

安否通知基準の最適化を目的とした 宅内センサデータに基づく生活習慣分析

Analyzing Daily Living Patterns for Optimizing Anomaly Detection Conditions based on In-home Sensor Data

梅津 吉雅^{1*} 佐々木 渉¹ 諏訪 博彦¹

下山 剛² 荒平 将貴² 安本 慶一¹

Yoshinori Umetsu,¹ Wataru Sasaki,¹ Hirohiko Suwa,¹

Go Shimoyama,² Masaki Arahira,² Keiichi Yasumoto¹

¹ 奈良先端科学技術大学院大学 / Nara Institute of Science and Technology

² 株式会社ファミリーネット・ジャパン / Familynet Japan Corporation

Abstract: Declining birthrate and aging population are common problems of developed countries. These cause increasing of single life of the elderly, and finally, increase the risk of lonely death of them. One of the best precautions against lonely death is the safety confirmation by a third person. So, the service of that for the elderly is spreading in various forms now. However, the service is not popular because of some kinds of problems, for example, workload, technical difficulty, and privacy. Therefore, the method using ambient sensors in the home has been proposed. In this method, some kinds of sensors are installed in living environment, such as motion sensor and door sensor and so on. These sensors have no personal information. The data is collected by sensors periodically and observed for safety confirmation. However, the sensor data have different meanings by lifestyle of residents. So, to determine the standard of safety, we have to consider the difference of lifestyle according to some conditions such as person and season. Hence, we aim to develop a new safety confirmation system which can optimize safety standard according to the resident's lifestyle. In this paper, we collected the sensor data of 19 elderly people for about 10 months and analyzed it as a first step of developing. As a result, we found the difference of sensor data in lifestyles according to residents and seasons.

1 はじめに

近年、先進各国の抱える問題の一つに、少子高齢化が挙げられる。特にわが国はその進行が顕著であり、総務省が発行した平成 28 年度情報通信白書 [1] によると、1970 年に 7%であった 65 歳以上人口の割合は、既に 2015 年には 27%にまで上昇しており、2060 年には 40%にまで上るとされている。このような少子高齢化の進行が引き起こす様々な問題の一つに、ひとり暮らし高齢者の増加がある。高齢者のひとり暮らしは認知症の進行や孤独死の原因となり、近年では老年人口割合とともに、ひとり暮らしの高齢者数、およびそれらの件数が年々増加している [2]。高齢者のひとり暮らしは、核家族化や家電の性能向上といった社会的な要因

によって増加しており、技術的な側面から対策を講じることが困難である。しかし、ひとり暮らしをする高齢者を支援し、孤独死の危険を軽減することは可能であり、すでにいくつかの取り組みが行われている。

ひとり暮らし高齢者の孤独死を防ぐ方法として、第三者からの定期的な安否確認が効果的である。そのため、高齢者の安否確認を目的としたサービスが、様々な形態によって展開されている。例えば、厚生労働省の規定によると、わが国では定期巡回・随時対応型訪問介護看護が平成 24 年度に導入されている [3]。また、高齢者自身に小型のデバイスを配布し、加速度の値による転倒検知や、非常時のボタン押下による通報を可能にするサービス¹が提供されている。しかし、前者は訪問に必要な労力や時間が大きいことから、地方都市では成立は困難であると問題視されており、整備を見

*連絡先：奈良先端科学技術大学院大学情報工学研究科
〒 630-0192 奈良県生駒市高山町 8916 番地 5
E-mail: sasaki.wataru.sl9@is.naist.jp

¹転倒センサー：http://www.exsight.co.jp/sensor/
エクサイト株式会社

送っている自治体が多いという現状である。また、後者に関しては、高齢者自身にデバイスの携帯および操作の負担を強いるという点が利用の際に障壁となる。これらの問題を解決できる方法として、住居内へのカメラの設置がある²。撮影した動画をリアルタイムに画像処理して行動を認識し、安否状態を取得することで、即時かつ居住者の操作の介入なしに安否確認が行える。しかし、動画には個人を特定できる要素が多分に含まれるため、匿名性の欠如という点で居住者に心理的抵抗を与える恐れがある。

