

国際科学技術共同研究推進事業
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究領域「途上国のニーズを踏まえた防災に関する研究」

研究課題名「コロンビアにおける地震・津波・火山災害の軽減技術に
関する研究開発」

採択年度：平成26年度/研究期間：5年/相手国名：コロンビア

平成28年度実施報告書

国際共同研究期間^{*1}

平成27年7月1日から平成32年6月30日まで

JST側研究期間^{*2}

平成26年5月1日から平成32年3月31日まで

(正式契約移行日 平成27年4月1日)

*1 R/Dに基づいた協力期間 (JICA ナレッジサイト等参照)

*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JSTとの正式契約に定めた年度末

研究代表者：熊谷博之

名古屋大学大学院環境学研究科・教授

I. 国際共同研究の内容（公開）

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

(1) 研究の主なスケジュール

研究題目・活動	H26 年度 (10 月)	H27 年度	H28 年度	H29 年度	H30 年度	H31 年度	
1. モニタリング	事前調査、 詳細計画の策定						
1-1 高度即時震源解析		機材調達・設置 SWIFT システム開発		▼SWIFT の運用	SWIFT システム運用		
1-2 津波監視		津波予測システム開発		▼津波予測システムの実現	津波予測システムの実現		
1-3 火山監視		ASL システム開発		▼火山監視システムの実現	ASL システム運用		
2. モデリング	事前調査、 詳細計画の策定						
2-1 プレート固着分布		GPS データ解析		▼プレート固着分布の推定	プレート固着分布の推定		
2-2 シナリオ地震		機材調達・設置・微動観測		シナリオ地震の構築 と強震動予測		シナリオ地震の構築 と強震動予測	
2-3 マグマシステム		データ収集		データ解析		データ解析	
3. 被害予測	事前調査 詳細計画の策定						
3-1 強震動被害予測		地盤情報収集・建物現況調査		▼ボゴタ強震動リスクマップの実現	ボゴタ強震動リスクマップの実現		
3-2 津波被害予測		既往津波被害把握・地形データ整理		津波シミュレーション被害予測		津波シミュレーション被害予測	
4. 情報発信	事前調査 詳細計画の策定						
4-1 防災情報ポータル		機材調達		ポータルサイトの作成と運用		防災情報配信システム	
4-2 ソーシャルメディア		アプリケーション開発		テスト・運用		テスト・運用	

(2) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

変更なし

2. プロジェクト成果の達成状況とインパクト (公開)

(1) プロジェクト全体

・成果目標の達成状況とインパクト等

平成 28 年度はプロジェクト開始から 2 年目であるが、順調にプロジェクト活動は推移しており、ほぼ計画通りに進んだ。のべ 25 名の専門家派遣、10 名の研究員受け入れ、供与機材（広帯域強震計等）の設置および調達を行った。さらに下記に述べる各研究課題の活動により、地震・火山の監視および強震動・津波の被害予測に関する技術の高度化が進むとともに、コロンビア・エクアドル沈み込み帯における新たな巨大地震発生モデルの提唱など、コロンビアの災害軽減に資する学術的な成果も得られた。また 2017 年 3 月 14～16 日にエクアドルのキトにおいて「中南米における地震・津波・火山監視と災害軽減に関するワークショップ」が開催された。このワークショップは本プロジェクトとメキシコ SATREPS プロジェクトおよびエクアドル JICA 技術協力プロジェクトによって合同で企画・実施され、中南米の防災関係者の側方的な連携を深めることを目的としたものであった。上記 3 ヶ国に加えて、チリ・ペルー・ニカラグア・コスタリカと日本の研究者 60 名余が参加し、活発な議論が展開された。SATREPS の活動が各国の研究者に周知されるとともに、今後の連携を希望するコメントも多くあり、今後の中南米における SATREPS の展開にも影響を与えるワークショップとなったと考えられる (PDM: Output4, Activity4.5)。

・プロジェクト全体のねらい、地球規模課題解決に資する重要性等
変更点はなし。

・研究運営体制、日本人人材の育成(若手、グローバル化対応)、人的支援の構築(留学生、研修、若手の育成)等

上記の新たな巨大地震発生モデルの提唱は、本プロジェクトで雇用している吉本研究員が中心となって研究の推進および論文の執筆・投稿が行われ、国際誌に掲載された。プロジェクトとして重要な成果が若手研究者を通して得られたことの人材育成における意義は大きい。さらにコロンビアにおける専門家の活動や、カウンターパート研究員の日本の関係機関での受け入れを通して、技術移転を継続的に進めた。さらにコロンビア地質調査所 (SGC) のカウンターパート研究員 2 名が SATREPS 枠および大学推薦枠による国費留学生となることが内定しており、相手国の若手人材の育成も進めている。

(2) 研究題目 1 : 「コロンビアにおける地震・津波・火山監視情報の高度化と地震発生ポテンシャル評価」

地震・火山グループ (リーダー: 熊谷博之)

地殻変動グループ (リーダー: 鷺谷威)

①研究題目 1 の当初の計画 (全体計画) に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

(2-1) 地震・津波監視、地震発生ポテンシャル

平成 27 年度に導入を行った高度即時震源解析 (SWIFT) システムについて、平成 28 年度はその運
【平成 28 年度実施報告書】【170531】

用に向けた自動化に関するシステム開発を行った (PDM: Activity 1.2)。その結果、SGC の運用する震源決定システム (SeisComp3) の自動震源情報を電子メールで受け取り、その情報を基に SWIFT による震源解析を開始し、解析結果をウェブサイトにアップロードを行う、という一連のプロセスを自動的に行うことが可能となった。このシステムの稼働により、 $M_w > 5$ の地震について 10~12 分程度でメカニズム (セントロイドモーメントテンソル: CMT) とセントロイド位置を推定できるようになった。さらに SWIFT の自動 CMT 解に基づいて、コロンビア沿岸における津波波高を自動的に推定する SWIFT-TSUNAMI システムの開発を行った (PDM: Activity 1.3)。日本の気象庁等で使われている既存の津波予測システムでは、あらかじめ想定した地震に関して津波のライブラリーを作成し、それに基づいて津波予測情報を発出するが、想定外の地震が起こった場合に情報を出せないという問題があった。SWIFT-TSUNAMI では、CMT 解に基づいて地震のスケーリング則により有限断層を求め、それによる海底地形の変形から津波波形シミュレーションを行い沿岸での波高を予測する。プログラム計算の効率化を進め、2 分程度で津波計算が可能となり、SWIFT の震源解析とあわせて地震発生から概ね 15 分程度で津波予測までを自動的に行うシステムを構築した。なお SGC に供与された 3 台の広帯域強震計は設置が完了し、そのリアルタイムデータが SWIFT システムで利用可能な状態となった (PDM: Activity 1.1)。

2016 年 4 月 16 日にエクアドルで $M_w 7.7$ の大地震が発生した。その本震と余震について、SWIFT による CMT 解析をエクアドルおよびコロンビアの広帯域地震観測網のデータを用いて行った。さらにグローバル地震観測網の広帯域地震波形を用いて本震のすべり分布を推定した。その結果、2016 年の地震は、1942 年に発生した $M_w 7.8$ の地震と同じ震源領域を破壊した地震であり、再来間隔は 74 年と推定された。コロンビア・エクアドル沈み込み帯では、1942 年の地震に加えて、1958 年 ($M_w 7.7$) および 1979 年 ($M_w 8.1$) の 3 つの歴史地震が発生しており、1906 年の巨大地震 ($M_w 8.8$) は、これら 3 つの震源領域を破壊したと考えられてきた。1906 年の地震の地震モーメントは 3 つの歴史地震のそれらの総和よりはるかに大きいため、1906 年の地震は、複数のセグメントが一度に破壊することでより大きな地震に成長するという巨大地震モデルの例とされてきた。1942 年の震源領域が 1906 年の地震で破壊されたとすると、1942 年の地震は 36 年で発生したことになるが、これは 2016 年と 1942 年の間隔である 74 年のほぼ半分程度あり、矛盾が生じることとなった。そこで 1906 年の地震の遠地津波記録について、地球の弾性の効果等を考慮に入れることで遠地津波波形を正確に計算できる最新の手法を用いてこの地震のすべり分布の推定を行った結果、その M_w は 8.4 程度と従来の推定値よりはるかに小さく、破壊領域は 3 つの歴史地震よりも沖合にあることが分かった (図 1)。この結果は、従来の考え方とは大きく異なり、この沈み込み帯に深さ方向に依存した複雑な破壊様式があること示しており、上記の地震発生間隔の矛盾も説明できる。この新たな巨大地震発生モデルはこの地域の地震・津波被害予測に大きく影響を与えるものである (PDM: Activity 2.2)。

将来発生する大地震の想定を行う上で、測地観測データに基づいてプレート境界や断層の固着状況を推定することは重要である。コロンビアでは本プロジェクト開始以前から、連続 GNSS 観測網の構築や間欠的な GNSS 観測が実施されており、観測網の構築、運用面は問題無かったが、データの解析や解釈の経験が乏しく、せっかく得られた観測データを十分に利活用できない状況にあった。そこで、本研究では、地殻変動データの解析、解釈に関する技術移転を実施するとともに、将来の地震ハザード評価に地殻変動データを活用するため、プレート沈み込み帯におけるプレート間カッ

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

プリング分布や陸域におけるブロック運動モデルの構築を目指している。

平成 28 年度は、前年度から進めてきたブロック運動モデルの改良を進めるとともに、コロンビアの太平洋岸のナスカプレート沈み込み帯におけるプレート間カップリングモデルの推定に着手した (PDM: Output2, Activity2.1)。その結果、1942 年、1958 年、1979 年の地震の震源域に相当すると考えられる範囲でプレート境界が固着している様子が推定された (図 2)。この解析では、陸域のブロック運動が十分考慮されていないため、ブロック境界とプレート境界を考慮した新たなモデルを構築している。このモデルを用いた解析を次年度に向けて進めていく予定である。

(2-2) 火山監視、マグマシステム推定

ネバドデルルイス火山において高周波地震波振幅を用いた震源決定 (ASL) を行う上で必要となる各観測点のサイト増幅係数と火山の非弾性係数 (Q) の推定を行った (PDM: Output1, Activity 1.6)。この火山では火山構造的 (VT) 地震が多数発生しており、それらの初動走時から決定した震源位置と ASL によるものが最もよく一致するという条件のもとにサイト増幅係数と Q 値を推定した。これらの値を用いて、ASL システムをリアルタイムで稼働するとともに、2016 年 3 月から 12 月の地震データについて ASL 法による再解析を行った結果、この期間の微動・Long-period (LP) および Very-long-period (VLP) イベントが、山頂から北西に傾いた領域で発生したことが分かった (図 3)。これらの微動とイベントが噴火活動に伴って発生していることを考慮すると、この領域はマグマの上昇経路であると考えられる。また VT 地震の P 波および S 波の到着時刻を用いた地震波トモグラフィ、VLP イベントのメカニズムと位置を推定する波形インバージョン等のプログラムの整備を進め、それらの解析を進めた (PDM: Output2, Activity 2.4)。さらにガレラス火山についての ASL システムの開発を行い、サイト増幅特性と Q 値を推定するための地震データの収集を進めた (PDM: Output1, Activity 1.6)。

