

水圧センサを用いた浴槽入水者識別手法の提案

蔵田 直生^{1,a)} 村尾 和哉^{1,2,b)}

概要: 住宅環境の中でも、浴槽内は特に死亡事故件数が多いと報告されているため、浴槽入浴中の体勢などの情報を個人と紐づけて把握することは重要である。本研究では浴槽に湯を注水しながら入浴する状況、入水によって浴槽から湯が溢れる状況において、浴槽の底に設置した水圧センサから入水時の水圧の変化を取得し、入水者を識別する手法を提案した。提案手法は、取得した水圧データから1回の入水区間の波形を切り出す。そして、注水による水圧の変化を除去して入水のみによる水圧の変化を取得する。その後、注水による水圧変化を除去した入水波形と、事前に個人と紐づけて登録された通常状況での入水波形とのDTW距離を計算し、k近傍法によって得られた登録データの個人を識別結果として出力する。4名の被験者から注水状況の入水データ、溢れ状況の入水データ、通常状況の入水データを用いた評価実験より、溢れ状況では識別結果の平均F値0.334、注水状況では識別結果の平均F値0.792が得られた。

1. はじめに

コンピュータの小型化にともない、さまざまな場所でのセンシングが可能となり、ユーザの状況や状態を容易に認識できるようになった。これまでに、寝室やトイレ、リビングなどの住宅環境でも生体情報をセンシングするシステムが研究・開発されている。また、疾病の予防や早期発見のために、常日頃から健康状態を管理することが重要とされている。住宅環境の中でも、浴槽内は死亡事故件数が多いと報告されている [1]。厚生労働省の調査では、家庭の浴槽内における溺死者数は平成26年で4,886人、平成16年から10年間で1.7倍に増加していること [2] から、浴槽入浴中の生体情報取得は特に重要であると考えられる。浴槽内での死亡事故の主な原因は、意識障害が原因の溺水による窒息死であり、意識障害を引き起こす要因として、熱中症や入浴中の座位状態による神経調整性失神、不整脈などが示唆されている [1]。熱い湯につかるという日本特有の文化も背景にある。このような死亡事故の発生を未然に防ぐために、浴槽入浴中の状態を把握することは重要である。

浴室内で取得可能な情報として、入浴者の個人識別情報、入浴者の心拍などの生体情報、入浴時間や使用した湯量などの入浴情報が挙げられる。生体情報や入浴情報は個人と紐づけて管理する必要があるが、また、誰が入浴したかを記録するだけでも有用であると考え、本研究では浴槽入水者

の識別を目標とする。

現在、Apple Watchのような腕時計型ウェアラブルデバイスを装着して脈拍などの生体情報をセンシングする技術があるが、浴槽内でユーザがウェアラブルデバイスやセンサを装着している環境は、デバイスが防水であったとしても現実的ではない。したがって、センサデバイスなどは環境側に設置する想定が望ましい。センサデバイスを環境側に設置する研究事例として圧力センサ、赤外線センサ、電極を用いる手法がある [3][4][5]。

個人識別を行う方法としてカメラを利用した手法 [6] があるが、プライバシーが重視される浴室内で利用するとユーザに不快感を与えてしまう。ユーザを認識するためにタッチパネルを設置し入浴の前後で操作してもらう方法も考えられるが、入浴とは関係のない操作を入浴のたびにユーザに強いることとなり、失念や操作自体が面倒でユーザの負担になる。これに対して、小川ら [7] は、浴槽内に設置した電極から取得した心電図を利用して個人を識別する手法を提案している。この手法では、電極と身体との位置が変化すると心電図が変化するため、体勢を変えることができない。浴槽内での個人識別手法として、ユーザのプライバシーを保護しつつ無拘束な手法を実現する必要がある。

これらのことを踏まえて、筆者らの所属する研究グループでは、これまでに浴槽の底に水圧センサを設置し、入浴時の水位の変化から入浴者を識別する手法を検討した [8]。[8]の貢献は、湯に浸かる体勢に制約がなく、無拘束な状態で高精度に個人識別が可能なことである。しかし、入浴中に浴槽内の湯量が一定で変化しない状況のみを想定しており、注水をしながら入浴する状況や入水によって湯が溢

¹ 立命館大学大学院情報理工学研究科

² 科学技術振興機構さきがけ

a) naoki.kurata@iis.ise.ritsumeit.ac.jp

b) murao@cs.ritsumeit.ac.jp

れる状況は想定しておらず現実的でない。そこで、本研究では浴槽に湯を注水しながら入水する状況、および入水によって浴槽から湯が溢れる状況において入水者を識別する手法を提案する。

以降、2節では関連研究を紹介する。3節では提案手法を説明し、4節では評価実験について述べ、5節では提案手法の応用例を紹介し、最後に6節で本研究をまとめる。

2. 関連研究

寝室やリビング、トイレ、浴室などの住宅環境でユーザの生体情報をセンシングし、その情報をもとに健康を管理するシステムに関する研究が多く行われている。本節では、住宅環境における人間を対象とした行動認識および個人識別に関する研究と、浴室における行動認識および個人識別に関する研究を紹介する。

2.1 住宅環境での行動認識、個人識別に関する研究

松尾ら [9] は、ベッドの上に触覚センサを敷き、横になっているユーザの呼吸と心拍を計測するシステムを提案している。触覚センサにより得られる圧力値の時系列から周波数帯域の違いに基づき信号処理を行うことで、呼吸と心拍が抽出される。田中ら [10] は、エアーマットの側面に心音センサを貼り付け、就寝中の呼吸と心拍の周期を計測するシステムを提案している。

