

特集 ペルーにおける地震・津波減災技術の向上に関する研究

山崎 文雄[†]

1. ペルー・プロジェクトの開始

地球規模課題対応国際科学技術協力事業 (SATREPS) は、科学技術振興機構 (JST) と国際協力機構 (JICA) が連携して平成 20 年度より開始した、日本が主導する国際共同研究の枠組みの 1 つである。国際社会が共同で取り組むことが求められている地球規模課題を対象として、開発途上国と我が国が国際共同研究を推進することにより、課題の解決および科学技術水準の向上につながる新たな知見を獲得することを目指している。研究分野としては、現在、環境・エネルギー、生物資源、防災、感染症の 4 つが指定されており、このうちの防災分野では、「開発途上国のニーズを踏まえた防災科学技術」という研究領域が指定されている。

SATREPS の応募にあたっては、相手国側研究者と共同研究内容を十分に調整し、相手国研究機関からの相手国の技術協力担当省庁を通じた技術協力要請が、日本の外務省に提出されることが必要要件となる。したがって、日本での提案書の提出前に、相手国側において同じ内容の技術協力要請がすでになされている必要がある。

我々は、2008 年 11 月に提案書を JST に提出し、2009 年 4 月に条件付採択課題に選ばれた。同 6 月に、JST と千葉大学で暫定研究の契約を締結し、日本側でのプロジェクトを開始した。研究代表者 (山崎) は、2009 年 8 月には JICA の詳細計画策定調査団の一員としてペルーを訪問して、討議議事録 (R/D: Record of Discussions) 策定のための討議を行い、JICA 調査団長とペルー国立工科大学 (UNI) 学長との間で合意文書が取り交わされた¹⁾。このあと、ペルー国政府の国際援助庁 (APCI) と JICA の間で交渉が進められ、2010 年 1 月 15 日に JICA, UNI, APCI の間で討議議事録 (R/D) が署名された。これにより、JICA の技術協力プロジェクトの 1 つとして、「ペルーにおける地震・津波減災技術の向上に関する研究」が正式に開始する運びとなった。

2. プロジェクトの背景と目的

ペルーは、日本と同様に環太平洋地震帯に属する地震・津波の多発国である。最近においても、2001 年 6 月 23 日に、ペルー南部の沿岸部を震源とするマグニチュード 8.4 の地震が発生し 100 人を越える死者が発生し、4 万棟を越える建物が倒壊・大破した。また 2007 年 8 月 15 日にも、ペルー中部 (イカ州ピスコ沖) でマグニチュード 8.0 の地震が発生し、500 人を越える死者が発生し、8 万棟を越える建物が倒壊・大破した。いずれの地震も、ナスカプレートが南アメリカプレートに沈み込む境界で発生した海溝型地震で、津波による被害や犠牲者も発生している (図 1)。

このように地震・津波災害の危険性の高い国はアジア・太平洋地域に数多いが、中でもペルーは日系移民が多いなど日本と関係が深く、地震工学・地震防災の分野でも、ペルー国立工科大学 (UNI) の土木工学部の中に日本-ペルー地震防災研究センター (CISMID) が 1987 年に設立されるなど、永年にわたって交流が続いていた。しかし、90 年代に入って政情不安や治安悪化などが深刻となり、関係がやや疎遠になりつつあった。しかし、最近では政情も安定し、科学技術分野での交流も復活の兆しにある。このような背景のもとで、永年培ってきたペルーとの地震防災分野での研究交流を再び活性化し、永続性のある技術協力関係を築くことは両国にとって極めて重要と考えられた。日本に留学して学位を取得した研究者達も、地震防災分野における指導的な立場になり、ペルーで頻発した大地震による社会的関心の向上と合わせて、ペルーと日本の関係を深める絶好の時期といえた。以上の背景より、アジア・太平洋地域のなかから、地震・津波による災害軽減のニーズが高いと考えられるペルーを科学技術協力事業の対象国として選んだ。

