

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「持続可能な社会を支える防災・減災に関する研究」

研究課題名「インドネシア緊急地震速報・対応システムの開発」

採択年度：令和6年（2024年）度/研究期間：5年

相手国名：インドネシア共和国

令和6（2024）年度実施報告書

国際共同研究期間^{*1}

2025年5月12日から2030年5月11日まで

JST側研究期間^{*2}

2024年6月1日から2030年3月31日まで

（正式契約移行日 2025年4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：井上 公

京都大学防災研究所・非常勤研究員

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

研究活動		2024年度 (10ヶ月)	2025年度	2026年度	2027年度	2028年度	2029年度
研究題目 C1「即時地震動予測」							
活動 C1-1 地震観測	マイルストーン	既存システム調査	強震計比較↓ 低価格強震計開発↓		多点強震計設置試験運用↓		試験まとめ↓ 全国版提案↓
	当初計画						
	当年度計画						
	進捗状況						
活動 C1-2 地震動予測式	マイルストーン	既存式調査 微動計設計	距離減衰式改良↓ 低価格微動計製作・計測↓		増幅度メッシュ作成↓ シナリオ・確率地震動予測		試験まとめ↓ 全国版提案↓
	当初計画						
	当年度計画						
	進捗状況						
活動 C1-3 アルゴリズム	マイルストーン	既存システム調査	既存系調査↓ アルゴリズム実装 ↓		迅速化・高信頼度化↓		試験まとめ↓ 全国版提案↓
	当初計画						
	当年度計画						
	進捗状況						
活動 C1-4 処理システム	マイルストーン	既存システム調査	サーバ稼働開始 ↓		運用実験・改良↓ 冗長化設計↓		試験まとめ↓ 全国版提案↓
	当初計画						
	当年度計画						
	進捗状況						
研究題目 C2「即時伝達・制御」							
活動 C2-1 インフラと産業	マイルストーン	鉄道調査 企業調査	利用協議↓ 機材設計↓	機材製作・ 設置↓	鉄道・工場・商業施設 試験導入・運用 ↓		試験まとめ↓ 全国版提案↓
	当初計画						
	当年度計画						
	進捗状況						
活動 C2-2 一般向け同報	マイルストーン	BMKGアプリ モスク調査	Web版・モスク警報機 設計↓ 試作↓		↓試験運用開始 改良・完成 ↓		試験まとめ↓ 全国版提案↓
	当初計画						
	当年度計画						
	進捗状況						
活動 C2-3 経済減災評価	マイルストーン	企業調査	評価手法↓ 評価↓		評価・FB↓ 評価・FB↓ (FB:フィードバック)		試験まとめ↓ 全国版提案↓
	当初計画						
	当年度計画						
	進捗状況						

研究題目 C3「即時避難・訓練指針」							
活動 C3-1A 建物応答 (高層ビル)	マイルストーン	建物選定	建物選定 ↓ 機材調達 ↓	設計評価 ↓ 機材設置 ↓	試験改良 ↓	試験改良 ↓	試験まとめ ↓ 全国版提案 ↓
	当初計画						
	当年度計画						
	進捗状況						
活動 C3-1B 建物応答 (組積造住宅)	マイルストーン	建物予備調査	既存実験調査 ↓ 過去被害調査 ↓ 数値実験システム調達 ↓		倒壊数値実験・類型化 ↓ 安全空間確保方法検討 ↓		試験まとめ ↓ 全国版提案 ↓
	当初計画						
	当年度計画						
	進捗状況						
活動 C3-2 避難行動・訓練指針	マイルストーン	実験計画 過去被害	実人実験・数値実験校正 ↓ 警報メッセージ検討・纏め ↓		数値避難実験・類型化 ↓ 避難行動・訓練指針作成 ↓		試験まとめ ↓ 全国版提案 ↓
	当初計画						
	当年度計画						
	進捗状況						
活動 C3-3 教育と体験学習	マイルストーン	訓練計画 教育計画	生存者聞き取り調査 ↓ 紙・映像・XR教材デザイン ↓		紙・映像・VR教材製作 ↓ 避難訓練実験 ↓		試験まとめ ↓ 全国版提案 ↓
	当初計画						
	当年度計画						
	進捗状況						
活動 C3-4 人的減災評価	マイルストーン	建物分布 情報調査	過去被害調査 ↓ 評価手法 ↓ 建物分布調査手法開発 ↓		評価・FB ↓ 評価・FB ↓ (FB:フィードバック)		試験まとめ ↓ 全国版提案 ↓
	当初計画						
	当年度計画						
	進捗状況						

(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)

