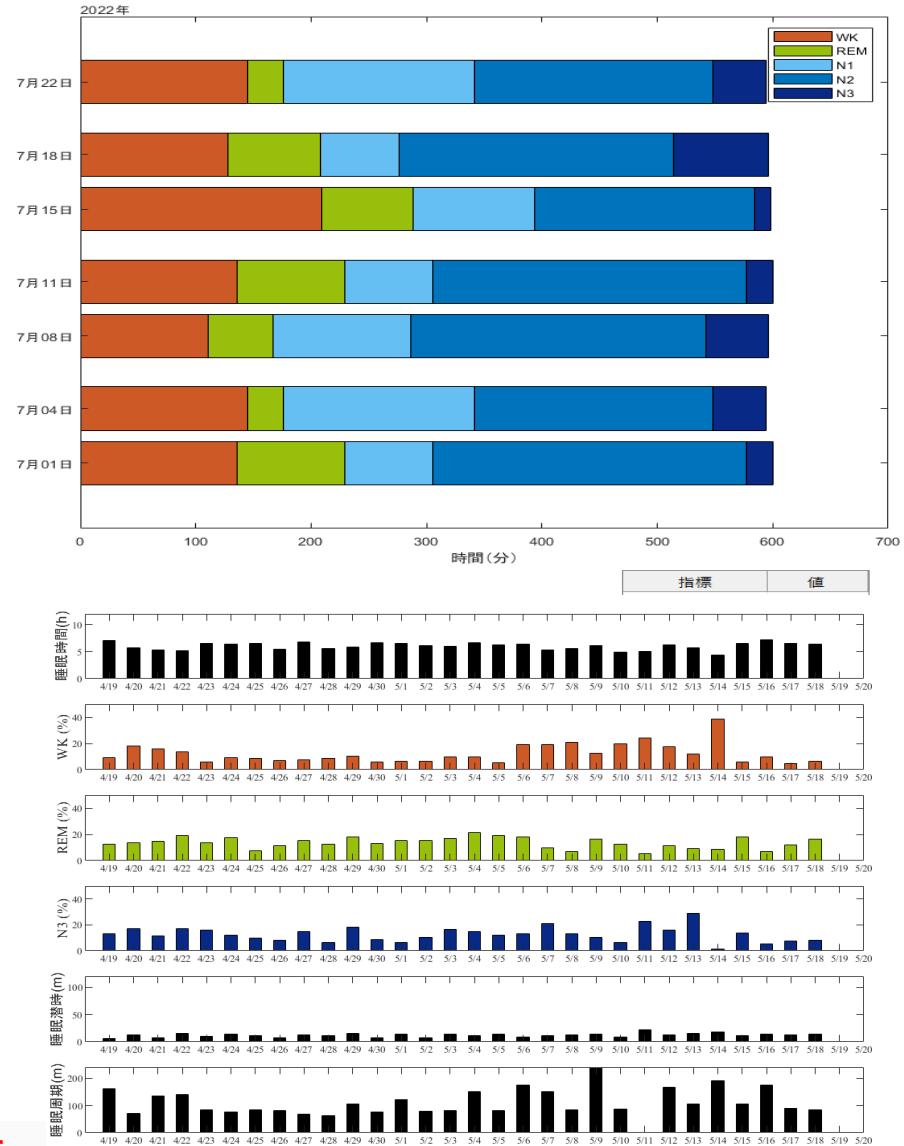
