

研究指導 中澤 真 教授

# 災害時に高齢者の在宅有無を検知するIoT センサの 最適な組み合わせについて

松本 彩乃

## 1. はじめに

近年発生した東日本大震災や熊本地震の年齢別死者数の割合において、65歳以上の高齢者が過半数を占めている[1][2]。日本の高齢者率が28.7%であることを鑑みると[3]、災害時に死亡する危険性が高齢者は特に高いことがわかる。この原因として、高齢社会の進展によって独居老人あるいは高齢者のみの世帯が増加したこと[4]が考えられる。高齢者は身体の衰えに加えて、災害情報を把握しにくいという問題を抱えており、一人では避難することが困難な高齢者も多い。したがって、高齢化が進む日本においては、災害時に高齢者を早急に避難させるとともに、効率的に救助活動を行うことが喫緊の課題であるといえる。

そのような高齢者の効率的な避難・救助活動には、自治体の働きが必要不可欠である。なぜなら自治体は被災者の救助、被害の状況把握・情報発信を行う責務を有しているからだ[5][6]。その中でも、名簿に掲載されている避難行動要援護者<sup>1</sup>について、安否確認および避難のサポートを担っているため[7]、災害時に迅速な安否確認を行わなければならない。

しかし現在、自治体による高齢者の迅速な救助活動が行われているとは言い難い。自治体には避難行動要援護者の名簿作成が義務付けられているが[8]、その名簿を実際の災害時に活用できた事例は少ないからだ。2018年に発生した大阪北部地震を例に挙げると、職員が名簿に基づいて電話で高齢者の安否確認を始めたのは地震発生から3日後であった[9]。それに加えて、名簿による安否確認は最終的に電話での確認や、実際に職員が見回りを行うなどのマンパワーによる方法で行われている。このような方法は、時間と人的コストがかかるという課題があり、迅速な安否確認が求められる災害時には適さない。

こうした現状から、人手をかけない安否確認の手段として、各種情報機器を活用した方法がいくつか提案されている[10][11][12]。しかしプライバシーを配慮しつつ、精度の高い安否確認を実現するためには、各種情報機器では完全に補うことができない。そこで自治体による安否確認には、プライバシーを保護でき、人手もかからないIoTセンサを活用することが適切だと考える。

IoTセンサによる安否確認は、IoTセンサを高齢者宅へ設置し、そこで得たデータを自治体が確認することで行う。この方式は、高齢者のプライバシー保護と自治体職員の労力を減らすことができるといったメリットがあるため、

自治体の行う安否確認に最適だと考える。しかしどのようなIoTセンサを使用、または組み合わせることが最適なのかは、明らかになっていない。また設置コストの面から、IoTセンサは必要最小限であることが求められる。そこで本研究では、災害時の安否確認において、どのようなIoTセンサを使用し、組み合わせることが、安否確認の精度を高めるのかを明らかにすることを目的とする。

## 2. 高齢者の安否確認における現状

### 2.1 既存安否確認サービスの特徴と課題

現在、一人暮らしの高齢者の安否確認をするためのサービスが様々な形態で展開されている。たとえば、ウェアラブルな通報機器の配布[10]や、GPS機器の配布[11]、高齢者宅へのカメラの設置[12]、IoTセンサの設置などが挙げられる。しかしそれぞれの安否確認サービスには長所・短所がある。

表 1 安否確認サービスの特徴

サービス名称	プライバシーへの配慮がある	操作・携帯が必要
ウェアラブルな通報機器の配布	○	○
GPS機器の配布	×	○
住居内へのカメラ設置	×	×
住居内へのIoTセンサ設置	○	×

表 1 に示したように、高齢者の操作が必要な通報機器を配布することは、そうした機器に慣れていない高齢者にはハードルが高く感じられ、いざという時の使用率に不安が残る。次にGPS機器は特別な操作を必要としないが、高齢者に常に身につけてもらう必要が生じるため、災害時に身につけるのを忘れてしまうということも懸念される。高齢者宅へカメラを設置し、撮影された映像を画像処理することで安否確認をする方式は、職員の時間と労力を大幅に削減でき、高齢者自身の操作も必要としないという点で優れている。しかし映像には個人を特定できる情報が多いため、プライバシー保護という点では好ましくない。一方、人感センサ、ドアセンサ、温度センサなどのIoTセンサを住居内に設置し、個人情報を含まないセンサ値を定期的に取得する方式は、プライバシー保護という点で他の方式よりも優れている。この方式では、取得した値が規定の安否基準から逸脱した際に、あらかじめ登録した家族や介護職員へとメールなどで通知して、高齢者の安否確認を実現している[13]。このため、高齢者の操作も必要とせず、安否確認に要する人的コストもかからないという利点もある。こうし

