

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

令和4（2022）年度実施報告書

国際共同研究期間^{*1}

2020年 3月 1日から2025年 2月28日まで

JST側研究期間^{*2}

2019年 6月 1日から2025年 3月31日まで

（正式契約移行日2020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

研究の主なスケジュール

研究題目・活動	2019 年度 (10ヶ月)	2020 年度	2021 年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度 (12ヶ月)
1. 総括・人材育成・社会実装 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 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 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		観測機器とソフトの調達・設置と RLL 災害早期警戒技術の日錫共同開発 (観測機器は コロナ感染症蔓延が下火になった 2022 年 3 月以降 Athwelthota Aranayake に設置、以降観測を継続)			災害早期警戒技術の日錫共同開発 (観測機器は コロナ感染症蔓延が下火になった 2022 年 3 月以降 Athwelthota Aranayake に設置、以降観測を継続)	
				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の推進				
2. 斜面豪雨・高速長距離土砂流動予測 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 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	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		
3. リスク情報伝達・住民教育 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ソフトの開発 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 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			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ソフトの開発**			
				ガイドライン作成事前調査**	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)	
					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。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している。

(2)プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

2019年の全体計画書に記載した通り、本研究はG1, G2,およびG3の3つの班で進めていくことに変更はない。2020年度まで外部から協力いただいていた中央技術推進局(CECB)、モラトワ、ペラデニア、ルフナの三大学関係者には2021年4月22日開催のJoint Coordination Committee(JCC)会議でJCCメンバーとしてプロジェクトに参画してもらうことが承認された。なおカウンターパート機関NBROの所管官庁は2022年度から国防省に変更になっている。日本側、相手国側の年次ごとの役割分担計画を下表にまとめる。

表1 役割分担(2022年12月時点)

			2020	2021	2022	2023	2024	after
G1-1	1) 観測機器設置 2) EWSの共同開発	JPN	1) コロナ禍で機材のみ調達。	1) 現地計測開始: 2022年3月	ICL, 東工大, 京大, 森林総研, 高知大			
		SLK	2) はオンラインで実施	2) はオンラインで実施	NBRO, DMC, DOM, DOI			
G1-2	EWSの改良 適用支援	JPN			ICL(清田(東大), 後藤(山梨大))			
		SLK			NBRO, DMC, DOM, DOI			
G1-3	人材育成	JPN	京大, 高知大, 東工大, ICL(清田(東大), 後藤(山梨大))					
		SLK	NBRO(最初の2年はCECB, 三大学の協力が大きい)					
	EWSの世界標準化	JPN					ICL, 高知大	
		SLK					NBRO, DMC, DOM, DOI	
G2-1	MSSG=> 500m×500m累積降雨予測 地下水・表面変動観測	JPN	G2: 東工大(大西:MSSG上のシステム開発)					
		SLK	NBRO, DOM(降雨データ提供、支援) CECB・三大学が協力					
	WS用MSSG開発 改良・他地域への適用	JPN		G2: FFPRI(浸透・地上変動観測), 古田・トファニ(人工衛星変動観測)、松波(地すべり誘因-地震観測)				
		SLK		CECB・三大学が協力(NBROは2022年から)				
G2-2	RRLL発生流動 予測モデル構築	JPN		G2: JAMSTEC(大西)				
		SLK		NBRO				
G2-3	パイロットサイトでのEWS実用化	JPN		観測機器設置の遅れで2022年度から	ICL			
		LK			NBRO+ DMC+DOM			
G3-1	ARソフト開発	JPN		ICL(コロナ感染症の影響で1年遅延)				
		SLK		三大学が協力 NBRO, DMC, 三大学が協力				
G3-2	ガイドライン策定	JPN		事前調査(遅延)	高知大, ICL			
		SLK		NBRO, DOM, DMC, DO				
G3-3	人材教育・防災教育	JPN		ICL, 高知大				
		SLK		HSPTD(NBRO), 三大学が協力	NBRO, DMC			
注記:								
G1	総括・人材育成・社会実装研究班	JPN	日本	カウンターパート	NBRO	国防省 国家建築研究所		
		SLK	スリランカ		HSPTD	NBRO 居住計画・訓練部門		
G2	斜面豪雨・高速長距離土砂流動の発生運動予測技術開発			協力機関	DMC	国防省 災害管理センター		
					DOM	国防省 気象局		
G3	リスク情報伝達・住民教育班			協力者	DOI	灌漑省 灌漑局		
					CECB	マハエリ開発・環境省中央技術推進局 (2021年度から協力機関)		
RRLL	降雨による高速長距離土砂流動				三大学	モラトワ大学、ペラデニア大学、ルフナ大学 (2021年度から専門家がCCメンバーに)		
EWS	早期警戒システム							
MSSG	Multi-Scale Simulator for the Geo-environment							
WS	ワークステーション							
AR	Augmented Reality							

2. 計画の実施状況と目標の達成状況（公開）

(1) プロジェクト全体

・プロジェクト目標

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 Long Traveling Landslides, RRLLs）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2つのパイロット地域で、(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、そして流動土砂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（RRLL）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1日前の累積降雨量の予測、(G2-2) 現地斜面土層への降雨浸透と土砂流動の発生・流動土砂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、発生する土砂災害予測結果を重ねて示す仮想現実（AR）ソフトの開発、(G3-2) 3-2 豪雨・RRLL 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、(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等

上記の目標の2022年度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) 本プロジェクトでは、平野部を含む広域の降雨ではなく、とりわけ長距離土砂流動（RRLLs）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が重要な達成目標になる。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”」を用いて、ワークステーション上で、500m×500m分解能での累積降雨を一日前に予測可能にする基礎技術の開発を進めてきた。

本プロジェクトで重点を置く山地斜面での降水予測には、雲域の予測に加えて、降雨効率の信頼できる予測が必要である。降雨効率は水蒸気の凝縮量のうち降雨として地表に到達する割合を示す。その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、そのような物理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日前予測に直結する基礎技術開発に繋げた。また本来スーパーコンピュータ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の開発についても、当初計画に沿って順当に進んでいる。詳細はG2の項で後述する。

(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」については、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で模型実験を行い、モデルの開発を進めてきた。2022 年度に行われた遠心力载荷試験実験では、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た。達成状況はおおむね当初計画通りである。

(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」では、これまで以下の技術的な課題に直面していた。すなわち、「長距離土砂流動 (RRL) の発生・土砂流動を再現するソフトウェア (LS Rapid)」の数値計算は、当初グラフィックス プロセッシング ユニット (GPU) を実装したワークステーション上で、降雨予測を受けて直ちに実行するシステムとする構想であった。しかしながら GPU 内部での演算順序が非決定的であることや、丸め誤差の累積などの要因が関わって、計算結果が安定しないことが判明した。このため様々な降雨パターンによる RRL の発生・流動・堆積過程を事前に数多く解析し、降雨予測結果が与えられた時点で、これらの解析例から最も可能性の高いパターンを検索・表示するシステムとしての設計変更がなされた。このため PO に示された達成状況から遅れているが、その後は順調に開発が進められている。なお GPU 上で計算結果が安定しない課題については 2022 年 10 月に原因の特定に至り、GPU を用いた数値計算も安定的な結果が得られるような改善がなされた。これによって設計変更後のシステム上で行う RRL の発生・流動・堆積過程事前解析の効率が格段に上昇した。

スリランカでは国家建築研究所 (NBRO) が JICA の支援を受け、コミュニティー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。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。この仮想現実 (AR) リスクコミュニケーションシステムでは、住民が関わって作成された避難経路や避難箇所、その他必要な関連情報も、降雨予測や RRL の発生予測情報と併せて、タブレット端末などの画面に表示する。こうした表示情報の設計や、30%を切ると予想されるスマートフォン普及率も念頭に置いた社会実装の戦略策定も、日本側研究者に加え、JICA が支援した「土砂災害リスク軽減のための非構造物対策プロジェクト (Project SABO)」に関わった NBRO の若手研究者が検討を重ねている。詳細は G3 の項で後述する。

(G1~G3) その技術を継続的に活用するための人材育成：

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ている、その詳細は後述「研究運営体制、日本人材の育成 (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、留学後も 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、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。また研修生としてではないが、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・対面で参加している。

・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

本研究で開発した降雨予測や土砂流動の発生と流動範囲の予測技術は、スリランカばかりでなく、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する」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域を含む広域の予測を狙うのではなく、RRL 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。

降雨が熱帯雨林の強風化山地斜面に浸透し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も、国際学術誌 *Landslides* を発行し、最先端の地すべり災害対応技術が世界的に共有されるプラットフォームである国際斜面災害研究機構（International Consortium on Landslides, ICL、本プロジェクトの日本側代表研究機関）で広く共有されている LS Rapid が活用されるなど、予測の信頼性を高める最先端の工夫が盛り込まれている。