トイレや浴室などの場所では非接触、非拘束などのユーザの負担にならない条件に加え、ユーザのプライバシー保護も重要となる。生天目ら [11] は、トイレにおいて身体異常を検知するシステム Life2Guard を提案している。壁に設置した複数の赤外線センサと便座に設置した加速度センサを用いて、トイレ内での異常な行動や動作がない状態を検知する。また、倉橋ら [12] はトイレトーパーホルダに角速度センサを取り付け、トイレトーパーの回転速度や使用量からトイレ使用者を識別する手法を提案している。Fogarty ら [13] はマイクを用いた低コストなデバイスを排水管内の外側に設置することで、排水管内の流水音から洗濯機やトイレなどの使用を認識するシステムを提案している。排水管内に設置するため、人目に触れることはなく、プライバシーの保護はなされているが、水の使用の個人識別は行われていない。

このほか、机の4本の脚の下に圧力センサを取り付けて、天板上の重心位置変化から机上動作の認識および机利用者の識別をする手法も複数提案されている [14][15][16]。

2.2 浴室での行動認識、個人識別に関する研究

浴槽内での生体情報センシングとして、吉村ら [5] は、浴槽内に電極を設置することで心電図を計測するシステムを提案している。栗原ら [3] は、板で挟んだシリコンチューブに超高感度圧力センサを接続し、チューブ内の空気圧変

化から床や浴槽において生体情報をセンシングするシステムを提案している。大保ら [17] は、超高感度振動センサを浴槽の縁に置くことで、ユーザの生体情報をセンシングするシステムを提案している。入浴している際にユーザが浴槽に背中を接触させ、浴槽を伝搬する心拍や呼吸の微振動を検出する。これらの手法では、入浴している際にユーザが浴槽に背中を接触させる必要があり、入浴と関係のない操作であり、ユーザの負担になる可能性がある。

家庭や施設などでは浴槽は複数人が利用する。そのため、取得した入浴中の生体情報をユーザごとに分類する必要がある。ユーザごとの動作特徴を用いた個人識別として、田中ら [6] は Kinect を用いてユーザがとるポーズから個人識別を行うシステムを提案している。Kinect では骨格情報をリアルタイムで検出することができる。しかし、浴室にカメラを設置することは、プライバシーの問題やユーザに不快感を与える可能性があるため不適切である。

プライバシーを確保し、かつユーザに入浴と関係ない操作を取ってもらう必要がない手法として、小川ら [7] は、吉村らの心電図計測システム [5] を利用し、取得した心電図からユーザを識別するシステムを提案している。ユーザの身体にセンサを取り付けることなく計測および識別が可能だが、身体と電極の位置が変化すると計測する心電図に影響が出てしまうため、自由に体勢を変えることができない。西垣ら [18] は浴室内のシャワーヘッドに加速度センサと角速度センサを取り付けて、かけ湯や洗髪、洗顔など5種類の動作を認識している。また、平井らは浴槽の壁に設置した心拍計測電極と給湯器に搭載された水圧センサから、取得した値をもとに音楽を再生するシステム [19] や、浴槽の縁に静電容量タッチセンサを埋め込んでインタフェースとして利用できるシステム [20] を提案している。

本研究では、入水者に心理的負担をかけない水位変化情報を利用し、かつ、入水者に特定の姿勢や安静などをとることを要求せずに、通常の入水動作のまま利用できる無意識、無拘束な浴槽入水者識別手法を提案する。提案手法は入水者の識別にのみを行うが、将来的には入浴中の動作識別や溺没などの異常検知が可能なシステムを構築することを考えている。

3. 提案手法

本研究では、入水者に心理的負担をかけない手段、かつ、入水者が通常の入水動作のままデータを取得できる無意識、無拘束な浴槽入水者識別手法を提案する。本節では、浴槽の底に設置した水圧センサを用いて浴槽内の水圧（水位）を取得し、注水している状況下と入水によって湯が溢れる状況下において、入水時の水位の時系列変化から入水者を識別する手法を述べる。

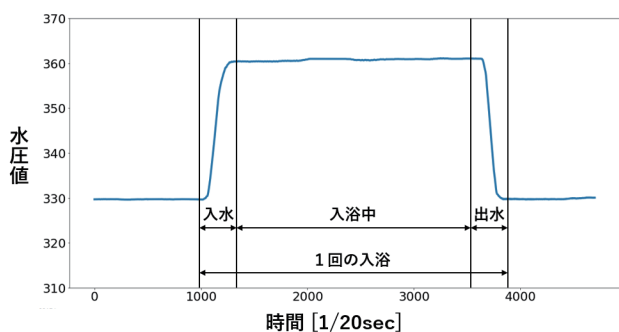


図 1 入水時と出水時の水圧センサの値の変化

3.1 想定環境

水圧センサはセンサ部にかかる水圧，つまり水深のみを取得するため，ユーザのプライバシーを侵害しないと考える．また，水圧センサは特定の姿勢をとったり，電極などの計測部位に接触しなければならないというようなユーザの入水方法に制約を課さずに，通常どおりに入水するだけで水圧データを取得できる．

