公開資料

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

終 了 報 告 書

国際共同研究期間*1
２０１５年7月１日から２０２０年6月３０日まで
JST 側研究期間*2
２０１４年5月１日から２０２０年3月３１日まで
（正式契約移行日　２０１５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該年度末

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(実績)

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

コロンビアのカウンターパート機関とその略称は以下の通りである。コロンビア地質調査所（SGC）、コロンビア危機管理庁（UNGRD）、ボゴタ危機管理庁（IDIGER）、ロスアンデス大学（UA）、コロンビア海洋研究機構（DIMAR）、国立コロンビア大学（UN）。

(2) 中間評価での指摘事項への対応

(a) 長周期地震記録に依存する SWIFT－TSUNAMI システムでは、CMT 解が得られて津波評価ができるまでに 10 分あまりかかっている。防災上はさらなる迅速化が求められるので、コロンビアにおける短周期地震記録による従来の方法を併用するシステムとしてはどうか。

現在、DIMAR では、太平洋側で発生する巨大地震を想定してデータベース型津波予報システムの開発に取り組んでいる。データベースは、SGC の運用する震源決定システムの震源情報に対して検索することとなっており、これが完成すれば、震源情報取得からの津波警報発出までの時間短縮が見込まれる。現在、既往・想定地震シナリオに対するデータベースのフィージビリティの検証を行っており、検証終了後には DIMAR の新しい津波警報プロトコルに組み込まれる予定である。

(b) カリブ海側の相対プレート速度は概して小さく、津波活動はナスカプレート側に比べて低いと考えられるが、それでも詳細な調査研究、ハザード評価は必要なのだろうか。研究チームの見解を明らかにし、対応方針を定められたい。

コロンビアのカリブ海沿岸については、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する限り津波のリスクは低いことが分かった。しかし、GNSS の解析から、大地震の発生リスクを示す結果が得られており、津波堆積物や地質学的時間スケールでの変形速度等に関するより詳細な検討が必要である。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ため、San Andrés 島への津波来襲特性の把握を行うことを対応方針とする。

(c) 火山表面活動（噴煙、噴気、表面温度など）のモニターに自動操縦 UAV の活用を考慮してはどうか（高高度飛行の技術開発状況によるが）。

UAV の高高度での飛行実績はあるが、現在噴火活動をしているネバドデルルイス火山は山頂付近に氷河があることから、UAV が飛行できる近傍まで接近することが困難であるため、本課題では実施を見送り今後の課題とした。

(d) 津波避難における Multi-agent Simulation 技術の開発は重要であるが、その成果の具体的避難方策への活用計画が不十分ではないか。この点の精査が望まれる。

マルチエージェントシミュレーションの避難方策への活用は、(1)想定津波浸水シナリオに対しての人的被害の予測、(2)避難場所・避難用建物の特定、(3)避難計画の改善、の順番で行う。UNGRD が毎年 Tumaco 地区での津波避難訓練を実施していることから、訓練シナリオへの組み込み、避難計画改善に向けたシミュレーション結果の開示および地域での協議を行う計画としている。

(3) プロジェクト開始時の構想からの変更点（該当する場合）

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、San Andrés 島での津波危険度評価についての追加解析を行うこととなった。

２．プロジェクト成果目標の達成状況とインパクト（公開）

(1) プロジェクト全体

・地球規模課題解決に資する重要性、科学技術・学術上の独創性・新規性、プロジェクト全体のねらい

低頻度で大規模な地震・津波・火山災害を軽減する技術を向上させるためには、世界の様々な沈み込み帯での研究が不可欠である。沈み込み帯には多くの途上国が位置しており、そのような国では予算や人材の制約のために観測技術の導入が十分ではないなど、日本とは大きく異なる環境下にある。そのような環境下で研究を推進するためには、対象国の実情にあった技術や手法の導入や開発が必要である。本研究課題では、コロンビアの地震・津波・火山観測のインフラを最大限活用し、さらに新たな機材の導入によりそれらの高度化を図る。日本側の理学と工学の最先端の知見を用いて、地震・津波・火山災害の軽減技術に関する研究開発を行い、それらの技術をコロンビアにおいて自立的かつ発展的に運用することを目的とする。本課題では、モニタリング、モデリング、被害予測、情報伝達の 4 つのアプローチからこれらの技術の研究開発を行う。プロジェクト目標は、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である。

・成果目標の達成状況とインパクト等

これまでの各グループの活動により、以下に述べる主な成果が得られた。SGC に高度即時震源解析・津波波高予測システム（SWIFT-TSUNAMI）が導入され、地震の監視能力が強化されるとともに、SGC の地震情報は DIMAR および UNGRD と共有されている。高周波地震波振幅を用いた自動震源決定システム（ASL）がネバドデルルイス火山等に導入され、SGC による火山監視に活用されている。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やプレート間カップリングモデルの構築など、この沈み込み帯における地震発生過程とポテンシャルに関する理解が進んだ。この沈み込み帯やカリブ海で発生する可能性のある地震について津波被害の定量的予測が進められた。さらに Twitter や Facebook を用いた SWIFT-TSUNAMI による地震・津波情報やボゴタ市の地震動マップの配信システムを構築した。

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 ヵ国に加えて、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（PDM: Output4, Activity4.5）。

越村俊一教授が、「リアルタイム津波浸水被害予測システムの開発」により平成 30 年度科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞（開発）を授与された。その中で開発された浸水被害を予測する技術は本プロジェクトにおいても技術移転がなされている。市原美恵准教授が「噴火観測とアナログ実験による火山噴火ダイナミクスの総合的研究」により 2019 年度日本火山学会優秀学術賞を受賞した。受賞対象の噴火観測技術は本プロジェクトにおいても活用されている。田口貴美子氏が 2019 年度日本火山学会学生優秀論文賞を受賞した。この論文ではコロンビアのガレラス火山で発生した低周波地震の解析を行っており、SGC との共同研究の成果である。

・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た吉本昌弘研究員（現在は気象庁職員）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、国際誌に出版された（Yoshimoto et al., Geophys. Res. Lett., 2017）。名古屋大学大学院環境学研究科

の日本人大学院生 2 名（森亜津紗氏と田口貴美子氏）が、本プロジェクトの対象火山であるネバドデルルイス火山及びガレラス火山の地震データを用いて研究を行っている。森氏はネバドデルルイス火山の噴火微動の解析を含む研究成果により 2020 年 3 月に課程博士学位を取得した。田口氏は、2018 年 3 月にガレラス火山のデータを用いた研究で修士学位を取得し、博士後期課程に進学した。その修士課程での研究成果は、名古屋大学と SGC との共同研究として国際誌に出版された（Taguchi et al, J. Geophys. Res. Solid Earth, 2018）。この論文により田口氏は日本火山学会学生優秀論文賞を受賞した。また SGC のカウンターパート研究員 2 名（Juan Carlos Bermudez 氏と Sindy Carolina Lizaraz 氏）が名古屋大学大学院環境学研究科に SATREPS 枠および大学推薦枠による国費留学生として博士後期課程および博士前期課程で研究を行っている。Lizarazo 氏は、コロンビアにおけるカリブ海プレートの沈み込みに関する研究で 2020 年 3 月に修士学位を取得した。さらにコロンビアの GNSS グループリーダーである Héctor Mora Páez 氏が、コロンビアにおける地殻変動に関する研究で名古屋大学から論文博士学位を授与された。

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）に対する成果目標の達成状況とインパクト
(1-1) 地震・津波監視

SGC に SWIFT の導入を行った。この導入にあたって、震源推定に必要となるグリーン関数ライブラリーの深さ方向の分解能を向上させるとともに、波形インバージョンの際に適切な波形を選択するアルゴリズムの改善を行った。グリーン関数に関しては、深さ 100 km までは 5 km、それ以深は 10 km の分解能での震源深さの推定が可能となった。波形選択アルゴリズムに関しては、従来の信号・ノイズ比での選択に加えて、波形の尖度を用いた選択を導入した。このアルゴリズムを導入したところ、より適切な波形の選択が可能となり、インバージョン解の精度の向上が見られた。さらに各観測点の情報を一元的に管理できる Web インターフェースを作成した。SGC の地震観測点は観測期間によって異なる地震計と記録計を用いており、解析期間に応じて対応する観測機器情報を用いる必要がある。今回作成した Web インターフェースによりその管理が容易にできるようになった。

さらに SWIFT の運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（SeisComp）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ためどのような地震に対しても対応が出来る。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。SGC の運用する広帯域地震観測網に加え、リアルタイムで公開されているグローバル地震観測網の波形データも用いることで、コロンビアの太平洋沿岸だけでなく、カリブ海で発生した

地震に関しても自動解析を行えるようにした。さらに SGC に供与した 7 台の広帯域強震計を設置し、そのリアルタイムデータも SWIFT-TSNAMI で利用可能となった（図 1-1-1）（PDM: Activity 1.1）。

2018 年度より SWIFT-TSUNAMI の運用を開始した（PDM: Output1, Activities 1.2 & 1.3）。マグニチュード（M_w）が概ね 5 より大きい地震について、地震発生から 10～12 分で CMT 解を、15 分で津波波高予測が自動的に出来ることを確認した（図 1-1-2）。ただし地震観測網の周辺部などで発生した地震は、十分な精度で地震情報を推定できない場合もあった。2019 年 2 月 22 日にエクアドル・ペルー国境付近で発生したマグニチュード 7.5 の深発地震では、コロンビアの一部では有感となり広帯域地震計の記録は振り切れていたが、プロジェクトで導入した広帯域強震計の記録を用いて同システムは正常に稼働して自動的に震源および津波情報を推定した。これらの結果はこのシステムが有効に運用できることを示している。さらに SWIFT-TSUNAM の地震および津波情報を Twitter に自動的にアップロードするシステムの開発を行うとともに、その試験運用を行った（図 1-1-3）。このシステムでは誤情報が公開されないように、地震情報の決定精度がよい結果のみをアップロードする仕組みを構築した。SWIFT による CMT 解は SGC の公式の地震情報として SGC のホームページ（https://bdrsnc.sgc.gov.co/sismologia1/sismologia/focal_seiscomp_3/index.html）から公開されている（図 1-1-4）（PDM: Output1, Activity1.1, 1.2, & 1.3）。

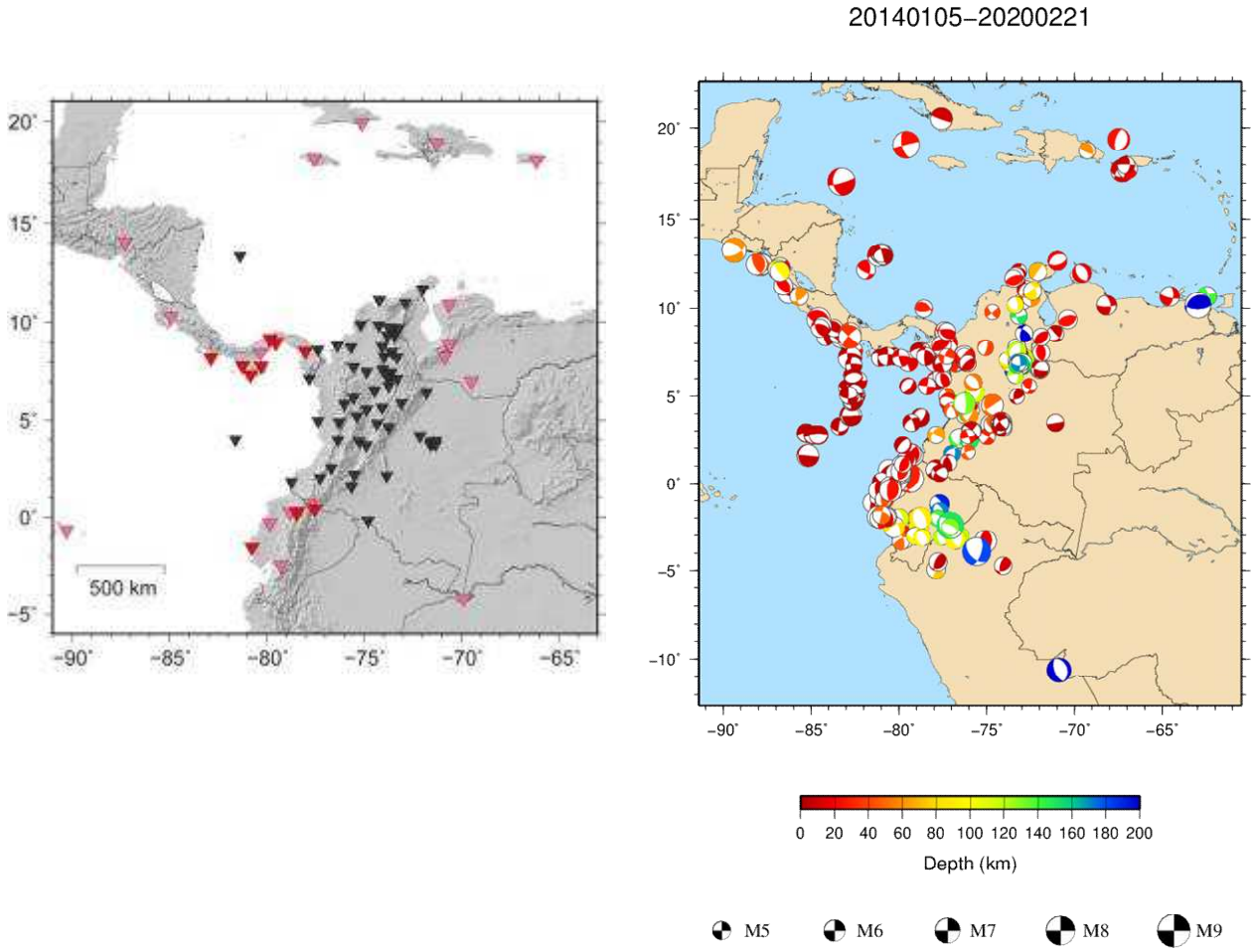


図 1-1-1. コロンビア地質調査所が運用する広帯域地震観測点分布（左）とそれらのデータを基に SWIFT 震源解析手法で推定された地震のセントロイドモーメント（CMT）メカニズム（右）。

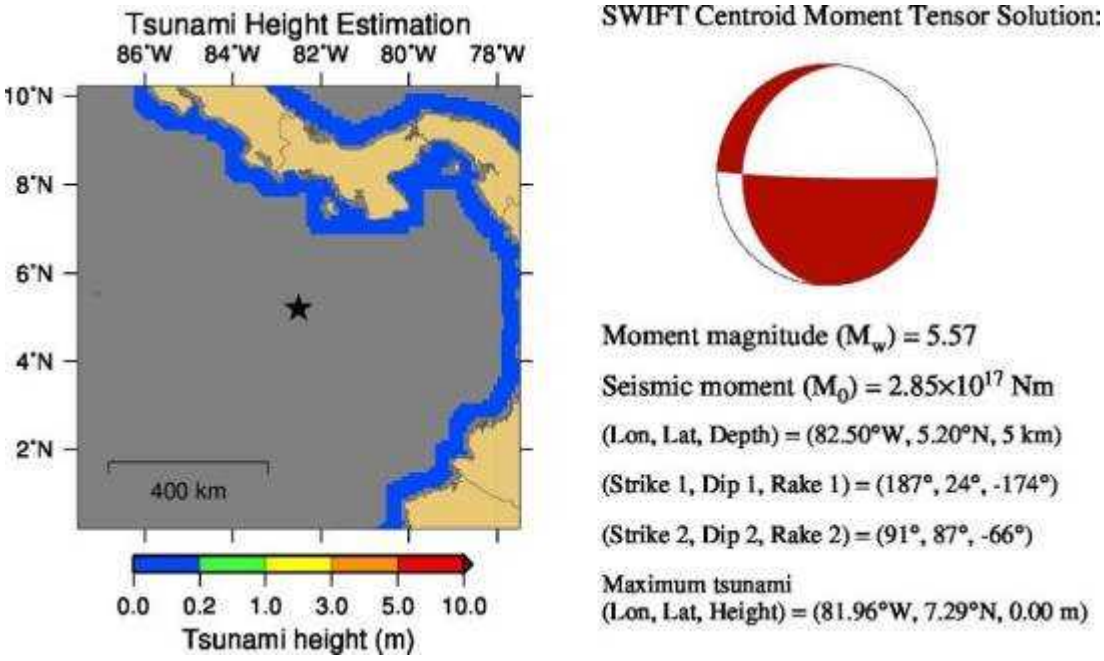


図 1-1-2．2018 年 4 月 18 日にコロンビア沖で発生した M_w 5.6 の地震について SWIFT-TSUNAMI システムにより自動的に推定された CMT メカニズム（右）と津波波高（左）。

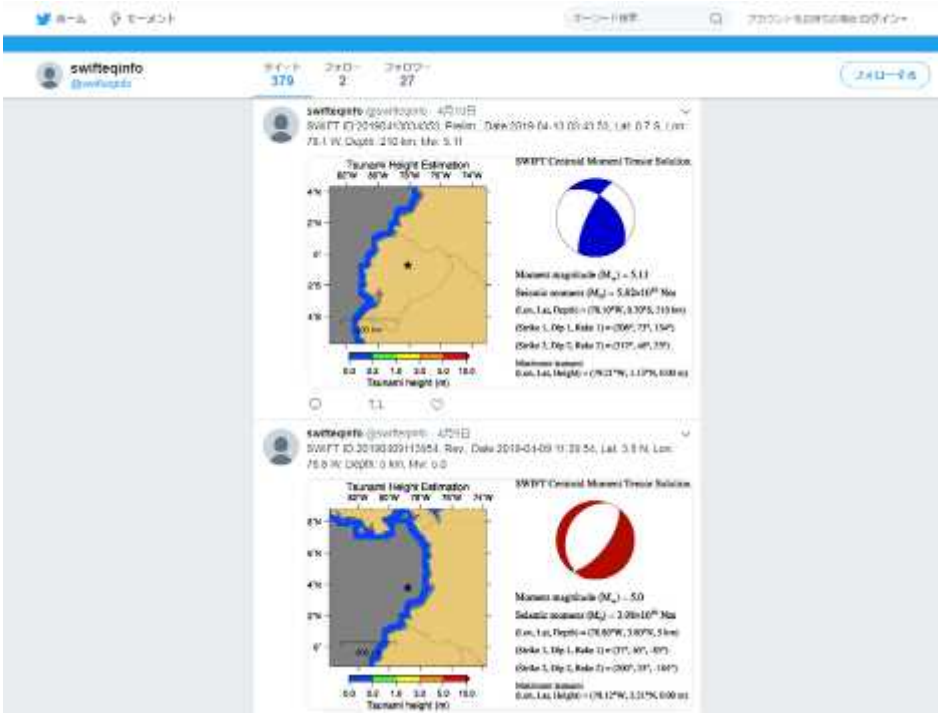


図 1-1-3．Twitter に自動的にアップロードされた SWIFT-TSUNAMI による地震および津波情報の例。

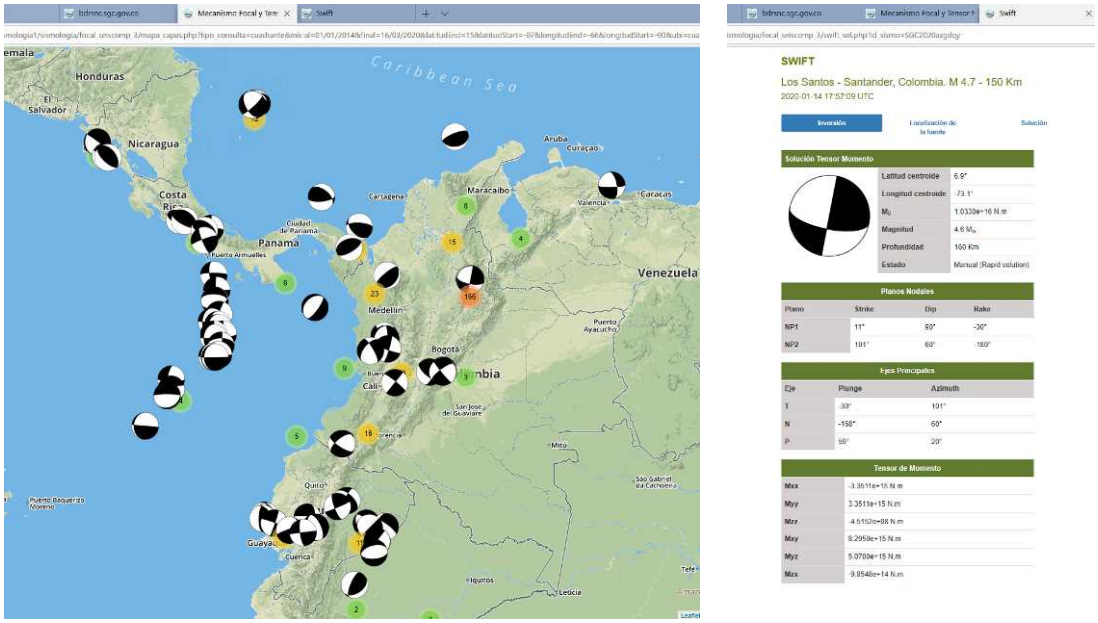


図 1-1-4. SGC のホームページに掲載された SWIFT の CMT メカニズム情報。

(1-2) 地震発生ポテンシャル

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た。

まず、GNSS 観測により得られた速度ベクトルを用いて、ブロック運動モデルに関する検討を行った（図 1-2-1）。GNSS 観測網は平均的な観測点間隔が 80 km 程度と粗いため、陸域の断層の固着に関連するような地殻変動パターンを検出することは困難であり、剛体運動のみを考慮したブロック運動モデルの構築が適切な目標となった。AIC を用いて最適なモデル分割について検討した結果、コロンビアにおける GNSS データの解釈には陸域を 8 個程度のブロックに分割する必要があることが分かった。

次に、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を行った（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 1-2-2）。この結果をまとめて SGC の書籍（Geology of Colombia）の 1 章として出版した。また、同じ結果を震源モデル構築の際の材料として地震グループおよび強震動被害予測グループに提供した。

また、GNSS データを GAMIT/GLOBK ソフトウェアを用いて再解析し、地殻変動速度を推定した。その結果は GIPSY/OASIS ソフトウェアによる従来の結果と整合的であり、観測点の増加に伴って、部分的により詳細な地殻変動の議論が可能となった。この再解析では、上下成分も含めた 3 次元的な速度を求めるとともに、ひずみ速度の分布について検討した。その結果、ナスカプレート沈み込みに伴う東西短縮変形、パナマブロックの衝突による北西―南東短縮、カリブ海プレートの沈み込みによる西北西―東南東方向の短縮、アンデス山脈東縁の短縮変形および右横ずれ、などの特徴的な地殻変動の存在が明らかとなった（図 1-2-3 と 1-2-4）。これらのひずみ速度は 10^{-8}/年のオーダーで、観測精度に対して有意である。日本列島のひずみ速度と比べるとそれほど大きくないが、数百年以上の時間で繰り返し大地震を起こすのに十分な大きさと言える（PDM: Output2, Activity2.1）。ナスカプレートの沈み込み帯では、沿岸部で観測された隆起が従来のプレートカップリングモデルと整合的なことを確認した。一方、カリブ海プレートの沈み込みに関しては、カリブ海沿岸のカルタヘナ南方において、北西－南東方向圧縮の顕著な短縮ひずみ速度が検出されている。反射法探査により推定されたカリブ海プレートの形状を仮定し、GNSS データに基づいてプレート間カップリングを推定したところ、カルタヘナの南西側のプレート境界がほぼ 100 km 四方程度にわたって完全に固着しているという結果が得られた（図 1-2-5）。固着域の規模からはマグニチュード 8 クラスの地震が発生する可能性が考えられるが、地震モーメントの蓄積速度から推定される再来間隔は 500 年程度となる。この地域では歴史地震の記録が 500 年以上遡れないことから、こうした大地震発生の可能性は歴史記録とも矛盾しない。地質学的時間スケールでの短縮速度に関する情報が不足しているため今後も検討が必要であり、津波堆積物の有無も含め、今後検討を継続する必要がある。

さらに、1990 年代の GNSS 観測結果と最近の結果を比較して顕著な食い違いの見られたコロンビア南西部について、その差が 1979 年の地震の余効変動（粘性緩和）で説明可能なことを見出した。地震準備過程を理解する上で重要な粘性構造について、コロンビアではこれまで推定が行われていなかったが、この結果を利用することで推定が可能となる。

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、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 1-2-2）。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（Yoshimoto et al., 2017）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）。

これまで分かってなかった 1979 年 Tumaco 地震（M_w 8.3）の破壊過程を推定し、主要なすべり領域は本プロジェクトで推定されたプレート間カップリングが 0.3 程度という比較的小さい領域と一致していること、さらに 1906 年や他の歴史地震の破壊領域と重なっていないことを示した。この結果は、この沈み込み帯での大地震がそれぞれの震源領域を破壊したという本プロジェクトで示した破壊モデルを支持するものである（PDM: Output2, Activity2.2）。

SGC の地震観測網による 1993 年から 2018 年までの地震波形データを用いて、コロンビア・エクアドル沈み込み帯の北部において繰り返し地震の探索を行った。その結果、海溝沿いに繰り返し地震が存在することが分かった（図 1-2-6）。上記の GNSS 観測網のデータ解析に基づくプレート間カップリングモデルにおいて、海溝沿いはカップリンが弱いことを示していたが、陸から離れたこの領域は十分な分解能がないため結果の信頼性に問題があった。この領域における繰り返し地震の存在は、そこでのカップリンが弱いことを示す直接な証拠であり、この沈み込み帯における地震発生ポテンシャルの評価に貢献するものである（PDM: Activity 2.2）。

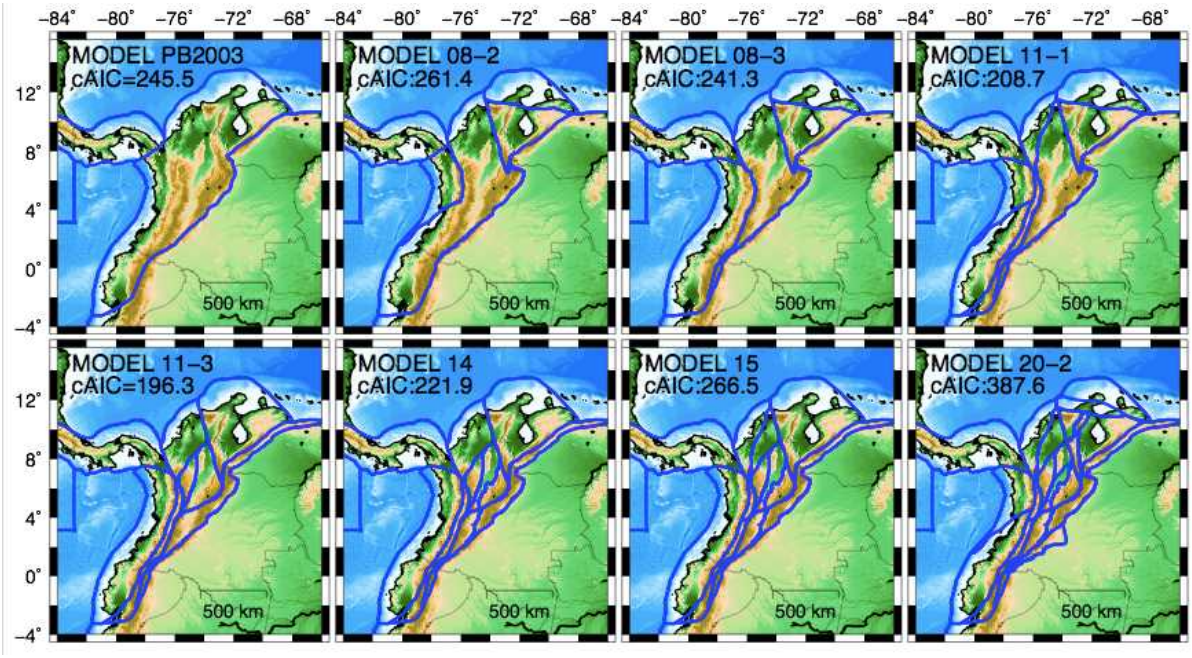


図 1-2-1. コロンビア地質調査所の GNSS 観測網のデータから推定されたブロックモデル。

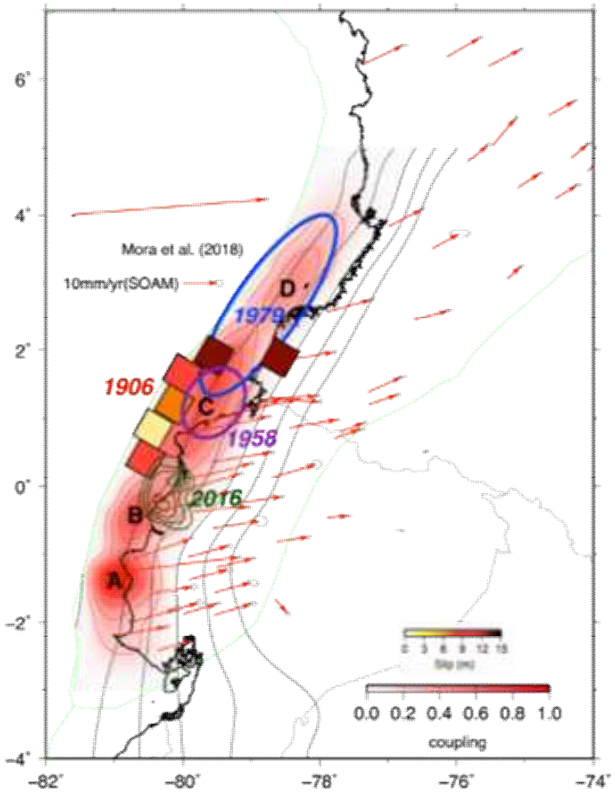


図 1-2-2. GNSS データから推定したプレート間カップリング分布と 1906 年、1958 年、1979 年、2016 年の地震の震源域（Yoshimoto et al., Geophys. Res. Lett, 2017）の比較。