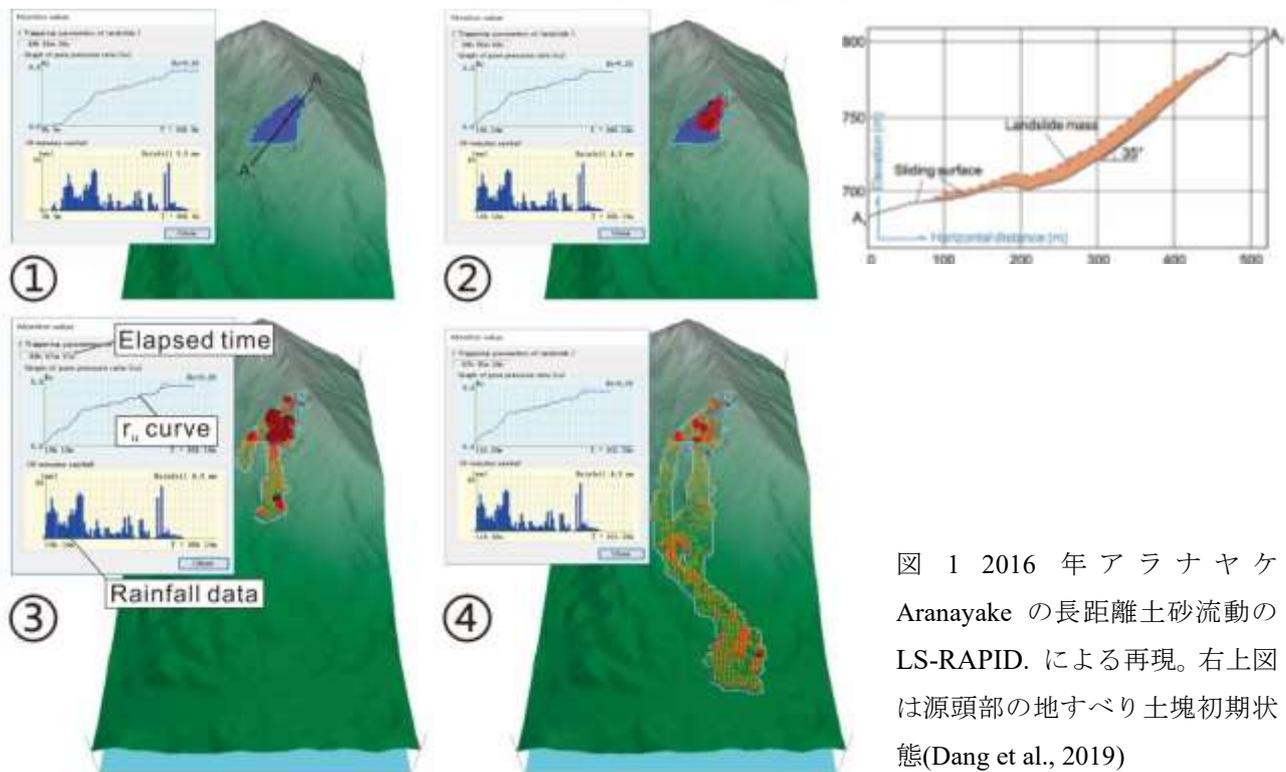


図 1 2016 年 アラナヤケ Aranayake の長距離土砂流動の LS-RAPID. による再現。右上図は源頭部の地すべり土塊初期状態(Dang et al., 2019)

(上記図 1 引用文献)

Dang K, Sassa K, Konagai K, Karunawardena A, Bandara R M S, Hirota K, Tan Q & Ha N D (2019) Recent rainfall-induced rapid and long-travelling landslide on 17 May 2016 in Aranayaka, Kagelle District, Sri Lanka, *Landslides*, 16, 155–164. <https://doi.org/10.1007/s10346-018-1089-7>.

・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 (2022 年時点) を下図に示す。

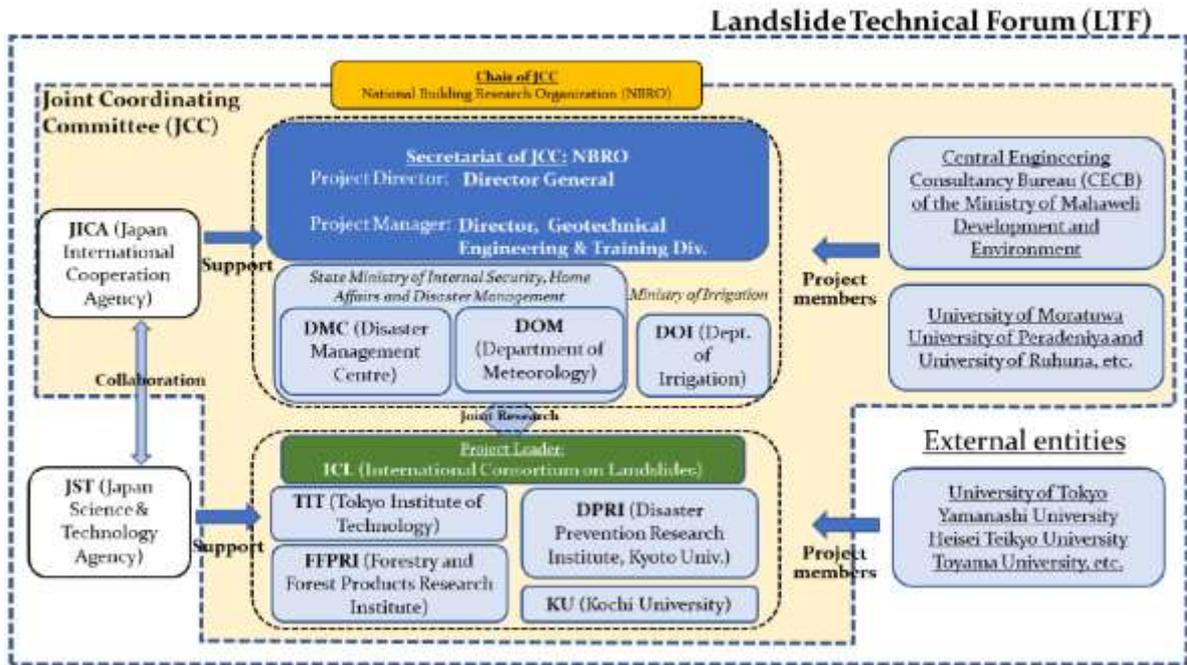


図 2 研究運営体制

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：

保安・内務・災害管理省 (State Ministry of Internal Security, Home affairs, and Disaster Management)

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 (G3 対応)、ペラデニア大学から Jayalath Edirisinghe 博士 (G2-2 対応) が参加。

【令和 4 年／2022 度実施報告書】【230531】

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）（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）

その他、東京大学、山梨大学、帝京平成大学、富山大学の研究者が 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 会議の開催第 5 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。

日本人（日本側）人材の育成(若手、グローバル化対応)：

国内各研究機関の若手研究者（35 歳以下）は年次計画書様式（C）に順次、更新情報を掲載している。
現時点で、ICL5 名、東京工業大学 2 名、京都大学防災研究所 2 名（G2-1）、森林総合研究所に参加の
民間企業関係者 2 名（G1-1）である。コロナ感染症の蔓延下で日本人若手人材の渡航の機会はこれまで
大幅に制約されたが、若手研究者はスリランカから来日した（長期研修生を含む）留学生とともに、
降雨による高速長距離土砂流動（RRLL）の早期警戒の基礎技術の最前線に立ってきた。彼らはこれ
まで関連する研究成果を、原著論文（国際学術誌 Landslides など）、学会発表（第 5 回斜面防災世界
フォーラムなど）に関係者と共著で発表してきた（別添：様式 2「成果発表等」参照）。2022 年度には
ICL が新たに発刊することになった Open Access Book Series, “Progress in Landslide Research and
Technology (P-LRT),” Springer に彼らの成果が発表された。この出版については[G1]の個別報告で詳述
する。

人的支援の構築(留学生、研修、若手の育成)等：

留学生（JICA 長期研修生含む）

プロジェクト開始からこれまでに 6 名の留学生（JICA 長期研修生含む）を受け入れている。2022 年
度に受け入れた留学生 2 名の進学先、進学月は表 2 に示すとおりである。

表 2 2022 年度に受け入れた留学生

課程	進学先	進学月	研究課題/奨学金
博士前期	東京工業大学	2022 年 10 月	G2-1/ JICA
博士前期	山梨大学	2022 年 10 月	G1/ 他

留学生も日本側若手研究者と共同して、これまで早期警戒技術の基礎技術開発に関わってきた（別
添：様式 2「成果発表等」参照）。また ICL が新たに発刊することになった Open Access Book Series,
“Progress in Landslide Research and Technology (P-LRT),” Springer にも彼らの成果が発表されている。

短期研修

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つて、対
面のスタイルでの実施がこれまで困難であった。このためオンラインで随時研修を行ってきた。併せ
て 2022 年度には降雨予測のためのソフトウェア（MSSG）、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) の対面・オンラインでの講習を実施した。

(2) 各研究題目

(2-1) 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当初計画 (全体計画) に対する実施状況 (カウンターパートへの技術移転状況含む)
(「④研究題目 1 の研究のねらい」も含む)

成果目標の達成状況: 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 ソフトの開発」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ていく。そして (G3-2)「早期警戒技術の普及と活用のための教育用ツール、ガイドライン」を相手国機関とともに整備する。すなわち、日本・スリランカの各研究班で進められる研究を統合するとともに、プロジェクト内外の関連機関や関連学界の情報ハブとして機能する。

上記の当初の計画 (全体計画) に変更はない。コロナ感染症の世界的蔓延があつて、渡航を前提として対面での会議や、現地での計測は大きく制約されオンラインでの計画進捗が中心であったが、2022 年度後半以降、徐々に渡航制限の緩和もあり、おおむね当初計画通りの達成状況にある。