当初計画では建物倒壊による人的被害の軽減が主目的で、工場等の自動制御による経済被害の軽減には重きをおいていなかったが、JICAの指導および相手国研究機関との意見交換の結果、確実な社会実装が期待できる自動制御をより重視し、研究題目 C2 の構成を C2-1 インフラ産業、C2-2 一般向け同報、C2-3 経済減災評価に変更した。また C3-1 建物応答では、倒壊様式を把握するだけでなく部分的耐震化等による経済的負担の小さい安全空間確保の方法の提案も行うこととした。

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

2024年度はRD(討議議事録)/CRA(共同研究合意文書)締結に向けての予備調査、詳細計画策定調査、全体研究計画・年次計画の立案を行った。6月に日本側のキックオフ会議、第1回JICA勉強会、7月に第2回JICA勉強会と研究者チームによるジャカルタでのベースライン調査、8月に第3回JICA勉強会、対処方針会議、詳細計画策定調査を実施した。これらの会議と調査を通じて、全体計画の見直し、実施体制の再構築、目標・上位目標の決定、アウトプットと活動計画の策定を行った。2月にRDとCRA

が締結されて本採択となり、2025年度からの契約に向けて年次計画を策定した。

相手国側研究者とは7月のベースライン調査および8月の詳細計画策定調査で全体および研究題目ごとのワークショップを行い、計画のすり合わせと確認を実施した。また2回のジャカルタ訪問のそれぞれで、鉄道、工場地区、庶民住宅、モスク、ジャカルタ特別州防災局、関連機関等を訪問して状況を把握した。また専門家派遣計画と供与機材の協議を行った。日本側研究参加者20名のうち10名が現地調査に参加することができた。3月にはJICA課題別研修を活用した短期研究員受け入れと国費留学生の受け入れのための人選を行った。

相手国側の参加機関は、バンドン工科大学、バンドン科学技術大学、ブラウイジャヤ大学、ディポネゴロ大学、ガジャマダ大学、ハサヌディン大学、マラナタクリスチャン大学、インドネシア気象気候地球物理庁、インドネシア情報通信省、国家防災庁(BNPB)、国家研究イノベーション庁(BRIN)、ジャカルタ特別州防災局、サヒド大学、セマラン州立理工科大学、ジャカルタ州立理工科大学、パダン州立大学、セマラン州立大学、シアクラ大学、インドネシア大学の19の組織となった。

(2) 各研究題目

(2-1)研究題目 C1：「即時地震動予測」（リーダー：井上公）

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）

2024年度は暫定研究期間であり、C1-1地震観測チームはC1-4処理システムチームと合同でパイロット地域のジャワ島西部の地震観測点配置、ノイズ、時間遅延の情報を収集し、暫定要求仕様を満たすための実験に必要な機材とソフトウェア・作業量を明らかにする調査を実施した。C1-2地震動予測式チームはインドネシアの地震動距離減衰式、地殻構造を考慮した地域特性式、地盤による地震動増幅度、微地形・地盤データベースの入手可能状況に関する調査、ならびにローコスト微動観測装置の設計を行った。C1-3アルゴリズムチームはインドネシア気象気候地球物理庁(BMKG)が試験運用中の緊急地震速報のアルゴリズムを調査し、改善すべき点を明らかにした。C1-4処理システムチームは波形データ伝送遅延の調査結果に基づき、遅延解消の方策を検討し、実験に必要な機材とソフトウェアを決定して波形データ即時受信・処理と警報発出実験のためのサーバーのハードウェアの概要を決定した。7月に実施した現地予備調査および8月の詳細計画策定調査において情報収集を行い、インドネシア側との間で計画協議を実施した。

②研究題目1の当該年度の目標の達成状況と成果

C1-1:地震観測チームは観測担当機関であるBMKGが提供する強震・震度観測網の観測点、ノイズ、伝送遅延の情報を収集した。ジャワ島西部における観測点配置は、平均密度は20km間隔程度で日本の地震観測網の密度に匹敵するが、震度観測網はジャカルタ周辺に集中しており、遠隔地では最大50km程度のギャップも生じている(Fig. 2-1-1, Fig. 2-1-2)。一部の観測点は幹線道路沿いにあるなどの理由で地動ノイズが非常に高く、またBMKGの震度計は日本製も台湾製もセンサーの自己ノイズ(量子化ノイズ)が高すぎて、震度観測には使えるものの、緊急地震速報の震源決定には不十分であることがわかった。現在のBMKGの強震・震度観測点は約1000箇所あるが、現在の観測点あたりの機材・設置・運用の費用では将来の全国版緊急地震速報に必要な5000点の観測網の実現は不可能なため、ローコストシステムを開発する事とした。BMKGのチームはMEMSセンサーとボードコンピューターを用いたローコスト

