

研究終了報告書

「データ品質に基づいた IoT データ経済流通モデル」

研究期間：2019年10月～2023年3月

研究者：吉廣 卓哉

1. 研究のねらい

本研究では、スマートシティ等のコンテキストを想定して、街中にさまざまなセンサが広く存在する場合に、それらのデータを経済・社会流通させることで広く社会で活用する手法の開発を目指す。想定する状況では、一般市民や企業等の多様な主体が設置した様々なセンサが街中に散在しており、管理状況やデータ品質も様々である中で、個人消費者やサービス提供者が個々の品質要求に従ってデータを買求めて活用する。そのようなデータ流通社会を実現するためには、各データの品質を高精度に推定し、要求とマッチングさせ、適切な価格設定をすることで、データ購入者が欲しいデータを自由かつ効率的に購入できる仕組みが必要となる。本研究の狙いの一つは、多数の人を巻き込んだ自然なデータ取引を実現・促進するために必要となる、データ品質推定やデータ価格決定を行う手法を提案すること、また、それらを組み合わせることでデータ取引を実現するための流通フレームワークを考案することである。

また、データは必ずしも金銭によって決済されるとは限らず、善意によって生成されて社会活用される場合もあると考えられる。特に参加型センシングのような、人がスマートフォンを通じてデータを生成するようなモデルにおいては、金銭による決済を前提とすると、データ購入者がデータを取得するために必要な金額が大きくなり、現実社会におけるデータ流通を実現できるようなアプリケーションが成立しにくいと考えられる。そこで本研究では、移動センサから得られるデータの社会流通に関しては、金銭ではなく善意を主な動機付けとした手法を検討することとした。人間が金銭等の直接的な利益以外によって行動を起こすことは広く知られているが、どのような場合にどのような行動を起こすのかについては、学術的にはあまり明らかになっていない。しかし、経済的側面に関しては行動経済学の分野でいくつかの知られた知見が存在しており、これらの知見を用いた参加型センシングの枠組みを設計することは可能であると考えられる。本研究のもう一つの目標は、参加型センシングの実社会適用を目標として、自分が属する組織(会社や学校、自治体等)への貢献を参加型センシング・クラウドソーシングにより実現するフレームワークを行動経済学の知見に基づいて設計し、その実用性を検証することである。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究課題では、固定センサ及び移動センサから得られるデータを対象として、これらのデータを経済・社会流通させるための要素技術やフレームワークに関する研究を行った。

固定センサのデータ流通に関しては、まず、(A)地理的に分散配置されたセンサから得られたデータの品質として最も重要な指標は正確さであると考え、MCMC (Malkov-chain Monte-carro) サンプリングに基づいて確率的に各センサの正確さを推定する手法を提案した。既存のネットワーク校正手法は主にバイアス推定による最適な測定値の補正を行うが、正確な

バイアス量推定や誤差量の補償等の管理には検討が至っていない。本手法では、バイアスの確率的な推定値に基づいて定期的に一部センサの校正を行うことで、センサ集合のバイアスの把握、及び正確さをある程度担保した適切な管理が可能になる手法を提案した。また、センサの測定値間の関係に基づいてセンサの品質や信頼性を管理する基礎として、地理的に離れた場所の測定値から、気温・湿度・河川水位等を推定する手法を検討した。

次に、(B)それらの手法により推定された品質を用いて、購入者の需要と販売者間の競争に基づいて妥当な価格決定をする手法と経済流通フレームワークを提案した。IoT データの販売フレームワークはゲーム理論を中心とした手法がいくつも提案されているが、コピー可能なデータを需要側と供給側のバランスに基づいて値付けできる仕組みは存在しない。提案手法では、本研究では、フィールド上に面的センサが散在する状況を考え、センサ所有者が信頼の下でデータをブローカに預け、ブローカがセンサ所有者間の競争を模倣したアルゴリズムによって適切に値付けし、消費者に販売するデータ経済流通の枠組みを提案した。本手法により、過当な価格競争を避け、多くの販売者と購入者が参加できるデータ取引市場を実現できる。

移動センサの社会流通に関しては、(C)自治体等の組織がこの構成員に、主に善意によって必要な作業をしてもらい、構成員が協力して組織に貢献するための参加型センシング・クラウドソーシングフレームワークを設計した。行動経済学の効果を用いることで、日常的に組織との接点を持ち親しみを育てながら、個々の参加者が参加し、さらに一定のポイントを得られることで一定の実利的報酬も得られるフレームワークである。