本研究の最終的な目的は、地震・津波による災害を軽減することである。本研究では減災の視点に

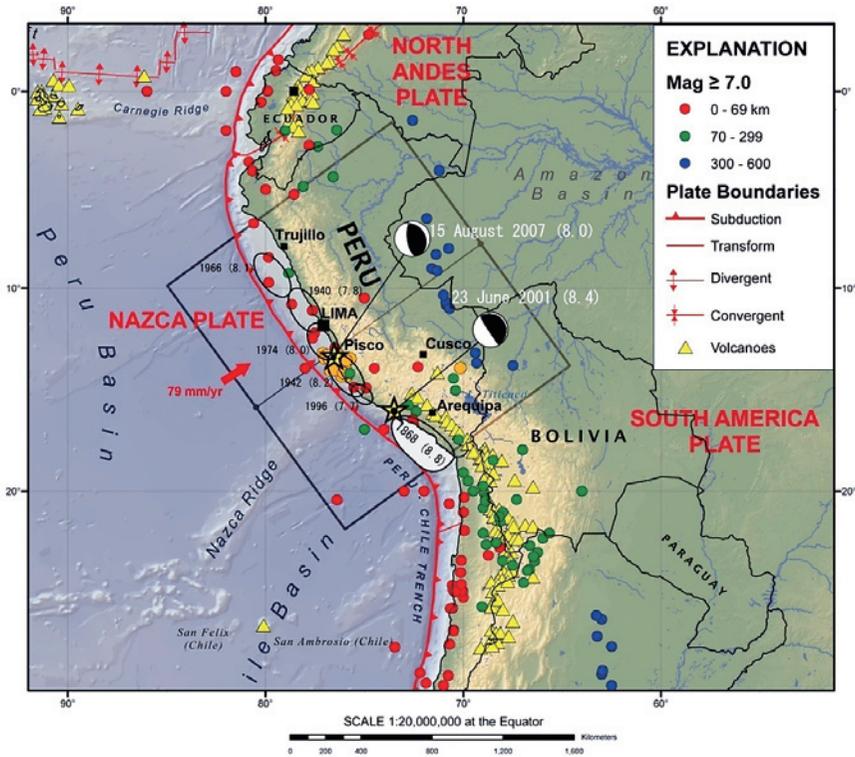


図1 ペルーとその周辺のプレート境界と発生地震（文献^{2,3}）に加筆修正）

立って、研究者間の国際的・学際的な連携のもとに、フィールドに立脚した実践的研究を推進し、発展途上国社会への減災技術の実装を目指している。そこで、地震動予測と地盤ゾーニング (G1)、津波予測と被害軽減 (G2)、建物耐震性の向上 (G3)、空間基盤データ構築と被害予測 (G4)、地域減災計画 (G5) の5つのグループに分けて、密接な連携のもとで、地域特性を考慮した総合的な共同研究を実施する。

本事業による近未来の成果としては、ペルーの地震・津波減災技術の進展がまず期待される。さらに、日本・ペルーの研究者とペルーの防災行政関係者による連携を推進し、研究成果を同国の防災施策に継続して生かせる体制を構築し、本事業終了後も継続することを目的とする。さらに、本事業で得られた成果について、主としてペルー側による中南米諸国への技術の移転・普及を考えている。また、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。

3. 研究プロジェクトの概要と組織構成

研究プロジェクトの組織構成を図2に示す、日本側は千葉大学が研究代表機関となり、山崎文雄が研究代表者とG5のリーダーを務め、中井正一がG1のリーダーを務める。主たる共同研究機関としては、東北大学 (G2: 越村俊一)、建築研究所 (G3: 斉藤大樹)、東京工業大学 (G4: 翠川三郎) がこれに加わり、さらに多数の研究機関の研究者が、各グループの研究メンバーとして参加している。

ペルー側はUNI-CISMIDを代表機関として、Carlos Zavalaが研究代表者を務め、CISMIDの研究者が多数参加する。このほか、地球物理庁 (IGP)、市民防衛庁 (INDECI)、水理航行部 (DHN)、航空宇宙研究開発委員会 (CONIDA)、防災研究センター (PREDES)、文化庁 (INC)、住宅建設衛生省 (MVCS)、国立建設産業訓練機構 (SENCICO)、Ricardo Palma 大学 (URP)、国家電子情報局 (ONGEI-PCM)、さらに対象地域の地方自治体などの研究者・実務者が参加する。

研究項目とそれらの関係を図3に示す。震源モデルから始まり、地震動や津波を予測し、建物等の耐

震性を評価し、被害予測と減災計画立案という、一連の地震・津波防災研究の流れとなっている。

各グループの研究項目の概要であるが、「地震動予測と地盤ゾーニング (G1)」では、海溝型巨大地震を設定し強震動を予測する。また最近の地震の被災地域において微動観測を行うとともに、地震計ネットワークを拡充し共同で強震観測を実施する。これらの結果を踏まえて、ペルーに適した地盤分類と地震動増幅度を提案し、リマ市などを対象に地震マイクロゾーニングを実施し、シナリオ地震に対する推定震度マップを構築する。さらに、斜面災害に対する調査を行い、危険度評価を行う。