ネバドデルルイス火山においては、新たに 4 観測点、計 6 台の空振計が設置された (図 4) (PDM: Output1, Activity 1.5)。広帯域地震計に関しても新たに 2 観測点に設置される予定であったが、観測点の整備の遅れなどにより未設置である。設置された空振計センサーを用いて、空振モニタリングを開始した (PDM: Output1, Activity 1.6)。ノイズにまぎれた信号を有効に取り出すための相関解析を、観測点に合わせて調整し、実用化されている。悪天候で噴火活動が映像で確認できない場合にも、噴火の発生を確認する情報として有効である。今後は、解析手法の高度化やセンサー配置の再検討を行い、検出能力を向上させていく予定である。ガレラス火山では、過去に得られている空振データの解析を行い、空振計設置点について検討した。

衛星画像 (MODIS) を利用した準リアルタイム観測システムを構築し、コロンビアの 11 活火山の観測を開始した。観測結果は、インターネットを通しプロジェクト関係者で共有することができる (PDM: Output1, Activity1.6)。図 5 にネバドデルルイス火山の温度の観測結果を示す。2015 年秋頃から 2016 年 1 月にかけて活動が活発化したが、その後一旦低下し、2016 年末頃から再度活発化していることがわかる。

②研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

SWIFT システムの導入および解析手順に関してマニュアルを作成するとともに、専門家派遣および
【平成 28 年度実施報告書】【170531】

び研修を通して技術移転を進めた結果、カウンターパートにより独自にオペレーションが可能となった (PDM: Activity 1.2)。ASL システムに関しても、ウェブインタフェースを作成したことにより、カウンターパートにより再解析が可能となっている。空振および衛星画像を用いたモニタリングシステムに関しては、専門家派遣や研修においてその使用方法やデータの解釈等について説明を行い、コロンビア側研究者が日常の火山観測業務に利用できるようになった (PDM: Output1, Activity 1.6)。

これまでに、双方の担当者の議論を通じて、1) GNSS 時系列データの処理に対する考え方 (機器交換に伴うステップの処理、速度および誤差の推定方法、余効変動に伴う変化の扱い等) および 2) ブロック断層モデルによる解析方法の習得が達成された (PDM: Output2, Activity2.1)。2) に関しては、コロンビア側の担当者が自ら様々な断層を設定して解析を行えるようになってきている。

③研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

2016 年エクアドル地震が発生したことにより、コロンビア・エクアドル沈み込み帯の地震発生過程の理解に関する新たな知見が得られるとともに、1906 年の地震の津波解析などを通して、これまでの巨大地震の発生モデルを見直す必要がある結果が得られるなど、この地域の地震・津波被害予測を考える上での新知見を提供した。

SGC の地震・火山グループのカウンターパート研究員が SATREPS 枠による国費留学生 (博士課程) に内定した。さらに SGC の地殻変動グループのカウンターパート研究員も日本への留学を希望し、大学推薦の国費留学生 (修士課程) に内定した。両名とも平成 29 年 10 月に来日して、博士の学位取得を目指す予定である。この留学により、研究協力がより安定的に進められることになると期待される。

④研究題目 1 の研究のねらい (参考)

コロンビアにおける地震・津波・火山監視情報を高度化するために観測機材やデータ解析技術の導入を行うとともに、地震および火山噴火の発生過程に関する研究を行う。さらに地殻変動データの解析を進め、コロンビアにおける地震発生ポテンシャルを評価する。

⑤研究題目 1 の研究実施方法 (参考)

専門家派遣および研究員の受入を通して、以下の課題に取り組んだ。1) SWIFT システムの自動化、2) SWIFT-TSUNAMI システムの開発、3) ネバドデルルイス火山における地震および空振データを用いた監視システムの高度化、4) 同火山のマグマシステム推定のための地震データ解析、4) 衛星画像データを用いたコロンビアの活動的火山の観測システムの構築、5) GNSS 速度データの逆解析に基づくプレート境界の固着分布やブロック断層モデルの推定。

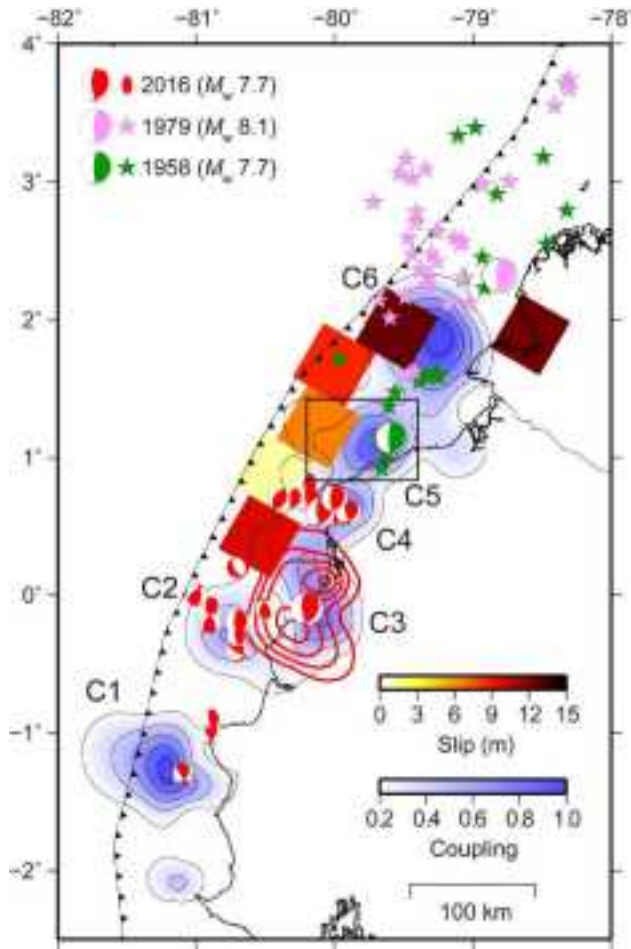


図 1. 1906 年の巨大地震の地震時すべり分布（暖色系の色で塗られた四角形）と過去の大地震（1958 年、1979 年、2016 年）との比較。青い等高線はプレート間固着の分布を示している。2016 年の地震（赤い等高線）は C3 の高いプレート固着領域に対応し、1942 年地震も同様の C3 領域を破壊したと考えられる。余震の CMT 解を赤いビーチボールで示しており、それらは C2 と C4 領域で発生した。1958 年の地震（緑のビーチボール）は C5 の領域に対応し、余震を緑の星で示している。1979 年の地震（ピンクのビーチボール）は C6 以北の領域を破壊したと考えられる。1906 年の地震はこれら大地震のさらに海溝（三角付きの黒い線）側で大きな地震すべりがあったことが推定された（Yoshimoto et al., 2017）。

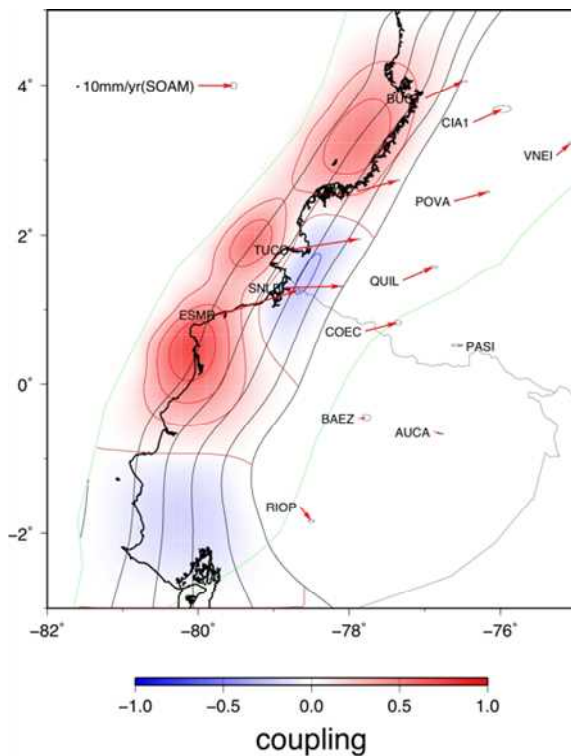


図 2. コロンビア・エクアドル国境付近におけるナスカプレート沈み込み境界面上のプレート間カップリング分布。矢印は解析に使用した GNSS 速度データ（南米プレート固定）、黒の等深線はプレート境界面の深さ（20 km 間隔）を示す。

(3) 研究題目 2 : 「コロンビアにおける強震動被害予測」

強震動グループ (リーダー: ネルソン・プリード)

①研究題目 2 の当初の計画 (全体計画) に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

コロンビア側のカウンターパート機関である SGC、ボゴタ危機管理庁 (IDIGER)、ロスアンデス大学 (UA)、国立コロンビア大学 (UN) と協力して、ボゴタ盆地における大・中・極小微動アレイ (13 箇所、半径 0.6 m~1000 m)、単点微動 (360 箇所) の観測を実地した (図 6A)。この結果によるとボゴタの北側の微動の H/V ピーク周期の値は長く (1~3 秒)、これに対して南側の H/V ピーク周期が短い値が推定された (0.1~1 秒) (図 6A)。微動アレイ観測データを用いて表面波の位相速度分散曲線を求め、各観測地点の S 波速度構造を推定した (図 7A)。深部地盤の面的な速度構造モデルを構築するため、微動アレイ観測による S 波速度構造と既存の重力データ (約 800 点) (図 6B) の融合を行った。微動アレイ観測の各観測地点の残差ブーゲー異常値を求め (図 7B)、各速度層 ($V_s = 300, 400, 600, 1000, 2000$ m/s) の出現深度の関係式を推定した (図 7C)。これらの関係式及び残差ブーゲー異常分布に基づいてボゴタの 3 次元 S 波速度構造の初期モデルを構築した (図 8A, 8B)。この結果によると盆地の基盤の最も深いところはボゴタの東側にあり、この場所では速度層 $V_s = 2000$ m/s の深さはおよそ 2500 m に推定された (図 8A, 8B) (PDM: Output2, Activity2.3)。