(2) 詳細

研究テーマ A「IoT データの自動キャリブレーション及び品質推定手法の開発」

固定センサのデータ流通に関しては、まず、(A)地理的に分散配置されたセンサから得られたデータの品質として最も重要な指標は正確さであると考え、MCMC サンプルングに基づいて確率的に各センサの正確さを推定する手法を提案した。IoT センサデータの正確さは、センサの測定性能にも依存するが、それ以上に経年変化により生じるバイアスの影響が大きいので、定期的なキャリブレーションが必要になる。しかし、所有者や管理状況が異なる大量のセンサに対して個々に校正をすることは不可能であるため、各センサの値を収集した上で、それらの相対的性質を用いてキャリブレーションを行うネットワークキャリブレーション技術が開発されている。しかし、従来手法では各モデルに基づいた最適化のみがなされており、正確さを担保する管理までを想定した手法は存在しない。そこで本研究では MCMC (Malkov-chain Monte-carro) サンプルングに基づいてバイアスを確率的に推定しつつ、定期的に一部センサのキャリブレーションを行うことで、センサ集合のバイアスの把握、及び正確さをある程度担保した適切な管理が可能になる手法を提案した。R および RStan を用いて本手法を実装し、シミュレーション評価を行った。シミュレーションは、大阪市の 1 時間毎測定値 1 年分を用い、大阪市の 5x5 のグリッド状のセンサを配置するシナリオで実施した。定期的に毎月、複数個のセンサをキャリブレーションする方法で妥当なバイアス管理が可能であるかどうかを検証した。その結果、一定の条件下において、バイアスを概ね正しく推定でき、適切な誤差量になるように管理できる可能性を示した。本成果は国際会議に採択され、成果発表した。

本課題からの展開課題として、異種データを用いた異常推定を目指した要素研究を進め

た。大学周辺や和歌山市内に設置した気象センサにより取得したデータ、気象庁から得られる気象データ、国土交通省から得られる水文データ等を用いて、相互にどの程度の予測が可能になるのかを検証した。研究成果として、和歌山大学周辺に設置したセンサの値は、過去の値と近隣気象台の測定値を用いて一定の予測ができることを確認できており、成果を論文として発表した。また、河川の水位を、深層学習を用いて推定する手法を提案した。現在は上流の観測所を用いた水位予測が主流であるが、上流観測所が存在しない場所でも、レーダ雨量データを用いて水位を予測できることを確認し、成果を口頭発表として発表した。

研究テーマ B「IoT データのプライシング及び経済流通フレームワークの開発」

研究テーマ A により推定されたデータ品質を用いて、購入者の需要と販売者間の競争に基づいて妥当な価格決定をする手法、および経済流通フレームワークを提案した。IoT データの販売フレームワークはゲーム理論を中心とした手法がいくつも提案されているが、コピー可能なデータを需要側・供給側のバランスに基づいて値付けできる仕組みはこれまでに存在しない。従来の需要供給に基づいた経済理論やオークション等に基づいた手法は、限られた資源（または商品）を競って購入する前提であるため、バッテリー容量や計算資源等の限られた資源を購入するには適用可能であるが、コピーに制限がない IoT データの販売には適用できない。また、複数のステークホルダ（データ生産者、仲介者、購入者等）間で複数ステージのゲーム（交渉）をすることで、コピー可能なデータの値付けをする手法はいくつか提案されているが、例えば購入者が予算を宣言して、その範囲内で高い品質のデータの供給で競うモデルなど、純粋に購入者と販売者の要求バランスの下で適切な値付けがなされる手法は提案されていない。本研究では、フィールド上に面的にセンサが散在する状況を考え、センサ所有者が信頼の下でデータをブローカに預け、ブローカが責任をもって、センサ所有者間の競争を模倣したアルゴリズムによって適切な値付けを行い、消費者に販売するデータプライシング及びデータ経済流通の枠組みを提案した。本提案では、そのデータに対する需要と供給者間の競争のバランスによってデータの価格が決定される仕組みを実現した。データは自由にコピーできるが、競合データの間では価格が安いもののみが売れるため、販売者が個々の販売利益を最大化するためには価格を下げることはできず、価格がゼロに収束する価格競争が起こる。これは販売者の利益を損ね、データ市場の成立を危うくするため、避ける必要がある。本研究ではブローカがデータを預かり、品質測定と価格決定に責任を持つことで、この問題を避ける。具体的には、品質と位置において競合するセンサに関しては、値段が競合関係になると動的に協力関係を持ち、価格がゼロに収束することを避ける。この動的協力の仕組みを含めいくつかの工夫を組み込み、うまく市場を維持する仕組みをブローカ側のアルゴリズムが担保することで、データを品質に即した適切な価格で販売する値付けを実現する。C 言語および CPLEX を用いて本フレームワークを実装し、品質に応じたバランスのとれた価格に収束することや、販売利益が広く多くの販売者間で分散するなど、データ市場として望ましい性質を持つことを確認できた。また、各種パラメータの値の変化による収束価格や売買特性への影響を調べた。研究成果を学術論文として取りまとめ、国際ジャーナル論文として出版した。