「津波予測と被害軽減 (G2)」では、ペルーにおける過去の津波災害のデータベースを構築する。また、海底地形データや沿岸地域の標高・地形データを収集し、津波波源モデルに基づいた津波伝播・津波遡上シミュレーションを実施し、実被害を検証する。さらに、沿岸地域の土地利用調査に基づく、現実的な津波減災対策を提案する。

「建物の耐震性向上 (G3)」では、ペルーの都市および地方の建物現況調査を行うとともに、ペルーの建物に適した耐震診断手法を開発し、耐震補強効果に関する構造実験と数値解析を行う。ペルーの建物は、都市部では鉄筋コンクリート造や組積造が、山村部などではアドベ造などが、さらに歴史的建造物や世界遺産も数多く、これらの耐震性向上を目指す。

「空間基盤データ構築と被害予測 (G4)」では、衛星画像等を用いて建物データベースを構築するとともに、立体視による標高・地形モデルの自動構築を行う。また、2007年ピスコ地震の前後の衛星画像を用いて被害検出を行い、現地調査結果と比較して被害把握手法の適用性を検証する。これらのデータを用いて、シナリオ地震に対する被害予測を

行う。

「地域減災計画 (G5)」では、研究全体を統括するとともに、各研究グループの成果をまとめて地域減災計画に反映させ、ペルー側と共同で防災行政機関や地域社会への教育・普及を図る。

以上の研究テーマを2010年3月から正式に開始し、2015年3月までの予定で実施する。大まかな研究スケジュールを表1に示す。また本プロジェクトでは、Web ページ (<http://ares.tu.chiba-u.jp/peru/index.html>) を早期に立ち上げ、情報交換や成果の公表に利用することにした。これには、日本語版、英語版に加えてスペイン語版も用意している。

4. キックオフ国際ワークショップの開催

2010年3月15日、16日の2日間、リマ市内のCISMID 会議場において、「第1回日本-ペルー地震・津波減災技術の向上に関する国際ワークショップ」を開催した(図4)。この会議には、日本側からは本プロジェクトのメンバー25人に加えて、在ペルー日本国大使、JICAペルー事務所長、文部科学省防災科学技術推進室長に出席していただいたほか、JSTワシントン事務所からも参加いただいた。ペルー側からは、UNI学長ほかの大学関係者、国際協力庁(APCI)などのペルー政府関係者、本プロジェクトのメンバー、一般の研究者・技術者など約500名が出席し、報道関係者の姿も多数見られた。このように、本プロジェクトのキックオフ・イベントがペルー国内で大きな注目を集めたのは、関係者の尽力もさることながら、この約2週間前に発生したチリ大地震によって、地震・津波に関する社会的関心が一気に高まったことが大きいと思われる。このほか中南米諸国からも、10人の地震工学研究者を招待した。

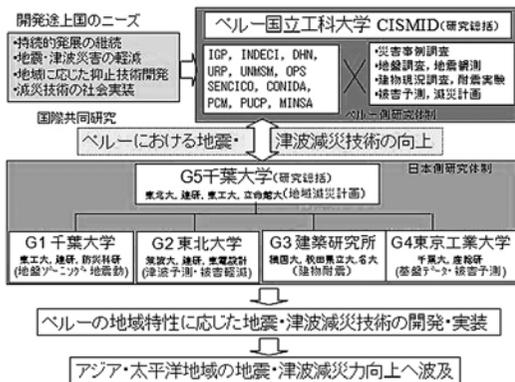


図2 ペルー地震・津波減災プロジェクトの組織構成

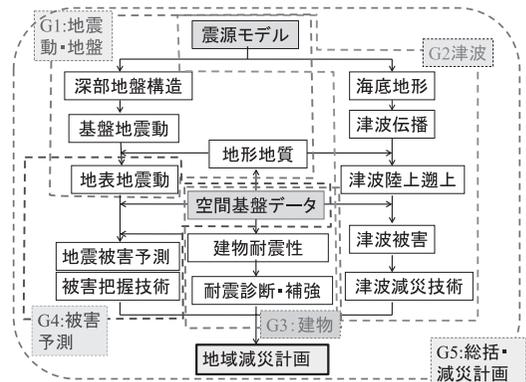


図3 研究項目とその関係および各グループの分担

会議初日は、開会式典のあと、研究代表者の山崎文雄と Carlos Zavala が本プロジェクトの概要について説明し、その後、各研究グループリーダーが研究計画について発表した。2日目は、午前中に本プロジェクトの研究者によるグループ討議を行った後、午後は中南米諸国の研究者による各国の地震・津波減災技術に関する現状報告、日本人研究者による話題提供、グループ討議の総括報告を行い、2日間のワー

