

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)
研究課題別中間評価報告書

1. 研究課題名

ベトナムにおける幹線交通網沿いの斜面災害危険度評価技術の開発 (2011年6月－2016年11月)

2. 研究代表者

2. 1. 日本側研究代表者：佐々 恭二 (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)
2. 2. 相手側研究代表者：Nguyen Xuan Khang (ベトナム交通科学技術研究所 所長)

3. 研究概要

ベトナムやラオス・ミャンマー等の大メコン圏の山岳地域では、脆弱な地盤と雨期の激しい降雨、熱帯特有の強風化があいまって斜面災害が多発している。特に近年国土開発が進むベトナムでは、道路等のインフラに被害を及ぼす斜面災害の克服は重要課題であり、課題解決に向け斜面災害の核となる地すべり研究において世界をリードする日本の科学技術をもって斜面災害危険度の評価技術を開発、ベトナムの持続的発展を支援する。

本プロジェクトの実施期間内の目標は「ベトナム国における『斜面災害危険度評価技術』の開発および社会実装を可能にするための教育・人材育成の実施」であり、プロジェクト終了後5-10年での達成を目指す上位目標は、『斜面災害危険度評価技術』の大メコン圏地域等への展開と適用性拡大である。

研究成果はプロジェクト実施期間内に「ガイドライン」として取り纏めてベトナム国に提示し、ベトナム国における「斜面災害危険度評価技術」の基礎とする。

具体的な研究項目は以下の3つである。

1. 【広域地すべりマッピングによる地すべり危険斜面の抽出】
地上踏査、空中写真判読とその解析結果を統合したGIS (地理情報システム) 解析により、広域を対象とした斜面変動域の検出とその危険度評価技術の開発
2. 【土質試験とシミュレーションに基づく斜面災害予測技術の開発】
抽出された危険斜面から採取したサンプルの土質試験で計測されたパラメータを用いた数値解析による斜面災害危険度評価技術の開発
3. 【地すべり計測による危険度評価と早期警戒システムの構築】
特定地域を対象として、降雨—地下水—斜面変動の自動計測システムの開発とそれに基づく地すべり危険度評価および早期警戒システムの開発

4. 評価結果

総合評価 (A-：所期の計画と同等の取組みが行われ、一定の成果は期待できる)

本プロジェクトは、ボーリング掘削、計測機器の購入設置、既往地すべり地形の判読作業が当初足踏

み状態となった。カウンターパートである交通省(MOT)副大臣、交通科学技術研究所(ITST)所長の交代・方針見直しによる研究対象サイトの変更、ベトナム政府による公式のプロジェクトの内容と予算(Project Document)確定や、A4 フォーム(免税手続きのための機材リスト)承認、航空写真入手のための防衛省との調整が遅れたことによる。

特に計測機器設置の約2年の遅れによる影響が懸念される。ベトナム側の手続きの問題ではあるものの、当初計画の立案段階や推進にあたって、このような事態の可能性に少しでも配慮できなかったのか、プロセスを検討することも必要である。

一方、日本側の研究項目は着実に進めており、ベトナム側の人材育成、人工降雨斜面崩壊実験施設建設の前倒し、ハイバン駅裏山での予備的観測の実施など、全体の進捗の遅れを取り戻す努力は評価する。また、UAV(無人航空機)やALOS(陸域観測技術衛星「だいち」)データの活用による展開も非常に期待できる。

現段階では必要な備品の調達も済み、全体としてプロジェクト実施期間中の目標達成が見えてきていることから、後半での強力な巻き返しが望まれる。

研究活動の継続性という点では、ベトナムに新設された「地すべり学会」(VLAT: Vietnamese Landslide Association for Transport)などを通じて、大学の研究者等との連携など、ベトナム側の体制を強化することが必要である。また、当初滞った研究を早急に軌道に乗せ、インパクトの大きい研究成果を創出することはもちろんであるが、ガイドラインの策定など社会実装に向けた取り組みでは、交通省、交通科学技術研究所などのカウンターパートのみならず、他の関連機関や研究者以外の幅広いステークホルダーに、プロジェクトの意義を伝え、理解してもらうための一層の働きかけが重要となる。

