

# IoTに基づく潜在的社会的需要の推定と 柔軟なサービス需給交換基盤

永田 吉輝<sup>1,a)</sup> 村井 大地<sup>1</sup> 片山 晋<sup>1</sup> 浦野 健太<sup>1</sup> 青木 俊介<sup>2,3</sup> 米澤 拓郎<sup>1</sup> 河口 信夫<sup>3,1</sup>

**概要:** 時々刻々と変化する地域や都市の状況は、実世界センシング手法やビッグデータ解析・機械学習などの分析手法により、技術的には情報空間内で把握可能となってきた。一方で、その地域の人々が何を本当に必要としているかという潜在的な需要の最適な推定・提示を行うのは、現状困難である。本稿は、このような社会に埋もれた多種多様な需要の把握とその解決を、IoT や AI 技術を用いた新たなサービス需給交換基盤の構築による達成を目指す。まず、多種多様な需要を計算機で処理可能とするための需要の形式化を行う。また、微細な実世界の環境変化を捉えるため、IoT センサに加えて Web, SNS などの情報空間の情報を取り入れ、実空間・情報空間の両空間の情報センシングを行い、先に挙げた形式化された潜在的な需要を抽出するためのシステムを構築する。さらに、潜在的な需要を満たすようなサービス供給を提案する柔軟なサービス需給交換基盤を構築する。本稿では、提案した社会的需要の抽出システムとサービス需給交換基盤を構築し、東山動植物園に展開し実証実験を行い、提案手法の検証を行った。構築したシステムにより2週間に渡って実証実験を行った結果、本稿の手法が実際の施設運用に有効利用できる可能性が示された。

## Estimation of Potential Social Demands Based on IoT and a Flexible Exchange Infrastructure Between Demands and Service Supply

YOSHITERU NAGATA<sup>1,a)</sup> DAICHI MURAI<sup>1</sup> SHIN KATAYAMA<sup>1</sup> KENTA URANO<sup>1</sup>  
SHUNSUKE AOKI<sup>2,3</sup> TAKURO YONEZAWA<sup>1</sup> NOBUO KAWAGUCHI<sup>3,1</sup>

### 1. はじめに

現在の日本は、超少子高齢化による移動・健康医療・働き手不足問題、高度成長期に整備されたインフラの老朽化問題、訪日外国人の増加によるオーバーツーリズム問題など、多方面の深刻な社会課題に直面している。これらの社会変化に伴う需要を満たすためには、限られた人的・物的・計算リソースを効率よく動的に配置する必要があり、理想的には複数の問題を同時に解決するような効果的な配置戦略が求められる。そのためには、本質的な社会的需要の特定と、その需要を満たすための適切なサービス提供が重要となる。

あらゆる人の多様な需要に対応可能な超スマート社会を実現するためには、都市の状況・課題を詳細にセンシングするためのIoT技術や、得られたビッグデータの分析技術の高度化が求められる。これまでの研究開発により、地域に張り巡らされたIoTセンシング網を介した地域状況把握はある程度可能となり、またクラウドセンシング/参加型センシング技術により住民の五感を通じた状況把握や、意見の集約が可能となってきた [1], [2], [3]。一方、サービス提供者に必要な情報は、社会状況だけではなくその社会状況におけるユーザの需要であるが、現状、情報空間内で把握可能な情報は社会状況のみに留まっており、ユーザの需要はサービス開発・提供者の経験と洞察に頼って定義されている。例えば、イベント会場での急な豪雨などで長いタクシー行列が生じている場合、個々の「駅まで行きたい」という需要が突然大量に発生しているといえる。この需要を1人ずつタクシーで満たすのは大変効率が悪く、現在の事業者別のタクシー呼び出しの仕組みでは、需要や供給

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院 工学研究科  
Graduate School of Engineering, Nagoya University

<sup>2</sup> 国立情報学研究所 National Institute of Informatics

<sup>3</sup> 名古屋大学 未来社会創造機構  
Institutes of Innovation for Future Society, Nagoya University

a) teru@ucl.nuee.nagoya-u.ac.jp



ビーコンが発するパケットを、ユーザーの Bluetooth 端末で収集するか、ビーコンと端末を逆に設置・配布して位置推定を行う手法が提案されている [14], [15]. 本稿では、センシング対象者への負担やプライバシーへの懸念を少なくするという観点から、Wi-Fi パケットセンサを用いた手法で人流データの取得を行った。

