

国際科学技術共同研究推進事業
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）

研究領域「地球規模課題対応国際科学技術協力事業 防災分野」

研究課題名「地震直後におけるリマ首都圏インフラ被災程度の

予測・観測のための統合型エキスパートシステムの開発」

採択年度：令和 2 年（2020 年）度/研究期間：5 年/

相手国名：ペルー共和国

令和 4（2022）年度実施報告書

国際共同研究期間^{*1}

2021 年 9 月 8 日から 2026 年 9 月 7 日まで

JST 側研究期間^{*2}

2020 年 8 月 1 日から 2026 年 3 月 31 日まで

（正式契約移行日 2021 年 9 月 1 日）

^{*1} R/D に基づいた協力期間（JICA ナレッジサイト等参照）

^{*2} 開始日=暫定契約開始日、終了日=JST との正式契約に定めた年度末

研究代表者： 楠 浩一

東京大学 地震研究所・教授

I. 国際共同研究の内容 (公開)

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

(1) 研究の主なスケジュール

研究題目・活動	2020/2021年度 (暫定10か月)	2021年度 (8か月)	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	2026年度 (4か月)
G1. 早期解析システム【成果1】	予備調査						
G1A 地震SWG		地震計設置調査	地震計設置	計測データ接続	運用確認		
G1A-1 EASシステム高速化 【活動G1A-1】		活断層調査・震源モデル化・3次元地震動シミュレーション			地震ハザード評価		
G1A-2 予測システムの高度化 【活動G1A-2】							
G1B 津波SWG			津波シナリオの作成	被害予測の高度化			
G1B-1 津波浸水シナリオ 【活動G1B-1】		曝露人口および建物データの整理		試験運用と実証			
G1B-2 津波被害推定のための曝露データ確立 【活動G1B-2】			被害予測手法開発	試験運用と実証			
G1B-3 津波インパクト推定システム 【活動G1B-3】						運用確認	
G2. 建物・ライフライン【成果2】	予備調査						
G2A 建物SWG		枠組み・組積造の限界変形評価	被災度評価方法の確立				
G2A-1 ペルーの建物の安全限界評価【活動G2A-1】		モニタリング設置	即時判定システム開発	判定結果集約			
G2A-2 即時病院継続使用性判定システム 【活動G2A-2】							
G2B ライフライン		インフラ・ライフライン調査	地震時脆弱性評価				
G2B-1 インフラ・ライフラインの地震時脆弱性評価 【活動G2B-1】		モニタリング設置	被害評価技術開発	システム実装	判定結果集約		
G2B-2 即時被害予測システム 【活動G2B-2】		インフラ・ライフライン被害予測技術開発		システム実装	判定結果集約		
G2B-3 避難経路推定システム 【活動G2B-3】							
G3. 災害情報技術【成果3】	予備調査						
G3-1 GISデータの構築 【活動G3-1】		GISデータ収集	GISデータベース構築とGIS実装				
G3-2 観測データに基づく被害推定手法の開発 【活動G3-2】			地震動分布即時推定システムの開発	リモートセンシングによる被害把握	被害推定更新手法の開発		
G3-3 統合型GISシステムの構築 【活動G3-3】			ハザードマップの作成とGIS実装	意思決定ツールの開発	クラウドへの実装と運用		
						システム試験運用開始	
G4. 災害対応力向上【成果4】	予備調査						
G4-1 防災関係者のキャパシティ・デベロップメント 【活動G4-1】		インフラ観測システム研修	EASと防災	GISデータ利用システム利用訓練			
G4-2 一般市民の防災啓発 【活動G4-2】		建物モニタリングセミナー	ライフライン モニタリングセミナー	EASセミナー	GISセミナー	システムを用いた防災訓練	

(2) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

特になし

2. 計画の実施状況と目標の達成状況 (公開)

(1) プロジェクト全体

- ・ 2022 年度には、新型コロナウイルス感染症に伴う渡航禁止も緩和され、8 月にペルーにおいて JCC を開催することができた。
- ・ 2023 年 2 月には、Group 4 の大型振動台実験に合わせて、兵庫県神戸市において全体会議を実施し、全グループの進捗把握とグループ間連携の方策について話し合った。
- ・ 本プロジェクトにかかわる国費留学生 2 名が修士課程に在籍中である。
- ・ 各グループの成果を取りまとめ、学術誌への投稿を行っている。

(2) 各研究題目

(2-1) 研究題目 1 : 「早期解析システム」

研究グループ A 地震 (リーダー: 近藤久雄)

① 研究題目 1 の当初の計画 (全体計画) に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

2022 年度の計画は、次の通りであった。1) 昨年度に供与した広帯域地震計を用いて、現地の地震観測データの収集に向けた準備をおこなう。2) 活断層調査に資する高解像度 DEM・衛星／空中写真の整備、予察的な活断層分布の検討をおこなう。3) 震源のモデル化については、ペルー沿岸の海溝型巨大地震の震源モデル化に着手する。この計画に対し、当該年度は次の通りに概ね順調に進捗した。

広帯域地震計を用いた地震観測データの収集に向けた準備として、8 月の JCC 渡航時に CISMID キャンパス内でテスト観測を実施した。その結果、地震計設置後に初めて観測記録を得ることができ、長周期地震動等の観測に十分なデータを得られることを確認した (図 1)。また、ペルー側が中心となり、現地観測点の設置を複数地点でおこない、新規データの取得を開始した。

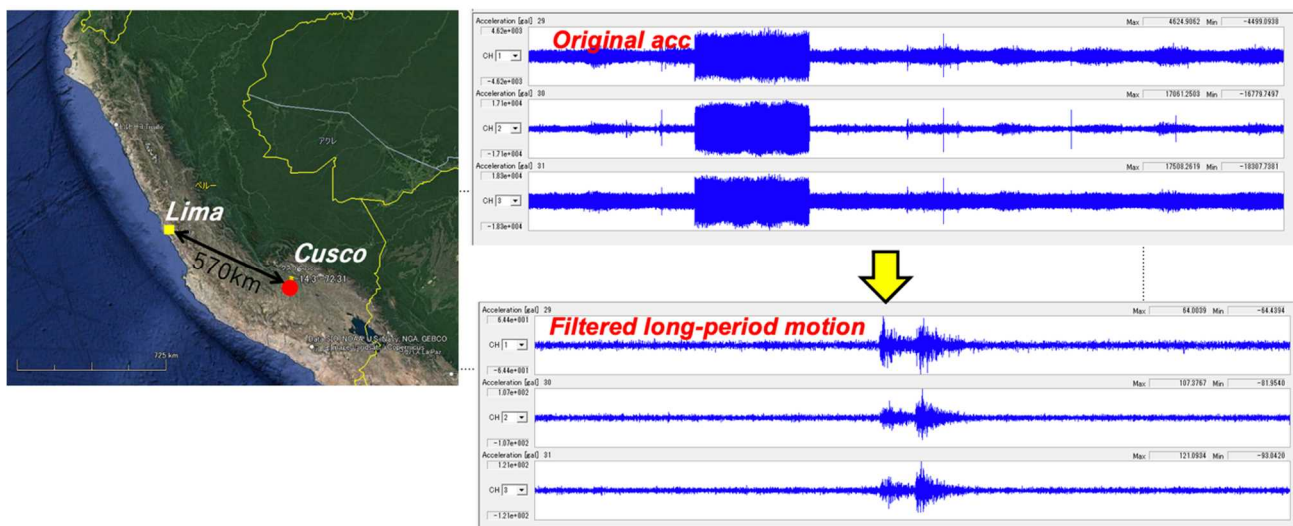


図 1 2022 年 8 月 8 日に生じた M4.5 の地震観測記録の例

CISMID から 570km 離れた M4.5 地震について、良好な長周期地震動を観測した。

活断層調査に資する高解像度 DEM 等については、ペルー国内の整備状況を確認するとともに、供与機材としてワンカヨ盆地周辺の高解像度衛星データを新たに購入、整備した。それらをもとに検討した結果、1969 年地震に伴う地表地震断層およびワンカヨ盆地周辺の活断層分布を予察的に明らかにした (図 2)。



図2 ワンカヨ盆地東方の1969年地震断層の分布（予察）

震源のモデル化については、既往の歴史地震やGNSS観測データを基に海溝型震源モデルの高度化を実施した。その結果、ペルー沿岸における海溝型巨大地震の震源モデルの初期モデルを作成した（図3）。

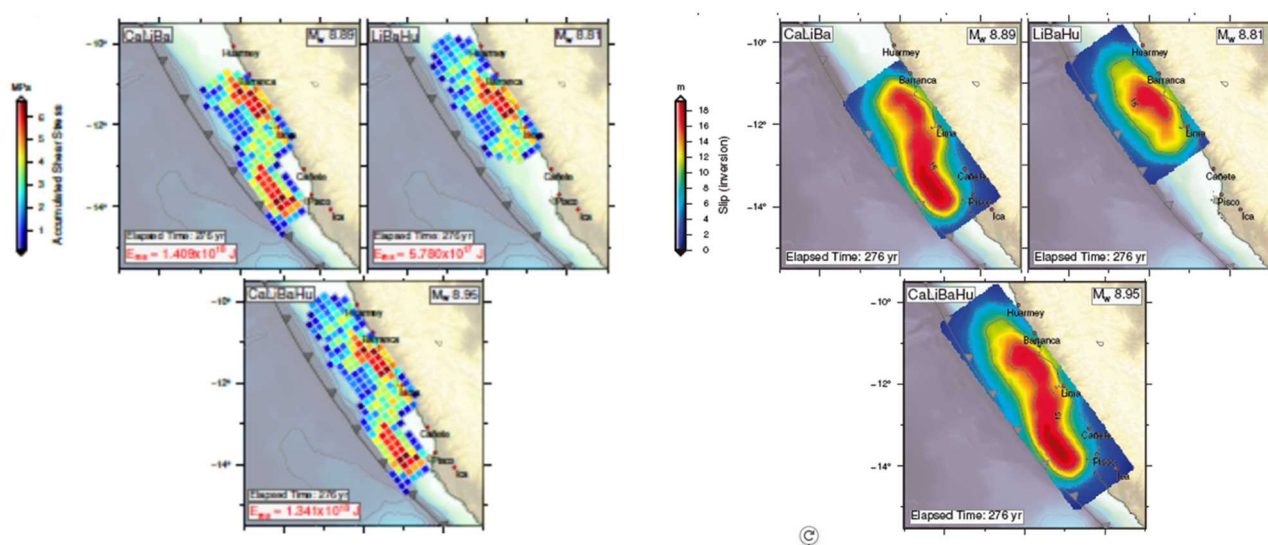


図3 海溝型震源モデル（シナリオ地震）の高度化の例

② 研究題目 1A のカウンターパートへの技術移転の状況

短期研修として、海溝型巨大地震の震源モデル化、および長周期地震動地震観測データ解析に関して、ペルー側研究者 2 名を日本へ招聘した。

③ 研究題目 G1A の当初計画では想定されていなかった新たな展開

COVID-19 の影響により渡航できていなかったものの、2022 年 8 月に初めてペルーへ渡航可能となった。今後の展開として、渡航可能になったことによって、現地での調査観測研究がさらに加速化することに期待している。

④ 研究題目 G1A の研究のねらい（参考）

研究題目 G1A：早期解析システム（地震）では、1A-1：EAS システムと 1A-2：予測システムの高度化を実施する。1A-1 は、ペルー国内で IGP と DHN により運用されている早期警報システムや観測情報等を INDECI に実装するシステムを構築するため、ペルー側が主導して各種の関係情報を整理する。1A-2 は、これまでペルーでは実施されてこなかった地震ハザード評価のうち、陸域の活断層を震源とする大地震のモデル化や長期的な地震発生可能性評価、長周期地震動モニタリング、長周期/短周期の地盤増幅率を考慮した 3 次元地震動シミュレーション、震源を特定した確率論的地震ハザード評価等を行う。

⑤ 研究題目 G1A の研究実施方法（参考）

1A-1 では、特に地震発生前のシナリオ作成に関して具体的なデータ共有や統合・表示システムに貢献し、プロジェクト相互の相乗効果を向上させる。また、予測震度マップなどを可能な限り即時的に表示可能とするよう試みる。1A-2 では、広帯域地震観測点の新たな設置と長周期地震動モニタリング、海溝型巨大地震の震源モデルの改良、陸域活断層の震源モデル化や活動性評価等を実施する。

研究グループ B 津波（リーダー：越村俊一）

① 研究題目 1 の当初計画（全体計画）に対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）

G1B の活動について以下の通り列举する。

現状のデータ仕様に基いた津波浸水予測モデルの構築を行う。既往のイベントを元に予測モデルの検証を行うとともに、シミュレーション高速化による計算時間の短縮に着手する。

