

地球規模課題対応国際科学技術協力

(防災研究分野「開発途上国のニーズを踏まえた防災科学技術」領域)

津波に強い地域づくり技術の向上に関する研究

(チリ共和国)

平成 25 年度実施報告書

代表者：富田 孝史

独立行政法人港湾空港技術研究所 アジア・太平洋沿岸防災研究センター 副センター長

<平成 23 年度採択>

1. プロジェクト全体の実施の概要

本プロジェクトは、2010年チリ地震津波(以後、2010年チリ津波という)および2011年東北地方太平洋沖地震津波(2011年東北津波)による災害経験を踏まえ、津波に強い地域および市民をつくるための研究を実施し、チリ、日本および世界の津波脆弱地域における津波災害軽減のための技術開発を目標としている。具体的には、津波被害推定技術の開発(G1)、津波被害予測手法および被害軽減対策の提案(G2)、高い精度の津波警報手法の開発(G3)および津波災害に強い市民および地域づくりのためのプログラムの提案(G4)を実施する。

2011年6月から暫定研究が始まり、JICAとチリ関係機関との間の討議録や両国の代表研究実施機関による覚書の締結を経て、2012年1月26日にプロジェクトが正式に始動した。1月27日には一般、報道等を含んだ約100名が参加したキックオフ・シンポジウムをサンチャゴにて開催した。これに引き続き、第2回および第3回日本・チリ津波防災シンポジウムをそれぞれ2012年12月11日にサンチャゴおよび2013年8月27日に東京にて実施した。これらはプロジェクトのアウトカムの一部として実施した公開シンポジウムである。

本プロジェクトではモデル地域を設定し、その地域における津波被害想定や地域の特性を考慮して具体的な対策の開発や提案を行う。モデル地域は、現地調査の実施や議論を経て決定した。津波の数値計算モデルの検証を行うG1では、2010年チリ津波で被害を受けたタルカワノをモデル地域に選択した。これからの津波防災について検討を行うG2とG4では、近い将来に巨大津波の発生が危惧されるチリ北部地域にあるイキケを選択した。

G1では、両国における津波被害の再現計算を実施しながら数値計算モデルを開発している。チリ側メンバーを日本に招聘して、大規模なコンテナ漂流が発生したタルカワノを対象とした津波計算を実施している。G2では、チリ版津波被害予測ガイドラインの作成に向けて、2011年東北津波を対象に津波伝播・浸水計算モデルの検証を実施した。さらに、巨大海溝型地震津波の発生が懸念されているチリ北部において地震想定を行うとともに、チリ北部の主要都市イキケを対象に浸水計算を実施するために必要な詳細な地形データを入手し計算を開始している。G3では、チリ側メンバーが津波データベース構築のための研究予算を獲得したことから、津波データベース開発を研究内容に加え、日本の津波警報システムに導入されている技術の紹介を含めて研究開発を進めている。G4では、対象とするテーマが広いことから、津波に強い人づくりのための避難手法、防災教育手法などの研究(G4a)と災害に強い地域とするために津波に強い港湾をつくるための港湾BCP手法の開発(G4b)とに区分した。ともにイキケを主要なパイロットサイトとしている。とくにG4bでは日本と異なるチリの港湾システムを対象に研究開発をすることから、研究者をチリに長期滞在させている。

それぞれの国における2010年チリ津波や2011年東北津波による被災地を相互に現地視察して津波によって生じる被害を把握するとともに、各研究グループにおいてチリ側メンバーを日本に招聘して研修を実施している。日本における研修はチリ側メンバーの知識や技術を増進させることにとどまらず、メンバーの津波研究に対する意識高揚、両国の研究協力の推進に大いに役立っている。

2. 研究グループ別の実施内容

G1: 津波被害推定技術の開発

研究のねらい

本研究プロジェクトでは、津波防災は対象地域に來襲しうる津波によって起こり得る被害を予測することから始まると考えている。実際、2010年チリ津波および2011年東北津波では、広域な浸水に加え、津波により陸上に乗り上げた船舶等による建物損傷、流出したコンテナや自動車等の水没あるいは海上漂流、防波堤

や防潮堤を越流した津波による施設破壊など、多様な津波被害が発生した。本研究グループでは、津波により起こりうる被害を防ぐための計画の策定や対策の開発に向けて不可欠な津波被害予測技術を開発することを目的とする。

研究実施方法

次に示す3つの研究課題を設定した。1) 将来起こり得る津波被害を理解し推定するために、2010年チリ津波および2011年東北津波の被災経験を今後活かすことができるような津波被害データベースの構築、2) 2010年チリ津波および2011年東北津波による被害を再現可能な数値計算モデルの開発、および3) 2010年チリ津波および2011年東北津波による被害を考慮して、耐津波構造物の計画・設計手法のチリ公共事業省への提案である。

1) 2010年チリ地震津波および2011年東北地方太平洋沖地震津波の被害データベース

2010年チリ津波に関しては、チリおよび日本が実施した現地調査によって得られた浸水・遡上痕跡データ等を取りまとめる。2011年東北津波に関しては、日本における津波研究者および技術者等が協力した東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループ(代表者:G2 リーダー、高橋教授)によって津波浸水高および遡上高に関する津波データベースが取りまとめられていることから、本プロジェクトの研究活動においてはこれを活用することとし、別途論文や報告書などの情報を含め既存のデータベースを補完するデータベースを構築する。

2) 津波被害に関する数値計算モデル

津波被害を推定するための数値計算モデルは、港湾空港技術研究所(PARI)が開発している高潮津波シミュレーター(STOC)をベースにする。STOCは津波の伝播・浸水を計算するための2つのモデル(準3次元静水圧モデルと3次元非静水圧モデル)および船舶、コンテナ、自動車などの漂流物の挙動を解析する漂流物モデルとから構成される統合モデルである。本プロジェクトでは、このモデルに津波の砕波モデルや地形変化モデルなどを新たに導入するとともに、模型実験結果との比較によるモデルの妥当性や精度の検証、2010年チリ津波および2011年東北津波による津波被害への適用によるモデルの再現性を明らかにする。