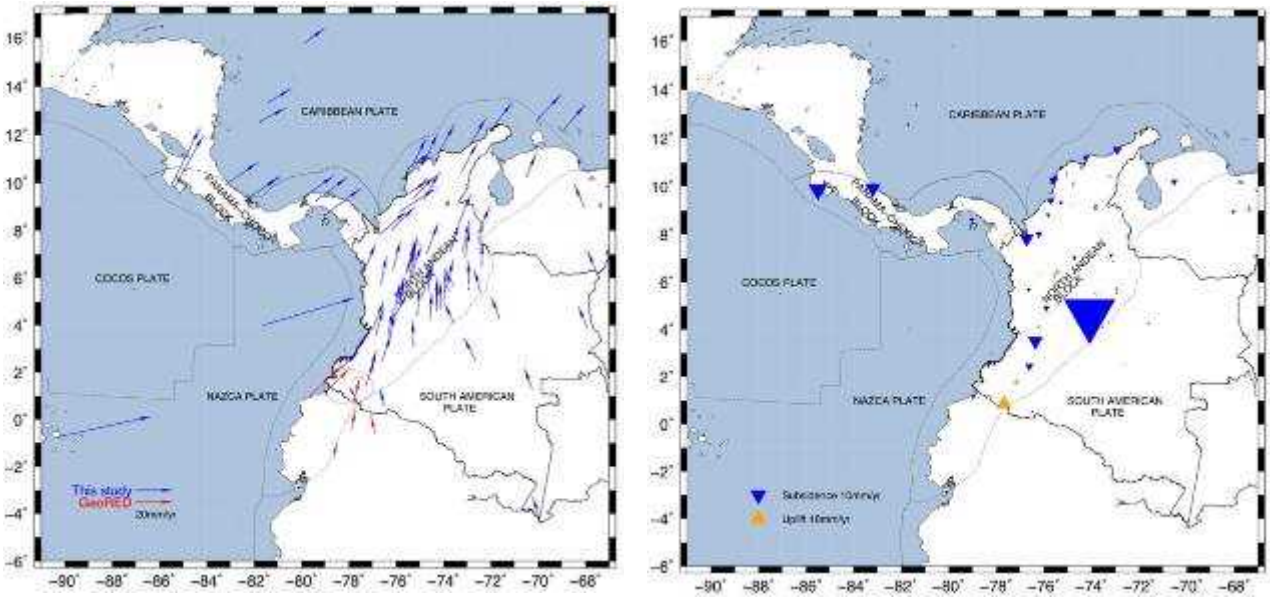


図 1-2-3．コロンビアおよび周辺の GNSS 速度（左：水平成分，右：上下成分）。GAMIT/GLOBK による 2008 年～2016 年の再解析結果に基づく

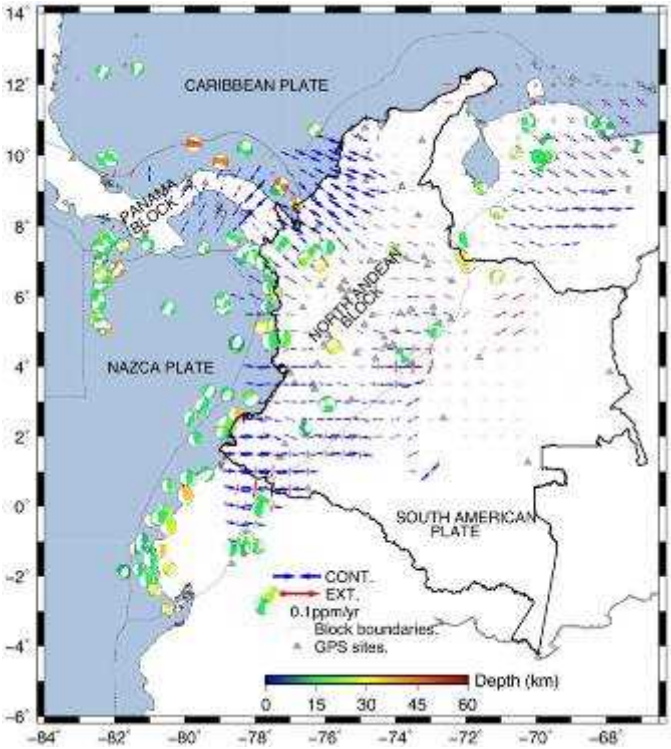


図 1-2-4．GNSS 速度から計算したコロンビアの地殻ひずみ速度分布。ナスカプレートの沈み込み，パナマブロックの衝突，カリブ海プレートの沈み込み，アンデス山脈東縁などに有意なひずみの蓄積が見られる。

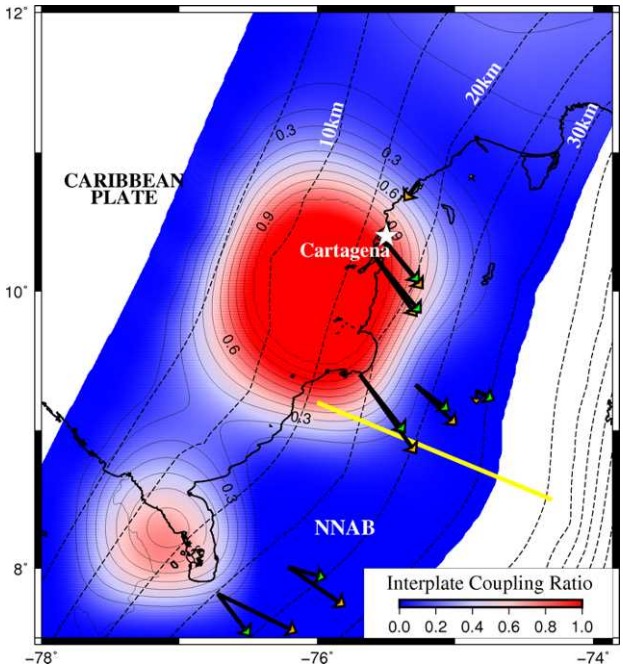


図 1-2-5. GNSS データから推定したカリブ海プレートの沈み込みに伴うカップリング分布および GNSS 速度の観測値（オレンジ）と計算値（緑）の比較。

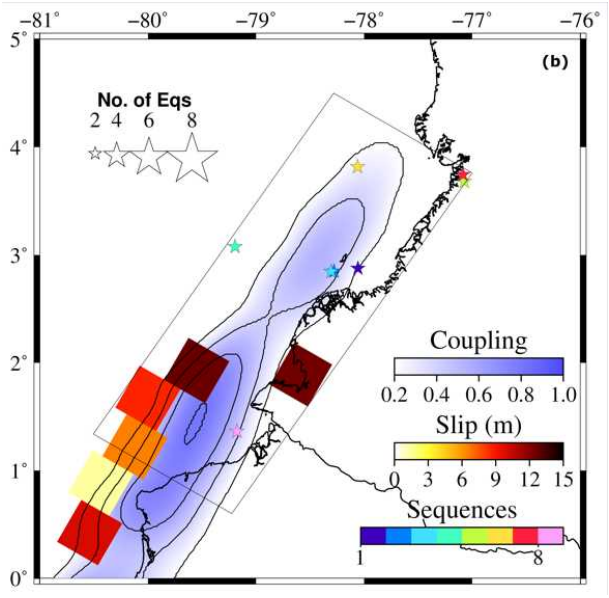


図 1-2-6. コロンビア・エクアドル沈み込み帯北部で発見された繰り返し地震（色付き星）とプレート間カップリングモデル（青色とコンター）および 1906 年の地震のすべり分布（色付き四角、Yoshimoto et al., 2017）との比較（Bermúdez-Barrios and Kumagai, J. Disaster. Res., 2020）。

(1-3) 火山監視、マグマシステム推定

ネバドデルルイス火山に新たに 2 台の広帯域地震計を設置した（PDM: Output1, Activity 1.5）。さらに高周波地震波振幅を用いた震源決定システム（ASL）の導入を行った（PDM: Output1, Activity 1.6）。このシステムでは高周波（5–10 Hz）の地震波振幅を各観測点の増幅特性の補正を行い、*S* 波の等方輻射の仮定に基づいて震源位置とマグニチュードを自動的に推定する。まず ASL に必要となる各観測点の増幅特性と火山の非弾性係数（*Q*）の推定を行った（PDM: Output1, Activity 1.6）。ネバドデルルイス火山では火山構造性（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 をリアルタイムで稼働させ、噴火活動等に伴う火山性地震や微動の自動的な震源推定が可能となった（図 1-3-1）。さらに、2016 年 3 月から 12 月に発生した火山性地震・微動について ASL 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 1-3-2）。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（PDM: Output2, Activity 2.4）。ガレラス火山にも新たに 2 台の広帯域地震計を設置するとともに、ASL を導入した。同火山では 2018 年 5 月に群発地震活動が起こったが、ASL によりそれらの地震の震源情報が自動的に推定され監視に用いられた（PDM: Output1, Activity1.6）。

ASL による震源決定手法の原理に関する研究を行った。高周波振幅を用いてなぜ震源決定ができるのかについてこれまでよく分かっていなかった。そこで差分法による地震波シミュレーションや理論的な考察を行った結果、火山のように非常に強い不均質性構造において、震源から観測点までに多重散乱が起こることで、*S* 波が卓越し輻射パターンが大きく崩れることが分かった。そのような波動場において、*S* 波の等方輻射という単純な仮定により振幅を用いて震源決定ができることを示した（図 1-3-3）。この結果は、ASL が火山において一般的に使うことができる手法であることを示している（PDM: Output1, Activity1.6）。

ネバドデルルイス火山に新たに 6 台の空振計を設置し（図 1-3-4）（PDM: Output1, Activity 1.5）、これらのデータを用いて、空振モニタリングを行うシステムを導入した（PDM: Output1, Activity 1.6）。このシステムは、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行っており、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ことが可能である。複数の衛星の赤外画像を利用した準リアルタイム熱異常モニタリングシステム（REALVOLC）を構築し、コロンビアの 11 活火山の観測を行っている。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 1-3-5 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。

ネバドデルルイス火山の火山構造性地震の走時を用いたトモグラフィー解析を行い、同火山の *P* 波および *S* 波速度構造の 3 次元構造と、2000-2016 年におけるそれらの構造の時間変動を推定した（PDM: Output2, Activity 2.4）。その結果、噴火活動が活発化し始めた 2013 年以降に速度構造の明瞭な時間変動が推定された（図 1-3-6）。これらは浅部にマグマが上昇してきたことによるものと解釈された。さらに同火山の火山性構造性地震の高周波地震波形を用いて散乱構造の 1 次元構造を推定した。その結果、浅部で非常に散乱が強く減衰の大きい層が推定されたが、それらは深さ約 1 km までという浅部のみで、それ以深は通常の地殻と変わらない程度の弱い散乱構造を示すことが分かった。浅部の散乱が強く減衰が大きい層は未固結な降下堆積物や変質岩などに対応すると考えられる（PDM: Output2, Activity 2.4）。さらに、ガレラス火山の火山構造性地震の走時を用いたトモグラフィー解析を行い、同火山の *P* 波および *S* 波速度構造の 3 次元構造と、2009-2019 年におけるそれらの構造の時間変動を推定した（PDM: Output2, Activity 2.4）。ガレラス火山においても速度構造の明瞭な時間変動が推定され（図 1-3-7）、その変動は 2018 年 5 月の群発地震活動に関連したマグマ貫入により説明できることが分かった。

ガレラス火山およびプラセ火山で観測された LP イベントの減衰振動の振動周波数と Q 値の解析を行った。その結果、ガレラス火山については、それらの推定値が系統的な時間変動を示すことが分かった。さらにそれらの推定値は、火山灰を含むガスに満たされた割れ目の振動によって説明でき、割れ目の形状などが噴火前に系統的に変化していたことを見出した。プラセ火山の LP イベントついても振動周波数と Q 値が系統的な時間変動を示すとともに、これらの推定値は小さな水滴を含む水蒸気ガス（ミスト状ガス）に満たされた割れ目の振動によって説明できることが分かった。この結果はプラセ火山の LP イベントが熱水系において発生していることを示している（PDM: Output2, Activity 2.4）。

日本・コロンビア・エクアドルにおける様々な火山で発生した噴火に伴う地震波の振幅と噴煙高度や噴出量などの噴火規模を表す指標との関係を系統的に調べた。爆発的かつ定常的な噴火であるプリニー式噴火に伴い発生する噴火微動について、高周波数帯（5−10 Hz）での震源における振幅（A_s）を調べた結果、噴煙高度は A_s の関数として表され、A_s は噴出率と比例関係にあることを示した。この結果は、噴火微動の各時刻の A_s から噴煙高度を推定できことを示しており、地震波を用いた噴火監視の高度化に貢献する成果である（PDM: Output1, Activity1.6）。

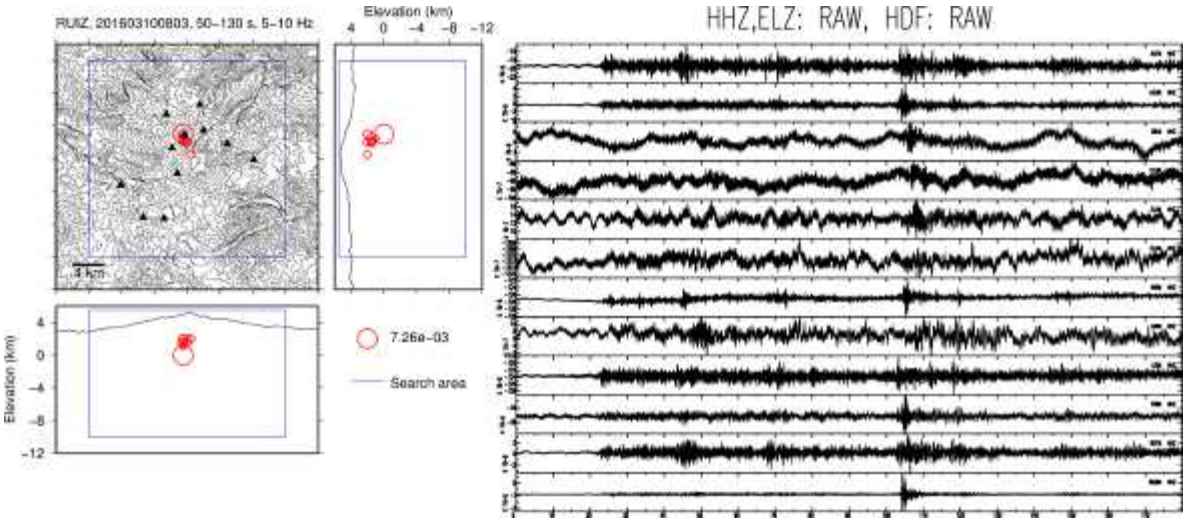


図 1-3-1. ネバドデルルイス火山で発生した微動の ASL 震源決定手法で自動的に推定された震源情報。左図の赤丸が右図に示した微動波形の連続した 10 秒の時間窓について推定された震源位置と震源振幅。

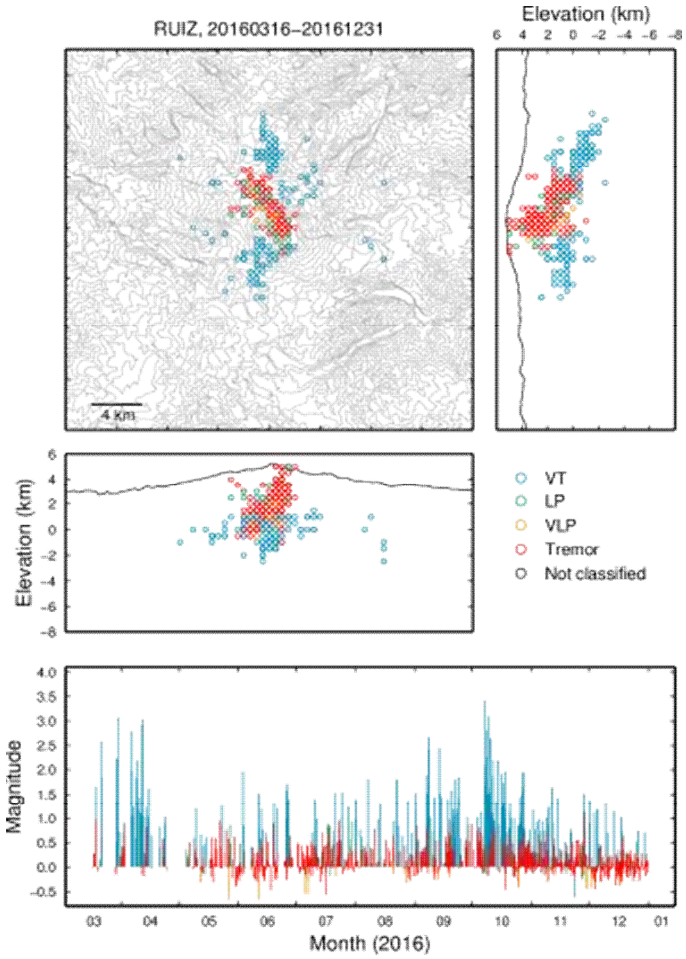


図 1-3-2. ネバドデルルイス火山の VT 地震（青）、LP（緑）と VLP（オレンジ）イベントおよび微動（赤）の発生位置の分布（上）とそれらのマグニチュードの時間変化（2016 年 3 月～12 月）（下）。VT 地震は火山の北および南斜面の下で発生しており、LP と VLP イベントおよび微動は北西に傾斜した火口に伸びる領域で発生した。この領域がマグマの上昇経路と考えられる（Kumagai et al., J. Geophys. Res. Solid Earth, 2019）。

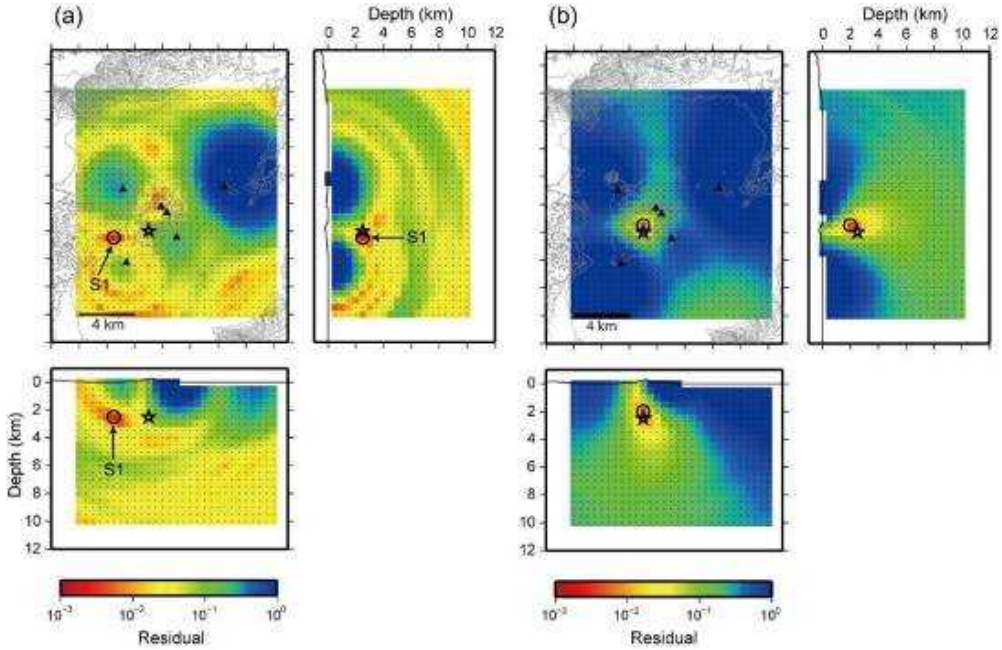


図 1-3-3. 合成地震波形に基づく高周波地震波振幅を用いた震源決定の結果（Morioka et al., J. Geophys. Res. Solid Earth, 2017）。(a) 散乱が弱く 1 次散乱的な地震波形の場合と(b) 散乱が強く多重散乱的な地震波形の場合。星印が入力位置を丸印が震源決定位置を示す。三角印が用いた観測点の位置。色は振幅の合い具合を表す正規化された残差。

図 1-3-4. ネバドデルルイス火山に設置された空振計観測点の配置。

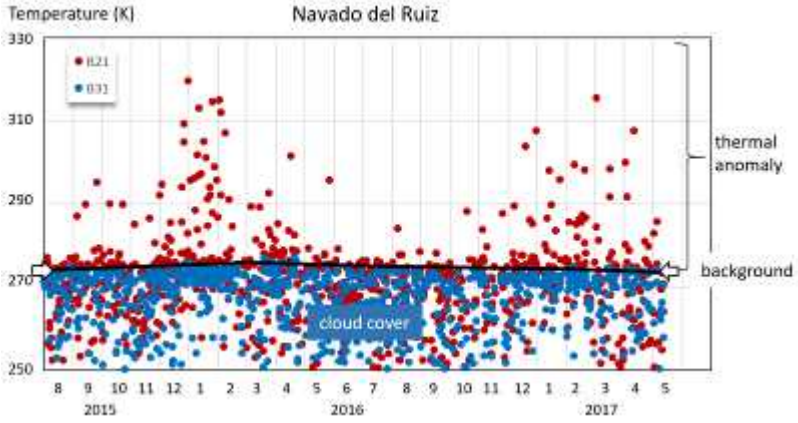


図 1-3-5. 衛星画像（MODIS）を用いたネバドデルルイス火山の温度の観測結果。黒い線はバックグラウンドレベルを示す。

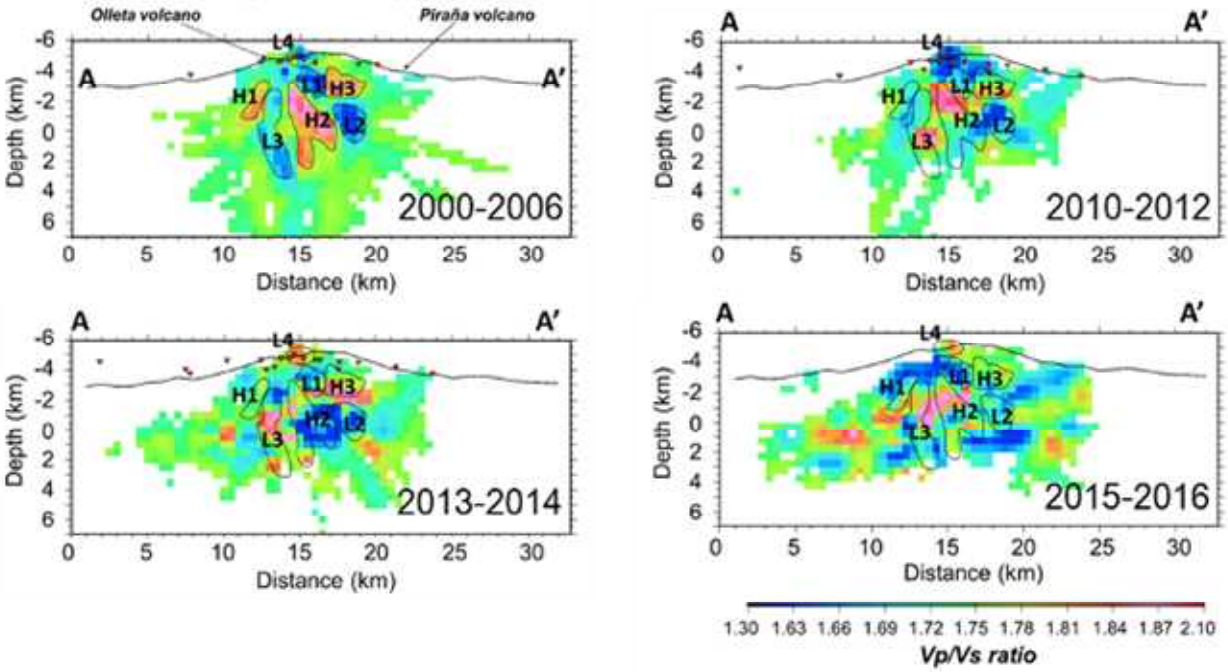


図 1-3-6. ネバドデルルイス火山において地震波トモグラフィー法により推定された *P* 波と *S* 波速度の比（V_p/V_s）の 2000 年から 2016 年までの時間変動（Londoño and Kumagai, J. Volcanol. Geotherm. Res., 2018）。2000–2006 年の期間の速度比異常（H1–3 と L1–4）が時間とともに変化していく様子が見られる。

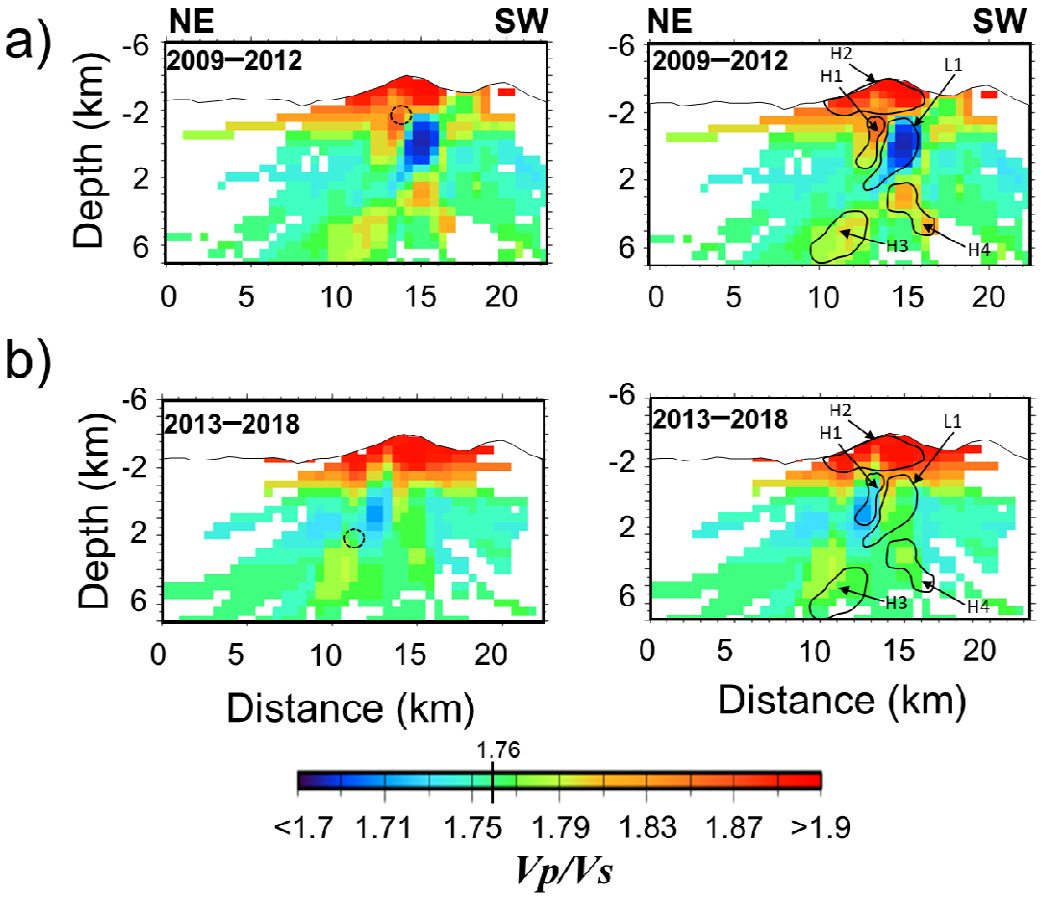


図 1-3-7. ガレラス火山において地震波トモグラフィー法により推定された *P* 波と *S* 波速度の比（V_p/V_s）の(a) 2009–2012 年と(b) 2013–2016 年の時間変動。2009–2012 年の期間の速度比異常（H1, H3, H4 と L1）が 2013–2018 年の期間に変化していることが分かる。

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-TSUNAMI は SGC によって運用されており、このシステムによって推定された地震情報は SGC のホームページで公開されている。ASL も SGC により運用されており、火山監視に活用されている。また地震波走時トモグラフィーによる解析も SGC の研究員によって独自に行われている。このように技術移転は順調に進んでおり、さらにカウンターパートによる自立的な運用が行われている。

GNSS データ解析・解釈や InSAR 解析等について、現地訪問や日本での研修を通して技術移転を進めている。コロンビアの GNSS グループリーダーである Héctor Mora Páez 氏の博士論文執筆は多忙のために思うように進捗しなかったが、2019 年度末に名古屋大学で博士（理学）の学位が認められた。また、国費留学生一般枠により名古屋大学に入学した学生である Sindy Carolina Lizarazo 氏が修士論文の研究を進めており、2020 年 3 月に修士課程を修了した。