津波浸水シナリオの推定については、ペルー太平洋岸を対象に行われた既往の研究および研究論文を整理し、検証に用いるデータセットを整備する。

上記計画に対して、ペルー側共同研究者との協力のもと順調に進捗している。昨年度から引き続き、想定地震（Mw8.9）に対する既往の浸水予測結果をベンチマークとして、今回新たに構築したシミュレーションモデルの妥当性を確認することができた。

まず昨年度に決定した津波浸水予測モデルの仕様に基づき、津波浸水被害予測モデルを構築した。昨年度決定した仕様は、東北大学で保有しているシステム(NEC製「SX-Aurora TSUBASA」のプロセッサ「Vector Engine」(ベクトルエンジン、VE)を搭載したスーパーコンピュータ)を前提にシステム構築を行った。このシステムは、NEC ベクトルプロセッサを搭載した Vector Engine カードをデスクトップで利用可能なエッジモデルでも稼働するので、将来的にペルー国への導入に関してもスーパーコンピュータを整備する必要はなく、ワークステーションクラスのコストで導入が可能である。また SX-Aurora TSUBASA のシステムはクラウド環境での利用も可能であることも利点の一つである。

計算領域は、図4に示す通り Dx450m から徐々に空間分解能を向上させる Nesting 配置として、最終的には Dx15m の分解能とすることを決定している。なお、特に浅海域の海底地形については津波浸水予測の精度に影響するため、最新の測深データを取得して計算に反映させることをペルー側研究者と協議中である。

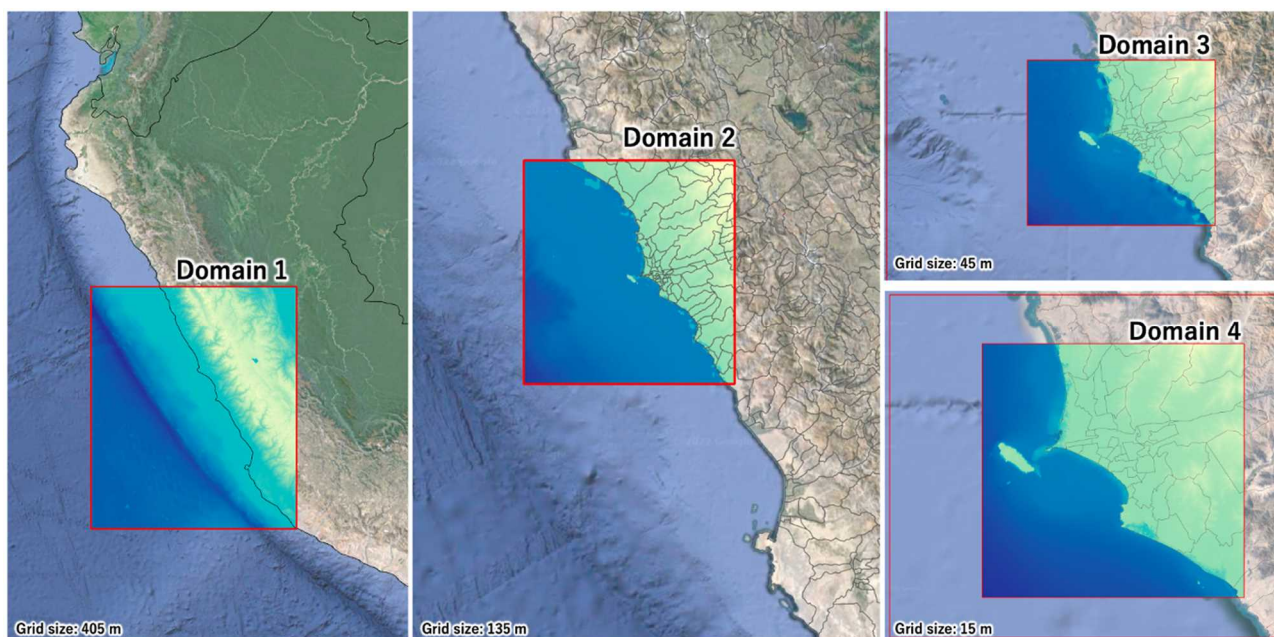


図4 津波浸水被害予測システムの予測対象領域

現行のハードウェア構成での計算完了時間(6時間後までの浸水予測)の見積もりは、使用する VE コアによって変わってくるが、概ね 40 分から 20 分で完了できることを確認できた。

なお、陸上の曝露データの整備についてはペルー側で進めており、ドローン撮影により土地利用状況や建物形状のデータを取得している(図5)。これらのデータは一部浸水予測の標高データとして更新するとともに、建物形状や建ぺい率に基づく抵抗モデル(合成粗度)の構築に着手する予定である。

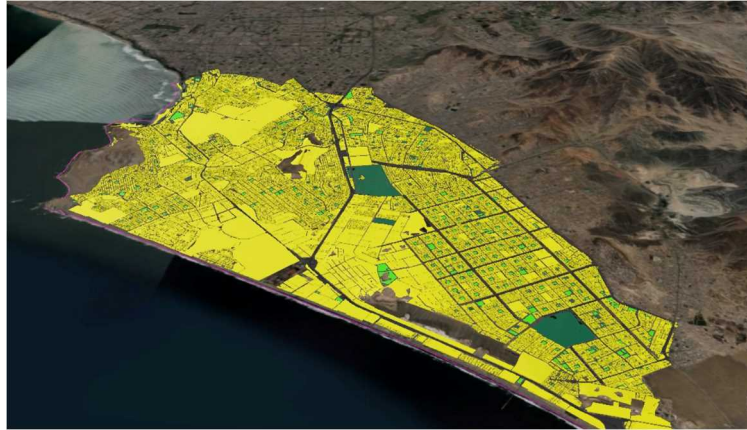


図5 ドローン撮影による土地利用状況マップの作成（ペルー側実施）

一方、陸上の最終空間分解能は 15m であり、津波の詳細な陸上遡上の表現には適切な解像度であるが、予測時間の計算時間の短縮を考えると計算資源が不足している。そこで、新たな計算時間短縮の方法として、低解像度の浸水予測結果から高解像度の浸水予測結果を抽出する超解像の技術の検討に着手した。以下に詳述する。

リアルタイム津波予報の枠組みは、2つの従来のアプローチに焦点を当てている。第一に、大規模計算機（HPC）の資源を活用して津波の数値計算を高速化すること。第二に、特定地域の津波シナリオの膨大な事前計算データベースを構築することである。これらのアプローチには、特に途上国では HPC が広く普及していないこと、都市環境の変化に応じて津波データベースを継続的に更新する必要があることなど、大きな課題がある。ここでは、高度なディープニューラルネットワーク（DNN）アルゴリズムと数値津波シミュレーションを統合することで、上記課題を解決する新しい機械学習ベースのフレームワークを検討した（図6）。DNN は、事前に計算された津波浸水シナリオを使用して、粗い空間分解能の計算データセットから対応するパターンを見つけることで、高解像度の浸水特徴を推定するように学習した（図7）。この学習されたネットワークは、事前に計算されたデータセット以外のシナリオでも 80%以上の精度を達成し、広範囲な地域の津波浸水特性を生成する能力を持ちうることを確認した（図8）。これを実現すれば、学習済みネットワークは粗い津波を入力として必要とするだけであり、DNN とパーソナルコンピュータと併せてローコストで導入することができる。

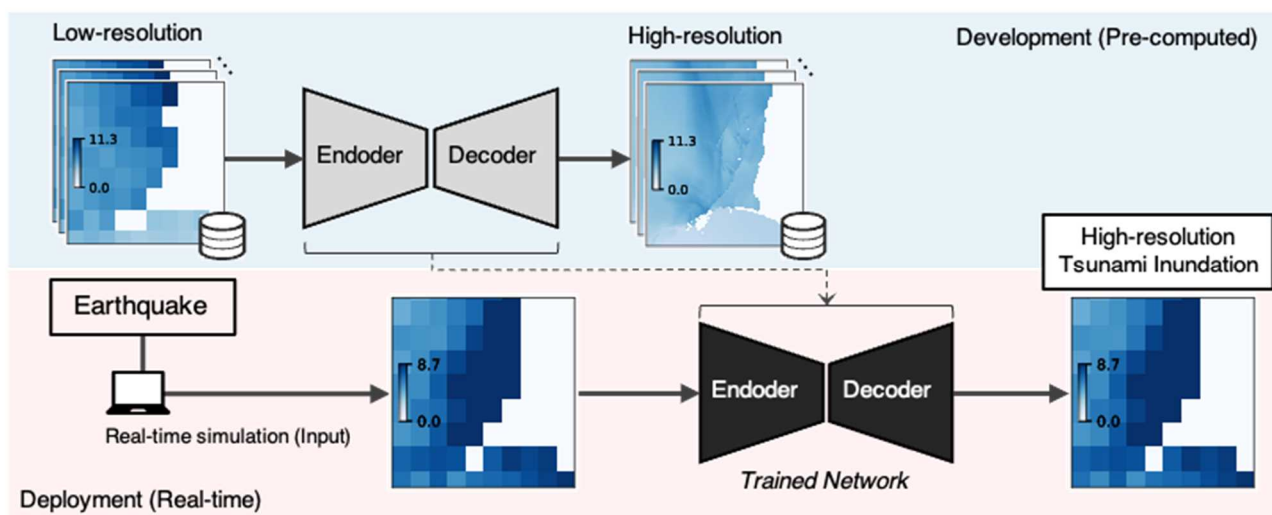


図6 DNNによる高分解能浸水予測（超解像）の枠組み

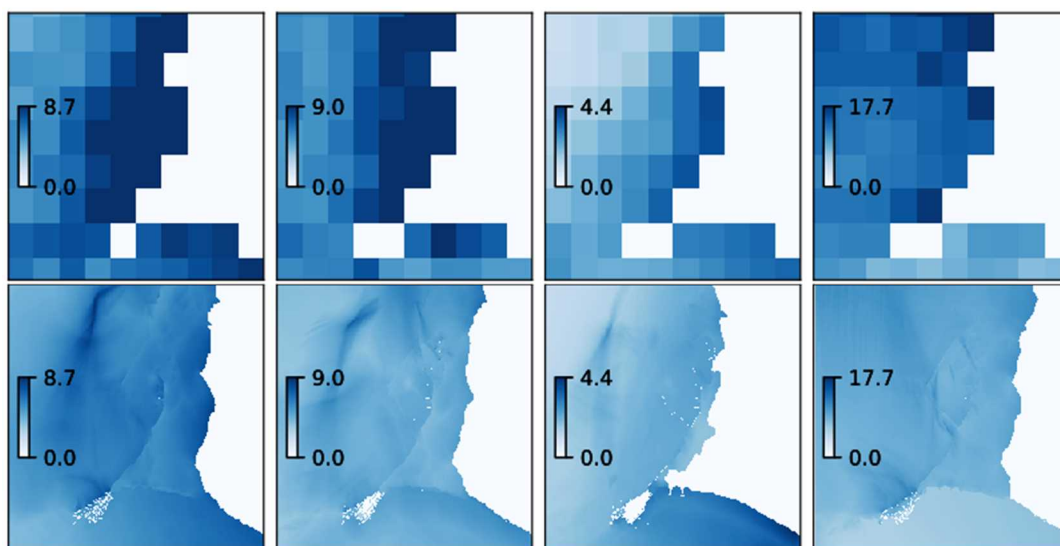


図7 超解像の学習データセット（上段：低解像度のシミュレーション、下段：高解像度のシミュレーション、これらの関係をDNNが学習する）

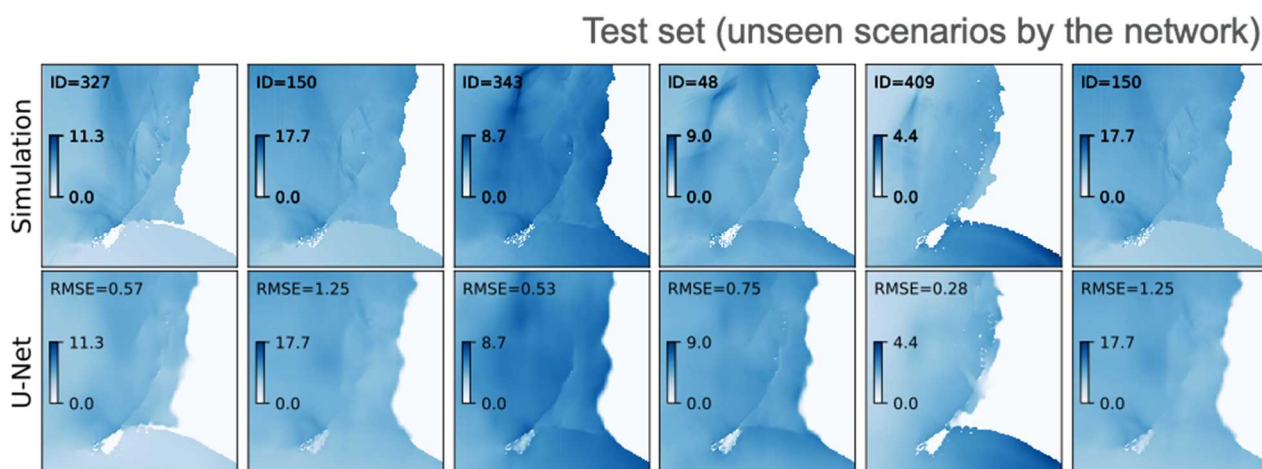


図8 DNNによる超解像津波予測の検証例

① 研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

当初の計画による準リアルタイムの津波浸水被害予測の枠組を構築したことに加え、さらなる予測時間の短縮のための機械学習の枠組み（超解像シミュレーション）を検討することとなった。今後、この枠組みの利用可能性を検討していくこととする。