3) 耐津波構造物の計画・設計手法

2011年東北津波災害を受けて、日本では防波堤など防災構造物の被災形態およびそれらに作用する津波力の解明が急速に行われて、本研究の当初計画において構想していた設計手法が国土交通省を中心としてまとめられている。本研究では、これらの成果をチリ国にも紹介し、チリ国における耐津波構造物の計画・設計に役立つガイドラインを作成する。加えて、津波低減構造物の計画においては、それを構築したことによる効果を示すことが有用であるので、津波による経済損失を推定する手法をチリ国や日本における被害事例を参考に開発して、ガイドラインに含める。

当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

1) 2010年チリ地震津波および2011年東北地方太平洋沖地震津波の被害データベース

2010年チリ津波に関しては、チリ側メンバー等が実施した現地調査によって得られた浸水・遡上痕跡データがチリ側メンバーにより収集され地図上に整理された。さらに、このデータベースに登録するために日本側メンバー等が実施した現地調査の結果がチリ側に提供された。さらに、モデル地域において漂流物等のデータが取りまとめられた。

2011年東北津波に関しては、東北地方太平洋沖地震津波合同調査グループによる津波痕跡データベースが2012年12月に構築された。このデータベースには日本側メンバーの多数が実施した現地調査

結果が登録されている。後述する数値計算モデルの検証を行うために、2010 年チリ津波および 2011 年東北津波による被災対象地域における津波被害データを収集し、特に 2011 年東北津波のデータは検証に使用された。論文や報告書に関する情報は日本のものを中心に収集され、計画通り引き続き収集を継続する予定である。

2) 津波被害に関する数値計算モデル

本研究グループが主に対象にするモデル地域を決定するために、タルカワノ、ディチャットなどにおいて現地調査を実施し、2012 年 3 月に実施した東京合同会議においてタルカワノに決定した。タルカワノにおいて詳細な浸水計算を行うために必要な地形データを入手するためにチリ国空軍航空写真測量局 (SAF) に協力を要請し、航空レーザー測量データを入手することができた。この測量データの検証用データを取得するためにタルカワノにおいて現地測量を実施した。

タルカワノにおける 2010 年チリ津波の再現計算の実施に向けて、これまでのべ 5 名のチリ側メンバーを PARI に招聘し、数値計算モデル STOC の内容および使用法に関する研修および、タルカワノにおける津波の伝播・浸水に関する予備計算を実施した。さらに、比較のためにハワイ大学において開発された津波の数値計算モデル NEOWAVE を使用して、タルカワノの津波計算を実施した。

開発した数値計算モデルを 2011 年東北津波に適用するために、数値計算に必要な水深、地形などのデータを国土交通省などの協力の下に収集した。数値計算モデルの開発においては、津波の砕波モデルを STOC に新たに導入することによってソリトン分裂し砕波する津波の計算を可能にし、模型実験結果との比較によって開発したモデルの妥当性と精度を検証した。さらに、津波のソリトン分裂および砕波が発生した久慈港における 2011 年東北津波に開発したモデルを適用し、津波の伝播・浸水を良好に再現することを明らかにした。また、八戸港の 2011 年東北津波の伝播・浸水計算を行って、海上の防波堤が津波によって損傷した場合においても良好な再現結果を得ることを明らかにした。地形変化モデルの導入も実施しており、模型実験結果との比較、2011 年東北津波による事象への適用を実施している。また、数値計算の入力データとして使用する陸上データと水深データを海岸線において接続するモデルの開発、地形急変部において急変状況が鈍らないようにするためのモデルの開発を日本・チリが協力して実施した。

津波による漂流物の移動に関しては十分なデータが存在していないのが現状である。このため、名古屋大学の平面造波水槽において水理模型実験を実施して、津波によるコンテナやガレキの移動に関する基礎的なデータを取得した。これらは数値計算モデルの検証データである。

3) 耐津波構造物の計画・設計手法

2011 年東北津波の被災地を対象に地震津波による損失評価手法および津波防災対策施設の有効性を評価するためのリスク評価手法を開発した。2013 年 9 月に国土交通省港湾局より「防波堤の耐津波設計ガイドライン」が公表された。これは、2011 年東北津波による防波堤の被害の調査結果や震災後に実施された水理模型実験結果等の検討を通じて今後の防波堤の耐津波設計における基本的な考え方をまとめたものである。そのとりまとめにおいては、日本側メンバーも技術的な助言を行うなどしている。このガイドラインの翻訳について港湾局と協議し、英訳に関しては港湾局が実施することとなり、チリへの提供については本プロジェクトが協力できることを申し入れている。さらに、防潮堤(胸壁)に関するガイドラインや港湾の津波避難対策に関するガイドラインもそれぞれ 2013 年 11 月および 2013 年 9 月に国土交通省港湾局より取りまとめられた。このとりまとめにも本プロジェクトメンバーも協力している。

