



非接触計測も可能な体動を利用した カフレス血圧推定方法

福島大学 共生システム理工学類
教授 田中 明

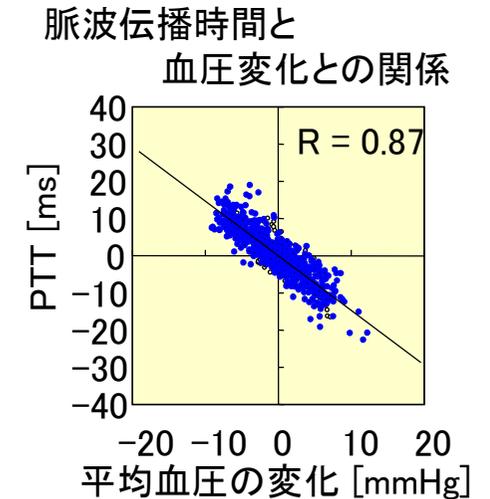
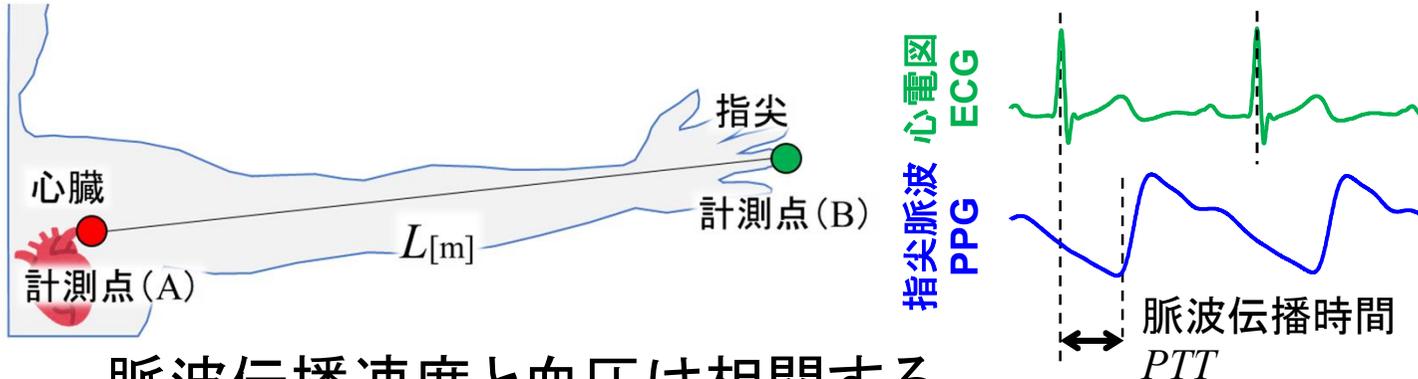
2024年6月6日





脈波を利用したカフレス血压推定

◆ 脈波の伝播特性は血压の影響を受ける



– 脈波伝播速度と血压は相関する

$$PWV^2 = \frac{\Delta P}{\rho} \cdot \frac{V}{\Delta V} \quad (\text{Bramwell-Hillの式})$$

ΔP : 脈圧, ρ : 血压密度, $\Delta V/V$: 体積弾性率

◆ 脈波の様々な特徴量を利用した血压推定法

- 脈波伝播時間(速度)を利用した方法 (Mukkamaraら, 2015)
- 脈の反射波を利用した方法 (Shinら, 2017)
- 様々な特徴量の重回帰モデルによる推定 (Atomiら, 2017)
- 機械学習を利用した推定



従来法の問題点

◆ 脈波は血圧以外の影響を受ける

- 脈波伝播速度は血液密度, 血管特性などの影響も受ける
- 個人毎にキャリブレーションを必要とする
- 相対的な血圧変化の推定は可能

◆ 脈波形状の様々な特徴量を利用

- 様々な特徴量を使用して機械学習(Liuら 2017)
→脈波の精度の影響
- ブラックボックスモデルによる推定(学習ありき)

◆ 多くの個人パラメータを利用

- 個人差解消のため様々な個人パラメータ(身長, 体重, BMIなど)を使用して機械学習
- 学習データに依存する可能性
- 脈波伝播速度の情報なくともある程度推定できてしまう





提案する拡張期血圧推定方法 その1

◆ スティフネスパラメータ β と局所の脈波伝播速度 v_P

– スティフネスパラメータ β

$$\ln\left(\frac{P_s}{P_d}\right) = \beta \left(\frac{\Delta D}{D}\right) \quad (1)$$

P_s : 収縮期血圧
 P_d : 拡張期血圧
 $\Delta D/D$: 径方向の歪

– Bramwell-Hill の式

$$v_P^2 = \frac{\Delta P}{\rho} \cdot \frac{V}{\Delta V} \quad (2)$$

ΔP : 脈圧 ($P_s - P_d$)
 ρ : 血液密度
 $\Delta V/V$: 体積歪



$$v_P^2 = \frac{\beta \cdot P_d}{2\rho} \quad (3)$$

◆ 心臓(大動脈)と末梢との拡張期血圧の差 ΔP_d

$$v_P^2 = -\frac{\beta}{2\rho} \Delta P_d + \frac{\beta}{2\rho} P \quad (4) \quad (\Delta P_d = P - P_d)$$

