Vol.2022-IS-159 No.7
2022/3/7

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

深沢圭一郎 [1]　鈴木臣 [2]　村井孝子 [3]

概要：現在日本は先進国の中でも最も高い高齢化率となっており，介護を受ける高齢者の増加により介護を行う側の負担が重くなってきている．この負担減の 1 つの案として，人が行う必要が無いところは情報技術を応用することが考えられる．そこで我々は，非接触環境センサと IoT を利用して，介護される人の生活環境情報取得やその予測，更には行動認識を行うシステムの開発を行っている．このシステムを実際にいくつかの介護施設に設置し，環境センサ（温度，湿度，明るさ，騒音，大気圧，揮発性有機化合物濃度，CO_2 濃度）が取得したデータを数値解析・機械学習することで，自律的にその環境に居る人がどのような行動を取っているかを認識でき，また，それらデータが今後どのような値を取るかの予測することが可能となっている．本研究では，そのシステムの紹介と性能評価を行う．

キーワード：IoT，環境センサ，環境予測，行動認識

Development of remote autonomous watching system with non-contact sensor and IoT

KEIICHIRO FUKAZAWA[†1]　SHIN SUZUKI[†2]
TAKAKO MURAI[†3]

Abstract: Currently, Japan has one of the highest aging rates in the developed countries, and the burden on the caregivers is becoming heavier as the number of elder who need care increases. One of the ways to reduce this burden is to apply information technology where it is not necessary for human to do so. Therefore, we develop a system that uses non-contact environmental sensors and IoT to acquire and predict information about the living environments of the persons being cared for, as well as to recognize their behavior. This system is actually installed in several care homes and the system can autonomously recognize what kind of behavior the elderly residents requiring long-term care in the environment is taking, and also predict what values the data will take in the future by numerically analyzing and machine-learning the data obtained by the environmental sensors (temperature, humidity, brightness, noise, atmospheric pressure, volatile organic compound concentration, and CO2 concentration). In this research, we will introduce the system and evaluate its performance.

Keywords: IoT, Environmental sensor, Environment Forecast, Recognition of behavior

1. はじめに

国内における 65 歳以上の認知症の人は増加傾向にあり，2025 年には 65 歳以上の約 5 人に 1 人が認知症になると予測されている[1]．また世帯主が 65 歳以上の単独および夫婦のみの世帯は，2040 年には全世帯の約 30%を占めることが予測されており[2]，特に認知症の高齢者が単独もしくは夫婦のみの世帯で生活することにより，今後の高齢者の介護はより困難な状況になることは明らかである．国内でも 2015 年の新オレンジプランに続き，2019 年 6 月には認知症施策推進大綱が取りまとめられ，「共生」および「予防」のための施策推進が行われているが，介護される側とする側の数的なアンバランスの解消には至っておらず，地域での持続可能な見守り体制の整備は喫緊の課題である．

また，高齢者には基礎疾患をもつ者も多く，さらに認知症に伴う状態変化や BPSD（行動・心理症状）への対応に加え，体調管理や熱中症予防などの療養生活における環境調整を必要とすることも多い．通所訪問系サービスや居住系サービスの分野では，介護者の人手不足が大きな問題になっている [3] こと，在宅で介護を行う家族の介護負担感やそれに伴う健康不安も報告されており [4]，介護者の負担はかなり大きいことが推察され，負担の軽減が必要不可欠である．

一方，情報科学の分野では，IoT 機器の開発が爆発的に広がっており，これまでにネットワークに繋がっていなかった機器からの大量のデータ収集が行われてきている．通常 IoT 機器には何らかのセンサ類など付随しており，その場のデータを取得できる．これにより，工場で利用される機械の点検や農業において作物の生育に関わる情報の取得が行われ，様々な処理の効率化が行われている．このよう

1 京都大学・学術情報メディアセンター
Academic Center for Computing and Media Studies, Kyoto University
2 愛知大学地域政策学部
Faculty of Regional Policy, Aichi University
3 純真学園大学保健医療学部看護学科
Department of Nursing, Faculty of Health Sciences, Junshin Gakuen University

