

# 非接触による心拍検出方法

大槻 知明

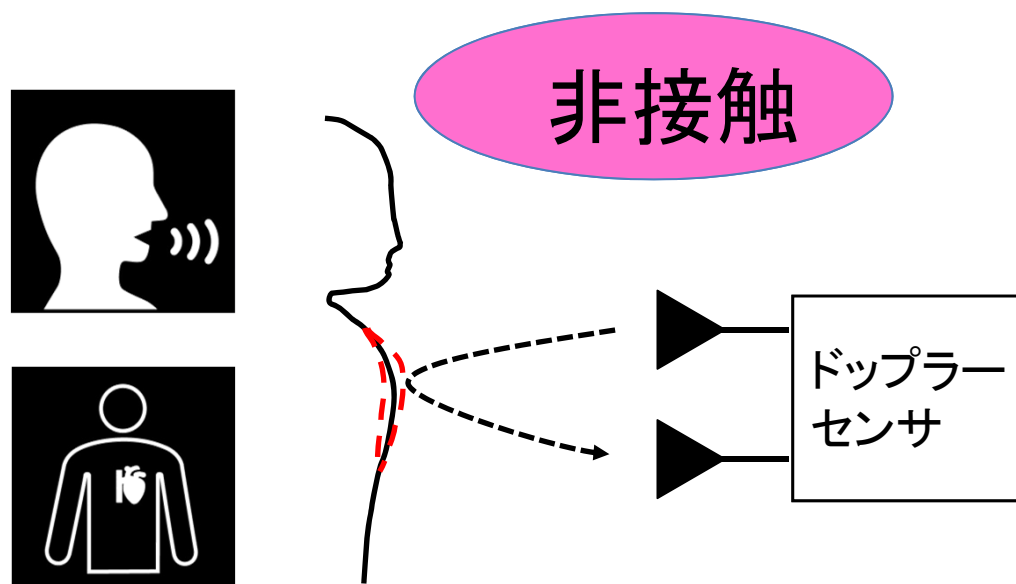
慶應義塾大学工学部情報工学科 教授

慶應義塾大学知的環境研究センター

データソリューションズ株式会社

[ohtsuki@ics.keio.ac.jp](mailto:ohtsuki@ics.keio.ac.jp)

# 生体信号センシング



- センシング情報
  - 心拍
  - 呼吸
  - まばたき

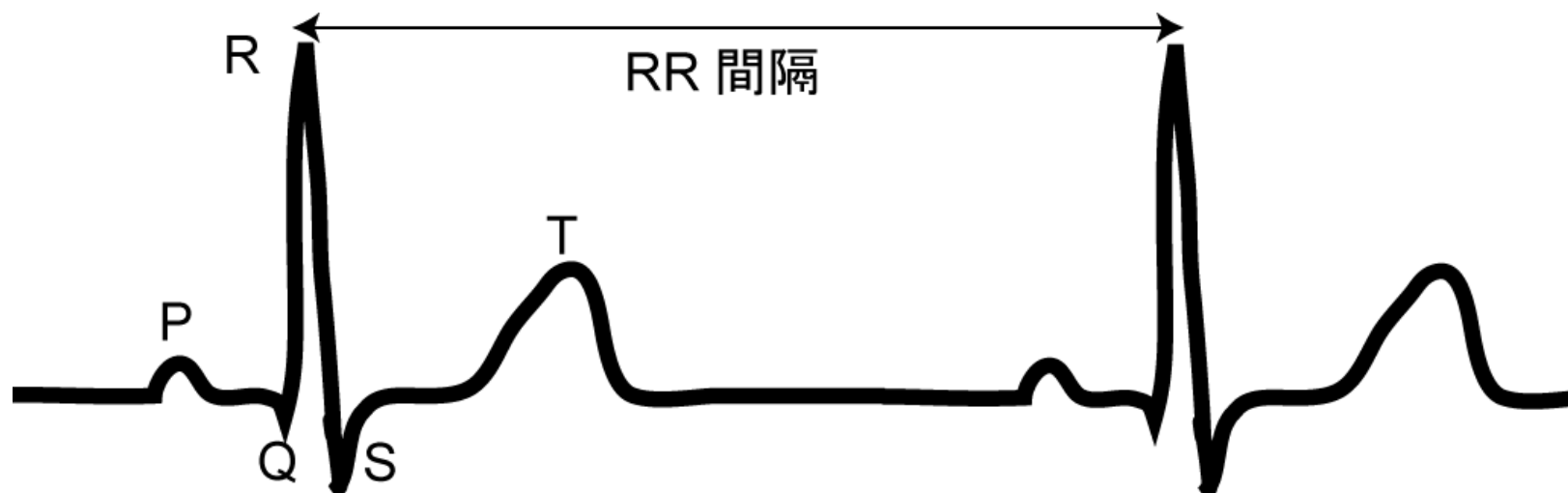
# 生体信号センシング：応用例

- メンタルストレスの計測
  - 過剰な物理的・精神的ストレスによる労働災害の防止
  - 集中度・疲労度等
    - 作業時・運転時・勉強時

# 心拍変動指標 (HRV)

- 心拍変動指標 (HRV : Heart Rate Variability)
- 精神的・物理的負荷により心拍の揺らぎが変化
- 心拍数 (HR) : 自律神経系といくつかのホルモンにより制御されている
- **自律神経系**
  - **交感神経** : 運動時など体が興奮しているときに働く
  - **副交感神経** : 食事中や睡眠時など、体がゆったりとしているときに働く