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 Ecuador 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であった Juan Carlos Bermudez 氏が SATREPS 枠による国費留学生（博士課程）、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であった Sindy Carolina Lizarazo 氏が大学推薦の国費留学生（修士課程）として採用された。両名とも平成 29 年 10 月に来日し、名古屋大学において研究・教育を進めている。この留学により、研究協力がより安定的に進められた。Lizarazo 氏は 2020 年 3 月に修士学位を取得し、博士課程へと進学することが決まった。コロンビアの GNSS グループリーダーである Héctor Mora Páez 氏が、コロンビアにおける地殻変動に関する研究で名古屋大学から論文博士学位を授与された。

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) 高度即時震源解析システム（SWIFT の自動セントロイドモーメントテンソル解に基づく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 システムの運用、2) ネバドデルルイス火山およびガレラ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、3) 両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。

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 当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

ボゴタ盆地の地下構造モデルの構築のため、コロンビア側のカウンターパート機関である SGC、IDIGER、UA、UN と協力して、ボゴタ盆地において極小微動アレイ観測（300 箇所、半径 0.6 m~10 m、2 km メッシュ)、中・大微動アレイ観測（26 箇所、半径 20 m~1700 m、5 km メッシュ）（図 2-1、図 2-2a)、そして単点微動観測（~600 箇所、1 km メッシュ）（図 2-2b）を実地した。

深部地盤モデルに関して、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 2-3a)。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 波速度構造と盆地の既存の重力データ（約 800 点、約 1 km メッシュ）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 2-3b)、各速度層（Vs = 300, 400, 500, 700, 1000, 2000, 3000 m/s）の出現深度の関係式を推定した（図 2-3c)。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* 波速度地下構造モデルを構築した（図 2-4)。この結果によるとの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 Vs = 3000 m/s の深さはおよそ 3400 m に推定された（図 2-4b）（PDM: Output2, Activity2.3)。盆地では厚い粘土・砂礫の堆積物の層（第四期・新第三紀）が広く分布しておりこの層の下面（Vs = 700m/s）の元も深いところは約 800m に推定された（図 2-4a)。

表層地盤モデルに関して、極小微動アレイ観測データを用いて表層地盤の速度構造を 2 km メッシュで推定し、深さ 30 m より浅い地盤の平均 *S* 波速動分布（AVs30）を推定した（図 2-5)。その結果、ボゴタ南部の AVs30 値（150～400 m/s）と比較して、ボゴタ北部と中部の AVs30 値（80~150 m/s）は極めて低い値を示した（図 2-5a のカラースケール点)。このような AVs30 値の顕著な差は、先行研究で報告されているボゴタ北部と南部の表層地盤の土壌水分量分布の急激なコントラストの特徴（MZSB97）と強く相関していることが分かった（図 2-5a)（PDM: Output2, Activity2.3)。表層地盤の速度構造モデルを用いて、ボゴタ市の詳細な地盤増幅分布モデルの推定を行い、IDIGER が作成した最新の地盤図（2010 年版）を参考に各地盤ゾーンの平均的な周期毎の増幅特性（伝達関数）の推定を行った（図 2-6)。それらの結果からボゴタの北部と南部の地盤増幅特性が大きく異なり、ボゴタの北部では地盤の増幅のピーク周期が 2～4 秒（図 2-6a）に対して、南部では 2 秒以下と推定した（図 2-6b)。このような浅地盤の周期特性の違いはボゴタ北部（柔らかい粘土層）と南部（硬い砂）の地盤ゾーンの違いと調和的である（図 2-6)。また本プロジェクトで推定したボゴタの深部地盤モデルの深さ分布（各層の深さ）と単点微動観測（図 2-2b）による水平上下スペクトル比（HoV）のピーク周波数の関係式を調べたところ（図 2-7)、*S* 波速度値 300~500 m/s の層の深さとピーク周波数の関係式の相関が最も高く、これより深い層の深さとピーク周波数の関係式の相関が極めて低いことが分かった（図 2-7)。このことから 500 m/s の層の下限はボゴタの工学基盤であり、これはボゴタの最も深いボーリング探査（深さ 600 m）で抽出された更新世の層（下限 325 m）（Sabana formation）（Torres et. al., PALAEO, 2005）に相当するものと考えられる（PDM: Output2, Activity 2.3)。

さらにボゴタ強震動予測に向けて、内陸断層の地震シナリオの作成のためにボゴタ近傍に分布している断層（ボゴタ断層）の航空写真の分析、断層の現地調査やボゴタの地質情報の整理などを行い、ボゴタ断層付近の地質地図の作成（縮尺 10 万分の 1）（図 2-8a）及びボゴタ断層の南部の詳細な地質地図（縮尺 2 万分の 1）の構築を行った（図 2-8b)。本プロジェクトで行っている断層調査において、ボゴタ断層の始めての全域地質図の作成を行った（PDM: Output2, Activity2.2)。またボゴタ近傍の断層地震活動を調べるために 2011 年～2012 年に SGC がボゴタ周辺で実施した臨時地震観測のデータを用いて double-difference 震源決定法を用いて詳細な地震活動を推定した（図 2-9)。その結果、ボゴタの東側の広域で活発な地震活動が発生しており、アンデス山脈の前面断層帯の複数の活断層に相当する活動と考えられる。その地震活動の中に 2008 年 8 月 24 日にボゴタ南東で発生した M 5.9 の地

震（Quetame 地震）の詳細な余震分布の推定も含まれている（図 2-9b）。この断層帯に位置する Servita 断層（図 2-9、図 2-10a）の地震活動が非常に活発であり、ボゴタに甚大な被害を引き起こした 1919 年地震がこの周辺で発生した可能性が高いと思われる。本プロジェクトで推定した Servita 断層の詳細な地震活動及び先行研究による活断層の位置、長さ等の情報を用いて断層モデルを作成した。地震シナリオのパラメータは断層長さ 50 km、幅 20 km、マグニチュード 7.0（M_w）の右横ずれ成分を含まれる逆断層（strike/dip/rake: 220/60/150）に設定した（図 2-10a）。Servita 断層のシナリオ地震の滑り分布を Pulido et al. (Tectonophys., 2020) の手法を用いて推定した（図 2-10a）(PDM: Output2, Activity2.2)。この断層モデルを用いてボゴタの基盤強震動シミュレーションを行った（図 2-10b）（PDM: Output3, Activity 3.1）。この地震動に本プロジェクトで推定した地盤増幅の情報（図 2-5）を加えて、ボゴタにおける被害が下記に述べるように防災情報グループにより推定された。

1906 年コロンビア・エクアドル地震の新たなすべりモデルの推定を行った。本プロジェクトですでに津波データにおけるすべりモデルを推定されているが（Yoshimoto et al., 2017）、新たなモデルの特徴は津波データのほか、建物被害（震度分布）を再現することである。そのために 1906 年地震のすべり分布（Yoshimoto et al., 2017）及び 1906 年地震の被害分布から推定された震度分布データ（Sarabia and Cifuentes, コロンビア地質調査所報告書, 2007）を用いて、1906 年地震の広帯域波長すべりモデルの推定を行った（図 2-11a、図 2-12）。津波データによる長波長すべりモデル（図 2-11a 上）に、フォンカルマン型の自己相関関数に基づく短波長すべり（図 2-11a 中）を加えた。このようなモデルに基づいて強震動を計算し（図 2-11b 下）、観測された震度分布を再現する広帯域波長すべりモデルを推定した（図 2-11a 下、図 2-12）。（PDM: Output2, Activity 2.2）。これらの成果は Tectonophysics 誌に発行済である（Pulido et al., 2020）。

巨大地震のコロンビアの津波ハザード評価及び強震動予測のため、本プロジェクトで推定されたコロンビア・エクアドルのプレート間カップリングモデルを用いてすべり遅れ分布を 3 パターンのシナリオ地震を作成した（図 2-13a）。コロンビアの沿岸で発生した 1906 年 1 月 31 日の地震と 1979 年 12 月 12 日の地震と同じ規模と震源域になるようにすべり遅れを計算し（図 2-13a）、最悪シナリオの場合は 1906 年と 1979 年の震源域をあわせたもので 500 年間に蓄積されたすべり遅れの想定すべりを作成した（図 2-13a）。強震動シミュレーション及び津波ハザード評価を行うためには上記のすべり遅れモデル（図 2-13a）に短波長すべりを加えて広帯域波長すべりモデルを構築した（図 2-13b）（PDM: Output2, Activity2.2）。

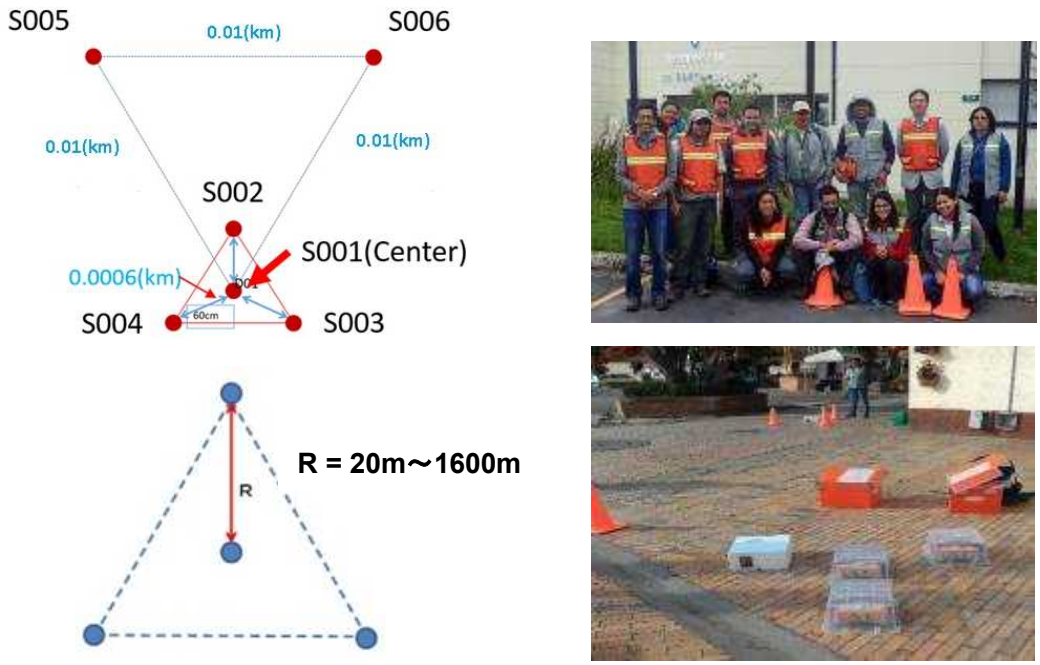


図 2-1. ボゴタ盆地における極小・小・中・大微動動アレイ観測の概要。

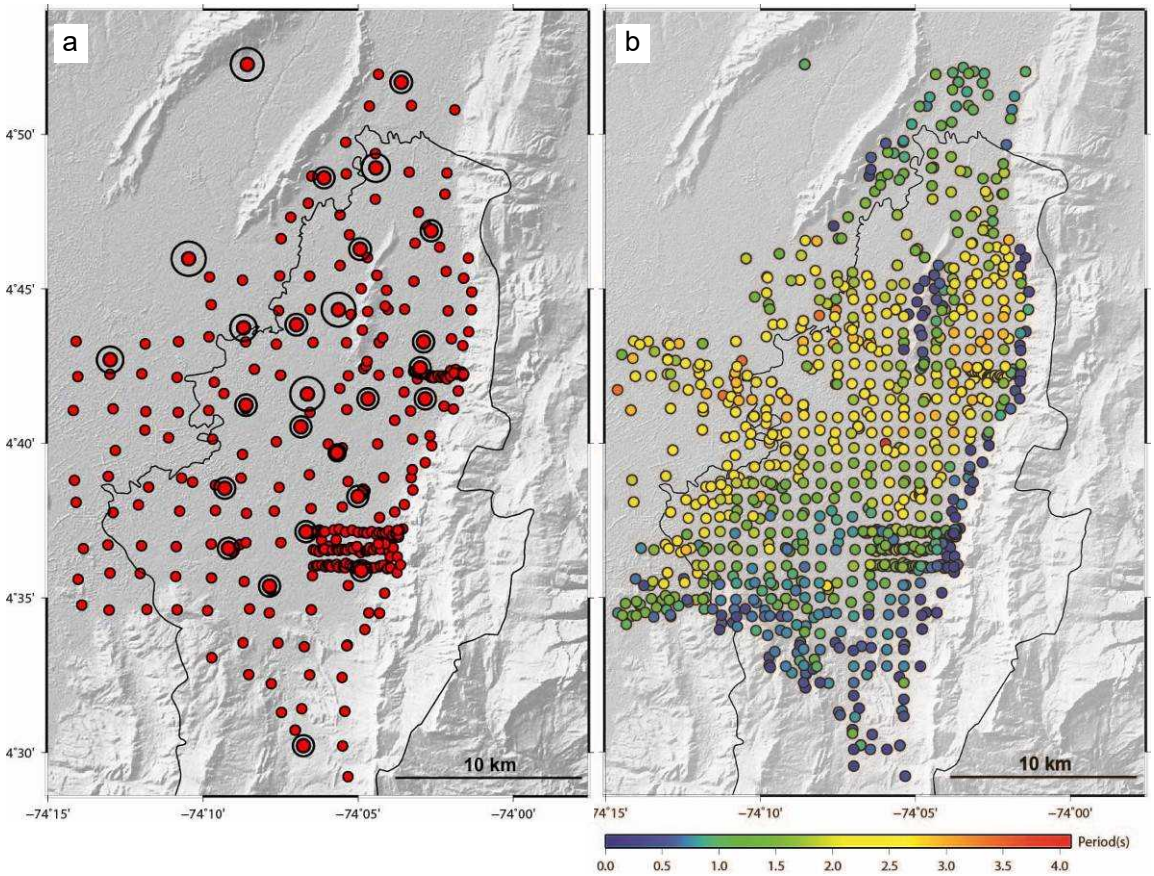


図 2-2. ボゴタ盆地で行った微動アレイ観測。中・大アレイのサイズは黒い丸の大きさで示す（半径は 20 m～1700 m）。赤い点は極小アレイの観測点を示す。本プロジェクトの対象領域（ボゴタ市）は黒い線で囲んでいる(a)。単点微動観測による水平上下スペクトル比（HoV）のピーク周期の結果（カラースケール点）(b)。

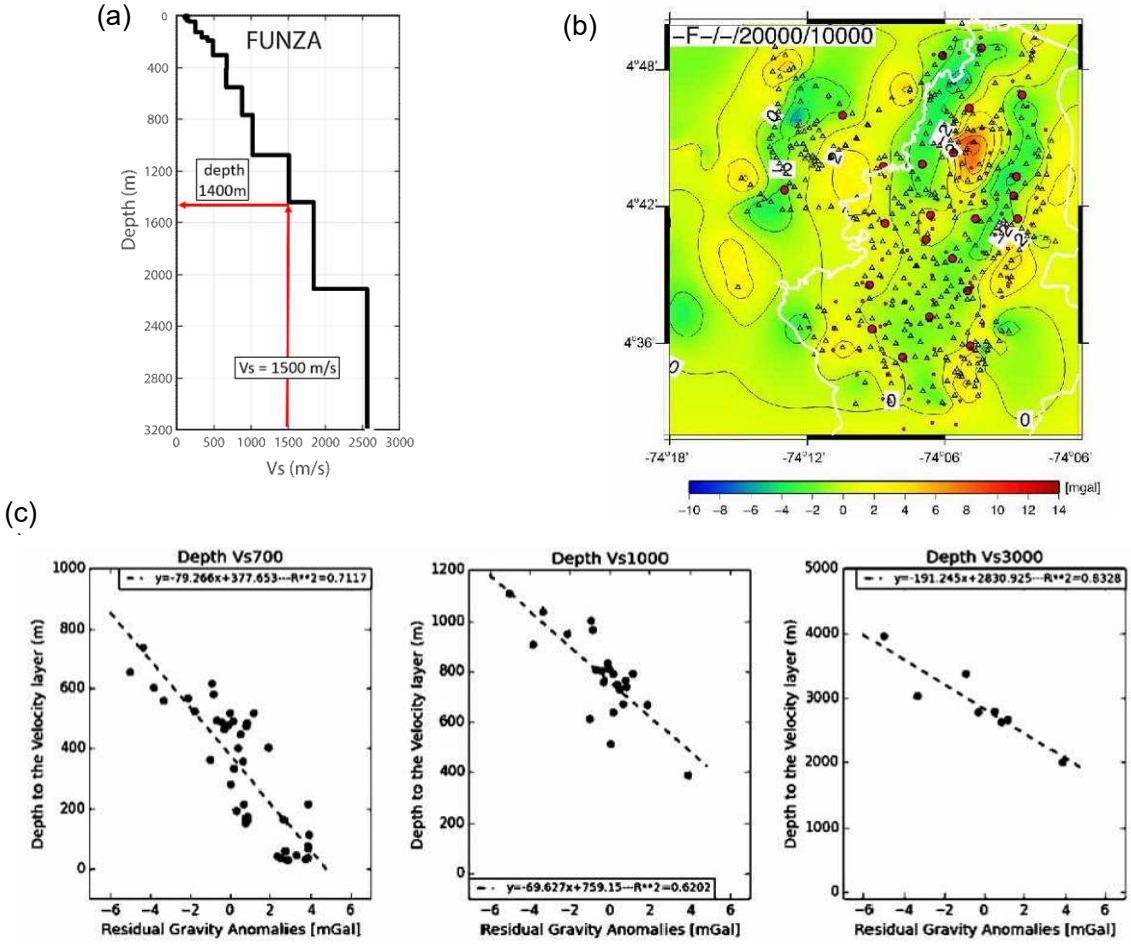


図 2-3. 微動アレイ観測に基づいたボゴタ西側の *S* 波速度構造モデル (a)。残差ブーゲー異常値の分布 (b)。微動アレイ観測の各観測地点の残差ブーゲー異常値と各速度層の出現深度の相関関係（c)。

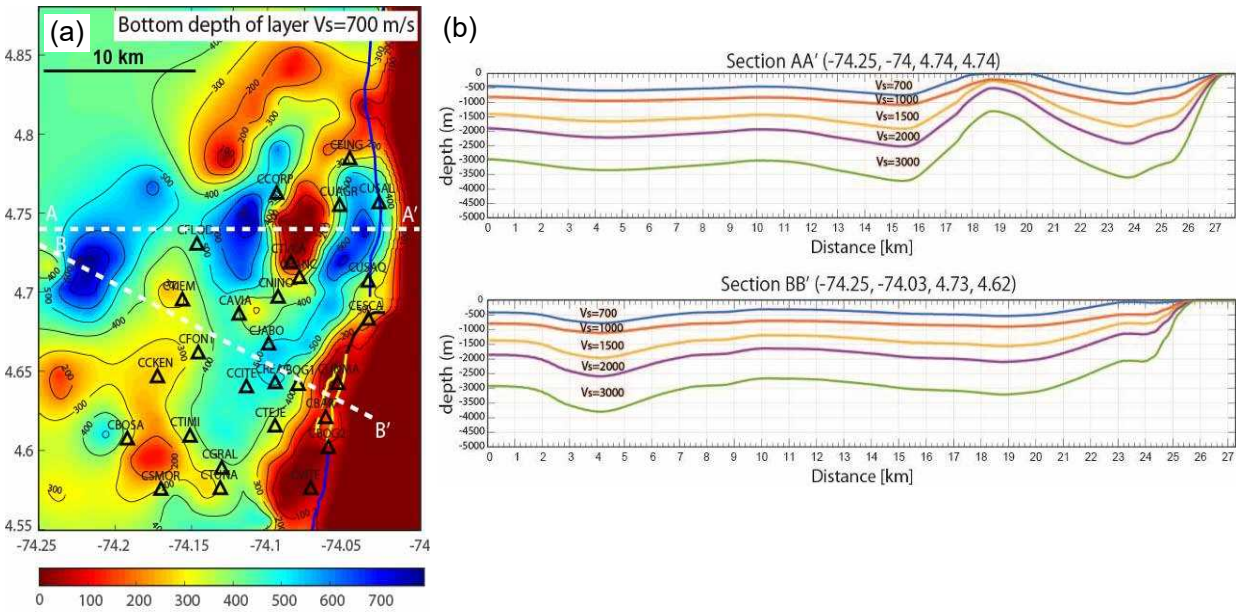


図 2-4. 残差ブーゲー異常値と各速度層の経験式で推定した Vs = 700 m/s の層の下面の深さ (a)。ボゴタ盆地の S 波速度の BB'の断面図（b)。

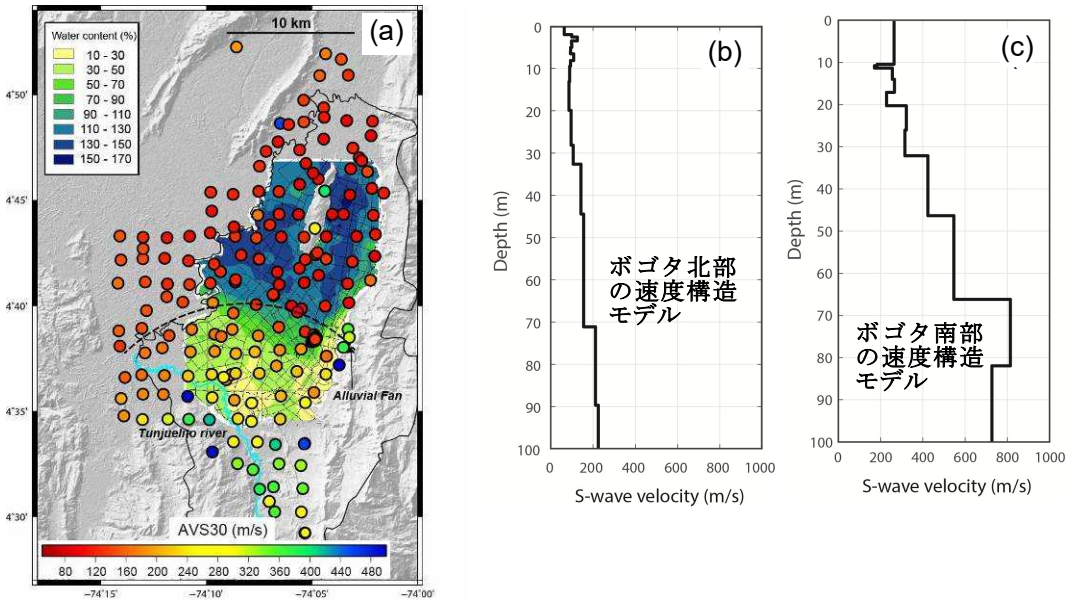


図 2-5. 極小微動アレイ観測による表層地盤（深さ 30 m より浅い）の平均 *S* 波速動分布 AVs30（カラースケール点）と 1997 年のボゴタのマイクロゾネーションプロジェクト（MZSB97）で行われた表層地盤の土壌水分量分布調査（黄色 10%～濃い青色 170%以上）の比較(a)。 極小微動アレイによるボゴタ北部と南部の代表的な 1 次元速度構造モデル（b, c）。

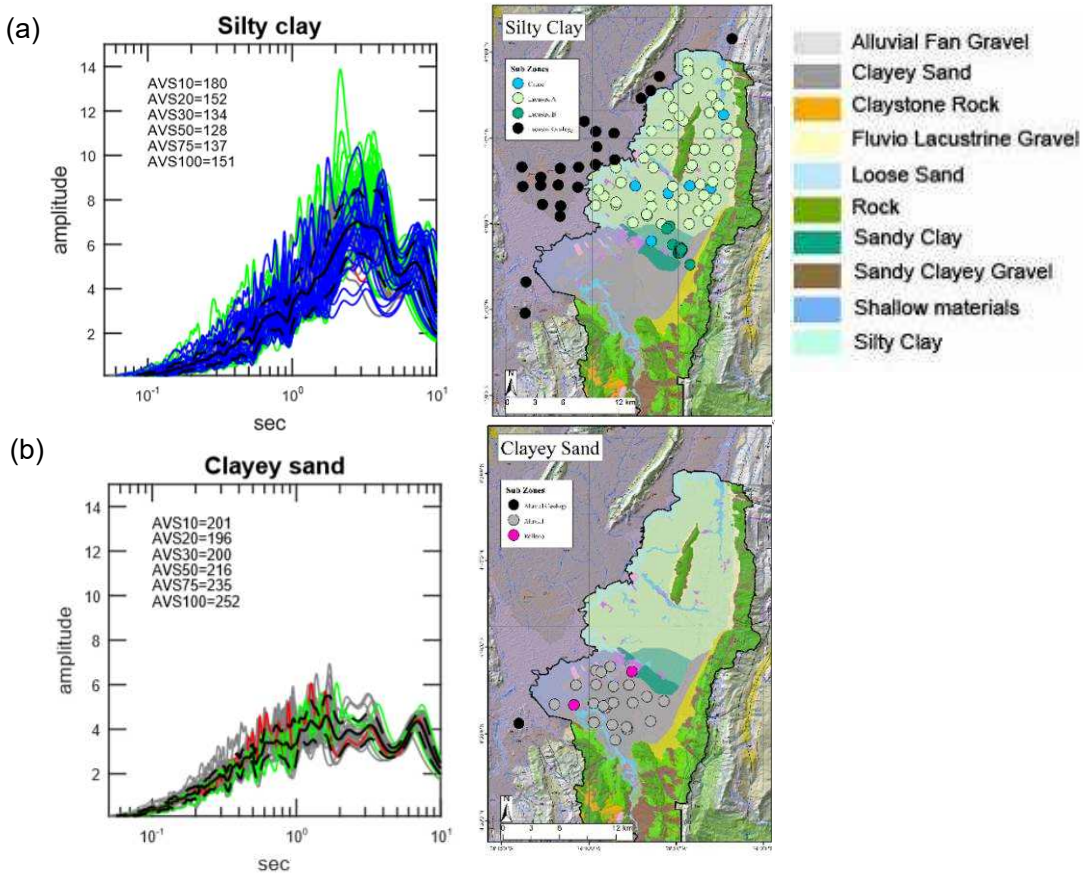


図 2-6. (a) 地盤地下構造モデルにおけるボゴタ北部（Silty clay の地盤ゾーン）の伝達関数の平均値+/-標準偏差（黒線）とゾーン内の全伝達関数（色付）（左）、ボゴタ市の地盤図（ゾーン内の微動観測点は緑点で表示）（中）、地盤図の凡例（右）。(b) ボゴタ南部 (Clayey sand の地盤ゾーン)の伝達関数の平均値+/-標準偏差（黒線）とゾーン内の全伝達関数（色付）（左）、ボゴタ市の地盤図（ゾーン内の微動観測点は灰点で表示）（右）。

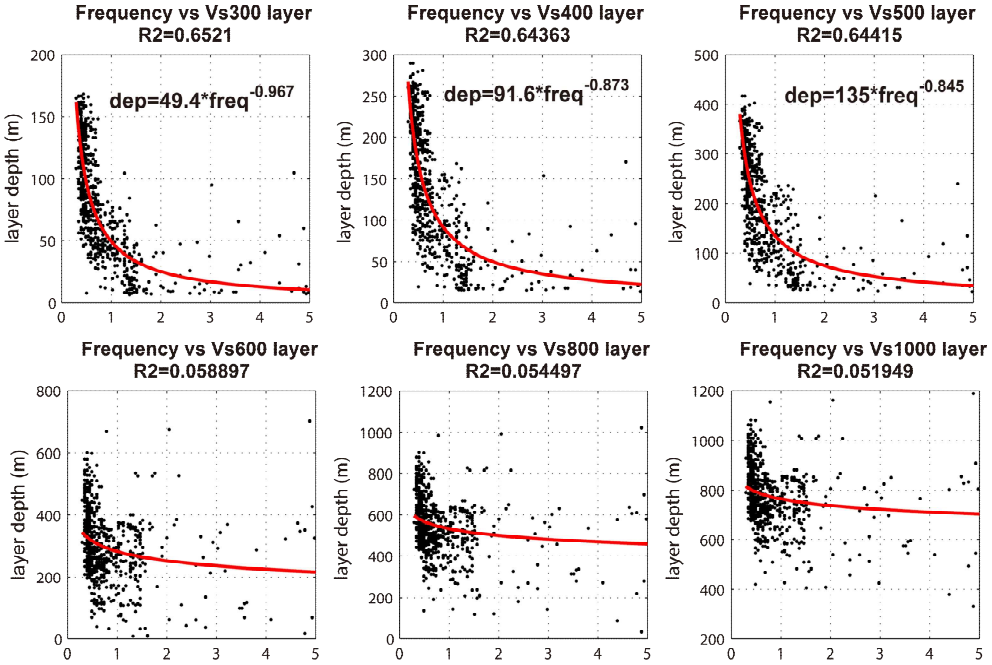


図 2-7. ボゴタ盆地の HoV ピーク周波数の観測値と盆地の 3 次元速度構造モデルに基づく各点での層の深さの推定値の関係。各層（Vs = 300, 400 と 500 m/s）の深さ（dep）と HoV ピーク周波数（freq）の関係式（赤線）とその相関係数（R^2）が表示されている。