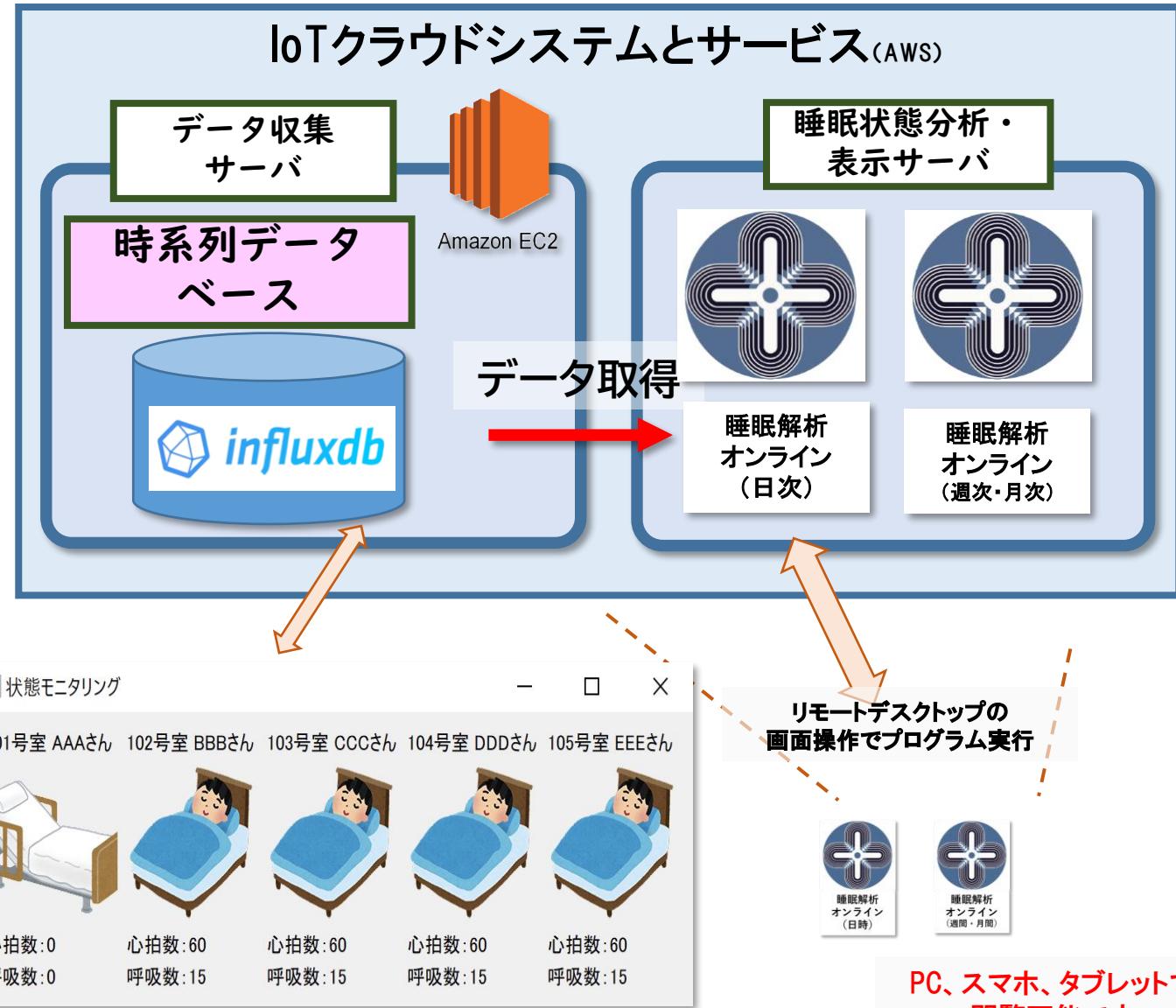
2)2段目以降シートセンサ基本4データ

