

**令和 4 年度 教員地域貢献活動支援事業（学長裁量事業）地域実践研究  
成果報告書**

本事業について次のとおり成果を報告します。また、当該事業の経費執行については、規程等を遵守し適正に使用しました。

**1 研究課題名**

IoT 地震動計測センサネットワークの構築—実証実験とデータ利活用に関する研究—

**2 研究代表者**

氏名	金垂伊
所属	理学部
職位	准教授

**3 チーム構成**

氏名・所属・職位	小野陽子・データサイエンス学部・准教授
氏名・所属・職位	
氏名・所属・職位	
氏名・所属・職位	

学生の協力者（代表）

氏名・所属・学年	中村桃子 生命ナノシステム科学研究科物質システム科学専攻 修士 2 年
----------	-------------------------------------

**4 連携相手先**

組織名	Code for YOKOHAMA
-----	-------------------

※連携相手先以外で、本事業に協力した・参画した機関等（該当がある場合記載）

組織名	
-----	--

**5 この研究活動の概要**

技術を活用し地域課題の発見、解決する活動を行う Code for YOKOHAMA と協力し、高密度 IoT 地震動計測センサネットワーク構築のための実証実験を通して、都市防災に必要なデータインフラの整備、及び観測データを活用した市民の地震・防災減災リテラシーの向上を目指す。

## 6 この研究を実施する目的

日本は世界有数の地震大国であり、高密度な地震観測網を持つ。しかし、その観測網でさえも個人の家一つ一つ、ビルの各フロアの地震による揺れを計測し、ハザードを予測することは難しい。比較的新しい家や大規模なビルに組み込まれている地震計は多くあるが、早急に防災、減災対策を立てるべき築年数の古い個人住宅や老朽化したビルなどに設置されている例は少ない。これらの適切なモニタリングと地震被害の予測を行う事は都市防災を実現する上で重要な課題の一つである。以上の課題を解決するため、申請者は MEMS 加速度センサを用いた小型 IoT 地震動計測センサ (IoT センサ) 及びアルゴリズムの開発とその普及に関する研究を進めてきた(例えば※1、※2)。

一方、Code for YOKOHAMA では技術を活用した地域課題を発見、解決する活動を進めており、市民として横浜市をより良い都市にするためには ICT の利活用が重要であると考えている。しかし、横浜市に限らず日本では都市に関するデータが公開されている例は少なく、また、公開されていても再利用しやすい形式となっていない場合が多いという課題がある。

そこで本研究では Code for YOKOHAMA と協力し、

1. IoT センサネットワークの実証実験
2. 社会実装のための地震防災に関するデータインフラ整備と利活用

の2点に焦点をあて、市民目線に立った地震災害における自助、共助システムの構築を目指す。

### 1. IoT センサネットワークの実証実験

この項目では 2021 年度に引き続き、横浜市における高密度 IoT センサ観測網の構築を目指した実証実験を行う。ネットワーク構築のために、まず IoT センサの設置場所を確保する必要があるが、公共施設に加え、Code for YOKOHAMA と連携して市民が自分で地震計を組み立てるハンズオンイベントを開催し、作成したものを持ち帰って設置してもらう事で設置台数を増やす予定である。これらのセンサでネットワークを構築し、当研究室で開発した地震動検出、リアルタイム震度予測アルゴリズムを実装し運用実験を行う事で、平時及び地震時のセンサの挙動、波形データ、地震時の市民の反応に関するデータを取得し、その有用性、課題、運用方法について検証する。実験期間中に大きな地震が発生するかどうかは未知であるが、1 ヶ月に平均して 2、3 個の有感地震は発生しているのそれらの検出とリアルタイム震度の予測、ユーザ通知ができるかの検証及び、ユーザがどのようなリアクションを取ったか等のデータを収集する予定である。

### 2. 社会実装のためのデータインフラ整備と利活用

本研究の大きな目標はこのシステムを作るだけでなく、現実社会に実装し活用することである。そのため本研究ではネットワークの社会実装に向けた様々な実験を行う予定である。家庭用地震計を普及させるための最重要課題として、

- 1) IoT センサを設置するユーザにとってのメリットの提供
- 2) 市民の防災減災リテラシーの向上の2点が挙げられる。

想定するユーザー、特に一般家庭ではこれらのシステムの導入コストに見合う付加価値（セキュリティ、見守り、データ再利用など）があつてこそ普及が望める。申請者はこれまでに IoT センサの市民ワークショップや見守りツール化の研究にも携わってきたが(※3)、地震時にしか使えないものをコストをかけてまで導入したくない、という意見を多く頂いた。どのような付加価値が必要かはユーザーの属性ごとに違うので、そのようなニーズに柔軟に対応できるシステムの開発を目指すべきであると考え。本研究ではそのニーズの一つであると考えられる、研究者以外の市民が有効にデータを再利用できるような API 等の開発を進め、今後増えていく都市におけるさまざまなデータのインフラの足掛けとなることを目指す。さらに、ハッカソンやアイデアソンを通して、市民の目線からみた地域、横浜市に必要なデータインフラの整備と有用なアプリケーションの開発を目指す。