4-1. 国際共同研究目標の達成状況について

【広域地すべりマッピングによる地すべり危険斜面の抽出】

ベトナム国での空中写真が高額であるため、日本の衛星技術が生かされた「ALOS 全世界デジタル 3D 地形データ」や、UAV を活用するなど臨機応変に対応している点は評価できる。

これにより、調査範囲全域のデジタル地図を取得し、交通科学技術研究所との合同現地調査、空中写真判読、GIS 解析を行い、ハイバン地区、カンドック地区、タンミープラウ地区については試作版地すべり地形マップが完成している。さらに、ホーチミンルート沿いの地域では、地質調査に基づいて地質特性と斜面災害特性の対応を評価した上で、AHP(階層分析法)、Fuzzy 解析などによる確度の高い危険度評価も実施しつつある。

また、地すべり前兆現象を落葉しない熱帯林地域においても把握するために、樹冠の移動などの微細情報を判読するための技術開発は、SfM(Structure from motion)などの画像処理をベースとした三次元形状復元新技術を用いて推進する予定である。これに関しては沖縄県西表島のマングローブ林、伊豆大島での試験的实施により、高精度 DSM(数値表層モデル)データによる樹冠変状域の可視化に成功したこと、および長野県小塩地すべりでの異なる二時期の空中写真から DSM を作成し、そのラスタ画像の PIV(粒子イメージ流速計測法)解析により、移動している森林の範囲とその移動量の推定の有効性が実証されたことから、落葉しない熱帯林地域における地すべり前兆現象抽出技術の開発が期待される。

【土質試験とシミュレーションに基づく斜面災害予測技術の開発】

深さ 100m に及ぶ大規模地すべりを再現するために、3MPa までの高い間隙水圧を実現できる高圧非排水リングせん断試験機を世界で初めて開発した。この装置を用いたせん断試験とそれにより得られたパラメータを用いたシミュレーションにより、雲仙眉山地すべりの再現に成功している。これは、土質調査とシミュレーションから深層崩壊の危険度評価が可能であることを示しており、評価できる。研究対象サイトのハイバン駅斜面から採取した土壌サンプルの高圧非排水リングせん断試験をベトナムからの留学生・短期研修生とともに実施し、解析済みである。また、地すべり津波シミュレーションモデルを開発し、当該地すべりが発生した場合のダナン湾での津波発生予測を行っている。

【地すべり計測による危険度評価と早期警戒システムの構築】

多深度型ワイヤレス土壌水分計、長スパン伸縮計、計測データの転送・解析・Web 表示システムの開発は順調に進んでいる。しかし、当初 2013 年度に予定していたハイバン駅裏山への計測機器の設置開始が遅れ、2015 年 6-7 月頃に完了する見込みとなっている。2013 年雨季のハイバン駅裏山での予備観測で降雨量と地盤変動との関連が見られたことは、計測が開始されれば成果につながることを予感させるが、雨季 2 シーズンのデータ取得が限界となっていることの影響は留意しなければならない。

ハノイの交通科学技術研究所における人工降雨斜面崩壊実験施設の建設は当初計画に無かったが、実験的な研究の有効性を理解したベトナム側の強い要望により開始した。計画は前倒しで進められており、建屋は 2013 年度中にすでに完成し、内部の実験施設も 2014 年度中の完成の予定である。ベトナム側に本プロジェクトの意義を理解してもらおう一助とするためにも、早急な完成と実験開始が望まれる。

【地すべり教材とガイドライン】

文部科学省の 2012 年度政府開発援助ユネスコ活動費補助金「アジア・太平洋地域等における開発途上国の教育、科学、または文化の普及・発展のための交流・協力事業」に応募し、「アジア地域を対象とする地すべり災害軽減のための教材開発-2006 年東京行動計画推進のための UNESCO-ICL 覚書の一環として-」とのテーマで経費を得て、ICL Landslide Teaching Tools を作成している。今後、本プロジェクトの成果を踏まえて改良・拡充し実用的な地すべり教材を開発することは、ベトナムにおける地すべり防災技術を伝承していく上で重要と考える。また、プロジェクトの後半にはこれを基にし、ベトナムの実情に即した、社会実装のための「ガイドライン」に取り纏めていく必要がある。