インパクト: 本 SATREPS プロジェクト (Project RRL) 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として認定された。そして関連する研究成果は、原著論文 (国際学術誌 Landslides など)、学会発表 (第 5 回斜面防災世界フォーラムなど) に関係者と共著で発表されている (別添: 様式 2「成果発表等」参照)。また 2022 年度以降については、ICL が新たに発刊することになった Open Access Book Series, “Progress in Landslide Research and Technology (P-LRT),” Springer にもこれの成果が発表された。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、そのインパクトは大きい。

②研究題目 1 の当該年度の目標の達成状況と成果

2022 年度は当初計画では開発した技術の適用支援が掲げられていた (1 ページ「研究の主なスケジュール」参照)。個別の技術から得られる早期警戒情報を統合し、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仮想現実 (AR) ソフトの開発 (G3-1) が遅延しているため、統合技術の適用支援はこれからになるが、早期警戒技術のコアである個別技術 (山地斜面での降雨の信頼性の高い予測 (G2-1), 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 (G2-2)) については、JICA 長期研修生を含むスリランカからの留学生が研究開発の最前線を担うだけでなく、2022 年度後半の渡航制限の緩和を受けて、短期研修生の招へい、日本人技術者の派遣などを通して技術移転と適用支援を進めている。

【令和 4 年/2022 年度実施報告書】【230531】

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って、(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 2023 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。この状況を受けて現地計測機器の設置 (G1-1) は急ピッチで進み、2022 年 3 月に Athwelthota 地すべり地脇の斜面で地表の亀裂や段差が確認された範囲にセンサーを 10 地点設置して地盤傾斜の観測を開始。これまで、微小ではあるが地盤傾斜の累積傾向が確認できた。2022 年 11 月末には林内雨量の観測、地表傾斜計の計測位置の追加、最初のボーリング掘削が開始になり、12 月にはもう 1 つの観測地である Aranayake 地すべり地で・Athwelthota 地すべり地と同項目の気象観測、また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が開始した。これまで確認できた累積変位と降雨との関係をさらに詳細に確認するため、残りのセンサーの設置を 2023 年 3 月に実施するとともに、地すべり斜面で地表変位の発生可能性のある斜面に地表傾斜計と地表伸縮計を追加設置して観測を開始している。

一方で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によって主要産業の観光業が低迷し、外貨の獲得は一層困難となるなど 2022 年度以前も不安な状況が内在していたが、2022 年 5 月 18 日に格付け会社からデフォルト (債務不履行) を宣告されるに至った。このような状況を反映し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、状況は落ち着きを取り戻している。これを受け、2022 年 10 月以降、日本側研究者の渡航、新たな長期研修生 (修士課程)、短期研修生の受け入れなどが順次進められている。今後も、JICA や関係機関の協力を得て万全な対応を講じていく。

(2-2) 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)

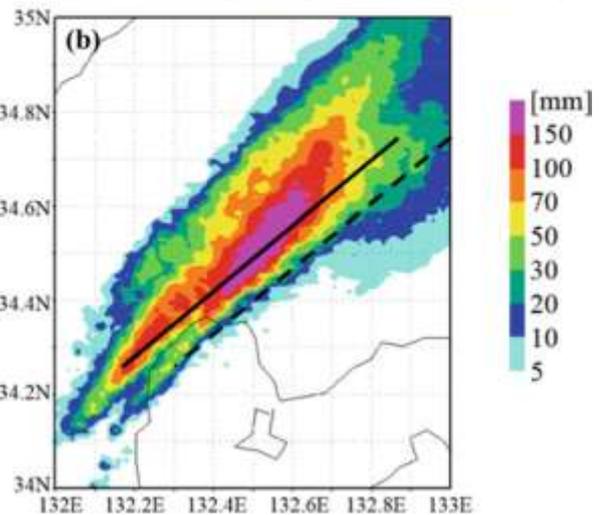
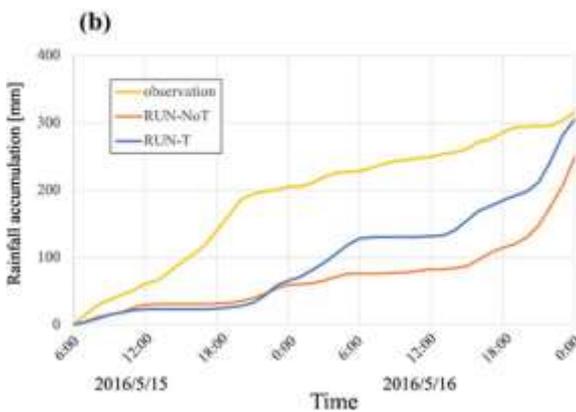
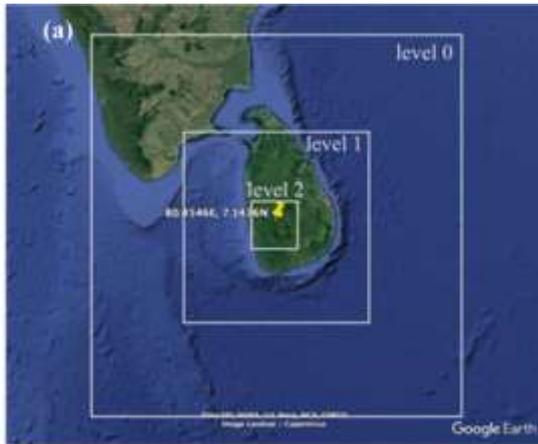
G2 で開発される基本技術は (G2-1) 山地斜面での 1 日前の累積降雨量の予測 (サブリーダー : 大西領) と、(G2-2) 現地斜面土層への降雨浸透と土砂流動の発生、流動土砂の運動予測モデルの構築 (サブリーダー : 渦岡良介) である。

①研究題目 1 の当初計画 (全体計画) に対する実施状況 (カウンターパートへの技術移転状況、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、山地の局地性豪雨予測手法を開発している。本プロジェクトで重点を置く山地斜面での降水予測には、雲域の予測に加えて、降雨効率の信頼できる予測が必要である。降雨効率 (Precipitation

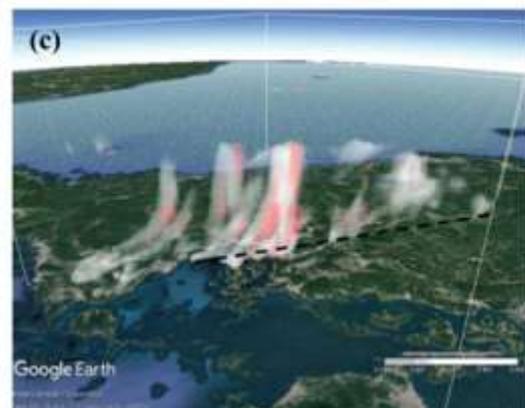
【令和 4 年 / 2022 年度実施報告書】【230531】

Efficiency) は水蒸気の凝縮量のうち降雨として地表に到達する割合を示す。2021 年度以降 2022 年度も継続して、降雨効率 (Precipitation Efficiency) について、より現実に近い条件、即ち地表付近の境界層乱流の影響を考慮した条件下での検討を加えている。その結果、降雨効率に直結するダムケラー (Damköller) 数 (=山稜を超える風速/雨粒形成速度) が 約 1 を超えると降雨効率が增大するという傾向は現実にも起こり得ることを世界で初めて定量的に明らかにした (後述)。こうした地形起因の乱流効果が反映されたシミュレーションでは、2016 年 5 月の Aranayake の大規模 RRL を引き起



↑ 図3 (a) 計算対象領域 Aranayake 地区を包含する入れ子構造 (nesting domains) (b) 協定世界時 06:00UTC を開始時としたときの累積降雨量の推移。黄色は観測地、赤は風上斜面上の乱流の影響を除外したもの、青はその影響を反映したもの。(Onishi et al., 2022) .

→ 図4 (a) 計算対象領域 (広島上空) を包含する入れ子構造 (nesting domains) (b) 6 時間累積降雨 (11 pm - 5 am) の分布。(c) 線状降雨帯の 3 次元画像 (Hiruma et al., 2022) .



こした累積降雨を従来モデル以上に観測値に近い値として再現することが可能になったばかりでなく（図 3, Onishi et al., 2022）、たとえば 2018 年 7 月の西日本豪雨で山口県岩国市から広島県三次市あたりにかけての中国山地に発生した線状降水帯の再現にも成功している（図 4, Hiruma et al., 2022）。

(1) 山岳降雨に及ぼす乱流効果を定量的に明らかにした。

理想的な 2 次元ベル型山地形における 3 次元山岳降雨シミュレーション法を開発し、山岳降雨に及ぼす乱流による雲粒の衝突成長促進効果を調べた。山の高さは 1km、半値幅を 2km とした。これは、日本の標準的な山地系であり、また、地滑りが起こったスリランカ Aranayaka の斜面勾配と同程度である。流入大気相対湿度 RH と一様流速 U_0 を変えた 30 ケースに対して、乱流効果を考慮しない場合とした場合の山岳降雨シミュレーションを実施した。その結果、雲水混合比と雨水混合比の分布から、乱流による雲粒の衝突成長促進効果を考慮することで、雲粒から雨粒に成長するまでの時間が短くなるというマイクロな影響を確認できた（図 5）。さらに、降水強度の解析から、乱流効果が降水量に与えるマクロな影響を確認できた（図 6）。このケースの場合、乱流効果により、計算領域内の降水量は約 1.6 倍に増大された。

