

研究終了報告書

「IoT 連携基盤による先端防災 IT の実現」

研究期間:2020 年 11 月～2024 年 3 月

研究者:廣井 慧

1. 研究のねらい

本研究は、従来、個々に存在している防災要素技術を連携動作させるための基盤技術の開発とそれに基づいた減災社会の牽引を目標とする。この基盤技術は、従来ばらばらに動作し、事前検証しか叶わなかった防災要素技術を、既存/新規、physical/virtual に関わらず柔軟に連携させることが特徴となる。つまり、防災要素技術を組み合わせて 1 つのシステムを構築するのではなく、ベストな機能をもつ防災要素技術同士を連携させ、最高のパフォーマンスで動作させる連携基盤技術を研究開発する。

はじめに異なる防災要素技術を漸進的に協調動作させるための連携技術を開発する(研究開発項目 1)。連携技術をベースに多岐にわたる防災要素技術を柔軟に連携し、被害の要因を総合的に鑑みリアルタイムでの被害把握、予測を可能にする連携技術の研究開発を行う。連携基盤技術は、連携そのものに加え、解析やシステム開発に新たな効果を生み出すことも目標である。そのひとつが、連携基盤を利用して従来、独立であった IoT 機器の観測データを融合させ、これまで知り得なかった情報を把握、予測する、多元的データによるデータフュージョン技術(項目 2)である。防災分野においては解析のもととなる根拠データが極端に少なく、精緻な予測が難しい。連携基盤上で異なるデータを相互に運用、解析し、詳細な把握、予測を実現する。これは、災害被害の高精度な再現技術の研究開発となる。

ふたつめに、柔軟な連携のしくみにより、自治体やサービス開発者が自分たちのシステムを自由に接続し、実際の災害対応や訓練などの公共サービスへの活用や容易なアプリ/システム開発を可能にする防災 IT テストベッドを開発、提供する(項目 3)。防災研究ではデータが収集しにくいいため、解析技術やシステムの性能評価は、手間とコストのかかる大変な仕事である。新たな解析技術、システムを連携基盤に繋げ、過去の災害のデータをもとにすべての要素技術を動作させることで、評価環境を提供し、容易な開発を促進する。これは、本研究のみならず、災害に関わるあらゆる組織を連携し、研究、開発、訓練、実用を連続的に推進する、高度な防災 IT の普及と展開、減災の実現を示唆している。本研究は、災害に関わるすべての要素技術、組織、人を連携協調させる社会技術を確立し、社会全体の減災効果を促進することがねらいである。

2. 研究成果

(1) 概要

本研究は、既存の優れた防災技術をフルに活用し、漸進的かつ柔軟に連携させる基盤技術を開発する。具体的には、これまでばらばらだった異なる防災技術同士の技術連携、データ連携による被害予測の高精度化、テストベッド化を達成する。3 つの研究開発項目、研究開発項目 1. 多種多様な防災要素技術の漸進的な連携技術の研究開発、開発項目 2. 多元的データによるデータフュージョン技術の研究開発、開発項目 3. 防災 IT テストベッドの開

開発項目 1 では複数の異なるシミュレータ、システムに対して、データ形式の違いやタイミング制御を含めた複雑な同期とデータ交換のための連携基盤を設計、実装した。想定される4種類の利用形態に対して、Kubernetes を使ってデータ交換、クロックを制御、状態監視する機構を実装し、複数の異なるシミュレータ、システムを連携する基盤を構築した。

最後に、開発項目 3 として、項目 1、2 の機能をもつ連携基盤を、大規模水害における防災 IT テストベッドとして開発、公開した。既往/想定される 4 地域の大規模水害を連携基盤上に再現し、センサシステムの検証や水害時の通信障害など 7 つのユースケースについてテストベッドを用いた解析を行った。さらに成果物を再現・実働・再利用可能とするため、Available、Functional、Reusable の 3 種類の活用形態をバッジとして付与して公開した。