IDIGER と協力して、プロジェクトで導入した加速度計 (5 台) のボゴタ市内での設置及び設定を行い、観測は 2016 年 6 月から開始した (PDM: Output1, Activity1.7)。同機関と協力してプロジェクトで導入したボゴタの強震動データ専用の FTP サーバの設置を行った。ボゴタ周辺の活断層の評価のため SGC の広帯域地震計 (8 台) をボゴタ周辺で設置し、2016 年 5 月から臨時観測を開始した。さらにボゴタ近傍の活断層の評価のために断層地質などについての調査を行った (PDM: Output2, Activity2.2)。

②研究題目 2 のカウンターパートへの技術移転の状況

遠田専門家による活断層評価についてのセミナーを SGC で行い、先方機関のメンバーから約 25 名が参加した。カウンターパート研究員 3 名に対して、防災科学技術研究所および東京工業大学において微動アレイデータ解析や地震データ解析の指導を行った。その結果、地盤速度構造モデルの構築や震源メカニズムの推定に関する技術移転が行われた。

③研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

ボゴタ周辺の詳細な地震活動を調べるため SGC の広帯域地震計 (8 台) を設置し 2016 年 5 月から現在まで臨時観測を行っている。さらにボゴタ近傍の活断層の評価のために断層地質などについての調査を行った。

④研究題目 2 の研究のねらい (参考)

ナスカプレート (太平洋側) の沈み込みに伴うプレート境界固着分布の推定結果や歴史地震及び地震活動の情報を用いて、海溝型巨大地震及び活断層による内陸地震の震源モデルを作成する。さらに盆地に位置するボゴタ市の速度構造モデルを構築し、震源モデルに基づいたシナリオ地震の強

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

震動シミュレーションを実施する。

⑤研究題目 2 の研究実施方法（参考）

専門家が現地に訪問するとともに、カウンターパート研究員を防災科学技術研究所及び東京工業大学に招へいし、ボゴタの想定地震による強震動予測の構築に向けて 1) 地盤モデルの構築、2) 震源モデルの推定に取り組んだ。

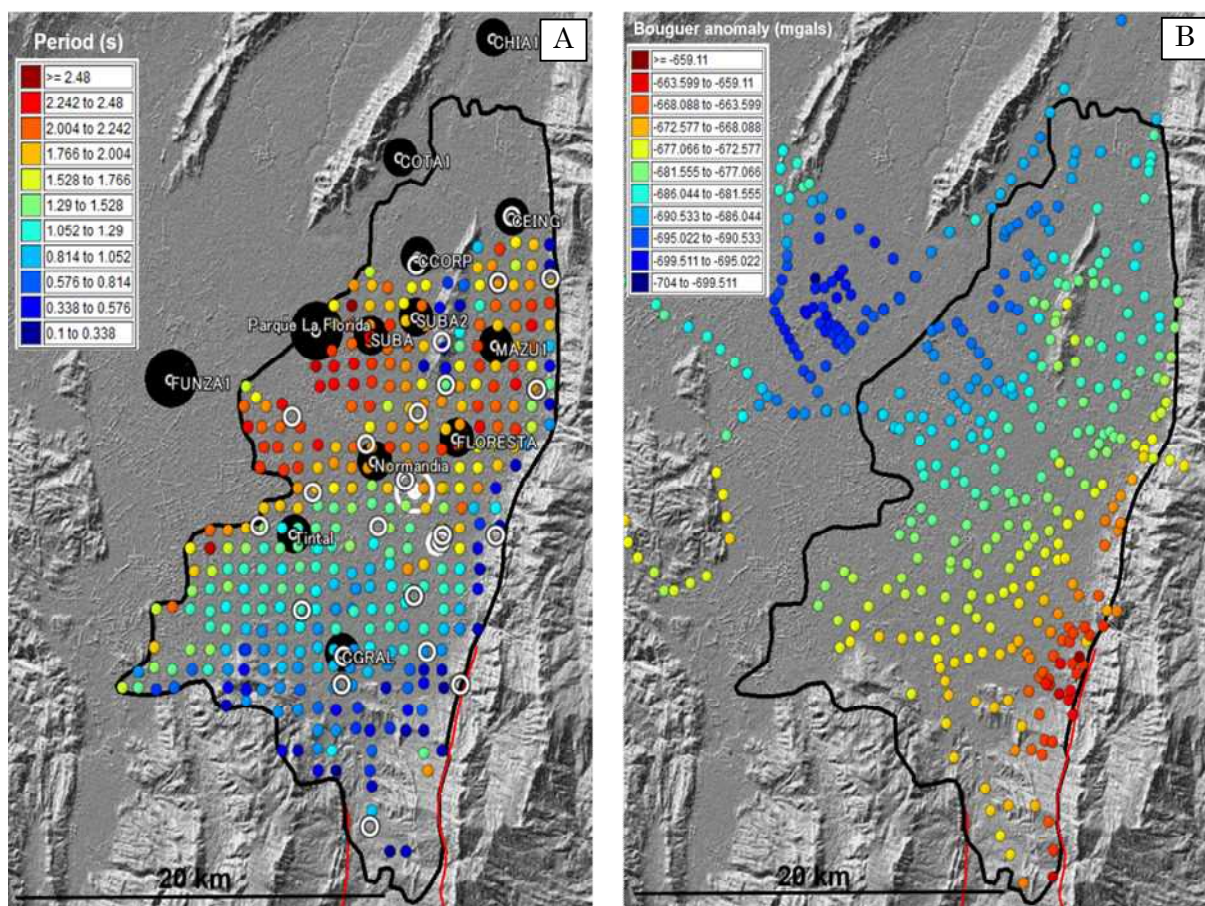


図 6. 2016 年にボゴタ盆地で行った微動アレイ観測（黒丸）及び単点微動観測による H/V のペーク周期の結果（カラスケール点）。2015 年に行った微動アレイ観測は白丸で示す（A）。ボゴタ盆地の速度構造モデルの作成のために使用した重力データ（SGC が 1997 年ボゴタのマイクロゾーンプロジェクトで取得）（B）。本プロジェクトの対象領域（ボゴター市）は黒い線で囲んでいる。

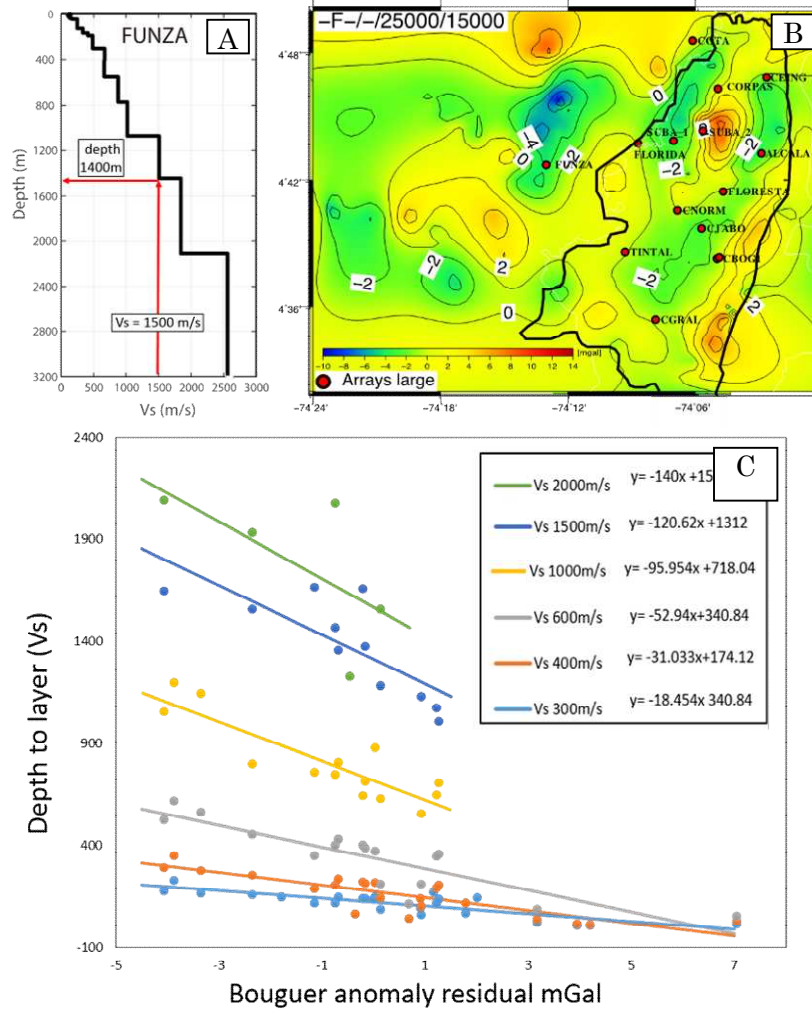


図 7. 微動アレイ観測に基づいたボゴタ西側の S 波速度構造モデル (A)。残差ブーゲー異常値の分布 (B)。微動アレイ観測の各観測地点の残差ブーゲー異常値と各速度層の出現深度の相関関係 (C)。

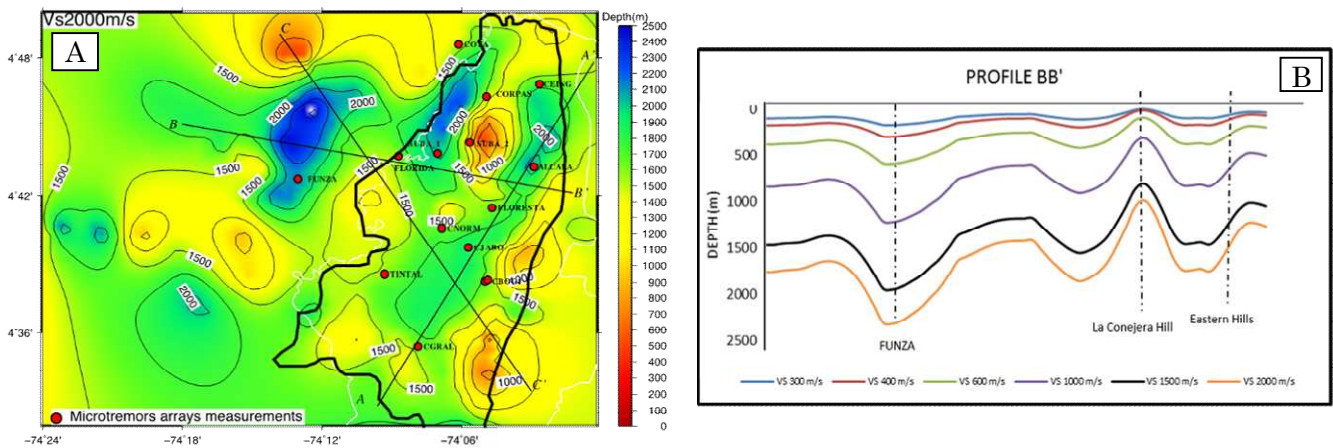


図 8. 残差ブーゲー異常値と各速度層の経験式で推定した Vs = 2000 m/s の層の深さ (A)。ボゴタ盆地の S 波速度の BB' の断面図 (B)。

(4) 研究題目 3 : 「コロンビアにおける防災情報の高度化」

防災情報グループ (リーダー: 松岡昌志)