また、都市環境の状況をセンシングも、その状況下の人が何を必要としているかの把握に重要である。Chen らの研究 [16] では、ゴミ収集車は一般的に定期的に街を細かく巡回するので、環境センサをゴミ収集車に搭載すると、その都市の状況を詳細かつ効率的に収集できると示されている。

## 2.2 都市プラットフォーム

都市プラットフォームと呼ばれるものの代表例としては、表 1 に示した 3 種類が挙げられる。まず、EU の FI-PPP プログラムで開発された FIWARE [17] は、様々な分野の公共データを横断的に活用するために開発されたプラットフォームである。FIWARE には NGSI でデータをやり取りする約 40 のモジュールが存在し、これらを自由に組み合わせ利用可能である。既にヨーロッパの各国で導入が進んでおり、日本でも会津若松市や高松市で FIWARE を活用したプラットフォームが導入されている [18]. 一方で、米澤らの研究 [19] では、XMPP に基づく都市センサ情報の流通基盤として SOXFire が開発されており、神奈川県湘南地域で数々の社会実装実験が行われている。また、河口らの研究 [4] では、需給交換を主眼に置いた Synerex というプラットフォームが開発されており、愛知県幸田町における実証実験においてその有効性を確認している。さらに、人流推定やロボットとの連携など、様々な情報交換の基盤としても活用されている [20], [21].

## 3. 提案手法

本稿は、潜在的需要の把握とその解決を IoT や AI 技術で行うため、以下の手法を提案する。まず、多種多様な需要を計算機で処理可能とするため、6W1H をはじめとする内容を記述可能な形式で需要の形式化を行う。また、微細な実世界の環境変化を捉えるため、IoT センサに加えて Web, SNS などの情報空間の情報を取り入れ、実空間・情報空間の両空間の情報センシングを行う。さらに、センシングした情報から未来の需要を予測し、先に挙げた形式化された潜在的需要を抽出するためのシステムを構築する。最後に、従来は行われてこなかった、潜在的需要を満たすようなサービス供給を提案する、柔軟なサービス需給交換基盤を構築する。

### 3.1 需要の形式化

本稿では、多種多様な需要を統一的に表現し計算機で柔

軟に処理可能とするため、需要の形式化を行う。需要の形式化を行うことで、情報空間内で需給交換が行いやすくなる上に、

- 需要をあるドメインに紐づける「分類」操作がしやすくなる
- 多くの人が同じ需要を持つ場合に、それらの需要を「集約」して解決するようなサービス供給を提供できる
- ある人の需要を満たすため、複数のサービス提供者がその需要を「分割」して満たせる

といったメリットが考えられる。

まず、多種多様な需要を整理しサービス提供者と結び付けやすくするため、表 2 に示すように需要を複数のドメインに分類した。今後の提案システムの国際展開を考慮し、国際標準産業分類 [22] による 21 の産業分類を基に、需要を 9 つのドメインに分類した。

次に、需要を記述する形式について説明する。需要は「When:いつ」「Where:どこで」「Who:誰が」「What:何を」「Whom:誰に」「How:どのように」求めているかという 5W1H の情報で表現できると考えられる。また、この需要が「Why:なぜ」発生したかという情報が含まれていると、よりサービス供給者の参考となる。さらに、各需要にはそれぞれ様々な粒度（例：個人か集団か、地域レベルか県レベルかなど）が存在するため、その粒度も含めるべきだと考えられる。よって、これら 6W1H と粒度、及びドメインの情報が記述可能な形式で需要の形式化を行う。

データの形式化の手法は様々な存在するが、本稿では多くのプログラミング言語で標準ライブラリとしてエンコード・デコード機能が提供されている、JSON-LD 形式を用いて形式化を行う。JSON-LD 形式により形式化した需要の例を、図 2 に示す。図 2 のうち、‘name’及び‘description’が「What」、‘date’が「When」、‘location’が「Where」および粒度、‘demandFrom’が「Who」、‘evidence’が「Why」、‘domain’がドメインを表している。