④研究題目 1 の研究のねらい（参考）

⑤研究題目 1 の研究実施方法（参考）

(2-2)研究題目 2：「建物・ライフライン」

研究グループ A 建物（リーダー：楠 浩一）

研究グループ B ライフライン（リーダー：丸山喜久）

① 研究題目 1 の当初計画（全体計画）に対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）

G2A の活動については、以下の通りであった。枠組み組積造の安全限界変形については、国内外の実験結果 99 体分によるデータベースを構築し、曲げ破壊型およびせん断破壊型に分けて、その非線形挙動の推定精度を検証した。推定では、その荷重－変形関係はひび割れ点、降伏点、安全限界点の 3 つの点による三折れ線に近似し、ひび割れ点及び降伏点は理論式、安全限界点は勅使川原教授によるストラットモデルを用いた。推定方法は、曲げ挙動及びせん断挙動を別々に推定し、それらを重ね合わせることで、全体挙動を推定した。図 9 に、曲げ破壊型の近似例を示す。また、実験結果も 3 折れ線近似した場合の、曲げ破壊型およびせん断破壊型の近似例を図 10 に示す。縦軸の力に関しては、曲げ破壊型で計算値の実験値に対する比の平均値 1.2、標準偏差 0.3、せん断破壊型では平均値 1.2、標準偏差 0.2 と実用に耐える精度であった。また変形に対しては、曲げ破壊型では平均値 1.2、標準偏差 0.5、せん断破壊型で平均値 1.4、標準偏差 0.6 と荷重よりも若干精度が落ちた。

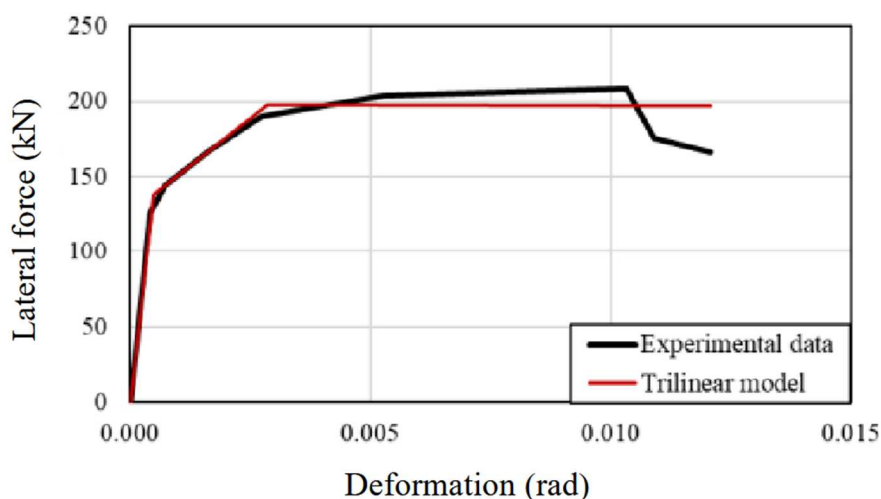
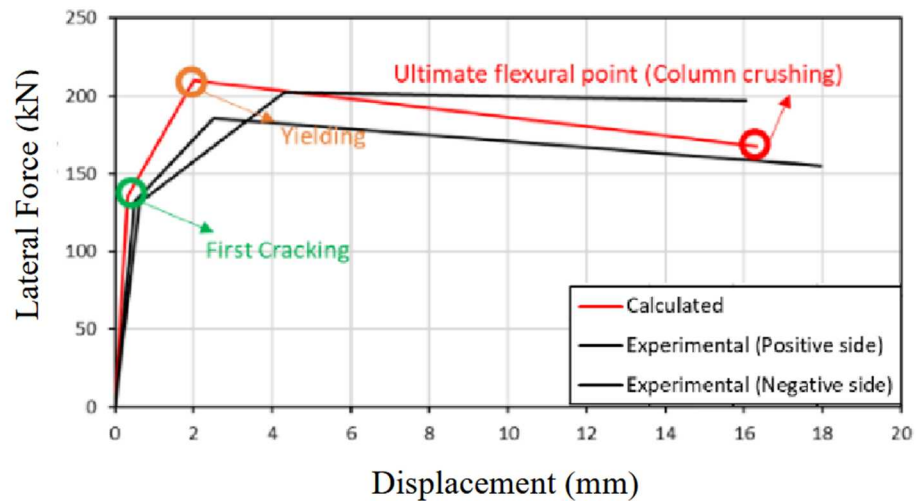
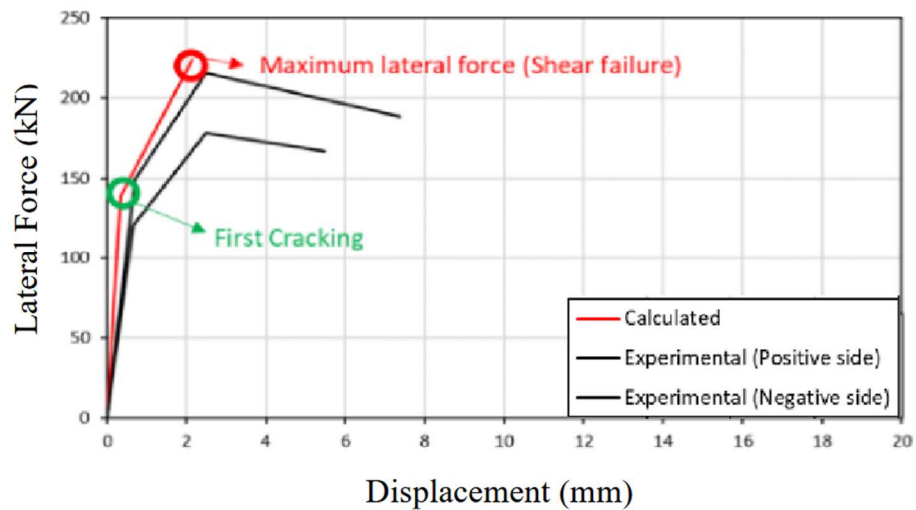


図 9 実験結果の近似例



(a) 曲げ破壊型



(b) セン断破壊型

図 10 曲げ破壊型、せん断破壊型に対する実験結果との比較

建物への被災度判定システムの導入については、INDECI の許可を得て、国家緊急時オペレーションセンター（Centro de Operaciones de Emergencia Nacional, COEN、図 11）に加速度計を設置し、観測を開始した。また、この観測開始により、COEN 内に CISMID の席を設ける調整を始めた。観測データは、24 時間東京大学地震研究所のサーバーに伝送されている。幸い、今のところ地震は発生していない。併せて、典型的な個人住宅にも設置した。今後、ペルー無い観測建物を順次増やす予定である。



図 11 COEN 全景

また、New Zealand の税関建物 (CustomHouse、図 12) にも設置を行った。観測データは、24 時間東京大学地震研究所のサーバーに伝送されている。この建物では、設置後すでに 8 回の地震を観測している。この中で、最も揺れの大きかった建物内最大震度 4.0 を記録した地震 (2023 年 2 月 15 日 15:39:34 記録開始) の処理結果のうち、東西方向の伝達関数を図 13 に、同じく東西方向の各ランクの性能曲線を図 14 に示す。卓越振動数はおよそ 1Hz で、主要ランクは 5~7、その挙動はほぼ線形であることが分かる。この建物は、今後耐震改修される予定で、一定期間観測が止まる予定である。



図 12 CustomHouse 全景

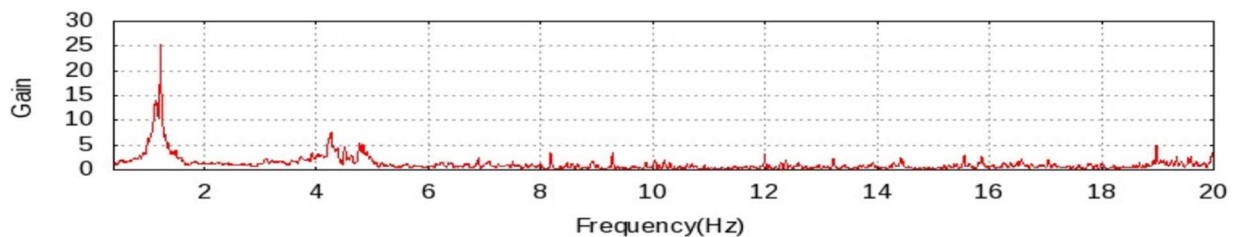


図 13 東西方向の伝達関数

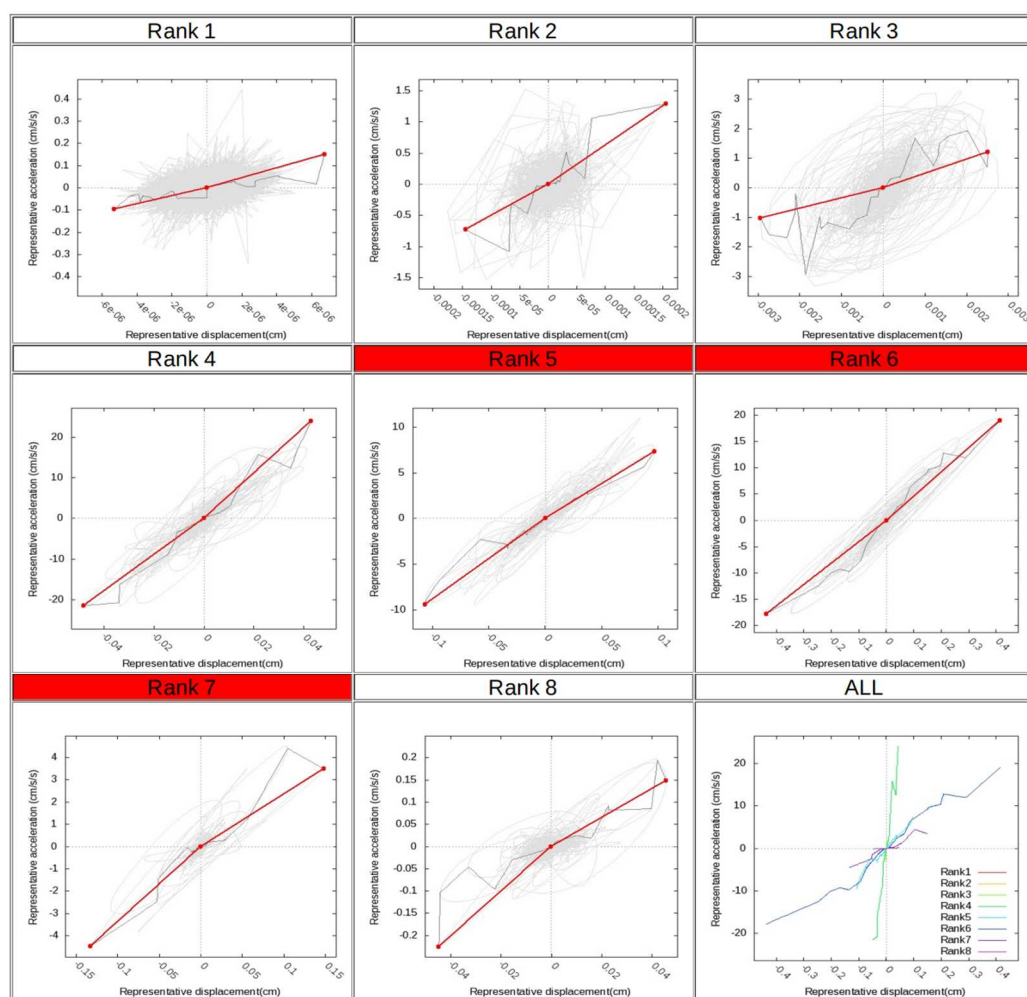


図 14 東西方向の各ランクの性能曲線

国内建物でも被災度判定システムの検証を行うため、東京大学キャンパス内の建物 16 棟に設置されていた加速度計を被災度判定システムに接続し、被災度の観測を開始した。本郷キャンパス内の設置建物を図 15 に示す。全ての建物にセンサーをすぐに設置することは現実的ではないため、センサー設置建物の観測データから周辺建物の被災状況を推定する手法の開発が望まれる。そこで、AI を用いた推定技術と耐震診断結果を用いた推定技術の開発について、検討を開始した。