①研究題目 3 の当初の計画 (全体計画) に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

建物被害の推定には地震動の周期特性 (応答スペクトル) の評価が重要になる。そこで、SGC および IDIGER による強震観測網で得られた 2008 年 Quetame 地震の記録を解析して、応答スペクトルの距離減衰と観測点の地盤増幅特性を検討した (PDM: Output3, Activity3.1)。その結果、硬質地盤の応答スペクトルは経験的なモデルとほぼ一致するが、ボゴタ市内の堆積地盤の応答スペクトルには表層地盤による地震動増幅の影響が顕著に見られたことから、地盤の平均 S 波速度 (V_{s30}) を指標とした応答スペクトルの増幅率推定の経験式を作成した (図 9)。これは、ボゴタにおける地震動の応答スペクトル増幅特性を初めて明らかにしたもので、成果を国際会議に発表した。さらに、SGC が採用している地盤傾斜に基づく V_{s30} と微動アレイや PS 検層記録から算出した V_{s30} との関係性を調べ、ボゴタ市内の V_{s30} マップを更新した。今後、このマップは後述する地震動マップの早期推定システムに実装する予定にしている。そして、コロンビア全域の V_{s30} マップの高精度推定および液状化危険度評価の基盤データとして活用することを目的に、既存の微地形分類図に機械学習手法を適用して、微地形分類図が未整備の地域における微地形分類マップを構築し、コロンビア全域の液状化しやすさマップを作成した (PDM: Output3, Activity3.2)。

地震動マップの早期推定システムの構築に関しては、IDIGER の強震観測記録サーバにアクセスして、データの取得、解析、地震動マップの推定と可視化、そして、メッシュごとに応答スペクトルの値を即座に計算するシステムのプロトタイプを開発した (図 10) (PDM: Output4, Activity4.2)。また、応答スペクトルの値と建物台帳に含まれる建物構造や階数等から建物被害を推定するアルゴリズムを実装した。また、SGC が運用している ShakeMap から公開されている地震動マップを国際標準配信し、さらに、SNS で情報発信するシステムのプロトタイプの開発に着手した (PDM: Output4, Activity4.3)。

②研究題目 3 のカウンターパートへの技術移転の状況

コロンビアの強震観測記録から地盤の増幅特性を評価し、その結果に基づいてシナリオ地震の地震動および建物被害分布を推定する一連の手法をコロンビアの関係機関の研究者に教示し、共同執筆の形で国際会議にて発表した。

③研究題目 3 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

SGC が運用している ShakeMap システムについて、自動決定された震源情報に基づいて計算をしているのみならず、より精度の高い震源情報が得られた場合には、マニュアルにて ShakeMap を再計算していることがわかった。本プロジェクトで開発する国際標準配信システムについても、再計算された場合を想定した柔軟性を持たせる必要があることがわかった。

④研究題目 3 の研究のねらい (参考)

コロンビアおよびボゴタ市の強震観測網等のデータを用いて、地盤の増幅特性を考慮した空間補
【平成 28 年度実施報告書】【170531】

間処理に基づく最大地動加速度・最大地動速度等の地震動マップと地盤災害危険度マップを自動計算する。さらに、ボゴタ市については建物やライフラインのリスクマップを生成する。そして、クラウドおよびソーシャルメディアを活用することで、これらの情報を防災関係機関や一般市民に広く防災情報を周知するシステムを構築する。

⑤研究題目 3 の研究実施方法（参考）

地震発生後にコロンビアおよびボゴタ市内の地震動と被害マップを即時推定するシステムの構築に向けて、以下の課題に取り組んだ。1) SGC が開発したコロンビア全域の ShakeMap システムに用いられている地盤の平均 S 波速度 (Vs30) マップの高度化、2) ボゴタ市内の建物の被害推定、3) 地震動と被害マップの即時推定システムの開発、4) 防災情報の発信。

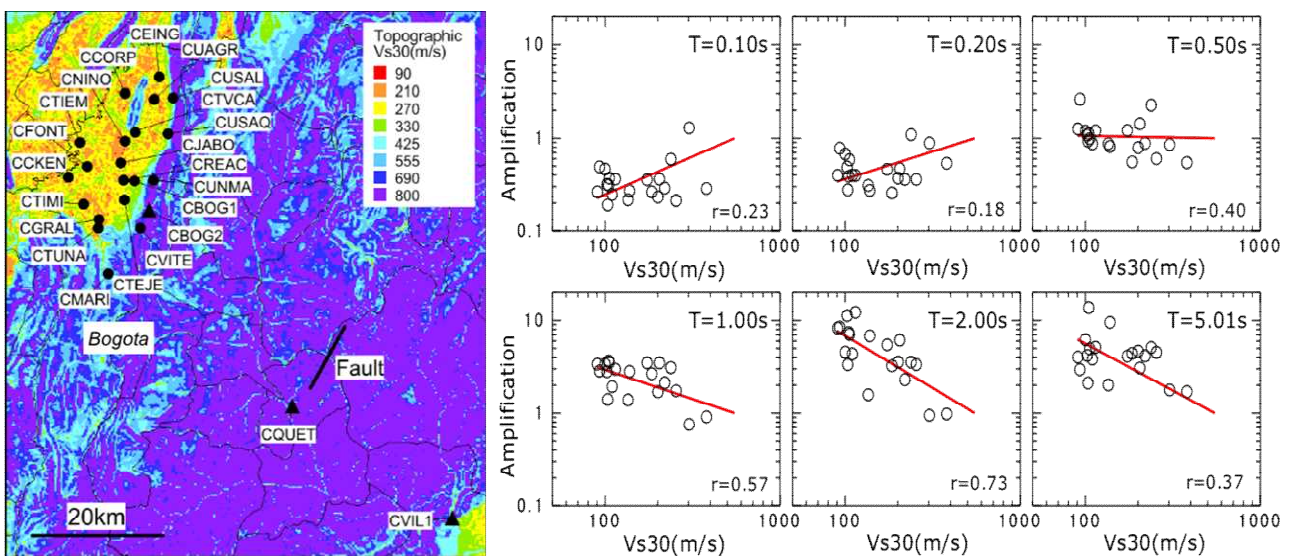
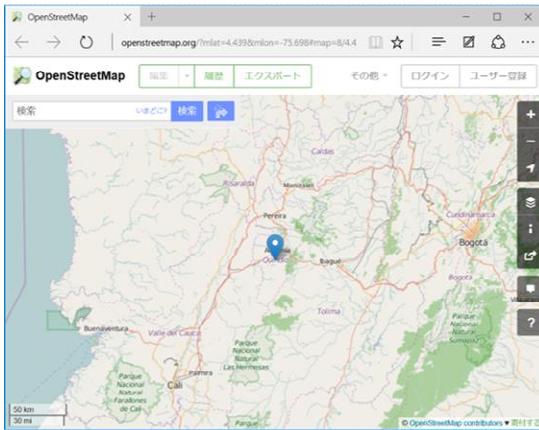
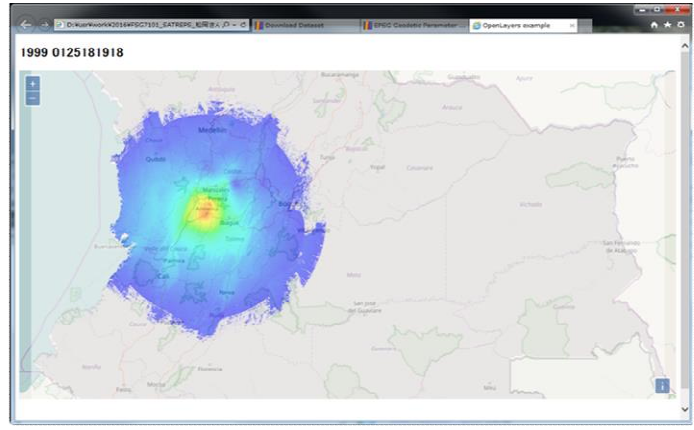


図 9. 2008 年 Quetame 地震の観測点 (左)、地盤の平均 S 波速度 (Vs30) と応答スペクトルの増幅率の関係 (右)



Epicenter (2008/5/24 Earthq.)



Estimated PGV map

ObservationCode	Latitude	Longitude	Max Acceleration	Max Velocity	SeismicIntensity
CANDE	5.663	-75.897	10.02	0.46	1.85
CARBE	4.252	-74.438	7.56	0.86	2.20
CARME	4.550	-75.660	548.29	29.07	5.65
CBETA	2.708	-75.438	7.68	0.53	2.02
CBGCA	4.782	-75.546	85.93	4.53	3.92
CBG01	4.641	-74.090	6.32	1.66	2.50
CBG02	4.601	-74.060	4.47	0.34	1.46
CBUC1	7.072	-73.074	1.15	0.04	0.00
CBUEN	3.887	-77.062	25.13	1.73	2.84
CCAU	3.484	-76.517	26.71	1.76	3.05
CCAST	4.792	-75.687	239.49	23.26	5.25
CCD00	3.386	-74.804	16.14	1.66	2.69
CCUC1	7.878	-72.508	1.34	0.04	0.00
CDAGU	3.655	-76.705	4.28	0.38	1.42
CECAL	3.884	-76.561	2.57	0.38	1.20

