

室内環境測定に基づく居住者の行動推定システム

鈴木臣^{†1}
愛知大学^{†1}

深沢圭一郎^{†2}
京都大学^{†2}

村井孝子^{†3}
純真学園大学^{†3}

1. はじめに

2007年に人口の21%以上が65歳以上という超高齢化社会となった日本において、高齢者の介護は大きな社会問題になっている。介護者の不足や家族の介護負担は国内人口の減少下においてはさらに深刻になっていくであろう。特に認知症の人には、症状の進行に伴う様々な問題行動を把握し適切にケアする必要があるため、介護の負担は特に大きくなる。現在、認知症は介護が必要となる原因の中で大きな割合を占めている [1]。

一方で、近年急速に実用化が進んでいるIoTによるデータ収集は、産業用途のみならず介護や育児、医療分野においても利用されつつある。IoTを活用することで、ネットワークを介して様々なセンサやカメラから大量のデータが得られるため「見守り」の手段として注目されている [2]。ただし、膨大なデータを効率よく処理して、必要な人に知りたい情報を的確に伝える仕組みも同時に考えていかなければいけない。

本研究では、環境センサとIoTを用いて室内環境変化をモニタすることで居住者（特に認知症高齢者を対象）の行動をリアルタイムに推定するシステムの開発をおこなった。このシステムは非接触かつ自律的に機能するため、介護する側と介護される側の双方の身体的・精神的負担を軽減することが見込まれる。環境データからは様々な情報を得ることができるため多様な見守りに活用できるものの、その情報量の多さからかえって情報を受け取る側の負担が増加することが危惧される。本研究では情報を受け取る側のニーズに合わせて、必要な情報のみを伝える「オーダーメイド型の行動推定」の確立を目的とした。

2. システム概要

本研究で開発したシステムの概要を図1に示す。システムは小型の環境センサ（オムロン 2JCIE）、通信モジュールおよびデータ送受信用エッジコンピュータ（Raspberry Pi 3）で構成され、すべて比較的入手性の良い安価な商品

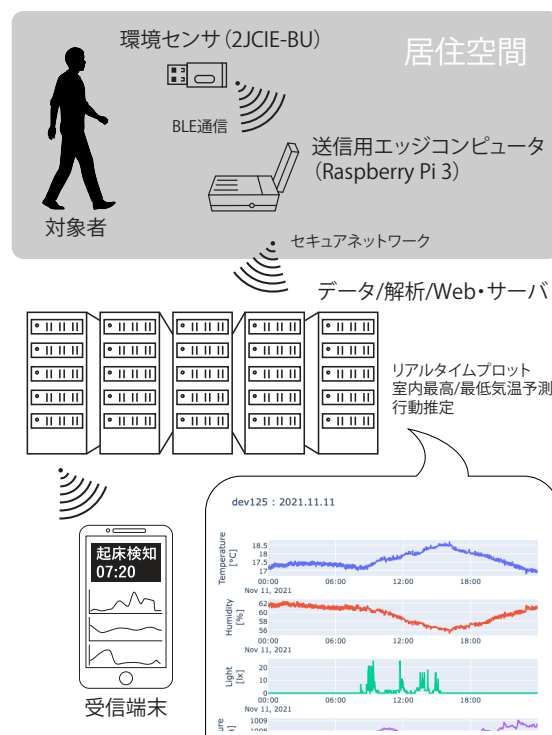


図1 システムの概要図

Figure 1 Schematic illustration of the system.