ある人が浴槽に入水した際の水圧センサの時系列変化を図 1 に示す．横軸は時間，縦軸は水圧センサの出力電圧値を AD 変換した値である．本研究では，図 1 に示すように，ユーザが浴槽内の湯に触れて水位が上昇した瞬間から槽内の湯に身体が浸かって水位が安定するまでの区間を「入水」，浴槽内の湯から出て水位が減少した瞬間から身体部位のすべてが湯の外に出て水位が安定するまでの区間を「出水」と定義する．また，入水終了から出水開始までの区間を「入浴中」と定義する．また，一連の入水，入浴中，出水の区間を 1 回の入浴と呼ぶ．浴槽に注水しながら入浴する状況を「注水状況」，入水によって浴槽から湯が溢れる状況を「溢れ状況」，浴槽に注水しておらず，また入水によって浴槽から湯が溢れない状況を「通常状況」と呼ぶ．

制約条件として，本研究では一度に浴槽に入る人数は 1 人とする．また，通常状況，注水状況，溢れ状況の 3 種類の状況それぞれにおいて，浴槽内の初期湯量の誤差は 2cm 以内であるとする．つまり，通常状況において入水前の湯量は統一しており，そのばらつきは 2cm 以内であるが，通常状況と注水状況の入水前の湯量は統一していない．

3.2 ハードウェア構成

提案システムでは，図 2 に示すように水圧センサ（センシズ社製 HTV-020KP-02-V）^{*1}，Arduino Uno，SD カードおよび SD カードスロット，15V 電源（単 3 乾電池 10 本），防水オンオフスイッチを収納した防水性の筐体を用いる．筐体を浴槽外に設置して，図 3 に示すように水圧センサの計測部を筐体外へ伸ばして浴槽の底に防水テープで固定して設置する．

防水オンオフスイッチは筐体外に露出しており，デバ

^{*1} <https://www.sensez.co.jp/product/ht hg.html>

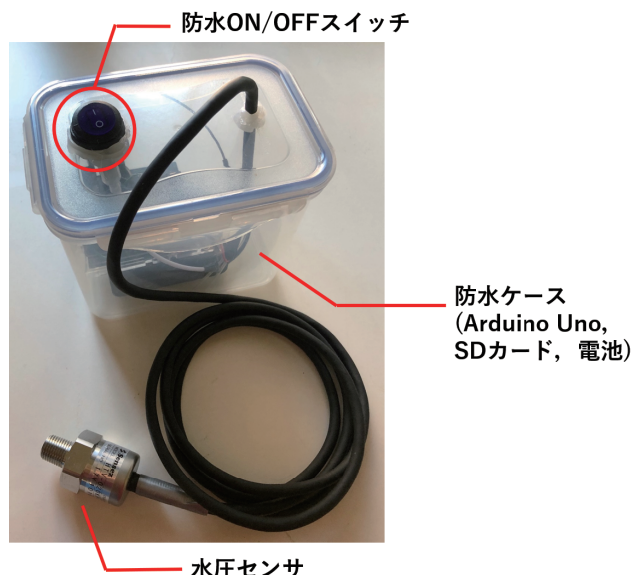


図 2 浴槽内水圧取得デバイス



図 3 水圧センサの設置方法

イスを開閉せずに電源をオンオフできる．電源をオンにすると自動的にセンシングを開始し，水圧値を SD カードに記録する．水圧値のサンプリング周波数は 50Hz である．使用した水圧センサはゲージ圧を取得し，定格圧力は 0~20[kPa]，出力信号の範囲は 1~5[V] である．ゲージ圧とは絶対圧から大気圧を引いた圧力であり，水深 1cm における水圧は 100Pa^{*2}であるため，使用する水圧センサは水深 0~200[cm] までの範囲を計測できる．使用するマイコンボード Arduino Uno は動作電圧が 5V，アナログ入力ピンは 10 ビットの分解能であるため，水深は約 2mm の分解能で取得できる．現段階では，設置したデバイスで入浴のセンサデータを取得してデバイス内の SD カードに保存し，オフラインでデータを解析することによりユーザを識別す

^{*2} $1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$ であり，水の密度を $1\text{g}/\text{cm}^3$ とすると，水深 1cm において 1m^2 にかかる力は 100Pa である．

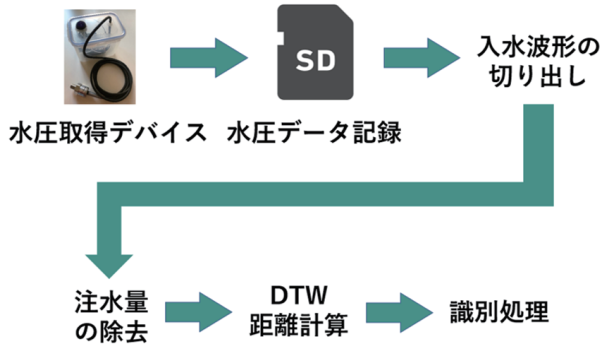


図 4 提案手法概要

る。浴槽内には筐体から伸ばした水圧センサのみを設置するため、普段の入水体勢を障害しない。

3.3 概要

入水者識別手法の流れを図 4 に示す。本研究では、デバイス内の SD カードに保存したセンサデータを PC でオフライン解析する。これはハードウェアの制限であり、提案する入水者識別手法は、取得したデータをリアルタイムで送信することでオンラインでも処理可能なアルゴリズムである。はじめに、取得した水圧データから 1 回の入水区間の波形を切り出す。そして、注水による水圧の変化を除去して入水のみによる水圧の変化を取得する。その後、注水による水圧変化を除去した入水波形と、事前に個人と紐づけて登録された通常状況での入水波形との DTW 距離を計算し、k 近傍法によって得られた登録データの個人を識別結果として出力する。