# 心電図波形

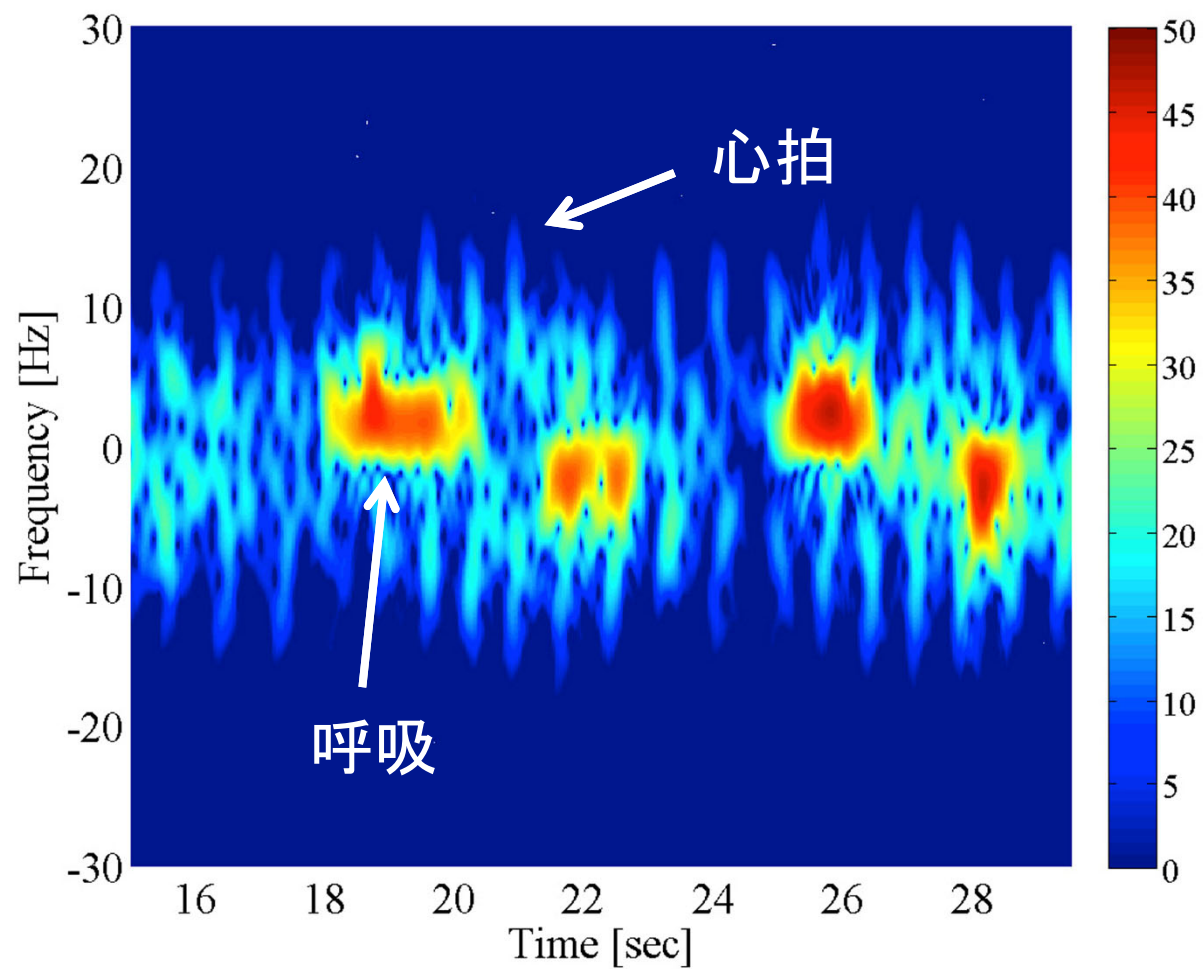


正常な心電図波形

# RR間隔

- 自律神経系
  - **交感神経**: 運動時など体が興奮しているときに働く
  - 交感神経が働くと**RR間隔が短くなり**HRが上がる
  - **副交感神経**: 食事中や睡眠時など、体がゆったりとしているときに働く
  - 副交感神経が働くと**RR間隔が長くなり**HRが下がる

# ドップラースペクトル



# 非負値行列因子分解によるブラインド信号分離 を用いた非接触型心拍検出

- ドップラーレーダの受信信号によるスペクトログラムを, 心拍や呼吸や体動などの源信号の線形混合とみなす. NMFによって心拍成分のみを抽出
- ZA-SLMS アルゴリズムによる SSR と結合し, 正確な心拍数推定を実現

**BSS:** Blind Source Separation

**SSR:** Sparse Spectrum Reconstruction

**NMF:** Non-negative Matrix Factorization

**ZA-SLMS:** Zero-Attracting Sign Least-Mean-Square

**BPM:** Beats Per Minute

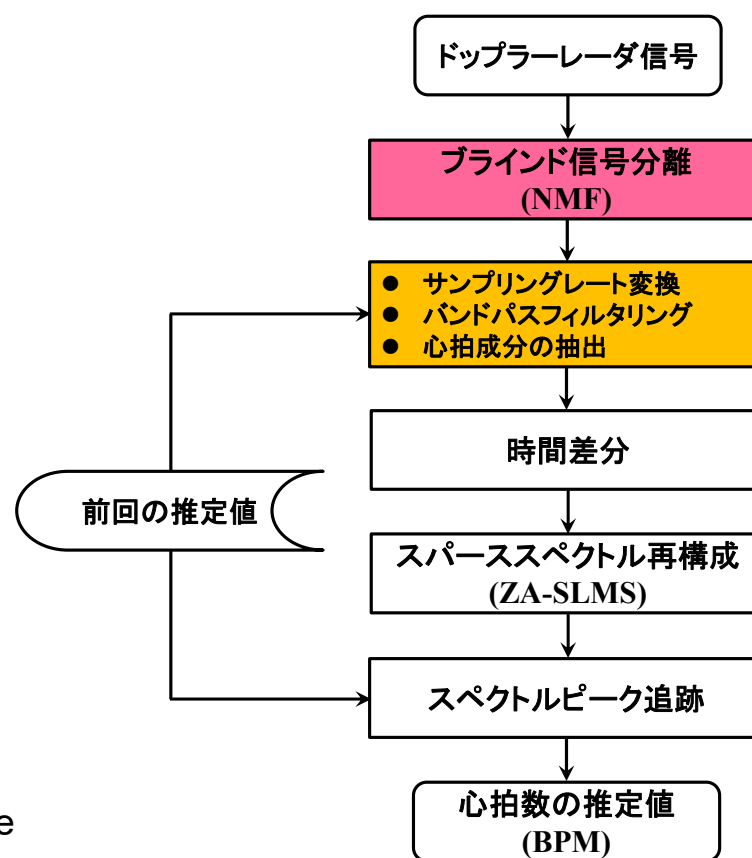
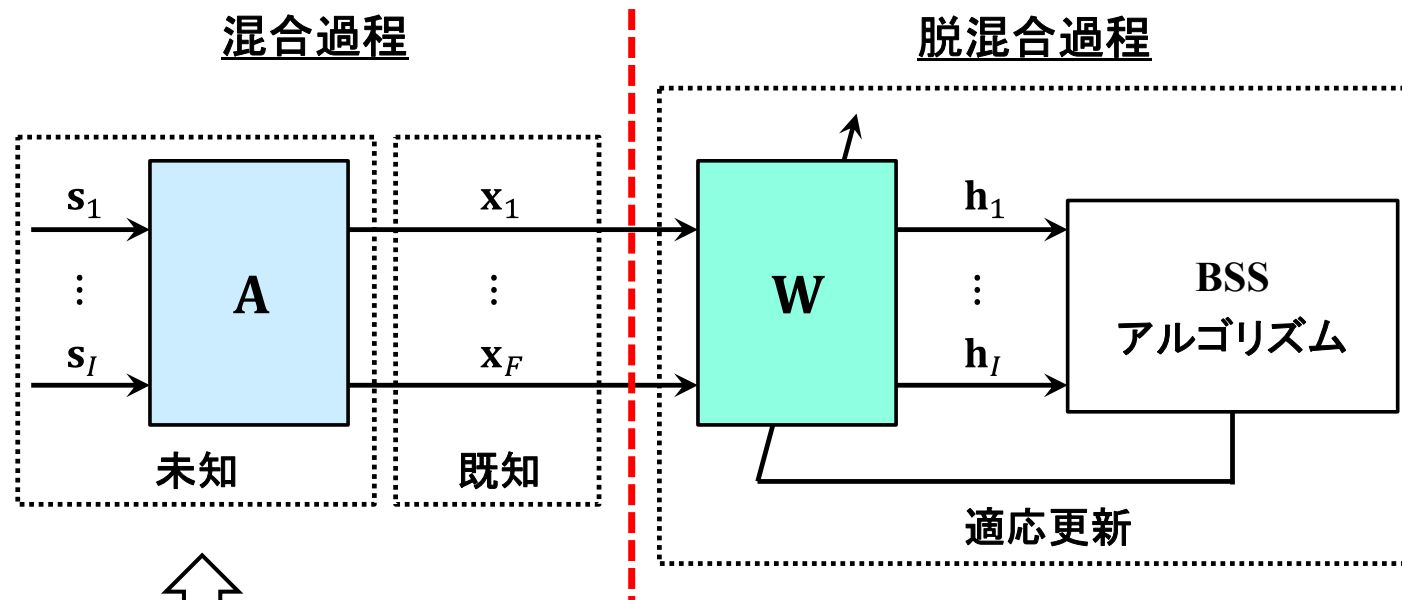


図. BSSを用いるフレームワーク



# 非負値行列因子分解によるブラインド信号分離を用いた 非接触型心拍検出

## ブラインド信号分離 (BSS) の基本モデル



提案法は $s_i$ の線形混合を仮定

$s_i, i \in \{1, 2, \dots, I\}$	各源信号
$I$	源信号の総数
<b>A</b>	混合行列
$x_f, f \in \{1, 2, \dots, F\}$	各観測混合信号
$F$	観測信号の総数
<b>W</b>	脱混合行列
$h_i$	各推定信号