ⓒ2022 Information Processing Society of Japan

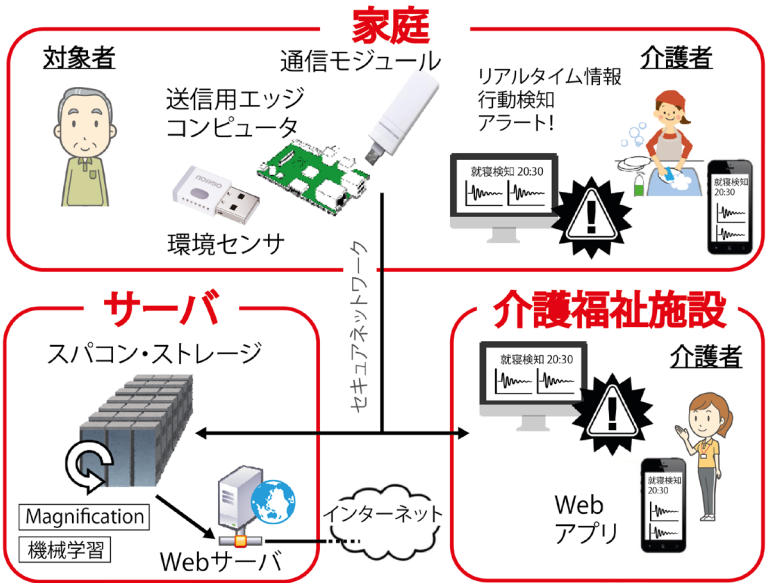

図 1　自律的遠隔見守りシステムの概要（在宅の場合）

Figure 1　Concept of remote autonomous watching system (in case of home care).

に大量のデータを取得し，それを解析することでこれまではできなかった処理が可能となってきている．このような中，カメラを IoT 機器と接続し，センサのような利用をする映像 IoT 技術による赤ちゃん見守りシステムが開発されている[5]．このシステムでは，単に赤ちゃんの画像を遠隔地で確認できるだけではなく，その画像を情報処理することで，呼吸をしているか，うつぶせ寝をしていないかを検知し，自動で通知を行うことで，見守りを行うことができる．

本研究では，この見守りシステムを参考に，IoT 機器が高齢者などの介護や見守りをより円滑に行うことに応用できると考え，IoT 機器に様々なその場の環境を測定できる環境センサを導入し，介護される人や見守られる人に起きるなんらかの異常の早期発見や事故防止に繋がるシステムの開発を行った．最終的には，このシステムにより地域医療現場の負担軽減を実現できることを目的としている．

2.　システム概要

本研究で開発した非接触センサと IoT を用いた自律的遠隔見守りシステムの概要を図 1 に載せる．この図では，在宅介護を想定している．まず，見守られる対象者の部屋（見守りを行いたい部屋）に環境センサと通信モジュールを装着した IoT 機器を設置する．IoT 機器はセンサ取得データの送信エッジコンピュータの役割となる．実際の機器は図 2 に示したもので，IoT 機器として Raspberry Pi 3 を利用しており，環境センサとしてオムロンの USB 型環境センサ（型式 2JCIE-BU）を利用している．ここで取得したデータは暗号化され，京都大学学術情報メディアセンターのスーパーコンピュータ（スパコン）のストレージに保存される．このスパコン上でデータを統計解析や機械学習を行い，そ

図 2　非接触センサと IoT 機器

Figure 2　Non-contact sensor and IoT.