である [3, 4]。これにより装置が故障した際も復帰が早く、データの連続性が保たれる。使用する環境センサは非常に小型であり USB 電源で独立して動作するため設置場所の自由度が高く、装置を設置した居住空間（多くの場合寝室）で生活する対象者の心理的負担も極めて限定的であるといえる（図2）。環境センサは居室の気温、湿度、気圧、照度、騒音、TVOC 濃度、CO₂ 濃度を測定し、得られたデータは Bluetooth LE 経由でエッジコンピュータに5分間隔で送信される。エッジコンピュータにおいて、データは即座に整形と暗号化がなされ接続された送信モジュールによって外部サーバに転送される。さらにサーバでは毎日の CSV ファイルとして格納され、同時に対象者の行動認識が自動で実行される。データから指定された行動が検知された場合は、事前に設定された家族や介護事業者の受信端末に結

Activity Recognition System Based on the Indoor Environment Sensing

^{†1} SHIN SUZUKI, Aichi University

^{†2} KEIICHIRO FUKAZAWA, Kyoto University

^{†3} TAKAKO MURAI, Junshin Gakuen University

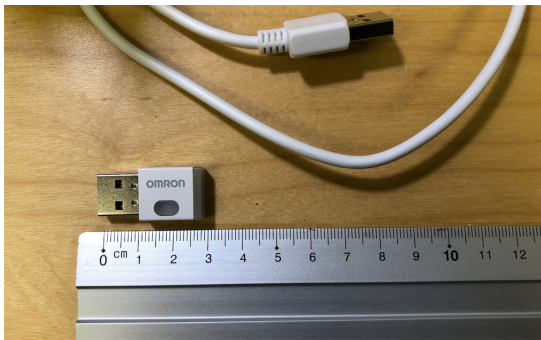


図2 環境センサの外観とサイズ (オムロン 2JCIE)

Figure2 Picture of the environment sensor (OMRON 2JCIE).

果が通知される。またサーバでは、Python の web フレームワークのひとつである Bottle を使用して、描画ライブラリの Plotly でプロットを作成することで、ユーザ側が任意の装置、日付・時間のデータをインタラクティブに確認する環境が整っており、動作確認や研究者間の情報共有がしやすくなっている。またデータを基に、RNN (再帰型ニューラルネットワーク) を利用した最高・最低気温の予測を通知する機能も実装済みである [3]。

3. 結果

3.1. 行動推定：基本行動

室内環境は居住者の行動によって変化することが確認されている。例えばエアコンの作動は騒音や気温 (あるいは相対湿度) の変化として現れるため対象者の動作や安否を確認することができる。本研究では、照度と騒音の変化に注目して、対象者の起床 (照明の点灯により照度が上がり、生活音が騒音レベルの上昇として認識される)、就寝 (消灯により照度が減少し騒音レベルも下がる)、外出 (一定期間騒音レベルが低い状態が続く) を基本として推定している。

図3に測定結果の例を示す。この日は06:00に照度 (図3c) と騒音レベル (図3e) が上がっており、このタイミングで起床したと推定できる。逆に21:45には照度と騒音レベルが下がり就寝した時刻といえる。また、09:00付近から17:00までは騒音レベルが40~50 dB程度で安定しているためこの時間に対象者は外出しているという推定がなされる。実際に介護福祉施設の協力により、これらの検知した行動は正しいことが確認されている。さらにこの日の測定では、06:00から温度5°C程度増加しており (図3a) その後も規則的な気温変化 (エアコンの自動温度調整) が見られるため、起床と同時に対象者がエアコンを動作させたことがわ

