

# 時空間フェンシングに基づく クラウドセンシングプラットフォームの構築

宮川 信人<sup>1</sup> 土本 涼雅<sup>2</sup> 須崎 翔太<sup>2</sup> 梶 克彦<sup>2</sup>

**概要:** 近年、高機能センサを備えたスマートフォンが増加し、豊富なセンサが利用できるようになっていく。そのスマートフォンのセンシング能力を活かす試みとして、クラウドセンシングがある。ただし、クラウドセンシングシステムの開発に大きなコストがかかると考えられる。この問題を解決するため、従来研究として、様々なシチュエーションでクラウドセンシングが可能なクラウドセンシングプラットフォームが提案されてきた。しかし、クラウドセンシングプラットフォームは、より多くの利用者を確保しなければ多様なデータ収集を実現できない。そのため、利用者のモチベーションを向上・維持させる工夫が必要である。そこで本研究では、時間帯とエリアを制限する時空間フェンシングの概念を提案し、それに基づいたクラウドセンシングプラットフォームを構築する。我々は、利用者のモチベーション向上・維持という課題に対して手軽さや安心感に着目した。クラウドセンシングを実施したい依頼者にとって、依頼内容の定義は、定義しなければならない項目が非常に多く手間である。本プラットフォームでは、基本的に時空間フェンシングと使用するセンサの設定のみで依頼内容を定義できるため、依頼内容の定義を簡略化し手軽さを実現する。協力者にとって、本プラットフォームを通して依頼されるクラウドセンシングは、すべて時空間フェンシングに基づいているため協力しやすいと言える。これは時空間フェンシングによって、いつ・どこでセンシングが行われるかが明確であり、データ提供への心配やセンシングに対する不安によるプライバシー障壁を軽減し安心感を提供できるためである。本稿では、本プラットフォームの設計・実装を行い、その動作検証を実施した。

## Building a Crowd Sensing Platform Based on Spatiotemporal Fencing

NOBUHITO MIYAGAWA<sup>1</sup> RYOGA TSUCHIMOTO<sup>2</sup> SHOTA SUZAKI<sup>2</sup> KATSUHIKO KAJI<sup>2</sup>

### 1. はじめに

近年、高機能センサを備えたスマートフォンが増加し、豊富なセンサが利用できるようになっていく。ゆえに、スマートフォンのセンサを利用した研究はいくつもある [1], [2]。そこで、そのセンシング能力を活かす試みの1つとして、クラウドセンシングがある。クラウドセンシングとは群衆の持つスマートフォンなどの携帯端末に内蔵されたセンサを用いて低コストで大規模にセンサデータを取得し、そこから実世界の様相を把握するための方法論 [3] である。クラウドセンシングは、現在、研究や調査に採用されている [4], [5], [6], [7]。クラウドセンシングを実施するには専用システムの開発が必要だが、イニシャルコストやランニ

ングコストが大きくかかると考えられる。また、多くの協力者にクラウドセンシングの協力を促すためには、協力者にかかる手間の軽減や協力者の不安の解消などの課題がある。協力者にかかる手間としては、スマートフォンの操作・通信といった負担が挙げられる。協力者の不安としては、協力者のプライバシー障壁によるデータ提供への心配やセンシングに対する不信任などが挙げられる。さらに、クラウドセンシングでは協力者の個人データを多く取り扱うためセキュリティやプライバシー保護の対策が必須である。

本研究では、時間帯とエリアを制限する時空間フェンシングの概念を提案し、それに基づいたクラウドセンシングプラットフォーム Lav.<sup>+</sup> (ラヴラス) (図 1) を構築する。本研究の目的は、クラウドセンシングの簡易的な利用と多様なデータ収集を行い、研究や調査におけるイニシャルコ