の結果をスパコンストレージと接続されている Web サーバを介してご家庭や介護福祉施設へ通知する流れとなる．

利用しているスパコンは，サブシステム B（Laurel）と呼ばれる Xeon 搭載の汎用利用向けのシステムであり，近年利用の多い Python から C 言語などのコンパイル言語まで幅広く利用可能なため，データ処理に向いたシステムである[6]．このスパコンでは，後述するセンサデータ解析として，環境予測計算や行動認識処理を実行している．

Web サーバでは，センサデータとその処理結果を Web ページで表示し，現在の状態が分かるようになっている．また，予測された環境からの警報や行動認識結果を表示している．さらに，Web ページへ表示するだけではなく，LINE などのプッシュ通知を受け取ることができるサービスに異常状態の通知や測定情報のサマリを送ることができる．

このようなシステムにより，非接触で測定し，自律的に状況を認識し，遠隔地へ通知のできる見守りシステムとなっている．この「非接触」と「自律的」が本システムの利点である．見守りシステムとしては，様々な製品が既に存在するが，部屋の中の何かの機器を使った際に通知が届くものや，対象者の身につけることで体調を測定するものが

ⓒ2022 Information Processing Society of Japan

多い．日々使うものによる安否確認は対象者に負荷がなく便利だが，それを使うときにしか安全確認ができない．機器が使われないことによる異常検知も，個人差はあるが非常に遅くなる危険がある．また，身につける接触型は精度の高いデータが取得でき，理想的は見守りに大きな力を発揮するが，対象者の負荷が大きく，一度外すと装着してくれないなど現実の運用では大きな問題となっている．

本システムは，非接触センサを利用するため，対象者本人の体調測定することはできないが，センサデータから自律的に行動認識することで，日々の行動の変化などを認識でき，いつもと異なる行動があれば，リアルタイムに検知することが可能である．更に，対象者はこのシステムのために何かをする必要も無くいつもと変わらない生活をしていれば，システムが自動で見守りを行うことができる．また，センサの設置してある環境や人に合った環境予測や行動認識を行うため，テーラーメイド型の見守りが可能となる．

カメラにより見守る製品も増えてきているが，対象者にとっては監視されているように感じたり，プライバシーを侵害されると感じたりすることが非常に多い．本研究のシステムでは，センサであるため，居住空間の環境データが取得されるだけであり（図 3 のようなデータ），カメラでの撮像と比べるとプライバシー侵害は極めて限定的であるといえる．

3. センサデータ解析

本研究で開発されるシステムでは，IoT 機器と接続した環境センサ（気温，湿度，明るさ，騒音，大気圧，TVOC（総揮発性有機化合物），TVOC から計算される換算 CO_2）が取得したデータを数値解析・機械学習することで，それらのデータが今後どのような値を取るかの予測，また，その環境に居る人がどのような行動を取っているかを認識することができる．これまでに介護福祉施設（3 施設）や対象者のご家庭（1 家庭）に機器を設置し，データを取得し，データを解析することで，本システムの開発を行った．システムの運用実験や精度の向上のために現在もご協力いただいている施設，ご家庭での機器運用を継続しており，実証実験を行っている．

本システムにおいて利用している IoT 機器は特定の機種ではなく，通信と簡易的なプログラムが動作するものであれば，どのような機種でも利用可能である．同様に環境センサも同じ種類のデータが取得可能であれば，どのようなセンサでも良い．また，取得できるデータの種類が少ない場合でも，最低限取得可能なデータの種類に対して本技術は適用可能である．このように，固有のハードウェアで動作する技術ではなく，一定の条件を満たせば，どこでも利用可能な技術となっている．

