

IoTとSociety 5.0への期待

奈良先端科学技術大学院大学 先端科学技術研究科 情報科学領域 教授 やすもと けいいち 安本 慶一さん

2021年3月に閣議決定された第6期科学技術・イノベーション基本計画には、第5期計画で掲げられたSociety 5.0, すなわち、「サイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムにより、経済発展と社会的課題の解決を両立する人間中心の社会」を具体的に実現していくことが盛り込まれた。Society 5.0を実現するためには、IoT (Internet of Things) やセンサの技術を使ってフィジカル空間の情報をサイバー空間に取り込み、AIによりデータを高速に分析し、分析結果として得られた知見を現実世界にフィードバックするサイバーフィジカルシステム (CPS: Cyber-Physical System) をあらゆる場所に浸透させなければならない。そのために、家、仕事場・学校、街、自然環境など、世界中のあらゆる場所でデジタルデータを収集できるようにするIoTの役割は大きい [1]。なお、世界中のIoTデバイス数は2020年時点で253億台に達しているが、2023年には340億台と急激に増加 (特に、医療、産業、コンシューマ、自動車・宇宙航空用途において) すると予想されている [2]。

現在、IoT化された家、すなわち、スマートホームに関する研究が世界中で実施されている。私の研究室では、スマート家電や各種センサを設置したスマートホームを学内に設置し、居住者の行動に伴い生成されるセンサデータ (人感センサやドアの反応、家電の消費電力や環境センサデータの変化など) を機械学習で分析することにより、居住者がどのような生活行動を行っているのかをリアルタイムに推定するシステムを開発している。また、一般住宅に後付可能なスマートホーム化キットSALON [3] を開発している。SALONは、屋内光で発電し動作する人感センサとドアセンサ、ボタン電池で長期間動作する環境センサ、センサデータ収集用ゲートウェイ、ラベリングツールから構成されている。本システムを一般の高齢者宅に設置し生活行動データを取得した結果、70%弱の精度で生活行動を推定可能であることが分かった。研究用途のスマートホームは国内外でさかんに開発されている。例えば、横浜市、ドコモ、and factoryにより創設された「未来の家プロジェクト」では、実証実験用にトレーラーハウス型IoTスマートホームが開発されており、居住者の行動推定に加え、体重や睡眠時間、摂取カロリーなどの健康関連情報も取得可能にするIoTデバイスを設置している。他方、住宅メーカーはHEMS (Home

Energy Management System)*¹を搭載しエネルギーの効率的な利用に注力した「スマートハウス」を販売しているが、行動認識機能を備えるものは未だ開発されていない。今後の行動認識精度の向上による実用化・市販住宅への搭載が切望される。

ただし、行動認識結果のフィードバック方法については、さらなる研究の進展が必要である。将来的には、行動を認識・予測するだけでなく、居住者の健康やQoL (Quality of Life) を把握・予測し、QoLを改善するための行動を誘導する技術が求められる。一例として、IoT化した箸を使って食行動をセンシングし、食べる間隔の速さ、選んだ食材によって、ピースに分かれた絵に色が塗られる仕組み (ゆっくりとバランスよく食べるほど、色が重ならず鮮明な絵になる) を通して、より健康的な食行動を誘発するシステムeat2pic [3] が開発されている。今後あらゆる場面で人の行動変容を促す情報技術が求められると考えている。

スマートシティは「IoT化された街」ととらえることができる。ただし、街の至る所にIoTデバイスを設置するのは、導入・運用コストなどさまざまな理由から難しい。そこで、誰もが所持するスマートフォンを活用し、人を移動型IoTデバイスとみなす「ユーザ参加型センシング」が活用されている。参加型センシングでは、一般ユーザに貢献してもらうことが重要であり、インセンティブの提供が必須である。文献 [4] では、航空会社のフリークエント・フライヤーズ・プログラム (マイルージサービスなど) にヒントを得て、センシングタスクをこなして一定以上のポイントを貯めることで上級ステータスに達したユーザが、同じセンシングタスクでもより高いポイント (ボーナスマイル) を取得できる仕組みを設定することで、上級ユーザになろうとするインセンティブを与え、センシングタスク受諾率を向上させている。

参加型センシングにおけるユーザの役割は、システムより依頼されたタスクに対し、データ (あるスポットの写真や、状況を説明するテキストなど) をアップロードすることである。さらに、センシングタスクを自動化することで、ユーザの負担を軽減することができる。桜センサ [5] は、スマートフォンを自動車のダッシュボードに設置し、運転中の前景をドライブレコーダと同様にビデオ録画する。並行して、フラクタル解析や色ヒストグラム解析といっ



Profile

1991年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。1995年同大学大学院基礎工学研究科博士後期課程退学。博士（工学）。滋賀大学経済学部助手、講師、助教授を経て、2001年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授。2011年より同研究科教授。1997年モントリオール大、2004年イリノイ大客員研究員。IoT、ユビキタスコンピューティング、分散システムなどの研究に従事。情報処理学会理事・関西支部長を歴任。同学会山下記念研究賞、論文賞など受賞。