- 脈波伝播速度 v_P^2 と ΔP_d との関係から拡張期血圧 P を推定可能





提案する拡張期血圧推定方法 その2

- ◆ ΔP_d は心臓との高低差 h に依存
 - 心臓よりも高い位置では個人差 小
 - 特に拡張期圧の個人差 小

$$\Delta P_d = f(h) = \alpha h + \gamma \quad (5)$$

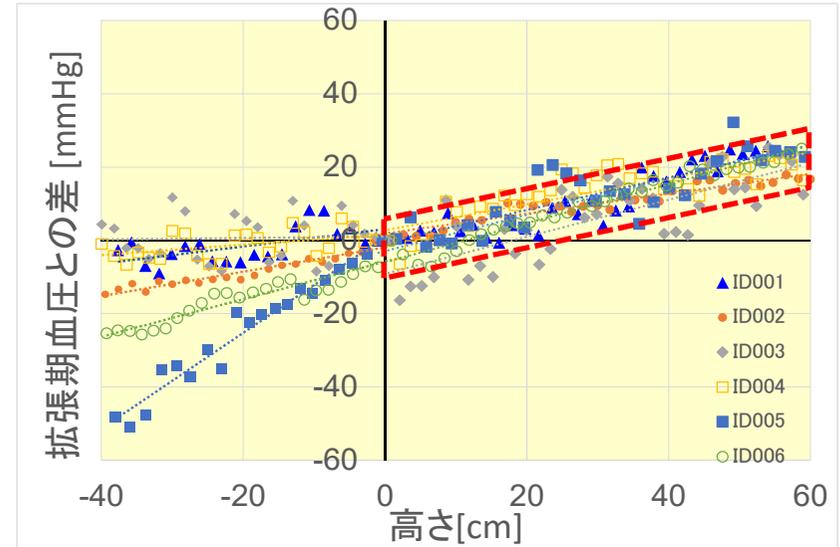
- ◆ 高低差と脈波伝播速度との関係

$$v_p^2 = -\frac{\beta}{2\rho} \alpha h + \frac{\beta}{2\rho} (P - \gamma) \quad (6)$$

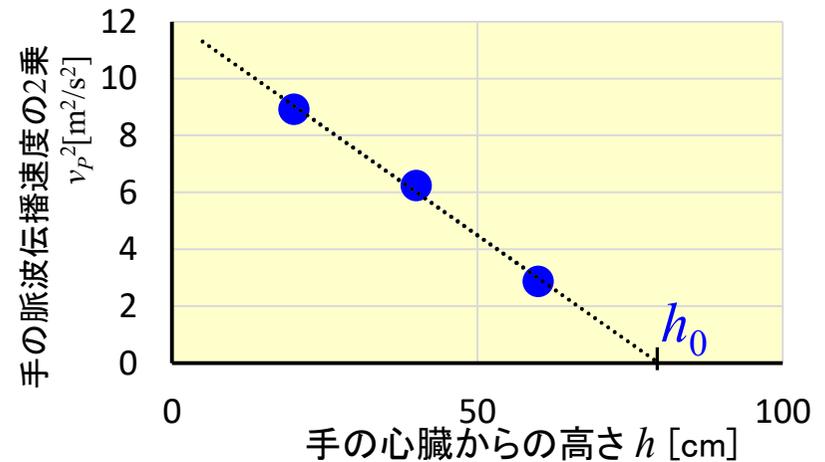
$$h_0 = \frac{\beta}{2\rho} (P - \gamma) / \left(\frac{\beta}{2\rho} \alpha \right) = \frac{P - \gamma}{\alpha} \quad (7)$$

$$\therefore P = \alpha h_0 + \gamma \quad (8)$$

v_p^2-h の関係から拡張期血圧を推定可能



手の心臓からの高さ h と血圧との関係



手と心臓の高低差 h と
脈波伝播速度の2乗 v_p^2 との関係

提案する拡張期血压推定方法 その3

検証実験①

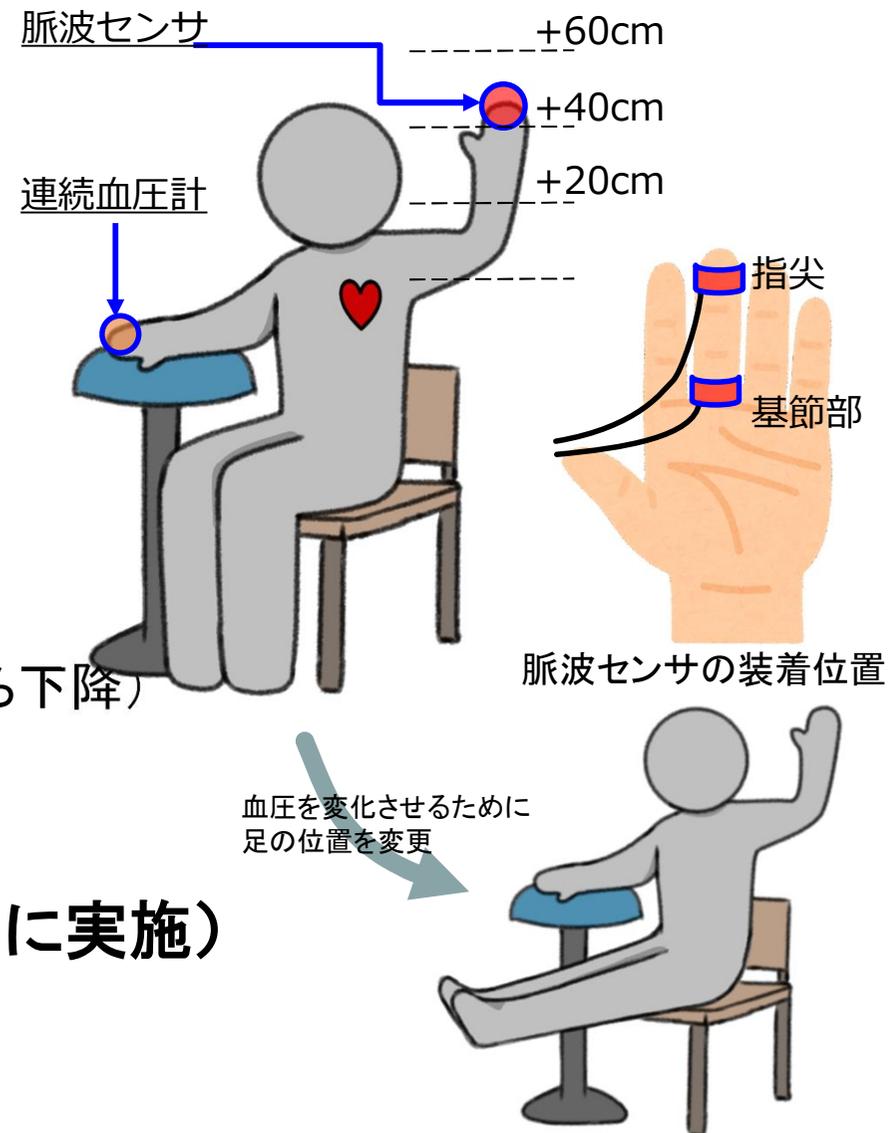
- ◆ 対象：10名（男性5名、女性5名、21.7歳±0.7）
- ◆ 計測量
 - 血压：マンシェットによる測定
 - 連続血压：容積補償法，右手(高さは一定)
 - 脈波：光電脈波，左手中指(指尖，基節部)