このように本システムの核は，単にデータを取得するのでは無く，そのデータに数値解析，情報技術を応用することで新たな価値を創造する点にある．

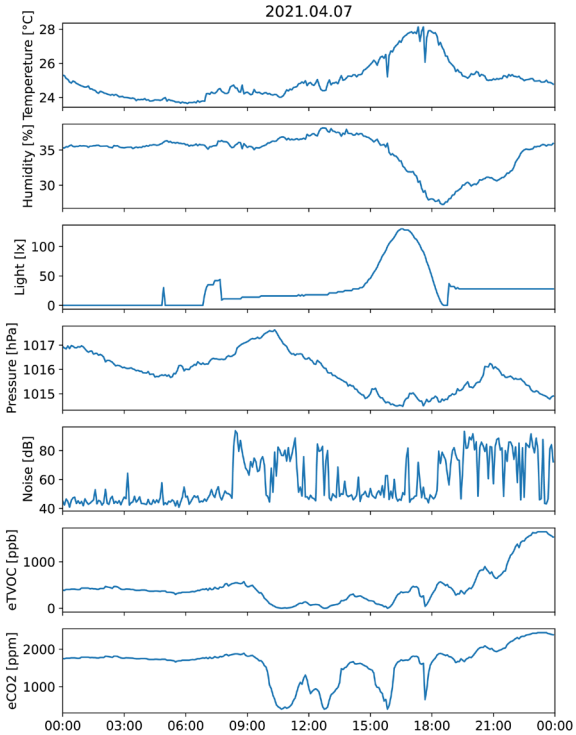

図 3　環境センサによる測定結果例

Figure 3　Example of measurements with environment sensor.

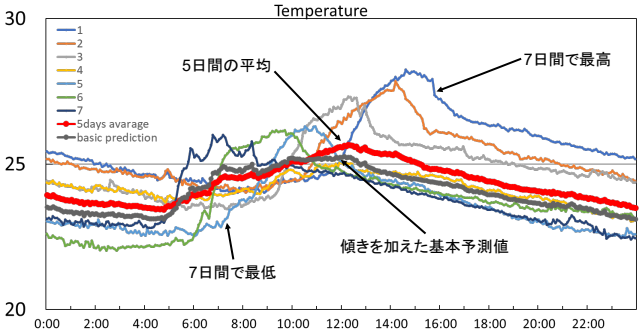

図 4　7 日間データを利用した基本予測値例

Figure 4　Basic prediction value with 7-days data.

3.1 予測手法の開発

本システムの予測に関しては，最高気温・最低気温がどうなるのか，また，気温がどのように変化するのかを予測することができる．見守りにおいて室温は，熱中症のリスクや低体温症のリスクを削減するために重要なデータである．一般的な見守りでは，気温を測定することのみがほとんどであり，実際に高温になった際に初めて熱中症注意が通知されることが多い．一方，本システムでは，0 時，6 時，12 時，15 時において，当日の最低気温と最高気温を予測し，前もって危険な時間を通知可能である．これにより，対象者自身に何らかの対応を事前に指示することや，家族

表 1　最高気温予測結果と実測との差分

Table 1　Maximum temperature difference of prediction and real.

	0 時	6 時	9 時	12 時	15 時
ずれの平均値	-0.293	-2.466	-1.171	-0.165	-0.168
＋の最大ずれ	2.184	0.102	0.000	0.076	0.008
ーの最大ずれ	-1.246	-3.328	-1.654	-0.518	-0.468

や介護福祉施設などの見守る側が何らかの対応を早めに取ることが可能となる．

最高・最低気温予測は，簡単な過去データを利用した計算モデルにより予測される方法を取っている．計算モデルは下記のようになる．

1. 予測当日の 0 時に過去 7 日間のデータから，1 日の平均気温が 7 日間で最高と最低の日のデータを除外し，5 日間データで評価する．
2. 各時間における 5 日間平均気温をとり，それを基本予測値とする．そこに各測定時間における 5 日間の気温の傾きの平均を基本予測値に足すことで，0 時における予測当日 24 時間分の予測値とする．
3. 予測当日の 6 時，12 時，15 時では，その時間までの当日の測定気温と予測値のずれを計算して，そのずれを予測値に足すことで補正を行い，各時間の予測値とする．

上記の 1 と 2 の流れを実際行った例が図 4 となる．気温はある日に急に暑く，または寒くなることもあるため，最高と最低平均気温日を除外している．一方で，気温は緩やかに暖かくなる/寒くなるを繰り返す季節性があるため，5 日間で気温の傾きをとり，その傾向を予測値に反映している．

表 1 に予測精度の一例として，ある 1 週間における最高気温の予測値と測定値の差分を示す．0 時時点では大きく予測がずれることもあるが，6 時時点の当日測定値による補正により，その差は大きく減り，最高気温の予測精度が良くなっている．

