

# JST-JICA 地球規模課題チームによる現地被害調査

## —その1 研究概要と広域被害把握—

やま ざき ふみ お  
山 崎 文 雄

千葉大学大学院工学研究科

### 1. JST-JICA ペルー・プロジェクト

地球規模課題対応国際科学技術協力事業（略称 SATREPS）<sup>1), 2)</sup> は、独立行政法人 科学技術振興機構（JST）と独立行政法人 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、および開発途上国の自立的な研究開発能力の向上と持続的活動体制の構築を図ることを目的としている。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。

筆者らが防災分野で提案した「ペルーにおける地震・津波減災技術の向上に関する研究」は 2009 年 4 月に条件付採択課題に選ばれた。その後の数カ月わたるペルー側との調整を経て、2010 年 1 月 15 日にペルー国立工科大学（UNI）、ペルー国際援助庁（APCI）と JICA の間で討議議事録（R/D）が署名され、JICA の技術協力プロジェクトの 1 つとして、2010 年 3 月よりが正式に開始した。

プロジェクトの組織構成を図 1 に示す。日本側は千葉大学が研究代表機関（研究代表者：山崎文雄）となり、地震動・地盤（G1：千葉大学他）、津波（G2：東北大学他）、建物耐震（G3：建築研究所他）、被害予測（G4：東京工業大学）、減災計画（G5：千葉大学他）の 5 つ研究グループで構成される。

ペルー側は UNI の日本-ペルー地震防災研究センター（CISMID：Carlos Zavala 所長）を代表機関として、地球物理庁（IGP）、市民防衛庁（INDECI）、水理航行部（DHN）、国立建設産業訓練機構（SEN-

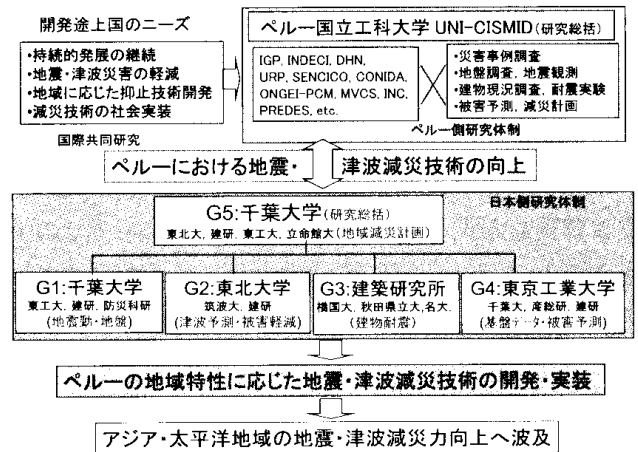


図1 JST-JICA ペルー・プロジェクトの組織構成

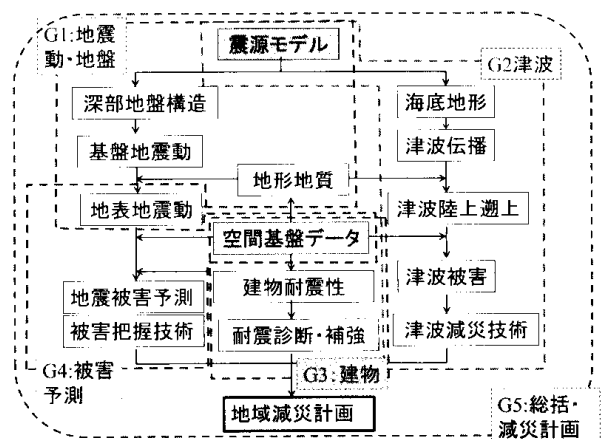


図2 研究項目とその関係および分担

CICO) などの機関や、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 2 に示す。震源モデルから始まって、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を立案するという、一連の地震・津波防災研究の流れとなっている。

### 2. 2010 年チリ中部地震と JST 調査団

2010 年 2 月 27 日午前 3 時 34 分（現地時間）頃、

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。震源はサンティアゴの南西約325キロの太平洋沿岸で、震源深さは約35kmである。この地震では、津波によるチリ沿岸の被害が甚大であったほか、Biobío州やMaule州などの広い範囲で建物倒壊、道路損壊、橋梁落下などの被害が発生した。

JST-JICA ベルー・プロジェクトは、地震発生とはほぼ同じく、3月1日より正式に開始するところで、キックオフ・イベントとして3月15、16日に開催するリマ国際ワークショップの打合せ等のために、ペルーから研究者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とした。リマ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の後、4月以降にチリに向かうことになった。

