

令和元年5月13日現在

機関番号：51201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00303

研究課題名(和文) インセンティブメカニズムの河川管理巡視業務への実装

研究課題名(英文) Implementation of incentive mechanism in river management patrol operation

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・特命准教授

研究者番号：80730887

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：河川周辺地域では、事故、不法投棄、浸水などの問題点を解決するため、河川環境管理手法の新たな方法論にチャレンジし、住民からの情報提供を促進するためのインセンティブ設計を行い、それらを基盤とした実証実験を実施し、住民から情報収集するため参加型センシングの手法を用いて「河川情報管理システム」を研究開発した。また、住民から情報収集する仕組みとして、子どもらの安全情報共有のための地域安全マップシステムを試作した。参加型センシングの参加者の持続的な参加を促すための調査として、OpenStreetMapの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明らかにするためアンケートによる調査分析を行なった。

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)：In the area around the river, there are problems such as accidents, illegal dumping, and flooding. In order to solve these problems, we researched and developed a "River Information Management System" using participatory sensing to collect information from residents. As a mechanism to collect information from residents, we developed a community safety map system for sharing information on children's safety. As a survey to encourage the continuous participation of participants in participatory sensing, we conducted a survey analysis to clarify the motivation of participants in mapping party of OpenStreetMap.

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、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」を研究開発する。しかし、システムの開発だけではなく、河川周辺の住民らが積極的に参加し協力を得られなければ成り立たない。「河川情報管理システム」の研究開発のみならず、河川周辺の市民の参加を促す仕組み作りも重要となる。

従って、本研究では、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、ならびに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) 実際にボランティアな活動に参加している参加者のモチベーションについて調査を行い、市民らの参加を促すための分析を行う。

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効果的に得るためには、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。



図1 河川情報システム概要

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。

(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



図 2 河川情報アプリケーション

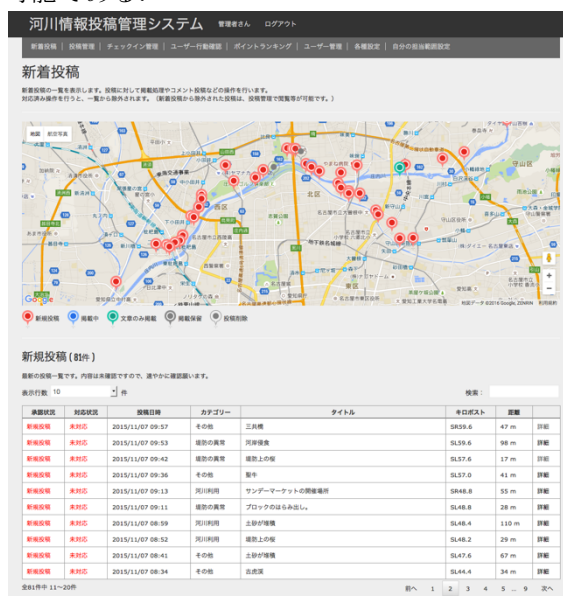


図 3 投稿管理システム (トップ画面)

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 回繰り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 α 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 回繰り返し、 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。サーバへ繰り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 α 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 α 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

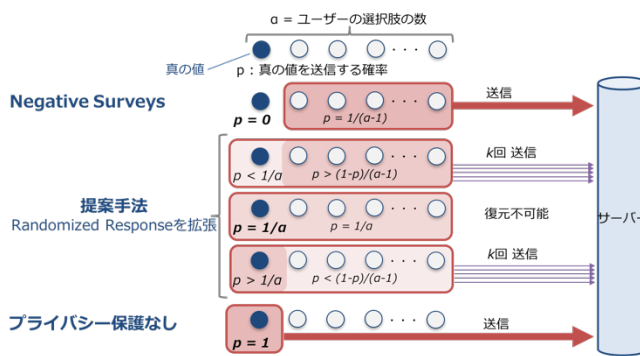


図4 提案手法 (Randomized Response の拡張手法) の概略

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 回繰返し送信に伴い通信量も増加する。極端に繰返し回数 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。

(3) 参加者のモチベーションの調査分析

近年、様々な形でボランティアによるコミュニティ活動が行われている。しかし、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、さらには、活動を停止してしまうケースもあり、問題点とされている。

本研究では、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が、持続可能な活動になるためのメカニズムを明らかにするための調査として、ボランティアなコミュニティ活動参加者のモチベーションについて調査を行う。ボランティアなコミュニティ活動として、OpenStreetMap (OSM) のコミュニティ活動であるマッピングパーティに着目し、アンケートにより調査を行い、分析を行った。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 万人に及ぶほどの参加者により活動が行われている。世界中の参加者がクラウドソーシングによりデータを更新しており、日本においても数千人の参加者が、日々多くの編集作業が行っている。OSM の成果物、及び情報生成過程であるコミュニティ活動は、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おり、地域活性化や街おこしの親和性も高い。

