

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「スリランカにおける降雨による

高速長距離土砂流動災害の早期警戒技術の開発」

採択年度：令和元年（2019年）度/研究期間：5年/相手国名：スリランカ

終了報告書

国際共同研究期間^{*1}

令和 2年 3月 1日から令和 7年 2月 28日まで

JST側研究期間^{*2}

令和 1年 6月 1日から令和 7年 3月 31日まで

(正式契約移行日 令和 2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： 小長井 一男

特定非営利活動法人 国際斜面災害研究機構・研究部

・ 学術代表

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（公開）

(1) 研究の主なスケジュール

研究題目・活動	R1 年度 (10ヶ月)	R2 年度	R3 年度	R4 年度	R5 年度	R6 年度 (12ヶ月)	
<p>1. 総括・人材育成・社会実装</p> <p>1-1 観測機器調達・設置と高速長距離土砂流動 (RLL) 災害の早期警戒技術の日錫合同開発</p> <p>1-2 錫国・国防省*国家建築研究所による開発技術の適用支援と改良</p> <p>1-3 錫国人専門家・地域リーダーの育成、開発した技術の世界標準化の推進</p>		←				→	
				← 開発した技術の適用支援と改良 →			
		← 防災専門家・地域リーダー育成・開発技術の世界標準化 →					
<p>2. 斜面豪雨・高速長距離土砂流動予測</p> <p>2-1 MSSGモデルによる500m四方最大累積降雨量の24時間前からの予測、RLL発生運動予測技術の開発のための降雨・地下水、前兆となる地表変動の計測</p> <p>2-2 ワークステーション用MSSGによる斜面豪雨予測法の確立と現地調査・観測、室内試験、理論解析によるRLLの発生・拡大・流動機構解明と予測モデルの構築</p>	現地調査による研究実施体制の構築と新規ソフト・通信システム開発の準備研究	←	山地斜面における500m四方最大累積降雨量予測法の開発とRLL発生運動予測技術の開発のための降雨・地下水、前兆となる地表変動の現地計測			→	
				ワークステーション用MSSGによる斜面豪雨予測法の確立とRLLの発生・拡大・流動メカニズムの解明と予測モデル構築			→
							→
<p>3. リスク情報伝達・住民教育</p> <p>3-1 グーグル地図／写真に24時間後の累積雨量、発生する土砂災害予測結果を重ねて示すAR閲覧システムの開発</p> <p>3-2 豪雨・RLL予測結果の利用者からのフィードバック（リスクコミュニケーション）ツールの実装、およびそのガイドラインの構築</p> <p>3-3 地域住民・自治体を対象とした知識向上、および防災教育</p>			←	グーグル地図／写真に24時間後の累積雨量、発生する土砂災害予測結果を重ねて示すAR閲覧システムの開発**		→	
						→	
				←	ツールの実装、およびそのガイドラインの構築（利用者からのフィードバックを反映）		→
				←	ガイドライン作成事前調査**		→
						→	
						←	知識向上・防災教育の実施**
						→	

* 国家建築研究所 (NBRO) の所管官庁は 2022 年度に国防省になっている。

** コロナ感染症の拡大に伴う渡航制限などで開始が 1 年半程遅れたが、AR 閲覧システムは 2023 年 8 月に完成、その後改良を経て稼働中。ガイドライン作成の事前調査は 2021 年度以降オンライン、2022 年度からアンケート調査も実施。2023 年度は防災教育も開始。

(2) 中間評価での指摘事項への対応

中間評価で受けた指摘や助言、今後の課題、研究者に対する要望事項等は以下の通りである。以下項目ごとに対応した結果について記載する。

指摘事項 1. 本研究グループでは、これまでも、降雨量の予測モデル、崩壊土砂の流動シミュレーションモデルを開発してきており、これらのモデルは予測モデルとしてよくできたものではあるものの、現在までのところ、概略、既存モデルの転用に留まっていると判断される。本プロジェクトでは、地下水の影響が重要になっており、地表面の違いによる地下水の浸透の評価、植生密度分布、土地利用分布等を考慮して崩壊の発生個所の予測に踏み込んでいくことで、新規性の高い予測法が開発されることを期待する。



降雨予測については、風上側山地斜面上での雲域発達予測に加えて、降雨効率の予測が必要で、これらの検証結果を組み込んだ合理的なモデルを実装した点に新規性がある。加えて超解像シミュレーションシステムを開発導入した。超解像シミュレーションシステムは高解像度の物理シミュレーションを実施する代わりに、計算コストの低い低解像度シミュレーションを実施するものである。得られた、低解像度予測結果（2km 解像度の降水マップ）を高解像度予測情報に超解像化することで、計算コストを抑えながら、高解像度予測情報（500m 解像度の降水マップ）を短時間で得ることが可能になった。詳細は 20～22 ページで記載する。

地下水の影響評価手法については以下のとおりである。本プロジェクトで予測の主対象とする RRL（長距離土砂流動（Rain-induced Rapid and Long Traveling Landslides））は、風化が進んだ先カンブリア紀片麻岩の山岳斜面で発生する。これら斜面の土層は、十～数十メートルの深層に至るまで大陸地塊の分裂、移動を含む億年単位の長期にわたる環境変化の影響を受けている。これらを離散的な計測だけで把握することは困難なので、パラメータ数を絞った簡易な物理モデルを用いて、既往地すべり事例の降雨と発生時刻の関係を再現できるのであれば、それが現状において最適な予測手法であるとした。一方、本プロジェクトのもう一つのパイロットスタディサイトである Athwelthota の地すべりは、モデルの基礎的検証のための計測を主な目的としたサイトであり、地すべりそのものが小規模なので、指摘されたような表面に近い要素の影響を受けるほか、基盤辺りからの地下水の湧き出しも確認されている。これら個別のケースを解析する場合には、より高度な降雨浸透モデルで間隙水圧上昇過程を予測することができる。構築された降雨浸透モデルについては不確実性の高い解析パラメータを同定することも併せて必要であり、その開発も行った。詳細は本文 23～25 ページで後述する。

指摘事項 2. リスク情報の伝達・住民教育: Project SABO の成果を最大限に利用していくことは望まれるところではあるが、それだけでリスク情報の伝達・住民教育が解決するわけではない。我が国独自で考え出された手法も同時に利用する等により、成果をさらに高いものにしていくことが望まれる。



わが国の研究者によって整理され体系化の進んだ手法の一つに Town Watching（本プロジェクトでは Village Watching）がある。これは住民が自らの居住地環境を歩いて見て回り、様々な側面からその環境のもたらす良い面と悪い面を見出し、その気付きに基づき、地域独自の詳細を知る住民で初めてできる防災対応の具体化に貢献する活動である。2023 年から 2024 年にかけて、プロジェクトの対象地域内でこれらの活動を展開し、その成果は地域独自のハザードマップにも反映されるとともに、降雨や RRL の発生の一日前予測結果を伝える仮想現実閲覧システム（AR Viewing System）のレイヤーも準備された。

指摘事項 3. コミュニティーの性格の把握に基づいた、避難に向けた予測結果の伝達方法の開発、コミュニティレベルの避難に向けた方法の確立など、リスクコミュニケーションと防災教育については遅れが生じている。本プロジェクトに携わる現地研究者のレベルは極めて高く、SABO プロジェクトでの経験などを踏まえれば、大きな不安材料はないものの、新しい発想やその展開も必要になることから、余裕をもって研究を進められたい。



上記指摘事項 2 への回答と重なるが、2023 年から 2024 年にかけて、プロジェクトの対象地域内で Village Watching やワークショップなどの活動を展開し、その成果は地域独自のハザードマップにも反映されるとともに、降雨や RRLI の発生の一日前予測結果を伝える仮想現実 (AR) 閲覧システムのレイヤーも準備された。

指摘事項 4. 研究に参画するスリランカ側研究者の多くが日本で教育を受けており、プロジェクト終了後も人的交流は継続すると考えられる。今後は、研究交流にとどまらず、地域社会と連携し、地域社会と直結する地域行政との関係性を構築していくことが必要と思われる。



これまで長期研修生（博士課程、修士課程学生）の受け入れ、短期研修生の受け入れを進めてきた。彼らはその全員が NBRO など所属機関に戻り、本プロジェクトのスリランカ側の実質的な担当者であるばかりでなく、NBRO で推進している他のプロジェクトにも積極的に関わっている。また本プロジェクトでは天気予報や地形判読、RRLI の発生予測に関わる個別技術のみでなく、地域社会と連携した社会実装の段階でこれらのすべてが相互に関連することから、研修経験者の守備範囲が広いことも頼もしい。また Village Watching 活動などを通して、地域を管轄する役所(Divisional Secretariat, Aranayake, および Disaster Management Center, Kegalle)との緊密な関係も構築されている。プロジェクト後の、地域社会に直結する活動についても、日本・スリランカの担当者間で計画（2025 年度 草の根技術協力事業（パートナー型）への提案を含む）が練り上げられている。この計画は、本プロジェクトで Elangapetiya や Podape などの集落、Hathgampala 小学校、中学校で行った Village Watching 活動を、さらに他集落でも展開するもので、実現されれば、地域の集落および郡役所（Divisional Secretariat, Aranayake）や災害管理センターKegalle 支所（Disaster Management Center (DMC) Kegalle）など地域社会と直結する地域行政組織とさらなる連携を図っていくことになる。

今後の課題・今後の研究者に対する要望事項

要望事項(1) NBRO は日本の企業と連携を行っているが、そうした企業においても SATREPS についての認知は低いと思われる。したがって、本プロジェクト終了後のことを考え、事業継続中から、こうした企業と話し合っ、事業を継続させる仕組みを検討されたい。



開発された早期警戒のための総合技術は、スリランカばかりでなく、モンスーンの豪雨による土砂災害に苦しむ多くの国や地域で活用できるものである。また降雨が土砂災害の主要な原因であるとはいえ、人の活動も含めた様々な要因が土砂災害の発生に関わっていることが多い。

かつて地震被害とは無縁と考えられていたスリランカでは近年異常に地震活動が活発化している。スリランカで 2 番目に発電量の多い Kothmale 水力発電所のフィルダム（Kothmale Dam）ではその堤体のかさ上げの計画がある一方で、リニアメントの発達した右岸側岩盤では、リニアメントに沿ってかつて

岩塊が滑り落ちたと推測される4段の滑落崖が現れている。プロジェクトの実施中から地震観測を開始し、この付近でも地震活動の活発化が確認されたこともあって、降雨や規模は小さくとも地震動が最後の引き金を引く可能性も検討しなければならない (Sassa, et al., 2025)。仮に岩塊が貯水池にすべり落ちた場合には、津波が堤体を越えて流下し、下流部に深刻な影響を与える恐れもある。この詳細な調査を JICA の技術協力プロジェクト (JICA Technical Cooperation Project (TCP)) で進める計画が具体化しており、ここに日本の関連コンサルタンツなど企業が協力する。SATREPS で開発された降雨と RLL の発生予測技術は当然、その根幹技術の一つであり、関連企業と共有しながらさらなる活動を展開していく。

Sassa, K. et al. (2025). Risk Identification of Large-Scale Landslides Triggered by Rainfalls and Post-Rainfall Earthquakes in Sri Lanka. In: Abolmasov, B., et al. Progress in Landslide Research and Technology, Volume 3 Issue 2, 2024. Progress in Landslide Research and Technology. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-72736-8_16

要望事項(2) 崩壊において間隙水圧が重要なパラメータと位置づけられているが、そうであれば、降雨分布に対応する間隙水圧のマッピングのようなものが必要と思われる。



すでに運用を開始した「降雨とそれにとまう RLL の発生予測情報の仮想空間上での表示システム (以後 AR 閲覧システム)」では、マルチスケール大気・海洋結合モデル (Multi-Scale Simulator for the Geo-environment、以後 MSSG) で予測された対象地域全体の降雨分布から、あらかじめ地形判読された不安定土塊内の間隙水圧の上昇過程を斜面ごとに逐次計算し、その値があらかじめ計算されていたそれぞれの不安定土塊の限界間隙水圧比に達した時点で RLL が発生すると予測し、土砂の発生域から到達域も含めたポリゴンが表示される。上昇する間隙水圧の空間的分布を AR の画面に直接表示しているわけではないが、バックグラウンドでは間隙水圧の上昇過程を 10 m×10 m のグリッドで計算している。

要望事項(3) SATREPS が求める科学技術の高度化、新しい技術革新降雨量および地すべりの可視化は進捗していると思われる。しかしながら、総合的な防災の視点に立ち、地形分野、ECO system、ECO DRR 等の概念などを検討することも重要であり、土地利用計画、植生復活等も検討されたい。



地球温暖化による従来の規模を凌駕する降雨が本プロジェクトで対象とする斜面災害を激甚化させてきた要因の一つであるが、併せて斜面災害の起こりやすい斜面およびその周辺が、スリランカの外貨獲得に大きく貢献してきた農業生産物の適地であり、多くの人々をひきつけてきたことも斜面災害の激甚化と無関係ではない。これら農業に従事する人々は、斜面の自然環境 (ECO System) を巧みに活用し、共生しながら、過大なエネルギーに依存しない生活を営んでいるのであり、これらの人々の生活の安全を守る合理的なシステムの構築を目指すことは、結果的に環境社会に配慮するライフスタイルの維持につながる。一方で Village Watching では、住民の方々の生活基盤である茶畑の広がる浸透雨水の貯留性に富む地盤と降雨時の表流水の出現箇所に関連なども指摘された。これらは避難場所に至る経路策定を ECO DRR の観点から実現するためのヒントであり、地域住民主体のハザードマップ作成の過程で反映されていくことになる。

要望事項(4) 本プロジェクトでは避難行動に向けた迅速な防災行動に向けた降雨予測と地すべり予測の精度を高め、時間軸を早めることが重視されているが、避難行動の迅速化に向けた地域社会の防災ポテ

ンシャルを高めるため、社会科学およびガバナンスの検討も必要であり、専門家の配置を検討されたい。



AR 閲覧システムの画面に現れる一日先の降雨・RRL の予測情報は Wi-Fi シグナルの弱い、かつ PC やスマートフォンユーザーの少ない山間地では、画面を閲覧した郡役所の担当職員が電話などの手段で住民に伝達せざるをえない。この時住民が、特に夜間に、激しい降雨の中、遠方の避難場所まで避難するのは現実的でなく、住民が熟知している地域の地形や水文、植生環境を踏まえた、安全な最寄りの避難箇所をあらかじめコミュニティ主体で設定し、必要な対応行動を想定しておくことが求められる。このコミュニティ主体の活動を支援すべく、これまで各地区での Village Watching や郡役所でのワークショップを行ってきた。この活動には国連国際防災戦略事務局 (UNISDR、その後 UNDRR (国連防災機関) に名称変更) などの支援を受けと取りまとめられた「TOWN WATCHING HANDBOOK FOR DISASTER EDUCATION」(2009) の筆頭著者 Rajib Shaw 博士 (当時、京都大学教授) の門下の専門家 (藤田久美子、安部美和) が加わっている。このような地域社会の防災ポテンシャルを高める取り組みは、プロジェクト終了後もエンドレスに展開されるものであり、日本側のプロジェクト関係者も可能な範囲でコミットできることが望ましい。そのため日本・スリランカの担当者間で計画 (2025 年度 草の根技術協力事業 (パートナー型) を含む) が練り上げられている。

要望事項(5) 防災計画を着実に遂行するためには十分な時間が必要であるが、現況の地域社会が変化しない、土地利用も変化しないと考えた場合、避難活動の迅速化を目指して、地域社会に密接に関係する地方行政との連携を構築することは非常に重要である。また、防災計画の策定にあたっては現地のステークホルダーを交えた計画と議論が重要であり、加えて、スリランカの母語を用いた防災のための冊子を刊行することも必要であると考えられる。



33～36 ページに後述の通り、地域社会に密接に関係する地方行政との連携を進め、現地のステークホルダーを交えた議論を踏まえた RRL 防災のためのハンドブック「Handbook for Social Implementation of Early Warning Technology for Landslide Disaster Risk Reduction」(Progress in Landslide Research and Technology, Volume 4, Issue 2 の記事として投稿準備中) を取りまとめた。シンハラ語版はスリランカ側で刊行される。

要望事項(6) 層厚の大きい強風化片麻岩の地すべり発生及び地すべり流動予測は極めて難しいと思われる。今後、収集する計測データを反映し、各種実験・解析を重ね、最適なパラメータを選定し、予測精度の向上に努めていただきたい。



指摘事項 1 への回答でも記したように、現場での観測データを対象としたデータ同化解析を通じて、不確実性の高い解析パラメータを同定することで最適なパラメータを選定し、予測精度の向上を継続的に進める。

(3) プロジェクト開始時の構想からの変更点 (該当する場合)

該当事項無し

2. 目標の達成状況（公開）

(1) プロジェクト全体

・プロジェクト目標、プロジェクト全体のねらい

近年その深刻さを増している地球温暖化の影響を受け、世界各地、特に熱帯雨林地域で、降雨による長距離土砂流動（Rain-induced Rapid and Long Traveling Landslides, RRLs）が頻発している。降雨に起因する長距離土砂流動は、その発生位置の予測が容易でなく、一旦流動が始まれば、それを抑止することは困難で、しかも長距離を流動することから、人的・物的被害も甚大になる。そのため、発生 の 時期 と 場所、流動範囲を予測し、早期警戒・避難に結びつけることが急務である。

本プロジェクトでは、スリランカ国内のパイロットサイトで、(G2-1) 熱帯雨林山岳地の累積降雨量の予測、(G2-2) 山地斜面土層への降雨浸透、土砂流動の発生・流下・堆積の一連のプロセスの予測技術を統合し、(G1) 長距離土砂流動（RRL）発生リスクの1日前予測を行い、(G3)この情報を地域住民、行政機関に伝達し、早期避難と必要な行政対応を促すためのリスクコミュニケーションシステムを開発・実装し、さらに(G1) その技術を継続的に活用するための人材育成を目指す。

上記に記載の G1, G2, G3 は、本研究プロジェクトを実施する3つのグループ（班）の略称である。すなわち、G1「総括・人材育成・社会実装研究班」、G2「(G2-1) 山地斜面での累積降雨量の1日前予測、(G2-2) 現地斜面土層への降雨浸透と土砂流動の発生・流下・堆積の運動予測モデルの構築」、G3「(G3-1) グーグル地図／写真に24時間後の累積雨量と土砂災害予測結果を重ねて示す仮想現実（AR）閲覧システムの開発、(G3-2) 豪雨・RRL の一日先予測結果を伝達する AR 閲覧システムの利用者からのフィードバックの反映、およびこれら一連のリスクコミュニケーションプロセスのガイドライン構築、(G3-3) 地域住民・自治体を対象とした知識向上および防災教育」である。

・成果目標の達成状況とインパクト

プロジェクト終了の最終段階における上記の目標の達成状況とその効果は各グループで概ね以下のとおりである。なお以下では、グループの名称順でなく、コア技術からそれを統合する流れに従って記載している。

(G2-1)「熱帯雨林山岳地の累積降雨量の予測」

このグループでは、平野部を含む広域の降雨以上に、長距離土砂流動（RRLs）の発生する山地斜面での降雨の信頼性の高い予測を実用的なレベルで実現することを重要な達成目標としている。このため様々な時空間スケールの現象が複雑に相互作用を及ぼしあって成立している気象現象を表現できるモデル「マルチスケール大気・海洋結合モデル、Multi-Scale Simulator for the Geoenvironment、略称 MSSG “メッセージ”」を活用し、一日先までの山地斜面の累積降雨をワークステーション上で500m×500mの分解能で予測する基礎技術を開発した。

山地斜面での降水予測では、雲域発達の予測に加えて、降雨効率の予測が必要である。降雨効率とは水蒸気の凝縮量のなかでどの程度が降雨として地表に到達するかの割合を示す。本プロジェクトでは降雨効率に直結するダムケラー（Damköller）数（=空気塊が山稜を超える時間／雨粒形成時間）を増大させる乱流の効果を、世界で初めて定量的に実証し、これを忠実に再現できる信頼性の高いモデルを組み込むことで、山地斜面の累積降雨の1日前予測の基礎技術開発を実現した（Onishi R., et al., 2024）。さらに本来スーパーコンピューター上での数値計算を前提とする予測をワークステーション上で行うための基礎技術（超解像器）も実装し、現在一日先の高解像度（500m×500m）の降雨予測結果が Google Map（satellite image, terrain image, street image）を背景地図とする仮想現実空間（AR）上に表示されるシステム（詳細は G3-1）が稼働している。

Onishi, R., Bandara, H.A.A.I.S., Matsumoto, K. (2025). High-Resolution Rainfall Simulations for Early Warning of Rain-Induced Rapid Long-Traveling Landslides in Sri Lanka. In: Abolmasov, B., *et al.* Progress in Landslide Research and Technology, Volume 3 Issue 2, 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-72736-8_10

(G2-2)「現地斜面土層への降雨浸透と土砂流動の発生、流動土砂の運動予測モデルの構築」

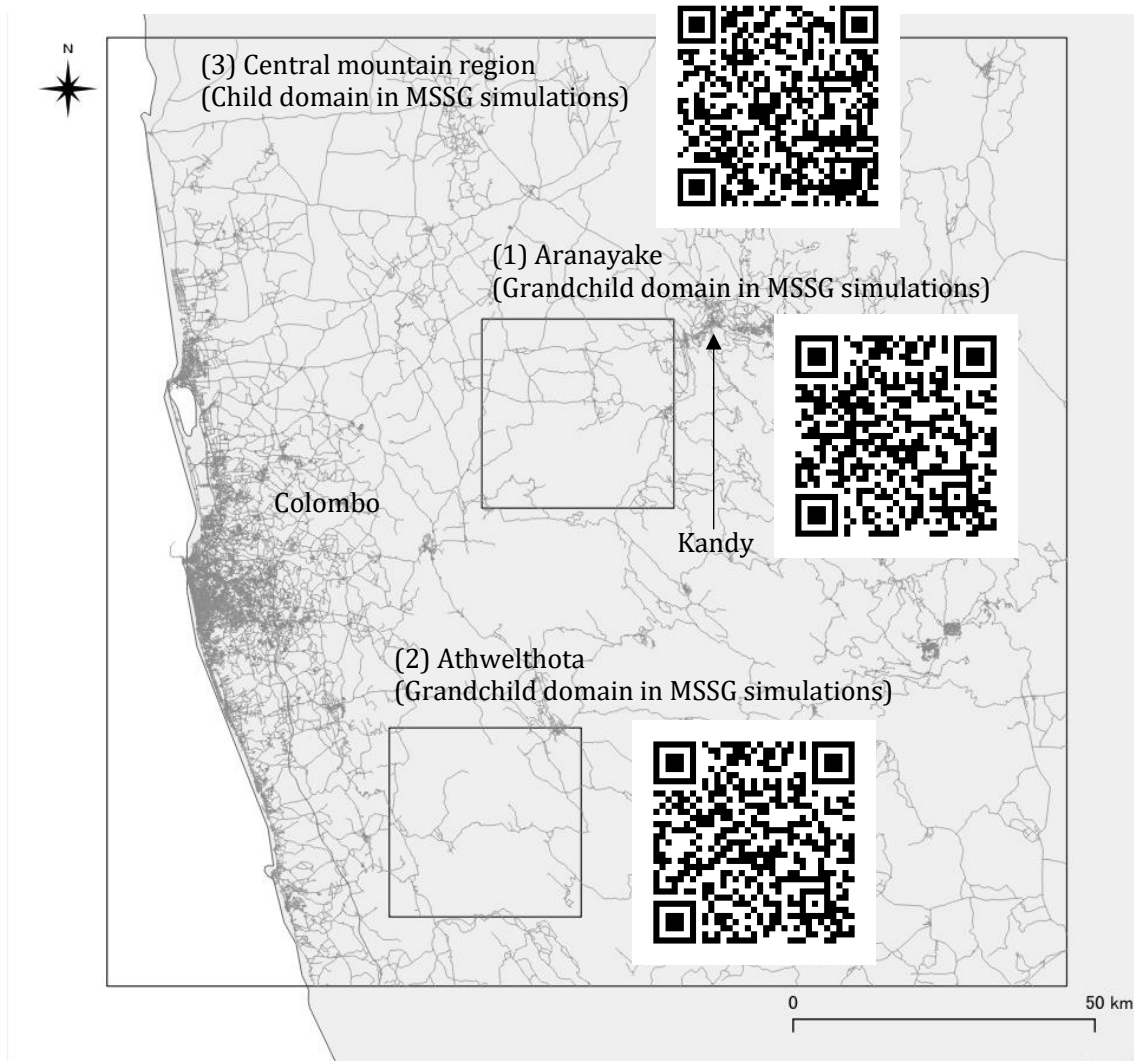
スリランカの熱帯雨林地域の降雨による長距離土砂流動（Rain-induced Rapid and Long Traveling Landslides, RRLs）は、先カンブリア紀片麻岩の十～数十メートルの深部まで風化が進んだ山岳斜面で発生する。126名の犠牲者を出した2016年のAranayake地すべりは、そうした大規模RRLの典型的な事例であった、この地すべり地を含むパイロットスタディサイトのAranayakeでは、この地すべり地周辺でも、昔のRRLの痕跡やそれを取り囲む不安定な残存土塊の存在が多数認められる。深部まで風化の及んだ斜面土層内部の様子を限定的で離散的な計測だけで把握することは困難で、そのため小規模の土砂崩壊と比べて発生頻度の低い大規模RRLの発生場所と発生時刻の予測は一層難しい。しかし過去の崩壊の折に露出した滑落崖背後、あるいは源頭部側面斜面の後退的な崩壊、あるいは崩壊地に残された不安定な土塊の再活動で新たなRRLが引き起こされることが多く、またこれら残存する不安定土塊は滑落した土塊に隣接し、ほぼ同じ層構造を持つので、パラメータ数を絞った簡易な物理モデルを用いて既往地すべり事例の降雨と発生時刻の関係を再現できるのであれば、それが現状において最適な予測手法であると考えることができる。このような方針で構築された予測モデル（詳細は22～23ページ）は、一日前予測結果を仮想現実空間上の画面に表示するAR閲覧システム（G3-1で後述）上に、2023年夏以降、予測結果を配信し続けている。