のオンサイト警報装置を開発してテスト運用を開始した(Fig. 2-1-4)。

C1-2：地震動予測式チームは予測式の構成と対象（PGA, PGV, 応答スペクトル）を検討した。インドネシア及び内外の予測式（GMPE）に関する文献を収集した。また強震記録を取得可能な既存観測網の把握を行い、今後の方針について相手側と確認した。サイト効果を表す地中 30m までの平均 S 波速度 (V_{s30}) の把握のため、既存の地盤調査情報と微動探査の実施状況を調査した。一部の強震観測点で実施済みの多チャンネル表面波探査（MASW）のデータと V_{s30} の情報を共有し地盤増幅特性の検証を進める方針を確認した。ジャカルタ等の一部地域で実施されている微動アレイ探査のデータを活用することで合意した。さらに、将来の全国規模の微動アレイ探査実施の効率化のために低コストの測定システムの開発のための技術的検討を行った。固有周波数 2 Hz のジオフォンを用いて周囲の微動レベルに関係なく 0.2～20 Hz の周波数帯域において一般の微動計と同等の性能を示すことを確認した (Fig. 2-1-3)。Raspberry Pi を活用したロガーの試作にも着手した。

C1-3: アルゴリズムチームと C1-4 処理システムチームは C1-1 と合同でデータの遅延・欠測・時刻誤差の調査を行なった。データ遅延は緊急地震速報に要求される 2 秒を下回る観測点が少なく改善が必要である。一方、台湾製震度計 (P-Alert+) のセンサーノイズは伝送プロトコルを SeedLink に変更することで改善されることを確認した (Fig. 2-1-3)。アルゴリズムは、すでにインドネシア側でプロトタイプを運用しているがデータ遅延の改善が急務となる。BMKG は現在データ収集に SeedLink、処理に独自のプログラムが稼働している。世界標準の SeedLink は即時性よりも完全性に主眼をおいているためパケット長が長く伝送遅延が大きい。より低階層の TCP/UDP IP 伝送のパラメタ調整による即時性の改良可能性と、日本式 WIN プロトコルの導入可能性を比較検討した。WIN によるデータ送受信は MQTT ブローカーを活用したプロトコルが優れており、インドネシアで試験中のシステムとの連携も容易である可能性がわかった。処理システムは C1-1 開発予定の低価格強震計を念頭に国家研究イノベーション庁 (BRIN) に受信サーバーを設置することとした。また過去の波形データを用いたシミュレーションシステムを開発し日本側に準備した。