JST から支援を受けて、本プロジェクトの調査団は以下の3班に分けた被害調査を行うことになった。

- ・第1班：リモートセンシング画像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：建物被害の詳細把握、地震動・地盤の評価 (2010.4.26 - 5.3、G1 + G3 + 日本建築学会)

このうち本文においては、第1班の調査報告を行い、第2班（津波）に関しては本特集号において越村俊一氏が、第3班（建築物）に関しては同じく齊藤大樹氏・楠浩一氏が別途報告している。

### 3. JST 調査団第1班の行程と調査概要

JST 調査団の第1班は、千葉大学の3人（山崎文雄、丸山喜久、松崎志津子）と三浦弘之（東京工業

大学）、ミゲル・エストラダ（UNI/CISMID）からなる。現地調査は、2010年4月1日に東京発、米国を經由して2日朝にサンティアゴに到着し、現地では6泊、帰りは8日夜にサンティアゴを立ち10日東京着の日程で実施した。

チリ国内での調査ルートと調査地点を図3に示す。4月2日にサンティアゴ市内の調査を行った後、3日にパンアメリカン・ハイウェイ（5号線）を南下してコンセプションまで移動、4日はコンセプションとタルカワノを調査、5日はディチャトまでの海岸線を調査した。6日は5号線を再び北上しコンステイトゥシオンの津波被害を調査、7日はタルカ市内の調査と役所等を訪問した後、サンティアゴに戻りチリ大学を訪問、8日はバルパライソとビニャ・デル・マルを調査した後、帰国の途に就いた。

JST 調査団第1班の調査目的は、リモートセンシング画像による広域の被害把握のための現地検証データの収集と、道路等のインフラ被害調査である。したがって調査に際しては、ハンドヘルドGPS持参して調査ルート記録するとともに、GPS付きカメラ

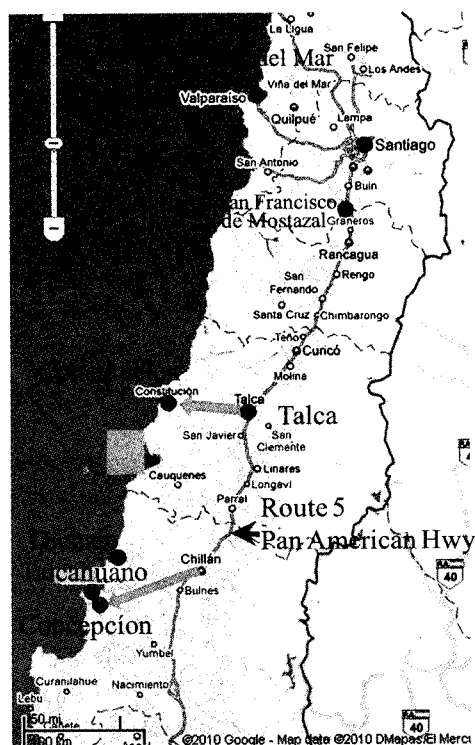


図3 JST 調査団第1班の調査ルート・地点

を使用して撮影位置と方位が写真画像ファイルに記録されるようにした。

図4は5号線に沿った道路被害の例を Google Earth 上に表示させたものである。地震発生当初は、このチリ国内の南北に繋ぐ最重要幹線は大渋滞したが、地震後1カ月を経過した筆者らの調査時点では、渋滞もなく通行できた。しかし②に示すような跨道橋の被害は多数見られ、応急対策が施されていた。また③のような落橋もあって、上下4車線のうち被害のない2車線を対面通行させている箇所も多く見られた。国土面積は日本の約2倍あるのに、人口は約1/8というチリの社会環境もあって、地震後の交通混乱も早期に収拾できたと考えられる。道路橋被害の特徴や原因に関しては、土木学会の報告書<sup>3)</sup>に詳しいので参照されたい。

#### 4. コンセプションの衛星画像と現地の被害状況

2010年のチリ地震の前後には、多数の人工衛星が被災地域を観測している。コンセプション・タルカワノ地域に関しては、WorldView-2衛星が2010年3月6日に鮮明な画像を取得している。WorldView-

2は、8バンドのマルチスペクトル・センサとパンクロマティック・センサを搭載した最新の光学センサ商業衛星で、解像度0.5mのパンシャープン(カラー)画像を作成することができる。

図5にはコンセプションでの調査ルートと主な被災構造物の写真を WorldView-2衛星画像上に示す。このように我々の撮影した現地写真は、全て地図上に位置を特定することができる。