- 2段目: 心拍数
- 3段目: 呼吸数
- 4段目: 自律神経活動指標
- 5段目: 体動

◎右図の説明

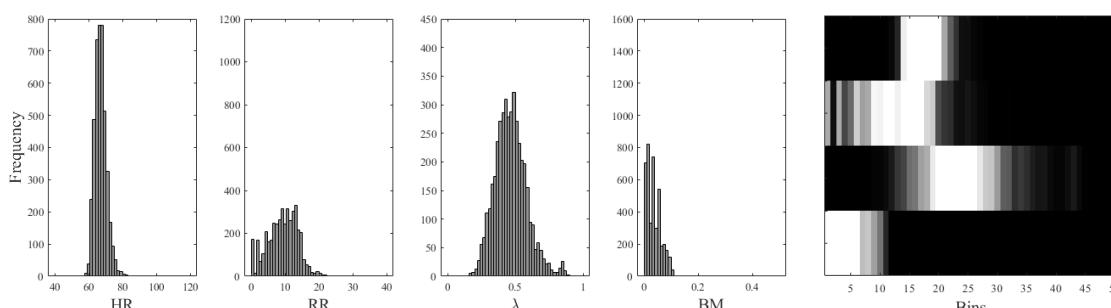
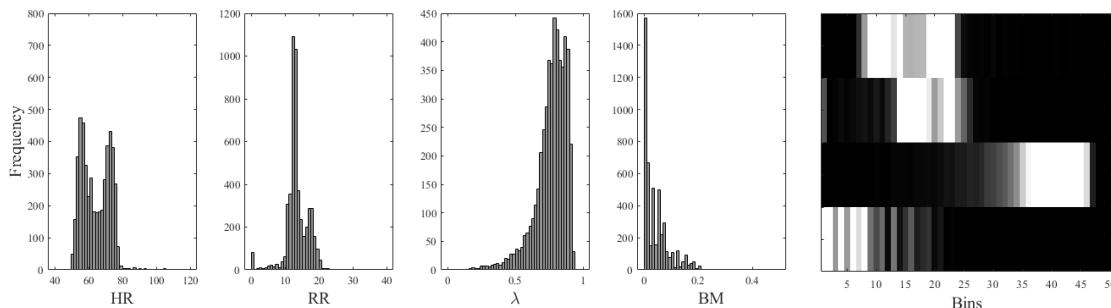
- 最上図: 睡眠周期
- 2段目: 睡眠5段階の割合
- 3段目: 睡眠指標のレーダーチャート
- 4段目: 各睡眠指標の値を示す表