◆ 実験①（一人2セット計測）

- 1) 血压測定(脈波計測の前後)
- 2) 脈波計測(左手を心臓から60cmの位置から下降)
 - 60, 40, 20cmの高さで5秒間静止
 - 静止中は呼吸も停止

◆ 実験②（4名(男性2名，女性2名)，別日に実施)

- 1) 実験1と同様の計測
- 2) 姿勢を変えて再度計測





提案する拡張期血圧推定方法 その4

信号処理

◆ 脈波伝播速度の算出

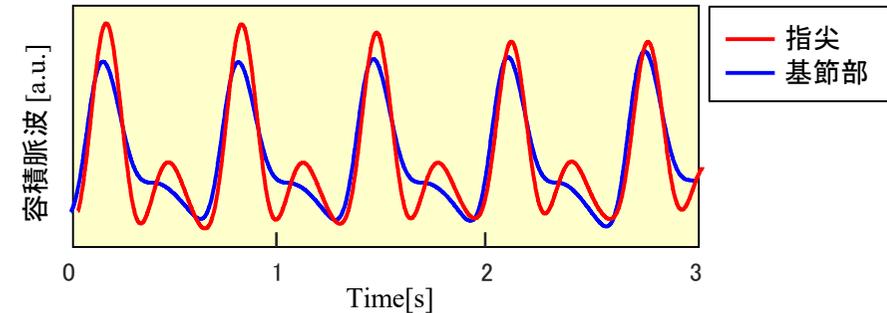
- 2つの脈波の相互相関関数を算出
- 相関のピーク部の関数近似から脈波伝播時間(速度)を算出

