

令和5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

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・所属・職位	金垂伊・理学部・准教授
----------	-------------

3 チーム構成

氏名・所属・職位	長畑周史 国際商学部 准教授
氏名・所属・職位	小野陽子 データサイエンス学部 准教授

学生の協力者（代表）

氏名・所属・学年	矢崎友貴乃・データサイエンス研究科・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 加速度センサーを用いた小型 IoT 地震動計測センサー (IoT センサー) 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, ※3)。

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 2021 年度より Code for YOKOHAMA と協力し,

IoT センサネットワークの実証実験

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してきた。

以下にこれまでの活動とその成果, 2023 年度の目標を示す。

IoT センサネットワークの構築及び実証実験

2022 年度までは横浜市における高密度 IoT センサ観測網の構築を目指し, センサの設置場所を確保することを目指していた。そのために公共施設に加え, 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してきた。しかし, 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, 2023 年度は市内での実証実験ではなく, 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す。具体的には構内の様々な条件の場所にセンサーを設置し, データを取得し, それらの運用方法を検証しデータ可視化, ダウンロードシステムを構築する。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。また, 2022 年度に開発した機械学習を用いた地震動検出 (※3), リアルタイム震度予測アルゴリズム (※4) を実装し運用実験を行う事で, 平時及び地震時のセンサーの挙動, 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。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でそれらの検出とリアルタイム震度の予測, ユーザー通知ができるかの検証及び, ユーザー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。また, これらのデータは後に述べるアイデアコンテストで応募者が活用できるようにシステムを整備する。

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。そのために本研究で

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、

IoT センサーを設置するユーザーにとってのメリットの提供
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 センサー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(※5)、地震時にしか使えないものに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する。以上の目的のために、2022 年度学内において学生限定のアイデアコンテストを開催し、IoT センサーのデータ利活用と言うテーマでアイデアを募った。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で開催することが非常に有用である事が示唆された(※6)。例えば今回あつたアイデアの一つに国土交通省が主導する全国の 3D 年モデルの整備、活用オープンデータ化プロジェクトである Plateau

(<https://www.mlit.go.jp/plateau/>) を用いて震動を 3 次元で可視化し、避難活動、減災、防災リテラシーの向上に活用するというものがあつた(図 1)。これは Code for YOKOHAMA が目指すデジタル技術を活用した都市経営 (<https://code4.yokohama/projects/ICTproposal/>) と親和性が高く、IoT センサーネットワークを用いて個々の住宅やビルにおける揺れ情報を共有する事で、震災時の避難行動への貢献が期待され、さらに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 センサーを使用して、建物のフロアや部屋ごとの地震動、災害情報を収集し、現在 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、現実に即した街全体のハザードマップを作成すること事で街全体の減災、防災力の向上に寄与できると考える。今年度はこのアイデアを取り入れて、上述の YCU スクエアでの展示において Plateau を用いた 3 次元のデータ可視化を試みる予定である。

また、他のアイデアではバスの通行による家屋の振動被害を主張するための客観的データを取得し、実際に行政に提出し改善案を議論したものがあつた。これらは市民に向けては IoT センサーを導入する動機づけを与える付加価値となり、また将来的には市民の振動被害の定量化や工事現場の振動測定といった、行政との連携に発展するアイデアであると考えられる。先ほどの Plateau による可視化を組み合わせると、地震動以外の不自然な局所的な振動を見つけられる可能性もある。今年度はこのようなコンテストのアイデアも含めながらセンサーデータ利活用について考え、センサー普及を促す様々なユースケースを創出していきたいと考えている。

2023 年度は上記のアイデアコンテストを最低 3 回行うことを目標としている。これらのイベントはデータ利活用のアイデアを募るのみならず、本プロジェクトを持続可能なものとする意味でも重要な役割を持つ。本ネットワークは作ればそれでおしまいとは行かず、これらを継続的に運用し活用することに意味がある。そのためにはこのプロジェクトに関わる人材を常に

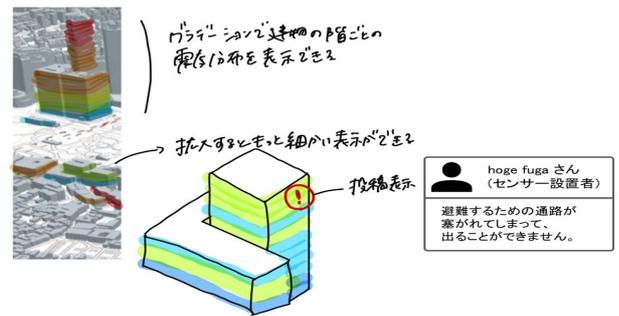


図1. Plateau とIoTセンサーのデータを組み合わせた可視化イメージ (コンテスト応募作品より抜粋)

