

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「科学的発見・社会的課題解決に向けた
各分野のビッグデータ利活用推進のための次世代
アプリケーション技術の創出・高度化」
研究課題「大規模・高分解能数値シミュレーション
の連携とデータ同化による革新的地震・津波減災
ビッグデータ解析基盤の創出」

研究終了報告書

研究期間 2014年10月～2020年3月

研究代表者：越村 俊一
(東北大学災害科学国際研究所、教授)

§ 1 研究実施の概要

(1) 実施概要

本研究の目標は、地震・津波による様々な現象・被害を対象として、大規模・高分解能数値シミュレーションの連携と多様な観測データとの同化により、定量的なデータに基づいた事前対策の立案、災害発生直後の災害対応を支援するリアルタイムシミュレーション・ビッグデータ解析基盤を創出することである。

シミュレーション・センシングを融合し、地震および津波被災地の被害状況を予測・把握・開示するシミュレーション基盤の創出に取り組み、当初の目標を達成することができた。また、活用技術の研究（ユーザニーズやマーケットの要求に応える研究）を進めることを課題として研究に取り組み、地震被害・消防活動・避難行動の統合シミュレーション（大佛チーム、瀬崎チーム、NIED チーム）、リアルタイム津波浸水被害予測システム（越村チーム）、沖合観測に基づくデータ駆動型津波予測システム（徳島大、東京大、JAMSTEC）、災害時人流把握・予測（関本チーム）の4つのシミュレーションシステムを構築し、実用段階まで高めることができた。

越村チームのシステムは、リアルタイム津波浸水被害予測システムとして、内閣府の危機対応システムとして事業化・運用を果たした。高知県をはじめとする市町においても実証（試験運用）を行っている。また、2019年9月に高知県で実施予定の災害対応訓練において活用された。

徳島大チームのシステムは徳島県において試験運用が開始された。

大佛チームのシステムはすでにクラウド上で運用を行っており（非公開）、新しいユーザを獲得している。

上記の通り、社会の具体的問題解決に結びつくアプリケーションの構築を果たし、行政の災害対応システムとの連携が可能となった。また、G空間情報センターやSIP4Dを通じたデータ公開まで実現することができた。

災害発生後の社会動態、被害状況の把握も重要な課題であり、前者については、関本チームによる携帯電話位置情報を利用した人流センシング、山崎・越村チームによるリモートセンシングによる広域被害把握について顕著な成果を得ることができた。

本研究チームは、10のグループで構成されており、それぞれが専門領域でのジャーナルに成果を公表している一方で、全体の成果としては、毎年 Journal of Disaster Research の特集号”Disaster and Bigdata”を企画して成果発表を行っている（エディタは代表者の越村が務めている）。これまで、特集号としては4冊、約40編の論文を公表済みである。

(2) 顕著な成果

<優れた基礎研究としての成果>

1. リモートセンシングによる広域被害把握

概要：衛星画像等のリモートセンシングデータから災害発生直後の被害を効率的に把握するための「広域被害把握技術」を確立し、その学術的価値を創成した。特に機械学習/深層学習を効果的に活用した研究は高い評価を得ており、「リモートセンシング」分野のトップジャーナル4誌に10編の論文を発表した。

2. 津波観測データからのデータベース型津波予測

概要：海底センサ出力から沿岸部の津波高を即時推定の枠組みを、ガウスプロセスを用いた非線形回帰によって構築した。多様なシナリオの震源モデルによって海溝型巨大地震を対象とした数値シミュレーションしたデータを用いて本枠組みに適用することで、予測誤差を従来に比べて30%程度減少させることに成功した[Igarashi et al., Marine Geophysical Research, 2016].

本論文は、Springer Nature の Change the World, One Article at a Time, Earth and Environmental Sciences 分野の論文として選出された。

3. 人流データ同化による災害時人流のリアルタイム推定

概要： 大規模な都市圏レベルにおいて、Earth Movers Distance 方式を取り入れたパーティクルフィルターによるデータ同化手法を用いることで、リアルタイムに災害時の人々の移動を短時間予測する手法を考案した。本研究で考案した同化技術を用いた人流推定手法について、特許出願「特開 2017-49954 推定装置、推定方法及びプログラム」を行った。

< 科学技術イノベーションに大きく寄与する成果 >

1. リアルタイム津波浸水被害予測

概要： 津波工学、地球物理学、計算機科学の学際研究・産学連携研究を推進し、スーパーコンピュータによるリアルタイム津波浸水被害予測技術の世界初の実用化を果たした。研究成果は、科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞(開発部門)を 2018 年 3 月に、第 1 回日本オープンイノベーション大賞 総務大臣賞を 2019 年 2 月に受賞し、極めて高い評価を得た。スーパーコンピュータの災害時運用方法に基づく津波被害予測のための自動計算法として特許 3 件が登録済み。これらの成果は、4 年に 1 度開催される国際測地学・地球物理学連合(IUGG)の総会(連合大会, 76 カ国が参加)において 2 件の招待講演(2019 年 7 月)を行い、国際的にも高い評価を得ている。