港湾の施設の津波に対する脆弱性評価モデルを作成するために 2011 年東北津波による港湾の施設

被害に関するデータを収集した。

カウンターパートへの技術移転の状況

- 研修の実施:2012年9月24日～11月23日(61日間)。カトリック教皇大学(PUC)から Juan Carlos Dominguez 氏および公共事業省(MOP)ピオピオ州事務所から Alberto Torres Loncharic 氏を PARI に招聘した。STOC の基礎的な内容および使用方法を習得し、タルカワノを対象に試算を実施した。これに合わせて日本で開催された土木学会・海岸工学講演会および国際会議 Techno-Ocean に参加して、日本や世界における津波防災研究・開発状況を把握した。
- 研修の実施:2013年8月4日～9月5日(33日間)。PUC から Francisco Humire 氏および公共事業省・港湾局(DOP/MOP)から Rodrigo Fillipi 氏を PARI に招聘した。Humire 氏は2011年東日本大震災における液状化被災地の視察、東京国際空港における地盤改良工事の視察、液状化に関する実験の実施、地震工学や液状化に関する講義などを通して、液状化問題について学習した。Fillipi 氏はSTOCの基礎的な内容および使用方法を習得し、ディチャットを対象に試算を実施した。さらに、両氏は前記の全体活動に参画し、港湾の視察と港湾行政の把握、2011年東北津波の被災地における復旧・復興状況の把握を行った。
- 研修の実施:2013年8月14日～9月7日(25日間)。PUC から Juan Carlos Dominguez 氏を PARI に招聘し前年の研修のホローアップを実施した。この研修では、タルカワノにおける津波計算の実施とコンテナ等の漂流物計算の手法を習得した。
- 技術指導:津波による浸水状況の詳細な数値計算のために必要な細密な地形データおよび建物データを作成するために、航空レーザー測量結果を利用したデータ作成の仕様を SAF および PUC の Juan Carlos Dominguez 氏に教示した。

当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況

本プロジェクトを契機として、DOP/MOP と日本の国土交通省港湾局とが、技術基準をはじめ、地震や津波に関する様々な意見交換を年1回程度行うなど、連携を強化していくことを2013年7月に合意した。これと同時に第1回会議を開催し、日本より東日本大震災後の対応方針や防波堤の設計手法の改善等の紹介、チリより南米で初となる海上沿岸事業の設計、建設、運用等の指針作成などの取組の紹介、および意見交換が実施された。

G2:津波被害予測手法および被害軽減対策の提案

研究のねらい

2010年チリ津波および2011年東北津波を踏まえて、津波被害の推定方法やハードおよびソフト対策などの津波減災技術が見直されている。本研究では、新たな津波減災技術を活用して、チリの津波防災力の向上を図ることが本研究グループの目的である。

研究実施方法

本研究では、1) チリのモデル地域において実施する津波の伝播・浸水計算に基づいて、チリにおいて適用可能な津波被害推定手法を提案し、2) 前記 1)において想定する地震津波が日本に伝播する数値計算を実施して日本への影響を把握する。さらに、3) 2011年東北津波による日本での被害とそれを踏まえた対策を基にしてチリにおける津波防災・減災対策を提案する。

1) チリのモデル地域における津波の伝播・浸水計算および津波被害推定手法

チリ国において活用する津波被害予測マニュアルを作成する。特に、チリにおいて危惧されている北部

地域の海溝型地震を対象として、モデル地域における津波伝播・浸水計算を実施し、その結果を事例として含める。さらに、津波低減構造物や避難施設等の耐津波構造物を計画しようとする意思決定者など専門家でない人々が活用できるように、津波の発生、伝播・遡上特性、想定される被害など津波の基礎的な事項を含める。それらに関しては 2010 年チリ津波および 2011 年東北津波の事例を参考とする。津波の基本的な事項を含める。

2) チリ沖で想定された地震津波の日本への影響把握

上記 1)において想定するチリ北部沖の地震津波が日本に及ぼす影響を津波の伝播計算を行って把握する。

3) チリにおける津波防災・減災対策

2011 年東北津波後の日本における対策事例に基づいて、チリに津波対策を紹介する。モデル地域では防災担当者等を交えた検討会を実施し対策の提案を行う。また、日本の津波計算においては、チリ国から日本にまで太平洋を横断する津波において課題となっている日本への津波到達時間を再現可能とする。

当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

1) チリのモデル地域における津波の伝播・浸水計算および津波被害推定手法

本研究で対象にするモデル地域を決定するに当たり、候補地として選んだチリ北部地域の都市イキケ、アントファガスタ、メヒジョーネス、アリカなどにおいて現地調査を実施し、2012 年 3 月に実施した東京合同会議においてイキケに決定した。これは G4 の候補地選定にリンクしている。

チリ北部沖で発生しうる海溝型地震に関して、2011 年東北津波を教訓として、最大クラスの地震および津波を想定した。さらに、有効な津波防災・減災対策の検討に向けて、最大クラスの津波よりも規模が小さいが発生頻度が高い津波および地震の程度以上に大きな津波を発生させる地震(津波地震)の 2 つを加えて合計 3 つの地震津波について検討することとし、それらを想定した。

イキケにおいて詳細な浸水計算を行うために必要な地形データを作成するために、現地踏査を実施して詳細地形・建物データ作成区域を含むデータ作成区域を定め、航空レーザー測量を実施してデータの取得および数値計算用データの作成を実施した。

イキケにおける最大クラスの津波による浸水を、後述する津波の伝播・浸水計算の標準的な手法により実施した。この計算の実施にあたり、チリ側メンバー 2 名を関西大学および京都大学に招聘して津波の伝播・浸水計算の標準的な手法を研修した。

津波の伝播・浸水計算の標準的な手法は、これまでの津波の伝播・浸水計算手法に 2011 年東北津波の教訓を加えて、国土交通省がガイドラインとして取りまとめたものである。このガイドラインの策定には本プロジェクトのメンバーが協力している。日本における標準的な津波災害推定手法は、文献調査により、次の項目からなることを確認した。地震モデルの想定法、津波波源モデルの推定法、水深および地形の設定法、津波の伝播・浸水計算モデルに適用される支配方程式、支配方程式の数値計算による解析法、計算結果の出力法、人的被害と建物被害の評価法、津波防災地図の作製法である。

2) チリ沖で想定された地震津波の日本への影響把握

2010 年チリ津波が日本に到達した際、数値計算により推定される津波の到達時刻は実際の到達時刻よりも早いという課題がある。このため、遠方に伝播した時の津波到達時刻を正しく推定可能な津波伝播モデルを開発した。