図 15 東京大学本郷キャンパス内のシステム設置建物（図中赤網掛け）

G2B の活動については、以下の通りであった。2021 年に収集した上水道施設の GIS データを用いて、シナリオ地震時の上水道システムの復旧シミュレーションを実施した。具体的には、図 16 に示すように、モーメントマグニチュード (M_w) 8.6 のプレート間地震が発生したときの地表面最大速度 (PGV) を仮定し、この際の上水道供給システムの復旧日数を街区ごとに算出した (図 17)。復旧日数の算出には、1995 年兵庫県南部地震時の上水道の復旧データを用いて構築された確率論的モデルをリマ市に適用した。この際には、リマ市の上水道管路の地震時脆弱性指数を考慮し、地震動強さを調整して適用した。図 17 によると、複数の街区で 1 ヶ月以上の復旧期間を要する可能性が示された。

上述の復旧予測は、日本で発生した地震時の上水道管路の被害分析や実際の復旧日数に基づき構築された予測モデルに基づいた結果である。つまり、上水道システムの復旧に関するフレームワークを構築したものと位置づけている。ペルーへの適用性を高めるには、ペルー国内の地震を対象に、上水道管路の被害分析や復旧日数の整理を行う必要がある。そこで、2007 年ピスコ地震における上水道管路の被害データを整理 (図 18) し、日本や米国で提案されている上水道管路の被害予測式と比較した (図 19)。ピスコ地震時の管路被害率は、O'Rourke and Ayala (1993) よりもやや小さく、American Lifelines Alliance (2001) よりも大きかった。今後は、このような被害実績に関する分析を進め、上水道管路の復旧予測手法のリマ市への適用性を高める予定である。

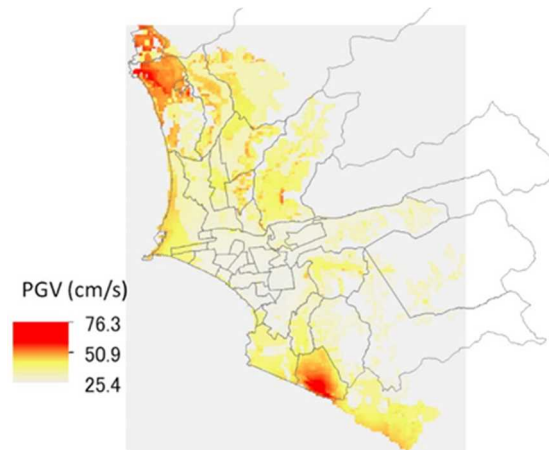


図 16 シナリオ地震 (Mw8.6) の地表面最大速度 (PGV)

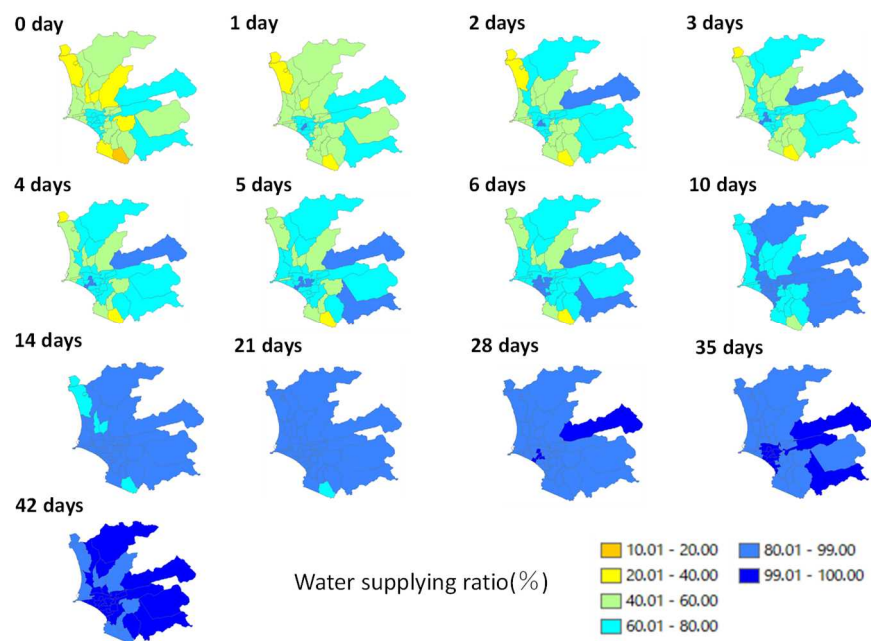


図 17 上水道システムの復旧予測結果 (地震発生時からの日数ごとの供給率)

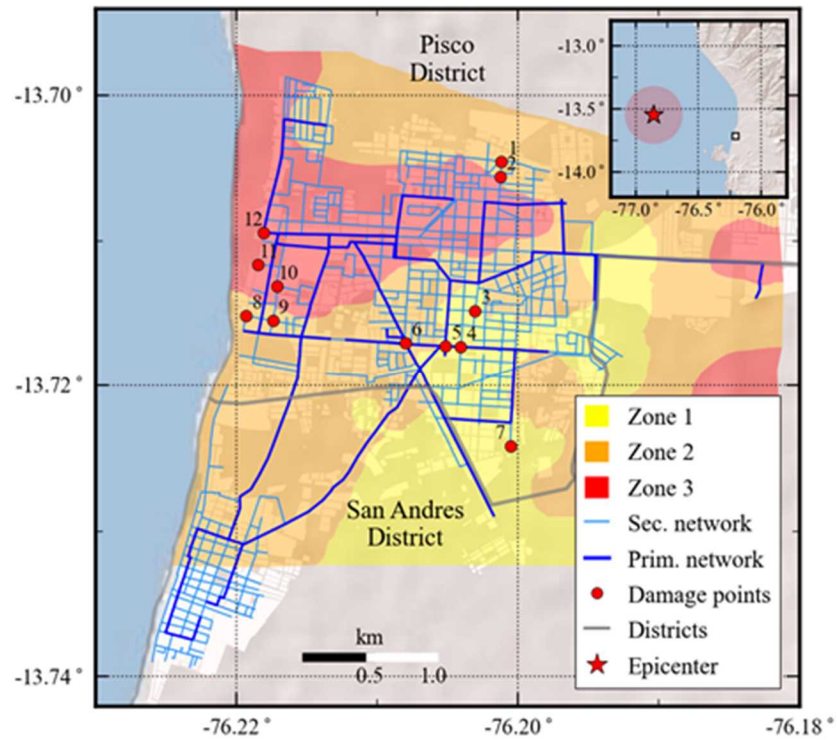


図 18 2007 年ピスコ地震時の上水道管路の被害位置と地盤ゾーニング

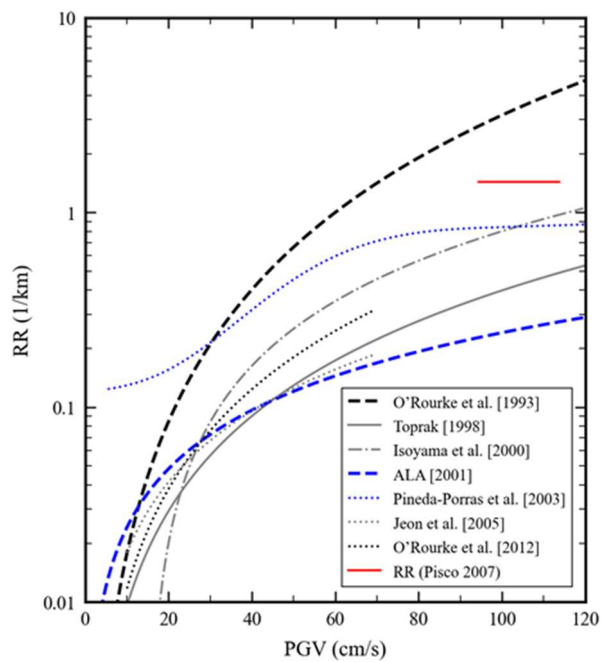


図 19 2007 年ピスコ地震の管路被害率と上水道管路の被害予測式の比較

② 研究題目 1 の当該年度の目標の達成状況と成果

G2A に関しては、グループの活動としての渡航を達成し、建物へのセンサー設置を行うことができた。特に、国家の災害対応センターである COEN にセンサーを置けたことは大きな成果である。国内でも、東京大学の協力の下、キャンパス内の複数の建物に設置することができた。枠組み組積造

の挙動推定に関しては、データベースの構築とそれを用いた検討により、挙動を3折れ線にモデル化する方法を提案できた。また、Luis Lavado を研修で東京大学地震研究所に迎え、建物観測における具体的なセンサーの設置・保守の方法を研修するとともに、大型振動台実験に参加してシステムの稼働状況を学んだ。

G2B に関しては、2022 年 8 月のペルー渡航時に、リマ市上下水道局（SEDAPAL）に訪問し、上水道管路の GIS データの共有と本研究での使用に関して許可を得ることができた。そのため、リマ市全域に関して復旧シミュレーションに関する検討を進めることが可能となった。道路インフラに関しては、引き続きデータ収集と被害予測に関する文献調査を行った。ペルーへの次回渡航時には、道路管理者と地震動モニタリングに関する議論の機会を持つことを計画している。

③ 研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

COVID-19 の影響が落ち着いてきたため、やっとグループごとの渡航が可能となった。しかし、これまでの経験からオンライン会議は頻繁に相互の進捗を確認するうえで非常に有効であるとの両者の共通の認識を踏まえ、継続することとした。当初計画ではなかったが、COEN および東京大学キャンパス内にシステムを導入できたことは大きな成果といえる。

④ 研究題目 2 の研究のねらい（参考）

本研究題目では、地震災害発生時に、建物とライフラインの被害状況と継続使用の可否をセンサーを用いて早期に把握するシステムの開発と、その実装を目的とするものである。その為、実際にペルーの建物とライフラインにセンサーの設置を広める。そのモニタリングデータは、建物やライフラインの地震自動的応答を直接記録した貴重なデータとなるため、耐震規定の高度化など、今後の地震災害対応に関する研究に大いに資するデータとなる。また、これら観測データを日本とペルーの両国で共有することにより、両国の耐震性能向上に資する。

⑤ 研究題目 2 の研究実施方法（参考）

【2A-1 ペルーの建物の安全限界評価】

即時建築物被災度判定システムを確立するためには、リマ首都圏に多くある枠組み組積造建築物の安全限界変形を評価する必要がある。そこで、相手国研究機関で実施される枠組み組積造の静的加力実験結果、およびこれまでに国内外で行われてきた枠組み組積造壁の静的加力実験結果を収集し、安全限界変形の評価方法を確立する。

【2A-2 即時病院継続使用性判定システム】

建築物では、地震発生後の余震による二次災害防止を意図して、建築物の被災度を設置したセンサーにより自動的に判断し、その結果を住民に示すシステムを開発する。この判断方法には、我が国の建築基準法に 2000 年に追加された「限界耐力計算法」を用いる。ペルーで一般的な構造である、レンガを用いた枠組み組積造にも対応するため、枠組み組積造の安全限界変形を実験的に確認し、提案するシステムに組み込む。日本とペルーの両国で、試験設置を実施し、システムの検証と改良を行う。更に、ペルーにおいて 2015 年の法改正による特定建築物へのセンサー設置義務にも対応することを目指す。ここで開発する即時被災度判定結果の情報は、「災害リスク管理」グループにおいて統合されて表示される。

【2B-1 インフラ・ライフラインの地震時脆弱性評価】

リマ首都圏の道路ネットワーク（インフラ）、上下水道施設（ライフライン）を対象とし、地震時脆弱性を評価する。道路ネットワークに関しては、道路構造物の設計年次、構造形式等を調査し、構造物の耐震性能を評価する。さらに、GIS データを用いたネットワーク解析によって、道路交通の特性を踏まえた地震時脆弱性を評価する。上下水道施設に関しては、水供給地域の地盤特性の調査、地中埋設管の敷設状況の調査、浄水場等拠点施設の耐震性の調査を行い、上下水道施設の地震脆弱性を評価する。

【2B-2 即時被害予測システム】

リマ首都圏のインフラ・ライフラインを対象に、地震時の即時被害予測システムを構築する。インフラ・ライフライン拠点施設に IT 強震計を設置し、地震動をモニタリングする。さらに、ペルーやその他の南米諸国で発生した地震の際の被害データに基づく被害関数や、日本や米国で用いられている被害関数を用いて、インフラ・ライフラインの即時被害予測を実現するシステムを構築する。