確保する必要があり、またデータが利活用され続ける必要がある。その一案として、上述のデータ利活用アイデアコンテストを開催し、地震データの新たなユースケースの創出や地震学、防災、研究参加への啓蒙活動の可能性を見出した。今年度はコンテストやワークショップの継続的な開催により地震計ネットワークを学内全体に広く周知し、専門外の学生や教員を本プロジェクトに引き込み協働できるサイクルをデザインできるかを検証したいと考える。今回のアイデアコンテストでは上記の振動被害の定量化への活用を提案した国際商学部の学生の指導教員の長畑周史准教授がセンサー普及のための利活用法の検討の部分で本プロジェクトの連携研究者となったので、この試みは大いに意義のある事であると考え。

※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. 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.

※4. 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.

※5. 矢崎友貴乃, 鈴木悠悟, 中村桃子, 高橋佑汰, 上松大輝, 金亜伊, 山崎眞見 (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.

※6. 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）

今年度は上記 6 で挙げた

1. 学内でのネットワークの構築
 2. 学内アイデアコンテストの実施
- を実行した。

1. 学内での IoT センサネットワークの構築

学内の以下の場所に本プロジェクトで作成した, MEMS センサと Raspberry Pi を組み合わせた IoT センサを設置してネットワークを構築した。

総合研究棟 1階	物理学実験室
総合研究棟 2階	数学セミナー室
総合研究棟 5階	513
理学研究棟 5階	515
文化研究棟 3階	336
5号館	203

なお, Raspberry Pi 内に実装した計算プログラムに関しては昨年度まで使用していた C++ベースのものから Python に書き換えリアルタイム震度計算アルゴリズムも加え, 一般的に扱いやすいものに中身を一新した.

MEMS センサで取得した振動データは Raspberry Pi 内でリアルタイム震度を 1 秒ごとに計算する. それらは MQTT を用いてサーバに送信され, データベース (DB) に保存される. データを受信, 保存するサーバは総合研究棟 5 階 513 に構築した. また各設置点のリアルタイム震度を YCU スクエアでモニタできるシステムも構築した. モニタでは観測点ごとの震度を地図上に表示するだけでなく, IoT センサの実物も置き, 学生たちが自由に振りその振動をモニタ表示してセンサのしくみを理解し, プロジェクトに興味を持ってもらえるようにした (図 2) .

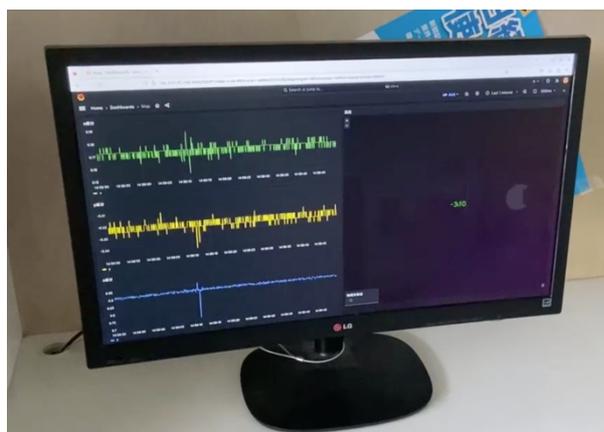


図 2. YCU スクエアに設置した震度モニタ

2. 学内アイデアコンテストの実施

IoT センサ普及とプロジェクトの持続のための戦略として, 学内から地震データのユースケースのアイデアを募るコンテストを企画した. 当初は 3 回ほど実施予定であったが, 上述の IoT センサの中身のリニューアルやデータ取得方法の改良に時間がかかり, 1 度しか開催できなかった. それも学期末に募集を開始したので昨年度のように作品が集まらず, 昨年度グランプリを獲得したグループからの応募 1 点のみとなってしまった. しかし, 後述のようにその応募作品は今後の展開が期待されるものと判断し, 応募学生の指導教員である本学国際商学部長畑准教授とともにプロジェクトを立ち上げる運びとなった.

8 この研究により得られた効果と自己評価

1. 学内での IoT センサネットワークの構築

Raspberry Pi 内での計算プログラムを python に書き換えることにより運用が比較的容易になった. また, サーバと同一ネットワークに繋いだセンサーから波形データを取得し, DB に保存し, ダウンロードできるシステムを構築した. さらに振動データから震度を計算し, モニターで可視化できることができた. しかしネットワーク構築の目標後半部分の開発した位相検出, 震度予測アルゴリズムの実装まで進むことができなかった. これらの実装と実証実験については今後の課題である.