最高・最低気温を予測するモデルは，気温がどのように変化するかには注目していなかった．そこで，機械学習の手法である RNN（再帰型ニューラルネットワーク）を利用して，気温の変化を予測する．7 日間分の気温データを利用し，RNN で予測を行ったところ，図 5 の結果を得た．全体的な変化は予測ができており，予測値である青色の線が，測定値であるオレンジ色の線をよく追随している．最高・最低気温を示すピークでは，急激に傾きの正負が変わるために今回利用したシンプルな RNN では予測ができていない．ただし，ピークの値自体は，前述の最高・最低気温予測により予測されるため，気温の変動を見る程度であれば，十分に利用可能な結果となっていると考えられる．

3.2　認識手法の開発

測定された明るさや騒音からは，ある程度決まった行動

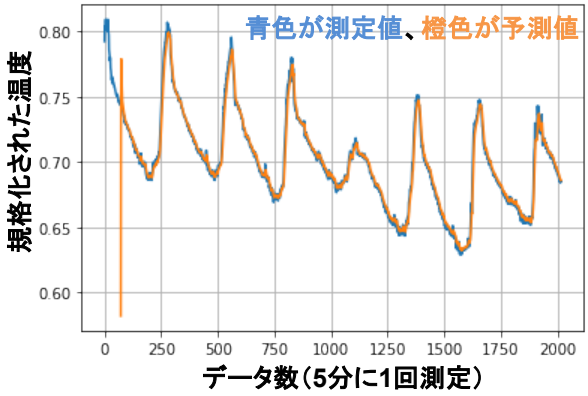

図 5　RNN による気温予測結果例

Figure 5　Example of temperature prediction with RNN.

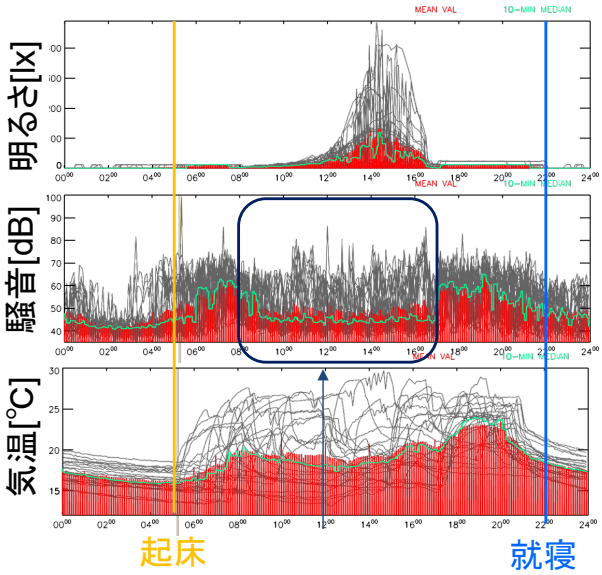

図 6　1 か月間のセンサデータによる行動認識

Figure 6　Behavior recognition from measurement for one month.

である起床，就寝が認識できる．図 5 に 1 か月間のある介護福祉施設で測定された明るさ，騒音，気温データを示す．このデータを見ると，朝晩における明るさの増減，騒音レベルの変化から起床就寝時間が分かる．また，昼間の特徴的な騒音レベルの低下からこの時間に部屋に居ないことが想像される．介護福祉施設の協力により，これらの行動は正しいことが確認され，センサデータからの行動認識が可能であると実証されている．

起床，就寝，外出が認識できると，この行動がいつもと異なるという認識ができ，体調の変化を示唆することに繋がると考えている．また，TVOC から計算される換算 CO_2 量から，活動時間や活動度が認識できることも分かっている．これらにより日々の見逃される変化をくみ取ることが可能になり，見守りの精度向上に繋がると考えている．

自律的システム開発として，この行動認識を自動化する

ⓒ2022 Information Processing Society of Japan

必要がある．上記のように図を見て判断できるということは，数値的に判断可能となる．ここで，自然現象の観測結果の解析手法を適用して，次のような行動認識判断条件を定義した．