【2B-3 避難経路推定システム】

リマ首都圏の道路ネットワークの地震時脆弱性評価の結果に基づき、地震・津波を対象として、発災後に使用可能な道路リンクを即時予測し、避難経路を推定するシステムを開発する。リマ首都圏の主要な病院、避難所等の場所を調査し、これらの位置関係と災害直後の道路の機能損失予測結果を反映した避難経路推定システムを開発する。

(2-3) 研究題目 3：「災害情報技術」（リーダー：松岡昌志）

- ② 研究題目 3 の当初計画（全体計画）に対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）

G3 の当初の計画は、以下の 3 点についての活動を計画していた。

- 1) 対象地域の建物インベントリデータの構築を目的として、現地調査を実施し、住宅統計や土地台帳と統合することで、構造種別や階数等を推定するモデルの開発を行う。
- 2) 対象地域の高分解能衛星画像やドローン画像を収集し、AI モデルのためのトレーニングデータの作成を継続する。そして、トレーニングデータに基づき土地被覆分類や建物輪郭の抽出のプロトタイプ手法を開発する。リモートセンシング画像からの被害検出手法について、既往研究を調査し、ペルーに適用可能な手法について検討する。
- 3) 強震観測記録を利用した地震動分布の即時推定システムについては、過去に発生した地震に適用して精度等を検証する。建物被害の推定についてはシステムに実装可能な fragility 関数について検討する。

前回の SATREPS にて、センサスデータ（2007 年）に基づき整備したリマ全域における街区単位のインベントリデータ（7 種類の建物構造種別）から 15 年以上が経過していることを受けて、最新のセンサスデータ（2017 年）を取得し、街区単位のインベントリデータを再構築した。世帯数の増加は、アドベから RC 造建物のすべてにおいてみられる。図 20 に脆弱なスラブで施工した組積造建物（低層）および剛性スラブで施工した組積造建物（低層）における 2007 年から 2017 年にかけての世帯数の変化を示す。また、前回の SATREPS にて想定した海溝で発生する M8.9 のシナリオ地震（108 パターン）に対して計算した PGV の平均値と標準偏差を用いて、リマ市全域の建物被害推定を行った。その結果を図 21 に示す。EMS-98 における G4 と G5 相当の被害を受ける建物に居住す

る世帯数は 42 万 7 千世帯から 53 万 3 千世帯に増え、研究対象地域においても 10 万世帯から 11 万世帯に増えており、リマ市の巨大地震に対する対策が急務であることを示した。インベントリデータの構築および検証のために、研究対象地域にて現地調査を継続すると共に、ドローンによる観測および WorldView-2 衛星のステレオ観測モード画像を取得した。図 22 には WorldView-2 衛星からの建物 3 次元モデルの構築と階数推定のフローを、図 23 には結果と現地建物との比較を示す。推定結果についてはペルー側に提供し、現地調査との詳細比較を進める予定にしている。

地震発生後における早期被害把握手法の構築に関して、光学センサ画像からの建物輪郭の抽出モデルを既存 AI 手法および公開されている画像データセットを用いて構築し、2007 年のピスコ地震を対象に計算速度と推定精度の検証を行った。図 24 に推定結果と現地調査の比較を示す。これは、将来ペルーで発生する地震に対して、CONIDA が運用する PeruSAT-1 の利用を想定したシミュレーションであり、構築した AI モデルは画像取得後 10 分以内に被害推定結果を出力できる可能性があることを明らかにした。

地震動分布の即時推定システムに関して、CISMID の ShakeMap システムのクラウド移管を進めると共に、地盤増幅特性の細密化にも取り組んだ。これまでに日本にて構築した AI モデルをリマ市にて計測した微動観測記録に適用して地盤増幅特性を推定し、強震観測記録のスペクトルインバージョンから求めた値と比較し、さらに、研究対象地域において高密に計測した微動観測記録に適用し、細密な地盤増幅特性の分布を推定した（図 25 参照）。AI モデルについてはペルー側でも利用できるよう技術共有を進めている。

そして、統合型 GIS システムの仕様および機能については、ペルーの関係機関が所有・運用しているシステムの仕様（SIGRID）について整理し、災害対応プロトコルについても確認した。具体的には、SATREPS の各グループが持っている情報の利活用方法、それぞれが生成するコンテンツの共有方法と G3 での統合方法について検討した。災害対応プロトコルについては、INDECI が運用している Evaluación de Daños y Análisis de Necesidades (EDAN)「被害状況の把握とニーズ分析」のフォームを踏襲することとし、今後構築する GIS システムは地震発生直後から EDAN フォームに各種数値あるいはニーズを時系列的に記録し、可視化することが求められることを確認した。

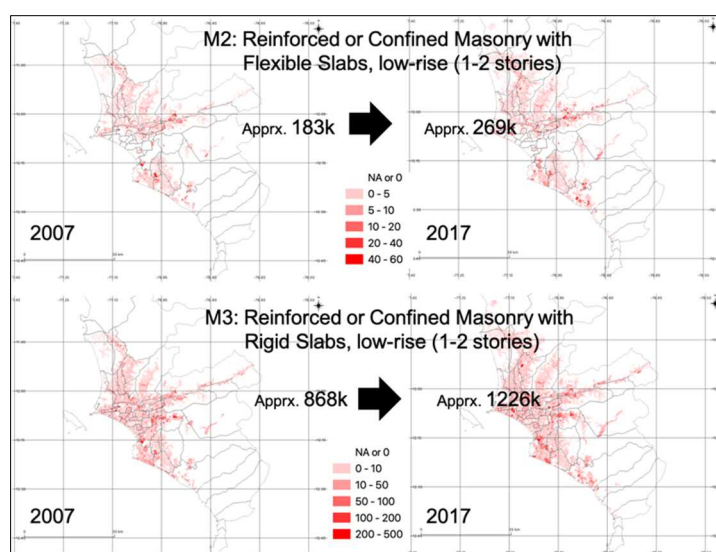


図 20 2007 年から 2017 年にかけての世帯数の増加状況

【令和 4 年／2022 度実施報告書】【230531】

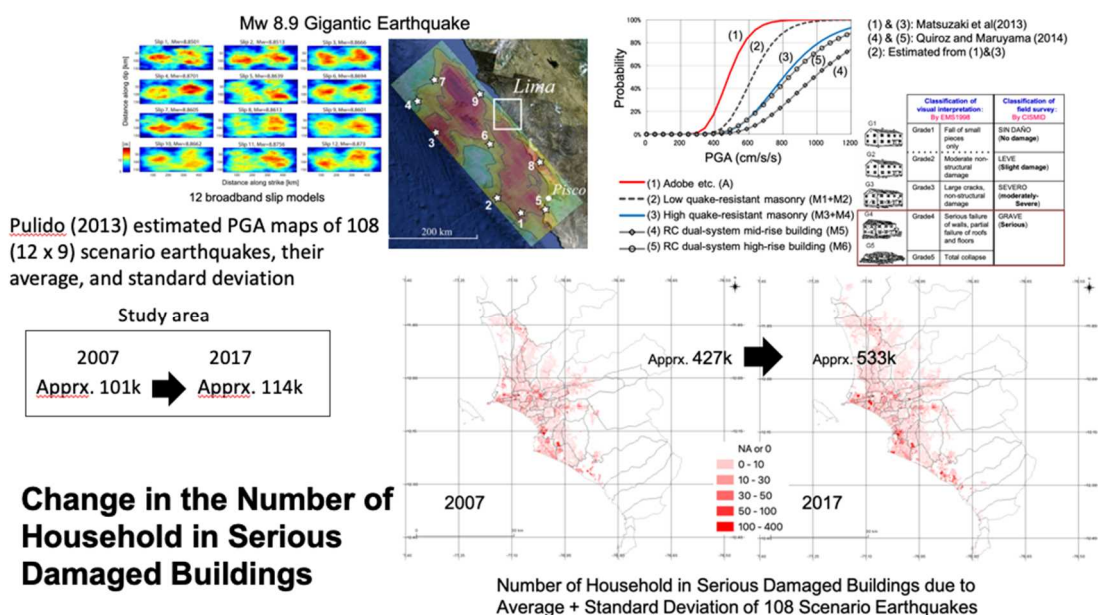


図 21 M8.9 のシナリオ地震を想定した時の 2007 年から 2017 年にかけての大被害建物に居住する世帯数の変化

3D information obtained from stereo pair of WorldView-2

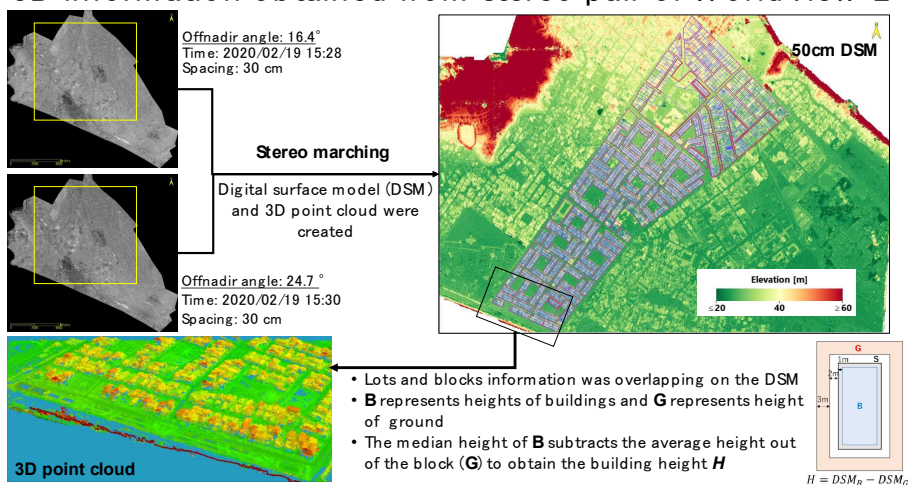


図 22 WorlView-2 衛星のステレオ観測画像からの 3 次元モデルの生成のフローと結果

Obtained building floors and verifications

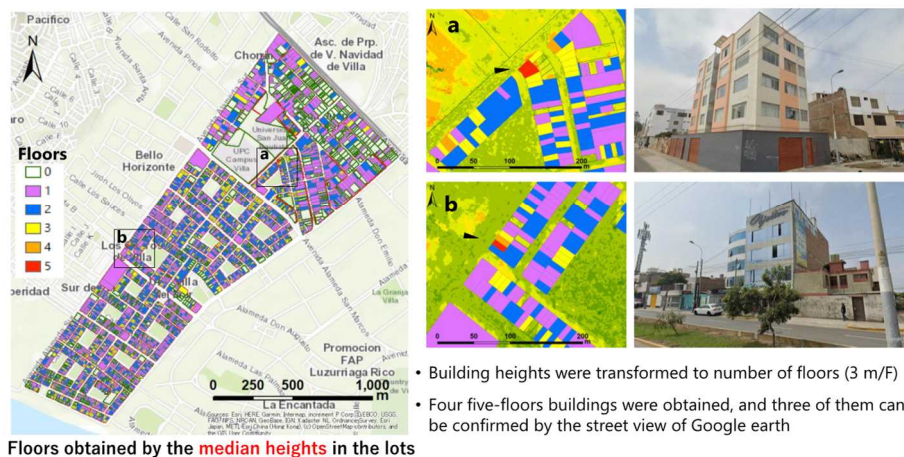


図 23 WorlView-2 衛星画像から推定した建物階数の分布と現地写真との比較

AI-based Building Damage Recognition

Our U-net model was applied to rapid damage detection for the 2007 Peru Earthquake in Pisco city, and the results demonstrated that our framework successfully detected collapsed buildings with slight overestimation.