### 3.2 情報センシング及び需要推定

潜在的なサービス需要を推定するためには、微細な実世界の環境変化を捉えることが重要となる。このため、効率よく低コストに実世界をセンシングが可能な手法を構築する。実空間の情報は、IoT センサを実空間に配置し直接的にセンシングを行うことで取得可能であるが、これは多くの導入・運用コストを要する。よって、IoT センサに加え、Web やソーシャルネットワークサービス (SNS) など情報空間の情報も取り入れ、実空間・情報空間の両空間における情報センシングを行う。また、得られたセンシングデータを元に、潜在的な社会需要の推定（例えば、気温が高くなってきた場合に、冷たい飲み物や涼しい場所の需要が高まるなど）を行い、前項で述べた形式に需要を形式化して出力する。潜在的な需要を推定する方法には、センサの値が一定

表 1 都市プラットフォームの比較

	FIWARE	SOXFire	Synerex
基本となる API	REST	Publish/Subscribe	Pub/Sub + Service Discovery
主な目的	異分野公共データの横断的活用	都市センサ情報の流通	サービス需給交換
複数サービスの連携	不可能	可能	可能
需要を分解し複数サービスにより供給	不可能	不可能	可能
サービス追加時のシステム全体の変更	必要	不要	不要

表 2 潜在的需要のドメイン

No.	ドメイン
D1.	Electricity, gas, water, steam and air conditioning supply
D2.	Waste management and remediation activities
D3.	Wholesale and retail trade
D4.	Transportation and storage
D5.	Accommodation and food service activities
D6.	Information and communication
D7.	Public administration and defence; compulsory social security
D8.	Human health and social work activities
D9.	Arts, entertainment and recreation

```

1 {
2   "@context": "https://schema.org",
3   "@type": "LatentDemand",
4   "name": "need weather info",
5   "date": "2021-05-01T12:34:56.000Z",
6   "location": {
7     "@type": "Place",
8     "latitude": "35.159090",
9     "longitude": "136.973958",
10    "name": "Seimon",
11    "address": {
12      "@type": "PostalAddress",
13      "addressLocality": "Chikusa, Nagoya",
14      "addressRegion": "Aichi",
15      "streetAddress": "3-70 Higashiyama
16      Motomachi"
17    },
18    "domain": {
19      "@type": "LatentDemandDomain",
20      "domainID": "6",
21    },
22    "description": "weather information is needed",
23    "demandFrom": "visitor",
24    "evidence": "unstable weather of today"
25  }

```

図 2 JSON-LD 形式により形式化した需要の例

以上・以下になったらある需要が発生したとするといったルールベースでの方法や、AI を用いてウェブや SNS などの情報から需要を推定するなど、様々な方法が考えられる。本稿では、以下に述べる潜在需要供給交換手法に焦点をおき、潜在需要抽出手法としては単純なルールベースでの手法を採用する。

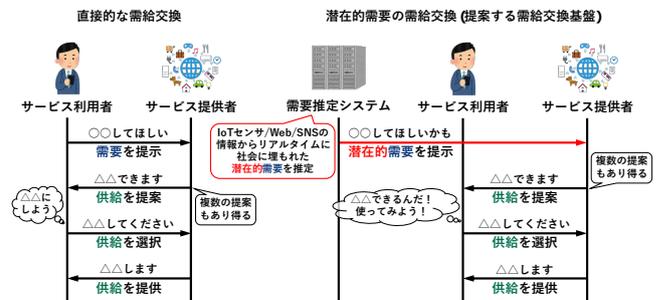


図 3 需給交換の仕組み

### 3.3 潜在的需要を満たす供給を提案する需給交換基盤

前項で得られた潜在的需要を満たすには、サービス供給者と需給交換を行い、利用者がサービス供給を受けられるようにする基盤が必要である。しかし、直接的な需給交換では、図 3 の左側のように、サービス利用者が需要の発信元となる。一方で、潜在的需要はサービス利用者自身が気づいていない需要なので、需要の発信元はサービス利用者になり得ず、新しい形の需給交換基盤が必要となる。そこで、本稿では図 3 の右側のような仕組みの需給交換基盤を提案する。

提案する需給交換基盤には、潜在的需要を抽出するシステム (需要推定システム)、サービス利用者を使用する Web サイトやスマートフォンアプリ、サービス供給者のシステムが接続し、Pub/Sub 形式で通信を行う。まず、需要推定システムにより需要が発生したと推定されると、需要推定システムが形式化した需要を需給交換基盤に提示 (Publish) する。次に、送信された需要を Subscribe しているサービス供給者のシステム群が受け取り、各サービス供給者がサービス供給可能かを判断する。サービス供給が可能と判断したサービス供給者のシステムは、利用者に対しサービ