そこで、プライバシー保護の観点から、住環境に設置されたセンサを用いた安否確認の方式が普及している。この方式では、住居内に人感センサやドアセンサ、温湿度計などの情報を検知するセンサを設置し、個人情報を含まないセンサ値を定期的に取得する。そして、取得した値が既定の安否基準から逸脱した際に、登録先に通知を行う。また、利用回数を定期的に登録先へE-mailなどで送信できる給湯ポット³も存在する。この例では、家電そのものをセンサとみなし、センサ値である利用回数の妥当性から、居住者の安否を判断できる。しかしながら、各センサ値の示す意味合いは個人の生活習慣によって異なるため、安否基準は一定でなく、個人の違いに伴って設定をする必要がある。また、生活習慣は居住者のみでなく、季節等の時間的な要因によっても変動すると考えられるため、住環境に設置したセンサによる安否確認には、居住者に加えて季節などの違いを考慮した安否基準の設定が不可欠である。しかし、サービス運営者にとって、全ユーザの生活習慣の分析、および最適な安否基準の算出、設定を継続的に行うことは、労働力の観点から現実的ではなく、未だ実現の例はない。

本研究では、居住者の生活習慣の変動に合わせて自動で安否基準を最適化する、センサ方式の安否確認システムの開発を目的とする。本システムの実現に向け、本稿では、住環境から取得したセンサデータに基づいて居住者、時期ごとの生活習慣の違いを検知することを目指す。

2 関連研究

住環境に設置したセンサによる安否確認システムは、広く研究されている。近藤ら [4] は、住居の使用電力量から居住者の安否を推定するシステムを考案している。しかし、このシステムは家庭用受電設備の主幹部の電力消費量を取得することが必須であり、本機能を有さない住居に対しては大規模な設備投資を要する。また、

居住者の安否基準は、電気機器の使用がない時間の長さであり、電気機器の使用は、前後1分間の消費電力の差分が一定以上であればみなされる。これらの時間の長さや差分の大きさについては、個人の生活習慣に大きく左右されるものと思われるが、それらを加味した最適値の決定手法は提案されていない。

また、玖村ら [5] は、人感センサ、温度センサ、照度センサを用いた高齢者の安否確認システムを作製している。このシステムでは、独居高齢者の宅内の複数箇所に設置されたそれぞれのセンサで、60秒ごとのデータ収集が可能である。収集したデータは、指定の時刻もしくは異常検知時に電子メールで家族などの関係者に送信される。このシステムでは、人感センサの値のみを用いたマハラノビス距離 [6] に基づく異常検知を行っているが、その際の閾値決定手法については言及されていない。また、人感センサ以外の情報に基づく異常検知に関しては述べておらず、現段階では、関係者が受信するメール中のセンサデータから読み取ることが余儀なくされている。

Liangら [7] は、高齢者の宅内での滞在場所と時間の組み合わせから異常を検知するシステムを提案している。1日を24分割した各時間帯における、宅内各所の滞在許容時間が予め設定されており、それを超える場合に異常と判断する。提案手法では、宅内での位置推定に超広帯域無線技術を利用しているが、屋内測位の技術的課題 [8] やインフラ導入のコストが、普及の妨げとなると考えられる。また、システムでは、生活中に得られる宅内での時系列的な位置情報をもとに、DBSCANアルゴリズム [9] を用いて監視対象の場所を自動で決定する。しかし、対象場所における正常な滞在時間の基準を決定する手段についての提案はなく、依然、議論の余地がある。

上記のような様々な安否確認システムの共通の課題として、適切な安否基準の決定が挙げられる。各種のセンサデータに対して、妥当性の高い一定の閾値を設ける方法が一般的ではあるが、とり得るセンサ値の傾向は生活習慣によって大きく異なると予想される。そのため、多数のユーザの安否の判別には、単一の閾値のみを用いることは不適であり、各々の生活習慣の違いを反映した固有の閾値の設定が要求される。そこで、本研究では、生活習慣の違いを考慮した安否基準の自動決定を行うシステムを提案する。その実現に向け、本稿では、個人および時期毎のセンサ値の傾向の違いを確認し、それらを評価した結果について述べる。