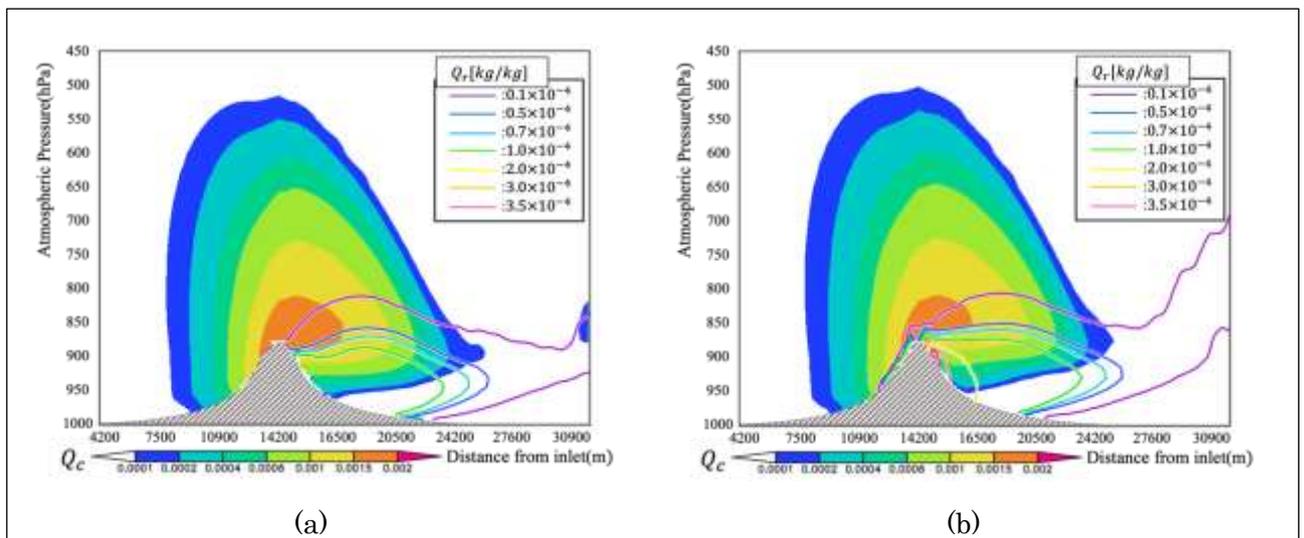


図 5 流入風速 25m/s、相対湿度 95% の場合の雲水混合比と雨水混合比の分布。(a)乱流効果を考慮しない場合、(b)乱流効果を考慮した場合

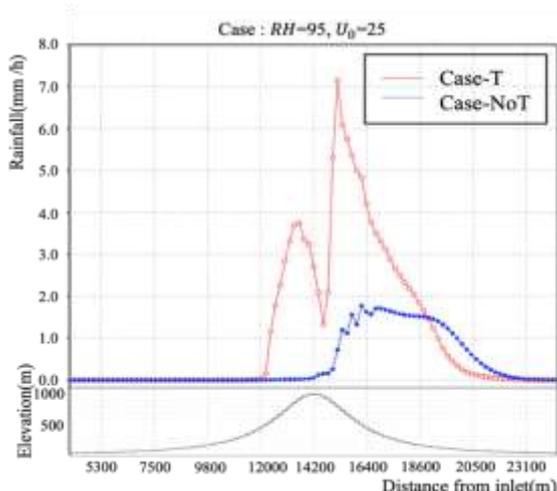


図 6 乱流効果を考慮しない場合 (Case-NoT) と考慮した場合 (Case-T) の降水分布

(2) 乱流が山岳降雨量を増大させるメカニズムを解明した。

降水効率 Precipitation Efficiency (PE) と雨粒の生成速度と雲の移流速度の比を表す Damköhler number (Da) という二つの無次元量を導入した。図 7 に、流入気流の状態（風速、相対湿度）を様々に変えた 15 ケースの数値実験より得られた結果を示す。図より、PE は Da に対して単調増加な関数であり、Da が 1 程度の時に変化が大きく、それ以外の場合には変化が小さいことがわかる。また、乱流による雲粒の衝突成長促進効果により、Da が大きくなり、それに従い PE が大きくなるという斜面降水量が増大されることが明らかになった。図 5(b)において、乱流効果を考慮する／しないで降水量の差が顕著な時間帯とそうでない時間帯が見られたのは、時事刻々と Da が変化したためと考えられる。