ス供給を提案 (Publish) する。サービス利用者は、Web サイトやスマートフォンアプリなどを介してサービス供給を Subscribe しており、提案されたサービス供給から自分が必要だと感じたサービスを選択できる (Subscribe)。もしサービス利用者がここであるサービス選択した場合、選択されたサービス供給者のシステムと1対1でより詳細な情報 (例えば、正確な利用者の位置情報など) をやり取りできる通信経路を構築する。

ここで、柔軟な需給交換基盤とするため、需要推定システムや、サービス利用者が使用する Web サイトやスマートフォンアプリ、サービス供給者のシステムは、いつでも交換基盤に追加・削除が可能な形とする。このような形にすると、将来新たなサービス供給プロバイダができた場合も、需給交換基盤全体を停止せずにプロバイダを追加可能となる。

## 4. 実装

本稿では、提案手法に基づく社会需要の抽出システムとサービス需給交換基盤を東山動植物園に実装・展開し、実証実験を行った。

### 4.1 実験の目的

本実験の目的は以下の通りである。

- IoT センサや Web などの情報から潜在的な需要を推定するシステムを構築・運用し、潜在的な需要推定の実現性を評価する
- 潜在的な需要を満たすための需給交換基盤を構築・運用し、サービス提供者と利用者間で需給交換できるかを評価する

### 4.2 実装システム

本実験で実装したシステムについて、まず概要を説明し、潜在的な需要の抽出と需給交換について詳細に説明する。

#### 4.2.1 システム概要

実装したシステム概要を図4に示す。まず、潜在的な需要の推定は、公園内の人流データや Web, SNS からの情報を基に行い、30分おきに需要の発生状況を更新し出力できるようにした。また、需給交換基盤は Synerex[4] を応用して構築し、潜在的な需要推定システムや、来園者及び公園職員が閲覧するサイネージ、サービス供給システムをそれぞれ Synerex のプロバイダとして実装した。なお、サイネージにはサービス供給システムからの供給コンテンツが表示されるため、来園者はサイネージを通じてサービス供給を受けることができる。

#### 4.2.2 潜在的な需要の抽出

本実験では、潜在的な需要を抽出するため、東山動植物園に設置した Wi-Fi パケットセンサを用いて、図5に示すようにある出入口からの入場者や退場者、および特定のエリ

アにおける滞在者数の推定を行った。まず、入場者数の推定は、複数ある入退園門において観測された Wi-Fi パケットを調べ、その日にはじめて観測された MAC アドレスの数を時間帯ごとに計測して、その時間帯の入場者数の推定を行った。また、退場者数の推定は、入退園門で観測された Wi-Fi パケットに含まれる MAC アドレスが、他の場所にあるパケットセンサにおいて一定時間観測されなかった場合に、その端末のユーザーが退場したと判定し、その人数を時間帯ごとに計測した。あと、各エリアにおける滞在者数は、一定時間にそのエリアで観測されたユニークな MAC アドレスの数で計測する。ただし、比較的新しいスマートフォンでは、Wi-Fi パケットに含まれる MAC アドレスが匿名化されている場合があり、これらのパケットは入退場者及び滞在者の推定に使用できない。よって、実際の入退場者や滞在者数との比較を事前に行い、平日と土日祝それぞれに対して拡大係数を定義しておき、推定時にはこの拡大係数を乗算して各人数の推定を行った。なお、本実証実験で設置した Wi-Fi パケットセンサの位置は、図6の通りである。

最後に、入場・退場・滞在者数のデータに加え、天気予報や駐車場の混雑状況などから得られた社会状況を分析し、表3に示す潜在的な需要の推定を行った。なお、表3の需要ドメインは表2と対応する。需要の推定は30分おきに実行し、過去30分に集めたデータを元に、現在発生していると思われる需要を推定した。また、推定した需要を図2に挙げた形式にして出力した。

#### 4.2.3 需給交換

本実験では、図4に示すように、需給交換基盤は Synerex[4] を用いて構築した。Synerex では、潜在的な需要推定システムや、来園者及び公園職員が閲覧するサイネージ、サービ