(2) 詳細

本項目は、データ形式や算出タイミングの異なる様々な防災要素技術をつなげるための、いわば技術における連携を目的とする。連携技術は、従来個々の機能として動作していた防災要素技術の算出結果を、連携基盤を通じて相互に取り入れつつ、漸進的な全体シミュレーションを行う協調実装により達成する。具体的には、データ形式の違いやタイミング制御を含めた複雑な同期とデータ交換のための通信設計と実装、要素技術ごとに確度・処理時間の異なる出力結果を統合的に扱う基盤設計と実装、災害対応に実用できる即時性のための間欠的な漸進処理の設計・実装を行う。

フェーズ 1 である、シミュレータを作成し調べたい事物の挙動を調査するシミュレーションス

働システムに対して開発した。

ここまでの開発を通して、当初目標としていた、水害避難に関わる複数の防災要素技術の連携とリアルタイムでの動作は達成した。今後は連携するシミュレータ、システムを増やし、さまざまな実働システムに対するより複雑な連携と実用的なユースケースでの活用を目指す。

研究開発項目 2. 多元的データによるデータフュージョン技術の研究開発

本開発項目は、連携基盤の協調特性を活用し、災害時に得られる数少ないデータを結集し、データ間の相互性を模索しつつ融合的な解析により詳細な被害把握、予測を再現するデータフュージョン技術の開発に挑む。その一例として、空間的に疎な氾濫流の観測データに対し、氾濫解析シミュレーションの結果を統合解析し空間補間する予測手法を開発する。具体的には、時間的/空間的に疎なデータを利用した氾濫解析とのデータ同化手法、既往水害のデータを収集し、地域特性の類似性を利用した同化解析手法を開発する。

本開発項目は、被害情報の得にくい水害において詳細な氾濫水位を知るための手法でもあり、こうした予測を連携基盤内に接続したシミュレーション、システム内のデータを利用して実施することから図 1 に示す連携基盤ユースケースの一例とも位置付けられる。開発にあたっては、(1)データ同化手法の開発、(2)連携基盤への組み込みの 2 段階で実施した。

(1) データ同化手法の開発について、①氾濫解析シミュレーションと観測データを利用した手法、②さらにそこにソーシャルネットワークングデータを加えて精度向上を測った手法の 2 種類を開発した。はじめに、①として氾濫解析シミュレーション結果を、観測時系列データを用いて補正する時空間状態空間モデルによる同化手法を開発した。2017 年から 2022 年までに発生した数回の既往水害に対して氾濫解析シミュレーションを実施し、観測時系列データによる精度評価を行ったところ、氾濫解析単体では氾濫発生が予測、推定できなかった地点においても平均誤差 0-22cm で浸水位が補正可能なことが確認できた。

さらにこの手法を発展させてソーシャルセンシングデータを加えた補正手法を開発した(図 5)。ソーシャルセンシングデータはシミュレーションにて生成した値を使い、精度改善の条件等を解析した。

上記の分析は、連携基盤内を流通するデータを統合的に用いて実施することができる。これは、図 2 のフェーズ 2 の解析技術の開発にあたる。このような分析が簡易に実施できるよう、(2)連携基盤への組み込みとして、連携基盤に接続し内部データを利用できる解析インタフェースを開発した。具体的には、Jupyter Notebook をベースにして連携基盤内のデータを取得し、同インタフェース上でフェーズ 1 から 4 までの解析ができる。このような簡易なインターフェースの提供は連携基盤の活用を容易にし、研究成果の社会実装を促進すると