²みまもり CUBE : <https://ramrock-eyes.jp/>
株式会社ラムロック

³i ポット : <http://www.mimamori.net/product/>
象印マホービン株式会社

表 1: 設置センサの端末情報

センサ種	型番	メーカー
人感センサ	APX-101	AI TECHNOLOGY
ドアセンサ	AD-1001	AI TECHNOLOGY
水量計	MND20	愛知時計電機

3 提案手法

センサデータから、個人および時期毎の生活習慣の違いを定量的に評価する手法を述べる。

3.1 データ準備

3.1.1 収集

実際のサ高住（サービス付き高齢者向け住宅）に住むひとり暮らしの高齢者 19 名を対象に、宅内生活中のセンサデータの収集を行なった。全ての部屋は 1R の同一の間取りであり、標準設備として熱感知式の人感センサ、ドアセンサ、宅内統合の水量計が各 1 つずつ設置されている。それぞれの端末情報を、表 1 に示す。また、図 1 に宅内の間取りと、センサの設置位置を示す。収集期間は 2017 年 10 月～2018 年 7 月とし、生活中の各センサの値を記録し続けた。また、対象となる部屋の中には、期間途中に入居および退居が発生したものも存在するが、退去後の部屋に別の人物が入居した例はない。すなわち、本稿の分析において、部屋番号と個人とが一对一の対応をするものとする。

3.1.2 データの再構成

記録されたデータの例とそのタイミングを、表 2 に示す。センサの反応の開始/終了時に、時刻、センサ名、1/0 のセンサ値が記録される。また、水量計の反応時のみ、状態として累計の流水量（18.6mL/カウント）が記録される。本形式は、複数種類のセンサ値が同一の出力先に記録されている点、時刻が離散的である点において、独立した時系列センサデータの統計的な分析には不向きである。そのため、Minor ら [10] が提唱する、生活習慣の分析に適するデータ形式に再構成した。その結果を表 3 に示す。まず、全センサが混合されたデータセットから、人感センサ、ドアセンサのセンサ値列を独立な集合として抽出する。そして、対象期間の 1 秒単位の時刻に、抽出した各センサ値を対応させる。次に、各センサにおける値が存在しない時刻に対して、それぞれに適切な値を補完した。補完する値は、各センサの特性を考慮し、人感センサは 0、ドアセンサは直前の値とした。また、水量計の値に関しては、離散的に記録された累計流水量を線形補間し、差分を取

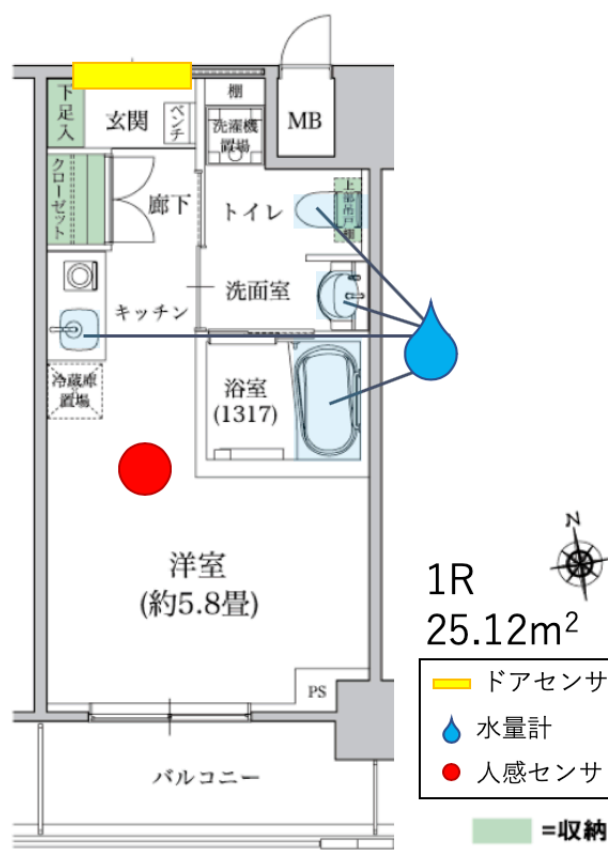


図 1: 対象の住居の間取りとセンサ設置箇所

ることで 1 秒あたりの水の使用量を算出し、各時刻のセンサ値としている。

3.2 特徴量抽出

上記の前処理を施したデータセットから、生活習慣の特徴量を抽出する。特徴量は、宅内行動の分析に適する代表的な統計量 [11] の中から、31 種類を選出した。表 4 にそれらを示す。全 T 時間のデータから t 時間ごとの特徴量を抽出する際、T 時間を (T/t) 個に区切った各区間で 31 種類の特徴量を抽出する。したがって、各部屋の 3 つのセンサ全てでこれを行うため、部屋ごとに (T/t) 個の 93 次元特徴量ベクトルが抽出される。

