

地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究課題別終了時評価報告書

1. 研究課題名

ペルーにおける地震・津波減災技術の向上に関する研究 (2010年3月-2015年3月)

2. 研究代表者

2. 1. 日本側研究代表者：山崎 文雄 (千葉大学 大学院工学研究科 教授)

2. 2. 相手側研究代表者：Carlos Zavala (ペルー国立工科大学 教授)

3. 研究概要

ペルーは日本と同じく、環太平洋地震帯に位置する地震・津波多発国である。2007年の地震と津波でも大規模な被害が出ており、今後も災害発生が予想される。そこで、本研究課題では、ペルーにおける地震・津波災害の軽減を図るため、地域特性を考慮した総合的な共同研究を実施した。具体的には、(1) 震源モデルによる地震動予測を行うとともに、地震観測や微動観測に基づいて地盤ゾーニングを行う、(2) 津波シミュレーションを実施し、その結果をまとめて津波減災対策を示す、(3) 建物現況調査を行うとともに、耐震補強効果を構造実験および数値解析で検討する、(4) リモートセンシングに基づいた空間基盤データ構築と災害把握手法を開発し、地震被害予測を実施する、(5) シナリオ地震・津波の被害予測結果にもとづいて、地域減災計画を作成する、の5項目を実施し、ペルーにおける地震・津波減災技術の向上とその社会への実装を進めた。

4. 評価結果

総合評価 (A+：所期の計画をやや上回る取り組みが行われ、大きな成果が期待できる)

当初計画はすべての項目についてほぼ計画通り実施され、期待されていた成果が得られている。調査研究計画は主として工学的見地から策定されており、我が国で開発されてきた高度な手法の積極的活用を通して、地震・津波防災・減災対策への貢献という社会実装が期待できる状況にあり、全体として高く評価できる。ペルー国の行政機関との連携も適切に図られていることから、本プロジェクトの成果がペルーの防災・減災対策に反映される可能性は高い。科学技術における研究開発という面では、地震・津波被害を引き起こす海溝型巨大地震のモデル化、津波浸水予測とマルチエージェントシミュレーションを組み合わせた手法による地域避難計画や津波避難ビル性能評価を可能とするなどに成果が見られるものの、必ずしも大きな進展があったとは言えない。プロジェクト全体の中で特筆す

べきは、本プロジェクトにおいて構築したカウンターパートとの連携強化であり、人材強化を含めた持続的研究者ネットワークである。また、隣国チリで進行中の津波プロジェクトと共同で中南米諸国を巻き込んだ津波シンポジウムを開催するなど、中南米諸国への波及効果は極めて顕著である。

4-1. 地球規模課題解決への貢献

【課題の重要性とプロジェクトの成果が課題解決に与える科学的・技術的インパクト】

科学技術の観点では、本プロジェクトにおける工学的なアプローチは完成度が高い。具体的には、我国でこれまでに培われてきた標準的な地震・津波災害減災技術をペルーの事情を踏まえた上で適用し実践的な成果を得たことである。津波評価においては、M9 クラスの海溝型巨大地震も想定するなど、東日本大震災の教訓も取り入れられている。減災技術の最先端を切り開くものではないものの、以下のような技術の応用手法の開発という点から高く評価できる。

○最新のプレートのカップリングを考慮した 12 ケースのシナリオと、既往最大とされる 1746 年の津波記録から復元したシナリオを採用し、それぞれの地震シナリオに対する津波浸水解析を行った。

○津波浸水予測を行った地域（Callao 市 La Punta 地区）を対象に徒歩・自動車での避難シミュレーション（マルチエージェントシミュレーション）を実施し、避難開始時間、避難方法、避難ビルへの到達時間、収容者数、津波の来襲特性と地理的要員など適性評価を行った。

○CISMID（日本・ペルー地震防災センター）に構造実験装置を搬入し、ペルーに特徴的な低靱性 RC 壁の破壊実験を行って部材性能を明らかにした。煉瓦壁の面外崩壊挙動を解明するための振動台実験と個別要素法を用いた解析手法の開発を行い、高度な耐震診断を可能とした。さらに、低靱性 RC 壁の補強方法として炭素繊維シートを部分的に用いた安価な補強技術を提案し、その性能検証実験を行った。