図 24 2007 年ピスコ地震前後の WorlView-2 衛星画像に AI モデルを適用して推定した建物変化と地震後の被害調査結果との比較 (a:地震前画像の建物分布、b 地震後画像の建物分布、c:AI モデルにて推定した建物変化、d:現地調査結果)

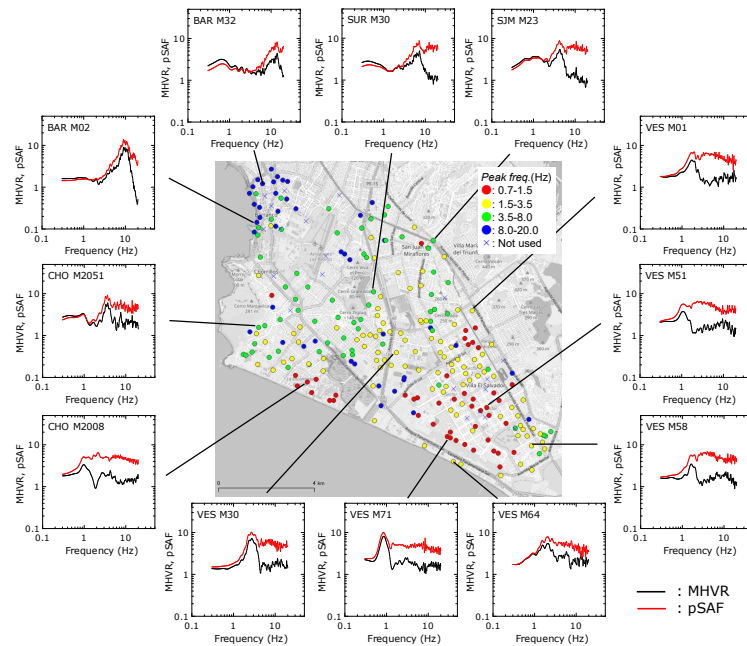


図 25 研究対象地域の微動観測記録から AI モデルにて推定した地盤増幅特性と卓越周期分布

② 研究題目 3 の当該年度の目標の達成状況と成果

研究対象地域の建物インベントリデータの構築については、ドローンによる観測と現地調査を継続して進めているが、高分解能人工衛星からの建物階数の推定結果は、インベントリデータの構築を効率的に進めることに寄与した。また、地震による建物被害の高分解能人工衛星による早期把握については、今年度構築した AI モデルがヒスコ地震だけでなく、2 月のトルコ南東部の地震に対しても適用可能で、汎用性があることが確かめられた。ShakeMap システムのクラウド移管や高度化についても順調に進んでおり、統合型 GIS システムについて、データ共有の仕様だけでなく、INDECI や SENAPRED が利用できるようデータの最終型を EDAN フォームにすることを合意できたのは今後のシステム構築やデモンストレーションをする上で重要な成果と考えている。

③ 研究題目 3 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

COVID-19 の影響が落ち着いてきて渡航が可能になっているが、日本側のメンバーの国内での所用とのバッティングにより JCC およびグループ会議を現地にて実施することができなかった。しかし、2023 年 2 月にペルー側のカウンターパートが来日した際にシステム構築に関連した詳細な打ち合わせの機会を作ることができた。これまで、月 2 回の定期的なオンライン会議を継続しており、各種課題について共有していたために、対面での議論が効率よくできたと考えている。今後も、研究進捗の共有だけでなく、関係者間の信頼や親密を深める意味で重要だと感じている。

⑤ 研究題目 3 の研究のねらい（参考）

リマ首都圏および対象地域の建物やライフラインのインベントリ情報を現地調査、リモートセンシング画像、AI 技術を使って整備し、事前のハザード評価に利用すると共に、地震発生後に取得した地震観測データから速やかに地震動と建物等の被害分布を推定する手法およびリモートセンシ

グ画像からの被害把握手法、さらに、これらを統合して被害推定結果を高精度化する手法を開発する。また、災害対応の意思決定を支援する目的で、各グループの地震・津波に関するハザードや被害推定等のリスクに関する情報を可視化して関係者間で共有できる GIS システムを構築する。

⑤研究題目 3 の研究実施方法（参考）

【3-1 GIS データの構築】

リマ首都圏のライフライン事業者と共同して電力、通信、上下水道供給網の拠点施設および埋設管路の情報の GIS データ化を進める。上下水道の埋設管に関しては、管種、管径および埋設年代をデータ属性とする。配水場や下水処理施設、変電所、通信基地局などの拠点施設については、構造形式、建築年代、地震や津波に対する対策の有無を調査項目とし、GIS データの属性に格納する。建物についても、土地台帳や各種統計情報に基づき、建築構造および建築年代等を推定し、GIS データベースを作成する。地形詳細および建物の 3 次元モデルの構築には小型無人機(ドローン)による観測や現地調査を実施する。構築したデータベースは GIS によって災害時の脆弱性評価に必要な情報が一元的に管理・更新されるようになることを目指す。

【3-2 観測データに基づく被害推定手法の開発】

地震直後に得られる強震観測記録に基づき地震動分布の早期推定システムを構築すると共に、衛星画像等を用いて災害状況を把握する技術の社会実装を目指す。研究期間内にこの範囲で対象となる自然災害が発生した場合は、災害後の光学センサーや SAR 画像を取得し、災害前後の変化抽出を行って被害や影響の広がりと程度を把握する。被害の詳細把握には小型無人機(ドローン)も活用する。また、事前検討として、世界各地の実災害を事例データとして、AI による解析手法の検証を行う。解析精度の検証には、対象地域と地勢や社会的ストックが似通っている地域での既往災害での事例を用いる。

【3-3 統合型 GIS システムの構築】

本研究の一連の成果として、地震・津波のハザードマップや建物に設置した地震計からの観測情報や電力および上下水道の被害状況・通水状況・復旧時間などをパソコン、スマートフォン等の情報端末で閲覧できる GIS システムをクラウド上に構築する。さらに、災害後の情報に基づき被害推定を更新する手法の構築と災害対応の意思決定ツールの開発を行い、社会実装を図る。

(2-4)研究題目 4：「災害対応力向上」（リーダー：長江拓也）

① 研究題目 1 の当初計画（全体計画）に対する実施状況（カウンターパートへの技術移転状況含む）

研究課題 2 が取り組む開発技術の実証、プレゼンテーション資料作成を目的に、大型実験との連携に取り組んだ(図 26)。そこでは、一般市民へのセミナーの開始を視野に、建物・インフラ・ライフラインのモニタリング技術、耐震リテラシーを向上する技術資料を説明する資料蓄積を意図した。



図 26 大型実験の 11 月建設現場取材

② 研究題目 1 の当該年度の目標の達成状況と成果

セミナーでの解説、ワークショップのトレーニングにて繰り返して使用することができる汎用資料の素材を着実に蓄積している。各グループの取り組む技術の解説や取り組む活動について、長期滞在の研修員とともに取り纏めた (図 27)。

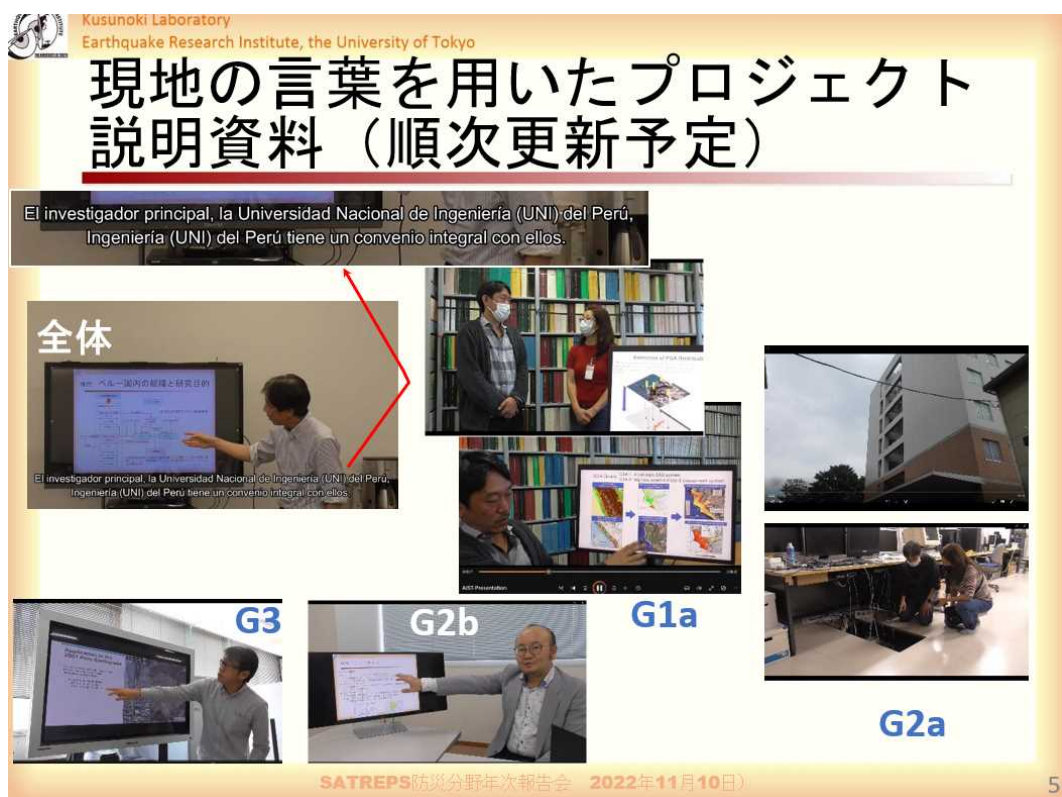


図 27 各グループの活動を日本滞在研修員とともに取材

研究課題 2 が取り組む建物、インフラの被害即時評価に関して、プレゼンテーション資料作成を目的に実施した大型実験では、担当研究者と連携して、技術説明用の資料素材を蓄積するとともに、象徴的な大型イベントを擁してプロジェクト責任者によるプロジェクトの目指す社会貢献の説明資料を取得した（図 28、図 29）。

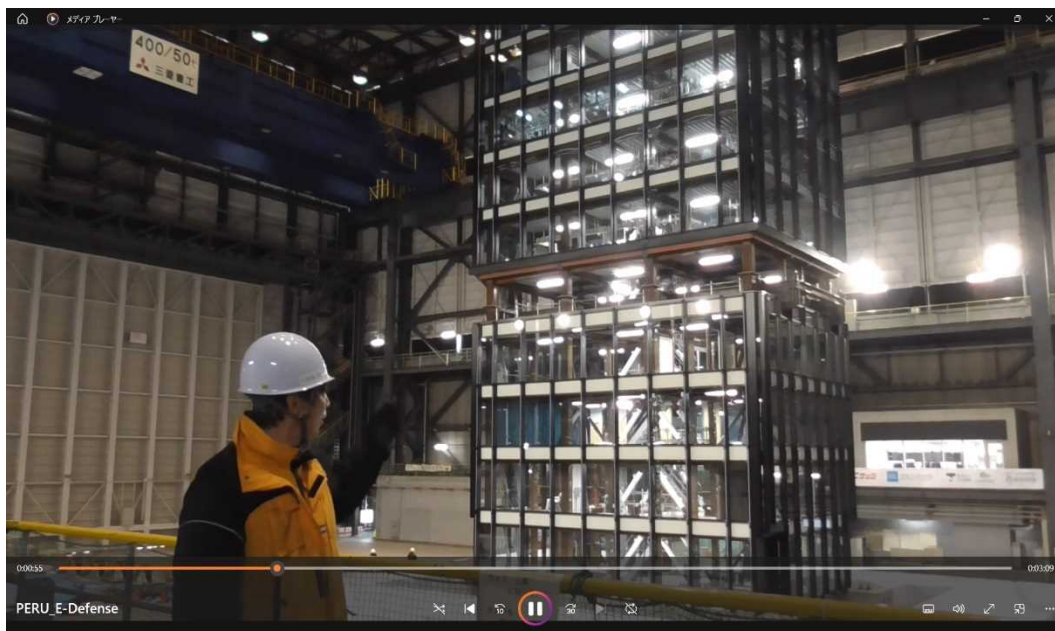


図 28 実験用試験体に導入されている建物・インフラセンシングシステムの技術説明ビデオ

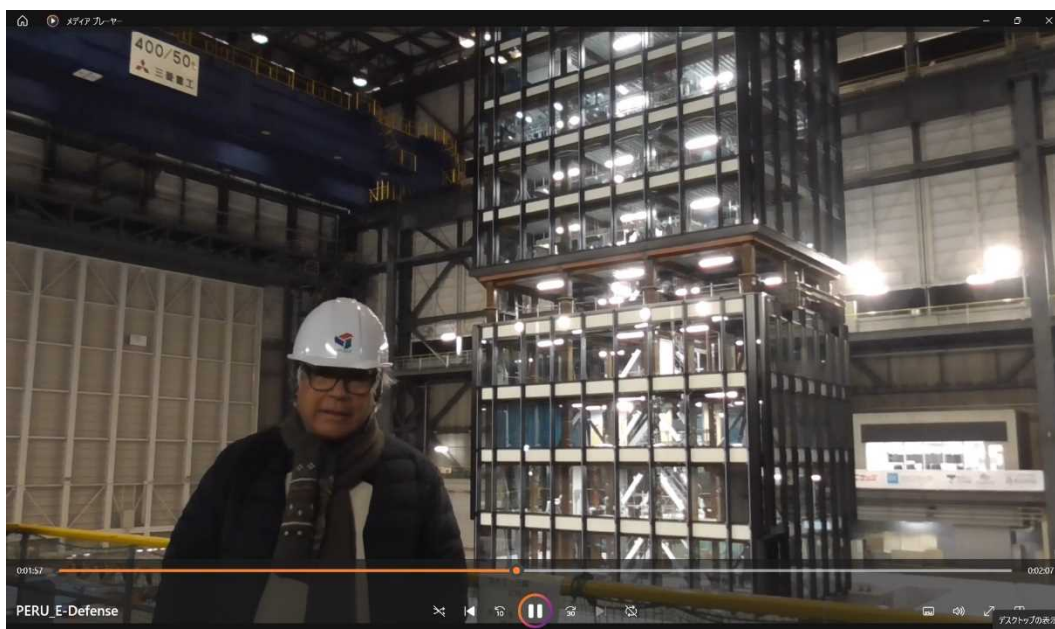


図 29 リマ市における建物・インフラのセンシングシステムの必要性を説く啓発ビデオ

③ 研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

8 月における渡航時における CISMID, INDECI, CENEPRED との打合せ（図 30）、2 月に日本に長期滞在

【令和 4 年／2022 度実施報告書】【230531】

した CENEPPRED 防災官との活動に基づき、CENEPPRED が発刊している危機対応マニュアルに対して、提案システムの活用法を記入する方針を設定することができた。