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

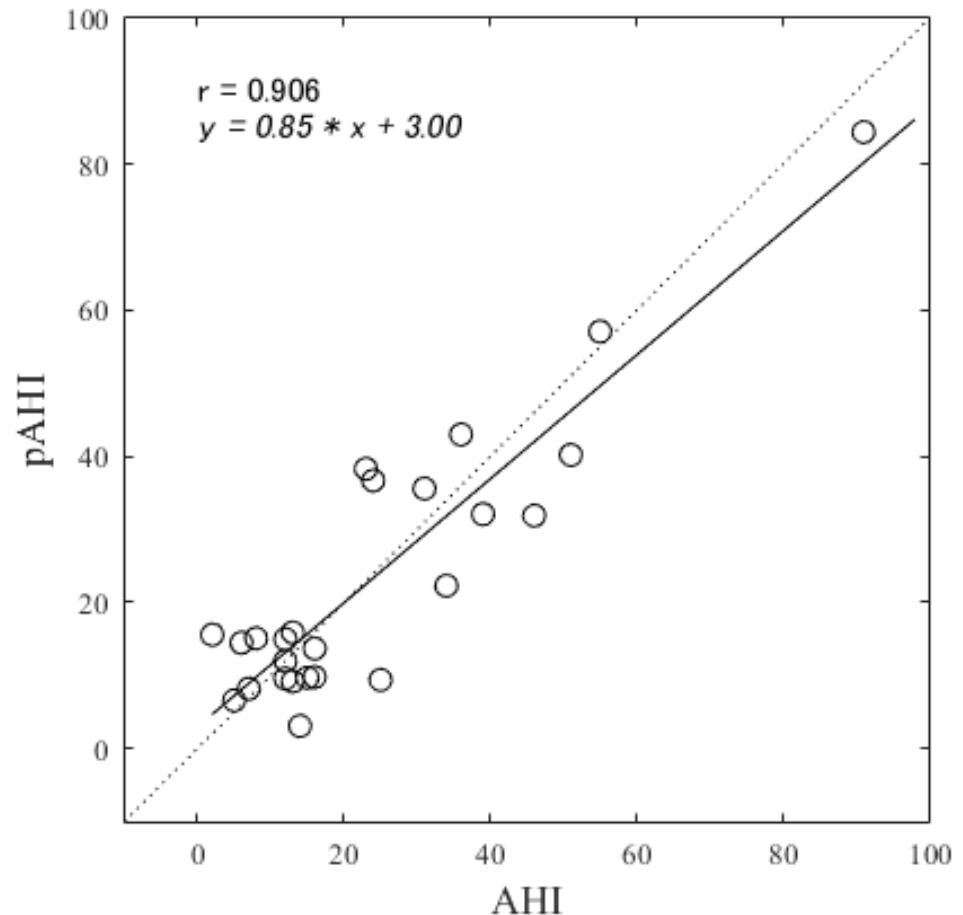


無呼吸症候群(SAS)の早期発見支援

シートセンサ1台だけで(SpO2、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



90%のAHI検出率が可能

機械学習とデータ解析

「ビッグデータと機械学習」により睡眠段階判定(PSG推定)技術を開発した

さらに、この結果と生体情報を活用することにより、

生体情報や睡眠に係る**病気診断支援**が可能になる

認知症の早期発見と対策

無呼吸症候群の早期発見

睡眠関連病気の検出

医療機関等との共同研究必要（下記、共同研究実施中）

（東京医科歯科大学、名古屋市立大学、九州大学他）

認知症共同研究開発(1)

ウェルヴィル(株)とヘルスセンシング(株)の共同開発

ヘルスセンシング株式会社の開発したHSシートセンサーとIoTシステムを使用して「②生体センサーが計測したバイタル情報をAIが解釈して医師の問診を支援」を実現する

Wellvill株式会社の開発したAI対話エンジンである「LIFE TALKENGINE」を利用して「①対話型AIが医師の問診を支援」を実現する。

今後の開発の検討課題（開発済みも含む）

バイタル情報採取のためのシートセンサーによるマルチセンサー拡張開発	会話用のミニロボット開発	自動問診のための推論エンジン開発
認知機能低下早期発見と回復に関する説明コンテンツ開発（拡張分）	服薬指導事前問診データ管理開発	対話による問診結果データ管理システムの開発（問診結果とバイタル情報の結合処理）
シートセンサーインターフェース管理開発	外部システム連携用スタブシステム開発	服薬指導事前問診支援のための対話コンテンツ開発

