

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 4 年 8 月 31 日現在

機関番号：51201

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12130

研究課題名（和文）インセンティブメカニズムに基づく参加型センシングによる住民からの情報収集手法

研究課題名（英文）Information collection method from residents through participatory sensing based on incentive mechanism

研究代表者

早川 知道（Hayakawa, Tomomichi）

一関工業高等専門学校・その他部局等・教授

研究者番号：80730887

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：河川周辺の市民から河川周辺の情報を収集し管理するための「河川情報管理システム」の研究開発による試作を行った。さらに、「河川情報管理システム」において、ボランティアな市民の参加を促すための参加型センシングによるインセンティブメカニズムを用いたゲーミフィケーションの手法について検討した。

参加する市民らの不安要素を排除するため、プライバシー保護手法について検討を行い、参加型センシングにおける新たなプライバシー保護手法の提案を行った。

ボランティアなコミュニティ活動であるOpenStreetMapの活動の調査を行い、そのインセンティブメカニズムを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

参加型センシングにより住民から収集したデータの効果的利用を通じた、業務活動の効率的計画手法と情報提供に関する制度設計に関して、ビッグデータ手法研究とメカニズムデザイン研究の両面からのアプローチにより、学術的な貢献を果たす。さらに、実社会において解決が急務とされる問題に対して、コストや時間的効率性の追求に基づいた新しい河川管理の実現手法に寄与することにより社会的貢献を果たす。また、金銭の授受を伴わないボランティアな市民のモチベーションを明らかにすることは、集合知やインセンティブメカニズムの分野において学術的な貢献を果たす。

研究成果の概要（英文）：We developed a prototype of a "river information management system" to collect and manage information from citizens around rivers. In addition, a gamification method using an incentive mechanism based on participatory sensing was studied in order to promote voluntary participation of citizens in the "River Information Management System."

In order to eliminate the concerns of participating citizens, we studied privacy protection methods and proposed a new privacy protection method for participatory sensing.

We conducted a survey of OpenStreetMap, a voluntary community activity, and clarified its incentive mechanism.

研究分野：インセンティブメカニズム

キーワード：参加型センシング インセンティブ ゲーミフィケーション オープンストリートマップ

## 1. 研究開始当初の背景

河川流域の周辺地域では、ゴミの不法投棄、河川の氾濫や浸水、及び堤防や橋の破損等が度々問題になっており、速やかな問題の把握、問題への対応、さらには今後の対策が必要とされる。しかし、河川流域は広範囲に渡るため、河川を管理する河川事務所の職員だけでは、十分な監視や対応を行うことが困難な場合が多い。河川事務所の職員による監視体制を効率化するためには、河川周辺住民らからの情報提供により、広範囲な河川流域の監視を行うことが重要となる。河川周辺住民らから情報提供を受ける場合、口頭での情報提供では問題の状況、及び問題の発生する地点が正確に把握できないといったことが発生する。そこで、河川管理者が河川周辺の問題点を把握し、速やかに対応するための手法として、河川周辺の住民らの協力を効率的に得ることにより、河川周辺の効果的な情報集約と管理が求められている。

## 2. 研究の目的

本研究では、前出の市民から河川周辺の情報を収集し管理するための「河川情報管理システム」の研究開発を基にして、河川環境管理手法の新たな方法論にチャレンジするとともに、河川環境管理の実現手法の確立を実現するために、参加型センシングによるインセンティブメカニズムを用いたゲーミフィケーションの手法について検討し、市民らがボランティアな活動に参加するためのモチベーションを明らかにすることを目的とする。

## 3. 研究の方法

(1) 河川周辺の市民から河川周辺の情報を収集し管理するための「河川情報管理システム」の研究開発による試作を行う。さらに、「河川情報管理システム」において、ボランティアな市民の参加を促すための参加型センシングによるインセンティブメカニズムを用いたゲーミフィケーションの手法について検討する。

(2) 参加する市民らの不安要素を排除するため、プライバシー保護手法について検討を行い、参加型センシングにおける新たなプライバシー保護手法の提案を行う。

(3) ボランティアなコミュニティ活動である OpenStreetMap の活動の調査を行い、そのインセンティブメカニズムを明らかにする。

## 4. 研究成果

### (1) 河川情報管理システム

河川管理者が河川周辺の問題点を把握し、速やかに対応するため、河川周辺の協力団体等の住民らから、スマートフォンによる情報提供を促進する「河川情報管理システム」を研究開発し試作した。図1は「河川情報管理システム」の概要図である。研究開発に際して、以下に、3つの課題を示す。