Fig. 2-1-1 インドネシアの強震・震度観測網

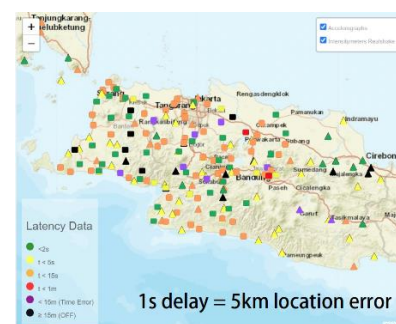


Fig. 2-1-2 ジャワ島西部の観測点と遅延

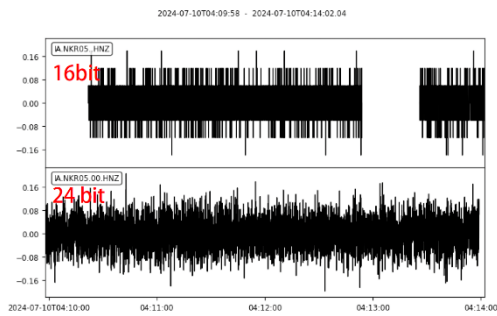


Fig. 2-1-3 台湾製震度計の量子化ノイズ低減

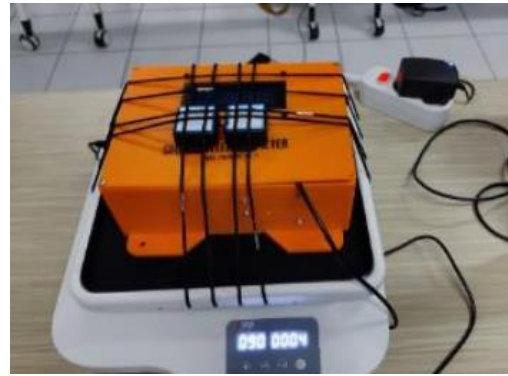


Fig. 2-1-4 BMKGが開発中の低価格強震計

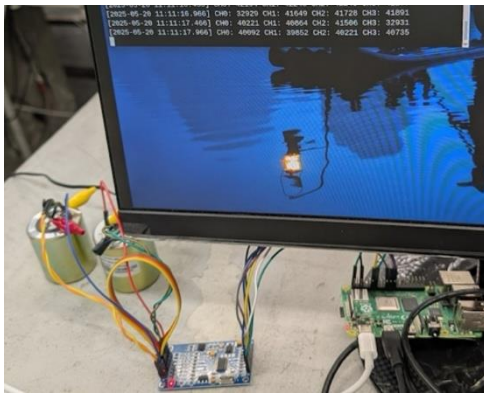


Fig. 2-1-5 日本側が開発中の低価格微動計



Fig. 2-1-6 BMKGの試験処理システム

③研究題目 C1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

世界銀行による BMKG の地震観測・処理システム能力向上プロジェクトが 2025 年まで実施中であり、地震観測の問題点のうち震度計の量子化ノイズと一部の観測点の地動ノイズは改善されつつある。世銀プロジェクトでは台湾製の緊急地震速報処理システムをプロトタイプシステムとして購入する計画を進めたが、日本式を導入改良するという当プロジェクトの方針は変更しなかった。台湾製システムの調達契約はその後のインドネシア政府の大幅予算削減で破棄された。

④研究題目 C1 の研究のねらい（参考）

将来のインドネシア全土の緊急地震速報システムを実現可能とするような 1)地震観測システム、2)サイト特性調査システム、3)データ処理アルゴリズム、4)データ処理システムを開発して、プロジェクトサイトのジャワ島西部地域で試験運用を行い性能の高さを実証する。

⑤研究題目 C1 の研究実施方法（参考）

BMKG が試験運用を開始している緊急地震速報システムをベースラインとして、低価格地震観測システム、地震動予測式の改良・低価格微動調査システムの開発を行う。世界最先端の日本式 IPF/PLUM 処理アルゴリズムを導入し、過去の実データとシナリオ地震の理論波形を用いた実時間データシミュレータを

用いて処理システムをチューニングする。

(2-2)研究題目 C2：「即時伝達・制御」（リーダー：大保直人）

① 研究題目 C2 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）

当初計画では C2-1 特定利用者チームが BMKG が運用中のプロトタイプ緊急地震速報システムと鉄道事業者による活用方法、潜在利用者の調査方法を検討した。一般向けは手段で分類して、C2-2 スマートホン・PC チームが BMKG が試験中のアプリの調査、その場所の地震動増幅度データの組込み方法の検討、C2-3 テレビ・ラジオチームが既存の津波警報伝達システムの調査、C2-4 モスクスピーカーチームがモデル地区のモスクの分布と機材を調査しシステムの設計を行う計画であった。しかし、開始後の 3 回の JICA 勉強会を通じ、鉄道・工場等の自動停止等による経済損失の低減をより重視すべきとの指導を受け、研究項目を C2-1 インフラ・産業、C2-2 一般向け同報、C2-3 経済損失軽減効果推定のように再構成した。新たな構成に従ってチームを再編成し、調査および計画策定を行った。

②研究題目 C2 の当該年度の目標の達成状況と成果

C2-1 インフラ・産業チームは、インドネシア側研究者に日本での特定利用者向けの緊急地震速報のシステムと実績を説明した。鉄道事業者については、日本の ODA で建設されたジャカルタの地下鉄 (MRT) が実験に参加してくれることになった。MRT は現在路線上の複数箇所に列車の異常検知のための地震計を設置しており、また列車制御センターにも地震計を設置しているが、緊急時の自動停止・減速には活用されていない。本プロジェクトで意見交換をしてシステムを設計することになった (Fig. 2-2-1, Fig. 2-2-2)。工場・商業施設等については、インドネシアの工場地帯とショッピングセンターを視察して概要を把握した。将来の速報サービスの具体的利用者については、ジャカルタ日本人商工会並びに鹿島建設インドネシア駐在事務所の協力を得て説明会を開催して協力を依頼することになった。

C2-2 一般向け同報チームは、BMKG が試験中のスマホアプリの情報を収集した。このアプリは地震波到達までの秒数と予測震度が表示されるもので、地盤増幅度データがあれば組み込めることがわかった。また、通信には Firebase Cloud Messaging を用いているが、インターネットを用いた双方向通信のため、数十万人の利用者に瞬時に配信された場合には輻輳が予想されることがわかった。日本のエリアメールのようなサービスはまだ提供されていない。モスクの活用に関しては、西ジャカルタ市の 2 か所のモスクで面談と音響設備の調査を行った (Fig. 2-2-3)。早期警報の伝達への活用には協力的であった。当初は日本で実用化されているローカル FM 放送を用いたシステムのみを提案していたが、インターネットおよび IoT 通信の LoRA 無線を含めた 3 通りのシステムを開発することとした (Fig. 2-2-4)。