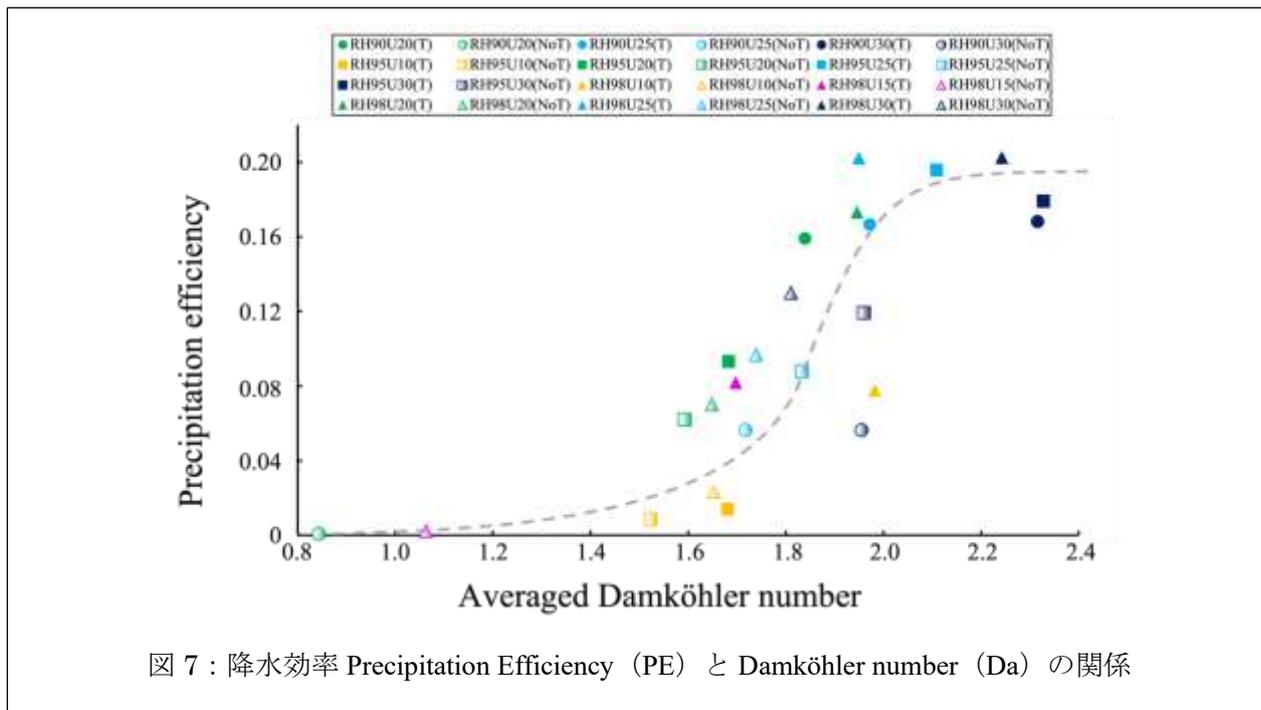


図 7：降水効率 Precipitation Efficiency (PE) と Damköhler number (Da) の関係

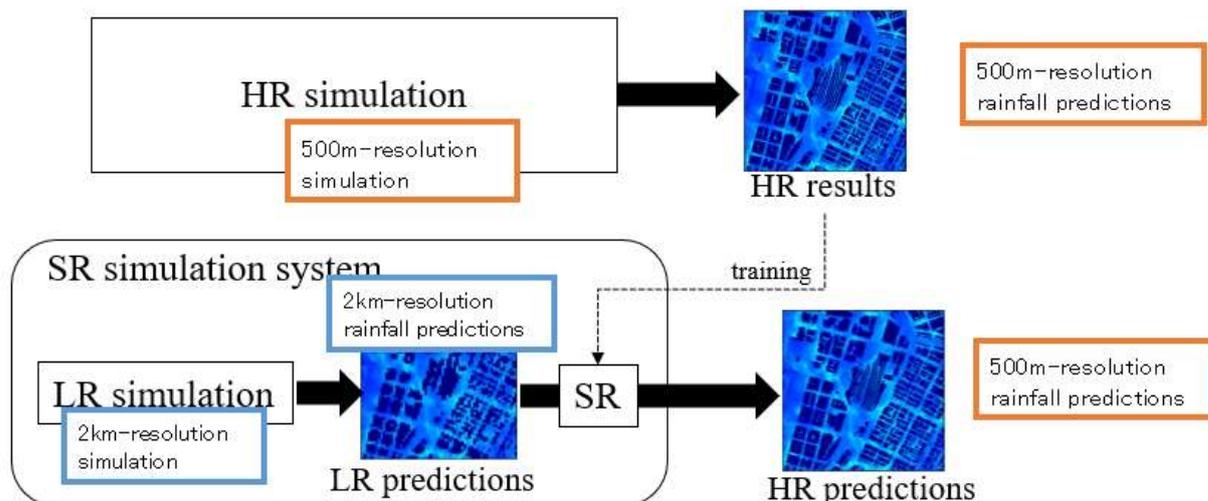
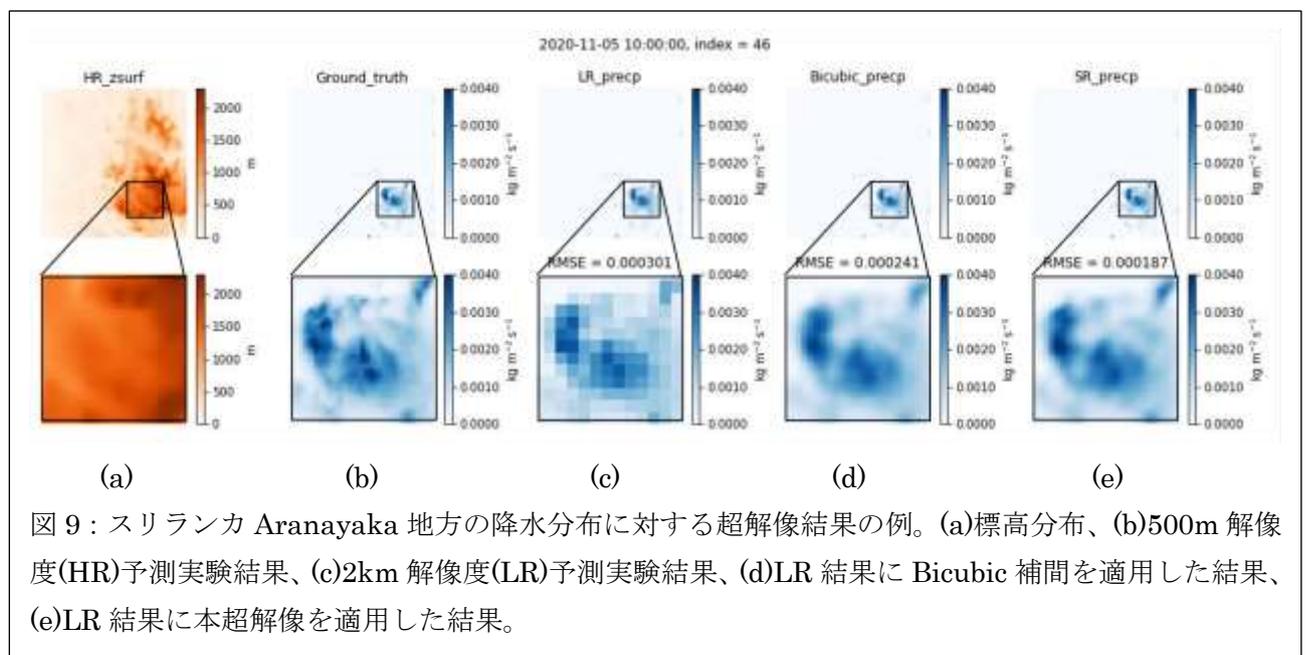


図 8 リアルタイム運用予測のための超解像 (SR) シミュレーションシステムの概念図 (Fig. 1 in Onishi et al., 2019)。上記略号中 HR: High-resolution, SR: Super-resolution

さらにスリランカ側 (NBRO) に設置されたワークステーション上でも 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のプロトタイプを開発した。超解像とは人工的に解像度を向上させる技術 (図 8, Onishi, et al., 2019) であり、ここでは 2km 解像度の降雨予測分布を 500m 解像度にマッピング (補間) することを想定している。その中では、降雨分布のマッピングの際に、他の物理量の分布情報も加味するという物理超解像器を開発した。具体的には、地形 (標高分布) を加味できる超解像器を開発し、スーパーコンピュータによる 500 m 解像度の降雨予測結果を手本として学習させた超解像器のプロトタイプを開発した。

プロトタイプでは、1 時間平均降水分布に加え、標高分布も同時に学習した。図 9 に、その結果を示す。本超解像器によって 2km 解像度 (Low Resolution; LR) 降水分布から得られた 500m 解像度 (High Resolution; HR) の結果 (図 9(e)) は、Bicubic 補間による結果よりも、より Ground Truth に近い分布であることがわかる。定量的には、自乗平均誤差の平方根 (RMSE) でみると、本超解像器は Bicubic 補間に比べて 12%性能が高かった。これは、まだ少数の学習データを使ったプロトタイプの結果である。今後、学習データを増やし、かつ、超解像ニューラルネットワークに乱流効果を学習させることにより、さらなる性能向上を図る。



このように G2-1 については 2022 年度においても当初計画通りの進捗が達成されるのみならず、山地斜面での実用的な降雨予測の信頼性を格段に大きく高めるインパクトの高い重要な成果が得られている。主要な成果は下記の論文などに発表されている。

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

Onishi, R., Sugiyama, D., Matsuda, K. (2019) Super-Resolution Simulation for Real-Time Prediction of Urban Micrometeorology, *Scientific Online Letters on the Atmosphere (SOLA)*, 15, 178-182, https://www.jstage.jst.go.jp/article/sola/15/0/15_2019-032/_article.

(G2-2)の「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」については、以下を考慮しなければならない。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こと、(2)主たる対象が、スリランカ山岳地帯で常緑樹に覆われた先カンブリア紀(片麻岩主体)の熱帯強風化土であるため、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。これらに鑑み、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10)、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てきた。

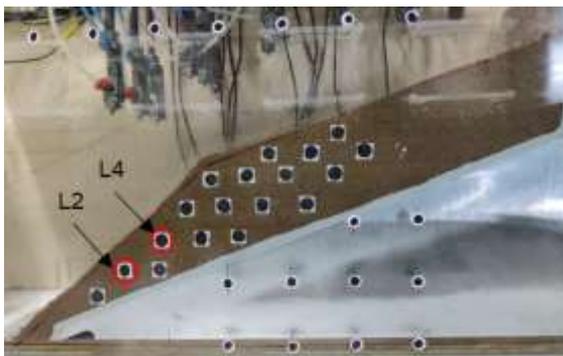


図10 遠心力载荷試験装置内に置かれた不飽和斜面モデル

2022年度は、斜面崩壊が始まる継続的な降雨にさらされる前に、異なる先行間欠型の降雨パターン、つまり、均一なインターバル(Test 02)、減少するインターバル(Test 02)、および増加するインターバル(Test 03)が崩壊開始に時刻に及ぼす影響を検討した(図11左)。その結果、遠心力場の模型内で観測された降雨浸透過程が、数値計算で精度よく再現されることを確認した(図11右)。

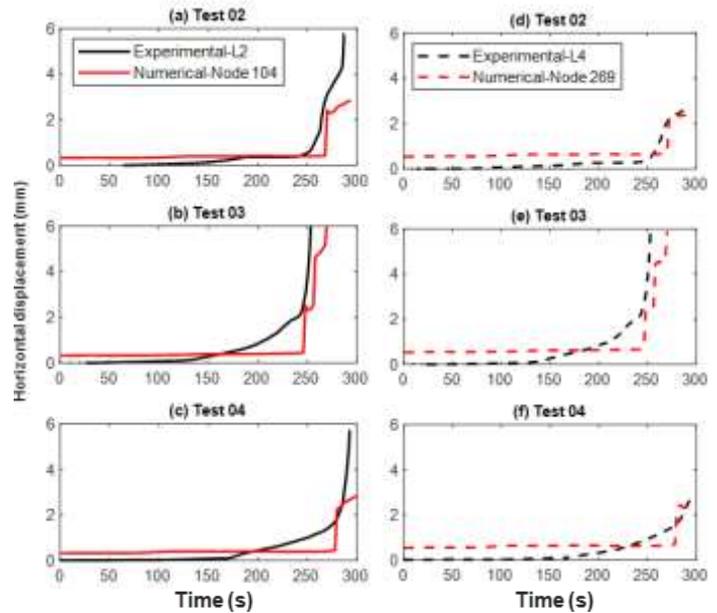
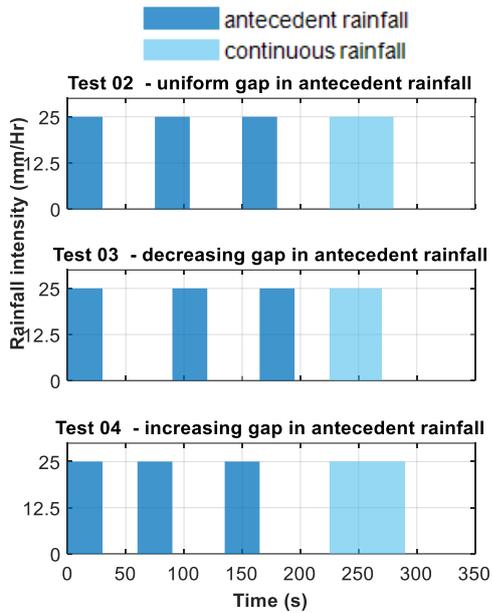


図 11 異なる先行間欠型の降雨パターン（左）と遠心力場上斜面模型 2 か所（L1, L2）の変位（右）

この結果は累積降雨量だけでなく、先行する間欠的な降雨パターンも斜面崩壊の発生時刻に影響を与えることを示すもので、RRL の早期警戒において重要な知見である（Jayakody, et al., 2022）。G2-2 についても当初計画通りの進捗が達成されている。

なお本数値解析では地表面から地中への浸透過程とそれに伴う斜面の変形過程を土-水-空気連成有限要素解析手法にて一貫して解いている。ここで用いる不飽和浸透特性、変形特性などの材料パラメータは室内試験で決定したものをを用いているが、実際の現場では、現在進めている野外観測結果とサンプル試験をもとに最も尤度高い係数設定が必要になる。

Jayakody, S.H.S., Uzuoka, R., Ueda, K. (2022) Centrifuge modelling of silty-sand slopes under intermittent rainfall conditions, *10th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics*, September 2022, KAIST, Daejeon, Korea. .