まず，現在から 6 データ前までのデータ期間 t_1 とし，6 データ前から 12 データ前までのデータ期間 t_2 とする．

- 起床

  t_1 の平均明るさと標準偏差を足したものを L^+_1，t_2 の平均明るさと標準偏差を足したものを L^+_2 とし，同様に同期間の騒音の平均と標準偏差を加えたものを N^+_1 と N^+_2 とするとき，

  $L^+_1 < L^+_2 \ \wedge \ N^+_1 < N^+_2$

  が 6 データ連続で満たすとき，起床と判断する．

- 就寝

  t_1 の平均騒音から標準偏差を引いたものを N^-_1, t_2 の平均騒音から標準偏差を引いたものを N^-_2 とするとき，

  $L^+_1 > L^+_2 \ \wedge \ N^-_1 > N^-_2$

  が 6 データ連続で満たされるときを判断条件とする．

- 外出

  t_1 の平均騒音を N_1，t_2 の平均騒音を N_2 とするとき，

  $N_1 > N_2$

  が 12 データの期間満たされるとき，外出と判断する．

これらの条件を利用し，ある対象者の 20 日間の行動認識を行うと，この自動判定により表 2 のような結果となった．起床と外出の認識は 80%以上の高い判定成功率であり，就寝の判定成功率はそれらの半分程度であった．外出の誤判定については，すべて在室中にもかかわらず外出と誤って判定した場合であり，実際の外出を認識できない例は無かった．なお，一日中在室していた日は，外出判定を出さなかった場合を判定成功としている．

表 2　行動認識の成功率

Table 2　Success rate of behavior recognition.

行動	成功率 [%]	内訳
起床	90	18 例成功/20 例
就寝	45	9 例成功/20 例
外出	80	16 例成功/20 例

実際の認識例を図 7 に示す．2021 年 3 月 22 日では，認識が成功し，2021 年 4 月 1 日のデータでは，起床のみが成功し，外出と就寝が失敗している．2021 年 4 月 5 日では就寝のみ失敗している．

今回の結果では，他の認識に比べ就寝の成功率が明らかに低くなっている．失敗したデータを詳しく見ると，就寝判断を 24 時のデータまでを利用して行っており，日跨ぎで就寝判断ができていないために起きていた．日跨ぎデータでも上記判断条件を適用出来るようにすると，5 件の成功例が増えて成功率は 70%（14 成功例/20 例）となった．しかし，まだ就寝認識は他に比べて成功率が低い．これは，対象者以外の行動や，何らかの外的要因により就寝時にデータが乱れることで，6 データ連続で条件を満たさない場合や，変化が条件に当てはまらないなどが原因であった．この問題を解決するには，対象者の居る環境や対象者の行動をある程度学ぶ必要があり，それを判定条件に反映することで成功率が上昇すると考えられる．

4. まとめ

本研究では，環境センサと IoT 機器を利用して自律的遠隔見守りシステムの研究開発を行った．環境センサによりその場の環境情報を非接触に測定し，IoT 機器を通じてス