3.4 入水波形の切り出し

時刻 t に得られた水圧値を $p(t)$ とすると、 $p(t)$ には入浴の際に発生する水面の揺れがノイズとして含まれる。そのため、次式に示す平均値フィルタでノイズを除去し、除去後の水圧値 $p_f(t)$ を得る。ただし、 n はフィルタのウィンドウ幅であり、本研究では $n = 200$ とする。

$$p_f(t) = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} p(t-i) \quad (1)$$

本研究では、入水時に個人を識別することを目標としているため、取得した水圧データ $p_f(t)$ から入水している区間の波形を切り出す必要がある。そのため、身体が浴槽内の湯に触れて水位が上昇した瞬間である入水開始時刻と、浴槽内の湯に身体が浸かって水位が安定した瞬間である入水終了時刻を検出する。その後、入水開始時刻から入水終了時刻までの水圧データを入水波形とする。

まず、入水開始時刻の検出をする。本研究では、注水している状況も想定しているため、注水時に水圧値は単調に増加するが、ユーザが入水すると、注水による水圧値の増加量よりも大きく水圧値が増加する。このユーザが入水す

る際に発生する水圧値の急激な上昇を検出するために、現在値 $p_f(t)$ と移動平均値 $p_a(t)$ との乖離値 $p_d(t)$ を次式に従い計算する。ただし、 m は移動平均のウィンドウサイズであり、本研究では $m = 200$ とする。

$$p_a(t) = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} p_f(t-i) \quad (2)$$

$$p_d(t) = p_f(t) - p_a(t) \quad (3)$$

ユーザの入水開始時刻の検出するためには、通常状況、注水状況、溢れ状況の 3 種類の状況の識別をする必要がある。まず、時刻 t において直近過去 100 サンプルの乖離値 $p_d(t-i)$ ($i = 0, \dots, 99$) を観測する。観測した 100 サンプルの乖離値 $p_d(t-i)$ がすべて $h_L < p_d(t-i) < h_H$ ($h_L = 0.2, h_H = 3.0$) を満たしていれば、注水状況であると判断して注水状況下での入水開始・終了時刻の決定を行う。満たしていない場合には、注水状況でないと判断し、時刻 t の直近過去 10 サンプルの水圧値 $p_f(t-i)$ ($i = 0, \dots, 9$) を観測する。観測した 10 サンプルの水圧値 $p_f(t-i)$ がすべて $p_f(t-i) > h_M$ ($h_M = 427.5$) を満たしていれば、溢れ状態であると判断し、溢れ状態下での入水開始・終了時刻の決定を行う。どちらの状況の条件も満たしていない場合、通常状況であると判断する。

注水状況と判断された場合の処理を述べる。注水状況で入水した際の乖離値 $p_d(t)$ を図 5 に示す。この乖離値 $p_d(t)$ を用いてユーザが入水する際に発生する急激な水圧値の上昇を検知し、入水開始時刻を決定する。本研究では、図 5 に示すように 50 サンプル連続で $p_d(t) > h_1$ を初めて満たした時刻の直近過去の乖離値 $p_d(t)$ が閾値 h_2 ($h_2 = 3.0$) を初めて下回った時刻を入水開始時刻 t_s とする。本研究では $h_1 = 7.0$ とし、乖離値 $p_d(t)$ が h_1 を上回ったとしても、50 サンプル以内に h_1 を下回った場合は、入浴中の姿勢移動などによる水位変化であると判断し、再度、50 サンプル連続で $p_d(t) > h_1$ となるような時刻 t を探査する。そして、入水終了時刻を検出し、入水区間の波形を切り出す。入水終了時刻 t_e は入水開始時刻 t_s の直近未来の乖離値 $p_d(t)$ が閾値 h_2 を初めて下回った時刻 t とした。そして、入水開始時刻 t_s から入水終了時刻 t_e までの水圧データ $p_f(t)$ を入水区間のデータ $p_{in}(t) = [p_f(t_s), \dots, p_f(t_e)]$ として得る。

溢れ状況と判断された場合の処理を述べる。溢れ状況では注水によって常に水圧値が単調増加する注水状況下とは異なり、ユーザが入水・出水する際以外の時刻では水圧値が単調増加しないため、乖離値 $p_d(t)$ が 0 に近い値を示す。そのため、50 サンプル連続で $p_d(t) > h_1$ を初めて満たした時刻の直近過去の乖離値 $p_d(t)$ が閾値 h_3 ($h_3 = 0.20$) を初めて下回った時刻を入水開始時刻 t_s とする。また、注水状況と同様、乖離値 $p_d(t)$ が h_1 を上回ったとしても、50 サンプル以内に h_1 を下回った場合は、入浴中の姿勢移動などによる水位変化であると判断し、再度、50 サンプル連続

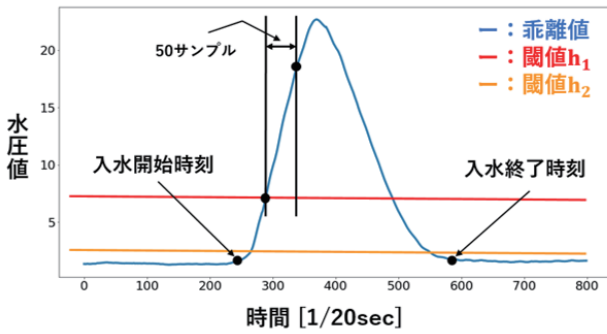


図 5 注水状況下での入水区間の乖離値

で $p_d(t) > h_1$ となるような時刻 t を探索する。そして、入水終了時刻を検出し、入水区間の波形を切り出す。入水終了時刻 t_e は入水開始時刻 t_s の直近未来の乖離値 $p_d(t)$ が閾値 h_3 を初めて下回った時刻 t とした。そして、入水開始時刻 t_s から入水終了時刻 t_e までの水圧データ $p_f(t)$ を入水区間のデータ $p_{in}(t) = [p_f(t_s), \dots, p_f(t_e)]$ として得る。