一方、本プロジェクトのもう一つのパイロットスタディサイトであるAthwelthotaの地すべりは、Aranayake地すべりに比べはるかにその規模が小さく、アクセスも容易で、さらに高度な浸透解析モデルの検証のための計測も可能である。このためG2-2のグループでは主にAthwelthotaの斜面を念頭に置き、非定常降雨を再現できる装置を搭載した遠心力載荷試験装置で模型実験を行い、降雨浸透解析モデルを構築した。2022年度および2023年度に行われた遠心力載荷実験では、遠心力場の模型内で観測された降雨浸透過程が、数値計算によって精度よく再現されることを確認し、降雨に加えて定常的な浸透流の影響を加味する重要性も指摘された。

構築されたモデルを現地地盤に適用する場合には、不確実性の高い解析パラメータを同定することが必須であり、粒子フィルター法を用いたパラメータ同定手法の開発も行われた（「研究題目2」で詳述する）。この手法については、本プロジェクトで実施した遠心模型実験を対象としたデータ同化解析を通じてその妥当性が検証されたので、現場での観測データを用い、地表面の違いによる降雨浸透量の評価などを実施し、本手法の実装を進める。モデルパラメータの同定は、プロジェクト終了後も、またAthwelthota以外の場所でも継続的に進められるものであり、その活動をリードする人材も育成された。

(G3)「長距離土砂流動（RRL）発生リスクの1日前予測情報を地域住民・行政機関に伝達し、早期避難と必要な行政対応を促すための仮想現実（AR）リスクコミュニケーションシステムの開発」

AR閲覧システムの開発は終了し、2023年8月にAranayake、また2024年7月にはAthwelthotaを対象としたシステムの稼働が始まった。稼働後に、停電後のシステム復帰障害などがあったが、これらの課題も一つずつ着実に対応し、現在下記のリンクで、一日先の降雨・RRLの予測結果を閲覧できる。



(1) For Aranayake with a 500 m resolution

https://satreps.godai.co.jp/maptest/index810.php?AREA_NAME=Area1&MODE=1

(2) For Athwelthota with a 500 m resolution

https://satreps.godai.co.jp/maptest/index810.php?AREA_NAME=Area2&MODE=1

(3) For the mountain region (MSSG child domain) covering both Aranayake and Athwelthota with a 2 km resolution

https://satreps.godai.co.jp/maptest/index810.php?AREA_NAME=Area1&MESH_SIZE=2000&MODE=1

図1 降雨・RLLの一日前発生予測結果の仮想現実空間（AR）上での状況を確認するサイト（AR閲覧システム）へのリンク：

注：リンクはNBROで新しく建設された研究実験棟へのEarly warning Centerへの移設に伴い変更される可能性がある。

このAR閲覧システムについては、郡役所でのワークショップで、参加者（行政官）や、各村落の代表者（Grama Niladhari）から使い勝手や将来の機能拡張への要望や期待が寄せられた。これらを反映して改良されたAR閲覧システムが上記リンク先で確認できる。詳細は「研究題目3」で後述する。

このAR閲覧システムも、Wi-Fi信号の弱い、かつパソコンやスマートフォンユーザーの少ない山間地では閲覧が困難で、AR画面を閲覧した郡役所の担当職員が電話などにより災害予測情報を地域住民

に伝達せざるをえないのが現状である。さらに地域住民も、雨の中、特に明かりのない夜の闇の中の避難にあたっては、最寄りの安全な場所がどこにあるのか、あるいは危険な状況はどこで起こりうるのかを熟知していなければならない。この課題を解決するため、これまで地域住民や郡役所の職員も交えたワークショップや、地域住民が居住地周辺を歩き自らが居住する環境の良い側面と（特に防災上）問題となる側面を見出し、地域住民による防災計画やハザードマップ作成にあたる Village Watching の活動を展開した。これらの活動の概要は ICL のオープンアクセス本である Progress in Landslide Research and Technology, Volume 4, Issue 1 に掲載された。さらにこれらの手順を詳細に書き込み、早期警戒発令、伝達、対応に関わる技術者 (Engineers)、地方行政関係者 (Local officers)、住民 (Communities)、学校関係者 (Education sectors) の各関係者 (player) が行うべき行動 (To-do list)、および実際に Village Watching を行って浮き上がった課題などをガイドライン (Handbook for Social Implementation of Early Warning Technology for Landslide Disaster Risk Reduction、後述) として英文で取りまとめた (Progress in Landslide Research and Technology, Volume 4, Issue 2 の記事として投稿準備中)。このシンハラ語版はスリランカ側で準備し刊行する。

こうした活動を容易ならしめた背景には、Village Watching を含む住民防災教育の専門家の本プロジェクトへの参加もさることながら、NBRO が JICA の支援を受け進めてきた、コミュニティが参加する地域ベースの早期警戒システム (Community-based Landslide Early Warning System, CBLEWS) の導入があった。地すべりの危険度の高い地域の集落の四辻には、住民が関り作成された Community Risk Map (地すべり地や避難場所・重要施設を表示したハザードマップ) の大きな看板が立てられ、ボランティアの住民が手製の伸縮計や雨量計を監視し、警戒雨量を超えるとサイレンで避難を促すなど、住民の地すべりに対する意識も高い。この背景があって、本プロジェクトで開発され運用の始まった仮想現実 (AR) 閲覧システムのガイダンス、地域住民と彼らを担当する行政官が参加する防災訓練の実施、ハザードマップの見直しなど、「事前準備 (Preparedness)」活動が一層実効的なものとなった。

・地球規模課題解決に資する重要性、科学技術・学術上の独創性・新規性

本研究で開発した(G2-1)降雨予測や(G2-2)土砂流動の発生と流動範囲の予測技術は、仙台防災枠組と統合的なスリランカの国家災害管理計画 (National Disaster Management Plan 2022-2030) の3つの行動指針：

- (1) Risk-informed planning and systems (← 降雨と RRLL の一日前予測)
- (2) Improving risk governance and inclusive participation (← 事前の防災対応のリードタイムを与える)
- (3) Enabling environment for partnerships and finance (← 関連行政機関も含めた連携)

に適うばかりでなく、同種の災害が著しいモンスーン地帯の東南アジア諸国において、高速長距離土砂災害の軽減や洪水制御、農村・都市の防災などあらゆる局面で活用されうるものである。この観点から間違いなく地球規模課題解決に資するもので、国連の持続可能な開発目標 (SDGs) の11「都市と人間の居住地を包摂的、安全、強靱かつ持続可能にする」、13「気候変動とその影響に立ち向かうため、緊急対策を取る」、17「持続可能な開発に向けて実施手段を強化し、グローバル・パートナーシップを活性化」に適うものである。科学技術・学術の面からは、従来の気象予測のように人口密集地帯を含む広域の予測を狙うのではなく、RRLL の発生する山地での累積降水量を一日前に精度よく予測することに重点を置いている。その基礎技術には、世界で初めて定量的に明らかにされた、山地斜面降雨の降水効率に直結するダムケラー (Damköller) 数 (=空気塊が山稜を超える時間/雨粒形成時間) を増大させる乱流の効果が反映されている。これらに加え、長距離土砂流動を発生させるメカニズム、そして流動化した土砂が長距離を流下する過程について得られた最新の知見についても、ICL の国際学術誌

Landslides や ICL のオープンアクセス書籍である Progress in landslide Research and Technology などに掲載された 54 編の論文・報告・記事を通し、世界的に広く共有されている。

- ・研究運営体制、日本人人材の育成（若手、グローバル化対応）、人的支援の構築(留学生、研修、若手の育成)等
- スリランカ・日本双方の研究運営体制（2023 年以降）を下図に示す。

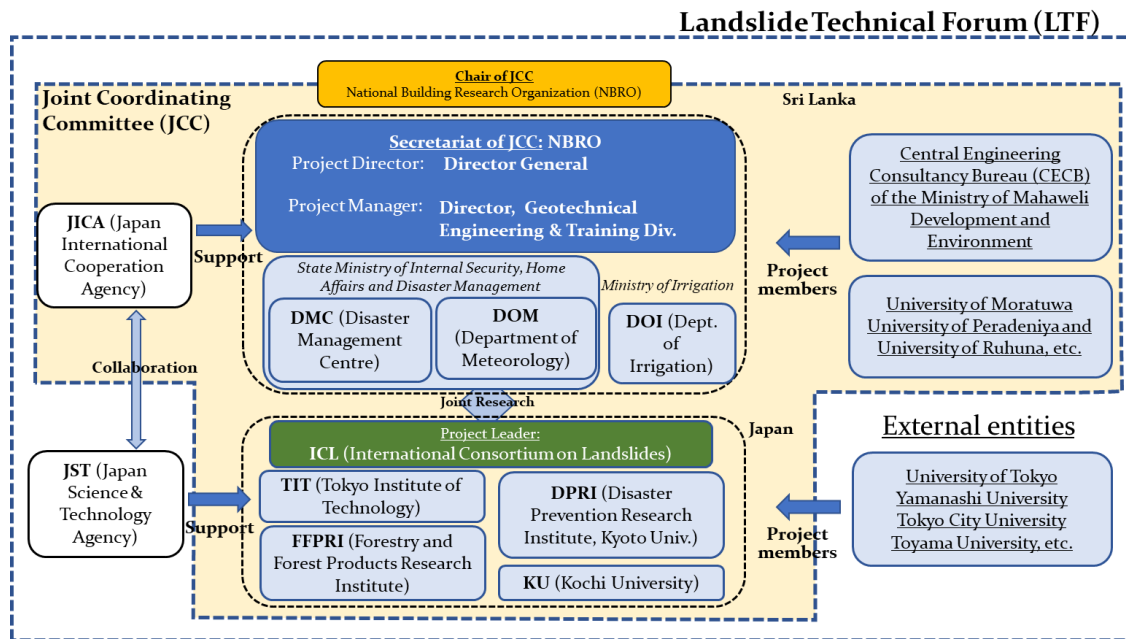


図 2 研究運営体制

本プロジェクトの中核である Joint Coordination Committee (以下 JCC)メンバーは以下のとおりである。

スリランカ側：

国防省 (Ministry of Defense)

国家建築研究所 (National Building Research Organization, NBRO)、相手国研究代表 (JCC 事務局) (G1~G3 を担当)

災害管理センター (Disaster Management Center, DMC) (G1)

気象局 (Department of Meteorology, DOM) (G1)

灌漑省 灌漑局 (Department of Irrigation, DOI) (G1)

第 1 回 JCC 会議 (2021 年 4 月 21 日) 以降、以下の機関・メンバーが参加

中央技術推進局 (Central Engineering Consultancy Bureau (CECB) of the Ministry of Mahaweli Development and Environment)。 (G1) モラトワ大学 (University of Moratuwa)、ペラデニア大学 (University of Peradeniya)、ルフナ大学 (University of Ruhuna) から関係研究者。これまでにモラトワ大学から Nawagamuwa Udeni 博士 (G2-2 対応)、ペラデニア大学から Jayalath Edirisinghe 博士 (G3) が参加。

日本側：

国際斜面災害研究機構 (International Consortium on landslides, ICL) 国内代表研究機関 (G1~G3)

東京工業大学 (Tokyo Institute of Technology, TIT)

(2024年10月より東京科学大学 (Institute of Science Tokyo)) (G2-1)
 京都大学防災研究所 (Disaster Prevention Research Institute (DPRI), Kyoto University) (G2-2)
 国立研究開発法人森林研究・整備機構・森林総合研究所
 (Forestry and Forest Products Research Institute, FFPRI) (G1-1)
 高知大学 (Kochi University) (G3) : 2023年度まで

その他、東京大学、山梨大学、帝京平成大学、東京都市大学などの若手を含む研究者が ICL の研究員として参加。また上記以外の機関、個人で本プロジェクトに関心のある研究者、行政関係者にも広く情報を共有してもらうため、JCC 会議開催時、そして第 5 回および第 6 回斜面防災世界フォーラムなどの国際会議開催時に併せて Landslide Technical Forum を開催し、研究開発の動向や最新の成果を公表してきた。また ICL の学術雑誌 "Landslides" (Electronic ISSN:b1612-5118, Print ISSN: 1612-510X, Journal Impact Factor 5.8 (2023)) や ICL のオープンアクセスブックシリーズ "Progress in Landslide Research and Technology" (Electronic ISSN:2731-3808, Print ISSN: 2731-3794, SCOPUS に登録) などにも成果を公表し続けている。

(G1～G3) 人的支援の構築(留学生、研修等)

JICA 長期研修生を含む留学生 (G1, G2-1, G2-2, G3 関係の研究に従事) の受け入れは当初計画に沿って順調に進められた (表 1)。その詳細は後述「研究運営体制、日本人人材の育成 (若手、グローバル化対応)、人的支援の構築 (留学生、研修、若手の育成) 等」の中で詳述する。これらの学生の多くは国家建築研究所 (NBRO) からの派遣であり、全員が所定の期間内に学位を取得し、帰国後も NBRO や関連機関と緊密に連絡を取りながら RRLI の早期警戒技術開発の最前線に立ってきた。短期研修生の受け入れについては、プロジェクト開始から世界的なコロナ感染症の蔓延があってスタートが遅れたが、2022 年度後半には降雨予測、リングせん断試験機、長距離土砂流動 (RRLI) の土砂流動過程を再現するソフトウェア (LS Rapid) の講習、2024 年には地形判読、マッピング技術に関する講習を実施している (表 2)。また研修生ではないが、NBRO 側の若手研究者 (英国など他国での博士課程学生など) が G1, G2, G3 のそれぞれの班にオンライン・対面で参加した。

表 1 プロジェクト開始から受け入れた留学生 (JICA 長期研修生含む。全員が学位習得)

名前	課程	進学先	進学月	研究課題/奨学金
Mr. Sanchitha Jayakody	博士後期	京都大学	2020年10月	G1, G2-2/JICA
Ms. Imaya Ariyaratna	博士後期	愛媛大学	2020年10月	G3/JICA
Mr. Dhanushka Jayathilaka	博士後期	東京大学	2021年4月	G1, G2-2/JICA
Mr. Sandaruwan Karunarathne	博士後期	山梨大学	2021年10月	G2-2/文部科学省
Ms. Anuththara Bandaranaike	博士前期	東京工業大学	2022年10月	G2-1/ JICA
Mr. Sajith Bandaranayake	博士前期	山梨大学	2022年10月	G1/ 他

表2 プロジェクト開始から受け入れた JICA 短期研修生

名前	勤務先	期間	研修課題
Suminda Rathnayake	NBRO (国家建築研究所)	2022年10月 (オンライン)	MSSG シミュレーション
Channa Rodrigo	DOM (気象局)		MSSG シミュレーション
Amali Palliyaguruge	NBRO (国家建築研究所)	2023年2月～3月 (京都)	リングせん断試験・LS Rapid ソフトウェア
Rasike Maduranga	NBRO (国家建築研究所)		リングせん断試験・LS Rapid ソフトウェア
Ranjan Weerasinghe	NBRO (国家建築研究所)		地震観測
Imaya Ariyaratna	NBRO (国家建築研究所)	2024年1月～2月 (山梨、埼玉、千葉、 静岡)	マッピング技術習得
Hasali Hemasinghe	NBRO (国家建築研究所)		
Selvarajah Jayaprakash	NBRO (国家建築研究所)		
Chaturi Subasinghe	NBRO (国家建築研究所)		
Chanchala De Silva	NBRO (国家建築研究所)		

(2) 研究題目 1 : 「総括・人材育成・社会実装」

研究グループ G1 (リーダー: 小長井 一男)

①研究題目 1 の当初の計画 (全体計画) に対する成果目標の達成状況とインパクト

(④研究のねらい (参考)、⑤研究の実施方法 (参考) も含む)

1-1 観測機器調達・設置と高速長距離土砂流動 (RRL) 災害の早期警戒技術の日錫合同開発:

本プロジェクトには、2016 年に大規模 RRL の発生で 126 名の死者が報告された Aranayake 地すべりを含む Aranayake と、これより規模は小さく各所で多発する可能性の高い地すべりの一例である 2017 年 Athwelthota 地すべり地を含む Athwelthota の二つのパイロットスタディサイトがある。スリランカ国土の大半を覆う片麻岩は、 Gondwana 大陸が生成される以前の先カンブリア紀の高温・高圧の変成作用で形成され、その後の大陸の分裂、移動の全てに亘る多様な環境変化の影響を受けている。離散的な計測だけでは、深くまで風化の進んだ斜面地層の成因やその全体構造の把握は困難で、深層に及ぶ大規模崩壊の発生の予測は本プロジェクトにおける技術開発の眼目であった。これについては、過去に起こった地すべり源頭部の後背部や側面に首の皮一枚で残された不安定土塊が、滑った部分と類似の層構造を持ち、次の崩壊につながる事が多いことから、過去の崩壊の時刻を、その時の降雨から再現できるモデルを以って妥当な予測モデルとすることとした。一方、Athwelthota のような規模の小さい崩壊については、現地計測で得られたデータを以って、降雨浸透に伴う間隙水圧比の上昇過程のモデルを検証することができる。源頭部への機材搬入やアクセスのしやすさもあり、Aranayake 以上に Athwelthota での現地計測機器の設置を優先させた。プロジェクト開始時がコロナ感染症の世界的蔓延時期と重なり、渡航を前提としての現地での計測機器の設置は大きく制約され、プロジェクトの初期段階では移送された機器についてオンラインで設置準備指示や連絡を行わざるを得なかった。しかし 2022 年度後半以降、渡航制限の緩和もあり、最終年度 (2024 年度) までにほぼ当初計画通りの達成状況となった。

G1 は、各研究班で開発される個別技術、すなわち(G2-1) 「山地での累積降雨量を 1 日前に予測する技術」、(G2-2) 「現地斜面土層への降雨浸透と土砂流動の発生・流動土砂の運動予測モデル」を統合し、G3 班と共同して、(G3-1) 「グーグル地図/写真に 24 時間後の累積雨量予測、発生する土砂災害予測の結果を重ねて示す AR 閲覧システムの開発」を支援し、実用的で先進的な RRL の早期警戒情報伝達システムに繋げた。AR 閲覧システムは 2023 年夏から Aranayake で、また 2024 年夏から Athwelthota で運用を開始した。併せて開発された成果の情報発信も G1 で企画する年 1~2 回の Landslide Technical Forum で行われるとともに、ICL の国際学術雑誌である”Landslides” (Electronic ISSN:b1612-5118, Print ISSN: 1612-510X, Journal Impact Factor 5.8 (2023))、そして ICL のオープンアクセスブックシリーズ “Progress in Landslide Research and Technology” (Electronic ISSN:2731-3808, Print ISSN: 2731-3794, SCOPUS に登録) に間断なく掲載された。

1-2 錫国・国家建築研究所による開発技術の適用支援と改良

AR 閲覧システムが Aranayake で 2023 年夏、また Athwelthota で 2024 年夏に運用を開始して以降、その技術の社会への適用支援 (社会実装) は、最終年度となる 2024 年に、G1 に G3 の活動を包含する形で進められた。これらの活動の中でコアとなるワークショップや防災教育には、地方行政官や地域住民が参加するため大半がシンハラ語で行われ、長期研修生の Imaya Ariyarathna 博士など国家建築研究所 (NBRO) 側のメンバーが主体的にそれらの具体的な企画、実行に関わった。表 3 に 2024 年に実施されたワークショップや防災教育活動の一覧を示す。

表 3 2024 年に実施されたワークショップ・防災教育活動

Date	Workshops/ Village watching	Venue	Participants
2024/02/16	Explanatory Session of the SATREPS Project RRL	DS Aranayake	Officers - 12 Project Members - 10
2024/02/17	Explanatory Session of Seismic/rain Monitoring System	Rathnajothia Temple	Villagers: 20 Officers: 2 Project Members: 5
2024/03/26	Explanatory Session of the AR Viewing System	DS Aranayake	Village leaders: 7 Officers 25 Project members: 7
2024/03/27	Village Watching in Hathgampala	Hathgampala Primary School	Pupils: 21 Teachers: 10 Trainers: 8
2024/03/28	Village Watching in Hathgampala	Hathgampala Secondary School	Pupils: 17 Teachers: 10 Trainers: 8
2024/08/09	Explanatory session about layers on the AR Viewing Canvas	DS Aranayake	Officers: 22 Project Members: 8
2024/08/10	Village Watching in Elangapitiya	Elangapitiya Community center	Villagers: 34 Project Members: 7
2024/08/11	Village Watching in Podape	Podape Community Center	Villagers: 27 Project Members: 6
2024/08/11	Explanatory Session of the AR Viewing System	DS Palin-danuwara	5

表 3 の活動に含まれる Village Watching は、各地域の住民たちが複数の班に分かれて、自分たちの居住する村落とその周辺を歩いて回り、自分たちの居住環境の中で災害に脆弱な場所と、身近で安全な（避難場所候補となる）場所、そしてそこに至る経路が安全か否かなどを確認し、それを班ごとに発表しあい、手作りの、自分たちの集落のためのハザードマップをまとめる活動である。