当初研究で計画したように、チリ北部沖で発生する海溝型地震津波を対象にして地震想定を行い、そ

の津波想定を行った。これは上記 1)において想定した地震津波と同じものである。

チリから日本への津波伝播計算に必要な水深データおよび結果の検証用データを準備した。

3) チリにおける津波防災・減災対策

モデル地域のイキケの現地調査を実施し、都市の状況を把握した。また、当該地域の防災担当者と意見交換を行い、津波防災の現状について情報収集するとともに、課題などを議論した。

日本における津波防災・減災対策の整理にむけて、2011 年東北津波による人的被害および建物被害について文献調査を実施した。

カウンターパートへの技術移転の状況

- 研修の実施:2013 年 9 月 17 日～12 月 21 日(95 日間)。フェデリコ・サンタマリア工科大学(UTFSM)から Pablo Ignacio Cortés Aguilera 氏および Claudio Felipe Campos Araya 氏を関西大学および京都大学に招聘し、日本における浸水など津波被害推定の標準手法に関する研修を実施し、その手法に基づいてチリ北部沖で想定される最大クラスの地震津波によるイキケの浸水に関する数値計算を実施した。
- 技術紹介:ワークショップや JCC を通して、2011 年東北津波による日本での被害から明らかになった防災上の問題点を紹介した。また、日本における津波被害推定やハザードマップ作成の現状を紹介して、チリにおいても大学等の研究者ではなく、民間レベルの技術者がそれらの技術を修得して実務に携わっていくことが必要であると説明した。

当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況

モデル地域イキケにおける詳細な地形データの入手に要した時間が当初予定よりも長かったが、大きな問題には至っていない。

G3: 高い精度の津波警報手法の開発

研究のねらい

2010 年チリ津波および 2011 年東北津波のいずれにおいても津波警報に係る課題が顕在化した。特に、津波警報の精度の向上に加えて、第 1 報の発表が住民の避難行動に影響を与えるので、本研究では住民等の避難の促進、避難支援者の安全などに向けて、高い精度の津波警報手法の開発を行う。

研究実施方法

当初の研究計画では 1) 地震および津波の観測データを活用した高い精度の津波警報手法の開発することを目標にしていたが、プロジェクト開始後にチリ側メンバーが 2) 津波データベースに基づいた津波警報手法の開発に係る競争的資金をチリにおいて獲得したことから、この開発にも日本側が協力することにした。警報手法に加え、3) チリにおける住民に対する信頼性の高い津波情報伝達手法を提案する。

1) 地震および津波の観測データを活用した高い精度の津波警報手法

本研究で開発を目指す次世代の津波警報手法は、地震観測データおよび沖合津波観測データを組み込んだ、新たな高い精度の津波予測手法である。また、チリを対象に津波予報のための入力値となる地震データや津波観測データを最適に得るための観測項目および観測点の配置を提案する。効率的な津波予報を行うことを目的として、津波高・浸水深などのハザードが類似している地域を一つの単位とした津波予報区の提案を含める。

2) 津波データベースに基づいた津波警報手法

日本の気象庁では日本近海などにおいて津波を発生させる地震を数多く想定し、それぞれの地震において津波の伝播・計算を実施し、津波データベースを構築している。地震が起こった際にはこのデータ

ベースを参照して、地震後速やかに津波警報などを発表している。チリでもこの手法に類似した津波警報手法の開発に係る研究予算が獲得できたことから、本研究にも深くかかわるこのチリ側プロジェクトに対して技術的な支援を実施することにした。

3) チリにおける住民に対する信頼性の高い津波情報伝達手法

上記の高い精度の津波警報に適した情報伝達手法を開発する。

当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

1) 地震および津波の観測データを活用した高い精度の津波警報手法

これまでに、2010年チリ津波および2011年東北津波のときのそれぞれチリおよび日本における津波警報に係る課題を整理した。

次世代の津波警報手法として次に示す2つの手法の開発に着手している。1つのモデルは、気象研究所や海洋研究開発機構によって主に開発が進められているものであり、沖合津波観測データと沿岸部における津波の特性量の相関を多数の津波の伝播計算に基づいて明らかにし、津波が発生した際の沖合津波観測データとの相関から沿岸部の津波高などを瞬時に推定するものである。日本周辺の海底水圧計により観測される圧力変化と沿岸の津波の関係を研究した。もう1つのモデルは、気象研究所や港湾空港技術研究所によって主に開発が進められているものであり、海域を小領域に分割し、各小領域が発生する単位津波の波形データベースを構築し、津波が発生した際に波形データベースを使って沖合津波観測データに基づいた津波波源域の逆推定とともに沿岸部での津波波形を瞬時に推定するものである。海上のGPS波浪計による沖合津波観測データを使って津波の波源域を推定し、さらに浸水を予測する手法を開発した。波源の推定に関しては2011年東北津波を対象に検証し、浸水予測に関しては日本におけるモデル地域を対象にしてシステムのプロトタイプを構築した。

地震観測情報の活用に関して、地震動の長周期成分の振幅から速やかに地震規模を推定する新たな手法を開発した。この手法は2013年3月から気象庁において実際に使用されている。さらに、強震動域の広がりから即座に地震規模を推定する手法を開発した。

また、南米において同じように津波脆弱国であるペルーとの津波観測データとの情報共有等について、SATREPSペルーグループと共同して議論を始めた。

2) 津波データベースに基づいた津波警報手法

2012年には、津波データベースの構築にかかるチリ側予算によるプロジェクトがチリ側メンバーを中心に始動した。この開発に関して、日本側から技術情報の提供や助言を実施し、セミナーなどチリにおいて実施している。このために、気象庁の津波警報に係る部署のメンバーにプロジェクトへの参加を新たに得て、人員強化を図った。

3) チリにおける住民に対する信頼性の高い津波情報伝達手法

当初の研究計画では本研究課題は2014年度に開始予定であるが、G4において地震時の情報システムを検討する研究者を加えて、G4と研究連携に強化を図った。津波情報の伝達に関して、2010年チリ津波および2011年東北津波における教訓を調査し、チリと日本における津波情報の伝達方法の予備的考察を実施した。