図 30 CENEPPRED における災害対応に関する意見交換会

④研究題目 2 の研究のねらい（参考）

リマ市における建物・インフラのセンシングシステムをはじめとして、津波評価など、現地における現状の危機対応マニュアルと連動して提案システムの社会導入を促進する社会活動、関連資料整備を推進する。

⑤研究題目 2 の研究実施方法（参考）

現地のワークショップやセミナーの機会に参加し、情報収集を推進し、現地ならではの効果的な手法を検討する。

II. 今後のプロジェクトの進め方、およびプロジェクト／上位目標達成の見通し（公開）

COVID-19 の影響により渡航中止が続いてきていたが、その状況も緩和の方向にあり、徐々に渡航できるようになってきた。プロジェクト開始後 1 年ほどは渡航が叶わなかったため、今後は、ペルー国内で実施する必要がある活動を積極的に進めていく。

G1A に関しては、COVID-19 の影響が緩和されつつある状況を踏まえて、現地での調査観測をさらに加速化させる。特に、既に観測を開始した長周期地震動等の観測状況確認や、陸域の震源モデル高度化に資する活断層調査等、現地の活動を実施する。また、それらを用いたデータ解析やモデル化等の室内分析については、これまで通りオンライン会議等を通じてペルー側研究者と緊密に情報共有し、議論を通じて進めていく。

G1B に関しては、リマ沖で発生する地震津波を対象に、発生直後の災害対応に資する浸水被害予測の枠組みを構築することができた。この枠組は、G1B チームが開発した現在内閣府で運用されている「リアルタイム津波浸水被害予測システム」に準拠しており、最新のリアルタイム予測技術の横展開を実現するものである。今後、ペルー側が整備する建物情報や土地利用状況のデータを更新することでさらに信頼性の高い予測が可能になる見込である。さらに、ペルー側からは津波浸水想定図の更新の必要性について提案をもらっており（図 31）、今後本システムを用いた津波浸水想定の実施、DHN 等での地図化、津波ハザードマップの更新・配布を目標として研究を進めていく。

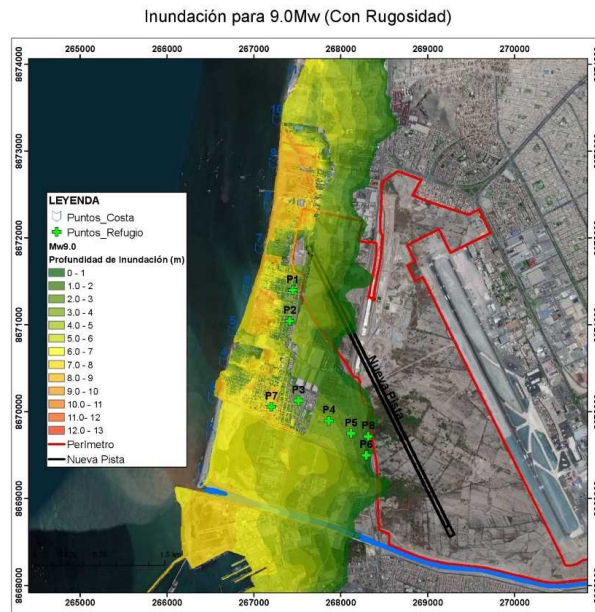


図 31 リマ ホルヘ・チャベス国際空港周辺の津波浸水想定の見直し例（建設予定の空港滑走路も浸水の可能性がある）

G2A に関しては、すでにペルー国内の複数の建物に加速度計を設置し観測を開始することができた。この被災度判定システムは、日本国内でもまさにこれから普及を図る最新の技術である。国土交通省を中心に、現在、構造ヘルスマニタリング技術の認証が進んでいる。このプロジェクトで用いている技術に関しても認証を取得する方向で準備を進めている。また、このシステムの普及を担う意図のある企業が複数手をあげており、社会実装はそれらの企業を通じて実施する予定である。システムの有効性の理解をペルー国内でも高めるためにも、設置建物をさらに増やし、実地震動に対して成果を積み重ねていく。

G2B に関しては、リマ市の上水道管路データを用いて、地震後の復旧期間を予測するためのフレームワークを構築した。現状では、1995 年兵庫県南部地震における復旧実績に基づき構築され、2011 年東北地方太平洋沖地震で適用性が確認できた計算手法を用いている。今後はペルー国内での上水道管路被害データや復旧データを収集し、今回のフレームワーク内で使用している被害予測式や復旧率予測式を置き換えることを目指す。道路インフラに関しては、地震発災後の適切な避難路の推定のために、地震動モニタリングに関する検討を進める予定である。

G3 に関しては、建物被害推定および地盤増幅特性評価のそれぞれについて構築した AI モデルがペルーに適用できること、前者についてはトルコ南東部の地震に対しても汎用性があることを示しており、ペルーに限らず他の諸外国への技術移転の可能性がみえてきた。統合型 GIS システムの仕様や内容について方向性が定まってきた。今後は地震前から地震後にかけて時系列的に集まってくる各グループからのハザードおよびリスクに関する具体的なデータの収集および EDAN フォームへの入力方策を検討し、デモンストレーションを行う予定にしている。

G4 に関しては各グループの技術資料を融合してセミナー用、ワークショップ用のプレゼンテーション方法を検討する。

Ⅲ. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

(1) プロジェクト全体

- ・ オンラインによる月 1 回の全体会議は、新型コロナウイルス感染症により渡航が困難となったための代替策として採用したものの、両国の意識確認や進捗確認に非常に有効であった。新型コロナウイルス感染症が落ち着いてきたものの、このオンライン会議は継続して続けていく。
- ・ 本年度も大型の機材供与があるため、余裕を持った調達を進めていく。

(2) 研究題目 1 : 「早期解析システム」

- ・ COVID-19 の影響により渡航ができない状況が続いていたが、オンライン会議やメールを通じて研究打ち合わせを実施し、概ね順調にコミュニケーションを取ることができた。渡航が可能となりつつある状況にあるため、現地の調査観測等についてさらに加速化させていきたい。その際、現地での対面も含めて、さらに情報共有や協議を実施していきたい。
- ・ オンラインでのコミュニケーションが確立し、これまでと同様にオンラインベースの活発な研究活動を継続する。今後は、最終成果の社会実装についてペルー側と議論を進めていきたい。特にリアルタイム津波浸水被害予測システムの運用には日本側がすでに事業化（東北大学発ベンチャーによるシステム開発・運用）しており、これらのノウハウをペルー側にも導入することで我が国の経済・産業へのメリットも生まれると期待できる。これについては、JICA の新たな円借款事業などを立ち上げることなどを提案したい。また、ペルー側の運用体制強化についても相談していく

(3) 研究題目 2 : 「建物・ライフライン」

- ・ オンラインによる会議の実施が定着したため、今後もこのオンライン会議を継続する。
- ・ 昨年度に引き続き今年度も大型の機材供与が続くため、より緊密にカウンターパートと情報共有を図る。

(4) 研究題目 3 : 「災害情報技術」

- ・ オンラインによる会議の実施が定着したため、今後もこのオンライン会議を継続する。
- ・ 統合型 GIS システムの構築には他のグループとの協働が必要なので、ペルー側および日本側にてグループ間での情報共有や確認の機会を設けていく。

(5) 研究題目 4 : 「災害対応力向上」

- ・ オンラインによる会議の実施が定着したため、今後もこのオンライン会議を継続する。
- ・ 現地のワークショップやセミナーの機会における情報収集から効果的な手法を検討する。

Ⅳ. 社会実装に向けた取り組み（研究成果の社会還元）（公開）

(1) 成果展開事例

- ・ 建物モニタリングによる被災度判定システムについては、善通寺五重塔・本山寺五重塔などの歴史建造物に試験設置し、その観測状況を一般にも公開している。ニュージーランドのウェーリントン市において、税関建物に本システムを導入した。また本システムの技術評価を日本建築防災協会で実施している。

(2) 社会実装に向けた取り組み

- ・ 本研究成果を公開する HP を日本側・ペルー側で公開することにより一般に情報提供する。
- ・ 提案システムの導入に向け、現地 CENEPRED の危機対応マニュアルの内容を検証する。

V. 日本のプレゼンスの向上 (公開)

2022 年 8 月 15 日、17:45 からのペルーの公共放送局において、ペルー側代表者の Zavala 教授が SATREPS プロジェクトの紹介を行った。



2023 年 3 月 20 日の 11:30 より、同じ放送局において、SATREPS プロジェクトの紹介を行った。



以上

VI. 成果発表等

(1)論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2021	Luis Moya, Fernando Garcia, Carlos Gonzales, Miguel Diaz, Carlos Zavala, Miguel Estrada, Fumio Yamazaki, Shunichi Koshimura, Erick Mas, Bruno Adriano, Brief communication: Radar images for monitoring informal urban settlements in vulnerable zones in Lima, Peru, Natural Hazards and Earth System Sciences, 2022, Vol.22, Issue1, 65–70	10.5194/nhes-22-65-2022	国際誌	発表済	地球科学分野のトップレベル雑誌(IF4.345)