# スペクトログラムを用いた非接触型心拍検出

- 拍動に起因する周波数帯のエネルギーに基づき心拍検出
  - 心拍間隔に比例した周波数 (0.6~1.0 Hz) は, 呼吸や高調波の影響を受けやすい
  - 呼吸や高調波の影響が少ない拍動に起因する 8.0 Hz 周辺の周波数帯のエネルギーに基づき心拍検出
  - STFT を用いてスペクトログラムを算出
  - 拍動に起因する 8.0 Hz 周辺の周波数帯のパワーの積分値からピークを検出

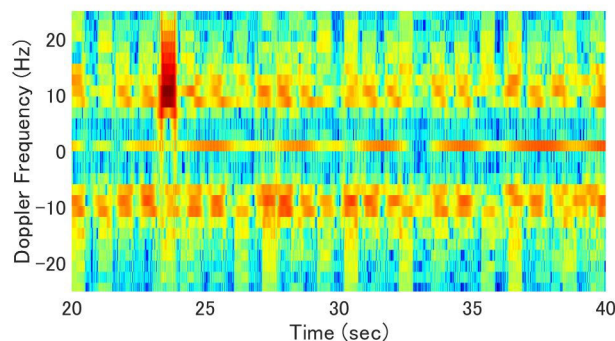
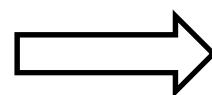


図. スペクトログラム



算出

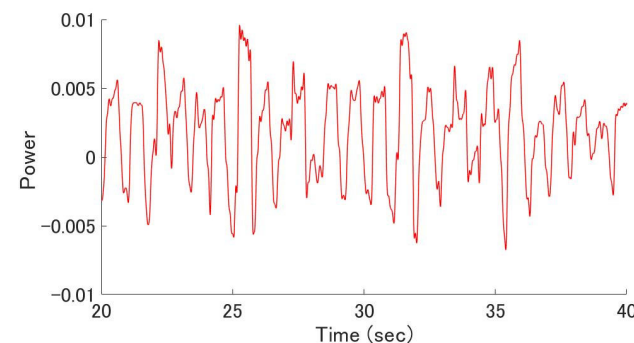
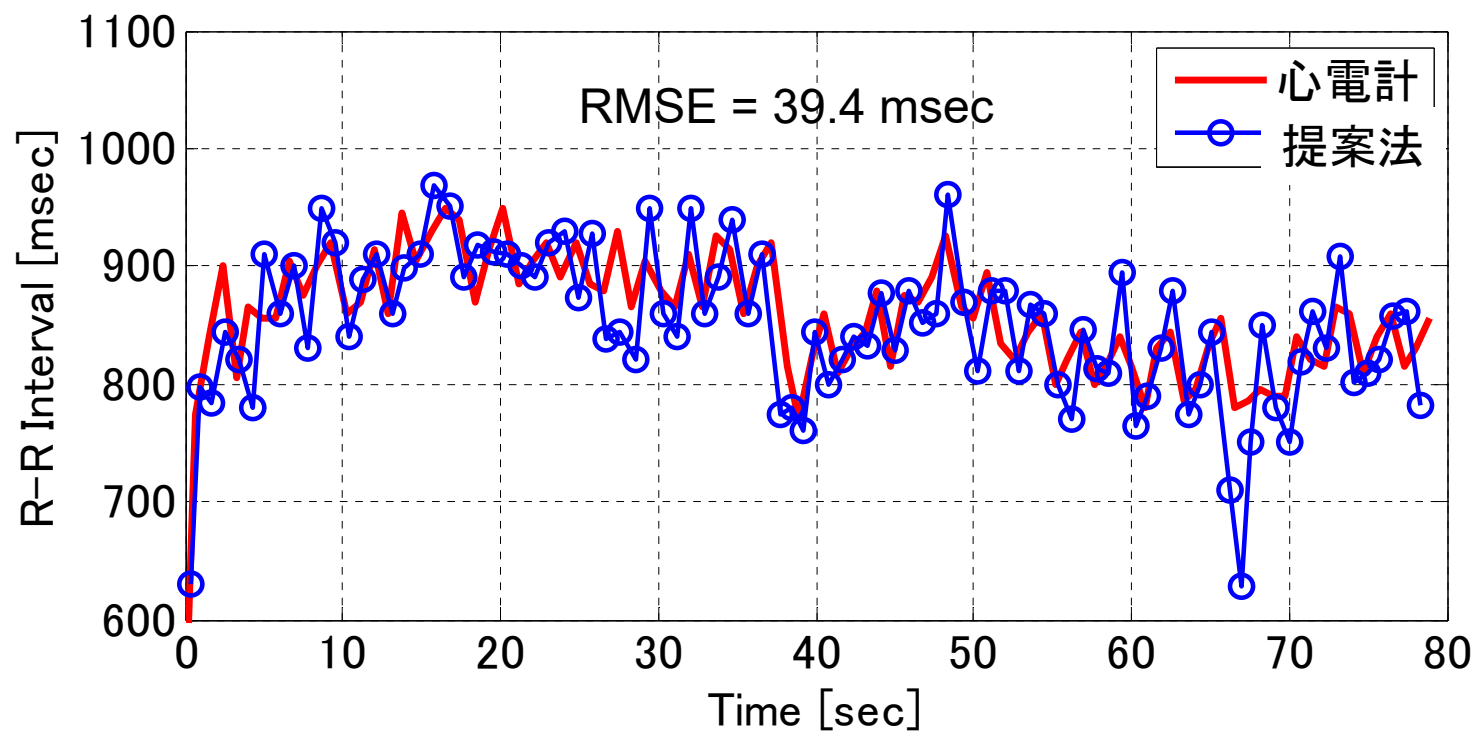


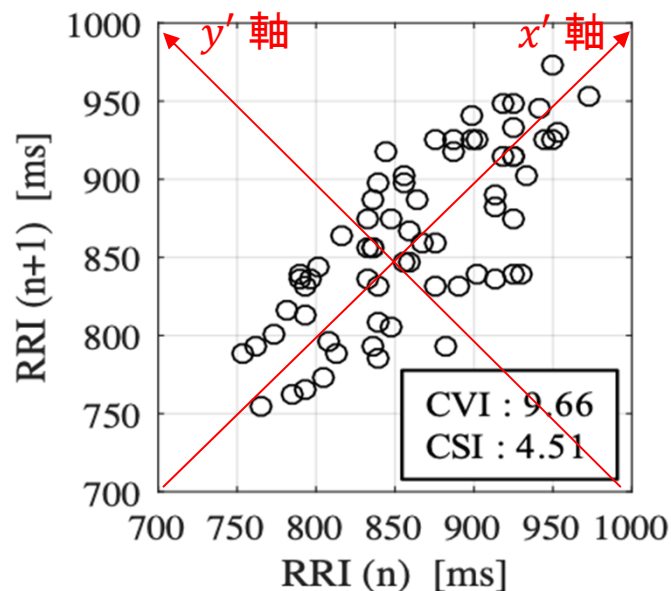
図. 積分値

# 心拍間隔検出例



- K. Yamamoto, K. Toyoda, and T. Ohtsuki, IEEE Access 2018
- C. Ye, K. Toyoda, and T. Ohtsuki, IEEE Trans. on Biomedical Engineering (TBME), Oct. 2018.
- 他