◆ h_0 の算出および $f(h)$ の算出

- 実験①の結果から h_0 を算出
- 拡張期血圧の実測値と h_0 から $\alpha, \gamma (f(h))$ を推定

◆ 血圧推定精度の算出

- 実験②のデータを使用
- 推定された α, γ を使用して拡張期血圧を推定
- RMSEと相関係数を算出



計測される指尖と基節部の脈波信号の例

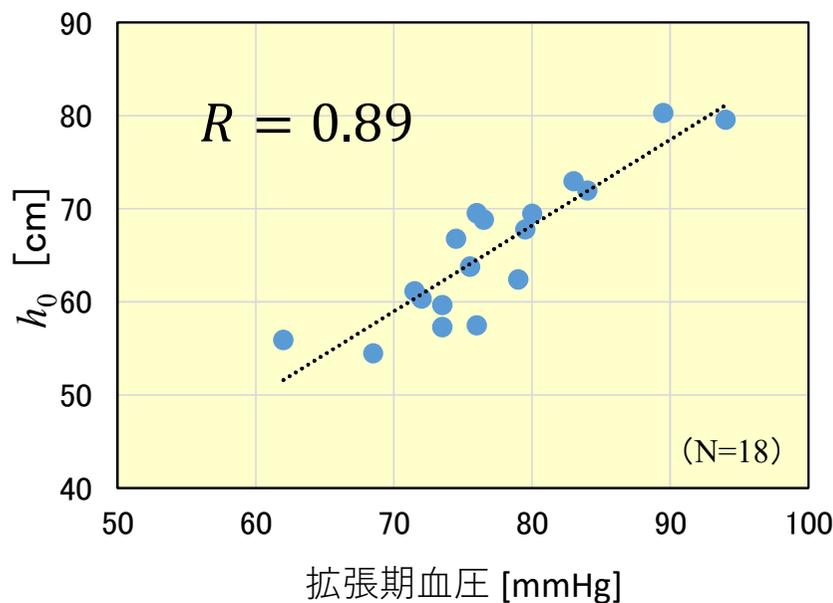
$$\hat{P} = \alpha h_0 + \gamma$$



提案する拡張期血圧推定方法 その5

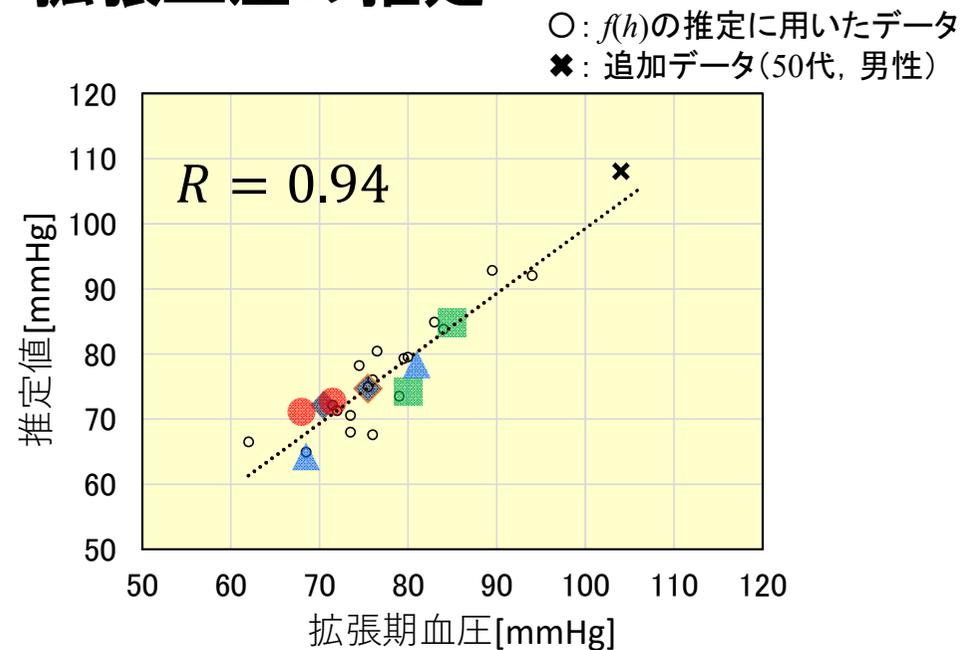
血圧推定結果

◆ $f(h)$ の推定



$$f(h) = 1.08h + 6.06$$

◆ 拡張血圧の推定



推定誤差 (RMSE) : 3.0mmHg
(データ全体 : 3.4mmHg)





新技術の特徴・従来技術との比較

◆ 利点

- カフを必要としない
- 高さと脈波伝播速度の情報のみで推定可能
- 機械学習などを利用しない
- 個人差に強い可能性
- 映像脈波に対しても適用可能(非接触計測)

◆ 欠点

- 連続血圧は推定できない
- 手の昇降が必要
- 複数点(上流, 下流)の脈波が必要

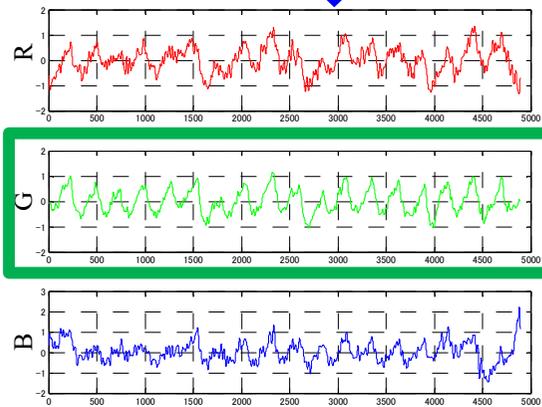
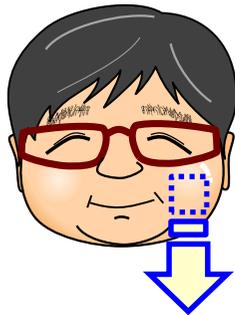