<sup>1</sup> 高齢者や障害者など、災害時の避難行動や避難所での生

活が困難な人

た特徴から、自治体が災害時に高齢者の安否確認を行う際には、IoT センサを用いる方式が適切だと考えられる。

## 2.2 IoT センサによる安否確認

安否確認にIoTセンサを用いる方式は多くのメリットを持っているが、解決すべき課題もまだ残っている。現在利用されている方式の多くは、住居の使用電力量や水道の水圧をセンサによって取得することで高齢者の安否確認を行うものである。したがって、日常的な生活における確認であり、安否確認に用いる計測時間も、数時間や1日単位などの長時間で行われる。そのため日常的な安否確認はできても、災害時のように迅速な安否確認が求められる場面で活用できるとはいえない。たとえば梅津ら[13]は住居内に設置した人感センサ、ドアセンサ、水量計のデータから、居住者の生活習慣の変動に合わせた最適な安否基準を提案した。しかしこの研究の方法では1日分のセンサデータを必要とするため、災害時の迅速な安否確認には適さない。

澤本ら[14]は、開発した加速度センサを住居内に設置し、この加速度センサから、地震が起きた場合の被災度と居住者の行動の判別、および壁を3回叩くなどの救助要請動作を検出できるかという実験を行った。このように異常値や救助要請動作が検出されたかの確認をすることで安否確認が行える。しかし加速度センサのみでは、居住者の振動しか検知することができず、居住者が振動の起こる動作ができない場合は、安否確認を行うことができない。加速度センサ以外の他のIoTセンサでも、単一のみでの使用では、それぞれのIoTセンサの欠点が安否確認に影響を及ぼすことが想定される。

以上の先行研究から、単一のIoTセンサによる安否確認では、そのIoTセンサの欠点によって正確な安否確認ができない可能性があるため、複数のIoTセンサを組み合わせることが有用だと考えられる。すべての行動を検知するには多種多様なIoTセンサを組み合わせることが効果的だが、多数のIoTセンサを設置することはコストがかかり、管理も難しくなってしまう。したがって、正確に安否確認ができる状態を維持しつつ、設置するIoTセンサを必要最小限にすることが理想的である。そこで、必要最小限のIoTセンサ数の中で、どのような組み合わせにすることが、災害時の安否確認の精度を高めるのかを明らかにすることを本研究の目的とする。なお、安否確認とは在宅有無の判別をすることと定義する。

## 3. IoT センサによる安否確認の実証実験

### 3.1 データの収集方法

本研究では、高齢者の安否確認を行う際のIoTセンサとして、人感センサ、照度センサ、温度センサ、湿度センサ、振動計、騒音計の6つを候補とする。実証実験では、人感センサ、明るさセンサ、温度・湿度センサとしてMESHセンサ<sup>2</sup>を使用する。また振動計、騒音計はスマートフォンアプリのSmart Meter Pro<sup>3</sup>を使用する。

これらのセンサを用いて、高齢者が取るであろう9つの行動パターンのセンサデータを収集した(表 2参照)。被験者はこれらの行動パターンをそれぞれ約30分から1時間程度実行し、合計13時間分のセンサデータを収集した。また、これに対応させる不在状態のデータを同じく13時間分収集した。被験者は筆者自身である。なお、時間帯の偏りが出ないようにすべての行動パターンにおいて、昼と夜のどちらも実験し、データを取得した。

表 2 高齢者の行動パターンと計測時間

	行動パターン	計測時間(昼)	計測時間(夜)	合計時間	構成比
1	テレビ	1.0	1.5	2.5	10%
2	食事	0.5	0.5	1.0	4%
3	電話	1.0	1.0	2.0	8%
4	読書	1.0	1.5	2.5	9%
5	書き物	1.3	1.0	2.3	9%
6	ラジオ体操	0.6	0.0	0.6	2%
7	掃除	0.3	0.0	0.3	1%
8	就寝	1.0	1.0	2.0	8%
9	不在	5.0	8.0	13.0	50%

実験場所は筆者宅の六畳の部屋で、各IoTセンサの設置箇所は、人感センサ、明るさセンサ、温度・湿度センサ、騒音計は、被験者が座った際に見下ろすようになる棚の上、振動計は被験者の使用するテーブルの上とした。ただし、就寝時においてはベッドに移動するため、振動計をベッドの上の枕元に置き、その他のIoTセンサは上記と同じ設置場所とした。