C2-3 経済損失軽減評価は新たに設定した課題であり、施設や企業が地震に対する事業継続計画 (BCP) を策定できるような、震度に応じた設備の被害状況やそれに伴う事業被害などの調査項目を整理した。揺れの到達前に機械を停止するなどの対策の必要性、揺れの何秒前の作動が必要かなどのヒアリング項目を整理した。さらに個別企業の経済被害の軽減の評価には、震度、発生時間帯・曜日、誤差と誤差幅などの分類・モデル化が必要であり、誤差と誤差幅は本課題で開発する予測システムの性能に依存するため具体的な評価指標を整理した。ジャカルタの鉄道会社を訪問し運行状況、地震センサーの稼働状況、標準運用手順 (SOP)、手動による早期警報・対応手順、実施中の災害対策に関する初期データを収集した。これらに基づきベースラインコストの初期見積もりを作成した。

【令和 6 年 / 2024 度実施報告書】【250531】



Fig. 2-2-1 MRT 訪問協議



Fig. 2-2-2 LRT 駅視察



Fig. 2-2-3 モスクの視察

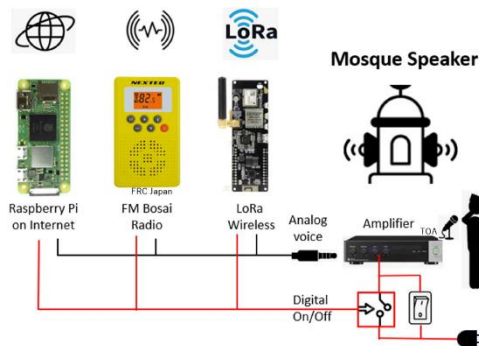


Fig. 2-2-4 モスクスピーカー警報伝達システム

③研究題目 C2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

インフラ・産業の経済損失軽減への利活用は、わが国では既に実用化されていて研究要素が比較的少なく、また対応できる日本側の人的資源も限られているため当初はプロジェクト目標の中心には据えていなかったが、JICAによる社会実装優先の指導および相手国研究者との意見交換の結果、計画を修正した。社会実装への道りが短くプロジェクト全体の成果の期待値は高まると言える。

④研究題目 C2 の研究のねらい（参考）

インフラ・産業向けシステムは、日本で運用実績があり研究要素が比較的少ないため社会実装への道りが早い。システムの経済減災効果を評価して導入のコストベネフィット情報を提供する。一般向け同報はエリアメールサービスが未整備で日本に比べて不利であるが、全人口の 87%のイスラム人口のカバー率ほぼ 100%のモスクスピーカーを活用したシステムは警報伝達システムとして大きなポテンシャルを有する。インドネシアに最適化した即時警報伝達・制御システムを開発し、上位目標の全国版でのシステムの実現を目指す。

⑤研究題目 C2 の研究実施方法（参考）

インフラ・産業向け伝達システムは日本のシステムに改良を加えて開発する。実験参加企業を日本企

業の中から募り、個々のユーザー向けに最適化する。一般向け同報システムは既存の伝達チャンネルであるテレビ、ラジオの伝達遅延を最小化する。PC向けは遅延最小・負荷最小のウィジェットを開発する。モスクスピーカー向けはネット、FM放送、LoRa無線を使ったシステムを新たに開発する。警報伝達の震度閾値、予測震度、メッセージはC1、C3グループを合同で開発する。

(2-3)研究題目 C3：「即時避難・訓練指針」（リーダー：池田誠）

①研究題目 C3 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）

C3-1 建物応答チームは数値実験に用いるソフトウェアと作業量の調査、高層ビルの耐震性に関する情報収集、ビル内向けのリアルタイム地震動・余裕耐力把握・予測および安心情報発信システムの実験候補となる高層ビルの選定を行う計画を実施した。C3-2 避難行動・訓練指針チームは時・場所・状況・身体能力に応じた最適な避難行動を見出すための具体的な避難実験の計画を検討した。C3-3 教育・体験学習チームは過去の地震の生存者アンケート計画の立案、ジャカルタの高層ビル内の地震時の人の行動の情報収集、教育と避難訓練の計画案と対象地域・施設・被験者の選定方法について検討を行った。C3-4 減災効果チームはインドネシアの過去の地震による建物被害・人的被害、確率論的地震ハザード・リスク評価、建物分布データベースの整備状況と促進に関する情報・文献収集をおこなった。2024年度は上記の検討を通じて5年間の研究計画を立案した。インドネシアチームは日本側より1年先行して研究をスタートさせており、ジャカルタ州防災局の建物を対象とした建物の地震観測と避難実験を実施した。またジャワ島西部地域に12カ所のパイロットエリアの候補地を選定して7カ所に絞り込んだ。