認知症共同研究開発(2) 「東京アプローチ」

電気通信大学、ヘルスセンシング株式会社、他

AIとIoTを用いて、認知症の行動・心理症状(BPSD)発症を予測し、予防支援策を導くことで、認知症高齢者のQOL向上と、家族・介護者の負担軽減を図る

◎BPSD発症と睡眠との関係解析

主だった睡眠指標(N3、REM、WK、TST)とBPSD発生の相関係数の関係性の把握

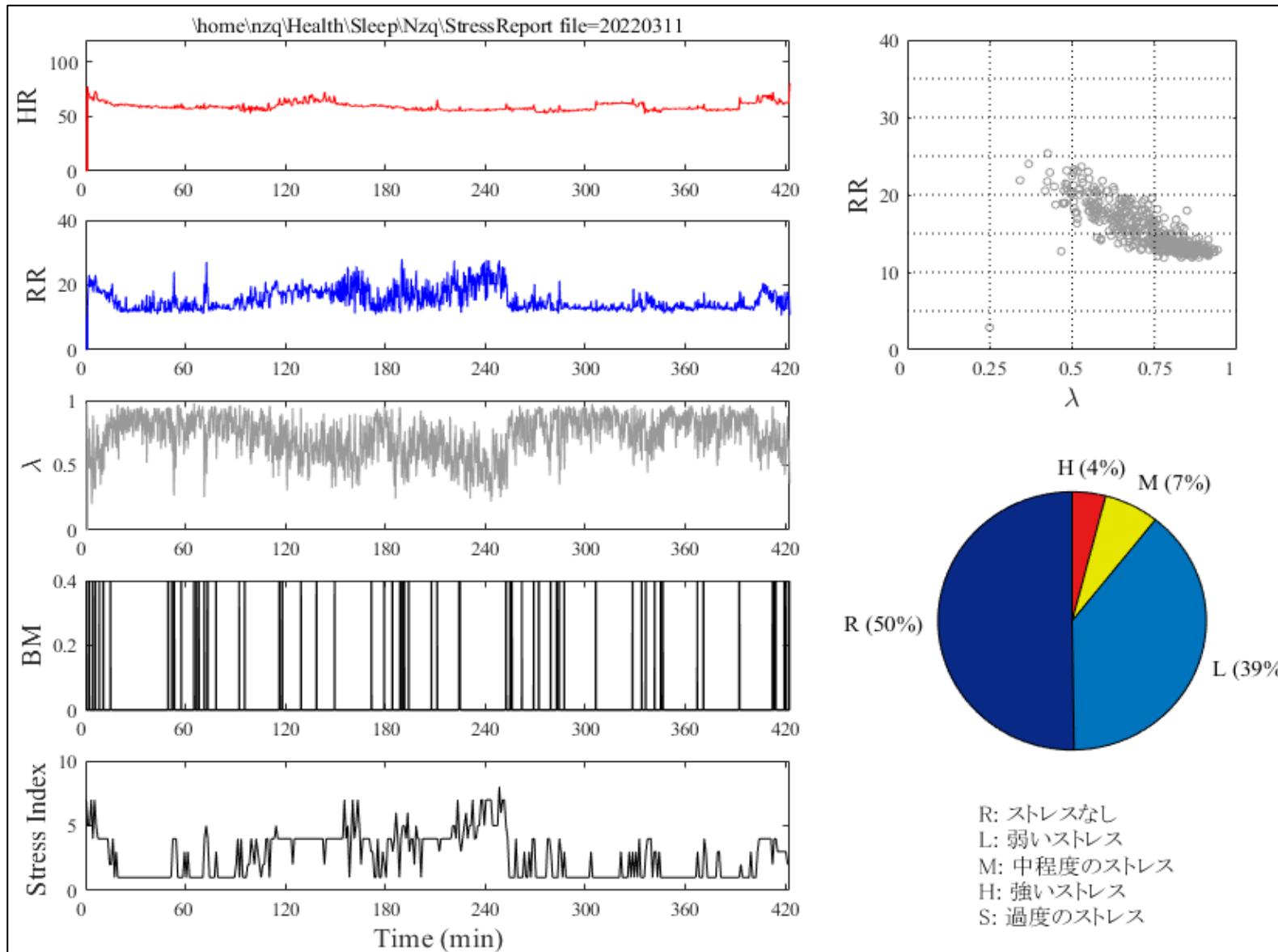
◎BPSD発症とバイタル情報との関係解析

心拍・呼吸等のバイタル情報とBPSD発生の相関係数の関係性の把握

マルチセンサ(シートセンサ除く)

No	測定項目	実現手段	概要	リアルタイム性	場所	拘束度
V9	血圧測定	HSシートセンサ1枚&圧電脈波(2入力)	PAD(脈波到達時間)とPSA	有	ベッド	一部拘束
		◎オフライン血圧計	通常の血圧計(オムロン)	無		拘束
V10	体温測定	オフライン体温計(接触型)	熱電対型(オムロン)	無		拘束
		◎オフライン体温計(非接触型)	◎赤外線放射温度計	有	ベッド近傍	無拘束
V11	体重測定	◎荷重測定	ベッド支柱4角に荷重センサを敷く	有	ベッド	無拘束
		体重計	体重測定(タニタ)	無	居室	拘束
V12	血中飽和酸素濃度	SpO2	A&D	有	ベッド	拘束
V13	起き上がり	赤外線(反射)	体動を感知	有	ベッド	無拘束