通常状況と判断された場合は溢れ状況の処理と同一である。溢れ状況と通常状況で区別した処理の提案は今後の課題とする。

3.5 注水量の除去

注水状況では、湯の注水量によって得られる入水波形が異なる。そのため、注水状況と判断された場合、入水波形から注水量を減算して入水による水圧変化のみを得る。この処理は溢れ状況および通常状況では行わない。注水量は、入水開始時刻直近過去の 100 サンプルの水圧値を用いて最小二乗法に基づいて回帰直線 $p_p(t)$ を求めることで推定する。なお、湯の注水が行われていない場合では、注水量はほぼ 0 であると推定されるため、溢れ状況においてもこの手法は適応可能である。

推定する回帰直線を $y = ax + b$ とするとき、以下の式を用いて計算する。

$$a = \frac{\sum_{n=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{n=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x} \quad (5)$$

図 6 と以下の式に示すように、入水波形 $p_{in}(t)$ から、上記の手法を用いて計算した注水量 $p_p(t)$ を減算することで、注水量の影響を取り除いた入水波形 $p_e(t)$ を得る。

$$p_e(t) = p_{in}(t) - p_p(t) \quad (6)$$

この手法を用いて切り出した注水量の影響を取り除いた入水データ $p_e(t)$ を入力データとして識別に使用する。

3.6 DTW 距離計算

切り出した注水量の影響を取り除いた入水データ $p_e(t)$ と事前に通常状況下で採取した学習データとの類似度を計

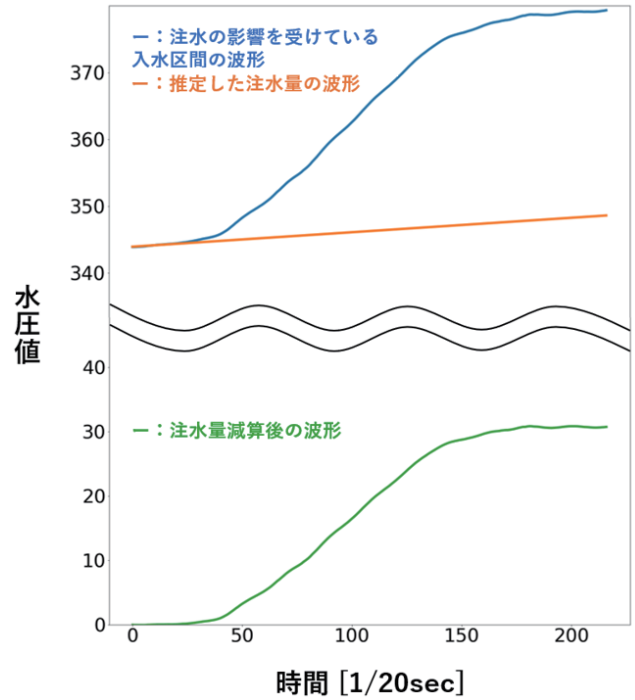


図 6 注水量の減算

算し、もっとも類似度が高い学習データに付与されている個人ラベルを識別結果として出力する。類似度計算の手法として一般的に用いられている手法はユークリッド距離であるが、ユークリッド距離は時系列データの時間的歪みの影響を受けやすく、また比較するデータのサンプル数が同じでなければならない欠点がある。

DTW (Dynamit time-warping) はユークリッド距離のもつ欠点を克服した時系列データの類似度計算手法である [21]。DTW の特徴として、時間的非線形圧縮距離を計算することで、時系列のスケールや部分的な速度に違いがあるデータ間やサンプル数の異なるデータの間の類似度を求めることができる。

3.7 識別処理

通常状況下で事前に複数人の認識対象者から採取した入水波形に認識対象者を紐づけて学習データを保持しておく。また、浴槽内の湯量の影響を無くし、入水による水位の増減のみを考慮するために、通常状況下での入水波形は最小値が 0 になるように平行移動している。??節, ??節で得られる入力データ $p_e(t)$ とすべての学習データとの DTW 距離を計算し、最近傍 k 個の DTW 距離を示す学習データに付与されているラベルの多数決によって識別結果を決定する。

4. 評価

本節では、提案手法の有効性を検証するために実施した入水者の識別精度を評価する実験について述べる。

4.1 評価環境

滋賀県内のホテルの客室内の浴室に 3.2 節で示したデバイスを設置し、20 代の男性 4 名（被験者 A, B, C, D）から実際に入水した際の水位データを取得した。本研究では、浴槽に湯を注水している状況と、入水によって浴槽から湯が溢れる状況の 2 種類の状況において評価実験を行う。各被験者は注水状況と、溢れ状況の 2 種類の状況において、入水と出水を 1 組として各状況で 10 回繰り返し入浴し、4 名の被験者から合計 80 回分の入水の水圧データを採取した。このデータを入力データとする。また、学習データとして、各被験者は通常状況で入水と出水を 1 組として 15 回繰り返し入浴し、4 名の被験者から合計 60 回分の入水の水圧データを採取した。

なお、データ採取において、出水による水面の揺れを抑えるため、出水後、次の入水まで 2 分程度浴室内で待機してもらった。入浴方法および入浴中の体の向きや動作については特別な指示をせず普段通りに被験者の自由に行ってもらった。