図4 Synerex を用いた需給交換基盤

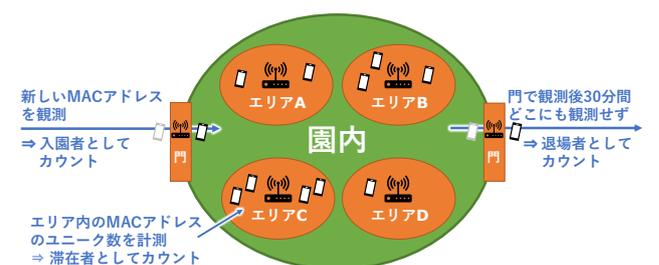


図5 入場・退場・滞在者数の推定

表 3 推定した潜在的需要とそれに対するサービス供給の一覧

No.	潜在的需要	需要ドメイン	サービス供給
00	駐車場の混雑を知りたい	D4	駐車場状況リアルタイムで提供
01	電車に乗って帰りたい	D4	公園から最寄りの駅までの所要時間と連携情報の提供
02	ご飯を食べたい	D5	お食事処の混雑状況を提供
03	公園周辺で食事がしたい	D5	周辺のレストラン情報(メニュー)を提供
04	何か飲みたい	D5	※
05	天気を知りたい	D6	動植物園の天気情報を提供
06	お土産がほしい	D3	お土産情報の一覧を提供
07	乗り物に乗りたい	D4	※
08	今日のおすすめの動物・植物を知りたい	D9	※
09	癒されたい	D8	※
10	映える写真を撮りたい	D9	公式 Twitter の情報を提供
11	疲れずに回りたい	D8	空いているエリアの案内を提供
12	リアルタイムな混雑状況を知りたい	D4	過去と比較した相対的な混雑状況を提供
13	人気のエリアを知りたい	D9	訪問数の多いエリアを提供

※…本実証実験では、サービス供給の実現が困難だったため、潜在的需要の推定のみを行った項目。



図 6 Wi-Fi パケットセンサの設置場所

供給システムを、それぞれ Synerex のプロバイダとして実装する。Synerex に接続する各プロバイダは、特定の Synerex チャンネルにメッセージを Publish したり、チャンネルを Subscribe して、データのやり取りを行う。よって、本実験では、潜在的需要をやり取りするチャンネルを作成し、潜在的需要やサービス供給提案を先に挙げたプロバイダ間で行えるようにした。また、各プロバイダは、いつでも追加したり削除したりできるため、需給交換基盤に必要な柔軟性を実現できる。さらに、Synerex の Mbus 通信機能を利用すると、サービス供給者とサービス利用者間の通信経路の確保が容易にできる。

また、図 7 のようなサイネージを公園内の 2 箇所(来場者向けと職員向け)に設置して、来園者と職員に今必要と推定される供給サービスを表示できるようにした。なお実験のために、両方のサイネージには、前項で示したサービス供給プロバイダと来園者向けサイネージ表示用プロバイダの間に確立された通信経路を用いて、サイネージ表示用プロバイダが自動的に選択した供給サービスが表示されるようにした。(つまり、来園者は供給サービス受けられる

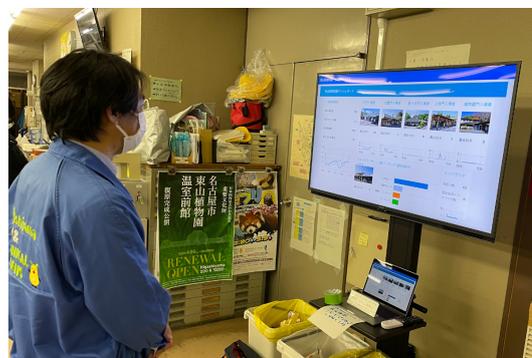


図 7 設置したサイネージ

し、公園職員はどのような供給サービスが必要と推定されているかを確認できる。)また図 8 に示すように、Wi-Fi パケットセンサのデータから推定した入場・退場・滞在者数の情報や SNS からの情報と交互に表示して、来園者への利便性を向上するとともに、推定した潜在的需要との比較ができるようにした。