論文数 1 件
うち国内誌 0 件
うち国際誌 1 件
公開すべきでない論文 0 件

②原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2021	Erick Mas, Shinichi Egawa, Hiroyuki Sasaki, Shunichi Koshimura, Modeling search and rescue, medical disaster team response and transportation of patients in Ishinomaki city after tsunami disaster, E3S Web of Conferences, 340, 1–5	10.1051/e3sconf/202234005001	国際誌	発表済	
2021	Tumurbaatar, Z., Miura, H. and Tsamba, T., Development of Building Inventory Data in Ulaanbaatar, Mongolia for Seismic Loss Estimation, ISPRS International Journal of Geo-Information, 2021, 11(1), 26.	10.3390/ijgi11010026	国際誌	発表済	地球科学分野のトップレベル雑誌(IF 2.899)
2021	Liu, W.; Maruyama, Y.; Yamazaki, F. Detection of Collapsed Bridges from Multi-Temporal SAR Intensity Images by Machine Learning Techniques. Remote Sens. 2021, 13, 3508.	10.3390/rs13173508	国際誌	発表済	地球科学分野のトップレベル雑誌(IF 4.848)
2021	Zhan, Y.; Liu, W.; Maruyama, Y. Damaged Building Extraction Using Modified Mask R-CNN Model Using Post-Event Aerial Images of the 2016 Kumamoto Earthquake. Remote Sens. 2022, 14, 1002.	10.3390/rs14041002	国際誌	発表済	地球科学分野のトップレベル雑誌(IF 4.848)
2021	Min-Lung Cheng, Masashi Matsuoka, Wen Liu, Fumio Yamazaki, Near-Real-Time Gradually Expanding 3D Land Surface Reconstruction in Disaster Areas by Sequential Drone Imagery, Automation in Construction, 2021, Vol.135, 104105.	10.1016/j.autcon.2021.104105	国際誌	発表済	土木工学分野のトップレベル雑誌(IF 7.700)
2021	Davoud Omarzadeh, Sadra Karimzadeh, Masashi Matsuoka, Bakhtiar Feizizadeh, Earthquake Aftermath from Very High-Resolution WorldView-2 Image and Semi-Automated Object-Based Image Analysis (Case Study: Kermanshah, Sarpol-e Zahab, Iran), Remote Sens., 2021, Vol.13, No.21, 4272.	10.3390/rs13214272	国際誌	発表済	地球科学分野のトップレベル雑誌(IF 4.848)
2021	Sadra Karimzadeh, Masashi Matsuoka, A Preliminary Damage Assessment Using Dual Path Synthetic Aperture Radar Analysis for the M 6.4 Petrinja Earthquake (2020), Croatia, Remote Sens., 2021, Vol.13, No.12, 2267.	10.3390/rs13122267	国際誌	発表済	地球科学分野のトップレベル雑誌(IF 4.848)
2021	Bruno Adriano, Naoto Yokoya, Junshi Xia, Hiroyuki Miura, Wen Liu, Masashi Matsuoka, Shunichi Koshimura, Learning from Multimodal and Multitemporal Earth Observation Data for Building Damage Mapping, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2021, Vol.175, pp.132–143.	10.1016/j.isprsjprs.2021.02.016	国際誌	発表済	地球科学分野のトップレベル雑誌(IF 8.979)
2022	Sadra Karimzadeh, Mohammad Ghasemi Masashi Matsuoka, Koichi Yagi, Abdullah C. Zulfikar: A Deep Learning Model for Road Damage Detection after an Earthquake Based on Synthetic Aperture Radar (SAR) and Field Datasets, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Vol.15, pp.5753–5765	10.1109/JSTARS.2022.3189875	国際誌	発表済	地球科学分野のトップレベル雑誌(IF4.715)
2022	Miura, H., Murata, Y., Wakasa, H., and Takara, T.: Empirical estimation based on remote sensing images of insured Typhoon-induced economic losses from building damage, International Journal of Disaster Risk Reduction, 82, 103334	10.1016/j.ijdrr.2022.103334	国際誌	発表済	地球科学分野のトップレベル雑誌(IF4.842)
2022	Fumio Yamazaki, Wen Liu, Kei Horie: Use of Multi-temporal LiDAR data to extract collapsed buildings and to monitor their removal process after the 2016 Kumamoto earthquake, Remote Sensing, Vol. 14, No. 5970	doi.org/10.3390/rs14235970	国際誌	発表済	地球科学分野のトップレベル雑誌(IF5.349)
2022	J. Wu, W. Liu, Y. Maruyama: Automated Road-Marking Segmentation via a Multiscale Attention-Based Dilated Convolutional Neural Network Using the Road Marking Dataset, Remote Sensing, Vol. 14, No. 18, 4508, 2022.	10.3390/rs14184508	国際誌	発表済	地球科学分野のトップレベル雑誌(IF5.349)
2023	Shinki Cho, Haoyi Xiu, Masashi Matsuoka: Backscattering Characteristics of SAR Images in Damaged Buildings due to the 2016 Kumamoto Earthquake, Remote Sensing, Vol.15, No.8, 2181, 2023	10.3390/rs15082181	国際誌	発表済	地球科学分野のトップレベル雑誌(IF5.349)
2023	Yanbing Bai, Jinhua Su, Yulong Zou, Bruno Adriano: Knowledge distillation based lightweight building damage assessment using satellite imagery of natural disasters, Geoinformatica, No.27, pp.237–261	10.1007/s10707-022-00480-3	国際誌	発表済	地球科学分野のトップレベル雑誌(IF2.773)
2022	Moya, L., Mas, E. & Koshimura, S. Sparse Representation-Based Inundation Depth Estimation Using SAR Data and Digital Elevation Model. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, PP(99), 1–11.	10.1109/jstars.2022.3215719	国際誌	発表済	IF=4.715
2022	Hachiya, D., Mas, E. & Koshimura, S. A Reinforcement Learning Model of Multiple UAVs for Transporting Emergency Relief Supplies. Applied Sciences, 12(20), 10427.	10.3390/app122010427	国際誌	発表済	IF=2.838
2022	Mas, E; Egawa, S; Sasaki, H; Koshimura, S. Modeling search and rescue, medical disaster team response and transportation of patients in Ishinomaki city after tsunami disaster. E3S Web of Conferences 340. 5001	10.1051/e3sconf/202234005001	国際誌	発表済	

論文数 17 件
うち国内誌 0 件
うち国際誌 17 件
公開すべきでない論文 0 件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2022	Koshimura, S., Abe, Y., Adriano, B., Mas, E., Musa, A. リアルタイム津波浸水被害予測の国際展開に向けた検討. SENAC 5-4,26-31		雑誌	発表済	

著作物数 1 件
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ-終わりのページ		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2021	Kondo, H., Owen, L.A., Figueiredo, P.M., 2022. Paleoseismological Studies. In: Shroder, J.J.F. (Ed.), Treatise on Geomorphology, vol. 2. Elsevier, Academic Press, pp.495-562.		総説	発表済	
2022	楠 浩一、ペルー共和国とのSATREPSプロジェクト ―地震直後におけるリマ首都圏インフラ被災程度の予測・観測のための統合型エキスパートシステムの開発―、建築防災、543号、2023年、16-21		雑誌	in press	

著作物数 2 件
公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

①学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2022	国内学会	Andre Munoz (The University of Tokyo), Derivation and validation of force-deformation relationships for unreinforced confined masonry walls, 第17回日本地震工学会、札幌, December 15-16th, 2022	口頭発表
2022	国内学会	Yenifer Taipicuri (The University of Tokyo), Development of a damage evaluation tool for non-instrumented buildings using machine learning., 第17回日本地震工学会、札幌, December 15-16th, 2022	口頭発表
2022	国内学会	安江崇志, 丸山喜久, 劉ウエン(千葉大学), 管網末端での圧力低下に基づく漏水発生位置の予測に向けた基礎検討, 令和4年度土木学会全国大会, 京都大学, 2022年9月14~16日	口頭発表
			招待講演 0 件
			口頭発表 3 件
			ポスター発表 0 件

②学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2021	国際学会	M. R. Atefi, H. Miura, (Hiroshima Univ), Detection and Volume Estimation of Large-scale Landslide in Abe Barek, Afghanistan Using Nonlinear Mapping of DEMs, Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2021.7.	ポスター発表
2021	国際学会	H. Miura, N. Takeya, (Hiroshima Univ.) Urban Flood Mapping of the July 2020 Kyushu, Japan Heavy Rain Based on Interferometric Coherence of Sentinel-1 Images, Proceedings of International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2021.7.	ポスター発表
2021	国際学会	X. Junshi, N. Yokoya, B. Adriano, (RIKEN), Building Damage Mapping with Self-PositiveUnlabeled Learning. TArtificial Intelligence for Humanitarian Assistance and Disaster Response Workshop, NeurIPS 2021. 1-7, 2021.	口頭発表
2021	国際学会	X. Junshi, N. Yokoya, B. Adriano, (RIKEN), Building Damage Mapping with Self-PositiveUnlabeled Learning. TArtificial Intelligence for Humanitarian Assistance and Disaster Response Workshop, NeurIPS 2021. 1-7, 2022.	口頭発表
2021	国際学会	Hiroe Miyake (ERI/UTokyo), Earthquake source characterization for broadband ground motion simulation, PEER International Pacific Rim Forum, USA/online, 2021/06/16-17	招待講演
2022	国内学会	Andre Munoz (The University of Tokyo), Development of a safety limit prediction method for confined unreinforced masonry walls., 日本建築学会大会学術講演、札幌/Online, September 5-8, 2022	口頭発表
2022	国内学会	Trevor Zhiqing Yeow (The University of Tokyo), Deformation mode-dependent safety limit estimation for buildings without sensors on some floors: research outline., 第17回日本地震工学会、札幌, December 15-16th, 2022	口頭発表
2022	国内学会	Miki Mori (The University of Tokyo), 周辺のセンサー設置建物のデータを援用した非設置建物の被災度判定手法に関する研究., 第17回日本地震工学会、札幌, December 15-16th, 2022	口頭発表
2022	国際学会	Adriano, B. (Tohoku University) Assessing tsunami inundation by coupling numerical simulation and machine learning. AIWEST-DR 2022 Inclusive and Integrated Disaster Risk Reduction. Sydney, AU., Sep. 29-30, 2022	口頭発表
2022	国際学会	Koshimura, S. (Tohoku University) Digital twin computing for enhancing resilience of disaster response system AIWEST-DR 2022 Inclusive and Integrated Disaster Risk Reduction. Sydney, AU., Sep. 29-30, 2022	口頭発表
2022	国際学会	Mas, E. (Tohoku University) How can we incorporate population dynamics into an urban digital twin for disaster response? Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 2022. Online. Aug 1-5, 2022	口頭発表
2022	国際学会	Adriano, B. (Tohoku University) Evaluation of Land Roughness and Tsunami Inundation Based on Machine Learning Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) 2022. Online. Aug 1-5, 2022	口頭発表
			招待講演 1 件
			口頭発表 9 件
			ポスター発表 2 件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者 所属機関	関連する外国出願※
No.1													
No.2													
No.3													

国内特許出願数 0 件
公開すべきでない特許出願数 0 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者 所属機関	関連する国内出願※
No.1													
No.2													
No.3													

外国特許出願数 0 件
公開すべきでない特許出願数 0 件

VI. 成果発表等
 (4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2021	2021/10/1	第20回ドコモ・モバイル・サイエンス賞	リアルタイムシミュレーションとセンシングの融合によるリアルタイム 災害科学の創成	越村俊一、 太田雄策、 マスエリック	NPO法人モバイル・コミュニケーション・フアンド	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2021	2022年1月	第71回河北文化賞	リアルタイム津波浸水被害予測システムの開発と運用による災害レジリエンス向上への貢献	越村俊一	公益財団法人河北文化事業団	その他	当該研究課題で実現する成果に対する社会的価値についての表彰

2 件

②マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2021	2021/11/22	四国新聞	揺れ観測 より精密に「風向風速センサー設置」	地域総合	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2021	2022/2/4	四国新聞	五重塔の揺れ 長期観測開始「建築物専門家ら 15年間」収集データ、保全に活用	地域総合	3.一部当課題研究の成果が含まれる	

2 件

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】(公開)

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所 (開催国)	参加人数 (相手国からの招聘者数)	公開/ 非公開の別	概要
2022	8月10日	「地震直後におけるリマ首都圏インフラ被災程度の予測・観測のための統合型エキスパートシステムの開発」プロジェクトの進捗	ペルー	20	非公開	開始した本プロジェクトの全体像を紹介し、広く意見を収集した。
2022	2/16- 2/17	SATREPS-PERU All-group meeting	日本	9	非公開	グループ全体会議、公開実験参加、データ連携の打ち合わせ等。

2 件

② 合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、議題、出席人数、協議概要等)

年度	開催日	議題	出席人数	概要
2021	3月15日	2021年度「SATREPS 地震直後におけるリマ首都圏インフラ被災程度の予測・観測のための統合型エキスパートシステムの開発」	64	各グループの進捗を報告し、全体のシステム統合と次回JCCについて議論した。 (オンライン開催)
2022	8月10日	2022年度「SATREPS 地震直後におけるリマ首都圏インフラ被災程度の予測・観測のための統合型エキスパートシステムの開発」	21	各グループの進捗を報告し、全体のシステム統合と次回JCCについて議論した。

2 件

成果目標シート

公開資料

研究課題名	地震直後におけるリマ市内インフラ被災程度の予測・観測のための統合型エキスパートシステムの開発
研究代表者名 (所属機関)	楠 浩一 (東京大学 地震研究所)
研究期間	令和2採択(令和2年10月1日～令和8年3月31日)
相手国名／主要相手国研究機関	ペルー共和国／ペルー国立工科大学土木工学部、ペルー地球物理研究所、水路航路局、リマ上下水道事業、国家防災庁
関連するSDGs	目標 9. 強靱(レジリエント)なインフラ構築、包摂的かつ持続可能な産業化の促進及びイノベーションの推進を図る 目標 11. 包摂的で安全かつ強靱(レジリエント)で持続可能な都市及び人間居住を実現する

成果の波及効果

日本政府、社会、産業への貢献	- 防災分野における日本のプレゼンスの向上 - 日本の都市の地震・津波災害即時対策技術の向上 - 日本のセンシング技術の世界への普及
科学技術の発展	- 地震・津波による災害の理解の深化 - 建物・ライフライン施設モニタリング技術の向上 - Multi-Hazardにも対応した災害対応力の向上
知財の獲得、国際標準化の推進、遺伝資源へのアクセス等	- 地震・津波災害に対する合理的な防災対策方法の中南米諸国への適用 - ライフライン・建築物モニタリング技術の国際的普及と知財獲得
世界で活躍できる日本人人材の育成	現地での調査、相手国研究者との議論、海外ジャーナルへの投稿を通して、国際的に活躍できる若手研究者を育成する。
技術及び人的ネットワークの構築	地震・津波災害に直面する中南米諸国に対して、合理的な即時防災対策促進の中心となる。
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	- レジリエンス向上のための施策提言 - 災害警報・防災情報発報システム - 地震・津波監視システム - ライフライン・建築物モニタリングシステム - 災害情報伝達システム - 研究成果論文

上位目標

ペルーの地震・津波災害に対する強靱化を図るとともに、同様の災害に直面する国々にも展開し、地震国の即時災害対応力の向上をペルー中心に進める。

地震・津波災害における逃げ遅れによる被災者を大幅に低減する。

プロジェクト目標

地震・津波災害発生時の行政機関の即応力を向上させるためのリアルタイム災害情報統合システムを開発する