3.2.1 対象日の選別

1 年間のデータ収集期間中に、入居および退居が発生した部屋が存在する。それらの部屋に関しては、非入居時のセンサ値が生活習慣分析のノイズとなるため、入居中のデータのみを抽出する必要がある。そこで、人感センサの値に基づいて、入居していない、もしくは長期間の外出中と思われる日のデータを除外した。

表 2: 記録したセンサデータとそのタイミング

時刻	センサ	値	状態	タイミング
12:00:00	ドア	1	-	ドアが開く
12:00:02	ドア	0	-	ドアが閉まる
12:00:02	人感	1	-	熱源を検知開始
12:00:03	人感	0	-	熱源を検知終了
12:01:01	水量	1	331	水が流れ始める
12:01:20	水量	0	371	水が流れ終わる

表 3: 再構成後のセンサデータの形式

	人感センサ	ドアセンサ	水量計
12:00:00	0	1	0
12:00:01	0	1	0
12:00:02	1	0	0
12:00:03	0	0	0
...
12:01:01	0	0	2
12:01:02	0	0	2
...
12:01:20	0	0	0

*同じ値が連続する時刻の一部を省略

非入居時は、入居中と比較して、宅内の人感センサの反応回数が極めて小さいと考えられる。まず、3.2節の手法を用いて、ある部屋における日毎の人感センサの合計反応回数 (Sum) を抽出し、全対象期間に渡ってその度数分布を確認した。例として、部屋 14204 における結果を図 2 に示す。図より、人感センサの日毎の合計値は、正規分布に従ったものに加え、0 付近にピークが存在するものとわかる。本環境において、宅内の人感センサが 1 日中未反応であるということは、入居していない、もしくは長期間の外出中であると考えられる。本稿では、これらの状態にある日を外れ値と定義し、生活習慣の分析から除くこととする。次に、データセットから外れ値を除くため、四分位数に基づく対象日の選別を行った。対象期間の、ある住居における日毎の人感センサの合計値集合を $A=\{a\}$ とし、第 n 四分位数を S_n 、四分位範囲を Q とすると、分析に用いる日の合計値の範囲は

$$S_1 - 1.5Q < a < S_3 + 1.5Q \quad (1)$$

とした。図 3 に、図 2 の部屋を含む全ての部屋の、人感センサの 1 日の合計値の箱ひげ図 [12] を示す。ひげの外側に存在するデータ点の日を、分析対象から除外する。外れ値の日を除外後の度数分布を図 4 に示す。図 4(a)(b) から、居住者によって、度数分布 (生活パターンを反映) に大きな違いがあることがわかる。全ての部屋において、この処理を行ったデータセットを、生活習慣の分析に用いる。

表 4: 抽出した特徴量

特徴量名	説明
Max	最大値
Min	最小値
Sum	合計
Mean	平均値
MeanAbsDev	算術平均からの平均絶対偏差
MedianAbsDev	中央値からの平均絶対偏差
StdDev	標準偏差
CoeffVar	変動係数
NumZeroCross	中央値を交差した回数
25thPercentile	第 1 四分位
50thPercentile	第 2 四分位
75thPercentile	第 3 四分位
InterQuartRange	四分位範囲
BinCount	10 分割した時の各範囲のデータ数
Skewness	歪度
Kurtosis	尖度
SigEnergy	信号エネルギー (自乗値の合計)
LogSigEnergy	対数信号エネルギー (自乗値の \log_{10} の合計)
SigPower	信号強度 (自乗値の算術平均)
PeakToPeak	最大値と最小値の差
AvgTimeBtwnPeaks	最大値間の平均時間
NumPeaks	最大値の数