## 5. 実験結果

構築したシステムにより、2 週間に渡って提案手法の実証実験を行った。以下に、実証実験中に推定した潜在的需要の統計と、公園職員へのアンケート結果を示す。

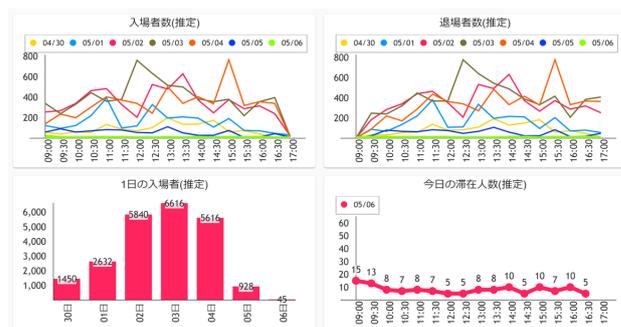
### 5.1 推定した潜在的需要の統計

表 4 に、本実験中に構築したシステムにより各需要が発生したと推定された回数の一覧を示す。なお、東山動植物園は月曜日が休園日であるため、全需要の発生回数は 0 回と判定されている。需要 No.05 を見ると、気象庁の過去の気象データ [23] において、概ね名古屋が雨や曇りだった日に、天気を知りたい需要が発生したと推定できていることがわかる。

また、図 9 に示すように、需要 No.00,01,06 に注目すると、



ダッシュボード



入場・退場・滞在者数



サービス供給画面



潜在的需要一覧

図 8 サイネージの表示内容

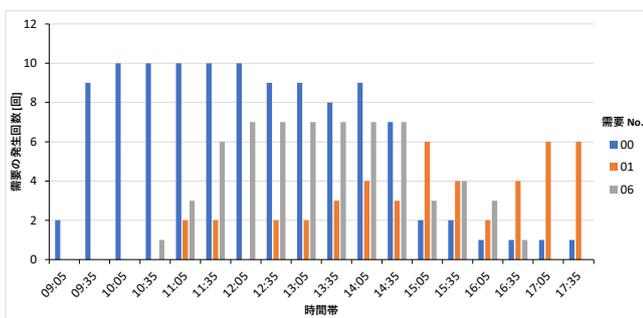


図 9 多く発生した需要の時間帯分布

- 午前中～昼過ぎに駐車場の混雑状況に対する需要
- 昼頃～夕方にかけてお土産の情報に対する需要
- 閉園時間が近づくにつれ電車の時刻情報に対する需要がそれぞれ高まっていると推定されたことがわかる。

### 5.2 公園職員へのアンケート結果

本実験では、展開したシステムの設置効果を評価するため、東山動物園の職員にアンケート調査を行った。アンケートでは、Wi-Fi パケットセンサによる人流推定の精度や、需給交換基盤の必要性や将来的な展開について調査を行った。

まず、Wi-Fi パケットセンサによる人流推定の精度についての結果を述べる。アンケートでは、平日及び土日の入・退場者数について、午前中・12～15時・15～18時の3

つの時間帯に分けて、精度を3段階（誤差が±25%程度、±50%程度、またはそれより大きい）で評価してもらった。アンケートの結果、すべての時間帯で誤差は±25%程度とお答えいただき、Wi-Fi パケットセンサによる人流推定結果は概ね信頼でき、潜在的需要の推定に活用できると考えられる。

次に、需給交換基盤の必要性や将来的な展開について調査した結果を表5に示す。この結果より、職員（=サービス供給者）にとって潜在的需要が提示されることで、来園者（=需要家）の動向を把握しやすくなったと評価できる。しかし、来園者向けのディスプレイについての評価は職員のものに比べて少し低く、本提案が目指す需給交換を達成するには、ディスプレイ以外のより良い供給の提示方法の考案が求められると考えられる。

最後に、推定した各潜在的需要の発生状況が、職員の感覚とどれほど一致しているかについて、評価できるかどうか、また評価できる場合は4段階（1:一致していない～4:一致している）で評価してもらった結果を表6に示す。この結果から、ほとんどの需要に関しておおよそ正しく推定できていると判断できるが、天気以外は感覚頼りの回答であるとの答えもあり、正確な評価は難しかった。

これら実証実験結果、

- 多くの潜在的需要について、発生状況を精度よく推定できた

表 4 日ごとに各需要が発生したと推定した回数 (30 分おき)

日付	合計	需要 No.									
		00	01	02	03	05	06	10	11	12	13
2021-03-22 (月)	0										
2021-03-23 (火)	20	10	3				7				
2021-03-24 (水)	16	10	1				5				
2021-03-25 (木)	33	5	7	2	2	1	8	2	2	2	2
2021-03-26 (金)	32	10	4	2	2		6	2	2	2	2
2021-03-27 (土)	25	14	5				6				
2021-03-28 (日)	4		3				1				
2021-03-29 (月)	0										
2021-03-30 (火)	38	11	3	1	1	6	12	1	1	1	1
2021-03-31 (水)	27	11	4	1	1		6	1	1	1	1
2021-04-01 (木)	21	11	5				5				
2021-04-02 (金)	21	10	4				7				
2021-04-03 (土)	20	18	2								
2021-04-04 (日)	6	1	5								
合計	263	111	46	6	6	7	63	6	6	6	6