# ストレス指標精度



- ローレンツプロット
  - ストレス指標 CVI 及び CSI の算出に利用
  - $X$ :  $x'$  軸に対するデータの標準偏差の 4 倍
  - $Y$ :  $y'$  軸に対するデータの標準偏差の 4 倍

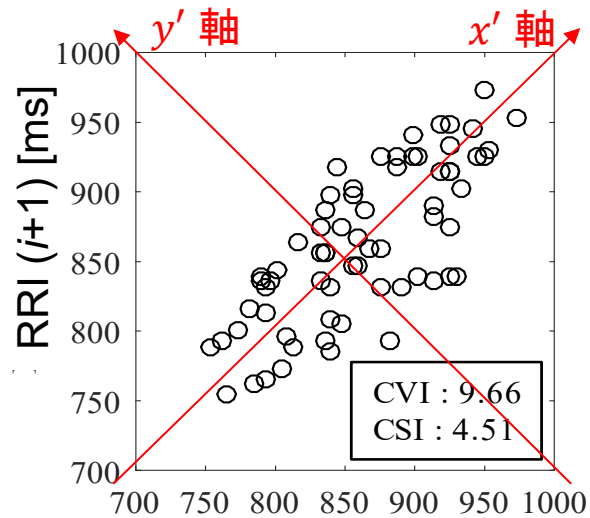
CVI (Cardiac Vagal Index): 副交感神経機能指標

CSI (Cardiac Sympathetic Index): 交感神経機能指標

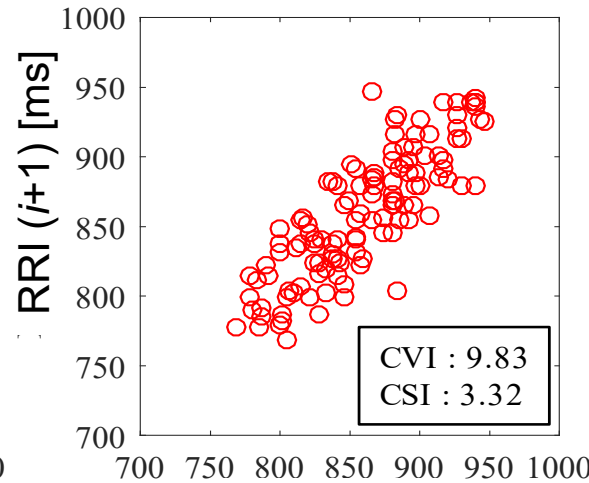
$$CVI = \log(X \times Y),$$

$$CSI = \frac{X}{Y}.$$

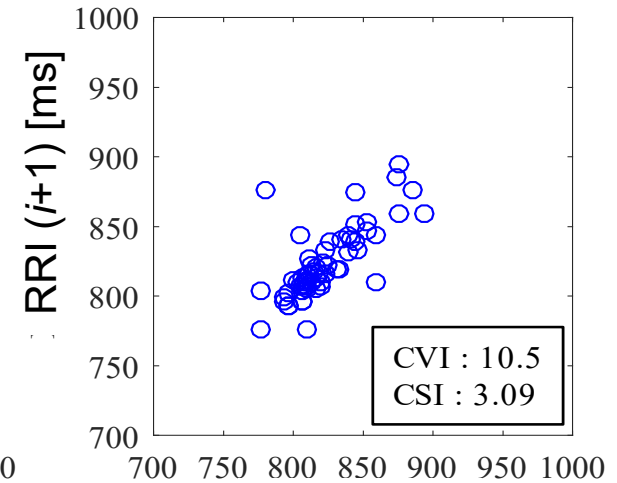
# ストレス指標精度結果



RRI ( $i$ ) [ms]  
(a) ECG



RRI ( $i$ ) [ms]  
(b) 提案法



RRI ( $i$ ) [ms]  
(c) 従来法 [8]

ローレンツプロットの 1 例

CVI 及び CSI の平均絶対誤差

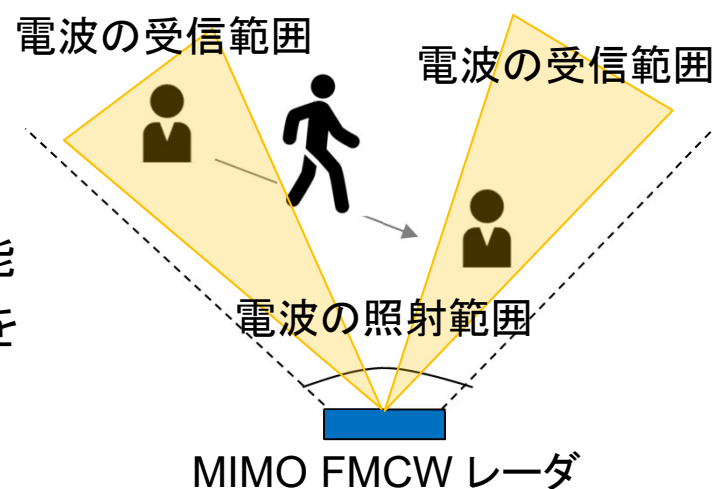
行動	手法	CVI	CSI
着座静止	提案法	0.82	1.42
	従来法	1.23	2.11
タイピング	提案法	0.97	1.72
	従来法	1.29	2.02

# 非接触呼吸検出

## □ MIMO FMCW レーダ

- 複数の送受信アンテナを線形に配置
- 受信アンテナの指向性を制御することで任意の方位に対する受信信号を取得可能
- 電波の照射範囲内に人がいれば、呼吸を検出可能

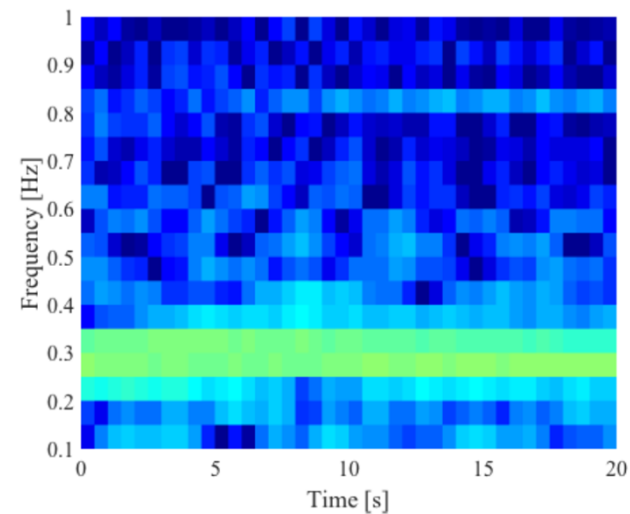
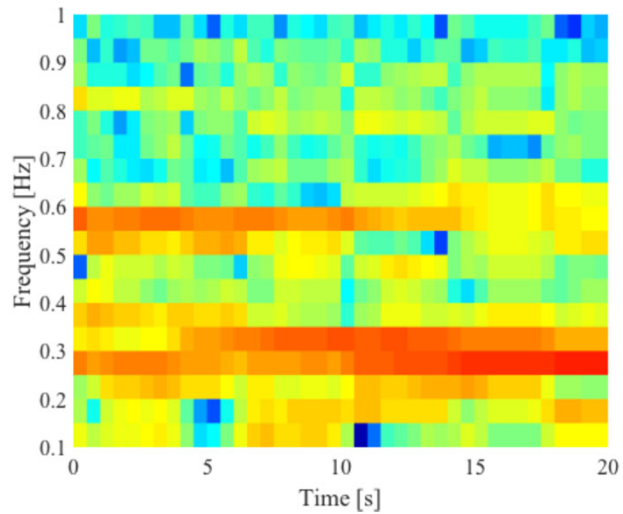
FMCW : **F**requency **M**odulated **C**ontinuous **W**ave