【国際社会における認知、活用の見通し】

震源断層モデルによる地震動シミュレーション、津波の伝播・遡上シミュレーション、避難シミュレーション、建物の崩壊シミュレーション、リモートセンシングと現地調査による建物台帳構築技術、都市施策効果シミュレーションなどのパッケージは中南米地域における海溝型地震のハザード評価及び防災実務として当該地域で広く認知される見通しである。

【他国、他地域への波及】

プロジェクト開始直後の 2010 年 2 月 27 日（現地時刻）に Mw8.8 のチリ Maule 地震が

発生し、ペルー・プロジェクトにおいても日本・ペルーの研究メンバーによる合同調査を行っている。2014年3月には、SATREPS チリプロジェクトと合同で、東京にて「中南米地域の地震・津波防災に関する国際シンポジウム」を開催し、本プロジェクトの成果の中南米諸国への展開を図っている。このシンポジウムには、ペルー、チリ、エクアドル、ニカラグア等の駐日大使も出席し、SATREPS に関する中南米諸国での注目も高まった。また本プロジェクトで得られた成果は、主としてペルー側による中南米諸国への技術の移転・普及が期待される。日本側では、建築研究所国際地震工学センターの地震工学研修などを通して、他の発展途上国へも移転・普及することを目指している

【国内外の類似研究と比較したレベル】

防災対策の取り組みとしての実用的な面での重要度は高く、中南米諸国の類似研究と比べると高いレベルにあるものの、国内の類似研究とは同程度のレベルと言える。しかし、防災・減災の取り組みは、それぞれの地域に適合したレベルでの取り組みが重要であり、地域の実情に併せた取り組みとしては評価できる。

4-2. 相手国ニーズの充足

【課題の重要性とプロジェクトの成果が相手国ニーズの充足に与えるインパクト】

ペルーにおいては沈み込みに伴う巨大地震発生の可能性が高く、特に人口の密集するリマ地域において、津波および地震リスクを評価する手法を提言し、被害軽減に向けての対策手法を提案したことは、相手国のニーズにこたえるものとなっており、その成果はペルー側に高いインパクトを与えている。例えば、リマ市の総合病院など重要構造物で非破壊検査や地震観測を実施し、耐震補強の必要性を検証したこと、具体的に提示した地震動予測や地盤ゾーニングがペルーの国の基準に反映されることになったこと、新たに提供した構造実験設備を使ったペルーに特有な建築構造形式の実験が行われ、耐震基準の見直しに取り入れられる見込みとなっていることなどである。

【課題解決、社会実装の見通し】

以下のような取り組みを通して課題解決に向かっていると判断できる。

- 海溝型巨大地震による被害が予想されるペルー市内の La Punta 地区における建物津波被害推定及びマルチエージェントシミュレーションの成果を考慮に入れ、2013年8月に INDECI（市民防衛庁）、DHN（水路・航行局）と協力して実施された津波避難訓練は、2000人が参加する盛況で、メディアなどからも大きく注目された。
- 微動観測と地震観測による表層地盤増幅特性の検討結果に基づき、リマ市全体における表層地盤の固有周期と増幅率の分布図を作成した。
- 鉄筋コンクリート造、組積造、日干しレンガ造など、ペルーの建物構造種別に応じた耐

震診断法および耐震補強技術を開発し、都市・地域の建物群の脆弱性評価と耐震化戦略に繋げた。また、リマ市内の複数の建物に強震計を設置し、地震時の建物性能をモニタリングするシステムを構築した。

社会実装については、ペルー国内の防災体制の強化という状況下で、ペルー側の本プロジェクト研究組織・実施体制が強力に組み込まれ、地震・津波災害の軽減に向けた取り組みがスタートしていることから、今後はペルー独自の力によって他の都市での地震動予測が開かれ、ペルー全域の地震被害想定及び広域防災マップなどにより国民への防災啓発が進み、総合的な防災力の向上が期待できる。

【継続的発展の見通し（人材育成、組織、機材の整備等）】

地震防災に関するソフト技術がペルー側に技術移転されている。例えば、震源断層モデルによる地震動シミュレーション、津波の伝播・遡上シミュレーション、避難シミュレーション、建物の崩壊シミュレーション、リモートセンシングと現地調査による建物台帳構築技術、都市施策効果シミュレーションなどである。今後はこれらの技術をペルーの実情に沿うように、防災実務へ適用していくことが期待される。