非接触計測への展開 その1

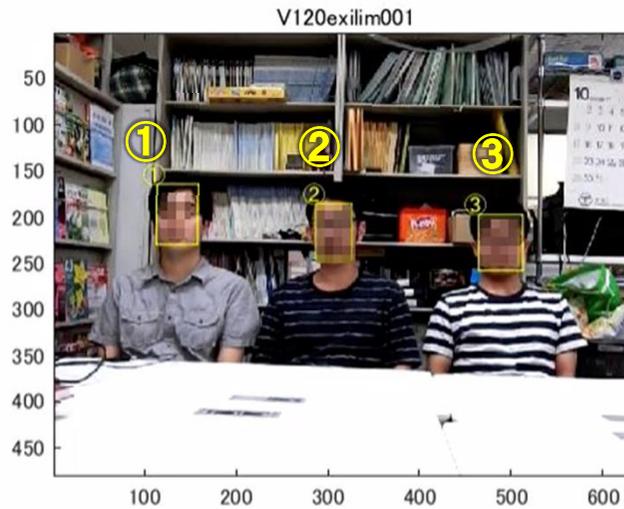
◆ 映像脈波とは： 肌色の変化から脈波を抽出

- R(赤)G(緑)B(青)で記録
- 特にGの変化に脈動成分

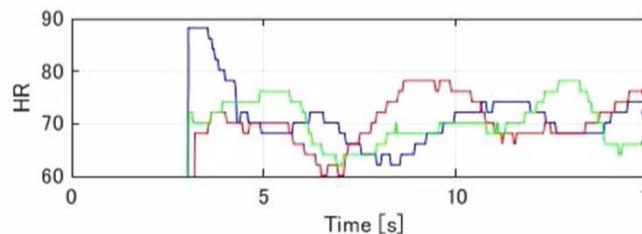


皮膚のRGB値の変化

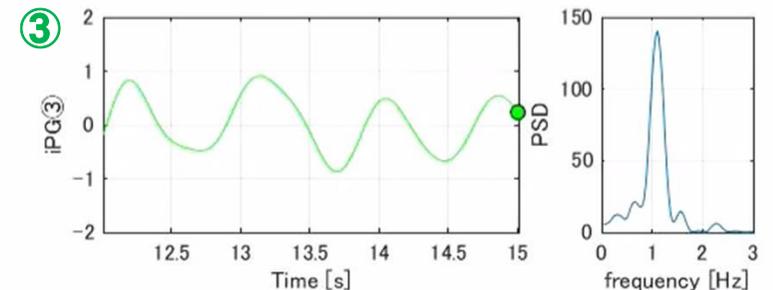
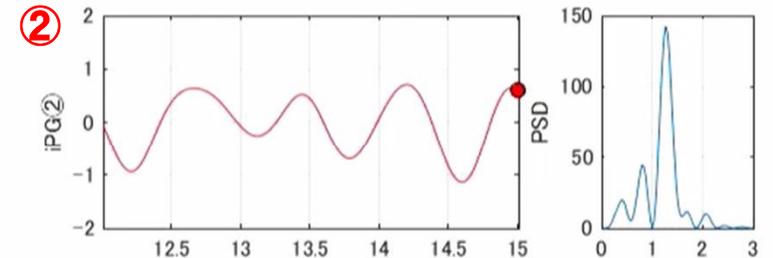
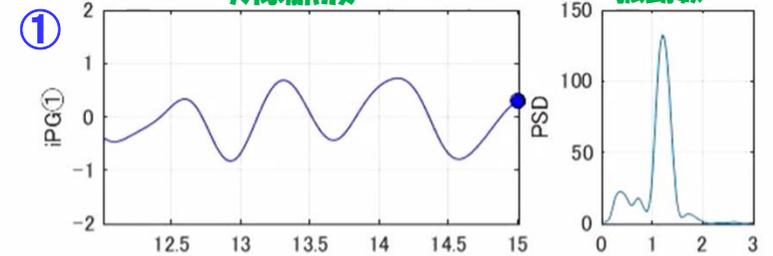
映像 (脈に合わせて色を変化)



3人の心拍数の変化



映像脈波

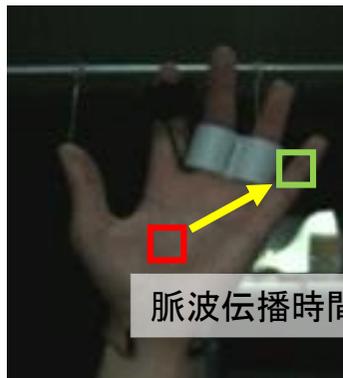
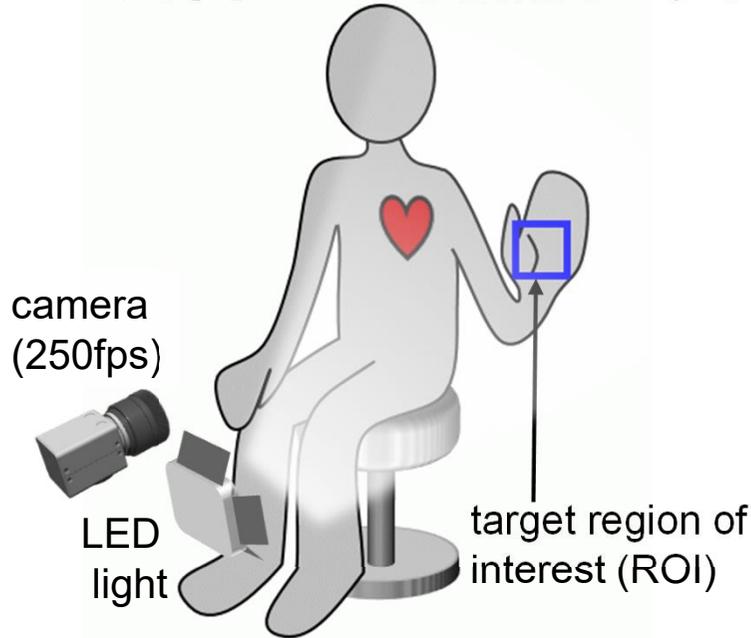


カメラに写っている複数の人の心拍数が同時に計測できる!

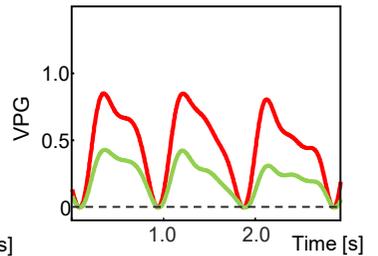
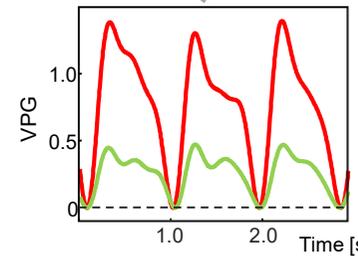
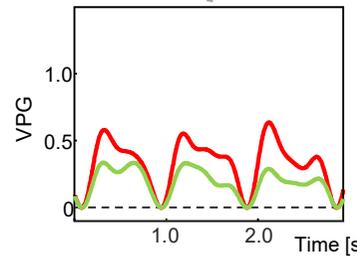
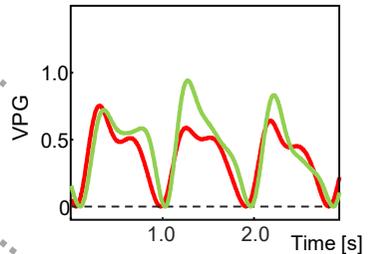
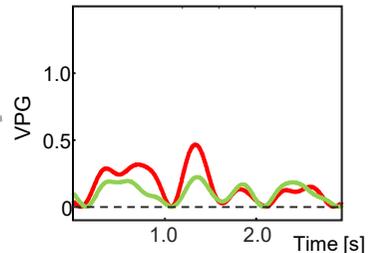
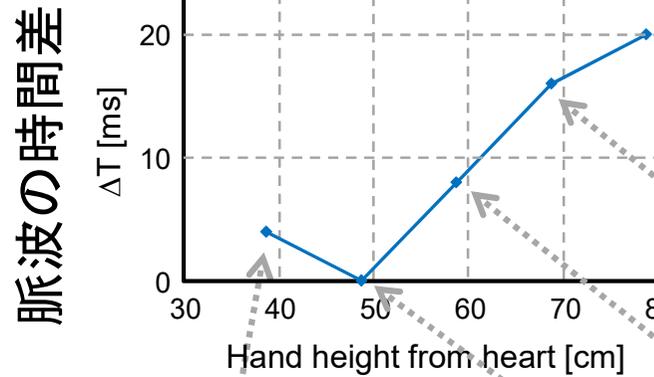
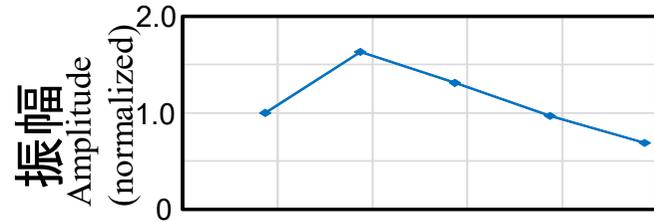