IDIGER Observation data

ID	Lon deg	Lat deg	Name	Type	Period s	Story	Floor no	Value	resol	Sa	MDR	RepairCost
1	-74.0218	4.642894	sample1	C2H.P	1.100731	15	750	10	0.017784	0.000826	6.94E-01	6948501
2	-74.0095	4.459233	sample2	C4H.L	1.411934	14	700	10	0.507512	0.000589	4.12E-01	4125599
3	-74.0065	4.459166	sample3	C4H.H	1.407671	14	700	10	0.541859	8.79E-05	0.61503	0.61503
4	-74.0065	4.459587	sample4	C4H.H	1.408512	14	700	10	0.542403	8.90E-05	0.619801	0.619801
5	-74.0065	4.459166	sample5	C4H.H	1.407671	14	700	10	0.541859	8.79E-05	0.61503	0.61503
6	-74.0095	4.459233	sample6	C4H.H	1.408512	14	700	10	0.541859	8.90E-05	0.619801	0.619801
7	-74.0116	4.454185	sample7	C4H.H	1.404317	14	700	10	0.544704	8.84E-05	0.619073	0.619073
8	-74.0137	4.453647	sample8	C4H.H	1.405143	14	700	10	0.545262	8.86E-05	0.619869	0.619869
9	-74.0116	4.454185	sample9	C4H.H	1.404317	14	700	10	0.544704	8.84E-05	0.619073	0.619073
10	-74.0137	4.453647	sample10	C4H.H	1.405143	14	700	10	0.545262	8.86E-05	0.619869	0.619869
11	-74.0603	4.508676	sample11	C4L.H	0.883948	1	50	10	0.819719	0.00012	0.060112	0.060112
12	-74.0519	4.508621	sample12	C4L.H	0.884181	1	50	10	0.816502	0.00012	0.060082	0.060082
13	-74.0503	4.508576	sample13	C4L.H	0.883646	1	50	10	0.819719	0.00012	0.060112	0.060112
14	-74.0519	4.508621	sample14	C4L.H	0.884181	1	50	10	0.816502	0.00012	0.060082	0.060082
15	-74.0559	4.509303	sample15	C4L.H	0.88153	1	50	10	0.819652	0.000121	0.060052	0.060052
16	-74.0574	4.502682	sample16	C4L.H	0.882093	1	50	10	0.910425	0.000149	0.074589	0.074589
17	-74.0559	4.509303	sample17	C4L.H	0.88153	1	50	10	0.819652	0.000121	0.060052	0.060052
18	-74.0574	4.502682	sample18	C4L.H	0.882093	1	50	10	0.910425	0.000149	0.074589	0.074589
19	-74.0616	4.502229	sample19	C4H.P	1.382462	14	700	10	0.708335	0.001755	1.22E-01	1228811

Calculation Results (Building Damage)

図 10. 地震動マップおよび建物被害の即時推定システムプロトタイプの実出力例

(5) 研究題目 4 : 「コロンビアにおける津波被害予測」

津波グループ (リーダー: 越村俊一)

①研究題目 4 の当初の計画 (全体計画) に対する当該年度の成果の達成状況とインパクト

相手国研究者と協力して津波浸水予測のための海域・陸域の水深・標高メッシュデータを整備し、複数の想定地震シナリオに基づいた津波伝播・浸水予測を実施してモデルの検証を行った (PDM: Output3, Activity3.3 および 3.4)。検証したのは、1979 年 Tumaco 地震と 2016 年 Ecuador 地震による津波である。報告された津波高、観測波形、地殻変動を説明するための津波波源モデルをインバージョン解析により明らかにした (図 11)。津波浸水予測について、太平洋岸は Tumaco を、カリブ海側は Cartagena を対象として、津波伝播・浸水予測を実施し、既往イベントでの観測高さ等を用いた検証および課題整理を行った。太平洋側の Tumaco においては、1906 年と 1979 年の既往地震に対して津波浸水予測を行い、浸水域内建物等数の把握や被害評価のための建物構造種別データの整備を行った。また、地震・火山グループの協力を得て、津波波形インバージョン解析による波源モデルの改訂に取り組んだ (PDM: Output1, Activity1.3)。

コロンビアのカリブ海沿岸については、過去の資料において津波被害の報告は見つけられなかった。1882 年以降に発生したマグニチュード 7 以上の地震に対して津波伝播シミュレーションを実施し、コロンビア海岸に到達した津波高の評価を行ったところ、いずれのケースにおいても津波高は

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

数十 cm 以下となり、現在想定している過去の地震および現在の地震活動度を考慮しても、太平洋岸に比べ津波のリスクは小さいことが分かった。ただし San Andrés 島などの離島においては津波浸水の懸念があることが新たに判明した。例えば、1991 年 Costa Rica で発生した M_w 7.6 の地震に対しては San Andrés 島において 50 cm の津波が来襲しうることがシミュレーションにより明らかになった。

Tumaco の津波避難の問題をケーススタディとして、マルチエージェントシステムによる避難行動シミュレーションの検討を行った (図 12) (PDM: Output3, Activity3.5)。マルチエージェントシステムとは、複数のエージェント (モデル化される人間行動) から構成されるシミュレーションシステムであり、災害時の個々の動きの再現を通じて地域社会全体の避難行動をコンピュータ上で模擬するものである。今後、シミュレーション結果を踏まえて、避難施設の評価および避難計画の改善に取り組む計画である (PDM: Output4, Activity4.4)。

以上に述べた通り、本グループの活動は PDM における Output1 および 3 に対応し、PO による計画通りに概ね進捗している。2017 年世界地震工学会議において 3 編の国際共著論文を発表するなど、成果の蓄積も進んでいる。

②研究題目 4 のカウンターパートへの技術移転の状況

これまで、津波計算に係る基礎理論、シミュレーション実行、可視化・地図化について一連の講義を現地で行うことができた。特に 28 年度は津波数値計算技術をコロンビア海洋研究機構 (DIMAR)、SGC、UN に移転し、例題としてカリブ海および太平洋で発生した既往津波のシミュレーションを実施した。さらに太平洋に面した Tumaco 市の津波浸水予測のための基盤データの構築、浸水シミュレーションおよび避難行動シミュレーション環境の整備を通じて、技術移転を完了した。

③研究題目 4 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

1882 年以降に発生したマグニチュード 7 以上の地震に対して津波伝播シミュレーションを実施し、コロンビア海岸に到達した津波高の評価を行ったところ、いずれのケースにおいても津波高は数十 cm 以下となり、現在想定している過去の地震および現在の地震活動度を考慮しても、太平洋岸に比べ津波のリスクは小さいことが分かった。ただし San Andrés 島などの離島においては津波浸水の懸念があることが新たに判明した。当初計画においては、カリブ海側の津波浸水解析は Cartagena でのみ行うこととしていたが、Cartagena に加え San Andrés 島でも津波の危険性が確認されたことから、解析フィールドを追加すべきであるとの議論になり、San Andrés 島での追加解析の実施について 2017 年度 JCC において提案することとなった。

④研究題目 4 の研究のねらい (参考)

ナスカプレート沈み込みに伴う巨大地震による津波や、カリブプレート沈み込みやカリブ海の津波に対して津波被害の予測技術の構築を行う。具体的には、津波被害の予測技術の構築に向けて、(a) コロンビアにおける巨大地震津波の履歴と想定津波発生シナリオの検討、(b) コロンビア沿岸部における津波発生・伝播特性の把握、(c) 津波浸水予測と津波被害関数を利用した津波被害

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

想定手法の確立、(d) 人口統計データ等ソーシャルデータとの統合分析による津波曝露人口と人的被害の推定、(e) 津波の被害軽減に資する具体的軽減対策の基盤構築のテーマに取り組む。

⑤研究題目 4 の研究実施方法（参考）

コロンビアに影響を及ぼしうる津波で最も懸念されるのは、ナスカプレートの沈み込みによって発生する巨大地震（太平洋側）であるが、カリビアンプレートの沈み込みにより発生するプレート境界型地震や、カリブ海での遠地津波など、様々な津波事例の整理と防災対策へ備えが必要である。津波グループでは、津波とその被害の予測技術の構築を目標に、1) 津波浸水予測のための海域・陸域の水深・標高メッシュデータの整備と、複数の想定地震シナリオに基づいた津波伝播・浸水解析の実施によるシミュレーションモデルの構築、2) 浸水予測と被害関数（フラジリティカーブ）に基づく建物被害・人的被害の評価手法の確立、3) マルチエージェントシステムによる避難行動シミュレーションの検討とそれに基づいた避難計画の改善に取り組む。

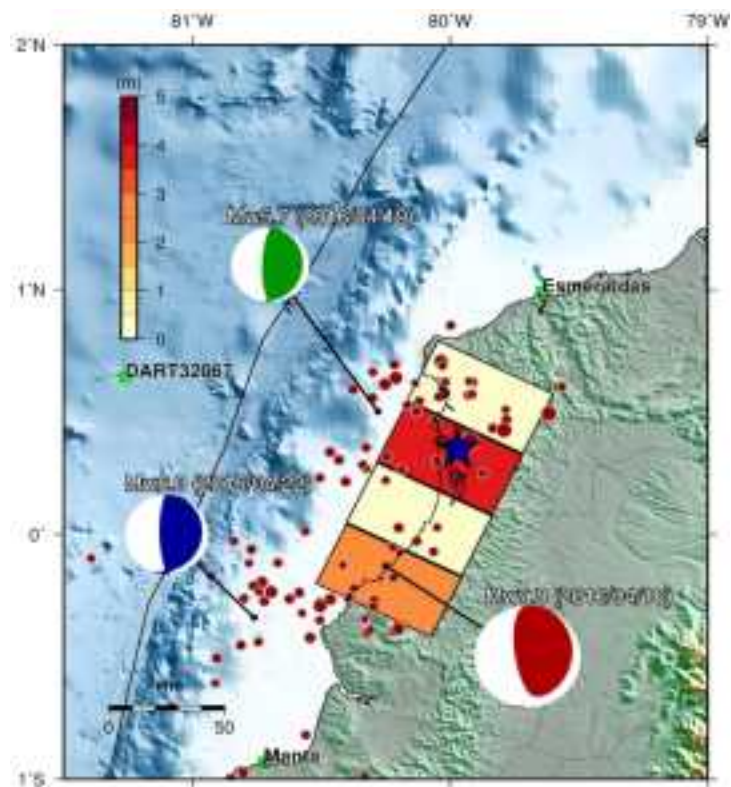


図 11. 津波波形インバージョンにより得られた 2016 年 Ecuador 地震の津波波源モデル



図 12. Tumaco を対象地域として開発したマルチエージェントシステムによる避難シミュレーション

II. 今後のプロジェクトの進め方、および成果達成の見通し（公開）

(1) プロジェクト全体

プロジェクト全体としては、ほぼ計画通りに順調に進んでいる。一部設置が遅れている機材や津波研究フィールドの追加などがあるが、軌道修正が必要となるような大きな問題は発生していない。今後も計画に沿って活動を続けることによりプロジェクト目標の達成は可能であると考えられる。研修や SATREPS 枠や一般枠での国費留学生の受入は今後も積極的に行い、人材の育成を重点的に強化していく方針である。