た簡易な画像解析をビデオフレームに実時間適用することで、開花している桜およびその開花度合いを検出し、位置情報とともにサーバにアップロードする。これにより、桜のリアルタイム開花情報が自動的に収集される。同様の方法で、ドライブレコーダ映像から道路上の違法駐車車両をリアルタイムに検出・記録する研究も実施されている。

スマートシティでは、各スポットや交通機関における混雑度をリアルタイムに把握できることは必須の機能である。しかしながら、カメラやLiDAR (Light Detection And Ranging)^{*2}などを使った混雑度計測システムを街全体に導入するのはコスト的にも、プライバシー的にも難しい。そこで、電波を用いて低コストに混雑度をセンシングする技術が注目を集めている。私の研究室では、Wi-Fi CSI (Channel State Information)^{*3}を用いた群衆センシングや、乗客のスマートフォンが発するBLE (Bluetooth Low Energy) 信号^{*4}を使ったバス車内混雑度センシングなどを開発している。奈良交通株式会社の協力の下、複数バス路線に適用し、2,46人の平均絶対誤差^{*5}でバス車内の人数カウントができるという結果が得られた。

ここまで、街全域のさまざまな情報を収集する方法について述べたが、これらの情報を人々にフィードバックし、行動変容を促す技術が必要である。ISO-Tour [3] は、観光スポットの訪問時間帯別の満足度（混雑や景観の時間変化により満足度は変化）の情報を使って、より適時に観光スポットを訪問できるように観光客を誘導する。一方で、センシング参加者から収集した動画や写真は膨大なデータとなるため、必要な情報のみを必要なユーザに効率良く届けるには、データを分析し、分かりやすい情報にまとめる「キュレーション」が必須となる。私の研究室では、複数の観光スポットを順に観光する際の移動経路のビデオと、観光スポットでの景観のスライドショーを含む1分程度の短編ビデオを自動生成する手法を開発している。さらに、移動中のビデオにおいて、単調なシーンを高速に再生し変化のあるシーンを低速に再生することで、ビデオ全体を短縮しても移動経路中の雰囲気が失われないような工夫がなされている。この手法を応用し、観光用レンタカーのドライブレコーダが記録した走行中ビデオから、観光的に特徴のあるシーンを特定・抽出し、旅の思い出を短編ビデオに自動的にまとめるdash-cam

[3] を開発している。

以上、IoT技術のさまざまな応用について述べた。Society 5.0の実現には、IoTデバイスのさらなる浸透と、より高度なAI技術・フィードバック技術の開発が待たれる。高度化したIoTデバイスが浸透し、新しいサービスを生むためには、第5世代移動通信システム（5G）やBeyond 5Gの高速・多数同時接続・低遅延の通信が必須である。今後のIoT・CPSの研究の発展とSociety 5.0の早期の実現を願っている。

文献

- [1] 安本 慶一, 荒川 豊, 松田 裕貴: "IoTの本," 電気書院, 2021.
- [2] 総務省: "令和3年版情報通信白書," 2021.
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/r03.html>
- [3] 奈良先端科学技術大学院大学ユビキタスコンピューティングシステム研究室 (NAIST-UBI): "Ubi Research Project Catalogue."
<http://research.ubi-lab.com/>
- [4] Y. Ueyama, M. Tamai, Y. Arakawa and K. Yasumoto: "Gamification-based incentive mechanism for participatory sensing," IEEE PerCom Workshops, 2014.
- [5] S. Morishita, S. Maenaka, D. Nagata, M. Tamai, K. Yasumoto, T. Fukukura and K. Sato: "SakuraSensor: quasi-realtime cherry-lined roads detection through participatory video sensing by cars," ACM UbiComp 2015, Sep. 2015.

*1 HEMS: 経済産業省によれば、「快適な室内環境」と、「年間で消費する住宅のエネルギー量が正味でおおむねゼロ以下」を同時に実現する住宅のことをいう。

*2 LiDAR: 近赤外光や可視光を使って対象物に光を照射し、その反射光を光センサでとらえ距離を測定するリモートセンシング方式。

*3 Wi-Fi CSI: 通信リンクのチャネル特性の1つであり、Wi-Fiの信号が送信機から受信機まで伝搬する際の、散乱・フェージング・信号強度の減衰などの複合的な効果を表す。

*4 BLE信号: 低電力消費・低コスト化の図られた近距離無線通信技術規格。

*5 平均絶対誤差: 各データに対して、推定値と正解値の差（誤差）の絶対値を計算し、その総和をデータの数で割った値。

本誌に掲載されている社名、製品およびソフトウェア、サービスなどの名称は、各社の商標または登録商標。