非接触計測への展開 その2

◆ 手の昇降による脈波の変化



脈波伝播時間差 ΔT



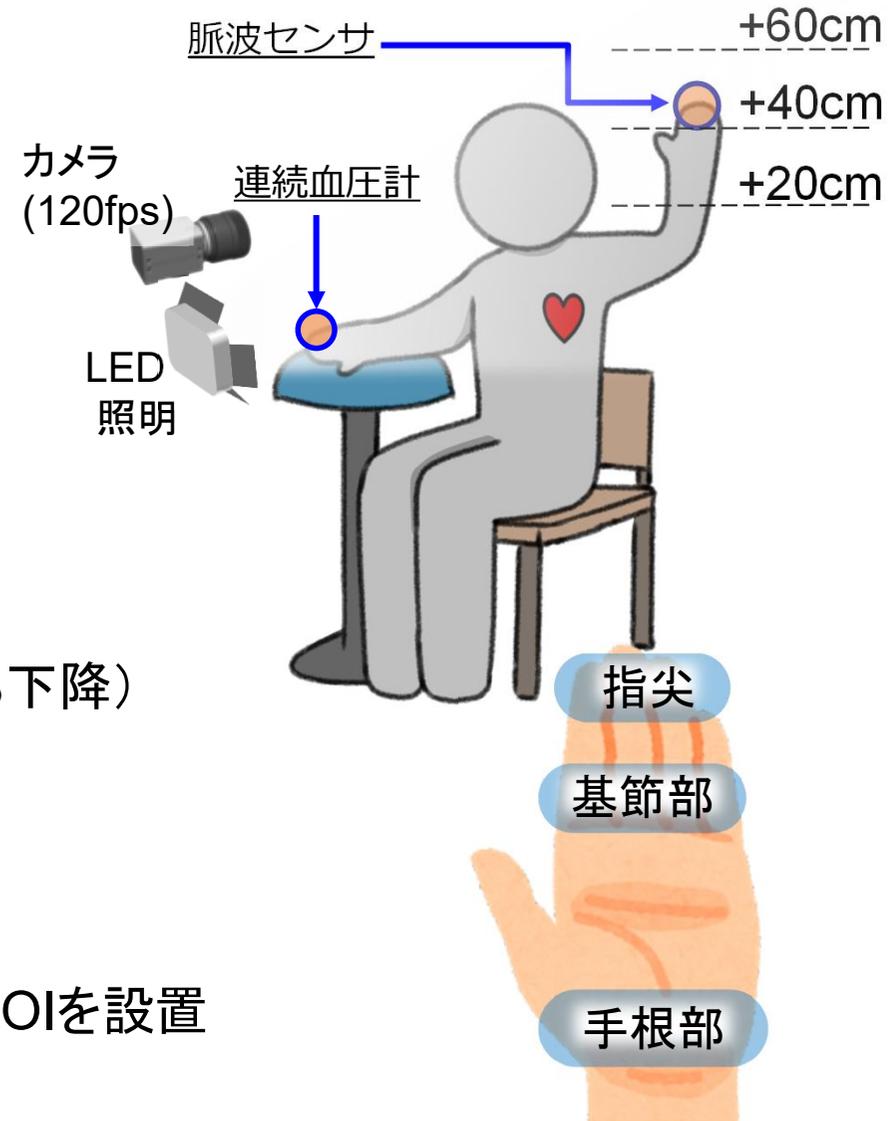
カメラから手の高さや映像脈波の情報が得られれば
非接触で血圧が推定可能



非接触計測への展開 その3

検証実験②

- ◆ 対象：15名（男性9名、女性6名、23.0歳±5.5）
- ◆ 計測量
 - 血圧：マンシェットによる測定
 - 連続血圧：容積補償法，右手(高さは一定)
 - 脈波：光電脈波，左手中指(指尖)
- ◆ 実験
 - 1) 血圧測定(脈波計測の前後)
 - 2) 脈波計測(左手を心臓から60cmの位置から下降)
 - 60, 40, 20cmの高さで5秒間静止
 - 静止中は呼吸も停止
- ◆ ROIの設定
 - 指尖部，基節部，手根部それぞれに複数のROIを設置
 - 様々な組み合わせで脈波伝播速度を算出