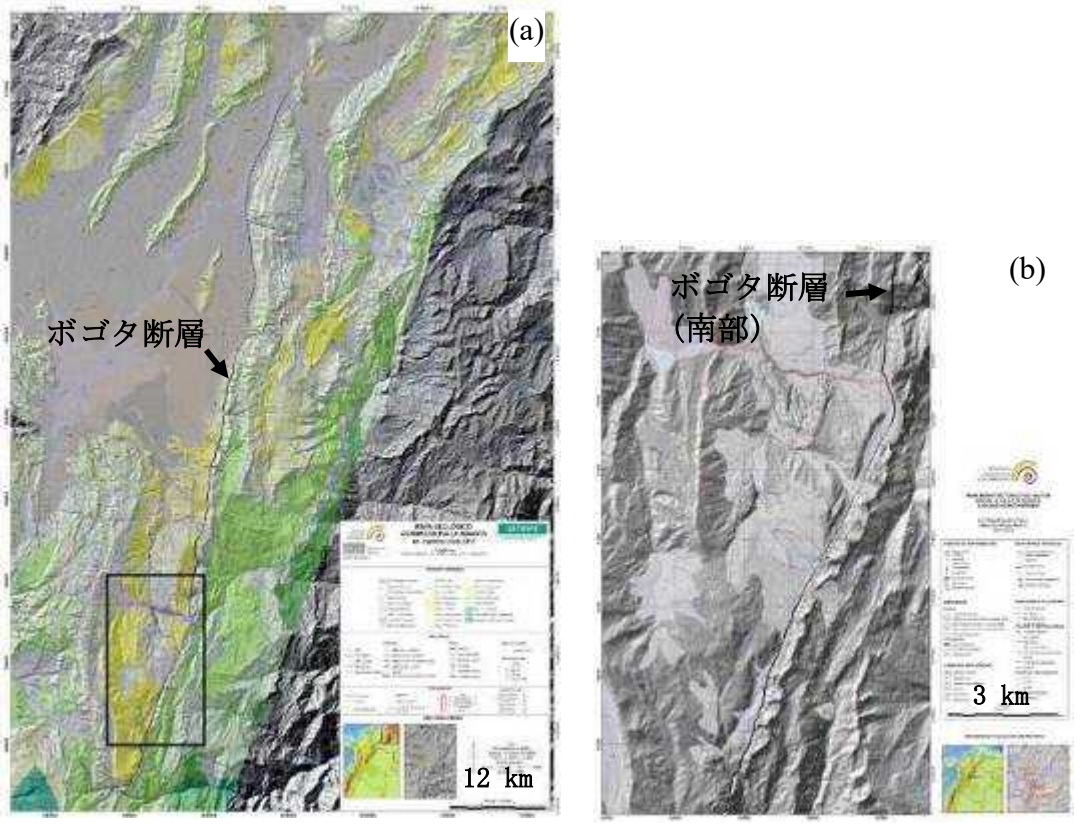


図 2-8. (a) ボゴタ断層の全長の地質地図（縮尺 10 万分 1）。(b) ボゴタ断層の南部セグメントの縮尺 2 万分の 1 の詳細な地質地図。

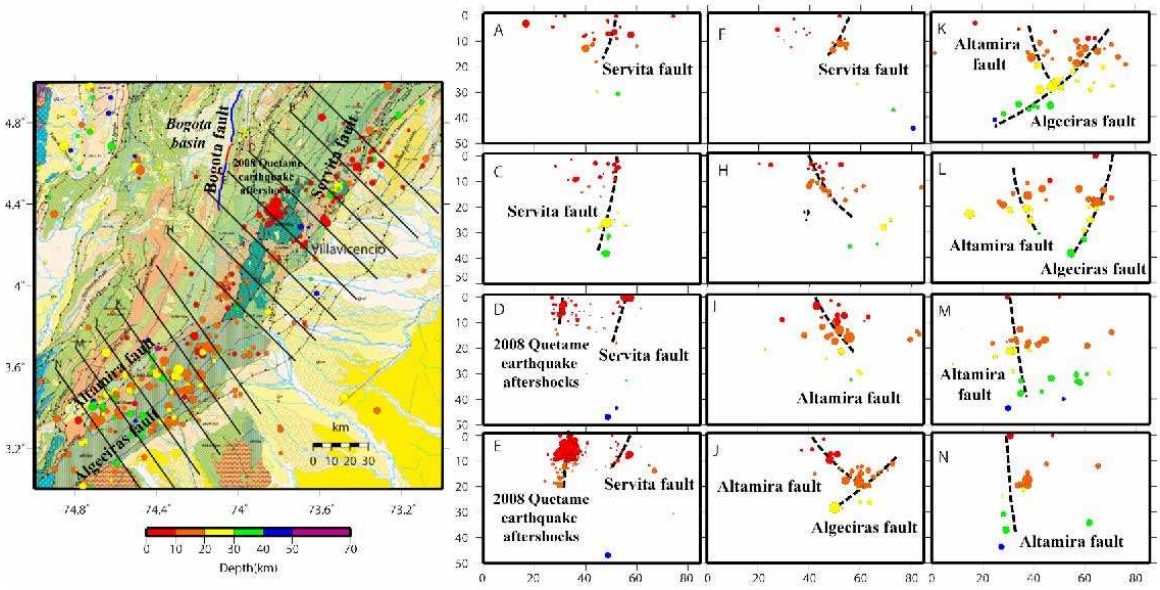


図 2-9. 2011～2012 年にボゴタ周辺で実施された臨時地震観測のデータを用いて詳細な地震活動を推定した。その結果、ボゴタの東側の広域で活発な地震活動が発生しており、この地震活動の分布によって複数の断層が分布していることが分かった。

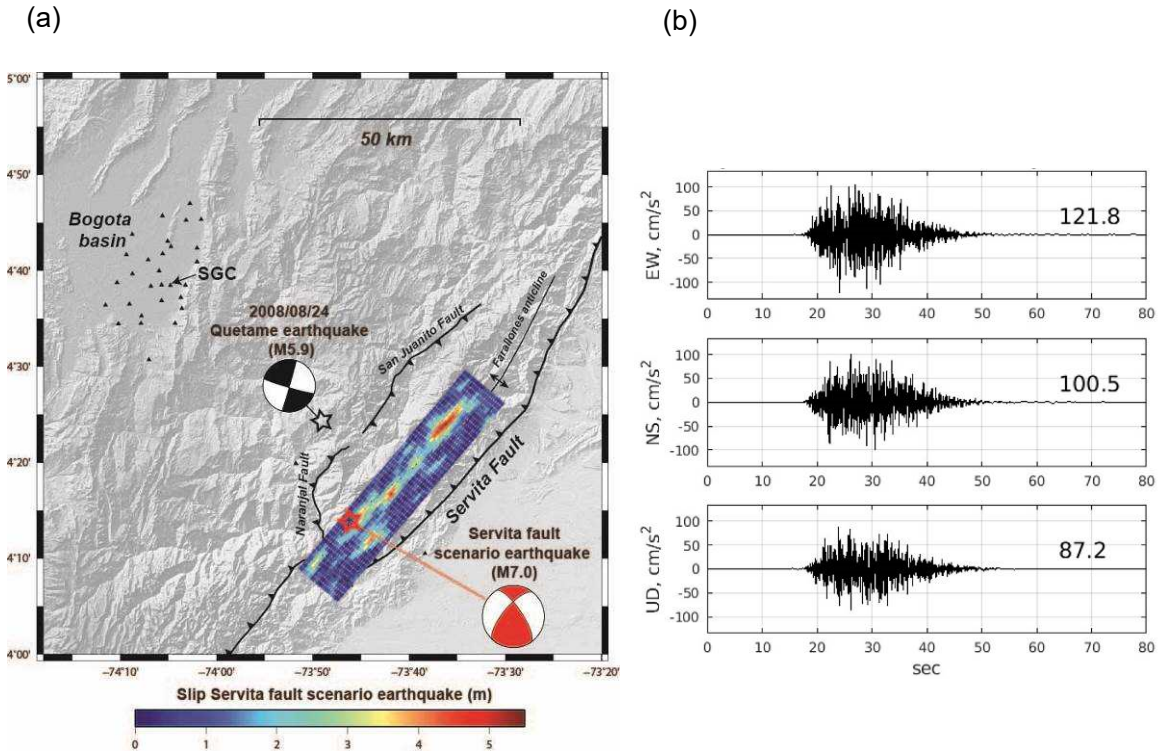


図 2-10. (a)アンデス山脈前面断層帯の Servita 断層におけるシナリオ地震（滑り分布モデル）。(b) Servita 断層シナリオ地震におけるボゴタの基盤の強震動シミュレーションの結果の例。

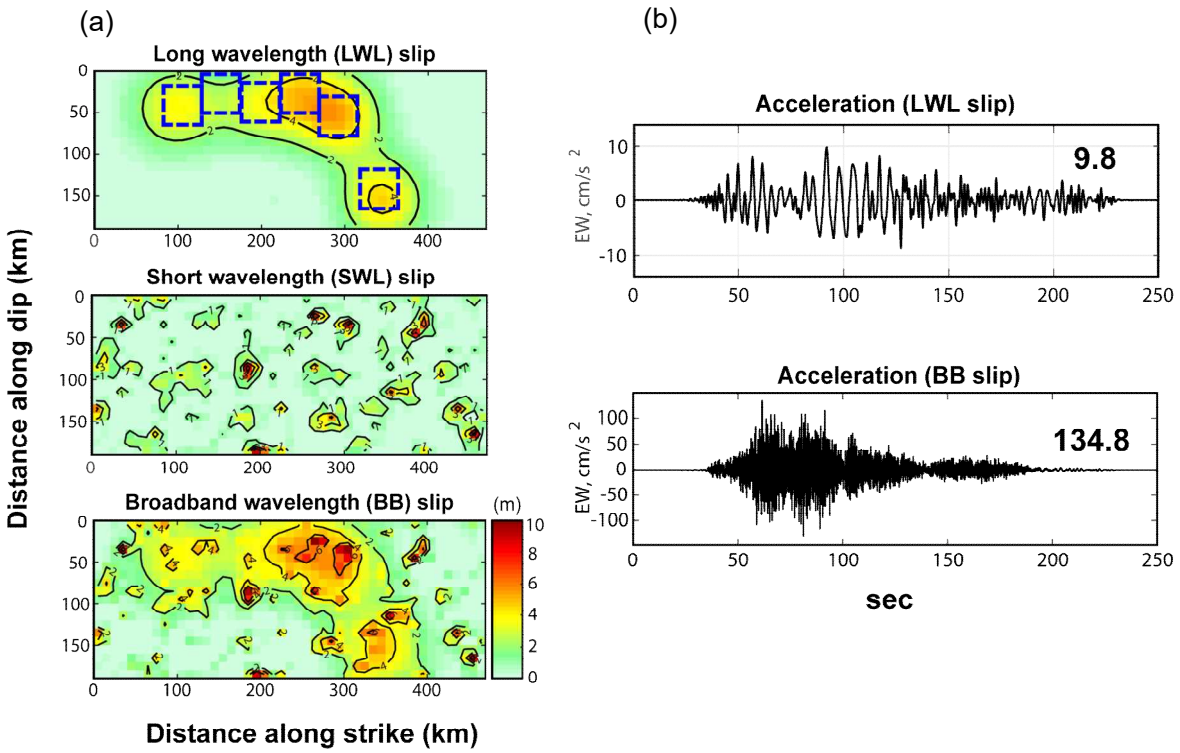


図 2-11. (a) 1906 年コロンビア・エクアドル地震のすべりモデル（Yoshimoto et al., 2017）（青線）に基づいた長波長すべりモデル(上)、 1906 年地震の短波長すべりモデル（中）及び 1906 年地震の広帯域波長すべりモデル（下）。(b) 1906 年地震の長波長すべりモデル（上）及び広帯域波長すべりモデル（下）における Tumaco 市の基盤の強震動シミュレーションの結果（Pulido et al., 2020, Tectonophysics）。

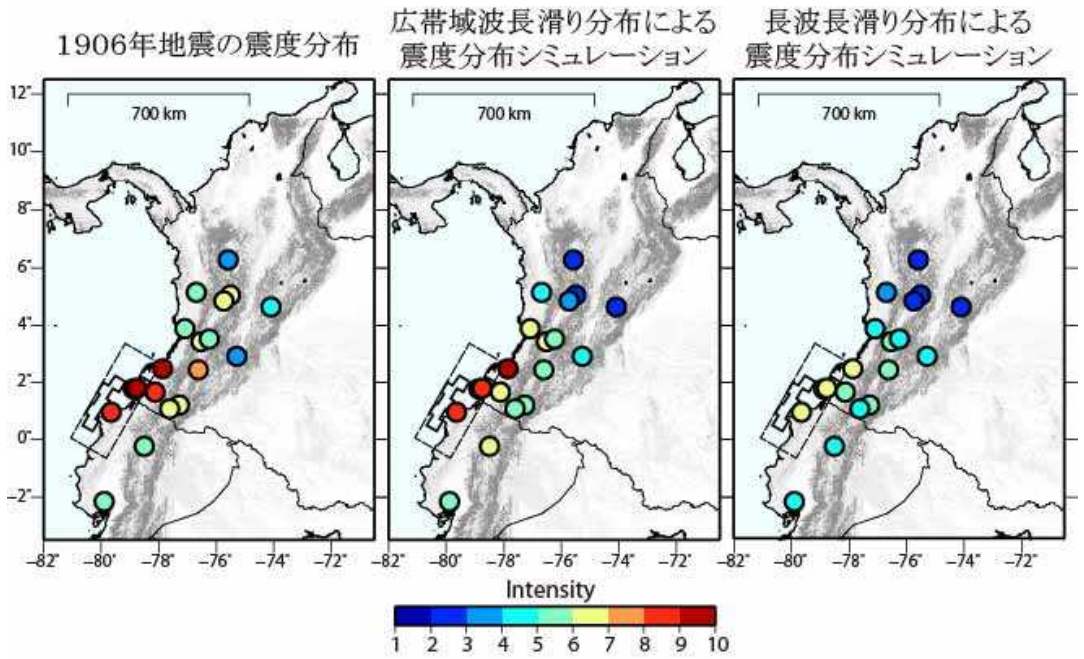


図 2-12. 1906 年コロンビア・エクアドル地震の EMS98 震度分布 (左)、 1906 年地震の広帯域波長すべりモデルによる震度分布のシミュレーション結果 (中)、1906 年地震の長波長すべりモデルによる震度分布のシミュレーション結果 (右)（Pulido et al., Tectonophysics, 2020）。

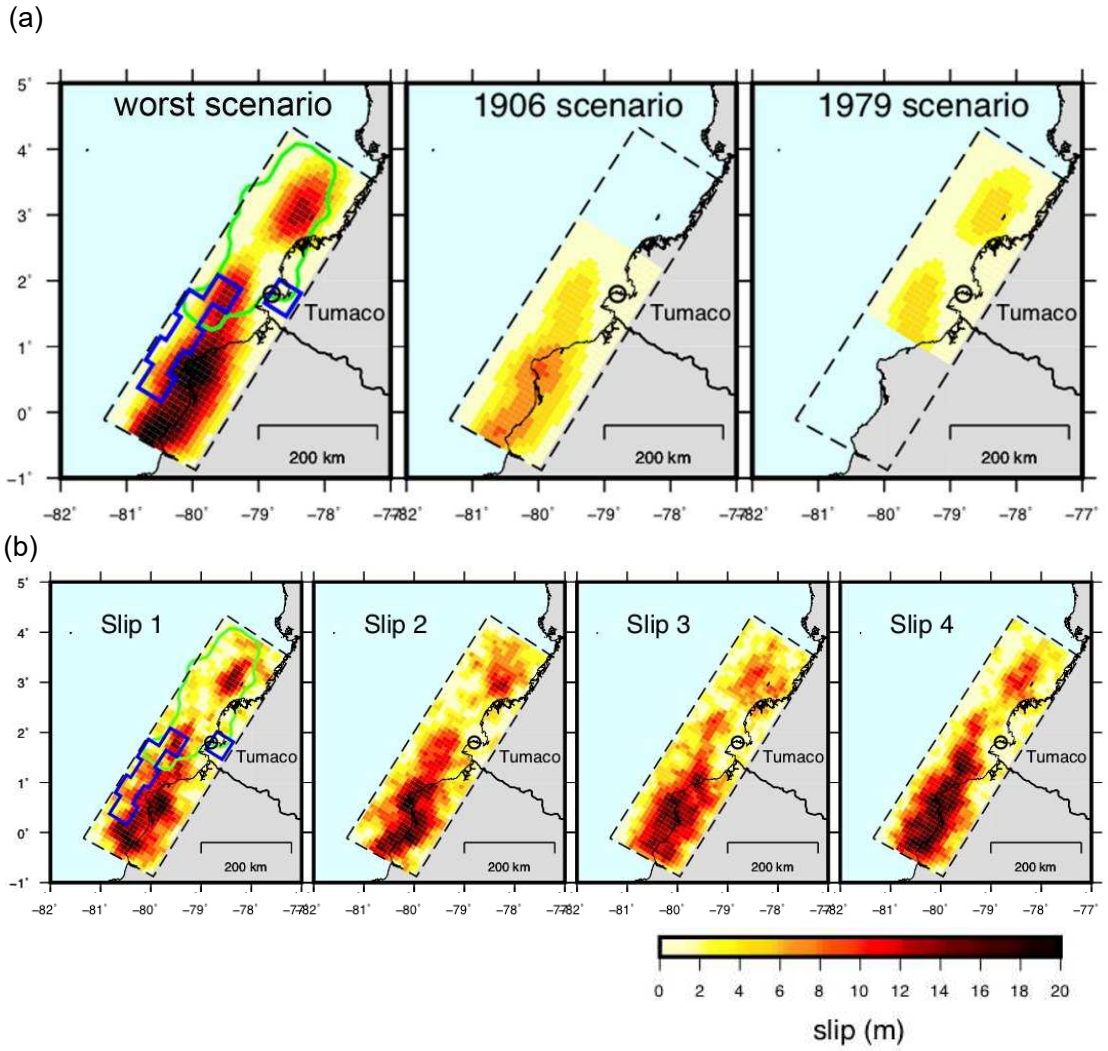


図 2-13. (a) 本プロジェクトで推定されたコロンビア・エクアドルのプレート間カップリングモデルに基づいたすべり遅れ分布の三つのシナリオ地震。(b) 最悪すべり遅れシナリオ（worst scenario）を用いて広帯域波長すべり分布の推定結果の例。

②研究題目 2 カウンターパートへの技術移転の状況

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においてボゴタ盆地速度構造モデルの向上やボゴタ市の浅地盤の詳細増幅特性に関する指導を行った。さらに東北大学においてボゴタ断層に関する研究を行った。その結果、盆地の速度構造モデルの向上や表層地盤の増幅マップの作成手法、断層のシナリオ作成に関する技術移転が行われた。

③研究題目 2 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。

ボゴタの地震シナリオの作成のためにボゴタ近傍の断層において断層の現地調査などを行い、ボゴタ断層の詳細な地質地図の構築を行った。

④研究題目 2 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震動シミュレーションを実施する。

⑤研究題目 2 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に招いし、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。

(2) 研究題目 3「コロンビアにおける強震動被害予測」
防災情報グループ（リーダー：松岡昌志）

① 研究題目 3 当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

観測記録に基づく即時被害推定およびシナリオ地震の被害推定には地盤の増幅特性を明らかにすると共に地震動の周期特性（加速度応答スペクトル）の評価が重要になる（PDM: Output3, Activity3.1）。前年度にて、SGC および IDIGER による強震観測網で得られた地震の記録を解析し、Vs30 を指標とした応答スペクトルの増幅率を推定する経験式を構築したが、本年度は最大地表加速度（PGA）と最大地表速度（PGV）の増幅度推定式を構築した。まず、ボゴタの強震観測網で得られた 1999 年から 2015 年までの 6 地震の記録を解析し、表面波が卓越する浅い震源の地震（Surface wave type）と実体波が卓越する深い震源（Body wave type）の地震の 2 タイプに分けた。そして、既往の距離減衰式から求めた Vs30 が 550 (m/s) 相当の基盤での応答スペクトルと、応答スペクトルの卓越周期を用いて、Booth (J. Earthquake Engineering, 2007)の方法により基盤での PGA, PGV を推定し、観測記録の PGA, PGV との比をとることでそれぞれの増幅度を計算した。図 3-1 には 2 タイプの地震の PGA と PGV それぞれの増幅度と地表の Vs30 との関係を示す。PGA は両者の相関が低いが、PGV は比較的相関が高い。ここで得られた経験式と日本の強震記録から求めた経験式は概ね対応するが、震源が浅い地震における PGA の増幅度は日本での経験式に比べると小さい（図 3-2）。これらの研究は、ボゴタにおける地震動の PGA と PGV の Vs30 を介した増幅特性を初めて明らかにしたものである。また、ここで構築したボゴタの Vs30 に基づく PGA と PGV の増幅度モデルは、加速度応答スペクトルの増幅率モデルと同様に、以降に示す地震被害の即時推定システムに実装した。

ボゴタの地震被害の即時推定システムの開発に際して IDIGER が所有する被害推定システム（SEDAR）との連携を協議し、地震動マップ即時推定システム（QuiQuake）の要素技術をベースにコロンビア用のシステムを開発した。このシステムは SGC から地震発生のメールを受け取ると、その震源情報を参考にして IDIGER の強震観測記録サーバにアクセスして波形データを取得し、強震動グループが作成したボゴタの Vs30 マップおよび上述した増幅モデルを用いて、震源からの距離減衰特性を平均トレンドとした空間補間（kriging）により地表での地震動マップ（PGA, PGV, 加速度応答スペクトル）を自動推定する。さらに、推定した加速度応答スペクトルの値を被害関数（vulnerability function）に入力して損害率を計算し、個々の建物の価値に乗じることで損害（repair cost）を計算して可視化する。これらの処理を完全自動化したシステムである（PDM: Output3, Activity3.2, Output4, Activity4.2）。被害関数はボゴタの建物の現況や脆弱性を考慮して、とくに組積造について詳細に分類し、さらに階数を考慮することで最終的には 29 種類にした。表 3-1 に 29 種類の建物の構造種別、一般的な高さ、固有周期を示す。また、図 3-3 には被害関数の例を示す。被害関数の横軸は、建物の固有周期における加速度応答スペクトルの値である。ボゴタの個々の建物の位置や価値、構造種別を整理した建物台帳データは、土地台帳、社会階級情報、現地調査を総合して作成した。ボゴタの全建物数は約 1,604 千棟、総価値は約 5.1×10^{14} ペソ（約 167,000 百万 USD、1 ペソ=0.00033USD 換算）である。なお、建物台帳データは 1 棟単位で正確に推定しているものではなく、街区単位での概略推定を按分したものであるため、地震動および被害推定システムにおける可視化の単位は 250 m メッシュに集約している。図 3-4 にボゴタ市の建物分布（価値表示）を示す。なお、1 棟単位の被害についても帳票形式で出力することにしている（図 3-5）。

地震被害即時推定システムはリアルタイムでの運用を想定したオンラインモードとシナリオ地震や過去の地震の再計算を想定したマニュアルモードを実装した。いずれのモードであっても波形データを取得した後に、約 1,604 千棟の建物の被害を推定するまで一般的なノート PC（SONY VAIO, Intel Core i7-5557U 3.1GHz, 16GB RAM, Windows 10 Pro）で約 1 分と非常に高速である。また、システムの運用や継続に係るコストの軽減のため、OS 以外は有償のソフトウェアを必要とせず、画像化や可視化については GDAL（Geospatial Data

Abstraction Library）や Open Street Map などの無料のライブラリーを用いていることが特長である。

本システムを2019年12月上旬にIDIGERの計算機にインストールしてオンラインモードでの運用を開始した。その 20 日後の 12 月 24 日 19 時 3 分に発生した Mesetas 地方の地震（Mw6.2）ではボゴタでも PGA が約 20（m/s^2）、PGV が約 2（m/s）の揺れを観測した。この地震の PGA、PGV、損害額のマップを図 3-6 に示す。総損害額は 268±119（百万 USD）になる。損害率に換算すると 0.08%～0.2%になる。この地震での実被害の情報は不明であり、被害額なども公開されていないことからも、本システムの推定結果は過大評価になっている可能性が高い。これは、図 3-3 に示す被害関数の特徴から、加速度応答スペクトルの値が小さくても損害率の値を持つため、個々の建物の損害はゼロにはならない。したがって、ボゴタの約 1,604 千棟の建物の損害額を累積すると大きな損害額になってしまう。個々の建物について、修復が必要なほどに被害が顕在化する範囲に閾値を設定し、その閾値を超えた建物について損害額を累積するようなキャリブレーションが今後必要になる。

本システムのマニュアルモードの事例として、2008 年 5 月 24 日の Quetame 地震（M_w 5.9）と 1917 年の大地震を想定した Servita 地震（M_w 7.0）を対象にボゴタの地震動と建物被害を推定した。後者は強震動グループが作成したシナリオ地震である。図 3-7 に Quetame 地震の PGA、PGV、損害額のマップを示す。図 3-8 には損害額マップの拡大図を示す。地震記録は IDIGER の強震観測波形を用いている。表 3-2 には地域ごと、表 3-3 には建物種別ごとの被害推定結果を示す。総損害額は 663±405（百万 USD）になり、損害率は 0.1%～0.6%になる。上述のように損害額や被害額の推定は過大評価になっている可能性があるが、地域ごと、建物種別ごとの相対的な脆弱性は評価可能である。図 3-9 には固有周期ごとの加速度応答スペクトルの分布例を示す。ボゴタの盆地構造が長周期の応答に大きな影響を与えていることがわかる。

次に、1917 年の大地震を想定した Servita 地震（M_w 7.0）の被害を推定した。地震記録は以下の手順で計算した。

1. 強震動グループの 28 地点のシミュレーション波形（Vs30 が 500（m/s）相当の基盤での波形）から加速度応答スペクトルを計算
2. 加速度応答スペクトルの増幅率を乗じて地表での加速度応答スペクトルを計算
3. 2 で求めた加速度応答スペクトルをターゲットとして、基盤波形のフーリエスペクトル振幅を調整（位相スペクトルはそのまま用いる）して波形を作成
4. 3 で求めた地表波形の加速度応答スペクトルがターゲットの加速度応答スペクトルとほぼ一致することを確認

CCORP 観測点における基盤および地表で波形と加速度応答スペクトルを図 3-10 に示す。作成した波形を地震被害即時推定システムに入力して、Servita 地震の PGA、PGV、損害額のマップを計算した結果を図 3-11 に、図 3-12 には損害額マップの拡大図を示す。図 3-13 には固有周期ごとの加速度応答スペクトルの分布例を示す。表 3-4 には地域ごと、表 3-5 には建物種別ごとの被害推定結果を示す。総損害額は 9,472±4,461（百万 USD）になり、損害率は 3%～8%になる。中高層の Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls が約 15～50%と損害率が高い。また、Unreinforced Masonry Bearing Walls が 7%、Adobe が 20%と、これらの建物についても甚大な被害が発生する可能性がある。なお、2013 年に Los Andes 大学が実施した確率論的シナリオ（今回の Servita 地震に近い）による総損害額は 1,695（百万 USD）、損害率が 8%であることから、本研究で計算した損害率と概ね対応する。損害額が異なるのは建物価値が変わっている可能性がある。

コロンビアの地震動マップ生成情報の国際標準配信および SNS 配信システムについては、SeisComp の導入によってシステム変更された SGC の ShakeMap に対しても機能するよう Web Map Service（WMS）と位置情報付き RSS 情報の読み込み機能を改良した。そして、SGC の Amazon クラウドに実装して実運用を開始した（PDM: Output4, Activity4.2 & 4.3）。システム管理用のサイトを図 3-14 に示す。2019 年 12 月 24 日に発生した Mesetas 地方の地震（Mw6.2）の ShakeMap の WMS 画像を Google Earth に重畳した例を図 3-15 に示す。

また、SGC の facebook および Twitter に ShakeMap の計算結果と共に WMS へのリンクを載せた情報の配信を開始した（図 3-16）。SATREPS の活動およびコロンビアの防災情報を提供するポータルサイトを作成し、UNGRD の Web サイトから公開した（図 3-17）。