地域行政官を対象にしたワークショップ（AR 閲覧システムの説明会、2024 年 2 月 16 日、3 月 26 日、8 月 9 日）では、Wi-Fi の受信状況がよくない山中の村落では、当該地域を管轄する地方行政官が AR 閲覧システムに表示された降雨・RRL の予測情報を電話で当該地域の代表者に伝達しなければならないこと、その場合 AR 画面上の表示が必要な対応指示に直結するような工夫を加えてほしいなどの意見・要望が出された。NBRO 側のメンバーは、これらの意見・要望を整理し、開発者側（G3-1）に具体的な仕様の改善提案を伝え、システムの改善に結びつける役割を担った。（詳細は「研究題目 3」）。

以上の一連の活動を振り返り、早期警戒技術の普及と活用に関わる主要な関係者（技術者、地方行政官、地域コミュニティ、教育分野）の役割と必要な行動、また各々の関係者の中の自助だけでは解決しきれない、共助、公助に関わる課題を記載したガイドライン「Handbook for Social Implementation of Early Warning Technology for Landslide Disaster Risk Reduction」を取りまとめた（詳細は「研究題目 3」）。

1-3 錫国人専門家・地域リーダーの育成、開発した技術の世界標準化の推進

前述したように、JICA 長期研修生を含む留学生の受け入れは当初計画に沿って順調に進められた。これらの学生は全員がカウンターパート機関である国家建築研究所（NBRO）からの派遣であり、全員が所定の期間内に学位を取得し（前出、表 1）、帰国後も NBRO や関連機関と緊密に連絡を取りながら RRL の早期警戒技術開発の最前線に立ってきた。短期研修生の受け入れについては、プロジェクト開始から世界的なコロナ感染症の蔓延があってスタートが遅れたが、その後順調に研修が実施された。短期研修生は 1 名が気象局から、またその他全員は NBRO からの派遣である（前出、表 2）。2022 年度後半には降雨予測、リングせん断試験機、長距離土砂流動（RRL）の土砂流動過程を再現するソフトウェア（LS-Rapid）の講習を、対面・オンラインで実施した。さらに 2024 年には地形判読、マッピング技術に関する講習も行われた。これらの研修生は、プロジェクトの実施期間中に導入された機器の扱いや保守、関連する研究についての知識や経験を習得しているのみならず、研究面でもそれぞれが査読付論文・記事を発表するなど、独立した研究者として、開発された技術に対する不断の改良を自力で進める能力を有している。今後は、彼らがリーダーとなって、技術伝承と発展が継続されると期待される。

本プロジェクトの研究計画には「開発した技術の世界標準化」が目標の一つとして挙げられている (G1-3)。世界標準化を進めることは、工業製品のような場合には世界中で共通の取り決めに明示した国際規格 (インターナショナル・スタンダード) の作成、制定を意味するが、地すべりを含む防災の分野では様々に異なる事象に応じての対応の多様性が大きく、個別の災害事例の特徴とその特徴に応じた合理的な対応の protocols 事例を、研究、学術、実務の国際的なコミュニティで共有し、これを他地域にも適用し互いに活用していくことが有効である。本プロジェクトに関して共有すべき情報としては、2つのパイロットスタディサイトを対象に開発された個別技術 (G2-1, G2-2)、統合された早期警戒システム (G1, G3) ばかりでなく、早期警戒システムを有効に機能させるために必須の、地域住民の身近な居住環境を知るための防災教育活動を他地域に展開するための手引書 (Handbook for Social Implementation of Early Warning Technology for Landslide Disaster Risk Reduction, G3-2) も含まれる。

地すべりの分野では、国際連合教育科学文化機関 (UNESCO)、世界気象機関 (WMO)、国際連合食糧農業機関 (FAO)、国連防災機関 (UNDRR)、国連大学 (UNU)、国際学術会議 (ISC)、世界工学団体連盟 (WFEO)、国際地質科学連合 (IUGS)、国際測地学・地球物理学連合 (ICSU) の9つの国際機関が支援機関となって2002年に設立した国際斜面災害研究機構 (ICL) が世界の最先端の地すべり研究情報を共有する場となっている。このICLの事務局が本SATREPSプロジェクトの日本側推進代表機関である。

ICLではその設立と同時の2022年に、国際斜面災害研究計画 (International Programme on Landslides (IPL)) をスタートさせている。このIPLは2006年に、前述のICLの活動を支援する国際組織による世界協力プログラムに発展した。この計画は、国際斜面災害研究機構 (ICL) のメンバーとICL支援組織の代表者で構成される国際斜面災害研究計画世界推進委員会によって運営され、毎年、様々なIPL project 提案の中から進めるべき課題を選定し、選定された課題の担当者は、ICLの学術雑誌 "Landslides" (Electronic ISSN:b1612-5118, Print ISSN: 1612-510X, Journal Impact Factor 5.8 (2023))、そしてICLのオープンアクセスブックシリーズ "Progress in Landslide Research and Technology (P-LRT)" (Electronic ISSN:2731-3808, Print ISSN: 2731-3794, SCOPUSに登録)に成果を公表し、国際的な共有を図ることが求められる。

本SATREPSプロジェクトは、国際斜面災害研究計画IPL-249として2019年に認定され、本報告に掲げられた研究成果 (山地降雨の一日前予測、RRLの発生・流動・堆積過程の一日前予測、降雨・RRLの予測情報のAR閲覧システムによる伝達、早期警戒システムの社会実装活動など) は "Landslides" に査読付論文 (7編)、"Progress in Landslide Research and Technology (P-LRT)" に査読付記事 (Original articles (コア技術に関するもの), Teaching Tools (ツールの教材) など24編)、斜面防災世界フォーラムの出版本 "Contribution to Landslide Disaster Risk Reduction book series (CLDRR)" の章 (7編)、そのほかの国際ジャーナルなどの査読付論文・記事 (16編) として公表された (別添: 様式2「成果発表等」参照)。また Handbook for Social Implementation of Early Warning Technology for Landslide Disaster Risk Reduction (英語版) も P-LRT, Volume 4, Issue 2 の記事として投稿を準備中である。

さらに開発された技術は、Landslide Technical Forum や Symposium on Development of Early Warning Technology for Rapid and Long-Traveling Landslides (図3) などを通して、学術分野に限らずスリランカの行政関係者も含む受益者側に紹介された (表3)。

ちなみに、本プロジェクトのスリランカ側のカウンターパート、NBRO、およびJCC会議のメンバーである中央技術推進局 (CECB) もICLのFull memberであり、特にNBROは、プロジェクト終了後も開発された早期警戒システムの改良と他地域への展開を継続的に進めていくことになる。



図 3 RRL の早期警戒技術開発に関するシンポジウム (Symposium on Development of Early Warning Technology for Rapid and Long-Traveling Landslides, 2023/8/25)

表 3 プロジェクト期間内に開催されたフォーラム、シンポジウム一覧

Date	Event
2020/04/09	Kick-off meeting
2020/12/15	1 st JCC Meeting and 1 st Landslide Technical Forum
2021/04/21	2 nd JCC Meeting and 2 nd Landslide Technical Forum
2022/06/15	3 rd JCC Meeting and 3 rd Landslide Technical Forum
2022/11/26	SATREPS Project Workshop concurrently held with the IPL-KLC Symposium
2023/08/25-26	Symposium on Development of Early Warning Technology for Rapid and Long-Traveling Landslides, and 4 th JCC Meeting
2023/11/15	SATREPS Session of the WLF6 Conference
2024/11/08	SATREPS Wrap-up Symposium in Japan and 5 th JCC Meeting
2025/01/10	SATREPS Wrap-up Symposium in Sri Lanka

②研究題目1のカウンターパートへの技術移転の状況

JICA 長期研修生を含む留学生（G1, G2-1, G2-2, G3 関係の研究に従事）の受け入れは当初計画に沿って順調に進められた（前出、表1、表2）。これまでに彼らの全員がNBROなど所属機関に戻り、本プロジェクトのスリランカ側の実質的な担当者であるばかりでなく、NBROで推進している他のプロジェクトにも積極的に関わっている。また本プロジェクトでは、天気予報や地形判読、RRLLの発生予測に関わる個別技術のみでなく、地域社会と連携した社会実装の段階で、これらのすべてが相互に関連することから、研修経験者の守備範囲が広いことも頼もしい。このように技術移転の進捗は順調である。

③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

プロジェクト開始から世界的なコロナ感染症の蔓延があつて、(現地計測など) 渡航・対面を前提とする活動は大きく制約された。その後、スリランカの感染症危険度レベルは3から2に、さらに2022年5月8日には新型コロナウイルス感染症の位置づけが5類に引き下げられたことを受け、感染症危険情報が解除となるに至っている。この状況を受けて2022年度から現地計測機器の設置(G1-1)は急ピッチで進み、2023年以降も、地盤傾斜計測、林内雨量計測、テンシオメータによる地盤不飽和帯土壌水のマトリックポテンシャル計測を継続してきた。

これまで安定した地殻の上にあつて地震災害とは無縁と思われていたスリランカは、2020年以降群発する地震活動が報告されるようになった。特に2023年になっての地震活動は著しい。先行する降雨があれば、たとえ小さな揺れであっても大規模なRRLLを誘発する事例はフィリピンのレイテ島でも報告されている。このためパイロットサイトAranayake周辺に7か所、Athwelthotaに2か所、その他、複数個所に高感度の速度計、静的傾斜成分も計測可能な加速度計、雨量計を設置し観測を続けてきた。すでに多数の地震記録を得て、今後、RRLLの早期警戒に地震動の影響を加味するための基礎データが集約されつつある。

スリランカはそれまで受けていた融資の返済に行き詰まり、2017年には中国企業にハンバントタ港の運営権を引き渡さざるを得なくなるなど、いわゆる「債務のわな」に陥っていた。本プロジェクトの開始時には、同時爆破テロの発生や新型コロナ感染拡大があつて主要産業の観光業は低迷し、外貨の獲得は一層困難になった。その後も不安な状況は内在し続け、2022年5月18日に格付け会社からデフォルト(債務不履行)を宣告されるに至り、外務省によるスリランカの危険度レベルは、従前の1から2に引き上げられた。その後、大統領と首相が辞任、7月20日に新たにラニル・ウィクレマシンハが大統領に就任。2022年末以降、状況は次第に落ち着きを取り戻している。高技能人材の海外流出が様々な分野で顕在化している状況にあつても、本SATREPS事業に関わる主要なスリランカ側メンバーはNBROなど所属機関に勤務し続け、本プロジェクトに積極的に参加し、早期警戒技術の社会実装の推進に貢献している。プロジェクト終了後も、JICAや関係機関の協力を得て万全な対応を講ずべく、スリランカ側メンバーと緊密な連絡を取り合っていく。

(3) 研究題目 2 : 「斜面豪雨・高速長距離土砂流動の発生運動予測技術開発」

研究グループ G2 (リーダー : 小長井一男)、(サブリーダー : G2-1 大西領、G2-2 渦岡良介)

① 研究題目 2 の当初の計画 (全体計画) に対する成果目標の達成状況とインパクト

(④ 研究のねらい (参考)、⑤ 研究の実施方法 (参考) も含む)

(G2-1) については、全地球からシームレスに局所地域にズームインし気象予測を行うことができる最先端のマルチスケール気象モデル (MSSG) をプラットフォームとし、ここに現地の地形や大気の特徴を反映した雲微物理モデルを組み込み、山地斜面での風向・風速の変化による降雨量補正技術を導入して、山地の局地性豪雨を予測する手法を開発した。すでにパイロットスタディサイトでの 1 日前の降雨予測情報は、RRL の発生予測情報と併せて、2023 年 8 月から稼働が開始した AR 閲覧システムによって配信され続けている (G3 の項で後述)。

2023 年度以降は、MSSG 降雨予測シミュレーションと斜面降水の超解像器 (後述) を統合したリアルタイム予測システムの改良と AR 閲覧システム上での実運用試験を行った。並行して、降雨予測のための計算ドメインの領域や解像度設定を調整し、これを以って 2016 年 5 月の Aranayake 地すべり時の降雨予測と観測結果を比較するなどして、予測精度の検証を行った (図 4)。MSSG モデルでは、スリランカ全土を含む広域から、プロジェクトの対象とする 30 km 四方の地域までを、親ドメイン、子ドメイン、そして孫ドメインと入れ子構造にすることで、任意の地域の微地形の効果を孫ドメインに Zoom-in して確認することができる。入れ子構造の階層は必要に応じてさらに増やすことができる。MSSG が孫ドメイン内の山地地形の影響を受けた降雨の予測を的確にできることが確認された一方で、最も広域をカバーする親ドメインも十分に大きくしなければいけないことも明らかにされた。これは親ドメインが小さいと外側境界に入力する、時に大きな誤差を含む全球モデルデータ (気象庁や米国の国立環境予測センター (The United States National Centers for Environmental Prediction, NCEP) が提供) の影響を強く受けるためであり、豪雨の引き金となる雲全体のシステムを十分に MSSG の計算領域に包含させなければならないことが示された。

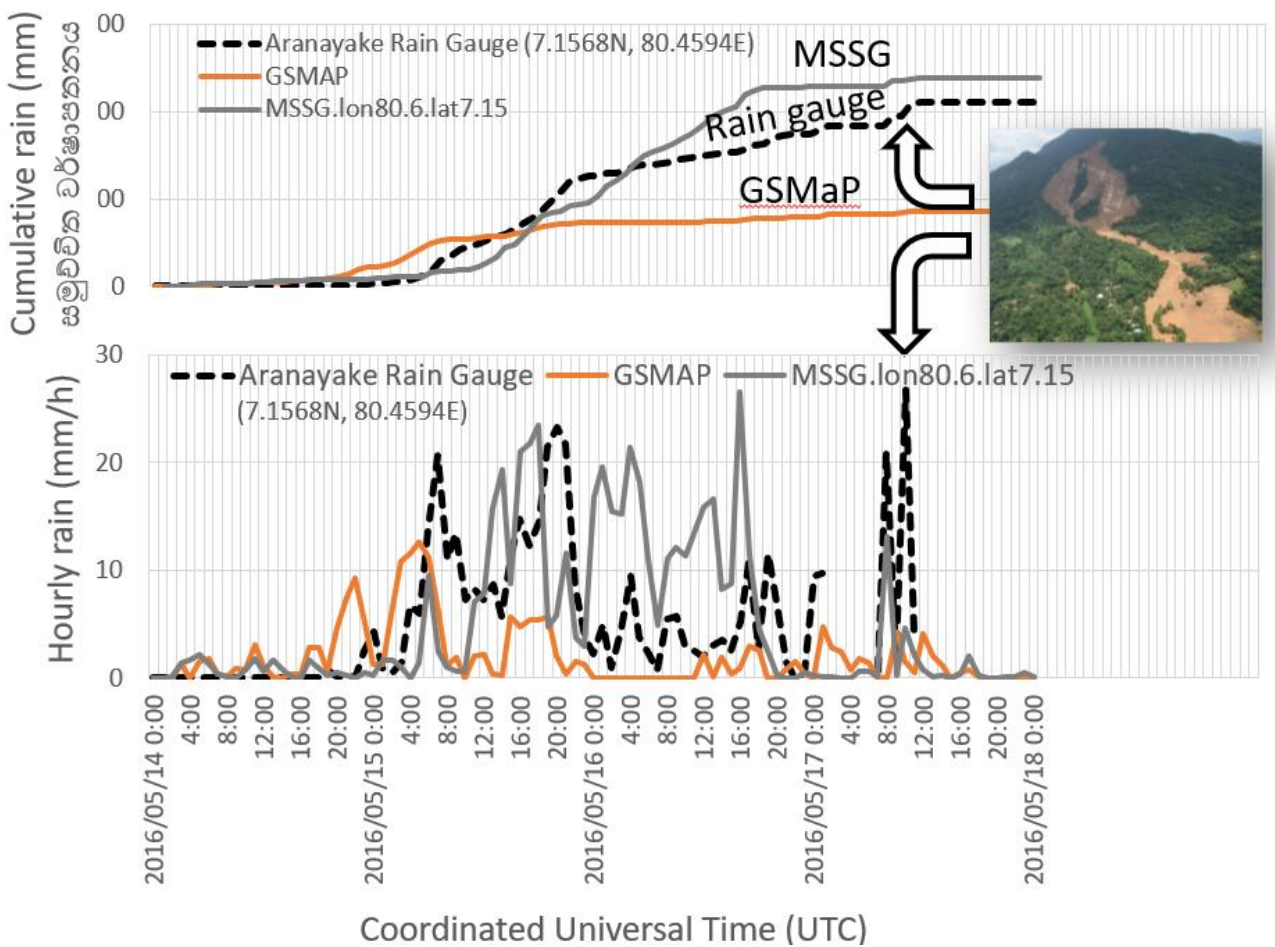


図4 MSSGによる2016年Aranayake地すべり時の現地の降雨予測(灰色実線)と雨量計の記録(黒破線)。橙色の実線はJAXAが提供する衛星全球降水マップ(GSMaP)の降雨データであり、解像度はおよそ10 kmである。この解像度はスリランカの気象局が提供を受けている欧州中期予報センター(ECMWF)モデルの解像度とほぼ等価である。下図の時間降水量経時変化は、定点でこれを観測した場合、積乱雲の発生個所、時刻のずれ、規模の影響を受けるので、1日前から決定論的に予測することは難しい。しかしRRLI予測の観点からは、時間降水量より累積する積算降水量(上図)の方がより重要であり、この経時変化についてはMSSGモデルによるシミュレーションが観測された累積降雨の上昇過程をよく再現しており、山地地形上の乱流による降雨発生の物理を陽に取り込んだMSSGモデルの妥当性を確認することができた。

この条件を満足させようとする、それは必然的に MSSG の計算負荷を大きくすることに繋がる。その結果、本プロジェクトで使用するワークステーション上での降雨予測の更新時間間隔は 6 時間となり、これをさらに短縮し、避難行動など必要な対応へのリードタイムをより長くすることが望まれた。そこで 2km 解像度の計算結果から 500 m 解像度の降雨予測を実現するため、人工知能 (Artificial Intelligence、AI) 技術を活用した超解像システム (超解像器、図 5) が実装された。超解像シミュレーションシステムは、高解像度の物理シミュレーションを実施する代わりに計算コストの低い低解像度シミュレーションを実施し、得られた低解像度予測結果 (2km 解像度の降水マップ) を高解像度予測情報に超解像化することで計算コストを抑え、高解像度予測情報 (500m 解像度の降水マップ) を短時間で得るものである。超解像器は深層ニューラルネットワークで構成され、大量の学習データを事前に学習させておく必要がある。超解像器は、単に画像データばかりでなく、雲微粒子が空気乱流で衝突し雨滴に成長する効率も併せて学習しており、より精度の良いダウンスケーリングが実現されている。この超解像器の導入によって、ワークステーション上での降雨予測の更新時間間隔は 3 時間に短縮された。

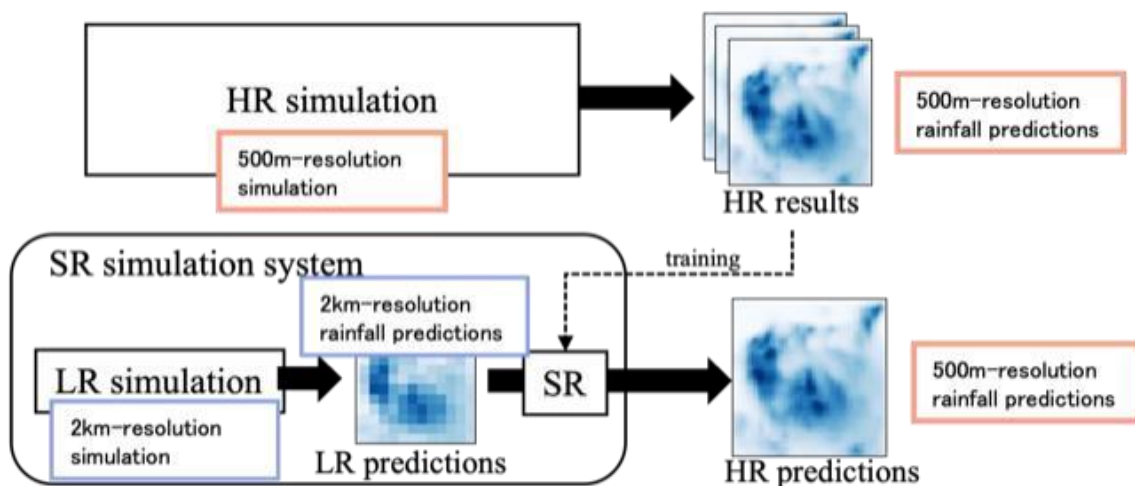


図 5 リアルタイム運用予測のための超解像 (SR) シミュレーションシステム概念図。上記略号中 HR: High-resolution, LR: Low-resolution, SR: Super-resolution

Hiruma, D., Onishi, R., Takahashi, K. and Fukagata, K. (2022) Sensitivity Study on Storm Modulation through a Strategic Use of Consumer Air Conditioners, *Atmospheric Science Letters*, First published: 30 March 2022, <https://doi.org/10.1002/asl.1091>.