2. 災害時人流データ

概要： 災害時の避難シミュレーションの基盤データとして、都市圏レベルの大規模な人流データ「OpenPFLOW」を開発した。人の流れプロジェクトに代表されるように、既に研究レベルで利用可能なデータは存在していたが、OpenPFLOW の開発により利用申請も不要で、商業利用も含めた広い用途で利用可能な人流データを実現した。

3. 大地震被害リアルタイム推計システムの構築

概要： 大地震発生直後の初動対応を支援する「大地震被害リアルタイム推計システム」を構築し、クラウドサーバ上での運用を実現した。本システムは、(a)高所カメラや府省庁等の外部組織から情報を取得するための「外部情報獲得 API サーバ」と、(b)物的被害(建物倒壊、道路閉塞、火災延焼)と人的被害を推定するための「市街地被害シミュレーションサーバ」、および(c)外部情報や被害推定結果を集約・管理・可視化するための「アプリケーションサーバ」から構成され、安全な広域避難の誘導、徒歩帰宅者の支援、救援救助・消防活動等の合理的な支援が可能であることを実証した。

< 代表的な論文 >

Musa, A., O. Watanabe, H. Matsuoka, H. Hokari, T. Inoue, Y. Murashima, Y. Ohta, R. Hino, S. Koshimura, H. Kobayashi, Real-Time Tsunami Inundation Forecast System for Tsunami Disaster Prevention and Mitigation, Journal of Supercomputing, pp.1-21, 2018

Yosuke Kawasaki, Yusuke Hara, Masao Kuwahara, Traffic state estimation on a two-dimensional network by a state-space model, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, In press, corrected proof, Available online 25 March 2019 (IF 5.775)

Takehiro Kashiya, Yanbo Pang, and Yoshihide Sekimoto, Open PFLOW: Creation and evaluation of an open dataset for typical people mass movement in urban areas, Transportation Research Part C., Elsevier, Vol. 85 , pp.249-267, 2017/12 (IF 3.968)

§ 2 研究実施体制

(1) 研究チームの体制について

- 1) 被害予測シミュレーション・センシング融合グループ(東北大学災害科学国際研究所)
 - ① 研究代表者:越村 俊一(東北大学災害科学国際研究所, 教授)
 - ② 研究項目
シミュレーション・センシング情報の統合
広域・高分解能リアルタイム津波浸水シミュレーションによる津波到達前の量的被害予測と被災地支援策の検討
- 2) 交通シミュレーショングループ(東北大学大学院情報科学研究科)
 - ① 主たる共同研究者:桑原 雅夫(東北大学情報科学研究科, 教授)
 - ② 研究項目
Kinematic Wave 理論に基づいた交通流モデルとセンシングデータを用いたデータ同化手法の2次元ネットワークへの拡張
規範的な避難行動を仮定した動的ネットワークモデルの定式化と実ネットワークに適用できる解法の提案および高知ネットワークへの適用.
- 3) リモートセンシンググループ(千葉大学大学院工学研究院)
 - ① 主たる共同研究者:山崎 文雄(千葉大学大学院工学研究院, 教授, 2014-2018 年度)
劉 ウェン(千葉大学大学院工学研究院, 助教, 2019 年度)
 - ② 研究項目
東日本大震災および新規 RS センサを用いた被害把握手法の開発・検証
南海トラフ地震を想定した各種 RS データを融合した広域被災地抽出シミュレーション
- 4) 地震・津波発生シナリオ作成グループ(海洋研究開発機構・徳島大学)
 - ① 主たる共同研究者:堀 高峰(海洋研究開発機構, グループリーダー)
馬場 俊孝(徳島大学環境防災研究センター, 教授)
 - ② 研究項目
多数シミュレーション結果の類型化によるシナリオ作成
- 5) 緊急車両・広域避難支援グループ(東京工業大学)
 - ① 主たる共同研究者:大佛 俊泰(東京工業大学環境・社会理工学院, 教授)
 - ② 研究項目
避難行動シミュレーションモデルの構築
消防活動シミュレーションモデルの構築
- 6) 災害データ取得・利用環境構築グループ(東京大学空間情報科学研究センター)
 - ① 主たる共同研究者:瀬崎 薫(東京大学 空間情報科学研究センター, 教授)
 - ② 研究項目
センサや SNS 等を利用したクラウドソーシングによる災害状況把握術の開発
災害時の環境情報を収集するためのネットワーク技術の開発
災害時の人間行動の解析・モデル化によるクラウドセンシングの効率向上
- 7) データ駆動科学グループ(東京大学大学院新領域創成科学研究科)
 - ① 主たる共同研究者:岡田 真人(東京大学大学院新領域創成科学研究科, 教授)
 - ② 研究項目