②研究題目 C3 の当該年度の目標の達成状況と成果

C3-1 建物応答チームのうち高層建物の健全性チームはBRINと2025年度以降の研究計画、研究内容などについて協議を行った。ここでは、研究の検討対象とするインドネシアにおける建物の考察と選定、使用する強震計・PC等の機材、具体的な研究スケジュールについて確認を行った。インドネシアチームは高層建物用の低価格ネットワーク接続型加速度センサー兼オンサイト警報装置のプロトタイプを開発してデモを行った。組積造建物チームはバンドン工科大学(ITB)およびBRINと協議を行い、2025年度以降の研究計画、研究内容などの確認を行った。7月の調査では対象建築物に関して確認と既往研究の共有、また簡易耐震診断手法(Fig. 2-3-1)の実行に向けての協議を行った。インドネシア側からは生存空間確保に向けたアイデアの提案があり、今後検討することとなった。

C3-2 避難行動と訓練指針チームはバンドン工科大学(ITB)およびBRINと協議を行い、2025年度以降の研究計画、研究内容などの確認を行った。インドネシア側と共同して、既往研究、既存関連資料の収集、またITBからはシミュレーションソフト(Pathfinder試用版)を用いて数値実験の機能などが紹介された(Fig. 2-3-2)。2025年以降は、数値実験をするための条件設定、アンケート調査などの検討が今後の対応事項となった。

C3-3 教育と体験学習チームはBRIN、BMKG、大学等と協議を行い、2025年度以降の研究計画、研究内容などの確認を行った。インドネシア側は、また既往研究、過去にBRINなどが実施したインドネシア国内における防災教育事業に関連した防災教育の教材の収集を行った(Fig. 2-3-3)。

C3-4 人的被害軽減効果チームは、インドネシア側チームが過去の地震のPGA推定、シナリオ地震設定、避難のためのリードタイム推定、人的被害データと被害率の算定とそのマッピング、建物被害デー

タ、建物リスクマッピング、建物被害推定、WebGIS 開発、人的被害推定の各タスクの担当者を決定し、それぞれに必要なデータベースの整備状況と関連・文献の収集を開始した。また、推定に重要となるノンエンジニアド建物の分布を衛星写真やグーグルストリートビューなどから抽出する方法 (Fig. 2-3-4)、個々のサンプル建物の LiDAR によるモデリングと構造分類、統計データの空間データへの変換、昼夜人口の推定、オープンデータ (LandScan/WorldPop) の活用可能性、QGIS のモバイルアプリ Qfield を用いた調査手法等の検討を開始した。日本側はパイロット地域での建物のドローンと LiDAR による調査手法を検討した。



Fig. 2-3-1 簡易耐震診断(フィリピン SATREPS)

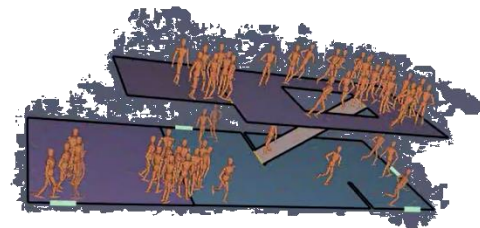


Fig. 2-3-2 Path Finder シミュレーション



Fig. 2-3-3 職業高校 (左) とユニセフの防災教育教材

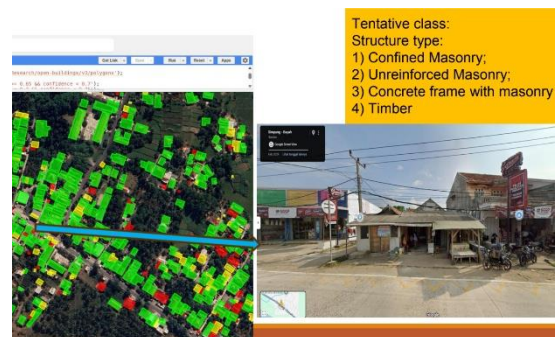


Fig. 2-3-4 組積造住宅のマッピング手法検討

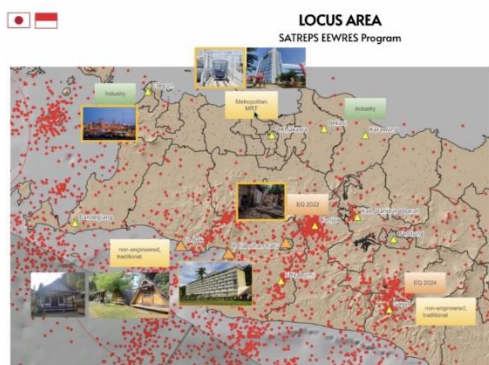


Fig. 2-3-5 パイロットエリアの選択



Fig. 2-3-6 パイロット地区の例

③研究題目 C3 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

本研究題目の活動はフィールドにおける調査・実験が多く計画されているため、2025年1月に達しが出た政府機関の大幅な予算カットの影響を大きく受ける。本報告書執筆時点でも状況は改善していない。2025年度計画策定時点では予算計画は変更していないが予算削減が緩和されないかぎり JICA 予算で調査を外注する以外に方法がない。