<sup>1</sup> 愛知工業大学大学院 経営情報科学研究科

<sup>2</sup> 愛知工業大学 情報科学部

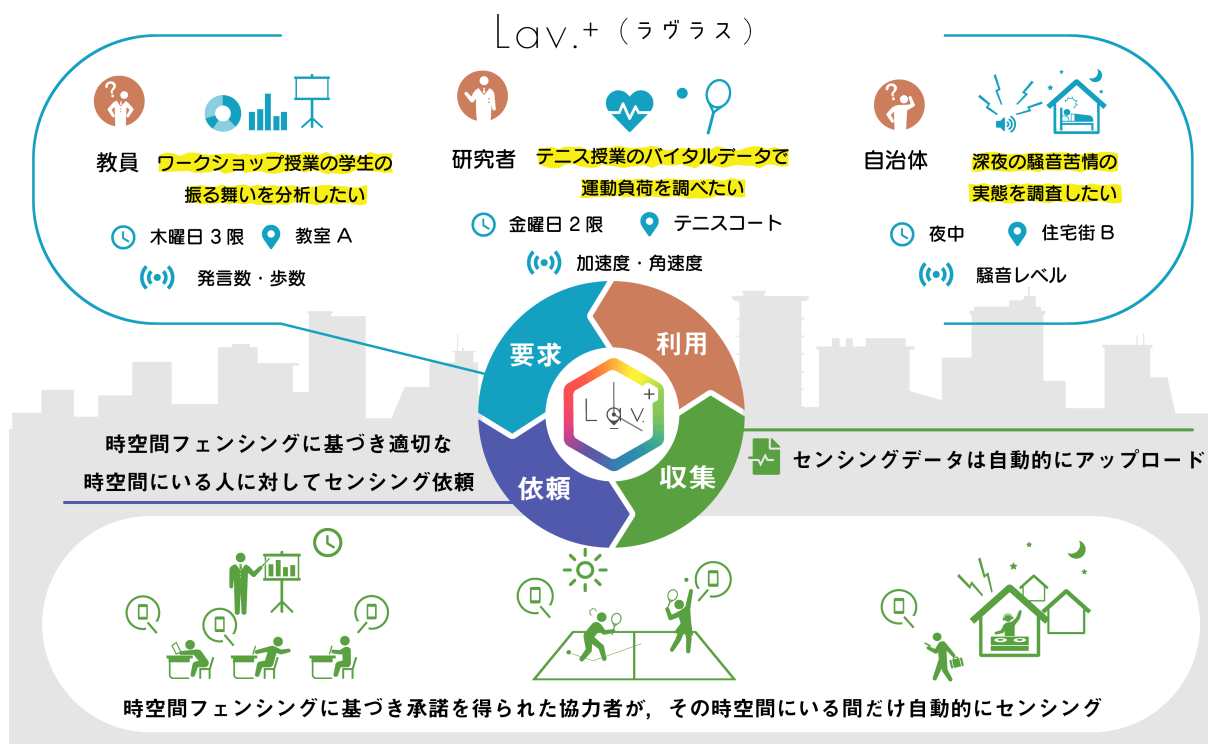


図 1 本クラウドセンシングプラットフォームの概要

スト及びランニングコストの大幅な軽減の実現である。従来研究として、様々なシチュエーションでクラウドセンシングが可能なクラウドセンシングプラットフォームが提案されてきた [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14]。しかし、クラウドセンシングプラットフォームは、より多くの利用者を確保しなければ多様なデータ収集を実現できない。そのため、利用者のモチベーションを向上・維持させる工夫が必要である。

そこで、ラヴラスは、利用者に手軽さや安心感を提供しクラウドセンシングの実施および協力を促進する。クラウドセンシングを実施したい依頼者にとって、依頼内容の定義は、定義しなければならない項目が非常に多く手間である。しかし、ラヴラスは基本的に時空間フェンシングと使用するセンサの設定のみで依頼内容を定義可能である。そのため、時空間フェンシングによって、依頼者が行う依頼内容の定義を簡略化し手軽さを実現できる。また、協力者にとっては、いつ・どこでセンシングが行われるかが明確であるため、データ提供への心配やセンシングに対する不安によるプライバシー障壁を軽減し安心感を提供できる。これによって、ラヴラスを通して依頼されるクラウドセンシングは、すべて時空間フェンシングに基づいているため協力しやすいついと言える。加えて、協力者にかかる手間の軽減として、スマートフォン操作を最小限に抑え自動でセンシングを行う。これは協力者にとって、協力するという意識を取り除き、継続した協力ができるようになる。また、無意識下でセンシングに協力できるため、普段の人々の振る舞いや行動のセンシングも可能となる。