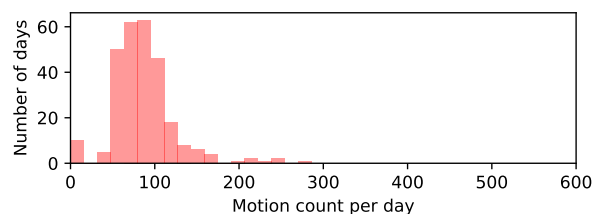


図 2: 日毎の人感センサの合計値の度数分布図

3.3 主成分分析

全 19 部屋にて抽出されたベクトル群、すなわち、 $(T/t) \times 19$ 個の 93 次元配列群を一つの集合とみなし、主成分分析し、第 2 主成分までに次元を削減する。つまり、93 次元の各配列を、分散の情報量を最大限保持したまま 2 次元の配列へと変換する。これにより、データの可視化が可能となる。主成分分析により抽出した第 1, 第 2 主成分を構成する特徴量の比率を、それぞれ図 5(a), 図 5(b) に示す。図より、第 1 主成分は人感センサ、第 2 主成分はドアセンサの特徴によって主に構成されている。このことから、期間中の高齢者の生活中において、使用水量に比べて、ドアセンサや人感センサの反応回数の違いが大きかったことがわかる。

4 評価

本システムの根幹となる、居住者、時期などの要因による生活習慣の有意差の有無を検証する。センサデータを、それらの条件ごとに集約し、グラフ上に可視化

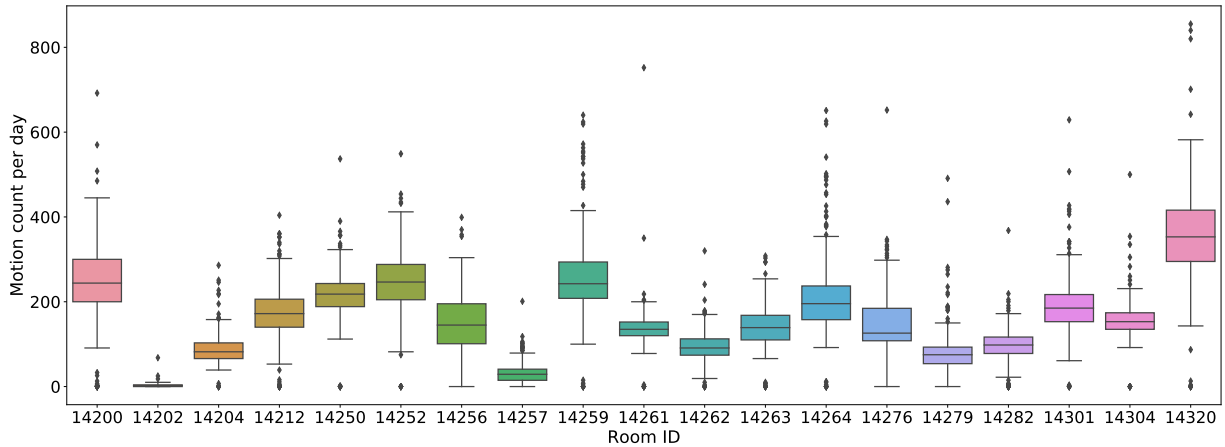
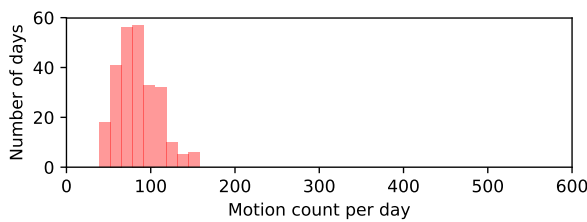
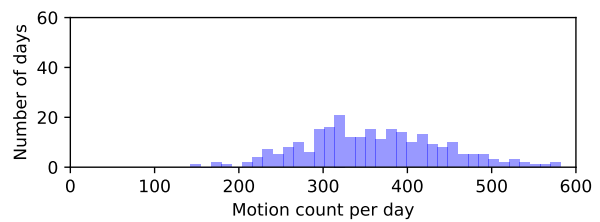