(2) 研究題目 1 : 「コロンビアにおける地震・津波・火山監視情報の高度化と地震発生ポテンシャル評価」

SWIFT-TSUNAMI や ASL システム等の地震・津波・火山監視を高度化するための技術の導入は順調に進んでいる。火山監視機材の設置が一部遅れているものがあるが、これらは観測点整備が完了し次第設置される予定である。SWIFT-TSUNAMI に関しては今後テスト運用を行う中で生じる問題点を洗い出し、カウンターパートと共同でシステムの運用に向けた作業を進める。さらに CMT や津波予測情報を Twitter 等のソーシャルメディアを通して共有できるシステムの開発を進める予定である。火山監視に関しては、ASL を用いた震源決定や空振データの解析、衛星画像を用いた熱異常の検出に関する結果を、火山活動評価に迅速に活用できる体制の構築を進める。またガレラス火山に加えてプラセ火山についても ASL システム等の整備を行い、これらの火山の監視の高度化を促進する。

GNSS 観測については、SGC の Hector Mora Paez 氏が平成 29 年 7 月～8 月に神戸で開催される IAG-IASPEI（国際測地学協会及び国際地震学・地球内部物理学協会合同学術総会）で発表を予定しており、観測結果そのものは十分まとまってきた。ナスカプレート沈み込み帯のカップリングについては平成 29 年度に結果をまとめられる予定である。一方、カリブ海側からのプレート沈み込みについて

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

は、地殻変動データからも不明瞭であり、有意な結果が得られる見込みはまだ立っていない。

(3) 研究題目 2 : 「コロンビアにおける強震動被害予測」

ボゴタの浅部地盤の詳細なモデルを作成するために約 2 km メッシュの間隔で極小微動アレイ観測を実地する。さらにボゴタの東側の深部地盤の特徴を詳細に調べるために新たな重力データ及び大微動アレイ観測を実地する予定である。地震シナリオモデルの作成のためにボゴタ近傍の詳細な地震活動、地震メカニズムの推定及び活断層の地質調査を行う予定である。

(4) 研究題目 3 : 「コロンビアにおける防災情報の高度化」

ボゴタの Vs30 マップの高精度化について、前年度に更新した Vs30 マップを基盤として、さらに、微動アレイ観測データおよび微地形分類図を活用することで、より高精度な Vs30 マップの作成を行う。建物被害推定の要素技術開発に関しては、土地管理局との MOU に基づき土地台帳データを入手し、ロスアンデス大学が建物台帳データを作成する。地震動マップおよび建物被害の早期推定システムの開発については、IDIGER の強震観測記録サーバに最新の地震記録が格納されたことをトリガーとして、データ取得、解析、PGV 等の地震動マップと応答スペクトルの計算までを完全自動化する。建物被害推定に関しては、ボゴタ市の建物台帳データおよび適切な被害関数を実装し、実地震に対して被害推定が可能なことを示す。また、防災情報の発信に関連して、本プロジェクトでの成果のみならず、コロンビアの省庁が発信している防災情報を一元的に外観できるポータルサイトのプロトタイプを開発する。

(5) 研究題目 4 : 「コロンビアにおける津波被害予測」

PDM における Output 1 および 3 (津波の予測およびリスク評価の向上) に対応し、PO による計画通りに概ね進捗している。日本側チームは太平洋岸のフィールドでの活動はできないが、DIMAR および UN のチームが Tumaco をフィールドにして、浸水予測・被害予測のモデル化を行うなど順調に進んでいる。軌道修正の必要性については、カリブ海側の研究フィールドについて、San Andrés 島を追加するなどがコロンビア側から挙げられており、これについては 2017 年度 JCC において提案する予定である。地震シナリオの想定、浸水予測のための基盤データの整備が進めば成果達成の見通しは立つ予定である。

研究成果の社会実装 (出口戦略) として、標準化した津波浸水予測・被害予測手法によるコロンビア全土の津波浸水予測の実施とハザードマップの更新、および被害予測結果を踏まえた対象フィールドにおける津波避難訓練の実施、および減災策の立案 (避難計画の改善、避難施設の評価) を見込んでいる。

Ⅲ. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など (公開)

(1) プロジェクト全体

プロジェクト全体としては、上記のようにほぼ予定通りに順調に進んでいるが、相手国人材の育成が課題となっている。昨年度までは、カウンターパートが契約研究員の場合は長期 (2 週間以上) の研修を受けることができないという制約があった。これについて、JICA コロンビア支所およびカウンターパート関係機関との協議を進めた結果、その制約が撤廃されることになり、長期の研修

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

が契約研究員についても受けられるようになった。また SGC のカウンターパート研究員 2 名の国費留学生としての受入が内定した。その申請に関しては、受入研究室の複数の教員の面接が必要となるが、該当する研究員の研修実施期間中に面接を実施するとともに、申請書類作成に関しても打ち合わせを行った。申請書の提出が年明け早々であり、健康診断書や成績証明書などの時間を必要とするものもあるため、現地プロジェクト調整員と綿密に連携をとり、申請書の作成を進めた。

中南米地域で進行中および実施済みの SATREPS プロジェクトおよび JICA 技術協力プロジェクトの関係者を集めた国際ワークショップを開催した。これにより各国間の情報共有が効果的に行われるとともに、今後の連携に関しても議論を行うことができた。このような取り組みは、各プロジェクトの成果を中南米で自立的に発展させていく上でも重要であると考えられる。

(2) 研究題目 1 : 「コロンビアにおける地震・津波・火山監視情報の高度化と地震発生ポテンシャル評価」

地震・火山グループ (リーダー: 熊谷博之)

地殻変動グループ (リーダー: 鷺谷威)

エクアドルで実施されていた JICA 技術協力プロジェクト「津波を伴う地震のモニタリング能力向上プロジェクト」ではコロンビアに先立って広帯域強震計の導入を進めていたため、その設置技術の提供をエクアドルから受けて、コロンビア側で設置を行った (PDM: Output1, Activity 1.1)。さらにエクアドルとコロンビアの間で、これらの新たに設置された広帯域強震計だけでなく、国境付近の既存の地震観測点のリアルタイムデータを共有している。これは両国の地震監視能力の向上に貢献している (PDM: Output1, Activity 1.2)。火山監視に関しては、ASL による自動震源決定結果がウェブから閲覧可能であり、プロジェクト関係者でその情報を容易に共有できる。さらに ASL による再解析もウェブを通して行えるシステムを構築した。これにより Linux の知識に乏しいオペレータでも容易に再解析が行えるようになった (PDM: Output1, Activity 1.6)。

地殻変動グループの SGC 側のリーダーが引退間近で後継者のいないことが問題であったが、SGC 側の若手研究者が日本への留学することになり、より長期の協力関係を築くとともに、組織の将来を担う人材を育成できる可能性が広がった。

(3) 研究題目 2 : 「コロンビアにおける強震動被害予測」

強震動グループ (リーダー: ネルソン・プリード)

コロンビア側の研究機関と協力してボゴタ盆地の初期速度構造モデル構築を予定通りに行っている。速度構造モデルの較正を行うためには、ボゴタの既存の地震記録では不十分であり、本プロジェクトで設置した強震計の記録の蓄積が重要となる (PDM: Output2, Activity2.3)。

ボゴタで行っている強震動予測のノウハウは日本の先端技術であり、この技術をボゴタのような地震ハザードの高い南米の大都市への適用が期待出来る。

(4) 研究題目 3 : 「コロンビアにおける防災情報の高度化」

防災情報グループ (リーダー: 松岡昌志)

建物被害推定に必要な建物台帳データはボゴタには存在しないため、UN と世界銀行等のプロジェクト

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

ェクト (CAPRA) や GEM (Global Earthquake Model) の枠組み等を活用してアドホックにデータ構築が試みられてきた。しかし、これらのデータは利用・公開の制限や精度の問題から完成したものがなく、さらに共有も困難な状況が続いていた。そこで、建物台帳データのもっとも基盤となるデータである土地管理局が所有する土地台帳データを利用すべく、IDIGER、UA、土地管理局の3者間にて MOU の締結を進めている (PDM: Output3, Activity3.2)。また、IDIGER ではシナリオ地震や確率論的地震動に基づく被害推定システム (SEDAR) を独自に所有しているが、プラットフォームや手法の問題からリアルタイム化が困難であった。本プロジェクトにて構築する地震動と被害推定システムでの結果を SEDAR へのインプットとして提供することが同意されたため、IDIGER における地震被害推定に係る事業継続および運用体制について明確になった (PDM: Output4, Activity4.2)。

本プロジェクトにて構築する建物台帳データのうち、個人情報に係る源泉データの公開はできないが、CAPRA や GEM 等のプロジェクトでも利用可能なようにすべく被害推定に必要な指標に絞って関係者と共有できるよう検討している。

(5) 研究題目4 : 「コロンビアにおける津波被害予測」

津波グループ (リーダー : 越村俊一)

ハザードマップの更新、リスク評価、避難計画の立案、避難訓練・啓発活動について共同研究に取り組むということで DIMAR および UN と基本合意を得ている。特に、Tumaco をフィールドとした社会実装は重要な課題であるが、日本側研究者は現地に行くことができないため、コロンビア側に活動を委ねるしかない状況である。浸水予測や被害軽減への取り組みの成果について、コロンビア側の研究者が主体的に取り組んだ結果として国際共著論文として今後投稿していくことが課題である。引き続き、若手研究者を日本に招へいし、津波に関する総合的な知識を得ることができれば成果の達成が可能であると考えている (PDM: Output3, Activity3.3)。

中南米で進行中の SATREPS 関係者が定期的に集まり研究交流を行うのは非常に有意義であり、今後も是非続けて行くべきである。特に、津波災害の広域性を考えると、中南米諸国間での津波観測・予測の連携・協力が必要であり、国際連携の視座から新しいプロジェクトの提案を行うことが必要であると考えている。

IV. 社会実装 (研究成果の社会還元) (公開)

(1) 成果展開事例

SWIFT システムは、JICA 技術協力プロジェクト「津波を伴う地震のモニタリング能力向上プロジェクト」(H26~H28) を通してエクアドルにも導入され、同国の地震監視に利用されている。さらにフィリピン火山地震研究所にも本プロジェクトを通して改良された SWIFT システムが導入され、地震監視に活用されている。

平成 28 年 11 月にボゴタで開催された「VII TALLER DE APLICACIONES CIENTÍFICAS GNSS EN COLOMBIA」(第7回コロンビアにおける GNSS の科学利用に関するワークショップ) で鷺谷専門家が講演した (基調講演 1 件、招待講演 2 件)。SGC 関係者、測量業者、学生等の参加があり、研究成果の