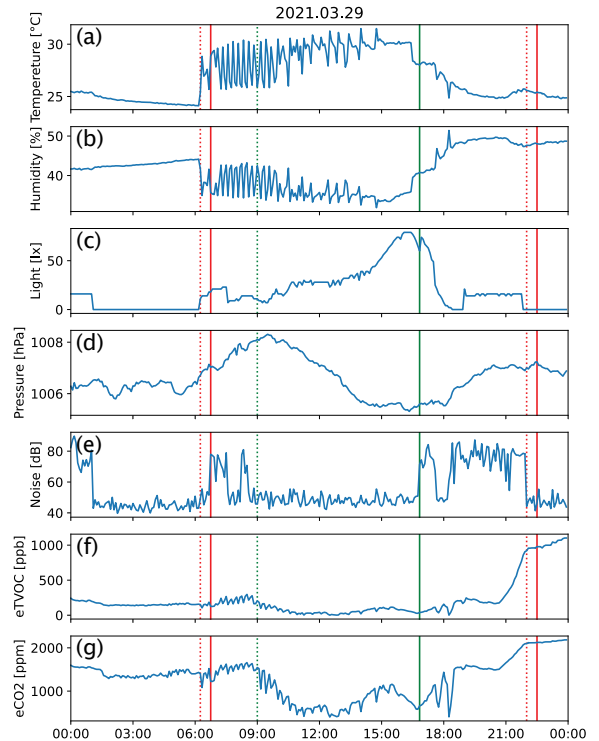


図3 測定結果の例. 2021年3月29日における (a) 気温, (b) 湿度, (c) 照度, (d) 気圧, (e) 騒音, (f) TVOC 濃度, (g) CO₂ 濃度. 赤および緑の破線と実線で囲まれた区間はそれぞれ自動判定された起床・就寝および外出の時間を示す。

Figure3 Example of measurements on 29 March 2021: (a) temperature, (b) humidity, (c) illuminance, (d) atmospheric pressure, (e) noise level, (f) TVOC, and (g) CO₂. The time ranges indicated by the red and green lines show the detections of one getting up/going to sleep and out of the room, respectively.

かる。また19:00付近の照度の上昇 (およびその後一定の明るさが保たれていること) から、日没で部屋が暗くなったため照明をつけたことを知ることができる。なお測定する湿度 (図3b) は相対湿度であるため、気圧 (図3d) の変化に伴わないものは気温変化によるものであるといえる [5]。

対象者の住環境によって閾値の調整は必要であるものの、ある対象者の20日間の測定データからの自動判定の精度は、起床で90%、就寝で45%、外出で80%であった [3]。また、およそ2週間程度で対象者の行動パターンを把握することが可能であることがわかった。一人暮らしの高齢者の場合は特に環境変化から読み取ることができる行動が曜日パターン化される傾向にあるため、このパターンと異なる行動

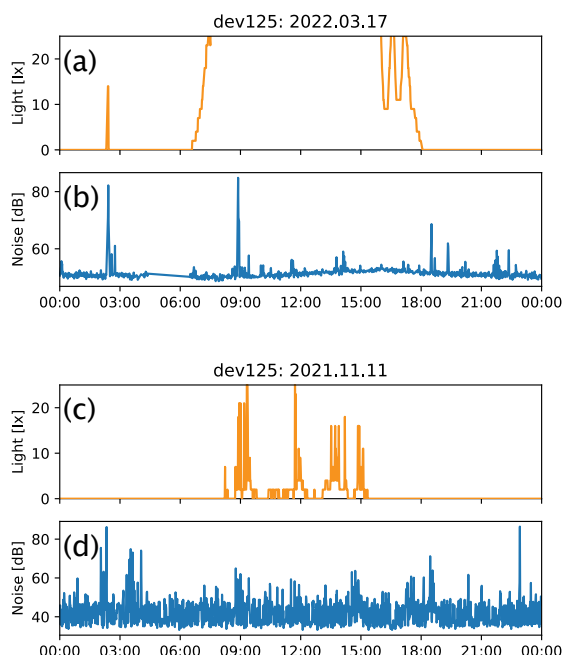


図4 トイレに設置したセンサによる 2022 年 3 月 17 日の (a) 照度と (b) 騒音レベル, 2021 年 11 月 11 日の (c) 照度と (d) 騒音レベル

Figure 4 (a) Illuminance and (b) noise level measured by the sensor in the bathroom on 17 March 2022. (c) and (d) are the same as (a) and (b), respectively, but for the data on 11 November 2021.