④研究題目 C3 の研究のねらい（参考）

緊急地震速報は日本では建物が倒壊するような震源近傍では警報が間に合わないが、耐震性の低い開発途上国では遠方でも建物が倒壊するため、警報で命を救える可能性がある。インドネシアの建物と生活様式にあわせた緊急避難行動の指針を作成して、緊急地震速報で早まる余裕時間を有効に活用することで、将来の地震による犠牲者を減らす。倒壊の恐れのない超高層ビルでは住人の不必要な避難を抑制して経済損失を軽減する。

⑤研究題目 C3 の研究実施方法（参考）

高層ビルの住人向けには建物の健全情報の監視・伝達システムを開発し試験運用する。耐震性の低い住宅の住民向けには、様々な地震動による様々なタイプの建物の倒壊様式と、様々な状況や人の身体能力による、安全空間へ最適な避難方法を類型化して最適な緊急避難指針を作成する。パイロット地区で住民教育と避難訓練実験を行い、避難指針とその普及方法を改善する。将来の地震による人的被害の軽減効果を評価して、政府によるシステム導入のコストベネフィット情報を提供するとともに、各研究グループにフィードバックして研究開発を加速する。

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）

暫定研究期間に策定した全体計画にしたがってプロジェクトを進める。いくつかの予期せぬ事態で約3か月分の準備研究の遅れが生じたが、本計画の初年度(2025年度)でキャッチアップする予定である。したがって全体のプロジェクト目標および上位目標の達成見込みに変更はない。研究項目 C1-1 地震観測、C1-2 地震動予測式、C2-1 インフラ産業向け伝達、C2-2 一般向け同報、C3-1a 高層建物応答では、将来の全国版の実現に不可欠な低価格の観測・警報伝達システムを開発する。低価格高性能の MEMS 加速度センサーと RaspberryPi や OrangePi といったオープンソースのボードコンピューターがこれを可能とした。研究項目 C3-1 建物地震応答、C3-2 緊急避難・訓練指針、C3-3 教育・体験学習では、倒壊する建物における安全空間への緊急避難という他で類を見ない研究はインドネシアにとどまらず、世界の多くの地震動災害国で活用可能が技術であり、地震災害により失われる人命を減らす目的での大きな波及効果が期待される。また経済的・人的減災効果の評価は、社会実装に必要なコストベネフィット評価の材料を与えると同時に、自己フィードバックによる自らの研究開発を加速する効果が期待できる。日本では既に実用化されている緊急地震速報であるが、インドネシアに代表される地震災害国に日本のシステムが導入・運用されることで経験の蓄積が加速され、日本のシステムの改良に貢献する。また日本にも耐震基準を満たさない既存不適格住宅がまだ多く存在するため、緊急避難指針はそのような住宅に住む日本人にとっても命を守るすべとなり得る。以上から設定した上位目標を更に超えた目標が将来達成される可能性がある。

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）

インドネシアでは緊急地震速報は近年急速に関心が高まった技術であり、本課題も関心と期待が高い。日本側参加研究者は20名であるがインドネシア側の参加者は100名を超える。そのうち30名程度の研究題目・副題目の主・副担当者は役割と具体的な貢献が明確であるが、残りの60名程度は役割が必ずしも明確になっていない。全参加者の役割と貢献の明確化が必要である。また人数が多いため顔と名前が一致しない相手国参加者が多くいる。顔写真入り名簿を作成しているが、主要メンバー以外はまだ完成していない。人数とともに参加組織の数も19組織と非常に多く、そのうち14は大学である。京都大学がそれらすべての組織と個別に研究協力協定を締結することは現実的でないため、相手国代表機関のBRINとのみ協定を結び、BRINが他の18組織との間で「緊急地震速報研究コンソーシアム」を組織し、コンソーシアムの協定を通じて間接的に協定を結ぶ方法をとる。コンソーシアムの協定書は2025年8月のJCCで署名がなされる予定である。

代表機関のBRINは、研究機関であると同時に研究行政機関でもあり、インドネシアとの共同研究を行う外国人研究者に研究許可(Foreign Research Permit, FRP)を与えている。研究許可はBRINが代理で申請する。研究許可を得たのち、研究ビザ(E-29)を申請・取得する。研究許可申請から研究ビザ取得まで最大で36日を要する。インドネシア到着後に入国管理局から滞在許可(ITAS)を取得する。手続きに数日を要する。この規則は以前から存在しているが、必ずしも厳格に運用されていない。今回我々のSATREPSではBRINの方針により研究許可、研究ビザ、滞在許可を取得することとなった。