図6には地震前の衛星画像(Google Earthより)と地震後の衛星画像を主な被害建物について比較する。21階建てRC造の高層建物 Torre O'Higgins (a)は中間層崩壊して上層部が傾いていたが、地震後の衛星画像は緊急撮影のため垂直から26.7度傾いており、被災箇所は死角になって見ることができない。(b)に示すRC集合住宅 Edificio Alto Rioは転倒した状況が、衛星画像からも明瞭に観察できる。また(c)に示す中心市街地の組積造建物は、屋根の変形と周辺に散らばった瓦礫は判読できるが、垂直方向の撮影であるため、被害状況はそれほど明瞭には観察できない。

図7には被災した穀物サイロと橋梁の地震前後の衛星画像を比較する。金属製の14基の穀物サイロ群(d)は、東側の列のものが全て大破し側壁が弾居した状況で、穀物が敷地に散らばっていた。地震後の衛星画像からもサイロの大変形の様子や散らばった穀物が確認できる。Biobio川を渡る旧 Biobio 橋<sup>3)</sup>(e)は1930年代に建設されたRC単純桁橋であるが、老朽化が著しく地震前には既に使用されてはいなかった。多数の橋桁が川に落下しており、衛星画像

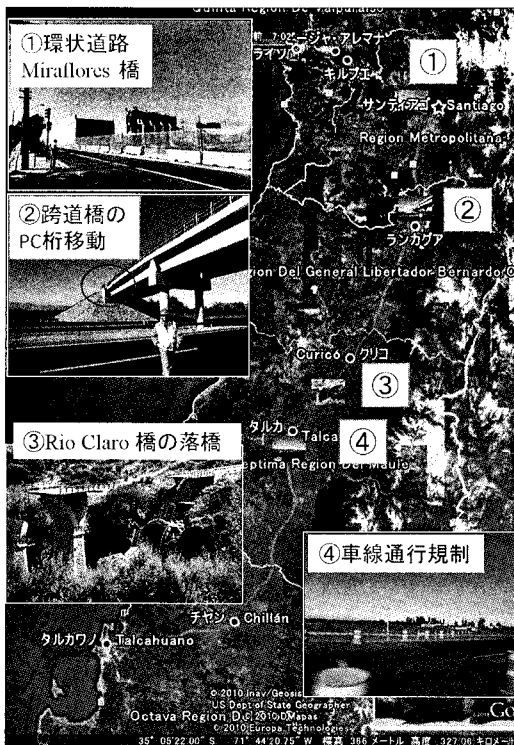


図4 5号線に沿った道路被害と写真

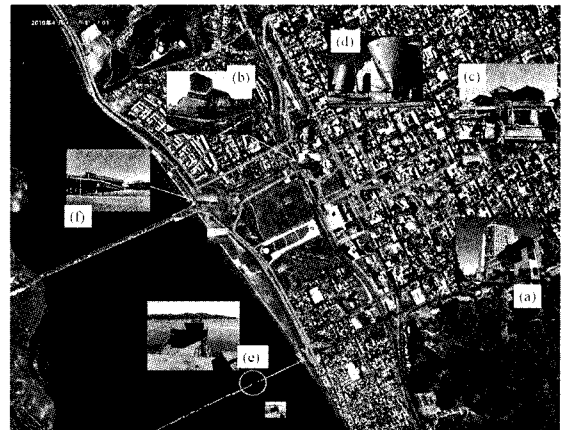
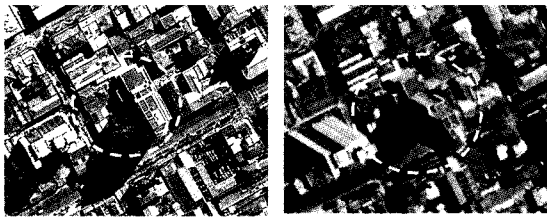
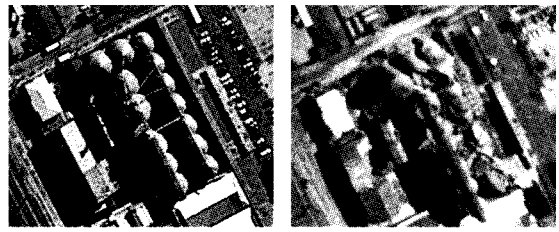