【平成 28 年度実施報告書】【170531】

社会普及に貢献した。

(2) 社会実装に向けた取り組み

SWIFTシステムにより推定されたCMTメカニズムをSGCの正式な震源情報として発信する予定である。

IDIGERが活用している地震被害推定システム（SEDAR）に本プロジェクトで構築するシステムのアウトプットを提供すべくインターフェースについて関係者と協議を行っている。また、コロンビアの地震動マップの国際標準配信とSNSによる情報発信については、SGCから一元的に配信する方向で協議している。

V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

2017年3月14～16日にエクアドルのキトにおいて「中南米における地震・津波・火山監視と災害軽減に関するワークショップ」を本プロジェクトとメキシコ SATREPS プロジェクトおよびエクアドル JICA 技術協力プロジェクトと共催した。このプロジェクトではチリおよびペルーで実施された SATREPS プロジェクトの関係者も招へいし、さらにコスタリカおよびニカラグアからの研究者と日本の研究者を含め総勢 60 名を超える参加者があった。全体で 34 の口頭発表および 15 のポスター発表を通して各国の活動に関する情報共有が行われた。これにより SATREPS の活動が各国に周知され、今後の各国の連携に関する活発な議論がなされた。

VI. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

別紙参照

VII. 投入実績【研究開始～現在の全期間】（非公開）

VIII. その他（非公開）

以上

VI. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2016	Pulido, N., S. Senna, T. Sekiguchi, H. Yamanaka, J. Eraso, N. Perico, J. C. Reyes, H. Garcia, P. Pedraza, C. Dimat�, H. Nakagawa and K. Chimoto, Estimation of velocity model of Bogota basin (Colombia) based on microtremors array measurements, Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering, 2017, Paper N� 4614		国際誌	発表済	
2016	Koshimura, S., Mas, E., Adriano, B., Puentes, M., Giraldo-G�mez, H., Peña, D.F., Assessing potential tsunami hazards in Colombia. Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering, 2017, Paper N� 3418		国際誌	発表済	
2016	Adriano, B., Arcila, M., Sanchez, R., Mas, E., Koshimura S., Arreaga, P., Pulido, N., Estimation of the tsunami source of the 1979 Great Tumaco earthquake using tsunami numerical modeling. Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering, 2017, Paper N� 1903		国際誌	発表済	
2016	Mas, E., Adriano, B., Sanchez, R., Murao, O., Koshimura S., Tsunami evacuation in the Pacific and Caribbean coast of Colombia, Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering, 2017, Paper N� 2743		国際誌	発表済	
2016	Yoshimoto, M., H. Kumagai, W. Acero, G. Ponce, F. Vásconez, S. Arrais, M. Ruiz, A. Alvarado, P. Pedraza García, V. Dionicio, O. Chamorro, Y. Maeda, and M. Nakano, Depth-dependent rupture mode along the Ecuador-Colombia subduction zone, Geophys. Res. Lett., 2017, 44	doi:10.1002/ /2016GL07 1929	国際誌	発表済	

論文数	5 件
うち国内誌	0 件
うち国際誌	5 件
公開すべきでない論文	0 件

②原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ—おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2015	Kumagai, H., P. Mothes, M. Ruiz, and Y. Maeda, An approach to source characterization of tremor signals associated with eruptions and lahars, Earth Planets Space, 2015, 67:178	doi:10.1186/s40623-015-0349-1	国際誌	発表済	
2015	Ichihara, M., T. Kusakabe, N. Kame, and H. Kumagai, On volume-source representations based on the representation theorem, Earth Planets Space, 2016, 68:14	doi:10.1186/s40623-016-0387-3	国際誌	発表済	
2015	Yoshimoto M., S. Watada, Y. Fujii, and K. Satake, Source estimate and tsunami forecast from far-field deep-ocean tsunami waveforms—The 27 February 2010 Mw 8.8 Maule earthquake, Geophys. Res. Lett., 43, 659–665	doi:10.1002/2015GL067181	国際誌	発表済	
2016	Sakai, T., H. Kumagai, N. Pulido, J. Bonita, M. Nakano, Discriminating non-seismic long-period pulses and noise to improve earthquake source inversion, Earth Planets Space, 2016, 68:50	doi:10.1186/s40623-016-0426-0	国際誌	発表済	
2016	Inazu, D., N. Pulido, E.Fukuyama, T.Saito, J. Senda, and H. Kumagai, Near-field tsunami forecast system based on near real-time seismic moment tensor estimation in the regions of Indonesia, the Philippines, and Chile, Earth Planets Space, 2016, 68:73	doi:10.1186/s40623-016-0445-x	国際誌	発表済	
2016	Mora-Páez, H., D. J. Mencin, P. Molnar, H. Diederix, L. Cardona-Piedrahita, J.-R. Peláez-Gaviria, and Y. Corchuelo-Cuervo, GPS velocities and the construction of the Eastern Cordillera of the Colombian Andes, Geophys. Res. Lett., 2016, 43, 8407–8416	doi:10.1002/2016GL069795	国際誌	発表済	
2016	John Makario Londono, Evidence of recent deep magmatic activity at Cerro Bravo-Cerro Machín volcanic complex, central Colombia. Implications for future volcanic activity at Nevado del Ruiz, Cerro Machín and other volcanoes, J. Volcano. Geotherm. Res., 2016, 324, 156–168	doi:10.1016/j.jvolgeores.2016.06.003	国際誌	発表済	

2016	Adriano, B., Hayashi, S., Gokon, H., Mas, E., & Koshimura, S., Understanding the Extreme Tsunami Inundation in Onagawa Town by the 2011 Tohoku Earthquake, Its Effects in Urban Structures and Coastal Facilities. Coastal Engineering Journal, 2016, 58(4), 1640013	http://doi.org/10.1142/S0578563416400131	国際誌	発表済	
2016	Madea, Y. and H. Kumagai, A generalized equation for the resonance frequencies of a fluid-filled crack, Geophys. J. Int., 2017, 209, 192-201	doi:10.1093/gji/ggx019	国際誌	発表済	

論文数 9 件
うち国内誌 0 件
うち国際誌 9 件
公開すべきでない論文 0 件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ-おわりのページ		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2015	日下部哲也, 亀伸樹, 市原美恵, 熊谷博之, 表現定理とグリーン関数(2) —体積震源のモーメントテンソル表現—, 地震第2輯, 2016, 68, 169-176		総説	発表済	
2016	熊谷博之, 火山性地震と微動を用いた火山監視, 土と岩, 2016, 64, 24-31		総説	発表済	

2016	Bruno Adriano, Erick Mas, Shunichi Koshimura, Yushiro Fujii, Hideaki Yanagisawa, Miguel Estrada, Revisiting the 2001 Peruvian Earthquake and Tsunami Impact Along Camana Beach and the Coastline Using Numerical Modeling and Satellite Imaging, Tsunamis and Earthquakes in Coastal Environments, 2016, Volume 14 of the series Coastal Research Library pp. 1-16		書籍	発表済	

著作物数 3 件
 公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項
2015	地震学の基礎(1)(地震観測に関する講義、コロンビア地質調査所の研究者対象、2016年3月4日及び11日に実施、参加者19名)		
2015	ルイス火山観測網のオペレーション(マニサレス火山観測所の研究者対象、2016年3月11日に実施、参加者7名)	Multi-parameter observation network at Ruiz volcano, Colombia	

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

①学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2015	国内学会	熊谷博之(名大), クリスチャン ロペス(コロンビア地質調査所), ジョン ロンドニョ(コロンビア地質調査所), マリオ ルイス(エクアドル地球物研究所), パトリシア モテス(エクアドル地球物研究所), 前田裕太(名大), "高周波振幅を用いた火山性地震・微動の震源・伝播特性の解析", 日本地震学会2015年度秋季大会, 神戸市, 2015年10月	口頭発表
2015	国際学会	Hiroyuki Kumagai (Nagoya Univ.), John Londono (SGC, Colombia), Cristian Lopez (SGC, Colombia), Mario Ruiz (IG, Ecuador), Patricia Mothes (IG, Ecuador), Yuta Maeda (Nagoya Univ.), "Characterization of Source and Wave Propagation Effects of Volcano-seismic Events and Tremor Using the Amplitude Source Location Method", AGU Fall Meeting, San Francisco, December 2015	口頭発表
2016	国際学会	Miura, H.(広島大学), Matsuoka, M.(東京工業大学) and Eraso, J. (SGC): Estimation of Ground Shaking Distribution Based on Empirical Models and Vs30 Map in Bogota, Colombia, 16th World Conference on Earthquake Engineering, チリ・サンチアゴ, 2017年1月	ポスター発表
2016	国内学会	鷺谷威(名大), Hector Mora Paez (SGC, Colombia), 伊藤武男(名大), コロンビアにおけるGNSS観測網(GEORED)とナスカプレートの沈み込みに伴う地殻変動, 日本測地学会, 奥州市, 2016年10月	口頭発表
2016	国内学会	吉本 昌弘, 熊谷 博之(名大), Blanco José (SGC, Colombia), 前田 裕太(名大), Dionicio Viviana (SGC, Colombia), コロンビアにおけるSWIFTを用いたCMT解の推定と複雑な沈み込みに伴う地震活動の特徴, 日本地球惑星科学連合2016年大会, 千葉市, 2016年6月	ポスター発表
2016	国内学会	熊谷 博之(名大), ロペス クリスチャン(SGC, Colombia), 前田 裕太, 森岡 英恵(名大), ロンドニョ ジョン(SGC, Colombia), 火山性地震のエンベロープ幅から推定される火山の散乱・減衰特性, 日本地球惑星科学連合2016年大会, 千葉市, 2016年6月	口頭発表
2016	国内学会	熊谷 博之, 吉本 昌弘(名大), Wilson Acero, Gabliera Ponce, Freddy Vásconez, Santiago Arrais, Mario Ruiz, Alexandra Alvarado (IG-EPN, Ecuador), Patricia Pedraza García, Viviana Dionicio, Orland Chamorro (SGC, Colombia), 前田裕太(名大), 中野優(JAMSTEC), 日本地震学会2016年度秋季大会, 名古屋市, 2016年10月	口頭発表