## 2. 関連研究

クラウドセンシングを利用して多くの人々からデータ収集し、推定や分析をする研究はいくつかある。西村らの研究 [5] は、スマートフォンの加速度センサとマイクから歩行動作と周辺の雑踏音をセンシングし、端末周辺の混雑状況の推定を行っている。混雑状況の推定の研究としては、バス内の混雑状況を加速度センサと角速度センサから推定する研究 [6] もある。これは混雑時に利用者が他の利用者を避けるために、体を横に捻ったり、肩をすぼめて移動したりする回避動作のデータを収集し、そのデータから混雑状況を推定するというものである。朴らの研究 [7] では一般の自動車の利用者から加速度センサなどのモーションセンサを用いてデータを収集し、凍結や舗装路などの路面状態や平坦やくぼみなどの路面形状の推定を行っている。

これらの研究では、クラウドセンシングシステムの開発に大きなコストがかかると考えられる。依頼者がクラウドセンシングを実施するには、協力者専用のセンシングスマートフォンアプリや収集したデータを管理するサーバなどを開発する必要がある。そのため、クラウドセンシングを利用してデータ収集したい場合は、クラウドセンシングプラットフォームがあると非常に便利である。依頼者としては、研究毎にセンシング専用のスマートフォンアプリを作成・配布する必要がなくなるため、それらに費やしていた時間や手間の省略が可能となる。協力者としては、研究別のスマートフォンアプリをインストールする手間が省け、研究毎に使い分ける必要もなくなる。そして、共通の

スマートフォンアプリの利用により、協力者を他のクラウドセンシングに誘導も可能であるため、多くの協力者獲得にも繋がる。

次に、クラウドセンシングプラットフォームの関連研究について述べる。クラウドセンシングプラットフォームは、協力者の確保が非常に重要であるためモチベーションを向上・維持させる工夫が必要である。協力者のモチベーションを向上させる方法には、金銭的インセンティブ・非金銭的インセンティブがある。

金銭的インセンティブとは、お金などの報酬であり、協力者の獲得やモチベーションの維持には非常に有効である。金銭的インセンティブを用いた研究としては、LiveLabs[10]が挙げられる。多くの協力者を獲得できるものの、報酬には限界があり、協力者が多くなればなるほど依頼者側の負担が大きくなる。また、多くなった協力者を保持するための費用も多くかかる。負担が多くなり報酬を下げてしまうと、協力者のモチベーションは下がってしまい協力的でなくなる可能性がある。

一方で、非金銭的インセンティブとは、お金などの報酬の代わりに楽しさや体験を報酬としている。非金銭的インセンティブを提供する手法として、ゲーミフィケーションを用いた河中らの研究 [11] が挙げられる。河中らのプラットフォームは観光情報収集を目的としている。ゲーミフィケーションの内容は、特定のエリア内を歩き回るエリアミッションと特定の場所で写真撮影を行うチェックインミッションがあり、ミッションをクリアすると付与されるポイントで協力者同士競い合うといったものである。協力者はもっとポイントを獲得したい考え、それがクラウドセンシングに協力したいというモチベーションの向上に繋がるため、協力者の保持には有用である。

また、金銭的インセンティブと非金銭的インセンティブを柔軟に選択できる松田らの研究 [12] もある。これはモチベーション生成方法が決まっている訳ではなく、依頼者が決定する。ポイントやレベル、ランキングの付け方といったゲーミフィケーションや、金銭的インセンティブなどをクラウドセンシングの内容に応じて設定できる。このプラットフォームは ParmoSense[13] として既に運用されている。

### 3. 時空間フェンシングに基づいたクラウドセンシングプラットフォーム

本章では、時空間フェンシングに基づいたクラウドセンシングプラットフォーム Lav.<sup>+</sup> (ラヴラス) の詳細について述べる。各節は、時空間フェンシングの定義、ラヴラスの実装、ラヴラスの動作検証の順に構成されている。