②研究題目 2 の当該年度の目標の達成状況と成果

冒頭「研究の主なスケジュール」に記載通り、2022 年度も当初目的通りの達成状況にある。なお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、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構築した。この担い手の中心は JICA 長期研修生 (留学生) であるが、2022 年度後半には短期研修生を招聘し、技術移転のための集中コース (2023 年 2 月 8 日～3 月 7 日) を実施した。

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。

(2-3) 研究題目 3 : 「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 G3 (リーダー : 笹原克夫)

①研究題目 3 (G3) の当初の計画 (全体計画) に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト :

(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 RRLI 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、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 JCC に新たに加わったメンバー (ペラデニア大 Jayalath Edirisinghe 博士など) の協力を得て、オンラインの会議を中心に社会実装戦略に関わる検討を進めてきた。また 2022 年度後半にはパイロットサイトの一つ Aranayake 周辺の地域住民に対しアンケート調査を実施している。G3 の各課題の令和 3 年度の進捗状況は以下のとおりである :

(G3-1) AR ソフト開発 :

RRLI 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 ソフトウェアである。このシステムについては当初、RRLI の土砂流動過程を再現するソフトウェア (LS Rapid) の演算をグラフィックス プロセッシング ユニット (GPU) を搭載するワークステーション上で実行し、その結果を住民や行政機関の端末のベースマップ上に仮想現実として順次、更新・表示するシステム構成案が示された。しかしながら GPU 内部での演算順序が非決定的であること、丸め誤差の累積など様々な要因が関わって数値計算結果が安定しなかった。

RRL Hazard Map System basic diagram 1 /Nov/2022 K.Takimoto

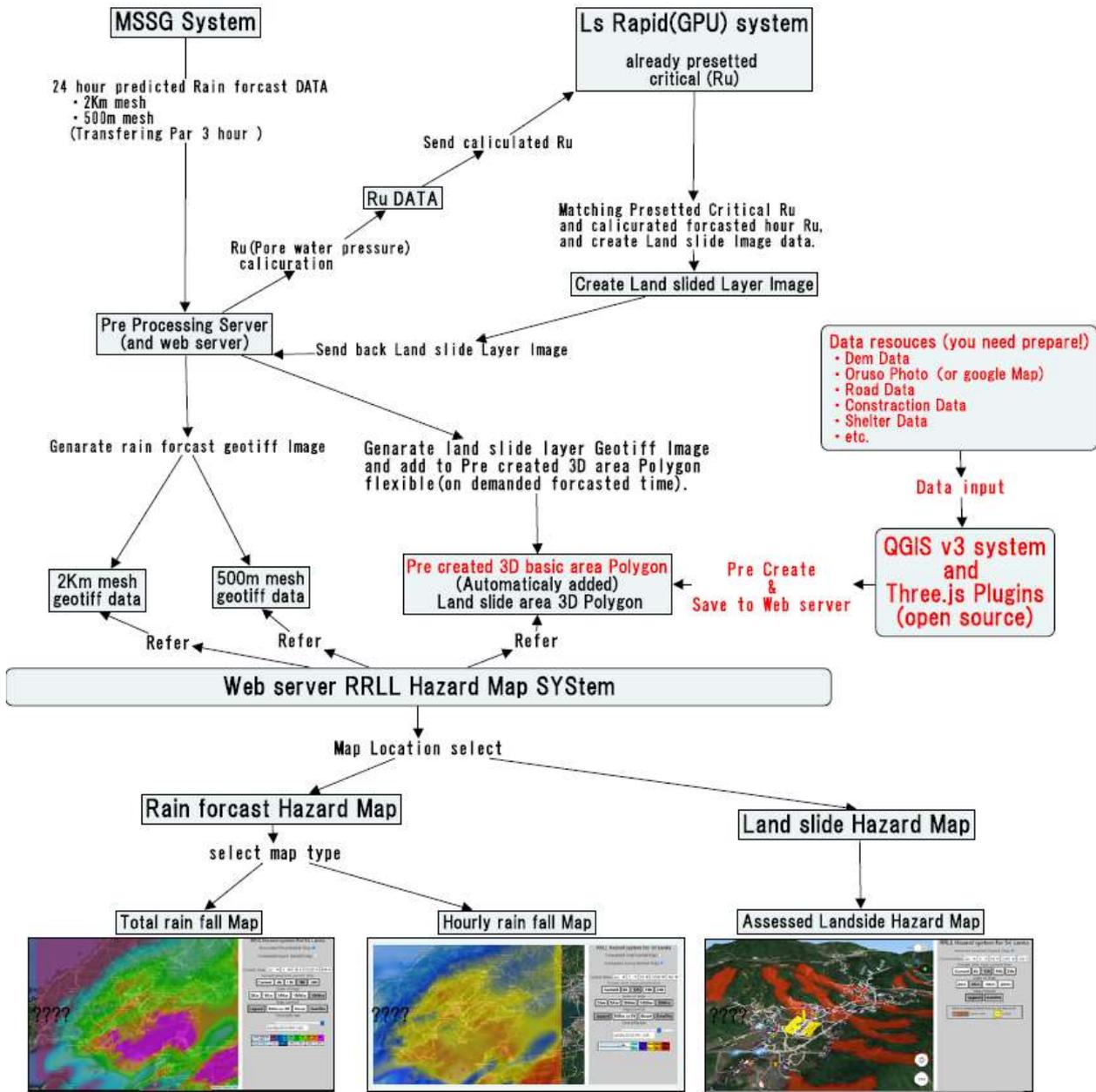


図 12 AR ソフトの構成とフロー

このため、様々な降雨パターンによる RRL の発生、流動、堆積過程を、GPU に依存しない通常の演算によって事前に数多く解析し、降雨予測が与えられれば即時にこれらの事例から可能性の高いパターンを検索・表示するシステムとする設計変更がなされた (図 12)。このため当初計画から 1 年ほどの遅れたものの、現在は PC 及びスマホ用の 2D 及び 3D のプロトタイププログラム作成が進行している。

なお AR 表示のコア部と表示部は、開発・改良が常に行われているオープンソースのソフトウェア・ライブラリ・言語で開発した。具体的には 3D オブジェクト生成には、世界中で利用されている

オープンソースの QGIS と QGIS の標準機能である Qgis2threejs を使用し、また LS-Rapid (GPU 版) で事前解析した Landslide 予測平面の 3D オブジェクト生成には、プログラム言語として python、PHP とシェルで実装し、内部では全てオープンソースのライブラリを使用している。加えて、3D オブジェクトは汎用性がある Json 形式を用いている。このため将来的な修正および改良の柔軟性は高く持続性の高いシステムになっている。

また GPU 上で計算結果が安定しない課題についてはその後 2022 年 10 月に原因の特定に至り、GPU を用いた数値計算も安定的な結果が得られるような改善がなされた。これによって設計変更後のシステム上で行う RRLI の発生・流動・堆積過程事前解析の効率が格段に上昇した。

(G3-2) 豪雨・RRLI 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 ソフト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・RRLI 予測結果 (図 13 (a)) 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併せて表示するシステム設計と更新が必要である。

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



図 13 (a)AR ソフトウェアによって端末画面に表示される RRLI の予測情報、および(b) 地域住民が関わって作成された地すべりハザードマップの一例

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。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 (判読された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 (図 13(b))、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

【令和 4 年/2022 度実施報告書】【230531】

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。AR システムでは、住民が関わって作成された避難経路や避難箇所、その他必要な関連情報も、各端末画面に表示していくことになる。これらの表示情報の設計や、30%を切ると予想されるスマートフォン普及率も念頭に置いた社会実装の戦略策定については、日本側研究者ばかりでなく、JICA が支援した「土砂災害リスク軽減のための非構造物対策プロジェクト (Project SABO)」に関わった NBRO の若手研究者が検討を重ねている。

(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：

2020 年 10 月にスリランカから来日した長期研修生（愛媛大学大学院連合農学研究科）が高知大学において RRLI の発生前の兆候に関わる研究を継続している。これらは地すべり土塊の崩落開始前の三次クリープと呼ばれる変形段階での移動加速度と速度の間に一律な関係があることを検証しようとする試みであり、RRLI のリスクの或る地域や関係者間に共有される情報になると期待される。

AR ソフトを用いての防災教育や早期警戒発令時の訓練については、利用者がいない現時点でこの活動をスタートする段階にはないが、各地域コミュニティー（Grama Niladhari 地区（GN 地区）と呼ばれる）、複数の GN 地区を束ねる郡（Divisional Secretary）、その上位機関の県、そして中央政府の災害管理センター（DMC）といった主要プレーヤー間の情報共有と対応行動を想定し、具体化していく必要がある。コロナ感染症禍、および 2022 年 5 月のデフォルトを契機に顕在化の進んだ経済危機による社会不安も落ち着きを見せてきたことから、2023 年 1 月には、地域住民の災害認知度、被災体験、居住環境、スマートフォン普及率などに関するアンケート調査を実施した。また 2023 年度にはリスク情報伝達の主要な役割を担うプレーヤーを対象とした調査を実施する。

②研究題目 3 のカウンターパートへの技術移転の状況：

上記コア技術の開発に、スリランカからの長期研修員が主体的に関わっている。さらに JICA が支援した「土砂災害リスク軽減のための非構造物対策プロジェクト (Project SABO)」に関わった NBRO の若手研究者も G3 の活動に関わっている。このため技術移転は順調に進んでいる。