人材育成では、文部科学省国費留学生（博士後期課程）を SATREPS 枠で 5 人、その他で 2 人ペルーから受け入れたほか、日本から短期派遣した若手研究者や大学院生との交流も行われた。また、ペルー側の自主的研究推進に向け、機材の整備や組織連携などが徐々に進みつつあることから、今後の継続的発展が見通せる。一方で、現地における各種調査・観測時においてみられた混乱などを考えると、ペルー国内の研究者への継続的な支援制度の設立が必要となる可能性もある。

【成果を基とした研究・利用活動が持続的に発展していく見込み（政策等への反映、成果物の利用など）】

本プロジェクトで共有された地震・津波災害の減災技術については、ペルー側研究者にもその重要性が理解されていると思われる。また、本プロジェクトにおいてペルーの防災関連行政機関の研究機関の協力関係が維持されてきた。加えて、カウンターパートの CISMID は、本プロジェクトでの活動も認められてペルー国内での評価が高まり、2014 年 3 月 19 日のペルー政府の決定により、国の防災・危機管理担当機関の 1 つとして認定された。これらより、成果の一部は既に耐震基準等に採択されており、今後も成果が政策的に取り入れられる可能性は高い。しかし、自治体レベルの行政への浸透については難しい面もある。

4-3. 付随的成果

【日本政府、社会、産業への貢献】

今後の南米巨大地震による我が国への津波到来に関する情報が早期に得られる可能性は

高い。また、我が国で培われてきた地震・津波減災技術が広く国際的に利用されることになり、我が国の当該分野での高い技術力を国際的にアピールできたと考えられる。

【科学技術の発展】

強震動・津波ハザード評価の工学的アプローチとしては我が国では標準的であり、また特別な新技術が開発されたわけでもないので、更なる科学技術の発展への貢献が高いとは言えない。一方で、科学技術が十分には活用されていなかった地域・分野に調査研究を展開し、そのすそ野を広げたことには意味があると思われる。

東北地方太平洋沖地震による被害調査やデータ分析を本プロジェクトでも実施しており、先述のチリ Maule 地震での合同調査と合わせて、これらの調査研究の成果が科学技術の進展に貢献する可能性はある。

【世界で活躍できる日本人人材の育成（若手、グローバル化対応）】

現地調査や解析に若手研究者や大学院生が参加していることから日本人人材の育成に貢献したと思われる。本プロジェクトで多くの経験を得て、昇格や大学教員新規採用につながった例もある。カウンターパートとの活発な人的交流がなされ、本プロジェクトに参画した日本人研究者の中南米地域への理解が深まり、当該地域での活躍が期待できる人材が育成されたと思われる。

【技術および人的ネットワークの構築（相手国を含む）】

本研究プロジェクトの特徴は、人的ネットワークの構築に多大な努力を払っていることであり、我が国への国費留学生も含めて強固になりつつある。さらに、中南米諸国の研究者ネットワークへ拡大しつつあり、この点は高く評価できる。

特に 2014 年 3 月に開催したシンポジウムでは、中南米諸国の研究者を含めた広域人的ネットワークの構築に大きく貢献した。

4-4. プロジェクトの運営

【プロジェクト推進体制の構築（他のプロジェクト、機関などとの連携も含む）】

研究代表者を中心によくまとまった体制が構築された。ペルー側の体制もしっかりしており、プロジェクトが全体としてうまく機能したと言える。とくに、CISMID との連携は極めて強力に機能したほか、ペルーの他の研究機関、防災行政組織との連携も適切に図られ、プロジェクトの効果的推進につながった。また、他の中南米諸国の研究者を本プロジェクトの研究集會に招くなどして、他の SATREPS プロジェクトの採択に結びつけることに貢献した。

【プロジェクト管理および状況変化への対処（研究チームの体制・遂行状況や研究代表者のリーダーシップ）】

研究代表者のリーダーシップが効果的に発揮され、適切かつ極めて円滑にプロジェクトが推進された。ペルー側の事情により、ボーリング調査及び海底地形調査において予定変更等が見られたものの、その後適切に対応しており、とくに大きな問題とはなっていない。

【情報発信（論文、講演、シンポジウム、セミナー、マスメディアなど）】

シンポジウムを多数開催するなど、相手国での情報発信はよく行われている。調査研究の成果は Journal of Disaster Research の特集号において多くの論文として発表された。この中で多くの若手研究者が論文発表を行ったことは人材育成面でも高く評価される。これらを通じた本プロジェクト及び SATREPS 事業の広報における貢献は大きい。ペルー国内においてもセミナー、マスメディア取材などを通じた情報発信は活発に行われ、地震・津波災害に対する住民の意識向上に貢献している。また、SATREPS チリプロジェクトと共同でのシンポジウムを通じて、同様の課題を抱える中南米諸国とのネットワーク形成に貢献した点は高く評価できる。こうした活動や成果はホームページを通じて広く情報発信が行われている。