#### 3.1 時空間フェンシングの定義

時空間フェンシングは、ジオフェンシングに時間要素を

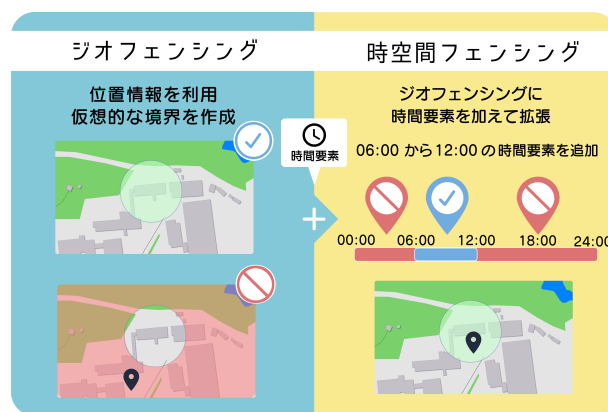


図 2 ジオフェンシングと時空間フェンシング

追加し拡張したフェンシング手法として定義する (図 2)。ジオフェンシングとは、GPS や Wi-Fi, BLE ビーコンといった位置推定技術によって仮想的な境界を生成し、その境界に進入・退出した際に特定のサービスを行うものである。つまり、時空間フェンシングとは、時間帯とエリアの指定によって仮想的な境界を生成するフェンシング手法である。ラヴラスにおける特定のサービスはセンシングである。

時空間フェンシングによって時間帯とエリアで境界を区切ると、依頼者は様々なシチュエーションの指定が可能となる。様々なシチュエーションとは、例えば午後 3 時から 5 時の公園であったり、3 限の大学構内の特定の教室や昼間の食堂などである。一方で、時間帯やエリアに依存しないデータ収集には適さない。例えば、一日中センシングを行ったり、電車で移動したりなどである。このような長時間のセンシングやいつ終了するか定かではないセンシングは、協力者に消費電力やセンシングに対する不安などの大きな負担をかけてしまう。そのためラヴラスでは、依頼者が想定し得るすべてのクラウドセンシングに対応していない。

ラヴラスは、時空間フェンシングによって依頼者と接点のない協力者が協力の判断をしやすくする。例えば、依頼者と接点のない協力者がその依頼者のクラウドセンシングに協力する時、センシングを行う時間帯やエリアが曖昧であった場合、協力者は不安を感じ協力が得られにくくなるためである。時空間フェンシングによる時間帯とエリア制限は、協力者に安心感を提供しセンシング協力の促進を実現できる。

#### 3.2 ラヴラスの実装

ラヴラスは、サーバ、Web アプリ、スマホアプリの 3 つのコンポーネントによって構成される。また、依頼者のクラウドセンシング依頼はセンシングプロジェクトという単位で管理される。サーバはセンシングプロジェクトやセンシングデータの管理、Web アプリは依頼者用のセンシ

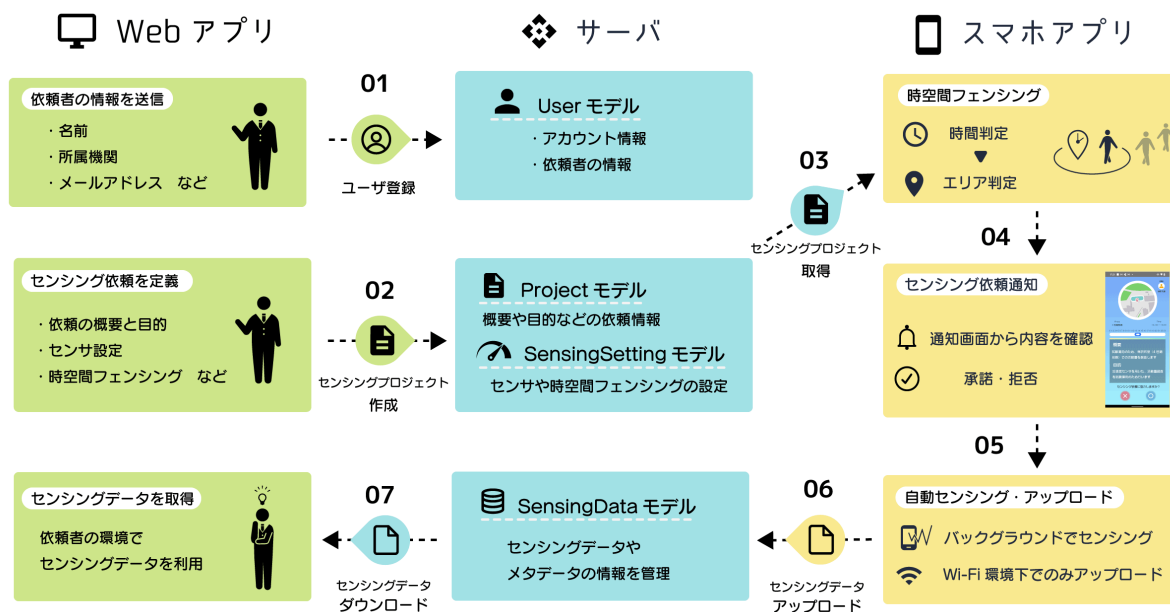


図 3 ラヴラスの全体的なシステムの流れ

プロジェクト管理用コンソール、スマホアプリは協力者のセンシングスマートフォンアプリとして設計されている。本節では、ラヴラスの全体的なシステムの流れや各コンポーネントの実装、セキュリティ対策について述べる。