参考 早期警戒技術の社会実装を進めるうえで、上記 G3 の活動事例が示すように、これまでにスリランカで実施された他プロジェクト成果とのインターフェースを補強することが求められる。例えば RRLI の発生・流動を支配する広域表層地盤の種類、層厚など重要なパラメータは、NBRO が個別に整備を進めてきた Landslide Susceptibility Map が活用できるが、その精度を高める更新支援ツールとして、セルオートマトン（Cellular Automaton）・マルチエージェントシステム（Multi-Agent System）及び模型実験等を用いた土砂流動範囲の予測に関する研究が後藤聡の研究室（山梨大学）で、また MSSG で予測される降雨パターンと地震起因の多発 RRLI の関係についても清田隆（東大生研）の研究室で進められている。また本 SATREPS プロジェクトで対象としている Aranayake, Athwelthota の 2 地区以外にも Kandy 地域に大規模な地すべりがあることを見だし、そこを調査地に加えて、雨量・地盤変動、そして Kandy 付近で頻発している地震動を計測する装置を設置し観測を開始するとともに、これらの地域の地すべり地形を判読し、G3 の活動の基本となる Risk identification に資する情報を集約している。

③研究題目 3 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

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って、渡航・対面を前提とする活動は大きく制約された。また RLL 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ている。

しかしその後、スリランカの感染症危険度レベルは 3 から 2 に引下げられ、今もこのレベルが維持されている。そして国際的な人の往来再開に向けた緩和措置も段階的に進められている。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、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するなど、状況は落ち着いてきた。したがってオンラインで事前検討を進めていた本システムの裨益者に対する調査なども含め、計画した事項を鋭意進めていく。早期警戒システムの実装と活用は本プロジェクトの期間中ばかりでなくむしろ終了後も、カウンターパート機関の NBRO が主体的・継続的に進めていかなければならない。しかし 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は大きい。Project SABO のメンバーも本プロジェクト JCC 会議のメンバーであり、今後、情報の共有を図りながら G3 の活動を展開していく。

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

今後のプロジェクトの進め方：個別コア技術の開発（G2）はこれまで日本側の研究者に4名のスリランカの留学生（博士後期課程）が加わり、順調に進んでいる。2022年度秋学期からは新たに修士課程（博士前期課程）留学生の進学（東京工業大学1名、山梨大学1名）が進学し、最先端のマルチスケール気象モデル（MSSG）の基礎知識の習得や、降雨によるRRL発生事例の研究を開始している。併せて、京都大学、高知大学（愛媛大学大学院連合農学研究科）、東京大学、山梨大学に既に在籍している留学生とも連携し、早期警戒技術開発につながる基礎知識の醸成と研究課題の絞り込みにあたる。

G3で進めるRRLの早期警戒情報の伝達システムの開発に当たっては、本プロジェクトに先行してJICAがNBROをカウンターパート機関として進めていた土砂災害対応のソフト面の技術開発と実装を目的としたProject SABOと連携し、早期警戒技術の実装に向けて必要な情報の共有を図ってきたが、2023年度には引き続きリスク情報伝達の主要な役割を担うプレーヤーへの聞き取り調査などを行い、引き続き実効的なフレームワーク構想を具体化していく。またG3の達成状況の項目でも触れたように、本SATREPSプロジェクトで対象としているAranayake, Athwelthotaの2地区以外にもKandy地域に大規模な地すべりがあることを見だし、そこを調査地に加えて、雨量・地盤変動、およびKandyで頻発している地震動を計測する装置を設置し、観測を開始した。そしてこれらの地域の地すべり地形を判読し、G3の活動の基本となるRisk identificationに資する情報を集約していく。

G1グループでは、上記G2、G3の活動を統括し、もって本研究プロジェクトの目標達成に邁進する。併せてスリランカばかりでなく、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も、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るよう、最先端の知見の発信と共有（outreaching）を国際的なレベルで進めていく。

成果目標達成の見通し：最先端の「山地斜面での降雨予測」、「長距離土砂流動（RRL）の発生・流動・堆積過程の予測」の結果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開発は、個別研究の成果を受け間違いなく達成できるものであり、また達成させなければならない。課題は、従来よりも大きく信頼性の向上した早期警戒システムとはいえ、具体的な防災行動に結びつく意味で必要とされる予測情報精度の向上は絶え間なく続けられなければならないこと、さらに対応行動も目まぐるしい社会や行政機構の変容を反映してその最適化が図られていかなければならないことである。これは、カウンターパート機関のNBROを中心にスリランカの関係機関が、プロジェクト終了後も主体的・継続的に進めていかなければならない課題ではあるが、プロジェクト継続中から、議論を深めておく必要があり、G3の活動もそこに重きが置かれる。

G1ですすめるアウトリーチ活動には、ICLが新たに発刊することになったOpen Access Book Series, “Progress in Landslide Research and Technology (P-LRT),” Springerへの成果公表がある。このオープンアクセス本は、世界の地すべり災害に関わる研究者・実務者を対象に、実際に地すべり災害対応に活用される技術の最新情報や事例をわかりやすく英文で紹介するもので、第1巻第1号には本プロジェクトで開発している早期警戒技術に関わる記事も3編掲載される。そして以降も継続的に最新の情報を投稿していく。これは本技術が、世界的に実務の現場にも知れていくことにつながり、様々な個

所での社会実装や関連企業等との出口連携にもつなげる戦略である。

Ⅲ. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

(1) プロジェクト全体

・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

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、COVID-19 感染症蔓延下での様々な制約が、引き続き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。加えて 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。

・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

渡航の制約がある中で、RRLI 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）についても、スリランカの感染症危険度レベルの 3 から 2 への引き下げ（3 から 2）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 月にいたって実施することができた。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 が新たに発刊することになった Open Access Book Series, “Progress in Landslide Research and Technology (P-LRT),” Springer への成果公表を進めている。

・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
特記事項無し。（参考情報）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いる。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）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。

・諸手続の遅延や実施に関する交渉の難航など
特記事項なし

(2) 研究題目 1 : 「総括・人材育成・社会実装」

グループ G1 (リーダー: 小長井一男)

・相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用、および類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等

上記「プロジェクト全体」で述べたように、スリランカの感染症危険度レベル、および危険度レベルがともに2である現況下で、日本・スリランカ双方で情報を共有するシステムを整え、渡航を前提にしたG2, G3の活動をも円滑に進められる体制を整えていく。G1の最大の役割は、G2, G3で開発される最先端の個別技術を統合し、社会実装の道筋をつけることである。このためスリランカで先行した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, 2019-2022) の関係者との情報共有を継続する。共有される情報はG2グループで進むマルチスケール気象モデル (MSSG) のスリランカ向けのパラメータチューニング、高速リングせん断試験や遠心力载荷試験、RRLの発生流動過程のシミュレーションなどに関する研究進捗状況である。さらにProject SABOの関係者が熟知している現地の災害対応の状況を踏まえ、G3が推進するリスク情報伝達や住民教育の戦略構築を補佐する。

(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)

・相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用、および類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等

本研究課題については国際共同研究実施上、特筆すべき課題はない。G2で進める研究課題のうち(G2-1) MSSGによる山地斜面での1日前の累積降雨量の予測(サブリーダー: 大西領)については、引き続きスリランカの気象モデルの精緻化を進めるとともに、ワークステーション上でも500m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の実装を進める。令和3年度から東京大学大学院に進学した留学生も、また令和4年度に東京工業大学(博士前期(修士)課程)進学した留学生もこの研究開発に関わっていく。スリランカ側には、現在NBROがスリランカ国内に所有している350か所の自動降雨観測点のデータ、同じく保安・内務・災害管理省傘下の気象局からのデータ、またJICAのProject SABOの先行事業である土砂災害対策強化プロジェクト(Project TCLMP)で得られたデジタル地形情報があり、さらに国内にも類似のRRLの事例は多く、気象庁の過去の気象データも充実していることから、これらも有効に活用できる。

もう一つの開発研究課題(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(サブリーダー: 渦岡良介)については、京都大学大学院博士課程にNBROの若手研究者が在籍し、スリランカの山地を想定した細粒分に富む土の遠心力場での透水試験実験を進めていく。

(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: 笹原克夫)

・相手国側研究機関との共同研究実施状況と問題点、その問題点を克服するための工夫、今後への活用、および類似プロジェクト、類似分野への今後の協力実施にあたっての教訓、提言等

G3ではRRL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

を促すばかりでなく、住民や行政の対応情報をも集約し、EWS の効果をより大きくする仕組みを構築する役割を担う。これらの活動のうち仮想現実 (AR) 上で RRLI の予測情報を表示する技術開発は日本側で進行しているので現時点で国際共同研究実施上、特筆すべき課題はない。

しかし、その社会実装を図り、プロジェクト終了後も発展的に有効活用されていくためには、RRLI のリスク情報伝達の重要な役割を担うプレーヤー(地域コミュニティーGrama Niladhari 地区(GN 地区)、複数の GN 地区を束ねる郡 (Divisional Secretary)、その上位機関の県、そして中央政府の災害管理センター (DMC)) などへのヒヤリングなども含めた調査活動を本格化させることが重要で、入出国制限の緩和措置も段階的に進められている状況を受け、活動を本格化させる。