クショップを盛況のうちに終えることができた。

5. ペループロジェクトによる 2010 年チリ地震調査

2010年2月27日午前3時34分（日本時間27日午後3時34分）頃、南米チリ中部の太平洋岸で、マグニチュード8.8の強い地震が発生した。震源は、首都サンティアゴの南西約325キロの太平洋沿岸地区で、震源の深さは約35kmである。チリ国内の被

表1 研究項目とスケジュール

研究項目（担当機関）	研究期間（H21-H26）					
	H21年度 (10ヶ月)	H22年度	H23年度	H24年度	H25年度	H26年度 (12ヶ月)
①地震動予測と地盤ゾーニング 【千葉大、東工大、建研、防災科研】 1) 震源モデルと地震動予測 2) 微動と強震観測に基づく表層地盤ゾーニング 3) 斜面災害に対する危険度評価		震源モデル シナリオ地震動予測				
		地震・微動観測・地盤調査		地盤マイクロゾーニング		
		現地調査・計測	地震応答解析	ハザードマップ		
②津波予測と被害軽減 【東北大、建研、筑波大、東電設計】 1) 津波発生・伝播特性と津波災害の社会的影響の把握 2) 構造物データと被害関数を利用した構造物被害の算定 3) 津波減災技術の基盤構築		津波伝播計算	詳細浸水計算と影響把握			
		被害データ収集	被害推定手法の検討	津波被害推定		
		既往津波被害の把握と整理		減災技術基盤の構築		
③建物の耐震性向上【建研、名大、横国大、秋田県立大】 1) 耐震データベース構築 2) 耐震診断・補強技術 3) 歴史的建築物の耐震化技術		調査、実験	データベース構築			
		耐震診断技術の開発 耐震補強技術の開発、検証実験		ガイドライン		
		調査・リスク分析	耐震化技術の開発		ガイドライン	
④空間基盤データ構築と被害予測 【東工大、千葉大、産総研、筑波大】 1) 地域空間基盤データの構築 2) 被害把握技術の構築 3) シナリオ地震に対する被害予測		データ収集 空間基盤データ構築法検討	データベース構築			
		データ収集 被害把握手法の検討	広域被害把握の実施			
		被害予測手法の検討		被害予測・マップ作成		
⑤地域減災計画と研究総括 【千葉大、東北大、建研、東工大、立命館大】 1) 研究総括と調整連携 2) 地域減災計画	WS▼	WS▼	WS▼	WS▼	WS▼	
	(WS:全体ワークショップ)				地域減災計画立案	教育・普及



図4 2010年リマ国際ワークショップの様子（左：研究者集合、中：開会式、右：グループ討議）

害は、津波によるチリ沿岸およびチリ領の島々の被害が甚大と伝えられ、震源に近い Biobio 州や Maule 州を含む広い範囲において、建物倒壊、道路損壊、橋梁落下などの報道がなされた。また、この地震による津波は遙か太平洋を横断して日本にも達し、日本各地の沿岸に津波警報も発令されて 1m を超える津波も観測され、養殖漁業等に被害も出た。

本プロジェクトにおいては、討議議定書 (R/D) が 2010 年 1 月 15 日に締結され、3 月 1 日より正式に開始するところで、3 月 15、16 日のリマ国際ワークショップの打合せ等のためにペルーの研究者 3 人が来日中にこの地震が発生した。本プロジェクトは南米のプレート境界地震による災害軽減を目的としており、ペルーの隣国チリの地震・津波は、プロジェクト遂行上、極めて重要な研究事例になると考えられた。そこで、本プロジェクトとして、ペルーおよびチリの研究者とも連携して、独自の災害調査を実施することにした。当初は、国際ワークショップの後、ペルーからチリに向かうことも考えたが、現地の情勢が安定していなかったことと準備が間に合わないこともあり、日本側メンバーは一旦帰国した後、4 月以降にチリに向かうことになった。