### 3.2.1 全体的なシステムの流れ

ラヴラスの全体的なシステムの流れを図 3 に示す。利用者の使用デバイスとして、依頼者は PC を、協力者はスマートフォンを前提としている。また、ラヴラスの利用にあたり利用者の事前準備が必要である。依頼者として利用を行うには、Web アプリを通して依頼者ユーザとしてユーザ登録を行ってもらう。協力者として利用を行うには、各自のスマートフォンにスマホアプリのインストールを行ってもらう。

まず、依頼者は Web アプリにてセンシングプロジェクトを作成する。センシングプロジェクトには、センシングを行いたい時間帯やエリア、センシングを行う目的・概要、センシングに用いるセンサの種類やサンプリングレートなどを定義する。これはスマホアプリに必要なセンシングや時空間フェンシングの設定であるとともに、協力者にセンシングプロジェクトを提示し、協力するか否かの判断材料となっている。作成されたセンシングプロジェクトは、サーバにて管理される。

次に、協力者にスマホアプリにて各センシングプロジェクトに協力してもらう。スマホアプリは、サーバからセンシングプロジェクトを取得し、取得したセンシングプロジェクトに応じて時空間フェンシング、センシング依頼通知、センシング、アップロードの順に動作を行う。時空間フェンシングは、各センシングプロジェクトに指定された時空間を参照し、協力者が対象の時空間にいる場合にセン

シング依頼通知を送信する。協力者は、センシング依頼通知よりセンシングプロジェクトの内容を確認し、承諾・拒否の判断をする。センシング依頼通知は、ヘッドアップ通知にて通知が行われ、ヘッドアップ通知のタップで詳細画面が表示される。詳細画面では、センシングプロジェクトの内容として、時間帯、エリア、センシングの目的・概要、依頼者の情報を確認できる。センシングは、協力者がセンシングプロジェクトの内容に納得し、協力してもいいと判断された場合のみ開始される。センシング終了後は、Wi-Fi 接続時にのみ自動でサーバにセンシングデータがアップロードされる。

協力者の協力手順において、協力者の手間を最小限に抑えるため、協力者のスマートフォン操作を必要とするのは基本的にセンシング依頼通知の際の承諾・拒否の部分のみである。これは時空間フェンシング、センシング、アップロードの手順において、すべての処理をバックグラウンドで行うためである。そのため、スマホアプリを開いておく、協力者がセンシング開始・終了するといった操作はなく、センシング協力の手軽さを実現している。また、一度承諾されたセンシングプロジェクトは保存され、協力者が再び同センシングプロジェクトの時空間に進入した場合は、センシング依頼通知は送信せずにセンシングを開始する。

最後に、依頼者は Web アプリにて協力者によって提供されたセンシングデータを利用できる。依頼者は、Web アプリよりセンシングデータをダウンロードし各自の環境を用いて利用する。ラヴラスでは、現在センシングデータの解析や可視化といった依頼者へのサポートは行っていない。これは様々なチュエーションでセンシングされたセンシングデータの解析・可視化を行う手法を検討中であるため、

今後の課題とする。

### 3.2.2 各コンポーネントの実装

サーバは、Web アプリとスマホアプリのどちらからも連携をスムーズに行えるように、そのどちらにも親和性が高い JSON ベースの REST API として設計した。また、Web アプリは、Single Page Application を採用し実装を行った(図 4)。まず、依頼者は Web アプリを用いてユーザ登録を行う。登録された依頼者情報は、サーバ上に定義された User モデルにしたがって管理される。この際に、依頼者には実名や所属機関、メールアドレス等の依頼者情報を登録してもらう。これらの情報は、依頼者が匿名であったり不明瞭な場合、協力者にとって不安要素となるため協力が得にくくなるためである。依頼者情報は個人データに該当する情報であるが、ラヴラスの利用規約として依頼者には身元情報の開示を求めるものとする。次に、センシング依頼の概要や目的、センサ設定や時空間フェンシング等の情報を基にセンシングプロジェクトの定義を行う。定義されたセンシングプロジェクトは、Project モデルと SensingSetting モデルにしたがって管理される。その後、協力者によって提供されたセンシングデータは SensingData モデルにしたがって管理され Web アプリを通してセンシングデータを取得する。