4-2. 研究実施体制について

【研究チームの体制】

カウンターパートの交通科学技術研究所から日本へ短期・長期研修生、留学生を多数受け入れ、ベトナム側の研究体制・日本との共同研究を強化しようとしている。こうした研修生、留学生はベトナムでの現地調査にも参加し、交通科学技術研究所の他の研究者に研修・留学の成果をベトナム語で伝えており、現地研究者の教育に役立っている。

また、日本側は、現地に経験豊富な熟年の専門家を長期滞在させ、現地での活動を効率的に進めようとしているが、機会をとらえて国内の若手研究者の参加を増やすことも国内人材育成の観点から重要で

ある。

なお、ベトナム側については、研究当初から研究協力機関としてベトナム国立大学の前学長や准教授等の参画を得ているが、さらに大学の研究者等も含め多彩な人材の関与・参画を増やすことで、研究のより円滑な展開と、持続的な研究体制の強化を図ることが望まれる。

【研究代表者のリーダーシップと研究分担者の自立的研究推進】

研究代表者のリーダーシップのもと、ベトナム側の人材育成や研究の推進が行われているが、今後は、進捗の遅れを取り戻し社会実装を確実なものとするために、ベトナム側に粘り強く働きかけ、牽引していく努力が必要となる。また、研究分担者にはさらに自立的・積極的に活動を進めて新たな知見を生み出し、プロジェクト全体の成果に結びつけることが期待される。

4-3. 科学技術の発展と今後の研究について

【今後の研究の進め方】

大メコン圏の山岳地域の脆弱な地盤、雨季の激しい降雨、熱帯強風化という特有の問題設定という意味ではプロジェクトの意義が認められる。本研究でせん断試験機の非排水できる応力を3MPaにまで高め、大規模地すべり研究の可能性を高めた点は重要であるが、研究手法は、地すべり地形マッピング、地すべり地での計測、地すべり試験機によるパラメータ抽出とシミュレーションなどのオーソドックスなものであり、クロアチアでのSATREPSプロジェクト「クロアチア土砂・洪水災害軽減基本計画構築」と共通している。

今後は本研究の特長の一つであり、熱帯地域の地すべり研究に重要な樹冠移動の測定による地すべり地形解析方法の開発をさらに進め、新たな展開を図ることも可能と考えられる。ベトナムのような熱帯地域では、樹木の形態は極めて複雑で成長も速く、温帯地域と異なる特性も多い。こうした地域で、樹冠分布の変形を利用したひずみ測定の方法を利用可能にしていくことには意味がある。UAVの活用により、より詳細な測定も可能になることから、当初の計画に無かった解析を行うなど、新たな展開も期待したい。また、データの取り方によっては、熱帯林の特性把握等の別の用途にも利用可能であろう。

なお、これまでの出版物をみると、本事業に直接関係する、定評のあるジャーナル論文の割合が極めて限られている。ベトナム側が交通科学技術研究所の研究者であること、日本側研究者の年齢が高いこと等が要因である可能性が考えられるが、SATREPSの意味合いを考えた場合、科学的成果も重要である。

【今後見込まれる成果】

樹冠移動からSfMを用いて地すべり活動の観測を試みることは、新たな地すべり観測技術を開発する意味で評価でき、早期の実施が望まれる。良質なデータが取得できれば、評価は今後高くなると考える。

なお、このように先端技術を活用した地すべり予測に加え、オーソドックスな地形観察による地すべり地形抽出技術の技術移転も並行して行っており、先方の経済発展の状況に応じて選択の余地を残している点は着実に地すべり災害軽減につながるものと予想される。

【日本人人材の育成】

日本人若手研究者の育成については、計測やシミュレーショングループは研究機関が中心となっていることから、若手研究人材の育成はあまり期待できないが、地形グループの現地調査には大学院生などがかなり参加している。しかし日本全体としての問題の反映であるともいえるが、全体的に大学院生および講師・助教レベルの研究者が本研究に積極的に参画しているとは言いがたい。今後、若手研究者の養成にむけての努力が望まれる。