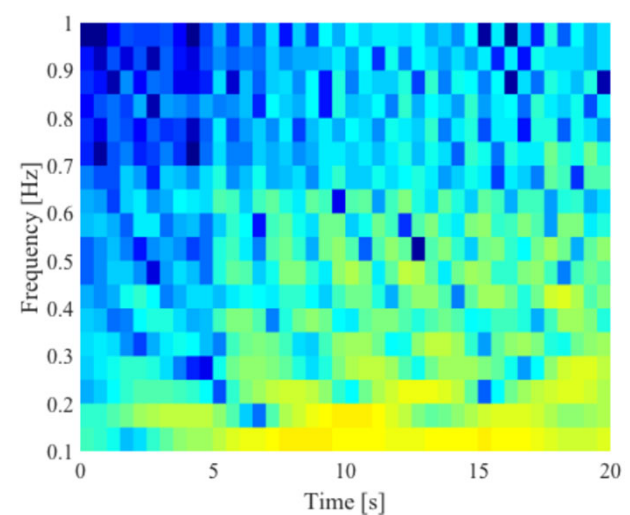
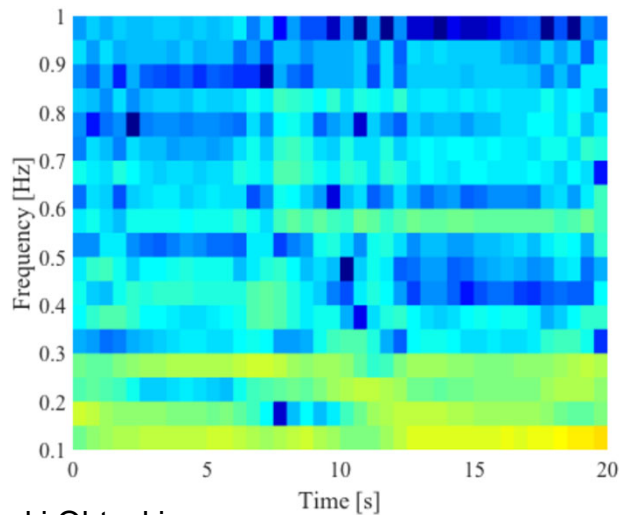
# CNN に基づく室内環境における呼吸検出

- MIMO FMCW レーダを用いた呼吸検出
  - 胸壁位置推定
    - ✓ FFT や MUSIC アルゴリズムを MIMO FMCW レーダの受信信号に適用
  - 呼吸検出
    - ✓ 推定した胸壁位置における位相変動を算出
    - ✓ 位相変動を基に呼吸を検出
  - 問題点
    - ✓ 屋外環境と比較し、室内環境ではマルチパスの影響が大きいため、胸壁位置推定は難しい
- CNN に基づく室内環境における呼吸検出
  - MIMO FMCW レーダの受信信号から様々な位置における位相変動を算出
  - 算出した各位相変動からスペクトログラムを算出
  - スペクトログラムを入力して、呼吸数を入力する CNN を基に呼吸数を推定

# スペクトログラム例



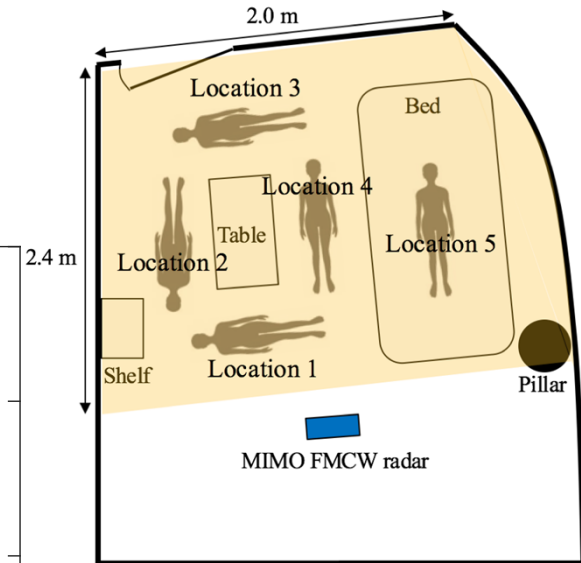
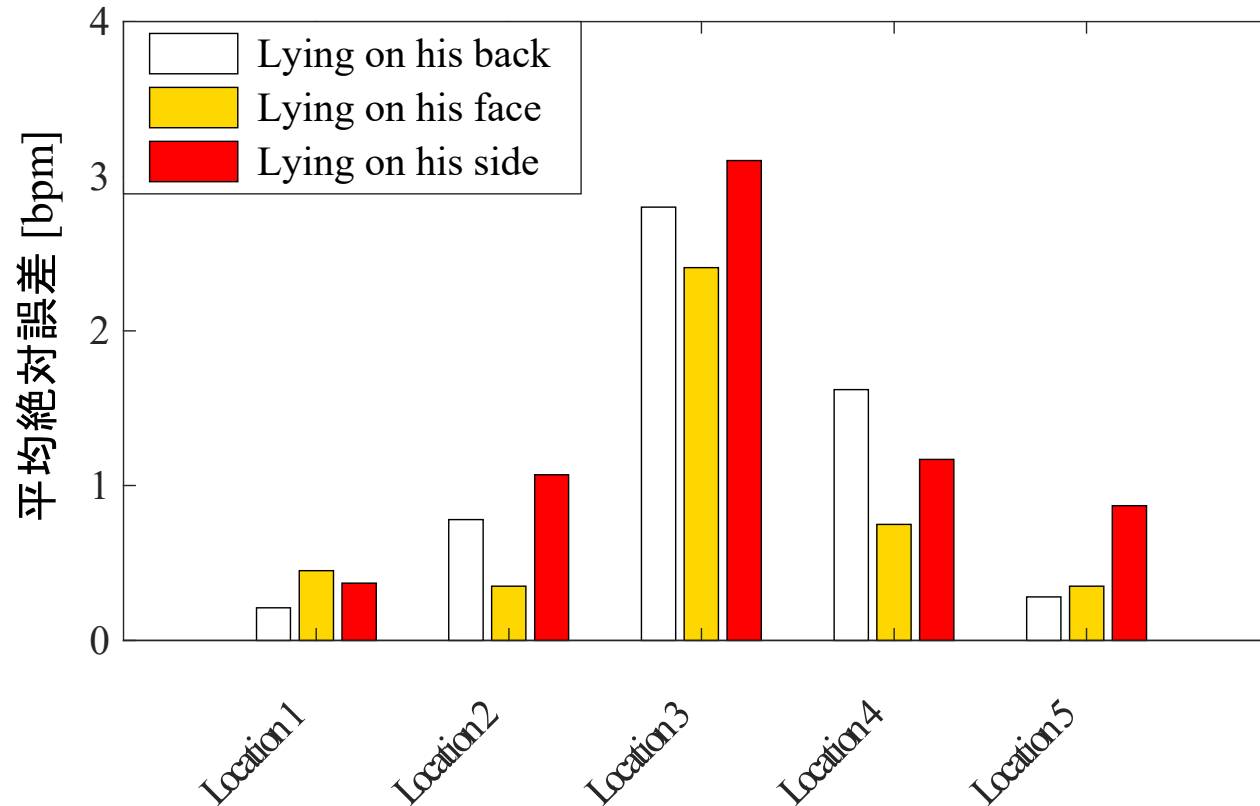
胸壁位置におけるスペクトログラム