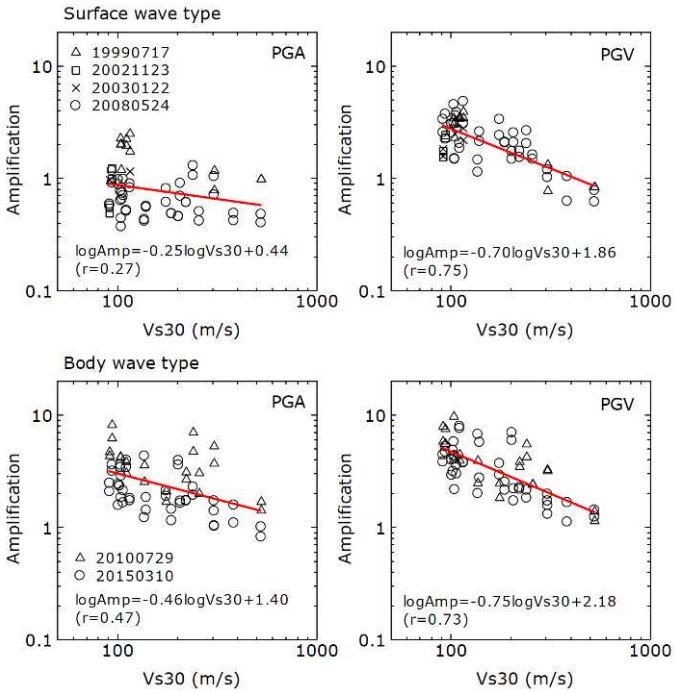


図 3-1. 地盤の平均 S 波速度（Vs30）と PGA、PGV 増幅度の関係、（上）浅い震源の地震、（下）深い震源の地震。

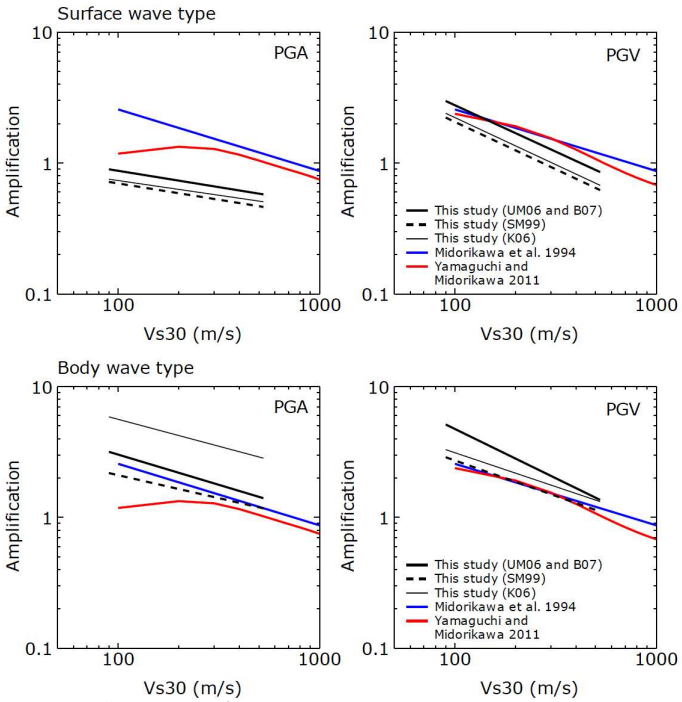


図 3-2. PGA、PGV 増幅度推定モデルの既往研究との比較、（上）浅い震源の地震、（下）深い震源の地震。

表 3-1.　ボゴタの建物の構造種別、一般的な高さと固有周期。

Structural Code	Description	Height (m)	Period (s)
ADOBE	Adobe	6.1	0.5
BOD_GRN	Steel Light Frame	4.57	0.4
BOD_PEQ	Steel Light Frame	4.57	0.4
MR1_3	Reinforced Masonry Bearing Walls with Wood or Metal Deck Diaphragms	6.1	0.35
MR_3	Reinforced Masonry Bearing Walls with Wood or Metal Deck Diaphragms	6.1	0.35
MS1_3	Unreinforced Masonry Bearing Walls	4.57	0.35
MR4_5	Reinforced Masonry Bearing Walls with Wood or Metal Deck Diaphragms	15.24	0.56
MSC1_3	Unreinforced Masonry Bearing Walls	10.67	0.5
MSC4_5	Unreinforced Masonry Bearing Walls	10.67	0.5
PCRDES1_3	Concrete Moment Frames	6.1	0.4
PCRDES4_5	Concrete Moment Frames	15.24	0.75
PCRDMI1_3	Concrete Moment Frames	6.1	0.4
PCRDMI4_5	Concrete Moment Frames	15.24	0.75
PCRDMO1_3	Concrete Moment Frames	6.1	0.4
PCRDMO4_5	Concrete Moment Frames	15.24	0.75
PCRDMO6_12	Concrete Moment Frames	36.58	1.45
PCRM_DES4_5	Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	15.24	0.56
PCRM_DES6_12	Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	36.58	1.09
PCRM_DMI4_5	Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	15.24	0.56
PCRM_DMI6_12	Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	36.58	1.09
PCRM_DMO4_5	Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	15.24	0.56
PCRM_DMO6_12	Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	36.58	1.09
PCRM_DMO12_20	Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	56	1.76
PrFC4_5	Precast Concrete Tilt-Up Walls	15.24	0.56
PRT_CER_MUR	Reinforced Concrete Frames and Steel Truss Girder (Warehouses)	4.57	0.32
SC12_20	Reinforced Concrete Frames and Concrete Shear Walls	56	1.76
SC_20	Reinforced Concrete Frames and Concrete Shear Walls	65	2.01
SC4_6	Reinforced Concrete Frames and Concrete Shear Walls	15.24	0.56
SC6_12	Reinforced Concrete Frames and Concrete Shear Walls	36.58	1.09

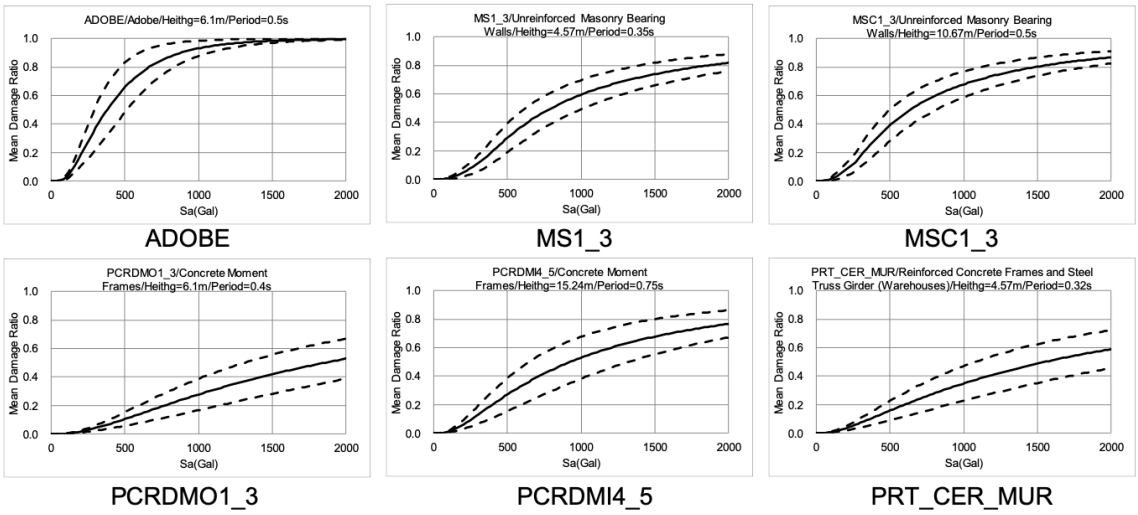


図 3-3.　被害関数の例。

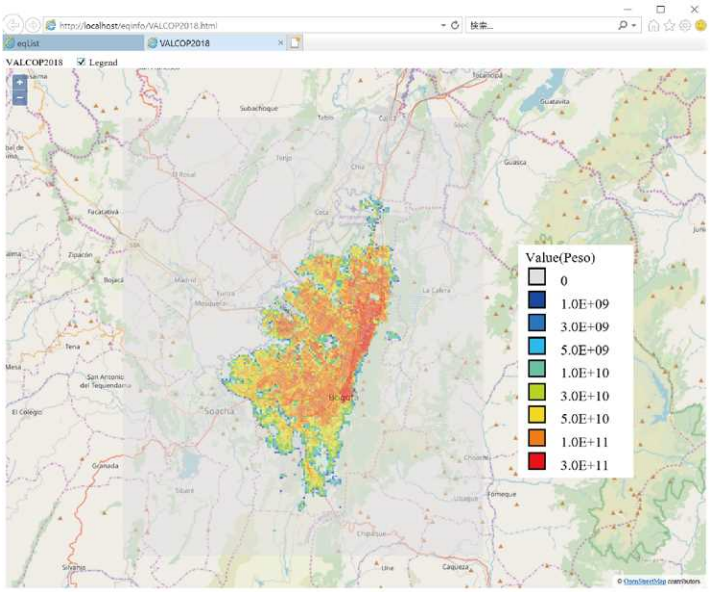


図 3-4.　ボゴタの建物価値の分布。（© OpenStreetMap contributors）

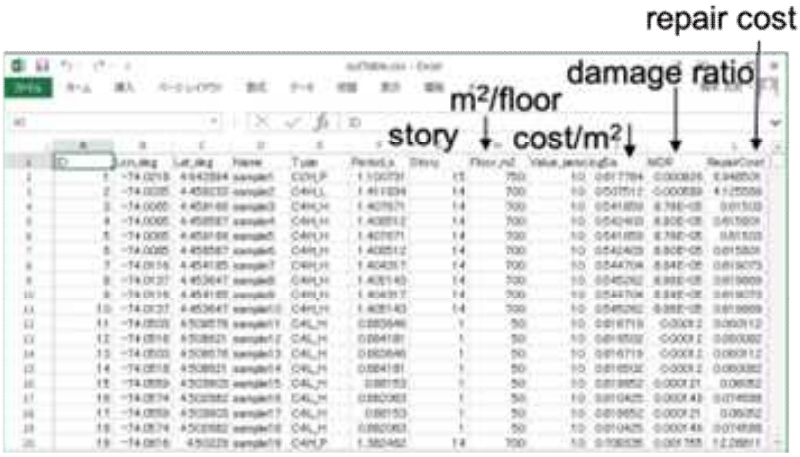


図 3-5.　地震被害推定システムの帳票出力の一例（建物台帳および被害推定）。

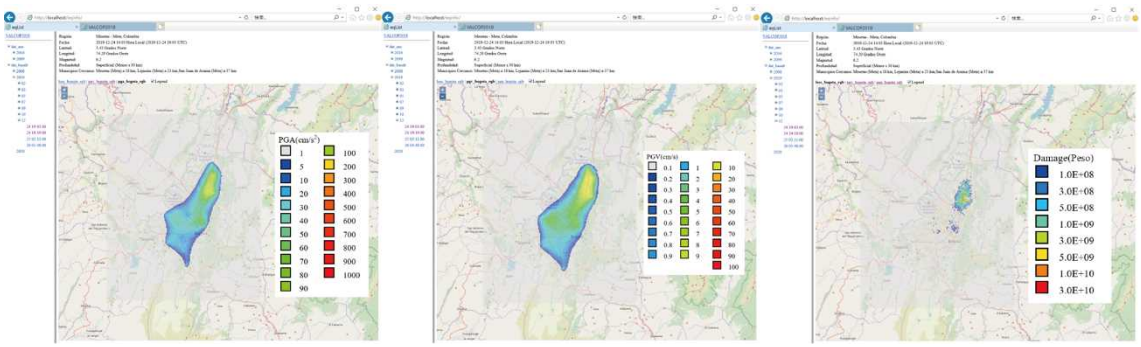


図 3-6.　2019 年 12 月 24 日の Mesetas 地方の地震（Mw6.2）の地震動および被害推定、（左）PGA、（中央）PGV、（右）損害額。（© OpenStreetMap contributors）

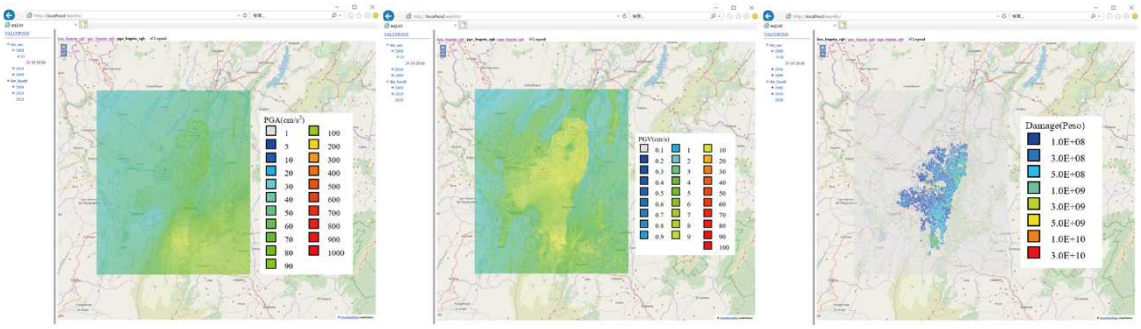


図 3-7.　2008 年 5 月 24 日の Quetame 地震（Mw5.9）の地震動および被害推定、（左）PGA、（中央）PGV、（右）損害額。（© OpenStreetMap contributors）

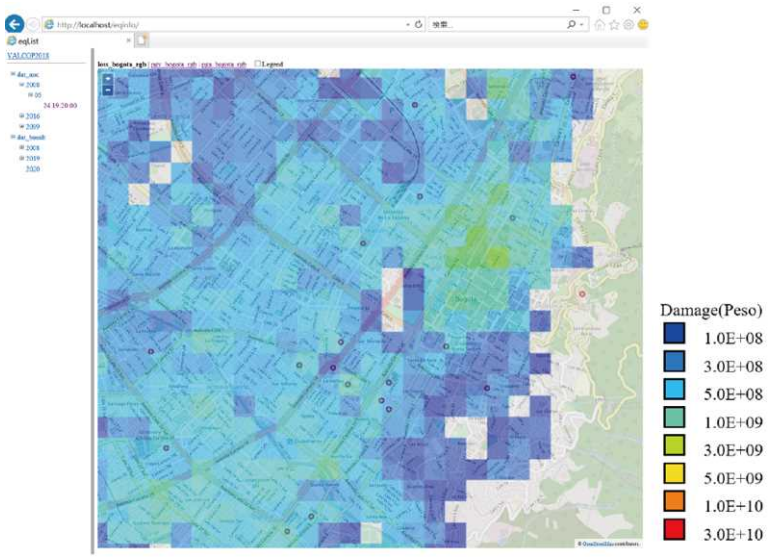


図 3-8．2008 年 5 月 24 日の Quetame 地震（Mw5.9）の推定損害額の分布（拡大）。（© OpenStreetMap contributors）

表 3-2.　2008 年 5 月 24 日の Quetame 地震（Mw5.9）の地域ごとの推定被害。

Area	No. of buildings (thousand)	Value (million USD)	Repair cost - mean (million USD)	Repair cost -sd (million DSD)	Loss ratio (mean)
ANTONIO NARINO	28	3,365	14	10	0.004
BARRIOS UNIDOS	56	6,739	22	15	0.003
BOSA	131	5,093	19	15	0.004
CANDELARIA	6	1,571	7	4	0.004
CHAPINERO	33	13,982	47	21	0.003
CIUDAD BOLIVAR	126	4,622	8	6	0.002
ENGATIVA	186	16,694	43	33	0.003
FONTIBON	65	11,198	51	21	0.005
KENNEDY	198	16,506	45	28	0.003
LOS MARTIRES	27	4,738	17	10	0.004
PUENTE ARANDA	86	10,540	25	18	0.002
RAFAEL URIBE URIBE	93	5,910	32	25	0.005
SANTA FE	26	4,389	15	9	0.004
SAN CRISTOBAL	101	4,195	37	27	0.009
SUBA	200	24,352	84	50	0.004
TEUSAQUILLO	38	8,022	28	17	0.004
TUNJUELITO	40	3,240	8	6	0.002
USAQUEN	87	21,949	88	46	0.004
USME	77	2,482	74	45	0.030
TOTAL	1,604	169,587	663	405	0.004

表 3-3.　2008 年 5 月 24 日の Quetame 地震（Mw5.9）の建物構造種別ごとの推定被害。

Structural Code	No. of buildings	Value (million USD)	Repair cost -mean (million USD)	Repair cost -sd (million DSD)	Loss ratio (mean)
ADOBE	19,192	1,358	16	11	0.012
BOD_GRN	30,944	6,795	18	7	0.003
BOD_PEQ	42,022	7,447	32	13	0.004
MR1_3	205,993	31,995	74	36	0.002
MR_3	206	201	1	0	0.003
MS1_3	588,952	30,406	57	53	0.002
MR4_5	15,644	3,924	5	1	0.001
MSC1_3	597,307	38,913	256	213	0.007
MSC4_5	26,912	4,517	25	22	0.006
PCRDES1_3	0	0	0	0	0.000
PCRDES4_5	0	0	0	0	0.000
PCRDMI1_3	252	95	0	0	0.001
PCRDMI4_5	63	65	0	0	0.001
PCRDMO1_3	14,942	6,956	4	0	0.001
PCRDMO4_5	5,189	3,077	0	0	0.000
PCRDMO6_12	3,307	4,161	24	9	0.006
PCRM_DES4_5	1,389	1,172	0	0	0.000
PCRM_DES6_12	1,364	2,022	6	1	0.003
PCRM_DMI4_5	10,298	3,646	11	3	0.003
PCRM_DMI6_12	587	585	12	5	0.021
PCRM_DMO4_5	9,903	5,157	4	0	0.001
PCRM_DMO6_12	4,475	6,899	47	12	0.007
PCRM_DMO12_20	489	1,415	65	18	0.046
PrFC4_5	12,552	2,719	0	0	0.000
PRT_CER_MUR	11,057	4,609	2	0	0.000
SC12_20	0	0	0	0	0.000
SC_20	46	172	2	0	0.009
SC4_6	0	0	0	0	0.000
SC6_12	573	1,279	2	0	0.001
TOTAL	1,603,658	169,585	663	405	0.004

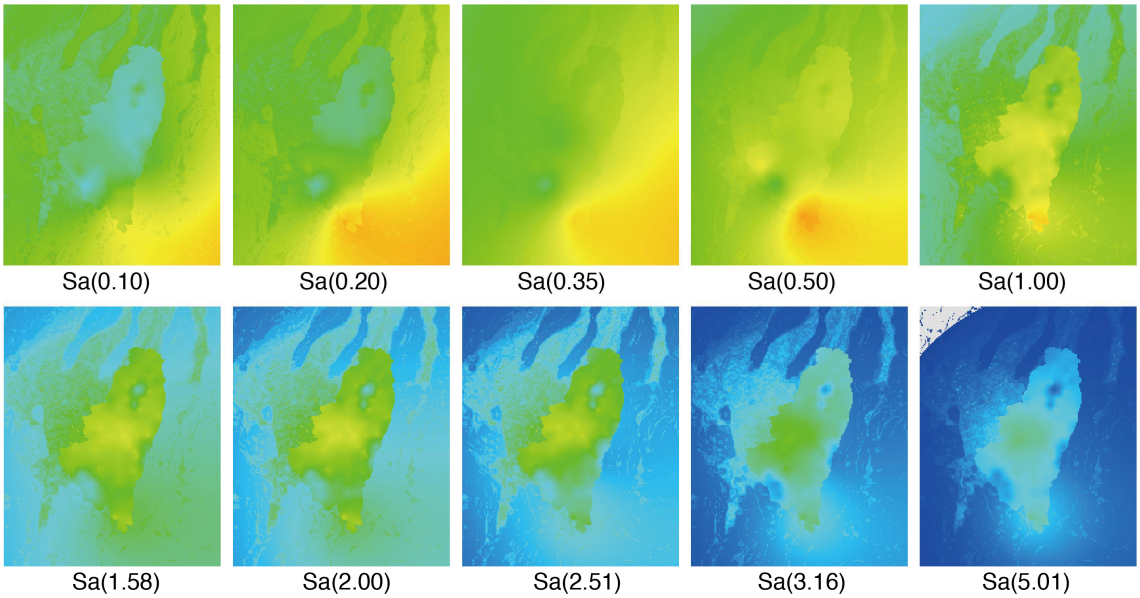


図 3-9.　2008 年 5 月 24 日の Quetame 地震（Mw5.9）の加速度応答スペクトル分布。

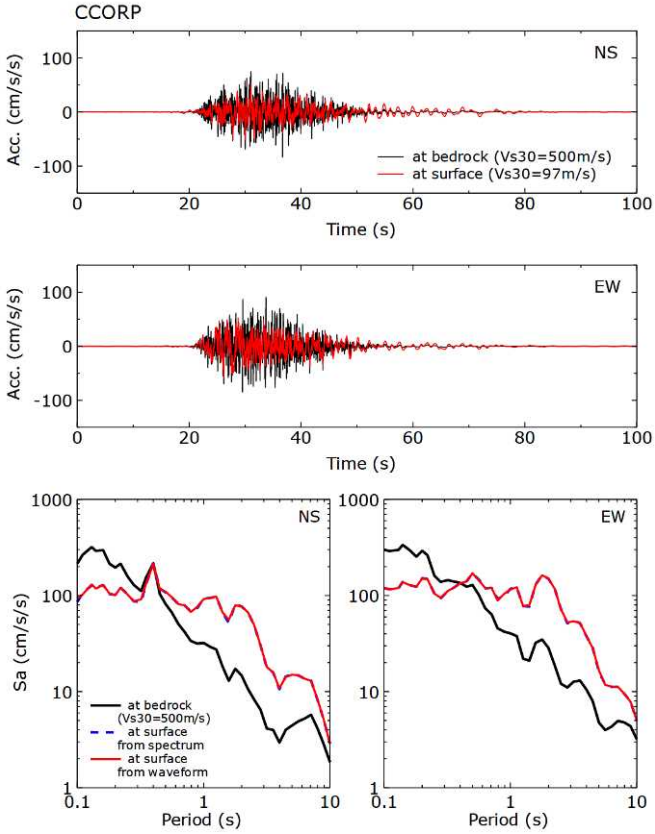


図 3-10.　Servita 地震（Mw7.0）の CCORP 観測点におけるシミュレーション波形。

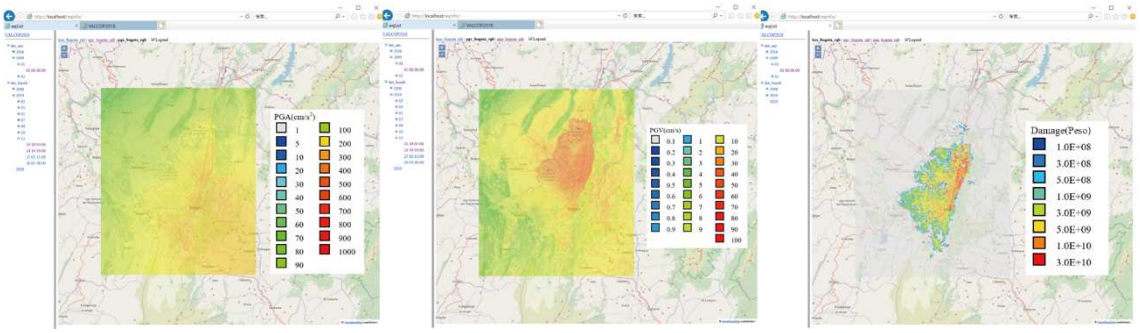


図 3-11. Servita 地震（Mw7.0）の地震動および被害推定、（左）PGA、（中央）PGV、（右）損害額。（© OpenStreetMap contributors）

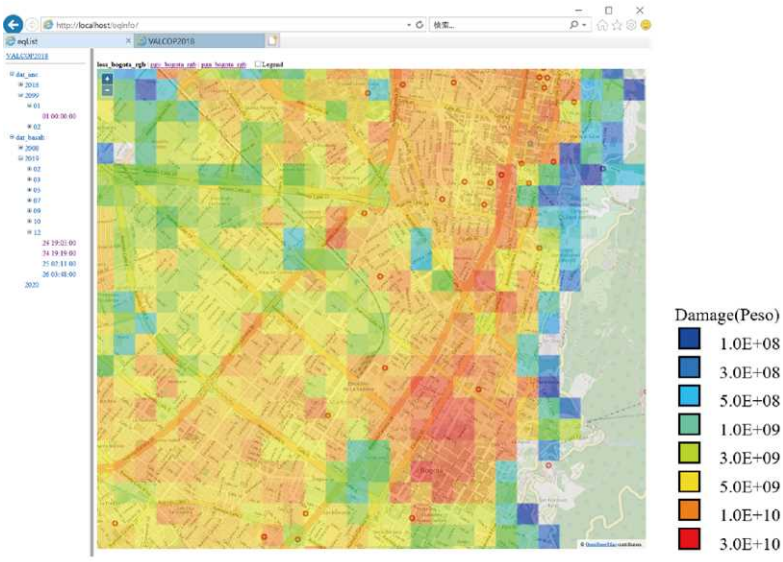


図 3-12. Servita 地震（Mw7.0）の推定損害額の分布（拡大）。
（© OpenStreetMap contributors）

表 3-4. Servita 地震（Mw7.0）の地域ごとの推定被害。

Area	No. of buildings (thousand)	Value (million USD)	Repair cost - mean (million USD)	Repair cost -sd (million DSD)	Loss ratio (mean)
ANTONIO NARINO	28	3,365	174	95	0.052
BARRIOS UNIDOS	56	6,739	364	194	0.054
BOSA	131	5,093	162	102	0.032
CANDELARIA	6	1,571	109	51	0.069
CHAPINERO	33	13,982	1,038	414	0.074
CIUDAD BOLIVAR	126	4,622	200	119	0.043
ENGATIVA	186	16,694	592	337	0.036
FONTIBON	65	11,198	471	233	0.042
KENNEDY	198	16,506	610	345	0.037
LOS MARTIRES	27	4,738	235	123	0.050
PUENTE ARANDA	86	10,540	438	245	0.042
RAFAEL URIBE URIBE	93	5,910	313	177	0.053
SANTA FE	26	4,389	234	115	0.053
SAN CRISTOBAL	101	4,195	257	142	0.061
SUBA	200	24,352	1,458	591	0.060
TEUSAQUILLO	38	8,022	476	239	0.059
TUNJUELITO	40	3,240	133	76	0.041
USAQUEN	87	21,949	2,047	776	0.093
USME	77	2,482	160	88	0.064
TOTAL	1,604	169,587	9,472	4,461	0.056

表 3-5.　Servita 地震（Mw7.0）の建物構造種別ごとの推定被害。

Structural Code	No. of buildings	Value (million USD)	Repair cost -mean (million USD)	Repair cost -sd (million DSD)	Loss ratio (mean)
ADOBE	19,192	1,358	264	114	0.195
BOD_GRN	30,944	6,795	230	104	0.034
BOD_PEQ	42,022	7,447	315	148	0.042
MR1_3	205,993	31,995	1,012	599	0.032
MR_3	206	201	7	4	0.033
MS1_3	588,952	30,406	958	661	0.032
MR4_5	15,644	3,924	70	33	0.018
MSC1_3	597,307	38,913	2,794	1,563	0.072
MSC4_5	26,912	4,517	316	178	0.070
PCRDES1_3	0	0	0	0	0.000
PCRDES4_5	0	0	0	0	0.000
PCRDMI1_3	252	95	1	1	0.015
PCRDMI4_5	63	65	4	2	0.062
PCRDMO1_3	14,942	6,956	97	38	0.014
PCRDMO4_5	5,189	3,077	102	42	0.033
PCRDMO6_12	3,307	4,161	591	263	0.142
PCRM_DES4_5	1,389	1,172	29	5	0.025
PCRM_DES6_12	1,364	2,022	234	54	0.116
PCRM_DMI4_5	10,298	3,646	164	53	0.045
PCRM_DMI6_12	587	585	115	39	0.196
PCRM_DMO4_5	9,903	5,157	103	23	0.020
PCRM_DMO6_12	4,475	6,899	1,023	294	0.148
PCRM_DMO12_20	489	1,415	734	116	0.519
PrFC4_5	12,552	2,719	24	11	0.009
PRT_CER_MUR	11,057	4,609	119	53	0.026
SC12_20	0	0	0	0	0.000
SC_20	46	172	33	11	0.190
SC4_6	0	0	0	0	0.000
SC6_12	573	1,279	130	53	0.102
TOTAL	1,603,658	169,585	9,472	4,461	0.056

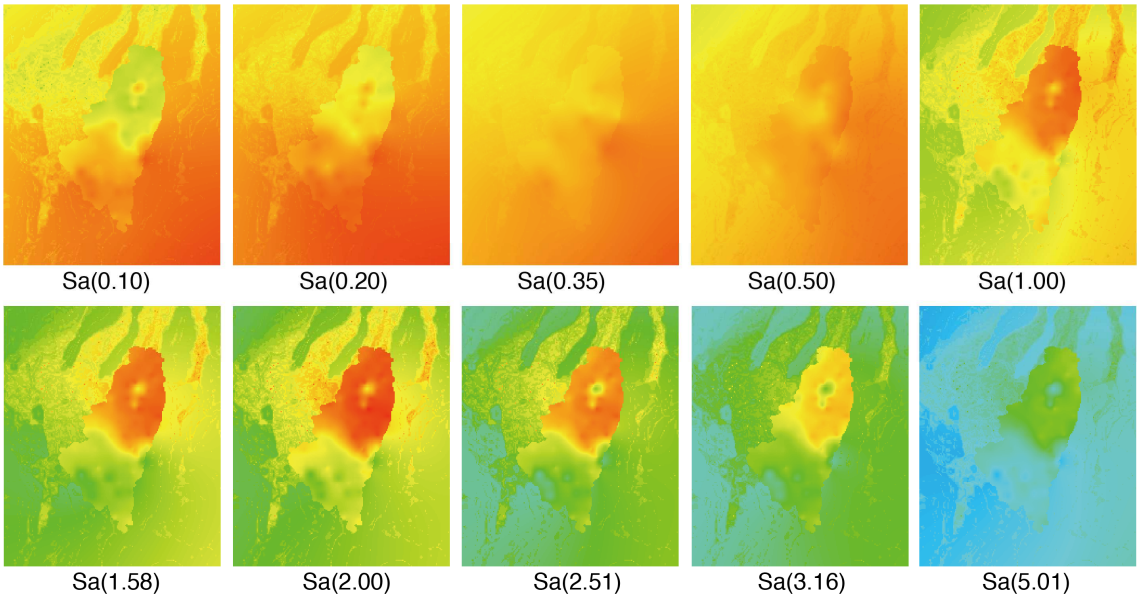
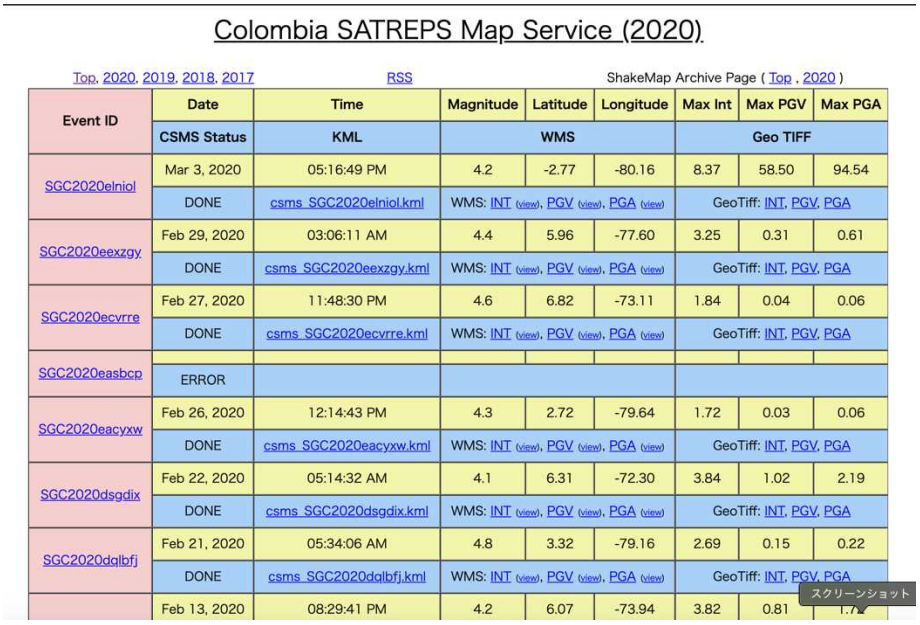