4-4. 持続的研究活動等への貢献の見込みについて

【相手国側研究機関・研究者の自立性・自主性】

相手国側研究機関の人材の研修や留学による教育を通し、せん断試験や地すべり地形分布図の作成および危険度評価手法が技術移転されつつある。プロジェクト終了後もベトナム国内において自主的な地すべり防災業務・研究がなされると推定される。当初計画で想定されていた実験サイトではなく、先方の強い要請でダナンのハイバン駅サイトがモデルサイトとなったことは、確実に地すべりが予想される地域という点と、交通科学技術研究所のダナン支所があり、調達機材の受け入れや現地での設置工事の支援業務拠点となるという点では良い。しかし、ハノイから遠距離であるため、ハノイに拠点をもち現地技術者が頻繁にサイトを訪れ、観測技術の向上を図るという点では効率的ではないことが懸念される。

【人的交流の構築・持続的研究活動】

本研究を契機にベトナムに「地すべり学会」(VLAT: Vietnamese Landslide Association for Transport) が設立されたことは、同国の研究・政府機関における地すべり研究の情報共有がされ、ベトナムにおける自主的な地すべり研究の振興が期待できる点で評価できる。また、交通科学技術研究所はプロジェクト開始前からの国際斜面災害研究機構の加盟機関であり、その国際的なネットワークの中で他国の研究者との交流も期待できる。

現在のカウンターパートの交通省や交通科学技術研究所などの政府系の人材との関係強化は、成果をベトナムに根付かせるには効果的である。しかし、事業終了後の関係維持、研究者交流、機材の維持管理のためには、研究協力機関であるベトナム国立大学の研究者等も含め、国際化された人材の関与・参画をより強化しておくことも有効であろう。

今後も、人材育成と SATREPS 事業との間での十分な整合性をとりながら戦略的にネットワーク形成を進めていく必要がある。

【社会実装の道筋】

交通科学技術研究所が上位機関である交通省への働きかけに成功すれば、本プロジェクトの成果が国家的スタンダードとして採用される可能性は高い。このためには、カウンターパートの努力に任せるだけでなく、発足した「地すべり学会」などを活用して相手国内の理解者を増やす不断の努力が必要である。

4-5. 今後の研究に向けての要改善点および要望事項

以下に、今後の研究に向けての要改善点および要望事項を示す。

1. 早急な計測体制構築・計測データ取得

- ・当面はハイバン駅の計測機器設置を急ぎ、計測データ取得につなげることを優先すべきである。

2. 樹冠移動を利用した新たな展開に期待

- ・UAV を活用して地すべり前兆の把握に樹冠移動を利用することが考えられているが、新たな展開を探ることで、計画にはなかった成果が得られる可能性もある。積極的な推進が期待される。

3. ベトナムの実情に即したガイドライン

- ・地すべり危険度評価技術の総合的なガイドラインに関しては、ICL Landslide Teaching Tools に SATREPS の成果を加えたものを地すべり対策技術の基礎とし、これを元にベトナムの気候や地形、社会システム等を踏まえた、社会実装のためのベトナム用のスタンダードを作成することが必要である。このスタンダードを、交通科学技術研究所を通じて交通省で採用するよう働きかけ、将来的には、交通省から他の省庁に推奨しベトナム国のガイドラインとして実現することが期待される。

4. ベトナム側体制の強化と継続性確保

- ・地すべり研究がベトナムに真に根付くように、新設された「地すべり学会」などを通じて、可能な限り速やかに大学など交通省関係者以外の研究者との連携を進めることが望まれる。
- ・相手国側機関として、リモートセンシング等を専門にしている機関も含めることも考えられる。
- ・プロジェクト終了後の地すべり再現試験機、人工降雨斜面崩壊実験装置、計測装置、早期警戒システムの維持などの技術面、資金面、組織面での見通しについて、相手国側機関との協議を進め、本プロジェクトによる投資が有効なものとなるよう努力すべきである。