IV. 社会実装に向けた取り組み (研究成果の社会還元) (公開)

(1) 成果展開事例

現時点で該当無し。

(2) 社会実装に向けた取り組み

2018 年 6 月 20 日にスリランカ側カウンターパート機関 NBRO の他、災害管理センター、気象局、灌漑局、および協力者の CECB、ペラデニア大学、ルフナ大学、モラトア大学などの関係者が参加する Project RRLI のワークショップが NBRO、災害管理センター、気象局を当時所管していた灌漑・水資源・災害管理省内で行われた。本プロジェクトの内容を紹介する中で気象予測のためのプラットフォームになる最先端のマルチスケール気象モデル (MSSG) による過去の斜面災害時の降雨再現結果、および高速リングせん断試験結果を用いた Arayanake 地すべりの発生、流動、堆積課程の再現シミュレーションが紹介された。参加者からはこのプロジェクト推進に強い支援を表明する発言があり、併せて先行して行われていた JICA の非構造物対策能力強化プロジェクトと本プロジェクトの役割分担と、その中でこれらの最先端技術を用いて予測されたリスク情報をどのような形で地域のコミュニティーや行政に伝えていくのか討議された。

上記と前後する形で Arayanake 地区を所管する Arayanake 郡 (Divisional Secretary) とさらにその上位行政組織であるケゴール県の県知事 (District Secretariat) の L. J. M. G. Ghandrasiri Bandara 氏を研究代表者の小長井一男と、ICL 事務局長佐々恭二らが訪問し、上記の早期警戒技術の紹介を行なった。県知事からはプロジェクトへの強い期待の表明と併せて、社会実装を行うにあたってスマートフォンの保有率*が高くないこと、貧民 (災害弱者) への対応が大事になるとの考えが示された。

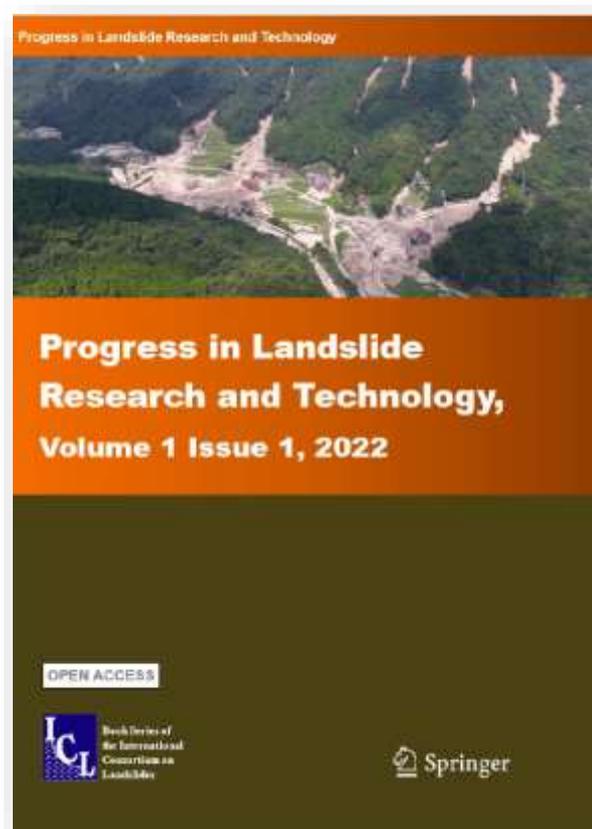
社会実装にあたっては、先行して進められていた JICA 技術協力プロジェクト "Project for Capacity Strengthening of Development on Non-structural Measures for Landslide Risk Reduction in Sri Lanka (略称: Project SABO)" で構築された枠組みも有効に活用できる。RRLI のリスク情報伝達上の各プレーヤーがどのような役割を担うのか具体化を進めるうえでも、Project SABO の成果は重要である。

*注記: 世銀によれば 2020 年の携帯電話普及率 (対人口比) はスリランカで 140%だが、スマートフォン保有率は不明。人口・統計局によれば 5 歳から 69 歳までの年齢層の 36%がインターネットにアクセスし、このうちの 75.4%がスマートフォンからのアクセスとのデータがあり、単純に掛け算はできないものの、スマートフォン普及率は 30%弱程度と推定される。本プロジェクトの対象地域はコロomboのよ

うな都市でないので普及率はこの平均値を下回る可能性もある。

V. 日本のプレゼンスの向上 (公開)

この SATREPS プロジェクト (Project RLL) 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として認定された。そして関連する研究成果は、原著論文 (国際学術誌 *Landslides* など)、学会発表 (第 5 回斜面防災世界フォーラムなど) に関係者と共著で発表されている (別添: 様式 2 「成果発表等」参照)。また ICL が新たに発刊することになった Open Access Book Series, “Progress in Landslide Research and Technology (P-LRT),” Springer (図 14) にもこれの成果が発表される。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。



Chapter 16. Early warning system against rainfall-induced landslide in Sri Lanka (Kazuo Konagai, et al.), 19 pages.

Chapter 17. Realtime high-resolution prediction of orographic rainfall for early warning of landslides (Ryo Onishi), 12 pages.

Chapter 26. LS-RAPID Manual with Video Tutorials (Beena Ajmera), 60 pages.

図 14 Progress in Landslide Research and Technology, Volume 1 Issue 1, 2022: 2022 年 12 月にオンラインで公開予定のオープンアクセス本の第 1 巻・第 1 号の表紙、および本 SATREPS プロジェクトの報告を掲載する 3 編の章

<https://www.barnesandnoble.com/w/progress-in-landslide-research-and-technology-volume-1-issue-1-2022-kyojisassa/1142014943>

以上

【令和 4 年 / 2022 年度実施報告書】【230531】

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. Landslides, 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," Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk, 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," Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk, 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/10.1007/978-3-319-59469-9_19	国際誌	発表済	

論文数 3 件
 うち国内誌 0 件
 うち国際誌 3 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", Landslides 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," Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk, 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.), Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk, 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. Landslides 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. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 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. Landslides 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	

論文数 14 件
うち国内誌 1 件
うち国際誌 13 件
公開すべきでない論文 0 件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名, タイトル, 掲載誌名, 巻数, 号数, 頁, 年		出版物の種類	発表済 / in press / accepted の別	特記事項
2019	Kazuo Konagai, Asiri Karunawardena, A A Virajh Dias, Kyoji Sassa, Khang Dang, "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		プロシーディング	発表済	
2021	Konagai K., Karunawardena A., Sassa K. (2021) SATREPS Project for Sri Lanka with Regard to "Development of Early Warning Technology of Rain-Induced Rapid and Long-Travelling Landslides". In: Sassa K., Mikoš M., Sassa S., Bobrowsky P.T., Takara K., Dang K. (eds) Understanding and Reducing Landslide Disaster Risk. WLF 2020. ICL Contribution to Landslide Disaster Risk Reduction. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-60196-6_12		書籍の1章	発表済	
2022	Kazuo Konagai, Asiri Karunawardena, Kithsiri N. Bandara, Kyoji Sassa, Ryo Onishi, Ryosuke Uzuoka, Shiho Asano, Katsuo Sasahara, Sanchitha Jayakody, Imaya Ariyaratna, Early warning system against rainfall-induced landslide in Sri Lanka. Progress in Landslide Research and Technology, Vol.1, No.1			in press	

著作物数 3 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、深潟康二、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		書籍の1章	発表済	
2022	Beena Ajmera, Hossein Emami Ahari, Doan Huy Loi, Hendy Setiawan, Khang Dang, and Kyoji Sassa, LS-RAPID Manual with Video Tutorials. Progress in Landslide Research and Technology, Vol.1, No.1		書籍の1章	発表済	
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		書籍の1章	発表済	
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.		プロシーディング	発表済	
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		書籍の1章	発表済	
2022	Daisuke Higaki, Kiyoharu Hirota, Khang Dang, Shinji Nakai, Masahiro Kaibori, Satoshi Matsumoto, Masataka Yamada, Satoshi Tsuchiya, Landslides and Countermeasures in Western Japan: Historical Largest Landslide in Unzen and Earthquake-induced Landslides in Aso, and Rain-induced Landslides in Hiroshima. Progress in Landslide Research and Technology, Vol.1, No.2		書籍の1章	発表済	
2022	Kyoji Sassa, Loi Doan, Khang Dang, and Pham Tien, Sliding-surface liquefaction and undrained steady-state shear-strength. Progress in Landslide Research and Technology, Vol.2, No.1		書籍の1章	in press	

著作物数 13 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(京都大)・Suranga Dissanayaka(NBRO)・Ranjan Weerasinghe(NBRO)・Lahiru Sankapala(NBRO)、アトウェ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

招待講演 0 件
口頭発表 5 件
ポスター発表 2 件

② 学会発表(上記①以外)

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	平井丈(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	浅野志徳、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, Hirotaka 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	浅野志徳、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ー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
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

招待講演	1 件
口頭発表	30 件
ポスター発表	4 件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

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

国内特許出願数 0 件
 公開すべきでない特許出願数 0 件

②外国出願

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

外国特許出願数 0 件
 公開すべきでない特許出願数 0 件

VI. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項

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	2020/12/15	Project RRLL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	2021/4/21	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	2021/11/6	RRLL 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	2022/11/26	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	2022/11/26 -29	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	2023/2/8- 2023/3/7	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	山地で気象予測に用いるソフトウェアMSSGの講習会
2022	2023/2/8- 2023/3/7	短期研修(RRLL, 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(RRLL)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

7 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・ペラデニア・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をコロムボで開催する計画を承認。

4 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 ・国立建築研究機構
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