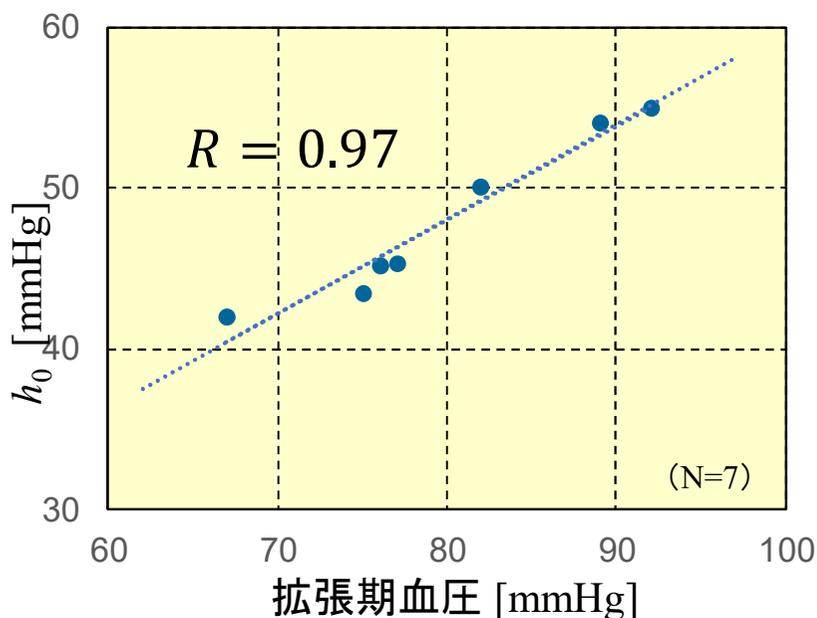




非接触計測への展開 その4

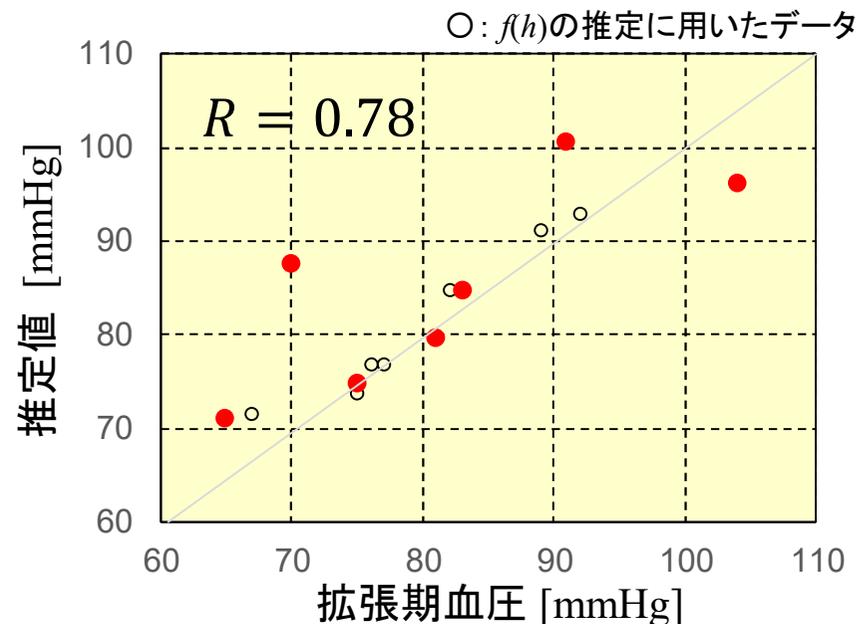
血压推定結果

◆ $f(h)$ の推定



$$f(h) = 1.63h + 1.88$$

◆ 拡張血圧の推定



推定誤差 (RMSE) : 8.3mmHg
(データ全体 : 5.4mmHg)

映像から高さと脈波が得られれば非接触で血圧が推定可能





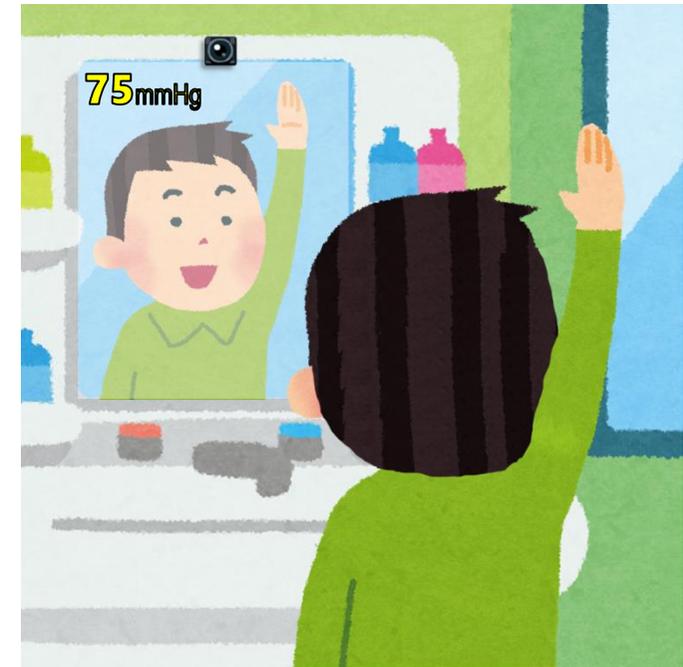
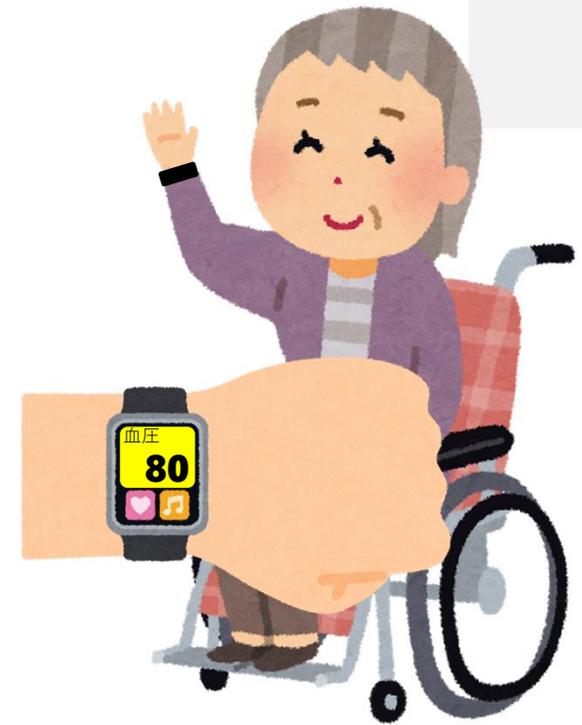
想定される用途