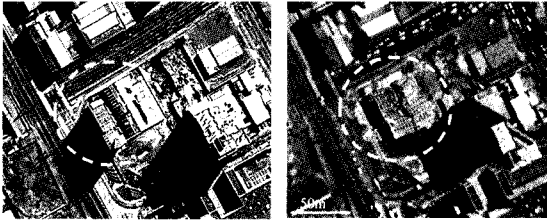
図5 コンセプションの WorldView-2衛星画像、現地調査ルートおよび主な被害構造物位置



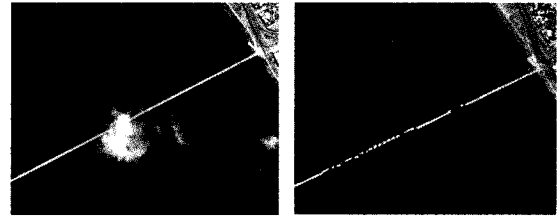
(a) Torre O' Higgins



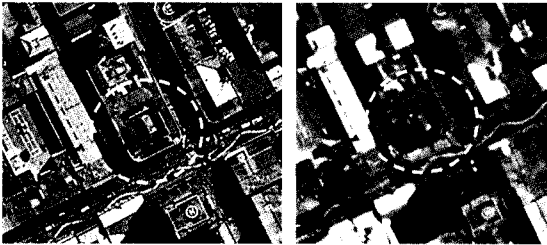
(d) 穀物サイロ



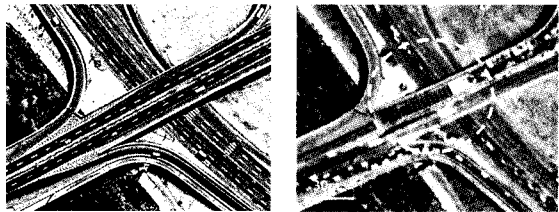
(b) Edificio Alto Rio



(e) 旧 Biobio 橋



(c) 中心市街地の組積造建物



(f) Llacolen 橋

図6 コンセプションの主な被害建物の地震前後の衛星画像比較 (左: 2009/9/2, 右: 2010/3/6)

からもその状況が明瞭に観察できる。その北の Llacolen 橋 (f) はアプローチ桁の 1 スパンが落橋した。この橋は対岸とを結ぶ重要な道路に架かっているため、地震直後から応急復旧が進められたようで、筆者らの調査時点では落下した橋の上に仮設の鋼桁が架けられ既に供用されていた。地震後の衛星画像からも、施工中と思われる仮設桁を観察することができる。

### 5. コンスティトゥシオンの津波被害と現地調査

コンスティトゥシオンは、サンチャゴから南西約 250km、マウレ川の河口の太平洋岸に位置する人口約 3.6 万人の都市である。チリ内務省緊急事態局 (ONEMI) の集約した被害状況によれば<sup>4)</sup>、地震後に襲ってきた津波により、約 1 万棟の住宅のうち約 3 千棟の住宅に被害が生じと推定されている。

図 8 には筆者らの現地調査ルートと ONEMI による津波浸水範囲、および現地写真撮影位置を Google Earth 上に表示している。図 9 は津波被害の代表的

図7 コンセプションの穀物サイロと橋梁の地震前後の衛星画像比較 (左: 2009/9/2, 右: 2010/3/6)

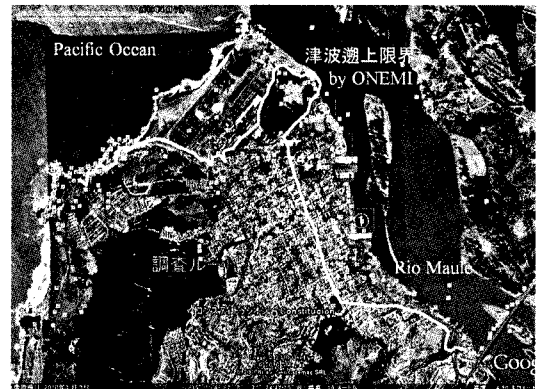


図8 コンスティトゥシオンの調査ルート、津波浸水範囲、および現地写真撮影位置 (①-④)

な現地写真である。①に示すように、津波はマウレ川から市街地に浸入したと見られ、川沿いでは②のように広い範囲で建物が倒壊・流出していた。河口付近に位置する RC 造建物では③のように 2 m 程度の津波の湛水跡が残されていた。川から数百 m 離れた住宅地においても④のように 1 m 程度の津波の痕