胸壁が存在しない位置におけるスペクトログラム



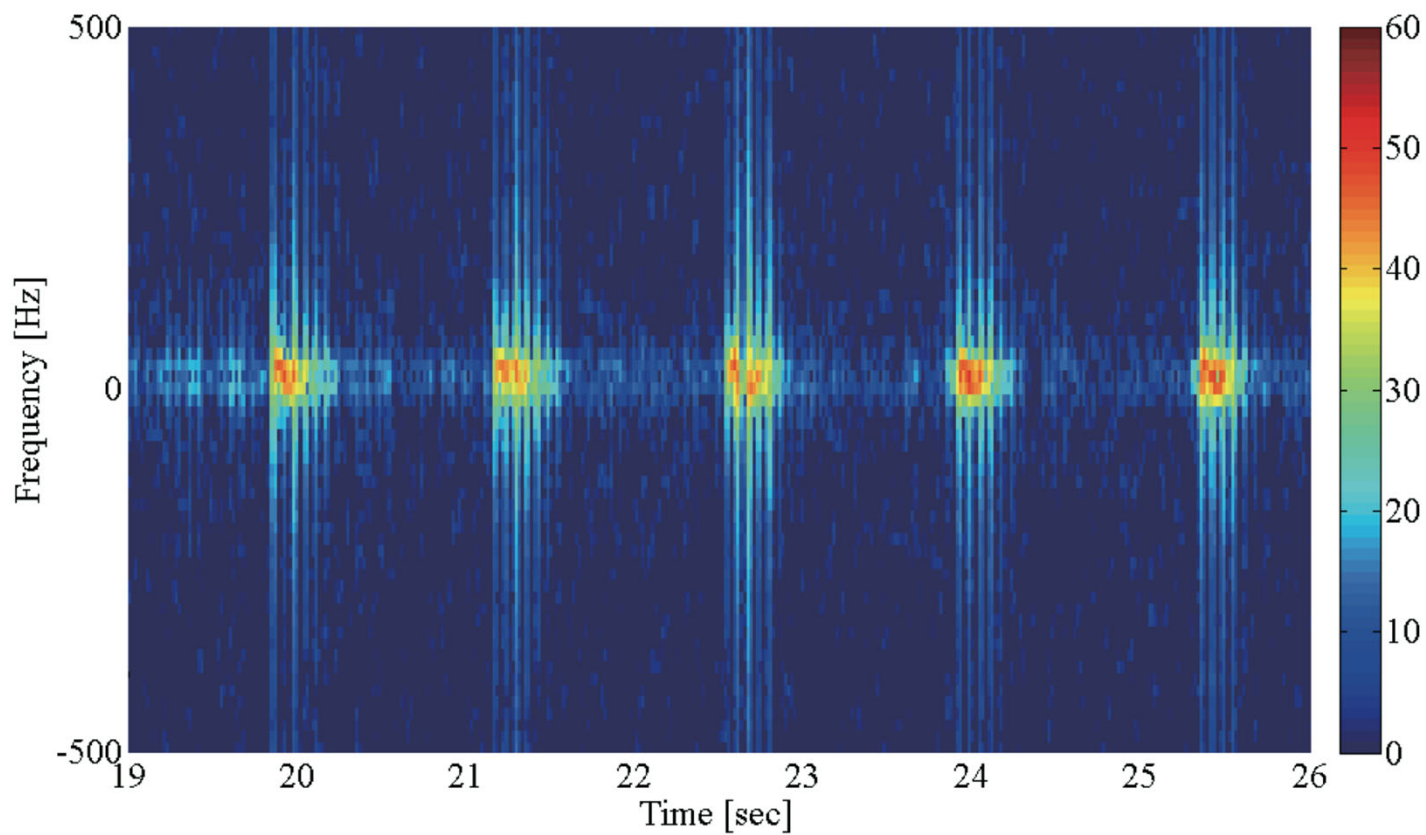
# 実験結果



実験環境

2人の被験者に対する平均絶対誤差

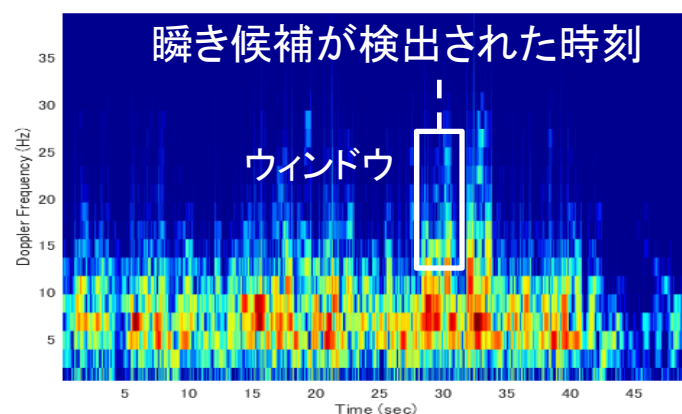
# ドップラースペクトル：瞬き



# 瞬き検出：ドップラーセンサ

- ドップラー信号及び振幅信号, 位相信号を利用して瞬き候補を検出
- 機械学習を基に, 瞬き候補を「瞬き」と「非瞬き」に分類
  - ▶ 特徴量はスペクトログラムから抽出