◆ 接触式

- 日々の血圧測定
- 健康管理(心拍と血圧)
- ウェアラブルデバイスへの実装
- 他のカフレス血圧推定方法のキャリブレーション

◆ 非接触式

- 日々の血圧測定
- 遠隔医療／健康管理
- ひとつのカメラで複数人の計測





実用化に向けた課題(接触型)

◆ 計測方法

- 脈波伝播時間の高精度計測
 - 2点間の距離が短い場合の時間精度
 - 脈波の立ち上がり点での計測が理想(雑音の影響が大きい)
- 計測ポイントの最適化
- 計測プロトコルの最適化
- 高さ計測の改善

◆ 解析方法

- 脈波伝播時間の算出方法の改善





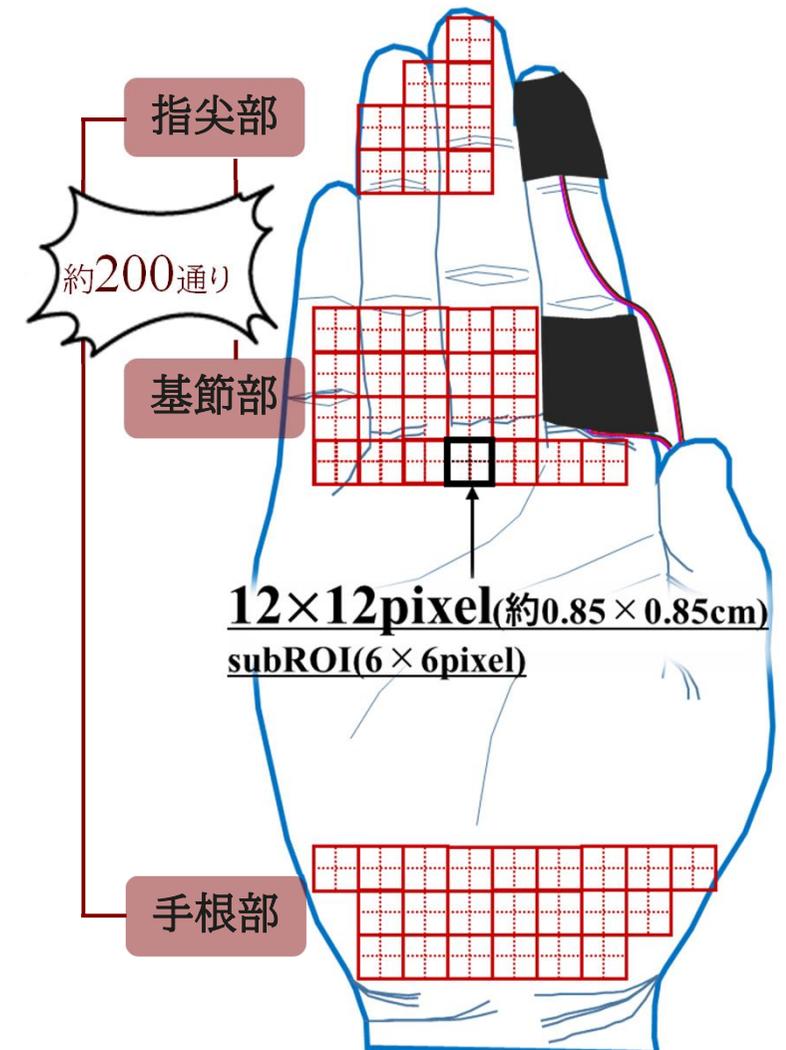
実用化に向けた課題(非接触型)

◆ 計測方法

- 撮影方法の最適化
- 動画処理
 - ROIの選択と追尾
 - 高さ情報の取得

◆ 解析方法

- 多点同時計測の積極的利用
- 解析時間
- フレームレートの影響の調査





企業への期待

◆ 接触式

- 腕時計型デバイスへの実装については、短距離の脈波伝播時間の計測が可能であれば検証が可能

◆ 非接触

- 掌部分のモーショントラッキングが必要
(現状: オフライン, 要時間)
- 様々な環境(照明, カメラ)での検証実験





企業への貢献、PRポイント

- ◆ 推定原理がシンプルであるため，十分な精度で脈波伝播速度が計測できれば実装が容易
- ◆ 本技術の導入にあたり必要な追加実験を行うことで精度の向上をはかることが可能
- ◆ 映像脈波の抽出に関する技術指導等





本技術に関する知的財産権

- ◆ 発明の名称 : 血圧推定装置、血圧推定方法、およびプログラム
- ◆ 出願番号 : 特願2022-95209
- ◆ 出願人 : 福島大学
- ◆ 発明者 : 田中 明





お問い合わせ先

福島大学

研究・地域連携課 横島 善子

TEL 024-548-5345

e-mail chizai@adb.fukushima-u.ac.jp