ストレスインデックス連続測定【ストレスレポート】

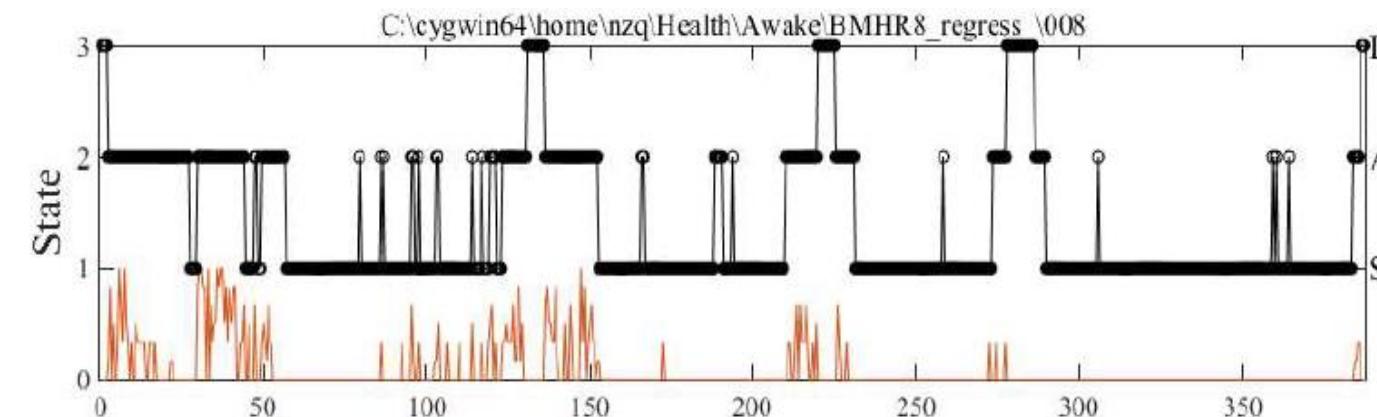


シートセンサから
ストレスを連続測定

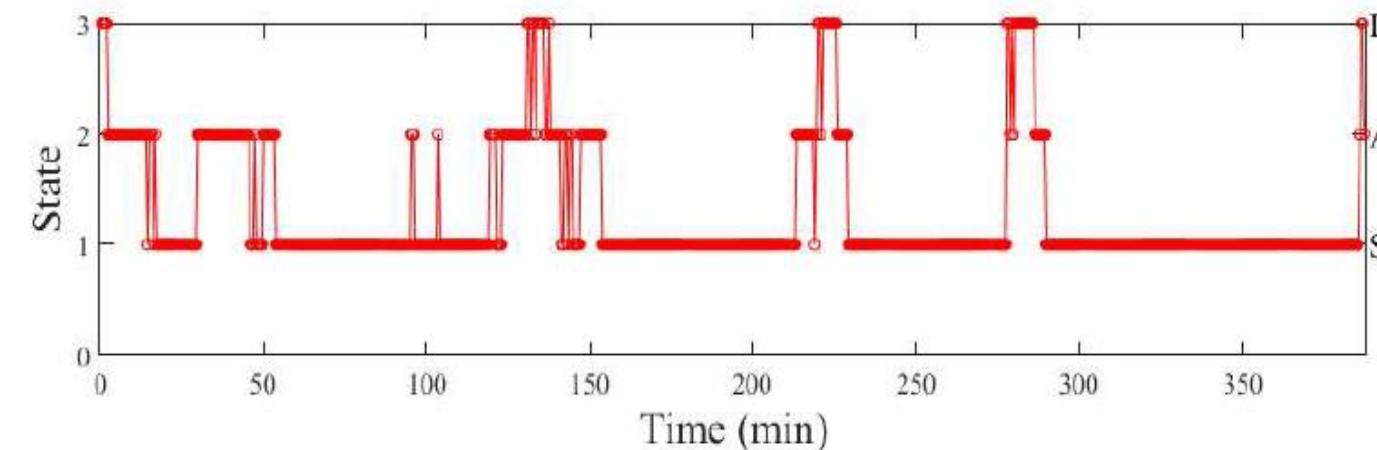
呼吸(RR)と自律神経活動指標(λ)の2象限でストレスを表示した。ストレスインデックスは、10段階評価。数字が高いほど、ストレスが高い。逆に、1に近いほど、リラックス度が高くなる。円グラフは、ストレスを5段階に分類し、その割合を表示した。