が検知された（あるいは検知されなかった）場合は，対象者がなんらかの異常状態にあると推定することもできる．この場合は介護者に通知を出すことで速やかに対象者の安否確認が可能である．

3.2. 行動推定：オーダーメイド型

推定したい行動は対象者によって異なる．ある対象者 A は認知症であり，その家族からは夜中のトイレの使用を検知する要望があった．対象者 A は通常の排泄行動からの逸脱があり，排泄後速やかに家族である介護者に対応することが介護の負担減につながる事例であった．生活行動を撮影することに対してプライバシーの問題も指摘される中 [6]，排泄は極めてプライバシー性の高い行動であるものの，排泄行動を検知する需要は高い．カメラなどに比べると本研究で用いる環境センサでの測定は，プライバシー侵害の程度ははるかに低いといえる．当然，第三者にデータが漏洩しないように配慮しなければならないが，設置した家庭に

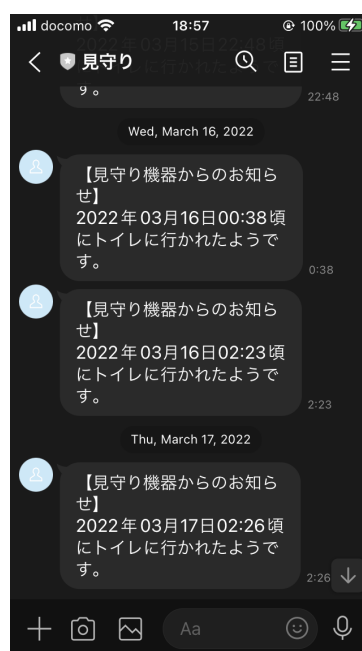


図5 トイレ使用が検知されたことを知らせる LINE 通知
Figure 5 Example of LINE messages notifying the detection of use of the bathroom.

においても同様のコメントを受けている．我々は寝室に近いトイレに環境センサを設置して照度と騒音レベルをモニターすることで夜間（21:00 から翌日 05:00 まで）のトイレ使用の検知をおこなった．トイレを使用していない夜間の照度と騒音レベルを測定し，使用時の閾値をそれぞれ 10 lx と 65 dB に設定し，両方の閾値を超えた場合にトイレを使用した（トイレに入り照明をつけた場合に照度が上がり，トイレの水を流した際に騒音レベルが上がる）と推定した．

図 4 にトイレ使用を検知した結果の例を示す．2022 年 3 月 17 日の例では，02:05 付近に照度が 0 lx から 14 lx へ急激な変化が見られ（図 4a），ほぼ同時刻に騒音レベルも 82 dB に達している（図 4b）ためこの時間にトイレを使用したことがわかる．一方で，2021 年 11 月 11 日の例では 02:10 付近と 03:30 付近に騒音レベルが 65 dB を超える変化が見られるが（図 4d），照度には変化がない（図 4c）．家族へのヒアリングの結果，対象者 A は照明をつけずに排泄する可能性があり，この晩は消灯したままトイレを使用したことがわかった．そのため検知の条件である騒音レベルの増加に重みを加えることで，一般に用いられる照明スイッチからの検知に比べても精度の高い行動推定・行動検知が可能となった．またトイレの使用が検知された場合は，LINE

のメッセージで家族に通知している（図 5）。ただし通知を受ける介護者への負担を考慮して、トイレ行動を検知しても、前の通知から 60 分が経過していない場合には再通知はおこなわないことを取り決めている。実際の使用を確かめてもらい後日ヒアリングすることで、検知精度向上（特に誤検知の抑制）のフィードバックを得る体制になっている。このように測定値の閾値や条件を対象者に合わせて調整することで、オーダーメイド型の行動推定が可能となった。