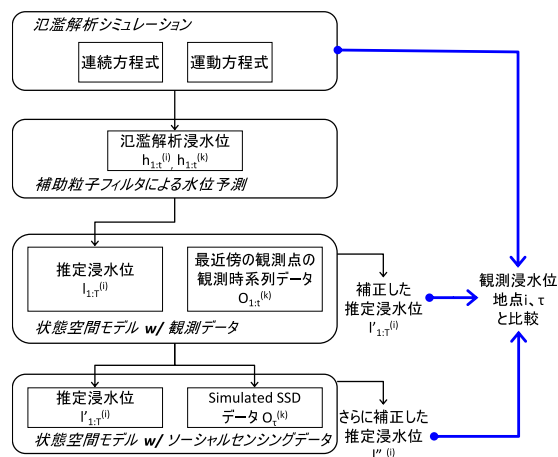


図 5. 観測時系列データとソーシャルセンシングデータを使った氾濫解析結果の補正手法

考えている。この開発で、研究開発項目 1-3 までの成果を統合し、一元的なテストベッドとして活用することが可能となった。

研究開発項目 3. 防災 IT テストベッドの開発

本開発項目は、項目 1、2 の機能をもつ連携基盤を、大規模水害における防災 IT テストベッドとして開発、公開する。開発は、防災要素技術を実働させる実システムとの差し替えが可能な通信設計と実装、インタフェースの開発、性能評価に関する機能開発と評価、連携基盤のオープン化の順で行う。このような防災 IT テストベッドを実装し、過去の大規模水害を対象とし、当時の環境を連携基盤上に再現する。合わせてアプリ・システムなどの防災要素技術を連携基盤につなげ、実際の被害量と比較した性能評価機構を実装する。

開発項目 1、2 の開発と並行して防災 IT テストベッドとしてのユースケースの開発を進めた。いくつかの市での既往/想定される災害の大規模水害を連携基盤上に再現し、フェーズ 1 のシミュレーションスタディとして水害時の通信障害による影響を解析、フェーズ 2 の解析技術の開発として開発項目 2 の多元的データによるデータフュージョン技術を解析、フェーズ 3 のシミュレータの開発として通信障害や電力障害エミュレータ、SNS シミュレータの開発、フェーズ 4 の要素システムの開発として、センサシステムやスマートフォンアプリ、VR システムの開発と性能試験を実施した。以上のように、具体的な実装と社会展開はこれからになるものの、当初から図 2 フェーズ 1~4 でユーザとして予定していたすべての分野の研究者、開発者との連携し、各ユースケースを研究として立ち上げることができた。

連携基盤のオープン化として、設計、構築した連携基盤やテストベッドは、順次 GitHub に登録し公開をしている。その際に、成果物を再現・実働・再利用可能とするため、SIGCOMM Artifacts Evaluation Committee の思想を参考に、Available(用意された環境で想定通りに動作する)、Functional(機能として目的通りに動作する)、Reusable(ユーザがテストベッドとして完全に利用可能)の 3 種類のバッジを付与して公開をしている。今後、ユースケースの拡充に従い、Reusable のバッジ付与を増加できるよう研究を進めていく。

以上、研究開発を通じて、当初予定していた連携基盤の根幹機能を構築するとともに、複数のユースケースを研究開発したほか、テストベッドとして開発技術の実用化に向けた道筋を築くことができた。ユーザの利用を考えたテストベッドの完成に向けて、今後も連携基盤をさらに改良し、さががけでいただいた貴重な機会をもとに、真に防災対応、被害者軽減に活かせるシステムとし、社会展開するために本成果を活用し、研究を進めていきたい。

3. 今後の展開

今後、本研究の成果を実用的なものとしていくために、連携基盤としてはより複雑な計算や同期をする動作をする連携基盤への改良の開発が必要であり、テストベッドとしては多くのユースケースを研究し、対象について様々な性能評価ができるテストベッドへの改良が必要となる。前者の連携基盤については、今後も引き続き実施し、連携の機能の開発を完成させる予定である。一方で人命に関わる情報を扱うシステムであるため実際の社会実装と利用に対しては、慎重にシステムを実装する必要がある。ユースケースの研究開発を行うとともに、テストベッドとしての検証項目を充足させていく。