通常状況で採取した学習データの入水波形と、溢れ状況または注水状況で採取したデータの入水波形から注水量を除去した波形との DTW 距離を計算し、k 近傍法 ($k = 5$) にもとづき、学習データのラベルの多数決によって入水者識別結果を出力した。

4.2 溢れ状況の結果と考察

40 回分の溢れ状況の入水データ（入力データ）と、60 回分の通常状況下での入水データ（学習データ）の DTW 距離のヒートマップを 図 7 に示す。縦軸は各被験者の入力データ、横軸は各被験者の学習データ、各セルの色が対応する入力データと学習データの DTW 距離を示しており、セルの色が薄いほど DTW 距離が小さい。色が薄いほど、入力データと学習データは類似していることを意味する。

算出した DTW 距離の k 近傍法 ($k = 5$) にもとづいて得られた認識結果の混同行列を表 1 に示し、再現率、適合率、F 値を表 2 に示す。混同行列は、行が正解ラベル、列が識別結果を示しており、各セルには正解ラベルに対する識別結果のサンプル数が示されており、行のサンプル数を合計すると 10 となる。左上から右下にかけての対角成分が正しく分類された結果を示している。また、再現率、適合率、F 値は以下の式で得られる。

$$\text{再現率 } (L) = \frac{\text{正しく } L \text{ に分類されたサンプル数}}{\text{ラベル } L \text{ の入力サンプル数}} \quad (7)$$

$$\text{適合率 } (L) = \frac{\text{正しく } L \text{ に分類されたサンプル数}}{\text{ラベルの } L \text{ 出力サンプル数}} \quad (8)$$

$$\text{F 値 } (L) = \frac{2 \times \text{適合率 } (L) \times \text{再現率 } (L)}{\text{適合率 } (L) + \text{再現率 } (L)} \quad (9)$$

再現率は、ラベル L の入力データのうち正しく識別された割合を示す。適合率は、ラベル L であると出力した識別結

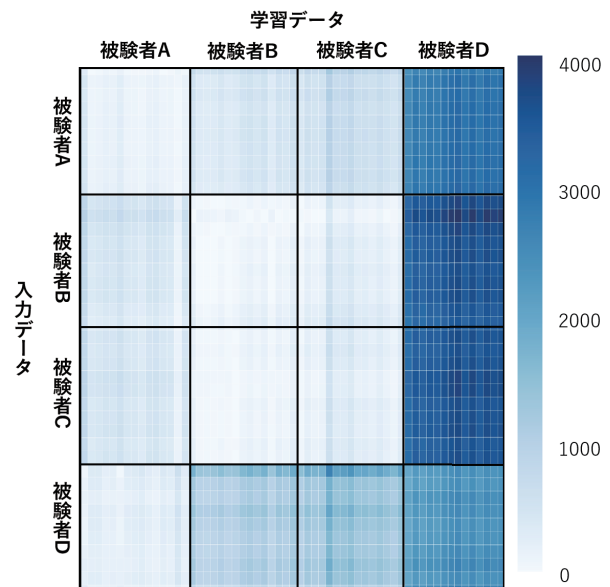


図 7 溢れ状況の入水データと通常状況の入水データの DTW 距離のヒートマップ

表 1 溢れ状況下での被験者ごとの識別結果の混同行列

出力 正解	学習データ			
	被験者 A	被験者 B	被験者 C	被験者 D
被験者 A	10	0	0	0
被験者 B	1	9	0	0
被験者 C	0	10	0	0
被験者 D	10	0	0	0

表 2 溢れ状況下での被験者ごとの再現率・適合率・F 値

	再現率	適合率	F 値
被験者 A	1.000	0.476	0.645
被験者 B	0.900	0.474	0.689
被験者 C	0.000	0.000	0.000
被験者 D	0.000	0.000	0.000
平均	0.475	0.237	0.334

果に対する正しい識別結果の割合を示す。F 値は再現率と適合率の調和平均であり、全体としての精度を反映するため、一般的には F 値によって性能を評価する。いずれの値も 1 に近いほど高い性能を示す。

表 2 の結果から、被験者 A, B の F 値はそれぞれ 0.645, 0.689 であるが、被験者 C, D の F 値はともに 0.000 となり、平均では 0.334 となった。溢れ状況の入水では、すべての被験者において入水によって湯を溢れさせるために初期水位を通常状況よりも高く設定した。

溢れ状況の入水では、溢れる湯量が少ない場合は通常状況では湯に浸かることのなかった肩や首まで湯に浸かることになる、もしくは、溢れる湯量が多い場合は足だけ浸かった時点で溢れて以降水圧データが一定となり以降の身体部位のデータは取得できない。今回取得した溢れ状況の入水データには、前者のように通常状況の入水データには含まれていない体の部位のデータが含まれていた。この理

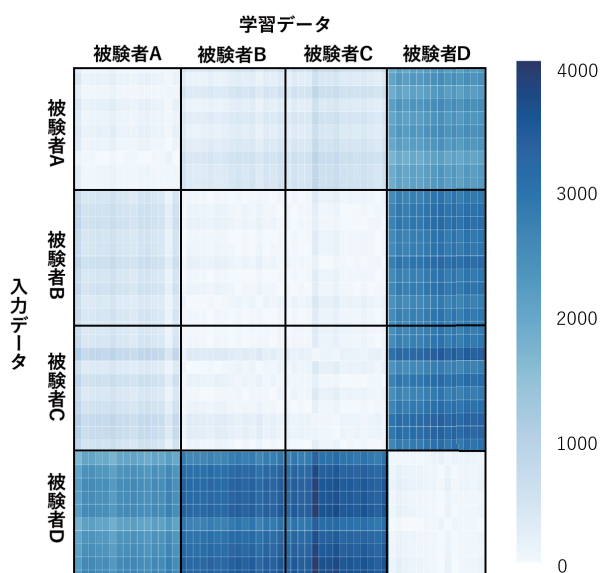


図 8 注水状況の入水データと通常状況の入水データの DTW 距離のヒートマップ

表 3 注水状況下での被験者ごとの識別結果の混同行列

出力 正解	学習データ			
	被験者 A	被験者 B	被験者 C	被験者 D
被験者 A	9	1	0	0
被験者 B	0	6	4	0
被験者 C	0	4	6	0
被験者 D	0	0	0	10