2016	国内学会	田口 貴美子, 熊谷 博之, 前田 裕太(名大), Roberto Torres (SGC, Colombia), クラック振動の解析式に基づくガレラス火山(コロンビア)および草津白根山のLPイベントの比較, 日本火山学会2016年度秋季大会, 富士吉田市, 2016年10月	ポスター発表
2016	国際学会	Kimiko Taguchi, Hiroyuki Kumagai, Yuta Maeda (Nagoya Univ.), Roberto Torres (SGC, Colombia), A simple approach to quantify crack geometry and fluid properties at the long-period seismic source, AGU Fall Meeting, San Francisco, December 2016	ポスター発表
2016	国際学会	Kumagai, H. Yoshimoto, M. (Nagoya Univ.), W. Acero, G. Ponce, F. Vásconez, S. Arrais, M. Ruiz, A. Alvarado (IG-EPN, Ecuador), P. Pedraza García, V. Dionicio, O. Chamorro (SGC, Colombia), Y. Maeda (Nagoya Univ.), and M. Nakano (JAMSTEC), 2016 Ecuador earthquake and rupture mode along the Ecuador-Colombia subduction zone, AGU Fall Meeting, San Francisco, December 2016	口頭発表

招待講演	0 件
口頭発表	6 件
ポスター発表	4 件

②学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2015	国内学会	熊谷博之(名大), ルイス マリオ(エクアドル地球物研究所), モテス パトリシア(エクアドル地球物理研究所), “噴火および土石流に伴う微動の規模指標”, 日本地球惑星科学連合2015年大会, 千葉市, 2015年5月	口頭発表
2015	国内学会	酒井孝英(名大), 熊谷博之(名大), プリード ネルソン(防災科研), 中野優(海洋研究開発機構), “長周期地震波動場の特徴を利用した自動CMT解の精度向上のための手法開発”, 日本地球惑星科学連合2015年大会, 千葉市, 2015年5月	口頭発表
2015	国際学会	Hiroyuki Kumagai (Nagoya Univ.), Mario Ruiz (IG, Ecuador), Patricia Mothes (IG, Ecuador), “New Measures of Tremor Signals Associated with Eruptions and Lahars”, 26th IUGG, Prague, Czech Republic, June 2015	口頭発表

2015	国内学会	Erick Mas (Tohoku Univ.), Bruno Adriano (Tohoku Univ.), Shunichi Koshimura (Tohoku Univ.), "Tsunami Evacuation Planning and Response Supported by Simulation Tools", International Symposium on Earthquake Engineering, Japan Association on Earthquake Engineering, Tokyo, Japan. Special Session (B). November 19-20, 2015	口頭発表
2015	国際学会	Hiroyuki Kumagai (Nagoya Univ.), "Volcano-seismic Signals and Their Use in Volcano Monitoring", International Conference of Conservation and Management on Urban Protected Areas, Taipei, December 2015	招待講演
2015	国内学会	岡村大昇(広島大学), 三浦弘之(広島大学): キャパシティスペクトル法によるコロンビアの建物群に対する地震被害予測, 2015年度日本建築学会中国支部研究発表会, 近畿大学工学部, 2016年3月	口頭発表
2016	国内学会	森 亜津紗, 熊谷 博之(名大), 噴火微動・爆発地震の高周波地震波から推定される震源振幅と噴煙高度との関係性, 日本地球惑星科学連合2016年大会, 千葉市, 2016年6月	ポスター発表
2016	国内学会	田口 貴美子, 熊谷 博之, 前田 裕太(名大), クラック振動の解析式を用いたLPイベントの周波数解析に基づく流体特性の推定, 日本地球惑星科学連合2016年大会, 千葉市, 2016年6月	口頭発表
2016	国内学会	森岡 英恵, 熊谷 博之(名大), 前田 拓人(東大), 火山におけるS波等方輻射: 高周波地震波形シミュレーションによる検討, 日本地球惑星科学連合2016年大会, 千葉市, 2016年6月	口頭発表
2016	国内学会	稲津 大祐, プリード ネルソン, 福山 英一, 齊藤 竜彦, 仙田 丈二(防災科研), 熊谷 博之(名大), インドネシア、フィリピン、チリ周辺における即時地震CMT推定に基づく近地津波予測システム, 日本地球惑星科学連合2016年大会, 千葉市, 2016年6月	口頭発表
2016	国内学会	吉本 昌弘, 熊谷 博之(名大), 遠地津波波形から推定される1906年エクアドル・コロンビア地震の規模と波源域, 日本地震学会2016年度秋季大会, 名古屋市, 2016年10月	口頭発表

2016	国内学会	西澤勇祐(東京工業大学), 松岡昌志(東京工業大学), パチャラバティ タマラ(東京工業大学), 岩崎純子(国土地理院): 数値標高モデルを用いた機械学習によるコロンビアの地形分類手法の検討, 地域安全学会梗概集, 高知, 2016年11月	口頭発表
2016	国際学会	Azusa Mori, Hiroyuki Kumagai (Nagoya Univ.), Relationship between eruption plume heights and seismic source amplitudes of eruption tremors and explosion events, AGU Fall Meeting, San Francisco, December 2016	ポスター発表
2016	国際学会	Yuta Maeda, Hiroyuki Kumagai (Nagoya Univ.), A generalized equation for the longitudinal and transverse resonance frequencies of a fluid-filled crack, AGU Fall Meeting, San Francisco, December 2016	ポスター発表
2016	国際学会	Hanae Morioka, Hiroyuki Kumagai (Nagoya Univ.), Takuto Maeda (Univ. Tokyo), Numerical and theoretical investigation of isotropic radiation of S waves at volcanoes, AGU Fall Meeting, San Francisco, December 2016	ポスター発表
2016	国際学会	Masahiro Yoshimoto, Hiroyuki Kumagai (Nagoya Univ.), Tsunami source estimate of the 1906 Ecuador-Colombia earthquake, AGU Fall Meeting, San Francisco, December 2016	ポスター発表
2016	国内学会	高宮奎志朗(広島大学), 三浦弘之(広島大学): コロンビアにおける地震動強さの距離減衰特性と地盤増幅特性の評価, 2016年度日本建築学会中国支部研究発表会, 島根大学, 2017年3月	口頭発表
2016	国際学会	Adriano, B. (Tohoku Univ.), Fujii, Y. (BRI), and Koshimura, S. (Tohoku Univ.), Tsunami source of the 2016 Muisne, Ecuador Earthquake inferred from tide gauge and DART records. American Geoscience Union Fall Meeting (AGU 2016), San Francisco, USA, December 12-16, 2016	ポスター発表

招待講演	1 件
口頭発表	11 件
ポスター発表	6 件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	その他 (出願取り下げ等についても、こちらに記載して下さい)	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する外国出願※
No.1											
No.2											
No.3											

国内特許出願数 件
 公開すべきでない特許出願数 件

② 外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	その他 (出願取り下げ等についても、こちらに記載して下さい)	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する国内出願※
No.1											
No.2											
No.3											

外国特許出願数 件
 公開すべきでない特許出願数 件

VI. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項

0 件

② マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項

0 件

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】(公開)

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所 (開催国)	参加人数 (相手国からの招 聘者数)	概要
2015	2015年7月27日	Seismic, infrasonic, geodetic, and remote sensing approaches to advanced volcano monitoring	マニサレス火山観測所(コロンビア)	20	地震・空振・測地・リモートセンシング手法を用いた火山観測の高度化に関するセミナーを行った。
2015	2015年9月10日	Microtremor seminar	コロンビア地質調査所(コロンビア)	20	強震動予測手法および微動解析についてのセミナーを行った。
2015	2015年10月23日	Developing Tsunami Damage Estimation and Mitigation Technologies	コロンビア国立大学(コロンビア)	14	津波解析のための理論、プログラミング技法についてのセミナーを行った。
2015	2016年3月8日	Tsunami Source Modeling and Waveform Inversion	コロンビア国立大学(コロンビア)	13	津波発生予測のためのモデリングおよび津波観測波形を用いた逆解析についてのセミナーを行った。
2016	2016/7/22	グループミーティング	ボゴタ(コロンビア)	20	津波解析グループの研究進捗状況の報告と今後の課題に関する協議、津波解析技術移転の状況についての確認を行った。
2016	11/18～24	VII Taller "Aplicaciones científicas GNSS en Colombia"	ボゴタ(コロンビア)	約100名	GNSSおよびその地球科学への応用に関する講演、レクチャー、子供向け教室などを開催した。鷺谷は基調講演およびレクチャー2件を行った。

2016	2017/2/23	津波解析技術セミナー	ボゴタ(コロンビア)	10	津波浸水シミュレーションを用いた被害予測手法、津波シミュレーションの可視化手法の技術移転を目的としたセミナーを開催した。
2016	2017年3月14-16日	国際ワークショップ『地震・津波・火山監視、ハザード評価、災害マネジメントの中南米地域における進展』	エクアドル国立理工科大学(エクアドル)	65	中南米地域での防災分野のSATREPSおよびJICAプロジェクトの関係者を招へいし、成果を共有するとともに今後の協力に関する協議を行った。

8 件

②合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、議題、出席人数、協議概要等)

年度	開催日	議題	出席人数	概要
2015	2015年7月24日	第1回合同調整委員会	70	プロジェクト計画に関する議論を行いPDMおよびPOの改訂を行った。
2016	2016年8月12日	第2回合同調整委員会	60	プロジェクトの成果に関する発表と今後の計画に関する議論を行いPDMおよびPOの改訂を行った。

2 件

JST成果目標シート

研究課題名	コロンビアにおける地震・津波・火山災害の軽減技術に関する研究開発
研究代表者名 (所属機関)	熊谷博之 (名古屋大学大学院環境学研究科 地球環境科学専攻)
研究期間	H26採択(平成27年4月1日～平成32年3月31日)
相手国名／主要相手国研究機関	コロンビア共和国／コロンビア地質調査所、コロンビア危機管理庁、ボゴタ危機管理庁、コロンビア海洋研究機構、ロス・アンデス大学、コロンビア国立大学

付随的成果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> ・防災研究分野における世界的なプレゼンスの向上 ・日本に影響のある遠地津波予測情報の高精度化
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> ・発展途上国に適した災害軽減技術の開発 ・地震・津波・火山現象の理解の深化
知財の獲得、国際標準化の推進、生物資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> ・地震・津波・火山監視技術の他の発展途上国への活用
世界で活躍できる日本人人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> ・国際的に活躍可能な日本側の若手研究者の育成(国際会議での発表、レビュー付雑誌への論文掲載など)
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> ・エクアドルなど南米諸国との地震・津波情報の共有化
成果物(提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> ・地震・津波・火山監視システム ・防災情報配信システム ・コロンビアの地震・津波・火山に関する研究成果論文

上位目標

コロンビアの地震・津波・火山噴火において住民の避難や被害対応が適切に行われることにより災害を軽減する

プロジェクトによって導入・開発された技術が持続的・発展的にコロンビアの関係機関によって維持される。

プロジェクト目標

地震・津波・火山監視能力の高度化、強震動・津波被害の定量的予測、防災情報配信システムの構築