以上

研究課題名	ベトナムにおける幹線交通解消の斜面災害危険度評価技術の開発
研究代表者名(所属機関)	佐々恭二 (特定非営利活動法人国際斜面災害研究機構 学術代表)
研究期間	H23採択 (平成23年6月1日～平成29年3月31日)
相手国名/主要相手国研究機関	ベトナム社会主義共和国/ ベトナム交通省 交通科学技術研究所

付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	・国産地すべり防災技術(地すべり試験機・計測機の海外への適用) ・国産衛星(ALOS)(衛星画像の地すべり地形判読への適用)
科学技術の発展	3 MPaまでの高間隙水圧封じ込め技術を開発し、地震・豪雨時に発生する100mを超える大規模地すべりの発生・運動再現試験機の開発に成功した。大規模地すべりの数値に基づく災害予測技術を開発することができた。
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	地すべり計測・災害予測・危険箇所特定に関する地すべり教育ツール「ICL Landslide Teaching Tools」を開発した。これは日本の地すべり科学技術の世界標準化の推進である。
世界で活躍できる日本人人材の育成	教授への昇進、第五回斜面防災世界フォーラム(2020)の日本開催提案者の育成
技術及び人的ネットワークの構築	JICA長期研修生(博士1、修士5)、JST経費による博士1人の合計7名の4大学の大学院における教育とJICA短期研修生(多数)により、日本・ベトナム斜面災害技術・人材ネットワークが構築されている。
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	・国際ジャーナルLandslides(斜面災害危険度評価技術成果の連載)書籍出版 ・(Landslide Dynamics and Risk Assessmentの出版)

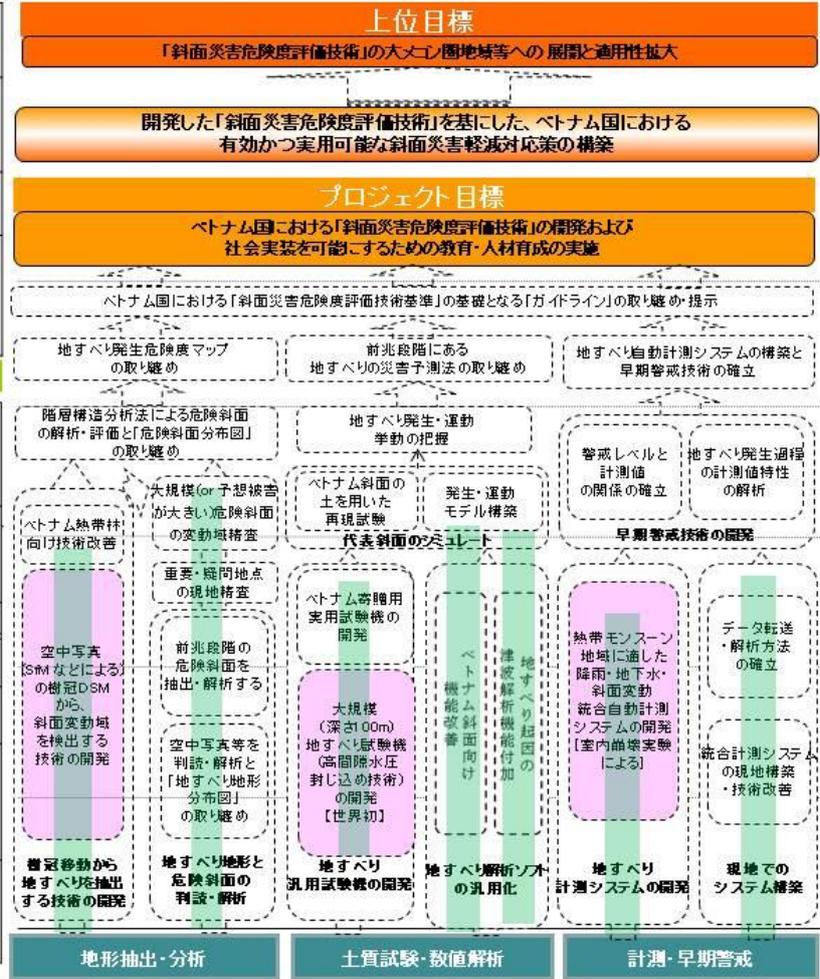


図1 成果目標シートと達成状況 (2014年12月時点)