混合モデルによる、多種多様な状況に対応できるモデル獲得
シミュレーション結果の潜在構造抽出によるシンボル化によるシナリオ形成

- 8) ビッグデータ同化手法構築グループ(東京大学生産技術研究所)
 - ① 主たる共同研究者: 関本 義秀(東京大学生産技術研究所, 准教授)
 - ② 研究項目
災害時の様々なシナリオに応じた人や車両の分布状況の生成
実世界を観測したリアルタイムデータとの比較による最尤シナリオの選択と短期間の予測
超高速データベースエンジンによる多数シナリオの高速処理
- 9) シミュレーションデータウェアハウス構築グループ(名古屋大学)
 - ① 主たる共同研究者: 石川 佳治(名古屋大学情報科学研究科, 教授)
 - ② 研究項目
地震・津波減災情報の統合分析のためのシミュレーションデータウェアハウスの研究開発
- 10) ビッグデータ利活用技術構築グループ(防災科学技術研究所)
 - ① 主たる共同研究者: 藤原 広行(防災科学技術研究所社会防災システム研究部門, 部門長)
 - ② 研究項目
地震・津波減災ビッグデータの集約・処理技術の開発
地震・津波減災ビッグデータの共有化・利活用技術の開発

(2) 国内外の研究者や産業界等との連携によるネットワーク形成の状況について

越村(東北大学)は、米国 NASA および UC Davis と国際研究ワークショップを東北大で 2017 年に開催、NASA, NOAA とのデータ・シミュレーション活用についての交流を進めている。2017 年に World Bosai Forum におけるセッション開催(災害時のシミュレーション, 宇宙技術の活用), 2018 年に米国ワシントン大学との共同研究を開始するなど、活発にネットワーク形成を行っている。加え、ドイツ航空宇宙センター(DLR)やインドネシアジャクアラ大学との協定締結に基づいた共同研究を実施し、国際的ネットワークの形成は非常に活発である。

※2017 GNSS Tsunami Early Warning System Workshop

<https://geodynamics.org/cig/events/calendar/gnss-workshop/>

※UW, Tohoku University establish Academic Open Space partnership for innovations in aerospace, clean energy, disaster preparedness

<https://www.washington.edu/news/2017/04/14/uw-tohoku-university-establish-academic-open-space-partnership-for-innovations-in-aerospace-clean-energy-disaster-preparedness/>

シミュレーション技術の途上国への移転については、現在構想段階であり、JST-JICA の SATREPS 地球規模課題対応国際科学技術協力プログラムへの申請準備に入っている。また、リアルタイムシミュレーション技術を災害医療に展開する研究に発展させ、科研費基盤 S の採択を実現した(代表者:越村)。

リアルタイム浸水被害予測システムを広く普及し、社会実装を進めるために、東北大学発ベンチャーとして(株)RTi-cast を設立、越村が筆頭発起人・最高技術責任者(CTO)として就任した。この技術を核として、米国 ImageCat 社との MoU 締結、共同研究を 2019 年に開始し、米国へのシステム導入に向けた活動も開始している(ImageCat 社)。

山崎(千葉大学), 越村(東北大学)は JAXA の大規模災害ワーキング委員および水害対応ワーキング委員として、ALOS-2 データを用いた広域被害把握の実証に参加し、衛星画像を用いた広

域被害把握技術(被害のマッピング技術)のレシピの作成に協力している。また山崎・劉は、情報通信研究機構(NICT)の航空機 SAR データの防災利用に関する共同研究も実施した。さらに、国土地理院、アジア航測(株)、(株)パスコなどからデータ提供を受け、良好な連携ネットワークを構築して研究を進めている。さらに検証データの収集に関しては、東京工業大学、広島大学、防災科学技術研究所などと密に連携している。

大佛(東工大)は、総合警備保障株式会社(ALSOK)が構築している「高所カメラを用いた火災検知システム」と連動させることでリアルタイム・シミュレーションの高度化を図り、東京消防庁への導入提案を試みた。さらに、独立行政法人都市再生機構(UR都市機構)において、木造密集地域の市街地整備計画を支援することを目的に都市再生業務支援システムとして導入した。

石川(名大)は、シミュレーションデータウェアハウスの実装技術(特に時空間ヒストグラム)の開発に関して、香港科技大学の Lei Chen 教授との共同研究を実施した。