カウンターパートへの技術移転の状況

- 研修の実施:2013年5月27~5月30日(4日間)。フェデリコ・サンタマリア工科大学(UTFSM)からJavier Canas Robles氏を気象研究所(MRI)に招聘した。気象庁における津波観測や警報の標準手法およびシナリオ津波波形データベースの理論とシステムを学習し、チリにおける日本版津波データベースの適用

について日本の研究者らと議論した。気象庁の津波警報オペレーション室の視察を行った。

- 研修の実施:2013年5月27日～6月19日(24日間)。海洋水路部(SHOA)から Nayadet Pulgar Vera 氏と UTFSM から Alejandra Gubler Labaryu 氏を気象研究所に招聘した。津波警報のためのデータベースの開発を行うとともに、前記の Javier 氏と共に気象庁における津波観測や警報の標準手法およびシナリオ津波波形データベースの理論・システムを学習した。2011年東北津波後の復旧・復興やチリにおける日本版津波データベースの適用について日本の研究者らと議論した。気象庁の津波警報オペレーション室の視察を行った。三重県で海洋研究開発機構(JAMSTEC)が実施する地震・津波観測網 DONET を視察しその詳細を JAMSTEC から情報提供され、地方自治体や気象庁からの情報伝達方法について三重県および津気象台から情報提供された。
- 技術情報・知見の提供:2012年9月24日から10月12日に開催された南米太平洋沿岸津波研修(ユネスコ政府間海洋学委員会(IOC)等主催)において、10月8～9日の2日間の講師をC3のメンバーである尾崎が務めた。10月8日に東北地方太平洋沖地震に対する津波警報及びそれを踏まえての警報改善について、10月9日に気象庁の津波警報システムについて、それぞれ講義を行った。受講者はコロンビア、エクアドル、ペルー、チリの津波警報関係機関及び教育関係機関からの合計27名である。
- 技術情報・知見の提供:2012年度から、チリ側メンバーによって津波カタログに基づいた津波データベースの構築が始動したことに伴い、気象庁の津波警報システムに関する技術情報・知見をグループ会議およびセミナーにおいて提供した。
- 技術情報の提供:気象庁の津波警報手法のガイドラインを英訳し、チリ側に提供した。

当初計画では想定されていなかった新たな展開があった場合、その内容と展開状況

本プロジェクト開始後にチリ側が津波警報手法の開発に係る研究予算を獲得した。このチリ側のプロジェクトは本研究にも深く係ることから技術支援を行うことにした。

G4: 津波災害に強い市民および地域づくりのためのプログラムの提案

研究のねらい

2010年チリ津波および2011年東北津波の教訓を活かすことによって、これからの津波災害に対して強い住民を育成し、ひいては津波災害に強い地域を実現する。そのために、これからの大きな地震とそれに伴う津波の発生が危惧されているチリ北部地域を対象にして津波防災に係る主にソフト的な対策を研究し、それをチリ全土に展開することを目標にする。

研究実施方法

つぎに示す3つの研究課題を実施する。1) 津波災害に強い住民をつくるための手法に関する研究、2) チリにおける港湾を利用した復旧・復興手法の研究、および 3) 地方自治体の災害時の対応能力向上策の検討である。

1) 津波災害に強い住民をつくるための手法

この研究課題ではつぎに示す5つの研究テーマを対象にする。(i)安全で有効な避難手法の提案、(ii)津波防災教育手法の開発・提案、(iii)津波災害に関する情報システムの開発・提案、(iv)防災教育ツールとしてのハザード・リスクマップの開発、および(v)防災リーダーの訓練プログラムの開発である。

これらの研究では、2010年チリ津波および2011年東北津波のときの実態などを調査するとともに、G2における津波被害推定の結果を活用する。

2) 港湾を利用した復旧・復興手法

日本とは異なるチリにおける港湾の開発、管理、運用などの把握を行って、まずモデル地域における災害時の業務継続計画(BCP)を具体的に検討する。その検討には G2 で実施する津波被害推定の結果を活用する。ついでモデル地域における検討を踏まえてチリの港湾における BCP 手法を提案する。なお、本研究課題ではチリにおける港湾システムなど日本とは異なる環境を理解する必要があることから、長期専門家を派遣して実施する。

3) 地方自治体の災害時の対応能力向上策

上記 1)と 2)の成果をまとめて、イキケ市をモデルに地域の脆弱性評価やリスク評価手法を検討し、市民や地域がより津波に強くなるためのリスクマネジメントの基盤となる手法を開発する。

当初の計画(全体計画)に対する現在の進捗状況

具体的な対策検討を進めるためにモデル地域を設定した。近い将来に津波災害の発生が危惧されるチリ北部地域の都市イキケ、アントファガスタ、メヒジョーネス、アリカなどにおいて現地調査を実施し、2012 年 3 月に実施した東京合同会議においてイキケに決定した。これは G2 の候補地選定にリンクしている。

1) 津波災害に強い住民をつくるための手法

この研究課題で実施する5つのテーマは互いに関連しているため、研究内容やロードマップについて多くの議論を行った。

(i) 避難手法

現地調査を行って、2010 年チリ津波および 2011 年東北津波時の避難行動の分類化と分析を実施した。タルカワノおよびディチャットにおける避難行動を把握するための詳細なアンケート調査の準備を実施した。アンケート調査の実施にあたり、チリ側メンバーを山口大学(YU)に招聘して、アンケート調査手法、日本における避難等に関する対策などの研修を実施した。

イキケやアントファガスタで実施された避難訓練に参加し、チリにおける避難そのものに対する国、自治体、市民の意識を体感するとともに、避難訓練の実態を理解した。

(ii) 教育手法

日本およびチリにおいて調査研究を行って防災教育に関するカリキュラム、ツールおよび教材の類型化と分析を実施し、両国において情報共有した。日本における文部科学省の動向(学習指導要領への防災教育の明記)、三陸地域における都市の最先端の防災教育に関する情報を収集し、チリ側に情報提供した。さらに、研究成果のアウトカムの準備としてチリにおける教育省と情報交換を実施した。