(課題1) 河川周辺住民らから正確に情報提供を受け、効果的に河川管理者が河川の管理できるシステムが必要である。(課題2) 投稿が無い場所でも、必ずしも問題点が無いとは限らない。問題点に誰も気が付かない場合もあり、投稿の有無だけでは判断ができない場合がある。(課題3) 河川周辺住民が「河川情報アプリケーション」を活用し、多くの河川の情報を実効的に得るためには、誘引する方法が必要である。以上の課題を改善するため、本研究では国土交通省中部地方整備局庄内川河川事務所との受託研究により研究開発を行った。また、本システムでは愛知県、及び岐阜県に流れる庄内川を対象として開発を行った。

課題1に対して、河川周辺住民らから正確に情報提供を受けるための「河川情報管理システム」を開発した。「河川情報管理システム」は、「河川情報アプリケーション(図2)」と「投稿管理システム(図3)」で構成される。「河川情報アプリケーション」には、投稿機能を実装している。投稿機能は、河川周辺で発生した問題点をユーザが河川管理者へ連絡するための機能である。河川の問題を発見したユーザは、「河川情報アプリケーション」を用いて、問題点のある現場の位置情報(緯度、経度)、説明文、カテゴリ、及び写真を「投稿管理システム」へ投稿する。河川管理者は、ユーザから送信された投稿を元に、正確な地点、及び被害状況を把握し、問題点の内容に応じた対応を速やかに行う。

課題2に対して、「河川情報管理システム」では、ゲーミフィケーションを用いたチェックイン機能を実装した。チェックイン地点を設定することにより、その場所に投稿が無くても、誰か



図1 河川情報システム概要



図2 河川情報アプリ



図3 投稿管理システム

(トップ画面)

が最近到達したことがあるかを確認できる。仮に、その場所に投稿が無くても、必ずしも問題点が無いとは限らない。この時、その場所にチェックインした記録があれば、問題点が無い可能性が高い。しかし、チェックインした記録が無ければ、誰もその場所に到達していない可能性があり、不具合がある可能性もある。これにより、問題点の可能性が高いと思われる場所を区別切り分けることができ、河川巡視員による巡視業務の際に重点的に巡視を行うなどの対策が可能となる。また、ゲーミフィケーションを用いたチェックイン機能は、利用者に精神的な満足感を与えることが可能となる。

課題3に対して、「河川情報アプリケーション」の利用者の投稿を促す機能として、インセンティブメカニズムを応用したポイント機能、及びポイントランキング機能を実装した。ユーザはポイントランキングの順位の向上を目標とすることにより、「河川情報アプリケーション」を継続的に利用する動機に繋がる。管理者は、投稿時、及びチェックイン時に、ユーザに付与されるポイント数を「投稿管理システム」により予め設定する。チェックイン時に付与されるポイント数については、チェックイン地点毎に異なるポイント数にすることも可能である。ユーザには、投稿の完了時、及びチェックイン完了時に、メッセージを表示し、ポイントが付与されたことを通知する。さらに、ポイントランキングにより、ポイント機能で得られたポイントの累積をランキング表示し、全ての利用者が閲覧可能となる。

国土交通省中部地方整備局庄内川河川事務所の協力により運用試験を行なった。運用試験により、基本的な機能は十分実用的なシステムであることが確認できた。これにより、既存の参加型センシングサービスには無い管理者の要望による投稿承認機能、及びメール通知機能により、問題点の速やかな把握と対応が可能となり、さらに、悪意ある投稿などに対して適切な対応が可能となることが期待できる。また、既存の参加型センシングサービスには装備されていないゲーミフィケーションを用いたインセンティブメカニズムを導入した機能により、参加者からの投稿を促すことも期待できる。

*Tomomichi Hayakawa, Teruhisa Hochin, Tokuro Matsuo, "Implementation of Incentive Mechanism in Participatory Sensing-Based River Management System", International Journal of Service and Knowledge Management International Institute of Applied Informatics 3(1) 35-50 (2019) (査読あり)*