行政関係では、ペルー政府の防災セクター見直しの動きが出る中で、関係行政組織への情報発信（特に CISMID 所長による上位レベルへのアピール）によってプロジェクト及び CISMID の認知が高まった。また、行政担当者向けのセミナーを今後数回にわたって開催することが予定されており、研究成果の広報と活用が図られようとしている。

5. 今後の研究に向けての要改善点および要望事項

(1) 空間情報の緻密化も今後の一つのアプローチであろう。その場合、衛星データに限らずマルチコプターなど研究者レベルで扱えるものを導入するという事も考えられる。SAR でも解像度が上がっており、とくに GPS ネットワークにこだわらない世界を作ると言う可能性もありうる。

(2) 地震動・津波ハザード評価及びそれに基づいた防災・減災行動については工学面としてはほぼ完成の域に達しており、研究者ネットワークを通じた中南米諸国への更なる波及を、類似の SATREPS プロジェクトとの連携も含めて期待したい。また、海溝型巨大地震の発生予測という理学的課題に関して、中南米研究者ネットワークの活用を通じた我が国の研究者への間接的支援にも期待したい。

(3) 本プロジェクトはあくまでも CISMID が中心となっており、CISMID の能力強化に大きく貢献したが、CISMID を超えたペルーの防災セクターという観点からすると成果の広がりには、やや限定的であった。今後、ペルーの防災セクターの中で求められている役割は小さくないので、プロジェクトの成果が二次的、三次的に活用されていくことが期待できる。

今後の着実な定着を図るためにも、CISMID との友好関係を絶やさず、交流を継続することを期待したい。

(4) 地震・津波関連では、他の SATREPS プロジェクトでも類似の取り組みが行われている。しかし、これまでのところお互いの情報交換が希薄である。今後のグローバルな調査研究の推進という観点から、調査研究成果だけでなく、現地調査における課題、留意点などについても情報交換ができる SATREPS 研究者ネットワークの構築が望まれる。

(5) ペルー国内では、まだまだ技術レベルが十分でない点も多く、本プロジェクトで展開されたような地震・津波減災技術をペルーに真の意味で根付かせるためには、継続的な技術指導、人材育成、人的交流が不可欠である。こうした取り組みを継続的に支援できる制度の立ち上げが重要である。その際、地震、津波以外の災害も考えた総合的な防災計画に発展させていく必要も出てくるのではないかと。

以上

図1 成果目標シートと達成状況 (2015年1月現在)

研究課題名	ペルーにおける地震・津波減災技術の向上に関する研究
研究代表者名 (所属機関)	山崎 文雄 (千葉大学 大学院工学研究科)
研究期間	H21採択(平成22年3月1日～平成27年3月31日)
相手国名/主要 相手国研究機関	ペルー共和国/ペルー国立工科大学(UNP)日本・ペルー地震防災センター(CISMID)

付随的成果	
日本政府、社会、産業への貢献	被害推定や土地利用データ構築等の研究では、国産衛星(ALOS)の画像データを活用することにより、日本の衛星画像や宇宙開発技術の優秀さを世界にアピールする。
科学技術の発展	日本では得難い事例が、相手国に数多くあることから、本共同研究により、現象解明や減災手法の研究が加速されるため、我が国の当該研究に益する所が大きい。
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	・世界でも地震・津波被害が顕著な相手国で国際共同研究を推進することにより、当該分野における、我が国の指導的地位が強化される。 ・日本発の地震・津波減災技術が、相手国に普及する。
世界で活躍できる日本人人材の育成	・共同研究の推進や現地での技術指導に、延べ20名以上の若手研究者をペルーに派遣。 ・教授、准教授に8名が昇任。
技術及び人的ネットワークの構築	・ペルーおよび日本で、延べ10回の国際シンポジウムやワークショップを開催した。 ・国費留学生として博士課程5名、修士課程1名、短期研修生として5名を受け入れた。
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	・査読付論文: 60件以上 ・相手国が筆頭著者の査読付論文: 20件以上 ・国際会議論文: 80件以上