(iii) 情報システム

津波時における有効なコミュニケーション法について研究するために日本およびチリにおける津波時の情報伝達について文献等の調査を実施した。また、G3 と共同で新しい情報伝達の在り方を検討し、住民へ直接情報を提供する方法の一つとして、スマートフォンを用いた情報提供ソフトウェアの基本設計を行った。

(iv) ハザード・リスクマップ

有効な津波ハザードマップおよびリスクマップを研究するため日本およびチリにおけるそれらの既存のマップを調査した。また、イキケ市を対象に脆弱性評価手法、リスク評価手法の構築を試み、仮定のもとにマップ作成を試みた。

(v) リーダー育成手法

日本における津波災害に対するリーダーや地域社会を育成するための教育プログラムを調査研究

した。具体的には防災士や自主防災組織の活用について調査検討した。さらに日本とチリにおける地域活動に関する情報を収集した。

2) 港湾を利用した復旧・復興手法

国の中央(DOP/MOP およびバルパライソ大学(UV))およびイキケにおいて検討グループを形成し、次に示す活動を精力的に実施した。

- 災害後の港湾活用における課題の共有
- 日本およびチリにおける港湾活動およびシステムの差異の把握
- 港湾データ、物流統計など必要な情報の収集
- 港湾 BCP に関する認識の共有
- 日本における港湾 BCP の策定法の紹介

チリの港湾に適用される業務継続管理(BCM)の基本的な手法を開発した。イキケ港における港湾管理者および運営者に BCM 手法を技術移転するためにイキケにおいて予備的な議論を実施し、イキケ港の港湾管理者や事業者は運営システムに BCM 手法を取り入れようとしている。チリ側メンバーを京都大学防災研究所(DPRI)に招聘し、DPRI や MLIT などでの研修により BCM に関する人材育成を行った。

3) 地方自治体の災害時の対応能力向上策

本格的な検討はプロジェクトの最終年度であるが、日本とチリにおける現状の防災教育、情報システム、避難訓練・計画等や、現地に複数回訪問してイキケの状況を理解した。

カウンターパートへの技術移転の状況

- 研修の実施:2013年8月25日～10月12日(49日間)。コンセプション大学(UdeC)から Leonel Eugenio Ramos Santibanez 氏を YU に招聘した。住民避難の実態把握等の調査手法、津波からの人命保護対策について学習し、日本側研究者と議論を深めた。2011年東北津波で被災した気仙沼市、大船渡市および石巻市において現地調査を実施し避難ビルや震災からの復興状況を把握した。さらに沼津市および田原町において津波への備えについて学習した。前記の全体における東北の被災地や各港湾の視察およびそれぞれの地において情報が提供された。
- 研修の実施:2013年8月11日～9月5日(26日間)。DOP/MOP から Ariel Grandon Alvial 氏および UV から Felipe Caselli Benavente 氏を DPRI に招聘した。チリの港湾のための業務継続(BCP)手法の開発について学習するとともに日本側研究者と議論を深めた。前記の全体における東北の被災地や各港湾の視察およびそれぞれの地での情報提供に加えて、高松港および広島港を視察し港湾 BCP 等の情報が提供された。2011年東北津波によって被災した八戸市、久慈市、宮古市、釜石市、大船渡市の市長等から震災当時の対応状況、その後の復旧・復興について情報が提供された。国土交通省港湾局から日本の港湾 BCP を始めとする津波防災対策の取組みについて情報が提供された。
- 技術指導:建築研究所等が実施する津波防災コース(修士コース)に在学中(2012年9月14日～2013年9月13日)の本プロジェクトメンバー Mauricio Esteban Reyes Gallardo の修士研究に対して、本プロジェクトのモデル地区であるイキケ市を対象に津波リスク評価手法に関する技術指導を YU において実施した。
- 情報の提供:2013年8月25日～9月5日(12日間)。MOP から Ricardo Mauricio Tejada Curti 港湾局長(チリ側プロジェクト代表)、Julio Perez タラパカ州事務所長および Carolina Acevedo 氏が第3回日本・チリ津波防災シンポジウムへの参加に合わせて、前記の Ariel 氏らと一緒に東北の被災地および各港湾の視察を行って、各地で港湾行政、震災時の対応や復興状況等に関する情報が提供された。

- 情報の提供：2014年3月6日～3月12日(7日間)。VUからMauricio Reyes氏およびUdeCからOscar Cifuentes氏を招へいし、中南米地域の地震・津波防災に関する国際シンポジウム(SATREPSペルー地震津波プロジェクトと当該プロジェクトによる主催)への参加から日本のみならず中南米における地震・津波対策の現状を把握するとともに、YUにおいて津波計算により把握できることの現状、避難に係る心理的要因、避難シミュレーター、日本における津波ハザード推定や情報伝達手法などについて情報提供を行い、今後の研究方針について議論した。

3. 成果発表等

(1) 原著論文発表

本年度発表総数(国内 15件、国際 11件)

本プロジェクト期間累積件数(国内 26件、海外 17件)