図 3-13. Servita 地震（Mw7.0）の加速度応答スペクトル分布



Colombia SATREPS Map Service (2020)

Top, 2020, 2019, 2018, 2017 RSS ShakeMap Archive Page (Top , 2020)

Event ID	Date	Time	Magnitude	Latitude	Longitude	Max Int	Max PGV	Max PGA
	CSMS Status	KML	WMS			Geo TIFF		
SGC2020elniol	Mar 3, 2020	05:16:49 PM	4.2	-2.77	-80.16	8.37	58.50	94.54
	DONE	csms_SGC2020elniol.kml	WMS: INT (view), PGV (view), PGA (view)			GeoTiff: INT, PGV, PGA		
SGC2020eexzgy	Feb 29, 2020	03:06:11 AM	4.4	5.96	-77.60	3.25	0.31	0.61
	DONE	csms_SGC2020eexzgy.kml	WMS: INT (view), PGV (view), PGA (view)			GeoTiff: INT, PGV, PGA		
SGC2020ecvrre	Feb 27, 2020	11:48:30 PM	4.6	6.82	-73.11	1.84	0.04	0.06
	DONE	csms_SGC2020ecvrre.kml	WMS: INT (view), PGV (view), PGA (view)			GeoTiff: INT, PGV, PGA		
SGC2020easbcp	ERROR							
SGC2020eacyxw	Feb 26, 2020	12:14:43 PM	4.3	2.72	-79.64	1.72	0.03	0.06
	DONE	csms_SGC2020eacyxw.kml	WMS: INT (view), PGV (view), PGA (view)			GeoTiff: INT, PGV, PGA		
SGC2020dsgdix	Feb 22, 2020	05:14:32 AM	4.1	6.31	-72.30	3.84	1.02	2.19
	DONE	csms_SGC2020dsgdix.kml	WMS: INT (view), PGV (view), PGA (view)			GeoTiff: INT, PGV, PGA		
SGC2020dqlbfj	Feb 21, 2020	05:34:06 AM	4.8	3.32	-79.16	2.69	0.15	0.22
	DONE	csms_SGC2020dqlbfj.kml	WMS: INT (view), PGV (view), PGA (view)			GeoTiff: INT, PGV, PGA		
	Feb 13, 2020	08:29:41 PM	4.2	6.07	-73.94	3.82	0.81	1.7

スクリーンショット

図 3-14. SGC ShakeMap の WMS 配信の管理用サイト。

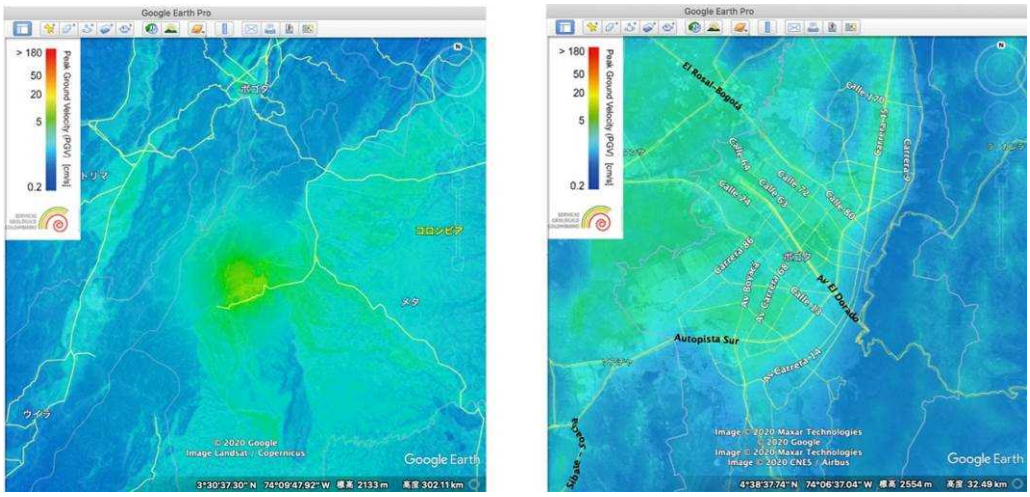


図 3-15. 2019 年 12 月 24 日の Mesetas 地方の地震（Mw6.2）の ShakeMap WMS を Google Earth に重畳した例、（左）PGV 分布、（右）ボゴタの PGV 分布。

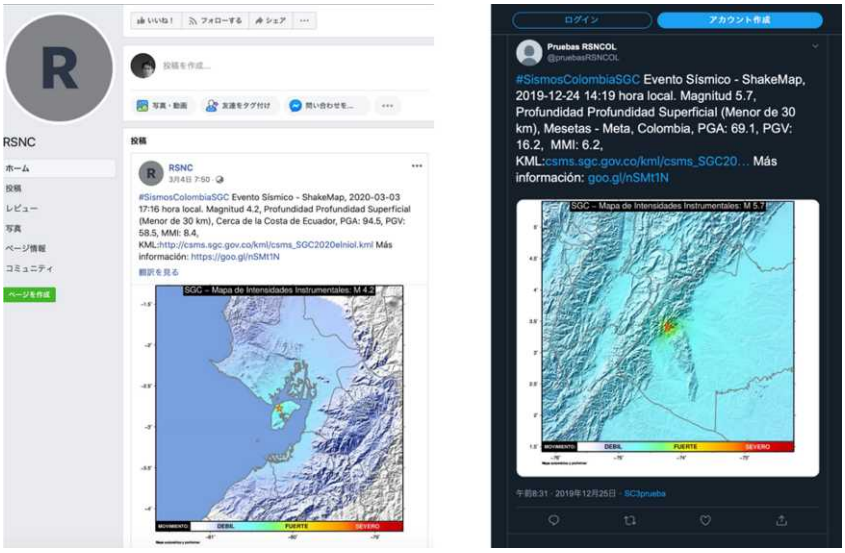


図 3-16. SGC の SNS 配信、（左）facebook、（右）twitter。

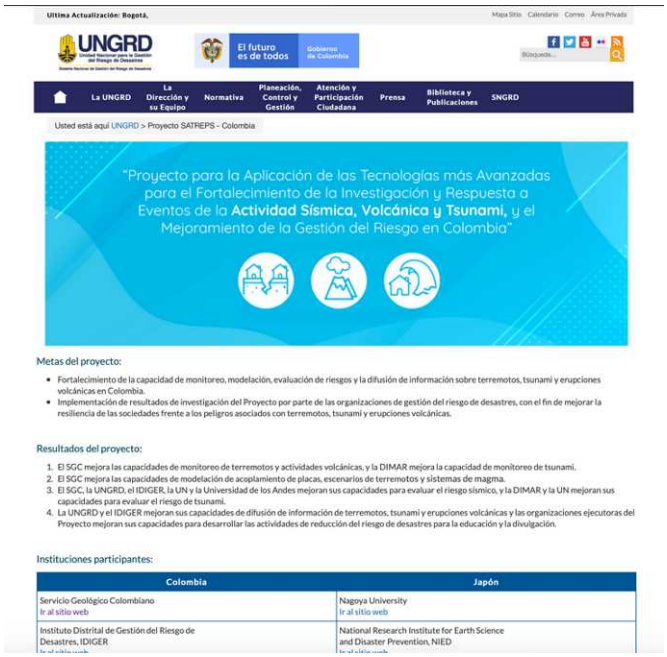


図 3-17. UNGRD のポータルサイト。

② 研究題目 3 カウンターパートへの技術移転の状況

ボゴタ市の建物台帳および被害関数を構築しているコロンビアの関係機関の研究者を研修に迎えて、これらのデータを活用した地震動および建物被害分布を即時推定する手法を教示した。この手法を実装した地震動と被害の即時推定システムを IDIGER の計算機にインストールし、2019 年 12 月より運用を開始した。また、IDIGER と SGC にて観測された既往の強震記録に基づき、ボゴタ市の PGA、PGV、加速度応答スペクトルの地盤増幅特性について明らかにし、共同執筆の論文がアメリカ地震学会の論文誌に出版された。

ShakeMap を地理空間情報の国際標準で配信するシステムを開発し、システムを SGC の Amazon クラウドに移管して、システムの仕組みや運用に関して技術教示し、2019 年 12 月より実運用を開始した。

③ 研究題目 3 当初計画では想定されていなかった新たな展開

ボゴタの被害推定システムについては、既存のシステム（SEDAR）の差し替えをするのではなく、QuiQuake をベースにしたシステムを新たに開発して両システムを連携して運用することで、発災時に冗長的に機能することにした。

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た。

SGC が運用している ShakeMap システムの構成（ハードウェアやデータの格納場所など）が頻繁に変更されるため、本プロジェクトで開発している国際標準配信システムが ShakeMap のデータを参照できないエラーが発生しているが、先方との調整により対応を進めた。

④ 研究題目 3 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間処理に基づく地表最大加速度（PGA）、地表最大速度（PGV）、加速度応答スペクトル等の地震動マップを自動計算する。さらに、ボゴタ市については建物被害の損害額を推定するリスクマップを自動かつ高速に計算する。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 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建物被害の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)地盤の平均 *S* 波速度（Vs30）に基づくボゴタの地盤増幅特定の評価、2) SGC ShakeMap の国際標準配信、3) ボゴタ市内の地震動と建物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。

(3) 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 当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト
津波グループの当初計画に基づき、以下の 3 つの課題に取り組んだ。
1) 津波浸水予測技術の移転と標準化
2) コロンビア沿岸部における津波浸水想定と被害評価
3) マルチエージェントシミュレーションと浸水予測の融合による避難方策への活用
これら 3 つの項目について、以下の通り成果をまとめる。

1) 津波浸水予測技術の移転と標準化
DIMAR および UN からの研修生を東北大学に受け入れ，我が国の津波浸水予測の標準的な手法である、差分法による津波伝播・遡上シミュレーションモデルの技術移転を行った。これにより，DIMAR による津波浸水予測技術の標準化が果たされ、データベース型津波警報システム構築に向けた基盤が整った。また、浸水予測結果は、UN の被害予測チームに引き継がれ、建物被害予測手法の高度化研究の実施が可能になった。
シミュレーションの検証としては、既往地震津波を再現できる数値モデルの構築を行うとともに、津波波形インバージョン解析により、1979 年 Tumaco 地震津波の波源モデルの再構築を行った（図 4-1 と 4-2）。津波観測波形を説明するためには、南北 250 km におよぶ断層面において，最大 2.9 m の局所的な滑りが発生していたことが分かった。このような検証を通じてモデルの信頼度を確保し、コロンビアの津波リスク評価を進めていく体制を整備することができた。
さらに、コロンビア太平洋岸における津波浸水予測技術の高度化と浸水予測の更新を果たすため、海域・陸域の水深・標高メッシュデータを整備・更新し、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。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 4-3）。津波浸水予測については、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。津波浸水予測結果は、浸水状況の理解を促進するための可視化手法を検討し、衛星画像と建物データを背景とした 3 次元表示のシミュレーション可視化手法を構築した（図 4-4）。
一方，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、追加解析により明らかになった（図 4-5）。この解析結果を踏まえ、San Andrés 島の津波リスクはさほど高くないものの、対策については今後コロンビア側で協議することとした。

2) コロンビア沿岸部における津波浸水想定と被害評価
課題 1）の結果を利用して、太平洋岸の Tumaco を対象領域として、津波被害評価手法の確立に取り組んだ。まず、衛星画像、現地調査、Google ストリートビューにより建物データを更新した（図 4-6）。これにより、津波浸水シミュレーションを用いた建物被害の量的推定が可能になった。この建物情報から構造モデルを構築して、津波作用力に対する耐力の構造解析を実施した（図 4-7）。入力する津波の浸水深と流速から作用力を計算し、力学

モデルの解析を通じて建物の耐力を評価することが可能となった。複数の建物構造パラメータと津波波形の入力のパラメータにより、建物の耐力、被害の有無・程度と浸水深の関係をまとめ、津波被害関数を構築した。実際の津波被害データに基づく経験則としての津波被害関数（Empirical Tsunami Fragility Curve）ではなく、理論的に導出される津波被害関数（Analytical Fragility Curve）を構築することができた（図 4-8）。これにより、過去の津波被害データが十分に整備されていないコロンビアにおいても被害評価を行うことが可能になった。

3) マルチエージェントシミュレーションと浸水予測の融合による避難方策への活用

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 4-9）。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。具体的には、(i)想定津波浸水シナリオに対しての人的被害の予測、(ii)避難場所・避難用建物の特定、(ii)避難計画の改善、のプロセスを経て目標を達成する。UNGRD が毎年 Tumaco 地区での津波避難訓練を実施していることから、訓練シナリオへの組み込み、避難計画改善に向けたシミュレーション結果の開示および地域での協議を行う計画としている。

4) Tumaco における津波浸水想定と被害推定の更新

Pulido らによって提案されたシナリオ地震（図 2-11）に対する詳細な津波浸水予測を行い、津波浸水想定を更新した（図 4-10）。最悪の地震シナリオに対応した浸水想定は既往の浸水範囲を大きく上回る結果となった。浸水想定結果と津波被害関数を組み合わせて、建物被害想定の試作版を図 4-11 に示す。

本検討により、標準的な津波浸水予測手法の整備、津波被害関数による量的建物被害推定が可能となった。

5) データベース型津波予警報の整備

DIMAR では、太平洋側で発生する巨大地震を想定してデータベース型津波予報システムの開発に取り組んでいる。データベースは、SGC の運用する震源決定システムの震源情報に対して約 6000 件のデータベースから検索することとなっており、これが完成すれば、震源情報取得からの津波警報発出までの時間短縮が見込まれる。

現在、既往・想定地震シナリオに対するデータベースのフィージビリティの検証は終了し、検証終了後のオペレーションテストを経て DIMAR の新しい津波警報プロトコルに組み込まれる予定である（現時点では未定）。UNGRD とも協力体制が築かれており、研究終了時には一定の成果が期待できる（図 4-12）。

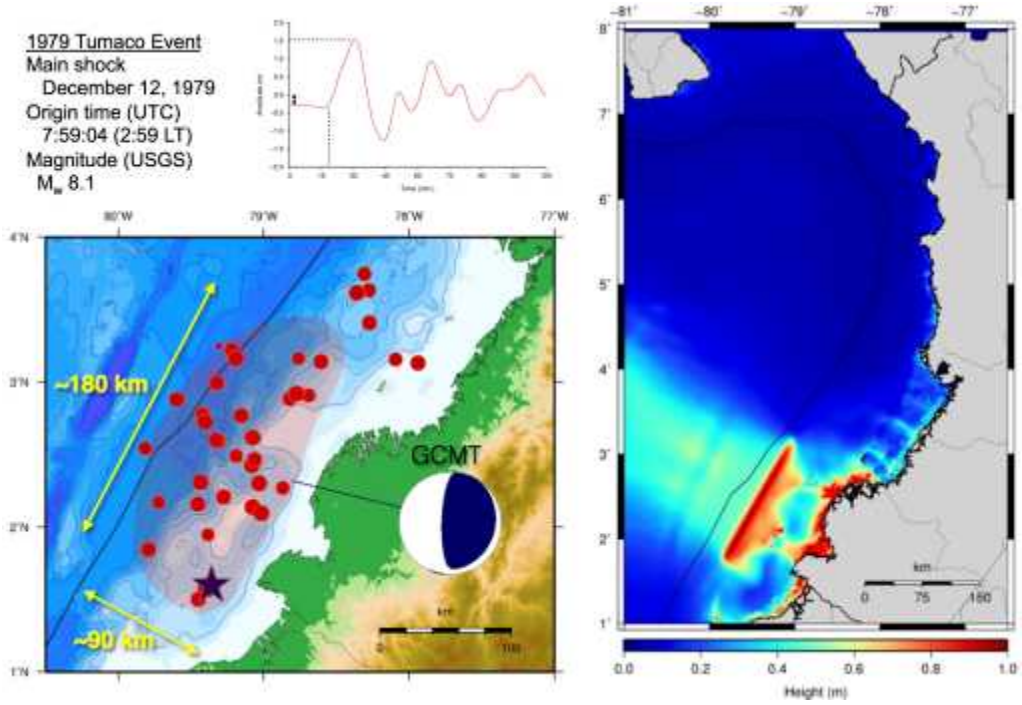


図 4-1. 解析技術移転の例題として実施した 1979 年 Tumaco 地震による津波のシミュレーション。

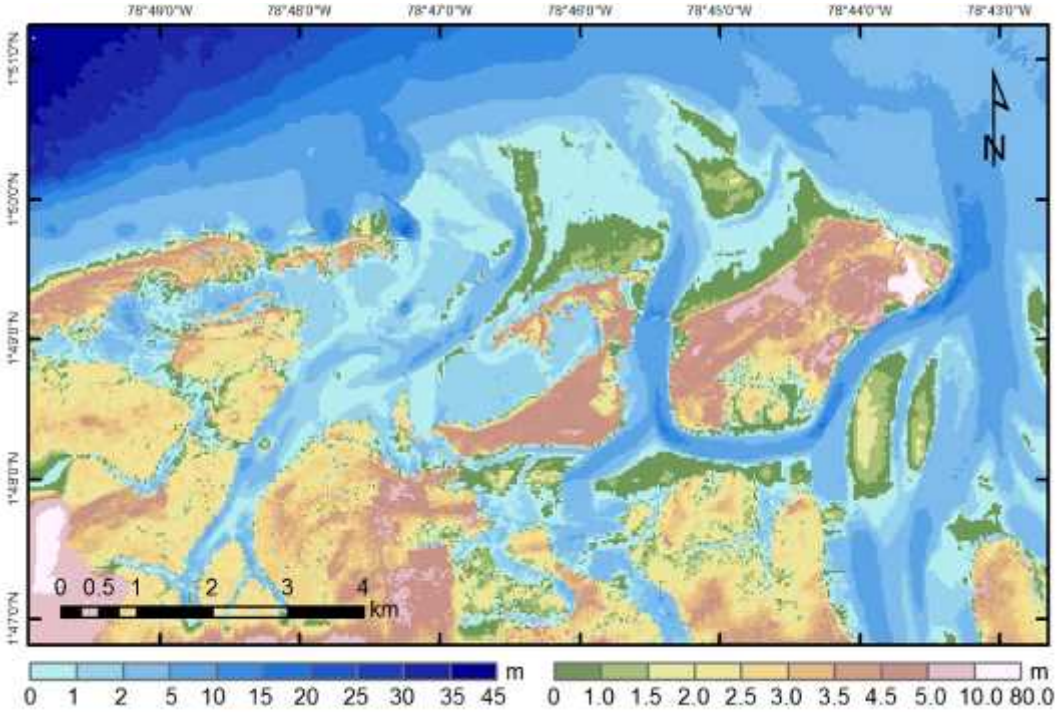


図 4-2. 浸水・被害リスク評価の対象 Tumaco の詳細地形データ。

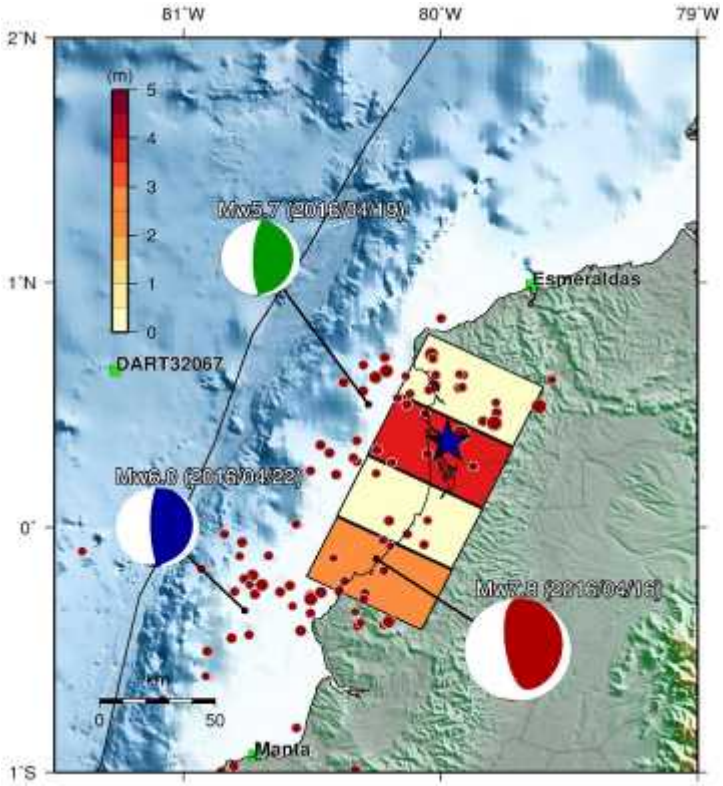


図 4-3. 津波波形インバージョンにより得られた 2016 年 Ecuador 地震の津波波源モデル。

図 4-4. 浸水予測シミュレーション可視化のためのアニメーション作成例。

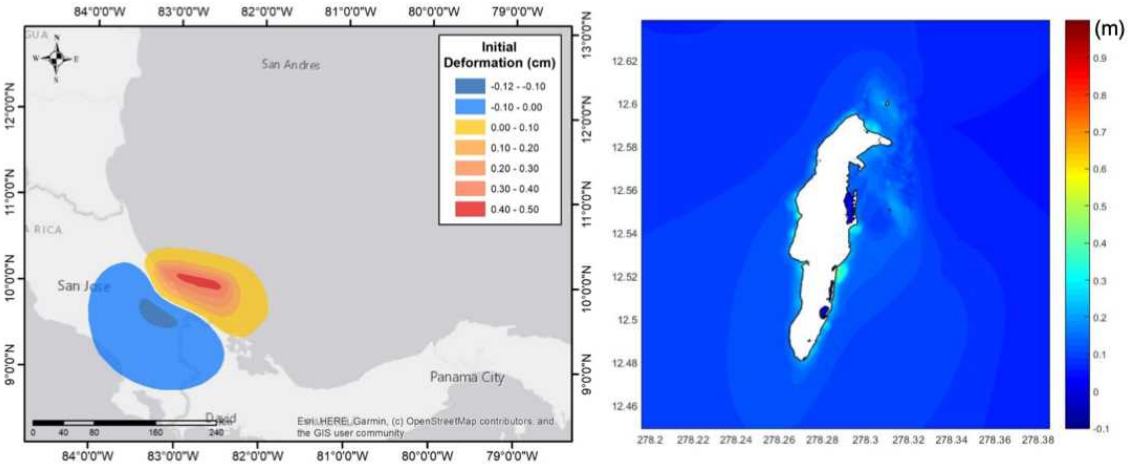


図 4-5.　San Andrés 島における津波高評価結果（1991 年 Costa Rica 地震（M_w 7.6）。

図 4-6. Tumaco における建物インベントリデータの作成。

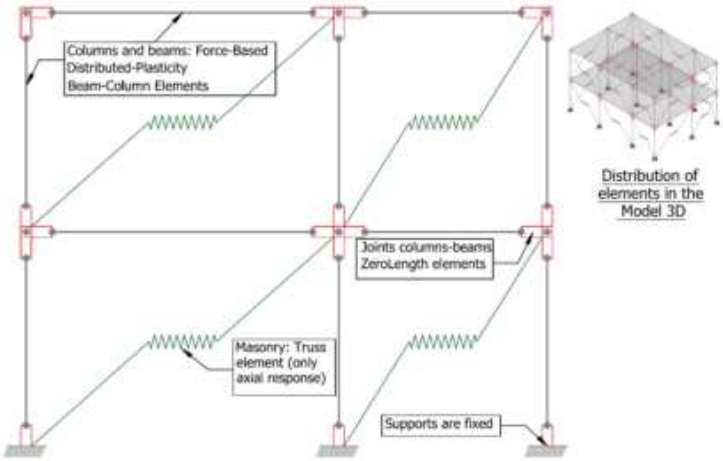


図 4-7.　津波への耐力と被害評価のための構造力学モデル。建物をモデル化することで、津波の作用力と建物の耐力を推定できるようになり、被害予測モデルの高度化を果たすことができる。