## 各周波数帯のエネルギーの相関(共分散行列)



スペクトログラム

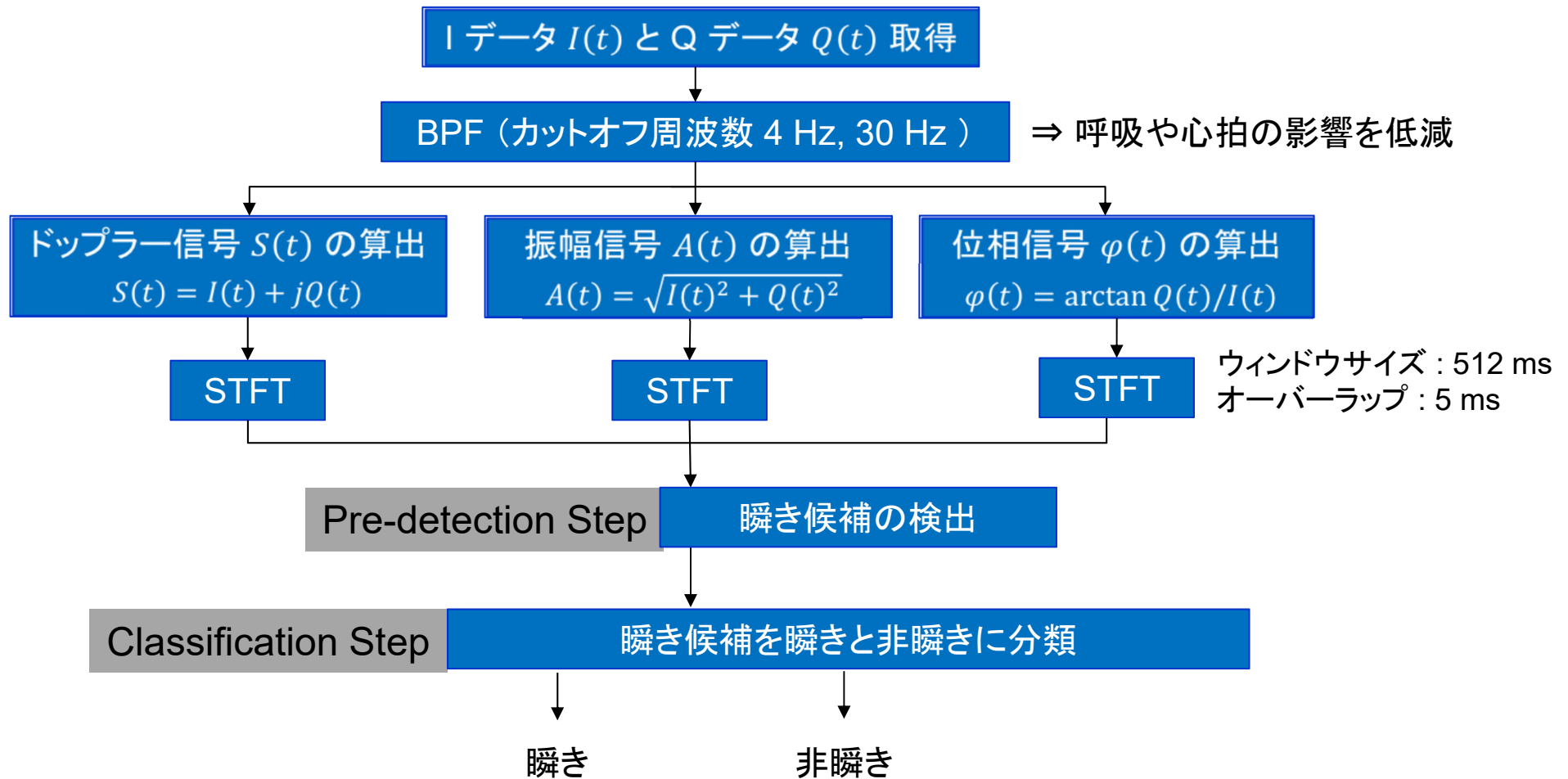


ウィンドウに含まれる各ビンのエネルギー値

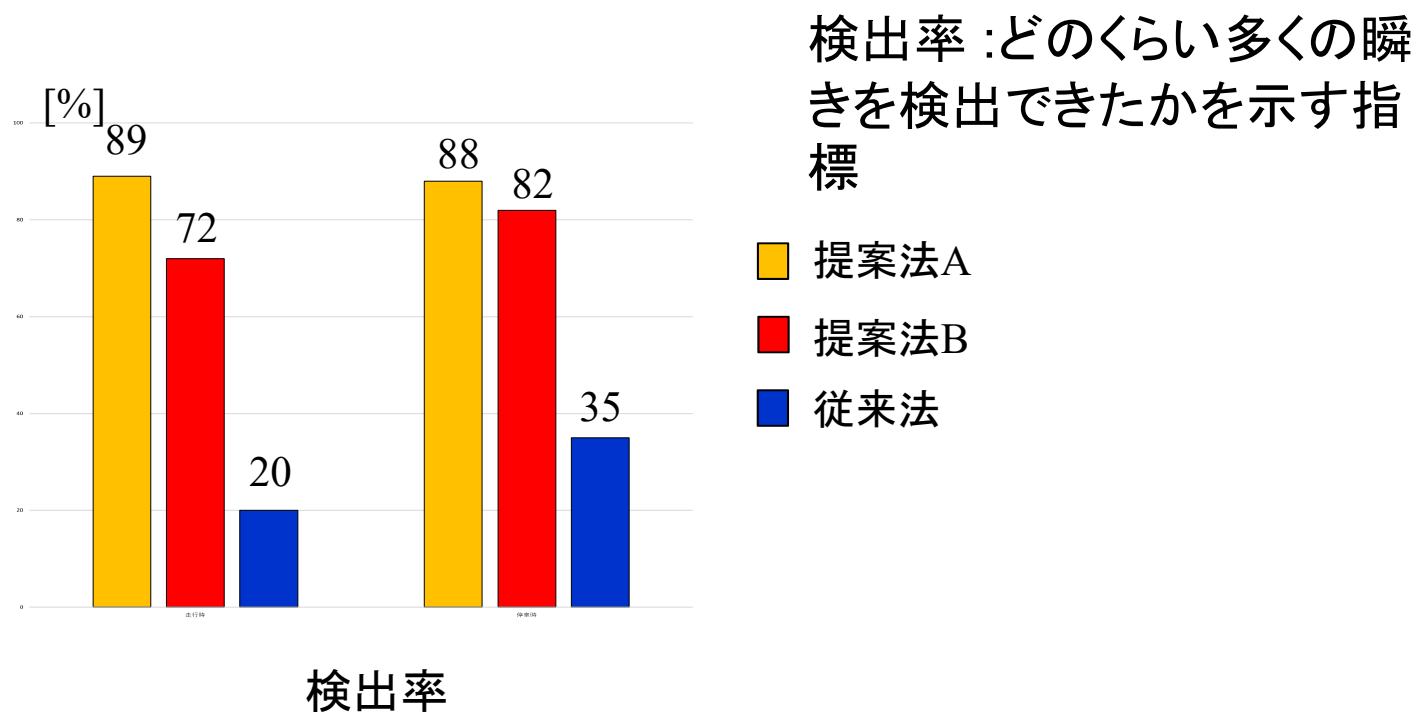
- C. Tamba, S. Tomii, and T. Ohtsuki, IEEE PIMRC 2014
- C. Tamba, H. Hayashi, and T. Ohtsuki, IEEE Globecom 2016
- K. Ymamoto, K. Toyoda, and T. Ohtsuki, IEEE PIMRC 2017
- K. Ymamoto, K. Toyoda, and T. Ohtsuki, IEEE ICC 2018
- K. Ymamoto, K. Toyoda, and T. Ohtsuki, IEEE Access 2018