図 3: 日毎の人感センサの反応回数の合計値の箱ひげ図



(a) 部屋 14204



(b) 部屋 14320

図 4: 外れ値除去後の日毎の人感センサの反応回数の合計値の度数分布図

することで、それぞれの違いを評価した。以下の散布図で、各軸は主成分分析により導出した主成分に対応している。横軸は第1主成分、縦軸は第2主成分である。

4.1 居住者による生活習慣の違い

全部屋で日ごとに1点ずつプロットした結果を図6に示す。居住者によって異なる範囲に点が存在しており、各居住者において、正常な行動時のセンサ値の範囲が示唆されている。また、この範囲に基づく、個人に適したセンサ値の閾値決定が可能だと考えられる。

4.2 時期による生活習慣の違い

部屋 14212 における、10ヶ月間の日毎のセンサデータを、月ごとに色分けした散布図を図7に示す。図中に丸/星印で示される点は、第3.2.1項にてそれぞれ正常値/外れ値と分類された日である。図より、正常な日において、時期とともに第2主成分の値が大きく変化しており、特に、冬季に低く、夏季に高くなっていることがわかる。また、図5(b)より、第2主成分の値はドアセンサの反応傾向と大きく関連がある。したがって、寒暖の変化が1日のドアセンサの開閉時間に大きく影響し、センサ値の変化として現れていると考えら

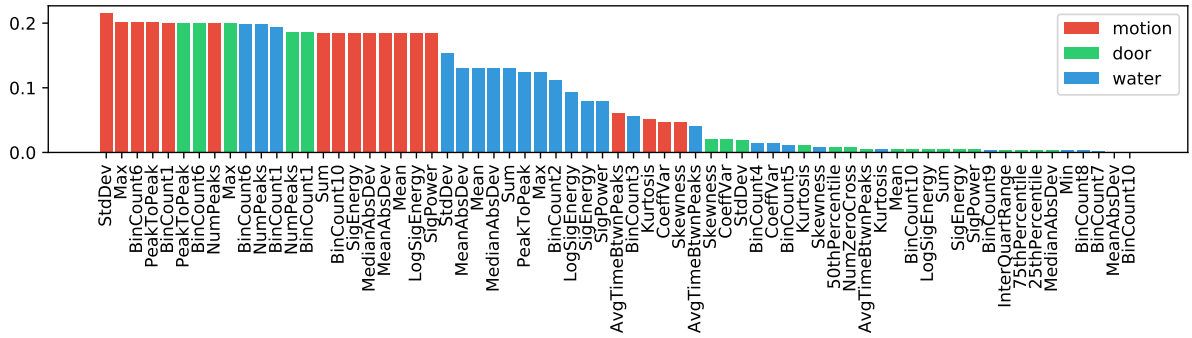
れる。この結果から、同一の個人においても時期ごとに生活習慣が異なること、また、その違いを本手法で認識可能であることが示される。さらに、外れ値と分類した日の多くは、正常値の集合と比較して、明らかに離れた位置にある。したがって、本手法により、通常の在宅時と、外出などによる長期的な不在の日を判別可能であることがわかる。

4.3 年齢による生活習慣の違い

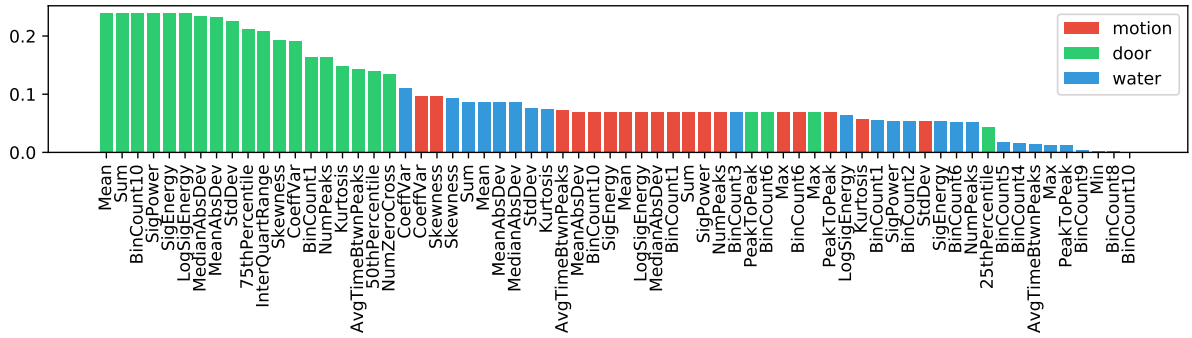
センサデータを、居住者の年齢別に10歳ごとに色分けをしてプロットした結果を図8に示す。60~90代で、年齢による生活習慣の有意な差は見られなかった。このことから、生活習慣は、居住者の年齢に大きく依存しないと考えられる。