マッピングパーティのアンケート調査は、2017 年 10 月から 2018 年 8 月の期間に日本で行われた 7 箇所のマッピングパーティに著者が参加し、他の参加者に対してアンケートを実施した。アンケート回収数は 62 件である。アンケートを行ったのは、男性 39 名、女性 23 名で、20 代から 60 代までの 62 名である。アンケートを行ったマッピングパーティを次に示す。括弧内はアンケート回収数である。

- 2017/10/14 東京都 旧古河庭園 (7 件)
- 2017/11/11 東京都 大宮八幡宮 (7 件)
- 2017/12/9 愛知県 日進市 (7 件)
- 2018/3/3 静岡県 湖西市 (17 件)
- 2018/3/11 東京都 品川宿 (8 件)
- 2018/7/21 東京都 増上寺 (7 件)
- 2018/8/12 東京都 富岡八幡宮 (9 件)

アンケート調査結果により、参加者の構成としては、20 代から 60 代までの参加者による世代を超えたコミュニティ活動であり、初心者も経験者も多く参加していることが分かった。女性は、地域の情報収集や編集作業などのマッピングパーティーの作業自体に、男性より興味を示して参加している。男性は、友人との再会などの他の参加者とのコミュニケーションに、女性より期待して参加していることが分かった。

マッピングパーティ経験者は、マッピングパーティーの作業である編集作業には当然興味を持っているが、それ以外に、懇親会、友達作り、友人と再会などのコミュニケーションについて期待して参加していることが分かった。さらに、OSM 編集が多いヘビーマッパーと呼ばれる人々においても、編集作業の他に、懇親会、友達作り、友人と再会などのコミュニケーションに期待して参加していることが分かった。つまり、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無く、リアルなコミュニケーションであり、フィールドワークや編集作業での参加者間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が分かる。世代を超えた参加者が、コミュニケーションにより繋がっていく様子が伺える。

OSM は、個々の貢献者による編集活動により成り立っている。一人の貢献者による編集活動は孤独な活動に成りがちであり、モチベーションの維持に限界が生じる場合も多い。一つの目的に対して複数人で同時に共同作業を行うマッピングパーティにおいては、参加者間のコミュニケーションがモチベーションの維持に繋がっている。さらに、この参加者のモチベーションが、OSM の貢献者らの持続的な活動に貢献していると考えられる。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 早川知道, 松田邦仁久, 伊藤孝行, “OpenStreetMap を用いた協同編集可能な地域安全マップシステムの試作”, Prototype of Community Safety Map System That Can Collaboratively Edit Using OpenStreetMap, 情報処理学会論文誌, Vol. 59, No. 3, pp. 1095-1105, (2018-03-15)
- ② Tomomichi Hayakawa, Tokuro Matsuo, Teruhisa Hochin, “Implementation of Incentive

Mechanism in Participatory Sensing-Based River Management System”, International Journal of Service and Knowledge Management, 掲載予定, (2019-)

〔学会発表〕 (計 4件)

- ① Tomomichi Hayakawa, Ryo Suzuki, Takayuki Ito, “Development of River Information Management System According to the Participatory Sensing.”, 15th IEEE/ACIS International Conference on Computer and Information Science (ICIS 2016) Special Session on Internet of Things for Smart Society (IoTSS 2016), pp. 1-5, 26-29 June 2016, Okayama, Japan (査読あり)
- ② 石田健太, 早川知道, 伊藤孝行, “参加型センシングによる河川情報管理システムにおけるインセンティブ機構の設計”, 平成 28 年度 電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会講演論文集, vol. 2016, no. F1-2, pp. 1-2, 豊田工業高等専門学校, 2016 年 9 月 12-13 日,
- ③ 早川知道, 伊藤孝行, “多選択問題のためのランダムなノイズ付加に基づくプライバシー保護手法”, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2016 (JAWS2016), かんぼの宿 岐阜羽島, 2016 年 9 月 15 日-16 日
- ④ 早川知道, 松尾徳朗, 寶珍輝尚, “マッピングパーティにおける参加者のモチベーションの調査分析”, 第 3 回 国際 ICT 利用研究会全国大会 (IIARS2018), 講演論文集, 日本大学 神田三崎町キャンパス, 2018 年 12 月 8 日

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名： 伊藤孝行

ローマ字氏名： Takayuki Ito

所属研究機関名： 名古屋工業大学

部局名： 大学院工学研究科

職名： 教授

研究者番号 (8 桁)： 50333555

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。