### 3.2 データの記録形式

計測データは表 3に示した形式で記録するようにした。ここで、人感センサは行動を検知した場合は1、しなかった場合は0の値として記録し、その他のIoTセンサはそれぞれの計測値をそのまま記録した。

計測間隔として人感と明るさは30秒ごと、温度、湿度は1分ごと、振動、音については1秒ごとのデータを取得した。ただし、1秒単位のデータは1分間の最大値を最終的な記録としている。

表 3 センサデータの記録形式(抜粋)

時	分	人感	明るさ(lux)	温度(°C)	湿度(%)	振動(MMI)	音(dB)	在宅有無
12	11	0	230	11.9	76	1.5	64	1
12	12	1	240	12.5	75	2.7	64	1
12	13	0	250	12.9	75	1.4	66	1
12	14	0	230	13.4	74	3.2	61	1
12	15	0	230	13.8	74	1	61	1

## 4. 実験結果

### 4.1 IoT センサの種類と判別率

まず、IoTセンサの種類が在宅有無の判別精度に及ぼす影響を個別に検証するために、取得した個々のセンサ単体のデータの在宅有無を目的変数、その他のセンサデータを説明変数として判別分析[15]を行った(表 4参照)。

<sup>2</sup> <https://meshprj.com/jp/>

<sup>3</sup> <https://play.google.com/store/apps/details?id=kr.aboy.meter>

表 4 単一の IoT センサによる判別結果

センサ種	線形判別関係式	判別の中率
人感センサのみ	$y=2.97x-0.5$	67.31%
明るさセンサのみ	$y=0.0006x-0.21$	50.26%
温度センサのみ	$y=0.27x-3.98$	79.82%
湿度センサのみ	$y=0.16x-10.6$	53.45%
振動計のみ	$y=0.85x-0.85$	82.24%
騒音計のみ	$y=0.09x-3.72$	79.55%

表 4 に示した判別の中率は、在宅有無をどれだけ正確に判別できるかの指標であり、値が大きいほど線形判別関係式の精度が高いことになる。単一の IoT センサのみの場合で最も高い判別の中率であるのは振動計だが、その値は8割強にとどまっている。このため判別の精度を高めるためにはセンサを複数組み合わせることが必要だと考える。そこで、6つすべての IoT センサを用いた場合の判別結果を表 5 に示す。線形判別関係式の説明変数は $x_1$ から順に、人感センサ、明るさセンサ、温度センサ、湿度センサ、振動計、騒音計の値である。

表 5 すべての IoT センサでの判別結果

線形判別関係式	判別の中率
$y = -8.53 + 0.52x_1 - 0.0002x_2 + 0.22x_3 + 0.05x_4 + 0.34x_5 + 0.04x_6$	91.93%

6つの IoT センサを用いた場合、判別の中率が91.93%と、表 4 と比較して高い中率となった。この結果から、在宅有無を判別するには、単一の IoT センサではなく、複数の IoT センサを組み合わせることが有用であるといえる。

#### 4.2 行動パターンごとの判別の中率

本研究では、センサ数を必要最小限に抑えて精度を高めることを目的としているため、センサ数を減らした場合についても検証する必要がある。そこで、6種類すべてのセンサから、1種類のみ除いた場合のすべての組み合わせについて、行動パターンごとの判別の中率を分析した。その結果、特に就寝時において他の行動パターンとは異なる中率となった。他の行動パターンが、すべての IoT センサの場合80%~100%の判別の中率であるのに対して、就寝時は15%という著しく低い中率となった。またセンサを1つ除外した場合の結果では、温度センサを外した場合的中率が最も高いという結果になった。これは温度センサに関する判別関数の傾向が、就寝時のみ他の行動パターンとは異なる可能性を示唆している。

表 6 就寝時と全体の判別の中率

	すべてのセンサ	人感センサを除く	明るさセンサを除く	湿度センサを除く	振動計を除く	騒音計を除く	温度センサを除く
就寝(夜)	15.00%	15.00%	16.67%	13.33%	10.00%	16.67%	35.00%
全体の的中率	91.93%	91.34%	90.84%	91.54%	89.53%	89.99%	85.79%

そこで、さらに詳細な分析をするために、就寝時と不在時のデータを判別分析し、どの IoT センサが判別の中率を下げる要因となっているかを明らかにする。

#### 4.3 就寝時の判別について

就寝時の分析結果は表 7 である。なお、就寝時と不在時はどちらも空調機器は使用せずにデータを収集した。

表 7 就寝時の判別結果

センサ種	線形判別関係式	判別の中率
人感センサのみ	$y=3.5x-0.35$	60.16%
明るさセンサのみ	分散が小さすぎたため分析不可能	
温度センサのみ	有意水準がみられなかった	
湿度センサのみ	$y=0.49x-33.67$	96.69%
振動計のみ	$y=1.2x-0.85$	83.74%
騒音計のみ	$y=0.11x-4.03$	76.42%