4. 改良の検討

現状のシステム（居住空間に設置する測定系）の価格はおよそ 30,000 円程度であり、別途 LTE 通信のための SIM カードが必要となる。本研究で開発した装置を多地点に展開するためには、さらに単価を下げることも重要である。エッジコンピュータとして使用している Raspberry Pi は近年需給がひっ迫しており、価格も上昇している。本システムでエッジコンピュータが担う処理は比較的単純で負荷も小さいため、Raspberry Pi の代わりにデータの受信と送信を逐次におこなうことに特化したマイコンボードを使うことも想定できる。また、LPWA 通信（特に LoRa）によるデータ通信についても検討している。エッジコンピュータからサーバへの送信データは、5 分ごとに時刻を含む測定値が ASCII 形式で通信モジュールの LTE で送信されている。1 回の送信に対する通信量は約 100 バイトであるため、LoRa（通信速度は 50 kbps 程度）であっても十分に実用に耐える。さらに、1 台のエッジコンピュータから複数のセンサデータを送信することや、高い時間分解能の測定を目指すことも可能である。複数センサや高い時間分解能での観測は、推定できる行動を増やしたり推定精度の向上につながる。例えば、複数の部屋ごとにセンサを設置することで、対象者がどのように部屋を移動したのか、どの部屋に居ることが多いのかが分かり、部屋の移動がない場合は動けない状態になっている可能性があるため介護者にアラートを出すことも可能である。

5. おわりに

本研究では、IoT センサによる環境測定によって居住者の行動を推定するシステムを開発した。非接触で自律的であり小型かつ安価なシステムとすることで、導入コストを抑えたとともに介護者対象者の身体的・精神的な負担の軽減を実現する。居住空間の照度と騒音レベルの測定から起床・就寝、外出（不在）の基本的な行動の推定の精度は十分実用的な段階にあるといえる。また、夜間のトイレの使用を知りたいという設置家庭の要望を受け、対象者のトイレ行動を推定する環境を構築した。検知はリアルタイムの

データから自動でおこなわれ、結果は即座に LINE のメッセージで家族に通知している。対象家庭へのヒアリングを重ねフィードバックを受けることで、検知の精度はユーザの満足のいくレベルに到達していることを確認できた。このように室内環境測定に基づく本システムは、ユーザのニーズや状況に合わせたオーダーメイド型の行動推定も可能である。

今後は数カ所の介護福祉施設や家庭において継続している実証実験の結果をシステムにフィードバックすることでさらなる精度向上を目指す。またハードウェアの価格や通信にかかる費用を抑えることで複数センサの利用や高い時間分解能での測定につなげ、多様なニーズに対応できるシステムの開発を進めていく。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費（JP20K21739）、純真学園大学共同研究、および AMED（JP22ym0126814）の支援を受けた。データの取得に協力いただいた福岡市役所保健福祉局、社会福祉法人敬愛園アットホーム福岡、社会福祉法人福岡市民生事業連盟ケアタウン茶山、株式会社ライフケアひかりに感謝の意を表する。

参考文献

- [1] 内閣府: “令和 4 年版高齢社会白書”, <https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2022/html/zenbun/index.html> (参照 2022-11-15).
- [2] 村田健史, 深沢圭一郎, 徳永旭将, 水原隆道, 野見山陸, Somnuk Phon-Amnuaisuk: 映像 IoT 技術による赤ちゃん見守りシステム, 情報システムと社会環境研究報告, Vol.2020-IS-151 No.3, pp.1-6 (2020).
- [3] 深沢圭一郎, 鈴木臣, 村井孝子: 非接触センサと IoT を用いた自律的遠隔見守りシステムの研究開発, 情報処理学会研究報告, 2022-IS-159, Vol. 7, pp. 1-6 (2022).
- [4] Murai T., K. Fukazawa, S. Suzuki: A Study on Predictive Detection of Excretion in Elderly Requiring Care Using Video Internet of Things, the 25th East Asia Forum of Nursing Scholars (EAFONS) Conference (2022).
- [5] 鈴木臣, 深沢圭一郎, 村井孝子: IoT による室内環境変化のリモートセンシング, 愛知大学情報メディアセンター紀要 COM, Vol. 32, No. 1 (2023), in press.
- [6] Hjelm K., and L. Hedlund: Internet-of-Things (IoT) in healthcare and social services – experiences of a sensor system for notifications of deviant behaviours in the home from the users’ perspective, Health Informatics Journal, Vol. 28(1), doi: 10.1177/14604582221075562 (2022).