## (2) プライバシー保護手法

近年、多数のセンサを搭載しているスマートフォンの普及により、参加型センシング (Participatory Sensing) が注目されている。参加型センシングとは、複数ユーザが用いるセンサデバイスから得られるセンサ情報を共有し有効活用する、クラウドソーシングの一種である。参加型センシングでは、ユーザの所有しているスマートフォンをセンサデバイスとして利用する。従来のセンシングは、センサ情報を取得するために専用の機器を設置する必要があり、時間的コスト、及び金銭的コストのかかるものであった。現在は、一般ユーザの持つスマートフォンをセンサデバイスとして使用することで、安価に参加型センシングを行うことができるようになった。ユーザは、スマートフォンに搭載されている GPS 受信機、マイク、及び加速度センサなどのセンサによってセンシング情報を取得し、参加型センシング運営者へ報告する。参加型センシング運営者は、得られた様々なセンシング情報を収集し、データの集計、及び分析を行う。しかし、参加型センシングではプライバシーの問題が発生する。参加型センシングによって収集するセンシング情報には、参加者の行動履歴などのプライバシー情報が含まれている。悪意ある攻撃者が、管理者が受信したデータを盗聴し、プライバシーが漏洩する可能性もある。参加者が管理者に対してプライバシー漏洩等の不安を感じ、センシング情報の提供を控えてしまう恐れがある。参加者が安心してセンシング情報を提供するには、プライバシー保護手法を適用し、管理者は必要な情報のみを収集可能とする必要がある。

提案手法では、センサによって観測される選択肢の数が多数あり、センシングデータが少ない場合であっても、サーバにおいて有効なセンシングデータ全体のデータ分布が得られるための手法を提案する。提案手法では、複数の選択肢の中から一つの選択肢を選びサーバに送信する際に、 $k$  回繰返し送信する手法である。サーバ側は、多数の選択肢に対して少数のセンシングデータであっても、各々のセンサデバイスが収集したセンシングデータ全体のデータ分布を得ることができる。提案手法におけるセンシングデータのプライバシー保護処理の手順は、次の通りである。

(1) センサデバイスがセンシングデータを取得。センサデバイスは選択肢の総数  $\alpha$  の中から、一つの選択肢をセンサデータとして観測する。(2) センサデバイスがセンシングデータに対しプライバシー保護処理を行い、データをサーバへ送信。センサデバイスは確率  $p$  で得られたセンシングデータを真のまま選択する。若しくは、真のデータとは異なる  $\alpha - 1$  個の選択肢を確率  $1 - p / \alpha - 1$  で選択する。前述の選択を  $k$  回繰返し、 $k$  個の選択肢をサーバへ通知する。センサデバイスが収集したセンシングデータ全体のデータ分布を  $A$  とする。サーバへ繰返し送信する回数を  $k$  とする。センサデバイスによりプライバシー保護処理を行い、サーバへ送信されたセンシングデータ全体のデータ分布を  $Y$  とし、式 1 で表すことができる。プライバシー保護処理は、式 2 に示す  $\alpha \times \alpha$  の正方行列である行列  $M$  で表すことができる。(3) サーバは、センサデバイスから受け取ったデータを元にセンシングデータを再構築。サーバは式 3 によって、センサデバイスが収集したセンシングデータ全体のデータ分布  $A$  を得る。

$$Y = kAM \quad (1)$$

$$M = \begin{pmatrix} p & \frac{1-p}{\alpha-1} & \cdots & \frac{1-p}{\alpha-1} \\ \frac{1-p}{\alpha-1} & p & \frac{1-p}{\alpha-1} & \cdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1-p}{\alpha-1} & \cdots & \cdots & p \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$A = YM^{-1} \quad (3)$$

プライバシー保護の既存手法である Randomized Response と、本研究で提案するプライバシー保護手法の差異について述べる。図 4 は、Randomized Response を拡張した提案手法の動作を示した概略図である。既存手法では、センサデバイスがセンシングデータを取得した時、センサデバイスは得られたセンシングデータの真の値を確率  $p$  でサーバへ送信する。また、得られた真の値とは異なるセンシングデータ  $\alpha-1$  個の選択肢を、確率  $1-p/\alpha-1$  でサーバへ送信する。

既存手法では、1 回のセンサデバイスによるセンシングデータ取得につき、1 つの選択肢をサーバへ送信する。本研究の提案手法では、1 回のセンサデバイスによるセンシングデータ取得につき、 $k$  回繰り返し選択肢をサーバへ送信する。

既存手法のシミュレーションにより、Randomized Response と Negative Surveys とともに、送信するデータ総数  $D$  が少ないと、また、選択肢数  $\alpha$  が多くなると、復元精度が悪くなることが分かった。提案手法のシミュレーションにより、既存手法におけるデータ数と、提案手法におけるデータ総数  $D$  と繰り返し回数  $k$  の積が同じとなる時、同等の復元精度が得られることが分かった。また、すべての選択肢数  $\alpha$  において、繰り返し回数  $k$  を増やすことにより、復元精度も向上していることが分かった。既存のプライバシー保護手法(Randomized Response と Negative Surveys) は、少数の選択肢に対して、多数のセンシングデータがある時に適した手法であり、多数の選択肢があり、少数のセンシングデータであるケースに適用することは困難であった。提案手法では、多数の選択肢があり、センシングデータが少ない場合でも、サーバで有効なデータ分布が復元できることが、シミュレーションによる評価実験で確認できた。