論文詳細情報

国内

- 1) 高橋智幸. 津波による砂移動に関する数値シミュレーションの現状と課題, 堆積学研究, Vol.71, No.2, pp.149-155, 2012.
- 2) 嶋原良典・有田守・長谷部雅伸・大久保陽介. 2011年東北地方太平洋沖地震津波による岩手県宮古市の津波被害調査, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.68, No.4, I_1293-I_1299, 2012.
- 3) 富田孝史・廉慶善・鮎貝基和・丹羽竜也. 東北地方太平洋沖地震時における防波堤による浸水低減効果検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 68, No. 2, p. I_156-I_160, 2012.
- 4) 嶋原良典・藤間功司. 津波数値計算における非構造格子を利用したネスティング手法の提案, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.68, No.2, p.I_186-I_190, 2012.
- 5) 富田孝史・高橋研也. 2011年東北地方太平洋沖地震津波の再現を目指した実務計算手法の提案, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 68, No. 2, p. I_191-I_195, 2012.
- 6) 原口強・高橋智幸・久松力人・森下祐・佐々木いたる. 2010年チリ中部地震津波および2011年東北地方太平洋沖地震津波による気仙沼湾での地形変化に関する現地調査, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.68, No.2, pp.I_231-I_235, 2012.
- 7) 高川智博・富田孝史. 時間発展を考慮した津波波源逆解析と観測点地盤変動量のリアルタイム推定, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 68, No. 2, pp. I_311-I_315, 2012.
- 8) 今井健太郎・林晃大・今村文彦. 並木の津波漂流物捕捉機能に関する基礎的検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 68, No. 2, p. I_401-I_405, 2012.
- 9) 富田孝史・廉慶善・熊谷兼太郎・高川智博・鈴木高二郎・渡邊祐二・齊藤節文・佐藤正勝. 2011年東北地方太平洋沖地震津波による八戸港の被, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 68, No. 2, pp. I_1371-I_1375, 2012.
- 10) 今井健太郎・原田賢治・菅原大助. 2011年東北地方太平洋沖地震津波による青森県沿岸の津波痕跡高と津波の挙動, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 68, No. 2, pp. I_1376-I_1380, 2012.
- 11) 青木重樹・吉田康宏・勝間田明男・干場充之. 強震動の継続時間から見た平成15年(2003年)十勝沖地震とその最大余震の破壊伝播特性, 地震2, 65, pp. 163-174, 2012.
- 12) 高橋研也・富田孝史. 3次元非静水圧流動モデルを用いた久慈湾における東北地方太平洋沖地震津波の再現計算, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 69, No. 2, pp. I_166-I_170, 2013.

- 13) 富田孝史・丹羽竜也. 八戸港における東北地方太平洋沖地震津波の再現計算, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 69, No. 2, pp. I_236-I_240, 2013.
- 14) 今井健太郎・今村文彦・岩間俊二. 市街地における実用的な津波氾濫解析手法の提案, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 69, No. 2, pp. I_311-I_315, 2013.
- 15) 今井健太郎・原田賢治・南幸弘・川口誠史・二宮栄一. 海岸樹木の津波耐力評価手法の高度化, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 69, No. 2, pp. I_361-I_365, 2013.
- 16) 門廻充侍, 高橋智幸, 林能成. GPS 波浪計を用いた南海トラフでの津波警報の過小評価の判定指標, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 69, No. 2, pp. I_406-I_410, 2013.
- 17) 今井健太郎・堀内滋人・今村文彦. 波源推定における津波痕跡高分布の依存性に関する検討, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 69, No. 2, pp. I_431-I_435, 2013.
- 18) 安田誠宏, 谷口翔太, 奥村与志弘, 溝端祐哉, 島田広昭, 森信人, 間瀬肇. 避難所生活者の収容可能人数からみた災害対応の転換を要する津波規模の推定, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.69, No.2, pp.I_1341-I_1345, 2013.
- 19) 佐藤翔輔・今井健太郎・岩崎雅宏・二上洋介・熊谷雅之・平松進・亀井一彦・鈴木聡一郎・山中智・今村文彦. 避難先を指定しない新しい津波避難訓練手法の提案 - 宮城県石巻市における実践と検証 -, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 69, No. 2, pp. I_1361-I_1365, 2013.
- 20) 奥村与志弘・中道尚宏・清野純史. 想定を超える津波からの避難の特徴と対策 - 宮城県志津川地区の事例分析 -, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 69, No. 2, pp. I_1366-I_1370, 2013.
- 21) 高川智博. 水の圧縮性と地殻弾性を考慮した津波の分散関係解析: 遠地津波予測の精度向上に向けて, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol. 69, No. 2, pp. I_426-I_430, 2013.
- 22) 村上ひとみ・Leonel Ramos. 津波避難建物の保全と住民避難行動を語り継ぐ大切さ 気仙沼でのヒアリング調査から, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第 37 巻, Paper No. 1401, 2013.
- 23) 小山真紀・石井儀光・古川愛子・清野純史・吉村晶子. 東北地方太平洋沖地震における浸水状況を考慮した市町村別・年齢階級別死者発生状況, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol. 69, No. 4, pp. I_161-I_170, 2013.
- 24) 赤倉康寛・小野憲司・岡村京子・福元正武. 大規模災害後の外貿コンテナ貨物量の需要復旧曲線の定量化, 沿岸域学会誌 Vol. 26, No. 2, 2013.
- 25) 林晃大・今井健太郎・今村文彦. 津波漂流物の捕捉機能を有する植栽の設計に関する研究, 土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 70, No. 4, pp. 1141-1146, 2014.
- 26) 奥村与志弘, 後藤浩之. 海溝型地震の分岐断層破壊シナリオで発生する津波の特徴に関する一考察, 土木学会論文集 A1(構造・地震工学), Vol.69, No.4(地震工学論文集第 32 巻), pp.I_750-I_757, 2013.