明るさセンサは分散が小さすぎたため分析ができず、温度センサは有意な差がみられなかったため、この2つのセンサは就寝時の判別に影響を及ぼしていないといえる。そこで、この2つのセンサを除いた場合に、就寝時およびその他の行動パターンの判別の中率がどのように変化するかを明らかにするため判別分析を試みた。その結果、4つのセンサで判別をした場合には、温度センサを除外した5つのセンサの場合よりも、就寝時の判別の中率は向上しなかった。むしろ全体の中率は85.49%に下がってしまった。この結果から、就寝時の判別には不利である温度センサだが、就寝時以外の他の行動パターンでは、温度センサは有効であるといえる。表 6 からわかるように、温度センサを除いた場合に最も全体の中率が低くなるからだ。このことから就寝時の判別のためだけに温度センサを除くことはできない。したがって、就寝時の判別にどのようなセンサを用いることが有効であるかを明らかにすることが今後の課題となる。

#### 4.4 センサが不在と判別した誤り率について

先の分析では、在宅を不在と誤判別することと不在を在宅と誤判別することを同等なものとして扱ってきた。しかし、災害時の高齢者の安否確認において在宅を不在と誤って判別することは、より避けなければならない誤りである。そこで、在宅を不在と判別してしまう誤り率について分析する。表 8 は IoT センサをすべて使った場合と5つに絞った場合の誤り率を示したものである。

表 8 在宅を不在と判別した誤り率

すべてのセンサ	誤り率
すべてのセンサ	11.53%
明るさセンサを除く	12.32%
騒音計を除く	13.50%
湿度センサを除く	12.06%
温度センサを除く	20.97%
振動計を除く	12.06%
人感センサを除く	12.58%

この結果から、最も誤り率が低いのは6つすべてのセンサを使用した場合で、最も誤り率が高いのは温度センサを除外した場合であることがわかる。これは、実験時が冬期であったため、空調機器が判別に大きな影響を与えていたのだと推測できる。したがって、空調機器を使用する夏冬は、温度センサを除外すると、判別の精度を悪化させることになる。

したがって誤り率を下げるためには、空調機器が及

ばす影響を考え、できるだけすべてのセンサを使用することが望ましいだろう。

#### 4.5 廊下へのIoTセンサの設置

センサの設置個数を抑えつつ在宅の有無をより正確に判別するためには、最も長い時間を過ごす部屋と、部屋と部屋の移動のために使用する廊下にセンサを設置することが効果的だと考える。そこで、廊下についてどのようなセンサを組み合わせることが適切であるのかを本節では明らかにする。廊下を人が歩いている場合と、廊下に人が不在の場合の実験を行い、在宅有無の判別分析をした。歩いた場合を30分、不在の場合も30分の計1時間の測定を、昼と夜にそれぞれ行った。このセンサデータを判別分析したところ、表 9のような結果となった。

表 9 廊下における判別結果

センサ種	線形判別関係式	判別の中率
人感センサのみ	$y=6.43x-3.05$	97.50%
明るさセンサのみ	$y=0.005x-0.84$	55.83%
温度センサのみ	$y=0.51x-5.09$	59.66%
湿度センサのみ	$y=0.19x-13.86$	59.66%
振動計のみ	$y=0.87x-1.06$	90.83%
騒音計のみ	$y=0.11x-4.82$	85.00%

人感センサのみの場合で97.5%、振動計のみの場合で90.83%という非常に高い判別の中率が出た。そこで、人感センサと振動計の2つを組み合わせる判別分析をした。この場合の線形判別関係式と判別の中率を表 10に示す。なお線形判別関係式の $x_1$ は人感センサ、 $x_2$ は振動計の計測値である。

表 10 人感センサと振動計の判別結果

センサ種	線形判別関係式	判別の中率
人感センサと振動計	$y=6.07x_1+0.27x_2-3.22$	97.50%

この結果から、人感センサと振動計を組み合わせた場合は97.5%の確率で、在宅有無の判別ができることがわかった。この的中率は人感センサのみの場合と同じである。また線形判別関係式を標準化した係数を比較すると、人感センサは0.94、振動計は0.31と人感センサのほうが大きい。そのため人感センサのほうが在宅有無の判別には重要であるといえる。したがって、精度が同じならば、少ない個数のほうが設置コストの面から優れているため、廊下での判別には人感センサのみでよいと結論づけられる。