表 4 注水状況下での被験者ごとの再現率・適合率・F 値

	再現率	適合率	F 値
被験者 A	0.900	1.000	0.946
被験者 B	0.600	0.545	0.571
被験者 C	0.600	0.600	0.600
被験者 D	1.000	1.000	1.000
平均	0.775	0.786	0.792

由により、高い精度での識別が困難であったと考える。

4.3 注水状況の結果と考察

40 回分の注水状況下での入水データ（入力データ）と、60 回分の通常状況下での入水データ（学習データ）の DTW 距離のヒートマップを図 8 に示す。図より、左上から右下にかけての対角上のセルは色が薄くなっており、同じ被験者どうしの DTW 距離は小さく、異なる被験者間の DTW 距離が大きい傾向がみられる。

算出した DTW 距離の k 近傍法 ($k = 5$) にもとづいて得られた認識結果の混同行列を表 3 に示し、再現率、適合率、F 値を表 4 に示す。

表 4 の結果から、被験者 A、D の F 値はそれぞれ 0.946、1.000 であるが、被験者 B、C の F 値はそれぞれ 0.571、0.600 となり、平均では 0.792 となった。被験者 B、C は他の被験者と比べて体格が類似しており、また毎回の入浴ご

とに入水動作にばらつきが多くみられたため、識別精度が低くなったと考えられる。追加で実験を実施し、注水していない状況下での入水データをさらに収集することで、多様な入水動作に対応して識別できると考える。一方で、本実験の被験者は 20 代の男性 4 名であり、身体的特徴や動作の俊敏性が近いと考えられる、家庭での利用を考えると性別や年齢の違いにより採取できるデータは多様となるため、より高い識別精度を得られる可能性がある。

5. 応用例

本節では、提案システムの応用例のアイデアを紹介する。

5.1 入浴の記録

入浴によって人間の体の深部体温が一時的に上昇し、その後急激に低下することによって入眠を促進するといわれている。Bunnell ら [22] は、さまざまな時間帯で 41°C の湯に 1 時間入浴させたときの睡眠を調査し、睡眠 6 時間前に入浴を開始したときに、入眠潜時が最も短縮したことを報告している。また、就床時刻に近すぎる時間帯に入浴や運動などの方法によって深部体温を上昇させると身体の興奮とともに覚醒度が高まるため、かえって入眠が遅延するという報告がある。他にも、Brownman ら [23] は就床直前に軽運動を行った条件では、入眠潜時が明らかに延長したことを報告している。さらに、入浴には身体を清潔にする以外にも、温熱効果や静水圧作用、内分泌・代謝系への効果などがあり、精神的にもリラックスできるといった効果がある [24]。

本研究の提案システムを応用することで、「誰が」、「どれだけの時間」浴槽に浸かっていたか、また、入浴の頻度などの入浴情報を記録することができる。これらの情報を長期的に収集し、過去の記録を表示するアプリケーションを実装することで生活習慣の見直しに役立つと考えられる。また、老人ホームなどのように多人数を管理する必要がある環境では、単に誰が入浴したかだけを記録するだけでも有用であると考えている。

5.2 浴室状況可視化

宿泊施設などの大浴場では混雑を避けて、早い時間帯あるいは遅い時間帯に入浴する人もいる。本提案システムを拡張して同時に複数人の入浴を計測することができれば、部屋のテレビモニターやスマートフォンなどに表示して、空いている時間帯に入浴可能になる。

5.3 溺没検知および自動排水システム

浴槽内での死亡事故の主な原因は、意識障害により溺水を吸引した窒息死である。提案システムで取得した水位データを解析することで、入浴中に急激に一定量増加した場合や、その状態が一定時間続いた場合を溺れとして検出

できると考える。本稿で実装したハードウェアは市販の防水箱を使用したため大きいですが、水圧センサのセンサ部の大きさは直径27mm、長さ30mmであるため、風呂栓に組込むことは可能であり、溺れを検知すると自動的に排水する機能をもたせることが可能だと考える。

6. おわりに

本研究では、浴槽に湯を注水している状況と入水によって浴槽から湯が溢れる状況の2種類の状況で、浴槽の底に設置した水圧センサから入水時の水圧の変化を取得し、入水者を識別する手法を提案した。提案手法は、取得した水圧データから1回の入水区間の波形を切り出す。そして、注水による水圧の変化を除去して入水のみによる水圧の変化を取得する。その後、注水による水圧変化を除去した入水波形と、事前に個人と紐づけて登録された通常状況での入水波形とのDTW距離を計算し、k近傍法によって得られた登録データの個人を識別結果として出力する。