国際

- 1) Takagawa, T., and T. Tomita. Effects of Rupture Processes in an Inverse Analysis on the Tsunami Source of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, Proceedings of The 22nd International Ocean and Polar Engineering Conference, pp. 14-19, Rhodes, Greece, June 17 - 22 2012.
- 2) Abu, B. S. and F. Miura. Remote Sensing Application and Spatial Multi-Criteria Analysis for Tsunami Vulnerability Mapping, Proc. of the International Symposium on Earthquake Engineering, JAEE, Vol.1, Tokyo, Paper No.22, 2012

- 3) Miura, F. Development of a Simultaneous Safety Conformation System for Handicapped Persons When An Earthquake Occurs, Proc. of the International Symposium on Earthquake Engineering, JAEE, Vol.1, Tokyo, Paper No.47, 2012.
- 4) Murakami, H., K. Takimoto and A. Pomonis. Tsunami Evacuation Process and Human Loss Distribution in the 2011 Great East Japan Earthquake - A Case Study of Natori City, Miyagi prefecture-, Proc. of the 15th World Conference on Earthquake Engineering, Lisbon, Portugal, Paper No. 1587, 2012.
- 5) Suppasri, A., K. Imai, F. Imamura and S. Koshimura. Comparison of casualty and building damage between Sanriku Ria coast and Sendai coast based on the 2011 great east Japan tsunami, Proceedings of Coastal Engineering, JSCE, Vol.3, 76-80, 2012.
- 6) Mas, E., S. Koshimura and A. Suppasri, M. Matsuoka, M. Matsuyama, T. Yoshi, C. Jimenez, F. Yamazaki and F. Imamura. Developing Tsunami fragility curves using remote sensing and survey data of the 2010 Chilean Tsunami in Dichato, Natural Hazards and Earth System Science, 12, 2689-2697, 2012, doi:10.5194/nhess-12-2689-2012.
- 7) Baba, T., N. Takahashi, and Y. Kaneda. Near-field tsunami amplification factors in the Kii Peninsula, Japan for Dense Oceanfloor Network for Earthquakes and Tsunamis (DONET), Mar Geophys Res, DOI 10.1007/s11001-013-9189-1, 2013.
- 8) Katsumata, A., H. Ueno, S. Aoki, Y. Yoshida and S. Barrientos. Rapid magnitude determination from peak amplitudes at local stations, Earth Planet Space, 65, 843-853, doi:10.5047/eps.2013.03.006, 2013.
- 9) Baba, T., N. Takahashi, Y. Kaneda, Y. Inazawa and M. Kikkojin. Tsunami inundation modeling of the 2011 Tohoku earthquake using three-dimensional building data for Sendai, Miyagi Prefecture, Japan, in V. S.-Fandiño et al. (ed.) : Tsunami Events and Lessons Learned, Advances in Natural and Technological Hazards Research, SPRINGER, 35, 89-98, 10.1007/978-94-007-7269-4_3, 2014.
- 10) Hoshiba, M. and T. Ozaki. Earthquake Early Warning and Tsunami Warning of the Japan Meteorological Agency, and Their Performance in the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (Mw 9.0). in Wenzel, F. and J. Zschau (ed.) : Early Warning for Geological Disasters, Advanced Technologies in Earth Sciences, Springer, Berlin Heidelberg, pp. 1-28, 2014.
- 11) Takagawa, T. and T. Tomita. Effects of Rupture Processes in an Inverse Analysis on the Tsunami Source of the 2011 Off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake, International Journal of Offshore and Polar Engineering, 24, 21-27, 2014.
- 12) Sambah, A.B. and F. Miura. Remote Sensing and Spatial Multi-criteria Analysis for Tsunami Vulnerability Assessment, EMERALD, Disaster Prevention and Management, An International Journal, ISSN: 0965-3562, pp.16-25, 2013.
- 13) Tomita, T., T. Arikawa and T. Asai. Damage in Ports due to the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake Tsunami, Journal of Disaster Research, Vol.8, No.4, pp. 594-604, 2013.
- 14) Suppasri, A., K. Imai, A. Muhari, I. Charvet, Y. Fukutani, Y. Abe, H. Murakami, T. Futani and F. Imamura. Fragility analysis based on damage data of the 2011 Great East Japan tsunami, Proceedings of Coastal Engineering, JSCE, 4, 65-69, 2013.
- 15) Shigihara, Y. and K. Fujima. An adequate dispersive wave scheme for tsunami simulation, Coastal.

- Engineering. Journal, Vol. 56, No. 1, 1450003 (2014) [32 pages] DOI: 10.1142/S057856341450003X, 2014.
- 16) Mas, E., A. Muhari, B. Adriano, S. Koshimura and F. Imamura. Basic study on the contribution of tsunami multilayer protection to tsunami evacuation and coastal community resilience. In Proceedings of International Sessions in Coastal Engineering, JSCE, Vol.4, 2013.
- 17) Suppasri, A., I. Charvet, K. Imai and F. Imamura. Fragility curves based on data from the 2011 Great East Japan tsunami in Ishinomaki city with discussion of parameters influencing building damage, Earthquake Spectra, doi:10.1193/053013EQS138M, 2014.

(2) 特許出願

本年度特許出願内訳(国内 0 件、海外 0 件、特許出願した発明数 0 件)
 本プロジェクト期間累積件数(国内 0 件、海外 0 件)

4. プロジェクト実施体制

(1) 「津波被害推定技術の開発」グループ

研究者グループリーダー名: 富田 孝史 (独立行政法人港湾空港技術研究所・アジア・太平洋沿岸防災研究センター副センター長)

- 研究項目: 1) 2010 年チリ津波および 2011 年東北津波の津波被害データベースの構築
 2) 津波被害推定モデルの開発
 3) 耐津波構造物の計画・設計手法の開発

(2) 「津波被害予測手法および被害軽減対策の提案」グループ

研究者グループリーダー名: 高橋 智幸 (関西大学・教授)

- 研究項目: 1) 津波被害予測マニュアルの作成
 2) チリ津波による日本の被害予測
 3) 津波対策の提案

(3) 「高い精度の津波警報手法の開発」グループ

研究者グループリーダー名: 馬場 俊孝 (独立行政法人海洋研究開発機構・地震津波・防災研究プロジェクト 技術主任)

- 研究項目: 1) 精度高い津波予報手法の開発
 2) 津波情報伝達手法の開発

(4) 「津波災害に強い市民および地域づくりのためのプログラムの提案」グループ

研究者グループリーダー名: 三浦 房紀 (山口大学・教授)

- 研究項目: 1) 津波に強い市民育成プログラムの提案
 2) 津波に強い地域づくりのための港湾利用手法の提案
 3) 津波被災後に地方自治体のシステムが機能するための計画策定手法のあり方の検討

以上