24時間リアルタイムで睡眠・覚醒・離床状態表示

AI(Ensemble Learning)使用



←PSGの離床(L)／覚醒(A)／睡眠(S)
←30秒毎のBMデータ



		Predicted		
		1	2	3
True	1	500	83	
	2	5	139	6
	3		2	40

←推定された
離床(L)／覚醒(A)／睡眠(S)

シートセンサ1台のみで得られる生体情報と応用

No	測定項目	実現手段	概要	リアルタイム性	場所	拘束度
1	心拍 (RRI/BBI)	HSシートセンサ	BCGセンサから分離抽出	有	共通	無拘束
2	呼吸	HSシートセンサ	BCGセンサから分離抽出	有	共通	無拘束
3	体動	HSシートセンサ	BCGセンサから分離抽出	有	共通	無拘束
4	自律神経活動(λ)	HSシートセンサ	BCGセンサから分離抽出	有	共通	無拘束
5	ストレス	HSシートセンサ	BCGセンサから分離抽出	有	共通	無拘束
6	心電図推論(pECG)	HSシートセンサ	BCGセンサからECG推論(究極的信号処理技術)	有	共通	無拘束
7	睡眠5段階推定 (Wake,REM,NR1,2,3)	HSシートセンサ	AI推定モデル	無	ベッド	無拘束
8	状態監視3段階推定 (離床・睡眠・覚醒)	HSシートセンサ	AI推定モデル	有	ベッド	無拘束
9	無呼吸症候群(SAS) 診断支援	HSシートセンサ	AI推定モデル(AHI推定)	有	ベッド	無拘束

環境センサと家電制御

No	測定項目	実現手段	概要	リアルタイム性	場所	拘束度	家電管理
E1	居室温度	オンライン	居室の温度を測定	有	室内	無	
E2	居室湿度	オンライン	居室の湿度を測定	有	室内	無	
E3	居室CO2	オンライン	CO2濃度を赤外線で測定する	有	室内	無	エアコン自動管理 照明显動管理 TVオンオフ等 家電機器の管理 ができる
E4	居室大気圧	オンライン	気圧の変化を測定する	有	室内	無	
E5	居室騒音	オンライン	居室の騒音を測定する	有	室内	無	
E6	居室照度	オンライン	居室の定位置の照度を測定する	有	室内	無	
E7	人感センサ	オンライン	赤外線で人の有無(入退室)を測定する	有	室内	無	

纏め

1. データサイエンス(AI)を用いたプログラム医療機器の開発

(従来、医師の方々は、メーカーが作った医療機器を無理やり使わされてきましたが、これからは、医師自らが、データを駆使して、患者ニーズに対応した医療機器(AIプログラム医療機器)を開発する時代になってきた。弊社は、そのお手伝い役(データサイエンス)である)

2. いつでもどこでも医療サービス(遠隔医療・介護)

AIプログラム医療機器を使うことに拘り、どこでも、いつでも医療サービスを受けることができる

3. 睡眠に係る病気の早期発見とスクリーニング機器開発

(ECG BCG PCG Image マルチモーダル)



*ハードウェア医療機器市場は現状維持(伸びない)

*AIプログラム医療機器市場が今後飛躍的に伸びる