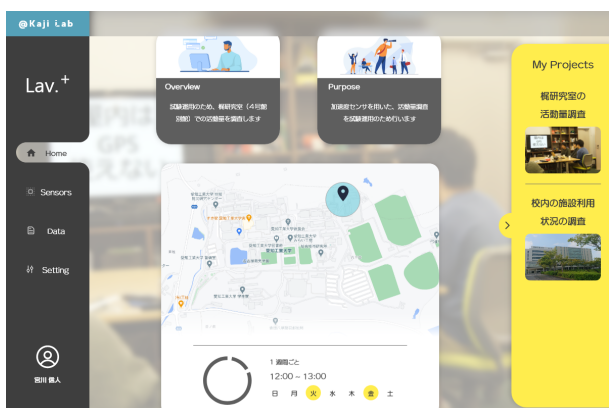


図 4 Web アプリのダッシュボード

スマホアプリは、Android アプリケーションで実装を行った。スマホアプリはサーバと連携し、センシングプロジェクトの受信やメタデータとともにセンシングデータのアップロードを行う。センシングプロジェクトは適宜サーバから取得し、スマホアプリ内のデータベースに登録する。データベースより現在時刻から一番近い指定開始時間を検索し、指定開始時間と指定終了時間を時空間フェンシングに設定する。時空間フェンシングは位置情報取得を最小限にするために、まず時間判定を行い、センシングプロジェクトで指定された開始時間にエリア判定を行う。

エリア判定は、GPS 情報を用いてマップ上に定義されたポリゴン内に進入または退出を行ったかを判定する。しかし、協力者が定義されたエリアの境界線付近で活動して

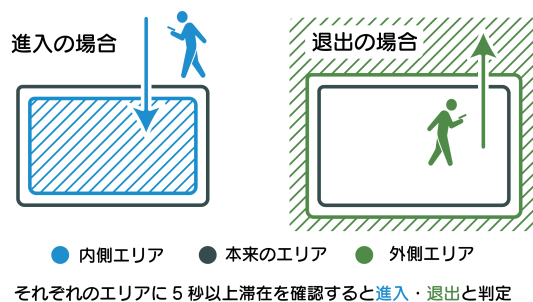


図 5 エリアマージンの概要

いる場合、エリア判定は進入・退出の判定を繰り返し不安定になってしまう。そこで、進入・退出の判定を安定させるためエリアマージン(図 5)を導入した。エリアマージンは、本来のエリアに対して縮小を行った内側エリアと拡張を行った外側エリアを定義する。このとき、内側エリア内に協力者が 5 秒以上滞在した際にエリア内に進入したと判定し、進入したと判定された協力者が外側エリアの外に 5 秒以上滞在した場合に退出したと判定する。このエリアマージンは指定されたエリアを通り過ぎるといった、ごく短時間のみ協力者が滞在するといったシチュエーションの発生を抑止するという狙いもある。



図 6 センシング依頼通知のヘッドアップ通知と詳細画面

協力者がセンシングプロジェクトで指定された時間帯にエリア内に進入したら、センシング依頼通知を送信する。ヘッドアップ通知をタップしアプリケーションを開くと、センシング依頼通知の詳細画面(図 6)が表示される。詳細画面は、現在地と指定エリアをマップで、時間帯をレンジスライダーで、センシングプロジェクトの内容をスクロールバー付ボックスで表示している。現在地と指定エリアのマップ表示は、時空間内に進入した協力者にとって現在地との位置関係が把握しやすくするための工夫である。

センシングが終了したセンシングデータは、データベースにファイル名とともに未アップロードフラグが登録される。Wi-Fi 接続の有無を確認し、接続されている場合のみアップロードを行い、未アップロードフラグを更新する。これ



構成する3つのコンポーネントの実装を行った。3つのコンポーネントは、センシングデータやセンシングプロジェクトを管理するサーバ、依頼者用のセンシングプロジェクト管理用コンソールであるWebアプリ、協力者用のセンシングスマートフォンアプリである。最後に、動作検証を実施し、ラヴラスのシステムが正常に動作するか検証した。