JST から別途の支援を受けて、本プロジェクトの調査団は以下の 3 班に分けて被害調査を行った(図 5)。

- ・ 第 1 班：リモセンによる広域被害把握、道路・インフラ被害データ収集 (2010.4.1 - 4.10, G4 + G5)
- ・ 第 2 班：津波の遡上範囲・浸水高計測、津波被害観測 (2010.4.17 - 4.27, G2 + 電力中央研究所)
- ・ 第 3 班：地震動・地盤の評価、建物被害の詳細把握 (2010.4.26 - 5.3, G1 + G3 + 日本建築学会)

第 1 班は先発隊として被災地域を回って被害写真を撮影するとともに、行政機関を訪問して被災データを収集した。第 2 班は津波被害地域を調査し、津波遡上範囲や浸水高のデータを収集した。第 3 班は地盤と地震動に関するデータ収集および、被災建物の詳細調査を行った。これらの成果に関して

は、2010 年 5 月 20 日に東京で報告会を実施するとともに、同年 11 月に開催された日本地震工学シンポジウムにおいて、計 5 編の関連論文^{4~8)}を発表した。また、英文の報告書⁹⁾も作成した。

6. プロジェクトの遂行と課題

地球規模課題事業 (SATREPS) は、発展途上国との国際共同研究であり、外務省・JICA が実施している政府開発援助 (ODA) と、文部科学省・JST が推進する国際レベルの科学技術展開という 2 つの側面を持っている。この 2 つは相反するものとはまではいえないが、方向性はかなり異なる。例えば JICA・ODA では現地に適用できる技術の開発・普及が望まれるのに対し、JST・研究者サイドとしては先端技術や、研究的価値のある新しいものを目指す傾向にある。JICA では技術が途上国に実装されることを評価するのに対し、JST では学術レベルの高い国際論文誌や特許などの研究成果が評価されることになる。これは、SATREPS の枠組み全体に内在する大きな課題であるとともに、防災研究全般における葛藤ともいえる。防災・減災分野の研究の価値が何によって評価されるべきか、常に議論となるところである。

したがって本プロジェクトでは、ペルーにおける地震観測や構造耐震実験、ベータベース構築などにおいて、現地への実装性を確保するとともに、津波数値シミュレーションや様々な数値解析、画像解析、計測技術など日本が得意とする技術の開発・検証を共同で推進し、途上国にも利用可能なものへ発展させることを目指すこととした。

プロジェクトにおいて相手側が最も期待するものの 1 つは、ODA の枠組みによる機材供与である。その意味では、本課題では建築物の耐震性評価のための可搬型載荷装置や構造実験装置などの導入、さらに地盤の影響を評価するための地震計増設と地盤調査、微動観測機材などに多くの予算を割り振っている。これらの設備の大部分は日本で調達し、ペ



図 5 ペルー・プロジェクトによるチリ地震調査団 (左：第 1 班，中：第 2 班，右：第 3 班)

ルーに配送し、現地に設置するという流れになっている。このうち機材調達は、代表機関の千葉大学で機材選定や入れを行うため、予想外の煩雑な手続きが多い。配送は JICA が受け持つが、現地での受け取り、免税措置の申請、設置などは相手方の仕事であり、これらが必ずしもスムーズに進まないこともある。いずれにしても、これまで大学の研究者があまり経験してこなかった作業が多いといえる。

もう1つの大きな柱が人材交流である。これは日本側からの派遣とペルーからの受け入れの2つに分かれる。日本からの派遣は、基本的には若手研究者が短期に出張し、現地での機材設置、共同での観測、実験、現地調査などを行っている。JICA 専門家の立場で行くことが多いが、日本人研究者にとっても大変良い経験になっていると思う。図6は日本からの派遣研究者の活動の様子である。

ペルーからの受け入れは、これまで半年程度の研修生の受け入れを数名行った。また、文部科学省国費留学生の大学推薦（地球規模課題枠）で2名を博

士後期課程学生として迎え入れている。このほか、2011年3月日本でプロジェクトの国際ワークショップを開催した折には、ペルーから15名、他の中南米諸国から5名の研究者・実務者を招聘している。この国際ワークショップは、3月9日、10日に千葉大学で開催した（図7）。翌3月11日には横須賀市久里浜の港湾空港技術研究所の大型津波発生施設などの見学を行った。この日の午後、鎌倉市内を視察中に、東北地方太平洋沖地震が発生した。彼らにとっても忘れられない大災害になったと思う。図8はペルーからの研究者、研修生の活動の様子である。