Onishi, R., Hirai, J., Kolomenskiy, D. (2022) Real-Time High-Resolution Prediction of Orographic Rainfall for Early Warning of Landslides, *Progress in Landslide Research and Technology*, Vol. 1, Issue 1, https://doi.org/10.1007/978-3-031-16898-7_17

Onishi, R., Bandara, H.A.A.I.S., Matsumoto, K. (2025). High-Resolution Rainfall Simulations for Early Warning of Rain-Induced Rapid Long-Traveling Landslides in Sri Lanka. In: Abolmasov, B., et al. *Progress in Landslide Research and Technology*, Volume 3 Issue 2, 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-72736-8_10

(G2-2)「現地斜面土層への降雨浸透と土砂流動の発生、流動土砂の運動予測モデルの構築」

本プロジェクトで予測の主対象とする RRL は、先カンブリア紀片麻岩の深部まで風化が進んだ山岳斜面で発生し、10 m～数 10 m に達する深いすべり面を持つことから（図 6）、浅層の地質や、植生や土地利用分布もさることながら、深い部分にまで及ぶ風化、弱層の空間分布が間隙水圧上昇に影響する。このため、崩壊が起こる深層に及ぶ地層成因の理解は必須である。

しかしスリランカ国土の基盤岩の 90% を占めるとされる結晶質岩石（片麻岩）は、 Gondwana 大陸が形成される 6 億年よりさらに昔の大陸地塊の集合・合体の際の高温・高圧の変成作用を受けて形成されたとされ、その後も大陸の分裂、移動などに伴って変化する tectonics や気象条件（例えば三畳紀の乾燥した時代に、約 200 万年間降雨量が劇的に増加した「カーニアン多雨事象」など）の履歴を受けてきた。地質学的に新しい、斜面の浅い部分で発生する地すべりに比べると、桁違いに長期にわたって深層にも及ぶ環境変化の影響を受けてきた地盤の研究例は比較にならないほど少なく、三次元的に大きな広がりを持つ地盤深部の物性の空間分布を離散的な計測だけで把握することは容易ではない。

加えて地すべりは、一般にその規模が大きいくほど生起確率は小さい。したがってこのプロジェクトで主対象とする Aranayake 地すべりのような規模の大きな深層の崩壊については、早期警戒システムの運用開始後に生じる現象を待って、開発された予測ツールの検証を行うことは容易ではなく、これらの問題の解決が本プロジェクトでの重要な挑戦の一つであった。

規模の大きな地すべりは、過去の崩壊の折に露出した滑落崖背後、あるいは源頭部側面斜面の後退的な崩壊、あるいは崩壊地に残された不安定な土塊の再活動などで引き起こされることが少なくない。昔崩壊した土砂と、それに隣接して首の皮一枚で残った土砂との安全率の差は僅差であり、またその地層構成も類似している。この状況は Aranayake や Athwelthota の現地調査でも確認されている。一般に規模の大きな地すべりでは気象条件のみならず地すべりが起こりやすい地質や地形などの場の条件が揃った場合に起こり易いことから、過去に地すべりが発生した場所で再び地すべりの発生を想定した方が現実的には可能性も高く、警戒避難のために有効であると考えられる。このため既往の地すべり地の事例での降雨と発生時刻の関係を再現できる予測手法であれば、それが現状において最適な予測手法であるとした。

そこで、降雨浸透による間隙水圧比の上昇については、斜面傾斜方向での単位幅のユニットを取り出し、表面からの均質な降雨鉛直浸透と、斜面傾斜方向の流出の差が地下水面変化になるとする SLIDE モデル (Liao et al., 2010) と、間隙水圧比の上昇を受けて不安定土塊が崩壊し、流下、堆積する一連の動的現象を再現する LS-Rapid モデル (Sassa et al., 2010) を用いて RRL の発生予測を行うことにした。SLIDE モデルを用いたことは、土塊源頭部付近の植生の影響なども陰に含んだ形で間隙水圧上昇過程を予測することになる。

Aranayake のパイロットサイトでは、すべり面からのサンプルのリングせん断試験結果を反映させ、2016 年に発生した RRL の発生時刻が実際の時刻と合致するようにモデルのパラメータ調整が行われた（図 6）。同様のパラメータ同定は Athwelthota でも行われた。

また 2016 年に崩壊した箇所周辺にも、多数崩落が生じている痕跡が判読できたので、これら過去の崩落の中で大きなものについて、どのようなシナリオで崩落が発生したのか、また滑り残った土塊が将来どのような条件で崩落するかについても解析を行った (Tan et al., 2020)。

Sassa K, Nagai O, Solidum R, Yamazaki Y, Ohta H (2010) An integrated model simulating the initiation and motion of earthquake and rain induced rapid landslides and its application to the 2006 Leyte landslide. Landslides 7:219–

236. <https://doi.org/10.1007/s10346-010-0230-z>

Liao ZH, Yang H, Wang J, Fukuoka H, Sassa K, Karnawati D, Fathani F (2010) Prototyping an experimental early warning system for rainfall-induced landslides in Indonesia using satellite remote sensing and geospatial datasets. *Landslides* 7(3):317–324

Tan Q, Sassa K, Dang K, Konagai K, Karunawardena A, Bandara R. M. S., Tang H, Sato G. (2020) Estimation of the past and future landslide hazards in the neighboring slopes of the 2016 Aranayake landslide, Sri Lanka. *Landslides*, Vol. 17, 1727–1738, <https://doi.org/10.1007/s10346-020-01419-1>

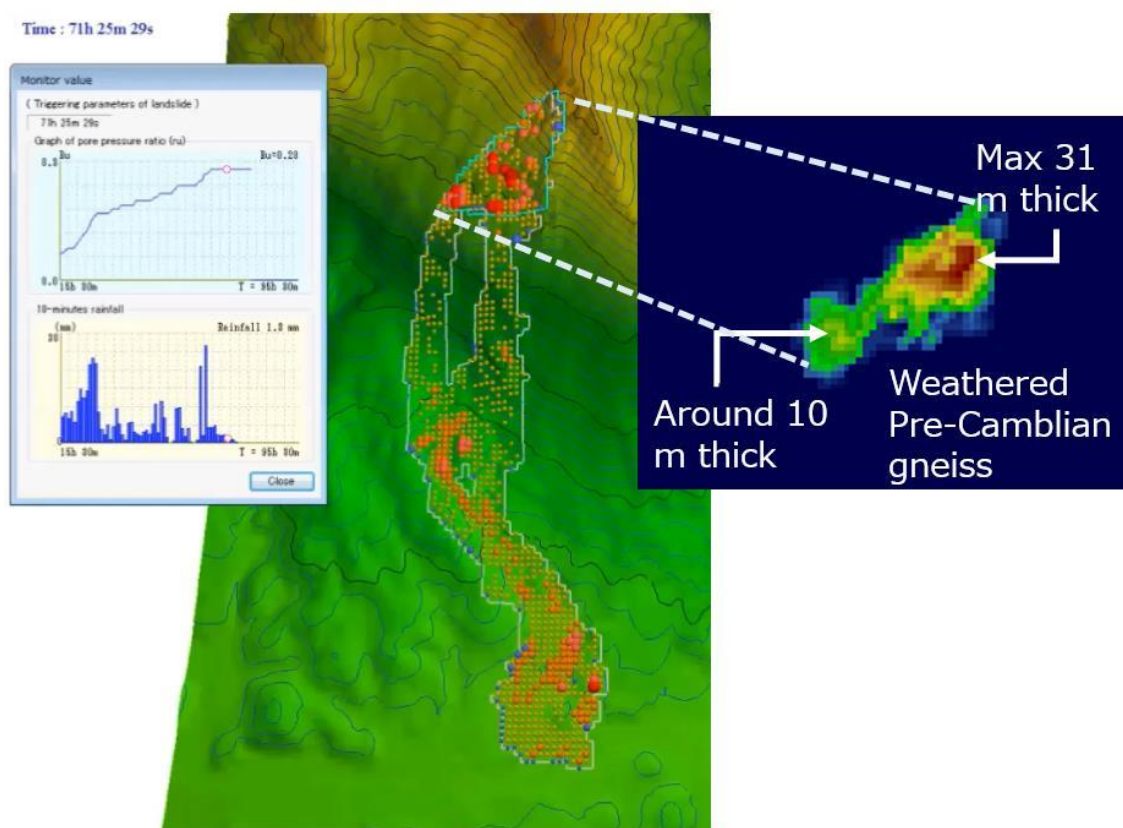


図 6 2016 年 Aranayake 地すべりの再現シミュレーション：降雨浸透による間隙水圧比の上昇は SLIDE モデル (Liao et al., 2010)、間隙水圧比の上昇を受けて不安定土塊が崩壊し、流下、堆積する一連の動的現象は LS-Rapid モデル (Sassa et al., 2010) を用いて再現された RRL

一方で、観測可能な浅層の地盤状況が地すべり開始に大きな影響を及ぼす規模の小さい斜面については、より高度なモデルで間隙水圧上昇過程を予測することができる。また発生確率も Aranayake 地すべりのような大規模な RRL に比べて高いので、予測システム運用後に予測システムの検証を行うこともできる。このため G2-2 のグループでは、Aranayake 地すべりに比べはるかにその規模が小さく、アクセスも容易で、さらに高度な浸透解析モデルの検証のための計測も可能な Athwelthota 地区を主対象に、現地斜面土層への降雨浸透と土砂流動の発生、流動土砂の運動予測モデルの構築を進めた。この過程で

は、以下を考慮した。すなわち、(1) 過去の降雨浸透解析の多くが定常的な降雨を前提に展開され、現実の非定常の降雨パターンの影響を考慮できるものが少なかった、(2) 粗粒のみならず細粒分含有率も30～40%に達する状況での浸透過程を把握しなければならない。そこで、シルト質砂から作成した細粒分含有率の高い不飽和斜面モデルを、非定常降雨を再現できる装置を搭載した遠心力载荷試験装置内に置き (図 7(1))、その変形過程を土-水-空気連成有限要素解析結果と比較した。

2023 年度には、斜面崩壊が始まる継続的な降雨にさらされる前の、(a) 異なる先行間欠型の降雨パターンのみならず、(b) 定常的に地盤内を伏流する (実際に Athwelthota でもその存在が確認された) 浸透流が、崩壊開始時刻に及ぼす影響を検討した。その結果、先行する間欠的な降雨パターンに加え、定常的な浸透流も斜面崩壊の発生時刻に大きな影響を与えること (図 7(2))、これらの現象が数値計算で精度よく再現されることを確認した。これらの知見は、RLL の早期警戒において重要であり、長期研修生の S.H.S. Jayakody 氏の博士論文としてまとめられた (Jayakody, 2022, 2023, 2024)。

構築された降雨浸透モデルを現地地盤に適用する場合、不確実性の高い水文学的解析パラメータを同定することが必須で、粒子フィルタ (particle filter) を用いた同定手法も開発した。この手法については、本プロジェクトで実施した遠心模型実験を対象としたデータ同化解析を通じてその妥当性が検証されたので (図 7(3))、現場での観測データを用い、地表面の違いによる降雨浸透量の評価を行い、本手法の実装を進めていく。Athwelthota の対応で構築された降雨浸透モデルのパラメータ同定に用いられた粒子フィルタ法は、大規模な斜面の RLL 発生のタイミングを予測する SLIDE モデルのパラメータ同定でも役立つものである。一連の手法は、プロジェクト終了後も、Athwelthota 以外の場所で継続的に活用され、さらに改良を加えていくものであり、そのための人材も育成された。

Jayakody S.H.S., Uzuoka R, Ueda K, (2022) Centrifuge modelling of slopes under intermittent rainfall conditions, Proceedings of International Conference of Physical Modelling Geotechnics, South Korea, <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2024.101482>

Jayakody, S.H.S., Uzuoka, R., Ueda, K. et al. (2023) Unsaturated slopes behavior under antecedent intermittent rainfall patterns: centrifuge and numerical study. Acta Geotechnica, 18. <https://doi.org/10.1007/s11440-023-02017-w>

Jayakody S.H.S., Uzuoka R, Ueda K. (2024) Effect of groundwater dynamics in rain-induced landslides: Centrifuge and numerical study, Soils and Foundations, Volume 64, Issue 4. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2024.101482>

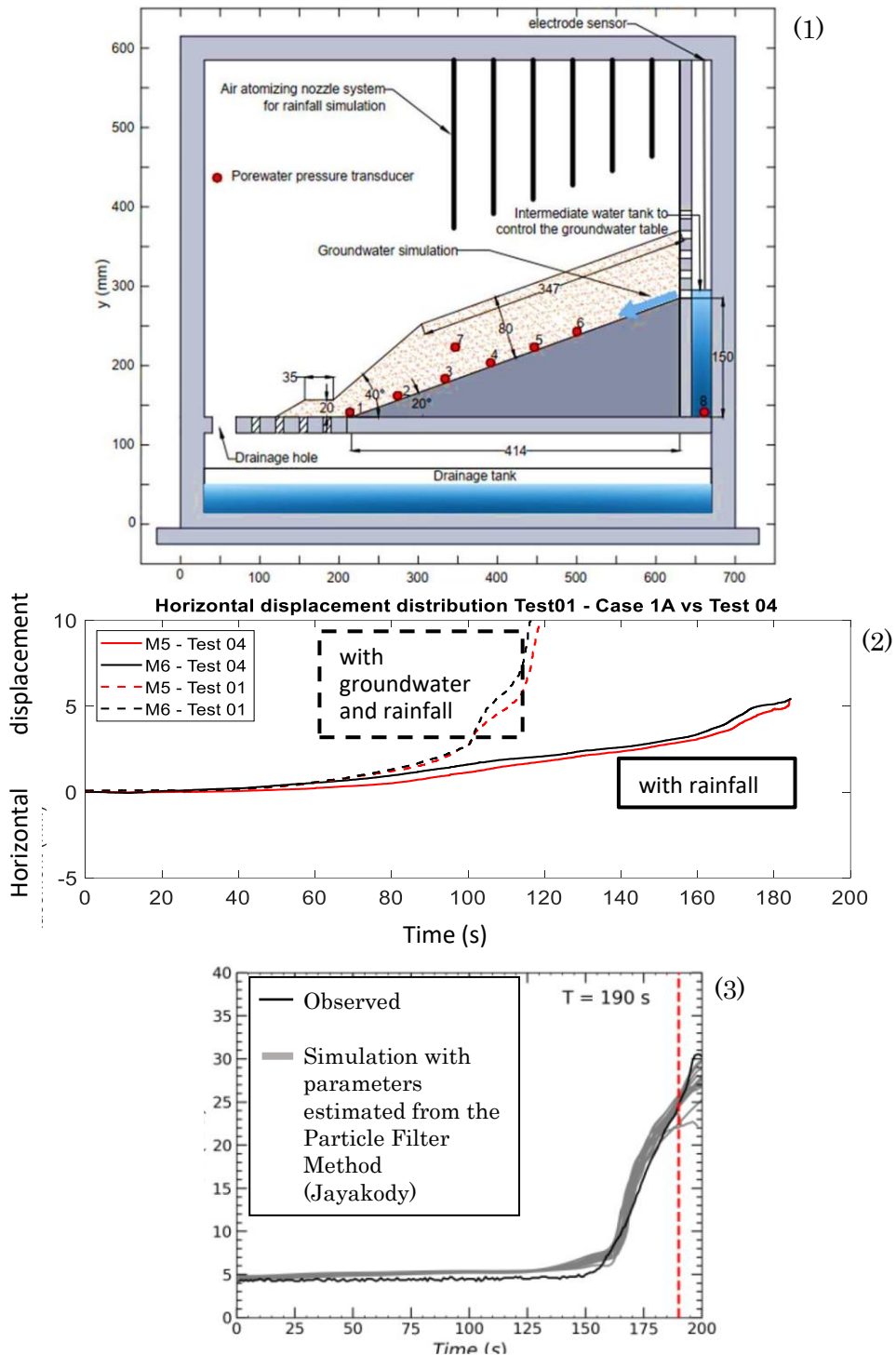


図7 定常的な浸透流および非定常な先行降雨を再現する遠心力载荷斜面模型実験 (Jayakody 2023, 2024) : (1) 遠心模型土槽と降雨および浸透流の再現装置、(2) 定常的な浸透流が地すべり発生に及ぼす影響、(3) 粒子フィルター法で同定されたパラメータ (透水係数、地表面での降雨浸透率) による地すべり発生の予測と観測結果

②研究題目2のカウンターパートへの技術移転の状況

個別のコア技術としての気象モデルはソルバー（MSSG）のみならず、入力データ処理を行うプリプロセッサ、自動実行システム、AIによる解像度向上の後処理システムから構成される。本プロジェクト終了後もそれぞれのバージョンアップに対応して、MSSGの運用にあたるスリランカの技術者がこれらを管理更新していかなければならないが、これらを統合管理できるシステムを2022年度に構築した。2023年度はさらに、JICA長期研修生（留学生）のようにMSSGに習熟したメンバーでなくても、予測シミュレーションを操作できるユーザーズインターフェースも構築した。また降雨浸透予測についても、すでに現行の予測モデルが稼働しているが、スリランカ研究者がさらに高度なモデルを開発するなど、技術の継承と発展を中心的に担う人材が育成された。

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

特記事項無し

(4) 研究題目3：「リスク情報伝達・住民教育」

研究グループG3（リーダー：小長井一男）

①研究題目3の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

（④研究のねらい（参考）、⑤研究の実施方法（参考）も含む）

G3ではRRLLの予測情報を、住民や行政機関の端末に仮想現実（AR）画像として表示し、必要な対応行動を促す技術を開発し、これをもって住民や行政の対応情報の集約も図り、早期警戒システム（EWS）の効果をより大きくする枠組みの構築に資する役割を担う。コロナ感染症の拡大に伴う渡航制限などのためG3の全体的な活動の開始は遅れたが、2023年にAR閲覧システムが完成し、その稼働が始まった。これを受けて、先行して行われていたJICAの「土砂災害リスク軽減のための非構造物対策能力強化プロジェクト（SABO）」に参加したNBROの若手研究者やスリランカ側JCCメンバーの協力を得て、パイロットサイトを管轄する災害管理センターKegalle県本部（Disaster Management Center, Kegalle）、郡役所（Divisional Secretariat, Aranayake）の関係者向けに、開発された早期警戒技術の社会実装のためのワークショップ、また地域内小学校、中学校、村落で防災教育活動を展開した（表3参照）。G3の各課題の2023年度、2024年度の進捗状況は以下のとおりである：

（G3-1）AR閲覧システム開発：

RRLLの予測情報を、住民や行政機関の端末に仮想現実（AR）として表示し、必要な対応行動を促す技術の中核になるのが、AR閲覧システムである（図8）。このシステムでは、MSSGにより3時間ごとに更新される1日先までの対象地域の山地降雨の予測結果を入力として、地域内の不安定斜面の間隙水圧比の上昇を算出する。そしてこの間隙水圧比が、RRLLの土砂流動過程を再現するソフトウェア（LS Rapid）で予め計算されデータベース化された当該不安定斜面の限界間隙水圧比に達した段階でRRLLが発生すると判定される。予測された降雨の空間分布（500m×500m解像度）とRRLL（ポリゴンで表示）発生の時空間推移はGoogle mapの衛星画像を背景とする仮想現実（Augmented Reality: AR）空間上に表示される。

この仮想現実（AR）画像を表示するAR閲覧システムの仕様は以下のとおりである。

- (a) 背景画像はGoogle Earthの衛星画像・ストリートマップ・地形マップから選択でき、その上に任意のレイヤーを重ねて表示できる。レイヤーには、たとえばVillage Watchingなどの活動を通し、地域

の人々が専門家のアドバイスを心得て設定した最寄りの避難場所、河川氾濫時にも通行可能と判断される道路など地域の防災関連情報を加えることができる。

- (b) 一日前に予測された降雨情報（500m 解像度）、および RRLI の発生・流動域（ポリゴン（多角形）表示）は3時間ごとに更新される。
- (c) 一日先までの予測画像を連続的に表示させるためのタイムスライダーを実装。

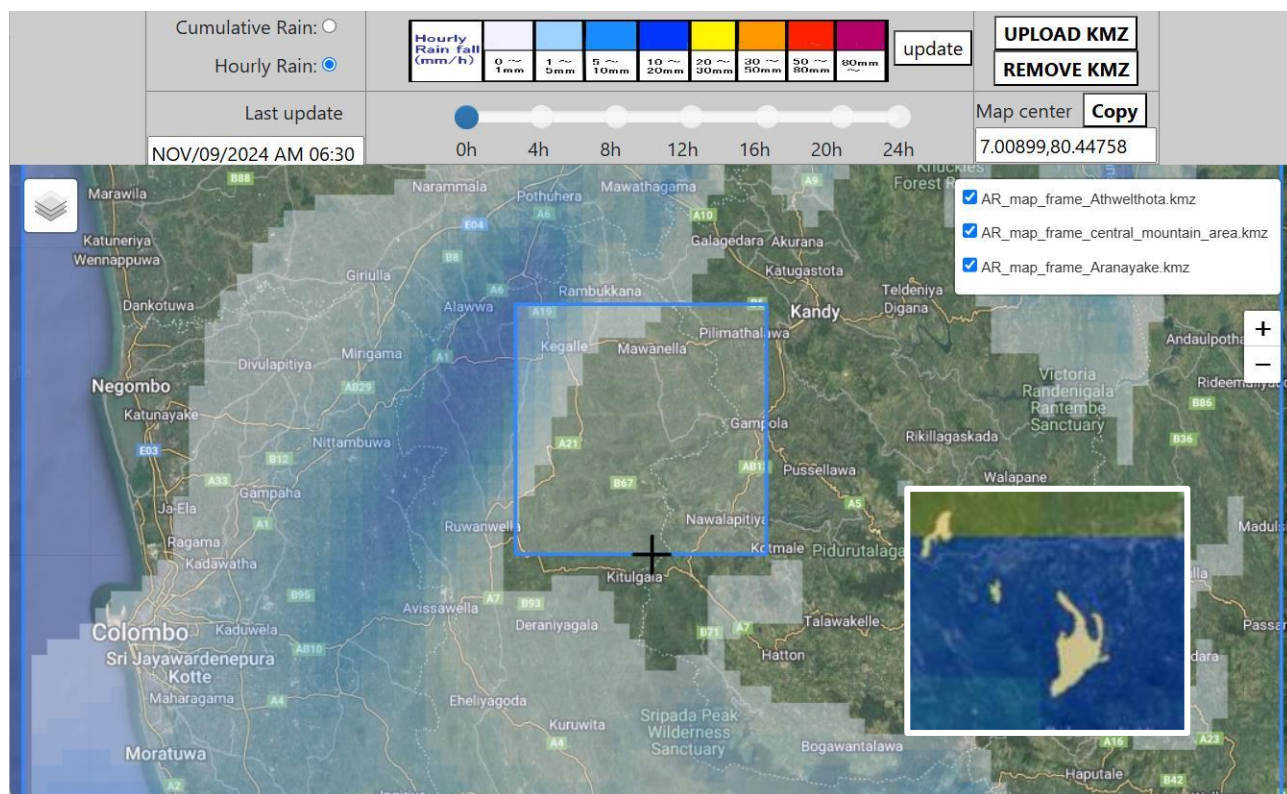


図 8 Google map を背景とする仮想現実(AR)空間上に示された一日前の降雨、RRLI の予測結果：図は 2024 年 11 月 9 日 06:30AM に更新した中央山岳部の降雨の状況。ウィンドウ上部のコントロールパネルのタイムスライダーを右に動かすことで、更新時刻から 24 時間先までの降雨・RRLI の発生予測の結果を見ることができる。中央の青枠は Aranayake 地区で、この区域内については別ウィンドウ上で 500m×500m の解像度で降雨分布が表示される。仮に RRLI の発生が予測された場合には右下の白枠内に示したような RRLI の到達範囲を示すポリゴンが表示される。

URL:

http://210.150.201.76/maptest/index810.php?AREA_NAME=Area1&MESH_SIZE=2000&MODE=1

任意のレイヤーについては、必要な連絡箇所、最寄りの避難場所、学校、警察、消防、病院（プレースマーク）、道路（ライン要素）、過去の浸水実績や関連情報（ラスター画像やプレースマーク）など様々な防災情報を描きこむことができる。しかしレイヤーを準備し AR 画像に重ねることはシステム管理者の権限であり、誰にでも許された操作ではない。加えて多くの情報を載せたレイヤーを多数重ねることはスムーズな画面操作を妨げることに繋がる。この問題に対応するため、コントロールパネルには背景

地図の中心座標が表示されるフィールドが設けられた (図 8, 9)。この背景地図の中心座標 (緯度、経度) をクリップボードにコピーし、ユーザーが別ウィンドウとして開いた Google Earth の検索 (Search) フィールドに貼り付ければ、ユーザー側の Google Earth の画像の中心を AR View の画像中心に一致させることができる。これによってユーザー側の Google Earth に表示されるユーザー独自のレイヤー情報を、AR 閲覧システムに表示された降雨や RRLI の発生予測結果と比較することができる (図 9)。

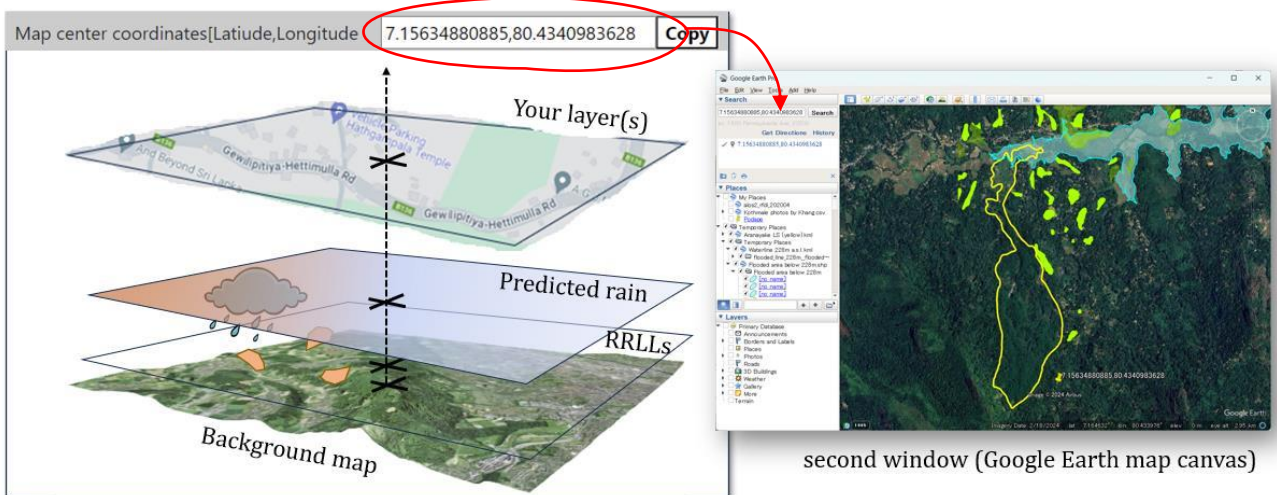


図 9 ユーザーが開いた Google Earth の別ウィンドウ (右) の中心座標を AR 閲覧システムの地図 (左) の中心座標に重ねるための手順 : AR 画像背景地図の中心座標 (赤○) をユーザー側が開いた Google 地図の Search フィールドにペーストする。