研究テーマ C「善意と行動経済学に基づいたコミュニティ型クラウドソーシングフレームワーク

の開発」

本研究課題では、自治体等の組織が構成員に、主に善意によって必要な作業をしてもらい、構成員が協力して組織に貢献するための参加型センシング・クラウドソーシングフレームワークを設計した。アドラー心理学では人間の究極の欲求は貢献心であると説かれるなど、人間には他人や社会に貢献したい心理があると考えられ、この心理を最大限に活かして広く貢献を募り、組織の活動を活性化する動機を引き出すことを目指した。

提案フレームワークにおいては、行動経済学の効果をいくつか活用することで、日常的に組織との接点を持ち親しみを育てながら、個々の参加者がコミュニケーションに参加し、さらに一定のポイントを得られることで一定の実利的報酬も得られるフレームワークを設計した。本フレームワークにおいては、日常的に、ユーザが少ない手間で回答できる選択回答式タスクを送り、ユーザが通知を受けてその場で回答すると、それらの集計を組織がフィードバックすることで、ユーザの組織への好意を育て、組織の依頼に対して貢献する際の心理的障壁を下げることを主たる仕組みとしている。

学生約30名による評価実験を行い、効果を検証した。ユーザを2つのグループに分割して、フィードバックの有無による依頼タスクへの参加率を比較したところ、フィードバックにより依頼タスクへの参加率が向上することが確認された。また、アンケート調査からは、フィードバックにより心理的に参加したい気持ちが高まっていることが確認された。本結果を学術論文としてとりまとめ、国内ジャーナル論文として出版した。

3. 今後の展開

研究テーマ A はセンサの品質推定と管理に関する技術開発であるが、近隣に多数のセンサがある状況でなければ実用が難しい。テーマ B とも関連するが、近隣に同種のセンサが多数存在する状況やアプリケーションを発見・創造することが課題となる。これを補うために、移動センサを利用したシナリオも検討されはじめており、移動センサを組み合わせたセンサの品質管理手法が検討できると良い。また、本研究でも取り組み始めたように、近隣の異種センサや距離が離れたセンサ等は、校正のように精度が必要な用途への適用は困難であるが、故障検知等の大まかな信頼性確保には利用できる可能性があり、この方向性も将来に向けて可能性がある。

研究テーマ B は IoT データを経済流通させるためのプライシング方式として新規性が高く、近年のデータ流通フレームワークへの期待もあり関心が高い内容である。しかし、実用化のためにはキラーアプリとなるデータ販売シナリオが必要であり、現時点では見つかっていない。学術的には、本研究は複製できるデータの価格決定手法として国際的にもパイオニア的な内容であり、本研究からの派生により複製可能データの値付けの方法論が発展すると良い。

研究テーマ C は実用的研究を目指した取り組みであり、注目されつつもなかなか進まない、市民参加型の自治体活動の実現に向けた有用な技術要素になる可能性がある。自治体等での実証実験を進め、成功事例を作ることができれば、実用化につながる可能性がある。

4. 自己評価

提案時の目標は、何らかの IoT データの経済流通方式を確立し、実証実験までを実施すること

であった。実用化できるキラーアプリケーションを発見し、そのデータを小規模でも良いので流通させることを考えていたが、キラーアプリケーションの発見が想像以上に難しく、学術要素の提案のみに終始したことは残念である。一方で、研究テーマ A, B, C の全てにおいて、テーマ自体は新規性が高く、少なくとも学術的には将来への発展が期待できる内容であり、今後の情報社会において、分野開拓的な技術シーズになり得るテーマであると考えられる。そのような研究テーマを発掘し、成果化できた点については一定の自己評価をしている。

5. 主な研究成果リスト

(1) 代表的な論文(原著論文)発表

研究期間累積件数: 3件

1. T. Yoshihiro and S. Hosio, "Simulation-based IoT Stream Data Pricing Incorporating Seller Competition and Buyer Demand," IEEE Access, Vol.11, 16213 – 16225, 2023.