世界銀行による約100億円の借款でBMKGは地震津波観測監視警報能力強化を実施しており、その中に地震観測網の品質向上と緊急地震速報のプロトタイプシステムの調達、緊急地震速報に関する海外研修等が実施されている。プロジェクトは2025年10月に終了予定のため、第1回JCCが開催される2025年8月時点で明らかになる世銀プロジェクト終了時の状況を研究題目C1とC2の最終的なベースラインとする。

2024年10月20日にプラボウォ新大統領が就任し、公約の一つの学校の給食無償化のために政府予算を1兆円削減したため、多くの政府機関が大幅な経常予算の削減を余儀なくされている。本課題でもその影響でインドネシア研究者の国内調査旅費がないという状況に陥っている。この状況が長くつづく課題の成果にも大きく影響する。

Ⅳ. 社会実装に向けた取り組み（研究成果の社会還元）（公開）

本課題は日本の気象庁が2007年から運用している緊急地震速報の技術をインドネシア向けに多岐にわたって改良し、住民による迅速な安全空間への避難技術を含めたエンドツーエンドのシステムとして導入することを目的としている。ベースが既存技術であること、相手国側の副代表機関が日本の気象庁に相当するインドネシア気象気候地球物理庁(BMKG)であること、BMKGが既に独自システムの試験運用に着手していることから、社会実装へのルールは既に敷かれており、一から研究開発を始める技術に比較すると道のりは格段に近いと言える。ただし本課題が目的とする住民の迅速な避難行動による人的被害の軽減可能なシステムの構築と、上位目標であるインドネシア全土版の構築を限られた予算と期間で可能とするシステムの開発は大きな挑戦であり、それらの達成なしには本課題の成果の社会実装が可能

となったとは言えない。

本課題はいずれの研究題目も、社会実装先となる実際の利用者と協力してフィードバックを受けながら研究開発を行うことで、社会実装を早める。具体的には C1 即時地震動予測は BMKG で試験運用し、C2 即時伝達・制御は鉄道や工場で試験運用し、C3 即時避難・訓練指針は複数のパイロットエリアの建物と住民の協力を得て実装実験を行うとともに、防災施策の実施現場を知る国家防災庁（BNPB）と各州の防災局（BPBD）が研究に参加して行政サービスとしての実装可能性を常にチェックする体制をとっている。

V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

該当する活動無し。

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。)

論文数 0 件
 うち国内誌 0 件
 うち国際誌 0 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。)

論文数 0 件
 うち国内誌 0 件
 うち国際誌 0 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

著作物数 0 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～おわりのページ		出版物の 種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 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
			招待講演 0 件
			口頭発表 0 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
			招待講演 0 件
			口頭発表 0 件
			ポスター発表 0 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	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	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

0 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

0 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

0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

0件

成果目標シート

研究課題名	インドネシア緊急地震速報・対応システムの開発
研究代表者名 (所属機関)	井上公 (京都大学防災研究所非常勤研究員)
研究期間	2024採択(2024年6月1日~2030年3月31日)
相手国名/主要 相手国研究機関	インドネシア共和国/インドネシア国立研究革新庁、同気象気候地球物理庁、同国家防災庁、バンドン工科大学、インドネシア大学、ガジャマダ大学、ディポネゴロ大学、セマラン州立大学、セマラン工科大学、パダン州立大学、西ジャワ州、ジャカルタ市・バンテン州・西ジャワ州防災局
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

成果の波及効果

日本政府、社会、 産業への貢献	日本国内の緊急地震速報システムの改良促進 日本企業による緊急地震速報システム導入の事業化
科学技術の発展	地震による人的被害軽減のための新たな指針
知財の獲得、国際 標準化の推進、遺 伝資源へのアクセ ス等	観測システム、処理アルゴリズム、伝達システム、住宅 倒壊様式、緊急避難行動指針、高層ビル向け安心情報 発信システム、減災効果評価手法
世界で活躍できる 日本人材の育成	若手研究者の開発途上国での積極的な活動 国際会議・国際雑誌への参加・論文掲載
技術及び人的ネット ワークの構築	国際的な緊急地震速報・減災に関わる研究者・実務者 のネットワーク構築
成果物(提言書、 論文、プログラム、 マニュアル、データ など)	インドネシア全土緊急地震速報対応システム導入提案 書、途上国向けシステム設計指針、新観測システム、新 処理アルゴリズム、新伝達システム、機械制御システム、 住宅倒壊様式、緊急避難行動指針、高層ビル向け安心 情報発信システム、減災効果評価手法

上位目標

インドネシア全国に緊急地震速報・対応システムが整備され
経済的・人的被害が軽減される

インドネシア気象気候地球物理庁・国家防災庁の施策として採用される

プロジェクト目標

ジャワ島西部における緊急地震速報・対応システムの試験運用と全国版の提案