参加型センシングにおけるプライバシー保護の提案手法では、復元精度に焦点を当ててシミュレーションを行ったが、プライバシー保護の観点からも議論する必要がある。通常は、プライバシー保護精度と復元精度は、トレードオフの関係にある。プライバシー保護精度とは、管理者が復元したデータ分布を、悪意ある攻撃者により漏洩した時、参加者の送信したセンサデータを推定できる確率とする。復元精度が高まれば、プライバシー保護精度は悪くなる。既存手法と異なる提案手法の特徴は、同じ参加者から  $k$  回同時にデータ送信されることである。攻撃者は、繰り返し回数  $k$  等を知り得る可能性がある。従って、参加者から  $k$  回同時にデータ送信されること自体が、プライバシー保護精度を低下させる可能性がある。提案手法により、復元精度を維持することは可能だが、既存手法と同様のプライバシー保護精度を維持できるとは限らない。

また、提案手法では、参加者がセンシングデータを送信する際、 $k$  回繰り返し送信に伴い通信量も増加する。極端に繰り返し回数  $k$  を増やすと参加者の負担となることがある。従って、繰り返し回数  $k$  だけでなく、真の値を送信する確率  $p$  も考慮して調整する必要がある。

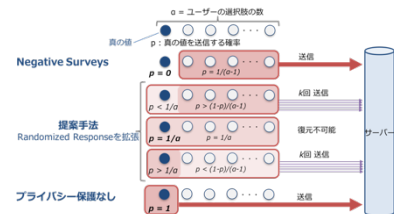


図 4 提案手法(Randomized

*Tomomichi Hayakawa, Teruhisa Hochin, Tokuro Matsuo, "Privacy Protection for Multi-Option Problem of Participatory Sensing Using Random Noise Addition" International Journal of Service and Knowledge Management International Institute of Applied Informatics 3(2) 1-14 (2019) (査読あり)*

### (3) ボランティアなコミュニティ活動のインセンティブメカニズム

近年、多くの地域で、様々な形でコミュニティ活動が行われている。様々なコミュニティ活動が行われているが、必ずしも順調に活動が進んでいるとは限らない。なかでも、ボランティアなコミュニティ活動では、活動の持続性が問題となるケースも多い。金銭の授受を伴わないボランティアなコミュニティ活動では、例え社会的に有益な活動であっても、参加者のモチベーションの減少に伴い活動も縮小していき、さらには、活動を停止してしまうケースもあり、問題とされている。ボランティアなコミュニティ活動の一つに OpenStreetMap (OSM) プロジェクトがある。OSM とは、ユーザ参加型によるボランティアな地理情報データ作成プロジェクトであり、世界中で 500 万人(2019 年現在)に及ぶほどの参加者により活動が行われている。日本においても、数千人の参加者により、日々多くの編集作業が行われている。情報生成過程であるコミュニティ活動は、地域活性化や街おこしとの親和性も高く、OSM データは OSM 活動の成果物であり、防災、教育、福祉、産業、観光、地域再生等の様々な社会活動により社会への貢献を果たしている。OSM のコミュニティ活動は、主にデータ作成過程において行われ、マッピングパーテ

イなどの活動が盛んに行われている。マッピングパーティとは、実際に対象となる現地に集まり、その地域の情報収集およびデータ編集を集中的に行う活動で、世界中で数多く行われている。マッピングパーティのような、OSM データである成果物の生成過程におけるコミュニティ活動は、地域活性や町おこしなどの効果も期待され、活動自体に価値がある。コミュニティ活動において、参加者のインセンティブやモチベーション、ならびに参加者間の合意形成は重要な要素となる。また、様々な情報が蓄積された OSM データの活用により、地域や社会に対して社会実装による貢献が可能となる。防災、防犯、安全、観光、地域活性などの市民生活に直結する情報を最適に提供することにより、多くの市民生活の改善が期待できる。さらに、社会実装が地域や社会に対して有効に働けば、市民の理解が得られ、新たにコミュニティ活動への参加が期待できる。これらのサイクルを繰り返すことにより、持続可能なコミュニティとなり、活動を通じたより多くの社会貢献が可能となる。このような OSM であるが、日本における OSM 活動の継続や社会貢献の可能性については十分に明らかになっていない。日本において OSM 活動が継続し社会貢献するためには、日本社会において OSM が重要であり OSM 活動が継続してゆかなければならない。そこで、まず、日本における OSM 活動の特徴を明らかにした後、社会における OSM の有効性を、コミュニティ活動と社会実装の両面から明らかにする。また、OSM 活動のようなボランティア活動の継続のためには、参加者のモチベーションの維持が重要であることから、OSM 活動の中の重要な活動の一つであるマッピングパーティを取り上げ、マッピングパーティ参加者のモチベーションを明らかにする。まず、日本の OSM のコミュニティ活動やその主な活動であるマッピング活動に対して、以下を行った。