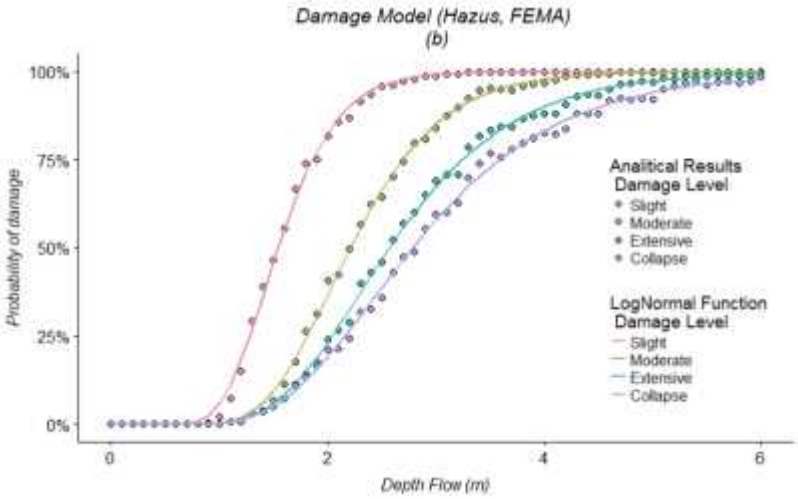


図 4-8.　津波被害関数の例。シミュレーションにより求まる津波浸水深を説明変数として建物被害率を求めることができ、被害の量的推計を行う。

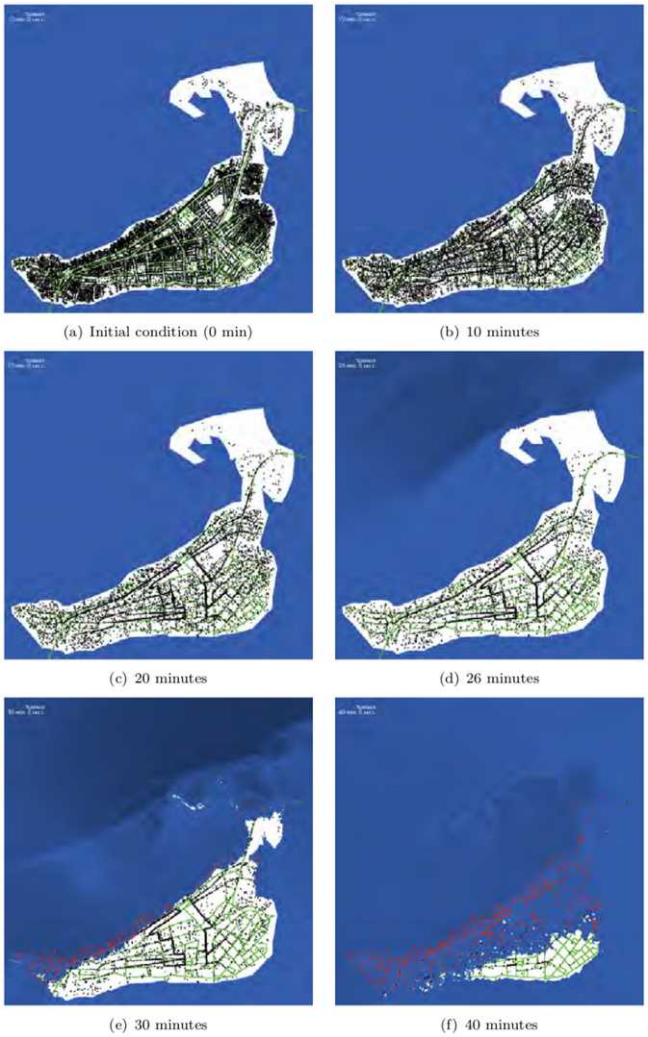


図 4-9. Tumaco を対象地域として開発したマルチエージェントシステムによる避難シミュレーション（浸水予測は図 4-10 に対応）

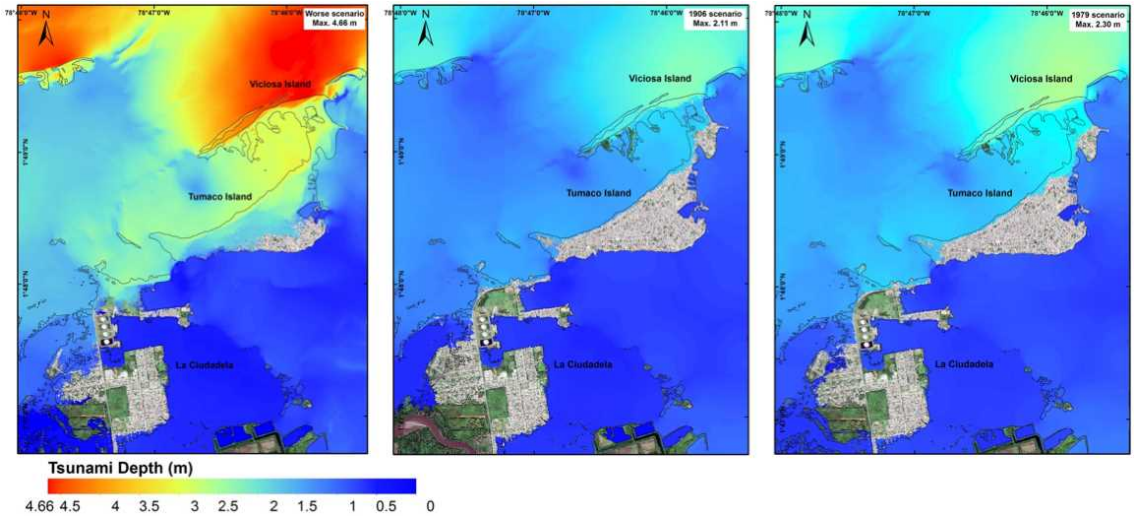


図 4-10. Tumaco における津波浸水想定結果（左 : Pulido らによる最悪シナリオ，1906 年，1979 年の既往イベント）

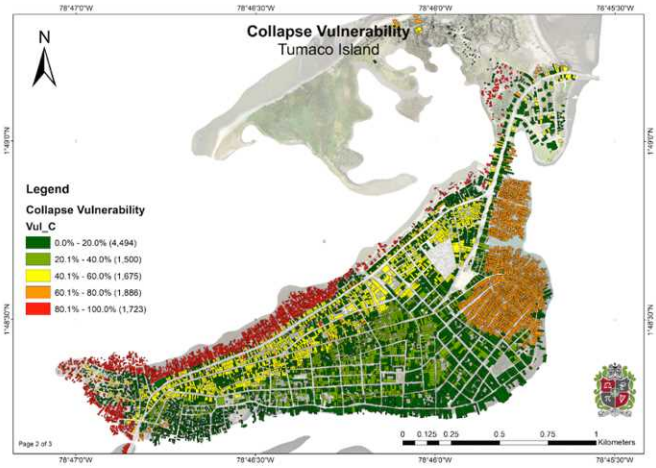


図 4-11. Tumaco における津波による建物被害推定結果（Pulido らによる最悪シナリオ）

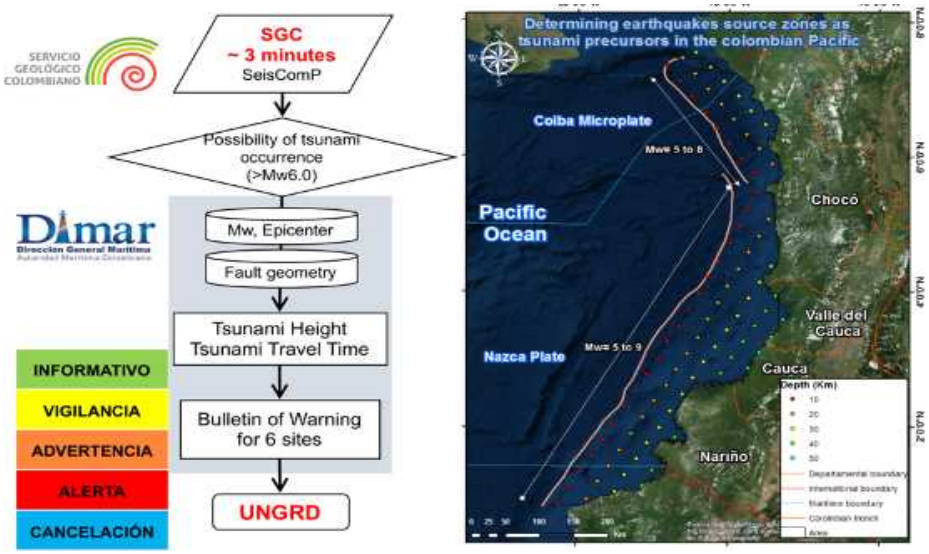


図 4-12. データベース型津波予測のための断層配置図と予報発令までのプロトコル検討。

②研究題目 4 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技術移転が終了している。津波数値計算技術移転の成果としては，DIMAR がデータベースに基づいた即時的津波予測手法を構築し、津波警報を発令するプロトコルに組み込むための検討を継続している。

③研究題目 4 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、カリブ海での津波予測について、San Andrés 島での追加解析の実施について 2017 年度 JCC において承認された。

④研究題目 4 の研究のねらい（参考）

ナスカプレートの沈み込みに伴う巨大地震による津波や、カリブプレートの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 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。

Ⅱ．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

カウンターパートが契約職員の場合、コロンビアの制度上の制約から 2 週間以上の共同研究を行えないという問題があったが、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、契約研究員についても長期の研修が可能となった。

SGC のカウンターパート研究員 2 名が SATREPS 枠と大学推薦枠の国費留学制度を用いて名古屋大学大学院環境学研究科の博士後期課程と博士前期課程に入学した。これにより人材の育成をより効率的に行えるようになった（PDM: Output1 & 2, Activities1.2, 1.4, 2.1, & 2.2）。なお国費留学の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。

新型コロナウイルスの影響で 2020 年 3 月に予定していた日本人専門家等の出張が取り止めとなり、国際ワークショップが開催できなくなるとともに、予定していた SWIFT および ASL システムの新しいサーバへの移行作業等が実施できなかった。

(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）

エクアドルで実施された 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」において、本プロジェクトに先立って広帯域強震計の導入を進めていたため、エクアドル地球物理研究所（IG）の技術者から設置技術の指導を受けて広帯域強震計の設置を行った（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）。SWIFT は IG にも JICA 技術協力プロジェクトを通して導入されており、IG において独自に SWIFT の改良を進めていた。そこで IG の研究者を SGC に招へいし、改良された SWIFT の共有を行った。その後 SGC においても SWIFT の改良を独自に進めている。今後も定期的に SGC と IG の研究者の交流を行い、改良点の共有を進めていく予定である（PDM: Output1, Activity1.2）。

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）。

コロンビア沈み込み帯における地震・地殻変動データの解析結果やプロジェクト対象火山のマグマモデルに関する研究結果を、コロンビアのカウンターパート研究員が中心となって論文としてまとめ国際誌に投稿・出版することが課題である。SGC の職員は業務が多く、研究成果を取りまとめるための時間を確保することが難しい場合があった。日本での研修を複数回行うことでそのための時間の確保した（PDM: Output1, Activity1.2）。

地殻変動グループ（リーダー：鷺谷威）

地殻変動の SGC 側のリーダーの引退が間近に迫っており、後継者の育成が喫緊の課題で

ある。しかしながら観測網の維持、諸外国の研究者との交流を持つ若手が少ないのが実情のため、本研究を通して若手に少しでも多くの経験を積ませることが重要である。SGC 側の若手研究者が大学推薦による国費留学生に採用され、2017 年 10 月に来日した。2019 年度は修士課程の 2 年に在籍しており、博士課程への進学が決まった。将来活動の中核を担えるよう意識した教育を行っており、長期にわたる協力関係の基礎を築くことができ、組織の将来を担う人材を育成できる可能性が広がった。これに加えて、SGC の GNSS グループのリーダーが論文博士により学位取得できるよう指導を行い、2019 年度に名古屋大学から論文博士学位を授与された。一方、SGC 側では人事異動が多く、GNSS グループの活動の持続可能性は依然として担保されておらず、SGC の基幹的な取り組みの一つとして、（契約ベースでない）正規職員を複数配置することが望まれる（PDM: Output2, Activity2.1）。

（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）
（強震動グループと関連する先方の参加機関が多く、スムーズなコミュニケーションをとるために英語を使用出来ない場合があり、スペイン語を中心となるやり取りがたびたびある。強震動グループのリーダ（プリード）はコロンビア出身でスペイン語を母国語としており、現地でのスムーズなコミュニケーションを行うための中心的な役割を果たしている。

コロンビア側の研究機関と協力してボゴタ盆地の速度地下構造モデルの構築を予定通りに行った。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」
強震動グループ（リーダー：松岡昌志）

ボゴタには建物構造や階数，築年数等に関して正確な建物台帳データは存在しない。そのため、今までの被害想定には UN と世界開発銀行等のプロジェクト（CAPRA）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、本プロジェクでは独自に構築する必要がある。すでに，IDIGER では簡便なアルゴリズムを用いた建物台帳データを整備しているが、今後は、SGC が中心となり , GEM（Global Earthquake Model）プロジェクトの枠組みを使って、より精度の高い建物台帳データを構築していく可能性が示されたが、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 の締結を行った（PDM: Output3, Activity3.2）。また、SATREPS 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調整を行った。

地震動および被害の即時推定システムに関連して、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）。

防災情報の発信に関連して、Google プラットフォームを活用した UNGRD からの情報発信については、例えば、地震については震源情報のみでは不十分で、Google 社が発信を許可しないため、通常のホームページから配信することにした。

以上のように、建物被害の推定には建物台帳データを整備する必要があるが、コロンビ

アのみならず多くの国や都市では数値化されたものがないのが現状である。そこで SATREPS では土地管理局が所有する土地台帳データを基盤とし、一部の地域においては現地調査を実施することで、建物構造種別や用途などを類推して、その類推モデルをボゴタ市全域に拡張する方法が UA により提案され、ボゴタ市の建物台帳データを整備した（PDM: Output3, Activity3.2）。類似の方法はペルーSATREPS プロジェクト（2010～2015）において、リマ市の建物台帳データ構築においても採用されており、大都市の建物台帳データ整備方法の標準手法となり得る。また、強震観測網あるいはシミュレーションによる強震動データが得られた場合の地震動分布および建物被害分布の即時推定システムの基本要素についても共通する部分が多いことから、本プロジェクトにて構築したシステムは他の国や都市に移管できる可能性が高い（PDM: Output4, Activity4.2）

（5）研究題目 4：「コロンビアにおける津波被害予測」
強震動グループ（リーダー：越村俊一）

南米諸国の津波対策に係る機関と共通した課題（文民研究者の確保）があった。DIMAR は少なくとも、2 名の若手の文民研究者をアサインし、津波についての総合的な知識を有する技術者を育成する機会を検討してもらう必要がある。日本における JICA 研修や国別研修を活用しながら、まずは津波解析・予測の専門家を育成することを継続していく。一方、SGC や UNGRD、UN の研究者にも、津波解析・予測技術の移転を進めることは望ましいと考える。特に SGC-DIMAR-UNGRD の連携と、Social Vulnerability を考慮した災害対応計画立案（災害対応のシナリオ作成、被害予測、ハザードマップ）や迅速な避難に向けての啓発活動（UN）について、4 者の連携をこれまで以上に強化することが必要である。

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る。この重要性に鑑み、津波グループでは Coastal Engineering Journal の中南米津波特集号を編集中である。

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。この課題に対しては、コロンビア国立大学の共同研究者と UNGRD が連携して避難訓練を実施するなど、活動は活発に行われている。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投稿する成果が得られたことが重要な進展であり、成果の達成が可能であると考えている。

Ⅲ．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」（2014 年～2016 年）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。システムの改良に関する情報は、コロンビアとエクアドルでは研究員の交流により共有されている。フィリピンに関しては、日本人専門家を通して共有されている。

2016 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、研究成果の社会普及に貢献した。

本研究で用いている地震シナリオ作成・強震動予測の手法がペルーの海溝型巨大地震における強震動予で適用されており、首都リマの地震リスクマップの作成のため活用されている。

(2)社会実装に向けた取り組み

SWIFT 震源解析システムにより決定されたセントロイドモーメント（CMT）メカニズムの情報が SGC の正式な震源情報カタログに組み込まれた。SWIFT による自動解の震源情報を電子メールにより関係機関と共有するとともに、SGC のホームページに公式な地震情報として掲載するためのシステムが開発され、SWIFT の震源情報は SGC のホームページから公開されている。

SWIFT-TSUNAMI による地震情報および ASL による火山性地震・微動の震源情報は SGC の地震および火山監視にすでに活用されている。

微動観測システムによるボゴタ盆地の 3 次元地下構造モデルの構築を行い、シナリオ地震における強震動予測を行っている。この結果をボゴタのリスク評価を担当する IDIGER に共有する予定である。

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。

コロンビアにおける国や大学等の関係機関が配信する防災情報について収集・整理し，防災情報発信ポータルサイトのプロトタイプを構築中である。本課題の活動や成果もこのサイトから発信する予定でいる。

地震発生後に強震観測網で得られるデータを取得し、ボゴタ市における地震動と建物被害の分布を即時推定するシステムを IDIGER に実装して、実運用を開始する。また、SGC の ShakeMap システムから生成されるコロンビアの地震動分布について、ユーザが利用しやすいよう国際標準形式で配信し、SNS を用いて結果を通知するシステムを SGC のクラウドに実装して、運用を開始する。

DIMAR への津波浸水予測計算技術の移転が完了し、現在津波警報に用いる予測データベースを構築しているところである。数多くの地震シナリオに基づく検証を踏まえて社会実

装が可能となる。

ボゴタにあるロスアンデス大学に日本センターが設立され 2018 年 12 月に一般向けに公開された。この日本センターに本プロジェクトを紹介する展示が 2019 年 8 月～12 月の期間に行われた。

Ⅳ．日本のプレゼンスの向上（公開）

2015 年 10 月 22 日に実施した津波解析技術移転のセミナーは、コロンビア大学のウェブページで広く紹介された。
http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/la-un-prepara-modelo-para-medir-impacto-de-tsunamis.html

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。

本プロジェクトの成果である「エクアドル・コロンビア沈み込み帯における新たな大地震発生モデルの提案」（Geophysical Research Letters に掲載）に関して、名古屋大学と JST のホームページを通してプレス発表（日本語及び英語）を行った。海外の 13 メディアがこの内容を取り上げた。

本プロジェクトの地震監視で連携しているエクアドル地球物理研究所が JICA 理事長賞を受賞し、2019 年 3 月 7 日にエクアドルのキトで JICA 理事長賞受賞記念『防災グッドプラクティス共有のための国際会議』が開催された。この会議に熊谷が招待され講演を行ったが、その中で本プロジェクトの概要とエクアドルとの連携に関して紹介を行った。エクアドル国の防災関係者（中央省庁、地方自治体）、国際ドナー、JICA ボランティア及びボランティアカウンターパート、ペルーとチリの専門家等、合計 99 名がこの会議に参加した（https://www.jica.go.jp/information/seminar/2018/20190307_01.html）。

SGC が編集した書籍（Geology of Colombia）の 1 章を鷺谷が筆頭著者として執筆した（https://www2.sgc.gov.co/LibroGeologiaColombia/Paginas/）。日本との協力が将来にわたってコロンビアで広く認知される可能性が広がった。

プリード強震動グループリーダーが 2018 年 3 月 10 日にコロンビアの Javeriana 大学（私立）のラジオ局（Javeriana Estereo 91.9fm）により取材を受け（スペイン語）、本プロジェクトの研究活動・成果などについて紹介した。
(https://soundcloud.com/javeriana919fm/aqui-japon-10-de-marzo-terromoto-en-japon?in=javeriana919fm/sets/aqui-japon-primer-trimestre-de#t=0:00)。

Ⅴ．成果発表等【研究開始～現在の全期間】（公開）

Ⅵ．投入実績【研究開始～現在の全期間】（非公開）

Ⅶ．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,はじめーおわりのページ	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. Dimaté, 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-Gómez, 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	Miura, H., Matsuoka, M., Eraso, J.: Estimation of Ground Shaking Distribution Based on Empirical Models and Vs30 Map in Bogota, Colombia, 16th World Conference on Earthquake Engineering, 2017, Paper N° 4706		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:10.1002/2016GL071929	国際誌	発表済	
2017	Riaño A.C., J. C. Reyes, L. E. Yamin, J. S. Montejo, J. L. Bustamante, J. Bielak, N. Pulido, C. E. Molano, and A. Huguett, Development of a first 3D crustal velocity model for the region of Bogotá, Colombia, Ingeniería e Investigación, 2017, 37, 42-51	doi:10.15446/ing.investig.v37n2.64097	国際誌	発表済	
2018	John Makario Londoño, Hiroyuki Kumagai, 4D seismic tomography of Nevado del Ruiz Volcano, Colombia, 2000-2016, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 2018, 358, 105-123	10.1016/j.jvolgeores.2018.02.015	国際誌	発表済	
2018	Hiroyuki Kumagai, John Makario Londoño, Yuta Maeda, Cristian Mauricio Lopez, Velez, Rudy Lacson Jr, Envelope widths of volcano-seismic events and seismic scattering characterisitics beneath volcanoes, Journal of Geophysical Research Solid Earth, 2018, 123, 9764-9777	10.1029/2018JB015557	国際誌	発表済	
2018	Kimiko Taguchi, Hiroyuki Kumagai, Yuta Maeda, Roberto Torres, Source Properties and Triggering Processes of Long-Period Events Beneath Volcanoes Inferred From an Analytical Formula for Crack Resonance Frequencies, Journal of Geophysical Research Solid Earth, 2018, 123, 7550-7565	10.1029/2018JB015866	国際誌	発表済	
2018	Miura, H., Okamura, T., Matsuoka, M., Leal, M., Garcia, H., Pulido, N., "Empirical Models for Surface- and Body-Wave Amplifications of Response Spectra in the Bogotá Basin, Colombia", Bulletin of the Seismological Society of America, 2019.	10.1785/0120180154	国際誌	発表済	
2019	Hiroyuki Kumagai, John Makario Londono, Yuta Maeda, Alvaro Esteban Acevedo, Amplitude Source Location Method With Depth-Dependent Scattering and Attenuation Structures: Application at Nevado del Ruiz Volcano, Colombia, Journal of Geophysical Research Solid Earth, 2019, 214, 11585-11600	10.1029/2019JB018156	国際誌	発表済	
2019	Pulido N., M. Yoshimoto, and A. M. Sarabia (2020). Broadband wavelength slip model of the 1906 Ecuador-Colombia megathrust-earthquake based on seismic intensity and tsunami data, Tectonophysics, 774, 228226.	10.1016/j.tecto.2019.228226	国際誌	発表済	
2019	Pulido, N., H. Garcia, J. Montejo, and S. Senna, (2020). Long period ground motion simulations at the Bogota basin, Colombia, based on a 3D velocity model of the basin from dense microtremors arrays measurements, gravity and geological data, 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE, Paper N° C002830, Sendai, Japan.		国際誌	発表済	
2019	Medina, S., Lizarazo-Marriaga, J., Estrada, M., Koshimura, S., Mas, E., Adriano, B. (2019). Tsunami analytical fragility curves for the Colombian Pacific coast: A reinforced concrete building example. Engineering Structures, 196(May), 109309.	10.1016/j.engstruct.2019.109309	国際誌	発表済	
2019	Juan Paez-Ramirez, Juan Lizarazo-Marriaga, Sergio Medina, Martin Estrada, Erick Mas & Shunichi Koshimura. A comparative study of empirical and analytical fragility functions for the assessment of tsunami building damage in Tumaco, Colombia, Coastal Engineering Journal, 2020	10.1080/21664250.2020.1726558	国際誌	発表済	
2020	Lina Marcela Castaño, Carlos Alberto Ospina, Oscar Ernesto Cadena, Beatriz Galvis-Arenas, John Makario Londono, Carlos Andrés Laverde, Takayuki Kaneko, Mie Ichihara, Continuous monitoring of the 2015-2018 Nevado del Ruiz activity, Colombia, using satellite infrared images and local infrasound records. Earth, Planets and Space. 2020, 72:8.	10.1186/s40623-020-01197-z	国際誌	発表済	
2020	Juan Carlos Bermudez-Barrios, Hiroyuki Kumagai, Repeating earthquakes along the Colombian subduction zone, Journal of Disaster Research, 2020, 15, 645-654.	10.20965/jdr.2020.p0645	国際誌	発表済	

論文数	18	件
うち国内誌	0	件
うち国際誌	18	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,はじめーおわりのページ	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 Plantes 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	
2016	Meneses-Gutierrez, A., and T. Sagiya, Persistent inelastic deformation in central Japan revealed by GPS observation before and after the Tohoku-oki earthquake, Earth Planets. Sci. Lett., 450, 366-371, 2016.	doi:20.1016/j.epsl.2016.06.055	国際誌	発表済	
2017	Zhang, X. and T. Sagiya, Shear strain concentration mechanism in the lower crust below an intraplate strike-slip fault based on rheological laws of rocks, Earth Planets Space, 2017, 69:82	doi:10.1186/s40623-017-0668-5	国際誌	発表済	
2017	Morioka, H., H. Kumagai, and T. Maeda, Theoretical basis of the amplitude source location method for volcano-seismic signals, J. Geophys. Res. Solid Earth, 122, 6538-6551,	doi:10.1002/2017JB013997	国際誌	発表済	
2017	Adriano, B., Y. Fujii, S. Koshimura, E. Mas, A. Ruiz-Angulo, M. Estrada, Tsunami Source Inversion Using Tide Gauge and DART Tsunami Waveforms of the 2017 Mw8.2 Mexico Earthquake, Pure and Applied Geophysics, 2018, 175, 35-48	doi:10.1007/s00024-017-1760-2	国際誌	発表済	
2017	Youichiro Takada, Takeshi Sagiya, and Takuya Nishimura, Interseismic crustal deformation in and around the Atotsugawa fault system, central Japan, detected by InSAR and GNSS, Earth Planets and Space, 2018, 70:32	10.1186/s40623-018-0801-0	国際誌	発表済	
2018	Sagiya, T., N. Matta, and Y. Ohta, Triangulation scale error caused by the 1894 Shonai earthquake: a possible cause of erroneous interpretation of seismic potential along the Japan Trench, Earth Planets and Space, 2018, 70:120	10.1186/s40623-018-0890-9	国際誌	発表済	
2018	Takada, Y., T. Sagiya, and T. Nishimura, Interseismic crustal deformation in and around the Atotsugawa fault system, central Japan, detected by InSAR and GNSS, Earth Planets Space, 2018, 70:32	10.1186/s40623-018-0801-0	国際誌	発表済	
2018	Meneses-Gutierrez, A., T. Sagiya, and S. Sekine, Crustal deformation process in the Mid-Niigata region of the Niigata-Kobe Tectonic Zone as observed by dense GPS network before, during and after the Tohoku-oki earthquake, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2018.	10.1029/2018JB015567	国際誌	発表済	
2018	Zhang, X., and T. Sagiya, Intraplate strike-slip faulting, stress accumulation, and shear localization of a crust-upper mantle system with nonlinear viscoelastic material, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2018.	10.1029/2018JB016421	国際誌	発表済	
2018	Kumagai, K. and T. Sagiya, Topographic effects on crustal stress around the Atera Fault, central Japan, Earth, Planets and Space, 70:186, 2018.	10.1186/s40623-018-0961-y	国際誌	発表済	
2018	Endra Gunawan, Sri Widiyantoro, Shindy Rosalia, Mudrik Rahmawan Daryono, Irwan Meilano, Pepen Supendi, Takeo Ito, Takao Tabei, Fumiaki Kimata, Yusaku Ohta, and Nazli Ismai, Coseismic Slip Distribution of the 2 July 2013 Mw 6.1 Aceh, Indonesia, Earthquake and Its Tectonic Implications, Bulletin of the Seismological Society of America, 108, 1918-928, 2018	10.1785/0120180035	国際誌	発表済	
2018	Pratama, C., T. Ito, T. Tabei, F. Kimata, E. Gunawan, Y. Ohta, T. Yamashina, I. Nurding, D. Sugiyanto, U. Muksin, N. Ismail, I. Meilano, Evaluation of the 2012 Indian Ocean coseismic fault model in 3-D heterogeneous structure based on vertical and horizontal GNSS observation, AIP Conference Proceedings, 1987, 020011, 2018	10.1063/1.5047296	国際誌	発表済	

2018	Ito, T., S. Suzuki, K. Kachishige, M. Hyodo, Spatio-temporal afterslip distribution following the 2011 Tohoku-Oki earthquake using 3D viscoelastic Green's functions, AIP Conference Proceedings, 1987, 020056, 2018	10.1063/1.5047341	国際誌	発表済	
2018	Bruno Adriano, Junshi Xia, Gerald Baier, Naoto Yokoya, Shunichi Koshimura, Multi-source Data Fusion Based on Ensemble Learning for Rapid Building Damage Mapping during the 2018 Sulawesi Earthquake and Tsunami in Palu, Indonesia, Remote Sensing		国際誌	accepted	IF3.406, Google Scholar MetricsにおけるRemote Sensing分野のジャーナル第3位
2019	Azusa Mori,Hiroyuki Kumagai, Estimating plume heights of explosive eruptions using high-frequency seismic amplitudes, Geophysical Journal International, 2019, 219, 1365-1376	10.1093/gji/ggz374	国際誌	発表済	
2019	Fukahata, Y., A. Meneses-Gutierrez, T. Sagiya, Detection of plastic strain using GNSS data of pre- and post-seismic deformation of the 2011 Tohoku-oki earthquake, Earth Planets and Space, 72:18, 2020	10.1186/s40623-020-1144-1	国際誌	発表済	
2019	鷺谷威・大坪誠, 日本列島の地殻ひずみ速度：測地学的データと地質・地形学的データの統一的理解, 地学雑誌, 128, 689-705, 2019	10.5026/jgeography.128.689	国内誌	発表済	
2019	Kimura, H., K. Tadokoro, T.Ito, Interplate Coupling Distribution along the Nankai Trough in Southwest Japan estimated from the Block Motion Model based on Onshore GNSS and Seafloor GNSS/A Observations, J. Geophys. Res., 124, 6140-6164, 2019	10.1029/2018JB016159	国際誌	発表済	
2019	Carvajal Soto, L. A., T. Ito, M. Protti, H. Kimura, Earthquake potential in Costa Rica using three scenarios for the Central Costa Rica Deformed Belt as western boundary of the Panama Microplate, J. South Amer. Earth Sci., 97, 102375, 2019.	10.1016/j.jsames.2019.102375	国際誌	発表済	
2019	Meneses-Gutierrez, A., T. Nishimura, Inelastic deformation zone in the lower crust for the San-in Shear Zone, Southwest Japan, as observed by a dense GNSS network, Earth Planets Sapce, 72:19, 2020	10.1186/s40623-020-1138-z	国際誌	発表済	
2019	Moya, L., Zakeri, H., Yamazaki, F., Liu, W., Mas, E., Koshimura, S. 3D gray level co-occurrence matrix and its application to identifying collapsed buildings. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 149(May 2018), 14-28, 2019	10.1016/j.isprsjprs.2019.01.008	国際誌	発表済	IF6.942
2019	Moya, L., Endo, Y., Okada, G., Koshimura, S., Mas, E. Drawback in the change detection approach: False detection during the 2018 western Japan floods. Remote Sensing, 11(19), 1-19. 2019	10.3390/rs11192320	国際誌	発表済	IF3.406, Google Scholar MetricsにおけるRemote Sensing分野のジャーナル第3位
2019	Moya, L., Mas, E., Yamazaki, F., Liu, W., & Koshimura, S. Statistical analysis of earthquake debris extent from wood-frame buildings and its use in road networks in Japan. Earthquake Spectra, 36(1), 209-231, 2020	10.1177/8755293019892423	国際誌	発表済	

論文数	32	件
うち国内誌	1	件
うち国際誌	31	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
2018	Takeshi Sagiya, Hector Mora-Paez, Interplate coupling along the Nazca subduction zone on the Pacific coast of Colombia deduced from GeoRED GPS observation data, Geology of Colombia Book, Vol. 4, 305-321, 2019		書籍	in press	

著作物数 1 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	
2017	Santiago-Fandiño V., Mas E., The Coastal Environment and the Reconstruction Process After the Great East Japan Earthquake: A Few Notes, The 2011 Japan Earthquake and Tsunami: Reconstruction and Restoration. Advances in Natural and Technological Hazards Research, vol 47, pp 291-338, 2018, DOI https://doi.org/10.1007/978-3-319-58691-5_18		書籍	発表済	
2017	鷺谷威, 大震法の見直しをめぐって, 消防防災の科学, 2017, 128, 4-5		総説	発表済	
2017	鷺谷威, 島弧の地殻変動と活断層地震のメカニズム, 土と水, 2017, 65, 14-21.		総説	発表済	
2017	鳥海光弘・入舩徹男・岩森光・ウォリスサイモン・小平秀一・小宮剛・坂口秀・鷺谷威・末次大輔・中川貴司・宮本英昭（編） 図説地球科学の事典, 朝倉書店, 248頁		書籍	発表済	
2018	鷺谷威・大坪誠, 日本列島の地殻ひずみ速度：測地学的データと地質・地形学的データの統一的理解、地学雑誌		総説	accepted	
2019	Løvholt, F., Fraser, S., Salgado-Galvez, M., Lorito, S., Selva, J., Romano, F., Suppasri, A., Mas, E., Polet, J., Behrens, J., Canals, M. (2019). Global trends in advancing tsunami science for improved hazard and risk understanding. Contributing Paper to GAR19, June.		総説	発表済	https://www.undrr.org/publication/global-trends-advancing-tsunami-science-improved-hazard-and-risk-understanding