The concept of sensor clouds has been populated for utilizing data from massive amount of IoT devices. In the sensor cloud, a large number of sensors and users are connected and sensor data are traded among them. A number of market frameworks for such data ecosystems have been proposed so far, most of which assumes multiple stakeholders and coordinates their interests using the traditional economic theory, game theory, and so on. However, because of the duplicability of IoT data, designing a natural pricing scheme based directly on market principles, such as the balance between seller competition and consumer demands, is still a challenge. In this paper, we propose a new pricing scheme for IoT stream data, where prices are determined by the balance between seller competition and consumer demand. Unlike conventional methods, our method is based on simulation. By simulating the market and sellers' pricing behaviors on the broker's platform, fair pricing is achieved without causing undesirable phenomena such as price wars, etc. The evaluation results show that the proposed pricing method has desirable characteristics for an IoT data market.

2. 仙頭美卯, 吉廣卓哉, "コミュニティ型クラウドソーシングにおける行動経済学に基づいたタスク実行の動機付け効果," 情報処理学会論文誌, 64 (7), 1153-1163, 2023.

地方自治体において、市民の声を集めるアンケート調査をクラウドソーシングとして実施することで社会課題の解決や行政サービスの改善を目指す試みが行われている。しかし、このような仕組みが実際に活発に運用されている成功例は多くない。市民の参加を促すには動機付けが必要であり、単純で効果的な方法は報酬を支払うことであるが、地方自治体が多数の市民を継続的に参加させるほどの報酬の財源を確保することは困難である。本研究では、自治体を含む何らかのコミュニティ内を想定して実施するコミュニティ型クラウドソーシングにおいて、好意から生じるコミュニティへの貢献の気持ちが、少額の報酬しか得られないタスクに対する動機付けを補い、少額の報酬であってもクラウドソーシングのサービスが成り立つのではないかと仮定した。本仮定に基づいて、行動経済学における動機付け効果を組み込んだクラウドソーシングフレームワークの設計を行い、実験によりその効果を検証した。具体的には、行動経済学において効果が認められている単純接触効果やイケア効果等によって、好意と少額の報酬が相補的な効果をもたらす可能性を検証

した。実験の結果、これらの行動経済学に基づいた動機付けの仕組みにより、少額の報酬でも参加者のタスク実行を動機付けられる可能性を確認した。

3. Genki Nishikawa and Takuya Yoshihiro, “A Weather-aware Microclimate Prediction using Measurements of Meteorological Observatory,” International Journal of Informatics Society (IJIS), Vol.15, 2023.

Microclimates, the climate measurements near the ground, are helpful for agriculture, town management, etc. To measure microclimates such as temperature and humidity, it is necessary to locate sensors at all the observation points on the ground. However, its high cost makes it unfeasible to keep sensors installed at many points. Hence, although some studies use machine learning techniques to learn the effects of topography to predict microclimate, it is difficult to obtain sufficient data to predict microclimate measurement because of various factors that affect microclimate. In this paper, we extended the conventional method that used the differences in measurements between the nearby meteorological observatory and the observation point, and proposed two ways to predict microclimate more accurately; One is using weather classification, and the other is using the meteorological measurements such as sunlight strength and wind direction.

(2) 特許出願

該当なし

(3) その他の成果(主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

1. Takuya Yoshihiro, A Two-step Automatic Calibration Method for Sensor Accuracy Management, 19th International Conference on Intelligent Environments (IE'23), 2023.6.
2. 上田 風斗, 田内 裕人, 江種 伸之, 吉廣 卓哉, レーダ雨量を用いた深層学習による増水時の河川水位予測の試み, 情報処理学会第 106 回 MBL 研究会, 2023.2.
3. 仙頭美卯, 吉廣卓哉, コミュニティ型クラウドソーシングにおける行動経済学に基づいたタスク実行の動機付け効果, 情報処理学会第 106 回 MBL 研究会, 2023.2.
4. 吉廣卓哉, 近接配置された IoT センサの自動校正による精度管理手法の一検討, 情報処理学会第 106 回 MBL 研究会, 2023.2
5. Genki Nishikawa and Takuya Yoshihiro, “Predicting microclimate based on difference from meteorological observatory,” International Workshop on Informatics (IWIN2021), 2021.9.