郡役所 (Divisional Secretariat (DS) Aranayake) で行われた地方行政官、各集落 (GN) の代表者を対象とした AR 閲覧システムの説明会 (2024 年 3 月 28 日、8 月 9 日) では、以下のコメントが寄せられた。

「AR 閲覧システムは降雨による RRLI の発生可能性を一日前に伝えるものであって、我々行政官や地域住民に対応行動への十分なリードタイムを与える点でたいへんありがたい。しかし降雨時には特に山中で Wi-Fi の受信状況が著しく悪化することを考えると、郡役所などでその地域を担当する行政官が画面を確認し、そこに示された情報を電話で集落の代表者などに伝えなければならない。しかし画面に表示された雨量情報と RRLI を表すポリゴンの表示を見て、どのような指示に結びつけたらいいのか判断するのは難しい」

このコメントを反映する形で AR 閲覧システムには以下の改良がくわえられた。

- 警報の発令基準は、スリランカで現行の Community-based Early Warning System で用いられているものを準用する。この基準では、各地域内に設置された手作り雨量計 (アクリル円筒雨量計 : 図 9 右) の側面に示された目盛上で、黄色 (75~100 mm/day)、橙色 (100~150 mm/day)、赤 (150 mm/day 以上) のそれぞれのレベルに日雨量が達した時点で、それぞれの色に応じた対応 (注意 (Watch)、警戒 (Alert)、避難 (Evacuation)) の指示が出される。
- したがって ID とパスワードを持つシステム管理者が、AR 閲覧システムのコントロールパネル

上で累積降雨（Cumulative Rain）のラジオボタンを押したときに表示される降雨量の凡例色を、update ボタン（図 10 の降雨量凡例のカラーバー右隣）を押すことで現れる指示に従って変更することができる。この折、基準上で対応する色（黄色、橙色、赤）のカラーコードを 75 to 100 mm/day、100 to 150 mm/day、150 mm/day 以上の日降雨量にそれぞれ割り当てる。併せて、各村落の防災担当代表者の連絡先をプレースマークで示したレイヤー（図 10 の最上段のレイヤー）を重ねておけば、当該地域を担当する地方行政官が、対応行動が必要とされる色（日雨量）が予測された村落の代表者に、早めに対応行動の準備をするよう指示することができる。

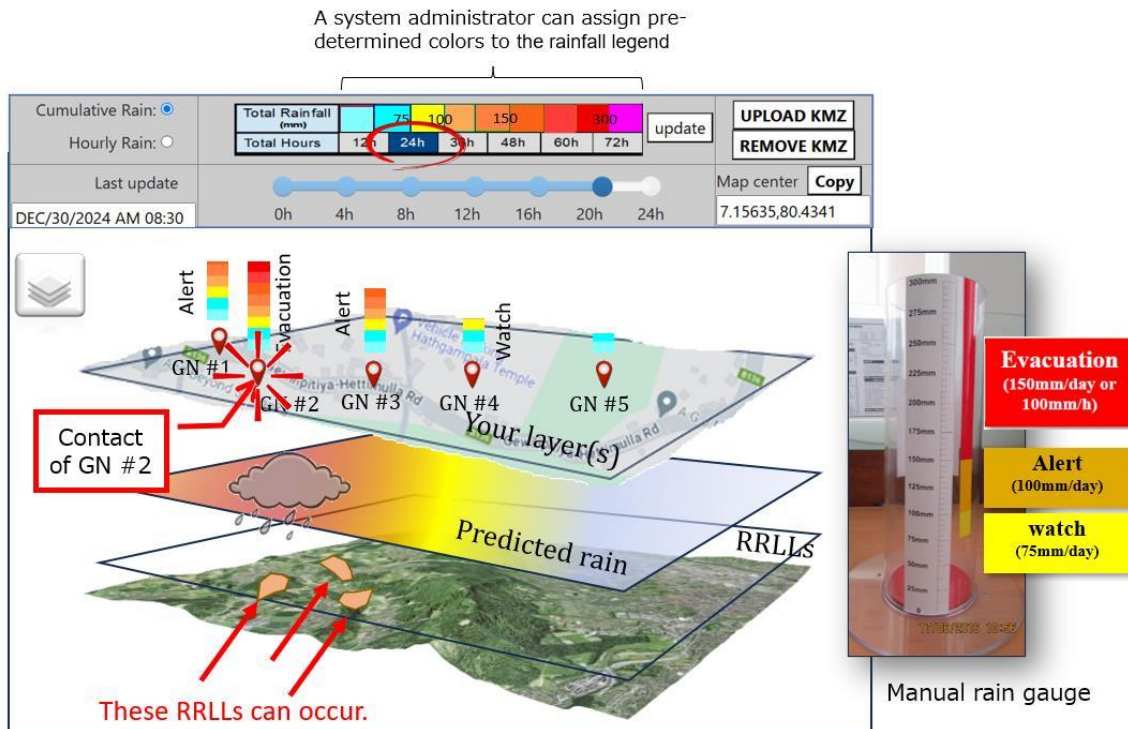


図 10 AR 閲覧システムに加えられた改良：ID とパスワードを付与されたシステム管理者が、AR 閲覧システムのコントロールパネル上で累積降雨（Cumulative Rain）のラジオボタンを押したときに表示される降雨量の凡例色を、update ボタン（凡例のカラーバー右隣）を押すことで現れる指示に沿って変更することができる。

（G3-2）豪雨・RRL 予測結果の利用者への伝達、利用者からのフィードバック（リスクコミュニケーション）ツールの実装、およびそのガイドラインの構築：

上記 AR 閲覧システムの導入によって避難を含む必要な対応行動を効果的なものにするためには、各端末の画面上に表示される豪雨・RRL 予測結果に加え、避難経路、避難場所、重要な施設や機能についての情報もレイヤーとして併せて表示しなければならない（図 9）。

レイヤー作成も含め、開発された RRL 早期警戒技術の社会実装を進めるため、2023 年 12 月以降、危機管理センターKegalle 支所、および Aranayake 郡役所（Divisional Secretariat (DS), Aranayake）の関係者と事前打ち合わせ（2023 年 12 月 27 日）や、早期警戒システムおよびアラナヤケ地区に設置された観測機器の説明を含む SATREPS プロジェクトの説明会（2024 年 2 月 16 日）、社会実装に関するワークシ

ヨップ（2024年3月26日）を実施した（表3参照）。

危機管理センター（Disaster Management Center, DMC）は2004年のインドネシア・スマトラ島沖大規模地震及びインド洋津波を契機に、自然災害に対して一元的な対応を可能にするために発足した組織である。DMCのKegalle支所が発足後初めて災害対策本部（図11）を組織したのが2016年のAranayake地すべり（RRL）であり、以降今日に至るまで災害対策本部の設置はなされていない。この2016年のAranayakeの大災害時の反省事項としてDMCおよびDSの関係者から以下の項目が挙げられた：

- (a) 携帯電話を媒体とした当時の連絡網は、当該地域のコミュニティまで一本のラインであったこともあり、連絡網上の関係者が災害に巻き込まれたりした場合に機能しなかった。このため現場の情報の把握がすぐにできず、必要な対応を講じることが困難であった。
- (b) 事前にハザードマップの作成は進んでいたが、十分な活用がなされなかった。また農業従事者の貧困もあって危険個所からの移住に応じる人は少なく、防災教育（Awareness/education programs）をもっと有効な形で進める必要性がこれまで以上に強く認識された。
- (c) 指定された避難場所ばかりでなく、暗がりでも豪雨時にも安全に避難できる身近な避難場所を住民主体で探し出し確認しておく必要がある。
- (d) RRLは言うまでもないが降雨の情報そのものが大事である。氾濫など過去の災害がどのような降雨条件でもたらされたのかなどの検証も必要であろう。
- (e) スリランカでは国家建築研究所（NBRO）がJICAの支援を受け、コミュニティが参加する地域ベースの早期警戒システム（Community-based Landslide Early Warning System, CBLEWS）が2016年から進められてきた。このため各地域には防災担当のリーダーがいる。このリーダーの組織が、SATREPSプロジェクトで開発された早期警戒システムに積極的に組み込まれるのが望ましい。プロジェクト終了後の観測機器についてもDMCやDSの監督下で地域住民のリーダー組織に移管していくのがシステムの継続性を担保する意味で重要である。

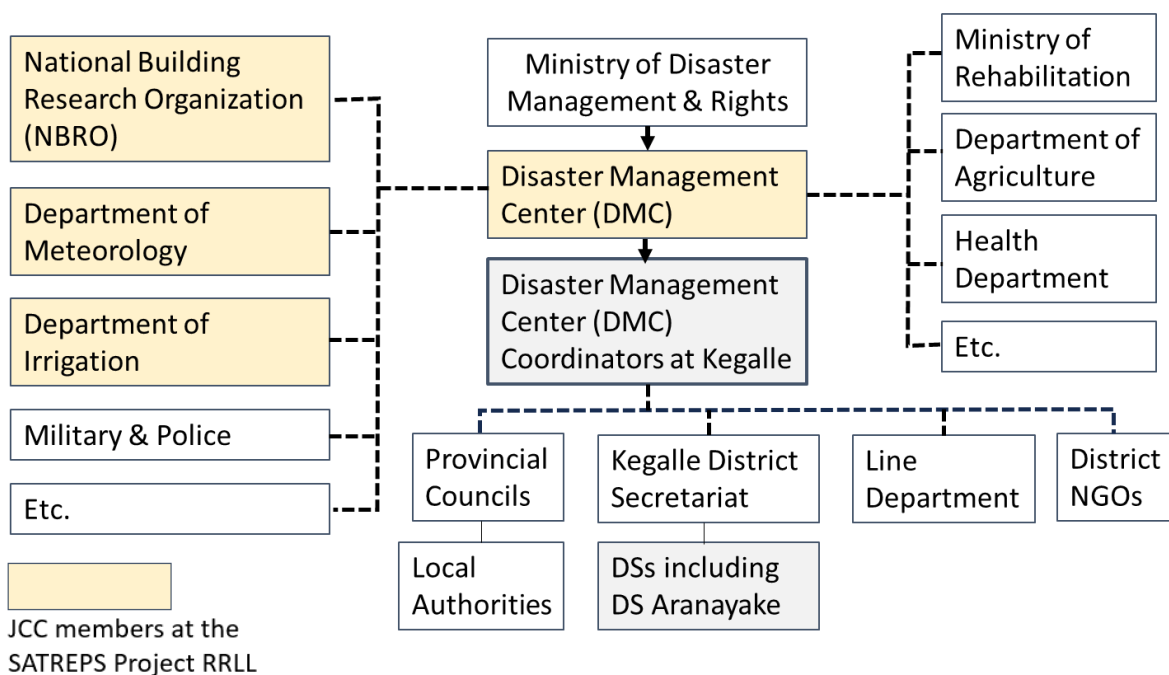


図11 2016年Aranayake RRLの時にDMC Kegalleに結成された災害対策本部（主要な機関のみ抜粋）



図 12 Hathgampala 小学校での防災教育（2023 年 3 月 27 日）

上記の指摘事項に加え、住民側からも避難指示や避難命令が出た時に一番欲しい情報は最寄りの避難場所であるとの声が上がっていた。これに応えるため 2024 年 3 月 27 日に Aranayake 地区の Hathgampala 小学校（Primary school）、翌日の 3 月 28 日には Hathgampala 中学校（Secondary school）で生徒たちを対象に RRLI の防災教育を実施した。これは生徒たちを数班に分けて、学校周辺の Village Watching を行い、地すべりに限らずかつて見聞き、体験したことも含め気が付いたことを地図に書き込んでもらう形で行われた（図 12）。

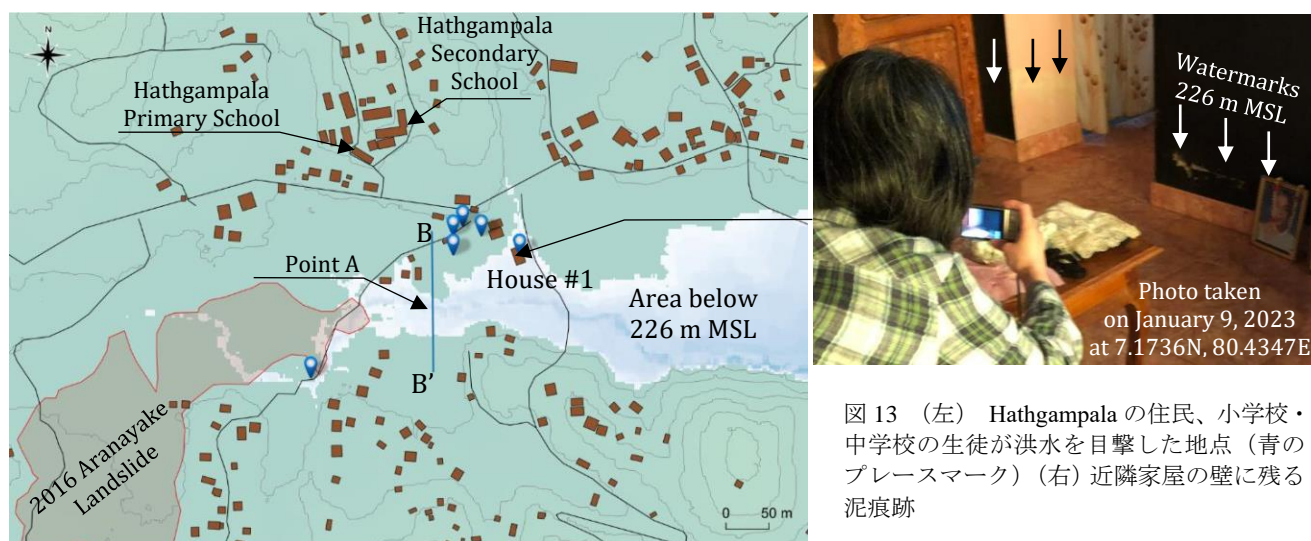


図 13（左）Hathgampala の住民、小学校・中学校の生徒が洪水を目撃した地点（青のプレスマーク）（右）近隣家屋の壁に残る泥痕跡

Hathgampala 小学校、同中学校での Village Watching、またその近隣での住民へのヒアリングから得られた情報の一つに、洪水の目撃証言があった（図 13）。2016 年の大規模な RRLI の発生時の豪雨の中で、地すべり末端部周辺の Hathgampala の谷間平地を流れる小河川で氾濫が起こり、水田や近隣の家々が浸水した。これらの家屋の壁に残る泥痕跡（図 13 右写真）から、この地域の海拔 226m 付近まで水位が上がったと判断できた。この小河川の河床勾配（0.0045）と地形断面から Manning 式でピーク時の流量を解析すると $2.66 \text{ m}^3/\text{s}$ となり、これはこの地点より上流側の約 5 km^2 の集水域に降った降雨量（ピーク時時間雨量を 1 秒当りに換算）の 21%に相当していたと推定された。浸水域の情報、および、Village

Watching で確認された最寄りの安全な避難場所候補についてとりまとめたものを、AR システムに表示されるレイヤー (図 14(a)) とした他、これを紙に印刷したハザードマップ、さらに 3 次元模型を作成し、Hathgampala 小学校に寄贈した (図 14(b))。身近な安全な場所に加え、豪雨時に通過できない可能性のある道路などは地域住民の避難行動などに欠かせない大切な情報である。

防災教育に先立ち、小学校、中学校の先生方にあらかじめ授業の方法を理解してもらい、その先生方が後日、別の学校の先生方を指導することを可能にする Training of Trainers の取り組みも実施した。2024 年度は、さらに Elangapitiya 村や Podape 村でも Village Watching 活動を実施した。これらの活動の概要を取りまとめた報告 (Konagai, et al, 2025) は ICL のオープンアクセス本である Progress in Landslide Research and Technology, Volume 4, Issue 1 への掲載が決定した。また早期警戒システムに関わる関係者 (技術者 (開発者)、地方行政官、コミュニティー、教育関係者) に向けて、災害予測情報への対応や Village Watching を他地域にも展開するための詳細な手順の手引書 (Handbook for Social Implementation of Early Warning Technology for Landslide Disaster Risk Reduction) を取りまとめた (後述)。

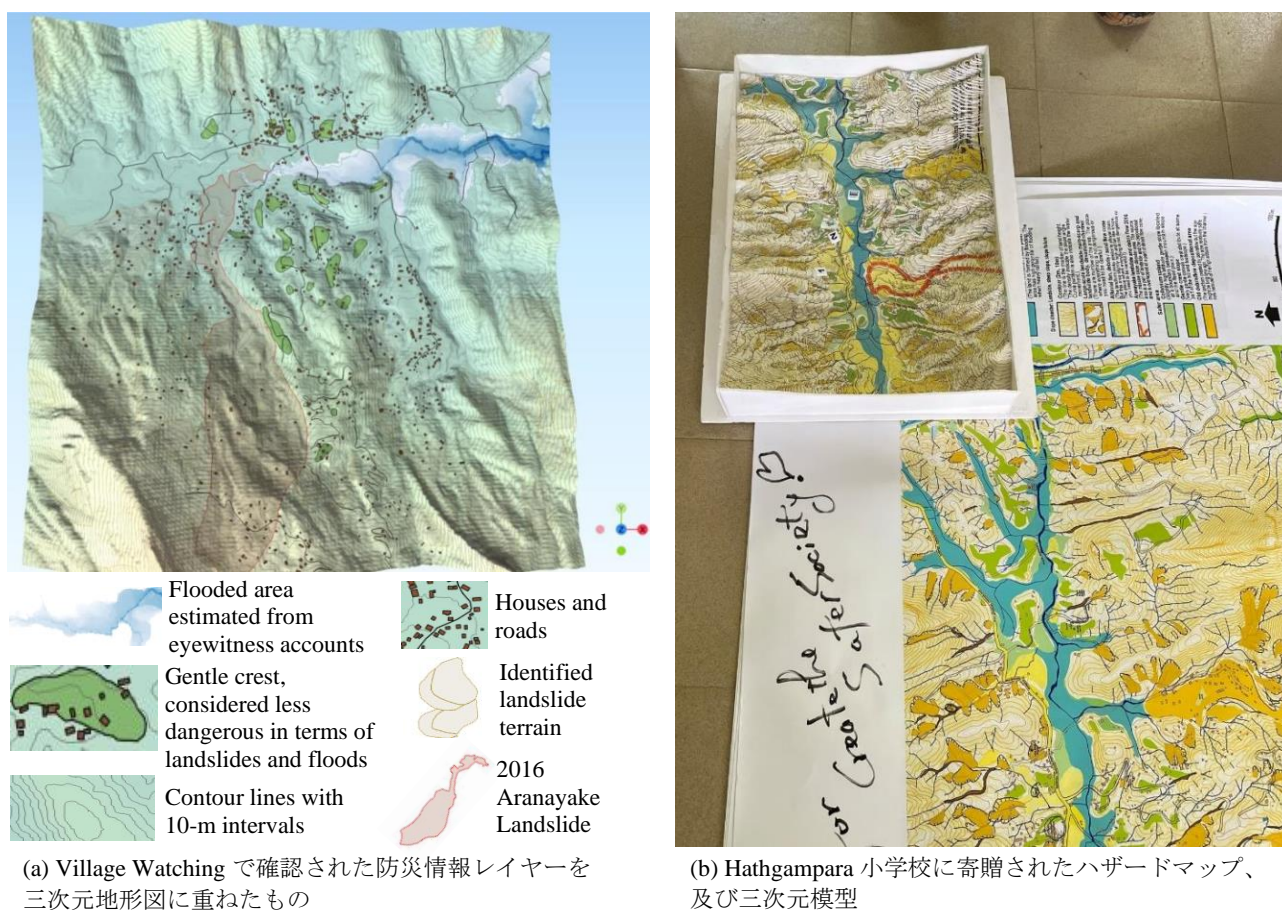


図 14 Hathgampala 小学校および Ekangapitiya 集落での Village Watching で得られた証言を解析し、防災情報としてまとめたハザードマップ

Konagai K, Fujita K, Edirisinghe J, Ariyaratna I, Munasinghe T, Munasinghe D, Abe M, Miyagi T, Onishi R, Bandara A, Takimoto T, Karunawardena A, Sassa K (2025) Implementation of the Early Warning Technology for Rain-Induced Rapid and Long-Traveling Landslides in Sri Lanka, Progress in Landslide Research and Technology, Volume 4 Issue 1. (掲載決定)

郡役所でのワークショップ、地域住民向けの防災教育や **village watching** の活動はすべてシンハラ語で行われ、それらを指導したのは、長期研修で博士の学位を取得した NBRO の若手研究者であった。このことはプロジェクト終了後もその成果の継続性が担保されるための必須条件である。

ガイドラインの構築：

早期警戒避難は、1) 警戒情報発令 2) 情報伝達 3) 住民による避難、のすべてができなければ、実現できない。ガイドライン（ハンドブック）作成に至る活動のそもそものきっかけは、2023年にパイロットスタディサイト（Aranayake, Athwelthota）内の複数集落で行われたアンケート調査（Fujita, 2024）であった。特に2016年のAranayake地すべりを目の当たりにしたAranayakeでは、住民の地すべりに対する意識が高く、アンケート調査によって以下が明らかになった。

「誰からの情報だと話を聞くのか（災害情報ネットワークとその信頼）」という問いかけに対し、「普段から住民を直接担当する地方行政官とのつながりが、2016年のAranayake地すべり以降強くなっている」こと、「その中で防災プログラムの実施や住民たちによる簡易雨量計測の促進がはかられてきた」こと、また「誰からの情報であれば避難するか」という問いには、調査地域の回答者のほとんどが「その地域を担当する地方行政官である」と答えている。

山中で特に雨の中、良好なWi-Fiの受信状況が期待できない状況では、地方行政官からの電話による連絡が確実に信頼できる早期警戒情報の伝達手段であることが示された。

このようにAranayakeでは、住民の意識や連絡網はすでに一定のレベルに達していた一方で、「避難場所とそれに至る経路を知っているか」という問いについてはAranayakeで調査した住民50名中49名がどこへ避難したらよいかわからないと回答した。ハザードマップにある避難所は遠方であったり、そこへ至るまでの経路の安全性が確保されていなかったりなど、身近な避難場所についての知識と情報がないことが一番のネックであることが浮き彫りになった（この問題は2023年12月に行われた災害管理センター（DMC）Kegalle支所での会議でも指摘されている）。身近な避難場所というフィジカルな条件がそろわない以上、高度な技術で降雨とそれにともなうRRLLの発生が予測されても、具体的で安全な避難に結びつかないという問題意識がVillage Watching活動を展開した根幹にあった。

このハンドブックにはVillage Watching活動の具体例が紹介されている。そのなかには、住民たちがVillage Watching活動を通してその存在を確認した最寄りの安全な場所の中に、これまで一階部分のみ建設していた集会場があることを知り、さらに自費を出し合って二階部分を増築し、全村避難の可能な集会場としたエピソードも含まれている。Village Watchingが村人たちの自助の行動に繋がった一例である。一方でこの集会場に上水、トイレなど、避難が長期に及ぶ場合の設備を設けるまでの経済的余裕は住民たちに無く、（特に経済危機以降貧困率の上昇したスリランカでは）自助だけでは対処できない今後の課題が残されていることも記述されている。しかしながら、まずは安全な避難場所候補があることを住民たちが知ることが必要な第一歩であり、他地域でもVillage Watching活動を展開する場合の（事例に