4.4 性別による生活習慣の違い

センサデータを、居住者の性別で色分けをしてプロットした結果を図9に示す。男女の間で生活習慣の有意な差は見られなかった。したがって、性別の違いは生活習慣に大きく影響しないことが示唆される。



(a) 第1主成分



(b) 第2主成分

図 5: 主成分を構成する特徴量比 (0 のものを除く)

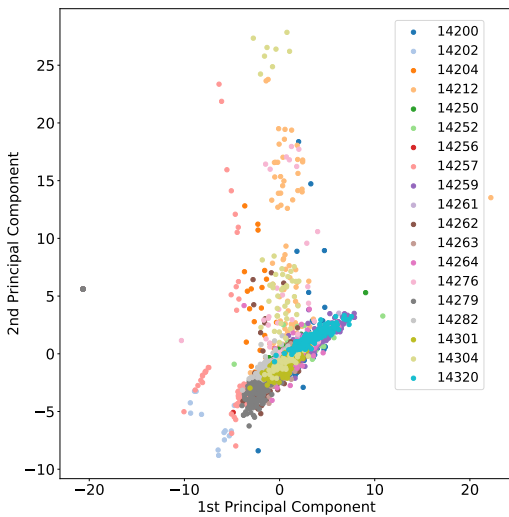


図 6: 居住者による生活習慣の違い

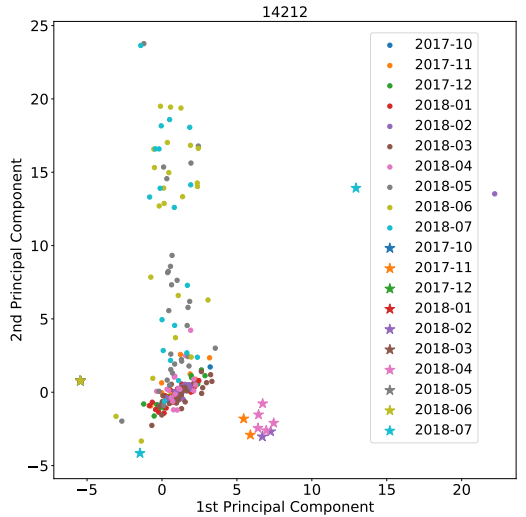


図 7: 部屋 14212 における時期による生活習慣の違い

5 結論

本研究では、生活習慣の違いを考慮可能な高齢者のみまもりシステムを実現することを目的に、安否基準の決定方法の提案を行った。本稿では、サービス付き高齢者住宅に住む 19 名のひとり暮らし高齢者の宅内に

における生活中的のセンサデータを、10ヶ月にわたり取得した。そして、センサ値を基に人や時期、居住者の特性ごとの生活習慣の違いを調査し、それぞれの要因の影響について明らかにした。その結果、居住者によって生活習慣は異なり、また、同一の個人であっても、時期によって生活習慣が変化することがわかった。また、