著作物数 9 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	
2017		SWIFT manual for SGC	

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	国内学会	鷺谷威（名大），Hector Mora Paez（コロンビア地質調査所），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（コロンビア地質調査所），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（コロンビア地質調査所），前田 裕太，森岡 英恵（名大），ロンドニョ ジョン（コロンビア地質調査所），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（コロンビア地質調査所），前田裕太（名大），中野優（JAMSTEC），2016年エクアドル地震とエクアドル・コロンビア沈み込み帯における破壊様式，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（コロンビア地質調査所），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
2016	国際学会	Pulido, N., S. Senna, H. Garcia and P. Pedraza, Estimation of strong ground motion of Bogotá basin (Colombia) from scenario earthquakes (part I) Elaboration of a velocity model of the basin based on microtremors array measurements,The sixth Workshop: 2016 Japan-New Zealand-Taiwan Seismic Hazard Assessment (NIED), Beppu, 2016/10.	ポスター発表
2017	国内学会	田口 貴美子，熊谷 博之，前田 裕太（名大），Torres Roberto（コロンビア地質調査所），LPイベントの振動体サイズおよび流体特性の時間変動：草津白根山とガレラス山の比較，日本地球惑星科学連合2017年大会，千葉市，2017年5月	口頭発表
2017	国内学会	熊谷 博之，前田 裕太（名大），ロンドニョ マカリオ，ロペス クリスチャン（コロンビア地質調査所），ネバドデルルイス火山（コロンビア）の監視強化と地震波形解析から推定されるマグマシステム，日本地球惑星科学連合2017年大会，千葉市，2017年5月	口頭発表
2017	国際学会	Hiroyuki Kumagai (Nagoya Univ.), Cristian Lopez, John Londono (SGC), Yuta Maeda (Nagoya Univ.), and Rudy Lacson (PHIVOLCS), Scattering and attenuation structures beneath volcanoes inferred from envelope widths of volcano-seismic events, IAG-IASPEI2017, Kobe, August 2017	口頭発表
2017	国際学会	Hiroyuki Kumagai, Yuta Maeda (Nagoya Univ.), John M. Londoño, Cristian M. Lopez, Lina M. Castaño, Beatriz Galvis, Lina García (SGC), Magma conduit system beneath Nevado del Ruiz volcano,Colombia,inferred from seismic waveform analyses, IAVCEI2017, Portland, August 2017	口頭発表
2017	国際学会	John M. Londoño (SGC) and Hiroyuki Kumagai (Nagoya Univ.), 4D seismic tomography for Nevado del Ruiz Volcano 2000-2016, IAVCEI2017, Portland, August 2017	ポスター発表
2017	国際学会	Kimiko Taguchi, Hiroyuki Kumagai, Yuta Maeda (Nagoya Univ.), Roberto Torres (SGC), Resonator size and fluid properties of long-period events inferred from an analytical formula for crack resonance frequencies, IAVCEI2017, Portland, August 2017	ポスター発表
2017	国際学会	Yuta Maeda, Hiroyuki Kumagai (Nagoya Univ.), John Makario Londono, Cristian M Lopez, Lina M Castañ o, Beatriz Beatriz and Lina García (SGC), An Oscillation of the Crack-like Conduit at Nevado del Ruiz Volcano, Colombia, Inferred from Multi-band Analyses of Very Long Period Seismic Events, AGU Fall Meeting, New Orleans, December 2017	ポスター発表
2017	国内学会	伊藤 武男（名大）,Paez Hector Mora,Juan Ramor Pelaez (SGC),鷺谷 威（名大），Block motion model in Colombia, using GNSS Observation network (GEORED), 日本地球惑星科学連合2017年大会，千葉市，2017年5月	口頭発表

2017	国際学会	Takeo Ito (Nagoya Univ.), Hector Mora Paez, Juan Ramon Pelaez Gaviria (SGC), Takeshi Sagiya (Nagoya Univ.), Crustal blocks motion model and interplate coupling in Colombia based on GNSS observation network (GEORED), IAG-IASPEI2017, Kobe, August 2017	口頭発表
2017	国際学会	Hector Mora-Paez (SGC), Takeshi Sagiya, Takeo Ito (Nagoya Univ.), Estelle Chaussard (Univ. Buffalo), Shimon Wdowinski (Florida Int'l Univ.), Detection and Measurement of Land Subsidence Using InSAR and GPS in the Sabana de Bogota, Colombia, South America, IAG-IASPEI2017, Kobe, August 2017.	口頭発表
2017	国際学会	Takeo Ito (Nagoya Univ.), Héctor Mora-Páez, Juan-Ramón Peláez-Gaviria (SGC), Hiroshi Kimura, Takeshi Sagiya (Nagoya Univ.) Crustal block motion model and interplate coupling along Ecuador-Colombia trench based on GNSS observation network, AGU Fall Meeting, New Orleans, December 2017	ポスター発表
2017	国内学会	Pulido, N., S. Senna, H. Yamanaka, H. Garcia, L Quinones, C. Kosuke, C. Dimate, and M. Leal, Elaboration of a velocity model of the Bogota basin (Colombia) based on microtremors arrays measurements, gravity data, and strong motion records, JpGU, Chiba, May 2017	ポスター発表
2017	国際学会	Pulido, N., S. Senna, H. Garcia, S. Montejo, and J. C. Reyes, Elaboration of a velocity model of the Bogota basin (Colombia) based on microtremors arrays measurements, gravity data, and geological information, AGU Fall meeting, December 2017	口頭発表
2018	国内学会	森 亜津紗, 熊谷 博之（名大）, Galvis Beatriz, Londono John (SGC), 高周波地震波の震源振幅に基づく噴煙高度推定システムの開発, 日本地球惑星科学連合2018年大会, 千葉市, 2018年5月	口頭発表
2018	国内学会	田口 貴美子, 熊谷 博之、前田 裕太（名大）、Torres Roberto (SGC), クラックモデルに基づく周波数解析から推定されるLPイベントの励起過程, 日本地球惑星科学連合2018年大会, 千葉市, 2018年5月	口頭発表
2018	国際学会	Azusa Mori, Hiroyuki Kumagai (Nagoya Univ.), John Makario Londono, Beatriz Galvis (SGC), Relation Between High-frequency Seismic Source Amplitudes of Eruption Tremors and Eruption Volume Flux, AGU Fall Meeting, Washington DC, December 2018	ポスター発表
2018	国際学会	Kimiko Taguchi, Hiroyuki Kumagai, Yuta Maeda (Nagoya Univ.), Roberto Armando Torres (SGC), Triggering Processes of Long-period Seismic Events beneath Volcanoes: Vapor Condensation and Magma Fragmentation in Shallow Cracks, AGU Fall Meeting, Washington DC, December 2018	ポスター発表
2018	国際学会	Hiroyuki Kumagai, John Makario Londono, Yuta Maeda, Cristian M Lopez, Rudy Lacson, Characterization of the Envelope Widths of Volcano-seismic Events and Their Use to Investigate Scattering Structures Beneath Volcanoes, AGU Fall Meeting, Washington DC, December 2018	口頭発表
2018	国際学会	John Makario Londono (SGC), Hiroyuki Kumagai (Nagoya Univ.), Temporal Variation of Seismic Wave Attenuation Associated with the Activity of Nevado del Ruiz Volcano, Colombia, 2010-2018, AGU Fall Meeting, Washington DC, December 2018	ポスター発表
2018	国内学会	熊谷博之, 吉本昌弘（名大）, V. Dionicio (SGC), 前田裕太（名大）, W. Acero, G.Ponce (IG-EPN, Ecuador), J.C. Bermudez, O. Chamorro (SGC), コロンビアとエクアドルにおける自動CMT解および津波波高推定システムの導入と運用, 日本地震学会2018度秋季大会, 郡山市, 2018年10月	口頭発表
2018	国内学会	熊谷 博之（名大）, ロンドニョ ジョン（SGC）, 前田 裕太（名大）, ロペス クリスチャン（SGC）, ラクソン ルディー（PHIVOLCS, Philippines）, 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特性の深さ分布, 日本地球惑星科学連合2018年大会, 千葉市, 2018年5月	口頭発表
2018	国際学会	Pulido N., Yoshimoto, M., Sarabia M., Sagita, T., Mora-Paez H., and Arcila M., Source model of the 1906 Ecuador-Colombia earthquake (Mw8.4) based on tsunami waveforms and seismic intensity data; Implications for megathrust earthquake potential in Northern South-America, AGU Fall meeting, Washington D.C., December 10-14, 2018	ポスター発表
2018	国際学会	Pulido N., Yoshimoto, M., Sarabia M., and Arcila M., Source model of the 1906 Ecuador-Colombia earthquake (Mw8.4) based on tsunami waveforms and seismic intensity data, 10th ACES International Worshop, Awaji Island, Japan, September 25-28, 2018	ポスター発表
2018	国際学会	Villafuerte, C., Cruz-Atienza, V., Diaz-Mojica, J., Tago, J., and, Pulido N., Towards Ground Motions Prediction for Hazard Assessment Associated with large Subduction Earthquakes in the Guerrero Seismic Gap, Mexico, AGU Fall meeting, Washington D.C., December 10-14, 2018	ポスター発表
2018	国内学会	プリード・ネルソン、吉本昌弘、サラビア・ミレーナ、アルセィーラ・モーニカ、津波記録及び震度データに基づいた1906年エクアドル・コロンビア地震（Mw8.4）の震源モデル、日本地震学会2018年秋季大会、2018/10	口頭発表
2018	国内学会	アギーレ・ルイス、アマヤ・アレハンドラ、遠田晋次、プリード・ネルソン、ローペス・ミリアム、トーレス・エリアーナ、パーバ、カルロス、ボオルケス・オルガ、ボゴタ（コロンビア）における地震シナリオの評価のための内陸断層の調査、日本活断層学会2018年秋季学術大会、2018/11.	ポスター発表
2019	国内学会	熊谷 博之, John Makario Lonodno, Alvaro Esteban Acevedo Rivas, 前田 裕太, 火山の散乱特性の深さ依存性を考慮したASL法による火山性地震・微動の震源推定, 日本地球惑星科学連合2019年大会, 千葉市, 2019年5月	口頭発表
2019	国内学会	田口 貴美子, 熊谷 博之, 前田 裕太, Torres Roberto, クラック固有振動のQ値と形状・流体特性の関係：経験則の導出と火山性LPイベント解析への応用, 日本地球惑星科学連合2019年大会, 千葉市, 2019年5月	口頭発表
2019	国際学会	Juan Carlos Bermudez-Barrios, Hiroyuki Kumagai, Repeating Earthquakes along the Colombian Subduction Zone, AGU Fall Meeting, San Francisco, December 2019	ポスター発表

2019	国際学会	Hiroyuki Kumagai, John Makario Londono, Yuta Maeda, Alvaro Esteban Acevedo, Amplitude source location method with depth-dependent scattering and attenuation structures: application at Nevado del Ruiz volcano, Colombia, AGU Fall Meeting, San Francisco, December 2019	口頭発表
2019	国際学会	Kimiko Taguchi, Hiroyuki Kumagai, Yuta Maeda, Roberto Armando Torres, Empirical Relation for the Quality Factors of Crack Resonances and Its Application to Estimate Source Properties of Volcanic Long-period Seismic Events, AGU Fall Meeting, San Francisco, December 2019	ポスター発表
2019	国際学会	Lizarazo, S. C., T. Sagiya, H. Mora-Paez, Ongoing crustal deformation and interplate coupling along the Caribbean subduction zone revealed by GPS observations, AGU 2019 Fall Meeting, 2019/12/10	ポスター発表
2019	国内学会	Pulido,N., H. Garcia, A. Riano, and S. Senna, 3D velocity model of the Bogota basin (Colombia) based on dense microtremors arrays measurements, gravity and geological data, Fall meeting of the Seismological Society of Japan, Kyoto, 2019/11	ポスター発表

招待講演	0 件
口頭発表	23 件
ポスター発表	20 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
2017	国内学会	前田 裕太, 熊谷 博之 (名大), 流体で満たされたクラックの共鳴周波数の一般化解析式, 日本地球惑星科学連合2017年大会, 千葉市, 2017年6月	ポスター発表
2017	国内学会	吉本 昌弘, 熊谷 博之(名大), プリード ネルソン(防災科研), 1979年トゥマコ(コロンビア)地震の震源過程とエクアドル・コロンビア沈み込み帯における破壊の特徴, 日本地球惑星科学連合2017年大会, 千葉市, 2017年5月	ポスター発表
2017	国内学会	森 亜津紗, 熊谷 博之(名大), 高周波地震波を用いた噴火規模の即時推定:噴火微動の震源振幅に基づく噴煙高度の予測式, 日本地球惑星科学連合2017年大会, 千葉市, 2017年5月	口頭発表
2017	国際学会	Yusuke Nishizawa, Masashi Matsuoka, Patcharavadee Thamarux (Tokyo Tech), Junko Iwahashi (GSI), Geomorphologic Classification of Colombia by Machine Learning with Digital Elevation Model, International Symposium on Remote Sensing 2017, Nagoya, pp.830-833, 2017.5.	ポスター発表
2017	国際学会	Masahiro Yoshimoto, Hiroyuki Kumagai (Nagoya Univ.), Nelson Pulido (NIED), Rupture process of the 1979 Tumaco, Colombia, earthquake using teleseismic body waves, IAG-IASPEI2017, Kobe, August 2017	ポスター発表
2017	国際学会	Azusa Mori, Hiroyuki Kumagai (Nagoya Univ.), High-frequency seismic source amplitude of eruption tremor and its use for estimating eruption plume height, IAVCEI2017, Portland, August 2017	口頭発表
2017	国内学会	森亜津紗, 熊谷博之(名大), 噴火微動の高周波地震波の振幅に基づく噴煙高度予測式:横風の影響の評価, 日本火山学会2017年度秋季大会, 熊本市, 2017年9月	ポスター発表
2017	国際学会	Bruno Adriano (IRIDeS, Tohoku Univ.) and Shunichi. Koshimura (IRIDeS, Tohoku Univ.), Developing a Rapid Tsunami Response System: Application to South America Region, IAG-IASPEI2017, Kobe, August 2017	口頭発表
2017	国際学会	Bruno Adriano (IRIDeS, Tohoku Univ.), Yushiro Fujii (IISEE, BRI), Masahiro Yoshimoto (Nagiya Univ.), and Shunichi Koshimura (IRIDeS, Tohoku Univ.), Tsunami source of the 1979 Tumaco Earthquake estimated from historical tide gauge records and geodetic data, IAG-IASPEI2017, Kobe, August 2017	口頭発表
2017	国際学会	Mas, E., Das, R., Moya, L., Adriano, B., Urra, L., & Koshimura, S. (IRIDeS, Tohoku Univ.), Integrated Modeling of Disaster Damage and Relief Demand Estimation in Urban Areas. In Proceedings of the 15th International Conference on Computers in Urban Planning and Urban Management (CUPUM) (pp. 1-23). Adelaide, Australia.	口頭発表
2017	国内学会	Pulido, N., S. Senna, H. Yamanaka, H. Garcia, L Quinones, C. Kosuke, C. Dimate, and M. Leal, Elaboration of a velocity model of the Bogota basin (Colombia) based on microtremors arrays measurements, gravity data, and strong motion records, JpGU, Chiba, May 2017	ポスター発表
2017	国際学会	Yusuke Nishizawa, Masashi Matsuoka, Patcharavadee Thamarux (Tokyo Tech), Junko Iwahashi (GSI), Geomorphologic Classification of Colombia by Machine Learning with Digital Elevation Model, International Symposium on Remote Sensing 2017, Nagoya, May 2017	ポスター発表
2017	国内学会	岡村大昇, 三浦弘之: コロンビア・ボゴタにおけるVs30を用いた加速度応答スペクトルの地盤増幅率の評価, 日本建築学会中国支部研究報告会,呉市, 2018年3月	口頭発表
2018	国際学会	Masahiro Yoshimoto, Hiroyuki Kumagai (Nagoya Univ.), Tsunami source of the 1906 Ecuador-Colombia earthquake revisited, AGU Fall Meeting, Washington DC, December 2018	ポスター発表
2018	国内学会	鷺谷 威, Meneses-Gutierrez Angela, 熊谷 光起 , Geodetic exploration of the elastic/inelastic behavior of the Earth's crust: resolution of mechanical response using interseismic, coseismic, and postseismic deformation , 日本地球惑星科学連合2018年大会, 幕張メッセ国際会議場, 2018年5月	口頭発表
2018	国際学会	Takeshi Sagiya, Yo Kawashima , The pre-slip controversy: a review of the 1944 Tonankai and the 2011 Tohoku-oki cases and their implications (or no implication) for short-term prediction ,International Symposium on Earthquake Forecast / 5th International Workshop on Earthquake Preparation Process -Observation, Validation, Modeling, Forecasting- , 千葉大学, 2018年5月	招待講演
2018	国際学会	Takeshi Sagiya, Angela Meneses-Gutierrez , Crustal strain rate paradoxes of intraplate Japan: their solutions and implications , 10th ACES International Workshop - Toward Comprehensive Understanding of Earthquake Physics -, 南あわじ市, 2018年9月	口頭発表

2018	国内学会	鷺谷威, Angela Meneses-Gutierrez , 測地データに基づく非弾性変形抽出の試み：北海道 , 日本測地学会第130回講演会, 高知市, 2018年10月	口頭発表
2018	国際学会	Takeshi Sagiya, Angela Meneses-Gutierrez, Geodetic exploration of the elastic/inelastic behavior of the Earth's crust: resolution of mechanical response using interseismic, coseismic, and postseismic deformation, AGU Fall Meeting, December 2018	口頭発表
2018	国際学会	Shunichi Koshimura, Paradigm shift of Japan's tsunami disaster management for enhancing disaster resilience, 12th International Symposium on Disaster Risk Management, Lima Convention Center, Lima, Peru, 5-8 September, 2018	招待講演
2018	国際学会	Erick MAS, Research experiences on international collaboration for tsunami DRR with Latin American countries, International Seminar on Disaster Risk Reduction, 13 September, 2018, Mexico City, Mexico	招待講演
2019	国内学会	森 亜津紗, 熊谷 博之, 噴火微動の継続時間と噴出量の関係, 日本地球惑星科学連合2019年大会, 千葉市, 2019	ポスター発表
2019	国際学会	Azusa Mori, Hiroyuki Kumagai, High-frequency seismic source amplitude of eruption tremor and its relations to plume heights, volumes, and durations of Plinian eruptions	口頭発表
2019	国内学会	Kumagai, K., T. Sagiya, A. Meneses-Gutierrez, N. Matta, D. Hirouchi, K. Matsuhiro, T. Okuda, Persistent and time-dependent crustal deformation in northern Fossa Magna and its tectonic implications, 日本地球惑星科学連合2019年大会、幕張メッセ国際会議場, 2019年5月	口頭発表
2019	国際学会	Sagiya, T., N. Matta, Y. Ohta, Erroneous Seismic Hazard Estimation due to a Triangulation Scale Error Caused by the 1894 Shonai Earthquake, IUGG 2019 General Assembly, Montreal, July 2019	口頭発表
2019	国際学会	Sagiya, T., A. Meneses-Gutierrez, X. Zhang, K. Kumagai, Persistent crustal deformation in northern Fossa Magna, central Japan, and its tectonic implications, IUGG 2019 General Assembly, Montreal, July 2019	口頭発表
2019	国内学会	鷺谷威,Angela Meneses-Gutierrez, 測地データで見る日本列島弧のダイナミクス, 日本地質学会第126年学術大会, 2019年9月	招待講演
2019	国内学会	鷺谷威, Angela Meneses-Gutierrez, 基線ひずみ変化率に基づく非弾性変形の定量的推定, 日本測地学会第132回講演会, 富山市, 2019年10月	口頭発表
2019	国際学会	Sagiya, T., K. Kumagai, A. Meneses-Gutierrez, Peseistent contraction and time-dependent slip behavior around the northern Iltoigawa-Shizuoka Tectonic Line fault system, central Japan: Implications for tectonics and seismogenesis, AGU 2019 Fall Meeting, San Francisco, December 2019	ポスター発表
2019	国際学会	Meneses-Gutierrez, A., Width of the Shear Zone in the San-in Shear Zone, Southwest Japan, as Observed by a Dense GNSS Network, AGU 2019 Fall Meeting, San Francisco, December 2019	口頭発表
2019	国内学会	Meneses-Gutierrez, A., Width of the Shear Zone in the San-in Shear Zone, Southwest Japan, as Observed by a Dense GNSS Network, 日本地震学会2019年秋季大会、京都, 2019年9月	口頭発表
2019	国内学会	Meneses-Gutierrez, A.,T. Nishimura,, Crustal deformation in the San-in Shear Zone as observed by a dense GNSS network, 日本地球惑星科学連合2019年大会、千葉, 2019年5月	口頭発表
2019	国際学会	Nakano, G., Yamori, K., Miyashita, T., Urra, L., Mas, E., Koshimura, S. Fusion of evacuation drill with tsunami inundation simulation-Development and effect of the tsunami educational material. 2019 Annual Meeting of the Union Geofisica Mexicana, Puerto Vallarta, Mexico. October 27 - November 1, 2019.	口頭発表
2019	国際学会	Mas, E., Moya, L., Koshimura, S. Analysis of tsunami evacuation simulation with minimum congestion and higher survivability using reinforced learning algorithm. ACEH International workshop and expio on sustainable tsunami disaster recovery, Sendai, Japan, November 7-8, 2019	口頭発表
2019	国内学会	Nakano, G., Yamori, K., Miyashita, T., Urra, L., Mas, E., Koshimura, S. Evacuation drills under different scenarios based on tsunami inundation simulation-Practices of primary school in Zihuatanejo, Mexico. DPRI Annual Meeting 2020, February 20-21, 2020. Kyoto, Japan.	口頭発表

招待講演	5	件
口頭発表	32	件
ポスター発表	16	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	登録番号（未登録は空欄）	登録日（未登録は空欄）	出願特許の状況	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 0 件

公開すべきでない特許出願数 0 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	登録番号（未登録は空欄）	登録日（未登録は空欄）	出願特許の状況	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 0 件

公開すべきでない特許出願数 0 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
2018	2018/4/17	科学技術分野の文部科学大臣表彰 科学技術賞（開発部門）	リアルタイム津波浸水被害予測システムの開発	越村俊一，小林広明，日野亮太，撫佐昭裕，村嶋陽一	文部科学省	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2019	2019/5/28	日本火山学会優秀学術賞	噴火観測とアナログ実験による火山噴火ダイナミクスの総合的研究	市原美恵	日本火山学会	3.一部当課題研究の成果が含まれる	
2019	2019/5/28	日本火山学会学生優秀論文賞	Kimiko Taguchi, Hiroyuki Kumagai, Yuta Maeda, Roberto Torres, Source Properties and Triggering Processes of Long-Period Events Beneath Volcanoes Inferred From an Analytical Formula for Crack Resonance Frequencies, Journal of Geophysical Research Solid Earth, 2018, 123, 7550-7565	田口貴美子	日本火山学会	1.当課題研究の成果である	

3 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

2017	2017/4/26	EurekAlert (https://www.eurekalert.org/pub_releases/2017-04/nu-nmc042617.php)	New model could help predict major earthquakes	web	1.当課題研究の成果である	
2017	2017/4/26	AlphaGalileo (http://www.alphagalileo.org/ViewItem.aspx?ItemId=174772&CultureCode=en)	New model could help predict major earthquakes	web	1.当課題研究の成果である	
2017	2017/4/26	Phys.org (https://phys.org/news/2017-04-major-earthquakes.html)	New model could help predict major earthquakes	web	1.当課題研究の成果である	
2017	2017/4/26	UPI (http://www.upi.com/Science_News/2017/04/26/South-American-quake-survey-could-help-predict-future-big-ones/1271493214787/	South American quake survey could help predict future big ones	web	1.当課題研究の成果である	
2017	2017/4/26	ScienceDaily (https://www.sciencedaily.com/releases/2017/04/170426092332.htm)	New model could help predict major earthquakes	web	1.当課題研究の成果である	
2017	2017/4/26	ScienceNewsline Nature & Earth (http://www.sciencenewsline.com	New model could help predict major earthquakes	web	1.当課題研究の成果である	
2017	2017/4/26	ScienceBlog (https://scienceblog.com/493720/new-model-help-predict-major-earthquakes/)	New model could help predict major earthquakes	web	1.当課題研究の成果である	
2017	2017/4/26	Asia Research News (http://www.researchsea.com/html/article.php/aid/10649/cid/6/research/medicine/nagoya_university/new_	New model could help predict major earthquakes	web	1.当課題研究の成果である	

9 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）	公開/ 非公開の別	概要
2015	2015/7/27	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	非公開	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	2015/9/10	Microtremor seminar	コロンビア地質調査所（コロンビア）	20	非公開	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	2015/10/23	Developing Tsunami Damage Estimation and Mitigation Technologies	コロンビア国立大学（コロンビア）	14	非公開	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	2016/3/8	Tsunami Source Modeling and Waveform Inversion	コロンビア国立大学（コロンビア）	13	非公開	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	非公開	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	2016/11/18～24	VII Taller "Aplicaciones cientificas GNSS en Colombia"	ボゴタ（コロンビア	約100名	公開	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	非公開	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	2017/3/14～16	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	公開	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。

2017	2018/3/8	火山地震学セミナー	ボゴタ(コロンビア)	15	非公開	火山性地震・微動の波形解析に基づく流体の状態把握や噴煙高度の推定に関する研究成果の共有と議論を行った。
2018	2019/3/15	地震学セミナー	ボゴタ(コロンビア)	15	非公開	コロンビアで発生した大地震の発生過程とコロンビアにおける強震動・津波リスクに関する議論を行った。

10 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	2015/7/24	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	2016/8/12	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。
2017	2017/9/6	第3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。
2018	2018/9/7	第4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。
2019	2019/8/21	第4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。

5 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

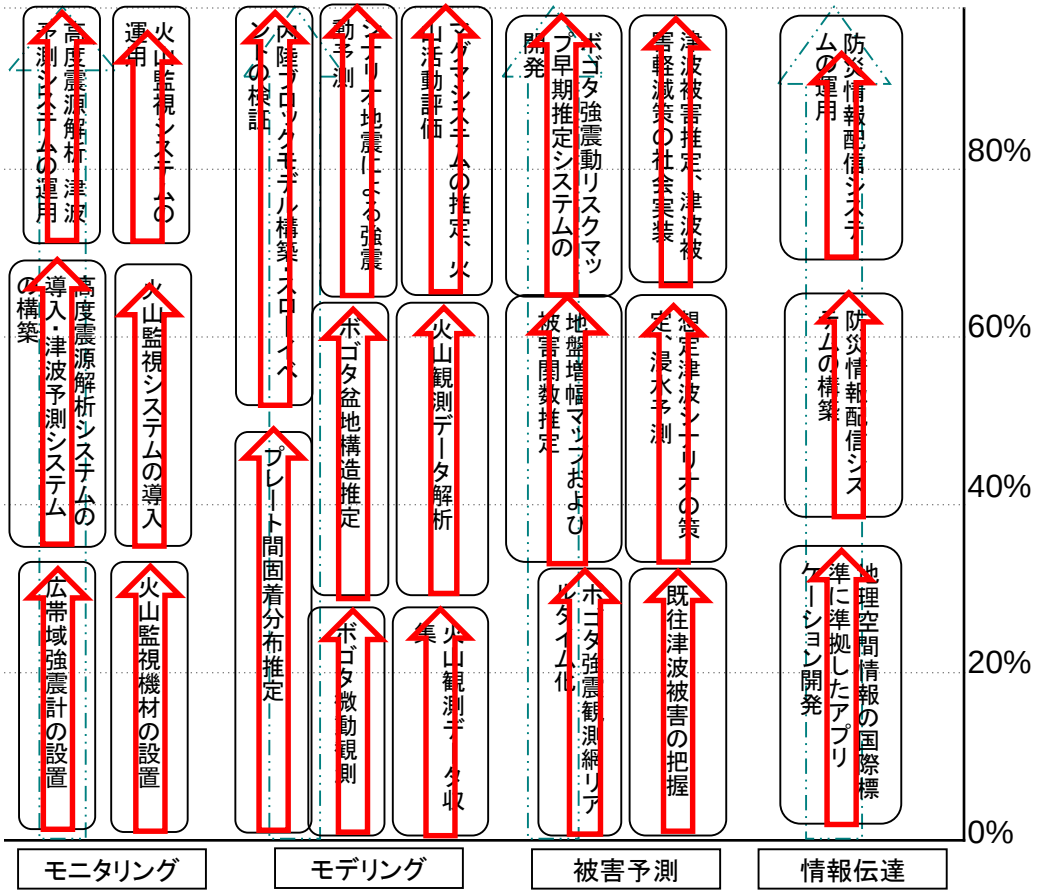
成果の波及効果

日本政府、社会、産業への貢献	・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	・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	・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	・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	・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）	・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