基づく) 関係者の手引書としてこのハンドブックを準備した。

題目 : Handbook for Social Implementation of Early Warning Technology for Landslide Disaster Risk Reduction

目次 :

- 1: Overview of Landslides in Sri Lanka and Their Feature
- 2: For Engineers
- 3: For Local Government Officers
- 4: For Community
- 5: For Education Sectors
- 6: Future Challenges and Recommendations



図 15 ハンドブックの序章に描かれた早期警戒システムの関係者 (players) 相互の連携図

開発された早期警戒システムの活用に関わる関係者(players)は以下の4つのカテゴリーに分類される。

- (1) 技術者 : 早期警戒など情報を発信するための根幹となる技術を提供する
- (2) 地方行政官 : コミュニティー住民への情報提供を行い、その避難を援助する
- (3) コミュニティー : 情報を受け取り、避難など必要な対応行動をとる
- (4) 教育関係者 : 同上

上記の関係者 (players) の役割が明確に意識され、それぞれの行動を可能とする環境が整備されていることが、早期警戒システムを有効に機能させるうえで必須の条件になる。

2. For Engineers : 技術者は、降雨と RRLL の一日前予測、予測情報の伝達の技術 (AR 閲覧システム) を

開発する側である。技術者は誰が AR 閲覧システムのユーザーであるのか認識し、ユーザーフレンドリーなシステムを構築するばかりでなく、ユーザーからのフィードバックを真摯に受け取り、システムへの必要な改善を進める責務がある。この責務を念頭に開発した AR 閲覧システムの概要と、改善の記録、今後の課題をまとめている。

3: **For Local Government Officers** : 地方行政官は、技術と住民をつなぐ重要な役割を担う。このため住民に警戒情報や避難情報を的確に迅速に伝達する前提として、常時から住民との良好な関係が構築されているかを確認しなければならない。2016 年の Aranyake 地すべり (RRL) を経験した後、この関係が大いに改善されていることを紹介し、まだ RRL 災害経験のないところでどのような改善手段があるかを紹介している。

4. **For Community**、および、5. **For Education Sectors** : これら 2 章は、早期警戒情報を受け取る側の住民、学校関係者に対して、避難指示が出された時に避難できるのか? という問いかけを基本としている。避難に関しては、災害管理センター (Disaster Management Center, DMC) などによるハザードマップの提供や CBLEW (Community Based Landslide Early Warning) 防災プログラムにおいて住民参加で整備されたハザードマップがあるが、実際の避難経路や避難場所が住民の経験上現実的ではないものもあるとの指摘がある。このことは地方行政官も気づいているが手が回っていない状況である。実際に Aranyake でアンケート調査した住民 50 名中 49 名がどこへ避難したらよいかわからないと回答しており、この根本的な課題への取り組みの一つとして、身近な環境を知り安全な避難場所候補地を探る Village Watching 活動の具体例を紹介し、今後他地域への活動の展開のための手引きとしている。

6: **Future Challenges and Recommendations** : 上記の各章で紹介された具体例の中で、それぞれの関係者 (player) の中だけでは解決しがたい課題も浮き彫りになった。Village Watching 活動を行った集落の一つ、Elangapitiya では、その後以下のような意見が寄せられた。

- Village Watching 活動を行って、身近に地すべり災害に対して安全な場所が複数存在することが分かったことで大いに安堵した。
- 1 階部分のみ建設していたコミュニティーの集会所も安全な場所にあることが分かったので、住民たちがさらに自費を出し合い、2 階部分を増設。村人全員が避難できるようにした。
- しかしながら、上水やトイレなどは一切なく、長期避難を可能にする環境ではない。
- 集落近くで安全とされたその他の避難場所候補地はすべて屋外であり、上水やトイレはおろか、住民が雨をしのげる建屋すらない。村民は決して裕福でなく、こうした環境の改善を図れる状況にない。

他にも、技術者がユーザーのニーズを反映して改善すべき課題や、学校関係者が生徒たちの親や地方行政官と情報を共有して考えなければならない課題などを記載している。

上記は自助、共助、公助がそろって初めて改善されるもので、一朝一夕には解決しない課題も多い。しかしスリランカには災害管理センターが 2023 年にまとめた国家災害管理計画 (National Disaster Management Plan (NDMP) 2023-2030) がある。これは同国の災害リスク管理の 2030 年の戦略的方向性を定めたもので、関係者はこの方向性を常に意識し、できることを着実に進めていくことが望まれる。

ハンドブックの英語版は2025年2月にまとめられた(Progress in Landslide Research and Technology, Volume 4, Issue 2 の記事として投稿準備中)。シンハラ語版はスリランカ側で準備される。

Fujita, K. (2024). Introducing Japanese Landslide Warning and Evacuation System to Sri Lanka: Field Survey of Social Aspect in the Arayanake Area. In: Abolmasov, B., et al. Progress in Landslide Research and Technology, Volume 3 Issue 1, 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-55120-8_16

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

プロジェクト全体、またG1とも共通するが、G3においても世界的なコロナ感染症の蔓延があつて、渡航・対面を前提とする活動は大きく制約された。またRRLの予測情報を、住民や行政機関の端末に仮想現実(AR)画像として表示し、必要な対応行動を促す技術の開発が、技術的な問題から設計変更を余儀なくされ、これも本システムの実装に関わる部分の検討開始の遅れにつながった。しかしその後、スリランカの感染症危険度レベルは段階的に引下げられ(現在は0)、また経済危機下での反政府デモなど不穏な状況にあったスリランカも、大統領と首相が辞任、2022年7月20日に新たにラニル・ウィクレマシンハが大統領に就任するなどして以降、状況は落ち着いてきた。2023年夏にはAR閲覧システムが稼働を始め、これを踏まえて、パイロットスタディサイトの災害対応の最前線に立つ災害管理センターKegalle支所(DMC, Kegalle)、郡役所(DS, Aranayake)の関係者との社会実装のための議論、また地域住民に対する防災教育をスタートさせることができた。なおJICAの先行プロジェクトとして「土砂災害リスク軽減のための非構造物対策能力強化プロジェクト(Project SABO)」がNBROの能力形成に寄与したことの効果も大きかった。

II. 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）

・プロジェクト全体の現状と課題、相手国側研究機関の状況と問題点、プロジェクト関連分野の現状と課題。当該課題や問題点を解決するために取り組んだ事項。

プロジェクト全体としては研究実施に当たって、体制上の、あるいは枠組みそのものに影響を与える大きな課題はないが、プロジェクト開始直後から 2022 年あたりまで COVID-19 感染症蔓延下での様々な制約が、共同研究を進めるにあたっての避けられない課題であり続けた。規制緩和後は JICA、JST の支援を得て、対面での活動を活発化させ、プロジェクト期間内に初期の目標を達成できる見通しを得た。2022 年 5 月 18 日には、スリランカで史上初めてのデフォルト（債務不履行）に陥るなど、2022 年度に入って同国の経済危機は様々な形で顕在化した。現在、状況は落ち着いている。

・各種課題を踏まえ、研究プロジェクトの妥当性・有効性・効率性・インパクト・持続性を高めるために実際に行った工夫。

プロジェクトの前半、渡航の制約がある中で、RLL の早期警戒システムのための個別基礎技術の開発は、主に日本側の研究者が中心となり、これにスリランカからの留学生が参加する形で順調に進めることができた。日本側研究者の渡航を前提とする現地調査（パイロットサイトでの計測機器設置）は、スリランカの感染症危険度レベルの引き下げや入出国の規制の緩和を受け、またビザ取得における JICA の尽力もあり、2022 年 3 月に開始。その後も順次観測の設置と継続的観測を実施した。プロジェクトの妥当性・有効性・効率性・インパクト・持続性を高めるにあたっては、Landslide Technical Forum を毎年 1～2 回開催し、本プロジェクトの進捗状況や最新の成果を日本・スリランカの JCC 関係者以外にも公開するとともに、ICL の学術雑誌 "Landslides" (Electronic ISSN:b1612-5118, Print ISSN: 1612-510X, Journal Impact Factor 5.8 (2023)) やオープンアクセス本シリーズ "Progress in Landslide Research and Technology" (Electronic ISSN:2731-3808, Print ISSN: 2731-3794, SCOPUS に登録) への成果公表を進めた。

・プロジェクトの自立発展性向上のために、今後相手国（研究機関・研究者）が取り組む必要のある事項。

【現状】

プロジェクトが開始してから今日に至るまでのスリランカの政治・経済の状況は大きく変化してきた。2019 年の爆破テロ事件、および同年 11 月のゴタバヤ大統領就任後の大規模減税を含む大きな政策変更等の影響も受け、同国経済は徐々に悪化、2022 年 3 月末以降大統領退陣を求めるデモが各地で続く中、5 月 9 日に首相が、7 月 14 日に大統領が辞任。7 月 20 日新たにラニル・ウィクレマシンハが大統領に就任した。本プロジェクトのスリランカ側カウンターパート機関、NBRO の所管官庁もそのような中で、当初はスリランカ灌漑・水資源・災害管理省（Ministry of Irrigation and Water Resources & Disaster Management）、プロジェクト開始寸前の 2019 年 1 月にはスリランカ行政・災害管理省（Ministry of Public Administration and Disaster Management）、2019 年の大統領選挙後は国防省（Ministry of Defense）、さらに 2020 年には保安・内務・災害管理省（State Ministry of National Security, Home Affairs and Disaster Management）、その後国防省（Ministry of Defense）と変化し続けてきた。しかし斜面災害に対応する NBRO の役割と機能に影響なく、プロジェクトを積極的に推進している。また長期・短期研修生を含む本 SATREPS 事業に関わる主要なスリランカ側メンバーは、研修を終えた後も引き続き NBRO にとどまり、本プロジェクトに積極的に参加し、早期警戒技術の社会実装の推進に強い意欲を示している。

これらの研修生は、プロジェクトの実施期間中に導入された機器の扱いや保守、関連する研究についての知識や経験を習得しており、地形判読を含む野外調査、地盤の物性試験や観測の継続も彼らが主体

的に行っている。今後は、彼らがリーダーとなり、技術のさらなる改良と次世代への継承が展開することが期待される。

【降雨・RRLI 発生の予測精度の向上】

プロジェクト終了後も若手研究者らが継続して進めなければならない事項の一つに、降雨、RRLI の一日前予測精度の検証と、その精度向上がある。2023 年に AR 閲覧システムが運用を開始してから、2024 年 6 月初旬と 2024 年 10 月中旬に 2 回の冠水被害などを伴う豪雨があった。これら豪雨の発生可能性は AR 画面上で一日前に表示され、当該地域を含む関連機関で共有された。10 月の豪雨の折には、AR 画面上にポリゴンが現れ、RRLI の発生が懸念されたが、これは降雨量が過大に評価されたためであり、幸い RRLI の発生には至らなかった。既に述べたように、降雨の予測計算に用いられるソフトウェア (MSSG) ではスリランカ全土を含む広域から、プロジェクトの対象とする 30 km 四方の地域までを、親ドメイン、子ドメイン、そして孫ドメインと入れ子構造にして計算を行う。その最も外側のドメインのカバーする領域を一時期絞りすぎていたことが過大な降雨予測の原因であったことが判明し、親ドメインの大きさは旧に復された。6 月初旬の豪雨では、パイロットスタディサイトの一つ Athwelthota で、2017 年の崩壊で滑り残った源頭部付近の土砂が崩壊したが、残念ながら Athwelthota 地区での 500 m 解像度の AR Viewing システムの稼働がスタートする前であり、このイベントについては RRLI 発生予測とそれに対する対応行動の検証の機会を逃している。今後、継続的に事例の積み上げ、予測精度の向上をスリランカ側で進めていくことになる。

長期にわたる降雨予測について、現在のシステムでは、現在の気候の下で、物理シミュレーションのパラメータ等が調整されている。10 年単位での気候変動によりパラメータ調整も 10 年ほどのスパンで必要になる可能性がある (逆に言えば、数年内に、温暖化の進行によるパラメータ調整は必要ないと考える)。パラメータ調整が行われた場合には、即座に予測システムに反映できるように、更新やメンテナンスを継続的にできるシステムを構築している。土地利用の変化も、土地利用インデックスファイルを更新することで、即座に予測システムに反映できる。これらもスリランカ側で進めることになる。

【防災教育・地域の防災環境整備】

本プロジェクトの成果である早期警戒システムの社会実装に於いて、これまで Village Watching などの活動を通し、地域住民の身近にある安全な避難場候補地、安全なルートの特定を進めてきた。これは「財産よりも生命が優先されなければならない」という災害管理センター (Disaster Management Center) の職員が共通して掲げる信条に沿うものでもある。しかし開発された早期警戒システムが有効に機能するためには、安全な避難場所、安全な避難ルートの特定だけでは不十分である。G3 グループが Elangapitiya などの集落で 2024 年 8 月に Village Watching を実施した結果、村民は今の集会場が安全な場所にあることを知り、自費を出し合い、村民全員を収容できるよう 2 階部分の建て増しを行った。しかし上水、下水の供給システム、トイレはなく、またこの集会場以外に安全な避難場候補地とされた場所はすべて屋外で、長期避難が可能な場所ではない。貧困層が大半の村には、避難所施設やライフライン整備を行う財政的余裕はない。保険や互助の不十分な地域では、財産や仕事等の生活力の喪失は致命的になりかねないことにも留意しなければならない。NBRO には危険地域に住む住民の再定住を進める部門 (Human Settlements Planning and Training Division) があって、そのメンバーも本 SATREPS プロジェクトの G3 グループメンバーで中心的に活躍してきた。この部門も深くかかわる形で、地道に地域の防災環境整備を進めていくことが期待される。2022 年春に発生した経済危機から回復の兆しを見せているとはいえ、スリランカではこのような防災環境整備に思い切った予算措置がなされる可能性は小さく、地

道な努力を積み重ねるしかないが、併せて、時には国際的な支援の機会も逃さぬよう目配りする必要がある。

・諸手続の遅延や実施に関する交渉の難航など、進捗の遅れた事例があれば、その内容、解決プロセス、結果
特記事項なし

Ⅲ. 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

降雨および RLL の発生リスクの 1 日前予測情報を地域住民・行政機関に伝達し、早期避難と必要な行政対応を促すための仮想現実（AR）リスクコミュニケーションシステムは 2023 年度以降、順次稼働を開始した。

この情報を受けて、対策本部が組織される災害管理センターの県支所（Disaster Management Center, Kegalle）、パイロットサイトのある郡の役所（GN, Aranayake）、NBRO、地域住民などが取るべき行動、そしてそれを可能にする環境整備のためのガイドライン構築が、最終年度（2024 年度）に進められた。

(2) 社会実装に向けた取り組み

行政側での議論：

2023 年 12 月 27 日：パイロットサイトを管轄する災害管理センターの Kegalle 県本部（Disaster Management Center (DMC), Kegalle）で副支所長の H.M. Anushke Chamile Bandara 氏と今後の実装戦略の策定を前にそれまで DMC が災害（特に 2016 年 Aranayake 地すべり）時に経験した課題、今後望まれる対応について意見交換を行った。

この内容を踏まえ、2024 年 2 月 16 日、Aranayake 郡の役所（DS, Aranayake）にて DS Aranayake および DMC Kegalle の関係職員に対し、本 SATREPS プロジェクトの説明会を行い、さらに 2024 年 3 月 26 日に、同じく Aranayake 郡の役所（DS, Aranayake）にて社会実装に関するワークショップを開催した。これらの会議やワークショップの中で、2016 年の Aranayake の大災害時の反省事項として DMC および DS の関係者から以下の項目が挙げられた：

- (a) 携帯電話を媒体とした当時の連絡網は、被害地域のコミュニティまで一本のラインであったこともあり、連絡網上の関係者が災害に巻き込まれると機能しなかった。このため現場の情報の把握がすぐにできず、必要な対応を講じることが困難であった。
- (b) 事前にハザードマップなどの作成は進んでいたものの、十分な活用がなされなかった。農業従事者の貧困もあって危険個所からの移住に応じる人は少なく、防災教育（Awareness/education programs）をもっと有効な形で進める必要性がこれまで以上に強く認識された。
- (c) 指定された避難場所ばかりでなく、暗がりでも豪雨時にも安全に避難できる身近な避難場所を住民主体で探し出し確認しておく必要がある。
- (d) RLL は言うまでもないが降雨の情報そのものが大事である。氾濫など過去の災害がどのような降雨条件でもたらされたのかなどの検証も必要であろう。
- (e) スリランカでは国家建築研究所（NBRO）が JICA の支援を受け、コミュニティが参加する地域ベースの早期警戒システム（Community-based Landslide Early Warning System, CBLEWS）の導入を 2016 年から進められてきた。この結果、各地域には防災担当のリーダーがいる。このリーダーの組織が、

この SATREPS プロジェクトで開発された早期警戒システムに積極的に組み込まれるのが望ましい。また、プロジェクト終了後の観測機器についても DMC や DS の監督下で地域住民のリーダー組織に移管していくのがシステムの継続性を担保する意味で適切である。特に上記項目の内、(c)の「最寄りの安全な避難場所」は住民側が最も要求している情報であった。

防災教育：

上記指摘事項や住民側の要望にも応えるため、住民教育の一環として 2024 年 3 月 27 日に Aranayake 地区の Hathgampala 小学校 (Primary school)、翌日の 3 月 28 日には Hathgampala 中学校 (Secondary school) にて生徒たちを対象に RRLI の防災教育を実施した。これは生徒たちを数班に分けて、学校周辺の Village watching を行い、地すべりに限らずかつて見聞き、体験したことなども含め気が付いたことを地図に書き込んでもらう形で行われた (図 12)。書き込まれた情報は AR 閲覧システムのレイヤーとしても反映することができ、AR システムに表示される予測情報を、生徒たちを含む地域住民の避難行動などに直接結びつけることができる。また防災教育に先立ち、小学校、中学校の先生方にあらかじめ授業の方法を理解してもらい、その先生方が後日、別の学校の先生方を指導することを可能にする Training of Trainers の取り組みも実施した。同年 8 月には、さらに Elangapitiya 村や Podape 村でも村民を対象に Village Watching の活動を行った。

IV. 日本のプレゼンスの向上 (公開)

この SATREPS プロジェクト (Project RRLI) はその重要度から、ICL 国連 5 機関等の共催による円卓会議で発足した国際斜面災害研究計画 (IPL: International Programme on Landslides) のプロジェクトの一つ (IPL-249) として認定された。そして本報告に掲げられた研究成果 (山地降雨の一日前予測、RRLI の発生・流動・堆積過程の一日前予測、降雨・RRLI の予測情報の AR 閲覧システムによる伝達、早期警戒システムの社会実装活動など) は ICL の学術雑誌 "Landslides" (Electronic ISSN:b1612-5118, Print ISSN: 1612-510X, Journal Impact Factor 5.8 (2023)) に査読付論文 (7 編)、ICL のオープンアクセスブックシリーズ "Progress in Landslide Research and Technology" (Electronic ISSN:2731-3808, Print ISSN: 2731-3794, SCOPUS に登録) に査読付記事 (Original articles (コア技術に関するもの), Teaching Tools (ツールの教材) など 24 編)、斜面防災世界フォーラムの出版本、"Contribution to Landslide Disaster Risk Reduction book series (CLDRR)" の章 (7 編)、そのほかの国際ジャーナルなどの論文・記事 (16 編) として公表された (別添: 様式 2 「成果発表等」参照)。このように日本・スリランカにとどまらず、本プロジェクトの最新の成果は斜面災害に関わる世界各地の斜面災害の研究者・実務者に共有され、日本のプレゼンスの向上に寄与するものである。

Open Access Book Series, "Progress in Landslide Research and Technology (P-LRT)," Springer へのリンク : <https://www.springer.com/series/16796>

V. その他 (非公開)

特記事項無し。

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。)
2020	Qinwen Tan, Kyoji Sassa, Khang Dang, Kazuo Konagai, Asiri Karunawardena, R. M. S. Bandara, Huiming Tang, Go Sato. Estimation of the past and future landslide hazards in the neighboring slopes of the 2016 Aranayake landslide, Sri Lanka. <i>Landslides</i> , 2020, Vol. 17, 1727-1738.	https://doi.org/10.1007/s10346-020-01419-1	国際誌	発表済	
2020	Kazuo Konagai, Asiri Karunawardena, Kyoji Sassa, "SATREPS Project for Sri Lanka with Regard to "Development of Early Warning Technology of Rain-Induced Rapid and Long-Travelling Landslides," <i>Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk</i> , a part of ICL Contribution to Landslide Disaster Risk Reduction book series (CLDRR), Vol. 1 Sendai Landslide Partnerships and Kyoto Landslide Commitment, 205-214, December, 2020.	https://doi.org/10.1007/978-3-030-60196-6_12	国際誌	発表済	
2020	Qunli Han, Kyoji Sassa, and Matjaz mikos "International Programme on Landslides (IPL): A Programme of the ICL for Landslide Disaster Risk Reduction," <i>Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk</i> , a part of ICL Contribution to Landslide Disaster Risk Reduction book series (CLDRR), Vol. 1 Sendai Landslide Partnerships and Kyoto Landslide Commitment, 187-204, December, 2020.	https://doi.org/10.1007/978-3-0319-59469-9_19	国際誌	発表済	
2023	Kyoji Sassa, Koji Matsunami, Loi Doan, Toyohiko Miyagi, Nilmini Thaldena, Ranjan Weerasinghe, Kazuo Konagai, Asiri Karunawardena, The 2023.4. 24 Hambantota-offshore earthquake and microearthquakes in Sri Lanka and the landslide risk evaluation in a nearby slope by post-rainfall earthquakes. <i>Landslides</i> , 2023, Vol. 20, 1771-1779.	https://doi.org/10.1007/s10346-023-02108-5	国際誌	発表済	

論文数 4 件
 うち国内誌 0 件
 うち国際誌 4 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。)
2019	Duc Ha Nguyen, Takahiro Sayama, Kyoji Sassa, Kaoru Takara, Ryosuke Uzuoka, Khang Dang, Tien Van Pham, "A Coupled Hydrological-geotechnical Framework for Forecasting Shallow Landslide Hazard—a Case Study in Halong City, Vietnam", <i>Landslides</i> 2019, Vol.17, No.7 : 1619-1634. (online publication is 19 March 2020)	https://doi.org/10.1007/s10346-020-01385-8	国際誌	発表済	Lanndslides (2019 Impact Factor=4.708, 2109 CireScore=8.2)に掲載
2020	Kyoji Sassa, Peter T.Bobrowsky, Kaoru Takara, and Badaoui Rouhban "Kyoto 2020 Commitment for Global Promotion of Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk," <i>Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk</i> , a part of ICL Contribution to Landslide Disaster Risk Reduction book series (CLDRR), Vol. 1 Sendai Landslide Partnerships and Kyoto Landslide Commitment, 145-154, December, 2020.	https://doi.org/10.1007/978-3-030-60196-6_7	国際誌	発表済	
2021	Katsuo Sasahara: Velocity and Acceleration of Surface Displacement in Sandy model Slope with Various Slope Conditions, N. Casagli et al. (eds.), <i>Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk</i> , ICL Contribution to Landslide Disaster Risk Reduction, pp.315-320	DOI 978-3-030-60311-3_37	国際誌	発表済	
2021	Khang Dang, Doan Huy Loi, Kiyoharu Hirota, Yoshinobu Taniguchi & Kyoji Sassa, Landslide triggered by heavy rainfall on 06 September 2020 in Shiiba village, Miyazaki Prefecture, Japan. <i>Landslides</i> volume 18, pages3485-3488 (2021)	https://doi.org/10.1007/s10346-021-01729-y	国際誌	発表済	
2021	Pham Van Tien, Le Hong Luong, Kyoji Sassa, Kaoru Takara, Maskey Sumit, Tran Thanh Nhan, Khang Dang, and Do Minh Duc (2021) Mechanisms and Modeling of the Catastrophic Landslide Dam at Jure Village, Nepal. <i>Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering</i> 147 (11)	https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0002637	国際誌	発表済	
2021	Pham Van Tien, Le Hong Luong, Do Minh Duc, Phan Trong Trinh, Dinh Thi Quynh, Nguyen Chau Lan, Dang Thi Thuy, Nguyen Quoc Phi, Tran Quoc Cuong, Khang Dang & Doan Huy Loi, Rainfall-induced catastrophic landslide in Quang Tri Province: the deadliest single landslide event in Vietnam in 2020. <i>Landslides</i> volume 18, pages2323-2327 (2021)	https://doi.org/10.1007/s10346-021-01664-y	国際誌	発表済	