2. 学内アイデアコンテスト

応募数が少なかったことに対しては宣伝やコンテストの意義をうまく伝えられなかったなど反省点は多

いが、いただいた1点の内容はセクション6の目的の項目で紹介している「バスの通行による家屋の振動被害を主張するための客観的データを取得し、実際に行政に提出し改善案を議論した」のその後の行政の行動（減速を促す立て看板）とセンサデータの時間変化を照らし合わせた分析を行い、IoT センサの振動被害計測への拡張の可否について議論したものであった。これについてはさらに分析を重ね、2024年5月に開催される日本地球惑星科学連合大会 2024 年大会で発表する予定である。これは本アイデアコンテストを企画した目的である、専門分野を超えて多くの学生や教員に興味を持ってもらい、プロジェクトを持続させると言う点で一つの成果を上げたと考えられる。

9 今後の課題と展開

大学内での IoT センサネットワーク構築とデータの保存、可視化までは成功したが、課題点もいくつかある。第一にセンサがサーバと同一ネットワーク上にある場合でしかデータ収集ができない、第二にセンサのセットアップが煩雑で外部から SSH 接続して設定する必要雨があるため、センサを新たに追加することに手間がかかることである。今後の展望としてはこれらのセンサを市内で展開するために、デバイスがインターネットにつながっていればどこからでもデータを収集できるようにすることと、デバイスの設定を簡易にしていれば簡単にセットアップできるようにすることである。また、可視化についても現在は2次元マップ上での震度表示であるが、実際には建物に設置しているので三次元的に表示できればより現実に即した情報共有ができると考えている。さらに、これらに当研究室で開発した位相検出、震度予測アルゴリズムを実装し、それらの有効性を検証したのち市内において一般家庭や公共施設に設置した実験を行いと考えている。

IoT センサ普及のための付加価値を考える手段の一つとして開催してきたアイデアコンテストであるが、開催時期や宣伝の方法などに問題があり思うようにアイデアが集まらなかった。それでも出品された1点は今後 IoT センサの機能拡張の一つの可能性として研究を続けていく予定である。このように、センサネットワークプロジェクトから派生プロジェクトが生まれ、結果的に IoT センサネットワークを維持していくシステムが構築されと考えている。今後も継続してアイデアソンやハッカソンを開催していく予定であるが、学生限定ではなく市民向けのワークショップなどを開催しながら徐々に一般からの応募も受け付けていきたいと考えている。

10 本事業に関する研究発表、メディア掲載等（予定を含む）

※論文の場合は、論文名、著者名、掲載雑誌名等を記載してください。

矢崎友貴乃, 鈴木悠悟, 中村桃子, 高橋佑汰, 上松大輝, 金亜伊, 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 21 日

金 亜伊, 中村 桃子, 太田 杏樹, 矢崎 友貴乃, 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 2023 年度大会, 2023 年 5 月 21 日

矢崎 友貴乃, 中村 勇士, 上松 大輝, 金 亜伊, 山崎 眞見 (2023) , 市民参加型低コスト地震計ネットワークにおける地震波位相検測のための機械学習モデルの構築, 日本地震学会 2023 年度秋季大会 2023 年 11 月 1 日

太田 杏樹, 金 亜伊, 矢崎 友貴乃, 久保 久彦, 山崎 眞見 (2023) , 深層学習と模擬データを用いたリアルタイム震度の予測, 日本地震学会 2023 年度秋季大会 2023 年 10 月 31 日

矢崎 友貴乃, 鈴木 悠悟, 上松 大輝, 金 亜伊, 山崎 眞見 (2023) , 市民参加型低コスト地震計ネットワークの構築と持続可能な地震防災、減災プロジェクトの推進, 日本地震学会 2023 年度秋季大会 2023 年 11 月 1 日

Arango Aineias, 水町 由美夏, 長畑 周史, 金 亜伊 (2024), 家庭用IoT地震計測センサの普及を目指して : 家屋の振動被害計測への転用を例とした新たなユースケースの創出についての検証, 日本地球惑星科学連合2024年度大会, 2023年5月発表予定

Ahyi KIM, Anju OHTA, Yukino YAZAKI, Masami YAMASAKI, Hisahiko KUBO (2024), Feasibility of Real-time Seismic Intensity Prediction by Combining Deep Learning and Simulated Data, AOGS 2024 annual meeting, 2024年6月発表予定