また、Code for YOKOHAMA が目指すデジタル技術を活用した都市経営

(<https://code4yokohama.github.io/ict-proposal/full-text/>)において、統計データや地理空間情報等の静的なデータからセンサ由来のダイナミックなデータまで、地域に関するさまざまなデータへアクセス可能なデータインフラが重要である。この点に関して IoT センサネットワークでは個々の住宅やビルにおける揺れ情報を共有する事で、ハザードマップを更新し街全体の防災情報を強化することが可能である。特に個人宅のような低層の木造建築物に加え、都市部に多い中層、高層ビルに設置した IoT センサを使用して、建物のフロアや部屋ごとの地震動、災害情報を収集し、2次元で構成されているハザードマップに3次元の視点を加える事で現実に即した街全体のハザードマップを作成することを次のステップとして想定している。

※1. A. Kim, H. Uematsu, S. Iwamoto (2015)、Towards Constructing Regional Active Citizen

Seismology Network、interaction 2015、284 – 286.

※2. Linked Open Data チャレンジ 2016、IoT 賞及び Yahoo!Japan 賞「加速度センサーを用いた地震計測ネットワーク、震度計測センサーユニット、加速度センサーユニットで観測された地震情報、加速度センサーで観測された地震波形のビジュアライズ」

※3. 中小企業庁「ものづくり・商業・サービス革新事業」平成 27 年度補助金、「加速度センサーによるカメラを使わない見守りサービス」

## 7 実施した内容（スケジュールと具体的な活動、実績、成果）

2021 年度よりボランティア個人宅、金沢区土木事務所、横浜市の情報科学専門学校の1階と8階の2フロア、横浜市立大学など現在 10 台の地震計が稼働中でデータを取得している。今年度も横浜市における高密度 IoT センサ観測網の構築のためにセンサの設置場所を確保することを目指したが、近年の半導体不足によりセンサーユニットを構成する小型コンピュータであるラズベリーパイの入手が非常に困難となり、実証実験に必要な数のセンサーを入手することが非常に困難であった。その背景を鑑み、今年度は市内での大規模な実証実験ではなく、現在入手済みのラズベリーパイを用いて大学構内で小規模ネットワークを構成し、これらの運用実験を通して市内でのネットワーク構築に応用できるシステムを作ることを目指し、その下準備を行ってきた。具体的には構内の様々な条件の場所に

1) センサーを設置し、2) データを取得、3) 可視化、及び 4) ダウンロードシステムを構築する事を目指しており、現時点で

1)-4)までのプロトタイプができています。さらにデータ公開用の Web サイトも構築中であり、ネットワーク上の波形を検索してダウンロード可能とするために、地震動を流通させるためのメタデータの整備を行ってきた(図 1、※4、※5)。

また、2021 年度より開発を継続している機械学習を用いた地震動検出(※6)、リアルタイム震度予測アルゴリズム(※7、※8、※9)もアップデートを行なってより精度の良い、地震波の検出、震度予測を可能にした。さらに IoT センサに RGB-D カメラなどを設置し取得した室内点群データを用いて地震時の揺れによるハザ

ードを予測するシステムを開発した(※10、※11)。

データ利活用に関しては、地震計ネットワークを広く周知し持続可能なプロジェクトとするために、2023 年 1 月に学内において学生 図 2. アイデアコンテストポスター限定のアイデアコンテストを開催し、IoT センサのデータ利活用と

言うテーマでアイデアを募った(図 2)。参加者に対しては地震関連の知識を一切問わず、地震計センサーネットワークの意義や設置条件といった最低限の情報のみを開示し、自由な発想を促した。アイデアに関しては地震学分野での活用に留まらず、情報学や経営学等、他分野の知識と融合したアイデアを推奨した。その結果地震学を専門としない学生たちから様々なアイデアをいただき、市民目線でのデータの利活用に考える上でこのようなコンテストやワークショップを定期的に行うことが非常に有用である事が示唆された(※12)。