動作検証を通して、GPS情報の不安定な屋内やGPSによる判定が困難な狭い空間などでは、GPSによるエリア判定は精度不足であると分かった。そのため、エリア判定にはWi-FiやBLEビーコンを用いた電波による位置測定や屋内における鉄骨などから発せられる磁気を用いた地磁気測位などを使用しより詳細なエリアを定義できるようにする必要がある。また、ラヴラスはまだ運用や評価には至っていない。運用や評価を行うための課題として利用規約の制定が挙げられる。例えば、協力者のプライバシー保護のため、協力者の要請に応じてサーバ上の提供済みセンシングデータを削除する必要がある。しかし、ラヴラスのセンシングデータの提供方法はダウンロードという形を取っている。そこで、利用規約として一定期間以上のセンシングデータの保持を禁止するといった規約を制定する。現状挙げられた課題を解決するとともに、実際にクラウドセンシングを行い評価実験を実施した上でプラットフォームとして運用できるシステムを構築する必要がある。

## 参考文献

- [1] A. Suyama and U. Inoue.: Using geofencing for a disaster information system, 2016 IEEE/ACIS 15th International Conference on Computer and Information Science (ICIS), pp. 1-5 (2016).
- [2] 岩本健嗣, 杉森大輔, 松本三千人. 3軸加速度センサを用いた歩行者推定手法, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.2, pp.739-749 (2014).
- [3] 下坂正倫. クラウドソーシングの現状と可能性: 3. クラウドセンシングの研究動向, 情報処理, Vol.56, No.9, pp.891-894 (2015).
- [4] J. Liu, H. Shen and X. Zhang.: A Survey of Mobile Crowdsensing Techniques: A Critical Component for the Internet of Things, 2016 25th International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN), pp. 1-6 (2016).
- [5] 西村友洋, 樋口雄大, 山口弘純, 東野輝夫. スマートフォンを活用した屋内環境における混雑センシング, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.12, pp.2511-2523 (2014).
- [6] 細川諒, 白石陽. 利用者の歩行特性と乗降車順を考慮したバス内混雑状況推定手法の提案, 第82回全国大会講演論文集, Vol.2020, No.1, pp.221-222 (2020).
- [7] 朴斌, 相原健郎. クラウドソースによるモバイルセンシングを用いた路面状況推定, 情報処理学会論文誌, Vol.59, No.10, pp.1784-1793 (2018).
- [8] Tangmunarunkit, H. and Hsieh, C. K. and Longstaff, B. and Nolen, S. and Jenkins, J. and Ketcham, C. and Selsky, J. and Alquaddoomi, F. and George, D. and Kang, J. and Khalapyan, Z. and Ooms, J. and Ramanathan, N. and Estrin, D.: Ohmage: A General and Extensible End-to-End Participatory Sensing Platform, Association for Computing Machinery, Vol.6, No.3 (2015).
- [9] Ferreira, D. and Kostakos, V. and Dey, A. K.: AWARE: Mobile Context Instrumentation Framework, Frontiers in ICT, Vol.2, pp.6 (2015).
- [10] Jayarajah, K. and Balan, R. K. and Radhakrishnan, M. and Misra, A. and Lee, Y.: LiveLabs: Building In-Situ Mobile Sensing & Behavioural Experimentation TestBeds, MobiSys 16: Proceedings of the 14th Annual International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services, pp. 1-15 (2016).
- [11] 河中祥吾, 松田裕貴, 諏訪博彦, 藤本まなと, 荒川豊, 安本慶一. 観光客参加型センシングによる観光情報収集におけるゲーミフィケーションの有効性調査, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2018 論文集, Vol.2018, pp.145-151 (2018).
- [12] 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シンポジウム 2016 論文集, Vol.2016, pp.1042-1050 (2016).
- [13] Parmosense: 入手先 <<https://ubi-naist.github.io/ParmoSense/>>, (参照 2021-01-23).
- [14] 坂村美奈, 米澤拓郎, 伊藤友隆, 中澤仁, 徳田英幸. Mi-naQn: 市民参加型まちづくりのための参加型センシング Web プラットフォーム, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.10, pp.2162-2174 (2016).
- [15] Gdpr: 入手先 <<https://www.ppc.go.jp/enforcement/infoprovision/laws/GDPR/>>, (参照 2021-01-23).