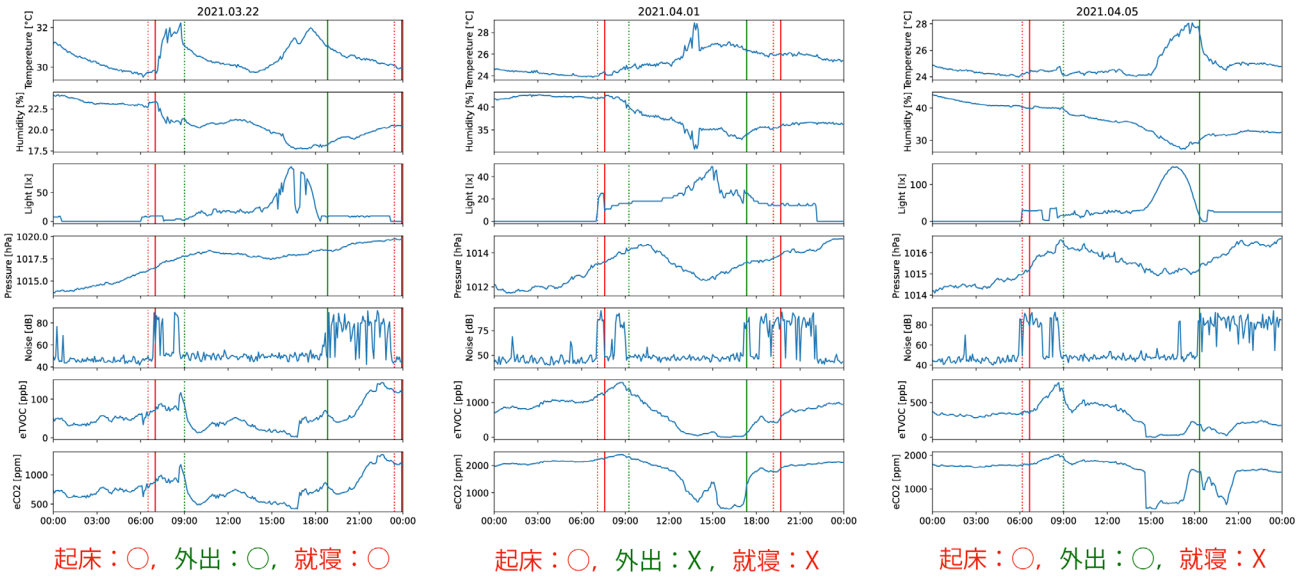

図 7　自動行動認識の結果

Figure 7　Results of automatic behavior recognition.

パコンにデータを転送し解析することで，単に現況を知らせる見守りではなく，最高・最低気温予測や気温の変化の振る舞いを予測し，更に日常の行動を自動で認識することで自律的な見守りを実現できる．

今回のシステムでは，予測に関しては，実用に耐えられる程度の精度を実現することができているが，行動認識ではいくつか失敗例があり，特に就寝認識の成功率が低くなっている．行動の認識は，個人差が大きく単純なモデルでは認識が難しいため，例えば測定結果を学習することで，認識の条件に補正を加えることや，環境予測を認識に応用し，予測通りの変化かどうかなどを比較するなど新たな判断基準を追加するなど，テーラーメイド型だからこそ可能な改良を加えることが必要と考えられる．

現在，本システムは介護福祉施設や対象者のご家庭に設置され，予測・認識の実用性の向上や，見守る人にとって本当に手助けとなる情報を提供できるように実証実験を行っている．施設からは機器自体に対する要望など現場の声をいただいており，現場と co-design して，本当に使ってもらえるシステムを作り上げることが重要である．

謝辞　本研究は JSPS 科研費 JP20K21739 の助成を受けている．本研究の一部は京都大学学術情報メディアセンターのスーパーコンピュータを利用して実施した．機器の設置とデータ取得に，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 ひかりにご協力いただいた．

参考文献

[1] 平成 29 年版高齢社会白書．内閣府．https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/index-w.html.
[2] 日本の世帯数の将来推計（都道府県別推計）2019（平成 31）年推計．国立社会保障･人口問題研究所人口構造研究部．https://www.ipss.go.jp/pp-pjsetai/j/hpjp2019/gaiyo/gaiyo.pdf.
[3] 平成 29 年介護サービス施設・事業所調査の概況，厚生労働省. http://jipsti.jst.go.jp/sist/pdf/SIST02-2007.pdf, (参照 2018-12-02).
[4] 佐伯あゆみ，大坪靖直．認知症高齢者を在宅で介護する家族の家族機能と主介護者の介護負担感に関する研究．家族看護学研究，2008，vol. 13, p. 132-142.
[5] 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．研究報告情報システムと社会環境，2020，vol.2020-IS-151 no.3，p.1-6.
[6] 京都大学学術情報メディアセンタースーパーコンピュータシステム．http://www.iimc.kyoto-u.ac.jp/ja/services/comp/supercomputer/.

ⓒ2022 Information Processing Society of Japan