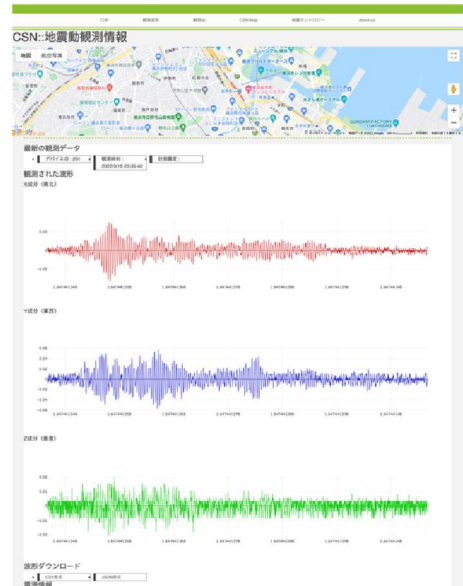


図 1. 運用中のモニタリングサイト



## 8 この研究により得られた効果と自己評価

地震動検出、検出や震度予測のアルゴリズムの開発と学内でのネットワークの構築によって、IoT センサネットワーク実証実験のための基盤を作ることができた。センサ普及のためのイベントは半導体不足のため思うように開催できなかったが、その代わり学内に向けたデータ利活用アイデアコンテストを開催することにより、市民目線の多くのアイデアを得ることができた。また、現在運用中のネットワークで取得されたデータを管理するサーバを構築し、データ可視化サイトを立ち上げ、データを有効使用するための Web アプリの開発に着手した。現在データはまだ一般には公開していないが、来年度はネットワークに協力する市民にこれらのデータを還元できるようにデータインフラの整備に力を入れていきたい。また、それらのデータが今後の地震時のハザード予測に有効活用され、進化し続ける防災システムとなる事を目指す。

## 9 今後の課題と展開

2023 年度は上記の学内でのセンサーネットワークの構築、そのデータを取得及び可視化、データのダウンロードシステムの実装を目指す。ネットワークの取得データは YCU スクエア 1 階に設置予定のモニターにて誰でも自由に見られるように展示し、情報共有のための可視化方法について検証する（図 3）。

また、開発した機械学習を用いた地震動検出、リアルタイム震度予測アルゴリズムを実装し運用実験を行う事で、平時及び地震時のセンサの挙動、波形データ、地震時にセンサー付近にいた人の

反応に関するデータを取得し、その有用性、課題、運用方法についても検証する予定である。さらに大学構内での実証実験を通し、市民向け地震計ネットワークの社会実装を可能にするノウハウを確立していきたいと考える。



図 3. モニタ設置予定場所（YCU スクエア 1 階）

## 10 本事業に関する研究発表、メディア掲載等（予定を含む）

※4. 上松 大輝、金 亜伊、武田 英明 (2022)、Linked Data を用いた地震データ整理と語彙の構築、日本地震学会 2022 年度秋季大会 S02-06.

※5. 上松 大輝、金 亜伊、武田 英明 (2023)、地震の分類のためのオントロジー構築、人工知能学会第二種研究会資料 2023 (SWO-059)、07-、2023-03-17.

※6. 矢崎友貴乃、中村 勇士、上松 大輝、金 亜伊、山崎 眞見 (2022)、市民参加型地震波計測ネットワークにおける地震動検出のための機械学習モデルの構築、日本地震学会 2022 年度秋季大会 S21P-05.

※7. 中村桃子・中村勇士・上松大輝・矢崎友貴乃・金亜伊、2021、深層学習を用いたリアルタイム震度の予測に向けて：比較的少ない学習データでの予測モデルの構築と性能の検証、Japan Geoscience Union Meeting 2022、SCG55-P01.

※8. 中村 桃子 1、中村 勇士 1、上松 大輝 1、矢崎 友貴乃 1、金 亜伊 1、久保 久彦(2022)、深層学習を用いたリアルタイム震度の予測に向けて：観測データが比較的少ない場合での予測モデルの構築、日本地震学会 2022 年度秋季大会 S21P-09.

※9. 金亜伊、中村 桃子、久保 久彦(2023)、深層学習を用いたリアルタイム震度予測モデルの構築：模擬データによるデータ拡張の有効性の検証、日本地球惑星科学連合 2022 年大会、2023 年 5 月発表予定.

高橋佑汰、上松大輝、金亜伊、正月 俊行、RGBD カメラと機械学習を用いた簡易的な家具や非構造部材の地震時応答予測システムの構築、日本地球惑星科学連合 2022 年大会、SS10-P21

※10. 高橋佑汰、正月俊行、中西良成、佐藤栄児、福井弘久、浜田宏一、金亜伊、地震時における室内空間の機能維持のための研究 その 17 カメラ映像を用いた地震時即時室内被害状況判定手法の開発 アンケートに用いるシミュレーション映像の作成、2022 年度日本建築学会大会、21089

※11. 高橋佑汰、上松大輝、金亜伊、正月 俊行、中西良成、深度カメラと機械学習を用いた低コスト室内 3D モデル構築手法の開発と地震時挙動シミュレーションへの適用、日本地震学会 2022 年度秋季大会、S15P-17

※12.矢崎友貴乃、鈴木悠悟、中村桃子、高橋佑汰、上松大輝、金垂伊、山崎真見 (2023)、持続可能な地震防災、減災プロジェクトを目指して：分野融合型地震学研究のデザイン、日本地球惑星科学連合 2023 年度大会、2023 年 5 月発表予定.