(1) 日本における OSM 活動の特徴を明らかにし、日本において OSM 活動が継続していくための課題を明らかにする。OSM と同様なボランティアな貢献者によるオープンソース・プロジェクトにおける研究では、小規模開発プロジェクトは、多くの問題解決のためにリソースを必要とするために、結果的に開発プロジェクトの停滞や失敗につながると述べている。現状の日本の OSM も他地域と比較した場合、小規模プロジェクトと見なすことができ、プロジェクトの持続可能性に不安要素があることになるが、OSM の日本のコミュニティの持続可能性については明らかにされていない。そこで、日本における OSM 活動の特徴を明らかにし、日本の OSM 活動が持続可能な活動となるための課題を明らかにすることを目的として、OSM 活動の分析を行う。OSM の調査結果から、日本の OSM では活発な活動が行われているが、他地域と比べると貢献者数に対してオブジェクトの数が極めて多いという、日本の OSM データである成果物の他地域に無い特徴を明らかにした。日本の OSM は少ない貢献者により活動が行われているため、将来の持続可能なコミュニティ活動に不安要素が存在する可能性があると考えられる。

(2) OSM の有効性を明確にし、OSM 活動の課題を明らかにする。東日本大震災の際に、日本の OSM コミュニティでは災害対応活動、および復興活動等の支援を目的としてクライシスマッピングを行なった。震災時のクライシスマッピングの具体的活動とは、避難所や病院などの避難活動に必要な情報や、倒壊した建物、破損した道路、津波被害のエリア等の被災状況を地図データとして整備することである。そこで、OSM の有効性を示すために、東日本大震災時の日本の OSM コミュニティが中心に行なったクライシスマッピングをハイチ地震のクライシスマッピングと比較しながら調査を行なう。調査により、将来起こりうる災害時のクライシスマッピングのためには、基本的な地図データの整備が必要であることを示す。そのためにも、各地に OSM を普及するとともに貢献者を増やすことで、持続可能な形で基本的な地図データを常に最新に維持することが、大変重要であることを示した。

(3) マッピング活動の参加者のモチベーションを明らかにする。OSM 活動は社会にとって有益な活動のひとつであり、持続可能な活動であるべきである。コミュニティ活動が持続可能な活動になるためには、参加者のモチベーションの維持が重要となる。しかし、金銭の授受を伴わないコミュニティ活動であるマッピングパーティの参加者のモチベーションについては明らかにされていない。そこで、OSM において重要な活動の一つであるマッピングパーティの活動における参加者のモチベーションを明らかにするために、アンケートによる調査分析を行なう。マッピングパーティは、オンライン上のコミュニケーションではなく、リアルなコミュニケーションであり、友人とのコミュニケーションや懇親会でのコミュニケーションが、参加者のモチベーションに対して重要な要素であることを示した。

早川知道, "OpenStreetMap のボランティアなコミュニティ活動と社会実装に関する研究" 京都工芸繊維大学 2019 年 9 月

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Tomomichi Hayakawa, Teruhisa Hochin, Tokuro Matsuo	4. 巻 3
2. 論文標題 Privacy Protection for Multi-Option Problem of Participatory Sensing Using Random Noise Addition	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Service and Knowledge Management International Institute of Applied Informatics	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomomichi Hayakawa, Teruhisa Hochin, Tokuro Matsuo	4. 巻 3
2. 論文標題 Implementation of Incentive Mechanism in Participatory Sensing-Based River Management System	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Service and Knowledge Management International Institute of Applied Informatics	6. 最初と最後の頁 35-50
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 早川知道
2. 発表標題 オープンデータの位置情報精度評価ツールの開発
3. 学会等名 パーソナルコンピュータ利用技術学会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------