2021	D. Hiruma, R. Onishi, K. Takahashi and K. Fukagata, Sensitivity Study on Storm Modulation through a Strategic Use of Consumer Air Conditioners, Atmospheric Science Letters, First published: 30 March 2022	https://doi.org/10.1002/asl.1091	国際誌	発表済	
2021	浅野志穂, "地すべり移動観測における長スパン地表伸縮計適用の検討", 関東森林研究, 2021.03, 721, pp.177-178		国内誌	発表済	
2021	Katsuo Sasahara, Nobutaka Hiraoka, Naotaka Kikkawa, Kazuya Itoh, "Development of the surface displacement velocity in a full-scale loamy model slope under multistep excavation", Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 2021.24, 80-, pp.4389-4403	10.1007/s10064-021-02226-1	国際誌	発表済	
2022	Jiawei Xu, Kyohei Ueda, and Ryosuke Uzuoka, "Evaluation of failure of slopes with shaking-induced cracks in response to rainfall", Landslides, 2022.01, 191, pp.119-136	https://doi.org/10.1007/s10346-021-01734-1	国際誌	発表済	
2022	Jiawei Xu, Kyohei Ueda, Ryosuke Uzuoka, Numerical modeling of seepage and deformation of unsaturated slope subjected to post-earthquake rainfall, Computers and Geotechnics, 2022, 148, 104791	https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2022.104791	国際誌	発表済	

2022	Katsuo Sasahara: A relation for accelerating deformation of sandy soil and its application to predict the time to failure of a sandy model slope under repeated rainfall, Environmental Earth Sciences, 81:208, 2022.	https://doi.org/10.1007/s12665-022-10322-y	国際誌	発表済	
2022	Katsuo Sasahara: Development of the surface displacement during repeated rainfalls in sandy model slopes: conditions for the increase of the displacement to failure, Landslides,	https://doi.org/10.1007/s10346-022-01932-5	国際誌	発表済	
2022	Katsuo Sasahara: Development of the shear displacement of sandy soil due to absorption under constant shear stress for creep failure, Scientific reports, 12:15081	10.1038/s41598-022-19287-1	国際誌	発表済	
2023	Jayakody, S.H.S., Uzuoka, R., Ueda, K. et al. Unsaturated slopes behavior under antecedent intermittent rainfall patterns: centrifuge and numerical study. Acta Geotechnica	https://doi.org/10.1007/s11440-023-02017-w	国際誌	発表済	
2023	Imaya Ariyaratna, Katsuo Sasahara. Data extraction method for better failure time prediction of landslides. International Journal of Advances in Structural and Geotechnical Engineering, Volume 07 Issue 1, 2023	https://doi.org/10.21608/asge.2023.218446.1054	国際誌	発表済	
2024	Karunarathna, S., Goto, S., Bandaranayake, S., Bandara, P. (2024). Identification of the complete particle size distribution of landslide debris by the combined method of scaled image analysis, line-grid analysis and laboratory sieve analysis. Geoenvironmental Disasters 11, 8. https://doi.org/10.1186/s40677-024-00270-z .	https://doi.org/10.1186/s40677-024-00270-z	国際誌	発表済	
2024	S.H.S. Jayakody, Ryosuke Uzuoka, Kyohei Ueda, Effect of groundwater dynamics in rain-induced landslides: centrifuge and numerical study, Soils and Foundations, 2024, 64, 4, 101482.	https://doi.org/10.1016/j.sandf.2024.101482	国際誌	発表済	

著作物数 18 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
2019	Khang Dang, Kyoji Sassa, Kiyoharu Hirota, Kazuo Konagai, Duc Ha Nguyen, Huy Loi Doan, "Preliminary Simulation for Kure Landslide Triggered by Heavy Rainfall of July 2018" Proceedings of 58th Annual Meeting of Japan Landslide Society, 21-22 August 2019, pp.81-82	プロシーディング	発表済	
2019	Kyoji Sassa, Kazuo Konagai, Kiyoharu Hirota, Asiri Karunawardena, Japan-Sri Lanka SATREPS Project "Development of Early Warning Technology of Rain-induced Rapid and Long-travelling Landslides". Proceedings of 58th Annual Meeting of Japan Landslide Society, 21-22 August 2019, pp. 147-148	プロシーディング	発表済	
2020	Khang Dang, Doan Huy Loi, Kyoji Sassa, Do Minh Duc, Nguyen Duc Ha. Hazard assessment of a rainfall-induced deep-seated landslide in Hakha city, Myanmar. Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk (Binod Tiwari, Kyoji Sassa, Peter Bobrowsky, Kaoru Takara, eds). Springer, Cham. Vol. 4 Testing, Modeling and Risk Assessment, pp 249-257, 2021	書籍	発表済	
2020	Doan Huy Loi, Kyoji Sassa, Khang Dang, Le Hong Luong. Landslide hazard zoning based on the integrated simulation model (LS-Rapid). Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk (Binod Tiwari, Kyoji Sassa, Peter Bobrowsky, Kaoru Takara, eds). Springer, Cham, Vol. 4 Testing, Modeling and Risk Assessment, pp 259-266, 2021	書籍	発表済	
2020	Kyoji Sassa, Matjaž Mikoš, Shinji Sassa, Peter T. Bobrowsky, Kaoru Takara, Khang Dang, eds. Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk. Volume 1 Sendai Landslide Partnerships and Kyoto Landslide Commitment. Springer, Cham, 2021	書籍	発表済	

2020	肥留間大輔、大西領、深淵康二、高橋桂子、数値感度実験による線状降水帯の可制御性解析、ながれ、2020、39、324-327			発表済	流体力学学会年会2020の発表260研の中から「注目研究 in 年会2020」として選ばれた10件の一つ
2021	Kumiko Fujita "Introducing Japanese Landslide Warning System to Sri Lanka: Analyzing the Social Differences for Successful Technology Transfer" in Impact of Climate Change, Land Use and Land Cover, and Socio-economic Dynamics on Landslides. Disaster Risk Reduction (Methods, Approaches and Practices). Springer, Singapore. Editors: Raju Sarkar, Rajib Shaw, and Biswajeet Pradhan, Springer, (2022) Pages 397-412 https://doi.org/10.1007/978-981-16-7314-6_17		International	発表済	https://doi.org/10.1007/978-981-16-7314-6_17
2022	Doan Huy Loi, S.H.S Jayakody, and Kyoji Sassa, Teaching Tool "Undrained dynamic loading ring shear testing with video". Progress in Landslide Research and Technology, Vol.1, No.2		書籍	発表済	https://doi.org/10.1007/978-3-031-18471-0_25
2022	S.H.S. Jayakody, Ryosuke Uzuoka, and Kyohei Ueda, Centrifuge modelling of slopes under intermittent rainfall conditions, Proceedings of International Conference of Physical Modelling Geotechnics, South Korea, Sep 2022.		International	発表済	https://www.issmge.org/publications/publication/centrifuge-modelling-of-silty-sand-slopes-under-intermittent-rainfall-conditions
2022	Onishi, R., Hirai, J., Kolomenskiy, D., Yasuda, Y. (2023). Real-Time High-Resolution Prediction of Orographic Rainfall for Early Warning of Landslides. In: Sassa, K., Konagai, K., Tiwari, B., Arbanas, Ž., Sassa, S. (eds) Progress in Landslide Research and Technology, Volume 1 Issue 1, pp. 237-248, 2022		書籍	発表済	https://doi.org/10.1007/978-3-031-16898-7_17

2023	Ajmera B, Ahari H.E, Loi D.H, Setiawan H, Dang K, Sassa K (2023) LS-RAPID Manual with Video Tutorials. In: Sassa K, Konagai K, Tiwari B, Arbanas Ž, Sassa S (eds) Progress in Landslide Research and Technology, Volume 1 Issue 1, 2022. Progress in Landslide Research and Technology. Springer, Cham		書籍	発表済	https://doi.org/10.1007/978-3-031-16898-7_26
2023	Kyoji Sassa, Loi Doan, Khang Dang, and Pham Tien (2023) Sliding-Surface Liquefaction and Undrained Steady-State Shear-Strength. In: Alcántara-Ayala, I., et al. Progress in Landslide Research and Technology, Volume 2 Issue 1, 2023. Progress in Landslide Research and Technology. Springer, Cham.		書籍	発表済	https://doi.org/10.1007/978-3-031-39012-8_2
2023	Higaki D, Hirota K, Dang K, Nakai S, Kaibori M, Matsumoto S, Yamada M, Tsuchiya S & Sassa K (2023) Landslides and Countermeasures in Western Japan: Historical Largest Landslide in Unzen and Earthquake-Induced Landslides in Aso, and Rain-Induced Landslides in Hiroshima. In: Irasema Alcántara-Ayala, Željko Arbanas, Sabatino Cuomo, David Huntley, Kazuo Konagai, Snježana Mihalić Arbanas, Matjaž Mikoš, Kyoji Sassa, Shinji Sassa, Huiming Tang, Binod Tiwari. Progress in Landslide Research and Technology, Volume 1 Issue 2, 2023. Springer, Cham.		書籍	発表済	https://doi.org/10.1007/978-3-031-18471-0_22
2023	Khang Dang, Kyoji Sassa & Doan Huy Loi (2023) Teaching Tool for LS-Tsunami. In: Alcántara-Ayala, I., et al. Progress in Landslide Research and Technology, Volume 2 Issue 2, 2023. Springer, Cham.		書籍	発表済	https://doi.org/10.1007/978-3-031-44296-4_22
2023	Bandara H.A.A.I.S and Onishi R (2023) High Resolution Numerical Weather Simulation for Orographic Precipitation as an Accurate Early Warning Tool for Landslide Vulnerable Terrains, Progress in Landslide Research and Technology, 2(2), 239-246.		書籍	発表済	https://doi.org/10.1007/978-3-031-18471-0_22
2023	Imaya Ariyaratna, Katsuo Sasahara. Procedure of Data Processing for the Improvement of Failure Time Prediction of a Landslide Based on the Velocity and Acceleration of the Displacement. In: Sassa, K., Konagai, K., Tiwari, B., Arbanas, Ž., Sassa, S. (eds), Progress in Landslide Research and Technology, Springer, Cham. Volume 2 Issue 2, 2023		書籍	発表済	https://doi.org/10.1007/978-3-031-44296-4_14
2024	Karunaratna, S., Bandara, P., Goto, S., Bandaranayake, S. (2024). Identification of potential natural slope failure zones by geomorphological analyses using raster slope shading of LIDAR; case study from Kegalle, Sri Lanka. Progress in Landslide Research and Technology, Volume 3 Issue 1.		書籍	発表済	https://doi.org/10.1007/978-3-031-55120-8_26
2024	Fujita, K. (2024). Introducing Japanese Landslide Warning and Evacuation System to Sri Lanka: Field Survey of Social Aspect in the Arayanake Area. In: Abolmasov, B., et al. Progress in Landslide Research and Technology, Volume 3 Issue 1, 2024.		書籍	発表済	https://doi.org/10.1007/978-3-031-55120-8_16
2024	Miyagi, T. et al. (2024). Interpretation and Mapping for the Prediction of Sites at Risk of Landslide Disasters: From Aerial Photography to Detection by DTMs. In: Abolmasov, B., et al. Progress in Landslide Research and Technology, Volume 3 Issue 1, 2024.		書籍	発表済	https://doi.org/10.1007/978-3-031-55120-8_2
2024	Pham Van Tien, Tran Thanh Nhan, Le Hong Luong, Tran Quoc Cuong (2024) Physical mechanism and numerical simulation of landslide dam formation. Progress in Landslide Research and Technology, Volume 3 Issue 1, 2024.		書籍	発表済	https://doi.org/10.1007/978-3-031-55120-8_29
2024	Jayakody, S.H.S., Uzuoka, R., Ueda, K. et al. Centrifuge Modeling of Slopes Subjected to Groundwater Flow and Rainfall Infiltration. Progress in Landslide Research and Technology, Volume 3 Issue 1, 2024		書籍	発表済	https://doi.org/10.1007/978-3-031-55120-8_10
2024	D. M. D. S. Dissanayaka, A. R. P. Weerasinghe, S. H. S. Jayakody, Shino Asano & K. N. Bandara., Assessment of the Structural Geological, Hydrogeological, and Geomorphological Relationships of the Athwelthota Landslide, Sri Lanka. In: Abolmasov, B., et al. Progress in Landslide Research and Technology, 2024, Volume 3 Issue 1, pp 307-315		書籍	発表済	https://doi.org/10.1007/978-3-031-55120-8_21

2024	A. R. P. Weerasinghe, S. H. S. Jayakody, N. P. G. Amali, H. R. Maduranga & Doan Huy Loi., Assessing the Potential Rapid and Long Travelling Landslides in Sri Lanka: A Case Study of Athwelthota Landslide. In: Abolmasov, B., et al. Progress in Landslide Research and Technology, 2024, Volume 3 Issue 1, pp 379-385		書籍	発表済	https://doi.org/10.1007/978-3-031-55120-8_27
2024	Ryo Onishi, Bandara H. A.A.I.S., Koki Matsumoto, High-resolution rainfall simulations for early warning of long-traveling landslides in Sri Lanka, Progress in Landslide Research and Technology, Volume 4 Issue 1.		書籍	accepted	
2024	Konagai, K., et al. (2025) Implementation of the Early Warning Technology for Rain-Induced Rapid and Long-Traveling Landslides in Sri Lanka, Progress in Landslide Research and Technology, Volume 4 Issue 1.		書籍	accepted	

著作物数 25 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
2019	国内学会	Kyoji Sassa, Kazuo Konagai, Kiyoharu Hirota, Asiri Karunawardena (2019) Japan-Sri Lanka SATREPS Project "Development of early warning technology of rain-induced rapid and long-travelling landslides". Proceedings of 58th Annual Meeting of Japan Landslide Society, 21-22 August 2019, pp. 147-148	口頭発表
2019	国際学会	Kazuo Konagai, Asiri Karunawardena, A A Virajh Dias, Kyoji Sassa, Khang Dang (2019) Development of early warning technology of rain-induced rapid and long-travelling landslides in Sri Lanka. Proceedings of 2019 IPL Symposium on Landslides, 16-19 September 2019, pp. 277-283. ISBN 978-4-9903382-5-1	口頭発表
2021	国際学会	Kazuo Konagai "SATREPS project for Sri Lanka with regard to "Development of early warning technology of Rain-induced Rapid and Long-travelling Landslides", " The Fifth World Landslide Forum, Kyoto, Japan, Nov. 2021	口頭発表
2021	国際学会	Imaya Ariyaratna, E.J.M.P.H.Jayasundara, K.P.G.W.Senadheera, H.A.G.Jayathissa, Katsuo Sasahara "Early warning system against rainfall-induced landslide in Sri Lanka," The Fifth World Landslide Forum, Japan, 2021.11.2~6	口頭発表
2021	国際学会	S.H.S. Jayakody and Ryosuke Uzuoka, Porewater Pressure Analysis of slopes subjected to rainfall patterns, World Landslide Forum 5, Kyoto, Japan, 04-06 Nov 2021	口頭発表
2022	国内学会	浅野志穂(森林総合研究所)・大塚雅之((株)オサシ・テクノス)・森田昇吾(国土防災技術(株))・Sanchitha Jayakody(京大)・Suranga Dissanayaka(NBRO)・Ranjan Weerasinghe(NBRO)・Lahiru Sankapala(NBRO)、アトウエルソタ地区における森林斜面の傾斜量モニタリング、関東森林学会(大会講演要旨集、12:21)、東京(オンライン)、10/25	ポスター発表
2022	国内学会	浅野志穂(森林総合研究所)・森田昇吾(国土防災技術(株))・大塚雅之((株)オサシ・テクノス)・Sanchitha Jayakody(NBRO,京都大学)・K.N.Bandara(NBRO)・鈴木拓郎(森林総合研究所)、スリランカ中山間地の地すべり斜面における降雨・斜面変位観測、日本地すべり学会(研究発表会講演集、61:196-197(P-20))、福岡、9/28~9/29	ポスター発表
2023	国際学会	Kazuo Konagai, Asiri Karnawardena, Kyoji Sassa, "Development of early warning technology for rain-induced rapid and long traveling landslides in Sri Lanka -- Predict catastrophic landslides a day in advance --" The Sixth World Landslide Forum, November 14-17, 2023, University of Florence, Italy	口頭発表
2023	国際学会	Koji Matsunami and Ranjan Weerasinghe "Development of a new integrated earthquake-ground tilt-rainfall monitoring system in Sri Lanka" The Sixth World Landslide Forum, November 14-17, 2023, University of Florence, Italy	口頭発表
2023	国際学会	Ryo Onishi(TokyoTech), Anuththara Bandara(TokyoTech/NBRO), Koki Matsumoto(TokyoTech), Yuki Yasuda(TokyoTech), Super-resolution of rainfall prediction maps for realtime warning of local landslides, Landslide Technical Forum, Bandaranaike Memorial International Conference Hall (Colombo, SriLanka), 25 August 2023	口頭発表
2023	国際学会	Anuththara Bandara(TokyoTech/NBRO), Ryo Onishi(TokyoTech), Super-resolution simulation for real-time operational predictions of orographic precipitation in Sri Lanka, Landslide Technical Forum, Bandaranaike Memorial International Conference Hall (Colombo, SriLanka), 26 August 2023	口頭発表
2023	国際学会	ASANO Shiho(FFPRI), MORITA Shogo(JCE), OOTSUKA Masayuki(OSASI Tecnos), Suranga Dissanayake, A.G.R.P. Weerasinghe(NBRO), S.H.S. Jayakody(NBRO, Kyoto Univ), "Observation of slope deformation around the landslide in Athwelthota in Sri Lanka", The Sixth World Landslide Forum, November 14-17, 2023, University of Florence, Italy	ポスター発表
2023	国際学会	D.M.D.S. Dissanayake, A.R.P. Weerasinghe, S.H.S. Jayakody(NBRO), ASANO Shiho(FFPRI), K.N. Bandara(NBRO), "Assessment of the structural geological, hydrological, and geomorphological relationship that contribute to the formation of an unstable slope in the Athwelthota landslide located in Baduraliya, Sri Lanka", The Sixth World Landslide Forum, November 14-17, 2023, University of Florence, Italy	口頭発表
2023	国内学会	浅野志穂(森林総合研究所), 森田昇吾(国土防災技術(株)), Ranjan Weerasinghe(NBRO), Surange Dissanayaka(NBRO), 岩上英樹, 大塚雅之, 林田翔太(オサシ・テクノス), Sanchitha Jayakody(NBRO, Kyoto Univ.), 鈴木拓郎(森林総合研究所), "アトウエルソタ地区の不安定斜面の地盤構造と変位", 第62回(2023年度)日本地すべり学会研究発表会, 高山市民文化会館, 岐阜県高山市, 2023/9/19~9/22	ポスター発表

2023	国内学会	浅野志穂(森林総合研究所), 森田昇吾(国土防災技術(株)), 齋藤智則(大起理化工業(株)), Surange Dissanyaka(NBRO), Ranjan Weerasinghe(NBRO), Sanchitha Jayakody(NBRO,Kyoto Univ.), "アトウェルソタ地区における変動斜面の地中水モニタリング", 第13回関東森林学会大会, 山梨県JA会館, 山梨県甲府市, 2023/11/2	口頭発表
------	------	--	------

招待講演 0件
口頭発表 11件
ポスター発表 2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
2019	国内学会	Khang Dang, Kyoji SASSA, Kiyoharu HIROTA, Kazuo KONAGAI, Duc Ha NGUYENH, Huy Loi DOAN "Preliminary simulation for Kure landslide triggered by heavy rainfall of July 2018" Proceedings of 58th Annual Meeting of Japan Landslide Society, 21-22 August 2019, pp.81-82	口頭発表
2020	国内学会	Doan Huy Loi, Can the Landslide Induced Tsunami Be Reproduced by the Centrifuge Model Tests?, Disaster Prevention Research Institute Annual meeting 2021, Kyoto University, 2/2021	口頭発表
2020	国内学会	肥留間大輔(慶應大)、○大西領(東工大)、深淵康二(慶應大)、高橋桂子(JAMSTEC)、数値感度実験による線状降水帯の可制御性解析、日本流体力学会年会2020、山口大学(オンライン開催)、2020/9/18	口頭発表
2020	国内学会	平井文(東工大)、大西領(東工大)、山岳降雨に及ぼす雲内乱流効果の数値解析、第4回海洋地球科学シミュレーションワークショップ、オンライン開催、2021/3/23	口頭発表
2020	国内学会	大西領(東工大)、Dmitry Kolomenskiy(東工大)、スリランカにおける斜面豪雨予測システムの開発、第4回海洋地球科学シミュレーションワークショップ、オンライン開催、2021/3/23	口頭発表
2020	国内学会	笹原克夫:異なる斜面条件を有する砂質模型斜面の変位速度-加速度関係、第55回地盤工学研究発表会、オンライン、2020/7/21-23	口頭発表
2020	国内学会	笹原克夫:地下水水位上昇速度が異なる砂質斜面の変位速度と崩壊時刻、日本地すべり学会 第59回研究発表会、CD-ROM配布、2020/9/16-18	口頭発表
2020	国内学会	浅野志穂、壁谷直記、萩野裕章、黒川潮((国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所)、森林伐採による斜面表層水分の降雨応答の変化観測、日本森林学会大会、東京都府中市(オンライン)、3月19日~23日	ポスター発表
2021	国際学会	Ryo Onishi "Technology development of reliable rainfall prediction in mountain regions of Sri Lanka," The Fifth World Landslide Forum, Kyoto, Japan, Nov. 2021	口頭発表
2021	国際学会	Shiho Asano "Strategy for monitoring creeping movements of unstable soil masses triggered by heavy rain at pilot sites in tropical forested mountain," The Fifth World Landslide Forum, Kyoto, Japan, Nov. 2021	口頭発表
2021	国際学会	Ryosuke Uzuoka "Porewater pressure build-up of slopes subjected to different rainfall conditions by centrifuge modelling," The Fifth World Landslide Forum, Kyoto, Japan, Nov. 2021	口頭発表
2021	国際学会	Kumiko Fujita, "Starting International Joint Research for Landslide Disaster Risk Reduction: The Use of Japanese Warning Technology Considering the Social Differences in Sri Lanka and Japan". WLF5, Kyoto, Japan, Nov. 2021	口頭発表
2021	国際学会	Doan Huy Loi, Landslide hazard zoning based on the integrated simulation model (LS-Rapid), WLF5, Kyoto, Japan, Nov. 2021	口頭発表
2021	国際学会	Ngoc Ha DO, Satoshi GOTO, Hiroataka OCHIAI, Shiho ASANO, Huy Loi DOAN, Junji YOSHIDA, Shear band formation observed in a rainfall induced landslide in a flume experiment on weathered granite, WLF5, Kyoto, Japan, Nov. 2021 sand	ポスター発表
2021	国内学会	Doan Huy Loi, Study the Coastal Landslide Induced Tsunami by the Centrifuge Model Tests, DPRI Annual meeting 2022, Kyoto, 2/2022	口頭発表
2021	国際学会	S.H.S. Jayakody and Ryosuke Uzuoka, Porewater Pressure Analysis of slopes subjected to rainfall patterns, World Landslide Forum 5, Kyoto, Japan, 04-06 Nov 2021	口頭発表