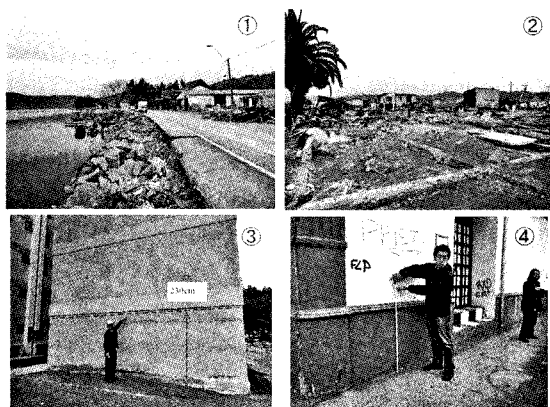
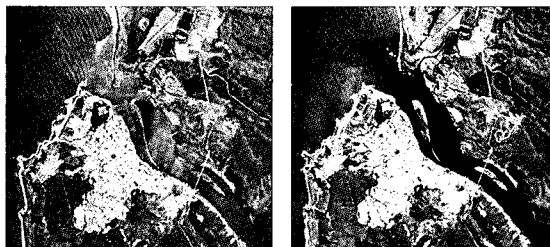
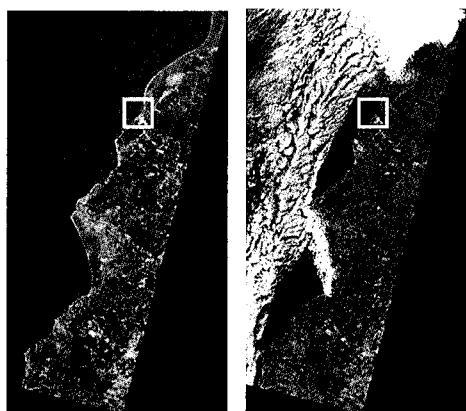


図9 コンスティトゥシオンの津波被害の現地写真



地震前 2009/12/2 地震後 2010/3/4

図10 ALOS/AVNIR-2による地震前後画像の比較とそのコンスティトゥシオン付近の拡大

跡を観測することができた。

コンスティトゥシオンを含む広い範囲の被災地域に関しては、日本の地球観測衛星 ALOS (日本名: だいち) に搭載された光学センサ AVNIR-2 (空間分解能 10 m) が地震前後の画像を取得している。図 10 には地震前 (2009/12/2) と地震後 (2010/3/4) のフォールカラー合成画像を比較する。コンスティトゥシオン付近の拡大図を見ると、津波によって河口付近の地盤が洗掘されて海岸線が後退してい

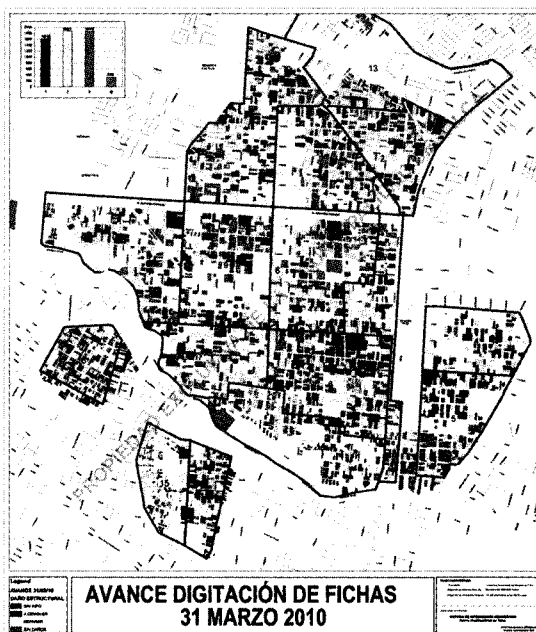


図11 タルカ市街地の建物被災度マップ

る様子や、川の中の島や川に沿った地域の植生が減少している様子を確認することができる。このように衛星画像は、津波などによる地表面の大規模な変状把握に極めて有効な手段といえる。

## 6. タルカの被害状況と建物被災マップ

タルカはマウレ州の州都であり、人口約 20 万人、震央から約 60km 離れた都市である。著者らの現地調査では、アドベ造や無補強組積造建物の多くに、甚大な被害が生じていた。米国地質調査所 (USGS) によると、揺れの強さはメルカリ震度階級Ⅶと推定されている。

2010 年 4 月 7 日にタルカ市役所にてヒアリング調査を行い、市中心部の建物被害程度を表す地図画像 (図 11) を入手した。これは、現場での建物被害調査をもとに、敷地を表すポリゴンに 2010 年 3 月 31 日時点での建物の被害程度 (4 分類) の情報を表示したものである。