表 5 需給交換基盤の必要性や将来的な展開に関する評価

質問	評価
センサデータが需要に変換されて、園内で発生している需要を把握しやすくなったか	5
今後も、ディスプレイを事務室に継続して設置してみたいか	5
来園者の行動変容を促すために、ディスプレイを来場者向けに園内に設置してみたいか	3
来園者向けの表示の見た目は凝ったものにする、来園者の反応は良くなりそうか	4

表 6 各潜在的需要の発生状況の評価

No.	潜在的な需要	評価
00	駐車場の混雑を知りたい	3
01	電車に乗って帰りたい	3
02	ご飯を食べたい	4
03	公園周辺で食事がしたい	評価不能
05	天気を知りたい	4
06	お土産がほしい	3
10	映える写真を撮りたい	3
11	疲れずに回りたい	評価不能
12	リアルタイムな混雑状況を知りたい	3
13	人気のエリアを知りたい	3

- サービス供給者に対し潜在的な需要を提示して、サービス提供に有用な情報を提供できた

と評価できると考えられる。よって、本稿の手法が実際の施設運用に有効利用できる可能性が示されたと考えられる。

## 6. まとめ

本稿では、潜在的な社会需要の把握とその解決を目的とし、実世界及び情報空間からセンシングした情報を用いて、形式化した潜在的な需要の推定を行い、サービス供給の増減に柔軟に対応可能な需給交換基盤を提案した。また、提案した潜在的な需要推定システム及び需給交換基盤を実装し、東山動植物園に展開し実証実験を行い、本稿の手法が実際の施設運用に有効利用できる可能性が示された。

今後は、1) 本稿の実証実験では、実世界からセンシング

した情報が Wi-Fi パケットセンサからの情報に限られていたため、今後はコストを抑えつつより多くの情報を実世界から収集し、推定可能な潜在的な需要の範囲を拡大していきたい。また、2) 本稿の実証実験で行った潜在的な需要の推定は、比較的簡単に推定できるものが多かったため、今後はより多くの社会状況から AI 技術を活用して、より高度な潜在的な需要の推定を行っていきたい。

## 謝辞

本研究の一部は、総務省委託研究 SCOPE (0159-0110)、NICT 委託研究 (21406)、科研費基盤研究 C (19K11945) の支援を受けています。また、実証実験にご協力いただいた東山動植物園の職員様にお礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] 木實新一, 瀬崎薫. 都市生活における実世界センシング. 電気学会誌, Vol. 129, No. 3, pp. 156-159, 2009.
- [2] 味八木崇, 暦本純一. 集合知センシングによる実世界インタフェース. Vol. 51, No. 7, pp. 775-781, 2010.
- [3] 松田裕貴, 荒川豊, 安本慶一. 多様なユースケースに対応可能なユーザ参加型モバイルセンシング基盤の実装と評価. マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2016) シンポジウム, pp. 1042-1050, 2016.
- [4] 河口信夫, 米澤拓郎, 廣井慧. Synerex: 超スマート社会を支える需給交換プラットフォームの設計コンセプトと機能. 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI), Vol. 2020, No. 49, pp. 1-6, 2020.
- [5] N. Caceres, J. P. Wideberg, and F. G. Benitez. Deriv-