### 5. 研究のまとめ

本研究では、災害時における高齢者の安否確認を自治体が効率的かつ正確に判別するためにはIoTセンサを活用することが適切であること、またIoTセンサも単一ではなく複数のIoTセンサを組み合わせることが、より精度の高い在宅有無の判別に有用であることを、実証実験から明らかにした。その結果、単一のIoTセンサよりも6つあるいは5つのIoTセンサを組み合わせたほうが高い判別の中率になることが確認された。また、行動パ

ターンや場所によって判別の中率に違いが出ることもわかった。その場合は、特に影響の大きいIoTセンサに絞ることが在宅有無の判別に効果的だと考える。

しかし本研究では、行動パターンが実際の生活における構成比と異なっている。中でも判別の中率が最も低い就寝時は、実際の就寝時と比較してかなり短い1時間分のデータとなっているため、構成比率が小さくなっている。そのため自治体がこのIoTセンサを用いて安否確認をした場合に、精度が悪化する可能性がある。このことから、被験者ごとの生活パターンに基づく構成比を用意し、その場合の判別精度がどのように変化するかを明らかにすることが本研究の課題である。

#### 参考文献

- [1] 東日本大震災・被災3県死者の年齢別内訳, 時事ドットコムニュース 2011/4/19 付き記事, [https://www.jiji.com/jc/graphics?p=ve\\_soc\\_jishin-higashinohon20110419j-02-w380](https://www.jiji.com/jc/graphics?p=ve_soc_jishin-higashinohon20110419j-02-w380), (参照 2020-6-18).
- [2] 総務省,平成 28 年版消防白書, <https://www.fdma.go.jp/publication/hakusho/h28/cat/974.html>, (参照 2020-6-18).
- [3] 総務省統計局,人口推計-2020 年(令和 2 年)6 月報-,<https://www.stat.go.jp/data/jinsui/pdf/202006.pdf>, (参照 2020-6-18).
- [4] 和気純子,“震災と高齢者-地域包括ケアと福祉コミュニティ形成-”, 学術の動向, 18 巻, 11 号, pp.11\_27-11\_33, 2013.
- [5] 内閣府,“防災における行政とNPO・ボランティア等の連携・協働促進のための行政職員向け研修テキスト”,2018,[http://www.bousai.go.jp/kaigirep/kentokai/bousai\\_volunteer\\_kankyoseibi/dai2kai/pdf/05shiryu.pdf](http://www.bousai.go.jp/kaigirep/kentokai/bousai_volunteer_kankyoseibi/dai2kai/pdf/05shiryu.pdf), (参照 2020-10-28).
- [6] 内閣府,“市町村における災害対応虎の巻~災害発生時に住民の命を守るために~”,2015,[http://www.bousai.go.jp/oukyu/pdf/sityouson\\_to\\_ranomaki.pdf](http://www.bousai.go.jp/oukyu/pdf/sityouson_to_ranomaki.pdf), (参照 2020-10-28).
- [7] 内閣府,“発災時における避難行動要援護者名簿の活用”, <https://www.fdma.go.jp/relocation/e-college/senmon/cat2/cat/cat4/cat13/post-678.html>, (参照 2021-2-6).
- [8] 内閣府,“避難行動要支援者の避難行動支援に関する取り組み指針”, 2013, <http://www.bousai.go.jp/taisaku/hisaisyagyousei/youengosya/h25/pdf/hinansien-gaiyou.pdf>, (参照 2021-2-6).
- [9] 災害弱者の安否確認,名簿活用自治体で差 大阪北部地震,日本経済新聞 2018/6/30 付記事.
- [10] シニアセキュリティ, TOKYUSECURITY, <https://www.tokyu-security.co.jp/ps/senior/service.html>, (参照 2020-12-26).
- [11] ここココ for シニア, <https://gps-mimamori.com/senior/>, (参照 2020-12-26).
- [12] みまもり CUBE, ラムロック, <https://ramrock-eyes.jp/>, (参照 2020-12-26).
- [13] 梅津吉雅ほか,“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”,SIG-SAI,34 巻 2 号,pp.1-8,2019.
- [14] 澤本潤ほか,“居住者と同居を見守るMESH加速度センサシステムの開発”,平成 27 年電子学会電子論文集,OS5-1, pp.692-697, 2015.
- [15] 菅民郎, 例題と Excel 演習で学ぶ多変量解析—回帰分析・判別分析・コンジョイント分析編—, オーム社, 2016.