4. 自己評価

申請時に掲げた研究目標の達成状況

目標 1. 水害避難に関わる複数の防災要素技術の連携とリアルタイムでの予測達成
開発予定項目を達成

+論文誌 2 件(うち、投稿中 1 件)+国際会議発表 3 件+3 件の受賞

目標 2. 発災数時間前 75%以上の予測精度達成と被災者個人への避難情報の生成の実現
開発予定項目を達成

+論文誌 2 件+国際会議発表 2 件+2 件の受賞

目標 3. 防災 IT テストベッドの開発と公開

開発予定項目を達成し、4 地域 7 個のユースケースを開発

+論文誌 3 件(うち、投稿中 1 件)+国際会議発表 2 件+2 件の受賞

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: 5件(+投稿済2件)

1. 廣井慧, 村上大輔, 小比賀亮仁, 深谷将, 篠田陽一, 観測時系列データとソーシャルセンシングデータを用いた状態空間モデルによる浸水位推定手法の提案と性能評価, 情報処理学会論文誌コンシューマ・デバイス&システム(CDS), 14(2), pp.1-12, 2024 年 5 月

【推薦研究論文】

本論文では、研究開発項目 2 に関して、観測時系列データを用いて氾濫解析シミュレーション結果を補正するデータ同化手法を開発した。複数の浸水パターンにおいて手法の精度評価を行い、氾濫解析結果を補正し、実態に近い精度の浸水位を推定できることを確認した。

2. Kei Hiroi, Akihito Kohiga, Yoichi Shinoda, A Study on Effectiveness of SNS Data in Flood Estimation, International Journal of Informatics Society (IJIS), 15(3), pp.133-144, 2024 年 2 月

本論文では、研究開発項目 2 に関して、観測時系列データとソーシャルセンシングデータを用いて氾濫解析シミュレーション結果を補正し、実態に近い浸水位を算出するデータ同化手法を開発した。手法の精度評価とともに、この手法で補正した浸水位を提供する情報サービスの開発に向けてソーシャルセンシングデータの数、分布、内容が補正精度に与える影響を分析した。

3. Kei Hiroi, Akihito Kohiga, Sho Fukaya, Yoichi Shinoda, Assessing the Impact of Communication Failures on Disaster Victims using a Communication Emulator, International Journal of Informatics Society (IJIS) (投稿済)

本論文では、研究開発項目 3 に関して、テストベッドのユースケースのひとつとして水害時の通信障害を扱った。情報通信が当たり前になった今、通信障害が被災者の情報取得や避

難行動に与える具体的な被害を明らかにするため、連携基盤に氾濫解析シミュレータ、避難シミュレータ、スマートフォンエミュレータを接続し連携協調した後、通信障害エミュレータを接続し、水害が情報通信網や被災者の情報取得に与える影響を分析した。

(2) 特許出願

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]Kei Hiroi, Souma Nakagawa, Ryoma Takahashi, Akihito Kohiga, Sho Fukaya, Yoichi Shinoda, Demo: Flood Damage CyRealization with an Orchestrator Framework, The 22nd International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom 2024) [Demo session], pp.1-4, 2024 年 3 月 **【Best Demonstration Award】**

[2]Kei Hiroi, Akihito Kohiga, Sho Fukaya, Yoichi Shinoda, Performance Evaluation of Flood Level Estimation Method using State-space Model with Time-series Monitoring Data, Proceedings of The 8th IFIP WG5.15 Conference on Information Technology in Disaster Risk Reduction (ITDRR2023) , pp.1-16, 2023 年 12 月 **【Best Paper Award】**

[3]Kei Hiroi, Akihito Kohiga, Yoichi Shinoda, An Orchestrator Framework for IoT-based Disaster Prevention Simulation, Proceedings of IEEE Sensors 2023, pp.1-3, 2023 年 10 月

[4]Kei Hiroi, Akihito Kohiga, Yoichi Shinoda, Performance Evaluation of a CyReal Sensor System, International Journal of Informatics Society (IJIS), 14(2), pp.75-84, 2022 年 10 月

[5]Kei Hiroi, Akihito Kohiga, Yoichi Shinoda, How can SNS Data Contribute to Disaster Damage Assessment?, Proceedings of International Workshop on Infomatics, pp.79-88, 2022 年 8 月 **【Best Paper Award】**