7. まとめと今後の展開

本報告では、JST と JICA が共同で推進する地球規模課題対応国際科学技術協力事業の1つとして採択された「ペルーにおける地震・津波減災技術の向上に関する研究」について紹介し、背景や研究計画、それにこれまでの活動について報告した。本プロジェクトは本格的に開始して1年半であり、現地



図6 日本からの派遣研究者の活動（左：ペルー国会での防災セミナー，中：津波解析技術講習会，右：現地調査風景）



図7 2011年3月に千葉大学で開催した第2回ペループロジェクト国際ワークショップ



図8 ペルーからの研究者、研修生の活動（左：津波実験施設見学，中：津波被害調査，右：地震観測研修）

に役立つ地震・津波防災技術の研究開発と社会実装は、今後3年半の我々の活動の如何にかかっている。科学技術協力事業の性格として、機材供与がJICA予算の大きな部分を占めており、リマ市を周辺とする地震観測システムの構築や耐震実験設備の供与などを進めている。それとともに、専門家派遣や研修員受入れ、さらには共同実験・観測・調査などを通じた情報共有と人材育成など、これまで我々研究者があまり経験してこなかったタイプの事業への参画は、挑戦的であるとともに、やり甲斐を感じている。国の予算を有効に使用する義務もあり、共同研究の成果を上げるとともに、その広報にも努めている。このような国際共同研究の推進が、今後の我が国の技術立国としての1つの方向性だと筆者は確信している。

謝 辞

本研究に実施に当たっては、地球規模課題対応国際科学技術協力事業（SATREPS）の枠組みのもとで、JICA 地球環境部、同ペルー事務所、JST 地球規模課題国際協力室、在リマ日本国大使館など、多数の方々のご支援を受けている。記して謝辞を表す。

文 献

- 1) 国際協力機構地球環境部 (2010) ペルーにおける地震・津波減災技術の向上プロジェクト詳細計画策定調査・実施協議報告書。
<http://lvzopac.jica.go.jp/library/>
- 2) Chlieh, M., de Chabaliere, J.B., Ruegg, J.C., Armijo, R., Dmowska, R., Campos, J., Feigl, K.L. (2004) Crustal deformation and fault slip during the seismic cycle in the North Chile subduction zone, from GPS and InSAR observations: *Geophys. J. Int.*, 158, 695-711.
- 3) USGS (2007) Poster of the Ica, Peru Earthquake of 15 August 2007 -Magnitude 8.0, Earthquakes Hazard Program USGS,
<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/poster/2007/20070815.php>
- 4) 丸山喜久, 山崎文雄, 三浦弘之, 松崎志津子, Miguel Estrada (2010) 2010年チリ地震・津波災害の現地調査－広域被害分析に向けたGISの構築－, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集, 1138-1145.
- 5) 越村俊一, 松岡昌志, 吉井 匠, Erick Mas, Cesar Jimenez, 山崎文雄 (2010) 2010年チリ地震・津波災害の現地調査－津波来襲状況および建物被害状況について－, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集, 1131-1137.
- 6) 関口 徹, ネルソンブリード, 庄司 学, Jorge Alva, Fernando Lazares, 齊藤大樹 (2010) 2010年チリ地震・津波災害の現地調査－強震観測点とその周辺における地震動と地盤特性－, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集, 1090-1094.
- 7) 齊藤大樹, 河野 進, 楠 浩一, 谷 昌典, 金裕錫, 松井智哉, 日比野陽 (2010) 2010年チリ地震・津波災害の現地調査－建物被害調査と被害要因の分析－, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集, 1111-1118.
- 8) 庄司 学, ネルソンブリード, 関口 徹, Jorge Alva, Fernando Lazares, 齊藤大樹 (2010) 2010年チリ地震・津波災害の現地調査－地震と津波の荷重を連鎖して受けた家屋等構造物の被災に関する2, 3の考察－, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集, 1146-1150.
- 9) JST-JICA SATREPS Peru Project Chile Earthquake Field Investigation Team (2010) 2010 Chile Earthquake and Tsunami Technical Report, <http://ares.tu.chiba-u.jp/peru/pdf/output/tr/JST-JICA-CHILE-EARTHQUAKE-AND-TSUNAMI-REPORT.pdf>