- ing origin-destination data from a mobile phone network. *IET Intelligent Transport Systems*, Vol. 1, No. 1, pp. 15–26, 2007.
- [6] J.K.-Y. Ng, S.K.C. Chan, and K.K.H. Kan. Providing location estimation within a metropolitan area based on a mobile phone network. In *Proceedings. 13th International Workshop on Database and Expert Systems Applications*, pp. 710–715, 2002.
- [7] Carlo Ratti, Dennis Frenchman, Riccardo Maria Pulselli, and Sarah Williams. Mobile landscapes: Using location data from cell phones for urban analysis. *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 33, No. 5, pp. 727–748, 2006.
- [8] 望月祐洋, 上善恒雄, 西田純二, 中野秀男, 西尾信彦. Wi-Fi パケットセンサを利用した匿名人流解析システムの構築. 情報処理学会研究報告, Vol. 2014, No. 45, pp. 1–8, 2014.
- [9] Yuki Fukuzaki, Masahiro Mochizuki, Kazuya Murao, and Nobuhiko Nishio. A pedestrian flow analysis system using Wi-Fi packet sensors to a real environment. *UbiComp 2014 - Adjunct Proceedings of the 2014 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, pp. 721–730, 2014.
- [10] Yuuki Fukuzaki, Kazuya Murao, Masahiro Mochizuki, and Nobuhiko Nishio. Statistical analysis of actual number of pedestrians for Wi-Fi packet-based pedestrian flow sensing. *UbiComp and ISWC 2015 - Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and the Proceedings of the 2015 ACM International Symposium on Wearable Computers*, pp. 1519–1526, 2015.
- [11] 森本哲郎, 白浜勝太, 上善恒雄. Wi-Fi パケットセンサを用いた人流・交通流解析の手法. 情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol. 14, No. 4, pp. 505–511, 2015.
- [12] Nobuo Kawaguchi, Kei Hiroi, Atsushi Shionozaki, Masamichi Asukai, Toshimune Nasu, Yu Hashimoto, Takeharu Nakamura, Tetsuya Gotou, and Shinsuke Ando. Wi-fi human behavior analysis and ble tag localization: A case study at an underground shopping mall. In *Proceedings of the 13th International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services, MOBIQUITOUS 2016*, p. 151–159, New York, NY, USA, 2016. Association for Computing Machinery.
- [13] 村井大地, 廣井慧, 米澤拓郎, 河口信夫. Wi-Fi パケットセンサを用いた大規模レジヤ施設における人流分析. 電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会, 2020.
- [14] Lorenz Schauer, Martin Werner, and Philipp Marcus. Estimating crowd densities and pedestrian flows using Wi-Fi and bluetooth. *MobiQuitous 2014 - 11th International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Computing, Networking and Services*, pp. 171–177, 2014.
- [15] 浦野健太, 廣井慧, 梶克彦, 河口信夫. 配布型 BLE タグとタンデムスキャナを用いた屋内位置推定手法. 情報処理学会論文誌, Vol. 60, No. 1, pp. 58 – 75, 2019.
- [16] Yin Chen, Jin Nakazawa, Takuro Yonezawa, and Hideyuki Tokuda. Cruisers: An automotive sensing platform for smart cities using door-to-door garbage collecting trucks. *Ad Hoc Networks*, Vol. 85, pp. 32–45, 2019.
- [17] FUTURE INTERNET PPP. <https://www.fi-ppp.eu/projects/fi-ware/>. (Accessed on 05/01/2021).
- [18] スマートシティで注目されている「都市 OS」とは？ | MaaS・スマートシティの事例を多数掲載 | Mobility Transformation. <https://www.mobility-transformation.com/magazine/cityos/>. (Accessed on 05/01/2021).
- [19] Takuro Yonezawa, Tomotaka Ito, Jin Nakazawa, and Hideyuki Tokuda. SOXFire: A Universal Sensor Network System for Sharing Social Big Sensor Data in Smart Cities. *Proceedings of the 2nd International Workshop on Smart, SmartCities 2016*, 2016.
- [20] Yuto Fukushima, Yusuke Asai, Shunsuke Aoki, Takuro Yonezawa, and Nobuo Kawaguchi. DigiMobot : Digital Twin for Human-Robot Collaboration in Indoor Environments. In *2021 32nd IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)*, Nagoya, Aichi, Japan, 2021.
- [21] Yoshiteru Nagata, Takuro Yonezawa, and Nobuo Kawaguchi. Person-Flow Estimation with Preserving Privacy using Multiple 3D People Counters. In *Science and Technologies for Smart Cities*, 2021.
- [22] *International Standard Industrial Classification of All Economic Activities (ISIC), Rev.4*. Statistical Papers (Ser. M). United Nations, aug 2008.
- [23] 気象庁 | 過去の気象データ検索. [http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily\\_s1.php?prec\\_no=51&block\\_no=47636&year=2021&month=3&day=1](http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/view/daily_s1.php?prec_no=51&block_no=47636&year=2021&month=3&day=1). (Accessed on 05/01/2021).