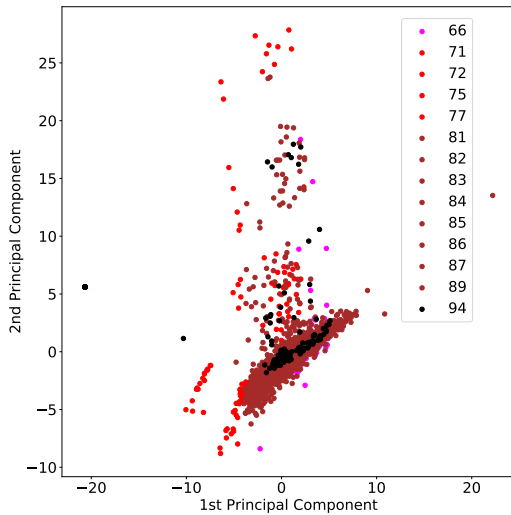


図 8: 年齢による生活習慣の違い

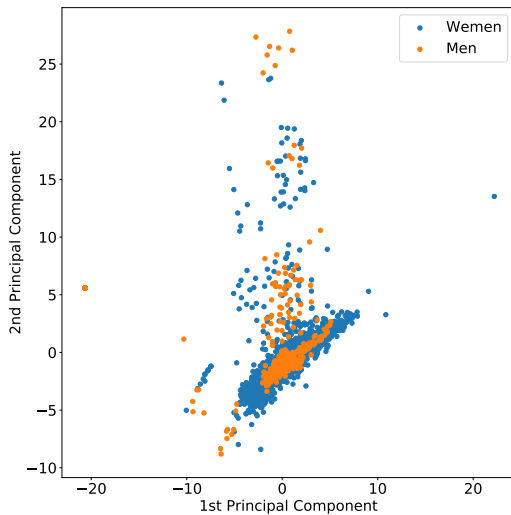


図 9: 性別による生活習慣の違い

居住者の特性に注目し、年齢、性別と生活習慣の関連性について調査した結果、本稿の被験者内では、それらに大きな相関がないことがわかった。これらより、センサデータから、個人や時期による生活習慣の違いが検出可能であり、それらに基づいた安否基準の決定の可能であることを示した。本稿の結果を活かし、抽出した生活習慣に対して最適なセンサ値の閾値を決定することが、本研究の次の課題である。また、本稿の生活習慣分析システムは、センサの数、種類の変更にロバストな設計を行なっている。そのため、温湿度や照度などを用いた異なるセンサ環境での分析を行うことも、今後の展望とする。本研究の分析は、1日単位でのセンサデータの統計量を用いるため、安否の推定には1日分のセンサデータを必要とする。しかし、特徴量抽出の時間幅を数時間単位に細分化することで、時

間帯ごとの行動の傾向を考慮した閾値設定、および即時的な異常検出が期待できる。

6 謝辞

本研究の一部は Society 5.0 実現化研究拠点支援事業による助成を受けたものである。

参考文献

- [1] 総務省. 平成 28 年版 情報通信白書, 2016.
- [2] 内閣府. 平成 30 年版 高齢社会白書, 2017.
- [3] 三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング. 定期巡回・随時対応サービスにおける事業所間連携に関する調査研究事業報告書, 2015.
- [4] 近藤修平. センサシステムによる独居高齢者安否確認システム. 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol. 131, No. 7, pp. 1293–1297, 2011.
- [5] 玖村大紀, 栗栖慎也, 山本竜平, 歌谷昌弘, 永田武. Ict の利用による高齢者見守りシステム. 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol. 136, No. 10, pp. 1460–1465, 2016.
- [6] Roy De Maesschalck, Delphine Jouan-Rimbaud, and Désiré L Massart. The mahalanobis distance. *Chemometrics and intelligent laboratory systems*, Vol. 50, No. 1, pp. 1–18, 2000.
- [7] Junshuai Liang, Zhongqing Yu, and Shuai Yang. A method for automatically detecting the living-alone elderly's abnormal behavior with rttls. In *2016 International Conference on Intelligent Control and Computer Application (ICCA 2016)*. Atlantis Press, 2016.
- [8] A. Yassin, Y. Nasser, M. Awad, A. Al-Dubai, R. Liu, C. Yuen, R. Raulefs, and E. Aboutanios. Recent advances in indoor localization: A survey on theoretical approaches and applications. *IEEE Communications Surveys Tutorials*, Vol. 19, No. 2, pp. 1327–1346, Secondquarter 2017.
- [9] Martin Ester, Hans-Peter Kriegel, Jörg Sander, and Xiaowei Xu. A density-based algorithm for discovering clusters a density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases

with noise. In *Proceedings of the Second International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, KDD'96, pp. 226–231. AAAI Press, 1996.

- [10] Bryan Minor and Diane J Cook. Forecasting occurrences of activities. *Pervasive and mobile computing*, Vol. 38, pp. 77–91, 2017.
- [11] Diane J Cook and Narayanan C Krishnan. *Activity learning: discovering, recognizing, and predicting human behavior from sensor data*. John Wiley & Sons, 2015.
- [12] Robert McGill, John W Tukey, and Wayne A Larsen. Variations of box plots. *The American Statistician*, Vol. 32, No. 1, pp. 12–16, 1978.