この地図によれば、入力された宅地 (全 5,694 棟) において、撤去すべき (赤) と判定されている建物は 1,619 棟 (28.4%)、修復可能 (黄) は 1,881 棟 (33.0%)、無被害 (緑) は 1,872 棟 (32.9%)、情報無し (灰) は 322 棟 (5.7%) となっている。大破・全壊に相当する被害区分 (赤) が約 3 割と非常に高い割合となっている点が注目される。

図12はタルカ中心部におけるGoogle Earthの画像に筆者らの調査ルートを表示したものと、代表的な現地の被災状況を示している。写真①に示すように市内は低層建物が多く、その屋根はスレートや金属とともに、瓦葺きも多く見られその被害割合は高い。写真②や③に見られるように、倒壊や全壊した建物は、主に無補強レンガ造やアドベ造が多い。被害を受けていない状態では判別しにくいですが、市内の建物は意外とアドベの割合が高いように思われる。写真④ではレンガ造の教会が大破しているが、隣のRC造3階建て建物や奥に見える高層建物には被害は見られない。したがって、タルカ市街地の建物被害を統計的に分析するには、地震動の評価とともに、構造種別の情報を集めることが極めて重要と考えられる。

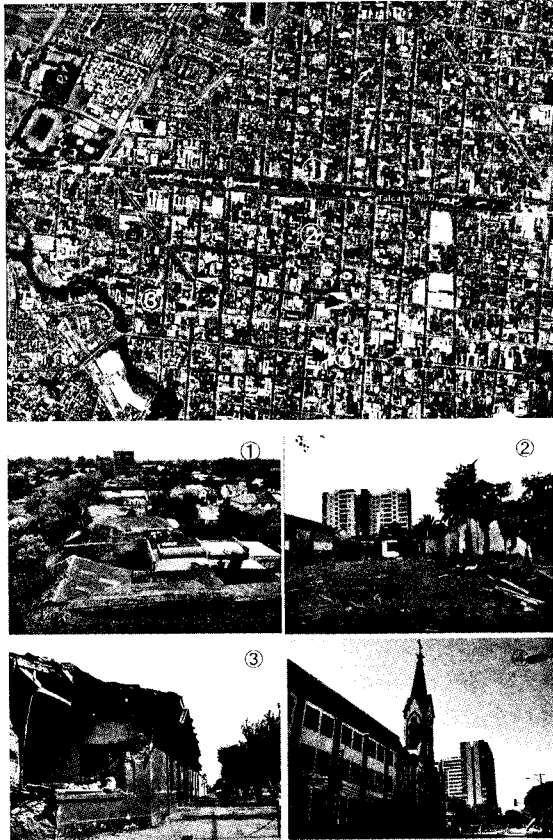


図12 タルカの調査ルートと現地写真

害を受けていない状態では判別しにくいですが、市内の建物は意外とアドベの割合が高いように思われる。写真④ではレンガ造の教会が大破しているが、隣のRC造3階建て建物や奥に見える高層建物には被害は見られない。したがって、タルカ市街地の建物被害を統計的に分析するには、地震動の評価とともに、構造種別の情報を集めることが極めて重要と考えられる。

## 7. まとめ

本報告では、JSTとJICAが共同で推進する地球規模課題事業の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、まず簡単に紹介した。つぎに、JSTの援助を受けたペルー・プロジェクトの一環としての2010年チリ地震現地調査の体制を紹介するとともに、第1班として行ったリモートセンシング画像による広域被害把握と、道路・インフラ被害データ収集に関する調査結果を報告した。今後は衛星画像などの解析を進めて、地震被害把握手法の適用性を検証するとともに、空間基盤データや地震被害関数の構築を進めて、中南米地域の地震被害想定や減災計画の立案に役立てていきたいと考えている。

## 参考文献

- 1) 科学技術振興機構：地球規模課題対応国際科学技術協力事業（SATREPS）、<http://www.jst.go.jp/global/>
- 2) 国際協力機構：平成21年度「地球規模課題対応国際科学技術協力」案件の実施決定について、  
[http://www.jica.go.jp/press/2009/20090422\\_01.html](http://www.jica.go.jp/press/2009/20090422_01.html)
- 3) 川島一彦、運上茂樹、星隈順一、幸左賢二：土木学会2010年チリ地震による橋梁の被害調査報告、2010。
- 4) Sistema Nacional de Informacion Territorial (SNIT)：  
<http://hosting.snit.cl/terremoto2010/>、2010。