2021	国際学会	Khang Dang, Doan Huy Loi, Kyoji Sassa, Do Minh Duc, Nguyen Duc Ha. Hazard Assessment of a Rainfall-Induced Deep-Seated Landslide in Hakha City, Myanmar. The Fifth World Landslide Forum, 2-6 November 2021, Kyoto, Japan	口頭発表
2021	国内学会	平井 丈, 大西 領, Kolomenskiy Dmitry, 山岳降雨に及ぼす雲内乱流効果の数値解析、気象学会春季大会、2021/5/19	口頭発表
2021	国際学会	R. Onishi(東工大), D. Kolomenskiy(東工大, Skoltech), J. Hirai(東工大), Technology development of reliable rainfall prediction in mountain regions of Sri Lanka, The Fifth World Landslide Forum (WLF2021), Kyoto, 2021/11/6	口頭発表
2021	国内学会	大西領、微気象制御学と気象制御、ムーンショットセミナー、気象制御可能性検討セミナー、理化学研究所(オンライン)、2021/6/23	招待講演
2021	国際学会	Jiawei Xu, Ryosuke Uzuoka, and Kyohei Ueda. Seepage and deformation of unsaturated slope during post-earthquake rainfall, World Landslide Forum 5, Kyoto, Japan, 04-06 Nov 2021.	口頭発表
2021	国際学会	Jiawei Xu, Kyohei Ueda, and Ryosuke Uzuoka. Centrifuge model tests on the failure of slopes during post-earthquake rainfall. 3rd Asian Conference on Physical Modelling in Geotechnics (Asifuge), Singapore, 18-19 Nov 2021.	口頭発表
2021	国内学会	浅野志穂、Do Ngoc Ha(山梨大学)、瀧本圭介(五大開発(株))、自動追尾型トータルステーションによる海外での地すべり変位計測の課題、日本地すべり学会研究発表会、北海道札幌市(オンライン)、9月15日~16日	ポスター発表
2021	国際学会	ASANO Shiho, Role of forestry conservation for landslide prevention, The Fifth World Landslide Forum、京都市、11月4日~6日	口頭発表
2021	国内学会	Imaya ARIYARATHNA, Katsuo SASAHARA: Prediction of Failure Time based on Velocity and Acceleration of Surface Displacement in Sandy Model Slope, 日本地すべり学会第60回研究発表会, Web, 2021.9.15~16	口頭発表
2021	国内学会	笹原克夫: 変位の計測に基づく崩壊予測—変位の増加から崩壊に至る条件—, 日本地すべり学会第60回研究発表会, Web, 2021.9.15~16	口頭発表
2021	国際学会	Katsuo Sasahara: Velocity and Acceleration of Surface Displacement in Sandy Model Slope with Various Slope Conditions, The Fifth World Landslide Forum, Japan, 2021.11.2~6	口頭発表
2021	国際学会	Naoki Iwata, Katsuo Sasahara: Influence of Intervals Measuring Surface Displacement on Time Prediction of Slope Failure Using Fukuzono Method, The Fifth World Landslide Forum, Japan, 2021.11.2~6	口頭発表
2021	国際学会	Imaya Ariyaratna, Katsuo Sasahara: Prediction of Failure Time based on Velocity and Acceleration of Surface Displacement in Sandy Model, The Fifth World Landslide Forum, Japan, 2021.11.2~6	口頭発表
2022	国内学会	笹原克夫: せん断応力一定条件下の砂質土への給水によるせん断変位の進行—クリープ破壊の発生条件—, 第57回地盤工学研究発表会, 新潟市及びオンライン, 2022.7.20-22	口頭発表
2022	国内学会	平井丈、大西領、山岳降雨に及ぼす雲内乱流効果の数値解析、流体力学会、京都大学、2022年9月29日	口頭発表
2022	国内学会	大西領、マイクロスケール気象現象に潜む非平衡現象に対する数値研究、JSPS日仏国際共同研究、2022年12月22日	口頭発表
2022	国内学会	大西領、MSSGモデルの応用と発展、MSSGワークショップ、AP東京丸の内、2023年3月23日	口頭発表
2022	国際学会	Jayakody, S.H.S., Uzuoka, R., Ueda, K., Centrifuge modelling of slopes under intermittent rainfall conditions, ICPMG 2022, 10th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics, September 2022 / KAIST, Daejeon, Korea	口頭発表
2022	国際学会	Jayakody, S.H.S., Uzuoka, R., Ueda, K., Evaluation of slopes subjected to intermittent rainfall conditions, 15th World Congress on Computational Mechanics (WCCM-XV), August 2022 / Yokohama, Japan	口頭発表

2021	国内学会	S.H.S. Jayakody, Kyohei Ueda and Ryosuke Uzuoka, Centrifuge modelling of slopes subjected to intermittent rainfall infiltration conditions, Disaster Prevention Research Institute Annual meeting 2022, DPRI (virtual) Kyoto University, Japan, 21–22 Feb 2022	口頭発表
2022	国内学会	S.H.S. Jayakody, Ryosuke Uzuoka, and Kyohei Ueda, Centrifuge modelling of unsaturated slopes subjected to the integrated effect of groundwater and rainfall infiltration, Disaster Prevention Research Institute Annual meeting 2023, DPRI (virtual) Kyoto University, Japan, 21–22 Feb 2023	ポスター発表
2023	国際学会	Kazuo Konagai, “Introduction to the SATREPS project: Development of early warning technology for rain-induced rapid and long-traveling landslides in Sri Lanka (Project RRLL)”. Landslide Technical Forum. August 25–26, 2023, National Building Research Organization, Colombo, Sri Lanka.	口頭発表
2023	国際学会	Kumiko Fujita (2023) “Introducing Japanese landslide warning system to Sri Lanka: field survey for analyzing the availability of map interpretation for successful technology transfer”. The Sixth World Landslide Forum, November 14–17, 2023, University of Florence, Italy	口頭発表
2023	国際学会	Khang Dang, Duc Do, Duc Dao, Toan Duong (2023) Study on technology for forecasting and early warning large-scale landslides in Vietnam’s hilly Areas. The Sixth World Landslide Forum, November 14–17, 2023, University of Florence, Italy	口頭発表
2023	国際学会	Loi Doan, “Rain-induced rapid and long-travelling landslides – A case study in the Atami District, Shizuoka Prefecture, Japan”. The Sixth World Landslide Forum, November 14–17, 2023, University of Florence, Italy	口頭発表
2023	国際学会	Karunaratna, S., Goto, S. (2023, November 14–17). Potential damage zone prediction of rain-induced rapid and long traveling landslides in Sri Lanka, based upon debris flow analysis combining cellular automation and multi-agent models [conference abstract]. Session 1.1–International program on landslides and global and international activities for KLC2020 (part II), 6th World Landslide Forum, Florence, Italy. https://webapp.oicgroup.it/wlf6/abstract/15/1.1-19.pdf	口頭発表
2023	国際学会	Anuththara Bandara (TokyoTech/NBRO), Ryo Onishi (TokyoTech), Super-resolution simulation for real-time operational predictions of orographic precipitation in Sri Lanka, WLF6, Florence Italy, 15th November 2023	口頭発表
2023	国内学会	Karunaratna, S., Goto, S., Bandara, P., Bandara, G. (2023, September 19–22). Investigating a wide range of particle size distribution in landslide debris; case study from Bopatta Landslide, Sri Lanka [conference paper]. 62th domestic conference of Japan Landslide Society, Takayama, Gifu, Japan.	口頭発表
2023	国内学会	Karunaratna, S., Bandara, P., Goto, S., Bandaranayake, S. (2023, November 03–05). Identification of the potential natural shallow slope failures by raster plan curvature technique; case study from Kegalle, Sri Lanka [conference abstract]. JGU Meeting Abstracts – Vol. 4, no. 1, 2023, page 13, Japan Geomorphological Union, Goto, Nagasaki, Japan. http://jgu.jp/content/files/pdf/abstract_4.pdf	口頭発表
2023	国際学会	Bandara H.A.A.I.S., “Super-Resolution Simulation for Real-time Operational Predictions of Orographic Precipitation in Sri Lanka”. The Sixth World Landslide Forum, November 14–17, 2023, University of Florence, Italy	口頭発表
2023	国際学会	Bandara H.A.A.I.S., “Integrated technology of numerical weather simulation and machine learning for orographic rainfall prediction in Sri Lanka”. Landslide Technical Forum. August 25–26, 2023, National Building Research Organization, Colombo, Sri Lanka.	口頭発表
2023	国内学会	Bandara H.A.A.I.S., “Integrated Technology of Numerical Weather Simulation and Machine Learning for Orographic Rainfall Prediction in Sri Lanka”, Computational Fluid Dynamics Symposium, December ,2023 15–17, Nagoya University.	口頭発表
2023	国際学会	Bandaranayake, S., Goto, S., Karunaratna, S., Bandara, P. (2023, November 14–17) Development of landslide susceptibility map by introducing the factor of safety Model in Sri Lanka [conference abstract], Poster Session 1, P1.1, The 6th World Landslide Forum, Florence, Italy. https://posterit.it/get-posters/WCRLTAKQBMHDEZVU/en	ポスター発表
2023	国内学会	Bandaranayake, S., Goto, S., Karunaratna, S., (2023, September 19–22) Evaluating the soil water characteristics parameters in Landslide prone areas in Aranayaka, Kegalle, Sri Lanka [conference paper], 62nd Domestic Conference of Japan Landslide Society, Takayama, Gifu, Japan.	口頭発表

2023	国内学会	Bandaranayake, S., Goto, S., Karunaratana, S., (2023, November 03-05) Landslide Susceptibility Mapping based on Geo-information techniques in Sri Lanka [conference abstract], JGU Meeting Abstracts – Vol. 4, no.1, 2023, page 12, Japan Geomorphological Union, Goto, Nagasaki, Japan. http://jgu.jp/content/files/pdf/abstract_4.pdf	口頭発表
2024	国内学会	Bandaranayake, S., Goto, S., Karunaratana, S., Bandara, P. (2024, July 22-26) A Case study on rain-induced landslide in Ganthuna Udagama Village in Kegalle District, Sri Lanka on 17th of May 2016 [conference paper], The 59th Domestic Conference of Japanese Geotechnical Society, Asahikawa, Hokkaido, Japan (To be published).	口頭発表
2023	国際学会	Ryo Onishi(TokyoTech), Keisuke Sumitomo(TokyoTech), Keita Okabe(TokyoTech), Masaya Iwashima(TokyoTech), Keigo Matsuda(JAMSTEC), Microscopic simulations using Lagrangian Cloud Simulator (LCS) for investigation into inherent uncertainties in macroscopic cloud development, 3rd International workshop on Cloud Turbulence, NITECH (Nagoya, Japan), 15 March 2023	招待講演
2023	国際学会	Jayakody, S.H.S., Uzuoka, R., Ueda, K., Centrifuge modelling of unsaturated slopes subjected to the integrated effect of groundwater and rainfall infiltration, 8th International Conference on Unsaturated Soils – UNSAT, Milos, Greece, 10.1051/e3sconf/202338210003, May 2023.	口頭発表
2023	国際学会	Jayakody, S.H.S., Uzuoka, R., Ueda, K. et al. Centrifuge Modeling of Slopes Subjected to Groundwater Flow and Rainfall Infiltration. 6th World Landslide Forum, Florance, Italy, November 2023.	口頭発表
2023	国際学会	Katsuo Sasahara: Prediction of the movement of a landslide for the early warning system against disaster in Japan, Asia Pacific Conference of the Prognostics and Health Management Society 2023, Tokyo, Sep. 11-14, 2023	招待講演
2024	国内学会	吉川遼祐(京都大学)、Sanchitha Jayakody、渦岡良介、上田恭平、不飽和斜面の降雨時の浸透と変形に対する粒子フィルタの適用性、第27回応用力学シンポジウム、岡山、2024年5月25日	口頭発表
2024	国内学会	渦岡良介(京都大学)、吉川遼祐、Sanchitha Jayakody、上田恭平、不飽和斜面の地下水浸透と降雨時の変形に対する粒子フィルタを用いた逐次データ同化、第29回計算工学講演会、神戸、2024年6月10日	口頭発表
2024	国内学会	ジャヤコディ サンチッタ(京都大学)、渦岡良介、上田恭平、Centrifuge modeling of rain-induced landslides under the recharge groundwater flow、第59回地盤工学研究発表会、旭川、2024年7月23日	口頭発表
2024	国内学会	CHODEN YESHEY(京都大学)、JAYAKODY SANCHITHA、渦岡良介、上田恭平、Analysis of Rainfall Infiltration in Unsaturated Soil Slopes、第59回地盤工学研究発表会、旭川、2024年7月23日	口頭発表
2024	国際学会	Yeshey Choden (Kyoto University), Sanchitha S.H. Jayakody, Ryosuke Uzuoka Assessment of Empirical Infiltration Models Against Experimental Data in Rainfall-Triggered Slope Failures, The 6th JAP-KOR Joint Workshop on Unsaturated Soils, Kobe, 2024.8.29.	口頭発表
2024	国際学会	Sanchitha Jayakody (Kyoto University), Ryosuke Uzuoka, Kyohei Ueda, Impact of Groundwater Flow Recharge in Rain-Induced Landslides, The 9 th Taiwan – Japan Joint Workshop on Geotechnical Hazards from Large Earthquakes and Heavy Rainfalls Integrating Urban Geo-informatics, Taichung, 2024.9.25.	口頭発表
2024	国内学会	松本康暉、大西領、現実の斜面降雨イベントにおける雲乱流効果、第38回数値流体力学シンポジウム、東京大学生産技術研究所、2024年12月11-13日	口頭発表

招待講演	3 件
口頭発表	55 件
ポスター発表	5 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
2020	12月15日	Project RRLM中間報告会	京都大学防災研究所	約40人	公開	各メンバーの進行中の研究発表、先行研究発表
2021	4月21日	第1回Landslide technical Forum	オンライン	約45人	公開	各メンバーの進行中の研究発表、先行研究Project SABOのメンバーからの研究発表
2021	11月6日	RRLM Project SATREPS Session (第2回Landslide technical Forum)	京都国際会館 (日本)	約30人	公開	各メンバーの進行中の研究発表、先行研究Project SABOのメンバーからの研究発表 災害管理センター(DMC)の活動について紹介
2022	11月26日	SATREPS-Sri Lanka Project Workshop (2021 ICL-IPL-KLC2020 Hybrid Conference)	芝蘭会館別館(国際交流会館) (日本)	約30人	公開	長期研修生を中心にこれまでの研究成果と今後の研究方針を発表
2022	11月26-29日	SATREPS Sri Lanka Project Field Trip	広島、雲仙、阿蘇 (日本)	11人	非公開	スリランカのカウンターパート機関NBROのメンバーなど関係者の、日本における長距離土砂流動の現場の視察
2022	2023年2月8日-3月7日	MSSG短期研修	東京工業大学	4人(短期招聘2人+長期研修生2人)	非公開	山地でに気象予測に用いるソフトウェアMSSGの講習会
2022	2023年2月8日-3月7日	短期研修(RRLM, LS Rapid, 地震計)	京都	短期研修生3名	非公開	リングせん断試験機、長距離土砂流動(RRLM)の土砂流動過程を再現するソフトウェア(LS Rapid)、および地震観測のためのシステムの講習会
2023	8月25・26日	第3回Landslide Technical Forum	Jasmine Hall, BMICH, SL	約80	公開	Symposium on Development of Early Warning Technology for Rapid and Long Traveling Landslides
2023	2024年2月16日	Explanatory sessions of SATREPS Project RRLM for DMC and DS officers	DS Aranayake, SL	22	公開	Major participants- Kegalle D.S Office, Aranayake DS office, DMC, Kegalle, National Disaster Relief Service Center (Kegalle)
2023	2024年2月17日	Explanatory sessions of SATREPS Project RRLM for GN community people		20	公開	Community people (Debathgama pallegage, Debathgama Udabage and Elagapitiya GN) Monk, Rathnajothi Temple Ms. DO officer (Debathgama Udabage GN)
2023	2024年3月26日	Workshop for local officers	DS Aranayake, SL	39	公開	Introducing Augmented Reality
2023	2024年3月27日	Workshop for Hathgampala Primary School	Hathgampala Primary School	60	公開	Grade 5 pupils, Town watching
2023	2024年03月28日	Workshop for Hathgampala Secondary School	Hathgampala Secondary School	41	公開	Town watching (Village watching)
2024	8月9日	Explanatory sessions of SATREPS Project RRLM for GN community leaders, DMC and DS officers	DS Aranayake, SL	41	公開	各村の代表者、DS Aranayake, DMC Kegalleの職員へのプロジェクトおよびその成果としてのAugmented Reality (AR) Viewing Systemの説明
2024	8月10日	Village watching in Elangapitiya	Elangapitiya	41	公開	Town watching (Village watching)
2024	8月11日	Village watching in Podape	Podape	33	公開	Town watching (Village watching)
2024	8月11日	Explanatory Session of the AR Viewing System	DS Palindanuwara	4	公開	DS Palindanuwaraの職員へのプロジェクトおよびその成果としてのAugmented Reality (AR) Viewing Systemの説明
2024	11月8日	Wrap-up Symposium in Kyoto (第4回Landslide Technical Forum)	芝蘭会館別館(国際交流会館) (日本)	約10名	公開	最終年度のこれまでの全体および個別研究成果のまとめ、残された課題

2024	2025年1月13日	Wrap-up Symposium in Kyoto (第5回Landslide Technical Forum)	NBRO		公開	最終年度のこれまでの全体および個別研究成果のまとめ、プロジェクト後の展開への戦略
------	------------	---	------	--	----	--

19 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
2020	4月9日 (キックオフ)	コロナ感染症蔓延を受け第1回JCC会議の開催時期 Landslide Technical Forumの開催提案	17名	(1) Joint Coordination Committee (JCC)の延期: Central Engineering Consultancy Bureau (CECB) 他、現メンバー以外で活躍が期待される研究者をメンバーに追加し、2021年4月に延期予定のJCCに招へいする。 (2) Landslide Technical Forum (LTF)の開催: プロジェクト成功に向け、より多くの関係する地すべり組織にJCCメンバーに参加してもらうため、JCCの機会にLandslide Technical Forumを立ち上げる。今後の状況を鑑み、JCCもForumもオンラインで開催することも検討する。
2021	4月22日 (第1回)	コロナ感染症蔓延下でのプロジェクトの進め方	33名	(1) 対面を前提としての活動が制約される中、RRLL早期警戒システムの基礎技術を先行して進める。 (2) 渡航・対面を前提とした活動(現地調査、他)の遅れをカバーし、研究進展に繋げるため、Central Engineering Consultancy Bureau (CECB)、モラトワ・ベラデニア・ルフナ大学の中から活躍が期待される研究者をメンバーに正式に追加する。
2021	11月4日 (第2回)	各グループの進捗状況と現場派遣の時期について	約20人	(1) コロナ感染症の蔓延下でも、第1回JCC会合以降、各メンバーは可能な限り研究を進めてきた。しかし、(2)まだ開始できていない研究項目がある。特に (i) 2つの調査対象地であるAthwelthotaとAranayakeで不安定土塊の観測が開始できていないこと (ii) リスクコミュニケーションと住民教育のための現地調査が始められていないことへの対応が議論された。その結果 (3) JICAMissionとしての正式ビザ発給までに約2,3か月かかることを考慮し、関係するメンバーは、5月のモンスーン期と、4月中旬に開催されるシンハラ及びタミールの新年の祭典を避け、3月及び4月に現地に赴くことを決定した。
2022	6月15日 (第3回)	各グループによる進捗報告。8月LTFのSLでの開催について。現地事務所の開設及び現地雇用者について。	約40人	(1) 現地パイロットサイトの一つAthwelthotaへの計測器設置がようやく2022年3月になされ、以降現地での計測が開始された。 (2) 7月から8月にかけて全グループの主要メンバーがスリランカに渡航し、長距離土砂流動の発生・流動・堆積過程を予測するツール(LS Rapid)、リングせん断試験、産地降雨の予測ツール(MSSG)などの紹介を行うとともに第3回Landslide Technical Forumをコロンボで開催する計画を承認。
2023	8月28日 (第4回)	各グループによる進捗報告。ARソフトの社会実装の進め方確認	約20人	プロジェクトの進捗状況の確認と今後の計画
2024	11月8日 (第5回)	最終年度での進捗状況、残された課題、今後のスケジュール	24人	最終年度におけるプロジェクトの進捗状況の確認と残された課題の確認、2025年1月13日のWrap-up Symposiumまでのスケジュール

6 件

表1 JST成果目標シート

研究課題名	スリランカにおける降雨による高速長距離土砂流動災害の早期警戒技術の開発
研究代表者名 (所属機関)	小長井 一男 (特定非営利活動法人国際斜面災害研究機構(ICL) 学術代表)
研究期間	2019年6月1日～2025年3月31日
相手国名／主要相手国研究機関	スリランカ民主社会主義共和国／国防省・国立建築研究所
関連するSDGs	目標11 安全かつ強靱で持続可能な都市及び人間居住の実現、目標13 気候変動とそのインパクトへの対応策の推進、目標17 持続可能な開発に向けて実施手段を強化し、グローバルパートナーシップを活性化

付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> 土砂災害軽減研究と技術の先進国である日本の科学技術外交に資するとともに、世界的リーダーシップ強化と防災産業の国際展開推進に資する。
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> 過去の統計の少ない発展途上国にも適用可能な当該地域の斜面の物理特性に基づく高速長距離土砂流動発生および災害危険範囲予測法の開発 高速長距離土砂流動災害の早期警戒技術の開発
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> 24時間前降雨予測と現地地盤特性に基づく高速長距離土砂流動発生予測法の国際標準化の推進 地すべり危険範囲予測と事前対応の国際標準化の推進
世界で活躍できる日本人人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> 国際組織・機関において当事者能力を持って欧米をはじめ世界の国々と対等に議論できる日本人技術者育成 国際組織運営、国際会議主催、国際ジャーナルへの論文執筆などの能力向上
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> 国際斜面災害研究機構の95会員機関と仙台パートナーシップに署名した国連、日本、イタリアなど22の国際機関に跨る世界的ネットワークの構築
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> 仙台パートナーシップに基づいて出版されたISDR-ICL地すべり教材(Vol.1と2)の改良とVol.3の作成 第5回(京都)2020斜面防災世界フォーラムにおける土砂災害予測と早期警戒セッションの開催と出版

上位目標

第3回国連防災世界会議で採択された「仙台防災枠組み2015～2030」および国連の持続可能な開発目標11と13への日本の防災国際協力の成果になる。

高速長距離土砂流動災害が激化しつつある国々に対して、経済的かつ汎用性の高い日本発世界標準の技術が提供される。

プロジェクト目標

スリランカ国内の2つのパイロット地域において、熱帯雨林山岳地の累積降雨量の予報、現地斜面土層への降雨浸透と土砂流動の発生、流動土砂の運動予測技術を統合し、長距離土砂流動発生リスクの1日前予測を行い、この情報を地域住民、行政機関に伝達し、早期避難と必要な行政対応を促すためのリスクコミュニケーションシステムを開発・実装し、さらにその技術を継続的に活用するための人材育成を目指す