他

# 瞬き検出：ドップラーセンサ

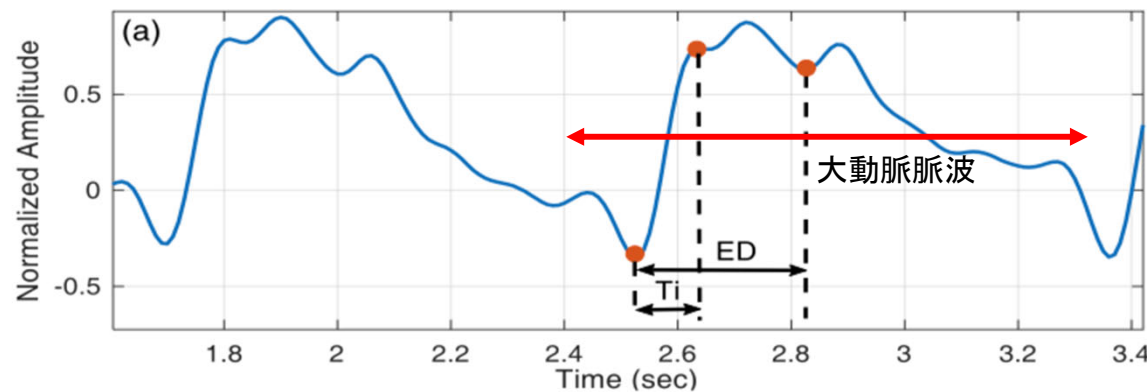


# 瞬き検出率



# 非接触血圧推定

- ドップラーセンサなどから算出される位相信号から大動脈脈波を検出，それに基づき血圧推定



$T_1$  : 脈波の立ち上がりから、最大振幅ピーク直前のピーク (山側) までの区間

ED : 脈波の立ち上がりから、最大振幅ピーク直後のピーク (谷側) までの区間

図. ベッドで寝ている被験者から取得した位相信号

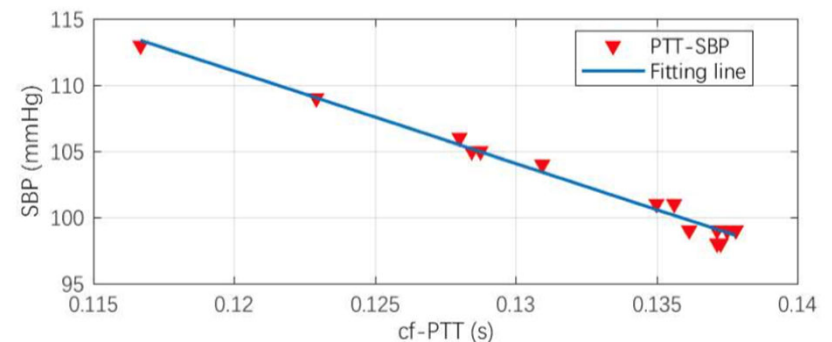


図.  $PTT_{cf}$  と血圧の相関関係

# 非接触血压推定

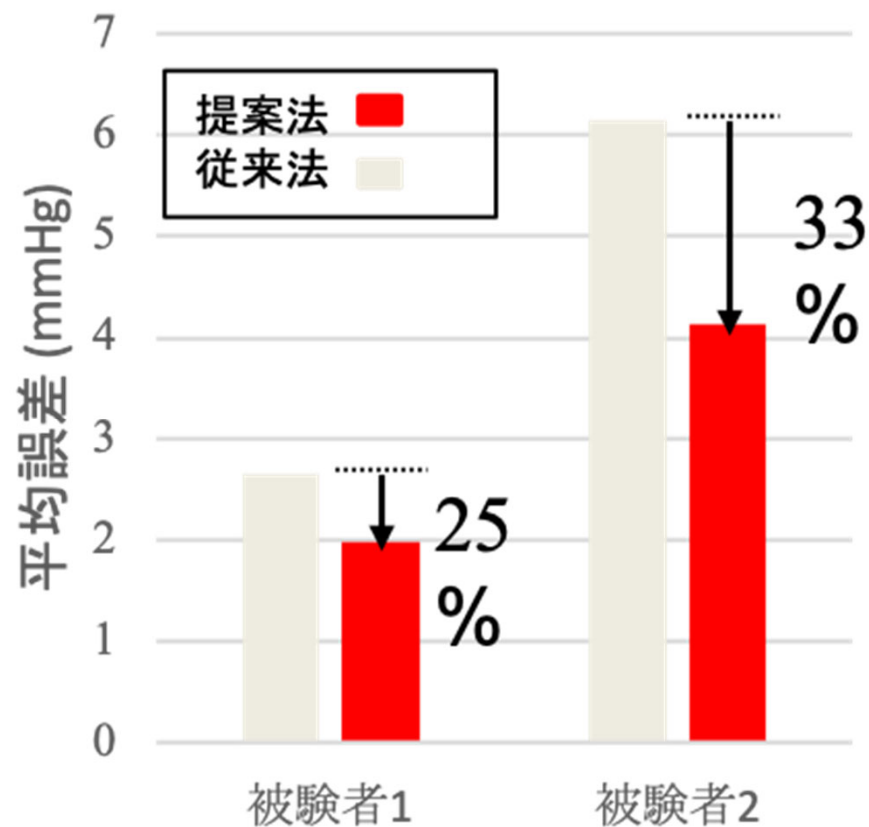


図 血压平均誤差特性

# その他: Social Network 解析技術 @大槻研究室

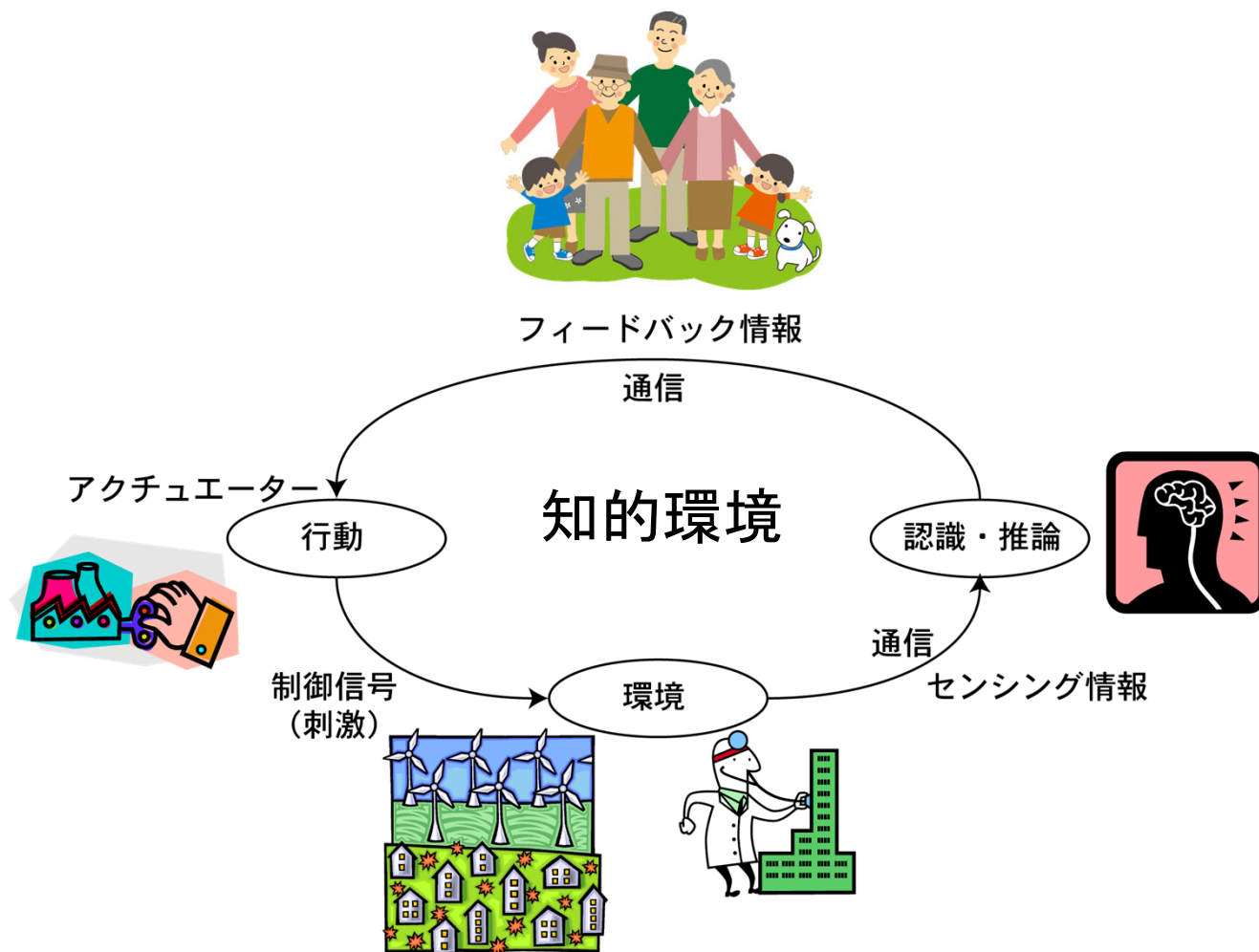
- テキスト・マイニング技術
  - Twitterやレビューの多クラス感情解析・感情量解析
  - 皮肉の意味検出
  - ヘイトスピーチ検出
- 多クラス感情解析・感情量解析ソフトウェア開発
  - SENTA
- チャットボット

- M. Bouazizi and T. Ohtsuki, BIG DATA MINING AND ANALYTICS, 2019
- M. Bouazizi and T. Ohtsuki, IEEE Access 2018
- H. Watanabe, M. Bouazizi, and T. Ohtsuki, IEEE Access 2018
- M. Bouazizi and T. Ohtsuki, IEEE Access 2017

他



# 知的環境研究センター@慶應義塾大学



# 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 心拍検出システム、  
心拍検出方法
- 出願番号 : 特願2018-014373
- 出願人 : 慶應義塾大学
- 発明者 : 大槻 知明

# お問い合わせ先

慶應義塾大学

研究連携推進本部

TEL 03-5427-1439

FAX 03-5440-0558

e-mail [toiawasesaki-ipc@adst.keio.ac.jp](mailto:toiawasesaki-ipc@adst.keio.ac.jp)