溢れ状況では、4名の被験者から合計40回採取した入水データを用いた評価実験の結果、識別結果の平均F値0.334が得られた。溢れ状況の入水では、溢れる湯量が少ない場合は通常状況では湯に浸かることのなかった肩や首まで湯に浸かることになる。今回取得した溢れ状況の入水データには、通常状況の入水データには含まれていない体の部位のデータが含まれていた。この理由により、高い精度での識別が困難であったと考える。注水状況では、4名の被験者から合計40回採取した入水データを用いた評価実験の結果、識別結果の平均F値0.792が得られた。被験者の年齢、性別、体格に近い実験環境を考えると、結果により注水状況下での本提案手法は入水者識別手法として一定の有効性があると考えられる。

今後、学習データと入力データに含まれる身体部位が異なる状況に対応したDTW距離計算アルゴリズムの考案する。

参考文献

- [1] 日本法医学会. 日本法医学会課題調査報告(浴槽内死亡事故事例の調査). 2014.
- [2] 厚生労働省. 平成26年度人口動態統計. 2014.
- [3] 栗原陽介, 河西良拓, 渡辺嘉二郎, 小林一行, 田中博. フローリング, 畳の上および浴槽, トイレ内における生活者の生体情報モニタリング. Vol. 45, No. 4, pp. 561-569, 2005.
- [4] 西浦朋史, 中島真人. 呼吸検出に基づいたバスルーム用監視システムの開発. Vol. 125, No. 4, pp. 561-569, 2005.
- [5] 吉村拓巳, 中島一樹, 田村俊世, 三池秀敏, 戸川達男. 無拘束浴槽内心拍数モニタの開発とその評価. Vol. 32, No. 4, pp. 246-253, 1994.
- [6] 田中優斗, 福島拓, 吉野孝. 入退室時に利用者がとるポーズを用いた在室管理システムの提案. Vol. 2014, pp. 1-6, 2014.
- [7] 小川充洋, 木村裕一, 田村俊世, 戸川達男. 浴槽内心電図を用いた個人識別. Vol. 35, No. 1, pp. 82-89, 1997.
- [8] 中山紗理奈, 村尾和哉, 望月祐洋, 西尾信彦. 水圧センサを用いた浴槽入浴者識別. *DICOMO 2018*, pp. 534-541, 2018.
- [9] 松尾一矢, 向井利春, 加藤陽, 郭士傑. 柔軟面状触覚センサを用いた呼吸と心拍の無拘束計測. Vol. 81, No. 826, pp. 14-642, 2015.
- [10] 田中正吾, 松本佳昭, 脇本清. 心音センサを用いた心拍および呼吸の無拘束無侵襲計測, 非破壊検査. Vol. 50, No. 9, pp. 612-619, 2001.
- [11] 生天目直哉, 中澤仁, 高汐一紀, 徳田英幸. カメラ利用が制約される環境下でのセンサ群を用いた異常検知手法の研究, 電子情報通信学会技術研究報告. USN 研究会, Vol. 108, No. 399, pp. 139-144, 2009.
- [12] 倉橋真也, 村尾和哉, 寺田努, 塚本昌彦. トイレットペーパーの回転に基づくトイレ使用者識別手法. Vol. 58, No. 1, pp. 237-248, 2017.
- [13] J. Fogarty, C. Au, and S. E. Hudson. A feasibility study of unobtrusive and lowcost home activity recognition. *UIST 2006*, pp. 91-100, 2006.
- [14] K.Murao, J.Imai, T.Terada, and M.Tsukamoto. Activity recognition and user identification based on tabletop activities with load cells. *Journal of Information Processing*, Vol. 25, No. 1, pp. 59-66, 2017.
- [15] A.Schmidt, M.Strohbach, K.van Laerhoven, A.Friday, and H.W.Gellersen. Context acquisition based on load sensing. *UbiComp 2002*, pp. 333-350, 2002.
- [16] A.Schmidt, M.Strohbach, K.van Laerhoven, and H.-W.Gellersen. Ubiquitous interaction - using surfaces in everyday environments as pointing devices. *7th ERCIM Workshop*, pp. 263-279, 2003.
- [17] 大保武慶, 澤山智之, 澤山卓也, 久保田直行. 超高感度振動センサを用いた浴槽内における生体情報計測システム. Vol. 30, No. 7, pp. 263-272, 2017.
- [18] 西垣佑介, 寺田努, 塚本昌彦. 加速度センサ付きシャワーヘッドを用いた浴室内行動認識手法. *DICOMO 2017*, pp. 1738-1745, 2017.
- [19] 平井重行, 藤井元, 佐近田展康, 井口征士. 新たなアメニティ空間を目指した浴室:入浴状態を音で表現する風呂システム. Vol. 6, No. 3, pp. 287-294.
- [20] S. Hirai, Y. Sakakibara, and H. Hayashi. Enabling interactive bathroom entertainment using embedded touch sensors in the bathtub. *ACE 2013*, pp. 544-547, 2013.
- [21] 櫻井保志, 吉川正俊. ダイナミックタイムワーピングのための類似探索手法. Vol. 45, No. SIG04(TOD21), pp. 23-36, 2004.
- [22] D.E.Bunnell, J.A.Agnew, S.M.Horvath, L.Jopson, and M.Wills. Passive body heating and sleep: influence of proximity to sleep. Vol. 11, No. 2, pp. 210-219, 1988.
- [23] C.P.Browman and D.I.Tepas. The effects of pre-sleep activity on all-night sleep. Vol. 13, No. 6, pp. 536-540, 1976.
- [24] 竹原広実, 梁瀬度子, 西川向一, 村上恵子. 入浴行動の実態及び入浴意識について. Vol. 52, No. 10, pp. 1005-1013, 2001.